

제 4장 파라미터 설계: 정특성

설계의 세 단계

- 제품 및 공정의 설계 과정

시스템 설계 (System Design)

- 전문지식, 기술, 경험을 통하여 주어진 목적기능을 갖는 제품의 원형(原型, prototype)을 개발
- 일반적으로 설계변수의 최적화는 시도되지 않음

파라미터 설계 (Parameter Design)

- 다구찌 품질공학의 주요 연구대상
- 목적 : 제품의 성능특성이 잡음에 둔감하도록 설계변수의 최적조건을 구하는 것
- (예) Inax Tile Company의 경우 배합원료의 조성비를 설계변수로 삼아 파라미터 설계를 시도

허용차 설계 (Tolerance Design)

- 파라미터 설계에 의해 설계변수의 최적조건을 구하였으나 성능특성의 산포가 아직 만족할 만한 상태가 아닐때 수행
- 실험에 의존하게 되며, 목적은 성능특성치의 산포에 큰 영향을 미치는 설계변수를 선택하여 그 허용차(중앙값으로부터 변화하는 정도)를 줄여줌으로써 성능특성치의 산포를 바람직한 수준 이하로 유지하는 것
- 허용차를 줄이는 데에는 비용이 수반되므로 부득이한 경우에 사용됨

▼ 제 1 단계 : 시스템 설계

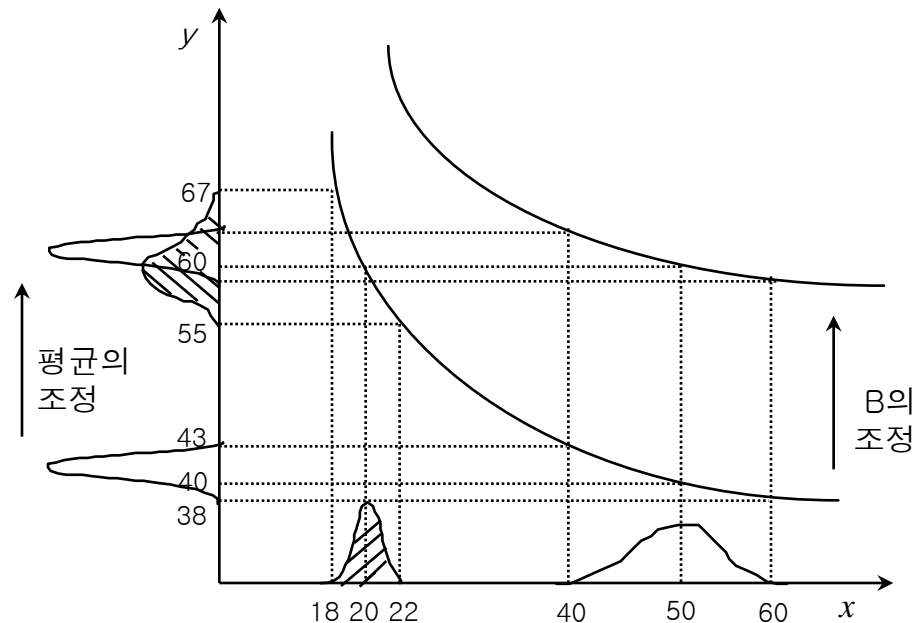
- 가장 바람직한(또는 고객이 요구하는) 기본기능을 지닌 제품(**Prototype**)을 개발하는 단계로 고객의 요구, 제조와 관련된 제반 환경요인 등을 고려해야 한다.(예 : 연구, 개발(**R&D**)단계)
- 새로운 개념 창출 : 창의성, 창조성 및 새로운 아이디어가 요구될 때
예) - 증기 엔진 - 녹음기 - 축전지 - 반도체 - **Video** 테이프
- 자동차 - 컴퓨터 - 용접 - 사출성형 - **IC**회로
- 로버스트 설계의 중요한 단계
- 사용되는 기법 : **QFD, TRIZ, Pugh's Concept Selection**, 창조성
향상기법

▼ 제 2 단계 : 파라미터 설계

- 품질과 비용을 모두 개선하기 위해서 선택된 핵심 설계요소 (파라미터)의 수준을 선택하는 행위이며, 출력이 노이즈에 가장 둔감하도록 제어인자들의 수준의 최적조합을 추구하는 단계.
제품의 기능에 변동을 가장 적게 주는 인자와 수준을 선택함

- 파라미터 설계의 목적

- 안정성 설계
- 재현성 확보



파라미터 설계의 원리

- 성능특성치에 특정한 목표값 m 이 주어져 있는 경우의 기대손실

$$L = k \{ \sigma^2 + (\mu - m)^2 \} \quad (1.2)$$

단, $k =$ 상수

$\sigma^2 =$ 성능특성치 y 의 분산

$\mu =$ 성능특성치 y 의 평균

σ^2 과 μ 는 일반적으로 설계변수(d)에 따라 변화한다

- 파라미터 설계의 원리는 기대손실 L 을 최소로 하는 설계변수 d 의 최적치를 찾는 것임

파라미터 설계의 핵심

- 성능특성과 설계변수 간의 비선형적 관계와 조정변수를 활용하여 적은 비용으로 높은 품질의 (즉, 손실이 작은) 제품을 설계함.

- (예) 어떤 전자제품의 성능특성 y 는 부품 A의 값에 따라 그림 1.6과 같이 변화한다고 가정

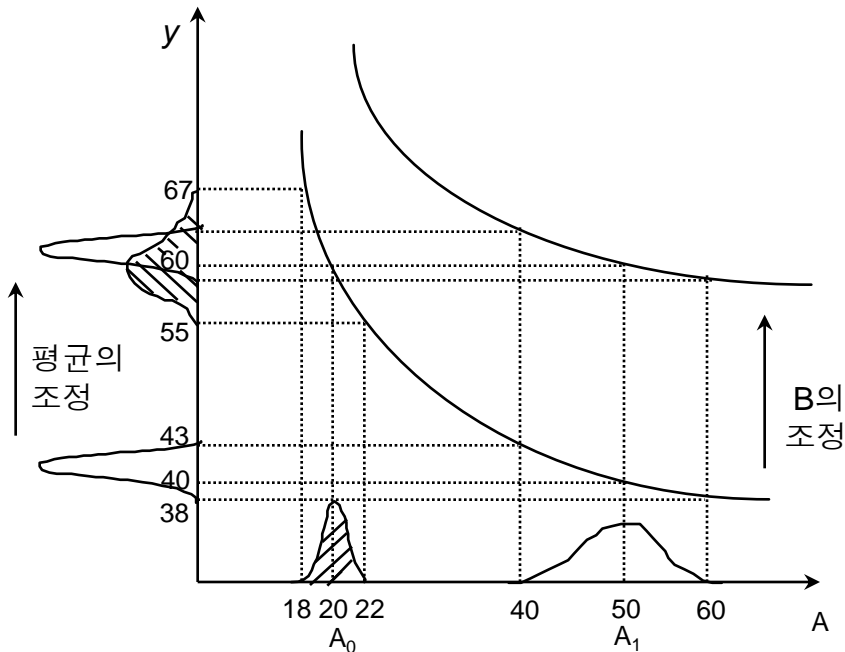


그림 1.6 설계변수와 성능특성 y 의 관계

- y 의 목표치 = 60 $\Rightarrow A = A_0 = 20$ 선택
- A는 수명기간 동안의 노후화, 사용 조건의 변화 등으로 20으로부터 $\pm 10\%$ 또는 18~22 사이로 산포
 $\Rightarrow y$ 는 55~67 사이의 변동을 보임

