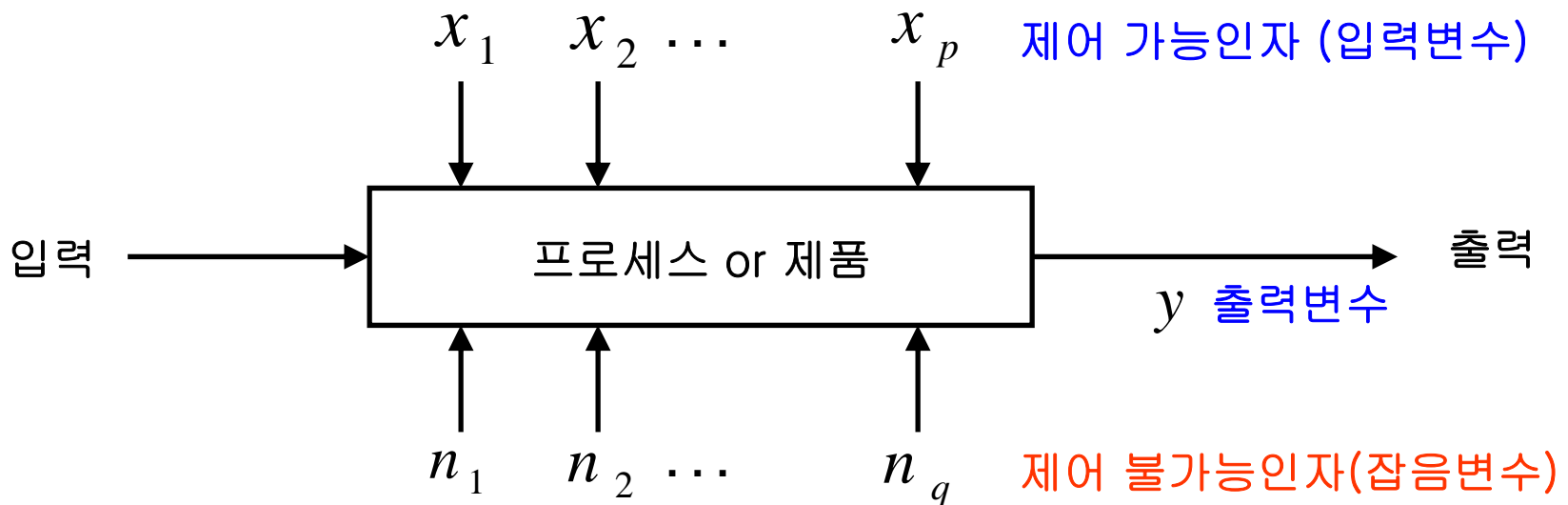


Introduction to Design of Experiments

실험계획

□ 실험의 정의

출력의 변화에 대한 원인을 관찰할 수 있도록 공정이나 시스템의 입력변수에 계획된 변화를 가하는 일련의 시험



<공정 또는 시스템의 일반적 모형>

□ DOE (Design of Experiments): 실험계획법

주어진 예산 (비용, 시간, ...)하에서 최대의 정보를 얻고자 실험방법과 분석방법을 계획하는 것.

- 출력변수(Y)에 유의한 영향을 미치는 입력변수(X)는 어떤 것인가?
양적으로 얼마나 큰 영향을 미치는가?
- 출력변수(Y)와 Vital Few X's 와 관계 모형 (예측 모형)은 어떤 것인가?
- 선정된 중요 입력변수들 간의 교호 작용은 어떤가?
- 유의하지 않은 입력변수들의 영향의 합은 전체적으로 얼마나 큰가?
- 실험오차는 얼마나 되는가?
- 유의한 영향을 미치는 입력변수들이 어떠한 조건을 가질 때 가장 바람직한 출력을 얻을 수 있는가?

