



버전 16

# 실험 설계 가이드

“진정 무엇인가를 발견하는 여행은 새로운 풍경을 바라보는  
것이 아니라 새로운 눈을 가지는 데 있다 .”

Marcel Proust

JMP, A Business Unit of SAS  
SAS Campus Drive  
Cary, NC 27513

**16.0**

The correct bibliographic citation for this manual is as follows: SAS Institute Inc. 2020–2021.  
JMP® 16 실험 설계 가이드 . Cary, NC: SAS Institute Inc.

**JMP® 16 실험 설계 가이드**

Copyright © 2020-2021, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA

All rights reserved. Produced in the United States of America.

**U.S. Government License Rights; Restricted Rights:** The Software and its documentation is commercial computer software developed at private expense and is provided with RESTRICTED RIGHTS to the United States Government. Use, duplication or disclosure of the Software by the United States Government is subject to the license terms of this Agreement pursuant to, as applicable, FAR 12.212, DFAR 227.7202-1(a), DFAR 227.7202-3(a) and DFAR 227.7202-4 and, to the extent required under U.S. federal law, the minimum restricted rights as set out in FAR 52.227-19 (DEC 2007). If FAR 52.227-19 is applicable, this provision serves as notice under clause (c) thereof and no other notice is required to be affixed to the Software or documentation. The Government's rights in Software and documentation shall be only those set forth in this Agreement.

SAS Institute Inc., SAS Campus Drive, Cary, North Carolina 27513-2414.

March 2021

SAS® and all other SAS Institute Inc. product or service names are registered trademarks or trademarks of SAS Institute Inc. in the USA and other countries. ® indicates USA registration.

Other brand and product names are trademarks of their respective companies.

SAS software may be provided with certain third-party software, including but not limited to open-source software, which is licensed under its applicable third-party software license agreement. For license information about third-party software distributed with SAS software, refer to <http://support.sas.com/thirdpartylicenses>.

## JMP 활용하기

JMP 를 처음 사용하든 오랫동안 사용해왔든, JMP 와 관련해서 배워야 하는 것은 언제나 있습니다.

JMP.com 을 방문하면 다음과 같은 유용한 자료를 볼 수 있습니다.

- JMP 시작 방법에 대한 라이브 및 녹화 웹 캐스트
- 새로운 기능과 고급 기법에 대한 비디오 데모 및 웹 캐스트
- JMP 교육 과정 등록에 대한 상세 정보
- 현지에서 개최되는 세미나 일정
- 다른 사용자들이 JMP 를 사용하는 방법을 보여주는 성공 사례
- JMP 사용자 커뮤니티, 추가 기능 및 스크립트 예를 포함한 사용자용 리소스, 포럼, 블로그, 컨퍼런스 정보 등

<https://www.jmp.com/getstarted>



# 목차

## 실험 설계 가이드

---

<b>1 JMP 알아보기</b>	21
<b>설명서 및 추가 리소스</b>	
JMP 설명서에 사용되는 서식 규칙	23
JMP 도움말	24
JMP 설명서 라이브러리	24
JMP 학습을 위한 추가 리소스	30
JMP 자습서	30
샘플 데이터 테이블	30
통계 및 JSL 용어에 대해 알아보기	31
JMP 팁 및 힌트 알아보기	31
JMP 룰팁	31
JMP 사용자 커뮤니티	31
무료 온라인 Statistical Thinking 교육 과정	32
JMP 새로운 사용자를 위한 입문 키트	32
Statistics Knowledge 포털	32
JMP 교육 과정	32
사용자가 작성한 JMP 설명서	32
JMP 시작하기 창	32
JMP 기술 지원	33
<b>2 DOE 소개</b>	35
<b>실험 설계 플랫폼 개요</b>	
<b>3 DOE로 시작</b>	39
<b>예제 및 핵심 개념</b>	
실험 설계 및 DOE 워크플로우 개요	41
커피 강도 실험	42
연구 및 목표 정의	42
설계 생성	44
실험 실행	49
데이터 분석	50
DOE 워크플로우: 기술, 지정, 설계	56

반응 및 요인 정의 .....	57
모형 지정 .....	58
설계 생성 .....	58
설계 평가 .....	59
테이블 생성 .....	60
실험 설계의 원리와 지침 .....	60
효과 계층성 .....	60
효과 유전성 .....	61
효과 희소성 .....	61
중앙점, 반복 런 및 검정 .....	61
<b>4 사용자 설계</b> .....	63
<b>요구 사항을 충족하는 설계 구성</b>	
사용자 설계 개요 .....	65
사용자 설계의 예 .....	66
사용자 설계 생성 .....	82
반응 .....	82
요인 .....	84
요인 제약 조건 정의 .....	90
별칭 항 .....	94
설계 생성 .....	95
설계 .....	97
설계 평가 .....	97
출력 옵션 .....	98
사용자 설계 옵션 .....	100
반응 시뮬레이션 .....	103
행렬 X 저장 .....	105
시작 수 .....	107
설계 검색 시간 .....	108
사용자 설계에 대한 기술 상세 정보 .....	108
랜덤화 제한이 있는 설계 .....	109
변경하기 힘든 수준의 공변량 .....	117
주구 및 하위구 수 .....	117
최적 기준 .....	118
D 효율도 .....	122
좌표 교환 알고리즘 .....	122
<b>5 사용자 설계의 예</b> .....	123
<b>요구 사항을 충족하는 실험 수행</b>	
선별 실험 .....	125

주효과만 추정하는 설계 .....	125
모든 2 요인 교호작용을 추정하는 설계 .....	128
주효과와 2 요인 교호작용의 별칭 관계를 방지하는 설계 .....	130
과포화 선별 설계 .....	133
고정 블록 설계 .....	140
반응 표면 실험 .....	144
반응 표면 설계 .....	144
유연한 블록화 방법을 사용하는 반응 표면 설계 .....	150
D-최적과 I-최적의 반응 표면 설계 비교 .....	152
제약 조건 및 범주형 요인이 있는 반응 표면 설계 .....	157
혼합물 실험 .....	162
비혼합 요인이 있는 혼합물 설계 .....	162
혼합물 혼합 설계 .....	166
공변량이 포함된 실험 .....	170
고정 공변량이 포함된 설계 .....	171
변경하기 힘든 공변량이 포함된 설계 .....	173
시간 선형 추세가 포함된 설계 .....	177
랜덤화 제한이 있는 실험 .....	180
분할구 실험 .....	180
이원 분할구 실험 .....	184
로버스트 공정 및 제품 설계를 위한 실험 .....	190
<b>6 설계 확대 .....</b>	193
<b>기존 설계에 추가 련 추가</b>	
설계 확대 플랫폼을 사용한 예 .....	195
설계 확대 플랫폼 시작 .....	201
설계 확대 창 .....	202
요인 .....	202
요인 제약 조건 정의 .....	203
확대 옵션 .....	206
설계 확대 플랫폼 옵션 .....	207
확대 옵션의 추가 예 .....	210
설계 반복 .....	210
설계에 중앙점 추가 .....	212
설계 접기 생성 .....	213
설계에 축 접점 추가 .....	214
공간 채움 확대 .....	215
통계 상세 정보 .....	216

<b>7 확증적 선별 설계</b>	219
확증적 선별 설계 개요	221
확증적 선별 설계의 예	223
확증적 선별 설계	223
부분 요인 설계와 비교	226
블록화를 사용한 확증적 선별 설계	228
확증적 선별 설계와 Plackett-Burman 설계 비교	232
확증적 선별 설계 창	235
반응	236
요인	237
설계 옵션	239
설계	241
설계 평가	241
출력 옵션	242
확증적 선별 설계 옵션	244
반응 시뮬레이션	246
기술 상세 정보	248
확증적 선별 설계의 구조	248
실험 데이터 분석	250
<b>8 확증적 선별 적합 플랫폼</b>	253
<b>확증적 선별 실험의 데이터 분석</b>	
확증적 선별 적합 플랫폼 개요	255
DSD에서 활성 효과 식별	255
DSD를 위한 유효 모형 선택	255
확증적 선별 적합 플랫폼의 예	256
모형 적합	256
결과 검토	256
모형 축소	258
확증적 선별 적합 플랫폼 시작	260
확증적 선별 적합 보고서	260
1 단계 - 주효과 추정값	261
2 단계 - 짹수 차수 효과 추정값	262
결합 모형 모수 추정값	262
주효과 잔차 그림	263
예측 프로파일러	263
확증적 선별 적합 플랫폼 옵션	263
확증적 선별 적합 플랫폼에 대한 기술 상세 정보	264
DSD를 위한 유효 모형 선택 알고리즘	264

<b>9 선별 설계</b>	267
선별 설계 개요	269
기본 원리	269
선별 설계 결과 분석	269
선별 설계의 예	270
부분 요인 설계와 주효과 선별 설계 비교	270
표준 설계가 없는 경우의 주효과 선별 설계	277
선별 설계 창	279
반응	280
요인	282
선별 유형 선택	284
부분 요인 설계 목록에서 선택	285
설계 유형	285
교락 측도를 나타내는 해상도	288
설계 표시 및 수정	289
주효과 선별 설계	291
설계 생성	292
설계	293
설계 평가	293
출력 옵션	293
테이블 생성	294
선별 설계 옵션	295
선별 설계의 추가 예	298
부분 요인 설계에서 생성 규칙 수정	298
Plackett-Burman 설계	303
<b>10 2 수준 선별 적합 플랫폼</b>	309
선별 실험의 데이터 분석	
2 수준 선별 적합 플랫폼 개요	311
2 수준 선별 적합 플랫폼의 예	311
2 수준 선별 적합 플랫폼 시작	314
선별 보고서	315
대비	315
1/2 정규 확률도	316
모형 생성 또는 실행	316
2 수준 선별 적합 분석의 추가 예	316
Plackett-Burman 설계 분석	317
효과 유전성 예	318
과포화 설계 분석	320

2 수준 선별 적합 플랫폼에 대한 기술 상세 정보 .....	321
효과 입력 순서 .....	322
2 수준 선별 적합과 직교 회전 .....	322
Lenth 유사 표준 오차 .....	323
Lenth t- 비 .....	323
<b>11 반응 표면 설계</b> .....	327
반응 표면 설계 개요 .....	329
반응 표면 설계의 예 .....	331
Box-Behnken 설계 구성 .....	332
실험 데이터 분석 .....	333
최적 설정 탐색 .....	335
반응 표면 설계 창 .....	338
반응 .....	339
요인 .....	340
설계 선택 .....	342
출력 옵션 지정 .....	343
테이블 생성 .....	344
반응 표면 설계 옵션 .....	345
<b>12 완전 요인 설계</b> .....	347
완전 요인 설계 개요 .....	349
완전 요인 설계의 예 .....	349
설계 구성 .....	349
실험 데이터 분석 .....	351
완전 요인 설계 생성 .....	355
반응 .....	355
요인 .....	357
출력 옵션 선택 .....	359
테이블 생성 .....	360
완전 요인 설계 옵션 .....	361
<b>13 혼합물 설계</b> .....	365
배합 설계	
혼합물 설계 개요 .....	367
혼합물 설계 창 .....	367
반응 .....	367
요인 .....	369
삼원 그림 개요 .....	371

혼합물 설계 유형의 예 .....	371
최적 혼합물 설계 .....	372
심플렉스 중심 설계 .....	373
심플렉스 격자 설계 .....	375
꼭지점 설계 .....	376
ABCD 설계 .....	380
공간 채움 설계 .....	381
혼합물 설계 적합 .....	383
전체 모형 검정 및 분산 분석 보고서 .....	384
반응 표면 보고서 이해 .....	384
화학 혼합물 예 .....	384
설계 생성 .....	385
혼합 모형 분석 .....	386
예측 프로파일러 .....	387
혼합물 프로파일러 .....	388
<b>14 Taguchi 설계 .....</b>	<b>391</b>
<b>잡음 요인이 있는 설계</b>	
Taguchi 설계 개요 .....	393
Taguchi 설계의 예 .....	393
Taguchi 설계 생성 .....	397
반응 .....	397
요인 .....	398
Taguchi 내측 및 외측 배열 설계 선택 .....	398
코드화된 설계 표시 .....	399
설계 테이블 생성 .....	399
Taguchi 설계 옵션 .....	400
<b>15 설계 평가 .....</b>	<b>403</b>
<b>설계 특성 탐색</b>	
설계 평가 플랫폼 개요 .....	405
설계 평가의 예 .....	405
손실된 런의 영향 평가 .....	406
지정된 모형에 대한 검정력 평가 .....	413
설계 평가 시작 창 .....	415
설계 평가 창 .....	415
요인 .....	416
모형 .....	417
별칭 항 .....	418
설계 .....	418

설계 평가	418
검정력 분석	419
예측 분산 프로파일	425
설계 공간 비율 그림	426
예측 분산 표면	427
추정 효율도	428
별칭 행렬	430
상관 색상 맵	431
설계 진단	432
설계 평가 옵션	434
<b>16 설계 비교</b>	437
<b>설계를 동시에 비교 및 평가</b>	
설계 비교 플랫폼 개요	439
설계 비교의 예	439
런 크기가 같은 설계	439
런 크기가 다른 설계	444
주구 수가 다른 분할구 설계	447
설계 비교 플랫폼 시작	451
설계 비교 창 : 모형 및 별칭 항 지정	453
참조 설계	454
요인	454
모형	454
별칭 항	454
설계 비교 창 : 설계 평가	454
검정력 분석	455
예측 분산 프로파일	458
설계 공간 비율 그림	460
상대 추정 효율도	461
별칭 행렬 요약	463
절대 상관	464
설계 진단	466
설계 비교 옵션	468
<b>17 예상 표본 크기 및 검정력</b>	469
표본 크기 및 검정력 플랫폼 시작	472
1 표본 평균 계산기	473
1 표본 평균 계산기의 예	473
1 표본 평균 계산기 필드	477

1 표본 평균 계산기에 대한 통계 상세 정보 .....	478
2 표본 평균 계산기 .....	479
2 표본 평균 계산기의 예 .....	479
2 표본 평균 계산기 필드 .....	480
2 표본 평균 계산기에 대한 통계 상세 정보 .....	481
k 표본 평균 계산기 .....	481
k 표본 평균 계산기의 예 .....	482
k 표본 평균 계산기 필드 .....	484
k 표본 평균 계산기에 대한 통계 상세 정보 .....	485
1 표본 표준편차 계산기 .....	486
1 표본 표준편차 계산기의 예 .....	486
1 표본 표준편차 계산기 필드 .....	487
1 표본 표준편차 계산기에 대한 통계 상세 정보 .....	488
1 표본 비율 계산기 .....	489
1 표본 비율 계산기의 예 .....	489
1 표본 비율 계산기 필드 .....	490
단일 비율 계산기에 대한 통계 상세 정보 .....	491
2 표본 비율 계산기 .....	492
2 표본 비율 계산기의 예 .....	492
2 표본 비율 계산기 필드 .....	493
두 비율 계산기에 대한 통계 상세 정보 .....	494
단위별 개수 계산기 .....	494
단위별 개수 계산기의 예 .....	495
단위별 개수 계산기 필드 .....	496
단위별 개수 계산기에 대한 통계 상세 정보 .....	496
시그마 품질 수준 계산기 .....	497
시그마 품질 수준 계산기의 예 .....	497
결합 수 계산의 예 .....	498
시그마 품질 수준 계산기 필드 .....	498
시그마 품질 계산기에 대한 통계 상세 정보 .....	499
신뢰도 시험 계획 계산기 .....	499
신뢰도 시험 계획 계산기의 예 .....	499
신뢰도 시험 계획 계산기 필드 .....	501
신뢰도 시험 계획 계산기에 대한 통계 상세 정보 .....	502
신뢰도 데모 계산기 .....	503
신뢰도 데모 계산기의 예 .....	503
신뢰도 데모 계산기 필드 .....	504
신뢰도 데모 계산기에 대한 통계 상세 정보 .....	505

<b>18 선택 설계</b>	507
<b>기본 제품 프로파일 선택을 위한 설계 생성</b>	
선택 설계 개요	509
선택 설계 용어	509
베이지안 D- 최적	509
선택 설계의 예	510
분석을 사용한 선택 설계의 예	512
파일럿 연구를 위한 선택 설계 생성	512
파일럿 연구 데이터 분석	514
사전 정보를 사용하여 최종 선택 실험 설계	516
설계 실행 및 결과 분석	517
선택 설계 창	520
속성	520
모형	521
설계 생성	523
설계	524
테이블 생성	525
선택 설계 옵션	525
기술 상세 정보	526
베이지안 D- 최적 및 설계 구성	526
유til리티 중립 설계 및 로컬 D- 최적 설계	527
<b>19 최대차이 설계</b>	529
<b>최선 - 최악 항목 선택을 위한 설계 생성</b>	
최대차이 설계 플랫폼 개요	531
최대차이 설계의 예	531
최대차이 설계 시작 창	535
최대차이 창	535
설계 옵션 개요	535
설계 개요	536
쌍별 따름 행렬	536
테이블 생성	536
최대차이 옵션	536
<b>20 덮기 배열</b>	539
<b>성분 교호작용으로 인한 고장 감지</b>	
덮기 배열 개요	541
요인 수준 제한이 없는 덮기 배열의 예	542
설계 생성	543
실험 데이터 분석	545

요인 수준 제한이 있는 덮기 배열의 예 .....	547
설계 생성 .....	547
실험 데이터 분석 .....	552
덮기 배열 창 .....	553
요인 .....	553
요인 수준 조합 제한 .....	555
설계 .....	557
지표 .....	559
출력 옵션 .....	560
덮기 배열 데이터 테이블 .....	560
덮기 배열 옵션 .....	561
덮기 배열에 대한 기술 상세 정보 .....	562
최적화 알고리즘 .....	562
지표 계산식 .....	563
<b>21 공간 채움 설계</b> .....	565
공간 채움 설계 개요 .....	567
공간 채움 설계 생성 .....	568
반응 .....	568
요인 .....	570
요인 제약 조건 정의 .....	572
공간 채움 설계 방법 .....	575
설계 .....	575
설계 진단 .....	575
설계 테이블 .....	576
공간 채움 설계 옵션 .....	576
Sphere-Packing 설계 .....	578
Sphere-Packing 설계 생성 .....	578
Sphere-Packing 설계 시작화 .....	580
라틴 초입방체 설계 .....	581
라틴 초입방체 설계 생성 .....	581
라틴 초입방체 설계 시작화 .....	582
균등 설계 .....	584
Sphere-Packing, 라틴 초입방체 및 균등 방법 비교 .....	586
최소 잠재 설계 .....	587
최대 엔트로피 설계 .....	589
가우스 과정 IMSE 최적 설계 .....	591
쾌속 유연 채움 설계 .....	592
FFF 최적 기준 .....	592

FFF 설계의 평균 군집 크기 설정 .....	593
제약 조건 .....	594
제약된 쾌속 유연 채움 설계 생성 및 보기 .....	594
맵 쉐이프를 위한 공간 채움 설계 생성 .....	596
Sphere-Packung 설계의 예 .....	601
Borehole 데이터에 대한 Sphere-Packung 설계 생성 .....	601
결정적 데이터 분석을 위한 지침 .....	602
<b>22 가속 수명 시험 설계</b> .....	607
<b>가속 수명 시험을 위한 실험 설계</b>	
가속 수명 시험 설계 개요 .....	609
가속 수명 시험 설계의 예 .....	609
가속 수명 시험 설계 확대의 예 .....	616
가속 수명 시험 설계 생성 .....	620
설계 구조 지정 .....	621
가속 요인 지정 .....	621
설계 상세 정보 지정 .....	622
ALT 계획에 대한 규격 검토 및 업데이트 .....	624
최적 설계 생성 및 평가 .....	625
설계 데이블 생성 .....	627
가속 수명 시험의 옵션 .....	628
ALT 설계 플랫폼에 대한 통계 상세 정보 .....	628
ALT 설계의 고장 분포 .....	628
R 정밀도 요인 (95% CI) .....	630
가속 수명 시험에 대한 최적 기준 .....	631
<b>23 비선형 설계</b> .....	633
비선형 설계 개요 .....	635
비선형 설계의 예 .....	636
사전 데이터가 없는 비선형 설계 생성 .....	636
사전 데이터를 사용하여 설계 확대 .....	640
이항 반응에 대한 설계 생성 .....	644
비선형 설계 시작 창 .....	647
비선형 설계 창 .....	647
요인 .....	648
모수 .....	648
설계 생성 .....	649
설계 .....	649
테이블 생성 또는 확대 .....	649

비선형 설계 옵션 .....	649
비선형 설계에 대한 통계 상세 정보 .....	650
비선형 모형 .....	650
최적 기준의 방사형 - 구형 적분 .....	651
최적 설계 찾기 .....	651
<b>24 균형 불완비 블록 설계</b> .....	653
균형 불완비 블록 설계의 예 .....	655
균형 불완비 블록 설계 생성 .....	657
처리, 블록 지정 및 설계 생성 .....	657
설계 확인 및 테이블 생성 .....	658
균형 불완비 블록 설계 옵션 .....	658
균형 불완비 블록 설계에 대한 통계 상세 정보 .....	659
<b>25 MSA 설계</b> .....	661
측정 시스템 분석 실험에 대한 설계 생성	
MSA 설계 개요 .....	663
MSA 설계의 예 .....	663
MSA 설계 생성 .....	665
반응 .....	666
요인 .....	668
MSA 설계 .....	668
MSA 설계 진단 .....	668
MSA 설계 테이블 .....	669
MSA 설계 옵션 .....	670
MSA 설계 플랫폼의 통계 상세 정보 .....	671
<b>26 그룹 직교 과포화 설계</b> .....	673
그룹 직교 과포화 설계 생성	
그룹 직교 과포화 설계 개요 .....	675
그룹 직교 과포화 설계의 예 .....	675
그룹 직교 과포화 설계 생성 .....	676
요인, 구조 지정 및 설계 생성 .....	677
설계 확인 및 테이블 생성 .....	678
그룹 직교 과포화 설계 옵션 .....	678
그룹 직교 과포화 설계에 대한 통계 상세 정보 .....	679
<b>27 그룹 직교 과포화 설계 적합 플랫폼</b> .....	681
그룹 직교 과포화 설계의 데이터 분석	
그룹 직교 과포화 설계 적합 플랫폼 개요 .....	683

그룹 직교 과포화 설계 적합의 예 .....	683
그룹 직교 과포화 설계 적합 플랫폼 시작 .....	685
그룹 직교 과포화 설계 적합 보고서 .....	686
그룹 직교 과포화 설계 적합 플랫폼 옵션 .....	687
<b>28 표본 크기 탐색기 .....</b>	<b>689</b>
<b>표본 크기 및 검정력 계산기</b>	
표본 크기 탐색기 플랫폼에 대한 개요 .....	691
표본 크기 탐색기의 예 .....	691
표본 크기 탐색기 시작 .....	692
가설 검정에 대한 검정력 탐색기 .....	692
1 표본 평균에 대한 검정력 .....	693
1 표본 비율에 대한 검정력 .....	695
1 표본 분산에 대한 검정력 .....	697
1 표본 동등성에 대한 검정력 .....	699
2 독립 표본 평균에 대한 검정력 .....	701
2 독립 표본 비율에 대한 검정력 .....	704
2 독립 표본 분산에 대한 검정력 .....	706
2 독립 표본 동등성에 대한 검정력 .....	708
ANOVA에 대한 검정력 .....	710
신뢰 구간 계산기 .....	712
1 표본 평균에 대한 오차 한계 .....	712
1 표본 비율에 대한 오차 한계 .....	715
1 표본 분산에 대한 오차 한계 .....	716
2 독립 표본 평균에 대한 오차 한계 .....	718
2 독립 표본 비율에 대한 오차 한계 .....	720
2 독립 표본 분산에 대한 오차 한계 .....	722
신뢰도 테모 계산기 .....	723
모수 신뢰도 테모 .....	724
비모수 신뢰도 테모 .....	725
표본 크기 탐색기의 저장된 설정 .....	726
<b>A 열 특성 .....</b>	<b>727</b>
<b>DOE에서 할당하는 열 특성 이해</b>	
열 특성 추가 및 보기 .....	729
반응 한계 .....	730
반응 한계의 예 .....	731
반응 한계 편집 .....	734
감지 한계 .....	737
함수 반응 .....	737

설계 역할	737
설계 역할의 예	738
코딩	739
하한값과 상한값	740
코딩 열 특성 및 중심화 다항식	741
코딩의 예	741
코딩 할당	744
혼합	747
혼합의 예	749
요인 변경	752
요인 변경의 예	753
값 순서	755
값 순서의 예	756
값 순서 할당	758
값 라벨	759
값 라벨의 예	759
블록당 런수	761
블록당 런 수의 예	761
제약 조건 상태	762
제약 조건 상태의 예	762
<b>B 기술 상세 정보</b>	765
별칭 행렬	767
변경하기 힘들거나 매우 변경하기 힘든 요인이 있는 설계	767
If Possible 효과가 있는 설계	768
검정력 계산	768
단일 모수에 대한 검정력	768
법주형 효과에 대한 검정력	769
상대 예측 분산	770
<b>C 참조 자료</b>	773
<b>D 기술 라이선스 표시</b>	779



# 1 장

## JMP 알아보기 설명서 및 추가 리소스

설명서 서식 규칙, 각 JMP 문서에 대한 설명, 도움말 시스템, 기타 지원 제공 위치 등 JMP 설명서에 대해 알아봅니다.

## 목차

JMP 설명서에 사용되는 서식 규칙	23
JMP 도움말	24
JMP 설명서 라이브러리	24
JMP 학습을 위한 추가 리소스	30
JMP 자습서	30
샘플 데이터 테이블	30
통계 및 JSL 용어에 대해 알아보기	31
JMP 팁 및 힌트 알아보기	31
JMP 툴팁	31
JMP 사용자 커뮤니티	31
무료 온라인 Statistical Thinking 교육 과정	32
JMP 새로운 사용자를 위한 입문 키트	32
Statistics Knowledge 포털	32
JMP 교육 과정	32
사용자가 작성한 JMP 설명서	32
JMP 시작하기 창	32
JMP 기술 지원	33

## JMP 설명서에 사용되는 서식 규칙

설명서 자료가 가리키는 화면 정보를 쉽게 알아볼 수 있도록 다음과 같은 서식 규칙이 사용됩니다.

- 샘플 데이터 테이블 이름, 열 이름, 경로 이름, 파일 이름, 파일 확장자 및 폴더는 **Helvetica**( 또는 sans-serif online) 글꼴로 표시됩니다.
- 코드는 **Lucida Sans Typewriter**( 또는 monospace online) 글꼴로 표시됩니다.
- 코드 출력은 **Lucida Sans Typewriter** 기울임꼴 ( 또는 monospace italic online) 글꼴로 표시되고 앞의 코드보다 더 많은 들여쓰기가 적용됩니다.
- **Helvetica bold**( 또는 bold sans-serif online) 서식은 작업을 수행하기 위해 사용자가 선택하는 다음과 같은 항목을 나타냅니다.
  - 버튼
  - 체크박스
  - 명령
  - 선택 가능한 목록 이름
  - 메뉴
  - 옵션
  - 탭 이름
  - 텍스트 상자
- 다음 항목은 기울임꼴로 표시됩니다.
  - 중요하거나 JMP 와 관련된 정의가 있는 단어 또는 구
  - 설명서 제목
  - 변수
- JMP Pro 에만 해당되는 기능에는 JMP Pro 아이콘 이 표시됩니다. JMP Pro 기능의 개요는 <https://www.jmp.com/software/pro>에서 확인할 수 있습니다.

**참고 :** 참고 섹션에는 특수한 정보와 제한 사항이 표시됩니다.

**팁 :** 팁 섹션에는 유용한 정보가 표시됩니다.

## JMP 도움말

"도움말" 메뉴의 "JMP 도움말"에서는 JMP 기능, 통계적 방법 및 JSL(JMP Scripting Language)에 대한 정보를 검색할 수 있습니다. 다음과 같은 몇 가지 방법으로 JMP 도움말을 열 수 있습니다.

- Windows에서 **도움말 > JMP 도움말**을 선택하여 JMP 도움말을 검색하고 봅니다.
- Windows에서 F1 키를 눌러 기본 브라우저로 도움말 시스템을 엽니다.
- 데이터 테이블 또는 보고서 창의 특정 부분에 대한 도움말을 확인합니다. **도구** 메뉴에서 도움말 도구 를 선택한 후 데이터 테이블 또는 보고서 창의 아무 곳이나 클릭하면 해당 영역에 대한 도움말이 표시됩니다.
- JMP 창 내에서 **도움말** 버튼을 클릭합니다.

**참고:** JMP 도움말은 인터넷이 연결되어 있어야 사용할 수 있습니다. 인터넷이 연결되어 있지 않으면 **도움말 > JMP 설명서 라이브러리**를 선택하여 단일 PDF 파일에서 모든 설명서를 검색할 수 있습니다. 자세한 내용은 "[JMP 설명서 라이브러리](#)"(24 페이지)에서 확인하십시오.

## JMP 설명서 라이브러리

도움말 시스템 콘텐츠는 JMP 설명서 라이브러리라는 단일 PDF 파일로도 제공됩니다. 이 파일을 열려면 **도움말 > JMP 설명서 라이브러리**를 선택합니다. JMP 라이브러리에 포함된 각 문서의 개별 PDF 파일을 검색하려면 <https://www.jmp.com/documentation>에서 파일을 다운로드하십시오.

다음 표에서는 JMP 라이브러리에 포함된 각 문서의 용도와 내용을 설명합니다.

문서 제목	문서 용도	문서 내용
JMP 살펴보기	JMP에 익숙하지 않다면 이 설명서부터 시작하 십시오.	JMP에 대해 소개하고 데이터 생성 및 분석 을 시작하기 위한 정보를 제공합니다. 또 한 결과를 공유하는 방법도 알아볼 수 있 습니다.
JMP 사용	JMP 데이터 테이블과 기 본적인 작업을 수행하 는 방법에 대해 알아봅 니다.	데이터 가져오기, 열 특성 수정, 데이터 정 렬, SAS 연결 등을 비롯하여 JMP의 모든 영역에 걸친 일반적인 JMP 개념 및 기능을 다룹니다.

문서 제목	문서 용도	문서 내용
기본 분석	이 문서를 사용하여 기본적인 분석을 수행합니다.	"분석" 메뉴의 다음 플랫폼에 대해 설명합니다. <ul style="list-style-type: none"><li>• 분포</li><li>• X로 Y 적합</li><li>• 테이블 생성</li><li>• 텍스트 탐색기</li></ul> "분석">>"X로 Y 적합"을 통해 이변량 분석, 일원 ANOVA 및 분할 분석을 수행하는 방법을 다룹니다. 봇스트랩을 사용하여 표집 분포에 근사한 값을 산출하는 방법과 시뮬레이션 플랫폼을 사용하여 모수적 재표집을 수행하는 방법도 포함되어 있습니다.
Essential Graphing	데이터에 이상적인 그래프를 찾습니다.	"그래프" 메뉴의 다음 플랫폼에 대해 설명합니다. <ul style="list-style-type: none"><li>• 그래프 빌더</li><li>• 3D 산점도</li><li>• 등고선 그림</li><li>• 베를 그림</li><li>• 평행 그림</li><li>• 셀 그림</li><li>• 산점도 행렬</li><li>• 삼원 그림</li><li>• 트리맵</li><li>• 차트</li><li>• 중첩 그림</li></ul> 이 설명서에서는 배경 맵 및 사용자 맵을 생성하는 방법도 다룹니다.
Profilers	반응 표면의 횡단면을 볼 수 있게 해주는 대화식 프로파일링 도구의 사용 방법을 알아봅니다.	"그래프" 메뉴에 나열된 모든 프로파일러를 다룹니다. 랜덤 입력을 사용한 시뮬레이션 실행과 함께 잡음 요인 분석이 포함됩니다.

문서 제목	문서 용도	문서 내용
실험 설계 가이드	실험 설계 방법을 알아보고 적절한 표본 크기를 결정합니다.	"DOE" 메뉴의 모든 항목을 다룹니다.
선형 모형 적합	모형 적합 플랫폼과 이 플랫폼의 다양한 분석법에 대해 알아봅니다.	<p>"분석" 메뉴의 모형 적합 플랫폼에서 사용할 수 있는 다음 분석법에 대해 설명합니다.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 표준 최소 제곱</li> <li>• 단계별</li> <li>• 일반화 회귀</li> <li>• 혼합 모형</li> <li>• MANOVA</li> <li>• 로그 선형 분산</li> <li>• 명목형 로지스틱</li> <li>• 순서형 로지스틱</li> <li>• 일반화 선형 모형</li> </ul>

문서 제목	문서 용도	문서 내용
Predictive and Specialized Modeling	추가 모델링 기법에 대해 알아봅니다.	"분석" > "예측 모델링" 메뉴의 다음 플랫폼에 대해 설명합니다. <ul style="list-style-type: none"><li>• 신경망</li><li>• 파티션</li><li>• 브스트랩 포레스트</li><li>• 부스티드 트리</li><li>• K 최근접 이웃</li><li>• Naive Bayes</li><li>• 서포트 벡터 머신</li><li>• 모형 비교</li><li>• 모형 선별</li><li>• 검증 열 생성</li><li>• 계산식 저장소</li></ul> "분석" > "전문 모델링" 메뉴의 다음 플랫폼에 대해 설명합니다. <ul style="list-style-type: none"><li>• 곡선 적합</li><li>• 비선형</li><li>• 함수 데이터 탐색기</li><li>• 가우스 과정</li><li>• 시계열</li><li>• 매칭 쌍</li></ul> "분석" > "선별" 메뉴의 다음 플랫폼에 대해 설명합니다. <ul style="list-style-type: none"><li>• 모델링 유ти리티</li><li>• 반응 변수 선별</li><li>• 공정 변수 선별</li><li>• 예측 변수 선별</li><li>• 연관성 분석</li><li>• 공정 기록 탐색기</li></ul>

문서 제목	문서 용도	문서 내용
Multivariate Methods	몇 개의 변수를 동시에 분석하기 위한 기법을 알아봅니다.	<p>"분석"&gt;&gt;"다변량 방법" 메뉴의 다음 플랫폼에 대해 설명합니다.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 다변량</li> <li>• 주성분</li> <li>• 판별</li> <li>• 부분 최소 제곱</li> <li>• 다중 대응 분석</li> <li>• 구조 방정식 모형</li> <li>• 요인 분석</li> <li>• 다차원 척도법</li> <li>• 항목 분석</li> </ul> <p>"분석"&gt;&gt;"군집화" 메뉴의 다음 플랫폼에 대해 설명합니다.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 계층적 군집화</li> <li>• K 평균 군집화</li> <li>• 정규 혼합</li> <li>• 잠재 계층 분석</li> <li>• 변수 군집화</li> </ul>
Quality and Process Methods	공정 평가 및 개선을 위한 도구에 대해 알아봅니다.	<p>"분석"&gt;&gt;"품질 및 공정" 메뉴의 다음 플랫폼에 대해 설명합니다.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 관리도 빌더 및 개별 관리도</li> <li>• 측정 시스템 분석</li> <li>• 계량형 / 계수형 게이지 차트</li> <li>• 공정 능력</li> <li>• 모형 기반 다변량 관리도</li> <li>• 레거시 관리도</li> <li>• 파레토도</li> <li>• 다이어그램</li> <li>• 규격 한계 관리</li> <li>• OC 곡선</li> </ul>

문서 제목	문서 용도	문서 내용
Reliability and Survival Methods	제품 또는 시스템의 신뢰도 평가 및 향상 방법과 사람 및 제품의 생존 데이터 분석 방법을 알아봅니다.	"분석" > "신뢰성 및 생존" 메뉴의 다음 플랫폼에 대해 설명합니다. <ul style="list-style-type: none"><li>• 수명 분포</li><li>• 수명 분포 적합</li><li>• 누적 손상</li><li>• 재발 분석</li><li>• 열화</li><li>• 파괴 열화</li><li>• 신뢰도 예측</li><li>• 신뢰도 성장</li><li>• 신뢰도 블록 다이어그램</li><li>• 수리 가능 시스템 시뮬레이션</li><li>• 생존</li><li>• 모수 생존 모형 적합</li><li>• 비례 위험 모형 적합</li></ul>
Consumer Research	소비자 선호도를 연구하고 해당 정보를 사용하여 보다 나은 제품 및 서비스를 개발하기 위한 방법을 알아봅니다.	"분석" > "소비자 조사" 메뉴의 다음 플랫폼에 대해 설명합니다. <ul style="list-style-type: none"><li>• 범주형</li><li>• 선택</li><li>• 최대차이</li><li>• Uplift</li><li>• 다중 요인 분석</li></ul>
Scripting Guide	강력한 JSL(JMP 스크립트 언어)의 활용 방법을 알아봅니다.	스크립트 작성/디버깅, 데이터 테이블 조작, 표시 상자 생성 및 JMP 응용 프로그램 생성 등의 다양한 주제를 다룹니다.
JSL Syntax Reference	다양한 JSL 함수 및 인수, 그리고 개체 및 표시 상자로 보내는 메시지에 대해 알아봅니다.	JSL 명령의 구문, 예제 및 참고 사항이 포함되어 있습니다.

## JMP 학습을 위한 추가 리소스

JMP 도움말 외에도 다음 리소스를 사용하여 JMP에 대해 배울 수 있습니다.

- "JMP 자습서 "
- "샘플 데이터 테이블 "
- "통계 및 JSL 용어에 대해 알아보기 "
- "JMP 팁 및 힌트 알아보기 "
- "JMP 룰팁 "
- "JMP 사용자 커뮤니티 "
- "무료 온라인 Statistical Thinking 교육 과정 "
- "JMP 새로운 사용자를 위한 입문 키트 "
- "Statistics Knowledge 포털 "
- "JMP 교육 과정 "
- "사용자가 작성한 JMP 설명서 "
- "JMP 시작하기 창 "

## JMP 자습서

**도움말 > 자습서**를 선택하여 JMP 자습서에 액세스할 수 있습니다. **자습서** 메뉴의 첫 번째 항목은 **자습서 디렉터리**입니다. 이 항목을 클릭하면 모든 자습서가 범주별로 그룹화되어 있는 새 창이 열립니다.

JMP에 익숙하지 않다면 **초보자 자습서**부터 시작하십시오. 이 자습서에서는 JMP 인터페이스를 단계별로 안내하며 JMP를 사용하는 데 필요한 기본 사항을 설명합니다.

나머지 자습서는 실험 설계, 표본 평균과 상수의 비교 같은 JMP의 특정 측면을 이해하는 데 유용합니다.

## 샘플 데이터 테이블

JMP 설명서 모음에 포함된 모든 예에서는 샘플 데이터를 사용합니다. 샘플 데이터 디렉터리를 열려면 **도움말 > 샘플 데이터 라이브러리**를 선택하십시오.

샘플 데이터 테이블의 사전순 목록을 보거나 범주별로 샘플 데이터를 보려면 **도움말 > 샘플 데이터**를 선택하십시오.

샘플 데이터 테이블은 다음 디렉터리에 설치되어 있습니다.

Windows: C:\Program Files\SAS\JMP\16\Samples\Data

macOS: \Library\Application Support\JMP\16\Samples\Data

JMP Pro의 경우에는 JMP 디렉터리가 아니라 JMPPRO 디렉터리에 샘플 데이터가 설치되어 있습니다.

샘플 데이터를 사용한 예를 보려면 **도움말 > 샘플 데이터**를 선택하고 교육 자료 섹션으로 이동하십시오. 교육 자료에 대한 자세한 내용은 <https://jmp.com/tools>에서 확인하십시오.

## 통계 및 JSL 용어에 대해 알아보기

통계 용어에 대한 도움말을 보려면 "도움말 > 통계 분석 인덱스"를 선택합니다. JSL 스크립트 및 예제에 대한 도움말을 보려면 **도움말 > 스크립트 인덱스**를 선택합니다.

**통계 분석 인덱스** 통계 용어에 대한 정의를 제공합니다.

**스크립트 인덱스** JSL 함수, 개체 및 표시 상자에 대한 정보를 검색할 수 있습니다. "스크립트 인덱스"에서는 샘플 스크립트를 편집 및 실행하고 명령에 대한 도움말을 볼 수도 있습니다.

## JMP 팁 및 힌트 알아보기

JMP를 처음 시작할 때는 "오늘의 유익한 정보" 창이 표시됩니다. 이 창에서는 JMP를 사용하기 위한 팁을 제공합니다.

"오늘의 유익한 정보" 기능을 해제하려면 **시작할 때 정보 표시** 체크박스를 선택 해제하십시오. 이 창을 다시 보려면 **도움말 > 오늘의 유익한 정보**를 선택하십시오. 또는 "환경 설정" 창을 사용하여 이 기능을 해제할 수도 있습니다.

## JMP 툴팁

JMP에서 다음과 같은 항목을 커서로 가리키면 설명 툴팁(또는 가리키기 라벨)이 제공됩니다.

- 메뉴 또는 도구 모음 옵션
- 그래프의 라벨
- 보고서 창의 텍스트 결과(커서를 원 모양으로 움직이면 표시됨)
- 홈 창의 파일 또는 창
- 스크립트 편집기의 코드

**팁 :** Windows의 경우 JMP 환경 설정에서 툴팁을 숨길 수 있습니다. **파일 > 환경 설정 > 일반**을 선택한 후 **메뉴 팁 표시**를 선택 취소합니다. 이 옵션은 macOS에서는 사용할 수 없습니다.

## JMP 사용자 커뮤니티

JMP 사용자 커뮤니티에서는 JMP에 대해 알아보고 다른 JMP 사용자와 교류하는 데 도움이 되는 다양한 옵션을 제공합니다. 한 페이지 분량의 가이드, 자습서 및 데모로 구성된 학습 라이브러리부터 시작하는 것이 좋습니다. 다양한 JMP 교육 과정에 등록하여 학습을 계속할 수도 있습니다.

그 밖에도 토론 포럼, 샘플 데이터 및 스크립트 파일 교환, 웹 캐스트 및 소셜 네트워킹 그룹을 비롯한 리소스가 있습니다.

웹 사이트의 JMP 리소스에 액세스하려면 **도움말 > JMP 사용자 커뮤니티**를 선택하거나 <https://community.jmp.com>을 방문하십시오.

## 무료 온라인 Statistical Thinking 교육 과정

이 무료 온라인 교육 과정에서는 탐색적 데이터 분석, 품질 관리 방법, 상관 및 회귀 등의 항목에 대한 실용적인 통계적 기술을 배울 수 있습니다. 이 교육 과정은 짧은 비디오와 데모, 연습 등으로 구성되어 있습니다. 자세한 내용은 <https://www.jmp.com/statisticalthinking>에서 확인하십시오.

## JMP 새로운 사용자를 위한 입문 키트

JMP 새로운 사용자를 위한 입문 키트는 JMP의 기본 사항을 빨리 익힐 수 있도록 돋기 위한 것입니다. 30개의 짧은 데모 비디오 및 작업을 마치면 좀더 편하게 소프트웨어 사용 방법을 익히고 세계 최대 규모의 JMP 사용자 온라인 커뮤니티와 연결 할 수 있습니다. 자세한 내용은 <https://www.jmp.com/welcome>에서 확인하십시오.

## Statistics Knowledge 포털

Statistics Knowledge 포털에서는 방문자가 확실한 기초를 토대로 통계적 기술을 쌓을 수 있도록 간략한 통계 설명과 함께 명확한 예시 및 그래픽을 제공합니다. 자세한 내용은 <https://www.jmp.com/skp>에서 확인하십시오.

## JMP 교육 과정

SAS에서는 숙련된 JMP 전문가 팀의 주도로 다양한 주제에 대한 교육 과정을 제공합니다. 공개 교육, 라이브 웹 교육, 현장 교육 등이 제공되며, 온라인 e-learning 구독을 선택하여 편리한 시간에 학습할 수도 있습니다. 자세한 내용은 <https://www.jmp.com/training>에서 확인하십시오.

## 사용자가 작성한 JMP 설명서

JMP 웹 사이트에서는 JMP 사용자가 작성한 추가 JMP 사용 설명서가 제공됩니다. 자세한 내용은 <https://www.jmp.com/books>에서 확인하십시오.

## JMP 시작하기 창

JMP 또는 데이터 분석에 익숙하지 않다면 먼저 "JMP 시작하기" 창을 살펴보십시오. 이 창에는 옵션이 범주별로 설명되어 있으며 버튼을 클릭하여 옵션을 시작할 수 있습니다. "JMP 시작하기

"창에는" "분석", "그래프", "테이블" 및 "파일" 메뉴에 있는 다양한 옵션이 포함됩니다. 또한 이 창에는 JMP Pro의 기능 및 플랫폼도 나열됩니다.

- "JMP 시작하기" 창을 열려면 **보기** (macOS의 경우 **창**) > **JMP 시작하기**를 선택합니다.
- Windows에서 JMP를 열 때 자동으로 "JMP 시작하기"를 표시하려면 **파일** > **환경 설정** > **일반**을 선택한 후 "초기 JMP 창" 목록에서 **JMP 시작하기**를 선택합니다. macOS에서는 **JMP** > **환경 설정** > **초기 JMP 시작하기** 창을 선택합니다.

---

## JMP 기술 지원

JMP 기술 지원은 통계학자 또는 SAS 및 JMP의 교육을 받은 엔지니어가 제공하며, 이를 중 상당수는 통계 또는 기타 기술 분야의 석사 학위를 갖고 있습니다.

기술 지원 전화 번호를 포함한 많은 기술 지원 옵션이 <https://www.jmp.com/support>에서 제공됩니다.



## DOE 소개

### 실험 설계 플랫폼 개요

JMP DOE 플랫폼은 실험을 설계, 평가 및 분석할 수 있도록 도와 줍니다. 대부분의 플랫폼은 설계를 구성하는 데 초점을 맞춥니다. 그 외의 다른 플랫폼은 설계 작업을 지원합니다. 이 섹션에서는 DOE 메뉴에 있는 각 플랫폼에 대해 개략적으로 살펴 봅니다.

#### 설계 구성 플랫폼

**사용자 설계** 다양한 설정에 맞는 설계를 구성합니다. 사용자 설계는 전통적 설계에만 기반한 방법보다 비용 효율적이고 더 유연합니다.

사용자 설계는 다양한 유형의 요인, 제약 조건, 허용되지 않는 조합 등을 수용합니다. 주어진 런 수를 고려하여 추정이 필요한 효과 및 적합한 효과를 지정할 수 있습니다. 실험 환경의 예산에 맞도록 런 수를 지정할 수 있습니다. 또한 사용자 설계는 변경하기 힘든 요인 또는 매우 변경하기 힘든 요인을 지원하므로 분할구 설계 및 관련 설계를 구성할 수 있습니다.

사용자 설계 플랫폼은 다음과 같은 여러 가지 특수 설계 유형을 구성합니다.

- 선별
- 반응 표면
- 혼합물
- 랜덤 블록
- 분할구
- 분할 - 분할구
- 이원 분할구

다른 플랫폼을 사용하여 전통적 선별, 반응 표면 및 혼합물 설계를 구성할 수도 있습니다. 그러나 사용자 설계 플랫폼은 다른 플랫폼에서 사용할 수 없는 유연성을 제공합니다. 분할구 설계는 사용자 설계 플랫폼을 통해서만 구성할 수 있습니다.

**확증적 선별 설계** 연속형 요인 및 2 수준 범주형 요인에 대한 선별 설계를 구성합니다. 확증적 선별 설계는 활성 교호작용 또는 곡률이 의심되는 경우에 유용합니다. 확증적 선별 설계를 사용하면 2 차까지의 효과 사이에 완전 교락을 방지하면서 강력한 비선형 효과의 원인을 식별 할 수 있습니다.

확증적 선별 설계는 요인이 4 개 이상 있는 실험에 가장 적합합니다. 확증적 선별 설계에서는 런을 블록으로 그룹화할 수 있습니다. 블록 수는 사용자가 지정합니다.

**선별 설계** 임의 개수의 수준으로 연속형, 이산 수치형 및 범주형 요인에 대한 선별 설계를 구성 합니다. 표준 설계가 있는 경우 다음과 같은 두 가지 옵션을 사용할 수 있습니다.

- 전통적 선별 설계 목록에서 선택합니다. 이 설계는 2 수준 연속형 요인, 2 수준 /3 수준 범주형 요인 또는 이산 연속형 요인을 허용합니다.
- 주효과에 대한 직교 설계 또는 근사 직교 설계를 생성합니다. 근사 직교 설계는 2 수준 연속형 요인뿐 아니라 원하는 수의 수준으로 범주형 및 이산 수치형 요인을 허용합니다. 이 설계는 무시할 수 있는 교호작용이 있는 경우 주효과를 추정하는 데 중점을 둡니다.

대부분의 선별 상황에서 표준 설계를 사용할 수 없습니다. 이러한 경우 근사 직교 선별 설계를 구성할 수 있습니다.

**반응 표면 설계** 연속형 요인의 2 차 함수를 모델링하는 설계를 구성합니다. 2 차 효과를 적합시킬려면 반응 표면 설계에 각 요인에 대한 세 가지 설정이 필요합니다. JMP에서는 최대 8 개 요인에 대한 반응 표면 설계를 제공합니다.

중심 합성 설계 또는 Box-Behnken 설계 목록에서 선택할 수 있습니다. 필요한 경우 직교로 불록화하는 중심 합성 설계가 목록에 포함됩니다. 중심 합성 설계에 대한 다양한 수정도 지원됩니다.

**완전 요인 설계** 여러 개의 연속형 요인 또는 범주형 요인에 대한 완전 요인 설계를 구성합니다. 두 경우 모두 수준수에 제한이 없습니다. 완전 요인 설계에서는 요인 설정 조합이 있을 때마다 런이 발생합니다. 완전 요인 설계는 큰 경향이 있습니다. 런 수는 요인 수준 수의 곱과 같습니다.

**혼합물 설계** 요인이 혼합 내 성분일 때 사용하는 설계를 구성합니다. 혼합물 실험에서 한 성분의 비율을 변경하려면 나머지 성분 중 하나 이상을 변경하여 합계를 유지해야 합니다. 일부 전통적 혼합물 설계 방법을 포함하여 최적, 심플렉스 중심, 심플렉스 격자, 꼭지점, ABCD, 공간 채움 등 여러 설계 유형 중에서 선택할 수 있습니다. 최적, 꼭지점 및 공간 채움 혼합물 설계의 경우 선형 부등식 제약 조건을 지정하여 설계 공간을 제한할 수 있습니다.

**Taguchi 배열** 신호 대 잡음 분석에 사용하는 설계를 구성합니다. 이 설계는 Taguchi 의 내측 및 외측 배열 방법을 기반으로 합니다. 제어 요인 설정은 내측 배열을 구성하고 잡음 요인 설정은 외측 배열을 구성합니다. 평균과 신호 대 잡음 비가 관심 반응입니다.

Taguchi 배열을 사용하는 대신 제어 요인, 잡음 요인 및 제어 \* 잡음 교호작용을 포함하는 사용자 설계를 구성할 수 있습니다. 결합 배열이라고 하는 이 설계는 일반적으로 Taguchi 배열 보다 비용 효율성이 높고 유익합니다.

**선택 설계** 잠재적 제품을 비교하는 데 사용할 수 있는 설계를 구성합니다. 선택 설계의 요인은 제품 속성입니다. 이 설계는 다양한 속성의 조합인 제품 프로파일을 한 쌍으로 또는 3~4 개의 그룹으로 배열합니다. 실험은 각 응답자가 한 쌍의 프로파일 중 어떤 프로파일을 선호하는지 나타내도록 구성됩니다. 제품 속성에 대한 사전 정보를 반영하는 선택 설계를 생성할 수 있습니다.

**최대차이** 최대차이 연구 중에 응답자에게 제공할 수 있는 선택 집합으로 구성된 설계를 생성합니다. 응답자는 소수의 선택 집합 중에서 가장 선호하는 옵션과 가장 선호하지 않는 옵션만 보고합니다. 이렇게 하면 응답자가 선호도를 기준으로 옵션 순위를 지정하게 되고, 이로 인해 표준 선호도 척도를 사용하는 것보다 더 확증적인 순위를 얻는 경우가 많습니다.

**JMP PRO 덮기 배열** 소프트웨어, 네트워크 및 기타 시스템을 테스트하는 데 사용할 수 있는 조합 설계를 구성합니다. 강도  $t$  덮기 배열은 모든  $t$  요인의 모든 수준 조합이 하나 이상의 런에 나타

나는 특성을 가지고 있습니다 . 덮기 배열에서 허용하는 범주형 요인의 수는 제한이 없으며 각 요인은 임의 개수의 수준을 사용합니다 . 허용되지 않는 조합을 지정할 수 있습니다 .

**공간 채움 설계** 관심 시스템이 결정적 또는 근사 결정적 시스템인 상황에 대한 설계를 구성합니다 . 일반적으로 매우 복잡한 결정적 컴퓨터 시뮬레이션 모형의 단순한 대리 모형을 생성하는 작업을 포함합니다 .

결정적 시스템에서는 변동이 없습니다 . 이 설계의 목표는 적합 모형과 참모형 사이의 차이 (편향)를 최소화하는 것입니다 . 공간 채움 설계는 각 설계점을 가능한 한 멀리 분산시키거나 설계 영역 전체에 균등하게 간격을 두어 이 목표를 달성하려고 합니다 .

JMP에서는 7개의 공간 채움 설계 방법을 제공합니다 . 이 중 하나인 쾌속 유연 채움 설계는 수준이 여러 개 있는 범주형 요인을 수용하고 선형 제약 조건을 지원합니다 .

**가속 수명 시험 설계** 고장 시간을 가속화하기 위한 극단적 조건에서 제품을 테스트하는 데 유용한 설계를 구성하고 확대합니다 . 이 실험 결과를 사용하면 일반적인 작동 조건에서 신뢰도를 예측할 수 있습니다 .

수명 분포는 로그 정규 또는 Weibull 일 수 있습니다 . 설계에 하나 또는 두 개의 가속 요인이 포함될 수 있습니다 . 가속 요인이 두 개인 경우 요인 교호작용을 포함하도록 선택할 수 있습니다 . 가속 모형 모수에 대한 사전 분포를 지정할 수 있습니다 . D-최적 설계 및 두 가지 유형의 I-최적 설계를 사용할 수 있습니다 .

**비선형 설계** 모수에서 비선형인 모형을 적합시키는 데 사용하는 설계를 구성하고 확대합니다 . 기준 데이터에 적합된 모형의 추정값을 사용하여 설계를 구성할 수 있습니다 . 모형 기반 추정값이 없는 경우에는 사전 지식을 적용하여 설계를 구성할 수도 있습니다 .

**균형 불완비 블록 설계** 한 블록에서  $k$  개 처리 ( $k < a$ ) 만 실행할 수 있는 경우 ,  $b$  개 블록에서  $a$  개 처리를 검정하기 위한 설계를 구성합니다 .

**그룹 직교 과포화 설계** 과포화 선별 설계를 구성합니다 . 이 설계는 조사할 요인의 수가 실현 가능한 런 수보다 많을 때 초기 단계 작업에 적절합니다 . 그룹 직교 과포화 설계는 모형 선택에 적합한 특성을 가진 2 수준 과포화 설계의 특수한 종류입니다 .

## 지원 플랫폼

**설계 확대** 결과 설계가 최적 상태가 되도록 기존 설계에 런을 추가합니다 . 설계 확대를 사용하면 반복적인 방식으로 실험을 수행할 수 있습니다 . 설계 반복 , 중앙점 추가 , 설계 접기 , 축점 추가 , 점을 추가하여 공간 채움 설계 생성 또는 지정된 수의 런으로 설계 확대 등이 가능합니다 . 런을 블록으로 그룹화하여 원래 런을 확대된 런과 구분할 수 있습니다 . 원래 모형에 없는 모형 효과를 추가하고 해당 효과에 대한 요구 사항을 지정할 수 있습니다 .

**확증적 선별 적합 설계** DSD를 위한 유효 모형 선택이라는 방법론을 사용하여 확증적 선별 설계를 분석합니다 . 이 방법론은 확증적 선별 설계의 특수 구조를 활용합니다 .

**그룹 직교 과포화 설계 적합** 그룹 직교 과포화 설계를 분석합니다 . 이 분석 기법은 그룹 직교 과포화 설계의 그룹 직교 구조를 활용합니다 .

**설계 평가** 기존 실험 설계에 진단 기능을 제공합니다. 설계 평가 플랫폼은 설계의 장점과 한계를 평가할 수 있는 다양한 방법을 제공합니다. 이 플랫폼은 JMP로 생성한 설계뿐 아니라 모든 데이터 테이블과 함께 사용할 수 있습니다.

다음과 같은 몇 가지 진단이 제공됩니다.

- 검정력 분석
- 예측 분산 그림
- 모수에 대한 추정 효율도
- 별칭 행렬 - 모형 효과에 대한 편향 구조 표시
- 색상 맵 - 효과 간의 절대 상관 표시
- 설계 효율도 값

**설계 비교** 최대 4개의 설계를 참조 설계와 비교합니다. 이 플랫폼을 사용하여 설계 성능을 탐색, 평가 및 비교할 수 있습니다. 진단 결과는 설계 작동 상태를 독립적 방식 및 서로 상대적인 방식으로 나누어 보여 줍니다.

**표본 크기 및 검정력** 하나 이상의 표본 평균, 표준편차, 단일 또는 두 비율, 단위별 개수 (Poisson 평균), 시그마 품질 수준 등과 같은 다양한 검정 상황에 대한 표본 크기 및 검정력 계산을 제공합니다. 이러한 옵션에 대해 세 가지 통계량 중 두 개를 지정하여 세 번째 값을 계산합니다. 세 가지 통계량은 감지할 차이, 표본 크기 및 검정력입니다. 이 값 중 하나만 제공하면 다른 두 값 사이의 관계를 보여 주는 그림이 제공됩니다.

고장 확률 추정이 목표인 경우 신뢰도 시험 계획에 필요한 표본 크기를 계산할 수 있습니다. 또한 제품이 특정 표준을 충족하거나 초과한다는 것을 증명하는 것이 목표인 경우 신뢰도 데모에 필요한 표본 크기도 계산할 수 있습니다.

## DOE로 시작 예제 및 핵심 개념

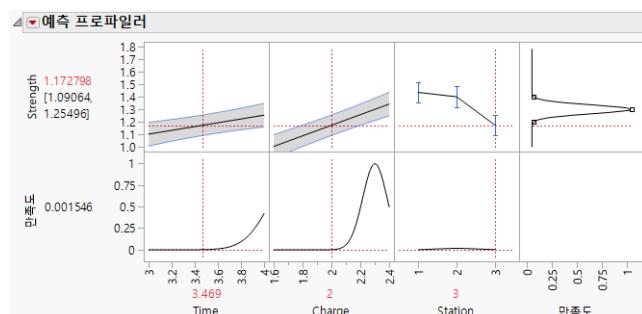
설계된 실험은 요인과 여러 반응 사이의 관계를 모델링하고 탐색하기 위한 제어된 검정 집합입니다. JMP에는 상황에 맞는 효율적인 실험 설계를 생성할 수 있도록 다양한 도구가 포함되어 있습니다. 특히 다음과 같은 종류의 설계를 사용할 수 있습니다.

- 사용자 설계 플랫폼은 고유한 상황에 맞게 사용자가 원하는 대로 설계를 만들 수 있습니다. 이 플랫폼은 모든 유형의 요인과 변경하기 어려운 요인(분할구 상황)을 원하는 만큼 수용하는 설계를 구성합니다. 사용자가 런 수를 제어할 수 있습니다.
- 확증적 선별 설계 플랫폼은 주효과가 다른 주효과 또는 이원 교호작용과 별칭 관계가 없는 혁신적인 선별 설계를 구성합니다. 이 설계를 사용하면 2 차 항 추정도 가능합니다.
- 선별 설계, 반응 표면 설계, 완전 요인 설계, 혼합물 설계 및 Taguchi 배열 플랫폼은 전통적 실험 설계를 구성합니다.
- 덮기 배열, 선택 설계, 공간 채움 설계, 가속 수명 시험 설계 및 비선형 설계 플랫폼은 특수한 용도의 설계 유형을 구성합니다.

설계 평가 및 설계 확대 플랫폼은 기존 설계를 평가하고 확대하기 위한 도구를 제공합니다. 표본 크기 및 검정력 플랫폼은 특수 상황에 대한 표본 크기 및 검정력 계산을 처리합니다.

이 장에서는 DOE에 대한 JMP 접근 방식을 보여 주는 예를 제공합니다. 또한 DOE의 프레임워크, 설계 생성을 지원하는 워크플로우 및 DOE의 기본 원리에 대해서도 설명합니다.

**그림 3.1** 프로파일러 그림의 예



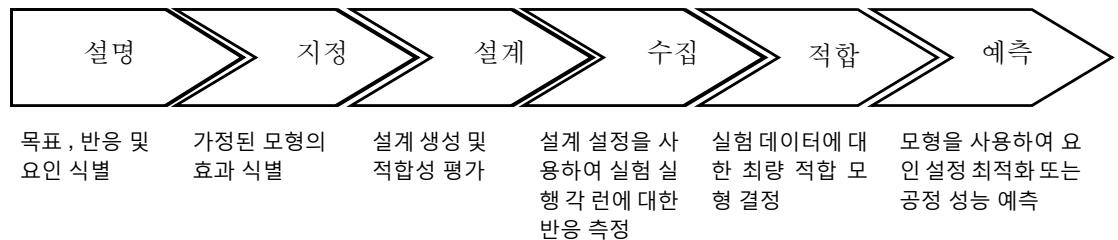
## 목차

실험 설계 및 DOE 워크플로우 개요 .....	41
커피 강도 실험 .....	42
연구 및 목표 정의 .....	42
설계 생성 .....	44
실험 실행 .....	49
데이터 분석 .....	50
DOE 워크플로우 : 기술, 지정, 설계 .....	56
반응 및 요인 정의 .....	57
모형 지정 .....	58
설계 생성 .....	58
설계 평가 .....	59
테이블 생성 .....	60
실험 설계의 원리와 지침 .....	60
효과 계층성 .....	60
효과 유전성 .....	61
효과 희소성 .....	61
중앙점, 반복 런 및 검정 .....	61

## 실험 설계 및 DOE 워크플로우 개요

6단계 프레임워크는 실험 설계, 실험 실행 및 결과 분석을 위한 구조를 제공합니다. 이러한 모든 단계에서 음향 엔지니어링과 각 공정에 대한 지식이 매우 중요합니다.

**그림 3.2** 실험 설계 프레임워크



DOE 플랫폼에서 처음 세 단계를 수행합니다. 최종 결과는 작업 환경에서 실행할 수 있는 설계입니다. 이 세 단계의 워크플로우에 대한 자세한 설명은 "["DOE 워크플로우: 기술, 지정, 설계"](#)"(56페이지)에서 확인하십시오.

**설명** 실험의 목표를 결정합니다. 반응과 요인을 식별합니다.

활성 요인 식별, 최적의 요인 설정 찾기, 예측 모형 구축 등이 목표일 수 있습니다.

**지정** 실제 상황을 충분히 설명한다고 간주되는 가정된 모형을 결정하거나 지정합니다.

가정된 모형은 추정할 모든 효과를 이상적으로 포함하는 초기 모형입니다. 일부 플랫폼에서는 관심 모형을 명시적으로 구축할 수 있습니다. 그 외 플랫폼에서는 모형이 암시적으로 선택됩니다. 예를 들어 선별 설계 플랫폼의 경우 지정된 해상도로 모형을 선택할 수 있습니다. 설계 해상도는 교란되는 효과를 결정합니다. 효과 교란이 발생하면 실제로 어떤 효과가 활성화되는지 모호해질 수 있습니다.

**설계** 가정된 모형과 일치하는 설계를 생성합니다. 이 설계를 평가하여 설계의 장점과 한계를 이해하고 모형과 목표에 따라 필요한 정보를 제공하도록 합니다.

설계 생성 플랫폼의 "설계 평가" 또는 "설계 진단" 개요를 통해 설계 특성을 파악할 수 있습니다.

다음은 제어된 조건에서 실험이 실행되는 데이터 수집 단계입니다.

**수집** 각 실험을 수행하고 반응 값을 기록합니다.

실험을 실행한 후 생성된 데이터 테이블의 스크립트를 통해 모형 적합 및 선별과 같은 플랫폼을 사용하여 모형을 적합시킬 수 있습니다. 모형은 목표에 따라 활성 효과를 식별하거나 최적 설정을 찾는 데 도움이 됩니다.

**적합** 가정된 모형을 실험 데이터에 적합시킵니다.

JMP 모델링 플랫폼을 사용하여 모형을 적합시키고 구체화합니다. 경우에 따라 모형 모호성을 해결하기 위해 설계를 확대하고 추가 런을 수행해야 할 수도 있습니다.

**예측** 구체화된 모형을 사용하여 실험 목표를 처리합니다.

활성 효과를 확인하고, 반응을 최적화할 요인 수준을 찾거나, 예측 모형을 구축합니다.

설계된 실험은 일반적으로 공정 지식을 구성하기 위해 순차적으로 사용됩니다. 보통 설계 전략은 선별 설계로 시작하여 잠재적 활성 요인 목록의 범위를 좁힙니다. 그런 다음 식별된 요인을 교호작용 및 2차 효과에 대한 이해를 높이는 데 초점을 맞춘 설계에서 연구합니다. 효과의 원인이 되는 요인과 관련된 모호성을 해결하기 위해 설계를 확대해야 할 경우도 있습니다. 이 섹션에 설명된 단계는 단일 실험을 수행하고 분석하는 것과 관련이 있습니다. 그러나 목표 달성을 위해 순차적인 실험이 필요할 수도 있습니다.

"[커피 강도 실험](#)"(42페이지)에 나오는 예에서는 DOE 워크플로우 공정의 단계를 명시적으로 보여 줍니다. 또한 데이터 테이블 스크립트를 사용하여 실험 데이터를 분석하는 방법도 보여 줍니다. 실험 설계 가이드에 나오는 대부분의 예에서는 적합한 설계를 지원하는 워크플로우와 연구를 통한 실험 데이터 분석을 둘 다 보여 줍니다.

## 커피 강도 실험

- "연구 및 목표 정의"
- "설계 생성"
- "실험 실행"
- "데이터 분석"

### 연구 및 목표 정의

당신은 지역 내 중소규모 커피 로스터 회사의 직원입니다. 개별적으로 추출한 12온스 커피의 강도 문제를 처리해야 합니다. 커피 강도에 영향을 미치는 요인을 확인하고 해당 요인에 대한 최적 설정을 찾으려고 합니다.

#### 반응

반응은 커피 Strength입니다. 이 값은 굴절계를 사용하여 총 용해성 물질로 측정됩니다. 커피는 한 잔 분량의 커피 드리퍼를 사용하여 추출되며, 그라운드에서 액체가 나오고 5분 후에 측정됩니다.

이전 연구에서는 강도 1.3이 가장 적합하고 1.2와 1.4 사이의 농도가 허용되는 것으로 나타났습니다.

#### 요인

이 연구에 대해 식별된 네 가지 요인은 Grind, Temperature, Time 및 Charge입니다. 커피는 작업장 내 세 군데 위치에서 추출됩니다. 추출 위치로 인한 변동을 고려하기 위해 Station이 블록 요인으로 연구에 포함되었습니다. 다음은 각 요인에 대한 설명입니다.

- Grind는 커피 입자의 굵기입니다. Grind는 두 가지 수준(Medium, Coarse)으로 설정됩니다.

- Temperature 는 물을 그라운드에 따르기 직전에 측정한 온도 ( 화씨 ) 입니다 . Temperature 는 화씨 195 도와 205 도로 설정됩니다 .
- Time 은 추출 시간 ( 분 ) 입니다 . Time 은 3 분 또는 4 분으로 설정됩니다 .
- Charge 는 콘 필터에 넣은 커피의 양이며 , 물 1 온스당 커피 원두 ( 그램 ) 로 측정됩니다 . Charge 는 1.6 과 2.4 로 설정됩니다 .
- Station 은 커피를 추출하는 장소입니다 . 세 위치에 1, 2, 3 라벨이 지정됩니다 .

표 3.1 에는 요인 및 요인 설정에 대한 정보가 요약되어 있습니다. 요인과 수준은 Design Experiment 폴더의 Coffee Factors.jmp 샘플 데이터 테이블에도 제공됩니다.

**표 3.1** 커피 실험의 요인 및 설정 범위

요인	역할	설정 범위
Grind	범주형	Medium, Coarse
Temperature	연속형	195 ~ 205
Time	연속형	3 ~ 4
Charge	연속형	1.6 ~ 2.4
Station	불록화	1, 2, 3

다음 사항에 유의하십시오 .

- Grind 는 수준이 두 개인 범주형 요인입니다 .
- Temperature, Time 및 Charge 는 연속형 요인입니다 .
- Station 은 수준이 세 개인 불록 요인입니다 .

모든 요인은 각 런마다 변경하고 재설정할 수 있습니다. 이 실험에는 변경하기 힘든 요인이 없습니다.

커피 실험을 실행하는 데 사용되는 장비는 그림 3.3에 나와 있습니다. 이 그림은 세 군데 추출 위치 중 한 곳에 준비된 장비를 보여 줍니다. 다른 두 위치에도 같은 종류의 장비가 있습니다.

### 그림 3.3 커피 실험 장비



### 런 수

사용 가능한 리소스와 시간에 따라 총 12개의 런을 수행할 수 있다고 결정합니다. 위치가 세 군데이므로 각 위치에서 4번의 런을 수행합니다.

## 설계 생성

**DOE 워크플로우 :** 기술, 지정, 설계에 설명된 설계 워크플로우 공정 단계에 따라 설계를 생성합니다.

- 반응 및 요인 정의
- 모형 지정
- 설계 생성
- 설계 평가
- 테이블 생성

### 반응 및 요인 정의

표시되는 첫 번째 개요에 반응 및 요인 정보를 입력합니다.

#### 반응

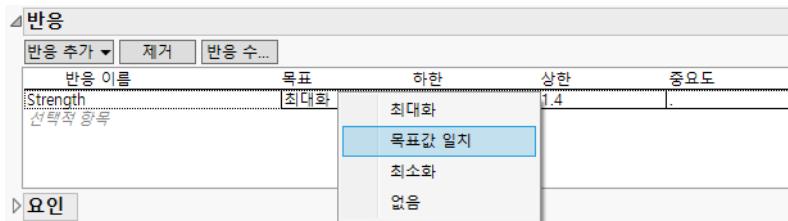
1. **DOE > 사용자 설계**를 선택합니다.

2. "반응 이름" 아래의 Y를 두 번 클릭하고 Strength를 입력합니다.

기본 목표는 **최대화**로 되어 있습니다. 이 실험에서는 허용 한계(1.2, 1.4) 내에서 목표 강도 1.3의 커피를 추출할 수 있는 요인 설정을 찾으려고 합니다.

3. 기본 목표 **최대화**를 클릭한 후 **목표값 일치**로 변경합니다.

**그림 3.4** 목표값 일치를 목표로 선택



4. **하한** 아래를 클릭하고 1.2를 입력합니다.

5. **상한** 아래를 클릭하고 1.4를 입력합니다.

6. **중요도** 아래 영역은 비워둡니다.

반응이 하나뿐이므로 기본적으로 반응의 중요도가 1로 지정됩니다.

완료된 반응 개요는 그림 3.5에 나와 있습니다.

## 요인

요인을 수동으로 입력하거나, 요인과 설정이 포함된 기존 테이블을 사용하여 입력합니다. 새 실험을 설계하는 경우 먼저 수동으로 요인을 입력해야 합니다. "요인 저장" 옵션을 사용하여 데이터 테이블에 요인을 저장한 후에는 저장된 테이블을 사용하여 요인을 불러올 수 있습니다.

이 예에서는 두 방법 중 하나를 선택할 수 있습니다. 자세한 내용은 "[수동으로 요인 입력](#)"(45페이지) 또는 "[요인 불러오기를 사용하여 요인 입력](#)"(46페이지)에서 확인하십시오.

## 수동으로 요인 입력

1. **요인 추가 > 범주형 > 2 수준**을 클릭합니다.

2. 기본 이름 X1을 Grind로 변경합니다.

요청한 대로 "역할"이 "범주형"으로 설정되어 있습니다. "변경" 속성은 기본적으로 "쉬움"으로 설정되어 매 런마다 Grind 설정을 재설정할 수 있음을 나타냅니다.

3. 기본 값 "L1"과 "L2"를 클릭하고 "Coarse"와 "Medium"으로 변경합니다.

4. **N 개 요인 추가** 옆에 3을 입력한 후 **요인 추가 > 연속형**을 클릭합니다.

5. 기본 항목을 다음과 같은 요인 이름과 값으로 변경합니다.

- Temperature(195, 205)
- Time(3, 4)
- Charge(1.6, 2.4)

6. 요인 추가 > 블록화 > 블록당 4 회 런을 클릭합니다.

예산에 따라 결정한 총 런 수는 12 회입니다. 실행 위치 세 곳 사이에 이러한 런의 균형을 맞추려고 합니다.

7. 기본 이름 X5를 Station으로 변경합니다.

"역할"이 "블록화"로 설정되어 있고 "값" 설정에 1만 나타납니다. 원하는 런 수가 지정되지 않으면 JMP에서 블록 수를 결정할 수 없기 때문입니다. "설계 생성" 개요에서 "런 수"를 지정하면 Station의 수준 수가 필요한 값으로 업데이트됩니다.

**그림 3.5** 완료된 반응 및 요인 개요

The screenshot shows two tables in the JMP software:

**반응 (Response) Table:**

반응 추가 ▾	제거	반응 수...				
반응 이름	목표	하한	상한	중요도	감지 하한	감지 상한
Strength	목표값 일자	1.2	1.4	.	.	.

**요인 (Factors) Table:**

요인 추가 ▾	제거	N개 요인 추가	1
이름	역할	변경	값
Grind	범주형	쉬움	Coarse
Temperature	연속형	쉬움	195
Time	연속형	쉬움	3
Charge	연속형	쉬움	1.6
Station	블록화	쉬움	1 [2] [3]

8. 계속을 클릭합니다.

다음 개요가 "사용자 설계" 창에 추가됩니다.

- 요인 제약 조건 정의 (이 예에서 사용되지 않음)
- 모형
- 별칭 항
- 설계 생성

### 요인 불러오기를 사용하여 요인 입력

다음과 같이 요인 정보가 포함된 테이블을 사용하여 요인을 입력합니다.

1. "사용자 설계"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **요인 불러오기**를 선택합니다.
  2. 도움말 > 샘플 데이터 라이브러리를 선택하고 Design Experiment/Coffee Factors.jmp를 엽니다.
- 요인을 불러오면 "사용자 설계" 창이 다음과 같은 추가 개요가 포함되도록 업데이트됩니다.
- 요인 제약 조건 정의 (이 예에서 사용되지 않음)
  - 모형
  - 별칭 항
  - 설계 생성

## 요인 제약 조건 정의

"요인 제약 조건 정의" 개요는 요인을 수동으로 입력하고 "계속"을 클릭하거나, 요인 테이블에서 요인을 불러온 후에 나타납니다. 요인 제약 조건이 있으면 반응 및 요인 단계의 일부로 제약 조건을 추가합니다. 이 설계에는 요인 설정에 대한 제약 조건이 없으므로 개요를 변경하지 말고 그대로 두십시오.

## 모형 지정

### 모형 개요

그림 3.7에서는 "모형" 개요를 보여 줍니다. "모형" 개요에서는 추정할 효과를 포함하는 가정된 모형을 지정합니다. 자세한 내용은 ["지정"\(41페이지\)](#)에서 확인하십시오. 기본적으로 나타나는 목록에는 모든 주효과가 필수로 표시되어 설계에서 모든 주효과를 추정할 수 있음을 나타냅니다. 현재는 주요 관심이 요인의 주효과에 있으므로 "모형" 개요에 다른 효과를 추가하지 않습니다.

그림 3.6 주효과만 포함된 모형 개요

모형					
주효과	교호작용 ▾	RSM	교차	역 ▾	항 제거
이름					추정 가능성
절편					필수
Grind					필수
Temperature					필수
Time					필수
Charge					필수
Station					필수

## 결과 복제 단계 (선택 사항)

사용자 설계 알고리즘은 랜덤 시작 설계로 시작하므로 설계가 그림 3.8에 표시된 것과 다를 수 있습니다. 정확히 같은 런을 포함하는 설계를 얻으려면 설계를 생성하기 전에 난수 시드값과 시작 수를 다음과 같이 설정합니다.

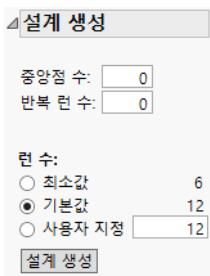
1. "사용자 설계"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **난수 시드값 설정**을 선택합니다.
2. 569534903 을 입력합니다.
3. **확인**을 클릭합니다.
4. "사용자 설계"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **시작 수**를 선택합니다.
5. 100 을 입력합니다.
6. **확인**을 클릭합니다.

**참고 :** 난수 시드값과 시작 수를 설정하면 이 예에 나오는 것과 정확히 같은 설계가 재현됩니다. 그러나 설계 테이블의 행 순서는 다를 수 있습니다. 설계를 직접 구성할 때는 이러한 단계가 필요하지 않습니다.

## 설계 생성

"설계 생성" 개요에서는 설계의 구조와 크기에 대한 추가 정보를 입력할 수 있습니다. 설계의 기본 런 수는 12회로 표시됩니다. 설계 예산에 따라 결정한 총 런 수는 12회입니다("런 수"(44페이지) 참조).

**그림 3.7** 설계 생성 개요



### 1. 설계 생성을 클릭합니다.

"설계" 및 "설계 평가" 개요가 "사용자 설계" 창에 추가됩니다. "출력 옵션" 패널도 나타납니다.

"설계" 개요에서는 설계를 보여 줍니다(그림 3.8). "결과 복제 단계 (선택 사항)"(47페이지)에 설명된 대로 난수 시드값과 시작 수를 설정하지 않은 경우 설계가 그림 3.8에 나와 있는 것과 다를 수 있습니다. 이는 설계를 생성하는 데 사용된 알고리즘이 랜덤 시작 설계로 시작하기 때문입니다.

**그림 3.8** 커피 실험 설계

런	Grind	Temperature	Time	Charge	Station
1	Coarse	195	3	1.6	1
2	Medium	195	4	2.4	2
3	Medium	195	4	1.6	3
4	Medium	205	4	2.4	1
5	Coarse	205	3	2.4	2
6	Medium	205	3	2.4	3
7	Medium	205	3	1.6	1
8	Coarse	205	4	1.6	2
9	Coarse	205	4	1.6	3
10	Coarse	195	4	2.4	1
11	Medium	195	3	1.6	2
12	Coarse	195	3	2.4	3

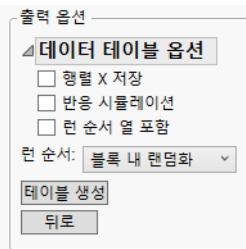
## 설계 평가

"설계 평가" 개요에서는 설계를 평가하는 다양한 방법을 제공합니다. 이 주제는 중요하지만 간단하게 하기 위해 이 예에서는 다루지 않습니다. 자세한 내용은 "설계 평가" 장(403페이지)에서 확인하십시오.

## 테이블 생성

"출력 옵션" 패널을 사용하여 데이터 테이블에서 런 순서를 지정합니다. 기본 선택 항목인 **블록 내 랜덤화**가 적합합니다. 이 항목을 선택하면 각 Station에 대해 랜덤 순서로 런이 배열됩니다.

**그림 3.9** 출력 옵션



1. 테이블 생성을 클릭합니다.

그림 3.10에 표시된 데이터 테이블이 열립니다. "결과 복제 단계 (선택 사항)"(47 페이지)에 설명된 대로 난수 시드값과 시작 수를 설정하지 않은 경우 설계가 다를 수 있습니다. 이러한 설계 테이블은 또 다른 대체 최적 설계를 나타냅니다.

**그림 3.10** 사용자 설계 테이블

	Grind	Temperature	Time	Charge	Station	Strength
1	Coarse	195	4	2.4	1	•
2	Medium	205	3	1.6	1	•
3	Medium	205	4	2.4	1	•
4	Coarse	195	3	1.6	1	•
5	Medium	195	4	2.4	2	•
6	Medium	195	3	1.6	2	•
7	Coarse	205	4	1.6	2	•
8	Coarse	205	3	2.4	2	•
9	Medium	195	4	1.6	3	•
10	Medium	205	3	2.4	3	•
11	Coarse	205	4	1.6	3	•
12	Coarse	195	3	2.4	3	•

"열" 패널에서 요인과 반응의 오른쪽에 있는 별표에 유의하십시오. 이는 데이터 테이블의 열에 저장된 열 특성을 나타냅니다. 이러한 열 특성은 데이터 분석에 사용됩니다. 자세한 내용은 "요인"(84페이지) 및 "요인 열 특성"(89페이지)에서 확인하십시오.

## 실험 실행

여기서는 실험을 수행합니다. 각 Station에서 설계 테이블에 표시된 순서대로 4번씩 런이 수행됩니다. 장비와 재료는 각 런이 수행될 때마다 재설정됩니다. 예를 들어 연속된 두 번의 런에 필요

한 물 온도가 195도인 경우 가열 용기가 식은 후 12온스의 물이 각각 195도까지 가열됩니다. Strength 측정값이 기록됩니다.

Strength에 대한 설계 및 실험 결과는 Design Experiment 폴더에 있는 Coffee Data.jmp 샘플 데이터 테이블(그림 3.11)에 제공됩니다.

**그림 3.11** 강도 결과가 포함된 커피 설계

	Grind	Temperature	Time	Charge	Station	Strength
1	Medium	205	4	2.4	1	1.78
2	Coarse	195	3	1.6	1	1.25
3	Medium	205	3	1.6	1	1.10
4	Coarse	195	4	2.4	1	1.63
5	Coarse	205	4	1.6	2	1.26
6	Medium	195	4	2.4	2	1.63
7	Medium	195	3	1.6	2	1.22
8	Coarse	205	3	2.4	2	1.51
9	Coarse	205	4	1.6	3	1.07
10	Coarse	195	3	2.4	3	1.26
11	Medium	195	4	1.6	3	1.13
12	Medium	205	3	2.4	3	1.25

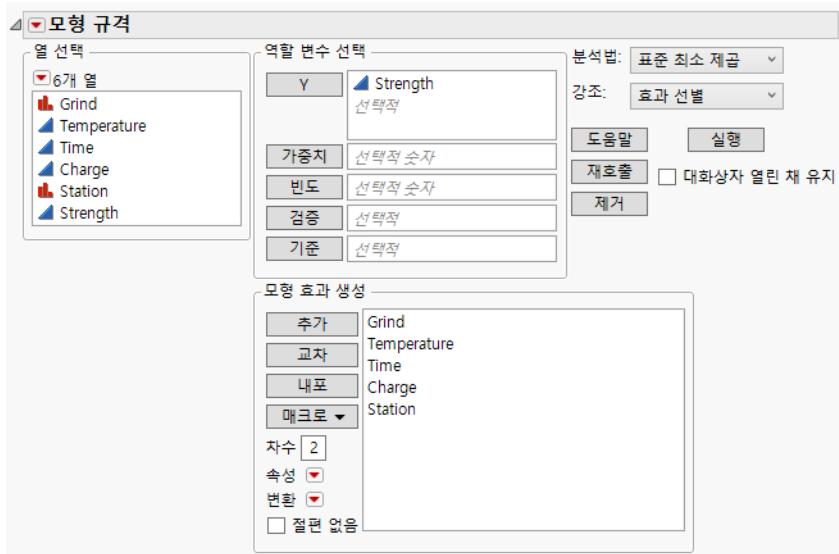
## 데이터 분석

사용자 설계 플랫폼을 사용하면 생성된 모형 스크립트를 설계 테이블에 저장하여 데이터 분석 작업을 쉽게 수행할 수 있습니다(그림 3.10). 실험을 수행하고 데이터를 입력한 후 이 스크립트를 실행합니다. 그러면 "사용자 설계" 창의 "모형" 개요에서 지정한 효과가 포함된 "모형 적합" 창이 열립니다.

### 모형 적합

1. 도움말 > 샘플 데이터 라이브러리를 선택하고 Design Experiment/Coffee Data.jmp 를 엽니다.  
테이블 패널에 "사용자 설계"로 생성한 "Model" 스크립트가 있습니다.
2. "Model" 스크립트 옆의 녹색 삼각형을 클릭합니다.  
"모형 규격" 창에 "모형" 개요에서 지정한 효과가 표시됩니다.

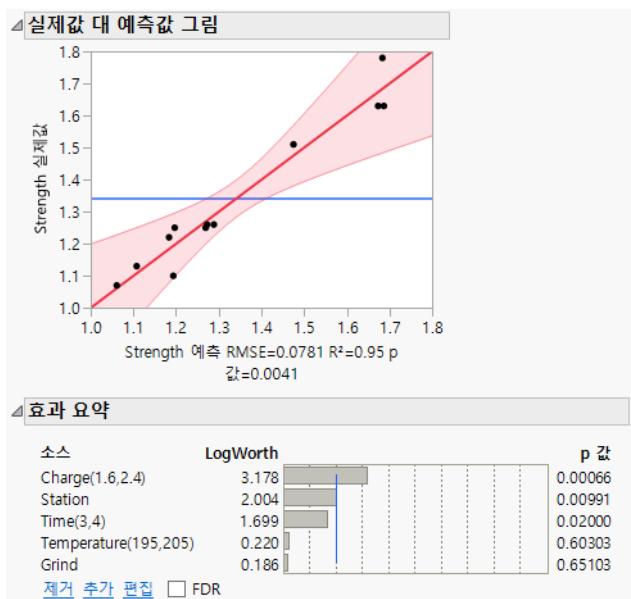
그림 3.12 모형 규격 창



3. 대화상자 열린 채 유지 옵션을 선택합니다.
4. 실행을 클릭합니다.

### 모형 분석

"효과 요약" 및 "실제값 대 예측값 그림" 보고서는 모형에 대한 개요 정보를 제공합니다.

**그림 3.13** 전체 모형에 대한 효과 요약 및 실제값 대 예측값 그림


다음 사항에 유의하십시오 .

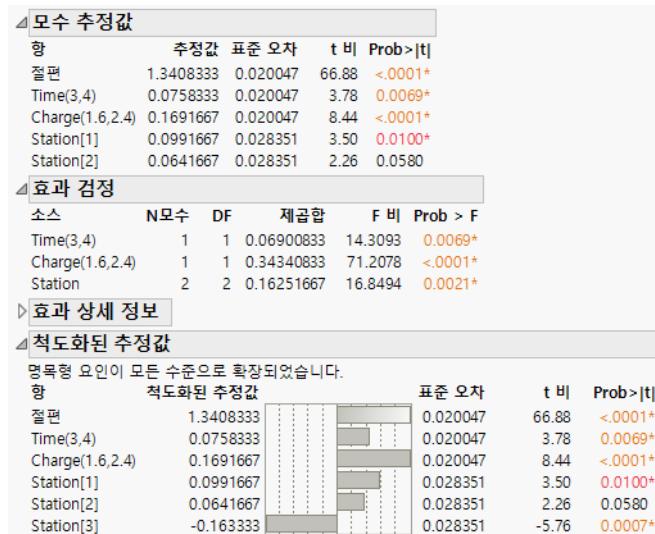
- "실제값 대 예측값 그림"에 적합 결여의 증거가 없습니다.
- "실제값 대 예측값" 그림에 따르면 모형이 유의합니다. 그림 아래의 **p 값 = 0.0041**은 전체 모형 검정의 유의 수준을 제공합니다.
- "효과 요약" 보고서는 Charge, Station 및 Time 이 0.05 수준에서 유의함을 보여 줍니다.
- "효과 요약" 보고서는 또한 Temperature 와 Grind 가 유의하지 않다는 것을 보여 줍니다.

### 모형 축소

Temperature 와 Grind 는 활성 효과가 아니므로 모형에 랜덤 잡음을 적용합니다. 활성 효과와 관련된 모형 모수를 더 정확하게 추정하려면 이러한 효과 없이 모형을 재적합시키십시오.

1. "모형 규격" 창의 "모형 효과 생성" 목록에서 Temperature 와 Grind 를 선택합니다.
2. **제거**를 클릭합니다.
3. 모형 강조가 **효과 선별**로 설정되도록 합니다.  
"효과 선별" 강조는 실험 설계를 분석하는 데 유용한 보고서 (예: 예측 프로파일러)를 제공합니다.
4. **실행**을 클릭합니다.

그림 3.14 축소 모형의 부분 출력



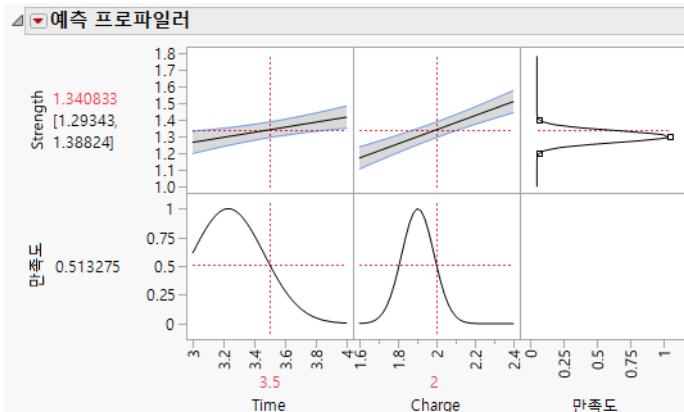
다음 사항에 유의하십시오.

- "효과 검정" 보고서에 세 가지 효과가 모두 유의한 것으로 나타납니다.
- "척도화된 추정값" 보고서는 Station[1] 과 Station[3] 평균이 Strength 의 평균 반응과 유의하게 다르다는 것을 나타냅니다.
- "모수 추정값" 보고서에 나타나는 추정값이 "척도화된 추정값" 보고서의 추정값과 동일합니다. 이는 효과가 코드화되어 있기 때문입니다. 자세한 내용은 "열 특성" 부록의 "코딩"(739 페이지)에서 확인하십시오.
- Station[3] 의 추정값은 "척도화된 추정값" 보고서에만 나타납니다. 이 보고서에는 명목형 요인이 확장되어 모든 수준의 추정값을 표시합니다.
- "모수 추정값" 보고서는 코드화된 효과와 관련하여 모형이 지정된 모형 계수의 추정값을 제공합니다.

### 모형 탐색

"예측 프로파일러"가 보고서 맨 아래에 나타납니다.

그림 3.15 예측 프로파일러



실험을 설계할 때 1.2와 1.4를 한계로 하여 목표값 일치를 반응 목표로 설정했습니다. JMP에서 이 정보를 사용하여 사용자가 지정한 사항을 반영하는 만족도 함수를 구성합니다. 자세한 내용은 "요인"(84페이지)에서 확인하십시오.

그림 3.15에서 다음 사항을 알 수 있습니다.

- 그래프의 위쪽 행에 있는 처음 두 그림은 다른 요인의 설정이 주어졌을 때 한 요인에 대해 Strength 가 어떻게 변화하는지 보여 줍니다. 예를 들어 Charge 가 2 일 때 Time 그림의 선은 예측 Strength 가 Time 에 따라 어떻게 변하는지 보여 줍니다.
- 위쪽 행에 나오는 그림 왼쪽의 값은 선택한 요인 설정에 대한 예측 Strength(빨간색) 및 평균 Strength 의 신뢰 구간을 제공합니다.
- 위쪽 행의 맨 오른쪽 그림은 Strength 에 대한 만족도 함수를 보여 줍니다. 이 만족도 함수는 목표값 1.3 이 가장 적합하다는 것을 나타냅니다. 해당 목표값에서 멀어질수록 만족도가 감소합니다. 한계값 1.2 와 1.4 에서는 만족도가 0 에 가까워집니다.
- 아래쪽 행의 그림은 다른 요인의 설정에 대해 각 요인의 만족도 트레이스를 보여 줍니다.
- 아래쪽 행에 나오는 그림 왼쪽의 값은 선택한 요인 설정에 대한 반응 값의 만족도를 제공합니다.

Time 및 Charge 열의 빨간색 수직 파선을 드래그하여 다양한 요인 설정을 탐색합니다. 모형에 교호작용이 없으므로 프로파일러는 Charge 를 증가하면 Strength도 증가함을 나타냅니다. 또한 Strength는 Time의 변화보다 Charge의 변화에 더 민감한 것으로 보입니다.

Station 은 블록 요인이므로 예측 프로파일러에 나타나지 않습니다. 그러나 Station에 따라 예측 Strength 가 어떻게 달라지는지 확인하고 싶을 수 있습니다. 다음과 같이 예측 프로파일러에 Station 을 포함합니다.

- "예측 프로파일러"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **요인 격자 재설정**을 선택합니다.

Time, Charge 및 Station 열이 포함된 "요인 설정" 창이 나타납니다. Station 아래의 표시 상자 가 선택되어 있지 않습니다. 이는 Station이 예측 프로파일러에 표시되지 않음을 나타냅니다.

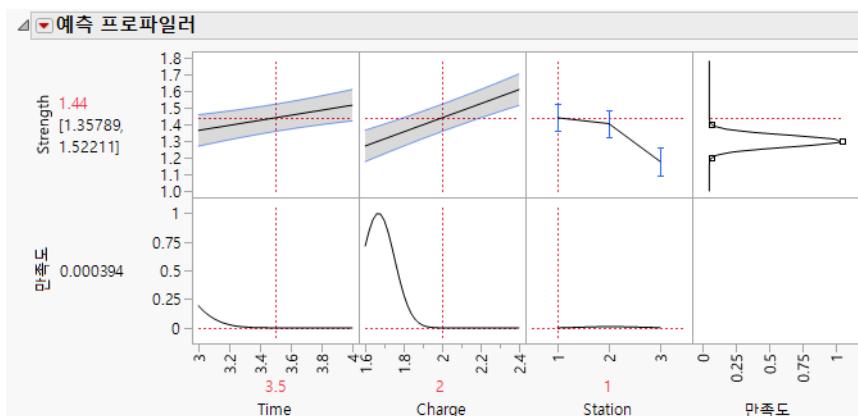
2. Station 아래에서 표시 행의 상자를 선택합니다.
3. Station 아래에서 요인 설정 잠금 행의 상자를 선택 취소합니다.

그림 3.16 요인 설정 창

요인	Time	Charge	Station
현재 값:	3.5	2	
최소 설정:	3	1.6	
최대 설정:	4	2.4	
그림에 그린 점의 수:	41	41	
표시	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
요인 설정 잠금:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="button" value="확인"/> <input type="button" value="취소"/>			

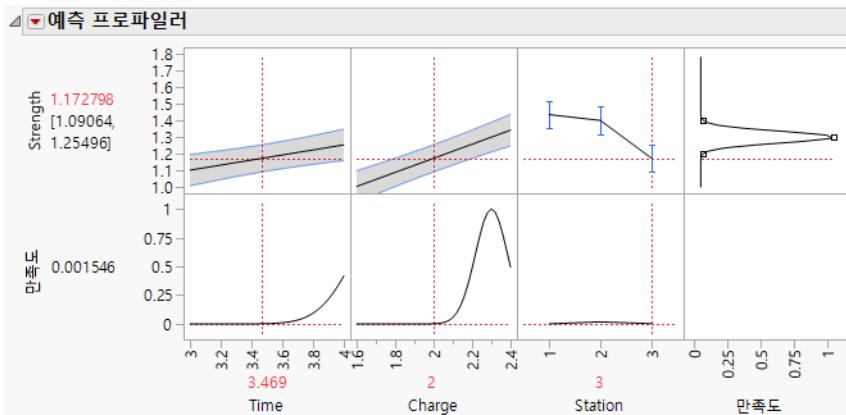
4. 확인을 클릭합니다.
- Station 그림이 "예측 프로파일러"에 나타납니다.
5. Station 위의 두 그림 중 하나를 클릭하여 빨간색 수직 파선을 삽입합니다.
6. 빨간색 수직 파선을 Station 1로 이동합니다.

그림 3.17 Station 1의 결과를 보여 주는 예측 프로파일러



7. 빨간색 수직 파선을 Station 3으로 이동합니다.

그림 3.18 Station 3 의 결과를 보여 주는 예측 프로파일러



Station 1 의 설계 영역 가운데에 있는 예측 Strength 는 1.44 입니다 . Station 3 의 경우 예측 Strength 는 약 1.18 입니다 . 이 차이의 크기는 Station 변동을 해결해야 함을 나타냅니다 . Station 변동을 잘 제어하면 일관된 Strength 를 얻을 수 있습니다 . Station 일관성이 확보되면 Time 과 Charge 에 대한 공통 최적 설정을 결정할 수 있습니다 .

커피 실험 설계를 구성하는 데 사용한 공정은 DOE 워크플로우의 단계를 따릅니다. 다음 섹션에서는 DOE 워크플로우에 대해 자세히 설명합니다.

## DOE 워크플로우 : 기술, 지정, 설계

DOE 플랫폼은 실험 설계에 내재된 워크플로우를 제공하는 일련의 단계로 구성됩니다. 각 단계를 완료하면 **계속**을 클릭하여 다음 단계로 이동합니다. 이 섹션에서 설명하는 요소는 9 개의 실험 설계 플랫폼에 공통으로 적용됩니다. 이 섹션에서는 다음 플랫폼에 대해 설명합니다.

- 사용자 설계
- 확증적 선별 설계
- 선별 설계
- 반응 표면 설계
- 완전 요인 설계
- 혼합물 설계
- JMP PRO 덮기 배열
- 공간 채움 설계
- Taguchi 배열

선택 설계, 가속 수명 시험 설계 및 비선형 설계는 위의 플랫폼과 많이 다른 특수 목적의 플랫폼입니다. 이러한 세 플랫폼은 이 섹션에서 다루지 않습니다.

이 섹션에서는 DOE 워크플로우의 단계를 설명합니다. 또한 다양한 설계 플랫폼에서의 구현에 대해서도 설명합니다.

## 반응 및 요인 정의

실험 설계 프레임워크의 설명 단계에서는 다음을 수행합니다.

- 관심 반응 및 요인을 식별합니다.
- 실험 목표를 결정합니다. 반응을 최대화하거나 목표값 적중을 원할 수 있습니다. 이때 해당 목표값을 지정합니다. 아니면 단순히 반응에 영향을 미치는 요인을 식별할 수도 있습니다.
- 실험 범위 또는 설계 공간을 설명하는 요인 설정을 식별합니다.

대부분의 JMP DOE 플랫폼을 열면 반응과 요인을 나열할 수 있는 개요가 표시됩니다. "반응" 개요는 전체 플랫폼에서 공통입니다. 여기에서는 반응 및 추가 정보(예: 반응 목표, 하한, 상한, 중요도)를 삽입합니다.

"요인" 개요는 플랫폼마다 다릅니다. 이는 각 플랫폼에서 다루는 요인의 유형과 특정 설계 상황에 맞추기 위한 것입니다. 특정 플랫폼에서 반응과 요인을 입력한 후 "계속"을 클릭하면 "요인 제약 조건 정의" 개요가 나타납니다. 이 개요에서는 설계에 사용 가능한 요인의 값을 제한할 수 있습니다.

그림 3.19에서는 Design Experiment 폴더에 있는 Box Corrosion Split-Plot.jmp 샘플 데이터 테이블에서 설계를 구성하기 위해 사용자 설계 플랫폼을 사용한 "반응" 및 "요인" 개요를 보여 줍니다. 또한 "계속"을 클릭하면 나타나는 "요인 제약 조건 정의" 개요도 표시됩니다. "제약 조건 정의" 개요를 사용하면 요인 설정이 충족해야 하는 제한을 지정할 수 있습니다.

그림 3.19 Box Corrosion Split-Plot 실험의 반응 및 요인

The screenshot shows the JMP User Design interface with three main sections: Response, Factor, and Factor Constraint Definition.

**반응 (Response):**

반응 이름	목표	하한	상한	중요도
Corrosion Resistance	최대화	.	.	.

**요인 (Factors):**

요인 추가 ▾	제거	N개 요인 추가	1
이름	역할	변경	값
Furnace Temp	범주형	어려움	360   370   380
Coating	범주형	쉬움	C1   C2   C3   C4

**요인 제약 조건 정의 (Factor Constraint Definition):**

- 없음
- 선형 제약 조건 지정
- 허용되지 않는 조합 필터 사용
- 어용되지 않는 조합 스크립트 사용

## 모형 지정

"반응" 및 "요인" 개요에 필요한 정보를 모두 입력한 후 **계속** 버튼을 클릭합니다. 그러면 설계 구성의 다음 단계로 이동하여 가정된 모형을 명시적 또는 암시적으로 선택할 수 있습니다.

사용자 설계 플랫폼을 사용하면 적합시킬 모형을 명시적으로 지정할 수 있습니다. 이 모형에 대한 최적 설계가 생성됩니다. 다른 설계 플랫폼에서는 모형을 명시적으로 지정할 수 없습니다. 예를 들어 선별 플랫폼에서 한 옵션을 사용하면 완전 요인, 부분 요인 및 Plackett-Burman 설계 목록에서 선택할 수 있습니다. 이러한 설계의 별칭 관계는 적합시킬 수 있는 모형을 암시적으로 정의합니다.

"사용자 설계"에서 "반응" 및 "요인"에 정보를 입력한 후 "계속"을 클릭하면 "모형" 개요가 나타납니다. Box Corrosion Split-Plot.jmp 샘플 데이터 테이블에 사용된 설계의 예가 그림 3.20에 나와 있습니다. 가정된 모형은 주효과(Furnace Temp, Coating) 및 교호작용을 추정할 수 있어야 합니다. 생성된 설계는 이러한 효과의 추정 가능성을 보장합니다.

대부분의 다른 플랫폼에서 "계속"을 클릭하면 선택할 수 있는 설계 모음이 제공됩니다. 완전 요인에서는 "요인" 개요가 완료된 후 설계가 결정되므로 "계속"을 클릭하면 "출력 옵션"으로 바로 이동합니다.

**그림 3.20** Box Corrosion Split-Plot 실험의 모형 개요

모형	
	주효과
이름	추정 가능성
절편	필수
Furnace Temp	필수
Coating	필수
Furnace Temp*Coating	필수

## 설계 생성

대부분의 DOE 플랫폼에서 최종 설계의 크기를 어느 정도 제어할 수 있습니다. 사용자 설계에서는 런 수를 지정하고 필요한 경우 중앙점 및 반복 런 수를 지정할 수 있습니다. 다른 플랫폼에서는 다양한 수준의 유연성이 제공됩니다. 설계의 중앙점 수, 반복 런 수 또는 반복 실험 횟수를 지정할 수 있는 경우가 많습니다.

런 수와 관련된 옵션을 지정했으면 "설계 생성"을 클릭합니다. 그러면 DOE 창이 업데이트되어 "설계" 개요에 설계가 표시됩니다.

Box Corrosion Split-Plot.jmp 실험을 위한 사용자 설계(24회 런)의 "설계" 개요가 그림 3.21에 나와 있습니다. Furnace Temp의 **변경이 어려움**으로 지정되었으므로 주요 요인은 Furnace Temp 설정의 랜덤 블록을 나타내도록 구성됩니다.

그림 3.21 Box Corrosion Split-Plot 실험의 설계 개요

Furnace			
련	주구	Temp	Coating
1	1	370	C2
2	1	370	C3
3	1	370	C1
4	1	370	C4
5	2	370	C3
6	2	370	C4
7	2	370	C2
8	2	370	C1
9	3	360	C3
10	3	360	C2
11	3	360	C4
12	3	360	C1
13	4	380	C4
14	4	380	C3
15	4	380	C2
16	4	380	C1
17	5	380	C4
18	5	380	C2
19	5	380	C1
20	5	380	C3
21	6	360	C3
22	6	360	C1
23	6	360	C4
24	6	360	C2

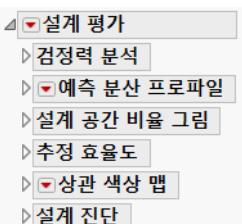
**참고 :** 사용자 설계에서 설계를 생성하면 "모형" 및 "별칭" 개요의 컨트롤이 비활성화됩니다.  
"뒤로" 버튼을 사용하여 모형 또는 별칭 항을 변경할 수 있습니다.

## 설계 평가

대부분의 플랫폼에서 "설계 생성"을 클릭하면 "설계 평가" 개요가 나타납니다. 여기서는 생성된 설계를 효과 감지 검정력, 예측 분산, 추정 효율도, 별칭 관계, 효과 간 상관 및 기타 설계 효율도 측도 측면에서 탐색할 수 있습니다. 그림 3.22에서는 사용자 설계의 "설계 평가" 개요를 보여 줍니다. 설계 평가에 대한 내용은 "설계 평가" 장(403 페이지)에서 확인하십시오.

일부 플랫폼의 경우 다른 유형의 설계 진단이 적합합니다. 예를 들어 공간 채움 설계는 공간 채움 설계에 특정한 지표가 포함된 "설계 진단" 개요를 제공합니다. 덮기 배열은 포함 범위에 특정한 측도가 포함된 "지표" 개요를 제공합니다.

그림 3.22 사용자 설계의 설계 평가 개요

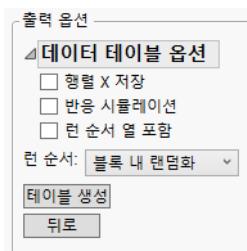


## 테이블 생성

대부분의 플랫폼은 "출력 옵션" 노드 또는 패널을 제공합니다. 플랫폼과 설계에 따라 "출력 옵션" 패널을 사용하여 추가 설계 구조를 지정할 수 있습니다. 예를 들어 런 수, 중앙점 수, 반복 실험 횟수 또는 생성된 데이터 테이블에 설계 런이 표시되는 순서 등을 지정할 수 있습니다.

그림 3.23에는 Design Experiment 팔더에 있는 Wine Data.jmp 샘플 데이터 테이블의 실험에 대한 "출력 옵션" 패널이 표시됩니다. 이 예에서는 다양한 "런 순서" 옵션을 선택하고 설계 데이터 테이블을 구성할 수 있습니다. 뒤로 이동하여 설계를 재구성하도록 선택할 수도 있습니다.

**그림 3.23** 와인 실험의 출력 옵션 패널



## 실험 설계의 원리와 지침

특정 원리는 실험 설계 및 실험 데이터 분석의 기초가 됩니다. 효과 계층성, 효과 유전성 및 효과 회소성 원리는 주로 모형 선택과 관련이 있습니다. 이러한 원리는 최적 모형을 검색할 때 가능한 모형 집합을 줄이는 데 도움이 됩니다. 자세한 내용은 Hamada and Wu(1992), Wu and Hamada(2009), Goos and Jones(2011)에서 확인하십시오.

- "효과 계층성"
- "효과 유전성"
- "효과 회소성"
- "중앙점, 반복 런 및 검정"

## 효과 계층성

회귀 모델링에서 효과 계층성은 주효과(1차)가 반응의 변동을 가장 많이 설명한다는 원리입니다. 2차 효과(second-order effect), 즉 교호작용 효과와 2차 항이 변동을 두 번째로 많이 설명합니다. 그런 다음 차수가 높은 항이 계층 순서대로 나옵니다.

모델링은 주효과가 2차 효과(second-order effect)보다 중요하고 2차 효과가 3차 효과보다 중요하다는 의미를 가지고 있습니다. 즉, 차수가 높을수록 중요도가 낮습니다.

## 효과 유전성

효과 유전성 원리는 고차 효과의 저차 성분 모형 포함과 관련이 있습니다. 이 원리는 주효과의 크기가 작은 요인들 간에는 유의한 교호작용 효과가 없다는 관측 증거를 동기로 합니다.

강한 효과 유전성을 위해서는 모형 효과의 모든 낮은 차수 성분이 모형에 포함되어야 합니다. 삼원 교호작용(ABC)이 모형에 있다고 가정해 보겠습니다. 그러면 모든 성분 주효과와 이원 교호작용(A, B, C, AB, AC, BC)도 모형에 포함되어야 합니다.

약한 효과 유전성을 위해서는 모형 효과 중 연속된 낮은 차수 성분의 시퀀스만 포함되어야 합니다. 삼원 교호작용이 모형에 있는 경우 관련 요인 중 하나와 해당 요인을 포함하는 이원 교호작용 하나가 모형에 포함되어야 합니다. 삼원 교호작용(ABC)이 모형에 있다고 가정해 보겠습니다. B와 BC도 모형에 있으면 해당 모형은 약한 효과 유전성을 충족합니다.

연속형 요인의 경우 효과 유전성은 요인의 위치 및 척도가 달라져도 모형이 변하지 않도록 합니다.

## 효과 희소성

효과 희소성 원리는 반응에 대한 대부분의 변동이 상대적으로 적은 수의 효과로 설명된다고 주장합니다. 많은 효과를 연구하는 선별 설계는 효과 희소성에 크게 의존합니다. 경험에 따르면 선별 설계에 사용된 런 수는 유의하다고 할 수 있는 효과 수의 두 배 이상이어야 합니다.

## 중앙점, 반복 런 및 검정

일부 DOE 플랫폼을 사용하면 중앙점(연속형 요인의 경우), 반복 런 또는 전체 반복 실험을 설계에 추가할 수 있습니다. 다음은 설계점 추가와 관련된 몇 가지 상황입니다.

### 중앙점 추가

연속형 요인의 중앙점을 사용하면 비선형 효과로 인한 적합 결여를 검정할 수 있습니다. 적합 결여 검정은 모형 항 누락으로 인해 오차 분산 추정값이 부풀려졌는지 여부를 판별하는 데 도움이 됩니다. 이 방법은 현명한 런 투자일 수 있습니다.

중앙점에서만 런을 반복하거나 다른 설계 런을 반복할 수 있습니다. JMP에서는 반복 런을 사용하여 모형에 독립적인 오차 추정값(순수 오차 추정값)을 생성합니다. 이 순수 오차 추정값을 사용하면 적합 결여를 검정할 수 있습니다.

중앙점은 모형 효과의 정확한 추정값을 얻는 데 도움이 되지 않습니다. 중앙점을 사용하면 곡률의 증거를 검정할 수 있지만 원인이 되는 비선형 효과를 식별할 수는 없습니다.

곡률의 원인을 식별하려면 최소 3개 수준으로 연속형 요인을 설정해야 합니다. 확증적 선별 설계는 반응에 대해 강력한 비선형 효과를 일으키는 요인을 감지하고 식별할 수 있는 3수준 설계입니다. 자세한 내용은 [7장, "확증적 선별 설계"](#)에서 확인하십시오.

## 반복 런 추가

런 예산으로 가능한 경우 런을 반복하거나 설계 공간 내에서 새 런을 최적으로 배포할 수 있습니다. 반복 런을 추가하면 일부 추정값에 대한 정밀도가 추가되고 적합 결여 검정의 검정력이 향상됩니다. 그러나 런 예산이 지정된 경우 반복 런을 추가하면 일반적으로 설계의 모형 효과 추정 능력이 저하됩니다. 설계 공간 내에서 최적으로 런을 배포하는 것만큼 많은 항을 추정할 수 없습니다.

## 적합 결여 검정

설계된 실험은 대개 실험 목표에 맞게 가능한 한 적은 수의 런이 필요하도록 구성됩니다. 런 수가 너무 적으면 극단적으로 큰 효과만 감지할 수 있습니다. 예를 들어 지정된 효과의  $t$  검정 통계량은 표준 오차에 대한 반응 평균의 변화 비율입니다. 오차 DF(자유도)가 1뿐이면 검정 임계값이 12를 초과합니다. 따라서 거의 포화된 설계에서 효과를 감지하려면 크기가 매우 커야 합니다.

유사 관측이 적합 결여 검정에 적용됩니다. 적합 결여를 감지하는 이 검정의 검정력은 분자와 분모의 자유도 값에 따라 달라집니다. 각 종류마다  $df$ 가 1뿐인 경우 0.05 수준에서 유의성을 선언 하려면  $F$  값이 150을 초과해야 합니다. 각 종류의  $df$ 가 2인 경우에는  $F$  값이 19를 초과해야 합니다. 두 번째 경우에서 검정이 유의하려면 적합 결여 평균 제곱이 순수 오차 평균 제곱보다 19배 커야 합니다. 적합 결여 검정이 이상치에 민감한 것도 사실입니다.

적합 결여 검정에 대한 자세한 내용은 선형 모형 적합의 에서 확인하십시오.

## 런 수 결정

산업 응용 분야에서는 런을 수행할 때마다 비용이 많이 들기 때문에 런 수를 최소화해야 합니다. 관심 있는 고정 효과를 추정하려면 모형에 있는 항과 같은 수의 런만 있으면 됩니다. 효과가 활성 상태인지 여부를 판별하려면 적절한 오차 분산 추정값이 필요합니다. 이 분산의 추정값이 충분하지 않으면 모형 항을 추정하는 데 필요한 수에 4회 이상의 런을 추가하는 것이 좋습니다.

## 사용자 설계

### 요구 사항을 충족하는 설계 구성

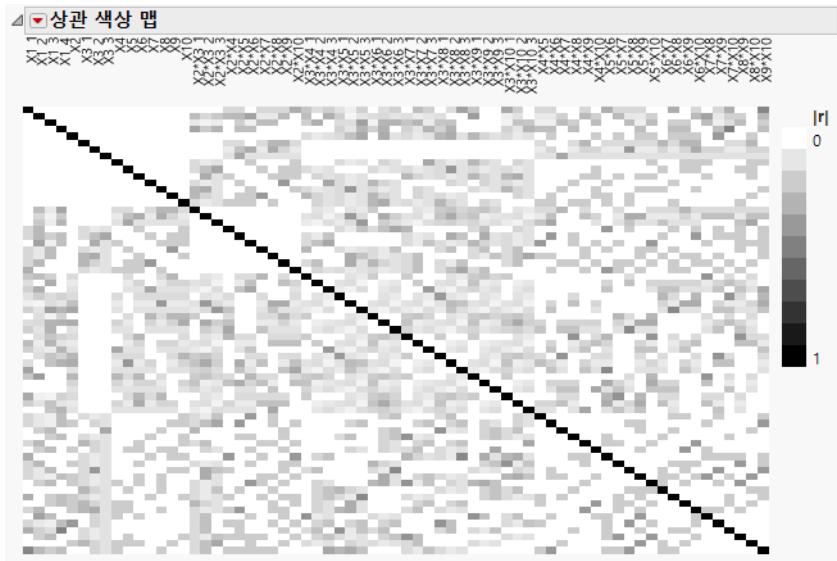
사용자 설계 플랫폼을 사용하면 특정 실험 설정에 맞게 사용자 정의된 최적 설계를 구성할 수 있습니다. 일반적으로 사용자 설계는 다른 방법을 사용하여 구성한 설계보다 비용 효율적입니다. 다음과 같은 작업을 수행할 수 있습니다.

- 다양한 유형의 요인을 입력합니다.
- 설계 공간에 제약 조건을 지정합니다.
- 주어진 런 수를 고려하여 추정이 필요한 효과 및 적합한 효과 ( 가능한 경우 ) 를 나타냅니다 .
- 예산에 맞는 실험 런 수를 지정합니다 .

사용자 설계 플랫폼은 선별, 반응 표면, 혼합물, 랜덤 블록, 분할구, 분할-분할구 및 이원 분할구 와 같은 특수 설계 유형을 포함하여 다양한 유형의 설계를 구성합니다.

이 장에는 사용자 설계 플랫폼의 사용 방법을 보여 주는 자세한 예와 플랫폼 정보가 포함되어 있습니다. 자세한 내용은 "["사용자 설계의 예"](#)" 장(123페이지)에서 확인하십시오.

**그림 4.1** 절대 상관의 색상 맵



**목차**

사용자 설계 개요	65
사용자 설계의 예	66
사용자 설계 생성	82
반응	82
요인	84
요인 제약 조건 정의	90
별칭 항	94
설계 생성	95
설계	97
설계 평가	97
출력 옵션	98
사용자 설계 옵션	100
반응 시뮬레이션	103
행렬 X 저장	105
시작 수	107
설계 검색 시간	108
사용자 설계에 대한 기술 상세 정보	108
랜덤화 제한이 있는 설계	109
변경하기 힘든 수준의 공변량	117
주구 및 하위구 수	117
최적 기준	118
D 효율도	122
좌표 교환 알고리즘	122

## 사용자 설계 개요

특정 실험 요구에 맞게 사용자 정의된 최적의 설계를 구성하려면 사용자 설계 플랫폼을 사용합니다.

다음과 같은 다양한 유형의 요인을 포함할 수 있습니다.

- 연속형
- 이산 수치형 (원하는 수의 수준 포함)
- 범주형 (원하는 수의 수준 포함)
- 블록 (블록당 지정된 수의 런 포함)
- 공변량
- 혼합
- 상수
- 제어되지 않음

### 작동 가능 영역 지정

선형 요인 제약 조건 또는 허용되지 않는 조합을 사용하여 실험 영역이 작동 조건을 반영하도록 제한할 수 있습니다. 특히 범주형, 연속형 및 이산 수치형 요인에 대해 제한을 지정할 수 있습니다. 자세한 내용은 "[요인 제약 조건 정의](#)"(90페이지)에서 확인하십시오.

### 변경하기 힘든 수준의 요인 지정

연속형, 이산 수치형, 범주형 및 혼합 요인의 경우 두 가지 수준의 변경하기 힘든 요인으로 나타낼 수 있습니다. 이러한 나이도 수준은 주구 또는 주구와 분할구로 표시됩니다. 변경하기 힘든 공변량도 지정할 수 있습니다.

### 기본 관심 효과 지정

가정된 모형을 명시적으로 지정할 수 있습니다. 가정된 모형은 추정할 모든 효과를 이상적으로 포함하는 초기 모형입니다. 주효과, 교호작용, 반응 표면 효과 및 다항식 효과(최대 5제곱)의 조합이 모형에 포함될 수 있습니다. 추정이 필요한 효과와 적합한 효과를 지정할 수 있습니다. 사용자 설계는 베이지안 최적 방법을 사용하여 런 수에 따라 추정이 적합한 효과를 추정합니다. 자세한 내용은 "[모형](#)"(93페이지)에서 확인하십시오.

### 런 수 지정

사용자 설계 플랫폼을 사용하면 실험 환경의 예산에 맞도록 런 수를 지정할 수 있습니다. 이 플랫폼은 필요한 효과를 추정하는 데 사용할 수 있는 최소 런 수를 나타내고 기본 런 수를 제공합니다. 이러한 값을 가이드로 사용하여 실현 가능한 런 수를 결정할 수 있습니다. 자세한 내용은 "[설계 생성](#)"(95페이지)에서 확인하십시오.

## 적절한 설계 유형 구성

사용자 설계는 다양한 설계 유형을 구성할 수 있습니다. 여기에는 전통적 설계와 랜덤 블록 설계가 포함됩니다. 다양한 설계 유형의 예는 "사용자 설계의 예" 장(123페이지)에서 확인하십시오.

### 최적 설계 구성

사용자 설계 플랫폼은 특정 요구 사항에 맞는 최적 설계를 구성합니다. 이 알고리즘은 다음과 같은 몇 가지 최적 기준을 지원합니다.

- D 최적
- I 최적
- 베이지안 D 및 I 최적 (If Possible 효과 사용)
- A 최적
- 별칭 최적

자세한 내용은 "최적 기준"(118페이지)에서 확인하십시오.

설계는 좌표 교환 알고리즘(Meyer and Nachtsheim, 1995)을 사용하여 구성됩니다. 자세한 내용은 "좌표 교환 알고리즘"(122페이지)에서 확인하십시오.

## 사용자 설계의 예

사용자 설계 도구를 사용하여 와인 맛에 영향을 주는 가공 요인의 효과를 조사하는 실험을 설계합니다. 고용주는 서로 다른 방식으로 가공할 수 있는 두 가지 품종의 Pinot Noir 포도를 재배합니다. Pinot Noir 와인 맛에 영향을 주는 요인을 판별하는 것이 목표입니다. 포도를 가공하기 전에 실험 설계를 설정합니다. 가공된 와인 샘플은 12개월 동안 숙성된 후 여과 및 병에 담는 과정을 거칩니다. 이 시점에서 전문 와인 테스터가 와인 샘플의 품질을 평가합니다.

### 반응

포도밭에서 수확한 제품은 대부분 5개의 대형 와인 유통업체에 판매됩니다. 각 업체의 와인 시음 전문가가 와인 샘플의 품질을 평가할 수 있도록 준비해야 합니다. 연구할 수 있는 요인의 수를 최대화하기 위해 각 전문가가 8개의 서로 다른 샘플을 평가해야 한다고 결정합니다. 즉, 설계에 40개의 와인 샘플 또는 런이 포함되어야 합니다.

등급 척도는 0 ~ 20이며, 0이 최하위이고 20이 최상위입니다. Rating은 전문가 평가로 구성된 관심 반응 변수입니다. 반응을 최대화하는 와인 관련 요인을 식별하는 것이 목표입니다.

### 블록 요인

블록 요인은 직접적 관심 대상이 아닌 변동을 처리하는 데 사용됩니다. 특히 한 요인 수준의 관측 값이 다른 수준의 관측 값보다 더 유사할 것으로 예상될 때 블록 요인이 효과적입니다. 실험에서 한 전문가의 등급은 비슷한 특성을 가지며 다른 전문가의 등급과 다를 가능성이 있습니다. 그러나 관심 사항은 모든 전문가로부터 높은 등급을 받는 특성이 무엇인지 판별하는 것입니다.

각 평가자가 8개 와인을 시음하므로 Rater는 블록당 8개의 런이 있는 블록 요인입니다. 이 실험의 경우 5명의 평가자만 대상입니다. 평가자 모집단을 더 크게 일반화하는 것에는 관심이 없습니다.

### 공정 요인

연구에 필요한 9개의 공정 요인을 식별했습니다. 여기에는 포도 품종, 포도를 재배한 밭 그리고 가공과 관련된 기타 요인 7개가 포함됩니다. 이러한 요인을 필요에 따라 조합하여 실험할 수 있습니다. 또한 실험 중간에 원하는 대로 요인에 변화를 줄 수도 있습니다. 이러한 요인은 모두 실험에서 상대적으로 변경하기 "쉬운" 요인입니다. 요인 변경을 지정하는 방법에 대한 자세한 내용은 "[변경 및 랜덤 블록](#)"(87페이지)에서 확인하십시오.

표 4.1에는 요인과 요인 수준이 나와 있습니다. 이러한 모든 요인은 범주형입니다. 요인과 해당 수준은 샘플 데이터의 Design Experiment 폴더에 있는 Wine Factors.jmp 요인 테이블에도 제공됩니다.

가능한 모든 요인 조합으로 실험하기 위해 필요한 런 수는  $4 \times 2^8 = 1024$ 회입니다. 그러나 이 예에서는 40회의 런으로 최상의 설계를 구성할 수 있습니다.

**표 4.1** 와인 시음 실험의 공정 요인 및 수준

요인	수준
Variety	Bernard, Dijon
Field	1, 2, 3, 4
De-Stem	No, Yes
Yeast	Cultured, Wild
Temperature	High, Low
Press	Hard, Soft
Barrel Age	New, 2 Years
Barrel Seasoning	Air, Kiln
Filtering	No, Yes

실험 목표, 요인 및 반응을 정의했으므로 사용자 설계를 생성할 수 있습니다.

### 반응 추가

이 사용자 설계 예의 경우 반응과 반응 목표를 추가하고 필요한 경우 하한, 상한 및 중요도를 추가합니다. 여기서 반응은 Rating입니다.

1. **DOE > 사용자 설계**를 선택합니다.

2. "반응 이름" 아래의 Y를 두 번 클릭하고 Rating을 입력합니다.

기본 목표는 최대화로 되어 있습니다. 맛 등급을 최대화해야 하므로 목표를 변경하지 마십시오.

3. "하한" 아래를 클릭하고 0을 입력합니다.

최하위 등급이 0입니다.

4. "상한" 아래를 클릭하고 20을 입력합니다.

최상위 등급이 20입니다.

5. "중요도" 아래 영역은 비워둡니다.

반응이 하나뿐이므로 기본적으로 반응의 중요도가 1로 지정됩니다.

[그림 4.2](#)(69페이지)에서는 완료된 "반응" 개요를 보여 줍니다.

## 수동 또는 자동으로 요인 추가

이 사용자 설계 예의 경우 요인을 수동으로 입력하거나, 요인과 설정이 포함된 기존 테이블을 사용하여 자동으로 입력합니다.

- 새 실험을 설계하는 경우 먼저 수동으로 요인을 입력해야 합니다. 자세한 내용은 "[수동으로 요인 추가](#)"(68 페이지)에서 확인하십시오.
- "요인 저장" 옵션을 사용하여 요인을 저장한 후에는 저장된 테이블을 사용하여 요인을 자동으로 불러올 수 있습니다. 자세한 내용은 "[요인 불러오기를 사용하여 자동으로 요인 추가](#)"(70페이지)에서 확인하십시오.

두 방법 모두 네 가지 개요, 즉 "요인 제약 조건 정의", "모형", "별칭 항" 및 "설계 생성" 개요를 "사용자 설계" 창에 추가합니다.

### 수동으로 요인 추가

1. 먼저 블록 요인 Rater를 추가합니다. [요인 추가 > 블록화 > 블록당 8회 런](#)을 클릭합니다.

2. 기본 이름 X1을 Rater로 변경합니다.

"역할"이 "블록화"로 설정되어 있습니다. 또한 "값" 설정에 1만 나타납니다. 원하는 런 수가 지정되지 않으면 블록 수를 결정할 수 없기 때문입니다. "설계 생성" 개요에서 "런 수"를 지정하면 Rater의 수준 수가 필요한 값으로 업데이트됩니다.

3. [요인 추가 > 범주형 > 2 수준](#)을 클릭합니다.

4. 기본 이름 X2를 Variety로 변경합니다.

요청한 대로 "역할"이 "범주형"으로 설정되고 "변경"이 "쉬움"(기본값)으로 설정되어 있습니다.

5. L1과 L2를 클릭하고 각각 Bernard와 Dijon으로 변경합니다.

6. [요인 추가 > 범주형 > 4 수준](#)을 클릭합니다.

7. 기본 이름 X3을 Field로 변경합니다.

8. L1, L2, L3 및 L4 를 클릭하고 각각 1, 2, 3, 4 로 변경합니다 .
9. **요인 추가 > 범주형 > 2 수준**을 클릭 합니다 .
10. 기본 이름 X4 를 De-Stem 으로 변경합니다 .
11. L1 과 L2 를 클릭하고 각각 No 와 Yes 로 변경합니다 .
12. **N 개 요인 추가** 옆에 6 을 입력한 후 **요인 추가 > 범주형 > 2 수준**을 클릭합니다 . 이렇게 하면 2 수준을 갖는 6 개의 범주형 요인이 설계에 추가됩니다 .
13. 다음과 같이 기본 요인 이름과 값을 변경합니다 .
  - Yeast(Cultured, Wild)
  - Temperature(High, Low)
  - Press(Hard, Soft)
  - Barrel Age(New, Two Years)
  - Barrel Seasoning(Air, Kiln)
  - Filtering(No, Yes)

**그림 4.2** 완료된 반응 및 요인 개요

The screenshot shows two tables: '반응' (Response) and '요인' (Factor).

**반응 (Response)**

반응 추가 ▾	제거	반응 수...		
반응 이름	목표	하한	상한	중요도
Rating	최대화	0	20	1.
선택적 항목				

**요인 (Factor)**

요인 추가 ▾	제거	N개 요인 추가	1
이름	역할	변경	값
Rater	블록화	쉬움	1 [2]
▼ Variety	범주형	쉬움	Bernard [Dijon]
▼ Field	범주형	쉬움	1 [2] [3] [4]
▼ De-Stem	범주형	쉬움	No [Yes]
▼ Yeast	범주형	쉬움	Cultured [Wild]
▼ Temperature	범주형	쉬움	High [Low]
▼ Press	범주형	쉬움	Hard [Soft]
▼ Barrel Age	범주형	쉬움	New [2 Years]
▼ Barrel Seasoning	범주형	쉬움	Air [Kiln]
▼ Filtering	범주형	쉬움	No [Yes]

14. **계속**을 클릭 합니다 .

다음 개요가 " 사용자 설계 " 창에 추가됩니다 .

- 요인 제약 조건 정의 ( 이 예에서 사용되지 않음 )
- 모형
- 별칭 항
- 설계 생성

## 요인 불러오기를 사용하여 자동으로 요인 추가

다음과 같이 요인 정보가 포함된 테이블을 사용하여 요인을 입력합니다.

- 도움말 > 샘플 데이터 라이브러리를 선택하고 Design Experiment/Wine Factors.jmp를 엽니다.
- "사용자 설계"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **요인 불러오기**를 선택합니다.

요인을 불러오면 "사용자 설계" 창이 자동으로 업데이트됩니다. 다음 개요가 "사용자 설계" 창에 추가됩니다.

- 요인 제약 조건 정의 (이 예에서 사용되지 않음)
- 모형
- 별칭 항
- 설계 생성

## 모형 정의

이 사용자 설계 예의 경우 "모형" 개요에는 모든 주효과가 "필수"로 표시되어 있으며 이는 설계에서 모든 주효과를 추정할 수 있어야 함을 나타냅니다. 이 가정된 모형에는 주효과에 대한 관심만 반영됩니다. 그러나 다른 효과를 추정하려면 "모형" 개요에 해당 효과를 추가하면 됩니다. 모형에 대한 자세한 내용은 "[모형](#)"(93페이지)에서 확인하십시오.

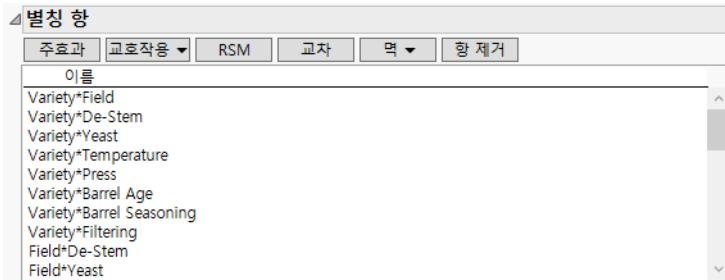
**그림 4.3** 모형 개요

모형	
이름	추정 가능성
절편	필수
Variety	필수
Field	필수
De-Stem	필수
Yeast	필수
Temperature	필수
Press	필수
Barrel Age	필수
Barrel Seasoning	필수
Filtering	필수
Rater	필수

## 별칭 항 정의

"별칭 항" 개요에서는 나중에 나타나는 "별칭 행렬"에 표시할 효과를 지정합니다. 별칭 행렬은 "모형" 항과 "별칭 항" 개요에 나열된 효과 사이의 별칭 관계를 보여 줍니다. "별칭 항" 개요 노드를 열어 모든 2 요인 교호작용이 나열되어 있는지 확인합니다. 별칭 행렬에 대한 자세한 내용은 "[별칭 행렬](#)"(74페이지)에서 확인하십시오.

그림 4.4 별칭 향 개요 ( 일부분 )



## 설계를 복제할 난수 시드값 설정

사용자 설계 알고리즘은 랜덤 시작 설계로 시작합니다. 이 예제 또는 교육용 설정 등에서 사용하는 설계를 복제하려면 시작 설계를 정의하는 데 사용되는 난수 시드값을 설정합니다. 그림 4.5에 나와 있는 것과 똑같은 런 및 런 순서를 갖는 설계를 얻으려면 난수 시드값과 시작 수를 다음과 같이 설정합니다.

1. "사용자 설계"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **난수 시드값 설정**을 선택합니다.
2. 100526291( 난수 시드값 )을 입력합니다.
3. **확인**을 클릭합니다.
4. "사용자 설계"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **시작 수**를 선택합니다.
5. 2를 입력합니다.
6. **확인**을 클릭합니다.

**참고 :** 난수 시드값과 시작 수를 설정하면 이 예에 나오는 것과 정확히 같은 결과가 재현됩니다. 설계를 직접 구성할 때는 이러한 단계가 필요하지 않습니다.

## 설계 생성

"설계 생성" 개요에서는 설계의 구조와 크기에 대한 추가 정보를 입력할 수 있습니다. 이 예에서 설계의 기본 런 수는 16회로 표시됩니다. 그러나 5명의 평가자가 각각 8개 와인을 시음할 수 있습니다. 즉, 런 수가 40회인 설계를 생성하려고 합니다. 설계 런 수를 다음과 같이 변경합니다.

1. 런 수 아래의 **사용자 지정** 상자에 **40**을 입력합니다.  
런 반복을 원하지 않으므로 **반복 런 수** 설정을 **0**으로 유지합니다.
  2. **설계 생성**을 클릭합니다.
- "설계" 및 "설계 평가" 개요가 "사용자 설계" 창에 추가됩니다. "출력 옵션" 패널도 나타납니다.

## 설계 확인

"설계" 개요에는 생성한 사용자 설계의 런이 표시됩니다. 나중에 "출력 옵션"에서 런 순서를 랜덤화할 수 있습니다. 지금은 이 설계가 실험에 적합한지 확인합니다. 예를 들어 5명의 평가자가 와인을 8개씩 평가하는지, 필요한 모든 요인이 표시되는지, 그리고 실현 불가능한 조합을 나타내는 설정이 없는지 확인합니다.

**그림 4.5** 와인 실험 설계

런	Rater	Variety	Field	De-Stem	Yeast	Temperature	Press	Barrel			Seasoning	Filtering
								Age	New	Kiln		
1	1	Dijon	3	No	Wild	High	Soft	New	Kiln	Yes		
2	2	Bernard	4	Yes	Cultured	Low	Hard	New	Kiln	No		
3	3	Bernard	2	Yes	Wild	High	Hard	New	Air	No		
4	4	Bernard	1	Yes	Wild	Low	Hard	2 Years	Air	Yes		
5	5	Dijon	1	Yes	Wild	Low	Soft	New	Kiln	No		
6	1	Dijon	2	Yes	Cultured	Low	Soft	2 Years	Air	Yes		
7	2	Dijon	1	No	Cultured	High	Hard	New	Air	No		
8	3	Dijon	4	No	Cultured	High	Soft	New	Air	Yes		
9	4	Dijon	4	Yes	Wild	High	Hard	New	Kiln	Yes		
10	5	Bernard	2	No	Wild	Low	Hard	New	Air	Yes		
11	1	Bernard	3	Yes	Wild	High	Hard	New	Air	No		
12	2	Dijon	1	Yes	Wild	High	Soft	2 Years	Air	Yes		
13	3	Bernard	4	Yes	Wild	Low	Soft	2 Years	Kiln	No		
14	4	Bernard	3	No	Cultured	Low	Soft	New	Air	No		
15	5	Dijon	2	No	Cultured	High	Soft	2 Years	Kiln	No		
16	1	Dijon	1	Yes	Cultured	Low	Hard	2 Years	Kiln	Yes		
17	2	Bernard	2	No	Cultured	Low	Hard	2 Years	Air	No		
18	3	Dijon	2	Yes	Cultured	High	Hard	New	Kiln	No		
19	4	Bernard	1	No	Cultured	Low	Hard	New	Kiln	Yes		
20	5	Bernard	3	Yes	Cultured	High	Hard	2 Years	Air	Yes		
21	1	Bernard	4	No	Wild	High	Hard	2 Years	Kiln	No		
22	2	Bernard	4	Yes	Cultured	High	Soft	2 Years	Kiln	Yes		
23	3	Dijon	1	No	Wild	Low	Hard	2 Years	Kiln	No		
24	4	Dijon	2	Yes	Wild	High	Soft	2 Years	Air	No		
25	5	Bernard	1	No	Cultured	High	Soft	New	Kiln	No		
26	1	Bernard	2	No	Wild	Low	Soft	New	Kiln	Yes		
27	2	Dijon	3	No	Wild	High	Hard	New	Kiln	Yes		
28	3	Bernard	1	No	Wild	High	Soft	2 Years	Air	Yes		
29	4	Bernard	3	Yes	Cultured	High	Soft	2 Years	Kiln	No		
30	5	Dijon	3	Yes	Wild	Low	Hard	2 Years	Kiln	No		
31	1	Dijon	4	No	Cultured	Low	Hard	2 Years	Air	No		
32	2	Bernard	2	Yes	Wild	Low	Soft	New	Kiln	Yes		
33	3	Bernard	3	No	Cultured	Low	Soft	2 Years	Kiln	Yes		
34	4	Dijon	2	No	Cultured	High	Hard	2 Years	Kiln	Yes		
35	5	Dijon	4	Yes	Cultured	Low	Soft	New	Air	Yes		
36	1	Bernard	1	Yes	Cultured	High	Soft	New	Air	No		
37	2	Dijon	3	No	Wild	Low	Soft	2 Years	Air	No		
38	3	Dijon	3	Yes	Cultured	Low	Hard	New	Air	Yes		
39	4	Dijon	4	No	Wild	Low	Soft	New	Air	No		
40	5	Bernard	4	No	Wild	High	Hard	2 Years	Air	Yes		

## 설계 평가

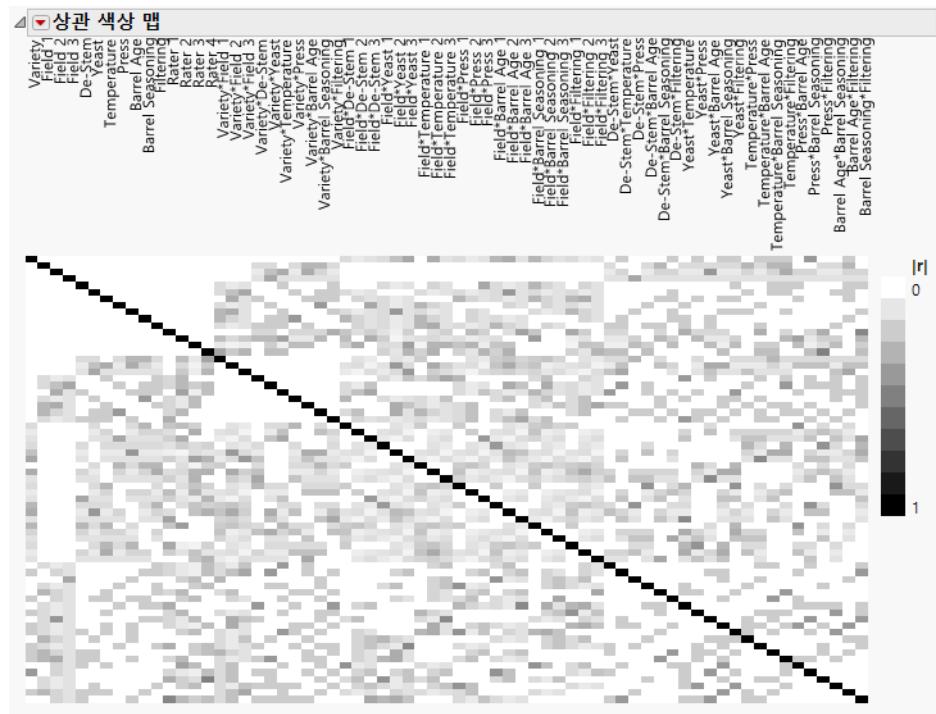
"설계 평가" 개요에서는 사용자 설계를 평가하는 다양한 방법을 제공합니다. 이 예에서는 "설계 평가" 개요를 열고 "상관 색상 맵", "별칭 행렬" 및 "설계 진단"을 검토합니다.

참고 : "설계 평가" 개요에 대한 자세한 내용은 "설계 평가" 장(403 페이지)에서 확인하십시오.

## 상관 색상 맵

"상관 색상 맵"에는 "모형" 개요 또는 "별칭 항" 개요에 나타나는 두 효과 간의 절대 상관 값이 표시됩니다.

그림 4.6 상관 색상 맵



## 별칭 행렬

별칭 행렬의 왼쪽 열에 모형 효과가 나열됩니다. 주어진 모형 효과에 대해 열 항목은 열 효과(활성화된 경우)로 인해 모형 효과의 추정값이 편향되는 정도를 나타냅니다.

**그림 4.7** 별칭 행렬 (일부분)

	Variety*Field 1	Variety*Field 2	Variety*Field 3	Variety*De-Stem	Variety*Yeast	Variety*Temperature	Variety*Press	Variety*Barrel Age
효과	0	0	0	0	0	0	0	0
JelPen	0	0	0	0	0	0	-0.14	0.283
Variety	0	0	0	0	0	0	0	0
Field 1	0	0	0	0.141	0.141	0	-0.33	0.082
Field 2	0	0	0	0.082	-0.24	-0.33	0.082	0.327
Field 3	0	0	0	-0.12	0.346	0.115	-0.12	-0.12
De-Stem	0.141	0.082	-0.12	0	0	-0.2	0	0
Yeast	0.141	-0.24	0.346	0	0	0	-0.2	0
Temperature	0	-0.33	0.115	-0.2	0	0	0	-0.2
Press	-0.14	0.082	-0.12	0	-0.2	0	0	0
Barrel Age	0.283	0.327	-0.12	0	0	-0.2	0	0
Barrel Seasoning	0.283	0.163	0.115	0	-0.2	0.2	0.4	0
Filtering	-0.14	-0.08	0.115	-0.2	0.2	0.2	0	0.2
Rater 1	0	0	0	-0.16	-0.16	0	-0.16	0.158
Rater 2	-0.26	0.149	-0.21	-0.27	0.274	-0.37	-0.09	-0.09
Rater 3	0.091	-0.05	0.075	0	-0.19	-0.06	-0.26	-0.26
Rater 4	0.354	-0.2	0.289	0	0.25	-0.25	0	0

모형 효과 Barrel Seasoning을 예로 들어보겠습니다. Variety\*Press가 활성화된 경우 Barrel Seasoning 효과의 추정 기대값이 해당 효과의 비편향 추정값과 다릅니다. 이 차이는 Variety\*Press 효과의 0.4배와 같습니다. 따라서 유의한 Barrel Seasoning 추정 효과로 보이는 것이 실제로는 유의한 Variety\*Press 효과일 수 있습니다.

## 설계 진단

"설계 진단" 개요에서는 설계 효율도 정보를 제공합니다. 효율도 측도는 설계를 이론상 최적 설계(존재하지 않을 수 있음)와 비교합니다. 효율도 값은 이 최적 설계의 효율도에 대한 설계 효율도의 비율(%)입니다. 효율도 측도에 대한 자세한 내용은 "설계 평가" 장의 ["추정 효율도"](#)(428 페이지)에서 확인하십시오.

**그림 4.8** 설계 진단 개요

설계 진단	
D 최적 설계	
D 효율도	100
G 효율도	100
A 효율도	100
예측 평균 분산	0.4
설계 생성 시간(초)	0.05

D, G 및 A 효율도 값이 모두 100%입니다. 생성된 설계는 주효과에 대해 직교이므로 이 세 가지 효율도 기준에 따라 주효과 모형에 최적 설계입니다.

"설계 진단" 개요의 첫 번째 줄은 설계가 D 효율도 기준을 최적화하도록 구성되었음을 나타냅니다. 자세한 내용은 "사용자 설계 옵션"(100페이지)에서 "최적 기준" 설명을 참조하십시오. 이 경우에는 설계의 D 효율도가 100%입니다.

## 설계 테이블 옵션 지정

사용자 설계 생성의 마지막 단계는 설계 테이블의 옵션을 지정하고 테이블을 생성하는 것입니다. "출력 옵션" 패널을 사용하여 데이터 테이블에서 랜순서를 지정합니다. 기본 선택 항목인 **블록 내 랜덤화**가 이 예에 적합합니다. **테이블 생성**을 클릭하십시오.

그림 4.9의 테이블과 유사한 사용자 설계 테이블이 생성되어 열립니다.

**참고 :** 테이블을 생성하는 알고리즘이 랜덤 시작 설계를 사용하므로 테이블이 그림과 다르게 보일 수 있습니다. 그림 4.9에 나와 있는 것과 똑같은 테이블을 얻으려면 "[설계를 복제할 난수 시드값 설정](#)"(71페이지)에 설명된 대로 난수 시드값과 시작 수를 설정합니다.

그림 4.9 사용자 설계 테이블

	Rater	Variety	Field	De-Stem	Yeast	Temperature	Press	Barrel Age	Barrel Seasoning	Filtering	Rating
1	1	Dijon	4	No	Cultured	Low	Hard	2 Years	Air	No	•
2	1	Bernard	1	Yes	Cultured	High	Soft	New	Air	No	•
3	1	Bernard	3	Yes	Wild	High	Hard	New	Air	No	•
4	1	Dijon	1	Yes	Cultured	Low	Hard	2 Years	Kiln	Yes	•
5	1	Dijon	2	Yes	Cultured	Low	Soft	2 Years	Air	Yes	•
6	1	Dijon	3	No	Wild	High	Soft	New	Kiln	Yes	•
7	1	Bernard	2	No	Wild	Low	Soft	New	Kiln	Yes	•
8	1	Bernard	4	No	Wild	High	Hard	2 Years	Kiln	No	•
9	2	Bernard	4	Yes	Cultured	Low	Hard	New	Kiln	No	•
10	2	Bernard	2	Yes	Wild	Low	Soft	New	Kiln	Yes	•
11	2	Bernard	2	No	Cultured	Low	Hard	2 Years	Air	No	•
12	2	Bernard	4	Yes	Cultured	High	Soft	2 Years	Kiln	Yes	•
13	2	Dijon	3	No	Wild	Low	Soft	2 Years	Air	No	•
14	2	Dijon	3	No	Wild	High	Hard	New	Kiln	Yes	•
15	2	Dijon	1	Yes	Wild	High	Soft	2 Years	Air	Yes	•
16	2	Dijon	1	No	Cultured	High	Hard	New	Air	No	•
17	3	Bernard	4	Yes	Wild	Low	Soft	2 Years	Kiln	No	•
18	3	Dijon	3	Yes	Cultured	Low	Hard	New	Air	Yes	•
19	3	Bernard	2	Yes	Wild	High	Hard	New	Air	No	•
20	3	Bernard	3	No	Cultured	Low	Soft	2 Years	Kiln	Yes	•
21	3	Bernard	1	No	Wild	High	Soft	2 Years	Air	Yes	•
22	3	Dijon	1	No	Wild	Low	Hard	2 Years	Kiln	No	•
23	3	Dijon	2	Yes	Cultured	High	Hard	New	Kiln	No	•
24	3	Dijon	4	No	Cultured	High	Soft	New	Air	Yes	•
25	4	Dijon	4	No	Wild	Low	Soft	New	Air	No	•

다음 사항에 유의하십시오.

- 설계 생성 중에 테이블 패널에 "모형", "설계 평가" 및 "DOE 대화상자" 스크립트가 추가되었습니다. "모형" 스크립트는 "사용자 설계" 대화상자 창에서 "필수"로 지정한 효과가 포함된 "모형 적합" 창을 엽니다. "DOE 대화상자" 스크립트는 설계 테이블을 생성하는 데 사용된 창을 다시 생성합니다.

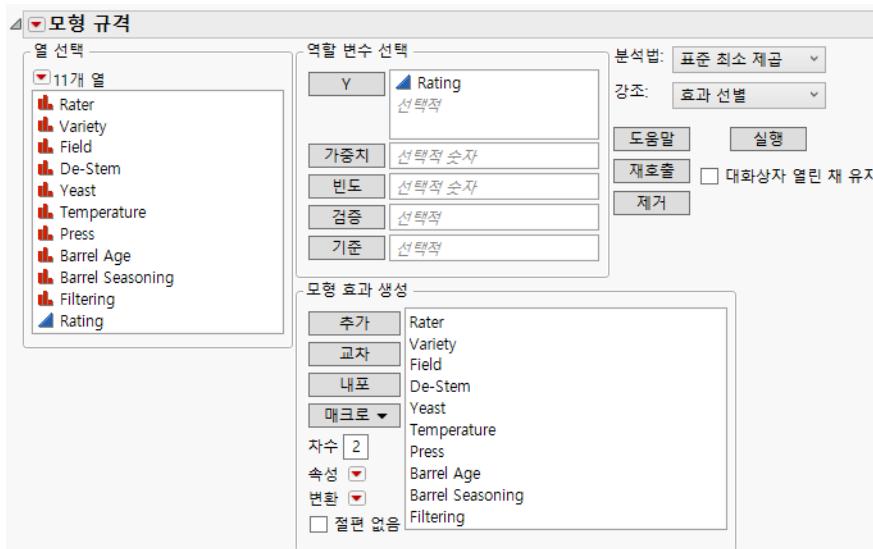
- "열" 패널에서 요인과 반응의 오른쪽에 있는 별표는 데이터 테이블의 열에 저장된 열 특성을 나타냅니다. 이러한 열 특성은 데이터 분석에 사용됩니다. 열 특성에 대한 자세한 내용은 "요인"(84 페이지) 및 "요인 열 특성"(89 페이지)에서 확인하십시오.

## 사용자 설계 분석

실험을 실행하고 데이터를 컴파일하고 나면 결과를 분석할 준비가 된 것입니다. 사용자 설계 테이블의 Rating 열을 사용하여 Rating 데이터를 기록합니다.

- 도움말 > 샘플 데이터 라이브러리를 선택하고 Design Experiment/Wine Data.jmp를 엽니다. Wine Data.jmp 테이블은 기록한 실험 결과를 포함한다는 점만 제외하면 그림 4.9에 표시된 사용자 설계 테이블과 정확히 동일합니다.
- 테이블 패널에서 **Model** 스크립트 옆의 녹색 삼각형을 클릭합니다.

**그림 4.10** 와인 실험의 모형 규격 창



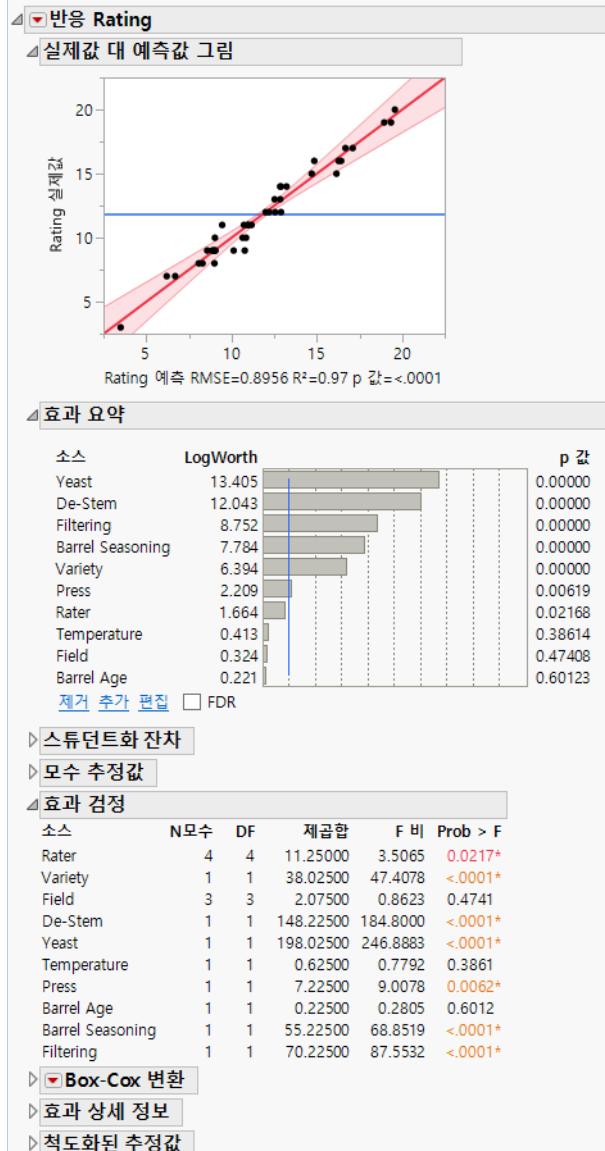
블록 요인 Rater 가 랜덤 블록 효과 대신 고정 효과로 추가되어 있습니다. 이는 5 명의 평가자가 명확하게 선택되었고 큰 모집단의 랜덤 표본이 아니므로 적합합니다.

- 실행을 클릭합니다.

## 전체 모형 결과 해석

사용자 설계 예에서 얻은 결과 모형이 아래에 나와 있습니다.

그림 4.11 모형 적합 결과 ( 일부분 )



다음 사항에 유의하십시오 .

- “실제값 대 예측값 그림”에 적합 결여의 뚜렷한 증거가 없습니다.
- “실제값 대 예측값” 그림과 그 아래의  $p$  값에 따르면 모형이 유의합니다.
- “효과 검정” 보고서는 7개 모형 항이 0.05 수준에서 유의함을 나타냅니다. Field, Temperature 및 Barrel Age 는 유의하지 않습니다 .

- "효과 요약" 보고서에는 이러한 효과가 유의성이 큰 것부터 순서대로 나열됩니다. LogWorth 값이 클수록 p 값이 작고 유의성이 큽니다.

## 모형 축소

다음과 같이 비활성으로 식별된 효과를 제거하여 사용자 설계의 결과 모형을 축소합니다.

1. "효과 요약" 보고서에서 Ctrl 키를 누르고 Temperature, Field 및 Barrel Age 를 선택합니다.
2. 제거를 클릭합니다.

보고서가 업데이트되어 이 세 효과가 제거된 모형 적합이 표시됩니다.

## 프로파일러로 모형 결과 해석

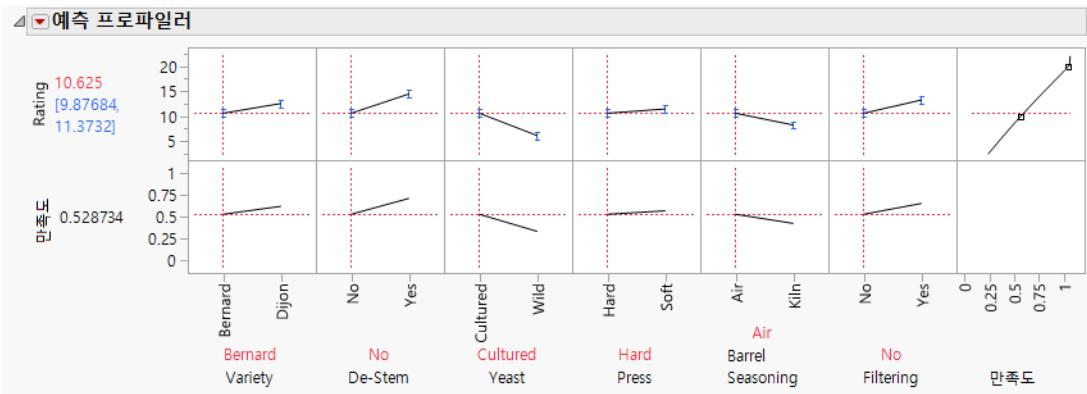
축소 모형의 "실제값 대 예측값 그림"은 적합 결여 문제가 없음을 보여 줍니다. "효과 요약" 및 "효과 검정" 보고서는 나머지 7개 항이 0.05 수준에서 유의함을 보여 줍니다. 예측 프로파일러를 사용하여 축소된 모형을 추가적으로 탐색합니다.

그림 4.12에서는 예측 프로파일러를 보여 줍니다. 반응 목표를 "최대화"로 지정하고 하한과 상한을 각각 0과 20으로 설정했습니다. 이러한 제한을 설정하여 "반응 한계" 열 특성이 "사용자 설계" 테이블의 Rating 열에 저장되었습니다. 예측 프로파일러는 반응 한계 정보를 사용하여 그림 4.12의 위쪽 행에서 맨 오른쪽 그림에 나타나는 만족도 함수를 구성합니다. 아래쪽 행은 만족도 트레이스를 표시합니다.

위쪽 행의 처음 6개 그림은 예측 모형의 트레이스를 표시합니다. 각 요인에 대해 그림의 선은 다른 모든 요인이 빨간색 수직 과선에 의해 정의된 값으로 설정될 때 Rating이 어떻게 변하는지 보여 줍니다. 기본적으로 프로파일러는 낮은 값으로 설정된 범주형 요인과 함께 나타납니다. 요인의 설정을 변경하면 와인에 대한 예측 Rating이 어떻게 변하는지 확인할 수 있습니다. 평균 예측 Rating에 대해 신뢰 구간이 제공됩니다.

프로파일러에 표시된 요인 중에 Rater가 포함되어 있지 않습니다. Rater는 블록 변수이기 때문입니다. 변동을 설명하기 위해 Rater를 포함했지만 Rater는 공정 요인 설정의 최적화에 있어서 직접적 관심 요인이 아닙니다. 지정된 설정을 사용한 와인의 예측 Rating은 모든 평가자가 해당 와인에 대해 평가한 예측 등급의 평균입니다.

그림 4.12 축소 모형의 프로파일러



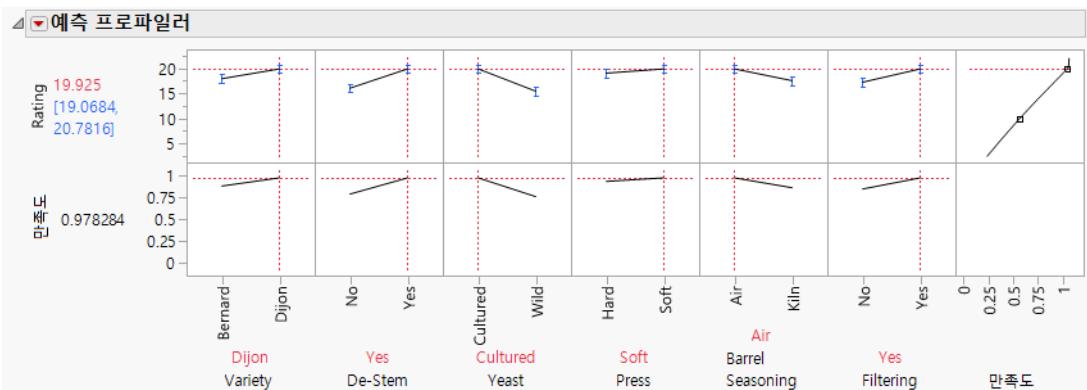
### 요인 설정 최적화

예측 프로파일러를 사용하여 사용자 설계 결과를 기반으로 최적 설정을 식별합니다. 평가자 전체에서 Rating 을 최대화하는 설정을 식별하려고 합니다.

1. "예측 프로파일러" 의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **최적화 및 만족도 > 만족도 최대화**를 선택합니다.

"예측 프로파일러" 의 빨간색 수직 패션은 업데이트되어 각 요인에 대한 최적 설정이 표시됩니다. 최적 설정의 예측 등급 결과는 19.925 입니다. 일반적으로 동일한 최적 값을 얻는 요인 설정 집합이 여러 개 있을 수 있습니다.

그림 4.13 요인 설정이 최적화된 예측 프로파일러



2. 모든 런의 예측 등급을 보려면 예측 계산식을 저장합니다. "반응 Rating"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **열 저장 > 예측 계산식**을 선택합니다.

예측 계산식 Rating 열이 데이터 테이블에 추가됩니다. 전체 런 중 하나 (33 행) 에 Rater 5 가 최대 등급 20 을 지정했습니다. Rater 5 가 평가하는 이 런의 예측 등급은 19.550 입니다. 그러나 33 행 실험은 최적 설정으로 실행되었습니다. "예측 프로파일러"에서 이러한 설정에

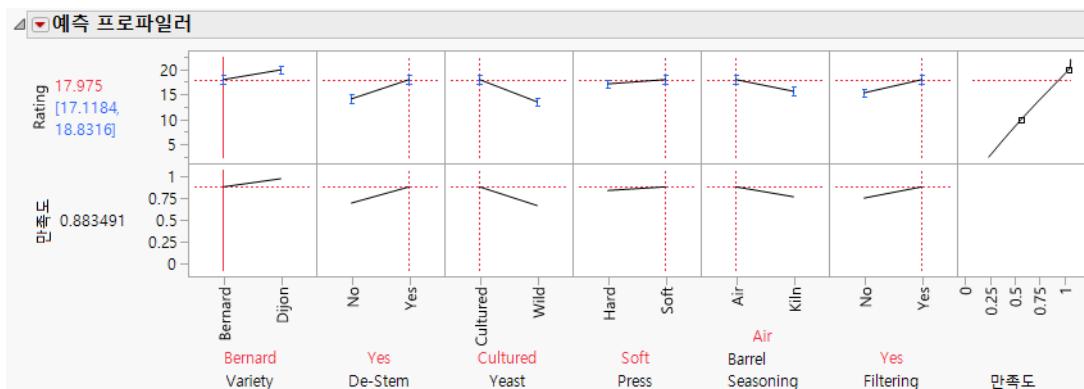
지정된 예측값 19.925는 5명의 모든 평가자가 해당 런에 대해 평가한 예측 등급의 평균을 구하여 계산됩니다.

## 요인 수준 잠금

프로파일러에서 요인을 잠금으로써 특정 조건에서의 최적화를 탐색할 수 있습니다. 설계 반응을 최대화한 결과 Dijon 품종의 포도에서 최적 등급을 얻는다는 사실을 알게 되었습니다(그림 4.13). 관리자는 Bernard 포도를 재배하는 밭에 어린 Dijon 포도나무를 새로 심는 것은 비용이 많이 발생할 수 있다는 점을 지적합니다. 따라서 Bernard 포도에 대한 최적의 공정 설정과 예측 등급을 찾아야 합니다.

1. "예측 프로파일러"의 Variety 그림에서 빨간색 수직 파선을 Bernard로 드래그합니다.
2. Ctrl 키를 누르고 Variety 그림 중 하나를 클릭합니다.
3. "요인 설정 잠금"을 선택하고 확인을 클릭합니다.
4. "예측 프로파일러"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **최적화 및 만족도 > 만족도 최대화**를 선택합니다.

**그림 4.14** Bernard 품종에 대한 최적 설정을 사용한 예측 프로파일러



모형에 교호작용 항이 없으므로 최적 설정이 변경되지 않습니다. 이 설정에서 예측 등급은 17.975입니다.

## 프로파일러에 Rater 추가

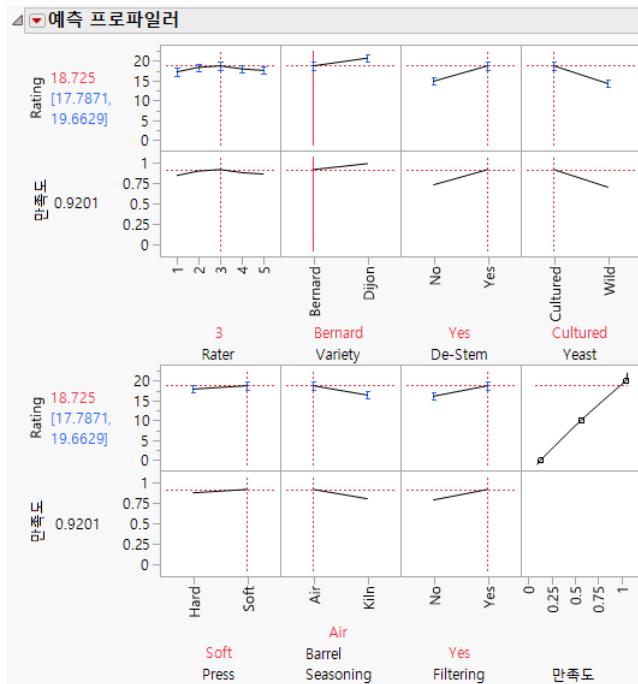
Rater 수준에 대한 프로파일러 트레이스를 보려면 다음 단계를 수행하십시오.

1. "예측 프로파일러"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **요인 격자 재설정**을 선택합니다.

**Rater**를 포함하여 모든 요인에 대한 열이 포함된 "요인 설정" 창이 나타납니다. Rater 아래의 표시 옆에 있는 상자는 선택되어 있지 않습니다. 이는 Rater가 예측 프로파일러에 표시되지 않음을 나타냅니다.

2. Rater 아래에서 표시 행의 상자를 선택합니다.
3. Rater 아래에서 요인 설정 잠금 행의 상자를 선택 취소합니다.
4. 확인을 클릭합니다.  
프로파일러가 업데이트되어 Rater 그림이 표시됩니다.
5. Rater 위의 그림 중 하나를 클릭합니다.

**그림 4.15** Rater 를 표시하는 축소 모형의 프로파일러



빨간색 수직 파선이 나타납니다. 이 선을 드래그하여 각 평가자의 트레이스를 확인할 수 있습니다. Variety 가 Bernard 에서는 계속 잠금 상태입니다. Variety 잠금을 해제하려면 Ctrl 키를 누르고 Variety 그림 중 하나를 클릭합니다. "요인 설정" 창이 나타나면 **요인 설정 잠금**을 선택 취소합니다.

## 사용자 설계 예에 대한 요약

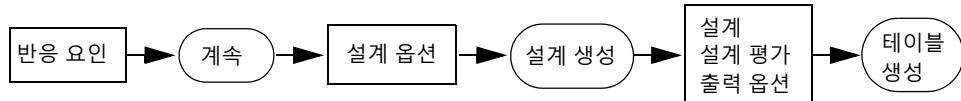
와인 시음 실험에서 런을 40개만 사용하여 9개 요인 중 Pinot Noir 포도 등급에 영향을 미치는 6개의 요인을 식별했습니다. 해당 요인에 대한 최적 설정에서 최대 20점 중 19.925의 예측 등급을 얻을 수 있음을 확인했습니다. 또한 두 품종의 포도에 모두 맞는 최적 설정도 식별했습니다.

이 섹션에서는 "사용자 설계" 창의 개요를 사용하여 설계를 구성했습니다. 다음 섹션에서는 각 개요 및 설계 단계에 대해 자세히 설명합니다.

## 사용자 설계 생성

**DOE > 사용자 설계**를 선택하여 사용자 설계를 생성합니다. 먼저 반응 및 요인을 정의합니다. 그런 다음 계속해서 설계 옵션, 생성 및 평가를 진행합니다. 설계 과정은 그림 4.16의 흐름을 따릅니다.

그림 4.16 사용자 설계 흐름



### 반응

"반응" 개요를 사용하여 하나 이상의 반응을 지정합니다.

**팁 :** "반응" 개요를 완료하면 빨간색 삼각형 메뉴에서 **반응 저장**을 선택하는 것이 좋습니다. 이 옵션을 사용하면 반응 이름, 목표, 한계 및 중요도 값을 데이터 테이블에 저장하여 나중에 DOE 플랫폼에서 다시 불러올 수 있습니다.

그림 4.17 반응 개요

반응						
반응 추가	제거	반응 수...	목표	하한	상한	중요도
Y	최대화	.	.	.	.	.

**반응 추가** "최대화", "목표값 일치", "최소화", "없음" 또는 "함수" 목표 유형을 사용하여 단일 반응을 입력합니다. "목표값 일치"를 선택하는 경우 목표값 한계를 입력해야 합니다. "최대화" 또는 "최소화"를 선택하는 경우에는 한계를 입력할 필요가 없지만 만족도 함수를 사용하려면 입력하는 것이 유용할 수 있습니다.

**JMP PRO** 함수 (JMP Pro에서만 사용할 수 있음) 설계 데이터 테이블에 FDE 열 특성을 가진 여러 개의 Y 열을 추가합니다. 이러한 열은 DOE 요인을 보조 요인으로 사용하는 함수 데이터 탐색기 플랫폼에 사용할 수 있습니다.

**제거** 선택한 반응을 제거합니다.

**반응 수** 입력한 수가 총 반응 수가 되도록 추가 반응을 입력합니다. 기본값 Y 이외의 반응을 입력한 경우 각 추가 반응의 목표는 마지막에 입력한 반응과 관련된 목표입니다. 그렇지 않은 경우에는 기본적으로 "목표값 일치"로 설정됩니다. 테이블에서 "목표" 유형을 클릭하여 목표를 변경할 수 있습니다.

" 반응 " 개요에는 다음과 같은 열이 포함되어 있습니다 .

**반응 이름** 반응의 이름입니다 . 반응을 추가하면 Y, Y2 등의 기본 이름이 지정됩니다 . 이 이름을 변경하려면 이름을 두 번 클릭한 후 원하는 이름을 입력합니다 .

**목표, 하한, 상한** " 목표 " 는 반응 최대화 , 반응 최소화 , 목표값 일치 또는 반응 목표 없음 중에서 무엇을 원하는지 JMP에 알려 줍니다 . JMP는 이러한 지정에 따라 설계 테이블의 각 반응 열에 " 반응 한계 " 열 특성을 할당합니다 . 이 정보를 사용하여 각 반응에 대한 만족도 함수를 정의합니다 . " 프로파일러 " 및 " 등고선 프로파일러 " 는 만족도 함수를 사용하여 최적 요인 설정을 찾습니다 . 자세한 내용은 Profilers의 "Profiler" 장 및 "열 특성" 부록의 "반응 한계"(730페이지)에서 확인하십시오 .

- " 최대화 " 목표는 가장 큰 값이 가장 좋음을 나타냅니다 . 자연 하한 또는 상한이 있는 경우 이를 " 하한 " 또는 " 상한 " 으로 지정할 수 있습니다 .
- " 최소화 " 목표는 가장 작은 값이 가장 좋음을 나타냅니다 . 자연 하한 또는 상한이 있는 경우 이를 " 하한 " 또는 " 상한 " 으로 지정할 수 있습니다 .
- " 목표값 일치 " 목표는 특정 목표값이 가장 좋음을 나타냅니다 . 기본 목표값은 하한과 상한의 중간으로 가정됩니다 .
- " 없음 " 목표는 최적화에 관한 목표가 없음을 나타냅니다 . 만족도 함수가 구성되지 않습니다 .

**참고 :** 목표 반응이 하한과 상한의 중간이 아닌 경우에는 설계 테이블을 생성한 후 목표값을 변경할 수 있습니다 . 데이터 테이블에서 반응 열의 " 열 정보 " 창을 열고 (**열 > 열 정보**) 원하는 목표값을 입력하십시오 .

**중요도** 반응이 여러 개인 경우 지정한 중요도 값을 사용하여 전체 만족도 함수를 계산합니다 . 이러한 값은 반응에 대한 가중치로 처리됩니다 . 반응이 하나뿐이면 기본적으로 1로 설정되므로 중요도를 지정할 필요가 없습니다 .

**JMP PRO** **감지 한계** 하한 및 상한 감지 한계는 반응을 측정할 수 있는 경계를 정의하며 이 경계를 벗어나면 반응을 측정할 수 없습니다 . 감지 한계는 열 특성으로 저장됩니다 . 이러한 한계를 사용하여 일반화 회귀 플랫폼에서 중도절단 반응을 지정할 수 있습니다 . 자세한 내용은 선형 모형 적합의 일반화 회귀 장에서 확인하십시오 .

### 반응 개요 편집

" 반응 " 개요에서 다음 사항에 유의하십시오 .

- 반응 이름을 편집하려면 해당 반응을 두 번 클릭합니다 .
- 목표를 클릭하여 변경할 수 있습니다 .
- 한계 또는 중요도 가중치를 클릭하여 변경할 수 있습니다 .
- 반응이 여러 개인 경우 중요도 가중치 값을 입력할 수 있습니다 .

## 반응 한계 열 특성

반응을 입력할 때 지정하는 "목표", "하한", "상한" 및 "중요도"를 사용하여 최적 요인 설정을 찾습니다. 각 반응에 대한 정보는 생성된 설계 데이터 테이블에 "반응 한계" 열 특성으로 저장됩니다. JMP에서는 이 정보를 사용하여 만족도 함수를 정의합니다. 만족도 함수는 최적 요인 설정을 찾기 위해 "예측 프로파일러"에서 사용됩니다. "반응 한계" 열 특성에 대한 자세한 내용과 사용 예는 "열 특성" 부록의 "반응 한계"(730 페이지)에서 확인하십시오.

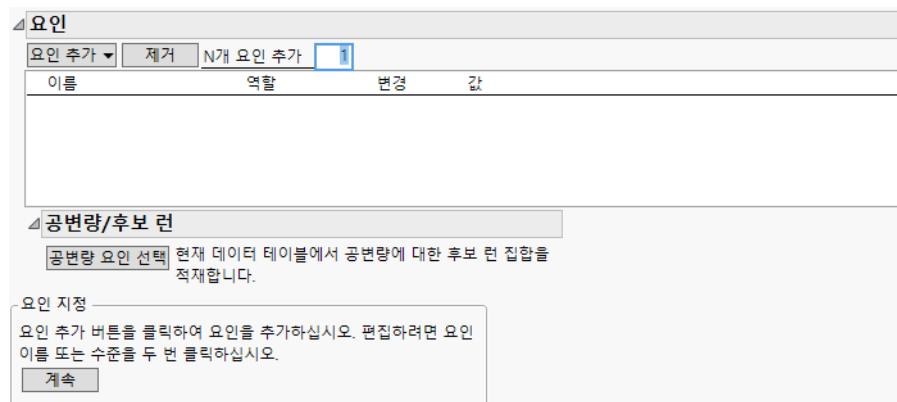
하한과 상한을 지정하지 않으면 JMP는 반응에 대해 관측된 데이터 범위를 사용하여 만족도 함수의 한계를 정의합니다. 하한과 상한을 지정하면 만족도 함수의 규격을 제어할 수 있습니다. 만족도 함수 구성에 대한 자세한 내용은 Profilers의 "Profiler" 장에서 확인하십시오.

## 요인

사용자 설계의 "요인" 개요에서 연구에 요인을 추가합니다.

**팁 :** "요인" 개요를 완료하면 빨간색 삼각형 메뉴에서 **요인 저장**을 선택하는 것이 좋습니다. 이렇게 하면 요인 이름, 역할, 변경 및 값을 데이터 테이블에 저장하여 나중에 다시 불러올 수 있습니다.

### 그림 4.18 요인 개요



**요인 추가** 요인 유형을 선택합니다. 자세한 내용은 "요인 유형"(85 페이지)에서 확인하십시오.

**제거** 선택한 요인을 제거합니다.

**참고 :** "계속" 또는 "뒤로" 버튼을 클릭한 후 모든 요인을 제거하려고 하면 연속형 요인 하나가 남습니다. 새 요인을 추가한 후 이 요인을 삭제할 수 있습니다.

**N 개 요인 추가** 여러 요인을 추가합니다. 추가할 요인 수를 입력하고 **요인 추가**를 클릭한 후 요인 유형을 선택합니다. 유형이 다른 여러 요인을 추가하려면 **N 개 요인 추가**를 반복합니다.

## 요인 개요

" 요인 " 개요에는 다음과 같은 열이 포함되어 있습니다.

**이름** 요인의 이름입니다. 요인을 추가하면 X1, X2 등의 기본 이름이 지정됩니다. 이 이름을 변경하려면 이름을 두 번 클릭한 후 원하는 이름을 입력합니다.

**역할** 요인의 설계 역할을 지정합니다. 요인의 "설계 역할" 열 특성은 데이터 테이블에 저장됩니다. 이 특성은 요인 유형이 적절하게 모델링되도록 합니다.

**변경** 요인 수준의 변경 정도를 "쉬움", "어려움" 또는 "매우 어려움"으로 나타냅니다. 기본 값 "쉬움"을 클릭하여 변경할 수 있습니다. 요인 변경을 "어려움" 또는 "매우 어려움"으로 지정하면 설계에서 랜덤화할 때 이 제한이 반영됩니다. "요인" 목록에 "어려움"으로 지정된 요인이 없으면 요인을 "매우 어려움"으로 지정할 수 없습니다. "요인 변경" 열 특성은 데이터 테이블에 저장됩니다. 자세한 내용은 "[변경 및 랜덤 블록](#)"(87 페이지)에서 확인하십시오.

**값** 요인에 대한 실험 설정입니다. 값을 삽입하려면 기본값을 클릭한 후 원하는 값을 입력합니다.

## 요인 개요 편집

" 요인 " 개요에서 다음 사항에 유의하십시오.

- 요인 이름을 편집하려면 해당 요인 이름을 두 번 클릭합니다.
- 범주형 요인은 요인 이름 왼쪽에 아래쪽 화살표가 있습니다. 이 화살표를 클릭하여 수준을 추가합니다.
- 요인 수준을 제거하려면 값을 클릭하고 **삭제**를 클릭한 후 텍스트 상자 바깥쪽을 클릭합니다.
- "변경" 아래의 항목을 수정하려면 변경 열의 값을 클릭하고 적절한 항목을 선택합니다.
- 값을 편집하려면 값 열의 값을 클릭합니다.

## 요인 유형

요인 유형을 선택하려면 "사용자 설계"에서 **요인 추가**를 클릭합니다.

**참고 :** 각 요인의 역할을 포함하는 "설계 역할" 열 특성이 생성된 설계 테이블의 해당 요인 열에 추가됩니다. "설계 역할" 열 특성은 요인이 올바르게 모델링되도록 합니다.

**연속형** 숫자 데이터 유형만 가능합니다. 연속형 요인은 개념적으로 공정 및 측정 시스템의 제한을 고려하여 사용자가 제공하는 하한과 상한 사이의 어떤 값이든 설정할 수 있는 요인입니다.

**이산 수치형** 숫자 데이터 유형만 가능합니다. 이산 수치형 요인은 이산형 숫자 값만 가질 수 있습니다. 이러한 값에는 무시적 순서가 있습니다.

수준 수가  $k$  개 ( $k > 2$ ) 인 이산 수치형 요인의 기본값은 정수  $1, 2, \dots, k$  입니다.  $k = 2$  수준이 있는 이산 수치형 요인의 기본값은 -1과 1입니다. 기본값을 실험에 사용할 설정으로 바꿉니다.

**참고 :** 이산 수치형 요인의 일부 수준만 설계에 나타납니다. 나타나는 수준은 "모형" 개요에서 사용자가 지정한 내용에 따라 결정됩니다. 설계에 모든 수준을 나타내야 하는 경우 선별 설계 플랫폼을 사용하는 것이 좋습니다.

가정된 모형에서  $k$  개의 수준이 있는 이산 수치형 요인에 대한 효과는 해당 효과에 다향식 항을 포함합니다 (최대  $k-1$  차).  $k$  가 6 보다 큰 경우 최대 5 제곱 수준이 포함됩니다. 다향식 효과 (2 제곱 이상) 의 추정 가능성은 If Possible 로 설정됩니다. 이렇게 하면 알고리즘이 런 크기에 따라 배수 수준을 사용할 수 있습니다. 다향식 항이 포함되지 않으면 주효과만 추정하는 설계가 생성됩니다. 가정된 모형에서 이산 수치형 요인을 처리하는 방법에 대한 자세한 내용은 "[모형](#)"(93 페이지)에서 확인하십시오.

"[모형 적합](#)"에서는 이산 수치형 요인을 연속형 예측 변수로 처리합니다. 설계 테이블에 저장된 "모형" 스크립트는 2 보다 큰 차수의 다향식 항을 포함하지 않습니다.

**범주형** 숫자 또는 문자 데이터 유형에 해당됩니다. 결과 데이터 테이블의 데이터 유형은 범주형입니다. 수준의 값 순서는 왼쪽에서 오른쪽으로 입력되는 값의 순서입니다. 이 순서는 설계 데이터 테이블이 생성된 후 "값 순서" 열 특성에 저장됩니다.

**블록화** 숫자 또는 문자 데이터 유형에 해당됩니다. 블록 요인은 모형을 주효과로만 입력할 수 있는 범주형 요인의 특수 유형입니다. 블록 요인을 정의할 때 블록당 런 수를 지정합니다. "블록당 런 수" 열 특성은 설계 테이블에 저장됩니다. 기본 런 크기는 항상 블록이 2 개 이상 있다고 가정합니다. 블록당 런 수의 정수 배수가 아닌 런 크기를 지정하면 JMP에서 가능한 최대 범위로 설계 균형을 맞추려고 합니다. 설계 균형을 맞출 때 JMP는 블록당 런 수가 2 회 이상이 되도록 합니다.

**공변량** 숫자 또는 문자 데이터 유형에 해당됩니다. 공변량 요인의 값은 실험 단위에 대한 측정 값으로 실험 전에 공지됩니다. 공변량 값은 최적 기준과 관련하여 결과 설계의 최적성을 보장하기 위해 선택됩니다. 자세한 내용은 "[변경 및 랜덤 블록](#)"(87 페이지) 및 "[변경하기 힘든 수준의 공변량](#)"(117 페이지)에서 확인하십시오.

JMP는 사용 가능한 실험 단위에 대해 측정된 공변량이 포함된 공개된 데이터 테이블에서 공변량 요인과 값을 가져옵니다. 이 데이터 테이블을 현재 데이터 테이블로 지정합니다. **요인 추가**를 사용하거나 "공변량 / 후보 런" 개요에서 **공변량 요인 선택**을 클릭하여 공변량을 추가합니다. 공변량을 추가할 때는 현재 데이터 테이블의 열 목록이 열리면 이 목록에서 공변량이 포함된 열을 선택하면 됩니다. 공변량 요인을 추가하면 후보 행이 포함된 테이블이 "공변량 후보 런" 개요에 로드됩니다. 테이블이 로드되면 행을 선택하여 설계에 강제 적용할 수 있습니다. 선택한 공변량 행을 설계에 강제 적용하려면 "설계 생성" 옵션인 **선택한 모든 공변량 행을 설계에 포함**을 사용합니다.

설계에 포함된 런 수가 공변량 행 수보다 적으면 설계 테이블에 공변량 행 인덱스 열이 포함됩니다. 이 열은 공변량 테이블에서 각 실험 런에 해당하는 행을 나타냅니다.

경우에 따라 더 큰 후보 설정 집합에서 소수의 설계점 집합을 선택할 수도 있습니다. 예를 들어 하나의 큰 단위에 대해 측정 열 (요인)이 여러 개 있을 수 있습니다. 각 단위에 대한 측정 값을 후보 런으로 처리하려고 합니다. 이러한 후보 런에서 반응을 측정하는 데 사용할 작지만 최적의 모음을 선택할 수 있습니다. 이 경우 모든 후보 런이 포함된 데이터 테이블을 활성 테이블로 지정하고 "요인 추가" > "공변량"을 선택한 다음, 모든 측정 열을 공변량으로 입

력합니다. 그리고 원하는 런 크기를 지정합니다. 사용자 설계 플랫폼에서 최적의 설계 설정 모음을 식별합니다.

**참고 :** 공변량이 있을 경우 "설계 생성" 개요에 두 개의 옵션이 포함됩니다. 첫 번째 옵션을 사용하면 공변량 테이블에서 선택한 행을 설계에 포함시킬 수 있습니다. 두 번째 옵션을 사용하면 설계에서 공변량 행이 반복되도록 할 수 있습니다.

**혼합** 혼합 내 성분을 나타내는 연속형 요인입니다. 혼합 요인 값의 합은 상수여야 합니다. 기본적으로 모든 혼합 요인 값의 합은 1입니다. 혼합 성분의 합을 다른 양수 값으로 설정하려면 빨간색 삼각형 메뉴에서 **고급 옵션 > 혼합물 합**을 선택합니다. "혼합" 열 특성은 데이터 테이블에 저장됩니다.

**상수** 숫자 또는 문자 데이터 유형에 해당됩니다. 상수 요인은 실험 중에 값이 고정되는 요인입니다. 상수 요인은 "모형" 개요 또는 데이터 테이블에 저장된 "모형" 스크립트에 포함되지 않습니다.

**제어되지 않음** 숫자 또는 문자 데이터 유형에 해당됩니다. 제어되지 않은 요인은 생성 중에 값을 제어할 수 없지만 모형에 포함하려는 요인입니다. 각 실험 런에 대해 요인의 값을 기록할 수 있다고 가정합니다.

연속형 모델링 유형이 포함된 빈 열이 설계 테이블에 생성됩니다. 필요한 경우 "열 정보" 창에서 열의 "데이터 유형"과 "모델링 유형"을 변경할 수 있습니다. 이 열에 데이터를 입력합니다. 제어되지 않은 요인은 "모형" 개요 및 데이터 테이블에 저장된 "모형" 스크립트에 포함됩니다.

## 변경 및 랜덤 블록

런 간 요인 변경의 상대적 난이도를 지정하는 기능은 산업 실험에 유용합니다. 변경하기 힘든 요인을 일부 설정에서 고정시키고 런을 여러 번 수행하면 편리합니다. "변경" 값을 "어려움"으로 설정하면 분할구 설계가 생성됩니다. "변경" 값을 "매우 어려움"으로 설정하면 분할-분할구 설계 또는 이원 분할구 설계가 생성됩니다.

연속형, 이산 수치형, 범주형 및 혼합 요인의 "변경"을 "어려움" 또는 "매우 어려움"으로 설정할 수 있습니다. 요인을 "매우 어려움"으로 설정하려면 목록에 "어려움"으로 설정된 다른 요인이 포함되어 있어야 합니다.

공변량 요인의 "변경"을 "어려움"으로 설정할 수 있습니다. 이 경우 다른 모든 공변량도 "어려움"으로 설정되고 나머지 요인은 "쉬움"으로 설정됩니다. 이 알고리즘을 사용하려면 행 교환과 좌표 교환의 조합이 필요합니다. 따라서 적당한 크기의 설계도 생성하는 데 시간이 걸릴 수 있습니다.

변경하기 힘든 요인 또는 매우 변경하기 힘든 요인이 포함된 설계의 경우, 사용자 설계는 지정된 최적 기준을 고려하여 최적의 설계를 찾습니다. 자세한 내용은 ["최적 기준"](#)(118페이지)에서 확인하십시오. 분할구 설계를 생성하는 데 사용되는 방법론에 대한 자세한 내용은 Jones and Goos(2007)에서 확인하십시오. 변경하기 힘든 공변량이 포함된 설계에 대한 자세한 내용은 Jones and Goos(2015)에서 확인하십시오.

그림 4.19에서는 Design Experiment 폴더에 있는 Cheese Factors.jmp 샘플 데이터 테이블의 요인을 사용한 분할-분할구 시나리오를 보여 줍니다.

**그림 4.19** 분할 - 분할구 설계를 위한 요인 및 설계 생성 개요

이름	역할	변경	값
storage 1	연속형	매우 어려움	-1
storage 2	범주형	매우 어려움	L1
curds 1	연속형	어려움	-1
curds 2	연속형	어려움	-1
curds 3	범주형	어려움	L1
curds 4	연속형	어려움	-1
curds 5	범주형	어려움	L1
cheese 1	연속형	쉬움	-1
cheese 2	연속형	쉬움	-1

하나 이상의 요인에 대해 "변경" 을 "어려움" 으로 할당하지만 "변경" 이 "매우 어려움" 으로 할당된 요인이 없는 경우 주구라는 범주형 요인이 설계에 추가됩니다. 이 경우 다음과 같은 분할구 설계가 생성됩니다.

- 주구의 각 수준은 변경하기 힘든 요인의 상수 설정 블록에 해당합니다.
- 설계 테이블의 "모형" 스크립트는 주구 요인에 "임의 효과" 속성을 적용합니다.
- "랜덤 블록" 값이 지정된 "설계 역할" 열 특성이 주구 요인에 할당됩니다.

"변경" 을 "어려움" 과 "매우 어려움" 둘 다로 지정하면 하위구와 주구라는 범주형 요인이 설계에 추가됩니다. 이 경우 다음과 같은 분할-분할구 설계가 생성됩니다.

- 하위구의 각 수준은 변경하기 힘든 요인의 상수 설정 블록에 해당합니다.
- 주구의 각 수준은 매우 변경하기 힘든 요인의 상수 설정 블록에 해당합니다.
- 설계 테이블의 "모형" 스크립트는 주구 및 하위구 효과에 "임의 효과" 속성을 적용합니다.
- 변경하기 힘든 요인의 수준은 기본적으로 매우 변경하기 힘든 요인의 수준 내에 내포되어 있다고 가정합니다.

- "랜덤 블록" 값이 지정된 "설계 역할" 열 특성이 설계 테이블의 주구 요인과 하위구 요인 둘 다에 할당됩니다.

이원 분할구 설계를 구성하려면 "설계 생성" 아래의 **변경하기 힘든 요인은 매우 변경하기 힘든 요인과 독립적으로 변화할 수 있습니다.** 옵션을 선택합니다. 이 옵션은 변경하기 힘든 요인의 수준을 매우 변경하기 힘든 요인의 수준과 교차시킵니다. 자세한 내용은 "[이원 분할구 설계](#)"(114페이지)에서 확인하십시오.

"주구 수" 및 "하위구 수" 텍스트 상자를 사용하여 주구 또는 하위구 수의 값을 지정합니다. 이 텍스트 상자는 제안된 주구 및 하위구 수로 초기화됩니다. 이러한 값을 얻는 방법에 대한 자세한 내용은 "[주구 및 하위구 수](#)"(117페이지)에서 확인하십시오.

랜덤 블록 분할구, 분할-분할구 및 이원 분할구 설계를 설명하는 자세한 내용과 시나리오는 "[랜덤화 제한이 있는 설계](#)"(109페이지)에서 확인하십시오. 변경하기 힘든 공변량이 포함된 설계에 대한 자세한 내용은 "[변경하기 힘든 수준의 공변량](#)"(117페이지)에서 확인하십시오.

## 요인 열 특성

각 요인에 대한 다양한 열 특성이 데이터 테이블에 저장됩니다. 이러한 열 특성 및 관련 예에 대한 자세한 내용은 [부록 A, "열 특성"](#)에서 확인할 수 있습니다.

**설계 역할** 각 요인에 "설계 역할" 열 특성이 지정됩니다. 요인을 정의할 때 지정하는 역할에 따라 "설계 역할" 열 특성의 값이 결정됩니다. "설계 생성"에서 랜덤 블록을 추가하면 해당 요인에 "랜덤 블록" 값이 할당됩니다. "설계 역할" 특성은 실험 데이터를 모델링할 때 요인이 어떤 용도로 사용되는지를 반영합니다. "설계 역할" 값은 설계 확대 플랫폼에서 사용됩니다. 자세한 내용은 "[열 특성](#)" 부록의 "[설계 역할](#)"(737페이지)에서 확인하십시오.

**요인 변경** 각 요인에 "요인 변경" 열 특성이 할당됩니다. "변경"에 지정하는 값에 따라 "요인 변경" 열 특성의 값이 결정됩니다. "요인 변경" 특성은 실험 데이터를 모델링할 때 요인이 사용되는 방식을 반영합니다. "요인 변경" 값은 설계 확대 및 설계 평가 플랫폼에서 사용됩니다. 자세한 내용은 "[열 특성](#)" 부록의 "[요인 변경](#)"(752페이지)에서 확인하십시오.

**코딩** "역할"이 "연속형", "이산 수치형", 연속형" 공변량" 또는 "제어되지 않음"인 경우 요인의 "코딩" 열 특성이 저장됩니다. 이 특성은 하한값과 상한값이 각각 -1과 +1에 해당하도록 요인 값을 변환합니다. 자세한 내용은 "[열 특성](#)" 부록의 "[코딩](#)"(739페이지)에서 확인하십시오.

**값 순서** "역할"이 "범주형" 또는 "블록화"인 경우 요인의 "값 순서" 열 특성이 저장됩니다. 이 특성은 요인 수준이 나타나는 순서를 결정합니다. 자세한 내용은 "[열 특성](#)" 부록의 "[값 순서](#)"(755페이지)에서 확인하십시오.

**혼합** "역할"이 "혼합"인 경우 요인의 "혼합" 열 특성이 저장됩니다. 이 특성은 요인 및 혼합 물 합의 한계를 나타냅니다. 또한 혼합 요인에 대한 코딩을 선택할 수도 있습니다. 자세한 내용은 "[열 특성](#)" 부록의 "[혼합](#)"(747페이지)에서 확인하십시오.

**블록당 런 수** 블록 요인에 대해 각 블록에서 허용되는 최대 런 수를 나타냅니다. "요인" 개요에 "블록화" 요인이 지정되면 해당 요인에 대해 "블록당 런 수" 열 특성이 저장됩니다. 자세한 내용은 "[열 특성](#)" 부록의 "[블록당 런 수](#)"(761페이지)에서 확인하십시오.

## 요인 제약 조건 정의

"요인 제약 조건 정의"를 사용하여 설계 공간을 제한할 수 있습니다. 제약 조건을 불러오거나 스크립트의 일부로 포함하지 않은 경우 **없음** 옵션이 선택됩니다. 제약 조건을 지정하려면 다른 옵션 중 하나를 선택합니다.

**선형 제약 조건 지정** 요인의 선형 조합에 대한 부등식 제약 조건을 지정합니다. "연속형" 또는 "혼합" 역할이 설정된 요인에만 사용할 수 있습니다. 자세한 내용은 [선형 제약 조건 지정](#)에서 확인하십시오.

---

**참고 :** 선형 제약 조건을 포함하는 설계의 스크립트를 저장하면 해당 스크립트에 선형 제약 조건이 보다 작거나 같음 부등식 ( $\leq$ )으로 표현됩니다.

**허용되지 않는 조합 필터 사용** 개별 요인의 값 제한을 기반으로 제약 조건 집합을 정의합니다. AND 제약 조건과 OR 제약 조건을 모두 정의할 수 있습니다. 자세한 내용은 [허용되지 않는 조합 필터 사용](#)에서 확인하십시오.

**허용되지 않는 조합 스크립트 사용** 허용되지 않는 조합 및 기타 제약 조건을 스크립트 편집기 상자에 부울 JSL 표현식으로 정의합니다. 자세한 내용은 [허용되지 않는 조합 스크립트 사용](#)에서 확인하십시오.

---

**참고 :** 요인 제약 조건을 포함하는 설계를 분석할 때는 모형 프로파일러가 제약 조건을 적용합니다.

## 선형 제약 조건 지정

설계 공간에서 연속형 요인을 독립적으로 변경할 수 있는 경우 선형 부등식 제약 조건을 지정할 수 있습니다. 선형 부등식은 허용되는 요인 수준 설정을 정의합니다.

**추가**를 클릭하여 하나 이상의 선형 부등식 제약 조건을 입력합니다.

**추가** 설계의 모든 연속형 요인을 포함하는 선형 표현식 템플릿을 추가합니다. 요인에 대한 계수 값을 입력한 후 선형 제약 조건을 반영하는 부등식 방향을 선택합니다. 부등식의 오른쪽 상자에 제약 값을 지정합니다. 제약 조건을 더 추가하려면 **추가**를 다시 클릭합니다.

---

**참고 :** "구 반지름"을 지정하여 설계 영역을 이미 제한한 경우에는 "추가" 옵션이 비활성화됩니다.

**마지막 제약 조건 제거** 마지막 제약 조건을 제거합니다.

**제약 조건 검사** 제약 조건의 일관성을 확인합니다. 이 옵션은 중복 제약 조건을 제거하고 실행 가능성 검사를 수행합니다. 문제가 있으면 JMP 경고가 나타납니다. 제약 조건이 요인의 한계와 동등한 경우 "요인" 개요의 한계가 업데이트되었음을 알리는 JMP 경고가 나타납니다.

## 허용되지 않는 조합 필터 사용

이 옵션은 허용되지 않는 조합을 쉽게 지정하기 위해 데이터 필터를 조정하여 사용합니다. 자세한 내용은 JMP 사용의 "JMP 보고서" 장에서 확인하십시오.

"필터 요인 추가" 목록에서 요인을 선택하고 **추가**를 클릭합니다. 그런 다음 슬라이더를 사용하거나(연속형 요인의 경우) 수준을 선택하여(범주형 요인의 경우) 허용되지 않는 조합을 지정합니다.

"필터 요인 추가" 메뉴의 빨간색 삼각형 옵션은 많은 플랫폼 시작 창의 "열 선택" 패널에 있는 옵션과 동일합니다. 자세한 내용은 JMP 사용의 "시작하기" 장에서 확인하십시오.

"추가"를 클릭하면 "허용되지 않는 조합" 제어판에 선택한 요인이 표시되고 추가 제어 옵션이 제공됩니다. 요인은 모델링 유형에 따라 다음과 같이 나타납니다.

**연속형 요인** 연속형 요인의 경우 요인 설정 범위를 따라 양단 슬라이더가 나타납니다. 슬라이더 끝을 드래그하거나 슬라이더 아래의 텍스트 값을 클릭하여 끝점을 설정함으로써 허용되지 않은 설정을 지정할 수 있습니다. 슬라이더에서 파란색 강조 표시는 허용되지 않는 값을 나타냅니다.

**범주형 요인** 범주형 요인의 경우 가능한 수준은 라벨이 지정된 블록으로 표시되거나, 수준 수가 많으면 목록 항목으로 표시됩니다. 허용하지 않을 수준을 선택합니다. 여러 수준을 선택하려면 Ctrl 키를 누른 채로 선택합니다. 해당 블록 또는 목록 항목은 강조 표시되어 허용되지 않는 수준임을 나타냅니다. "허용되지 않는 조합" 패널에 범주형 요인을 추가하면 해당 요인의 수준 수가 요인 이름 뒤의 괄호 안에 표시됩니다.

## 허용되지 않는 조합 옵션

제어판에는 다음과 같은 컨트롤이 있습니다.

**지우기** 지정한 허용되지 않는 요인 수준 설정을 모두 지웁니다. 선택한 요인은 지워지지 않습니다.

**다시 시작** 선택한 모든 요인을 제거하고 초기 요인 목록으로 돌아갑니다.

**AND** "필터 요인 추가" 목록을 엽니다. 선택한 요인은 AND 그룹이 됩니다. AND 그룹 내에 지정된 요인 수준 조합은 허용되지 않습니다.

나중에 AND 그룹에 요인을 추가하려면 그룹 개요를 클릭하여 강조 표시된 직사각형을 표시합니다. 그런 다음 "AND"를 선택하고 요인을 추가합니다.

단일 요인을 제거하려면 빨간색 삼각형 메뉴에서 **삭제**를 선택합니다.

**OR** "필터 요인 추가" 목록을 엽니다. 선택한 요인은 별도의 AND 그룹이 됩니다. OR로 구분된 AND 그룹의 경우 하나 이상의 AND 그룹에 지정된 조합은 허용되지 않습니다.

## 요인에 대한 빨간색 삼각형 메뉴 옵션

한 요인이 여러 OR 그룹에 나타날 수 있습니다. 특정 OR 그룹에 요인이 나타나는 경우 이를 해당 요인의 인스턴스라고 합니다.

**삭제** "허용되지 않는 조합" 패널에서 선택한 요인 인스턴스를 제거합니다.

**선택 해제** 요인 인스턴스에 대한 선택을 취소합니다.

**선택 반전** 요인 인스턴스에 대해 선택된 값을 선택 취소하고 이전에 선택되지 않은 값을 선택합니다.

**표시 옵션** 범주형 요인에만 사용할 수 있습니다. 표시 모양을 변경합니다. 각 수준을 블록, 목록 또는 단일 범주로 표시하거나 각 값 옆에 체크박스를 추가하는 옵션을 사용할 수 있습니다.

**찾기** 범주형 요인에만 사용할 수 있습니다. 요인 이름 아래에 요인 수준에 대한 검색 문자열을 입력할 수 있는 텍스트 상자를 제공합니다. Enter 키를 누르거나 텍스트 상자 바깥쪽을 클릭하면 검색이 수행됩니다. **찾기**가 선택되면 찾기 텍스트 상자 드롭다운 메뉴에 찾기 옵션이 나타납니다.

### 허용되지 않는 조합 스크립트 사용

이 옵션을 사용하면 JSL 스크립트를 사용하여 요인 수준 조합을 허용하지 않도록 설정할 수 있습니다. 이 옵션은 연속형 요인 또는 연속형과 범주형이 혼합된 요인과 함께 사용할 수 있습니다.

이 옵션은 허용하지 않을 조합을 식별하는 스크립트를 삽입할 수 있는 스크립트 창을 엽니다. 스크립트는 부울 표현식으로 평가되어야 합니다. 표현식이 true로 평가되면 지정된 조합이 허용되지 않습니다.

범주형 요인에 대한 표현식을 작성할 때는 수준의 순서 값 또는 수준 이름을 사용합니다. "요인" 개요에서 요인 수준이 높음, 중간, 낮음으로 순서대로 지정된 경우 관련 서수 값은 1, 2, 3입니다. 예를 들어 두 개의 연속형 요인 ( $X_1, X_2$ ) 과 세 가지 수준 ( $L_1, L_2, L_3$ ) 이 순서대로 설정된 범주형 요인 하나가 있다고 가정해 보겠습니다. 다음 표현식이 true인 경우 수준을 허용하지 않으려고 합니다.

$$e^{X_1} + 2X_2 < 0 \text{ 및 } X_3 = L_2$$

$(\text{Exp}(X_1) + 2*X_2 < 0) \& (X_3 == 2)$  표현식을 스크립트 창에 입력합니다.

### 그림 4.20 스크립트 편집기의 표현식

허용되지 않는 조합 표현식

범주형 요인의 경우 요인의 순서 값을 사용하여 수준을 지정하십시오.

```
1 Exp( X1 ) + 2 * X2 < 0 & X3 == 2
```

(그림에서 불필요한 팔호는 파싱을 통해 제거됨) 함수를 부울 표현식의 일부로 입력할 수 있습니다.  $(\text{Exp}(X_1) + 2*X_2 < 0) \& (X_3 == "L2")$  표현식도 유효합니다.

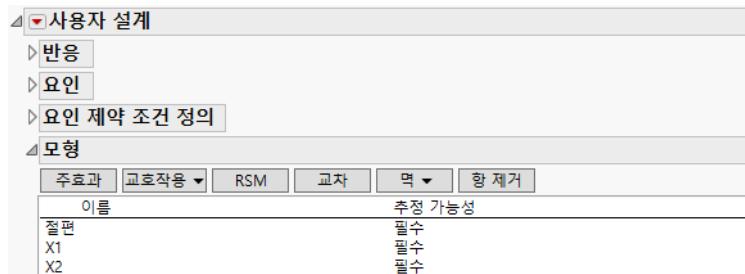
### 모형

"모형" 개요에서 가정된 모형, 즉 추정할 모든 효과를 포함하는 모형을 지정합니다. 지정하는 각 효과에 대해 추정 가능성을 지정할 수 있습니다. 추정 가능성 값은 해당 효과를 반드시 추정해야 하는지 여부(필수) 또는 가능한 경우 해당 효과를 추정할지 여부(If Possible)를 나타냅니다.

초기 "모형" 개요에는 모든 요인의 주효과가 포함됩니다. 수준이 3개 이상인 이산 수치형 요인을 입력한 경우 다항식 항도 초기 모형에 포함됩니다. 2차 이상 항의 추정 가능성은 If Possible로 설정됩니다. 이러한 항을 추정할 수 있게 하려면 추정 가능성을 필수로 변경합니다.

**참고 :** 이산 수치형 다항식 항의 추정 가능성이 항상 "필수"로 설정되게 할 수 있습니다. 파일 > 환경 설정 > 플랫폼 > DOE 를 선택합니다. 그런 다음 "이산 수치형 요인의 역 설정 필수"를 선택하십시오.

**그림 4.21** 모형 개요



설계 테이블을 구성할 때 JMP에서 "모형" 스크립트를 데이터 테이블에 저장합니다. 이산 수치형 요인을 제외하고 "모형" 개요에 표시된 모든 효과가 "모형" 스크립트에 포함됩니다. 이산 수치형 요인의 경우 주효과와 2차 항만 "모형" 스크립트에 포함됩니다.

"모형" 개요에는 다음과 같은 버튼과 필드가 포함되어 있습니다.

**주효과** 모형의 모든 요인에 대한 주효과와 이산 수치형 요인에 대한 다항식 항을 추가합니다.

**교호작용** 교호작용 효과를 추가합니다. "요인" 개요에서 요인을 선택하지 않은 경우 "2 차", "3 차", "4 차" 또는 "5 차"를 선택하여 적절한 모든 교호작용을 해당 차수까지 추가합니다.

"요인" 개요에서 요인 이름을 선택하고 "교호작용"을 선택한 후 적절한 차수를 지정하여 특정 요인에 대해 지정된 차수까지 교호작용을 추가합니다. 비혼합 요인과 혼합 요인 간의 교호작용 및 블록 요인과 상수 요인 간의 교호작용은 추가되지 않습니다.

**RSM** 모든 연속형 요인에 대해 교호작용 및 2 차 항을 최대 2 차까지 추가합니다(반응 표면 모형 항). 범주형 요인은 RSM 항에 포함되지 않습니다. 모든 혼합 요인과 상호 작용하는 비혼합 요인의 주효과는 제거됩니다.

**교차** 특정 교호작용 항을 추가합니다. "요인" 개요에서 요인 이름을 선택하고 "모형" 개요에서 효과 이름을 선택합니다. "교차"를 클릭하면 교차된 항이 "모형" 개요에 추가됩니다.

**멱** 다항식 항을 추가합니다. "요인" 개요에서 요인 이름을 선택하지 않으면 모든 연속형 요인에 대해 다항식 항을 추가합니다. "요인" 개요에서 요인 이름을 선택하면 해당 요인에 대해

서만 다항식 항을 추가합니다. "2 차", "3 차", "4 차" 또는 "5 차"를 선택하면 해당 차수의 다항식 항이 추가됩니다.

**Scheffe 입방** (혼합 요인에 사용 가능) 모든 혼합 요인에 대해 Scheffe 입방 항을 추가합니다. 이 항은 3 차 다항식 항을 포함하는 혼합 모형을 지정하는 데 사용됩니다.

**항 제거** 선택한 효과를 제거합니다.

**이름** 효과의 이름입니다.

**추정 가능성** 효과에 대한 추정 필요성을 지정한 정보입니다.

- "추정 가능성"이 "필수"로 설정된 경우 알고리즘은 해당 효과를 추정할 수 있도록 합니다.
- "추정 가능성"이 "If Possible"로 설정된 경우 알고리즘은 지정된 런 수에 따라 해당 효과를 추정할 수 있도록 시도합니다.

기본적으로 이산 수치형 요인의 다항식 항을 제외한 모든 효과가 "필수"로 지정됩니다. 효과의 추정 가능성 값을 클릭하여 변경할 수 있습니다.

### If Possible 효과의 베이지안 D- 최적 및 추정

베이지안 D-최적 설계 방법은 모든 필수 항에 대한 정밀한 추정값을 구하고 If Possible 항에 대한 일괄 감지 기능 및 일부 추정 가능성을 제공합니다. 자세한 내용은 "사용자 설계의 예" 장의 "[반응 표면 실험](#)"(144페이지) 및 "[베이지안 D-최적](#)"(119페이지)에서 확인하십시오. 주효과 모형 항이 If Possible로 설정되면 설계 진단 계산에 베이지안 정보 행렬이 사용됩니다.

## 별칭 항

"별칭 항" 개요에서는 가정된 모형에 없지만 모형 항의 추정값을 편향시킬 수 있는 잠재적 활성 효과를 추가합니다. 가정된 모형에 포함되지 않은 효과가 활성화되었을 수 있습니다. 설계를 생성하면 "설계 평가" 아래에 "별칭 행렬" 개요가 나타납니다. 별칭 행렬 항목은 "별칭 항" 개요에서 지정한 효과에 의해 모형 모수에 전달되는 편향 정도를 나타냅니다. 자세한 내용은 "기술 상세 정보" 부록의 "[별칭 행렬](#)"(767페이지)에서 확인하십시오.

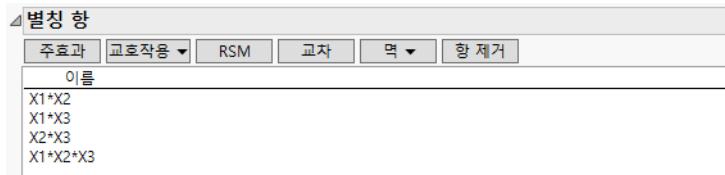
기본적으로 "별칭 항" 개요에는 "모형" 개요에 없는 모든 이원 교호작용 효과가 포함됩니다(블록 요인을 포함하는 항은 제외). 버튼을 사용하여 항을 추가합니다. 이러한 버튼을 사용하여 "별칭 항" 테이블에 효과를 추가하는 방법에 대한 설명은 "[모형](#)"(93페이지)에서 확인하십시오.

---

**참고 :** 교호작용 항의 경우 선택한 차수의 교호작용만 추가됩니다. 선택한 차수 및 모든 낮은 차수의 교호작용이 모형에 추가되는 "모형" 개요와 다릅니다.

예를 들어 3개의 연속형 요인이 있는 설계를 지정한다고 가정해 보겠습니다. "모형" 개요에서 지정하는 가정된 모형에는 3개의 주효과만 포함됩니다. 이 경우 런을 6회만 수행할 수 있습니다. 주효과의 추정값이 활성 이원 교호작용 및 삼원 교호작용에 의해 어느 정도 편향될 수 있는지 확인하려고 합니다.

"별칭 항" 테이블에는 기본적으로 모든 이원 교호작용이 포함됩니다. **교호작용 > 3차**를 선택하여 삼원 교호작용을 추가할 수 있습니다.

**그림 4.22** 별칭 항 개요

"설계 생성" 개요에서 6회 런을 지정하고 **설계 생성**을 클릭하면 "설계 평가" 개요가 나타납니다.  
"설계 평가" 개요와 "별칭 행렬" 개요를 차례로 엽니다.

**그림 4.23** 별칭 행렬

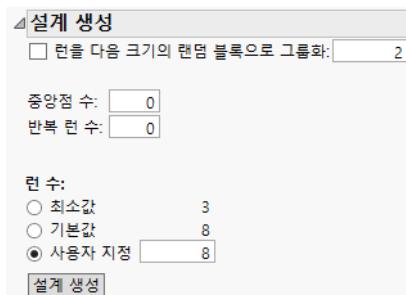
효과	X1*X2	X1*X3	X2*X3	X1*X2*X3
절편	0	0	0	1
X1	0	0	1	0
X2	0	1	0	0
X3	1	0	0	0

별칭 행렬은 각 주효과가 두 교호작용과 부분적으로 별칭 관계가 있음을 나타냅니다. 자세한 내용은 "설계 평가" 장의 "[별칭 행렬](#)"(430페이지) 및 "기술 상세 정보" 부록의 "[별칭 행렬](#)"(767페이지)에서 확인하십시오.

## 설계 생성

"설계 생성" 개요에서는 설계의 블록화, 중앙점, 반복 및 런 수와 관련된 선택을 할 수 있습니다. 일반적으로 입력 영역은 다음과 같은 두 부분으로 되어 있습니다.

- 설계 구조 옵션
- 런 수 옵션

**그림 4.24** 설계 생성 개요

### 설계 구조 옵션

**런을 다음 크기의 랜덤 블록으로 그룹화** (블록 요인이 지정된 경우 사용할 수 없음) 랜덤 블록 설계를 구성하려면 각 블록에 포함할 런 수를 입력합니다. 표본 크기를 지정하면 랜덤 블록이라는 요인이 생성됩니다. 요인 수준은 지정된 런 수를 고려하여 입력한 블록 크기와 일치하

는 크기의 블록을 정의합니다. 런 수가 블록 크기의 정수 배수인 경우 블록 크기는 지정된 값과 동일합니다.

**주구 수** 변경하기 힘든 요인 또는 매우 변경하기 힘든 요인을 지정할 때 나타납니다. 주구 요인은 매우 변경하기 힘든 요인(분할-분할구 설계) 아니면 변경하기 힘든 요인(분할구 설계)에 해당합니다. JMP에서는 모형의 계수에 대한 정보를 최대화하는 값을 주구 수로 제안합니다. 주구 수의 값을 직접 입력할 수도 있습니다. 자세한 내용은 "[주구 및 하위구 수](#)"(117 페이지)에서 확인하십시오.

**하위구 수** 매우 변경하기 힘든 요인을 지정할 때 나타납니다. 하위구 요인은 분할-분할구 설계에서 매우 변경하기 힘든 요인에 해당합니다. JMP에서는 모형의 계수에 대한 정보를 최대화하는 값을 주구 및 하위구 수로 제안합니다. 하위구 수의 값을 직접 입력할 수도 있습니다. 자세한 내용은 "[주구 및 하위구 수](#)"(117 페이지)에서 확인하십시오.

**변경하기 힘든 요인은 매우 변경하기 힘든 요인과 독립적으로 변화할 수 있습니다.** 조각구(이원 분할 구 또는 분할 블록이라고도 함) 설계를 생성하려면 이 옵션을 선택합니다. 이 옵션은 변경하기 힘든 요인이 매우 변경하기 힘든 요인의 수준 내에서 랜덤화되는 설계를 생성합니다. 이러한 요인은 매우 변경하기 힘든 요인 내에 내포되어 있지 않습니다.

**중앙점 수** 설계에 연속형 또는 혼합 유형의 요인이 포함된 경우에만 나타납니다. 설계에 중앙점으로 포함할 추가 런 수를 지정합니다. 중앙점은 각 연속형 요인에 대한 설정이 상한 설정과 하한 설정의 중간에 있는 런입니다. 자세한 내용은 "[DOE로 시작](#)" 장의 "[중앙점, 반복 런 및 검정](#)"(61 페이지)에서 확인하십시오.

설계에 연속형 요인과 다른 유형의 요인이 모두 포함된 경우 중앙점이 다른 요인의 수준과 관련하여 균형이 맞지 않을 수 있습니다. 사용자 설계는 설계의 D 효율도, I 효율도 또는 별칭 효율도를 최대화하기 위해 중앙점을 선택합니다.

**반복 런 수** 설계에 추가할 반복 시도 수를 지정합니다. 전체 설계를 반복하는 것이 아니라 반복 할 최적 설계점을 선택합니다. 자세한 내용은 "[DOE로 시작](#)" 장의 "[중앙점, 반복 런 및 검정](#)"(61 페이지)에서 확인하십시오.

## 런 수 옵션

**최소값** 설계 생성이 실패하지 않게 하기 위해 필요한 런 수의 하한입니다. 최소값을 선택하면 결과 설계가 포화됩니다. 따라서 오차 자유도가 없습니다.

---

**참고 :** 런 수를 "최소값"으로 선택하면 검정할 오차 항이 없게 됩니다. 모두 추정값을 검정할 수 없습니다. 이 선택은 추가 런 비용이 너무 높은 경우에만 적합합니다.

**기본값** 런 수를 제안합니다. 이 값은 런 수가 최소 런 수보다 4 회 이상 많은 균형 설계를 생성하기 위한 발견적 방법을 기반으로 합니다.

**사용자 지정** 원하는 런 수를 지정합니다. 런 수 텍스트 상자에 해당 값을 입력합니다. 이 옵션을 사용하면 추가 런 비용을 잠재적 정보 획득으로 상쇄할 수 있습니다.

**런 수** "변경"이 "쉬움"으로 설정된 공변량 요인을 지정하면 이 옵션만 나타납니다. 표시된 런 수는 데이터 테이블에서 하나 이상의 공변량과 관련된 행 수입니다. 더 적은 수의 런을 지정할 수 있습니다. 이 경우 선택된 공변량 런은 설계 기준을 최적화합니다.

## 설계 생성

"설계 생성" 개요를 완료한 후 **설계 생성**을 클릭합니다. 사용자 설계에서 설계를 생성하여 "설계" 개요에 표시하고 "설계 평가" 개요에 평가 정보를 제공합니다. "모형" 및 "별칭" 개요의 컨트롤은 비활성화됩니다. "뒤로" 버튼을 사용하여 모형 또는 별칭 항을 변경할 수 있습니다. 설계 테이블을 생성할 수 있는 "출력 옵션" 패널도 나타납니다.

**참고 :** 여러 설계가 최적 기준을 최적화할 때도 있습니다. 이 경우 **뒤로** 및 **설계 생성** 버튼을 반복해서 클릭하면 설계 알고리즘이 또 다른 설계를 생성할 수 있습니다.

## 설계

"설계" 개요에는 사용자 설계의 런이 표시됩니다. 지정된 조건이 주어지면 설계는 최적이 됩니다. 런이 랜덤화되지 않을 수도 있습니다. 설계 테이블을 생성하기 전에 "출력 옵션" 패널에서 "런 순서" 옵션을 선택할 수 있습니다.

## 설계 평가

"설계 평가"의 빨간색 삼각형 메뉴 및 개요에는 생성된 사용자 설계의 특성을 평가하기 위한 다양한 방법이 제공됩니다.

**베이지안 정보 사용** 추정할 수 없는 If Possible 모형 효과를 가진 설계의 설계 진단 계산에는 베이지안 정보 행렬을 사용하도록 선택합니다. 베이지안 정보 조정에 대한 자세한 내용은 "[베이지안 D- 최적](#)"(119 페이지)에서 확인하십시오.

**참고 :** 모든 모형 효과를 추정할 수 있는 경우에는 베이지안 정보 조정 없이 모든 효과에 대해 설계 진단이 제공됩니다. 일부 항을 추정할 수 없는 경우 **베이지안 정보 사용** 옵션을 선택하지 않으면 필수 모형 항만 제공됩니다.

**검정력 분석** 주어진 크기의 효과를 감지할 수 있는지 분석할 수 있습니다.

**예측 분산 프로파일** 요인 설정 범위에 대한 예측 분산을 보여 줍니다.

**설계 공간 비율 그림** 모형 예측 분산이 지정된 값보다 얼마나 아래 또는 위에 있는지 보여 줍니다.

**예측 분산 표면** 두 개의 연속형 요인에 대한 예측 분산의 표면 그림을 보여 줍니다.

**추정 효율도** 각 모수에 대해 이상적인 직교 설계 (존재하지 않을 수 있음)와 비교하여 신뢰 구간 길이에 대한 증가 비율을 제공합니다. 모수의 상대 표준 오차도 제공합니다.

**별칭 행렬** 모형에 없지만 활성화 가능성이 있는 효과에 의해 모형 모수가 편향되는 정도를 나타내는 계수를 제공합니다. "별칭 항" 테이블에서 잠재적 활성 효과를 나타내는 항을 지정합니다. 자세한 내용은 "기술 상세 정보" 부록의 "[별칭 행렬](#)"(767 페이지)에서 확인하십시오.

**상관 색상 맵** 강도 척도를 사용하여 그림에서 효과 사이의 절대 상관을 표시합니다.

**참고 :** 기본 강도 척도는 회색 척도입니다. 색상 척도를 변경하려면 "상관 색상 맵"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **파랑 - 회색 - 빨강**을 선택합니다. 사용자 정의 색상 척도를 사용하려면 그림을 마우스 오른쪽 버튼으로 클릭하고 **색상 테마**를 선택합니다.

**설계 진단** 설계를 구성하는 데 사용되는 최적 기준을 나타냅니다. 설계의 효율도 측도도 제공합니다. 자세한 내용은 "[사용자 설계 옵션](#)"(100 페이지)의 "최적 기준" 및 "[최적 기준](#)"(118 페이지)에서 확인하십시오.

**참고 :** "변경"이 "어려움" 또는 "매우 어려움"으로 설정되거나 "추정 가능성"이 "If Possible"로 설정된 요인이 모형에 포함된 경우 "설계 진단" 개요에 D 효율도, G 효율도 및 A 효율도 통계량이 제공되지 않습니다.

"설계 평가" 개요에 대한 자세한 내용은 "설계 평가" 장의 "[설계 평가](#)"(418페이지)에서 확인하십시오.

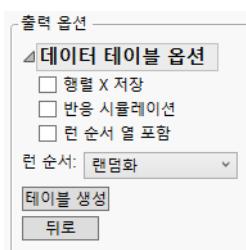
## 출력 옵션

사용자 설계의 행렬 X를 저장하거나, 반응을 시뮬레이션하거나, 설계 데이터 테이블을 사용자 정의하려면 "출력 옵션" 패널을 사용합니다. 다음과 같은 작업을 수행할 수 있습니다.

- 사용자 설계 데이터 테이블을 표시하는 방법을 지정합니다.
- 설계 테이블을 구성합니다.
- "사용자 설계" 창의 이전 지점으로 돌아갑니다.

대부분의 경우 "출력 옵션" 패널은 그림 4.25와 같이 나타납니다.

**그림 4.25** 출력 옵션 패널



"출력 옵션" 패널에는 다음 옵션이 포함되어 있습니다.

- "[데이터 테이블 옵션](#)"(99 페이지)
- "[런 순서](#)"(99 페이지)
- "[테이블 생성](#)"(99 페이지)
- "[뒤로](#)"(100 페이지)

## 데이터 테이블 옵션

데이터 테이블 옵션에는 행렬 X 저장("행렬 X 저장"(105페이지)), 반응 시뮬레이션("반응 시뮬레이션"(103페이지)) 및 런 순서 열 포함 옵션이 포함되어 있습니다.

**런 순서 열 포함** "설계" 개요에서 설계 순서에 해당하는 열을 설계 데이터 테이블에 추가합니다.

**팁:** 런 순서가 정렬된 데이터를 저장하는 경우 "런 순서 열 포함"을 사용하십시오. 그러면 설계 개요에서 런 순서가 랜덤화된 열이 제공됩니다.

## 런 순서

**런 순서** 옵션은 설계 테이블의 런 순서를 결정합니다. 다음과 같은 옵션을 선택할 수 있습니다.

**동일하게 유지** 설계 테이블에 표시되는 행 순서가 "설계" 개요의 순서와 동일합니다.

**좌에서 우로 정렬** 설계 테이블의 열이 왼쪽에서 오른쪽으로 정렬됩니다.

**랜덤화** 설계 테이블의 행이 랜덤 순서로 나타납니다.

**우에서 좌로 정렬** 설계 테이블의 열이 오른쪽에서 왼쪽으로 정렬됩니다.

**블록 내 랜덤화** 설계 테이블의 행이 블록 내에서 랜덤 순서로 나타납니다.

## 테이블 생성

**테이블 생성**을 클릭하여 사용자 설계 데이터 테이블을 구성합니다. "사용자 설계" 테이블의 왼쪽 위에 있는 테이블 패널은 지정된 설계에 따라 필요한 스크립트를 포함할 수 있습니다. "모형", "설계 평가" 및 "DOE 대화상자" 스크립트는 항상 제공됩니다. 스크립트를 실행하려면 스크립트 이름 옆의 녹색 삼각형을 클릭합니다. 설계에 공변량이 포함된 경우 일부 공변량 행만 설계에 사용되면 설계 테이블에 공변량 행 인덱스 열이 포함됩니다.

**그림 4.26** 스크립트를 보여 주는 사용자 설계 테이블

설계 사용자 설계 기준	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	Y
▶ 모형	1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1
▶ 설계 평가	2	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1
▶ 일반화 회귀	3	-1	-1	1	-1	-1	-1	1	1
▶ 제약 조건	4	1	1	1	-1	-1	-1	1	1
▶ DOE 대화상자	5	1	-1	1	1	1	1	1	1
	6	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1
	7	-1	1	-1	-1	1	-1	1	1
	8	1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1
	9	-1	1	1	1	1	-1	-1	1

가능한 스크립트는 다음과 같습니다.

**모형 분석 > 모형 적합** 플랫폼을 실행합니다. 스크립트에서 설명하는 모형은 "모형" 개요에서 선택한 설정과 설계 유형에 따라 결정됩니다.

**설계 평가 DOE > 설계 진단 > 설계 평가** 플랫폼을 실행합니다. 스크립트에서 설명하는 모형은 "모형" 개요에서 선택한 설정과 설계 유형에 따라 결정됩니다.

**제약 조건** "요인 제약 조건 정의" 개요에서 **선행 제약 조건 지정** 옵션을 사용하여 입력한 모형 제약 조건을 보여 줍니다.

**허용되지 않는 조합** "요인 제약 조건 정의" 개요에서 **허용되지 않는 조합 필터 사용 또는 허용되지 않는 조합 스크립트 사용** 옵션을 사용하여 입력한 모형 제약 조건을 보여 줍니다.

**DOE 대화상자** 설계 테이블을 생성하는 데 사용된 "사용자 설계" 창을 다시 생성합니다. 또한 이 스크립트는 설계를 생성하는 데 사용된 난수 시드값도 포함합니다.

## 뒤로

"뒤로" 버튼을 클릭하면 "설계 생성"을 클릭하기 전의 위치로 이동합니다. 이전 개요를 변경하고 설계를 다시 생성할 수 있습니다.

---

**참고 :** "뒤로" 버튼을 클릭한 후 모든 요인을 제거하려고 하면 연속형 요인 하나가 남습니다. 새 요인을 추가한 후 이 연속형 요인을 삭제할 수 있습니다.

---

## 사용자 설계 옵션

"사용자 설계"의 빨간색 삼각형 메뉴에는 설계 설정 및 생성에 대한 옵션이 들어 있습니다.

**반응 저장** "반응" 패널의 정보를 새 데이터 테이블에 저장합니다. 그러면 반응 및 관련 정보를 대부분의 DOE 창에 빠르게 불러올 수 있습니다. 이 옵션은 반응을 재사용할 것으로 예상하는 경우 유용합니다.

**반응 불러오기** "반응 저장" 옵션을 사용하여 저장한 반응을 불러옵니다.

**요인 저장** "요인" 패널의 정보를 새 데이터 테이블에 저장합니다. 각 요인의 열에는 수준이 포함됩니다. 다른 정보는 열 특성으로 저장됩니다. 그러면 요인 및 관련 정보를 대부분의 DOE 창에 빠르게 불러올 수 있습니다.

---

**참고 :** 빈 테이블에 데이터를 입력하여 요인 테이블을 생성할 수 있지만 각 열에 적절한 설계 역할을 할당해야 합니다. 이렇게 하려면 데이터 격자에서 열 이름을 마우스 오른쪽 버튼으로 클릭하고 **열 특성 > 설계 역할**을 선택합니다. 그런 다음 "설계 역할" 영역에서 적절한 역할을 선택합니다.

---

**요인 불러오기** "요인 저장" 옵션을 사용하여 저장한 요인을 불러옵니다.

**제약 조건 저장** (일부 플랫폼에서는 사용할 수 없음) "요인 제약 조건 정의" 또는 "선행 제약 조건" 개요에서 정의한 요인 제약 조건을 각 제약 조건에 대한 열과 함께 데이터 테이블에 저장합니다. 그러면 제약 조건을 대부분의 DOE 창에 빠르게 불러올 수 있습니다.

제약 조건 테이블에서 처음에 나오는 행은 각 요인의 계수를 포함합니다. 마지막 행은 부등식 한계를 포함합니다. 각 제약 조건 열에는 제약 조건을 "less than" 또는 "greater than" 제약

조건으로 식별하는 제약 조건 상태 열 특성이 포함됩니다. 자세한 내용은 "열 특성" 부록의 "[제약 조건 상태](#)"(762 페이지)에서 확인하십시오.

**제약 조건 불러오기** (일부 플랫폼에서는 사용할 수 없음)"제약 조건 저장" 옵션을 사용하여 저장한 요인 제약 조건을 불러옵니다.

**난수 시드값 설정** JMP가 랜덤 성분이 있는 작업을 제어하는 데 사용하는 난수 시드값을 설정합니다. 이러한 작업에는 다음 중 하나 이상이 포함됩니다.

- 설계 생성을 위한 검색 알고리즘 초기화
- 설계 생성을 위한 런 순서 랜덤화
- 랜덤 시작에 기반한 설계의 시작 설계 선택

설계를 재현하려면 **설계 생성**을 클릭하기 전에 설계를 생성한 난수 시드값을 입력합니다.

**참고 :** 설계와 관련된 난수 시드값은 설계 데이터 테이블에 저장된 "DOE 대화상자" 스크립트에 포함됩니다.

**반응 시뮬레이션** 시뮬레이션 계산식을 포함하는 열과 반응 값을 설계 테이블에 추가합니다."테이블 생성"을 클릭하기 전에 이 옵션을 선택하십시오.

"테이블 생성"을 클릭하면 다음과 같은 결과가 나타납니다.

- 시뮬레이션된 반응 값 집합이 각 반응 열에 추가됩니다.
- 각 반응에 대해 시뮬레이션 모형 계산식을 포함하는 새 열이 설계 테이블에 추가됩니다. 계산식과 값은 설계 창에 지정된 모형에 기초합니다.
- 모형 효과에 대한 계수 값을 설정하고 정규, 이항 또는 Poisson 분포 중 하나를 지정할 수 있는 "모형" 창이 나타납니다.

**참고 :** 모든 설계 유형에 모든 분포를 사용할 수 있는 것은 아닙니다.

- **DOE 시뮬레이션** 스크립트가 설계 테이블에 저장됩니다. 이 스크립트는 값을 다시 시뮬레이션하거나 시뮬레이션된 반응 분포를 변경할 수 있도록 "모형" 창을 다시 엽니다.

"모형" 창에서 시뮬레이션된 반응 값의 분포를 제어하는 옵션을 선택합니다."적용"을 클릭하면 시뮬레이션된 반응 값의 계산식이 <Y> 시뮬레이션이라는 새 열에 저장됩니다. 여기서 Y는 반응 이름입니다."적용"을 다시 클릭하면 <Y> 시뮬레이션의 계산식과 값이 업데이트됩니다.

자세한 내용은 "사용자 설계" 장의 "[반응 시뮬레이션](#)"(103 페이지)에서 확인하십시오.

**참고 :** **JMP<sup>®</sup> PRO** "반응 시뮬레이션"을 사용하면 JMP Pro 시뮬레이션 기능을 사용하여 시뮬레이션 분석을 수행할 수 있습니다. 자세한 내용과 DOE 예는 기본 분석의 "시뮬레이션" 장에서 확인하십시오.

**행렬 X 저장** "적률 행렬" 및 "모형 행렬"을 설계 데이터 테이블의 테이블 스크립트에 저장합니다. 이 스크립트에는 적률 및 설계 행렬이 포함됩니다. 자세한 내용은 "[행렬 X 저장](#)"(105 페이지)에서 확인하십시오.

**주의 :** 명목형 요인이 있는 설계의 경우 "행렬 X 저장" 옵션으로 저장한 모형 행렬은 선형 모형을 적합시킬 때 사용된 코딩 행렬이 아닙니다. "모형" 스크립트를 실행할 때 나타나는 "모형 적합" 보고서에서 "열 저장 > 코드화 테이블 저장" 옵션을 선택하면 모형 적합에 사용되는 코딩 행렬을 가져올 수 있습니다.

**최적 기준** 설계 최적 기준을 변경합니다. 기본 기준인 **권장 사항**은 "모형" 개요에서 "RSM" 버튼을 사용하여 2차 효과를 추가한 경우를 제외하고 모든 설계 유형에 대해 D-최적을 지정합니다. D-최적, I-최적 및 별칭 - 최적 설계에 대한 자세한 내용은 "**최적 기준**"(118 페이지)에서 확인하십시오.

**참고 :** 항상 정해진 최적 기준을 사용하도록 환경 설정을 지정할 수 있습니다. 파일 > 환경 설정 > 플랫폼 > DOE 를 선택합니다. "최적 기준"을 선택한 후 기본 기준을 선택합니다.

**시작 수** 설계 구성에 사용되는 랜덤 시작 횟수를 지정할 수 있습니다. 자세한 내용은 "**시작 수**"(107 페이지)에서 확인하십시오.

**설계 검색 시간** 설계 검색을 위한 최대 시간(초)입니다. 기본 검색 시간은 설계 복잡성을 기반으로 합니다. 자세한 내용은 "**설계 검색 시간**"(108 페이지) 및 "**시작 수**"(107 페이지)에서 확인하십시오.

알고리즘 반복에 몇 초 이상이 필요한 경우 "설계 계산 중" 진행률 창이 나타납니다. 진행률 창에서 **취소**를 클릭하면 계산이 중지되고 해당 시점에서 찾은 최적 설계가 제공됩니다. 또한 "변경"이 "어려움" 또는 "매우 어려움"으로 설정되거나 "추정 가능성"이 "If Possible"로 설정된 요인이 포함되지 않은 D-최적 설계에 대한 D 효율도가 진행률 창에 표시됩니다.

**참고 :** "설계 검색 시간"에 대한 환경 설정을 지정할 수 있습니다. 파일 > 환경 설정 > 플랫폼 > DOE 를 선택합니다. "설계 검색 시간"을 선택한 후 최대 시간(초)을 입력합니다. 시간이 더 필요한 특정 상황에서는 JMP 가 검색 시간을 연장합니다.

**구 반지름** 설계의 연속형 요인을 초구로 제한합니다. 반지름을 지정하고 **확인**을 클릭합니다. 0과의 간격이 구 반지름과 같도록 설계점이 선택됩니다. "설계 생성"을 클릭하기 전에 이 옵션을 선택하십시오.

**참고 :** 구 반지름 제약 조건은 "선형 제약 조건 지정" 옵션을 사용하여 추가한 제약 조건과 결합할 수 없습니다. 또한 변경하기 힘든 요인(분할구 설계)이 포함된 경우에는 이 옵션을 사용할 수 없습니다.

**고급 옵션 > 혼합물 합** 혼합 요인의 합을 양수 값으로 설정합니다. 전체 실험에서 혼합 성분을 일정하게 유지하려면 이 옵션을 사용합니다.

**고급 옵션 > 분할구 분산비** 오차 분산에 대한 랜덤 주구 분산 및 하위구 분산(있는 경우)의 비를 지정합니다. 이 값을 설정하려면 먼저 분할구 설계를 위한 변경하기 힘든 요인 또는 분할-분할구 설계를 위한 변경하기 힘든 요인과 매우 변경하기 힘든 요인을 정의해야 합니다. 그런 다음 분할구 설계를 지정했는지 아니면 분할-분할구 설계를 지정했는지에 따라 분산 비율에 하나 또는 두 개의 양수를 입력할 수 있습니다.

**고급 옵션 > 사전 모수 분산** (" 모형 " 개요가 있는 경우에만 사용 가능 )" 추정 가능성 " 이 "If Possible" 로 설정된 요인에 사용되는 가중치를 지정합니다. "설계 생성" 을 클릭하면 옵션이 업데이트되어 기본 가중치가 표시됩니다. 가중치를 지정할 각 항에 대해 양수를 입력합니다. 입려한 값은 사전 분산에 대한 역수의 제곱근입니다. 값이 클수록 분산이 작으므로 효과가 활성화되지 않는다는 더 많은 사전 정보가 있습니다.

베이지안 D-최적 또는 I-최적은 If Possible 요인이 있는 설계를 구성할 때 사용됩니다. 알고리즘에 사용되는 기본값은 필수 항의 경우 0, If Possible 항이 포함된 교호작용의 경우 4, If Possible 항의 경우 1입니다. 자세한 내용은 "기술 상세 정보" 부록의 "[별첨 행렬](#)"(767 페이지) 및 "[최적 기준](#)"(118 페이지)에서 확인하십시오.

**고급 옵션 > A-최적 모수 가중치** (A-최적 설계에 사용) 모형 모수에 대한 가중치를 지정합니다. 예를 들어 2 차 효과보다 주효과의 분산에 더 가중치를 부여할 수 있습니다. 모수 가중치에 대한 자세한 내용은 Morgan and Stallings(2017)에서 확인하십시오.

**고급 옵션 > D 효율도 가중치** 설계를 구성할 때 별칭 최적에 대한 D 효율도의 상대 중요도를 지정합니다. 계수의 분산을 줄이는 것과 적합한 별칭 구조를 얻는 것 사이의 균형을 잡으려면 이 옵션을 선택합니다. 값은 0에서 1 사이여야 합니다. 값이 클수록 D 효율도에 더 많은 가중치를 둡니다. 기본값은 0.5입니다. 이 옵션은 "최적 설계 별칭 생성" 을 "최적 기준"으로 선택한 경우에만 효과가 있습니다.

D 효율도의 정의는 "[최적 기준](#)"(118 페이지)에서 확인하십시오. 별칭 최적에 대한 자세한 내용은 "[별칭 최적](#)"(121 페이지)에서 확인하십시오.

**스크립트를 스크립트 창에 저장** "사용자 설계" 창에서 지정한 설계의 스크립트를 생성한 후 열린 스크립트 창에 저장합니다.

## 반응 시뮬레이션

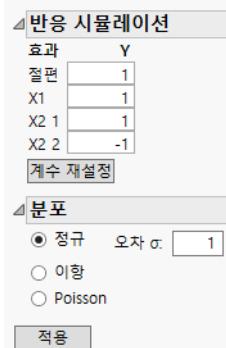
데이터 수집 전에 또는 교육용 설정에서 설계를 탐색하려면 시뮬레이션된 반응을 사용합니다. "반응 시뮬레이션"을 선택하고 "테이블 생성"을 클릭하여 설계 테이블을 생성하면 "반응 시뮬레이션" 옵션이 각 반응에 대해 다음을 수행합니다.