(예) 계속

- A가 $A_0 (=20)$ 근방일 때 \Rightarrow 기울기가 급해서 y 는 A의 작은 변화에도 민감하게 변동함
산포가 매우 작은 고급의 부품을 채택하여 이 문제점을 해결하려고 하는 것은 높은 비용을 수반함

☞ 비경제적 설계방법

- A가 $A_1 (=50)$ 근방일 때 \Rightarrow 완만한 기울기를 가지므로 A가 $\pm 20\%$ 까지 변하더라도
 y 는 38~43 사이의 작은 변동을 보임
문제점 : y 의 평균치가 40이 되어 목표치 60으로부터 벗어남 \Rightarrow 제 3의 설계변수 B가 존재하여 이를
적절히 조정함으로써 평균치를 목표치에 접근시켜 식 (1.2)의 손실을 줄일 수 있음

(B를 調整변수, Adjustment Parameter 라 칭함)

- ☞ A의 산포가 어느 정도 커도 무방하므로 저급의 값싼 부품을 이용할 수 있다는 점에서 경제적인
설계방법

공정설계에서의 파라미터 설계

- 제품설계에서와 개념은 유사
- 앞의 예에서 A 를 하나의 공정변수라 보면 A 의 변화량은 부정확한 제어 (control) 등으로 말미암아 중앙값으로부터 변화하는 정도를 나타냄
 - A 가 $A_0(=20)$ 근방일 때 $\Rightarrow A$ 의 산포를 엄격히 제어하는 상태를 의미
 - A 가 $A_1(=50)$ 근방일 때 $\Rightarrow A_0$ 보다 상대적으로 제어가 덜 엄격한 상태를 의미
- A_1 인 경우가 A_0 보다 적은 노력과 경비를 필요로 하기 때문에, A 를 A_1 으로 정하고, 조정변수를 이용하여 y 의 평균치를 목표치에 접근시킬 수 있다면, 공정설계의 관점에서 매우 바람직함

파라미터 설계시 실험적 방법의 필요성

- 실제 설계 문제의 어려움

- 설계변수의 수가 매우 많을 수 있음
- 설계변수들과 성능특성 y 와의 관계가 잘 알려져 있지 않음

⇒ 실험적 방법에 의존하는 것이 문제해결의 효율적 방법일 수 있음

- 실험적 방법

- 설계변수들의 여러 조합에서 성능특성이 잡음에 어떻게 영향을 받는가를 관찰하여 분석함으로써 가장 바람직한 설계변수 값을 정할 수 있음
- 실험적 연구의 경제성, 통계적 효율성, 연구결과의 재현성 등을 고려하여 적절한 실험계획과 잡음인자를 선정하는 것이 중요함

- 다구찌방법

- 파라미터 설계를 위한 실험계획으로서 소위 직교배열표 (orthogonal table)를 추천함
- 가능하면 잡음을 구체적으로 실험에 포함시킨다는 것이 전통적 실험계획과 근본적으로 다름
(예) 그림 1.6에서 A의 중앙값 $A_0(=20)$ 와 $A_1(=50)$ 뿐만아니라 18, 22 그리고 40, 60 등에서도 실험을 행하여 y 값이 A의 변화 (즉, 잡음)에 어떻게 영향을 받는가를 관찰함
- 자료 분석방법도 전통적 방법과 상당한 차이가 있음

파라미터 설계시 유의할 점

- 파라미터 설계시에 지나치게 고급의 (허용차가 작은, 따라서 비싼) 부품이나 지나치게 엄격히 제어된 공정조건에서 실험하는 것은 바람직하지 않음
 - 왜냐하면, 위와 같은 상태에서 결정된 설계는 많은 비용과 노력을 필요로 할 뿐만아니라 다른 심각한 잡음조건 하에서는 최적설계가 되기 어렵기 때문
- ⇒ 파라미터 설계에서는 제품이나 공정의 수행에 지장이 없는 범위내에서 설계변수에 잡음 (허용차)을 허용하여 성능특성이 이 잡음, 또는 그 외의 잡음에 둔감하도록 설계변수의 최적치를 찾고, 필요하다면 허용차 설계를 통해 설계변수의 허용차를 선별적으로 조정하는 것이 바람직함

▼ 제 3 단계 : 허용차 설계

- 허용차 설계란?

- 파라미터 설계 후 부품, 재료 등의 등급을 선택하는 행위로서, 기능한계 수준과 기능하지 않았을 때의 손실로부터 근사적인 손실함수를 구하여 결정하며, 산포를 더 한층 감소시킬 수 있도록 결정된 핵심요소의 목표치를 중심으로 이의 허용차를 더욱 세밀하게 조정

- 허용차 설계의 목적

- 산포를 더욱 감소시키시 위해서는 어느 제어인자의 공차를 어느 정도 엄밀하게 관리해야 하는지를 찾아내는데 있음.
- 파라미터 설계에서 최적조건을 설정한 다음, 제품/공정의 허용 가능한 변동 결정

- 허용차 설계의 전략

- 초기에는 넓은 허용차 범위, 저가의 원자재 부품 사용
- 제어인자의 최적수준을 사용하여 출력반응의 전반적인 변동 결정

II. 파라메타 설계 - 1. 목적

1. 파라메타 설계의 목적 :

1-1. 안정성 설계

: 제품의 기능이 소비자의 어떠한 환경에서도 목표치에 일관성있게 유지되는 것이 소비자의 만족을 극대화 함.

: 소비자 사용환경에서 제품의 기능 변동을 경제적으로 줄이는 방법 ⇒ **SN비 사용**

1-2. 재현성 확보

연구실 실험에서 최적인 것으로 파악된 내용이 제조공정과 소비자 환경에서도 최적이라는 것을 보장하는 방법. ⇒ **직교배열표 사용**

Taguchi method는 과거의 statistical experimental design의 개념을 근간으로 위의 두가지 새로운 개념을 접목시킨 가운데서 출발

최적화의 방향

1. System(Mechanism)의 기능을 잘 평가할 수 있는 측정항목을 설정해서 실험, 측정, 분석을 통한 최소의 산포와 목표 평균치를 내는 조건 도출
2. 실험에서 도출된 최적조건이 실제 상황(제조, 사용 환경)에서도 안정된 품질특성을 내는 제품을 만들어 주는 조건임을 보증

II. 파라메타 설계 - 2. 품질의 개념

“품질이란 제품이 출하된 후에 사회에 끼치는 총손실이다. 단, 기능 자체에 의한 손실은 제외한다.”