□ DOE의 용도

- 프로세스의 특성을 파악
- 프로세스의 최적화
- 새로운 프로세스 개발
- 제품 설계
- **Design for Six Sigma** 의 주요 도구

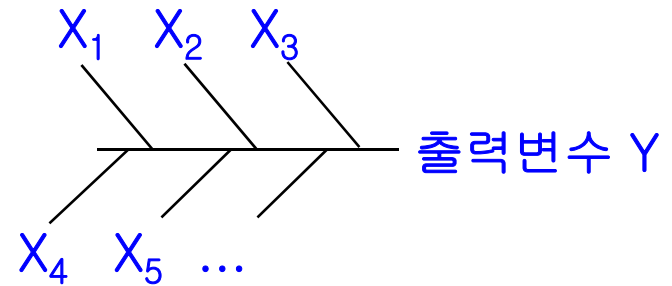
□ DOE의 특징

- 상대적으로 쉬운 결과 해석
- 최소의 비용으로 명확한 시험결과 유도
- 입력 변수들의 설정에 있어 심사 숙고한 검토
- 복잡한 통계분석 보다 적절한 실험계획이 중요
- 종종 실험설계는 상황 (특정한 문제, 생산 표본들, 표본들의 이용성 및 시험 제약) 에 맞게 조정

□ 관련 용어

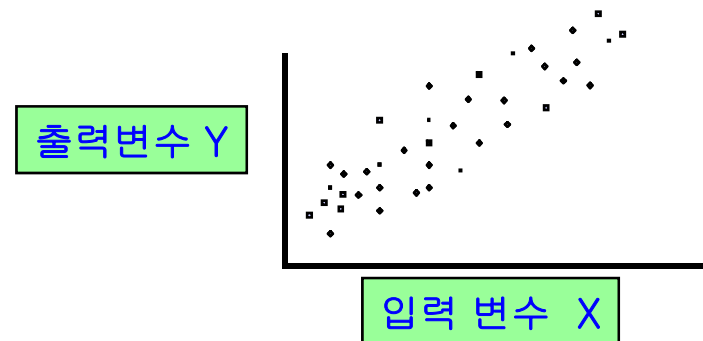
- 출력 변수 - Y

- 또한 반응(**response**)으로 불린다.
- 해결안, 입력변수(인자)의 영향
- 효과
- 반도체 프로세스의 수율



- 입력 변수(인자) - Xs

- 인자(**Factor**)라고 불린다.
- 잠재 해결안 또는 연구 중인 변수
- 인자들은 수준 별로 분류된다.
- 반도체 프로세스에서 출력변수가 수율 일 때 : 압력, 온도



실험계획

□ 관련 용어

Run	온도	압력	인자
1	100 °C	1기압	처리: 수준의 조합
2	100 °C	3기압	수준: 인자의 조건
3	200 °C	1기압	
4	200 °C	3기압	반복: 동일한 실험을 2회 이상 실시하는 것
5	100 °C	1기압	
6	100 °C	3기압	
7	200 °C	1기압	
8	200 °C	3기압	

□ 관련용어

- **인자** : 인자(**factor**)란 통제되거나 통제되지 않는 변수로서 실험을 할 때에 반응(**response**)에 영향을 주는 것을 말한다. 인자는 정량적으로 나타날 수도 있다. 예를 들어서 온도, 시간의 초 단위로 나타날 수 있다. 또한 인자는 정성(질)적으로 나타날 수 있다. 예를 들어서 다른 기계, 다른 운전자, 깨끗한지 깨끗하지 않은 상황도 인자가 될 수 있다.
- **수준** : 인자의 “수준”이란 실험 중에 인자의 값이다. 정량적인 인자의 경우에는 각각 선택한 인자의 값이 수준이 된다. 예를 들어서 만일 실험이 두 개의 다른 온도에서 진행되었다면 온도의 인자에는 두 가지의 수준이 있다. 정성적인 인자, 즉 깨끗함의 정도와 같은 경우에서도 두 가지의 수준이 있다. 즉 깨끗함, 깨끗하지 않음의 두 가지 수준이다.
- **처리** : 처리란 인자 수준의 조합을 말한다. 예를 들어, 온도 **100**도, 압력 **2** 기압의 조건을 처리라고 한다.