- 설계 테이블의 반응 열에 확률 반응 값을 추가합니다.
- 시뮬레이션 모형 계산식을 포함하는 새 열을 설계 테이블에 추가합니다. 계산식과 같은 설계 창에 지정된 모형에 기초합니다.

모수 값을 지정하고 시뮬레이션을 위한 반응 분포를 선택할 수 있는 "모형" 창이 나타납니다. "모형" 창에서 "적용"을 클릭하면 시뮬레이션 모형 계산식을 포함하는 각 열이 업데이트됩니다.

## 컨트롤 창

그림 4.27에서는 연속형 요인(X1)과 3수준 범주형 요인(X2)이 각각 하나씩 있는 설계의 "모형" 창을 보여 줍니다. X2는 두 개의 모형 항으로 나타납니다.

**그림 4.27** 반응 시뮬레이션 컨트롤 창

초기 창에는 계수 값이 1 또는 -1로 표시되고, 오차 표준편차가 1인 정규 분포가 선택되어 있습니다. DOE 창의 "설계 평가"에서 "검정력 분석"의 일부로 "예상 계수"를 설정한 경우, "검정력 분석" 개요에서 "예상 계수" 및 "예상 RMSE"(오차 표준편차)로 지정한 값이 "반응 시뮬레이션" 개요의 기본값이 됩니다. 데이터 테이블의 모형 스크립트에 지정된 모형을 적합시킬 수 없는 경우 절편과 계수의 기본값은 0입니다.

### 반응 시뮬레이션

시뮬레이션된 값에 대한 모형을 지정하려면 다음을 수행하십시오.

- "효과" 목록의 각 항에 대해 반응 값을 시뮬레이션하는 데 사용되는 선형 모형의 계수를 입력합니다. 이 값은 선형 함수  $L(\mathbf{x}, \beta) = \mathbf{x}'\beta$ 를 정의합니다. 그림 4.27의 "반응 시뮬레이션" 개요를 참조하십시오.
  - 벡터  $\mathbf{x}$ 는 "효과" 아래에 나열된 효과를 정의하는 항으로 구성됩니다.
  - 벡터  $\beta$ 는 "Y" 아래에 지정한 모형 계수의 벡터입니다.
- "분포"에서 반응 분포를 선택합니다.
- 적용을 클릭합니다. 시뮬레이션된 값과 계산식을 포함하는 <Y> 시뮬레이션 열이 설계 테이블에 추가됩니다. 여기서 Y는 반응 열의 이름입니다.

### 분포

"반응 시뮬레이션" 창에서 사용 가능한 다음 분포 중 하나를 선택합니다.

**정규** 정규 분포에서 값을 시뮬레이션합니다. "오차  $\sigma$ "에 정규 분포 오차의 표준편차 값을 입력합니다. "요인" 개요에서 요인의 "변경"을 "어려움"으로 지정한 경우 "주구  $\sigma$ "에 주구 오차 값을 입력할 수 있습니다. 요인의 "변경"을 "어려움" 및 "매우 어려움"으로 지정한 경우에는 하위구 오차와 주구 오차 값을 둘 다 입력할 수 있습니다. "적용"을 클릭하면 모형에 기초하여 확률 반응 벡터가 포함된 계산식과 난수 값이 <Y> 시뮬레이션 열에 입력됩니다.

**이항** 이항 분포에서 값을 시뮬레이션합니다. "N"에 시도 수 값을 입력합니다. 성공 확률이  $1/(1 + exp(-L(\mathbf{x}, \beta)))$ 이고 시도 횟수가 N인 이항 분포에 따라 정수인 난수가 생성됩니다. "적용"을

클릭하면 난수 값과 계산식이 <Y> 시뮬레이션 열에 입력됩니다. N 값을 포함하는 시도 수 열도 데이터 테이블에 추가됩니다.

**Poisson** 모수  $\exp((L(x, \beta)))$ 를 사용하여 Poisson 분포에 따라 정수인 난수를 시뮬레이션합니다. "적용"을 클릭하면 난수 값과 계산식이 <Y> 시뮬레이션 열에 입력됩니다.

**참고 :** "테이블 생성"을 클릭할 때마다 반응을 시뮬레이션하도록 환경 설정을 지정할 수 있습니다. 이렇게 하려면 파일 > 환경 설정 > 플랫폼 > DOE를 선택합니다. 그런 다음 반응 시뮬레이션을 선택합니다.

## 행렬 X 저장

이 옵션은 적률 행렬과 모형 행렬을 각각 포함하는 "적률 행렬" 및 "모형 행렬" 스크립트를 설계 데이터 테이블에 저장합니다. 적률 행렬과 모형 행렬은 "설계 평가" 개요의 "설계 진단" 섹션에 나오는 "예측 평균 분산"을 계산하는 데 사용됩니다. 자세한 내용은 Goos and Jones(2011)에서 확인하십시오. 분할구 설계의 경우 "V 역" 스크립트도 저장됩니다. "V 역" 스크립트에는 반응에 대한 공분산 행렬의 역이 포함됩니다.

**주의 :** 명목형 요인이 있는 설계의 경우 "행렬 X 저장" 옵션으로 저장한 모형 행렬은 선형 모형을 적합시킬 때 사용된 코딩 행렬이 아닙니다. "모형" 스크립트를 실행할 때 나타나는 "모형 적합" 보고서에서 "열 저장>코드화 테이블 저장" 옵션을 선택하면 모형 적합에 사용되는 코딩 행렬을 가져올 수 있습니다.

**참고 :** 행렬 스크립트를 항상 저장하도록 환경 설정을 지정할 수 있습니다. 파일 > 환경 설정 > 플랫폼 > DOE를 선택합니다. 그런 다음 "행렬 X 저장"을 선택합니다.

## 모형 행렬

모형 행렬은 실험에 대한 설계를 설명합니다. 모형 행렬에는 "모형" 개요에서 지정한 모형의 각 항에 대한 열과 각 런에 대한 행이 있습니다. 각 런에 해당하는 모형 행렬의 행에는 모형 항의 코드화된 값이 포함됩니다.

- 연속형 항은 -1 ~ 1 범위로 코드화됩니다.
- 명목형 항은 선형 모형을 적합시키는 데 사용하는 코딩 벡터에 Gram-Schmidt 직교화 프로시저를 적용하여 코드화됩니다.

Gram-Schmidt 직교화 프로시저에 대한 자세한 내용은 Horn and Johnson(2012)에서 확인하십시오.

**참고 :** 검정력 분석의 코딩은 선형 모형 적합의 코딩과 매칭됩니다. 선형 모형 적합에서 명목형 항에 사용되는 코딩에 대한 자세한 내용은 선형 모형 적합의 에서 확인하십시오.

## 적률 행렬

적률 행렬은 모형 효과에 종속되지만 설계와 독립적입니다. 이 행렬은 다음과 같이 정의됩니다.

$$\mathbf{M} = \int_R f(\mathbf{x})f(\mathbf{x})' d\mathbf{x}$$

여기서  $f(\mathbf{x})$ 는 요인 벡터  $\mathbf{x}$ 의 요인 조합에 해당하는 모형 효과를 나타내고  $R$ 는 설계 공간을 나타냅니다. 적률 행렬과 설계 행렬에 대한 자세한 내용은 Goos and Jones(2011) 및 Myers et al. (2009)의 내용을 기반으로 합니다. 적률 행렬을 Myers et al. (2009)에서는 영역 적률(region moments) 행렬이라고 합니다.

## 스크립트

"사용자 설계"의 빨간색 삼각형 메뉴에서 **행렬 X 저장**을 선택합니다. 설계와 테이블이 생성된 후 "적률 행렬", "모형 행렬" 및 "V 역"(분할구 설계의 경우) 스크립트가 "사용자 설계" 테이블에 테이블 스크립트로 저장됩니다.

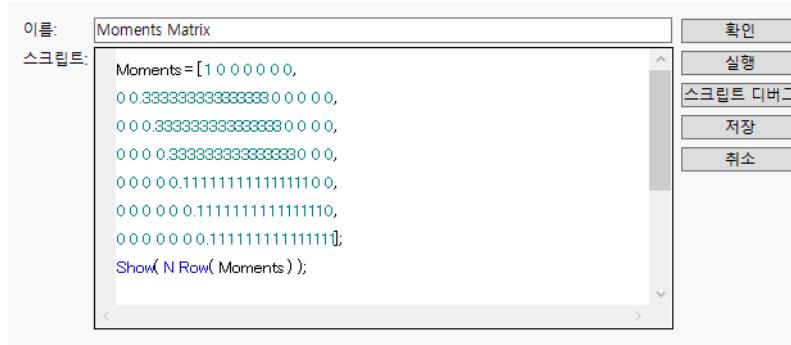
- "적률 행렬", "모형 행렬" 또는 "V 역" 스크립트에서 마우스 오른쪽 버튼을 클릭하고 **편집**을 선택합니다. 스크립트에 해당 행렬이 표시됩니다. 작성한 스크립트에 이 행렬을 복사할 수 있습니다.
- "적률 행렬" 스크립트를 실행하면 로그에 "Moments"라는 적률 행렬의 행 수가 표시됩니다.
- "모형 행렬" 스크립트를 실행하면 로그에 "X"라는 모형 행렬의 행 수가 표시됩니다.
- "V 역" 스크립트를 실행하면 로그에 "V Inverse"라는 공분산 역행렬의 행 수가 표시됩니다.

## 예제

이 예에서는 모형 행렬 스크립트를 사용하는 방법을 보여 줍니다.

**팁 :** 로그를 보려면 **보기 > 로그** (macOS에서는 **창 > 로그**)를 선택합니다.

1. **DOE > 사용자 설계**를 선택합니다.
  2. 연속형 요인을 3 개 추가하고 **계속**을 클릭합니다.
  3. **교호작용 > 2 차**를 클릭합니다.
  4. "사용자 설계"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **행렬 X 저장**을 선택합니다.
  5. 기본값 런 수 (12)를 사용하고 **설계 생성, 테이블 생성**을 차례로 클릭합니다.
  6. 테이블 패널에서 "적률 행렬"을 마우스 오른쪽 버튼으로 클릭하고 **편집**을 선택합니다.
- 스크립트 창에 스크립트가 나타납니다. 이 스크립트에는 **Moments**라는 적률 행렬이 표시됩니다.

**그림 4.28** 적률 행렬 스크립트

7. 로그가 아직 열려 있지 않으면 **보기 > 로그** (macOS에서는 **창 > 로그**) 를 선택합니다.
8. 테이블 패널에서 "적률 행렬" 스크립트 옆의 녹색 삼각형을 클릭합니다.  
행 수가 로그에  $N \text{ Row}( \text{Moments} ) = 7$  로 나타납니다.
9. 테이블 패널에서 "모형 행렬" 을 마우스 오른쪽 버튼으로 클릭하고 **편집**을 선택합니다.  
스크립트 창에 스크립트가 나타납니다. 이 스크립트에는 **X** 라는 모형 행렬이 표시됩니다.
10. **실행**을 클릭합니다.  
행 수가 로그에  $N \text{ Row}( X ) = 12$  로 나타납니다.
11. 모형 행렬을 데이터 테이블로 보려면 다음 행을 스크립트에 추가합니다.  
`dt = New Table( "Model Matrix" );
dt << Set Matrix( X );`
12. **실행**을 클릭합니다.

## 시작 수

시작 수는 좌표 교환 알고리즘이 새 설계로 시작하는 횟수입니다. 자세한 내용은 "[좌표 교환 알고리즘](#)"(122페이지)에서 확인하십시오. **시작 수** 옵션을 사용하여 원하는 값을 지정할 수 있습니다. 랜덤 시작 횟수가 증가하면 결과 설계의 최적성이 향상되는 경향이 있습니다.

"시작 수" 값을 지정하고 "확인"을 클릭하는 경우 외에는 설계 검색 시간에 의해 시작 수가 제어됩니다. 설계를 구성하는 데 사용된 시작 수를 확인하려면 "설계 생성"을 클릭합니다. 그런 다음 "시작 수"를 선택합니다. 텍스트 상자의 값이 특정 설계를 구성하는 데 사용된 시작 수입니다.

특수 경우에 대한 전역 최적 설계 이론이 있습니다. 좌표 교환 알고리즘은 최적 설계를 찾았음을 감지하면 검색을 중지하고 해당 설계를 반환합니다.

**팁 :** 특정 설계를 재현하려면 설계를 생성하는 데 사용된 원래 "시작 수" 와 "난수 시드값" 을 지정해야 합니다. "설계 생성" 을 클릭한 후 빨간색 삼각형 옵션에서 이러한 값을 확인하십시오.

이 설명서의 사용자 설계 예에서는 설명 중인 설계를 정확하게 재생성할 수 있도록 난수 시드값과 시작 수를 제공하는 경우가 많습니다.

## 설계 검색 시간

설계 검색 시간은 최적 설계를 찾는 데 할당된 시간입니다. 사용자 설계의 좌표 교환 알고리즘은 랜덤 시작 설계를 기반으로 하여 근사 최적 설계를 찾는 것으로 구성됩니다. 자세한 내용은 "[좌표 교환 알고리즘](#)"(122페이지)에서 확인하십시오. 설계 검색 시간은 랜덤 시작 설계를 기반으로 생성되는 설계 수를 결정합니다.

**설계 검색 시간** 옵션을 사용하여 원하는 값을 지정할 수 있습니다. 검색 시간을 늘리면 결과 설계의 최적성이 향상되는 경향이 있습니다.

알고리즘을 재실행하여 생성된 설계는 다를 수 있습니다. 동일한 난수 시드값을 사용하더라도 계산 속도와 기타 요인의 변동으로 인해 최종 설계를 구성하는 데 사용되는 시작 설계의 수가 다를 수 있습니다.

---

**참고 :** 시작 설계 수는 "시작 수" 텍스트 상자의 값으로 지정됩니다. 그러나 이 값은 "설계 생성" 을 클릭하여 설계를 구성한 후에 업데이트됩니다.

---

특수 경우에 대한 전역 D- 최적 설계 이론이 있습니다. 예를 들면 다음과 같습니다.

- 2 수준 부분 요인 설계 또는 비정칙 직교 배열 . 이는 모든 주효과와 2 요인 교호작용 모형을 위한 전역 D- 최적 설계입니다.
- 라틴 정방 설계 . 이는 표본 크기와 요인 수준 수가 동일하다는 가정하에 주효과 모형을 위한 D- 최적 설계입니다.
- Plackett-Burman 설계 . 이는 주효과 모형을 위한 D- 최적 설계입니다.

좌표 교환 알고리즘은 최적 설계를 찾았음을 감지하면 검색을 중지하고 해당 설계를 반환합니다.

---

## 사용자 설계에 대한 기술 상세 정보

- "[랜덤화 제한이 있는 설계](#)"
- "[변경하기 힘든 수준의 공변량](#)"
- "[주구 및 하위구 수](#)"
- "[최적 기준](#)"
- "[D 효율도](#)"
- "[좌표 교환 알고리즘](#)"

## 랜덤화 제한이 있는 설계

완전히 랜덤화된 설계를 실행하는 것이 항상 실현 가능하지는 않습니다. 실험을 설계할 때는 랜덤화에 대한 논리적 또는 물리적 제한을 고려해야 합니다. 이 섹션에서는 요인 수준에 대한 실험 단위 랜덤 할당이 제한되는 다양한 유형의 설계를 사용자 설계 플랫폼에서 어떻게 처리하는지 설명합니다. 랜덤 블록 설계 및 다양한 유형의 분할구 설계가 포함됩니다.

### 랜덤 블록 설계

랜덤 블록 설계는 실험의 런을 더 큰 모집단에서 무작위로 선택한 것으로 간주되는 블록으로 그룹화합니다. 대개 런 블록 내의 런은 다른 블록의 런보다 동질적입니다. 이러한 경우 블록화 변수로 설명된 변동을 처리하면 다른 효과를 더 잘 식별할 수 있습니다.

#### 랜덤 블록 설계 시나리오

Goos(2002)는 페이스트리 반죽 혼합물 실험과 관련된 예를 제공합니다. 실험의 목적은 반죽의 특정 특성이 공급 유량, 초기 수분 함량, 회전 나사 속도라는 세 가지 요인에 어떻게 의존하는지 이해하는 것입니다. 하루에 런을 4회만 수행할 수 있으므로 실험을 실행하는 데 며칠이 걸렸습니다. 환경 변수에 대한 랜덤 일별 차이가 특정 일에 수행되는 모든 런에 영향을 줄 가능성이 있습니다. 일별 변동을 처리하기 위해 런을 크기 4의 블록으로 그룹화하여 이 변동이 세 요인에 대한 정보를 손상시키지 않도록 했습니다.

블록 요인 Day는 매일 수행되는 런으로 구성됩니다. 실험이 수행된 날은 환경 조건이 다른 여러 날의 큰 모집단을 대표합니다. 따라서 Day는 랜덤 블록 요인입니다.

#### 랜덤 블록 설계 설정

랜덤 블록 설계를 생성하려면 사용자 설계 플랫폼을 사용하여 반응과 요인을 입력하고 모형을 정의합니다. "설계 생성" 개요에서 **런을 다음 크기의 랜덤 블록으로 그룹화** 옵션을 선택하고 각 블록에 포함할 런 수를 입력합니다. 자세한 내용은 "설계 구조 옵션"(95페이지)에서 확인하십시오.

**참고 :** 고정 블록 요인을 정의하려면 "요인" 개요에 블록 요인을 입력합니다. 랜덤 블록 요인을 정의하려면 "요인" 개요에 블록 요인을 입력하지 마십시오. 대신 "설계 생성" 아래의 **런을 다음 크기의 랜덤 블록으로 그룹화** 옵션을 선택합니다.

### 분할구 설계

분할구 설계는 특정 요인의 설정이 런 그룹에 대해 일정하게 유지되는 상황에서 사용됩니다. 산업 분야에서 이러한 요인은 대개 런 간 변경이 어렵거나 비용이 많이 듭니다. 런 그룹에 대해 설정을 일정하게 유지해야 하는 요인은 JMP에서 변경하기 힘든 요인으로 분류됩니다.

특정 요인은 변경하기 힘들기 때문에 실험 단위에 요인을 무작위로 할당하는 것은 실용적이지 않습니다. 대신 단위 그룹에 요인을 할당합니다. 이렇게 하면 설계 생성 및 결과 분석에서 고려해야 할 랜덤화에 대한 제한이 적용됩니다.

## 분할구 설계 시나리오

Box et al. (2005) 은 철근의 내식성을 연구하기 위한 실험을 제공합니다. 철근은 경화를 위해 용광로에 놓습니다. 그 후에 내식성 증가를 위해 코팅이 적용됩니다. 두 가지 관심 요인은 다음과 같습니다.

- Furnace 섭씨 온도 - 360, 370, 380 수준
- Coating 코팅 유형 - C1, C2, C3, C4 수준

Furnace Temp는 용광로 온도를 재설정하는 데 소요되는 시간 때문에 변경하기 힘든 요인입니다. 따라서 용광로 온도 설정마다 각각 4개의 철근이 처리됩니다. 이후 단계에서는 4개의 코팅이 무작위로 4개의 철근에 할당됩니다.

실험 단위는 철근입니다. Furnace Temp는 수준으로 주구를 정의하는 변경하기 힘든 요인입니다. 각 주구 내에서 Coating 요인은 주구 요인이 적용된 실험 단위에 무작위로 할당됩니다.

**그림 4.29** 분할구 설계를 위한 요인 및 설계 개요

런	주구	Furnace Temp	Coating
1	1	370	C1
2	1	370	C3
3	1	370	C2
4	2	370	C4
5	2	370	C2
6	2	370	C1
7	3	380	C3
8	3	380	C1
9	3	380	C4
10	4	360	C4
11	4	360	C2
12	4	360	C3
13	5	380	C1
14	5	380	C4
15	5	380	C2

부식 실험의 "요인" 개요에는 Furnace Temp의 "변경"이 "어려움"으로 설정되고 Coating의 "변경"이 "쉬움"으로 설정되어 있습니다. 15회 런이 5개의 주구로 구성되며, 주구 내에서 Temperature 설정이 일정하게 유지됩니다.

## 분할구 설계 설정

일반적으로 설정을 변경하기 힘든 몇 가지 요인을 처리 단계에 적용할 수 있습니다. 용광로 예에서는 온도뿐만 아니라 용광로 위치도 고려할 수 있습니다. "요인" 개요의 "변경" 열에서 이러한 요인의 "변경" 값을 "어려움"으로 지정합니다.

사용자 설계에 변경하기 쉬운 요인과 변경하기 힘든 요인만 포함된 경우 변경하기 힘든 요인의 런은 주구라는 새 요인을 사용하여 그룹화됩니다. 주구 값은 변경하기 힘든 요인에 대해 동일한 설정으로 런 블록을 지정합니다. 설계 테이블에 저장된 "모형" 스크립트는 주구를 임의 효과로 처리합니다. 자세한 내용은 ["변경"\(85페이지\)](#) 및 ["설계 구조 옵션"\(95페이지\)](#)에서 확인하십시오.

분할구 설계를 생성하고 실험 데이터를 분석하는 예는 "사용자 설계의 예" 장의 ["분할구 실험"\(180페이지\)](#)에서 확인하십시오.

## 분할 - 분할구 설계

분할-분할구 설계는 변경하기 힘든 두 가지 수준의 요인이 있을 때 사용됩니다. 산업 분야에서 첫 번째 처리 단계의 재료나 실험 단위를 두 번째 처리 단계에 일괄적으로 전달할 때 이러한 설계가 종종 수행됩니다. 첫 번째 단계에서 일련의 재료에 요인이 적용됩니다. 그런 다음 추가 요인을 연구하는 두 번째 단계 처리를 위해 해당 배치가 나뉩니다. 첫 번째 단계 요인은 매우 변경하기 힘든 요인이고, 두 번째 단계 요인은 변경하기 힘든 요인으로 간주됩니다. 두 번째 처리 단계 후에 실험 단위에 추가 요인을 적용할 수 있습니다. 이러한 요인은 변경하기 쉬운 요인으로 간주됩니다.

분할-분할구 설계에서는 배치가 랜덤 블록으로 간주됩니다. 배치는 두 번째 단계 처리를 위해 나누어지므로 두 번째 단계 요인이 첫 번째 단계 요인 내에 내포됩니다.

## 분할 - 분할구 설계 시나리오

Schoen([1999](#))은 치즈 품질과 관련된 분할 - 분할구 설계의 예를 제공합니다. 요인은 Design Experiment 폴더에 있는 [Cheese Factors.jmp](#) 데이터 테이블에 제공됩니다. 실험은 다음과 같은 세 단계의 처리로 구성됩니다.

- 농부로부터 우유를 받아 큰 탱크에 저장합니다.
- 이 탱크의 우유를 커드 가공에 사용되는 더 작은 탱크로 분배합니다.
- 각 탱크의 커드를 개별 치즈 가공을 위해 프레스로 이동합니다.

실험은 다음 요인에 대한 검정으로 구성됩니다.

- 우유가 큰 저장 탱크에 있을 때 적용된 두 개 요인
- 더 작은 커드 가공 탱크에 적용된 5 개 요인
- 커드 가공 탱크의 개별 치즈에 적용된 3 개 요인

커드 가공 탱크에 적용된 요인의 수준(하위구)은 우유 저장 탱크에 적용된 요인의 수준(주구)에 내포됩니다.

"요인" 개요에는 "변경" 이 "매우 어려움", "어려움" 또는 "쉬움"으로 설정되어 있습니다.

- 매우 어려움 - 저장 탱크 요인 두 개
- 어려움 - 커드 가공 탱크 요인 5 개
- 쉬움 - 치즈에 무작위로 할당할 수 있는 요인 3 개

**그림 4.30** 분할 - 분할구 설계를 위한 요인 및 설계 생성 개요

The screenshot shows the 'Design' software interface with the following sections:

- Yield**: A list of factors with their levels and values:
 

이름	역할	변경	값
storage 1	연속형	매우 어려움	-1
storage 2	분주형	매우 어려움	L1
curds 1	연속형	어려움	-1
curds 2	연속형	어려움	-1
curds 3	분주형	어려움	L1
curds 4	연속형	어려움	-1
curds 5	분주형	어려움	L1
cheese 1	연속형	쉬움	-1
cheese 2	연속형	쉬움	1
- Factor restrictions**: A section containing checkboxes for factor restrictions.
- Model**: A section containing checkboxes for model types.
- Factor type**: A section containing checkboxes for factor types.
- Design generation**: A section containing checkboxes for design generation and input fields for '주구 수' (5), '하위구 수' (10), and '런 수' (22). It also includes a 'Design Generation' button.

기본 주구 수는 5이고 기본 하위구 수는 10입니다. 런 수는 22로 설정되어 있습니다. 하위구가 10개만 사용될 경우 설계의 주구 수가 충분하지 않아 하위구 분산을 추정할 수 없습니다. 하위구 수를 11로 변경하고 **설계 생성**을 클릭하여 22개 런 설계를 확인합니다.

그림 4.31 치즈 시나리오의 분할 - 분할구 설계

설계													
런	주구	하위구	storage 1	storage 2	curds 1	curds 2	curds 3	curds 4	curds 5	cheese 1	cheese 2	cheese 3	
1	1	1	1	L2	-1	-1	L1	-1	L1	1	-1	L1	
2	1	1	1	L2	-1	-1	L1	-1	L1	-1	1	L2	
3	1	1	1	L2	-1	-1	L1	-1	L1	1	-1	L3	
4	1	2	1	L2	1	1	L1	1	L2	1	1	L3	
5	1	2	1	L2	1	1	L1	1	L2	-1	-1	L1	
6	2	3	-1	L2	1	1	L1	-1	L3	1	1	L2	
7	2	3	-1	L2	1	1	L1	-1	L3	-1	-1	L3	
8	2	3	-1	L2	1	1	L1	-1	L3	1	-1	L1	
9	2	4	-1	L2	-1	1	L2	1	L1	-1	-1	L2	
10	2	4	-1	L2	-1	1	L2	1	L1	1	1	L1	
11	3	5	1	L1	-1	-1	L2	1	L3	-1	1	L3	
12	3	5	1	L1	-1	-1	L2	1	L3	1	-1	L2	
13	3	6	1	L1	1	1	L2	-1	L4	1	1	L2	
14	3	6	1	L1	1	1	L2	-1	L4	-1	-1	L1	
15	4	7	-1	L1	-1	1	L1	-1	L2	-1	1	L1	
16	4	7	-1	L1	-1	1	L1	-1	L2	1	-1	L3	
17	4	8	-1	L1	1	-1	L1	1	L1	-1	1	L3	
18	4	8	-1	L1	1	-1	L1	1	L1	1	-1	L2	
19	5	9	-1	L2	1	-1	L2	-1	L2	1	1	L1	
20	5	9	-1	L2	1	-1	L2	-1	L2	-1	-1	L2	
21	5	10	-1	L2	-1	-1	L1	1	L4	-1	1	L1	
22	5	10	-1	L2	-1	-1	L1	1	L4	1	-1	L3	

5개 주구는 저장 요인 storage 1과 storage 2에 해당합니다. 저장 요인의 설정은 주구 내에서 일정합니다. 이어지는 새 주구에서 주구 요인의 설정이 같을 경우에는 해당 주구 간에 요인 수준을 재설정해야 합니다. 예를 들어 런 10과 11 간, 런 14와 15 간에 storage 1 수준을 재설정하고, 런 18과 19 간에 storage 2 수준을 재설정해야 합니다. 주구 변동을 포착하려면 지정된 설정이 같더라도 주구 간 요인을 재설정해야 합니다.

11개 하위구는 커드 요인에 해당합니다. 하위구 내에서 커드 요인의 설정은 일정합니다. 하위구의 각 수준은 주구의 한 수준 내에만 표시되어 하위구 수준이 주구 수준에 내포되어 있음을 나타냅니다.

치즈 요인의 수준은 각 런마다 무작위로 달라집니다.

### 분할 - 분할구 설계 설정

분할 - 분할구 설계의 "요인" 개요에는 "변경"이 "매우 어려움" 및 "어려움"으로 설정된 요인이 포함됩니다. "변경"이 "쉬움"으로 설정된 요인도 설계에 포함될 수 있습니다. 다음과 같은 두 요인이 생성됩니다.

- 주구 요인은 "변경"이 "매우 어려움"으로 설정된 요인의 상수 수준 블록을 나타냅니다.
- 하위구 요인은 "변경"이 "어려움"으로 설정된 요인의 상수 수준 블록을 나타냅니다.
- 하위구 요인은 "변경"이 "매우 어려움"으로 설정된 요인의 수준에 "변경"이 "어려움"으로 설정된 요인의 수준이 내포되어 있음을 반영합니다.
- "변경"이 "쉬움"으로 설정된 요인의 수준은 하위구 내의 단위에 무작위로 할당됩니다.
- 주구 및 하위구 요인은 설계 테이블에 저장된 "모형" 스크립트에서 임의 효과로 처리됩니다.

자세한 내용은 "[요인 개요](#)"(85페이지) 및 "[설계 구조 옵션](#)"(95페이지)에서 "변경"에 대한 설명을 참조하십시오.

## 이원 분할구 설계

이원 분할구(조각구 또는 분할 블록이라고도 함) 설계는 두 개의 분할구 성분으로 구성됩니다. 산업 분야에서 첫 번째 처리 단계의 재료나 실험 단위를 두 번째 처리 단계에 일괄적으로 전달할 때 이러한 설계가 수행됩니다. 그러나 첫 번째 처리 단계 후에 배치를 하위 배치로 나눌 수 있습니다. 두 번째 단계 처리 요인은 이러한 하위 배치에 무작위로 적용됩니다. 두 번째 단계의 특정 실험 설정이 있는 경우 해당 설정에 할당된 모든 하위 배치를 동시에 처리할 수 있습니다. 두 번째 처리 단계 후에 실험 단위에 추가 요인을 적용할 수 있습니다.

분할-분할구 설계와 달리 두 번째 단계 요인이 첫 번째 단계 요인에 내포되지 않습니다. 첫 번째 단계 후 배치가 나뉘어져 새 배치가 만들어집니다. 따라서 첫 번째 단계 요인과 두 번째 단계 요인 둘 다 전체 배치에 적용됩니다.

두 단계의 요인이 동등하게 변경하기 힘들 수 있지만 JMP는 첫 번째 단계 요인을 매우 변경하기 힘든 것으로 나타내고 두 번째 단계 요인을 변경하기 힘든 것으로 나타내 이러한 요인을 구분합니다. 두 번째 처리 단계 후 실험 단위에 적용된 추가 요인은 변경하기 쉬운 것으로 간주됩니다.

## 이원 분할구 설계 시나리오

Vivacqua and Bisgaard([2004](#))는 배터리 셀의 개회로 전압을 개선하기 위한 실험을 설명합니다. 다음 두 개의 처리 단계가 관심 영역입니다.

- 첫 번째 단계 : 연속 조립 공정
- 두 번째 단계 : 5 일 주기 시간의 큐어링 공정

엔지니어는 다음과 같은 2 수준 요인 6 개를 연구하려고 합니다.

- 조립 공정에 적용되는 네 개의 요인 ( $X_1, X_2, X_3, X_4$ )
- 큐어링 공정에 적용되는 두 개의 요인 ( $X_5, X_6$ )

모든 요인이 2 수준인 완전 요인 설계에는  $2^6 = 64$  회의 런이 필요하며  $64 * 5 = 320$  일이 소요됩니다. 또한 개별 배터리의 조립 조건을 변경하는 것은 실용적이지 않습니다. 그러나 2000개 배터리 배치와 같은 큰 배치에 대해서는 조립 조건을 변경할 수 있습니다.

첫 번째 단계 요인과 두 번째 단계 요인은 둘 다 변경하기 어렵습니다. 어떤 의미에서는 두 개의 분할구 설계로 볼 수 있습니다. 그러나 첫 번째 단계 실험에서 2,000개 배터리를 각각 500개의 배터리로 구성된 하위 배치 4개로 나눌 수 있습니다. 이 하위 배치를 두 번째 단계 요인 두 개에 대한 4개의 설정에 무작위로 할당할 수 있습니다. 주어진 큐어링 조건 집합에 할당된 모든 배치를 동시에 처리할 수 있습니다. 즉, 첫 번째 단계와 두 번째 단계의 요인이 교차됩니다.

첫 번째 단계와 두 번째 단계의 요인을 구분하기 위해 첫 번째 단계 요인의 "변경"을 "매우 어려움"으로 지정하고 두 번째 단계 요인의 "변경"을 "어려움"으로 지정합니다(그림 4.32). 또한 "설계 생성" 아래의 "변경하기 힘든 요인은 매우 변경하기 힘든 요인과 독립적으로 변화할 수 있습

니다." 옵션에 주의하십시오. 이 옵션을 선택하지 않으면 두 수준에서 요인이 내포된 분할-분할 구 설계로 처리됩니다. 이원 분할구 설계를 생성하려면 이 옵션을 선택하십시오.

**그림 4.32** 이원 분할구 설계를 위한 요인 및 설계 생성 개요

사용자 설계

▶ 반응

▶ 요인

요인 추가	제거	N개 요인 추가	1
X1	연속형	매우 어려움	-1
X2	연속형	매우 어려움	-1
X3	연속형	매우 어려움	-1
X4	연속형	매우 어려움	-1
X5	연속형	어려움	-1

▶ 공변량/후보 런

▶ 공변량 요인 선택 현재 데이터 테이블에서 공변량에 대한 후보 런 집합을  
적재합니다.

▶ 요인 제약 조건 정의

▶ 모형

▶ 별칭 향

▶ 설계 생성

변경하기 힘든 요인은 매우 변경하기 힘든 요인과 독립적으로 변화할 수 있습니다.

주구 수 7  
하위구 수 14

런 수:

최소값 15  
 기본값 42  
 사용자 지정 28

설계 생성

기본 주구 수는 7이고 기본 하위구 수는 14입니다. **설계 생성**을 클릭하여 28회 런 설계를 확인합니다.

그림 4.33 배터리 셀의 이원 분할구 설계

설계								
런	주구	하위구	X1	X2	X3	X4	X5	X6
1	1	1	1	1	1	-1	1	-1
2	1	2	1	1	1	-1	-1	1
3	1	3	1	1	1	-1	-1	-1
4	1	4	1	1	1	-1	1	1
5	2	5	-1	-1	-1	-1	-1	1
6	2	6	-1	-1	-1	-1	1	-1
7	2	7	-1	-1	-1	-1	-1	-1
8	2	8	-1	-1	-1	-1	1	1
9	3	9	1	1	-1	-1	-1	1
10	3	10	1	1	-1	-1	1	-1
11	3	11	1	1	-1	-1	-1	-1
12	3	12	1	1	-1	-1	1	1
13	4	13	1	-1	-1	1	-1	-1
14	4	14	1	-1	-1	1	1	1
15	4	1	1	-1	-1	1	1	-1
16	4	2	1	-1	-1	1	-1	1
17	5	3	-1	1	-1	1	-1	-1
18	5	4	-1	1	-1	1	1	1
19	5	5	-1	1	-1	1	-1	1
20	5	6	-1	1	-1	1	1	-1
21	6	7	1	-1	1	1	-1	-1
22	6	8	1	-1	1	1	1	1
23	6	9	1	-1	1	1	-1	1
24	6	10	1	-1	1	1	1	-1
25	7	11	-1	-1	1	-1	-1	-1
26	7	12	-1	-1	1	-1	1	1
27	7	13	-1	-1	1	-1	-1	-1
28	7	14	-1	-1	1	-1	1	1

7개 주구는 첫 번째 단계 요인 X1, X2, X3 및 X4에 해당합니다. 이 요인의 설정은 주구 내에서 일정합니다. 14개 하위구는 두 번째 단계 요인 X5와 X6에 해당합니다. 예를 들어 주구가 다른 런 1과 15의 하위구에 동일한 하위구 처리가 적용됩니다. 여기서 X5는 1로 설정되고 X6은 -1로 설정됩니다.

### 이원 분할구 설계 설정

이원 분할구 설계에는 "변경"이 "매우 어려움" 및 "어려움"으로 설정된 요인이 필요합니다. ["분할-분할구 설계 설정"](#)(113페이지)에 설명된 대로 주구와 하위구라는 요인이 생성됩니다. 그러나 이원 분할구 설계에서 하위구는 "변경"이 "매우 어려움"으로 설정된 요인의 수준에 "변경"이 "어려움"으로 설정된 요인의 수준을 내포하지 않습니다. 주구와 하위구는 둘 다 설계 테이블에 저장된 "모형" 스크립트에서 임의 효과로 처리됩니다.

하위구 요인이 주구 요인에 내포되지 않도록 해야 합니다. 이렇게 하려면 "설계 생성" 개요에서 ["변경하기 힘든 요인은 매우 변경하기 힘든 요인과 독립적으로 변화할 수 있습니다."](#) 옵션을 선택합니다(그림 4.32). 자세한 내용은 ["변경"\(85페이지\)](#) 및 ["설계 구조 옵션"\(95페이지\)](#)에서 확인하십시오.

분할구 설계를 생성하고 실험 데이터를 분석하는 예는 "사용자 설계의 예" 장의 ["이원 분할구 실험"](#)(184페이지)에서 확인하십시오.

## 변경하기 힘든 수준의 공변량

사용자 설계 플랫폼을 사용하면 공변량을 변경하기 힘든 요인으로 지정할 수 있습니다. 실험 요인 검정에 사용할 수 있는 재료 배치에 대한 측정값이 있다고 가정해 보겠습니다. 또는 실험 요인 검정에 참여하기 위해 선택된 개인에 대한 측정값이 있다고 가정해 보겠습니다. 이러한 측정값은 실험 전에 알 수 있으므로 공변량으로 간주됩니다.

배치 또는 개인은 주구에 해당합니다. 이러한 주구 중 일부만 실험에 사용하고 싶을 수도 있습니다. 공변량 형태의 주구 정보를 사용할 수 있으므로 설계는 최적의 방식으로 주구를 선택해야 합니다.

"모형" 개요에 포함된 항에 의해 주어진 모형은 공변량 및 실험 요인을 사용하여 구성된 교호작용과 검정력을 포함할 수 있습니다.

**참고 :** "공변량" 요인의 "변경" 을 "어려움"으로 설정하면 다른 모든 공변량도 "어려움"으로 설정됩니다. 나머지 요인은 "쉬움"으로 설정해야 합니다. 이 알고리즘을 사용하려면 행 교환과 좌표 교환의 조합이 필요하므로 적당한 크기의 설계도 생성하는 데 시간이 걸릴 수 있습니다.

### 변경하기 힘든 공변량이 포함된 실험 시나리오

폴리프로필렌 판과 관련된 실험은 Goos and Jones(2011, Chapter 9) 및 Jones and Goos(2015)에 설명되어 있습니다. 여러 변수에 의해 결정된 다양한 배합에 따라 다수의 폴리프로필렌 판 배치가 생성됩니다. 일부 판은 바로 사용되고 나머지는 이후 실험용으로 보관됩니다. 보관된 배치의 구성은 알려져 있습니다.

고객은 판 배합과 관련하여 특정 요구 사항을 가지고 있습니다. 이후 실험에는 기체 플라스마 처리를 고객이 요구하는 유형의 배합으로 사용자 정의하는 것이 포함됩니다. 구성 변수는 변경하기 힘든 공변량으로 간주됩니다. 기체 플라스마 처리 요인을 주어진 배합으로 판 하위 배치에 적용할 수 있습니다.

최적 설계는 사용할 배치(공변량으로 정의됨)를 식별하고, 사용할 각 배치의 판 수를 결정하고, 기체 플라스마 수준에 대한 설정을 제공합니다. 주어진 배치에서 최적의 배치 및 판 수는 공변량에 따라 다릅니다.

"사용자 설계의 예" 장(123 페이지)에 예가 제공됩니다.

## 주구 및 하위구 수

JMP에서는 주구 수와 하위구 수의 기본값을 제안합니다. 이 값은 "모형" 개요에서 지정한 효과를 추정할 수 있는 균형 설계를 생성하기 위한 발견적 방법을 기반으로 합니다.

"주구 수" 또는 "하위구 수"에 결측값을 입력하면 설계의 D 효율도를 최대화하는 값이 자동으로 선택됩니다. 이 알고리즘은 "분할구 분산비" 옵션에 지정된 값을 사용합니다. 자세한 내용은 "고급 옵션 > 분할구 분산비"(102페이지)에서 확인하십시오. D 효율도는  $\mathbf{X}'\mathbf{V}^{-1}\mathbf{X}$  행렬식으로 지정됩니다. 여기서  $\mathbf{V}^{-1}$ 은 반응에 대한 분산 행렬의 역입니다. 자세한 내용은 Goos(2002)에서 확인하십시오.

"주구 수"와 "하위구 수"에 값을 입력하면 사용자 설계에서 결과 설계의 최적성을 최대화하려고 합니다. 분할구 설계에 대한 자세한 내용은 Jones and Goos(2007)에서 확인하십시오. 변경하기 힘든 공변량이 포함된 설계에 대한 자세한 내용은 Jones and Goos(2015)에서 확인하십시오.

## 최적 기준

사용자 설계는 최적 기준에 따라 달라지는 검색 루틴을 사용하여 생성됩니다. 이 섹션에서는 사용자 설계 생성을 위한 최적 기준에 대한 정보를 제공합니다.

- "D- 최적 "(118 페이지)
- " 베이지안 D- 최적 "(119 페이지)
- "I- 최적 "(120 페이지)
- " 베이지안 I- 최적 "(121 페이지)
- "A- 최적 "(120 페이지)
- " 별칭 최적 "(121 페이지)

### D- 최적

기본적으로 사용자 설계 플랫폼은 "RSM" 버튼을 사용하여 완전 2차 모형을 생성하는 경우를 제외하고 D-최적 기준을 최적화합니다. "RSM" 버튼을 사용하는 경우에는 I-최적 설계가 생성됩니다.

D-최적 기준은 모형 계수 추정값의 공분산 행렬에 대한 행렬식을 최소화합니다. 결과적으로 D-최적은 효과의 정확한 추정에 중점을 둡니다. 이 기준은 다음과 같은 경우에 적합합니다.

- 선별 설계
- 효과 추정 또는 유의성 검정에 중점을 둔 실험
- 활성 요인 식별이 실험 목표인 설계

D-최적 기준은 가정된 모형에 종속됩니다. 참모형의 형태를 미리 알 수 없는 경우가 많아서 이 제한이 있습니다. D-최적 설계의 런은 가정된 모형의 계수 정밀도를 최적화합니다. 극단적으로 D-최적 설계는 런 수가 모수와 동일하고 적합 결여의 자유도가 없는 포화 상태일 수 있습니다.

특히 D-최적 설계는  $D$ 를 최대화합니다. 여기서  $D$ 는 다음과 같이 정의됩니다.

$$D = \det[\mathbf{X}'\mathbf{X}]$$

$\mathbf{X}$ 는 "반응 시뮬레이션"(103페이지)에 정의된 모형 행렬입니다.

D-최적 분할구 설계는  $D$ 를 최대화합니다. 여기서  $D$ 는 다음과 같이 정의됩니다.

$$D = \det[\mathbf{X}'\mathbf{V}^{-1}\mathbf{X}]$$

$\mathbf{V}^{-1}$ 은 반응에 대한 공분산 행렬의 대각 블록입니다(Goos 2002).

D-최적 설계는 계수의 표준 오차를 최소화하는 데 중점을 두기 때문에 모형이 올바른지 확인하지 못할 수 있습니다. 예를 들어 D-최적 설계에는 1차 모형의 중앙점이 포함되지 않습니다. 가정된 모형에 포함되지 않은 잠재적 활성 항이 있는 경우 If Possible 항을 지정하고 베이지안 D-최적 설계를 사용하는 것이 더 좋은 방법입니다.

## 베이지안 D- 최적

베이지안 D-최적은 수정된 D-최적 기준입니다. 베이지안 D-최적 기준은 잠재적 활성 교호작용 또는 비선형 효과가 있을 때 유용합니다. 자세한 내용은 DuMouchel and Jones(1994) 및 Jones et al(2008)에서 확인하십시오.

베이지안 D-최적은 지정된 모형 모수 집합을 정확하게 추정합니다. 이는 "모형" 개요에서 "추정 가능성"을 "필수"로 지정한 효과입니다. 그러나 이와 동시에 베이지안 D-최적은 런 크기에서 허용하는 대로 다른 효과(대개 고차 효과)를 추정할 수 있습니다. 이는 "모형" 개요에서 "추정 가능성"을 "If Possible"로 지정한 효과입니다. 런 크기 제한이 주어졌을 때 베이지안 D-최적 설계는 필수 효과만 포함된 모형에서 부적합성을 감지할 수 있습니다.

베이지안 D-최적 기준은 런 수가 "필수" 항의 수보다 많지만 "필수" 항과 "If Possible" 항의 합보다 작을 때 가장 효과적입니다. 이 경우 런 수는 추정할 모수의 수보다 적습니다. 베이지안 설정의 사전 정보를 사용하면 모든 필수 항을 정확하게 추정할 수 있는 동시에 일부 If Possible 항을 감지하고 추정할 수 있습니다.

의미 있는 사전 분포를 모형의 모수에 적용하기 위해 반응과 요인이 특정한 특성을 갖도록 조정됩니다(DuMouchel and Jones, 1994, Section 2.2).

다음 표기를 고려하십시오 .

- **X** 는 "반응 시뮬레이션"(103 페이지 )에 정의된 모형 행렬입니다 .
- **K** 는 다음과 같은 값을 갖는 대각 행렬입니다 .
  - $k = 0$ (필수 항의 경우 )
  - $k = 1$ (If Possible 주효과 , 검정력 , 3 수준 이상의 범주형 요인과 관련된 교호작용의 경우 )
  - $k = 4$ ( 다른 모든 If Possible 항의 경우 )

If Possible 모수의 벡터에 설정된 사전 분포는 평균 벡터가 **0**이고, 대각 공분산 행렬의 대각 항목이  $1/k^2$ 인 다변량 정규 분포입니다. 따라서  $k^2$  값은 해당 모수의 사전 분산에 대한 역수입니다.

$k$ 의 값은 경험적으로 결정됩니다. If Possible 주효과, 검정력, 자유도가 2 이상인 교호작용의 사전 분산은 1입니다. 다른 If Possible 항의 사전 분산은 1/16입니다. DuMouchel and Jones(1994) 표기에서  $k = 1/\tau$ 입니다.

If Possible 항에 대한 가중치를 제어하려면 빨간색 삼각형 메뉴에서 **고급 옵션 > 사전 모수 분산** 을 선택합니다. 자세한 내용은 "**고급 옵션 > 사전 모수 분산**"(103 페이지)에서 확인하십시오.

모수에 대한 사후 분포에는 공분산 행렬  $(\mathbf{X}'\mathbf{X} + \mathbf{K}^2)^{-1}$  이 있습니다. 베이지안 D- 최적 설계는 사후 공분산 행렬의 역에 대한 행렬식을 최대화하여 생성됩니다.

$$\det(\mathbf{X}'\mathbf{X} + \mathbf{K}^2)$$

## I- 최적

I- 최적 설계는 설계 공간에 대해 예측 평균 분산을 최소화합니다. 1 차 실험 목표가 계수 추정이 아니라 다음을 수행하는 것이라면 I- 최적 기준이 D- 최적보다 더 적합합니다.

- 반응 예측
- 최적의 작동 조건 결정
- 설계 공간에서 반응이 허용 가능한 범위 내에 속하는 영역 결정

이 경우에는 정확한 반응 예측이 정확한 모수 추정보다 우선합니다.

설계 공간의  $x_0$  지점에서 미지의 오차 분산에 대한 예측 분산은 다음과 같이 계산할 수 있습니다.

$$\text{var}(\hat{\mathbf{Y}}|\mathbf{x}_0) = f(\mathbf{x}_0)'(\mathbf{X}'\mathbf{X})^{-1}f(\mathbf{x}_0)$$

$\mathbf{X}$ 는 "반응 시뮬레이션"(103페이지)에 정의된 모형 행렬입니다.

I- 최적 설계는 전체 설계 공간에 대해 예측 분산의 적분  $I$ 를 최소화합니다. 여기서  $I$ 는 다음과 같이 지정됩니다.

$$I = \int_R f(\mathbf{x})'(\mathbf{X}'\mathbf{X})^{-1}f(\mathbf{x})d\mathbf{x} = \text{trace}[(\mathbf{X}'\mathbf{X})^{-1}\mathbf{M}]$$

$\mathbf{M}$ 은 적률 행렬입니다.

$$\mathbf{M} = \int_R f(\mathbf{x})f(\mathbf{x})' d\mathbf{x}$$

자세한 내용은 "반응 시뮬레이션"(103페이지)에서 확인하십시오. 반응 시뮬레이션에 대한 자세한 내용은 Goos and Jones(2011b)에서 확인하십시오.

적률 행렬은 설계에 의존하지 않으며 미리 계산할 수 있습니다. 행 벡터  $f(\mathbf{x})'$ 는 1 다음에 가정된 모형에 해당하는 효과가 나옵니다. 예를 들어 연속형 요인이 두 개 있는 완전 2 차 모형의 경우  $f(\mathbf{x})'$ 는 다음과 같이 정의됩니다.

$$f(\mathbf{x})' = (1, x_1, x_2, x_1x_2, x_1^2, x_2^2)$$

## A- 최적

A-최적 기준은 모형 계수 추정값의 공분산 행렬에 대한 대각합을 최소화합니다. 대각합은 행렬에서 주대각 요소의 합입니다. A-최적 설계는 회귀 계수 분산의 합을 최소화합니다.

## 베이지안 I-최적

베이지안 I-최적 설계는 설계 영역에 대해 필수 항과 If Possible 항에 대한 평균 예측 분산을 최소화합니다.

다음 표기를 고려하십시오.

- **X** 는 "반응 시뮬레이션"(103페이지)에 정의된 모형 행렬입니다.
- **K** 는 다음과 같은 값을 갖는 대각 행렬입니다.
  - $k = 0$ (필수 항의 경우)
  - $k = 1$ (If Possible 주효과, 겸정력, 3 수준 이상의 범주형 요인과 관련된 교호작용의 경우)
  - $k = 4$ (다른 모든 If Possible 항의 경우)

If Possible 모수의 벡터에 설정된 사전 분포는 평균 벡터가 **0**이고, 대각 공분산 행렬의 대각 항목이  $1/k^2$ 인 다변량 정규 분포입니다.  $k$  값에 대한 자세한 내용은 "베이지안 D-최적"(119페이지)에서 확인하십시오.

$\mathbf{x}_0$  지점에서 예측값의 사후 분산은 다음과 같습니다.

$$\text{var}(\hat{\mathbf{Y}}|\mathbf{x}_0) = f(\mathbf{x}_0)' (\mathbf{X}'\mathbf{X} + \mathbf{K}^2)^{-1} f(\mathbf{x}_0)$$

베이지안 I-최적 설계는 설계 영역에 대해 다음과 같이 평균 예측 분산을 최소화합니다.

$$I_B = \text{trace}[(\mathbf{X}'\mathbf{X} + \mathbf{K}^2)^{-1} \mathbf{M}]$$

**M**은 적률 행렬입니다. 자세한 내용은 "반응 시뮬레이션"(103페이지)에서 확인하십시오.

## 별칭 최적

별칭 최적은 가정된 모형에 있는 효과와 모형에 없지만 잠재적 활성 상태인 효과 사이의 별칭 관계를 최소화하려고 합니다. 모형에 없지만 잠재적 관심 대상인 효과를 별칭 효과라고 합니다. 별칭-최적 설계에 대한 자세한 내용은 Jones and Nachtsheim(2011b)에서 확인하십시오.

구체적으로  $\mathbf{X}_1$ 을 "반응 시뮬레이션"(103페이지)에서 정의된 가정된 모형의 항에 해당하는 모형 행렬로 지정하겠습니다. 설계는 별칭 효과에 해당하는 모형을 정의합니다.  $\mathbf{X}_2$ 로 별칭 효과에 대한 모형 항 행렬을 나타냅니다.

별칭 행렬은 다음과 같이 정의된 행렬 **A**입니다.

$$\mathbf{A} = (\mathbf{X}_1'\mathbf{X}_1)^{-1} \mathbf{X}_1' \mathbf{X}_2$$

별칭 행렬의 항목은 모형 항 추정값과 관련된 편향 정도를 나타냅니다. 별칭 행렬의 파생에 대한 자세한 내용은 "기술 상세 정보" 부록의 "별칭 행렬"(767페이지)에서 확인하십시오.

**A**에 있는 항목의 제곱합은 편향에 대한 요약 지표를 제공합니다. 이 제곱합은 다음과 같이 대각합으로 나타낼 수 있습니다.

### trace( $\mathbf{A}'\mathbf{A}$ )

대각합 기준을 감소하는 설계는 일반적으로 D-최적 설계보다 D 효율도가 낮습니다. 결과적으로 별칭 최적은 D 효율도의 하한에 따라  $\mathbf{A}'\mathbf{A}$ 의 대각합을 최소화하려고 합니다. D 효율도의 정의는 "최적 기준"(118페이지)에서 확인하십시오. D 효율도의 하한은 "고급 옵션"에서 D 효율도 가중치를 지정하여 구할 수 있습니다. 자세한 내용은 "[고급 옵션 > D 효율도 가중치](#)"(103페이지)에서 확인하십시오.

## D 효율도

$\mathbf{X}$ 는  $p$ 개 모수를 사용하는 가정된 모형의 설계 또는 모형 행렬을 나타냅니다. 모형 행렬의 정의는 "[반응 시뮬레이션](#)"(103페이지)에서 확인하십시오.  $\mathbf{X}_D$ 는 가정된 모형의 D-최적 설계에 대한 모형 행렬을 나타냅니다. 그러면  $\mathbf{X}$ 에 의해 지정된 설계의 D 효율도가 다음과 같습니다.

$$\text{D 효율도} = \left[ \frac{\det(\mathbf{X}'\mathbf{X})}{\det(\mathbf{X}_D'\mathbf{X}_D)} \right]^{1/p}$$

## 좌표 교환 알고리즘

사용자 설계 도구는 여러 최적 기준 중 하나를 최적화하는 설계를 구성합니다. 자세한 내용은 "[최적 기준](#)"(118페이지)에서 확인하십시오. 기준을 최적화하기 위해 사용자 설계는 좌표 교환 알고리즘(Meyer and Nachtsheim, 1995)을 사용합니다. 이 알고리즘은 시작 설계를 생성하기 위해 각 요인 및 각 런에 대해 지정된 설계 영역 내에서 무작위로 값을 선택하는 것에서 시작됩니다.

요인 제약 조건이 없는 연속형 요인 및 주효과 모형이 연구에 필요하다고 가정해 보겠습니다. 반복은 다음과 같이 모형 행렬의 각 값을 검정하는 것으로 구성됩니다.

- 각 요인의 현재 값은 최극단값 두 개로 대체됩니다.
- 두 대체 값에 대해 최적 기준이 계산됩니다.
- 값 중 하나가 최적 기준을 증가시키면 이 값이 이전 값을 대체합니다.

이 과정은 전체 반복에 대해 값 대체가 없을 때까지 계속됩니다.

다항식 항, 명목형 요인 및 요인 제약 조건을 처리하기 위해 알고리즘이 적절하게 조정됩니다.

이 과정에서 얻은 설계는 다양한 종류의 근접 설계에서 최적입니다. 그러나 이 설계는 로컬에서만 최적입니다. 전역 최적 설계를 찾을 확률을 높이기 위해 좌표 교환 알고리즘이 여러 번 반복됩니다. Goos and Jones(2011, p. 36)는 가장 자명한 경우를 제외한 모든 설계 상황에 대해 1,000회 이상의 랜덤 시작을 사용하도록 권장합니다. 시작 설계 수는 "시작 수" 옵션에 의해 제어됩니다. 자세한 내용은 "[시작 수](#)"(107페이지)에서 확인하십시오. 사용자 설계는 생성된 모든 설계 중에서 최적 기준을 최대화하는 설계를 제공합니다.

## 사용자 설계의 예 요구 사항을 충족하는 실험 수행

사용자 설계 플랫폼을 광범위한 실험 설계를 구성하기 위한 기본 도구로 사용합니다. 다양한 설계 유형을 구성하고 특정 실험 요구 및 리소스 예산에 맞게 세부적으로 조정할 수 있습니다.

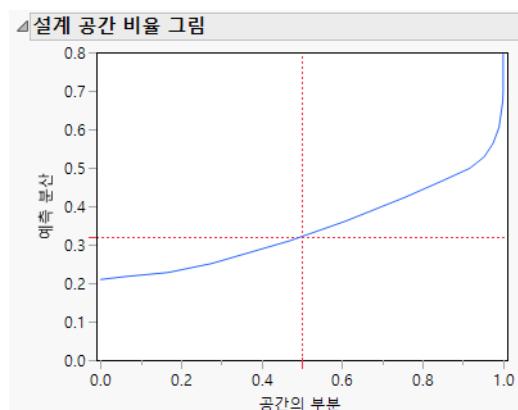
사용자 설계는 선별, 반응 표면, 완전 요인 및 혼합물 설계 플랫폼보다 많은 옵션과 컨트롤을 제공합니다. 구성한 설계는 목표에 맞게 특별히 생성됩니다. 따라서 목표를 충분히 충족시킬 수 있는 전통적 설계를 찾을 필요가 없습니다.

사용자 설계를 사용하여 구성할 수 있는 특수 목적의 유연한 설계는 다음과 같습니다.

- 선별 설계 (과포화 선별 설계 포함)
- 반응 표면 설계 (범주형 요인이 추가된 설계 포함)
- 혼합물 설계 (공정 요인이 추가된 설계, 혼합물 혼합 설계 포함)
- 공변량을 포함하는 설계 또는 시간 선형 추세에 대한 로버스트 설계
- 고정 및 랜덤 블록 설계
- 분할구, 분할 - 분할구 및 이원 분할구 (조각구) 설계

이 장에서는 사용자 설계 플랫폼을 사용하여 이러한 설계 유형을 구성해 봅니다. 대부분의 경우 실험 결과도 분석합니다. 사용자 설계 플랫폼에 대한 자세한 내용은 "사용자 설계" 장(63페이지)에서 확인하십시오.

그림 5.1 설계 공간 비율 그림



## 목차

선별 실험	125
주효과만추정하는 설계	125
모든 2요인 교호작용을 추정하는 설계	128
주효과와 2요인 교호작용의 별칭 관계를 방지하는 설계	130
과포화 선별 설계	133
고정 블록 설계	140
반응 표면 실험	144
반응 표면 설계	144
유연한 블록화 방법을 사용하는 반응 표면 설계	150
D-최적과 I-최적의 반응 표면 설계 비교	152
제약 조건 및 범주형 요인이 있는 반응 표면 설계	157
혼합물 실험	162
비혼합 요인이 있는 혼합물 설계	162
혼합물 혼합 설계	166
공변량이 포함된 실험	170
고정 공변량이 포함된 설계	171
변경하기 힘든 공변량이 포함된 설계	173
시간 선형 추세가 포함된 설계	177
랜덤화 제한이 있는 실험	180
분할구 실험	180
이원 분할구 실험	184
로버스트 공정 및 제품 설계를 위한 실험	190

## 선별 실험

공정을 연구하는 초기 단계에서는 하나 이상의 반응에 영향을 줄 수 있는 요인 목록을 식별합니다. 활성 요인, 즉 실제로 반응에 영향을 주는 요인을 식별하는 데 관심이 있습니다. 선별 설계는 활성 가능성 있는 요인을 판별하는데 도움이 됩니다. 활성 요인이 식별되면 반응 표면 설계와 같은 더 정교한 설계를 구성하여 교호작용과 곡률을 모델링할 수 있습니다.

사용자 설계 플랫폼을 사용하여 구성한 선별 설계는 선별 설계 플랫폼에서 제공하는 전통적 설계와 동등한 경우가 많습니다. 그러나 사용자 설계는 전통적 선별 설계를 사용할 수 없는 경우 설계를 구성할 수 있습니다.

사용자 설계 플랫폼은 D-최적 또는 베이지안 D-최적 기준을 사용하여 선별 설계를 구성합니다. D-최적 기준은 모형 계수 추정값의 공분산 행렬에 대한 행렬식을 최소화합니다. 결과적으로 D-최적은 효과의 정확한 추정에 중점을 둡니다. 자세한 내용은 "사용자 설계" 장의 "**최적 기준**"(118 페이지)에서 확인하십시오.

- "[주효과만추정하는 설계](#)"
- "[모든 2 요인 교호작용을 추정하는 설계](#)"
- "[주효과와 2 요인 교호작용의 별칭 관계를 방지하는 설계](#)"
- "[과포화 선별 설계](#)"
- "[고정 블록 설계](#)"

### 주효과만추정하는 설계

**참고 :** 주효과만 선별하는 설계에 대한 자세한 내용은 "[선별 설계](#)" 장(267 페이지)에서 확인하십시오.

이 예에서는 6 개 요인의 주효과를 연구하려고 합니다. 모든 주효과가 직교하는 선별 설계를 구성합니다. 그러나 주효과는 2 요인 교호작용과 별칭 관계를 갖습니다.

1. **DOE > 사용자 설계**를 선택합니다.
2. "요인" 개요에서 **N 개 요인 추가** 옆에 6 을 입력합니다.
3. **요인 추가 > 연속형**을 클릭합니다.
4. **계속**을 클릭합니다.

"모형" 개요가 나타납니다. 여기에는 "추정 가능성"이 "필수"로 지정된 주효과만 포함되어 있습니다. 즉, 생성된 설계에서 모든 주효과를 추정할 수 있습니다.

### 그림 5.2 모형 개요를 보여 주는 사용자 설계 창

The screenshot displays the 'User Design' interface with several sections:

- 사용자 설계** (User Design) section:
  - 반응** (Response) button
  - 요인** (Factor) button
  - 요인 추가** (Add Factor), **제거** (Remove Factor), **N개 요인 추가** (Add N factors) buttons.
  - A table showing factor details:
 

이름	역 할	변경	값
X1	연속형	쉬움	-1
X2	연속형	쉬움	-1
X3	연속형	쉬움	-1
X4	연속형	쉬움	-1
X5	연속형	쉬움	-1
- 요인 제약 조건 정의** (Factor Constraint Definition) section
- 모형** (Model) section:
  - 주효과**, **교호작용**, **RSM**, **교차**, **역**, **항 제거** buttons.
  - A table showing model constraints:
 

이름	주정 가능성
절편	필수
X1	필수
X2	필수
X3	필수
X4	필수
X5	필수
X6	필수
- 별칭 항** (Alias Term) section
- 설계 생성** (Design Generation) section:
  - 련을 다음 크기의 랜덤 블록으로 그룹화:
  - 중앙점 수:
  - 반복 련 수:
  - 련 수:
    - 최소값 7
    - 기본값 12
    - 사용자 지정
  - 설계 생성** (Generate Design) button

기본값 련 수 12를 그대로 유지합니다.

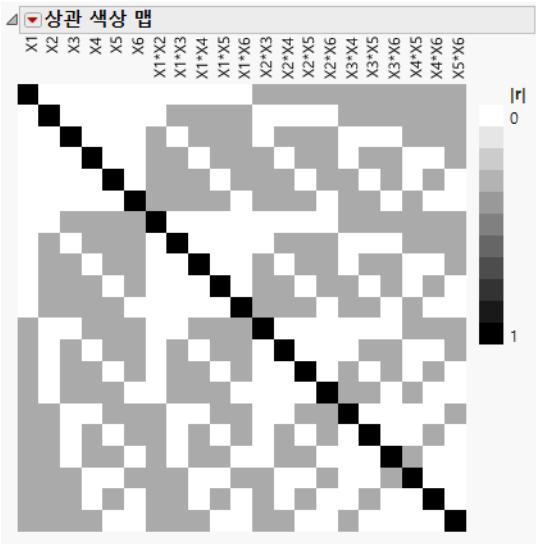
**참고 :** 5 단계에서 "난수 시드값" 을 설정하고 6 단계에서 "시작 수"를 설정하면 이 예에 표시된 것과 동일한 결과가 재현됩니다. 설계를 직접 구성할 때는 이러한 단계가 필요하지 않습니다.

5. (선택 사항) "사용자 설계"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **난수 시드값 설정**을 선택한 후 12345를 입력하고 **확인**을 클릭합니다.
6. (선택 사항) "사용자 설계"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **시작 수**를 선택한 후 1을 입력하고 **확인**을 클릭합니다.
7. **설계 생성**을 클릭합니다.

**그림 5.3** 주효과만 추정하는 설계

번	X1	X2	X3	X4	X5	X6
1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
2	1	-1	1	-1	-1	-1
3	1	1	-1	1	-1	-1
4	-1	1	1	-1	1	-1
5	1	-1	1	1	-1	1
6	1	1	-1	1	1	-1
7	1	1	1	-1	1	1
8	-1	1	1	1	-1	1
9	-1	-1	1	1	1	-1
10	-1	-1	-1	1	1	1
11	1	-1	-1	-1	1	1
12	-1	1	-1	-1	-1	1

8. 설계 평가 > 상관 색상 맵 개요를 엽니다.

**그림 5.4** 상관 색상 맵

다음을 확인할 수 있습니다.

- 주효과는 맵의 왼쪽 위에 6 개 항으로 나타납니다.
- 6 개 주효과와 다른 주효과의 상관에 해당하는 흰색은 상관계수 0을 나타냅니다. 이는 모든 주효과가 직교되고 서로 독립적으로 추정할 수 있음을 의미합니다.
- 일부 이원 교호작용에 해당하는 사각형의 연한 회색은 해당 효과가 서로 상관되어 있음을 나타냅니다. 이는 해당 효과를 다른 효과와 독립적으로 추정할 수 없음을 의미합니다. 정확한 상관을 보려면 이들 사각형을 커서로 가리킵니다.
- 서로 완전히 교략되는 효과는 없습니다. 절대 상관 1을 나타내는 검은색 사각형은 주대각 위에만 있습니다.

9. 설계 평가 > 별칭 행렬 개요를 엽니다.

## 그림 5.5 별칭 행렬

효과	$X1*X2$	$X1*X3$	$X1*X4$	$X1*X5$	$X1*X6$	$X2*X3$	$X2*X4$	$X2*X5$	$X2*X6$	$X3*X4$	$X3*X5$	$X3*X6$	$X4*X5$	$X4*X6$	$X5*X6$
절편	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$X1$	0	0	0	0	-0.33	0.333	0.333	-0.33	-0.33	-0.33	0.333	-0.33	-0.33	-0.33	0.333
$X2$	0	-0.33	0.333	0.333	-0.33	0	0	0	-0.33	0.333	0.333	-0.33	-0.33	-0.33	-0.33
$X3$	-0.33	0	-0.33	-0.33	0	-0.33	0.333	0.333	0	0	0	-0.33	0.333	-0.33	-0.33
$X4$	0.333	-0.33	0	-0.33	-0.33	-0.33	0	-0.33	-0.33	0	-0.33	0.333	0	0	-0.33
$X5$	0.333	-0.33	-0.33	0	0.333	0.333	-0.33	0	-0.33	-0.33	0	-0.33	0	-0.33	0
$X6$	-0.33	0.333	-0.33	0.333	0	0.333	-0.33	-0.33	0	0.333	-0.33	0	-0.33	0	0

"별칭 행렬"은 모형에서 주효과 항의 계수가 잠재적 활성 상태인 2요인 교호작용 효과에 의해 어떻게 편향되는지 보여 줍니다. 열 라벨은 교호작용을 식별합니다. 예를 들어  $X1$  행에서  $X2*X3$  열의 값은 -0.33이고,  $X2*X4$  열의 값은 0.333입니다. 즉,  $X1$  주효과에  $X2*X3$  효과의 -0.33 배를 더하고,  $X2*X4$  효과의 0.333 배를 더하는 식으로  $X1$  행의 남은 항까지 계산하여  $X1$  주효과의 기대값을 구할 수 있습니다.  $X1$  주효과의 추정값이 유의하려면  $X1$  효과와 비교하여 이러한 교호작용의 크기를 무시할 수 있는 것으로 가정해야 합니다.

**팁 :** 별칭 행렬은 부분 요인 설계에서 교락 패턴을 일반화한 것입니다.

## 모든 2 요인 교호작용을 추정하는 설계

그림 5.5의 별칭 행렬은 효과의 부분 별칭 구조를 보여 줍니다. 다른 경우에는 주효과가 2요인 교호작용과 완전히 별칭 관계가 되거나 교락될 수 있습니다. 두 경우 모두 강력한 2요인 교호작용으로 인해 주효과만 추정하는 실험의 결과에 혼동을 줄 수 있습니다. 이러한 위험을 방지하기 위해 모든 2요인 교호작용을 해결하는 설계를 생성합니다.

이 예에서는 해상도 V 선별 설계를 생성합니다. 2 요인 교호작용은 직교이지만 3 요인 교호작용과 교락됩니다.

1. **DOE > 사용자 설계**를 선택합니다.
2. **N 개 요인 추가** 옆에 5를 입력합니다.
3. **요인 추가 > 연속형**을 클릭합니다.
4. **계속**을 클릭합니다.
5. "모형" 개요에서 **교호작용 > 2 차**를 선택합니다.

그림 5.6 교호작용을 보여 주는 모형 개요

모형		주효과	교호작용 ▾	RSM	교차	역 ▾	항 제거
이름		추정 가능성					
절편		필수					
X1		필수					
X2		필수					
X3		필수					
X4		필수					
X5		필수					
X1*X2		필수					
X1*X3		필수					
X1*X4		필수					
X1*X5		필수					
X2*X3		필수					
X2*X4		필수					
X2*X5		필수					
X3*X4		필수					
X3*X5		필수					
X4*X5		필수					

6. **최소값**을 클릭하여 런 수에 16을 적용합니다.

**참고 :** 7 단계에서 "난수 시드값"을 설정하고 8 단계에서 "시작 수"를 설정하면 이 예에 표시된 것과 동일한 결과가 재현됩니다. 설계를 직접 구성할 때는 이러한 단계가 필요하지 않습니다.

7. (선택 사항) "사용자 설계"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **난수 시드값 설정**을 선택한 후 12345를 입력하고 **확인**을 클릭합니다.
8. (선택 사항) "사용자 설계"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **시작 수**를 선택한 후 1을 입력하고 **확인**을 클릭합니다.
9. **설계 생성**을 클릭합니다.

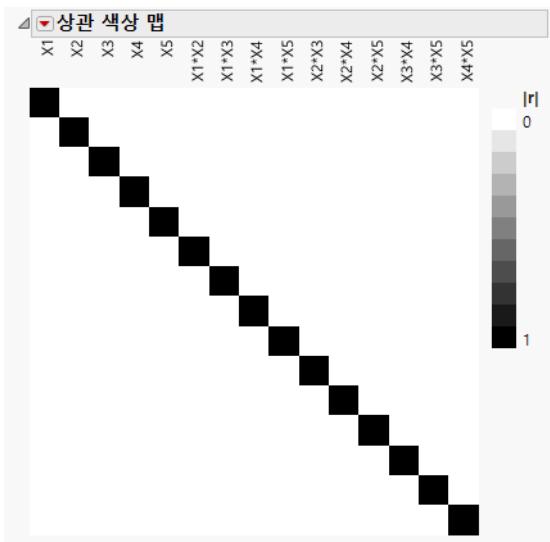
그림 5.7에서는 설계의 런을 보여 줍니다. "모형" 개요에서 모든 주효과와 2 요인 교호작용의 "추정 가능성"이 "필수" (기본값)로 지정되었으므로 효과를 추정할 수 있습니다.

그림 5.7 모든 2 요인 교호작용을 추정하기 위한 설계

설계					
런	X1	X2	X3	X4	X5
1	-1	-1	1	-1	-1
2	-1	-1	-1	1	-1
3	1	1	1	1	1
4	-1	-1	1	1	1
5	1	-1	1	-1	1
6	1	1	-1	1	-1
7	1	-1	-1	-1	-1
8	1	-1	1	1	-1
9	-1	1	1	-1	1
10	-1	-1	-1	-1	1
11	-1	1	-1	1	1
12	1	1	-1	-1	1
13	1	1	1	-1	-1
14	-1	1	1	1	-1
15	1	-1	-1	1	1
16	-1	1	-1	-1	-1

10. **설계 평가 > 상관 색상 맵** 개요를 엽니다.

그림 5.8 상관 색상 맵



색상 맵은 5개의 주효과와 10개의 이원 교호작용이 모두 상호 직교함을 나타냅니다.

## 주효과와 2 요인 교호작용의 별칭 관계를 방지하는 설계

6개 연속형 요인의 주효과를 추정하는 것에 가장 관심이 있다고 가정해 보겠습니다. 그러나 주효과와 잠재적 활성 상태인 2요인 교호작용의 별칭 관계를 최소화하는 방식을 사용하려고 합니다.

예산을 고려할 때 가능한 런 수는 16회입니다. 요인이 6개이고 가능한 2요인 교호작용은 15개입니다. 상수, 주효과 6개 및 2요인 교호작용 15개를 적합시키는 데 필요한 최소 런 수는 22입니다.

이 예에서는 주효과만 추정하는 8 회 런 설계 ("주효과만추정하는 설계" (125 페이지) 참조) 와 모든 2요인 교호작용을 적합시킬 수 있는 22 회 런 설계의 절충안을 찾습니다. 목표 달성을 위해 "별칭 최적" 을 최적 기준으로 사용합니다.

1. **DOE > 사용자 설계**를 선택합니다.
2. **N 개 요인 추가** 옆에 6 을 입력합니다.
3. **요인 추가 > 연속형**을 클릭합니다.
4. **계속**을 클릭합니다.

기본적으로 모형에 주효과 항이 포함됩니다. 이 항의 기본 추정 가능성은 "필수" 입니다. "별칭 항" 개요에 2 차 교호작용이 추가되어 있습니다. 기본적으로 가정된 모형에 포함되지 않은 모든 이원 교호작용은 "별칭 항" 목록에 추가됩니다.

5. "사용자 설계" 의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **최적 기준 > 최적 설계 별칭 생성**을 선택합니다.

"최적 설계 별칭 생성"을 선택하면 JMP에서 D 효율도를 사용하여 별칭 축소의 균형을 맞추는 설계를 생성합니다. 자세한 내용은 "사용자 설계" 장의 "별칭 최적"(121 페이지)에서 확인하십시오.

6. 사용자 지정을 클릭하고 런 수를 16으로 변경합니다.

그림 5.9 요인, 모형, 별칭 항 및 런 수

The screenshot shows the JMP User Design software interface with several sections:

- 요인 (Factors):** A table with 5 factors (X1-X5) and their levels (연속형). Each factor has a value (-1 or 1) and a sign (+1 or -1).
- 모형 (Model):** A table showing the relationship between factors and their interactions. Factors X1 through X6 are listed, each with a column for interaction terms like X1\*X2, X1\*X3, etc., and a column for "추정 가능성" (Assumption).
- 별칭 항 (Alias Terms):** A table listing various alias terms such as X1\*X2, X1\*X3, etc.
- 설계 생성 (Design Generation):** A section where the user can set the number of runs. It includes fields for "런을 다음 크기의 랜덤 블록으로 그룹화:" (Group runs into random blocks of size:), "중앙점 수:" (Number of center points: 0), "반복 런 수:" (Number of replicates: 0), and "런 수:" (Number of runs:). The "사용자 지정" (User specified) option is selected with a value of 16.

**참고 :** 7 단계에서 "난수 시드값"을 설정하고 8 단계에서 "시작 수"를 설정하면 이 예에 표시된 것과 동일한 결과가 재현됩니다. 설계를 직접 구성할 때는 이러한 단계가 필요하지 않습니다.

7. (선택 사항) "사용자 설계"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **난수 시드값 설정**을 선택한 후 12345를 입력하고 **확인**을 클릭합니다.
8. (선택 사항) "사용자 설계"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **시작 수**를 선택한 후 10을 입력하고 **확인**을 클릭합니다.
9. **설계 생성**을 클릭합니다.
10. **설계 평가 > 별칭 행렬** 개요를 엽니다.

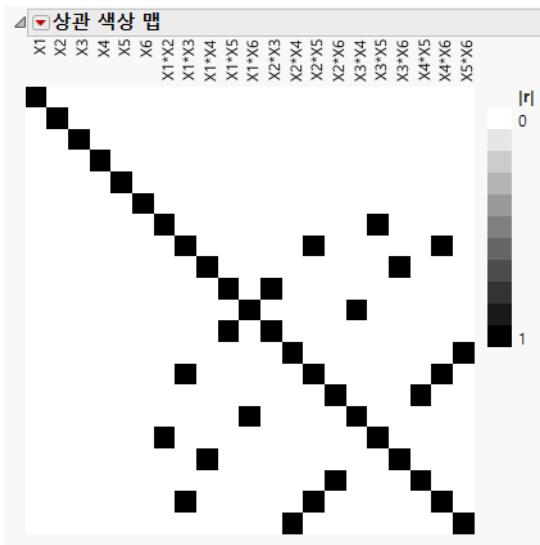
**그림 5.10** 별칭 행렬

효과	X1*X2	X1*X3	X1*X4	X1*X5	X1*X6	X2*X3	X2*X4	X2*X5	X2*X6	X3*X4	X3*X5	X3*X6	X4*X5	X4*X6	X5*X6
별명	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
X1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
X2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
X3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
X4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
X5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
X6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

모든 행에 0만 포함되어 있으며 이는 절편 및 주효과 항이 2 요인 교호작용에 의해 편향되지 않음을 의미합니다.

11. **설계 평가 > 상관 색상 맵** 개요를 엽니다.

**그림 5.11** 상관 색상 맵



"상관 색상 맵"에서는 주효과를 이원 교호작용과 독립적으로 추정할 수 있음을 보여 줍니다. 그러나 일부 이원 교호작용은 다른 이원 교호작용과 완전히 별칭 관계가 됩니다. 교락된 이원 교호작용을 보려면 비대각 빨간색 사각형을 커서로 가리킵니다.

이 특정 설계는 해상도 IV 직교 선별 설계입니다. 주효과는 다른 주효과 또는 이원 교호작용과 별칭 관계를 갖지 않습니다. 그러나 이원 교호작용은 다른 이원 교호작용과 완전히 별칭 관계가 됩니다.

## 과포화 선별 설계

일반적으로 브레인스토밍 세션에서 수십 개의 잠재적 활성 요인을 식별합니다. 데이터의 이점을 사용하지 않고 목록을 줄이는 대신 과포화 설계를 사용할 수 있습니다.

포화 설계에서는 런 수가 모형 항의 수와 같습니다. 과포화 설계에서는 모형 항의 수가 런 수를 초과합니다(Lin, 1993). 과포화 설계는 요인 수의 절반보다 적은 런을 사용하여 수십 개의 요인을 검토할 수 있습니다. 이 설계는 요인이 많고 실험 런의 비용이 많이 드는 경우 요인 선별을 위한 유용한 선택입니다.

기준의 과포화 설계보다 우수한 활성 효과 식별을 위해 그룹 직교 과포화 설계를 사용할 수도 있습니다. 자세한 내용은 "[그룹 직교 과포화 설계](#)" 장(673페이지)에서 확인하십시오.

### 과포화 설계의 제한

과포화 설계에는 다음과 같은 단점이 있습니다.

- 활성 요인의 수가 실험 런 수의 절반보다 많으면 이러한 요인을 식별하지 못할 가능성이 있습니다. 일반적으로 런 수는 활성 요인 수보다 4 배 이상 많아야 합니다. 즉, 활성 요인이 최대 5 개 정도 있을 것으로 예상되는 경우 최소 20 회의 런을 계획해야 합니다.
- 아직은 과포화 설계 분석을 자동 프로시저로 축소할 수 없습니다. 그러나 단계별 전진 회귀를 사용하는 것은 적절합니다. 또한 선별 플랫폼 (**DOE > 전통적 설계 > 2 수준 선별 > 2 수준 선별 적합**)은 간소화된 분석을 제공합니다.

## 과포화 설계 생성

이 예에서는 8회 런을 수행하여 12개 요인을 연구하기 위해 과포화 설계를 구성하려고 합니다. 과포화 설계를 생성하려면 절편을 제외한 모든 모형 항의 "추정 가능성"을 "If Possible"로 설정합니다.

**참고 :** 이 예는 설명을 위한 것입니다. 과포화 설계의 런 수는 14 개 이상이어야 합니다. 활성 요인의 수가 4 개 이하인 경우 8 회 런 설계의 결과를 해석하기가 매우 어렵습니다. 자세한 내용은 "[과포화 설계의 제한](#)"(133 페이지)에서 확인하십시오.

1. **DOE > 사용자 설계**를 선택합니다.
2. **N 개 요인 추가** 옆에 12 를 입력합니다.
3. **요인 추가 > 연속형**을 클릭합니다.
4. **계속**을 클릭합니다.
5. "모형" 개요에서 절편을 제외한 모든 항을 선택합니다.

6. 효과 옆의 필수를 클릭한 후 If Possible로 변경합니다.

효과를 If Possible로 설정하면 JMP에서 베이지안 D-최적 기준을 사용하여 설계를 구성합니다.

**그림 5.12** 요인, 모형 및 런 수

The screenshot shows the JMP software interface for experimental design. It includes three main sections:

- 요인 (Factors):** A table with 12 rows (X1 to X12) and 5 columns (이름, 영향, 범위, 추정 가능성, 런). All factors are set to "수" (Continuous) and "수" (Continuous) under "영향" and "범위". "추정 가능성" is set to "필수" for all factors except X1, which is set to "If Possible".
- 모형 (Model):** A table with 12 rows (X1 to X12) and 2 columns (이름, 추정 가능성). All factors have "추정 가능성" set to "필수" except for X1, which is set to "If Possible".
- 별칭 항 (Alias):** A section where users can define aliases for their factors.
- 설계 생성 (Design Generation):** A section where users can generate the design. It includes fields for "중앙점 수" (0), "반복 런 수" (0), and "런 수" (with options for "최소값" (1), "기본값" (8), or "사용자 지정" (8)). There is also a checkbox to "런을 다음 크기의 랜덤 블록으로 그룹화" (Group runs into random blocks of the specified size) with a value of 2.

7. "별칭 항" 개요에서 모든 효과를 선택하고 **항 제거**를 클릭합니다.

이렇게 하면 "상관 색상 맵"에 주효과만 나타납니다. 이 그림은 설계가 생성되면 만들어집니다.

8. "사용자 설계"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **반응 시뮬레이션**을 선택합니다.

이 옵션은 설계 데이터에 나타나는 확률 반응을 생성합니다. 이 반응을 사용하여 실험 데이터 분석 방법을 확인할 수 있습니다.

기본값 8로 설정된 "런 수"를 유지합니다.

**참고 :** 9단계에서 "난수 시드값"을 설정하고 10단계에서 "시작 수"를 설정하면 이 예에 표시된 설계가 재현됩니다. 설계를 직접 구성할 때는 이러한 단계가 필요하지 않습니다. Y 시뮬레이션 값은 그림 5.13에 나와 있는 값과 다를 수 있습니다.

9. (선택 사항) "사용자 설계"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 난수 시드값 설정을 선택한 후 12345를 입력하고 확인을 클릭합니다.
10. (선택 사항) "사용자 설계"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 시작 수를 선택한 후 5를 입력하고 확인을 클릭합니다.
11. 설계 생성을 클릭합니다.
12. 테이블 생성을 클릭합니다.

"사용자 설계" 창을 닫지 마십시오. 이 예에서 나중에 다시 여기로 돌아갑니다.

**그림 5.13** 시뮬레이션된 반응을 포함하는 설계 테이블

	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	Y	Y 시뮬레이션
1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	0.836971941	0.83697194
2	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	-1	0.0705123242	0.07051232
3	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1.8362934786	1.83629348
4	1	1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1	-0.287280508	-0.2872805
5	-1	-1	-1	1	1	1	-1	1	-1	-1	1	1	1.0427922172	1.04279222
6	-1	-1	1	1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1.212173247	-1.2121732
7	1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	-1.191896905	-1.1918969
8	1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	1	1	1.1431424982	1.1431425

반응 열 Y와 Y 시뮬레이션은 동일한 시뮬레이션 값으로 시작됩니다. 이 값은  $N(0, s)$  분포의 난수 값입니다. 여기서 s는 검정력 분석 대화상자의 RMSE(기본값 1)입니다. Y 시뮬레이션 값은 "반응 시뮬레이션" 창의 모수 값으로 정의된 모형을 사용하여 무작위로 생성된 값으로 업데이트됩니다. Y 열은 실험 실행 후의 실제 반응을 위한 것입니다.

그림 5.14 반응 시뮬레이션 창

**반응 시뮬레이션**

효과	Y
절편	0
X1	0
X2	0
X3	0
X4	0
X5	0
X6	0
X7	0
X8	0
X9	0
X10	0
X11	0
X12	0

**계수 재설정**

**분포**

정규      오차  $\sigma$ :

이항

Poisson

**적용**

"반응 시뮬레이션" 창에는 모든 항에 대한 기본 계수 0, "정규" 분포 선택 및 "오차  $\sigma$ " 1이 표시됩니다. 현재 Y 및 Y 시뮬레이션 열의 값은 랜덤 변동만 반영합니다.

13. "반응 시뮬레이션" 창의 계수 값을 그림 5.15에 표시된 것과 같이 변경합니다.

그림 5.15 시뮬레이션된 반응의 모수 값

**반응 시뮬레이션**

효과	Y
절편	100
X1	10
X2	0
X3	0
X4	0
X5	0
X6	0
X7	0
X8	0
X9	0
X10	0
X11	10
X12	0

**계수 재설정**

**분포**

정규      오차  $\sigma$ :

이항

Poisson

**적용**

## 14. 적용을 클릭합니다.

Y 시뮬레이션 열의 반응 값이 변경됩니다.

**참고 :** 반응 값은 무작위로 생성됩니다. 따라서 그림 5.16 의 값과 정확하게 일치하지 않습니다.

**그림 5.16** X1 과 X11 이 활성화된 Y 시뮬레이션 반응 열

	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	Y	Y 시뮬레이션
1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	-0.880036237	-0.8800362
2	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	-1	-0.281221702	-0.2812217
3	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	1	1	1	1	-0.35913637	-0.3591364
4	1	1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1	-0.489512232	-0.4895122
5	-1	-1	-1	1	1	1	-1	1	-1	-1	1	1	0.3489014857	0.34890149
6	-1	-1	1	1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1.341785751	-1.3417858
7	1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	-0.736235432	-0.7362354
8	1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	1	1	-1.018953519	-1.0189535

시뮬레이션에서 X1 과 X11 을 오차 변동에 비례하여 효과가 큰 활성 요인으로 지정했습니다. 따라서 데이터 분석 결과 이러한 두 요인이 활성 요인으로 식별되어야 합니다.

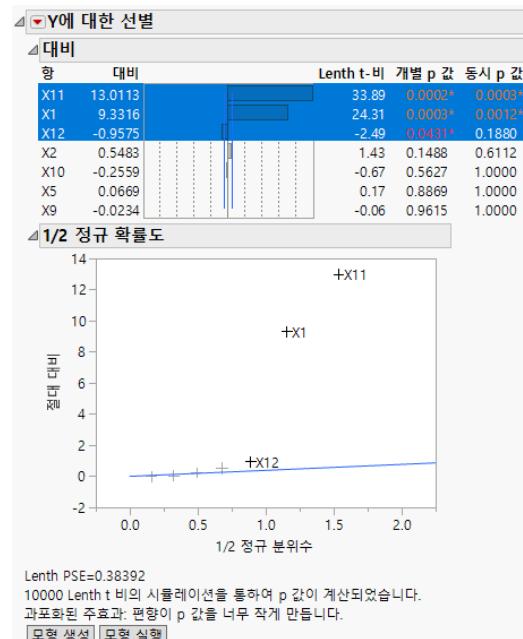
### 선별 플랫폼을 사용하여 과포화 설계 분석

선별 플랫폼은 활성 요인을 식별하는 방법을 제공합니다. 선별 플랫폼을 사용하여 설계 테이블의 Y 시뮬레이션 값을 분석합니다(그림 5.16). 선별 플랫폼은 **DOE > 전통적 설계** 메뉴에 있습니다.

**참고 :** 실제 데이터 테이블에는 이 예에 나와 있는 Y 시뮬레이션 값과 약간 다른 값이 나타납니다. 실제 보고서에 나타나는 정확한 값을 여기에 표시된 결과와는 다릅니다.

1. **DOE > 전통적 설계 > 2 수준 선별 > 2 수준 선별 적합**을 선택합니다.
2. Y 시뮬레이션을 선택하고 **Y**를 클릭합니다.
3. X1 ~ X12 를 선택하고 **X**를 클릭한 후 **확인**을 클릭합니다.

그림 5.17 과포화 설계에 대한 선별 보고서



X1 요인과 X11 요인의 "대비" 및 "Lenth t- 비" 값이 큽니다. 또한 이 요인의 "동시 p 값"은 작습니다. "1/2 정규 확률도"에서 X1과 X11은 둘 다 선에서 멀리 떨어져 있습니다. "대비" 및 "1/2 정규 확률도" 보고서는 X1과 X11이 활성 요인임을 나타냅니다. X12는 "개별 p 값"이 0.05 미만이지만 X1 및 X11과 비교하여 효과가 훨씬 작습니다.

과포화된 설계이므로 모든 효과를 추정할 수 있는 모형의 경우보다  $p$  값이 작을 수 있습니다. 효과 추정값이 다른 잠재적 활성 주효과에 의해 편향되기 때문입니다. 그림 5.17에서 "모형 생성" 버튼 바로 위에 이 가능성에 대한 경고 메시지가 있습니다.

활성으로 보이는 효과가 다른 효과와 높은 상관관계가 있는지 여부를 확인할 수도 있습니다. 상관관계가 높으면 한 효과가 다른 효과의 참유의성을 감출 수 있습니다. 그림 5.19의 색상 맵은 효과 사이의 절대 상관을 표시합니다.

#### 4. 모형 생성을 클릭합니다.

생성된 모형에는 X1, X11 및 X12 효과만 포함됩니다.

#### 5. "모형 규격" 창에서 실행을 클릭합니다.

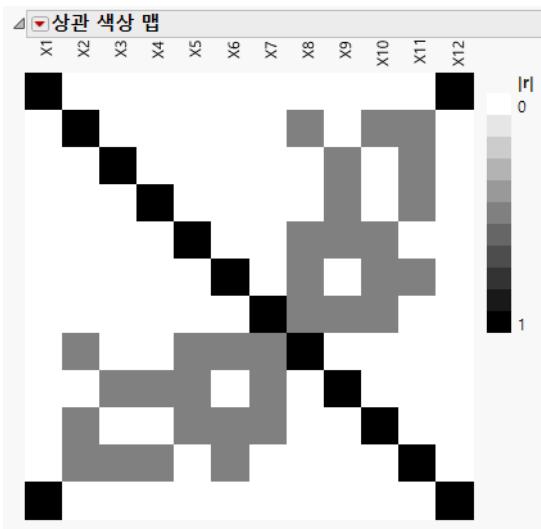
그림 5.18 모형의 모수 추정값

항	추정값	표준 오차	t 비	Prob> t
절편	100.12645	0.319502	313.38	<.0001*
X11	11.347787	0.360447	31.48	<.0001*
X1	9.8209584	0.319502	30.74	<.0001*
X12	-1.1329	0.360447	-3.14	0.0347*

X11 및 X1 의 모수 추정값은 모형을 시뮬레이션할 때 사용한 이론적 값에 가깝습니다. 자세한 내용은 그림 5.15에서 확인하십시오. 여기서 X1 = 10 과 X11 = 10 을 사용하여 모형을 지정했습니다. X12 요인의 유의성은 False Positive 의 예입니다.

6. "사용자 설계" 창에서 **설계 평가 > 상관 색상 맵** 개요를 엽니다.

**그림 5.19** 상관 색상 맵 개요



절대 상관을 표시하려면 커서로 셀을 가리킵니다. X1 은 다른 주효과 (X4, X5, X7) 와 최대 0.5 의 상관관계가 있습니다. 그림 5.19 에는 JMP 기본 색상이 사용됩니다.

### 단계별 회귀를 사용하여 과포화 설계 분석

단계별 회귀는 활성 요인을 식별하는 또 다른 방법입니다. 그림 5.16 의 설계 테이블에는 3 개의 스크립트가 포함되어 있습니다. "모형" 스크립트는 모형 적합 플랫폼에서 단계별 회귀를 사용하여 데이터를 분석합니다.

**참고 :** 실제 데이터 테이블에는 이 예에 나와 있는 Y 시뮬레이션 값과 약간 다른 값이 나타납니다. 실제 보고서에 나타나는 정확한 값은 여기에 표시된 결과와는 다릅니다.

- 설계 테이블의 테이블 패널에서 **Model** 스크립트 옆의 녹색 삼각형을 클릭합니다.
- 분석법을 표준 최소 제곱**에서 **단계별**로 변경합니다.
- 실행**을 클릭합니다.
- "Y에 대한 단계별 회귀 적합" 보고서에서 **중지 규칙을 최소 AICc**로 변경합니다.  
설계된 실험의 경우 BIC 중지 규칙은 모형에 비활성 효과를 허용하는 경향이 있으므로 대개 AICc 보다 관대합니다.
- 시작**을 클릭합니다.

그림 5.20 과포화 설계에 대한 단계별 회귀

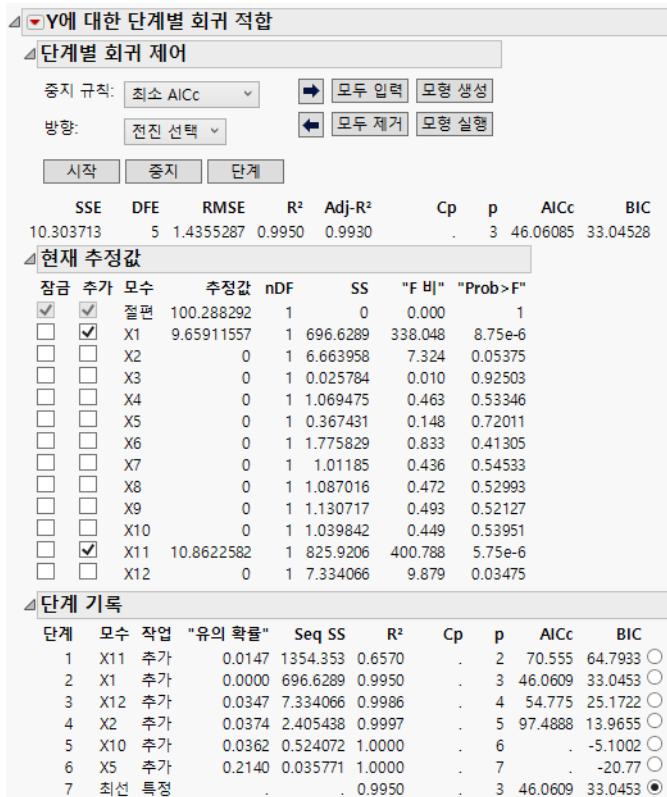


그림 5.20 에서는 선택된 모형이 두 가지 활성 요인 (X1, X11) 으로 구성되어 있음을 보여 줍니다. 보고서 아래쪽에 단계 기록이 나타납니다. X1 및 X11 과 다른 요인과의 상관관계는 다른 활성 요인의 효과를 감출 수 있다는 점에 유의하십시오 (그림 5.19).

**참고 :** 이 예에서는 큰 주효과를 두 개 정의하고 나머지는 0 으로 설정합니다. 실제 상황에서는 이와 같이 뚜렷하게 차별화되는 효과를 가질 가능성이 낮을 수 있습니다.

## 고정 블록 설계

기존 선별 설계에서는 블록 크기가 2의 거듭제곱이어야 합니다. 그러나 사용자 설계 플랫폼은 원하는 크기의 고정 블록으로 설계를 생성할 수 있습니다.

세 가지 요인을 연구하려고 한다고 가정해 보겠습니다. 하루에 세 번만 실험을 실행할 수 있고 일별 변동이 상당할 것으로 예상됩니다. 결과적으로 여러 날 동안의 설계를 블록화해야 합니다. 또 한 이 연구에서 모든 2 요인 교호작용을 추정하는 데 관심이 있습니다. 이 예에서는 블록당 3 회를 사용하여 설계를 구성합니다.

- DOE > 사용자 설계를 선택합니다.

2. "요인" 개요에서 **N 개 요인 추가** 옆에 3을 입력합니다.
3. **요인 추가 > 연속형**을 클릭합니다.
4. **요인 추가 > 블록화 > 블록당 3회 런**을 클릭합니다.

블록 요인 X4의 값 아래에 한 수준만 표시됩니다. 여기서는 런 크기를 알 수 없기 때문입니다.

**그림 5.21** X4에 대한 블록 하나를 보여 주는 요인 개요

이름	역할	변경	값
X1	연속형	쉬움	-1
X2	연속형	쉬움	-1
X3	연속형	쉬움	-1
X4	블록화	쉬움	1

요인 지정  
요인 추가 버튼을 클릭하여 요인을 추가하십시오. 편집하려면 요인 이름 또는 수준을 두 번 클릭하십시오.  
계속

5. **계속**을 클릭합니다.

**그림 5.22** X4에 대한 블록 3개를 보여 주는 요인 개요

이름	역할	변경	값
X1	연속형	쉬움	-1
X2	연속형	쉬움	-1
X3	연속형	쉬움	-1
X4	블록화	쉬움	1
			2
			3

요인 제약 조건 정의  
모형  
별칭 험  
설계 생성

중앙점 수:   
반복 런 수:

런 수:  
 최소값 5  
 기본값 9  
 사용자 지정

설계 생성

이제 "요인" 개요에 적절한 블록 수가 표시됩니다. 이 값은 기본 런 크기를 블록당 런 수로 나누어 계산됩니다. 이 예의 경우 기본 표본 크기 9에 3 개의 블록이 필요합니다. 이제 "요인" 개요에는 X4에 대한 3 개의 값이 표시되어 블록이 3 개임을 나타냅니다.

**참고 :** 다른 런 수를 지정하면 " 요인 " 개요가 업데이트되어 블록 요인에 대해 적절한 수의 값이 표시됩니다.

6. " 요인 " 개요에서 연속형 요인 X1, X2, X3 을 선택합니다.

7. " 모형 " 개요에서 **교호작용 > 2 차**를 클릭합니다.

**그림 5.23** X4 에 대한 블록 6 개를 보여 주는 요인 개요

이름	역할	변경	값
X1	연속형	쉬움	-1 1
X2	연속형	쉬움	-1 1
X3	연속형	쉬움	-1 1
X4	블록화	쉬움	1 2 3 4 5 6

이름	추정 가능성
절편	필수
X1	필수
X2	필수
X3	필수
X4	필수
X1*X2	필수
X1*X3	필수
X2*X3	필수

중앙점 수:	0
반복 런 수:	0
런 수:	
<input type="radio"/> 최소값	12
<input checked="" type="radio"/> 기본값	18
<input type="radio"/> 사용자 지정	18

이제 " 런 수 " 패널에 기본 런 크기가 18 로 표시됩니다. " 요인 " 개요에는 X4 에 대한 6 개의 값이 표시되어 블록이 6 개임을 나타냅니다.

**참고 :** 8 단계에서 " 난수 시드값 " 을 설정하고 9 단계에서 " 시작 수 " 를 설정하면 이 예에 표시된 것과 동일한 결과가 재현됩니다. 설계를 직접 구성할 때는 이러한 단계가 필요하지 않습니다.

8. (선택 사항) "사용자 설계"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **난수 시드값 설정**을 선택한 후 12345 를 입력하고 **확인**을 클릭합니다.
9. (선택 사항) " 사용자 설계 " 의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **시작 수**를 선택한 후 5 를 입력하고 **확인**을 클릭합니다.
10. **설계 생성**을 클릭합니다.

**그림 5.24** 고정 블록 설계

설계	런	X1	X2	X3	X4
	1	1	-1	-1	1
	2	-1	-1	-1	2
	3	1	1	-1	3
	4	-1	-1	-1	4
	5	1	1	1	5
	6	-1	-1	1	6
	7	-1	1	-1	1
	8	1	1	-1	2
	9	-1	1	1	3
	10	1	-1	1	4
	11	-1	-1	1	5
	12	-1	1	-1	6
	13	-1	-1	1	1
	14	-1	1	1	2
	15	1	-1	1	3
	16	-1	1	1	4
	17	1	-1	-1	5
	18	1	1	1	6

설계에서 블록 요인 X4를 살펴보십시오. 6개 블록이 표시됩니다. 실험을 수행할 때 매일 세 번씩 시도되며, 첫째 날의 X4 = 1, 둘째 날의 X4 = 2 등으로 지정됩니다. 따라서 설계 테이블에서 블록 내의 시도를 랜덤화하려고 합니다. "출력 옵션" 패널에서 "런 순서"에 대해 "블록 내 랜덤화" 옵션이 이미 선택되어 있습니다.

#### 11. 테이블 생성을 클릭합니다.

**그림 5.25** 고정 블록 설계에 대한 설계 테이블

	X1	X2	X3	X4	Y
1	1	-1	-1	1	•
2	-1	-1	1	1	•
3	-1	1	-1	1	•
4	-1	1	1	2	•
5	1	1	-1	2	•
6	-1	-1	-1	2	•
7	-1	1	1	3	•
8	1	-1	1	3	•
9	1	1	-1	3	•
10	-1	1	1	4	•
11	1	-1	1	4	•
12	-1	-1	-1	4	•
13	-1	-1	1	5	•
14	1	1	1	5	•
15	1	-1	-1	5	•
16	-1	-1	1	6	•
17	1	1	1	6	•
18	-1	1	-1	6	•

설계 테이블의 행은 하루에 시도되는 런으로 그룹화됩니다. 이 설계를 사용하면 블록 효과, 모든 주효과 및 2요인 교호작용을 추정할 수 있습니다.

## 반응 표면 실험

반응 표면 실험은 대개 활성 요인으로 식별된 소수(일반적으로 2~8개)의 연속형 요인을 포함합니다. 반응 표면 실험의 주 목표는 요인과 반응 간의 관계에 대한 예측 모형을 개발하는 것입니다. 종종 이 예측 모형을 사용하여 공정에 대해 더 나은 작동 설정을 찾습니다. 따라서 반응 표면 실험의 가정된 모형은 일반적으로 2차입니다.

선별 설계는 활성 효과를 식별하는 데 중점을 두기 때문에 품질을 결정하는 측도는 계수의 상대 분산 크기입니다. 이러한 상대 분산을 크게 하려고 합니다. D-최적으로 상대 분산을 해결할 수 있습니다.

반응 표면 실험에서는 요인 범위에 대한 예측 분산이 계수 분산보다 중요합니다. 설계 공간에 대한 예측 분산은 I-최적으로 해결됩니다. I-최적 설계는 D-최적 설계와 비교하여 설계 공간의 극단에 더 적은 런을 배치하는 경향이 있습니다. D-최적 및 I-최적에 대한 자세한 내용은 "사용자 설계" 장의 "최적 기준"(118페이지)에서 확인하십시오.

기본적으로 사용자 설계는 "최적 기준"에 대해 "권장 사항" 옵션을 사용합니다. 사용자 설계는 "모형" 개요에서 "RSM" 버튼을 사용하여 2 차 효과를 추가할 때마다 I-최적 기준을 "권장 사항" 기준으로 사용합니다. 그렇지 않은 경우에는 D-최적 기준을 "권장 사항" 기준으로 사용합니다. 자세한 내용은 "사용자 설계" 장의 "최적 기준"(118 페이지)에서 확인하십시오.

- "반응 표면 설계"
- "유연한 블록화 방법을 사용하는 반응 표면 설계"
- "D-최적과 I-최적의 반응 표면 설계 비교"
- "제약 조건 및 범주형 요인이 있는 반응 표면 설계"

## 반응 표면 설계

이 예에는 다음과 같은 섹션이 포함되어 있습니다.

- "반응 표면 설계 구성"(144 페이지)
- "실험 결과 분석"(147 페이지)

## 반응 표면 설계 구성

활성 요인으로 식별된 3 개의 연속형 요인에 대한 반응 표면 설계를 구성합니다. 규격 내에서 반응(Y)을 유지하기 위한 공정 설정을 찾으려고 합니다. Y에 대한 규격 하한 및 상한은 각각 54, 56입니다(목표값 55).

1. **DOE > 사용자 설계**를 선택합니다.
2. "반응" 개요에서 **최대화**를 클릭하고 **목표값 일치**를 선택합니다.
3. **하한**에 54를 입력하고 **상한**에 56을 입력합니다.
4. **중요도**는 비워둡니다.

반응이 하나뿐이므로 중요도 값은 기본적으로 1로 설정됩니다.

5. **N 개 요인 추가** 옆에 3을 입력합니다.

6. **요인 추가 > 연속형**을 클릭합니다.

X1, X2, X3이라는 3개의 연속형 요인이 추가됩니다.

7. **계속**을 클릭합니다.

8. "모형" 개요에서 **RSM** 버튼을 클릭합니다.

2차 항과 교호작용 항이 모형에 추가됩니다. 또한 "권장 사항" 최적 기준의 값이 I-최적으로 설정됩니다.

"설계 생성"을 클릭한 후 "설계 진단" 개요에서 이를 확인할 수 있습니다.

16으로 설정된 기본값 런 수를 그대로 둡니다.

---

**참고 :** 9단계에서 "난수 시드값"을 설정하고 10단계에서 "시작 수"를 설정하면 이 예에 표시된 것과 동일한 결과가 재현됩니다. 설계를 직접 구성할 때는 이러한 단계가 필요하지 않습니다.

---

9. (선택 사항) "사용자 설계"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **난수 시드값 설정**을 선택한 후 929281409를 입력하고 **확인**을 클릭합니다.

10. (선택 사항) "사용자 설계"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **시작 수**를 선택한 후 40을 입력하고 **확인**을 클릭합니다.

11. **설계 생성**을 클릭합니다.

"설계" 개요에 설계가 표시됩니다.

**그림 5.26** RSM 설계

설계			
런	X1	X2	X3
1	0	-1	0
2	1	-1	1
3	0	0	0
4	-1	1	1
5	-1	0	0
6	1	1	1
7	-1	1	-1
8	-1	-1	-1
9	0	0	1
10	1	0	0
11	0	1	0
12	0	0	0
13	1	1	-1
14	0	0	-1
15	-1	-1	1
16	1	-1	-1

2차 효과 추정을 위해 반응 표면 설계는 각 요인에 대해 3개의 수준을 사용합니다. 그림 5.26의 설계는 중앙점이 두 개 있는 면심 중심 합성 설계입니다.

12. **설계 평가 > 설계 진단** 개요를 엽니다.

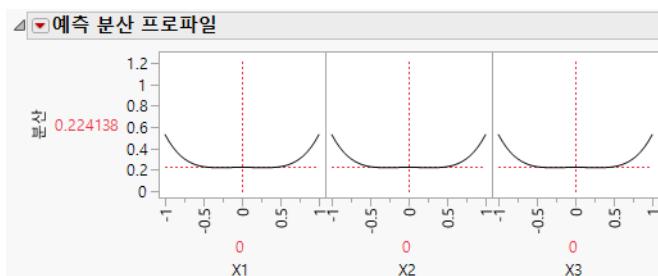
그림 5.27 설계 진단 개요

설계 진단	
I 최적 설계	
D 효율도	42.99905
G 효율도	78.54821
A 효율도	30.68134
예측 평균 분산	0.340517
설계 생성 시간(초)	0

"설계 진단" 개요의 첫 번째 행은 사용 중인 최적 기준을 나타냅니다. 이 설계는 I-최적입니다.

### 13. 설계 평가 > 예측 분산 프로파일 개요를 엽니다.

그림 5.28 예측 분산 프로파일

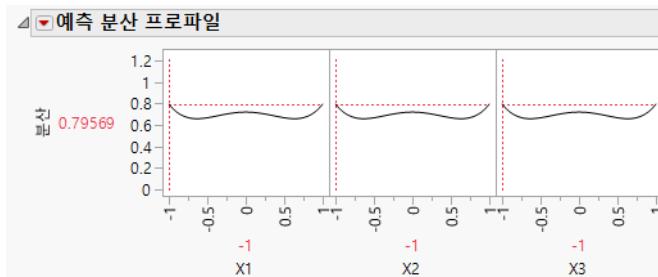


세로 축은 반응 기대값의 상대 예측 분산을 보여 줍니다. 상대 예측 분산은 예측 분산을 오차 분산으로 나눈 값입니다. 상대 예측 분산이 1인 경우 절대 분산은 회귀 모형의 오차 분산과 같습니다.

프로파일러는 설계 공간에 대한 상대 예측 분산 값을 보여 줍니다. 슬라이더를 움직여 예측 분산의 동작을 탐색할 수 있습니다. 예측 분산은 설계 공간의 중심에서 가장 작습니다. 이 값은 -0.5 와 0.5 사이의 요인 설정에 대해 0.2 보다 조금 큰 값으로 비교적 일정하게 유지됩니다. 설정이 설계 공간 경계에 근접할수록 예측 분산이 증가합니다.

### 14. "예측 분산 프로파일"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 분산 최대화를 선택합니다.

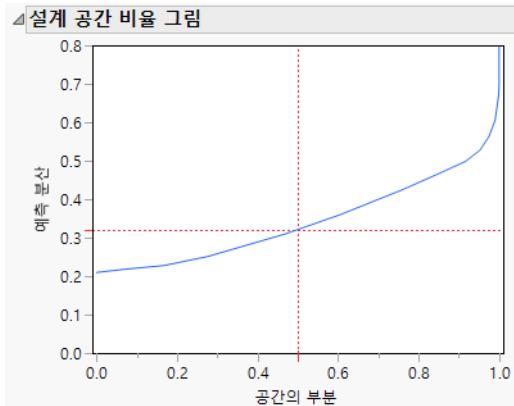
그림 5.29 상대 분산이 최대화된 예측 분산 프로파일



프로파일러는 상대 예측 분산의 최대값이 0.79569임을 보여 줍니다.

### 15. 설계 평가 > 설계 공간 비율 그림 개요를 엽니다.

그림 5.30 설계 공간 비율 그림



그림에서 파란색 곡선은 상대 예측 분산을 설계 공간 비율 함수로 표시한 것입니다. 빨간색 선은 50%에 대해 예측 분산이 약 0.32 이하임을 나타냅니다. 빨간색 선은 95%에 대해 예측 분산은 약 0.52입니다. 이는 설계 공간의 95%에 대해 상대 예측 분산이 0.52 미만임을 의미합니다.

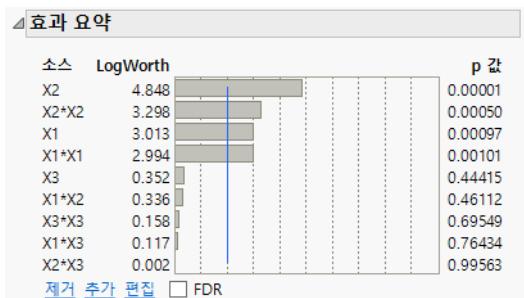
## 실험 결과 분석

Custom RSM.jmp 샘플 데이터 테이블에는 실험 결과가 포함되어 있습니다 . "Model" 스크립트는 DOE 창의 "모형" 개요에서 지정한 모든 효과를 보여 주는 "모형 적합" 창을 엽니다 . 이 스크립트는 사용자 설계 플랫폼에서 데이터 테이블에 저장되었습니다.

- 도움말 > 샘플 데이터 라이브러리를 선택하고 Design Experiment/Custom RSM.jmp를 엽니다.
- 테이블 패널에서 **Model** 스크립트 옆의 녹색 삼각형을 클릭합니다.
- 실행**을 클릭합니다.

"효과 요약" 보고서에는 모형의 각 효과에 대한 LogWorth 및 p 값이 표시됩니다. 그림의 파란색 수직선은 값 2에서 설정됩니다. 2를 초과하는 LogWorth는 0.01 수준에서 유의합니다.

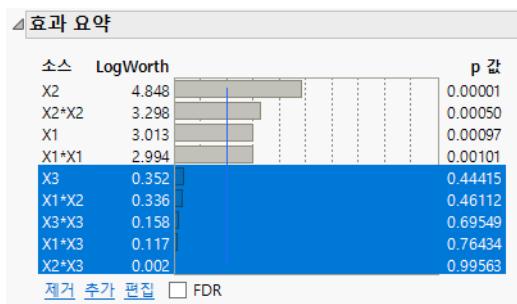
그림 5.31 효과 요약 보고서



이 보고서는  $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_1 \times X_1$  및  $X_2 \times X_2$  가 0.01 수준에서 유의함을 보여 줍니다. 다른 효과는 0.10 수준에서도 유의하지 않습니다. 유의하지 않은 이러한 효과를 제거하여 모형을 축소합니다.

- "효과 요약" 보고서에서  $X_3$ ,  $X_1 \times X_2$ ,  $X_3 \times X_3$ ,  $X_1 \times X_3$  및  $X_2 \times X_3$  을 선택합니다.

**그림 5.32** 유의하지 않은 효과가 선택된 효과 요약 보고서



- 제거를 클릭합니다.

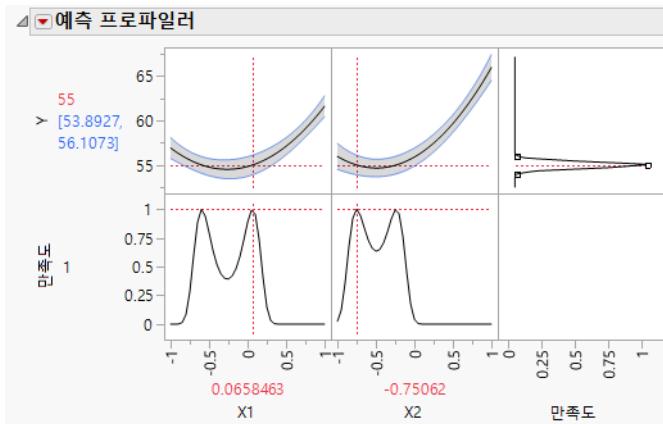
"최소 제곱 적합" 보고서가 업데이트되어 유의한 효과 ( $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_1 \times X_1$   $X_2 \times X_2$ ) 만 포함하는 모형이 표시됩니다.

"최소 제곱 적합" 창의 아래쪽에 있는 "예측 프로파일러" 를 사용하여  $X_1$  및  $X_2$  요인의 달라지면 예측 반응 ( $Y$ ) 이 어떻게 변경되는지 확인합니다.  $X_1$  및  $X_2$  의 전체 값에서  $Y$  의 2 차 동작에 유의하십시오.

"사용자 설계" 창의 "반응" 개요에서  $Y$  에 대한 반응 한계를 입력했습니다. 따라서 "반응 한계" 열 특성이 설계 테이블의  $Y$  열에 연결됩니다.  $Y$ 의 만족도 함수(오른쪽 상단 그림)는 "반응 한계" 열 특성에 포함된 정보를 기반으로 합니다. JMP 는 이 함수를 사용하여  $X_1$  및  $X_2$  설정의 함수로 만족도를 계산합니다. 만족도 함수의 트레이스는 그림의 아래쪽 행에 나타납니다.

- "예측 프로파일러" 의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **최적화 및 만족도 > 만족도 최대화**를 선택합니다.

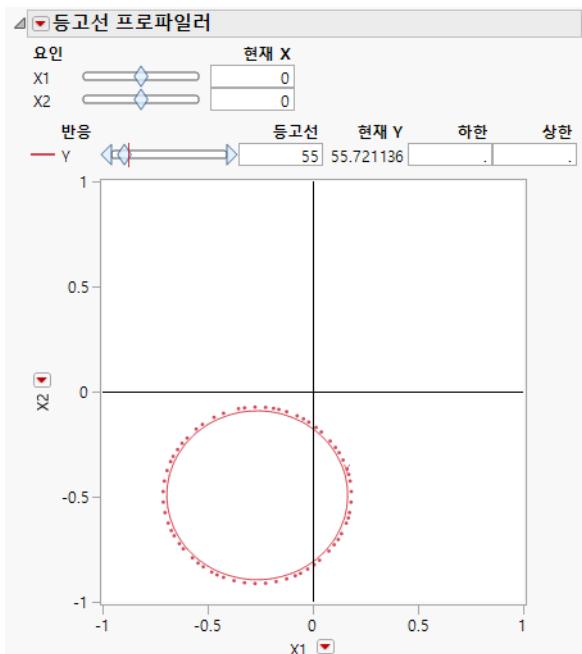
그림 5.33 만족도가 최대화된 예측 프로파일러



예측 반응은  $X_1$  및  $X_2$  위에 빨간색으로 표시된 공정 설정에서 목표값 55를 달성합니다. 그림 5.33에서는  $X_2 = -0.75062$  일 때  $-0.65$ 에 가까운  $X_1$  값도 예측값 55를 달성한다는 것을 보여줍니다. 사실상 예측 프로파일러에 표시된 설정과 만족도를 최대화하는 설정이 다를 수 있습니다.  $X_1$  과  $X_2$ 의 많은 설정에 대한 예측 반응이 55이기 때문입니다.

7. "반응 Y"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **요인 프로파일링 > 등고선 프로파일러**를 선택합니다.
8. "등고선 프로파일러" 보고서에서 **등고선** 값에 55를 입력합니다.

그림 5.34 등고선 프로파일러



빨간색 등고선에 해당하는 X1 및 X2 설정의 예측 반응 값은 55입니다. 비용 효율성에 따라 이러한 공정 설정 중에서 선택할 수 있습니다.

## 유연한 블록화 방법을 사용하는 반응 표면 설계

공정을 최적화할 때 연속형 요인뿐 아니라 질적 요인도 실험에 포함해야 할 수 있습니다. 배치 또는 날짜와 같은 질적 요인으로 블록화하거나, 기계 또는 배송 메커니즘과 같은 질적 요인을 포함해야 합니다. 그러나 반응 표면 설계 플랫폼은 연속형 요인만 지원합니다. 질적 요인을 포함하는 반응 표면 설계를 생성하려면 각 요인 수준에 대해 설계를 반복하면 됩니다. 그러나 이 방법은 비효율적입니다. 사용자 설계 플랫폼은 더 적은 수의 런으로 최적 설계를 구성합니다.

이 예에서는 두 개의 연속형 요인과 블록당 4 회 런이 포함된 블록 요인을 수용하는 반응 표면 설계를 구성합니다. 비슷한 방식으로 범주형 또는 이산 수치형 요인을 포함할 수 있습니다.

1. **DOE > 사용자 설계**를 선택합니다.
2. **N 개 요인 추가** 옆에 2를 입력합니다.
3. **요인 추가 > 연속형**을 클릭합니다.
4. **요인 추가 > 블록화 > 블록당 4 회 런**을 클릭합니다.

"값" 아래에 한 수준만 나타납니다. 런 수가 지정되지 않으면 블록 수를 결정할 수 없기 때문입니다.

**그림 5.35** 연속형 요인 두 개와 블록 요인이 추가된 요인 개요

요인			
요인 추가 ▾	제거	N개 요인 추가	1
이름	역할	변경	값
X1	연속형	쉬움	-1 1
X2	연속형	쉬움	-1 1
X3	블록화	쉬움	1

5. **계속**을 클릭합니다.

기본값 런 수는 12입니다. "요인" 개요가 업데이트되어 블록 요인 X3에 대해 세 개의 수준이 표시됩니다. X3에 블록당 4 회 런이 필요하므로 12 회 런에는 세 개의 블록이 허용됩니다.

6. **RSM**을 클릭합니다.
  - 블록 요인은 교호작용 또는 2 차 항에 나타날 수 없음을 알려 주는 JMP 경고창이 표시됩니다. JMP는 적절한 RSM 항만 목록에 추가합니다.
  7. **확인**을 클릭하여 메시지를 해제합니다.
- X1과 X2의 2 차 및 교호작용 항이 모형에 추가됩니다. RSM 항을 추가했으므로 "권장 사항" 최적 기준이 "D-최적"에서 "I-최적"으로 변경됩니다. 나중에 "설계 진단" 개요에서 이를 확인할 수 있습니다.

**그림 5.36** 반응 표면 효과가 추가된 모형 개요

모형					
주효과	교호작용 ▾	RSM	교차	역 ▾	항 제거
이름					추정 가능성
절편					필수
X1					필수
X2					필수
X3					필수
X1*X1					필수
X1*X2					필수
X2*X2					필수

**참고 :** 8 단계에서 "난수 시드값" 을 설정하고 9 단계에서 "시작 수" 를 설정하면 이 예에 표시된 것과 동일한 결과가 재현됩니다. 설계를 직접 구성할 때는 이러한 단계가 필요하지 않습니다.

8. (선택 사항) "사용자 설계"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **난수 시드값 설정**을 선택한 후 12345 를 입력하고 **확인**을 클릭합니다.
9. (선택 사항) "사용자 설계"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **시작 수**를 선택한 후 5를 입력하고 **확인**을 클릭합니다.
10. **설계 생성**을 클릭합니다.
11. **설계 평가 > 설계 진단** 개요를 엽니다.

**그림 5.37** 설계 진단 개요

설계 진단	
I 최적 설계	
D 효율도	50.85382
G 효율도	56.88003
A 효율도	37.51264
예측 평균 분산	0.49973
설계 생성 시간(초)	0.016667

"설계 진단" 개요의 첫 번째 행은 사용 중인 최적 기준을 나타냅니다. 이 설계는 I-최적입니다.

12. **테이블 생성**을 클릭합니다.

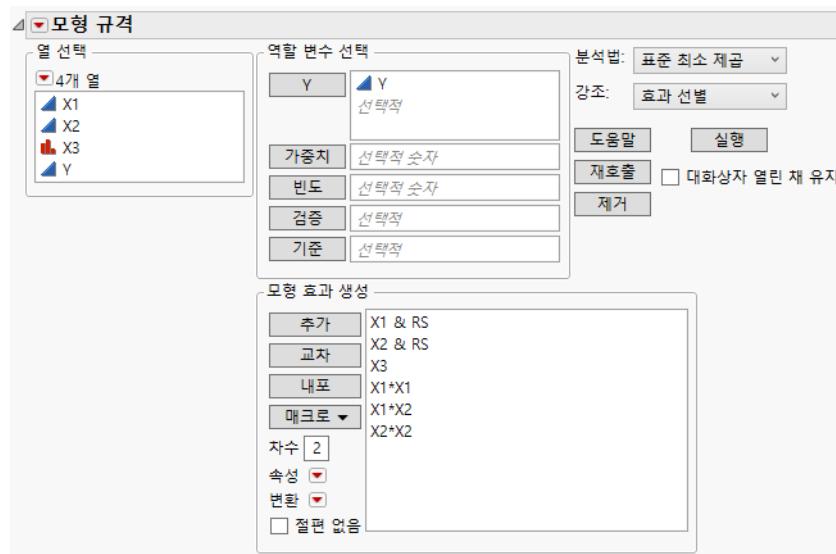
그림 5.38 블록 요인이 포함된 설계 테이블

	X1	X2	X3	Y
1	0	-1	1	.
2	1	1	1	.
3	-1	0	1	.
4	0	0	1	.
5	0	0	2	.
6	1	0	2	.
7	-1	1	2	.
8	0	-1	2	.
9	0	0	3	.
10	1	-1	3	.
11	-1	-1	3	.
12	0	1	3	.

기본 "런 순서"를 "블록 내 랜덤화"로 지정했으므로 블록 요인 (X3) 수준이 정렬됩니다.

13. 설계 테이블의 테이블 패널에서 **Model** 스크립트 옆의 녹색 삼각형을 클릭합니다.

그림 5.39 모형 적합 창



다음을 확인할 수 있습니다.

- 블록 요인 (X3)이 효과로 입력되었습니다.
- X3과 관련된 교호작용이 포함되지 않았습니다.
- 나머지 5개 효과는 X1과 X2에 대한 반응 표면 모형을 정의합니다.

## D- 최적과 I- 최적의 반응 표면 설계 비교

이 예를 통해 2요인 반응 표면 설계에서 I-최적과 D-최적 간 차이에 대해 알아보겠습니다.

## I- 최적 설계

1. **DOE > 사용자 설계**를 선택합니다.
2. **N 개 요인 추가** 옆에 2 를 입력합니다.
3. **요인 추가 > 연속형**을 클릭합니다.
4. **계속**을 클릭합니다.
5. **RSM** 을 클릭합니다.

X1 과 X2 의 2 차 및 교호작용 항이 모형에 추가됩니다. RSM 항을 추가했으므로 "권장 사항" 최적 기준이 "D- 최적"에서 "I- 최적"으로 변경됩니다. 나중에 "설계 진단" 개요에서 이를 확인할 수 있습니다.

**참고 :** 6 단계에서 "난수 시드값"을 설정하고 7 단계에서 "시작 수"를 설정하면 이 예에 표시된 것과 동일한 결과가 재현됩니다. 설계를 직접 구성할 때는 이러한 단계가 필요하지 않습니다.

6. (선택 사항) "사용자 설계"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **난수 시드값 설정**을 선택한 후 383570403 을 입력하고 **확인**을 클릭합니다.
7. (선택 사항) "사용자 설계"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **시작 수**를 선택한 후 8 을 입력하고 **확인**을 클릭합니다.
8. **설계 생성**을 클릭합니다.

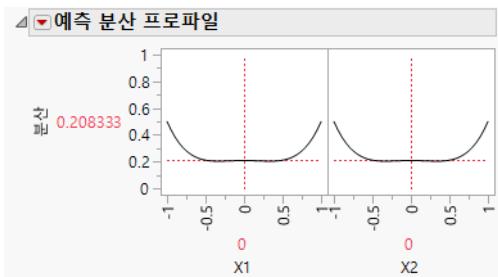
**그림 5.40 I- 최적 설계**

설계		
런	X1	X2
1	0	0
2	1	0
3	-1	-1
4	0	0
5	0	1
6	-1	0
7	0	0
8	-1	1
9	1	-1
10	0	0
11	0	-1
12	1	1

이 I- 최적 설계에서 런 1, 4, 7, 10 은 중앙점 ( $X1 = 0, X2 = 0$ )에 있습니다. I- 최적 설계는 D- 최적 설계와 비교하여 설계 공간의 중심에 더 많은 런을 배치하는 경향이 있습니다. 따라서 극단에 배치되는 런의 수가 더 적습니다. 이 설계를 그림 5.42 에 표시된 D- 최적 설계와 비교할 수 있습니다.

9. **설계 평가 > 예측 분산 프로파일** 개요를 엽니다.

그림 5.41 I-최적 모형에 대한 예측 분산 프로파일



기대 반응의 상대 예측 분산은 설계 공간의 중심에서 가장 작습니다.

#### 10. 설계 공간 비율 그림 개요를 엽니다.

설계 공간 비율 그림은 그림 5.44의 왼쪽에 나옵니다. "공간 비율"이 0.95일 때 파란색 곡선의 수직 좌표는 약 0.5입니다. 이는 설계 공간의 약 95%에 대해 상대 예측 분산이 오차 분산의 50% 미만임을 의미합니다.

현재 "사용자 설계" 창에는 I-최적 설계가 포함되어 있습니다. 이 창을 열어 두십시오. 다음 섹션에서 D-최적 설계를 생성하고 두 설계를 비교해 보겠습니다.

### D-최적 설계

I-최적 설계 및 D-최적 설계에 대한 예측 분산 프로파일과 설계 공간 비율 그림을 비교하려면

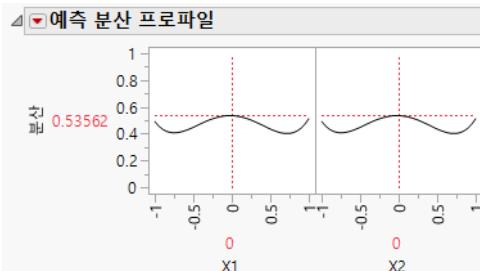
1. I-최적 설계를 포함하는 "사용자 설계" 창에서 "사용자 설계"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **스크립트를 스크립트 창에 저장**을 선택합니다.  
작업을 재현하는 스크립트가 표시된 창이 나타납니다.
2. 이 새 스크립트 창에서 편집 > **스크립트 실행**을 선택합니다.  
중복 "사용자 설계" 창이 나타나지만 "설계 평가" 개요가 닫혀 있습니다.
3. 이 새 "사용자 설계" 창에서 **뒤로**를 클릭합니다.
4. "사용자 설계"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **최적 기준 > D-최적 설계 생성**을 선택합니다.
5. (선택 사항) "사용자 설계"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **난수 시드값 설정**을 선택한 후 383570403을 입력하고 **확인**을 클릭합니다.
6. **설계 생성**을 클릭합니다.  
현재 "사용자 설계" 창에는 D-최적 설계가 포함되어 있습니다.

**그림 5.42** D- 최적 설계

런	X1	X2
1	0	0
2	1	0
3	-1	-1
4	1	-1
5	0	1
6	-1	0
7	-1	-1
8	-1	1
9	1	-1
10	-1	1
11	0	-1
12	1	1

이 D- 최적 설계에서는 런 1 만 중앙점에 있습니다. D- 최적 설계는 I- 최적 설계와 비교하여 설계 공간의 극단에 더 많은 런을 배치하는 경향이 있습니다. I- 최적 설계의 중앙점 런은 4 개였습니다( 그림 5.40).

#### 7. 설계 평가 > 예측 분산 프로파일 개요를 엽니다.

**그림 5.43** D- 최적 모형에 대한 예측 분산 프로파일

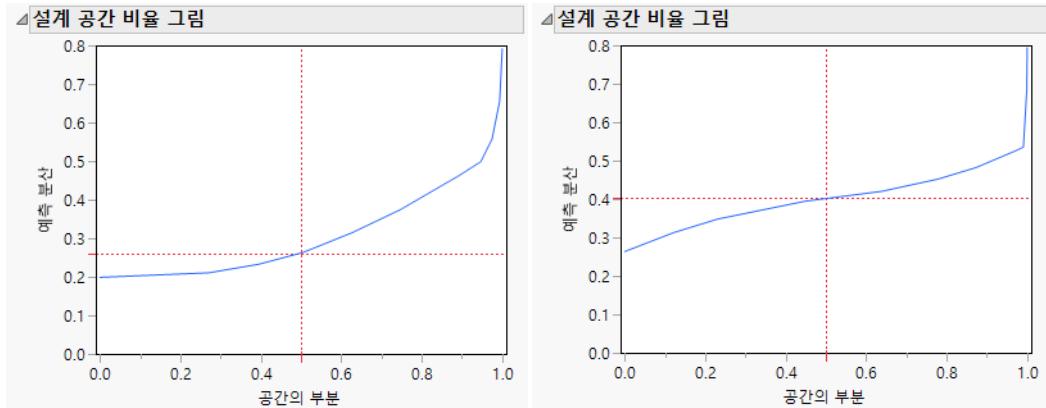
설계 영역의 중심에서 상대 예측 분산은 0.53562이며, I- 최적 설계의 경우 0.208333 이었습니다( 그림 5.41). 이는 상대 표준 오차가 D- 최적 설계의 경우 0.732 이고 I- 최적 설계의 경우 0.456 이라는 의미입니다. 다른 조건이 모두 같다고 가정할 때 설계 영역의 중심에서 D- 최적 설계의 기대 반응에 대한 신뢰 구간이 I- 최적 설계의 경우보다 약 60% 더 넓습니다.

"설계" 개요에서는 D- 최적 설계에 -1, 0, 1 로 설정된 X1 과 X2 의 모든 조합에 대해 하나씩 9 개의 설계점이 있음을 보여 줍니다. D- 최적 기준은 이러한 각 설계점에서 상대 예측 분산을 낮추려고 합니다. X1 및 X2 의 슬라이더를 -1 과 1 로 움직여 설계 영역의 극단에서 분산을 탐색합니다. 이러한 극점에서의 분산은 대개 같은 지점에서 I- 최적 설계의 분산보다 작습니다.

#### 8. 설계 평가 > 설계 공간 비율 그림 개요를 엽니다.

설계 공간 비율 그림은 그림 5.44 의 오른쪽에 나옵니다.

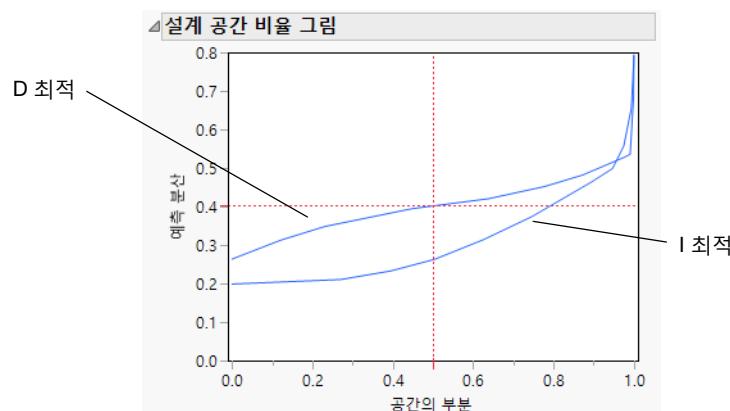
**그림 5.44** 설계 공간 비율 그림 ( 왼쪽 : I- 최적 , 오른쪽 : D- 최적 )



각 그림의 빨간색 십자기호는 설계 공간의 50%에 대한 최대 예측 분산을 나타냅니다. 설계 공간의 50%에 대한 I-최적 설계의 예측 분산은 약 0.27 미만입니다. D-최적 설계의 경우 예측 분산은 약 0.4입니다.

9. I-최적 설계에 대한 설계 공간 비율 그림에서 마우스 오른쪽 버튼을 클릭합니다. 편집 > 프레임 내용 복사를 선택합니다.
10. D-최적 설계에 대한 설계 공간 비율 그림에서 마우스 오른쪽 버튼을 클릭합니다. 편집 > 프레임 내용 붙여넣기를 선택합니다.

**그림 5.45** 겹쳐진 설계 공간 비율 그림



I-최적 설계의 분산 곡선은 설계 공간의 90% 이상에서 D-최적 설계의 분산 곡선 아래에 있습니다. 이는 I-최적 기준이 전체 설계 공간에서 예측 분산을 최소화하려고 한다는 사실을 반영합니다. 반면에 D-최적 기준은 설계점에서 예측 분산을 줄이는 데 중점을 둡니다.

## 제약 조건 및 범주형 요인이 있는 반응 표면 설계

이 예에서는 화학 반응의 수율을 최적화하는 설계를 생성합니다. 실험 요인에는 세 가지 수준의 범주형 요인이 포함되고 이 중 두 가지 수준이 제약 조건에 포함됩니다. 이 예에서는 허용되지 않는 조합 필터를 사용하여 제약 조건을 입력할 것입니다.

실험의 반응은 Yield입니다. 세 가지 요인은 다음과 같습니다.

- Time: 관심 범위는 500 ~ 560 초입니다.
- Temperature: 관심 범위는 350 ~ 750 도 (켈빈)입니다.
- Catalyst: 세 가지 촉매 (A, B, C)를 테스트해야 합니다.

설계 시 Catalyst의 두 가지 수준에 대한 제약 조건을 고려해야 합니다.

- 촉매 B를 사용할 경우 온도는 400 도를 초과해야 합니다.
- 촉매 C를 사용할 경우 온도는 650 도 미만이어야 합니다.

### 반응 및 요인 정의

1. **DOE > 사용자 설계**를 선택합니다.
2. "반응" 개요에서 Y를 두 번 클릭한 후 Yield로 변경합니다.  
Yield를 최대화하는 것이 목표이므로 "최대화"로 설정된 **목표**를 그대로 두십시오.
3. "요인" 개요에서 **N 개 요인 추가** 옆에 2를 입력합니다.
4. **요인 추가 > 연속형**을 클릭합니다.
5. **요인 추가 > 범주형 > 3 수준**을 클릭합니다.
6. 요인 이름을 Time, Temperature, Catalyst로 각각 바꿉니다.
7. Time의 값을 500과 560으로 변경합니다.
8. Temperature의 값을 350과 750으로 변경합니다.
9. Catalyst의 값을 A, B, C로 변경합니다.

그림 5.46 요인 설정

요인			
요인 추가 ▾	제거	N개 요인 추가	1
이름	연속형	변경	값
Time	연속형	쉬움	500
Temperature	연속형	쉬움	350
Catalyst	범주형	쉬움	A
			B
			C

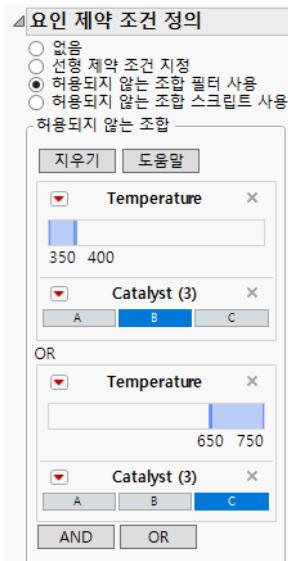
10. **계속**을 클릭합니다.

### 제약 조건 정의

1. "요인 제약 조건 정의" 개요에서 **허용되지 않는 조합 필터 사용**을 선택합니다.

2. 필터 요인 추가 목록에서 Temperature 와 Catalyst 를 선택합니다 .
3. 추가를 클릭합니다 .
4. "Temperature" 슬라이더 위에 보이는 750 을 클릭한 후 400 으로 변경합니다 . Enter 키를 누르거나 다른 곳을 클릭합니다 .  
그러면 Temperature 값이 400 미만인 요인 설정이 허용되지 않습니다 .
5. Catalyst 아래의 B 블록을 클릭합니다 .  
그러면 Temperature 제약 조건을 함께 사용하여 Catalyst 가 B 이고 Temperature 가 400 미만인 요인 설정이 허용되지 않습니다 .
6. OR 를 클릭합니다 .  
이렇게 하면 두 번째 제약 조건을 정의할 수 있습니다 .
7. 필터 요인 추가 목록에서 Temperature 와 Catalyst 를 선택합니다 . 이전 선택이 유지되었을 수 있습니다 .
8. 추가를 클릭합니다 .
9. 단어 "OR" 의 아래쪽 패널에서 "Temperature" 슬라이더 위에 보이는 350 을 클릭한 후 650 으로 변경합니다 . Enter 키를 누르거나 다른 곳을 클릭합니다 .  
그러면 Temperature 값이 650 을 초과하는 요인 설정이 허용되지 않습니다 .
10. Catalyst 아래의 C 블록을 클릭합니다 .  
그러면 Temperature 제약 조건을 함께 사용하여 Catalyst 가 C 이고 Temperature 가 650 을 초과하는 요인 설정이 허용되지 않습니다 .

**그림 5.47** 제약 조건 정의



---

**참고 :** Catalyst 뒤의 (3) 은 catalyst 수준을 나타냅니다.

---

### 반응 표면 항 추가 및 설계 생성

1. " 모형 " 개요에서 **RSM** 을 선택합니다.

연속형 요인에 대한 2 차 항만 모형에 추가됨을 알려 주는 JMP 경고가 표시됩니다.

2. **확인**을 클릭하여 경고를 해제합니다.

JMP 는 적절한 반응 표면 항만 모형에 추가합니다.

---

**참고 :** 3 단계에서 " 난수 시드값 " 을 설정하고 4 단계에서 " 시작 수 " 를 설정하면 이 예에 표시된 것과 동일한 결과가 재현됩니다. 설계를 직접 구성할 때는 이러한 단계가 필요하지 않습니다.

---

3. (선택 사항) "사용자 설계"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **난수 시드값 설정**을 선택한 후 654321 을 입력하고 **확인**을 클릭합니다.
4. (선택 사항) "사용자 설계" 의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **시작 수**를 선택한 후 1000 으로 설정합니다. **확인**을 클릭합니다.
5. **설계 생성**을 클릭합니다.

**그림 5.48** 제약 조건을 충족하는 설계

설계				
련	Time	Temperature	Catalyst	
1	500	750	B	
2	500	410	B	
3	560	750	A	
4	521	750	A	
5	542	350	A	
6	500	648.7299	C	
7	500	350	A	
8	533	630	C	
9	506	350	C	
10	560	530	A	
11	560	410	B	
12	530	570	B	
13	530	550	A	
14	530	570	B	
15	557	645.1294	C	
16	500	570	A	
17	560	750	B	
18	560	350	C	

RSM 항을 " 모형 " 개요에 추가했으므로 I- 최적 설계가 생성됩니다. 이 설계는 다음 제약 조건을 충족합니다.

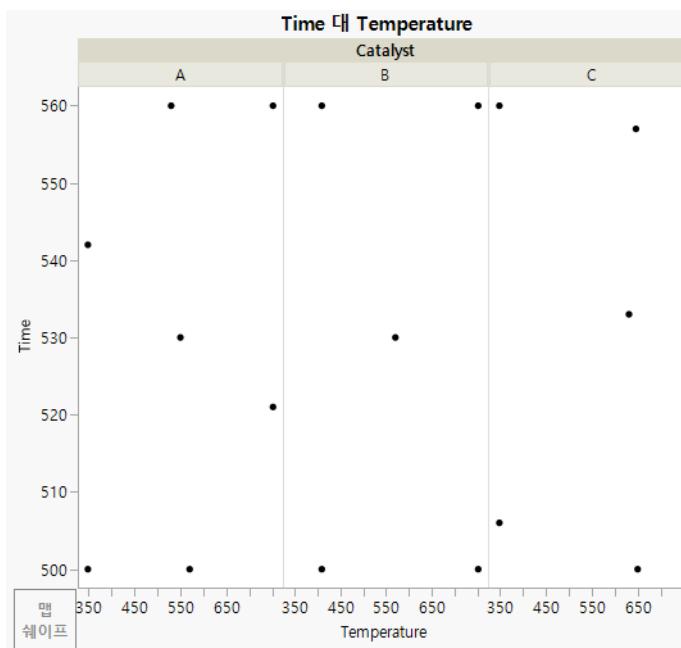
- 촉매 B 를 사용할 경우 온도는 400 도를 초과해야 합니다.
- 촉매 C 를 사용할 경우 온도는 650 도 미만이어야 합니다.

## 설계 보기

설계 영역은 500 ~ 560 사이의 Time 설정과 350 ~ 750 사이의 Temperature 설정으로 구성되었습니다. 설계 영역 내의 설계점을 기하학적 보기로 표시하기 위해 다음과 같이 그래프를 생성합니다.

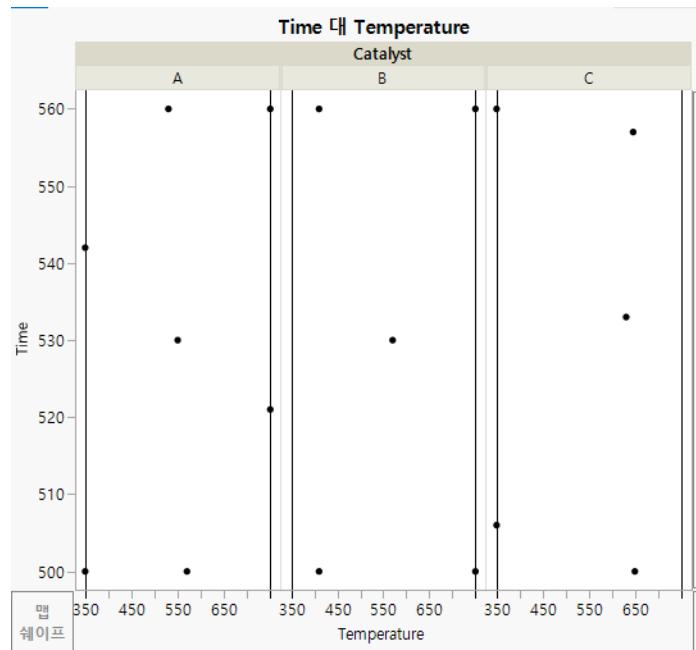
1. 테이블 생성을 클릭합니다.
2. 그레프 > 그레프 빌더를 선택합니다.
3. Time 과 Temperature 를 선택하고 템플릿의 가운데로 드래그합니다.
4. 평활기 아이콘을 선택 취소합니다. 아 아이콘은 템플릿 상단의 왼쪽에서 두 번째에 있습니다.
5. Catalyst 를 선택하고 템플릿의 맨 위에 있는 그룹 X 영역으로 드래그합니다.

**그림 5.49** 세 가지 수준의 Catalyst 에 대한 설계점



6. Temperature 축을 두 번 클릭합니다.
7. "참조선" 아래에서 다음과 같이 두 개의 참조선을 추가합니다.
  - 값 옆에 350 을 입력합니다.
  - 추가를 클릭합니다.
  - 값 옆에 750 을 입력합니다.
  - 추가를 클릭합니다.
8. 확인을 클릭합니다.

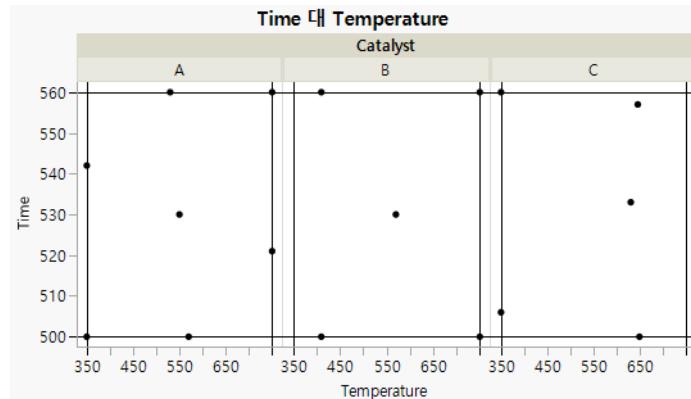
그림 5.50 세 가지 수준의 Catalyst에 대한 Temperature 설계 경계



9. Time 축을 두 번 클릭합니다.
10. "참조선" 아래에서 다음과 같이 두 개의 참조선을 추가합니다.
  - 값 옆에 500을 입력합니다.
  - 추가를 클릭합니다.
  - 값 옆에 560을 입력합니다.
  - 추가를 클릭합니다.
11. 확인을 클릭합니다.
12. 완료를 클릭합니다.

**참고 :** 그림 5.51의 그림은 세로로 크기가 조정됩니다.

**그림 5.51** 세 가지 수준의 Catalyst에 대한 설계 영역



Catalyst A의 6개 설정은 설계 영역의 가장자리에 있습니다. Catalyst B의 모든 Temperature 설정은 400도 제약 조건보다 높고, Catalyst C의 모든 Temperature 설정은 650도 제약 조건보다 낮습니다.

## 혼합물 실험

사용자 설계 플랫폼과 혼합물 설계 플랫폼은 둘 다 모든 요인이 혼합 내 성분인 상황에 대한 설계를 구성합니다. 그러나 혼합물 실험은 비혼합 공정 변수(공정 요인)를 포함할 수 있습니다. 사용자 설계 플랫폼은 혼합 요인만 있는 설계뿐 아니라 혼합 요인과 공정 요인을 모두 수용하는 설계를 구성할 수 있습니다. 또한 사용자 설계 플랫폼에서는 혼합 성분의 합이 임의의 양수가 될 수 있습니다. 자세한 내용은 "사용자 설계" 장의 "요인 유형"(85 페이지)에서 "혼합"에 대한 설명을 참조하십시오.

- "비혼합 요인이 있는 혼합물 설계"
- "혼합물 혼합 설계"

## 비혼합 요인이 있는 혼합물 설계

Atkinson and Donev(1992)에 나오는 이 예에서는 혼합 요인과 공정 요인을 둘 다 포함하는 실험을 위한 설계를 생성합니다. 범주형 요인의 수준에 따라 균형이 조정된 18회 런 설계가 생성됩니다. 이 설계를 사용하면 전체 반응 표면을 적합시킬 수 있습니다. "설계 평가" 그림과 결과를 사용하여 설계의 상대 예측 분산을 검토합니다.

이 설계는 다음과 같이 1개의 단일 반응, 3개의 혼합 요인 및 1개의 비혼합 요인으로 구성됩니다.

- 반응은 아크릴로니트릴 파우더의 전자기 감쇠를 측정하는 Damping입니다.
- 세 가지 혼합 성분은 다음과 같습니다.
  - CuSO<sub>4</sub>(황산구리), 0.2 ~ 0.8 범위

- Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>( 티오황산나트륨 ), 0.2 ~ 0.8 범위
  - Glyoxal( 글리옥살 ), 0 ~ 0.6 범위
  - 관심 있는 비혼합 환경 요인은 Wavelength( 전자파 파장 )이며 세 가지 수준 L1, L2, L3 으로 나타냅니다.
- Wavelength 는 연속형 변수입니다. 그러나 연구원들은 세 가지 특정 파장에서의 예측에만 관심이 있었습니다. 이 때문에 Wavelength 를 3 수준 범주형 요인으로 처리합니다.

i) 예는 다음과 같이 두 부분으로 이루어져 있습니다.

- "설계 생성"(163 페이지)
- "설계 평가"(165 페이지)

### 설계 생성

1. **DOE > 사용자 설계**를 선택합니다.
2. "반응 이름" 아래의 Y 를 두 번 클릭하고 Damping 을 입력합니다.
3. "목표" 아래의 **최대화**를 클릭한 후 **없음**으로 변경합니다.  
연구 작성자가 적절한 감쇠 크기에 대해 언급하지 않으므로 목표가 "없음"으로 설정됩니다.  
**도움말 > 샘플 데이터 라이브러리**를 선택하고 Design Experiment/Donev Mixture Factors.jmp 를 엽니다.
4. "사용자 설계"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **요인 불러오기**를 선택합니다.  
그러면 세 가지 혼합 성분과 범주형 환경 요인을 불러옵니다. 세 가지 혼합 요인의 값에 대한 한계도 불러옵니다.

**그림 5.52** 반응 개요 및 요인 개요

The screenshot shows the JMP software interface with two main sections:

**반응 (Response):**

반응 추가 ▾	제거	반응 수 ...		
Damping	없음	해당 없음	해당 없음	해당 없음
선택적 항목				

**요인 (Factors):**

요인 추가 ▾	제거	N개 요인 추가	1		
CuSO <sub>4</sub>	혼합	변경	값	0.2	
Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	혼합	쉬움	0.2	0.8	
Glyoxal	혼합	쉬움	0	0.6	
Wavelength	범주형	쉬움	L1	L2	L3

5. "모형" 개요에서 **교호작용 > 2 차**를 클릭합니다.

모든 혼합 요인과 상호 작용하는 비혼합 요인의 주효과 항이 제거됨을 알려 주는 JMP 경고창이 표시됩니다. 즉, Wavelength 의 주효과는 제거되지만 혼합 요인과 Wavelength 의 모든 이원 교호작용은 추가됩니다.

6. **확인**을 클릭하여 메시지를 해제합니다.

"모형" 개요의 효과는 과장의 가법 효과와 함께 혼합 성분의 반응 표면 모형을 정의합니다. 자세한 내용은 Scheffé(1958)에서 확인하십시오.

**그림 5.53** 모형 및 설계 생성 개요

The screenshot shows a software interface for experimental design. At the top, there is a menu bar with tabs: '모형' (Model), '주효과' (Main Effect), '교호작용' (Interaction), '교차' (Cross), '역' (Inverse), 'Scheffe 일방' (One-sided Scheffe), and '항 제거' (Delete term). Below the menu, there is a table with two columns: '이름' (Name) and '추정 가능성' (Estimability). The table lists various terms, all of which are marked as '필수' (Required). The terms listed are: CuSO4, Na2S2O3, Glyoxal, CuSO4\*Na2S2O3, CuSO4\*Glyoxal, CuSO4\*Wavelength, Na2S2O3\*Glyoxal, Na2S2O3\*Wavelength, and Glyoxal\*Wavelength. Below the table, there is a section titled '별칭 형' (Alias form) and another titled '설계 생성' (Design generation). Under '설계 생성', there is a checkbox labeled '□ 런을 다음 크기의 랜덤 블록으로 그룹화:' (Group runs into random blocks of the specified size:) followed by a text input field containing '2'. There are also two numerical inputs: '중앙점 수:' (Number of center points:) set to 0, and '반복 런 수:' (Number of replicates per run:) set to 0. Below these inputs, there is a section for '런 수:' (Number of runs): it includes three radio buttons: '최소값' (Minimum value) with 12 selected, '기본값' (Default value) with 18 selected, and '사용자 지정' (User-defined) with 18 selected. At the bottom of the '설계 생성' section is a button labeled '설계 생성' (Generate Design).

7. 기본값 런 수 18 을 그대로 둡니다.

18 회 런을 선택하면 과장 요인의 세 가지 수준 각각에 대해 6 회씩 런을 수행할 수 있습니다.

**참고 :** 8 단계에서 "난수 시드값" 을 설정하고 9 단계에서 "시작 수" 를 설정하면 이 예에 표시된 것과 동일한 결과가 재현됩니다. 설계를 직접 구성할 때는 이러한 단계가 필요하지 않습니다.

8. (선택 사항) "사용자 설계"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 난수 시드값 설정을 선택한 후 12345 를 입력하고 확인을 클릭합니다.
9. (선택 사항) "사용자 설계"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 시작 수를 선택한 후 5 를 입력하고 확인을 클릭합니다.
10. 설계 생성을 클릭합니다.

그림 5.54 18 회 런 설계를 보여 주는 설계 개요

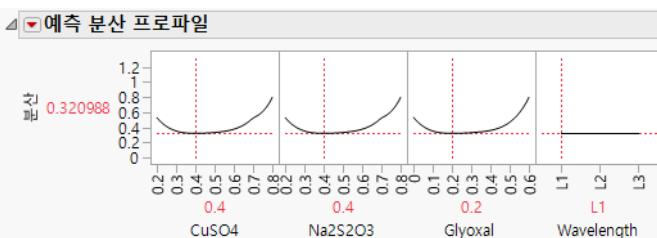
런	CuSO <sub>4</sub>	Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Glyoxal	Wavelength
1	0.8	0.2	0	L3
2	0.2	0.2	0.6	L3
3	0.8	0.2	0	L2
4	0.2	0.8	0	L2
5	0.5	0.5	0	L3
6	0.2	0.2	0.6	L1
7	0.5	0.2	0.3	L1
8	0.8	0.2	0	L1
9	0.2	0.2	0.6	L2
10	0.5	0.5	0	L1
11	0.2	0.8	0	L3
12	0.2	0.5	0.3	L2
13	0.5	0.5	0	L2
14	0.2	0.5	0.3	L1
15	0.5	0.2	0.3	L3
16	0.2	0.5	0.3	L3
17	0.5	0.2	0.3	L2
18	0.2	0.8	0	L1

각 Wavelength 수준에 대해 6 개의 런이 있는지 확인할 수 있습니다.

### 설계 평가

- 설계 평가 > 예측 분산 프로파일 개요를 엽니다.

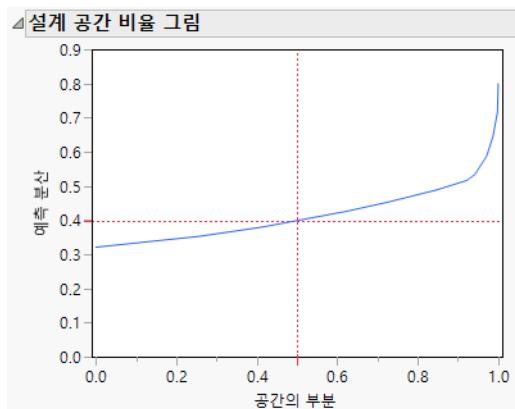
그림 5.55 18 회 런 설계에 대한 예측 분산 프로파일



Wavelength 의 슬라이더를 움직여 혼합 요인에 대한 상대 예측 분산 프로파일이 전체 Wavelength 수준에서 변하지 않는지 확인합니다. 혼합 요인 중 하나의 슬라이더를 움직여 봅니다. 혼합 성분의 합이 1 이 되도록 다른 두 혼합 요인의 슬라이더가 조정됩니다. 혼합 요인의 중심 설정 가까이에서 상대 예측 분산이 가장 작습니다.

- "예측 분산 프로파일"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **분산 최대화**를 선택합니다.  
설계 공간에 대한 최대 상대 예측 분산은 오차 분산의 0.8 배입니다.
- 설계 공간 비율 그림 개요를 엽니다.

그림 5.56 18 회 런 설계에 대한 설계 공간 비율 그림



전체 설계 공간에서 상대 예측 분산은 0.8 미만입니다. 최소 상대 예측 분산은 약 0.32입니다. 그림 5.55에 표시된 것과 같이 혼합 요인의 중심 설정 가까이에서 값이 가장 작습니다.

#### 4. 설계 진단 개요를 업니다.

그림 5.57 18 회 런 설계에 대한 설계 진단

설계 진단	
D 최적 설계	
D 효율도	3.627407
G 효율도	83.33333
A 효율도	0.328715
예측 평균 분산	0.412892
설계 생성 시간(초)	0.066667

이 설계는 D 효율도(3.6%)가 매우 낮지만 D-최적 기준에 따라 최적 설계입니다. 혼합물 설계는 혼합 제약 조건으로 인해 직교와 거리가 멀기 때문에 일반적으로 D 효율도가 매우 낮습니다. 예측 평균 분산(상대)은 0.412864입니다. 이 값은 그림 5.56의 설계 공간 비율 그림과 일치합니다.

## 혼합물 혼합 설계

이 예에서는 혼합물이 혼합되는 상황에 대한 설계를 구성합니다.

케이크에 들어가는 재료를 예로 들어보겠습니다. 마른 재료에는 밀가루, 설탕, 코코아가 있습니다. 젖은 재료에는 우유, 녹인 버터, 계란이 있습니다. 케이크의 젖은 성분과 마른 성분은 먼저 따로따로 섞은 후 하나로 혼합되는 두 가지 혼합물입니다. 표 5.1에는 각 요인 및 실험 중에 해당 요인에 변화를 줄 수 있는 범위가 나와 있습니다.

**표 5.1** 마른 성분과 젖은 성분 및 실험 범위

혼합	성분	하한 및 상한 수준
Dry	Cocoa	0.1 ~ 0.2
	Sugar	0 ~ 0.15
	Flour	0.2 ~ 0.3
Wet	Butter	0.1 ~ 0.2
	Milk	0.25 ~ 0.35
	Eggs	0.05 ~ 0.20

마른 성분(코코아, 설탕 및 밀가루 혼합물)은 합친 혼합물의 45%를 차지합니다. 젖은 성분(버터, 우유, 계란)은 55%를 차지합니다.

**참고 :** 마른 재료와 젖은 재료에 대한 제약 조건을 사용하여 혼합 모형에 6 개 요인을 모두 포함하면 모형 특이성이 존재합니다.

실험 목표는 Taste(맛) 등급을 최적화하는 것입니다. Taste는 1 ~ 10 의 척도로 평가되며, 10이 제일 좋은 맛을 나타냅니다.

주효과 모형을 적합시키기 위해 10회 런 설계를 구성합니다. 마른 재료와 젖은 재료 비율에 대한 제약 조건 때문에 특이성을 방지하기 위해 "모형" 개요에 5개 요인만 포함해야 합니다. 포함하지 않을 요인은 임의로 선택합니다.

이 예는 다음과 같이 두 부분으로 이루어져 있습니다.

- "설계 생성"(167 페이지 )
- "실험 결과 분석"(169 페이지 )

### 설계 생성

1. **DOE > 사용자 설계**를 선택합니다 .

2. "반응 이름" 아래의 Y를 두 번 클릭하고 **Taste** 를 입력합니다 .

기본 목표는 "최대화"로 되어 있습니다 . Taste 등급을 최대화해야 하므로 목표를 변경하지 마십시오 .

3. "하한" 아래를 클릭하고 0 을 입력합니다 .

최하위 등급이 0 입니다 .

4. "상한" 아래를 클릭하고 10 을 입력합니다 .

최상위 등급이 10 입니다 .

5. "중요도" 아래 영역은 비워 둡니다 .

반응이 하나뿐이므로 기본적으로 반응의 중요도가 1로 지정됩니다.

6. 도움말 > 샘플 데이터 라이브러리를 선택하고 Design Experiment/Cake Factors.jmp를 엽니다.
7. "사용자 설계"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **요인 불러오기**를 선택합니다.

**그림 5.58** 완료된 반응 및 요인 개요

The screenshot shows two tables side-by-side:

반응				
반응 추가 ▾	제거	반응 수...		
반응 이름	목표	하한	상한	중요도
Taste	최대화	0	10	1.
선택적 항목				

요인				
요인 추가 ▾	제거	N개 요인 추가	1	
이름	역할	변경	값	
Cocoa	혼합	쉬울	0.1	0.2
Sugar	혼합	쉬울	0	0.15
Flour	혼합	쉬울	0.2	0.3
Butter	혼합	쉬울	0.1	0.2
Milk	혼합	쉬울	0.25	0.35
Eggs	혼합	쉬울	0.05	0.2

요인은 모두 혼합 요인입니다. 실험의 설정 범위를 정의하는 "값"은 요인마다 다릅니다.

8. "요인 제약 조건 정의" 개요에서 **선형 제약 조건 지정**을 선택합니다.
9. "선형 제약 조건" 패널에서 **추가**를 두 번 클릭합니다.
10. 그림 5.59에 표시된 제약 조건을 입력합니다.

**그림 5.59** 요인 제약 조건 정의

The panel has the following sections:

- 선형 제약 조건 정의** (Linear Constraint Definition)
- 선택** (Select):
  - 없음
  - 선형 제약 조건 지정
  - 허용되지 않는 조합 필터 사용
  - 허용되지 않는 조합 스크립트 사용
- 선형 제약 조건** (Linear Constraint):
 

추가
1 Cocoa + 1 Sugar + 1 Flour + 0 Butter + 0 Milk + 0 Eggs ≤ 0.45
-1 Cocoa + -1 Sugar + -1 Flour + 0 Butter + 0 Milk + 0 Eggs ≤ -0.45
- 마지막 제약 조건 제거** (Remove Last Constraint)
- 제약 조건 검사** (Check Constraint)

두 번째 제약 조건은 Cocoa, Sugar, Flour의 합이 0.45보다 크거나 같음을 지정하는 것과 동등합니다. 두 제약 조건은 Cocoa, Sugar, Flour가 혼합물의 정확히 45%를 차지하여 젖은 요인이 나머지 55%를 구성한다는 것을 의미합니다.

11. "모형" 개요에서 "Eggs"를 선택하고 **항 제거**를 클릭합니다.
- 등식 제약 조건 때문에 6개 효과를 모두 포함하는 모형은 특이 모형입니다.
12. 사용자 지정 옆에 10을 입력합니다.

실험에서 10 개의 케이크를 구워야 합니다.

**참고 :** 13 단계에서 "난수 시드값" 을 설정하고 14 단계에서 "시작 수" 를 설정하면 이 예에 표시된 것과 동일한 결과가 재현됩니다 . 설계를 직접 구성할 때는 이러한 단계가 필요하지 않습니다.

13. (선택 사항) "사용자 설계" 의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **난수 시드값 설정**을 선택한 후 12345 를 입력하고 **확인**을 클릭합니다 .
14. (선택 사항) "사용자 설계" 의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **시작 수**를 선택한 후 40 을 입력하고 **확인**을 클릭합니다 .
15. **설계 생성**을 클릭합니다 .  
요인 제약 조건에 등식 제약 조건이 포함되어 있음을 알려 주는 JMP 경고가 표시됩니다 . 마른 재료 비율의 합이 45% 로 제한되므로 이는 의도한 대로 된 것입니다 .
16. **확인**을 클릭하여 JMP 경고를 해제합니다 .
17. **테이블 생성**을 클릭합니다 .

**그림 5.60** 혼합물 혼합 설계

	Cocoa	Sugar	Flour	Butter	Milk	Eggs	Taste
1	0.2	0	0.25	0.2	0.3	0.05	•
2	0.1	0.15	0.2	0.15	0.35	0.05	•
3	0.1	0.05	0.3	0.2	0.25	0.1	•
4	0.2	0.05	0.2	0.1	0.25	0.2	•
5	0.2	0.05	0.2	0.1	0.35	0.1	•
6	0.1	0.15	0.2	0.1	0.25	0.2	•
7	0.1	0.05	0.3	0.1	0.25	0.2	•
8	0.1	0.15	0.2	0.2	0.3	0.05	•
9	0.15	0	0.3	0.1	0.35	0.1	•
10	0.2	0.05	0.2	0.2	0.25	0.1	•

마른 재료인 Cocoa, Sugar 및 Flour 설정의 합이 혼합물의 45% 이고 젖은 재료인 Butter, Milk 및 Eggs 설정의 합이 혼합물의 55% 입니다 . 또한 이 설정은 "요인" 개요에 지정된 상한과 하한에 맞습니다 .

### 실험 결과 분석

Cake Data.jmp 샘플 데이터 테이블은 실험 결과를 보여 줍니다 . 이 설계 테이블에 포함된 "Model" 스크립트는 DOE 창의 "모형" 개요에서 지정한 5 개 주효과를 보여 주는 "모형 적합" 창을 엽니다 . Eggs 의 주효과는 이 설계의 "모형" 개요에 포함되어 있지 않습니다 . 나머지 5 개 요인의 설정과 마른 재료 제약 조건에 의해 Eggs 수준을 결정할 수 있습니다 . 이 스크립트는 사용자 설계에서 생성되는 데이터 테이블에 저장되었습니다 .

1. Design Experiment 폴더의 Cake Data.jmp 샘플 데이터 테이블을 엽니다 .
2. 설계 테이블의 테이블 패널에서 **Model** 스크립트 옆의 녹색 삼각형을 클릭합니다 .

Eggs로 인한 주효과는 포함되어 있지 않습니다. 모형 특이성을 방지하기 위해 "사용자 설계" 창의 "모형" 개요에서 Eggs 효과가 제외되었습니다. 5개 효과는 반응 표면 효과와 혼합 효과로 지정됩니다.

### 3. 실행을 클릭합니다.

일부 요인에 대한 혼합물 혼합 제약 조건 때문에 프로파일러를 표시할 수 없음을 알려 주는 JMP 경고가 나타납니다.

### 4. 확인을 클릭하여 JMP 경고를 해제합니다.

"모수 추정값" 보고서는 Sugar와 Flour가 유의 수준 0.05에서 유의함을 나타냅니다.

**그림 5.61** 모수 추정값 보고서

모수 추정값				
항	추정값	표준 오차	t 비	Prob> t
(Cocoa-0.1)/0.35	5.1056115	2.360215	2.16	0.0829
Sugar/0.35	16.873989	1.675197	10.07	0.0002*
(Flour-0.2)/0.35	15.750757	2.207353	7.14	0.0008*
(Butter-0.1)/0.35	5.3740398	2.654689	2.02	0.0988
(Milk-0.25)/0.35	1.5973046	2.435648	0.66	0.5409

## 공변량이 포함된 실험

실험에 사용할 실험 단위에 대한 측정값을 사용할 수 있는 경우가 있습니다. 이러한 측정값이 실험 반응에 영향을 줄 수 있습니다. 공변량이라고 하는 이 변수를 설계 요인으로 포함하면 유용합니다. 이러한 값을 직접 제어할 수는 없지만 모든 효과를 가장 정확하게 추정할 수 있도록 다른 요인의 수준을 선택할 수 있습니다.

사용자 설계 플랫폼은 공변량 값을 최적의 방식으로 선택하는 설계를 구성합니다. 공변량 값은 잠재적 실험 단위에 대한 공변량 정보를 제공하는 기존 데이터 테이블에서 선택됩니다. 데이터 테이블에 나열된 실험 단위의 수보다 적은 수의 런을 지정할 수 있습니다. 변경하기 힘든 공변량도 지정할 수 있습니다. 설계를 생성할 때 런 수가 공변량 테이블의 행 수보다 적으면 설계 테이블에 공변량 행 인덱스 열이 포함됩니다. 이 열은 공변량 테이블에서 각 실험 런에 해당하는 행을 나타냅니다.

**참고:** 공변량 데이터 테이블에서 공변량 요인의 값이 비결측인 행 수는 지정된 런 수보다 크거나 같아야 합니다.

- "고정 공변량이 포함된 설계"
- "변경하기 힘든 공변량이 포함된 설계"
- "시간 선형 추세가 포함된 설계"

## 고정 공변량이 포함된 설계

이 예에서는 사출 성형 공정에 의해 생산된 부품의 Shrinkage를 모델링하려고 합니다. Design Experiment 폴더의 Thermoplastic.jmp 샘플 데이터 테이블에는 연구에 사용할 수 있는 25개의 원료(열가소성수지) 배치가 나열됩니다. 각 배치에 대해 Specific Gravity 및 Tensile Strength 측정 값을 구하기 위해 재료가 제거되었습니다. 세 번째 공변량인 Supplier도 사용할 수 있습니다.

Temperature(금형 온도), Speed(스크류 속도) 및 Time(보압 시간)이라는 세 가지 제어 가능한 요인이 Shrinkage에 미치는 효과를 연구하려고 합니다. 그러나 Specific Gravity, Tensile Strength 및 Supplier와 같은 공변량의 효과도 연구하고 싶습니다. 현재 리소스로 가능한 런 수는 12회입니다.

### 설계 생성

1. 도움말 > 샘플 데이터 라이브러리를 선택하고 Design Experiment/Thermoplastic.jmp 를 엽니다.
2. DOE > 사용자 설계를 선택합니다.
3. "반응 이름" 아래의 Y를 두 번 클릭하고 Shrinkage를 입력합니다.
4. "목표" 아래의 최대화를 클릭한 후 최소화로 변경합니다.
5. 요인 추가를 클릭하고 공변량을 선택합니다.
6. 목록에서 Specific Gravity, Tensile Strength 및 Supplier를 선택하고 확인을 클릭합니다.  
이 항목은 공변량이며 제어할 수 없습니다.
7. N 개 요인 추가 옆에 3을 입력합니다.
8. 요인 추가 > 연속형을 클릭합니다.
9. 세 가지 연속형 요인의 이름을 Temperature, Speed, Time으로 각각 바꿉니다.  
이 항목은 요인이며 제어할 수 있습니다.

**그림 5.62** 반응 및 요인 개요

The screenshot shows two overlapping dialog boxes in the JMP software:

- 반응 (Response) Dialog:**
  - Header: 반응 추가 ▾ 제거 반응 수...
  - Table: 반응 이름 목표 하한 상한 중요도
  - Entries: Shrinkage (목표: 최소화, 하한: ., 상한: .)
  - Buttons: 선택적 항목
- 요인 (Factors) Dialog:**
  - Header: 요인 추가 ▾ 제거 N개 요인 추가 1
  - Table: 이름 연할 변경 간
  - Entries:
 

Specific Gravity	공변량	쉬움	1.004	1.144	
Tensile Strength	공변량	쉬움	6.42	8.07	
Supplier	공변량	쉬움	A	B	C
Temperature	연속형	쉬움	-1	1	
Speed	연속형	쉬움	-1	1	
Time	연속형	쉬움	-1	1	

10. 계속을 클릭합니다.

런 수는 공변량 값이 있는 행 수를 나타냅니다. 공변량을 측정한 25 개의 배치가 있습니다.

11. 런 수 옆에 12 를 입력합니다 .

**참고 :** 12 단계에서 "난수 시드값" 을 설정하고 13 단계에서 "시작 수" 를 설정하면 이 예에 표시된 것과 동일한 결과가 재현됩니다 . 설계를 직접 구성할 때는 이러한 단계가 필요하지 않습니다 .

12. (선택 사항) "사용자 설계"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 난수 시드값 설정을 선택한 후 84951 을 입력하고 확인을 클릭합니다 .

13. (선택 사항) "사용자 설계" 의 빨간색 삼각형을 클릭하고 시작 수를 선택한 후 40 을 입력하고 확인을 클릭합니다 .

14. 설계 생성을 클릭합니다 .

그림 5.63 12 회 런 최적 설계

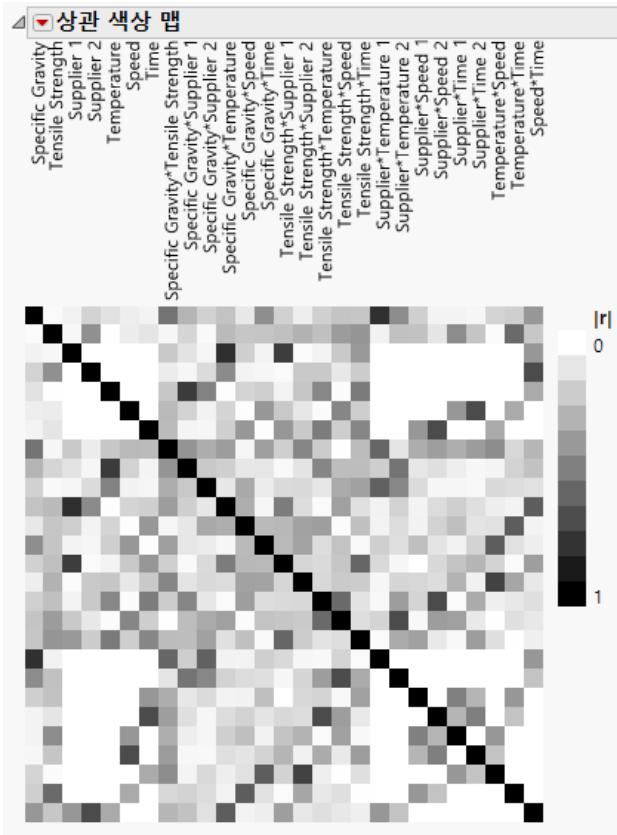
설계						
런	Specific Gravity	Tensile Strength	Supplier	Temperature	Speed	Time
1	1.107	8.07	B	1	1	1
2	1.144	6.82	B	1	-1	-1
3	1.004	6.52	C	1	1	-1
4	1.015	7.46	A	-1	1	-1
5	1.129	6.97	A	1	-1	-1
6	1.139	6.94	C	-1	1	-1
7	1.004	7.12	C	1	-1	1
8	1.067	6.7	B	-1	1	1
9	1.047	6.42	A	-1	-1	1
10	1.03	7.54	B	-1	-1	-1
11	1.094	6.48	A	1	1	1
12	1.113	6.89	C	-1	-1	1

이 설계는 잠재적 공변량 값을 고려한 D-최적입니다. 이 설계는 최적의 공변량 값 집합 및 제어 가능 요인의 최적 설정을 선택합니다 .

### 설계 평가

1. 설계 평가 > 상관 색상 맵 개요를 엽니다 .

그림 5.64 상관 색상 맵



주효과에 해당하는 7 개 항이 색상 맵 왼쪽 위에 나타납니다. 이 7 개 항은 직교에 가깝습니다. Tensile Strength 와 Supplier 2 사이의 절대 상관이 가장 큽니다. 이 절대 상관 ( 약 0.43) 은 사용 가능한 공변량 값의 결과입니다. 그림 5.64 에는 JMP 기본 색상이 사용됩니다.

## 변경하기 힘든 공변량이 포함된 설계

이 예에서는 마모 (Wear) 특성이 심한 달리기 선수가 신을 운동화를 개발하기 위한 설계를 구성합니다. 이 실험에는 다음과 같은 네 가지 요인이 포함됩니다.

- 밑창 두께 (Thickness)
- 젤 쿠션 재 양 (Gel)
- 구두창 재료 (Outsole)
- 중창 재료 (Midsole)

일반화 할 수 있는 결론을 얻으려면 신발을 테스트할 대상 선수의 범위를 넓게 잡아야 합니다. 실험 예산에 맞추기 위해 각 선수가 몇 가지 실험 조합을 테스트해야 합니다.

연구에 참가할 100명의 선수를 대상으로 데이터를 수집했습니다. 선수들에 대해 측정한 병존 변수(공변량)는 일일 평균 달린 거리(Miles), 몸무게(Weight) 및 지면에 발이 부딪히는 지점(Strike Point)입니다.

설계 생성 :

1. **도움말 > 샘플 데이터 라이브러리를 선택하고 Design Experiment/Runners Covariates.jmp 를 엽니다.**
2. **DOE > 사용자 설계를 선택합니다.**
3. "반응 이름" 아래의 Y를 두 번 클릭하고 Wear를 입력합니다.
4. "목표" 아래의 **최대화**를 클릭한 후 **최소화**로 변경합니다.
5. **요인 추가**를 클릭하고 **공변량**을 선택합니다.
6. 목록에서 Miles, Weight 및 Strike Point를 선택하고 **확인**을 클릭합니다.

이 항목은 달리기 선수와 관련된 변경하기 힘든 공변량입니다.

7. Miles, Weight, Strike Point 요인 중 하나에 대해 "변경" 아래에서 **쉬움**을 클릭한 후 **어려움**으로 변경합니다.

그리면 세 공변량의 "변경" 값이 모두 "어려움"으로 변경됩니다.

나머지 요인을 수동으로 추가하려면 8단계 ~ 16단계의 작업을 수행합니다. 또는 저장된 테이블에서 요인을 불러오려면 "사용자 설계"의 빨간색 삼각형에서 **요인 불러오기**를 선택합니다. Design Experiment 폴더의 Runners Factors.jmp 샘플 데이터 테이블을 엽니다. **요인 불러오기**를 선택한 경우에는 8단계 ~ 16단계의 작업을 건너뛰십시오.

8. **N 개 요인 추가** 옆에 2를 입력합니다.
9. **요인 추가 > 연속형**을 클릭합니다.
10. 두 요인의 이름을 Thickness 와 Gel로 각각 바꿉니다.
11. Thickness의 값을 5와 20으로 변경합니다.
12. Gel의 값을 1과 10으로 변경합니다.
13. **N 개 요인 추가** 옆에 2를 입력합니다.
14. **요인 추가 > 범주형 > 3 수준**을 클릭합니다.
15. 두 요인의 이름을 Outsole과 Midsole로 각각 바꿉니다.

이 요인의 값은 기본값을 유지합니다.

그림 5.65 반응 및 요인 개요

반응 이름	목표	하한	상한	중요도
Wear	최소화	.	.	.

이름	역할	변경	값
Miles	공변량	여려움	6 14.8
Weight	공변량	여려움	138 152
Strike Point	공변량	여려움	Forefoot Heel Midfoot
Thickness	연속형	쉬움	5 20
Gel	연속형	쉬움	1 10
Outsole	범주형	쉬움	L1 L2 L3
Midsole	범주형	쉬움	L1 L2 L3

16. 계속을 클릭합니다.
17. 교호작용 > 2차를 선택합니다.  
지정된 모형은 공변량과 실험 요인의 교호작용을 포함하여 모든 2요인 교호작용을 적합시킵니다.
18. 주구(선수) 수를 32로 설정합니다(이 값으로 설정되지 않은 경우).
19. "런 수"의 "사용자 지정" 옆에 64를 입력합니다(이 값으로 설정되지 않은 경우).

**참고 :** 20 단계에서 "난수 시드값"을 설정하고 21 단계에서 "시작 수"를 설정하면 이 예에 표시된 것과 동일한 결과가 재현됩니다. 설계를 직접 구성할 때는 이러한 단계가 필요하지 않습니다.

20. (선택 사항)"사용자 설계"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 난수 시드값 설정을 선택한 후 12345를 입력하고 확인을 클릭합니다.
21. (선택 사항)"사용자 설계"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 시작 수를 선택한 후 1로 설정합니다(이 값으로 설정되지 않은 경우). 확인을 클릭합니다.
22. 설계 생성을 클릭합니다.

**그림 5.66** 변경하기 힘든 공변량에 대한 설계의 처음 20 회 런

런	주구	Miles	Weight	Strike Point	Thickness	Gel	Outsole	Midsole
1	1	7.6	144	Midfoot	5	10	L3	L2
2	1	7.6	144	Midfoot	20	1	L2	L1
3	2	7.6	145	Midfoot	20	10	L3	L3
4	2	7.6	145	Midfoot	5	1	L1	L1
5	3	14.8	141	Midfoot	20	1	L1	L3
6	3	14.8	141	Midfoot	5	10	L2	L1
7	4	6.4	146	Heel	20	10	L1	L2
8	4	6.4	146	Heel	5	1	L2	L3
9	5	11.2	138	Heel	5	1	L2	L3
10	5	11.2	138	Heel	20	10	L3	L2
11	6	11.2	144	Forefoot	20	1	L3	L3
12	6	11.2	144	Forefoot	5	10	L2	L1
13	7	12.8	139	Heel	5	10	L3	L1
14	7	12.8	139	Heel	20	1	L1	L2
15	8	14	139	Midfoot	5	1	L1	L2
16	8	14	139	Midfoot	20	10	L2	L3
17	9	6	150	Heel	20	10	L2	L2
18	9	6	150	Heel	5	1	L3	L3
19	10	10.8	143	Forefoot	20	1	L3	L1
20	10	10.8	143	Forefoot	5	10	L2	L2

100 명의 선수 중 공변량 값을 기준으로 32 명이 선택됩니다. 선택된 선수에 해당하는 행은 RunnersCovariates.jmp 샘플 데이터 테이블에서 선택합니다. 실험 요인인 Thickness, Gel, Insole 및 Outsole 의 설정은 "모형" 개요에 설명된 모형을 위한 최적 설계가 생성될 수 있도록 결정됩니다.

23. RunnersCovariates.jmp 샘플 데이터 테이블을 활성 테이블로 사용하여 **분석 > 분포**를 선택합니다.
24. 세 열을 모두 **Y, 열**로 선택합니다.
25. **히스토그램만**을 선택합니다.
26. **확인**을 클릭합니다.

**그림 5.67** 100 명의 선수에 대한 히스토그램 (선택된 선수 데이터는 음영 처리됨)



이 히스토그램은 설계에서 공변량 간에 런 균형을 맞추기 위해 대상 선수가 선택된 방법을 보여 줍니다. 선택된 선수의 분포는 각 공변량에 대한 모든 선수의 전체 분포와 유사합니다.

## 시간 선형 추세가 포함된 설계

시간 순서에 따라 실험을 수행할 때 반응에서 선형 흐름이 나타나는 경우가 종종 있습니다. 일반적으로 런 순서를 랜덤화하면 추정된 요인 효과가 흐름 효과에 의해 편향되지 않습니다. 그러나 흐름을 고려하면 해당 효과의 분산을 줄일 수 있습니다.

요인 변화와 독립적으로 시간에 따라 반응에서 강한 선형 추세를 의심할 이유가 있다고 가정해 보겠습니다. 추세를 설명하기 위해 선형 공변량을 포함하는 설계를 구성할 수 있습니다. 결과 설계는 이 추세 공변량을 고려한 최적입니다.

이 예에서는 7 개 요인에 대한 실험을 설계합니다. 선형 추세에 대해 로버스트한 16 회 런 설계를 구성합니다.

1. **파일 > 새로 만들기 > 데이터 테이블**을 선택합니다.
2. 열 1 을 마우스 오른쪽 버튼으로 클릭하고 **열 정보**를 선택합니다.
3. 열 이름을 Run Order 로 변경합니다.
4. **데이터 초기화** 옵션 목록에서 **시퀀스 데이터**를 선택합니다.
5. **끝** 옆에 16 을 입력합니다.
6. **확인**을 클릭합니다.  
1부터 16 까지 연속된 정수가 데이터 테이블에 입력되었습니다.
7. **DOE > 사용자 설계**를 선택합니다.
8. **요인 추가 > 공변량**을 클릭합니다.
9. Run Order 를 선택하고 **확인**을 클릭합니다.
10. **N 개 요인 추가** 옆에 7 을 입력합니다.
11. **요인 추가 > 연속형**을 클릭합니다.

### 그림 5.68 반응 및 요인 개요

The screenshot shows the 'User Design' software interface with two main sections: 'Response' and 'Factor'.

**Response Section:**

- Header: 반응 추가 ▾ 제거 ▾ 반응 수...
- Table: 반응 이름 목표 하한 상한 중요도
 

반응 이름	목표	하한	상한	중요도
Y	최대화	.	.	.
- Text: 선택적 항목

**Factor Section:**

- Header: 요인 추가 ▾ 제거 N개 요인 추가 1
- Table: 요인 이름 역할 변경 값
 

이름	역할	변경	값
Run Order	공변량	쉬울	1
X2	연속형	쉬울	-1
X3	연속형	쉬울	-1
X4	연속형	쉬울	-1
X5	연속형	쉬울	-1
X6	연속형	쉬울	-1
X7	연속형	쉬울	-1
X8	연속형	쉬울	-1

12. **계속**을 클릭합니다.

13. **별칭 항** 개요를 엽니다.

14. 목록에서 모든 효과를 선택하고 **항 제거**를 클릭합니다.

이렇게 하면 상관 색상 맵에서 교호작용 효과를 생략하고 주효과만 남습니다.

---

**참고 :** 15 단계에서 "난수 시드값" 을 설정하고 16 단계에서 "시작 수" 를 설정하면 이 예에 표시된 것과 동일한 결과가 재현됩니다 . 설계를 직접 구성할 때는 이러한 단계가 필요하지 않습니다.

---

15. (선택 사항) "사용자 설계" 의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **난수 시드값 설정**을 선택한 후 1234 를 입력하고 **확인**을 클릭합니다.

16. (선택 사항) "사용자 설계" 의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **시작 수**를 선택하고 100 을 입력한 후 **확인**을 클릭합니다.

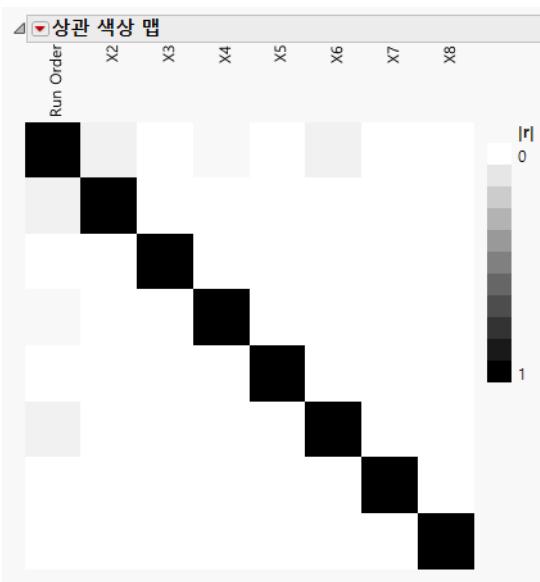
17. **설계 생성**을 클릭합니다.

그림 5.69 설계 개요

Run Order	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8
1	-1	-1	1	1	-1	1	1
2	1	-1	1	-1	1	1	-1
3	4	1	1	-1	-1	-1	1
4	12	1	1	-1	1	-1	-1
5	15	-1	1	-1	-1	-1	1
6	8	1	-1	1	-1	1	1
7	11	-1	1	1	-1	1	-1
8	3	1	-1	1	-1	-1	-1
9	5	-1	-1	-1	1	-1	1
10	13	-1	-1	1	1	1	-1
11	16	1	1	1	1	1	1
12	14	-1	-1	-1	-1	1	-1
13	10	1	-1	-1	1	-1	-1
14	9	1	-1	-1	-1	1	-1
15	2	1	1	-1	1	1	-1
16	6	-1	1	1	1	1	-1

18. 설계 평가 > 상관 색상 맵 개요를 엽니다.

그림 5.70 Run Order 와의 절대 상관을 보여 주는 색상 맵



색상 맵은 다음을 보여 줍니다.

- 7 개 연속형 요인 ( $X_2 \sim X_8$ ) 은 서로 직교합니다.
- 시간 선형 추세 변수인 Run Order 와  $X_2 \sim X_8$  의 절대 상관은 극단적으로 낮습니다.

19. 설계 평가 > 추정 효율도 개요를 엽니다.

그림 5.71 추정 효율도 개요

추정 효율도		
항	CI 길이의 부분적 증가	추정값의 상대 표준 오차
절편	0	0.25
Run Order	0.65	0.412
X2	0.006	0.252
X3	4e-4	0.25
X4	0	0.25
X5	0.003	0.251
X6	4e-4	0.25
X7	4e-4	0.25
X8	0.003	0.251

X2 ~ X8 과 Run Order 의 절대 상관이 작으므로 이상적인 직교 설계에 비해 신뢰 구간 길이의 증가가 매우 작습니다. X2 ~ X8 의 신뢰 구간 길이 증가는 모두 약 0.1% 미만입니다.

이 예에서 런 순서 요인은 요인 효과와 거의 직교합니다. 경우에 따라 런 순서 요인과 다른 요인 간의 상관이 상당히 클 수 있습니다. 이런 상황에서도 런 순서를 요인으로 포함하면 선형 추세 효과가 설명됩니다. 또한 런 순서를 포함하면 다른 요인 효과를 더 정확하게 추정할 수 있습니다.

## 랜덤화 제한이 있는 실험

사용자 설계 플랫폼은 D- 최적 또는 I- 최적인 분할구, 분할 - 분할구 및 이원 분할구(조각구) 설계를 구성합니다. 이러한 설계를 구성하는 방법에 대한 자세한 내용은 Goos(2002)에서 확인하십시오.

- "분할구 실험"
- "이원 분할구 실험"

## 분할구 실험

분할구 설계는 농업에서 시작되었지만 제조 및 엔지니어링 연구에서 매우 흔합니다. 분할구 실험에서 변경하기 힘든 요인은 하나의 주구와 다음 주구 사이에서만 재설정됩니다. 주구는 하위 구로 나뉘며, 변경하기 쉬운 요인의 수준이 각 하위구에 무작위로 할당됩니다.

이 섹션의 예는 Kowalski, Cornell, and Vining(2002)에서 채택되었습니다. 자동차 시트 커버를 만드는 데 사용되는 비닐 두께에 대한 5 개 요인의 효과를 연구하려고 합니다. 실험의 반응과 요인은 다음과 같습니다.

- 반응은 생산되는 비닐의 두께입니다. 두께를 최대화하는 것이 목표입니다. 두께 값의 하한은 10입니다.
- 주구 요인은 압출률 (extrusion rate) 과 건조 온도 (temperature)입니다. 이러한 요인은 공정 변수이며 변경하기가 힘듭니다.
- 하위구 요인은 비율 ( $m_1, m_2, m_3$ )의 합이 1 인 세 가지 가소제입니다. 이러한 요인은 혼합 성분입니다.

실험 예산을 고려하면 주구 요인의 7개 설정을 실행할 수 있습니다. 각 주구마다 하위구 요인에 대한 런을 4회 수행할 수 있습니다. 따라서 총 28회 런이 가능합니다.

### 설계 생성

1. **DOE > 사용자 설계**를 선택합니다.
2. "반응 이름" 아래의 Y를 두 번 클릭하고 **thickness**를 입력합니다.  
"최대화"로 설정된 기본 목표를 유지합니다.
3. "하한"에 10을 입력합니다.

요인을 수동으로 추가하려면 4단계 ~ 11단계의 작업을 수행합니다. 또는 저장된 테이블에서 요인을 불러오려면 "사용자 설계"의 빨간색 삼각형에서 **요인 불러오기**를 선택합니다. Design Experiment 폴더의 **Vinyl Factors.jmp** 샘플 데이터 테이블을 엽니다. **요인 불러오기**를 선택한 경우에는 4단계 ~ 11단계의 작업을 건너뛰십시오.

4. **N 개 요인 추가** 옆에 2를 입력합니다.
5. **요인 추가 > 연속형**을 클릭합니다.
6. 요인 이름을 **extrusion rate**와 **temperature**로 각각 바꿉니다.  
이러한 두 요인의 "값"은 기본값 -1과 1을 유지합니다.
7. **extrusion rate**와 **temperature** 둘 다에 대해 **쉬움**을 클릭하고 **어려움**을 선택합니다.  
이렇게 하면 **extrusion rate**와 **temperature**가 주구 요인으로 정의됩니다.
8. **N 개 요인 추가** 옆에 3을 입력합니다.
9. **요인 추가 > 혼합**을 클릭합니다.
10. 세 가지 혼합 요인의 이름을 **m1**, **m2**, **m3**으로 각각 바꿉니다.  
세 요인의 "값"은 기본값 0과 1을 유지합니다.

**그림 5.72** 반응 및 요인 개요

이름	역할	변경	값
extrusion rate	연속형	어려움	-1
temperature	연속형	어려움	-1
m1	혼합	쉬움	0
m2	혼합	쉬움	0
m3	혼합	쉬움	0

11. **계속**을 클릭합니다.

12. **교호작용 > 2 차**를 클릭합니다.
13. **확인**을 클릭하여 정보 메시지를 해제합니다.
- "주구 수"의 기본값은 3입니다.
14. **주구 수** 옆에 7을 입력합니다.
15. **사용자 지정** 옆에 28을 입력합니다.

---

**참고 :** 16 단계에서 "난수 시드값"을 설정하고 17 단계에서 "시작 수"를 설정하면 이 예에 표시된 것과 동일한 결과가 재현됩니다. 설계를 직접 구성할 때는 이러한 단계가 필요하지 않습니다.

---

16. (선택 사항) "사용자 설계"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **난수 시드값 설정**을 선택한 후 12345를 입력하고 **확인**을 클릭합니다.
17. (선택 사항) "사용자 설계"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **시작 수**를 선택한 후 5를 입력하고 **확인**을 클릭합니다.
18. **설계 생성**을 클릭합니다.

그림 5.73 설계 개요

설계							
런	주구	extrusion			m1	m2	m3
		rate	temperature				
1	1	1	1	1	1	0	0
2	1	1	1	0.5	0.5	0	0
3	1	1	1	0	0.5	0.5	0.5
4	1	1	1	0	0	0	1
5	2	-1	1	0	0	0	1
6	2	-1	1	0	1	0	0
7	2	-1	1	0.5	0	0	0.5
8	2	-1	1	1	0	0	0
9	3	-1	-1	0	1	0	0
10	3	-1	-1	0.4	0	0	0.6
11	3	-1	-1	0	0.5	0.5	0.5
12	3	-1	-1	1	0	0	0
13	4	1	-1	0	0.5	0.5	0.5
14	4	1	-1	1	0	0	0
15	4	1	-1	0	1	0	0
16	4	1	-1	0	0	0	1
17	5	1	1	1	0	0	0
18	5	1	1	0	1	0	0
19	5	1	1	0.5	0	0.5	0.5
20	5	1	1	0	0	0	1
21	6	-1	-1	1	0	0	0
22	6	-1	-1	0	1	0	0
23	6	-1	-1	0.5	0.5	0	0
24	6	-1	-1	0	0	0	1
25	7	1	-1	0	0	0	1
26	7	1	-1	0.6	0	0.4	0.4
27	7	1	-1	0	1	0	0
28	7	1	-1	0.560358	0.439642	0	0

주구 요인 extrusion rate와 temperature는 주구 요인의 수준에 따라 7번 재설정됩니다. 주구의 각 수준 내에서 혼합 성분 m1, m2 및 m3에 대한 설정이 무작위로 할당됩니다.

## 결과 분석

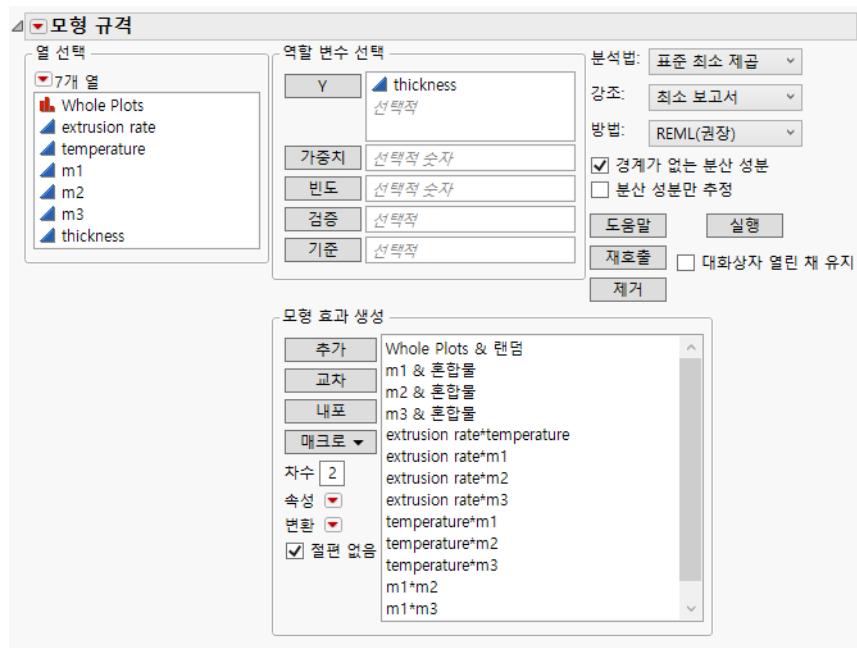
Vinyl Data.jmp 샘플 데이터 테이블에는 이전 버전의 JMP에서 생성된 설계를 사용한 실험 결과가 포함되어 있습니다.

1. 도움말 > 샘플 데이터 라이브러리를 선택하고 Design Experiment/Vinyl Data.jmp 를 엽니다.

이 샘플 데이터 테이블에는 28 회 런과 반응 값이 있습니다. 사용자 설계 플랫폼을 사용하여 생성한 테이블의 설계 설정과 Vinyl Data.jmp 설계에 사용된 설정이 다를 수 있습니다.

2. 테이블 패널에서 **Model** 스크립트 옆의 녹색 삼각형을 클릭합니다.

**그림 5.74** 모형 적합 창



"모형 적합" 창에서 다음을 확인할 수 있습니다.

- Whole Plots 요인에 "임의 효과"(& 랜덤)라는 속성이 있습니다. 이는 Whole Plots 의 수준이 랜덤하게 구현됨을 나타냅니다. 또한 관련된 오차 항이 있습니다.
- 분석 방법은 **REML(권장)**입니다. 모형에 임의 효과가 포함되어 있으므로 이 방법이 지정됩니다. REML 모형에 대한 자세한 내용은 선형 모형 적합의 에서 확인하십시오.

**팁:** JMP Pro 사용자는 "모형 적합" 창에서 "분석법"을 "혼합 모형"으로 변경할 수 있습니다.

3. 실행을 클릭합니다.

그림 5.75 분할구 분석 결과

모수 추정값						
	추정값	표준 오차	DFDen	t 비	Prob> t	
m1	9.4464782	0.989604	7.99	9.55	<.0001*	
m2	5.378571	1.120267	10.35	4.80	0.0007*	
m3	5.5546291	1.030955	8.786	5.39	0.0005*	
extrusion rate*temperature	-1.866921	0.740748	2.858	-2.52	0.0903	
extrusion rate*m1	-0.647611	0.958111	7.261	-0.68	0.5200	
extrusion rate*m2	0.2944425	0.997579	8.162	0.30	0.7752	
extrusion rate*m3	2.66111621	0.979087	7.733	2.72	0.0272*	
temperature*m1	-1.8151	0.961061	7.328	-1.89	0.0990	
temperature*m2	1.2044413	0.993319	8.065	1.21	0.2596	
temperature*m3	-1.498647	0.97904	7.731	-1.53	0.1657	
m1*m2	-6.458845	5.83806	13.36	-1.11	0.2881	
m1*m3	8.5532871	5.607183	13.15	1.53	0.1508	
m2*m3	10.575333	5.226599	13.04	2.02	0.0640	

임의 효과 예측						
REML 분산 성분 추정값						
임의 효과	분산 비율	분산 성분	표준 오차	95% 하한	95% 상한	Wald p 값
Whole Plots	0.6350069	2.476748	2.9711536	-3.346606	8.3001021	0.4045
잔차		3.9003483	1.5898101	2.0073487	10.607283	61.162
합계		6.3770963	3.1515558	2.9308168	22.945461	100.000

-2\*로그 우도 = 82.032495402  
참고: 합계는 양의 분산 성분의 합입니다.  
음수 추정값을 포함한 합계 = 6.3770963

"모수 추정값" 보고서는 세 가지 혼합 성분 및 extrusion rate\*m3 교호작용이 0.05 수준에서 유의함을 보여 줍니다.

"REML 분산 성분 추정값" 보고서는 주구와 관련된 분산 성분이 2.476748임을 나타냅니다. 이는 총 변동의 38.838%입니다. 결과적으로 주구 반복과 관련된 오차 항이 잔차(내부) 오차 항보다 작습니다.

## 이원 분할구 실험

이원 분할구(조각구 또는 분할 블록이라고도 함) 설계는 두 개의 분할구 성분으로 구성됩니다. 산업 분야에서 첫 번째 처리 단계의 재료나 실험 단위를 두 번째 처리 단계에 일괄적으로 전달할 때 이러한 설계가 수행됩니다. 이원 분할구 설계를 사용하려면 단계 간 단위를 재정렬할 수 있어야 합니다.

첫 번째 처리 단계 후에 배치를 하위 배치로 나눌 수 있어야 합니다. 두 번째 단계 처리 요인은 이러한 하위 배치에 무작위로 적용됩니다. 두 번째 단계의 특정 실험 설정이 있는 경우 해당 설정에 할당된 모든 하위 배치를 동시에 처리할 수 있습니다. 두 번째 처리 단계 후에 실험 단위에 추가 요인을 적용할 수 있습니다.

분할-분할구 설계와 달리 두 번째 단계 요인이 첫 번째 단계 요인에 내포되지 않습니다. 첫 번째 단계 후 배치가 나뉘어져 새 배치가 만들어집니다. 따라서 첫 번째 단계 요인과 두 번째 단계 요인 둘 다 전체 배치에 적용됩니다.

두 단계의 요인이 동등하게 변경하기 힘들 수 있지만 JMP는 첫 번째 단계 요인을 매우 변경하기 힘든 것으로 나타내고 두 번째 단계 요인을 변경하기 힘든 것으로 나타내 이러한 요인을 구분합니다. 두 번째 처리 단계 후 실험 단위에 적용된 추가 요인은 변경하기 쉬운 것으로 간주됩니다.

## 이원 분할구 설계 시나리오

이 예는 배터리 셀의 OCV(개회로 전압)를 개선하기 위한 실험을 기반으로 합니다(Vivacqua and Bisgaard, 2004). 셀이 저절로 방전되는 것을 방지하기 위해 OCV를 최소화해야 합니다.

배터리 셀은 다음과 같은 두 단계의 처리 과정을 거칩니다.

- 첫 번째 단계 : 배터리를 2000 개씩 일괄 처리하는 연속 조립 공정
- 두 번째 단계 : 4000 개 배터리를 수용할 수 있는 공간에서 5 일 주기 시간의 큐어링 공정

다음과 같은 여섯 가지 2수준 연속형 요인에 대해 연구하려고 합니다.

- 조립 공정에 적용되는 네 개의 요인 (A1, A2, A3, A4). 첫 번째 단계 요인에 대해 실행할 수 있는 시도 수는 16 회입니다.
- 큐어링 공정에 적용되는 두 개의 요인 (C5, C6). 큐어링에는 5 일 주기 시간이 필요하므로 두 번째 단계 요인에 대해 실행할 수 있는 주기는 6 회 (30 일 ) 뿐입니다. 6 회의 큐어링 주기를 사용하면 큐어링 설정을 부분 반복하여 큐어링 효과를 검정할 수 있습니다.

첫 번째 단계 요인과 두 번째 단계 요인은 둘 다 변경하기 힘들기 때문에 분할구 두 개를 제안합니다. 그러나 첫 번째 단계 실험에서 2,000 개 배터리를 각각 500 개의 배터리로 구성된 하위 배치로 나눌 수 있습니다. 이러한 하위 배치 중 8 개를 무작위로 선택하여 큐어링 공간에서 동시에 처리할 수 있습니다.

이 실험에는 48개의 실험 단위가 있습니다. 첫 번째 단계와 두 번째 단계의 요인이 교차된다는 것에 유의하십시오.

## 설계 생성

이원 분할구 실험을 설계하려면

1. **DOE > 사용자 설계**를 선택합니다 .
  2. " 반응 이름 " 아래의 Y를 두 번 클릭하고 OCV를 입력합니다 .
  3. " 목표 " 아래의 **최대화**를 클릭한 후 **최소화**를 선택합니다 .
  4. 요인을 수동으로 추가하려면 5 단계 ~ 10 단계의 작업을 수행합니다 . 저장된 테이블에서 요인을 불러오려면 다음을 수행하십시오 .
    - a." 사용자 설계 "의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **요인 불러오기**를 선택합니다 .
    - b. Design Experiment 폴더의 Battery Factors.jmp 샘플 데이터 테이블을 엽니다 .
    - c. 11 단계으로 진행합니다 .
  5. **N 개 요인 추가** 옆에 6 을 입력합니다 .
  6. **요인 추가 > 연속형**을 클릭합니다 .
  7. 요인 이름을 A1, A2, A3, A4, C1, C2 로 각각 바꿉니다 .
- 이러한 요인의 " 값 " 은 기본값 -1 과 1 을 유지합니다 .

8. A1, A2, A3 및 A4 요인에 대해 각각 "변경" 아래에서 **쉬움**을 클릭한 후 **매우 어려움**으로 변경 합니다.

첫 번째 단계와 두 번째 단계의 요인을 구분하기 위해 첫 번째 단계 요인의 "변경" 을 "매우 어려움" 으로 지정하고 두 번째 단계 요인의 "변경" 을 "어려움" 으로 지정합니다.

9. C1 및 C2 요인에 대해 각각 "변경" 아래에서 **쉬움**을 클릭한 후 **어려움**으로 변경합니다.

**그림 5.76** 반응 및 요인 개요

The screenshot shows two tables side-by-side. The top table is titled '반응' (Response) and lists a single row for 'OCV' with a '목표' (Target) value of '최소화' (Minimize). The bottom table is titled '요인' (Factor) and lists factors A1 through C2, each with a '연속형' (Continuous) scale and a '변경' (Change) column showing values from '-1' to '1'. The '값' (Value) column shows the range from -1 to 1 for each factor.

반응 이름	목표	하한	상한	중요도
OCV	최소화	-	-	-

요인 추가 ▾	제거	N개 요인 추가	1
이름	역할	변경	값
A1	연속형	매우 어려움	-1
A2	연속형	매우 어려움	-1
A3	연속형	매우 어려움	-1
A4	연속형	매우 어려움	-1
C1	연속형	어려움	-1
C2	연속형	어려움	-1

10. **계속**을 클릭합니다.

11. "모형" 개요에서 **교호작용 > 2 차**를 선택합니다.

12. "설계 생성" 개요에서 **변경하기 힘든 요인은 매우 변경하기 힘든 요인과 독립적으로 변화할 수 있습니다.** 옵션을 선택합니다.

자세한 내용은 그림 5.77에서 확인하십시오. 이 옵션을 선택하면 이원 분할구 설계가 생성됩니다. 이 옵션을 선택하지 않으면 두 수준에서 요인이 내포된 분할 - 분할구 설계로 처리됩니다.

13. **주구 수**에 16을 입력합니다.

이 값은 첫 번째 단계 요인에 대해 실행할 수 있는 시도 수입니다.

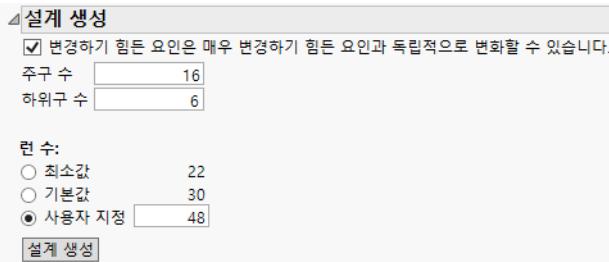
14. **하위구 수**에 6을 입력합니다.

이 값은 두 번째 단계 요인에 대해 실행할 수 있는 시도 수입니다.

15. "런 수" 아래에서 **사용자 지정** 옆에 48을 입력합니다.

이 값은 총 실험 단위 수입니다.

그림 5.77 설계 생성 개요



**참고 :** 16 단계에서 "난수 시드값" 을 설정하고 17 단계에서 "시작 수"를 설정하면 이 예에 표시된 것과 동일한 결과가 재현됩니다 . 설계를 직접 구성할 때는 이러한 단계가 필요하지 않습니다 .

16. (선택 사항) "사용자 설계" 의 빨간색 삼각형을 클릭하고 난수 시드값 설정을 선택한 후 1866762673 을 입력하고 확인을 클릭합니다 .
17. (선택 사항) "사용자 설계" 의 빨간색 삼각형을 클릭하고 시작 수를 선택한 후 21 을 입력하고 확인을 클릭합니다 .
18. 설계 생성을 클릭합니다 .
19. 테이블 생성을 클릭합니다 .

그림 5.78 설계 테이블 ( 일부분 )

	주구	하위구	A1	A2	A3	A4	C1	C2	OCV	
1	1	1	-1	1	-1	1	-1	1	.	
2	1	2	-1	1	-1	1	1	1	.	
3	1	3	-1	1	-1	1	1	-1	.	
4	2	4	1	1	-1	1	1	1	.	
5	2	5	1	1	-1	1	-1	1	.	
6	2	6	1	1	-1	1	-1	-1	.	
7	3	1	-1	-1	-1	1	-1	1	.	
8	3	2	-1	-1	-1	1	1	1	.	
9	3	3	-1	-1	-1	1	1	-1	.	
10	4	4	-1	-1	-1	-1	1	1	.	
11	4	5	-1	-1	-1	-1	-1	1	.	
12	4	6	-1	-1	-1	-1	-1	-1	.	
13	5	1	1	1	-1	-1	-1	1	.	
14	5	2	1	1	-1	-1	1	1	.	
15	5	3	1	1	-1	-1	1	-1	.	
16	6	4	1	-1	-1	-1	1	1	.	

설계 테이블은 주구의 16개 수준을 보여 줍니다. 주구의 각 수준에 대해 네 가지 조립 요인의 설정이 일정합니다. 주구의 각 수준에서 500개의 배터리로 구성된 3개의 배치(하위구)가 큐어링 요인의 설정에 무작위로 할당됩니다. 큐어링 조건 집합 두 개가 반복됩니다( $C1 = -1, C2 = 1$  과  $C1 = 1, C2 = -1$ ). 이를 확인하려면 C1 및 C2 열을 선택하고 머리글 영역을 마우스 오른쪽 버튼으로 클릭한 후 정렬 > 오름차순을 선택하십시오.

## 결과 분석

Battery Data.jmp 샘플 데이터 테이블에는 생성한 설계의 실험 결과가 포함되어 있습니다.

1. 도움말 > 샘플 데이터 라이브러리를 선택하고 Design Experiment/Battery Data.jmp 를 엽니다.
2. 테이블 패널에서 Model 스크립트 옆의 녹색 삼각형을 클릭합니다.  
"모형 적합" 창에서 다음을 확인할 수 있습니다.
  - Whole Plots 요인에 "임의 효과"(&랜덤)라는 속성이 있습니다. 이는 Whole Plots 의 수준이 랜덤하게 구현됨을 나타냅니다. 또한 관련된 오차 항이 있습니다.
  - Subplots 요인에도 "임의 효과" 속성 (&랜덤)이 있습니다.
  - 분석 방법은 **REML(권장)**입니다. 모형에 임의 효과가 포함되어 있으므로 이 방법이 지정됩니다. REML 모형에 대한 자세한 내용은 선형 모형 적합의 에서 확인하십시오.

**팁 :** JMP Pro 사용자는 "모형 적합" 창에서 "분석법" 을 "혼합 모형" 으로 변경할 수 있습니다.

3. 대화상자 열린 채 유지 옵션을 선택합니다.
4. 실행을 클릭합니다.

그림 5.79 전체 모형에 대한 보고서

▣ 모수 추정값						
항	추정값	표준 오차	DFDen	t 비	Prob> t	
절편	38.183196	1.673404	2.075	22.82	0.0016*	
A1	-4.657571	1.093074	2.916	-4.26	0.0251*	
A2	0.147742	1.093074	2.916	0.14	0.9013	
A3	0.9486795	1.093074	2.916	0.87	0.4510	
A4	4.0716925	1.190175	3.214	3.42	0.0376*	
C1	-1.827487	1.606207	0.868	-1.14	0.4804	
C2	-15.73288	1.35446	0.719	-11.62	0.1065	
A1*A2	0.1289012	1.080526	2.784	0.12	0.9131	
A1*A3	-1.114015	1.080526	2.784	-1.03	0.3837	
A1*A4	-1.92398	1.176342	3.04	-1.64	0.1993	
A1*C1	-3.271232	0.480531	20.65	-6.81	<.0001*	
A1*C2	3.737258	0.478635	20.09	7.81	<.0001*	
A2*A3	0.3768179	1.080526	2.784	0.35	0.7520	
A2*A4	1.4693535	1.176342	3.04	1.25	0.2992	
A2*C1	1.9072313	0.480531	20.65	3.97	0.0007*	
A2*C2	-0.161179	0.478635	20.09	-0.34	0.7398	
A3*A4	0.0764369	1.176342	3.04	0.06	0.9522	
A3*C1	0.1761619	0.480531	20.65	0.37	0.7176	
A3*C2	-0.445242	0.478635	20.09	-0.93	0.3633	
A4*C1	0.5306856	0.511896	20.84	1.04	0.3118	
A4*C2	1.3506119	0.502894	20.12	2.69	0.0142*	
C1*C2	-0.425326	1.606207	0.868	-0.26	0.8401	

▷ 임의 효과 예측						
△ REML 분산 성분 추정값						
임의 효과	분산 비율	분산 성분	표준 오차	95% 하한	95% 상한	Wald p 값
Whole Plots	1.6095523	15.451509	15.876576	-15.66601	46.569027	0.3304
Subplots	0.8919389	8.562507	16.314188	-23.41271	40.537728	0.5997
잔차		9.5998804	3.0299487	5.6239301	19.985723	28.559
합계		33.613897	16.824615	15.325965	123.59174	100.000

-2\*로그 우도 = 227.810084  
참고: 합계는 양의 분산 성분의 합입니다.  
음수 추정값을 포함한 합계 = 33.613897

"모수 추정값" 보고서는 이원 교호작용 4 개 ( $A_1*C_1, A_1*C_2, A_2*C_1, A_4*C_2$ ) 와 주효과 두 개 ( $A_1, A_4$ ) 가 0.05 수준에서 유의함을 나타냅니다.

5. Battery Data.jmp 의 테이블 패널에서 **Reduced Model 1** 스크립트 옆의 녹색 삼각형을 클릭 합니다.

그러면 유의하지 않은 교호작용이 제거된 "모형 적합" 창이 열립니다. 남은 효과는 모든 주효과와 이원 교호작용 4 개 ( $A_1*C_1, A_1*C_2, A_2*C_1, A_4*C_2$ ) 입니다. 이 모형 축소 방법은 보수적입니다.

6. **실행**을 클릭합니다.

**그림 5.80** 예비 축소 모형에 대한 보고서

모수 추정값						
항	추정값	표준 오차	DFDen	t 비	Prob> t	
절편	38.249531	1.373127	7.723	27.86	<.0001*	
$A_1$	-4.723906	1.175023	8.5	-4.02	0.0034*	
$A_2$	0.0497917	1.165418	8.228	0.04	0.9669	
$A_3$	0.7560417	1.165418	8.228	0.65	0.5342	
$A_4$	4.2328205	1.207654	9.16	3.50	0.0065*	
$C_1$	-2.195626	0.866042	1.083	-2.54	0.2234	
$C_2$	-15.79922	0.840903	1.008	-18.79	0.0331*	
$A_1*C_1$	-3.283225	0.452505	25.17	-7.26	<.0001*	
$A_1*C_2$	3.8035937	0.4498	24.42	8.46	<.0001*	
$A_2*C_1$	1.8797279	0.452505	25.17	4.15	0.0003*	
$A_4*C_2$	1.3877006	0.482556	24.95	2.88	0.0081*	

주효과  $C_2$  는 이제 0.05 수준에서 유의합니다 ( $\text{Prob}>|t| = 0.0331$ ).

7. "모형 적합" 창에서  $A_3$  을 제거합니다.

주효과 중  $A_3$  만 유의하지 않고 이원 교호작용에 포함되지 않습니다.

8. **실행**을 클릭합니다.

**그림 5.81** 축소 모형에 대한 보고서

모수 추정값						
항	추정값	표준 오차	DFDen	t 비	Prob> t	
절편	38.249531	1.362184	6.639	28.08	<.0001*	
$A_1$	-4.723906	1.137313	9.131	-4.15	0.0024*	
$A_2$	0.0497917	1.127389	8.818	0.04	0.9658	
$A_4$	4.2131272	1.173862	9.921	3.59	0.0050*	
$C_1$	-2.166553	0.899138	1.037	-2.41	0.2432	
$C_2$	-15.79922	0.874257	0.963	-18.07	0.0389*	
$A_1*C_1$	-3.282201	0.452234	25.24	-7.26	<.0001*	
$A_1*C_2$	3.8035938	0.449735	24.43	8.46	<.0001*	
$A_2*C_1$	1.8843473	0.452234	25.24	4.17	0.0003*	
$A_4*C_2$	1.3851686	0.4823	24.91	2.87	0.0082*	

임의 효과 예측						
REML 분산 성분 추정값						
임의 효과	분산 비율	분산 성분	표준 오차	95% 하한	95% 상한	Wald p 값
Whole Plots	2.0231563	17.459497	9.7154555	-1.582446	36.50144	0.0723
Subplots	0.3473621	2.9976761	5.8732929	-8.513766	14.509119	0.6098
잔차		8.6298312	2.4692519	5.2816799	16.588508	29.669
합계		29.087005	9.1941655	17.028461	60.633509	100.000

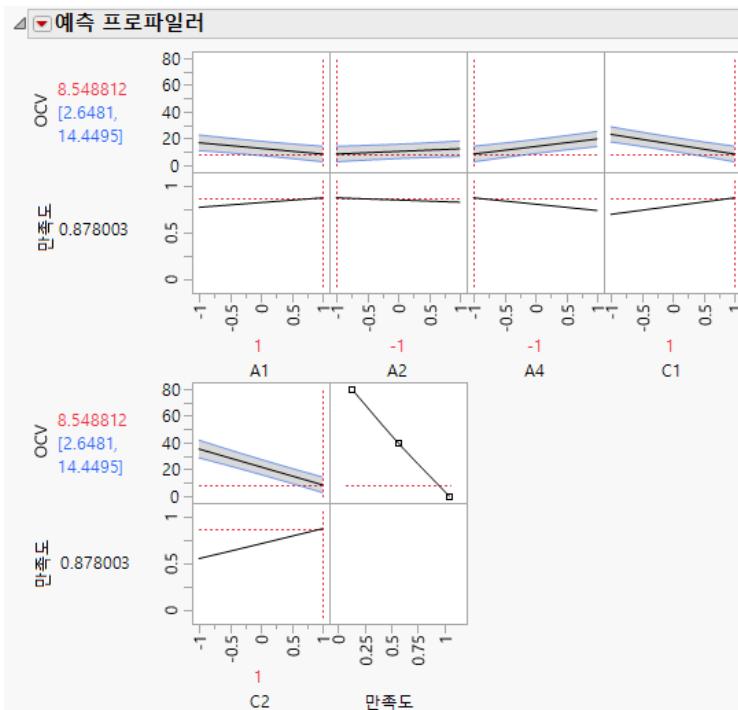
-2\*로그 우도 = 254.17861349

참고: 합계는 양의 분산 성분의 합입니다.  
음수 추정값을 포함한 합계 = 29.087005

"REML 분산 성분 추정값" 보고서는 주구와 관련된 분산 성분이 하위구의 분산 성분보다 약 6 배 정도 크다는 것을 보여 줍니다. 즉, 조립 공정이 큐어링 공정보다 가변성이 더 크다는 것을 나타냅니다. 또한 내부(잔차) 오차가 하위구의 오차보다 큽니다. 변동을 줄이려면 조립 공정 및 배터리 간 차이에 중점을 두어야 합니다.

9. "반응 OCV"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **요인 프로파일링 > 프로파일러**를 선택합니다.
10. "예측 프로파일러"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **최적화 및 만족도 > 만족도 최대화**를 선택합니다.

**그림 5.82** OCV 최소화 설정을 사용한 예측 프로파일러



프로파일러는 활성으로 식별된 5 개 요인 및 OCV 를 최소화하는 설정을 보여 줍니다.

## 로버스트 공정 및 제품 설계를 위한 실험

공정 또는 제품은 잡음 요인의 영향을 받는 경우가 많습니다. 이러한 요인은 제어하기가 어렵고 비용 효율성이 낮습니다. 잡음 요인의 영향을 가장 적게 받는 제어 가능한 요인의 공정 또는 제품 설정을 찾아야 합니다. 과거에는 Taguchi 설계가 잡음 요인이 있을 때 실험할 수 있는 방법을 제 공했습니다. 실험 중에 잡음 요인을 제어해야 합니다.

Taguchi 설계의 대안으로 결합 배열 및 혼합 해상도 설계(Borror and Montgomery, 2000)를 사용할 수 있습니다. 혼합 해상도 설계는 제어 요인과 잡음 요인을 모두 포함하는 설계를 생성하는 데

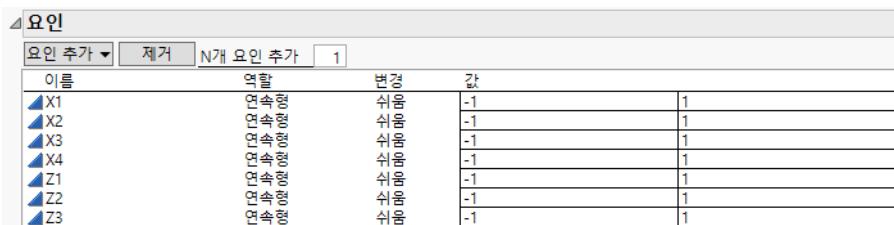
사용됩니다. 이 설계의 목표는 제어 변수에 대한 로버스트 설정을 찾는 것입니다. 핵심은 특정 효과를 추정할 수 있는지 여부입니다. 특히 제어 변수의 주효과, 잡음 변수의 주효과, 제어 간 교호작용, 잡음\*제어 교호작용 및 제어 변수의 2차 항을 추정하는 데 관심이 있습니다.

사용자 설계 도구를 사용하여 로버스트 공정 설정 연구를 위한 설계를 생성할 수 있습니다.

이 예에서는 세 가지 잡음 요인이 있을 때 네 가지 제어 설정에 대한 최적 설정을 찾으려고 합니다.

1. **DOE > 사용자 설계**를 선택합니다.
2. "요인" 개요에서 **N 개 요인 추가** 옆에 4를 입력합니다.
3. **요인 추가 > 연속형**을 클릭합니다.
4. "요인" 개요에서 **N 개 요인 추가** 옆에 3을 입력합니다.
5. **요인 추가 > 연속형**을 클릭합니다.
6. X5를 두 번 클릭한 후 Z1로 변경하여 잡음 요인을 지정합니다. 계속해서 X6과 X7도 Z2와 Z3으로 변경합니다.

**그림 5.83** 제어 요인 4 개와 잡음 요인 3 개가 있는 설계의 요인 개요



이름	연속형	변경	값
X1	연속형	쉬움	-1
X2	연속형	쉬움	-1
X3	연속형	쉬움	-1
X4	연속형	쉬움	-1
Z1	연속형	쉬움	-1
Z2	연속형	쉬움	-1
Z3	연속형	쉬움	-1

7. 계속을 클릭합니다.

이제, 잡음 요인의 영향을 가장 적게 받는 제어 요인의 최적 설정을 탐색하기 위한 모형을 설정합니다.

8. 모형에는 기본적으로 모든 주효과가 포함됩니다.
9. **교호작용 > 2 차**를 클릭하여 모든 이원 교호작용을 추가합니다.  
이렇게 하면 제어 간 교호작용, 제어 \* 잡음 교호작용 및 잡음 간 교호작용이 입력됩니다. 잡음 요인 간의 교호작용은 추정하고 싶지 않습니다.
10. 목록 맨 아래로 스크롤하여 Z1\*Z2, Z1\*Z3 및 Z2\*Z3을 강조 표시한 후 "항 제거"를 클릭합니다. 그러면 잡음 간 교호작용이 제거됩니다.
11. "요인" 개요에서 X1, X2, X3, X4를 선택합니다.
12. "모형" 개요에서 "멱 > 2 차"를 클릭하여 제어 변수 2 차 항을 추가합니다.

그림 5.84 잡음 요인이 있는 설계의 모형 개요

모형		주효과	교호작용 ▾	RSM	교차	역 ▾	항 제거
이름		주정 가능성					
절편		필수					
X1		필수					
X2		필수					
X3		필수					
X4		필수					
Z1		필수					
Z2		필수					
Z3		필수					
X1*X2		필수					
X1*X3		필수					
X1*X4		필수					
X1*Z1		필수					
X1*Z2		필수					
X1*Z3		필수					
X2*X3		필수					
X2*X4		필수					
X2*Z1		필수					
X2*Z2		필수					
X2*Z3		필수					
X3*X4		필수					
X3*Z1		필수					
X3*Z2		필수					
X3*Z3		필수					
X4*Z1		필수					
X4*Z2		필수					
X4*Z3		필수					
X1*X1		필수					
X2*X2		필수					
X3*X3		필수					
X4*X4		필수					

13. 중앙점 수 : 텍스트 상자에 2를 입력하여 중앙점 두 개를 추가합니다.

14. 설계 생성을 클릭합니다.

세 가지 잡음 요인이 있을 때 제어 요인을 평가하고 최적화할 수 있는 36회 런 설계가 생성됩니다.  
분석 목표는 중요한 효과를 판별한 후 잡음 요인의 영향을 가장 적게 받는 제어 요인에 대한 설정을 선택하는 것입니다.

## 설계 확대 기존 설계에 추가 런 추가

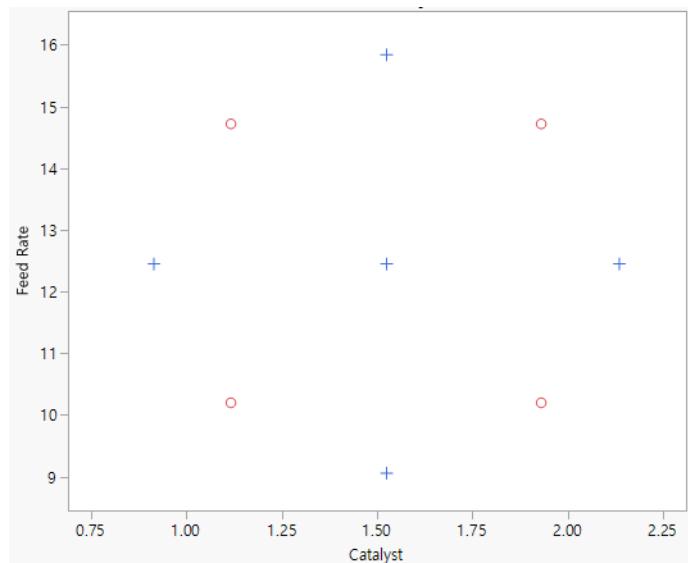
설계 확대 플랫폼을 사용하면 기존 실험 설계에 런을 추가할 수 있습니다. 실험은 대개 순차적 공정이며 설계된 실험을 확대하면 단일 설계의 모호성을 해결하는 데 도움이 됩니다.

설계 확대 플랫폼은 기존 설계 테이블에 대해 전체 설계를 최적화하는 추가 런을 구성합니다. 다음과 같은 목표를 달성하기 위해 런을 추가할 수 있습니다.

- 설계를 지정된 횟수만큼 반복합니다.
- 중앙점을 추가합니다.
- 설계 접기를 생성합니다.
- 중앙점과 함께 축 점을 추가하여 선별 설계를 반응 표면 설계로 변환합니다.
- 설계에 공간 채움 점을 추가합니다.
- 특정 모형 적합을 위해 설계에 런을 추가합니다.

설계 확대에 대한 자세한 내용은 Goos and Jones(2011)에서 확인하십시오.

**그림 6.1** 원래 설계 런 (+) 과 확대된 런 (o)



**목차**

설계 확대 플랫폼을 사용한 예 . . . . .	195
설계 확대 플랫폼 시작 . . . . .	201
설계 확대 창 . . . . .	202
요인 . . . . .	202
요인 제약 조건 정의 . . . . .	203
확대 옵션 . . . . .	206
설계 확대 플랫폼 옵션 . . . . .	207
확대 옵션의 추가 예 . . . . .	210
설계 반복 . . . . .	210
설계에 중앙점 추가 . . . . .	212
설계 접기 생성 . . . . .	213
설계에 축 점 추가 . . . . .	214
공간 채움 확대 . . . . .	215
통계 상세 정보 . . . . .	216

## 설계 확대 플랫폼을 사용한 예

"설계 확대 플랫폼"을 사용하여 설계에 추가 런을 추가합니다. 이 예에서는 설계 확대 플랫폼을 사용하여 선별 설계 결과의 모호성을 해결하는 방법을 보여 줍니다. 이 연구에서 화학 엔지니어는 화학 공정의 반응 백분율에 대한 5 개 요인의 효과를 조사합니다. 원래 설계는 주효과를 적합시키기 위한 8 회 런 설계였습니다. 이 예에서는 총 16 회 런을 사용하여 모든 2 요인 교호작용을 추정할 수 있도록 8 회 런 설계를 확대합니다.

1. 도움말 > 샘플 데이터 라이브러리를 선택하고 Design Experiment/Reactor 8 Runs.jmp 를 엽니다.
2. DOE > 설계 확대를 선택합니다.
3. Percent Reacted 를 선택하고 Y, 반응을 클릭합니다.
4. Feed Rate, Catalyst, Stir Rate, Temperature 및 Concentration 을 선택하고 X, 요인을 클릭합니다.
5. 확인을 클릭합니다.

그림 6.2 반응기 예제의 요인

이름	역할	변경	값
Feed Rate	연속형	쉬울	10
Catalyst	연속형	쉬울	1
Stir Rate	연속형	쉬울	100
Temperature	연속형	쉬울	140
Concentration	연속형	쉬울	3

참고 : 새 런을 별도의 블록으로 그룹화를 선택하여 설계에 블록 요인을 추가할 수 있습니다. 그러나 이 예에서는 16 회 런으로 모든 2 요인 교호작용을 추정하며 모형에 추가 블록 요인이 있으면 이를 수행할 수 없습니다.

6. 확대를 클릭합니다.

그림 6.3에 표시된 모형은 데이터 테이블의 "Model" 스크립트를 사용하여 정의됩니다. 8 회 런을 사용하여 최대 7 개 효과를 추정할 수 있습니다. 스크립트의 모형은 5 개의 모든 주효과 및 2 개의 교호작용 항을 포함합니다. 모든 항은 모형에 대해 필수로 정의됩니다. 효과 추정 가능성에 대한 자세한 내용은 "사용자 설계" 장의 "모형" (93 페이지) 에서 확인하십시오.

## 그림 6.3 초기 설계 확대 플랫폼

설계 확대

요인

이름	역할	변경	값	
Feed Rate	연속형	쉬움	10	15
Catalyst	연속형	쉬움	1	2
Stir Rate	연속형	쉬움	100	120
Temperature	연속형	쉬움	140	180
Concentration	연속형	쉬움	3	6

새 런을 별도의 블록으로 그룹화

요인 제약 조건 정의

모형

주효과 교호작용 RSM 교차 역 항 제거

이름	추정 가능성
Feed Rate	필수
Catalyst	필수
Stir Rate	필수
Temperature	필수
Concentration	필수
Feed Rate*Catalyst	필수
Feed Rate*Stir Rate	필수

별칭 향

요인 설계

런	Feed Rate	Catalyst	Stir Rate	Temperature	Concentration
1	15	2	100	140	3
2	10	2	120	140	6
3	15	1	120	140	3
4	10	2	100	180	3
5	10	1	120	180	3
6	10	1	100	140	6
7	15	2	120	180	6
8	15	1	100	180	6

설계 생성

런 수를 입력하십시오(8 수가 런 수에 포함):

7. "모형" 개요에서 **교호작용 > 2 차**를 선택합니다.

모든 2 요인 교호작용이 모형에 추가됩니다. 지정된 모형에 대한 최소 런 수는 "설계 생성" 텍스트 편집 상자에 표시된 것과 같이 16 회입니다.

**참고 :** 8 단계에서 "난수 시드값" 을 설정하고 9 단계에서 "시작 수"를 설정하면 그림 6.4에 표시된 것과 동일한 결과가 재현됩니다. 설계를 직접 구성할 때는 이러한 단계가 선택 사항입니다.

8. (선택 사항) "설계 확대"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **난수 시드값 설정**을 선택한 후 282322901 을 입력하고 **확인**을 클릭합니다.
9. (선택 사항) "설계 확대"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **시작 수**를 선택한 후 800 을 입력하고 **확인**을 클릭합니다.
10. **설계 생성**을 클릭합니다.
11. **설계** 표시 아이콘을 클릭하여 설계를 확인합니다.

그림 6.4 16 회 런으로 확대된 설계

런	Feed Rate	Catalyst	Stir Rate	Temperature	Concentration
1	15	2	100	140	3
2	10	2	120	140	6
3	15	1	120	140	3
4	10	2	100	180	3
5	10	1	120	180	3
6	10	1	100	140	6
7	15	2	120	180	6
8	15	1	100	180	6
9	15	1	120	180	6
10	10	2	100	140	6
11	10	1	100	180	6
12	15	2	120	140	6
13	15	2	120	180	3
14	10	2	120	180	3
15	10	1	100	140	3
16	10	1	120	140	3

12. 테이블 생성을 클릭하여 원래 설계와 결과 및 확대된 런을 포함하는 설계 테이블을 생성합니다.

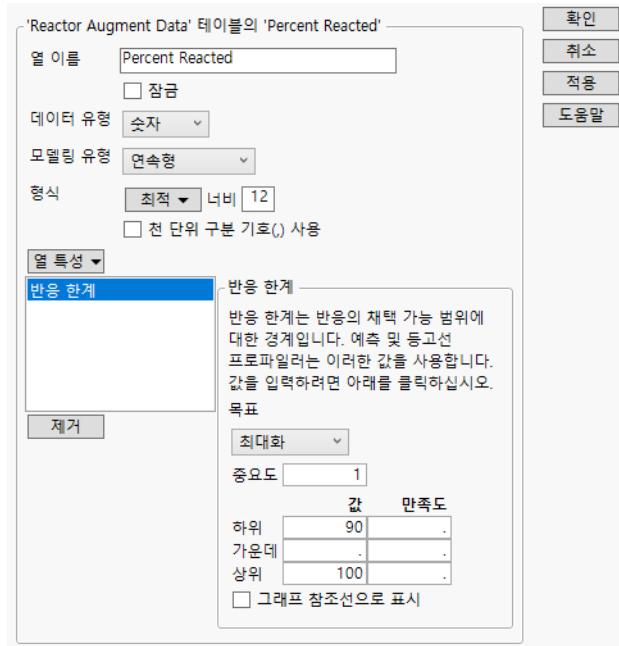
## 확대된 설계 분석

확대된 예제 설계를 계속 진행하면서, 추가 실험 런을 수행하고 분석을 위해 결과를 기록했다고 가정해 보겠습니다.

- 도움말 > 샘플 데이터 라이브러리를 선택하고 Design Experiment/Reactor Augment Data.jmp를 엽니다.