2-1 손실의 내용

- 1) 기능의 산포에 의한 손실
- 2) 폐해항목(사용 코스트 포함)에 의한 손실

2-2. 설계업무중에서 품질과 비용에 대한 대책

- 1) 품질(기능의 산포에 의한 손실과 폐해항목에 의한 손실)평가의 방법, 안정설계
- 2) 코스트를 증가시키지 않고 설계할 때 품질을 설계하는 파라미터 설계방법
- 3) 품질개선의 성과를 코스트로 환원하기 위한 허용차 설계

2-3. 품질의 분류

- 1) 하류품질(下流品質) : 폐해 항목. Management에 관련된 항목.
예) Engine 연비, 소음, 진동, 고장, 배기가스의 유해성분 등
- 2) 중류품질(中流品質) : 생산시 품질. 매매나 일상의 제조현장의 관리에 중요함.
도면치수, Spec 등으로 공정이나 제품의 control에 쓰는 품질특성.
- 3) 상류품질(上流品質) : 제품개발의 품질항목
망소, 망목, 망대, 기능창 등(정특성)
- 4) 원류품질(源流品質) : 기술개발의 품질항목
기능이 어느 정도 이상기능에 가까운가를 보이는 척도,
생산기술에서는 형상의 가공성능 평가, engine의 기능성(energy 변환가능)평가

특성치를 선정할 때 하류단계의 특성치보다 원류, 상류 단계의 특성치를 선택해야 engineering 효과와 목적을 효율적으로 달성할 수 있다. 하류단계의 특성치는 능률이 매우 나쁘게 되어 비효율적인 실험이 된다. 하류 특성치의 대표적인 것은 계수치 data라 볼 수 있다.

II. 파라메타 설계 - 3. 손실함수

목적하는 특성의 목표값이 있는 경우(망목특성)에 목표값을 m 이라 하면 목표값 m 으로부터 벗어났을 때의 경제적 손실

$L(y)$: 특성값이 y 인 제품이 출하되어, 설계수명동안 여러 사용자에게 사용되었을 때 평균 손실

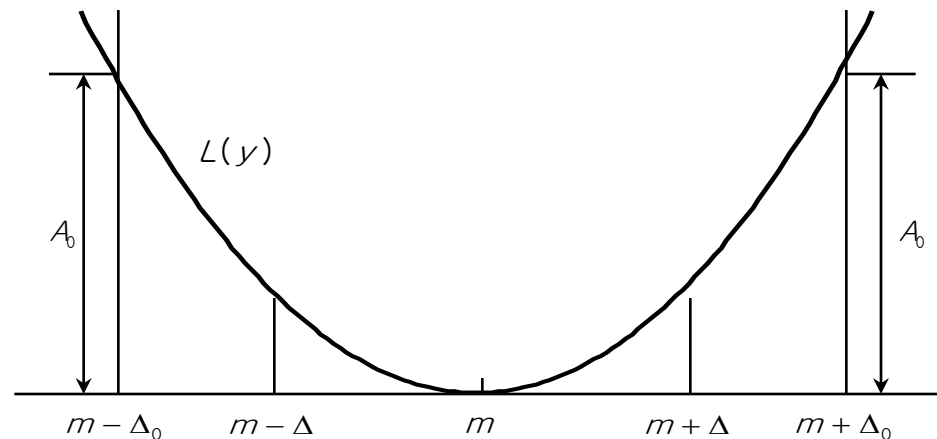
$$L(y) = \frac{1}{N} \sum \int_0^T L_i(t, y) dt$$

[

N : 그 제품을 구입할 지도 모를 전 소비자수
 i : 소비자
 y : 제품의 특성값
 t : 사용기간
 $L_i(t, y)$: 경제적 손실

]

실용상의 손실함수



[

A_0 : 기능이 발휘되지 않을 때의 손실
 Δ_0 : 기능한계(소비자 허용치)
 Δ : 제조 허용차
 m : 특성의 중심값
 σ : $(y - m)^2$ 의 평균값(분산)

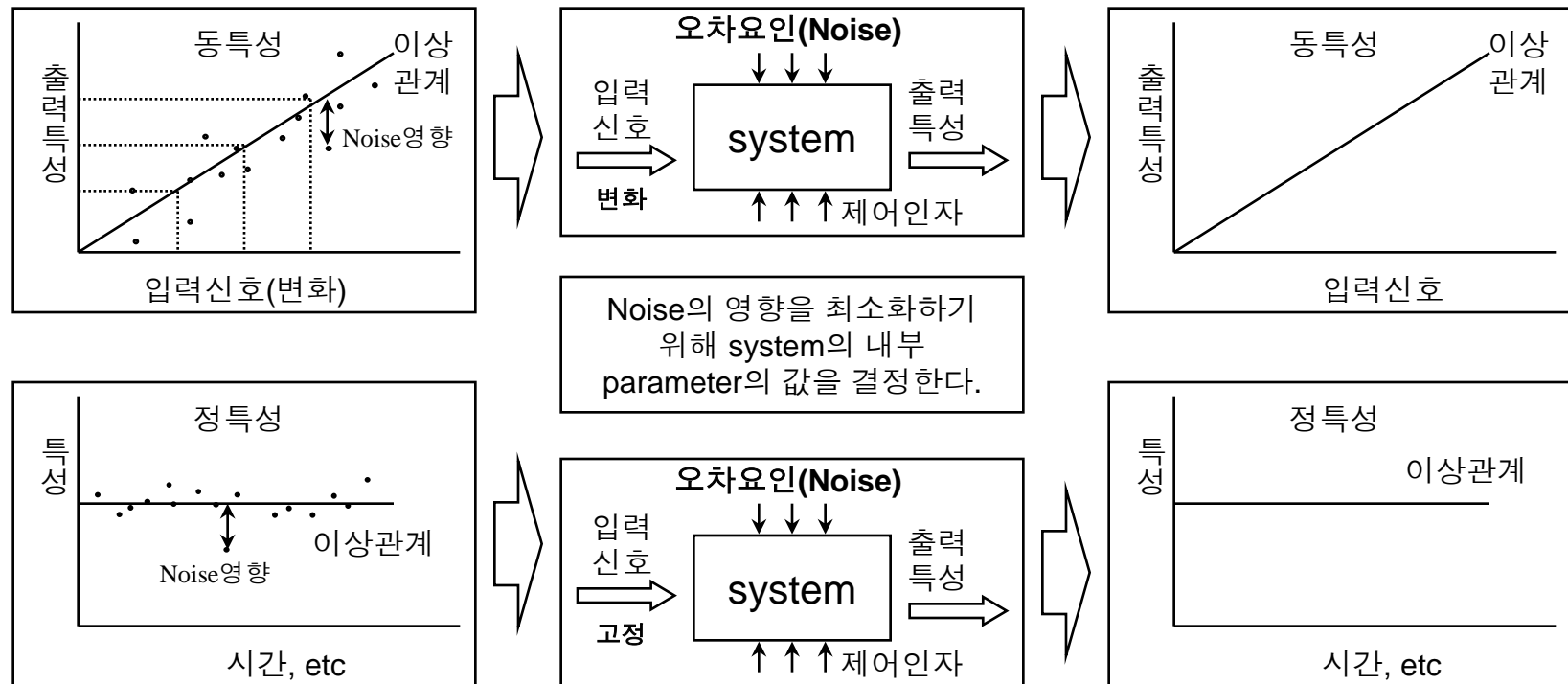
]