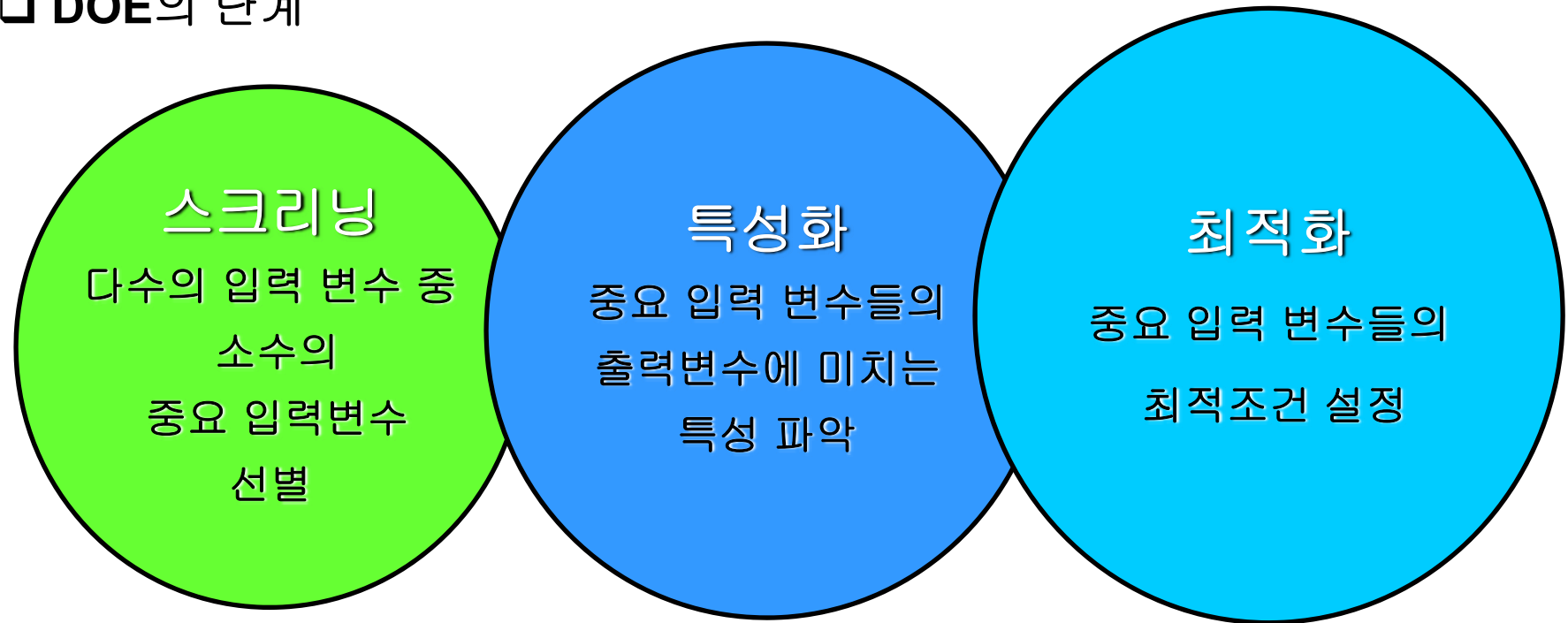
□ 관련용어

- 처리 조합 : 각각 **input**변수에 일련의 수준을 이용한 테스트 런을 말한다.
전체 실험에서 처리 조합의 개수는 각각의 인자에 대한 수준의 개수를 말한다.
2 x 3 x 3 의 경우에 있어서 실험의 처리 조합은 **18**이다.
- 반복 : 동일한 실험을 재시행하는 것 **or**
테스트 런을 같은 처리 조합을 이용해서 순차적으로 몇 번 시행하는 것
- 주효과 : 하나의 인자(**factor**)에서 한 수준에서 다른 수준으로 변화할 때에
일어나는 평균 반응(**response**)의 변화
- 교호작용 : **2**인자 이상 특정한 인자 수준의 조합에 의해 일어나는 효과