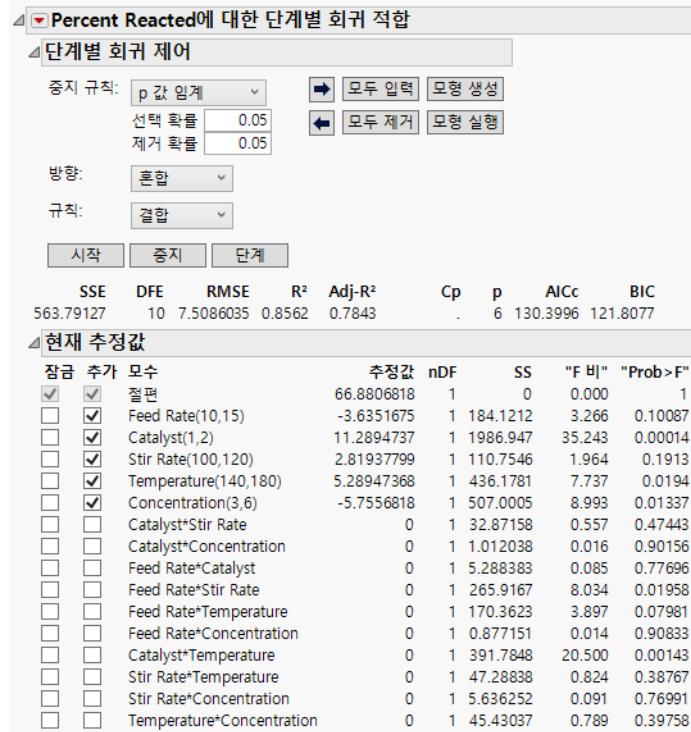
Percent Reacted를 최대화하는 것이 목표입니다. 이 샘플 데이터 테이블에서 이 열의 "반응한계" 열 특성이 **최대화**로 설정되어 있습니다. 하한과 상한은 각각 90과 100으로 설정되어 있습니다.

그림 6.5 "Percent Reacted" 열의 "반응 한계" 열 특성



- 데이터 테이블의 테이블 패널에서 **Model** 스크립트 옆의 녹색 삼각형을 클릭합니다. **Model** 스크립트는 모든 주효과 및 2요인 교호작용이 효과로 추가된 "모형 적합" 창을 엽니다.
- 적합 분석법을 **표준 최소 제곱**에서 **단계별**로 변경한 다음 **실행**을 클릭합니다.
- "단계별 회귀 제어" 패널의 **중지 규칙** 메뉴에서 **p 값 임계**를 선택하고 **방향** 메뉴에서 **혼합**을 선택합니다. **선택 확률**에 0.05를 입력하고 **제거 확률**에 0.05를 입력합니다.
- "현재 추정값" 패널에서 모든 주효과 항 (Feed Rate ~ Concentration)에 대해 **추가** 체크박스를 선택합니다.

그림 6.6 완료된 단계별 모형

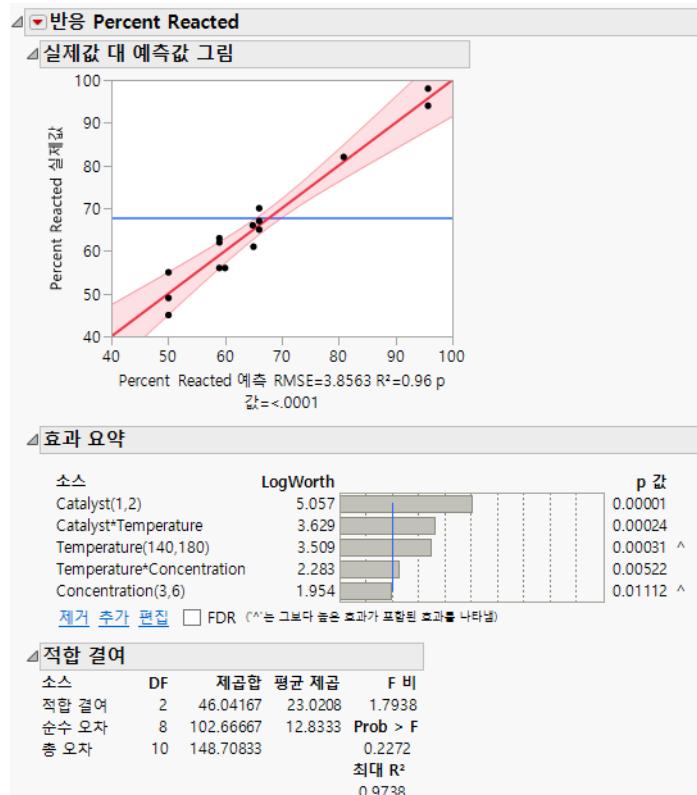


## 6. 시작을 클릭합니다.

단계별 회귀는 주효과로 시작하고  $p$  값 기반 검색을 사용하여 3 개의 주효과 항과 2 개의 교호 작용 항이 있는 모형을 생성합니다. "단계별 회귀 제어" 패널에서 **모형 생성**을 클릭합니다. 단계별 절차를 사용하여 생성된 모형에 대한 모형 적합 플랫폼이 시작됩니다.

## 7. 실행을 클릭합니다.

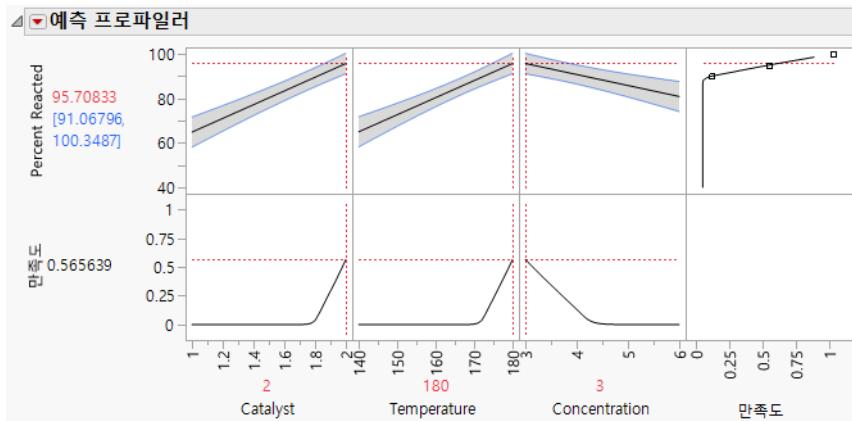
그림 6.7 예측 모형 분산 분석 및 적합 결여 검정



"실제값 대 예측값 그림"은 전체 모형이 유의함을 나타냅니다( $p$  값 <.0001)."실제값 대 예측값 그림"과 "적합 결여"검정 둘 다 모형 오지정 증거를 나타내지 않습니다."효과 요약" 보고서는 Catalyst 가 가장 유의한 효과임을 보여 줍니다.

8. "예측 프로파일러"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **최적화 및 만족도 > 만족도 최대화**를 선택합니다.

그림 6.8 Percent Reacted 최대값



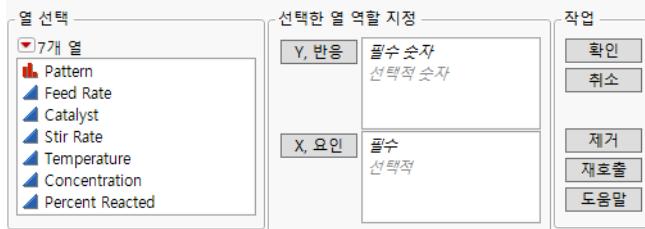
이 예측 프로파일 그림은 Catalyst 와 Temperature 설정이 높고 Concentration 설정이 낮을 때 반응 백분율이 최대가 된다는 것을 보여 줍니다. 이러한 극단적 설정에서 Percent Reacted의 추정 값은 98.38 입니다. 만족도 프로파일은 예측 반응이 반응 한계를 벗어나는 영역에서 평탄화됩니다.

## 설계 확대 플랫폼 시작

확대할 설계가 포함된 데이터 테이블에서 **DOE > 설계 확대**를 선택하여 설계 확대 플랫폼을 시작 합니다.

그림 6.9 설계 확대 시작 창

기존 데이터 테이블에 레코드 더 추가하십시오. 반복실험, 중앙점 추가, 설계 접기 또는 모형의 항을 추가합니다.



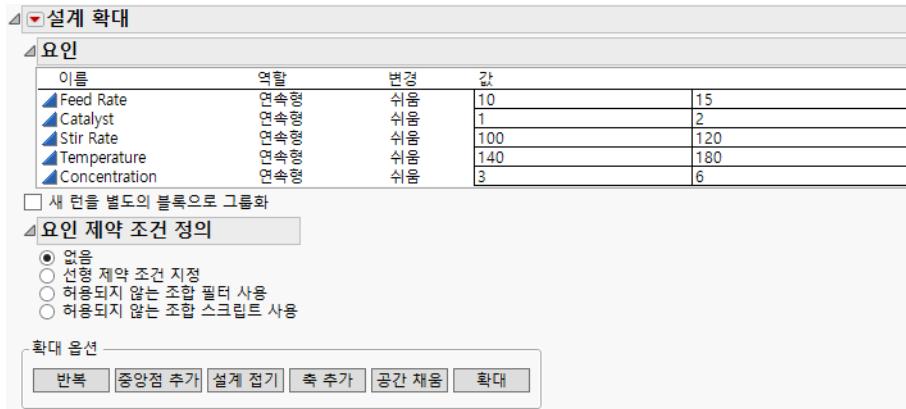
**Y, 반응** 하나 이상의 수치형 반응 열을 입력합니다. 반응 입력은 필수입니다.

**X, 요인** 요인 열을 입력합니다. 요인은 모든 데이터 유형 또는 모델링 유형이 될 수 있습니다.

## 설계 확대 창

초기 "설계 확대" 창은 "요인" 개요, "요인 제약 조건 정의" 개요 및 "확대 옵션" 패널로 구성됩니다.

**그림 6.10** Reactor 8 Runs.jmp 를 사용한 초기 설계 확대 창



### 요인

요인은 "설계 확대" 시작 창에서 지정한 요인입니다.

**이름** 설계 역할 열 특성이 "랜덤 블록" 인 요인을 제외하고 "설계 확대" 시작 창에 **X, 요인**으로 나열된 모든 요인을 보여 줍니다.

**역할** 열 특성에 지정된 요인의 설계 역할을 지정합니다. 요인에 "설계 역할" 열 특성이 없고 상수이면 "역할" 열에 **상수**가 나타납니다. 그렇지 않으면 요인의 모델링 유형이 "역할" 열에 나타납니다.

**변경** 데이터 테이블에서 "요인 변경" 열 특성에 지정한 요인 변경 수준을 "쉬움", "어려움" 또는 "매우 어려움"으로 나타냅니다. 요인에 "요인 변경" 열 특성이 없으면 "변경" 이 "쉬움"으로 지정됩니다.

**참고 :** 요인의 "요인 변경" 열 특성이 "어려움" 또는 "매우 어려움"으로 설정된 경우에는 해당 주구 요인이 "설계 확대" 시작 창의 **X, 요인** 목록에 포함되어야 합니다.

**값** 연속형 요인의 경우 최소값과 최대값을 표시합니다. 범주형 요인의 경우 수준을 표시합니다.

**팁 :** 역할이 "범주형" 또는 "상수" 인 요인은 아래쪽 화살표 아이콘과 함께 "이름" 열에 나타납니다. 아래쪽 화살표를 클릭하여 수준을 추가할 수 있습니다. 요인이 "상수"이고 범주형 모델링 유형을 사용하는 경우 여러 수준을 추가할 수 있습니다. 요인이 "상수"이고 연속형 모델링 유형을 사용하는 경우에는 수준을 하나만 추가할 수 있습니다.

**새 런을 별도의 블록으로 그룹화** 원래 설계에 대한 블록과 확대된 런에 대한 블록을 사용하여 설계에 블록 요인을 추가합니다.

## 요인 제약 조건 정의

"공간 채움" 또는 "확대" 옵션을 사용하여 설계를 확대하는 경우 추가된 런의 설계 공간에 대한 제한을 정의할 수 있습니다.

"요인 제약 조건 정의"를 사용하여 설계 공간을 제한할 수 있습니다. 제약 조건을 불러오거나 스크립트의 일부로 포함하지 않은 경우 **없음** 옵션이 선택됩니다. 제약 조건을 지정하려면 다른 옵션 중 하나를 선택합니다.

**선형 제약 조건 지정** 요인의 선형 조합에 대한 부등식 제약 조건을 지정합니다. "연속형" 또는 "혼합" 역할이 설정된 요인에만 사용할 수 있습니다. 자세한 내용은 [선형 제약 조건 지정](#)에서 확인하십시오.

**참고 :** 선형 제약 조건을 포함하는 설계의 스크립트를 저장하면 해당 스크립트에 선형 제약 조건이 보다 작거나 같음 부등식 ( $\leq$ )으로 표현됩니다.

**허용되지 않는 조합 필터 사용** 개별 요인의 값 제한을 기반으로 제약 조건 집합을 정의합니다. AND 제약 조건과 OR 제약 조건을 모두 정의할 수 있습니다. 자세한 내용은 [허용되지 않는 조합 필터 사용](#)에서 확인하십시오.

**허용되지 않는 조합 스크립트 사용** 허용되지 않는 조합 및 기타 제약 조건을 스크립트 편집기 상자에 부울 JSL 표현식으로 정의합니다. 자세한 내용은 [허용되지 않는 조합 스크립트 사용](#)에서 확인하십시오.

**참고 :** 요인 제약 조건을 포함하는 설계를 분석할 때는 모형 프로파일러가 제약 조건을 적용합니다.

## 선형 제약 조건 지정

설계 공간에서 연속형 요인을 독립적으로 변경할 수 없는 경우 선형 부등식 제약 조건을 지정할 수 있습니다. 선형 부등식은 허용되는 요인 수준 설정을 정의합니다.

**추가**를 클릭하여 하나 이상의 선형 부등식 제약 조건을 입력합니다.

**추가** 설계의 모든 연속형 요인을 포함하는 선형 표현식 템플릿을 추가합니다. 요인에 대한 계수 값을 입력한 후 선형 제약 조건을 반영하는 부등식 방향을 선택합니다. 부등식의 오른쪽 상자에 제약 값을 지정합니다. 제약 조건을 더 추가하려면 **추가**를 다시 클릭합니다.

**참고 :** "구 반지름"을 지정하여 설계 영역을 이미 제한한 경우에는 "추가" 옵션이 비활성화 됩니다.

**마지막 제약 조건 제거** 마지막 제약 조건을 제거합니다.

**제약 조건 검사** 제약 조건의 일관성을 확인합니다. 이 옵션은 중복 제약 조건을 제거하고 실행 가능성 검사를 수행합니다. 문제가 있으면 JMP 경고가 나타납니다. 제약 조건이 요인의 한 계와 동등한 경우 "요인" 개요의 한계가 업데이트되었음을 알리는 JMP 경고가 나타납니다.

## 허용되지 않는 조합 필터 사용

이 옵션은 허용되지 않는 조합을 쉽게 지정하기 위해 데이터 필터를 조정하여 사용합니다. 자세한 내용은 JMP 사용의 "JMP 보고서" 장에서 확인하십시오.

"필터 요인 추가" 목록에서 요인을 선택하고 **추가**를 클릭합니다. 그런 다음 슬라이더를 사용하거나(연속형 요인의 경우) 수준을 선택하여(범주형 요인의 경우) 허용되지 않는 조합을 지정합니다.

"필터 요인 추가" 메뉴의 빨간색 삼각형 옵션은 많은 플랫폼 시작 창의 "열 선택" 패널에 있는 옵션과 동일합니다. 자세한 내용은 JMP 사용의 "시작하기" 장에서 확인하십시오.

"추가"를 클릭하면 "허용되지 않는 조합" 제어판에 선택한 요인이 표시되고 추가 제어 옵션이 제공됩니다. 요인은 모델링 유형에 따라 다음과 같이 나타납니다.

**연속형 요인** 연속형 요인의 경우 요인 설정 범위를 따라 양단 슬라이더가 나타납니다. 슬라이더 끝을 드래그하거나 슬라이더 아래의 텍스트 값을 클릭하여 끝점을 설정함으로써 허용되지 않은 설정을 지정할 수 있습니다. 슬라이더에서 파란색 강조 표시는 허용되지 않는 값을 나타냅니다.

**범주형 요인** 범주형 요인의 경우 가능한 수준은 라벨이 지정된 블록으로 표시되거나, 수준 수가 많으면 목록 항목으로 표시됩니다. 허용하지 않을 수준을 선택합니다. 여러 수준을 선택하면서 Ctrl 키를 누른 채로 선택합니다. 해당 블록 또는 목록 항목은 강조 표시되어 허용되지 않는 수준임을 나타냅니다. "허용되지 않는 조합" 패널에 범주형 요인을 추가하면 해당 요인의 수준 수가 요인 이름 뒤의 괄호 안에 표시됩니다.

## 허용되지 않는 조합 옵션

제어판에는 다음과 같은 컨트롤이 있습니다.

**지우기** 지정한 허용되지 않는 요인 수준 설정을 모두 지웁니다. 선택한 요인은 지워지지 않습니다.

**다시 시작** 선택한 모든 요인을 제거하고 초기 요인 목록으로 돌아갑니다.

**AND** "필터 요인 추가" 목록을 엽니다. 선택한 요인은 AND 그룹이 됩니다. AND 그룹 내에 지정된 요인 수준 조합은 허용되지 않습니다.

나중에 AND 그룹에 요인을 추가하려면 그룹 개요를 클릭하여 강조 표시된 직사각형을 표시합니다. 그런 다음 "AND"를 선택하고 요인을 추가합니다.

단일 요인을 제거하려면 빨간색 삼각형 메뉴에서 **삭제**를 선택합니다.

**OR** "필터 요인 추가" 목록을 엽니다. 선택한 요인은 별도의 AND 그룹이 됩니다. OR로 구분된 AND 그룹의 경우 하나 이상의 AND 그룹에 지정된 조합은 허용되지 않습니다.

### 요인에 대한 빨간색 삼각형 메뉴 옵션

한 요인이 여러 OR 그룹에 나타날 수 있습니다. 특정 OR 그룹에 요인이 나타나는 경우 이를 해당 요인의 인스턴스라고 합니다.

**삭제** "허용되지 않는 조합" 패널에서 선택한 요인 인스턴스를 제거합니다.

**선택 해제** 요인 인스턴스에 대한 선택을 취소합니다.

**선택 반전** 요인 인스턴스에 대해 선택된 값을 선택 취소하고 이전에 선택되지 않은 값을 선택합니다.

**표시 옵션** 범주형 요인에만 사용할 수 있습니다. 표시 모양을 변경합니다. 각 수준을 블록, 목록 또는 단일 범주로 표시하거나 각 값 옆에 체크박스를 추가하는 옵션을 사용할 수 있습니다.

**찾기** 범주형 요인에만 사용할 수 있습니다. 요인 이름 아래에 요인 수준에 대한 검색 문자열을 입력할 수 있는 텍스트 상자를 제공합니다. Enter 키를 누르거나 텍스트 상자 바깥쪽을 클릭하면 검색이 수행됩니다. **찾기**가 선택되면 찾기 텍스트 상자 드롭다운 메뉴에 찾기 옵션이 나타납니다.

### 허용되지 않는 조합 스크립트 사용

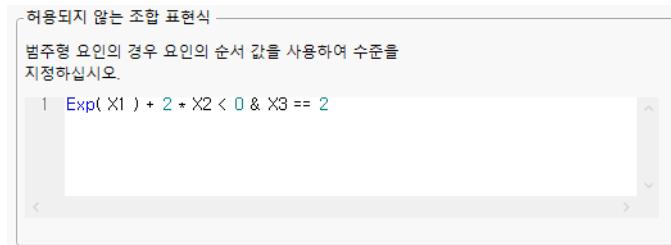
이 옵션을 사용하면 JSL 스크립트를 사용하여 요인 수준 조합을 허용하지 않도록 설정할 수 있습니다. 이 옵션은 연속형 요인 또는 연속형과 범주형이 혼합된 요인과 함께 사용할 수 있습니다.

이 옵션은 허용하지 않을 조합을 식별하는 스크립트를 삽입할 수 있는 스크립트 창을 엽니다. 스크립트는 부울 표현식으로 평가되어야 합니다. 표현식이 true로 평가되면 지정된 조합이 허용되지 않습니다.

범주형 요인에 대한 표현식을 작성할 때는 수준의 순서 값 또는 수준 이름을 사용합니다. "요인" 개요에서 요인 수준이 높음, 중간, 낮음으로 순서대로 지정된 경우 관련 서수 값은 1, 2, 3입니다. 예를 들어 두 개의 연속형 요인 (X1, X2) 과 세 가지 수준 (L1, L2, L3) 이 순서대로 설정된 범주형 요인 하나가 있다고 가정해 보겠습니다. 다음 표현식이 true인 경우 수준을 허용하지 않으려고 합니다.

$$e^{X_1} + 2X_2 < 0 \text{ 및 } X_3 = L2$$

(Exp(X1) + 2\*X2 < 0) & (X3 == 2) 표현식을 스크립트 창에 입력합니다.

**그림 6.11** 스크립트 편집기의 표현식


(그림에서 불필요한 괄호는 파싱을 통해 제거됨) 함수를 부울 표현식의 일부로 입력할 수 있습니다. ( $\text{Exp}(X1) + 2*X2 < 0 \& (X3 == "L2")$ ) 표현식도 유효합니다.

## 확대 옵션

설계 확대 플랫폼에는 다음과 같은 확대 옵션이 있습니다.

**반복** 설계를 지정된 횟수만큼 반복합니다. 자세한 내용은 "[설계 반복](#)"(210 페이지)에서 확인하십시오.

**중앙점 추가** 중앙점을 추가합니다. 설계에 중앙점을으로 포함할 추가 런 수를 지정합니다. 중앙점은 각 연속형 요인에 대한 설정이 상한 설정과 하한 설정의 중간에 있는 런입니다. 자세한 내용은 "DOE로 시작" 장의 "[중앙점, 반복 런 및 검정](#)"(61 페이지)에서 확인하십시오.

설계에 연속형 요인과 다른 유형의 요인이 모두 포함된 경우 중앙점이 다른 요인의 수준과 관련하여 균형이 맞지 않을 수 있습니다. 설계 확대는 설계의 D 효율도, I 효율도 또는 별칭 효율도를 최대화하기 위해 중앙점을 선택합니다.

자세한 내용은 "[설계에 중앙점 추가](#)"(212 페이지)에서 확인하십시오.

**설계 접기** 설계 접기를 생성합니다. 자세한 내용은 "[설계 접기 생성](#)"(213 페이지)에서 확인하십시오.

**축 추가** 축 점과 중앙점을 설계에 추가합니다. "축 추가"를 사용하여 선별 설계에서 중심 합성 설계를 생성할 수 있습니다. 자세한 내용은 "[설계에 축 점 추가](#)"(214 페이지)에서 확인하십시오.

**공간 채움** 연속형 요인으로 구성된 설계에 런을 추가합니다. 추가 런은 채우기 유연 채움 방법론을 사용하여 구성됩니다. 자세한 내용은 "[공간 채움 확대](#)"(215 페이지)에서 확인하십시오. 공간 채움은 새 런을 별도의 블록으로 그룹화하는 것을 지원하지 않습니다.

**확대** 모형을 사용하여 설계에 런을 추가합니다. 대개 이 모형에는 원래 모형보다 항이 더 많습니다. 자세한 내용은 "[설계 확대 플랫폼을 사용한 예](#)"(195 페이지)에서 확인하십시오.

## 설계 확대 플랫폼 옵션

"가속 수명 시험 계획"의 빨간색 삼각형 메뉴에는 다음 옵션이 포함되어 있습니다.

**반응 저장** "반응" 패널의 정보를 새 데이터 테이블에 저장합니다. 그러면 반응 및 관련 정보를 대부분의 DOE 창에 빠르게 불러올 수 있습니다. 이 옵션은 반응을 재사용할 것으로 예상하는 경우 유용합니다.

**반응 불러오기** "반응 저장" 옵션을 사용하여 저장한 반응을 불러옵니다.

**요인 저장** "요인" 패널의 정보를 새 데이터 테이블에 저장합니다. 각 요인의 열에는 수준이 포함됩니다. 다른 정보는 열 특성으로 저장됩니다. 그러면 요인 및 관련 정보를 대부분의 DOE 창에 빠르게 불러올 수 있습니다.

**참고 :** 빈 테이블에 데이터를 입력하여 요인 테이블을 생성할 수 있지만 각 열에 적절한 설계 역할을 할당해야 합니다. 이렇게 하려면 데이터 격자에서 열 이름을 마우스 오른쪽 버튼으로 클릭하고 **열 특성 > 설계 역할**을 선택합니다. 그런 다음 "설계 역할" 영역에서 적절한 역할을 선택합니다.

**요인 불러오기** "요인 저장" 옵션을 사용하여 저장한 요인을 불러옵니다.

**제약 조건 저장** ( 일부 플랫폼에서는 사용할 수 없음) "요인 제약 조건 정의" 또는 "선행 제약 조건" 개요에서 정의한 요인 제약 조건을 각 제약 조건에 대한 열과 함께 데이터 테이블에 저장합니다. 그러면 제약 조건을 대부분의 DOE 창에 빠르게 불러올 수 있습니다.

제약 조건 테이블에서 처음에 나오는 행은 각 요인의 계수를 포함합니다. 마지막 행은 부등식 한계를 포함합니다. 각 제약 조건 열에는 제약 조건을 "less than" 또는 "greater than" 제약 조건으로 식별하는 제약 조건 상태 열 특성이 포함됩니다. 자세한 내용은 "열 특성" 부록의 ["제약 조건 상태"](#)(762 페이지)에서 확인하십시오.

**제약 조건 불러오기** ( 일부 플랫폼에서는 사용할 수 없음) "제약 조건 저장" 옵션을 사용하여 저장한 요인 제약 조건을 불러옵니다.

**난수 시드값 설정** JMP가 랜덤 성분이 있는 작업을 제어하는 데 사용하는 난수 시드값을 설정합니다. 이러한 작업에는 다음 중 하나 이상이 포함됩니다.

- 설계 생성을 위한 검색 알고리즘 초기화
- 설계 생성을 위한 런 순서 랜덤화
- 랜덤 시작에 기반한 설계의 시작 설계 선택

설계를 재현하려면 **설계 생성**을 클릭하기 전에 설계를 생성한 난수 시드값을 입력합니다.

**참고 :** 설계와 관련된 난수 시드값은 설계 데이터 테이블에 저장된 "DOE 대화상자" 스크립트에 포함됩니다.

**반응 시뮬레이션** 시뮬레이션 계산식을 포함하는 열과 반응 값을 설계 테이블에 추가합니다. "테이블 생성"을 클릭하기 전에 이 옵션을 선택하십시오.

"테이블 생성"을 클릭하면 다음과 같은 결과가 나타납니다.

- 시뮬레이션된 반응 값 집합이 각 반응 열에 추가됩니다.
- 각 반응에 대해 시뮬레이션 모형 계산식을 포함하는 새 열이 설계 테이블에 추가됩니다. 계산식과 같은 설계 창에 지정된 모형에 기초합니다.
- 모형 효과에 대한 계수 값을 설정하고 정규, 이항 또는 Poisson 분포 중 하나를 지정할 수 있는 "모형" 창이 나타납니다.

---

**참고 :** 모든 설계 유형에 모든 분포를 사용할 수 있는 것은 아닙니다.

---

- **DOE 시뮬레이션** 스크립트가 설계 테이블에 저장됩니다. 이 스크립트는 값을 다시 시뮬레이션하거나 시뮬레이션된 반응 분포를 변경할 수 있도록 "모형" 창을 다시 엽니다.
- "모형" 창에서 시뮬레이션된 반응 값의 분포를 제어하는 옵션을 선택합니다. "적용"을 클릭하면 시뮬레이션된 반응 값의 계산식이 <Y> 시뮬레이션이라는 새 열에 저장됩니다. 여기서 Y는 반응 이름입니다. "적용"을 다시 클릭하면 <Y> 시뮬레이션의 계산식과 값이 업데이트됩니다.

자세한 내용은 "사용자 설계" 장의 "[반응 시뮬레이션](#)"(103 페이지)에서 확인하십시오.

---

**참고 :** **JMP PRO** "반응 시뮬레이션"을 사용하면 JMP Pro 시뮬레이션 기능을 사용하여 시뮬레이션 분석을 수행할 수 있습니다. 자세한 내용과 DOE 예는 기본 분석의 "시뮬레이션" 장에서 확인하십시오.

---

**행렬 X 저장** "적률 행렬"과 "모형 행렬"이라는 스크립트를 설계 데이터 테이블에 저장합니다. 이 스크립트에는 적률 및 설계 행렬이 포함됩니다. 자세한 내용은 "사용자 설계" 장의 "[행렬 X 저장](#)"(105 페이지)에서 확인하십시오.

---

**주의 :** 명목형 요인이 있는 설계의 경우 "행렬 X 저장" 옵션으로 저장한 "모형 행렬" 스크립트의 행렬은 선형 모형을 적합시킬 때 사용된 코딩 행렬이 아닙니다. "모형" 스크립트를 실행할 때 나타나는 "모형 적합" 보고서에서 "열 저장 > 코드화 테이블 저장" 옵션을 선택하면 모형 적합에 사용되는 코딩 행렬을 가져올 수 있습니다.

---

**최적 기준** 설계 최적 기준을 변경합니다. 기본 기준인 **권장 사항**은 "모형" 개요에서 "RSM" 버튼을 사용하여 2차 효과를 추가한 경우를 제외하고 모든 설계 유형에 대해 D-최적을 지정합니다. D-최적, I-최적 및 별칭 - 최적 설계에 대한 자세한 내용은 "사용자 설계" 장의 "[최적 기준](#)"(118 페이지)에서 확인하십시오.

---

**참고 :** 항상 정해진 최적 기준을 사용하도록 환경 설정을 지정할 수 있습니다. 파일 > 환경 설정 > 플랫폼 > DOE를 선택합니다. "최적 기준"을 선택한 후 기본 기준을 선택합니다.

---

**시작 수** 설계 구성에 사용되는 랜덤 시작 횟수를 지정할 수 있습니다. 자세한 내용은 "사용자 설계" 장의 "[시작 수](#)"(107 페이지)에서 확인하십시오.

**설계 검색 시간** 설계 검색을 위한 최대 시간(초)입니다. 기본 검색 시간은 설계 복잡성을 기반으로 합니다. 자세한 내용은 "사용자 설계" 장의 "[설계 검색 시간](#)"(108 페이지) 및 "사용자 설계" 장의 "[시작 수](#)"(107 페이지)에서 확인하십시오.

알고리즘 반복에 몇 초 이상이 필요한 경우 "설계 계산 중" 진행률 창이 나타납니다. 진행률 창에서 **취소**를 클릭하면 계산이 중지되고 해당 시점에서 찾은 최적 설계가 제공됩니다. 또한 "변경"이 "어려움" 또는 "매우 어려움"으로 설정되거나 "추정 가능성"이 "If Possible"로 설정된 요인이 포함되지 않은 D-최적 설계에 대한 D 효율도가 진행률 창에 표시됩니다.

**참고 :** "설계 검색 시간"에 대한 환경 설정을 지정할 수 있습니다. 파일 > 환경 설정 > 플랫폼 > DOE를 선택합니다. 설계 검색 시간을 선택한 후 최대 시간(초)을 입력합니다. 시간이 더 필요한 특정 상황에서는 JMP가 검색 시간을 연장합니다.

**구 반지름** 설계의 연속형 요인을 초구로 제한합니다. 반지름을 지정하고 **확인**을 클릭합니다. 0과의 간격이 구 반지름과 같도록 설계점이 선택됩니다. "설계 생성"을 클릭하기 전에 이 옵션을 선택하십시오.

**참고 :** 구 반지름 제약 조건은 "선형 제약 조건 지정" 옵션을 사용하여 추가한 제약 조건과 결합할 수 없습니다. 또한 변경하기 힘든 요인(분할구 설계)이 포함된 경우에는 이 옵션을 사용할 수 없습니다.

## 고급 옵션

**혼합물 합** 혼합 요인의 합을 양수 값으로 설정합니다. 전체 실험에서 혼합 성분을 일정하게 유지하려면 이 옵션을 사용합니다.

**분할구 분산비** 오차 분산에 대한 랜덤 주구 분산 및 하위구 분산(있는 경우)의 비를 지정합니다. 이 값을 설정하려면 먼저 분할구 설계를 위한 변경하기 힘든 요인 또는 분할-분할구 설계를 위한 변경하기 힘든 요인과 매우 변경하기 힘든 요인을 정의해야 합니다. 그런 다음 분할구 설계를 지정했는지 아니면 분할-분할구 설계를 지정했는지에 따라 분산 비율에 하나 또는 두 개의 양수를 입력할 수 있습니다.

**사전 모수 분산** ("모형" 개요가 있는 경우에만 사용 가능)"추정 가능성"이 "If Possible"로 설정된 요인에 사용되는 가중치를 지정합니다."설계 생성"을 클릭하면 옵션이 업데이트되어 기본 가중치가 표시됩니다. 가중치를 지정할 각 항에 대해 양수를 입력합니다. 입력한 값은 사전 분산에 대한 역수의 제곱근입니다. 값이 클수록 분산이 작으므로 효과가 활성화되지 않는다는 더 많은 사전 정보가 있습니다.

베이지안 D-최적 또는 I-최적은 If Possible 요인이 있는 설계를 구성할 때 사용됩니다. 알고리즘에 사용되는 기본값은 필수 항의 경우 0, If Possible 항이 포함된 교호작용의 경우 4, If Possible 항의 경우 1입니다. 자세한 내용은 "기술 상세 정보" 부록의 "[별칭 행렬](#)"(767페이지) 및 "사용자 설계" 장의 "[최적 기준](#)"(118페이지)에서 확인하십시오.

**A-최적 모수 가중치** (A-최적 설계에 사용) 모형 모수에 대한 가중치를 지정합니다. 예를 들어 2차 효과보다 주효과의 분산에 더 가중치를 부여할 수 있습니다. 모수 가중치에 대한 자세한 내용은 Morgan and Stallings(2017)에서 확인하십시오.

**D 효율도 가중치** 설계를 구성할 때 별칭 최적에 대한 D 효율도의 상대 중요도를 지정합니다. 계수의 분산을 줄이는 것과 적합한 별칭 구조를 얻는 것 사이의 균형을 잡으려면 이 옵션을 선택합니다. 값은 0에서 1 사이여야 합니다. 값이 클수록 D 효율도에 더 많은 가중치를 줍니다. 기본값은 0.5입니다. 이 옵션은 "최적 설계 별칭 생성"을 "최적 기준"으로 선택한 경우에만 효과가 있습니다.

D 효율도의 정의는 "사용자 설계" 장의 "[최적 기준](#)"(118 페이지)에서 확인하십시오. 별칭 최적에 대한 자세한 내용은 "사용자 설계" 장의 "[별칭 최적](#)"(121 페이지)에서 확인하십시오.

**스크립트를 스크립트 창에 저장** "사용자 설계" 창에서 지정한 설계의 스크립트를 생성한 후 열린 스크립트 창에 저장합니다.

## 확대 옵션의 추가 예

- "[설계 반복](#)"
- "[설계에 중앙점 추가](#)"
- "[설계 접기 생성](#)"
- "[설계에 축 점 추가](#)"
- "[공간 채움 확대](#)"

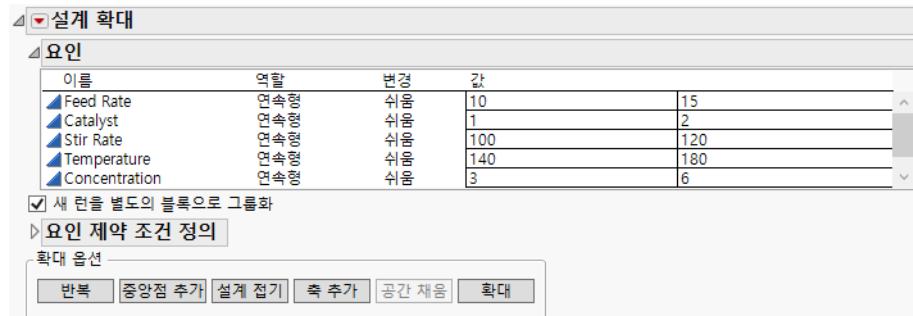
## 설계 반복

오차 분산이 일정하다는 가정을 직접 확인하려면 반복을 사용하여 설계를 확대합니다. 반복은 공정이나 측정의 변동이 클 때 회귀 계수의 변동도 줄여 줍니다.

이 예에서는 8회 런 설계를 반복합니다.

1. 도움말 > 샘플 데이터 라이브러리를 선택하고 Design Experiment/Reactor 8 Runs.jmp를 엽니다.
2. DOE > 설계 확대를 선택합니다.
3. Percent Reacted를 선택하고 Y, 반응을 클릭합니다.
4. Feed Rate, Catalyst, Stir Rate, Temperature 및 Concentration을 선택하고 X, 요인을 클릭합니다.
5. 확인을 클릭합니다.

그림 6.12 확대 유형 선택



6. 새 런을 별도의 블록으로 그룹화를 선택하여 설계에 블록 변수를 추가합니다.
7. 반복을 클릭하고 2를 입력한 후 확인을 클릭합니다.

**참고 :** 반복 대화상자가 표시되어 각 런을 수행할 횟수를 입력하도록 요청합니다. 2를 입력하면 각 런이 결과 설계에 두 번 나타나도록 지정됩니다. 이렇게 되면 기존 설계가 한 번 반복됩니다.

그림 6.13 반복을 사용하여 확대한 반응기 데이터 설계

런	Feed Rate	Catalyst	Stir Rate	Temperature	Concentration	블록
1	15	2	100	140	3	1
2	10	2	120	140	6	1
3	15	1	120	140	3	1
4	10	2	100	180	3	1
5	10	1	120	180	3	1
6	10	1	100	140	6	1
7	15	2	120	180	6	1
8	15	1	100	180	6	1
9	15	2	100	140	3	2
10	10	2	120	140	6	2
11	15	1	120	140	3	2
12	10	2	100	180	3	2
13	10	1	120	180	3	2
14	10	1	100	140	6	2
15	15	2	120	180	6	2
16	15	1	100	180	6	2

원래 설계의 8 회 런은 블록 1에 있고 반복된 런은 블록 2에 있습니다.

**참고 :** 설계 확대 플랫폼에서 전체 설계를 평가할 수 있습니다. 설계 평가에 대한 자세한 내용은 15 장, "설계 평가"에서 확인하십시오.

8. 테이블 생성을 클릭합니다.

**그림 6.14** 반복된 설계

	Feed Rate	Catalyst	Stir Rate	Temperature	Concentration	블록	Percent Reacted
1	15	2	100	140	3 1		61
2	10	2	120	140	6 1		67
3	15	1	120	140	3 1		56
4	10	2	100	180	3 1		94
5	10	1	120	180	3 1		66
6	10	1	100	140	6 1		56
7	15	2	120	180	6 1		82
8	15	1	100	180	6 1		45
9	15	2	100	140	3 2		•
10	10	2	120	140	6 2		•
11	15	1	120	140	3 2		•
12	10	2	100	180	3 2		•
13	10	1	120	180	3 2		•
14	10	1	100	140	6 2		•
15	15	2	120	180	6 2		•
16	15	1	100	180	6 2		•

이 테이블에는 원래 설계 및 결과가 블록 1에 있습니다. 확대된 런은 블록 2에 있습니다. 반응 백분율 값은 확대된 런을 측정한 후 테이블에 추가될 수 있습니다.

## 설계에 중앙점 추가

곡률을 확인하고 요인 영역의 중심에서 예측 오차를 줄이려면 중앙점 추가를 사용하여 설계를 확대합니다. 일반적으로 중앙점은 적합 결여 검정에 사용할 수 있는 순수 오차를 독립적으로 추정할 수 있는 반복된 점입니다.

이 예에서는 8 회 런 설계에 중앙점 두 개를 추가합니다.

1. 도움말 > 샘플 데이터 라이브러리를 선택하고 Design Experiment/Reactor 8 Runs.jmp를 엽니다.
2. DOE > 설계 확대를 선택합니다.
3. Percent Reacted를 선택하고 Y, 반응을 클릭합니다.
4. Feed Rate, Catalyst, Stir Rate, Temperature 및 Concentration을 선택하고 X, 요인을 클릭합니다.
5. 확인을 클릭합니다.
6. 새 런을 별도의 블록으로 그룹화를 선택하여 설계에 블록 변수를 추가합니다.
7. 중앙점 추가를 클릭하고 2를 입력한 후 확인을 클릭합니다.
8. 테이블 생성을 클릭합니다.

그림 6.15 중앙점이 두 개 추가된 설계

	Feed Rate	Catalyst	Stir Rate	Temperature	Concentration	블록	Percent Reacted
1	15	2	100	140	3	1	61
2	10	2	120	140	6	1	67
3	15	1	120	140	3	1	56
4	10	2	100	180	3	1	94
5	10	1	120	180	3	1	66
6	10	1	100	140	6	1	56
7	15	2	120	180	6	1	82
8	15	1	100	180	6	1	45
9	12.5	1.5	110	160	4.5	2	•
10	12.5	1.5	110	160	4.5	2	•

2개의 중앙점 런에 대한 데이터가 수집되면 모형에 곡률이 있는지 검정할 수 있습니다.

## 설계 접기 생성

주효과 및 2요인 교호작용의 교략을 제거하려면 설계 접기를 사용하여 설계를 확대합니다. 설계 접기는 특히 포화 또는 근사 포화 부분 요인 설계나 Plackett-Burman 설계에 대한 추가 작업으로 유용합니다.

이 예에서는 8 회 런 설계의 설계 접기를 생성합니다.

1. **도움말 > 샘플 데이터 라이브러리**를 선택하고 Design Experiment/Reactor 8 Runs.jmp를 엽니다.
2. **DOE > 설계 확대**를 선택합니다.
3. Percent Reacted를 선택하고 **Y, 반응**을 클릭합니다.
4. Feed Rate, Catalyst, Stir Rate, Temperature 및 Concentration을 선택하고 **X, 요인**을 클릭합니다.
5. **확인**을 클릭합니다.
6. **새 런을 별도의 블록으로 그룹화**를 선택하여 설계에 블록 변수를 추가합니다.
7. **설계 접기**를 클릭한 후 **확인**을 클릭합니다.

설계 접기 대화상자에서 요인을 선택하지 않으면 모든 설계 요인이 설계 접기에 포함됩니다. 일부 요인만 설계 접기하도록 선택하면 나머지 요인은 원래 런에서 반복됩니다.

### 그림 6.16 모든 요인에 대한 설계 접기

▲ 요인 설계						
런	Feed Rate	Catalyst	Stir Rate	Temperature	Concentration	블록
1	15	2	100	140	3	1
2	10	2	120	140	6	1
3	15	1	120	140	3	1
4	10	2	100	180	3	1
5	10	1	120	180	3	1
6	10	1	100	140	6	1
7	15	2	120	180	6	1
8	15	1	100	180	6	1
9	10	1	120	180	6	2
10	15	1	100	180	3	2
11	10	2	100	180	6	2
12	15	1	120	140	6	2
13	15	2	100	140	6	2
14	15	2	120	180	3	2
15	10	1	100	140	3	2
16	10	2	120	140	3	2

#### 8. 테이블 생성을 클릭합니다.

블록 1의 런에 대한 요인 수준을 낮음에서 높음으로 또는 그 반대로 변경하여 블록 2의 각 런을 얻을 수 있습니다.

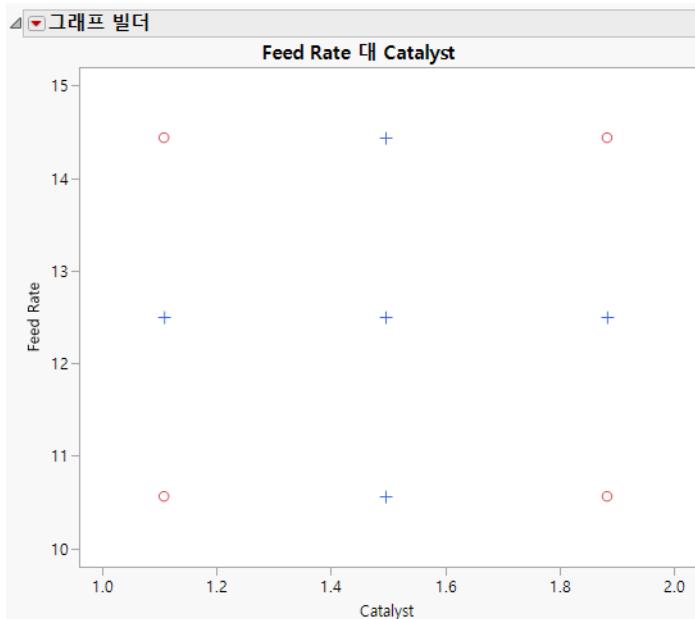
### 설계에 축 점 추가

반응 표면 설계를 얻기 위해 선별 설계를 확대하려면 축 점과 중앙점을 사용하여 설계를 확대합니다. 이렇게 하면 반응 표면 모형을 데이터에 적합시켜 반응에 대한 요인 설정을 최적화할 수 있습니다.

이 예에서는 축 점과 중앙점을 사용하여 8 회 런 선별 설계를 확대합니다.

- 도움말 > 샘플 데이터 라이브러리를 선택하고 Design Experiment/Reactor 8 Runs.jmp를 엽니다.
- DOE > 설계 확대를 선택합니다.
- Percent Reacted를 선택하고 Y, 반응을 클릭합니다.
- Feed Rate, Catalyst, Stir Rate, Temperature 및 Concentration을 선택하고 X, 요인을 클릭합니다.
- 확인을 클릭합니다.
- 새 런을 별도의 블록으로 그룹화를 선택하여 설계에 블록 변수를 추가합니다.
- 축 추가를 클릭하고 축 값과 중앙점 수에 각각 1과 2를 입력한 후 확인을 클릭합니다.
- 테이블 생성을 클릭합니다.
- "설계 확대" 테이블에서 행 > 열 값에 따른 색상 또는 표식을 선택합니다.
- 블록을 선택하고 "표식"에서 표준을 선택한 후 확인을 클릭합니다.
- 그래프 > 그래프 빌더를 선택합니다.
- Feed Rate를 Y로 드래그하고 Catalyst를 X로 드래그합니다. 그런 다음 평활기 아이콘을 클릭하여 제거합니다.

그림 6.17 두 가지 요인에 대한 설계 확대의 그래픽 보기



Feed Rate 대 Catalyst 그래프의 "+" 점은 추가된 축 점과 중앙점입니다. 축 점은 설계 공간의 표면에 있습니다. 설계를 확대할 때 축 값을 늘리거나 줄이면 축 점이 설계 공간을 벗어나거나 내부로 이동합니다.

## 공간 채움 확대

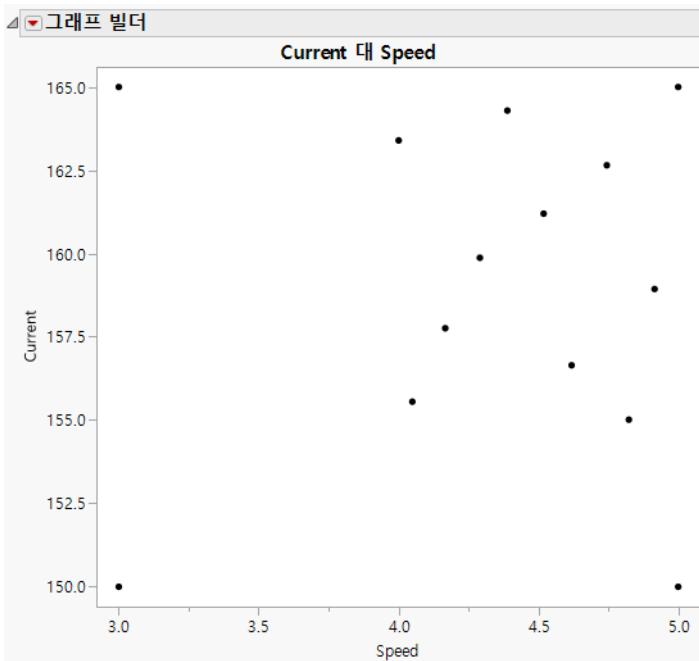
연속 요인으로 이루어진 설계에 점을 추가하려면 공간 채움을 사용하여 설계를 확대합니다. "공간 채움" 옵션은 설계 공간에 대한 제약 조건을 수용합니다. 선형 제약 조건 또는 허용되지 않는 조합을 지정할 수 있습니다. 사용된 알고리즘에 대한 자세한 내용은 ["통계 상세 정보"](#)(216페이지)에서 확인하십시오.

이 예에서는 설계 공간에서 두 요인에 대한 제약 조건이 추가되어 반응 (Depth) 이 최대화된 제한 영역을 탐색하기 위해 설계를 확대합니다.

1. 도움말 > 샘플 데이터 라이브러리를 선택하고 Design Experiment/DOE Example 1.jmp를 엽니다.
2. DOE > 설계 확대를 선택합니다.
3. Depth 를 선택하고 Y, 반응을 클릭합니다.
4. Speed 와 Current 를 선택하고 X, 요인을 클릭한 후 확인을 클릭합니다.
5. "요인 제약 조건 정의" 개요를 엽니다.
6. 선형 제약 조건 지정을 선택하고 추가를 클릭합니다.
7. Speed 에 1 을 입력하고 "크거나 같음" 부호를 선택한 후 Speed 하한에 4 를 입력합니다.

8. **추가**를 클릭합니다.
9. Current 에 1을 입력하고 "크거나 같음" 부호를 선택한 후 Current 하한에 155를 입력합니다.
10. **공간 채움**을 클릭합니다.
11. 10 을 입력하고 **확인**을 클릭합니다.
12. **테이블 생성**을 클릭합니다.
13. "설계 확대" 테이블에서 "그래프 빌더"를 선택합니다.
14. Speed 를 X 놓기 영역으로 드래그하고 Current 를 Y 놓기 영역으로 드래그합니다.

**그림 6.18** 공간 채움 확대 런



확대된 런이 설계 공간에서 오른쪽 위의 공간을 채웁니다. 이 공간이 제한된 설계 공간입니다.

## 통계 상세 정보

이 섹션에는 공간 채움 확대 옵션을 위한 점을 선택하는 데 사용되는 알고리즘에 대한 통계 상세 정보가 포함되어 있습니다.

설계를 확대하는 데 사용되는 알고리즘은 지정된 설계 영역에서 다수의 랜덤 점을 생성하는 것으로 시작합니다. 그런 다음 빠른 Ward 알고리즘을 사용하여 이러한 점을 여러 군집으로 군집화합니다. 이때 군집 수는 사용자가 지정하는 추가 런 수와 같습니다.

최종 설계 점은 기존 런과 추가 런에 대해 MaxPro( 최대 투영 ) 기준을 최적화하여 결정됩니다 .  $p$  개 요인이 있고  $n$  이 기존 런과 추가 런의 수와 같은 경우 MaxPro 기준은 군집에서 다음 기준을 최소화하는 점을 찾습니다 .

$$C_{MaxPro} = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \left[ 1 / \prod_{k=1}^p (x_{ik} - x_{jk})^2 \right]$$

MaxPro 기준은 모든 요인을 포함하는 방식으로 설계 점 간 거리의 꼽을 최대화합니다. 이는 요인 투영에 적합한 공간 채움 특성을 제공한다는 목표를 지원합니다. 자세한 내용은 Joseph et al. (2015)에서 확인하십시오.



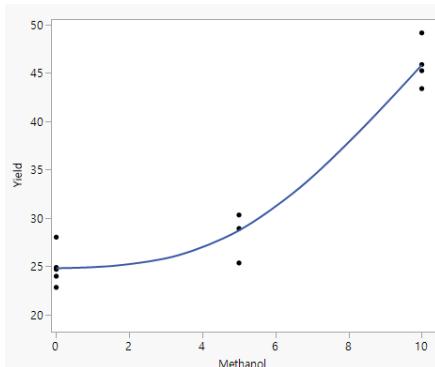
## 확증적 선별 설계

DSD(확증적 선별 설계)는 선별 설계입니다. 이 설계는 일반적으로 4개 이상의 요인이 있는 초기 단계 실험 작업에 적합합니다. DSD는 연속형 요인 또는 2수준 범주형 요인의 조합에 사용될 수 있습니다. 대부분의 요인이 연속형일 때 가장 잘 작동합니다. 각 연속형 요인은 연속형 요인에 대한 2차 모형 항을 조사할 수 있는 세 가지 수준을 사용합니다.

다음과 같은 면에서 확증적 선별 설계가 표준 선별 설계보다 우수하다고 할 수 있습니다.

- 각 연속형 요인을 세 가지 수준으로 처리하여 비선형 효과의 원인을 식별하는 데 도움이 됩니다. 표준 선별 설계의 연속형 요인에는 두 가지 수준만 있습니다. 선별 설계에 중앙점을 추가할 수 있지만 이 점은 곡률이 있는 경우에만 설정됩니다. 2 차 효과의 원인이 되는 요인은 식별할 수 없습니다.
- 2 차까지의 모든 효과 사이에 교락을 방지합니다. 연속형 요인을 사용하는 확증적 선별 설계의 주효과는 다른 주효과와 서로 직교하고 2 요인 교호작용 및 2 차 효과와 직교합니다. 2 요인 교호작용은 서로 완전히 교락되지 않습니다. 런 수가 비슷한 많은 표준 선별 설계에서는 교락이 발생합니다.
- 표준 선별 설계의 초기 결과에서 모호성을 해결하기 위해 비용이 많이 드는 추가 실험이 필요하지 않습니다.

그림 7.1 곡률을 보여 주는 요인 값 대 반응 그림



## 목차

확증적 선별 설계 개요	221
확증적 선별 설계의 예	223
확증적 선별 설계	223
부분 요인 설계와 비교	226
블록화를 사용한 확증적 선별 설계	228
확증적 선별 설계와 Plackett-Burman 설계 비교	232
확증적 선별 설계 창	235
반응	236
요인	237
설계 옵션	239
설계	241
설계 평가	241
출력 옵션	242
확증적 선별 설계 옵션	244
반응 시뮬레이션	246
기술 상세 정보	248
확증적 선별 설계의 구조	248
실험 데이터 분석	250

## 확증적 선별 설계 개요

조사자는 반응에 가장 큰 영향을 미치는 요인을 식별하려고 할 때 선별 설계를 사용합니다. 선별 설계를 사용하면 상당히 작은 실험에서 많은 요인을 연구할 수 있습니다.

많은 표준 선별 설계는 주효과를 추정하는 데 중점을 둡니다. 확증적 선별 설계는 표준 선별 설계에 비해 몇 가지 장점을 제공합니다. 이 설계는 효과 교락을 방지하고, 반응에 대해 비선형 효과를 가지는 요인을 식별할 수 있습니다. 확증적 선별 설계의 장점과 구성에 대한 자세한 내용은 Jones and Nachtshem(2011a)에서 확인하십시오.

연속형 요인만 포함하는 설계의 경우 확증적 선별 설계와 표준 선별 설계에서 다음 특성을 비교해 보십시오.

**참고 :** 2 차 효과가 언급되면 표준 선별 설계에 중앙점이 있는 것으로 가정합니다.

- 주효과가 2 요인 교호작용과 직교합니다.
  - 확증적 선별 설계 : 항상
  - 표준 선별 설계 : 해상도 IV 이상에만 해당
- 2 요인 교호작용이 다른 2 요인 교호작용과 완전히 교략되지 않습니다.
  - 확증적 선별 설계 : 항상
  - 표준 선별 설계 : 해상도 V 이상에만 해당
- 주효과와 2 차 효과만 포함하는 모형에서 모든 2 차 효과를 추정할 수 있습니다.
  - 확증적 선별 설계 : 항상
  - 표준 선별 설계 : 아님

이러한 특성은 이 섹션의 나머지 부분에서 더 자세히 설명됩니다.

### 표준 선별 설계

부분 요인 설계 또는 Plackett-Burman 설계와 같은 표준 선별 설계는 비교적 적은 리소스 할당으로 많은 요인을 연구하려고 합니다. 그러나 표준 선별 설계에는 다음과 같은 원치 않는 기능이 있습니다.

- 일부 주효과와 2 요인 교호작용의 별칭 관계를 지정할 수 있습니다. 예를 들어 Plackett-Burman 설계에서 주효과는 몇 가지 2 요인 교호작용과 상관관계가 있습니다. 하나 이상의 2 요인 교호작용 효과가 큰 경우 실험자는 추가 런을 수행하여 모호성을 해결해야 합니다.
- 일부 2 요인 교호작용이 서로 교략될 수도 있습니다. 따라서 2 요인 교호작용 효과가 큰 경우 실험자는 추가 런을 수행하여 모호성을 해결해야 합니다.
- 일반적으로 연속형 요인은 두 가지 수준 (낮음, 높음)으로 설정됩니다. 그러나 엔지니어와 과학자들은 연속형 요인이 세 가지 수준 (낮음, 중간, 높음)으로 설정된 설계를 선호하는 경우가 많습니다. 두 가지 수준으로는 실제 시스템에서 흔히 볼 수 있는 비선형성을 감지하

기가 어렵기 때문입니다. 중앙점이 추가된 기존 선별 설계를 사용하여 비선형성을 감지할 수는 있지만 이 설계는 원인이 되는 요인을 식별하지 못합니다.

### 확증적 선별 설계

확증적 선별 설계를 사용하여 다음을 수행할 수 있습니다.

- 중요한 요인을 더 빠르고 효율적으로 식별할 수 있도록 모형 모호성을 방지합니다.
- 최대 2 차 항까지의 교력을 방지하면서 비선형 효과의 원인을 식별합니다. 따라서 기존 선별 설계에서 중앙점을 사용할 때와 같이 비선형성을 감지할 수 있을 뿐만 아니라 원인이 되는 요인을 식별할 수 있습니다.

확증적 선별 설계는 다음과 같은 장점을 제공합니다.

- 확증적 선별 설계에는 적은 수의 런만 있으면 됩니다. 요인이 6 개 이상인 경우 필요한 최소 런 수는 보통 요인 수의 두 배 정도면 됩니다. 런 수에 대한 자세한 내용은 "[컨퍼런스 행렬 및 런 수](#)"(249 페이지)에서 확인하십시오.
- 주효과가 2 요인 교호작용과 직교합니다. 이는 활성 2 요인 교호작용이 모형에 포함되는지 여부에 관계없이 주효과의 추정값이 이러한 교호작용에 의해 편향되지 않음을 의미합니다. 해상도 III 선별 설계에서는 일부 주효과와 교호작용 효과가 교락됩니다. 또한 Plackett-Burman 설계에서는 활성 2 요인 교호작용이 있을 때 주효과 추정값이 편향됩니다.
- 2 요인 교호작용이 다른 2 요인 교호작용과 완전히 교락되지 않습니다. 그러나 2 요인 교호작용이 다른 2 요인 교호작용과 상관될 수 있습니다. 해상도 IV 선별 설계에서는 일부 2 요인 교호작용 효과가 완전히 교락됩니다.
- 주효과와 2 차 항으로만 구성된 모형에서 모든 2 차 효과를 추정할 수 있습니다. 이를 통해 비선형성을 설명하는 요인을 식별할 수 있습니다. 중앙점이 추가된 기존 선별 설계에서는 주효과와 2 차 효과로 구성된 모형에서 모든 2 차 효과를 추정할 수 없습니다.
- 2 차 효과는 주효과와 직교하며 다른 2 요인 교호작용과 완전히 교락되지 않습니다. 2 차 효과는 교호작용 효과와 상관될 수 있습니다.
- 요인이 6 개에서 30 개 이상인 경우, 3 개 이하의 요인을 포함하는 완전 2 차 모형의 모수를 높은 정밀도로 추정할 수 있습니다.
- 요인이 18 개 이상인 경우 4 개의 요인으로 완전 2 차 모형을 적합시킬 수 있습니다. 요인이 24 개 이상인 경우에는 5 개의 요인으로 완전 2 차 모형을 적합시킬 수 있습니다.

### 확증적 선별 설계 플랫폼

확증적 선별 설계 플랫폼을 사용하면 연속형 요인 및 2수준 범주형 요인에 대한 확증적 선별 설계를 구성할 수 있습니다. 또한 블록화된 설계를 구성할 수 있습니다. 많은 효과가 활성화되어 있을 때 설계의 효과 감지 능력에 대한 신뢰성을 향상시키는 비중앙점 런을 더 추가할 수 있습니다.

효과 간의 절대 상관 값을 보려면 "확증적 선별 설계" 창의 "설계 평가" 개요에 포함된 "상관 색상 맵"을 사용합니다. 확증적 선별 설계와 다른 설계의 상관 색상 맵을 비교하면 해당 설계의 별칭 구조를 비교할 수 있습니다. 자세한 내용은 "설계 평가" 장의 "[상관 색상 맵](#)"(431페이지)에서 확인하십시오.

확증적 선별 설계의 구조에 대한 자세한 내용은 "확증적 선별 설계의 구조"(248페이지)에서 확인하십시오. 블록을 사용한 확증적 선별 설계에 대한 자세한 내용은 "확증적 선별 설계의 블록화"(240페이지)에서 확인하십시오. 확증적 선별 설계를 사용하여 얻은 데이터를 분석하는 방법에 대한 제안은 "실험 데이터 분석"(250페이지)에서 확인하십시오.

### 확증적 선별 적합 플랫폼

DSD(확증적 선별 설계)를 실행한 후 확증적 선별 적합 플랫폼을 사용하여 결과를 분석합니다. DSD에 적용된 표준 모형 선택 방법을 사용하면 활성 효과를 식별하지 못할 수 있습니다. 확증적 선별 적합 플랫폼은 DSD를 위한 유효 모형 선택이라는 알고리즘을 사용하여 활성 주효과와 2차 효과(second-order effect)를 식별합니다. 이 알고리즘은 DSD의 특수 구조를 활용합니다. 자세한 내용은 8장, "확증적 선별 적합 플랫폼"에서 확인하십시오.

JMP에서 DSD를 생성하면 "확증적 선별 적합"이라는 스크립트가 설계 테이블에 포함됩니다. 이 스크립트는 DSD를 위한 유효 모형 선택 방법론을 사용하여 자동으로 분석을 실행합니다.

---

## 확증적 선별 설계의 예

- " 확증적 선별 설계 "
- " 부분 요인 설계와 비교 "
- " 블록화를 사용한 확증적 선별 설계 "
- " 확증적 선별 설계와 Plackett-Burman 설계 비교 "

### 확증적 선별 설계

6개 요인 중 추출 공정의 수율에 영향을 미치는 요인을 판별해야 한다고 가정해 보겠습니다.

#### 설계 생성

요인과 해당 설정은 Extraction Factors.jmp 데이터 테이블에 제공됩니다. 조사를 위해 확증적 선별 설계를 생성합니다.

1. **DOE > 확증적 선별 > 확증적 선별 설계**를 선택합니다.
2. "반응 이름" 아래의 Y를 두 번 클릭하고 **Yield**를 입력합니다.
3. **도움말 > 샘플 데이터 라이브러리**를 선택하고 Design Experiment/Extraction Factors.jmp를 엽니다.
4. "확증적 선별 설계" 옆의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **요인 불러오기**를 선택합니다.  
요인 이름과 범위가 "요인" 개요에 추가됩니다.

**그림 7.2 Extraction 설계의 반응 및 요인**

The screenshot shows the software interface for experimental design. The top section, '반응' (Reaction), has a dropdown menu '반응 추가 ▾' (Add reaction), a '제거' (Delete) button, and a '반응 수...' (Number of reactions...) button. Below this is a table with columns '반응 이름' (Reaction name), '목표' (Target), '하한' (Lower limit), '상한' (Upper limit), and '중요도' (Importance). A row for 'Yield' is selected, with '최대화' (Maximize) highlighted in red. The bottom section, '요인' (Factors), has tabs for '연속형' (Continuous), '범주형' (Categorical), '제거' (Delete), and 'N개 요인 추가' (Add N factors). A table lists factors: Methanol, Ethanol, Propanol, Butanol, pH, and Time. Each factor has a value, a type ('연속형' or '범주형'), and an importance rating (0 to 10). A note at the bottom says '해당 버튼을 클릭하여 연속형 또는 범주형 요인을 추가하십시오. 편집하려면 요인 이름 또는 수준을 두 번 클릭하십시오.' (Click this button to add continuous or categorical factors. To edit, click the factor name or level twice.) and a '계속' (Continue) button.

**5. 계속을 클릭합니다.**

"설계 옵션" 개요가 열립니다. 여기서는 블록화 구조를 지정할 수 있습니다. 이 예에서는 블록화 할 필요가 없으므로 기본 선택 **블록이 필요하지 않음**을 적용합니다.

추가 런을 포함하도록 선택하여 2 차 효과 (second-order effect) 감지 능력을 크게 향상시킬 수도 있습니다. 최소 4 회의 추가 런이 권장되며 이 값이 기본으로 설정됩니다.

**6. 설계 생성을 클릭합니다.**

"확증적 선별 설계" 창이 업데이트되어 "설계" 개요와 "설계 평가" 개요가 표시됩니다.

**그림 7.3 설계 개요**

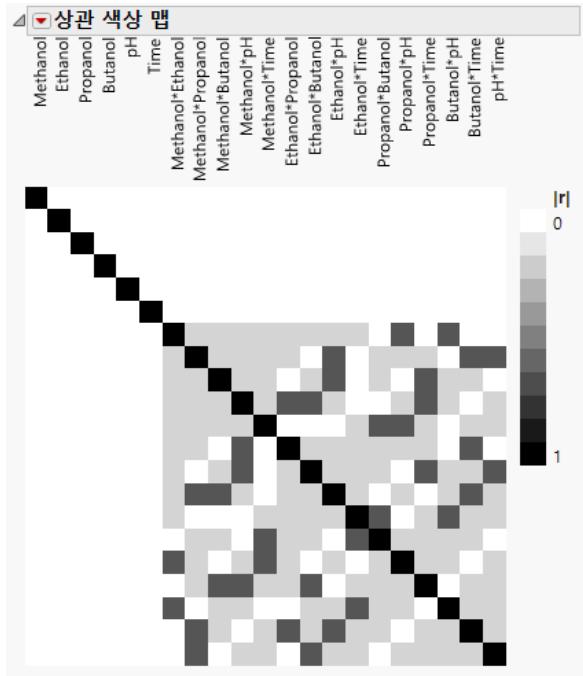
The screenshot shows the '설계' (Design) table with 17 rows and 7 columns. The columns are labeled '런' (Run), 'Methanol', 'Ethanol', 'Propanol', 'Butanol', 'pH', and 'Time'. The data shows various combinations of these factors across the runs.

런	Methanol	Ethanol	Propanol	Butanol	pH	Time
1	5	10	10	10	9	2
2	5	0	0	0	6	1
3	10	5	10	10	6	2
4	0	5	0	0	9	1
5	10	0	5	10	9	1
6	0	10	5	0	6	2
7	10	0	0	5	9	2
8	0	10	10	5	6	1
9	10	10	0	0	7.5	2
10	0	0	10	10	7.5	1
11	10	0	10	0	6	1.5
12	0	10	0	10	9	1.5
13	10	10	0	10	6	1
14	0	0	10	0	9	2
15	10	10	10	0	9	1
16	0	0	0	10	6	2
17	5	5	5	5	7.5	1.5

**7. 설계 평가 > 상관 색상 맵 개요를 엽니다.**

"상관 색상 맵"은 모든 주효과 및 2 요인 교호작용의 절대 상관 값에 색상 강도 척도를 할당합니다.

그림 7.4 Extraction 설계의 상관 색상 맵



다음 사항에 유의하십시오.

- 단색의 흰색 영역은 주효과 간 또는 주효과와 2 요인 교호작용 간에 상관관계가 없음을 나타냅니다.
- 음영이 있는 회색 영역은 2 요인 교호작용 간의 절대 상관이 작음을 나타냅니다.
- 검은색 사각형은 절대 상관 1을 나타냅니다. 이 사각형은 모두 주대각 위에 나타나며 효과 자체의 기대 상관을 반영합니다.

"출력 옵션" 패널에서 "런 순서"가 랜덤화로 설정되어 있습니다.

8. **테이블 생성**을 클릭하여 그림 7.5에 표시된 데이터 테이블을 생성합니다.

---

**참고 :** 생성된 설계의 런은 그림 7.5에 표시된 순서와 다르게 나타날 수 있습니다.

---

**그림 7.5** 추출 공정의 확증적 선별 설계

	Methanol	Ethanol	Propanol	Butanol	pH	Time	Yield
1	5	0	0	0	6	1	•
2	0	0	10	0	9	2	•
3	5	10	10	10	9	2	•
4	0	5	0	0	9	1	•
5	10	0	10	0	6	1.5	•
6	10	10	10	0	9	1	•
7	10	5	10	10	6	2	•
8	0	10	0	10	9	1.5	•
9	0	10	5	0	6	2	•
10	5	5	5	5	7.5	1.5	•
11	10	10	0	10	6	1	•
12	10	10	0	0	7.5	2	•
13	10	0	5	10	9	1	•
14	0	10	10	5	6	1	•
15	10	0	0	5	9	2	•
16	0	0	0	10	6	2	•
17	0	0	10	10	7.5	1	•

## 부분 요인 설계와 비교

" 확증적 선별 설계 "(223 페이지 )에서 확증적 선별 설계 대신 기존 선별 설계를 선택했다고 가정해 보겠습니다 . 이 예에서는 교락에 대해 두 설계를 비교합니다 .

1. **DOE > 전통적 설계 > 2 수준 선별 > 선별 설계**를 선택합니다 .
2. " 반응 이름 " 아래의 Y 를 두 번 클릭하고 Yield 를 입력합니다 .
3. **도움말 > 샘플 데이터 라이브러리**를 선택하고 Design Experiment/Extraction Factors.jmp 를 엽니다 .
4. " 선별 설계 " 옆의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **요인 불러오기**를 선택합니다 .  
요인 이름과 범위가 " 요인 " 개요에 추가됩니다 .
5. **계속**을 클릭합니다 .
6. **부분 요인 설계 목록**에서 **선택**을 선택합니다 .
7. **계속**을 클릭합니다 .  
가능한 설계가 " 설계 목록 " 에 나타납니다 .

그림 7.6 6 개 연속형 요인에 대한 선별 설계 목록

설계 목록	
목록에서 해당 행을 클릭하여 설계를 선택하십시오.	
수 블록	해상도
런 크기	설계 유형
8	부분 요인
8 4	부분 요인
12	Plackett-Burman
16	부분 요인
16 8	부분 요인
16 4	부분 요인
16 2	부분 요인
32	부분 요인
32 16	부분 요인
32 8	부분 요인
32 4	부분 요인
32 2	부분 요인
64	완전 요인
64 32	완전 요인
	- 추정 가능한 항목
	3 - 주효과만
	3 - 주효과만
	3 - 주효과만
	4 - 몇 가지 2요인 교호작용
	4 - 몇 가지 2요인 교호작용
	4 - 몇 가지 2요인 교호작용
	4 - 몇 가지 2요인 교호작용
	5+ - 모든 2요인 교호작용
	5+ - 모든 2요인 교호작용
	4 - 몇 가지 2요인 교호작용
	4 - 몇 가지 2요인 교호작용
	>6 - 전체 해상도
	5+ - 모든 2요인 교호작용

8. 그림 7.6에 강조 표시된 16 회 런 부분 요인 설계 ( 블록 없음 )를 선택합니다 .
9. 계속을 클릭합니다 .
10. 설계 표시 및 수정 > 효과의 별칭 구조 개요를 엽니다 .

그림 7.7 부분 요인 설계에 대한 효과의 별칭 구조

효과의 별칭 구조	
효과	별칭
Methanol*Ethanol	= pH*Time
Methanol*Propanol	= Butanol*Time
Methanol*Butanol	= Propanol*Time
Methanol*pH	= Ethanol*Time
Methanol*Time	= Ethanol*pH = Propanol*Butanol
Ethanol*Propanol	= Butanol*pH
Ethanol*Butanol	= Propanol*pH

16회 런 부분 요인 설계에 대한 "효과의 별칭 구조" 개요에서는 모든 2요인 교호작용이 하나 이상의 다른 2요인 교호작용과 교락된다는 것을 보여 줍니다. 이 부분 요인 설계에서 Ethanol\*Time 교호작용은 Methanol\*pH 교호작용과 교락됩니다. 활성 교호작용을 판별하려면 추가 시도를 실행해야 합니다. 요인이 다른 순서로 입력된 경우 Ethanol\*Time 교호작용이 다른 2요인 교호작용 두 개와 별칭 구조를 가질 수 있습니다.

"**확증적 선별 설계**"(223페이지) 섹션에서 17회 런 확증적 선별 설계를 구성했습니다. 이 DSD의 "상관 색상 맵"(그림 7.4)은 다른 2요인 교호작용과 교락되는 2요인 교호작용이 없음을 보여 줍니다. 부분 요인 설계의 경우 교락된 2요인 교호작용이 7개 있습니다. 활성 2요인 효과가 있다고 의심되면 DSD를 선택하는 것이 더 좋습니다.

설계 비교 플랫폼(DOE > 설계 진단 > 설계 비교)을 사용하여 두 설계를 더 철저하게 비교할 수 있습니다. 자세한 내용은 [16장, "설계 비교"](#)에서 확인하십시오.

## 블록화를 사용한 확증적 선별 설계

원료 제약 조건으로 인해 두 개의 개별 로트에서 재료를 사용하여 추출 실험을 실행해야 한다고 가정해 보겠습니다. 잠재적 로트 변동을 설명하기 위해 블록 변수를 사용하여 확증적 선별 설계를 생성할 수 있습니다.

### 설계 생성

추출 요인과 해당 설정은 Extraction Factors.jmp 데이터 테이블에 제공됩니다. 다음과 같이 블록을 사용하여 확증적 선별 설계를 생성합니다.

1. **DOE > 확증적 선별 > 확증적 선별 설계**를 선택합니다.
2. "반응 이름" 아래의 Y를 두 번 클릭하고 Yield를 입력합니다.
3. **도움말 > 샘플 데이터 라이브러리**를 선택하고 Design Experiment/Extraction Factors.jmp를 엽니다.
4. "확증적 선별 설계" 옆의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **요인 불러오기**를 선택합니다.  
요인 이름과 범위가 "요인" 개요에 추가됩니다.
5. **계속**을 클릭합니다.  
"설계 옵션" 개요가 열립니다. 여기서는 블록화 구조를 지정할 수 있습니다.
6. **2 차 효과 추정을 위해 중앙점 런과 블록 추가**를 선택합니다.  
2로 설정된 **블록 수**를 그대로 둡니다.  
추가 런 없이 생성된 Extraction2 Data.jmp 샘플 데이터 테이블에 대한 설계를 다시 생성하는 중입니다. 추가 런을 4회 실행하는 것이 좋지만 이 예에서는 추가 런을 지정하지 않습니다.
7. **추가 런 수** 옆에서 0을 선택합니다.
8. **설계 생성**을 클릭합니다.  
"확증적 선별 설계" 창이 업데이트되어 "설계" 개요와 "설계 평가" 개요가 표시됩니다.  
"요인" 및 "설계" 개요에 블록이 추가되었는지 확인합니다.
9. "요인" 개요에서 블록을 두 번 클릭하고 Lot를 입력합니다.  
"출력 옵션" 패널에서 "런 순서" 가 "블록 내 랜덤화"로 설정되어 있습니다.
10. **테이블 생성**을 클릭합니다.

---

**참고 :** 생성된 설계의 런은 그림 7.8에 표시된 순서와 다르게 나타날 수 있습니다.

그림 7.8 추출 공정에 대해 블록을 사용한 확증적 선별 설계

	블록	Methanol	Ethanol	Propanol	Butanol	pH	Time	Yield
1	1	5	5	5	5	7.5	1.5	•
2	1	5	10	10	10	9	2	•
3	1	5	0	0	0	6	1	•
4	1	10	0	5	0	9	2	•
5	1	0	0	0	10	7.5	2	•
6	1	0	10	5	10	6	1	•
7	1	10	10	10	0	7.5	1	•
8	2	10	5	0	10	9	1	•
9	2	0	10	0	0	9	1.5	•
10	2	0	0	10	5	9	1	•
11	2	10	0	10	10	6	1.5	•
12	2	0	5	10	0	6	2	•
13	2	10	10	0	5	6	2	•
14	2	5	5	5	5	7.5	1.5	•

런 1은 Lot 1의 중앙점 런이고 런 14는 Lot 2의 중앙점 런입니다.

## 실험 데이터 분석

이제 실험을 수행하고 설계 테이블의 Yield 열에 데이터를 기록합니다(그림 7.8). Extraction2 Data.jmp 샘플 데이터 테이블에 실험 결과가 포함되어 있습니다. Extraction2 Data.jmp 샘플 데이터 테이블의 런은 그림 7.8의 런과 순서가 다릅니다.

모든 2 차 효과(second-order effect)를 탐색하려면 모든 가능 모형 회귀를 사용하는 것이 한 가지 옵션입니다. 다른 옵션은 단계별 전진 회귀를 사용하는 것입니다. 그러나 이와 같은 표준 방법은 활성 효과를 식별하지 못하는 경우가 많습니다. 이러한 이유로 확증적 선별 적합 플랫폼을 사용합니다.

1. 도움말 > 샘플 데이터 라이브러리를 선택하고 Design Experiment/Extraction2 Data.jmp 를 엽니다.
2. 설계 테이블의 테이블 패널에서 **Fit Definitive Screening** 스크립트 옆의 녹색 삼각형을 클릭 합니다.

그림 7.9 확증적 선별 적합 보고서

Yield에 대한 확증적 선별 적합

1단계 - 주효과 추정값					
항	추정값	표준 오차	t 비	Prob> t	
Methanol	10.11	0.2516	40.188	<.0001*	
Ethanol	2.89	0.2516	11.488	0.0014*	
Time	4.4436	0.2516	17.664	0.0004*	
통계량	값				
RMSE	0.7955				
DF	3				
<input checked="" type="checkbox"/> 이자항 강 유전성 따르기					
<input checked="" type="checkbox"/> 교호작용 강 유전 따르기					

2단계 - 짹수 순서 효과 추정값					
항	추정값	표준 오차	t 비	Prob> t	
절편	29.537	0.1114	265.03	0.0024*	
Lot[1]	2.4953	0.1178	21.179	0.0300*	
Methanol*Ethanol	0.7474	0.0682	10.952	0.0580	
Ethanol*Time	5.9347	0.1362	43.587	0.0146*	
Methanol*Methanol	-1.685	0.264	-6.383	0.0989	
Ethanol*Ethanol	6.3325	0.1599	39.6	0.0161*	
Time*Time	3.4031	0.1674	20.324	0.0313*	
통계량	값				
RMSE	0.1666				
DF	1				

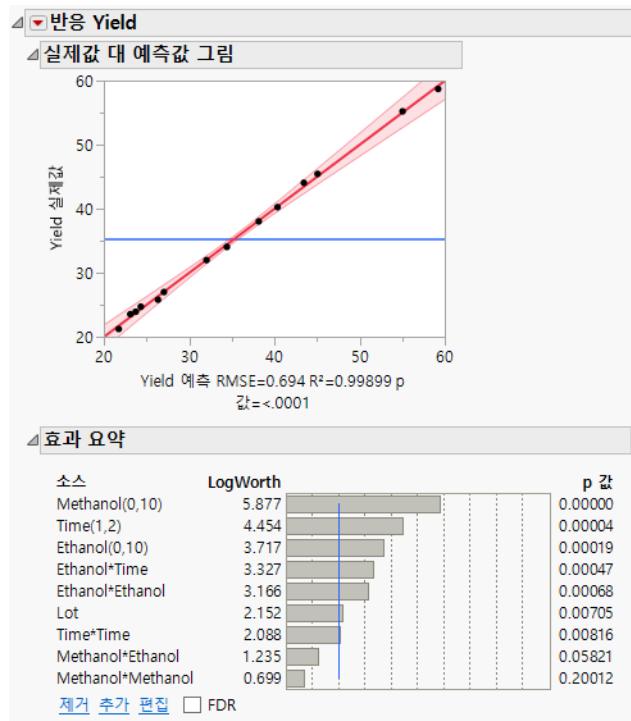
결합 모형 모수 추정값					
항	추정값	표준 오차	t 비	Prob> t	
절편	29.537	0.4642	63.636	<.0001*	
Lot[1]	2.4953	0.4907	5.0852	0.0071*	
Methanol	10.11	0.2194	46.07	<.0001*	
Ethanol	2.89	0.2194	13.169	0.0002*	
Time	4.4436	0.2194	20.249	<.0001*	
Methanol*Ethanol	0.7474	0.2842	2.6297	0.0582	
Ethanol*Time	5.9347	0.5671	10.465	0.0005*	
Methanol*Methanol	-1.685	1.0994	-1.533	0.2001	
Ethanol*Ethanol	6.3325	0.666	9.5082	0.0007*	
Time*Time	3.4031	0.6974	4.8799	0.0082*	
통계량	값				
RMSE	0.694				
DF	4				

확증적 선별 적합에 의해 잠재적 활성 상태인 것으로 식별된 효과가 "결합 모형 모수 추정값" 보고서에 나열됩니다.

- "결합 모형 모수 추정값" 보고서 맨 아래의 **모형 실행** 버튼을 클릭합니다.

그러면 잠재적 활성 상태인 것으로 식별된 효과에 대해 표준 최소 제곱 모형을 적합시킵니다.

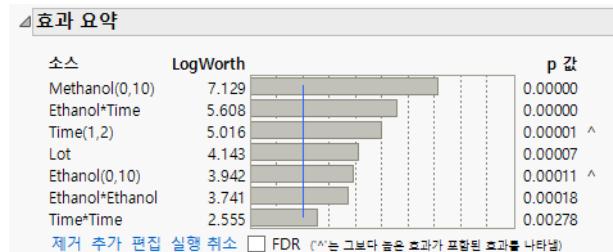
그림 7.10 표준 최소 제곱 보고서



"실제값 대 예측값 그림"에 적합 결여의 증거가 없습니다. "효과 요약" 보고서는 Methanol\* Ethonal 과 Methanol\*Methanol 이 유의하지 않음을 보여 줍니다. 따라서 모형에서 이들 효과를 제거하기로 결정했습니다.

4. "효과 요약" 보고서에서 Methanol\*Ethonal 과 Methanol\*Methanol 을 선택하고 제거를 클릭합니다.

그림 7.11 최종 활성 효과 집합



나머지 효과는 모두 유의합니다. 이러한 효과가 활성 효과인 것으로 결론을 내릴 수 있습니다.

## 확증적 선별 설계와 Plackett-Burman 설계 비교

Plackett-Burman 설계는 선별을 위한 부분 요인 설계 대신 사용할 수 있습니다. 그러나 Plackett-Burman 설계에는 2요인 교호작용에 의한 주효과의 복잡한 별칭 구조가 있습니다.

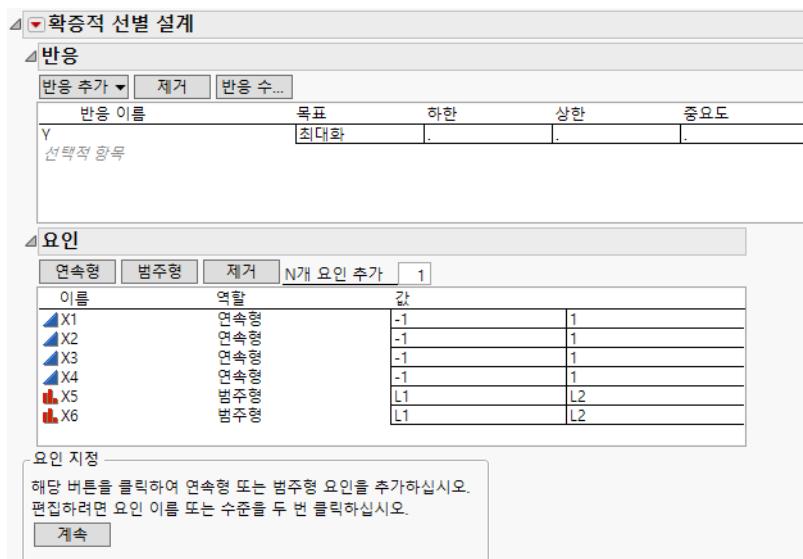
이 예에서는 설계 평가 플랫폼을 사용하여 확증적 선별 설계와 Plackett-Burman 설계를 비교하는 방법을 보여 줍니다. 설계 비교 플랫폼을 사용한 자세한 예는 "설계 비교" 장의 "["런 크기가 같은 설계"](#)(439페이지)에서 확인하십시오.

### 확증적 선별 설계

- DOE > 확증적 선별 > 확증적 선별 설계를 선택합니다 .
- N 개 요인 추가 상자에 4 를 입력하고 연속형을 클릭합니다 .
- N 개 요인 추가 상자에 2 를 입력하고 범주형을 클릭합니다 .

창이 그림 7.12 에 표시된 것처럼 보입니다 .

**그림 7.12** 연속형 요인 4 개와 범주형 요인 2 개가 포함된 확증적 선별 대화상자



- 계속을 클릭합니다 .

이 예에서는 블록이 필요하지 않습니다 . "설계 옵션" 개요에서 "블록이 필요하지 않음" 옵션이 선택되어 있는지 확인하십시오 .

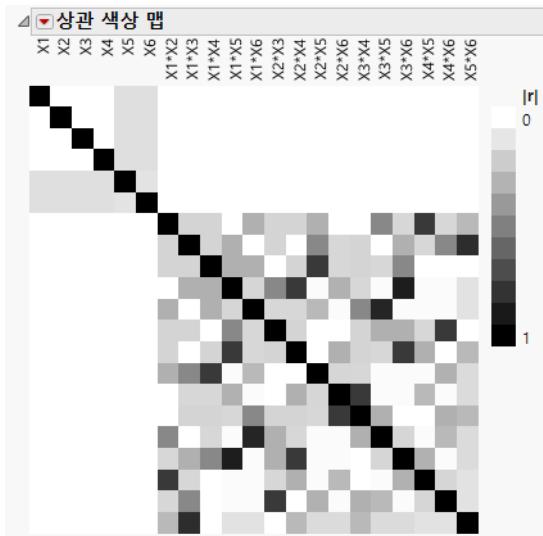
거의 같은 크기의 설계를 비교하기 위해 추가 런을 지정하지 않습니다 .

- 추가 런 수 옆에서 0 을 선택합니다 .
- 설계 생성을 클릭합니다 .

14 회 런 설계가 생성됩니다 .

7. 설계 평가 > 상관 색상 맵 개요를 엽니다.

그림 7.13 확증적 선별 설계의 색상 맵



범주형 주효과는 다른 범주형 주효과 및 연속형 요인의 주효과와 약간 상관되어 있습니다. 이로 인해 추정값의 정밀도가 조금 감소합니다.

8. 아래의 Plackett-Burman 설계와 색상 맵을 비교할 때까지 "확증적 선별 설계" 창을 닫지 않습니다.

### Plackett-Burman 설계

이제 같은 요인 구조를 사용하여 Plackett-Burman 설계를 생성합니다.

1. **DOE > 전통적 설계 > 2 수준 선별 > 선별 설계**를 선택합니다.
2. **N 개 요인 추가** 상자에 **4**를 입력하고 **연속형**을 클릭합니다.
3. **N 개 요인 추가** 상자에 **2**를 입력하고 **범주형 > 2 수준**을 클릭합니다.
4. **계속**을 클릭합니다.
5. **부분 요인 설계 목록에서 선택**을 선택하고 **계속**을 클릭합니다.

가능한 설계가 "설계 목록"에 나타납니다.

**그림 7.14 Plackett-Burman 설계**

The screenshot shows a software interface for experimental design. At the top, there are tabs for '반응' (Response) and '요인' (Factors). Below these are tables for '반응 추가' (Add Response) and '선택적 항목' (Selected Items). The '요인' section contains a table with columns for '연속형' (Continuous), '이산 수치형' (Discrete Numerical), '범주형' (Categorical), and '제거' (Delete). The '설계 목록' section shows a table of experimental designs with columns for '수' (Number), '블록' (Block), '런' (Run), '크기' (Size), '설계 유형' (Design Type), and '해상도' (Resolution). The 'Plackett-Burman' design is highlighted in blue.

수	블록	런	크기	설계 유형	해상도
8			8	부분 요인	3 - 주효과만
8			4	부분 요인	3 - 주효과만
12			12	Plackett-Burman	3 - 주효과만
16			16	부분 요인	4 - 몇 가지 2요인 교호작용
16		8	16	부분 요인	4 - 몇 가지 2요인 교호작용
16		4	16	부분 요인	4 - 몇 가지 2요인 교호작용
16		2	16	부분 요인	4 - 몇 가지 2요인 교호작용
32			32	부분 요인	5+ - 모든 2요인 교호작용
32		16	32	부분 요인	5+ - 모든 2요인 교호작용
32		8	32	부분 요인	4 - 몇 가지 2요인 교호작용
32		4	32	부분 요인	4 - 몇 가지 2요인 교호작용
32		2	32	부분 요인	4 - 몇 가지 2요인 교호작용
64			64	완전 요인	>6 - 전체 해상도
64		32	64	완전 요인	5+ - 모든 2요인 교호작용

6. 12 회 런 Plackett-Burman 설계를 선택합니다 (그림 7.14).

7. 계속을 클릭합니다.

8. 설계 평가 > 상관 색상 맵 개요를 엽니다 .

12 회 런 Plackett-Burman 설계의 색상 맵을 14 회 런 확증적 선별 설계의 색상 맵과 비교합니다 .

그림 7.15 Plackett-Burman 상관(왼쪽)과 확증적 선별 상관(오른쪽)

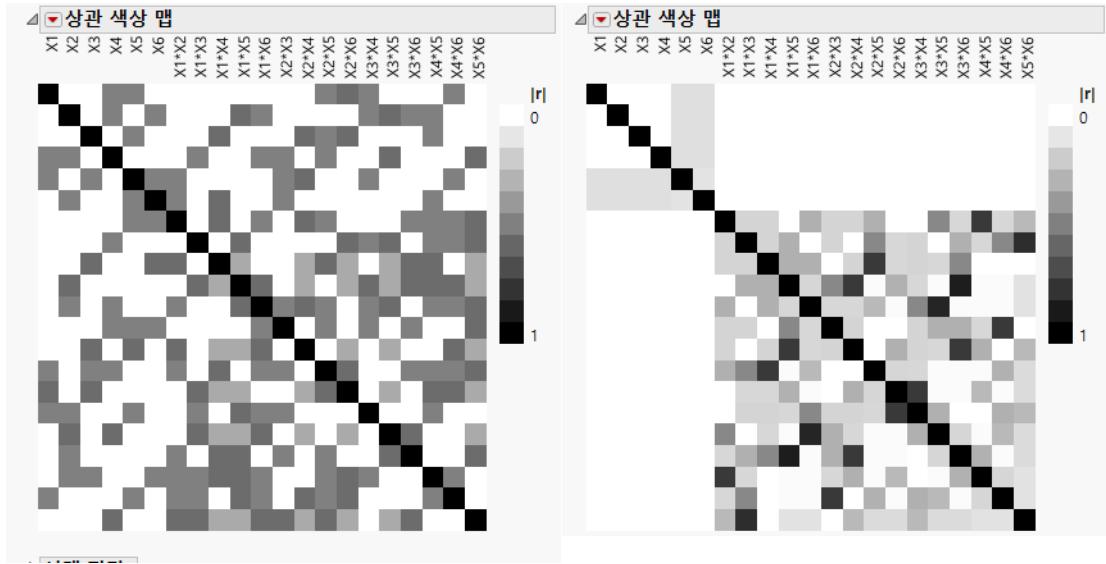


그림 7.15에는 두 가지 색상 맵이 모두 표시되지만 Plackett-Burman 색상 맵에서 주효과와 이원 교호작용이 포함된 부분만 표시됩니다. 삼원 교호작용 없이 Plackett-Burman 설계의 색상 맵을 구성하려면 설계를 구성한 다음, "설계 평가"를 사용하여 색상 맵을 확인하십시오.

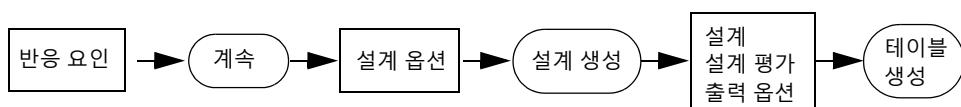
왼쪽의 Plackett-Burman 설계 색상 맵에서 대부분의 2요인 교호작용이 주효과와 상관되어 있음을 확인할 수 있습니다. 이는 무시할 수 없는 2요인 교호작용이 몇 가지 주효과를 편향시킨다는 것을 의미합니다. 이로 인해 활성 주효과를 식별하지 못하거나, 비활성 주효과가 활성 효과라는 잘못된 결론을 내릴 수 있습니다.

이를 오른쪽의 확증적 선별 설계 색상 맵과 대조해 봅니다. 추가 런이 두 개 포함된 확증적 선별 설계는 주효과의 분산이 약간 증가하는 대신 주효과 및 2요인 교호작용에 대한 완전한 독립성을 얻습니다.

## 확증적 선별 설계 창

설계 단계를 진행하는 동안 "확증적 선별 설계" 창이 업데이트됩니다. 자세한 내용은 "DOE로 시작" 장의 "DOE 워크플로우: 기술, 지정, 설계"(56페이지)에서 확인하십시오. 개요는 개요를 업데이트하는 버튼을 클릭할 때 구분되어 나타나며 그림 7.16의 흐름을 따릅니다.

그림 7.16 확증적 선별 설계 흐름



## 반응

"반응" 개요를 사용하여 하나 이상의 반응을 지정합니다.

**팁 :** "반응" 개요를 완료하면 빨간색 삼각형 메뉴에서 **반응 저장**을 선택하는 것이 좋습니다. 이 옵션을 사용하면 반응 이름, 목표, 한계 및 중요도 값을 데이터 테이블에 저장하여 나중에 DOE 플랫폼에서 다시 불러올 수 있습니다.

**그림 7.17** 반응 개요

**반응 추가** "최대화", "목표값 일치", "최소화", "없음" 또는 "함수" 목표 유형을 사용하여 단일 반응을 입력합니다. "목표값 일치"를 선택하는 경우 목표값 한계를 입력해야 합니다. "최대화" 또는 "최소화"를 선택하는 경우에는 한계를 입력할 필요가 없지만 만족도 함수를 사용하려면 입력하는 것이 유용할 수 있습니다.

**JMP<sup>®</sup> PRO** 함수 (JMP Pro에서만 사용할 수 있음) 설계 데이터 테이블에 FDE 열 특성을 가진 여러 개의 Y 열을 추가합니다. 이러한 열은 DOE 요인을 보조 요인으로 사용하는 함수 데이터 탐색기 플랫폼에 사용할 수 있습니다.

**제거** 선택한 반응을 제거합니다.

**반응 수** 입력한 수가 총 반응 수가 되도록 추가 반응을 입력합니다. 기본값 Y 이외의 반응을 입력한 경우 각 추가 반응의 목표는 마지막에 입력한 반응과 관련된 목표입니다. 그렇지 않은 경우에는 기본적으로 "목표값 일치"로 설정됩니다. 테이블에서 "목표" 유형을 클릭하여 목표를 변경할 수 있습니다.

"반응" 개요에는 다음과 같은 열이 포함되어 있습니다.

**반응 이름** 반응의 이름입니다. 반응을 추가하면 Y, Y2 등의 기본 이름이 지정됩니다. 이 이름을 변경하려면 이름을 두 번 클릭한 후 원하는 이름을 입력합니다.

**목표, 하한, 상한** "목표"는 반응 최대화, 반응 최소화, 목표값 일치 또는 반응 목표 없음 중에서 무엇을 원하는지 JMP에 알려줍니다. JMP는 이러한 지정에 따라 설계 테이블의 각 반응 열에 "반응 한계" 열 특성을 할당합니다. 이 정보를 사용하여 각 반응에 대한 만족도 함수를 정의합니다. "프로파일러" 및 "등고선 프로파일러"는 만족도 함수를 사용하여 최적 요인 설정을 찾습니다. 자세한 내용은 **Profilers**의 "Profiler" 장 및 "열 특성" 부록의 "반응 한계"(730 페이지)에서 확인하십시오.

- "최대화" 목표는 가장 큰 값이 가장 좋음을 나타냅니다. 자연 하한 또는 상한이 있는 경우 이를 "하한" 또는 "상한"으로 지정할 수 있습니다.
- "최소화" 목표는 가장 작은 값이 가장 좋음을 나타냅니다. 자연 하한 또는 상한이 있는 경우 이를 "하한" 또는 "상한"으로 지정할 수 있습니다.

- "목표값 일치" 목표는 특정 목표값이 가장 좋음을 나타냅니다. 기본 목표값은 하한과 상한의 중간으로 가정됩니다.
- "없음" 목표는 최적화에 관한 목표가 없음을 나타냅니다. 만족도 함수가 구성되지 않습니다.

**참고 :** 목표 반응이 하한과 상한의 중간이 아닌 경우에는 설계 테이블을 생성한 후 목표값을 변경할 수 있습니다. 데이터 테이블에서 반응 열의 "열 정보" 창을 열고 (**열 > 열 정보**) 원하는 목표값을 입력하십시오.

**중요도** 반응이 여러 개인 경우 지정한 중요도 값을 사용하여 전체 만족도 함수를 계산합니다. 이러한 값은 반응에 대한 가중치로 처리됩니다. 반응이 하나뿐이면 기본적으로 1로 설정되므로 중요도를 지정할 필요가 없습니다.

**JMP PRO** **감지 한계** 하한 및 상한 감지 한계는 반응을 측정할 수 있는 경계를 정의하며 이 경계를 벗어나면 반응을 측정할 수 없습니다. 감지 한계는 열 특성으로 저장됩니다. 이러한 한계를 사용하여 일반화 회귀 플랫폼에서 중도절단 반응을 지정할 수 있습니다. 자세한 내용은 선형 모형 적합의 일반화 회귀 장에서 확인하십시오.

### 반응 개요 편집

"반응" 개요에서 다음 사항에 유의하십시오.

- 반응 이름을 편집하려면 해당 반응을 두 번 클릭합니다.
- 목표를 클릭하여 변경할 수 있습니다.
- 한계 또는 중요도 가중치를 클릭하여 변경할 수 있습니다.
- 반응이 여러 개인 경우 중요도 가중치 값을 입력할 수 있습니다.

### 반응 한계 열 특성

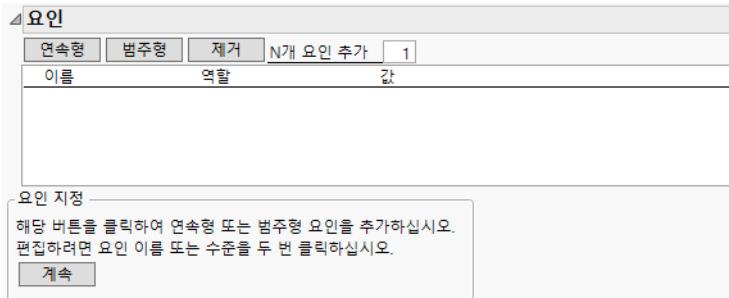
반응을 입력할 때 지정하는 "목표", "하한", "상한" 및 "중요도"를 사용하여 최적 요인 설정을 찾습니다. 각 반응에 대한 정보는 생성된 설계 데이터 테이블에 "반응 한계" 열 특성으로 저장됩니다. JMP에서는 이 정보를 사용하여 만족도 함수를 정의합니다. 만족도 함수는 최적 요인 설정을 찾기 위해 "예측 프로파일러"에서 사용됩니다. "반응 한계" 열 특성에 대한 자세한 내용과 사용 예는 "열 특성" 부록의 "[반응 한계](#)"(730페이지)에서 확인하십시오.

하한과 상한을 지정하지 않으면 JMP는 반응에 대해 관측된 데이터 범위를 사용하여 만족도 함수의 한계를 정의합니다. 하한과 상한을 지정하면 만족도 함수의 규격을 제어할 수 있습니다. 만족도 함수 구성에 대한 자세한 내용은 **Profilers**의 "Profiler" 장에서 확인하십시오.

### 요인

"요인" 개요에서 요인을 추가합니다.

### 그림 7.18 요인 개요



"요인" 개요에는 다음과 같은 버튼이 포함되어 있습니다.

**연속형 N 개 요인 추가**에 지정된 수의 연속형 요인을 입력합니다.

**범주형 N 개 요인 추가**에 지정된 수의 명목형 요인을 입력합니다.

**제거** 선택한 요인을 제거합니다.

**N 개 요인 추가** 지정된 유형의 여러 요인을 추가합니다. 추가할 요인 수를 입력하고 "연속형" 또는 "범주형"을 클릭합니다. 유형이 다른 여러 요인을 추가하려면 **N 개 요인 추가**를 반복합니다.

---

**팁 :** "요인" 패널을 완료하면 빨간색 삼각형 메뉴에서 요인 저장을 선택하십시오. 이렇게 하면 요인 이름과 값을 데이터 테이블에 저장하여 나중에 다시 불러올 수 있습니다. 자세한 내용은 "[증증적 선별 설계 옵션](#)"(244 페이지)에서 확인하십시오.

"요인" 개요에는 다음과 같은 열이 포함되어 있습니다.

**이름** 요인의 이름입니다. 요인을 추가하면 X1, X2 등의 기본 이름이 지정됩니다. 이 이름을 변경하려면 이름을 두 번 클릭한 후 원하는 이름을 입력합니다.

**역할** 요인의 설계 역할을 지정합니다. 요인의 "설계 역할" 열 특성은 데이터 테이블에 저장됩니다. 이 특성은 요인 유형이 적절하게 모델링되도록 합니다.

**값** 요인에 대한 실험 설정입니다. 값을 삽입하려면 기본값을 클릭한 후 원하는 값을 입력합니다.

### 요인 개요 편집

"요인" 개요에서 다음 사항에 유의하십시오.

- 요인 이름을 편집하려면 해당 요인 이름을 두 번 클릭합니다.
- 값을 편집하려면 값 열의 값을 클릭합니다.

### 요인 유형

**연속형** 숫자 데이터 유형만 가능합니다. 연속형 요인은 개념적으로 측정 시스템의 제한을 고려하여 사용자가 제공하는 하한과 상한 사이의 어떤 값이든 설정할 수 있는 요인입니다.

**범주형** 두 가지 수준의 숫자 또는 문자 데이터 유형에 해당됩니다. 범주형 요인의 경우 값 순서는 왼쪽에서 오른쪽으로 입력되는 값의 순서입니다. 이 순서는 설계 데이터 테이블이 생성된 후 "값 순서" 열 특성에 저장됩니다.

## 요인 열 특성

각 요인에 대한 다양한 열 특성이 데이터 테이블에 저장됩니다.

**설계 역할** 각 요인에 "설계 역할" 열 특성이 할당됩니다. 요인을 정의할 때 지정하는 역할에 따라 "설계 역할" 열 특성의 값이 결정됩니다. "설계 옵션"에서 블록을 추가하면 해당 요인에 "블록화" 값이 할당됩니다. "설계 역할" 특성은 실험 데이터를 모델링할 때 요인이 어떤 용도로 사용되는지를 반영합니다. "설계 역할" 값은 설계 확대 플랫폼에서 사용됩니다.

**요인 변경** 각 요인에 "쉬움"으로 설정된 "요인 변경" 열 특성이 할당됩니다. 확증적 선별 설계에서는 각 실험 런에 대해 요인 수준을 변경할 수 있다고 가정합니다. "요인 변경" 값은 설계 평가 및 설계 확대 플랫폼에서 사용됩니다.

**코딩** "설계 역할" 이 "연속형"인 경우 요인의 "코딩" 열 특성이 저장됩니다. 이 특성은 하한 값과 상한 값이 각각 -1과 +1에 해당하도록 요인 값을 변환합니다. "최소 제곱 적합" 보고서의 추정 값과 검정은 변환된 값을 기반으로 합니다.

**값 순서** "설계 역할" 이 "범주형" 또는 "블록화"인 경우 요인의 "값 순서" 열 특성이 저장됩니다. 이 특성은 요인 수준이 나타나는 순서를 결정합니다.

**블록당 런 수** 각 블록의 런 수를 나타냅니다. "설계 옵션" 개요에서 블록을 선택하고 "설계 생성"을 클릭하면 기본 이름이 "블록"인 요인이 "요인" 목록에 추가됩니다. "블록당 런 수" 열 특성은 해당 요인에 대해 저장됩니다.

## 설계 옵션

"설계 옵션" 개요에서는 블록화 구조, 블록 수 및 추가 런 수를 지정할 수 있습니다. 블록 효과는 주효과와 직교합니다. 블록 크기가 같을 필요는 없습니다.

이 개요에는 다음 옵션이 포함되어 있습니다.

**블록이 필요하지 않음** 설계에 블록 요인이 포함되지 않음을 나타냅니다. 기본적으로 이 항목이 선택됩니다.

**2 차 효과 추정을 위해 중앙점 런과 블록 추가** "블록 수" 텍스트 상자에 지정된 수의 블록을 추가합니다. 블록 효과가 주효과와 직교하고 모든 주효과 및 2 차 효과로 구성된 모형을 추정할 수 있는 설계를 구성합니다. 자세한 내용은 "[2 차 효과 추정을 위해 중앙점 런과 블록 추가](#)"(240 페이지)에서 확인하십시오.

**추가적인 중앙점 런 없이 블록 추가** "블록 수" 텍스트 상자에 지정된 수의 블록을 추가합니다. 설계 구조에 필요한 만큼만 중앙점 런을 추가합니다. 블록 효과가 주효과와 직교하지만 모든 주효과 및 2 차 효과로 구성된 모형을 추정할 수 없는 설계를 구성합니다. 자세한 내용은 "[추가적인 중앙점 런 없이 블록 추가](#)"(241 페이지)에서 확인하십시오.

**참고 :** 일부 2 차 효과는 중요하지 않다고 가정할 수 있는 경우에만 **추가적인 중앙점 런 없이 블록 추가** 옵션을 사용하십시오.

**블록 수** 추가할 블록 수를 나타냅니다. 추가할 수 있는 블록 수는 2 개에서 요인 수까지입니다.

**추가 런 수** 유효 모형 선택을 수행할 수 있는 비중앙점 런을 추가합니다. 자세한 내용은 "[추가 런](#)"(250 페이지) 및 "[확증적 선별 적합 플랫폼](#)" 장의 "[DSD를 위한 유효 모형 선택](#)"(255 페이지)에서 확인하십시오.

**팁 :** 추가 런 옵션을 사용하여 설계에 런을 추가하면 활성 효과가 많이 있을 때 효과를 감지할 수 있는 능력이 향상됩니다. 권장되는 추가 런 수는 4 회이며, 이렇게 하면 활성 2 차 효과(second-order effect)를 식별할 수 있도록 설계 성능이 크게 향상됩니다.

**설계 생성** 설계를 생성하여 "설계" 개요에 표시하고 "설계 평가" 개요에 평가 정보를 제공합니다. 설계 테이블을 생성할 수 있는 "출력 옵션" 패널도 나타납니다.

## 확증적 선별 설계의 블록화

이 섹션에서는 다음과 같은 두 가지 블록화 옵션에 대해 설명합니다.

- "[2 차 효과 추정을 위해 중앙점 런과 블록 추가](#)"(240 페이지)
- "[추가적인 중앙점 런 없이 블록 추가](#)"(241 페이지)

### 2 차 효과 추정을 위해 중앙점 런과 블록 추가

**참고 :** 2 차 효과를 추정하는 블록화된 설계의 구성 및 특성에 대한 자세한 내용은 Jones and Nachtsheim(2016)에서 확인하십시오. 이 연구 자료에는 블록을 임의 효과로 처리하는 데 대한 내용도 포함되어 있습니다.

**2차 효과 추정을 위해 중앙점 런과 블록 추가** 옵션은 다음과 같은 특성이 있는 설계를 구성합니다.

- 블록 효과가 주효과와 직교합니다.
- 모든 주효과와 2 차 효과로 구성된 모형을 추정할 수 있습니다.

설계에 연속형 요인만 포함된 경우  $k$  요인에 대해 이러한 특성이 있는 블록화된 설계를 다음과 같이 구성할 수 있습니다.

- $k$  요인에 대한 DSD 설계에서 중앙점 런을 제거합니다.
- 같은 블록에 컨퍼런스 행렬 접기 쌍을 할당합니다.
- 각 블록에 중앙점 런을 하나씩 추가합니다.

일부 요인이 범주형인 경우 **2차 효과 추정을 위해 중앙점 런과 블록 추가** 옵션은 특정 블록 내에 중앙점 런 쌍을 추가합니다. 이 구조는 직교성 및 모든 주효과와 2 차 효과의 추정 가능성을 보장합니다.

블록에 접기 쌍이 포함되어야 한다는 블록 크기 요구 사항이 있으므로 블록 수의 범위는  $k$ 가 짹수이면  $2 \sim k$ 개,  $k$ 가 홀수이면  $2 \sim k+1$ 개일 수 있습니다. 자세한 내용은 "컨퍼런스 행렬 및 런 수"(249페이지)에서 확인하십시오. JMP는 같은 크기의 블록을 구성하려고 시도합니다.

### 추가적인 중앙점 런 없이 블록 추가

**추가적인 중앙점 런 없이 블록 추가** 옵션은 모든 요인이 연속형일 때 중앙점 런이 하나 있고 일부 요인이 범주형일 때는 중앙점 런이 두 개 있는 설계를 구성합니다. 결과 설계의 특성은 다음과 같습니다.

- 블록 효과가 주효과와 직교합니다.
- 블록 효과가 2 차 효과의 선형 조합과 교락될 가능성이 있습니다. 즉, 모든 주효과와 2 차 효과로 구성된 모형을 추정하지 못할 수 있습니다.

따라서 일부 2차 효과를 무시할 수 있다고 가정할 수 있는 경우에만 이 옵션을 사용하십시오.

추가 중앙점 런 없이  $k$  요인에 대한 블록화된 설계는 다음과 같이 구성합니다.

- 같은 블록에 컨퍼런스 행렬 접기 쌍을 할당합니다.
- 모든 요인이 연속형인 경우 단일 블록에 단일 중앙점 런을 할당합니다.
- 범주형 요인이 있는 경우 블록화되지 않은 확증적 선별 설계에는 컨퍼런스 행렬에 의해 정의된 접기 쌍에 두 개의 중앙점 런을 추가해야 합니다. 자세한 내용은 "컨퍼런스 행렬 및 런 수"(249페이지)에서 확인하십시오. 추가 중앙점 런 없이 블록화된 설계를 구성하기 위해 이러한 두 개의 중앙점 런이 단일 블록에 추가됩니다.

블록에 접기 쌍이 포함되어야 한다는 블록 크기 요구 사항이 있으므로 블록 수의 범위는  $k$ 가 짹수이면  $2 \sim k$ 개,  $k$ 가 홀수이면  $2 \sim k+1$ 개일 수 있습니다. 자세한 내용은 "컨퍼런스 행렬 및 런 수"(249페이지)에서 확인하십시오. JMP는 같은 크기의 블록을 구성하려고 시도합니다.

## 설계

"설계" 개요에서는 확증적 선별 설계를 위한 런을 보여 줍니다. 런은 표준 순서로 제공됩니다. 설계 테이블의 런 순서를 변경하려면 테이블을 생성하기 전에 "출력 옵션" 패널에서 "런 순서" 옵션을 선택할 수 있습니다.

**참고 :** 4 개 이하의 요인에 대한 확증적 선별 설계는 5 개 요인 설계를 기반으로 합니다. 자세한 내용은 "4 개 이하의 요인에 대한 확증적 선별 설계"(250 페이지)에서 확인하십시오.

## 설계 평가

**참고 :** Cotter 설계에는 "설계 평가" 개요가 표시되지 않습니다.

"설계 평가" 개요에서는 생성된 설계의 특성을 평가하는 다양한 방법을 제공합니다. "설계 평가" 개요를 열고 다음 옵션을 확인합니다.

**검정력 분석** 주어진 크기의 효과를 감지할 수 있는지 분석할 수 있습니다.

**예측 분산 프로파일** 요인 설정 범위에 대한 예측 분산을 보여 줍니다.

**설계 공간 비율 그림** 모형 예측 분산이 지정된 값보다 얼마나 아래 또는 위에 있는지 보여 줍니다.

**예측 분산 표면** 두 개의 연속형 요인에 대한 예측 분산의 표면 그림을 보여 줍니다.

**추정 효율도** 각 모수에 대해 이상적인 직교 설계(존재하지 않을 수 있음)와 비교하여 신뢰 구간 길이에 대한 증가 비율을 제공합니다. 모수의 상대 표준 오차도 제공합니다.

**별칭 행렬** 모형에 없지만 활성화 가능성이 있는 효과에 의해 모형 모수가 편향되는 정도를 나타내는 계수를 제공합니다.

**상관 색상 맵** 강도 척도를 사용하여 그림에서 효과 사이의 절대 상관을 표시합니다.

**설계 진단** 설계를 구성하는 데 사용되는 최적 기준을 나타냅니다. 설계의 효율도 측도도 제공합니다.

---

**참고 :** 설계 진단에 사용된 모형에는 모든 주효과 및 2 요인 교호작용이 포함됩니다(모든 2 요인 교호작용을 추정할 수 있는 경우). 그렇지 않은 경우에는 모형에 모든 주효과가 포함됩니다.

---

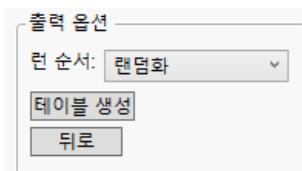
"설계 평가" 패널에 대한 자세한 내용은 "설계 평가" 장의 "[설계 평가](#)"(418페이지)에서 확인하십시오.

## 출력 옵션

"출력 옵션" 패널을 사용하여 다음 작업을 수행할 수 있습니다.

- 설계 데이터 테이블의 런 순서를 지정합니다.
- 설계 테이블을 구성합니다.
- "확증적 선별 설계" 창의 이전 지점으로 돌아갑니다.

**그림 7.19** 출력 옵션 패널



"출력 옵션" 패널에는 다음 옵션이 포함되어 있습니다.

## 런 순서

런 순서 옵션은 설계 테이블의 런 순서를 결정합니다. 다음과 같은 옵션을 선택할 수 있습니다.

**동일하게 유지** 설계 테이블에 표시되는 행 순서가 "설계" 개요의 순서와 동일합니다.

**좌에서 우로 정렬** 설계 테이블의 열이 왼쪽에서 오른쪽으로 정렬됩니다.

**랜덤화** 설계 테이블의 행이 랜덤 순서로 나타납니다.

**우에서 좌로 정렬** 설계 테이블의 열이 오른쪽에서 왼쪽으로 정렬됩니다.

**블록 내 랜덤화** 설계 테이블의 행이 블록 내에서 랜덤 순서로 나타납니다.

## 테이블 생성

**테이블 생성**을 클릭하여 확장적 선별 설계 데이터 테이블을 구성합니다.

"확증적 선별 설계" 테이블의 왼쪽 위에 있는 테이블 패널에는 다음 스크립트가 포함되어 있습니다. 스크립트를 실행하려면 스크립트 이름 옆의 녹색 삼각형을 클릭합니다.

**확증적 선별 적합 DOE > 확증적 선별 > 확증적 선별 적합 플랫폼**을 실행합니다. 자세한 내용은 8 장, "확증적 선별 적합 플랫폼"에서 확인하십시오.

**설계 평가** **DOE** > **설계 진단** > **설계 평가** 플랫폼을 실행합니다. 자세한 내용은 [15 장](#), "설계 평가"에서 확인하십시오.

**DOE 대화상자** 설계 테이블을 생성하는 데 사용된 "확증적 선별 설계" 창을 다시 생성합니다.

**그림 7.20** 스크립트를 보여 주는 확증적 선별 설계 테이블

## 뒤로

"뒤로" 버튼을 클릭하면 "설계 생성"을 클릭하기 전의 위치로 이동합니다. 이전 개요를 변경하고 설계를 다시 생성할 수 있습니다.

## 확증적 선별 설계 옵션

확증적 선별 설계 플랫폼의 빨간색 삼각형 메뉴에는 다음 옵션이 포함되어 있습니다.

**반응 저장** "반응" 패널의 정보를 새 데이터 테이블에 저장합니다. 그러면 반응 및 관련 정보를 대부분의 DOE 창에 빠르게 불러올 수 있습니다. 이 옵션은 반응을 재사용할 것으로 예상하는 경우 유용합니다.

**반응 불러오기** "반응 저장" 옵션을 사용하여 저장한 반응을 불러옵니다.

**요인 저장** "요인" 패널의 정보를 새 데이터 테이블에 저장합니다. 각 요인의 열에는 수준이 포함됩니다. 다른 정보는 열 특성으로 저장됩니다. 그러면 요인 및 관련 정보를 대부분의 DOE 창에 빠르게 불러올 수 있습니다.

**참고 :** 빈 테이블에 데이터를 입력하여 요인 테이블을 생성할 수 있지만 각 열에 적절한 설계 역할을 할당해야 합니다. 이렇게 하려면 데이터 격자에서 열 이름을 마우스 오른쪽 버튼으로 클릭하고 **열 특성 > 설계 역할**을 선택합니다. 그런 다음 "설계 역할" 영역에서 적절한 역할을 선택합니다.

**요인 불러오기** "요인 저장" 옵션을 사용하여 저장한 요인을 불러옵니다.

**제약 조건 저장** ( 일부 플랫폼에서는 사용할 수 없음) "요인 제약 조건 정의" 또는 "선형 제약 조건" 개요에서 정의한 요인 제약 조건을 각 제약 조건에 대한 열과 함께 데이터 테이블에 저장합니다. 그러면 제약 조건을 대부분의 DOE 창에 빠르게 불러올 수 있습니다.

제약 조건 테이블에서 처음에 나오는 행은 각 요인의 계수를 포함합니다. 마지막 행은 부등식 한계를 포함합니다. 각 제약 조건 열에는 제약 조건을 "less than" 또는 "greater than" 제약 조건으로 식별하는 제약 조건 상태 열 특성이 포함됩니다. 자세한 내용은 "열 특성" 부록의 "**제약 조건 상태**"(762 페이지)에서 확인하십시오.

**제약 조건 불러오기** ( 일부 플랫폼에서는 사용할 수 없음) "제약 조건 저장" 옵션을 사용하여 저장한 요인 제약 조건을 불러옵니다.

**난수 시드값 설정** JMP가 랜덤 성분이 있는 작업을 제어하는 데 사용하는 난수 시드값을 설정합니다. 이러한 작업에는 다음 중 하나 이상이 포함됩니다.

- 설계 생성을 위한 검색 알고리즘 초기화
- 설계 생성을 위한 런 순서 랜덤화
- 랜덤 시작에 기반한 설계의 시작 설계 선택

설계를 재현하려면 **설계 생성**을 클릭하기 전에 설계를 생성한 난수 시드값을 입력합니다.

---

**참고 :** 설계와 관련된 난수 시드값은 설계 데이터 테이블에 저장된 "DOE 대화상자" 스크립트에 포함됩니다.

---

**반응 시뮬레이션** 시뮬레이션 계산식을 포함하는 열과 반응 값을 설계 테이블에 추가합니다."테이블 생성"을 클릭하기 전에 이 옵션을 선택하십시오.

"테이블 생성"을 클릭하면 다음과 같은 결과가 나타납니다.

- 시뮬레이션된 반응 값 집합이 각 반응 열에 추가됩니다.
- 각 반응에 대해 시뮬레이션 모형 계산식을 포함하는 새 열이 설계 테이블에 추가됩니다. 계산식과 값은 설계 창에 지정된 모형에 기초합니다.
- 모형 효과에 대한 계수 값을 설정하고 정규, 이항 또는 Poisson 분포 중 하나를 지정할 수 있는 "모형" 창이 나타납니다.

---

**참고 :** 모든 설계 유형에 모든 분포를 사용할 수 있는 것은 아닙니다.

---

- **DOE 시뮬레이션** 스크립트가 설계 테이블에 저장됩니다. 이 스크립트는 값을 다시 시뮬레이션하거나 시뮬레이션된 반응 분포를 변경할 수 있도록 "모형" 창을 다시 엽니다.

"모형" 창에서 시뮬레이션된 반응 값의 분포를 제어하는 옵션을 선택합니다."적용"을 클릭하면 시뮬레이션된 반응 값의 계산식이 <Y> 시뮬레이션이라는 새 열에 저장됩니다. 여기서 Y는 반응 이름입니다."적용"을 다시 클릭하면 <Y> 시뮬레이션의 계산식과 값이 업데이트됩니다.

자세한 내용은 "사용자 설계" 장의 "[반응 시뮬레이션](#)"(103 페이지)에서 확인하십시오.

---

**참고 :** [JMP<sup>®</sup> PRO](#) "반응 시뮬레이션"을 사용하면 JMP Pro 시뮬레이션 기능을 사용하여 시뮬레이션 분석을 수행할 수 있습니다. 자세한 내용과 DOE 예는 기본 분석의 "시뮬레이션" 장에서 확인하십시오.

---

**행렬 X 저장** "적률 행렬" 및 "모형 행렬"을 설계 데이터 테이블의 테이블 스크립트에 저장합니다. 이 스크립트에는 적률 및 설계 행렬이 포함됩니다. 자세한 내용은 "사용자 설계" 장의 "[행렬 X 저장](#)"(105 페이지)에서 확인하십시오.

---

**주의 :** 명목형 요인이 있는 설계의 경우 "행렬 X 저장" 옵션으로 저장한 모형 행렬은 선형 모형을 적합시킬 때 사용된 코딩 행렬이 아닙니다. 확증적 모형 적합에서 **모형 실행**을 선택할 때 나타나는 "모형 적합" 보고서에서 "열 저장>코드화 테이블 저장" 옵션을 선택하면 모형 적합에 사용되는 코딩 행렬을 가져올 수 있습니다.

---

**스크립트를 스크립트 창에 저장** "확증적 선별 설계" 창에서 지정한 설계의 스크립트를 생성한 후 열린 스크립트 창에 저장합니다.

## 반응 시뮬레이션

"테이블 생성"을 클릭하여 설계 테이블을 생성할 때 "반응 시뮬레이션" 옵션이 각 반응에 대해 다음을 수행합니다.

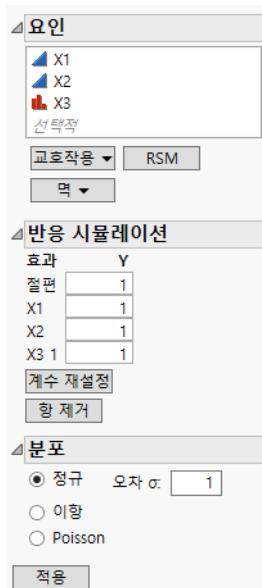
- 설계 테이블의 반응 열에 확률 반응 값을 추가합니다.
- 시뮬레이션 모형 계산식을 포함하는 새 열을 설계 테이블에 추가합니다. 계산식과 값은 주효과 모형에 기초합니다.

모형을 정의하기 위해 효과를 추가 및 제거하고, 모수 값을 지정하고, 시뮬레이션을 위한 반응 분포를 선택할 수 있는 "모형" 창이 열립니다. "모형" 창에서 "적용"을 클릭하면 시뮬레이션 모형 계산식을 포함하는 각 열이 업데이트됩니다.

### 컨트롤 창

그림 7.21에서는 연속형 요인이 두 개( $X_1, X_2$ ), 2수준 범주형 요인이 한 개( $X_3$ ) 있는 설계의 "모형" 창을 보여 줍니다.

**그림 7.21** 반응 시뮬레이션 컨트롤 창



이 창에는 다음과 같은 세 가지 개요가 있습니다.

- 요인
- 반응 시뮬레이션
- 분포

초기 "반응 시뮬레이션" 개요에는 모든 계수의 값이 1인 주효과 모형의 항이 표시됩니다. "분포" 개요에는 오차 표준편차가 1인 정규 분포가 표시됩니다. DOE 창의 "설계 평가"에서 "검정력 분석"의 일부로 "예상 계수"를 설정한 경우, "검정력 분석" 개요에서 "예상 계수" 및 "예상 RMSE"(오차 표준편차)로 지정한 값이 "반응 시뮬레이션" 개요의 초기값이 됩니다.

## 요인

"요인" 개요를 사용하여 시뮬레이션 모형에 항을 추가합니다.

**교호작용** 목록에서 요인을 선택합니다. 그런 다음 "교호작용" 메뉴에서 교호작용 차수를 선택합니다. 해당 교호작용은 "반응 시뮬레이션" 개요의 "효과" 목록에 추가됩니다.

**RSM** 가능한 모든 반응 표면 항을 "반응 시뮬레이션" 개요의 "효과" 목록에 추가합니다.

**멱** 목록에서 요인을 선택합니다. 그런 다음 "멱" 메뉴에서 차수를 선택합니다. 해당 멱은 "반응 시뮬레이션" 개요의 "효과" 목록에 추가됩니다.

## 반응 시뮬레이션

시뮬레이션된 값에 대한 모형을 지정하려면 다음을 수행하십시오.

- "효과" 목록의 각 항에 대해 반응 값을 시뮬레이션하는 데 사용되는 선형 모형의 계수를 입력합니다. 이 값은 선형 함수  $L(\mathbf{x}, \beta) = \mathbf{x}'\beta$ 를 정의합니다. 그림 7.21의 "반응 시뮬레이션" 개요를 참조하십시오.
  - 벡터  $\mathbf{x}$ 는 "효과" 아래에 나열된 효과를 정의하는 항으로 구성됩니다.
  - 벡터  $\beta$ 는 " $\mathbf{Y}$ " 아래에 지정한 모형 계수의 벡터입니다.
- "분포"에서 반응 분포를 선택합니다.
- 적용을 클릭합니다. 시뮬레이션된 값과 계산식을 포함하는 < $\mathbf{Y}$ > 시뮬레이션 열이 설계 테이블에 추가됩니다. 여기서  $\mathbf{Y}$ 는 반응 열의 이름입니다.

**계수 재설정** 모든 계수를 0으로 설정합니다.

**항 제거** "효과" 목록에서 항을 제거합니다. 제거할 효과를 선택하고 "항 제거"를 클릭합니다. 이 때 주효과는 제거할 수 없습니다.

## 분포

"반응 시뮬레이션" 창에서 사용 가능한 다음 분포 중 하나를 선택합니다.

**정규** 정규 분포에서 값을 시뮬레이션합니다. "오차  $\sigma$ "에 정규 분포 오차의 표준편차 값을 입력합니다. "요인" 개요에서 요인의 "변경"을 "어려움"으로 지정한 경우 "주구  $\sigma$ "에 주구 오차 값을 입력할 수 있습니다. 요인의 "변경"을 "어려움" 및 "매우 어려움"으로 지정한 경우에는 하위구 오차와 주구 오차 값을 둘 다 입력할 수 있습니다. "적용"을 클릭하면 모형에 기초하여 확률 반응 벡터가 포함된 계산식과 난수 값이 < $\mathbf{Y}$ > 시뮬레이션 열에 입력됩니다.

**이항** 이항 분포에서 값을 시뮬레이션합니다. "N"에 시도 수 값을 입력합니다. 성공 확률이  $1/(1 + \exp(-L(\mathbf{x}, \beta)))$ 이고 시도 횟수가 N인 이항 분포에 따라 정수인 난수가 생성됩니다. "적용"을

클릭하면 난수 값과 계산식이 <Y> 시뮬레이션 열에 입력됩니다. N 값을 포함하는 시도 수 열도 데이터 테이블에 추가됩니다.

**Poisson** 모수  $\exp(L(\mathbf{x}, \beta))$  를 사용하여 Poisson 분포에 따라 정수인 난수를 시뮬레이션합니다. "적용" 을 클릭하면 난수 값과 계산식이 <Y> 시뮬레이션 열에 입력됩니다.

**참고 :** "테이블 생성" 을 클릭할 때마다 반응을 시뮬레이션하도록 환경 설정을 지정할 수 있습니다. 이렇게 하려면 파일 > 환경 설정 > 플랫폼 > DOE 를 선택합니다. 그런 다음 반응 시뮬레이션 을 선택합니다.

---

## 기술 상세 정보

- " 확증적 선별 설계의 구조 "
- " 실험 데이터 분석 "

### 확증적 선별 설계의 구조

그림 7.22 에서는 8 개의 연속형 요인과 가짜 요인에 해당하는 4 개의 추가 런을 사용한 확증적 선별 설계의 예를 보여 줍니다. 다음을 확인 할 수 있습니다.

- 각 행 쌍은 접기 쌍이며 짹수 번호 행의 값은 이전 행의 -1 배입니다. 설계 접기를 수행하면 2 요인 교호작용과 주효과의 교락이 제거됩니다.
- 각 요인은 3 회 런의 중앙값으로 설정되며 설계 구성과 함께 모든 2 차 효과를 추정할 수 있게 합니다.
- 17 ~ 20 행은 가짜 요인에 해당하는 추가 런입니다.
- 마지막 행에 중앙접 런을 추가하면 절편 및 모든 주효과와 2 차 효과를 포함하는 모형을 적합 시킬 수 있습니다.

이 구조는 연속형 요인에 대한 확증적 선별 설계의 대표적인 예입니다.

그림 7.22 8 개의 연속형 요인에 대한 확증적 선별 설계

런	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8
1	0	1	1	1	1	1	1	1
2	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
3	1	0	-1	-1	-1	-1	1	1
4	-1	0	1	1	1	1	-1	-1
5	1	-1	0	-1	1	1	-1	-1
6	-1	1	0	1	-1	-1	1	1
7	1	-1	-1	0	1	1	1	1
8	-1	1	1	0	-1	-1	-1	-1
9	1	-1	1	1	0	-1	-1	1
10	-1	1	-1	-1	0	1	1	-1
11	1	-1	1	1	-1	0	1	-1
12	-1	1	-1	-1	1	0	-1	1
13	1	1	-1	1	-1	1	0	-1
14	-1	-1	1	-1	1	-1	0	1
15	1	1	-1	1	1	-1	-1	0
16	-1	-1	1	-1	-1	1	1	0
17	1	1	1	-1	-1	1	-1	1
18	-1	-1	-1	1	1	-1	1	-1
19	1	1	1	-1	1	-1	1	-1
20	-1	-1	-1	1	-1	1	-1	1
21	0	0	0	0	0	0	0	0

## 컨퍼런스 행렬 및 런 수

JMP 의 확증적 선별 설계는 컨퍼런스 행렬 (Xiao et al., 2012) 을 사용하여 구성됩니다. 컨퍼런스 행렬은  $m \times m$  행렬  $\mathbf{C}$  입니다. 여기서  $m$  은 짹수입니다.  $\mathbf{C}$  행렬은 대각 항목이 0, 비대각 항목이 1 또는 -1 이고 다음을 충족합니다.

$$\mathbf{C}'\mathbf{C} = (m-1)\mathbf{I}_{mxm}.$$

---

**참고 :**  $m$  의 특정 짹수 값에 대해 컨퍼런스 행렬이 있는지 여부는 알 수 없습니다.

---

요인 수  $k$  가 5 이상이라고 가정해 보겠습니다.  $k \leq 4$  요인인 경우에는 "4개 이하의 요인에 대한 확증적 선별 설계"(250페이지)의 설명을 참조하십시오.

$k$  개의 연속형 요인의 경우 컨퍼런스 행렬을 사용할 수 있다고 가정해 보겠습니다.

- $k$  가 짹수인 경우  $k \times k$  컨퍼런스 행렬을 사용하여 설계의  $k$  회 런을 정의합니다. 음의  $-\mathbf{C}$  는 설계 접기한 런을 정의합니다. 절편, 주효과 및 2 차 효과를 포함하는 모형을 추정할 있도록 설계에 중앙점이 추가됩니다. 따라서 짹수  $k$  에 대해 확증적 선별 설계의 최소 런 수는  $2k+1$  입니다.
- $k$  가 홀수인 경우  $(k+1) \times (k+1)$  컨퍼런스 행렬이 사용되고 마지막 열은 삭제됩니다. 중앙점이 추가됩니다. 따라서 홀수  $k$  에 대해 선별 설계의 최소 런 수는  $2k+3$  입니다.

일부 요인이 범주형이고 컨퍼런스 행렬을 사용할 수 있는 경우 비슷한 프로시저가 사용됩니다. 자세한 내용은 Jones and Nachtsheim(2013)에서 확인하십시오.

- 단일 중앙점 대신 두 개의 추가 렌이 필요합니다. 이 두 렌은 모든 연속형 요인이 중간 값으로 설정된 중앙점 렌입니다.
- $k$  개 요인이 있고  $k$  가 짹수인 경우 설계의 렌 수는  $2k + 2$  입니다.
- $k$  가 홀수인 경우 렌 수는  $2k + 4$  입니다.

컨퍼런스 행렬을 사용할 수 없는  $m$  값에 대해서는 그 다음으로 큰 컨퍼런스 행렬을 사용하여 확증적 선별 설계를 구성할 수 있습니다. 결과적으로 필요한 렌 수는 연속형 요인의 경우  $2k + 3$ , 범주형 요인의 경우  $2k + 4$ 를 초과할 수 있습니다.

## 추가 렌

추가 렌은 가상(가짜) 요인을 사용하여 구성됩니다.  $f$ 개의 가짜 요인을 설계에 추가하면  $2^f$ 개의 추가 렌이 생깁니다.

실험 연구에서 요인 수는  $k$ 로 나타냅니다. 4개 또는 8개의 추가 렌을 설계에 추가할 수 있습니다. 추가 렌은 "컨퍼런스 행렬 및 렌 수"(249페이지)에서 설명된 것처럼  $k + f$ 개의 요인에 대한 설계를 생성한 후 마지막  $f$ 개 열을 삭제하여 구성합니다. 추가 렌이 4개만 있어도 모형 선택에 매우 유용할 수 있습니다.

추가 렌을 사용하는 방법에 대한 자세한 내용은 "확증적 선별 적합 플랫폼" 장의 "DSD를 위한 유효 모형 선택"(255페이지)에서 확인하십시오.

## 4 개 이하의 요인에 대한 확증적 선별 설계

4개 이하의 요인에 대한 확증적 선별 설계는 5개 요인의 확증적 선별 설계를 기준으로 사용하여 구성됩니다. 컨퍼런스 행렬 방법에 따라 염격하게 구성된  $k \leq 4$  요인 설계의 경우 바람직하지 않은 특성이 있기 때문입니다. 특히 2차 효과(second-order effect)를 분리하기가 어렵습니다.

$k \leq 4$  요인을 지정하면 5개 요인에 대한 확증적 선별 설계가 구성되고 불필요한 열이 삭제됩니다. 따라서  $k \leq 4$  요인이 포함된 블록화되지 않은 설계의 렌 수는 모든 요인이 연속형인 경우 13이고 일부 요인이 범주형인 경우에는 14입니다.

## 실험 데이터 분석

일반적으로 이원 교호작용이 활성일 가능성을 허용하는 모형을 적합시키려고 합니다. 순수 2차 항을 모형에 포함할 수도 있습니다. 완전 2차 모형을 가정하거나, 특정 2차 항만 포함하는 사전 모형을 지정할 수 있습니다.

## 이원 교호작용

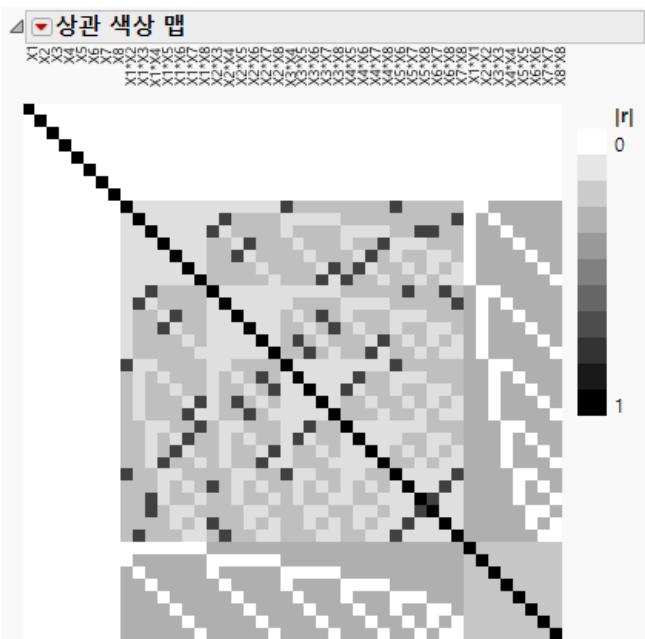
이러한 모형을 적합시킬 때 다음 두 가지 사실을 염두에 두어야 합니다.

- 이원 교호작용 효과와 2 차 효과는 상관되는 경우가 종종 있습니다.

- 이원 교호작용 효과와 2 차 효과를 모두 동시에 추정할 수는 없습니다.

그림 7.23에서는 그림 7.22에 나오는 8개의 연속형 요인을 사용한 설계의 상관 색상 맵을 보여 줍니다. 이 색상 맵은 완전 2차 설계에 대한 것입니다. 8개의 순수 2차 효과는 맨 오른쪽에 나열됩니다. "DOE > 설계 진단 > 설계 평가"를 사용하고 "별칭 항" 목록에 적절한 항을 입력하여 이 그림을 구성할 수 있습니다. 자세한 내용은 "설계 평가" 장의 "별칭 항"(418 페이지)에서 확인하십시오.

그림 7.23 완전 2 차 모형의 상관 색상 맵



효과 간 절대 상관을 보려면 커서로 색상 맵을 가리킵니다. 주효과는 모든 이원 교호작용 및 순수 2차 효과와 상관관계가 없음을 알 수 있습니다. 또한 주대각 위에만 검은색 셀만 있으므로 다른 효과와 완전히 교탁되는 효과가 없다는 것도 알 수 있습니다. 그러나 2요인 교호작용 간의 절대 상관 중 일부는 0.75로 상당히 큰 편입니다. 또한 2요인 교호작용과 순수 2차 효과 간의 절대 상관은 0 또는 0.3118입니다.

주효과와 순수 2차 효과만 활성화된 경우 주효과와 2차 효과가 포함된 포화 모형을 적합시킬 수 있습니다. 이 모형은 3차 이상의 활성 효과가 없다고 가정할 때 비편향 효과 추정값을 산출합니다.

2 차 효과 (second-order effect) 와 관련된 상관관계 때문에 이원 교호작용이 포함된 모형을 적합시키는 데 주의해야 합니다. 분석 방법론에는 다음이 포함되며 첫 번째 방법이 선호됩니다.

- 유효 모형 선택 방법은 특히 많은 효과가 활성일 가능성이 있는 경우에 적합합니다. 자세한 내용은 "확증적 선별 적합 플랫폼" 장의 "DSD를 위한 유효 모형 선택"(255 페이지)에서 확인하십시오.

- 단계별 전진 회귀 또는 모든 가능한 부분집합 회귀는 다음 조건이 충족될 경우에 적합합니다.
    - 활성 효과의 수가 런 수의 절반 이하입니다.
    - 활성 이원 교호작용이 최대 2 개이거나 활성 2 차 효과가 최대 1 개입니다.
- 자세한 내용은 "[단계별 전진 회귀 또는 모든 가능한 부분집합 회귀](#)"(252 페이지)에서 확인하십시오.

### **단계별 전진 회귀 또는 모든 가능한 부분집합 회귀**

이 방법은 먼저 전체 반응 표면 모형을 지정하는 것으로 구성됩니다. 그 후 다음 중 하나를 수행합니다.

- 모형 유전성을 보장하기 위해 "중지 규칙"을 "최소 AICc"로 설정하고 "규칙"을 "결합"으로 설정한 상태로 단계별 전진 회귀를 사용합니다.
- 모든 가능 모형 회귀를 사용합니다. 이때 유전성 제한을 적용하는 옵션을 선택하고 모형 선택에 AICc 기준을 사용합니다.

런 수가 모두의 수보다 적어서 전체 반응 표면 모형을 적합시킬 수 없습니다. 따라서 효과 회소성, 즉 활성 효과의 수가 런 수보다 적다는 가정하에 분석을 수행합니다. 이 방법에는 다음과 같은 몇 가지 제한이 있습니다.

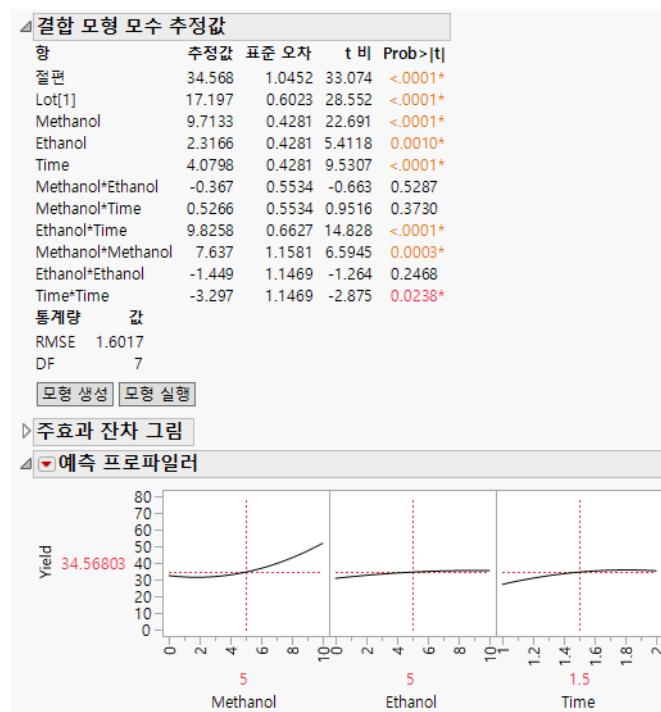
- 활성 효과의 수가 런 수의 절반을 초과하면 단계별 회귀와 모든 가능 모형 회귀 둘 다 적절한 모형을 찾는 데 어려움이 있습니다.
- 중간 2 차 효과를 감지하기 위한 검정력이 낮습니다. 검정력이 0.9를 초과하려면 2 차 효과가 오차 표준편차의 3 배보다 많아야 합니다.
- 효과 교락 때문에 여러 모형이 동등해질 수 있습니다. 교락을 해결하려면 추가 런이 필요합니다.

## 확증적 선별 적합 플랫폼 확증적 선별 실험의 데이터 분석

확증적 선별 적합 플랫폼을 사용하면 DSD를 위한 유효 모형 선택이라는 방법론을 사용하여 DSD(확증적 선별 설계)를 분석할 수 있습니다. 이 방법론은 확증적 선별 설계의 고유 구조를 활용합니다.

DSD에 적용된 표준 모형 선택 방법을 사용하면 활성 효과를 식별하지 못할 수 있습니다. DSD를 위한 유효 모형 선택 알고리즘은 DSD 구조를 활용하여 활성 주효과와 2차 효과(second-order effect)를 식별합니다.

**그림 8.1** 확증적 선별 적합 결과



## 목차

확증적 선별 적합 플랫폼 개요	255
DSD에서 활성 효과 식별	255
DSD를 위한 유효 모형 선택	255
확증적 선별 적합 플랫폼의 예	256
모형 적합	256
결과 검토	256
모형 축소	258
확증적 선별 적합 플랫폼 시작	260
확증적 선별 적합 보고서	260
1단계 - 주효과 추정값	261
2단계 - 짹수 차수 효과 추정값	262
결합 모형 모수 추정값	262
주효과 잔차 그림	263
예측 프로파일러	263
확증적 선별 적합 플랫폼 옵션	263
확증적 선별 적합 플랫폼에 대한 기술 상세 정보	264
DSD를 위한 유효 모형 선택 알고리즘	264

## 확증적 선별 적합 플랫폼 개요

확증적 선별 적합 플랫폼은 DSD의 특수 구조를 활용하는 방법론을 사용하여 DSD(확증적 선별 설계)를 분석합니다. 이 방법론은 DSD를 위한 유효 모형 선택이라고 합니다. JMP에서 설계를 생성하면 "확증적 선별 적합"이라는 스크립트가 설계 테이블에 포함됩니다. 이 스크립트는 DSD를 위한 유효 모형 선택 방법론을 사용하여 자동으로 분석을 실행합니다.

## DSD에서 활성 효과 식별

DSD는 단일 실험에서 주효과와 2차 효과(second-order effect)를 식별하는 데 유용한 3수준 설계입니다. 최소 런 크기 DSD는 활성 효과의 수가 런 수의 약 절반 미만인 경우와 효과 크기가 표준편차의 2배를 초과하는 경우에 높은 확률로 활성 항을 정확하게 식별할 수 있습니다.

그러나 4개 이상의 적절하게 선택된 런으로 최소 런 크기 DSD를 확대하면 높은 확률로 훨씬 더 많은 효과를 식별할 수 있습니다. 이러한 런은 추가 런이라고 하며 가짜 요인이라고 하는 가상의 비활성 요인에 해당합니다. 추가 런에 대한 자세한 내용은 "확증적 선별 설계" 장의 "[확증적 선별 설계의 구조](#)"(248페이지)에서 확인하십시오.

추가 런은 설계의 2차 효과(second-order effect) 감지 능력을 크게 향상시킵니다. 이러한 이유로 Jones and Nachtsheim([2016](#))에서는 최소 4회의 추가 런을 포함할 것을 권장합니다.

## DSD를 위한 유효 모형 선택

DSD에 표준 모형 선택 방법이 적용되면 활성 효과를 식별하지 못할 수 있습니다. 자세한 내용은 Errone et al. ([2017](#))에서 확인하십시오. 또한 표준 선택 방법은 DSD의 구조를 활용하지 않습니다. 확증적 선별 적합 플랫폼은 DSD의 구조를 최대한 활용하는 DSD를 위한 유효 모형 선택 방법을 사용합니다.

Jones and Nachtsheim([2016](#))에서는 표준 방법과 DSD를 위한 유효 모형 선택 방법을 사용한 시뮬레이션 연구 결과를 보고합니다. DSD에서 요인 수와 가짜 요인 수의 합을  $c$ 로 나타냅니다. 여러 상황에서 활성 주효과 수가 3을 초과하면 최대  $c/2$ 개의 활성 2차 효과(second-order effect)를 명확하게 식별할 수 있습니다. 강한 효과 유전성을 가정할 때 활성 주효과가 3개 이하이면 모든 활성 2차 효과(second-order effect)를 명확하게 식별할 수 있습니다. 명확한 식별은 오차 표준편차에 대한 계수 절대값의 비율이 3을 초과하고 효과 감지를 위한 검정력이 0.80을 초과한다는 의미입니다.

확증적 선별 적합 플랫폼 기본 설정은 강한 효과 유전성을 가정합니다. 강한 효과 유전성은 A와 B가 모두 포함된 경우에만 A\*B 교호작용이 모형에 포함될 수 있음을 의미합니다. 강한 효과 유전성을 위해서는 모형 효과의 모든 낮은 차수 성분이 모형에 포함되어야 합니다. 활성 2차 효과(second-order effect)를 식별할 때 이 알고리즘은 강한 효과 유전성 및 앞에서 명확하게 식별할 수 있는 활성 2차 효과(second-order effect) 수에 대해 언급한 결과를 사용합니다.

DSD에서 주효과와 2차 효과(second-order effect)는 서로 직교합니다. DSD를 위한 유효 모형 선택 방법은 이 사실을 활용합니다. 반응의 선형 공간은 주효과가 차지하는 부분 공간과 이 부분

공간의 직교 여공간으로 구분됩니다. Miller and Sitter(2005)에서는 주효과가 차지하는 선형 부분 공간을 홀수 공간이라고 합니다. 주효과, 3요인 효과, 5요인 효과 등 홀수 효과에 대한 모든 정보가 이 공간에 포함되기 때문입니다. 또한 이 공간의 직교 여공간을 짹수 공간이라고 합니다. 절편, 2요인 효과, 4요인 효과 등 짹수 효과에 대한 모든 정보가 이 공간에 포함되기 때문입니다.

확증적 선별 적합은 이 개념을 따릅니다. 주효과가 차지하는 부분 공간은 홀수 공간입니다. 이 공간의 직교 여공간, 즉 짹수 공간에는 2차 효과(second-order effect)와 블록 변수(있는 경우)가 포함됩니다. 이 알고리즘에 대한 자세한 내용은 Jones and Nachtsheim(2016) 및 "DSD를 위한 유효 모형 선택 알고리즘"(264페이지)에서 확인하십시오.

## 확증적 선별 적합 플랫폼의 예

Extraction 3 Data.jmp 샘플 데이터 테이블의 설계는 두 블록의 6 개 요인에 대한 확증적 선별 설계입니다. **2 차 효과 추정을 위해 중앙점 런과 블록 추가** 옵션을 선택하고 추가 런 수를 4 회로 지정하여 설계를 생성했습니다. 결과 설계에 포함된 런 수는 18 회입니다. 이 설계는 확증적 선별 설계의 분석을 탐색하는 데 사용됩니다.

- "모형 적합"
- "결과 검토"
- "모형 축소"

**참고 :** 연속형 요인과 범주형 요인이 있는 설계의 예를 보려면 Peanut Data.jmp 샘플 데이터 파일을 열고 "Fit Definitive Screening" 테이블 스크립트를 실행하십시오.

## 모형 적합

1. 도움말 > 샘플 데이터 라이브러리를 선택하고 Design Experiment/Extraction 3 Data.jmp 를 엽니다.
2. DOE > 확증적 선별 > 확증적 선별 적합을 선택합니다.
3. Yield 를 선택하고 Y 를 클릭합니다.
4. Lot ~ Time 을 선택하고 X 를 클릭합니다.
5. 확인을 클릭합니다.

적합은 2단계 분석을 수행합니다. 알고리즘에 대한 자세한 내용은 "확증적 선별 적합 플랫폼에 대한 기술 상세 정보"(264페이지)에서 확인하십시오.

## 결과 검토

### 1 단계 : 주효과 추정값

1단계에서는 활성 가능성 있는 주효과를 판별합니다.

**그림 8.2** 주효과에 대한 1 단계 보고서

1단계 - 주효과 추정값				
항	추정값	표준 오차	t 비	Prob> t
Methanol	9.7133	0.3674	26.438	<.0001*
Ethanol	2.3166	0.3674	6.3055	0.0015*
Time	4.0798	0.3674	11.104	0.0001*
통계량	값			
RMSE	1.3747			
DF	5			
<input checked="" type="checkbox"/> 이차항 강 유전성 따르기				
<input checked="" type="checkbox"/> 교호작용 강 유전 따르기				

**참고 :** 가짜 요인은 설계 또는 분석에서 요인으로 나타나지 않습니다.

자유도 2의 오차 제곱합은 두 개의 가짜 요인에 해당하는 4회 턴에서 계산됩니다. 가짜 요인은 비활성이므로 이 오차 분산 추정값은 비편향입니다. 각 주효과에 대해 주효과 반응  $Y_{ME}$ 를 이 추정값과 대조하여 검정합니다. 이 예에서는 세 가지 요인 Methanol, Ethanol 및 Time의  $p$  값이 임계값보다 작고 활성으로 유지됩니다. 임계값에 대한 자세한 내용은 "[1단계 방법론](#)"(264페이지)에서 확인하십시오.

세 가지 비활성 요인인 Propanol, Butanol 및 pH의 변동은 가짜 요인 제곱합과 합동하여 그림 8.2에 표시된 자유도 5의 RMSE 통계량을 산출합니다.

## 2 단계 : 짹수 차수 효과 추정값

2 단계에서는 단계별 부분집합 선택 방법을 사용하여 활성 가능성이 있는 2 차 효과(second-order effect) 목록을 생성합니다. 교호작용 및 2 차 항은 2 차(second-order effect) 또는 짹수 차수 효과입니다.

**그림 8.3** 짹수 차수 효과에 대한 2 단계 보고서

2단계 - 짹수 순서 효과 추정값				
항	추정값	표준 오차	t 비	Prob> t
절편	34.568	1.3459	25.683	0.0015*
Lot[1]	17.197	0.7757	22.171	0.0020*
Methanol*Ethanol	-0.367	0.7127	-0.515	0.6581
Methanol*Time	0.5266	0.7127	0.7389	0.5369
Ethanol*Time	9.8258	0.8534	11.514	0.0075*
Methanol*Methanol	7.637	1.4914	5.1208	0.0361*
Ethanol*Ethanol	-1.449	1.477	-0.981	0.4299
Time*Time	-3.297	1.477	-2.232	0.1552
통계량	값			
RMSE	2.0626			
DF	2			

1 단계에서 세 가지 주효과가 활성으로 식별되었으므로 활성 2 차 효과(second-order effect)에 대한 단계별 부분집합 선택 절차는 모든 2 차 효과(second-order effect)가 포함될 때까지 계속될 수 있습니다. 2 단계에서 6개의 2 차 효과(second-order effect)가 모두 보고되므로 2 단계 RMSE가 1 단계 RMSE 보다 더 큽니다. 자세한 내용은 "[2단계 방법론](#)"(266페이지)에서 확인하십시오.

2 단계 보고서에 제공된 자유도 2의 RMSE는 모든 2 차 효과(second-order effect) 6 개의 최종 부분집합에서 얻은 오차 추정값입니다.

## 결합 결과

모형에 대해 선택한 효과가 "결합 모형 모수 추정값" 보고서에 나열됩니다.

**그림 8.4** 결합 모형 모수 추정값 보고서

결합 모형 모수 추정값				
항	추정값	표준 오차	t 비	Prob> t
절편	34.568	1.0452	33.074	<.0001*
Lot[1]	17.197	0.6023	28.552	<.0001*
Methanol	9.7133	0.4281	22.691	<.0001*
Ethanol	2.3166	0.4281	5.4118	0.0010*
Time	4.0798	0.4281	9.5307	<.0001*
Methanol*Ethanol	-0.367	0.5534	-0.663	0.5287
Methanol*Time	0.5266	0.5534	0.9516	0.3730
Ethanol*Time	9.8258	0.6627	14.828	<.0001*
Methanol*Methanol	7.637	1.1581	6.5945	0.0003*
Ethanol*Ethanol	-1.449	1.1469	-1.264	0.2468
Time*Time	-3.297	1.1469	-2.875	0.0238*
통계량	값			
RMSE	1.6017			
DF	7			

보고서 맨 아래에 제공된 RMSE와 자유도는 일반적인 표준 최소 제곱 통계량입니다. 이러한 효과를 최종 모형에 대한 잠재 요인으로 사용합니다.

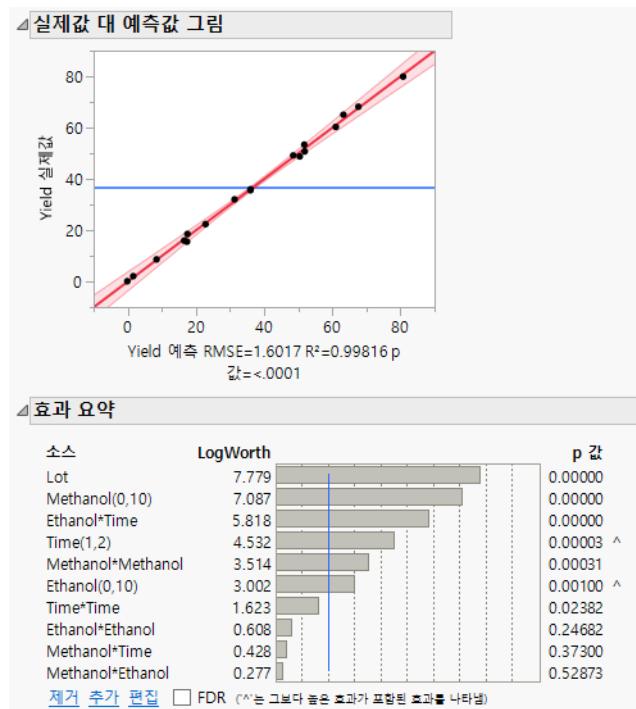
## 모형 축소

"모형 생성" 버튼은 "모형 적합" 규격 창에 나열된 항에 맞는 모형을 생성합니다. 표준 최소 제곱을 사용하여 모형을 직접 실행하려면 "모형 실행" 버튼을 클릭합니다.

### 1. 모형 실행을 클릭합니다.

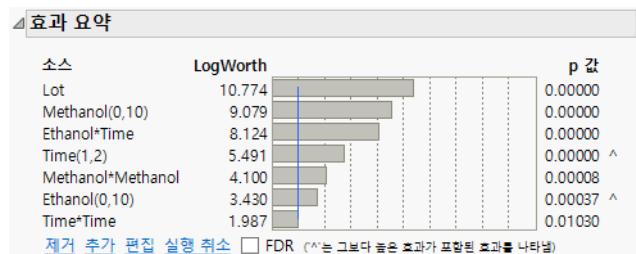
"실제값 대 예측값 그림"은 적합 결여가 없음을 보여 줍니다. "효과 요약" 보고서는 모형을 더 축소할 수 있음을 나타냅니다.

그림 8.5 실제값 대 예측값 그림 및 효과 요약 보고서



2. "효과 요약" 보고서에서 Methanol\*Ethanol 을 선택하고 제거를 클릭합니다 . Methanol\*Time 의 p 값은 0.33750 입니다 . 다음에 이 효과를 제거합니다 .
3. "효과 요약" 보고서에서 Methanol\*Time 을 선택하고 제거를 클릭합니다 . Ethanol\*Ethanol 의 p 값은 0.15885 입니다 . 다음에 이 효과를 제거합니다 .
4. "효과 요약" 보고서에서 Ethanol\*Ethanol 을 선택하고 제거를 클릭합니다 .

그림 8.6 최종 모형의 효과를 보여 주는 효과 요약 보고서



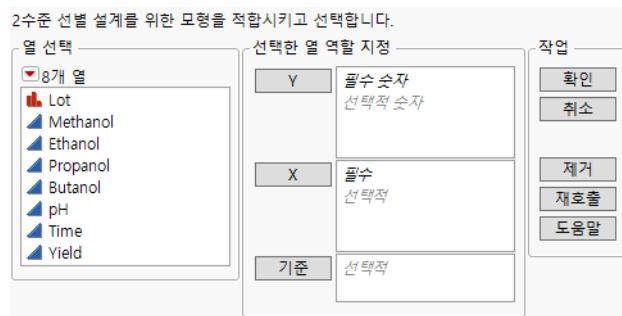
나머지 효과는 유의합니다 . 이러한 효과가 활성 효과인 것으로 결론을 내릴 수 있습니다 .

## 확증적 선별 적합 플랫폼 시작

확증적 선별 적합 플랫폼을 시작하려면 **DOE > 확증적 선별 > 확증적 선별 적합**을 선택합니다. 그림 8.7의 시작 창은 Extraction3 Data.jmp를 사용합니다.

**참고 :** JMP에서 설계를 생성하면 "확증적 선별 적합"이라는 스크립트가 설계 테이블에 포함됩니다. 분석을 바로 시작하려면 이 스크립트를 실행하십시오.

**그림 8.7** 확증적 선별 적합 시작 창



Y 하나 이상의 수치형 반응 변수입니다.

X 연속형 또는 2 수준 범주형 요인입니다. 이 플랫폼은 분석을 수행할 때 DSD의 고유 기능을 사용하므로 이러한 요인으로 DSD 또는 설계 접기를 정의해야 합니다.

**기준** 각 수준으로 개별 분석을 정의하는 열입니다. 지정된 열의 각 수준에 대해 해당하는 행이 분석됩니다. 결과는 별도의 보고서에 나타납니다. 기준 변수가 둘 이상 할당되면 기준 변수의 가능한 각 수준 조합에 대해 개별 분석이 생성됩니다.

"열 선택"의 빨간색 삼각형 메뉴에 포함된 옵션에 대한 자세한 내용은 JMP 사용의에서 확인하십시오.

## 확증적 선별 적합 보고서

- "1 단계 - 주효과 추정값"
- "2 단계 - 짹수 차수 효과 추정값"
- "결합 모형 모수 추정값"
- "주효과 잔차 그림"
- "예측 프로파일러"

## 1 단계 - 주효과 추정값

"주효과 추정값" 보고서에는 활성으로 식별된 주효과가 나열됩니다.  $p$  값이  $p$  값 임계보다 작은 주효과가 활성으로 간주됩니다.

- 가짜 요인 또는 중앙점 반복 실험이 있는 경우 모형과 독립적인 오차 분산 추정량이 생성됩니다. 이 추정값과 대조하여 주효과를 검정합니다.
- 가짜 요인 또는 중앙점 반복 실험이 없는 경우 비활성 주효과에서 생성된 오차 분산 추정값과 대조하여 주효과 부분집합을 순차적으로 검정합니다. 이 절차를 실행하려면 하나 이상의 주효과가 비활성이어야 합니다.

두 경우 모두 비활성 주효과의 변동은 주효과를 검정하는 데 사용된 오차 분산에 통합됩니다.

**그림 8.8** 1 단계 보고서

1단계 - 주효과 추정값				
항	추정값	표준 오차	t 비	Prob> t
Methanol	9.7133	0.3674	26.438	<.0001*
Ethanol	2.3166	0.3674	6.3055	0.0015*
Time	4.0798	0.3674	11.104	0.0001*
통계량	값			
RMSE	1.3747			
DF	5			
<input checked="" type="checkbox"/> 이차항 강 유전성 따르기				
<input checked="" type="checkbox"/> 교호작용 강 유전 따르기				

**항** 활성으로 식별된 주효과입니다. "1 단계 방법론"(264 페이지)에 설명된 대로 검정했을 때 이 효과의  $p$  값은 임계값보다 작습니다.

**추정값** 주효과에 대한 Y 회귀 적합의 모수 추정값입니다.

**표준 오차** 1 단계 RMSE를 사용하여 계산된 추정값의 표준 오차입니다.

**t 비** 추정값을 표준 오차로 나눈 값입니다.

**Prob>|t|** t 비와 오차 DF(자유도)를 사용하여 계산된  $p$  값입니다.

**RMSE** 1 단계 분석 결과로 구한 평균 제곱 오차의 제곱근입니다.

- 가짜 요인 또는 중앙점 반복 실험이 있는 경우, 평균 제곱 오차는 활성으로 식별되지 않은 주효과에서 생성되는 분산 추정값과 합동된 가짜 요인 또는 중앙점의 분산 추정값입니다.
- 가짜 요인 또는 중앙점 반복 실험이 없는 경우, 평균 제곱 오차는 활성으로 식별되지 않은 주효과에서 생성되는 분산 추정값입니다.

**DF** RMSE를 생성하는 데 사용되는 오차 추정값과 관련된 자유도입니다.

- 가짜 요인 또는 중앙점 반복 실험이 있는 경우 DF는 가짜 요인 수, 중앙점 반복 실험 수 및 활성으로 식별되지 않은 주효과 수의 합입니다.
- 가짜 요인 또는 중앙점 반복 실험이 없는 경우 DF는 활성으로 식별되지 않은 주효과 수입니다.

**2 차 항 강 유전성 따르기** 2 단계에서 2 차 항에 적용되는 유전성 규칙을 제어하려면 선택하거나 선택 해제합니다.

**교호작용 강 유전성 따르기** 2단계에서 교호작용에 적용되는 유전성 규칙을 제어하려면 선택하거나 선택 해제합니다.

**참고 :** 강한 효과 유전성은 A 와 B 가 모두 포함된 경우에만 A\*B 교호작용이 모형에 포함될 수 있음을 의미합니다. 강한 효과 유전성을 위해서는 모형 효과의 모든 낮은 차수 성분이 모형에 포함되어야 합니다.

## 2 단계 - 짹수 차수 효과 추정값

"쫙수 차수 효과 추정값" 보고서에는 활성으로 식별된 2 차 효과(second-order effect)가 나열됩니다. 활성 2 차 효과(second-order effect)는 "[2단계 방법론](#)"(266 페이지)에 설명된 대로 단계별 변수 선택 절차 또는 전진 선택을 사용하여 식별됩니다. 블록 효과(포함된 경우)도 유의성과 관계없이 나열됩니다.

**그림 8.9** 2 단계 보고서

2단계 - 짹수 순서 효과 추정값				
	추정값	표준 오차	t 비	Prob> t
항				
절편	34.568	1.3459	25.683	0.0015*
Lot[1]	17.197	0.7757	22.171	0.0020*
Methanol*Ethanol	-0.367	0.7127	-0.515	0.6581
Methanol*Time	0.5266	0.7127	0.7389	0.5369
Ethanol*Time	9.8258	0.8534	11.514	0.0075*
Methanol*Methanol	7.637	1.4914	5.1208	0.0361*
Ethanol*Ethanol	-1.449	1.477	-0.981	0.4299
Time*Time	-3.297	1.477	-2.232	0.1552
통계량	값			
RMSE	2.0626			
DF	2			

**항** 활성으로 식별된 블록 요인 및 2 차 효과 (second-order effect) 입니다.

**추정값**  $Y_{2nd}$  로 정의된 2 단계 2 차 효과 (second-order effect) 에 대한 Y 회귀 적합의 모수 추정 값입니다. 자세한 내용은 "[반응 분해](#)"(264 페이지)에서 확인하십시오.

**표준 오차** 2 단계 RMSE 를 사용하여 계산된 추정값의 표준 오차입니다.

**t 비** 추정값을 표준 오차로 나눈 값입니다.

**Prob>|t|** t 비와 오차 DF( 자유도 )를 사용하여 계산된  $p$  값입니다.

**RMSE** 2 단계 분석 결과로 구한 평균 제곱 오차의 제곱근입니다. RMSE 는 활성으로 식별된 2 차 효과 (second-order effect) 를 적합시킨 후  $Y_{2nd}$  의 잔차 분산으로 추정됩니다. 자세한 내용은 "[반응 분해](#)"(264 페이지)에서 확인하십시오.

**DF** RMSE 를 생성하는 데 사용되는 오차 추정값과 관련된 자유도입니다.

## 결합 모형 모수 추정값

"결합 모형 모수 추정값" 보고서에는 최종 모형의 항과 각 항의 표준 최소 제곱 추정값, 표준 오차, t 비,  $p$  값, RMSE 및 모형 자유도가 나열됩니다.

보고서 아래에는 결합 모형을 생성하거나 실행하는 버튼이 있습니다.

**그림 8.10** 결합 모형 모수 추정값 보고서

결합 모형 모수 추정값				
항	추정값	표준 오차	t 비	Prob> t
절편	34.568	1.0452	33.074	<.0001*
Lot[1]	17.197	0.6023	28.552	<.0001*
Methanol	9.7133	0.4281	22.691	<.0001*
Ethanol	2.3166	0.4281	5.4118	0.0010*
Time	4.0798	0.4281	9.5307	<.0001*
Methanol*Ethanol	-0.367	0.5534	-0.663	0.5287
Methanol*Time	0.5266	0.5534	0.9516	0.3730
Ethanol*Time	9.8258	0.6627	14.828	<.0001*
Methanol*Methanol	7.637	1.1581	6.5945	0.0003*
Ethanol*Ethanol	-1.449	1.1469	-1.264	0.2468
Time*Time	-3.297	1.1469	-2.875	0.0238*
통계량	값			
RMSE	1.6017			
DF	7			
		모형 생성	모형 실행	

**모형 생성** "결합 모형 모수 추정값" 보고서의 모형 항과 "확증적 선별 적합" 분석에 지정된 반응을 포함하는 "모형 적합" 항에 대한 모형을 생성합니다. "표준 최소 제곱" 분석법이 지정됩니다.

**모형 실행** "결합 모형 모수 추정값" 보고서의 모형 항과 "확증적 선별 적합" 분석에 지정된 반응에 대한 표준 최소 제곱 적합을 실행합니다.

## 주효과 잔차 그림

다른 모든 요인에 적합된 주효과 모형의 잔차 대 표시된 요인의 수준에 대한 그림을 보여 줍니다. 수준에 따라 잔차가 다른 요인은 중요한 주효과를 나타냅니다.

**참고 :** 블록 요인에 대한 그림은 없습니다.

## 예측 프로파일러

결합 모형에 대한 예측 프로파일러를 보여 줍니다. 예측 프로파일러에 대한 자세한 내용은 Profilers의에서 확인하십시오.

## 확증적 선별 적합 플랫폼 옵션

**1 단계 p 값 설정** 1 단계에 사용되는  $p$  값을 설정합니다. 자세한 내용은 "[1 단계 방법론](#)"(264 페이지)에서 확인하십시오.

**2 단계 비율 설정** 1 단계 MSE에 대한 2 단계 MSE의 비율을 지정합니다. 자세한 내용은 "[2 단계 방법론](#)"(266 페이지)에서 확인하십시오.

다음 옵션에 대한 자세한 내용은 JMP 사용의에서 확인하십시오.

**로컬 데이터 필터** 특정 보고서에서 사용되는 데이터를 필터링 할 수 있는 로컬 데이터 필터를 표시하거나 숨깁니다.

**다시 실행** 분석을 반복하거나 다시 시작할 수 있는 옵션이 포함되어 있습니다. 이 기능을 지원하는 플랫폼에서 "자동 재계산" 옵션은 해당하는 보고서 창에서 데이터 테이블에 대한 변경 사항을 즉시 반영합니다.

**스크립트 저장** 보고서를 재생성하는 스크립트를 여러 대상에 저장할 수 있는 옵션이 포함되어 있습니다.

## 확증적 선별 적합 플랫폼에 대한 기술 상세 정보

### DSD 를 위한 유효 모형 선택 알고리즘

이 섹션에서는 확증적 선별 적합 플랫폼에 사용되는 알고리즘의 요약 정보를 제공합니다. 자세한 내용은 Jones and Nachtsheim(2016)에서 확인하십시오.

#### 반응 분해

유효 모형 선택 알고리즘은 반응  $Y$  를  $Y_{ME}$  와  $Y_{2nd}$  라는 두 가지 반응으로 표현하여  $Y = Y_{ME} + Y_{2nd}$  가 되도록 합니다.

-  $Y_{ME}$  는 주효과 및 가짜 요인에 대한  $Y$  회귀에서 구한 예측값입니다.

설계의 접기 구조 때문에  $Y_{ME}$  에 블록 요인을 포함할 필요가 없습니다. 블록 요인은  $Y_{2nd}$ 에 포함됩니다.

-  $Y_{2nd}$  는  $Y_{2nd} = Y - Y_{ME}$  로 지정됩니다.

**참고 :** DSD에서  $Y_{ME}$  열과  $Y_{2nd}$  열은 직교입니다.

분석은 다음 두 단계로 진행됩니다.

- 1 단계 : 반응  $Y_{ME}$  를 사용하여 주효과를 식별합니다. 1 단계에서는 활성으로 간주되는 주효과를 식별합니다.
- 2 단계 : 반응  $Y_{2nd}$  를 사용하여 2 차 효과 (second-order effect) 를 식별합니다. 2 단계에서는 1 단계의 활성 주효과에 있는 모든 2 차 항을 고려하고 이러한 포함 효과 중에서 활성으로 간주되는 부분집합을 결정합니다.

**참고 :** 블록 요인이 있으면 유의하지 않더라도 2 단계의 효과 목록에 포함됩니다.

### 1 단계 방법론

1 단계 방법론은 설계에 가짜 요인 또는 중앙점 반복 실험이 포함되는지 여부에 따라 달라집니다.

### 사례 1: 가짜 요인 또는 중앙점 반복 실험이 있는 경우

1. 가짜 요인 또는 중앙점 반복 실험을 사용하면 모형과 독립적인 오차 분산 추정량이 생성됩니다. 3 차 이상의 홀수 차수 활성 효과가 없다고 가정할 경우 이 추정값은 비편향입니다.
2.  $Y_{ME}$  를 사용하여 주효과를 이 추정값과 대조하여 검정합니다.  $p$  값이  $p$  임계보다 작은 주효과가 활성으로 간주됩니다. 임계값은 다음과 같습니다.
  - 오차 자유도가 1 인 경우 임계값은 0.20입니다.
  - 오차 자유도가 2 인 경우 임계값은 0.10입니다.
  - 오차 자유도가 3 이상인 경우 임계값은 0.05입니다.
  - 사용자 지정  $p$  값이 임계값입니다.

**참고 :** 다른  $p$  값 임계를 지정하려면 " 확증적 선별 적합 " 의 빨간색 삼각형 메뉴에서 **1 단계 p 값 설정** 을 선택하십시오 .

3. 주효과의  $p$  값이 임계값보다 작지 않으면 활성 주효과 및 활성 2 요인 효과가 없다는 결론을 내립니다. 절차가 종료됩니다.
4. 활성 주효과가 발견되면 비활성 주효과의 변동이 (1) 에서 생성된 오차 분산과 통합됩니다.

**참고 :** 범주형 요인이 설계에 있는 경우 주효과가 활성으로 선택될 때마다 추정 계수가 다시 계산됩니다.

### 사례 2: 가짜 요인 또는 중앙점 반복 실험이 없는 경우

이 경우에는 모형에 독립적인 오차 분산 추정량이 제공되지 않습니다. 비활성 주효과에서 생성된 오차 분산 추정값과 대조하여 주효과 부분집합을 순차적으로 검정합니다.  $m$  개의 주효과가 있다고 가정해 보겠습니다.

1.  $Y_{ME}$  를 반응으로 사용한 추정 효과의 절대값이 내림차순으로 정렬됩니다.
2. 각  $1 \leq i < m$  에 대해 절대값이  $i^{\text{th}}$  번째로 큰 효과를 해당 효과 및 절대값이 더 큰 모든 효과가 포함된 모형의 조정된 잔차 제곱합과 대조하여 검정합니다.
3. 모형에서  $p$  값이 가장 작은 효과가 활성 효과로 간주됩니다.
4. 활성 주효과가 발견되면 비활성 주효과의 변동을 사용하여  $Y_{ME}$  를 반응으로 사용한 오차 분산의 추정값을 생성합니다.

**참고 :** 사례 2에서 확증적 선별 적합 절차가 제대로 작동하려면 주효과 중 하나 이상이 활성이어야 하고 하나 이상이 비활성이어야 합니다. 활성 주효과가 없거나 모든 주효과가 활성이라면 절차에서 주효과 집합이 식별되지만 해당 부분집합을 얻기 위한 절차의 정확성이 떨어집니다.

## 2 단계 방법론

2단계에서 고려되는 요인은 강 유전성 옵션에 따라 달라집니다. 강 유전성이 선택되면 1단계에서 주효과가 활성으로 식별된 요인과 관련된 2차 효과(second-order effect)만 고려됩니다. 2단계 방법론은 1단계에서 식별된 활성 주효과의 수에 따라 달라집니다.

### 사례 1: 활성 주효과가 7 개 이하인 경우

2단계에서는 단계별 부분집합 선택 절차를 사용합니다. 목표는 1단계의 RMSE에 대한 2단계의 RMSE 비율이 지정된 임계값보다 큰 경우 계속해서 모형에 2차 효과(second-order effect)를 추가하는 것입니다. 비율이 임계값보다 작거나 같으면 모형에 추가할 2차 효과(second-order effect)가 더 없음을 나타냅니다. 기본 임계값은 1입니다. 임계값이 작을수록 더 큰 임계값에 비해 활성으로 식별될 수 있는 항 수가 증가합니다.

---

**참고 :** RMSE 비율 임계값을 1 이 아닌 다른 값으로 지정하려면 " 확증적 선별 적합 " 의 빨간색 삼각형 메뉴에서 **2 단계 비율 설정**을 선택하십시오 .

---

#### 2 단계에서

- 오차 자유도가 1 인 경우 임계값은 0.20 입니다 .
  - 오차 자유도가 2 인 경우 임계값은 0.10 입니다 .
  - 오차 자유도가 3 이상인 경우 임계값은 0.05 입니다 .
  - 사용자 지정  $p$  값이 임계값입니다 .
1.  $Y_{2nd}$  의 변동을 1 단계의 오차 추정값과 대조하여 검정한 후 2 차 효과 (second-order effect)로 인한 추가 변동이 있는지 여부를 판별합니다 .
    - 이 검정의  $p$  값이 임계값을 초과하면 절차가 종료되고 활성 2 차 효과 (second-order effect)가 식별되지 않습니다 .
  2. 이 검정의  $p$  값이 임계값보다 작거나 같으면  $k$  크기 ( $k = 1,2,3,\dots$ ) 의 부분집합이  $k = 1$  부터 시작하여 계속 검정됩니다 .
  3. 각  $k$ 에 대해 해당 크기의 각 부분집합에 대한 잔차 제곱합을 1 단계의 오차 추정값과 대조하여 검정합니다 . RMSE 가 가장 작은 부분집합이 식별됩니다 .
  4. 1 단계 RMSE 에 대한 RMSE 의 비율이 2 단계 비율보다 작은  $k$  가 발견될 때까지 절차가 계속 됩니다 .
  5. 최종값  $k$ 에 해당하는 앞선 부분집합의 효과는 활성 2 요인 효과로 간주됩니다 .

### 사례 2: 활성 주효과가 8 개 이상인 경우

1단계에서 활성 주효과가 8개 이상 식별된 경우 2단계에서는 2차 항에 대해 전진 선택을 사용합니다.

## 선별 설계

선별 설계는 산업 실험에 가장 많이 사용되는 설계 중 하나입니다. 대개 실험 초기 단계에서 사용되며 여러 요인을 검토하여 반응에 가장 큰 영향을 미치는 요인을 식별합니다. 요인이 식별되면 좀 더 민감한 설계를 사용하여 해당 요인을 연구합니다. 일반적으로 선별 설계에 필요한 실험 턴 수가 다른 설계보다 적기 때문에 공정 개선을 시작하기 위한 비교적 저렴하고 효율적인 방법입니다.

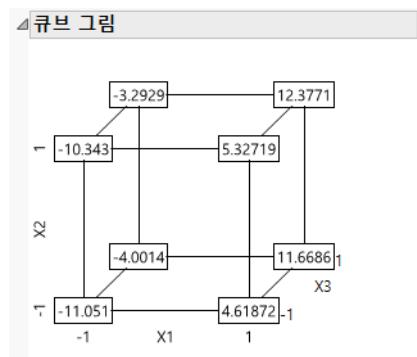
실험 상황에 맞는 표준 선별 설계가 있는 경우 몇 가지 표준 선별 설계 중에서 선택할 수 있습니다. 해당되는 경우 블록화된 설계도 목록에 포함됩니다. 요인은 2수준 연속형 요인, 3수준 범주형 요인 또는 이산형 값만 가정할 수 있는 연속형 요인(이산 수치형 요인)일 수 있습니다.

그러나 표준 선별 설계를 사용할 수 없는 상황이 있습니다. 이러한 경우 선별 설계 플랫폼은 주효과와 선별 설계를 구성합니다. 주효과 선별 설계는 직교 또는 근사 직교 설계입니다. 이 설계는 무시할 수 있는 교호작용이 있는 경우 주효과를 추정하는 데 중점을 둡니다.

또한 JMP는 다음과 같이 선별 설계를 대신하는 두 가지 방법을 제공합니다.

- 확증적 선별 설계는 활성 2 요인 교호작용이 있다고 생각되거나, 반응에 대한 연속형 요인의 효과 그림에 강한 곡률이 나타난다고 의심되는 경우에 특히 유용합니다. 자세한 내용은 [7 장, "확증적 선별 설계"](#)에서 확인하십시오.
- 사용자 설계는 다른 방법을 사용하여 구성한 설계보다 훨씬 유연하고 비용 효율적입니다. 자세한 내용은 [4 장, "사용자 설계"](#)에서 확인하십시오.

**그림 9.1** 부분 요인 설계의 결과



## 목차

선별 설계 개요	269
기본 원리	269
선별 설계 결과 분석	269
선별 설계의 예	270
부분 요인 설계와 주효과 선별 설계 비교	270
표준 설계가 없는 경우의 주효과 선별 설계	277
선별 설계 창	279
반응	280
요인	282
선별 유형 선택	284
부분 요인 설계 목록에서 선택	285
설계 유형	285
교락 측도를 나타내는 해상도	288
설계 표시 및 수정	289
주효과 선별 설계	291
설계 생성	292
설계	293
설계 평가	293
출력 옵션	293
테이블 생성	294
선별 설계 옵션	295
선별 설계의 추가 예	298
부분 요인 설계에서 생성 규칙 수정	298
Plackett-Burman 설계	303

## 선별 설계 개요

선별 실험은 대개 규모가 작고 반응에 영향을 미치는 요인을 식별하는 데 목적이 있습니다. 정교한 모델링 대신 식별이 목표이므로 선별 설계의 연속형 요인은 보통 두 가지 수준으로 설정됩니다. 그러나 선별 상황에 이산 수치형 요인이나 범주형 요인도 포함될 수 있으며 이 경우 전통적 선별 설계는 상황에 적합하지 않을 수 있습니다. 선별 설계 플랫폼은 세 가지 유형의 요인, 즉 2 수준 연속형 요인, 범주형 요인 및 이산 수치형 요인을 모두 처리할 수 있습니다.

이 설계에는 다음과 같은 두 가지 유형이 있습니다.

- 전통적 설계 : 표준 선별 설계가 있는 경우 부분 요인 설계, Plackett-Burman, Cotter 및 혼합 수준 설계가 포함된 목록에서 선택할 수 있습니다.
- 주효과 선별 설계 : 표준 설계가 가능한지 여부에 관계없이 JMP에 주효과 선별 설계를 구성하도록 요청할 수 있습니다. 이 설계는 직교 또는 근사 직교이며, 무시할 수 있는 교호작용이 있는 경우 주효과를 추정하는 데 중점을 둡니다. 자세한 내용은 "[주효과 선별 설계](#)"(291 페이지)에서 확인하십시오.

## 기본 원리

실험 공정의 초기에 주효과 연구에 중점을 두는 것은 효과 계층성이라는 경험적 원리에 의해 뒷받침됩니다. 이 원리는 낮은 차수 효과가 높은 차수 효과보다 중요할 가능성이 높다고 주장합니다. 이러한 이유로 선별 설계는 활성 주효과를 식별하는 데 중점을 둡니다. 차수가 높은 교호작용에 관심이 있는 경우 선별 설계는 2요인 교호작용이 3요인 교호작용보다 중요하다고 가정합니다. 자세한 내용은 Wu and Hamada(2009) 및 "DOE로 시작" 장의 "[효과 계층성](#)"(60페이지)에서 확인하십시오.

선별 설계의 효율성은 효과 희소성 원리에도 영향을 받습니다. 효과 희소성 원리는 반응에 대한 대부분의 변동이 상대적으로 적은 수의 효과로 설명된다고 주장합니다. 자세한 내용은 "DOE로 시작" 장의 "[효과 희소성](#)"(61페이지)에서 확인하십시오.

효과 희소성의 중요성을 제대로 이해하기 위해 7개의 2 수준 요인이 있다고 가정해 보겠습니다. 완전 요인 설계와 선별 설계를 비교해 보십시오.

- 완전 요인 설계는 요인 수준의 모든 조합으로 구성됩니다. 런 수는 각 요인에 대한 수준 수의 곱입니다. 이 예에서 완전 요인 설계의 런 수는  $2^7 = 128$  회입니다.
- 반면에 선별 설계에는 완전 요인 설계의 런 중 일부만 필요합니다. 7개 요인의 주효과를 8회 런 선별 설계로 연구할 수 있습니다.

## 선별 설계 결과 분석

선별 설계는 많은 수의 요인 또는 교호작용을 검정하는 데 종종 사용됩니다. 오차 자유도가 있어 오차 추정값을 생성할 수 있는 경우 일반적인 회귀 기법을 사용하여 실험 결과를 분석할 수 있습니다("분석 > 모형 적합").

그러나 오차 자유도가 없는 경우가 있습니다. 이 경우 효과 희소성을 가정하면 선별 플랫폼 ("DOE > 전통적 설계 > 2수준 선별 > 2수준 선별 적합")에서 2수준 설계의 결과를 분석하는 방법을 제공합니다. 선별 플랫폼은 여러 개의 반응과 요인을 허용합니다. 그림과 통계량으로 유의한 효과를 자동으로 표시합니다. 자세한 내용은 "["2수준 선별 적합 플랫폼"](#) 장(309페이지)"에서 확인하십시오. 현재 장에 나오는 예는 "["부분 요인 설계에서 생성 규칙 수정"](#)(298페이지) 및 "["Plackett-Burman 설계"](#)(303페이지)"에서 확인하십시오.

## 선별 설계의 예

- "["부분 요인 설계와 주효과 선별 설계 비교"](#)
- "["표준 설계가 없는 경우의 주효과 선별 설계"](#)

### 부분 요인 설계와 주효과 선별 설계 비교

이 예에서는 엔지니어가 전자 빔 용접기를 사용하여 두 부품을 결합하는 공정을 조사하려는 경우를 가정해 보겠습니다. 엔지니어는 두 부품을 용접 고정기에 꼭 맞게 끼웁니다. 빔 발전기에 전압이 가해지면 두 부품을 가열하는 전자 흐름이 생성되어 융합을 일으킵니다. 융합 영역의 이상적인 깊이는 0.17인치입니다. 엔지니어는 용접 공정을 연구하여 빔 발전기에서 원하는 융합 영역 깊이를 만들 수 있는 최적의 설정을 판별하려고 합니다.

이 연구를 위해 엔지니어는 다음과 같은 7 개 요인을 탐색하려고 합니다.

- Operator 는 용접기를 조작하는 기술자입니다. 일반적으로 두 명의 기술자가 기계를 작동합니다.
- Speed(rpm) 는 부품이 빔 아래에서 회전하는 속도입니다.
- Current( 암페어 ) 는 빔 강도에 영향을 주는 전류입니다.
- Mode 는 사용되는 용접 방법입니다.
- Wall Size(mm) 는 부품 벽의 두께입니다.
- Geometry 는 조인트가 V 형 조인트인지 아니면 K 형 조인트인지를 나타냅니다.
- Material 은 용접되는 재료 유형입니다.

여기서 세 가지 요인 Speed, Current, Wall Size는 연속형입니다. 네 가지 요인 Operator, Mode, Geometry 및 Material은 범주형입니다. 각 범주형 요인의 수준은 2개입니다.

엔지니어는 각 공정이 실행된 후 부품을 반으로 자릅니다. 이로써 두 부품이 융합된 부분이 드러납니다. 이 융합 영역의 깊이(인치)는 용입 깊이입니다. 용입 깊이가 이 연구의 반응입니다.

연구 목표는 다음과 같습니다.

- 용접 깊이에 영향을 주는 요인을 찾습니다.
- 요인 효과를 계량화합니다.
- 용접 깊이 0.17 인치 ( 공차  $\pm 0.05$  인치 ) 를 예측하는 특정 요인 설정을 찾습니다.

실험 예산으로 최대 12회 런이 가능합니다. 실험 상황에 대한 두 가지 설계를 구성하고 비교해 봅니다. 첫 번째 방법은 8회 런을 사용한 전통적 부분 요인 설계입니다. 두 번째 방법은 12회 런을 사용한 주효과 선별 설계입니다.

## 표준 선별 설계 구성

이 섹션에서는 현재 실험 상황에 대한 표준 선별 설계를 구성합니다.

### 반응 지정

1. **DOE > 전통적 설계 > 2 수준 선별 > 선별 설계**를 선택합니다.
2. "반응" 패널에서 "반응 이름" 아래의 Y를 두 번 클릭하고 Depth를 입력합니다.

기본 목표는 최대화로 되어 있습니다. 이 실험에서는 허용 한계 (0.12, 0.22) 내에서 목표 깊이 0.17을 얻을 수 있는 요인 설정을 찾으려고 합니다.

3. 기본 목표 최대화를 클릭한 후 **목표값 일치**로 변경합니다.
4. **하한** 아래를 클릭하고 0.12를 입력합니다.
5. **상한** 아래를 클릭하고 0.22를 입력합니다.
6. **중요도** 아래 영역은 비워둡니다.

반응이 하나뿐이므로 기본적으로 반응의 중요도가 1로 지정됩니다.

완료된 반응 개요는 그림 9.2에 나와 있습니다. 이제 요인을 지정합니다.

### 요인 지정

수동 또는 자동으로 요인을 입력할 수 있습니다.

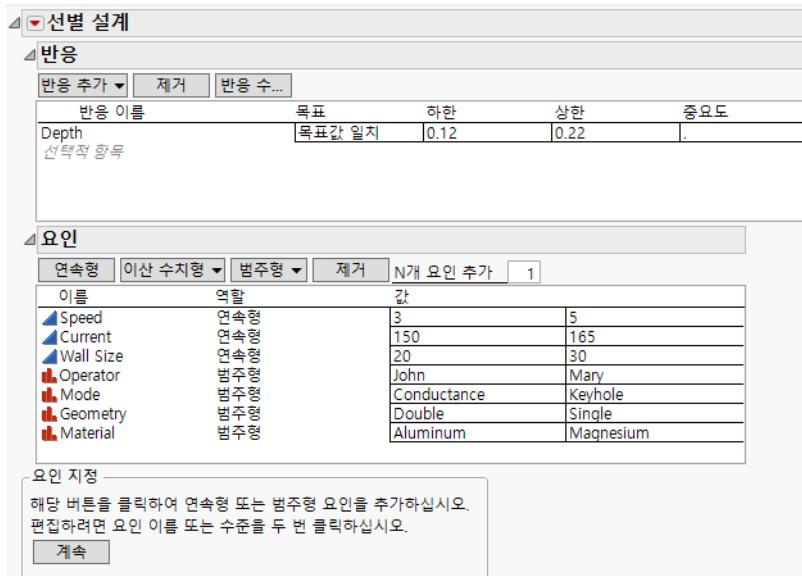
- 요인을 수동으로 입력하려면 "**수동으로 요인 지정**"(271 페이지)의 내용을 참조하십시오.
  - 요인을 자동으로 입력하려면 Weld Factors.jmp 데이터 테이블을 사용하십시오.
1. **도움말 > 샘플 데이터 라이브러리**를 선택하고 Design Experiment/Weld Factors.jmp를 엽니다.
  2. "선별 설계"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **요인 불러오기**를 선택합니다. "**설계 선택**"(272 페이지)으로 진행합니다.

### 수동으로 요인 지정

1. **N 개 요인 추가** 상자에 **3**을 입력하고 **연속형**을 클릭합니다.
2. X1을 두 번 클릭하고 Speed를 입력합니다.
3. Tab 키를 사용하여 나머지 값 및 요인에서 이동합니다. 다음과 같이 변경합니다.
  - a. Speed 값을 3과 5로 변경합니다.
  - b. X2를 Current로 변경하고 값을 150과 165로 변경합니다.

- c. X3 을 Wall Size 로 변경하고 값을 20 과 30 으로 변경합니다 .
4. **N 개 요인 추가** 상자에 4 를 입력하고 **범주형 > 2 수준**을 선택합니다 .
5. X4 를 두 번 클릭하고 **Operator** 를 입력합니다 .
6. Tab 키를 사용하여 나머지 값 및 요인에서 이동합니다 . 다음과 같이 변경합니다 .
- Operator 값을 John 과 Mary 로 변경합니다 .
  - X5 를 Mode 로 변경하고 값을 Conductance 와 Keyhole 로 변경합니다 .
  - X6 을 Geometry 로 변경하고 값을 Double 과 Single 로 변경합니다 .
  - X7 을 Material 로 변경하고 값을 Aluminum 과 Magnesium 으로 변경합니다 .

**그림 9.2** 용접 실험을 위한 반응 및 요인 개요



### 설계 선택

1. **계속**을 클릭합니다 .

지정한 요인과 수준 조합을 표준 부분 요인 설계에서 수용할 수 있으므로 "선별 유형 선택" 패널이 나타납니다 . 목록에서 표준 설계를 선택하거나 주효과 설계를 구성할 수 있습니다 .

**참고 :** 다음 단계에서 난수 시드값을 설정하면 이 예에 나오는 결과가 재현됩니다 . 설계를 직접 구성할 때는 이 단계가 필요하지 않습니다 .

- (선택 사항) "선별 설계" 의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **난수 시드값 설정**을 선택한 후 12345 를 입력하고 **확인**을 클릭합니다 .
- 기본 선택인 **부분 요인 설계 목록에서 선택**을 적용하고 **계속**을 클릭합니다 .
- 첫 번째 부분 요인 설계를 선택합니다 .

그림 9.3 연속형 요인 3 개와 범주형 요인 4 개에 대한 설계 목록

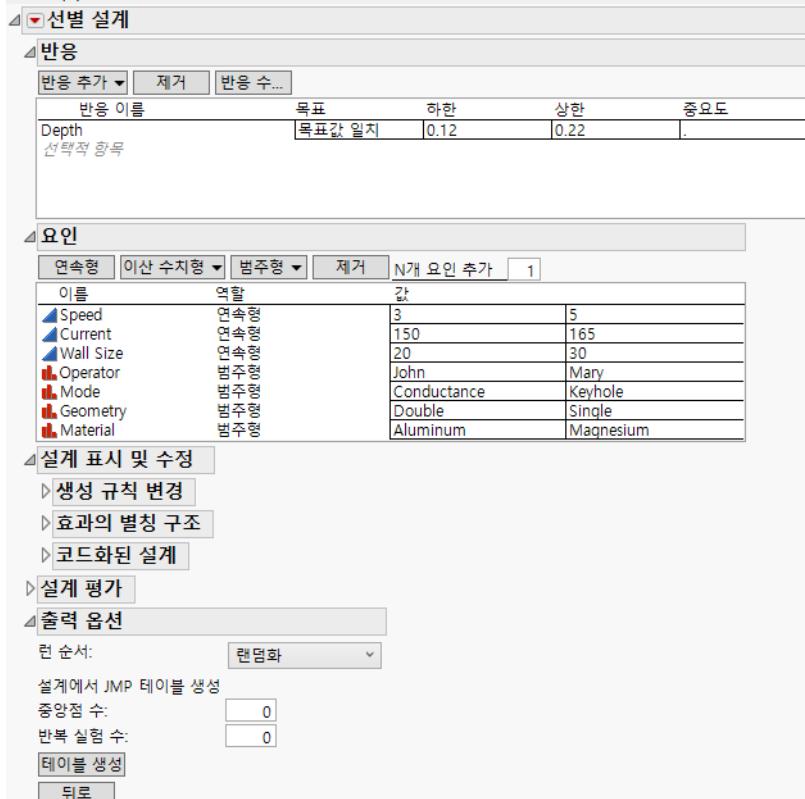
설계 목록		
목록에서 해당 행을 클릭하여 설계를 선택하십시오.		
수 블록	해상도	- 추정 가능한 항목
8	부분 요인	3 - 주효과만
12	Plackett-Burman	3 - 주효과만
16	부분 요인	4 - 몇 가지 2요인 교호작용
16 8	부분 요인	4 - 몇 가지 2요인 교호작용
16 4	부분 요인	4 - 몇 가지 2요인 교호작용
16 2	부분 요인	4 - 몇 가지 2요인 교호작용
32	부분 요인	4 - 몇 가지 2요인 교호작용
32 16	부분 요인	4 - 몇 가지 2요인 교호작용
32 8	부분 요인	4 - 몇 가지 2요인 교호작용
32 4	부분 요인	4 - 몇 가지 2요인 교호작용
32 2	부분 요인	4 - 몇 가지 2요인 교호작용
64	부분 요인	5+ - 모든 2요인 교호작용
64 32	부분 요인	5+ - 모든 2요인 교호작용
64 16	부분 요인	5+ - 모든 2요인 교호작용

이렇게 하면 8 회 런의 해상도 3 부분 요인 설계가 지정됩니다. 해상도에 대한 자세한 내용은 "[교락 측도를 나타내는 해상도](#)"(288 페이지)에서 확인하십시오.

5. **계속**을 클릭합니다.

"출력 옵션" 개요에서 "런 순서"가 **랜덤화**로 설정되어 있습니다. 이는 설계 런이 랜덤 순서로 나타난다는 의미입니다. 이 순서대로 실험 런을 구성해야 합니다.

**그림 9.4** 완료된 선별 설계 창



6. "설계 표시 및 수정"에서 "효과의 별칭 구조" 개요를 엽니다.

**그림 9.5** 8 회 런 부분 요인 설계의 별칭 구조

효과의 별칭 구조	
효과	별칭
Speed	= Current*Material = Wall Size*Geometry = Operator*Mode
Current	= Speed*Material = Wall Size*Mode = Operator*Geometry
Wall Size	= Speed*Geometry = Current*Mode = Operator*Material
Operator	= Speed*Mode = Current*Geometry = Wall Size*Material
Mode	= Speed*Operator = Current*Wall Size = Geometry*Material
Geometry	= Speed*Wall Size = Current*Operator = Mode*Material
Material	= Speed*Current = Wall Size*Operator = Mode*Geometry

해상도 3 설계를 선택했습니다 (그림 9.3). 해상도 3 설계에서는 일부 주효과가 이원 교호작용과 교락됩니다. "효과의 별칭 구조" 개요에서는 이 해상도 3 설계에서 모든 주효과가 3 개의 이원 교호작용과 완전히 교락되어 있음을 나타냅니다. 이원 교호작용의 활성이 의심된다면 이것은 잘못된 설계입니다. 교락에 대한 설명은 "[2 수준 정칙 부분 요인](#)"(286 페이지)에서 확인하십시오.

7. 테이블 생성을 클릭합니다.

그림 9.6 설계 데이터 테이블

	패턴	Speed	Current	Wall Size	Operator	Mode	Geometry	Material	Depth
1	++++++	5	165	30	Mary	Keyhole	Single	Magnesium	.
2	-+-+--	3	165	20	Mary	Conductance	Single	Aluminum	.
3	+--+--	5	150	30	John	Conductance	Single	Aluminum	.
4	-----+	3	150	20	John	Keyhole	Single	Magnesium	.
5	-+---+-	3	165	30	John	Keyhole	Double	Aluminum	.
6	+-+-++	5	165	20	John	Conductance	Double	Magnesium	.
7	+--++--	5	150	20	Mary	Keyhole	Double	Aluminum	.
8	--++--+	3	150	30	Mary	Conductance	Double	Magnesium	.

다음을 확인할 수 있습니다.

- 이 테이블에는 앞에서 지정한 반응, 요인 및 수준 이름이 사용됩니다.
- 패턴 열에는 설계 런에 대한 상한 및 하한 설정 할당이 표시됩니다.
- 이 부분 요인 설계는 해상도 3 설계입니다. 이 설계를 사용하여 8 회 런으로 7 개 요인의 주효과를 연구할 수 있습니다.

### 주효과 선별 설계 생성

주효과 선별 설계는 직교 또는 근사 직교 설계입니다. 이 섹션에서는 7 개 요인에 대한 주효과 선별 설계를 구성합니다.

1. "선별 설계" 창을 엽니다. 창을 닫았으면 설계 데이터 테이블에서 **DOE 대화상자** 스크립트를 실행합니다.
2. **뒤로**를 클릭합니다.
3. **계속**을 클릭합니다.

---

**참고 :** 다음 두 단계에서 난수 시드값과 시작 수를 설정하면 이 예에 나오는 것과 정확히 같은 결과가 재현됩니다. 설계를 직접 구성할 때는 이러한 단계가 필요하지 않습니다.

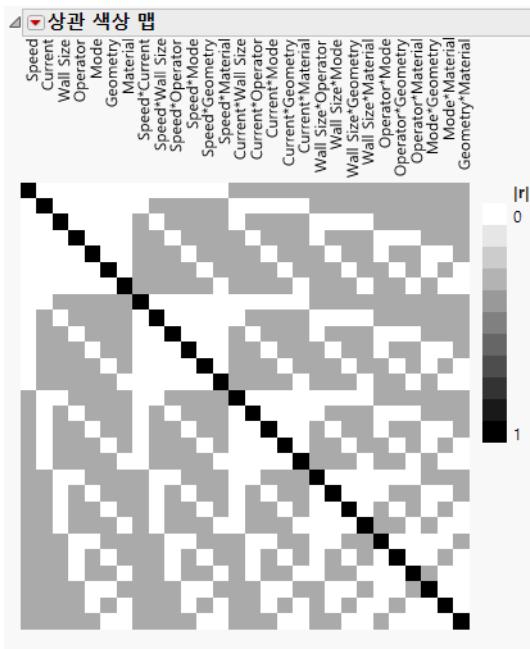
---

4. (선택 사항) "선별 설계"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **난수 시드값 설정**을 선택한 후 12345를 입력하고 **확인**을 클릭합니다.
5. (선택 사항) "선별 설계"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **시작 수**를 선택한 후 50을 입력하고 **확인**을 클릭합니다.
6. "선별 유형 선택" 패널에서 **주효과 선별 설계 생성** 옵션을 선택합니다.
7. **계속**을 클릭합니다.  
"런 수" 아래에 런 수가 12로 설정된 **기본값** 옵션이 선택되어 있습니다. 이 설정을 그대로 유지합니다.
8. **설계 생성**을 클릭합니다.

**그림 9.7** 주효과와 선별 설계

설계								
번	Speed	Current	Wall Size	Operator	Mode	Geometry	Material	
1	3	165	20	John	Conductance	Single	Aluminum	
2	5	150	30	Mary	Conductance	Double	Aluminum	
3	3	150	30	John	Keyhole	Double	Aluminum	
4	5	165	20	Mary	Keyhole	Double	Magnesium	
5	3	165	20	Mary	Conductance	Double	Aluminum	
6	5	150	20	John	Conductance	Double	Magnesium	
7	3	150	30	Mary	Conductance	Single	Magnesium	
8	5	150	20	John	Keyhole	Single	Aluminum	
9	3	165	30	John	Keyhole	Double	Magnesium	
10	5	165	30	John	Conductance	Single	Magnesium	
11	3	150	20	Mary	Keyhole	Single	Magnesium	
12	5	165	30	Mary	Keyhole	Single	Aluminum	

9. "설계 평가" 개요를 열고 "상관 색상 맵" 개요를 엽니다.

**그림 9.8** 12 회 런 주효과와 선별 설계의 상관 색상 맵

"상관 색상 맵"에서는 주효과 간에 상관관계가 없음을 보여 줍니다. 이는 색상 맵 왼쪽 위의 흰색 비대각 셀로 표시됩니다. 각 주효과는 일부 이원 교호작용과 부분적으로 별칭 관계가 있습니다(회색 셀로 표시). 회색 셀 중 하나를 커서로 가리키면 절대 상관이 0.333으로 표시됩니다.

이 경우 12 회 런 주효과 선별 설계는 Plackett-Burman 설계이며 "설계 목록"에서 선택할 수 있습니다. 그러나 많은 설계 상황에서는 주효과 설계에서 발생하는 부분 별칭 구조가 실험 상황에 맞게 조정한 부분 요인 설계에서 발생하는 완전 교란보다 낫습니다.

다음 섹션에서는 표준 설계가 없는 상황에 대한 예를 보여 줍니다. 이 경우 JMP는 주효과 선별 설계를 구성합니다.

## 표준 설계가 없는 경우의 주효과 선별 설계

주효과 선별 설계는 주효과에 대한 직교 또는 근사 직교 설계입니다. 표준 설계가 없는 상황에서 표준 설계 대신 이 설계를 사용할 수 있습니다. 주효과 선별 설계는 교호작용을 무시할 수 있는 경우 주효과를 추정하는 데 탁월합니다.

이 실험 상황에서는 표준 설계가 없습니다. 각각 수준이 4 개, 6 개인 범주형 요인 2 개와 연속형 요인이 11 개인 총 13 개 요인을 연구하기 위한 설계가 필요합니다.

1. **DOE > 전통적 설계 > 2 수준 선별 > 선별 설계**를 선택합니다.

"반응" 패널에 Y라는 기본 반응이 하나 있습니다. 기본 반응을 그대로 유지합니다.

2. "요인" 패널에서 **범주형**을 클릭하고 **4 수준**을 선택합니다.

L1 ~ L4 수준이 지정된 X1 변수가 추가됩니다.

3. **범주형**을 클릭하고 **6 수준**을 선택합니다.

L1 ~ L6 수준이 지정된 X2 변수가 추가됩니다.

4. **N 개 요인 추가** 옆에 11을 입력합니다.

5. **연속형**을 클릭합니다.

각각 두 개의 수준 (-1과 1)이 지정된 11개 요인 X3 ~ X13이 추가됩니다.

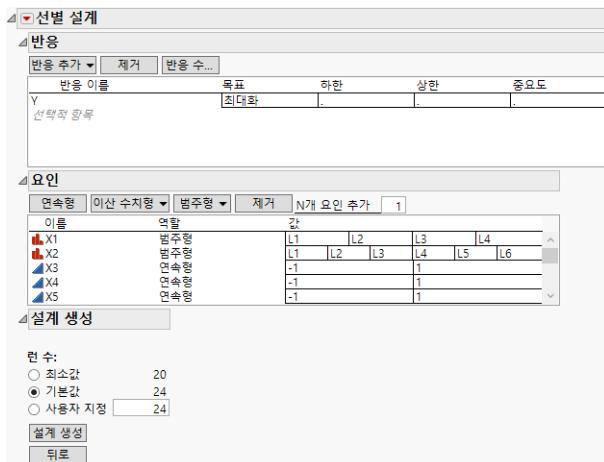
6. **계속**을 클릭합니다.

"설계 생성" 패널이 나타납니다.

이 상황에서 사용할 수 있는 표준 설계가 없으므로 "설계 목록"에서 설계를 선택하는 옵션이 없습니다.

기본 런 수, 24를 그대로 유지합니다.

**그림 9.9** 설계 생성 패널이 있는 13 개 요인 설계를 위한 선별 설계 창



7. **설계 생성**을 클릭합니다.

"설계" 및 "설계 평가" 개요가 나타납니다.

8. "설계" 개요를 열어 랜덤화된 설계를 확인합니다.

---

**참고 :** 설계를 생성하는 알고리즘은 랜덤 시작 설계를 사용합니다. 이 설계를 재현하려면 보고서 제목 옆의 빨간색 삼각형 메뉴에서 **스크립트를 스크립트 창에 저장**을 선택하여 난수 시드값과 함께 스크립트를 저장하십시오.

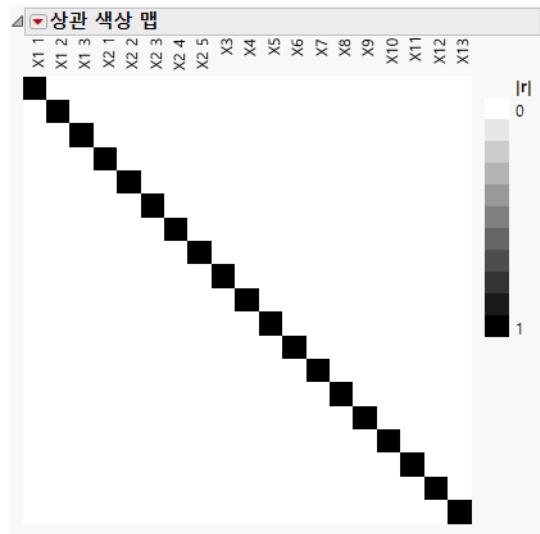
---

이제 "상관 색상 맵"을 검토하여 이 특정 설계가 직교인지 확인합니다.

9. **설계 평가 > 상관 색상 맵** 개요를 엽니다.

색상 맵 (그림 9.10)의 주대각 위에 검은색 항목 (JMP 기본 색상 사용)이 표시되어 상관계수가 1인 상관관계를 나타냅니다. 각 주대각 셀은 항 자체의 상관관계(1)에 해당하기 때문입니다. 비대각 상관은 모두 흰색이며 개별 항 간의 상관관계가 0임을 나타냅니다. 관련 항 및 해당 항의 절대 상관을 표시하려면 셀을 커서로 가리킵니다.

그림 9.10 상관 색상 맵



10. 테이블 생성을 클릭하여 설계 테이블을 구성합니다.

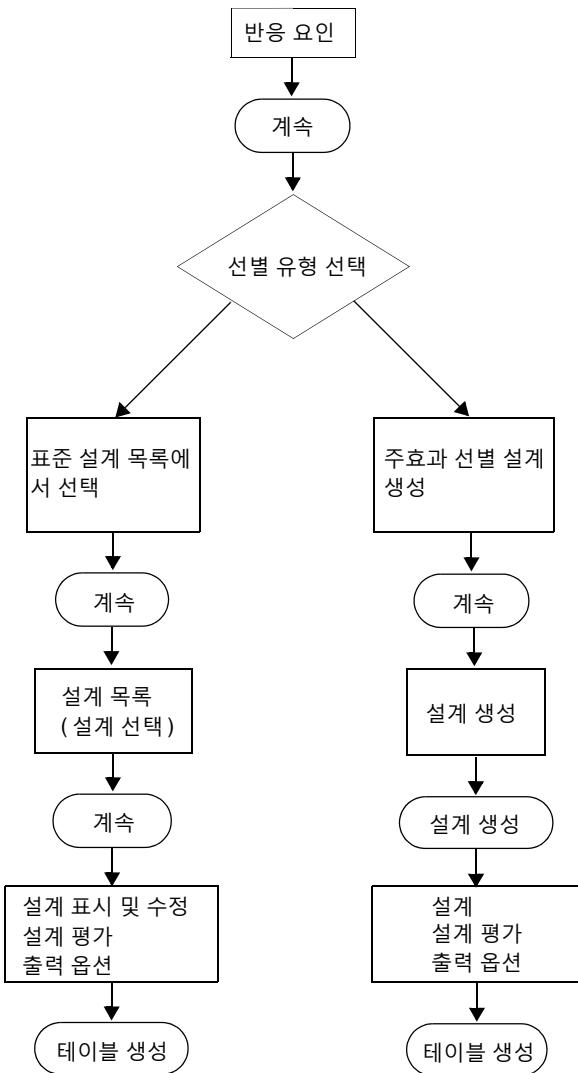
이 테이블에는 실험 런이 랜덤 순서로 포함되어 있습니다. 랜덤화된 이 순서로 실험을 수행하고 결과를 Y 열에 삽입합니다. 데이터 테이블에서 모형 스크립트를 실행하여 결과를 분석합니다.

---

## 선별 설계 창

설계 단계를 진행하는 동안 "선별 설계" 창이 업데이트됩니다. 자세한 내용은 "[DOE 워크플로우: 기술, 지정, 설계](#)"(56페이지)에서 확인하십시오. 개요는 창을 업데이트하는 버튼을 클릭할 때 구분되어 나타납니다. 이러한 개요는 아래 그림의 흐름을 따릅니다.

**그림 9.11** 표준 설계가 있을 때 선별 설계 흐름



**그림 9.12** 표준 설계가 없을 때 선별 설계 흐름

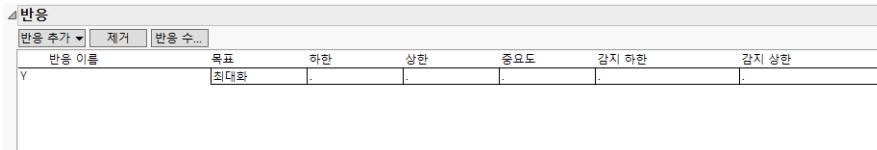


## 반응

"반응" 개요를 사용하여 하나 이상의 반응을 지정합니다.

**팁 :** "반응" 개요를 완료하면 빨간색 삼각형 메뉴에서 **반응 저장**을 선택하는 것이 좋습니다. 이 옵션을 사용하면 반응 이름, 목표, 하한 및 중요도 값을 데이터 테이블에 저장하여 나중에 DOE 플랫폼에서 다시 불러올 수 있습니다.

**그림 9.13** 반응 개요



**반응 추가** "최대화", "목표값 일치", "최소화", "없음" 또는 "함수" 목표 유형을 사용하여 단일 반응을 입력합니다. "목표값 일치"를 선택하는 경우 목표값 한계를 입력해야 합니다. "최대화" 또는 "최소화"를 선택하는 경우에는 한계를 입력할 필요가 없지만 만족도 함수를 사용하려면 입력하는 것이 유용할 수 있습니다.

**JMP PRO 함수** (JMP Pro에서만 사용할 수 있음) 설계 데이터 테이블에 FDE 열 특성을 가진 여러 개의 Y 열을 추가합니다. 이러한 열은 DOE 요인을 보조 요인으로 사용하는 함수 데이터 탐색기 플랫폼에 사용할 수 있습니다.

**제거** 선택한 반응을 제거합니다.

**반응 수** 입력한 수가 총 반응 수가 되도록 추가 반응을 입력합니다. 기본값 Y 이외의 반응을 입력한 경우 각 추가 반응의 목표는 마지막에 입력한 반응과 관련된 목표입니다. 그렇지 않은 경우에는 기본적으로 "목표값 일치"로 설정됩니다. 테이블에서 "목표" 유형을 클릭하여 목표를 변경할 수 있습니다.

"반응" 개요에는 다음과 같은 열이 포함되어 있습니다.

**반응 이름** 반응의 이름입니다. 반응을 추가하면 Y, Y2 등의 기본 이름이 지정됩니다. 이 이름을 변경하려면 이름을 두 번 클릭한 후 원하는 이름을 입력합니다.

**목표, 하한, 상한** "목표"는 반응 최대화, 반응 최소화, 목표값 일치 또는 반응 목표 없음 중에서 무엇을 원하는지 JMP에 알려 줍니다. JMP는 이러한 지정에 따라 설계 테이블의 각 반응 열에 "반응 한계" 열 특성을 할당합니다. 이 정보를 사용하여 각 반응에 대한 만족도 함수를 정의합니다. "프로파일러" 및 "등고선 프로파일러"는 만족도 함수를 사용하여 최적 요인 설정을 찾습니다. 자세한 내용은 Profilers의 "Profiler" 장 및 "열 특성" 부록의 "반응 한계"(730페이지)에서 확인하십시오.

- "최대화" 목표는 가장 큰 값이 가장 좋음을 나타냅니다. 자연 하한 또는 상한이 있는 경우 이를 "하한" 또는 "상한"으로 지정할 수 있습니다.
- "최소화" 목표는 가장 작은 값이 가장 좋음을 나타냅니다. 자연 하한 또는 상한이 있는 경우 이를 "하한" 또는 "상한"으로 지정할 수 있습니다.
- "목표값 일치" 목표는 특정 목표값이 가장 좋음을 나타냅니다. 기본 목표값은 하한과 상한의 중간으로 가정됩니다.

- "없음" 목표는 최적화에 관한 목표가 없음을 나타냅니다. 만족도 함수가 구성되지 않습니다.

**참고 :** 목표 반응이 하한과 상한의 중간이 아닌 경우에는 설계 테이블을 생성한 후 목표값을 변경할 수 있습니다. 데이터 테이블에서 반응 열의 "열 정보" 창을 열고 (**열 > 열 정보**) 원하는 목표값을 입력하십시오.

**중요도** 반응이 여러 개인 경우 지정한 중요도 값을 사용하여 전체 만족도 함수를 계산합니다. 이러한 값은 반응에 대한 가중치로 처리됩니다. 반응이 하나뿐이면 기본적으로 1로 설정되므로 중요도를 지정할 필요가 없습니다.

**JMP PRO** **감지 한계** 하한 및 상한 감지 한계는 반응을 측정할 수 있는 경계를 정의하며 이 경계를 벗어나면 반응을 측정할 수 없습니다. 감지 한계는 열 특성으로 저장됩니다. 이러한 한계를 사용하여 일반화 회귀 플랫폼에서 중도절단 반응을 지정할 수 있습니다. 자세한 내용은 선형 모형 적합의 일반화 회귀 장에서 확인하십시오.

### 반응 개요 편집

"반응" 개요에서 다음 사항에 유의하십시오.

- 반응 이름을 편집하려면 해당 반응을 두 번 클릭합니다.
- 목표를 클릭하여 변경할 수 있습니다.
- 한계 또는 중요도 가중치를 클릭하여 변경할 수 있습니다.
- 반응이 여러 개인 경우 중요도 가중치 값을 입력할 수 있습니다.

### 반응 한계 열 특성

반응을 입력할 때 지정하는 "목표", "하한", "상한" 및 "중요도"를 사용하여 최적 요인 설정을 찾습니다. 각 반응에 대한 정보는 생성된 설계 데이터 테이블에 "반응 한계" 열 특성으로 저장됩니다. JMP에서는 이 정보를 사용하여 만족도 함수를 정의합니다. 만족도 함수는 최적 요인 설정을 찾기 위해 "예측 프로파일러"에서 사용됩니다. "반응 한계" 열 특성에 대한 자세한 내용과 사용 예는 "열 특성" 부록의 "[반응 한계](#)"(730페이지)에서 확인하십시오.

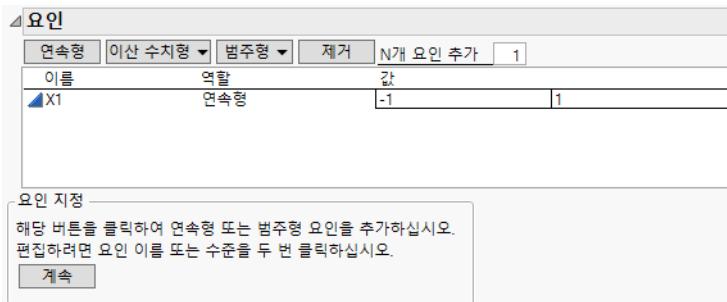
하한과 상한을 지정하지 않으면 JMP는 반응에 대해 관측된 데이터 범위를 사용하여 만족도 함수의 한계를 정의합니다. 하한과 상한을 지정하면 만족도 함수의 규격을 제어할 수 있습니다. 만족도 함수 구성에 대한 자세한 내용은 **Profilers**의 "Profiler" 장에서 확인하십시오.

### 요인

"요인" 개요에서 요인을 추가합니다.

**팁 :** "요인" 개요를 완료하면 빨간색 삼각형 메뉴에서 **요인 저장**을 선택하는 것이 좋습니다. 이 옵션을 사용하면 요인 이름, 역할, 변경 및 값을 데이터 테이블에 저장하여 나중에 DOE 플랫폼에서 다시 불러올 수 있습니다.

그림 9.14 요인 개요



**연속형** 연속형 요인을 추가합니다. 결과 데이터 테이블의 데이터 유형은 숫자입니다. 연속형 요인은 개념적으로 공정 및 측정 시스템의 제한을 고려하여 사용자가 제공하는 하한과 상한 사이의 어떤 값이든 설정할 수 있는 요인입니다.

**이산 수치형** 이산 수치형 요인을 추가합니다. 이산 수치형 요인은 이산형 숫자 값만 가질 수 있습니다. 이러한 값에는 목시적 순서가 있습니다. 결과 데이터 테이블의 데이터 유형은 숫자입니다.

선별 설계는 이산 수치형 요인의 모든 수준을 포함하며 수준의 균형을 맞추려고 시도합니다. "모형 적합"에서는 이산 수치형 요인을 연속형 예측 변수로 처리합니다.

수준 수가  $k$  개 ( $k > 2$ ) 인 이산 수치형 요인의 기본값은 정수  $1, 2, \dots, k$ 입니다.  $k = 2$  수준이 있는 이산 수치형 요인의 기본값은 -1과 1입니다. 기본값을 실험에 사용할 설정으로 바꿉니다.

**범주형** 범주형 요인을 추가합니다. 클릭하여 수준 수를 선택하거나 지정합니다. 결과 데이터 테이블의 데이터 유형은 문자입니다. 수준의 값 순서는 왼쪽에서 오른쪽으로 입력되는 값의 순서입니다. 이 순서는 설계 데이터 테이블이 생성된 후 "값 순서" 열 특성에 저장됩니다.

범주형 요인의 기본값은  $L_1, L_2, \dots, L_k$ 이며 여기서  $k$ 는 지정한 수준 수입니다. 기본값을 실험과 관련된 수준 이름으로 바꿉니다.

**제거** 선택한 요인을 제거합니다.

**N 개 요인 추가** 여러 요인을 추가합니다. 추가할 요인 수를 입력하고 **요인 추가**를 클릭한 후 요인 유형을 선택합니다. 유형이 다른 여러 요인을 추가하려면 **N 개 요인 추가**를 반복합니다.

## 요인 개요

"요인" 개요에는 다음과 같은 열이 포함되어 있습니다.

**이름** 요인의 이름입니다. 요인을 추가하면  $X_1, X_2$  등의 기본 이름이 지정됩니다. 이 이름을 변경하려면 이름을 두 번 클릭한 후 원하는 이름을 입력합니다.

**역할** 요인의 설계 역할입니다. 요인의 "설계 역할" 열 특성은 데이터 테이블에 저장됩니다. 이 특성은 요인 유형이 적절하게 모델링되도록 합니다. 요인의 역할에 따라 데이터 테이블에 저장되는 다른 요인 특성이 결정됩니다. 자세한 내용은 "[요인 열 특성](#)"(284 페이지)에서 확인하십시오.

**값** 요인에 대한 실험 설정입니다.

## 요인 개요 편집

" 요인 " 개요에서 다음 사항에 유의하십시오 .

- 요인 이름을 편집하려면 해당 요인 이름을 두 번 클릭합니다 .
- 값을 편집하려면 " 값 " 열의 값을 클릭합니다 .

## 요인 열 특성

각 요인에 대해 " 선별 설계 " 창에서 " 테이블 생성 " 을 선택하여 설계를 생성하면 다양한 열 특성이 설계 테이블에 저장됩니다 . 또한 " 요인 저장 " 옵션을 선택할 때 생성되는 데이터 테이블에도 이러한 특성이 자동으로 저장됩니다 . 이러한 열 특성 및 관련 예에 대한 자세한 내용은 [부록 A](#), " 열 특성 " 에서 확인하십시오 .

**코딩** " 역할 " 이 " 연속형 " 또는 " 이산 수치형 " 인 경우 요인의 " 코딩 " 열 특성이 저장됩니다 . 이 특성은 하한값과 상한값이 각각 -1 과 +1 에 해당하도록 요인 값을 변환합니다 . 자세한 내용은 " 열 특성 " 부록의 [" 코딩 "](#)(739 페이지 ) 에서 확인하십시오 .

**값 순서** " 역할 " 이 " 범주형 " 이거나 블록 변수가 구성된 경우 요인의 " 값 순서 " 열 특성이 저장됩니다 . 이 특성은 요인 수준이 나타나는 순서를 결정합니다 . 자세한 내용은 " 열 특성 " 부록의 [" 값 순서 "](#)(755 페이지 ) 에서 확인하십시오 .

**설계 역할** 각 요인에 " 설계 역할 " 열 특성이 지정됩니다 . 요인을 정의할 때 지정하는 역할에 따라 " 설계 역할 " 열 특성의 값이 결정됩니다 . 블록이 있는 설계를 선택하면 해당 블록 요인에 " 블록화 " 값이 할당됩니다 . " 설계 역할 " 특성은 실험 데이터를 모델링할 때 요인이 어떤 용도로 사용되는지를 반영합니다 . " 설계 역할 " 값은 설계 확대 플랫폼에서 사용됩니다 . 자세한 내용은 " 열 특성 " 부록의 [" 설계 역할 "](#)(737 페이지 ) 에서 확인하십시오 .

**요인 변경** 각 요인에 값이 " 쉬움 " 인 " 요인 변경 " 열 특성이 할당됩니다 . " 요인 변경 " 특성은 실험 데이터를 모델링할 때 요인이 사용되는 방식을 반영합니다 . " 요인 변경 " 값은 설계 확대 및 설계 평가 플랫폼에서 사용됩니다 . 자세한 내용은 " 열 특성 " 부록의 [" 요인 변경 "](#)(752 페이지 ) 에서 확인하십시오 .

**블록당 런 수** 블록 요인에 대해 각 블록에서 허용되는 최대 런 수를 나타냅니다 . " 요인 " 개요에 " 블록화 " 요인이 지정되면 해당 요인에 대해 " 블록당 런 수 " 열 특성이 저장됩니다 . 자세한 내용은 " 열 특성 " 부록의 [" 블록당 런 수 "](#)(761 페이지 ) 에서 확인하십시오 .

## 선별 유형 선택

반응과 요인을 입력한 후 **계속** 을 클릭하면 다음 결과 중 하나가 발생합니다 .

- 표준 설계에서 요인과 수준을 수용할 수 있는 경우 " 선별 유형 선택 " 패널에 두 가지 옵션이 나타납니다 . 자세한 내용은 [" 선별 유형 선택 옵션 "](#)(285 페이지 ) 에서 확인하십시오 .
- 요인과 수준에 맞는 표준 설계가 나열되지 않으면 " 선별 유형 선택 " 패널이 나타나지 않습니다 . 주효과 선별 설계를 구성하기 위한 " 설계 생성 " 개요가 열립니다 . 자세한 내용은 [" 설계 생성 "](#)(292 페이지 ) 에서 확인하십시오 .

### 선별 유형 선택 옵션

**부분 요인 설계 목록에서 선택** 설계 목록에서 선택할 수 있습니다. 이 옵션이 기본값입니다. 자세한 내용은 "[부분 요인 설계 목록에서 선택](#)"(285 페이지)에서 확인하십시오.

**주효과 선별 설계 생성** 주효과 선별 설계의 런 수를 지정할 수 있는 "설계 생성" 개요를 엽니다. 주효과 선별 설계에 대한 자세한 내용은 "[주효과 선별 설계](#)"(291 페이지)에서 확인하십시오.

## 부분 요인 설계 목록에서 선택

선택할 수 있는 선별 설계 목록에는 실험 런을 같은 크기(2의 거듭제곱)의 블록으로 그룹화하는 설계가 포함됩니다. 사용할 선별 설계 유형을 선택하고 **계속**을 클릭합니다.

**그림 9.15** 부분 요인 설계 유형 선택

설계 목록	
목록에서 해당 행을 클릭하여 설계를 선택하십시오.	
수	블록
런	크기
4	부분 요인
8	완전 요인
8	4
8	2
	해상도
	- 추정 가능한 항목
	3 - 주효과만
	>6 - 전체 해상도
	5+ - 모든 2요인 교호작용
	4 - 몇 가지 2요인 교호작용

"설계 목록"에는 다음과 같은 열이 포함되어 있습니다.

**런 수** 설계의 총 런 수입니다.

**블록 크기** 블록 내 런 수입니다. 블록 수는 런 수를 블록 크기로 나눈 값입니다.

**설계 유형** 설계 유형에 대한 설명입니다. 자세한 내용은 "[설계 유형](#)"(285 페이지)에서 확인하십시오.

**해상도** 설계 해상도 및 별칭 구조 유형에 대한 간략한 설명을 제공합니다. 자세한 내용은 "[교학 측도를 나타내는 해상도](#)"(288 페이지)에서 확인하십시오.

## 설계 유형

"설계 목록"은 다음과 같은 유형의 설계를 제공합니다.

- ["2 수준 완전 요인"](#)(286 페이지)
- ["2 수준 정칙 부분 요인"](#)(286 페이지)
- ["Plackett-Burman 설계"](#)(286 페이지)
- ["혼합수준 설계"](#)(286 페이지)
- ["Cotter 설계"](#)(287 페이지)

## 2 수준 완전 요인

완전 요인 설계는 요인 수준의 모든 조합에 대한 런을 포함합니다. 표본 크기는 요인 수준의 곱입니다. 2수준 설계의 경우 표본 크기는  $2^k$ 이며 여기서  $k$ 는 요인 수입니다.

완전 요인 설계는 모든 효과에 대해 직교입니다. 따라서 효과 추정값은 상관관계가 없습니다. 또한 분석에서 효과를 제거해도 다른 추정값이 변경되지 않습니다. 오차 분산의 추정값과 자유도가 다르기 때문에  $p$  값은 약간 변경됩니다.

완전 요인 설계를 사용하면 최대 요인 수까지 모든 차수의 교호작용을 추정할 수 있습니다. 그러나 대부분의 경험적 모델링은 요인과 반응 간의 실제 함수 관계에 대한 1차 또는 2차 근사만 포함합니다. 이러한 관점에서 완전 요인 설계는 실험 런을 비효율적으로 사용하는 것입니다.

## 2 수준 정칙 부분 요인

정칙 부분 요인 설계의 표본 크기도 2의 거듭제곱입니다. 2수준 설계의 경우  $k$ 가 요인 수이면 정칙 부분 요인 설계의 런 수는  $2^{k-p}$ 이며 여기서  $p < k$ 입니다.  $2^{k-p}$  부분 요인 설계는 요인 수가  $k$ 개인 완전 요인 설계의  $1/2^p$  배입니다. 완전 요인 설계와 마찬가지로 정칙 부분 요인 설계도 직교입니다.

$k$ 개 요인에 대한 완전 요인 설계는 최대  $k$ 차까지 모든 교호작용 효과의 추정값을 제공합니다. 그러나 실험 런은 대개 비용이 많이 들기 때문에 작은 규모의 설계가 선호됩니다. 규모가 작은 설계에서는 일부 고차 효과가 다른 효과와 교락되므로 효과를 서로 구별할 수 없습니다. 교락된 효과의 선형 조합을 추정할 수는 있지만 변동의 원인을 하나 이상의 특정 효과로 지정할 수는 없습니다.

실제로 부분 요인 설계는 다른 교호작용 효과와 교락되는 교호작용 효과를 미리 결정하여 구성됩니다. 일반적으로 실험자는 3개 이상의 요인을 포함하는 교호작용에는 관심이 없습니다. 3차 이상의 교호작용 효과는 무시할 수 있는 것으로 가정하는 경우가 많습니다.

## Plackett-Burman 설계

Plackett-Burman 설계는 선별을 위한 정칙 부분 요인 설계 대신 사용할 수 있습니다. Plackett-Burman 설계의 런 수는 2의 거듭제곱이 아니라 4의 배수입니다. 런 크기가 16~32인 2수준 부분 요인 설계는 없습니다. 그러나 20회, 24회 및 28회 런 Plackett-Burman 설계는 있습니다.

Plackett-Burman 설계에서 주효과는 서로 직교하고 2요인 교호작용은 주효과와 부분적으로 교락됩니다. 이에 반해 해상도 3 정칙 부분 요인 설계에서는 일부 2요인 교호작용을 주효과와 구별할 수 없습니다. Plackett-Burman 설계는 여러 요인 중에서 큰 주효과를 감지하는데 관심이 있고 교호작용을 무시할 수 있을 때 유용합니다.

## 혼합수준 설계

수준이 3개 이상인 범주형 또는 이산 수치형 요인을 포함하는 대부분의 설계에는 사용 가능한 표준 설계가 없습니다. 이 경우 선별 플랫폼은 주효과 선별 설계를 생성합니다. 이러한 설계는 주효과에 대한 직교 또는 근사 직교 설계입니다.

표준 혼합수준 설계가 있는 경우 가능한 설계가 "설계 목록"에 제공됩니다. "설계 목록"은 최대 13개 요인으로 순수 3수준 요인에 대한 부분 요인 설계를 제공합니다. 2수준 설계와 3수준 설계가 혼합된 경우에는 표 9.1에 나열된 완전 요인 및 직교 배열 설계가 "설계 목록"에 포함됩니다.

요인 수가 표에 나열된 설계의 수를 초과하지 않으면 해당 열의 적절한 부분집합을 사용하여 설계를 조정할 수 있습니다.

**표 9.1** 혼합수준 설계 테이블

설계	요인 수	
	2 수준	3 수준
L18 John 및 L18 Taguchi	1	7
L18 Chakravarty	3	6
L18 Hunter	8	4
L36 Taguchi	11	12

## Cotter 설계

**참고 :** 기본적으로 Cotter 설계는 "설계 목록"에 포함되지 않습니다. Cotter 설계를 포함하려면 "선별 설계"의 빨간색 삼각형 메뉴에서 **Cotter 설계 제한**을 선택 취소합니다. Cotter 설계를 항상 표시하려면 파일 > 환경 설정 > 플랫폼 > DOE를 선택한 후 **Cotter 설계 제한**을 선택 취소하십시오.

Cotter 설계는 일부 요인이 상호 작용할 수도 있는 많은 요인을 매우 적은 수의 런으로 검정해야 할 때 유용합니다. Cotter 설계는 효과 회소성 원리에 의존합니다. 이 설계는 효과를 합할 때 합성분 중 하나에 활성 효과가 있을 경우 해당 효과를 효과 합에 표시한다고 가정합니다. 단점은 부호가 혼합된 여러 활성 효과의 합이 0에 가까워져 효과를 나타내지 못할 수 있다는 것입니다. 이 False Negative 위험 때문에 많은 통계학자들이 이 설계의 사용을 권장하지 않습니다.

$k$  개 요인의 경우 Cotter 설계의 런 수는  $2k + 2$  회입니다. 설계 구조는 "한 번에 하나의 요인 변경 (OFAT)" 방법과 비슷합니다.

Cotter 설계는 다음과 같이 구성됩니다.

- 모든 요인이 높은 수준으로 설정된 런이 정의됩니다.
- 다음  $k$  런에 대해 각각 차례로 한 요인은 낮은 수준으로 설정되고 나머지 요인은 높은 수준으로 설정됩니다.
- 다음 런은 모든 요인이 낮은 수준으로 설정됩니다.
- 다음  $k$  런에 대해 각각 차례로 한 요인은 높은 수준으로 설정되고 나머지 요인은 낮은 수준으로 설정됩니다.

- 런이 랜덤화됩니다.

Cotter 설계를 구성할 때 설계 데이터 테이블에는 회귀변수로 사용할 열 집합이 포함됩니다. 열 이름은 <요인 이름> Odd 및 <요인 이름> Even 형식을 사용합니다. 이 설계는 제공된 요인을 포함하는 홀수 차수 교호작용 항과 짝수 차수 교호작용 항을 각각 합하여 구성됩니다.

예를 들어 A, B, C라는 세 가지 요인이 있다고 가정해 보겠습니다. 표 9.2에서는 회귀변수 열의 값이 계산되는 방법을 보여 줍니다.

**표 9.2** Cotter 설계 테이블

홀수 회귀변수 열과 짝수 회귀변수 열의 합산 효과	
AOdd = A + ABC	AEven = AB + AC
BOdd = B + ABC	BEven = AB + BC
COdd = C + ABC	CEven = BC + AC

홀수(Odd) 및 짝수(Even) 열은 직교 변환을 정의합니다. 따라서 홀수 및 짝수 열의 모두 검정은 원래 효과에 대한 조합을 검정하는 것과 동등합니다.

## 교락 측도를 나타내는 해상도

설계 해상도는 설계의 교락 정도에 대한 측도입니다. 선별 설계에서는 런 수와 설계 해상도 사이의 균형을 맞추어야 합니다.

실험은 해상도 번호에 따라 다음과 같은 그룹으로 분류됩니다.

- 해상도 3은 일부 주효과가 하나 이상의 2 요인 교호작용과 교락됨을 의미합니다. 주효과가 유의하려면 이러한 교호작용을 무시할 수 있는 것으로 가정해야 합니다.
- 해상도 4는 주효과가 다른 주효과 또는 2 요인 교호작용과 교락되지 않음을 의미합니다. 그러나 일부 2 요인 교호작용은 다른 2 요인 교호작용과 교락됩니다.
- 해상도 5는 주효과와 다른 주효과, 주효과와 2 요인 교호작용, 2 요인 교호작용 쌍 사이에 각각 교락이 없음을 의미합니다. 일부 2 요인 교호작용은 3 요인 교호작용과 교락됩니다.
- 해상도 5+는 설계의 해상도가 5보다 크지만 완전 요인 설계는 아님을 의미합니다.
- 해상도 6은 모든 차수의 효과 사이에 교락이 없음을 의미합니다. 이 설계는 완전 요인 설계입니다.

최소 일탈 설계는 주어진 해상도에 대한 교락 수를 최소화합니다. 주어진 해상도의 최소 일탈 설계는 관계 정의에서 최소 길이의 단어 수를 최소화합니다. 단어에 대한 설명은 "생성 규칙 변경"(289 페이지)에서 확인하십시오. 최소 일탈 설계에 대한 자세한 내용은 Fries and Hunter(1984)에서 확인하십시오.

## 설계 표시 및 수정

"설계 목록"에서 모든 연속형 요인 또는 2수준 범주형 요인과 블록 요인(가능한 경우)이 포함된 부분 요인 설계를 선택하는 경우 "계속"을 클릭하면 "설계 표시 및 수정" 개요가 열립니다. 이 개요의 보고서를 사용하여 설계를 수정합니다. 생성 규칙을 변경하여 설계를 구성하는 예는 "[부분 요인 설계에서 생성 규칙 수정](#)"(298페이지)에서 확인하십시오.