$$L(y) = \frac{A_0}{\Delta_0^2} (y - m)^2 = \frac{A_0}{\Delta_0^2} \sigma^2$$

II. 파라메타 설계 - 4. 방법

4-1. 개념

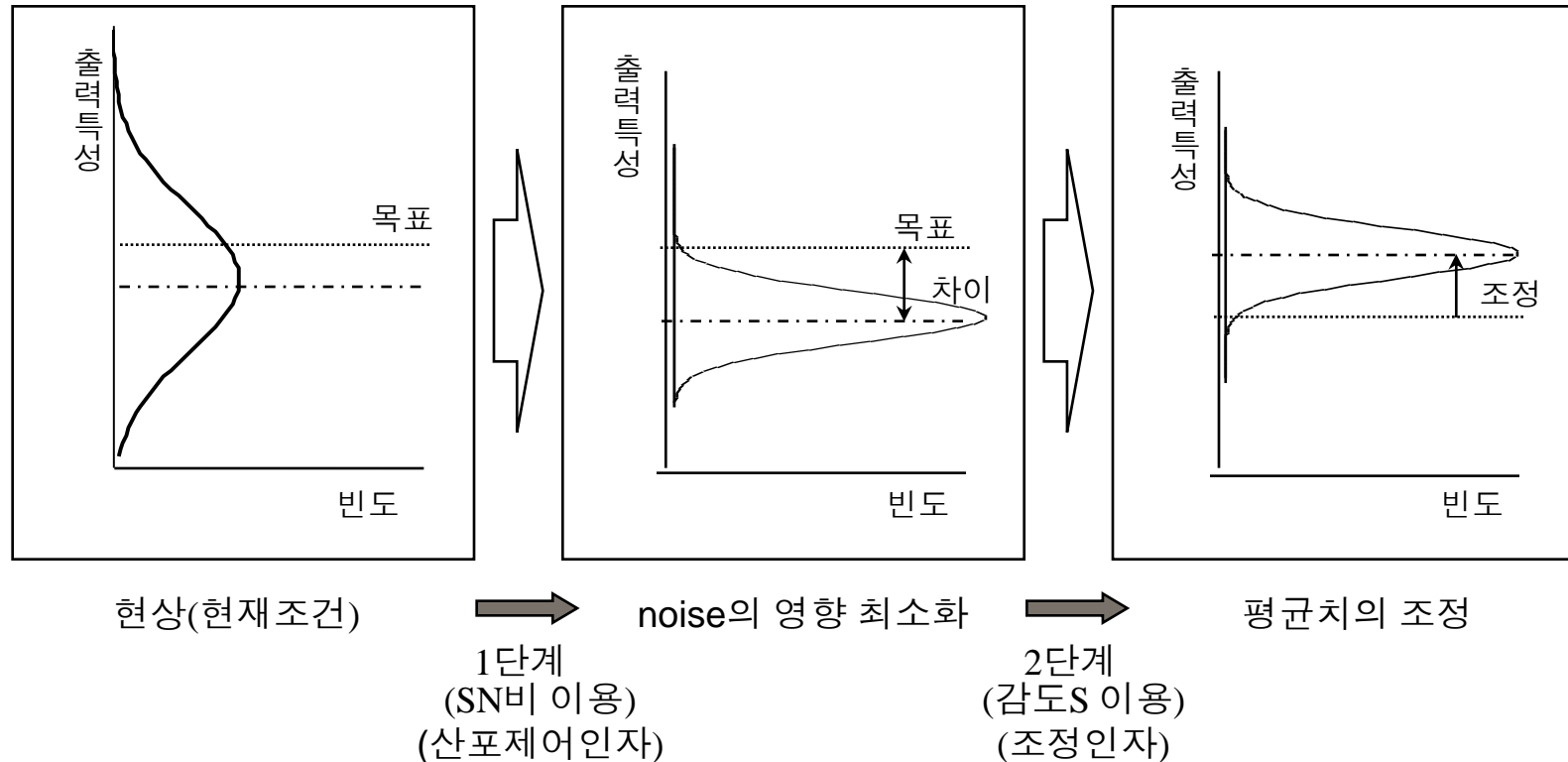
기능의 산포를 유발시키는 오차요인을 관리하지 않고, 오차의 원인을 최소화하여 안정성을 갖도록(하류의 재현성을 확보하기 위해) 설계변수(parameter)의 최적조건을 찾는 방법



- 동특성 : Engineer가 입력신호를 변화시켜서 출력을 조절할 수 있는 평가특성
- 정특성 : 일정한 목표값을 내는 것이 이상적인 경우의 평가특성

II. 파라메타 설계 - 4. 방법

4-2. 2단계 설계법



1단계 : 산포 제어인자(특성의 변동과 산포는 변화시키지만 특성의 크기는 변화시키지 않는 설계변수)로서 가장 안정된 조건을 찾음(SN비가 큰 조건)

2단계 : 특성의 평균치를 목표값으로 조정(조정인자)

II. 파라메타 설계 - 5. 평가특성 선정

“To get Quality, Don't Measure Quality”

평가특성을 잘 선정하는 것이 매우 중요하며 이는 기업의 Know-How 이므로 잘 공개하지 않는다.

○ 개념 : 실험에서 측정한 값을 무엇으로 할 것인가를 결정

○ 평가특성의 중요성 : 품질특성을 사용할 경우

- 1) 상반한 특성을 동시에 해결하는 최적화 조건 발견 어려움. Under etching과 over etching, Open과 Short
- 2) 요인의 주효과의 합, 즉 가법성이 없음. 예를 들면 술을 마실때 기분이 좋은 것과 알콜 농도간의 관계

○ 품질공학의 특성치 분류

1) 동특성(動特性:Dynamic Characteristic) : 입력의 변화에 대해 출력이 비례하는 특성(그림2 참조)

(1) 능동적 동특성 : 의도적으로 신호를 줘 출력을 바꾸려는 특성.

자동차 방향을 바꿀때, 핸들의 회전량.

(2) 수동적 동특성 : 입력을 사용자가 의도하는 게 아닌, 주어질 경우.

온도제어를 위한 on-off system의 온도입력, 체중계

2) 망목특성(望目特性:Nominal-the-Best)

일정한 목표값을 갖는 것이 좋은 경우. 제품치수, 중량, CDT spot size 등

3) 망소특성(望小特性:Smaller-the-Better)

작을수록 좋은 값. 그러나 음수가 아닐 것. 마모정도, 불순물, 유해성분량 등

4) 망대특성(望大特性:Larger-the-Better)

클수록 좋은 값. 재료의 강도, stray 개시전압 등.

2), 3), 4)靜特性이라 한다. : 그림 3 참조

II. 파라메타 설계 - 5. 평가특성 선정

"To get Quality, Don't Measure Quality"

실험의 목적을 달성하기 위해 가장 중요하면서 실험의 효율을 좌우하는 단계로, 제품이나 공정의 기본기능을 이해하고 이를 잘 나타내는 측정항목과 방법을 결정한다.