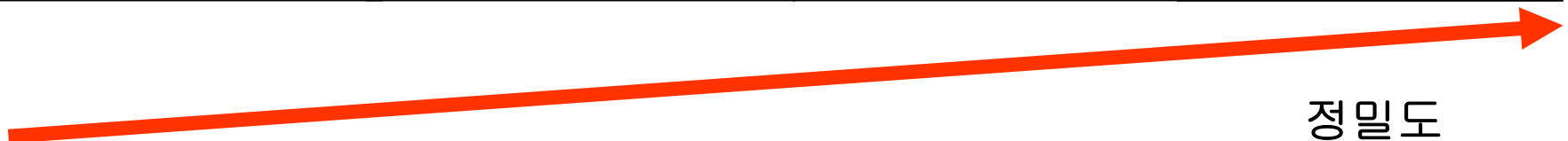
□ 실험의 유형

- 시행 착오 실험 (Trial and Error)
- 한 번에 하나의 요인 (One-Factor-At-a Time: OFAT)
- 부분 요인 실험 (Fractional Factorial Designs)
- 완전 요인 실험 (Full Factorial Designs)
- 반응 표면 실험 (Response Surface Methodology: RSM)
- EVOP (EVolutionary OPeration)

□ DOE의 단계



부분 요인 실험 ($1/2^n$, $n>1$)	부분 요인 실험 ($1/2$)	완전요인실험	반응 표면 실험 EVOP
---------------------------------	-----------------------	--------	------------------



□ DOE 단계의 예

- 상황 : **PCB**의 제조 공정에 사용되는 흐름 납땜기계는 다음과 같은 순서로 작업이 진행된다.
- 결점률 : 하나의 기판에 **2000**번의 납땜 작업을 실시하고 있는데 평균 한 기판 당 **20**개의 결점이 발생한다. 즉 결점률은 **1.0(%)** 이다
- 결점에 대한 처리 :
 - 결점에 대하여 수작업으로 재작업을 실시한다.
- 엔지니어가 해야 할 일:
 - 어떤 변수가 결점의 발생에 영향을 미쳤는가?
 - 납땜 결점을 줄이기 위하여 이들 변수에 대해 어떤 조치를 취해야 하는가?

□ 인자의 선정

- 제어 가능인자 (입력변수)

- 납땜 온도
- 예열 온도
- 납땜 깊이
- Flux 형태
- Flux 비중
- 컨베이어 속도
- 컨베이어 각도

- 제어 불가능인자 (잡음변수)

- 작업자
- 생산계획
- 인쇄회로기판의 두께
- 기판에 사용된 부품 형태
- 기판 위에 있는 부품의 배치

□ DOE 단계의 예

– 스크리닝 단계 :

- 스크리닝의 목적은 결점발생에 영향을 미치는 중요인자의 식별이다.
- 어떤 인자(입력 / 잡음 변수)가 회로기판의 결점 발생에 영향을 미치는가를 알아보기 위해 부분 요인 실험을 사용하여 실험하고 분석한 결과 두 개의 중요 인자를 선정