---

**참고 :** 교호작용이 주효과와 동일하지 않으므로 Plackett-Burman 설계 또는 Cotter 설계의 경우 "생성 규칙 변경" 및 "효과의 별칭 구조" 개요가 나타나지 않습니다.

---

**생성 규칙 변경** 설계의 관계 정의를 지정합니다. 관계 정의는 JMP에서 제공할 완전 요인 설계의 부분을 결정합니다. 자세한 내용은 "[생성 규칙 변경](#)"(289페이지)에서 확인하십시오.

**효과의 별칭 구조** 부분 요인 설계의 교락 패턴을 표시합니다. 패널 아래쪽의 빨간색 화살표를 클릭하여 지정된 차수에 대한 교호작용을 확인합니다. 교호작용 및 별칭 구조가 데이터 테이블에 제공됩니다.

**코드화된 설계** 각 련에서 요인의 상한값과 하한값 패턴을 표시합니다.

---

**참고 :** Cotter 설계의 경우 "생성 규칙 변경" 및 "효과의 별칭 구조" 개요가 적용되지 않으므로 표시되지 않습니다.

---

## 생성 규칙 변경

생성 규칙은 특정 부분 요인 설계를 구성하는 데 사용되는 관계를 정의합니다. 선별 플랫폼의 기본 생성자는 최소 일탈 설계를 생성합니다. 최소 일탈 설계는 낮은 차수 효과의 별칭 구조를 최소화합니다. 실험 상황에 따라 표준 부분과 다른 코딩 또는 별칭 구조를 제공하는 설계 부분을 정의해야 할 수 있습니다. "설계 표시 및 수정" 개요에서 생성 규칙을 변경하여 이 작업을 수행할 수 있습니다. 관계 정의 및 생성 규칙에 대한 자세한 내용은 [Montgomery\(2009\)](#)에서 확인하십시오.

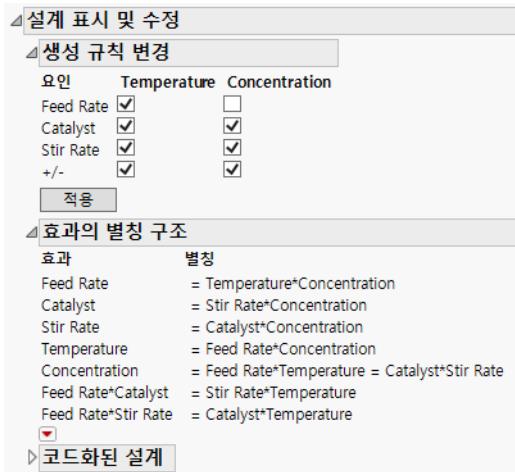
---

**팁 :** 특정 효과 추정을 위한 설계를 생성하려면 사용자 설계 도구를 사용하는 것이 좋습니다. 사용자 설계에 대한 자세한 내용은 "[사용자 설계](#)" 장(63페이지)에서 확인하십시오.

---

설계의 관계 정의는 생성 규칙의 단어에 의해 결정됩니다. 단어는 요인의 곱으로 나타내지만 설계 행렬에서 해당 열에 대한 항목의 요소별 곱으로 해석됩니다. 관계 정의는 곱이 1의 열(항등)인 단어로 구성됩니다.

그림 9.16에서는  $2^{5-2}$  부분 요인 설계(5개 요인과 8회 런)에 대한 기본 생성 규칙을 보여 줍니다.

그림 9.16 표준 2<sup>5-2</sup> 설계의 생성 규칙

"생성 규칙 변경" 패널의 각 열에서 맨 위에 나열된 요인과 상자가 선택된 열의 요인이 관계 정의의 단어를 구성합니다. 예를 들어 첫 번째 열은  $\text{Temperature} = \text{Feed Rate} * \text{Catalyst} * \text{Stir Rate}$  가 관계 정의의 단어임을 나타냅니다.

- +/- 상자가 선택된 경우 생성 규칙과 관련된 부호가 양수이고 해당 단어가 항등과 같습니다.
- +/- 상자가 선택되지 않은 경우 생성 규칙과 관련된 부호가 음수이고 해당 단어가 마이너스 항등과 같습니다.

자세한 내용은 "[2<sup>5-3</sup> 설계에서 관계 정의 얻기](#)"(290페이지)에서 확인하십시오.

완전 요인 설계의 주 부분은 모든 관계 정의를 항등과 같은 관계로 설정하여 얻은 부분 요인 설계입니다. 기본적으로 JMP에서 제공하는 요인 설계는 주 부분입니다. +/- 상자는 기본적으로 모든 생성 규칙에 대해 선택되므로 관계 정의의 각 단어는 항등과 같습니다.

생성 규칙은 설계에 대한 코딩 및 효과의 별칭 구조를 결정합니다. 경우에 따라 표준 부분과 다른 코딩 또는 별칭 구조를 생성하는 부분을 사용할 수도 있습니다.

- 생성 규칙을 변경하려면 해당하는 상자를 선택합니다.
- 선택 항목에 따라 "효과의 별칭 구조" 결과 및 "코드화된 설계"가 어떻게 변하는지 확인하려면 **적용**을 클릭합니다.

예는 "[다른 부분을 얻기 위해 생성 규칙 변경](#)"(301페이지)에서 확인하십시오.

## 2<sup>5-3</sup> 설계에서 관계 정의 얻기

그림 9.16에서는 다음과 같은 두 개의 체크박스 열을 보여 줍니다.

- 첫 번째 열은  $\text{Temperature} = \text{Feed Rate} * \text{Catalyst} * \text{Stir Rate}$  라는 단어를 나타냅니다.
- 두 번째 열은  $\text{Concentration} = \text{Catalyst} * \text{Stir Rate}$  라는 단어를 나타냅니다.

+1 값으로 구성된 열을 나타내도록  $I$ 를 정의합니다. 모든 요인 수준이 -1 또는 +1 이므로 첫 번째 열의 단어는  $\text{Temperature} * \text{Feed Rate} * \text{Catalyst} * \text{Stir Rate} = I$  와 동등합니다. 두 번째 열의 단어는  $\text{Concentration} * \text{Catalyst} * \text{Stir Rate} = I$  와 동등합니다. 이 둘을 함께 사용하여 다음과 같이  $2^{5-2}$  설계에 대한 관계 정의가 제공됩니다.

$$I = \text{Temperature} * \text{Feed Rate} * \text{Catalyst} * \text{Stir Rate} = \text{Concentration} * \text{Catalyst} * \text{Stir Rate}$$

### $2^{5-3}$ 설계에서 효과의 별칭 구조 관계 얻기

"효과의 별칭 구조" 개요의 별칭 구조는 관계 정의 및 요인 수준이 +1과 -1이라는 사실에 의해 결정됩니다. 첫 번째 생성 규칙은  $\text{Temperature} = \text{Feed Rate} * \text{Catalyst} * \text{Stir Rate}$ 이고, 두 번째 생성 규칙은  $\text{Concentration} = \text{Catalyst} * \text{Stir Rate}$ 입니다.

"효과의 별칭 구조" 개요에서 첫 번째 관계를 얻기 위해 이 두 생성 규칙을 적용하면 다음과 같은 표현식이 제공됩니다.

$$\text{Temperature} = \text{Feed Rate} * \text{Catalyst} * \text{Stir Rate} = \text{Feed Rate} * \text{Concentration}$$

- 두 번째 등식은 두 번째 생성 규칙을 사용하여  $\text{Catalyst} * \text{Stir Rate}$  를  $\text{Concentration}$  으로 대체한 결과입니다.

이제 첫 번째 표현식과 세 번째 표현식에  $\text{Concentration}$  으로 사후 곱셈을 적용하여 다음 표현식을 얻습니다.

$$\text{Temperature} * \text{Concentration} = \text{Feed Rate} * \text{Concentration} * \text{Concentration}$$

설계 행렬의  $\text{Concentration}$  열에 -1 및 +1 값이 포함되어 있으므로  $\text{Concentration} * \text{Concentration}$  항은 +1 값의 열을 나타냅니다. 다음 표현식은 "효과의 별칭 구조" 개요에 표시되는 첫 번째 별칭 관계가 됩니다.

$$\text{Temperature} * \text{Concentration} = \text{Feed Rate} * I = \text{Feed Rate}$$

비슷한 계산을 사용하여 다른 별칭 관계도 구할 수 있습니다.

## 주효과 선별 설계

실험에 범주형 또는 이산 수치형 요인이 포함되거나 런 수가 제한되는 경우 주효과 선별을 위한 직교 설계를 구성하지 못할 수 있습니다. 그러나 주효과 선별 설계를 구성할 수 있습니다. 자세한 내용은 Lekivetz et al. (2015)에서 확인하십시오.

주효과 선별 설계는 카이제곱 기준에 설명된 대로 균형 특성이 좋은 설계입니다. 자세한 내용은 "[카이제곱 효율도](#)"(292페이지)에서 확인하십시오. 이러한 설계에는 주효과 모형에 대해 적합한 통계 특성이 있습니다.

설계를 생성하는 데 사용되는 알고리즘은 강도 2의 직교 배열을 구성하려고 합니다. 강도 2 직교 배열은 교호작용을 무시할 수 있을 때 주효과의 직교 추정을 허용합니다. 이러한 배열은 선별 설계에 이상적입니다. 해상도 3의 정칙 부분 요인 설계와 Plackett-Burman 설계는 강도 2 직교 배열의 예입니다.

설계에서 요인 수준에 대해 가능한 모든 쌍을 고려하십시오. 알고리즘은 수준 쌍 수의 균형을 가능한 한 맞추려고 합니다. 고정된 수의 열이 생성되었다고 가정하면 균형된 새 열이 무작위로 구성됩니다. 새 열을 포함하는 쌍에 대해 달성한 균형 정도를 반영하는 측도가 정의됩니다. 알고리즘은 새 열 내에서 수준을 교환하여 이 측도를 최소화하려고 합니다.

## 카이제곱 효율도

설계에 설계 행렬의 열에 해당하는  $n$  회 런과  $p$  개 요인이 있다고 가정해 보겠습니다.

- 요인  $k$  와  $l$  의 수준을 각각  $a = 0, 1, \dots, s_k - 1$  과  $b = 0, 1, \dots, s_l - 1$  로 나타냅니다.
- 수준 조합  $(a,b)$  가  $k$  및  $l$  열에 나타나는 횟수를  $n_{kl}(a,b)$  로 나타냅니다.

$k$  및  $l$  열에 의해 증명되는 직교성 결여 측도는 다음 표현식으로 지정됩니다.

$$\chi^2_{kl} = \sum_{a=0}^{s_k-1} \sum_{b=0}^{s_l-1} \frac{[n_{kl}(a,b) - n/(s_k s_l)]^2}{n/(s_k s_l)}$$

설계의 평균 비직교성 측도는 다음 표현식으로 지정됩니다.

$$\chi^2 = \sum_{1 \leq k < l \leq p} \chi^2_{kl} / [p(p-1)/2]$$

$\chi^2$  의 가능한 최대값 ( $\chi^2_{max}$ ) 이 계산됩니다. 설계의 카이제곱 효율도는 다음과 같이 정의됩니다.

$$\text{카이제곱 효율도} = 100(1 - \chi^2 / \chi^2_{max})$$

카이제곱 효율도는 수준 쌍이 극단적 균형 부족을 나타내는 설계와 비교하여  $\chi^2$ 가 0에 얼마나 가까운지 나타냅니다.

## 설계 생성

주효과 선별 설계를 구성할 때 "설계 생성" 개요를 사용하여 런 수를 지정할 수 있습니다. 설계를 생성하려면 **설계 생성**을 클릭합니다.

**최소값** 설계 생성이 실패하지 않게 하기 위해 필요한 런 수의 하한입니다. 최소값을 선택하면 결과 설계가 포화됩니다. 따라서 오차 자유도가 없습니다.

---

**참고 :** 런 수를 "최소값"으로 선택하면 검정할 오차 항이 없습니다. 모두 추정값을 검정할 수 없습니다. 이 선택은 추가 런 비용이 너무 높은 경우에만 적합합니다.

**기본값** 런 수를 제안합니다. 이 값은 런 수가 최소 런 수보다 4 회 이상 많은 균형 설계를 생성하기 위한 발견적 방법을 기반으로 합니다.

**사용자 지정** 원하는 런 수를 지정합니다. 런 수 텍스트 상자에 해당 값을 입력합니다. 이 옵션을 사용하면 추가 런 비용을 잠재적 정보 획득으로 상쇄할 수 있습니다.

## 설계

"설계" 개요에서는 주효과 선별 설계를 위한 런을 보여 줍니다. 설계 테이블의 런 순서를 변경하여 테이블을 생성하기 전에 "출력 옵션" 패널에서 "런 순서" 옵션을 선택할 수 있습니다.

## 설계 평가

**참고 :** Cotter 설계에는 "설계 평가" 개요가 표시되지 않습니다.

"설계 평가" 개요에서는 생성된 설계의 특성을 평가하는 다양한 방법을 제공합니다. "설계 평가" 개요를 열고 다음 옵션을 확인합니다.

**검정력 분석** 주어진 크기의 효과를 감지할 수 있는지 분석할 수 있습니다.

**예측 분산 프로파일** 요인 설정 범위에 대한 예측 분산을 보여 줍니다.

**설계 공간 비율 그림** 모형 예측 분산이 지정된 값보다 얼마나 아래 또는 위에 있는지 보여 줍니다.

**예측 분산 표면** 두 개의 연속형 요인에 대한 예측 분산의 표면 그림을 보여 줍니다.

**추정 효율도** 각 모수에 대해 이상적인 직교 설계 (존재하지 않을 수 있음) 와 비교하여 신뢰 구간 길이에 대한 증가 비율을 제공합니다. 모수의 상대 표준 오차도 제공합니다.

**별칭 행렬** 모형에 없지만 활성화 가능성이 있는 효과에 의해 모형 모수가 편향되는 정도를 나타내는 계수를 제공합니다.

**상관 색상 맵** 강도 척도를 사용하여 그림에서 효과 사이의 절대 상관을 표시합니다.

**설계 진단** 설계를 구성하는 데 사용되는 최적 기준을 나타냅니다. 설계의 효율도 측도도 제공합니다.

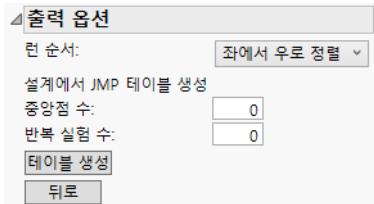
**참고 :** 설계 진단에 사용된 모형에는 모든 주효과 및 2 요인 교호작용이 포함됩니다 (모든 2 요인 교호작용을 추정할 수 있는 경우). 그렇지 않은 경우에는 모형에 모든 주효과가 포함됩니다.

"설계 평가" 패널에 대한 자세한 내용은 "설계 평가" 장의 "[설계 평가](#)"(418페이지)에서 확인하십시오.

## 출력 옵션

"출력 옵션" 패널에서 출력 데이터 테이블에 대한 상세 정보를 지정합니다. 끝나면 **테이블 생성**을 클릭하여 설계에 대한 데이터 테이블을 구성합니다. 그림 9.17에서는 "설계 목록"에서 선택한 표준 설계의 "출력 옵션" 패널을 보여 줍니다. 주효과 선별 설계의 경우 "런 순서"만 있습니다.

### 그림 9.17 출력 옵션 선택



#### 런 순서

**런 순서** 옵션은 설계 테이블의 런 순서를 결정합니다.

**동일하게 유지** 설계 테이블에 표시되는 행 순서가 "코드화된 설계" 또는 "설계" 개요의 순서와 동일합니다.

**좌에서 우로 정렬** 설계 테이블의 열이 왼쪽에서 오른쪽으로 정렬됩니다.

**랜덤화** 설계 테이블의 행이 랜덤 순서로 나타납니다.

**우에서 좌로 정렬** 설계 테이블의 열이 오른쪽에서 왼쪽으로 정렬됩니다.

**블록 내 랜덤화** 설계 테이블의 행이 블록 내에서 랜덤 순서로 나타납니다. **주효과 선별 설계 생성**을 선택한 경우에는 사용할 수 없습니다.

#### 중앙점 및 반복 실험

**중앙점 수** 설계에 중앙점으로 포함할 추가 런 수를 지정합니다. 중앙점은 모든 연속형 요인과 범주형 요인 범위의 가운데에 설정되는 런입니다. **주효과 선별 설계 생성**을 선택한 경우에는 이 옵션을 사용할 수 없습니다.

설계에 연속형 요인과 범주형 요인이 모두 포함되어 있다고 가정해 보겠습니다. "출력 옵션" 패널에서 중앙점을 요청할 경우 다음과 같이 중앙점이 분포됩니다.

1. 범주형 요인의 설정은 "요인" 개요에 지정된 값 순서를 사용하여 정렬됩니다.
2. 범주형 요인의 각 설정 조합에 순서대로 중앙점 하나가 할당되고 모든 중앙점이 할당될 때까지 반복됩니다.

**반복 실험 수** "설계 목록"의 설계에 대해 중앙점을 포함하여 전체 설계를 반복할 횟수를 지정합니다. 한 번 반복하면 런 수가 두 배가 됩니다. **주효과 선별 설계 생성**을 선택한 경우에는 이 옵션을 사용할 수 없습니다.

---

**참고 :** 중앙점 또는 반복 실험을 요청하고 "테이블 생성"을 반복해서 클릭하면 가장 최근에 구성된 설계 테이블에 이러한 작업이 적용됩니다.

---

#### 테이블 생성

**테이블 생성**을 클릭하여 실험 런이 포함된 데이터 테이블을 생성합니다. 이 테이블에는 지정된 상한값과 하한값이 각 런에 대해 나타납니다.

그림 9.18 설계 데이터 테이블

설계 요인 2	설계 요인 1	패턴	Feed Rate	Catalyst	Stir Rate	Temperature	Concentration	Percent Reacted
1	-+---+	10	2	120	140	6	•	
2	+---+-	15	1	120	140	3	•	
3	-+-++-	10	2	100	180	3	•	
4	+++++	15	2	120	180	6	•	
5	-+++-	10	1	120	180	3	•	
6	+--++-	15	1	100	180	6	•	
7	-----+	10	1	100	140	6	•	
8	++---	15	2	100	140	3	•	

테이블 이름은 해당 테이블을 생성한 설계 유형입니다.

설계 테이블에는 다음과 같은 스크립트가 포함되어 있습니다.

**선별** "DOE > 전통적 설계 > 2 수준 선별 > 2 수준 선별 적합" 플랫폼을 실행합니다. 모든 요인이 2 수준인 경우에만 제공됩니다.

**모형** "분석 > 모형 적합" 플랫폼을 실행합니다.

**설계 평가** "DOE > 설계 진단 > 설계 평가" 플랫폼을 실행합니다.

**DOE 대화상자** 설계 테이블을 생성하는 데 사용된 "선별 설계" 창을 다시 생성합니다. 또한 이 스크립트는 설계를 생성하는 데 사용된 난수 시드값도 포함합니다.

데이터를 분석하려면 **선별** 또는 **모형** 스크립트를 실행합니다.

"설계 목록"에서 설계를 선택한 경우 설계 테이블에 패턴 열이 포함됩니다. 패턴 열에는 지정된 행의 런을 요약하는 항목이 포함되어 있습니다. 하한 설정은 "-", 상한 설정은 "+", 중앙점은 "0"으로 각각 나타냅니다. 패턴은 그림에서 라벨 변수로 유용할 수 있습니다.

## 선별 설계 옵션

"선별 설계"의 빨간색 삼각형 메뉴에는 다음 옵션이 포함되어 있습니다.

**반응 저장** "반응" 패널의 정보를 새 데이터 테이블에 저장합니다. 그러면 반응 및 관련 정보를 대부분의 DOE 창에 빠르게 불러올 수 있습니다. 이 옵션은 반응을 재사용할 것으로 예상하는 경우 유용합니다.

**반응 불러오기** "반응 저장" 옵션을 사용하여 저장한 반응을 불러옵니다.

**요인 저장** "요인" 패널의 정보를 새 데이터 테이블에 저장합니다. 각 요인의 열에는 수준이 포함됩니다. 다른 정보는 열 특성으로 저장됩니다. 그러면 요인 및 관련 정보를 대부분의 DOE 창에 빠르게 불러올 수 있습니다.

**참고 :** 빈 테이블에 데이터를 입력하여 요인 테이블을 생성할 수 있지만 각 열에 적절한 설계 역할을 할당해야 합니다. 이렇게 하려면 데이터 격자에서 열 이름을 마우스 오른쪽 버튼으로 클릭하고 **열 특성 > 설계 역할**을 선택합니다. 그런 다음 "설계 역할" 영역에서 적절한 역할을 선택합니다.

**요인 불러오기** "요인 저장" 옵션을 사용하여 저장한 요인을 불러옵니다.

**제약 조건 저장** (일부 플랫폼에서는 사용할 수 없음) "요인 제약 조건 정의" 또는 "선형 제약 조건" 개요에서 정의한 요인 제약 조건을 각 제약 조건에 대한 열과 함께 데이터 테이블에 저장합니다. 그러면 제약 조건을 대부분의 DOE 창에 빠르게 불러올 수 있습니다.

제약 조건 테이블에서 처음에 나오는 행은 각 요인의 계수를 포함합니다. 마지막 행은 부등식 한계를 포함합니다. 각 제약 조건 열에는 제약 조건을 "less than" 또는 "greater than" 제약 조건으로 식별하는 제약 조건 상태 열 특성이 포함됩니다. 자세한 내용은 "열 특성" 부록의 "[제약 조건 상태](#)"(762 페이지)에서 확인하십시오.

**제약 조건 불러오기** (일부 플랫폼에서는 사용할 수 없음) "제약 조건 저장" 옵션을 사용하여 저장한 요인 제약 조건을 불러옵니다.

**난수 시드값 설정** JMP가 랜덤 성분이 있는 작업을 제어하는 데 사용하는 난수 시드값을 설정합니다. 이러한 작업에는 다음 중 하나 이상이 포함됩니다.

- 설계 생성을 위한 검색 알고리즘 초기화
- 설계 생성을 위한 런 순서 랜덤화
- 랜덤 시작에 기반한 설계의 시작 설계 선택

설계를 재현하려면 **설계 생성**을 클릭하기 전에 설계를 생성한 난수 시드값을 입력합니다.

**참고 :** 설계와 관련된 난수 시드값은 설계 데이터 테이블에 저장된 "DOE 대화상자" 스크립트에 포함됩니다.

**반응 시뮬레이션** 시뮬레이션 계산식을 포함하는 열과 반응 값을 설계 테이블에 추가합니다. "테이블 생성"을 클릭하기 전에 이 옵션을 선택하십시오.

"테이블 생성"을 클릭하면 다음과 같은 결과가 나타납니다.

- 시뮬레이션된 반응 값 집합이 각 반응 열에 추가됩니다.
- 각 반응에 대해 시뮬레이션 모형 계산식을 포함하는 새 열이 설계 테이블에 추가됩니다. 계산식과 같은 설계 창에 지정된 모형에 기초합니다.
- 모형 효과에 대한 계수 값을 설정하고 정규, 이항 또는 Poisson 분포 중 하나를 지정할 수 있는 "모형" 창이 나타납니다.

**참고 :** 모든 설계 유형에 모든 분포를 사용할 수 있는 것은 아닙니다.

- **DOE 시뮬레이션** 스크립트가 설계 테이블에 저장됩니다. 이 스크립트는 값을 다시 시뮬레이션하거나 시뮬레이션된 반응 분포를 변경할 수 있도록 "모형" 창을 다시 엽니다.

"모형" 창에서 시뮬레이션된 반응 값의 분포를 제어하는 옵션을 선택합니다. "적용" 을 클릭하면 시뮬레이션된 반응 값의 계산식이 <Y> 시뮬레이션이라는 새 열에 저장됩니다. 여기서 Y는 반응 이름입니다. "적용" 을 다시 클릭하면 <Y> 시뮬레이션의 계산식과 값이 업데이트됩니다.

자세한 내용은 "사용자 설계" 장의 "[반응 시뮬레이션](#)"(103 페이지)에서 확인하십시오.

**참고 :** [JMP® PRO](#) "반응 시뮬레이션"을 사용하면 JMP Pro 시뮬레이션 기능을 사용하여 시뮬레이션 분석을 수행할 수 있습니다. 자세한 내용과 DOE 예는 기본 분석의 "시뮬레이션" 장에서 확인하십시오.

**행렬 X 저장** "적률 행렬" 및 "모형 행렬"을 설계 데이터 테이블의 테이블 스크립트에 저장합니다. 이 스크립트에는 적률 및 설계 행렬이 포함됩니다. 자세한 내용은 "사용자 설계" 장의 "[행렬 X 저장](#)"(105 페이지)에서 확인하십시오.

**주의 :** 명목형 요인이 있는 설계의 경우 "행렬 X 저장" 옵션으로 저장한 모형 행렬은 선형 모형을 적합시킬 때 사용된 코딩 행렬이 아닙니다. "모형" 스크립트를 실행할 때 나타나는 "모형 적합" 보고서에서 "열 저장>코드화 테이블 저장" 옵션을 선택하면 모형 적합에 사용되는 코딩 행렬을 가져올 수 있습니다.

**Cotter 설계 제한** 설계 목록에서 Cotter 설계를 제외합니다. 이 옵션은 기본적으로 선택되어 있습니다. 설계 목록에 Cotter 설계를 표시하려면 이 옵션을 선택 취소합니다.

**참고 :** Cotter 설계를 항상 표시하도록 환경 설정을 지정할 수 있습니다. 파일 > 환경 설정 > 플랫폼 > DOE 를 선택한 후 "Cotter 설계 제한" 을 선택 취소하십시오.

**시작 수** (주효과 선별 설계에만 사용 가능) 최종 설계를 최적화하기 위해 알고리즘이 전체 설계를 처음부터 다시 생성하는 최대 횟수를 지정합니다.

**설계 검색 시간** (주효과 선별 설계에만 사용 가능) 설계 검색을 위한 최대 시간(초)을 지정합니다. 기본 검색 시간은 15초입니다.

알고리즘 반복에 몇 초 이상이 필요한 경우 "설계 계산 중" 진행률 창이 나타납니다. 진행률 표시줄에 카이제곱 효율도가 표시됩니다. 자세한 내용은 "[카이제곱 효율도](#)"(292 페이지)에서 확인하십시오. 진행률 창에서 **취소**를 클릭하면 계산이 중지되고 해당 시점에서 찾은 최적 설계가 제공됩니다.

**참고 :** "설계 검색 시간"에 대한 환경 설정을 지정할 수 있습니다. 파일 > 환경 설정 > 플랫폼 > DOE 를 선택합니다. **설계 검색 시간**을 선택한 후 최대 시간(초)을 입력합니다. 직교 배열이 발견되면 검색이 종료됩니다. 시간이 더 필요한 특정 상황에서는 JMP가 검색 시간을 자동으로 연장합니다.

**열 시작 수** ( 주효과 선별 설계에만 사용 가능 ) 다음 열을 구성하기 전에 알고리즘이 지정된 열을 최적화하려고 시도하는 최대 횟수를 지정합니다. 기본 열 시작 수는 50입니다. 자세한 내용은 "주효과 선별 설계"(291 페이지)에서 확인하십시오.

**스크립트를 스크립트 창에 저장** "선별 설계" 창에서 지정한 설계의 스크립트를 생성한 후 열린 스크립트 창에 저장합니다.

## 선별 설계의 추가 예

- "부분 요인 설계에서 생성 규칙 수정"
- "Plackett-Burman 설계"

### 부분 요인 설계에서 생성 규칙 수정

Meyer, et al. (1996)에서 채택된 다음 예에서는 많은 요인이 있을 때 선별 설계 플랫폼을 사용하는 방법을 보여 줍니다. 이 예에서 화학 엔지니어는 화학 공정의 반응 백분율에 대한 5 개 요인의 효과를 조사합니다. 요인은 다음과 같습니다.

- Feed Rate - 반응실에 추가되는 원료의 양(리터 / 분)
- Catalyst(%)
- Stir Rate - 반응실의 프로펠러 RPM
- Temperature(섭씨)
- Concentration(반응물 농도)

생산 제약 조건에 따라 실험 크기가 12 회 런 이하로 제한됩니다. 8 회 런 부분 요인 설계와 12 회 런 Plackett-Burman 설계를 고려하기로 결정했습니다. 또한 다음 내용이 참이라고 가정합니다.

- Temperature\*Concentration 교호작용이 활성이며 이 교호작용이 주효과와 별칭 관계를 갖지 않는 설계를 원합니다.
- Catalyst\*Temperature\* 교호작용이 활성일 가능성성이 낮습니다.
- Stir Rate\*Concentration 교호작용이 활성일 가능성성이 낮습니다.

이 정보를 사용하여 설계를 구성합니다.

### 표준 부분 요인 설계 생성

표준 부분 요인 설계를 생성하려면 다음을 수행하십시오.

- "반응 지정"(299 페이지)
- "요인 지정"(299 페이지) 또는 "수동으로 요인 지정"(299 페이지)
- "설계 선택"(300 페이지)

## 반응 지정

1. **DOE > 전통적 설계 > 2 수준 선별 > 선별 설계**를 선택합니다.
2. "반응 이름" 아래의 Y를 두 번 클릭하고 Percent Reacted를 입력합니다.  
기본 목표는 최대화로 되어 있습니다. 목표는 반응을 최대화하는 것이지만 허용 가능한 최소 반응 백분율은 90(하한)이고 상한은 100(상한)입니다.
3. "하한" 아래를 클릭하고 90을 입력합니다.
4. "상한" 아래를 클릭하고 100을 입력합니다.
5. "중요도" 아래 영역은 비워둡니다.  
반응이 하나뿐이므로 기본적으로 반응의 중요도가 1로 지정됩니다.  
그럼 9.19에서는 완료된 "반응" 개요를 보여줍니다. 이제 요인을 지정합니다.

## 요인 지정

수동 또는 자동으로 요인을 입력할 수 있습니다.

- 요인을 자동으로 입력하려면 **Reactor Factors.jmp** 데이터 테이블을 사용하십시오.
  1. **도움말 > 샘플 데이터 라이브러리**를 선택하고 Design Experiment/Reactor Factors.jmp를 엽니다.
  2. "선별 설계"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **요인 불러오기**를 선택합니다. "설계 선택"(300페이지)으로 진행합니다.
- 요인을 수동으로 입력하려면 아래 단계를 수행하십시오.

## 수동으로 요인 지정

1. **N 개 요인 추가** 상자에 5를 입력하고 **연속형**을 클릭하여 5개의 연속형 요인을 추가합니다.
2. 기본 요인 이름(X1 ~ X5)을 Feed Rate, Catalyst, Stir Rate, Temperature 및 Concentration으로 변경합니다.
3. 각 요인의 하한값과 상한값을 입력합니다.
  - Feed Rate: 10, 15
  - Catalyst: 1, 2
  - Stir Rate: 100, 120
  - Temperature: 140, 180
  - Concentration: 3, 6

**그림 9.19** 반응 및 요인 개요

The screenshot shows the '선택 설계' software interface. The '반응' (Reaction) section contains a table with one row: '반응 이름' (Reaction Name) 'Percent Reacted', '목표' (Target) '최대화' (Maximize), '하한' (Lower Limit) '90', '상한' (Upper Limit) '100', and '중요도' (Importance) '1'. The '요인' (Factors) section has tabs for '연속형' (Continuous), '이산 수치형' (Discrete Numerical), and '범주형' (Categorical). The '연속형' tab is selected, showing a table with five rows: 'Feed Rate' (연속형), 'Catalyst' (연속형), 'Stir Rate' (연속형), 'Temperature' (연속형), and 'Concentration' (연속형). Each row has columns for '이름' (Name), '역할' (Role), and '값' (Value). A note at the bottom says: '해당 버튼을 클릭하여 연속형 또는 범주형 요인을 추가하십시오. 편집하려면 요인 이름 또는 수준을 두 번 클릭하십시오.' (Click this button to add a continuous or categorical factor. To edit, click the factor name or level twice.)

### 설계 선택

1. **계속**을 클릭합니다.
2. "선별 유형 선택" 패널에서 기본 선택인 **부분 요인 설계 목록에서 선택**을 적용하고 **계속**을 클릭합니다.

지정한 요인과 수준에 대한 설계가 "설계 목록"에 나열됩니다 (그림 9.20).

**그림 9.20** 5 개 연속형 요인에 대한 부분 요인 설계

The screenshot shows the '선택 설계' software interface with the '설계 목록' (Design List) panel open. It displays a table of experimental designs based on 5 continuous factors. The columns are '수' (Number), '블록' (Block), '련' (Run), '크기' (Size), '설계' (Design), '우형' (Type), '해상도' (Resolution), and '주의' (Notes). The table includes rows for Plackett-Burman, Box-Behnken, and D-optimal designs, along with various fractional factorial and response surface designs like RSM, RSM-C, and RSM-S. A note at the top says: '목록에서 해당 행을 클릭하여 설계를 선택하십시오.' (Click on the row in the list to select the design.)

3. 원하는 설계가 목록에서 맨 처음에 나오고 기본으로 선택되어 있습니다 (그림 9.20). 해당 선택을 적용하고 **계속**을 클릭합니다.

8회 런으로 제한되고 블록 요인이 없으므로 최적 설계 옵션은 블록이 없는 8회 런 부분 요인 설계입니다. 이 설계는 2<sup>5-2</sup> 부분 요인 설계입니다. 즉, 5개 요인에 대한 완전 요인 설계의 1/4입니다.

## 다른 부분을 얻기 위해 생성 규칙 변경

이 예에서는 Temperature\*Concentration 교호작용이 주효과와 교락되는지 여부를 알아보려고 합니다. "설계 표시 및 수정" 개요를 사용하여 선택한 설계의 별칭 구조를 검토하고 해당하는 경우 변경하십시오.

- "효과의 별칭 구조" 개요를 엽니다.

**그림 9.21** 효과의 별칭 구조 개요

△ 효과의 별칭 구조	
효과	별칭
Feed Rate	= Temperature*Concentration
Catalyst	= Stir Rate*Concentration
Stir Rate	= Catalyst*Concentration
Temperature	= Feed Rate*Concentration
Concentration	= Feed Rate*Temperature = Catalyst*Stir Rate
Feed Rate*Catalyst	= Stir Rate*Temperature
Feed Rate*Stir Rate	= Catalyst*Temperature

활성으로 의심되는 Temperature\*Concentration 교호작용은 주효과 Feed Rate 와 교락됩니다. Feed Rate 가 비활성으로 의심되는 효과와 별칭 관계가 있고 Temperature\*Concentration 교호작용이 주효과와 별칭 관계가 없는 설계를 구성하기 위해 생성 규칙을 변경하려고 합니다.

- "생성 규칙 변경" 개요를 엽니다.

기본 생성 규칙은 완전 요인 설계의 표준 (주) 1/4 부분을 제공합니다. Catalyst\*Temperature 및 Stir Rate\*Concentration 교호작용이 활성일 가능성이 낮다고 의심했습니다. 이러한 두 교호작용이 Feed Rate 와 교락되도록 생성 규칙을 재정의합니다. 재정의된 생성 규칙은 완전 요인 설계의 다른 1/4 부분을 제공합니다.

- 다음을 수행합니다.

- Temperature 열에서 Stir Rate 를 선택 취소합니다.
- Concentration 열에서 Catalyst 를 선택 취소합니다.
- Concentration 열에서 Feed Rate 를 선택합니다.

**그림 9.22** 새 생성 규칙

△ 생성 규칙 변경		
요인	Temperature	Concentration
Feed Rate	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Catalyst	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Stir Rate	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
+/-	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	<b>적용</b>	

4. 적용을 클릭합니다.

**그림 9.23** 수정된 생성 규칙에 대한 효과의 별칭 구조 개요

<b>△ 효과의 별칭 구조</b>	
효과	별칭
Feed Rate	= Catalyst*Temperature = Stir Rate*Concentration
Catalyst	= Feed Rate*Temperature
Stir Rate	= Feed Rate*Concentration
Temperature	= Feed Rate*Catalyst
Concentration	= Feed Rate*Stir Rate
Catalyst*Stir Rate	= Temperature*Concentration
Catalyst*Concentration	= Stir Rate*Temperature

정의한 설계에서는 Feed Rate 가 Catalyst\*Temperature 및 Stir Rate\*Concentration 과 교락됩니다. 또한 Temperature\*Concentration 교호작용이 이제 이원 교호작용 Catalyst\*Stir Rate 와 교락됩니다.

5. "출력 옵션" 개요에서 기본 런 순서 설정인 랜덤화를 적용하고 테이블 생성을 클릭합니다.

**그림 9.24** 8 회 런 부분 요인 설계 테이블

설계	부분 요인	부분 요인						
		파센	Feed Rate	Catalyst	Stir Rate	Temperature	Concentration	Percent Reacted
선별	1---++	10	1	100	180	6	.	
모형	2----	10	2	120	140	3	.	
설계 평가	3-+--	15	1	120	140	6	.	
DOE 대화상자	4---+-	10	1	120	180	3	.	
	5++-+-	15	2	100	180	3	.	
	6+++++	15	2	120	180	6	.	
	7-+--+	10	2	100	140	6	.	
	8-----	15	1	100	140	3	.	

설계 테이블에서는 구성된 설계를 보여 줍니다. 이 테이블에는 "선별" 창에서 정의한 반응에 대한 열 (Percent Reacted)이 포함되어 있으며, 여기에 실험 결과를 기록할 수 있습니다.

선별, 모형 및 DOE 대화상자 스크립트도 포함되어 있습니다. 이러한 스크립트에 대한 자세한 내용은 "테이블 생성" (294 페이지)에서 확인하십시오.

## 결과 분석

이제 실험을 수행하고 데이터를 기록한 후 결과 분석을 진행합니다.

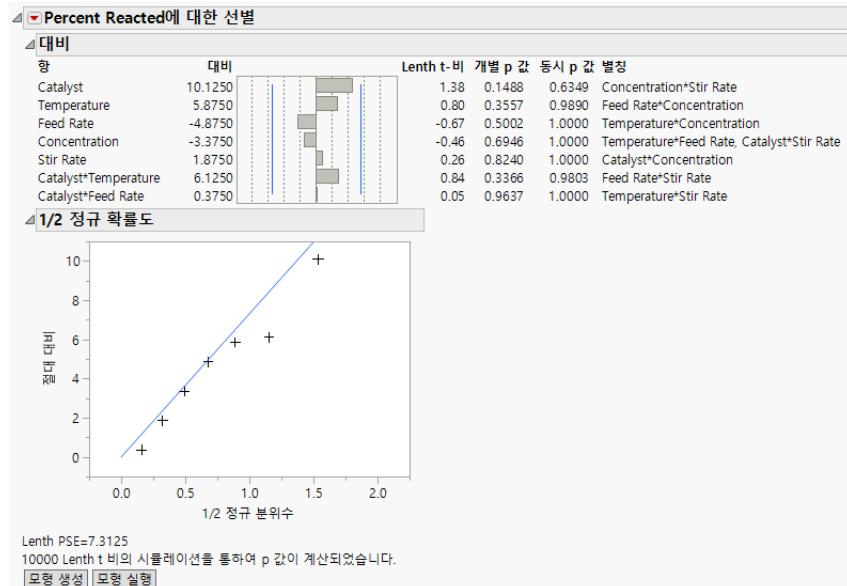
1. 도움말 > 샘플 데이터 라이브러리를 선택하고 Design Experiment/Reactor 8 Runs.jmp 를 업니다.

8 회 런으로 7 개 효과를 추정할 수 있습니다. 이 중 몇 개만 활성일 것으로 예상합니다. 7 개 효과를 추정하려고 하므로 오차에 대한 자유도가 없습니다. 이러한 이유로 선별 플랫폼을 사용하여 결과를 분석합니다.

2. 데이터 테이블에서 선별 스크립트를 실행합니다.

선별 스크립트는 반응 및 요인에 대한 선별 플랫폼 (**DOE > 전통적 설계 > 2 수준 선별 > 2 수준 선별 적합**)을 시작합니다.

**그림 9.25** 선별 보고서의 예



**참고 :**  $p$  값은 시뮬레이션 기반 기법을 사용하여 계산되므로 여기에 표시된 값과  $p$  값이 정확하게 일치하지 않을 수 있습니다.

보고서에는 Lenth t-비를 기반으로 개별 및 동시  $p$  값이 모두 표시됩니다. 개별  $p$  값과 관련해서도 유의한 효과가 없습니다. "1/2 정규 확률도"는 효과에 랜덤 잡음만 반영됨을 나타냅니다.

선별 보고서에 대한 자세한 내용은 "2수준 선별 적합 플랫폼" 장의 "[선별 보고서](#)"(315페이지)에서 확인하십시오.

## Plackett-Burman 설계

부분 요인 예에서는 5개 연속형 요인에 대한 8회 런 부분 요인 설계를 보여 줍니다. 그러나 4회 런을 더 추가할 수 있다고 가정해 보겠습니다. 이 예에서는 12회 런 Plackett-Burman 설계를 구성합니다. "선별" 창을 쉽게 완료하기 위해 "반응 불러오기" 및 "요인 불러오기" 명령을 사용합니다.

### Plackett-Burman 설계 생성

1. **DOE > 전통적 설계 > 2 수준 선별 > 선별 설계**를 선택합니다.

2. 도움말 > 샘플 데이터 라이브러리를 선택하고 Design Experiment/Reactor Response.jmp 를 엽니다.
3. "선별 설계"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 반응 불러오기를 선택합니다.
4. 도움말 > 샘플 데이터 라이브러리를 선택하고 Design Experiment/Reactor Factors.jmp 를 엽니다.
5. "선별 설계"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 요인 불러오기를 선택합니다.
- 반응 불러오기 및 요인 불러오기 명령을 사용하면 "반응" 및 "요인" 개요에 반응 / 요인 이름, 반응의 목표와 함께, 요인 값 등이 채워집니다. 완료된 반응 및 요인 개요는 그림 9.19에서 확인하십시오.
6. 계속을 클릭합니다.

**참고 :** 다음 단계에서 난수 시드값을 설정하면 이 예에 나오는 런 순서가 재현됩니다. 설계를 직접 구성할 때는 이 단계가 필요하지 않습니다.

7. (선택 사항) "선별 설계"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 난수 시드값 설정을 선택한 후 34567 을 입력하고 확인을 클릭합니다.
8. "선별 유형 선택" 패널에서 기본 선택인 부분 요인 설계 목록에서 선택을 적용하고 계속을 클릭합니다.
9. Plackett-Burman 설계를 선택합니다.

런 크기가 2의 거듭제곱이 아닌 Plackett-Burman 설계는 복잡한 별칭 구조를 갖는 경향이 있습니다. 특히 주효과는 여러 가지 이원 교호작용과 부분적으로 별칭 관계를 가질 수 있습니다. 자세한 내용은 "설계 평가"(305 페이지)에서 확인하십시오. 12 회 런 Plackett-Burman 설계는 해상도 3으로 지정됩니다.

**그림 9.26** Plackett-Burman 선별 설계를 보여 주는 설계 목록

설계 목록	
목록에서 해당 행을 클릭하여 설계를 선택하십시오.	
수	블록
런	크기
크기	설계 유형
8	부분 요인
8	부분 요인
12	Plackett-Burman
16	부분 요인
32	완전 요인
해상도	
- 추정 가능한 항목	
3 - 주효과만	
3 - 주효과만	
3 - 주효과만	
5 - 모든 2요인 교호작용	
4 - 몇 가지 2요인 교호작용	
4 - 몇 가지 2요인 교호작용	
4 - 몇 가지 2요인 교호작용	
>6 - 전체 해상도	
5+ - 모든 2요인 교호작용	
5+ - 모든 2요인 교호작용	
4 - 몇 가지 2요인 교호작용	
4 - 몇 가지 2요인 교호작용	
<b>계속</b>	
<b>뒤로</b>	

10. 계속을 클릭합니다.
11. 테이블 생성을 클릭합니다.

**그림 9.27** Plackett-Burman 설계에 대한 설계 테이블

	패턴	Feed Rate	Catalyst	Stir Rate	Temperature	Concentration	Percent Reacted
1	+++++	15	2	120	180	6	•
2	+----+	15	1	100	140	6	•
3	+---++	15	1	120	180	6	•
4	-++++-	10	2	120	180	3	•
5	+----+	15	2	100	140	3	•
6	----+-	10	1	100	180	3	•
7	-++-++	10	2	100	180	6	•
8	++---+	15	2	120	140	3	•
9	--++-+	10	1	120	140	6	•
10	--+-+-	10	1	120	140	3	•
11	-+---+	10	2	100	140	6	•
12	+---+-	15	1	100	180	3	•

Percent Reacted 열이 설계 테이블에 포함되어 있습니다. 테이블에 표시된 순서대로 실험 런을 수행하고 결과를 Percent Reacted 열에 기록해야 합니다.

### 설계 평가

- "선별 설계" 창으로 돌아갑니다. 창을 닫았으면 설계 테이블에서 "DOE 대화상자" 스크립트를 실행합니다.
- 설계 평가 > 상관 색상 맵** 개요를 엽니다.

**그림 9.28** 절대 상관의 색상 맵



주대각 셀은 예상대로 상관계수가 1인 상관관계를 가집니다. 흰색 셀은 상관관계가 0인 효과에 해당합니다. 회색 및 검은색 셀은 상관관계가 0보다 큰 효과에 해당합니다. 관련된 효과와 절대 상관을 표시하려면 커서로 셀을 가리킵니다. 예를 들어 Feed Rate는 몇 가지 이원 및 삼원 교호작용과 상관관계가 있습니다.

**참고 :** 선별 설계의 색상 맵에는 요인이 8개 이하인 설계의 삼원 교호작용이 포함됩니다. 설계 평가 스크립트의 색상 맵에는 이원 교호작용만 포함됩니다.

3. "별칭 행렬" 개요를 엽니다.

**그림 9.29** 최대 이원 교호작용을 보여 주는 별칭 행렬 (일부분)

	Feed	Feed	Feed	Feed	Catalyst*Stir		Stir	Stir	Temperature*Concentration
효과	Rate*Catalyst	Rate*Stir Rate	Rate*Temperature	Rate*Concentration	Rate	Catalyst*Temperature	Catalyst*Concentration	Rate*Temperature	Rate*Concentration
절편	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Feed Rate	0	0	0	0	0.333	-0.33	-0.33	0.333	0.333
Catalyst	0	0.333	-0.33	-0.33	0	0	0	0.333	-0.33
Stir Rate	0.333	0	0.333	0.333	0	0.333	-0.33	0	0.333
Temperature	-0.33	0.333	0	0.333	0.333	0	0.333	0	0.333
Concentration	-0.33	0.333	0.333	0	-0.33	0.333	0	0.333	0

설계가 주효과에 대해 직교이므로 "별칭 행렬"에서 효과 간 상관관계를 나타내는 숫자 값을 제공합니다. 자세한 내용은 "설계 평가" 장의 "별칭 행렬" (430 페이지)에서 확인하십시오. 예를 들어 Feed Rate는 6개의 이원 교호작용 및 4개의 삼원 교호작용과 부분적으로 별칭 관계를 갖습니다. 이러한 교호작용은 Feed Rate 행에서 0.333 및 -0.33 항목에 해당합니다.

## 결과 분석

Plackett-Burman.jmp 데이터 태이블에는 설계된 실험의 결과가 포함되어 있습니다. Temperature\*Concentration 교호작용이 활성일 것으로 의심했습니다. 이 교호작용만 잠재적 활성 교호작용이라는 가정하에 진행합니다.

1. 도움말 > 샘플 데이터 라이브러리를 선택하고 Design Experiment/Plackett-Burman.jmp 를 엽니다.
2. 왼쪽의 아이콘을 클릭하여 Model 스크립트를 실행합니다.
3. "열 선택" 목록에서 Temperature를 선택하고 "모형 효과 생성" 목록에서 Concentration 을 선택합니다.
4. 교차를 클릭합니다.
5. 실행을 클릭합니다.

**그림 9.30** 전체 모형의 모수 추정값

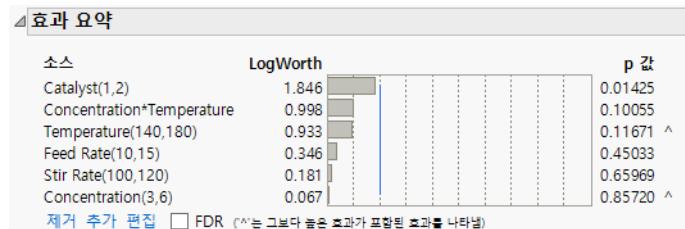
모수 추정값				
항	추정값	표준 오차	t 비	Prob> t
절편	66.166667	2.639444	25.07	<.0001*
Feed Rate(10,15)	-2.333333	2.850926	-0.82	0.4503
Catalyst(1,2)	10.5	2.850926	3.68	0.0142*
Stir Rate(100,120)	1.3333333	2.850926	0.47	0.6597
Temperature(140,180)	5	2.639444	1.89	0.1167
Concentration(3,6)	-0.5	2.639444	-0.19	0.8572
Concentration*Temperature	-6.5	3.232646	-2.01	0.1006

"실제값 대 예측값 그림"은 모형 적합 결여가 없음을 나타냅니다. "모수 추정값" 보고서는 Catalyst 가 0.05 수준에서 유의하고 Concentration\*Temperature 교호작용이 0.10 수준에서 거의 유의하다는 것을 보여 줍니다.

## 모형 축소

반응에 가장 큰 영향을 미치는 효과를 식별하려고 합니다. 이러한 활성 효과를 더 명확하게 보려면 "효과 요약" 개요를 사용하여 유의하지 않은 효과를 제거합니다.

**그림 9.31** 전체 모형의 효과 요약 개요

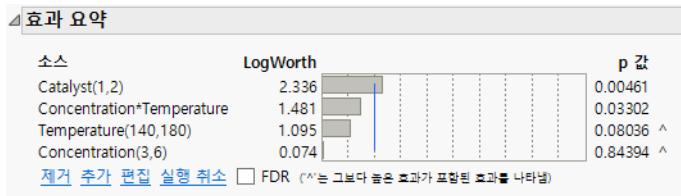


Concentration은 최소 유의 효과이지만 p 값 오른쪽의 캐럿에 표시된 대로 고차 교호작용 (Concentration\*Temperature)에 포함됩니다. 효과 유전성 원리에 따라 Concentration\*Temperature 교호작용이 모형에 남아 있는 동안에는 Concentration을 모형에서 제거하면 안 됩니다. 자세한

내용은 "DOE로 시작" 장의 "효과 유전성"(61 페이지)에서 확인하십시오. 그 다음 최소 유의 효과는 Stir Rate입니다.

1. "효과 요약" 개요에서 Stir Rate를 선택하고 **제거**를 클릭합니다.
- 제거할 수 있는 다음 최소 유의 효과는 Feed Rate입니다.
2. "효과 요약" 개요에서 Feed Rate를 선택하고 **제거**를 클릭합니다.

**그림 9.32** 축소 모형의 효과 요약 개요



"p 값" 열은 Catalyst 주효과와 Concentration\*Temperature 교호작용 둘 다 0.05 수준에서 유의함을 나타냅니다. 모형을 더 이상 축소하면 안 됩니다. 다른 모든 교호작용이 비활성이거나 무시할 수 있는 경우 Catalyst 및 Concentration\*Temperature 교호작용이 활성 효과라는 결론을 내릴 수 있습니다.

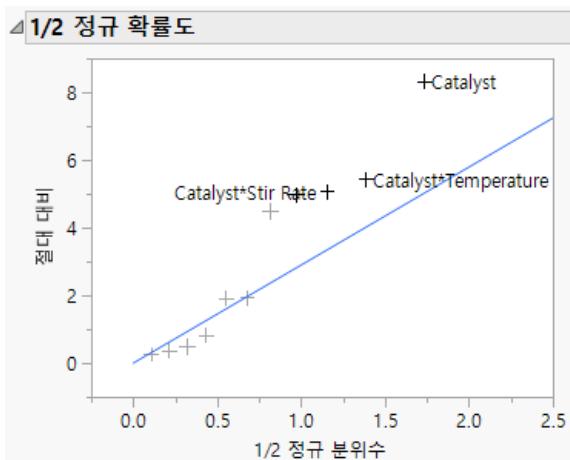
## 2 수준 선별 적합 플랫폼 선별 실험의 데이터 분석

2수준 선별 적합 플랫폼은 선별 설계의 실험 데이터 결과를 분석하는 데 사용할 수 있는 모델링 플랫폼입니다. 2수준 선별 적합 플랫폼은 반응에 큰 영향을 미치는 효과를 식별하는 데 유용합니다.

2수준 선별 적합 플랫폼은 효과 희소성 원리를 기반으로 합니다(Box and Meyer 1986). 이 원리는 선별 설계에서 연구하는 효과 중 활성 효과는 상대적으로 적다고 주장합니다. 대부분은 비활성이므로 실제 효과를 무시할 수 있으며 추정값을 랜덤 오차로 처리할 수 있습니다.

관심 모형에 교호작용 항이 포함되어 있으면 선별 설계에서 오차 자유도를 제공하지 않는 경우가 종종 있습니다. 결과적으로 효과에 대해 전통적 검정을 사용할 수 없습니다. 이러한 경우 2수준 선별 적합 플랫폼이 특히 유용합니다.

그림 10.1 2 수준 선별 적합 보고서의 1/2 정규 확률도



## 목차

2 수준 선별 적합 플랫폼 개요	311
2 수준 선별 적합 플랫폼의 예	311
2 수준 선별 적합 플랫폼 시작	314
선별 보고서	315
대비	315
1/2 정규 확률도	316
모형 생성 또는 실행	316
2 수준 선별 적합 분석의 추가 예	316
Plackett-Burman 설계 분석	317
효과 유전성 예	318
과포화 설계 분석	320
2 수준 선별 적합 플랫폼에 대한 기술 상세 정보	321
효과 입력 순서	322
2수준 선별 적합과 직교 회전	322
Lenth 유사 표준 오차	323
Lenth t-비	323

## 2 수준 선별 적합 플랫폼 개요

선별 설계 분석은 반응의 변동이 대부분 적은 수의 효과로 설명된다는 효과 희소성 원리를 기반으로 합니다. 이 원리에 따라 추정값이 작은 효과를 사용하여 모형의 오차를 추정합니다. 그런 다음 더 큰 효과가 활성인지 여부를 검정할 수 있습니다.

"모형 적합"("분석 > 모형 적합") 또는 "2 수준 선별 적합"("DOE > 전통적 설계 > 2 수준 선별 > 2 수준 선별 적합")을 사용하여 선별 실험의 데이터를 분석할 수 있습니다. 다음 지침을 사용하여 적절한 모델링 플랫폼을 선택하십시오.

- 요인이 모두 2 수준 및 직교인 경우 2 수준 선별 적합 플랫폼의 모든 통계량이 적합합니다.
- 과포화 주효과 설계의 데이터가 있는 경우 2 수준 선별 적합 플랫폼은 활성 요인을 선택하는데 효과적이지만 오차 또는 유의성을 추정하는 데는 효과적이지 않습니다.  $p$  값 생성을 위한 몬테카를로 시뮬레이션은 이 경우에 유효하지 않은 가정을 사용합니다.
- 수준이 3 개 이상인 범주형 또는 이산 수치형 요인이 있는 경우 2 수준 선별 적합 플랫폼이 적합하지 않습니다. JMP는 연관된 모형 항을 연속형으로 처리합니다. 이러한 요인의 경우 주 효과와 다항식 효과 전체에 변동이 분산됩니다. 이 상황에서는 모형 적합 플랫폼을 사용하는 것이 좋습니다.
- 데이터가 직교하지 않는 경우 2 수준 선별 적합 플랫폼에서 생성된 추정값은 표준 회귀 추정값과 다릅니다. JMP는 큰 효과를 식별할 수 있지만 각 효과를 효율적으로 검정하지 못합니다. 이는 효과를 모형에 입력할 때 인위적으로 직교화하여 초기에 모형에 입력되는 효과가 표준 회귀에서보다 덜 유의하게 보이게 하기 때문입니다. 자세한 내용은 "[효과 입력 순서](#)"(322 페이지)에서 확인하십시오.
- 혼합물 설계의 경우 2 수준 선별 적합 플랫폼이 적합하지 않습니다. 자세한 내용은 "[혼합물 설계](#)" 장의 "[혼합물 설계 적합](#)"(383 페이지)에서 확인하십시오.

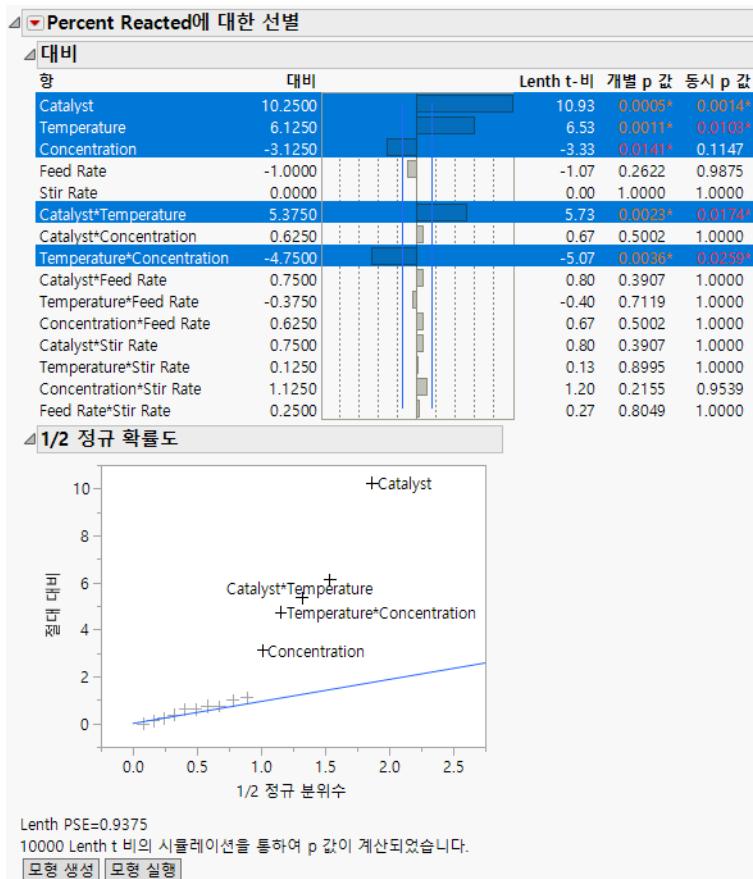
## 2 수준 선별 적합 플랫폼의 예

Reactor Half Fraction.jmp 샘플 데이터 파일에는 Box et al.(1978)에서 논의한 설계에서 파생된 실험 결과가 포함되어 있습니다. 주효과와 이원 교호작용이 포함된 모형에서 유의한 효과를 식별하려고 합니다. 이 예에서는 16회 런 설계에 대해 15개의 모수가 있는 모형을 사용합니다. 또한 이 예에서는 2 수준 선별 적합 플랫폼과 모형 적합 플랫폼을 둘 다 사용하여 분석합니다.

### 2 수준 선별 적합

1. 도움말 > 샘플 데이터 라이브러리를 선택하고 Reactor Half Fraction.jmp 를 엽니다.
2. DOE > 전통적 설계 > 2 수준 선별 > 2 수준 선별 적합을 선택합니다.
3. Percent Reacted 를 선택하고 Y 를 클릭합니다.
4. Feed Rate ~ Concentration 을 선택하고 X 를 클릭한 후 확인을 클릭합니다.

**참고 :** 2 수준 선별 적합 플랫폼은 교호 작용 항이 포함된 모형을 자동으로 생성합니다. 이는 모형에 포함할 교호작용을 수동으로 지정하는 모형 적합 플랫폼과 대조적입니다.

**그림 10.2** Reactor Half Fraction.jmp 2 수준 선별 적합 설계 보고서


선별 보고서에서 다음과 같은 특징을 알 수 있습니다.

- 개별  $p$  값이 0.10 미만인 효과가 선택되었습니다.
- Lenth PSE(유사 표준 오차)를 사용하여  $t$  비를 계산합니다. Lenth PSE 값은 "1/2 정규 확률도" 아래에 표시됩니다.
- 개별  $p$  값과 동시  $p$  값이 둘 다 표시됩니다. 0.05 미만인 값에는 별표가 표시됩니다.
- "1/2 정규 확률도"를 사용하면 효과를 빠르게 검토할 수 있습니다. 효과 목록에서 처음에 선택한 효과도 이 그림에 라벨이 지정되어 있습니다.

이 예에서는 Catalyst, Temperature 및 Concentration 과 2 요인 교호작용 두 개가 함께 선택됩니다. 또는 모형 적합 플랫폼에서 같은 모형을 적합시킬 수도 있습니다.

### 모형 적합

- Reactor Half Fraction.jmp 테이블에서 **분석 > 모형 적합**을 선택합니다.
- Percent Reacted 를 선택하고 **Y**를 클릭합니다.
- Feed Rate ~ Concentration 을 선택한 후 **매크로 > 특정 차수까지의 요인**을 선택합니다.
- 실행**을 클릭합니다.
- "모수 추정값" 개요를 엽니다.

**그림 10.3** Reactor Half Fraction.jmp 에 대한 포화 설계 모수 추정값

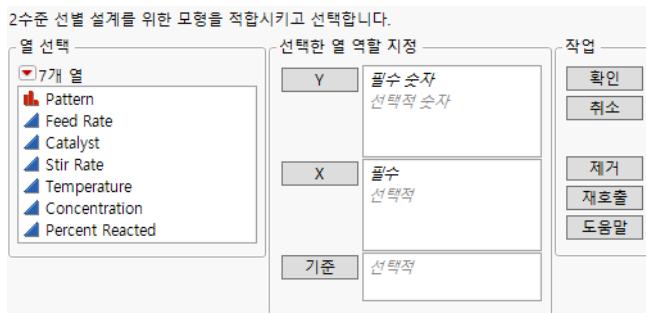
반응 Percent Reacted					
효과 요약					
모수 추정값					
항	추정값	표준 오차	t 비	Prob> t	
절편	65.25	.	.	.	.
Feed Rate(10,15)	-1	.	.	.	.
Catalyst(1,2)	10.25	.	.	.	.
Stir Rate(100,120)	0	.	.	.	.
Temperature(140,180)	6.125	.	.	.	.
Concentration(3,6)	-3.125	.	.	.	.
Feed Rate*Catalyst	0.75	.	.	.	.
Feed Rate*Stir Rate	0.25	.	.	.	.
Feed Rate*Temperature	-0.375	.	.	.	.
Feed Rate*Concentration	0.625	.	.	.	.
Catalyst*Stir Rate	0.75	.	.	.	.
Catalyst*Temperature	5.375	.	.	.	.
Catalyst*Concentration	0.625	.	.	.	.
Stir Rate*Temperature	0.125	.	.	.	.
Stir Rate*Concentration	1.125	.	.	.	.
Temperature*Concentration	-4.75	.	.	.	.

관측값이 16개이고 모형 항이 16개이므로 오차 항을 추정하기에 관측값이 부족합니다. 오차 추정값이 없으면 표준 검정을 수행할 수 없습니다. 모수 추정값이 제공되지만 오차 자유도가 없으므로 표준 오차, t 비, p 값이 모두 결측입니다. 이는 선별 설계의 정보를 최대한 활용할 수 있는 2 수준 선별 적합 플랫폼의 장점을 보여 줍니다.

## 2 수준 선별 적합 플랫폼 시작

**DOE > 전통적 설계 > 2 수준 선별 > 2 수준 선별 적합**을 선택하여 2 수준 선별 적합 플랫폼을 시작 합니다.

**그림 10.4** 2 수준 선별 적합 플랫폼의 시작 창



Y 분석할 열입니다. 데이터 유형이 숫자여야 합니다.

X 연속형 또는 이산형 2 수준 직교 요인입니다.

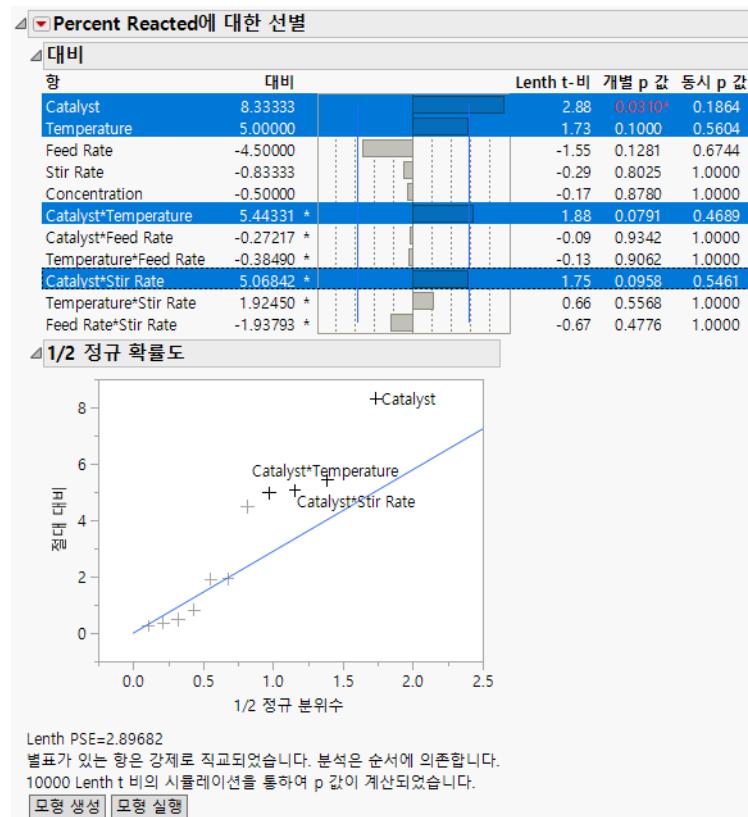
**기준** 각 수준으로 개별 분석을 정의하는 열입니다. 지정된 열의 각 수준에 대해 해당하는 행이 분석됩니다. 결과는 별도의 보고서에 나타납니다. 기준 변수가 둘 이상 할당되면 기준 변수의 가능한 각 수준 조합에 대해 개별 분석이 생성됩니다.

**참고 :** 선별 설계 플랫폼의 부분 요인 설계 목록에서 설계를 생성한 경우 설계 테이블에 **선별**이라는 스크립트가 포함됩니다. 분석을 바로 시작하려면 이 스크립트를 실행하십시오.

## 선별 보고서

"2 수준 선별 적합" 보고서는 설계 대비 (후보 모형 항) 요약 테이블과 1/2 정규 확률도를 보여 줍니다. 보고서에서 선택한 모형을 시작하거나 실행할 수 있습니다.

**그림 10.5** 선별 보고서



- " 대비 "(315 페이지 )
- "1/2 정규 확률도 "(316 페이지 )
- " 모형 생성 또는 실행 "(316 페이지 )

### 대비

" 대비 " 보고서에는 모형 효과, 대비 값, Lenth t-비, 개별 / 동시 p 값 및 별칭 ( 있는 경우 ) 이 나열됩니다. 계층 순서에 따라 효과가 분석에 입력됩니다. 자세한 내용은 " 효과 입력 순서 "(322 페이지 )에서 확인하십시오. 개별 p 값이 0.10 미만인 효과가 선택되었습니다.

**항** 요인의 이름입니다 .

**대비** 요인의 추정값입니다. 직교 설계의 경우 이 값은 회귀 모수 추정값과 동일합니다. 비직교 설계의 경우에는 해당하지 않습니다. 대비 옆에 별표가 표시되어 직교성 결여를 나타낼 수 있습니다.

**막대 차트** 0.10 수준에서 유의한 값을 나타내는 파란색 수직선으로 Lenth t- 비를 표시합니다.

**Lenth t- 비** 대비 /PSE로 계산된 Lenth t- 비이며, 여기서 PSE는 Lenth 유사 표준 오차입니다. 자세한 내용은 "[Lenth 유사 표준 오차](#)"(323 페이지)에서 확인하십시오.

**개별 p 값** 선형 모형의 표준 p 값과 유사합니다. 개별 p 값이 작으면 유의한 효과를 나타냅니다. 자세한 내용은 "[Lenth 유사 표준 오차](#)"(323 페이지)에서 확인하십시오.

---

**참고 :** 분석을 다시 실행하는 경우 p 값이 정확히 동일할 것으로 예상하지 마십시오. 몬테카를로 방법에 따르면 같은 분석이 반복되는 경우 유사하지만 동일하지 않은 값을 제공해야 합니다.

**동시 p 값** 다중 비교를 위한 조정 p 값을입니다.

**별칭** 초기 효과에 대한 후기 효과의 정확한 별칭이 있는 경우에만 나타납니다.

## 1/2 정규 확률도

1/2 정규 확률도는 1/2 정규 분포의 분위수 절대값에 대해 그림에 표시된 대비 절대값을 보여 줍니다. 파란색 선은 Lenth 추정값  $\sigma$ 의 기울기로 원점을 통과합니다. 작은 효과는 오차 항으로 간주되며 평균 0, 표준편차  $\sigma$ 인 정규 분포가 있는 것으로 가정합니다. 이러한 항은 파란색 선에 있습니다. 유의한 효과는 평균이 0이 아니고 파란색 선을 벗어납니다.

1/2 정규 확률도는 대화식입니다. 관심 효과 주위를 직사각형 형태로 드래그하여 모형 효과를 선택할 수 있습니다. 보고서에서 Ctrl 키를 누르고 효과 이름을 클릭할 수도 있습니다.

## 모형 생성 또는 실행

**모형 생성** 버튼은 선택한 효과가 채워진 "모형 적합" 창을 시작합니다.

**모형 실행** 버튼은 선택한 효과에 대한 효과 선별 모형을 실행합니다.

---

**참고 :** 선택한 모형이 효과 유전성을 따르지 않을 경우 JMP 경고가 나타납니다. **취소**를 클릭하고 **모형 생성** 버튼을 사용하여 "모형 적합" 창을 시작한 후 결측 항을 추가할 수 있습니다. 아니면 **계속**을 클릭한 후 효과 유전성 규칙을 따르지 않는 모형을 생성할 수 있습니다. 자세한 내용은 "[DOE로 시작](#)" 장의 "[효과 유전성](#)"(61 페이지)에서 확인하십시오.

---

## 2 수준 선별 적합 분석의 추가 예

- "[Plackett-Burman 설계 분석](#)"
- "[효과 유전성 예](#)"

- "과포화 설계 분석"

## Plackett-Burman 설계 분석

Plackett-Burman 설계는 부분 요인 선별 설계 대신 사용할 수 있습니다. 2수준 부분 요인 설계는 특성상 2의 거듭제곱과 동일한 수의 여러 런이 있어야 합니다. 그러나 12, 24 및 28회 런 설계의 경우 Plackett-Burman 설계를 사용할 수 있습니다.

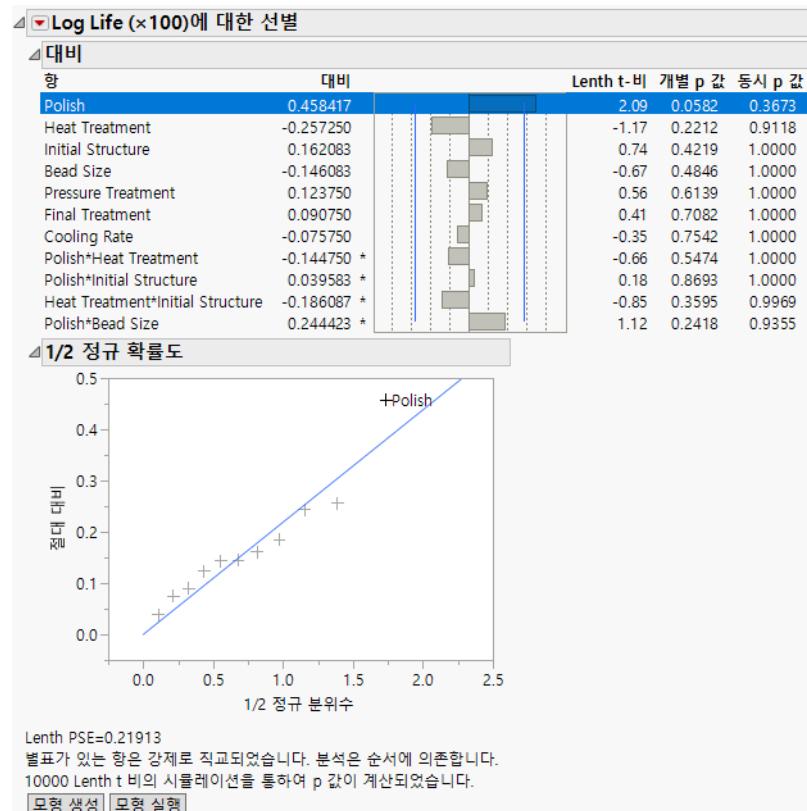
Weld-Repaired Castings.jmp 샘플 데이터 테이블은 Plackett-Burman 설계를 사용하여 Box et al. Box et al.(1978)에서 논의한 설계에서 파생된 실험 결과가 포함되어 있습니다. 7 개 요인이 용접 품질에 영향을 줄 것으로 추정됩니다. 7 개 요인에는 Initial Structure, Bead Size, Pressure Treatment, Heat Treatment, Cooling Rate, Polish 및 Final Treatment 가 포함됩니다. 12 회 런이 포함된 Plackett-Burman 설계를 사용하여 7 개 요인의 중요도를 조사합니다. 반응은  $100 \times \log(\text{수명})$  입니다. 오차를 모델링하는 데 사용된 4 개의 항도 샘플 데이터 테이블에 포함되어 있지만 이 분석에는 사용되지 않습니다.

1. 도움말 > 샘플 데이터 라이브러리를 선택하고 Weld-Repaired Castings.jmp 를 엽니다.
2. DOE > 전통적 설계 > 2 수준 선별 > 2 수준 선별 적합을 선택합니다.

열 특성을 기반으로 시작 창이 채워져 있습니다. Log Life (x100) 가 반응 Y입니다.

7 개 요인 Initial Structure, Bead Size, Pressure Treatment, Heat Treatment, Cooling Rate, Polish 및 Final Treatment 가 X에 대해 지정되어 있습니다.

3. X 창 맨 아래로 스크롤합니다.  $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$  및  $\varepsilon_4$  를 선택하고 제거를 클릭합니다.
4. 확인을 클릭합니다.

**그림 10.6** Weld-Repaired Castings.jmp에 대한 선별 보고서

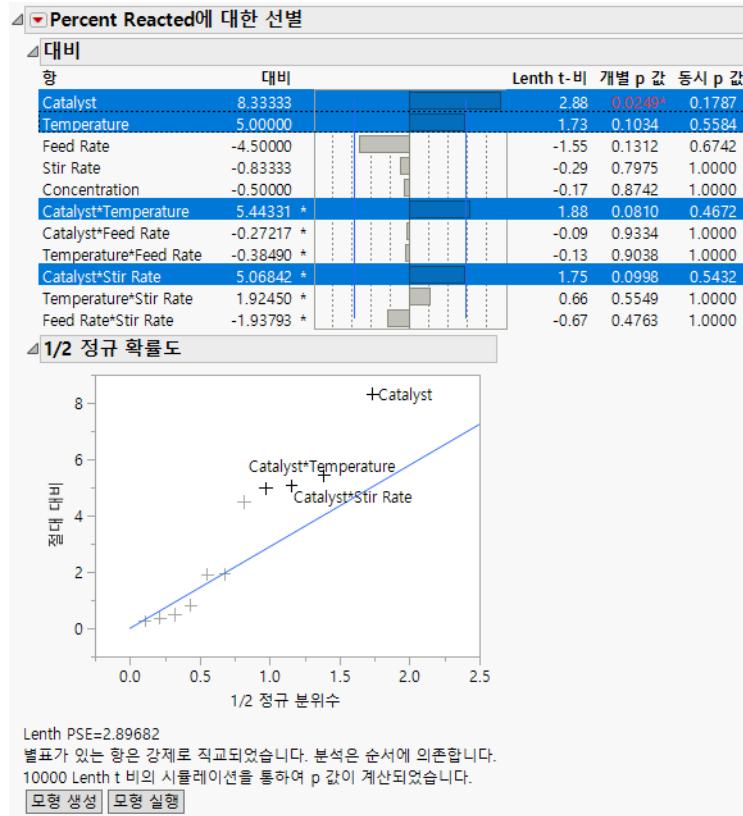
유의한 것으로 식별된 효과는 Polish뿐입니다. 별표가 표시된 4개 항은 앞의 효과와 직교하지 않음을 나타냅니다. 이러한 효과에 대해 계산된 대비 값은 직교화 후의 값입니다. 따라서 이러한 추정값은 해당하는 회귀 분석에서 구한 추정값과 일치하지 않습니다. 모형 실행 버튼을 사용하여 단일 요인 모형을 적합시킬 수 있습니다.

## 효과 유전성 예

이 예에서는 2 수준 선별 적합 플랫폼에서 효과 유전성을 따르지 않는 모형을 식별할 때 모형을 생성하는 것을 보여 줍니다.

1. 도움말 > 샘플 데이터 라이브러리를 선택하고 Design Experiment/Plackett-Burman.jmp를 업니다.
2. DOE > 전통적 설계 > 2 수준 선별 > 2 수준 선별 적합을 선택합니다.
3. Percent Reacted를 선택하고 Y를 클릭합니다.
4. Feed Rate ~ Concentration을 선택하고 X를 클릭합니다.
5. 확인을 클릭합니다.

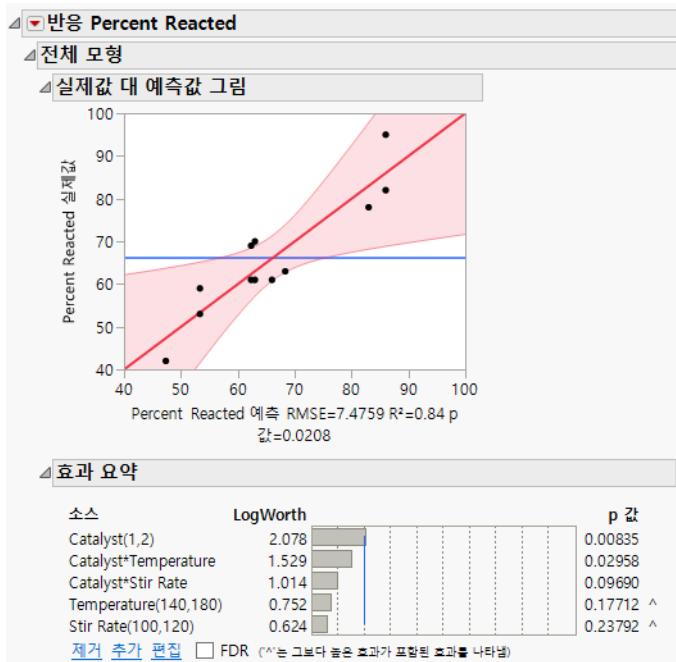
그림 10.7 모형 대비



Catalyst\*Stir Rate 교호 작용은 강조 표시되어 있는데 Stir Rate 주효과는 강조 표시되지 않습니다. 효과 유전성 원리에 따라 Stir Rate 주효과를 모형에 추가해야 합니다. 자세한 내용은 "DOE로 시작" 장의 "효과 유전성"(61 페이지)에서 확인하십시오.

6. 모형 생성을 클릭합니다.
7. Stir Rate 를 선택하고 "모형 효과 생성" 섹션에서 추가를 클릭합니다.
8. 실행을 클릭합니다.

**그림 10.8** 모형 적합 보고서 ( 일부분 )



Stir Rate 및 Temperature의 p 값 오른쪽에 있는 ^ 기호는 이러한 효과가 유의하지는 않지만 유의한 고차 효과에 포함되어 있음을 나타냅니다.

## 과포화 설계 분석

과포화 설계는 런보다 요인이 더 많습니다. 이 설계는 분석할 때 효과 회소성에 크게 의존하므로 2수준 선별 적합 플랫폼이 분석에 이상적입니다. 목표는 활성 효과를 판별하는 것입니다.

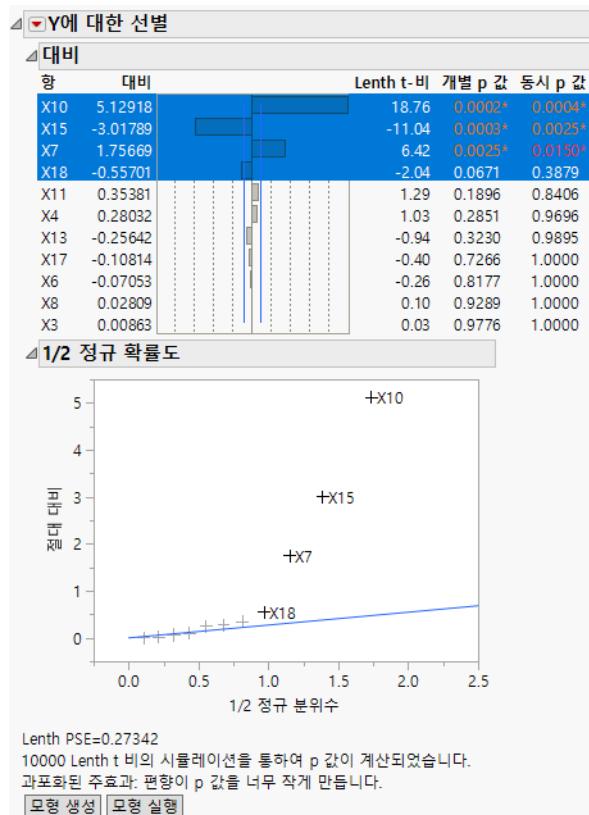
이 예에서는 요인이 18 개이지만 런이 12 회뿐인 시뮬레이션된 설계가 고려됩니다. Y는 다음에 의해 생성됩니다.

$$Y = 2(X7) + 5(X10) - 3(X15) + \varepsilon$$

여기서  $\varepsilon \sim N(0,1)$  입니다. 따라서 3 개의 활성 요인으로 Y가 생성되었습니다.

1. 도움말 > 샘플 데이터 라이브러리를 선택하고 Supersaturated.jmp 를 엽니다 .
2. DOE > 전통적 설계 > 2 수준 선별 > 2 수준 선별 적합을 선택합니다 .
3. Y 를 선택하고 Y 를 클릭합니다 .
4. X1 ~ X18 을 선택하고 X 를 클릭합니다 .
5. 확인을 클릭합니다 .

그림 10.9 Supersaturated.jmp 에 대한 선별 보고서



4개 요인이 강조 표시되어 있습니다. 0.05 임계값 기준에 따라 X10, X15, X7 요인이 활성입니다. "1/2 정규 확률도"에서 X18은 파란색 선에 가까우며, 이는 유의성에 대한 0.1 경계 값에 가깝다는 것을 나타냅니다. 0.1 임계값은 활성 가능성 있는 요인이 누락되지 않도록 요인 선택에 관대합니다.

X10, X15, X7에 대한 대비 추정값 5.1, -3, 1.8은 시뮬레이션된 값(5, -3, 2)에 가깝습니다.

p 값은 직교 설계를 가정하는 시뮬레이션을 기반으로 하므로 통계적으로 완전히 유효하지는 않습니다(과포화 설계의 경우 해당하지 않음). 그러나 위에 표시된 것처럼 추가 조사를 위한 효과를 식별하는 데 유용할 수 있습니다.

## 2 수준 선별 적합 플랫폼에 대한 기술 상세 정보

- "효과 입력 순서"
- "2 수준 선별 적합과 직교 회전"
- "Lenth 유사 표준 오차"

- "Length t- 비"

## 효과 입력 순서

2 수준 선별 적합 플랫폼에는 다음과 같이 작업 순서가 신중하게 정의되어 있습니다.

1. 맨 먼저 대비의 절대 크기에 따라 주효과 항이 모형에 입력됩니다. 모든 효과는 모형에서 앞의 효과와 직교됩니다. 이 방법을 사용하면 효과 순서가 단계별 전진 회귀의 경우와 동일하게 됩니다. 또한 주효과를 기준으로 정렬하면 과정 후반에서 기본 별칭 항을 선택하는 데 도움이 됩니다.
2. 주효과 후에 모든 2 차 교호작용, 3 차 교호작용 등이 순서대로 모형에 입력됩니다. B 와 C 가 모두 D 보다 크기 때문에 2 차 교호작용은 이전의 모든 항과 교차한 후 새 항을 가져옵니다. 전체 입력 순서는 AB, AC, BC, AD, BD, CD 입니다.
3. 모형에 이미 있는 효과에 대한 정확한 별칭 효과가 "별칭" 열에 나타납니다. 몇 가지 이전 효과의 선형 조합인 효과는 나타나지 않습니다. 직교성 결여로 인한 부분 별칭 구조가 있는 경우 관련된 효과에 별표가 표시됩니다.
4. 이 과정은  $n$  개 효과를 얻을 때까지 계속됩니다. 여기서  $n$  은 데이터 테이블의 행 수이므로 완전히 포화된 모형을 생성합니다. 요인으로 완전 포화가 불가능한 경우 JMP 는 임의의 직교된 효과를 생성하여 나머지 변동을 흡수합니다. 이러한 효과에는 Null n 이라는 라벨이 지정되며 여기서  $n$  은 숫자입니다. 예를 들어 설계에 정확한 반복 행이 있는 경우 이 상황이 발생합니다.

## 2 수준 선별 적합과 직교 회전

수학적 개념으로 보면 2 수준 선별 적합 플랫폼은 반응 벡터에서  $n$  개 값을 가져와  $n$  개의 새로운 값으로 회전시킵니다. 그런 다음 회전된 값은 요인 및 요인 교호작용의 공간에 의해 매핑됩니다.

$$\text{대비} = \mathbf{T}' \times \text{반응}$$

위의 방정식에서  $\mathbf{T}$  는  $n$  개 값을 얻을 때까지 절편, 요인의 주효과, 이원 교호작용, 삼원 교호작용 등으로 시작하는  $n \times n$  개의 정규직교화된 값 집합입니다.  $\mathbf{T}$  의 첫 번째 열이 절편이고 다른 모든 열이 여기에 직교하므로 이러한 다른 열은 모두 대비입니다. 즉, 합이 0입니다.  $\mathbf{T}$  는 직교이므로 선형 모형에서  $\mathbf{X}$  로 사용할 수 있습니다.  $\mathbf{T}'$  는  $\mathbf{T}^{-1}$  및  $(\mathbf{T}'\mathbf{T})\mathbf{T}'$  와 동등하므로 역변환이 필요하지 않습니다. 대비는 선형 모형에서 추정된 모수입니다.

절편을 제외하고 활성인 효과가 모형에 없는 경우 대비는 랜덤 독립 변량을 다른 랜덤 독립 변량으로 직교 회전하는 것에 불과합니다. 직교 회전한 이 랜덤 변량은 원래의 랜덤 독립 변량과 분산이 같습니다. 일부 효과가 활성인 경우에도 비활성 효과는 모형의 오차와 동일한 변동을 나타냅니다. 효과 및 설계가 활성 효과와 랜덤 오차 효과를 분리할 수 있을 만큼 강력해야 합니다.

## Lenth 유사 표준 오차

Lenth PSE(유사 표준 오차)라고 하는 Lenth 방법(Lenth 1989)은 비활성으로 보이는 효과를 사용하여 잔차 표준 오차의 추정값을 생성합니다. Lenth PSE를 사용하면 대비가 독립적이고 공통 분산을 갖는 실험의 표준 오차를 추정할 수 있습니다.

$n$  개 행이 있는 경우 이 플랫폼은  $n - 1$  개 대비를 생성합니다. 이러한 대비는  $\hat{C}_i$ 로 나타내고, 여기서  $i = 1, \dots, n - 1$ 입니다.

Lenth PSE를 구하려면 먼저 다음을 계산합니다.

$$v = 1.5[\text{median}_{i=1, \dots, n-1} |\hat{C}_i|]$$

Lenth PSE는 비활성 가능성이 있는 효과를 기반으로 하며 다음과 같이 정의됩니다.

$$PSE = 1.5 \left[ \text{median}_{|\hat{C}_i| < 2.5v} |\hat{C}_i| \right]$$

Lenth PSE 값은 "선별" 보고서 맨 아래에 표시됩니다.

## Lenth t- 비

각 대비에 대해  $t$  비는 대비를 PSE로 나눈 값으로 계산됩니다. 귀무가설 하에서 이러한  $t$  비의 기준 분포는 계산적으로 처리하기가 어렵습니다. 따라서 시뮬레이션을 통해 계산됩니다. 아래에 설명된 이 방법은 Ye and Hamada(2000)의 논의를 기반으로 합니다.

$i^{\text{th}}$  대비의  $t$  비는 다음과 같이  $t_i$ 로 나타냅니다.

$$t_i = \hat{C}_i / (PSE)$$

선별 실험에서 중요한 것은 개별 오차율, 즉 특정 효과가 활성이 아닐 때 활성으로 선언할 확률입니다. 개별 오차는  $i^{\text{th}}$  효과의 경우  $|t_i|$ 가 크고 기준 분포의 상위 꼬리에 속할 때 발생합니다.

이 플랫폼은 비교적 많은 수의 효과를 생성하므로 실험별 오차율도 중요합니다. 실험별 오차율은 활성 효과가 없을 때 어떤 한 효과를 활성으로 선언할 확률입니다. 실험별 오차는 활성 효과가 없을 경우 절대  $t$  비의 최대값( $\max |t_i|$ )이 크고 기준 분포의 상위 꼬리에 속할 때 발생합니다.

2수준 선별 적합 플랫폼은 몬테카를로 시뮬레이션을 사용하여 두 가지 유형의 오차율에 대한 기준 분포를 얻습니다. 평균이 0이고 표준편차가 PSE와 동일한 정규 분포에서 시뮬레이션된  $n - 1$  개 값의 집합을 고려하십시오. 이 값 집합은 활성 효과가 없다는 귀무가설 하에서 실험에 대한 잠재적 대비 값을 나타냅니다.  $n - 1$  개의 랜덤 대비 값 집합이 총 10,000 개 생성됩니다.

## 개별 p 값

$i^{\text{th}}$  대비를 가정해 보겠습니다.  $10,000 * (n - 1)$  개의 시뮬레이션 값을 각각 사용하여 Lenth  $t$ -비가 생성됩니다. 개별 오차율에 대한 기준 분포는 이러한  $t$  비의 절대값에 의해 근사값이 계산됩니다. 개별  $p$  값은 내림차순으로 정렬되어 있는 시뮬레이션된 절대  $t$  비  $10,000 * (n - 1)$  개 중 관측된 절대

Lenth t-비의 보간 부분 위치입니다. 이는 기준 분포에 대해 관측된 절대 Lenth t-비 절대값의 오른쪽 영역에 근사한 값을 산출합니다.

### 동시 p 값

모든 효과가 비활성일 때  $t$  비로 인해 귀무가설이 기각될 경우 실험별 오차가 발생합니다. 이와 동등하게 절대  $t$  비의 최대값( $\max|t_i|$ )으로 인해 귀무가설이 기각될 경우 실험별 오차가 발생합니다.

이 경우 기준 분포를 얻으려면 10,000개의 각 시뮬레이션에서 계산된 절대  $t$  비의 최대값을 고려하십시오. 10,000개의 이 최대값이 기준 분포를 구성합니다. 동시  $p$  값은 내림차순으로 정렬되어 있는 시뮬레이션된 절대  $t$  비 최대값 10,000개 중 관측된 절대 Lenth t-비의 보간 부분 위치입니다. 이는 시뮬레이션된 절대  $t$  비의 최대값을 기반으로 기준 분포에 대한 절대 Lenth t-비 절대값의 오른쪽 영역에 근사한 값을 산출합니다.

### 몬테카를로 시뮬레이션 옵션

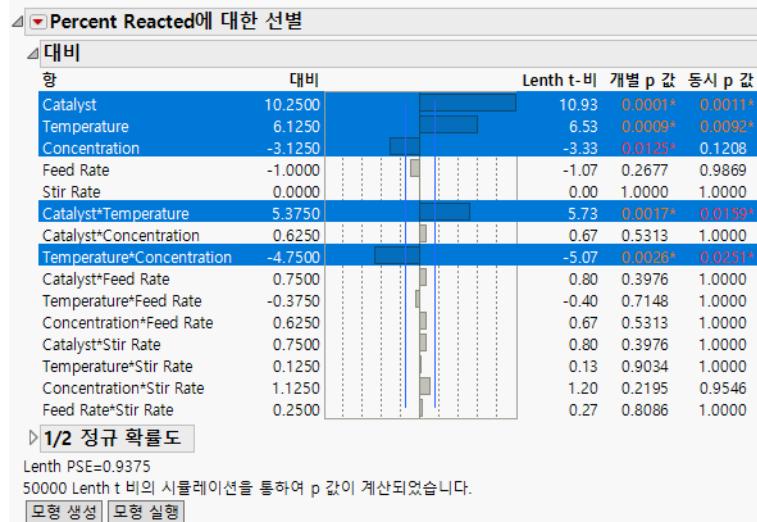
기본 시뮬레이션 집합 수(10,000)를 변경하려면 **LenthSimN**이라는 전역 JSL 변수에 값을 할당해야 합니다.  $p$  값을 도출하는 데 사용된 시뮬레이션 수가 보고서 창에 보고됩니다.

다음 예에서는 시뮬레이션 수를 50,000 으로 설정합니다.

1. 도움말 > 샘플 데이터 라이브러리를 선택하고 Reactor Half Fraction.jmp 를 엽니다 .
2. DOE > 전통적 설계 > 2 수준 선별 > 2 수준 선별 적합을 선택합니다 .
3. Percent Reacted 를 선택하고 Y 를 클릭합니다 .
4. Feed Rate ~ Concentration 을 선택하고 X 를 클릭한 후 확인을 클릭합니다 .
5. "Percent Reacted 에 대한 선별 " 옆의 빨간색 삼각형을 클릭하고 스크립트 저장 > 스크립트 창에를 선택합니다 .
6. 스크립트의 첫 번째 줄에 **LenthSimN=50000;** 을 삽입합니다 .

```
LenthSimN=50000;
Fit Two Level Screening(
    Y( :Percent Reacted),
    X( :Feed Rate, :Catalyst, :Stir Rate, :Temperature, :Concentration )
);
```

7. 스크립트 창을 마우스 오른쪽 버튼으로 클릭하고 **스크립트 실행**을 선택합니다 .

그림 10.10  $p$  값 도출을 위해  $N = 50,000$  시뮬레이션을 사용한 2 수준 적합

시뮬레이션 수가 보고서 창에 명시됩니다.

**참고 :** LenthSimN=0 이면 표준  $t$  분포가 사용되고 동시  $p$  값은 제공되지 않습니다. 이 방법은 권장되지 않습니다.

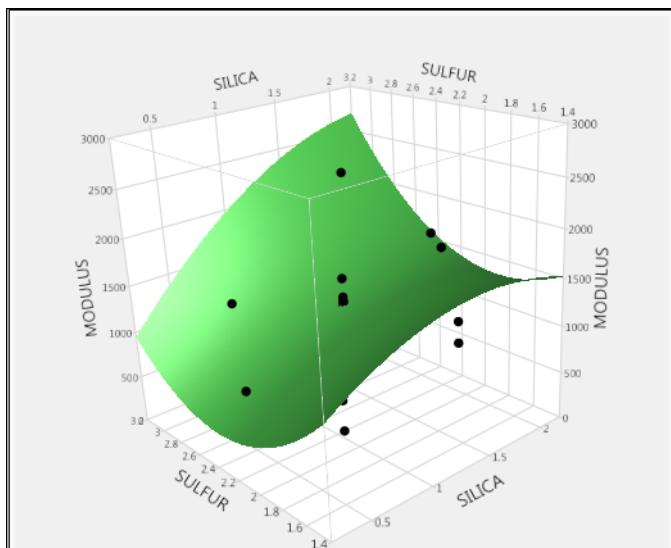


## 반응 표면 설계

반응 표면 설계는 2차 표면을 모델링하는 데 유용합니다. 반응 표면 모형은 설계 영역 내에서 반응의 최소값 또는 최대값이 발생하는 점을 식별할 수 있습니다. 2차 함수를 적합시키려면 각 요인에 대해 3개의 구분되는 값이 필요하므로 표준 2수준 설계는 곡면을 적합시키는 데 적절하지 않습니다.

반응 표면 설계는 반응에 대한 2차 예측 방정식을 적합시킬 수 있습니다. 이러한 방정식의 2차 항은 실제 반응 함수에서 곡률을 모델링합니다. 설계 영역 내에 최대값 또는 최소값이 있는 경우 해당 값이 발생하는 점을 추정할 수 있습니다.

그림 11.1 반응 표면 설계 결과 모형



## 목차

반응 표면 설계 개요	329
반응 표면 설계의 예	331
Box-Behnken 설계 구성	332
실험 데이터 분석	333
최적 설정 탐색	335
반응 표면 설계 창	338
반응	339
요인	340
설계 선택	342
출력 옵션 지정	343
테이블 생성	344
반응 표면 설계 옵션	345

## 반응 표면 설계 개요

반응 표면 설계 플랫폼은 중심 합성 설계와 Box-Behnken 설계라는 전통적 설계를 제공합니다(블록화된 설계 포함). 중심 합성 설계의 경우 축 점 배치 및 설계의 여러 측면을 제어할 수 있습니다. 반응 표면 설계는 연속형 요인에만 사용할 수 있으며 최대 8개 요인에 대해 제공됩니다.

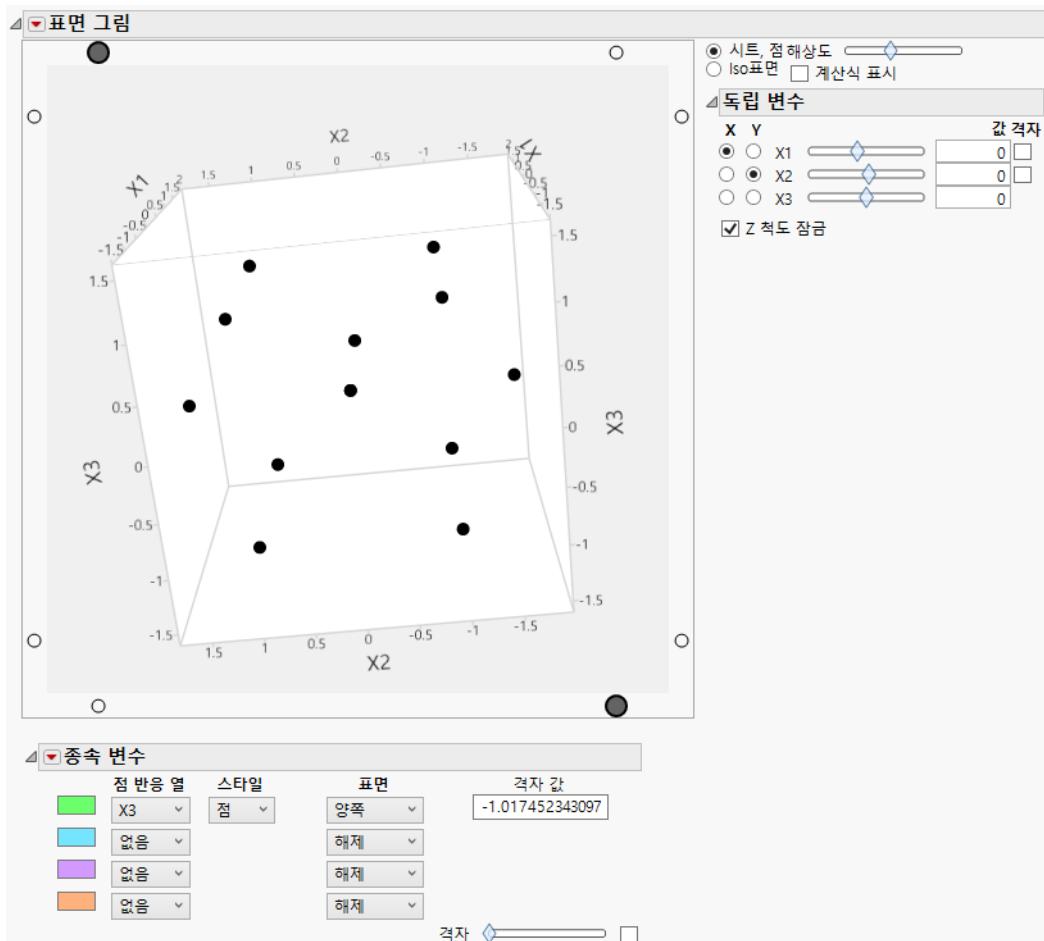
**팁 :** "DOE > 사용자 설계" 를 사용하여 특정 실험 상황에 맞는 최적의 반응 표면 설계를 구성할 수 있습니다. 사용자 설계는 전통적 반응 표면 설계보다 훨씬 유연한 반응 표면 설계를 구성합니다. 특히 사용자 설계 플랫폼을 사용하면 범주형 요인 또는 9개 이상의 연속형 요인이 포함된 반응 표면 설계를 생성할 수 있습니다. 런 수 및 설계 공간에 대한 제한을 지정할 수도 있습니다. 자세한 내용은 "사용자 설계의 예" 장의 "반응 표면 실험"(144 페이지)에서 확인하십시오.

중심 합성 설계 (그림 11.2) 는 2 수준 부분 요인 설계와 다음과 같은 두 가지 다른 유형의 점을 결합합니다.

- 중앙점 . 모든 요인 값이 범위의 중앙 값으로 설정됩니다.
- 축 점 . 한 요인은 상한 또는 하한값(축 값)으로 설정되고 다른 모든 요인은 범위의 중앙 값으로 설정됩니다.

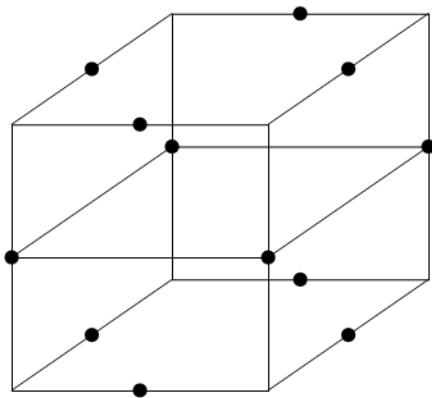
축 점을 기준으로 한 선택에 따라 중심 합성 설계는 각 요인에 대해 최대 5개의 고유 설정을 가질 수 있으며 축 점은 지정된 요인 범위를 넘어 확장될 수 있습니다.

그림 11.2 세 가지 요인에 대한 중심 합성 설계



Box-Behnken 설계(그림 11.3)에 요인당 수준이 세 개뿐이며 요인 범위에 의해 정의된 입방체의 꼭지점에 설계점이 없습니다. 이 유형의 설계는 엔지니어링 고려 사항으로 인해 설계점을 사용하지 않아야 할 때 유용할 수 있습니다. 그러나 입방체 꼭지점에 설계점이 없다는 것은 Box-Behnken 설계가 중심 합성 설계에 비해 꼭지점 근처에서 예측 분산이 높고 정밀도가 낮다는 의미입니다.

그림 11.3 세 가지 요인에 대한 Box-Behnken 설계



JMP에서 다음 두 가지 방법으로 반응 표면 설계를 구성할 수 있습니다.

- 반응 표면 설계 플랫폼 사용 (최대 8 개의 연속형 요인)
- 사용자 설계 플랫폼 사용 후 "모형" 개요에서 "RSM" 버튼 클릭

두 경우 모두 모형 적합을 위해 실행할 수 있는 "모형" 스크립트가 설계 테이블에 포함됩니다. "모형" 스크립트는 "반응 표면 효과" 속성을 각 주효과에 적용하여 "모형 적합" 창에서 주효과 뒤에 **&RS**가 표시되도록 합니다. 이 속성을 사용하면 "최소 제곱 적합" 보고서에 "반응 표면" 보고서가 포함됩니다. 이 보고서에 대한 자세한 내용은 선형 모형 적합의 예에서 확인하십시오.

**참고 :** 연속형 요인이 20 개 넘게 포함된 반응 표면 설계의 경우 "표준 최소 제곱" 보고서에 "반응 표면" 개요가 표시되지 않습니다.

## 반응 표면 설계의 예

이 예에서는 타이어 트래드 실험을 위한 Box-Behnken 설계를 구성합니다. 연장 (Stretch) 측정을 위해 목표값 450 과 일치시키는 것이 실험 목표입니다. 연장 값은 타이어 트래드 컴파운드를 제조하는 데 사용되는 Silica, Silane 및 Sulfur 양에 따라 달라집니다. 목표값을 달성하는 설정을 찾기 위해 광범위한 요인 설정을 대상으로 실험하려고 합니다.

- "Box-Behnken 설계 구성"
- "실험 데이터 분석"
- "최적 설정 탐색"

## Box-Behnken 설계 구성

편의상 이 예에서는 기준 테이블의 반응과 요인을 불러옵니다. 새 실험을 직접 설계할 때는 반응과 요인을 수동으로 입력합니다. 자세한 내용은 "반응"(339 페이지) 및 "요인"(340 페이지)에서 확인하십시오.

1. **DOE > 전통적 설계 > 반응 표면 설계**를 선택합니다.
2. **도움말 > 샘플 데이터 라이브러리**를 선택하고 Design Experiment/Bounce Response.jmp 를 엽니다.
3. "반응 표면 설계"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **반응 불러오기**를 선택합니다.
4. **도움말 > 샘플 데이터 라이브러리**를 선택하고 Design Experiment/Bounce Factors.jmp 를 엽니다.
5. "반응 표면 설계"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **요인 불러오기**를 선택합니다.

**그림 11.4** 타이어 트레드 설계를 위한 반응 및 요인 개요

The screenshot shows the JMP software interface for designing an experiment. It consists of three main sections:

- 반응 (Response):** This section contains a table for the factor "Stretch". The table has columns for 목표 (Target), 하한 (Lower Limit), 상한 (Upper Limit), and 중요도 (Importance). The target is set to 목표값 일치 (Match Target Value) with a value of 350, and the upper limit is 550. The importance is set to 1.
- 요인 (Factors):** This section contains three tables, each for a different factor: Silica, Sulfur, and Silane. Each table lists the level, effect type (연속형 - continuous), and value.
- 3 요인 설계 선택 (3 Factor Design Selection):** This section shows a list of experimental designs. The "Box-Behnken" design is highlighted in blue. Other options include "중심 합성 설계" (Central Composite Design), "CCD-균등 정밀" (CCD-Uniform Precision), "CCD-직교 볼록" (CCD-Orthogonal Curved), and "CCD-직교" (CCD-Orthogonal).

"반응" 개요에 Stretch 의 목표가 "목표값 일치"로 설정되어 있습니다.

"설계 선택" 패널에 가능한 설계가 나타납니다.

**참고 :** 6 단계에서 "난수 시드값"을 설정하면 이 예에 표시된 것과 동일한 결과가 재현됩니다. 설계를 직접 구성할 때는 이 단계가 필요하지 않습니다.

6. (선택 사항) "반응 표면 설계"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 난수 시드값 설정을 선택합니다. "12345"를 입력하고 확인을 클릭합니다.
7. 계속을 클릭하여 Box-Behnken 설계 선택을 유지합니다.
8. 테이블 생성을 클릭합니다.

그림 11.5 Box-Behnken 설계 테이블

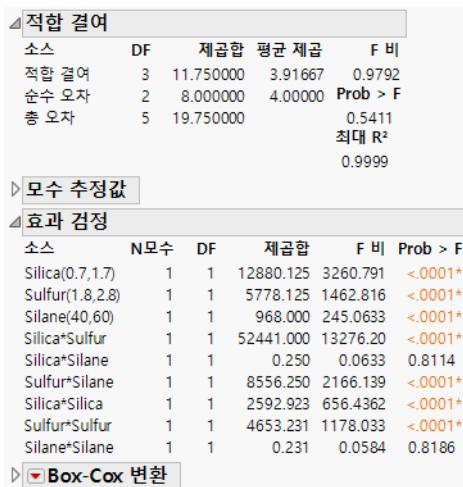
패턴	Silica	Sulfur	Silane	Stretch
1 -0+	0.7	2.3	60	•
2 0+-	1.2	2.8	40	•
3 000	1.2	2.3	50	•
4 000	1.2	2.3	50	•
5 +0-	1.7	2.3	40	•
6 +0+	1.7	2.3	60	•
7 0-+	1.2	1.8	60	•
8 0++	1.2	2.8	60	•
9 -0-	0.7	2.3	40	•
10 -+0	0.7	2.8	50	•
11 000	1.2	2.3	50	•
12 --0	0.7	1.8	50	•
13 0--	1.2	1.8	40	•
14 +-0	1.7	1.8	50	•
15 ++0	1.7	2.8	50	•

이제 실험을 수행하고 데이터 테이블에 반응을 입력합니다.

## 실험 데이터 분석

1. 도움말 > 샘플 데이터 라이브러리를 선택하고 Design Experiment/Bounce Data.jmp를 엽니다. Bounce Data.jmp 파일에 실험 결과가 포함되어 있습니다.
2. Model 스크립트를 실행합니다.  
"모형 효과 생성" 목록의 주효과 뒤에 & RS 가 표시됩니다. 이 접미사는 해당 주효과가 "표준 최소 제곱" 보고서에 "반응 표면" 보고서를 생성하는 반응 표면 효과임을 나타냅니다.
3. 실행을 클릭합니다.

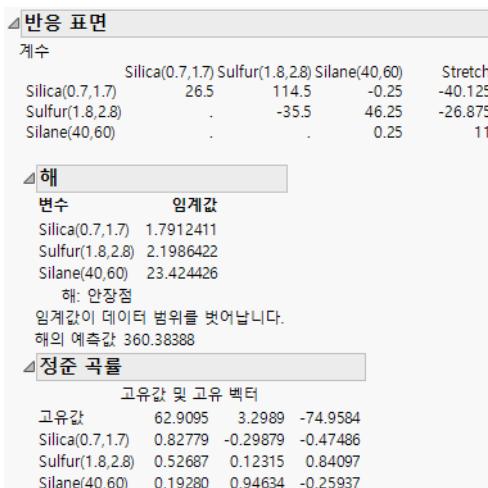
### 그림 11.6 적합 결여 및 효과 검정 보고서



적합 결여를 나타내는 징후가 없고 "효과 검정" 보고서에 따르면 두 개의 고차항 (Silica\*, Silane, Silane\*Silane) 을 제외한 모든 항의  $p$  값이 0.0001 미만입니다. 그림 11.6에 있는 테이블의 해석에 대한 자세한 내용은 선형 모형 적합의에서 확인하십시오.

4. "반응 표면" 옆의 표시 아이콘을 클릭하여 보고서를 엽니다.
5. "정준 곡률" 옆의 표시 아이콘을 클릭합니다.

### 그림 11.7 반응 표면 보고서



보고서의 첫 번째 부분으로 표시된 "계수" 테이블에는 추정된 모형 모수가 간략하게 요약되어 있습니다. 처음 세 열은 2 차 항의 계수를 제공합니다. 마지막 열은 선형 항의 계수를 제공합니다. 예측 표현식을 전체적으로 표시하려면 "반응 Stretch"의 빨간색 삼각형에서 **추정값 > 예측 표현식 표시**를 선택합니다.

"해" 보고서는 단일 임계값이 발생하는 점의 좌표를 제공합니다. 이 경우 해당 점은 안장점(최대값도 아니고 최소값도 아닌 점)이며 설계 공간 범위를 벗어납니다.

"정준 곡률" 보고서는 효과의 고유값 및 고유벡터를 표시합니다. 이러한 값은 표면 곡률의 특성과 방향에 대한 정보를 제공합니다. 큰 양의 고유값 62.9095는 양의 곡률을 나타내고 고유벡터 값은 곡률이 주로 Silica 방향에 있음을 나타냅니다. 큰 음의 고유값 -74.9584는 음의 곡률을 나타내고 고유벡터 값은 곡률이 주로 Sulfur 방향에 있음을 나타냅니다.

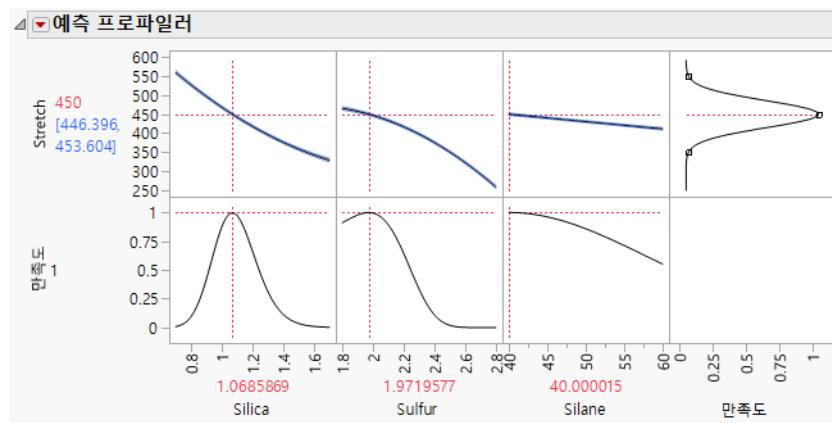
그림 11.7에 있는 반응 표면 분석 테이블에 대한 자세한 내용은 선형 모형 적합의 에서 확인하십시오.

이제 예측 프로파일러 및 등고선 프로파일러를 사용하여 최적 설정을 찾습니다.

## 최적 설정 탐색

- "예측 프로파일러"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **최적화 및 만족도 > 만족도 최대화**를 선택합니다.

**그림 11.8** 만족도가 최대화된 Bounce Data.jmp의 예측 프로파일러



**참고:** 그림에 표시된 것과 최적 설정이 다를 수 있습니다. 예측 Stretch 가 450인 점이 많이 있기 때문입니다.

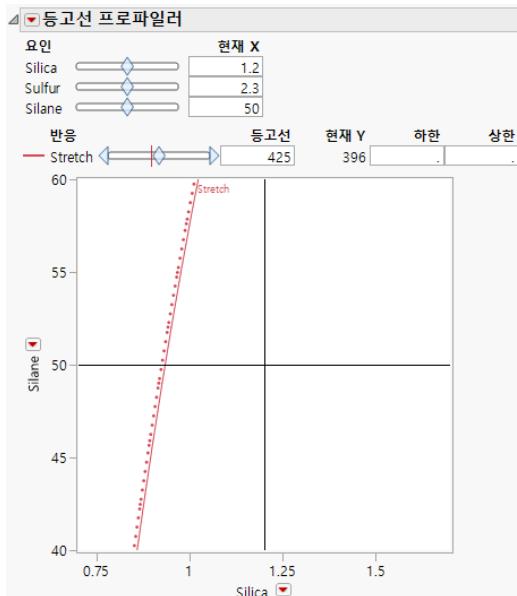
반응을 지정할 때 목표는 하한과 상한이 각각 350, 550인 상태에서 목표값(450) 일치로 설정되었습니다. 이 목표는 설계 테이블로 이어지고 한계값은 Stretch의 "반응 한계" 열 특성에 입력되었습니다. 이러한 반응 한계에서 만족도 함수가 구성됩니다(그림 11.8의 오른쪽 위 셀). 자세한 내용은 "열 특성" 부록의 "반응 한계"(730 페이지)에서 확인하십시오.

만족도 함수를 최대화할 때 JMP는 예측 Stretch 가 450이 되는 가능한 여러 요인 수준 설정 조합 중에서 하나를 식별합니다. 그림 11.8에서는 이러한 설정을 Silica = 1.069, Sulfur = 1.972, Silane = 40.000으로 나타냅니다. 이제 "등고선 프로파일러"를 사용하여 만족도 함수를 최대화하는 다른 점을 식별합니다.

예측 프로파일러에 대한 자세한 내용은 **Profilers**의 에서 확인하십시오.

2. "반응 Stretch"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **요인 프로파일링 > 등고선 프로파일러**를 선택합니다. Sulfur 값을 2.0으로 설정하고 목표값을 달성하려는 경우를 가정해 보겠습니다. 또한 Silane 및 Silica에 대해 선택한 설정이 예측 Stretch를 450(5 단위) 이내에 유지하도록 해야 합니다.
3. 세로 축에서 Sulfur 옆의 빨간색 삼각형을 클릭하고 Silane을 선택합니다.

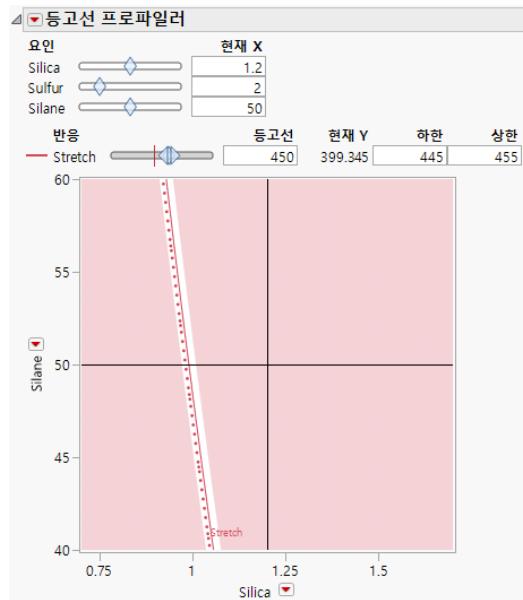
**그림 11.9** Bounce Data.jmp 의 등고선 프로파일러



이 그림은 Stretch가 425이고 Sulfur가 2.3인 경우 Silane 및 Silica 값의 등고선을 보여 줍니다.

4. Sulfur의 **현재 X**를 2로 설정합니다.
5. Stretch의 **등고선**을 450으로 설정합니다.
6. Stretch의 **하한** 및 **상한**을 각각 445와 455로 설정합니다. Enter 키를 누릅니다.

그림 11.10 Silica 및 Silane 의 최적 설정을 보여 주는 등고선 프로파일러

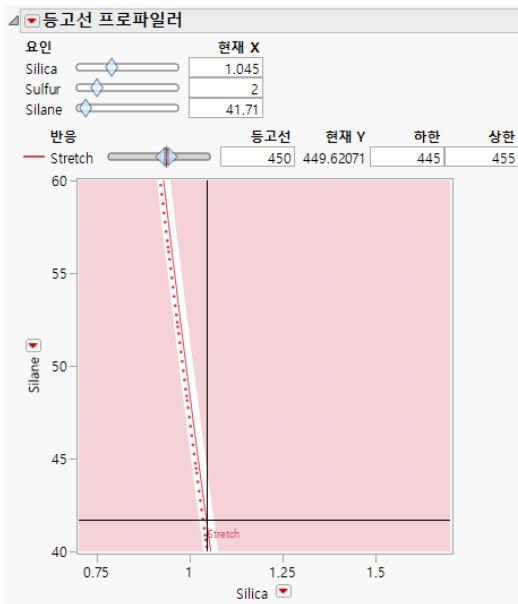


Silica 및 Silane 값의 음영 처리되지 않은 띠는 Sulfur 가 2.0 으로 설정된 경우 445 에서 455 사이의 예측 Stretch 를 제공합니다 . 단색의 빨간색 곡선 위의 값은 예측 Stretch 값 450 을 나타냅니다 .

- 그림에 나타나는 십자기호를 음영 처리되지 않은 띠로 드래그하여 실제적 관점에서 공정에 가장 적합한 Silica 및 Silane 설정을 찾습니다 .

공정은 높은 수준보다 낮은 수준의 Silane 에서 더 로버스트하다고 가정해 보겠습니다 . 그러면 그림 11.11 의 설정을 고려 할 수 있습니다 .

**그림 11.11 Silica 및 Silane의 특정 설정을 보여 주는 등고선 프로파일러**



Sulfur = 2.0의 경우 십자기호로 식별된 요인 설정은 Silica = 1.045, Silane = 41.71입니다. 이 설정은 "현재 X" 아래에 표시됩니다. 이 설정에서 예측 Stretch는 449.62071이며 "현재 Y" 옆에 표시됩니다.

등고선 프로파일러에 대한 자세한 내용은 **Profilers**의 에서 확인하십시오.

## 반응 표면 설계 창

"반응 표면 설계" 창은 2차 표면을 모델링하기 위한 설계를 구성하는 단계를 안내합니다. 중심 합성 설계, Box-Behnken 설계 또는 이 두 설계 유형 중 하나의 블록화된 버전을 선택할 수 있습니다. 중심 합성 설계를 선택하면 축 점을 조정할 수 있습니다.

설계 단계를 진행하는 동안 "반응 표면 설계" 창이 업데이트됩니다. 개요는 개요를 업데이트하는 버튼을 클릭할 때 구분되어 나타나며 그림 11.12의 흐름을 따릅니다.

**그림 11.12 반응 표면 설계 흐름**

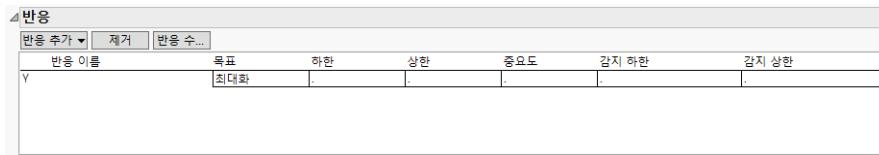


## 반응

"반응" 개요를 사용하여 하나 이상의 반응을 지정합니다.

**팁 :** "반응" 개요를 완료하면 빨간색 삼각형 메뉴에서 **반응 저장**을 선택하는 것이 좋습니다. 이 옵션을 사용하면 반응 이름, 목표, 한계 및 중요도 값을 데이터 테이블에 저장하여 나중에 DOE 플랫폼에서 다시 불러올 수 있습니다.

**그림 11.13** 반응 개요



**반응 추가** "최대화", "목표값 일치", "최소화", "없음" 또는 "함수" 목표 유형을 사용하여 단일 반응을 입력합니다. "목표값 일치"를 선택하는 경우 목표값 한계를 입력해야 합니다. "최대화" 또는 "최소화"를 선택하는 경우에는 한계를 입력할 필요가 없지만 만족도 함수를 사용하려면 입력하는 것이 유용 할 수 있습니다.

**JMP PRO** 함수 (JMP Pro에서만 사용할 수 있음) 설계 데이터 테이블에 FDE 열 특성을 가진 여러 개의 Y 열을 추가합니다. 이러한 열은 DOE 요인을 보조 요인으로 사용하는 함수 데이터 탐색기 플랫폼에 사용할 수 있습니다.

**제거** 선택한 반응을 제거합니다.

**반응 수** 입력한 수가 총 반응 수가 되도록 추가 반응을 입력합니다. 기본값 Y 이외의 반응을 입력한 경우 각 추가 반응의 목표는 마지막에 입력한 반응과 관련된 목표입니다. 그렇지 않은 경우에는 기본적으로 "목표값 일치"로 설정됩니다. 테이블에서 "목표" 유형을 클릭하여 목표를 변경할 수 있습니다.

"반응" 개요에는 다음과 같은 열이 포함되어 있습니다.

**반응 이름** 반응의 이름입니다. 반응을 추가하면 Y, Y2 등의 기본 이름이 지정됩니다. 이 이름을 변경하려면 이름을 두 번 클릭한 후 원하는 이름을 입력합니다.

**목표, 하한, 상한** "목표"는 반응 최대화, 반응 최소화, 목표값 일치 또는 반응 목표 없음 중에서 무엇을 원하는지 JMP에 알려 줍니다. JMP는 이러한 지정에 따라 설계 테이블의 각 반응 열에 "반응 한계" 열 특성을 할당합니다. 이 정보를 사용하여 각 반응에 대한 만족도 함수를 정의합니다. "프로파일러" 및 "등고선 프로파일러"는 만족도 함수를 사용하여 최적 요인 설정을 찾습니다. 자세한 내용은 Profilers의 "Profiler" 장 및 "열 특성" 부록의 "반응 한계"(730페이지)에서 확인하십시오.

- "최대화" 목표는 가장 큰 값이 가장 좋음을 나타냅니다. 자연 하한 또는 상한이 있는 경우 이를 "하한" 또는 "상한"으로 지정할 수 있습니다.
- "최소화" 목표는 가장 작은 값이 가장 좋음을 나타냅니다. 자연 하한 또는 상한이 있는 경우 이를 "하한" 또는 "상한"으로 지정할 수 있습니다.

- "목표값 일치" 목표는 특정 목표값이 가장 좋음을 나타냅니다. 기본 목표값은 하한과 상한의 중간으로 가정됩니다.
- "없음" 목표는 최적화에 관한 목표가 없음을 나타냅니다. 만족도 함수가 구성되지 않습니다.

**참고 :** 목표 반응이 하한과 상한의 중간이 아닌 경우에는 설계 테이블을 생성한 후 목표값을 변경할 수 있습니다. 데이터 테이블에서 반응 열의 "열 정보" 창을 열고 (**열 > 열 정보**) 원하는 목표값을 입력하십시오.

**중요도** 반응이 여러 개인 경우 지정한 중요도 값을 사용하여 전체 만족도 함수를 계산합니다. 이러한 값은 반응에 대한 가중치로 처리됩니다. 반응이 하나뿐이면 기본적으로 1로 설정되므로 중요도를 지정할 필요가 없습니다.

**JMP PRO** **감지 한계** 하한 및 상한 감지 한계는 반응을 측정할 수 있는 경계를 정의하며 이 경계를 벗어나면 반응을 측정할 수 없습니다. 감지 한계는 열 특성으로 저장됩니다. 이러한 한계를 사용하여 일반화 회귀 플랫폼에서 중도절단 반응을 지정할 수 있습니다. 자세한 내용은 선형 모형 적합의 일반화 회귀 장에서 확인하십시오.

### 반응 개요 편집

"반응" 개요에서 다음 사항에 유의하십시오.

- 반응 이름을 편집하려면 해당 반응을 두 번 클릭합니다.
- 목표를 클릭하여 변경할 수 있습니다.
- 한계 또는 중요도 가중치를 클릭하여 변경할 수 있습니다.
- 반응이 여러 개인 경우 중요도 가중치 값을 입력할 수 있습니다.

### 반응 한계 열 특성

반응을 입력할 때 지정하는 "목표", "하한", "상한" 및 "중요도"를 사용하여 최적 요인 설정을 찾습니다. 각 반응에 대한 정보는 생성된 설계 데이터 테이블에 "반응 한계" 열 특성으로 저장됩니다. JMP에서는 이 정보를 사용하여 만족도 함수를 정의합니다. 만족도 함수는 최적 요인 설정을 찾기 위해 "예측 프로파일러"에서 사용됩니다. "반응 한계" 열 특성에 대한 자세한 내용과 사용 예는 "열 특성" 부록의 "[반응 한계](#)"(730페이지)에서 확인하십시오.

하한과 상한을 지정하지 않으면 JMP는 반응에 대해 관측된 데이터 범위를 사용하여 만족도 함수의 한계를 정의합니다. 하한과 상한을 지정하면 만족도 함수의 규격을 제어 할 수 있습니다. 만족도 함수 구성에 대한 자세한 내용은 **Profilers**의 "Profiler" 장에서 확인하십시오.

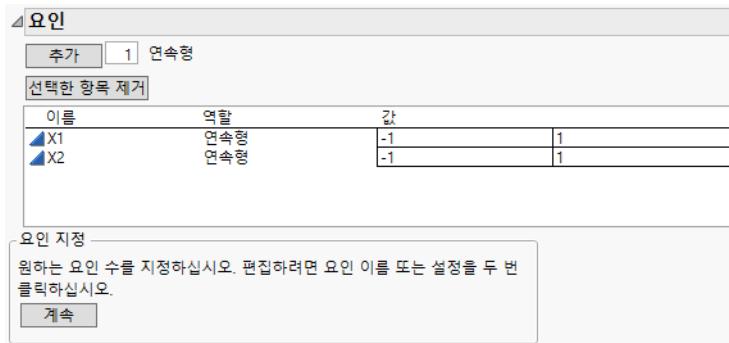
### 요인

반응 표면 설계의 요인은 연속형만 가능합니다.

**팁 :** 범주형 요인을 포함하는 반응 표면 설계를 생성하려면 **DOE > 사용자 설계**를 사용하십시오.

반응 표면 설계의 초기 "요인" 패널에는 두 가지 연속형 요인이 나타납니다.

**그림 11.14** 요인 개요



"요인" 개요에는 다음과 같은 버튼이 포함되어 있습니다.

**추가** 지정된 수의 연속형 요인을 입력합니다.

**선택한 항목 제거** 선택한 요인을 제거합니다.

**팁 :** "요인" 패널을 완료하면 빨간색 삼각형 메뉴에서 "요인 저장"을 선택하십시오. 이렇게 하면 요인 이름과 값을 데이터 테이블에 저장하여 나중에 다시 불러올 수 있습니다. 자세한 내용은 "반응 표면 설계 옵션" (345 페이지)에서 확인하십시오.

"요인" 개요에는 다음과 같은 열이 포함되어 있습니다.

**이름** 요인의 이름입니다. 요인을 추가하면 X1, X2 등의 기본 이름이 지정됩니다. 이 이름을 변경하려면 이름을 두 번 클릭한 후 원하는 이름을 입력합니다.

**역할** 요인의 설계 역할을 "연속형"으로 지정합니다. 요인의 "설계 역할" 열 특성은 데이터 테이블에 저장됩니다. 이 특성은 요인 유형이 적절하게 모델링되도록 합니다.

**값** 요인에 대한 실험 설정입니다. 값을 삽입하려면 기본값을 클릭한 후 원하는 값을 입력합니다.

## 요인 열 특성

각 요인에 대한 다양한 열 특성이 완료된 설계의 데이터 테이블에 저장됩니다.

**설계 역할** 각 요인에 "설계 역할" 열 특성이 할당됩니다. 요인을 정의할 때 지정하는 역할에 따라 "설계 역할" 열 특성의 값이 결정됩니다. 블록이 있는 설계를 선택하면 해당 요인에 "블록화" 값이 할당됩니다. "설계 역할" 특성은 실험 데이터를 모델링할 때 요인이 어떤 용도로 사용되는지를 반영합니다. "설계 역할" 값은 설계 확대 플랫폼에서 사용됩니다.

**요인 변경** 각 요인에 "쉬움"으로 설정된 "요인 변경" 열 특성이 할당됩니다. 반응 표면 설계 플랫폼에서는 각 실험 런에 대해 요인 수준을 변경할 수 있다고 가정합니다. "요인 변경" 값은 설계 평가 및 설계 확대 플랫폼에서 사용됩니다.

**코딩** "설계 역할"이 "연속형"인 경우 요인의 "코딩" 열 특성이 저장됩니다. 이 특성은 하한값과 상한값이 각각 -1과 +1에 해당하도록 요인 값을 변환합니다. "최소 제곱 적합" 보고서의 추정값과 검정은 변환된 값을 기반으로 합니다.

**블록당 런 수** 각 블록의 런 수를 나타냅니다. 블록이 있는 설계를 선택하고 "테이블 생성"을 클릭하면 기본 이름이 "블록"인 요인이 "요인" 목록에 추가됩니다. "블록당 런 수" 열 특성은 해당 요인에 대해 저장됩니다.

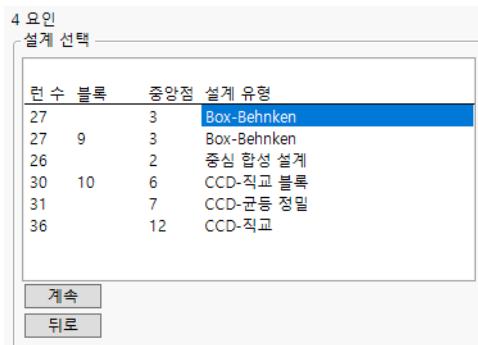
## 설계 선택

반응과 요인을 입력하고 **계속**을 클릭한 후 설계 목록에서 선택합니다. 설계에는 다음 두 가지 유형이 포함됩니다.

- "[Box-Behnken 설계](#)"(342 페이지)
- "[중심 합성 설계](#)"(342 페이지)

사용할 설계를 선택하고 **계속**을 클릭합니다.

**그림 11.15** 네 가지 요인에 대한 설계 선택 패널



## Box-Behnken 설계

Box-Behnken 설계에 요인당 수준이 세 개뿐이며 요인 범위에 의해 정의된 입방체의 꼭지점에 설계점이 없습니다. 이러한 설계는 엔지니어링 고려 사항으로 인해 극단적 설정을 피해야 할 때 유용할 수 있습니다. 그러나 이 설계는 중심 합성 설계에 비해 꼭지점 근처에서 예측 분산이 더 높습니다.

## 중심 합성 설계

중심 합성 설계에는 중앙점과 축 점이 있습니다. 축 점은 한 요인은 상한 또는 하한값(축 값)으로 설정되고 다른 모든 요인은 범위의 중앙 값으로 설정되는 점입니다.

중심 합성 설계에는 지정된 요인 범위에 의해 정의된 초입방체의 면을 벗어나는 축 점이 있을 수 있습니다. 즉, 각 요인에는 "요인" 개요에 지정된 값 범위를 벗어나는 두 가지 설정을 포함하여 5개의 고유 설정이 필요할 수 있습니다. 그러나 JMP를 사용하면 면에 설계점을 놓을 수 있습니다.

다음과 같은 유형의 중심 합성 설계를 사용할 수 있습니다.

**중심 합성 설계** 지정된 수의 요인에 대한 일반적인 중심 합성 설계입니다.

**CCD- 균등 정밀** 설계 공간의 중심 근처에서 예측 분산이 매우 고르게 되도록 중앙점 수가 선택 됩니다.

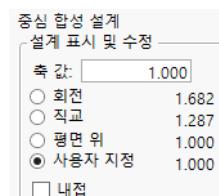
**CCD- 직교** 2 차 모수 추정값이 다른 모수 추정값과 최소로 상관되도록 중앙점 수와 축 값이 선택됩니다.

**CCD- 직교 블록** 2 차 모수 추정값 및 블록 효과가 다른 모수 추정값과 최소로 상관됩니다.

### 축 값

중심 합성 설계를 선택한 후 **계속**을 클릭하면 축 크기 조정 정보를 제공하는 옵션을 사용할 수 있습니다. 표시된 값은 축 값을 놓을 때 지정된 요인 범위의 1/2을 곱하는 데 사용됩니다. "축 값" 옆에 1.0을 지정하면 결과 설계의 축 점은 요인에 의해 정의된 입방체의 면에 놓입니다. 다음 옵션에 따라 축 값을 설정할 수 있습니다.

#### 그림 11.16 축 값 패널



**회전** 예측 분산은 설계 중심과의 척도화된 거리에만 의존합니다. 축 점은 요인 범위보다 더 극 단적입니다. 이 요인 범위를 실제로 달성할 수 없는 경우 **평면 위**를 선택하거나 값을 직접 지정하십시오.

**직교** 효과가 직교합니다. 축 점은 요인 범위보다 더 극단적입니다. 이 요인 범위를 실제로 달성 할 수 없는 경우 **평면 위**를 선택하거나 값을 직접 지정하십시오.

**평면 위** 축 점을 지정된 요인 범위의 극단에 놓습니다.

**사용자 지정** "축 값" 텍스트 상자에 입력한 값으로 지정된 거리에 축 점을 놓습니다.

**내접** 축 점이 요인 범위의 아래쪽 및 위쪽 끝에 놓이도록 설계의 척도를 재조정합니다. 요인 설계 점은 이 척도에 따라 축소됩니다.

### 출력 옵션 지정

"**출력 옵션**" 패널에서 출력 데이터 테이블에 대한 상세 정보를 지정할 수 있습니다. 끝나면 **테이블 생성**을 클릭하여 설계에 대한 데이터 테이블을 구성합니다.

## 런 순서

**런 순서** 옵션은 설계 테이블의 런 순서를 결정합니다. 다음과 같은 옵션을 선택할 수 있습니다.

**동일하게 유지** 설계 테이블에 표시되는 행 순서가 "설계" 및 "예상 계수" 개요의 순서와 동일합니다.

**좌에서 우로 정렬** 설계 테이블의 열이 왼쪽에서 오른쪽으로 정렬됩니다.

**랜덤화** 설계 테이블의 행이 랜덤 순서로 나타납니다.

**우에서 좌로 정렬** 설계 테이블의 열이 오른쪽에서 왼쪽으로 정렬됩니다.

**블록 내 랜덤화** 설계 테이블의 행이 블록 내에서 랜덤 순서로 나타냅니다.

## 중앙점 및 반복 실험

**중앙점 수** 설계에 나타나는 중앙점의 수입니다. 중앙점은 모든 연속형 요인이 요인 범위의 가운데에 설정되는 런입니다. 표시된 초기값은 선택한 설계의 중앙점 수입니다.

**반복 실험 수** 중앙점을 포함하여 전체 설계를 반복 할 횟수입니다. 한 번 반복하면 런 수가 두 배가 됩니다.

## 테이블 생성

테이블 생성을 클릭하여 실험 런이 포함된 설계 테이블을 생성합니다.

**그림 11.17** Bounce 요인 및 반응에 대한 직교 중심 합성 설계

	패턴	Silica	Sulfur	Silane	Stretch
1	000	1.2	2.3	50	•
2	+++	1.7	2.8	60	•
3	00A	1.2	2.3	66.680317692	•
4	--+	0.7	1.8	60	•
5	A00	2.0340158846	2.3	50	•
6	-+-	0.7	2.8	40	•
7	000	1.2	2.3	50	•
8	000	1.2	2.3	50	•
9	00a	1.2	2.3	33.319682308	•
10	a00	0.3659841154	2.3	50	•
11	000	1.2	2.3	50	•
12	000	1.2	2.3	50	•

왼쪽 위의 테이블 패널에 있는 **설계** 노트는 테이블을 생성한 설계 유형을 나타냅니다(중심 합성 설계). 이 정보는 여러 설계를 비교하는 경우 유용할 수 있습니다.

## 패턴 열

패턴 열은 요인 값에 관한 각 행의 런에 대한 설명을 기호로 표시합니다.

**팁 :** 패턴은 그림에서 라벨 변수로 유용할 수 있습니다.

**표 11.1** 패턴 열 설명

-	하한값
+	상한값
0	범위의 중앙 값
a	축 하한값
A	축 상한값

### 설계 테이블 스크립트

설계 테이블에는 다음과 같은 스크립트가 포함되어 있습니다.

**모형 분석 > 모형 적합** 플랫폼을 실행합니다.

**설계 평가** "DOE > 설계 진단 > 설계 평가" 플랫폼을 실행합니다.

**DOE 대화상자** 설계 테이블을 생성하는 데 사용된 "반응 표면 설계" 창을 다시 생성합니다. 또 한 이 스크립트는 설계를 생성하는 데 사용된 난수 시드값도 포함합니다.

---

## 반응 표면 설계 옵션

반응 표면 설계 플랫폼의 빨간색 삼각형 메뉴에는 다음 옵션이 포함되어 있습니다.

**반응 저장** "반응" 패널의 정보를 새 데이터 테이블에 저장합니다. 그러면 반응 및 관련 정보를 대부분의 DOE 창에 빠르게 불러올 수 있습니다. 이 옵션은 반응을 재사용할 것으로 예상하는 경우 유용합니다.

**반응 불러오기** "반응 저장" 옵션을 사용하여 저장한 반응을 불러옵니다.

**요인 저장** "요인" 패널의 정보를 새 데이터 테이블에 저장합니다. 각 요인의 열에는 수준이 포함됩니다. 다른 정보는 열 특성으로 저장됩니다. 그러면 요인 및 관련 정보를 대부분의 DOE 창에 빠르게 불러올 수 있습니다.

---

**참고 :** 빈 테이블에 데이터를 입력하여 요인 테이블을 생성할 수 있지만 각 열에 적절한 설계 역할을 할당해야 합니다. 이렇게 하려면 데이터 격자에서 열 이름을 마우스 오른쪽 버튼으로 클릭하고 **열 특성 > 설계 역할**을 선택합니다. 그런 다음 "설계 역할" 영역에서 적절한 역할을 선택합니다.

**요인 불러오기** "요인 저장" 옵션을 사용하여 저장한 요인을 불러옵니다.

**제약 조건 저장** ( 일부 플랫폼에서는 사용할 수 없음 ) " 요인 제약 조건 정의 " 또는 " 선형 제약 조건 " 개요에서 정의한 요인 제약 조건을 각 제약 조건에 대한 열과 함께 데이터 테이블에 저장합니다 . 그러면 제약 조건을 대부분의 DOE 창에 빠르게 불러올 수 있습니다 .

제약 조건 테이블에서 처음에 나오는 행은 각 요인의 계수를 포함합니다 . 마지막 행은 부등식 한계를 포함합니다 . 각 제약 조건 열에는 제약 조건을 "less than" 또는 "greater than" 제약 조건으로 식별하는 제약 조건 상태 열 특성이 포함됩니다 . 자세한 내용은 " 열 특성 " 부록의 " 제약 조건 상태 " (762 페이지 )에서 확인하십시오 .

**제약 조건 불러오기** ( 일부 플랫폼에서는 사용할 수 없음 ) " 제약 조건 저장 " 옵션을 사용하여 저장한 요인 제약 조건을 불러옵니다 .

**난수 시드값 설정** JMP 가 랜덤 성분이 있는 작업을 제어하는 데 사용하는 난수 시드값을 설정합니다 . 이러한 작업에는 다음 중 하나 이상이 포함됩니다 .

- 설계 생성을 위한 검색 알고리즘 초기화
- 설계 생성을 위한 런 순서 랜덤화
- 랜덤 시작에 기반한 설계의 시작 설계 선택

설계를 재현하려면 **설계 생성**을 클릭하기 전에 설계를 생성한 난수 시드값을 입력합니다 .

---

**참고 :** 설계와 관련된 난수 시드값은 설계 데이터 테이블에 저장된 "DOE 대화상자" 스크립트에 포함됩니다 .

---

**행렬 X 저장** " 적률 행렬 " 및 " 모형 행렬 " 을 설계 데이터 테이블의 테이블 스크립트에 저장합니다 . 이 스크립트에는 적률 및 설계 행렬이 포함됩니다 . 자세한 내용은 " 사용자 설계 " 장의 " 행렬 X 저장 " (105 페이지 )에서 확인하십시오 .

---

**주의 :** 명목형 요인이 있는 설계의 경우 " 행렬 X 저장 " 옵션으로 저장한 모형 행렬은 선형 모형을 적합시킬 때 사용된 코딩 행렬이 아닙니다 . "모형" 스크립트를 실행할 때 나타나는 "모형 적합" 보고서에서 " 열 저장 > 코드화 테이블 저장 " 옵션을 선택하면 모형 적합에 사용되는 코딩 행렬을 가져올 수 있습니다 .

---

**스크립트를 스크립트 창에 저장** "반응 표면 설계" 창에서 지정한 설계의 스크립트를 생성한 후 열린 스크립트 창에 저장합니다 .

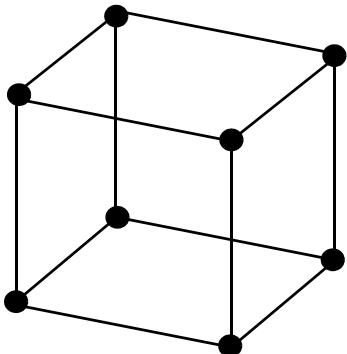
# 12 장

## 완전 요인 설계

---

완전 요인 설계는 가능한 모든 요인 설정 조합으로 실행되는 실험을 정의합니다. 완전 요인 설계를 사용하면 가능한 모든 교호작용을 추정할 수 있습니다. 완전 요인 설계는 선별 설계에 비해 규모가 크고, 높은 수준의 교호작용이 활성화되지 않는 경우가 종종 있으므로 비효율적일 수 있습니다. 일반적으로 이 설계는 요인과 수준의 수가 적고 가능한 모든 교호작용에 대한 정보가 필요할 때 사용됩니다. 예를 들어 완전 요인 설계는 MSA(측정 시스템 분석)의 기초를 형성하는 경우가 많습니다.

그림 12.1 세 가지 2 수준 요인에 대한 완전 요인 설계



## 목차

완전 요인 설계 개요	349
완전 요인 설계의 예	349
설계 구성	349
실험 데이터 분석	351
완전 요인 설계 생성	355
반응	355
요인	357
출력 옵션 선택	359
테이블 생성	360
완전 요인 설계 옵션	361

## 완전 요인 설계 개요

완전 요인 설계에서는 요인 수준의 모든 조합으로 실험 런을 수행합니다. 표본 크기는 요인 수준 수의 곱입니다. 예를 들어 2수준 요인, 3수준 요인 및 4수준 요인이 포함된 요인 실험의 런 수는  $2 \times 3 \times 4 = 24$ 입니다.

완전 요인 설계 플랫폼은 수준 수에 제한이 없는 연속형 요인과 범주형 요인을 모두 지원합니다. 완전히 랜덤한 방식으로 실험을 실행할 수 있다고 가정합니다.

완전 요인 설계는 모든 설계 유형 중에서 가장 보수적입니다. 그러나 표본 크기는 요인 수에 따라 기하급수적으로 증가하므로 완전 요인 설계를 실행하는 데 비용이 너무 많이 들 수 있습니다. 사용자 설계, 확증적 선별 설계 및 선별 설계는 덜 보수적이지만 더 유용하고 비용 효율적입니다.

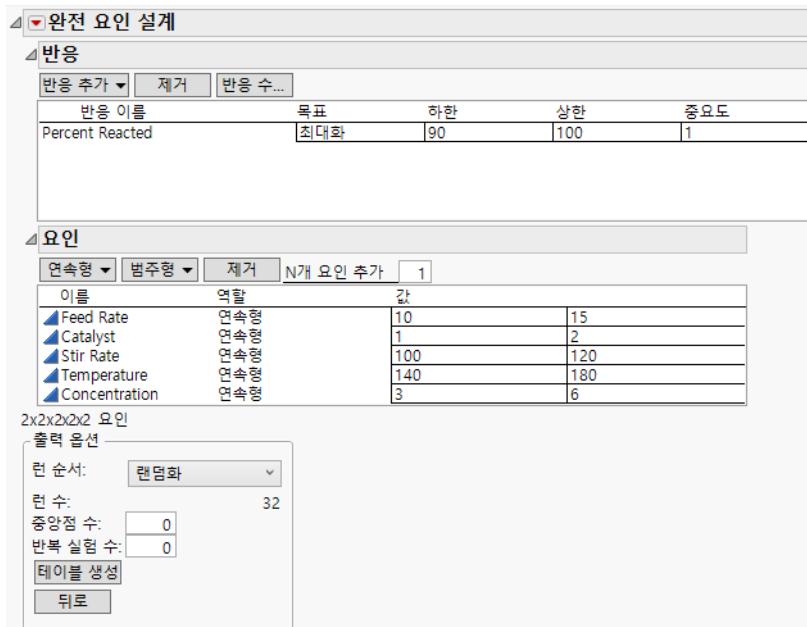
## 완전 요인 설계의 예

이 예에서는 반응기 수율에 영향을 미치는 2수준 요인 5개(Feed Rate, Catalyst, Stir Rate, Temperature, Concentration)의 효과를 연구하기 위해 완전 요인 설계를 구성합니다. 각각 수준이 2개인 요인 이 5개 있으므로 완전 요인 설계의 런은 최소  $2^5 = 32$ 회입니다. 이 실험 상황과 관련하여 규모가 더 작은 선별 설계에 대한 내용은 "선별 설계" 장의 "[선별 설계의 추가 예](#)"(298페이지)에서 확인하십시오.

이 예에서는 기존 테이블의 반응과 요인을 불러옵니다. 새 실험을 직접 설계할 때는 반응과 요인을 수동으로 입력합니다. 자세한 내용은 "[반응](#)"(355페이지) 및 "[요인](#)"(357페이지)에서 확인하십시오.

### 설계 구성

1. **DOE > 전통적 설계 > 완전 요인 설계**를 선택합니다.
2. **도움말 > 샘플 데이터 라이브러리**를 선택하고 Design Experiment/Reactor Response.jmp 를 엽니다.
3. "완전 요인 설계"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **반응 불러오기**를 선택합니다.
4. **도움말 > 샘플 데이터 라이브러리**를 선택하고 Design Experiment/Reactor Factors.jmp 를 엽니다.
5. "완전 요인 설계"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **요인 불러오기**를 선택합니다.
6. **계속**을 클릭합니다.

**그림 12.2** 완전 요인 예의 반응 및 요인 패널

**참고 :** 7 단계에서 난수 시드값을 설정하면 설계 테이블의 런이 이 예와 같은 순서로 나타납니다. 설계를 직접 구성할 때는 이 단계가 필요하지 않습니다.

7. (선택 사항)" 완전 요인 설계 "의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **난수 시드값 설정**을 선택합니다. "12345"를 입력하고 **확인**을 클릭합니다.  
 "출력 옵션" 패널의 "런 순서"가 랜덤화로 설정되어 있습니다. 설계 테이블의 런 순서는 난수 시드값에 따라 랜덤으로 결정됩니다.  
 "런 수"는 32로 설정되어 있습니다. 이 값은 가능한 모든 요인 수준 조합의 수입니다.
8. **테이블 생성**을 클릭합니다.  
 설계 데이터 테이블의 첫 번째 열에는 각 런의 요인 수준 조합이 + 및 - 기호로 표시되어 상한 및 하한 요인 설정을 나타냅니다. 또한 이 테이블에는 실험을 수행할 때 반응 값을 입력하기 위한 빈 Y 열 (Percent Reacted)이 있습니다.

그림 12.3 반응기 실험에 대한 완전 요인 설계

	패턴	Feed Rate	Catalyst	Stir Rate	Temperature	Concentration	Percent Reacted
1	+-+-+-	15	2	100	180	3	•
2	+++++	15	2	120	180	6	•
3	-+-+-+	10	2	120	140	3	•
4	-+-+-+	10	2	100	140	6	•
5	-+-+-+	10	2	120	180	6	•
6	-+-+-+	10	2	100	140	3	•
7	+-+-++	15	2	100	140	6	•
8	--++-	10	1	120	140	6	•
9	-----	10	1	100	140	3	•
10	+-+-++	15	2	100	180	6	•
11	+-+-++	15	1	120	180	3	•
12	+-+-++	10	2	120	180	3	•
13	+--+-	15	1	100	180	3	•
14	--++-	10	1	120	180	3	•
15	-++-+	10	2	120	140	6	•
16	+-+-++	15	2	120	140	6	•
17	+--++	15	1	100	180	6	•
18	+-+-++	15	2	120	180	3	•
19	-----	10	1	100	180	3	•
20	+---+	15	1	100	140	6	•
21	-++-+	10	2	100	180	6	•
22	-++-+	10	1	100	180	6	•
23	-----	15	2	100	140	3	•
24	+---+	15	1	120	140	6	•
25	--++-	10	1	120	180	6	•
26	+-+-++	15	2	120	140	3	•
27	+---+	15	1	120	140	3	•
28	--++-	10	1	120	140	3	•
29	-----+	10	1	100	140	6	•
30	-++-+	10	2	100	180	3	•
31	-----	15	1	100	140	3	•
32	+---+	15	1	120	180	6	•

## 실험 데이터 분석

이제 완료된 실험의 데이터 분석을 진행합니다. 선별과 단계별 회귀라는 두 가지 방법을 사용하여 결과를 분석합니다. 그런 다음 예측 프로파일러를 사용하여 최적 설정을 찾을 수 있습니다.

### 선별 플랫폼을 사용한 분석

- 도움말 > 샘플 데이터 라이브러리를 선택하고 Design Experiment/Reactor 32 Runs.jmp 를 엽니다.
- Screening 스크립트를 실행합니다.

"선별" 보고서는 "대비" 보고서와 "1/2 정규 확률도"를 보여 줍니다. "대비" 보고서는 최대 5 원 교호작용까지 총 31 개의 잠재적 효과에 대한 추정값을 보여 줍니다.

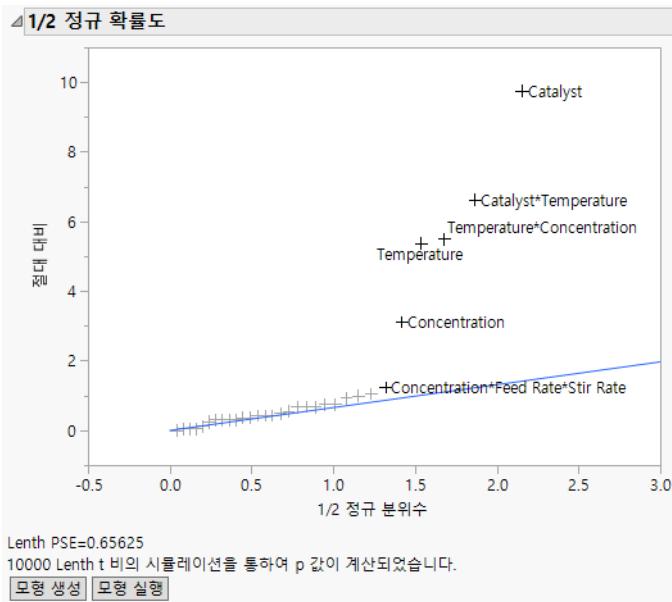
**그림 12.4** Reactor 32 Runs.jmp 에 대한 대비 보고서

대비	대비	Lenth t-비	개별 p 값	동시 p 값
항	대비			
Catalyst	9.75000		14.86	<.0001*
Temperature	5.37500		8.19	<.0001*
Concentration	-3.12500		-4.76	0.0011*
Feed Rate	-0.68750		-1.05	0.2883
Stir Rate	-0.31250		-0.48	0.6494
Catalyst*Temperature	6.62500		10.10	<.0001*
Catalyst*Concentration	1.00000		1.52	0.1335
Temperature*Concentration	-5.50000		-8.38	<.0001*
Catalyst*Feed Rate	0.68750		1.05	0.2883
Temperature*Feed Rate	-0.43750		-0.67	0.4941
Concentration*Feed Rate	0.06250		0.10	0.9266
Catalyst*Stir Rate	0.43750		0.67	0.5212
Temperature*Stir Rate	1.06250		1.62	0.1139
Concentration*Stir Rate	0.43750		0.67	0.4941
Feed Rate*Stir Rate	0.37500		0.57	0.5859
Catalyst*Temperature*Concentration	-0.12500		-0.19	0.8557
Catalyst*Temperature*Feed Rate	0.68750		1.05	0.2883
Catalyst*Concentration*Feed Rate	-0.93750		-1.43	0.1587
Temperature*Concentration*Feed Rate	0.31250		0.48	0.6494
Catalyst*Temperature*Stir Rate	0.56250		0.86	0.3772
Catalyst*Concentration*Stir Rate	0.06250		0.10	0.9266
Temperature*Concentration*Stir Rate	0.06250		0.10	0.9266
Catalyst*Feed Rate*Stir Rate	0.75000		1.14	0.2478
Temperature*Feed Rate*Stir Rate	-0.37500		-0.57	0.5859
Concentration*Feed Rate*Stir Rate	-1.25000		-1.90	0.0705
Catalyst*Temperature*Concentration*Feed Rate	0.31250		0.48	0.6494
Catalyst*Temperature*Concentration*Stir Rate	-0.31250		-0.48	0.6494
Catalyst*Temperature*Feed Rate*Stir Rate	0.00000		0.00	1.0000
Catalyst*Concentration*Feed Rate*Stir Rate	0.75000		1.14	0.2478
Temperature*Concentration*Feed Rate*Stir Rate	0.50000		0.76	0.4328
Catalyst*Temperature*Concentration*Feed Rate*Stir Rate	-0.25000		-0.38	0.7150

**참고 :** "대비" 보고서의  $p$  값은 몬테카를로 시뮬레이션을 사용하여 계산되므로 그림 12.4에 표시된 값과 동일하지 않을 수 있습니다. 자세한 내용은 "2 수준 선별 적합 플랫폼" 장의 "Lenth 유사 표준 오차"(323 페이지)에서 확인하십시오.

"대비" 개요에 강조 표시된 6 개 효과는 "1/2 정규 확률도"에서 라벨이 지정되어 있습니다.

그림 12.5 Reactor 32 Runs.jmp 에 대한 1/2 정규 확률도



"1/2 정규 확률도"는 라벨이 지정된 효과 중 5개 이상이 랜덤 변형의 결과일 경우 예상할 수 있는 것보다 더 크다는 강력한 증거를 제시합니다. 즉, 이러한 효과가 활성임을 나타냅니다. 이 그림에는 삼원 교호작용  $\text{Concentration} * \text{Feed Rate} * \text{Stir Rate}$  가 활성이라는 징후가 명확하게 나타나지 않습니다.

그림 12.4의 "대비" 개요에서 삼원 교호작용  $\text{Concentration} * \text{Feed Rate} * \text{Stir Rate}$  의 "개별 p 값"은 0.0705이고 "동시 p 값"은 0.7592입니다. 이 효과는 "1/2 정규 확률도"에서 강조되지 않고  $p$  값이 크기 때문에 모형에 포함하지 않기로 결정합니다.

3. "1/2 정규 확률도"에서 직사각형 형태로 드래그하여  $\text{Concentration} * \text{Feed Rate} * \text{Stir Rate}$  를 제외하고 라벨이 지정된 모든 효과를 선택합니다.
4. **모형 생성**을 클릭하여 5개 효과가 포함된 "모형 적합" 창을 엽니다.
5. **실행**을 클릭합니다.

"실제값 대 예측값 그림"에 적합 결여의 증거가 없으며 "효과 요약" 개요에서는 5개 효과가 모두 유의함을 보여 줍니다.

## 단계별 회귀를 사용한 분석

1. Reactor 32 Runs.jmp 데이터 테이블로 돌아가거나, 도움말 > 샘플 데이터 라이브러리를 선택한 후 Design Experiment/Reactor 32 Runs.jmp 를 열어 데이터 테이블을 다시 엽니다.
2. **Model** 스크립트를 실행합니다.  
"모형 효과 생성" 목록에 이원 교호작용까지만 포함되어 있습니다. 하지만 모든 교호작용을 고려하려고 합니다.
3. "열 선택" 목록에서 Feed Rate ~ Concentration 을 선택합니다.

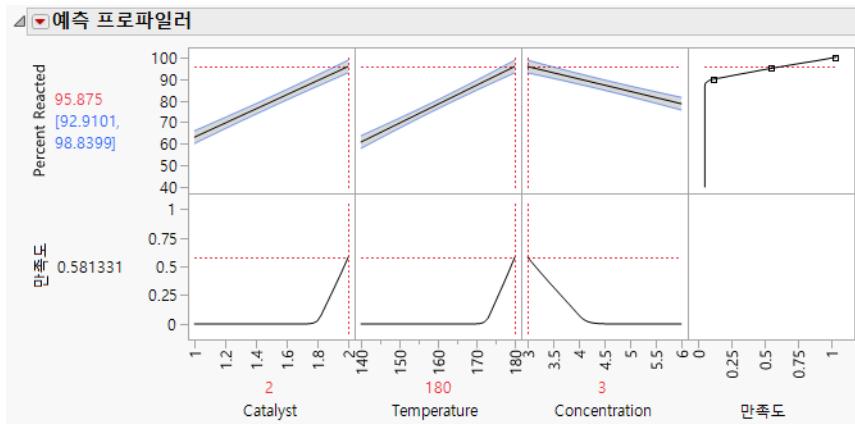
4. **매크로 > 완전 요인**을 클릭합니다.  
가능한 모든 효과가 "모형 효과 생성" 목록에 추가됩니다.
5. **분석법**을 **단계별**로 변경합니다.
6. **실행**을 클릭합니다.
7. **중지 규칙을 최소 AICc**로 변경합니다.  
설계된 실험의 경우 AICc 가 BIC 보다 선호됩니다. BIC 중지 규칙은 모형에 비활성 효과를 허용하는 경향이 있어서 대개 AICc 보다 관대하기 때문입니다.
8. **시작**을 클릭합니다.  
단계별 절차에서는 6 개 효과를 잠재적 활성 효과로 선택합니다.
9. **모형 실행**을 클릭합니다.  
그러면 6 개 효과를 사용하여 모형을 적합시킵니다. "효과 요약" 개요에서는 Catalyst\* Concentration 의  $p$  값이 0.0896 이므로 0.05 유의 수준에서 유의하지 않음을 나타냅니다.
10. "효과 요약" 개요에서 Catalyst\*Concentration 을 선택하고 **제거**를 클릭합니다.  
나머지 5 개 효과는 모두 매우 유의합니다. 해당 효과는 선별 플랫폼을 사용하여 식별한 5 개 효과와 동일합니다 ("선별 플랫폼을 사용한 분석"(351 페이지) 참조).

### 예측 프로파일러를 사용한 최적 설정

이제 모형에 유지한 5 개의 유의 효과와 관련된 세 가지 활성 요인에 대한 최적 설정을 찾습니다.

1. Reactor 32 Runs.jmp 데이터 테이블에서 **Reduced Model** 스크립트를 실행합니다.  
"Reduced Model" 스크립트는 "선별 플랫폼을 사용한 분석"(351 페이지) 및 "단계별 회귀를 사용한 분석"(353 페이지)에서 식별한 5 개 효과 모형에 대한 "모형 적합" 창을 엽니다.
2. **실행**을 클릭합니다.  
"완전 요인" 창에서 반응을 정의할 때 "목표" 를 "최대화"로 지정했으므로 "예측 프로파일러" 보고서에 "만족도"가 표시됩니다. 프로파일러의 위쪽 행에서 맨 오른쪽에 표시된 만족도 함수는 값이 100 일 때 가장 적합하고 값이 90 이하일 때 가장 적합하지 않음을 나타냅니다.
3. "예측 프로파일러"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **최적화 및 만족도 > 만족도 최대화**를 선택합니다.

그림 12.6 만족도 최대화 설정을 보여 주는 예측 프로파일러

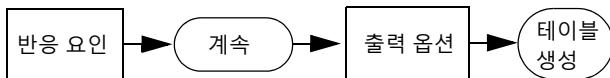


표시된 설정에서 Percent Reacted 예측 평균은 95.875이고 신뢰 구간은 92.91 ~ 98.84입니다. 세 가지 요인 모두 식별된 설정이 실험에 사용된 범위의 극단에 있습니다. 이후 실험에서는 이러한 설정 이외에서 공정 동작을 분석해야 합니다.

## 완전 요인 설계 생성

**DOE > 전통적 설계 > 완전 요인 설계**를 선택하여 완전 요인 설계를 생성합니다. 먼저 반응 및 요인을 정의합니다. 그런 다음 출력 옵션을 설정합니다. 설계 과정은 그림 12.7의 흐름을 따릅니다. 작업 흐름에 대한 자세한 내용은 "[DOE 워크플로우: 기술, 지정, 설계](#)"(56페이지)에서 확인하십시오.

그림 12.7 완전 요인 설계 흐름

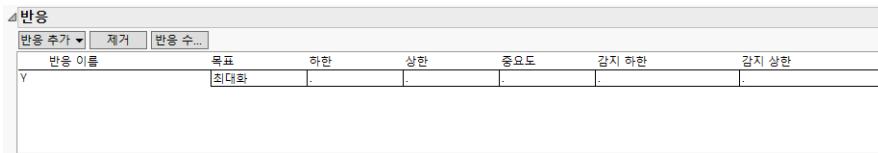


## 반응

"반응" 개요를 사용하여 하나 이상의 반응을 지정합니다.

**팁 :** "반응" 개요를 완료하면 빨간색 삼각형 메뉴에서 **반응 저장**을 선택하는 것이 좋습니다. 이 옵션을 사용하면 반응 이름, 목표, 한계 및 중요도 값을 데이터 테이블에 저장하여 나중에 DOE 플랫폼에서 다시 불러올 수 있습니다.

### 그림 12.8 반응 개요



**반응 추가** "최대화", "목표값 일치", "최소화", "없음" 또는 "함수" 목표 유형을 사용하여 단일 반응을 입력합니다. "목표값 일치"를 선택하는 경우 목표값 한계를 입력해야 합니다. "최대화" 또는 "최소화"를 선택하는 경우에는 한계를 입력할 필요가 없지만 만족도 함수를 사용하려면 입력하는 것이 유용할 수 있습니다.

**JMP<sup>®</sup> PRO 함수** (JMP Pro에서만 사용할 수 있음) 설계 데이터 테이블에 FDE 열 특성을 가진 여러 개의 Y 열을 추가합니다. 이러한 열은 DOE 요인을 보조 요인으로 사용하는 함수 데이터 탐색기 플랫폼에 사용할 수 있습니다.

**제거** 선택한 반응을 제거합니다.

**반응 수** 입력한 수가 총 반응 수가 되도록 추가 반응을 입력합니다. 기본값 Y 이외의 반응을 입력한 경우 각 추가 반응의 목표는 마지막에 입력한 반응과 관련된 목표입니다. 그렇지 않은 경우에는 기본적으로 "목표값 일치"로 설정됩니다. 테이블에서 "목표" 유형을 클릭하여 목표를 변경할 수 있습니다.

"반응" 개요에는 다음과 같은 열이 포함되어 있습니다.

**반응 이름** 반응의 이름입니다. 반응을 추가하면 Y, Y2 등의 기본 이름이 지정됩니다. 이 이름을 변경하려면 이름을 두 번 클릭한 후 원하는 이름을 입력합니다.

**목표, 하한, 상한** "목표"는 반응 최대화, 반응 최소화, 목표값 일치 또는 반응 목표 없음 중에서 무엇을 원하는지 JMP에 알려줍니다. JMP는 이러한 지정에 따라 설계 테이블의 각 반응 열에 "반응 한계" 열 특성을 할당합니다. 이 정보를 사용하여 각 반응에 대한 만족도 함수를 정의합니다. "프로파일러" 및 "등고선 프로파일러"는 만족도 함수를 사용하여 최적 요인 설정을 찾습니다. 자세한 내용은 [Profilers](#)의 "Profiler" 장 및 "열 특성" 부록의 "반응 한계"(730 페이지)에서 확인하십시오.

- "최대화" 목표는 가장 큰 값이 가장 좋음을 나타냅니다. 자연 하한 또는 상한이 있는 경우 이를 "하한" 또는 "상한"으로 지정할 수 있습니다.
- "최소화" 목표는 가장 작은 값이 가장 좋음을 나타냅니다. 자연 하한 또는 상한이 있는 경우 이를 "하한" 또는 "상한"으로 지정할 수 있습니다.
- "목표값 일치" 목표는 특정 목표값이 가장 좋음을 나타냅니다. 기본 목표값은 하한과 상한의 중간으로 가정됩니다.
- "없음" 목표는 최적화에 관한 목표가 없음을 나타냅니다. 만족도 함수가 구성되지 않습니다.

---

**참고 :** 목표 반응이 하한과 상한의 중간이 아닌 경우에는 설계 테이블을 생성한 후 목표값을 변경할 수 있습니다. 데이터 테이블에서 반응 열의 "열 정보" 창을 열고 (**열 > 열 정보**) 원하는 목표값을 입력하십시오.

**중요도** 반응이 여러 개인 경우 지정한 중요도 값을 사용하여 전체 만족도 함수를 계산합니다. 이러한 값은 반응에 대한 가중치로 처리됩니다. 반응이 하나뿐이면 기본적으로 1로 설정되므로 중요도를 지정할 필요가 없습니다.

**JMP PRO** **감지 한계** 하한 및 상한 감지 한계는 반응을 측정할 수 있는 경계를 정의하며 이 경계를 벗어나면 반응을 측정할 수 없습니다. 감지 한계는 열 특성으로 저장됩니다. 이러한 한계를 사용하여 일반화 회귀 플랫폼에서 중도절단 반응을 지정할 수 있습니다. 자세한 내용은 선형 모형 적합의 일반화 회귀 장에서 확인하십시오.

### 반응 개요 편집

"반응" 개요에서 다음 사항에 유의하십시오.

- 반응 이름을 편집하려면 해당 반응을 두 번 클릭합니다.
- 목표를 클릭하여 변경할 수 있습니다.
- 한계 또는 중요도 가중치를 클릭하여 변경할 수 있습니다.
- 반응이 여러 개인 경우 중요도 가중치 값을 입력할 수 있습니다.

### 반응 한계 열 특성

반응을 입력할 때 지정하는 "목표", "하한", "상한" 및 "중요도"를 사용하여 최적 요인 설정을 찾습니다. 각 반응에 대한 정보는 생성된 설계 데이터 테이블에 "반응 한계" 열 특성으로 저장됩니다. JMP에서는 이 정보를 사용하여 만족도 함수를 정의합니다. 만족도 함수는 최적 요인 설정을 찾기 위해 "예측 프로파일러"에서 사용됩니다. "반응 한계" 열 특성에 대한 자세한 내용과 사용 예는 "열 특성" 부록의 "[반응 한계](#)"(730페이지)에서 확인하십시오.

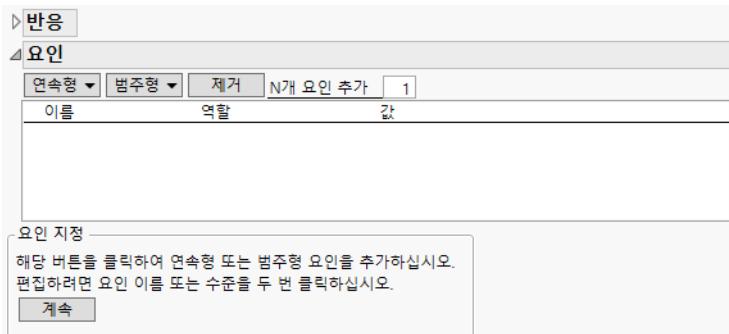
하한과 상한을 지정하지 않으면 JMP는 반응에 대해 관측된 데이터 범위를 사용하여 만족도 함수의 한계를 정의합니다. 하한과 상한을 지정하면 만족도 함수의 규격을 제어할 수 있습니다. 만족도 함수 구성에 대한 자세한 내용은 Profilers의 "Profiler" 장에서 확인하십시오.

## 요인

완전 요인 설계의 요인은 연속형 또는 범주형일 수 있습니다.

**팁 :** "요인" 개요를 완료하면 빨간색 삼각형 메뉴에서 **요인 저장**을 선택하는 것이 좋습니다. 이 옵션을 사용하면 요인 이름, 역할, 변경 및 값을 데이터 테이블에 저장하여 나중에 DOE 플랫폼에서 다시 불러올 수 있습니다.

---

**그림 12.9** 요인 개요


**연속형** 연속형 요인을 추가합니다. 결과 데이터 테이블의 데이터 유형은 숫자입니다. 연속형 요인은 개념적으로 공정 및 측정 시스템의 제한을 고려하여 사용자가 제공하는 하한과 상한 사이의 어떤 값이든 설정할 수 있는 요인입니다.

**범주형** 범주형 요인을 추가합니다. 클릭하여 수준 수를 선택하거나 지정합니다. 결과 데이터 테이블의 데이터 유형은 문자입니다. 수준의 값 순서는 왼쪽에서 오른쪽으로 입력되는 값의 순서입니다. 이 순서는 설계 데이터 테이블이 생성된 후 "값 순서" 열 특성에 저장됩니다.

범주형 요인의 기본값은 L<sub>1</sub>, L<sub>2</sub>, ..., L<sub>k</sub>이며 여기서 k는 지정한 수준 수입니다. 기본값을 실험과 관련된 수준 이름으로 바꿉니다.

**제거** 선택한 요인을 제거합니다.

**N 개 요인 추가** 여러 요인을 추가합니다. 추가할 요인 수를 입력하고 **요인 추가**를 클릭한 후 요인 유형을 선택합니다. 유형이 다른 여러 요인을 추가하려면 **N 개 요인 추가**를 반복합니다.

## 요인 개요

"요인" 개요에는 다음과 같은 열이 포함되어 있습니다.

**이름** 요인의 이름입니다. 요인을 추가하면 X<sub>1</sub>, X<sub>2</sub> 등의 기본 이름이 지정됩니다. 이 이름을 변경하려면 이름을 두 번 클릭한 후 원하는 이름을 입력합니다.

**역할** 요인의 설계 역할입니다. 요인의 "설계 역할" 열 특성은 데이터 테이블에 저장됩니다. 이 특성은 요인 유형이 적절하게 모델링되도록 합니다. 요인의 역할에 따라 데이터 테이블에 저장되는 다른 요인 특성이 결정됩니다. 자세한 내용은 "[요인 열 특성](#)"(359 페이지)에서 확인하십시오.

**값** 요인에 대한 실험 설정입니다.

## 요인 개요 편집

"요인" 개요에서 다음 사항에 유의하십시오.

- 요인 이름을 편집하려면 해당 요인 이름을 두 번 클릭합니다.
- 값을 편집하려면 "값" 열의 값을 클릭합니다.

## 요인 열 특성

각 요인에 대해 "선별 설계" 창에서 "테이블 생성"을 선택하여 설계를 생성하면 다양한 열 특성이 설계 테이블에 저장됩니다. 또한 "요인 저장" 옵션을 선택할 때 생성되는 데이터 테이블에도 이러한 특성이 자동으로 저장됩니다. 이러한 열 특성 및 관련 예에 대한 자세한 내용은 [부록 A, "열 특성"](#)에서 확인하십시오.

**코딩** "역할" 이 "연속형" 인 경우 요인의 "코딩" 열 특성이 저장됩니다. 이 특성은 하한값과 상한값이 각각 -1 과 +1 에 해당하도록 요인 값을 변환합니다. 자세한 내용은 "열 특성" 부록의 "[코딩](#)"(739 페이지)에서 확인하십시오.

**값 순서** "역할" 이 "범주형" 이거나 블록 변수가 구성된 경우 요인의 "값 순서" 열 특성이 저장됩니다. 이 특성은 요인 수준이 나타나는 순서를 결정합니다. 자세한 내용은 "열 특성" 부록의 "[값 순서](#)"(755 페이지)에서 확인하십시오.

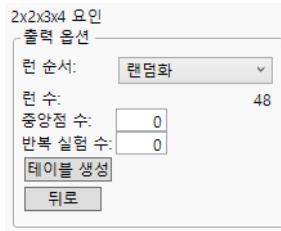
**설계 역할** 각 요인에 "설계 역할" 열 특성이 지정됩니다. 요인을 정의할 때 지정하는 역할에 따라 "설계 역할" 열 특성의 값이 결정됩니다. "설계 역할" 특성은 실험 데이터를 모델링할 때 요인이 어떤 용도로 사용되는지를 반영합니다. "설계 역할" 값은 설계 확대 플랫폼에서 사용됩니다. 자세한 내용은 "열 특성" 부록의 "[설계 역할](#)"(737 페이지)에서 확인하십시오.

**요인 변경** 각 요인에 값이 "쉬움" 인 "요인 변경" 열 특성이 할당됩니다. "요인 변경" 특성은 실험 데이터를 모델링할 때 요인이 사용되는 방식을 반영합니다. "요인 변경" 값은 설계 확대 및 설계 평가 플랫폼에서 사용됩니다. 자세한 내용은 "열 특성" 부록의 "[요인 변경](#)"(752 페이지)에서 확인하십시오.

## 출력 옵션 선택

반응과 요인을 입력하고 **계속**을 클릭한 후 "출력 옵션" 개요에서 설계 테이블에 대한 옵션을 선택할 수 있습니다. 완전 요인 설계의 구조가 개요 맨 위에 나타납니다.

**그림 12.10** 출력 옵션 패널



### 런 순서

**런 순서** 옵션은 설계 테이블의 런 순서를 결정합니다.

**동일하게 유지** 설계 테이블의 행이 왼쪽에서 오른쪽으로 정렬됩니다.

**좌에서 우로 정렬** 설계 테이블의 열이 왼쪽에서 오른쪽으로 정렬됩니다.

**랜덤화** 설계 테이블의 행이 랜덤 순서로 나타납니다.

**우에서 좌로 정렬** 설계 테이블의 열이 오른쪽에서 왼쪽으로 정렬됩니다.

## 중앙점 및 반복 실험

**런 수** 중앙점 또는 반복 실험을 추가하기 전 설계의 런 수를 표시합니다.

**중앙점 수** 설계에 중앙점으로 포함할 추가 런 수를 지정합니다. 중앙점은 모든 연속형 요인이 요인 범위의 가운데에 설정되는 런입니다.

설계에 연속형 요인과 범주형 요인이 모두 포함되어 있다고 가정해 보겠습니다. "출력 옵션" 패널에서 중앙점을 요청할 경우 다음과 같이 중앙점이 분포됩니다.

1. 범주형 요인의 설정은 "요인" 개요에 지정된 값 순서를 사용하여 정렬됩니다.
2. 범주형 요인의 각 설정 조합에 순서대로 중앙점 하나가 할당되고 모든 중앙점이 할당될 때까지 반복됩니다.

**반복 실험 수** 중앙점을 포함하여 전체 설계를 반복할 횟수입니다. 한 번 반복하면 런 수가 두 배 가 됩니다.

## 테이블 생성

"테이블 생성"을 클릭하면 실험 런이 포함된 데이터 테이블이 생성됩니다. 그림 12.11의 예에서는 X1(2수준 연속형 요인), X2(3수준 연속형 요인), X3(2수준 범주형 요인)이라는 세 가지 요인에 대한 5개 중앙점이 포함된 완전 요인 설계를 보여 줍니다. 이 설계는 요인 수준의 기본값을 사용합니다. 중앙점은 7, 8, 12, 14 및 17 행에 있습니다. 자세한 내용은 "패턴 열"(361페이지)에서 확인하십시오.

**그림 12.11** 설계 데이터 테이블

	폐탄	X1	X2	X3	Y
1	-22	-1	2	L2	.
2	-11	-1	1	L1	.
3	-32	-1	3	L2	.
4	+11	1	1	L1	.
5	+32	1	3	L2	.
6	+22	1	2	L2	.
7	001	0	2	L1	.
8	002	0	2	L2	.
9	-31	-1	3	L1	.
10	+31	1	3	L1	.
11	-21	-1	2	L1	.
12	001	0	2	L1	.
13	+12	1	1	L2	.
14	002	0	2	L2	.
15	-12	-1	1	L2	.
16	+21	1	2	L1	.
17	001	0	2	L1	.

왼쪽 위에 표시된 테이블 이름은 해당 테이블을 생성한 설계 유형입니다.

## 설계 테이블 스크립트

설계 테이블에는 다음과 같은 스크립트가 포함되어 있습니다.

**모형** "분석 > 모형 적합" 플랫폼을 실행합니다.

**설계 평가** "DOE > 설계 진단 > 설계 평가" 플랫폼을 실행합니다.

**DOE 대화상자** 설계 테이블을 생성하는 데 사용된 "완전 요인 설계" 창을 다시 생성합니다. 또한 이 스크립트는 설계를 생성하는 데 사용된 난수 시드값도 포함합니다.

데이터를 분석하려면 **선별** 또는 **모형** 스크립트를 실행합니다.

## 패턴 열

패턴 열에는 지정된 행의 런을 요약하는 항목이 포함되어 있습니다. 패턴을 그림의 라벨 변수로 사용할 수 있습니다.

- 2 수준 연속형 요인의 경우 하한 설정은 "-", 상한 설정은 "+", 중앙점은 "0"으로 각각 나타냅니다.
- 3 수준 이상 연속형 요인의 경우 다음과 같습니다.
  - 중앙점이 아닌 경우 요인 설정은 런의 값 수준에 해당하는 정수로 나타냅니다.
  - 중앙점인 경우 요인 설정은 "0"으로 나타냅니다.
- 범주형 요인의 경우 요인 설정은 런의 값 수준에 해당하는 정수로 나타냅니다.

---

## 완전 요인 설계 옵션

완전 요인 설계 플랫폼의 빨간색 삼각형 메뉴에는 다음 옵션이 포함되어 있습니다.

**반응 저장** "반응" 패널의 정보를 새 데이터 테이블에 저장합니다. 그러면 반응 및 관련 정보를 대부분의 DOE 창에 빠르게 불러올 수 있습니다. 이 옵션은 반응을 재사용할 것으로 예상하는 경우 유용합니다.

**반응 불러오기** "반응 저장" 옵션을 사용하여 저장한 반응을 불러옵니다.

**요인 저장** "요인" 패널의 정보를 새 데이터 테이블에 저장합니다. 각 요인의 열에는 수준이 포함됩니다. 다른 정보는 열 특성으로 저장됩니다. 그러면 요인 및 관련 정보를 대부분의 DOE 창에 빠르게 불러올 수 있습니다.

**참고 :** 빈 테이블에 데이터를 입력하여 요인 테이블을 생성할 수 있지만 각 열에 적절한 설계 역할을 할당해야 합니다. 이렇게 하려면 데이터 격자에서 열 이름을 마우스 오른쪽 버튼으로 클릭하고 **열 특성 > 설계 역할**을 선택합니다. 그런 다음 "설계 역할" 영역에서 적절한 역할을 선택합니다.

---

**요인 불러오기** "요인 저장" 옵션을 사용하여 저장한 요인을 불러옵니다.

**제약 조건 저장** ( 일부 플랫폼에서는 사용할 수 없음 ) " 요인 제약 조건 정의 " 또는 " 선형 제약 조건 " 개요에서 정의한 요인 제약 조건을 각 제약 조건에 대한 열과 함께 데이터 테이블에 저장합니다 . 그러면 제약 조건을 대부분의 DOE 창에 빠르게 불러올 수 있습니다 .

제약 조건 테이블에서 처음에 나오는 행은 각 요인의 계수를 포함합니다 . 마지막 행은 부등식 한계를 포함합니다 . 각 제약 조건 열에는 제약 조건을 "less than" 또는 "greater than" 제약 조건으로 식별하는 제약 조건 상태 열 특성이 포함됩니다 . 자세한 내용은 " 열 특성 " 부록의 "[제약 조건 상태](#)"(762 페이지 )에서 확인하십시오 .

**제약 조건 불러오기** ( 일부 플랫폼에서는 사용할 수 없음 ) " 제약 조건 저장 " 옵션을 사용하여 저장한 요인 제약 조건을 불러옵니다 .

**난수 시드값 설정** JMP 가 랜덤 성분이 있는 작업을 제어하는 데 사용하는 난수 시드값을 설정합니다 . 이러한 작업에는 다음 중 하나 이상이 포함됩니다 .

- 설계 생성을 위한 검색 알고리즘 초기화
- 설계 생성을 위한 런 순서 랜덤화
- 랜덤 시작에 기반한 설계의 시작 설계 선택

설계를 재현하려면 **설계 생성**을 클릭하기 전에 설계를 생성한 난수 시드값을 입력합니다 .

---

**참고 :** 설계와 관련된 난수 시드값은 설계 데이터 테이블에 저장된 "DOE 대화상자" 스크립트에 포함됩니다 .

---

**반응 시뮬레이션** 시뮬레이션 계산식을 포함하는 열과 반응 값을 설계 테이블에 추가합니다 . " 테이블 생성 " 을 클릭하기 전에 이 옵션을 선택하십시오 .

" 테이블 생성 " 을 클릭하면 다음과 같은 결과가 나타납니다 .

- 시뮬레이션된 반응 값 집합이 각 반응 열에 추가됩니다 .
- 각 반응에 대해 시뮬레이션 모형 계산식을 포함하는 새 열이 설계 테이블에 추가됩니다 . 계산식과 값은 설계 창에 지정된 모형에 기초합니다 .
- 모형 효과에 대한 계수 값을 설정하고 정규 , 이항 또는 Poisson 분포 중 하나를 지정할 수 있는 " 모형 " 창이 나타납니다 .

---

**참고 :** 모든 설계 유형에 모든 분포를 사용할 수 있는 것은 아닙니다 .

---

- **DOE 시뮬레이션** 스크립트가 설계 테이블에 저장됩니다 . 이 스크립트는 값을 다시 시뮬레이션하거나 시뮬레이션된 반응 분포를 변경할 수 있도록 " 모형 " 창을 다시 엽니다 .

" 모형 " 창에서 시뮬레이션된 반응 값의 분포를 제어하는 옵션을 선택합니다 . " 적용 " 을 클릭하면 시뮬레이션된 반응 값의 계산식이 <Y> 시뮬레이션이라는 새 열에 저장됩니다 . 여기서 Y는 반응 이름입니다 . " 적용 " 을 다시 클릭하면 <Y> 시뮬레이션의 계산식과 값이 업데이트됩니다 .

자세한 내용은 " 사용자 설계 " 장의 "[반응 시뮬레이션](#)"(103 페이지 )에서 확인하십시오 .

---

**참고 :** JMP<sup>®</sup> PRO "반응 시뮬레이션" 을 사용하면 JMP Pro 시뮬레이션 기능을 사용하여 시뮬레이션 분석을 수행할 수 있습니다. 자세한 내용과 DOE 예는 기본 분석의 "시뮬레이션" 장에서 확인하십시오.

---

**고급 옵션** 사용할 수 없음

**스크립트를 스크립트 창에 저장** "완전 요인 설계" 창에서 지정한 설계의 스크립트를 생성한 후 열린 스크립트 창에 저장합니다.



# 13 장

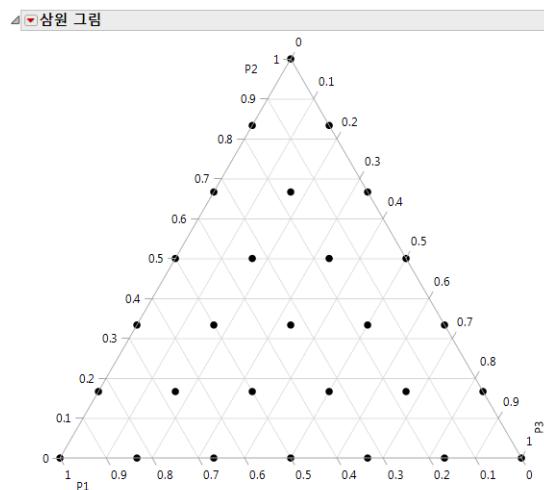
## 혼합물 설계 배합 설계

혼합물 설계 플랫폼을 사용하면 혼합물의 성분인 요인으로 실험을 구축할 수 있습니다. 심플렉스, 꼭지점 및 격자와 같은 몇 가지 전통적 혼합물 설계 방법 중에서 선택합니다. 꼭지점 방법의 경우 혼합 요인 공간의 형상을 제한하는 일련의 선형 부등식 조건을 제공할 수 있습니다.

혼합물 실험에서 요인 값은 혼합물의 비율이며 0과 1 사이입니다. 혼합물 실험에는 요인 비율의 합이 1(100%)인 3개 이상의 요인이 포함됩니다. 혼합물 실험은 요인을 서로 독립적으로 변경할 수 없다는 점에서 다른 실험 유형과 다릅니다. 한 요인의 비율을 변경하면 하나 이상의 다른 요인의 비율도 변경되어야 합니다. 이 단순한 사실이 요인 공간, 설계 특성, 결과 해석 등 혼합물 실험의 모든 측면에 큰 영향을 미칩니다.

혼합 성분은 합이 1이 되는 비율이므로 혼합물 설계의 실현 가능한 영역은 심플렉스 형태가 됩니다. 예를 들어 3요인 설계는 삼각형 2D 그래프로 시각화하고 4요인 설계는 3D 4면체로 시각화 할 수 있습니다.

그림 13.1 삼원 그림



## 목차

혼합물 설계 개요	367
혼합물 설계 창	367
반응	367
요인	369
삼원 그림 개요	371
혼합물 설계 유형의 예	371
최적 혼합물 설계	372
심플렉스 중심 설계	373
심플렉스 격자 설계	375
꼭지점 설계	376
ABCD 설계	380
공간 채움 설계	381
혼합물 설계 적합	383
전체 모형 검정 및 분산 분석 보고서	384
반응 표면 보고서 이해	384
화학 혼합물 예	384
설계 생성	385
혼합 모형 분석	386
예측 프로파일러	387
혼합물 프로파일러	388

## 혼합물 설계 개요

다음과 같은 혼합물 설계 유형을 선택할 수 있습니다.

**최적** 사용자 설계 도구를 사용하여 최적 혼합물 설계를 생성합니다. 자세한 내용은 "[최적 혼합물 설계](#)"(372 페이지)에서 확인하십시오.

**심플렉스 중심** (무제약 요인 또는 하한 제약 조건이 있는 요인에 사용할 수 있음) 순수 혼합물 및 지정된 차수까지의 요인 혼합으로 설계를 생성합니다. 순수 혼합물에서는 한 성분이 100%이고 다른 모든 성분은 0%입니다. 자세한 내용은 "[심플렉스 중심 설계](#)"(373 페이지)에서 확인하십시오.

**심플렉스 격자** (무제약 요인 또는 하한 제약 조건이 있는 요인에 사용할 수 있음) 순수 혼합물 및 런에 대한 삼각 격자를 생성하는 공간 채움 혼합으로 설계를 생성합니다. 격자 수준의 수를 지정할 수 있습니다. 자세한 내용은 "[심플렉스 격자 설계](#)"(375 페이지)에서 확인하십시오.

**꼭지점** (하나 이상의 요인에 대해 선형 제약 조건 또는 제한된 상한 / 하한이 있는 경우에 사용할 수 있음) 제약이 있는 요인 공간의 꼭지점 및 꼭지점 조합을 기반으로 설계를 생성합니다. 자세한 내용은 "[꼭지점 설계](#)"(376 페이지)에서 확인하십시오.

**ABCD 설계** Snee(1975)가 고안한 혼합에 대한 선별 설계를 생성합니다. 자세한 내용은 "[ABCD 설계](#)"(380 페이지)에서 확인하십시오.

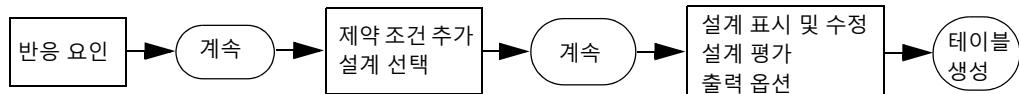
**공간 채움** 선형 제약 조건을 수용하는 공간 채움 설계를 생성합니다. 자세한 내용은 "[공간 채움 설계](#)"(381 페이지)에서 확인하십시오.

**참고:** 최적, 꼭지점 및 공간 채움 설계는 성분에 대한 선형 제약 조건과 제한을 통합할 수 있습니다.

## 혼합물 설계 창

설계 단계를 진행하는 동안 "혼합물 설계" 창이 업데이트됩니다. 자세한 내용은 "[DOE 워크플로우: 기술, 지정, 설계](#)"(56페이지)에서 확인하십시오. 워크플로우와 개요는 설계 유형에 따라 달립니다.

**그림 13.2** 혼합물 설계 워크플로우



## 반응

"반응" 개요를 사용하여 하나 이상의 반응을 지정합니다.

**팁 :** "반응" 개요를 완료하면 빨간색 삼각형 메뉴에서 **반응 저장**을 선택하는 것이 좋습니다. 이 옵션을 사용하면 반응 이름, 목표, 한계 및 중요도 값을 데이터 테이블에 저장하여 나중에 DOE 플랫폼에서 다시 불러올 수 있습니다.

### 그림 13.3 반응 개요

반응 이름	목표	하한	상한	중요도	갈지 하한	갈지 상한
Y	최대화	.	.	.	.	.

**반응 추가** "최대화", "목표값 일치", "최소화", "없음" 또는 "함수" 목표 유형을 사용하여 단일 반응을 입력합니다. "목표값 일치"를 선택하는 경우 목표값 한계를 입력해야 합니다. "최대화" 또는 "최소화"를 선택하는 경우에는 한계를 입력할 필요가 없지만 만족도 함수를 사용하려면 입력하는 것이 유용할 수 있습니다.

**JMP<sup>®</sup> PRO** 함수 (JMP Pro에서만 사용할 수 있음) 설계 데이터 테이블에 FDE 열 특성을 가진 여러 개의 Y 열을 추가합니다. 이러한 열은 DOE 요인을 보조 요인으로 사용하는 함수 데이터 탐색기 플랫폼에 사용할 수 있습니다.

**제거** 선택한 반응을 제거합니다.

**반응 수** 입력한 수가 총 반응 수가 되도록 추가 반응을 입력합니다. 기본값 Y 이외의 반응을 입력한 경우 각 추가 반응의 목표는 마지막에 입력한 반응과 관련된 목표입니다. 그렇지 않은 경우에는 기본적으로 "목표값 일치"로 설정됩니다. 테이블에서 "목표" 유형을 클릭하여 목표를 변경할 수 있습니다.

"반응" 개요에는 다음과 같은 열이 포함되어 있습니다.

**반응 이름** 반응의 이름입니다. 반응을 추가하면 Y, Y2 등의 기본 이름이 지정됩니다. 이 이름을 변경하려면 이름을 두 번 클릭한 후 원하는 이름을 입력합니다.

**목표, 하한, 상한** "목표"는 반응 최대화, 반응 최소화, 목표값 일치 또는 반응 목표 없음 중에서 무엇을 원하는지 JMP에 알려 줍니다. JMP는 이러한 지정에 따라 설계 테이블의 각 반응 열에 "반응 한계" 열 특성을 할당합니다. 이 정보를 사용하여 각 반응에 대한 만족도 함수를 정의합니다. "프로파일러" 및 "등고선 프로파일러"는 만족도 함수를 사용하여 최적 요인 설정을 찾습니다. 자세한 내용은 **Profilers**의 "Profiler" 장 및 "열 특성" 부록의 "[반응 한계](#)"(730 페이지)에서 확인하십시오.

- "최대화" 목표는 가장 큰 값이 가장 좋음을 나타냅니다. 자연 하한 또는 상한이 있는 경우 이를 "하한" 또는 "상한"으로 지정할 수 있습니다.
- "최소화" 목표는 가장 작은 값이 가장 좋음을 나타냅니다. 자연 하한 또는 상한이 있는 경우 이를 "하한" 또는 "상한"으로 지정할 수 있습니다.
- "목표값 일치" 목표는 특정 목표값이 가장 좋음을 나타냅니다. 기본 목표값은 하한과 상한의 중간으로 가정됩니다.

- "없음" 목표는 최적화에 관한 목표가 없음을 나타냅니다. 만족도 함수가 구성되지 않습니다.

**참고 :** 목표 반응이 하한과 상한의 중간이 아닌 경우에는 설계 테이블을 생성한 후 목표값을 변경할 수 있습니다. 데이터 테이블에서 반응 열의 "열 정보" 창을 열고 (**열 > 열 정보**) 원하는 목표값을 입력하십시오.

**중요도** 반응이 여러 개인 경우 지정한 중요도 값을 사용하여 전체 만족도 함수를 계산합니다. 이러한 값은 반응에 대한 가중치로 처리됩니다. 반응이 하나뿐이면 기본적으로 1로 설정되므로 중요도를 지정할 필요가 없습니다.

**JMP PRO** **감지 한계** 하한 및 상한 감지 한계는 반응을 측정할 수 있는 경계를 정의하며 이 경계를 벗어나면 반응을 측정할 수 없습니다. 감지 한계는 열 특성으로 저장됩니다. 이러한 한계를 사용하여 일반화 회귀 플랫폼에서 중도절단 반응을 지정할 수 있습니다. 자세한 내용은 선형 모형 적합의 일반화 회귀 장에서 확인하십시오.

### 반응 개요 편집

"반응" 개요에서 다음 사항에 유의하십시오.

- 반응 이름을 편집하려면 해당 반응을 두 번 클릭합니다.
- 목표를 클릭하여 변경할 수 있습니다.
- 한계 또는 중요도 가중치를 클릭하여 변경할 수 있습니다.
- 반응이 여러 개인 경우 중요도 가중치 값을 입력할 수 있습니다.

### 반응 한계 열 특성

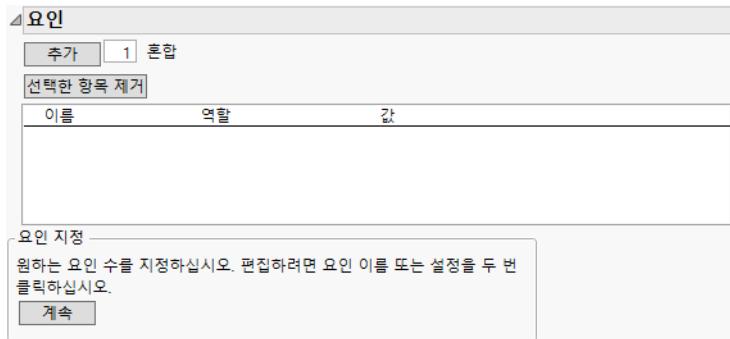
반응을 입력할 때 지정하는 "목표", "하한", "상한" 및 "중요도"를 사용하여 최적 요인 설정을 찾습니다. 각 반응에 대한 정보는 생성된 설계 데이터 테이블에 "반응 한계" 열 특성으로 저장됩니다. JMP에서는 이 정보를 사용하여 만족도 함수를 정의합니다. 만족도 함수는 최적 요인 설정을 찾기 위해 "예측 프로파일러"에서 사용됩니다. "반응 한계" 열 특성에 대한 자세한 내용과 사용에는 "열 특성" 부록의 **"반응 한계"**(730페이지)에서 확인하십시오.

하한과 상한을 지정하지 않으면 JMP는 반응에 대해 관측된 데이터 범위를 사용하여 만족도 함수의 한계를 정의합니다. 하한과 상한을 지정하면 만족도 함수의 규격을 제어 할 수 있습니다. 만족도 함수 구성에 대한 자세한 내용은 **Profilers**의 "Profiler" 장에서 확인하십시오.

### 요인

"요인" 개요에서 요인을 추가합니다.

**팁 :** "요인" 개요를 완료하면 빨간색 삼각형 메뉴에서 **요인 저장**을 선택하는 것이 좋습니다. 이렇게 하면 요인 이름, 역할, 변경 및 값을 데이터 테이블에 저장하여 나중에 다시 불러올 수 있습니다.

**그림 13.4** 요인 개요

**추가** 추가할 요인 수를 입력하고 "추가"를 클릭합니다.

**선택한 항목 제거** 선택한 요인을 제거합니다.

**요인 목록**

"요인" 목록에는 다음과 같은 열이 포함되어 있습니다.

**이름** 요인의 이름입니다. 요인을 추가하면 X1, X2 등의 기본 이름이 지정됩니다. 이 이름을 변경하려면 이름을 두 번 클릭한 후 원하는 이름을 입력합니다.

**역할** 요인의 설계 역할을 지정합니다. 요인의 "설계 역할" 열 특성은 데이터 테이블에 저장됩니다. 이 특성은 요인 유형이 적절하게 모델링되도록 합니다.

**값** 요인에 대한 실험 설정입니다. 값을 삽입하려면 기본값을 클릭한 후 원하는 값을 입력합니다.

**요인 목록 편집**

"요인" 목록에서 다음을 수행합니다.

- 요인 이름을 편집하려면 해당 요인 이름을 두 번 클릭합니다.
- 값을 편집하려면 값 열의 값을 클릭합니다.

**선형 제약 조건**

하나 이상의 선형 부등식 제약 조건을 입력하려면 **선형 제약 조건** 버튼을 클릭합니다. 설계의 모든 연속형 요인을 포함하는 선형 표현식 템플릿이 나타납니다. 요인에 대한 계수 값을 입력한 후 선형 제약 조건을 반영하는 부등식 방향을 선택합니다. 부등식의 오른쪽 상자에 제약 값을 지정합니다. 제약 조건을 더 추가하려면 **선형 제약 조건**을 다시 클릭합니다.

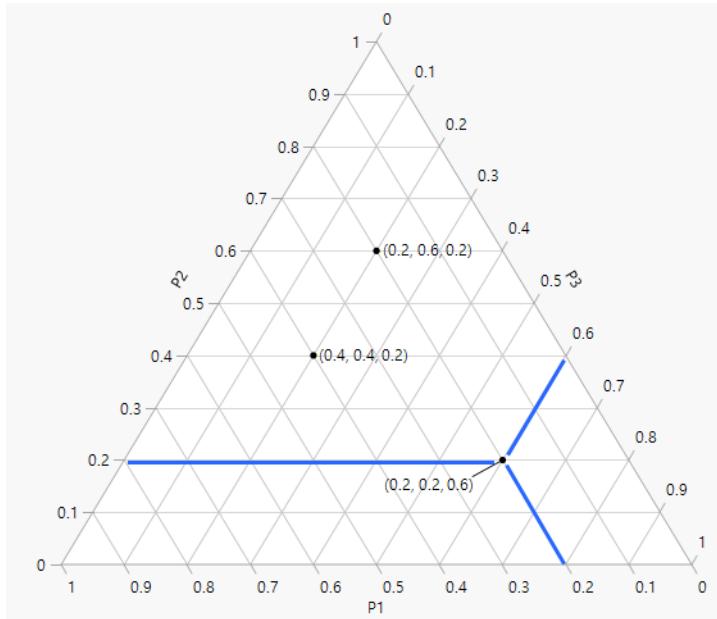
**참고 :** 선형 제약 조건을 포함하는 설계의 스크립트를 저장하면 해당 스크립트에 선형 제약 조건이 보다 작거나 같음 부등식 ( $\leq$ )으로 표현됩니다.

## 삼원 그림 개요

삼원 그림은 합이 상수가 되는 세 가지 혼합 성분을 2차원으로 표현한 것입니다. 이 그림은 각 성분에 대한 모서리가 있는 정삼각형입니다. 제약이 없는 경우 삼각형의 각 꼭지점은 순수 혼합에 해당합니다. 즉, 한 성분이 1(100%)이고 다른 모든 성분은 0입니다. 성분에 제약이 있는 경우 실현 가능한 혼합은 삼원 그림의 부분으로 표현됩니다. 음영은 그림에서 실현 불가능한 부분을 제외하는 데 사용됩니다.

그림 13.5에는 세 가지 성분( $P_1, P_2, P_3$ )이 표시됩니다. 세 성분은 0에서 1(100%) 사이의 각 비율 범위로 제약되지 않습니다. 세 점에는 좌표, 즉  $(P_1, P_2, P_3)$  형식으로 라벨이 지정됩니다. 한 점  $(0.2, 0.2, 0.6)$ 에는 각 혼합 성분의 축 격자선을 따라 파란색 선이 포함되어 축 값을 읽을 수 있습니다.

그림 13.5 삼원 그림의 예



---

## 혼합물 설계 유형의 예

- "최적 혼합물 설계"
- "심플렉스 중심 설계"
- "심플렉스 격자 설계"
- "꼭지점 설계"
- "ABCD 설계"

- "공간 채움 설계"

## 최적 혼합물 설계

최적 혼합물 설계는 혼합물 설계 플랫폼 또는 사용자 설계 플랫폼을 사용하여 생성할 수 있습니다.

여기서는 혼합물 설계 플랫폼을 사용하여 세 가지 요인이 있는 최적 혼합물 설계의 예를 생성합니다.

1. **DOE > 전통적 설계 > 혼합물 설계**를 선택합니다.
2. 이 예에서는 세 가지 요인을 사용합니다. "요인" 섹션을 변경할 필요가 없습니다.
3. **계속**을 클릭합니다.
4. "혼합물 설계 유형 선택" 패널에서 **최적**을 클릭합니다.
5. (선택 사항) 이 예의 출력과 일치시키려면 "혼합물 설계"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 "난수 시드값 설정"을 선택한 후 1409를 입력합니다.
6. (선택 사항) 이 예의 출력과 일치시키려면 "혼합물 설계"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 "시작 수"를 선택한 후 2를 입력합니다.
7. **요인 제약 조건 정의** 패널에서 **선형 제약 조건 지정**을 클릭한 후 **추가**를 클릭합니다.
8. "X1" 및 "X2" 상자에 1을 입력하고 제약 조건 상자에 0.8을 입력합니다.  
이렇게 하면  $X_1 + X_2$  가 혼합물의 80% 미만으로 제한됩니다.
9. **모형** 패널에서 **교호작용 > 2 차**를 클릭합니다.  
이렇게 하면 모형에 교호작용 효과가 추가됩니다.
10. **설계 생성** 패널에서 **중앙점 수**에 2를 입력합니다.
11. **설계 생성**을 클릭합니다.

**그림 13.6** 12 회 런 최적 설계

설계			
런	X1	X2	X3
1	0.8	0	0.2
2	0	0	1
3	0	0.8	0.2
4	0	0	1
5	0	0.4	0.6
6	0.4	0	0.6
7	0	0.8	0.2
8	0.4	0	0.6
9	0.4	0.4	0.2
10	0.8	0	0.2
11	0.264183	0.269687	0.46613
12	0.264183	0.269687	0.46613

12. **테이블 생성**을 클릭합니다.

---

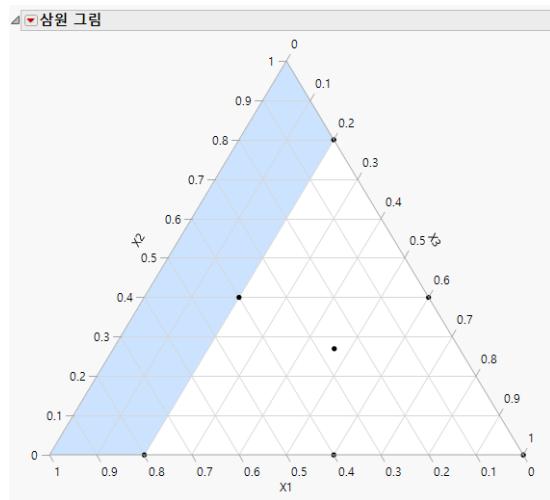
**참고 :** 실제로는 혼합물 양을 적절한 정밀도 수준으로 반올림합니다.

---

### 설계 시각화

- 설계 테이블에서 **그래프 > 삼원 그림**을 선택합니다.
- X1, X2, X3 을 선택하고 **X, 그림에 그리기**를 클릭한 후 **확인**을 클릭합니다.

**그림 13.7** 최적 설계의 삼원 그림



삼원 그림은 설계를 구성하는 7개의 고유 혼합물을 보여 줍니다. 음영은 제약된 영역을 나타냅니다. 삼원 그림에 대한 자세한 내용은 "[삼원 그림 개요](#)"(371 페이지)에서 확인하십시오.

### 심플렉스 중심 설계

$n$  개 요인이 포함된  $k$  차 심플렉스 중심 설계는 다음과 같은 특성을 가진 혼합물로 구성됩니다.

- 단일 요인 혼합물 (순수 혼합물)
- 동일한 수준으로 두 가지 요인 모두 혼합
- 동일한  $k$  수준으로 한 번에 최대  $k$  개 요인을 추가 혼합

$k$ 가 요인 수와 같을 경우 모든 성분의 양이 동일한 중앙점 런이 포함됩니다.

---

**참고 :** 이 설계는 하나 이상의 요인에 하한이 있을 경우 사용할 수 있습니다.

---

## 설계 생성

심플렉스 중심 설계 예를 생성하려면

1. **DOE > 전통적 설계 > 혼합물 설계**를 선택합니다.
2. 이 예에서는 세 가지 요인을 사용합니다. "요인" 섹션을 변경할 필요가 없습니다.
3. **계속**을 클릭합니다.
4. **심플렉스 중심**을 클릭하여 설계를 생성합니다.

**참고 :** 기본 설정  $k = 2$  가 사용되었습니다.  $k$  값을 조정할 수 있는 텍스트 상자가 있습니다.

**그림 13.8** 세 가지 요인의 2 차 심플렉스 중심 설계

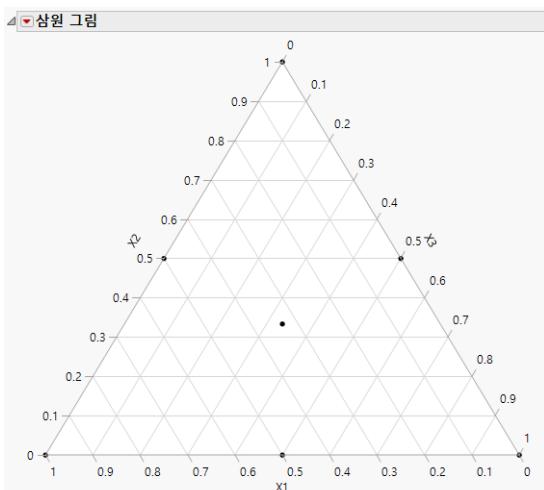
라인	X1	X2	X3
1	1.00000	0.00000	0.00000
2	0.00000	1.00000	0.00000
3	0.00000	0.00000	1.00000
4	0.50000	0.50000	0.00000
5	0.50000	0.00000	0.50000
6	0.00000	0.50000	0.50000
7	0.33333	0.33333	0.33333

5. **테이블 생성**을 클릭합니다.

## 설계 시각화

6. 설계 테이블에서 **그래프 > 삼원 그림**을 선택합니다.
7. X1, X2, X3 을 선택하고 **X, 그림에 그리기**를 클릭한 후 **확인**을 클릭합니다.

**그림 13.9** 심플렉스 중심 설계의 삼원 그림



삼원 그림에 대한 자세한 내용은 "[삼원 그림 개요](#)"(371페이지)에서 확인하십시오.

## 심플렉스 격자 설계

심플렉스 격자 설계는 런에 대한 삼각 격자를 생성하는 공간 채움 설계입니다. 이 설계는 요인의 값이  $i/m$ 인 혼합물 집합입니다. 여기서  $i$ 는  $0 \sim m$  사이에서 달라지며 요인의 합은 1입니다. 3수준 설계의 경우 요인을 0, 0.33, 0.66 또는 1로 설정할 수 있습니다.

**참고 :** 이 설계는 하나 이상의 요인에 하한이 있을 경우 사용할 수 있습니다.

심플렉스 격자 설계 예를 생성하려면

1. **DOE > 전통적 설계 > 혼합물 설계**를 선택합니다.
2. 이 예에서는 세 가지 요인을 사용합니다. "요인" 섹션을 변경할 필요가 없습니다.
3. **계속**을 클릭합니다.
4. **심플렉스 격자**를 클릭하여 설계를 생성합니다.

**참고 :** 기본 설정 5 수준이 사용되었습니다. 수준 수를 조정할 수 있는 텍스트 상자가 있습니다.

**그림 13.10** 세 가지 요인의 5 수준 심플렉스 격자 설계

런	X1	X2	X3
1	0.00000	0.00000	1.00000
2	0.00000	0.20000	0.80000
3	0.00000	0.40000	0.60000
4	0.00000	0.60000	0.40000
5	0.00000	0.80000	0.20000
6	0.00000	1.00000	0.00000
7	0.20000	0.00000	0.80000
8	0.20000	0.20000	0.60000
9	0.20000	0.40000	0.40000
10	0.20000	0.60000	0.20000
11	0.20000	0.80000	0.00000
12	0.40000	0.00000	0.60000
13	0.40000	0.20000	0.40000
14	0.40000	0.40000	0.20000
15	0.40000	0.60000	0.00000
16	0.60000	0.00000	0.40000
17	0.60000	0.20000	0.20000
18	0.60000	0.40000	0.00000
19	0.80000	0.00000	0.20000
20	0.80000	0.20000	0.00000
21	1.00000	0.00000	0.00000

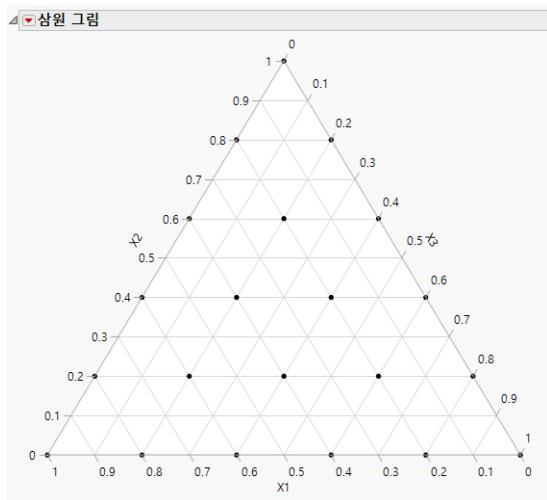
5. **테이블 생성**을 클릭합니다.

### 설계 시작화

6. 설계 테이블에서 **그래프 > 삼원 그림**을 선택합니다.

7. X1, X2, X3 을 선택하고 **X**, 그림에 그리기를 클릭한 후 확인을 클릭합니다.

**그림 13.11** 심플렉스 격자 설계의 삼원 그림



삼원 그림에 대한 자세한 내용은 "[삼원 그림 개요](#)"(371 페이지)에서 확인하십시오.

수준 수가 증가하면 설계점 수도 증가하여 설계점 사이 간격이 줄어듭니다. 심플렉스 중심 설계와 달리 심플렉스 격자 설계는 중심을 반드시 포함하지는 않습니다.

## 꼭지점 설계

꼭지점 설계를 사용하려면 "요인" 패널에 정의한 한계 또는 선형 제약 조건에 따라 하나 이상의 요인에 대해 제한된 범위가 필요합니다. 꼭지점 설계는 요인 공간의 꼭지점과 지정된 차수까지의 꼭지점 평균의 혼합으로 구성됩니다. 선으로 연결된 두 인접 꼭지점의 중심점은 2차 중심입니다. 평면을 공유하는 꼭지점의 중심점은 3차 중심입니다.

### 범위 제약 조건이 있는 꼭지점의 예

꼭지점 설계 예를 생성하려면

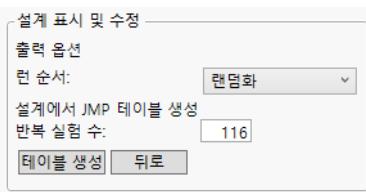
1. **DOE > 전통적 설계 > 혼합물 설계**를 선택합니다.
2. "요인"에서 추가할 요인 수에 2를 입력하고 **추가**를 클릭합니다.
3. 그림 13.12에 표시된 대로 5개 요인의 범위를 설정하고 **계속**을 클릭합니다.

그림 13.12 5 개 요인의 범위

이름	역할	값	
X1	혼합	0.05	0.25
X2	혼합	0.1	0.3
X3	혼합	0.1	0.3
X4	혼합	0.1	0.4
X5	혼합	0.05	0.25

4. 차수 텍스트 상자에 4 를 입력하고 **꼭지점**을 클릭합니다.

그림 13.13 꼭지점 예의 표시 및 수정 패널



이 5 개 요인의 4 차 꼭지점 설계에 사용할 기본 런 수는 116 입니다. 이 값은 5 개 요인에 대한 꼭지점 수이며 요인 범위에 제약 조건이 지정될 경우 요인의 최대 4 차까지의 꼭지점 평균입니다. JMP 는 기본 혼합 집합을 후보 집합으로 사용하여 더 작은 D 최적 설계를 생성합니다.

- (선택 사항) 이 예의 출력과 일치시키려면 "혼합물 설계" 의 빨간색 삼각형을 클릭하고 "난수 시드값 설정" 을 선택한 후 1409 를 입력합니다.
- "원하는 표본 크기 선택 :" 상자에 10 을 입력하고 **부분집합 찾기**를 클릭하여 설계를 생성합니다.

**참고 : 부분집합 찾기** 옵션은 행 교환 방법 (좌표 교환 아님) 을 사용하여 행의 최적 부분집합을 찾습니다.

그림 13.14 10 회 런 D-최적 꼭지점 설계

설계	런	X1	X2	X3	X4	X5
	1	0.05000	0.30000	0.20000	0.40000	0.05000
	2	0.05000	0.10000	0.30000	0.40000	0.15000
	3	0.25000	0.30000	0.10000	0.10000	0.25000
	4	0.05000	0.30000	0.30000	0.10000	0.25000
	5	0.25000	0.10000	0.30000	0.10000	0.25000
	6	0.25000	0.30000	0.30000	0.10000	0.05000
	7	0.25000	0.10000	0.30000	0.30000	0.05000
	8	0.05000	0.20000	0.10000	0.40000	0.25000
	9	0.25000	0.30000	0.10000	0.30000	0.05000
	10	0.25000	0.10000	0.10000	0.30000	0.25000

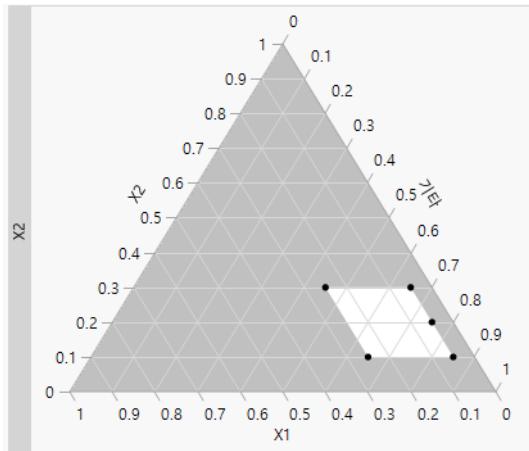
7. **테이블 생성**을 클릭합니다.

### 설계 시작화

8. 설계 테이블에서 **그래프 > 삼원 그림**을 선택합니다.

9. X1, X2, X3, X4, X5 를 선택하고 **X**, 그림에 그리기를 클릭한 후 확인을 클릭합니다.

**그림 13.15** 5 개 요인 설계의 삼원 그림 출력 ( 일부분 )



혼합 성분이 4개 이상 있는 경우 삼원 그림에 일련의 그림의 표시됩니다. 각 그림에는 두 개의 성분 축이 있고 세 번째 축은 다른 모든 성분의 합입니다. 제약된 영역이 있으면 그림에 음영이 적용됩니다. 음영 처리되지 않은 부분은 실현 가능 영역을 나타냅니다. 삼원 그림에 대한 자세한 내용은 "삼원 그림 개요"(371 페이지)에서 확인하십시오.

### 선형 제약 조건이 있는 꼭지점의 예

Snee(1979) 및 Piepel(1988)이 제안한 전통적 예를 고려해 보겠습니다. 이 예에서는 요인 한계와 3개의 선형 제약 조건이 있는 세 가지 요인(X1, X2, X3)을 사용합니다.

이 예에 대한 꼭지점 설계를 생성하려면

1. **DOE > 전통적 설계 > 혼합물 설계**를 선택합니다.
2. X1, X2 및 X3 에 대해 그림 13.16 의 값을 입력하고 **계속**을 클릭합니다.

**그림 13.16** Snee 및 Piepel 예에 대한 값과 선형 제약 조건

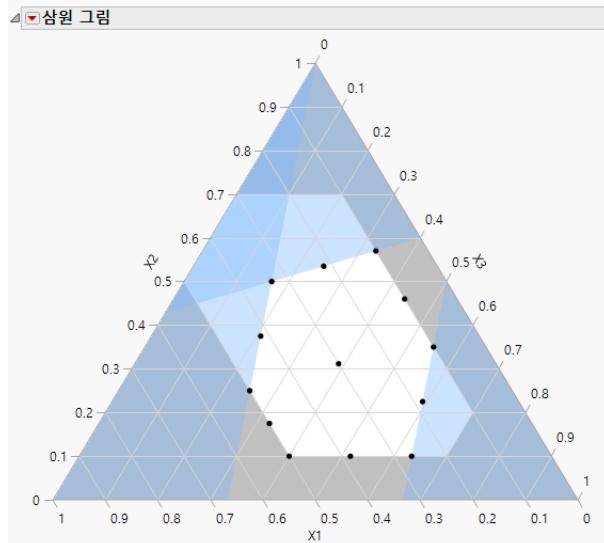
▲ 요인					
이름	역할	값			
X1	혼합	0.1	0.5		
X2	혼합	0.1	0.7		
X3	혼합	0	0.7		
<input type="text" value="-0.85"/> X1 + <input type="text" value="-0.9"/> X2 + <input type="text" value="-1"/> X3 <input type="button" value="≤"/> <input type="text" value="-0.9"/>					
<input type="text" value="0.85"/> X1 + <input type="text" value="0.9"/> X2 + <input type="text" value="1"/> X3 <input type="button" value="≤"/> <input type="text" value="0.95"/>					
<input type="text" value="-0.7"/> X1 + <input type="text" value="0"/> X2 + <input type="text" value="-1"/> X3 <input type="button" value="≤"/> <input type="text" value="-0.4"/>					

3. 선형 제약 조건을 세 번 클릭합니다. 그림 13.16에 표시된 대로 제약 조건을 입력합니다.
4. 꼭지점 버튼을 클릭합니다.
5. 테이블 생성을 클릭합니다.

### 설계 시각화

6. 설계 테이블에서 **그래프 > 삼원 그림**을 선택합니다.
7. X1, X2, X3 을 선택하고 **X, 그림에 그리기**를 클릭한 후 **확인**을 클릭합니다.

**그림 13.17** 제약 조건이 있는 Piepel 예를 보여 주는 삼원 그림



삼원 그림은 요인 한계 및 선형 제약 조건의 정의에 따라 실현 가능 영역을 보여 줍니다. 설계점은 실현 가능 영역의 6개 꼭지점, 6개의 모서리 중간점 및 전체 중심에 있습니다. 삼원 그림에 대한 자세한 내용은 "[삼원 그림 개요](#)"(371 페이지)에서 확인하십시오.

### 꼭지점 방법에 대한 통계 상세 정보

선형 제약 조건이 있는 경우 JMP는 R.E. Wheeler가 개발한 CONSIM 알고리즘을 사용합니다. 이 알고리즘은 Snee(1979)에 설명되어 있고, Piepel(1988)에 의해 CONVRT로 제안되었습니다. 이 방법은 Cornell(1990, Appendix 10a)에도 설명되어 있습니다. 이 방법은 제약 조건을 결합하고 꼭지점이 제약 조건을 위반하는지 확인합니다. 위반할 경우 해당 꼭지점을 삭제하고 새로 계산합니다. 중심점 수행을 위한 CONAEV 방법은 Piepel (1988)에 의해 제안되었습니다.

선형 제약 조건이 없는 경우(범위 제약 조건만 있음)에는 Snee and Marquardt(1974) 및 Snee(1975)에 의해 개발된 XVERT 방법을 사용하여 꼭지점 설계가 구성됩니다. 꼭지점을 찾은 후 심플렉스 중심 방법으로 지정된 차수까지의 꼭지점 조합을 생성합니다.

XVERT 방법은 먼저 범위가 가장 작은  $nf - 1$  개 요인의 주어진 하한 및 상한 값을 사용하여 전체  $2^{nf-1}$  설계를 생성합니다. 그런 다음 요인 값의 합이 1이 되어야 한다는 제한에 따라 제외된 한 요인의 값을 계산합니다. 요인 범위에 속하지 않는 점을 유지합니다. 그렇지 않으면 값을 증가하거나 감소하여 범위 내로 가져오고, 다른 요인을 각각 차례로 동일한 양만큼 감소하거나 증가합니다. 이 방법은 초기 제한을 충족하는 점을 유지합니다.

위의 알고리즘은 요인 제약 조건으로 정의된 심플렉스에서 실현 가능한 영역의 꼭지점을 생성합니다. 그러나 Snee(1975)에서는 실현 가능한 영역의 모서리와 면에 대한 중심을 갖는 것도 유용할 수 있음을 보여 주었습니다. 실현 가능한 영역의 일반화된  $n$  차원 면은 경계의  $nf - n$  및 면 위에 있는 꼭지점의 평균으로 정의된 중심에 의해 정의됩니다. 이 알고리즘은 경계 조건의 가능한 모든 조합을 생성한 후 첫 번째 단계에서 생성된 꼭지점에 대해 평균을 계산합니다.

## ABCD 설계

ABCD 설계는 혼합에 대한 선별 설계입니다. 자세한 내용은 Snee(1975)에서 확인하십시오.

ABCD 설계 예를 생성하려면

1. **DOE > 전통적 설계 > 혼합물 설계**를 선택합니다.
2. "요인"에서 추가할 요인 수에 3을 입력하고 **추가**를 클릭합니다.
3. **계속**을 클릭합니다.
4. **ABCD 설계**를 클릭합니다.

**그림 13.18** 28 회 턴의 6 개 요인 ABCD 설계 중 14 회 턴

턴	X1	X2	X3	X4	X5	X6
1	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
2	0.00000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
3	0.00000	0.00000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000
4	0.00000	0.00000	0.00000	1.00000	0.00000	0.00000
5	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	1.00000	0.00000
6	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	1.00000
7	0.50000	0.50000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
8	0.50000	0.00000	0.50000	0.00000	0.00000	0.00000
9	0.50000	0.00000	0.00000	0.50000	0.00000	0.00000
10	0.50000	0.00000	0.00000	0.00000	0.50000	0.00000
11	0.50000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.50000
12	0.00000	0.50000	0.50000	0.00000	0.00000	0.00000
13	0.00000	0.50000	0.00000	0.50000	0.00000	0.00000
14	0.00000	0.50000	0.00000	0.00000	0.50000	0.00000

5. **테이블 생성**을 클릭합니다.

## 공간 채움 설계

공간 채움 혼합물 설계는 설계 영역 전체에 설계 점을 분산시킵니다. 이 설계는 선형 제약 조건을 수용합니다. "DOE > 특수 용도 > 공간 채움 설계"에 있는 쾨속 유연 채움 설계 방법과 비슷한 방식으로 설계가 생성됩니다("코속 유연 채움 설계"(592페이지) 참조).

" 혼합물 설계 " 의 빨간색 삼각형 옵션 중 다음 두 가지는 공간 채움 설계와 관련이 있습니다.

**FFF 최적 기준** 쾨속 유연 채움 혼합물 설계 유형의 경우 MaxPro 기준( 기본값 ) 과 Centroid 기준 중 하나를 선택할 수 있습니다. 자세한 내용은 "[FFF 최적 기준](#)"(382 페이지)에서 확인하십시오.

**고급 옵션 > 평균 군집 크기 설정** 쾨속 유연 채움 혼합물 설계 유형의 경우 각 군집 또는 각 설계 점을 정의하는 데 사용하기 위해 무작위로 생성되는 평균 점 개수를 지정할 수 있습니다. 자세한 내용은 "[평균 군집 크기 설정](#)"(383 페이지)에서 확인하십시오.

## 공간 채움 예

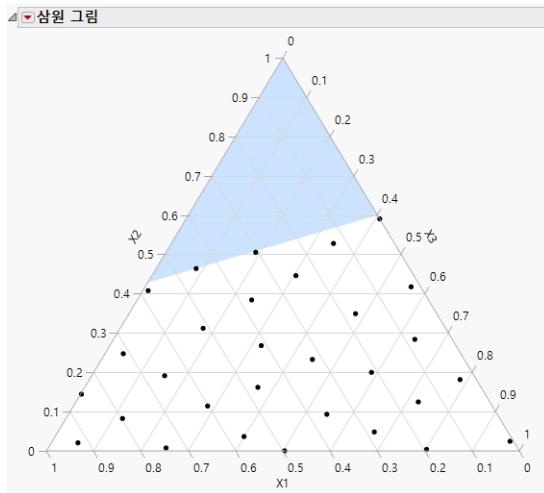
공간 채움 설계 예를 생성하려면

1. **DOE > 전통적 설계 > 혼합물 설계**를 선택합니다.
2. (선택 사항) 이 예의 출력과 일치시키려면 " 혼합물 설계 " 의 빨간색 삼각형을 클릭하고 " 난수 시드값 설정 " 을 선택한 후 1409 를 입력합니다.
3. 이 예에서는 세 가지 요인을 사용합니다. " 요인 " 섹션을 변경할 필요가 없습니다.
4. **계속**을 클릭합니다.
5. **선형 제약 조건**을 클릭합니다.
6. X1 및 X3 상자에 각각 0.7 과 1 을 입력하고 부등식 방향을  $\geq$  으로 변경한 후 제약 조건 상자에 0.4 를 입력합니다.  
이렇게 하면  $0.7X1+X3$  이 혼합물의 40% 이상으로 제한됩니다.
7. **런** 상자에 30 을 입력합니다.
8. **공간 채움**을 클릭합니다.
9. **테이블 생성**을 클릭합니다.

## 설계 시각화

10. 설계 테이블에서 **그래프 > 삼원 그림**을 선택합니다.
11. X1, X2, X3 을 선택하고 **X**, 그림에 그리기를 클릭한 후 **확인**을 클릭합니다.

**그림 13.19** 선형 제약 조건이 1 개 있는 공간 채움 설계



이 설계는 Centroid FFF 최적 기준을 사용하여 구성됩니다. 점은 제약된 설계 영역에 속해 있고 이 영역 전체에 대해 상당히 잘 분산되어 있습니다. 삼원 그림에 대한 자세한 내용은 "[삼원 그림 개요](#)"(371 페이지)에서 확인하십시오.

### 혼합물 공간 채움 설계에 대한 통계 상세 정보

#### FFF 최적 기준

쾌속 유연 채움 설계를 위한 알고리즘은 지정된 설계 영역에서 다수의 랜덤 점을 생성하는 것으로 시작합니다. 그런 다음 빠른 Ward 알고리즘을 사용하여 이러한 점을 여러 군집으로 군집화합니다. 이때 군집 수는 사용자가 지정한 런 수와 같습니다.

최종 설계점은 기본 MaxPro(최대 투영) 최적 기준을 사용하거나 Centroid 기준을 선택하여 얻을 수 있습니다. 이러한 옵션은 보고서의 빨간색 삼각형 메뉴에서 "FFF 최적 기준" 아래에 있습니다.

**MaxPro**  $p$  개 요인이 있고  $n$  이 지정된 런 수와 같은 경우 MaxPro 기준은 군집에서 다음 기준을 최소화하는 점을 찾습니다.

$$C_{MaxPro} = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \left[ 1 / \prod_{k=1}^p (x_{ik} - x_{jk})^2 \right]$$

MaxPro 기준은 모든 요인을 포함하는 방식으로 잠재적 설계점 간 거리의 곱을 최대화합니다. 이는 요인 투영에 적합한 공간 채움 특성을 제공한다는 목표를 지원합니다. 자세한 내용은 Joseph et al. (2015)에서 확인하십시오. MaxPro 옵션이 기본값입니다.

**Centroid** 이 방법은 각 군집의 중심에 설계점을 놓습니다. 설계 공간의 임의의 점에서 가장 가까운 인접 설계점까지의 평균 거리가 다른 설계보다 작다는 특성이 있습니다.

---

**참고 :** 항상 정해진 최적 기준을 사용하도록 환경 설정을 지정할 수 있습니다. 파일 > 환경 설정 > 플랫폼 > DOE 를 선택합니다. FFF 최적 기준을 선택한 후 기본 기준을 선택합니다.

---

### 평균 군집 크기 설정

**평균 군집 크기 설정** 옵션은 "혼합물 설계"의 빨간색 삼각형 메뉴에서 "고급 옵션" 아래에 있습니다. 이 옵션을 사용하면 각 군집 또는 각 설계점을 정의하는 데 사용하기 위해 균등하게 생성되는 평균 점 개수를 지정할 수 있습니다.

기본적으로 공간 채움 설계 유형의 런 수가 200 이하인 경우 균등하게 생성된 총 10,000개의 랜덤 점이 군집화 알고리즘의 기초로 사용됩니다. 런 수가 200을 초과하는 경우 기본값은 50입니다. 이 값을 늘리면 요인 수가 많은 설계에 특히 유용할 수 있습니다.

---

**참고 :** 요인 수와 지정된 런 값에 따라 고급 옵션 > 평균 군집 크기 설정을 선택하여 설계점당 평균 초기점 수를 늘릴 수 있습니다.

---

### 선형 제약 조건

"선형 제약 조건" 개요에서 **선형 제약 조건** 옵션을 선택하여 설계 영역을 제한할 수 있습니다.

선형 제약 조건을 지정하면 군집화 알고리즘의 기초를 구성하는 랜덤 점이 제약된 설계 영역 내에 무작위로 분포됩니다. 군집화 알고리즘에 이러한 점이 사용됩니다.

---

### 혼합물 설계 적합

혼합물 설계에 대한 모형을 적합시킬 때 요인의 합이 상수라는 점을 고려해야 합니다. 기존의 완전 선형 모형은 전체를 추정할 수 없습니다.

혼합물 반응에 적합한 반응 표면 모형은 Scheffé 다항식 (Scheffé 1958)입니다. 선형 모형 적합의에서 Cox 혼합 및 Scheffé 입방 매크로에 대한 설명을 참조하십시오. Scheffé 다항식 모형은 다음을 수행합니다.

- 절편 표시 안 함
- 모든 선형 주효과 항 포함
- 모든 제곱 항 제외 ( 예 :  $X_1^2X_1$ )
- 모든 교차 항 포함 ( 예 :  $X_1^2X_2$ )

이 모형에서는 모수를 쉽게 해석할 수 있습니다(Cornell 1990). 선형 항의 계수는 혼합물이 단일 요인으로 구성된 극점에서 적합된 반응입니다. 교차 항의 계수는 요인 공간의 각 모서리에서의 곡률을 나타냅니다.

3차 다항식 항이 있는 혼합 모형의 경우 Scheffé 입방 모형을 사용할 수 있습니다. Scheffé 입방 모형은  $X_1^2X_2^2(X_1-X_2)$  형식의 항을 포함합니다.

- Scheffé 다항식 모형을 적합시키려면 "모형 적합" 플랫폼에서 "혼합물 반응 표면" 매크로를 사용합니다.
- Scheffé 입방 모형을 적합시키려면 "모형 적합" 플랫폼에서 **Scheffe 입방** 매크로를 사용합니다.
- 다른 혼합 모형을 적합시키도록 선택한 경우 "모형 적합" 플랫폼에 "절편 없음" 모형 및 "혼합 효과"에 대한 옵션이 효과 속성으로 포함됩니다.

**팁 :** 사용자 설계 모형 개요에는 Scheffé 입방 모형 항을 추가할 수 있는 옵션이 있습니다. 생성된 설계 테이블에 Scheffé 입방 모형에 대한 스크립트가 포함됩니다.

## 전체 모형 검정 및 분산 분석 보고서

일반적으로 JMP는 전체 모형 분산 분석 테이블에서 절편을 제외한 모든 모수가 0인지 검정합니다. 절편이 없는 혼합 모형의 경우 JMP는 선형 효과 조합이 상수라는 점에서 숨겨진 절편을 찾습니다. 숨겨진 절편을 찾으면 0 절편 모형이 아니라 절편 모형에 대한 전체 모형 검정을 수행합니다. 이 검정은 선형 모수를 제외한 모든 모수가 0인지 그리고 모수가 같은지 검정하는 것과 동등합니다.

또한 숨겨진 절편 특성을 사용하면  $R^2$ 이 결측으로 보고되지 않고 절편 모형과 관련하여 보고됩니다.

## 반응 표면 보고서 이해

반응 표면 효과 "&RS"로 표시된 효과가 있는 경우 JMP는 적합 반응 표면을 분석하는 추가 보고서를 생성합니다. 이 보고서는 원래 혼합 모형이 아니라 전체 반응 모형을 위해 만들어졌습니다. 그러나 JMP에서 절편이 없는 모형이 나타나면 숨긴 절편을 갖는 선형 반응 표면 항을 찾게 됩니다. 단, 제곱 항은 없습니다. 이 경우 계산을 중단하고 마지막 반응 표면 항에서 축소하여 최적의 임계값을 계산합니다. 상수를 산출하고 마지막 반응 표면 항을 포함하는 모든 조합에 대해 이를 수행할 수 있습니다.

---

## 화학 혼합물 예

세 가지 가소제 ( $p_1, p_2, p_3$ )가 자동차 시트 커버에 사용되는 비율의 79.5%를 차지합니다 (Cornell, 1990). 이 79.5% 내에서 각 가소제는  $0.409 \leq x_1 \leq 0.849, 0 \leq x_2 \leq 0.252, 0.151 \leq x_3 \leq 0.274$  제약 조건으로 제한됩니다. Cornell은 14 회 런 설계를 사용하여 2 차 혼합 모형을 수집된 반응에 적합시킵니다. 이 설계는 4 개의 꼭지점과 전체 중심에서 반복 측정을 수행하는 3 차 꼭지점 설계입니다.

- "설계 생성"
- "혼합 모형 분석"
- "예측 프로파일러"

- " 혼합물 프로파일러 "

## 설계 생성

JMP에서 Cornell의 혼합물 설계를 생성하려면

1. 도움말 > 샘플 데이터 라이브러리를 선택하고 Plastifactors.jmp를 엽니다.
2. DOE > 전통적 설계 > 혼합물 설계를 선택합니다.
3. " 혼합물 설계 " 의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **요인 불러오기**를 선택합니다.

**그림 13.20** 가소제 실험에 대한 요인 및 요인 제약 조건

이름	역할	값	
p1	혼합	0.409	0.849
p2	혼합	0	0.252
p3	혼합	0.151	0.274

4. **계속**을 클릭합니다.
5. 차수 상자에 3을 입력합니다.
6. **꼭지점**을 클릭합니다.
7. **테이블 생성**을 클릭합니다. JMP에서 9개 요인 설정을 사용하여 JMP 테이블을 생성합니다.