1) System 정의

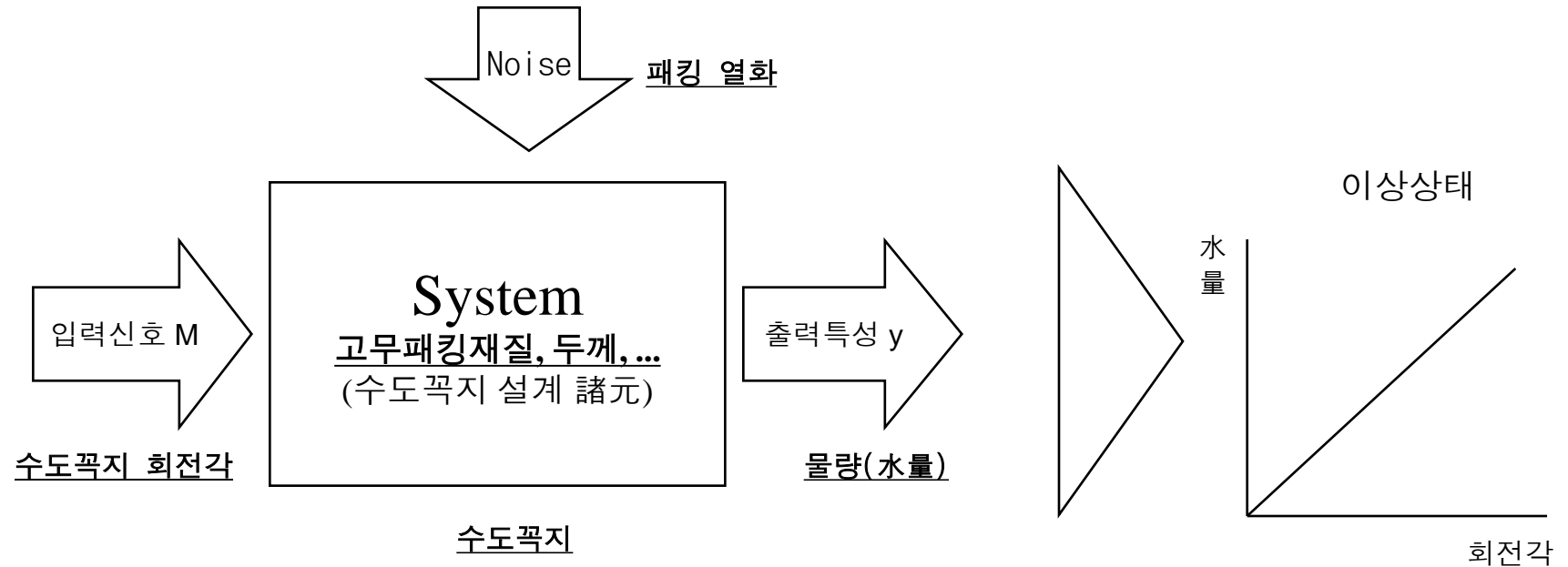


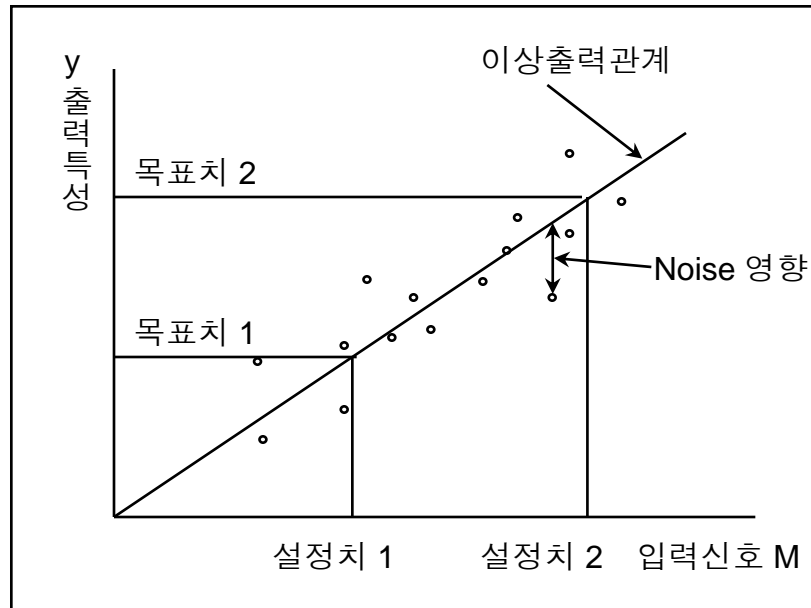
그림 1. System의 예

- 어떤 제품이나 공정도 보기와 같이 분해, 정의할 수 있다.

II. 파라메타 설계 - 5. 평가특성 선정

2) System 구분

그림 2: 동특성



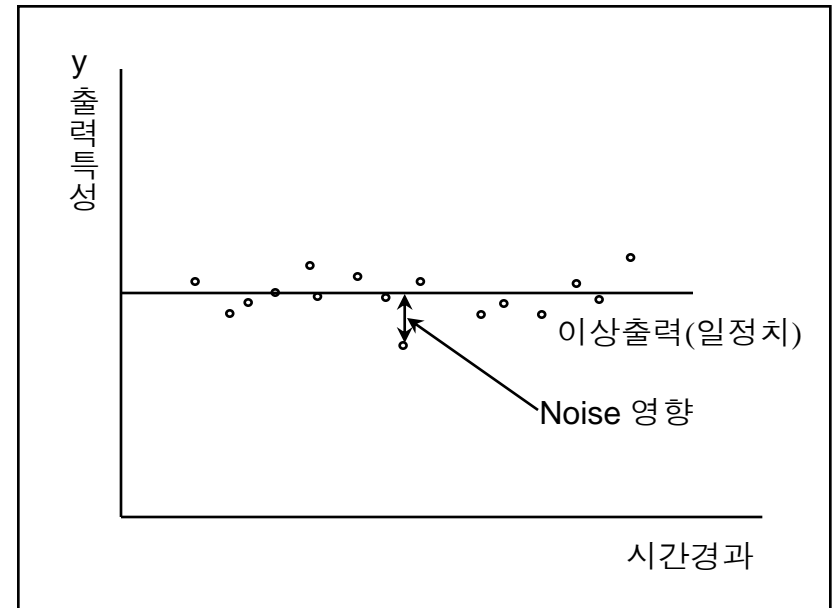
특징

- 입,출력이 있다.
- 출력특성의 목표치가 신호에 따라 바뀐다.
- 입,출력 관계를 이용해 출력을 목표치에 맞춘다.

보기

- 계측기, 복사기

그림 3: 정특성



- 일정한 출력으로 맞추고 싶다.
- 사용자가 잡는 입력신호가 없다.

- 건전지

II. 파라메타 설계 - 5. 평가특성 선정

3) 기본기능

목적기능을 달성하기 위한 기술수단이나 메카니즘을 기본기능이라 한다.

3-1) 의미 : 어떤 **system**이나 제품이 반드시 가져야 할 특성을 나타내기 위한 물리법칙이나 기술수단

3-2) 보기 : (1) 수도꼭지의 손잡이 회전각과 수량

(2) 용수철에서 후크의 법칙(Hooke's law)

(3) Black Matrix도포공정의 mask형상의 전사(轉寫)

3-3) 기본기능을 찾는 목적 : 최적화 실험시의 어려운 점

(1) 어떤 것이 최적화 전체의 모습인가 한정하기 어렵다.