✓ 납땀온도

✓ 납땀깊이

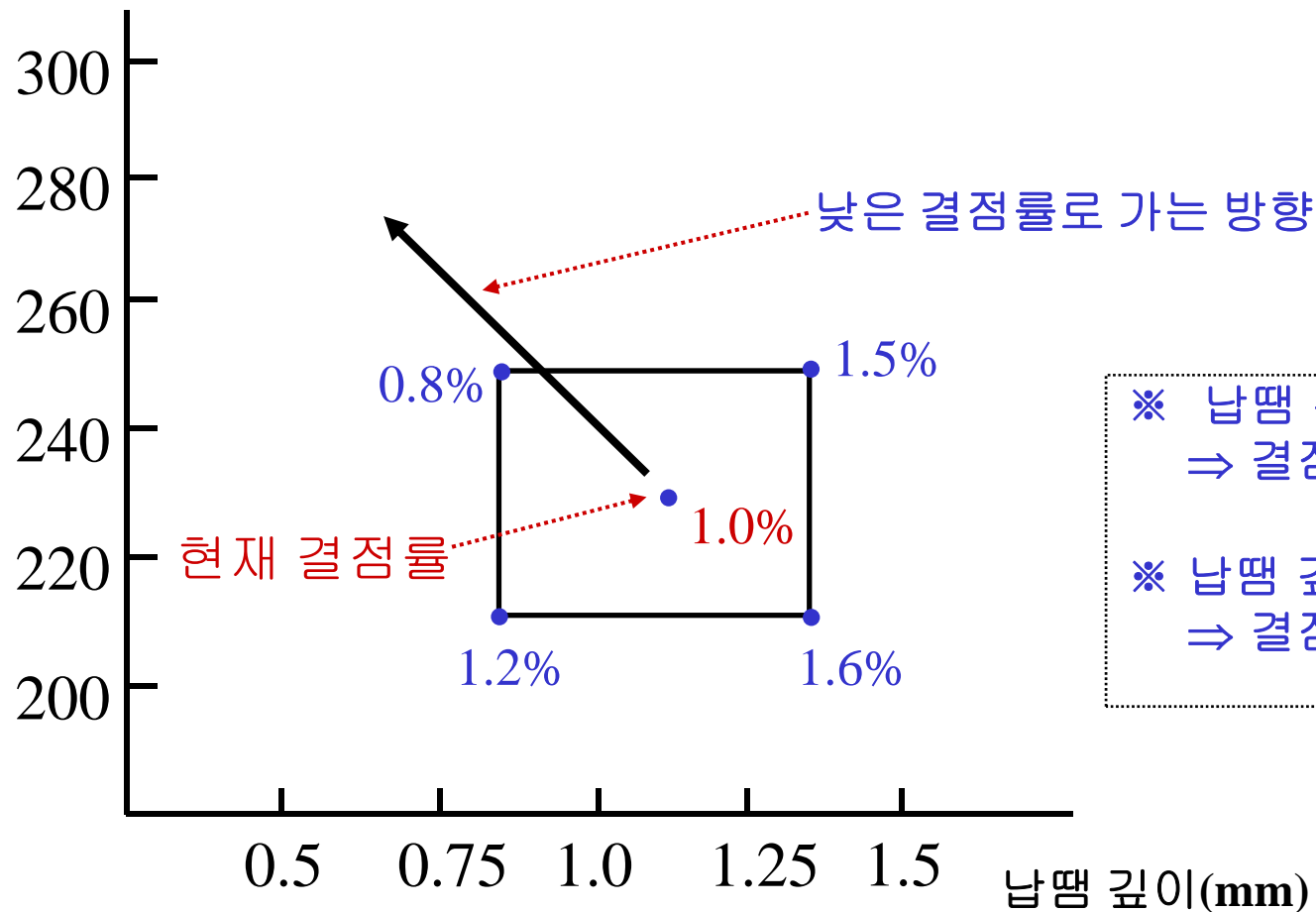
□ DOE 단계의 예

– 특성화 단계:

- 특성화의 목적은 결점률에 **납땜 온도**와 **납땜 깊이**가 어떠한 영향을 미치는가를 알아내는 데 있다.
- 단위 당 결점수를 줄이기 위해 **납땜 온도**와 **납땜 깊이**의 수정방향을 결정
- 결점률이 높아지거나 엉뚱한 공정결과를 피하기 위해 전체 제조공정 동안 주의 깊게 제어해야 할 변수들에 대한 정보를 제공
- **납땜 온도**와 **납땜 깊이**를 입력 변수로 하여 실험을 실시하여 다음의 결과를 얻었다.

□ DOE 단계의 예

납땜 온도 (°C)



<납땜 온도와 납땜 깊이에 따른 결점률>

□ DOE 단계의 예

– 최적화 단계:

- 최적화의 목적은 결점률을 최소로 하는 **납땜 온도**와 **납땜 깊이**의 수준 결정이다.
- 납땜 온도와 납땜 깊이를 입력 변수로 하여 최적화 실험을 통하여 다음의 결과를 얻었다.

✓ **납땜온도 : 255 °C**

✓ **납땜깊이 : 0.83 (mm)**

⇒ **결과 : 결점률 0.8%**

□ 유의사항

- 문제에 대하여 전문 지식을 사용하라.
 - 해당 분야의 전문가는 많은 경험과 지식을 보유
 - 전문 지식은 인자 선정, 인자 수준의 결정, 반복 횟수 결정, 분석 결과의 해석 등에 귀중하게 활용된다.
- 설계와 분석은 가능한 한 간단하게 하라.
 - 지나치게 복잡하고 세련된 통계적 기법의 사용을 자제하라.
 - 비교적 단순한 설계와 분석 기법이 가장 좋다.