**그림 13.21** 꼭지점 혼합물 설계

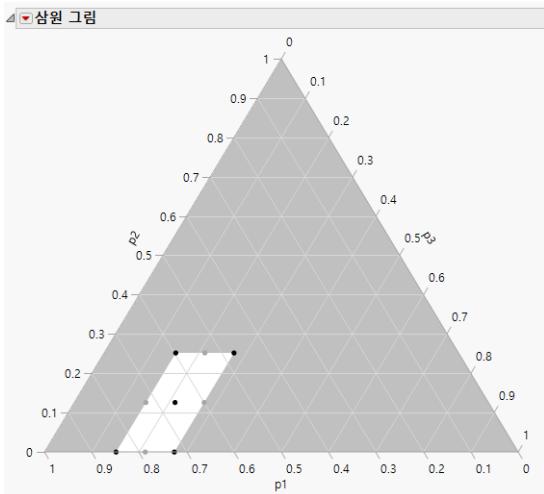
	p1	p2	p3	Y
1	0.597	0.252	0.151	.
2	0.726	0	0.274	.
3	0.6615	0.126	0.2125	.
4	0.6	0.126	0.274	.
5	0.7875	0	0.2125	.
6	0.849	0	0.151	.
7	0.5355	0.252	0.2125	.
8	0.474	0.252	0.274	.
9	0.723	0.126	0.151	.

**참고 :** 설계 생성 시 사용된 난수 시드값 때문에 테이블이 다를 수 있습니다.

이제 꼭지점과 전체 중심을 복제하여 추가 설계 런을 5회 지정한 후 14회 런 설계를 생성합니다.

8. 꼭지점과 중심을 식별하려면 삼원 그림을 사용합니다. 설계 테이블에서 **그래프 > 삼원 그림**을 선택합니다.
9. p1, p2, p3을 선택하고 **X, 그림에 그리기**를 클릭한 후 **확인**을 클릭합니다.

**그림 13.22** 설계의 삼원 그림



10. 꼭지점과 중심점을 강조 표시합니다.

**그림 13.23** 꼭지점 및 중앙점 식별

	p1	p2	p3	Y
1	0.597	0.252	0.151	•
2	0.726	0	0.274	•
3	0.6615	0.126	0.2125	•
4	0.6	0.126	0.274	•
5	0.7875	0	0.2125	•
6	0.849	0	0.151	•
7	0.5355	0.252	0.2125	•
8	0.474	0.252	0.274	•
9	0.723	0.126	0.151	•

11. 편집 > 복사를 선택하여 선택된 행을 클립보드에 복사합니다.

12. 행 10의 첫 번째 셀을 클릭하고 편집 > 붙여넣기를 선택하여 중복 행을 테이블에 추가합니다.

---

**참고 :** 2 차 모형, 중앙점 2 개, 설계 반복 4 회 및 런 14 회를 포함하는 사용자 설계 도구를 사용하여 유사한 설계를 생성할 수 있습니다.

---

Cornell이 얻은 결과(Y 欲)가 포함된 가소제 설계는 Plasticizer.jmp 샘플 데이터 파일에 제공됩니다.

## 혼합 모형 분석

가소제 실험을 분석하려면 Plasticizer.jmp 샘플 데이터 테이블을 사용하십시오.

1. 도움말 > 샘플 데이터 라이브러리를 선택하고 Plasticizer.jmp 를 엽니다.

2. 데이터 테이블 왼쪽 위에 있는 **Model** 스크립트 옆의 녹색 삼각형을 클릭합니다.  
완료된 "모형 적합" 시작 창이 나타납니다.

**참고 :** 설계를 생성하면 모형 스크립트가 설계 테이블에 저장됩니다.

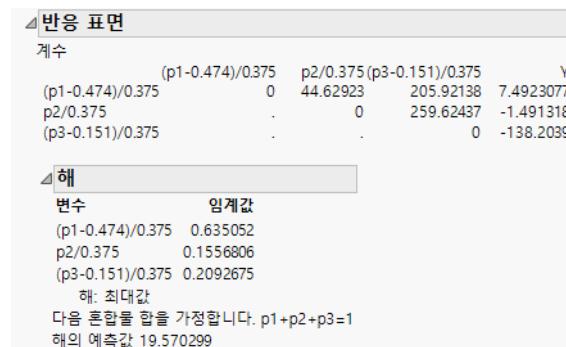
3. **실행**을 클릭하여 반응 표면 분석을 표시합니다.
4. Plasticizer.jmp 에는 예측 계산식 Y 열이 포함되어 있습니다. 이 열은 분석 후 "반응 Y"의 빨간색 삼각형에서 **열 저장 > 예측 계산식**을 선택하여 추가되었습니다.
5. 예측 계산식을 보려면 열 목록에서 더하기 기호를 클릭합니다.

$$0 - 50.1465*p1 - 282.198*p2 - 911.648*p3 + p2*p1*317.363 + p3*p1*1464.330 + p3*p2*1846.218$$

**참고 :** 이 결과는 Cornell(1990)에 보고된 계수를 수정합니다.

반응 표면 해 보고서에 따르면 (0.63505, 0.15568, 0.20927) 점에서 최대 예측값 19.570299가 발생합니다.

### 그림 13.24 혼합물 반응 표면 분석



### 예측 프로파일러

이 보고서에는 예측 프로파일러가 포함되어 있습니다.

1. 예측 프로파일러에서는 교차효과가 예측 트레이스에서 곡률로 표시되는 방식을 확인할 수 있습니다. 한 성분의 값을 변경하면 (빨간색 선 드래그) 다른 두 성분의 값이 반대 방향으로 이동하여 비율과 전체 혼합 제약 조건 (성분의 합이 100%여야 함)을 유지합니다.

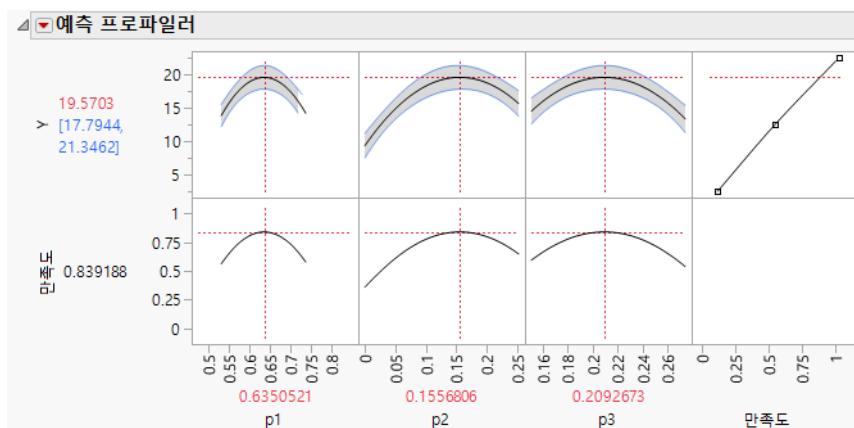
**참고 :** 예측 프로파일러 트레이스의 축은 요인 (p1, p2, p3)에 대해 정의된 상한 및 하한에서 시작합니다. 성분 효과를 탐색할 때 두 번째 성분의 한계에 도달하면 성분을 더 이상 이동할 수 없으며 세 번째 변수만 변경되어 혼합 제약 조건을 유지합니다.

2. 프로파일 곡선을 세 가지 모든 성분의 수준을 고려한 경계까지 표시하려면 "예측 프로파일러"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **경계에서 프로파일 > 경계에서 중지**를 선택합니다.

3. 혼합 성분을 최적화하려면 "예측 프로파일러"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **최적화 및 만족도 > 만족도 함수**를 선택합니다.
4. "예측 프로파일러"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **최적화 및 만족도 > 만족도 최대화**를 선택하여 최대 Y를 위한 최적 요인 설정을 얻습니다.

프로파일러에 표시된 최적 설정(반올림)은 0.6350(p1), 0.1557(p2), 0.2093(p3)이고 이 설정은 반응 추정값 19.5703을 제공합니다.

**그림 13.25** 혼합물 분석 예에 대한 프로파일러의 최대 만족도



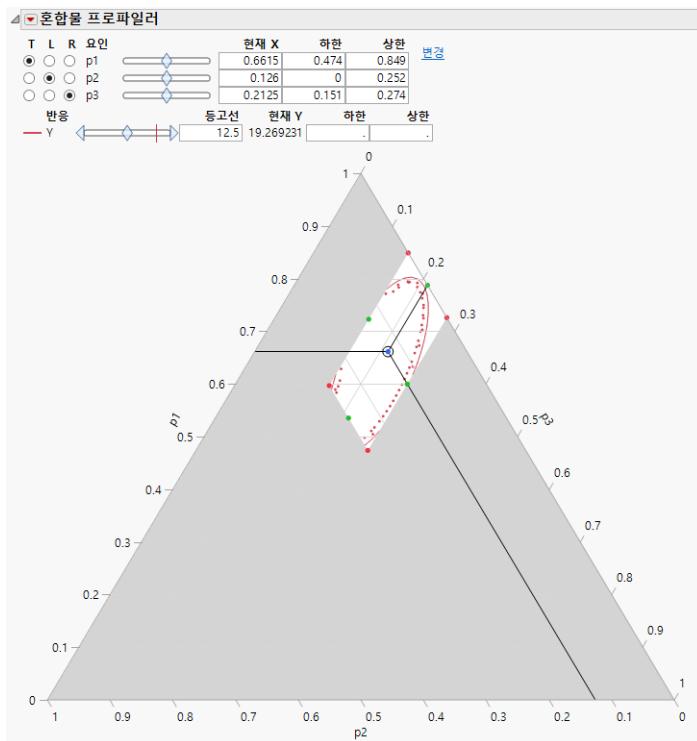
## 혼합물 프로파일러

"모형 적합" 보고서에는 혼합물 실험에서 반응 표면을 시각화하고 최적화하는 데 유용한 **혼합물 프로파일러**도 있습니다. 대부분의 기능이 등고선 프로파일러의 기능과 동일합니다. 그러나 다음과 같은 몇몇 기능은 혼합물 프로파일러에 고유합니다.

- Cartesian 그림 대신 삼원 그림을 사용하여 세 가지 혼합 요인을 한 번에 볼 수 있습니다.
- 요인이 4 개 이상인 경우 라디오 버튼을 사용하여 그림에 그릴 요인을 선택할 수 있습니다.
- 요인에 제약 조건이 있는 경우 "하한" 및 "상한" 열에 요인의 하한과 상한을 입력할 수 있습니다. 이 설정은 프로파일러에서 실현 불가능한 영역에 음영을 적용합니다.

"반응 Y"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **요인 프로파일링 > 혼합물 프로파일러**를 선택하여 가소제 데이터의 혼합물 프로파일러를 표시합니다.

그림 13.26 가소제 예에 대한 혼합물 프로파일러



390

**혼합물 설계**  
화학 혼합물 예

13 장

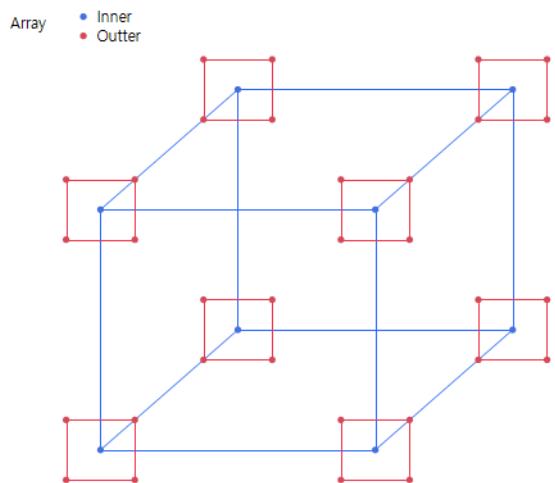
실험 설계 가이드

## Taguchi 설계 잡음 요인이 있는 설계

Taguchi 설계는 교차 배열을 사용하여 잡음이 있는 요인을 탐색합니다. Taguchi 설계는 제어 요인을 위한 내측 배열 설계와 잡음 요인을 위한 외측 배열 설계라는 두 부분으로 나뉩니다. 전체 설계는 두 배열의 교차 곱입니다.

생산 단계에서 제어하기 어렵거나 비용이 많이 드는 잡음 요인을 실험 중에 제어해야 합니다. Taguchi 설계의 대안으로 결합 배열 및 혼합 해상도 설계(Borror and Montgomery, 2000)를 사용할 수 있습니다. 사용자 설계 도구를 사용하여 잡음 요인이 있는 설계를 생성하는 예는 "사용자 설계의 예" 장의 "로버스트 공정 및 제품 설계를 위한 실험"(190페이지)에서 확인하십시오.

**그림 14.1** 제어 요인 3 개와 잡음 요인 2 개가 있는 Taguchi 설계



## 목차

Taguchi 설계 개요 .....	393
Taguchi 설계의 예 .....	393
Taguchi 설계 생성 .....	397
반응 .....	397
요인 .....	398
Taguchi 내측 및 외측 배열 설계 선택 .....	398
코드화된 설계 표시 .....	399
설계 테이블 생성 .....	399
Taguchi 설계 옵션 .....	400

## Taguchi 설계 개요

Taguchi 설계는 제어 요인과 잡음 요인이라는 두 가지 유형의 요인을 사용합니다.

- 내측 설계는 제어 요인을 위해 구성됩니다.
- 외측 설계는 잡음 요인을 위해 구성됩니다.

내측 및 외측 설계 런의 모든 조합에 대해 실험이 수행됩니다. 실험 중에 잡음 요인을 제어해야 합니다. 잡음 설정 전체에서 내측 배열의 각 설정에 대한 평균과 표준편차는 분석을 위해 신호 대 잡음 측도로 결합됩니다. 표 14.1에는 신호 대 잡음 성능 통계량이 나열됩니다.

**표 14.1** 권장 성능 통계량

목표	S/N 비 계산식
망목(NTB)	$\frac{S}{N} = 10\log\left(\frac{\bar{Y}^2}{s^2}\right)$
망대(LTB) - 최대화	$\frac{S}{N} = -10\log\left(\frac{1}{n}\sum_i \frac{1}{Y_i^2}\right)$
망소(STB) - 최소화	$\frac{S}{N} = -10\log\left(\frac{1}{n}\sum_i Y_i^2\right)$

## Taguchi 설계의 예

3개의 잡음 요인에 대해 평가되는 4개의 제어 요인을 연구하려면 Taguchi 설계를 사용합니다. 이 예는 Byrne and Taguchi(1986)에 설명된 실험입니다. 실험 목표는 나일론 튜브의 접착력(이탈력)을 최대화하기 위한 제어 요인의 설정을 찾는 것입니다.

이 설계에는 다음과 같은 4개의 신호 요인이 있습니다.

**Interfer** 튜브 및 커넥터 간섭. 수준이 3 개인 신호 요인입니다.

**Wall** 커넥터의 벽 두께. 수준이 3 개인 신호 요인입니다.

**Depth** 커넥터에 튜브를 삽입하는 깊이. 수준이 3 개인 신호 요인입니다.

**Adhesive** 접착제 비율. 수준이 3 개인 신호 요인입니다.

이 설계에는 다음과 같은 3개의 잡음 요인이 있습니다.

**시간** 처리 시간. 수준이 2 개인 잡음 요인입니다.

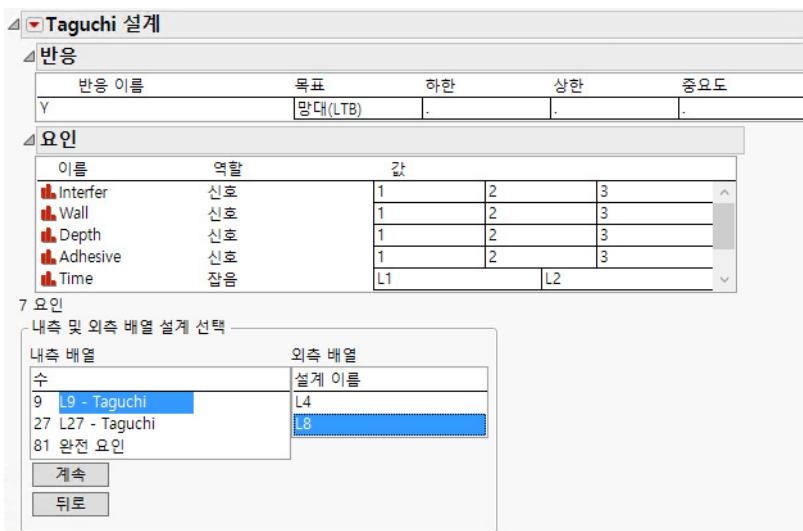
**Temperature** 온도. 수준이 2 개인 잡음 요인입니다.

**Humidity** 상대 습도 . 수준이 2 개인 잡음 요인입니다 .

### 설계 생성

1. **DOE > 전통적 설계 > Taguchi 배열**을 선택합니다 .
  2. **도움말 > 샘플 데이터 라이브러리**를 선택하고 Design Experiment/Byrne Taguchi Factors.jmp 를 엽니다 .
  3. "Taguchi 배열" 창에서 "Taguchi 설계" 의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **요인 불러오기**를 선택 합니다 .  
" 요인 " 패널에 3 수준 제어 ( 신호 ) 요인 4 개와 잡음 요인 3 개가 표시됩니다 .
- 
- 참고 :** 반응에 대해 선택한 " 목표 " 에 따라 설계 데이터 테이블에 추가되는 SN 비율 계산식 이 결정됩니다 .
4. 내측 배열에 **L9 - Taguchi** 가 선택되어 있는지 확인합니다 .
  5. 외측 배열 설계에 대해 **L8** 을 클릭합니다 .

**그림 14.2** 완료된 Taguchi 설계 창



6. **계속**을 클릭합니다 .
7. **테이블 생성**을 클릭하여 그림 14.3에 표시된 설계 테이블을 생성합니다 .  
내측 배열에는 각각 수준이 3 개인 신호 요인 4 개에 대한 9 개의 런이 있습니다 . 신호 요인 설정은 테이블의 처음 네 열에 제공됩니다 .  
외측 설계는 2 수준 잡음 요인 3 개에 대한 완전 요인 설계입니다 . 외측 배열은 데이터 테이블의 8 개 열에 제공됩니다 . 열 이름은 외측 배열 런의 패턴입니다 . 예를 들어 "--" 열은 모든 잡음 수준이 낮을 때 수집된 결과를 나타냅니다 . 9 회의 각 시도가 잡음 요인의 8 개 조합에서 수행되어 실험 시도는 총 72 회입니다 .

그림 14.3 데이터 입력 전 Taguchi 설계

	Interfer	Wall	Depth	Adhesive	패턴	---	-++	-+-	-++	+--	+--	+--	+--	평균	SN 비
1 1	1	1	1	----		.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
2 1	2	2	2	-000		.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
3 1	3	3	3	-+++		.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
4 2	1	2	3	0-0+		.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
5 2	2	3	1	00+-		.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
6 2	3	1	2	0+-0		.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
7 3	1	3	2	+-+0		.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
8 3	2	1	3	+0+-		.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
9 3	3	2	1	++0-		.	.	.	.	.	.	.	.	.	.

이 설계 테이블에 72 개의 실험 결과를 입력할 수 있습니다.

8. 도움말 > 샘플 데이터 라이브러리를 선택하고 Design Experiment/Byrne Taguchi Data.jmp 를 엽니다.

그림 14.4 완전한 Taguchi 설계 테이블 (Byrne Taguchi Data.jmp)

	Interfer	Wall	Depth	Adhesive	Pattern	Y---	Y--+	Y-+-	Y-++	Y+--	Y+-+	Y++-	Y+++	Mean Y	SN Ratio Y
1 1	1	1	1	1	----	15.6	9.5	16.9	19.9	19.6	19.6	20	19.1	17.525	24.02534
2 1	2	2	2	2	-000	15	16.2	19.4	19.6	19.7	19.8	24.2	21.9	19.475	25.52164
3 1	3	3	3	3	-+++	16.3	16.7	19.1	15.6	22.6	18.2	23.3	20.4	19.025	25.33476
4 2	1	2	3	0-0+	18.3	17.4	18.9	18.6	21	18.9	23.2	24.7	20.125	25.90425	
5 2	2	3	1	00+-	19.7	18.6	19.4	25.1	25.6	21.4	27.5	25.3	22.825	26.90753	
6 2	3	1	2	0+-0	16.2	16.3	20	19.8	14.7	19.6	22.5	24.7	19.225	25.32574	
7 3	1	3	2	+-+0	16.4	19.1	18.4	23.6	16.8	18.6	24.3	21.6	19.85	25.71081	
8 3	2	1	3	+0+-	14.2	15.6	15.1	16.8	17.8	19.6	23.2	24.4	18.3375	24.88321	
9 3	3	2	1	++0-	16.1	19.9	19.3	17.3	23.1	22.7	22.6	28.6	21.2	26.15198	

SN 비 Y 열은 반응을 최대화하기 위한 성능 통계량인 망대 (LTB)입니다. 이 값은 다음과 같이 반응의 역수 제곱 평균에 대한 상용로그의 -10 배로 계산됩니다.

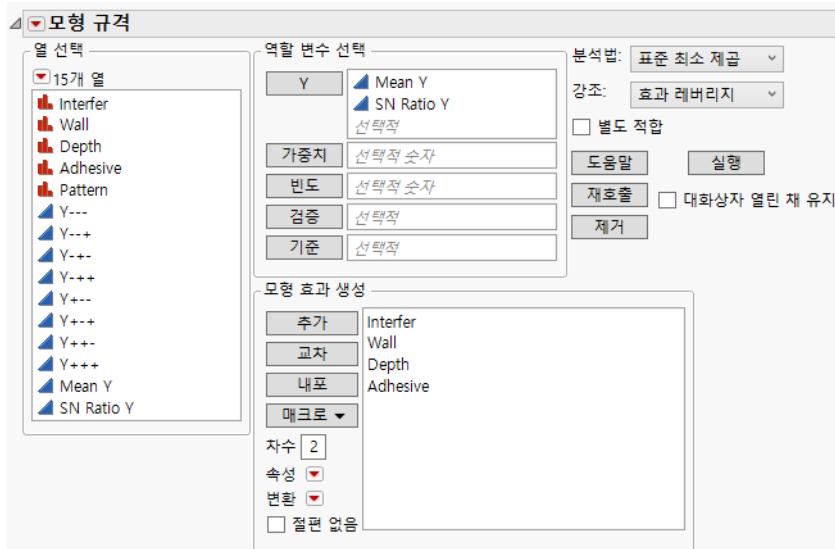
$$-10\log_{10} \left[ \text{Mean} \left[ \frac{1}{(Y---)^2}, \frac{1}{(Y--+)^2}, \frac{1}{(Y-+-)^2}, \frac{1}{(Y-++)^2}, \frac{1}{(Y+-+)^2}, \right. \right. \\ \left. \left. \frac{1}{(Y+-+)^2}, \frac{1}{(Y++-)^2}, \frac{1}{(Y+++)^2} \right] \right]$$

모든 개별  $y$  반응 값이 클 때 이 표현식도 큽니다. 즉, 전체 잡음 설정에서 반응이 가장 큰 신호 설정을 찾으려고 합니다.

### 데이터 분석

이제 데이터를 분석할 수 있습니다. 분석 목표는 평균과 신호 대 잡음 비를 모두 최대화하는 요인 설정을 찾는 것입니다.

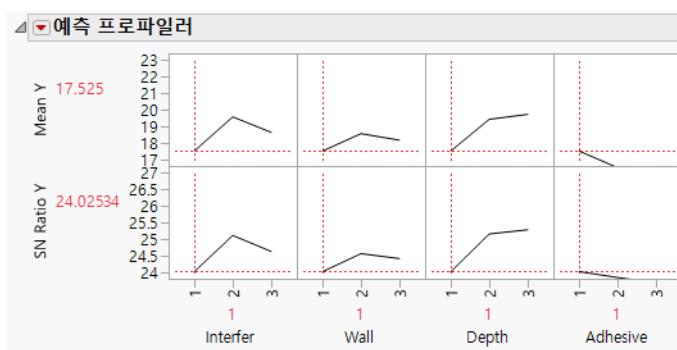
1. Byrne Taguchi Data.jmp 데이터 테이블에서 녹색 화살표를 클릭하여 "Model" 스크립트를 실행합니다.

**그림 14.5** Taguchi 데이터에 대한 모형 적합 시작 창


이 스크립트는 "모형 적합" 창을 시작합니다. 모형에는 평균(평균 Y) 및 신호 대 잡음 비(SN 비 Y) 반응을 모델링하기 위해 네 가지 신호 요인의 주효과가 포함됩니다.

## 2. 실행을 클릭합니다.

보고서 맨 아래의 "예측 프로파일러"를 검토하면 이 실험에서 신호 대 잡음 비의 최대값 및 해당 최대값에서의 평균 값을 제공하는 설정을 빠르게 찾을 수 있습니다.

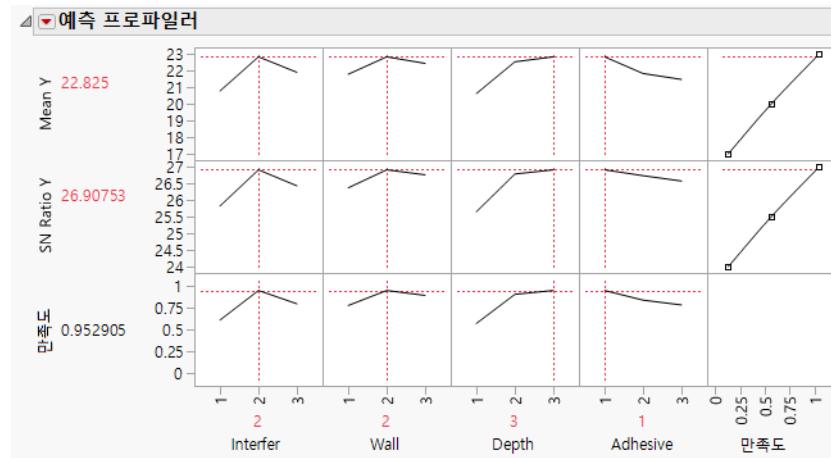
**그림 14.6** 예측 프로파일러


## 3. "예측 프로파일러"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **최적화 및 만족도 > 만족도 함수**를 선택합니다.

이렇게 하면 그림 14.7에 표시된 것과 같이 트레이스 행과 함수 설정 열이 프로파일러에 추가됩니다. 기본 만족도 함수는 이 실험에서 원하는 "망대(LTB)"로 설정됩니다. 예측 프로파일러의 만족도 함수에 대한 자세한 내용은 **Profilers**의 에서 확인하십시오.

4. "예측 프로파일러"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **최적화 및 만족도 > 만족도 최대화**를 선택합니다.

**그림 14.7** Byrne Taguchi 데이터에 대한 최적 요인 설정



이 예에서 Interfer 및 Wall의 최적 설정은 2, Depth는 3, Adhesive는 1입니다. 이 설정은 예측 평균 값 22.8과 SN 비 26.9를 산출합니다.

## Taguchi 설계 생성

**DOE > 전통적 설계 > Taguchi 배열**을 선택하여 Taguchi 설계를 생성합니다. 먼저 반응과 요인을 정의합니다. 그런 다음 계속해서 설계 옵션, 생성 및 평가를 진행합니다. 설계 과정은 그림 14.8의 흐름을 따릅니다. 자세한 내용은 "[DOE 워크플로우: 기술, 지정, 설계](#)"(56페이지)에서 확인하십시오.

**그림 14.8** Taguchi 설계 흐름



### 반응

"반응" 개요를 사용하여 Taguchi 설계의 반응을 지정합니다.

**그림 14.9** 반응 개요

반응	반응 이름	목표	하한	상한	중요도
Y		방대(LTB)	.	.	.

"반응" 개요에는 다음과 같은 열이 포함되어 있습니다.

**반응 이름** 반응의 이름입니다( 기본값 Y). 이 이름을 변경하려면 이름을 두 번 클릭한 후 다른 이름을 입력합니다.

**목표, 하한, 상한** "목표"에 따라 신호 대 잡음 함수의 형식이 결정됩니다( 표 14.1(393 페이지) 참조)."망대(LTB)", "망목(NTB)", "망소(STB)" 또는 "없음" 중 하나를 목표로 선택합니다. 설계를 생성할 때 JMP는 선택한 목표를 반영하는 SN 비 계산식을 데이터 테이블에 저장합니다. 목표를 변경하려면 해당 목표를 클릭한 후 다른 목표를 입력합니다. 반응에 대한 제한이 있는 경우 "하한" 및 "상한"을 사용합니다.

**중요도** 반응이 여러 개인 경우 지정한 중요도 값을 사용하여 전체 만족도 함수를 계산합니다. 이러한 값은 반응에 대한 가중치로 처리됩니다. Taguchi 설계의 경우 반응이 하나뿐이므로 중요도 값은 기본적으로 1로 설정됩니다. 중요도 값이 필요하지 않습니다.

## 요인

"요인" 개요를 사용하여 Taguchi 설계의 요인을 지정합니다.

**신호** 두 개 이상의 2 수준 또는 3 수준 신호 요인을 지정합니다. 신호 요인은 시스템 제어 입력 변수입니다. 이 요인은 생산 단계에서 제어할 수 있습니다.

**잡음** 하나 이상의 잡음 요인을 지정합니다. 잡음 요인은 생산 단계에서 제어하기 어렵거나 비용이 많이 드는 변수입니다. 그러나 실험 중에 잡음 요인을 제어할 수 있어야 합니다."잡음"을 클릭하여 잡음 요인을 추가합니다.

**제거** 선택한 요인을 제거합니다.

**이름** 요인의 이름입니다. 요인을 추가하면 X1, X2 등의 기본 이름이 지정됩니다. 이 이름을 변경하려면 이름을 두 번 클릭한 후 다른 이름을 입력합니다.

**역할** 요인의 설계 역할(신호 또는 잡음)을 지정합니다. 역할은 요인을 추가할 때 설정됩니다.

**값** 요인에 대한 실험 설정입니다. 값을 삽입하려면 기본값을 클릭한 후 원하는 값을 입력합니다.

**그림 14.10** 요인 개요

이름	역할	값	
X1	신호	1	2
X2	신호	1	2

## Taguchi 내측 및 외측 배열 설계 선택

"요인 지정" 패널에서 "계속"을 클릭하면 "내측 및 외측 배열 설계 선택" 옵션이 나타납니다. 신호 요인에 따라 내측 배열에 대해 직교 설계를 위한 하나 이상의 선택 옵션이 있습니다. 직교 "L" 설계를 위한 외측 배열 선택 옵션은 설계의 요인 수와 유형에 따라 다릅니다.

## 코드화된 설계 표시

내측 및 외측 배열에 대한 설계 유형을 선택한 후 내측 배열에 2수준 요인이 있으면 "코드화된 설계"가 표시됩니다.

**그림 14.11** 8 개 요인 L12 설계를 위한 코딩



"코드화된 설계"는 각 런에서 요인의 상한값과 하한값 패턴을 표시합니다.

## 설계 테이블 생성

테이블 생성을 Taguchi 설계를 클릭하면 그림 14.12에 표시된 것과 유사한 Taguchi 설계 테이블이 나타납니다. 데이터 테이블에서 각 행은 내측 배열 런을 나타냅니다. 패턴 변수의 값에서 더하기 기호는 상한을 나타내고 빼기 기호는 하한을 나타냅니다. 또한 각 요인에 대한 열과 "패턴" 열에 나타나는 각 패턴에 대한 열도 테이블에 포함됩니다. 패턴 열은 실험에 대한 반응을 포함합니다. "Taguchi 설계"의 빨간색 삼각형 메뉴에서 "반응 시뮬레이션"을 선택한 경우에는 시뮬레이션된 반응 값이 패턴 열에 채워집니다.

**그림 14.12** 8 개 요인 L12 설계에 대한 Taguchi 설계 테이블

런	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	패턴	run 1	run 2	평균	SN 비
1	1	1	1	1	1	1	1	1	-----	*	*	*	*
2	1	1	1	1	1	2	2	2	-+---++-	*	*	*	*
3	1	1	2	2	2	1	1	1	-+*+----	*	*	*	*
4	1	2	1	2	2	1	2	2	-+*++--+	*	*	*	*
5	1	2	2	1	2	2	1	2	-+**+-++	*	*	*	*
6	1	2	2	2	1	2	2	1	-+**-++-	*	*	*	*
7	2	1	2	2	1	1	2	2	+---++--+	*	*	*	*
8	2	1	2	1	2	2	2	1	+---++--+	*	*	*	*
9	2	1	1	2	2	2	1	2	+---++--+	*	*	*	*
10	2	2	2	1	1	1	1	2	++++++-	*	*	*	*
11	2	2	1	2	1	2	1	1	+---+--++	*	*	*	*
12	2	1	1	2	1	2	1	1	+---+--++	*	*	*	*

## Taguchi 설계 옵션

"Taguchi 설계"의 빨간색 삼각형 메뉴에는 설계 설정 및 생성에 대한 옵션이 포함되어 있습니다.

**반응 저장** "반응" 패널의 정보를 새 데이터 테이블에 저장합니다. 그러면 반응 및 관련 정보를 대부분의 DOE 창에 빠르게 불러올 수 있습니다. 이 옵션은 반응을 재사용할 것으로 예상하는 경우 유용합니다.

**반응 불러오기** "반응 저장" 옵션을 사용하여 저장한 반응을 불러옵니다.

**요인 저장** "요인" 패널의 정보를 새 데이터 테이블에 저장합니다. 각 요인의 열에는 수준이 포함됩니다. 다른 정보는 열 특성으로 저장됩니다. 그러면 요인 및 관련 정보를 대부분의 DOE 창에 빠르게 불러올 수 있습니다.

**참고 :** 빈 테이블에 데이터를 입력하여 요인 테이블을 생성할 수 있지만 각 열에 적절한 설계 역할을 할당해야 합니다. 이렇게 하려면 데이터 격자에서 열 이름을 마우스 오른쪽 버튼으로 클릭하고 **열 특성 > 설계 역할**을 선택합니다. 그런 다음 "설계 역할" 영역에서 적절한 역할을 선택합니다.

**요인 불러오기** "요인 저장" 옵션을 사용하여 저장한 요인을 불러옵니다.

**제약 조건 저장** (일부 플랫폼에서는 사용할 수 없음) "요인 제약 조건 정의" 또는 "선형 제약 조건" 개요에서 정의한 요인 제약 조건을 각 제약 조건에 대한 열과 함께 데이터 테이블에 저장합니다. 그러면 제약 조건을 대부분의 DOE 창에 빠르게 불러올 수 있습니다.

제약 조건 테이블에서 처음에 나오는 행은 각 요인의 계수를 포함합니다. 마지막 행은 부등식 한계를 포함합니다. 각 제약 조건 열에는 제약 조건을 "less than" 또는 "greater than" 제약 조건으로 식별하는 제약 조건 상태 열 특성이 포함됩니다. 자세한 내용은 "열 특성" 부록의 "제약 조건 상태" (762 페이지)에서 확인하십시오.

**제약 조건 불러오기** (일부 플랫폼에서는 사용할 수 없음) "제약 조건 저장" 옵션을 사용하여 저장한 요인 제약 조건을 불러옵니다.

**난수 시드값 설정** JMP가 랜덤 성분이 있는 작업을 제어하는 데 사용하는 난수 시드값을 설정합니다. 이러한 작업에는 다음 중 하나 이상이 포함됩니다.

- 설계 생성을 위한 검색 알고리즘 초기화
- 설계 생성을 위한 런 순서 랜덤화
- 랜덤 시작에 기반한 설계의 시작 설계 선택

설계를 재현하려면 **설계 생성**을 클릭하기 전에 설계를 생성한 난수 시드값을 입력합니다.

**참고 :** 설계와 관련된 난수 시드값은 설계 데이터 테이블에 저장된 "DOE 대화상자" 스크립트에 포함됩니다.

**반응 시뮬레이션** 시뮬레이션 계산식을 포함하는 열과 반응 값을 설계 테이블에 추가합니다. "테이블 생성"을 클릭하기 전에 이 옵션을 선택하십시오.

"테이블 생성"을 클릭하면 다음과 같은 결과가 나타납니다.

- 시뮬레이션된 반응 값 집합이 각 반응 열에 추가됩니다.
- 각 반응에 대해 시뮬레이션 모형 계산식을 포함하는 새 열이 설계 테이블에 추가됩니다. 계산식과 같은 설계 항에 지정된 모형에 기초합니다.
- 모형 효과에 대한 계수 값을 설정하고 정규, 이항 또는 Poisson 분포 중 하나를 지정할 수 있는 "모형" 항이 나타납니다.

---

**참고 :** 모든 설계 유형에 모든 분포를 사용할 수 있는 것은 아닙니다.

- **DOE 시뮬레이션** 스크립트가 설계 테이블에 저장됩니다. 이 스크립트는 값을 다시 시뮬레이션하거나 시뮬레이션된 반응 분포를 변경할 수 있도록 "모형" 항을 다시 엽니다.
- "모형" 항에서 시뮬레이션된 반응 값의 분포를 제어하는 옵션을 선택합니다. "적용"을 클릭하면 시뮬레이션된 반응 값의 계산식이 <Y> 시뮬레이션이라는 새 열에 저장됩니다. 여기서 Y는 반응 이름입니다. "적용"을 다시 클릭하면 <Y> 시뮬레이션의 계산식과 값이 업데이트됩니다.

자세한 내용은 "사용자 설계" 장의 "[반응 시뮬레이션](#)"(103 페이지)에서 확인하십시오.

---

**참고 :** **JMP<sup>®</sup> PRO** "반응 시뮬레이션"을 사용하면 JMP Pro 시뮬레이션 기능을 사용하여 시뮬레이션 분석을 수행할 수 있습니다. 자세한 내용과 DOE 예는 기본 분석의 "시뮬레이션" 장에서 확인하십시오.



## 설계 평가

### 설계 특성 탐색

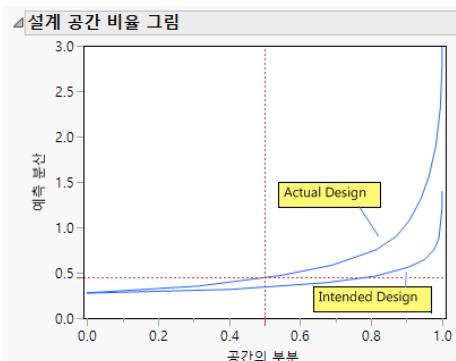
"설계 평가" 플랫폼을 사용하면 다음을 수행할 수 있습니다.

- 기존 실험 설계의 장점과 한계를 확인합니다.
- 설계에서 반응에 대한 중요한 변화와 관련된 효과를 감지할 수 있는지 판별합니다.
- 추정값의 정밀도와 예측 분산을 처리합니다.
- 별칭 구조를 파악합니다.
- 효율도 측도를 얻습니다.

설계 평가 플랫폼은 여러 DOE 플랫폼에서 제공한 "설계 평가" 개요에 나타나는 결과를 생성합니다. "설계 평가" 개요에 제공되는 설계 진단은 다음과 같습니다.

- 검정력 분석
- 예측 분산 프로파일 및 표면 그림
- 설계 공간 비율 그림 - 설계 공간에서 지정된 값을 초과하는 예측 분산의 정도 표시
- 모수 추정값을 위한 추정 효율도 측도
- 별칭 행렬 - 모형 효과에 대한 편향 구조 표시
- 색상 맵 - 효과 간의 절대 상관 표시
- 설계 효율도 값

**그림 15.1** 두 개의 설계 공간 비율 그림 비교



## 목차

설계 평가 플랫폼 개요.....	405
설계 평가의 예 .....	405
손실된 턴의 영향 평가.....	406
지정된 모형에 대한 검정력 평가.....	413
설계 평가 시작 창.....	415
설계 평가 창 .....	415
요인 .....	416
모형 .....	417
별칭 항.....	418
설계 .....	418
설계 평가.....	418
검정력 분석.....	419
예측 분산 프로파일.....	425
설계 공간 비율 그림.....	426
예측 분산 표면 .....	427
추정 효율도.....	428
별칭 행렬.....	430
상관 색상 맵 .....	431
설계 진단.....	432
설계 평가 옵션 .....	434

## 설계 평가 플랫폼 개요

설계 평가 플랫폼은 설계의 특성을 평가할 수 있는 강력한 도구를 제공합니다. 설계를 JMP로 생성했는지 다른 도구로 생성했는지는 상관없습니다. 실험을 수행하기 전에 플랫폼을 사용하여 여러 설계 중에서 선택할 수 있습니다. 수행한 설계에서 올바르지 않은 설정이나 손실된 런으로 인한 영향도 평가할 수 있습니다. 가정된 모형의 항을 수정하여 수정된 모형을 추정할 때의 영향을 확인할 수 있습니다. 또한 "별칭 항" 개요에 나타나는 항을 수정하여 별칭 행렬에 미치는 영향을 확인할 수도 있습니다.

시작 창에 설계 정보를 입력하는 것으로 시작합니다. 그런 다음 가정된 모형을 수정하고, 모형에 없는 효과 중 잠재적 관심 대상인 효과를 지정할 수 있습니다. 설계 평가 플랫폼은 사용자가 지정한 내용에 따라 생성된 설계의 특성을 평가하는 다양한 방법을 제공합니다.

**검정력 분석** 주어진 크기의 효과를 감지할 수 있는지 분석할 수 있습니다.

**예측 분산 프로파일** 요인 설정 범위에 대한 예측 분산을 보여 줍니다.

**설계 공간 비율 그림** 모형 예측 분산이 지정된 값보다 얼마나 아래 또는 위에 있는지 보여 줍니다.

**예측 분산 표면** 두 개의 연속형 요인에 대한 예측 분산의 표면 그림을 보여 줍니다.

**추정 효율도** 각 모수에 대해 이상적인 직교 설계 (존재하지 않을 수 있음) 와 비교하여 신뢰 구간 길이에 대한 증가 비율을 제공합니다. 모수의 상대 표준 오차도 제공합니다.

**별칭 행렬** 모형에 없지만 활성화 가능성이 있는 효과에 의해 모형 모수가 편향되는 정도를 나타내는 계수를 제공합니다.

**상관 색상 맵** 강도 척도를 사용하여 그림에서 효과 사이의 절대 상관을 표시합니다.

**참고 :** 기본 강도 척도는 회색 척도입니다. 색상 척도를 변경하려면 "상관 색상 맵"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **파랑 - 회색 - 빨강**을 선택합니다. 사용자 정의 색상 척도를 사용하려면 그림을 마우스 오른쪽 버튼으로 클릭하고 **색상 테마**를 선택합니다.

**설계 진단** 설계의 효율도 측도를 제공합니다.

**참고 :** 몇 가지 DOE 플랫폼에서는 설계를 구성할 때 "설계 평가" 개요가 나타납니다. 이 개요는 "설계 평가" 플랫폼에서 제공한 결과를 보여 줍니다. "설계 평가" 개요를 제공하는 플랫폼은 사용자 설계, 확증적 선별 설계, 선별 설계, 반응 표면 설계, 최적 설계 유형을 사용한 혼합물 설계입니다.

## 설계 평가의 예

- "손실된 런의 영향 평가"
- "지정된 모형에 대한 검정력 평가"

## 손실된 런의 영향 평가

테니스 공의 탄력성(Stretch)에 대한 세 가지 요인(Silica, Sulfur, Silane)의 효과를 탐색하기 위한 실험이 수행되었습니다. 실험 목표는 Stretch에 대한 예측 모형을 개발하는 것입니다. 반응 표면 설계 플랫폼을 사용하여 15회 런 Box-Behnken 설계가 선택되었습니다. 실험 후 연구원은 Silica = 0.7, Silane = 50인 두 번의 런이 올바르게 처리되지 않았음을 알게 되었습니다. 이러한 런은 데이터 분석에 포함할 수 없습니다.

설계 평가 플랫폼을 사용하여 이 두 런이 포함되지 않을 경우에 대한 영향을 평가합니다. 의도한 15회 런 설계의 진단 결과를 얻은 후 이를 두 런이 없는 실제 13회 런 설계와 비교합니다.

### 의도한 설계와 실제 설계 구성

#### 의도한 설계

1. 도움말 > 샘플 데이터 라이브러리를 선택하고 Design Experiment/Bounce Data.jmp를 엽니다.
2. DOE > 설계 진단 > 설계 평가를 선택합니다.
3. Silica, Sulfur, Silane 을 선택하고 **X, 요인**을 클릭합니다.  
원할 경우 Stretch 를 **Y, 반응**으로 추가할 수 있습니다. 그러나 반응을 지정해도 설계 특성에 영향을 미치지 않습니다.
4. 확인을 클릭합니다.

의도한 설계의 "설계 평가" 창을 열어 두십시오.

---

**팁 :** 의도한 설계의 "설계 평가" 창을 화면 왼쪽 영역에 두십시오. 다음 단계 후 실제 설계에 대한 평가 창을 오른쪽에 둡니다.

---

#### 누락된 런이 있는 실제 설계

이 섹션에서는 Silica = 0.7, Silane = 50 인 두 런을 제외합니다. 해당 런은 데이터 테이블의 3 행과 7 행입니다.

1. Bounce Data.jmp에서 3 행과 7 행을 선택하고 강조 표시된 영역에서 마우스 오른쪽 버튼을 클릭한 후 **숨기고 제외하기**를 선택합니다.
2. DOE > 설계 진단 > 설계 평가를 선택합니다.
3. 재호출을 클릭합니다.
4. 확인을 클릭합니다.

실제 설계의 "설계 평가" 창을 열어 두십시오.

---

**팁 :** 두 설계를 쉽게 비교할 수 있도록 실제 설계의 "설계 평가" 창을 의도한 설계의 "설계 평가" 창 오른쪽에 두십시오.

---

## 의도한 설계와 실제 설계 비교

이제 다음 방법을 사용하여 두 설계를 비교할 수 있습니다.

- "검정력 분석"(407 페이지)
- "예측 분산 프로파일"(408 페이지)
- "설계 공간 비율 그림"(410 페이지)
- "추정 효율도"(411 페이지)
- "상관 색상 맵"(412 페이지)
- "설계 진단"(412 페이지)

### 검정력 분석

각 장에서 다음을 수행합니다.

#### 1. "검정력 분석" 개요를 엽니다.

이 개요에는 모든 "예상 계수"의 값이 기본값 1로 표시됩니다. 이 값은 교호작용 항과 2차 항이 비활성이라는 가정하에 주효과 항의 전체 수준에서 2 단위의 예상 반응 변화를 감지하는 것에 해당합니다.

검정력 계산은 오차 항(예상 RMSE)을 1로 가정합니다. 이전 연구를 통해 RMSE를 대략 2로 간주합니다.

#### 2. 예상 RMSE 옆에 2를 입력합니다.

텍스트 상자 바깥쪽을 클릭하면 검정력 값이 업데이트됩니다.

교호작용 항과 2 차 항이 비활성이라는 가정하에 주효과의 전체 수준에서 약 6 단위의 예상 반응 차이를 감지하려고 합니다. 이를 균등하게 설정하기 위해 빨간색 삼각형 옵션을 사용합니다.

#### 3. "검정력 분석"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **검정력을 위한 델타 설정**을 선택합니다.

#### 4. 델타 값을 6으로 입력합니다.

#### 5. 확인을 클릭합니다.

그림 15.2에서는 "설계 및 예상 반응" 개요가 닫혀 있는 두 개요를 보여 줍니다.

### 그림 15.2 검정력 분석 개요 - 의도한 설계 (왼쪽), 실제 설계 (오른쪽)

검정력 분석		
유의 수준	0.05	
예상 RMSE	2	
항	예상 계수	검정력
절편	3	0.553
Silica	3	0.919
Sulfur	3	0.919
Silane	3	0.919
Silica*Sulfur	3	0.672
Silica*Silane	3	0.672
Sulfur*Silane	3	0.672
Silica*Silica	3	0.639
Sulfur*Sulfur	3	0.639
Silane*Silane	3	0.639

예상 계수에 변경 사항 적용

▷ 설계 및 예상 반응

검정력 분석		
유의 수준	0.05	
예상 RMSE	2	
항	예상 계수	검정력
절편	3	0.432
Silica	3	0.533
Sulfur	3	0.533
Silane	3	0.798
Silica*Sulfur	3	0.231
Silica*Silane	3	0.533
Sulfur*Silane	3	0.533
Silica*Silica	3	0.379
Sulfur*Sulfur	3	0.379
Silane*Silane	3	0.379

예상 계수에 변경 사항 적용

▷ 설계 및 예상 반응

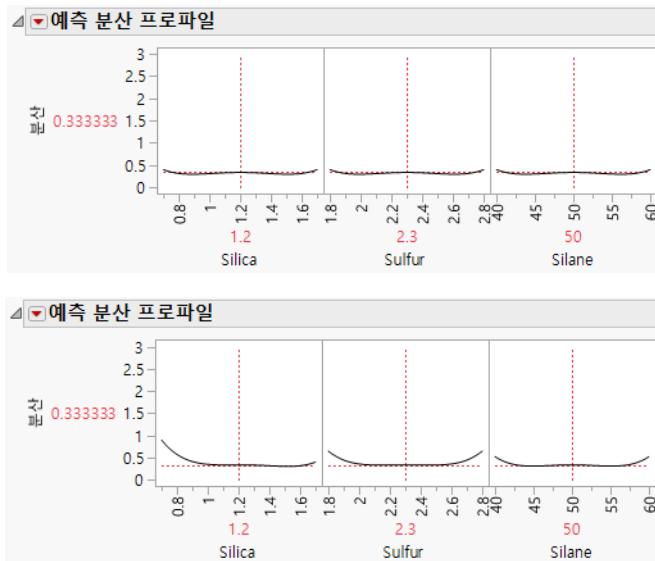
실제 설계의 검정력 값은 의도한 설계의 값과 비교할 때 균등하게 작습니다. Silica와 Sulfur의 경우 의도한 설계의 검정력이 실제 설계의 검정력에 비해 거의 두 배입니다. Silica\*Sulfur 교호작용의 경우 의도한 설계의 검정력은 0.672인데 비해 실제 설계의 검정력은 0.231입니다. 실제 설계는 의도한 설계와 비교하여 검정력 손실이 상당히 큽니다.

### 예측 분산 프로파일

- 각 창에서 "예측 분산 프로파일" 개요를 엽니다.
  - 실제 설계 창에서 수직 축을 마우스 오른쪽 버튼으로 클릭하고 메뉴에서 편집 > 축 설정 복사 를 선택합니다.
- 이렇게 하면 축 설정을 포함하는 스크립트가 생성됩니다. 이제 이 축 설정을 의도한 설계의 "예측 분산 프로파일" 그림에 적용합니다.
- 의도한 설계의 "설계 평가" 창에서 "예측 분산 프로파일" 개요를 찾은 후 세로 축에 대한 척도에 커서를 놓습니다. 수직 축을 마우스 오른쪽 버튼으로 클릭하고 메뉴에서 편집 > 축 설정 붙여넣기를 선택합니다.

그림 15.5에 표시된 그림을 참조하십시오. 의도한 설계에 대한 그림이 위에 있고 실제 설계에 대한 그림이 아래에 있습니다.

그림 15.3 예측 분산 프로파일 - 의도한 설계 ( 위 ), 실제 설계 ( 아래 )



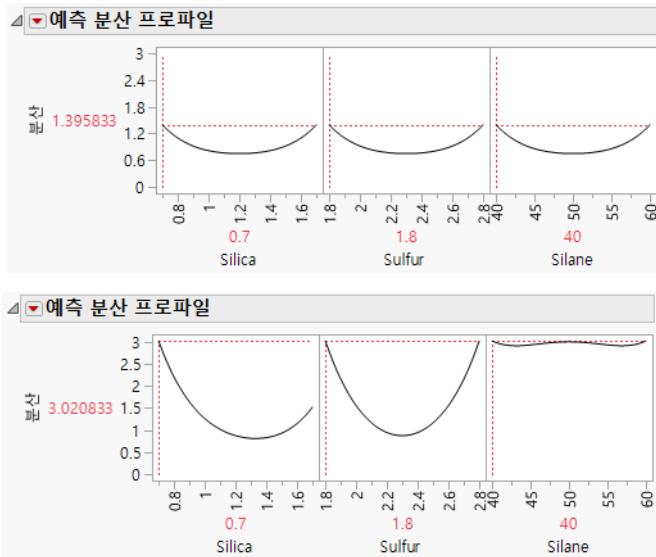
"예측 분산 프로파일" 그림은 상대 예측 분산의 프로파일러 보기입니다. 설계 공간의 다양한 영역에서 상대 예측 분산을 탐색할 수 있습니다.

두 그림 모두 설계 공간의 중심에서 동일한 상대 예측 분산 값을 보여 줍니다. 그러나 설계 공간 가장자리 근처의 점에 대한 분산은 의도한 설계의 동일한 점에 비해 크게 나타납니다. 세 개의 수직선을 모두 요인 설정 가장자리 근처의 점으로 움직여 이 현상을 살펴보십시오.

4. 두 창에서 "예측 분산 프로파일"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **분산 최대화**를 선택합니다.

그림 15.4에서는 의도한 설계와 실제 설계에 대한 최대 상대 예측 분산을 보여 줍니다.

**그림 15.4** 최대화된 예측 분산 프로파일 - 의도한 설계 ( 위 ), 실제 설계 ( 아래 )



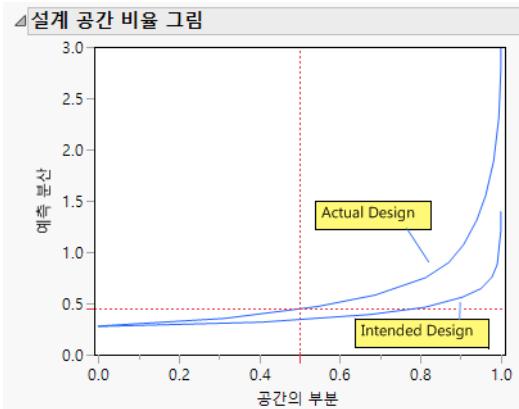
두 설계 모두 동일한 점 ( $Silica=0.7$ ,  $Sulfur=1.8$ ,  $Silane=40$ ) 을 최대 예측 분산이 발생하는 설계 점 중 하나로 식별합니다. 최대 예측 분산은 의도한 설계의 경우 1.396이고 실제 설계의 경우 3.021입니다. 예측 분산이 최대화되는 다른 실험 점도 있습니다. 실제 설계의 최대 예측 분산이 크면 설계 공간의 일부에서 의도한 설계를 수행했을 때보다 예측 정확도가 낮아진다는 것을 의미합니다.

### 설계 공간 비율 그림

- 각 창에서 "설계 공간 비율 그림" 개요를 엽니다.
- 의도한 설계 창에서 그림을 마우스 오른쪽 버튼으로 클릭하고 편집 > 프레임 내용 복사를 선택합니다.
- 실제 설계 창에서 "설계 공간 비율 그림" 개요를 찾습니다.
- 그림을 마우스 오른쪽 버튼으로 클릭하고 편집 > 프레임 내용 붙여넣기를 선택합니다.

그림 15.5에서는 주석이 추가된 그림을 보여 줍니다. 각 "설계 공간 비율 그림"은 설계 공간에서 상대 예측 분산이 특정 값 미만이 되는 비율을 보여 줍니다.

그림 15.5 설계 공간 비율 그림



실제 설계의 상대 예측 분산은 전체 설계 공간에 대해 의도한 설계의 분산보다 큽니다. 설계 공간 범위가 클수록 차이가 증가합니다.

### 추정 효율도

각 항에서 "추정 효율도" 개요를 엽니다.

그림 15.6 추정 효율도 개요 - 의도한 설계 (왼쪽), 실제 설계 (오른쪽)

추정 효율도			추정 효율도		
항	CI 길이의 부분적 증가	추정값의 상대 표준 오차	항	CI 길이의 부분적 증가	추정값의 상대 표준 오차
질편	1.236	0.577	질편	1.082	0.577
Silica	0.369	0.354	Silica	0.803	0.5
Silane	0.369	0.354	Sulfur	0.803	0.5
Sulfur	0.369	0.354	Silane	0.275	0.354
Silica*Silane	0.936	0.5	Silica*Sulfur	2.122	0.866
Silica*Sulfur	0.936	0.5	Silicas*Silane	0.803	0.5
Sulfur*Silane	0.936	0.5	Sulfur*Silane	0.803	0.5
Silica*Silica	1.016	0.52	Silicas*Silica	1.268	0.629
Silane*Silane	1.016	0.52	Sulfur*Sulfur	1.268	0.629
Sulfur*Sulfur	1.016	0.52	Silane*Silane	1.268	0.629

실제 설계(오른쪽)에서 모든 모수의 상대 표준 오차가 의도한 설계(왼쪽)의 표준 오차를 초과하거나 같습니다. 비절편 모수 3개를 제외한 모든 경우에 대해 실제 설계의 상대 표준 오차가 의도한 설계의 표준 오차를 초과합니다.

"CI 길이의 증가 비율"은 현재 설계에서 제공한 모두 신뢰 구간의 길이를 런 크기가 동일한 이상적 설계에서 제공한 신뢰 구간의 길이와 비교합니다. 신뢰 구간 길이와 이에 따른 CI 길이의 증가 비율은 런 수의 영향을 받습니다. 자세한 내용은 "[CI 길이의 증가 비율](#)"(428페이지)에서 확인하십시오. 실제 설계의 경우 런 수가 감소했지만 Silane, Silica\*Silane 및 Sulfur\*Silane 항은 의도한 설계에 비해 증가 정도가 적습니다. 실제 설계를 정의하기 위해 제거된 두 런에서 Silane이 중앙점으로 설정되었기 때문입니다. 이러한 런을 제거한 결과, 해당 모수에 대한 신뢰 구간의 너비가 중앙점이 없는 이상적 직교 설계의 너비와 더 유사합니다.

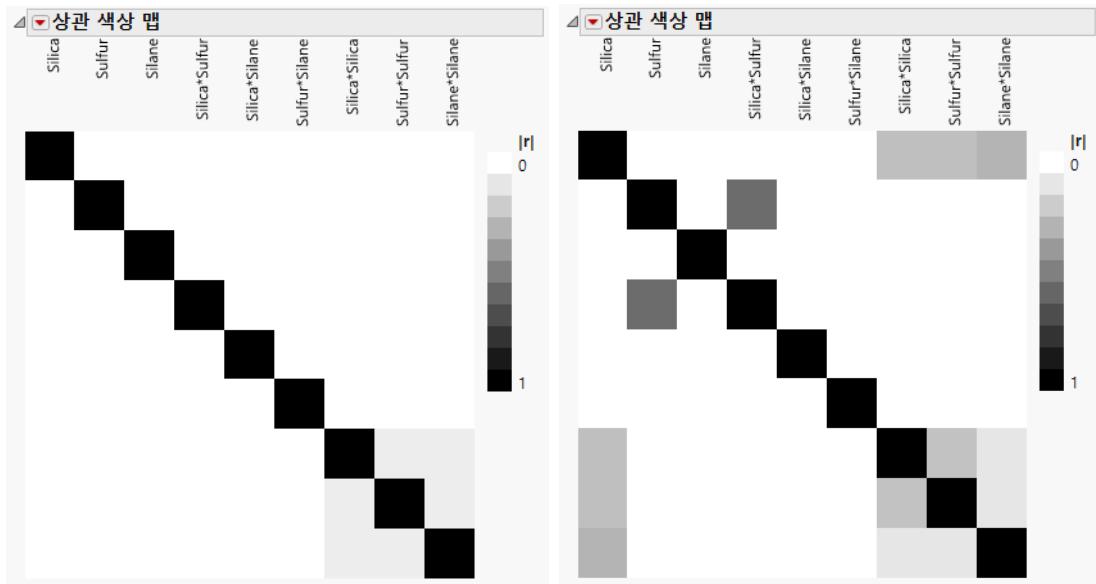
### 상관 색상 맵

각 보고서에서 다음을 수행합니다.

#### 1. 상관 색상 맵 개요를 엽니다.

두 색상 맵은 "모형" 개요의 효과를 보여 줍니다. 각 그림은 JMP 기본 강도 척도 ( 흰색 ~ 검은색 )를 사용하여 색상이 적용된 효과 간 절대 상관을 보여 줍니다. 효과 간 상관이 0 이거나 매우 작으면 이상적입니다.

**그림 15.7** 상관 색상 맵 - 의도한 설계 ( 왼쪽 ), 실제 설계 ( 오른쪽 )



절대 상관 값의 범위는 0(흰색)에서 1(검은색)까지입니다. 셀을 커서로 가리키면 절대 상관 값이 표시됩니다. 실제 설계의 색상 맵은 의도한 설계의 색상 맵보다 큰 절대 상관을 보여 줍니다. 예를 들어 Sulfur 와 Silica\*Sulfur 간 상관이 의도한 설계의 경우 <.0001 이고 실제 설계의 경우 0.5774 입니다.

### 설계 진단

각 보고서에서 "설계 진단" 개요를 엽니다.

**그림 15.8** 설계 진단 - 의도한 설계 ( 왼쪽 ), 실제 설계 ( 오른쪽 )

설계 진단	
D 효율도	36.6429
G 효율도	47.76119
A 효율도	29.3578
예측 평균 분산	0.384722
설계 생성 시간(초)	0
D 효율도	32.04245
G 효율도	25.46419
A 효율도	22.65219
예측 평균 분산	0.570833
설계 생성 시간(초)	0

의도한 설계(왼쪽)는 실제 설계(오른쪽)보다 효율도 값이 높고 평균 예측 분산이 낮습니다. 설계 평가를 분석한 결과, 손실된 두 런이 설계에 좋지 않은 영향을 미쳤음을 알 수 있습니다.

효율도 측도를 계산할 때 런 수와 모형 행렬 둘 다 고려된다는 점에 유의하십시오. 특히 D 효율도, G 효율도 및 A 효율도는 주어진 설계의 런 크기에 이상적인 설계를 기준으로 계산됩니다. 규모가 큰 설계가 작은 설계보다 효율적이지만 반드시 그런 것은 아닙니다. 그러나 주어진 수의 요인에 대해 설계가 크면 작은 설계보다 예측 평균 분산 값이 더 작은 경향이 있습니다. 효율도 측도를 정의하는 방법에 대한 자세한 내용은 "[설계 진단](#)"(432페이지)에서 확인하십시오.

## 지정된 모형에 대한 검정력 평가

이 예에서는 6개 요인 중 추출 공정의 수율에 영향을 미치는 요인을 판별하기 위해 확증적 선별 설계를 구성했습니다. 데이터는 Design Experiment 폴더에 있는 Extraction Data.jmp 샘플 데이터 테이블에 제공됩니다. 설계가 확증적 선별 설계이므로 각 요인의 수준은 3개입니다. 자세한 내용은 "[확증적 선별 설계](#)" 장(219페이지)에서 확인하십시오.

강력한 2차 효과를 감지하기 위한 검정력을 관심이 있습니다. 강한 효과는 크기가 오차 변동의 3배 이상인 것으로 간주합니다.

실험에서 6개 요인을 연구하지만 효과 회소성에 따라 몇 가지 요인만 활성이라는 것을 알 수 있습니다. 결과적으로 모형에서 더 적은 수의 요인을 기반으로 검정력을 조사할 수 있습니다. 또한 관련 공정에 대한 과거 연구에서는 세 가지 요인 (Propanol, Butanol, pH)에 무시할 수 있는 주효과가 있고, 다른 요인과의 교호작용이 없으며, 2차 효과가 없다는 강력한 증거를 제시합니다. 이를 통해 예상 모형에 Methanol, Ethanol 및 Time에 대해서만 주효과, 교호작용 효과 및 2차 효과가 포함된다고 간주할 수 있습니다. 3요인 반응 표면 모형의 컨텍스트에서 검정력을 조사하기로 결정했습니다.

설계 평가 플랫폼을 사용하여 Methanol, Ethanol 또는 Time의 강력한 2 차 효과를 감지하기 위한 설계 검정력을 확인할 수 있습니다.

1. 도움말 > 샘플 데이터 라이브러리를 선택하고 Design Experiment/Extraction Data.jmp 를 엽니다.
2. DOE > 설계 진단 > 설계 평가를 선택합니다.
3. Methanol, Ethanol 및 Time 을 선택하고 **X, 요인**을 클릭합니다.

원활 경우 Yield 를 **Y, 반응**으로 추가할 수 있습니다. 그러나 반응을 지정해도 설계 특성에 영향을 미치지 않습니다.

4. 확인을 클릭합니다.
5. "모형" 개요에서 **RSM** 을 클릭합니다.

이렇게 하면 세 요인에 대한 교호작용 항과 2 차 항이 추가됩니다.

6. "검정력 분석" 개요를 엽니다.
7. 예상 계수에서 Methanol\*Methanol, Ethanol\*Ethanol 및 Time\*Time 옆에 3 을 입력합니다.

"예상 RMSE" 가 기본적으로 1 로 설정되어 있습니다. 과거 연구에서 얻은 RMSE 추정값이 있지만 입력하지 않아도 됩니다. 관심 효과의 크기가 오차 변동의 3 배이기 때문입니다.

8. 예상 계수에 변경 사항 적용을 클릭합니다.

**그림 15.9** 계수에 변경 사항을 적용한 후의 검정력 분석 개요

검정력 분석		
	예상 계수	검정력
유의 수준	0.05	
예상 RMSE	1	
항	예상 계수	검정력
절편	1	0.111
Methanol	1	0.573
Ethanol	1	0.573
Time	1	0.573
Methanol*Methanol	3	0.737
Methanol*Ethanol	-1	0.331
Ethanol*Ethanol	3	0.737
Methanol*Time	-1	0.331
Ethanol*Time	1	0.331
Time*Time	3	0.737
예상 계수에 변경 사항 적용		

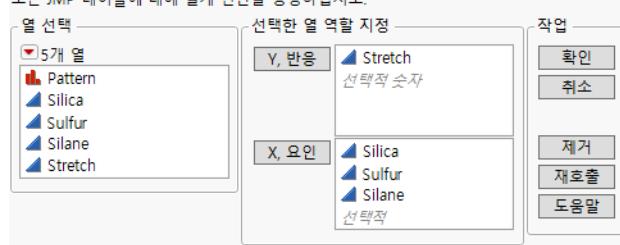
크기가 오차 변동의 3 배인 2 차 효과를 감지하는 검정력은 0.737 입니다. 이는 세 가지 요인의 반응 표면인 최종 모형을 가정합니다. 또한 검정의 유의 수준을 0.05 로 가정합니다.

## 설계 평가 시작 창

설계 평가 플랫폼을 시작하려면 대상 데이터 테이블을 열고 **DOE > 설계 진단 > 설계 평가**를 선택합니다. 그림 15.10의 예에서는 Design Experiment 폴더에 있는 Bounce Data.jmp 샘플 데이터 테이블을 사용합니다.

**그림 15.10** 설계 평가 시작 창

모든 JMP 테이블에 대해 설계 진단을 생성하십시오.



시작 창에는 다음과 같은 버튼이 포함되어 있습니다.

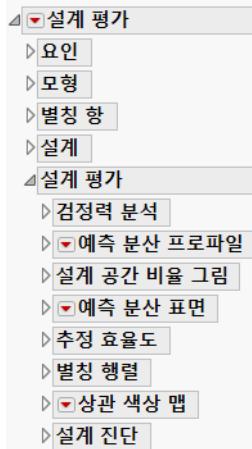
**Y, 반응** 하나 이상의 반응 열을 입력합니다. 반응 입력은 선택 사항입니다. 반응 값은 설계 평가에 사용되지 않습니다. 반응은 숫자여야 합니다.

**X, 요인** 요인 열을 입력합니다. 요인은 모든 데이터 유형 또는 모델링 유형이 될 수 있습니다.

## 설계 평가 창

"설계 평가" 창은 두 부분으로 구성됩니다. 그림 15.11을 참조하십시오. 이 그림에는 모든 개요 노드가 닫혀 있습니다.

- "요인", "모형", "별칭 항" 및 "설계" 개요는 모형과 설계를 정의합니다.
- "설계 평가" 개요는 설계의 특성을 설명하는 결과를 제공합니다.

**그림 15.11** 가능한 모든 개요를 보여 주는 설계 평가 창


"요인", "모형", "별칭 항" 및 "설계" 개요에는 요인, 가정된 모형, 잠재적으로 별칭 구조를 가지는 관심 효과 및 실제 설계에 대해 입력하는 정보가 포함됩니다. JMP는 시작 창에서 사용자가 선택한 항목과 설계 테이블을 사용하여 이러한 개요를 채웁니다. 그러나 "모형" 및 "별칭 항" 개요에서 효과를 수정할 수 있습니다. 내용을 지정하면 "설계 평가" 개요가 업데이트됩니다. 이러한 개요를 열어 설계 정보를 제공하는 보고서 또는 컨트롤 창을 확인할 수 있습니다.

- "요인"
- "모형"
- "별칭 항"
- "설계"
- "설계 평가"
- "검정력 분석"
- "예측 분산 프로파일"
- "설계 공간 비율 그림"
- "예측 분산 표면"
- "추정 효율도"
- "별칭 행렬"
- "상관 색상 맵"
- "설계 진단"

## 요인

"요인" 개요에는 시작 창에 입력한 요인이 나열됩니다. "모형" 개요에서 효과를 구성할 요인을 선택할 수 있습니다.

그림 15.12 요인 개요

요인	
이름	역할
Silica	연속형
Sulfur	연속형
Silane	연속형

## 모형

"모형" 개요에 나타나는 항목은 관련 데이터 테이블에 "모형" 또는 "모형 적합" 스크립트가 포함되어 있는지 여부에 따라 다릅니다.

- 스크립트가 있으면 해당 스크립트에 지정된 추정 가능 효과가 "모형" 개요에 포함됩니다. 효과는 스크립트에 지정된 순서대로 모형에 입력됩니다. "모형" 스크립트에 있는 효과가 추정 가능 효과보다 많을 경우 추정할 수 없는 효과는 평가를 위해 모형에 포함되지 않습니다.
- 스크립트가 없으면 주효과만 "모형" 개요에 포함됩니다.

그림 15.13에서는 Design Experiment 폴더에 있는 Bounce Data.jmp 데이터 테이블에 대한 "모형" 개요를 보여 줍니다. 데이터 테이블의 "모형" 스크립트에는 세 가지 요인(Silica, Silane, Sulfur)에 대한 반응 표면 효과가 포함되어 있습니다. 따라서 "모형" 개요에 이 세 요인에 대한 주효과, 이원 교호작용 및 2차 효과가 포함됩니다.

그림 15.13 Bounce Data.jmp에 대한 모형 개요

모형	
주효과	교호작용 ▾
RSM	
교차	
역 ▾	
항 제거	
절편	
Silica	
Silane	
Sulfur	
Silica*Silane	
Silica*Sulfur	
Sulfur*Silane	
Silica*Silica	
Silane*Silane	
Sulfur*Sulfur	

다음 버튼을 사용하여 "모형" 개요에 효과를 추가할 수 있습니다.

**주효과** 모형의 모든 요인에 대한 주효과를 추가합니다.

**교호작용** 교호작용 효과를 추가합니다. "요인" 개요에서 요인을 선택하지 않은 경우 "2 차", "3 차", "4 차" 또는 "5 차"를 선택하여 적절한 모든 교호작용을 해당 차수까지 추가합니다. "요인" 개요에서 요인 이름을 선택하고 "교호작용"을 선택한 후 적절한 차수를 지정하여 특정 요인에 대해 지정된 차수까지 교호작용을 추가합니다. 비혼합 요인과 혼합 요인 간의 교호작용 및 블록 요인과 상수 요인 간의 교호작용은 추가되지 않습니다.

**RSM** 연속형 요인에 대해 교호작용 및 2 차 항을 최대 2 차까지 추가합니다(반응 표면 모형 항). 범주형 요인은 RSM 항에 포함되지 않습니다. 모든 혼합 요인과 상호 작용하는 비혼합 요인의 주효과는 제거됩니다.

**교차** 특정 교호작용 항을 추가합니다. "요인" 개요에서 요인 이름을 선택하고 "모형" 개요에서 효과 이름을 선택합니다. "교차"를 클릭하면 교차된 항이 "모형" 개요에 추가됩니다.

**멱** 다항식 항을 추가합니다. "요인" 개요에서 요인 이름을 선택하지 않으면 모든 연속형 요인에 대해 다항식 항을 추가합니다. "요인" 개요에서 요인 이름을 선택하면 해당 요인에 대해서만 다항식 항을 추가합니다. "2 차", "3 차", "4 차" 또는 "5 차"를 선택하면 해당 차수의 다항식 항이 추가됩니다.

**Scheffe 입방** 모든 혼합 요인에 대해 Scheffe 입방 항을 추가합니다. 이 항은 3 차 다항식 항을 포함하는 혼합 모형을 지정하는 데 사용됩니다.

**항 제거** 선택한 효과를 제거합니다.

## 별칭 항

가정된 모형에 포함되지 않은 효과가 활성화되었을 수 있습니다. "별칭 항" 개요에서는 가정된 모형에 없지만 모형 항의 추정값을 편향시킬 수 있는 잠재적 활성 효과를 나열합니다. 별칭 행렬 항목은 "별칭 항" 개요에서 지정한 효과에 의해 모형 모수에 전달되는 편향 정도를 나타냅니다. 자세한 내용은 "기술 상세 정보" 부록의 "[별칭 행렬](#)"(767페이지)에서 확인하십시오.

기본적으로 "별칭 항" 개요에는 "모형" 개요에 없는 모든 이원 교호작용 효과가 포함됩니다(블록 요인을 포함하는 항은 제외). 버튼을 사용하여 항을 추가하거나 제거합니다. 이러한 버튼을 사용하여 "별칭 항" 테이블에 효과를 추가하는 방법에 대한 설명은 "[모형](#)"(417페이지)에서 확인하십시오.

설계 평가 플랫폼에서 "별칭 행렬" 개요는 별칭 행렬 효과에 대한 변경 사항을 반영하기 위해 즉시 업데이트됩니다. 사용자 설계 플랫폼의 "별칭 항" 개요에서 효과를 수정한 후에는 "설계 생성"을 클릭해야 합니다. 설계를 구성하는 다른 DOE 플랫폼에는 "별칭 항" 개요가 없습니다. 그러나 설계를 구성한 후 적절한 효과가 포함된 "별칭 행렬" 개요가 "설계 평가"에 나타납니다.

## 설계

"설계" 개요에서는 시작 창에서 지정한 요인에 대한 설계 런을 보여 줍니다. "설계 평가" 개요에서 특성을 탐색하면서 쉽게 설계를 볼 수 있습니다.

## 설계 평가

설계 평가 플랫폼 내의 "설계 평가"는 선택한 설계 및 "모형" 개요와 "별칭 항" 개요에서 지정한 내용을 기반으로 합니다. "설계 평가" 개요를 제공하는 몇 가지 DOE 설계 플랫폼은 사용자 설계, 확증적 선별 설계, 선별 설계, 반응 표면 설계, 최적 설계 유형을 사용한 혼합물 설계입니다. 이러한 플랫폼의 "설계 평가"는 구성한 설계를 기반으로 합니다.

## 검정력 분석

"검정력 분석" 개요에서는 모형의 모수에 대한 검정력을 계산합니다. 검정력은 주어진 크기의 활성 효과를 감지할 확률입니다. "검정력 분석" 개요는 설계에서 실제적으로 중요한 효과를 감지하는 능력을 평가하는 데 도움이 됩니다. 계수와 RMSE 가정이 정확하다고 간주할 때 검정력이 높을수록 유의 효과를 감지할 확률이 큽니다. 검정력은 런 수, 유의 수준 및 추정 오차 변동에 따라 달라집니다. 특히 추가 런이 필요한지 여부를 판별할 수 있습니다.

이 섹션에서는 다음 항목을 다룹니다.

- "검정력 분석 개요"(419 페이지)
- "검정력 분석 상세 정보"(420 페이지)
- "개별 모수 검정"(421 페이지)
- "수준이 세 개 이상인 범주형 효과 검정"(422 페이지)
- "설계 및 예상 반응 개요"(422 페이지)
- "커피 실험에 대한 검정력 분석"(423 페이지)

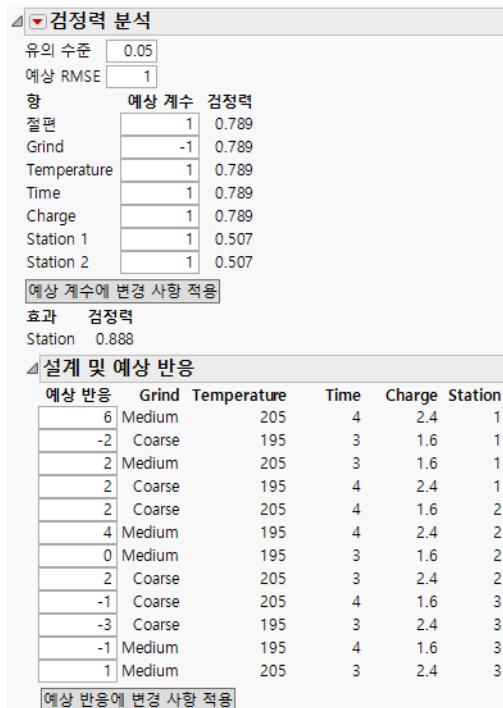
### 검정력 분석 개요

"모형" 개요에 나열된 효과에 대해 검정력이 계산됩니다. 여기에는 연속형, 이산 수치형, 범주형, 블록화, 혼합 및 공변량 요인이 포함됩니다. 검정은 개별 모형 모수 및 전체 효과에 대해 수행됩니다. 검정력을 계산하는 방법에 대한 자세한 내용은 "기술 상세 정보" 부록의 "검정력 계산"(768 페이지)에서 확인하십시오.

검정력은 모형 모수의 지정된 값에서 효과가 없다는 귀무가설을 기각할 확률입니다. 사실 모형 모수의 값이 아니라 실제적으로 중요한 평균 반응의 차이를 감지하는 데 관심이 있습니다. "검정력 분석" 개요에서는 예상 계수의 지정된 값에 대한 예상 반응을 계산할 수 있습니다. 이 기능은 평균 반응에서 감지할 차이와 관련된 계수 값을 결정하는 데 도움이 됩니다.

그림 15.14에서는 Design Experiment 폴더에 있는 Coffee Data.jmp 샘플 데이터 테이블의 설계에 대한 "검정력 분석" 개요를 보여 줍니다. "모형" 스크립트에 지정된 모형은 주효과만 포함된 모형입니다.

그림 15.14 Coffee Data.jmp 에 대한 검정력 분석



"검정력 분석" 개요에서 다음을 수행할 수 있습니다.

- 감지할 차이를 반영하는 계수 값을 지정합니다. 개요의 위쪽에 있는 "예상 계수"에 이 값을 입력합니다.
- 예상 반응 값을 지정하고 이를 적용하여 해당하는 예상 계수를 결정합니다. "설계 및 예상 반응" 패널에서 예상 반응을 지정합니다.

"검정력 분석"의 빨간색 삼각형 메뉴에서 다음을 수행할 수 있습니다.

- 검정력을 지정하여 해당 검정력을 달성할 예상 계수를 결정합니다. 지정한 검정력을 충족할 수 있는 계수가 없는 경우 계수가 0으로 설정됩니다.
- 델타 값을 지정합니다. 이 경우 예상 계수는 지정된 델타의  $1/2$  이 됩니다. 그러면 예상 계수에 따라 검정력이 업데이트됩니다.

### 검정력 분석 상세 정보

유의 수준 및 예상 RMSE 값을 지정합니다. 이러한 값은 모형 모수에 대한 검정력을 계산하는 데 사용됩니다.

**유의 수준** 효과가 없다는 가설이 참인 데도 이를 기각할 확률입니다. 값을 입력하면 검정력 계산이 즉시 업데이트됩니다.

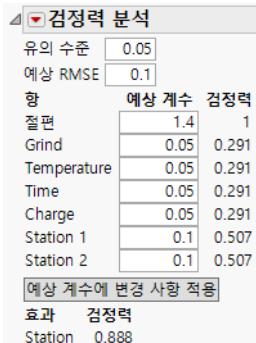
**예상 RMSE** 오차 변동의 제곱근에 대한 추정값입니다. 값을 입력하면 검정력 계산이 즉시 업데이트됩니다.

"검정력 분석" 보고서의 위쪽 부분은 "예상 계수"의 기본값과 함께 열립니다(그림 15.14 참조). 기본값은 델타를 기반으로 합니다. 자세한 내용은 "[고급 옵션 > 검정력을 위한 델타 설정](#)"(434페이지)에서 확인하십시오.

**참고 :** 설계가 과포화되어 추정할 모수의 수가 련수를 초과하면 예상 계수가 0으로 설정됩니다.

그림 15.15에서는 예상 계수의 값이 지정된 "검정력 분석" 보고서의 위쪽 부분을 보여 줍니다. 이러한 값은 감지할 차이를 반영합니다.

**그림 15.15** Coffee Data.jmp에 대해 지정된 예상 계수



### 개별 모수 검정

"항" 열에는 모형 항이 나열됩니다. 각 항의 "예상 계수" 열에는 해당 항의 값이 포함됩니다. "검정력" 열의 값은 예상 계수에 의해 계수의 참값이 주어진 경우 해당 항의 계수가 0이라는 검정의 검정력입니다.

**항** 검정 대상 계수와 관련된 모형 항입니다.

**참고 :** "검정력 분석" 보고서에 나타나는 모형 항의 순서는 "표준 최소 제곱"을 사용하여 얻은 "모수 추정값" 보고서의 모수 순서와 동일하지 않을 수 있습니다. 이 차이는 모형에 포함되는 교호작용의 자유도가 2 이상인 경우에만 발생할 수 있습니다.

**예상 계수** 모형 항과 관련된 계수의 값입니다. 이 값은 검정력 계산에 사용됩니다. 또한 "설계 및 예상 반응" 개요에서 "예상 반응" 열을 계산할 때도 사용됩니다." 예상 계수" 열에 새 값을 설정하는 경우 **예상 계수에 변경 사항 적용**을 클릭하여 "검정력" 및 "예상 반응" 열을 업데이트합니다.

**참고 :** 연속형 효과에 대한 예상 계수의 기본값은 1입니다. 범주형 효과의 경우에는 1과 -1 값이 교대로 나타납니다. 빨간색 삼각형 메뉴에서 **고급 옵션 > 검정력을 위한 멜타 설정**을 선택하여 멜타 값을 지정할 수 있습니다. 멜타 값을 변경하면 예상 계수의 절대값이 멜타의 1/2 이 되도록 계수가 업데이트됩니다. 자세한 내용은 "**고급 옵션 > 검정력을 위한 멜타 설정**"(434 페이지)에서 확인하십시오.

**검정력** 지정된 예상 계수에 의해 계수의 참 값이 주어진 경우 효과가 없다는 귀무가설을 기각할 확률입니다. 수치형 요인과 관련된 계수의 경우 평균 반응의 변화 (모형 기반)는 계수 값의 두 배입니다. 범주형 요인과 관련된 계수의 경우 전체 요인 수준에서 평균 반응의 변화 (모형 기반)는 예상 계수 절대값의 두 배와 같습니다.

지정된 유의 수준과 예상 RMSE 가 계산에 사용됩니다. 검정력 계산에 대한 자세한 내용은 "기술 상세 정보" 부록의 "**단일 모수에 대한 검정력**"(768 페이지)에서 확인하십시오.

**예상 계수에 변경 사항 적용** "예상 계수" 열에 새 값을 설정하는 경우 **예상 계수에 변경 사항 적용**을 클릭하여 "검정력" 및 "예상 반응" 열을 업데이트합니다.

### 수준이 세 개 이상인 범주형 효과 검정

수준이 세 개 이상인 범주형 효과가 모형에 포함된 경우 "예상 계수에 변경 사항 적용" 버튼 아래에 다음 열이 나타납니다.

**효과** 범주형 효과입니다.

**검정력** 효과 없음 검정에 대한 검정력 계산입니다. 검정의 귀무가설은 효과에 해당하는 모든 모형 모수가 0이라는 것입니다. 감지할 차이는 "예상 계수" 열에서 효과의 모형 항에 해당하는 값으로 정의됩니다. 검정력 계산은 예상 계수에 의해 결정된 반응 평균의 차이를 반영합니다.

지정된 유의 수준과 예상 RMSE 가 계산에 사용됩니다. 검정력 계산에 대한 자세한 내용은 "기술 상세 정보" 부록의 "**범주형 효과에 대한 검정력**"(769 페이지)에서 확인하십시오.

### 설계 및 예상 반응 개요

"설계 및 예상 반응" 개요에는 설계 앞에 "예상 반응" 열이 표시됩니다. 첫 번째 열의 각 항목은 설계 설정에 해당하는 예상 반응입니다. 예상 반응은 예상 계수를 사용하여 계산됩니다.

그림 15.16에서는 그림 15.15에 제공된 예상 계수 지정 값에 해당하는 "설계 및 예상 반응" 개요를 보여 줍니다.

그림 15.16 Coffee Data.jmp 에 대한 예상 반응

설계 및 예상 반응					
예상 반응	Grind	Temperature	Time	Charge	Station
1.6	Medium	205	4	2.4	1
1.4	Coarse	195	3	1.6	1
1.4	Medium	205	3	1.6	1
1.6	Coarse	195	4	2.4	1
1.6	Coarse	205	4	1.6	2
1.5	Medium	195	4	2.4	2
1.3	Medium	195	3	1.6	2
1.6	Coarse	205	3	2.4	2
1.3	Coarse	205	4	1.6	3
1.2	Coarse	195	3	2.4	3
1.1	Medium	195	4	1.6	3
1.2	Medium	205	3	2.4	3

예상 반응에 변경 사항 적용

"예상 반응" 열에서 각 요인 설정의 값을 지정할 수 있습니다. 이러한 값은 감지할 차이를 반영합니다.

**예상 반응에 변경 사항 적용**을 클릭하면 "예상 계수" 열과 "검정력" 열이 모두 업데이트됩니다.

**예상 반응** 예상 계수 값을 모형의 계수로 사용하여 구한 반응 값입니다. 개요가 처음 나타날 때는 "예상 계수" 열의 기본값을 기반으로 예상 반응 값이 계산됩니다. "예상 반응" 열에 새 값을 설정하는 경우 **예상 반응에 변경 사항 적용**을 클릭하여 "예상 계수" 및 "검정력" 열을 업데이트합니다.

**설계** "예상 반응" 열의 오른쪽 열에 설계의 모든 런에 대한 요인 설정이 표시됩니다.

**예상 반응에 변경 사항 적용** "예상 반응" 열에 새 값을 설정하는 경우 **예상 반응에 변경 사항 적용**을 클릭하여 "예상 계수" 및 "검정력" 열을 업데이트합니다.

## 커피 실험에 대한 검정력 분석

Coffee Data.jmp 데이터 테이블의 설계를 예로 사용합니다. Strength에 대한 다양한 크기의 효과를 감지 할 설계 검정력에 관심이 있다고 가정해 보겠습니다. Grind는 2수준 범주형 요인, Temperature, Time 및 Charge는 연속형 요인, Station은 3수준 범주형(블록) 요인입니다.

이 예에서는 블록 요인 역할의 Station을 무시합니다. 대신 Station이 Strength에 미치는 영향에 관심이 있습니다. Station은 3수준 범주형 요인이므로 "모수" 목록에 두 개의 항(Station 1, Station 2)으로 표시됩니다.

특히 평균 Strength에서 다음과 같은 변화를 감지할 확률에 대해 알아보려고 합니다.

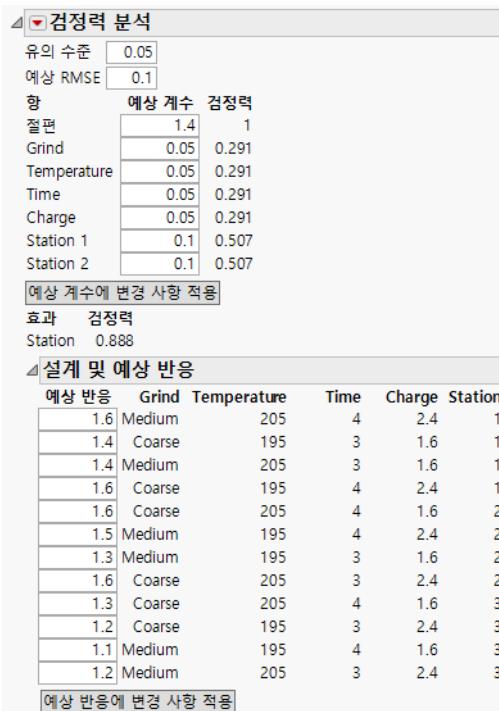
- Grind 를 Coarse에서 Medium으로 바꿀 때 0.10 단위 변경
- Temperature, Time 및 Charge 를 낮은 수준에서 높은 수준으로 바꿀 때 0.10 단위 이상 변경
- 전체 예상 평균을 초과하는 0.10 단위의 각 Station 1과 Station 2로 인한 증가. 이는 전체 예상 평균에서 0.20 단위의 Station 3으로 인한 감소에 해당합니다.

0.05를 유의 수준으로 설정합니다. 고정 설계 설정에 대한 Strength의 표준편차 추정값은 0.1이며 이 값을 예상 RMSE로 입력합니다.

그림 15.17에서는 이러한 값이 입력된 "검정력 분석" 노드를 보여 줍니다. 구체적으로 유의 수준, 예상 RMSE 및 각 예상 계수 값을 지정합니다.

"예상 계수에 변경 사항 적용"을 클릭하면 지정한 모형을 반영하여 "예상 반응" 값이 업데이트 됩니다.

**그림 15.17** 예상 계수 패널의 사용자 지정 내용이 포함된 검정력 분석 개요



Temperature는 수준이 -1과 1로 코드화된 연속형 요인입니다. Temperature가 Strength에 영향을 미치지 않는다는 귀무가설이 있는 검정을 가정해 보겠습니다. 그림 15.17에서는 Temperature의 전체 수준에서 0.10( $=2*0.05$ ) 단위의 차이를 감지할 검정력이 0.291에 불과하다는 것을 보여 줍니다.

이제 전체 Station 효과에 대한 검정을 고려하십시오. Station은 3수준 범주형 요인입니다. Station이 Strength에 영향을 미치지 않는다는 귀무가설이 있는 검정을 수행하려고 합니다. 이는 범주형 요인에 대한 일반적인 F 검정이며, **분석 > 모형 적합**을 실행할 때 "효과 검정" 보고서에 제 공됩니다. 자세한 내용은 선형 모형 적합의 에서 확인하십시오.

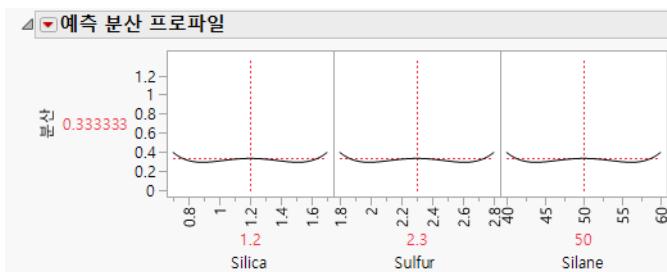
검정력은 "예상 계수에 변경 사항 적용" 버튼 바로 아래에 표시됩니다. Station 1과 Station 2 모형 항에 대한 "예상 계수"의 항목은 둘 다 0.10입니다. 이 설정은 두 스테이션의 전체 예상 평균보다 0.10 단위만큼 Strength를 증가시키는 효과가 있다는 의미입니다. Station 1 및 Station 2 계수의 이 설정에 대해 Station 3은 전체 예상 평균에서 0.20 단위만큼 Strength를 감소시키는 효과가 있습니다. 그림 15.17에서는 이 크기 이상의 차이를 감지할 검정력이 0.888임을 보여 줍니다.

## 예측 분산 프로파일

예측 분산 프로파일은 설계 공간에서 대략적인 예측 변동을 이해하는 데 도움이 됩니다. 예측 분산이 낮아야 좋습니다. 최대 분산을 찾으려면 **분산 최대화** 옵션을 사용합니다. 자세한 내용은 "분산 최대화"(425페이지)에서 확인하십시오.

예측 분산 프로파일은 상대 예측 분산을 다른 요인의 값이 고정된 상태에서 각 요인의 함수로 그림에 나타냅니다. 그림 15.18에서는 Design Experiment 폴더에 있는 Bounce Data.jmp 데이터 테이블의 예측 분산 프로파일을 보여 줍니다.

그림 15.18 예측 분산 프로파일러



### 상대 예측 분산

주어진 요인 설정에 대한 예측 분산은 설계 및 요인 설정에 따라 달라지는 양과 오차 분산의 합입니다. 실험을 실행하기 전에는 오차 분산을 알 수 없으므로 예측 분산도 알 수 없습니다. 그러나 오차 분산에 대한 예측 분산의 비는 오차 분산의 함수가 아닙니다. 상대 예측 분산이라고 하는 이 비율은 설계와 요인 설정에만 영향을 받습니다. 따라서 데이터를 얻기 전에 상대 예측 분산을 계산할 수 있습니다. 자세한 내용은 "기술 상세 정보" 부록의 "[상대 예측 분산](#)"(770페이지)에서 확인하십시오.

실험을 실행하고 최소 제곱 모형을 적합시킨 후 모형 적합의 MSE(평균 제곱 오차)를 사용하여 오차 분산을 추정할 수 있습니다. 설정에 대한 상대 예측 분산을 곱해 설정에서 실제 예측 분산을 추정할 수 있습니다.

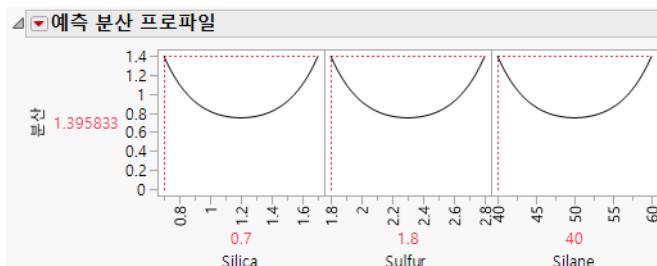
설계 공간 전체에서 예측 분산이 작은 것이 이상적입니다. 일반적으로 표본 크기가 증가하면 오차 분산이 감소합니다. 설계를 비교할 때 두 설계의 예측 분산 프로파일러를 나란히 놓을 수 있습니다. 평균적으로 예측 분산이 낮은 설계가 선호됩니다.

### 분산 최대화

최대 상대 예측 분산의 측면에서 설계를 평가하거나 비교할 수 있습니다. "예측 분산 프로파일"의 빨간색 삼각형 메뉴에서 **분산 최대화** 옵션을 선택합니다. JMP는 상대 예측 분산을 최대화하는 만족도 함수를 사용합니다. "예측 분산 프로파일"에서 최대 분산 값은 상대 예측 분산의 최악 값(설계 관점에서 가장 적합하지 않음)입니다. 최대 분산은 둘 이상의 요인 설정 조합에서 발생할 수 있습니다.

그림 15.19에서는 "분산 최대화"가 선택된 "예측 분산 프로파일"을 보여 줍니다. Design Experiment 폴더에 있는 Bounce Data.jmp 샘플 데이터 테이블을 대상으로 한 그림이 표시됩니다. 상대 예측 분산의 최대값은 Silica = 0.7, Sulfur = 1.8, Silane = 40 일 때 1.3958입니다. 그러나 여러 요인 설정에서 이와 동일한 상대 분산을 가질 수 있다는 점에 유의하십시오. Silica = 1.7, Sulfur = 2.8, Silane = 60인 설계점의 상대 예측 분산도 1.3958입니다. 표면을 사용하여 예측 분산을 평가하려면 "예측 분산 표면"(427페이지)에 나오는 내용을 참조하십시오.

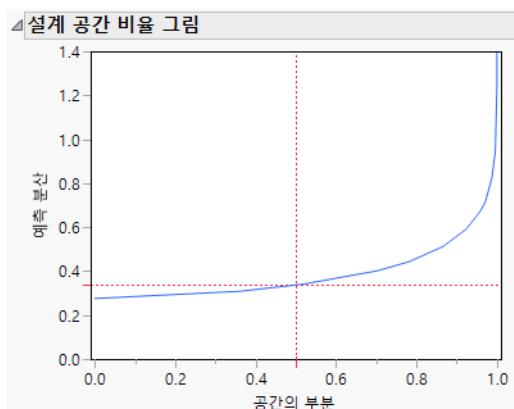
**그림 15.19** 최대 분산을 보여 주는 예측 분산 프로파일



## 설계 공간 비율 그림

"설계 공간 비율 그림"은 설계 공간에서 상대 예측 분산이 특정 값 미만이 되는 비율을 보여 줍니다. 예측 분산 값이 낮은 설계 공간의 비율이 클수록 바람직합니다. 그림 15.20에서는 Design Experiment 폴더에 있는 Bounce Data.jmp 샘플 데이터 테이블에 대한 "설계 공간 비율 그림"을 보여 줍니다.

**그림 15.20** 설계 공간 비율 그림



그림의 X축은 설계 공간의 비율을 나타냅니다(0 ~ 100% 범위). Y축은 상대 예측 분산 값을 나타냅니다. 파란색 곡선에 있는  $(x, y)$  점의 경우  $x$  값은 분산이  $y$ 보다 작거나 같은 설계 공간의 비율입니다. 빨간색 점선 십자기호는 설계 공간의 50%에 대해 상대 예측 분산의 경계를 이루는 값을 표시합니다.

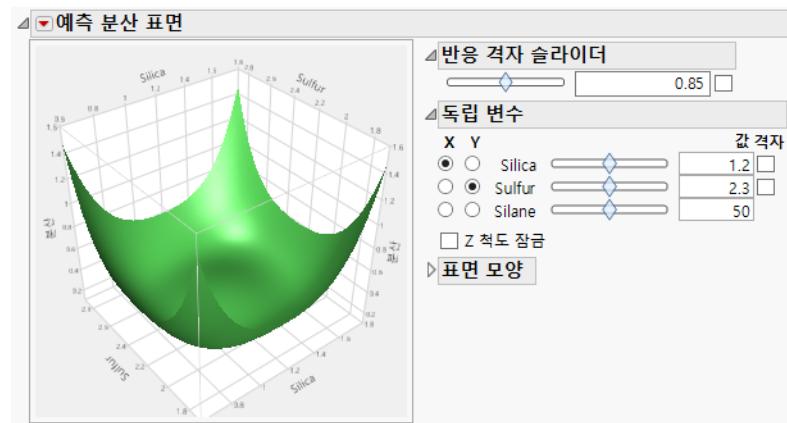
그림 15.20에서는 상대 예측 분산의 최소값이 0.3보다 약간 작고 최대값이 1.4 미만임을 보여 줍니다. 실제 최대값은 그림 15.19에 표시된 대로 1.395833입니다. 빨간색 점선 십자기호는 설계 공간의 약 50%에 대해 상대 예측 분산이 0.34 미만임을 나타냅니다. 십자기호 도구를 사용하여 "공간 비율" 값에 해당하는 최대 상대 예측 분산을 찾을 수 있습니다. 그림 15.20의 십자기호 도구를 사용하여 예측 분산 값의 90%가 약 0.55 미만인지 확인하십시오.

**참고 :** 설계 공간 비율 그림을 구성할 때 설계 공간의 몬테카를로 표집이 사용됩니다. 따라서 같은 설계에 대한 그림이 약간 다를 수 있습니다.

## 예측 분산 표면

"예측 분산 표면" 보고서는 상대 예측 분산 표면을 두 설계 요인의 함수로 그림에 나타냅니다. 그림 15.21에서는 Design Experiment 폴더에 있는 Bounce Data.jmp 샘플 데이터 테이블에 대한 "예측 분산 표면" 개요를 보여 줍니다. 빨간색 삼각형 메뉴에서 **제어판**을 선택하여 컨트롤을 표시하거나 숨길 수 있습니다. 자세한 내용은 "**제어판**"(427 페이지)에서 확인하십시오.

**그림 15.21** 예측 분산 표면



요인이 두 개 이상이면 "예측 분산 표면" 개요에 두 변수에 대한 상대 예측 분산 그림이 표시됩니다. "예측 분산 표면" 개요에는 상대 예측 분산 계산식이 그림에 표시됩니다. 그림을 드래그하여 투시도를 회전하고 변경할 수 있습니다.

## 제어판

제어판에는 그림을 조정할 수 있는 다음과 같은 옵션이 들어 있습니다.

**반응 격자 슬라이더** 격자 체크박스는 분산의 상수 값을 표시하는 격자를 겹쳐 놓습니다. 분산 값은 텍스트 상자에 표시됩니다. 슬라이더를 사용하여 격자 배치를 조정할 수 있습니다. 또는 텍스트 상자에 분산 값을 입력할 수도 있습니다. 상자 바깥쪽을 클릭하면 그림이 업데이트됩니다.

**독립 변수** 이 패널을 사용하면 그림의 축으로 사용할 두 요인을 선택하고 축으로 사용되지 않는 요인의 설정을 지정할 수 있습니다. 해당 열을 클릭하여 X 축과 Y 축에 대한 요인을 각각 선택합니다. 슬라이더와 텍스트 상자를 사용하여 축에 대해 선택되지 않은 각 요인의 값을 지정할 수 있습니다. 그림에는 축으로 사용되지 않는 요인의 지정된 값에서 표면의 3 차원 조각이 표시됩니다. 슬라이더를 움직여 다른 조각을 볼 수 있습니다.

각 격자 체크박스는 해당 요인에 대한 격자를 활성화합니다. 슬라이더를 사용하여 각 격자의 배치를 조정할 수 있습니다.

"Z 척도 잡금"은 z 축을 현재 값으로 잡습니다. 이 기능은 축에 해당되지 않는 슬라이더를 움직일 때 유용합니다.

**표면 모양 해상도** 슬라이더는 계산식에 대해 평가되는 점 수에 영향을 줍니다. 해상도가 정밀하지 않고 너무 거칠면 급격한 변화가 있는 함수가 잘 표현되지 않을 수 있습니다. 그러나 해상도를 높게 설정하면 표면 평가 및 표시 속도가 느려질 수 있습니다.

**직교 투영** 체크박스는 2 차원으로 투영된 그림을 표시합니다.

**등고선** 메뉴는 등고선 곡선의 배치를 제어합니다. 등고선 곡선은 반응 값이 일정한 점의 집합입니다. 등고선을 "해제"(기본값)하여 표시하지 않거나 "아래쪽", "위쪽" 또는 "표면상"에 배치하도록 선택할 수 있습니다.

## 추정 효율도

이 보고서는 모형의 각 모수 추정값에 대한 CI(신뢰 구간) 길이의 증가 비율 및 추정값의 상대 표준 오차를 제공합니다. 두 값 모두 작을수록 좋습니다. 그림 15.22에서는 Design Experiment 폴더에 있는 Bounce Data.jmp 샘플 데이터 테이블의 "추정 효율도" 개요를 보여 줍니다.

**그림 15.22** 추정 효율도 개요

△ 추정 효율도		
항	CI 길이의 부분적 증가	추정값의 상대 표준 오차
젤편	1.236	0.577
Silica	0.369	0.354
Silane	0.369	0.354
Sulfur	0.369	0.354
Silica*Silane	0.936	0.5
Silica*Sulfur	0.936	0.5
Sulfur*Silane	0.936	0.5
Silica*Silica	1.016	0.52
Silane*Silane	1.016	0.52
Sulfur*Sulfur	1.016	0.52

## CI 길이의 증가 비율

"CI 길이의 증가 비율"은 현재 설계에서 제공한 모두 신뢰 구간의 길이를 이상적 설계에서 제공한 신뢰 구간의 길이와 비교합니다.

- 모수에 대한 이상적인 신뢰 구간의 길이를 실제 신뢰 구간의 길이에서 뺍니다.
- 이 차이를 이상적 신뢰 구간의 길이로 나눕니다.

직교 D-최적 설계의 경우 증가 비율이 0입니다. 설계를 선택할 때 신뢰 구간 길이의 증가 비율을 가능한 한 작게 하려고 합니다.

### 이상적 설계

보통 최소 제곱 추정량의 공분산 행렬은  $\sigma^2(\mathbf{X}'\mathbf{X})^{-1}$ 입니다.  $(\mathbf{X}'\mathbf{X})^{-1}$ 의 주대각 요소는 모두 추정값의 상대 분산(분산을  $\sigma^2$ 으로 나눈 값)입니다. 2수준 설계에서 효과 코드화 규칙("열 특성" 부록의 "코딩"(739페이지) 참조)을 사용할 경우 모두 추정값에 대한 상대 분산의 최소값은  $1/n$ 입니다. 여기서  $n$ 은 런 수입니다. 이는 설계의 모든 효과가 직교이고 설계가 D-최적일 때 해당됩니다.

$\hat{\beta}$ 가 모두 추정값의 벡터라고 하면 이상적 설계(존재하지 않을 수 있음)는 공분산 행렬이 다음과 같이 지정된 설계입니다.

$$\text{Var}(\hat{\beta}) = (\sigma^2/n)\mathbf{I}_n$$

여기서  $\mathbf{I}_n$ 은  $n \times n$  단위 행렬이고  $\sigma$ 는 반응의 표준편차입니다.

직교 D-최적 설계가 존재하면 해당 설계가 이상적입니다. 그러나 위의 정의는 이상적 설계의 개념을 직교와 D-최적을 모두 충족하는 설계가 존재하지 않는 상황으로 확장합니다.

이 정의는 여러 수준의 범주형 요인이 있는 설계에도 적합합니다. 범주형 요인에 사용되는 직교 코드화를 통해 이러한 설계가 이상적 공분산 행렬을 가질 수 있습니다. 사용자 설계의 경우 "사용자 설계" 창의 옵션에서 "행렬 X 저장"을 선택하고, 설계 테이블을 생성한 다음, 설계 테이블에 저장된 "모형 행렬" 스크립트를 확인하면 코딩 행렬을 볼 수 있습니다.

### 신뢰 구간 길이의 증가 비율

이상적 설계에서 모두 추정값의 표준 오차는 다음과 같이 지정됩니다.

$$SE_{Ideal}(\hat{\beta}) = (\sigma/\sqrt{n})\mathbf{I}_n$$

신뢰 구간 길이는 표준 오차에 의해 결정됩니다. 신뢰 구간 길이의 증가 비율은 주어진 설계의 표준 오차와 이상적 설계의 표준 오차 간 차이를 이상적 설계의 표준 오차로 나눈 값입니다.

$i^{\text{th}}$  모수 추정값의 경우 신뢰 구간 길이의 증가 비율은 다음과 같이 정의됩니다.

$$FI = \frac{\sigma\sqrt{(\mathbf{X}'\mathbf{X}_{ii}^{-1}) - (\sigma/(\sqrt{n}))}}{(\sigma/\sqrt{n})} = \sqrt{n(\mathbf{X}'\mathbf{X}_{ii}^{-1})} - 1$$

다음은 각 요소에 대한 설명입니다.

$\sigma^2$ 은 알려지지 않은 반응 분산입니다.

$\mathbf{X}$ 는 주어진 설계의 모형 행렬이며, "기술 상세 정보" 부록의 "별칭 행렬"(767페이지)에 정의되어 있습니다.

$(\mathbf{X}'\mathbf{X})_{ii}^{-1}$ 은  $(\mathbf{X}'\mathbf{X})^{-1}$ 의  $i^{\text{th}}$  주대각 항목입니다.

$n$ 은 런 수입니다.

## 추정값의 상대 표준 오차

추정값의 상대 표준 오차는 오차 표준편차에 대한 모수 추정값의 표준편차 비율을 제공합니다. 이 값은 오차 표준편차를 기준으로 모형 모수 추정값의 표준 오차 크기를 나타냅니다.  $i^{\text{th}}$  모수 추정값의 경우 추정값의 상대 표준 오차는 다음과 같이 정의됩니다.

$$SE = \sqrt{(\mathbf{X}'\mathbf{X})_{ii}^{-1}}$$

다음은 각 요소에 대한 설명입니다.

$\mathbf{X}$ 는 "기술 상세 정보" 부록의 "[별칭 행렬](#)"(767 페이지)에 정의된 모형 행렬입니다.  $(\mathbf{X}'\mathbf{X})_{ii}^{-1}$ 은  $(\mathbf{X}'\mathbf{X})^{-1}$ 의  $i^{\text{th}}$  주대각 항목입니다.

## 별칭 행렬

별칭 행렬은 실제로 활성이지만 모형에 포함되지 않은 항이 모형 항 추정에 영향을 미치는 방식에 대한 문제를 처리합니다. "별칭 항" 개요에서는 가정된 모형에 없지만 모형 항의 추정값을 편향시킬 수 있는 잠재적 활성 효과를 나열합니다. 별칭 행렬 항목은 "별칭 항" 효과에 의해 모형 모수에 전달되는 편향 정도를 나타냅니다. 자세한 내용은 "[별칭 항](#)"(418페이지)에서 확인하십시오.

별칭 행렬의 행은 "모형" 개요에 나열된 모형 효과에 해당하는 항입니다. 열은 "별칭 항" 개요에 나열된 효과에 해당하는 항입니다. 주어진 행과 열의 항목은 별칭 항이 모형 항에 해당하는 모수 추정값에 영향을 미치는 정도를 나타냅니다.

설계를 평가할 때 별칭 행렬의 항목과 관련하여 다음 두 가지 상황 중 하나가 발생하면 가장 이상적입니다. 항목이 작거나, 그렇지 않은 경우 별칭 항의 효과가 작아서 편향도 작아집니다. 별칭 항의 효과가 상당히 클 것으로 생각되면 해당 항을 모형에 포함하거나 별칭 최적 설계를 고려해야 합니다.

별칭 행렬 계산에 대한 자세한 내용은 "기술 상세 정보" 부록의 "[별칭 행렬](#)"(767페이지)에서 확인하십시오. Lekivetz, R.(2014)도 참조하십시오.

다음 사항에 유의하십시오.

- 가정된 모형에 대한 직교 설계의 경우 별칭 행렬의 상관은 상관 색상 맵의 절대 상관에 해당합니다.
- 설계 복잡성에 따라 별칭 행렬 항목이 1 보다 크거나 -1 보다 작을 수 있습니다.

## 별칭 행렬의 예

Design Experiment 폴더의 **Cake Data.jmp** 샘플 데이터 테이블을 예로 들어보겠습니다. 이 설계는 주효과 모형을 가정합니다. 데이터 테이블에서 "모형" 스크립트를 실행하여 이를 확인할 수 있습니다. 결과적으로 "설계 평가" 창의 "모형" 개요에 절편과 5개 주효과만 나타납니다. "별칭 항" 개요에는 이원 교호작용이 포함되어 있습니다.

그림 15.23 Coffee Data.jmp 에 대한 별칭 행렬

별칭 행렬		효과	Grind*Temperature	Grind*Time	Grind*Charge	Temperature*Time	Temperature*Charge	Time*Charge
절편		0	0	0	0	0	0	0
Grind		0	0	0	0.333	-0.33	-0.33	-0.33
Temperature		0	0.333	-0.33	0	0	-0.33	-0.33
Time		0.333	0	-0.33	0	-0.33	0	0
Charge		-0.33	-0.33	0	-0.33	0	0	0
Station 1		-0.41	0	0	0	0	0.816	0
Station 2		0.707	0	0	0	0	0	0

별칭 행렬의 첫 번째 열에는 모형 항이 표시되어 행을 정의합니다. 별칭 항의 이원 교호작용이 위쪽에 나열되어 열을 정의합니다. 모형 효과 Temperature 를 예로 들어보겠습니다. Grind\*Time 교호작용만 활성 이원 교호작용인 경우, Temperature의 계수 추정값은 Grind\*Time 효과의 참 값보다 0.333 배만큼 편향됩니다. 다른 교호작용이 활성인 경우 "별칭 행렬"의 값은 Temperature 계수 추정값에 의해 발생하는 추가 편향의 크기를 나타냅니다.

## 상관 색상 맵

"상관 색상 맵"에는 "모형" 개요 또는 "별칭 항" 개요에 나타나는 두 효과 간의 절대 상관 값이 표시됩니다. 색상 맵의 셀은 맵 위에서 식별됩니다. "모형" 개요의 각 효과에 대한 셀과 "별칭 항" 개요의 각 효과에 대한 셀이 있습니다. 값이 작을수록 좋습니다.

기본적으로 절대 상관 크기는 흰색에서 회색, 검은색까지의 강도 색상 테마를 사용하여 나타냅니다. 일반적으로 좋은 설계의 색상 맵에는 흰색 비대각이 많이 표시되어 직교성 또는 개별 항 간의 상관이 적음을 나타냅니다. 효과 간의 절대 상관이 크면 추정값 표준 오차가 증가합니다.

두 효과 간의 절대 상관을 보려면 해당 셀을 커서로 가리킵니다. 색상 척도를 변경하려면 "상관 색상 맵"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **파랑-회색-빨강**을 선택합니다. 사용자 정의 색상 척도를 사용하려면 그림을 마우스 오른쪽 버튼으로 클릭하고 **색상 테마**를 선택합니다. 상관계수표를 저장하려면 범례 아래의 그림 오른쪽을 마우스 오른쪽 버튼으로 클릭하고 **상관계수표**를 선택합니다.

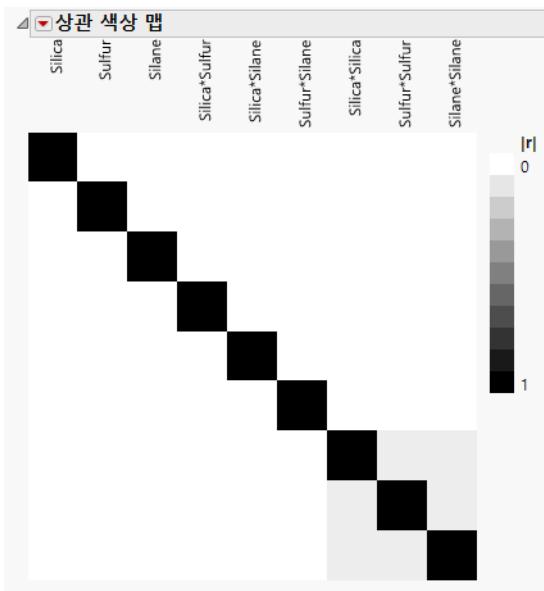
## 색상 맵의 예

그림 15.24에서는 Design Experiment 폴더에 있는 Bounce Data.jmp 샘플 데이터 테이블에 대한 "상관 색상 맵"을 보여 줍니다. 검은색은 절대 상관 1을 나타냅니다. 주대각의 검은색 셀은 모형 항 자체의 상관관계를 보여 줍니다.

다른 모든 셀은 흰색 또는 회색입니다. 회색 사각형은 2차 항 간의 상관에 해당합니다. 이 값을 보려면 각 회색 사각형을 커서로 가리킵니다. 다른 2차 항과의 절대 상관은 0.0714로 작습니다.

상관 측면에서 볼 때 이 설계는 양호합니다. 효과 상관관계가 높으면 반응에 영향을 주는 효과를 판별하기가 어렵습니다.

그림 15.24 상관 색상 맵



**팁 :** 상관계수표를 저장하려면 범례 아래의 그림 오른쪽을 마우스 오른쪽 버튼으로 클릭하고 **상 관계수표**를 선택합니다.

## 설계 진단

"설계 진단" 개요에서는  $D$  효율도,  $G$  효율도,  $A$  효율도 및 평균 예측 분산을 보여 줍니다. "변경"이 "어려움"이나 "매우 어려움"으로 설정된 요인 또는 "추정 가능성"이 "If Possible"로 지정된 효과를 포함하는 설계의 경우 이러한 진단이 표시되지 않습니다.

"설계 평가"가 아닌 다른 DOE 플랫폼에서 "설계 진단"에 액세스한 경우 설계를 생성하는 데 필요한 시간이 "설계 생성 시간"에 표시됩니다. 설계 평가 플랫폼에서 "설계 진단"에 액세스한 경우에는 설계 평가 플랫폼에서 결과를 계산하는 데 필요한 시간이 "설계 생성 시간"에 표시됩니다.

그림 15.25에서는 Design Experiment 폴더에 있는 Bounce Data.jmp 샘플 데이터 테이블에 대한 "설계 진단" 개요를 보여 줍니다.

그림 15.25 설계 진단 개요

설계 진단	
D 효율도	36.6429
G 효율도	47.76119
A 효율도	29.3578
예측 평균 분산	0.384722
설계 생성 시간(초)	0

**주의 :** 효율도 측도를 독자적으로 해석하면 안 됩니다. 그러나 설계를 비교할 때 사용할 수 있습니다. 두 가지 설계가 주어진 경우 효율도 측도가 높은 설계가 더 좋습니다. 모든 기준에 대한 최대 효율도는 100 이지만 많은 설계 문제로 인해 100% 효율도는 불가능합니다.

## 표기

아래에 나오는 효율도 측도에 대한 설명에 다음 표기가 사용됩니다.

- $\mathbf{X}$  는 모형 행렬입니다.
- $n$  은 설계의 런 수입니다.
- $p$  는 모형의 항 수입니다 (절편 포함).
- $Var(\hat{y}|\mathbf{x})$  는 점  $\mathbf{x}$ 에서의 상대 예측 분산입니다. 자세한 내용은 "기술 상세 정보" 부록의 "상대 예측 분산"(770 페이지)에서 확인하십시오.
- $Var(\hat{y}|\mathbf{x})_{max}$  는 설계 영역에 대한 최대 상대 예측 분산입니다.

## D 효율도

D- 최적 기준 관점에서 이상적 직교 설계의 효율도에 대한 설계 효율도입니다. D- 최적 설계는 회귀 계수 벡터에 대한 결합 신뢰 영역의 크기를 최소화합니다.

$$D\text{효율도} = 100 \left( \frac{1}{n} |\mathbf{X}'\mathbf{X}|^{1/p} \right)$$

## G 효율도

G- 최적 기준 관점에서 이상적 직교 설계의 효율도에 대한 설계 효율도입니다. G- 최적 설계는 설계 영역에 대한 최대 예측 분산을 최소화합니다.

$$G\text{효율도} = 100p / (nVar(\hat{y}|\mathbf{x})_{max})$$

D 가 설계 영역이라고 하면

$$Var(\hat{y}|\mathbf{x})_{max} = \underset{\mathbf{x} \text{ in } D}{\operatorname{maximum}} [\mathbf{x}'(\mathbf{X}'\mathbf{X})^{-1}\mathbf{x}]$$

**참고 :** G 효율도는 설계 공간의 몬테카를로 표집을 사용하여 계산됩니다. 따라서 같은 설계에 대한 계산이 약간 다를 수 있습니다.

## A 효율도

A- 최적 기준 관점에서 이상적 직교 설계의 효율도에 대한 설계 효율도입니다 . A- 최적 설계는 회귀 계수 분산의 합을 최소화합니다 .

$$A\text{-efficiency} = 100p/(n \text{Trace}(\mathbf{X}'\mathbf{X})^{-1})$$

## 예측 평균 분산

설계 공간의 점  $\mathbf{x}$ 에서 상대 예측 분산은 다음과 같이 정의됩니다 .

$$\text{Var}(\hat{y}|\mathbf{x}) = \mathbf{x}'(\mathbf{X}'\mathbf{X})^{-1}\mathbf{x}$$

이것은 예측 분산을 오차 분산으로 나눈 값입니다. 계산에 대한 자세한 내용은 Goos and Jones(2011)의 "Section 4.3.5"에서 확인하십시오.

---

**참고 :** 설계 영역이 선형 제약 조건 또는 허용되지 않는 조합에 의해 제약을 받는 경우 평균 예측 분산 값은 설계 공간 비율 그림의 예측 분산 값을 사용하여 계산됩니다 .

---

## 설계 생성 시간 (초)

설계 평가 플랫폼에서 결과를 계산하는 데 필요한 시간이 "설계 생성 시간"에 표시됩니다.

---

## 설계 평가 옵션

"설계 평가"의 빨간색 삼각형 메뉴에는 다음 옵션이 포함되어 있습니다 .

**고급 옵션 > 분할구 분산비**   오차 분산에 대한 랜덤 주구 분산 및 하위구 분산 ( 있는 경우 ) 의 비를 지정합니다. 이 값을 설정하려면 먼저 분할구 설계를 위한 변경하기 힘든 요인 또는 분할-분할구 설계를 위한 변경하기 힘든 요인과 매우 변경하기 힘든 요인을 정의해야 합니다. 그런 다음 분할구 설계를 지정했는지 아니면 분할 - 분할구 설계를 지정했는지에 따라 분산 비율에 하나 또는 두 개의 양수를 입력할 수 있습니다 .

**고급 옵션 > 검정력을 위한 멜타 설정**   감지할 차이에 대한 값을 지정합니다. 이 값은 "검정력 분석" 보고서의 "예상 계수"에 적용됩니다. 연속형 효과에 대한 "예상 계수" 값은 멜타 /2로 설정됩니다. 범주형 효과의 경우 멜타 /2 와 - 멜타 /2 값이 교대로 나타납니다. 검정력 분석에 대한 자세한 내용은 "검정력 분석" (419 페이지)에서 확인하십시오 .

기본적으로 멜타는 2로 설정됩니다. 따라서 "예상 계수" 기본값은 연속형 효과의 경우 1이고 범주형 효과의 경우 1과 -1이 교대로 나타납니다. 멜타가 2일 때 예상 계수로 입력되는 기본값의 특성은 다음과 같습니다 .

- 수치형 효과에 대한 검정력 계산에서는 요인이 설계 영역의 가장 낮은 설정에서 가장 높은 설정으로 변경될 때 선형 주효과로 인한 반응 평균의 멜타 변화를 가정합니다 .

- 2 수준 범주형 요인과 관련된 모수에 대한 검정력 계산에서는 전체 요인 수준에서 반응 평균의 델타 변화를 가정합니다.
- 수준이 3개 이상인 범주형 효과에 대한 검정력 계산은 모든 수준의 반응 평균이 동일하다는 귀무가설에 대한 다중 자유도 F 검정을 기반으로 합니다. 예상 계수에 의해 결정된 반응 평균의 값으로 검정력이 계산됩니다. 예상 계수의 다양한 구성으로 수준의 차이를 델타 값만큼 정의할 수 있습니다. 그러나 이러한 구성의 검정력 값은 다른 수준의 예상 계수에 따라 달라집니다.

**스크립트를 스크립트 창에 저장** "설계 평가" 창을 재현하는 스크립트를 생성한 후 열린 스크립트 창에 저장합니다.

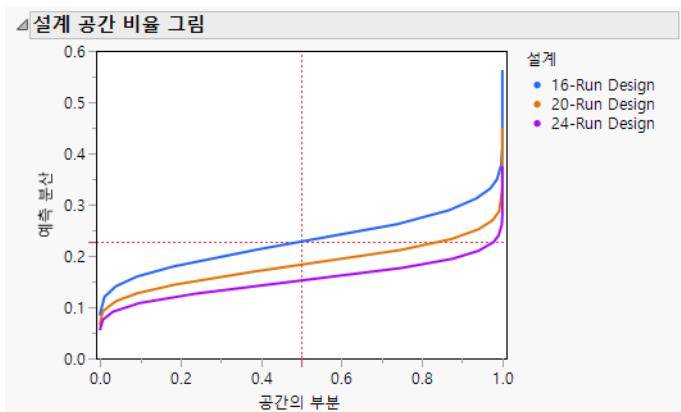


# 16 장

## 설계 비교 설계를 동시에 비교 및 평가

설계 비교 플랫폼은 최대 4개의 설계를 참조 설계와 비교합니다. 이 플랫폼을 사용하여 설계 성능을 탐색, 평가 및 비교할 수 있습니다. 진단 결과는 설계 작동 상태를 독립적 방식 및 서로 상대적인 방식으로 나누어 보여 줍니다. 특정 요구 사항에 관하여 설계를 비교하기 위해 가정된 모형 및 별칭 항 목록에서 항을 변경할 수 있습니다.

그림 16.1 런 크기가 다른 세 가지 설계 비교



## 목차

설계 비교 플랫폼 개요	439
설계 비교의 예	439
런 크기가 같은 설계	439
런 크기가 다른 설계	444
주구 수가 다른 분할구 설계	447
설계 비교 플랫폼 시작	451
설계 비교 창 : 모형 및 별칭 항 지정	453
참조 설계	454
요인	454
모형	454
별칭 항	454
설계 비교 창 : 설계 평가	454
검정력 분석	455
예측 분산 프로파일	458
설계 공간 비율 그림	460
상대 추정 효율도	461
별칭 행렬 요약	463
절대 상관	464
설계 진단	466
설계 비교 옵션	468

## 설계 비교 플랫폼 개요

설계 평가 플랫폼의 확장인 설계 비교 플랫폼을 사용하면 최대 4개의 설계를 참조 설계와 쉽게 비교할 수 있습니다. 하나 또는 두 설계의 성능을 다른 설계와 비교하려면 기준 설계로 간주되는 참조 설계를 선택합니다. "모형" 개요에서 효과를 지정하고 "별칭 항" 개요에서 관심 효과를 지정할 수 있습니다.

"설계 평가" 보고서는 다음 항목에 대한 진단 결과 및 그림을 보여 줍니다.

- 검정력 분석
- 예측 분산
- 설계 공간 비율
- 상대 추정 효율도
- 별칭 행렬 진단
- 효과 간 상관 (교락 포함)
- 전체 설계에 대한 상대 효율도 측도

## 설계 비교의 예

- "런 크기가 같은 설계"
- "런 크기가 다른 설계"
- "주구 수가 다른 분할구 설계"

### 런 크기가 같은 설계

이 예에서는 각각 13회 런을 수행하는 6개 요인에 대한 두 설계를 비교합니다. 하나는 단일 중앙 점을 사용하여 확대된 12회 런 PB(Plackett-Burman) 설계이고 다른 하나는 DSD(확증적 선별 설계)입니다.

### 주효과만 비교

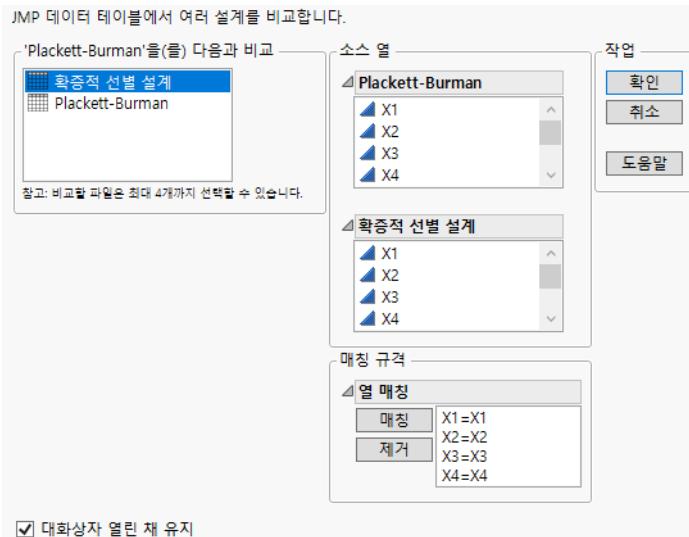
먼저 추정할 모형에 주효과만 포함된 경우를 가정하고 두 설계를 비교합니다.

1. 도움말 > 샘플 데이터를 선택하고 샘플 스크립트 디렉터리 열기를 클릭한 후 Compare Same Run Size.jsl 을 선택합니다.
2. 스크립트 창을 마우스 오른쪽 버튼으로 클릭하고 스크립트 실행을 선택합니다.

"확증적 선별 설계" 와 "Plackett-Burman" 이라는 13 회 런 설계 테이블 두 개가 구성됩니다. 이 두 설계를 비교하려고 합니다. Plackett-Burman 테이블이 활성화되어 있으므로 이 설계를 참조 설계로 사용하여 DSD 를 비교합니다.

3. "Plackett-Burman" 데이터 테이블에서 **DOE > 설계 진단 > 설계 비교**를 선택합니다.
4. '**Plackett-Burman**' 을 (를) 다음과 비교 목록에서 확증적 선별 설계를 선택합니다.
5. "Plackett-Burman" 패널과 "확증적 선별 설계" 패널에서 X1 ~ X6 을 선택합니다.
6. "열 매칭" 개요를 열고 **매칭**을 클릭합니다.

**그림 16.2** 매칭된 열이 있는 시작 창

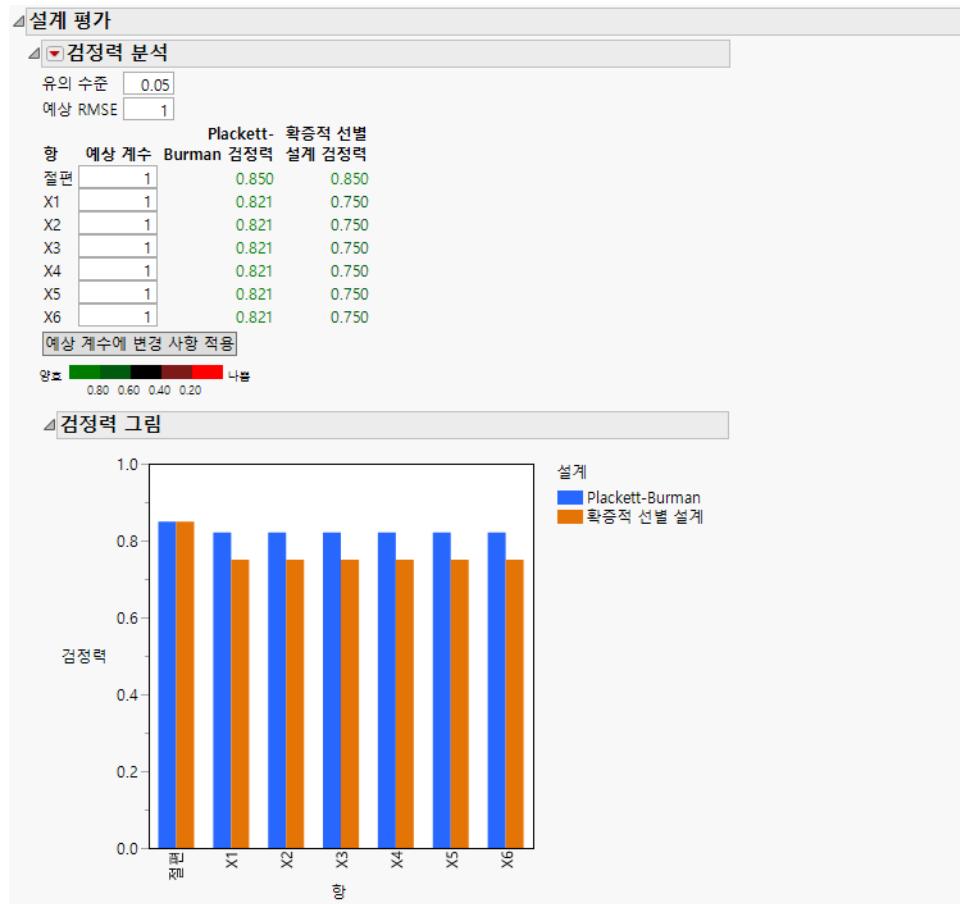


이렇게 하면 두 설계의 요인 간에 대응 관계가 정의됩니다.

7. **확인**을 클릭합니다.

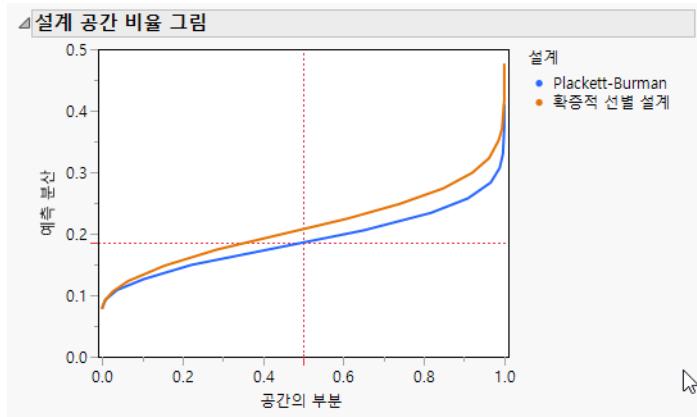
참조 설계는 Plackett-Burman 설계입니다. "설계 평가" 개요에서 비교 지표로 PB 와 DSD 를 비교합니다. 검정력, 예측 분산, 추정 효율도, 별칭 구조 및 설계 효율도 측도를 기준으로 설계가 비교됩니다.

그림 16.3 PB 와 DSD 비교를 위한 검정력 분석



검정력, 예측 분산 및 추정 효율도 측면에서 PB 설계가 DSD 보다 우수합니다. 그림 16.3에서는 유의 수준, 예상 RMSE 및 계수가 기본 설정으로 지정된 "검정력 분석" 보고서를 보여 줍니다. 주효과 검정의 경우 PB 설계가 DSD 보다 검정력이 높습니다.

**그림 16.4 PB 와 DSD 비교를 위한 설계 공간 비율 그림**



"설계 공간 비율 그림"은 전체 설계 공간에서 PB 설계가 DSD 보다 예측 분산이 작음을 나타냅니다.

주효과만 활성인 것으로 의심되는 경우 PB 설계가 적합하다고 결론을 내릴 수 있습니다.

### 이원 교호작용 비교

이제 일부 이원 교호작용이 활성 효과일 수 있다고 의심하는 경우를 가정해 보겠습니다. 아래 분석에서는 해당 이원 교호작용이 실제로 활성일 경우 PB 가 DSD 보다 적합하지 않다는 것을 보여줍니다.

1. "절대 상관" 보고서에서 "상관 색상 맵" 보고서를 열고 아래의 색상 맵 보고서를 엽니다.

**그림 16.5 PB 와 DSD 비교를 위한 색상 맵**

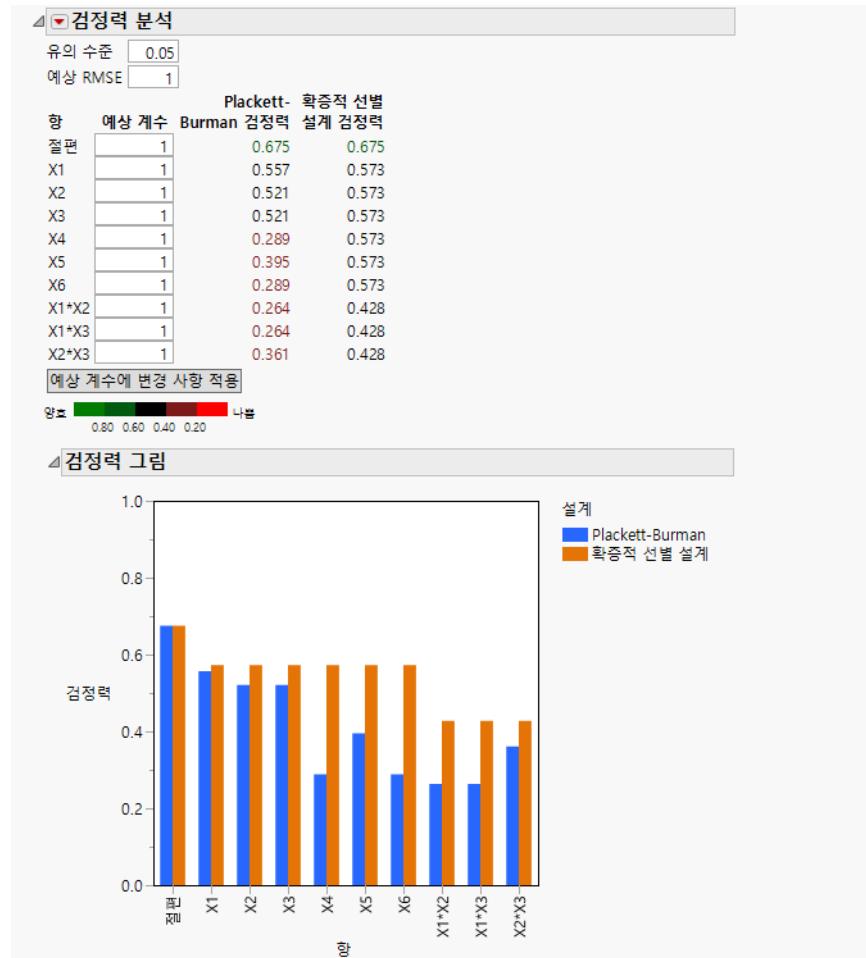


"상관 색상 맵" 그림을 보면 PB 설계에서는 주효과와 이원 교호작용이 별개 관계를 가집니다. 반면에 DSD에서는 주효과와 이원 교호작용이 별개 관계를 갖지 않습니다.

일부 이원 교호작용이 활성인 경우 설계를 비교하는 방법에 대해 더 자세히 알아보려면 "모형" 개요에서 이원 교호작용을 추가합니다.

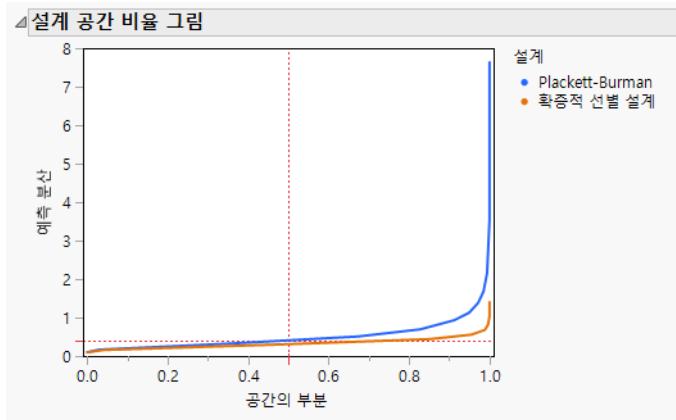
2. "요인" 개요에서 X1 ~ X3 을 선택합니다.
3. "모형" 개요에서 **교호작용 > 2 차**를 선택합니다.

**그림 16.6** 교호작용이 있는 PB 와 DSD 비교를 위한 검정력 분석



"항" 목록에 세 가지 이원 교호작용이 표시됩니다. 이러한 이원 교호작용이 활성이면 모든 효과에서 검정력을 비교할 때 DSD 가 PB 보다 성능이 우수합니다.

그림 16.7 교호작용이 있는 PB 와 DSD 비교를 위한 예측 분산



또한 모형의 세 가지 교호작용에 대한 예측 분산을 보면 DSD 가 PB 설계보다 우수합니다. 다른 보고서를 탐색하여 잠재적 활성 교호작용이 있을 때 DSD 가 더 적합하다는 것을 확인할 수 있습니다.

## 런 크기가 다른 설계

이 예에서는 런 크기가 각각 16, 20, 24 인 세 가지 설계를 비교합니다. 주효과 모형에 대한 설계가 구성됩니다. 설계 비교 플랫폼을 사용하면 런 크기가 클 때 얻을 수 있는 잠재적 이점이 추가 리소스 비용을 감수할 만큼 가치가 있는지 확인할 수 있습니다.

1. 도움말 > 샘플 데이터를 선택하고 샘플 스크립트 디렉터리 열기를 클릭한 후 Compare Three Run Sizes.jsl 을 선택합니다.
2. 스크립트 창을 마우스 오른쪽 버튼으로 클릭하고 스크립트 실행을 선택합니다.

사용자 설계를 사용하여 다음 세 가지 설계 테이블이 구성됩니다. 여기에는 주효과만 "모형" 개요의 항목으로 포함됩니다.

- 16-Run Design
- 20-Run Design
- 24-Run Design

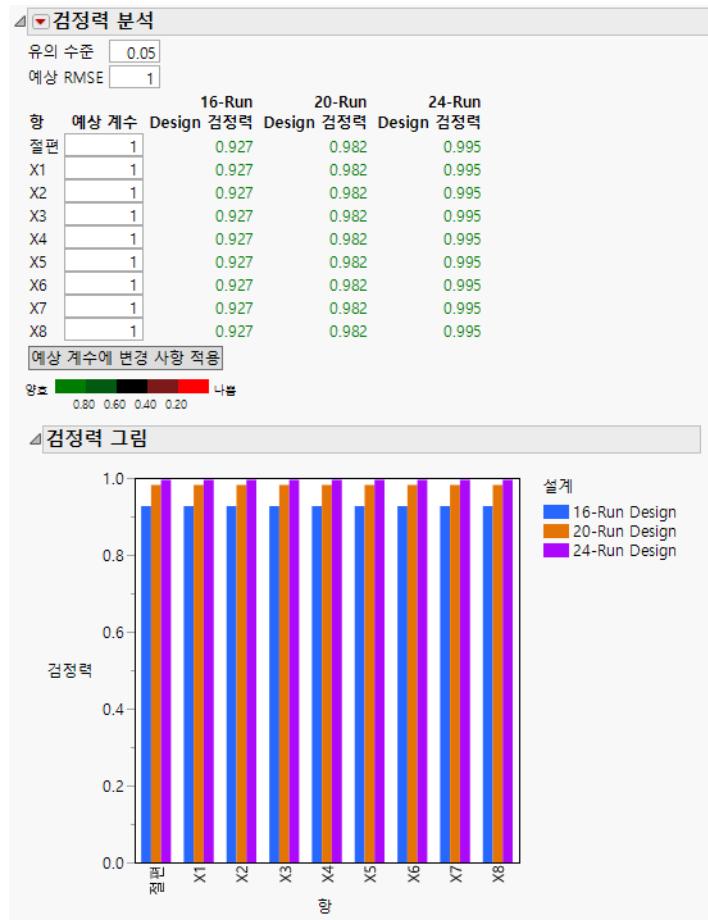
이 세 가지 설계를 비교하려고 합니다. 16-Run Design 테이블이 활성화되어 있습니다.

3. 16-Run Design 데이터 테이블에서 DOE > 설계 진단 > 설계 비교를 선택합니다.
4. '16-Run Design' 을 (를) 다음과 비교 목록에서 20-Run Design 과 24-Run Design 을 선택합니다.

각 설계에 대한 패널이 시작 창에 추가됩니다. JMP 는 세 가지 설계 테이블에 나타나는 순서에 따라 자동으로 열을 매칭합니다.

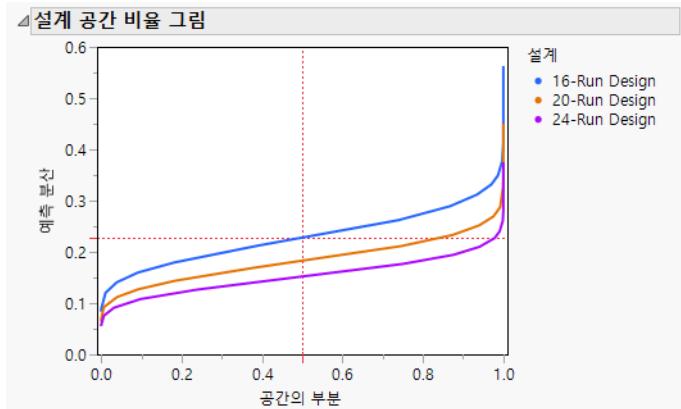
5. 확인을 클릭합니다.

그림 16.8 검정력 분석 비교



계수가 "예상 RMSE"의 차수인 경우 세 가지 설계 모두 주효과를 감지할 수 있는 검정력이 높습니다.

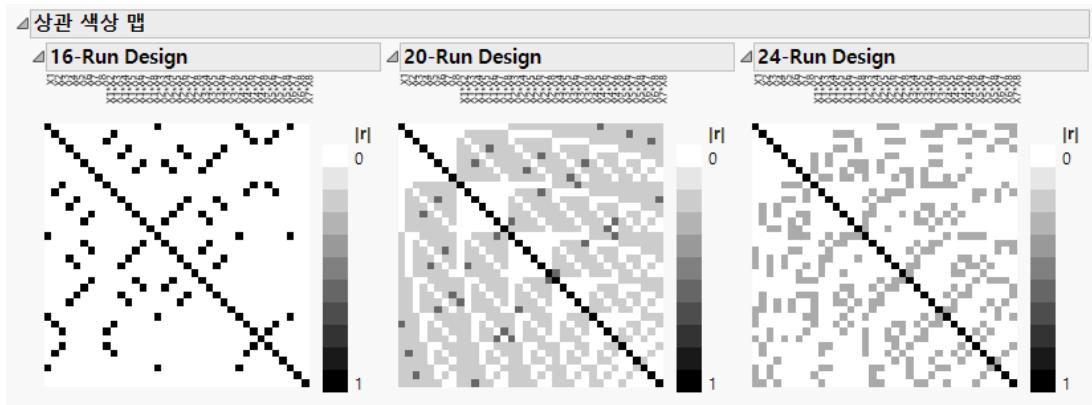
그림 16.9 설계 공간 비율 비교



전체 설계 공간에 대한 예측 분산을 보면 예상대로 24 회 런 설계가 다른 두 설계보다 우수합니다. 20 회 런 설계는 16 회 런 설계보다 우수합니다.

6. "절대 상관" 보고서에서 "상관 색상 맵" 보고서를 열고 아래 3개의 색상 맵 보고서를 엽니다.

그림 16.10 상관 색상 맵 비교



16 회 런 설계의 "상관 색상 맵"은 일부 주효과와 일부 2 요인 교호작용 간의 교란 및 2 요인 교호작용의 교란이 있음을 나타냅니다.

20 회 런 설계의 "상관 색상 맵"은 일부 주효과와 일부 2 요인 교호작용 간의 상관 및 일부 2 요인 교호작용 간의 상관이 크다는 것을 나타냅니다.

24 회 런 설계는 주효과와 2 요인 교호작용 간의 상관 및 2 요인 교호작용 간의 상관이 중간 정도로 보통이라는 것을 나타냅니다.

그림 16.11 절대 상관 비교

▣ 절대 상관			
모형 x 모형	평균 상관	교락 수	쌍 수
16-Run Design	0.000	0	28
20-Run Design	0.000	0	28
24-Run Design	0.000	0	28
모형 x 별칭	평균 상관	교락 수	쌍 수
16-Run Design	0.094	21	224
20-Run Design	0.166	0	224
24-Run Design	0.098	0	224
별칭 x 별칭	평균 상관	교락 수	쌍 수
16-Run Design	0.056	21	378
20-Run Design	0.121	0	378
24-Run Design	0.085	0	378
양호	0.10 0.30 0.50 0.70	나쁨	

" 절대 상관 " 테이블에는 " 상관 색상 맵 " 에 표시된 정보가 요약됩니다 . 세 가지 설계 모두 주효과만으로 모형이 구성되고 별칭 행렬에 2 요인 교호작용이 포함됩니다 .

16 회 런 설계의 경우 테이블의 " 모형 x 별칭 " 부분은 주효과와 2 요인 교호작용 간의 교락이 9 개 있음을 나타냅니다 . " 별칭 x 별칭 " 부분은 6 개의 2 요인 교호작용이 교락되어 있음을 나타냅니다 .

그림 16.12 설계 진단 비교

▣ 설계 진단	
20-Run Design에 상대적인 16-Run Design의 효율도	24-Run Design에 상대적인 16-Run Design의 효율도
D 효율도	0.800
G 효율도	0.800
A 효율도	0.800
I 효율도	0.800
추가 런 크기	-4
양호	1.50 1.25 0.80 0.67
나쁨	-8

" 설계 진단 " 보고서는 여러 가지 효율도 측도에 관해 16 회 런 설계의 효율도를 20 회 런 설계 및 24 회 런 설계와 모두 비교합니다 . 상대 효율도 값이 1 을 초과하면 주어진 측도에 대해 참조 설계가 바람직하다는 것을 나타냅니다 . 값이 1 보다 작으면 참조 설계와 비교되는 설계가 바람직하다는 것을 나타냅니다 . 16 회 런 설계는 모든 지표에서 다른 두 설계보다 효율도가 낮으므로 더 큰 설계가 바람직하다는 것을 나타냅니다 .

## 주구 수가 다른 분할구 설계

이 예에서는 주구 수가 다른 두 분할구 설계를 비교합니다 . 다음과 같은 세 요인에 대한 설계입니다 .

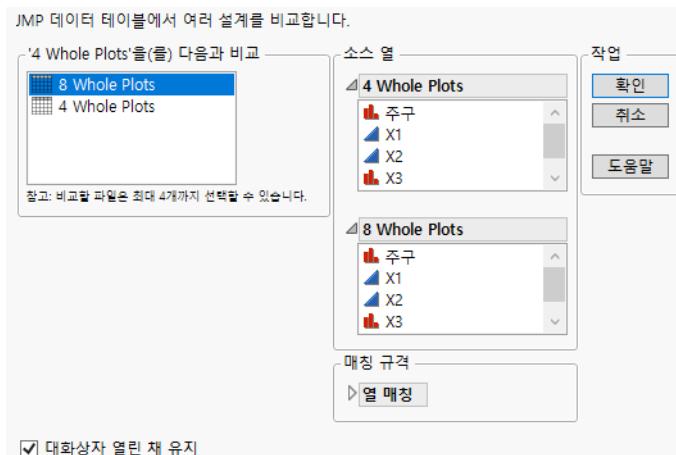
- 변경하기 힘든 연속형 요인
- 변경하기 쉬운 연속형 요인
- 변경하기 쉬운 3 수준 범주형 요인

설계는 모든 2요인 교호작용을 가정된 모형에 포함합니다. 20회 런이 가능하고 4개 또는 8개의 주구를 사용하여 비교하려고 합니다.

### 설계 비교 시작

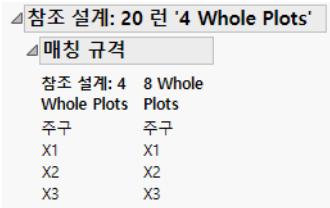
- 도움말 > 샘플 데이터를 선택하고 샘플 스크립트 디렉터리 열기를 클릭한 후 Compare Split Plots.jsl 을 선택합니다.
- 스크립트 창을 마우스 오른쪽 버튼으로 클릭하고 스크립트 실행을 선택합니다.  
사용자 설계를 사용하여 다음 두 설계 테이블이 구성됩니다.
  - 4 Whole Plots
  - 8 Whole Plots
 이 두 설계를 비교하려고 합니다. 4 Whole Plots 테이블이 활성화되어 있습니다.
- 4 Whole Plots 테이블에서 DOE > 설계 진단 > 설계 비교를 선택합니다.
- '4 Whole Plots' 을 (를) 다음과 비교 목록에서 8 Whole Plots 를 선택합니다.  
이 설계에 대한 패널이 시작 창에 추가됩니다. JMP는 두 설계 테이블에 나타나는 순서에 따라 자동으로 열을 매칭합니다.

**그림 16.13** 완료된 시작 창



5. 확인을 클릭합니다.
6. "참조 설계 : 20 런 '4 Whole Plots'" 아래의 매칭 규격 개요를 엽니다.

### 그림 16.14 분할구 설계를 위한 매칭 규격

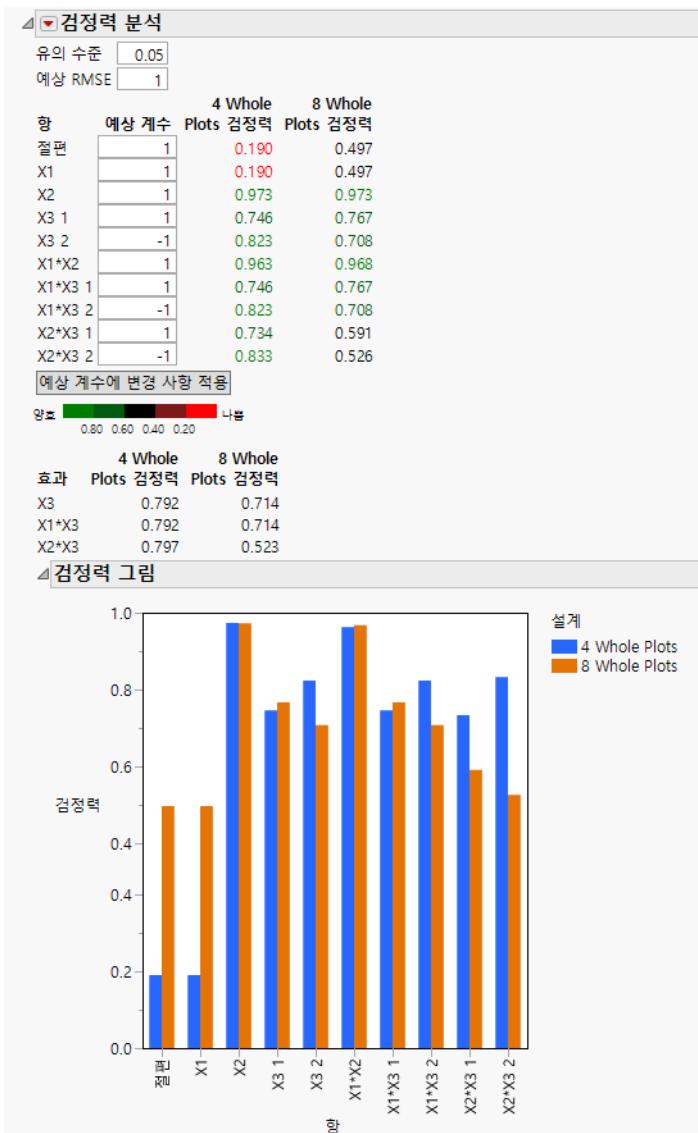


"주구" 열은 설계의 일부로 입력됩니다. 설계 비교를 수행하려면 주구 구조를 알아야 하므로 이 열이 필요합니다.

### 보고서 검토

"설계 평가" 보고서는 두 설계를 비교하는 다양한 진단 결과를 제공합니다.

그림 16.15 두 분할구 설계에 대한 검정력 분석



"검정력 분석" 보고서는 주구 요인 X1에 대한 검정력의 경우 4 주구 설계(0.19)가 8 주구 설계(0.497)보다 훨씬 작습니다. 그러나 4 주구 설계는 분할구 효과, 특히 두 분할구 요인의 교호작용 X2\*X3을 감지할 수 있는 검정력(0.797)이 다른 설계(0.523)보다 높습니다. 결합 효과 X2\*X3에 대한 검정력은 색상 막대 및 범례 아래에 제공됩니다.

그림 16.16 분할구 설계를 비교하는 상대 추정 효율도



"상대 추정 효율도" 보고서는 X1의 상대 추정 효율도가 0.778임을 보여 줍니다. 이는 X1의 표준 오차가 8 주구 설계보다 4 주구 설계에서 현저히 크다는 것을 나타냅니다.

"추정값의 상대 표준 오차" 보고서를 엽니다. 4 주구 설계에서 X1의 상대 표준 오차가 0.553이고 8 주구 설계의 오차는 0.43임을 확인할 수 있습니다.

"상대 추정 효율도" 보고서에서 X2\*X3 2의 상대 추정 효율도는 1.449이며, 이는 X2\*X3 2와 관련된 모수의 표준 오차가 4 주구 설계보다 8 주구 설계에서 현저히 크다는 것을 나타냅니다.

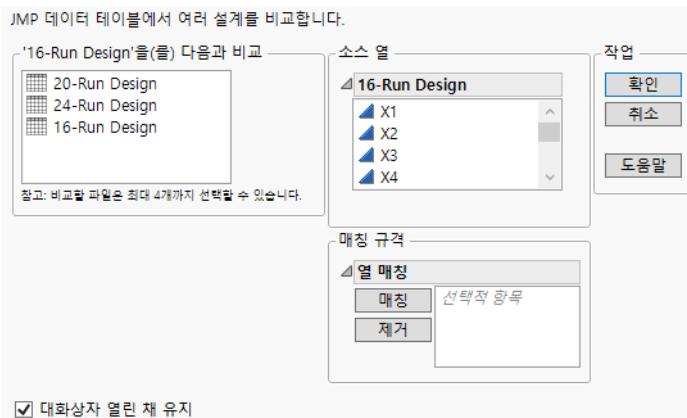
"검정력 분석" 및 "상대 추정 효율도" 보고서는 설계 선택이 주구 효과 X1 감지의 중요성과 관련이 있음을 나타냅니다. 8 주구 설계를 사용하면 주구 효과를 더 잘 감지할 수 있습니다. 4 주구 설계는 범주형 변수를 포함하는 분할구 효과를 감지하는 데 약간 더 좋습니다.

## 설계 비교 플랫폼 시작

**DOE > 설계 진단 > 설계 비교**를 선택하여 설계 비교 플랫폼을 시작합니다. 열려 있는 모든 데이터 파일이 왼쪽 목록에 나타납니다. 활성 데이터 파일과 열은 "소스 열" 패널에 나타납니다. 초기 "소스 열" 패널의 설계는 참조 설계, 즉 다른 설계와 비교되는 설계입니다. 참조 설계와 비교할 설계를 추가하면 해당 열이 참조 설계 패널 아래의 패널에 나타납니다.

그림 16.17 에서는 "런 크기가 다른 설계"(444 페이지) 의 세 가지 설계에 대한 시작 창을 보여 줍니다.

**그림 16.17** 설계 비교 시작 창



### 설계 테이블 선택

왼쪽 목록에서 최대 4 개의 설계 테이블을 선택합니다.

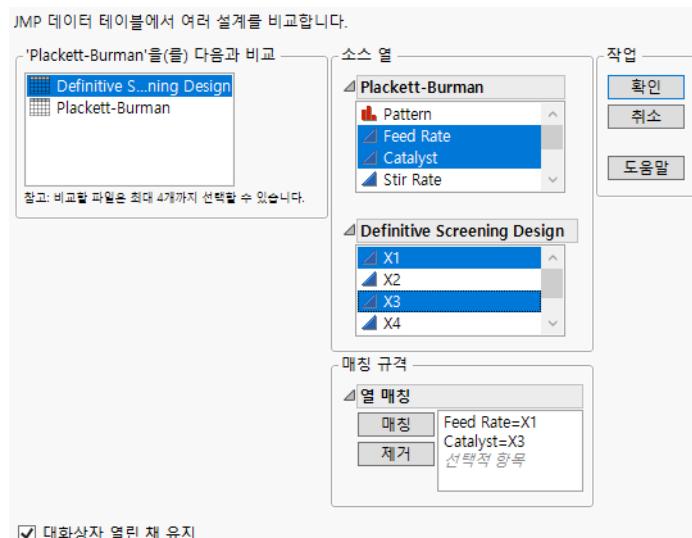
- 여러 설계를 참조 설계와 비교하려면 왼쪽 목록에서 해당 설계 테이블을 동시에 선택해야 합니다.
- "소스 열" 목록에서 하나 이상의 설계를 바꾸려면 왼쪽의 목록에서 원하는 테이블을 선택합니다. 그러면 참조 설계 테이블 아래의 설계 테이블이 바뀝니다.

**참고 :** 참조 설계 테이블을 자체적으로 비교할 수 있으며 이렇게 하면 요인에 대한 설계 열 할당을 탐색할 때 유용합니다.

### 열 매칭

"열 매칭" 패널에서 각 설계 테이블의 열 중 서로 일치하는 열을 지정합니다. 열을 매칭하려면 "소스 열" 목록의 각 설계 테이블에서 매칭할 열을 선택한 후 "매칭"을 클릭합니다.

그림 16.18 매칭 할 열 선택



- 각 목록의 단일 열을 매칭하려면 각 목록에서 단일 열을 선택한 후 "매칭"을 클릭합니다.
- 각 목록에서 올바른 매칭 순서로 나타나는 여러 열을 매칭하려면 각 목록에서 해당 열을 선택합니다. "매칭" 버튼을 클릭합니다. 그러면 목록 순서대로 매칭됩니다(그림 16.18 참조). 이 예에서 Feed Rate는 X1과 매칭되고 Catalyst는 X3과 매칭됩니다.
- 목록에 같은 수의 열이 있는 경우 목록에 나오는 순서대로 매칭하려면 "매칭"을 클릭할 필요가 없습니다. "확인"을 클릭하여 시작 창이 실행되면 JMP에서 열을 목록에 나오는 순서대로 자동 매칭합니다. 보고서의 "매칭 규격" 개요에서 매칭을 검토할 수 있습니다.

## 설계 비교 창 : 모형 및 별칭 항 지정

"설계 비교" 창은 다음과 같은 두 가지 개요 집합으로 구성됩니다.

- "요인", "모형" 및 "별칭 항" 개요를 사용하여 모형에 있는 효과와 잠재적 활성 효과를 지정합니다.
- "설계 평가" 개요의 진단을 사용하여 설계를 비교합니다. "모형" 및 "별칭 항" 개요에서 변경한 내용은 "설계 평가" 보고서에 업데이트됩니다.

"설계 비교" 보고서는 참조 설계의 열 이름을 사용합니다.

이 섹션에서는 "참조 설계", "요인", "모형" 및 "별칭 항" 개요에 대해 설명합니다. "설계 평가" 개요에 대한 설명은 "설계 비교 창: 설계 평가"(454 페이지)에서 확인하십시오.

## 참조 설계

참조 설계에 대한 창 이름이 개요 제목에 나타납니다. "매칭 규격" 개요에는 시작 창에 입력한 규격이 나열됩니다.

## 요인

"요인" 개요를 사용하여 "모형" 및 "별칭 항" 목록에 효과를 추가합니다.

"요인" 개요에는 참조 설계의 열 이름과 코드화된 값을 사용하여 요인이 나열됩니다. 주구 및 하위구 열은 요인이 아니므로 "요인" 개요에 나타나지 않습니다. 그러나 이 열은 분석을 위해 필요합니다.

## 모형

모형에 있어야 한다고 생각되는 효과에 대해 설계를 비교하기 위해 효과를 추가하거나 제거합니다. 초기에는 참조 설계 테이블의 "모형" 스크립트에 있는 효과 및 비교되는 모든 설계에서 추정하는 효과가 "모형" 개요에 나열됩니다. 참조 설계 테이블에 "모형" 스크립트가 없는 경우에는 비교되는 모든 설계에서 추정할 수 있는 주효과만 "모형" 개요에 표시됩니다. 효과를 추가하고 제거하는 방법에 대한 자세한 내용은 "설계 평가" 장의 ["모형"](#)(417페이지)에서 확인하십시오.

---

**참고 :** 설계가 과포화되어 추정할 모수의 수가 런 수를 초과하면 추정할 수 있는 효과 집합만 "모형" 개요에 나열됩니다.

---

## 별칭 항

활성 가능성성이 있는 효과에 대해 설계를 비교하기 위해 효과를 추가하거나 제거합니다. 초기에는 "모형" 개요에 없는 모든 2요인 교호작용이 "별칭 항" 개요에 포함됩니다. 이 개요의 효과는 "별칭 행렬 요약" 및 "절대 상관" 개요의 계산에 영향을 줍니다. 자세한 내용은 ["별칭 행렬 요약"](#)(463페이지) 및 ["절대 상관"](#)(464페이지)에서 확인하십시오.

효과를 추가하고 제거하는 방법에 대한 자세한 내용은 "설계 평가" 장의 ["별칭 항"](#)(418페이지)에서 확인하십시오.

---

## 설계 비교 창 : 설계 평가

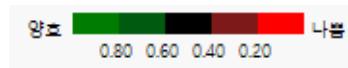
- "검정력 분석"
- "예측 분산 프로파일"
- "설계 공간 비율 그림"
- "상대 추정 효율도"

- "별칭 행렬 요약"
- "절대 상관"
- "설계 진단"

### 색상 대시보드

"설계 평가"의 몇몇 개요는 색상 막대에 따라 색상이 적용된 값(설계)을 보여 줍니다. 색상은 진단 측도에 적용되며 양호한 동작 또는 나쁜 동작을 반영하는 값(설계)을 확인하는 데 도움이 됩니다. 범례 값을 편집하여 양호한 동작과 나쁜 동작의 정의를 반영하는 색상을 적용할 수 있습니다.

**그림 16.19** 색상 대시보드



개요의 빨간색 삼각형 메뉴에서 다음 두 옵션을 선택하거나 색상 막대를 마우스 오른쪽 버튼으로 클릭하여 색상 막대를 수정할 수 있습니다.

**범례 값 표시** 색상 막대 아래에 나타나는 값을 표시하거나 숨깁니다.

**범례 값 편집** 색상을 정의하는 값을 지정합니다.

### 검정력 분석

검정력은 주어진 크기의 활성 효과를 감지할 확률입니다. "검정력 분석" 보고서는 설계에서 실제적으로 중요한 효과를 감지하는 능력을 평가하고 비교하는 데 도움이 됩니다. 각 설계의 "검정력 분석" 보고서는 "모형" 개요에 있는 효과에 대한 검정력을 계산합니다.

"검정력 분석" 보고서는 개별 모형 모두 및 전체 효과에 대한 검정력을 제공합니다. 또한 "검정력 그림"과 "검정력과 표본 크기 비교" 그림도 제공합니다.

검정력은 런 수, 유의 수준 및 추정 오차 변동에 따라 달라집니다. 검정력을 계산하는 방법에 대한 자세한 내용은 "기술 상세 정보" 부록의 "검정력 계산"(768페이지)에서 확인하십시오.

그림 16.20 세 가지 설계에 대한 검정력 분석 개요

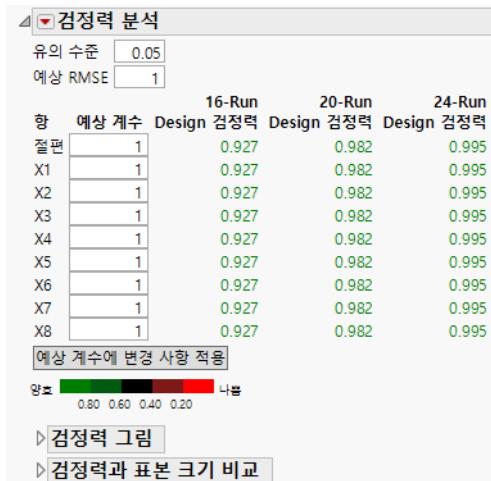


그림 16.20에서는 "런 크기가 다른 설계"(444페이지)에서 구성한 세 가지 설계의 "검정력 분석" 개요를 보여 줍니다. 두 가지 이원 교호작용이 "모형" 개요에 추가되었습니다.

## 검정력 분석 보고서

"유의 수준" 및 "예상 RMSE"에 값을 지정하면 모형 모수에 대한 검정력을 계산할 때 이 값이 사용됩니다. 감지할 차이를 반영하는 계수 값을 "예상 계수"로 입력합니다. 모든 설계의 결과를 업데이트하려면 "예상 계수에 변경 사항 적용"을 클릭합니다.

**유의 수준** 효과가 없다는 가설이 참인 데도 이를 기각할 확률입니다. 값을 입력하면 검정력 계산이 즉시 업데이트됩니다.

**예상 RMSE** 오차 변동의 제곱근에 대한 추정값입니다. 값을 입력하면 검정력 계산이 즉시 업데이트됩니다.

"예상 계수에 변경 사항 적용" 버튼 아래에 나오는 색상 그래디언트에 따라 검정력 값에 색상이 적용됩니다. "검정력 분석"의 빨간색 삼각형 메뉴 옵션을 사용하여 색상 범례를 제어할 수 있습니다. 자세한 내용은 "색상 대시보드"(455페이지)에서 확인하십시오.

검정력 그림에 대한 자세한 내용은 "검정력 그림"(457페이지)에서 확인하십시오.

---

**참고 :** 설계가 과포화되어 추정할 모수의 수가 런 수를 초과하면 추정할 수 있는 효과 집합만 "검정력 분석" 개요에 나열됩니다.

## 개별 모수 검정

" 항 " 열에는 모형 항이 나열됩니다. 각 항의 " 예상 계수 " 열에는 해당 항의 값이 포함됩니다. " 검정력 " 값은 예상 계수에 의해 계수의 참 값이 주어진 경우 해당 항의 계수가 0이라는 검정의 검정력입니다. 이때 설계 및 " 모형 " 개요의 항이 제공됩니다.

**항** 검정 대상 계수와 관련된 모형 항입니다.

**예상 계수** 모형 항과 관련된 계수의 값입니다. 이 값은 검정력 계산에 사용됩니다. " 예상 계수 " 열에 새 값을 설정하는 경우 **예상 계수에 변경 사항 적용**을 클릭하여 " 검정력 " 계산을 업데이트합니다.

---

**참고 :** 연속형 효과에 대한 예상 계수의 기본값은 1입니다. 범주형 효과의 경우에는 1 과 -1 값이 교대로 나타납니다.

---

**검정력** 지정된 예상 계수에 의해 계수의 참 값이 주어진 경우 효과가 없다는 귀무가설을 기각할 확률입니다.

- 수치형 요인과 관련된 계수의 경우 상한 설정에서 하한 설정까지 평균 반응의 변화 ( 모형 기반 ) 는 계수 값의 두 배입니다 .
- 범주형 요인과 관련된 계수의 경우 전체 요인 수준에서 평균 반응의 변화 ( 모형 기반 ) 는 예상 계수 절대값의 두 배와 같습니다 . 범주형 요인의 검정력에 대한 자세한 내용은 "[수준이 세 개 이상인 범주형 효과 검정](#)"(457 페이지 ) 에서 확인하십시오 .

지정된 유의 수준과 예상 RMSE 가 계산에 사용됩니다. 검정력 계산에 대한 자세한 내용은 "[기술 상세 정보](#)" 부록의 "[단일 모수에 대한 검정력](#)"(768 페이지 ) 에서 확인하십시오 .

**예상 계수에 변경 사항 적용** " 예상 계수 " 열에 새 값을 설정하는 경우 **예상 계수에 변경 사항 적용** 을 클릭하여 " 검정력 " 값을 업데이트합니다.

## 수준이 세 개 이상인 범주형 효과 검정

수준이 세 개 이상인 범주형 효과가 모형에 포함된 경우 " 예상 계수에 변경 사항 적용 " 버튼 아래에 다음 열이 나타납니다 .

**효과** 범주형 효과입니다.

**검정력** 효과 없음 검정에 대한 검정력 계산입니다. 검정의 귀무가설은 효과에 해당하는 모든 모형 모수가 0이라는 것입니다. 감지할 차이는 " 예상 계수 " 열에서 효과의 모형 항에 해당하는 값으로 정의됩니다. 검정력 계산은 예상 계수에 의해 결정된 반응 평균의 차이를 반영합니다.

지정된 유의 수준과 예상 RMSE 가 계산에 사용됩니다. 검정력 계산에 대한 자세한 내용은 "[기술 상세 정보](#)" 부록의 "[범주형 효과에 대한 검정력](#)"(769 페이지 ) 에서 확인하십시오 .

## 검정력 그림

"검정력 그림"은 검정력 분석의 검정력 값을 그래픽 형식으로 보여 줍니다. 이 그림은 각 효과 및 각 설계에 대한 검정력을 병렬 막대 차트로 표시합니다.

그림 16.21 세 가지 설계에 대한 검정력 그림

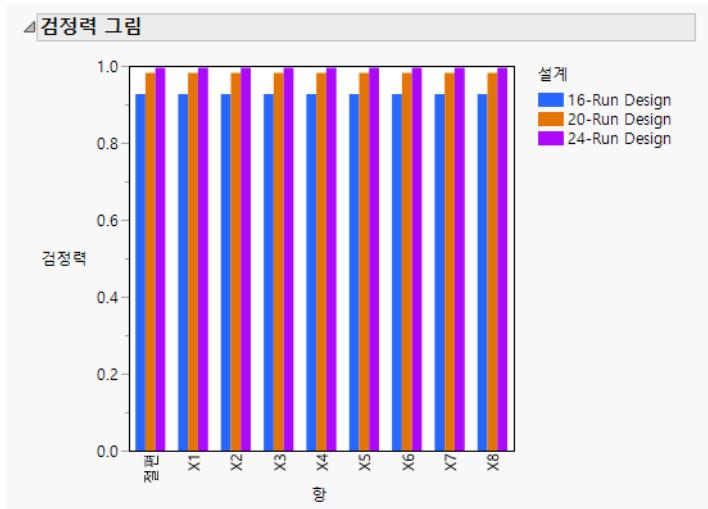
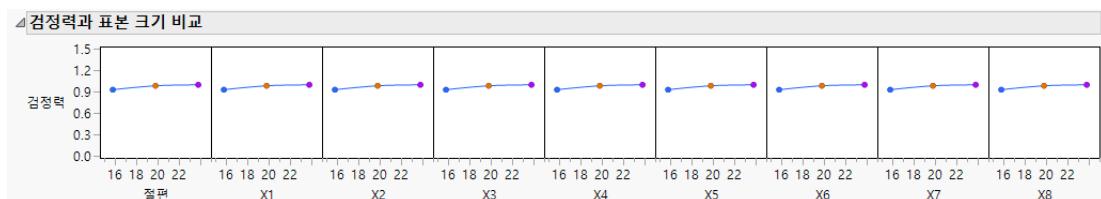


그림 16.21의 "검정력 그림"은 "런 크기가 다른 설계"(444 페이지)에서 구성한 세 가지 설계의 주 효과를 대상으로 합니다.

### 검정력과 표본 크기 비교

"검정력과 표본 크기 비교" 그림은 비교하는 설계의 런 크기가 다른 경우에만 나타납니다. 이 그림을 사용하면 표본 크기가 모형의 각 효과에 대한 검정력에 미치는 영향을 확인할 수 있습니다. "검정력 그림" 그래프와 동일한 정보를 제공하지만 형식이 다릅니다. 정수 표본 크기의 검정력 값이 선분으로 연결됩니다.

그림 16.22 세 가지 설계에 대한 검정력과 표본 크기 비교 프로파일러



### 예측 분산 프로파일

"예측 분산 프로파일" 개요에서는 비교 중인 각 설계에 대한 상대 예측 분산 프로파일러를 보여줍니다. 각 그림은 상대 예측 분산을 다른 요인의 값이 고정된 상태에서 각 요인의 함수로 표시합니다.

설계 공간에서 참조 설계에 대한 상대 예측 분산의 최대값을 찾으려면 "예측 분산 프로파일" 옆의 빨간색 삼각형에서 **분산 최대화** 옵션을 선택합니다. 자세한 내용은 "[분산 최대화](#)"(459페이지)에서 확인하십시오.

**그림 16.23** 세 가지 설계에 대한 예측 분산 프로파일

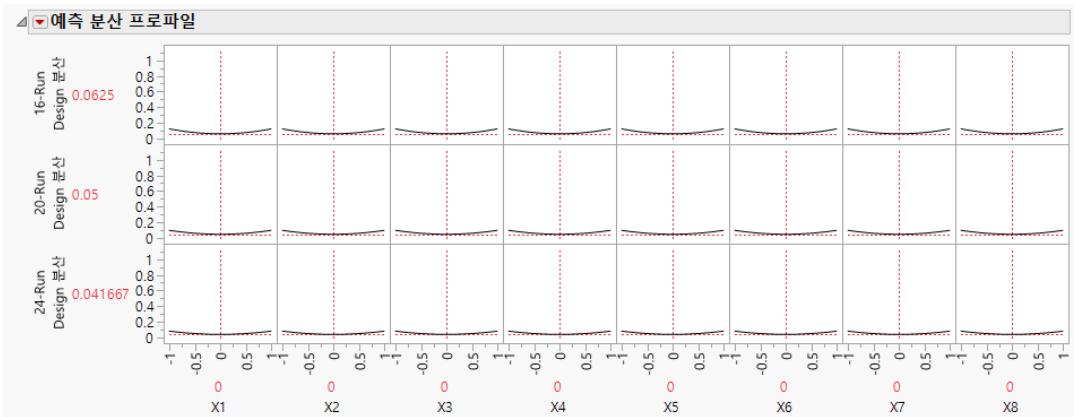


그림 16.23의 "예측 분산 프로파일" 그림은 "[런 크기가 다른 설계](#)"(444페이지)에서 구성한 세 가지 설계를 대상으로 합니다. 두 가지 이원 교호작용( $X_1 \times X_3, X_2 \times X_3$ )이 "모형" 개요에 추가되었습니다. 그림에서 각 연속형 요인의 초기값은 설계 설정의 중간점입니다. 왼쪽의 "분산" 값은 런 수가 증가할수록 중앙점에서 분산이 감소함을 나타냅니다.

### 상대 예측 분산

주어진 요인 설정에 대한 예측 분산은 설계 및 요인 설정에 따라 달라지는 양과 오차 분산의 합입니다. 실험을 실행하기 전에는 오차 분산을 알 수 없으므로 예측 분산도 알 수 없습니다. 그러나 오차 분산에 대한 예측 분산의 비는 오차 분산의 함수가 아닙니다. 상대 예측 분산이라고 하는 이 비율은 설계와 요인 설정에만 영향을 받습니다. 따라서 데이터를 얻기 전에 상대 예측 분산을 계산할 수 있습니다. 자세한 내용은 "기술 상세 정보" 부록의 "[상대 예측 분산](#)"(770페이지)에서 확인하십시오.

실험을 실행하고 최소 제곱 모형을 적합시킨 후 모형 적합의 MSE(평균 제곱 오차)를 사용하여 오차 분산을 추정할 수 있습니다. 설정에 대한 상대 예측 분산을 곱해 설정에서 실제 예측 분산을 추정할 수 있습니다.

설계 공간 전체에서 예측 분산이 작은 것이 이상적입니다. 일반적으로 표본 크기가 증가하면 오차 분산이 감소합니다. 설계를 비교할 때 평균적으로 예측 분산이 낮은 설계가 선호됩니다.

### 분산 최대화

최대 상대 예측 분산의 측면에서 설계를 평가하거나 비교할 수도 있습니다. "예측 분산 프로파일" 옆의 빨간색 삼각형에서 **분산 최대화** 옵션을 선택합니다. JMP는 상대 예측 분산을 최대화하는 만족도 함수를 사용합니다. "예측 분산 프로파일"의 "분산" 값은 상대 예측 분산의 최악 값(설계 판점에서 가장 적합하지 않음)입니다.

**그림 16.24** 세 가지 설계에 대한 최대 분산을 보여 주는 예측 분산 프로파일

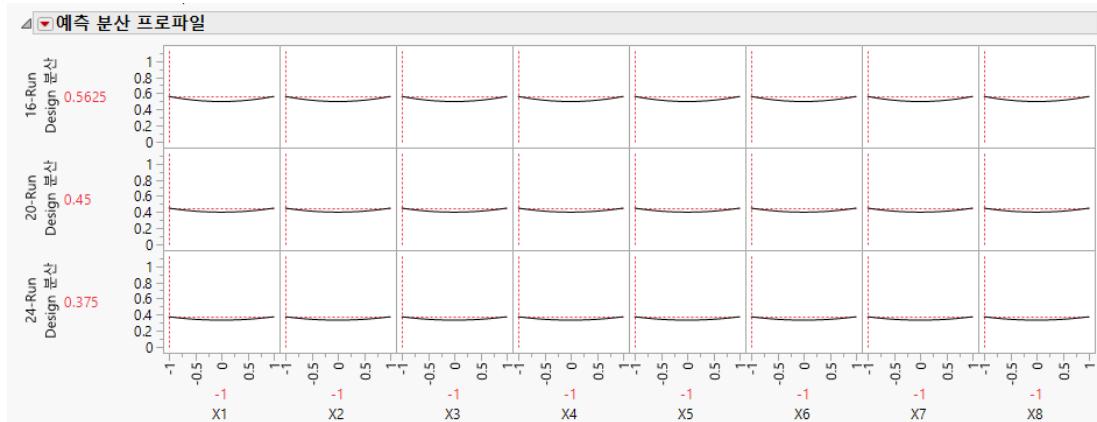


그림 16.24에서는 "런 크기가 다른 설계"(444페이지)에서 구성한 세 가지 설계에 대해 "분산 최대화"를 선택한 후의 "예측 분산 프로파일"을 보여 줍니다. 예상대로 런 크기가 증가하면 최대 상대 예측 분산이 감소합니다. 이 최악 상대 분산 값을 제공하는 요인의 값도 그림에 표시됩니다. 그러나 여러 설정에서 동일한 최대 상대 분산을 산출할 수 있음을 염두에 두십시오.

## 설계 공간 비율 그림

"설계 공간 비율 그림"은 설계 공간에서 상대 예측 분산이 특정 값 미만이 되는 비율을 보여 줍니다.

**그림 16.25** 세 가지 설계에 대한 설계 공간 비율 그림

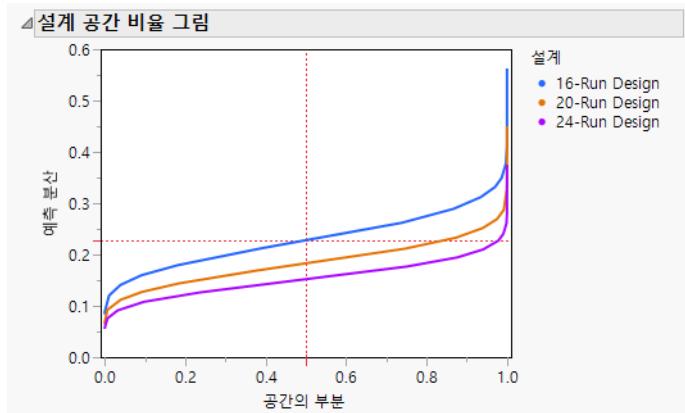


그림 16.25에서는 "런 크기가 다른 설계"(444페이지)에서 구성한 세 가지 설계에 대한 "설계 공간 비율 그림"을 보여 줍니다. 다음 사항에 유의하십시오.

- 그림의 X 축은 설계 공간의 비율을 나타냅니다(0 ~ 100% 범위).
- Y 축은 상대 예측 분산 값을 나타냅니다.

- 주어진 곡선에 있는  $(x, y)$  점의 경우  $x$  값은 분산이  $y$ 보다 작거나 같은 설계 공간의 비율입니다.
- 빨간색 점선 십자기호는 설계 공간의 50%에서 참조 설계에 대한 상대 예측 분산의 경계를 이루는 값을 표시합니다.

그림 16.25에서는 24회 런 설계의 상대 예측 분산이 다른 두 설계에 비해 균등하게 작다는 것을 보여 줍니다. 20회 런 설계의 예측 분산은 16회 런 설계보다 균등하게 작습니다. 빨간색 점선 십자기호는 설계 공간의 약 50%에 대해 20회 런 설계의 상대 예측 분산이 약 0.23 미만임을 나타냅니다.

십자기호 도구를 사용하여 "공간 비율" 값에 해당하는 최대 상대 예측 분산을 찾을 수 있습니다. 예를 들어 십자기호 도구를 사용하여 24회 런 설계에 대한 예측 분산 값의 90%가 약 0.20 미만인지 확인하십시오.

---

**참고:** 설계 공간 비율 그림을 구성할 때 설계 공간의 몬테카를로 표집이 사용되므로 같은 설계에 대한 그림이 약간 다를 수 있습니다.

---

## 상대 추정 효율도

"상대 추정 효율도" 보고서는 가정된 모형에 있는 모수에 대한 모수 추정값의 표준 오차 측면에서 설계를 비교합니다. 표준 오차는 모수 추정값의 신뢰 구간 길이를 제어합니다. 이 보고서는 효율도 비율과 상대 표준 오차를 제공합니다.

상대 추정 효율도 값 테이블 아래에 나오는 색상 그레이언트에 따라 상대 추정 효율도 값에 색상이 적용됩니다. "상대 추정 효율도"의 빨간색 삼각형 메뉴 옵션을 사용하여 색상 범례를 제어할 수 있습니다. 자세한 내용은 "[색상 대시보드](#)"(455페이지)에서 확인하십시오.

### 그림 16.26 두 가지 분할구 설계를 비교하는 상대 추정 효율도

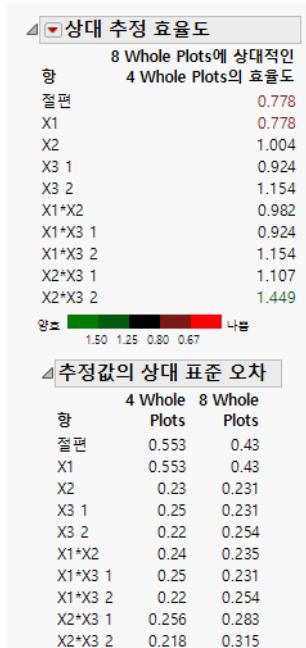


그림 16.26에서는 "주구 수가 다른 분할구 설계"(447페이지)에서 비교한 분할구 설계의 "상대 추정 효율도" 개념을 보여 줍니다.

### 상대 추정 효율도

주어진 항에 대해 비교 설계에 대한 참조 설계의 추정 효율도는 비교 설계 항의 상대 표준 오차를 참조 설계 항의 상대 표준 오차로 나눈 값입니다. 값이 1보다 작으면 참조 설계가 비교 설계만큼 효율적이지 않음을 나타냅니다. 값이 1보다 크면 참조 설계가 더 효율적임을 나타냅니다.

### 추정값의 상대 표준 오차

"추정값의 상대 표준 오차" 보고서는 오차 표준편차에 대한 모두 추정값의 표준편차 비율을 제공합니다. 이 값은 오차 표준편차를 기준으로 모형 모두 추정값의 표준 오차 크기를 나타냅니다.  $i^{\text{th}}$  모두 추정값의 경우 추정값의 상대 표준 오차는 다음과 같이 정의됩니다.

$$SE = \sqrt{(\mathbf{X}'\mathbf{X})_{ii}^{-1}}$$

다음은 각 요소에 대한 설명입니다.

$\mathbf{X}$ 는 "기술 상세 정보" 부록의 "별첨 행렬"(767페이지)에 정의된 모형 행렬입니다.

$(\mathbf{X}'\mathbf{X})_{ii}^{-1}$ 은  $(\mathbf{X}'\mathbf{X})^{-1}$ 의  $i^{\text{th}}$  주대각 항목입니다.

## 별칭 행렬 요약

별칭 행렬은 실제로 활성이지만 모형에 포함되지 않은 항이 모형 항 추정에 영향을 미치는 방식에 대한 문제를 처리합니다. "별칭 항" 개요에서는 가정된 모형에 없지만 모형 항의 추정값을 편향시킬 수 있는 잠재적 활성 효과를 나열합니다. 별칭 행렬 항목은 "별칭 항" 효과에 의해 모형 모수에 전달되는 편향 정도를 나타냅니다. 자세한 내용은 "[별칭 항](#)"(454페이지) 및 "[별칭 행렬](#)"(463페이지)에서 확인하십시오.

"별칭 행렬 요약" 테이블에는 가정된 모형의 항이 나열됩니다. 이러한 항은 "모형" 개요에 나열된 효과에 해당합니다. 설계가 주어지면 "항" 열의 각 항목에 대해 "별칭 항" 개요의 효과에 해당하는 항에 대한 별칭 행렬 항목 제곱합의 제곱근이 계산됩니다. 이 값은 주어진 설계의 "제곱근 평균 제곱 값" 열에 보고됩니다. 예는 "[별칭 행렬 요약 값 계산의 예](#)"(464페이지)에서 확인하십시오.

**참고 :** "별칭 행렬 요약" 보고서는 "별칭 항" 목록에 효과가 있는 경우에만 나타납니다.

**그림 16.27** 두 설계에 대한 별칭 행렬 요약

별칭 행렬 요약		
	루트 평균 제곱 값	루트 평균 제곱 값
항	확증적 선별 설계	Plackett-Burman
절편	0.0000	0.0000
X1	0.0000	0.2722
X2	0.0000	0.2722
X3	0.0000	0.2722
X4	0.0000	0.2722
X5	0.0000	0.2722
X6	0.0000	0.2722
합계	0.0000	0.2520
양초		

그림 16.27에서는 "런 크기가 같은 설계"(439페이지)에서 구성한 Plackett-Burman 설계와 확증적 선별 설계의 "별칭 행렬 요약" 보고서를 보여 줍니다. "모형" 개요에는 주효과만 있습니다. 모든 2요인 교호작용은 "별칭 항" 목록에 있습니다. 이 테이블에서는 확증적 선별 설계의 경우 주효과가 2요인 교호작용과 상관 관계가 없음을 보여 줍니다.

"별칭 행렬 요약" 테이블 아래에 나오는 색상 그래디언트에 따라 제곱근 평균 제곱 값에 색상이 적용됩니다. "별칭 행렬 요약"의 빨간색 삼각형 메뉴 옵션을 사용하여 색상 범례를 제어할 수 있습니다. 자세한 내용은 "[색상 대시보드](#)"(455페이지)에서 확인하십시오.

## 별칭 행렬

별칭 행렬의 행은 "모형" 개요에 나열된 모형 효과에 해당하는 항입니다. 열은 "별칭 항" 개요에 나열된 효과에 해당하는 항입니다. 주어진 행과 열의 항목은 별칭 항이 모형 항에 해당하는 모두 추정값에 영향을 미치는 정도를 나타냅니다.

설계를 평가할 때 별칭 행렬의 항목과 관련하여 다음 두 가지 상황 중 하나가 발생하면 가장 이상적입니다. 항목이 작거나, 그렇지 않은 경우 별칭 항의 효과가 작아서 편향도 작습니다. 별칭 항

의 효과가 상당히 클 것으로 생각되면 해당 항을 모형에 포함하거나 별칭 최적 설계를 고려해야 합니다. 별칭 최적은 별칭 행렬의 제곱 값으로 기반으로 합니다.

별칭 행렬에 대한 자세한 배경 정보는 "기술 상세 정보" 부록의 "별칭 행렬"(767페이지)에서 확인하십시오. Lekivetz, R.(2014)도 참조하십시오.

### 별칭 행렬 요약 값 계산의 예

이 예에서는 "별칭 행렬 요약" 개요에 나타나는 값의 계산을 보여 줍니다. 여기서는 주효과만 활성이라는 가정하에 두 설계를 비교합니다.

1. 도움말 > 샘플 데이터를 선택하고 샘플 스크립트 디렉터리 열기를 클릭한 후 Compare Same Run Size.jsl을 선택합니다.

2. 스크립트 창을 마우스 오른쪽 버튼으로 클릭하고 스크립트 실행을 선택합니다.

다음과 같은 두 개의 13 회 턴 설계 테이블이 구성됩니다.

- 확증적 선별 설계
- Plackett-Burman

Plackett-Burman 설계에만 관심이 있습니다. 이 테이블이 활성 테이블입니다.

3. Plackett-Burman 테이블에서 DOE > 설계 진단 > 설계 평가를 선택합니다.

4. X1 ~ X6 을 선택하고 X, 요인을 클릭합니다.

5. 확인을 클릭합니다.

6. "별칭 항" 개요를 열어 모든 2 요인 교호작용이 "별칭 항" 목록에 있는지 확인합니다.

7. "별칭 행렬" 개요를 엽니다.

"효과" 열에 나열된 각 모형 항에 대해 주어진 열의 해당 행에 있는 항목은 별칭 항이 모형 항에 해당하는 모두 추정값에 영향을 미치는 정도를 나타냅니다.

예를 들어 그림 16.27의 X1에 해당하는 별칭 행렬 요약 항목을 얻으려면 별칭 행렬에서 X1에 대한 행의 항을 제곱하여 평균을 구한 후 제곱근을 취합니다. 결과 값은 0.2722입니다.

### 절대 상관

"절대 상관" 보고서에는 모형 항과 별칭 항 간의 상관관계 정보가 요약됩니다.

그림 16.28 세 가지 설계에 대한 절대 상관 보고서

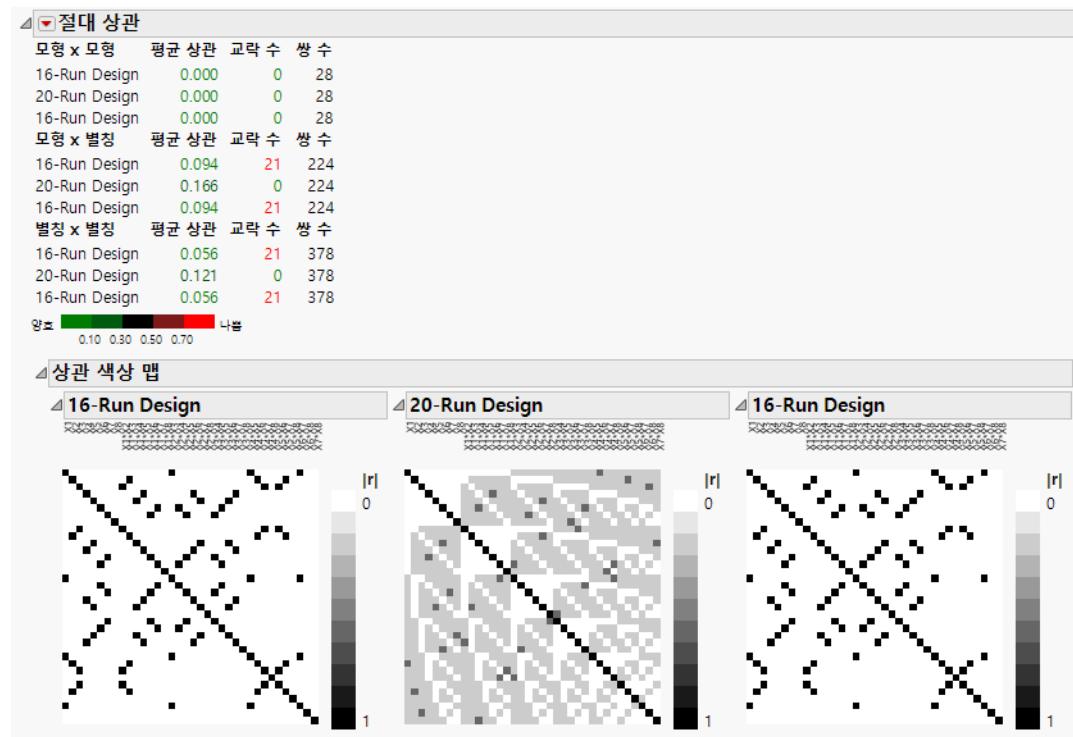


그림 16.28에서는 "런 크기가 다른 설계"(444페이지)에서 구성한 세 가지 설계의 "절대 상관" 보고서를 보여 줍니다. "모형" 개요에는 주효과만 있습니다.

### 절대 상관 테이블

"절대 상관" 보고서의 테이블은 다음 세 섹션으로 구분됩니다.

- "모형 x 모형" 은 "모형" 목록의 효과에 해당하는 항 간의 상관을 고려합니다.
- "모형 x 별칭" 은 "모형" 목록의 효과에 해당하는 항과 "별칭" 목록의 효과에 해당하는 항 간의 상관을 고려합니다.
- "별칭 x 별칭" 은 "별칭" 목록의 효과에 해당하는 항 간의 상관을 고려합니다.

**참고 :** 별칭 항이 없으면 "모형 x 모형" 섹션만 나타납니다.

보고서의 각 섹션에 대해 다음 항목이 제공됩니다.

**평균 상관** 보고서의 이 섹션에서 고려된 모든 항 쌍에 대한 상관의 평균입니다.

**교락 수** 교락된 항으로 구성된 항 쌍의 수입니다.

**항 수** 보고서의 이 섹션에서 고려된 항 쌍의 총 수입니다.

"절대 상관" 테이블 아래에 나오는 색상 그래디언트에 따라 이 테이블의 값에 색상이 적용됩니다. "절대 상관"의 빨간색 삼각형 메뉴 옵션을 사용하여 색상 범례를 제어할 수 있습니다. 자세한 내용은 "[색상 대시보드](#)"(455 페이지)에서 확인하십시오.

## 상관 색상 맵

"상관 색상 맵" 개요에는 각 설계에 대한 그림이 표시됩니다. 색상 맵의 셀은 맵 위에서 식별됩니다. "모형" 개요 또는 "별칭 항" 개요에 나타나는 효과에 해당하는 모든 항에 대한 셀이 있습니다. 각 셀은 두 항 간의 절대 상관 값에 따라 색상이 적용됩니다.

기본적으로 절대 상관 크기는 흰색에서 회색, 검은색까지의 강도 색상 테마를 사용하여 나타냅니다. 일반적으로 좋은 설계의 색상 맵에는 흰색 비대각이 많이 표시되어 직교성 또는 개별 항 간의 상관이 적음을 나타냅니다. 효과 간의 절대 상관이 크면 추정값 표준 오차가 증가합니다.

두 효과 간의 절대 상관 값을 보려면 커서로 해당 셀을 가리킵니다. 색상 척도를 변경하려면 "상관 색상 맵"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **파랑-회색-빨강**을 선택합니다. 사용자 정의 색상 척도를 사용하려면 그림을 마우스 오른쪽 버튼으로 클릭하고 **색상 테마**를 선택합니다. 상관계수표를 저장하려면 범례 아래의 그림 오른쪽을 마우스 오른쪽 버튼으로 클릭하고 **상관계수표**를 선택합니다.

## 절대 상관 및 상관 색상 맵의 예

그림 16.28에서는 "[런 크기가 다른 설계](#)"(444페이지)에서 구성한 Plackett-Burman 설계와 확증적 선별 설계의 "절대 상관" 보고서를 보여 줍니다. "모형" 개요에 주효과만 포함되므로 "별칭 항" 개요에 모든 2요인 교호작용이 포함됩니다. 모든 주효과 및 이원 교호작용이 색상 맵에 표시됩니다.

16회 런 설계의 "상관 색상 맵"에서 비대각의 검은색 셀은 해당 항의 상관관계가 1이므로 완전히 교락됨을 나타냅니다. 모형 항(주효과)이 별칭 항(2요인 교호작용)과 교락되는 경우가 9개 있고 별칭 항이 서로 교락되는 경우가 6개 있습니다. 이는 보고서의 "쌍별 교락" 아래에 표시됩니다.

20회 런 및 24회 런 설계의 색상 맵에는 단색의 검은색 비대각 셀이 없습니다. 따라서 이러한 설계는 주효과 또는 이원 교호작용 효과 쌍 간의 교락이 없습니다. 그러나 20회 런 설계와 24회 런 설계 모두 16회 런 설계보다 "모형 x 별칭" 항의 "평균 상관"이 높다는 점에 주목하십시오. 16회 런 설계는 교락을 나타내지만 평균 상관관계가 20회 런 및 24회 런 설계보다 낮습니다.

## 설계 진단

"설계 진단" 개요에서는 비교 설계를 기준으로 참조 설계의  $D$  효율도,  $G$  효율도,  $A$  효율도 및  $I$  효율도를 보여 줍니다. "추가 런 크기"도 표시됩니다. 두 가지 설계가 주어진 경우 상대 효율도 측도가 높은 설계가 더 좋습니다.

그림 16.29 세 가지 설계에 대한 설계 진단



그림 16.29에서는 "런 크기가 다른 설계"(444페이지)에서 구성한 세 가지 설계의 "설계 진단" 보고서를 보여 줍니다. "모형" 개요에는 주효과만 있습니다.

"설계 진단" 테이블 아래에 나오는 색상 그래디언트에 따라 이 테이블의 값에 색상이 적용됩니다. "설계 진단"의 빨간색 삼각형 메뉴 옵션을 사용하여 색상 범례를 제어할 수 있습니다. 자세한 내용은 "색상 대시보드"(455페이지)에서 확인하십시오.

## 효율도 및 추가 런 크기

*D* 효율도, *G* 효율도, *A* 효율도 및 *I* 효율도 각각에 대한 상대 효율도가 "설계 진단" 보고서에 표시됩니다. 이 값은 각 설계의 효율도 값을 계산한 후 적절한 비율을 적용하여 구할 수 있습니다. 상대 효율도 측도에 대한 설명은 "상대 효율도 측도"(467페이지)에서 확인하십시오.

추가 런 크기는 참조 설계의 런 수에서 비교 설계의 런 수를 뺀 값입니다. 참조 설계의 런 수가 비교 설계보다 많은 경우 참조 설계의 효율도를 달성하기 위해 필요한 추가 런 수가 "추가 런 크기"에 표시됩니다.

## 상대 효율도 측도

### 표기

- $X$  는 모형 행렬입니다.
- $p$  는 모형의 항 수입니다 ( 절편 포함 ).
- $Var(\hat{y}|\mathbf{x})$  는 점  $\mathbf{x}$ 에서의 상대 예측 분산입니다 . 자세한 내용은 " 기술 상세 정보 " 부록의 " 상대 예측 분산 "(770 페이지 )에서 확인하십시오 .

## 상대 효율도

비교 설계 (*Comp*)에 대한 참조 설계 (*Ref*)의 상대 효율도는 다음 표현식을 사용하여 구합니다 .

**D 효율도**  $Eff_{Ref}/Eff_{Comp}$ . 여기서 각 설계의  $Eff$ 는 다음과 같이 지정됩니다 .

$$Eff = |\mathbf{X}'\mathbf{X}|^{1/p}$$

**G 효율도**  $Eff_{Comp}/Eff_{Ref}$  여기서 각 설계의  $Eff$ 는 다음과 같이 지정됩니다 .

$$Eff = \text{Var}(\hat{y}|\mathbf{x})_{\max} = \underset{\mathbf{x} \text{ in } D}{\text{maximum}} [\mathbf{x}'(\mathbf{X}'\mathbf{X})^{-1}\mathbf{x}]$$

D 가 설계 영역이라고 하면

**참고 :** G 효율도는 설계 공간의 몬테카를로 표집을 사용하여 계산됩니다. 보고된 값은 더 큰  $\text{Var}(\hat{y}|\mathbf{x})_{\max}$  또는 몬테카를로 표집의 예측 분산을 기반으로 합니다. 따라서 같은 설계에 대한 계산이 약간 다를 수 있습니다.

**A 효율도**  $Eff_{Comp}/Eff_{Ref}$ . 여기서 각 설계의  $Eff$ 는 다음과 같이 지정됩니다.

$$Eff = \text{Trace}[(\mathbf{X}'\mathbf{X})^{-1}]$$

**I 효율도**  $Eff_{Comp}/Eff_{Ref}$ . 여기서 각 설계의  $Eff$ 는 다음과 같이 지정됩니다.

$$Eff = \frac{\int \mathbf{x}'(\mathbf{X}'\mathbf{X})^{-1}\mathbf{x} d\mathbf{x}}{\int d\mathbf{x}}$$

계산에 대한 자세한 내용은 Goos and Jones(2011) 의 "Section 4.3.5"에서 확인하십시오.

## 설계 비교 옵션

**고급 옵션 > 분할구 분산비** 오차 분산에 대한 랜덤 주구 분산 및 하위구 분산 ( 있는 경우 )의 비를 지정합니다. 이 값을 설정하려면 먼저 분할구 설계를 위한 변경하기 힘든 요인 또는 분할 - 분할구 설계를 위한 변경하기 힘든 요인과 매우 변경하기 힘든 요인을 정의해야 합니다. 그런 다음 분할구 설계를 지정했는지 아니면 분할 - 분할구 설계를 지정했는지에 따라 분산 비율에 하나 또는 두 개의 양수를 입력할 수 있습니다.

## 예상 표본 크기 및 검정력

표본 크기 및 검정력 플랫폼을 사용하면 실험이나 연구를 계획할 때 특정 질문에 답하는 능력에 표본 크기가 미치는 영향을 조사할 수 있습니다.

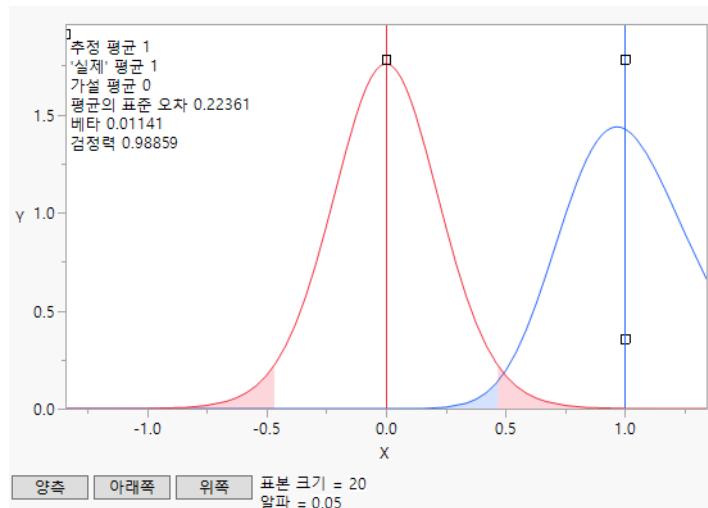
- 테스트 할 단위 수는 몇 개입니까?
- 처리 평균의 차이를 감지할 수 있습니까?
- 고장 시간을 추정하기 위해 테스트해야 할 단위 수는 몇 개입니까?

표본 크기 및 검정력 플랫폼은 계산기 모음입니다. 계산기에는 데이터 입력 및 계산된 값을 위한 필드가 있습니다. 지정할 값과 계산할 값을 선택할 수 있습니다. 예를 들어 검정력 및 감지할 효과 크기를 지정한 후 필요한 표본 크기를 계산할 수 있습니다. 아니면 표본 크기와 검정력을 지정하여 감지할 수 있는 효과 크기를 계산할 수도 있습니다.

가설 검정을 위한 표본 크기 계산은 제1종 오류와 제2종 오류 간의 균형을 기반으로 합니다. 제1종 오류( $\alpha$ )는 귀무가설이 참일 때 귀무가설을 기각할 확률입니다. 제2종 오류( $\beta$ )는 귀무가설이 거짓일 때 귀무가설을 채택할 확률입니다. 일반적으로  $\alpha$ 와  $\beta$ 를 작게 하려고 합니다. 검정력 ( $1 - \beta$ )은 귀무가설이 거짓일 때 기각할 확률입니다.

JMP의 검정력과 표본 크기에 대한 자세한 내용은 Barker(2011)에서 확인하십시오.

**그림 17.1** 1 표본 평균에 대한 검정력 애니메이션



## 목차

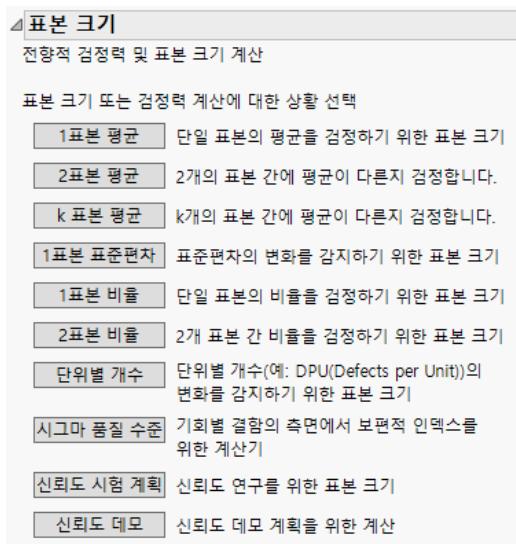
표본 크기 및 검정력 플랫폼 시작	472
1 표본 평균 계산기	473
1표본 평균 계산기의 예	473
1표본 평균 계산기 필드	477
1표본 평균 계산기에 대한 통계 상세 정보	478
2 표본 평균 계산기	479
2표본 평균 계산기의 예	479
2표본 평균 계산기 필드	480
2표본 평균 계산기에 대한 통계 상세 정보	481
k 표본 평균 계산기	481
k 표본 평균 계산기의 예	482
k 표본 평균 계산기 필드	484
k 표본 평균 계산기에 대한 통계 상세 정보	485
1 표본 표준편차 계산기	486
1표본 표준편차 계산기의 예	486
1표본 표준편차 계산기 필드	487
1표본 표준편차 계산기에 대한 통계 상세 정보	488
1 표본 비율 계산기	489
1표본 비율 계산기의 예	489
1표본 비율 계산기 필드	490
단일 비율 계산기에 대한 통계 상세 정보	491
2 표본 비율 계산기	492
2표본 비율 계산기의 예	492
2표본 비율 계산기 필드	493
두 비율 계산기에 대한 통계 상세 정보	494
단위별 개수 계산기	494
단위별 개수 계산기의 예	495
단위별 개수 계산기 필드	496
단위별 개수 계산기에 대한 통계 상세 정보	496
시그마 품질 수준 계산기	497
시그마 품질 수준 계산기의 예	497
결함 수 계산의 예	498
시그마 품질 수준 계산기 필드	498
시그마 품질 계산기에 대한 통계 상세 정보	499
신뢰도 시험 계획 계산기	499
신뢰도 시험 계획 계산기의 예	499
신뢰도 시험 계획 계산기 필드	501
신뢰도 시험 계획 계산기에 대한 통계 상세 정보	502

신뢰도 데모 계산기 .....	503
신뢰도 데모 계산기의 예 .....	503
신뢰도 데모 계산기 필드 .....	504
신뢰도 데모 계산기에 대한 통계 상세 정보 .....	505

## 표본 크기 및 검정력 플랫폼 시작

표본 크기 및 검정력 플랫폼은 실험이나 연구를 계획하기 위한 계산기 모음입니다. **DOE > 설계 진단 > 표본 크기 및 검정력을 선택하여 표본 크기 및 검정력 플랫폼을 시작합니다.**

**그림 17.2** 표본 크기 및 검정력 시작 창



다음 계산기 중에서 선택합니다.

- "[1 표본 평균 계산기](#)"(473 페이지 )
- "[2 표본 평균 계산기](#)"(479 페이지 )
- "[k 표본 평균 계산기](#)"(481 페이지 )
- "[1 표본 표준편차 계산기](#)"(486 페이지 )
- "[1 표본 비율 계산기](#)"(489 페이지 )
- "[2 표본 비율 계산기](#)"(492 페이지 )
- "[단위별 개수 계산기](#)"(494 페이지 )
- "[시그마 품질 수준 계산기](#)"(497 페이지 )
- "[신뢰도 시험 계획 계산기](#)"(499 페이지 )
- "[신뢰도 데모 계산기](#)"(503 페이지 )

## 1 표본 평균 계산기

단일 평균에 대한 가설 검정을 위해 표본 크기를 계산하려면 "1 표본 평균" 계산기를 사용합니다. 표본 크기, 검정력, 유의성과 감지할 차이 간의 균형을 연구해야 합니다. 표본 크기 및 검정력은 다음 가설 검정과 관련됩니다.

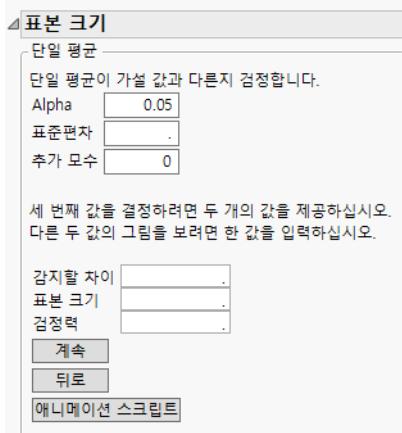
$$H_0: \mu = \mu_0$$

다음 양측 대립가설과 비교

$$H_a: \mu \neq \mu_0$$

여기서  $\mu$ 는 실제 평균이고  $\mu_0$ 은 귀무가설 평균 또는 참조 값입니다. 감지할 차이는 표본 집합을 기반으로 감지해야 한다고 간주되는 크기( $\delta$ )로,  $\mu_0$ 과의 차이입니다. 동일한 유의 수준과 검정력이 주어진 경우 큰 차이를 감지하는 것보다 작은 차이를 감지하기 위해 더 큰 표본 크기가 필요합니다. 관심 모집단은 평균  $\mu$ 와 표준편차  $\sigma$ 의 정규 분포를 따른다고 가정합니다.

**그림 17.3** 단일 평균에 대한 초기 표본 크기 및 검정력 계산기



## 1 표본 평균 계산기의 예

다음 예에서는 회사에서 개발 중인 새 직물의 가연성이 현재 소재에 비해 성능이 개선되었음을 입증하려고 합니다. 이전 테스트에 따르면 이 직물의 연소 시간에 대한 표준편차는 2 초입니다.

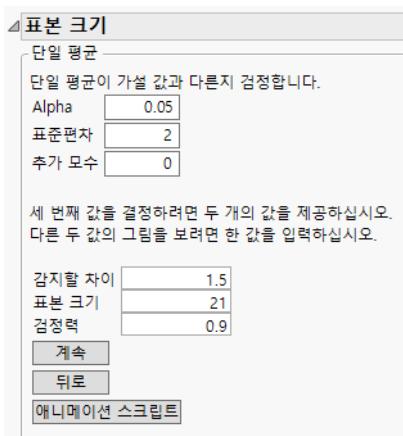
### 표본 크기 계산의 예

이 초기 예에서는 유의 수준  $\alpha = 0.05$ 에서 1.5 초 차이를 감지할 수 있는 검정력이 90%인 실험을 설계하려고 합니다. "1 표본 평균" 계산기를 사용하여 테스트할 직물 표본 수를 계산하십시오.

1. **DOE > 설계 진단 > 표본 크기 및 검정력을 선택합니다.**

2. **1 표본 평균** 버튼을 클릭합니다.
3. **알파** 설정값 0.05를 그대로 둡니다.
4. **표준편차**에 2를 입력합니다.
5. **추가 모수** 설정값 0을 그대로 둡니다.
6. **감지할 차이**에 1.5를 입력합니다.
7. **표본 크기는** 비워 둡니다.
8. **검정력**에 0.9를 입력합니다.
9. **계속**을 클릭합니다.

**그림 17.4** 1 표본 평균 계산기



유의 수준이 0.05일 때 연소 시간에서 1.5초의 유의차를 감지할 확률이 90%가 되려면 21개의 직물 표본이 필요합니다.

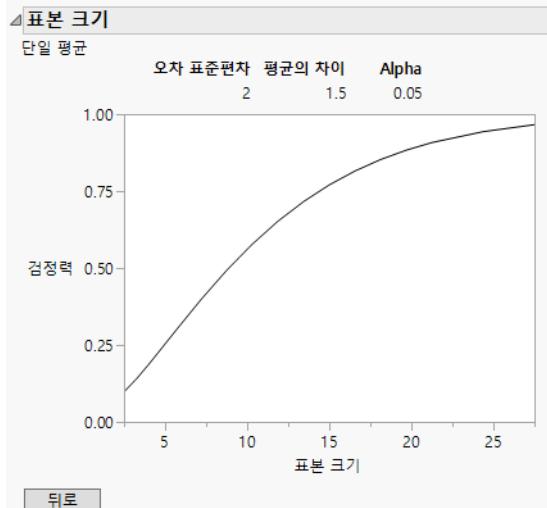
### 검정력과 표본 크기 비교 그림의 예

직물 실험에서 표본 크기와 검정력 간의 균형을 탐색하려면 검정력과 표본 크기 비교 그림을 사용합니다.

1. **DOE > 설계 진단 > 표본 크기 및 검정력을** 선택합니다.
2. **1 표본 평균**을 클릭합니다.
3. **알파** 설정값 0.05를 그대로 둡니다.
4. **표준편차**에 2를 입력합니다.
5. **추가 모수** 설정값 0을 그대로 둡니다.
6. **감지할 차이**에 1.5를 입력합니다.
7. **표본 크기는** 비워 둡니다.

8. 검정력을 비워 둡니다.
9. 계속을 클릭하여 표본 크기별 검정력 그림을 시작합니다.

그림 17.5 표본 크기별 검정력



이 그림은 약 0.1 ~ 0.95 사이에서 변화하는 검정력에 대한 표본 크기 범위를 보여 줍니다. 실험의 테스트 횟수를 약 15회로 줄이고 검정력이 75%를 초과하도록 유지할 수 있습니다. 그러나 테스트를 10회만 실행하면 유의차 1.5를 감지할 수 있는 검정력이 약 50%로 떨어집니다.

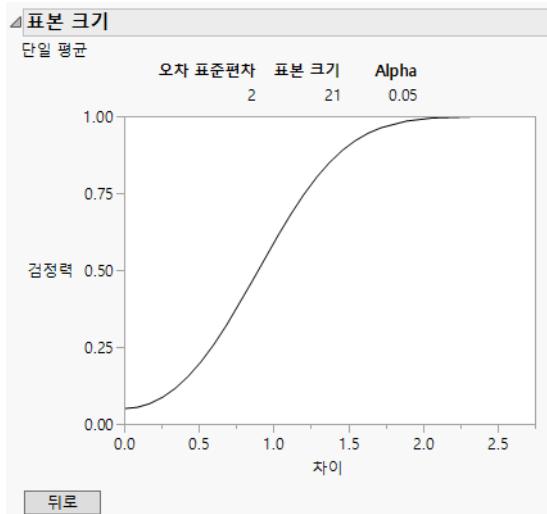
**팁 :** 그림에서 표본 크기와 검정력 조합을 얻으려면 십자도구 기호를 사용하십시오.

### 검정력과 차이 비교 그림의 예

직물 실험에서 21 개 관측값으로 감지할 수 있는 차이 크기와 검정력 간의 균형을 탐색하려면 검정력과 차이 비교 그림을 사용합니다.

1. **DOE > 설계 진단 > 표본 크기 및 검정력을 선택합니다.**
2. **1 표본 평균**을 클릭합니다.
3. **알파** 설정 값 0.05를 그대로 둡니다.
4. **표준편차**에 2를 입력합니다.
5. **추가 모수** 설정 값 0을 그대로 둡니다.
6. **감지할 차이는** 비워 둡니다.
7. **표본 크기**에 21을 입력합니다.
8. **검정력을** 비워 둡니다.
9. **계속을** 클릭합니다.

**그림 17.6** 표본 크기 21에 대해 감지할 차이별 검정력 그림



유의 수준이 0.05이고 관측값 수가 21일 때 90%의 검정력으로 1.5초 차이를 감지할 수 있습니다. 차이가 1초로 작아지면 21개 직물 표본을 사용하여 차이를 감지할 수 있는 검정력은 약 50%입니다.

### 애니메이션 스크립트의 예

표본 크기를 변경할 때 검정력에 어떤 영향을 주는지 살펴보려면 애니메이션 스크립트를 사용합니다.

1. **DOE > 설계 진단 > 표본 크기 및 검정력을 선택합니다.**
2. **1 표본 평균**을 클릭합니다.
3. **알파** 설정값 0.05를 그대로 둡니다.

**팁 :** 애니메이션이 시작된 후 애니메이션 창에서 "알파" 값을 클릭하여 유의 수준을 변경할 수 있습니다.

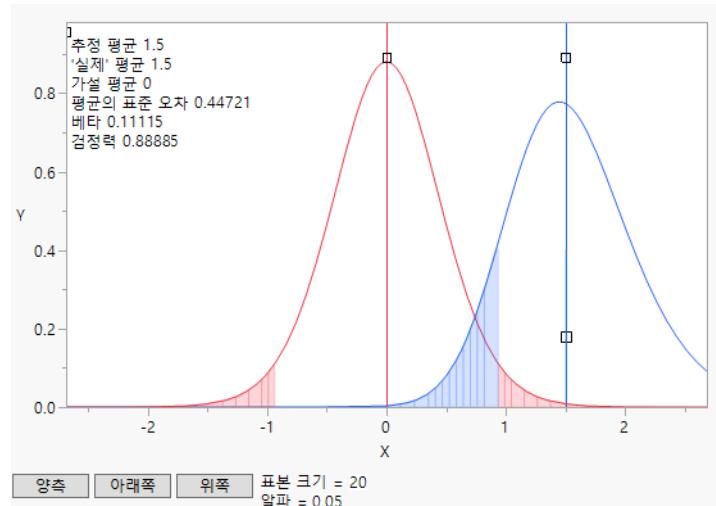
4. **표준편차**에 2를 입력합니다.
5. **추가 모수** 설정값 0을 그대로 둡니다.
6. **감지할 차이**에 1.5를 입력합니다.
7. **표본 크기는** 비워 둡니다.

**팁 :** 표본 크기를 비워 두면 기본 표본 크기가 20으로 설정됩니다. 애니메이션 스크립트가 시작된 후 기본값 20이 표시됩니다. 애니메이션이 시작되기 전이나 후에 표본 크기를 변경할 수 있습니다. 애니메이션이 시작된 후 변경하려면 애니메이션 창에서 "표본 크기" 값을 클릭하십시오.

8. **검정력**은 비워 둡니다.

9. 애니메이션 스크립트를 클릭합니다.

**그림 17.7** 검정력을 보여 주는 초기 애니메이션 스크립트



초기 애니메이션 그림에는 다음과 같은 두 개의  $t$  밀도 곡선이 표시됩니다.

- 빨간색 곡선은 실제 평균이 0 일 때  $t$  분포를 표시합니다.
- 파란색 곡선은 실제 평균이 1.5, 즉 감지할 차이일 때  $t$  분포를 표시합니다.
- 파란색 음영은 제 2 종 오류가 발생할 확률을 나타냅니다. 제 2 종 오류는 차이가 있는데 차이를 감지하지 못할 확률입니다. 제 2 종 오류의 확률은 흔히  $\beta$ 로 표시됩니다.
- 빨간색 음영은 제 1 종 오류가 발생할 확률을 나타냅니다. 제 1 종 오류는 평균의 차이가 없는데 차이가 유의하다는 결론을 내릴 확률입니다. 제 1 종 오류의 확률은 흔히  $\alpha$ 로 표시됩니다.

사각형 핸들을 선택하여 드래그하면 곡선 위치를 기준으로 통계량의 변화를 볼 수 있습니다. 표본 크기 및 알파 값을 변경하려면 그림 아래의 해당 값을 클릭합니다.

기본적으로 애니메이션은 양측 검정을 보여 줍니다. **양측**, **아래쪽** 및 **위쪽** 버튼을 사용하여 대립 가설을 같지 않음, 보다 작은 또는 보다 큼으로 전환할 수 있습니다.

## 1 표본 평균 계산기 필드

다음 통계량을 지정합니다.

**알파** 제 1 종 오류의 확률, 즉 귀무가설이 참일 때 귀무가설을 기각할 확률입니다. 일반적으로 검정의 유의 수준이라고 합니다. 기본 유의 수준은 0.05입니다.

---

**팁:** 단측 검정의 경우  $\alpha = \alpha * 2$ 를 사용합니다.  $\alpha = 0.05$ 인 단측 검정의 경우  $\alpha = 0.10$ 인 양측 계산기를 사용합니다. 결과 값은  $\alpha = 0.05$ 인 단측 검정에 필요한 값입니다.

**표준편차** 가정된 표준편차입니다. 오차 표준편차의 추정값은 이전 모형 적합에서 구한 RMSE(제곱근 평균 제곱 오차) 일 수 있습니다.

**팁 :** 표준편차 단위로 측정된 차이를 감지하는 데 필요한 표본 크기를 추정하려면 표준편차 1을 사용하십시오.

**추가 모수** 가설 검정에서  $\mu$  이외의 모수 수입니다. 이 옵션은 다요인 설계에 사용할 수 있습니다. 간단한 사례의 경우 이 필드의 기본값 0을 그대로 유지합니다.

효과가 직교인 다요인 설계의 경우 여기에 추가 모형 모수의 수를 지정할 수 있습니다. 예를 들어 3 개의 2 요인 교호작용이 모두 포함된 3 요인 2 수준 설계의 경우 추가 모수의 수는 다른 주효과에 대한 모수 2 개와 교호작용에 대한 모수 3 개를 합해 모두 5 개입니다.

다음 값 중 두 개를 지정하여 세 번째 값을 계산하거나, 한 값을 지정하여 다른 두 값 사이의 관계 그림을 볼 수 있습니다.

**감지할 차이** 실제 평균과 가설 평균 또는 참조 평균 사이에 통계적으로 유의하다고 선언할 수 있는 최소 차이입니다.

**표본 크기** 실험의 총 관측값(런, 실험 단위 또는 표본) 수입니다.

**검정력** 귀무가설이 거짓일 때 기각할 확률입니다. 다른 모든 모수가 고정되면 표본 크기가 커질 수록 검정력도 증가합니다.

### 계산기 버튼

**계속** 두 개의 모수가 지정된 경우 결측값을 계산하거나, 모수가 하나만 지정된 경우 두 개의 결측 모수를 비교하는 그림을 시작합니다.

**뒤로** 이전 "표본 크기 및 검정력" 시작 창으로 돌아갑니다.

**애니메이션 스크립트** 검정력과 감지할 차이의 관계를 설명하고 탐색하기 위한 대화식 그림을 시작합니다. 자세한 내용은 "[애니메이션 스크립트의 예](#)"(476 페이지)에서 확인하십시오.

## 1 표본 평균 계산기에 대한 통계 상세 정보

1 표본 평균 계산은 다음 가설 검정을 위한 기준 전체 F- 검정과 축소 F- 검정의 비교를 기반으로 합니다.

$$H_0: \mu = \mu_0 \text{ 대 } H_a: \mu \neq \mu_0$$

JMP는 다음과 같이 검정력을 계산합니다.

$$\Pr(\text{reject } H_0 | \mu = \mu_0 + \delta) = 1 - F\left(f_{1-\alpha}, 1, n-p-1, \frac{n\delta^2}{\sigma^2}\right)$$

다음은 각 요소에 대한 설명입니다.

$\alpha$ 는 유의 수준입니다.

$n$  은 표본 크기입니다.

$p$  는 추가 모수의 수입니다.

$\delta$  는 감지할 차이입니다.

$f_{1-\alpha}$  는  $F(1, n-p-1)$  분포의  $(1 - \alpha)^{\text{th}}$  분위수입니다.

$F(x, df_1, df_2, nc)$  는 자유도가  $df_1$  및  $df_2$  이고,  $x$  에서 계산된 비중심성 모수  $nc$  가 있는 비중심  $F$  분포의 누적 분포 함수입니다.

$\delta$  및  $n$ 에 대한 분석 해가 존재하지 않으므로 수치 해를 사용하여 계산합니다.

JMP의 계산에 대한 자세한 내용은 Barker(2011, Section 2.1)에서 확인하십시오.

## 2 표본 평균 계산기

두 평균에 대한 가설 검정을 위해 표본 크기를 계산하려면 "2 표본 평균" 계산기를 사용합니다. 표본 크기, 유의 수준, 원하는 검정력이 주어지고 데이터 변동이 가정된 경우 감지 가능한 처리 효과의 크기와 같은 질문에 대한 답을 구할 수 있습니다. 표본 크기 및 검정력은 다음 가설 검정과 관련됩니다.

$$H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$$

다음 양측 대립가설과 비교

$$H_a: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$$

여기서  $\mu_1$ 과  $\mu_2$ 는 두 모집단의 실제 평균입니다. 관심 모집단은 정규 분포를 따르고, 평균 간의 차이( $\delta$ )를 감지하려고 한다고 가정합니다.

## 2 표본 평균 계산기의 예

두 그룹을 비교 중이고 0.05 유의 수준에서 80% 검정력으로 그룹 평균 간의 1 표준편차 차이를 감지하려는 경우를 가정해 보겠습니다.

1. **DOE > 설계 진단 > 표본 크기 및 검정력**을 선택합니다.
2. **2 표본 평균**을 클릭합니다.
3. **알파** 값 0.05 를 그대로 둡니다.
4. **표준편차**에 1 을 입력합니다.
5. **추가 모수** 값 0 을 그대로 둡니다.
6. **감지할 차이**에 1 을 입력합니다.
7. **표본 크기는** 비워 둡니다.
8. **검정력**에 0.8 을 입력합니다.
9. **계속**을 클릭합니다.

### 그림 17.8 2 표본 평균 계산기 결과

**표본 크기**

두 평균  
두 평균이 서로 다른지 검정합니다.

Alpha	0.05
표준편차	1
추가 모수	0

세 번째 값을 결정하려면 두 개의 값을 제공하십시오.  
다른 두 값의 그림을 보려면 한 값을 입력하십시오.

감지할 차이	1
표본 크기	34
검정력	0.8

표본 크기는 총 표본 크기입니다. 그룹당은  $n/2$ 입니다.

**계속** **뒤로**

표본 크기는 34로 계산됩니다. 각 그룹에서 17개의 표본을 사용하면  $\alpha = 0.05$  유의 수준에서 두 표본 평균 간의 1 표준편차 차이를 감지할 확률이 80%입니다.

## 2 표본 평균 계산기 필드

다음 통계량을 지정합니다.

**알파** 제 1 종 오류의 확률, 즉 귀무가설이 참일 때 귀무가설을 기각할 확률입니다. 일반적으로 검정의 유의 수준이라고 합니다. 기본 유의 수준은 0.05입니다.

**표준편차** 두 그룹의 표준편차가 동일하다는 전제하에 가정된 표준편차입니다.

**추가 모수** 가설 검정에서  $\mu_1$  과  $\mu_2$  이외의 모수 수입니다. 이 옵션은 다요인 설계에 사용할 수 있습니다. 간단한 사례의 경우 이 필드의 기본값 0을 그대로 유지합니다.

다요인 균형 설계의 경우 여기에 추가 모형 모수의 수를 지정할 수 있습니다. 예를 들어 3 개의 2 요인 교호작용이 모두 포함된 3 요인 2 수준 설계의 경우 추가 모수의 수는 다른 주효과에 대한 모수 1 개와 교호작용에 대한 모수 3 개를 합해 모두 4 개입니다.

다음 모수 중 두 개를 지정하여 세 번째 값을 계산하거나, 한 값을 지정하여 다른 두 모수 사이의 관계 그림을 볼 수 있습니다.

**감지할 차이** 두 평균 사이에 통계적으로 유의하다고 선언할 수 있는 최소 차이입니다.

**표본 크기** 실험의 총 관측값 (런, 실험 단위 또는 표본) 수입니다. 각 그룹에서 이 표본 크기의 1/2 씩 사용합니다.

**검정력** 귀무가설이 거짓일 때 기각할 확률입니다. 다른 모든 모수가 고정되면 표본 크기가 커질 수록 검정력도 증가합니다.

### 계산기 버튼

**계속** 두 개의 모수가 지정된 경우 결측값을 계산하거나, 모수가 하나만 지정된 경우 두 개의 결측 모수를 비교하는 그림을 시작합니다.

**뒤로** 이전 "표본 크기 및 검정력" 시작 창으로 돌아갑니다.

## 2 표본 평균 계산기에 대한 통계 상세 정보

2 표본 평균 계산은 다음 가설 검정을 위한 기준 전체 F-검정과 축소 F-검정의 비교를 기반으로 합니다.

$$H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0 \text{ 대 } H_a: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$$

JMP는 다음과 같이 검정력을 계산합니다.

$$\text{검정력} = \Pr(\text{reject } H_0 \mid (\mu_1 - \mu_2 = \delta)) = 1 - F\left(f_{1-\alpha}, 1, 2n-p-2, \frac{n\delta^2}{2\sigma^2}\right)$$

다음은 각 요소에 대한 설명입니다.

$\alpha$ 는 유의 수준입니다.

$n$ 은 그룹당 표본 크기입니다.

$p$ 는 추가 모수의 수입니다.

$\delta$ 는 감지할 차이입니다.

$f_{1-\alpha}$ 는  $F(1, 2n-p-2)$  분포의  $(1 - \alpha)^{\text{th}}$  분위수입니다.

$F(x, df_1, df_2, nc)$ 는 자유도가  $df_1$  및  $df_2$ 이고,  $x$ 에서 계산된 비중심성 모수  $nc$ 가 있는 비중심 F 분포의 누적 분포 함수입니다.

$\delta$  및  $n$ 에 대한 분석 해가 존재하지 않으므로 수치 해를 사용하여 계산합니다.

JMP의 계산에 대한 자세한 내용은 Barker(2011, Section 2.2)에서 확인하십시오.

## k 표본 평균 계산기

약 2~10 개 평균에 대한 가설 검정에 적합한 표본 크기를 결정하려면 k 표본 평균 계산기를 사용합니다. 표본 크기 및 검정력은 다음 가설 검정과 관련됩니다.

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_k$$

다음 양측 대립가설과 비교

$$H_a: \text{모든 평균이 동일하지는 않음}$$

다음은 각 요소에 대한 설명입니다.

$$X_{ij} \sim N(\mu_j, \sigma^2) \text{ for } i = 1, \dots, n, j = 1, \dots, k$$

## k 표본 평균 계산기의 예

4 개의 각 그룹에 관측값이 4 개씩 있고 모든 그룹 평균이 동일한지 여부를 테스트하려는 경우를 가정해 보겠습니다. 표준편차가 0.9 일 때 그룹 평균은 10, 11, 12, 13 일 것으로 예상합니다. 0.05 유의 수준에서 하나 이상의 평균에 대한 차이를 감지할 검정력을 계산합니다.

1. **DOE > 설계 진단 > 표본 크기 및 검정력을 선택합니다.**
2. **k 표본 평균**을 클릭합니다.
3. **알파** 값 0.05 를 그대로 둡니다.
4. **표준편차**에 0.9 를 입력합니다.
5. **추가 모수** 값 0 을 그대로 둡니다.
6. 예상 평균의 4 개 수준에 10, 11, 12, 13 을 입력합니다.
7. **표본 크기**에 16 을 입력합니다.
8. **검정력**은 비워 둡니다.
9. **계속**을 클릭합니다.

그림 17.9 4 개 평균에 대한 예상 검정력

표본 크기

K 평균  
K 평균 간에 차이가 있는지 검정합니다.

Alpha

표준편차

추가 모수

그룹 간 구분을 보여 주는 최대 10개의 전향적 평균을  
입력하십시오.

10
11
12
13
.
.
.
.
.
.

다른 값을 구하려면 검정력 또는 표본 크기를 입력하십시오.  
검정력 대 표본 크기 그림을 구하려면 아무 것도 입력하지  
마십시오.

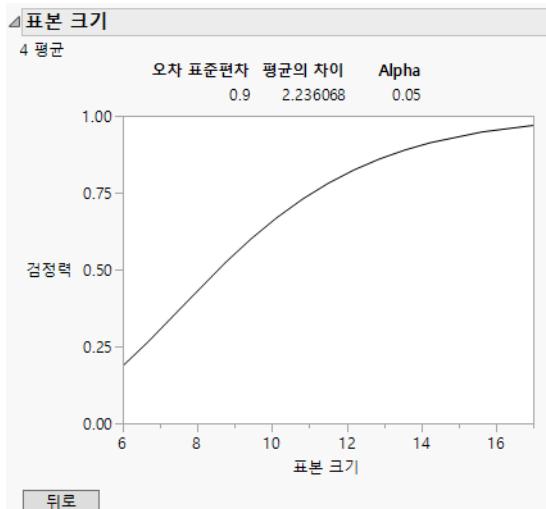
표본 크기   
검정력

표본 크기는 총 표본 크기입니다. 그룹당은  $n/k$ 입니다.

검정력은 약 0.95로 계산됩니다. 즉, 모평균이 10, 11, 12, 13이고 표준편자는 0.9, 총 표본 크기는 16으로 가정할 때 0.05 유의 수준에서 하나 이상의 평균이 다르다는 것을 감지할 확률이 95%입니다.

10. "표본 크기" 16을 클릭하고 삭제합니다.
11. "검정력" 0.95를 클릭하고 삭제합니다.
12. **계속**을 클릭하여 검정력과 표본 크기 비교 그림을 시작합니다.

그림 17.10 K 평균에 대한 예상 검정력 및 표본 크기별 검정력 그림



검정력과 표본 크기 비교 그림에서 표본 크기 16이 허용 가능한지 확인할 수 있습니다. "표본 크기" 축을 커서로 가리키고 드래그하여 축을 16 이상으로 확장합니다. 표본 크기가 16을 초과할 경우 검정력이 약간 증가하는 것을 확인할 수 있습니다.

또한 평균의 차이도 그림에 보고되며 이 값은 총 평균으로부터의 편차에 대한 제곱합의 제곱근으로 계산됩니다. 이 경우에는  $(-1.5)^2 + (-0.5)^2 + (0.5)^2 + (1.5)^2$ 의 제곱근, 즉 5의 제곱근입니다. 따라서 이 예에서 평균의 차이는 약 2.236입니다.

## k 표본 평균 계산기 필드

다음 통계량을 지정합니다.

**알파** 제 1 종 오류의 확률, 즉 귀무가설이 참일 때 귀무가설을 기각할 확률입니다. 일반적으로 검정의 유의 수준이라고 합니다. 기본 유의 수준은 0.05입니다.

**표준편차** 모든 그룹의 표준편차가 동일하다는 전제하에 가정된 표준편차입니다.

**추가 모수** 가설 검정에서  $\mu$  이외의 모수 수입니다. 이 옵션은 다요인 설계에 사용할 수 있습니다. 간단한 사례의 경우 이 필드의 기본값 0을 그대로 유지합니다.

**예상 평균** 평균에 대해 가정된 값입니다. 두 개 이상의 평균을 지정해야 합니다.

다음 값 중 하나를 지정하여 두 번째 값을 계산하거나, 두 값을 모두 비워 두어 두 값 사이의 관계 그림을 볼 수 있습니다.