(2) 많은 품질 항목간에 어느 항목을 우선 해야 할지 판단할 수 없다.

System의 기본기능을 찾아 입출력 관계를 정의하고, 어느 제어인자를 어떻게 맞추면 **noise**가 있어도 설정치에 맞는 목표치를 제대로 낼 수 있는가를 찾는 동특성 **SN**비를 써서 최적화 설계를 하는것이 좋다.

3-4) 동특성 system과 입력신호, 출력의 보기

System	목 적	입력신호	출 력
수도꼭지 Steering System 복사기 BM 도포 공정	마실물을 받는다. 자동차 방향을 바꾼다. 원고를 복사한다. Mask 형상을 전사한다.	수도꼭지 회전각 핸들 회전각 원고 농도 Mask Pattern	수량(수량) 자동차 회전각 사본 농도 Glass Pattern

- System의 입출력 관계를 정의할 수 없을 경우는 정특성(그림 3)을 쓴다.

II. 파라메타 설계 - 6. 오차인자(誤差因子)

: 잡음인자와 같은 의미로 쓰임

설계자가 통제 할 수 없거나, 하더라도 비용이 매우 많이 드는 인자로 품질 산포의 원인이 되는 인자

1) 오차인자 구분

1-1) 외부요인

환경변동이나 사용조건의 산포 등

예] 차의 digital 시계에서 여름과 겨울의 온도차

1-2) 내부요인

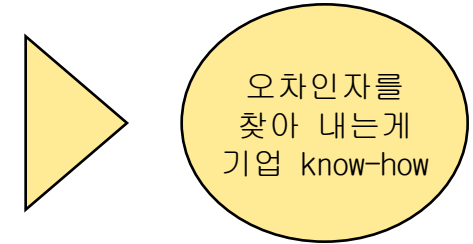
부품이나 재료의 열화(劣化), 특성이 바뀌는 것

예] 수도꼭지의 고무패킹의 열화

1-3) 물건간 산포

사용부품이나 재료의 산포, 물건을 만들때는 언제나 발생

예] BM도포 공정에서 glass 위치에 따른 투광율의 차



제품에 어떤 잡음이 영향을 주는가 검토하는 건 고유기술과 경험의 영역

2) 오차인자 요건

2-1) 오차인자의 요건

담당자가 관리(control)할 수 없거나 비용이 매우 많이 드는 인자

단, 최적화 실험시에는 반드시 배치하여 실험할 수 있어야 한다.

예] 온습도의 경우 사용자 환경을 제어 할 수는 없지만, 실험시에는 조절이 가능해야 함.

오차가 제품에 미치는 경향을 알고 있는 것이 가장 바람직 함.

2-2) 오차인자의 실험시 고려방법

경향을 알고 있는 경우 : 양(+), 부(-) 방향을 갖는 것끼리 조합해서 직교배열표 외측에 배치해서 실험하여 효율화

경향을 모르는 경우 : 예비실험을 통해 경향을 알아 내거나, 외측에 또다른 직교배열표를 써서 실험배치

배치방법의 예는 직교배열표 항에서 설명한다.

II. 파라메타 설계 - 7. 제어인자(制御因子)

1) 제어인자란

1-1) 정의 : “목표특성을 안정되게 내기 위해서 인자의 중심치를 설정해야 하는 인자”

1-2) 개요 : System(제품, 공정, 설비)은 input(신호, 동력, 물자)을 받아 output(특성, 제품)으로 변환하는 것이다. 그러나 온도, 습도, 전압변동 등의 환경요인과 시간경과의 열화요인의 영향으로 system의 기능을 제대로 발휘하지 못하고, 특성, 제품에 산포가 발생하게 된다. 따라서 그러한 산포유발인자(오차인자)의 영향이 있어도 system의 기능을 잘 발휘하고, 특성, 제품의 산포가 극소화 되도록 해야 한다. 그렇게 하기 위해서 사용하는 수단이 제어인자이고, 오차인자의 영향에 강한 system이 되게 하기 위한 제어인자의 중심치를 설정함으로써 산포극소화의 목적을 달성할 수 있다.

2) 제어인자를 찾는 방법

2-1) System을 구성하는 항목을 되도록 많이 나열한다.

2-2) 인자를 나열할 때 특성요인도를 작성하거나 제조, 사용자와 협의하여 담당 engineer만의 눈높이나 사고방식에 한정되지 않도록 한다.

2-3) 가급적 사용할 직교배열표에 최대한 배치할 수 있는 갯수만큼 선정한다(산포안정화용 인자와 평균치 조정용 인자에 대한 선택의 폭을 넓혀 큰 개선을 할 수 있다.)

3) 제어인자의 수준결정

3-1) 되도록 3수준으로 설정해서 경향을 더 정확하게 파악할 수 있게 한다.

3-2) 기술적으로 의미가 있는 최대의 폭으로 수준간의 간격을 설정해서 좋은 결과와 나쁜 결과가 더욱 명확하게 비교되게 하고 개선할 수 있는 폭을 넓힌다.

3-3) 교호작용이 있으리라 생각이 드는 경우라도 구매받지 말고, 각 인자의 독립 특성을 고려해서 수준을 설정한다. (교호작용에 대한 우려는 더 핵심적인 평가특성을 선정하는 것으로 대처하는 것이 바람직하다.).

3-4) 새롭게 개발하고자 하는 수준도 과감하게 설정한다.

3-5) 특성이 나쁘게 된다는 것을 명확하게 알고 있는 수준은 배제해도 좋다.

3-6) 수준간의 간격을 등간격으로 설정하면 직교성에 더 부합될 수도 있다.

3-7) Energy와 직접 관련이 있는 인자는 상대수준을 설정하거나 energy의 총량으로 수준을 설정한다.

3-8) 종래의 경우와 비교를 목적으로 한다면 2수준으로 해도 좋다.

II. 파라메타 설계 - 인자 종합

인자의 분류

인자	내용		예	배치
제어인자	설계자가 그 수준의 중심값 을 결정하고자 하는 인자			내측
잡음인자	외란	제품의 사용 조건이나 공정 환경이 바람직한 상태를 유지하지 못 하고 변화하는 것	온도, 습도, 진동 입력전압의 변화	외측
	내란	노후화라고도 불리어지며 부품 특성치가 시간이 지남에 따라 정격치로 부터 벗어 나는 것	시간이 지남에 따라 저항 값 상승, 패킹의 열화, 부품의 마모	
	불완전 제조	제조시 작업자의 변동, 공정변수의 변동 등으로 말미암아 제품간 성능특성이 달라 지는 것		
신호인자	출력인 특성치에 대해 입력으로 작용하는 인자로, 의도한 출력을 위해 입력인 신호를 조정하는 것이 의미가 있다면 이를 능동적 신호인자라 하고, 주어진대로 출력해야 하는 경우의 신호인자를 수동적 신호인자 라고 한다.		Steering Wheel의 조각 타, 저울의 시료 무게	외측
표시인자	각 수준에는 기술적 의미가 있지만 그 수준의 선택이 불가능한 인자		품종, 원료의 종류, 자동차 엔진의 RPM	

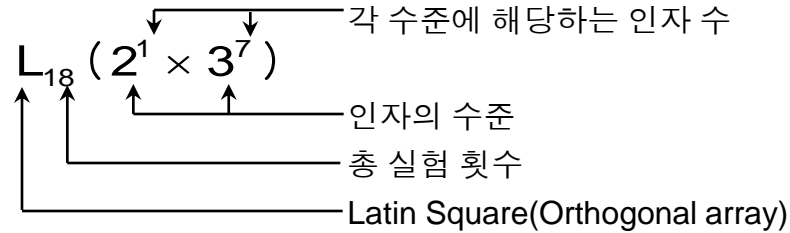
정성인자 : 품종 소재의 종류 등과 같이 비 수치적 값을 취하는 인자

정량인자 : 온도, 압력 등과 같이 수치적 값을 취하는 인자

II. 파라메타 설계 - 8. 직교표에 의한 실험

실험의 규모 및 내용에 적합한 직교배열표를 선택, 배치해서 실험을 실시하고 **data**를 측정한다.