□ 실제와 통계적 의미와의 차이

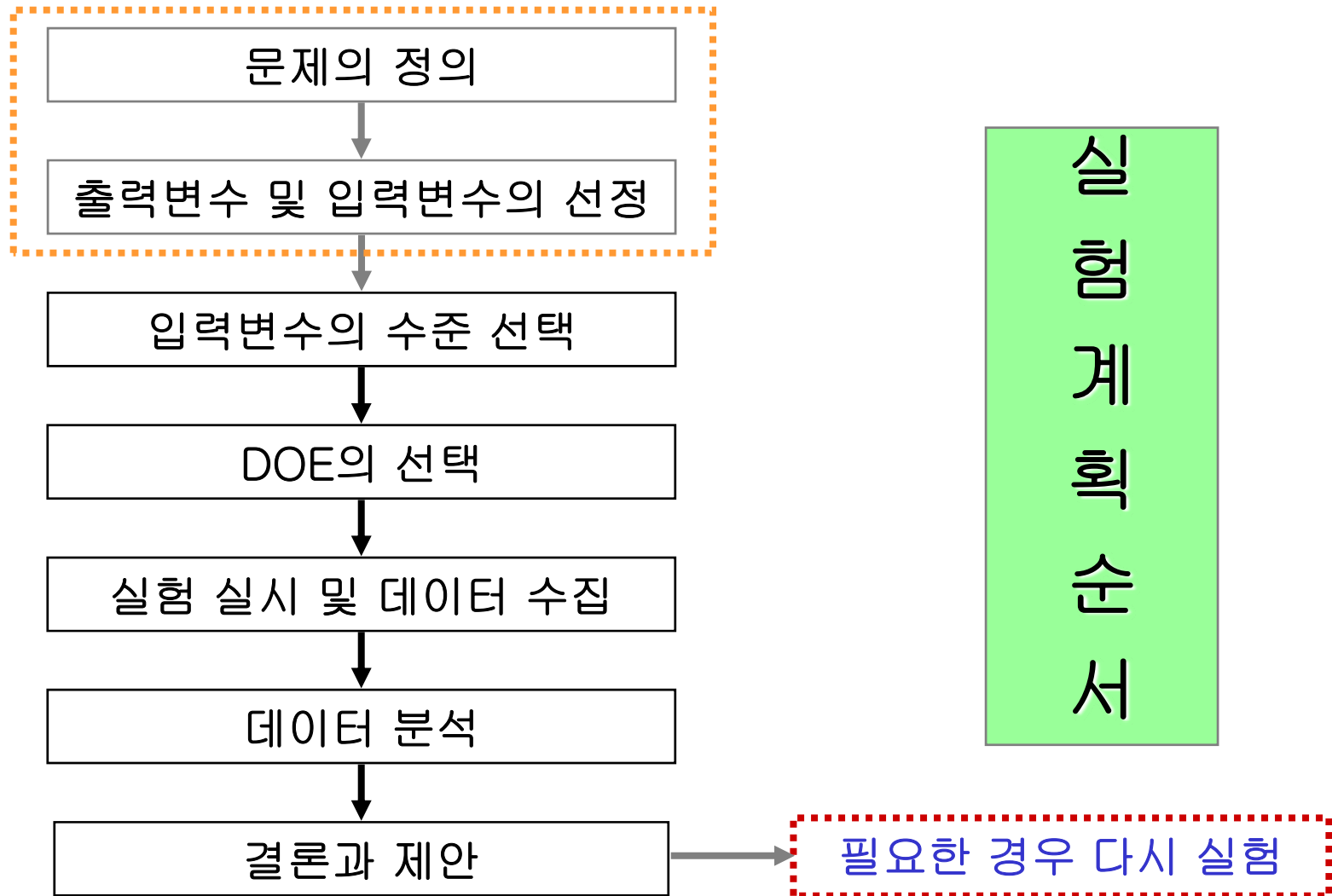
- 통계적으로 의미 있는 결과라 할 지라도 실제로는 별로 의미가 없을 수도 있다.

ex) 리터 당 **0.1 km**의 개선이 통계적으로는 의미가 있지만, 이를 위하여 ~~₩~~ **2,000,000**이 소요된다면 리터 당 **0.1 km**의 차이는 현실적으로 의미가 없다.

□ 실험은 보통 되풀이 되어 진다.

- 실험의 반복, 실험 방법의 개선을 통해 점진적으로 최종 목표에 도달해 가야 한다.