**표본 크기** 실험의 총 관측값 (번, 실험 단위 또는 표본) 수입니다. 각 그룹에서  $n/k$  표본 크기를 사용합니다. 여기서  $n$ 은 총 관측값 수입니다.

**검정력** 귀무가설이 거짓일 때 기각할 확률입니다. 다른 모든 모수가 고정되면 표본 크기가 커질 수록 검정력도 증가합니다.

### 계산기 버튼

**계속** 하나의 모수가 지정된 경우 결측값을 계산하거나, 모수가 지정되지 않은 경우 두 모수를 비교하는 그림을 시작합니다.

**뒤로** 이전 "표본 크기 및 검정력" 시작 창으로 돌아갑니다.

## k 표본 평균 계산기에 대한 통계 상세 정보

*k* 표본 평균 계산은 다음을 기반으로 합니다.

$$\text{검정력} = 1 - F \left( f_{1-\alpha}, 1k-1, 2kn-p-2k, \frac{n \sum_{j=1}^k (\mu_j - \bar{\mu})^2}{\sigma^2} \right)$$

다음은 각 요소에 대한 설명입니다.

$\alpha$ 는 유의 수준입니다.

$\sigma$ 는  $k$  그룹 사이에서 공통 표준편차입니다.

$n$ 은 그룹당 표본 크기입니다.

$p$ 는 추가 모수의 수입니다.

$\bar{\mu}$ 는  $k$  그룹 예상 평균의 평균입니다.

$f_{1-\alpha}$ 는  $F(k-1, kn-p-k)$  분포의  $(1 - \alpha)^{\text{th}}$  분위수입니다.

$F(x, df_1, df_2, nc)$ 는 자유도가  $df_1$  및  $df_2$ 이고,  $x$ 에서 계산된 비중심성 모수  $nc$ 가 있는 비중심  $F$  분포의 누적 분포 함수입니다.

수치 해를 사용하여  $n$ 을 계산합니다.

### 평균의 차이

평균의 차이는 다음과 같이 계산됩니다.

$$\sqrt{\sum_{j=1}^k (\mu_j - \bar{\mu})^2}$$

JMP의 계산에 대한 자세한 내용은 Barker(2011, Section 2.3)에서 확인하십시오.

## 1 표본 표준편차 계산기

단일 표준편차에 대한 가설 검정을 위해 표본 크기를 계산하려면 "1 표본 표준편차" 계산기를 사용합니다. 표본 크기 및 검정력을 다음 가설 검정과 관련됩니다.

$$H_0: \sigma = \sigma_0$$

다음 단측 대립가설과 비교

$$H_a: \sigma > \sigma_0 \text{ 또는 } H_a: \sigma < \sigma_0$$

여기서  $\sigma$ 는 모표준편차이고  $\sigma_0$ 는 가설 값입니다. 감지할 차이는 표본 집합을 기반으로 감지해야 한다고 간주되는 크기(8)로,  $\sigma_0$ 과의 차이입니다.

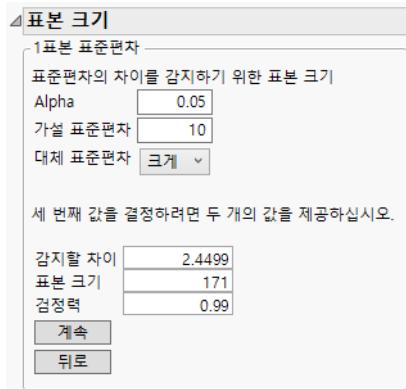
## 1 표본 표준편차 계산기의 예

**참고 :** 이 예는 NIST( 미국 국립표준기술연구소 ) 의 온라인 설명서에서 발췌했습니다 . <https://www.itl.nist.gov/div898/handbook/prc/section2/prc232.htm> 에서 NIST 설명서 예제에 액세스할 수 있습니다 .

실리콘 웨이퍼 로트의 저항력 측정에 대한 분산은  $100 \text{ ohm-cm}^2$ 여야 합니다. 구매자는 분산이  $155 \text{ ohm-cm}^2$  보다 크면 로트를 수락하지 않으려고 합니다. 목표값  $100 \text{ ohm-cm}^2$ 에서  $55 \text{ ohm-cm}^2$  증가를 감지하기 위해 로트 분산을 정확하게 추정하려면 몇 개의 웨이퍼를 테스트해야 합니까? 표준편차 측면에서 가설 표준편차  $\sigma_0$ 은  $10(100 \text{의 제곱근})$ 이고  $\sigma$ 는  $12.4499(100 + 55 = 155 \text{의 제곱근})$ 입니다. 감지할 차이는  $12.4499 - 10 = 2.4499$ 입니다. 원하는 검정력은 0.99이고 유의 수준은 0.05입니다.

1. **DOE > 설계 진단 > 표본 크기 및 검정력을 선택합니다.**
2. **1 표본 표준편차**를 클릭합니다.
3. **알파** 값 0.05를 그대로 둡니다.
4. **가설 표준편차**에 10을 입력합니다.
5. **대립가설 표준편차**에서 "크게"를 선택합니다.
6. **감지할 차이**에 2.4499를 입력합니다.
7. **표본 크기는** 비워 둡니다.
8. **검정력**에 0.99를 입력합니다.
9. **계속**을 클릭합니다.

그림 17.11 1 표본 표준편차 계산기



유의 수준이 0.05 일 때 표준편차 10에서 2.4499 증가를 감지 할 확률이 99% 가 되려면 171 개의 웨이퍼를 테스트해야 합니다.

## 1 표본 표준편차 계산기 필드

다음을 지정합니다.

**알파** 제 1 종 오류의 확률, 즉 귀무가설이 참일 때 귀무가설을 기각할 확률입니다. 일반적으로 검정의 유의 수준이라고 합니다. 기본 유의 수준은 0.05 입니다.

**가설 표준편차** 표본 표준편차를 비교할 가설 또는 기준 표준편차입니다.

**대립가설 표준편차** 감지할 변화의 방향이며 "크게" 또는 "작게"를 선택합니다.

---

**참고 :** "대립가설 표준편차" 메뉴에서 "작게"를 선택한 경우 "감지할 차이"에 음수를 입력하십시오.

다음 값 중 두 개를 지정하여 세 번째 값을 계산합니다.

**감지할 차이** 감지 가능한 최소 차이입니다(통계적으로 유의하다고 선언할 수 있는 최소 차이). 이 값은 가설 값과 실제 값의 차이입니다.

**표본 크기** 실험의 총 관측값(련, 실험 단위 또는 표본) 수입니다.

**검정력** 귀무가설이 거짓일 때 기각할 확률입니다. 다른 모든 모수가 고정되면 표본 크기가 커질 수록 검정력도 증가합니다.

### 계산기 버튼

**계속** 결측값을 계산합니다.

**뒤로** 이전 "표본 크기 및 검정력" 시작 창으로 돌아갑니다.

## 1 표본 표준편차 계산기에 대한 통계 상세 정보

JMP에서 검정력을 계산하는 데 사용하는 계산식은 "대립가설 표준편차" 옵션의 설정에 따라 달라집니다.

대립가설 표준편차가 "크게"로 설정된 경우 JMP는 다음과 같이 검정력을 계산합니다.

$$\text{검정력} = 1 - F\left(\frac{\sigma_0^2 \cdot \chi_{1-\alpha}}{(\sigma_0 + \delta)^2}, n - 1\right)$$

$$\delta = \sigma_0 \sqrt{\frac{\chi_{1-\alpha}}{\chi_\beta}} - \sigma_0$$

다음은 각 요소에 대한 설명입니다.

$\sigma_0$ 은 가설 표준편차입니다.

$\sigma$ 는 실제 표준편차입니다.

$X_p$ 는  $X_{n-1}^2$  분포의  $(1 - p)^{\text{th}}$  분위수입니다.

$F(x, n-1)$ 은  $x$ 에서 계산된  $X_{n-1}^2$  분포의 누적 분포 함수입니다.

대립가설 표준편차가 "작게"로 설정된 경우 JMP는 다음과 같이 검정력을 계산합니다.

$$\text{검정력} = 1 - F\left(\frac{\sigma_0^2 \cdot \chi_\alpha}{(\sigma_0 + \delta)^2}, n - 1\right)$$

$$\delta = \sigma_0 \sqrt{\frac{\chi_\alpha}{\chi_{1-\beta}}} - \sigma_0$$

다음은 각 요소에 대한 설명입니다.

$\sigma_0$ 은 가설 표준편차입니다.

$\sigma$ 는 실제 표준편차입니다.

$X_p$ 는  $X_{n-1}^2$  분포의  $(1 - p)^{\text{th}}$  분위수입니다.

$F(x, n-1)$ 은  $x$ 에서 계산된  $X_{n-1}^2$  분포의 누적 분포 함수입니다.

수치 해를 사용하여  $n$ 을 계산합니다.

JMP의 계산에 대한 자세한 내용은 Barker(2011, Section 2.4)에서 확인하십시오.

## 1 표본 비율 계산기

단일 비율에 대한 가설 검정을 위해 표본 크기를 계산하려면 "1 표본 비율" 계산기를 사용합니다. 표본 크기 및 검정력은 다음 가설 검정과 관련됩니다.

$$H_0: p = p_0$$

다음 양측 대립가설과 비교

$$H_a: p \neq p_0$$

또는 다음 단측 대립가설과 비교

$$H_a: p < p_0 \text{ 또는 } H_a: p > p_0$$

여기서  $p$ 는 모비율이고  $p_0$ 은 귀무가설 비율입니다.

단일 비율 계산기는 실제 검정 크기도 제공합니다. 이 값은 지정된 가정에 대한 실제 제1종 오류 비율입니다. 이항 분포는 이산형이므로 표본이 작거나 비율이 0 또는 1에 가까운 경우 실제 검정 크기는 명시된 유의 수준과 크게 다를 수 있습니다. 유의 수준이 명시된 수준 이상이 되게 하려면 "정확 Clopper-Pearson" 방법을 사용하십시오.

## 1 표본 비율 계산기의 예

조립 라인의 과거 결함 비율이 0.1과 같다고 가정해 보겠습니다. 표본 크기가 100이고 유의 수준이 0.05인 경우 과거 비율과 0.1 이상 차이가 나는 결함 비율을 감지할 수 있는 검정력을 계산하려고 합니다.

1. **DOE > 설계 진단 > 표본 크기 및 검정력을 선택합니다.**
2. **1 표본 비율**을 클릭합니다.
3. **알파** 값 0.05를 그대로 둡니다.
4. **비율** 값 0.1을 그대로 둡니다.
5. **방법** 값 "정확 Agresti-Coull"을 그대로 둡니다.
6. 검정 유형 값 **양측**을 그대로 둡니다.
7. **귀무가설 비율** 값 0.2를 그대로 둡니다.
8. **표본 크기에** 100을 입력합니다.
9. **계속**을 클릭합니다.

### 그림 17.12 1 표본 비율 계산기

**표본 크기**

단일 비율  
단일 비율이 가설 값과 다른지 검정합니다.

Alpha  Ho:  $P = P_0$

비율

방법: 정확 Agresti-Coull

양측  
 단측

다른 두 값의 그림을 보려면 한 값을 입력하십시오.

Null 비율	<input type="text" value="0.2"/>
표본 크기	<input type="text" value="100"/>
검정력	<input type="text" value="0.7030334484"/>

실제 검정 크기 = 0.0467265

**계속** **뒤로**

표본 크기가 100인 경우 검정력은 약 70%입니다. 실제 검정 크기는 원하는 값 0.05보다 약간 작은 0.0467 정도입니다. 표본 크기가 100인 경우 결합 비율이 0.2이면 귀무가설을 기각하는 제1종 오류의 확률은 5%입니다. 또는 귀무가설을 기각하지 않는 제2종 오류의 확률은 30%(1 - 검정력)입니다.

## 1 표본 비율 계산기 필드

다음 통계량 및 검정 설정을 지정합니다.

**알파** 제 1 종 오류의 확률, 즉 귀무가설이 참일 때 귀무가설을 기각할 확률입니다. 일반적으로 검정의 유의 수준이라고 합니다. 기본 유의 수준은 0.05입니다.

**비율** 알려져 있거나 가설에 지정된 실제 비율입니다. 기본값은 0.1입니다.

---

**팁 :** 다른 모두가 고정된 경우 비율이 0.5 일 때 표본 크기가 가장 큽니다.

---

**방법** 방법을 선택합니다. "정확 Agresti-Coull" 또는 "정확 Clopper-Pearson"을 선택할 수 있습니다. Clopper-Pearson 방법은 Agresti-Coull 방법보다 더 보수적인 경향이 있습니다(표본 크기가 더 큽니다).

**단측 또는 양측** 단측 또는 양측 검정 중 하나를 선택합니다.

다음 모두 중 두 개를 지정하여 세 번째 값을 계산하거나, 한 값을 지정하여 다른 두 모두 사이의 관계 그림을 볼 수 있습니다.

---

**참고 :** 이 그림은 정확 방법 대신 정규 근사 방법을 사용합니다.

---

**귀무가설 비율** ( $p_0$ )에 대한 검정 비율입니다. 기본값은 0.2입니다.

**표본 크기** 실험의 총 관측값(런, 실험 단위 또는 표본) 수입니다.

**검정력** 귀무가설이 거짓일 때 기각할 확률입니다. 다른 모든 모수가 고정되면 표본 크기가 커질 수록 검정력도 증가합니다.

### 계산기 버튼

**계속** 두 개의 모수가 지정된 경우 결측값을 계산하거나, 모수가 하나만 지정된 경우 두 개의 결측 모수를 비교하는 그림을 시작합니다.

**뒤로** 이전 "표본 크기 및 검정력" 시작 창으로 돌아갑니다.

## 단일 비율 계산기에 대한 통계 상세 정보

단일 비율 표본 크기 계산은 이항 분포를 기반으로 한 정확 방법을 사용합니다. 정확 계산을 사용하면 명시된 검정력 수준을 얻을 수 있습니다.

### Agresti-Coull 방법

정확 Agresti-Coull 방법은 수정 Wald 기반 검정 통계량을 사용합니다. JMP는 양측 귀무가설 하에서 다음과 같이 검정력을 계산합니다.

$$\text{검정력} = \sum_{y=0}^n \Pr\{Y=y | Y \sim \text{binomial}(n, p)\} I\{T(y) \geq \chi_{1-\alpha}\}$$

다음은 각 요소에 대한 설명입니다.

$$T(y) = \frac{(\hat{p} - p_0)^2}{\frac{\hat{p}(1-\hat{p})}{n+4}}$$

$$\hat{p} = \frac{y+2}{n+4}$$

$$I\{T(y_1, y_2) \geq \chi_{1-\alpha}\} = 1 \text{ 단, } (T(y_1, y_2) \geq \chi_{1-\alpha}) \text{ 그렇지 않은 경우 } 0$$

$\chi_{1-\alpha}$  는  $\chi^2$  분포의  $(1 - \alpha)^{\text{th}}$  분위수입니다.

$n$  또는  $p_0$ 에 대해 닫힌 형식의 표현식이 없으므로 수치적 기법을 사용하여  $n$  또는  $p_0$ 을 계산합니다.

수정 Wald 검정 통계량에 대한 자세한 내용은 Agresti and Coull(1998)에서 확인하십시오. JMP의 계산에 대한 자세한 내용은 Barker(2011, Section 3.3)에서 확인하십시오.

### Clopper-Pearson 방법

정확 Clopper-Pearson 방법은 이항 분포를 기반으로 합니다. 이 방법을 사용하면 유의 수준이 명시된 수준 이상이 됩니다. Clopper-Pearson 방법은 Agresti-Coull 방법보다 더 보수적입니다(표본 크기가 더 큼).

정확 Clopper-Pearson 방법은 이항 분포를 직접 사용합니다. 수치적 기법을 사용하여 미지의 모수를 계산합니다.

정확 Clopper-Pearson 방법에 대한 자세한 내용은 Clopper and Pearson(1934) 또는 Agresti and Coull(1998, Section 1)에서 확인하십시오.

## 2 표본 비율 계산기

두 비율에 대한 가설 검정을 위해 표본 크기를 계산하려면 "2 표본 비율" 계산기를 사용합니다. 표본 크기 및 검정력은 다음 가설 검정과 관련됩니다.

$$H_0: p_1 - p_2 = D_0$$

다음 양측 대립가설과 비교

$$H_a: p_1 - p_2 \neq D_0$$

또는 다음 단측 대립가설 중 하나와 비교

$$H_a: (p_1 - p_2) < D_0 \text{ 또는 } H_a: (p_1 - p_2) > D_0$$

여기서  $p_1$ 과  $p_2$ 는 두 모집단의 모비율이고,  $D_0$ 은 가설 비율 차이입니다.

두 비율 계산기는 실제 검정 크기도 제공합니다. 이 값은 지정된 가정에 대한 실제 제1종 오류 비율입니다. 이항 분포는 이산형이므로 표본이 작거나 비율이 0 또는 1에 가까운 경우 실제 검정 크기는 명시된 유의 수준과 크게 다를 수 있습니다.

## 2 표본 비율 계산기의 예

두 개의 실리콘 웨이퍼 조립 라인에 대한 책임자라고 가정해 보겠습니다. 많은 런을 통해 얻은 지식을 바탕으로 조립 라인 중 하나의 결함 비율은 8%이고 다른 라인의 결함 비율은 6%입니다. 80%의 검정력으로 결함 비율에 차이가 있다는 결론을 내리기 위해 필요한 표본 크기를 알아보려고 합니다.

1. **DOE > 설계 진단 > 표본 크기 및 검정력을 선택합니다.**
2. **2 표본 비율**을 클릭합니다.
3. **알파** 설정값 0.05를 그대로 둡니다.
4. **비율 1**에 0.08을 입력합니다.
5. **비율 2**에 0.06을 입력합니다.
6. **양측** 검정을 선택합니다.
7. **귀무가설의 비율 차이**에 0을 입력합니다.
8. **표본 크기 1**과 **표본 크기 2**는 비워 둡니다.

9. 검정력에 0.8을 입력합니다.

10. 계속을 클릭합니다.

### 그림 17.13 양측 검정에 대한 두 비율의 차이

이 계산기는 결합 비율의 차이를 감지하려면 각 생산 라인에서 2,554개의 웨이퍼 표본을 테스트해야 한다는 것을 보여 줍니다.

## 2 표본 비율 계산기 필드

다음 통계량 및 검정 설정을 지정합니다.

**알파** 제 1 종 오류의 확률, 즉 귀무가설이 참일 때 귀무가설을 기각할 확률입니다. 일반적으로 검정의 유의 수준이라고 합니다. 기본 유의 수준은 0.05입니다.

**비율 1** 알려져 있거나 가설에 지정된 모집단 1의 비율입니다. 기본값은 0.5입니다.

**비율 2** 알려져 있거나 가설에 지정된 모집단 2의 비율입니다. 기본값은 0.1입니다.

**단측 또는 양측** 단측 또는 양측 검정 중 하나를 선택합니다.

표본 크기가 하나의 모수로 간주되는 경우 다음 모수 중 두 개를 지정하여 세 번째 값을 계산합니다. 표본 크기를 계산하려면 둘 다 입력하거나 둘 다 비워 두어야 합니다.

**귀무가설의 비율 차이** 귀무가설 하의 비율 차이입니다. 기본값은 0.2입니다.

**표본 크기 1** 비율 1을 추정하기 위한 실험의 총 관측값(련, 실험 단위 또는 표본) 수입니다.

**표본 크기 2** 비율 2를 추정하기 위한 실험의 총 관측값(련, 실험 단위 또는 표본) 수입니다.

---

**참고 :** 표본 크기가 계산되는 경우 표본 크기 1과 표본 크기 2의 값이 같습니다. 표본 크기를 직접 입력하는 경우에는 두 값이 같을 필요가 없습니다.

**검정력** 귀무가설이 거짓일 때 기각할 확률입니다. 검정력이 높아야 좋습니다. 다른 모든 모수가 고정되면 표본 크기가 커질수록 검정력도 증가합니다.

### 계산기 버튼

**계속** 결측값을 계산합니다.

**뒤로** 이전 "표본 크기 및 검정력" 시작 창으로 돌아갑니다.

## 두 비율 계산기에 대한 통계 상세 정보

두 비율 계산기는 단일 비율 계산기에 사용된 것과 유사한 정확 방법을 기반으로 합니다. 양측 가설이 다음과 같은 경우

$$H_0: p_1 - p_2 = D_0 \text{ 대 } H_a: p_1 - p_2 \neq D_0$$

JMP는 귀무가설 하에서 다음과 같이 검정력을 계산합니다.

$$\text{검정력} = \sum_{\substack{n_1 \\ y_1=0}}^{} \sum_{\substack{n_2 \\ y_2=0}}^{} \Pr(Y_1 = y_1) \Pr(Y_2 = y_2) I\{T(y_1, y_2) \geq \chi_{1-\alpha}\}$$

수정 Wald 통계량은 다음과 같이 정의됩니다.

$$T(y_1, y_2) = \frac{(\hat{p}_1 - \hat{p}_2 - \delta_0)^2}{\frac{\hat{p}_1(1-\hat{p}_1)}{n_1+2} + \frac{\hat{p}_2(1-\hat{p}_2)}{n_2+2}} \text{ where } \hat{p}_j = \frac{y_j+1}{n_j+2} \text{ 의 경우 } j = 1, 2$$

및

$$I\{T(y_1, y_2) \geq \chi_{1-\alpha}\} = 1 \text{ 단, } (T(y_1, y_2) \geq \chi_{1-\alpha}) \text{ 그렇지 않은 경우 } 0$$

$\chi_{1-\alpha}$ 는  $\chi^2$  분포의  $(1 - \alpha)^{\text{th}}$  분위수입니다.

$n_i$  또는  $\delta_0$ 에 대해 닫힌 형식의 표현식이 없으므로 수치적 기법을 사용하여  $n_i$  및  $\delta_0$ 를 계산합니다.

수정 Wald 검정 통계량에 대한 자세한 내용은 Agresti and Coull(1998)에서 확인하십시오. JMP의 계산에 대한 자세한 내용은 Barker(2011, Section 3.3)에서 확인하십시오.

## 단위별 개수 계산기

단위별 결합 수에 대한 단측 가설 검정을 위해 표본 크기를 계산하려면 "단위별 개수" 계산기를 사용합니다. 표본 크기 및 검정력은 다음 가설 검정과 관련됩니다.

$$H_0: \lambda \leq \lambda_0$$

다음 단축 대립가설과 비교

$$H_a: \lambda > \lambda_0$$

여기서  $\lambda$ 는 Poisson 분포의 비율입니다.

## 단위별 개수 계산기의 예

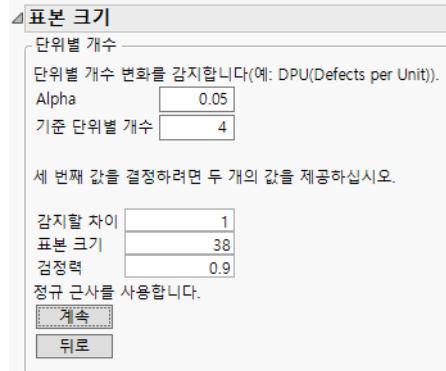
웨이퍼당 결함 수가 4 개 (목표값) 이하인 웨이퍼 제조 공정을 가정해 보겠습니다. 새 공정이 목표값을 충족하는지 확인하려고 합니다. 0.05 유의 수준에서 90% 의 검정력으로 목표값에 대해 웨이퍼당 결함 수 차이 1 을 감지하려면 몇 개의 웨이퍼를 테스트해야 합니까?

1. **DOE > 설계 진단 > 표본 크기 및 검정력을 선택합니다.**
2. **단위별 개수**를 클릭합니다.
3. **알파** 값 0.05 를 그대로 둡니다. 이 값은 새 공정이 목표와 같을 때 검정에 실패할 확률입니다.
4. **기준 단위별 개수**에 4 를 입력합니다. 이 값은 웨이퍼당 목표 결함 수가 4 개임을 나타냅니다.
5. **감지할 차이**에 1 을 입력합니다.
6. "검정력"에 0.9 를 입력합니다.

이 값은 1 보다 큰 변화, 즉 웨이퍼당 결함 수가 5 이상임을 감지할 확률입니다. 이러한 경우 유의 수준 (알파) 을 생산자 위험이라고 하고 검정력 (베타) 을 소비자 위험이라고 합니다.

7. **계속**을 클릭합니다.

**그림 17.14** 단위별 개수 계산기



38 개 웨이퍼를 테스트해야 합니다. 결함이 173 개 미만일 경우 공정이 목표값을 충족합니다.

**참고 :** 173 개의 결함은 귀무가설을 기각하지 않고 38 개 웨이퍼에서 발생할 수 있는 최대 결함 수입니다.

## 단위별 개수 계산기 필드

다음 통계량을 지정합니다.

**알파** 제 1 종 오류의 확률, 즉 귀무가설이 참일 때 귀무가설을 기각할 확률입니다. 일반적으로 검정의 유의 수준이라고 합니다. 기본 유의 수준은 0.05 입니다.

**기준 단위별 개수** 단위별 목표 결함 수입니다. 기본값은 0.1 입니다.

다음 통계량 중 두 개를 지정하여 세 번째 값을 계산합니다.

**감지할 차이** 지정된 단위별 결함 수에 대해 검정할 최소 감지 가능 차이입니다.

**표본 크기** 단위 수입니다.

**검정력** 귀무가설이 거짓일 때 기각할 확률입니다. 다른 모든 모수가 고정되면 표본 크기가 커질 수록 검정력도 증가합니다.

### 계산기 버튼

**계속** 결측값을 계산합니다.

**뒤로** 이전 "표본 크기 및 검정력" 시작 창으로 돌아갑니다.

## 단위별 개수 계산기에 대한 통계 상세 정보

단위별 개수 계산기의 계산은 Poisson 분포에 정규 근사 적용을 기반으로 합니다. 이 검정에는 다음 가설이 사용됩니다.

$$H_0: \lambda \leq \lambda_0 \text{ 대 } H_a: (\lambda > \lambda_0)$$

위의 가설에는 다음 검정 통계량이 사용됩니다.

$$T = \frac{\bar{d} - \lambda_0}{\sqrt{\lambda_0/n}}$$

여기서  $n$ 은 표본 크기이고  $\bar{d}$ 는 표본의 단위별 평균 결함 수입니다.  $T$ 는 대략적으로 정규 분포되었다고 가정합니다. 검정력 계산은 귀무가설과 대립가설 하에서  $T$  분포를 기반으로 합니다.

$$\text{검정력} = \Pr(\text{reject } H_0 \mid \lambda = \lambda_0 + \delta)$$

$$= \Pr[T > Z_{1-\alpha} \mid (\lambda = \lambda_0 + \delta)] = 1 - \Phi\left(\frac{Z_{1-\alpha} - \delta \sqrt{n/\lambda_0}}{\sqrt{(\lambda_0 - \delta)/\lambda_0}}\right)$$

여기서  $\Phi()$ 는 표준 정규 누적 분포 함수이고  $Z_{1-p}$ 는 표준 정규 분포의  $(1 - p)^{\text{th}}$  분위수입니다.

$1 - \beta$  를 사용하여 귀무가설 기각을 위한 원하는 검정력을 나타내면 표본 크기가 다음과 같이 계산됩니다.

$$n = \frac{\lambda_0}{\delta^2} \left( Z_{1-\alpha} - Z_\beta \sqrt{\frac{\lambda_0 + \delta}{\lambda_0}} \right)^2$$

$\delta$ 에 대한 분석 해가 존재하지 않으므로 검정력과  $n$ 이 주어지면 수치적 방법을 사용하여  $\delta$  값을 계산합니다.

JMP의 계산에 대한 자세한 내용은 Barker(2011, Section 2.5)에서 확인하십시오.

## 시그마 품질 수준 계산기

결합 수, 결합 기회 수 및 시그마 품질 수준 간의 관계를 탐색하려면 "시그마 품질 수준" 계산기를 사용합니다. 시그마 품질 수준은 주어진 결합 비율을 6시그마 척도와 관련짓는 통계량입니다. 예를 들어 백만 개의 기회별 3.4 결합 비율은 6시그마 공정이 됩니다.

### 시그마 품질 수준 계산기의 예

플랜트에서 1,000,000 개의 기회 중 50 개 결함에 대한 시그마 품질 수준을 추정하려고 합니다. 기회는 결함 수에 대한 단위입니다. 단일 항목일 수도 있고, 각 잠재적 결함이 기회인 단일 항목에 여러 결함이 있을 수도 있습니다.

1. **DOE > 설계 진단 > 표본 크기 및 검정력**을 선택합니다.
2. **시그마 품질 수준**을 클릭합니다.
3. **결함 수**에 50 을 입력합니다.
4. **기회 수**에 1000000 을 입력합니다.
5. **계속**을 클릭합니다.

**그림 17.15** 시그마 품질 수준 계산기

표본 크기	
시그마 품질 수준	
정규 분위수 $(1 - 결함/기회) + 1.5$	
세 번째 값을 결정하려면 두 개의 값을 제공하십시오.	
결함 수	50
기회 수	1000000
시그마 품질 수준	5.3905918864
<b>계속</b>	
<b>뒤로</b>	

시그마 품질 수준은 약 5.4입니다.

## 결합 수 계산의 예

백만 개의 기회 중 발생할 수 있는 최대 결합 수를 계산하고 6 시그마 품질 수준 공정을 계속 사용하려면 다음 단계를 수행하십시오.

1. **DOE > 설계 진단 > 표본 크기 및 검정력을 선택합니다.**
2. **시그마 품질 수준 버튼을 클릭합니다.**
3. **결합 수는 비워 둡니다.**
4. **기회 수에 1000000 을 입력합니다.**
5. **시그마 품질 수준에 6 을 입력합니다.**
6. **계속을 클릭합니다.**

**그림 17.16** 1,000,000 개 기회에 대한 6 시그마 품질 수준

The screenshot shows a software window titled "표본 크기" (Sample Size). Under the heading "시그마 품질 수준", there is a note: "정규 분위수(1-결합/기회)+1.5". Below it says "세 번째 값을 결정하려면 두 개의 값을 제공하십시오.". A table contains the following data:

결합 수	3.3976731247
기회 수	1000000
시그마 품질 수준	6

At the bottom are two buttons: "계속" (Continue) and "뒤로" (Back).

계산 결과, 6 시그마 품질 수준 공정을 달성하려면 1,000,000 개 기회 중 결합 수가 3을 초과할 수 없음을 알 수 있습니다.

## 시그마 품질 수준 계산기 필드

다음 통계량 중 두 개를 지정하여 세 번째 값을 계산합니다.

**결합 수** 결합 수입니다.

**기회 수** 결함에 대한 기회 수입니다.

**시그마 품질 수준** 표준편차 단위의 결합 비율입니다.

### 계산기 버튼

**계속** 결측값을 계산합니다.

**뒤로** 이전 "표본 크기 및 검정력" 시작 창으로 돌아갑니다.

## 시그마 품질 계산기에 대한 통계 상세 정보

시그마 품질 계산기의 계산은  $n$  개 기회 중  $d$  개 결함에 대한 시그마 품질 수준  $\sigma_q$  의 정의를 기반으로 합니다.

$$\sigma_q = Z_{1 - \frac{d}{n}} + 1.5$$

이 정의에서  $d$  와  $n$  은 다음과 같이 계산할 수 있습니다.

$$d = n[1 - \Phi(\sigma_q - 1.5)]$$

$$n = d[1 - \Phi(\sigma_q - 1.5)]^{-1}$$

여기서  $\Phi()$  는 표준 정규 누적 분포 함수이고  $Z_{1-d/n}$  는 표준 정규 분포의  $(1 - d/n)^{\text{th}}$  분위수입니다.

---

## 신뢰도 시험 계획 계산기

신뢰성 연구에 필요한 표본 크기, 연구 기간 또는 정밀도를 결정하려면 "신뢰도 시험 계획" 계산기를 사용합니다. 신뢰도 연구는 제품의 고장 시간 및 고장 확률을 추정하는 데 사용됩니다. 시험 계획 계산기는 기대 신뢰 구간을 사용하여 추정값의 정밀도를 정의합니다. 이러한 추정값은 적합 고장 분포를 기반으로 합니다. 고장 분포를 적합시키려면 최소한의 고장 수가 판측되어야 합니다.

## 신뢰도 시험 계획 계산기의 예

회사에서 신제품을 개발한 후 양측 절대 정밀 200시간과 95% 신뢰 구간을 사용하여 단위의 20% 가 고장 날 때까지의 시간을 추정하기 위해 시험할 단위 수를 추정하려고 합니다. 즉, 추정 시간에 대한 신뢰 구간이 생성될 때 상한과 하한의 차이가 약 200시간이어야 합니다. 회사는 2,500시간 동안 시험을 실행할 수 있습니다. 또한 유사 제품에 대한 연구를 통해 대략적인 고장 분포를 위치 모수  $\alpha = 2000$ , 척도 모수  $\beta = 3$ 인 Weibull 분포로 가정합니다.

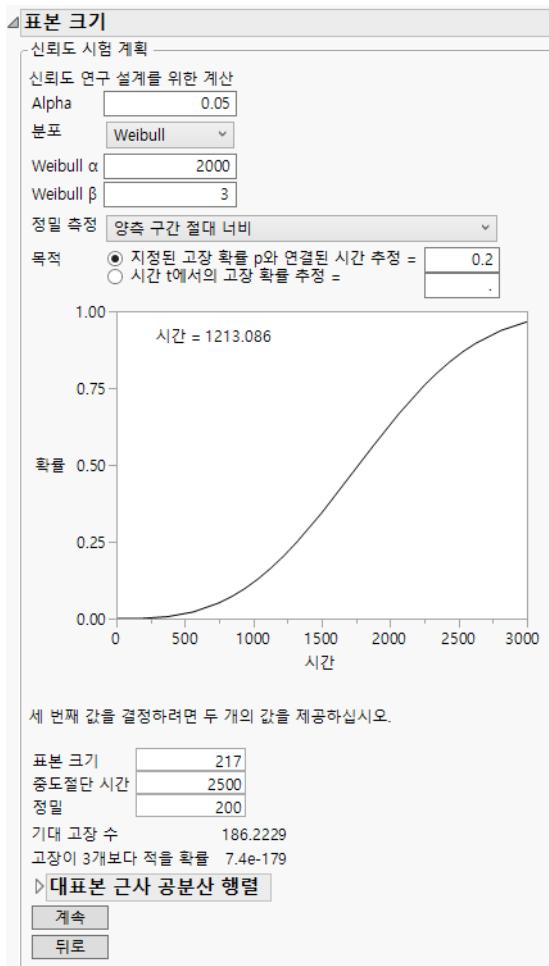
필요한 표본 크기를 계산하려면

1. **DOE > 설계 진단 > 표본 크기 및 검정력을 선택합니다.**
2. **신뢰도 시험 계획을 클릭합니다.**
3. 알파 설정값 0.05 를 그대로 둡니다.
4. "분포" 목록에서 **Weibull** 을 선택합니다.
5. **Weibull**  $\alpha$  모수에 2000 을 입력합니다.
6. **Weibull**  $\beta$  모수에 3 을 입력합니다.
7. "정밀 측정" 목록에서 **양측 구간 절대 너비**를 선택합니다.
8. **지정된 고장 확률 p 와 연결된 시간 추정**을 선택하고 **p** 에 0.2 를 입력합니다.

**참고 :** 연구 목적에 따라 누적 분포 함수 그림에 라벨이 지정됩니다. 여기서 시간 = 1213 은 20% 의 단위 고장에 대한 시간 추정값입니다.

9. 표본 크기는 비워 둡니다.
10. 중도절단 시간에 2500 을 입력합니다 .
11. 정밀에 200 을 입력합니다 .
12. 계속을 클릭합니다 .

**그림 17.17** 신뢰도 시험 계획 계산기



200시간의 정밀도로 단위의 20%가 고장 날 때까지 걸린 시간을 추정하려면 2,500시간 동안 217 개 단위를 시험해야 합니다. 이 시험의 기대 고장 수는 약 186 개로, 고장 분포 추정에 필요한 최소값 3개보다 훨씬 큽니다.

## 신뢰도 시험 계획 계산기 필드

다음 통계량 및 검정 설정을 지정합니다.

**알파** 정밀 측정을 정의하는 데 사용되는 신뢰 구간의 유의 수준입니다.

**분포** 가정된 고장 분포입니다. 사용 가능한 분포는 Weibull, 로그 정규, Frechet, 로그로지스틱, SEV, 정규, LEV 및 로지스틱입니다. 이러한 분포에 대한 자세한 내용은 **Reliability and Survival Methods** 의에서 확인하십시오.

**위치** 고장 분포의 위치 모수입니다.

---

**참고 :** "분포" 가 "Weibull" 로 설정되면 "위치" 필드가 "Weibull  $\alpha$ " 로 표시됩니다.

---

**척도** 고장 분포의 척도 모수입니다.

---

**참고 :** "분포" 가 "Weibull" 로 설정되면 "척도" 필드가 "Weibull  $\beta$ " 로 표시됩니다.

---

**정밀 측정** 정밀 측정의 정의입니다. 정의는 추정되는 수량(고장 시간 또는 확률)의 기대 신뢰 구간을 기반으로 합니다. 정밀 측정에 선택할 수 있는 옵션은 다음과 같습니다.

**구간 비율** 정밀 값을 하한에 대한 상한 비율의 제곱근으로 정의합니다. 상한이 하한보다 크거나 같으므로 이 비율은 항상 1 보다 큽니다. 추정값의 정밀도가 증가하면 구간 비율이 감소합니다.

**양측 구간 절대 너비** 정밀 값을 신뢰 구간의 너비 또는 상한과 하한의 차이로 정의합니다.

**하위 단측 구간 절대 너비** 정밀 값을 하위 구간의 너비 또는 추정값 신뢰 구간의 하한과 추정 값의 차이로 정의합니다.

**양측 구간 상대 너비** 정밀 값을 추정값에 상대적인 신뢰 구간 너비로 정의합니다. 이 값은 상한과 하한 간의 차이를 추정값으로 나눈 것입니다.

**하위 단측 구간 상대 너비** 정밀 값을 추정값에 상대적인 하위 구간 너비로 정의합니다. 이 값은 추정값과 하한 간의 차이를 추정값으로 나눈 것입니다.

**목적** 연구 목적입니다. 다음 목적 중 하나를 선택하고 해당 값을 입력합니다.

- 지정된 고장 확률  $p$  와 연결된 시간 추정
- 시간  $t$  에서의 고장 확률 추정

---

**참고 :** 그림은 고장 분포의 누적 분포 함수입니다. 연구 목적에 따라 시간 또는 확률 추정값 라벨이 그림에 지정됩니다.

---

다음 통계량 중 두 개를 지정하여 세 번째 값을 계산합니다.

**표본 크기** 신뢰도 시험에 포함할 단위 수입니다.

**중도절단 시간** 신뢰도 시험을 실행하는 데 사용 가능한 시간입니다.

**정밀** 정밀 수준입니다. 이 값에 대한 단위의 정의는 선택한 정밀 측정에 해당합니다.

## 계산기 버튼

**계속** 결측값을 계산합니다.

**뒤로** 이전 "표본 크기 및 검정력" 시작 창으로 돌아갑니다.

## 추가 신뢰도 시험 계획 계산

표본 크기, 중도절단 시간 또는 정밀뿐만 아니라 다음 통계량도 계산됩니다.

**기대 고장 수** 지정된 신뢰도 시험에 대해 기대되는 고장 수입니다.

**고장이 3 개보다 적을 확률** 지정된 신뢰도 시험으로 인한 고장 수가 3 개보다 적을 확률입니다. 이 값은 고장 분포의 위치 및 척도 모수에 대해 안정적인 추정값을 얻기 위해 필요한 최소 고장 수가 3 개이므로 중요합니다. 고장 수가 한 개 또는 두 개뿐이면 추정값이 불안정합니다. 이 확률이 크면 분포 모수의 추정을 신뢰할 수 있을 만큼 충분한 수의 고장을 관측하지 못할 위험이 있습니다. 표본 크기 또는 중도절단 시간을 늘리면 고장이 3 개보다 적을 확률을 낮출 수 있습니다.

**대표본 근사 공분산 행렬** 고장 분포의 위치 모수와 척도 모수에 대한 근사 분산 및 공분산을 제공합니다.

## 신뢰도 시험 계획 계산기에 대한 통계 상세 정보

신뢰도 시험 계획의 목적은 다음 통계량

$$q(p) = \exp[\sigma\Phi^{-1}(p) + \mu]$$

또는 다음 고장 확률을 추정하는 것입니다.

$$p(t) = \Phi\left[\frac{\log(t) - \mu}{\sigma}\right]$$

이때 가정된 고장 시간 분포 및 정밀 측정과 함께 지정된 유의 수준이 사용됩니다.  $\Phi()$ 는 위치 모수가  $\mu$ 이고 척도 모수가  $\sigma$ 인 가정된 고장 시간 분포의 표준 누적 분포 함수입니다. Wald 신뢰 구간 및 정밀 측정은  $t$ (시간)와  $n$ (표본 크기)의 함수로 정밀 수준을 정의합니다. 수치적 방법을 사용하여 원하는 수량을 계산합니다.

JMP의 계산에 대한 자세한 내용은 Barker(2011, Section 6)에서 확인하십시오.

## 신뢰도 데모 계산기

지정된 기간 동안 지정된 수의 단위를 시험하려면 "신뢰도 데모" 계산기를 사용합니다.  $k$  개 미만의 단위에서 고장이 발생하면 데모를 통과하고, 제품 신뢰도가 신뢰도 표준을 충족하거나 초과한다는 결론을 내릴 수 있습니다. 신뢰도 데모를 다음과 같은 가설 검정으로 제시해 보겠습니다.

$$H_0: p < p^* \text{ 대 } H_a: p \geq p^*$$

여기서  $p$ 는 신제품에 대한  $t^*$ 에서의 생존 시간 확률이고,  $p^*$ 는 시간  $t^*$ 에서의 표준 생존 확률입니다.

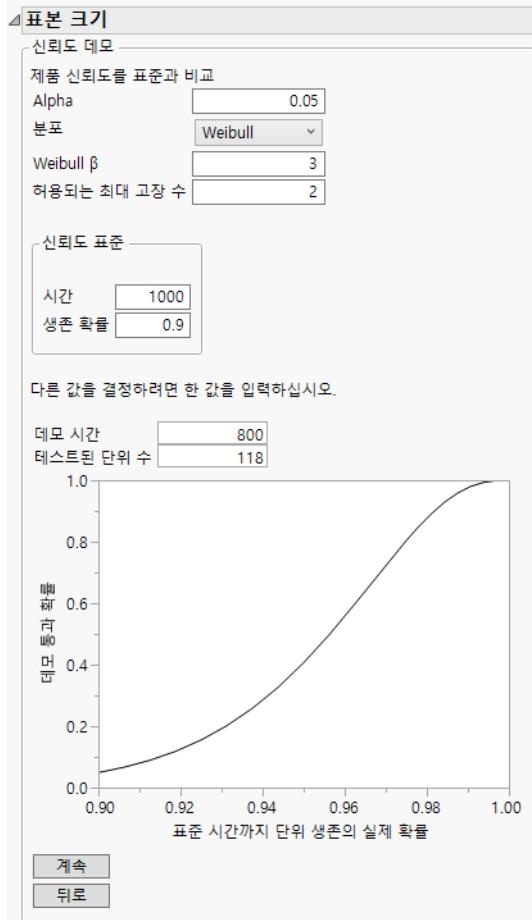
### 신뢰도 데모 계산기의 예

회사에서 1,000시간 후의 생존 확률에 대한 과거 신뢰도 표준(90%)과 비교하여 신제품의 신뢰도를 평가하는 데 필요한 표본 크기를 추정하려고 합니다. 유사 제품에 대한 이전 연구를 통해 고장 시간 분포를  $\beta$  모수가 3인 Weibull로 가정합니다. 800시간 동안 데모를 실행할 수 있으며 실험 결과로 허용되는 최대 고장 수는 2개입니다.

필요한 표본 크기를 계산하려면

1. **DOE > 설계 진단 > 표본 크기 및 검정력을 선택합니다.**
2. **신뢰도 데모**를 클릭합니다.
3. 알파 설정값 0.05를 그대로 둡니다.
4. "분포" 목록에서 **Weibull**을 선택합니다.
5. **Weibull**  $\beta$ 에 3을 입력합니다.
6. **허용되는 최대 고장 수**에 2를 입력합니다.
7. **시간**에 1000을 입력합니다.
8. **생존 확률**에 0.9를 입력합니다.
9. **데모 시간**에 800을 입력합니다.
10. **테스트된 단위 수**는 비워 둡니다.
11. **계속**을 클릭합니다.

## 그림 17.18 신뢰도 데모 계산기



데모에서 118개의 단위를 실행해야 합니다. 또한 800시간 동안 관측된 고장 수가 2개 이하이면 신제품 신뢰도가 표준 이상이라는 결론을 내릴 수 있습니다.

이 그림은 신뢰도 표준의 시간까지 단위 생존의 실제 확률이 증가할수록 데모 통과 확률이 증가함을 보여 줍니다. 이 예에서 표준 시간까지 단위 생존 확률이 92%를 넘지 못하면 신제품의 데모 통과 확률은 약 12.5%에 불과합니다.

## 신뢰도 데모 계산기 필드

다음 통계량 및 검정 설정을 지정합니다.

**알파** 제 1 종 오류의 확률, 즉 귀무가설이 참일 때 귀무가설을 기각할 확률입니다. 일반적으로 검정의 유의 수준이라고 합니다. 기본 유의 수준은 0.05 입니다.

**분포** 가정된 고장 시간 분포입니다. 사용 가능한 분포는 Weibull, 로그 정규, Frechet, 로그로지스틱, SEV, 정규, LEV 및 로지스틱입니다. 이러한 분포에 대한 자세한 내용은 Reliability and Survival Methods 의에서 확인하십시오.

**척도** 고장 시간 분포의 척도 모수입니다.

**참고 :** "분포" 가 "Weibull"로 지정되면 "척도" 필드가 "Weibull  $\beta$ "로 표시됩니다.

**허용되는 최대 고장 수** 테스트 데모 성공을 위해 허용되는 최대 고장 수입니다.

**신뢰도 표준** 테스트 중인 표준의 정의입니다. 이 표준은 시간 및 해당 시간까지 항목이 생존할 확률을 기반으로 합니다.

**시간** 테스트 대상 항목이 생존해야 하는 최소 시간입니다.

**생존 확률** 테스트 대상 항목이 신뢰도 표준에 정의된 시간까지 생존할 확률입니다.

다음 두 값 중 하나를 입력하여 다른 값을 계산합니다.

**데모 시간** 데모 실행 시간입니다.

**테스트된 단위 수** 데모에 필요한 단위 수입니다.

### 계산기 버튼

**계속** 결측값을 계산합니다.

**뒤로** 이전 "표본 크기 및 검정력" 시작 창으로 돌아갑니다.

## 신뢰도 데모 계산기에 대한 통계 상세 정보

신뢰도 데모는 척도 모수가  $\sigma$ 인 가정된 고장 시간 분포에 따라 달라집니다. 신뢰도 표준, 즉 시간  $t$ 와 위치  $\mu$ 에서의 생존 확률은 다음과 같이 명시됩니다.

$$p = 1 - \Phi\left[\frac{\log t - \mu}{\sigma}\right]$$

여기서  $\mu$ 는 다음 식을 사용하여 계산됩니다.

$$\mu = \log(t) - \sigma \Phi^{-1}(1-p).$$

표본 크기와 검정 크기를 계산하기 위해 시간  $t$ 에서의 생존 확률이 다음과 같은 가설 검정으로 제시됩니다.

$$H_0: p < p^* \text{ 대 } H_a: p \geq p^*$$

여기서  $p^*$ 는 시간  $t^*$ 에서의 표준 생존 확률입니다.

다음과 같은  $\alpha$  수준에서 가설을 검정하려고 합니다.

$$\alpha = \Pr(k \text{ 개 이하의 고장 수} \mid H_0 \text{ true}).$$

$n$ 개의 독립 단위에 대한 검정이므로 고장 수는  $(n, p)$  이항 분포를 갖습니다. 여기서  $p$ 는 시간  $t$  전에 단위가 고장 날 확률입니다. 따라서  $\alpha$ 를  $t$  와  $n$  의 함수로 표현할 수 있습니다.

$$\alpha = \Pr\left(x \leq k | x \sim \text{Bin}\left(n, \Phi\left[\frac{\log t - \mu^*}{\sigma^*}\right]\right)\right)$$

여기서  $\mu^*$  와  $\sigma^*$ 는 가정된 신뢰도 표준의 값입니다.

이항 분포와 베타 분포의 특성으로 인해 다음 식을 사용하여  $t$  를 계산할 수 있습니다.

$$t = \frac{t^* \exp\{\sigma^* \Phi^{-1}[1 - B^{-1}(\alpha; n-k, k+1)]\}}{\exp[\sigma^* \Phi^{-1}(1-p^*)]}$$

$n$  의 경우 Brent 방법을 사용하여 다음 식의 근을 찾습니다.

$$B^{-1}(\alpha; n-k, k+1) - 1 + \Phi\left[\frac{\log t - (\log t^*) + \sigma^* \Phi^{-1}(1-p^*)}{\sigma^*}\right] = 0$$

다음은 각 요소에 대한 설명입니다.

$B^{-1}(\alpha; n-k, k+1)$  은 Beta( $n-k, k+1$ ) 분포의  $\alpha$  분위수입니다.

$\Phi()$ 는 가정된 고장 시간 분포의 누적 분포 함수입니다.

JMP의 계산에 대한 자세한 내용은 Barker(2011, Section 5)에서 확인하십시오.

## 선택 설계

### 기본 제품 프로파일 선택을 위한 설계 생성

선택(또는 이산 선택) 실험은 이산 선호도를 모델링하기 위한 데이터를 제공합니다. 연구 참가자에게는 다양한 속성을 가진 잠재적 제품 집합, 즉 제품 프로파일이 제공됩니다. 참가자는 각 프로파일 집합에서 선호하는 프로파일을 선택합니다. 예를 들어 컴퓨터 회사에서 고급 랩톱을 설계할 때 프로세서 속도, 하드 디스크 크기, 화면 크기, 배터리 수명 및 가격과 같은 주요 특징의 상대적 중요도에 관심이 있을 수 있습니다. 선택 실험은 고객에게 이러한 특징의 상대 값을 제시하고 제품 특징 간에 최적의 절충안을 나타냅니다.

선택 실험 결과는 컨조인트 분석 방법을 사용하여 분석됩니다. 자세한 내용은 **Consumer Research**의 에서 확인하십시오.

**그림 18.1** 8 개의 선택 집합이 있는 설문 조사

선택 집합	선택 ID	Disk Size	Speed	Battery Life	Price
1	1	1 40 GB	2.0 GHz	6 Hrs	\$1000
2	1	2 80 GB	1.5 GHz	4 Hrs	\$1500
3	2	1 80 GB	1.5 GHz	4 Hrs	\$1200
4	2	2 40 GB	1.5 GHz	6 Hrs	\$1500
5	3	1 40 GB	1.5 GHz	4 Hrs	\$1200
6	3	2 80 GB	2.0 GHz	6 Hrs	\$1500
7	4	1 40 GB	2.0 GHz	4 Hrs	\$1000
8	4	2 80 GB	1.5 GHz	6 Hrs	\$1500
9	5	1 80 GB	2.0 GHz	6 Hrs	\$1200
10	5	2 40 GB	1.5 GHz	6 Hrs	\$1000
11	6	1 40 GB	1.5 GHz	4 Hrs	\$1500
12	6	2 80 GB	1.5 GHz	6 Hrs	\$1000
13	7	1 80 GB	1.5 GHz	4 Hrs	\$1000
14	7	2 40 GB	2.0 GHz	6 Hrs	\$1200
15	8	1 80 GB	1.5 GHz	6 Hrs	\$1200
16	8	2 80 GB	2.0 GHz	4 Hrs	\$1500

## 목차

선택 설계 개요	509
선택 설계 용어	509
베이지안 D-최적	509
선택 설계의 예	510
분석을 사용한 선택 설계의 예	512
파일럿 연구를 위한 선택 설계 생성	512
파일럿 연구 데이터 분석	514
사전 정보를 사용하여 최종 선택 실험 설계	516
설계 실행 및 결과 분석	517
선택 설계 창	520
속성	520
모형	521
설계 생성	523
설계	524
테이블 생성	525
선택 설계 옵션	525
기술 상세 정보	526
베이지안 D-최적 및 설계 구성	526
유ти리티 중립 설계 및 로컬 D-최적 설계	527

## 선택 설계 개요

이산 선택 실험은 제품 설계 공정을 뒷받침합니다. 이러한 실험을 통해 사람들이 사고 싶어 하는 제품을 설계할 수 있도록 회사 시장에 맞는 제품 특징의 우선 순위를 정할 수 있습니다. 선택 설계 플랫폼은 제품 속성을 요인으로 사용하여 실험을 생성합니다. 연구할 속성과 해당 값은 선택하는 것은 매우 중요합니다. 소비자의 제품 구매 결정에 영향을 미칠 수 있는 모든 속성을 포함해야 합니다. 선택 실험 설계에 대한 자세한 내용과 지침은 Sall(2008)에서 확인하십시오.

### 선택 설계 용어

다음은 선택 설계와 관련된 용어입니다.

- 속성은 제품의 특징입니다.
- 프로파일은 제품 속성의 규격입니다.
- 선택 집합은 프로파일 모음입니다.
- 설문 조사는 선택 집합 모음입니다.
- 부분 프로파일은 각 선택 집합 내에서 지정된 수의 속성만 변경되는 선택 설계의 프로파일입니다. 나머지 속성은 변하지 않습니다.

이산 선택 실험에서는 여러 선택 집합을 포함하는 설문 조사를 응답자에게 제공합니다. 일반적으로 선택 집합은 의사결정 과정을 쉽게 완료하기 위해 소수의 프로파일만 포함합니다. 각 응답자는 각 선택 집합 내에서 자신이 선호하는 프로파일을 지정합니다. 예를 들어 램프 실험의 속성에는 속도, 저장 용량, 화면 크기, 배터리 수명 및 가격이 포함될 수 있습니다. 이러한 속성의 다양한 조합으로 제품 프로파일이 구성됩니다. 선택 집합은 두 개의 프로파일로 구성될 수 있습니다. 응답자는 각 선택 집합에서 원하는 프로파일을 선택합니다.

관련된 속성이 많은 경우 각 선택 집합에 부분 프로파일이 포함되는 설문 조사를 구성할 수 있습니다. 부분 프로파일이 있는 선택 집합에서는 지정된 수의 속성만 변하고 나머지 속성은 일정하게 유지됩니다. 이렇게 하면 선택 작업의 복잡성을 줄일 수 있습니다.

### 베이지안 D-최적

이산 선택 모형은 모수에서 비선형이므로 선택 설계의 효율도는 미지의 모수에 따라 달라집니다. 선택 설계 플랫폼은 사용자가 지정하는 모수 확률 값의 사전 분포에 대해 설계를 최적화하는 베이지안 방법을 사용합니다. 베이지안 D-최적 기준은 사전 분포와 관련한 정보 행렬의 행렬식에 대한 로그 기대값입니다. 선택 설계 플랫폼은 사전 확률 분포와 관련하여 이 기대를 최대화합니다. 자세한 내용은 "베이지안 D-최적 및 설계 구성"(526 페이지) 및 Kessels et al. (2011)에서 확인하십시오.

다음과 같은 유형의 설계도 생성할 수 있습니다.

- 유틸리티 중립 설계 - 유틸리티 중립 설계에서는 선택 집합 내의 모든 선택 항목에 대한 확률이 동등합니다. 사전 평균은 0으로 설정됩니다.

- 로컬 D- 최적 설계 - 로컬 D- 최적 설계는 사전 평균을 고려하지만 사전 공분산 행렬의 정보는 포함하지 않습니다.

유ти리티 중립 설계와 로컬 D-최적 설계에 대한 자세한 내용은 "[유티리티 중립 설계 및 로컬 D-최적 설계](#)"(527페이지)에서 확인하십시오.

## 선택 설계의 예

### 실험 정보

이 예의 경우 커피숍에서 대부분의 고객을 만족시킬 수 있는 이상적인 커피를 만들고 싶어 합니다. 관리자는 고객 선호도에 영향을 주는 요인을 판별해 줄 것을 요청했습니다. 특히 다음 요인(속성)에 대해 이상적인 커피를 만드는 설정을 판별해야 합니다.

- 커피 입자 크기 (중간 또는 굵게)
- 온도 ( $195^{\circ}$ ,  $200^{\circ}$ ,  $205^{\circ}$ )
- 추출 시간 (3 분, 3.5 분, 4 분)
- 1 온스당 커피 양 (1.6g, 2g, 2.4g)

요인 수준의 각 조합을 프로파일이라고 합니다. 가능한 모든 프로파일을 모든 응답자 표본에 제공하여 선호도 정보를 얻는 것은 실용적이지 않습니다. 그러나 소수의 프로파일로 구성된 선택 집합에서 선호하는 프로파일을 선택하도록 응답자에게 요청할 수 있습니다.

이 예에서는 각 응답자가 여러 선택 집합에서 자신의 선호도를 나타내는 실험을 설계합니다. 설계 구조는 다음과 같습니다.

- 응답자 10 명
- 선택 집합 12 개
- 선택 집합당 프로파일 2 개
- 응답자당 12 개의 선택 집합이 모두 포함된 설문 조사 1 개

실험 결과 각 응답자마다 12개의 반응이 나옵니다. 이러한 선호도를 분석하면 대부분의 고객을 만족시키는 커피를 만드는 방법에 대한 결론을 내릴 수 있습니다.

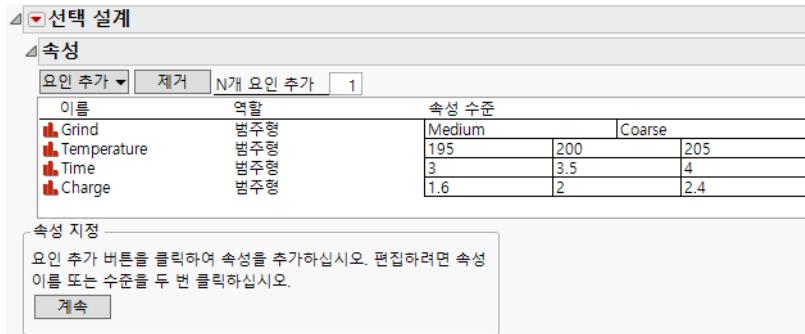
### 설계 생성

요인을 수동으로 입력하거나, 요인과 설정이 포함된 기존 테이블을 사용하여 자동으로 입력합니다. 편의상 이 예에서는 기존 테이블을 사용합니다. 그러나 새 실험을 설계하는 경우 먼저 수동으로 요인을 입력해야 합니다. 요인을 수동으로 입력하는 방법에 대한 자세한 내용은 "[속성](#)"(520페이지)에서 확인하십시오.

- DOE > 소비자 연구 > 선택 설계**를 선택합니다.
- 도움말 > 샘플 데이터 라이브러리**를 선택하고 **Design Experiment/Coffee Choice Factors.jmp**를 엽니다.

3. "선택 설계"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **요인 불러오기**를 선택합니다.

**그림 18.2** 속성이 정의된 선택 설계 창



4. **계속**을 클릭합니다.

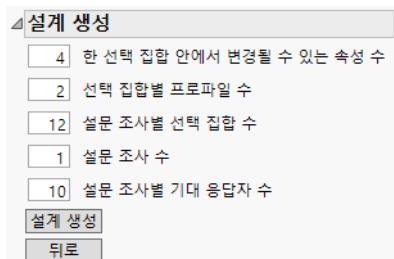
5. (선택 사항) "DOE 모형 제어" 개요를 엽니다.

주효과만 있습니다. 이 예에서는 네 가지 요인의 주효과를 포함하는 모형에만 관심이 있습니다. 그러나 추가 효과를 추정할 수 있는 설계를 생성하려면 이 개요에서 원하는 효과를 추가합니다.

6. "설계 생성" 패널에서 다음을 수행합니다.

- 한 선택 집합 안에서 변경될 수 있는 속성 수 4를 그대로 유지합니다.
- 선택 집합별 프로파일 수 2를 그대로 유지합니다.
- 설문 조사별 선택 집합 수에 12를 입력합니다.  
이 예에서는 응답자가 12 개의 선택 집합을 평가합니다.
- 설문 조사 수 1을 그대로 유지합니다.
- 설문 조사별 기대 응답자 수에 10을 입력합니다.  
이 예에서는 응답자가 10 명입니다.

**그림 18.3** 완료된 설계 생성 패널



**참고 :** 7 단계에서 "난수 시드값" 을 설정하면 이 예에 표시된 것과 동일한 결과가 재현됩니다. 설계를 직접 구성할 때는 이 단계가 필요하지 않습니다.

7. ( 선택 사항 ) "선택 설계" 의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **난수 시드값 설정**을 선택합니다. "12345" 를 입력하고 **확인**을 클릭합니다.
8. **설계 생성**을 클릭합니다.  
12 개의 선택 집합이 있고 각 선택 집합은 두 개의 커피 프로파일로 구성됩니다.
9. **프로파일 및 반응에 대해 별도의 테이블 출력**을 선택합니다.  
이렇게 하면 선택 집합에 대한 설명이 "선택 프로파일" 이라는 데이터 테이블에 추가됩니다. 두 번째 데이터 테이블("선택 런")은 반응 정보를 쉽게 입력할 수 있도록 하기 위해 생성됩니다.
10. **테이블 생성**을 클릭합니다.  
"선택 프로파일" 테이블은 각각 두 개의 프로파일로 구성된 선택 집합 12 개를 보여 줍니다. "선택 런" 테이블에서는 **프로파일 ID** 를 사용하여 반응 열에 선호하는 프로파일을 기록할 수 있습니다. 선호하는 프로파일이 선택 1 이면 1 을 입력하고 선택 2 이면 2 를 입력합니다. 응답자가 선호하는 항목이 없을 경우에는 반응을 결측 상태로 둘 수도 있습니다.  
"선택 프로파일" 테이블의 **선택 스크립트**를 사용하면 실험 결과를 쉽게 분석할 수 있습니다. 이 스크립트는 "선택 모형" 의 완료된 시작 창을 엽니다. 선택 모형에 대한 자세한 내용은 **Consumer Research** 의 에서 확인하십시오.  
"선택 프로파일" 테이블의 **DOE 대화상자** 스크립트는 설계 대화상자를 다시 시작합니다.

## 분석을 사용한 선택 설계의 예

이 예에서는 컴퓨터 제조업체가 신형 랩톱을 제조하려고 하는데 비용이 많이 드는 개발 공정을 시작하기 전에 고객 선호도 정보를 얻으려고 합니다. 제조업체는 두 개의 프로파일 집합으로 구성된 설계를 구성하여 10 명의 응답자에게 제공하기로 결정합니다. 이 선택 설계의 목표는 잠재적 랩톱 구매자가 다음과 같은 네 가지 속성 모음의 이점에 대해 어떻게 생각하는지 이해하는 것입니다.

- 하드 드라이브 디스크 크기 (40GB 또는 80GB)
- 프로세서 속도 (1.5GHz 또는 2.0GHz)
- 배터리 수명 (4 시간 또는 6 시간)
- 컴퓨터 가격 (1000 달러, 1200 달러 또는 1500 달러)

10 명의 응답자에 대한 설계를 구성하려면 먼저 응답자 한 명만 대상으로 소규모 파일럿 연구를 수행합니다. 그런 다음 결과를 분석하고 해당 모수 추정값을 10 명의 응답자에 대한 최종 연구를 설계할 때 사전 정보로 사용합니다.

## 파일럿 연구를 위한 선택 설계 생성

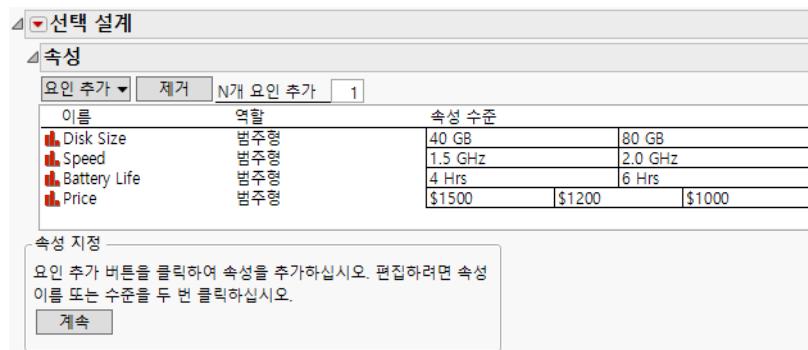
이 섹션에서는 응답자가 한 명인 연구를 위한 선택 설계를 구성합니다.

## 요인 및 수준 정의

이 예에서는 기존 테이블의 요인을 불러옵니다. 새 실험을 직접 설계할 때는 요인을 수동으로 입력합니다.

1. **DOE > 소비자 연구 > 선택 설계**를 선택합니다.
2. **도움말 > 샘플 데이터 라이브러리**를 선택하고 Design Experiment/Laptop Factors.jmp를 엽니다.
3. "선택 설계"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **요인 불러오기**를 선택합니다.

**그림 18.4** 속성이 정의된 선택 설계 창



## 설계 생성

1. **계속**을 클릭합니다.
2. 이 파일럿 설문 조사는 단일 응답자에게 제공됩니다. "DOE 모형 제어", "사전 규격" 및 "설계 생성" 패널의 기본값은 그대로 유지합니다.
3. (선택 사항) "선택 설계"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **난수 시드값 설정**을 선택합니다. "12345"를 입력하고 **확인**을 클릭합니다.
4. **설계 생성**을 클릭합니다.

**참고 :** 3 단계에서 "난수 시드값"을 설정하면 이 예에 표시된 것과 동일한 결과가 재현됩니다. 설계를 직접 구성할 때는 이 단계가 필요하지 않습니다.

### 그림 18.5 파일럿 설계

선택 집합	Disk Size	Speed	Battery Life	Price
1	40 GB	2.0 GHz	6 Hrs	\$1000
1	80 GB	1.5 GHz	4 Hrs	\$1500
2	80 GB	1.5 GHz	4 Hrs	\$1200
2	40 GB	1.5 GHz	6 Hrs	\$1500
3	40 GB	1.5 GHz	4 Hrs	\$1200
3	80 GB	2.0 GHz	6 Hrs	\$1500
4	40 GB	2.0 GHz	4 Hrs	\$1000
4	80 GB	1.5 GHz	6 Hrs	\$1500
5	80 GB	2.0 GHz	6 Hrs	\$1200
5	40 GB	1.5 GHz	6 Hrs	\$1000
6	40 GB	1.5 GHz	4 Hrs	\$1500
6	80 GB	1.5 GHz	6 Hrs	\$1000
7	80 GB	1.5 GHz	4 Hrs	\$1000
7	40 GB	2.0 GHz	6 Hrs	\$1200
8	80 GB	1.5 GHz	6 Hrs	\$1200
8	80 GB	2.0 GHz	4 Hrs	\$1500

프로파일 및 반응에 대해 별도의 테이블 출력  
 프로파일과 반응을 한 테이블에 결합

테이블 생성

뒤로

단일 설문 조사에는 8개의 선택 집합이 포함되고 각 선택 집합은 두 개의 랩톱 프로파일로 구성됩니다.

5. **프로파일과 반응을 한 테이블에 결합** 옵션이 선택되어 있는지 확인합니다.

이렇게 하면 선택 집합과 설문 조사 결과가 동일한 테이블에 추가됩니다.

6. **테이블 생성**을 클릭합니다.

이 설문 조사는 사전 정보가 없다는 가정하에 설계되었습니다. 이로 인해 일부 선택 집합에서 유용한 정보를 끌어내지 못할 수 있습니다. 계획은 단일 응답자로부터 설문 조사 결과를 얻고 결과를 분석한 후 파일럿 설문 조사 결과를 최종 연구 설계의 사전 정보로 사용하는 것입니다.

## 파일럿 연구 데이터 분석

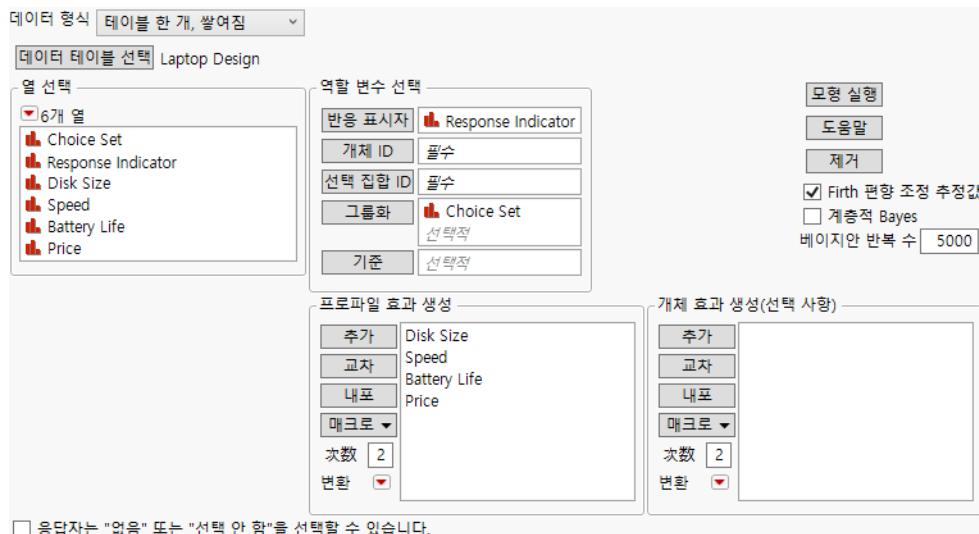
파일럿 설문 조사 설계가 완료되었으므로 단일 응답자에게 제공합니다. 응답자는 각 집합에서 하나의 프로파일을 선택한 후 선택한 프로파일에는 1을 입력하고 거부한 프로파일에는 0을 입력합니다. 그러면 선택 플랫폼을 사용하여 결과를 분석합니다.

---

**참고 :** 선택 플랫폼에 대한 자세한 내용은 *Consumer Research*의 에서 확인하십시오.

1. 도움말 > 샘플 데이터 라이브러리를 선택하고 *Design Experiment/Laptop Design.jmp*를 엽니다.
2. **Choice** 스크립트를 실행합니다.

그림 18.6 선택 모형 시작 창



단일 설문 조사 및 단일 응답자가 있으므로 그룹화 변수는 Choice Set 뿐입니다.

### 3. 모형 실행을 클릭합니다.

그림 18.7 파일럿 연구의 모수 추정값

모수 추정값		
항	추정값	표준 오차
Disk Size[40 GB]	-0.007125177	0.4991763970
Speed[1.5 GHz]	0.214880936	0.5265848733
Battery Life[4 Hrs]	0.052925888	0.4895109018
Price[\$1500]	-0.978517706	0.7062009731
Price[\$1200]	0.076206148	0.7442825255
AICc	43.487115	
BIC	13.884322	
-2*로그 우도	3.4871145	
-2*Firth 로그 우도	-2.203446	
그래디언트에 수렴됨		
Firth 편향 조정 추정값		

10명의 응답자에게 제공할 최종 선택 설계를 구성하려면 모수 추정값의 사전 평균 및 분산이 필요합니다. 그림 18.7의 분석은 모수 평균 추정값 ("추정값")과 표준 오차 추정값 ("표준 오차")을 제공합니다. 표준 오차를 표준편차의 사전 추정값으로 처리합니다. 속성의 분산 추정값을 계산하려면 JMP 테이블을 생성하고 표준 오차 제곱을 계산합니다.

- "모수 추정값" 보고서를 마우스 오른쪽 버튼으로 클릭하고 **데이터 테이블로 만들기**를 선택합니다.
- 새 데이터 테이블에서 표준 오차 열 머리글을 마우스 오른쪽 버튼으로 클릭하고 **새 계산식 열 > 변환 > 제곱**을 선택합니다.

표준 오차  $\wedge 2$  열이 데이터 테이블에 추가됩니다. 이 값은 선택 모형 모수에 대한 사전 분산 추정값으로 사용됩니다.

**그림 18.8** 마지막 열에 분산 추정값이 추가된 제목 없음 데이터 테이블

항	추정값	표준 오차	표준 오차 <sup>2</sup>
1 Disk Size[40 GB]	-0.007125177	0.4991763970	0.2491770753
2 Speed[1.5 GHz]	0.214880936	0.5265848733	0.2772916288
3 Battery Life[4 Hrs]	0.052925888	0.4895109018	0.2396209229
4 Price[\$1500]	-0.978517706	0.7062009731	0.4987198144
5 Price[\$1200]	0.076206148	0.7442825255	0.5539564778

---

**참고 :** 여기서 "제목 없음" 데이터 테이블을 닫지 마십시오.

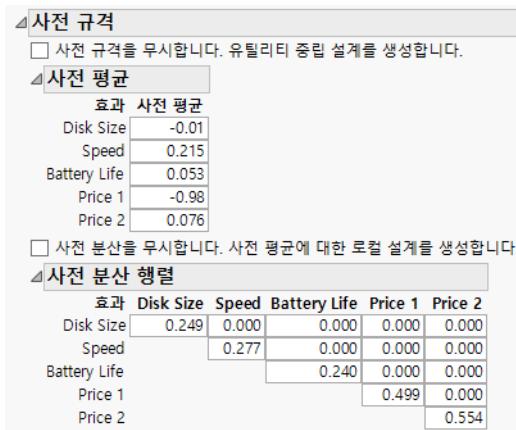
---

## 사전 정보를 사용하여 최종 선택 실험 설계

이 섹션에서는 파일럿 랩톱 연구를 통해 얻은 사전 정보를 사용하여 최종 설계를 구성합니다. 최종 설계는 10 명의 참가자 집합에 제공됩니다.

1. **도움말 > 샘플 데이터 라이브러리**를 선택하고 **Design Experiment/Laptop Factors.jmp**를 엽니다.
2. **DOE > 소비자 연구 > 선택 설계**를 선택합니다.
3. "선택 설계"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **요인 불러오기**를 선택합니다.
4. **계속**을 클릭합니다.
5. "제목 없음" 테이블에서 추정값 열의 값을 "선택 설계" 창의 "사전 평균" 개요에 입력합니다 (그림 18.9 참조).  
"제목 없음" 테이블에서 전체 열을 복사한 다음, "사전 평균" 개요의 **사전 평균** 아래에 있는 **Disk Size** 텍스트 상자를 클릭하고 마우스 오른쪽 버튼을 클릭한 후 "붙여넣기"를 선택할 수 있습니다.
6. "제목 없음" 테이블에서 표준 오차<sup>2</sup> 열의 값을 "선택 설계" 창에 있는 "사전 분산 행렬" 개요의 주대각 항목에 입력합니다 (그림 18.9 참조). 이 값은 소수점 이하 세 자리로 반올림하여 하나씩 입력합니다.

그림 18.9 파일럿 연구의 사전 평균 및 분산 정보



7. "설계 생성" 패널에서 **설문 조사 수**에 2를 입력하고 **설문 조사별 기대 응답자 수**에 5를 입력합니다.

이렇게 하면 총 10 명의 응답자에 대한 설문 조사 도구가 제공되고 두 가지 서로 다른 프로파일 집합이 허용됩니다.

8. **설계 생성**을 클릭합니다.  
9. **테이블 생성**을 클릭합니다.

설계 테이블에 160 개의 행이 포함됩니다. 10 명의 연구 응답자에 대해 각각 16 개의 행이 있습니다. 각 응답자는 각각 2 개의 프로파일로 구성된 8 개의 선택 집합을 갖습니다. 2 개의 설문 조사가 각각 5 명의 응답자에게 제공됩니다.  $(\text{프로파일 수}) * 8(\text{선택 집합 수}) * 2(\text{설문 조사 수}) * 5(\text{응답자 수}) = 160$  계산을 통해 160 개 행이 생성됩니다.

이제 최종 설계를 10 명의 응답자에게 제공할 수 있습니다.

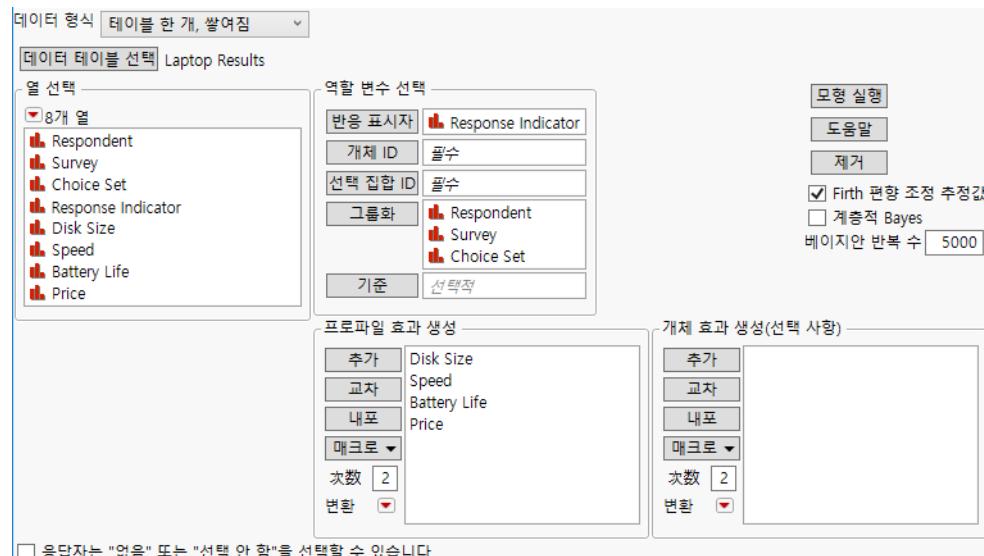
## 설계 실행 및 결과 분석

이 섹션에서는 최종 설계를 통해 얻은 결과를 분석합니다. 특히 랩톱의 가격이나 다른 특성을 바꾸는 것이 잠재적 구매자가 인식하는 만족도에 어떻게 영향을 미치는지 알고 싶습니다. 이 만족도를 랩톱 속성의 유ти리티 값이라고 합니다.

### 유의한 속성 판별

1. 도움말 > 샘플 데이터 라이브러리를 선택하고 Design Experiment/Laptop Results.jmp 를 엽니다.
2. **Choice** 스크립트를 실행합니다.

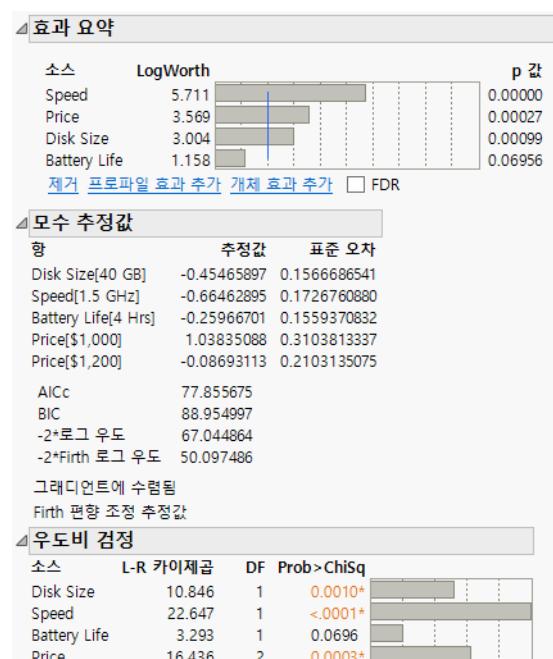
그림 18.10 선택 모형 시작 창



여러 설문 조사 및 응답자가 있으므로 Respondent, Survey 및 Choice Set라는 세 가지 그룹화 변수가 있습니다.

3. 모형 실행을 클릭합니다.

그림 18.11 최종 랩톱 설계의 초기 분석



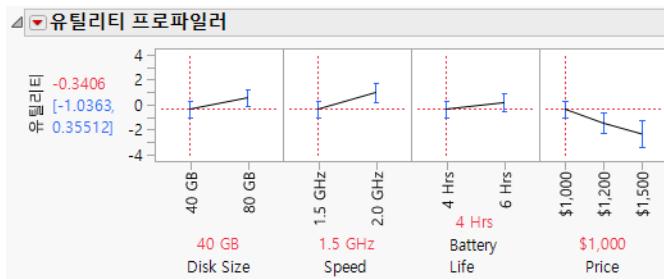
"효과 요약" 및 "가능도비 검정" 개요에서는 Disk Size, Speed 및 Price 가 0.05 수준에서 유의하고 "Battery Life"는 아주 약간 유의함을 나타냅니다.

### 단위 비용 및 기회 비용 찾기

이제 프로파일러를 사용하여 유트리티 값을 보고 랩톱 속성이 변경될 때 이 값이 어떻게 변하는지 확인합니다.

1. "선택 모형"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **유트리티 프로파일러**를 선택합니다.

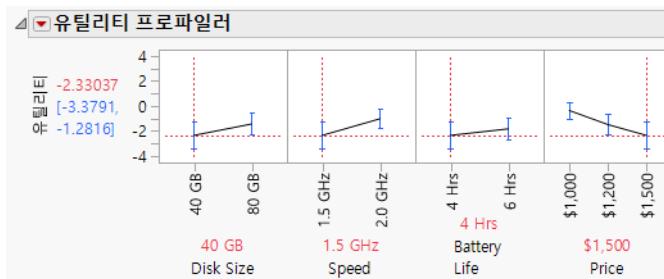
**그림 18.12** Price = \$1000 의 유트리티 프로파일러



각 속성 값이 가장 낮은 값으로 설정된 경우 "유트리티" 값은 -0.3406입니다. 가장 먼저 단위 유트리티 비용을 확인하려고 합니다.

2. Price 슬라이더를 \$1,500로 움직입니다.

**그림 18.13** Price = \$1500 의 유트리티 프로파일러

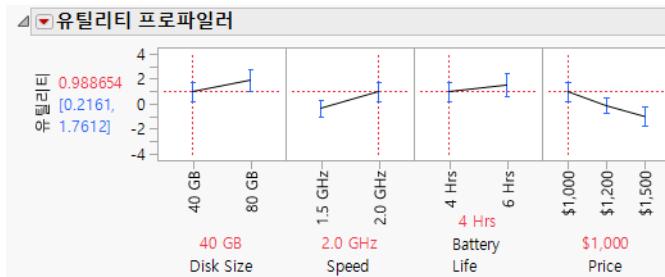


Price 가 \$1,000에서 \$1,500로 변경되면 "유트리티"가 -0.3406에서 -2.3303으로 변합니다. 즉, 랩톱 가격을 500달러 인상하면 유트리티(만족도)가 약 2 단위 낮아집니다. 따라서 단위 유트리티 비용을 약 250달러로 추정할 수 있습니다.

이제 이 단위 유트리티 비용 추정값으로 다른 속성을 변경하고, 유트리티 변화를 확인하고, 속성 변경과 관련된 금전적 가치 근사값을 찾을 수 있습니다. 예를 들어 가장 유의한 속성은 Speed입니다(그림 18.11 참조).

3. "유트리티 프로파일러"에서 "Price"를 다시 \$1,000(가장 낮은 값)로 설정하고 "Speed"를 2.0GHz(더 높은 값)로 변경합니다.

그림 18.14 Speed 값은 증가할 때의 유저리티 값



"유저리티" 값은 그림 18.12에 표시된 원래 값  $-0.3406$ 에서  $0.9886$ 으로 바뀌어 총  $1.3292$  단위의 변화를 보입니다. 유저리티 비용 추정값 또는 250 달리를 사용하면  $1.5\text{GHz}$  랩톱에 비해  $2.0\text{GHz}$  랩톱의 가격 인상은  $1.3292 * \$250.00 = 332.30$  달러로 계산될 수 있습니다. 이것은 선택 연구에서 제조업체가 이 랩톱 속성의 가격을 결정하는 기준으로 사용할 수 있는 달러 값입니다. 다른 속성에 대해서도 유사한 계산을 할 수 있습니다.

## 선택 설계 창

"선택 설계" 창은 속성 선호도를 모델링하기 위한 선택 설계를 구성하는 단계를 안내합니다. 가정된 모형과 사전 정보를 지정할 수 있습니다.

설계 단계를 진행하는 동안 "선택 설계" 창이 업데이트됩니다. 개요는 개요를 업데이트하는 버튼을 클릭할 때 구분되어 나타나며 그림 18.15의 흐름을 따릅니다.

그림 18.15 선택 설계 흐름

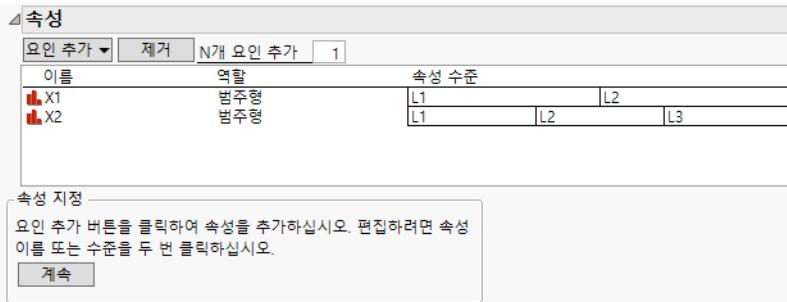


## 속성

선택 설계의 속성은 범주형만 가능합니다.

**팁 :** "속성" 개요를 완료하면 빨간색 삼각형 메뉴에서 **요인 저장**을 선택하는 것이 좋습니다. 이렇게 하면 속성 이름, 역할 및 수준을 데이터 테이블에 저장하여 나중에 다시 불러와 사용할 수 있습니다.

그림 18.16 속성 개요



"속성" 개요에는 다음과 같은 버튼이 포함되어 있습니다.

**요인 추가** 선택한 수준 수를 사용하는 속성을 추가합니다.

**제거** 선택한 속성을 제거합니다.

**N 개 요인 추가** 여러 속성을 추가합니다. 추가할 속성 수를 입력하고 **요인 추가**를 클릭한 후 수준 수를 선택합니다. 수준 수가 다른 여러 속성을 추가하려면 **N 개 요인 추가**를 반복합니다.

"속성" 개요에는 다음과 같은 열이 포함되어 있습니다.

**이름** 속성의 이름입니다. X1, X2 등의 기본 이름이 속성에 지정됩니다. 이름을 변경하려면 이름을 두 번 클릭한 후 원하는 이름을 입력합니다.

**역할** 속성의 설계 역할을 "범주형"으로 지정합니다.

**속성 수준** 속성 이름 또는 설명입니다. "속성 수준"을 삽입하려면 기본 수준을 클릭한 후 원하는 이름을 입력합니다.

### 속성 개요 편집

- 속성 이름을 편집하려면 해당 속성 이름을 두 번 클릭합니다.
- 속성 수준을 편집하려면 해당 수준을 클릭합니다.

### 속성 열 특성

각 속성에 대해 JMP는 선택 플랫폼에서 구성된 데이터 테이블에 "값 순서" 열 특성을 저장합니다. "값 순서" 열 특성은 "속성" 개요에 지정된 순서대로 보고서에 수준이 나타나도록 지정합니다. 자세한 내용은 "열 특성" 부록의 "값 순서"(755페이지)에서 확인하십시오.

### 모형

모형 개요는 다음 두 부분으로 구성됩니다.

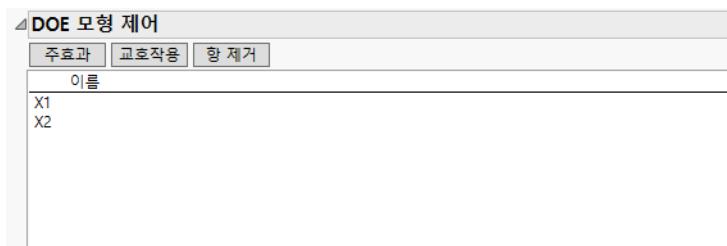
- 가정된 모형, 즉 추정할 모든 효과를 포함하는 모형을 지정할 수 있습니다. 자세한 내용은 "[DOE 모형 제어](#)"(522페이지)에서 확인하십시오.

- 속성 수준에 대한 사전 지식을 지정하여 더 적합한 설계를 생성할 수 있습니다. 자세한 내용은 "사전 규격"(522 페이지)에서 확인하십시오.

## DOE 모형 제어

"DOE 모형 제어" 개요에서 가정된 모형을 지정합니다. 모든 주효과는 기본적으로 포함됩니다. 모든 이원 교호작용을 추가하려면 "교호작용" 버튼을 클릭합니다.

**그림 18.17** DOE 모형 제어 개요



설계 테이블을 구성할 때 JMP에서 "선택" 스크립트를 데이터 테이블에 저장합니다. "선택" 스크립트는 "DOE 모형 제어" 개요에서 선택한 모형이 포함된 선택 플랫폼을 시작합니다.

"DOE 모형 제어" 개요에는 다음과 같은 버튼이 포함되어 있습니다.

**주효과** 모형의 모든 속성에 대한 주효과를 추가합니다.

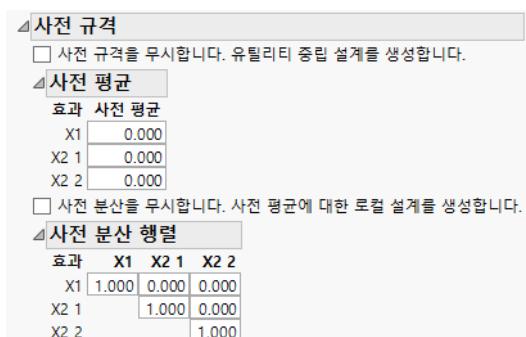
**교호작용** 모든 2 차 교호작용을 추가합니다. 일부 교호작용을 포함하지 않으려면 제거할 교호 작용을 선택하고 **항 제거**를 클릭합니다.

**항 제거** 선택한 효과를 제거합니다.

## 사전 규격

모형 모수에 대해 다변량 정규 사전 분포의 규격을 입력합니다. "사전 평균" 개요에 사전 분포의 평균을 입력하고 "사전 분산 행렬" 개요에 공분산 행렬을 입력합니다.

**그림 18.18** 사전 규격 개요



다음 옵션을 사용하여 사전 규격을 무시할 수 있습니다.

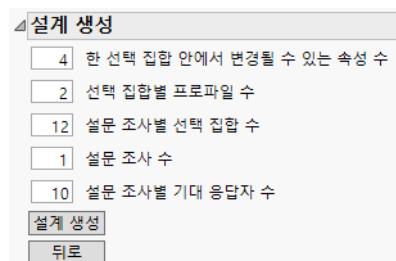
**사전 규격을 무시합니다. 유ти리티 중립 설계를 생성합니다.** 사전 평균을 0 으로 설정하고 로컬 D-최적 설계를 생성합니다. 이 설계를 유ти리티 중립 설계라고 합니다. 자세한 내용은 Huber and Zwerina(1996) 에서 확인하십시오.

**사전 분산을 무시합니다. 사전 평균에 대한 로컬 설계를 생성합니다.** 로컬 D-최적 설계를 생성합니다. 로컬 설계는 사전 평균을 고려하지만 공분산 행렬은 무시합니다. 자세한 내용은 Huber and Zwerina(1996) 에서 확인하십시오.

## 설계 생성

"설계 생성" 패널에서 설계 구조를 정의하는 규격을 입력합니다.

**그림 18.19** 커피 예에 대한 설계 생성 패널



**참고 :** 그림 18.19 는 커피 예에서 가져왔습니다. 자세한 내용은 "선택 설계의 예"(510 페이지 )에서 확인하십시오.

다음 각 항목에 대한 수를 입력합니다.

**한 선택 집합 안에서 변경될 수 있는 속성 수** 총 속성 수보다 작거나 같은 수를 입력합니다. 이 값은 주로 총 속성 수로 설정됩니다. 그러나 여러 속성을 비교하는 경우 응답자의 선택 과정을 간소화하려면 총 속성 수보다 작은 값으로 설정하십시오.

**선택 집합별 프로파일 수** 응답자가 선호도를 지정할 때 선택해야 하는 프로파일의 수를 입력합니다.

**설문 조사별 선택 집합 수** 각 응답자로부터 얻으려는 선호도의 수를 입력합니다.

**설문 조사 수** 고유한 선택 집합 모음의 수를 입력합니다. 여러 응답자에게 설문 조사를 제공하려는 경우에 유용합니다.

**설문 조사별 기대 응답자 수** 총 응답자 수를 총 설문 조사 수로 나눈 값을 입력합니다.

## 설계 생성

"설계 생성" 개요를 완료한 후 **설계 생성**을 클릭하여 설계를 생성합니다. 설계가 "설계" 개요에 나타납니다.

## 설계

"설계" 개요에서는 선택 사항에 따라 최적 설계를 위한 렌을 보여 줍니다. 설계를 검토하여 요구 사항을 충족하는지 확인합니다.

**그림 18.20** 커피 예에 대한 설계 개요

설계				
선택 집합	Grind	Temperature	Time	Charge
1	Coarse	195	3	2
1	Medium	200	4	1.6
2	Medium	205	3	2
2	Coarse	200	3.5	2.4
3	Coarse	195	3	1.6
3	Medium	200	3.5	2.4
4	Coarse	200	3	2.4
4	Medium	205	3.5	2
5	Coarse	195	3.5	1.6
5	Coarse	200	3	2
6	Medium	195	3.5	2
6	Medium	205	4	2.4
7	Coarse	195	3.5	2.4
7	Medium	200	3	1.6
8	Medium	195	4	2
8	Coarse	205	3	1.6
9	Coarse	200	3.5	1.6
9	Medium	195	3	2.4
10	Medium	200	3	1.6
10	Coarse	205	4	2
11	Coarse	200	3.5	2
11	Medium	195	4	1.6
12	Coarse	200	4	2
12	Medium	205	3.5	2.4

프로파일 및 반응에 대해 별도의 테이블 출력

프로파일과 반응을 한 테이블에 결합

**참고 :** 그림 18.20 는 커피 예에서 가져왔습니다. 자세한 내용은 "[선택 설계의 예](#)"(510 페이지)에서 확인하십시오.

**참고 :** 최적 설계를 찾기 위한 알고리즘은 랜덤 시작 설계를 기반으로 합니다. 이 때문에 생성된 설계가 고유하지 않습니다. **뒤로 및 설계 생성** 버튼을 반복해서 클릭하면 설계 알고리즘이 또 다른 설계를 생성합니다.

## 출력 옵션

다음 출력 옵션 중 하나를 선택합니다.

**프로파일 및 반응에 대해 별도의 테이블 출력** 다음과 같은 두 개의 데이터 테이블을 표시합니다.

- "선택 프로파일" 테이블에는 설문 조사 및 선택 집합 열로 식별되는 각 행에 프로파일이 나열됩니다. 선택 집합 내에서 프로파일은 선택 ID로 식별됩니다. 이 테이블은 설문 조사 도구를 구성하는 데 유용합니다.

- "선택 런" 테이블에는 응답자 선호도를 입력할 수 있는 빈 반응 열이 제공됩니다. 각 행은 단일 선택 집합에 해당합니다. 행은 응답자, 설문 조사 및 선택 집합별로 정렬됩니다. 다음 열에 선택 집합 ID가 제공되고 그 뒤에 반응 열이 있습니다. 응답자의 선호도에 대한 선택 집합 ID를 "반응" 열에 입력합니다.

**프로파일과 반응을 한 테이블에 결합** 응답자 선호도를 입력할 수 있는 빈 반응 표시자 열이 포함된 단일 "선택 프로파일" 테이블을 제공합니다. 각 행은 단일 프로파일에 해당합니다. 테이블은 응답자, 설문 조사 및 선택 집합별로 정렬됩니다. 응답자가 선호하는 프로파일에 1(또는 0이 아닌 다른 수치 표시자)을 입력하고 선택 집합의 다른 프로파일에 0 표시자를 입력합니다.

**참고 :** 반응 표시자 열에 입력하는 값은 숫자여야 합니다.

## 테이블 생성

**테이블 생성**을 클릭하여 "["출력 옵션"](#)(524페이지)"에서 선택한 하나 이상의 테이블을 구성합니다. "선택 프로파일" 테이블의 테이블 패널에 **선택** 스크립트가 있습니다. 이 스크립트를 실행한 후 **모형 실행**을 클릭하여 실험 결과를 분석할 수 있습니다.

선택 모형 보고서에 대한 자세한 내용은 [Consumer Research](#)의에서 확인하십시오.

## 선택 설계 옵션

**요인 저장** "요인" 패널의 정보를 새 데이터 테이블에 저장합니다. 각 요인의 열에는 수준이 포함됩니다. 다른 정보는 열 특성으로 저장됩니다. 그러면 요인 및 관련 정보를 대부분의 DOE 창에 빠르게 불러올 수 있습니다.

**참고 :** 빈 테이블에 데이터를 입력하여 요인 테이블을 생성할 수 있지만 각 열에 적절한 설계 역할을 할당해야 합니다. 이렇게 하려면 데이터 격자에서 열 이름을 마우스 오른쪽 버튼으로 클릭하고 **열 특성 > 설계 역할**을 선택합니다. 그런 다음 "설계 역할" 영역에서 적절한 역할을 선택합니다.

**요인 불러오기** "요인 저장" 옵션을 사용하여 저장한 요인을 불러옵니다.

**난수 시드값 설정** JMP가 랜덤 성분이 있는 작업을 제어하는 데 사용하는 난수 시드값을 설정합니다. 이러한 작업에는 다음 중 하나 이상이 포함됩니다.

- 설계 생성을 위한 검색 알고리즘 초기화
- 설계 생성을 위한 런 순서 랜덤화
- 랜덤 시작에 기반한 설계의 시작 설계 선택

설계를 재현하려면 **설계 생성**을 클릭하기 전에 생성된 설계의 난수 시드값을 입력합니다.

**참고 :** 설계와 관련된 난수 시드값은 설계 데이터 테이블에 저장된 "DOE 대화상자" 스크립트에 포함됩니다.

**반응 시뮬레이션** 선택 모형 시뮬레이션 계산식을 포함하는 열과 반응 확률을 설계 테이블에 추가합니다. "테이블 생성"을 클릭하기 전에 이 옵션을 선택하십시오.

"테이블 생성"을 클릭하면 다음과 같은 결과가 나타납니다.

- 시뮬레이션된 선택 모형 반응 계산식을 포함하는 새 열이 설계 테이블에 추가됩니다. 계산식과 값은 설계 창에 지정된 모형에 기초합니다.
  - 모형 효과에 대한 주변 유틸리티 값을 설정할 수 있는 "모형" 창이 나타납니다.
  - **선택 모형 시뮬레이션** 스크립트가 설계 테이블에 저장됩니다. 이 스크립트는 값을 다시 시뮬레이션하거나 주변 유틸리티를 변경할 수 있도록 "모형" 창을 다시 엽니다.
- "적용"을 클릭하면 시뮬레이션된 선택 모형 반응 값의 계산식이 "선택 모형 시뮬레이션" 열에서 업데이트됩니다. "적용"을 다시 클릭하면 이 열의 계산식과 값이 업데이트됩니다. 자세한 내용은 "사용자 설계" 장의 "[반응 시뮬레이션](#)"(103 페이지)에서 확인하십시오.

**참고 :** **JMP PRO** "반응 시뮬레이션"을 사용하면 JMP Pro 시뮬레이션 기능을 사용하여 시뮬레이션 분석을 수행할 수 있습니다. DOE의 예에 대한 자세한 내용은 기본 분석의에서 확인하십시오.

**시작 수** 설계 구성에 사용되는 랜덤 시작 횟수를 지정할 수 있습니다. 자세한 내용은 "[베이지안 D-최적 및 설계 구성](#)"(526 페이지)에서 확인하십시오.

**고급 옵션** 선택 설계에는 사용할 수 없습니다.

**스크립트를 스크립트 창에 저장** "선택 설계" 창에서 지정한 설계의 스크립트를 생성한 후 열린 스크립트 창에 저장합니다.

## 기술 상세 정보

### 베이지안 D-최적 및 설계 구성

베이지안 D-최적 기준은 사전 분포와 관련한 다행 로짓 모형에서 모두 추정량 최대 가능성도의 정보 행렬 행렬식에 대한 로그 기대값입니다. 선택 설계 플랫폼은 사전 확률 분포를 나타내는 모두 벡터 표본과 관련하여 이 기대를 최대화합니다. 자세한 내용은 Kessels et al. (2011)에서 확인하십시오.

부분 프로파일 설계의 경우 JMP는 다음과 같은 2 단계 설계 알고리즘을 사용합니다.

1. 각 선택 집합의 상수 속성은 속성 균형 방식을 사용하여 결정됩니다.
2. 비상수 속성의 수준은 베이지안 D-최적을 사용하여 결정됩니다.

속성 균형은 알고리즘이 전체 설계에서 각 속성이 상수로 고정되는 횟수의 균형을 맞추려고 시도하는 것을 의미합니다. 둘 이상의 속성이 상수로 고정되면 알고리즘은 설계에서 상수로 고정된 속성 쌍의 발생이 균형을 이루도록 합니다.

비상수 속성의 수준은 베이지안 D-최적 기준을 최적화하도록 결정됩니다. 랜덤 시작 설계가 발견됩니다. 그러면 좌표 교환 알고리즘을 사용하여 비상수 속성의 수준이 생성되고 베이지안 D-최적 기준이 최적화될 때까지 평가됩니다. 다변량 정규 사전 분포에 대한 적분을 포함하는 계산은 Gotwalt et al. (2009)에 설명된 구직법을 사용합니다.

---

**참고 :** 베이지안 D-최적 기준으로 인해 일부 비상수 속성의 수준이 동일한 선택 집합이 생성될 수 있습니다. 프로파일 내에서 비상수 수준을 변경하여 모든 프로파일의 확률이 매우 높거나 낮은 무정보적 선택 집합이 생성되는 경우가 여기에 해당합니다.

---

## 유ти리티 중립 설계 및 로컬 D-최적 설계

선택 설계 플랫폼을 사용하는 경우 사전 평균을 0으로 설정하여 유ти리티 중립 설계를 생성할 수 있습니다. 유ти리티 중립 설계에서는 선택 집합 내의 모든 선택 항목에 대한 확률이 동등합니다. 자세한 내용은 Huber and Zwerina(1996)에서 확인하십시오.

로컬 D-최적 설계도 생성할 수 있습니다. 로컬 D-최적 설계는 사전 평균을 고려하지만 사전 공분산 행렬의 정보는 포함하지 않습니다. 자세한 내용은 Huber and Zwerina(1996)에서 확인하십시오.



## 최대차이 설계

### 최선 - 최악 항목 선택을 위한 설계 생성

최대차이(최대 차이 척도화) 연구는 표준 선호도 척도를 사용하여 평가 항목의 상대 중요도를 결정하는 연구의 대안입니다. 최대차이 연구에서 응답자는 소수의 선택 집합 중에서 가장 선호하는 옵션과 가장 선호하지 않는 옵션만 보고합니다. 이렇게 하면 응답자가 선호도를 기준으로 옵션 순위를 지정하게 되고, 이로 인해 표준 선호도 척도를 사용하는 것보다 더 확증적인 순위를 얻는 경우가 많습니다.

최대차이 연구 중에 응답자에게 제공할 수 있는 한 요인에 대한 선택 집합으로 구성된 설계를 생성해야 할 때 최대차이 플랫폼을 사용합니다. 연구를 수행한 후 최대차이 분석 플랫폼을 사용하여 데이터를 분석합니다.

**그림 19.1** 최대차이 설계 테이블

번호	개체	선택 집합	Candy	선택
1	1	1	Reese's Cups	•
2	1	1	Hershey Bar	•
3	1	1	Snickers	•
4	1	1	Butterfinger	•
5	1	2	Butterfinger	•
6	1	2	Heath Bars	•
7	1	2	Plain M&Ms	•
8	1	2	Snickers	•
9	1	3	Plain M&Ms	•
10	1	3	Snickers	•
11	1	3	Peanut M&Ms	•
12	1	3	Hershey Bar	•
13	1	4	Snickers	•
14	1	4	Peanut M&Ms	•
15	1	4	Reese's Cups	•
16	1	4	Heath Bars	•

**목차**

최대차이 설계 플랫폼 개요	531
최대차이 설계의 예	531
최대차이 설계 시작 창	535
최대차이 창	535
설계 옵션 개요	535
설계 개요	536
쌍별 따름 행렬	536
테이블 생성	536
최대차이 옵션	536

## 최대차이 설계 플랫폼 개요

선택 집합은 응답자가 가장 선호하는 항목(최선 항목)과 가장 선호하지 않는 항목(최악 항목)을 선택해야 하는 항목 모음입니다. 최대차이 플랫폼을 사용하면 선택 집합에 나타나는 항목 수와 응답자에게 제공할 선택 집합 수를 지정할 수 있습니다.

최대차이 플랫폼은 단일 설문 조사를 제공합니다. 응답자가 여러 명이면 동일한 설문 조사를 모든 응답자에게 제공하거나 각 응답자에 대한 설문 조사를 구성할 수 있습니다.

최대차이 설계는 균형 불완비 블록 설계의 따름 행렬을 가능한 한 근사하게 매칭하도록 구성됩니다. 이것은 설계에서 각 항목 쌍의 발생 횟수가 동일하다는 의미입니다. 선택 집합의 수가 선택 집합에서 지정된 수의 항목에 대해 균형 불완비 블록을 구성할 수 있을 정도이면 균형 불완비 블록 설계가 구성됩니다.

항목 또는 프로파일은 처리 요인의 수준으로 간주됩니다. 선택 집합은 블록으로 간주됩니다. 최대차이 연구에서 블록 크기는 처리 수보다 작습니다.

## 최대차이 설계의 예

회사의 사무용품 구매자로서 명절 파티를 위해 사탕을 사야 합니다. 먼저 사람들이 좋아하는 사탕 종류를 결정하려고 합니다. 이를 확인하기 위해 최대차이 연구를 수행합니다.

동료 5명을 무작위로 선택하여 7개 종류의 사탕을 평가하도록 요청합니다. 이전 연구의 경험을 바탕으로 평가자가 7개 종류의 항목을 선호도 순으로 순위를 지정하기가 어렵다는 것을 알고 있습니다. 대신 크기가 4인 선택 집합으로 구성된 설계를 생성합니다. 관리 가능한 연구를 위해 설문 조사를 최대차이 연구로 구성합니다. 이 연구에서는 각 동료에게 7개의 각 선택 집합에서 가장 선호하는 사탕과 가장 선호하지 않는 사탕을 지정하도록 요청합니다. 이렇게 선택하면 균형 불완비 블록 설계가 생성됩니다. 자세한 내용은 [Cochran and Cox\(1957\)](#)에서 확인하십시오. 각 동료에게 동일한 설문 조사를 제공합니다.

### 설계 생성

선택 집합에 대한 항목 또는 프로파일이 나열된 테이블을 구성합니다. 이 예에서는 항목 테이블 Candy Profiles.jmp 가 이미 구성되어 있습니다.

1. **도움말 > 샘플 데이터 라이브러리**를 선택하고 Design Experiment/Candy Profiles.jmp 를 엽니다.  
이 테이블에는 7 개 사탕 종류가 나열되어 있습니다 .
2. **DOE > 소비자 연구 > 최대차이 설계**를 선택합니다 .
3. " 열 선택 " 목록에서 Candy 를 선택하고 **X, 요인** 을 클릭합니다 .
4. **확인** 을 클릭합니다 .
5. " 설계 옵션 " 개요에서 다음을 수행합니다 .
  - 선택 집합별 프로파일 수를 4 로 설정합니다 .

- 선택 집합 수를 7로 설정합니다.

**참고 :** 6 단계에서 "난수 시드값"을 설정하면 이 예에 표시된 것과 동일한 결과가 재현됩니다. 설계를 직접 구성할 때는 이 단계가 필요하지 않습니다.

- (선택 사항) "최대차이 연구"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **난수 시드값 설정**을 선택합니다. "12345"를 입력하고 **확인**을 클릭합니다.
- 설계 생성**을 클릭합니다.  
"설계" 개요에는 각각 4개의 사탕 종류로 구성된 선택 집합 7개가 표시됩니다."쌍별 따름 행렬"은 각 사탕 종류 쌍이 함께 나타나는 선택 집합 수의 행렬을 제공합니다. 행렬의 주대각은 각 사탕 종류가 나타나는 선택 집합의 수입니다. 이 예의 경우 각 사탕은 4개의 선택 집합에 나타나고 4개의 선택 집합 중 2개에서 서로 다른 종류의 사탕과 함께 나타납니다.
- 테이블 생성**을 클릭합니다.

**그림 19.2** 사탕 선호도 설문 조사에 대한 설계 테이블(일부분)

선택	선택 집합	Candy	선택
1	1	1 Reese's Cups	•
2	1	1 Hershey Bar	•
3	1	1 Snickers	•
4	1	1 Butterfinger	•
5	1	2 Butterfinger	•
6	1	2 Heath Bars	•
7	1	2 Plain M&Ms	•
8	1	2 Snickers	•
9	1	3 Plain M&Ms	•
10	1	3 Snickers	•
11	1	3 Peanut M&Ms	•
12	1	3 Hershey Bar	•
13	1	4 Snickers	•
14	1	4 Peanut M&Ms	•
15	1	4 Reese's Cups	•
16	1	4 Heath Bars	•

설계 테이블에는 선호도 기록을 위한 선택 열이 포함되어 있습니다. 각 선택 집합에 대해 가장 선호하는 사탕에는 1, 가장 선호하지 않는 사탕에는 -1, 다른 두 사탕에는 0을 각각 기록합니다.

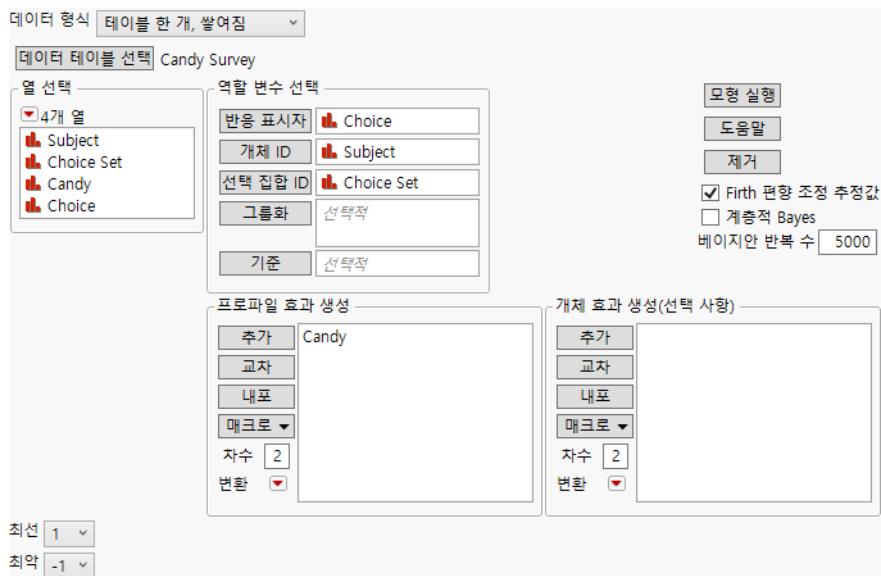
## 연구 결과 분석

연구를 수행하고 Candy Survey.jmp에 데이터를 기록합니다.

- 도움말 > 샘플 데이터 라이브러리**를 선택하고 Design Experiment/Candy Survey.jmp를 엽니다. 테이블에는 Subject 열에 나열된 5명의 각 응답자에게 설문 조사를 실시한 결과가 표시됩니다.
- 분석 > 소비자 조사 > 최대차이**를 선택합니다.
- "데이터 테이블 선택"을 클릭하고 Candy Survey를 선택한 후 **확인**을 클릭합니다.
- 다음과 같이 열 역할을 할당합니다.

- Choice 를 선택하고 반응 표시자를 클릭합니다 .
- Subject 를 선택하고 개체 ID 를 클릭합니다 .
- Choice Set 를 선택하고 선택 집합 ID 를 클릭합니다 .
- Candy 를 선택하고 " 프로파일 효과 생성 " 패널에서 추가를 클릭합니다 .

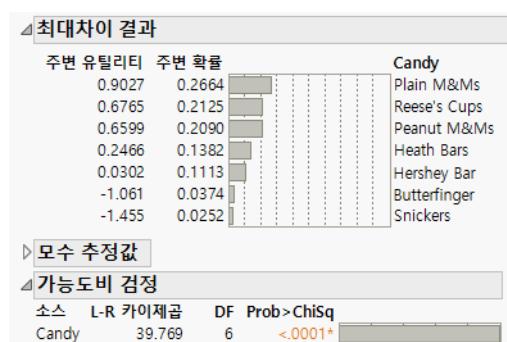
그림 19.3 완료된 최대차이 분석 시작 창



최선 선택을 1로 지정하고 최악 선택을 -1로 지정했으므로 시작 창 왼쪽 아래의 "최선" 및 "최악" 선택을 변경하지 마십시오 .

### 5. 모형 실행을 클릭합니다 .

그림 19.4 최대차이 보고서



이 보고서는 Candy 가 유의함을 나타냅니다 . 유틸리티가 가장 높은 세 가지 사탕 종류는 Plain M&Ms, Reese's Cups, Peanut M&Ms 입니다 .

6. "최대차이 모형"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 모든 수준 비교 보고서를 선택합니다.

**그림 19.5** 사탕 종류에 대한 모든 수준 비교 보고서

모든 수준 비교 보고서							
차이(행-열) 차이의 표준 오차 Wald p 값	Butterfinger	Heath Bars	Hershey Bar	Peanut M&Ms	Plain M&Ms	Reese's Cups	Snickers
Butterfinger	0	-1.3079 0.52954 0.01964	-1.0915 0.52038 0.04478	-1.7212 0.54692 0.00388	-1.964 0.56495 0.00162	-1.7378 0.54938 0.00364	0.39343 0.5059 0.44306
	Heath Bars	1.30792 0.52954 0.01964	0 0 0.47619	-0.4133 0.48741 0.40343	-0.656 0.49094 0.19185	-0.4299 0.46959 0.36752	1.70135 0.54758 0.0042
	Hershey Bar	1.0915 0.52038 0.04478	-0.2164 0.47619 0.65286	0 0 0.19443	-0.6297 0.47406 0.19443	-0.8725 0.49984 0.09149	1.48493 0.53808 0.00992
Peanut M&Ms	1.72121 0.54692 0.00388	0.41329 0.48741 0.40343	0.62971 0.47406 0.19443	0 0 0.19443	-0.2427 0.49706 0.62896	-0.0166 0.49054 0.97325	2.11463 0.56901 0.00086
	Plain M&Ms	1.96396 0.56495 0.00162	0.65604 0.49094 0.19185	0.87246 0.49984 0.09149	0.24275 0.49706 0.62896	0 0 0.22616	2.35738 0.58562 0.65002
	Reese's Cups	1.7378 0.54938 0.00364	0.42988 0.46959 0.36752	0.6463 0.49096 0.19835	0.01659 0.49054 0.97325	-0.2262 0.49327 0.65002	0 0 0.213123 0.5714 0.00083
Snickers	-0.3934 0.5059 0.44306	-1.7013 0.54758 0.0042	-1.4849 0.53808 0.00992	-2.1146 0.56901 0.00086	-2.3574 0.58562 0.00037	-2.1312 0.5714 0.00083	0 0 0

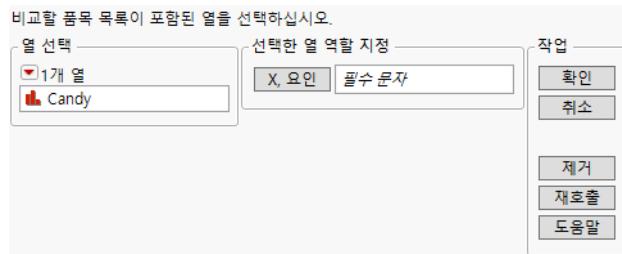
비교 보고서는 유저리티 측면에서 유의한 차이가 있는 사탕 종류의 쌍을 나타냅니다. 각 셀의 세 번째 항목은 행 항목의 유저리티에서 열 항목의 유저리티를 뺀 값으로 정의된 차이의 *p* 값입니다. *p* 값의 색상 강도는 차이가 얼마나 유의한지를 나타냅니다. 파란색 또는 빨간색 음영은 차이 (행 - 열) 가 음수인지 아니면 양수인지를 나타냅니다. *p* 값은 다중 비교 오차율을 제어하기 위해 조정되지 않으며 지침으로만 사용해야 합니다. 모든 수준 비교 보고서에 대한 자세한 내용은 *Consumer Research* 의에서 확인하십시오.

## 최대차이 설계 시작 창

최대차이 설계 플랫폼을 사용하려면 시작 데이터 테이블이 필요합니다. 시작 데이터 테이블에는 평가를 위해 응답자에게 제공할 항목을 나열하는 문자 데이터 열이 포함되어야 합니다.

JMP에서 시작 데이터 테이블을 활성화하고 **DOE > 소비자 연구 > 최대차이 설계**를 선택합니다. 활성 데이터 테이블이 없으면 시작 데이터 테이블을 찾기 위한 대화상자가 나타납니다.

**그림 19.6** Candy Profiles.jmp를 사용한 최대차이 시작 창

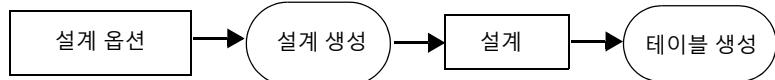


**X, 요인** 응답자가 평가할 항목이 포함된 문자 열입니다.

## 최대차이 창

설계 단계를 진행하는 동안 "최대차이 연구" 창이 업데이트됩니다. 개요는 개요를 업데이트하는 버튼을 클릭할 때 구분되어 나타나며 그림 19.7의 흐름을 따릅니다.

**그림 19.7** 최대차이 설계 흐름



"설계 옵션" 개요를 보여 주는 "최대차이 연구" 창이 열립니다. "설계 생성"을 클릭하면 "설계" 개요가 나타납니다. 설계 테이블을 구성하려면 "테이블 생성"을 클릭합니다.

## 설계 옵션 개요

다음을 지정합니다.

**선택 집합별 프로파일 수** 각 선택 집합에 포함할 항목 수입니다.

**선택 집합 수** 응답자가 받아서 평가할 항목 집합의 총 수입니다.

## 설계 개요

"설계" 개요는 연속된 양의 정수를 사용하여 선택 집합을 식별합니다. 각 선택 집합을 구성하는 항목이 나열됩니다.

## 쌍별 따름 행렬

"쌍별 따름 행렬" 개요는 각 요인 수준 쌍이 함께 나타나는 선택 집합 수의 행렬을 제공합니다. 행렬의 주대각은 각 요인 수준이 나타나는 선택 집합의 수입니다.

### 테이블 생성

"테이블 생성" 버튼은 설계 테이블을 생성합니다. 설계 테이블은 다음과 같은 네 개의 열로 구성됩니다.

**개체** 처음에는 1로 채워져 있습니다. 이 값을 응답자를 나타내는 적절한 식별자로 바꿉니다.

---

**팁 :** 응답자 식별자를 쉽게 추가하는 방법은 JMP 사용의에서 확인하십시오. 식별자를 이름으로 변경하려면 "열 > 재코딩"을 사용합니다.

---

**선택 집합** 각 선택 집합에 대한 지정자입니다.

**요인** 지정한 요인의 수준입니다. 이 수준은 선택 집합의 항목입니다.

**선택** 결과를 입력할 수 있는 열입니다. 숫자 값을 사용하여 최선 선택, 최악 선택 및 중간 선택을 나타냅니다. 일반적으로 1, -1, 0 값이 사용되고 이 값은 최대차이 분석 플랫폼 ("분석 > 소비자 조사 > 최대차이")에서 분석할 때 필요합니다.

---

## 최대차이 옵션

**난수 시드값 설정** JMP가 랜덤 성분이 있는 작업을 제어하는 데 사용하는 난수 시드값을 설정합니다. 이러한 작업에는 다음 중 하나 이상이 포함됩니다.

- 설계 생성을 위한 검색 알고리즘 초기화
- 설계 생성을 위한 런 순서 랜덤화
- 랜덤 시작에 기반한 설계의 시작 설계 선택

설계를 재현하려면 **설계 생성**을 클릭하기 전에 설계를 생성한 난수 시드값을 입력합니다.

---

**참고 :** 설계와 관련된 난수 시드값은 설계 데이터 테이블에 저장된 "DOE 대화상자" 스크립트에 포함됩니다.

---

**반응 시뮬레이션** 반응 값을 시뮬레이션하려면 이 옵션을 선택합니다. "테이블 생성"을 클릭하면 설계 테이블과 함께 "선택 모형 시뮬레이션" 창이 열리고 "확률" 및 "선택 모형 시뮬레

이션 "열이 설계 테이블에 추가됩니다." 선택 모형 시뮬레이션 "계산식 열에는 확률 반응이 포함되고 "확률" 계산식 열에는 확률이 포함됩니다.

---

**주의 :** 반응 시뮬레이션에 사용된 모형을 변경하려면 "선택 모형 시뮬레이션" 창의 "주변 유틸리티" 열에 마지막 수준을 제외한 모든 요인 수준의 값을 입력합니다. 주변 유틸리티의 합이 0 이어야 하므로 마지막 수준의 주변 유틸리티를 편집할 수 없습니다. 나머지 주변 유틸리티 값을 지정하면 요인의 마지막 수준이 적절하게 조정됩니다.

**시작 수**    설계 구성에 사용되는 랜덤 시작 횟수입니다. 이 값은 기본적으로 10 으로 설정됩니다.

**고급 옵션**    최대차이 설계에는 사용할 수 없습니다.

**스크립트를 스크립트 창에 저장**    지정한 설계의 스크립트를 생성한 후 열린 스크립트 창에 저장합니다.



# 20 장

JMP<sup>®</sup>  
PRO 덮기 배열

## 성분 교호작용으로 인한 고장 감지

덮기 배열은 성분 또는 부시스템 간의 교호작용으로 인해 고장이 발생하는 결정적 시스템을 테스트하는 데 사용됩니다. 설계 목표는 교호작용으로 인해 시스템 고장이 유발되는지 여부를 알아내는 것입니다. 응용 분야에는 소프트웨어, 회로 및 네트워크 설계가 포함됩니다.

결정적 테스트가 수행되므로 설계의 주안점은 필요한 모든 교호작용을 포함해야 한다는 것입니다. 덮기 배열 플랫폼은 고효율의 덮기 배열을 생성합니다. 테스트 프로토콜에 실현 가능하지 않은 요인 수준 조합을 제외할 수도 있습니다.

그림 20.1 강도 3 덮기 배열

런	X1	X2	X3	X4	X5
1	L1	L1	L1	L1	L1
2	L1	L1	L1	L2	L2
3	L2	L2	L2	L2	L2
4	L2	L1	L2	L2	L1
5	L2	L2	L2	L1	L2
6	L2	L2	L1	L1	L1
7	L2	L1	L1	L1	L2
8	L1	L2	L2	L1	L1
9	L1	L2	L1	L2	L2
10	L1	L2	L2	L2	L1
11	L1	L1	L2	L1	L2
12	L2	L2	L1	L2	L1

## 목차

덮기 배열 개요 .....	541
요인 수준 제한이 없는 덮기 배열의 예 .....	542
설계 생성 .....	543
실험 데이터 분석 .....	545
요인 수준 제한이 있는 덮기 배열의 예 .....	547
설계 생성 .....	547
실험 데이터 분석 .....	552
덮기 배열 창 .....	553
요인 .....	553
요인 수준 조합 제한 .....	555
설계 .....	557
지표 .....	559
출력 옵션 .....	560
덮기 배열 데이터 테이블 .....	560
덮기 배열 옵션 .....	561
덮기 배열에 대한 기술 상세 정보 .....	562
최적화 알고리즘 .....	562
지표 계산식 .....	563

## JMP PRO 덮기 배열 개요

덮기 배열을 사용하면 성분 또는 부시스템 간의 교호작용으로 인해 고장이 발생하는 시스템을 테스트할 수 있습니다. 덮기 배열은 다음 조건에 해당되는 소프트웨어, 회로 및 네트워크 설계 등의 분야에 주로 사용됩니다.

- 대개 테스트 비용이 많이 듭니다.
- 고장이 발생하는 교호작용을 밝히는 데 중점을 두고 테스트합니다.
- 테스트 런은 대개 결정론적이므로 결과가 성공 또는 실패로 나타납니다.
- 반복 런은 동일한 결과를 생성하므로 낭비입니다.
- 설계 효율도는 중복 런을 포함하지 않고 적용할 수 있는 가능 조건의 수를 기반으로 합니다.

시스템 테스트는 비용이 많이 들기 때문에 테스트 크기를 줄이는 것이 중요합니다. 일반적으로 가능한 모든 교호작용을 테스트하려면 비용이 너무 많이 들고 불필요한 경우도 종종 있습니다. 경험에 따르면 대부분의 고장은 소수 성분 간의 교호작용으로 인해 발생합니다. 고장을 유발할 가능성 있는 성분 조합의 가장 큰 크기를 강도라고 하며 이로 인해 설계 크기가 결정됩니다.

덮기 배열 플랫폼에서 필요한 설계 강도를 지정합니다. 필요하다면 허용되지 않는 요인 수준 조합을 정의합니다. 덮기 배열 플랫폼은 요구 사항에 맞는 고효율의 설계를 생성합니다. 포함 범위 측면에서 설계 품질을 평가하는 데 사용할 수 있는 지표를 제공합니다. 또한 결과를 분석하는 데 사용할 수 있는 스크립트를 설계 데이터 테이블에 제공합니다.

덮기 배열은 요인 수준 설정의 특정 조합을 실현할 수 없는 상황에서 주로 사용됩니다. 덮기 배열 플랫폼은 요인 수준 조합에 제한이 있는 경우에도 매우 효율적인 덮기 배열을 찾을 수 있습니다.

덮기 배열의 구조와 배열 계산 알고리즘에 대한 배경 지식은 Colbourn(2004), Colbourn et al. (2011), Hartman and Raskin(2004) 및 Martirosyan(2003)에서 확인하십시오. 요인 수준에 제한이 있는 덮기 배열에 대한 자세한 내용은 Cohen et al. (2007) 및 Morgan(2009)에서 확인하십시오.

## JMP PRO 덮기 배열 및 강도

강도  $t$  덮기 배열은  $t$  요인 수준 설정의 모든 조합을 테스트하는 설계입니다.  $k$  요인에 대한 특정 설정으로 정의된 교호작용을 가정해 보겠습니다. 해당 교호작용을 포함하는 모든 테스트에서 고장이 발생하면 해당 교호작용이 고장을 감지합니다. 이 용어 설명에 따르면 강도  $t$  설계를 생성하여 최대  $t$  요인의 교호작용과 관련된 고장을 감지할 수 있습니다.

문헌에서는 덮기 배열(covering array)을 요인 덮기 설계(factor covering design)라고도 합니다. 배경 지식 및 자세한 내용은 Yilmaz et al. (2014), Cohen et al. (2003) 및 Dalal and Mallows(1998)에서 확인하십시오.

덮기 배열의 특성을 설명하기 위해 각각 수준이 두 개인 7개의 범주형 요인에 대한 상황을 가정해 보겠습니다. 요인 수준의 모든 쌍별 조합을 테스트하려고 합니다.

이 경우 사용할 수 있는 설계는 8회 런 해상도 III 주효과 설계입니다.

### 그림 20.2 해상도 III 설계 ( 강도 2 )

설계							
런	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7
1	L2						
2	L1	L2	L1	L2	L1	L2	L1
3	L2	L1	L1	L2	L1	L1	L1
4	L1	L1	L2	L2	L1	L1	L2
5	L2	L2	L2	L1	L1	L1	L1
6	L1	L2	L1	L1	L2	L1	L2
7	L2	L1	L1	L1	L1	L2	L2
8	L1	L1	L2	L1	L2	L2	L1

두 요인의 수준에 대한 모든 쌍별 조합이 나타나므로 이 요인 설계는 강도 2 덮기 배열입니다. 예를 들어 X1 과 X2 의 경우 다음 조합이 각각 두 번 나타납니다.

- L2, L1
- L2, L2
- L1, L1
- L1, L2

그러나 강도 2 덮기 배열에는 다음과 같이 런이 6개만 있으면 됩니다.

### 그림 20.3 강도 2 덮기 배열

설계							
런	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7
1	1	1	1	1	1	1	1
2	2	2	2	2	2	2	1
3	2	2	2	1	1	1	2
4	2	1	1	2	2	1	2
5	1	2	1	2	1	2	2
6	1	1	2	1	2	2	1

두 요인의 수준에 대한 모든 쌍별 조합이 6회 런에서 한 번 이상 나타납니다. 덮기 배열 설계는 더 적은 수의 런으로 강도 2 포함 범위를 달성하므로 해상도 III 설계보다 효율적입니다.

덮기 배열의 효율도는 필요한 포함 범위를 달성하기 위해 사용된 런 수로 측정됩니다. 런 수가 적을수록 설계 효율도가 높아집니다.

## JMP PRO 요인 수준 제한이 없는 덮기 배열의 예

이 예의 데이터는 소프트웨어 테스트 분야의 상호 운용성과 관련이 있습니다. 관심 요인은 다음 4 개입니다.

- Web Browser: Safari, IE, Firefox, Chrome, Other
- Operating System: Windows 또는 macOS
- RAM: 4, 8 또는 16 MB
- Connection Speed: 0-1, 1-5 또는 >5 Mbps

이러한 요인 조합 중 고장을 일으킬 가능성이 있는 조합을 알아내려고 합니다.

반응은 각 요인 설정 조합에서 시스템이 제대로 작동하는지 여부입니다.

각 설정 조합을 테스트하려면 실험을  $90(5 \times 2 \times 3 \times 3)$  번 시도해야 합니다. 런 크기를 관리할 수 있도록 하기 위해 세 요인의 모든 조합이 테스트됨을 나타내는 강도 3 포함 범위가 필요하다고 결정합니다.

## JMP<sup>®</sup> PRO 설계 생성

다음 단계를 수행하여 강도 3 덮기 배열을 생성합니다.

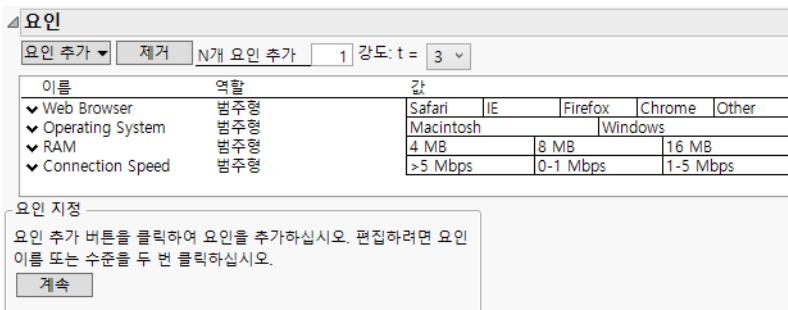
1. **도움말 > 샘플 데이터 라이브러리**를 선택하고 Design Experiment/Software Factors.jmp 를 엽니다.

Software Factors.jmp 데이터 테이블에는 요인과 해당 설정이 포함되어 있습니다.

2. **DOE > 특수 용도 > 덮기 배열**을 선택합니다.
3. **강도 : t =** 옆의 메뉴에서 3 을 선택합니다.
4. "덮기 배열"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **요인 불러오기**를 선택합니다.

"요인" 개요에 네 가지 요인과 요인 수준이 채워져 있습니다.

**그림 20.4** 소프트웨어 요인에 대한 요인 개요



5. **계속**을 클릭합니다.

설계 설정에 대한 제한을 입력할 수 있는 "요인 수준 조합 제한" 개요가 열립니다. 이 설계에는 제한이 없으므로 기본 선택인 **없음**을 변경하지 마십시오.

6. **설계 생성**을 클릭합니다.

"설계" 개요가 열리고 45 회 런 설계가 표시됩니다.

### 그림 20.5 소프트웨어 요인에 대한 설계 및 지표 개요



"지표" 개요에서  $t=3$ 에 해당하는 행을 예로 들어보겠습니다. "포함 범위"는 100%로, 설계에 3 요인 교호작용이 100% 포함됨을 나타냅니다. 강도 3 설계를 요청했으므로 이는 예상된 결과입니다.  $t=3$ 의 "다양성" 열은 표시되는 3 요인 교호작용의 68.33%가 고유함을 나타냅니다. 즉, 일부 3 요인 조합이 반복됩니다.

$t=4$ 의 "포함 범위"는 50%로, 설계에 4 요인 교호작용의 1/2만 포함됨을 나타냅니다. 4 요인 설정의 가능한 고유 조합은 90 개입니다. 설계의 45 회 런은 이 고유 조합의 1/2을 구성합니다. "다양성" 값 100%는 4 원 교호작용이 반복되지 않는다는 사실을 뒷받침합니다.

7. 테이블 생성을 클릭합니다.

그림 20.6 소프트웨어 요인에 대한 설계 테이블 ( 일부분 )

반응	Web Browser	Operating System	RAM	Connection Speed
1	• Safari	Macintosh	4 MB	>5 Mbps
2	• Safari	Windows	4 MB	0-1 Mbps
3	• Safari	Macintosh	4 MB	1-5 Mbps
4	• Safari	Windows	8 MB	>5 Mbps
5	• Safari	Macintosh	8 MB	0-1 Mbps
6	• Safari	Macintosh	8 MB	1-5 Mbps
7	• Safari	Macintosh	16 MB	>5 Mbps
8	• Safari	Macintosh	16 MB	0-1 Mbps
9	• Safari	Windows	16 MB	1-5 Mbps
10	• IE	Windows	4 MB	>5 Mbps
11	• IE	Macintosh	4 MB	0-1 Mbps
12	• IE	Macintosh	4 MB	1-5 Mbps
13	• IE	Macintosh	8 MB	>5 Mbps
14	• IE	Macintosh	8 MB	0-1 Mbps
15	• IE	Windows	8 MB	1-5 Mbps
16	• IE	Macintosh	16 MB	>5 Mbps
17	• IE	Windows	16 MB	0-1 Mbps
18	• IE	Macintosh	16 MB	1-5 Mbps

설계가 데이터 테이블에 표시됩니다. 왼쪽 위의 테이블 패널에서 다음을 확인할 수 있습니다.

- "설계" 노트는 현재 설계가 강도 3 덮기 배열임을 나타냅니다.
- "DOE 대화상자" 스크립트는 "덮기 배열" 창 설정을 재현합니다.
- "분석" 스크립트는 실험 데이터를 분석합니다.

## JMP PRO 실험 데이터 분석

설계 테이블이 준비되었으므로 실험을 수행하고 설계 테이블의 반응 열에 데이터를 기록할 수 있습니다 (그림 20.6 참조). 실험 결과는 Software Data.jmp 샘플 데이터 테이블에 있습니다.

- 도움말 > 샘플 데이터 라이브러리를 선택하고 Design Experiment/Software Data.jmp 를 엽니다 .
- 테이블 패널에서 Analysis 스크립트 옆의 녹색 삼각형을 클릭합니다 .

그림 20.7 소프트웨어 실험 데이터 분석

Factors	Failure Levels	Failure Count
Web Browser, Operating System, RAM	Firefox, Macintosh, 8 MB	2
Web Browser, RAM, Connection Speed	Firefox, 4 MB, 0-1 Mbps	1
	Firefox, 8 MB, 1-5 Mbps	1
	Firefox, 8 MB, >5 Mbps	1

"Summary" 개요에서는 실패한 테스트가 3개이고 통과 또는 실패 결과가 없는 테스트가 4개임을 나타냅니다.

"Failure Analysis Details" 개요에서는 관련된 삼원 교호작용의 측면에서 고장 분석 결과를 제공합니다. 이 개요에는 모든 테스트가 실패한 요인 수준 조합만 나열됩니다. 주어진 삼원 설정 조합이 포함된 테스트가 성공하면 해당 삼원 설정 조합은 시스템 고장의 원인이 될 수 없습니다.

Web Browser 가 Firefox, Operating System 이 macOS, RAM 이 8MB 로 각각 설정된 경우 두 번의 고장이 발생했습니다. 이 조합을 사용하면 Connection Speed 설정에 관계없이 고장이 발생했습니다.

3. "3 Factor Interactions" 보고서에서 첫 번째 행을 선택합니다.

**그림 20.8** 분석 보고서에서 교호작용 선택

Factors	Failure Levels	Failure Count
Web Browser, Operating System, RAM	Firefox, Macintosh, 8 MB	2
Web Browser, RAM, Connection Speed	Firefox, 4 MB, 0-1 Mbps	1
	Firefox, 8 MB, 1-5 Mbps	1
	Firefox, 8 MB, >5 Mbps	1

이렇게 하면 데이터 테이블에서 해당 행과 열이 선택됩니다.

**그림 20.9** 데이터 테이블에서 해당 행과 열 선택

	Response	Web Browser	Operating System	RAM	Connection Speed
22	0	Firefox	Macintosh	4 MB	0-1 Mbps
23	1	Firefox	Windows	4 MB	1-5 Mbps
24	1	Firefox	Macintosh	4 MB	>5 Mbps
25	1	Firefox	Windows	8 MB	0-1 Mbps
26	0	Firefox	Macintosh	8 MB	1-5 Mbps
27	0	Firefox	Macintosh	8 MB	>5 Mbps
28	1	Chrome	Macintosh	16 MB	0-1 Mbps
29	1	Chrome	Windows	16 MB	1-5 Mbps
30	1	Chrome	Macintosh	16 MB	>5 Mbps
31	1	Chrome	Windows	4 MB	0-1 Mbps
32	1	Chrome	Macintosh	4 MB	1-5 Mbps
33	1	Chrome	Macintosh	4 MB	>5 Mbps

Web Browser, RAM, 및 Connection Speed 조합과 관련하여 세 번의 고장이 발생했습니다. 이 중 두 개 (Firefox, 8MB, 1-5Mbps 와 Firefox, 8MB, >5Mbps) 는 Web Browser, Operating System, RAM 교호작용에 대한 두 가지 고장에 해당합니다. 보고서에서 이러한 행을 선택하면 데이터 테이블에서도 해당 행과 열이 선택됩니다.

## JMP PRO 요인 수준 제한이 있는 덮기 배열의 예

이 예는 Dalal and Mallows(1998)에 설명된 예를 참조하여 새로 구성되었습니다. 발신 전화기 (Near Phone)로 수신 전화기 (Far Phone)에 전화를 겁니다. 각 전화 통화는 A 형 또는 B 형 인터페이스를 통과합니다. 관심 요인은 다음 5 개입니다.

- Market: USA, UK, Canada, France, Mexico
- Near Phone: ISDN, Bus(Business), Coin, Res(Residential)
- Near Interface: A 또는 B
- Far Phone: ISDN, Bus(Business), Coin, Res(Residential)
- Far Interface: A 또는 B

이러한 요인 쌍 조합 중 고장을 일으킬 가능성이 있는 조합을 알아내려고 합니다. 그러나 다음과 같은 특정 조합은 불가능합니다.

- 한 전화기 (Near 또는 Far)의 ISDN 회선은 A 인터페이스를 사용할 수 없습니다.
- 발신 전화기 (Near)의 Business 및 Residential 회선은 B 인터페이스를 사용할 수 없습니다.

## JMP PRO 설계 생성

요인과 해당 설정은 Phone Factors.jmp 데이터 테이블에 제공됩니다. 다음 단계를 수행하여 강도 2 덮기 배열을 생성합니다.

### JMP PRO 요인 불러오기

1. **도움말 > 샘플 데이터 라이브러리**를 선택하고 Design Experiment/Phone Factors.jmp를 엽니다.  
Phone Factors.jmp 데이터 테이블에는 요인과 해당 설정이 포함되어 있습니다.
2. **DOE > 특수 용도 > 덮기 배열**을 선택합니다.  
**강도 : t =** 옆의 메뉴는 기본적으로 2로 설정되어 있습니다.
3. "덮기 배열"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **요인 불러오기**를 선택합니다.  
"요인" 캐요에 다섯 가지 요인과 요인 수준이 채워져 있습니다.

### 그림 20.10 전화기 요인에 대한 요인 개요

이름	역할	값	USA	UK	Canada	France	Mexico
Market	범주형		ISDN	Bus	Coin	Res	
Near Phone	범주형	A			B		
Near Interface	범주형		ISDN	Bus	Coin	Res	
Far Phone	범주형				B		
Far Interface	범주형	A			B		

4. **계속**을 클릭합니다.

"요인 수준 조합 제한" 개요가 열립니다.

### JMP PRO 요인 수준 조합 제한

다음 두 가지 방법으로 허용되지 않는 조합을 지정할 수 있습니다.

- 허용되지 않는 조합 필터 사용
- 허용되지 않는 조합 스크립트 사용

필터를 사용하면 허용되지 않는 조합을 직관적으로 지정할 수 있습니다. 스크립트를 사용하면 허용되지 않는 조합을 쉽고 빠르게 지정할 수 있지만 먼저 스크립트를 작성하거나 저장해야 합니다. 이 예에서 필터를 사용하여 조합을 지정하지 않으려면 "[스크립트를 사용하여 허용되지 않는 조합 지정](#)"(550페이지)으로 건너뛰니다.

다음과 같은 제한이 있습니다

- 한 전화기 (Near 또는 Far) 의 ISDN 회선은 A 인터페이스를 사용할 수 없습니다.
- 발신 전화기 (Near) 의 Business 및 Residential 전화는 B 인터페이스를 사용할 수 없습니다.

### JMP PRO 필터를 사용하여 허용되지 않는 조합 지정

필터 인터페이스를 사용하여 허용되지 않는 조합을 입력하려면 이 방법을 사용합니다. 아니면 "[스크립트를 사용하여 허용되지 않는 조합 지정](#)"(550 페이지)에 표시된 스크립트를 붙여넣을 수 있습니다.

1. **허용되지 않는 조합 필터 사용**을 선택합니다.
2. "필터 요인 추가" 목록에서 Near Phone과 Near Interface를 선택하고 **추가** 버튼을 클릭합니다.
3. Ctrl 키를 누르고 Near Phone에서 ISDN을 클릭하고 Near Interface에서 A를 클릭합니다.

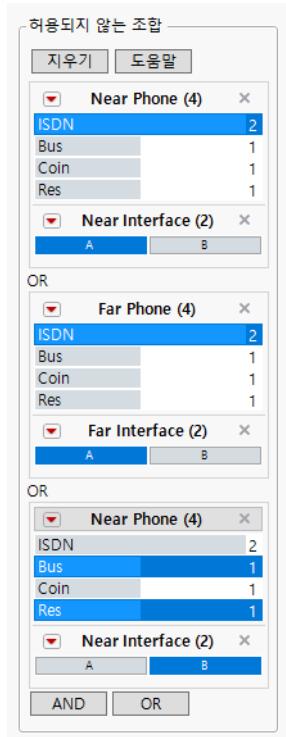
그림 20.11 첫 번째 제약 조건을 보여 주는 허용되지 않는 조합 패널



두 블록 모두 진하게 바뀝니다. 발신 전화기 (Near) 의 ISDN 회선은 A 인터페이스를 사용할 수 없다는 제약 조건을 추가했습니다.

4. **OR** 를 클릭합니다 .
5. "필터 요인 추가" 목록에서 Far Phone 과 Far Interface 를 선택하고 **추가** 버튼을 클릭합니다 .
6. Ctrl 키를 누르고 Far Phone 에서 ISDN 을 클릭하고 Far Interface 에서 A 를 클릭합니다 .  
수신 전화기 (Far) 의 ISDN 회선은 A 인터페이스를 사용할 수 없다는 제약 조건을 추가했습니다 .
7. **OR** 를 클릭합니다 .
8. "필터 요인 추가" 목록에서 Near Phone 과 Near Interface 를 선택하고 **추가** 버튼을 클릭합니다 .
9. Ctrl 키를 누르고 Near Phone에서 Bus 와 Res 를 클릭하고 Near Interface에서 B 를 클릭합니다 .  
발신 전화기 (Near) 의 Business 및 Residential 회선은 B 인터페이스를 사용할 수 없다는 제한을 추가했습니다 .

그림 20.12 완료된 허용되지 않는 조합 필터

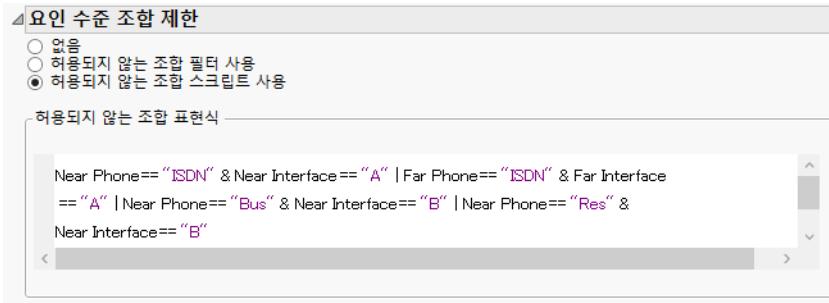


### JMP<sup>®</sup> PRO 스크립트를 사용하여 허용되지 않는 조합 지정

스크립트를 작성하여 허용되지 않는 조합을 지정할 수도 있습니다. 요인을 불러온 후 ("요인 불러오기"(547 페이지) 참조) 다음을 수행하십시오.

1. **계속**을 클릭합니다.
2. **허용되지 않는 조합 스크립트 사용**을 선택합니다.
3. 다음 스크립트를 복사하여 "허용되지 않는 조합 표현식" 스크립트 상자에 붙여넣습니다.

```
(Near Phone == "ISDN" & Near Interface == "A") |
(Far Phone == "ISDN" & Far Interface == "A") |
(Near Phone == "Bus" & Near Interface == "B") |
(Near Phone == "Res" & Near Interface == "B")
```

**그림 20.13** 완료된 허용되지 않는 스크립트 창**JMP<sup>®</sup> PRO** 설계 테이블 구성

**참고 :** 다음 두 단계에서 난수 시드값을 설정하면 이 예에 나오는 것과 정확히 같은 결과가 재현됩니다. 설계를 직접 구성할 때는 이러한 단계가 필요하지 않습니다.

1. "덮기 배열"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **난수 시드값 설정**을 선택합니다.
  2. 632를 입력하고 **확인**을 클릭합니다.
  3. **설계 생성**을 클릭합니다.
- "설계" 개요가 열리고 20 회 런 설계가 표시됩니다. "지표" 개요가 창에 추가됩니다.

**그림 20.14** 전화기 설계에 대한 지표 개요

측정 기준			
런 수:	20		
t 포함 범위	다양성		
2	100.00	54.00	
3	63.14	83.00	
4	30.29	97.00	

"지표" 개요에서는 강도 2 포함 범위가 100% 임을 나타냅니다. 즉, 허용 가능한 모든 2 요인 조합이 설계에 표시됩니다. 또한 모든 3 요인 조합의 65%가 설계에 포함됩니다.

4. **테이블 생성**을 클릭합니다.

설계 테이블에 설계가 추가됩니다. 다양한 스크립트와 반응 열이 제공됩니다.

그림 20.15 덮기 배열 설계 테이블

	Response	Market	Near Phone	Near Interface	Far Phone	Far Interface
1	• Mexico	Res	A	Res	A	
2	• Mexico	Bus	A	Bus	A	
3	• France	Coin	B	Bus	B	
4	• UK	Res	A	Coin	A	
5	• UK	ISDN	B	Bus	B	
6	• France	ISDN	B	Res	A	
7	• Canada	Bus	A	Res	A	
8	• Mexico	ISDN	B	ISDN	B	
9	• Canada	ISDN	B	Coin	B	
10	• UK	Bus	A	ISDN	B	
11	• Canada	Res	A	Bus	B	
12	• USA	ISDN	B	ISDN	B	
13	• UK	Coin	B	Res	B	
14	• Mexico	Coin	B	Coin	B	
15	• USA	Bus	A	Bus	A	
16	• USA	Coin	A	Coin	A	
17	• USA	Res	A	Res	A	
18	• France	Res	A	ISDN	B	
19	• France	Bus	A	Coin	B	
20	• Canada	Coin	B	ISDN	B	

## JMP PRO 실험 데이터 분석

설계 테이블이 준비되었으므로 실험을 수행하고 설계 테이블의 반응 열에 데이터를 기록할 수 있습니다. 실험 결과는 Phone Data.jmp 샘플 데이터 테이블에 있습니다.

- 도움말 > 샘플 데이터 라이브러리를 선택하고 Design Experiment/Phone Data.jmp 를 엽니다.
- 테이블 패널에서 **Analysis** 스크립트 옆의 녹색 삼각형을 클릭합니다.

그림 20.16 전화기 실험 데이터 분석

Summary		
Success Runs	17	
Failure Runs	3	
Missing	0	

Failure Analysis Details		
2 Factor Interactions		
Factors	Failure Levels	Failure Count
Near Interface, Far Phone	A, Coin	3
Far Phone, Far Interface	Coin, A	2
Market, Near Phone	USA, Coin	1
Market, Near Phone	UK, Res	1
Market, Near Phone	France, Bus	1
Market, Far Phone	USA, Coin	1
Market, Far Phone	UK, Coin	1
Market, Far Phone	France, Coin	1
Market, Far Interface	UK, A	1
Near Phone, Near Interface	Coin, A	1
Near Phone, Far Phone	Bus, Coin	1
Near Phone, Far Phone	Res, Coin	1
Near Phone, Far Interface	Coin, A	1

"Summary" 개요에서는 3 개의 테스트가 실패했음을 나타냅니다.

이 원 교호작용이 고장을 감지하는 가장 낮은 수준의 교호작용이므로 "Failure Analysis Details" 개요에 "2 Factor Interactions" 보고서가 포함됩니다.

"2 Factor Interactions" 보고서에는 세 가지 고장의 원인이 될 수 있는 조합이 표시됩니다. Near Interface 가 A 로 설정되고 Far Phone 이 Coin 으로 설정된 조합 하나가 세 가지 실패 모두의 원인이 될 수 있습니다. 아니면 두 개 또는 세 개의 다른 조합으로 인해 세 가지 고장이 발생했을 수 있습니다.

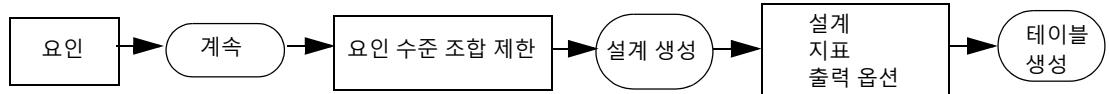
3. "2 Factor Interactions" 보고서에서 첫 번째 행을 선택합니다.

데이터 테이블에서 4, 16 및 19 행이 선택됩니다. 이 조합의 경우 Market, Near Phone 및 Far Interface 설정에 관계없이 고장이 발생합니다. 그러나 요인 설정의 다른 조합도 이러한 고장의 원인이 될 수 있다는 점에 유의하십시오.

## JMP PRO 덮기 배열 창

설계 단계를 진행하는 동안 덮기 배열 창이 업데이트됩니다. DOE 창의 일반적인 흐름에 대한 자세한 내용은 "[DOE 워크플로우: 기술, 지정, 설계](#)"(56 페이지)에서 확인하십시오. 개요는 개요를 업데이트하는 버튼을 클릭할 때 구분되어 나타나며 그림 20.17의 흐름을 따릅니다.

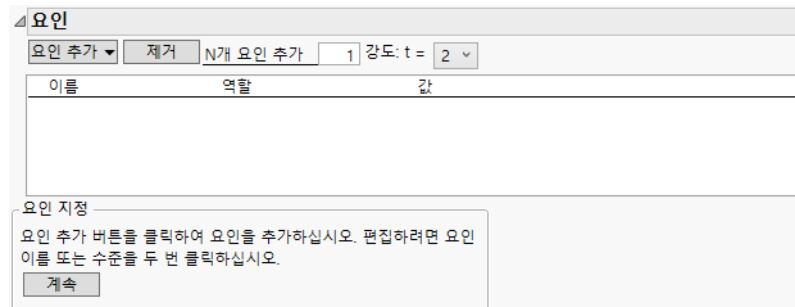
**그림 20.17** 덮기 배열 흐름



## JMP PRO 요인

"요인" 개요에서 요인을 추가합니다.

**그림 20.18** 요인 개요



**요인 추가 N 개 요인 추가**에 지정된 요인 수를 입력합니다. 모든 요인은 범주형입니다. 수준 수를 선택하거나 지정합니다.

**제거** 선택한 요인을 제거합니다.

**N 개 요인 추가** 특정 수준 수를 가진 여러 요인을 추가합니다. 추가할 요인 수를 입력하고 **요인 추가**를 클릭한 후 수준 수를 선택하거나 지정합니다. 수준 수가 다른 여러 요인을 추가하려면 **N 개 요인 추가**를 반복합니다.

**강도 : t =** 배열 강도를 지정하는 값을 선택합니다.

---

**팁 :** "요인" 패널을 완료하면 빨간색 삼각형 메뉴에서 **요인 저장**을 선택하십시오. 이렇게 하면 요인 이름과 값을 데이터 테이블에 저장하여 나중에 다시 불러올 수 있습니다. 자세한 내용은 "[덮기 배열 옵션](#)"(561 페이지)에서 확인하십시오.

---

### JMP PRO 요인 테이블

"요인" 테이블에는 다음과 같은 열이 포함되어 있습니다.

**이름** 요인의 이름입니다. 요인을 추가하면 X1, X2 등의 기본 이름이 지정됩니다. 이 이름을 변경하려면 이름을 두 번 클릭한 후 원하는 이름을 입력합니다.

**역할** 요인의 설계 역할을 지정합니다. 모든 덮기 배열 요인의 설계 역할은 "범주형"입니다. 요인의 "설계 역할" 열 특성은 데이터 테이블에 저장됩니다. 이 특성은 요인이 적절하게 모델링되도록 합니다.

**값** 요인에 대한 설정입니다. 값을 삽입하려면 기본값을 클릭한 후 원하는 값을 입력합니다. 설계 테이블의 값 순서는 왼쪽에서 오른쪽으로 입력되는 값의 순서입니다.

### JMP PRO 요인 테이블 편집

다음 내용을 참조하여 "요인" 개요에서 작업을 수행합니다.

- 요인 이름을 편집하려면 해당 요인 이름을 두 번 클릭합니다.
- 범주형 요인은 요인 이름 왼쪽에 아래쪽 화살표가 있습니다. 이 화살표를 클릭하여 수준을 추가합니다.
- 요인 수준을 제거하려면 값을 클릭하고 **삭제**를 클릭한 후 텍스트 상자 바깥쪽을 클릭합니다.
- 값을 편집하려면 값 열의 값을 클릭합니다.

**JMP<sup>®</sup>  
PRO** 요인 열 특성

각 요인의 "값 라벨" 열 특성은 설계 테이블에 저장됩니다. "값 라벨" 열 특성은 라벨이 지정된 열에 값을 나타냅니다. 이러한 라벨은 데이터 테이블에 표시되고 그림과 보고서에 사용됩니다. 자세한 내용은 "열 특성" 부록의 "[값 라벨](#)"(759 페이지)에서 확인하십시오.

**JMP<sup>®</sup>  
PRO** 요인 수준 조합 제한

"요인" 개요를 완료하고 "계속" 을 클릭하면 "요인 수준 조합 제한" 개요가 나타납니다. 이 개요를 사용하면 허용되지 않는 요인 수준 조합을 지정할 수 있습니다. 제약 조건을 불러오거나 스크립트의 일부로 포함하지 않은 경우 **없음** 옵션이 선택됩니다. 제약 조건을 지정하려면 다른 옵션 중 하나를 선택합니다.

**허용되지 않는 조합 필터 사용** 개별 요인의 값 제한을 기반으로 제약 조건 집합을 정의합니다. AND 제약 조건과 OR 제약 조건을 모두 정의할 수 있습니다. 자세한 내용은 "[허용되지 않는 조합 필터 사용](#)"(555 페이지)에서 확인하십시오.

**허용되지 않는 조합 스크립트 사용** 허용되지 않는 조합 및 기타 제약 조건을 스크립트 편집기 상자에 부울 JSL 표현식으로 정의합니다. 자세한 내용은 "[허용되지 않는 조합 스크립트 사용](#)"(556 페이지)에서 확인하십시오.

**JMP<sup>®</sup>  
PRO** 허용되지 않는 조합 필터 사용

이 옵션은 허용되지 않는 조합을 쉽게 지정하기 위해 데이터 필터를 조정하여 사용합니다. 데이터 필터 사용 방법에 대한 자세한 내용은 JMP 사용의에서 확인하십시오.

허용되지 않는 조합을 추가하려면

1. "필터 요인 추가" 목록에서 요인을 선택하고 **추가**를 클릭합니다.
2. 수준을 선택하여 허용되지 않는 조합을 지정합니다.

**참고 :** "필터 요인 추가" 메뉴의 빨간색 삼각형 옵션은 많은 플랫폼 시작 창의 "열 선택" 패널에 있는 옵션과 동일합니다. 자세한 내용은 JMP 사용의에서 확인하십시오.

"추가"를 클릭하면 초기 패널이 업데이트됩니다. "허용되지 않는 조합" 제어판에 선택한 요인이 표시되고 추가 제어 옵션이 제공됩니다.

덮기 배열 플랫폼은 범주형 요인만 허용합니다. 범주형 요인의 경우 가능한 수준은 라벨이 지정된 블록으로 표시되거나, 수준 수가 많으면 목록 항목으로 표시됩니다. 허용하지 않을 수준을 선택합니다. 여러 수준을 선택하려면 Ctrl 키를 누릅니다. 해당 블록 또는 목록 항목은 강조 표시되어 허용되지 않는 수준임을 나타냅니다. "허용되지 않는 조합" 패널에 요인을 추가하면 해당 범주형 요인의 수준 수가 요인 이름 뒤의 팔호 안에 표시됩니다.

### 허용되지 않는 조합 옵션

**지우기** 지정한 허용되지 않는 요인 수준 설정을 모두 지웁니다. 선택한 요인은 지워지지 않습니다.

**AND** "필터 요인 추가" 목록을 엽니다. 선택한 요인은 AND 그룹이 됩니다. AND 그룹 내에 지정된 요인 수준 조합은 허용되지 않습니다.

나중에 AND 그룹에 요인을 추가하려면 그룹 개요를 클릭하여 강조 표시된 직사각형을 표시합니다. 그런 다음 "AND"를 선택하고 요인을 추가합니다.

단일 요인을 제거하려면 빨간색 삼각형 메뉴에서 **삭제**를 선택합니다.

**OR** "필터 요인 추가" 목록을 엽니다. 선택한 요인은 별도의 AND 그룹이 됩니다. OR로 구분된 AND 그룹의 경우 하나 이상의 AND 그룹에 지정된 조합은 허용되지 않습니다.

### 요인에 대한 빨간색 삼각형 메뉴 옵션

한 요인이 여러 OR 그룹에 나타날 수 있습니다. 특정 OR 그룹에 요인이 나타나는 경우 이를 해당 요인의 인스턴스라고 합니다.

**삭제** "허용되지 않는 조합" 패널에서 선택한 요인 인스턴스를 제거합니다.

**선택 해제** 요인 인스턴스에 대한 선택을 취소합니다.

**선택 반전** 요인 인스턴스에 대해 선택된 값을 선택 취소하고 이전에 선택되지 않은 값을 선택합니다.

**표시 옵션** 표시 모양을 변경합니다.

**블록 표시** 각 수준을 블록으로 표시합니다.

**목록 표시** 각 수준을 목록의 멤버로 표시합니다.

**단일 범주 표시** 각 수준을 표시합니다.

**체크박스 표시** 각 값 옆에 체크박스를 추가합니다.

**라디오 상자 표시** 단일 선택을 위해 각 값 옆에 라디오 선택 항목을 추가합니다.

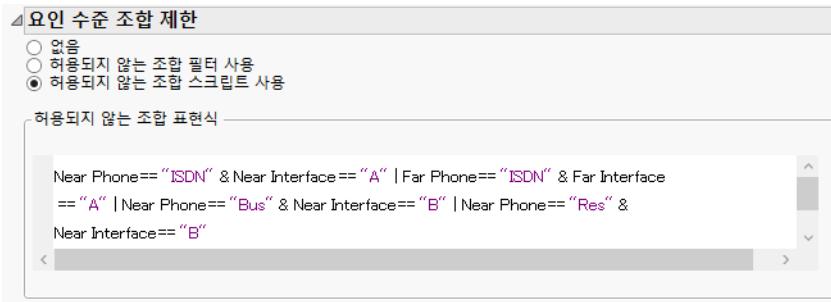
**찾기** (범주형 요인에 사용할 수 있음) 요인 이름 아래에 요인 수준에 대한 검색 문자열을 입력할 수 있는 텍스트 상자를 제공합니다. Enter 키를 누르거나 텍스트 상자 바깥쪽을 클릭하면 검색이 수행됩니다. **찾기**를 선택하면 "검색" 패널의 검은색 삼각형 메뉴에 "찾기" 옵션이 나타납니다. "옵션"에는 "용어 포함", "구 포함", "구로 시작" 또는 "구로 끝남" 및 "결과 반전"이 포함되어 있습니다.

### JMP PRO 허용되지 않는 조합 스크립트 사용

이 옵션은 허용하지 않을 조합을 식별하는 스크립트를 삽입할 수 있는 스크립트 창을 엽니다. 스크립트는 부울 표현식으로 평가되어야 합니다. 표현식이 true로 평가되면 지정된 조합이 허용되지 않습니다.

표현식을 작성할 때 수준 이름을 인용 부호로 묶습니다. 수준에 순서 값을 사용하지 마십시오. 예를 들어 그림 20.19에서는 전화기 인터페이스 예, "스크립트를 사용하여 허용되지 않는 조합 지정"(550페이지)에서 입력한 스크립트를 보여 줍니다.

**그림 20.19** 따옴표로 묶은 수준 이름을 보여 주는 스크립트 창



## JMP<sup>®</sup> PRO 설계

"설계 생성"을 클릭하면 "설계" 및 "지표" 개요가 나타납니다. 계산이 많이 필요한 설계의 경우 진행률 표시줄이 나타납니다.

"설계" 개요에는 생성한 설계가 표시됩니다. 첫 번째 열은 런 순서 목록입니다. 모든 런을 보려면 스크롤 막대를 사용해야 할 수도 있습니다. 나머지 열은 각 런의 요인 설정을 보여 줍니다.

## 최적화

덮기 배열 플랫폼에서 구성했거나 "설계 불러오기" 빨간색 삼각형 옵션을 사용하여 불러온 설계의 크기를 줄이려면 "최적화"를 선택합니다. 덮기 배열 플랫폼에서 구성한 설계가 최적으로 확인되면 "최적화"를 사용할 수 없습니다. 특히 2수준 요인에 대해 이 플랫폼에서 구성한 모든 무제약 강도 2 설계는 최적입니다. 또한  $t+1$  요인에 대한 무제약 강도  $t$  설계는 모든  $t$ 에 최적입니다.

알고리즘에 대한 자세한 내용은 "[최적화 알고리즘](#)"(562페이지)에서 확인하십시오.

**참고 :** 최적화는 시간이 많이 걸리는 작업이지만 반복적으로 실행하여 점진적으로 더 좋은 설계를 생성할 수 있습니다.

**최대 반복 수** 옵션을 사용하여 설계를 최적화하는 데 사용할 최대 반복 수를 지정합니다.

## JMP<sup>®</sup> PRO 불충족 제약 조건

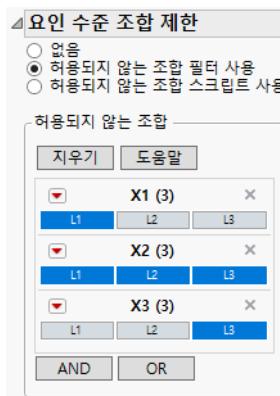
필요한 모든 요인 수준을 나타내는 덮기 배열을 생성할 수 없게 하는 제약 조건 집합을 **불충족 제약 조건**이라고 합니다.

### 불충족 제약 조건의 예

각각 수준이 세 개인 세 가지 요인에 대한 강도 2 설계를 가정해 보겠습니다.

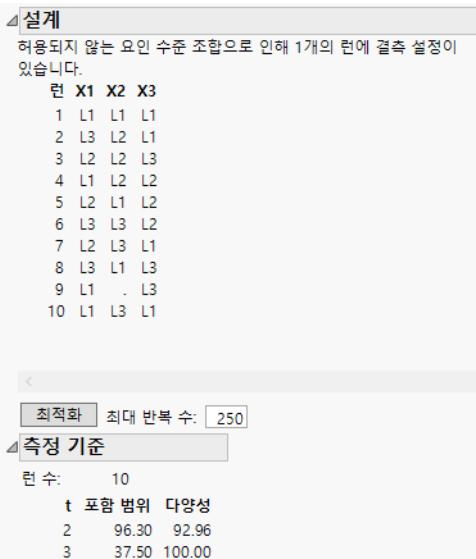
1. **DOE > 특수 용도 > 덮기 배열**을 선택합니다.
2. **N 개 요인 추가** 옆에 3 을 입력합니다.
3. **요인 추가** 메뉴에서 **3 수준**을 선택합니다.
4. **계속**을 클릭합니다.
5. **허용되지 않는 조합 필터 사용**을 선택합니다.
6. **필터 요인 추가** 목록에서 세 요인을 모두 선택하고 **추가** 버튼을 클릭합니다.
7. Ctrl 키를 누르고 다음 수준을 선택합니다.
  - X1 에서 L1 을 선택합니다.
  - X2 에서 L1, L2, L3 을 선택합니다.
  - X3 에서 L3 을 선택합니다.

**그림 20.20** 완료된 요인 수준 조합 제한 패널



**참고 :** 다음 두 단계에서 난수 시드값을 설정하면 이 예에 나오는 것과 정확히 같은 결과가 재현됩니다. 설계를 직접 구성할 때는 이러한 단계가 필요하지 않습니다.

8. "덮기 배열"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **난수 시드값 설정**을 선택합니다.
9. 12345 를 입력하고 **확인**을 클릭합니다.
10. **설계 생성**을 클릭합니다.

**그림 20.21** 설계 및 지표 개요

"설계" 개요 아래의 노트는 제약 조건으로 인해 1 개의 런에 결측 설정이 있음을 나타냅니다. 해당 런은 런 9입니다. 덮기 배열의 강도가 2가 되게 하려면  $X_1 = L_1$ ,  $X_3 = L_3$  조합이 필요합니다. 그러나 이러한 설정의 경우 제약 조건으로 인해  $X_2$ 에 대한 모든 설정이 허용되지 않습니다.

**JMP<sup>®</sup> PRO 지표**

"지표" 개요는 설계가 강도 요구 사항을 얼마나 잘 충족하는지에 대한 정보를 제공합니다. 무제약 설계의 이러한 지표에 대한 배경 지식은 Dalal and Mallows(1998)에서 확인하십시오.

**t** 요인 수입니다.

**포함 범위** 설계에 나오는 고유  $t$  요인 설정의 수를 가능한  $t$  요인 설정의 총 수에 대한 비율 (백분율)로 나타낸 값입니다.  $t$  포함 범위가 100% 이면 가능한 모든  $t$  요인 설정이 설계에 포함됩니다. 각  $t$  요인 설정은 여러 번 나타날 수 있습니다.

제약 및 불충족 설계의 경우 모든  $t$  요인 조합에 제약 조건이 적용된 후 가능한  $t$  요인 설정의 수에 맞게 포함 범위 정의가 조정됩니다. 자세한 내용은 "[지표 계산식](#)"(563 페이지)에서 확인하십시오.

**다양성** 설계에서 고유  $t$  요인 설정의 수를  $t$  요인 설정의 총 수에 대한 비율 (백분율)로 나타낸 값입니다.  $t$  다양성은 설계에서 반복이 방지되는 정도를 측정합니다.  $t$  다양성이 100% 이면  $t$  요인 설정이 반복되지 않습니다.  $t$  다양성이 50% 이면 고유  $t$  요인 설정이 나타나는 평균 횟수가 2회입니다.

제약 및 불충족 설계의 경우 결측 설정이 있는 런 수에 맞게 다양성 정의가 조정됩니다. 자세한 내용은 "[지표 계산식](#)"(563 페이지)에서 확인하십시오.

**JMP PRO** 출력 옵션

**테이블 생성** "덮기 배열" 데이터 테이블을 생성합니다.

**뒤로** "요인" 개요로 돌아갑니다. 이전 개요를 변경하고 설계를 다시 생성할 수 있습니다.

**참고 :** "요인 수준 조합 제한" 개요에서 허용되지 않는 조합을 정의하면 해당 조합이 스크립트로 유지됩니다. "계속"을 클릭하면 "허용되지 않는 조합 스크립트 사용" 패널에 스크립트가 표시됩니다.

**JMP PRO** 덮기 배열 데이터 테이블

"덮기 배열" 데이터 테이블에 포함된 첫 번째 열에 반응을 입력할 수 있습니다. 나머지 열은 요인 설정을 제공합니다.

왼쪽 위의 테이블 패널에는 설계가 덮기 배열임을 나타내고 설계 강도를 제공하는 "설계" 노트가 포함되어 있습니다. 테이블 패널에는 다음 스크립트도 있습니다.

**DOE 대화상자** 설계 테이블을 생성하는 데 사용된 "덮기 배열" 창을 다시 생성합니다.

**허용되지 않는 조합** "요인 수준 조합 제한" 개요에 입력한 요인 수준 제한을 표시합니다.

**분석** 실험 데이터 분석 결과를 제공합니다. 스크립트에 대한 자세한 내용은 "[분석 스크립트](#)"(560 페이지)에서 확인하십시오. 배경 지식은 [Zhang and Zhang\(2011\)](#)에서 확인하십시오.

**팁 :** 스크립트를 실행하려면 스크립트 이름 옆의 녹색 삼각형을 클릭합니다.

**그림 20.22** 스크립트를 보여 주는 Software Data.jmp 의 덮기 배열 테이블 ( 일부분 )

	Response	Web Browser	Operating System
1	1	Safari	Macintosh
2	1	Safari	Windows
3	1	Safari	Macintosh
4	1	Safari	Windows
5	1	Safari	Macintosh
6	1	Safari	Macintosh
7	1	Safari	Macintosh
8	1	Safari	Macintosh
9	1	Safari	Windows
10	1	IE	Windows
11	1	IE	Macintosh
12	1	IE	Macintosh

**JMP PRO** 분석 스크립트

"분석" 스크립트는 반응 열에 대해 다음과 같이 가정합니다.

- 반응은 고장이 발생할 경우 0, 성공할 경우 1로 기록됩니다.

- 결측값이 허용됩니다.
- 반응 열은 연속형입니다.
- 반응 열을 이동하거나 이름을 바꿀 수 있습니다.

"분석" 스크립트는 다음과 같은 두 가지 개요가 포함된 보고서를 생성합니다.

- "요약" 개요는 성공한 런 수, 고장이 발생한 런 수 및 반응이 없는 런 수를 제공합니다.
- "고장 분석 상세 정보" 보고서에는 "<k> 요인 교호 작용" 보고서가 포함됩니다.  $k$  값은 고장을 감지하는 최소 교호작용 개수입니다. 감지의 정의는 "덮기 배열 및 강도"(541 페이지)에서 확인하십시오. 세 열에는 다음 항목이 포함됩니다.
  - **요인** 열에는 고장을 감지하는 모든  $k$  요인 조합이 나열됩니다.
  - **고장 수준** 열에는 **요인** 열에서 고장을 감지하는  $k$  요인의 값이 나열됩니다.
  - **고장 개수** 열에는 **고장 수준**의  $k$  요인 조합에 해당하는 고장 수가 표시됩니다.

**참고 :** 고장 관측값은 **고장 수준** 열에 나열된 둘 이상의  $k$  요인 조합에 나타날 수 있습니다.

"<k> 요인 교호작용" 보고서의 행은 데이터 테이블에 동적으로 연결되어 있습니다. 보고서에서 하나 이상의 행을 선택하면 데이터 테이블에서도 해당 행이 선택됩니다.

## JMP<sup>®</sup> PRO 덮기 배열 옵션

덮기 배열 플랫폼의 빨간색 삼각형 메뉴에는 다음 옵션이 포함되어 있습니다.

**요인 저장** 각 요인에 대해 요인 수준을 포함하는 열로 구성된 데이터 테이블을 생성합니다. 각 요인 열에는 "설계 역할", "값 순서" 및 "요인 변경"이라는 열 특성이 포함됩니다. 요인을 저장하면 DOE 창에 요인을 빠르게 불러올 수 있습니다.

**참고 :** 빈 테이블에 데이터를 입력하여 덮기 배열의 요인 테이블을 생성할 수 있지만 각 열에 적절한 설계 역할("범주형")을 할당해야 합니다. 데이터 격자에서 열 이름을 마우스 오른쪽 버튼으로 클릭하고 **열 특성 > 설계 역할**을 선택합니다. 그런 다음 "설계 역할" 영역에서 "범주형"을 선택합니다.

**요인 불러오기** "요인 저장" 옵션을 사용하여 저장한 요인을 "요인" 개요에 불러옵니다.

**설계 불러오기** 활성 데이터 테이블에서 설계를 불러옵니다. 활성 데이터 테이블이 없으면 테이블을 열기 위한 대화상자가 나타납니다. "설계 불러오기"를 선택하면 설계에서 요인으로 지정할 열을 선택할 수 있는 메뉴가 나타납니다. 모든 열을 범주형으로 가져옵니다. 열과 열 값이 "요인" 개요에 나열됩니다. "설계" 개요에는 데이터 테이블의 각 행에 대한 런이 표시되고 각 런에 대한 요인 값이 제공됩니다.

"설계 불러오기" 옵션을 사용하면 다음과 같이 기존 설계의 지표를 가져오고, 설계를 수정하거나, "분석" 스크립트를 구성할 수 있습니다.

- "지표" 개요에는 지정된 설계의  $t$  포함 범위 및  $t$  다양성이 표시됩니다.

- **뒤로**를 클릭하여 요인 수준 제한을 적용한 후 새 설계를 구성할 수 있습니다.
- **테이블 생성**을 클릭하면 반응을 입력할 수 있는 설계 테이블이 생성됩니다. 이 테이블에는 설계에 대한 "분석" 스크립트가 포함되어 있습니다.

**난수 시드값 설정** JMP 가 랜덤 성분이 있는 특정 작업을 제어하는 데 사용하는 난수 시드값을 설정합니다. 시드값은 덮기 배열을 위한 시작 설계 및 반복 횟수를 선택합니다. 대부분의 설계에서 난수 시드값은 설계를 그대로 재현하지만 런 순서는 다를 수 있습니다.

**참고 :** 시간 상한 및 반복 횟수는 설계 생성 시간을 제한하는 데 사용됩니다. 일부 대형 설계와 고강도 설계의 경우 시스템에 따라 시간 제한이 반복 제한보다 우선할 수 있습니다. 이러한 설계에서는 난수 시드값으로 설계가 재현되지 않을 수 있습니다.

설계를 재현하려면 "설계 생성" 을 클릭하기 전에 설계 생성에 사용되는 난수 시드값을 입력합니다.

**참고 :** 설계와 관련된 난수 시드값은 설계 데이터 테이블에 저장된 "DOE 대화상자" 스크립트에 포함됩니다.

**고급 옵션** 덮기 배열에는 사용할 수 없습니다.

**스크립트를 스크립트 창에 저장** "덮기 배열" 창에서 지정한 설계의 스크립트를 생성한 후 열린 스크립트 창에 저장합니다.

## JMP PRO 덮기 배열에 대한 기술 상세 정보

- "최적화 알고리즘"
- "지표 계산식"

### JMP PRO 최적화 알고리즘

"최적화" 버튼은 생성 후 랜덤화된 최적화 도구(Nayeri et al., 2013)라고도 하는 덮기 배열 최적화 도구 클래스와 개념적으로 유사한 알고리즘을 호출합니다. 그러나 JMP의 알고리즘은 제약 조건이 있는 설계도 처리한다는 점에서 완전히 다릅니다. 특히 제약된 덮기 배열은 물론 불충족 제약 덮기 배열도 최적화합니다.

이 알고리즘은 최적화 할 설계를 강도가 지정된 덮기 배열이라고 가정합니다. 강도  $t$ 의  $K$  요인 설계인 경우, 모든  $KC_t$  요인 투영을 반복적으로 검사하여 런을 제거하거나 병합할 수 있는지 여부를 결정합니다. 따라서  $K$  또는  $t$ 가 커지면 알고리즘 실행 시간이 빠르게 증가합니다. 성능을 개선하기 위해 워크스테이션에서 사용 가능한 최대 CPU 코어를 사용하도록 JMP 구현이 스레드 됩니다.

**JMP<sup>®</sup>  
PRO** 지표 계산식

포함 범위 및 다양성 계산식은 제약 조건이 있는지 여부에 따라 달라집니다. 다음 표기가 사용됩니다.

${}_u\mathbf{C}_v$  는 한 번에  $v$  쪽 적용된  $u$  개 항목의 조합 수입니다.

$t$  는 설계 강도입니다.

$K$  는 요인 수입니다.

$M = {}_K\mathbf{C}_t$

$i = 1, 2, \dots, M$  은  $t$  요인의 모든 조합 또는 투영을 정렬하는 인덱스입니다.

$v_{ik}$  는  $k^{\text{th}}$  요인의 수준 수입니다.

$n_i$  는 설계에서  $i^{\text{th}}$  투영에 대한 고유  $t$  투플의 수입니다.

$p_i$  는  $i^{\text{th}}$  투영에서 요인에 대한  $v_{ik}$  의 곱입니다.

$r$  는 설계의 런 수입니다.

**JMP<sup>®</sup>  
PRO** 무제약 설계

포함 범위 및 다양성은 다음 식을 사용하여 구합니다.

$$\text{Coverage} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M n_i / p_i$$

$$\text{Diversity} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M n_i / r$$

**JMP<sup>®</sup>  
PRO** 제약 설계

제약된 설계에서는 특정  $t$  투플이 허용되지 않습니다. 이로 인해 일부  $t$  투플에 대한 결측값이 발생할 수 있습니다.  $t$  요인의 일부 조합에서 유효한  $t$  투플이 없을 수 있습니다. 포함 범위와 다양성은 가능한 유효 조합의 관점에서 정의해야 합니다. 따라서 제약된 설계의 계산식에는 다음과 같은 추가 표기가 필요합니다.

$a_i$  는  $i^{\text{th}}$  투영의 요인으로 인해 유효하지 않은  $t$  투플의 수입니다.

$m$  은 유효한  $t$  투플이 없는 투영의 수입니다.

$q_i$  는 설계에서  $i^{\text{th}}$  투영의 요인에 대한 결측값이 있는 런 수입니다.

$r_i = r - q_i$

$M' = M - m$

포함 범위 및 다양성은 다음 식을 사용하여 구합니다.

$$Coverage = \frac{1}{M'} \sum_{i=1}^{M'} n_i / (p_i - a_i)$$

$$Diversity = \frac{1}{M'} \sum_{i=1}^{M'} n_i / r_i$$

유효하지 않은 투플이 없고 ( $M' = M$ ) 결측값도 없는 경우 (모든  $i$ 에 대해  $r_i = r$ ), 제약된 설계의 포함 범위 및 다양성에 대한 정의가 무제약 설계에 대한 정의로 축소됩니다. 자세한 내용은 Morgan(2014)에서 확인하십시오.

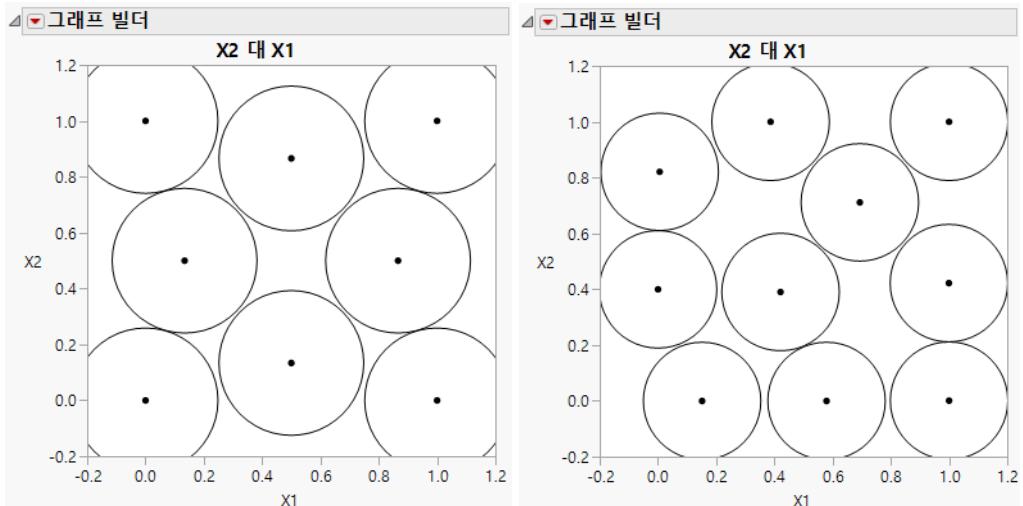
## 공간 채움 설계

공간 채움 설계는 런 간의 변동보다 모형 형태에 대한 관심이 훨씬 큰 상황에서 유용합니다. 컴퓨터 시뮬레이션 모형의 민감도 연구를 예로 들겠습니다. 이 상황에서 기계적 또는 결정적 모델링 문제에 대한 변동은 무시할 정도로 작습니다. 변동이 없는 시스템의 경우 반복, 랜덤화, 블록화 등은 관련이 없습니다.

공간 채움 플랫폼은 연속형 요인과 범주형 요인이 모두 있는 상황에 적합한 설계를 제공합니다. 연속형 요인의 경우 공간 채움 설계를 사용하는 목적은 다음과 같습니다.

- 두 설계점 사이의 거리 최대화
- 점 사이의 간격을 균등하게 설정

그림 21.1 공간 채움 설계



## 목차

공간 채움 설계 개요	567
공간 채움 설계 생성	568
반응	568
요인	570
요인 제약 조건 정의	572
공간 채움 설계 방법	575
설계	575
설계 진단	575
설계 테이블	576
공간 채움 설계 옵션	576
Sphere-Packing 설계	578
Sphere-Packing 설계 생성	578
Sphere-Packing 설계 시각화	580
라틴 초입방체 설계	581
라틴 초입방체 설계 생성	581
라틴 초입방체 설계 시각화	582
균등 설계	584
Sphere-Packing, 라틴 초입방체 및 균등 방법 비교	586
최소 잠재 설계	587
최대 엔트로피 설계	589
가우스 과정 IMSE 최적 설계	591
쾌속 유연 채움 설계	592
FFF 최적 기준	592
FFF 설계의 평균 군집 크기 설정	593
제약 조건	594
제약된 쾌속 유연 채움 설계 생성 및 보기	594
맵 쉐이프를 위한 공간 채움 설계 생성	596
Sphere-Packing 설계의 예	601
Borehole 데이터에 대한 Sphere-Packing 설계 생성	601
결정적 데이터 분석을 위한 지침	602

## 공간 채움 설계 개요

공간 채움 설계는 결정적 또는 근사 결정적 시스템을 모델링하는 데 유용합니다. 컴퓨터 시뮬레이션을 결정적 시스템의 한 예로 들 수 있습니다. 이러한 시뮬레이션은 복잡하게 연관된 많은 변수를 포함하여 매우 복합적일 수 있습니다. 이러한 시스템에 대해 설계된 실험의 목표는 제한된 요인 범위에서 시스템 동작을 적절하게 예측하는 단순한 경험적 모형을 찾는 것입니다.

랜덤 잡음이 상당히 큰 시스템에 대한 실험 목표는 예측 분산을 최소화하는 것입니다. 결정적 시스템에 대한 실험의 경우 분산은 없지만 편향이 있습니다. 편향은 근사 모형과 실제 수학 함수 간의 차이입니다. 공간 채움 설계 목표는 이러한 편향의 경계를 나타내는 것입니다.

편향의 경계를 나타내는 한 가지 방법은 실험 경계를 벗어나지 않고 설계점을 가능한 한 서로 멀리 퍼뜨리는 것입니다. 또한 관심 영역에서 설계점 간격을 균등하게 두는 것도 방법이 될 수 있습니다.

**공간 채움 설계** 도구는 다음 설계 방법을 지원합니다.

**Sphere Packing** 설계점 사이의 최소 거리를 최대화합니다. 자세한 내용은 "[Sphere-Packing 설계](#)"(578 페이지) 및 "[Borehole 데이터에 대한 Sphere-Packing 설계 생성](#)"(601 페이지)에서 확인하십시오.

**라틴 초입방체** 설계점 사이의 최소 거리를 최대화하지만 각 요인의 수준 간격이 균등해야 합니다. 이 방법은 균등 분포와 비슷한 설계를 생성합니다. 라틴 초입방체 방법은 Sphere-Packing 방법과 균등 설계 방법을 결합한 것입니다. 자세한 내용은 "[라틴 초입방체 설계](#)"(581 페이지)에서 확인하십시오.

**균등** 경험적 균등 분포를 갖는 설계점과 이론적 균등 분포 사이의 불일치를 최소화합니다. 자세한 내용은 "[균등 설계](#)"(584 페이지)에서 확인하십시오.

**최소 잠재** 구형 안에서 중심 가까이에 점을 펼쳐 놓습니다. 자세한 내용은 "[최소 잠재 설계](#)"(587 페이지)에서 확인하십시오.

**최대 엔트로피** 데이터 집합 분포에 포함된 정보의 양을 측정합니다. 자세한 내용은 "[최대 엔트로피 설계](#)"(589 페이지)에서 확인하십시오.

**가우스 과정 IMSE 최적** 실험 영역에 대한 가우스 과정의 통합 평균 제곱 오차를 최소화하는 설계를 생성합니다. 자세한 내용은 "[가우스 과정 IMSE 최적 설계](#)"(591 페이지)에서 확인하십시오.

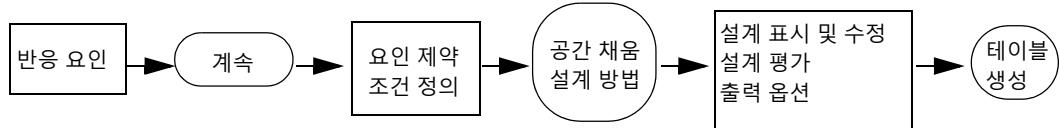
**쾌속 유연 채움** 쾌속 유연 채움 방법은 설계 공간의 랜덤 점으로 군집을 이룹니다. 이러한 군집은 최적화 기준에 따라 설계점을 선택하는 데 사용됩니다. 이 방법만 범주형 요인을 수용하고 설계 공간에 제약 조건을 지정할 수 있습니다. 선형 제약 조건 및 허용되지 않는 조합을 지정할 수 있습니다. 자세한 내용은 "[쾌속 유연 채움 설계](#)"(592 페이지) 및 "[제약된 쾌속 유연 채움 설계 생성 및 보기](#)"(594 페이지)에서 확인하십시오.

**참고 :** 런 수가 500 이하이면 가우스 과정 모형이 데이터 테이블에 저장됩니다. 런 수가 500 을 초과하면 신경망 모형이 데이터 테이블에 저장됩니다.

## 공간 채움 설계 생성

**DOE > 특수 용도 > 공간 채움 설계**를 선택하여 공간 채움 설계를 생성합니다. 먼저 반응 및 요인을 정의합니다. 그런 다음 계속해서 설계 옵션, 생성 및 평가를 진행합니다. 설계 과정은 그림 21.2의 흐름을 따릅니다.

**그림 21.2** 공간 채움 설계 흐름



### 반응

"반응" 개요를 사용하여 하나 이상의 반응을 지정합니다.

**팁 :** "반응" 개요를 완료하면 빨간색 삼각형 메뉴에서 **반응 저장**을 선택하는 것이 좋습니다. 이 옵션을 사용하면 반응 이름, 목표, 한계 및 중요도 값을 데이터 테이블에 저장하여 나중에 DOE 플랫폼에서 다시 불러올 수 있습니다.

**그림 21.3** 반응 개요

반응						
반응 추가	제거	반응 수...				
반응 이름	목표	하한	상한	중요도	감지 하한	감지 상한
Y	최대화	.	.	.	.	.

**반응 추가** "최대화", "목표값 일치", "최소화", "없음" 또는 "함수" 목표 유형을 사용하여 단일 반응을 입력합니다. "목표값 일치"를 선택하는 경우 목표값 한계를 입력해야 합니다. "최대화" 또는 "최소화"를 선택하는 경우에는 한계를 입력할 필요가 없지만 만족도 함수를 사용하려면 입력하는 것이 유용할 수 있습니다.

**JMP<sup>®</sup> PRO 함수** (JMP Pro에서만 사용할 수 있음) 설계 데이터 테이블에 FDE 열 특성을 가진 여러 개의 Y 열을 추가합니다. 이러한 열은 DOE 요인을 보조 요인으로 사용하는 함수 데이터 탭색기 플랫폼에 사용할 수 있습니다.

**제거** 선택한 반응을 제거합니다.

**반응 수** 입력한 수가 총 반응 수가 되도록 추가 반응을 입력합니다. 기본값 Y 이외의 반응을 입력한 경우 각 추가 반응의 목표는 마지막에 입력한 반응과 관련된 목표입니다. 그렇지 않은 경우에는 기본적으로 "목표값 일치"로 설정됩니다. 테이블에서 "목표" 유형을 클릭하여 목표를 변경할 수 있습니다.

"반응" 개요에는 다음과 같은 열이 포함되어 있습니다.

**반응 이름** 반응의 이름입니다. 반응을 추가하면 Y, Y2 등의 기본 이름이 지정됩니다. 이 이름을 변경하려면 이름을 두 번 클릭한 후 원하는 이름을 입력합니다.

**목표, 하한, 상한** "목표"는 반응 최대화, 반응 최소화, 목표값 일치 또는 반응 목표 없음 중에서 무엇을 원하는지 JMP에 알려 줍니다. JMP는 이러한 지정에 따라 설계 테이블의 각 반응 열에 "반응 한계" 열 특성을 할당합니다. 이 정보를 사용하여 각 반응에 대한 만족도 함수를 정의합니다. "프로파일러" 및 "등고선 프로파일러"는 만족도 함수를 사용하여 최적 요인 설정을 찾습니다. 자세한 내용은 **Profilers**의 "Profiler" 장 및 "열 특성" 부록의 "반응 한계"(730 페이지)에서 확인하십시오.

- "최대화" 목표는 가장 큰 값이 가장 좋음을 나타냅니다. 자연 하한 또는 상한이 있는 경우 이를 "하한" 또는 "상한"으로 지정할 수 있습니다.
- "최소화" 목표는 가장 작은 값이 가장 좋음을 나타냅니다. 자연 하한 또는 상한이 있는 경우 이를 "하한" 또는 "상한"으로 지정할 수 있습니다.
- "목표값 일치" 목표는 특정 목표값이 가장 좋음을 나타냅니다. 기본 목표값은 하한과 상한의 중간으로 가정됩니다.
- "없음" 목표는 최적화에 관한 목표가 없음을 나타냅니다. 만족도 함수가 구성되지 않습니다.

**참고:** 목표 반응이 하한과 상한의 중간이 아닌 경우에는 설계 테이블을 생성한 후 목표값을 변경할 수 있습니다. 데이터 테이블에서 반응 열의 "열 정보" 창을 열고 (**열 > 열 정보**) 원하는 목표값을 입력하십시오.

**중요도** 반응이 여러 개인 경우 지정한 중요도 값을 사용하여 전체 만족도 함수를 계산합니다. 이러한 값은 반응에 대한 가중치로 처리됩니다. 반응이 하나뿐이면 기본적으로 1로 설정되므로 중요도를 지정할 필요가 없습니다.

**JMP PRO 감지 한계** 하한 및 상한 감지 한계는 반응을 측정할 수 있는 경계를 정의하며 이 경계를 벗어나면 반응을 측정할 수 없습니다. 감지 한계는 열 특성으로 저장됩니다. 이러한 한계를 사용하여 일반화 회귀 플랫폼에서 중도절단 반응을 지정할 수 있습니다. 자세한 내용은 선형 모형 적합의 일반화 회귀 장에서 확인하십시오.

### 반응 개요 편집

"반응" 개요에서 다음 사항에 유의하십시오.

- 반응 이름을 편집하려면 해당 반응을 두 번 클릭합니다.
- 목표를 클릭하여 변경할 수 있습니다.
- 한계 또는 중요도 가중치를 클릭하여 변경할 수 있습니다.
- 반응이 여러 개인 경우 중요도 가중치 값을 입력할 수 있습니다.

## 반응 한계 열 특성

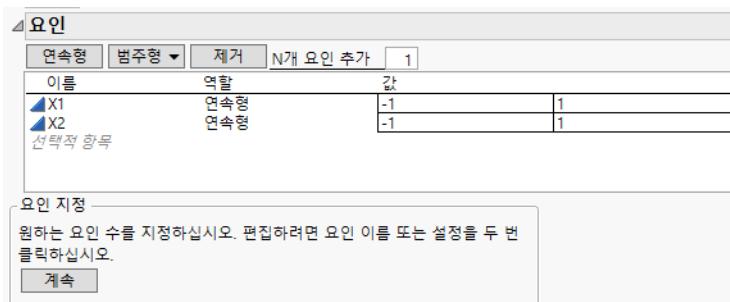
반응을 입력할 때 지정하는 "목표", "하한", "상한" 및 "중요도"를 사용하여 최적 요인 설정을 찾습니다. 각 반응에 대한 정보는 생성된 설계 데이터 테이블에 "반응 한계" 열 특성으로 저장됩니다. JMP에서는 이 정보를 사용하여 만족도 함수를 정의합니다. 만족도 함수는 최적 요인 설정을 찾기 위해 "예측 프로파일러"에서 사용됩니다. "반응 한계" 열 특성에 대한 자세한 내용과 사용 예는 "열 특성" 부록의 "반응 한계"(730 페이지)에서 확인하십시오.

하한과 상한을 지정하지 않으면 JMP는 반응에 대해 관측된 데이터 범위를 사용하여 만족도 함수의 한계를 정의합니다. 하한과 상한을 지정하면 만족도 함수의 규격을 제어할 수 있습니다. 만족도 함수 구성에 대한 자세한 내용은 Profilers의 "Profiler" 장에서 확인하십시오.

## 요인

"요인" 개요에서 공간 채움 설계의 요인을 추가합니다.

**그림 21.4** 요인 개요



"요인" 개요에는 다음 옵션이 포함되어 있습니다.

**연속형 N 개 요인 추가**에 지정된 수의 연속형 요인을 입력합니다.

**범주형 N 개 요인 추가**에 지정된 수의 명목형 요인을 입력합니다.

**제거** 선택한 요인을 제거합니다.

**N 개 요인 추가** 지정된 유형의 여러 요인을 추가합니다. 추가할 요인 수를 입력하고 "연속형" 또는 "범주형" 을 클릭합니다. 유형이 다른 여러 요인을 추가하려면 **N 개 요인 추가**를 반복합니다.

---

**팁 :** "요인" 패널을 완료하면 빨간색 삼각형 메뉴에서 **요인 저장**을 선택하십시오. 이렇게 하면 요인 이름과 값을 데이터 테이블에 저장하여 나중에 다시 불러올 수 있습니다. 자세한 내용은 "공간 채움 설계 옵션"(576 페이지)에서 확인하십시오.

## 요인 개요

" 요인 " 개요에는 다음과 같은 열이 포함되어 있습니다.

**이름** 요인의 이름입니다. 요인을 추가하면 X1, X2 등의 기본 이름이 지정됩니다. 이 이름을 변경하려면 이름을 두 번 클릭한 후 원하는 이름을 입력합니다.

**역할** 요인의 설계 역할을 지정합니다. 요인의 "설계 역할" 열 특성은 데이터 테이블에 저장됩니다. 이 특성은 요인 유형이 적절하게 모델링되도록 합니다.

**값** 요인에 대한 실험 설정입니다. 값을 삽입하려면 기본값을 클릭한 후 원하는 값을 입력합니다.

## 요인 개요 편집

" 요인 " 개요에서 다음 사항에 유의하십시오.

- 요인 이름을 편집하려면 해당 요인 이름을 두 번 클릭합니다.
- 범주형 요인은 요인 이름 왼쪽에 아래쪽 화살표가 있습니다. 이 화살표를 클릭하여 수준을 추가합니다.
- 요인 수준을 제거하려면 값을 클릭하고 **삭제**를 클릭한 후 텍스트 상자 바깥쪽을 클릭합니다.
- 값을 편집하려면 값 열의 값을 클릭합니다.

## 요인 유형

**연속형** 숫자 데이터 유형만 가능합니다. 연속형 요인은 개념적으로 공정 및 측정 시스템의 제한을 고려하여 사용자가 제공하는 하한과 상한 사이의 어떤 값이든 설정할 수 있는 요인입니다.

**범주형** 숫자 또는 문자 데이터 유형에 해당됩니다. 범주형 요인의 경우 값 순서는 왼쪽에서 오른쪽으로 입력되는 값의 순서입니다. 이 순서는 설계 데이터 테이블이 생성된 후 "값 순서" 열 특성에 저장됩니다.

## 요인 열 특성

각 요인에 대한 다양한 열 특성이 데이터 테이블에 저장됩니다.

**설계 역할** 각 요인에 "설계 역할" 열 특성이 할당됩니다. 요인을 정의할 때 지정하는 역할에 따라 "설계 역할" 열 특성의 값이 결정됩니다. "설계 역할" 특성은 실험 데이터를 모델링할 때 요인이 어떤 용도로 사용되는지를 반영합니다. "설계 역할" 값은 설계 확대 플랫폼에서 사용됩니다.

**요인 변경** 각 요인에 "쉬움"으로 설정된 "요인 변경" 열 특성이 할당됩니다. 공간 채움 설계에서는 각 실험 런에 대해 요인 수준을 변경할 수 있다고 가정합니다. "요인 변경" 값은 설계 평가 및 설계 확대 플랫폼에서 사용됩니다.

**코딩** "역할" 이 "연속형"인 경우 요인의 "코딩" 열 특성이 저장됩니다. 이 특성은 하한값과 상한값이 각각 -1과 +1에 해당하도록 요인 값을 변환합니다. "최소 제곱 적합" 보고서의 추정값과 검정은 변환된 값을 기반으로 합니다.

**값 순서** "역할"이 "범주형" 또는 "블록화"인 경우 요인의 "값 순서" 열 특성이 저장됩니다. 이 특성은 요인 수준이 나타나는 순서를 결정합니다.

## 요인 제약 조건 정의

쾌속 유연 채움 방법을 사용하여 구성한 공간 채움 설계에만 요인 제약 조건을 지정할 수 있습니다.

"요인 제약 조건 정의"를 사용하여 설계 공간을 제한할 수 있습니다. 제약 조건을 불러오거나 스크립트의 일부로 포함하지 않은 경우 **없음** 옵션이 선택됩니다. 제약 조건을 지정하려면 다른 옵션 중 하나를 선택합니다.

**선형 제약 조건 지정** 요인의 선형 조합에 대한 부등식 제약 조건을 지정합니다. "연속형" 또는 "혼합" 역할이 설정된 요인에만 사용할 수 있습니다. 자세한 내용은 "[선형 제약 조건 지정](#)"에서 확인하십시오.

---

**참고 :** 선형 제약 조건을 포함하는 설계의 스크립트를 저장하면 해당 스크립트에 선형 제약 조건이 보다 작거나 같은 부등식 ( $\leq$ )으로 표현됩니다.

**허용되지 않는 조합 필터 사용** 개별 요인의 값 제한을 기반으로 제약 조건 집합을 정의합니다. AND 제약 조건과 OR 제약 조건을 모두 정의할 수 있습니다. 자세한 내용은 "[허용되지 않는 조합 필터 사용](#)"에서 확인하십시오.

**허용되지 않는 조합 스크립트 사용** 허용되지 않는 조합 및 기타 제약 조건을 스크립트 편집기 상자에 부울 JSL 표현식으로 정의합니다. 자세한 내용은 "[허용되지 않는 조합 스크립트 사용](#)"에서 확인하십시오.

---

**참고 :** 요인 제약 조건을 포함하는 설계를 분석할 때는 모형 프로파일러가 제약 조건을 적용합니다.

## 선형 제약 조건 지정

설계 공간에서 연속형 요인을 독립적으로 변경할 수 없는 경우 선형 부등식 제약 조건을 지정할 수 있습니다. 선형 부등식은 허용되는 요인 수준 설정을 정의합니다.

**추가**를 클릭하여 하나 이상의 선형 부등식 제약 조건을 입력합니다.

**추가** 설계의 모든 연속형 요인을 포함하는 선형 표현식 템플릿을 추가합니다. 요인에 대한 계수 값을 입력한 후 선형 제약 조건을 반영하는 부등식 방향을 선택합니다. 부등식의 오른쪽 상자에 제약 값을 지정합니다. 제약 조건을 더 추가하려면 **추가**를 다시 클릭합니다.

---

**참고 :** "구 반지름"을 지정하여 설계 영역을 이미 제한한 경우에는 "추가" 옵션이 비활성화 됩니다.

**마지막 제약 조건 제거** 마지막 제약 조건을 제거합니다.

**제약 조건 검사** 제약 조건의 일관성을 확인합니다. 이 옵션은 중복 제약 조건을 제거하고 실행 가능성 검사를 수행합니다. 문제가 있으면 JMP 경고가 나타납니다. 제약 조건이 요인의 한 계와 동등한 경우 "요인" 개요의 한계가 업데이트되었음을 알리는 JMP 경고가 나타납니다.

## 허용되지 않는 조합 필터 사용

이 옵션은 허용되지 않는 조합을 쉽게 지정하기 위해 데이터 필터를 조정하여 사용합니다. 자세한 내용은 JMP 사용의 "JMP 보고서" 장에서 확인하십시오.

"필터 요인 추가" 목록에서 요인을 선택하고 **추가**를 클릭합니다. 그런 다음 슬라이더를 사용하거나(연속형 요인의 경우) 수준을 선택하여(범주형 요인의 경우) 허용되지 않는 조합을 지정합니다.

"필터 요인 추가" 메뉴의 빨간색 삼각형 옵션은 많은 플랫폼 시작 창의 "열 선택" 패널에 있는 옵션과 동일합니다. 자세한 내용은 JMP 사용의 "시작하기" 장에서 확인하십시오.

"추가"를 클릭하면 "허용되지 않는 조합" 제어판에 선택한 요인이 표시되고 추가 제어 옵션이 제공됩니다. 요인은 모델링 유형에 따라 다음과 같이 나타납니다.

**연속형 요인** 연속형 요인의 경우 요인 설정 범위를 따라 양단 슬라이더가 나타납니다. 슬라이더 끝을 드래그하거나 슬라이더 아래의 텍스트 값에 클릭하여 끝점을 설정함으로써 허용되지 않은 설정을 지정할 수 있습니다. 슬라이더에서 파란색 강조 표시는 허용되지 않는 값을 나타냅니다.

**범주형 요인** 범주형 요인의 경우 가능한 수준은 라벨이 지정된 블록으로 표시되거나, 수준 수가 많으면 목록 항목으로 표시됩니다. 허용하지 않을 수준을 선택합니다. 여러 수준을 선택하려면 Ctrl 키를 누른 채로 선택합니다. 해당 블록 또는 목록 항목은 강조 표시되어 허용되지 않는 수준임을 나타냅니다. "허용되지 않는 조합" 패널에 범주형 요인을 추가하면 해당 요인의 수준 수가 요인 이름 뒤의 괄호 안에 표시됩니다.

## 허용되지 않는 조합 옵션

제어판에는 다음과 같은 컨트롤이 있습니다.

**지우기** 지정한 허용되지 않는 요인 수준 설정을 모두 지웁니다. 선택한 요인은 지워지지 않습니다.

**다시 시작** 선택한 모든 요인을 제거하고 초기 요인 목록으로 돌아갑니다.

**AND** "필터 요인 추가" 목록을 엽니다. 선택한 요인은 AND 그룹이 됩니다. AND 그룹 내에 지정된 요인 수준 조합은 허용되지 않습니다.

나중에 AND 그룹에 요인을 추가하려면 그룹 개요를 클릭하여 강조 표시된 직사각형을 표시합니다. 그런 다음 "AND"를 선택하고 요인을 추가합니다.

단일 요인을 제거하려면 빨간색 삼각형 메뉴에서 **삭제**를 선택합니다.

**OR** "필터 요인 추가" 목록을 엽니다. 선택한 요인은 별도의 AND 그룹이 됩니다. OR로 구분된 AND 그룹의 경우 하나 이상의 AND 그룹에 지정된 조합은 허용되지 않습니다.

### 요인에 대한 빨간색 삼각형 메뉴 옵션

한 요인이 여러 OR 그룹에 나타날 수 있습니다. 특정 OR 그룹에 요인이 나타나는 경우 이를 해당 요인의 인스턴스라고 합니다.

**삭제** "허용되지 않는 조합" 패널에서 선택한 요인 인스턴스를 제거합니다.

**선택 해제** 요인 인스턴스에 대한 선택을 취소합니다.

**선택 반전** 요인 인스턴스에 대해 선택된 값을 선택 취소하고 이전에 선택되지 않은 값을 선택합니다.

**표시 옵션** 범주형 요인에만 사용할 수 있습니다. 표시 모양을 변경합니다. 각 수준을 블록, 목록 또는 단일 범주로 표시하거나 각 값 옆에 체크박스를 추가하는 옵션을 사용할 수 있습니다.

**찾기** 범주형 요인에만 사용할 수 있습니다. 요인 이름 아래에 요인 수준에 대한 검색 문자열을 입력할 수 있는 텍스트 상자를 제공합니다. Enter 키를 누르거나 텍스트 상자 바깥쪽을 클릭하면 검색이 수행됩니다. **찾기**가 선택되면 찾기 텍스트 상자 드롭다운 메뉴에 찾기 옵션이 나타납니다.

### 허용되지 않는 조합 스크립트 사용

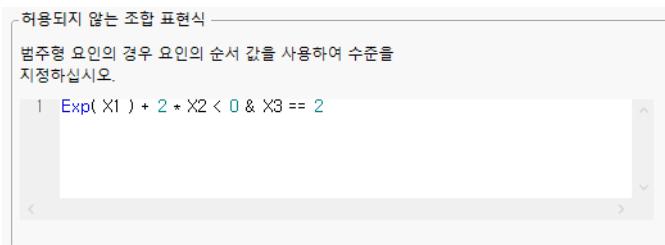
이 옵션을 사용하면 JSL 스크립트를 사용하여 요인 수준 조합을 허용하지 않도록 설정할 수 있습니다. 이 옵션은 연속형 요인 또는 연속형과 범주형이 혼합된 요인과 함께 사용할 수 있습니다.

이 옵션은 허용하지 않을 조합을 식별하는 스크립트를 삽입할 수 있는 스크립트 창을 엽니다. 스크립트는 부울 표현식으로 평가되어야 합니다. 표현식이 true로 평가되면 지정된 조합이 허용되지 않습니다.

범주형 요인에 대한 표현식을 작성할 때는 수준의 순서 값 또는 수준 이름을 사용합니다. "요인" 개요에서 요인 수준이 높음, 중간, 낮음으로 순서대로 지정된 경우 관련 서수 값은 1, 2, 3입니다. 예를 들어 두 개의 연속형 요인 ( $X_1, X_2$ ) 과 세 가지 수준 ( $L_1, L_2, L_3$ ) 이 순서대로 설정된 범주형 요인 하나가 있다고 가정해 보겠습니다. 다음 표현식이 true 인 경우 수준을 허용하지 않으려고 합니다.

$$e^{X_1} + 2X_2 < 0 \text{ 및 } X_3 = L_2$$

$(\text{Exp}(X_1) + 2*X_2 < 0) \& (X_3 == 2)$  표현식을 스크립트 창에 입력합니다.

**그림 21.5** 스크립트 편집기의 표현식

(그림에서 불필요한 괄호는 파싱을 통해 제거됨) 함수를 부울 표현식의 일부로 입력할 수 있습니다. ( $\text{Exp}(X1) + 2*X2 < 0 \& (X3 == "L2")$ ) 표현식도 유효합니다.

## 공간 채움 설계 방법

다음과 같은 방법을 사용하여 공간 채움 설계를 구성할 수 있습니다.

- "[Sphere-Packing 설계](#)"(578 페이지)
- "[라틴 초입방체 설계](#)"(581 페이지)
- "[균등 설계](#)"(584 페이지)
- "[최소 잠재 설계](#)"(587 페이지)
- "[최대 엔트로피 설계](#)"(589 페이지)
- "[가우스 과정 IMSE 최적 설계](#)"(591 페이지)
- "[쾌속 유연 채움 설계](#)"(592 페이지)

## 설계

"설계" 개요에서는 공간 채움 설계를 위한 런을 보여 줍니다.

## 설계 진단

"설계 진단" 개요에는 공간 채움 설계 요인의 값이 0~1 척도로 표시됩니다. "최소 거리"는 척도화된 값을 기반으로 하며 각 점에서 최근접 이웃까지의 최소 거리입니다. 최근접 이웃의 행 번호는 "최근접 점" 열에 제공됩니다. 테이블 아래에 표시된 불일치 값은 설계점과 균등 분포 사이의 통합 차이입니다.

MaxPro(최대 투영) 기준은 전체 설계 및 사용된 범주형 변수의 각 수준에 대해 제공됩니다. 값이 작을수록 좋습니다. MaxPro 기준에 대한 자세한 내용은 "[MaxPro](#)"(592페이지)에서 확인하십시오.

**참고 :** 임의의 차원에 대해 두 점이 동일한 값 ( $x_{ik} = x_{jk}$ ) 을 가질 수 있으면 MaxPro 기준이 정의되지 않습니다. 이 경우에는 "설계 진단"에 MaxPro 대한 결측값이 표시됩니다.

## 설계 테이블

"설계 테이블" 버튼을 사용하여 공간 채움 설계 구성을 완료합니다.

**테이블 생성** "공간 채움 설계" 데이터 테이블을 생성합니다.

**뒤로 설계 생성**을 클릭하기 전의 위치로 이동합니다. 이전 개요를 변경하고 설계를 다시 생성할 수 있습니다.

## 공간 채움 설계 옵션

공간 채움 설계 플랫폼의 빨간색 삼각형 메뉴에는 다음 옵션이 포함되어 있습니다.

**반응 저장** "반응" 패널의 정보를 새 데이터 테이블에 저장합니다. 그러면 반응 및 관련 정보를 대부분의 DOE 창에 빠르게 불러올 수 있습니다. 이 옵션은 반응을 재사용 할 것으로 예상하는 경우 유용합니다.

**반응 불러오기** "반응 저장" 옵션을 사용하여 저장한 반응을 불러옵니다.

**요인 저장** "요인" 패널의 정보를 새 데이터 테이블에 저장합니다. 각 요인의 열에는 수준이 포함됩니다. 다른 정보는 열 특성으로 저장됩니다. 그러면 요인 및 관련 정보를 대부분의 DOE 창에 빠르게 불러올 수 있습니다.

**참고 :** 빈 테이블에 데이터를 입력하여 요인 테이블을 생성할 수 있지만 각 열에 적절한 설계 역할을 할당해야 합니다. 이렇게 하려면 데이터 격자에서 열 이름을 마우스 오른쪽 버튼으로 클릭하고 **열 특성 > 설계 역할**을 선택합니다. 그런 다음 "설계 역할" 영역에서 적절한 역할을 선택합니다.

**요인 불러오기** "요인 저장" 옵션을 사용하여 저장한 요인을 불러옵니다.

**제약 조건 저장** ( 일부 플랫폼에서는 사용할 수 없음 ) "요인 제약 조건 정의" 또는 "선행 제약 조건" 개요에서 정의한 요인 제약 조건을 각 제약 조건에 대한 열과 함께 데이터 테이블에 저장합니다. 그러면 제약 조건을 대부분의 DOE 창에 빠르게 불러올 수 있습니다.

제약 조건 테이블에서 처음에 나오는 행은 각 요인의 계수를 포함합니다. 마지막 행은 부등식 한계를 포함합니다. 각 제약 조건 열에는 제약 조건을 "less than" 또는 "greater than" 제약 조건으로 식별하는 제약 조건 상태 열 특성이 포함됩니다. 자세한 내용은 "열 특성" 부록의 "제약 조건 상태" (762 페이지)에서 확인하십시오.

**제약 조건 불러오기** ( 일부 플랫폼에서는 사용할 수 없음 ) "제약 조건 저장" 옵션을 사용하여 저장한 요인 제약 조건을 불러옵니다.

**난수 시드값 설정** JMP 가 랜덤 성분이 있는 작업을 제어하는 데 사용하는 난수 시드값을 설정합니다. 이러한 작업에는 다음 중 하나 이상이 포함됩니다.

- 설계 생성을 위한 검색 알고리즘 초기화
- 설계 생성을 위한 런 순서 랜덤화
- 랜덤 시작에 기반한 설계의 시작 설계 선택

설계를 재현하려면 **설계 생성**을 클릭하기 전에 설계를 생성한 난수 시드값을 입력합니다.

**참고 :** 설계와 관련된 난수 시드값은 설계 데이터 테이블에 저장된 "DOE 대화상자" 스크립트에 포함됩니다.

**반응 시뮬레이션** 시뮬레이션 계산식을 포함하는 열과 반응 값을 설계 테이블에 추가합니다. "테이블 생성" 을 클릭하기 전에 이 옵션을 선택하십시오.

"테이블 생성" 을 클릭하면 다음과 같은 결과가 나타납니다.

- 시뮬레이션된 반응 값 집합이 각 반응 열에 추가됩니다.
- 각 반응에 대해 시뮬레이션 모형 계산식을 포함하는 새 열이 설계 테이블에 추가됩니다. 계산식과 값은 설계 창에 지정된 모형에 기초합니다.
- 모형 효과에 대한 계수 값을 설정하고 정규, 이항 또는 Poisson 분포 중 하나를 지정할 수 있는 "모형" 창이 나타납니다.

**참고 :** 모든 설계 유형에 모든 분포를 사용할 수 있는 것은 아닙니다.

- **DOE 시뮬레이션** 스크립트가 설계 테이블에 저장됩니다. 이 스크립트는 값을 다시 시뮬레이션하거나 시뮬레이션된 반응 분포를 변경할 수 있도록 "모형" 창을 다시 엽니다.

"모형" 창에서 시뮬레이션된 반응 값의 분포를 제어하는 옵션을 선택합니다. "적용" 을 클릭하면 시뮬레이션된 반응 값의 계산식이 <Y> 시뮬레이션이라는 새 열에 저장됩니다. 여기서 Y는 반응 이름입니다. "적용" 을 다시 클릭하면 <Y> 시뮬레이션의 계산식과 값이 업데이트됩니다.

자세한 내용은 "사용자 설계" 장의 "[반응 시뮬레이션](#)"(103 페이지)에서 확인하십시오.

**참고 :** [JMP PRO](#) "반응 시뮬레이션" 을 사용하면 JMP Pro 시뮬레이션 기능을 사용하여 시뮬레이션 분석을 수행할 수 있습니다. 자세한 내용과 DOE 예는 기본 분석의 "시뮬레이션" 장에서 확인하십시오.

**FFF 최적 기준** 쾌속 유연 채움 설계 방법의 경우 MaxPro 기준(기본값)과 Centroid 기준 중 하나를 선택할 수 있습니다. 자세한 내용은 "[FFF 최적 기준](#)"(592 페이지)에서 확인하십시오.

**시작 수** 새 설계를 생성하기 위해 선택한 설계 유형의 알고리즘이 시작되는 횟수를 지정합니다. 지정된 설계 유형에 대한 기준에 따라 최선의 설계가 반환됩니다. 기본적으로 모든 설계 유형에 대해 1로 설정합니다. 쾌속 유연 채움 설계에는 사용되지 않습니다.

**고급 옵션 > 평균 군집 크기 설정** 쾌속 유연 채움 설계 방법의 경우 각 군집 또는 각 설계점을 정의하는 데 사용하기 위해 무작위로 생성되는 평균 점 개수를 지정할 수 있습니다.

**고급 옵션 > MaxPro 범주형 가중치** 쾌속 유연 채움 설계 방법의 경우 MaxPro 계산에서 범주형 요인에 사용되는 가중치를 지정할 수 있습니다. 범주형 수준이 동일한 점에 가중치를 곱합니다. 이렇게 하면 범주형 요인의 각 수준에 대한 하위 설계에서 더 좋은 공간 채움 특성이 제공됩니다.

**스크립트를 스크립트 창에 저장** 공간 채움 설계 플랫폼에서 지정한 설계의 스크립트를 생성한 후 열린 스크립트 창에 저장합니다.

## Sphere-Packing 설계

Sphere-Packing 설계 방법은 설계점 쌍 사이의 최소 거리를 최대화합니다. 이 최대화를 통해 설계 영역 내에서 점을 가능한 한 많이 퍼뜨릴 수 있습니다.

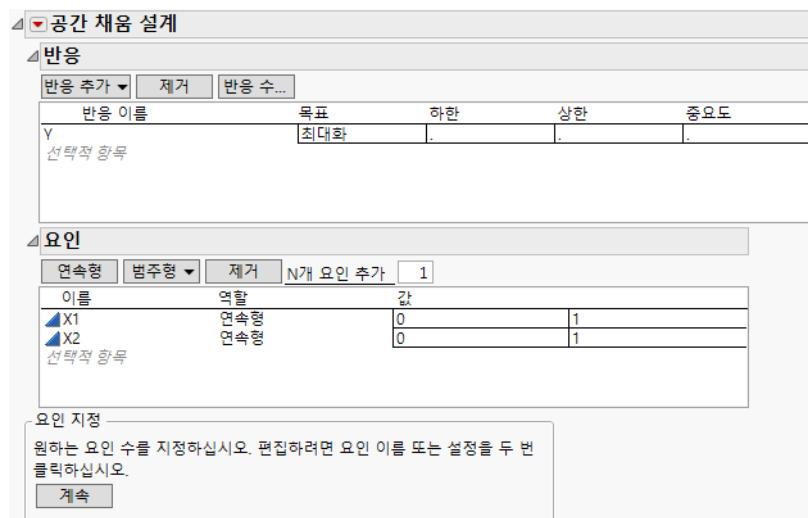
- "Sphere-Packing 설계 생성"
- "Sphere-Packing 설계 시작화"

### Sphere-Packing 설계 생성

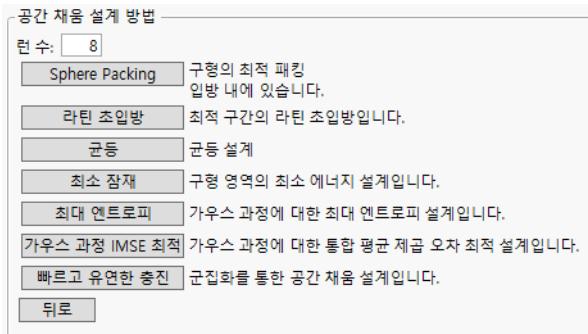
Sphere-Packing 설계를 생성하려면 다음 단계를 수행하십시오.

1. **DOE > 특수 용도 > 공간 채움 설계**를 선택합니다.
2. 반응과 요인을 입력합니다.  
자세한 내용은 "[반응](#)"(568 페이지)에서 확인하십시오.
3. 필요한 경우 요인 수준 값을 변경합니다. 예를 들어 그림 21.6에서는 값이 -1 ~ 1( 기본값) 대신 0 ~ 1 범위로 설정된 기준의 두 요인 X1과 X2를 보여 줍니다.

**그림 21.6** 두 요인에 대한 공간 채움 설계 대화상자



4. **계속**을 클릭합니다.
5. 설계 규격 대화상자에서 표본 크기 (**런 수**)를 지정합니다. 그럼 21.7 에는 표본 크기가 8로 지정되어 있습니다.

**그림 21.7** 공간 채움 설계 대화상자

6. **Sphere Packing** 을 클릭합니다.

설계가 생성되고 설계 런과 설계 진단이 표시됩니다. 그럼 21.8 에서는 **최소 거리**가 0.518 인 "설계 진단" 패널을 보여 줍니다. 결과가 아래 그림과 약간 다를 수 있지만 최소 거리는 같습니다. 한 차원에 대해 점의 값이 동일할 수 있으므로 Sphere Packing 에 대한 MaxPro 통계량은 정의되지 않았습니다.

**그림 21.8** Sphere-Packing 설계 진단

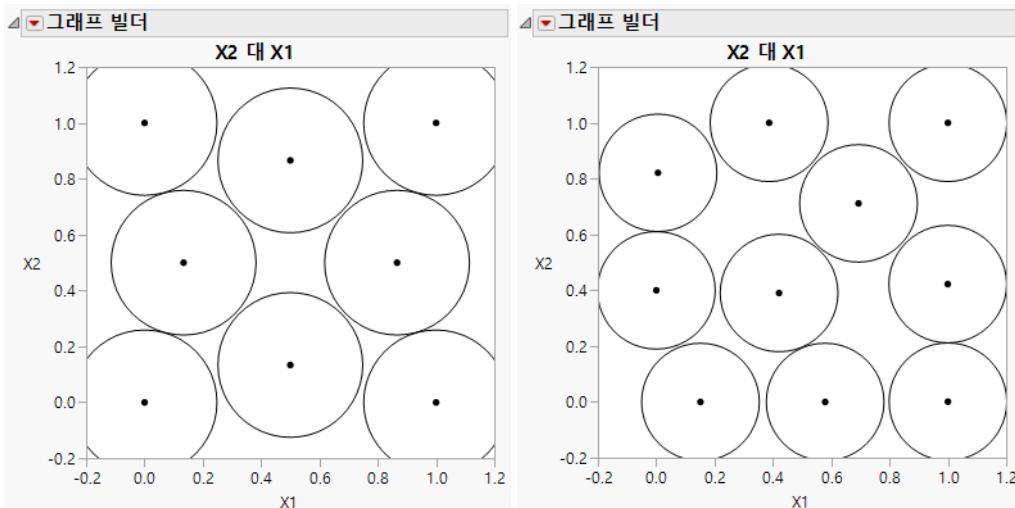
7. **테이블 생성**을 클릭합니다. 이 테이블을 사용하여 다음 섹션에서 설명하는 시각화 예를 완료합니다.

## Sphere-Packing 설계 시작화

Sphere-Packing 설계를 시작화하려면 Sphere-Packing 설계 테이블을 사용하여 다음과 같이 그래프 빌더로 그림을 생성합니다.

1. **그래프 > 그래프 빌더**를 선택합니다.
2. X1 을 **X**로 지정하고 X2 를 **Y**로 지정합니다.
3. 평활기 아이콘을 **클릭**하여 평활기 (파란색 선)를 그래프에서 제거합니다.
4. 그림을 마우스 오른쪽 버튼으로 클릭하고 **그래프 > 크기 / 척도 > 등간격 가로 - 세로 축**을 선택하여 프레임이 정사각형이 되도록 프레임 크기를 조정합니다.
5. 그림을 마우스 오른쪽 버튼으로 클릭하고 **사용자 정의**를 선택합니다. "사용자 정의" 패널이나 타나면 더하기 기호를 클릭하여 텍스트 편집 영역을 표시한 후 다음 스크립트를 입력합니다.  
**For Each Row(Circle({:X1}, :X2}, 0.518/2))**  
여기서 0.518은 "설계 진단" 패널에서 확인한 최소 거리 값입니다. 이 스크립트는 그림 21.9의 왼쪽에 표시된 것과 같이 각 설계점이 중심에 있고 반지름이 0.259(지름 0.518의 1/2)인 원을 그립니다. 이 그림은 JMP가 설계점을 효율적으로 채우는 방법을 보여 줍니다.
6. 이제 이전 섹션에서 설명한 절차를 표본 크기만 8 대신 10으로 지정하고 똑같이 반복합니다.  
그래픽 스크립트에서 0.518을 10회 런으로 생성된 최소 거리로 변경해야 합니다. 그림이나 타나면 다시 프레임 크기를 설정하고, 진단 보고서의 최소 거리를 원의 지름으로 사용하여 그래픽 스크립트를 생성합니다. 그림 21.9의 오른쪽 그림과 유사한 그림이 표시됩니다. Sphere Packing의 불규칙 특성에 유의하십시오. 배열은 랜덤 시작점에 기반하므로 실제로 이 과정을 세 번 정도 반복하면 그림이 약간 다를 수 있습니다.

**그림 21.9** 8 회 런 (왼쪽)과 10 회 런 (오른쪽)을 사용한 Sphere-Packing 예



## 라틴 초입방체 설계

라틴 초입방체 설계에서 각 요인의 수준 수는 설계의 런 수와 동일합니다. 수준은 요인의 하한에서 상한까지 간격이 균등합니다. Sphere Packing 방법과 마찬가지로 라틴 초입방체 방법도 설계 점 사이의 최소 거리를 최대화하도록 점을 선택하지만 제약 조건이 있습니다. 이 제약 조건으로 인해 요인 수준 사이 간격이 균등하게 유지됩니다.

- "라틴 초입방체 설계 생성"
- "라틴 초입방체 설계 시각화"

### 라틴 초입방체 설계 생성

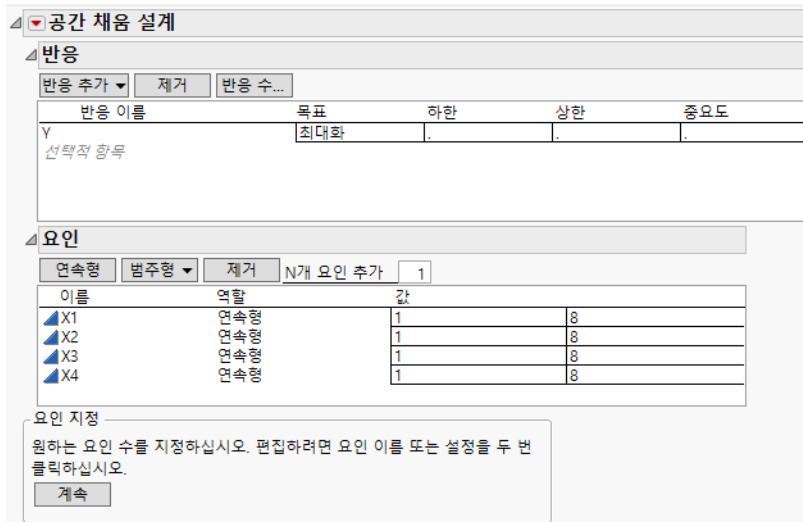
라틴 초입방체 설계를 생성하려면 다음 단계를 수행하십시오.

1. **DOE > 특수 용도 > 공간 채움 설계**를 선택합니다.
2. 반응과 요인 (필요한 경우) 을 입력합니다.

자세한 내용은 "[반응](#)"(568 페이지)에서 확인하십시오.

3. 필요한 경우 요인 수준 값을 변경합니다. 그림 21.10에서는 요인 네 개를 추가하고 값을 기본 값 -1 과 1 대신 1 과 8로 변경합니다.

**그림 21.10** 네 요인에 대한 공간 채움 설계 대화상자



4. **계속**을 클릭합니다.
5. 설계 규격 대화상자에서 표본 크기 (런 수)를 지정합니다. 이 예에서는 표본 크기 8을 사용합니다.

6. **라틴 초입방체**를 클릭합니다 ( 그림 21.7 참조 ). 그림 21.11에 표시된 것과 유사한 요인 설정 및 설계 진단 결과가 나타납니다 . 이 그림은 요인이 4 개이고 런 수가 8 인 라틴 초입방체 설계를 보여 줍니다 .

**참고 :** 이 예의 목적은 각 열 ( 요인 ) 에 각 수준이 한 번만 할당되고 각 열의 수준 순열이 다음을 보여 주는 것입니다 .

**그림 21.11** 수준이 8 개인 4 개 요인과 8 회 런에 대한 라틴 초입방체 설계

4 요인 공간 채움 라틴 초입방						
설계						
런	X1	X2	X3	X4		
1	4.00000	7.00000	1.00000	4.00000		
2	2.00000	6.00000	5.00000	7.00000		
3	1.00000	4.00000	6.00000	1.00000		
4	7.00000	5.00000	3.00000	8.00000		
5	5.00000	2.00000	8.00000	6.00000		
6	6.00000	8.00000	7.00000	3.00000		
7	8.00000	3.00000	4.00000	2.00000		
8	3.00000	1.00000	2.00000	5.00000		

설계 진단						
런	척도화X1	척도화X2	척도화X3	척도화X4	최소 거리	최근접 점
1	0.42857	0.85714	0.00000	0.42857	0.782	2
2	0.14286	0.71429	0.57143	0.85714	0.782	1
3	0.00000	0.42857	0.71429	0.00000	0.926	2
4	0.85714	0.57143	0.28571	1.00000	0.795	2
5	0.57143	0.14286	1.00000	0.71429	0.845	2
6	0.71429	1.00000	0.85714	0.28571	0.892	7
7	1.00000	0.28571	0.42857	0.14286	0.892	6
8	0.28571	0.00000	0.14286	0.57143	0.892	1

불일치 = 0.039317  
MaxPro  
전체 설계 11.40992

## 라틴 초입방체 설계 시각화

라틴 초입방체 기법의 특성을 시각화하려면 그래프 빌더를 사용하여 그림을 생성합니다 .

1. 두 개 요인을 사용하는 또 다른 라틴 초입방체 설계를 생성합니다 .
2. **DOE > 특수 용도 > 공간 채움 설계**를 선택합니다 .
3. 두 개 요인을 입력하고 요인 값을 기본값 -1 과 1 대신 0 과 1 이 되도록 변경합니다 .
4. **계속**을 클릭합니다 .
5. 표본 크기 ( 런 수 ) 를 8 로 지정합니다 .
6. **라틴 초입방체**를 클릭합니다 .

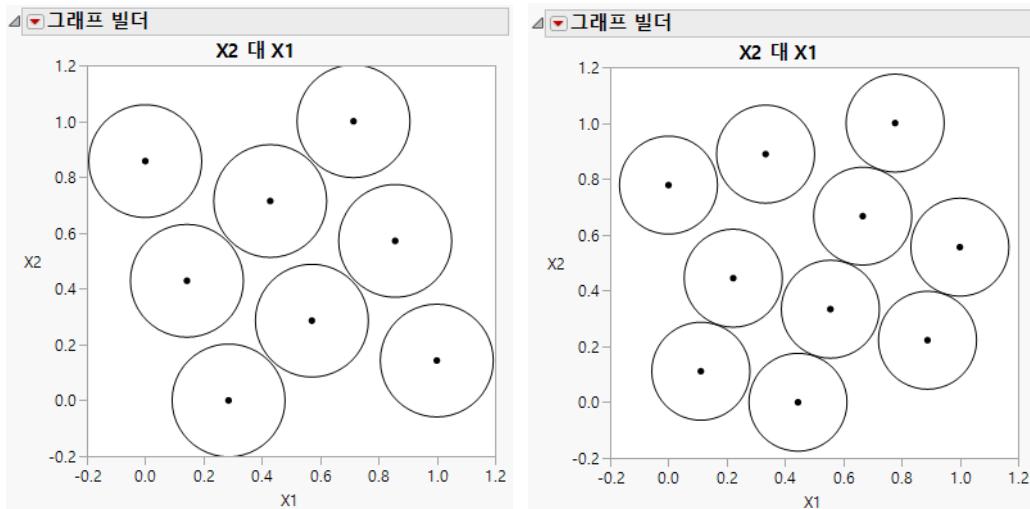
그림 21.12 2 개 요인과 8 회 런을 사용한 라틴 초입방체 설계



7. 테이블 생성을 클릭합니다.
  8. 그래프 > 그래프 빌더를 선택합니다.
  9. X1 을 X 로 지정하고 X2 를 Y 로 지정합니다.
  10. 평활기 아이콘을 클릭하여 평활기 (파란색 선)를 그래프에서 제거합니다.
  11. 그림을 마우스 오른쪽 버튼으로 클릭하고 그래프 > 크기 / 척도 > 등간격 가로 - 세로 축을 선택하여 프레임이 정사각형이 되도록 프레임 크기를 조정합니다.
  12. 그림을 마우스 오른쪽 버튼으로 클릭하고 메뉴에서 사용자 정의를 선택합니다. "사용자 정의" 패널에서 큰 더하기 기호를 클릭하여 텍스트 편집 영역을 표시한 후 다음 스크립트를 입력합니다.
- ```
For Each Row(Circle({:X1, :X2}, 0.404/2))
```
- 여기서 0.404 는 "설계 진단" 패널에서 확인한 최소 거리 값입니다 (그림 21.12 참조). 이 스크립트는 그림 21.13의 왼쪽에 표시된 것과 같이 각 설계점이 중심에 있고 반지름이 0.202(지름 0.404 의 1/2) 인 원을 그립니다. 이 그림은 JMP 가 설계점을 효율적으로 채우는 방법을 보여 줍니다.
13. 위의 절차를 런 수만 8 대신 10 으로 지정하고 똑같이 반복합니다 (5 단계). 그래픽 스크립트에서 0.404 를 10 회 런으로 생성된 최소 거리로 변경해야 합니다.

그림 21.13의 오른쪽 그래프와 유사한 그래프가 표시됩니다. Sphere Packing의 불규칙 특성에 유의하십시오. 배열은 랜덤 시작점에 기반하므로 실제로 이 과정을 반복하면 그림이 약간 다를 수 있습니다.

그림 21.13 8 회 런 ( 왼쪽 ) 과 10 회 런 ( 오른쪽 ) 을 사용한 라틴 초입방체 설계 비교



라틴 초입방체 설계에서 각 점 쌍 사이의 최소 거리는 Sphere-Packing 설계의 경우보다 작습니다. 라틴 초입방체 설계는 각 요인의 수준 간격이 균등하도록 제한하기 때문입니다. Sphere-Packing 설계는 제약 조건 없이 최소 거리를 최대화합니다.

## 균등 설계

균등 설계는 설계점(경험적 균등 분포)과 이론적 균등 분포 사이의 불일치를 최소화합니다.

**참고 :** 이 설계는 미지의 함수 적분에 대해 정확한 단순 추정값을 얻는 데 가장 유용합니다. 추정값은 실험에서 관측한 반응의 평균입니다.

1. **DOE > 특수 용도 > 공간 채움 설계**를 선택합니다.
2. 반응과 요인 (필요한 경우)을 입력합니다.  
자세한 내용은 "[반응](#)"(568 페이지)에서 확인하십시오.
3. 요인 수준 값을 0과 1로 변경합니다.
4. **계속**을 클릭합니다.
5. 설계 규격 대화상자에서 표본 크기를 지정합니다. 이 예에서는 표본 크기 (**런 수**) 8을 사용합니다.
6. **균등** 버튼을 클릭합니다. 설계가 생성되고 설계 런과 설계 진단이 표시됩니다(그림 21.14 참조).

**참고 :** 균등 분포의 주안점은 점을 퍼뜨리는 것이 아닙니다. 그림 21.14의 최소 거리는 서로 상당히 다릅니다.

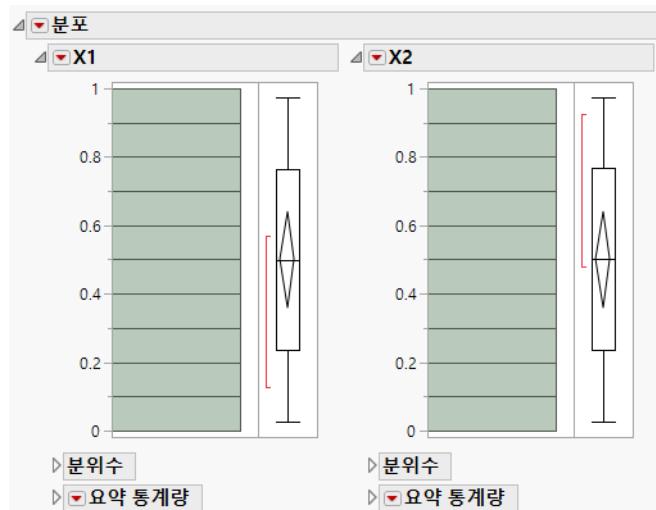
그림 21.14 8 회 런을 사용한 균등 공간 채움 설계의 요인 설정 및 진단



## 7. 테이블 생성을 클릭합니다.

균등 설계를 생성해도 요인 수준 간격이 균등하지 않을 수 있습니다. 그러나 런 수를 늘리고 각 요인에 대해 분포를 실행하면(분석 > 분포 사용) 평평한 히스토그램이 표시됩니다.