1) 직교배열표



: 2수준 인자 1개, 3수준 인자 7개까지 배치하여
총 18회 실험을 실시하는 직교배열표

No.	1	2	3	4	5	6	7	8
	A	B	C	D	E	F	G	H
1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	2	2	2	2	2	2
3	1	1	3	3	3	3	3	3
4	1	2	1	1	2	2	3	3
5	1	2	2	2	3	3	1	1
6	1	2	3	3	1	1	2	2
7	1	3	1	2	1	3	2	3
8	1	3	2	3	2	1	3	1
9	1	3	3	1	3	2	1	2
10	2	1	1	3	3	2	2	1
11	2	1	2	1	1	3	3	2
12	2	1	3	2	2	1	1	3
13	2	2	1	2	3	1	3	2
14	2	2	2	3	1	2	1	3
15	2	2	3	1	2	3	2	1
16	2	3	1	3	2	3	1	2
17	2	3	2	1	3	1	2	3
18	2	3	3	2	1	2	3	1

실험번호

 : 각 인자가 배치되는 열

_____ : 각 인자의 수준

A, B, C, ... : 인자의 기호

II. 파라메타 설계 - 8. 직교표에 의한 실험

2) 직교배열표 사용 방법

2-1) 제어인자의 배치(내측배열)

- 1) 2수준 인자는 1열에, 나머지 3수준 인자는 2열부터 8열까지 배치한다.
- 2) 2수준 인자가 없는 경우는 2열부터 배치한다.
- 3) 인자가 6개 이하인 경우는 3열부터 특정 순서 없이 배치해도 상관 없으며 남은 열은 비워둔다.
남는 열로부터 측정오차, 실험시의 오차정도를 파악할 수 있다.
- 4) 2수준 인자와 3수준인자 1개 사이에 교호작용이 있을 경우 1열과 2열에 각각 배치한다.

2-2) 오차인자 및 신호인자의 배치(외측배열)

- 1) 각 실험번호에 해당하는 평가조건이나 각인자의 공정산포를 배치한다.
- 2) 오차인자를 배치하는 방법

구분	목적	Data 잡는 방법	사용 예
제조공정 의 안정성, 균일성에 관한 특성	1) Sample 내의 산포를 작게 하고 싶다.	Data 값이 최대최소가 되는 위치와 중심 위치를 취하면 좋다.	금속판, 종이의 판 두께의 분포, 동일판내의 사진감도
	2) Sample 간의 산포를 작게 하고 싶다.	실험개시부터 종료까지 정기적으로 sampling 을 해서 data 로 한다.	사출 수지 제품, 전자부품, ceramics
	3) Sample 내, 간 공히 산포를 작게 하고 싶다.	2)와 같이 sampling 을 하고 1)과 같이 data 를 취한다.	전기저항막, 금도금 박막, 대형 glass
제품의 안정성, 신뢰성에 관한 특성	4) 최악조건 및 표준조건 상태에서 평가(조합오차)	오차인자 중에서 대표적인 것을 선택하여 정(+)인 것끼리 부(-)인것끼리 조합하여 평가	온습도 강제 열화시험, 강제 진동 시험
	5) 표준적인 강제시험을 사용하는 방법	JIS, ASTM, MIL,KS 또는 사내 표준규격에 따라 평가한다.	전기부품의 절연시험, 염수분무시험, 마모시험 N1 : ASTM N2 : JIS N3 : 자사규격
	6) 내측직교표와 동일한 직교표를 외측조건에 사용하는 방법	Computer 에 따른 최적화 실험(simulation)에만 이용된다.	

II. 파라메타 설계 - 8. 직교표에 의한 실험

: 3) 직교배열표에 배치방법

제어인자(내측배열)									신호인자 및 오차인자(외측배열)															
열 No.	1 A	2 B	3 C	4 D	5 E	6 F	7 G	8 H	M_1 $N_1 \quad N_2 \quad N_3 \quad \cdots \quad N_k$					M_2 $N_1 \quad N_2 \quad N_3 \quad \cdots \quad N_k$					M_3 $N_1 \quad N_2 \quad N_3 \quad \cdots \quad N_k$					
1	1	1	1	1	1	1	1	1	y_{11}	y_{12}	y_{13}	\cdots	y_{1k}					y_{31}	y_{32}	y_{33}	\cdots	y_{3k}	
2	1	1	2	2	2	2	2	2																
3	1	1	3	3	3	3	3	3																
4	1	2	1	1	2	2	3	3																
5	1	2	2	2	3	3	1	1																
6	1	2	3	3	1	1	2	2																
7	1	3	1	2	1	3	2	3																
8	1	3	2	3	2	1	3	1																
9	1	3	3	1	3	2	1	2																
10	2	1	1	3	3	2	2	1																
11	2	1	2	1	1	3	3	2																
12	2	1	3	2	2	1	1	3																
13	2	2	1	2	3	1	3	2																
14	2	2	2	3	1	2	1	3																
15	2	2	3	1	2	3	2	1																
16	2	3	1	3	2	3	1	2																
17	2	3	2	1	3	1	2	3																
18	2	3	3	2	1	2	3	1																

M_1
 M_2
 M_3 } 신호인자
 N_1
 N_2
 \vdots
 N_k } 오차인자
 y_{11}
 y_{12}
 \vdots
 y_{3k} } 측정값

조합오차의 외측 배열 사용예

출력을 정(正)방향으로 이동시키는 수준 (+), 부(負)방향으로 이동시키는 수준에 (-)를 놓을 경우

인자	수준1	수준2	수준3
온도(T)	0(-)	25	50(+)
습도(H)	10(+)	50	85(-)
농도(C)	0(-)	10	100(+)

부(負)의 최악조건(N_1) : $T_1H_3C_1$

표준조건(N_2) : $T_2H_2C_2$

정(正)의 최악조건(N_3) : $T_3H_1C_3$

- 1) 각 실험번호마다 3개의 sample을 N_1, N_2, N_3 에서 평가한다.
- 2) 실험수를 줄이기 위해서는 표준조건(N_2)을 생략해도 좋다.

II. 파라메타 설계 - 9. 실험실시와 측정

1) 실험 순서 결정

1-1) Random하게 하는 것이 가장 이상적이다.