실험계획 - 순서



1. 문제 정의

- 해결해야 할 문제를 명확하게 파악
- 실험으로부터 얻고자 하는 목적의 명확한 설정
- 헬리콥터의 예:
 - 비행시간을 길게 할 수 있는 헬리콥터의 설계조건 찾는다.
- 반도체 단위 공정의 예:
 - 수율을 최대로 하는 작업조건을 찾는다.

2-1. 출력변수의 정의

- 출력변수가 계수형인지 아니면 계량형인지?
- 개선의 목적은 무엇인가? (목표 값(평균)/산포(표준편차))
- 출력변수를 통계적으로 관리할 수 있는가?
- 출력변수가 시간에 따라서 달라지는가?
- 얼마나 큰 출력변수의 변화를 발견하기를 원하는가?
- 출력변수가 정규 분포를 하는가?
- MSA가 적절한가?
- 여러 개의 출력변수를 원하는가?

2-2. 입력변수의 정의

- 실험에 있어 모든 입력변수들이 인자로 선정될 수 있는지 여부를 확인한다.
- 인자로 선정되지 못한 입력변수들에 대한 처리 방안을 마련 한다.
- 인자들의 유형을 정의 한다.
 - 계수형 변수
 - 계량형 변수

□ 제어 불가능인자 (잡음변수)의 처리

- 출력변수에 영향을 주는 변수로 제어 해야만 하나 현실적으로 물리적인 제어가 불가능한 변수들이다.

□ 잡음변수를 처리하는 방법들:

- 랜덤화의 이용
- 잡음변수 들을 상수로 유지할 수 있는 방법의 시도
- 블록화
- 반복 실험

3. 입력변수 수준의 선택

- 인자 수 및 영향의 특성에 따라 수준 수 선택
 - 인자 수 많으면 2 수준
 - 직선적 영향이면 2 수준, 곡선적 영향이 있으면 3 수준
- 수준의 범위는 차이가 존재할 경우 이러한 차이가 나타날 수 있도록 충분히 넓어야 한다.
- 실현 가능성의 범위를 벗어나서는 안 된다. (현 프로세스 범위를 벗어날 수는 있다.)
- 계량형 데이터의 입력변수에 대한 수준 설정은 대체로 현재 조건의 한계를 고려하여 정한다.

실험계획 - 순서

4. DOE의 선택

<div> <div>낮 음 ←</div> <div>현재 프로세스 지식 상태</div> <div>→ 높 음</div> </div>				
DOE 종류	스크리닝 실험	일부 실시 법	완전 요인 실험	반응 표면 실험
인자 (X) 들의 수	6 이상	4 ~ 10	1 ~ 5	2 ~ 3
목 적	중요 인자의 식별	일부 교호작용	인자들 간의 관계	인자들 최적조건 설정
추 정	개선을 위한 대략적인 방향 (선형 효과)	주효과와 일부 교호작용	모든 주효과와 교호작용	출력변수의 예측 모델 (곡률 효과)

실험의 목적과 예산 등을 고려하여 DOE를 선택한다.

5. 실험 실시 및 데이터 수집

- **DOE**에 포함되지 않은 중요인자에 대해서는 **SOP (Standard Operating Procedure)**를 개발하고 집행한다.
- 데이터 수집 계획을 준비한다.
- 계획을 충분히 전달한다.
- 데이터 수집자들을 훈련시킨다.
- 필요하다면 시범 운영을 마친다.
- 실험을 실시하고 데이터를 수집한다.

6. 데이터 분석

- 데이터 입력
- 데이터의 Plotting
- 효과의 Plots: 주효과 & 교호작용
- 효과의 Normal Probability Plot
- 분산분석표 분석

7. 결론 및 제안

- 알고 있는 모든 정보를 이용해서 실험 결과를 해석
- 출력변수에 대한 예측 모델 설정 및 최적 인자 수준 결정
- 추가 실험으로 결론을 확인(재현성 실험)
- 바람직한 결과가 얻어지지 않았으면 대책 수립
 - 필요하면 추가 실험을 실시
- 통계적인 결론을 실제적인 해결책으로 변환
- 결론과 개선 방안에 대한 보고서 작성
- 진행 과정을 검토하고 개선 방안을 작성