그림 21.15 런 수가 20 으로 증가한 경우 각 요인에 대한 평평한 히스토그램



## Sphere-Packing, 라틴 초입방체 및 균등 방법 비교

공간 채움 설계 방법을 비교하기 위해 이전 예에 나와 있는 대로 **Sphere Packing**, **라틴 초입방체** 및 **균등** 설계를 생성합니다. "설계 진단" 테이블에 요인의 값이 0~1 척도로 표시됩니다. "최소 거리"는 척도화된 값을 기반으로 하며 각 점에서 최근접 이웃까지의 최소 거리입니다. 불일치 값은 설계점과 균등 분포 사이의 통합 차이입니다.

그림 21.16에서는 세 가지 8회 런 공간 채움 설계의 설계 진단 비교를 보여 줍니다. 균등 설계의 불일치가 가장 작습니다(최선). Sphere-Packing 설계의 불일치가 가장 큽니다(최악). 라틴 초입방체 설계의 불일치는 최적값에 더 가까운 중간 값입니다. MaxPro 기준은 균등 설계에 비해 라틴 초입방체 설계에서 더 작습니다.

또한 점 쌍 사이의 최소 거리는 Sphere-Packing 방법을 사용할 때 가장 큽니다(최선). 균등 설계의 점 쌍은 약 절반 씩만 떨어져 있습니다. 라틴 초입방체 설계는 점을 퍼트리는 데 있어서 Sphere-Packing 설계와 더 비슷하게 동작합니다.

퍼트리기와 불일치 둘 다를 기준으로 볼 때 라틴 초입방체 설계에서 양호한 절충안을 나타냅니다.

**그림 21.16** 세 가지 8회 런 공간 채움 방법의 진단 비교

| 공간 채움 Sphere Packing              |         |         |       |       | 공간 채움 라틴 초입방체                              |         |         |       |       |
|-----------------------------------|---------|---------|-------|-------|--------------------------------------------|---------|---------|-------|-------|
| 설계                                |         |         |       |       | 설계                                         |         |         |       |       |
| 설계 진단                             |         |         |       |       | 설계 진단                                      |         |         |       |       |
| 런                                 | 척도화X1   | 척도화X2   | 최소 거리 | 최근접 점 | 런                                          | 척도화X1   | 척도화X2   | 최소 거리 | 최근접 점 |
| 1                                 | 0.50000 | 0.86602 | 0.518 | 3     | 1                                          | 0.28571 | 0.00000 | 0.404 | 3     |
| 2                                 | 0.86603 | 0.50000 | 0.518 | 6     | 2                                          | 0.00000 | 0.85714 | 0.452 | 4     |
| 3                                 | 0.13397 | 0.50000 | 0.518 | 1     | 3                                          | 0.57143 | 0.28571 | 0.404 | 1     |
| 4                                 | 0.50000 | 0.13398 | 0.518 | 7     | 4                                          | 0.42857 | 0.71429 | 0.404 | 5     |
| 5                                 | 0.00000 | 1.00000 | 0.518 | 1     | 5                                          | 0.14286 | 0.42857 | 0.404 | 4     |
| 6                                 | 1.00000 | 1.00000 | 0.518 | 2     | 6                                          | 1.00000 | 0.14286 | 0.452 | 7     |
| 7                                 | 1.00000 | 0.00000 | 0.518 | 4     | 7                                          | 0.85714 | 0.57143 | 0.404 | 3     |
| 8                                 | 0.00000 | 0.00000 | 0.518 | 3     | 8                                          | 0.71429 | 1.00000 | 0.404 | 4     |
| 불일치 = 0.046969<br>MaxPro<br>전체 설계 |         |         |       |       | 불일치 = 0.009279<br>MaxPro<br>전체 설계 11.32801 |         |         |       |       |

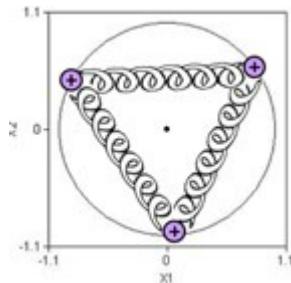
| 공간 채움 균등 설계                                |         |         |       |       |
|--------------------------------------------|---------|---------|-------|-------|
| 설계                                         |         |         |       |       |
| 설계 진단                                      |         |         |       |       |
| 런                                          | 척도화X1   | 척도화X2   | 최소 거리 | 최근접 점 |
| 1                                          | 0.93092 | 0.69041 | 0.281 | 6     |
| 2                                          | 0.69276 | 0.18514 | 0.277 | 6     |
| 3                                          | 0.06860 | 0.32218 | 0.359 | 7     |
| 4                                          | 0.18696 | 0.81304 | 0.353 | 8     |
| 5                                          | 0.56496 | 0.93540 | 0.393 | 8     |
| 6                                          | 0.81410 | 0.43443 | 0.277 | 2     |
| 7                                          | 0.32218 | 0.06860 | 0.359 | 3     |
| 8                                          | 0.43643 | 0.56357 | 0.353 | 4     |
| 불일치 = 0.004663<br>MaxPro<br>전체 설계 15.40271 |         |         |       |       |

또 다른 비교 항목은 설계를 계산하는 데 걸리는 시간입니다. 균등 설계 방법을 사용할 때 계산 시간이 가장 오래 걸립니다. 또한 설계 계산 시간은 런 수에 따라 빠르게 증가합니다. 비슷한 문제의 경우, 모든 공간 채움 설계 방법이 사용자 설계 도구의 D-최적 설계보다 계산 시간이 더 오래 걸립니다.

## 최소 잠재 설계

최소 잠재 설계는 구형 안에 점을 펼쳐 놓습니다. 이 설계가 어떻게 생성되는지 이해하기 위해 그림 21.17에 표시된 것과 같이 점을 다른 모든 점에 스프링으로 연결된 전자로 가정해 보겠습니다. 쿨롱 힘은 점을 밀어내지만 스프링은 점을 서로 끌어당깁니다. 이 설계는 시스템의 잠재적 에너지를 최소화하는 점 간격입니다.

그림 21.17 최소 잠재 설계



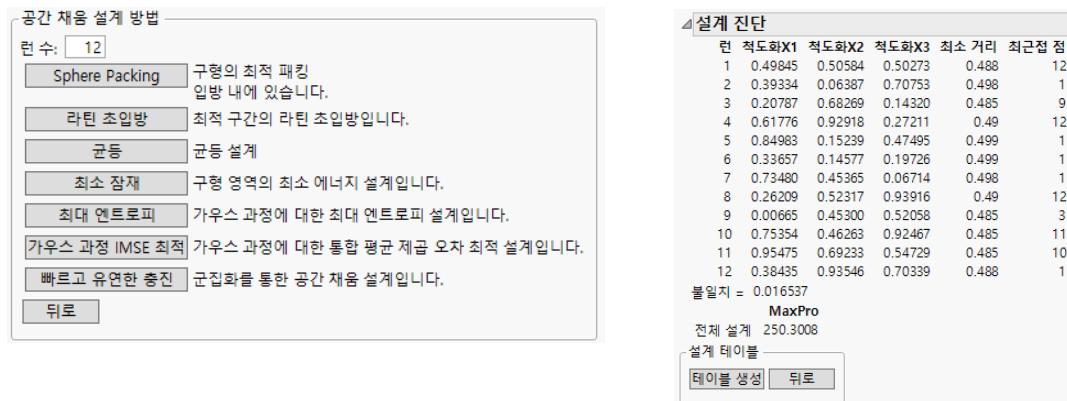
### 최소 잠재 설계의 특징

- 구형 대칭을 갖습니다.
- 거의 직교입니다.
- 간격이 균등합니다.

### 최소 잠재 설계 예를 생성하려면

1. **DOE > 특수 용도 > 공간 채움 설계**를 선택합니다.
2. 연속형 요인을 3 개 추가합니다.  
자세한 내용은 "[요인](#)"(570 페이지)에서 확인하십시오.
3. 요인 수준 값을 0 과 1로 변경합니다.
4. **계속**을 클릭합니다.
5. 그림 21.18 왼쪽에 표시된 설계 규격 대화상자에서 표본 크기 (런 수)를 입력합니다. 이 예에서는 표본 크기 12를 사용합니다.
6. **최소 잠재** 버튼을 클릭합니다. 설계가 생성되고 설계 런과 설계 진단이 표시됩니다 (그림 21.18의 오른쪽 참조).

## 그림 21.18 최소 잠재 설계를 위한 공간 채움 방법 및 설계 진단



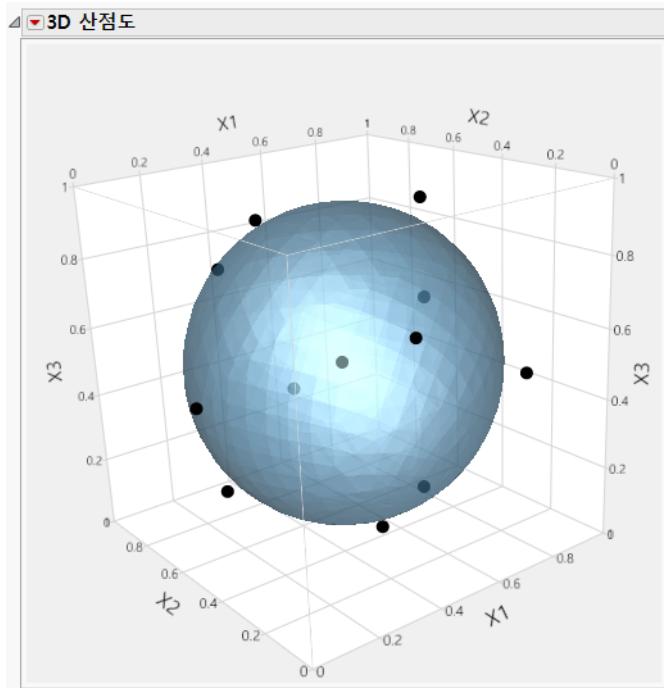
## 7. 테이블 생성을 클릭합니다.

3D 산점도 그래픽 플랫폼을 사용하여 최소 잠재 설계의 구형 대칭을 확인할 수 있습니다.

1. JMP 설계 테이블을 생성한 후 **그래프 > 3D 산점도** 명령을 선택합니다.
2. "3D 산점도" 시작 대화상자에서 X1, X2, X3 을 Y, 열로 선택하고 확인을 클릭하여 설계점의 초기 3 차원 산점도를 표시합니다.
3. 그림 21.19에 나오는 것과 유사한 결과를 표시하려면 다음을 수행합니다.
  - "3D 산점도"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **정규 등고선 타원**을 선택합니다.
  - 그림을 마우스 오른쪽 버튼으로 클릭하고 **설정**을 선택한 후 **표식 크기** 슬라이더를 사용하여 표식 크기를 늘립니다.

이제 점이 타원 표면에 균등하게 펼쳐지는 것을 시각화할 수 있습니다.

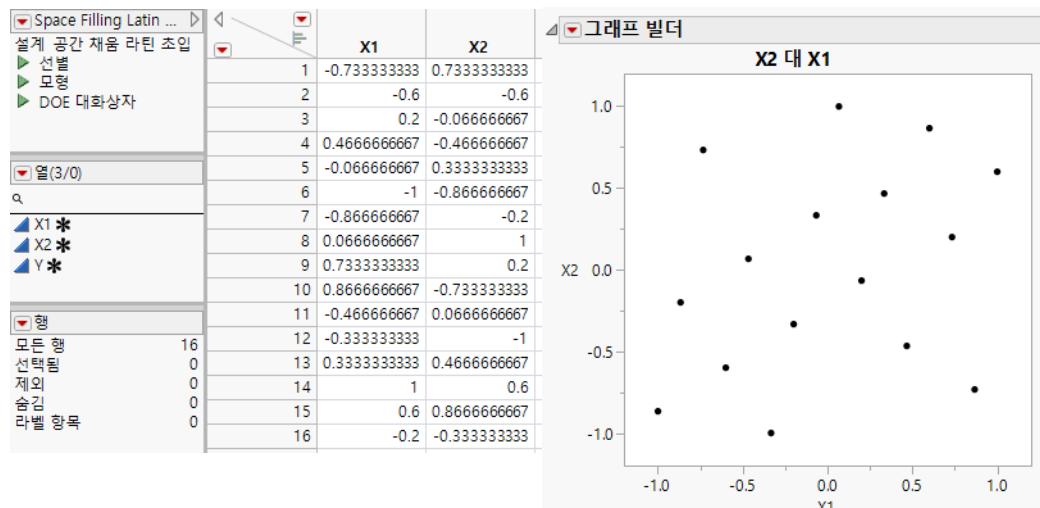
그림 21.19 구면의 최소 잠재 설계점



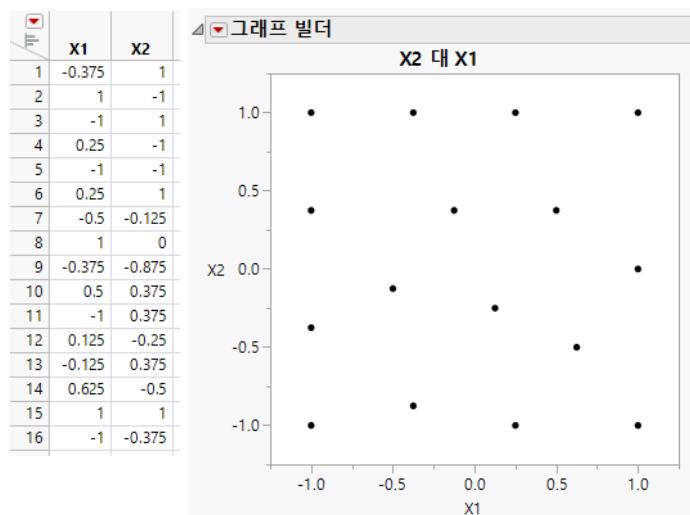
## 최대 엔트로피 설계

최대 엔트로피 설계는 컴퓨터 실험에서 라틴 초입방 설계 대신 사용할 수 있습니다. 라틴 초입방 설계는 가우스 과정 모형과 함께 많이 사용되는 설계입니다. 컴퓨터 시뮬레이션 전문가는 좌표 축에 대한 모든 투영이 균등한 라틴 초입방체 설계를 선호합니다.

그러나 그림 21.20의 예에서 볼 수 있듯이 라틴 초입방체 설계는 최적의 공간 채움 특성을 제공하지 못할 수 있습니다. 이 예는 요인 수준이  $-1 \sim 1$  사이의 값으로 설정된 2 요인 16 회 런 라틴 초입방체 설계입니다. 두 요인에 대한 그림은 이 설계에 포함 범위가 없는 영역이 있음을 보여 줍니다. 특히 0에 가까운  $X_1$ 과 -1에 가까운  $X_2$ 의 포함 범위가 적절하지 않습니다.

**그림 21.20** 2 요인 라틴 초입 방체 설계

최대 엔트로피 설계는 실험에 포함된 정보량을 최적화합니다. 자세한 내용은 아래 기술 정보를 참조하십시오. 요인 수준이  $-1 \sim 1$  사이로 설정된 경우, 그림 21.21에 표시된 2요인 최대 엔트로피 설계가 그림 21.20의 라틴 초입방체 설계보다 영역을 더 잘 포함합니다. 런 수가 증가할수록 설계의 공간 채움 특성이 향상됩니다.

**그림 21.21** 2 요인 최대 엔트로피 설계

**기술 정보** 최대 엔트로피 설계는 데이터를 정규 분포 ( $m, s^2 R$ )에서 수집한 것으로 가정하고 실험의 색다른 정보 (Shewry and Wynn(1987))를 최대화합니다.

$$R_{ij} = \exp\left(-\sum_k \theta_k (x_{ik} - x_{jk})^2\right)$$

위의 식은 서로 다른 두 설계 점 ( $x_i, x_j$ )에서 반응 값의 상관입니다. 계산상으로 이 설계는  $|R|$ , 즉 표본 상관 행렬의 행렬식을 최대화합니다.  $x_i$ 와  $x_j$ 가 멀리 떨어져 있으면  $R_{ij}$ 는 0에 근접합니다.  $x_i$ 와  $x_j$ 가 서로 가까이 있으면  $R_{ij}$ 는 1에 가깝습니다.

---

## 가우스 과정 IMSE 최적 설계

가우스 과정 IMSE 최적 설계 방법은 가우스 과정 모형에 적합한 설계를 구성합니다. 가우스 과정 모형은 다양한 표면을 적합시킵니다. 가우스 과정 IMSE 최적 설계는 실험 영역에 대한 가우스 과정 모형의 통합 평균 제곱 오차를 최소화합니다. 가우스 과정 IMSE 최적 설계 방법은 kriging 모형과 유사한 상관 구조를 사용합니다. 자세한 내용은 Jones and Johnson(2009)에서 확인하십시오.

### 공분산 모수 벡터

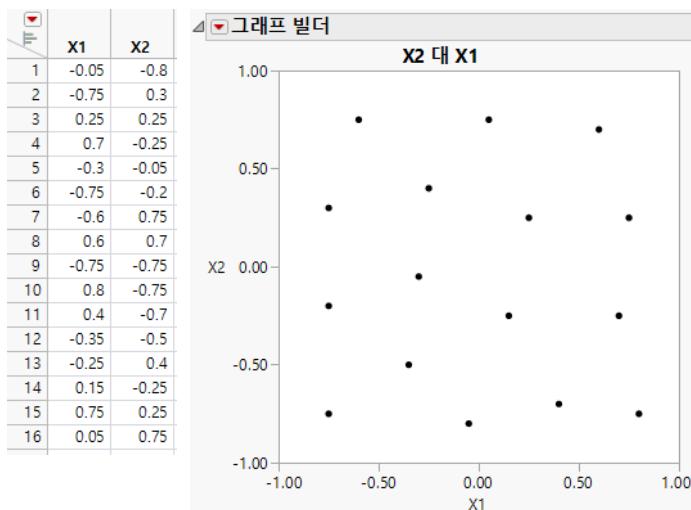
가우스 과정 모형의 가우스 과정 IMSE 최적 설계 배합에서 공분산 모수 벡터는 상관 구조를 결정합니다. 각 요인에 대한 세타가 있습니다. 세타 0은 상관 1에 해당하므로 적합된 표면이 해당 요인의 방향으로 편평하게 됩니다. 세타가 증가하면 상관이 감소하여 요인 방향으로 유연한 표면을 생성할 수 있습니다.

"공분산 모수 벡터" 개요에서 "세타" 아래의 값 목록에 표면 사전 지식을 반영하는 값을 입력할 수 있습니다.

### 라틴 초입방체 설계와 가우스 과정 IMSE 최적 설계 비교

가우스 과정 IMSE 최적 설계는 라틴 초입방체 설계의 대안입니다. IMSE 최적 설계를 앞에서 그림 21.20에 표시된 라틴 초입방체와 비교할 수 있습니다. 그림 21.22의 테이블과 중첩 그림은 가우스 IMSE 최적 설계를 보여 줍니다. 이 설계에서 요인 영역에 대해 균등한 포함 범위를 제공하는 것을 확인할 수 있습니다.

**그림 21.22** 2 요인 라틴 초입방체 설계와 가우스 IMSE 최적 설계 비교



**참고 :** 최대 엔트로피 설계와 가우스 과정 IMSE 최적 설계 둘 다 100 회의 랜덤 시작을 사용하여 생성되었습니다.

## 쾌속 유연 채움 설계

쾌속 유연 채움 설계를 위한 알고리즘은 지정된 설계 영역에서 다수의 랜덤 점을 생성하는 것으로 시작합니다. 그런 다음 빠른 Ward 알고리즘을 사용하여 이러한 점을 여러 군집으로 군집화합니다. 이때 군집 수는 사용자가 지정한 런 수와 같습니다.

최종 설계점은 기본 MaxPro( 최대 투영 ) 최적 기준을 사용하거나 Centroid 기준을 선택하여 얻을 수 있습니다.

**참고 :** 범주형 요인 또는 요인 제약 조건이 있으면 공간 채움 설계에서 쾌속 유연 채움 방법만 사용할 수 있습니다.

## FFF 최적 기준

" 공간 채움 설계 " 의 빨간색 삼각형 메뉴에는 FFF 최적 기준 아래에 최적 기준이 포함되어 있습니다.

**MaxPro**  $p$  개 요인이 있고  $n$  이 지정된 런 수와 같은 경우 MaxPro 기준은 군집에서 다음 기준을 최소화하는 점을 찾습니다.

$$C_{MaxPro} = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \left[ 1 / \prod_{k=1}^p (x_{ik} - x_{jk})^2 \right]$$

MaxPro 기준은 모든 요인을 포함하는 방식으로 잠재적 설계점 간 거리의 곱을 최대화합니다. 이는 요인 투영에 적합한 공간 채움 특성을 제공한다는 목표를 지원합니다. 자세한 내용은 Joseph et al. (2015)에서 확인하십시오. MaxPro 옵션이 기본값입니다.

**Centroid** 이 방법은 각 군집의 중심에 설계점을 놓습니다. 설계 공간의 임의 점에서 가장 가까운 인접 설계점까지의 평균 거리가 다른 설계보다 작다는 특성이 있습니다.

**참고 :** 항상 정해진 최적 기준을 사용하도록 환경 설정을 지정할 수 있습니다. 파일 > 환경 설정 > 플랫폼 > DOE 를 선택합니다. FFF 최적 기준을 선택한 후 기본 기준을 선택합니다.

## 범주형 요인

범주형 요인이 있는 경우 알고리즘은 다음과 같이 진행됩니다.

- 총 설계점 수는 범주형 요인의 총 수준 조합 수에서 균형을 이룹니다.  $m$  개의 수준 조합이 있고  $k$  개의 설계점이 각 조합에 할당된다고 가정해 보겠습니다.
- 연속형 변수에 의해 정의된 설계 공간 내에 다수의 점이 생성됩니다. 이러한 점은  $k$  개의 기본 군집으로 그룹화됩니다.
- 점을 포함하는  $k$  개의 기본 군집은 각각  $m$  개의 하위 군집으로 다시 군집화됩니다.
- 각 기본 군집 내에서 지정된 FFF 최적 기준을 사용하여  $m$  개의 하위 군집 각각에 대해 설계점이 계산됩니다.
- $k$  개의 각 기본 군집에 대해  $m$  개의 수준 조합 중 하나가  $m$  개의 각 하위 군집 설계점에 무작위로 할당됩니다. 이를 통해 총  $km$  개의 설계점이 계산됩니다.
- $k$  개의 각 기본 군집에서 MaxPro 기준에 따라  $m$  개의 각 수준 조합에 대한 설계점이 선택됩니다. 범주형 요인의 수준이 동일한 점에는 MaxPro 범주형 가중치를 곱합니다. MaxPro 범주형 가중치에 대한 설명은 "공간 채움 설계 옵션" (576 페이지)에서 확인하십시오. 이 과정은  $k$  개의 모든 기본 군집에서 10 회 반복하거나, 지정된 설계점을 변경해도 더 이상 개선되지 않을 때까지 계속됩니다.

## FFF 설계의 평균 군집 크기 설정

평균 군집 크기 설정 옵션을 사용하면 각 군집 또는 각 설계점을 정의하는 데 사용하기 위해 무작위로 생성되는 평균 점 개수를 지정할 수 있습니다. 이 옵션은 "공간 채움 설계"의 빨간색 삼각형 메뉴에서 "고급 옵션" 아래에 있습니다.

기본적으로 "런 수"를 200 이하로 설정하면 무작위로 생성된 총 10,000 개의 점이 군집화 알고리즘의 기초로 사용됩니다. 런 수가 200을 초과하면 기본값 50이 사용됩니다. 이 값을 늘리면 요인 수가 많거나, 허용되지 않는 조합이 군집화 알고리즘에 사용되는 점의 분포를 제한하는 설계에서 특히 유용할 수 있습니다.

**참고 :** 요인 수와 지정된 런 수 값에 따라 고급 옵션 > 평균 군집 크기 설정을 선택하여 설계점당 평균 초기점 수를 늘릴 수 있습니다.

## 제약 조건

"요인" 개요가 완료되면 **계속**을 클릭합니다. 그러면 "요인 제약 조건 정의" 개요가 나타납니다. 이 개요를 사용하여 설계 영역을 제한할 수 있습니다. 이 개요에 대한 자세한 내용은 "[요인 제약 조건 정의](#)"(572페이지)에서 확인하십시오.

"허용되지 않는 조합 필터 사용" 및 "허용되지 않는 조합 스크립트 사용" 옵션을 사용하여 허용되지 않는 요인 수준 조합을 지정할 수 있습니다. 또는 "선형 제약 조건 지정" 옵션을 사용하여 선형 부등식에 대한 한계를 지정할 수 있습니다. 그러나 설계는 이 두 방법에 대해 다르게 생성됩니다.

### 허용되지 않는 조합 필터 사용 및 허용되지 않는 조합 스크립트 사용

허용되지 않는 조합을 지정하면 군집화 알고리즘의 기초를 구성하는 랜덤 점이 무제약 설계 영역 내에 무작위로 분포됩니다. 그런 다음 허용되지 않는 점이 제거되고 나머지 점으로 군집화가 진행됩니다.

**참고 :** 무작위로 생성된 초기점에 의한 무제약 설계 공간의 기본 포함 범위는 제약 조건의 특성과 지정된 런 수에 따라 필요한 런 수를 산출하기에 충분하지 않을 수 있습니다. 이 경우 "충분한 개수의 점을 찾을 수 없습니다."라는 JMP 경고가 나타날 수 있습니다. 군집화 알고리즘의 기초를 구성하는 초기점 수를 늘리려면 고급 옵션 > 평균 군집 크기 설정을 선택하여 설계점당 평균 초기점 수를 더 큰 값으로 지정합니다. 자세한 내용은 "[FFF 설계의 평균 군집 크기 설정](#)"(593페이지)에서 확인하십시오.

### 선형 제약 조건 지정

선형 제약 조건 지정 옵션을 사용하면 군집화 알고리즘의 기초를 구성하는 랜덤 점이 제약된 설계 영역 내에 무작위로 분포됩니다. 군집화 알고리즘에 이러한 점이 사용됩니다.

## 제약된 쾌속 유연 채움 설계 생성 및 보기

이 예에서는 제약된 쾌속 유연 채움 설계를 생성하고 표시합니다.

### 설계 구성

1. **DOE > 특수 용도 > 공간 채움 설계**를 선택합니다.
2. 연속형 요인을 3 개 추가합니다.
3. 요인 수준 값을 0 과 1로 변경하고 **계속**을 클릭합니다.
4. "요인 제약 조건 정의" 개요에서 **선형 제약 조건 지정**을 선택합니다.

공간 채움 설계 방법 중 "쾌속 유연 채움" 만 사용할 수 있습니다.

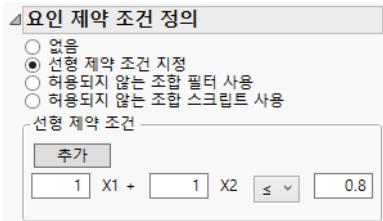
5. 추가를 선택합니다.
6. 다음 계수와 한계를 입력합니다.

X1 - 1

X2 - 1

한계 - 0.8

### 그림 21.23 선형 제약 조건



7. 런 수 옆에 200 을 입력합니다.

8. 쾌속 유연 채움을 선택합니다.

제약 조건을 충족하는 설계가 생성됩니다." 설계" 개요를 열어 설계를 확인합니다.

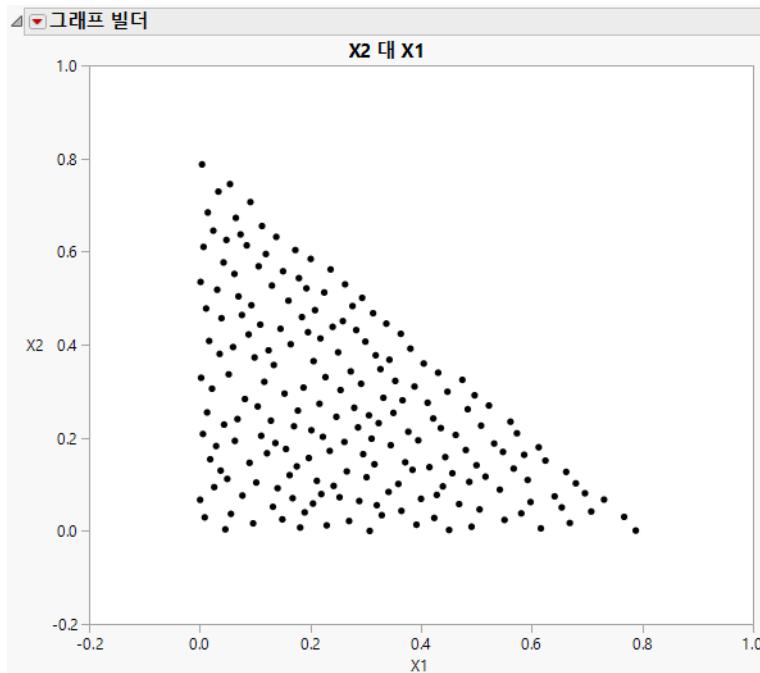
9. 테이블 생성을 선택하여 데이터 테이블을 구성합니다.

### 그림 구성

1. 데이터 테이블을 활성화하고 **그래프 > 그래프 빌더**를 선택합니다.
2. X1 을 **X** 라벨이 지정된 놓기 영역으로 드래그합니다.
3. X2 를 **Y** 라벨이 지정된 놓기 영역으로 드래그합니다.
4. 평활기 아이콘을 클릭하여 **평활기**를 제거합니다.
5. "그래프 빌더" 의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **제어판 표시**를 클릭하여 선택 취소합니다.

그림 21.24의 그래프와 유사한 그래프가 표시됩니다. 점은 선형 제약 조건  $X1 + X2 \leq 0.8$ 을 충족합니다.

그림 21.24 선형 제약 조건이 1 개 있는 쾌속 유연 채움 설계



## 맵 쉐이프를 위한 공간 채움 설계 생성

FFF(쾌속 유연 채움) 설계를 사용하면 맵 쉐이프와 같은 영역에서 실행할 실험을 설계할 수 있습니다. 예를 들어 미국의 주 전역에 퍼져 있는 위치에서 두 가지 표본 수집 방법(예: 공기 또는 토양 표본)을 비교하려는 경우 FFF 설계를 고려하십시오.

미국 조지아 주를 대상으로 가정해 보겠습니다. 주 전역에 퍼져 있는 40개의 표본(각 표본 추출 방법에 대해 20개씩)이 있어야 합니다. 맵 쉐이프를 위한 FFF 설계를 생성하려면 맵 경계의 위도와 경도가 포함된 파일이 필요합니다. 자세한 내용은 *Essential Graphing*에서 확인하십시오.

다음 예에서는 미국 조지아 주의 경도와 위도를 확인하고 주 쉐이프를 정의한 후 설계를 생성합니다. 이 설계는 40개 표본 각각에 대한 위치 및 표본 추출 방법을 제공합니다.

### 조지아 주의 경도 및 위도 찾기

1. 일반적으로 다음 위치에 있는 디렉터리로 이동합니다.

Windows: C:/Program Files/SAS/JMP/< 버전 >/Maps

macOS: /Library/Application Support/JMP/< 버전 >/Maps

2. US-State-XY.jmp 와 US-State-Name.jmp 를 엽니다.

US-State-Name.jmp 에서 Shape ID 11 이 미국 조지아 주에 해당합니다. 이 예에서는 조지아 주를 대상으로 합니다.

3. US-State-XY.jmp에서 행 > 행 선택 > 선택 조건을 선택합니다.
4. Shape ID를 선택하고 텍스트 상자에 11을 입력한 후 확인을 클릭합니다.  
이렇게 하면 조지아 주를 나타내는 Shape ID = 11인 모든 행이 선택됩니다.
5. 테이블 > 부분집합을 선택하고 확인을 클릭하여 US-State-XY.jmp 테이블의 부분집합을 가져옵니다. 여기에는 조지아 주의 위도 및 경도 데이터(선택한 행)가 포함됩니다.
6. US-State-XY.jmp와 US-State-Name.jmp를 닫습니다.

### 값 범위 가져오기

공간 채움 설계를 위한 공간을 정의하려면 조지아 주의 위도와 경도에 대한 값 범위를 알아야 합니다. 그런 다음 이러한 값을 사용하여 설계 요인을 생성할 수 있습니다.

1. 파일 > 새로 만들기 > 스크립트를 선택합니다. 스크립트 창에서 마우스 오른쪽 버튼을 클릭하고 중첩된 로그 표시를 선택합니다.
2. 다음 내용을 복사하여 새 스크립트에 붙여 넣습니다.

```
dt = current data table();
mymap = dt << get as matrix({X,Y});
xx = mymap[0,1];
yy = mymap[0,2];
show(min(xx), max(xx));
show(min(yy), max(yy));
show(xx,yy);
```

3. US-State-XY.jmp 테이블의 부분집합을 활성화하고 스크립트를 실행합니다.  
조지아 주의 위도와 경도에 대한 값 범위 및 xx 행렬과 yy 행렬이 로그에 나타납니다.

그림 21.25 범위 찾기 스크립트와 로그 결과

The screenshot shows the JMP interface with the Scripting Editor open. The code entered is:

```
dt = current data table();
mymap = dt << get as matrix({X,Y});
xx = mymap[0,1];
yy = mymap[0,2];
show(min(xx), max(xx));
show(min(yy), max(yy));
show(xx,yy);
```

The Log window displays the results of the script execution:

```
Min(xx) = -85.605165;
Max(xx) = -80.862814;
Min(yy) = 30.358035;
Max(yy) = 35.000771;
xx = [-83.108535, -83.3386899940506, -83.034712, -82.876864, -82.556835, -82.32448, -82.186154, -81.926336, -81.939737, -81.743835, -81.492253, -81.41866, -81.186829, -81.117234, -80.885517, -80.862814, -81.203572 , -81.133493, -81.260076, -81.177254, -81.2884027924215, -81.493651, -81.444124, -81.949787, -82.043795, -82.036825, -82.165192, -82.214839, -84.864693, -85.002368, -85.107516, -85.041305, -85.140731, -85.061144 , -84.890894303099, -85.007103, -84.96303, -85.1844, -85.605165, -84.321869];
yy = [35.000771, 34.6820015115479, 34.483495, 34.475303, 33.945353, 33.820033, 33.62088, 33.462937, 33.344941, 33.14145, 33.009342, 32.629392, 32.464086, 32.117605, 32.0346, 31.969346, 31.719448, 31.623348, 31.54828 , 31.517074, 31.211065104271, 30.977528, 30.709714, 30.827493, 30.729641, 30.377884, 30.358035, 30.568591, 30.711542, 31.000682, 31.186451, 31.540987, 31.857461, 32.134065, 32.2615038439169, 32.328362, 32.424244 , 32.861317, 34.984678, 34.988408];
```

## 요인 추가

1. **DOE > 특수 용도 > 공간 채움 설계**를 선택합니다.
2. 연속형 요인 두 개를 설계에 추가합니다. **N 개 요인 추가** 텍스트 상자에 2를 입력하고 **연속형**을 클릭합니다.
3. 요인 이름을 다음과 같이 longitude 와 latitude 로 변경하고 " 요인 " 개요에서 최소값과 최대 값을 입력합니다.
  - longitude 값을 -85.6 과 -80.9로 입력합니다. 이 값은 로그에서 x의 최소 및 최대 경도 값입니다.
  - latitude 값을 30.4 와 35.0 으로 입력합니다. 이 값은 로그에서 y의 최소 및 최대 위도 값입니다.
4. 범주형 요인을 추가합니다. **범주형 > 2수준**을 클릭합니다. 요인 이름을 Method로 바꿉니다.

**그림 21.26** 요인

| 요인        |     |       |       |
|-----------|-----|-------|-------|
| 이름        | 역할  | 값     |       |
| longitude | 연속형 | -85.6 | -80.7 |
| latitude  | 연속형 | 30.3  | 35    |
| Method    | 범주형 | L1    | L2    |

5. **계속**을 클릭합니다.

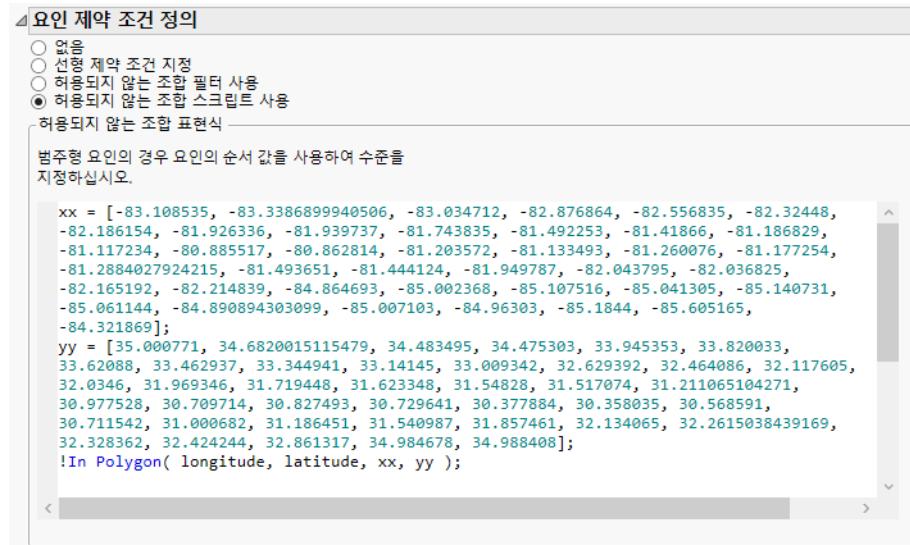
## 쉐이프 정의

공간 채움 설계를 위한 공간을 좀 더 자세히 정의하려면 다각형을 사용하여 해당 주의 쉐이프를 정의해야 합니다.

1. **허용되지 않는 조합 스크립트 사용**을 선택하여 " 허용되지 않는 조합 표현식 " 텍스트 상자를 엽니다.
2. 경도 및 위도 범위는 정사각형을 정의합니다. 조지아 주는 정사각형이 아니라 다각형입니다. 조지아 주 다각형을 벗어나는 점을 허용하지 않으려고 합니다.
3. 스크립트 창으로 이동한 후 스크립트 로그에서 xx 및 yy 행렬을 복사합니다. 그런 다음 " 허용되지 않는 조합 표현식 " 텍스트 상자에 붙여 넣습니다.
4. 끝에 다음 행을 추가합니다.

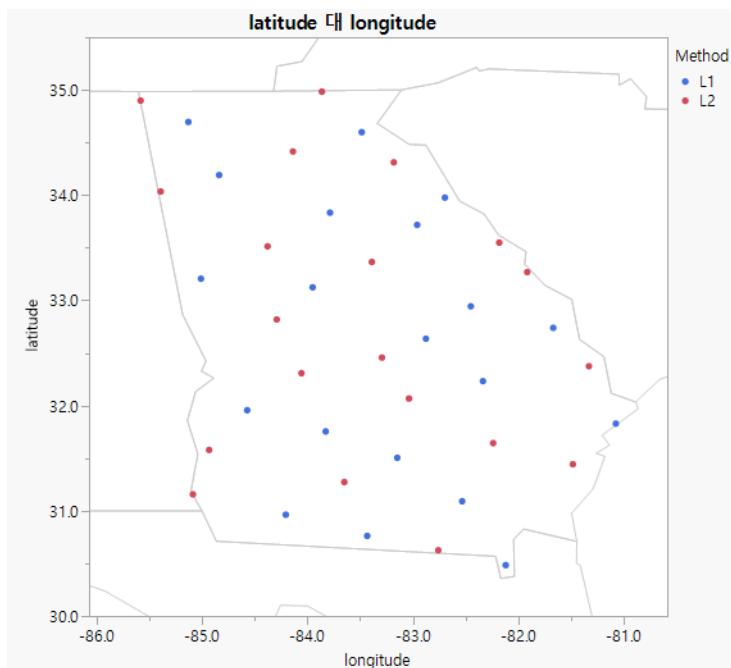
```
!In Polygon(longitude, latitude , xx, yy);
```

이렇게 하면 xx 및 yy 좌표로 정의된 다각형에 있는 점이 제외됩니다.

**그림 21.27 허용되지 않는 조합 표현식****설계 생성**

1. 런 수를 40 으로 변경하고 **쾌속 유연 채움**을 클릭합니다 .
2. **테이블 생성**을 클릭합니다 .
3. 설계 테이블에서 **그래프 > 그래프 빌더**를 선택합니다 .
4. 다음과 같이 열을 해당 영역으로 드래그합니다 .
  - longitude 열 - **X** 영역
  - latitude 열 - **Y** 영역
  - Method 열 - **색상** 영역
5. 그래프 위에서 "평활화" 요소를 클릭하여 기능을 해제합니다 .
6. 주 쉐이프를 추가하려면 그래프를 마우스 오른쪽 버튼으로 클릭하고 **그래프 > 배경 맵**을 선택합니다 .
7. 경계 아래에서 **미국 주**를 선택하고 **확인**을 클릭합니다 .

그림 21.28 미국 조지아 주에 대한 FFF 설계의 예



**참고 :** FFF 알고리즘의 랜덤 시작점으로 인해 맵에서 정확한 점 위치가 표시된 것과 다를 수 있습니다.

이 맵은 표본을 수집할 40개 위치를 나타냅니다. 표본 추출 방법(L1 또는 L2)은 점 색상으로 표시됩니다.

"그래프 > 배경 맵" 창에는 다음과 같은 추가 옵션이 있습니다.

- 검정할 자치주를 확인하려면 경계 아래에서 **미국 자치주**를 선택합니다.
- 검정 위치를 거리 수준으로 맵에 나타내려면 이미지 아래에서 **Street Map Service**를 선택합니다.

## Sphere-Packing 설계의 예

Worley(1987) 는 지표면에서 두 개의 대수층을 통과하여 뚫은 보어홀을 통한 물의 흐름 모형을 제시했습니다. 반응 변수  $y$  는 보어홀을 통한 흐름 속도 ( $\text{m}^3/\text{년}$ ) 이며 다음 방정식에 의해 결정됩니다.

$$y = \frac{2\pi T_u (H_u - H_l)}{\ln(r/r_w) \left[ 1 + \frac{2LT_u}{\ln(r/r_w)r_w^2 K_w} + \frac{T_u}{T_l} \right]}$$

이 모형에는 다음과 같은 8 개 요인이 있습니다.

$r_w$  = 보어홀 반지름 ( $0.05 \sim 0.15\text{m}$ )

$r$  = 영향 반지름 ( $100 \sim 50,000\text{m}$ )

$T_u$  = 상부 대수층의 투과율 ( $63,070 \sim 115,600\text{m}^2/\text{년}$ )

$H_u$  = 상부 대수층의 등수압면 수두 ( $990 \sim 1100\text{m}$ )

$T_l$  = 하부 대수층의 투과율 ( $63.1 \sim 116\text{m}^2/\text{년}$ )

$H_l$  = 하부 대수층의 등수압면 수두 ( $700 \sim 820\text{m}$ )

$L$  = 보어홀 길이 ( $1120 \sim 1680\text{m}$ )

$K_w$  = 보어홀의 수리 전도도 ( $9855 \sim 12,045\text{m}/\text{년}$ )

Sphere Packing 설계를 사용하여 반응  $y$  계산을 위한 조건 집합을 얻을 수 있습니다. 그런 다음 설계에 사용된 입력 범위에서 참모형을 추정하기 위한 모형을 생성할 수 있습니다. 추정된 모형을 평가하면 8개의 각 요인이 반응에 미치는 영향을 이해하는 데 도움이 됩니다.

## Borehole 데이터에 대한 Sphere-Packing 설계 생성

저장된 요인 설정이 포함된 데이터 테이블을 사용하여 보어홀 모형에 대한 Sphere Packing 설계를 생성할 수 있습니다.

1. **도움말 > 샘플 데이터 라이브러리**를 선택하고 Design Experiment/Borehole Factors.jmp 를 엽니다.
2. **DOE > 특수 용도 > 공간 채움 설계**를 선택합니다.
3. "공간 채움 설계" 의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **요인 불러오기**를 선택합니다.

**그림 21.29** 보어홀 예의 요인 값은 불러온 요인 패널

| 이름       | 연속형 | 값     |
|----------|-----|-------|
| log10 Rw | 연속형 | -1.3  |
| log10 R  | 연속형 | 2     |
| Tu       | 연속형 | 63070 |
| TI       | 연속형 | 63.1  |
| Hu       | 연속형 | 990   |
| HI       | 연속형 | 700   |
| L        | 연속형 | 1120  |
| Kw       | 연속형 | 9855  |
|          |     | 12045 |

**참고 :**  $r$  및  $r_w$ 의 로그가 요인으로 사용됩니다.

4. **계속**을 클릭합니다.
5. "런 수"를 32로 설정하고 Enter 키를 누릅니다.
6. **Sphere Packing**을 클릭하여 설계를 생성합니다.
7. **테이블 생성**을 클릭하여 실험의 설계 설정을 보여 주는 테이블을 생성합니다.

**참고 :** 설계 테이블에 "모형" 테이블 스크립트가 포함되어 있습니다. 이 스크립트는 반응  $y$ 에 대해 가우스 과정 모형을 실행합니다.

8. (선택 사항) 이 예의 완료된 데이터 테이블을 보려면 **도움말 > 샘플 데이터 라이브러리**를 선택하고 Design Experiment/Borehole Sphere Packing.jmp를 엽니다.

설계가 난수 시드값에서 생성되므로 결과 설정은 완료된 테이블에 표시된 설정과 다를 수 있습니다.

## 결정적 데이터 분석을 위한 지침

결정적 데이터에는 랜덤 성분이 없음을 기억해야 합니다. 입력 값이 동일하면 생성되는 출력도 동일합니다. 따라서 적합통계 모형의  $p$  값은 일반적인 의미를 갖지 않습니다. 큰  $F$  통계량, 즉 낮은  $p$  값은 모형 항으로 인한 효과를 나타냅니다. 그러나 효과 또는 모형 예측을 위한 유효한 신뢰 구간을 구성할 수 없습니다.

결정적 데이터에 대한 모형 적합의 잔차는 잡음 측도가 아닙니다. 대신 잔차는 모형 편향의 측도입니다. 편향은 실제 값과 예측값의 차이입니다. 잔차에 고유한 패턴이 있으면 편향을 줄이기 위해 모형에 추가 항을 고려해야 한다는 것을 나타냅니다.

## Borehole Sphere-Packing 설계 분석

참모형을 단순 분석 형태로 사용할 수 없는 경우가 종종 있습니다. 따라서 예측 편향은 관측된 데이터 점에서만 알 수 있습니다. 그러나 이 예에서는 참모형의 함수 형태가 알려져 있습니다.

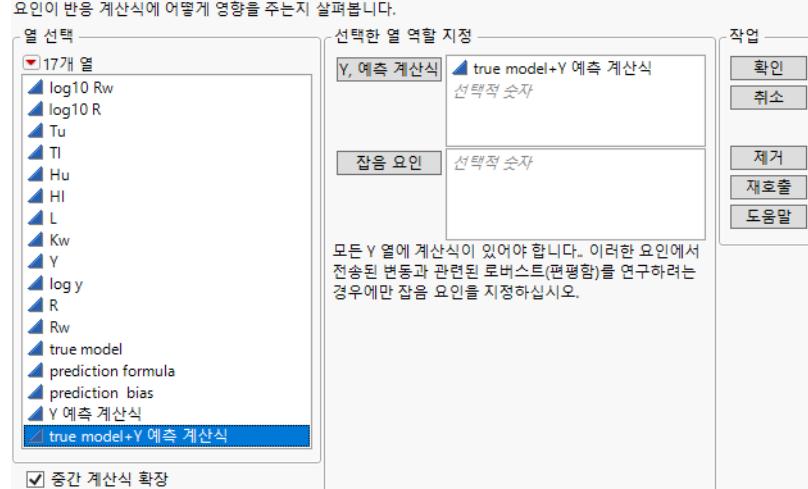
Borehole Sphere Packing.jmp 데이터 테이블의 true model 열에 알려진 함수의 계산식이 포함되어 있습니다. 이 계산식을 사용하면 요인 입력 영역에 대한 예측 편향을 프로파일링 할 수 있습니다.

1. 도움말 > 샘플 데이터 라이브러리를 선택하고 Design Experiment/Borehole Sphere Packing.jmp 를 엽니다.
2. "Model (GP from DOE)" 스크립트 옆의 녹색 삼각형을 클릭합니다.  
"가우스 과정 모형" 보고서를 사용하여 요인과 결과 Y 간의 관계를 탐색합니다.
3. "Y 의 가우스 과정 모형" 옆의 빨간색 삼각형을 클릭하고 예측 계산식 저장을 선택합니다.
4. Borehole Sphere Packing.jmp 데이터 테이블로 돌아갑니다.
5. 데이터 격자에서 true model 및 Y 예측 계산식의 열 머리글을 선택합니다.
6. 마우스 오른쪽 버튼을 클릭하고 새 계산식 열 > 결합 > 차를 선택합니다.  
이렇게 하면 편향을 포함하는 새 열이 생성됩니다.
7. Borehole Sphere Packing.jmp 데이터 테이블에서 그래프 > 프로파일러를 선택합니다.
8. true model-Y 예측 계산식을 선택한 후 Y, 예측 계산식을 클릭합니다.
9. 중간 계산식 확장을 선택합니다.

이 옵션은 편향을 8 개 설계 요인의 함수로 표시합니다.

**그림 21.30** Borehole Sphere-Packing 데이터의 프로파일러 대화상자

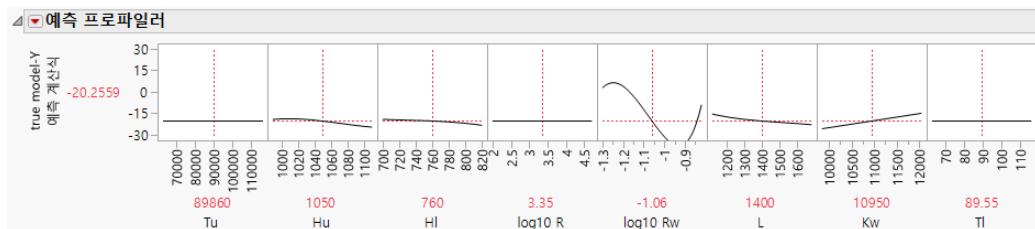
요인이 반응 계산식에 어떻게 영향을 주는지 살펴봅니다.



10. 확인을 클릭합니다.

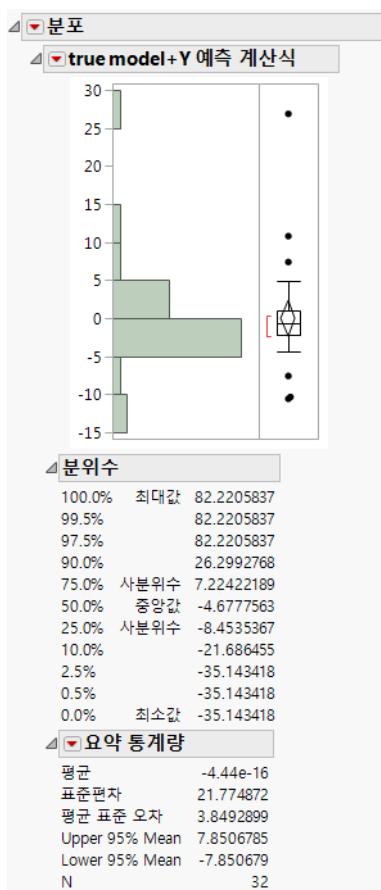
프로파일러는 기본적으로 설계 영역의 중심으로 설정됩니다. 편향이 없으면 모든 프로파일 트레이스가 각 요인의 값 범위에서 일정합니다. 이 예에서는 logRw, Hu 및 HI 변수가 편향에 가장 큰 영향을 미칩니다.

그림 21.31 Y 축이 -30 ~ 30 으로 설정된 Borehole GP 모형의 편향을 보여 주는 프로파일러



프로파일러를 사용하여 전체 도메인에 대한 예측 편향 범위를 탐색할 수 있습니다. 최소 및 최대 편향 점을 찾으려면 "예측 프로파일러"의 빨간색 삼각형 메뉴에서 **최적화 및 만족도 > 만족도 함수**를 선택합니다. 자세한 내용은 Profilers 의에서 확인하십시오. 설계점에 대한 예측 편향을 평가하려면 **분석 > 분포**를 선택하여 분포 분석을 확인합니다.

그림 21.32 예측 편향 분포



이 예에서는 참모형이 알려져 있습니다. 그러나 많은 적용 분야에서 요인 설정에 대한 반응을 알 수 없습니다. 실험 데이터에 대한 예측 편향은 설계 도메인 전체의 편향을 과소 추정할 수 있습니다.

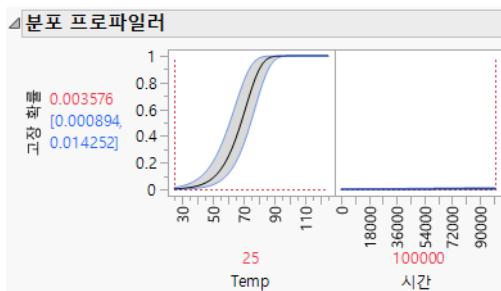


## 가속 수명 시험 설계

### 가속 수명 시험을 위한 실험 설계

가속 수명 시험(ALT) 설계 플랫폼을 사용하면 가속 수명 시험 실험을 위한 계획을 설계할 수 있습니다. 정상적인 사용 조건에서는 보통 제품 신뢰도가 높기 때문에 고장 날 때까지 제품을 시험하는 데 필요한 시간이 너무 깁니다. 정상적인 사용 조건에서 제품을 시험하는 대신 더 열악한 조건에서 제품을 시험할 수 있습니다. 조건이 열악하면 제품의 성능이 더 빨리 저하되고 더 빨리 고장날 수 있습니다. 그러면 이 가속 고장 데이터를 사용하여 정상적인 사용 조건에서의 제품 신뢰도를 예측할 수 있습니다. 초기 실험을 설계하거나 기존 실험을 확대할 수 있습니다.

그림 22.1 ALT 실험의 고장 확률을 보여 주는 프로파일러



## 목차

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| 가속 수명 시험 설계 개요          | 609 |
| 가속 수명 시험 설계의 예          | 609 |
| 가속 수명 시험 설계 확대의 예       | 616 |
| 가속 수명 시험 설계 생성          | 620 |
| 설계 구조 지정                | 621 |
| 가속 요인 지정                | 621 |
| 설계 상세 정보 지정             | 622 |
| ALT 계획에 대한 규격 검토 및 업데이트 | 624 |
| 최적 설계 생성 및 평가           | 625 |
| 설계 테이블 생성               | 627 |
| 가속 수명 시험의 옵션            | 628 |
| ALT 설계 플랫폼에 대한 통계 상세 정보 | 628 |
| ALT 설계의 고장 분포           | 628 |
| R 정밀도 요인(95% CI)        | 630 |
| 가속 수명 시험에 대한 최적 기준      | 631 |

## 가속 수명 시험 설계 개요

정상적인 사용 조건에서 제품 신뢰도가 높을 때는 가속 수명 시험을 사용합니다. 정상적일 때보다 더 열악한 조건에서 제품을 시험하여 고장이 발생할 때까지의 시간을 가속화할 수 있습니다. 이 가속 고장 데이터를 사용하여 정상적인 사용 조건에서의 제품 신뢰도를 예측합니다.

이러한 시험을 가속 수명 시험(ALT)이라고 합니다. 고장 날 수준으로 시간을 가속화하는 요인을 설정할 수 있는데 이러한 요인을 가속 요인이라고 합니다. 일반적으로 가속 수명 시험 모형은 비선형 모형입니다. 비선형 모형에 대한 자세한 내용은 ["비선형 설계"](#) 장의 ["비선형 모형"](#)(650페이지)에서 확인하십시오.

ALT 설계 플랫폼은 하나 또는 두 개의 가속 요인을 포함하는 상황에 대한 설계를 생성하고 평가합니다. D-최적, 분위수 추정 또는 고장 확률을 사용하여 설계를 최적화할 수 있습니다.

ALT 설계를 생성하려면 가속 모형 모수의 초기 추정값이 필요합니다. 주제 관련 지식을 사용하여 시작 추정값을 정의할 수 있습니다. 시작 추정값을 알리는 정보가 없으면 다변량 정규 사전 분포를 지정하여 불확도를 설명할 수 있습니다.

또한 가속 수명 시험(ALT) 설계 플랫폼을 사용하여 현재 실험을 확대할 수 있습니다. 추정값 분산을 줄이기 위해 현재 설계를 확대할 수도 있습니다.

## 가속 수명 시험 설계의 예

최적 고장 확률 ALT를 생성하려면 ALT 설계 도구를 사용합니다. 이 예에서는 기계 부품에 대한 가속 수명 시험을 설계해야 한다고 가정해 보겠습니다. 단일 가속 요인은 토크이며 정상 사용 스트레스는 35Nm(뉴턴 미터)입니다. 정상 사용 스트레스에서 단위의 10%가 고장 나는 시간을 추정하려고 합니다.

다음은 시험 계획에 대한 특성입니다.

- 시험에 사용할 수 있는 총 단위 수는 100 입니다.
- 수명 분포는 Weibull로 가정합니다.
- 수명 - 스트레스 관계는 로그 변환에 의해 제공됩니다.
- 세 가지 스트레스 수준 (50, 75 및 100Nm)에서 토크를 시험할 계획입니다.
- 시험 수준에서 초기 고장 시간을 예측할 수 있는 사전 지식이 있습니다. 자세한 내용은 ["사전 추정값 구하기"](#)(610페이지)에서 확인하십시오.
- 시험은 5,000 회 반복 수행됩니다.
- 연속적으로 고장에 대한 공정을 모니터링합니다.

## 사전 추정값 구하기

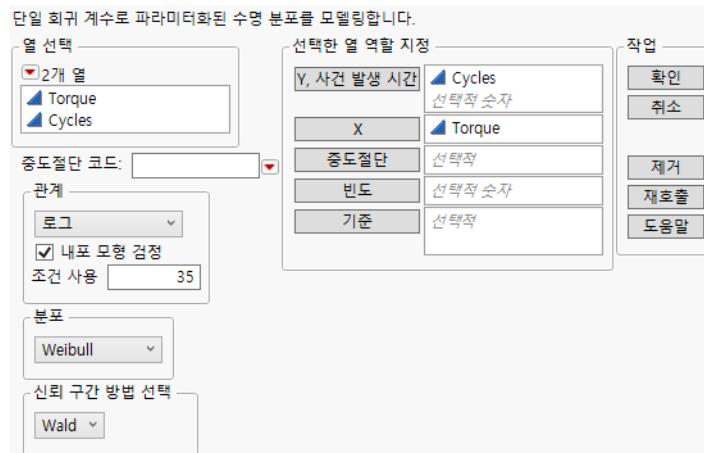
가속 수명 시험 설계를 생성하려면 모수의 사전 추정값을 제공해야 합니다. 사전 추정값을 구하는 방법은 다음과 같습니다.

1. 공정 지식을 사용하여 적은 수의 스트레스 수준에서 가설적이지만 가능성 있는 고장 시간 테이블을 생성합니다.
2. 수명 분포 적합 플랫폼을 사용하여 모형을 적합시키고 모형 모수의 추정값을 구합니다.
3. ALT 설계 플랫폼을 사용하여 설계를 생성할 때 이 추정값을 사전 값으로 사용합니다.

위에서 설명한 방법에 따라 균형 설계의 고장 주기 수 추정값을 포함하는 데이터 테이블을 생성합니다. 테이블은 설계에 사용할 세 가지 스트레스 수준에서 각각 5 개의 단위로 구성됩니다. 이 예에서는 샘플 데이터 라이브러리에 있는 Torque Prior.jmp 데이터 테이블을 사용합니다.

1. 도움말 > 샘플 데이터 라이브러리를 선택하고 Design Experiment/Torque Prior.jmp 를 엽니다.
2. 분석 > 신뢰성 및 생존 > 수명 분포 적합을 선택합니다.
3. Cycles 를 선택하고 Y, 사건 발생 시간을 클릭합니다.
4. Torque 를 선택하고 X 를 클릭합니다.
5. 관계 목록에서 로그를 선택합니다.
6. 사용 조건에 35 를 입력합니다. 35Nm 가 정상적인 사용 조건입니다.
7. 분포 목록에서 Weibull 을 선택합니다.

### 그림 22.2 수명 분포 적합 시작 창



8. 확인을 클릭합니다.
9. "Weibull 결과" 개요가 나올 때까지 아래로 스크롤하여 "상관 행렬" 개요를 엽니다.

그림 22.3 사전 데이터의 수명 분포 적합 모형



평균에 대한 모형은 "추정값" 개요에 제공됩니다. "추정값" 열에는 절편 ( $\beta_0$ ), 선형 계수 ( $\beta_1$ ) 및 척도 ( $\sigma$ )에 대한 모수 추정값이 포함되어 있습니다. "표준 오차" 열에는 추정값에 대한 표준 오차가 포함되어 있습니다. 모수 추정값에 대한 상관 추정값은 "상관 행렬" 개요에 제공됩니다. ALT 설계를 생성하기 위한 사전 값으로 이들 모수 추정값, 표준 오차 및 상관을 사용합니다.

## 기본 규격 입력

가속 수명 시험 설계를 생성하려면 가속 요인, 사용 조건 및 시험 조건을 정의합니다.

1. **DOE > 특수 용도 > 가속 수명 시험 설계**를 선택합니다.

한 개의 가속 요인과 연속 모니터링이 기본적으로 선택되어 있습니다.

2. **계속을 클릭합니다.**
3. **요인 이름**에서 X1을 클릭하고 Torque를 입력합니다.
- 수준 수는 기본적으로 3으로 설정되어 있습니다.

4. "요인 변환"에서 **로그**를 선택합니다.
5. **낮은 사용 조건과 높은 사용 조건** 둘 다에 35를 입력합니다.  
낮은 사용 조건과 높은 사용 조건을 모두 35로 설정한다는 것은 35가 정상적인 사용 조건임을 나타냅니다.
6. **최저 시험 조건**에 50을 입력하고 **최고 시험 조건**에 100을 입력합니다.

### 그림 22.4 완료된 ALT 규격 창

가속 수명 시험 계획

| 요인 이름                             | 수준 수 | 요인 변환 | 사용량 낮음 조건 | 사용량 높음 조건 | 최저 시험 조건 | 최고 시험 조건 |
|-----------------------------------|------|-------|-----------|-----------|----------|----------|
| Torque                            | 3    | 로그    | 35        | 35        | 50       | 100      |
| <input type="button" value="계속"/> |      |       |           |           |          |          |

7. **계속**을 클릭합니다.

8. **Torque** 수준 값이 50, 75, 100 으로 설정되어 있습니다.

---

**참고 :** JMP 는 최저 시험 조건과 최고 시험 조건 사이에서 균등한 간격으로 수준 값을 설정합니다. 수준은 변경할 수 있습니다.

---

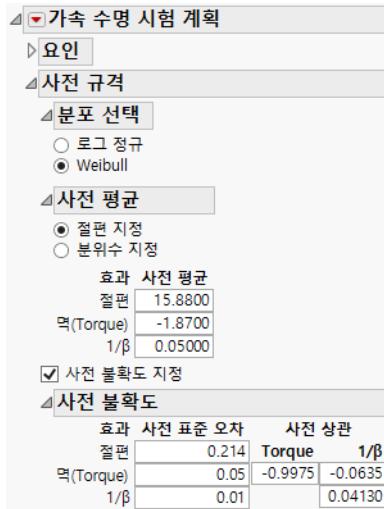
9. **분포 선택**에 **Weibull** 이 선택되어 있는지 확인합니다.

## 사전 정보 및 나머지 규격 입력

사전 정보를 입력하여 예제 ALT 설계 생성을 계속합니다.

1. **사전 평균**에서 **절편 지정**을 선택하고 수명 분포 적합 플랫폼에서 가상 데이터를 사용하여 구한 가속 모형 모수의 사전 추정값을 다음과 같이 입력합니다.
  - **절편**에 15.88 을 입력합니다.
  - **멱 (Torque)** 에 -1.87 을 입력합니다.
  - **1/β**(Weibull 모형의 척도 모수) 에 0.05 를 입력합니다.
2. **사전 불확도 지정**을 선택합니다.
3. 사전 가속 모형의 표준 오차 추정값과 상관을 입력합니다. 그림 22.3 에서는 완료된 사전 불확도 개요를 보여 줍니다.

그림 22.5 완료된 사전 규격 개요

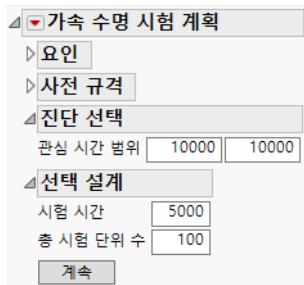


"가속 수명 시험 계획"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **ALT 최적 기준 > 최적 고장 확률 생성**을 선택합니다.

5,000 회 반복 시험 할 계획입니다. 최대 10,000 회 시행에 대해 예측하려고 합니다.

4. "진단 선택" 개요에서 **관심 시간 범위**의 두 상자에 모두 10,000 을 입력합니다.
5. "선택 설계"에서 **시험 시간**에 5,000 을 입력하고 **시험 단위 수**에 100 을 입력합니다.

그림 22.6 완료된 진단 및 선택 설계 개요

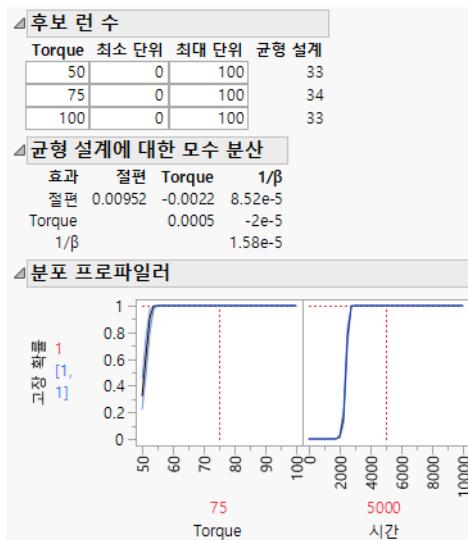


## 설계 생성

계속해서 ALT 예제에 대해 설계를 생성합니다.

1. **계속**을 클릭합니다.

### 그림 22.7 균형 설계 진단



균형 설계의 런 수가 "후보 런 수" 개요에 나타납니다. "균형 설계에 대한 모수 분산" 개요에는 이 설계의 모수에 대한 공분산 행렬이 표시됩니다. "분포 프로파일러"도 나타냅니다. 최적 설계를 구하면 모수 분산 및 분포 프로파일러 결과를 균형 설계의 결과와 비교하여 불확도의 감소를 확인할 수 있습니다.

### 2. 설계 생성을 클릭합니다.

다른 결과와 함께 최적 실험 설계가 나타납니다.

### 그림 22.8 최적 설계

**설계**

| Torque | N개 단위 | 기대 고장 수 | 모든 중도절단 확률 | 고장 확률 |
|--------|-------|---------|------------|-------|
| 50     | 81    | 26.1    | 0.0        | 0.32  |
| 75     | 0     | 0.0     | 0.0        | 1     |
| 100    | 19    | 19.0    | 0.0        | 1     |

최적 설계는 시험 런의 수준, 시험 할 총 단위 수 및 지정한 사전 정보를 기반으로 계산됩니다. 최적 설계는 다음과 같이 각 토크 수준에서 지정된 단위 수를 시험하는 것으로 구성됩니다.

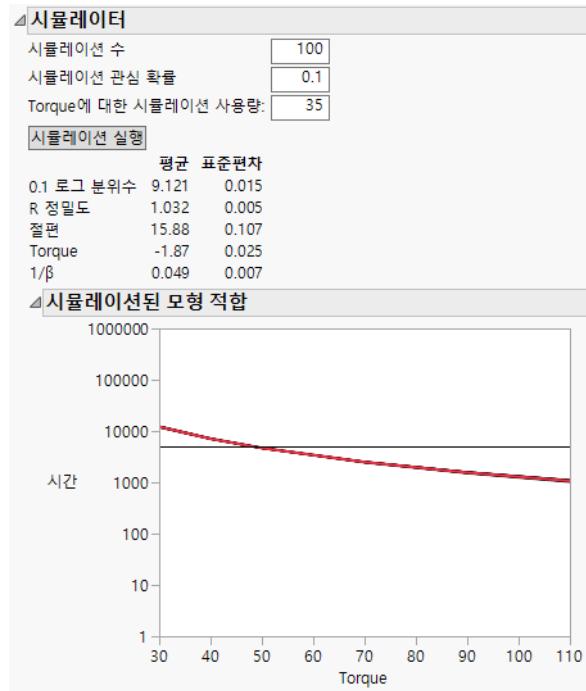
- 50Nm에서 81 개 단위
- 75Nm에서 0 개 단위
- 100Nm에서 19 개 단위

## 시뮬레이션 실행

예제 ALT 설계를 시뮬레이터로 평가합니다. 시뮬레이터를 사용하면 설계를 생성하는 데 사용된 가정을 기반으로 시험 계획 결과를 시뮬레이션할 수 있습니다. 이렇게 하면 시험 계획을 실행하기 전에 해당 계획이 충분한지 평가할 수 있습니다.

1. **시뮬레이션 수**에 100 을 입력합니다.
2. **시뮬레이션 관심 확률**에 0.1 을 입력합니다.
3. **Torque**에 대한 **시뮬레이션 사용량**에 35 를 입력합니다.
4. **시뮬레이션 실행**을 클릭하여 실험 시뮬레이션을 100 회 실행합니다. 이렇게 하면 설계의 사전 가정을 고려해 볼 때 시험 할 단위 수 100 개가 충분한지 여부를 확인할 수 있습니다.

**그림 22.9** 시뮬레이션 결과



시뮬레이션된 모형 적합을 보면 100 회의 모형 시뮬레이션이 모두 빨간색 곡선으로 표시된 평균에 가깝기 때문에 모두 유사하다는 것을 알 수 있습니다. Y 축은 로그 척도 위에 있습니다.

5. Y 축을 두 번 클릭하고 "유형" 메뉴에서 **선형**을 선택한 후 **확인**을 클릭합니다.

이제 정상 사용 조건 (35) 주위의 시뮬레이션된 적합에서 변동을 쉽게 볼 수 있습니다. 정상 사용 조건의 추정에서 변동이 예상됩니다. 시뮬레이션은 ALT 계획이 허용 가능한지 여부를 평가하는 데 도움이 됩니다. 변동이 너무 크면 시험 단위 수 또는 시험 조건을 조정해야 할 수도 있습니다.

## 설계 저장

마지막으로 시험 계획을 생성하여 데이터 테이블에 저장함으로써 예제 ALT 설계를 완료합니다.

1. **시험 계획 생성**을 클릭하여 설계를 데이터 테이블에 저장합니다. 이 테이블은 설계를 요약한 것입니다.
2. **테이블 생성**을 클릭하여 설계를 데이터 테이블에 저장합니다. 이 테이블에는 각 시험 런에 대해 하나씩 총 100 개의 행이 있습니다.

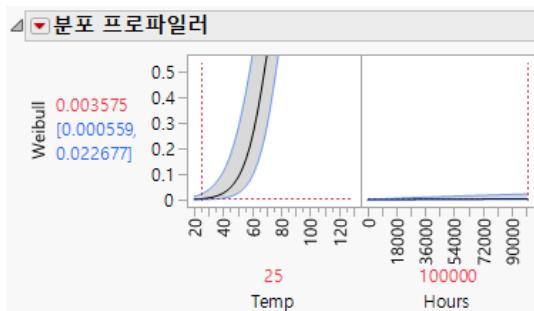
## 가속 수명 시험 설계 확대의 예

이 예에서는 가속 수명 시험 설계 플랫폼을 사용하여 기존 설계를 확대하는 방법을 보여 줍니다. 이 예에서는 150 개 단위의 Capacitor를 세 가지 온도(섭씨 85°, 105° 및 125°)에서 1500 시간 동안 시험합니다. 실험 결과는 Capacitor ALT.jmp 샘플 데이터 테이블에 기록됩니다. 생성된 결과 모형은 정상 사용 온도(섭씨 25°)일 때 100,000 시간에서 고장 나는 모집단의 비율을 예측하는 데 사용됩니다.

### 현재 예측 검토

1. 도움말 > 샘플 데이터 라이브러리를 선택하고 Design Experiment/Capacitor ALT.jmp 를 엽니다.
2. 녹색 삼각형을 클릭하여 **Fit Life by X** 테이블 스크립트를 실행합니다.
3. "비교" 카드의 "분포" 탭에 있는 "분포 프로파일러"에서 다음과 같이 요인 설정을 변경합니다.
  - Temp 위의 105 를 클릭하고 25 로 변경합니다.
  - Hours 위의 750.5 를 클릭하고 100,000 으로 변경합니다.

**그림 22.10** Capacitor 모형의 분포 프로파일러



현재 연구에 따르면 Capacitor 모집단에서 25°일 때 100,000 시간에서 고장 나는 예측 비율은 0.00358이고 95% 신뢰 구간은 0.00056 ~ 0.02268입니다. 고장 비율을 보다 정확히 예측하려고 합니다. 추정값 정밀도의 측도인 신뢰 구간 너비를 줄이기 위해 추가 시험을 통해 연구를 확대할 수 있습니다.

## 설계 확대

예측 고장 비율의 더 정확한 추정값을 얻기 위해 설계를 확대하려고 합니다. 원래 설계는 85, 105 및 125 온도 설정을 사용했습니다. 확대된 설계에서는 온도 값을 90, 110, 125로 설정하여 시험 할 계획입니다. 이 중에서 두 설정이 새 값입니다. 최적으로 선택된 런을 사용하여 다음과 같이 설계를 확대합니다.

1. **DOE > 특수 용도 > 가속 수명 시험 설계**를 선택합니다.
2. **한 개의 가속 요인**을 선택하고 **연속 모니터링**을 선택한 후 **계속**을 클릭합니다.
3. **요인 이름**에 **Temp**를 입력합니다.
4. **수준 수**에 5를 입력합니다.

확대된 런은 세 수준 (90, 110, 125) 만 포함하지만 원래 실험에 사용된 수준도 지정하여 총 5 개 수준이 되어야 합니다. "요인 변환"은 기본적으로 "아레니우스 섭씨"로 설정되어 있습니다.

5. **낮은 사용 조건과 높은 사용 조건** 둘 다에 25를 입력합니다.
6. **최저 시험 조건**에 85를 입력하고 **최고 시험 조건**에 125를 입력합니다.
7. **계속**을 클릭합니다.
8. **Temp 수준 값**에 85, 90, 105, 110 및 125를 입력합니다.

원래 실험의 수준이 세 개 있습니다 (85, 105, 125). 확대된 설계에는 새 수준 두 개 (90, 110)와 첫 번째 실험의 수준 중 하나 (125)가 있습니다.

**참고 :** 모든 수준이 나열되어야 합니다.

9. **분포 선택**에 **Weibull**이 선택되어 있는지 확인합니다.
10. **사전 평균**에서 **절편 지정**을 선택합니다. "Weibull 결과" 개요의 "통계량" 탭에 있는 "수명 분포 적합 추정값" 개요에서 현재 가속 모형 모수 추정값을 입력합니다.

**그림 22.11** Weibull 결과 개요의 모수 추정값 및 적합 모형

| 추정값       |           |           |           |           |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 모수        | 추정값       | 표준 오차     | 하위 95%    | 상위 95%    |
| $\beta_0$ | -35.19979 | 4.6912686 | -44.39451 | -26.00508 |
| $\beta_1$ | 1.38896   | 0.1566362 | 1.08196   | 1.69597   |
| $\sigma$  | 1.30471   | 0.1119128 | 1.08536   | 1.52405   |

$$\mu = -35.19979 + \frac{(1.38896 \cdot 11604.518122)}{(\text{Temp} + 273.15)}$$

- **절편**에 -35.200을 입력합니다.
- **활성화 에너지 (Temp)**에 1.389를 입력합니다.  
이 값은 활성화 에너지의 추정값이며, 볼츠만 상수를 곱한 역온도 계수입니다(켈빈 온도로 측정).

- $1/\beta$  에 1.305 를 입력합니다.

Weibull 분포의 경우 JMP 는 위치 모수 ( $\mu$ ) 와 척도 모수 ( $\sigma$ ) 에 따라 달라지는 파라미터화를 사용합니다. 일반적인  $\alpha$  및  $\beta$  파라미터화 측면에서 척도 모수는  $\sigma = 1/\beta$  입니다. 자세한 내용은 "[Weibull](#)"(629 페이지) 에서 확인하십시오.

"가속 수명 시험 계획" 창에서 **사전 불확도 지정** 옵션을 선택하여 사전 평균에 대한 불확도를 지정할 수 있습니다. 이 예제에서는 사전 불확도를 지정하지 않습니다."사전 평균" 개요에 지정된 값이 실제 모수 값이라고 가정하여 설계가 생성됩니다.

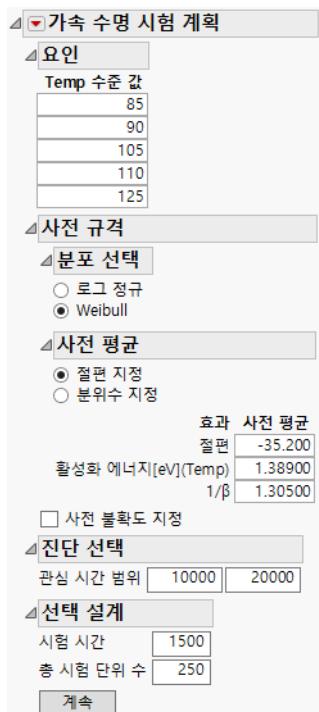
11. "선택 설계"에서 **시험 시간**에 1500 을 입력합니다.

시험은 1500 시간 (원래 설계의 시간) 동안 수행됩니다.

12. **시험 단위 수**에 250 을 입력합니다.

이전 실험에서 150 개 단위를 시험했고 확대된 실험에서 추가 100 개 단위를 시험하여 총 시험 단위 수가 250 개입니다.

**그림 22.12** 완료된 설계 상세 정보 창



13. **계속**을 클릭합니다.

14. **후보 렌 수**에서 온도 85, 105 및 125 에 대한 최소 단위 수로 50 을 입력합니다. 이 숫자는 이미 완료된 렌 수를 나타냅니다.

15. "가속 수명 시험 계획"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **ALT 최적 기준 >최적 고장 확률 생성**을 선택합니다.

이 기준에 대한 자세한 내용은 "최적 고장 확률 생성"(628 페이지)에서 확인하십시오.

### 16. 설계 생성을 클릭합니다.

다른 결과와 함께 최적 실험 설계가 나타납니다.

**그림 22.13** 최적 설계

| 설계   |    |    |      |      |            |       |
|------|----|----|------|------|------------|-------|
| Temp | N개 | 단위 | 기대   | 고장 수 | 모든 중도절단 확률 | 고장 확률 |
| 85   | 50 |    | 6.9  |      | 0.0        | 0.14  |
| 90   | 58 |    | 12.3 |      | 0.0        | 0.21  |
| 105  | 50 |    | 30.0 |      | 0.0        | 0.6   |
| 110  | 0  |    | 0.0  |      | 0.0        | 0.75  |
| 125  | 92 |    | 91.2 |      | 0.0        | 0.99  |

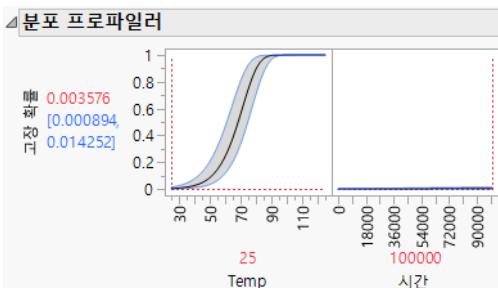
최적 설계는 시험 런의 수준, 최소 시험 단위 수, 시험할 총 단위 수 ("후보 런 수" 개요의 정보) 및 지정한 기타 정보를 기반으로 계산됩니다. 최적 설계는 다음과 같이 각 온도 수준에서 지정된 단위 수를 시험하는 것으로 구성됩니다.

- 85°C에서 50개 단위. 이전 실험을 수행할 때 이미 85°C에서 50개 단위를 시험했으므로 추가 단위가 필요하지 않습니다.
- 90°C에서 50개 단위.
- 105°C에서 50개 단위. 이전 실험을 수행할 때 105°C에서 50개 단위를 시험했으므로 추가 단위가 필요하지 않습니다.
- 110°C에서 0개 단위. 이 수준은 필요하지 않습니다.
- 125°C에서 50개 단위. 이전 실험을 수행할 때 125°C에서 50개 단위를 시험했으므로 추가 단위가 필요하지 않습니다.

### 확대된 설계를 원래 연구와 비교

1. "분포 프로파일러"에서 "Temp"에 정상적인 사용 조건인 25를 입력하고 "시간"에 100,000을 입력합니다. 고장 나는 모집단 비율의 추정값은 0.00357이고 95% 신뢰 구간은 0.00093 ~ 0.01361입니다. 이 구간은 초기 실험의 구간, 즉 0.00056 ~ 0.02268(그림 22.10 참조) 보다 좁습니다.

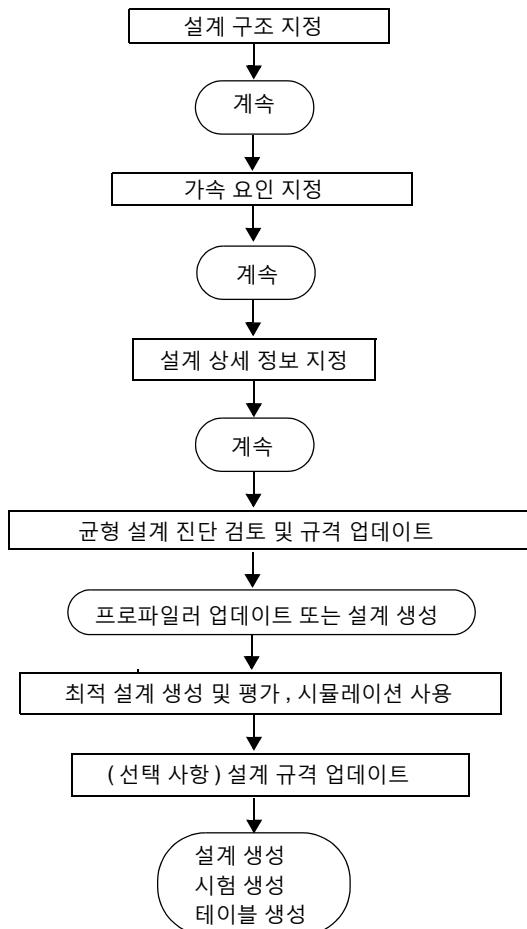
**그림 22.14** Temp = 25, 시간 = 100000에 대한 분포 프로파일러



## 가속 수명 시험 설계 생성

**DOE > 특수 용도 > 가속 수명 시험 설계**를 선택하여 가속 수명 시험(ALT) 설계를 생성합니다. 설계를 진행하는 동안 가속 수명 시험 계획이 업데이트됩니다. 가속 수명 시험 설계를 생성하는 단계는 그림 22.15의 흐름을 따릅니다.

그림 22.15 가속 수명 시험 계획 흐름

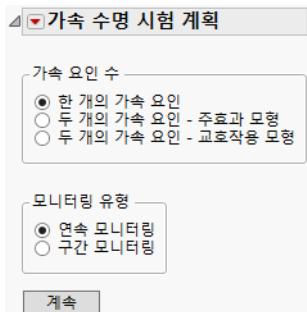


이 섹션에서는 "가속 수명 시험 계획" 흐름의 개요를 설명합니다.

## 설계 구조 지정

"가속 수명 시험 계획" 개요를 사용하여 설계의 모형 구조 및 검사 유형을 정의합니다.

**그림 22.16** 초기 ALT 설계 창



### 가속 요인 개수

**한 개의 가속 요인** 요인이 하나인 설계를 생성할 때 선택합니다.

**두 개의 가속 요인 - 주효과 모형** 요인이 두 개인 경우, 주효과 모형에 대한 설계를 생성할 때 선택합니다.

**두 개의 가속 요인 - 교호작용 모형** 요인이 두 개인 경우, 모형에 주효과 및 교호작용 항이 포함되는 설계를 생성할 때 선택합니다.

### 모니터링 유형

**연속 모니터링** 정확한 고장 시간이 기록되는 설계에 대해 선택합니다. 시험 시간을 초과하는 고장 시간은 오른쪽 중도절단됩니다.

**구간 모니터링** 특정 시간 간격에 따라 단위 고장을 검사하는 설계에 대해 선택합니다. 고장 시간은 구간 중도절단됩니다. 검사 수, 1 차 검사 시간 및 검사 구간을 입력합니다. 검사 구간이 불규칙한 경우 나중에 "선택 설계" 개요에서 검사 시간을 변경할 수 있습니다.

**가속 수명 시험 계획** 하나 이상의 가속 요인에 대한 상세 정보를 지정합니다.

## 가속 요인 지정

하나 이상의 가속 요인에 대한 상세 정보를 지정합니다.

**그림 22.17** ALT 규격 창

The screenshot shows the 'ALT Specification' window for a single factor. It has several input fields: 'Factor Name' (X1), 'Number of Factors' (3), 'Factor Type' (Arbitrary unit test), 'Usage Rate Low Condition' (20), 'Usage Rate High Condition' (30), 'Minimum Test Condition' (90), and 'Maximum Test Condition' (110). A 'Next' button is at the bottom right.

**요인 이름** 각 가속 요인의 이름을 입력합니다.

**수준 수** 각 가속 요인에 대해 실험에 포함할 수준 수를 입력합니다.

**요인 변환** 각 가속 요인에 대해 변환 함수를 선택합니다. 이 변환은 수명 - 스트레스 관계, 즉 전체 스트레스 수준에서 수명 분포가 변하는 방식을 설명합니다. "아레니우스 섭씨", "역수", "로그", "제곱근" 및 "선형" 변환 중에서 하나를 사용할 수 있습니다.

**낮은 사용 조건** 각 가속 요인에 대해 일반적인 사용 조건의 하한 값을 입력합니다.

**높은 사용 조건** 각 가속 요인에 대해 일반적인 사용 조건의 상한 값을 입력합니다.

---

**참고:** "낮은 사용 조건" 값과 "높은 사용 조건" 값은 같을 수 있습니다. 사용 조건이 단일 값인 경우 동일한 값을 사용합니다.

---

**최저 시험 조건** 각 가속 요인에 대해 최저 시험 조건을 입력합니다.

**최고 시험 조건** 각 가속 요인에 대해 최고 시험 조건을 입력합니다.

---

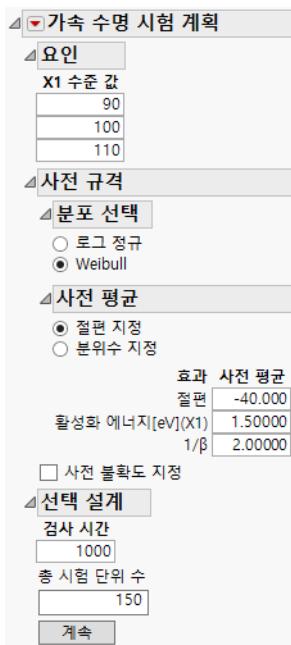
**참고:** 최저 시험 조건과 최고 시험 조건은 설계에서 가속 요인의 끝점을 정의합니다. 초기 후보는 최저 시험 조건과 최고 시험 조건 사이에서 균등한 간격의 수준을 사용합니다. 설계를 구성하기 전에 수준을 조정할 수 있습니다.

---

## 설계 상세 정보 지정

요인 수준, 사전 분포의 세부 정보, 관심 시간 범위와 확률, 시험 시간 및 시험 단위 수를 지정합니다.

그림 22.18 분포 상세 정보



**요인** 가속 요인의 수준을 입력합니다. 기본적으로 수준은 최저 시험 조건과 최고 시험 조건 사이에서 간격이 균등합니다.

**분포 선택** 각 가속 요인에 대한 수명 분포(로그 정규 또는 Weibull)를 선택합니다. 자세한 내용은 "ALT 설계 플랫폼에 대한 통계 상세 정보"(628 페이지)에서 확인하십시오.

**사전 평균** 가속 모형 모수의 사전 추정값을 입력합니다. 사전 추정값은 베이지안 사전 분포의 초모수입니다. 사전 평균 값은 주제 관련 지식을 활용한 최적 추측이거나 이전 연구에 기반 할 수 있습니다.

가속 요인이 하나뿐인 경우 절편 또는 분위수를 지정할 수 있는 선택 옵션이 있습니다.

**절편 지정** 절편을 포함한 모형 모수의 사전 평균을 입력합니다.

**분위수 지정** 가속 요인의 사전 평균, 지정된 시간의 기대 고장 비율 및 가속 요인 값을 입력 합니다. 이 정보는 절편을 계산하는 데 사용됩니다.

**사전 불확도 지정** 가속 모형 모수의 사전 분포에 대한 표준 오차 및 상관 값을 선택하여 입력 합니다. 표준 오차는 가속 모형 모수의 사전 추정값에 대한 불확도를 반영합니다.

---

**참고 :** 사전 불확도 측도를 지정하지 않으면 "사전 평균"에서 입력된 값을 실제 모수 값으로 처리하여 설계가 생성됩니다. 사전 평균 모수가 실제 값에 가까우면 이 설계가 최적에 가깝습니다. 그러나 이 설계는 모수 추정값 오지정에 로버스트하지 않습니다. 사전 추정값이 확실하지 않은 경우 사전 불확도를 사용하여 불확도를 반영해야 합니다.

**진단 선택** 사용 가능한 선택 옵션은 설계 최적 기준에 따라 달라집니다. 설계 최적 기준은 "가속 수명 시험 계획"의 빨간색 삼각형 메뉴에 있습니다. D- 최적 설계의 경우 진단 선택 옵션이 없습니다.

**관심 시간 범위** (고장 확률 최적 설계에만 사용 가능) 고장 나는 모집단의 비율을 추정할 시간 구간을 지정합니다. 왼쪽 상자에 하한 값을 입력하고 오른쪽 상자에 상한 값을 입력합니다. 특정 시점에 관심이 있는 경우 해당 값을 두 상자에 모두 입력합니다.

**관심 확률** (분위수 추정값 최적 설계에만 사용 가능) 시간을 추정할 고장 비율을 지정합니다. 예를 들어 단위의 10%가 고장 나는 시간을 추정하려면 0.10을 입력합니다.

**선택 설계** 시험 시간, 검사 구간 및 시험 단위 수와 관련된 값을 입력합니다.

**시험 시간** (연속 모니터링에만 사용 가능) 단위를 시험하는 시간을 지정합니다. 설계 테이블을 생성할 때 각 단위의 고장 시간 또는 우측 중도절단 여부를 기록합니다.

**검사 시간** (구간 모니터링에만 사용 가능) 검사를 수행하는 시간을 지정합니다. 설계 테이블을 생성할 때 이 시간을 사용하여 시작 시간 및 종료 시간 열을 구성합니다. 각 구간에서 고장 나는 단위 수가 기록됩니다.

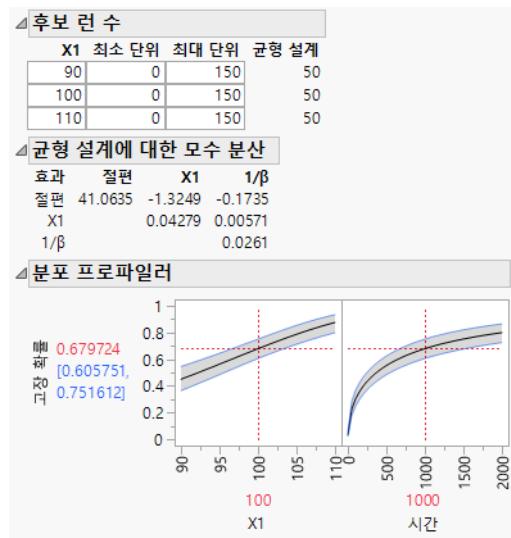
**시험 단위 수** 실험의 단위 수입니다.

- 초기 실험을 설계하는 경우 시험할 단위 수를 입력합니다.
- 이전 실험을 확대하는 경우 이전 실험에서 시험한 단위 수와 다음 실험의 단위 수를 더한 값을 입력합니다.

## ALT 계획에 대한 규격 검토 및 업데이트

가속 수명 시험 계획의 설계 상세 정보를 지정하고 **계속**을 클릭하면 세 가지 새 개요가 창에 추가됩니다.

그림 22.19 추가 개요 노드



**후보 렌수** 가속 요인의 각 수준에서 허용되는 최소 및 최대 단위 수를 입력합니다. 이전 실험을 확대하는 경우에는 각 설정에 대해 각 수준에서 이미 실행한 단위 수를 "최소 단위" 열에 포함합니다.

**균형 설계에 대한 모수 분산** 균형 설계를 위해 가속 모형 모수 추정값의 공분산 행렬에 비례하는 행렬을 제공합니다.

$\theta$  모수와 관련하여 모형의 첫 번째 편도함수 행렬을  $\mathbf{X}$ 로 나타내고, 오차 분산을  $\sigma^2$ 으로 나타냅니다. 일반적인 조건에서  $\theta$ 의 최소 제곱 추정량은 다음과 같은 점근 공분산 행렬을 사용하여 점근적 비편향입니다.

$$Cov(\hat{\theta}) = \sigma^2 (\mathbf{X}'\mathbf{X})^{-1}$$

"균형 설계에 대한 모수 분산" 개요는  $(\mathbf{X}'\mathbf{X})^{-1}$ 을 제공하며 여기서 도함수가 수치로 계산됩니다. 이때 "사전 평균" 개요에 지정된 값이 실제 모수 값이라고 가정하여 계산이 수행됩니다. 자세한 내용은 "비선형 설계" 장의 "비선형 모형" (650 페이지)에서 확인하십시오.

**분포 프로파일러** 가속 요인과 시간의 변화에 따라 균형 설계에 기반한 고장 확률을 탐색할 수 있습니다. 이 확률은 "사전 평균"에 지정된 값이 실제 모수 값이라는 가정을 기반으로 합니다.

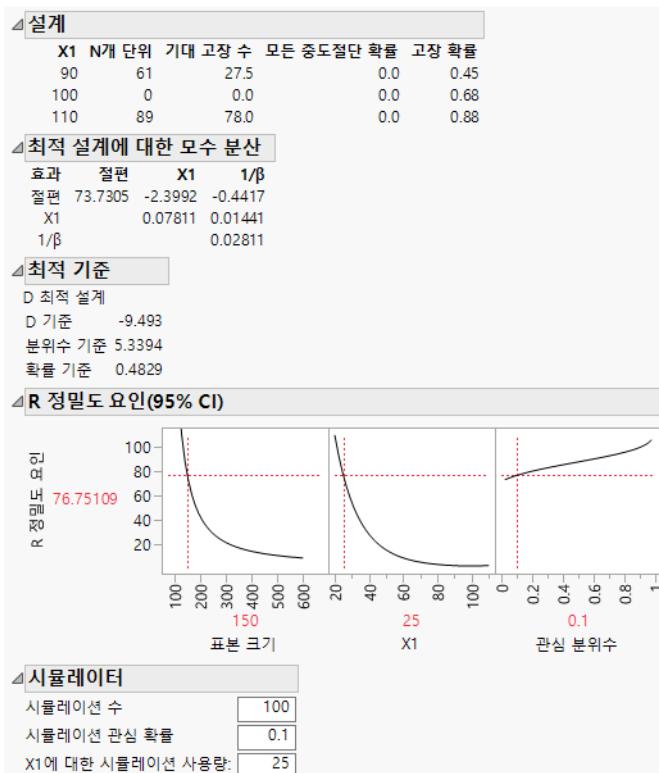
**팁 :** "분포 선택", "사전 평균" 또는 "선택 설계"를 변경한 경우 **프로파일러 업데이트**를 클릭하여 프로파일러를 업데이트하십시오.

## 최적 설계 생성 및 평가

**설계 생성**을 클릭하여 최적 ALT 설계를 생성하고 설계 품질에 대한 결과를 확인합니다.

**참고 :** 기본적으로 최적 설계는 D-최적입니다. 최적 기준을 변경하려면 "가속 수명 시험 계획"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **ALT 최적 기준**을 선택합니다.

### 그림 22.20 설계 개요



**설계** 가속 수준의 각 조합에서 시험할 단위 수를 표시합니다. 단일 요인의 경우 첫 번째 열은 요인 수준을 나타냅니다. 요인이 두 개인 경우 처음 두 열은 요인 수준을 나타냅니다.

**N 개 단위** 가속 수준의 각 조합에서 시험할 단위 수입니다.

**기대 고장 수** 설계 설정에 대한 기대 고장 수입니다. 기대 수는 사전 모형 규격을 사용하여 계산됩니다.

**모든 중도절단 확률** 가속 수준 조합에서 시험한 단위가 하나도 고장 나지 않을 확률입니다. 이 확률은 사전 모형 규격을 사용하여 계산됩니다.

**고장 확률** 설계 설정에 대한 고장 확률 기대값입니다. 고장 확률은 고장 기대값을 시험 단위 수로 나누어서 계산합니다.

**참고 :** 기대 고장 수와 중도절단 확률을 통해 사전 규격이 적절한지 판단할 수 있습니다.

**최적 설계에 대한 모수 분산** 최적 설계에 대한 가속 모형 모수 추정값의 공분산 행렬에 비례하는 행렬을 제공합니다. 이때 "사전 평균" 개요에 지정된 값이 실제 모수 값이라고 가정하여 계산이 수행됩니다. 자세한 내용은 "[균형 설계에 대한 모수 분산](#)"(625 페이지)에서 확인하십시오.

**참고 :** "최적 설계에 대한 모수 분산" 행렬의 값을 "균형 설계에 대한 모수 분산" 행렬의 값과 비교하여 최적 설계에 의해 추정값 분산이 어느 정도 감소되는지 확인할 수 있습니다.

**최적 기준** 다음과 같은 세 가지 최적 기준의 값이 제공됩니다.

**D 기준** 설계의 D-최적. 자세한 내용은 "[D-최적 설계 생성](#)"(628 페이지)에서 확인하십시오.

**분위수 기준** 설계의 시간 I-최적. 자세한 내용은 "[최적 분위수 추정값 생성](#)"(628 페이지)에서 확인하십시오.

**확률 기준** 설계의 확률 I-최적. 자세한 내용은 "[최적 고장 확률 생성](#)"(628 페이지)에서 확인하십시오.

**R 정밀도 요인 (95% CI)** 표본 크기, 요인 수준 및 관심 분위수가 R 정밀도 요인에 미치는 영향을 평가하기 위한 프로파일러입니다. R 정밀도 요인 (95% CI)은 관심 분위수의 95% 신뢰 구간에 대한 정밀도의 측도입니다.

**시뮬레이터** 데이터를 수집하기 전에 시뮬레이터를 사용하여 가속 모형을 탐색합니다.

**시뮬레이션 수** 실행할 시뮬레이션 시도 수입니다.

**시뮬레이션 관심 확률** 관심 있는 고장 확률입니다.

**시뮬레이션 사용량** 가속 요인의 사용 조건 값입니다.

"시뮬레이션 실행"을 클릭하면 요약 통계량 테이블과 모형 적합 그림이 나타납니다.

## 설계 테이블 생성

이 버튼을 사용하여 가속 수명 시험 설계, 시험 계획 및 테이블을 생성합니다.

**설계 생성** "분포 선택", "사전 평균", "사전 분산 행렬", "선택 설계" 또는 "후보 런 수"를 변경한 경우 최적 설계를 업데이트합니다.

**시험 계획 생성** 각 행이 개별 설계 설정에 해당하는 데이터 테이블을 생성합니다. 이 테이블에는 가속 요인 설계 설정 및 해당 설계 설정에서 시험할 단위 수가 나타납니다.

**테이블 생성** 고장 시간 데이터를 기록하는 데 사용할 수 있는 테이블을 생성합니다.

- 연속 모니터링의 경우, 시험할 각 단위와 해당 단위의 설계 설정에 해당하는 행이 테이블에 포함됩니다. 실험 중에 단위가 고장 나면 고장 시간 열에 해당 단위의 고장 시간을 기록하고 중도절단 열에 0을 기록합니다. 실험 중에 단위가 고장 나지 않으면 고장 시간 열에 최종 검사 시간을 기록하고 중도절단 열에 1을 기록합니다.
- 구간 모니터링의 경우, 각 설계 설정과 시간 구간 조합에 해당하는 행이 테이블에 포함됩니다. 시간 구간은 "선택 설계" 개요에 입력한 "검사 시간"을 기반으로 하는 시작 시간

및 종료 시간 열에 의해 정의됩니다. 각 설정 및 시간 구간에 대해 고장 난 단위의 수를 고장 수 열에 기록합니다.

## 가속 수명 시험의 옵션

"가속 수명 시험 계획"의 빨간색 삼각형 메뉴에는 다음 옵션이 포함되어 있습니다.

**반응 시뮬레이션 테이블 생성**을 클릭하면 시뮬레이션된 반응을 테이블에 추가합니다. 시뮬레이션된 반응은 "사전 평균" 개요에 지정한 모수 값에 대해 선택한 분포에서 무작위로 추출하여 생성됩니다. 시뮬레이션된 반응이 지정된 시험 시간을 초과하면 시험 시간 값에서 관측이 중도절단됩니다.

### ALT 최적 기준

**D- 최적 설계 생성** 몬테카를로 구의 수가 0보다 크면 베이지안 D- 최적 설계를 생성합니다. 최적 기준은 사전 분포와 관련한 정보 행렬의 행렬식에 대한 로그 기대값입니다. 몬테카를로 구의 수가 0이면 로컬 D- 최적 설계를 생성합니다. 결과적으로 D- 최적은 계수의 정확한 추정에 중점을 둡니다.

**최적 분위수 추정값 생성** 최적 기준 기본값입니다. 지정된 사용 조건에서 지정된 백분위수의 분산을 최소화하는 설계를 생성합니다.

**최적 고장 확률 생성** 지정된 사용 조건에서 관심 시간 범위 동안 고장 확률 추정값의 분산을 최소화하는 설계를 생성합니다.

### 고급 옵션

**N 몬테카를로 구** 적분에 사용되는 0이 아닌 반지름 값의 수를 설정할 수 있습니다. JMP는 주어진 최적 기준을 최적화하는 비선형 설계를 찾기 위해 모두 사전 분포에 대한 Fisher 정보 행렬의 행렬식에 대한 로그 적분을 최소화합니다. 이러한 적분은 수치로 계산됩니다. 적분 수행 방법에 대한 자세한 내용은 "비선형 설계" 장의 ["비선형 설계 옵션"](#)(649 페이지)에서 확인하십시오.

**팁 :** 기본적으로 "N 몬테카를로 구"는 4로 설정되어 있습니다. 값이 클수록 수치 정확도는 향상되지만 계산 시간은 길어집니다.

**스크립트를 스크립트 창에 저장** "가속 수명 시험 계획" 창에서 지정한 설계의 스크립트를 생성한 후 열린 스크립트 창에 저장합니다.

## ALT 설계 플랫폼에 대한 통계 상세 정보

### ALT 설계의 고장 분포

가속 수명 시험 설계 플랫폼에서는 로그 정규 또는 Weibull 고장 분포를 선택할 수 있습니다.

이 섹션에는 각 분포의 pdf(확률 밀도 함수)와 cdf(누적 분포 함수)에 대한 파라미터화가 포함되어 있습니다. Weibull 분포에 대한 자세한 내용은 **Reliability and Survival Methods**의에서 확인하십시오.

## 로그 정규

로그 정규 분포는 데이터 범위가 10의 여러 거듭제곱일 경우 고장 시간을 나타내는 데 흔히 사용됩니다. 보통 이 분포는 독립적이며 같은 분포를 따르는 다수의 작은 양수 확률 변수의 곱으로 개념화됩니다. 이 분포는 데이터 값의 로그가 정규 분포로 나타날 때 적절합니다. 일반적으로 확률 분포 함수는 강한 오른쪽 왜도가 특징입니다.

로그 정규 계열은 위치 모수 ( $\mu$ )와 형태 모수 ( $\sigma$ )로 파라미터화됩니다. 로그 정규 pdf 및 cdf는 다음과 같이 지정되며, 여기서 로그는 밑이  $e$ 입니다.

$$f(x; \mu, \sigma) = \frac{1}{x\sigma} \phi_{\text{nor}}\left[\frac{\log(x) - \mu}{\sigma}\right], \quad x > 0$$

$$F(x; \mu, \sigma) = \Phi_{\text{nor}}\left[\frac{\log(x) - \mu}{\sigma}\right],$$

아래 함수는

$$\phi_{\text{nor}}(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{z^2}{2}\right)$$

및

$$\Phi_{\text{nor}}(z) = \int_{-\infty}^z \phi_{\text{nor}}(w) dw$$

각각 표준 정규 분포( $N(0,1)$ )에 대한 pdf와 cdf입니다.

## Weibull

Weibull 분포를 사용하면 위험 비율이 증가하거나 감소하는 고장 시간 데이터를 모델링할 수 있습니다. 이 분포는 형태 모수 값을 기반으로 다양한 유형의 데이터를 모델링 할 때 엄청난 유연성을 제공하므로 신뢰성 분석에 자주 사용됩니다.

일반적으로 Weibull pdf와 cdf는 다음과 같이 나타냅니다.

$$f(x; \alpha, \beta) = \frac{\beta}{\alpha^\beta} x^{(\beta-1)} \exp\left[-\left(\frac{x}{\alpha}\right)^\beta\right]; \quad x > 0, \alpha > 0, \beta > 0$$

$$F(x; \alpha, \beta) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{x}{\alpha}\right)^\beta\right]$$

여기서  $\alpha$ 는 척도 모수이고  $\beta$ 는 형태 모수입니다. Weibull 분포는  $\beta = 1$  일 때 지수 분포로 축소됩니다.

### Weibull 파라미터화

JMP에서 Weibull 파라미터화는  $\sigma$ 를 척도 모수로,  $\mu$ 를 위치 모수로 정의합니다. 이 모수는 다음과 같이  $\alpha$  및  $\beta$  Weibull 파라미터화와 관련됩니다.

$$\alpha = \exp(\mu)$$

및

$$\beta = \frac{1}{\sigma}$$

이러한 모수를 사용할 경우 Weibull 분포의 pdf 와 cdf 는  $\mu = \log(\alpha)$  및  $\sigma = 1/\beta$  인 위치 - 척도 파라미터화를 사용하여 로그 변환된 SEV(최소 극단값 분포)로 표현됩니다.

$$f(x; \mu, \sigma) = \frac{1}{x\sigma} \phi_{\text{sev}} \left[ \frac{\log(x) - \mu}{\sigma} \right], \quad x > 0, \sigma > 0$$

$$F(x; \mu, \sigma) = \Phi_{\text{sev}} \left[ \frac{\log(x) - \mu}{\sigma} \right]$$

여기서,

$$\phi_{\text{sev}}(z) = \exp[z - \exp(z)]$$

및

$$\Phi_{\text{sev}}(z) = 1 - \exp[-\exp(z)]$$

각각 표준화된 최소 극단값( $\mu = 0, \sigma = 1$ ) 분포에 대한 pdf와 cdf입니다.

### R 정밀도 요인 (95% CI)

R 정밀도 요인은 고장 시간 분포의  $p$ 번째 분위수에 대한  $t_p$  추정값 정밀도의 측도입니다. 로그( $t_p$ )에 대한 대략적인 95% 신뢰 구간은 다음과 같이 계산됩니다.

$$\log(\hat{t}_p) \pm z_{0.975} \sqrt{\widehat{Var}[\log(\hat{t}_p)]} = \log(\hat{t}_p) \pm \log(\hat{R})$$

$t_p$ 에 대한 신뢰 구간은 다음과 같아집니다.

$$[\hat{t}_p / \hat{R}, \hat{t}_p \hat{R}]$$

다음은 각 요소에 대한 설명입니다.

$$\hat{R} = \exp \left[ z_{0.975} \sqrt{\widehat{Var}[\log(\hat{t}_p)]} \right]$$

$R$ 을 구하려면 다음과 같이  $\log(t_p)$ 의 분산에 대한 대표본 근사치를 사용합니다.

$$R = \exp z_{0.975} \sqrt{AVar[\log(\hat{t}_p)]}$$

## 가속 수명 시험에 대한 최적 기준

가속 수명 시험(ALT)이 최대 두 개의 가속 요소  $x_1$ 과  $x_2$ (수준이 각각  $J_1$ 과  $J_2$ )를 사용하여 수행된다고 가정해 보겠습니다. 시험 계획의 목표는 각 요인 수준 조합에 할당할 표본 수를 결정하는 것입니다.

최적 기준 계산은 각 수준별 정보 행렬에서 가져온 총 Fisher 정보 행렬과

$$I(\theta) = \sum_{i,j} n_{ij} I_{ij}(\theta)$$

사전 불확도  $S$ (해당하는 경우)의 포함 여부에 따라 달라집니다.

### D- 최적

D-최적 설계  $\mathbf{D}_d$ 는 가능한 모든  $n_{jj}$  값에 대해 다음 표현식을 최소화하는 설계입니다.

$$\log \left| \int_{\theta} [\mathbf{S}^{-1} + \mathbf{I}(\theta)]^{-1} \pi(\theta) d\theta \right|$$

여기서  $|\cdot|$  부분은 행렬식 연산이고  $\pi(\theta)$ 는 모수에 대한 사전 분포입니다. 이 분포는 보통 다변량 정규 분포입니다. 행렬식의 로그는 수치 안정성을 위해 사용됩니다.

### 분위수 최적

분위수 최적 설계  $\mathbf{D}_q$ 는 다음 표현식을 최소화하는 설계입니다.

$$\int_{\theta} [\mathbf{c}' \mathbf{I}(\theta) \mathbf{c}] \pi(\theta) d\theta$$

여기서 벡터  $\mathbf{c}$ 는 사용 조건에 따라 달라집니다.

단일 사용 조건의 경우

$$\mathbf{c}' = \{1, 0, 0, 0, z_p\}$$

여기서  $z_p$ 는 고장 분포의  $p$  번째 분위수입니다.

사용 조건이 범위인 경우에는 다음과 같습니다.

$$\varepsilon_i = \frac{G(x_{1iUh}) - G(x_{1iUl})}{g(x_{iUh}) - g(x_{iUl})}$$

여기서  $G(\cdot)$ 는  $g(\cdot)$ 의 부정적분이고,  $x_{iUh}$ 는  $i$ 번째 요인에 대해 고려되는 가장 높은 사용 수준이고,  $x_{iUl}$ 는 동일한 요인에 대해 고려되는 가장 낮은 사용 수준입니다. 결과

$$\mathbf{c}' = \{1, \varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_1, \varepsilon_2, z_p\}$$

여기서  $z_p$ 는 고장 분포의  $p$ 번째 분위수입니다.

### 고장 확률 최적

고장 확률 최적 설계  $\mathbf{D}_f$ 는 다음 표현식을 최소화하는 설계입니다.

$$\int_{\theta} \left\{ \frac{\frac{1}{\sigma^2} \left[ \frac{\phi(z_u(\theta))}{\Phi(z_u(\theta))} \right]^2 c' f_p I(\theta) c_f p}{-\log(\Phi(z_u(\theta)))} \right\} (\pi(\theta) d\theta)$$

여기서  $z_u(\theta)$ 는 "분위수 최적"에 정의된 사용 조건에서의 표준화된 로그 시간입니다.  $c_f p$ 는 "분위수 최적"에 정의된  $\mathbf{c}$ 와 유사하지만 마지막 항목이  $z_u(\theta)$ 라는 점이 다릅니다. 분자의 값은  $\log\Phi(z_u(\theta))$ 의 점근 분산을 기반으로 하며, 여기서 로그 변환은 수치 안정성을 위해 사용됩니다. 그런 다음 점근 분산은 일관성을 위해 원래  $\log\Phi(z_u(\theta))$ 에 따라 표준화되며 더 작은 값일수록 좋습니다. 사용 조건이 범위인 경우 계산 편의를 위해 점근 분산에 대해서가 아니라  $\log\Phi(\cdot)$  안에서 적분이 계산됩니다. 합계의 분산이 분산의 합계를 제한하고 로그 함수와 cdf가 둘 다 단조 함수라는 특성이 있으므로 적합 측정 기준으로서 여전히 적합합니다. 따라서 위의 표현식을 최소화하면 위로부터 서서히 제한됨으로써 고장 확률의 실제 점근 분산이 최소화됩니다.

## 비선형 설계

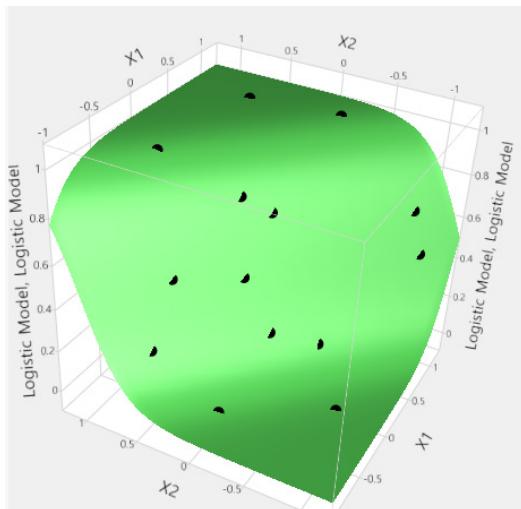
미지의 모수에 비선형 모형을 적합시키는 것이 실험 목표인 경우 비선형 모형 적합에 중요한 영역에 설계점을 배치하려면 비선형 설계를 사용합니다. 선형 모형에 최적인 직교 설계를 사용할 수 있지만 일반적으로 이 설계는 적합 모수 추정 값의 불확도를 최소화하거나 정밀도를 최대화하는 위치에 설계점을 놓지 않습니다.

비선형 설계의 효율도는 미지의 모수 값에 따라 달라집니다. 이는 최선의 설계를 찾기 위해 모수를 미리 알아야 한다는 점에서 순환 문제의 원인이 됩니다. JMP는 베이지안 방법을 사용하여 모수 값의 지정된 범위에서 평균 효율도를 최대화하는 비선형 설계를 구성합니다. 이러한 범위를 적절하게 지정하려면 관심 시스템에 대한 정보가 있어야 합니다.

비선형 설계는 선형 모형 설계와 비교하여 다음과 같은 장점을 제공합니다.

- 잘 선택된 모형을 사용한 예측은 요인 설정이 다양한 경우에 적합합니다.
- 복잡한 곡률과 점근적 모습을 갖는 반응 표면을 모델링할 수 있습니다.

**그림 23.1** 비선형 모형의 설계점



## 목차

|                      |     |
|----------------------|-----|
| 비선형 설계 개요            | 635 |
| 비선형 설계의 예            | 636 |
| 사전 데이터가 없는 비선형 설계 생성 | 636 |
| 사전 데이터를 사용하여 설계 확대   | 640 |
| 이항 반응에 대한 설계 생성      | 644 |
| 비선형 설계 시작 창          | 647 |
| 비선형 설계 창             | 647 |
| 요인                   | 648 |
| 모수                   | 648 |
| 설계 생성                | 649 |
| 설계                   | 649 |
| 테이블 생성 또는 확대         | 649 |
| 비선형 설계 옵션            | 649 |
| 비선형 설계에 대한 통계 상세 정보  | 650 |
| 비선형 모형               | 650 |
| 최적 기준의 방사형-구형 적분     | 651 |
| 최적 설계 찾기             | 651 |

## 비선형 설계 개요

비선형 설계 플랫폼을 사용하여 모수에서 비선형인 모형을 적합시키는 설계를 구성합니다. 비선형 모형에 대해 최적 설계를 구성하거나 기존 데이터를 최적으로 확대할 수 있습니다. 기본 공정을 기술하는 정보를 기반으로 한 비선형 설계는 다향식 모형에 대한 표준 설계를 사용할 때보다 더 정확하게 모형 모수의 값을 추정하고 공정 동작을 예측할 수 있습니다. 비선형 모형에 대한 배경 지식은 "[비선형 모형](#)"(650페이지)에서 확인하십시오.

비선형 모형의 설계 효율도는 설계에서 추정하려는 모수의 알려지지 않은 값에 따라 달라집니다. 이러한 이유로 JMP는 베이지안 방법을 사용하여 광범위한 모수 확률 값을 대해 효율적인 설계를 구성합니다. 미지의 모수 값 범위와 사전 분포를 지정할 수 있습니다. 사전 분포는 "균등", "정규", "로그 정규" 및 "지수" 중에서 선택할 수 있습니다.

비선형 설계 플랫폼은 사용자가 지정하는 모수 확률 값의 사전 분포에 대해 설계를 최적화하는 베이지안 방법을 사용합니다. 베이지안 D-최적 기준은 이 사전 확률 분포를 나타내는 모수 벡터 표본과 관련하여 정보 행렬의 행렬식에 대한 로그 기대값입니다. 정보 행렬 항목은 설계점에서의 예측 분산에 따라 달라집니다. 분산이 작은 관측값, 즉 반응이 거의 확실한 경우에는 제공되는 정보가 매우 적습니다. 따라서 최적 설계는 일부 설계 설정을 분산이 높은 점에 배치합니다. 자세한 내용은 [Gotwalt et al. \(2009\)](#)에서 확인하십시오.

최적 설계의 주요 내용은 실현 가능한 실험 영역에서 최적 설계가 예측 분산이 가장 높은 위치에 점을 배치한다는 것입니다. 이 사실은 직관에 반대되는 것 같지만 대체 설계가 다른 위치에 점을 배치하면 최적 설계의 설계점에 대한 예측 분산이 훨씬 높아집니다. 모수에서 선형인 모형의 경우 분산이 높은 점은 실험 영역의 꼭지점에 있는 경향이 있습니다. 그러나 모수에서 비선형인 모형의 경우에는 그렇지 않을 수 있습니다.

**참고 :** 비선형 설계는 랜덤 시작 설계를 사용하여 계산됩니다. 따라서 동일한 규격에 대해 생성된 비선형 설계가 대부분 다릅니다.

비선형 설계 플랫폼을 사용하려면 기존 데이터 테이블이 있어야 합니다. 해당 데이터 테이블에는 다음 요소가 포함되어야 합니다.

- 반응에 대한 열
- 각 요인에 대한 열
- 요인과 반응 간의 관계를 보여 주는 계산식이 포함된 열. 이 계산식은 미지의 모수를 포함해야 합니다.

**참고 :** 이것은 모델링을 위해 비선형 플랫폼에서 사용되는 데이터 테이블에 필요한 형식과 동일합니다.

테이블은 다음 두 형식 중 하나일 수 있습니다.

- 열 정보만 포함하고 행은 없는 템플릿일 수 있습니다. 자세한 내용은 "[사전 데이터가 없는 비선형 설계 생성](#)"(636페이지)에서 확인하십시오.

- 예측 변수 정보가 있는 행을 포함할 수 있습니다. 이 경우 예측 변수 값이 비선형 설계에 포함됩니다. 자세한 내용은 "사전 데이터를 사용하여 설계 확대"(640페이지)에서 확인하십시오.

## 비선형 설계의 예

- "사전 데이터가 없는 비선형 설계 생성"
- "사전 데이터를 사용하여 설계 확대"
- "이항 반응에 대한 설계 생성"

### 사전 데이터가 없는 비선형 설계 생성

이 예에서는 아직 데이터를 수집하지 않았지만 미지의 모수에 대해 추측할 수 있을 때 설계를 생성하는 방법을 보여 줍니다. 여기에서는 화학 반응에서 중간 생성물의 분별 수율(**Observed Yield**)을 모델링합니다. 분별 수율은 반응 시간과 온도의 함수입니다. 자세한 내용은 Box and Draper(1987)에서 확인하십시오.

#### 설계 생성

- 도움말 > 샘플 데이터 라이브러리를 선택하고 Design Experiment/Reaction Kinetics Start.jmp를 엽니다.

다음을 확인할 수 있습니다.

- 데이터가 수집되지 않았으므로 데이터 테이블에 행이 없습니다.
  - 예측 변수 Reaction Temperature 와 Reaction Time 의 열에는 "코딩", "설계 역할" 및 "요인 변경" 특성이 있습니다. 특성을 확인하려면 "열" 패널에서 을 클릭합니다. 이러한 특성을 설계를 구성할 때 예측 변수를 처리하는 방법을 JMP에 알려 줍니다. 열 특성을 저장하는 방법에 대한 자세한 내용은 "열 특성" 장(727 페이지)에서 확인하십시오.
  - Observed Yield 열에는 실험을 실행하여 얻은 반응 데이터가 포함됩니다.
  - Yield Model 열은 예측 변수를 반응 (Observed Yield) 과 관련짓는 계산식을 포함합니다. 계산식을 보려면 "열" 패널에서 을 클릭합니다. 계산식은 t1 및 t3 모수에서 비선형입니다.
- DOE > 특수 용도 > 비선형 설계를 선택합니다.
  - Observed Yield 를 선택하고 Y, 반응을 클릭합니다.
  - Yield Model 을 선택하고 X, 예측변수 계산식을 클릭합니다.
  - 확인을 클릭합니다.

이 예에서 Reaction Temperature 값 (510, 540) 및 Reaction Time 값 (0.1, 0.3)은 "코딩" 열 특성을 사용하여 지정되었습니다. "요인" 개요에서 적절한 값 범위를 직접 지정할 수도 있습니다.

- 모수 t1 의 값을 25 와 50 으로 변경하고 t3 의 값을 30 과 35 로 변경합니다.

이 새 값은 실험 상황에 대해 적절한 범위의 모수 값을 나타냅니다. 기본값은 예측 계산식 정의에 지정된 초기 모수 값을 기반으로 구성되었습니다. 계산식 생성에 대한 자세한 내용은 JMP 사용의 예에서 확인하십시오.

t1 과 t3 의 각 "분포" 아래에 표시된 사전 분포는 기본적으로 "정규"로 설정되어 있습니다.

7. "설계 생성" 패널에서 런 수를 12로 변경합니다.

**그림 23.2** Reaction Kinetics 실험의 완료된 개요

| 요인                   |     |     |
|----------------------|-----|-----|
| 이름                   | 역할  | 값   |
| Reaction Temperature | 연속형 | 510 |
| Reaction Time        | 연속형 | 0.1 |

| 모수 |    |    |
|----|----|----|
| 이름 | 분포 | 값  |
| t1 | 정규 | 19 |
| t3 | 정규 | 16 |

| 설계 생성 |    |       |
|-------|----|-------|
| 런 수:  | 10 | 설계 생성 |

8. 설계 생성을 클릭합니다.
9. 테이블 생성을 클릭합니다.

**그림 23.3** 설계 테이블

|    | Reaction Temperature | Reaction Time | Observed Yield | Yield Model |
|----|----------------------|---------------|----------------|-------------|
| 1  | 540                  | 0.3           | • 58.093235    |             |
| 2  | 540                  | 0.11          | • 57.3016426   |             |
| 3  | 540                  | 0.3           | • 58.093235    |             |
| 4  | 530                  | 0.2           | • 54.9142081   |             |
| 5  | 510                  | 0.1           | • 11.2590804   |             |
| 6  | 540                  | 0.3           | • 58.093235    |             |
| 7  | 540                  | 0.3           | • 58.093235    |             |
| 8  | 510                  | 0.1           | • 11.2590804   |             |
| 9  | 517                  | 0.1           | • 17.8546023   |             |
| 10 | 530                  | 0.21          | • 55.9838913   |             |
| 11 | 540                  | 0.11          | • 57.3016426   |             |
| 12 | 540                  | 0.3           | • 58.093235    |             |

그림 23.3의 설계와 유사한 설계가 표시됩니다. 런 순서는 다를 수 있으며 이에 따라 Reaction Temperature 및 Reaction Time의 값과 Yield Model에 대해 계산된 값도 약간 다를 수 있습니다. Yield Model 열에는 모형의 계산식이 포함되므로 값이 나타납니다. 또한 비선형 모형을 관측값에 적합시키는 데 사용할 수 있는 모형 스크립트가 테이블에 포함되어 있습니다.

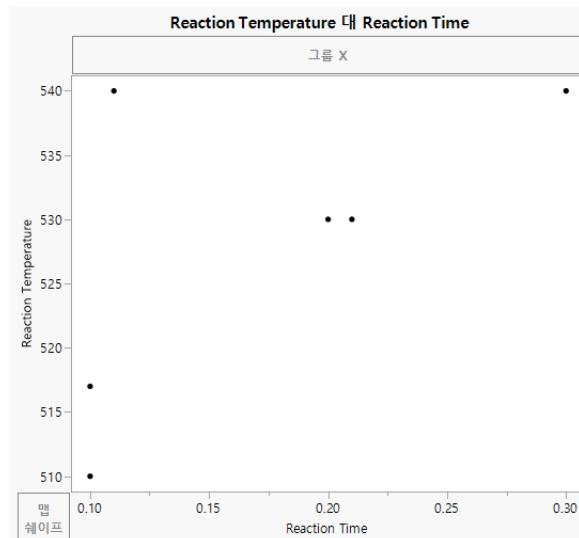
설계 테이블을 생성했으므로 실험을 실행하고 Observed Yield 열에 반응을 기록합니다. Design Experiment 폴더의 Reaction Kinetics.jmp 데이터 테이블에 설계에 대한 관측 결과가 포함되어 있습니다.

## 설계 탐색

결과를 분석하기 전에 설계 설정을 볼 수 있는 그림을 구성합니다.

- 도움말 > 샘플 데이터 라이브러리를 선택하고 Design Experiment/Reaction Kinetics.jmp 를 엽니다.
- 그래프 > 그래프 빌더를 선택합니다.
- Reaction Temperature 를 Y 놓기 영역으로 드래그합니다.
- Reaction Time 을 X 놓기 영역으로 드래그합니다.
- 그래프 위의 두 번째 아이콘을 클릭하여 평활기를 선택 취소합니다.

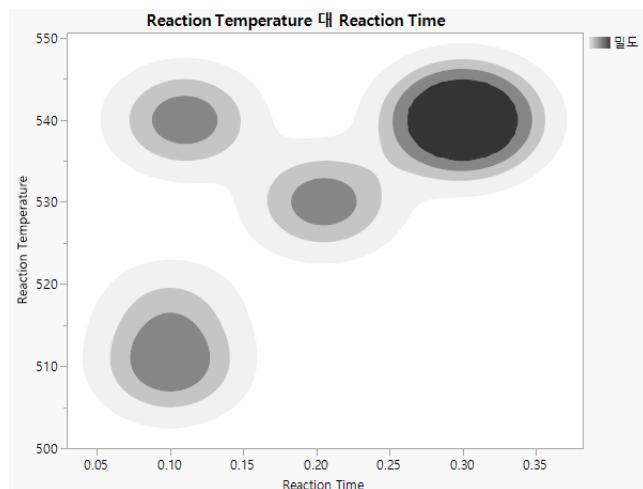
**그림 23.4** 설계 설정



점이 세 영역에 있습니다. 낮은 온도와 높은 시간(그래프의 오른쪽 아래 부분)에는 점이 없습니다. 직교 설계와 달리 비선형 설계는 설계점을 설계 영역 모서리에 놓지 않을 수도 있습니다. 이 예에서 낮은 온도와 높은 시간의 설계점은 비효율적입니다.

나머지 세 모서리에서 설계점의 밀도를 보려면 등고선 도구를 사용합니다.

5. 을 클릭하여 등고선 도구를 설정합니다.
6. 완료를 클릭합니다.

**그림 23.5** 밀도 등고선을 사용한 설계 설정

낮은 시간과 높은 온도에서는 상대적으로 점 수가 적습니다. 설계 테이블에서 해당 점이 두 개뿐임을 확인할 수 있습니다. 모형 및 모수 규격 때문에 최적 설계는 높은 시간과 높은 온도에 설계점을 더 놓습니다.

## 결과 분석

설계를 시작적으로 탐색했으므로 이제 결과를 분석합니다.

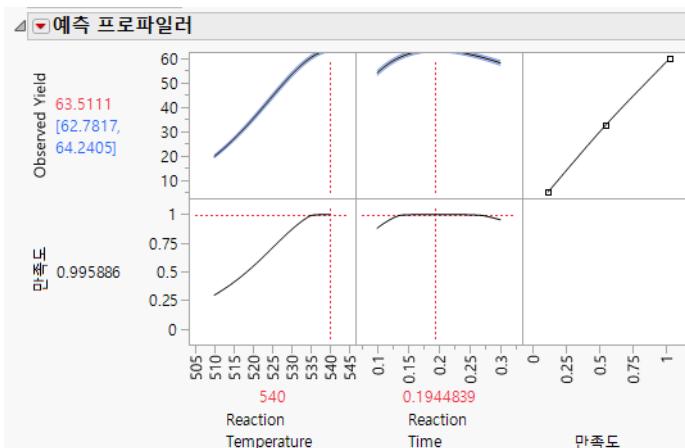
---

**참고 :** 1 단계 ~ 4 단계를 수행하는 대신 **모형** 스크립트를 실행할 수 있습니다.

---

1. **분석 > 전문 모델링 > 비선형**을 선택합니다.
2. **Observed Yield**를 선택하고 **Y, 반응**을 클릭합니다.
3. **Yield Model**을 선택하고 **X, 예측변수 계산식**을 클릭합니다.  
"사용자 계산식 적합 옵션" 패널에 모형이 나타납니다.
4. **확인**을 클릭합니다.
5. "제어판"에서 **시작**을 클릭합니다.  
"중지 한계" 값 중 하나에 도달할 때까지 해 반복 검색 작업이 진행됩니다. 그런 다음 "해" 및 "추정값 상관계수" 보고서가 나타납니다.
6. "비선형 적합"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **프로파일러 > 프로파일러**를 선택합니다.
7. 수율을 최대화하려면 "예측 프로파일러"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **최적화 및 만족도 > 만족도 최대화**를 선택합니다.

그림 23.6 최대 수율을 위한 시간 및 온도 설정



추정된 최대 수율은 반응 온도 540 도 (켈빈) 와 반응 시간 0.1945 분에서 약 63.5% 입니다.

## 사전 데이터를 사용하여 설계 확대

이 예에서는 사전 데이터가 있을 때 비선형 설계를 생성하는 방법을 보여 줍니다. 여기에서는 화학 반응 데이터를 사용합니다. 사용 가능한 유기 기질의 흡수율(속도)을 해당 기질의 농도 함수로 모델링하려고 합니다. 자세한 내용은 Meyers(1986)에서 확인하십시오. 이미 실험을 실행했지만 결과를 활용하여 더 정확한 모수 추정값을 얻는 것이 목표입니다.

### 사전 모수 추정값 구하기

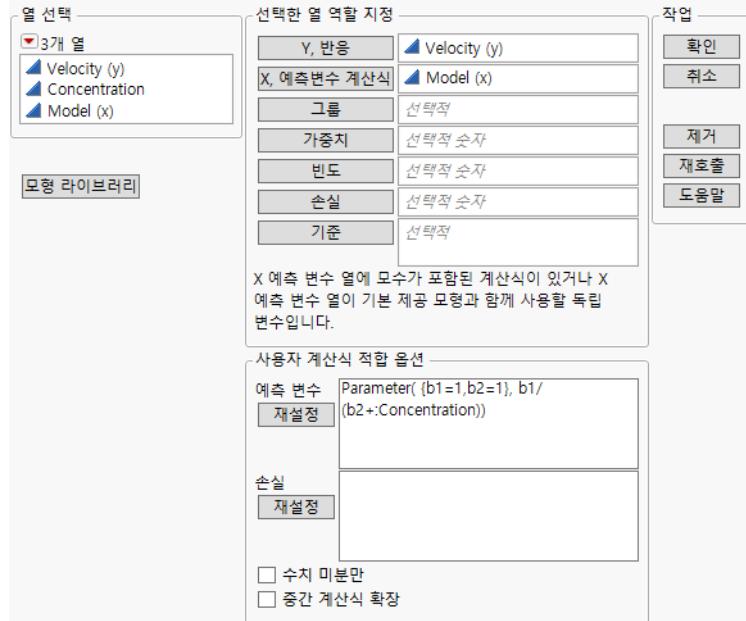
기존 실험 데이터를 사용하여 더 적합한 모수 추정값을 구합니다.

1. 도움말 > 샘플 데이터 라이브러리를 선택하고 Nonlinear Examples/Chemical Kinetics.jmp를 엽니다.
2. "열" 패널에서 Model (x) 옆의 더하기 기호를 클릭합니다. 계산식 편집기가 열립니다.
3. 계산식 편집기의 아래쪽 중간에 있는 모수 개요에는 모형 모수의 현재 값이 표시됩니다. 값 ( $b_1 = 1$ ,  $b_2 = 1$ ) 은 초기 추정값입니다. 이 값은 데이터 테이블에서 Model (x) 값을 계산하는 데 사용됩니다. 다음 실험을 위해 이 값을 더 적합한 추정값으로 바꾸려고 합니다.
4. 취소를 클릭하여 계산식 편집기 창을 닫습니다.
5. 분석 > 전문 모델링 > 비선형을 선택합니다.
6. Velocity (y) 를 선택하고 Y, 반응을 클릭합니다.
7. Model (x) 를 선택하고 X, 예측변수 계산식을 클릭합니다.

Model (x) 에 의해 제공된 계산식이 "사용자 계산식 적합 옵션" 패널에 나타납니다.

그림 23.7 비선형 분석 시작 창

최소 제곱 또는 사용자 손실 함수를 사용하여 비선형 모형을 적합시킵니다.



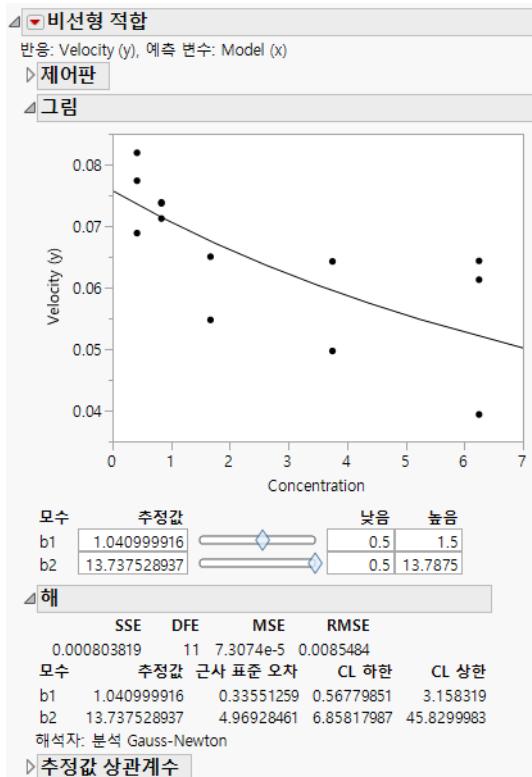
8. 확인을 클릭합니다.
9. "제어판"에서 시작을 클릭합니다.

"중지 한계" 값 중 하나에 도달할 때까지 해 반복 검색 작업이 진행됩니다. 그런 다음 "해" 및 "추정값 상관계수" 보고서가 나타납니다. 또한 "해" 보고서에 신뢰 한계를 추가할 수 있는 옵션이 "제어판"에 나타납니다.

10. "제어판"에서 신뢰 한계를 클릭합니다.

모수 b1 및 b2에 대한 신뢰 구간이 "해" 보고서에 나타납니다.

그림 23.8 비선형 적합 결과



b1 과 b2 의 "CL 하한" 및 "CL 상한" 값은 모수의 값 범위를 정의합니다. 이제 확대된 비선형 설계에서 이 구간을 사용하여 사전 값의 범위를 정의합니다.

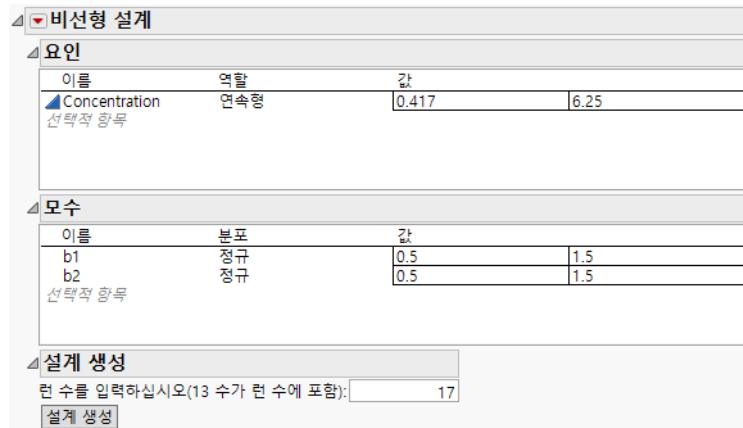
**참고 :** 이 결과는 다음 단계에서 필요하므로 "비선형 적합" 보고서를 닫지 마십시오 .

## 설계 확대

이제 비선형 모수를 더 정확하게 추정하기 위한 설계를 생성합니다.

1. Chemical Kinetics.jmp 데이터 테이블을 활성화하고 **DOE > 특수 용도 > 비선형 설계**를 선택합니다.
2. Velocity (y) 를 선택하고 **Y, 반응**을 클릭합니다.
3. Model (x) 를 선택하고 **X, 예측변수 계산식**을 클릭합니다.
4. **확인**을 클릭합니다.

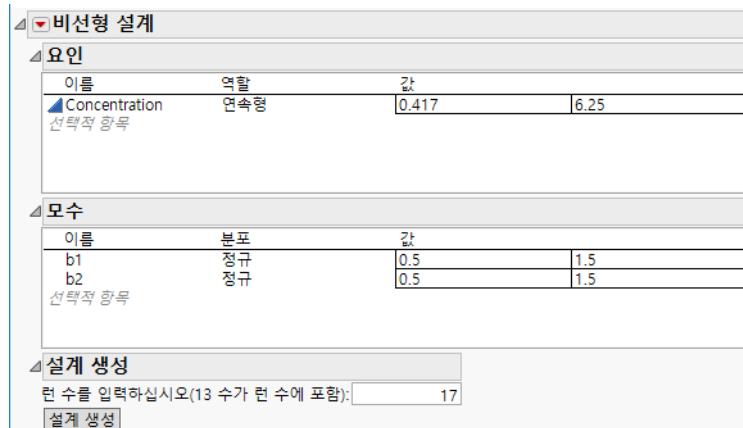
그림 23.9 비선형 설계의 요인 및 모수 개요



Chemical Kinetics.jmp 데이터에서 Concentration 값 범위는 0.417 ~ 6.25입니다. 따라서 이 값은 처음에 "요인" 개요에 하한값과 상한값으로 나타납니다. 더 넓은 구간을 포함하도록 이 값을 변경하려고 합니다.

5. 0.417 을 클릭하고 0.1 을 입력합니다. 6.25 를 클릭하고 7 을 입력합니다.
  6. 각 모수의 사전 분포는 설정값 "정규" 를 그대로 둡니다.
- 모수의 값 범위는 해당 모수에 대한 지식의 불확도를 반영합니다. 가능한 모수 값의 95% 를 포함하는 범위를 지정할 수 있습니다. 그림 23.8 에 표시된 "비선형 적합" 보고서의 신뢰 한계는 이러한 범위를 제공합니다. "모수" 개요에서 모수 값을 신뢰 한계 (소수점 이하 세 자리로 반올림) 로 바꿉니다.
7. DOE "비선형 설계" 창의 "모수" 에서 다음 값을 b1 및 b2 에 입력합니다.
    - b1: 0.568, 3.158
    - b2: 6.858, 45.830

그림 23.10 업데이트된 요인 및 모수 값



8. "설계 생성" 패널의 런 수에 40을 입력합니다.

9. 설계 생성을 클릭합니다.

"설계" 개요가 열리고 원래 13회 런에 대한 Concentration 및 Velocity(y) 값과 추가 27회 런에 대한 새 Concentration 설정을 보여 줍니다.

10. 테이블 생성을 클릭합니다.

이렇게 하면 원래 13회 런 설계에 대한 설정 및 결과와 27회 새 런에 대한 설정이 포함된 JMP 설계 테이블이 새로 생성됩니다. "테이블 생성" 대신 "테이블 확대"를 클릭하면 새 데이터 테이블을 생성하지 않고 기존 데이터 테이블에 새 런을 추가할 수 있습니다.

새 런은 더 넓은 Concentration 값 구간과 원래 실험에서 구해 사전 분포를 정의하는 데 사용되는 b1 및 b2 값 범위를 반영합니다. 둘 다 b1 및 b2의 더 정확한 추정값을 얻을 수 있습니다.

## 이항 반응에 대한 설계 생성

일부 적용 분야에서는 성공/실패(이항) 측정에 관심이 있을 수 있습니다. 이 예에서는 단일 설계 요인으로 이항 반응에 대한 비선형 설계를 구성합니다. 비선형 설정의 설계 및 특히 이항 사례에 대한 자세한 내용은 Gotwalt et al. (2009)의 내용을 기반으로 합니다.

로지스틱 연결 함수와 함께 일반화 선형 모형을 사용하여 이항 반응의 성공 확률을 단일 요인  $x$ 의 함수로 모델링하려고 합니다.

$$Y(x) = \frac{1}{1 + e^{-(\beta_0 + \beta_1 x)}}$$

$Y$ 의 분산은 가중치로 사용됩니다.

이 모형은 미지의 모수  $\beta_0$  및  $\beta_1$ 에서 비선형입니다. 비선형 설계 도구를 사용하여 실험 설계를 계획합니다. 목표는 이항 반응  $Y$ 에 대한  $x$ 의 효과를 모델링하는 것입니다.

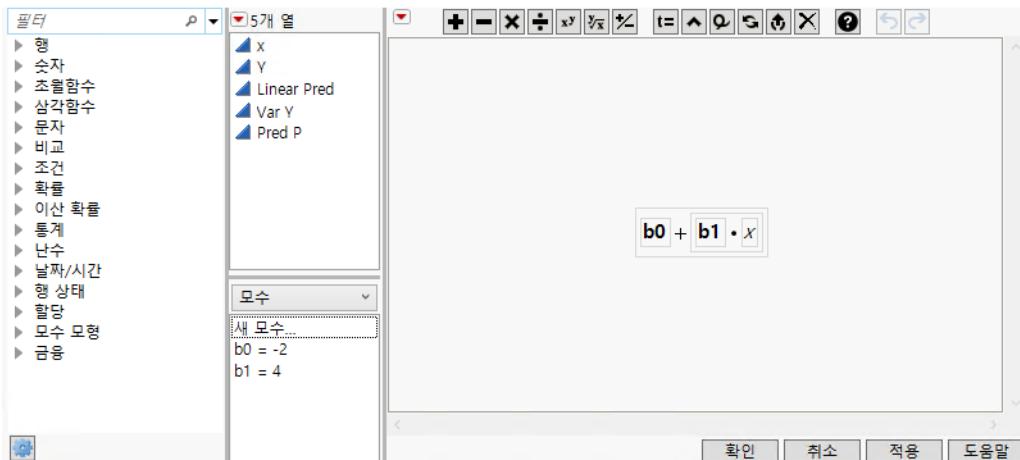
원하는 비선형 설계를 생성하려면 예측 변수 열, 적합시킬 비선형 반응 모형의 계산식 열 및 가중치 계산식 열을 포함하는 데이터 테이블이 있어야 합니다.

설계 구성을 위한 데이터 테이블

Design Experiment 폴더의 One Factor Logistic Design.jmp 데이터 테이블에는 다음 열이 포함되어 있습니다.

- 예측 변수  $x$  열. 이 열에 정의된 "코딩" 특성은 하한값과 상한값을 각각 0과 1로 설정합니다.
- 반응  $Y$  열. 이 열은 시험에서 수집된 반응 (0/1)을 포함합니다.
- 연결 함수의 선형 부분에 대한 계산식을 포함하는 Linear Pred 열. 계산식을 보려면 "열" 패널에서 Linear Pred 오른쪽의 더하기 기호를 클릭합니다. 모형 계산식에는  $b0$  및  $b1$  모수의 초기 추정값이 포함됩니다. 계산식을 정의할 때 초기 모수 값이 설정됩니다. 이러한 값은 계산식 편집기 창의 아래쪽 중간에 있는 계산식 요소 패널에 표시됩니다.

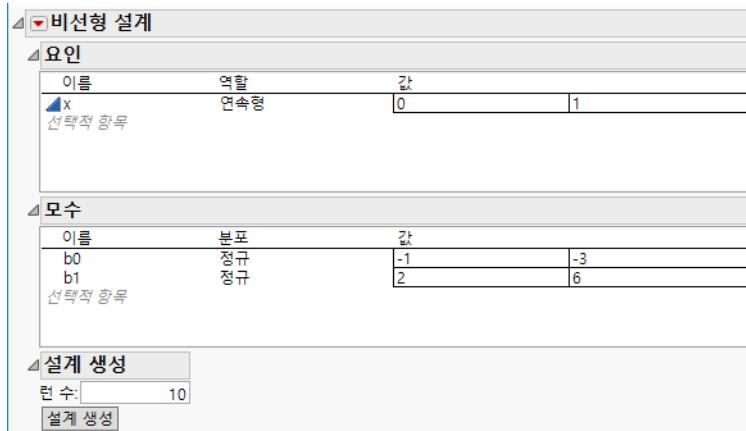
그림 23.11 모수 추정 값을 사용한 Linear Predictor 계산식



- 가정된 로지스틱 모형을 기반으로 하는 반응의 분산 계산식을 포함하는 Var Y 열 . 이 계산식은  $p(1-p)$  이며 , 여기서  $p$  는 로지스틱 함수입니다. 이 열은 가중치 열로 사용됩니다.
- 로지스틱 연결 함수를 포함하는 Pred P 열 .

## 설계 생성

1. 도움말 > 샘플 데이터 라이브러리를 선택하고 Design Experiment/One Factor Logistic Design.jmp 를 엽니다 .
2. DOE > 특수 용도 > 비선형 설계를 선택합니다 .
3. Y 를 선택하고 Y, 반응을 클릭합니다 .
4. Linear Pred 를 선택하고 X, 예측 변수 계산식을 클릭합니다 .
5. Var Y 를 선택하고 가중치를 클릭합니다 .
6. 확인을 클릭합니다 .

**그림 23.12** 비선형 설계 창

"요인" 개요에는 값이 0과 1로 지정된 x 요인이 표시됩니다. "모수" 개요에는 각 사전 분포가 정규 분포로 설정된 두 모형 모수가 표시됩니다. JMP는 모수 값의 초기 설정을 기반으로 기본값을 계산합니다. 이 개요에서 모수의 값 범위와 가정된 분포를 변경할 수 있습니다. 이 예에서는 모든 설정을 그대로 두십시오. 기본 런 수는 10입니다.

7. "비선형 설계"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **고급 옵션 > N 몬테카를로 구**를 선택합니다. 로컬 최적 설계를 생성하기 위해 구 수를 0으로 설정합니다. **확인**을 클릭합니다.
8. **설계 생성**을 클릭합니다.
9. **테이블 확대**를 클릭합니다.

이렇게 하면 10 회 런 설계가 One Factor Logistic Design.jmp에 추가됩니다(그림 23.13 참조). 최적화 알고리즘에 랜덤 성분이 있으므로 설계 테이블이 그림과 다릅니다.

**그림 23.13** One Factor Logistic Design.jmp 확대

|    | x            | Y | Linear Pred  | Var Y       |
|----|--------------|---|--------------|-------------|
| 1  | 0.8858675703 | • | 1.5434702812 | 0.145044323 |
| 2  | 0.8858675703 | • | 1.5434702812 | 0.145044323 |
| 3  | 0.8858675703 | • | 1.5434702812 | 0.145044323 |
| 4  | 0.8858675703 | • | 1.5434702812 | 0.145044323 |
| 5  | 0.1141510907 | • | -1.543395637 | 0.145051338 |
| 6  | 0.1141510907 | • | -1.543395637 | 0.145051338 |
| 7  | 0.1141510907 | • | -1.543395637 | 0.145051338 |
| 8  | 0.8858675703 | • | 1.5434702812 | 0.145044323 |
| 9  | 0.1141510907 | • | -1.543395637 | 0.145051338 |
| 10 | 0.1141510907 | • | -1.543395637 | 0.145051338 |

데이터 테이블에 저장된 모형은 설계 생성에 사용된 "Linear Pred"를 적합시키기 위한 비선형 모형입니다. 데이터를 수집한 후, Y에 대한 x 효과를 모델링하려면 로짓 연결 함수와 함께 GLM(일반화 선형 모형)을 사용합니다.

## 비선형 설계 시작 창

비선형 설계 플랫폼을 사용하려면 다음 열이 포함된 기존 데이터 테이블이 있어야 합니다.

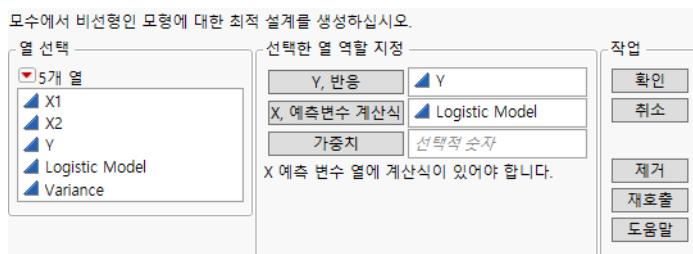
- 반응에 대한 열
- 각 요인에 대한 열
- 요인과 반응 간의 관계를 보여 주는 계산식이 포함된 열. 이 계산식은 미지의 모수를 포함해야 합니다.

계산식에 대한 자세한 내용은 JMP 사용의에서 확인하십시오.

테이블에 예측 변수 및 반응에 대한 값이 포함될 수 있습니다. 이러한 값이 포함된 경우 테이블에 내포된 설계를 확대하는 설계를 구성합니다. 예측 변수에 대해 결측값을 포함하는 행은 없습니다.

시작 데이터 테이블을 활성화하고 **DOE > 특수 용도 > 비선형 설계**를 선택합니다.

**그림 23.14** 비선형 시작 창



**Y, 반응** 반응 값에 대한 숫자 열입니다.

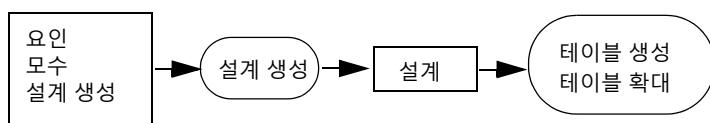
**X, 예측변수 계산식** 비선형 모형에 대한 계산식을 포함하는 숫자 열입니다. 이 계산식은 모수를 포함해야 합니다.

**가중치** (선택 사항) 관측값에 가중치를 할당하는 숫자 열입니다.

## 비선형 설계 창

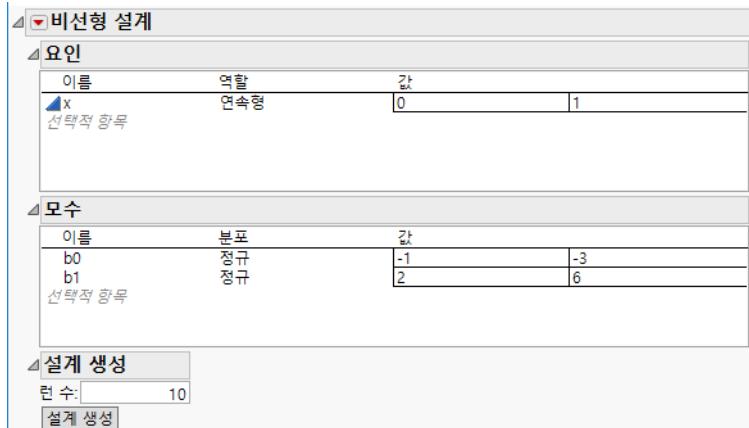
설계 단계를 진행하는 동안 "비선형 설계" 창이 업데이트됩니다. 개요는 개요를 업데이트하는 버튼을 클릭할 때 구분되어 나타나며 그림 23.15의 흐름을 따릅니다.

**그림 23.15** 비선형 설계 흐름



초기 설계 창에는 "요인", "모수" 및 "설계 생성" 개요가 표시됩니다.

**그림 23.16** 초기 설계 창



## 요인

모형 계산식에 사용된 열 이름이 "요인" 개요의 "이름" 열에 자동으로 삽입됩니다. 각 요인의 역할은 "연속형"으로 설정됩니다.

처음에는 값 요인의 값이 -1과 1로 설정됩니다. "코딩" 열 특성을 사용하여 값을 정의한 경우에는 해당 값이 대신 사용됩니다. 요인 개요에서 이 값을 변경할 수 있습니다.

## 모수

모형 계산식에 사용된 모수 이름이 "모수" 개요의 "이름" 열에 자동으로 삽입됩니다.

처음에는 각 모수의 값이 모수 정의에 지정된 초기값을 중심으로 하여 대칭 간격으로 설정됩니다. 이 간격은 초기값의 거리를 0으로 하고 초기값을 중심으로 이 너비의 간격을 구성하여 얻습니다. 이러한 값은 모형 모수에 대한 사전 분포를 정의하는 데 사용됩니다.

**참고 :** 모형 모수에 대한 불확도를 반영하기 위해 분포 선택과 함께 모수 값을 조정하십시오 .

"분포" 아래에 네 가지 계열의 사전 분포가 나열됩니다. 모수에 지정하는 값에 따라 사용되는 사전 분포 계열의 멤버가 결정됩니다. 하한값을 *low*로, 상한값을 *high*로 나타냅니다. 그러면 다음과 같이 분포가 결정됩니다.

- 균등 : 간격 (*low*, *high*)에서 균등한 분포입니다.
- 정규 , 로그 정규 , 지수 : *low* 가 0.025 분위수이고 *high* 가 0.975 분위수인 분포입니다 .

## 설계 생성

JMP 는 다음과 같이 결정된 런 수를 제안합니다.

- 데이터 테이블을 확대하지 않는 경우 런 수는 모수 수의 4 배에 2 를 더한 값입니다.
- 데이터 테이블을 확대하는 경우 런 수는 데이터 테이블의 런 수에 모수 수의 2 배를 더한 값입니다.

---

**참고 :** 설계를 확대하는 경우 JMP 에서 제안하거나 사용자가 지정하는 런 수에는 데이터 테이블의 관측값에 해당하는 런이 포함됩니다. 런 수를 적절하게 조정하십시오.

---

## 설계

"설계 생성"을 클릭하면 설계가 구성되고 "비선형 설계" 창에 "설계" 개요가 추가됩니다. "설계" 개요에서 요인 수준 설정을 검토할 수 있습니다.

## 테이블 생성 또는 확대

"테이블 생성" 버튼은 새 설계 테이블을 생성합니다. 원래 테이블에 기존 런이 포함된 경우 새 테이블에도 기존 런이 포함됩니다. **테이블 확대** 버튼은 기존 테이블에 새 런을 추가합니다.

---

## 비선형 설계 옵션

비선형 설계 플랫폼의 빨간색 삼각형 메뉴에는 다음 옵션이 포함되어 있습니다.

**반응 저장** "반응" 패널의 정보를 새 데이터 테이블에 저장합니다. 그러면 반응 및 관련 정보를 대부분의 DOE 창에 빠르게 불러올 수 있습니다. 이 옵션은 반응을 재사용할 것으로 예상하는 경우 유용합니다.

**반응 불러오기** 사용할 수 없음

**요인 저장** "요인" 패널의 정보를 새 데이터 테이블에 저장합니다. 각 요인의 열에는 수준이 포함됩니다. 다른 정보는 열 특성으로 저장됩니다. 그러면 요인 및 관련 정보를 대부분의 DOE 창에 빠르게 불러올 수 있습니다.

**요인 불러오기** 사용할 수 없음

**제약 조건 저장** 사용할 수 없음

**제약 조건 불러오기** 사용할 수 없음

**반응 시뮬레이션** 반응 값을 설계 테이블에 추가합니다. "테이블 생성" 을 클릭하기 전에 이 옵션을 선택하십시오. 그러면 결과 설계 테이블의 반응 열에 시뮬레이션된 값이 포함됩니다.

**참고 :** 반응을 항상 시뮬레이션하도록 환경 설정을 지정하려면 파일 > 환경 설정 > 플랫폼 > DOE 를 선택한 후 반응 시뮬레이션을 선택하십시오.

**시작 수** 구적법을 사용하여 비선형 설계가 생성되는 횟수를 설정합니다. 생성된 설계 중에서 최적 기준을 최대화하는 설계가 선택됩니다.

**고급 옵션 > 몬테카를로 표본 수** 최적 기준 계산에 사용되는 구당 팔각면 수를 설정합니다. 기본 값은 팔각면 1 개입니다. 자세한 내용은 "최적 기준의 방사형 - 구형 적분"(651 페이지)에서 확인하십시오.

**고급 옵션 > N 몬테카를로 구** 최적 기준 계산에 사용되는 0 이 아닌 반지름 값의 수를 설정합니다. 기본값은 2 입니다. 자세한 내용은 "최적 기준의 방사형 - 구형 적분"(651 페이지)에서 확인하십시오.

**참고 :** "N 몬테카를로 구"(반지름 수)를 0 으로 설정하면 중앙점만 계산에 사용됩니다. 이렇게 하면 모두의 초기값에 최적인 로컬 설계가 제공됩니다. 상황에 따라 이 방법이 적절할 수 있습니다.

## 비선형 설계에 대한 통계 상세 정보

- "비선형 모형"
- "최적 기준의 방사형 - 구형 적분"
- "최적 설계 찾기"

### 비선형 모형

$n$  개 반응의 벡터를  $\mathbf{Y} = (Y_1, Y_2, \dots, Y_n)$  '으로 나타냅니다. 비선형 모형은 다음 특성에 의해 정의 됩니다.

- $Y_i$  는 독립적이며 지수 계열 분포와 같은 분포를 따릅니다.
- 예측 변수 값  $\mathbf{x}_i$  의 벡터가 제공된 경우 각  $Y_i$  의 기대값은 모두  $\theta$  의 비선형 함수입니다. 이 함수를 다음과 같이 나타냅니다.

$$E(Y_i(\mathbf{x})) = f(\theta, \mathbf{x}_i)$$

- 각  $Y_i$  는 다음과 같이 나타냅니다.

$$Y_i = f(\theta, \mathbf{x}_i) + \varepsilon_i$$

- 오차 벡터  $\varepsilon = (\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_n)$  '의 평균은  $\mathbf{0}$  이고 공분산 행렬은  $\sigma^2 \mathbf{I}$  입니다. 여기서  $\mathbf{I}$  는  $n \times n$  단위 행렬입니다.

모수  $\theta$  와 관련하여 함수  $f$ 의 첫 번째 편도함수 행렬을  $X$ 로 나타냅니다. 일반적인 조건에서  $\theta$ 의 최소 제곱 추정량은 다음과 같이 지정된 점근 공분산 행렬을 사용하여 점근적 비편향입니다.

$$Cov(\hat{\theta}) = \sigma^2 (X'X)^{-1}$$

이 결과에 대한 증명은 Wu(1981) 및 Jennrich(1969)에서 확인하십시오.

## 최적 기준의 방사형 - 구형 적분

최적 기준은 사전 분포와 관련한 정보 행렬의 행렬식에 대한 로그 기대값입니다. 따라서 최적의 비선형 설계를 찾으려면 모수 사전 분포에 대한 Fisher 정보 행렬의 행렬식에 대한 로그 적분을 최대화해야 합니다. 이 적분은 수치로 계산되어야 합니다. 비선형 설계 플랫폼에 사용되는 방법은 Gotwalt et al. (2009)의 내용을 기반으로 합니다.

사전 분포가 정규 분포인 경우 적분은 방사형 방향 하나와 모수 수에서 1을 뺀 값과 동일한 여러 각 방향으로 다시 파라미터화됩니다. 적분의 방사형 부분은 반지름 = 0에 대한 결과와 함께 Radau-Gauss-Laguerre 구적을 사용하여 계산됩니다. 이는 특정 수의 초팔각면(hyperoctahedra)을 구성하여 각각 무작위로 회전하는 방법으로 수행됩니다.

사전 분포가 정규 분포가 아닌 경우에는 새 모수가 정규 분포를 따르도록 적분이 다시 파라미터화됩니다. 그런 다음 방사형-구형 적분 방법이 적용됩니다.

---

**참고:** 모수에 대한 사전 분포가 해에 적합하지 않고 프로세스가 실패하면 모수 공간의 영역에서 Fisher 정보 행렬이 특이하다는 메시지가 창에 추가됩니다. 이 경우에는 사전 분포 또는 모수 범위를 변경해 보십시오.

---

## 최적 설계 찾기

최적 설계를 찾는 데 사용되는 방법은 Meyer and Nachtsheim(1995)에 설명된 좌표 교환 알고리즘과 유사합니다. 비선형 최적 설계를 구하는 방법에 대한 자세한 내용은 Gotwalt et al. (2009)에서 확인하십시오. 일반적 방법은 다음과 같이 진행됩니다.

- 비특이 시작 설계를 찾을 때까지 랜덤 설계를 시험합니다.
- 반복이 수행됩니다. 각 반복은 모든 런을 통과하도록 구성됩니다.
- 각 런에 대해 요인이 한 번에 하나씩 최적화됩니다.
- 목적 함수는 베이지안 D-최적 기준입니다. 이 기준은 사전 분포와 관련한 정보 행렬의 행렬식에 대한 로그 기대값입니다.
- 목적 함수의 변화가 작으면 반복이 종료됩니다.



## 균형 불완비 블록 설계

모든 처리 또는 요인 조합을 모든 블록에 포함할 수 없을 때 균형 불완비 블록 설계(BIBD)를 사용할 수 있습니다. 한 블록에서  $k$ 개 처리만 실행할 수 있는 경우,  $b$ 개 블록에서  $a$ 개 처리( $k < a$ )를 시험하기 위해 BIBD를 사용합니다. 예를 들어 동시에 시험할 수 있는 처리 수에 제한이 있을 수 있습니다. BIBD 설계는 각 처리 및 처리 쌍이 블록에 동일한 횟수로 함께 나타날 수 있게 구성됩니다. 이렇게 하면 균형 설계가 됩니다. 모든 블록에 모든 처리를 포함하지 않으면 불완비 설계가 됩니다.

균형 불완비 블록 설계 플랫폼을 사용하면 BIBD를 구성할 수 있습니다. 또한 각 처리가 모든 블록에 나타나는 완비 블록 설계도 구성할 수 있습니다.

**그림 24.1** 크기 3의 4 개 블록에서 4 개 처리에 대한 BIBD

| 설계 |    |    |    |  |
|----|----|----|----|--|
| 블록 |    |    |    |  |
| 1  | L2 | L3 | L4 |  |
| 2  | L3 | L4 | L1 |  |
| 3  | L4 | L1 | L2 |  |
| 4  | L1 | L2 | L3 |  |

## 목차

|                                 |     |
|---------------------------------|-----|
| 균형 불완비 블록 설계의 예 .....           | 655 |
| 균형 불완비 블록 설계 생성 .....           | 657 |
| 처리, 블록 지정 및 설계 생성 .....         | 657 |
| 설계 확인 및 테이블 생성 .....            | 658 |
| 균형 불완비 블록 설계 옵션 .....           | 658 |
| 균형 불완비 블록 설계에 대한 통계 상세 정보 ..... | 659 |

## 균형 불완비 블록 설계의 예

이 예에서는 플랜트의 세 가지 새 제품 배합을 시험하고 일별로 블록화하려고 합니다. 하루에 실행할 수 있는 배합 수는 두 개로 제한됩니다. 또한 일주일(작업 주) 안에 실험을 완료해야 합니다. 최대 5 개의 블록이 있는 설계가 필요합니다.

1. **DOE > 특수 용도 > 균형 불완비 블록 설계**를 선택합니다.
2. "처리 크기"를 3으로 설정합니다.

**팁 :** 처리 크기는 단일 요인의 수준 수 또는 둘 이상 요인의 수준 조합을 나타낼 수 있습니다.

3. **블록 크기**에 2를 선택합니다.
4. **허용 가능한 블록**에 3을 선택합니다.

3개 또는 6개 블록을 선택할 수 있습니다. 이 예에서는 각 블록이 하루이므로 5일 또는 5개 블록을 초과할 수 없습니다. 크기가 2인 블록이 3개이므로 런 수는 6입니다.

**참고 :** "처리 이름", "블록 이름" 및 "처리 라벨"을 입력하여 설계 테이블을 사용자 정의할 수 있습니다.

5. **설계 생성**을 클릭합니다.

**그림 24.2** 크기 2의 3개 블록에서 3개 처리에 대한 BIBD

The screenshot shows the Minitab software interface for setting up a BIBD (Balanced Incomplete Block Design). The process is as follows:

- Step 1:** Under "Design Options", "Treatment" section, "Treatment Name" is set to "처리", "Treatment Size" is set to 3, and "Treatment Labels" are L1, L2, L3.
- Step 2:** Under "Design Options", "Block" section, "Block Name" is set to "블록", "Block Size" is set to 2, and "Allowable Block Sizes" are 3 and 6. The checkbox "Include Block Size in Allocation" is checked, and "Allocation Size" is set to 3.
- Step 3:** Under "Design Generation", "Block Design" section, the resulting BIBD allocation is displayed in a table:

| Run | Block | Treatment |
|-----|-------|-----------|
| 1   | 1     | L2        |
| 2   | 1     | L3        |
| 3   | 2     | L3        |
| 4   | 2     | L1        |
| 5   | 3     | L1        |
| 6   | 3     | L2        |

- Step 4:** Under "Design Generation", "Design" and "Randomization" buttons are visible.

"블록 설계" 개요에서 볼 수 있듯이 설계의 런 수는 6이며 각 블록에 처리가 2 개씩 포함된 3 개의 블록으로 구성됩니다. 다른 설계 정보를 더 보려면 "설계" 및 "따름 행렬" 개요를 엽니다. 자세한 내용은 "설계 확인 및 테이블 생성"(658 페이지)에서 확인하십시오.

원래 블록이 3 개 또는 6 개인 설계를 선택해야 합니다. 플랜트 시간 제약 조건 때문에 3 개의 블록을 선택했습니다. 그러나 실험을 6 일 동안 실행할 수 있다고 가정해 보겠습니다. 그러면 6 개의 블록을 사용하도록 설계를 업데이트할 수 있습니다.

6. **허용 가능한 블록** 메뉴에서 6을 선택합니다.
7. **설계 생성**을 클릭하여 설계를 업데이트합니다.
8. **따름 행렬** 개요를 엽니다.

**그림 24.3** 크기 2 의 6 개 블록에서 3 개 처리에 대한 BIBD 설계 상세 정보

The screenshot shows three tables generated by the software:

| 따름 행렬 |    |    |    |
|-------|----|----|----|
| 블록    | L1 | L2 | L3 |
| 1     | 1  | 0  | 1  |
| 2     | 1  | 0  | 1  |
| 3     | 0  | 1  | 1  |
| 4     | 0  | 1  | 1  |
| 5     | 1  | 1  | 0  |
| 6     | 1  | 1  | 0  |

| 쌍별 처리 빈도 |    |    |    |
|----------|----|----|----|
| 처리       | L1 | L2 | L3 |
| L1       | 4  | 2  | 2  |
| L2       |    | 4  | 2  |
| L3       |    |    | 4  |

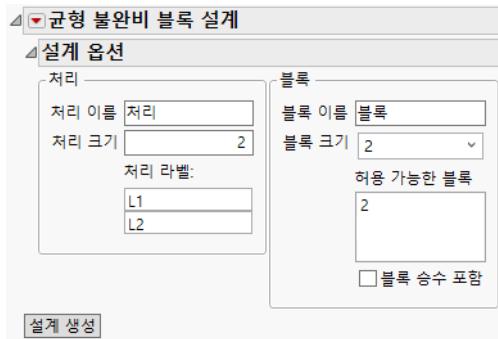
| 위치 빈도 |    |   |
|-------|----|---|
| 처리    | 위치 |   |
| L1    | 1  | 2 |
| L2    | 4  | 0 |
| L3    | 2  | 2 |
|       | 0  | 4 |

이제 설계에 6개의 블록이 있습니다. 따름 행렬은 각 블록의 처리를 보여 줍니다. "쌍별 처리 빈도"를 보면 설계에서 각 처리가 네 번(주대각 항목) 나오고 각 처리 쌍이 두 번(비대각 항목) 나온다는 것을 알 수 있습니다. 각 블록에는 두 개의 위치가 있습니다. "위치 빈도"를 보면 처리 L1은 항상 위치 1에 나오고, L2는 두 위치 사이에 나뉘고, L3은 위치 2에 나온다는 것을 알 수 있습니다.

## 균형 불완비 블록 설계 생성

DOE > 특수 용도 > 균형 불완비 블록 설계를 선택하여 균형 불완비 블록 설계를 생성합니다.

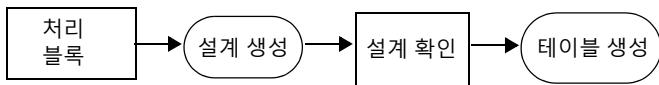
**그림 24.4** 균형 불완비 블록 설계 창



"열 선택"의 빨간색 삼각형 메뉴에 포함된 옵션에 대한 자세한 내용은 JMP 사용의에서 확인하십시오.

설계를 진행하는 동안 균형 불완비 블록 설계 창이 업데이트됩니다. BIBD를 생성하는 단계는 그림 24.5의 흐름을 따릅니다.

**그림 24.5** 균형 불완비 블록 설계 흐름



### 처리, 블록 지정 및 설계 생성

"설계 옵션" 개요에는 다음 옵션이 포함되어 있습니다.

**처리 이름** 처리 요인의 이름입니다.

**처리 크기** 처리 수입니다.

**팁:** 처리는 요인 수준 조합일 수 있습니다.

**처리 라벨** 처리에 사용할 라벨입니다. 기본적으로 L1 ~ La 라벨이 지정되며, 여기서 a는 총 처리 수입니다.

**블록 이름** 블록 요인의 이름입니다.

**블록 크기** 한 블록에서 실행할 수 있는 처리 수입니다.

**참고 :** 블록 크기 값은 처리 수에 따라 결정됩니다. 목록에 값이 없으면 BIBD 플랫폼에서 지정된 처리 수에 대해 해당 블록 크기의 설계를 생성할 수 없기 때문입니다.

**허용 가능한 블록** 처리 수와 블록 크기에 따라 설계에 허용되는 블록 수입니다.

**블록 승수 포함** 허용 가능한 초기 블록 크기의 배수 (사용자 지정) 와 동일한 수의 블록을 포함하는 설계를 선택할 수 있습니다. 추가(배수) 블록은 원래 설계의 순환 순열입니다.

**승수 지정** ("블록 승수 포함" 을 선택한 경우에만 사용 가능) 허용 가능한 초기 블록 크기에 적용할 승수입니다.

**설계 생성** 설계를 생성합니다.

## 설계 확인 및 테이블 생성

**블록 설계** BIBD 를 기준 설계 레이아웃으로 표시합니다.

**테이블 생성** BIBD 데이터 테이블을 생성합니다.

**순서 열 포함** 각 블록 내의 런 순서에 대한 열을 설계 테이블에 포함합니다.

**설계** BIBD 를 각 행이 블록 및 해당 블록의 처리를 나타내는 블록 레이아웃으로 표시합니다.

**파름 행렬** 각 블록에 나오는 처리를 보여 줍니다. 행렬의 각 행은 설계의 블록에 해당하며 해당 블록에 처리가 있으면 1, 없으면 0 을 포함합니다.

**쌍별 처리 빈도** 각 처리가 다른 모든 처리와 함께 같은 블록에 나오는 횟수를 비대각 항목에 표시합니다. 주대각 항목은 각 처리의 총 발생 횟수입니다.

**위치 빈도** 각 처리가 각 블록 위치에 나오는 횟수를 표시합니다.

## 균형 불완비 블록 설계 옵션

균형 불완비 블록 설계 플랫폼의 빨간색 삼각형 메뉴에는 다음 옵션이 포함되어 있습니다.

**반응 시뮬레이션** 시뮬레이션 계산식을 포함하는 열과 반응 값을 설계 테이블에 추가합니다. "테이블 생성" 을 클릭하기 전에 이 옵션을 선택하십시오.

"테이블 생성" 을 클릭하면 다음과 같은 결과가 나타납니다.

- 시뮬레이션된 반응 값 집합이 각 반응 열에 추가됩니다.
- 각 반응에 대해 시뮬레이션 모형 계산식을 포함하는 새 열이 설계 테이블에 추가됩니다. 계산식과 같은 설계 창에 지정된 모형에 기초합니다.
- 모형 효과에 대한 계수 값을 설정하고 정규, 이항 또는 Poisson 분포 중 하나를 지정할 수 있는 "모형" 창이 나타납니다.

**참고 :** 모든 설계 유형에 모든 분포를 사용할 수 있는 것은 아닙니다.

- **DOE 시뮬레이션** 스크립트가 설계 테이블에 저장됩니다. 이 스크립트는 값을 다시 시뮬레이션하거나 시뮬레이션된 반응 분포를 변경할 수 있도록 "모형" 창을 다시 엽니다.

"모형" 창에서 시뮬레이션된 반응 값의 분포를 제어하는 옵션을 선택합니다. "적용" 을 클릭하면 시뮬레이션된 반응 값의 계산식이 <Y> 시뮬레이션이라는 새 열에 저장됩니다. 여기서 Y는 반응 이름입니다. "적용" 을 다시 클릭하면 <Y> 시뮬레이션의 계산식과 값이 업데이트됩니다.

자세한 내용은 "사용자 설계" 장의 "[반응 시뮬레이션](#)"(103 페이지)에서 확인하십시오.

**참고 :** **JMP<sup>®</sup> PRO** "반응 시뮬레이션" 을 사용하면 JMP Pro 시뮬레이션 기능을 사용하여 시뮬레이션 분석을 수행할 수 있습니다. 자세한 내용과 DOE 예는 기본 분석의 "시뮬레이션" 장에서 확인하십시오.

**스크립트를 스크립트 창에 저장** "균형 불완비 블록 설계" 창에서 지정한 설계의 스크립트를 생성한 후 열린 스크립트 창에 저장합니다.

## 균형 불완비 블록 설계에 대한 통계 상세 정보

BIBD의 총 관측값 수는 다음 방정식에 의해 결정됩니다.

$$N = ar = bk$$

다음은 각 요소에 대한 설명입니다.

$a$ 는 처리 수입니다.

$r$ 는 설계에서 각 처리가 나타나는 횟수입니다.

$b$ 는 블록 수입니다.

$k$ 는 각 블록의 처리 수입니다.

각 처리 쌍이 나타나는 블록 수는 다음과 같이 구합니다.

$$\lambda = \frac{r(k-1)}{a-1}$$

여기서  $\lambda$ 는 정수여야 합니다.

이러한 조건은 BIBD가 존재하는 데 필요하지만 충분하지는 않습니다. BIBD 플랫폼은 BIBD를 생성할 수 있는 값을 제공합니다.

"블록 승수 포함"을 선택하면 원래 BIBD가 지정된 횟수만큼 복사됩니다. 추가(배수) 블록은 원래 설계의 순환 순열입니다. 복사된 설계에서 처리 위치는 원래 설계와 다릅니다.

BIBD에 대한 자세한 내용은 SAS Institute Inc. (2013)에서 확인하십시오.



# 25 장

## MSA 설계

### 측정 시스템 분석 실험에 대한 설계 생성

Gage R&R 연구라고도 하는 측정 시스템 분석 실험은 완전 요인 설계를 기반으로 합니다. MSA 플랫폼은 MSA(측정 시스템 분석) 실험에 대한 완전 요인 설계를 생성하고 설계 진단 측도를 제공합니다. MSA 실험 분석에 대한 내용은 **Quality and Process Methods**의 에서 확인하십시오.

그림 25.1 MSA 요인 설정

| 이름    | MSA 역할 | 수준 수 | 분산 | 랜덤화 |
|-------|--------|------|----|-----|
| ■ 연산자 | 연산자    | 5    | 1  | 예   |
| ■ 부품  | 부품     | 3    | 1  | 예   |
| ■ 게이지 | 게이지    | 3    | 1  | 예   |

## 목차

|                      |     |
|----------------------|-----|
| MSA 설계 개요            | 663 |
| MSA 설계의 예            | 663 |
| MSA 설계 생성            | 665 |
| 반응                   | 666 |
| 요인                   | 668 |
| MSA 설계               | 668 |
| MSA 설계 진단            | 668 |
| MSA 설계 테이블           | 669 |
| MSA 설계 옵션            | 670 |
| MSA 설계 플랫폼의 통계 상세 정보 | 671 |

## MSA 설계 개요

MSA(측정 시스템 분석) 설계는 요인이 임의 효과인 완전 요인 설계입니다. 이 연구의 초점은 반응에서 각 요인으로 인해 발생한 변동을 추정하는 것입니다. MSA 설계 플랫폼은 MSA 연구와 관련된 진단 측도가 포함된 완전 요인 설계를 생성합니다.

## MSA 설계의 예

이 예에서는 기기와 작업자로 인해 발생하는 측정 시스템의 변동을 연구하려고 합니다. 연구실에 2개의 저울이 있고 4명의 작업자가 이 연구에 참여합니다. 표준 부품 5개로 이루어진 한 세트의 무게를 측정하려고 하며, 각 작업자는 각 기기에서 각 부품을 6번씩 측정합니다. 이전의 변동 추정값이 없으므로 분산 값 1을 기반으로 실험을 설계합니다. 이 분산 값은 진단에서 실제 변동으로 척도화됩니다.

1. **DOE > 특수 용도 > MSA 설계**를 선택합니다.
2. 반응 Y에 대한 목표를 **목표값 일치**로 설정합니다.
3. 작업자의 **수준 수**를 4로 설정합니다.
4. 부품의 **수준 수**를 5로 설정합니다.
5. 게이지의 **수준 수**를 2로 설정합니다.
6. **반복 실험 수**를 5로 설정하여 각 설계 런에 6개의 측정값을 포함시킵니다.

그림 25.2 요인 설정

| 반응 이름 | 목표  | 하한   | 상한  | 중요도 | 감지 하한 | 감지 상한 |
|-------|-----|------|-----|-----|-------|-------|
| Y     | 최대화 | -4.5 | 4.5 |     |       |       |

| 요인                             |          |      |    |     |  |
|--------------------------------|----------|------|----|-----|--|
| 요인 추가                          | N개 요인 추가 | 제거   |    |     |  |
| <input type="checkbox"/> 수준 표시 |          |      |    |     |  |
| 이름                             | MSA 역할   | 수준 수 | 분산 | 랜덤화 |  |
| 연산자                            | 연산자      | 4    | 1  | 예   |  |
| 부품                             | 부품       | 5    | 1  | 예   |  |
| 게이지                            | 게이지      | 2    | 1  | 예   |  |

반복 실험 수: 5

7. **수준 표시**를 선택합니다.
8. 그림 25.3에 표시된 대로 요인 값을 편집합니다.

**그림 25.3 요인 값**

| 요인                                        |     |          |           |
|-------------------------------------------|-----|----------|-----------|
| 요인 추가                                     |     | N개 요인 추가 | 제거        |
| <input checked="" type="checkbox"/> 수준 표시 |     |          |           |
| 이름                                        | 역할  | 값        |           |
| ▼ 연산자                                     | 별주형 | A        | B         |
| ▼ 부품                                      | 별주형 | C        | D         |
| ▼ 게이지                                     | 별주형 | 1        | 2         |
|                                           |     | 3        | 4         |
|                                           |     | LabA     | 5<br>LabB |

**참고 :** 9 단계에서 "난수 시드값" 을 설정하면 이 예에 표시된 것과 같은 설계와 진단이 재현됩니다.

9. (선택 사항) MSA 의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **난수 시드값 설정**을 선택한 다음 123 을 입력 합니다.

10. 설계 생성을 클릭합니다.

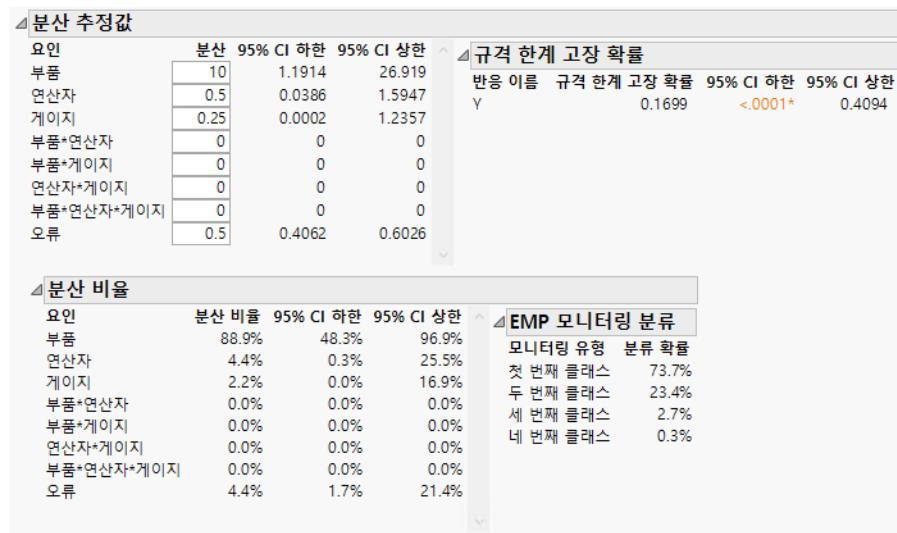
**참고 :** 테이블 생성을 클릭하여 데이터를 수집하기 위한 테이블을 생성합니다. 설계 테이블에 포함된 분석 스크립트에 대한 내용은 "[MSA 설계 테이블](#)"(669페이지)에서 확인하십시오.

11. "설계 진단" 개요가 나타날 때까지 아래로 스크롤한 후 회색 표시 아이콘을 클릭하여 엽니다.

"설계 진단" 보고서에는 가정된 분산에 대한 설정이 포함되며, 이 설정은 신뢰 구간, 분산 비율 및 EMP 모니터링 분류를 추정하는 데 사용됩니다. 이러한 추정값은 MSA 연구 설계의 강도를 평가하는 데 사용됩니다. 다른 분산 가정을 탐색하거나 **뒤로** 버튼을 사용하여 설계를 조정합니다.

12. 요인의 기대 분산을 조정하여 설계 진단에 미치는 영향을 탐색합니다. 작업자 분산을 0.5, 부품 분산을 10 그리고 게이지 분산을 0.25 로 설정합니다.

그림 25.4 MSA 설계 진단

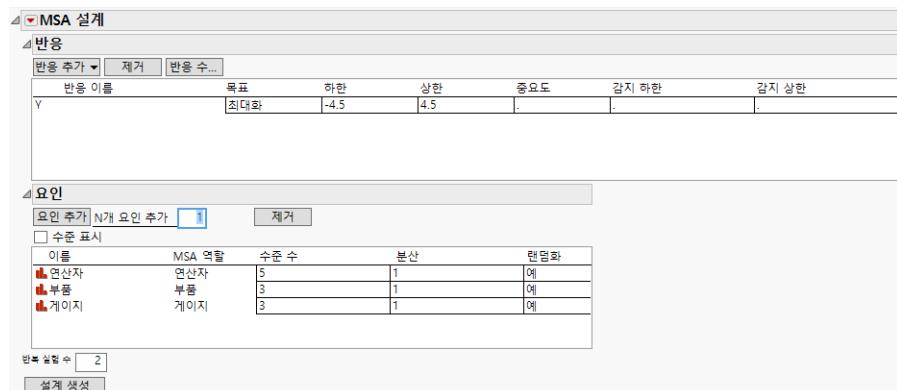


모든 진단은 적합한 평균 제곱의 표집 분산을 사용하여 계산된 시뮬레이션을 기반으로 합니다.  
분산 추정 가정을 기반으로 하는 이 연구는 첫 번째 클래스에서 진행한 결과 78%의 확률이 나왔습니다.

## MSA 설계 생성

DOE > 특수 용도 > MSA 설계를 선택하여 MSA 설계를 생성합니다.

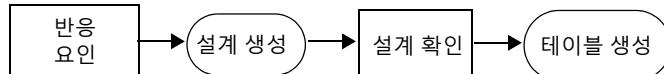
그림 25.5 MSA 설계 창



"열 선택"의 빨간색 삼각형에 있는 옵션에 대한 자세한 내용은 JMP 사용의에서 확인하십시오.

MSA 설계 창은 설계 단계를 진행하는 동안 업데이트됩니다. MSA 설계를 생성하는 단계는 그림 25.6의 흐름을 따릅니다.

**그림 25.6** MSA 설계 흐름

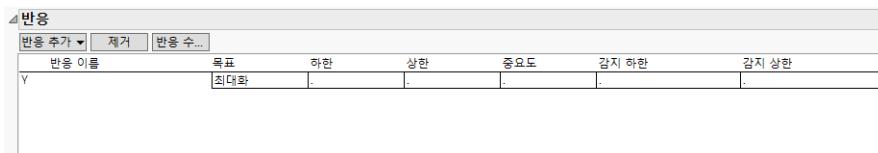


## 반응

"반응" 개요를 사용하여 하나 이상의 반응을 지정합니다.

**팁 :** "반응" 개요를 완료하면 빨간색 삼각형 메뉴에서 **반응 저장**을 선택하는 것이 좋습니다. 이 옵션을 사용하면 반응 이름, 목표, 한계 및 중요도 값을 데이터 테이블에 저장하여 나중에 DOE 플랫폼에서 다시 불러올 수 있습니다.

**그림 25.7** 반응 개요



**반응 추가** "최대화", "목표값 일치", "최소화", "없음" 또는 "함수" 목표 유형을 사용하여 단일 반응을 입력합니다. "목표값 일치"를 선택하는 경우 목표값 한계를 입력해야 합니다. "최대화" 또는 "최소화"를 선택하는 경우에는 한계를 입력할 필요가 없지만 만족도 함수를 사용하려면 입력하는 것이 유용할 수 있습니다.

**JMP PRO** **함수** (JMP Pro에서만 사용할 수 있음) 설계 데이터 테이블에 FDE 열 특성을 가진 여러 개의 Y 열을 추가합니다. 이러한 열은 DOE 요인을 보조 요인으로 사용하는 함수 데이터 탐색기 플랫폼에 사용할 수 있습니다.

**제거** 선택한 반응을 제거합니다.

**반응 수** 입력한 수가 총 반응 수가 되도록 추가 반응을 입력합니다. 기본값 Y 이외의 반응을 입력한 경우 각 추가 반응의 목표는 마지막에 입력한 반응과 관련된 목표입니다. 그렇지 않은 경우에는 기본적으로 "목표값 일치"로 설정됩니다. 테이블에서 "목표" 유형을 클릭하여 목표를 변경할 수 있습니다.

"반응" 개요에는 다음과 같은 열이 포함되어 있습니다.

**반응 이름** 반응의 이름입니다. 반응을 추가하면 Y, Y2 등의 기본 이름이 지정됩니다. 이 이름을 변경하려면 이름을 두 번 클릭한 후 원하는 이름을 입력합니다.

**목표, 하한, 상한** "목표"는 반응 최대화, 반응 최소화, 목표값 일치 또는 반응 목표 없음 중에서 무엇을 원하는지 JMP에 알려 줍니다. JMP는 이러한 지정에 따라 설계 테이블의 각 반응

열에 "반응 한계" 열 특성을 할당합니다. 이 정보를 사용하여 각 반응에 대한 만족도 함수를 정의합니다. "프로파일러" 및 "등고선 프로파일러"는 만족도 함수를 사용하여 최적 요인 설정을 찾습니다. 자세한 내용은 **profilers**의 "Profiler" 장 및 "열 특성" 부록의 "반응 한계"(730 페이지)에서 확인하십시오.

- "최대화" 목표는 가장 큰 값이 가장 좋음을 나타냅니다. 자연 하한 또는 상한이 있는 경우 이를 "하한" 또는 "상한"으로 지정할 수 있습니다.
- "최소화" 목표는 가장 작은 값이 가장 좋음을 나타냅니다. 자연 하한 또는 상한이 있는 경우 이를 "하한" 또는 "상한"으로 지정할 수 있습니다.
- "목표값 일치" 목표는 특정 목표값이 가장 좋음을 나타냅니다. 기본 목표값은 하한과 상한의 중간으로 가정됩니다.
- "없음" 목표는 최적화에 관한 목표가 없음을 나타냅니다. 만족도 함수가 구성되지 않습니다.

---

**참고:** 목표 반응이 하한과 상한의 중간이 아닌 경우에는 설계 테이블을 생성한 후 목표값을 변경할 수 있습니다. 데이터 테이블에서 반응 열의 "열 정보" 창을 열고 (**열 > 열 정보**) 원하는 목표값을 입력하십시오.

---

**중요도** 반응이 여러 개인 경우 지정한 중요도 값을 사용하여 전체 만족도 함수를 계산합니다. 이러한 값은 반응에 대한 가중치로 처리됩니다. 반응이 하나뿐이면 기본적으로 1로 설정되므로 중요도를 지정할 필요가 없습니다.

**JMP PRO** **감지 한계** 하한 및 상한 감지 한계는 반응을 측정할 수 있는 경계를 정의하며 이 경계를 벗어나면 반응을 측정할 수 없습니다. 감지 한계는 열 특성으로 저장됩니다. 이러한 한계를 사용하여 일반화 회귀 플랫폼에서 중도절단 반응을 지정할 수 있습니다. 자세한 내용은 선형 모형 적합의 일반화 회귀 장에서 확인하십시오.

### 반응 개요 편집

"반응" 개요에서 다음 사항에 유의하십시오.

- 반응 이름을 편집하려면 해당 반응을 두 번 클릭합니다.
- 목표를 클릭하여 변경할 수 있습니다.
- 한계 또는 중요도 가중치를 클릭하여 변경할 수 있습니다.
- 반응이 여러 개인 경우 중요도 가중치 값을 입력할 수 있습니다.

### 반응 한계 열 특성

반응을 입력할 때 지정하는 "목표", "하한", "상한" 및 "중요도"를 사용하여 최적 요인 설정을 찾습니다. 각 반응에 대한 정보는 생성된 설계 데이터 테이블에 "반응 한계" 열 특성으로 저장됩니다. JMP에서는 이 정보를 사용하여 만족도 함수를 정의합니다. 만족도 함수는 최적 요인 설정을 찾기 위해 "예측 프로파일러"에서 사용됩니다. "반응 한계" 열 특성에 대한 자세한 내용과 사용 예는 "열 특성" 부록의 "반응 한계"(730페이지)에서 확인하십시오.

하한과 상한을 지정하지 않으면 JMP는 반응에 대해 관측된 데이터 범위를 사용하여 만족도 함수의 한계를 정의합니다. 하한과 상한을 지정하면 만족도 함수의 규격을 제어할 수 있습니다. 만족도 함수 구성에 대한 자세한 내용은 **Profilers**의 "Profiler" 장에서 확인하십시오.

## 요인

"요인" 개요는 기본적으로 5명의 작업자, 3개의 부품 및 3개의 게이지 연구로 설정됩니다.

---

**참고 :** MSA 설계 프로그램에는 부품 역할을 하는 최소 1 개의 요인이 필요합니다.

---

**요인 추가** 하나 이상의 요인을 추가하려면 클릭합니다.

**제거** 선택한 요인을 제거합니다.

**N 개 요인 추가** 여러 요인을 추가합니다. 추가할 요인 수를 입력하고 **요인 추가**를 클릭합니다.

**수준 표시** 요인 수준을 표시하려면 선택합니다. 이 옵션을 선택하면 다음 옵션을 사용할 수 있습니다.

**이름** 요인 이름이며, 수준을 추가할 수 있는 메뉴가 있습니다.

**역할** 범주형 요인에 고정됩니다. MSA 요인은 기본적으로 범주형입니다.

**값** 요인 수준을 지정하며, 클릭하여 편집할 수 있습니다.

**이름** 요인 이름을 지정하며, 클릭하여 편집할 수 있습니다. 처음에는 3 개의 요인 즉, 작업자, 부품 및 게이지가 목록에 나타납니다. 이 목록에서 요인을 추가하거나 제거할 수 있습니다.

**MSA 역할** 요인의 MSA 역할을 지정합니다. 클릭하여 "작업자", "부품", "게이지" 또는 "없음" 을 선택할 수 있습니다.

**수준 수** 요인의 수준 수를 지정합니다.

**분산** 요인으로 인한 사전 확률을 지정합니다. 기본값은 1이며, 이 값은 진단에서 실제 변동으로 척도화됩니다.

**랜덤화** 설계 테이블에서 요인을 랜덤화하도록 지정합니다.

**반복 실험 수** 설계에 포함할 0~10 의 반복 실험 횟수를 지정합니다. 반복 실험 수는 초기 측정 이외에 추가되는 측정 횟수입니다. 기본값은 2 번 반복이므로 결국 각 런에 대해 3 번 측정하게 됩니다. 런당 한 번만 측정하도록 지정하면 반복 횟수를 0 으로 설정합니다.

## MSA 설계

"설계" 개요는 MSA 설계에 대한 런을 보여 줍니다.

## MSA 설계 진단

"설계 진단" 보고서의 모든 진단은 적절한 평균 제곱의 표집 분산을 사용하여 계산된 시뮬레이션을 기반으로 합니다. 각 모형 요소의 분산 추정값을 변경할 수 있습니다. 분산 추정값이 변경

되면 설계 진단이 업데이트됩니다. 따라서 해당 설계가 다른 가정된 모형 하에서 시스템을 어떻게 측정하는지 그 성능을 탐색할 수 있습니다.

## MSA 설계 분산 추정값

분산 추정값 보고서를 사용하면 각 MSA 모형 요인의 분산 추정값을 지정할 수 있습니다. 진단은 분산 추정값을 기반으로 하며 시뮬레이션된 CI(신뢰 구간) 경계를 포함합니다. 또한 시뮬레이션된 추정값 및 CI 경계는 규격을 벗어난 반응의 확률에도 제공됩니다. 이러한 규격은 반응에 대해 설정된 하한 및 상한에 의해 결정됩니다.

## MSA 설계 분산 비율

"분산 비율" 보고서에는 추정된 분산을 기반으로 하는 추정 분산 비율에 대한 진단이 들어 있습니다. 이 보고서에는 또한 시뮬레이션된 근사 CI 경계와 측정 시스템 EMP 분류 확률이 포함되어 있습니다. EMP 분류에 대한 자세한 내용은 *Quality and Process Methods*의 에서 확인하십시오.

## MSA 설계 시뮬레이션 결과 및 옵션

"시뮬레이션" 보고서에는 분산 비율 CI 경계를 추정하는 데 사용되는 시뮬레이션 분산의 분포에 대한 상자 그림이 포함되어 있습니다. 시뮬레이션은 다수의 시도 횟수를 기반으로 합니다.

"시뮬레이션 결과"의 빨간색 삼각형 메뉴에는 다음 옵션이 포함되어 있습니다.

**통계량 표시** 각 모형 요인에 대한 요약 통계를 엽니다.

**점 표시** 상자 그림에서 수염을 벗어난 점을 표시하거나 숨깁니다.

**데이터 테이블 생성** 시뮬레이션 결과에 대한 데이터 테이블을 엽니다.

## MSA 설계 테이블

다음 버튼을 사용하여 MSA 설계 생성을 완료합니다.

**테이블 생성** MSA 설계 데이터 테이블을 생성합니다. 테이블에는 다음과 같은 분석용 스크립트가 포함되어 있습니다.

**EMP 측정 시스템 분석** MSA 분석 플랫폼을 시작합니다. 자세한 내용은 *Quality and Process Methods* 에서 확인하십시오.

**계량형 차트** 계량형 게이지 차트 플랫폼을 시작합니다. 자세한 내용은 *Quality and Process Methods* 에서 확인하십시오.

**DOE 대화상자** 현재 설계 테이블을 생성하는 데 사용된 규격을 사용하여 MSA 설계 플랫폼을 시작합니다.

**연산자 워크시트** 데이터 수집용 워크시트로 사용할 각 작업자의 데이터 테이블을 엽니다.

**뒤로** 설계 규격을 조정할 수 있도록 뒤로 이동합니다.

## MSA 설계 옵션

"MSA 설계"의 빨간색 삼각형 메뉴에는 다음 옵션이 포함되어 있습니다.

**반응 저장** "반응" 패널의 정보를 새 데이터 테이블에 저장합니다. 그러면 반응 및 관련 정보를 대부분의 DOE 창에 빠르게 불러올 수 있습니다. 이 옵션은 반응을 재사용할 것으로 예상하는 경우 유용합니다.

**반응 불러오기** "반응 저장" 옵션을 사용하여 저장한 반응을 불러옵니다.

**요인 저장** "요인" 패널의 정보를 새 데이터 테이블에 저장합니다. 각 요인의 열에는 수준이 포함됩니다. 다른 정보는 열 특성으로 저장됩니다. 그러면 요인 및 관련 정보를 대부분의 DOE 창에 빠르게 불러올 수 있습니다.

**참고 :** 빈 테이블에 데이터를 입력하여 요인 테이블을 생성할 수 있지만 각 열에 적절한 설계 역할을 할당해야 합니다. 이렇게 하려면 데이터 격자에서 열 이름을 마우스 오른쪽 버튼으로 클릭하고 **열 특성 > 설계 역할**을 선택합니다. 그런 다음 "설계 역할" 영역에서 적절한 역할을 선택합니다.

**요인 불러오기** "요인 저장" 옵션을 사용하여 저장한 요인을 불러옵니다.

**제약 조건 저장** (일부 플랫폼에서는 사용할 수 없음) "요인 제약 조건 정의" 또는 "선형 제약 조건" 개요에서 정의한 요인 제약 조건을 각 제약 조건에 대한 열과 함께 데이터 테이블에 저장합니다. 그러면 제약 조건을 대부분의 DOE 창에 빠르게 불러올 수 있습니다.

제약 조건 테이블에서 처음에 나오는 행은 각 요인의 계수를 포함합니다. 마지막 행은 부등식 한계를 포함합니다. 각 제약 조건 열에는 제약 조건을 "less than" 또는 "greater than" 제약 조건으로 식별하는 제약 조건 상태 열 특성이 포함됩니다. 자세한 내용은 "열 특성" 부록의 "[제약 조건 상태](#)"(762 페이지)에서 확인하십시오.

**제약 조건 불러오기** (일부 플랫폼에서는 사용할 수 없음) "제약 조건 저장" 옵션을 사용하여 저장한 요인 제약 조건을 불러옵니다.

**난수 시드값 설정** JMP가 랜덤 성분이 있는 작업을 제어하는 데 사용하는 난수 시드값을 설정합니다. 이러한 작업에는 다음 중 하나 이상이 포함됩니다.

- 설계 생성을 위한 검색 알고리즘 초기화
- 설계 생성을 위한 런 순서 랜덤화
- 랜덤 시작에 기반한 설계의 시작 설계 선택

설계를 재현하려면 **설계 생성**을 클릭하기 전에 설계를 생성한 난수 시드값을 입력합니다.

**참고 :** 설계와 관련된 난수 시드값은 설계 데이터 테이블에 저장된 "DOE 대화상자" 스크립트에 포함됩니다.

## MSA 설계 플랫폼의 통계 상세 정보

분산 및 분산 비율 시뮬레이션은 시뮬레이션된 평균 제곱 항을 사용하여 계산됩니다. 평균 제곱 항은 연관된 기대 평균 제곱으로 척도화된 카이제곱 분포로부터 시뮬레이션됩니다. 시뮬레이션된 분산은 적률 추정량 방법을 사용하여 계산되며 그런 다음 분산 비율의 신뢰 경계 계산에 사용됩니다.

부품의 분산을 예로 들어 보겠습니다. 시뮬레이션 계산은 다음 단계를 따릅니다.

1. 부품의 평균 제곱 즉, 부품과 관련된 각 이원 교호 작용에 대한 평균 제곱과 부품과 관련된 차수가 높은 교호 작용의 평균 제곱을 시뮬레이션합니다.
2. 포함 및 제외를 사용하여 분산을 계산합니다.

부품의 분산 = 부품의 평균 제곱 - 이원 교호 작용의 평균 제곱 + 삼원 교호 작용의 평균 제곱  
-...+/- 차수가 높은 교호 작용의 평균 제곱

3. 그런 다음 부품의 시뮬레이션된 분산 비율이 부품의 분산 / 총 분산으로 계산됩니다.

**참고 :** 평균 제곱 항의 분산만 직접적으로 알 수 있습니다. 즉, 평균 제곱 = 카이제곱 분산 ( $df$ )\* 기대 평균 제곱입니다. 분산 및 분산 비율의 분포는 시뮬레이션된 값에 따라 근사값이 계산됩니다. 이런 이유 때문에 분산 항이 업데이트되거나 플랫폼이 실행될 때마다 신뢰 경계가 매번 달라질 수 있습니다.



# 26 장

## 그룹 직교 과포화 설계 그룹 직교 과포화 설계 생성

그룹 직교 과포화 설계는 선별 설계의 특수한 경우입니다. 이 설계는 조사할 요인의 수가 실현 가능한 런 수보다 많을 때 초기 단계 작업에 적절합니다. 과포화 설계는 모형 모수보다 관측 값이 적은 설계입니다. 즉, 설계가 모든 주효과를 동시에 추정할 수 없습니다. 이로 인해 유의한 효과를 감지하기가 어렵습니다. 그룹 직교 과포화 설계는 모형 선택에 적합한 특성을 가진 2수준 과포화 설계의 특수한 종류입니다.

## 목차

|                           |     |
|---------------------------|-----|
| 그룹 직교 과포화 설계 개요           | 675 |
| 그룹 직교 과포화 설계의 예           | 675 |
| 그룹 직교 과포화 설계 생성           | 676 |
| 요인, 구조 지정 및 설계 생성         | 677 |
| 설계 확인 및 테이블 생성            | 678 |
| 그룹 직교 과포화 설계 옵션           | 678 |
| 그룹 직교 과포화 설계에 대한 통계 상세 정보 | 679 |

## 그룹 직교 과포화 설계 개요

GOSSD(그룹 직교 과포화 설계)는 모형을 쉽게 선택할 수 있는 특정 구조를 갖도록 구성됩니다. 설계 요인은 그룹으로 분할되며, 같은 그룹의 다른 요인과는 상관되지만 다른 그룹의 요인과는 직교하는 특징을 갖습니다. 한 그룹은 세 개 이상의 "가짜" 요인으로 구성됩니다. 이러한 가짜 요인은 설계 요인에 할당되지 않습니다. 대신 설계 분석에만 사용됩니다. 가짜 요인은 2차 이상 효과를 무시할 수 있다는 가정하에 분산의 비편향 추정값을 제공합니다.

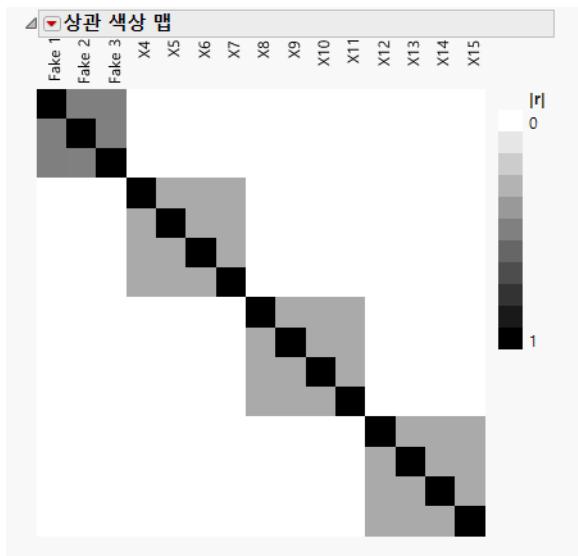
실제로 GOSSD를 설정하려면 다음과 같은 내용을 고려해야 합니다.

- 그룹은 많을수록 좋습니다.
- 활성으로 간주되는 요인은 별도의 그룹에 두어야 합니다.
- 예상 계수가 양수가 되도록 요인 수준을 선택합니다.

## 그룹 직교 과포화 설계의 예

이 예에서는 최대 12회 런으로 12개의 요인을 연구하는 실험을 설계하려고 합니다. 설계에 사용 할 모수의 수는 최소 16개입니다. 절편에 대한 모수 하나가 필요하고 세 개 이상의 가짜 요인이 있어야 합니다.

1. **DOE > 특수 용도 > 그룹 직교 과포화 설계 > 그룹 직교 과포화 설계**를 선택합니다.
2. **런 수**를 선택합니다.
3. **런 수**에 12 를 입력하고 텍스트 상자 바깥쪽을 클릭합니다.
4. "구조" 창에서 그룹 수 4, 그룹 크기 4, 모수 수가 16 인 두 번째 옵션을 선택합니다.
5. X1 요인 이름을 클릭하고 이름을 **Fake 1**로 변경합니다.
6. X2 와 X3 에 대해 이 과정을 반복하여 각각 **Fake 2** 와 **Fake 3** 으로 이름을 지정합니다.
7. **설계 생성**을 클릭합니다.

**그림 26.1** GOSSD 상관 색상 맵

설계 구조가 색상 맵에 분명히 나타나 있습니다. 그룹 내의 요인은 상관되어 있습니다. 서로 다른 그룹의 요인은 상관관계가 없으며 직교 상태임을 나타냅니다.

## 그룹 직교 과포화 설계 생성

DOE > 특수 용도 > 그룹 직교 과포화 설계 > 그룹 직교 과포화 설계를 선택하여 그룹 직교 과포화 설계를 생성합니다.

**그림 26.2** 그룹 직교 과포화 설계 창

이 이미지는 그룹 직교 과포화 설계 창의 화면입니다. 창의 제목은 '그룹 직교 과포화 설계'입니다.

설계 조건 설정부분:

- 헌 수: 6 (2(또는 4 국장)의 배수여야 합니다.)
- 요인 수: 8 (절반의 경우 1을 추가하십시오.)

구조 및 요인 설정부분:

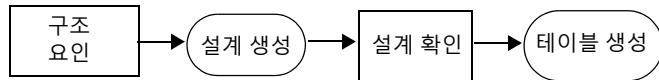
| 구조                  |       | 요인   |       |      |    |    |
|---------------------|-------|------|-------|------|----|----|
| 그룹 수                | 그룹 크기 | 모수 수 | 요인 이름 | 역할   | 하한 | 상한 |
| 2                   | 4     | 8    | X1    | 연속형▼ | -1 | 1  |
| 참고: 위에서 옵션을 선택하십시오. |       |      | X2    | 연속형▼ | -1 | 1  |
|                     |       |      | X3    | 연속형▼ | -1 | 1  |
|                     |       |      | X4    | 연속형▼ | -1 | 1  |
|                     |       |      | X5    | 연속형▼ | -1 | 1  |
|                     |       |      | X6    | 연속형▼ | -1 | 1  |

설계 생성 버튼: [설계 생성]

"열 선택"의 빨간색 삼각형 메뉴에 포함된 옵션에 대한 자세한 내용은 JMP 사용의에서 확인하십시오.

설계를 진행하는 동안 GOSSD 창이 업데이트됩니다. GOSSD를 생성하는 단계는 그림 26.3의 흐름을 따릅니다.

**그림 26.3** 그룹 직교 과포화 설계 흐름



## 요인, 구조 지정 및 설계 생성

"설계 옵션" 개요에는 다음 옵션이 포함되어 있습니다.

**팁 :** 가능한 설계 구조를 정의하기 위한 런 수 또는 요인 수를 제공하십시오.

**런 수** 설계 런 수를 정의합니다. 이 수는 2의 배수여야 하며, 권장되는 수는 4의 배수입니다.

**요인 수** 요인 수를 정의합니다. 절편에 대한 요인과 3~5개의 가짜 요인을 포함합니다. 요인 수는 8의 배수여야 합니다.

**구조** 설계에 사용 가능한 구조 목록을 제공합니다. 이 목록의 열은 런 수를 설정했는지 아니면 요인 수를 설정했는지에 따라 다릅니다.

**그룹 수** 설계의 그룹 수입니다. 최소값은 2입니다.

**그룹 크기** 각 그룹의 요인 수입니다.

**런 수** (요인 수를 설정한 경우 사용 가능) 설계의 런 수입니다.

**모수 수** (런 수를 설정한 경우 사용 가능) 설계의 모수 수입니다. 모수에는 절편 하나와 설계 요인이 포함되며 나머지 모수는 가짜 요인에 할당됩니다.

### 요인

**요인 이름** 절편 이름은 고정되어 있습니다. 나머지 요인은 이름을 바꿀 수 있습니다.

**역할** 요인을 연속형 또는 범주형으로 정의할 수 있습니다.

**하한** 각 요인의 하한을 설정할 수 있습니다.

**상한** 각 요인의 상한을 설정할 수 있습니다.

**그룹 구조** 각 그룹에 나타나는 요인을 표시합니다.

**바꾸기** 그룹 간에 요인을 바꿀 수 있습니다.

**설계 생성** 설계를 생성합니다.

## 설계 확인 및 테이블 생성

**설계** 설계 행렬을 표시합니다.

**테이블 생성** GOSSD 데이터 테이블을 생성합니다. 설계 테이블에는 다음과 같은 스크립트가 포함되어 있습니다.

**모형** ("응답" 열이 채워진 경우에만 실행됨) **DOE > 특수 용도 > 그룹 직교 과포화 설계 > 그룹 직교 과포화 설계 적합 플랫폼**을 실행합니다.

**DOE 대화상자** 설계 테이블을 생성하는 데 사용된 "GOSSD 설계" 창을 다시 생성합니다.

**GOSSD 구조** 설계 구조를 표시합니다(련 수, 모수 수, 그룹 수, 그룹 크기).

**다면량** 설계 요인에 대해 **분석 > 다변량** 플랫폼을 실행합니다.

**모형 행렬** 설계 행렬을 포함합니다.

**DOE 시뮬레이션** (반응을 시뮬레이션하는 경우 사용 가능) 시뮬레이션 창을 시작합니다.

### 설계 평가

**상관 행렬** 효과 사이의 상관 행렬을 표시합니다.

**상관 색상 맵** 강도 척도를 사용하여 그림에서 효과 사이의 절대 상관을 표시합니다. 빨간색 삼각형 메뉴에는 상관계수를 데이터 테이블에 저장할 수 있는 옵션이 포함되어 있습니다.

---

## 그룹 직교 과포화 설계 옵션

"그룹 직교 과포화 설계" 플랫폼의 빨간색 삼각형 메뉴에는 다음 옵션이 포함되어 있습니다.

**반응 시뮬레이션** 시뮬레이션 계산식을 포함하는 열과 반응 값을 설계 테이블에 추가합니다."테이블 생성"을 클릭하기 전에 이 옵션을 선택하십시오.

"테이블 생성"을 클릭하면 다음과 같은 결과가 나타납니다.

- 시뮬레이션된 반응 값 집합이 각 반응 열에 추가됩니다.
- 각 반응에 대해 시뮬레이션 모형 계산식을 포함하는 새 열이 설계 테이블에 추가됩니다. 계산식과 같은 설계 창에 지정된 모형에 기초합니다.
- 모형 효과에 대한 계수 값을 설정하고 정규, 이항 또는 Poisson 분포 중 하나를 지정할 수 있는 "모형" 창이 나타납니다.

---

**참고 :** 모든 설계 유형에 모든 분포를 사용할 수 있는 것은 아닙니다.

- **DOE 시뮬레이션** 스크립트가 설계 테이블에 저장됩니다. 이 스크립트는 값을 다시 시뮬레이션하거나 시뮬레이션된 반응 분포를 변경할 수 있도록 "모형" 창을 다시 엽니다.

"모형" 창에서 시뮬레이션된 반응 값의 분포를 제어하는 옵션을 선택합니다."적용"을 클릭하면 시뮬레이션된 반응 값의 계산식이 <Y> 시뮬레이션이라는 새 열에 저장됩니다. 여기

서 Y 는 반응 이름입니다 . " 적용 " 을 다시 클릭하면 <Y> 시뮬레이션의 계산식과 값이 업데이트됩니다.

자세한 내용은 " 사용자 설계 " 장의 "[반응 시뮬레이션](#)"(103 페이지 ) 에서 확인하십시오 .

**참고 :** [JMP<sup>®</sup> PRO](#) " 반응 시뮬레이션 " 을 사용하면 JMP Pro 시뮬레이션 기능을 사용하여 시뮬레이션 분석을 수행 할 수 있습니다 . 자세한 내용과 DOE 예는 기본 분석의 " 시뮬레이션 " 장에서 확인하십시오 .

**스크립트를 스크립트 창에 저장** " 그룹 직교 과포화 설계 " 창에서 지정한 설계의 스크립트를 생성한 후 열린 스크립트 창에 저장합니다 .

---

## 그룹 직교 과포화 설계에 대한 통계 상세 정보

설계 구성에 대한 통계 상세 정보는 Jones, et.al. ([2019](#))에서 확인하십시오.



## 그룹 직교 과포화 설계 적합 플랫폼

### 그룹 직교 과포화 설계의 데이터 분석

그룹 직교 과포화 설계 적합 플랫폼을 사용하면 그룹 직교 과포화 설계를 분석할 수 있습니다. 이 분석 기법은 그룹 직교 과포화 설계의 그룹 직교 구조를 활용합니다.

그림 27.1 그룹 직교 과포화 설계 적합 결과



## 목차

|                              |     |
|------------------------------|-----|
| 그룹 직교 과포화 설계 적합 플랫폼 개요 ..... | 683 |
| 그룹 직교 과포화 설계 적합의 예.....      | 683 |
| 그룹 직교 과포화 설계 적합 플랫폼 시작 ..... | 685 |
| 그룹 직교 과포화 설계 적합 보고서.....     | 686 |
| 그룹 직교 과포화 설계 적합 플랫폼 옵션 ..... | 687 |

## 그룹 직교 과포화 설계 적합 플랫폼 개요

GOSSD( 그룹 직교 과포화 설계 )는 활성 효과를 쉽게 식별할 수 있도록 구성됩니다. 이 설계는 같은 그룹의 요인은 서로 상관되지만 그룹 간의 요인은 직교하도록 요인을 그룹화합니다. 이 구조로 인해 다음과 같은 두 가지 분석 기능을 사용할 수 있습니다.

- 첫 번째 그룹에 할당된 가짜 요인은 2차 이상 효과를 무시할 수 있다는 가정하에 분산을 추정 하는 데 사용됩니다.
- 그룹 간 직교성을 통해 2 단계 모형 선택 절차가 가능합니다.

그룹 직교 과포화 설계 적합 플랫폼은 2단계 모형 선택 절차를 수행하고, 모든 요인의 회귀 그림을 표시한 다음, 모형 적합 플랫폼에서 이 모형을 검사하는 옵션과 함께 활성 효과에 대한 모형을 제공합니다.

## 그룹 직교 과포화 설계 적합의 예

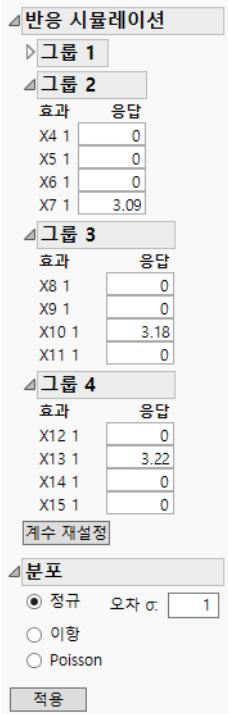
이 예에서는 최대 12 회 헌으로 12 개의 요인을 연구하는 실험을 설계하려고 합니다. GOSSD 에서 설계에 사용할 모수의 수는 최소 16 개입니다. 절편에 대한 모수 1 개, 가짜 요인에 대한 3 개 이상의 모수, 설계 요인에 대한 12 개의 모수가 필요합니다. 시뮬레이션된 반응을 사용하여 모형을 적합시킵니다.

**팁 :** 가짜 요인은 3 개로 제한되지 않습니다. 더 사용할 수 있습니다.

### 설계 생성

1. **DOE > 특수 용도 > 그룹 직교 과포화 설계 > 그룹 직교 과포화 설계**를 선택합니다.
2. **런 수**를 선택합니다.
3. **런 수**에 12 를 입력하고 텍스트 상자 바깥쪽을 클릭합니다.
4. "구조" 섹션에서 그룹 수 4, 그룹 크기 4, 모수 수가 16 인 두 번째 옵션을 선택합니다.
5. X1 요인 이름을 클릭하고 이름을 **Fake 1** 로 변경합니다.
6. X2 와 X3 에 대해 이 과정을 반복하여 각각 **Fake 2** 와 **Fake 3** 으로 이름을 지정합니다.
7. "그룹 직교 과포화 설계" 의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **반응 시뮬레이션**을 선택합니다.
8. **설계 생성**을 클릭합니다.
9. **테이블 생성**을 클릭합니다.

### 그림 27.2 반응 시뮬레이션 창



"반응 시뮬레이션" 창에는 설계 테이블을 생성하는데 사용된 설정이 표시됩니다. "그룹 1"의 개요 상자는 닫혀 있습니다. "그룹 1"은 "가짜" 요인을 포함합니다. 이 요인은 모형에 영향을 주지 않는다고 가정되므로 모두 0으로 설정됩니다. 값은 그림 27.2에 표시된 것과 다를 수 있습니다. 이 시뮬레이션의 경우 그룹당 활성 효과가 하나씩 있습니다.

**팁 :** "반응 시뮬레이션" 창을 사용하여 다른 시뮬레이션에 대한 새 값을 입력할 수 있습니다.

### 시뮬레이션된 반응 분석

- DOE > 특수 용도 > 그룹 직교 과포화 설계 > 그룹 직교 과포화 설계 적합을 선택합니다.
- 응답을 선택하고 **Y**를 클릭합니다.
- Fake 1 ~ X15를 선택하고 **X**를 클릭합니다.
- 확인**을 클릭합니다.

**팁 :** 그룹 직교 과포화 설계 플랫폼을 사용하여 생성한 설계 테이블에 "모형" 스크립트가 포함되어 있습니다. 분석을 바로 시작하려면 이 스크립트를 실행하십시오.

그림 27.3 그룹 직교 과포화 설계 적합 결과



시뮬레이션에서 X7, X10, X13을 효과가 있는 요인으로 설정했습니다. GOSSD 적합 절차에서 이 세 요인이 유의하다고 식별되었습니다. 또한 X14도 식별되었습니다. 효과의 크기와 유의성에 따라 추가적인 주의가 필요한지 여부를 결정해야 합니다.

**참고 :** 시뮬레이션 결과는 랜덤 결과 생성으로 인해 그림 27.3에 표시된 것과 다를 수 있습니다. 그룹에 활성 상태일 수 있는 추가 효과가 한 개 이상 있다는 경고가 나타날 수 있습니다. 이는 과포화 설계의 한계이며 결과가 판단에 결정적이라고 할 수 없습니다.

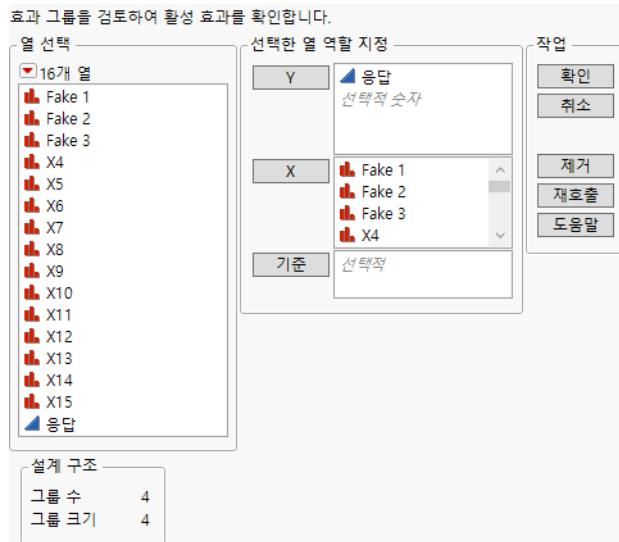
5. 모형 실행을 클릭하여 식별된 모형을 실행합니다.

## 그룹 직교 과포화 설계 적합 플랫폼 시작

**DOE > 특수 용도 > 그룹 직교 과포화 설계 > 그룹 직교 과포화 설계 적합**을 선택하여 그룹 직교 과포화 설계 적합 플랫폼을 시작합니다.

**참고 :** JMP에서 그룹 직교 과포화 설계 플랫폼을 사용하여 설계를 생성한 경우 설계 테이블에 "모형" 스크립트가 포함됩니다. 분석을 바로 시작하려면 이 스크립트를 실행하십시오.

**그림 27.4** 그룹 직교 과포화 설계 적합 시작 창



Y 하나 이상의 수치형 반응 변수입니다.

X 2 수준 연속형 또는 범주형 요인입니다. 이 플랫폼은 분석을 수행할 때 GOSSD 의 고유 구조를 사용하므로 이러한 요인으로 GOSSD 를 정의해야 합니다.

"열 선택"의 빨간색 삼각형 메뉴에 포함된 옵션에 대한 자세한 내용은 JMP 사용의에서 확인하십시오.

## 그룹 직교 과포화 설계 적합 보고서

그룹 직교 과포화 설계 적합 보고서에는 두 섹션이 있습니다. 첫 번째 섹션에서는 그룹을 한 번에 하나씩 적합시켜 각 그룹 내에서 활성 효과의 추정값을 보고합니다. 활성 그룹만 표시됩니다. 이것이 분석의 1 단계입니다. 2 단계에서는 결합 모형이 구성됩니다.

**그림 27.5** 1 단계 결과

| ▣ 응답에 대한 그룹 직교 과포화 설계 적합 |        |        |        |         |
|--------------------------|--------|--------|--------|---------|
| ▣ 그룹 1                   |        |        |        |         |
| ▣ 그룹 2                   |        |        |        |         |
| 항                        | 추정값    | 표준 오차  | t 비    | Prob> t |
| X7                       | 3.1345 | 0.1542 | 20.331 | 0.0003* |
| ▣ 그룹 3                   |        |        |        |         |
| 항                        | 추정값    | 표준 오차  | t 비    | Prob> t |
| X10                      | 3.1411 | 0.1542 | 20.374 | 0.0003* |
| ▣ 그룹 4                   |        |        |        |         |
| 항                        | 추정값    | 표준 오차  | t 비    | Prob> t |
| X13                      | 3.3291 | 0.1635 | 20.359 | 0.0003* |
| X14                      | 0.4143 | 0.1635 | 2.5336 | 0.0852  |

**항** 활성으로 식별된 주효과입니다.

**추정값** 주효과에 대한 Y 회귀 적합의 모수 추정값입니다.

**표준 오차** 그룹 1 의 가짜 요인을 사용하여 계산된 추정값의 표준 오차입니다.

**t 비** 추정값을 표준 오차로 나눈 값입니다.

**Prob>|t|** t 비와 오차 DF( 자유도 )를 사용하여 계산된  $p$  값입니다.

보고서의 두 번째 섹션에는 2 단계 분석의 결과가 포함되어 있습니다. 2 단계에서는 설계 결과를 평가하는 데 사용되는 모형을 구성합니다.

### 그림 27.6 2 단계 결과



**항** 활성으로 식별된 주효과입니다.

**추정값** 주효과에 대한 Y 회귀 적합의 모수 추정값입니다.

**표준 오차** 전체 데이터 집합을 사용하여 지정된 모형과 질편을 적합시켜 구한 추정값의 표준 오차입니다.

**t 비** 추정값을 표준 오차로 나눈 값입니다.

**Prob>|t|** t 비와 오차 DF( 자유도 )를 사용하여 계산된  $p$  값입니다.

**RMSE** 평균 제곱 오차의 제곱근입니다.

**DF** RMSE 를 생성하는 데 사용되는 오차 추정값과 관련된 자유도입니다.

## 그룹 직교 과포화 설계 적합 플랫폼 옵션

"그룹 직교 과포화 설계 적합" 플랫폼의 빨간색 삼각형 메뉴에는 다음 옵션이 포함되어 있습니다.

다음 옵션에 대한 자세한 내용은 JMP 사용의에서 확인하십시오.

**다시 실행** 분석을 반복하거나 다시 시작할 수 있는 옵션이 포함되어 있습니다. 이 기능을 지원하는 플랫폼에서 "자동 재계산" 옵션은 해당하는 보고서 창에서 데이터 테이블에 대한 변경 사항을 즉시 반영합니다.

**스크립트 저장** 보고서를 재생성하는 스크립트를 여러 대상에 저장할 수 있는 옵션이 포함되어 있습니다.

그룹 직교 과포화 설계 적합 플랫폼의 통계 상세 정보

2 단계 전략을 사용하여 그룹 직교 과포화 설계를 적합시킵니다. 첫 번째 단계에서는 활성 효과를 포함하는 그룹을 식별합니다.

- 가짜 요인으로  $\sigma$  추정값을 구한 후 추가 분석에서 가짜 요인을 제거합니다.
- 각 요인 그룹의 유의성을 검정합니다.

두 번째 단계에서는 활성 그룹의 개별 요인에 대한 유의성을 고려합니다. 이 단계에서는 단계별 부분집합 절차를 사용합니다. 자세한 내용은 Jones and Nachtsheim(2016)에서 확인하십시오. 자세한 통계 정보는 Jones, et al. (2019)에서 확인하십시오.

## 표본 크기 탐색기 표본 크기 및 검정력 계산기

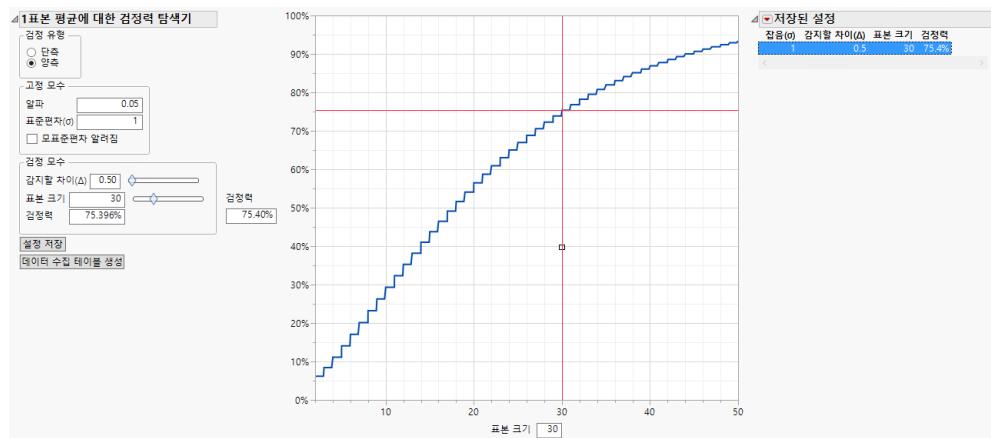
실험 또는 연구를 계획할 때는 표본 크기 탐색기를 사용하여 다음과 같은 질문에 답변합니다.

- 테스트할 단위 수는 몇 개입니까?
- 처리 평균의 차이를 감지할 수 있습니까?
- 지정된 너비를 가진 구간을 생성하려면 표본이 몇 개가 필요합니까?
- 고장 시간을 추정하기 위해 테스트해야 할 단위 수는 몇 개입니까?

표본 크기 탐색기는 연구 모수 및 가정을 조정하여 서로 다른 연구 설계를 탐색해 볼 수 있도록 해주는 대화식 유ти리티 모음입니다. 도구는 용도에 따라 다음과 같이 그룹화됩니다.

- 가설 검정을 위한 검정력
- 구간 추정을 위한 신뢰 구간
- 신뢰도 데모

**그림 28.1 1 표본 평균에 대한 표본 크기 탐색기**



## 목차

|                      |     |
|----------------------|-----|
| 표본 크기 탐색기 플랫폼에 대한 개요 | 691 |
| 표본 크기 탐색기의 예         | 691 |
| 표본 크기 탐색기 시작         | 692 |
| 가설 검정에 대한 검정력 탐색기    | 692 |
| 1표본 평균에 대한 검정력       | 693 |
| 1표본 비율에 대한 검정력       | 695 |
| 1표본 분산에 대한 검정력       | 697 |
| 1표본 동등성에 대한 검정력      | 699 |
| 2독립 표본 평균에 대한 검정력    | 701 |
| 2독립 표본 비율에 대한 검정력    | 704 |
| 2독립 표본 분산에 대한 검정력    | 706 |
| 2독립 표본 동등성에 대한 검정력   | 708 |
| ANOVA에 대한 검정력        | 710 |
| 신뢰 구간 계산기            | 712 |
| 1표본 평균에 대한 오차 한계     | 712 |
| 1표본 비율에 대한 오차 한계     | 715 |
| 1표본 분산에 대한 오차 한계     | 716 |
| 2독립 표본 평균에 대한 오차 한계  | 718 |
| 2독립 표본 비율에 대한 오차 한계  | 720 |
| 2독립 표본 분산에 대한 오차 한계  | 722 |
| 신뢰도 데모 계산기           | 723 |
| 모수 신뢰도 데모            | 724 |
| 비모수 신뢰도 데모           | 725 |
| 표본 크기 탐색기의 저장된 설정    | 726 |

## 표본 크기 탐색기 플랫폼에 대한 개요

표본 크기 탐색기는 표본 크기 및 검정력 계산에 사용됩니다. 표본 크기 탐색기를 사용하면 연구 가정이 연구에 필요한 관측값(련, 실험 단위 또는 표본)의 개수에 어떤 영향을 주는지 평가 및 비교할 수 있습니다. 가설 검정, 구간 추정 및 신뢰도 테모에 대한 탐색기가 있습니다.

검정력과 표본 크기에 대한 자세한 내용은 Barker(2011)에서 확인하십시오.

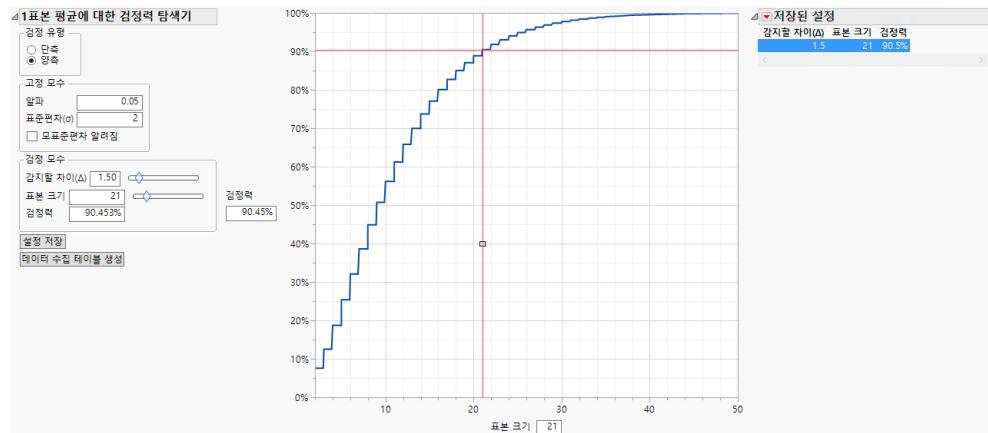
## 표본 크기 탐색기의 예

표본 크기 탐색기를 사용하면 새 소재 연구에서 테스트할 단위 수를 결정하는 데 도움이 됩니다. 회사에서 개발 중인 새 직물의 가연성이 현재 소재에 비해 성능이 개선되었음을 보여주고자 한다고 가정해 보겠습니다. 이전 테스트에 따르면 이 직물의 연소 시간에 대한 표준편차는 2초입니다.

테스트 할 직물 표본 수를 계산하려면 1 표본 평균에 대한 검정력 탐색기를 사용합니다. 유의 수준  $\alpha = 0.05$  일 때 1.5 초 차이를 감지할 수 있는 검정력이 90% 인 실험을 설계하려고 합니다.

1. **DOE > 표본 크기 탐색기 > 검정력 > 1 표본 평균에 대한 검정력을 선택합니다.**
2. **알파 설정 값 0.05** 를 그대로 둡니다.
3. **표준편차**에 2 를 입력합니다.
4. **감지할 차이**에 1.5 를 입력합니다.
5. **검정력**에 0.9 를 입력합니다.
6. "설정 저장" 을 클릭하여 이러한 설정을 저장합니다.
7. 연구를 위해 슬라이더와 텍스트 상자를 사용하여 다른 표본 크기 및 검정력의 가능성을 탐색합니다.

**그림 28.2 1 표본 평균 검정력 탐색기**



유의 수준이 0.05일 때 연소 시간에서 1.5초의 유의차를 감지할 확률이 90%가 되려면 21개의 직물 표본이 필요합니다.

## 표본 크기 탐색기 시작

**DOE > 표본 크기 탐색기**를 선택하여 표본 크기 탐색기를 시작합니다. 선택할 수 있는 계산기가 여러 개 있습니다.

가설을 검정하려면 **DOE > 표본 크기 탐색기 > 검정력**을 선택합니다.

- "[1 표본 평균에 대한 검정력](#)"(693 페이지 )
- "[1 표본 비율에 대한 검정력](#)"(695 페이지 )
- "[1 표본 분산에 대한 검정력](#)"(697 페이지 )
- "[1 표본 동등성에 대한 검정력](#)"(699 페이지 )
- "[2 독립 표본 평균에 대한 검정력](#)"(701 페이지 )
- "[2 독립 표본 평균에 대한 검정력](#)"(701 페이지 )
- "[2 독립 표본 분산에 대한 검정력](#)"(706 페이지 )
- "[2 독립 표본 동등성에 대한 검정력](#)"(708 페이지 )
- "[ANOVA에 대한 검정력](#)"(710 페이지 )

구간을 추정하려는 경우 **DOE > 표본 크기 탐색기 > 신뢰 구간**을 선택합니다.

- "[1 표본 평균에 대한 오차 한계](#)"(712 페이지 )
- "[1 표본 비율에 대한 오차 한계](#)"(715 페이지 )
- "[1 표본 분산에 대한 오차 한계](#)"(716 페이지 )
- "[2 독립 표본 평균에 대한 오차 한계](#)"(718 페이지 )
- "[2 독립 표본 비율에 대한 오차 한계](#)"(720 페이지 )
- "[2 독립 표본 분산에 대한 오차 한계](#)"(722 페이지 )

신뢰도 데모를 하려는 경우 **DOE > 표본 크기 탐색기 > 신뢰도**를 선택합니다.

- "[모수 신뢰도 데모](#)"(724 페이지 )
- "[비모수 신뢰도 데모](#)"(725 페이지 )

## 가설 검정에 대한 검정력 탐색기

가설 검정에 사용할 표본 크기를 계산하려면 검정력 탐색기를 사용합니다. 상수(1표본 사례) 또는 두 그룹(2표본 사례) 사이에서 비롯될 수 있는 지정된 차이를 감지하려면 표본 크기가 가설 검정의 검정력에 미치는 영향을 탐색합니다. 1표본 사례의 경우 가설은 단일 모수(평균, 비율 또는

분산)와 관련됩니다. 2표본 사례의 경우 가설은 두 그룹을 비교하는 것이 목적입니다. 그룹이 2개를 초과하는 경우 ANOVA에 대한 검정력 탐색기를 사용할 수 있으며, 이에 대한 자세한 내용은 "ANOVA에 대한 검정력"에서 확인하십시오.

가설을 검정하려면 **DOE > 표본 크기 탐색기 > 검정력**을 선택합니다.

- "1 표본 평균에 대한 검정력"(693 페이지)
- "1 표본 비율에 대한 검정력"(695 페이지)
- "1 표본 분산에 대한 검정력"(697 페이지)
- "1 표본 동등성에 대한 검정력"(699 페이지)
- "2 독립 표본 평균에 대한 검정력"(701 페이지)
- "2 독립 표본 평균에 대한 검정력"(701 페이지)
- "2 독립 표본 분산에 대한 검정력"(706 페이지)
- "2 독립 표본 동등성에 대한 검정력"(708 페이지)
- "ANOVA에 대한 검정력"(710 페이지)

## 1 표본 평균에 대한 검정력

단일 평균에 대한 가설 검정에 사용할 표본 크기를 결정하려면 1표본 평균에 대한 검정력 탐색기를 사용합니다. **DOE > 표본 크기 탐색기 > 검정력 > 1표본 평균에 대한 검정력**을 선택합니다. 변동 가능성, 표본 크기, 검정력, 유의성 및 감지할 가설 차이 간의 균형을 탐색합니다. 표본 크기 및 검정력은 다음 가설 검정과 관련됩니다.

$$H_0: \mu = \mu_0$$

다음 양측 대립가설과 비교

$$H_a: \mu \neq \mu_0$$

또는 다음 단측 대립가설과 비교

$$H_a: \mu < \mu_0 \text{ 또는 } H_a: \mu > \mu_0$$

여기서  $\mu$ 는 실제 평균이고  $\mu_0$ 은 귀무가설 평균 또는 참조 값입니다. 감지할 차이는 중요성 때문에 감지해야 하는 크기 ( $\Delta$ )로,  $\mu_0$ 와의 차이입니다. 동일한 유의 수준과 검정력이 주어진 경우 큰 차이를 감지하는 것보다 작은 차이를 감지하기 위해 더 큰 표본 크기가 필요합니다. 관심 모집단은 평균  $\mu$ 와 표준편차  $\sigma$ 의 정규 분포를 따른다고 가정합니다.

## 1 표본 평균에 대한 검정력 탐색기의 옵션

라디오 버튼, 텍스트 상자 및 슬라이더를 사용하여 연구 가정을 설정하고 표본 크기를 탐색합니다. 설정을 변경하면 그에 따라 곡선이 업데이트됩니다. 또는 곡선 위의 십자 기호를 드래그하거나 축 텍스트 상자의 값을 조정하여 설정을 변경합니다.

**검정 유형** 단측 또는 양측 가설 검정을 지정합니다.

### 고정 모수

**알파** 제 1 종 오류의 확률, 즉 귀무가설이 참일 때 귀무가설을 기각할 확률을 지정합니다.

일반적으로 검정의 유의 수준이라고 합니다. 기본 유의 수준은 0.05입니다.

**표준편차 (σ)** 가정된 표준편차입니다.

---

**팁 :** 표준편차 단위로 측정된 차이를 감지하는 데 필요한 표본 크기를 추정하려면 표준편차 1을 사용하십시오.

---

**모표준편차 알려짐** 알려진 모집단 표준편차를 계산에 사용하도록 지정합니다.

**검정 모수** 상호 연관되어 있으며 변경 시 업데이트되는 모수입니다.

**감지할 차이 (Δ)** 실제 평균과 가설 평균 또는 참조 평균 간에 통계적으로 유의하다고 선언할 수 있는 최소 차이를 지정합니다.

**표본 크기** 실험에 필요한 총 관측값(번, 실험 단위 또는 표본) 수를 지정합니다.

**검정력** 귀무가설이 거짓일 때 기각할 확률을 지정합니다. 다른 모든 모수가 고정되면 표본 크기가 커질수록 검정력도 증가합니다.

**설정 저장** 현재 설정을 "저장된 설정" 테이블에 저장합니다. 이렇게 하면 일련의 대체 연구 계획을 저장할 수 있습니다. 자세한 내용은 "[표본 크기 탐색기의 저장된 설정](#)"(726 페이지)에서 확인하십시오.

**데이터 수집 테이블 생성** 데이터 수집에 사용할 수 있는 새 데이터 테이블을 생성합니다.

## 1 표본 검정력에 대한 통계 상세 정보

1표본 평균 계산은  $\sigma$ 를 알 수 없는 경우 기존의  $t$ -검정을 기반으로 합니다.  $\sigma$ 를 알고 있는 사례에서는 계산에  $z$  검정이 사용됩니다.  $\sigma$ 를 알 수 없는 사례에서는 검정력이 대립가설에 따라 계산됩니다.

상단측 대립가설의 경우:

$$\Pr(\mu > \mu_0 \mid \mu = \mu_0 + \delta) = 1 - T\left(t_{1-\alpha, n-1; n-1}, \frac{\delta}{s/(\sqrt{n})}\right)$$

하단측 대립가설의 경우:

$$\Pr(\mu < \mu_0 \mid \mu = \mu_0 - \delta) = T\left(-t_{1-\alpha, n-1; n-1}, \frac{\delta}{s/(\sqrt{n})}\right)$$

양측 대립가설의 경우:

$$\Pr(\mu \neq \mu_0 \mid \mu = \mu_0 \pm \delta) = 1 - T\left(t_{1-\alpha/2, n-1; n-1}, \frac{\delta}{s/(\sqrt{n})}\right) + T\left(-t_{1-\alpha/2, n-1; n-1}, \frac{\delta}{s/(\sqrt{n})}\right)$$

다음은 각 요소에 대한 설명입니다.

$\alpha$ 는 유의 수준입니다.

$n$ 은 표본 크기입니다.

$s$  - 표준편차입니다.

$\delta$ 는 감지할 차이입니다.

$t_{1-\alpha,v}$ 는 자유도가  $v$ 인 중심  $t$ -분포의  $(1 - \alpha)$  번째 분위수입니다.

$T(t; v, \lambda)$ 는 자유도가  $v$ 이고 비중심성 모수  $\lambda$ 가 있는 비중심  $t$  분포의 누적 분포 함수입니다.

$\sigma$ 를 알고 있는 경우 검정력 계산에는 위의 방정식에  $z$  분포와  $\sigma$ 가 사용됩니다.  $\delta$ 와  $n$ 에 대해 달린 형식의 해가 없기 때문에 이들을 계산하는 데에는 수치 루틴이 사용됩니다.

## 1 표본 비율에 대한 검정력

단일 비율에 대한 가설 검정에 사용할 표본 크기를 결정하려면 1 표본 비율에 대한 검정력 탐색기를 사용합니다. **DOE > 표본 크기 탐색기 > 검정력 > 1 표본 비율에 대한 검정력을 선택합니다.** 표본 크기, 검정력, 유의성 및 감지할 가설 차이 간의 균형을 탐색합니다. 표본 크기 및 검정력은 다음 가설 검정과 관련됩니다.

$$H_0: p = p_0$$

다음 양측 대립가설과 비교

$$H_a: p \neq p_0$$

또는 다음 단측 대립가설과 비교

$$H_a: p < p_0 \text{ 또는 } H_a: p > p_0$$

여기서  $p$ 는 모비율이고  $p_0$ 은 귀무가설 비율입니다.

## 1 표본 비율에 대한 검정력 탐색기의 옵션

라디오 버튼, 텍스트 상자 및 슬라이더를 사용하여 연구 가정을 설정하고 표본 크기를 탐색합니다. 설정을 변경하면 그에 따라 곡선이 업데이트됩니다. 또는 곡선 위의 십자 기호를 드래그하거나 텍스트 상자의 값을 조정하여 설정을 변경합니다.

**검정 유형** 단측 또는 양측 가설 검정을 지정합니다.

**모형 유형**

**정확 검정** Clopper-Pearson 방법론을 기반으로 계산하도록 지정합니다.

**정규 근사** 정규 근사 방법론을 기반으로 계산하도록 지정합니다.

**팁 :** 이항 분포는 이산형이므로 표본이 작거나 비율이 0 또는 1에 가까운 경우 실제 검정 크기는 명시된 유의 수준과 크게 다를 수 있습니다. 유의 수준이 명시된 수준 이상이 되게 하려면 정확 검정을 사용합니다.

## 고정 모수

**알파** 제 1 종 오류의 확률, 즉 귀무가설이 참일 때 귀무가설을 기각할 확률을 지정합니다. 일반적으로 검정의 유의 수준이라고 합니다. 기본 유의 수준은 0.05입니다.

**검정 모수** 상호 연관되어 있으며 변경 시 업데이트되는 모수입니다.

**가정된 비율 (p0)** 연구에서 예상하거나 가정하는 비율 즉, 귀무가설 값을 지정합니다.

**대립가설 비율 (pA)** 검정할 비율 즉, 대립가설 값을 지정합니다.

**표본 크기** 실험에 필요한 총 관측값(런, 실험 단위 또는 표본) 수를 지정합니다.

**검정력** 귀무가설이 거짓일 때 기각할 확률을 지정합니다. 다른 모든 모수가 고정되면 표본 크기가 커질수록 검정력도 증가합니다.

**설정 저장** 현재 설정을 "저장된 설정" 테이블에 저장합니다. 이렇게 하면 일련의 대체 연구 계획을 저장할 수 있습니다. 자세한 내용은 "[표본 크기 탐색기의 저장된 설정](#)"(726 페이지)에 서 확인하십시오.

**데이터 수집 테이블 생성** 데이터 수집에 사용할 수 있는 새 데이터 테이블을 생성합니다.

## 1 표본 비율 탐색기에 대한 통계 상세 정보

정확 검정의 경우 검정력은 대립가설의 양식을 기반으로 계산됩니다.

상단측 대립가설의 경우:

$$\Pr(p > p_0 | p = p_a) = \sum_{x=x_{1-\alpha, n, p_0}}^n \binom{n}{x} p_a^x (1-p_a)^{n-x}$$

하단측 대립가설의 경우:

$$\Pr(p < p_0 | p = p_a) = \sum_{x=x_0}^{x_{\alpha, n, p_0 - 1}} \binom{n}{x} p_a^x (1-p_a)^{n-x}$$

양측 대립가설의 경우:

$$\Pr(p \neq p_0 | p = p_a) = \sum_{x=x_{1-\alpha/2, n, p_0}}^n \binom{n}{x} p_a^x (1-p_a)^{n-x} + \sum_{x=x_0}^{x_{\alpha/2, n, p_0 - 1}} \binom{n}{x} p_a^x (1-p_a)^{n-x}$$

여기서  $x_{q,n,p}$ 는 시도 횟수가  $n$ 이고 확률이  $p$ 인 이항 분포의  $q$ 번째 분위수입니다.

정규 근사의 경우 검정력은 대립가설의 양식을 기반으로 계산됩니다.

상단측 대립가설의 경우:

$$\Pr(p > p_0 | p = p_a) = 1 - \Phi \left( z_{1-\alpha} \sqrt{\frac{p_0(1-p_0)}{p_a(1-p_a)}} - \frac{(p_a - p_0)}{\sqrt{\frac{p_a(1-p_a)}{n}}} \right)$$

하단측 대립가설의 경우:

$$\Pr(p < p_0 | p = p_a) = \Phi \left( -z_{1-\alpha} \sqrt{\frac{p_0(1-p_0)}{p_a(1-p_a)}} - \frac{(p_a - p_0)}{\sqrt{\frac{p_a(1-p_a)}{n}}} \right)$$

양측 대립가설의 경우:

$$\Pr(p \neq p_0 | p = p_a) = 1 - \Phi \left( z_{1-\alpha/2} \sqrt{\frac{p_0(1-p_0)}{p_a(1-p_a)}} - \frac{(p_a - p_0)}{\sqrt{\frac{p_a(1-p_a)}{n}}} \right) + \Phi \left( -z_{1-\alpha/2} \sqrt{\frac{p_0(1-p_0)}{p_a(1-p_a)}} - \frac{(p_a - p_0)}{\sqrt{\frac{p_a(1-p_a)}{n}}} \right)$$

## 1 표본 분산에 대한 검정력

단일 분산에 대한 가설 검정에 사용할 표본 크기를 결정하려면 1표본 분산에 대한 검정력 탐색기를 사용합니다. **DOE > 표본 크기 탐색기 > 검정력 > 1표본 분산에 대한 검정력을 선택합니다.** 표본 크기, 검정력, 유의성 및 감지할 가설 차이(귀무가설 값과 대립가설 값 간의 비율로 정의됨) 간의 균형을 탐색합니다. 표본 크기 및 검정력은 다음 가설 검정과 관련됩니다.

$$H_0: \sigma = \sigma_0$$

다음 양측 대립가설과 비교

$$H_a: \sigma \neq \sigma_0$$

또는 다음 단측 대립가설과 비교

$$H_a: \sigma < \sigma_0 \quad \text{또는} \quad H_a: \sigma > \sigma_0$$

여기서  $\sigma$ 는 실제 분산이고  $\sigma_0$ 는 귀무가설 분산 또는 참조 값입니다. 감지할 차이는 표본 집합을 기반으로 감지해야 한다고 간주되는 크기로,  $\sigma_0$ 와의 차이입니다. 이 차이는  $\sigma_0/\sigma_a$  비율로 표현되거나 귀무가설 분산과 대립가설 가정 분산의 비율로 표현됩니다. 동일한 유의 수준과 검정력이 주어진 경우 분산의 큰 차이를 감지하는 것보다 작은 차이를 감지하는 데 더 큰 표본 크기가 필요합니다. 관심 모집단은 평균  $\mu$ 와 표준편차  $\sigma$ 의 정규 분포를 따른다고 가정합니다.

## 1 표본 분산에 대한 검정력 탐색기의 옵션

라디오 버튼, 텍스트 상자 및 슬라이더를 사용하여 연구 가정을 설정하고 표본 크기를 탐색합니다. 설정을 변경하면 그에 따라 곡선이 업데이트됩니다. 또는 곡선 위의 십자 기호를 드래그하거나 축 텍스트 상자의 값을 조정하여 설정을 변경합니다.

**검정 유형** 단측 또는 양측 가설 검정을 지정합니다.

**고정 모수**

**알파** 제 1 종 오류의 확률, 즉 귀무가설이 참일 때 귀무가설을 기각할 확률을 지정합니다. 일반적으로 검정의 유의 수준이라고 합니다. 기본 유의 수준은 0.05입니다.

**검정 모수** 상호 연관되어 있으며 변경 시 업데이트되는 모수입니다.

**분산 비율 (귀무가설 / 대립가설)** 대립가설 분산 (기대 분산)에 대한 귀무가설 분산 (참조 값)의 비율을 지정합니다.

**표본 크기** 실험에 필요한 총 관측값 (번, 실험 단위 또는 표본) 수를 지정합니다.

**검정력** 귀무가설이 거짓일 때 기각할 확률을 지정합니다. 다른 모든 모수가 고정되면 표본 크기가 커질수록 검정력도 증가합니다.

**설정 저장** 현재 설정을 "저장된 설정" 테이블에 저장합니다. 이렇게 하면 일련의 대체 연구 계획을 저장할 수 있습니다. 자세한 내용은 "[표본 크기 탐색기의 저장된 설정](#)"(726 페이지)에서 확인하십시오.

**데이터 수집 테이블 생성** 데이터 수집에 사용할 수 있는 새 데이터 테이블을 생성합니다.

## 1 표본 분산 탐색기에 대한 통계 상세 정보

단일 표본 그룹의 분산을 검정하기 위한 검정력 계산은  $\chi^2$  검정을 기반으로 합니다. 대립가설의 양식을 기반으로 계산됩니다.

상단측 대립가설의 경우:

$$\Pr(\sigma > \sigma_0 \mid \sigma = \sigma_0/\rho) = 1 - \chi^2_{(px_{1-\alpha, n-1}; n-1)}$$

하단측 대립가설의 경우:

$$\Pr(\sigma < \sigma_0 \mid \sigma = \sigma_0/\rho) = \chi^2_{(px_{\alpha, n-1}; n-1)}$$

양측 대립가설의 경우:

$$\Pr(\sigma \neq \sigma_0 \mid \sigma = \sigma_0 / \rho) = 1 - \chi^2(\rho x_{1-\alpha/2, n-1; n-1}) + \chi^2(\rho x_{\alpha/2, n-1; n-1})$$

다음은 각 요소에 대한 설명입니다.

$\alpha$  는 유의 수준입니다.

$n$  은 표본 크기입니다.

$\rho = \sigma_a / \sigma_0$

$x_{1-\alpha, v}$  는 자유도가  $v$  인 중심  $\chi^2$  분포의  $(1 - \alpha)$  번째 분위수입니다.

$\chi^2(x, v)$  은 자유도가  $v$  인 중심  $\chi^2$  분포의 누적 분포 함수입니다.

## 1 표본 동등성에 대한 검정력

단일 평균에 대한 동등성 검정에 사용할 표본 크기를 결정하려면 1 표본 동등성에 대한 검정력 탐색기를 사용합니다. **DOE > 표본 크기 탐색기 > 검정력 > 1 표본 동등성에 대한 검정력을 선택합니다.** 변동 가정, 표본 크기, 검정력, 유의성 및 동등성 범위 간의 균형을 탐색합니다. 표본 크기 및 검정력을 다음 가설 검정과 관련됩니다.

$$H_0: \mu - \mu_0 \geq \delta_M \text{ 또는 } H_0: \mu - \mu_0 \leq \delta_m$$

다음 대립가설과 비교

$$H_a: \delta_m < \mu - \mu_0 < \delta_M$$

여기서  $\mu$  는 실제 평균,  $\mu_0$  는 참조 값,  $(\delta_m, \delta_M)$  는 동등성 범위입니다. 동일한 유의 수준과 검정력이 주어진 경우 큰 차이를 감지하는 것보다 작은 차이를 감지하기 위해 더 큰 표본 크기가 필요합니다. 관심 모집단은 평균  $\mu$  와 표준편차  $\sigma$  의 정규 분포를 따른다고 가정합니다.

## 1 표본 동등성에 대한 검정력 탐색기의 옵션

라디오 버튼, 텍스트 상자 및 슬라이더를 사용하여 연구 가정을 설정하고 표본 크기를 탐색합니다. 설정을 변경하면 그에 따라 곡선이 업데이트됩니다. 또는 곡선 위의 십자 기호를 드래그하거나 축 텍스트 상자의 값을 조정하여 설정을 변경합니다.

### 동등성 범위

**최대 차이** 평균이 해당 값을 초과할 경우 참조 평균과 다르다고 간주되는 최대 값을 지정합니다.

**최소 차이** 평균이 해당 값 미만일 경우 참조 평균과 다르다고 간주되는 최소 값을 지정합니다.

---

**참고 :** 일반적으로 동등성 범위는 대칭입니다.

---

### 고정 모수

**알파** 제 1 종 오류의 확률, 즉 귀무가설이 참일 때 귀무가설을 기각할 확률입니다. 일반적으로 검정의 유의 수준이라고 합니다. 기본 유의 수준은 0.05입니다.

**표준편차 ( $\sigma$ )** 가정된 표준편차입니다.

**모표준편차 알려짐** 알려진 모집단 표준편차를 기반으로 계산하도록 지정합니다.

**검정 모수** 상호 연관되어 있으며 변경 시 업데이트되는 모수입니다.

**평균의 차이** 실제 평균과 가설 또는 참조 평균 ( 두 평균이 동등하다고 간주되는 경우 ) 간의 차이를 지정합니다.

**표본 크기** 실험에 필요한 총 관측값 ( 련, 실험 단위 또는 표본 ) 수를 지정합니다.

**검정력** 귀무가설이 거짓일 때 기각할 확률을 지정합니다. 다른 모든 모수가 고정되면 표본 크기가 커질수록 검정력도 증가합니다.

**설정 저장** 현재 설정을 "저장된 설정" 테이블에 저장합니다. 이렇게 하면 일련의 대체 연구 계획을 저장할 수 있습니다. 자세한 내용은 "[표본 크기 탐색기의 저장된 설정](#)"(726 페이지)에서 확인하십시오.

**데이터 수집 테이블 생성** 데이터 수집에 사용할 수 있는 새 데이터 테이블을 생성합니다.

## 1 표본 동등성 탐색기에 대한 통계 상세 정보

단일 표본 그룹에서 동등성을 검정하기 위한 검정력 계산은 Chow et al.에 설명된 방법을 기반으로 합니다. Box et al.(2008)에서 논의한 설계에서 파생된 실험 결과가 포함되어 있습니다.

$\sigma$ 를 알 수 없는 경우 검정력 ( $1-\beta$ )는 다음과 같이 계산됩니다.

$$1 - \beta = T\left(-t_{1-\alpha, n-1; n-1}, \frac{\delta - \delta_M}{s/(\sqrt{n})}\right) - T\left(t_{1-\alpha, n-1; n-1}, \frac{\delta - \delta_m}{s/(\sqrt{n})}\right)$$

다음은 각 요소에 대한 설명입니다.

$\alpha$ 는 유의 수준입니다.

$n$ 은 표본 크기입니다.

$s$  - 표준편차입니다.

$\delta$ 는 감지할 차이입니다.

$(\delta_m, \delta_M)$ 는 동등성 범위입니다.

$t_{1-\alpha, v}$ 는 자유도가  $v$ 인 중심  $t$  분포의  $(1 - \alpha)$  번째 분위수입니다.

$T(t; v, \lambda)$ 는 자유도가  $v$ 이고 비중심성 모수  $\lambda$ 가 있는 비중심  $t$  분포의 누적 분포 함수입니다.

$\sigma$ 를 알고 있는 경우 검정력 ( $1-\beta$ )는 다음과 같이 계산됩니다.

$$1 - \beta = \Phi\left(\frac{\delta - \delta_M}{\sigma/\sqrt{n}} - z_{1-\alpha}\right) + \Phi\left(\frac{\delta - \delta_m}{\sigma/\sqrt{n}} - z_{1-\alpha}\right) - 1$$

## 2 독립 표본 평균에 대한 검정력

두 그룹의 평균에 대한 가설 검정에 사용할 표본 크기를 결정하려면 2 독립 표본 평균에 대한 검정력 탐색기를 사용합니다. **DOE > 표본 크기 탐색기 > 검정력 > 2 독립 표본 평균에 대한 검정력을** 선택합니다. 표본 크기, 검정력, 유의성 및 감지할 가설 차이 간의 균형을 탐색합니다. 표본 크기 및 검정력을 다음 가설 검정과 관련됩니다.

$$H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$$

다음 양측 대립가설과 비교

$$H_a: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$$

또는 다음 단측 대립가설과 비교

$$H_a: \mu_1 - \mu_2 < 0 \text{ 또는 } H_a: \mu_1 - \mu_2 > 0$$

여기서  $\mu_1$ 과  $\mu_2$ 는 두 모집단의 실제 평균입니다. 관심 모집단은 정규 분포를 따르고, 평균 간의 차이 ( $\delta$ )를 감지하려고 한다고 가정합니다.

### 2 독립 표본 평균에 대한 검정력 탐색기의 옵션

라디오 버튼, 텍스트 상자 및 슬라이더를 사용하여 연구 가정을 설정하고 표본 크기를 탐색합니다. 설정을 변경하면 그에 따라 곡선이 업데이트됩니다. 또는 곡선 위의 십자 기호를 드래그하거나 축 텍스트 상자의 값을 조정하여 설정을 변경합니다.

**검정 유형** 단측 또는 양측 가설 검정을 지정합니다.

#### 고정 모수

**알파** 제 1 종 오류의 확률, 즉 귀무가설이 참일 때 귀무가설을 기각할 확률을 지정합니다. 일반적으로 검정의 유의 수준이라고 합니다. 기본 유의 수준은 0.05입니다.

**그룹 1 표준편차 ( $\sigma_1$ )** 그룹 중 하나인 그룹 1 의 가정된 표준편차를 지정합니다. 오차 표준편차의 추정값은 이전 모형 적합에서 구한 RMSE(제곱근 평균 제곱 오차)일 수 있습니다.

**그룹 2 표준편차 ( $\sigma_2$ )** 두 번째 그룹인 그룹 2 의 가정된 표준편차를 지정합니다. 오차 표준편차의 추정값은 이전 모형 적합에서 구한 RMSE(제곱근 평균 제곱 오차)일 수 있습니다.

**모표준편차 알려짐** 알려진 모집단 표준편차를 기반으로 계산하도록 지정합니다.

**검정 모수 감지할 차이 ( $\Delta$ )** 그룹 평균 간에 통계적으로 유의하다고 선언할 수 있는 최소 차이를 지정합니다.

**그룹 1 표본 크기** 실험에서 그룹 1 에 필요한 관측값(런, 실험 단위 또는 표본) 수를 지정합니다. 그룹 1 표본 크기를 잠그려면 "잠금"을 선택합니다.

**그룹 2 표본 크기** 실험에서 그룹 2 에 필요한 관측값(런, 실험 단위 또는 표본) 수를 지정합니다. 그룹 2 표본 크기를 잠그려면 "잠금"을 선택합니다.

**총 표본 크기** 실험에 필요한 총 관측값(련, 실험 단위 또는 표본) 수를 지정합니다. 검정력 곡선은 총 표본 크기를 기반으로 합니다.

**팁 :** 총 표본 크기를 변경하지 않고 그대로 둔 채로 한쪽 그룹의 표본 크기를 조정하면 나머지 다른 그룹의 표본 크기에 영향을 주게 됩니다. 총 표본 크기를 조정하면 두 그룹이 그에 비례하여 조정되며 그렇지 않을 경우 한쪽 그룹이 잠기게 됩니다. 한쪽 그룹 표본 크기만 잠글 수 있습니다.

**검정력** 귀무가설이 거짓일 때 기각할 확률을 지정합니다. 다른 모든 모수가 고정되면 표본 크기가 커질수록 검정력도 증가합니다.

**설정 저장** 현재 설정을 "저장된 설정" 테이블에 저장합니다. 이렇게 하면 일련의 대체 연구 계획을 저장할 수 있습니다. 자세한 내용은 "[표본 크기 탐색기의 저장된 설정](#)"(726 페이지)에서 확인하십시오.

**데이터 수집 테이블 생성** 데이터 수집에 사용할 수 있는 새 데이터 테이블을 생성합니다.

## 2 독립 평균에 대한 통계 상세 정보

두 표본 그룹의 평균 차이를 검정하는 검정력 계산은 기존의 t 검정을 기반으로 하며,  $\sigma_1$ 과  $\sigma_2$ 를 알고 있는 경우에는 z 검정을 기반으로 합니다.

$\sigma$ 를 알 수 없는 사례에서는  $\sigma_1=\sigma_2=\sigma$ 이면 대립가설의 양식을 기반으로 검정력이 계산됩니다. 상단측 대립가설의 경우:

$$\Pr(\mu_1 > \mu_2 \mid \mu_1 = \mu_2 + \delta) = 1 - T\left(t_{1-\alpha, n_1+n_2-2; n_1+n_2-2, \frac{\delta}{s\sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}}\right)$$

하단측 대립가설의 경우:

$$\Pr(\mu_1 < \mu_2 \mid \mu_1 = \mu_2 - \delta) = T\left(-t_{1-\alpha, n_1+n_2-2; n_1+n_2-2, \frac{\delta}{s\sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}}\right)$$

양측 대립가설의 경우:

$$\Pr(\mu_1 \neq \mu_2 \mid \mu_1 = \mu_2 \pm \delta) =$$

$$1 - T \left( t_{1-\frac{\alpha}{2}, n_1 + n_2 - 2}; n_1 + n_2 - 2, \frac{\delta}{s \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} \right) + T \left( -t_{1-\frac{\alpha}{2}, n_1 + n_2 - 2}; n_1 + n_2 - 2, \frac{\delta}{s \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} \right)$$

다음은 각 요소에 대한 설명입니다.

$\alpha$ 는 유의 수준입니다.

$n_1$ 과  $n_2$ 는 그룹 표본 크기입니다.

$s$ 는 합동 표준 편차입니다.

$\delta$ 는 감지할 차이입니다.

$t_{1-\alpha, v}$ 는 자유도가  $v$ 인 중심  $t$ -분포의  $(1 - \alpha)$  번째 분위수입니다.

$T(t; v, \lambda)$ 는 자유도가  $v$ 이고 비중심성 모수  $\lambda$ 가 있는 비중심  $t$  분포의 누적 분포 함수입니다.

$\sigma_1$ 과  $\sigma_2$ 가 같지 않다고 가정하는 경우 위의 방정식에서 자유도  $n_1 + n_2 - 2$ 는 다음과 같이 설정됩니다.

$$DF = \frac{\left( \frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2} \right)^2}{\frac{1}{n_1 - 1} \left( \frac{s_1^2}{n_1} \right)^2 + \frac{1}{n_2 - 1} \left( \frac{s_2^2}{n_2} \right)^2}$$

$\sigma_1$ 과  $\sigma_2$ 를 알고 있는 경우 검정력 계산에는  $z$  분포가 사용됩니다. 이 검정력은 대립가설의 양식을 기반으로 계산됩니다. 상단측 대립가설의 경우:

$$\Pr(\mu_1 > \mu_2 \mid \mu_1 = \mu_2 + \delta) = 1 - \Phi \left( z_{1-\alpha} - \frac{\delta}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}}} \right)$$

하단측 대립가설의 경우 :

$$\Pr(\mu_1 < \mu_2 \mid \mu_1 = \mu_2 - \delta) = \Phi \left( -z_{1-\alpha} - \frac{\delta}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}}} \right)$$

양측 대립가설의 경우 :

$$\Pr(\mu_1 \neq \mu_2 \mid \mu_1 = \mu_2 \pm \delta) = 1 - \Phi\left(z_{1-\frac{\alpha}{2}} - \frac{\delta}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}}}\right) + \Phi\left(-z_{1-\alpha} - \frac{\delta}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}}}\right)$$

다음은 각 요소에 대한 설명입니다.

$\alpha$ 는 유의 수준입니다.

$n_1$ 과  $n_2$ 는 그룹 표본 크기입니다.

$\sigma_1$ 과  $\sigma_2$ 는 알고 있는 그룹 표준편차입니다.

$\delta$ 는 감지할 차이입니다.

$z_{1-\alpha}$ 는 z- 분포의  $(1 - \alpha)$  번째 분위수입니다.

$\Phi(x)$ 는 정규 분포의 누적 분포 함수입니다.

## 2 독립 표본 비율에 대한 검정력

두 그룹의 비율에 대한 가설 검정에 사용할 표본 크기를 결정하려면 2 독립 표본 비율에 대한 검정력 탐색기를 사용합니다. **DOE > 표본 크기 탐색기 > 검정력 > 2 독립 표본 비율에 대한 검정력을 선택합니다.** 표본 크기, 검정력, 유의성 및 감지할 가설 차이 간의 균형을 탐색합니다. 표본 크기 및 검정력은 다음 가설 검정과 관련됩니다.

$$H_0: p_1 - p_2 = D_0$$

다음 양측 대립가설과 비교

$$H_a: p_1 - p_2 \neq D_0$$

또는 다음 단측 대립가설 중 하나와 비교

$$H_a: (p_1 - p_2) < D_0 \text{ 또는 } H_a: (p_1 - p_2) > D_0$$

여기서  $p_1$ 과  $p_2$ 는 두 모집단의 모비율이고,  $D_0$ 은 가설 비율 차이입니다.

## 2 독립 표본 비율에 대한 검정력 탐색기의 옵션

라디오 버튼, 텍스트 상자 및 슬라이더를 사용하여 연구 가정을 설정하고 표본 크기를 탐색합니다. 설정을 변경하면 그에 따라 곡선이 업데이트됩니다. 또는 곡선 위의 십자 기호를 드래그하거나 텍스트 상자의 값을 조정하여 설정을 변경합니다.

**검정 유형** 단측 또는 양측 가설 검정을 지정합니다.

**고정 모수**

**알파** 제 1 종 오류의 확률, 즉 귀무가설이 참일 때 귀무가설을 기각할 확률을 지정합니다. 일반적으로 검정의 유의 수준이라고 합니다. 기본 유의 수준은 0.05입니다.

**검정 모수** 상호 연관되어 있으며 변경 시 업데이트되는 모수입니다.

**그룹 1 비율 (p1)** 그룹 1에 대해 예상하거나 가정하는 비율을 지정합니다.

**그룹 2 비율 (p2)** 그룹 2에 대해 예상하거나 가정하는 비율을 지정합니다.

**그룹 1 표본 크기** 실험에서 그룹 1에 필요한 관측값(련, 실험 단위 또는 표본) 수를 지정합니다. 그룹 1 표본 크기를 잠그려면 "잠금"을 선택합니다.

**그룹 2 표본 크기** 실험에서 그룹 2에 필요한 관측값(련, 실험 단위 또는 표본) 수를 지정합니다. 그룹 2 표본 크기를 잠그려면 "잠금"을 선택합니다.

**총 표본 크기** 실험에 필요한 총 관측값(련, 실험 단위 또는 표본) 수를 지정합니다. 검정력 품선은 총 표본 크기를 기반으로 합니다.

**팁 :** 총 표본 크기를 변경하지 않고 그대로 둔 채로 한쪽 그룹의 표본 크기를 조정하면 나머지 다른 그룹의 표본 크기에 영향을 주게 됩니다. 총 표본 크기를 조정하면 두 그룹이 그에 비례하여 조정되며 그렇지 않을 경우 한쪽 그룹이 잠기게 됩니다. 한쪽 그룹 표본 크기만 잠글 수 있습니다.

**검정력** 귀무가설이 거짓일 때 기각할 확률을 지정합니다. 다른 모든 모수가 고정되면 표본 크기가 커질수록 검정력도 증가합니다.

**설정 저장** 현재 설정을 "저장된 설정" 테이블에 저장합니다. 이렇게 하면 일련의 대체 연구 계획을 저장할 수 있습니다. 자세한 내용은 "[표본 크기 탐색기의 저장된 설정](#)"(726 페이지)에서 확인하십시오.

**데이터 수집 테이블 생성** 데이터 수집에 사용할 수 있는 새 데이터 테이블을 생성합니다.

## 2 독립 표본 비율에 대한 통계 상세 정보

두 표본 그룹의 비율 차이를 검정하기 위한 검정력 계산은 정규 근사를 기반으로 합니다. 이 계산은 대립가설의 양식에 따라 달라집니다. 상단측 대립가설의 경우:

$$\Pr(p_1 > p_2 \mid p_1 = p_2 + \delta) = 1 - \Phi\left(z_{1-\alpha} - \frac{\delta}{\sqrt{\frac{p_1(1-p_1)}{n_1} + \frac{p_2(1-p_2)}{n_2}}}\right)$$

하단측 대립가설의 경우:

$$\Pr(p_1 > p_2 \mid p_1 = p_2 - \delta) = \Phi\left(-z_{1-\alpha} - \frac{\delta}{\sqrt{\frac{p_1(1-p_1)}{n_1} + \frac{p_2(1-p_2)}{n_2}}}\right)$$

양측 대립가설의 경우:

$$\Pr(p_1 \neq p_2 \mid p_1 = p_2 \pm \delta) =$$

$$1 - \Phi\left(z_{1-\frac{\alpha}{2}} - \frac{\delta}{\sqrt{\frac{p_1(1-p_1)}{n_1} + \frac{p_2(1-p_2)}{n_2}}}\right) + \Phi\left(-z_{1-\alpha} - \frac{\delta}{\sqrt{\frac{p_1(1-p_1)}{n_1} + \frac{p_2(1-p_2)}{n_2}}}\right)$$

다음은 각 요소에 대한 설명입니다.

$\alpha$ 는 유의 수준입니다.

$n_1$ 과  $n_2$ 는 그룹 표본 크기입니다.

$p_1$ 과  $p_2$ 는 알고 있는 그룹 표준편차입니다.

$\delta$ 는 감지할 차이입니다.

$z_{1-\alpha}$ 는 z-분포의  $(1 - \alpha)$  번째 분위수입니다.

$\Phi(x)$ 는 정규 분포의 누적 분포 함수입니다.

## 2 독립 표본 분산에 대한 검정력

두 그룹의 분산에 대한 가설 검정에 사용할 표본 크기를 결정하려면 2독립 표본 분산에 대한 검정력 탐색기를 사용합니다. **DOE > 표본 크기 탐색기 > 검정력 > 2독립 표본 분산에 대한 검정력을** 선택합니다. 표본 크기, 검정력, 유의성 및 감지할 차이 간의 균형을 탐색합니다. 표본 크기 및 검정력은 다음 가설 검정과 관련됩니다.

$$H_0: \sigma_1 = \sigma_2$$

다음 양측 대립가설과 비교

$$H_a: \sigma_1 \neq \sigma_2$$

또는 다음 단측 대립가설과 비교

$$H_a: \sigma_1 < \sigma_2 \text{ 또는 } H_a: \sigma_1 > \sigma_2$$

여기서  $\sigma_1$ 은 그룹 1의 분산이고  $\sigma_2$ 는 그룹 2의 분산입니다. 감지할 차이는 표본 집합을 기반으로 감지해야 한다고 간주되는 크기로,  $\sigma_0$ 와의 차이입니다. 이 차이는  $\sigma_2/\sigma_1$  비율 즉, 분산의 비율로 표현됩니다. 동일한 유의 수준과 검정력이 주어진 경우 분산의 큰 차이를 감지하는 것보다 작은 차이를 감지하는 데 더 큰 표본 크기가 필요합니다. 관심 모집단은 정규 분포라고 가정합니다.

## 2 독립 표본 분산에 대한 검정력 탐색기의 옵션

라디오 버튼, 텍스트 상자 및 슬라이더를 사용하여 연구 가정을 설정하고 표본 크기를 탐색합니다. 설정을 변경하면 그에 따라 곡선이 업데이트됩니다. 또는 곡선 위의 숫자 기호를 드래그하거나 축 텍스트 상자의 값을 조정하여 설정을 변경합니다.

**검정 유형** 단측 또는 양측 가설 검정을 지정합니다.

### 고정 모수

**알파** 제 1 종 오류의 확률, 즉 귀무가설이 참일 때 귀무가설을 기각할 확률을 지정합니다. 일반적으로 검정의 유의 수준이라고 합니다. 기본 유의 수준은 0.05입니다.

**검정 모수** 상호 연관되어 있으며 변경 시 업데이트되는 모수입니다.

**분산 비율 (그룹 2/ 그룹 1)** 분산의 비율을 지정합니다.

**그룹 1 표본 크기** 실험에서 그룹 1에 필요한 관측값(련, 실험 단위 또는 표본) 수를 지정합니다. 그룹 1 표본 크기를 잠그려면 "잠금"을 선택합니다.

**그룹 2 표본 크기** 실험에서 그룹 2에 필요한 관측값(련, 실험 단위 또는 표본) 수를 지정합니다. 그룹 2 표본 크기를 잠그려면 "잠금"을 선택합니다.

**총 표본 크기** 실험에 필요한 총 관측값(련, 실험 단위 또는 표본) 수를 지정합니다. 검정력 곡선은 총 표본 크기를 기반으로 합니다.

**팁 :** 총 표본 크기를 변경하지 않고 그대로 둔 채로 한쪽 그룹의 표본 크기를 조정하면 나머지 다른 그룹의 표본 크기에 영향을 주게 됩니다. 총 표본 크기를 조정하면 두 그룹이 그에 비례하여 조정되며 그렇지 않을 경우 한쪽 그룹이 잠기게 됩니다. 한쪽 그룹 표본 크기만 잠글 수 있습니다.

**검정력** 귀무가설이 거짓일 때 기각할 확률을 지정합니다. 다른 모든 모수가 고정되면 표본 크기가 커질수록 검정력도 증가합니다.

## 2 독립 표본 분산 탐색기에 대한 통계 상세 정보

두 표본 그룹의 분산 비율을 검정하기 위한 검정력 계산은 표준 F 검정을 기반으로 합니다. 이 계산은 대립가설의 양식에 따라 달라집니다. 상단측 대립가설의 경우:

$$\Pr(\sigma_0 > \sigma_1 \mid \sigma_1 = \sigma_0 \rho) = 1 - F(\rho f_{1-\alpha, n_1-1, n_2-1}; n_1-1, n_2-1)$$

하단측 대립가설의 경우:

$$\Pr(\sigma_0 < \sigma_1 \mid \sigma_1 = \sigma_0 \rho) = F(\rho f_{\alpha, n_1-1, n_2-1}; n_1-1, n_2-1)$$

양측 대립가설의 경우:

$$\Pr(\sigma_0 \neq \sigma_1 \mid \sigma_1 = \sigma_0 \rho) =$$

$$1 - F\left(\rho f_{1-\frac{\alpha}{2}, n_1-1, n_2-1; n_1-1, n_2-1}\right) + F\left(\rho f_{\frac{\alpha}{2}, n_1-1, n_2-1; n_1-1, n_2-1}\right)$$

다음은 각 요소에 대한 설명입니다.

$\alpha$  는 유의 수준입니다.

$n_1$  과  $n_2$  는 그룹 표본 크기입니다.

$\rho = \sigma_1 / \sigma_0$

$f_{1-\alpha, v_1, v_2}$  는 자유도가  $v_1$  및  $v_2$  인 F 분포의  $(1 - \alpha)$  번째 분위수입니다.

$F(x, v)$  는 자유도가  $v$  인 F 분포의 누적 분포 함수입니다.

## 2 독립 표본 동등성에 대한 검정력

두 그룹의 동등성 검정에 사용할 표본 크기를 결정하려면 2 표본 동등성에 대한 검정력 탐색기를 사용합니다. **DOE > 표본 크기 탐색기 > 검정력 > 2 독립 표본 동등성에 대한 검정력을 선택합니다.** 변동 가정, 표본 크기, 검정력, 유의성 및 동등성 범위 간의 균형을 탐색합니다. 표본 크기 및 검정력은 다음 가설 검정과 관련됩니다.

$$H_0: \mu_1 - \mu_2 \geq \delta_M \text{ 또는 } H_0: \mu_1 - \mu_2 \leq \delta_m$$

다음 대립가설과 비교

$$H_a: \delta_m < \mu_1 - \mu_2 < \delta_M$$

여기서  $\mu_1$  및  $\mu_2$  는 실제 그룹 평균이고  $(\delta_m, \delta_M)$  는 동등성 범위입니다. 동일한 유의 수준과 검정력이 주어진 경우 큰 차이를 감지하는 것보다 작은 차이를 감지하기 위해 더 큰 표본 크기가 필요합니다. 관심 모집단은 정규 분포라고 가정합니다.

## 2 독립 표본 동등성에 대한 검정력 탐색기의 옵션

라디오 버튼, 텍스트 상자 및 슬라이더를 사용하여 연구 가정을 설정하고 표본 크기를 탐색합니다. 설정을 변경하면 그에 따라 곡선이 업데이트됩니다. 또는 곡선 위의 십자 기호를 드래그하거나 축 텍스트 상자의 값을 조정하여 설정을 변경합니다.

### 동등성 범위

**최대 차이** 이 차이 값보다 크면 참조 평균과 다르다고 간주하게 되는 차이를 지정합니다.

**최소 차이** 이 차이 값보다 작으면 참조 평균과 다르다고 간주하게 되는 차이를 지정합니다.

---

**참고 :** 일반적으로 동등성 차이 한계는 대칭입니다. 하지만 반드시 대칭일 필요는 없습니다.

### 고정 모수

**알파** 제 1 종 오류의 확률, 즉 귀무가설이 참일 때 귀무가설을 기각할 확률을 지정합니다. 일반적으로 검정의 유의 수준이라고 합니다. 기본 유의 수준은 0.05 입니다.

**그룹 1 표준편차 ( $\sigma_1$ )** 그룹 중 하나인 그룹 1 의 가정된 표준편차를 지정합니다.

**그룹 2 표준편차 ( $\sigma_2$ )** 두 번째 그룹인 그룹 2 의 가정된 표준편차를 지정합니다.

**모표준편차 알려짐** 알려진 모집단 표준편차를 기반으로 계산하도록 지정합니다.

**검정 모수** 상호 연관되어 있으며 변경 시 업데이트되는 모수입니다.

**평균의 차이** 동등성 범위를 정의하는 그룹 평균 간의 차이를 지정합니다.

**그룹 1 표본 크기** 실험에서 그룹 1 에 필요한 관측값(련, 실험 단위 또는 표본) 수를 지정합니다. 그룹 1 표본 크기를 잠그려면 "잠금"을 선택합니다.

**그룹 2 표본 크기** 실험에서 그룹 2 에 필요한 관측값(련, 실험 단위 또는 표본) 수를 지정합니다. 그룹 2 표본 크기를 잠그려면 "잠금"을 선택합니다.

**총 표본 크기** 실험에 필요한 총 관측값(련, 실험 단위 또는 표본) 수를 지정합니다. 검정력 곡선은 총 표본 크기를 기반으로 합니다.

**팁 :** 총 표본 크기를 변경하지 않고 그대로 둔 채로 한쪽 그룹의 표본 크기를 조정하면 나머지 다른 그룹의 표본 크기에 영향을 주게 됩니다. 총 표본 크기를 조정하면 두 그룹이 그에 비례하여 조정되며 그렇지 않을 경우 한쪽 그룹이 잠기게 됩니다. 한쪽 그룹 표본 크기만 잠글 수 있습니다.

**검정력** 귀무가설이 거짓일 때 기각할 확률을 지정합니다. 다른 모든 모수가 고정되면 표본 크기가 커질수록 검정력도 증가합니다.

**설정 저장** 현재 설정을 "저장된 설정" 테이블에 저장합니다. 이렇게 하면 일련의 대체 연구 계획을 저장할 수 있습니다. 자세한 내용은 "[표본 크기 탐색기의 저장된 설정](#)"(726 페이지)에서 확인하십시오.

**데이터 수집 테이블 생성** 데이터 수집에 사용할 수 있는 새 데이터 테이블을 생성합니다.

## 2 독립 표본 동등성 탐색기에 대한 통계 상세 정보

두 그룹 평균의 동등성을 검정하기 위한 검정력 계산은 Chow et al.에 설명된 방법을 기반으로 합니다. Box et al.(2008)에서 논의한 설계에서 파생된 실험 결과가 포함되어 있습니다.

$\sigma_1$ 과  $\sigma_2$ 를 알 수 없는 경우 검정력 ( $1-\beta$ )는 다음과 같이 계산됩니다.

$$1 - \beta = \left( -t_{1-\alpha, df} ; \frac{\delta - \delta_M}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}} \right) - T \left( t_{1-\alpha, df} ; \frac{\delta - \delta_m}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}} \right)$$

다음은 각 요소에 대한 설명입니다.

$$df = \begin{cases} n_1 + n_2 - 2 & \text{단, } \sigma_1 = \sigma_2 \\ \frac{\left(\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}\right)^2}{\frac{1}{n_1-1}\left(\frac{s_1^2}{n_1}\right)^2 + \frac{1}{n_2-1}\left(\frac{s_2^2}{n_2}\right)^2} & \text{단, } \sigma_1 \neq \sigma_2 \end{cases}$$

$\alpha$ 는 유의 수준입니다.

$n_1$ 과  $n_2$ 는 그룹 표본 크기입니다.

$s_1$ 과  $s_2$ 는 그룹 표준편차입니다.

$\delta$ 는 감지할 차이입니다.

$(\delta_m, \delta_M)$ 는 동등성 범위입니다.

$t_{1-\alpha, v}$ 는 자유도가  $v$ 인 중심  $t$ -분포의  $(1 - \alpha)$  번째 분위수입니다.

$T(t; v, \lambda)$ 은 자유도가  $v$ 이고 비중심성 모수  $\lambda$ 가 있는 비중심  $t$  분포의 누적 분포 함수입니다.

$\sigma$ 를 알고 있는 경우 검정력  $(1-\beta)$ 는 다음과 같이 계산됩니다.

$$1 - \beta = \Phi\left(\left|\frac{\delta - \delta_M}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}}}\right| - z_{1-\alpha}\right) + \Phi\left(\left|\frac{\delta - \delta_m}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}}}\right| - z_{1-\alpha}\right) - 1$$

## ANOVA에 대한 검정력

ANOVA를 사용하여 분석할  $k$ 개의 그룹 또는 처리에 대한 연구에 사용할 표본 크기를 결정하려면 ANOVA에 대한 검정력 탐색기를 사용합니다. **DOE > 표본 크기 탐색기 > 검정력 > ANOVA에 대한 검정력을 선택합니다.** 변동 가정, 표본 크기, 검정력 및 유의성 간의 균형을 탐색합니다. 표본 크기 및 검정력은 다음 가설 검정과 관련됩니다.

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_k$$

다음 양측 대립가설과 비교

$$H_a: \text{모든 평균이 동일하지는 않음}$$

다음은 각 요소에 대한 설명입니다.

$$X_{ij} \sim N(\mu_j, \sigma^2) \text{ for } i = 1, \dots, n, j = 1, \dots, k$$

### ANOVA에 대한 검정력 탐색기의 옵션

라디오 버튼, 텍스트 상자 및 슬라이더를 사용하여 연구 가정을 설정하고 표본 크기를 탐색합니다. 설정을 변경하면 그에 따라 곡선이 업데이트됩니다. 또는 곡선 위의 십자 기호를 드래그하거나 축 텍스트 상자의 값을 조정하여 설정을 변경합니다.

#### 고정 모수

**알파** 제 1 종 오류의 확률, 즉 귀무가설이 참일 때 귀무가설을 기각할 확률을 지정합니다. 일반적으로 검정의 유의 수준이라고 합니다. 기본 유의 수준은 0.05입니다.

**그룹 수** 실험에 사용되는 그룹 또는 처리의 수를 지정합니다.

**그룹 내 분산 ( $\sigma^2$ )** 표준편차가 모든 그룹에서 같다고 가정하는 경우 각 그룹의 가정된 분산을 지정합니다.

**검정 모수** 상호 연관되어 있으며 변경 시 업데이트되는 모수입니다.

**그룹 간 분산** 총 평균을 이루는 개별 그룹 평균의 분산을 지정합니다.

**표본 크기 (그룹당)** 실험의 각 그룹에 필요한 관측값(런, 실험 단위 또는 처리) 수를 지정합니다.

**검정력** 귀무가설이 거짓일 때 기각할 확률을 지정합니다. 다른 모든 모수가 고정되면 표본 크기가 커질수록 검정력도 증가합니다.

**설정 저장** 현재 설정을 "저장된 설정" 테이블에 저장합니다. 이렇게 하면 일련의 대체 연구 계획을 저장할 수 있습니다. 자세한 내용은 "표본 크기 탐색기의 저장된 설정"(726 페이지)에서 확인하십시오.

**데이터 수집 테이블 생성** 데이터 수집에 사용할 수 있는 새 데이터 테이블을 생성합니다.

### ANOVA 탐색기에 대한 통계 상세 정보

각 그룹의 표준편차가 같다고 가정하고 여러 그룹의 평균 중에서 차이를 검정하기 위한 검정력 계산은 표준 F 검정을 기반으로 합니다. 검정력 ( $1-\beta$ )는 다음과 같이 계산됩니다.

$$1 - \beta = F\left(f_{1-\alpha, N-K, n-1}, \frac{\sigma_{BG}^2}{\sigma^2}\right)$$

다음은 각 요소에 대한 설명입니다.

$F(df_1, df_2, \lambda)$ 은 비중심 모수  $\lambda$ 가 있는 비중심 F-분산입니다.

$K$ 는 그룹 수입니다.

$n$ 은 각 그룹 내의 표본 수입니다(모든 그룹이 같다고 가정).

$$N = nK$$

$\sigma^2_{BG}$ 는 총 평균을 이루는 그룹 평균의 변동입니다.

$\sigma^2$ 는 그룹 내 분산입니다(모든 그룹이 같다고 가정).

## 신뢰 구간 계산기

사전에 지정된 특성으로 구간 추정값을 구하기 위해 연구 표본 크기를 선택하려면 신뢰 구간 계산기를 사용합니다. 표본 크기가 구간 추정값의 오차 한계에 미치는 영향을 탐색합니다. 하나의 평균에 대해 신뢰 구간, 예측 구간 또는 공차 구간에 대한 표본 크기를 탐색합니다. 두 개의 평균에 대한 신뢰 구간의 표본 크기를 탐색하거나 하나 또는 두 개의 비율이나 분산에 대한 신뢰 구간의 표본 크기를 탐색합니다.

구간을 추정하려면 **DOE > 표본 크기 탐색기 > 신뢰 구간**을 선택합니다.

- "1 표본 평균에 대한 오차 한계"(712 페이지)
- "1 표본 비율에 대한 오차 한계"(715 페이지)
- "1 표본 분산에 대한 오차 한계"(716 페이지)
- "2 독립 표본 평균에 대한 오차 한계"(718 페이지)
- "2 독립 표본 비율에 대한 오차 한계"(720 페이지)
- "2 독립 표본 분산에 대한 오차 한계"(722 페이지)

## 1 표본 평균에 대한 오차 한계

신뢰 구간, 예측 구간 또는 공차 구간에 대한 표본 크기를 결정하려면 1표본 평균에 대한 구간 탐색기를 사용합니다. **DOE > 표본 크기 탐색기 > 신뢰 구간 > 1표본 평균에 대한 오차 한계**를 선택합니다. 변동 가정, 표본 크기, 유의성 및 오차 한계 간의 균형을 탐색합니다.

## 1 표본 평균에 대한 구간 탐색기의 옵션

라디오 버튼, 텍스트 상자 및 슬라이더를 사용하여 연구 가정을 설정하고 표본 크기를 탐색합니다. 설정을 변경하면 그에 따라 곡선이 업데이트됩니다. 또는 곡선 위의 십자 기호를 드래그하거나 축 텍스트 상자의 값을 조정하여 설정을 변경합니다.

### 구간 용도

**신뢰도** 평균에 대한 신뢰 구간을 지정합니다.

**예측** 미래 관측값 하나에 대한 예측 구간을 지정합니다.

**공차** 모집단 비율을 포함하는 공차 구간을 지정합니다.

### 구간 유형

**한계** 단측 구간을 지정합니다 ( 상한 또는 하한 ).

**구간** 양측 구간을 지정합니다 .

### 고정 모수

**알파** 신뢰 수준 1 - 알파를 지정합니다. 유의 수준 기본값은 95% 신뢰 구간에 대해 0.05입니다.

**표준편차 ( $\sigma$ )** 가정된 표준편차입니다 .

**비율** (" 구간 용도 " 가 " 공차 "로 선택된 경우에만 사용할 수 있음 ) 해당 공차 구간에 포함될 모집단의 비율을 지정합니다 .

**모표준편차 알려짐** 알려진 모집단 표준편차를 기반으로 계산하도록 지정합니다 .

**구간 모수** 상호 연관되어 있으며 변경 시 업데이트되는 모수입니다 .

**표본 크기** 구간을 생성하는 데 필요한 총 관측값(런, 실험 단위 또는 표본) 수를 지정합니다.

**오차 한계** (" 구간 유형 " 이 " 구간 " 으로 선택된 경우에만 사용할 수 있음 ) 구간 너비의 1/2 을 지정합니다 . 다른 모든 모수가 고정된 경우 표본 크기가 커질수록 오차 한계는 감소합니다 .

**한계 크기** (" 구간 유형 " 이 " 한계 " 로 선택된 경우에만 사용할 수 있음 ) 한계에서 추정값까지의 거리를 지정합니다 . 다른 모든 모수가 고정된 경우 표본 크기가 커질수록 한계는 감소합니다 .

**설정 저장** 현재 설정을 " 저장된 설정 " 테이블에 저장합니다 . 이렇게 하면 일련의 대체 연구 계획을 저장할 수 있습니다 . 자세한 내용은 "[표본 크기 탐색기의 저장된 설정](#)"(726 페이지 ) 에서 확인하십시오 .

**데이터 수집 테이블 생성** 데이터 수집에 사용할 수 있는 새 데이터 테이블을 생성합니다 .

## 1 표본 구간 탐색기에 대한 통계 상세 정보

$\sigma$ 가 알려져 있을 경우 표준 정규 기반 프로시저를 사용하여 각 구간 유형을 계산하며 이외의 경우에는  $t$  분포 프로시저 또는 근사 방식을 사용합니다.

### 신뢰 구간

신뢰 구간의 MOE(오차 한계)는 다음과 같이 계산됩니다.

$$\text{MOE} = \begin{cases} z_{1-\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}} & \text{단, } \sigma \text{ 알 수 있음} \\ t_{1-\alpha/2, n-1} \frac{s}{\sqrt{n}} & \text{단, } \sigma \text{ 알 수 없음} \end{cases}$$

한계는 다음과 같이 계산됩니다.

$$\text{한계} = \begin{cases} \pm z_{1-\alpha} \frac{\sigma}{\sqrt{n}} & \text{단, } \sigma \text{ known} \\ t_{1-\alpha/2, n-1} s \sqrt{\left(1 + \frac{1}{n}\right)} & \text{단, } \sigma \text{ unknown} \end{cases}$$

### 예측 구간

예측 구간의 MOE(오차 한계)는 다음과 같이 계산됩니다.

$$\text{MOE} = \begin{cases} z_{1-\alpha/2} \sigma \sqrt{\left(1 + \frac{1}{n}\right)} & \text{단, } \sigma \text{ 알 수 있음} \\ t_{1-\alpha/2, n-1} s \sqrt{\left(1 + \frac{1}{n}\right)} & \text{if } \sigma \text{ 알 수 없음} \end{cases}$$

한계는 다음과 같이 계산됩니다.

$$\text{한계} = \begin{cases} \pm z_{1-\alpha} \sigma \sqrt{\left(1 + \frac{1}{n}\right)} & \text{단, } \sigma \text{ 알 수 있음} \\ \pm t_{1-\alpha, n-1} s \sqrt{\left(1 + \frac{1}{n}\right)} & \text{단, } \sigma \text{ 알 수 없음} \end{cases}$$

### 공차 구간

모집단의 비율  $q$ 에 대한 공차 구간의 경우 오차 한계 또는 한계는 Krishnamoorthy and Mathew(2009)에 설명된 근사 프로시저를 기반으로 계산됩니다.

공차 구간의 MOE(오차 한계)는 다음과 같이 계산됩니다.

$$MOE = \begin{cases} \sigma \sqrt{\frac{(N\chi^2_{q, 1, \frac{1}{n}})}{\chi^2_{\alpha, N}}} & \text{단, } \sigma \text{ 알 수 있음} \\ s \sqrt{\frac{(n-1)\chi^2_{q, 1, \frac{1}{n}}}{\chi^2_{\alpha, n-1}}} & \text{단, } \sigma \text{ 알 수 없음} \end{cases}$$

한계는 다음과 같이 계산됩니다.

$$\text{한계} = \begin{cases} \pm \frac{t_{1-\alpha, N, z_q \sqrt{n}}}{\sqrt{n}} & \text{단, } \sigma \text{ 알 수 있음} \\ \pm \frac{t_{1-\alpha, n-1, z_q \sqrt{n}}}{\sqrt{n}} & \text{if } \sigma \text{ 알 수 없음} \end{cases}$$

여기서  $N$ 은 점근적 동작을 나타내는 적당히 큰 정수값입니다. JMP는  $N$ 을 2000으로 설정합니다.

## 1 표본 비율에 대한 오차 한계

신뢰 구간에 대한 표본 크기를 결정하려면 1표본 비율에 대한 구간 탐색기를 사용합니다. **DOE > 표본 크기 탐색기 > 신뢰 구간 > 1표본 비율에 대한 오차 한계**를 선택합니다. 가정된 비율, 표본 크기, 유의성 및 구간에 대한 오차 한계 간의 균형을 탐색합니다. 계산에는 정규 근사가 사용됩니다.

## 1 표본 비율에 대한 구간 탐색기의 옵션

라디오 버튼, 텍스트 상자 및 슬라이더를 사용하여 연구 가정을 설정하고 표본 크기를 탐색합니다. 설정을 변경하면 그에 따라 곡선이 업데이트됩니다. 또는 곡선 위의 십자 기호를 드래그하거나 축 텍스트 상자의 값을 조정하여 설정을 변경합니다.

### 구간 유형

**한계** 단측 구간을 지정합니다 ( 상한 또는 하한 ).

**구간** 양측 구간을 지정합니다 .

### 고정 모수

**알파** 신뢰 수준 1 - 알파를 지정합니다. 유의 수준 기본값은 95% 신뢰 구간에 대해 0.05입니다.

**구간 모수** 상호 연관되어 있으며 변경 시 업데이트되는 모수입니다.

**비율** 구간의 가정된 비율을 지정합니다.

**표본 크기** 구간을 생성하는 데 필요한 총 관측값(런, 실험 단위 또는 표본) 수를 지정합니다.

**오차 한계** 구간 너비의 1/2을 지정합니다. 다른 모든 모수가 고정된 경우 표본 크기가 커질 수록 오차 한계는 감소합니다.

**설정 저장** 현재 설정을 "저장된 설정" 테이블에 저장합니다. 이렇게 하면 일련의 대체 연구 계획을 저장할 수 있습니다. 자세한 내용은 "[표본 크기 탐색기의 저장된 설정](#)"(726 페이지)에서 확인하십시오.

**데이터 수집 테이블 생성** 데이터 수집에 사용할 수 있는 새 데이터 테이블을 생성합니다.

## 1 표본 비율 구간 탐색기에 대한 통계 상세 정보

모집단 비율을 알아내기 위한 구간 계산은 Agresti and Coull 방법을 기반으로 합니다. 자세한 내용은 Agresti and Coull([1998](#))에서 확인하십시오.

신뢰 구간의 MOE(오차 한계)는 다음과 같이 계산됩니다.

$$MOE = z_{1-\alpha/2} \sqrt{\frac{\tilde{p}(1-\tilde{p})}{\tilde{n}}}$$

한계는 다음과 같이 계산됩니다.

$$\text{한계} = \pm z_{1-\alpha} \sqrt{\frac{\tilde{p}(1-\tilde{p})}{\tilde{n}}}$$

다음은 각 요소에 대한 설명입니다.

$$\tilde{n} = n + z_q^2$$

및

$$\tilde{p} = \frac{np + z_q^2/2}{\tilde{n}}$$

구간의 경우  $q = 1 - \alpha/2$ , 한계의 경우  $q = 1 - \alpha$

## 1 표본 분산에 대한 오차 한계

신뢰 구간에 대한 표본 크기를 결정하려면 1표본 분산에 대한 구간 탐색기를 사용합니다. **DOE > 표본 크기 탐색기 > 신뢰 구간 > 1표본 분산에 대한 오차 한계**를 선택합니다. 표본 크기, 유의성 및 구간에 대한 오차 한계 간의 균형을 탐색합니다.

## 1 표본 분산에 대한 구간 탐색기의 옵션

라디오 버튼, 텍스트 상자 및 슬라이더를 사용하여 연구 가정을 설정하고 표본 크기를 탐색합니다. 설정을 변경하면 그에 따라 곡선이 업데이트됩니다. 또는 곡선 위의 십자 기호를 드래그하거나 축 텍스트 상자의 값을 조정하여 설정을 변경합니다.

### 구간 유형

**하한** 단측 하한 구간을 지정합니다.

**상한** 단측 상한 구간을 지정합니다.

**구간** 양측 구간을 지정합니다.

### 고정 모수

**알파** 신뢰 수준 1 - 알파를 지정합니다. 유의 수준 기본값은 95% 신뢰 구간에 대해 0.05입니다.

**구간 모수** 상호 연관되어 있으며 변경 시 업데이트되는 모수입니다.

**표본 크기** 구간을 생성하는 데 필요한 총 관측값(런, 실험 단위 또는 표본) 수를 지정합니다.

**구간 너비** 구간의 전체 너비를 지정합니다. 다른 모든 모수가 고정되면 표본 크기가 커질수록 구간 너비는 줄어듭니다.

**설정 저장** 현재 설정을 "저장된 설정" 테이블에 저장합니다. 이렇게 하면 일련의 대체 연구 계획을 저장할 수 있습니다. 자세한 내용은 "[표본 크기 탐색기의 저장된 설정](#)"(726 페이지)에서 확인하십시오.

**데이터 수집 테이블 생성** 데이터 수집에 사용할 수 있는 새 데이터 테이블을 생성합니다.

## 1 표본 분산 구간 탐색기에 대한 통계 상세 정보

모집단 분산을 알아내기 위한 구간 계산은  $\chi^2$  분산을 기반으로 합니다. 구간 한계는 표본 추정값을 기준으로 대칭이 아니라는 점에 유의합니다.

구간 너비는 다음과 같이 계산됩니다.

$$\text{너비} = (n-1) \left( \frac{1}{\chi_{\alpha/2, n-1}^2} - \frac{1}{\chi_{1-\alpha/2, n-1}^2} \right)$$

하한은 다음과 같이 계산됩니다

$$\text{하한} = \frac{n-1}{\chi_{1-\alpha, n-1}^2}$$

상한은 다음과 같이 계산됩니다.

$$\text{상한} = \frac{n-1}{\chi_{\alpha, n-1}^2}$$

## 2 독립 표본 평균에 대한 오차 한계

신뢰 구간에 대한 표본 크기를 결정하려면 2독립 표본 평균에 대한 구간 탐색기를 사용합니다. **DOE > 표본 크기 탐색기 > 신뢰 구간 > 2독립 표본 평균에 대한 오차 한계**를 선택합니다. 변동 가능성, 표본 크기, 유의성 및 구간에 대한 오차 한계 간의 균형을 탐색합니다.

### 2 독립 표본 평균에 대한 구간 탐색기의 옵션

라디오 버튼, 텍스트 상자 및 슬라이더를 사용하여 연구 가정을 설정하고 표본 크기를 탐색합니다. 설정을 변경하면 그에 따라 곡선이 업데이트됩니다. 또는 곡선 위의 십자 기호를 드래그하거나 축 텍스트 상자의 값을 조정하여 설정을 변경합니다.

#### 구간 유형

**한계** 단측 구간을 지정합니다 ( 상한 또는 하한 ).

**구간** 양측 구간을 지정합니다 .

#### 고정 모수

**알파** 신뢰 수준 1 - 알파를 지정합니다. 유의 수준 기본값은 95% 신뢰 구간에 대해 0.05입니다.

**그룹 1 표준편차 ( $\sigma_1$ )** 그룹 중 하나인 그룹 1 의 가정된 표준편차를 지정합니다.

**그룹 2 표준편차 ( $\sigma_2$ )** 두 번째 그룹인 그룹 2 의 가정된 표준편차를 지정합니다.

**모표준편차 알려짐** 알려진 모집단 표준편차를 기반으로 계산하도록 지정합니다.

**구간 모수** 상호 연관되어 있으며 변경 시 업데이트되는 모수입니다.

**그룹 1 표본 크기** 실험에서 그룹 1 에 필요한 관측값 ( 런, 실험 단위 또는 표본 ) 수를 지정합니다 . 그룹 1 표본 크기를 잡그려면 " 잡금 " 을 선택합니다 .

**그룹 2 표본 크기** 실험에서 그룹 2 에 필요한 관측값 ( 런, 실험 단위 또는 표본 ) 수를 지정합니다 . 그룹 2 표본 크기를 잡그려면 " 잡금 " 을 선택합니다 .

**총 표본 크기** 실험에 필요한 총 관측값 ( 런, 실험 단위 또는 표본 ) 수를 지정합니다 . 오차 한계 곡선은 총 표본 크기를 기반으로 합니다 .

---

**팁 :** 총 표본 크기를 변경하지 않고 그대로 둔 채로 한쪽 그룹의 표본 크기를 조정하면 나머지 다른 그룹의 표본 크기에 영향을 주게 됩니다 . 총 표본 크기를 조정하면 두 그룹이 그에 비례하여 조정되며 그렇지 않을 경우 한쪽 그룹이 잡기게 됩니다 . 한쪽 그룹 표본 크기만 잡을 수 있습니다 .

---

**오차 한계** 구간 너비의 1/2 을 지정합니다. 다른 모든 모수가 고정된 경우 표본 크기가 커질 수록 오차 한계는 감소합니다.

**설정 저장** 현재 설정을 "저장된 설정" 테이블에 저장합니다. 이렇게 하면 일련의 대체 연구 계획을 저장할 수 있습니다. 자세한 내용은 "[표본 크기 탐색기의 저장된 설정](#)"(726 페이지)에서 확인하십시오.

**데이터 수집 테이블 생성** 데이터 수집에 사용할 수 있는 새 데이터 테이블을 생성합니다.

## 2 독립 표본 구간 탐색기에 대한 통계 상세 정보

모집단 평균의 차이를 알아내기 위한 구간 계산은  $\sigma_1$ 과  $\sigma_2$ 를 알고 있는 경우에는 표준 정규를 기반으로 하고 알 수 없는 경우에는  $t$  분포를 기반으로 합니다.

MOE(오차 한계)는 다음과 같이 계산됩니다.

$$\text{MOE} = \begin{cases} z_{1-\alpha/2} \sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}} & \text{단, } \sigma_1 \text{ 및 } \sigma_2 \text{ 알 수 있음} \\ t_{1-\alpha/2, n-1} \sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}} & \text{단, } \sigma_1 \text{ 및 } \sigma_2 \text{ 알 수 없음} \end{cases}$$

$\sigma_1$ 과  $\sigma_2$ 를 알 수 없는 경우 한계는 다음과 같이 계산됩니다.

$$\text{한계} = \pm t_{1-\alpha, df} \sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}$$

다음은 각 요소에 대한 설명입니다.

$$df = \begin{cases} n_1 + n_2 - 2 & \text{단, } \sigma_1 = \sigma_2 \\ \frac{\left(\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}\right)^2}{\frac{1}{n_1-1}\left(\frac{s_1^2}{n_1}\right)^2 + \frac{1}{n_2-1}\left(\frac{s_2^2}{n_2}\right)^2} & \text{단, } \sigma_1 \neq \sigma_2 \end{cases}$$

$\sigma$ 를 알고 있는 경우 한계는 다음과 같이 계산됩니다.

$$\text{한계} = \pm z_{1-\alpha} \sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}}$$

## 2 독립 표본 비율에 대한 오차 한계

두 비율의 차이, 로그 상대 위험도 또는 로그 승산의 신뢰 구간에 대한 표본 크기를 결정하려면 2 독립 표본 비율에 대한 구간 탐색기를 사용합니다. **DOE > 표본 크기 탐색기 > 신뢰 구간 > 2독립 표본 비율에 대한 오차 한계**를 선택합니다. 변동 가정, 표본 크기, 유의성 및 구간에 대한 오차 한계 간의 균형을 탐색합니다.

### 2 독립 표본 비율에 대한 구간 탐색기의 옵션

라디오 버튼, 텍스트 상자 및 슬라이더를 사용하여 연구 가정을 설정하고 표본 크기를 탐색합니다. 설정을 변경하면 그에 따라 곡선이 업데이트됩니다. 또는 곡선 위의 십자 기호를 드래그하거나 축 텍스트 상자의 값을 조정하여 설정을 변경합니다.

#### 구간 유형

**한계** 단측 구간을 지정합니다( 상한 또는 하한 ).

**구간** 양측 구간을 지정합니다 .

#### 비교 방법

**비율의 차이** 두 비율의 차이에 대한 신뢰 구간을 지정합니다 ( $p_1 - p_2$ ).

**로그 상대 위험도** 로그 척도의 상대 위험도 ( $p_1/p_2$ )에 대한 신뢰 구간을 지정합니다 .

**로그 승산** 로그 척도의 승산 ( $p_1/p_2$ )에 대한 신뢰 구간을 지정합니다 .

#### 고정 모수

**알파** 신뢰 수준 1 - 알파를 지정합니다. 유의 수준 기본값은 95% 신뢰 구간에 대해 0.05입니다.

**구간 모수** 상호 연관되어 있으며 변경 시 업데이트되는 모수입니다.

**그룹 1 비율** 그룹 1 의 가정된 비율을 지정합니다 .

**그룹 2 비율** 그룹 2 의 가정된 비율을 지정합니다 .

**그룹 1 표본 크기** 실험에서 그룹 1 에 필요한 관측값 ( 런, 실험 단위 또는 표본 ) 수를 지정합니다 . 그룹 1 표본 크기를 잠그려면 " 잠금 " 을 선택합니다 .

**그룹 2 표본 크기** 실험에서 그룹 2 에 필요한 관측값 ( 런, 실험 단위 또는 표본 ) 수를 지정합니다 . 그룹 2 표본 크기를 잠그려면 " 잠금 " 을 선택합니다 .

**총 표본 크기** 실험에 필요한 총 관측값 ( 런, 실험 단위 또는 표본 ) 수를 지정합니다 . 오차 한계 곡선은 총 표본 크기를 기반으로 합니다 .

**팁 :** 총 표본 크기를 변경하지 않고 그대로 둔 채로 한쪽 그룹의 표본 크기를 조정하면 나머지 다른 그룹의 표본 크기에 영향을 주게 됩니다. 총 표본 크기를 조정하면 두 그룹이 그에 비례하여 조정되며 그렇지 않을 경우 한쪽 그룹이 잠기게 됩니다. 한쪽 그룹 표본 크기만 잠글 수 있습니다.

**오차 한계** 구간 너비의 1/2 을 지정합니다. 다른 모든 모수가 고정된 경우 표본 크기가 커질수록 오차 한계는 감소합니다.

**한계 크기** 구간의 한계를 지정합니다. 다른 모든 모수가 고정된 경우 표본 크기가 커질수록 오차 한계는 감소합니다.

**설정 저장** 현재 설정을 "저장된 설정" 테이블에 저장합니다. 이렇게 하면 일련의 대체 연구 계획을 저장할 수 있습니다. 자세한 내용은 "[표본 크기 탐색기의 저장된 설정](#)"(726 페이지)에서 확인하십시오.

**데이터 수집 테이블 생성** 데이터 수집에 사용할 수 있는 새 테이블을 생성합니다.

## 2 독립 비율 구간 탐색기에 대한 통계 상세 정보

각 구간 유형에 대한 계산은 정규 근사를 기반으로 합니다.

### 비율의 차이

비율의 차이에 대한 구간의 경우 MOE(오차 한계)는 다음과 같이 계산됩니다.

$$MOE = z_{1-\alpha/2} \sqrt{\frac{p_1(1-p_1)}{n_1} + \frac{p_2(1-p_2)}{n_2}}$$

한계는 다음과 같이 계산됩니다.

$$\text{한계} = \pm z_{1-\alpha/2} \sqrt{\frac{p_1(1-p_1)}{n_1} + \frac{p_2(1-p_2)}{n_2}}$$

### 로그 상대 위험도

상대 위험도 로그의 경우 MOE(오차 한계)는 다음과 같이 계산됩니다.

$$MOE = z_{1-\alpha/2} \sqrt{\frac{(1-p_1)}{n_1 p_1} + \frac{(1-p_2)}{n_2 p_2}}$$

한계는 다음과 같이 계산됩니다.

$$\text{한계} = \pm z_{1-\alpha} \sqrt{\frac{(1-p_1)}{n_1 p_1} + \frac{(1-p_2)}{n_2 p_2}}$$

## 로그 승산

승산비 로그의 경우 오차 한계는 다음과 같이 계산됩니다.

$$\text{MOE} = z_{1-\alpha/2} \sqrt{\frac{1}{n_1 p_1} + \frac{1}{n_1(1-p_1)} + \frac{1}{n_2 p_2} + \frac{1}{n_2(1-p_2)}}$$

한계는 다음과 같이 계산됩니다.

$$\text{한계} = \pm z_{1-\alpha} \sqrt{\frac{1}{n_1 p_1} + \frac{1}{n_1(1-p_1)} + \frac{1}{n_2 p_2} + \frac{1}{n_2(1-p_2)}}$$

## 2 독립 표본 분산에 대한 오차 한계

신뢰 구간에 대한 표본 크기를 결정하려면 2독립 표본 분산에 대한 구간 탐색기를 사용합니다. **DOE > 표본 크기 탐색기 > 신뢰 구간 > 2독립 표본 분산에 대한 오차 한계**를 선택합니다. 표본 크기, 유의성 및 구간에 대한 오차 한계 간의 균형을 탐색합니다.

### 2 독립 표본 분산에 대한 구간 탐색기의 옵션

라디오 버튼, 텍스트 상자 및 슬라이더를 사용하여 연구 가정을 설정하고 표본 크기를 탐색합니다. 설정을 변경하면 그에 따라 옵션이 업데이트됩니다. 또는 옵션 위의 십자 기호를 드래그하거나 축 텍스트 상자의 값을 조정하여 설정을 변경합니다.

#### 구간 유형

**하한** 단측 하한 구간을 지정합니다.

**상한** 단측 상한 구간을 지정합니다.

**구간** 양측 구간을 지정합니다.

#### 고정 모수

**알파** 신뢰 수준 1 - 알파를 지정합니다. 유의 수준 기본값은 95% 신뢰 구간에 대해 0.05입니다.

#### 구간 모수

**그룹 1 표본 크기** 실험에서 그룹 1에 필요한 관측값(런, 실험 단위 또는 표본) 수를 지정합니다. 그룹 1 표본 크기를 잠그려면 "잠금"을 선택합니다.

**그룹 2 표본 크기** 실험에서 그룹 2에 필요한 관측값(런, 실험 단위 또는 표본) 수를 지정합니다. 그룹 2 표본 크기를 잠그려면 "잠금"을 선택합니다.

**총 표본 크기** 실험에 필요한 총 관측값(런, 실험 단위 또는 표본) 수를 지정합니다. 오차 한계 옵션은 총 표본 크기를 기반으로 합니다.

---

**팁 :** 총 표본 크기를 변경하지 않고 그대로 둔 채로 한쪽 그룹의 표본 크기를 조정하면 나머지 다른 그룹의 표본 크기에 영향을 주게 됩니다. 총 표본 크기를 조정하면 두 그룹이 그에 비례하여 조정되며 그렇지 않을 경우 한쪽 그룹이 잠기게 됩니다. 한쪽 그룹 표본 크기만 잠글 수 있습니다.

**구간 너비** 구간의 전체 너비를 지정합니다. 다른 모두가 고정되면 표본 크기가 커질수록 구간 너비는 줄어듭니다.

**설정 저장** 현재 설정을 "저장된 설정" 테이블에 저장합니다. 이렇게 하면 일련의 대체 연구 계획을 저장할 수 있습니다. 자세한 내용은 "[표본 크기 탐색기의 저장된 설정](#)"(726 페이지)에서 확인하십시오.

**데이터 수집 테이블 생성** 데이터 수집에 사용할 수 있는 새 데이터 테이블을 생성합니다.

## 2 독립 분산 비율 구간 탐색기에 대한 통계 상세 정보

두 모집단 분산의 비율을 알아내기 위한 구간 계산은  $F$ -분포를 기반으로 합니다. MOE(오차 한계)는 다음과 같이 계산됩니다.

$$MOE = F_{1-\alpha/2, n_1-1, n_2-1} - F_{\alpha/2, n_1-1, n_2-1}$$

하한은 다음과 같이 계산됩니다.

$$\text{하한} = F_{\alpha, n_1-1, n_2-1}$$

상한은 다음과 같이 계산됩니다.

$$\text{상한} = F_{1-\alpha, n_1-1, n_2-1}$$

---

## 신뢰도 데모 계산기

지정된 기간 동안 지정된 단위 수를 검정하려면 "신뢰도 데모" 계산기를 사용합니다.  $k$  개 미만의 단위에서 고장이 발생하면 데모를 통과하고, 제품 신뢰도가 신뢰도 표준을 충족하거나 초과한다는 결론을 내릴 수 있습니다.

신뢰도 데모의 경우 **DOE > 표본 크기 탐색기 > 신뢰도**를 선택합니다.

- "[모수 신뢰도 데모](#)"(724 페이지)
- "[비모수 신뢰도 데모](#)"(725 페이지)

## 모수 신뢰도 데모

신뢰도 데모를 위해 검정할 단위 수를 결정하려면 모수 신뢰도에 대한 데모 탐색기를 사용합니다. **DOE > 표본 크기 탐색기 > 신뢰도 > 모수 신뢰도 데모**를 선택합니다. 시간, 유의성, 고장 수 및 검정할 단위 수 간의 균형을 탐색합니다.

### 모수 신뢰도에 대한 데모 탐색기의 옵션

라디오 버튼, 텍스트 상자 및 슬라이더를 사용하여 연구 가정을 설정하고 표본 크기를 탐색합니다. 설정을 변경하면 그에 따라 곡선이 업데이트됩니다. 또는 곡선 위의 십자 기호를 드래그하거나 축 텍스트 상자의 값을 조정하여 설정을 변경합니다.

#### 고정 모수

**알파** 제 1 종 오류의 확률, 즉 귀무가설이 참일 때 귀무가설을 기각할 확률을 지정합니다. 일반적으로 검정의 유의 수준이라고 합니다. 기본 유의 수준은 0.05입니다.

**분포** 가정된 고장 시간 분포를 지정합니다. 사용 가능한 분포 : Weibull 및 로그 정규. 이러한 분산에 대한 자세한 내용은 **Reliability and Survival Methods** 의에서 확인하십시오.

**데모 시간** 검정 대상 항목이 의도한 신뢰도로 생존해야 하는 최소 시간을 지정합니다.

**데모 신뢰도** 검정 대상 항목이 신뢰도 표준의 정의된 데모 시간까지 생존할 확률을 지정합니다.

**척도 모수** 고장 시간 분포의 척도 모수를 지정합니다.

**참고 :** "분포" 가 "Weibull" 로 지정되면 "척도" 필드가 "Weibull  $\beta$ " 로 표시됩니다.

**데모 모수** 상호 연관되어 있으며 변경 시 업데이트되는 모수입니다.

**허용된 최대 고장 수** 성공적인 검정 데모에 허용되는 최대 고장 수를 지정합니다.

**표본 크기** 데모에 필요한 검정의 총 단위 수를 지정합니다.

**검정 시간** 데모 검정 시간을 지정합니다.

**설정 저장** 현재 설정을 "저장된 설정" 테이블에 저장합니다. 이렇게 하면 일련의 대체 연구 계획을 저장할 수 있습니다. 자세한 내용은 "[표본 크기 탐색기의 저장된 설정](#)"(726 페이지)에서 확인하십시오.

**데이터 수집 테이블 생성** 데이터 수집에 사용할 수 있는 새 데이터 테이블을 생성합니다.

### 모수 신뢰도 데모 탐색기에 대한 통계 상세 정보

모수 신뢰도 데모 검정의 경우 제품이 신뢰도  $R_d$ 로 데모 시간  $T_d$ 를 달성을 데모하는 데 필요한 검정 시간은 가정된 수명 분포를 사용하여 계산된 성공 확률을 가진 이항 분포를 사용하여 계산됩니다.

Weibull 분포에 대한 검정 시간은 다음과 같이 계산됩니다.

$$\text{검정 시간} = T_d \left( \frac{-\log(P)}{\log(R_d)} \right)^{1/\beta}$$

로그 정규 분포에 대한 검정 시간은 다음과 같이 계산됩니다.

$$\text{검정 시간} = \exp \left( \frac{z_{1 - e^{-\log P}} - z_{1 - R_d}}{\sigma} \right)$$

다음은 각 요소에 대한 설명입니다.

$$\log P = -\log \left( \frac{Sf}{Sf+1} \right)$$

$$Sf = \frac{n-c}{c+1} f_{\alpha, 2(n-c), 2(c+1)}$$

$c$ 는 데모 동안 허용되는 최대 고장 수입니다.

## 비모수 신뢰도 데모

가정된 고장 비율 분포가 없을 경우 신뢰도 데모를 위해 검정할 단위 수를 결정하려면 비모수 신뢰도에 대한 데모 탐색기를 사용합니다. **DOE > 표본 크기 탐색기 > 신뢰도 > 비모수 신뢰도 데모**를 선택합니다. 시간, 유의성, 고장 수 및 검정할 단위 수 간의 균형을 탐색합니다.

### 비모수 신뢰도에 대한 데모 탐색기의 옵션

라디오 버튼, 텍스트 상자 및 슬라이더를 사용하여 연구 가정을 설정하고 표본 크기를 탐색합니다. 설정을 변경하면 그에 따라 곡선이 업데이트됩니다. 또는 곡선 위의 십자 기호를 드래그하거나 축 텍스트 상자의 값을 조정하여 설정을 변경합니다.

#### 고정 모수

**알파** 제 1 종 오류의 확률, 즉 귀무가설이 참일 때 귀무가설을 기각할 확률을 지정합니다. 일반적으로 검정의 유의 수준이라고 합니다. 기본 유의 수준은 0.05입니다.

**데모 모수** 상호 연관되어 있으며 변경 시 업데이트되는 모수입니다.

**허용된 최대 고장 수** 성공적인 검정 데모에 허용되는 최대 고장 수를 지정합니다.

**표본 크기** 데모에 필요한 검정의 총 단위 수를 지정합니다.

**데모 신뢰도** 검정 대상 항목이 신뢰도 표준의 정의된 데모 시간까지 생존할 확률을 지정합니다.

**설정 저장** 현재 설정을 "저장된 설정" 테이블에 저장합니다. 이렇게 하면 일련의 대체 연구 계획을 저장할 수 있습니다. 자세한 내용은 "[표본 크기 탐색기의 저장된 설정](#)"(726 페이지)에서 확인하십시오.

**데이터 수집 테이블 생성** 데이터 수집에 사용할 수 있는 새 데이터 테이블을 생성합니다.

### 비모수 신뢰도 데모 탐색기에 대한 통계 상세 정보

비모수 신뢰도 데모의 경우 데모 신뢰도는 이항 분포를 기반으로 계산됩니다. 이항 cdf의  $\alpha$  분위수는  $F$ -분포의  $\alpha$  분위수로 변환함으로써 계산될 수 있습니다. 자세한 내용은 Jowett(1963)에서 확인하십시오.

신뢰도는 다음과 같이 계산됩니다.

$$R = \frac{Sf}{Sf+1}$$

다음은 각 요소에 대한 설명입니다.

$$Sf = \frac{n-c}{c+1} f_{\alpha, 2(n-c), 2(c+1)}$$

$c$ 는 데모 동안 허용되는 최대 고장 수입니다.

### 표본 크기 탐색기의 저장된 설정

"저장된 설정" 보고서는 연구 시나리오를 비교할 수 있도록 저장된 설정에 대한 테이블을 제공합니다. **설정 저장** 버튼을 클릭할 때마다 이 테이블에 새 행이 추가됩니다. 테이블에 있는 행을 클릭하면 탐색기가 해당 설정으로 재설정됩니다. 테이블에 추가로 모수를 표시하려면 테이블을 마우스 오른쪽 버튼으로 클릭하고 **열**을 선택합니다.

"저장된 설정"의 빨간색 삼각형에는 다음 옵션이 포함되어 있습니다.

**선택한 행 지우기** 선택된 행을 "저장된 설정" 테이블에서 제거합니다.

**모두 지우기** 모든 행을 "저장된 설정" 테이블에서 지웁니다.

**테이블 생성** 숨겨진 열을 포함하여 "저장된 설정" 테이블의 모든 열을 포함하는 새로운 데이터 테이블을 생성합니다.

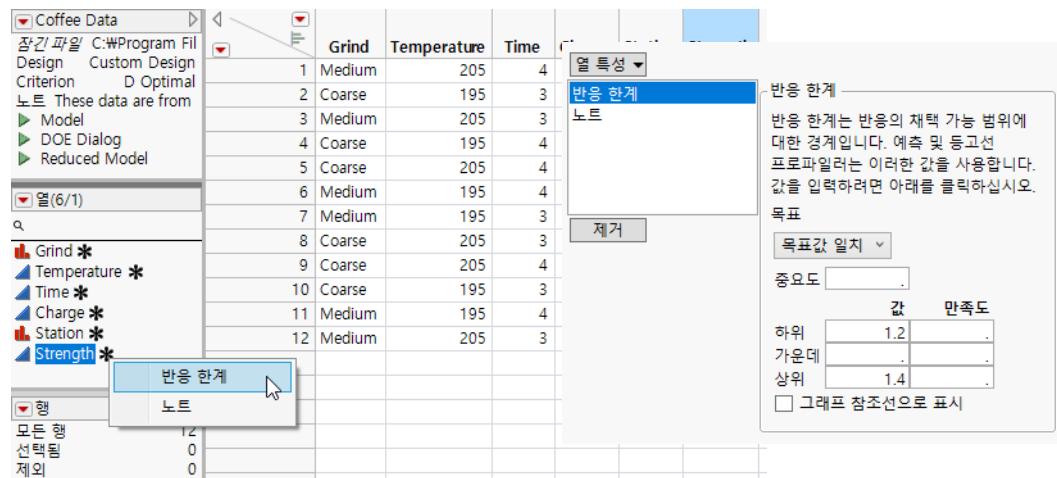
## 열 특성

### DOE에서 할당하는 열 특성 이해

DOE 플랫폼을 사용하여 설계를 구성할 경우 결과 설계를 포함하는 데이터 테이블에 열 특성이 저장됩니다. 이 부록에서는 DOE 플랫폼으로 구성한 설계에 저장되는 열 특성에 대해서만 설명합니다. DOE 플랫폼에서 각 열 특성을 할당하고 사용하는 방법을 예를 통해 보여 줍니다. DOE 플랫폼에서 할당하지 않는 열 특성에 대한 설명은 JMP 사용의 에서 확인하십시오.

이 부록에 설명된 일부 열 특성은 일반적인 모델링 상황에서 유용합니다. 특성을 보다 일반적으로 사용하려는 경우 특성을 직접 지정할 수 있습니다. 이 기능은 설계가 DOE 플랫폼에서 생성되지 않은 경우에 특히 유용합니다. 이 부록의 일부 예에서는 열 특성을 직접 추가하는 상황을 보여 줍니다.

**그림 A.1** 열 특성 별표 및 열 정보 창



**목차**

|                   |     |
|-------------------|-----|
| 열 특성 추가 및 보기      | 729 |
| 반응 한계             | 730 |
| 반응 한계의 예          | 731 |
| 반응 한계 편집          | 734 |
| 감지 한계             | 737 |
| 함수 반응             | 737 |
| 설계 역할             | 737 |
| 설계 역할의 예          | 738 |
| 코딩                | 739 |
| 하한값과 상한값          | 740 |
| 코딩 열 특성 및 중심화 다항식 | 741 |
| 코딩의 예             | 741 |
| 코딩 할당             | 744 |
| 혼합                | 747 |
| 혼합의 예             | 749 |
| 요인 변경             | 752 |
| 요인 변경의 예          | 753 |
| 값 순서              | 755 |
| 값 순서의 예           | 756 |
| 값 순서 할당           | 758 |
| 값 라벨              | 759 |
| 값 라벨의 예           | 759 |
| 블록당 런 수           | 761 |
| 블록당 런 수의 예        | 761 |
| 제약 조건 상태          | 762 |
| 제약 조건 상태의 예       | 762 |

## 열 특성 추가 및 보기

DOE 플랫폼은 설계 테이블을 구성할 때 특정 열 특성을 자동으로 테이블에 저장합니다. 그러나 설계된 실험과 관련된 일부 열 특성은 일반적인 모델링 상황에서 유용합니다. DOE 플랫폼을 사용하여 생성하지 않은 데이터 테이블에서 이러한 열 특성을 사용하려면 특성을 직접 추가하면 됩니다.

### 열 특성 추가

하나 이상의 열에 열 특성을 할당하려면 다음을 수행하십시오 .

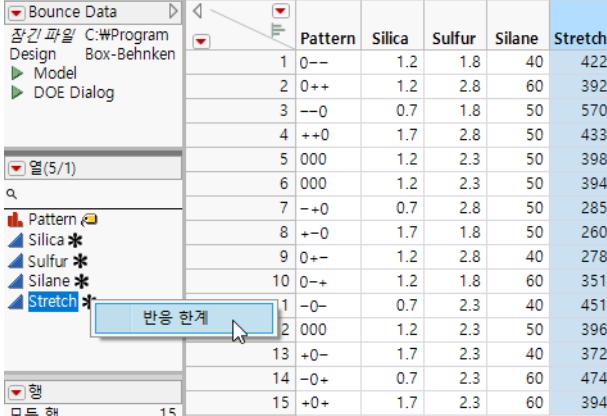
1. 특성을 할당할 열을 하나 이상 선택합니다 .
2. 다음 중 하나를 수행합니다 .
  - 머리글 영역을 마우스 오른쪽 버튼으로 클릭하고 **열 특성**을 선택한 후 특성을 선택합니다 .
  - 머리글 영역을 마우스 오른쪽 버튼으로 클릭하고 **열 정보**를 선택한 후 " 열 특성 " 메뉴에서 특성을 선택합니다 .
  - **열 > 열 정보**를 선택한 후 " 열 특성 " 메뉴에서 특성을 선택합니다 .
3. 표시된 열 특성 패널에서 값을 지정하고 적절한 옵션을 선택합니다 .
4. **적용**을 클릭하여 열 특성을 추가하거나 , **확인**을 클릭하여 열 특성을 추가하고 열 특성 창을 닫습니다 .

**팁 :** 열에 이미 포함된 특성을 다른 열에 적용하려는 경우가 있습니다 . 해당 특성을 다른 열에 적용하려면 " 속성 표준화 " 명령을 사용합니다 . 자세한 내용은 JMP 사용의 에서 확인하십시오 .

### 열 특성 보기

특정 열에 할당된 특성을 보려면 "열" 패널에서 열 특성 별표 아이콘(\*)을 클릭합니다. 특성을 클릭하여 설정을 보거나 편집할 수 있습니다. 그림 A.2에서는 Design Experiment 폴더의 **Bounce Data.jmp** 샘플 데이터 테이블에서 **Stretch**에 할당된 열 특성을 보여 줍니다.

그림 A.2 두 개의 열 특성을 표시하는 Stretch 별표 아이콘



The screenshot shows the JMP software interface with the 'Bounce Data' table open. The table has columns: Pattern, Silica, Sulfur, Silane, and Stretch. The 'Stretch' column is highlighted with a blue background. On the left side, there is a navigation pane with sections like 'Bounce Data', '장간 파일 C:\#Program Design Box-Behnken', 'Model', 'DOE Dialog', '열(5/1)', 'Pattern', 'Silica \*', 'Sulfur \*', 'Silane \*', and 'Stretch'. The 'Stretch' section is expanded, and the '반응 한계' icon is highlighted with a blue box.

|    | Pattern | Silica | Sulfur | Silane | Stretch |
|----|---------|--------|--------|--------|---------|
| 1  | 0--     | 1.2    | 1.8    | 40     | 422     |
| 2  | 0++     | 1.2    | 2.8    | 60     | 392     |
| 3  | --0     | 0.7    | 1.8    | 50     | 570     |
| 4  | ++0     | 1.7    | 2.8    | 50     | 433     |
| 5  | 000     | 1.2    | 2.3    | 50     | 398     |
| 6  | 000     | 1.2    | 2.3    | 50     | 394     |
| 7  | -+0     | 0.7    | 2.8    | 50     | 285     |
| 8  | + -0    | 1.7    | 1.8    | 50     | 260     |
| 9  | 0+-     | 1.2    | 2.8    | 40     | 278     |
| 10 | 0-+     | 1.2    | 1.8    | 60     | 351     |
| 11 | 1-0     | 0.7    | 2.3    | 40     | 451     |
| 12 | 2 000   | 1.2    | 2.3    | 50     | 396     |
| 13 | +0-     | 1.7    | 2.3    | 40     | 372     |
| 14 | -0+     | 0.7    | 2.3    | 60     | 474     |
| 15 | 1+0     | 1.7    | 2.3    | 60     | 394     |

"열 정보" 메뉴의 "열 특성" 목록에 액세스하여 열 특성을 볼 수도 있습니다. 열 특성을 표시할 열을 하나 이상 선택하고 다음 중 하나를 수행합니다.

- 머리를 영역을 마우스 오른쪽 버튼으로 클릭하고 **열 정보**를 선택한 후 "열 특성" 목록에서 특성을 선택합니다.
- **열 > 열 정보**를 선택한 후 "열 특성" 목록에서 특성을 선택합니다.

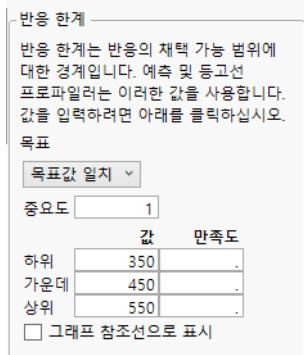
## 반응 한계

"반응 한계" 열 특성을 사용하여 다음을 지정할 수 있습니다.

- 반응의 변동 범위에 대한 경계
- 만족도 목표
- 반응의 중요도 측도
- 만족도 값

"반응 한계" 열 특성은 반응의 만족도 함수를 정의합니다. "프로파일러" 및 "등고선 프로파일러"는 만족도 함수를 사용하여 최적 요인 설정을 찾습니다. 자세한 내용은 Profilers의 에서 확인하십시오.

그림 A.3에서는 Design Experiment 폴더의 Bounce Data.jmp 샘플 데이터 테이블에서 반응 (Stretch)에 대한 "열 정보" 창의 "반응 한계" 패널을 보여 줍니다.

**그림 A.3** 반응 한계 패널의 예

"반응 한계" 패널은 다음 영역으로 구성됩니다.

**목표** 메뉴에서 반응 목표를 선택합니다. "최대화", "목표값 일치", "최소화" 및 "없음" 중에서 선택할 수 있습니다. JMP는 선택한 목표에 맞도록 반응의 만족도 함수를 정의합니다. 한계를 지정하면 해당 한계를 사용하여 만족도 함수가 정의됩니다. 한계를 지정하지 않으면 반응 분포에서 도출된 보수적 한계 값을 기반으로 만족도 함수가 정의됩니다. "없음"을 목표로 선택하면 모든 반응 값의 만족도가 동일하다고 간주됩니다. 자세한 내용은 "사용자 설계" 장의 "[반응](#)"(82 페이지)에서 확인하십시오.

**중요도** 반응이 여러 개인 경우 전체 만족도 함수를 계산할 때 각 반응에 대한 상대적 가중치를 입력합니다. 중요도 값은 모든 양수가 될 수 있습니다. 중요도 값을 지정하지 않으면 주어진 분석에서 모든 반응의 중요도 값이 동일한 것으로 간주됩니다. 반응이 하나뿐이면 중요도가 1로 지정됩니다.

**값** 반응의 하한 및 상한과 중간 값을 지정합니다. JMP는 이러한 값을 사용하여 반응의 만족도 함수를 구성합니다. 한계를 지정하지 않으면 보수적 한계 값을 기반으로 만족도 함수가 정의됩니다. 목표가 "목표값 일치"이고 "중간" 값을 지정하지 않으면 목표값이 하한과 상한의 중간점으로 정의됩니다.

**만족도** "하한", "중간" 및 "상한" 값의 만족도를 반영하는 값을 지정합니다. 만족도 값은 0에서 1 사이여야 합니다. 만족도 값을 지정하지 않으면 선택된 목표에 따라 JMP에서 값을 할당합니다.

**그래프 참조선으로 표시** "실제값 대 예측값 그림"과 "예측 프로파일러"에서 "하한", "중간" 및 "상한" 값에 대한 가로 참조선을 표시합니다. 이 옵션은 한계가 지정된 경우에만 적용됩니다.

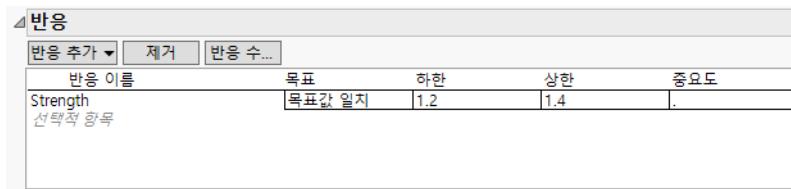
**반응 한계의 예**

Design Experiment 폴더의 Coffee Data.jmp 샘플 데이터 테이블에는 커피 강도(Strength)를 최적화하기 위해 수행된 실험 결과가 포함되어 있습니다. 실험 설계 및 분석에 대한 자세한 설명은 "DOE로 시작" 장의 "[커피 강도 실험](#)"(42페이지)에서 확인하십시오.

가장 적합한 값으로 간주되는 목표 강도 1.3의 커피를 추출할 수 있는 요인 설정을 찾는 것이 목표입니다. 1.2 보다 작은 값과 1.4 보다 큰 값은 허용되지 않습니다. 1.2 ~ 1.4 사이의 값은 1.3에서 멀어질수록 만족도가 감소합니다.

1. 도움말 > 샘플 데이터 라이브러리를 선택하고 Design Experiment/Coffee Data.jmp 를 엽니다.
2. 테이블 패널에서 **DOE Dialog** 스크립트 옆의 녹색 삼각형을 클릭합니다.  
이 스크립트는 Coffee Data.jmp 에서 실험 설계를 생성하는 데 사용한 "사용자 설계" 대화상자를 다시 생성합니다.
3. "반응" 개요를 엽니다.

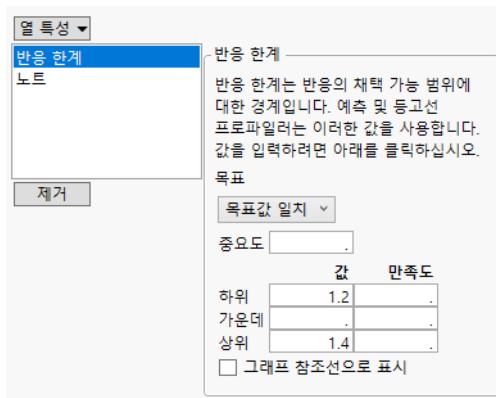
**그림 A.4** 사용자 설계 창의 반응 개요



이 실험을 설계할 때 반응 목표를 "목표값 일치"로 지정하고 하한과 상한을 각각 1.2 와 1.4로 지정했습니다. 중요도 값은 지정하지 않았습니다. 반응이 하나뿐이므로 기본적으로 1로 지정됩니다. 설계 테이블을 구성할 때 "반응 한계" 열 특성이 **Strength**에 할당되었습니다.

4. "사용자 설계" 창을 닫습니다.
5. Coffee Data.jmp 샘플 데이터 테이블에서 Strength 열을 선택한 후 열 > 열 정보를 선택합니다.
6. "열 특성" 목록에서 "반응 한계"를 선택합니다.

**그림 A.5** Strength에 대한 반응 한계 열 특성



다음을 확인 할 수 있습니다.

- "목표" 가 **목표값 일치**로 설정되어 있습니다.

- "중요도" 값이 없습니다. 중요도 값이 없으면 주어진 분석에서 모든 반응의 중요도 값이 동일한 것으로 간주됩니다. 따라서 JMP는 Strength에 중요도 값 1을 할당합니다.
- 하한은 1.2입니다.
- 상한은 1.4입니다.
- 중간 값은 지정되지 않았습니다.  
중간 값이 지정되지 않았으므로 목표값이 하한과 상한의 중간점인 1.3으로 정의됩니다.
- "만족도" 값이 지정되지 않았습니다.

7. **그래프 참조선으로 표시** 옵션을 선택합니다.

이 옵션은 "실제값 대 예측값 그림"과 "예측 프로파일러"에서 "하한", "중간" 및 "상한" 값에 대한 가로 참조선을 표시합니다.

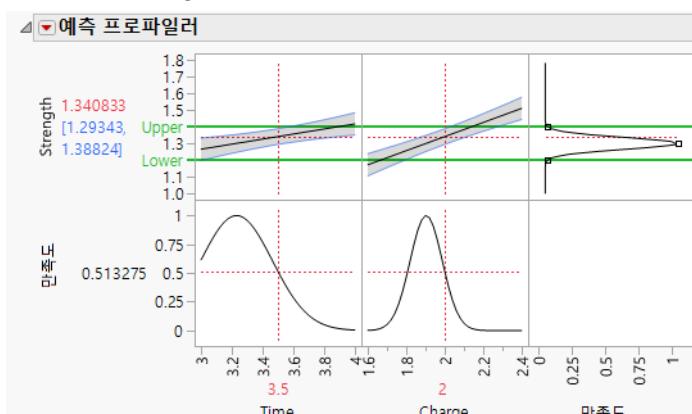
8. **확인**을 클릭합니다.

9. Coffee Data.jmp 데이터 테이블에서 **Reduced Model** 스크립트 옆의 녹색 삼각형을 클릭합니다.

10. **실행**을 클릭합니다.

"예측 프로파일러"가 보고서 맨 아래에 나타납니다.

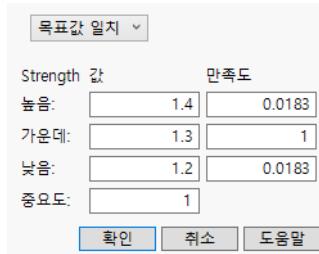
**그림 A.6** Strength의 만족도 함수를 보여 주는 프로파일러



Strength의 만족도 함수는 "만족도" 위의 오른쪽 그림에 나옵니다. 이 그림은 데이터 테이블에 Strength에 대한 "반응 한계" 열 특성이 포함되어 있기 때문에 나타납니다. Strength의 상한 및 하한에 대한 참조선도 "예측 프로파일러"에 표시됩니다.

11. Ctrl 키를 누르고 만족도에 대한 Strength 그림을 클릭합니다.

### 그림 A.7 Strength 의 반응 목표 창



다음을 확인할 수 있습니다.

- "중간" 값은 "반응 한계" 열 특성에 지정한 "상한"과 "하한"의 중간점으로 결정됩니다.
- "목표"가 "목표값 일치"로 설정되었으므로 "중간" 값의 "만족도"는 1로 설정됩니다.
- "상한" 및 "하한" 값의 "만족도"는 매우 작은 값인 0.0183으로 설정됩니다.
- 그림 A.6의 만족도 그림은 그림 A.7에 표시된 만족도 값이 JMP에서 어떻게 사용되는지 보여 줍니다. 기본적으로 Strength의 만족도 함수는 "하한" 및 "상한" 값을 벗어나면 0이고, Strength가 목표값 1.3에 가까워질수록 서서히 1로 증가합니다. 모형에 반응이 하나뿐이므로 "중요도" 값은 1로 설정됩니다.

12. **취소**를 클릭하여 창을 닫습니다.

13. "예측 프로파일러"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **최적화 및 만족도 > 만족도 최대화**를 선택합니다.

Time 및 Charge 설정이 업데이트되어 Strength의 만족도 함수를 최대화하는 요인 설정을 보여 줍니다. 그러나 다른 많은 설정도 만족도 함수를 최대화합니다. 만족도 함수를 최대화하는 다른 설정을 확인하는 방법에 대한 자세한 내용은 Profilers의 을 참조하십시오.

## 반응 한계 편집

Vinyl Data.jmp 샘플 데이터 테이블에는 반응 thickness(두께)에 "반응 한계" 열 특성이 이미 할당되어 있습니다. 이 특성의 목표는 thickness를 최대화하는 것입니다. thickness를 최대화하는 대신 thickness 목표값을 8.5로 지정하고 비닐 thickness가 6~10 사이의 값이 되게 하려고 합니다.

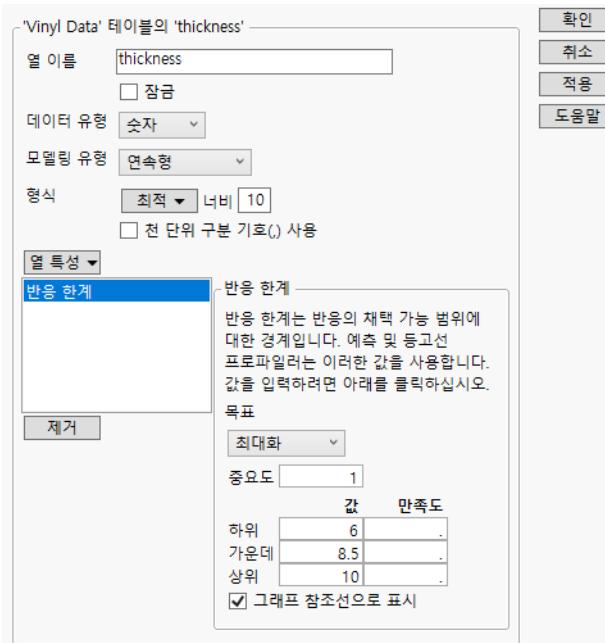
1. **도움말 > 샘플 데이터 라이브러리**를 선택하고 Design Experiment/Vinyl Data.jmp를 엽니다.
2. thickness 열을 선택하고 **열 > 열 정보**를 선택합니다.  
"열 특성" 목록에 "반응 한계" 특성이 표시됩니다. thickness에 이 특성만 할당되었습니다. 목록 오른쪽에는 "반응 한계" 패널이 있습니다.
3. **최대화**를 클릭하고 **목표값 일치**를 선택합니다.
4. **중요도** 값에 1을 입력합니다.
5. "값"에서 "하한"에 6, "중간"에 8.5, "상한"에 10을 각각 입력합니다.

이 예는 비대칭 반응 한계를 보여 줍니다. thickness 값은 최소 6에서 최대 10까지 허용됩니다. 그러나 thickness 목표값은 8.5입니다.

## 6. 그래프 참조선으로 표시를 선택합니다.

이 옵션은 "실제값 대 예측값 그림"과 "예측 프로파일러"에서 "하한", "중간" 및 "상한" 값에 대한 가로 참조선을 표시합니다.

그림 A.8 완료된 반응 한계 패널



## 7. 확인을 클릭합니다.

8. Vinyl Data.jmp 데이터 테이블에서 Model 스크립트 옆의 녹색 삼각형을 클릭합니다.

m1, m2 및 m3은 혼합 요인입니다. 또한 Whole Plots라는 랜덤 요인이 설계에 포함되어 있습니다. 이 때문에 기본 "방법"이 "REML(권장)"입니다.

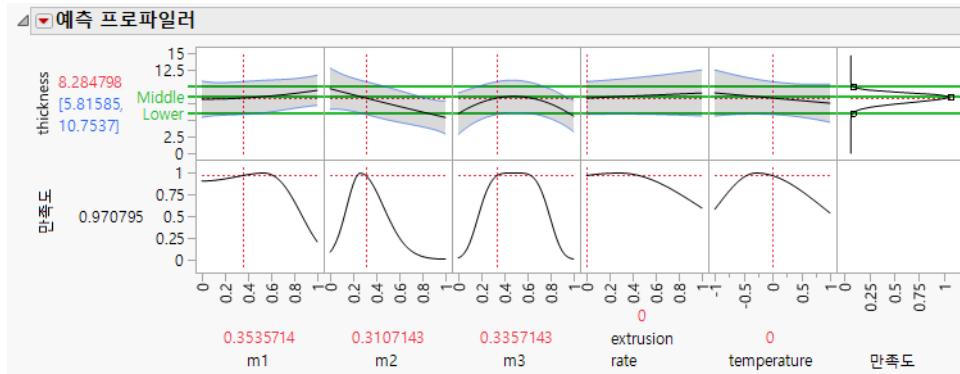
## 9. 실행을 클릭합니다.

10. "반응 thickness"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 행 진단 > 실제값 대 예측값 그림을 선택합니다.

하한, 중간 및 상한에 대한 참조선이 "실제값 대 예측값 그림"에 나타납니다.

11. "반응 thickness"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 요인 프로파일링 > 프로파일러를 선택합니다.

그림 A.9 비대칭 만족도 함수를 보여 주는 예측 프로파일러



"만족도" 위의 오른쪽 그림은 JMP 가 thickness 에 대해 구성한 만족도 함수를 보여 줍니다. 만족도는 "중간" 한계 8.5에서 1입니다. 기본적으로 6 미만이거나 10을 초과하는 thickness 값의 만족도는 0입니다.

12. Ctrl 키를 누르고 만족도에 대한 thickness 그림을 클릭합니다.

그림 A.10 Thickness 의 반응 목표 창

| 목표값 일치      |                                  |                                     |            |
|-------------|----------------------------------|-------------------------------------|------------|
| thickness 값 | 만족도                              |                                     |            |
| 높음:         | <input type="text" value="10"/>  | <input type="text" value="0.0183"/> |            |
| 가운데:        | <input type="text" value="8.5"/> | <input type="text" value="1"/>      |            |
| 낮음:         | <input type="text" value="6"/>   | <input type="text" value="0.0183"/> |            |
| 중요도:        | <input type="text" value="1"/>   |                                     |            |
| <b>확인</b>   |                                  | <b>취소</b>                           | <b>도움말</b> |

이 창에는 "상한", "중간" 및 "하한" 값 설정이 표시됩니다. 또한 실험 목표인 "목표값 일치"에 따라 JMP에서 할당하는 "만족도" 값도 표시됩니다. 그림 A.9에 표시된 만족도 함수는 그림 A.10에서 "상한", "중간" 및 "하한" 값의 만족도 설정과 일치하는 연속 곡선입니다. 다른 값에 대해 만족도 함수는 선택한 목표에 맞는 만족도를 할당합니다.

13. **취소**를 클릭합니다.
14. "예측 프로파일러"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **최적화 및 만족도 > 만족도 최대화**를 선택합니다.  
요인 설정이 업데이트되어 thickness의 만족도 함수를 최대화하는 값이 표시됩니다. 만족도 함수를 최대화하는 다른 설정도 많습니다. 이러한 최적 설정에서 예측 반응은 8.5입니다. 앞에서 한계값을 6과 10으로 지정하고 8.5를 목표값으로 설정했습니다.
15. 변경 사항을 저장하지 않고 Vinyl Data.jmp 샘플 데이터 테이블을 닫습니다.

## JMP<sup>®</sup> 감지 한계

"감지 한계" 열 특성은 반응을 측정할 수 있는 경계를 정의하며 이 경계를 벗어나면 반응을 측정할 수 없습니다. 이러한 한계를 사용하여 일반화 회귀 플랫폼에서 중도절단 반응을 지정할 수 있습니다.

## JMP<sup>®</sup> 함수 반응

"FDE X" 열 특성은 열을 함수 반응으로 지정합니다. DOE 요인을 보조 요인으로 사용하는 함수 데이터 탐색기 플랫폼에서는 FDE 열 특성을 가진 여러 개의 Y 열을 사용할 수 있습니다.

## 설계 역할

일반 모형 및 설계된 실험의 요인은 다양한 방식으로 동작할 수 있습니다. JMP는 설계 역할 열 특성을 사용하여 이러한 동작을 설명합니다. 다음과 같은 설계 역할을 사용할 수 있습니다.

- 연속형
- 이산 수치형
- 범주형
- 블록화
- 공변량
- 혼합
- 상수
- 제어되지 않음
- 랜덤 블록
- 신호
- 잡음

많은 JMP DOE 플랫폼에서 다양한 설계 역할을 사용하여 요인을 지정할 수 있습니다. 일부 플랫폼의 경우 설계 요구 사항으로 인해 JMP에서 자동으로 요인을 정의합니다. 예를 들어 매우 변경하기 힘든 요인과 변경하기 힘든 요인을 지정하면 JMP에서 주구 및 하위구 요인을 생성합니다. 다양한 설계 역할이 나타날 수 있는 플랫폼에서 JMP가 설계 테이블을 생성하면 각 요인에 "설계 역할" 열 특성이 할당됩니다.

- "랜덤 블록", "신호" 및 "잡음" 이외의 설계 역할에 대한 설명은 "사용자 설계" 장의 "요인 유형"(85 페이지)에서 확인하십시오.
- "랜덤 블록" 설계 역할에 대한 설명은 "사용자 설계" 장의 "변경 및 랜덤 블록"(87 페이지)에서 확인하십시오.

- "신호" 및 "잡음" 설계 역할에 대한 설명은 "Taguchi 설계" 장의 "요인"(398 페이지)에서 확인하십시오.

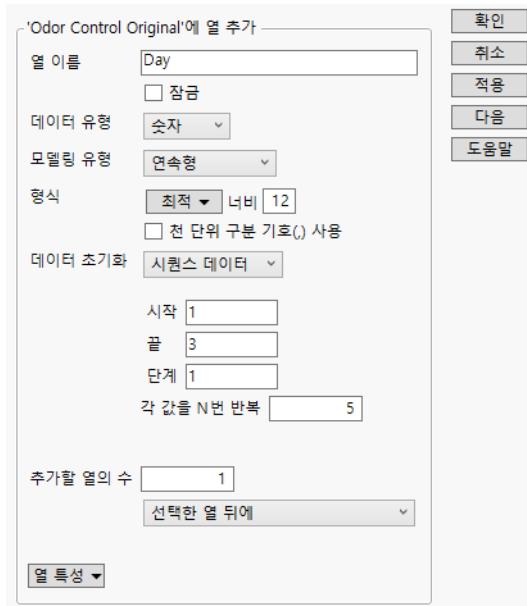
## 설계 역할의 예

Odor Control Original.jmp 샘플 데이터 테이블의 실험은 세 가지 요인이 odor(냄새)에 미치는 효과를 연구합니다. 15회 런 실험을 설계하고 수행했습니다. 그러나 결과가 보고되었을 때 실험이 3일 동안 수행되었음을 알게 되었습니다. 처음 5회 런은 첫째 날에, 두 번째 5회 런은 둘째 날에 그리고 나머지 5회 런은 셋째 날에 각각 수행되었습니다.

온도와 습도의 변화가 반응에 영향을 줄 수 있으므로 Day 를 랜덤 블록 요인으로 포함하려고 합니다. 설계 테이블에 Day 열을 추가하는 것은 쉽습니다. 그러나 설계 평가 플랫폼을 사용하여 예기치 않은 블록이 포함된 설계를 원래 설계와 비교하려고 합니다. 또한 설계를 확대해야 할 경우를 위해 설계 확대 플랫폼도 사용하기를 원합니다. 설계 평가 및 설계 확대 플랫폼을 사용하려면 새 Day 열에 "설계 역할" 열 특성을 추가해야 합니다.

1. **도움말 > 샘플 데이터 라이브러리**를 선택하고 Odor Control Original.jmp 를 엽니다.
2. 첫 번째 열 Run 을 선택합니다.
3. 열 > 새 열 을 선택합니다.
4. 열 이름 옆에 Day 를 입력합니다.
5. 데이터 초기화 목록에서 **시퀀스 데이터**를 선택합니다.
6. 다음을 입력합니다.
  - 시작 : 1
  - 끝 : 3
  - 단계 : 1
  - 각 값을 N 번 반복 : 5
7. **추가할 열의 수** 옆에 1 을 입력합니다.

그림 A.11 완료된 새 열 창



## 8. 확인을 클릭합니다.

Day 열이 데이터 테이블의 두 번째 열로 추가됩니다.

## 9. Day 열을 선택합니다.

## 10. 열 &gt; 열 정보를 선택합니다.

## 11. "열 특성" 목록에서 설계 역할을 선택합니다.

## 12. "설계 역할" 패널에서 연속형을 클릭하고 랜덤 블록을 선택합니다.

## 13. 확인을 클릭합니다.

"열" 패널에서 Day 열에 별표가 표시됩니다.

## 14. Day 열의 별표를 클릭하여 "설계 역할" 열 특성이 할당되었는지 확인합니다.

## 15. 변경 사항을 저장하지 않고 Odor Control Original.jmp 샘플 데이터 테이블을 닫습니다.

---

## 코딩

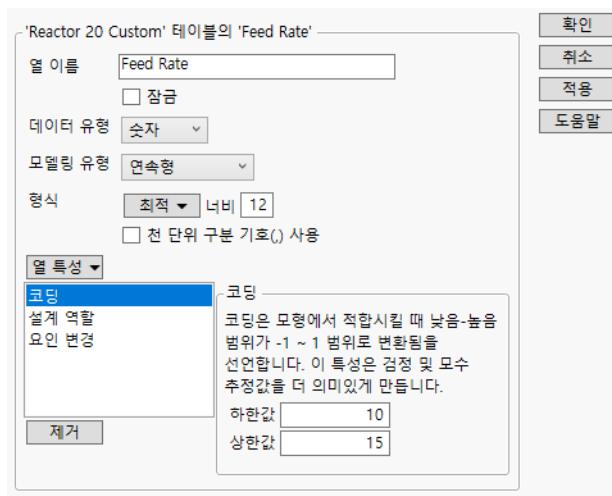
"코딩" 열 특성은 숫자 데이터 유형의 열에만 적용됩니다. 이 특성은 열의 데이터에 선형 변환을 적용합니다. "코딩" 열 특성 창에서 하한값과 상한값을 지정합니다. 원래 데이터의 하한값과 상한값이 각각 -1과 +1로 변환됩니다. JMP의 모형 적합 플랫폼에서 해당 열이 모형 효과로 입력될 때마다 이 변환된 데이터 값이 사용됩니다.

코딩 특성은 다음과 같은 이유로 유용합니다.

- 코드화된 예측 변수를 사용하여 구한 모수 추정값은 더 쉽게 해석하고 비교할 수 있습니다.
- 코드화된 예측 변수를 사용하면 모형에서 교호작용 항 및 고차 항과의 다중공선성을 줄일 수 있습니다.

가속 수명 시험 설계 이외의 DOE 플랫폼에서 설계를 생성하는 경우 JMP는 숫자 데이터 유형을 사용하여 각 비혼합 요인의 "코딩" 열 특성을 정의합니다. 그림 A.12에서는 Design Experiment 풀더의 Reactor 20 Custom.jmp 샘플 데이터 테이블에 포함된 Feed Rate 열의 "코딩" 열 특성 패널을 보여 줍니다.

**그림 A.12** Feed Rate 의 코딩 특성 패널



## 하한값과 상한값

DOE 플랫폼에서 설계 구성의 일부로 "코딩" 특성이 적용되는 경우 처음에는 요인의 최소 설정과 최대 설정이 "하한값"과 "상한값"으로 각각 지정됩니다.

"코딩" 특성을 이 특성이 포함되지 않은 열에 적용하면 JMP에서는 최소값을 "하한값"으로 삽입하고 최대값을 "상한값"으로 삽입합니다. 필요에 따라 이 값을 변경할 수 있습니다.

---

**주의 :** "코딩" 열 특성이 열에 할당된 후 해당 열의 값을 변경하면 값이 자동으로 업데이트되지 않습니다. "코딩" 열 특성이 있는 열의 값을 변경할 경우 상한값과 하한값이 적절한지 검토하십시오.

"코딩" 열 특성은 상한값과 하한값의 중간점을 빼서 열의 각 값을 중심화합니다. 그런 다음 범위의 1/2로 나눕니다.  $H$ 가 상한값이고  $L$ 이 하한값이라고 가정하면 열의 모든  $X$ 가 다음 값으로 변환됩니다.

$$\frac{X - (H + L)/2}{(H - L)/2}$$

각 요인에 대해 변환된 값은 중간점이 0이고 -1 ~ +1 범위를 가집니다.

## 코딩 열 특성 및 중심화 다항식

"중심화 다항식" 옵션은 "모형 적합" 시작 창에서 "모형 규격"의 빨간색 삼각형 메뉴에 있습니다. 중심화 다항식을 사용하면 다항식 항과 관련된 연속형 열을 각 값의 평균을 빼는 방법으로 중심화합니다. 자세한 내용은 선형 모형 적합의 에서 확인하십시오.

"중심화 다항식" 옵션은 "코딩" 열 특성이 할당된 열에는 영향을 주지 않습니다. 해당 열과 관련된 다항식 항의 값은 "코딩" 특성에 지정된 대로 중심화 및 척도화됩니다. 모형의 다른 열에 "코딩" 특성이 없고 "중심화 다항식" 옵션을 선택한다고 가정해 보겠습니다. 이 경우 해당 열은 표시되는 모든 다항식 항에서 평균을 기준으로 중심화됩니다.

## 코딩의 예

Reactor 20 Custom.jmp 샘플 데이터 파일에는 사용자 설계 플랫폼을 사용하여 구성한 20회 턴 설계의 데이터가 포함되어 있습니다. 이 실험에서는 화학 공정의 반응 백분율 (Percent Reacted)에 대한 5개 요인의 효과를 조사합니다.

1. **도움말 > 샘플 데이터 라이브러리**를 선택하고 Design Experiment/Reactor 20 Custom.jmp 를 엽니다.
2. 테이블 패널에서 **DOE Dialog** 스크립트 옆의 녹색 삼각형을 클릭합니다.
3. **요인 개요**를 엽니다.

**그림 A.13** Reactor 20 Custom.jmp 에 사용된 설계의 요인 개요

| 요인            |     |          |     |     |
|---------------|-----|----------|-----|-----|
| 요인 추가         | 제거  | N개 요인 추가 | 1   |     |
| 이름            | 연속형 | 변경       | 값   |     |
| Feed Rate     | 연속형 | 쉬움       | 10  | 15  |
| Catalyst      | 연속형 | 쉬움       | 1   | 2   |
| Stir Rate     | 연속형 | 쉬움       | 100 | 120 |
| Temperature   | 연속형 | 쉬움       | 140 | 180 |
| Concentration | 연속형 | 쉬움       | 3   | 6   |

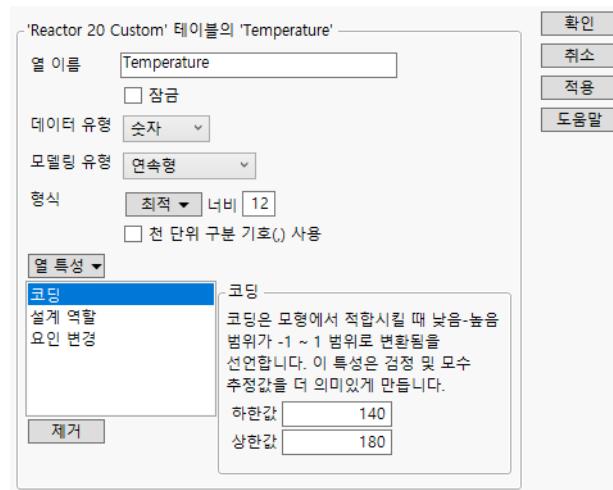
Temperature 설정의 범위는 140 ~ 180입니다. 설계가 생성될 때 Temperature에 "코딩" 열 특성이 할당되었습니다. 하한값이 140으로 설정되고 상한값이 180으로 설정되었습니다.

4. "사용자 설계" 창을 닫습니다.

5. Reactor 20 Custom.jmp 샘플 데이터 테이블의 "열" 패널에서 Temperature 옆의 별표를 클릭하고 코딩을 선택합니다.

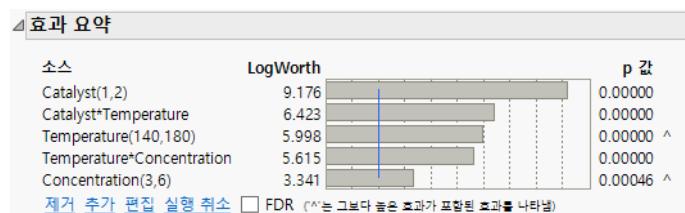
열 정보 창이 나타나고 "코딩" 열 특성 패널이 표시됩니다. JMP가 설계 테이블을 구성할 때 하한값과 상한값을 지정하는 열 특성을 추가했음을 알 수 있습니다. 실제로 이 단계를 반복하면 JMP가 5개 요인 모두에 대해 "코딩" 특성을 추가했음을 확인할 수 있습니다.

**그림 A.14** Temperature의 코딩 패널



6. 취소를 클릭하여 열 정보 창을 닫습니다.
7. Reactor 20 Custom.jmp 샘플 데이터 테이블에서 Reduced Model 스크립트 옆의 녹색 삼각형을 클릭합니다.  
이 스크립트는 전체 모형을 분석한 결과 유의한 것으로 판별된 5개 효과만 포함하는 모형을 적합시킵니다.
8. 실행을 클릭합니다.

**그림 A.15** 축소 모형에 대한 효과 요약 보고서



"소스" 목록에서 주효과, 즉 Catalyst, Temperature 및 Concentration 오른쪽의 괄호 안에 "코딩" 열 특성에 사용된 상한값과 하한값이 표시됩니다. 교호작용 효과에는 "코딩" 특성에 의해 설정된 범위가 표시되지 않습니다.

**팁 :** Temperature 와 Concentration 의 p 값 오른쪽에 "^" 기호가 있습니다. 이 기호는 해당 주 효과가  $p$  값이 더 작은 교호작용 효과의 성분임을 나타냅니다. 교호작용 효과가 모형에 포함된 경우 효과 유전성 원리에 따라 모든 성분 효과도 모형에 포함되어야 합니다. 자세한 내용은 "DOE로 시작" 장의 "효과 유전성"(61 페이지)에서 확인하십시오.

9. "반응 Percent Reacted"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **추정값 > 예측 표현식 표시**를 선택합니다.  
"예측 표현식" 개요를 보고 코딩이 예측 계산식에 어떤 영향을 주는지 확인할 수 있습니다.

### 그림 A.16 축소 모형에 대한 예측 표현식

예측 표현식 표시

$$\begin{aligned} & 65.46506734 \\ & + 9.9423400673 \cdot \left( \frac{(\text{Catalyst} - 1.5)}{0.5} \right) \\ & + 5.5576599327 \cdot \left( \frac{(\text{Temperature} - 160)}{20} \right) \\ & + -3.076599327 \cdot \left( \frac{(\text{Concentration} - 4.5)}{1.5} \right) \\ & + \left( \frac{(\text{Catalyst} - 1.5)}{0.5} \right) \cdot \left( \left( \frac{(\text{Temperature} - 160)}{20} \right) \cdot 6.0349326599 \right) \\ & + \left( \frac{(\text{Temperature} - 160)}{20} \right) \cdot \left( \left( \frac{(\text{Concentration} - 4.5)}{1.5} \right) \cdot -5.150673401 \right) \end{aligned}$$

"코딩" 열 특성에 지정된 대로 각 요인이 변환됩니다. 예를 들어 Temperature의 경우 다음을 확인할 수 있습니다.

- "코딩" 특성의 하한값은 140으로 설정되었습니다. Temperature 값 140은 -1로 변환됩니다.
- "코딩" 특성의 상한값은 180으로 설정되었습니다. Temperature 값 180은 +1로 변환됩니다.
- 하한값과 상한값의 중간점은 160입니다. Temperature 값 160은 0으로 변환됩니다.

변환된 값은 효과를 비교하는 데 도움이 됩니다. Catalyst의 추정 계수는 9.942이고 Concentration의 추정 계수는 -3.077입니다. 결과적으로 Percent Reacted에 대한 Catalyst의 예측 효과가 Percent Reacted에 대한 Concentration 효과의 3배가 넘습니다. 또한 이 계수를 보면 예측 Percent Reacted는 Catalyst가 커질수록 증가하고 Concentration이 커질수록 감소한다는 것을 알 수 있습니다.

변환된 값은 계수를 해석하는 데 도움이 됩니다.

- 모든 요인이 중간점에 있을 때 변환된 값은 0입니다. 예측 Percent Reacted는 절편, 즉 65.465입니다.
- Catalyst 와 Concentration 이 중간점에 있을 때 Temperature 가 20 단위 증가하면 Percent Reacted 가 5.558 단위 증가합니다.
- Concentration 이 중간점에 있고 변환된 값이 0이라고 가정해 보겠습니다.
  - Catalyst 가 중간점에 있을 때 Temperature 가 20 단위 증가하면 Percent Reacted 가 5.558 단위 증가합니다.
  - Catalyst 가 상한 설정일 때 Temperature 가 20 단위 증가하면 Percent Reacted 가 11.593( $5.558 + 6.035$ ) 단위 증가합니다.

결과적으로 교호작용 항의 계수 6.035는 Catalyst가 0.5 단위 변경될 때 예측 Percent Reacted에 대한 모형에서 기울기의 증가입니다.

## 코딩 할당

Tiretread.jmp 샘플 데이터 테이블의 실험 데이터는 타이어 트래드 성능의 네 가지 측도에 대한 SILICA, SILANE 및 SULFUR 효과를 연구하는 실험 결과입니다. 이 예에서는 응답 중 하나인 ABRASION 만 고려합니다.

먼저 코드화되지 않은 요인을 사용하여 모형을 적합시킵니다. 그런 다음 코딩 특성을 요인에 할당하고 모형을 다시 실행하여 의미 있는 모수 추정값을 구합니다.

- 도움말 > 샘플 데이터 라이브러리**를 선택하고 Tiretread.jmp 를 엽니다.
- 분석 > 모형 적합**을 선택합니다.
- ABRASION 을 선택하고 **Y** 를 클릭합니다.
- SILICA, SILANE, SULFUR 를 선택하고 **매크로 > 반응 표면**을 클릭합니다.
- 대화상자 열린 채 유지**를 선택합니다.
- 실행**을 클릭합니다.
- "반응 ABRASION" 의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **추정값 > 예측 표현식 표시**를 선택합니다.

**그림 A.17** 코드화되지 않은 요인을 사용하는 모형의 예측 표현식

-40.0394111  
+ 32.987289493 • SILICA  
+ 1.7880765099 • SILANE  
+ 21.813076926 • SULFUR  
+ (SILICA - 1.2) • ((SILICA - 1.2) • -16.03840362)  
+ (SILANE - 50) • ((SILICA - 1.2) • 1.025)  
+ (SILANE - 50) • ((SILANE - 50) • -0.034471056)  
+ (SULFUR - 2.3) • ((SILICA - 1.2) • 28.5)  
+ (SULFUR - 2.3) • ((SILANE - 50) • 1.575)  
+ (SULFUR - 2.3) • ((SULFUR - 2.3) • -6.288485272)

계수는 효과 크기를 비교하는 데 도움이 되지 않습니다. 계수 크기는 설정 범위에서 효과가 ABRASION에 미치는 영향을 반영하지 않습니다. 또한 계수를 쉽게 해석할 수 없습니다. 예를 들어 SILICA가 범위의 중간점에 있을 때 계수로 예측 반응을 해석하기가 쉽지 않습니다. "코딩" 열 특성을 세 요인에 적용하여 코딩이 어떻게 계수를 더 의미 있게 만드는지 살펴봅니다.

8. Tiretread.jmp 데이터 테이블의 "열" 패널에서 SILICA, SILANE 및 SULFUR를 선택합니다. "열"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 속성 표준화를 선택합니다.
9. "특성 표준화" 패널에서 열 특성 > 코딩을 선택합니다.
10. 확인을 클릭합니다.  
"열" 패널에서 SILICA, SILANE 및 SULFUR 옆에 별표가 나타나 해당 열에 열 특성이 할당되었음을 나타냅니다.
11. "모형 적합" 창에서 실행을 클릭합니다.
12. "반응 ABRASION"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 추정값 > 예측 표현식 표시를 선택합니다.

**그림 A.18** 코드화된 요인을 사용하는 모형의 예측 표현식

| 예측 표현식 표시                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 139.11923872<br>$+ 26.934121871 \cdot \left( \frac{(\text{SILICA} - 1.2)}{0.8165} \right)$ $+ 29.199289407 \cdot \left( \frac{(\text{SILANE} - 50)}{16.33} \right)$ $+ 17.81037731 \cdot \left( \frac{(\text{SULFUR} - 2.3)}{0.8165} \right)$ $+ \left( \frac{(\text{SILICA} - 1.2)}{0.8165} \right) \cdot \left( \frac{(\text{SILICA} - 1.2)}{0.8165} \right) \cdot -10.69235863$ $+ \left( \frac{(\text{SILANE} - 50)}{16.33} \right) \cdot \left( \frac{(\text{SILICA} - 1.2)}{0.8165} \right) \cdot 13.666781125$ $+ \left( \frac{(\text{SILANE} - 50)}{16.33} \right) \cdot \left( \frac{(\text{SILANE} - 50)}{16.33} \right) \cdot -9.192358626$ $+ \left( \frac{(\text{SULFUR} - 2.3)}{0.8165} \right) \cdot \left( \frac{(\text{SILICA} - 1.2)}{0.8165} \right) \cdot 19.000159125$ $+ \left( \frac{(\text{SULFUR} - 2.3)}{0.8165} \right) \cdot \left( \frac{(\text{SILANE} - 50)}{16.33} \right) \cdot 21.000175875$ $+ \left( \frac{(\text{SULFUR} - 2.3)}{0.8165} \right) \cdot \left( \frac{(\text{SULFUR} - 2.3)}{0.8165} \right) \cdot -4.192358626$ |

코드화된 요인에 대한 계수를 사용하면 효과 크기를 비교할 수 있습니다. 설계 설정 범위에서 ABRASION 에 가장 큰 영향을 주는 효과는 SILANE 입니다. SILICA 효과와 SILANE\*SULFUR 교호작용의 효과도 큽니다.

코드화된 요인에 대한 계수도 쉽게 해석됩니다. 예를 들어 모든 요인이 범위의 중심에 있을 때 ABRASION 예측값은 절편, 즉 139.12입니다.

- 변경 사항을 저장하지 않고 Tiretread.jmp 샘플 데이터 테이블을 닫습니다.

## 혼합

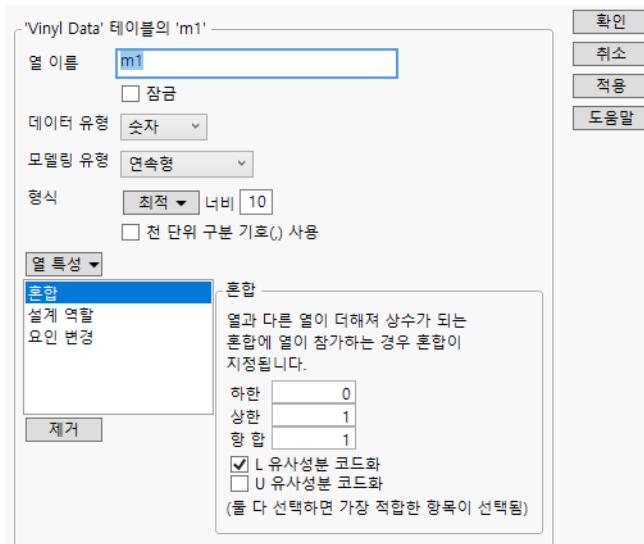
" 혼합 " 열 특성은 데이터 테이블의 열이 혼합 성분을 나타내는 경우에 유용합니다. 혼합 성분의 합은 특정 상수가 되어야 합니다. 이 때문에 비혼합 요인과 차이가 있습니다. " 혼합 " 열 특성은 다음 두 가지 용도로 사용됩니다.

- 열을 혼합 성분으로 식별합니다.  
" 분석 > 모형 적합 " 창에서 " 혼합 " 열 특성이 할당된 열을 모형 효과로 추가하면 절편이 없는 모형이 자동으로 생성됩니다.
- 혼합 성분에 대한 코딩을 정의합니다.

혼합 성분의 코딩은 비혼합 요인의 코딩과 다릅니다. 그러나 비혼합 요인과 마찬가지로 혼합 요인에 대한 코딩도 모두 추정값을 해석하는 데 도움이 된다는 장점이 있습니다. 자세한 내용은 "[유사성분 코드화](#)"(748 페이지)에서 확인하십시오.

그림 A.19에서는 Design Experiment 폴더의 Vinyl Data.jmp 샘플 데이터 테이블에서 m1 요인에 대한 " 혼합 " 열 특성 패널을 보여 줍니다.

**그림 A.19** 혼합 열 특성 패널



" 혼합 " 열 특성 패널에서 다음을 지정할 수 있습니다.

**하한** 유사성분 코드화에 사용되는 하한값을 지정합니다. DOE 플랫폼에서 설계 구성 중에 " 혼합 " 특성이 적용되는 경우 " 하한 "은 요인의 최소 설정으로 지정됩니다. " 혼합 " 특성을 해당 특성이 포함되지 않은 열에 적용하면 최소값이 " 하한 "으로 삽입됩니다. 필요에 따라 이 값을 변경할 수 있습니다.

**상한** 유사성분 코드화에 사용되는 상한값을 지정합니다. DOE 플랫폼에서 설계 구성 중에 " 혼합 " 특성이 적용되는 경우 " 상한 "은 요인의 최대 설정으로 지정됩니다. " 혼합 " 특성을 해

당 특성이 포함되지 않은 열에 적용하면 최대값이 "상한"으로 삽입됩니다. 필요에 따라 이 값을 변경할 수 있습니다.

**항 합** 혼합 성분의 합을 지정합니다. "혼합" 특성을 해당 특성이 포함되지 않은 열에 적용하면 기본값 1이 "항 합"에 삽입됩니다.

**L 유사성분 코드화** 하한이 0에 해당하도록 데이터 값을 변환합니다.

**U 유사성분 코드화** 상한이 0에 해당하도록 데이터 값을 변환합니다.

### 유사성분 코드화

유사성분은 선형 변환입니다. S를 혼합 성분의 합으로 나타내고  $i$  열  $X_1, X_2, \dots, X_q$ 에 "혼합" 열 특성이 할당되었다고 가정합니다. 이러한 열과 이 열에서 구성된 효과가 "모형 적합" 창에 효과로 입력되는 경우를 가정해 보겠습니다.

다음을 정의합니다.

$$L = \sum_{i=1}^q L_i \text{ 여기서 } L_i \text{는 } X_i \text{의 하한입니다.}$$

$$U = \sum_{i=1}^q U_i \text{ 여기서 } U_i \text{는 } X_i \text{의 상한입니다.}$$

$x_i$ 가  $X_i$  열의 값을 나타낸다고 하면  $x_i$ 에서 L 유사성분은 다음과 같이 정의됩니다.

$$x_i^L = (X_i - L_i) / (S - L)$$

$x_i$ 에서 U 유사성분은 다음과 같이 정의됩니다.

$$x_i^U = (U_i - X_i) / (U - S)$$

**L 유사성분 코드화**와 **U 유사성분 코드화**를 둘 다 선택하는 경우,  $(S - L) < (U - S)$ 이면 모형 적합 플랫폼에서 L 코드화를 사용합니다. 그렇지 않은 경우 U 코드화가 사용됩니다.

모형 적합에서는 모두 추정값을 계산하기 전에 유사성분을 사용하여 혼합 요인이 변환됩니다. 이렇게 하면 모두 추정값을 더 의미 있게 만드는 데 도움이 됩니다. 모두 추정값과 관련된 보고서에서 혼합 주효과는 코딩 변환에 의해 제공됩니다. 프로파일러와 같은 다른 보고서는 코드화되지 않은 값을 기반으로 합니다.

## 혼합의 예

Design Experiment 폴더에 있는 Donev Mixture Data.jmp 샘플 데이터 테이블의 데이터는 Atkinson and Donev(1992)의 예를 기반으로 합니다. 혼합 요인 3 개와 비혼합 요인 1 개가 설계에 포함되어 있습니다.

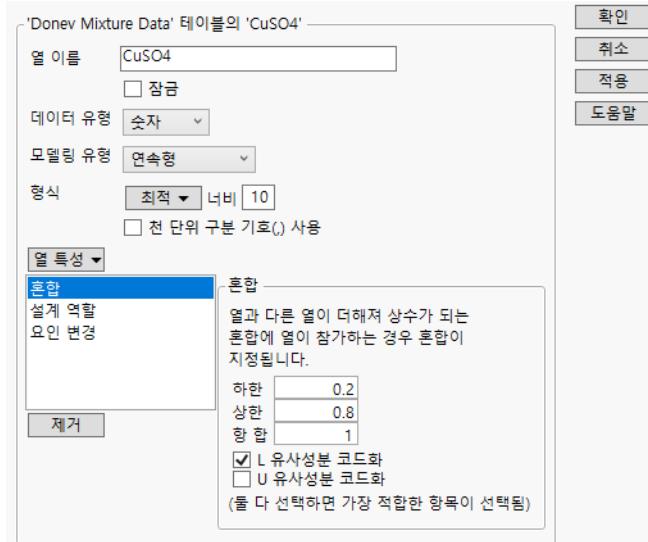
- 반응은 아크릴로니트릴 파우더의 전자기 감쇠를 측정하는 Damping입니다.
- 세 가지 혼합 성분은 황산구리 ( $\text{CuSO}_4$ ), 티오황산나트륨 ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ), 글리옥살 (Glyoxal)입니다.
- 관심 있는 비혼합 환경 요인은 빛의 파장 (Wavelength)입니다.

이론적으로 Wavelength는 연속형이지만 연구원들은 세 가지 개별 파장에서의 예측에만 관심이 있었습니다. 따라서 Wavelength는 3 수준 범주형 요인으로 간주됩니다.

사용자 설계를 사용하여 이 상황에 맞는 설계를 구성하는 방법에 대한 자세한 내용은 "사용자 설계의 예" 장의 "혼합물 실험" (162 페이지)에서 확인하십시오.

- 도움말 > 샘플 데이터 라이브러리를 선택하고 Design Experiment/Donev Mixture Data.jmp 를 엽니다.
- "열" 패널에서  $\text{CuSO}_4$  옆의 별표를 클릭하고 혼합을 선택합니다.

**그림 A.20**  $\text{CuSO}_4$  의 혼합 열 특성 패널



다음을 확인할 수 있습니다.

- "하한"은 0.2이며  $\text{CuSO}_4$ 의 최소 설계 설정입니다.
- "상한"은 0.8이며  $\text{CuSO}_4$ 의 최대 설계 설정입니다.
- "항합"은 1로 설정되어 있습니다. 이 값은 세 가지 혼합 요인의 합입니다.

- **L 유사성분 코드화** 옵션이 선택되어 있습니다. 자세한 내용은 "[유사성분 코드화](#)"(748 폐이지)에서 확인하십시오.

3. **취소**를 클릭합니다.

4. "열" 패널에서 Glyoxal 옆의 별표를 클릭하고 **혼합**을 선택합니다.

이 요인에 대해 다음을 확인할 수 있습니다.

- "하한"은 0이며 Glyoxal의 최소 설계 설정입니다.
- "상한"은 0.6이며 Glyoxal의 최대 설계 설정입니다.

5. **취소**를 클릭합니다.

6. Donev Mixture Data.jmp 데이터 테이블에서 **Model** 스크립트 옆의 녹색 삼각형을 클릭합니다.  
이 모형에는 혼합 요인의 주효과와 네 가지 모든 요인에 대한 이원 교호작용이 포함됩니다.

7. **실행**을 클릭합니다.

"모수 추정값" 보고서에서 혼합 요인은 유사성분 코드화된 형식으로 나타납니다. 교호작용에 나타나는 혼합 요인은 코드화된 형식으로 표시되지 않습니다. 그러나 모형 적합은 유사성분을 기반으로 합니다."모수 추정값" 보고서의 처음 세 항(그림 A.21 참조)은 혼합 요인에 대한 코드화된 형식을 보여 줍니다.

### 그림 A.21 모수 추정값 보고서

| 모수 추정값                 |           |          |       |         |  |
|------------------------|-----------|----------|-------|---------|--|
| 항                      | 추정값       | 표준 오차    | t 비   | Prob> t |  |
| (CuSO4-0.2)/0.6        | 6.1910821 | 0.918805 | 6.74  | 0.0005* |  |
| (Na2S2O3-0.2)/0.6      | 4.0089179 | 0.918805 | 4.36  | 0.0048* |  |
| Glyoxal/0.6            | 8.1666667 | 0.921638 | 8.86  | 0.0001* |  |
| CuSO4*Na2S2O3          | 11.293949 | 4.728922 | 2.39  | 0.0542  |  |
| CuSO4*Glyoxal          | 4.3511692 | 4.512775 | 0.96  | 0.3722  |  |
| CuSO4*Wavelength[L1]   | -3.847343 | 1.113399 | -3.46 | 0.0135* |  |
| CuSO4*Wavelength[L2]   | 1.8781509 | 1.079113 | 1.74  | 0.1324  |  |
| Na2S2O3*Glyoxal        | -18.4845  | 4.512775 | -4.10 | 0.0064* |  |
| Na2S2O3*Wavelength[L1] | -0.275689 | 1.064004 | -0.26 | 0.8042  |  |
| Na2S2O3*Wavelength[L2] | 0.4452853 | 1.103681 | 0.40  | 0.7006  |  |
| Glyoxal*Wavelength[L1] | 0.198283  | 1.090627 | 0.18  | 0.8617  |  |
| Glyoxal*Wavelength[L2] | 0.1905384 | 1.090647 | 0.17  | 0.8671  |  |

8. "반응 Damping"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **추정값 > 예측 표현식 표시**를 선택합니다.

"예측 표현식" 보고서는 적합된 모형을 보여 줍니다. 혼합 요인은 "L 유사성분 코드화"를 사용하여 변환되었습니다.

## 그림 A.22 Damping 모형의 예측 표현식

◀ 예측 표현식 표시

$$\begin{aligned}
 & 6.1910820765 \cdot \left( \frac{(\text{CuSO}_4 - 0.2)}{0.6} \right) \\
 & + 4.0089179235 \cdot \left( \frac{(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 - 0.2)}{0.6} \right) \\
 & + 8.1666666667 \cdot \left( \frac{\text{Glyoxal}}{0.6} \right) \\
 & + \left( \frac{(\text{CuSO}_4 - 0.2)}{0.6} \right) \cdot \left( \frac{(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 - 0.2)}{0.6} \right) \cdot 11.293949004 \\
 & + \left( \frac{(\text{CuSO}_4 - 0.2)}{0.6} \right) \cdot \left( \left( \frac{\text{Glyoxal}}{0.6} \right) \cdot 4.3511691804 \right) \\
 & + \left( \frac{(\text{CuSO}_4 - 0.2)}{0.6} \right) \cdot \text{Match}(\text{Wavelength}) \begin{cases} "L1" \Rightarrow -3.847342876 \\ "L2" \Rightarrow 1.8781509412 \\ "L3" \Rightarrow 1.9691919345 \\ \text{else} \Rightarrow . \end{cases} \\
 & + \left( \frac{(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 - 0.2)}{0.6} \right) \cdot \left( \left( \frac{\text{Glyoxal}}{0.6} \right) \cdot -18.48450251 \right) \\
 & + \left( \frac{(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 - 0.2)}{0.6} \right) \cdot \text{Match}(\text{Wavelength}) \begin{cases} "L1" \Rightarrow -0.275688526 \\ "L2" \Rightarrow 0.44528528 \\ "L3" \Rightarrow -0.169596754 \\ \text{else} \Rightarrow . \end{cases} \\
 & + \left( \frac{\text{Glyoxal}}{0.6} \right) \cdot \text{Match}(\text{Wavelength}) \begin{cases} "L1" \Rightarrow 0.1982830114 \\ "L2" \Rightarrow 0.1905384076 \\ "L3" \Rightarrow -0.388821419 \\ \text{else} \Rightarrow . \end{cases}
 \end{aligned}$$

Wavelength L2에서의 예측에 관심이 있다고 가정해 보겠습니다. 또한 Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>와 Glyoxal은 각각 하한값 0.2와 0으로 설정되고 CuSO<sub>4</sub>는 상한값 0.8로 설정된다고 가정합니다. 이 경우 예측 Damping은 CuSO<sub>4</sub>의 모수 추정값 (6.191)과 CuSO<sub>4</sub>\*Wavelength[L2]의 모수 추정값 (1.878)을 더한 값과 동일합니다. "예측 프로파일러"에서 이를 확인할 수 있습니다.

- "반응 Damping"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 열 저장 > 코드화 테이블 저장을 선택합니다.

**그림 A.23** 코드화된 혼합 요인을 보여 주는 코드화 테이블의 처음 세 열

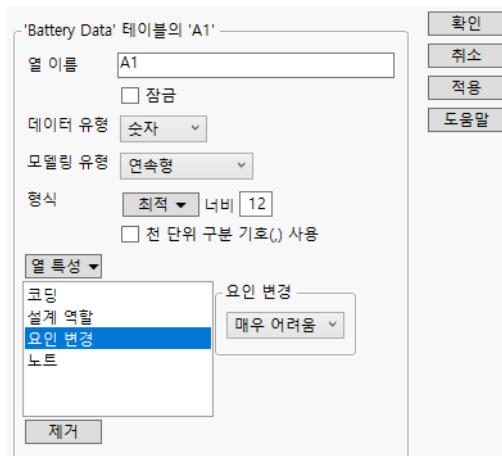
|    | (CuSO <sub>4</sub> -0.2)/0.6 | (Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -0.2)/0.6 | Glyoxal/0.6 |
|----|------------------------------|----------------------------------------------------------|-------------|
| 1  | 1                            | 0                                                        | 0           |
| 2  | 0.4                          | 0.6                                                      | 0           |
| 3  | 0                            | 1                                                        | 0           |
| 4  | 0.5                          | 0                                                        | 0.5         |
| 5  | 0                            | 0.5                                                      | 0.5         |
| 6  | 0                            | 0                                                        | 1           |
| 7  | 1                            | 0                                                        | 0           |
| 8  | 0.6                          | 0.4                                                      | 0           |
| 9  | 0                            | 1                                                        | 0           |
| 10 | 0.5                          | 0                                                        | 0.5         |
| 11 | 0                            | 0.5                                                      | 0.5         |
| 12 | 0                            | 0                                                        | 1           |
| 13 | 1                            | 0                                                        | 0           |
| 14 | 0.4                          | 0.6                                                      | 0           |
| 15 | 0                            | 1                                                        | 0           |
| 16 | 0.5                          | 0                                                        | 0.5         |
| 17 | 0                            | 0.5                                                      | 0.5         |
| 18 | 0                            | 0                                                        | 1           |

이 특정 설계의 경우 "L 유사성분 코드화"를 통해 혼합 요인이 0~1 사이의 범위로 변환됩니다. 일반적으로는 일어나지 않는 일입니다.

## 요인 변경

"요인 변경" 열 특성은 설계된 실험에서 요인 설정을 변경하기가 얼마나 어려운지를 나타냅니다. "요인 변경"에 사용 가능한 값은 "쉬움", "어려움" 및 "매우 어려움"입니다. 예를 들어 그림 A.24에서는 Design Experiment 폴더에 있는 Battery Data.jmp 샘플 데이터 테이블에서 A1 요인에 대한 "요인 변경" 열 특성 패널을 보여 줍니다.

**그림 A.24** 요인 변경 열 특성 패널



- 변경하기 힘든 요인과 매우 변경하기 힘든 요인이 설계에 포함된 경우 하위구 및 주구 요인도 설계에 포함되어야 합니다.
  - 주구 요인의 수준은 매우 변경하기 힘든 요인의 수준이 일정하게 유지되는 런 그룹을 정의합니다.
  - 하위구 요인의 수준은 변경하기 힘든 요인의 수준이 일정하게 유지되는 런 그룹을 정의합니다.
- 변경하기 힘든 요인만 설계에 포함되고 매우 변경하기 힘든 요인은 없는 경우 주구 요인을 포함해야 합니다. 주구 요인의 수준은 변경하기 힘든 요인의 수준이 일정하게 유지되는 런 그룹을 정의합니다. 자세한 내용은 "사용자 설계" 장의 "변경 및 랜덤 블록"(87 페이지)에서 확인하십시오.

## 설계 확대 및 평가

설계 평가 및 설계 확대 플랫폼의 경우 "요인 변경" 열 특성은 "변경"이 "어려움" 또는 "매우 어려움"으로 지정된 요인을 식별합니다. 그러나 이러한 플랫폼에서는 시작 창에서 주구 요인과 하위구 요인도 모형 효과로 입력해야 합니다. 주구 요인과 하위구 요인이 설계 구조의 일부이기 때문입니다.

## 사용자 설계

사용자 설계 플랫폼을 사용하면 모든 요인 변경이 "쉬움"으로 지정된 설계를 생성할 수 있습니다. 분할구, 분할-분할구 또는 이원 분할구(조각구) 설계를 구성할 수도 있습니다. 이러한 설계를 구성할 때는 값을 변경하기 힘들거나 매우 변경하기 힘든 요인을 식별해야 합니다. "요인" 개요에서 "변경"이 "쉬움", "어려움" 또는 "매우 어려움"으로 지정되는 요인을 식별할 수 있습니다. 사용자 설계 플랫폼에서 설계 테이블을 구성할 때 "요인" 개요에 나타나는 모든 요인에 "요인 변경" 특성이 할당됩니다.

"변경"이 "어려움" 또는 "매우 어려움"으로 지정된 요인에 대한 설계를 구성하려면 사용자 설계 플랫폼을 사용해야 합니다. 다른 DOE 플랫폼에서도 구성하는 요인에 "요인 변경" 열 특성을 할당하지만 해당 요인의 열 특성 값이 "쉬움"으로 설정됩니다.

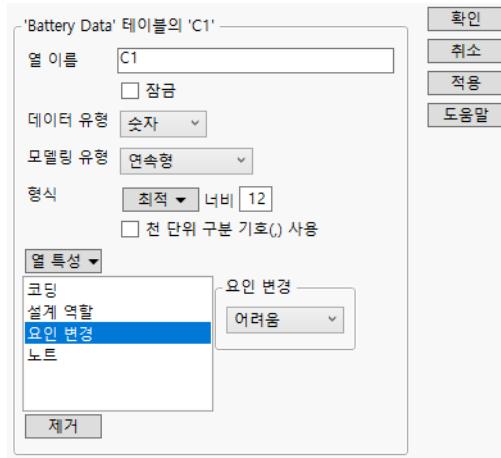
"사용자 설계" 창에서 요인 테이블을 사용하여 요인을 불러오는 경우 "요인 변경" 열 특성을 해당 테이블의 열에 할당할 수 있습니다. 테이블을 사용하여 요인을 불러오면 지정된 요인 변경 설정이 "요인" 개요에 나타납니다.

## 요인 변경의 예

Design Experiment 폴더의 Battery Data.jmp 샘플 데이터 테이블에는 배터리의 OCV(개회로 전압)를 연구하는 실험 데이터가 포함되어 있습니다. 이 설계는 이원 분할구 설계입니다. 자세한 배경 정보는 "사용자 설계의 예" 장(184 페이지)에서 확인하십시오.

1. **도움말 > 샘플 데이터 라이브러리를 선택하고 Design Experiment/Battery Data.jmp 를 엽니다.**
2. "열" 패널에서 C1 요인 오른쪽의 별표를 클릭합니다.
3. **요인 변경을 선택합니다.**

그림 A.25 C1 의 요인 변경 패널



C1 의 " 요인 변경 " 값은 " 어려움 " 입니다 . 그림 A.24 에서는 A1 의 " 요인 변경 " 값이 " 매우 어려움 " 으로 지정된 것을 보여 줍니다 .

4. 확인을 클릭합니다 .
5. 데이터 테이블에서 DOE Dialog 스크립트 옆의 녹색 삼각형을 클릭합니다 .
6. 요인 개요를 엽니다 .

그림 A.26 배터리 실험의 요인 개요

| 요인      |     |          |    |   |
|---------|-----|----------|----|---|
| 요인 추가 ▾ | 제거  | N개 요인 추가 | 1  |   |
| A1      | 연속형 | 변경       | 값  |   |
| A2      | 연속형 | 매우 어려움   | -1 | 1 |
| A3      | 연속형 | 매우 어려움   | -1 | 1 |
| A4      | 연속형 | 매우 어려움   | -1 | 1 |
| C1      | 연속형 | 어려움      | -1 | 1 |
| C2      | 연속형 | 어려움      | -1 | 1 |

A1, A2, A3 및 A4 요인은 " 변경 " 이 " 매우 어려움 " 으로 설정되고 C1 및 C2 요인은 " 변경 " 이 " 어려움 " 으로 설정되어 있습니다 . 사용자 설계 플랫폼은 설계 테이블을 구성할 때 이러한 설정을 해당 열에 " 요인 변경 " 열 특성으로 저장합니다 .

" 설계 " 개요에서 주구 및 하위구 요인을 확인하십시오 .

그림 A.27 설계 개요 ( 일부분 )

| 설계 |    |     | A1 | A2 | A3 | A4 | C1 | C2 |
|----|----|-----|----|----|----|----|----|----|
| 런  | 주구 | 하위구 |    |    |    |    |    |    |
| 1  | 1  | 1   | -1 | -1 | 1  | -1 | -1 | -1 |
| 2  | 1  | 2   | -1 | -1 | 1  | -1 | 1  | -1 |
| 3  | 1  | 3   | -1 | -1 | 1  | -1 | -1 | 1  |
| 4  | 2  | 4   | -1 | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  |
| 5  | 2  | 5   | -1 | 1  | 1  | 1  | -1 | 1  |
| 6  | 2  | 6   | -1 | 1  | 1  | 1  | 1  | -1 |
| 7  | 3  | 7   | 1  | 1  | 1  | -1 | -1 | 1  |
| 8  | 3  | 8   | 1  | 1  | 1  | -1 | 1  | 1  |
| 9  | 3  | 9   | 1  | 1  | 1  | -1 | -1 | -1 |
| 10 | 4  | 10  | 1  | -1 | 1  | 1  | 1  | 1  |
| 11 | 4  | 11  | 1  | -1 | 1  | 1  | 1  | -1 |
| 12 | 4  | 12  | 1  | -1 | 1  | 1  | -1 | -1 |

사용자 설계 플랫폼에서는 "어려움" 또는 "매우 어려움"으로 지정된 요인 변경을 설명하기 위해 두 개의 요인이 생성됩니다. 주구 요인은 "매우 어려움" 요인 수준이 일정하게 유지되는 런을 그룹화하고, 하위구 요인은 "어려움" 요인 수준이 일정하게 유지되는 런을 그룹화합니다. 설계 평가 및 설계 확대 플랫폼에서 "요인 변경" 열 특성을 포함하는 열을 입력할 때 이러한 요인을 모형 효과로 포함해야 합니다.

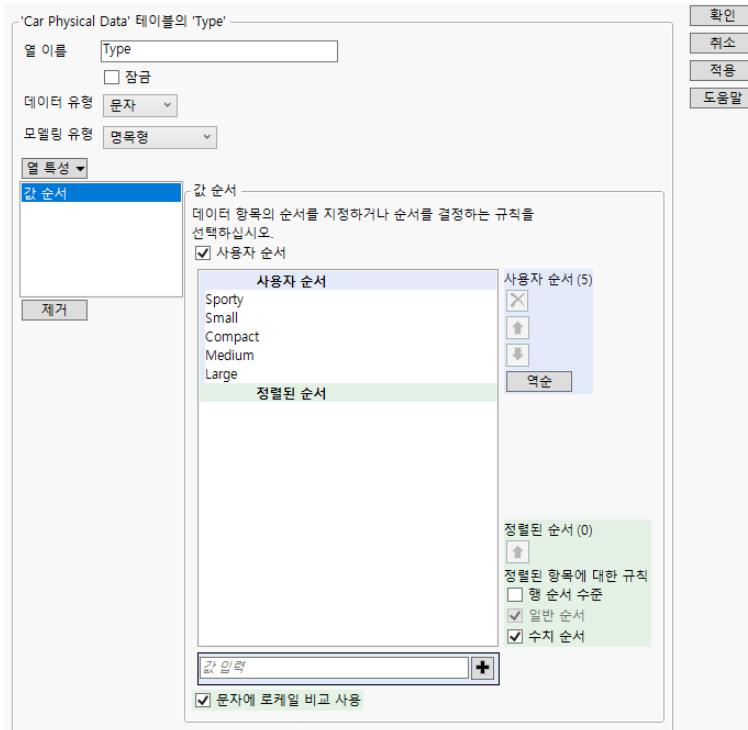
## 값 순서

"값 순서" 열 특성은 열의 값에 순서를 할당합니다. 이 순서는 그림과 분석에 사용됩니다. 보고서에 값이 나타나는 순서를 지정할 수 있습니다.

**참고 :** JMP는 요일과 같이 일반 순서가 있는 특정 값을 보고서에 나타낼 때 적절한 방식을 사용하여 자동으로 정렬합니다. 자세한 내용은 JMP 사용의에서 확인하십시오.

그림 A.28에서는 Car Physical Data.jmp 샘플 데이터 테이블의 Type 열에 대한 "값 순서" 패널을 보여 줍니다. Type 값을 포함하는 보고서는 값 수준을 Sporty, Small, Compact, Medium, Large 순으로 배치합니다. "값 순서" 목록 오른쪽의 버튼을 사용하여 원하는 값 순서를 지정할 수 있습니다.

그림 A.28 Type에 대한 값 순서 열 특성



대부분의 DOE 플랫폼을 사용하여 생성된 설계에서는 구성된 요인(주구, 하위구)을 포함하는 범주형 요인 및 블록 요인에 "값 순서" 특성이 할당됩니다. 이 특성은 수준을 "요인" 개요에 나타나는 순서에 따라 정렬합니다. 구성된 요인의 수준은 연속된 정수이며 "값 순서" 특성은 이러한 일반 순서를 지정합니다. 필요에 따라 요인의 "값 순서" 설정을 수정할 수 있습니다.

덮기 배열 또는 Taguchi 배열 플랫폼에서는 "값 순서" 특성이 할당되지 않습니다. 덮기 배열 플랫폼은 "값 라벨" 열 특성을 할당합니다. 자세한 내용은 "[값 라벨](#)"(759페이지)에서 확인하십시오.

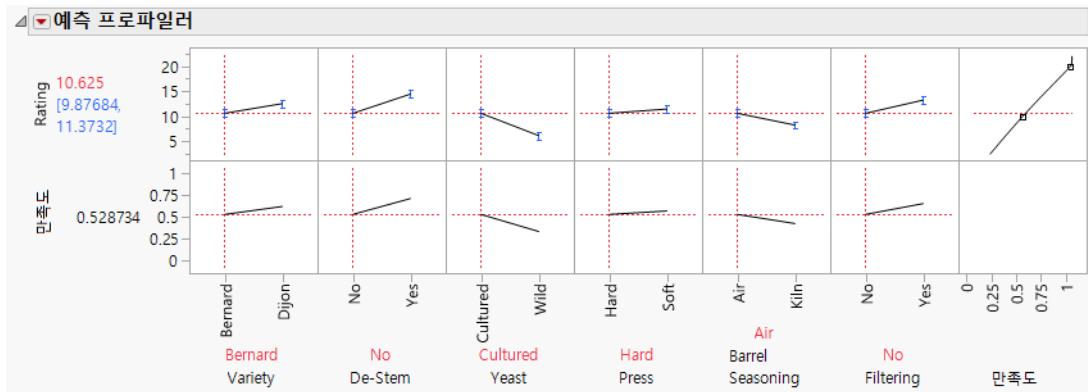
## 값 순서의 예

"예측 프로파일리"에서 요인의 값을 다른 순서로 표시하려는 경우를 가정해 보겠습니다. 사용자 설계를 사용하여 구성한 와인 시음 실험을 예로 들겠습니다. 와인은 Wine Data.jmp 샘플 데이터 테이블에 각각 Rater로 나열된 5 명의 전문가에 의해 평가됩니다. Rater는 고정 블록 요인입니다. 9 개 요인이 연구 대상입니다. 응답은 Rating입니다.

1. **도움말 > 샘플 데이터 라이브러리**를 선택하고 Design Experiment/Wine Data.jmp 를 엽니다 .
2. 테이블 패널에서 **Reduced Model** 스크립트 옆의 녹색 삼각형을 클릭합니다 .
3. **실행**을 클릭합니다 .

"예측 프로파일리"가 보고서 맨 아래에 나타납니다 .

그림 A.29 원래 값 순서로 표시된 프로파일러

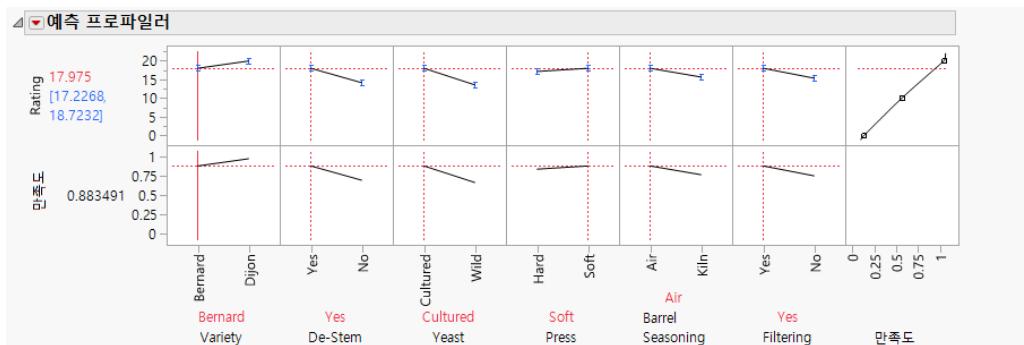


De-Stem 및 Filtering 값은 No 다음에 Yes 가 나오는 순서로 되어 있습니다 . Yes 수준이 먼저 나오도록 순서를 바꾸려고 합니다 .

**팁 :** 프로파일러를 정렬하려면 " 예측 프로파일러 " 의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **모양 > 행으로 배열**을 선택합니다 . 이 예에서는 7 을 입력하고 **확인**을 클릭합니다 .

4. " 반응 Rating" 보고서를 닫습니다 .
5. 데이터 테이블의 " 열 " 패널에서 De-Stem 옆의 별표를 클릭하고 " 값 순서 " 를 선택합니다 .
6. **역순**을 클릭합니다 .
7. **확인**을 클릭합니다 .
8. " 열 " 패널에서 Filtering 옆의 별표를 클릭하고 " 값 순서 " 를 선택합니다 .
9. **역순**을 클릭합니다 .
10. **확인**을 클릭합니다 .
11. 다시 **Reduced Model** 스크립트 옆의 녹색 삼각형을 클릭합니다 .
12. **실행**을 클릭합니다 .

그림 A.30 새 값 순서로 표시된 프로파일러



이제 De-Stem 및 Filtering 수준이 Yes 다음에 No 가 나오는 순서로 되어 있습니다.

13. 변경 사항을 저장하지 않고 Wine Data.jmp 샘플 데이터 테이블을 닫습니다.

## 값 순서 할당

Candy Bars.jmp 샘플 데이터 테이블을 예로 들겠습니다. Brand 아래에 나열된 18개 브랜드 중 Hershey 와 M&M/Mars 가 Name 열에 나열된 사탕 종류가 가장 많습니다. 이 두 브랜드를 보고서에 맨 먼저 나타내려고 합니다.

1. 도움말 > 샘플 데이터 라이브러리를 선택하고 Candy Bars.jmp 를 엽니다.
2. Brand 열을 선택합니다.
3. 열 > 열 정보를 선택합니다.
4. "열 특성"에서 "값 순서"를 선택합니다.
5. "값 순서" 목록에서 "Hershey"를 선택합니다.
6. 위쪽 화살표를 5 번 클릭합니다.

이제 Hershey 가 "값 순서" 목록에 맨 먼저 나옵니다.

7. "값 순서" 목록에서 "M&M/Mars"를 선택합니다.
8. 위쪽 화살표를 7 번 클릭합니다.

이제 M&M/Mars 가 "값 순서" 목록에서 두 번째 위치에 나옵니다.

9. 확인을 클릭합니다.

"값 순서" 열 특성을 나타내는 별표가 "열" 패널의 Brand 열에 나타납니다. 이제 JMP 는 Brand 를 포함하는 보고서에서 Hershey 와 M&M/Mars 를 먼저 나열합니다.

10. 분석 > 분포를 선택합니다.
11. Calories 를 선택하고 Y, 열을 클릭합니다.
12. Brand 를 선택하고 기준을 클릭합니다.
13. 확인을 클릭합니다.

14. Ctrl 키를 누르고 "Calories" 의 빨간색 삼각형을 클릭한 후 표시 옵션 > 가로 레이아웃을 선택 합니다.

18 개 브랜드 중 Hershey 와 M&M/Mars 에 대한 "분포" 보고서가 맨 먼저 나옵니다.

15. 변경 사항을 저장하지 않고 Candy Bars.jmp 샘플 데이터 파일을 닫습니다.

## 값 라벨

"값 라벨" 열 특성은 라벨이 지정된 열에 값을 나타냅니다. 이러한 라벨은 데이터 파일에 표시되고 그림과 보고서에 사용됩니다. 데이터 파일에서 셀 내부를 두 번 클릭하면 원래 값을 볼 수 있습니다. "값 라벨" 열 특성을 할당하고 사용하는 방법에 대한 자세한 내용은 JMP 사용의에서 확인하십시오.

DOE 플랫폼 중 덮기 배열 플랫폼에서만 "값 라벨" 열 특성을 할당할 수 있습니다. 덮기 배열 플랫폼은 "명목형" 모델링 유형을 사용하여 요인을 데이터 파일에 저장합니다. 기본 값은 1 ~ 덮기 배열 "요인" 개요에 지정한 수준 수 범위의 연속된 정수입니다. "요인" 개요에서 지정한 값은 기본 정수에 할당되는 값 라벨입니다.

## 값 라벨의 예

인터넷 기반 소프트웨어 응용 프로그램을 테스트하여 운영 환경의 구성 요소에서 발생하는 문제를 감지하려고 합니다. 관심 있는 네 가지 구성 요소는 브라우저, 운영 체제, 컴퓨터 RAM 및 연결 속도입니다. 테스트 시간을 최소화하기 위해 이원 교호작용 검정으로 제한합니다.

필요한 요인 수준 조합을 검정하기 위해 강도 2 덮기 배열을 구성합니다.

1. DOE > 특수 용도 > 덮기 배열을 선택합니다.
2. 도움말 > 샘플 데이터 라이브러리를 선택하고 Design Experiment/Software Factors.jmp 를 엽니다.
3. "덮기 배열"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 요인 불러오기를 선택합니다.  
요인과 요인 수준이 "요인" 개요에 나타납니다.

**그림 A.31** 소프트웨어 요인에 대한 요인 개요

| 요인               |               |
|------------------|---------------|
| 요인 추가 ▾          | 제거            |
| N개 요인 추가         | 1 강도: t = 2 ▾ |
| 이름               | 역할            |
| Web Browser      | 별주형           |
| Operating System | 별주형           |
| RAM              | 별주형           |
| Connection Speed | 별주형           |
| Safari           | IE            |
| Macintosh        | Firefox       |
| 4 MB             | Chrome        |
| 0-1 Mbps         | Windows       |
| 1-5 Mbps         | Other         |
| >5 Mbps          |               |

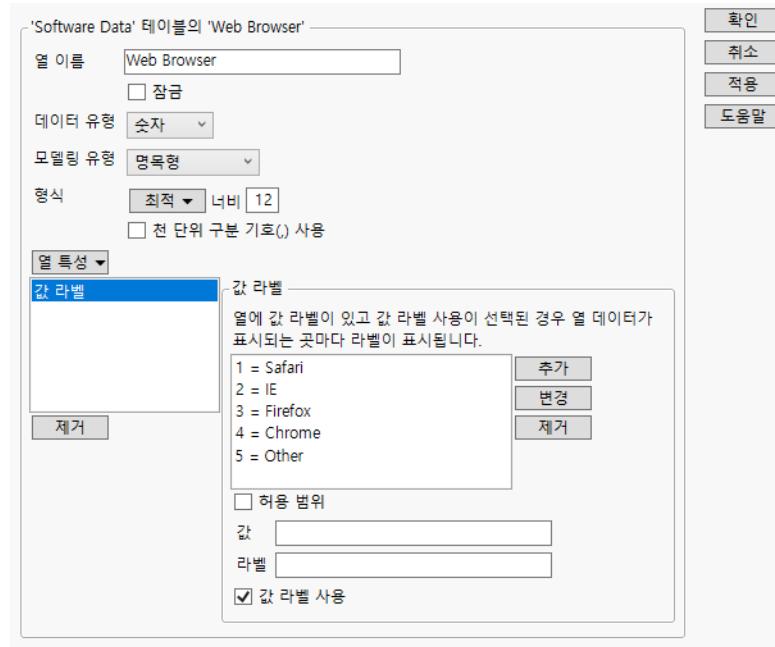
네 가지 요인의 "역할"이 "별주형"으로 기술되어 있습니다.

4. 계속을 클릭합니다.

"요인 수준 조합 제한" 개요가 열립니다. 모든 설정 조합이 가능하므로 이 설정을 **없음**으로 그대로 둡니다.

5. **설계 생성**을 클릭합니다.
6. **테이블 생성**을 클릭합니다.
7. "열" 패널에서 Web Browser 옆의 별표를 클릭하고 **값 라벨**을 선택합니다.

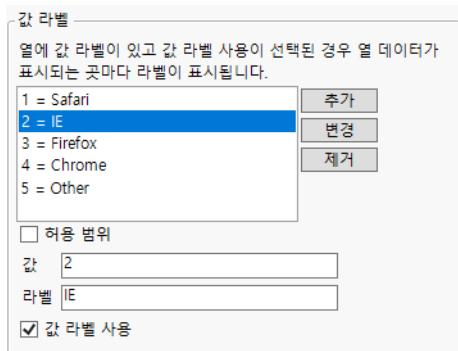
**그림 A.32** 요인 A의 열 정보 창



Web Browser의 데이터 유형은 "숫자"이고 모델링 유형은 "명목형"입니다. Web Browser의 기본 값은 정수 1, 2, 3, 4, 5입니다. 설계를 구성할 때 입력한 값에 해당하는 값 라벨이 이 값에 할당됩니다.

2에 대한 값 라벨을 "IE"에서 "Internet Explorer"로 변경합니다.

8. "값 라벨" 목록에서 **2 = IE**를 선택합니다.

**그림 A.33** 선택 항목이 포함된 값 라벨 패널

9. "라벨" 옆에 **Internet Explorer**를 입력합니다.

10. **변경**을 클릭합니다.

변경 사항이 데이터 테이블에 나타납니다.

---

**참고 :** 라벨이 아니라 숫자 값을 사용하려면 **값 라벨 사용**을 선택 취소하십시오.

---

## 블록당 런 수

DOE 플랫폼을 사용하여 블록 요인이 포함된 설계를 구성할 때 "블록화" 값이 지정된 "설계 역할" 열 특성이 요인에 할당됩니다. 또한 JMP는 각 블록 요인에 "블록당 런 수" 열 특성을 할당합니다. "블록당 런 수" 특성은 각 블록에서 허용되는 최대 런 수를 나타냅니다. 이 특성은 설계 평가 및 설계 확대 플랫폼에서 요인의 블록화 구조를 나타내는 데 사용됩니다. 자세한 내용은 "사용자 설계" 장의 "[블록화](#)"(86페이지)에서 확인하십시오.

---

**참고 :** "블록당 런 수" 열 특성은 설계 구성 중에 JMP에서 할당합니다. 이 열 특성을 직접 할당 할 수 없습니다.

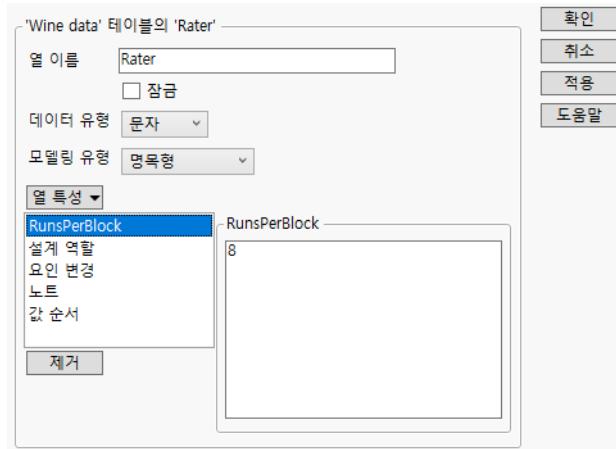
---

## 블록당 런 수의 예

"사용자 설계" 장의 "[사용자 설계의 예](#)"(66페이지)에 설명된 와인 시음 실험을 예로 들겠습니다. 5명의 평가자(Rater)가 와인 샘플을 시음하고 각 평가자는 8개의 샘플을 시음합니다.

1. **도움말 > 샘플 데이터 라이브러리**를 선택하고 Design Experiment/Wine Data.jmp를 엽니다.
2. "열" 패널에서 Rater 옆의 별표를 클릭하고 **설계 역할**을 선택합니다.  
"설계 역할"이 "블록화"로 설정되어 있습니다.
3. **취소**를 클릭합니다.
4. "열" 패널에서 Rater 옆의 별표를 클릭하고 **블록당 런 수**를 선택합니다.

**그림 A.34** Rater 의 블록당 런 수 열 특성 패널



"블록당 런 수"의 값은 8입니다. "DOE 대화상자" 스크립트로 구성된 설계에는 40 회의 런이 있습니다. 평가자가 5명이므로 JMP는 각 평가자마다 8(40/5) 회 런을 실행하는 설계를 구성합니다.

## 제약 조건 상태

사용자 설계 및 혼합물 설계 플랫폼에서는 설계에 지정한 제약 조건을 저장할 수 있습니다. "제약 조건 저장"을 선택하면 각 선형 제약 조건의 계수가 데이터 테이블의 열에 나타납니다. 부등식을 제한하는 값은 테이블의 마지막 행에 제공됩니다.

각 제약 조건 열에는 "제약 조건 상태" 열 특성이 할당됩니다. 이 특성은 제약 조건을 정의하는 부등식의 방향을 지정합니다. 설계 플랫폼에서 "제약 조건 불러오기"를 선택하면 "제약 조건 상태" 열 특성이 JMP에 부등식의 방향을 알려 줍니다.

**참고 :** "제약 조건 상태" 열 특성은 설계 구성 중에 JMP에서 할당합니다. 이 열 특성을 직접 할당할 수 없습니다.

## 제약 조건 상태의 예

Design Experiment 폴더의 Piepel.jmp 샘플 데이터 테이블에는 세 가지 연속형 요인을 사용하는 혼합물 설계가 포함되어 있습니다. 이 설계는 Snee(1979) 및 Piepel(1988)에 제시된 실험을 기반으로 하며, 각 요인에 대한 경계 제약 조건과 세 가지 추가 선형 제약 조건이 있습니다. 이 예에서는 다음을 수행합니다.

1. 세 가지 추가 제약 조건 중 하나를 변경합니다.
2. 제약 조건을 테이블에 저장합니다.

3. "제약 조건 상태" 열 특성이 제약 조건의 부등식 방향을 설명하는 방식을 관찰합니다.

여기에서 좀 더 발전된 예에 대한 자세한 내용은 "혼합물 설계" 장의 "선형 제약 조건이 있는 꼭지점의 예"(378 페이지)에서 확인하십시오.

- 도움말 > 샘플 데이터 라이브러리를 선택하고 Design Experiment/Piepel.jmp를 엽니다.
- 테이블 패널에서 **DOE Dialog** 스크립트 옆의 녹색 삼각형을 클릭합니다.

"요인" 개요 아래에 세 가지 선형 제약 조건이 있습니다. 제약 조건을 더 쉽게 해석할 수 있도록 하기 위해 첫 번째 제약 조건을 "보다 크거나 같음" 부등식 측면에서 다시 작성하려고 합니다.

**그림 A.35** 요인 개요 아래의 선형 제약 조건

The screenshot shows the 'Factors' table with three rows (X1, X2, X3) and their levels (혼합, 혼합, 혼합). Below the table, there are three rows of constraints:

|      |      |     |      |      |    |   |      |
|------|------|-----|------|------|----|---|------|
| -85  | X1 + | -90 | X2 + | -100 | X3 | ≤ | -90  |
| 85   | X1 + | 90  | X2 + | 100  | X3 | ≤ | 95   |
| -0.7 | X1 + | 0   | X2 + | -1   | X3 | ≤ | -0.4 |

3. 첫 번째 제약 조건에서 다음을 수행합니다.

- X1 옆에 85를 입력합니다.
- X2 옆에 90을 입력합니다.
- X3 옆에 100을 입력합니다.
- 부등식 메뉴에서  $\geq$ 을 선택합니다.
- 부등식 부호 오른쪽에 90을 입력합니다.

4. "혼합물 설계"의 빨간색 삼각형을 클릭하고 **제약 조건 저장**을 선택합니다.

제약 조건 정보를 포함하는 테이블이 나타납니다.

**그림 A.36** 제약 조건 테이블

The screenshot shows the 'Constraints' table with four rows labeled 1 through 4. The first three rows correspond to the constraints defined in the previous step, and row 4 is empty.

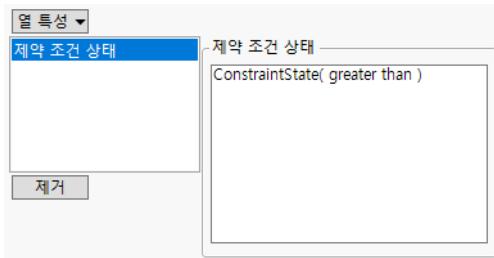
|   | 제약 조건 1 | 제약 조건 2 | 제약 조건 3 |
|---|---------|---------|---------|
| 1 | -85     | 85      | -0.7    |
| 2 | -90     | 90      | 0       |
| 3 | -100    | 100     | -1      |
| 4 | -90     | 95      | -0.4    |

각 열의 1 ~ 3 행에는 X1, X2, X3 요인의 계수가 포함되어 있습니다. 4 행에는 부등식 부호의 오른쪽에 나오는 값이 있습니다.

- 제약 조건 1 옆의 별표를 클릭합니다.

6. 제약 조건 상태를 클릭합니다.

**그림 A.37** 제약 조건 상태 열 특성 패널



X1 의 "제약 조건 상태" 패널을 보면 부등식 방향이 "보다 크거나 같음"( $\geq$ ) 을 나타내는 "greater than" 임을 알 수 있습니다.

7. 취소를 클릭합니다.

# 부록 B

## 기술 상세 정보

---

이 부록에는 별칭 행렬, 검정력 계산 및 상대 예측 분산에 대한 정보가 포함되어 있습니다.

- "별칭 행렬"(767 페이지)
- "검정력 계산"(768 페이지)
- "상대 예측 분산"(770 페이지)

## 목차

|                                |     |
|--------------------------------|-----|
| 별칭 행렬                          | 767 |
| 변경하기 힘들거나 매우 변경하기 힘든 요인이 있는 설계 | 767 |
| If Possible 효과가 있는 설계          | 768 |
| 검정력 계산                         | 768 |
| 단일 모수에 대한 검정력                  | 768 |
| 범주형 효과에 대한 검정력                 | 769 |
| 상대 예측 분산                       | 770 |

## 별칭 행렬

별칭 행렬 항목은 "별칭 항" 개요에서 지정한 효과에 의해 모형 모수에 전달되는 편향 정도를 나타냅니다. 별칭 행렬은 별칭 최적을 정의하는 데도 사용됩니다. 자세한 내용은 "사용자 설계" 장의 "별칭 최적"(121페이지)에서 확인하십시오.

별칭 행렬의 계산은 모형 행렬을 기반으로 합니다. 자세한 내용은 "사용자 설계" 장의 "모형 행렬"(105페이지)에서 확인하십시오.

$\mathbf{X}_1$ 을 "모형" 개요의 항에 해당하는 모형 행렬로 지정하겠습니다. "별칭 항" 개요에 지정된 효과에 대한 모형 항 행렬을  $\mathbf{X}_2$ 로 나타냅니다.

가정된 모형은 다음과 같습니다.

$$\mathbf{Y} = \mathbf{X}_1\beta_1 + \varepsilon$$

일부 별칭 항이 활성이고 참모형이 다음과 같이 제공되는 경우를 가정해 보겠습니다.

$$\mathbf{Y} = \mathbf{X}_1\beta_1 + \mathbf{X}_2\beta_2 + \varepsilon$$

$\beta_1$ 의 최소 제곱 추정량은 다음과 같이 구합니다.

$$\hat{\beta}_1 = (\mathbf{X}_1'\mathbf{X}_1)^{-1}\mathbf{X}_1'\mathbf{Y}$$

일반적인 회귀 가정하에서  $\hat{\beta}_1$ 의 기대값은 다음과 같이 구합니다.

$$E[\hat{\beta}_1] = \beta_1 + \mathbf{A}\beta_2$$

여기서  $\mathbf{A} = (\mathbf{X}_1'\mathbf{X}_1)^{-1}\mathbf{X}_1'\mathbf{X}_2$ 입니다.

행렬  $\mathbf{A}$ 를 별칭 행렬이라고 합니다.

## 변경하기 힘들거나 매우 변경하기 힘든 요인이 있는 설계

변경하기 힘들거나 매우 변경하기 힘든 요인이 있는 설계에 대한 별칭 행렬은 다음과 같이 제공됩니다.

$$\mathbf{A} = (\mathbf{X}_1'\mathbf{V}^{-1}\mathbf{X}_1)^{-1}\mathbf{X}_1'(\mathbf{V}^{-1}\mathbf{X}_2)$$

여기서  $\mathbf{V}$ 는 반응에 대한 공분산 행렬의 대각 블록입니다.

## If Possible 효과가 있는 설계

If Possible 효과가 있는 설계 ( 베이지안 D- 최적 및 I- 최적 설계 )에 대한 별칭 행렬은 다음과 같이 제공됩니다.

$$\mathbf{A} = (\mathbf{X}_1' \mathbf{X}_1 + \mathbf{K}^2)^{-1} \mathbf{X}_1' \mathbf{X}_2$$

여기서  $\mathbf{K}$ 는 다음 값을 갖는 대각 행렬입니다.

- $k = 0$ ( 필수 항의 경우 )
- $k = 1$ (If Possible 주효과, 검정력, 3 수준 이상의 범주형 요인과 관련된 교호작용의 경우 )
- $k = 4$ ( 다른 모든 If Possible 항의 경우 )

베이지안 설계의 경우 별칭 행렬은  $\mathbf{K}^{-1}$ 의 사전 분산을 가진 능형 회귀에 해당하는 효과 별칭 구조를 제공합니다. 베이지안 설계에 대한 자세한 내용은 "사용자 설계" 장의 "[베이지안 D-최적](#)"(119페이지) 및 "사용자 설계" 장의 "[베이지안 I-최적](#)"(121페이지)에서 확인하십시오.

사용자 설계 플랫폼에서는 빨간색 삼각형 메뉴의 **고급 옵션 > 사전 모수 분산**을 선택하여 If Possible 항에 사용되는 가중치를 제어할 수 있습니다. 여기서  $\mathbf{K}$ 의 주대각 요소를 지정하여 모든 모형 항에 대한 사전 분산을 설정할 수 있습니다. "설계 생성"을 클릭하면 옵션이 업데이트되어 기본 가중치가 표시됩니다.

## 검정력 계산

"검정력 분석" 보고서는 단일 모수 값에 대한 검정력 계산 및 설계에 3 수준 이상의 범주형 요인이 포함된 경우 전체 효과에 대한 검정력 계산을 제공합니다. 이 섹션에서는 다음 두 가지 경우에 대한 계산을 설명합니다.

- "[단일 모수에 대한 검정력](#)"(768 페이지)
- "[범주형 효과에 대한 검정력](#)"(769 페이지)

## 단일 모수에 대한 검정력

이 섹션에서는 단일 모수에 대한 검정력을 계산하는 방법을 설명합니다. 다음 표기가 사용됩니다.

$\mathbf{X}$  모형 행렬입니다. 명목형 효과에 대한 코딩에 대한 자세한 내용은 선형 모형 적합의에서 확인하십시오. "사용자 설계" 장의 "[모형 행렬](#)"(105페이지)에 나오는 내용도 참조하십시오.

---

**참고 :** 모형 적합을 실행하여 모형 행렬을 볼 수 있습니다. 그런 다음 기본 보고서의 빨간색 삼각형 메뉴에서 **열 저장 > 코드화 테이블 저장**을 선택하십시오.

- $\beta_t$  관심 항에 해당하는 모수입니다.  
 $\hat{\beta}_i$   $\beta_i$ 의 최소 제곱 추정량입니다.

$\beta_i^A$  예상 계수 값입니다. 감지할 차이는  $2\beta_i^A$ 입니다.

$\hat{\beta}_i$ 의 분산은  $\sigma^2(\mathbf{X}'\mathbf{X})^{-1}$ 의  $i^{th}$  주대각 항목으로 구합니다. 여기서  $\sigma^2$ 은 오차 분산입니다.  $(\mathbf{X}'\mathbf{X})^{-1}$ 의  $i^{th}$  주대각 항목은  $(\mathbf{X}'\mathbf{X})_{ii}^{-1}$ 로 나타냅니다.

오차 분산  $\sigma^2$ 은 MSE를 사용하여 추정되고 자유도가  $n - p - 1$ 입니다. 여기서  $n$ 은 관측값 수이고,  $p$ 는 모형에서 절편을 제외한 항 수입니다.  $n - p - 1 = 0$ 이면 JMP는 오차의 자유도를 1로 설정합니다. 이렇게 하면 포화 설계의 모수에 대해 검정력이 추정됩니다.

$H_0: \beta_i = 0$  검정은 다음과 같이 지정됩니다.

$$\frac{\hat{\beta}_i}{\sqrt{MSE(\mathbf{X}'\mathbf{X})_{ii}^{-1}}}$$

또는 다음과 같이 지정될 수도 있습니다.

$$F_0 = \frac{\hat{\beta}_i^2}{MSE(\mathbf{X}'\mathbf{X})_{ii}^{-1}}$$

귀무가설 하에서 검정 통계량  $F_0$ 은 1 및  $n - p - 1$  자유도에서 F 분포를 따릅니다.

$\beta_i$ 의 실제 값이  $\beta_i^A$ 인 경우  $F_0$ 은 다음과 같이 계산된 비중심성 모수를 갖는 비중심 F 분포를 따릅니다.

$$\lambda = \frac{(\beta_i^A)^2}{\sigma^2(\mathbf{X}'\mathbf{X})_{ii}^{-1}}$$

검정력을 계산하려면 먼저  $\alpha$  수준 임계값 ( $F_c$ )을 구합니다.

$$\alpha = 1 - FDist(F_c, 1, n - p - 1)$$

그런 다음 아래와 같이 검정력을 계산합니다.

$$Power = 1 - FDist(F_c, 1, n - p - 1, \lambda)$$

## 범주형 효과에 대한 검정력

이 섹션에서는 전체 범주형 효과에 대한 검정력을 계산하는 방법을 설명합니다. 다음 표기가 사용됩니다.

**X** 모형 행렬입니다. 자세한 내용은 "기술 상세 정보" 부록의 "[별첨 행렬](#)"(767 페이지)에서 확인하십시오.

**β** 모수 벡터입니다.

**̂β** β의 최소 제곱 추정값입니다.

$\beta^A$  예상 계수 값의 벡터입니다.

**L** 범주형 효과에 대한 검정을 정의하는 행렬입니다. 행렬 **L**은  $\beta$ 에서 범주형 효과에 해당하는 모수의 값을 식별하여 0으로 설정합니다. 범주형 효과 검정에 대한 귀무가설은 다음과 같이 지정됩니다.

$$H_0: L\beta = \mathbf{0}$$

*r* **L**의 순위입니다. *r*는 범주형 효과의 수준 수에서 1을 뺀 값입니다.

**참고 :** 모형 적합을 실행하여 설계 행렬을 볼 수 있습니다. 그런 다음 기본 보고서의 빨간색 삼각형 메뉴에서 열 저장 > 코드화 테이블 저장을 선택하십시오.

$\hat{\beta}$ 의 공분산 행렬은  $\sigma^2(\mathbf{X}'\mathbf{X})^{-1}$ 로 구합니다. 여기서  $\sigma^2$ 은 오차 분산입니다.

오차 분산  $\sigma^2$ 은 MSE를 사용하여 추정되고 자유도가  $n - p - 1$ 입니다. 여기서  $n$ 은 관측값 수이고,  $p$ 는 모형에서 절편을 제외한 항 수입니다.  $n - p - 1 = 0$ 이면 JMP는 오차의 자유도를 1로 설정합니다. 이렇게 하면 포화 설계의 모수에 대해 검정력이 추정됩니다.

$H_0: L\beta = \mathbf{0}$  검정은 다음과 같이 지정됩니다.

$$F_0 = \left( (\hat{L}\hat{\beta})' [L(\mathbf{X}'\mathbf{X})^{-1} L']^{-1} (\hat{L}\hat{\beta}) \right) / (rMSE)$$

귀무가설 하에서 검정 통계량  $F_0$ 은 *r* 및  $n - p - 1$  자유도에서 *F* 분포를 따릅니다.

$\beta$ 의 실제 값이  $\beta^A$ 인 경우  $F_0$ 은 다음과 같이 계산된 비중심성 모수를 갖는 비중심 *F* 분포를 따릅니다.

$$\lambda = \left( (\hat{L}\beta^A)' [L(\mathbf{X}'\mathbf{X})^{-1} L']^{-1} (\hat{L}\beta^A) \right) / \sigma^2$$

검정력을 계산하려면 먼저  $\alpha$  수준 임계값 ( $F_c$ )을 구합니다.

$$\alpha = 1 - FDist(F_c, r, n - p - 1)$$

그린 다음 아래와 같이 검정력을 계산합니다.

$$Power = 1 - FDist(F_c, r, n - p - 1, \lambda)$$

## 상대 예측 분산

다음 표기를 고려하십시오.

**X** 모형 행렬입니다. 자세한 내용은 "사용자 설계" 장의 "모형 행렬"(105 페이지)에서 확인하십시오. 사용자 설계는 모형 행렬을 보여 주는 스크립트를 제공합니다. 자세한 내용은 "사용자 설계" 장의 "행렬 X 저장"(105 페이지)에서 확인하십시오.

$\sigma^2$  오차 분산입니다.

$\hat{\beta}$  모수의 최소 제곱 추정값 벡터입니다.

$\mathbf{x}_i'$   $\mathbf{X}$  의  $i^{th}$  행입니다.

이 표기를 사용할 경우  $\mathbf{X}$ 의  $i^{th}$  행에 대한 예측 반응은 다음과 같이 지정됩니다.

$$\hat{\mathbf{Y}} = \mathbf{x}_i' \hat{\beta}$$

$\mathbf{x}_i'$ 로 정의된 설정에서 상태 예측 분산은 다음과 같이 지정됩니다.

$$\frac{\mathbf{x}_i' var(\hat{\mathbf{Y}}) \mathbf{x}_i}{\sigma^2} = \frac{\mathbf{x}_i' var(\mathbf{x}_i' \hat{\beta}) \mathbf{x}_i}{\sigma^2} = \mathbf{x}_i' (\mathbf{X}' \mathbf{X})^{-1} \mathbf{x}_i$$

772

기술 상세 정보

상대 예측 분산

부록 B  
실험 설계 가이드

참조 자료

---

- Agresti, A., and Coull, B. A. (1998). "Approximate Is Better than 'Exact' for Interval Estimation of Binomial Proportions." *American Statistician* 52:119–126.
- Agresti, A., and Caffo, B. N. (2000). "Simple and Effective Confidence Intervals for Proportions and Differences of Proportions Result from Adding Two Successes and Two Failures." *American Statistician* 54:280–288.
- Atkinson, A. C., and Donev, A. N. (1992). *Optimum Experimental Designs*. New York: Oxford University Press.
- Barker, C. (2011). "Power and Sample Size Calculations in JMP." Technical Report, Cary NC: SAS Institute Inc. Accessed May 6, 2018.  
<https://www.jmp.com/content/dam/jmp/documents/en/technical-reports/powerAndSampleSize.pdf>.
- Borror, C. M., and Montgomery, D. C. (2000). "Mixed Resolution Designs as Alternatives to Taguchi Inner-Outer Array Designs for Robust Design Problems." *Quality and Reliability Engineering International* 16:117–128.
- Box, G. E. P. (1988). "Signal-to-Noise Ratio, Performance Criteria, and Transformations." *Technometrics* 30:1–40.
- Box, G. E. P., and Behnken, D. W. (1960). "Some New Three-Level Designs for the Study of Quantitative Variables." *Technometrics* 2:455–475.
- Box, G. E. P., and Draper, N. R. (1987). *Empirical Model-Building and Response Surfaces*. New York: John Wiley & Sons.
- Box, G. E. P., Hunter, W. G., and Hunter, J. S. (1978). *Statistics for Experimenters*. New York: John Wiley & Sons.
- Box, G. E. P., Hunter, W. G., and Hunter, J. S. (2005). *Statistics for Experimenters: Design, Innovation, and Discovery*. 2nd ed. New York: John Wiley & Sons.
- Box, G. E. P., and Meyer, R. D. (1986). "An Analysis of Unreplicated Fractional Factorials." *Technometrics* 28:11–18.
- Box, G. E. P., and Wilson, K. B. (1951). "On the Experimental Attainment of Optimum Conditions." *Journal of the Royal Statistical Society, Series B* 13:1–45.
- Byrne, D. M., and Taguchi, G. (1986). "The Taguchi Approach to Parameter Designs." *Quality Congress Transactions* 177:168–177.
- Chow, S. -C., Shao, J., and Wang, H. (2008). *Sample Size Calculations in Clinical Research*. 2nd ed. Boca Raton, FL: Chapman & Hall/CRC.

- Clopper, C. J., and Pearson, E. S. (1934). "The Use of Confidence or Fiducial Limits Illustrated in the Case of the Binomial." *Biometrika* 26:404–413.
- Cochran, W. G., and Cox, G. M. (1957). *Experimental Designs*. 2nd ed. New York: John Wiley & Sons.
- Cohen, M. B., Gibbons, P. B., Mugridge, W. B., and Colbourn, C. J. (2003). "Constructing Test Suites for Interaction Testing." In *Proceedings 25th International Conference on Software Engineering*, 38–48.
- Cohen, M. B., Dwyer, M. B., and Shi, J. (2007). "Interaction Testing of Highly-Configurable Systems in the Presence of Constraints." In *Proceedings of the 2007 International Symposium on Software Testing and Analysis*, 129–139.
- Colbourn, C. (2004). "Combinatorial Aspects of Covering Arrays." *Le Matematiche* 58:121–167.
- Colbourn, C., and Dinitz, J., eds. (2010). *Handbook of Combinatorial Designs*. 2nd ed. Boca Raton, FL: CRC Press.
- Cornell, J. A. (1990). *Experiments with Mixtures*. 2nd ed. New York: John Wiley & Sons.
- Dalal, S. R., and Mallows, C. L. (1998). "Factor-Covering Designs for Testing Software." *Technometrics* 40:234–243.
- DuMouchel, W., and Jones, B. (1994). "A Simple Bayesian Modification of D-Optimal Designs to Reduce Dependence on an Assumed Model." *Technometrics* 36:37–47.
- Errone, A., Jones, B., Li, W., and Nachtsheim, C. (2017). "Using Definitive Screening Designs to Identify Active First- and Second-Order Factor Effects." *Journal of Quality Technology* 49:244–264.
- Fries, A., and Hunter, W. G. (1980). "Minimum Aberration  $2^{k-p}$  Designs." *Technometrics* 22:601–608.
- Gotwalt, C. M., Jones, B. A., and Steinberg, D. M., (2009). "Fast Computation of Designs Robust to Parameter Uncertainty for Nonlinear Settings." *Technometrics* 51:88–95.
- Goos, P. (2002). *The Optimal Design of Blocked and Split Plot Experiments*. New York: Springer.
- Goos, P., and Jones, B. (2011). *Optimal Design of Experiments: A Case Study Approach*. New York: John Wiley & Sons.
- Hamada, M., and Wu, C. F. J., (1992). "Analysis of Designed Experiments with Complex Aliasing." *Technometrics* 24:130–137.
- Hartman, A., and Raskin, L. (2004). "Problems and Algorithms for Covering Arrays." *Discrete Mathematics* 284:149–156.
- Horn, R., and Johnson, C. (2012). *Matrix Analysis*. 2nd ed. Cambridge: Cambridge University Press.
- Huber, J., and Zwerina, K. (1996). "The Importance of Utility Balance in Efficient Choice Designs." *Journal of Marketing Research* 33:307–317.
- Jennrich, R. I. (1969). "Asymptotic Properties of Non-Linear Least Squares Estimators." *Annals of Mathematical Statistics* 40:633–643.

- Johnson, M. E., and Nachtsheim, C. J. (1983). "Some Guidelines for Constructing Exact D-Optimal Designs on Convex Design Spaces." *Technometrics* 25:271–277.
- Jones, B. (1991). "An Interactive Graph For Exploring Multidimensional Response Surfaces." In *Proceedings of the Annual Joint Statistical Meetings of the American Statistical Association*. Alexandria, VA: American Statistical Association.
- Jones, B., and Goos, P. (2007). "A Candidate-set-free Algorithm for Generating D-optimal Designs." *Applied Statistics* 56:1–18. Accessed January 23, 2017.  
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3001117/>.
- Jones, B., and Goos, P. (2015). "Optimal Design of Blocked Experiments in the Presence of Supplementary Information about the Blocks." *Technometrics* 47:01–317.
- Jones, B., and Johnson, R. T. (2009). "Design and Analysis for the Gaussian Process Model." *Quality and Reliability Engineering International* 25:515–524. Accessed January 23, 2017.  
[https://www.stat.osu.edu/~comp\\_exp/jour.club/Jones\\_Johnson\\_QREI09.pdf](https://www.stat.osu.edu/~comp_exp/jour.club/Jones_Johnson_QREI09.pdf).
- Jones, B., Lekivetz, R., Majumdar, D., Nachtsheim, C. J., and Stallings, J. W. (2019). "Construction, Properties, and Analysis of Group-Orthogonal Supersaturated Designs." *Technometrics* 62: 403 - 414. Accessed December 15, 2020.  
<https://doi.org/10.1080/00401706.2019.1654926>
- Jones, B., Lin, D. K. J., and Nachtsheim, C. J. (2008). "Bayesian D-Optimal Supersaturated Designs." *Journal of Statistical Planning and Inference* 138:86–92.
- Jones, B., and Nachtsheim, C. J. (2011a). "A Class of Three-Level Designs for Definitive Screening in the Presence of Second-Order Effects." *Journal of Quality Technology* 43:1–15. Accessed January 23, 2017.  
[https://www.jmp.com/en\\_us/whitepapers/jmp/class-three-level-definitive-screening.html](https://www.jmp.com/en_us/whitepapers/jmp/class-three-level-definitive-screening.html).
- Jones, B., and Nachtsheim, C. J. (2011b). "Efficient Designs with Minimal Aliasing." *Technometrics* 53:62–71.
- Jones, B., and Nachtsheim, C. J. (2013). "Definitive Screening Designs with Added Two-Level Categorical Factors." *Journal of Quality Technology* 45:121–129.
- Jones, B., and Nachtsheim, C. J. (2016a). "Blocking Schemes for Definitive Screening Designs." *Technometrics* 58:74–83.
- Jones, B., and Nachtsheim, C. J. (2016b). "Effective Model Selection for Definitive Screening Designs." *Technometrics*. Accessed September 28, 2017.  
<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00401706.2016.1234979>.
- Joseph, V. R., Gul, E., and Ba, S. (2015). "Maximum Projection Designs for Computer Experiments." *Biometrika* 102:371–380.
- Jowett, G. (1963). "The Relationship Between the Binomial and F Distributions." *Journal of the Royal Statistical Society* 13:55–57.
- Kessels, R., Jones, B., Goos, P. (2011). "Bayesian Optimal Designs for Discrete Choice Experiments with Partial Profiles." *Journal of Choice Modelling* 4:52–74.
- Kowalski, S. M., Cornell, J. A., and Vining, G. G. (2002). "Split Plot Designs and Estimation Methods for Mixture Experiments with Process Variables." *Technometrics* 44:72–79.

- Krishnamoorthy, K., and Mathew, T. (2009). Statistical Tolerance Regions: Theory, Applications, and Computations. New Your: John Wiley & Sons.
- Lenth, R. V. (1989). "Quick and Easy Analysis of Unreplicated Fractional Factorials." *Technometrics* 31:469–473.
- Lekivetz, R. (2014). "What is an Alias Matrix?" Accessed January 23, 2017.  
<https://blogs.sas.com/content/jmp/2014/06/05/what-is-an-alias-matrix/>.
- Lekivetz, R., Sitter, R., Bingham, D., Hamada, M. S., Moore, L. M., and Wendelberger, J. R. (2015). "On Algorithms for Obtaining Orthogonal and Near-Orthogonal Arrays for Main-Effects Screening." *Journal of Quality Technology* 47:2–13.
- Lin, D. K. J. (1993). "A New Class of Supersaturated Design." *Technometrics* 35:28–31.
- Martirosyan, S. (2003). "Perfect Hash Families, Identifiable Parent Property Codes and Covering Arrays." Ph.D. diss., Universitat Duisburg-Essen.
- Meyer, R. K., and Nachtsheim, C. J. (1995). The Coordinate Exchange Algorithm for Constructing Exact Optimal Designs." *Technometrics* 37:60–69.
- Meyer, R. D., Steinberg, D. M., and Box, G. (1996). Follow-up Designs to Resolve Confounding in Multifactor Experiments. *Technometrics* 38:307.
- Miller, A., and Sitter, R. R. (2005). "Using Folded-Over Nonorthogonal Designs." *Technometrics* 47:502–513.
- Montgomery, D. C. (2013). Design and Analysis of Experiments. 8th ed. New York: John Wiley & Sons.
- Morgan, J. (2009). "Constrained Covering Arrays: Resolving Invalid Level Combination Constraints." Technical Report, Cary NC: SAS Institute Inc., also in Supplemental Proceedings of the 20th International Symposium on Software Reliability Engineering. Accessed May 6, 2018.  
<https://www.jmp.com/content/dam/jmp/documents/en/technical-reports/ConstrainedCovArray09.pdf>.
- Morgan, J. (2014). "Computing Coverage and Diversity Metrics for Constrained Covering Arrays," Technical Report, Cary NC: SAS Institute Inc. Accessed May 6, 2018.  
<https://www.jmp.com/content/dam/jmp/documents/en/technical-reports/CoverageDiversity2014.pdf>.
- Morgan, J. P., and Stallings, J. (2017). "Optimal experimental design that targets meaningful information." *WIREs Comput Stat* 2017, 9:e1393. doi: 10.1002/wics.1393.
- Myers, R. H., Montgomery, D. C., and Anderson-Cook, C. M. (2009). Response Surface Methodology, Process and Product Optimization Using Designed Experiments. 3rd ed. New York: John Wiley & Sons.
- Mylona, K., Goos, P., and Jones, B. (2014). "Optimal Design of Blocked and Split-plot Experiments for Fixed Effects and Variance Component Estimation." *Technometrics* 56:132–144.
- Nayeri, P., Colbourn, C., and Konjevod, G. (2013). "Randomized Postoptimization of Covering Arrays." *European Journal of Combinatorics* 34:91–103.

- Piepel, G. F. (1988). "Programs for Generating Extreme Vertices and Centroids of Linearly Constrained Experimental Regions." *Journal of Quality Technology* 20:125–139.
- Sall, J. (2008). "Choice Experimental Designs Are Different." Accessed January 22, 2016.  
<https://blogs.sas.com/content/jmp/2008/12/16/choice-experimental-designs-are-different/>.
- SAS Institute Inc. (2013). "The %MktBIBD Macro." Accessed September 27, 2017.  
<https://support.sas.com/rnd/app/macros/mktbibd/mktbibd.htm>.
- Schoen, E. D. (1999). "Designing Fractional Two-level Experiments with Nested Error Structures." *Journal of Applied Statistics* 26: 495–508.
- Shewry, M. C., and Wynn, H. P. (1987). "Maximum Entropy Sampling." *Journal of Applied Statistics* 14:165–170.
- Snee, R. D., and Marquardt, D. W. (1974). "Extreme Vertices Designs for Linear Mixture Models." *Technometrics* 16:391–408.
- Snee, R. D. (1975). "Experimental Designs for Quadratic Models in Constrained Mixture Spaces." *Technometrics* 17:149–159.
- Snee, R. D. (1979). "Experimental Designs for Mixture Systems with Multicomponent Constraints." *Communications in Statistics -Theory and Methods* 8:303–326.
- Snee, R. D. (1985). "Computer Aided Design of Experiments - Some Practical Experiences." *Journal of Quality Technology* 17:222–236.
- Vivacqua, C. A., and Bisgaard, S. (2004). "Strip-Block Experiments for Process Improvement and Robustness." *Quality Engineering* 16:495–500.
- Worley, B. A. (1987). Deterministic Uncertainty Analysis. Technical Report ORN-0628, Oak Ridge National Laboratory.
- Wu, C. F. J. (1981). "Asymptotic Theory of Nonlinear Least Squares Estimation." *Annals of Mathematical Statistics* 9:501–513.
- Wu, C. F. J., and Hamada, M. S. (2009). *Experiments: Planning, Analysis, and Optimization*. 2nd ed. New York: John Wiley & Sons.
- Xiao, L., Lin, D. K. J., and Bai, F. (2012). "Constructing Definitive Screening Designs Using Conference Matrices." *Journal of Quality Technology* 44:2–8.
- Ye, K. Q., and Hamada, M. (2000). "Critical Values of the Lenth Method for Unreplicated Factorial Designs." *Journal of Quality Technology* 32:57–66.
- Yilmaz, C., Fouche, S., Cohen, M. B., Porter, A., Demiroz, G., and Koc, U. (2014). "Moving Forward with Combinatorial Interaction Testing." *Computer* 47:37–45.
- Zahran, A., Anderson-Cook, C. M., and Myers, R. H. (2003). "Fraction of Design Space to Assess the Prediction Capability of Response Surface Designs." *Journal of Quality Technology* 35:377–386.
- Zhang, Z., and Zhang, J. (2011). "Characterizing Failure-Causing Parameter Interactions by Adaptive Testing." In Proceedings of the 2011 International Symposium on Software Testing and Analysis, 331–341.



## 기술 라이선스 표시

- Scintilla is Copyright © 1998–2017 by Neil Hodgson <neilh@scintilla.org>. All Rights Reserved.  
Permission to use, copy, modify, and distribute this software and its documentation for any purpose and without fee is hereby granted, provided that the above copyright notice appear in all copies and that both that copyright notice and this permission notice appear in supporting documentation.

NEIL HODGSON DISCLAIMS ALL WARRANTIES WITH REGARD TO THIS SOFTWARE, INCLUDING ALL IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY AND FITNESS, IN NO EVENT SHALL NEIL HODGSON BE LIABLE FOR ANY SPECIAL, INDIRECT OR CONSEQUENTIAL DAMAGES OR ANY DAMAGES WHATSOEVER RESULTING FROM LOSS OF USE, DATA OR PROFITS, WHETHER IN AN ACTION OF CONTRACT, NEGLIGENCE OR OTHER TORTIOUS ACTION, ARISING OUT OF OR IN CONNECTION WITH THE USE OR PERFORMANCE OF THIS SOFTWARE.

- Progressë® Telerik® UI for WPF: Copyright © 2008-2019 Progress Software Corporation. All rights reserved. Usage of the included Progress® Telerik® UI for WPF outside of JMP is not permitted.
- ZLIB Compression Library is Copyright © 1995-2005, Jean-Loup Gailly and Mark Adler.
- Made with Natural Earth. Free vector and raster map data @ [naturalearthdata.com](http://naturalearthdata.com).
- Packages is Copyright © 2009–2010, Stéphane Sudre (s.sudre.free.fr). All rights reserved. Redistribution and use in source and binary forms, with or without modification, are permitted provided that the following conditions are met:

Redistributions of source code must retain the above copyright notice, this list of conditions and the following disclaimer.

Redistributions in binary form must reproduce the above copyright notice, this list of conditions and the following disclaimer in the documentation and/or other materials provided with the distribution.

Neither the name of the WhiteBox nor the names of its contributors may be used to endorse or promote products derived from this software without specific prior written permission.

THIS SOFTWARE IS PROVIDED BY THE COPYRIGHT HOLDERS AND CONTRIBUTORS “AS IS” AND ANY EXPRESS OR IMPLIED WARRANTIES, INCLUDING, BUT NOT LIMITED TO, THE IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY AND FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE ARE DISCLAIMED. IN NO EVENT SHALL THE COPYRIGHT OWNER OR CONTRIBUTORS BE LIABLE FOR ANY DIRECT, INDIRECT, INCIDENTAL, SPECIAL, EXEMPLARY, OR CONSEQUENTIAL DAMAGES

(INCLUDING, BUT NOT LIMITED TO, PROCUREMENT OF SUBSTITUTE GOODS OR SERVICES; LOSS OF USE, DATA, OR PROFITS; OR BUSINESS INTERRUPTION) HOWEVER CAUSED AND ON ANY THEORY OF LIABILITY, WHETHER IN CONTRACT, STRICT LIABILITY, OR TORT (INCLUDING NEGLIGENCE OR OTHERWISE) ARISING IN ANY WAY OUT OF THE USE OF THIS SOFTWARE, EVEN IF ADVISED OF THE POSSIBILITY OF SUCH DAMAGE.

- iODBC software ia Copyright © 1995–2006, OpenLink Software Inc and Ke Jin ([www.iodbc.org](http://www.iodbc.org)). All rights reserved.

Redistribution and use in source and binary forms, with or without modification, are permitted provided that the following conditions are met:

- Redistributions of source code must retain the above copyright notice, this list of conditions and the following disclaimer.
- Redistributions in binary form must reproduce the above copyright notice, this list of conditions and the following disclaimer in the documentation and/or other materials provided with the distribution.
- Neither the name of OpenLink Software Inc. nor the names of its contributors may be used to endorse or promote products derived from this software without specific prior written permission.

THIS SOFTWARE IS PROVIDED BY THE COPYRIGHT HOLDERS AND CONTRIBUTORS “AS IS” AND ANY EXPRESS OR IMPLIED WARRANTIES, INCLUDING, BUT NOT LIMITED TO, THE IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY AND FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE ARE DISCLAIMED. IN NO EVENT SHALL OPENLINK OR CONTRIBUTORS BE LIABLE FOR ANY DIRECT, INDIRECT, INCIDENTAL, SPECIAL, EXEMPLARY, OR CONSEQUENTIAL DAMAGES (INCLUDING, BUT NOT LIMITED TO, PROCUREMENT OF SUBSTITUTE GOODS OR SERVICES; LOSS OF USE, DATA, OR PROFITS; OR BUSINESS INTERRUPTION) HOWEVER CAUSED AND ON ANY THEORY OF LIABILITY, WHETHER IN CONTRACT, STRICT LIABILITY, OR TORT (INCLUDING NEGLIGENCE OR OTHERWISE) ARISING IN ANY WAY OUT OF THE USE OF THIS SOFTWARE, EVEN IF ADVISED OF THE POSSIBILITY OF SUCH DAMAGE.

- This program, “bzip2”, the associated library “libbzip2”, and all documentation, are Copyright © 1996–2019 Julian R Seward. All rights reserved.

Redistribution and use in source and binary forms, with or without modification, are permitted provided that the following conditions are met:

1. Redistributions of source code must retain the above copyright notice, this list of conditions and the following disclaimer.
2. The origin of this software must not be misrepresented; you must not claim that you wrote the original software. If you use this software in a product, an acknowledgment in the product documentation would be appreciated but is not required.
3. Altered source versions must be plainly marked as such, and must not be misrepresented as being the original software.

4. The name of the author may not be used to endorse or promote products derived from this software without specific prior written permission.

THIS SOFTWARE IS PROVIDED BY THE AUTHOR "AS IS" AND ANY EXPRESS OR IMPLIED WARRANTIES, INCLUDING, BUT NOT LIMITED TO, THE IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY AND FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE ARE DISCLAIMED. IN NO EVENT SHALL THE AUTHOR BE LIABLE FOR ANY DIRECT, INDIRECT, INCIDENTAL, SPECIAL, EXEMPLARY, OR CONSEQUENTIAL DAMAGES (INCLUDING, BUT NOT LIMITED TO, PROCUREMENT OF SUBSTITUTE GOODS OR SERVICES; LOSS OF USE, DATA, OR PROFITS; OR BUSINESS INTERRUPTION) HOWEVER CAUSED AND ON ANY THEORY OF LIABILITY, WHETHER IN CONTRACT, STRICT LIABILITY, OR TORT (INCLUDING NEGLIGENCE OR OTHERWISE) ARISING IN ANY WAY OUT OF THE USE OF THIS SOFTWARE, EVEN IF ADVISED OF THE POSSIBILITY OF SUCH DAMAGE.

Julian Seward, jseward@acm.org

bzip2/libbzip2 version 1.0.8 of 13 July 2019

- R software is Copyright © 1999–2012, R Foundation for Statistical Computing.
- MATLAB software is Copyright © 1984-2012, The MathWorks, Inc. Protected by U.S. and international patents. See [www.mathworks.com/patents](http://www.mathworks.com/patents). MATLAB and Simulink are registered trademarks of The MathWorks, Inc. See [www.mathworks.com/trademarks](http://www.mathworks.com/trademarks) for a list of additional trademarks. Other product or brand names may be trademarks or registered trademarks of their respective holders.
- libopc is Copyright © 2011, Florian Reuter. All rights reserved.

Redistribution and use in source and binary forms, with or without modification, are permitted provided that the following conditions are met:

- Redistributions of source code must retain the above copyright notice, this list of conditions and the following disclaimer.
- Redistributions in binary form must reproduce the above copyright notice, this list of conditions and the following disclaimer in the documentation and / or other materials provided with the distribution.
- Neither the name of Florian Reuter nor the names of its contributors may be used to endorse or promote products derived from this software without specific prior written permission.

THIS SOFTWARE IS PROVIDED BY THE COPYRIGHT HOLDERS AND CONTRIBUTORS "AS IS" AND ANY EXPRESS OR IMPLIED WARRANTIES, INCLUDING, BUT NOT LIMITED TO, THE IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY AND FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE ARE DISCLAIMED. IN NO EVENT SHALL THE COPYRIGHT OWNER OR CONTRIBUTORS BE LIABLE FOR ANY DIRECT, INDIRECT, INCIDENTAL, SPECIAL, EXEMPLARY, OR CONSEQUENTIAL DAMAGES (INCLUDING, BUT NOT LIMITED TO, PROCUREMENT OF SUBSTITUTE GOODS OR SERVICES; LOSS OF

USE, DATA, OR PROFITS; OR BUSINESS INTERRUPTION) HOWEVER CAUSED AND ON ANY THEORY OF LIABILITY, WHETHER IN CONTRACT, STRICT LIABILITY, OR TORT (INCLUDING NEGLIGENCE OR OTHERWISE) ARISING IN ANY WAY OUT OF THE USE OF THIS SOFTWARE, EVEN IF ADVISED OF THE POSSIBILITY OF SUCH DAMAGE.

- libxml2 - Except where otherwise noted in the source code (e.g. the files hash.c, list.c and the trio files, which are covered by a similar license but with different Copyright notices) all the files are:

Copyright © 1998–2003 Daniel Veillard. All Rights Reserved.

Permission is hereby granted, free of charge, to any person obtaining a copy of this software and associated documentation files (the “Software”), to deal in the Software without restriction, including without limitation the rights to use, copy, modify, merge, publish, distribute, sublicense, and/or sell copies of the Software, and to permit persons to whom the Software is furnished to do so, subject to the following conditions:

The above copyright notice and this permission notice shall be included in all copies or substantial portions of the Software.

THE SOFTWARE IS PROVIDED “AS IS”, WITHOUT WARRANTY OF ANY KIND, EXPRESS OR IMPLIED, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO THE WARRANTIES OF MERCHANTABILITY, FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE AND NONINFRINGEMENT. IN NO EVENT SHALL DANIEL VEILLARD BE LIABLE FOR ANY CLAIM, DAMAGES OR OTHER LIABILITY, WHETHER IN AN ACTION OF CONTRACT, TORT OR OTHERWISE, ARISING FROM, OUT OF OR IN CONNECTION WITH THE SOFTWARE OR THE USE OR OTHER DEALINGS IN THE SOFTWARE.

Except as contained in this notice, the name of Daniel Veillard shall not be used in advertising or otherwise to promote the sale, use or other dealings in this Software without prior written authorization from him.

- Regarding the decompression algorithm used for UNIX files:

Copyright © 1985, 1986, 1992, 1993

The Regents of the University of California. All rights reserved.

THIS SOFTWARE IS PROVIDED BY THE REGENTS AND CONTRIBUTORS “AS IS” AND ANY EXPRESS OR IMPLIED WARRANTIES, INCLUDING, BUT NOT LIMITED TO, THE IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY AND FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE ARE DISCLAIMED. IN NO EVENT SHALL THE REGENTS OR CONTRIBUTORS BE LIABLE FOR ANY DIRECT, INDIRECT, INCIDENTAL, SPECIAL, EXEMPLARY, OR CONSEQUENTIAL DAMAGES (INCLUDING, BUT NOT LIMITED TO, PROCUREMENT OF SUBSTITUTE GOODS OR SERVICES; LOSS OF USE, DATA, OR PROFITS; OR BUSINESS INTERRUPTION) HOWEVER CAUSED AND ON ANY THEORY OF LIABILITY, WHETHER IN CONTRACT, STRICT LIABILITY, OR TORT (INCLUDING NEGLIGENCE OR OTHERWISE) ARISING IN ANY WAY OUT OF THE USE OF THIS SOFTWARE, EVEN IF ADVISED OF THE POSSIBILITY OF SUCH DAMAGE.

1. Redistributions of source code must retain the above copyright notice, this list of conditions and the following disclaimer.

2. Redistributions in binary form must reproduce the above copyright notice, this list of conditions and the following disclaimer in the documentation and/or other materials provided with the distribution.
  3. Neither the name of the University nor the names of its contributors may be used to endorse or promote products derived from this software without specific prior written permission.
- Snowball is Copyright © 2001, Dr Martin Porter, Copyright © 2002, Richard Boulton.  
All rights reserved.  
Redistribution and use in source and binary forms, with or without modification, are permitted provided that the following conditions are met:
    1. Redistributions of source code must retain the above copyright notice, this list of conditions and the following disclaimer.
    2. Redistributions in binary form must reproduce the above copyright notice, this list of conditions and the following disclaimer in the documentation and/or other materials provided with the distribution.
    3. Neither the name of the copyright holder nor the names of its contributors may be used to endorse or promote products derived from this software without specific prior written permission.

THIS SOFTWARE IS PROVIDED BY THE COPYRIGHT HOLDERS AND CONTRIBUTORS \ "AS IS\ " AND ANY EXPRESS OR IMPLIED WARRANTIES, INCLUDING, BUT NOT LIMITED TO, THE IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY AND FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE ARE DISCLAIMED. IN NO EVENT SHALL THE COPYRIGHT HOLDER OR CONTRIBUTORS BE LIABLE FOR ANY DIRECT, INDIRECT, INCIDENTAL, SPECIAL, EXEMPLARY, OR CONSEQUENTIAL DAMAGES (INCLUDING, BUT NOT LIMITED TO, PROCUREMENT OF SUBSTITUTE GOODS OR SERVICES; LOSS OF USE, DATA, OR PROFITS; OR BUSINESS INTERRUPTION) HOWEVER CAUSED AND ON ANY THEORY OF LIABILITY, WHETHER IN CONTRACT, STRICT LIABILITY, OR TORT (INCLUDING NEGLIGENCE OR OTHERWISE) ARISING IN ANY WAY OUT OF THE USE OF THIS SOFTWARE, EVEN IF ADVISED OF THE POSSIBILITY OF SUCH DAMAGE.

- Pako is Copyright © 2014–2017 by Vitaly Puzrin and Andrei Tuputcyn.  
Permission is hereby granted, free of charge, to any person obtaining a copy of this software and associated documentation files (the "Software"), to deal in the Software without restriction, including without limitation the rights to use, copy, modify, merge, publish, distribute, sublicense, and/or sell copies of the Software, and to permit persons to whom the Software is furnished to do so, subject to the following conditions:  
The above copyright notice and this permission notice shall be included in all copies or substantial portions of the Software.

THE SOFTWARE IS PROVIDED "AS IS", WITHOUT WARRANTY OF ANY KIND, EXPRESS OR IMPLIED, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO THE WARRANTIES OF MERCHANTABILITY, FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE AND NONINFRINGEMENT. IN NO EVENT SHALL THE AUTHORS OR COPYRIGHT HOLDERS BE LIABLE FOR ANY CLAIM, DAMAGES OR OTHER LIABILITY, WHETHER IN AN ACTION OF CONTRACT, TORT OR OTHERWISE, ARISING FROM, OUT OF OR IN CONNECTION WITH THE SOFTWARE OR THE USE OR OTHER DEALINGS IN THE SOFTWARE.

- HDF5 (Hierarchical Data Format 5) Software Library and Utilities are Copyright 2006–2015 by The HDF Group. NCSA HDF5 (Hierarchical Data Format 5) Software Library and Utilities Copyright 1998–2006 by the Board of Trustees of the University of Illinois. All rights reserved. DISCLAIMER: THIS SOFTWARE IS PROVIDED BY THE HDF GROUP AND THE CONTRIBUTORS "AS IS" WITH NO WARRANTY OF ANY KIND, EITHER EXPRESSED OR IMPLIED. In no event shall The HDF Group or the Contributors be liable for any damages suffered by the users arising out of the use of this software, even if advised of the possibility of such damage.
- agl-aglfn technology is Copyright © 2002, 2010, 2015 by Adobe Systems Incorporated. All Rights Reserved.

Redistribution and use in source and binary forms, with or without modification, are permitted provided that the following conditions are met:

- Redistributions of source code must retain the above copyright notice, this list of conditions and the following disclaimer.
- Redistributions in binary form must reproduce the above copyright notice, this list of conditions and the following disclaimer in the documentation and/or other materials provided with the distribution.
- Neither the name of Adobe Systems Incorporated nor the names of its contributors may be used to endorse or promote products derived from this software without specific prior written permission.

THIS SOFTWARE IS PROVIDED BY THE COPYRIGHT HOLDERS AND CONTRIBUTORS "AS IS" AND ANY EXPRESS OR IMPLIED WARRANTIES, INCLUDING, BUT NOT LIMITED TO, THE IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY AND FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE ARE DISCLAIMED. IN NO EVENT SHALL THE COPYRIGHT HOLDER OR CONTRIBUTORS BE LIABLE FOR ANY DIRECT, INDIRECT, INCIDENTAL, SPECIAL, EXEMPLARY, OR CONSEQUENTIAL DAMAGES (INCLUDING, BUT NOT LIMITED TO, PROCUREMENT OF SUBSTITUTE GOODS OR SERVICES; LOSS OF USE, DATA, OR PROFITS; OR BUSINESS INTERRUPTION) HOWEVER CAUSED AND ON ANY THEORY OF LIABILITY, WHETHER IN CONTRACT, STRICT LIABILITY, OR TORT (INCLUDING NEGLIGENCE OR OTHERWISE) ARISING IN ANY WAY OUT OF THE USE OF THIS SOFTWARE, EVEN IF ADVISED OF THE POSSIBILITY OF SUCH DAMAGE.

- dmlc/xgboost is Copyright © 2019 SAS Institute.

Licensed under the Apache License, Version 2.0 (the “License”); you may not use this file except in compliance with the License. You may obtain a copy of the License at <http://www.apache.org/licenses/LICENSE-2.0>

Unless required by applicable law or agreed to in writing, software distributed under the License is distributed on an “AS IS” BASIS, WITHOUT WARRANTIES OR CONDITIONS OF ANY KIND, either express or implied. See the License for the specific language governing permissions and limitations under the License.

- libzip is Copyright © 1999–2019 Dieter Baron and Thomas Klausner.

This file is part of libzip, a library to manipulate ZIP archives. The authors can be contacted at <[libzip@nih.at](mailto:libzip@nih.at)>.

Redistribution and use in source and binary forms, with or without modification, are permitted provided that the following conditions are met:

1. Redistributions of source code must retain the above copyright notice, this list of conditions and the following disclaimer.
2. Redistributions in binary form must reproduce the above copyright notice, this list of conditions and the following disclaimer in the documentation and/or other materials provided with the distribution.
3. The names of the authors may not be used to endorse or promote products derived from this software without specific prior written permission.

THIS SOFTWARE IS PROVIDED BY THE AUTHORS “AS IS” AND ANY EXPRESS OR IMPLIED WARRANTIES, INCLUDING, BUT NOT LIMITED TO, THE IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY AND FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE ARE DISCLAIMED. IN NO EVENT SHALL THE AUTHORS BE LIABLE FOR ANY DIRECT, INDIRECT, INCIDENTAL, SPECIAL, EXEMPLARY, OR CONSEQUENTIAL DAMAGES (INCLUDING, BUT NOT LIMITED TO, PROCUREMENT OF SUBSTITUTE GOODS OR SERVICES; LOSS OF USE, DATA, OR PROFITS; OR BUSINESS INTERRUPTION) HOWEVER CAUSED AND ON ANY THEORY OF LIABILITY, WHETHER IN CONTRACT, STRICT LIABILITY, OR TORT (INCLUDING NEGLIGENCE OR OTHERWISE) ARISING IN ANY WAY OUT OF THE USE OF THIS SOFTWARE, EVEN IF ADVISED OF THE POSSIBILITY OF SUCH DAMAGE.

- OpenNLP 1.5.3, the pre-trained model (version 1.5 of en-parser-chunking.bin), and dmlc/xgboost Version .90 are licensed under the Apache License 2.0 are Copyright © January 2004 by Apache.org.

You may reproduce and distribute copies of the Work or Derivative Works thereof in any medium, with or without modifications, and in Source or Object form, provided that You meet the following conditions:

- You must give any other recipients of the Work or Derivative Works a copy of this License; and
  - You must cause any modified files to carry prominent notices stating that You changed the files; and
  - You must retain, in the Source form of any Derivative Works that You distribute, all copyright, patent, trademark, and attribution notices from the Source form of the Work, excluding those notices that do not pertain to any part of the Derivative Works; and
  - If the Work includes a “NOTICE” text file as part of its distribution, then any Derivative Works that You distribute must include a readable copy of the attribution notices contained within such NOTICE file, excluding those notices that do not pertain to any part of the Derivative Works, in at least one of the following places: within a NOTICE text file distributed as part of the Derivative Works; within the Source form or documentation, if provided along with the Derivative Works; or, within a display generated by the Derivative Works, if and wherever such third-party notices normally appear. The contents of the NOTICE file are for informational purposes only and do not modify the License. You may add Your own attribution notices within Derivative Works that You distribute, alongside or as an addendum to the NOTICE text from the Work, provided that such additional attribution notices cannot be construed as modifying the License.
  - You may add Your own copyright statement to Your modifications and may provide additional or different license terms and conditions for use, reproduction, or distribution of Your modifications, or for any such Derivative Works as a whole, provided Your use, reproduction, and distribution of the Work otherwise complies with the conditions stated in this License.
- LLVM is Copyright © 2003–2019 by the University of Illinois at Urbana-Champaign. Licensed under the Apache License, Version 2.0 (the “License”); you may not use this file except in compliance with the License. You may obtain a copy of the License at:  
<http://www.apache.org/licenses/LICENSE-2.0>  
Unless required by applicable law or agreed to in writing, software distributed under the License is distributed on an “AS IS” BASIS, WITHOUT WARRANTIES OR CONDITIONS OF ANY KIND, either express or implied. See the License for the specific language governing permissions and limitations under the License.
  - clang is Copyright © 2007–2019 by the University of Illinois at Urbana-Champaign. Licensed under the Apache License, Version 2.0 (the “License”); you may not use this file except in compliance with the License. You may obtain a copy of the License at:  
<http://www.apache.org/licenses/LICENSE-2.0>  
Unless required by applicable law or agreed to in writing, software distributed under the License is distributed on an “AS IS”, WITHOUT WARRANTIES OR CONDITIONS OF

ANY KIND, either express or implied. See the License for the specific language governing permissions and limitations under the License.

- lld is Copyright © 2011–2019 by the University of Illinois at Urbana-Champaign. Licensed under the Apache License, Version 2.0 (the “License”); you may not use this file except in compliance with the License. You may obtain a copy of the License at:

<http://www.apache.org/licenses/LICENSE-2.0>

Unless required by applicable law or agreed to in writing, software distributed under the License is distributed on an “AS IS”, WITHOUT WARRANTIES OR CONDITIONS OF ANY KIND, either express or implied. See the License for the specific language governing permissions and limitations under the License.

- libcurl is Copyright © 1996–2020, Daniel Stenberg, daniel@haxx.se, and many contributors, see the THANKS file. All rights reserved.

Permission to use, copy, modify, and distribute this software for any purpose with or without fee is hereby granted, provided that the above copyright notice and this permission notice appear in all copies.

THE SOFTWARE IS PROVIDED “AS IS”, WITHOUT WARRANTY OF ANY KIND, EXPRESS OR IMPLIED, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO THE WARRANTIES OF MERCHANTABILITY, FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE AND NONINFRINGEMENT OF THIRD PARTY RIGHTS. IN NO EVENT SHALL THE AUTHORS OR COPYRIGHT HOLDERS BE LIABLE FOR ANY CLAIM, DAMAGES OR OTHER LIABILITY, WHETHER IN AN ACTION OF CONTRACT, TORT OR OTHERWISE, ARISING FROM, OUT OF OR IN CONNECTION WITH THE SOFTWARE OR THE USE OR OTHER DEALINGS IN THE SOFTWARE.

Except as contained in this notice, the name of a copyright holder shall not be used in advertising or otherwise to promote the sale, use or other dealings in this Software without prior written authorization of the copyright holder.