1-2) 다음과 같은 경우에는 예외로 한다.

- 수준 변경에 시간이 많이 걸리는 경우
- 실험 재료가 많이 필요하고, 실험비용이 많이 드는 경우
- 수준 변경이 많아서 작업자가 많이 필요한 경우

실험하기 쉬운 순서를 결정하거나, 실험번호순등 최소의 부하로 단기간에 종료하는 방법으로 실험을 실시한다

2) 실험시 주의사항

직교배열표에 배치한 인자의 수준대로 실험을 한다.

실험할 때 실험기록지를 만들어 사용한다.

실험할 때 일어나는 모든 특이사항이나 고정조건은 기록해 놓는다.

모든 시료에 대한 측정은 가능한 한 동일한 환경, 조건에서 측정한다.

3) 비교실험의 실시(Benchmarking)

현행제품 및 경쟁사 제품과 비교 개선정도를 알고 싶거나 제조표준공정이 실험표준공정과 일치하고 있는가를 알고 싶은 경우(L18에서)

⇒ 현재조건이나 비교수준을 모두 2수준으로 한다면 실험 No 2가 비교실험의 대상이 된다.

4) 결측치의 처리방법

- 기능과 무관하게 실험도중 파괴, 분실, 재료가 부족한 경우등의 원인으로 시료를 취하지 못한 경우
: 나머지 실험의 SN비를 구한 후 전체 실험의 평균치를 그 실험번호의 대응 data로 사용한다.

- 시료는 있지만 본래의 기능을 하지 않는 경우

기능이 부족하여 측정할 수 없는 경우(너무 나쁜 경우) : 전체 실험중 최저 SN비에서 3을 뺀 값을 대응치로 사용
출력이 시험기의 측정범위를 넘어서 측정할 수 없는 경우(너무 좋은 경우) : 전체 실험중 최대 SN비에서 3을
더한 값을 대응치로 사용

II. 파라메타 설계 - 9. SN비, 감도계산

측정한 data로 SN비(η)와 감도(S)를 계산하고 각 인자의 효과로 분해한다.

1) SN비

1-1. SN비란 : 신호 S와 잡음 N의 상대적 크기, 즉 S의 대소, N의 대소가 아니라 S와 N의 비율

통신공학 $\eta = 10\log(\text{신호의 파워}/\text{노이즈의 파워}) = 10\log(P_s/P_n)$

품질공학 $\eta = 10\log\{\text{변동계수}(\text{표준편차}/\text{평균})\text{의 역수의 제곱}\} = 10\log(m/s)^2$

동특성의 SN비 의미

$$\eta = 10\log \frac{\frac{1}{r^* \text{반복}}(S_\beta - V_e)}{V_N}$$

$$S = 10\log \frac{1}{r^* \text{반복}}(S_\beta - V_e)$$

분자의 의미 : 비례상수 β 의 제곱을 추정하는 식

분모의 의미 : 이상관계인 비례관계식으로부터의 차이를 제곱평균한 것

실제 실험에서는 β 가 목표값으로 주어지는 경우가 많으므로 먼저 제어인자중에서 SN비가 큰 것을 선택하여 안정화 조건을 선정한 후 SN비에 영향이 적으며 S의 효과가 큰 것을 선택하여 목표치 β 를 맞춘다.

정특성의 SN비 의미

$$\eta = 10\log \frac{\frac{1}{n}(S_m - V_e)}{V_e}$$

$$S = 10\log \frac{1}{n}(S_m - V_e)$$

분자의 의미 : 평균치 m 의 제곱을 추정하는 식

분모의 의미 : 목표치로부터의 차이를 제곱평균한 것

실제 실험에서는 목표값 m 이 주어지는 경우가 많으므로 먼저 제어인자중에서 SN비가 큰 것을 선택하여 안정화 조건을 선정한 후 SN비에 영향이 적으며 S의 효과가 큰 것을 선택하여 목표치 m 를 맞춘다.

II. 파라메타 설계 - 9. SN비, 감도계산

2) 품질공학에서 SN비 활용

2-1) 품질공학에서는 SN비 식 \log 의 진수(f (측정 data))를 특성에 따라 변경하였으므로 SN비 수치가 높을수록 좋다(산포안정화조건이다.)고 해석하면 된다.

2-2) SN비를 \log 로 하는 이유 : 주효과의 가법성 보장

cf. : 공학에서 음압크기, 전압크기 제공이 에너지에 비례, 이 효과의 파악시 \log 의 20배를 사용함.

2-3) 일반적으로 오차분산의 값처럼 0에서 ∞ 까지 임의의 값을 취하는 데이터는 대수변환에 10하여 dB값으로 다루는 것이 가법성이 좋다.

2-4) 설계단계에서 부품의 파라미터를 검토할 때 단순히 목표기능을 달성하는 것 뿐 아니라 기능을 만족시키는 설계 가운데서 가장 안정된 설계, 즉 부품/재료의 산포와 열화, 제조조건의 산포와 변동, 환경조건의 차이와 변화에 영향을 받지 않는 강건(robust)한 설계를 선택하는 것이 중요하며, 이 안정성의 척도로서 SN비를 사용한다.

II. 파라메타 설계 - 9. SN비, 감도계산

3) SN비와 인자배치

내측할당으로서 SN비를 비교하기 위한 제어인자의 할당과 외측할당으로서 SN비를 구하는 신호인자, 오차인자의 할당과 표시인자의 할당이 있으며 안정성에 관한 최적조합을 찾아내기 위한 제어인자와 SN비를 구하기 위한 인자를 구분하는 할당이 중요하다.

역할에 따른 분류

3-1) SN비를 구하기 위한 인자

(1) 신호인자 : 출력을 변화시키기 위한 입력신호, 즉 입력에 따라 특성치가 변화하는 신호

(SN비의 신호 S를 평가하기 위한 인자)

(2) 오차인자 : 산포의 원인이 되는 내란, 외란 등의 모든 인자

(산포를 발생시키는 인자)

3-2) SN비의 우열을 비교하기 위한 인자

(1) 제어인자 : 안정성을 개선하기 위해 다루는 설계상, 제조상의 모든 인자

(2) 표시인자 : 제어인자로서 설정할 수 없고, 오차인자로 분류할 수 있지만 제어인자로서 극복하는 것이 거의 불가능한 인자(Ex. 운전속도)

4) 종래의 실험계획법과의 차이

실험계획법 : 출력 y에 대한 여러가지 변수(제어인자, 신호인자, 오차인자 등 포함)의 영향을 조사하는 방법.

어떻게 하면 되도록 정확한 응답곡면을 구할까 만의 문제

품질공학 : 신호인자의 효과를 유지하면서 오차인자의 종합적 영향을 최소로 품질설계를 할것인가의 문제.

특히 SN비를 구하기 위해서 신호인자와 오차인자를 할당해서 분산 분석을 하는 이유는 정확한 인과관계를 구하는 것이 목적이 아니라 전출력을 신호인자의 효과와 나머지 효과로 분해하여 두효과의 비를 설계평가에 이용하기 위함.

II. 파라메타 설계 - 9. SN비, 감도계산

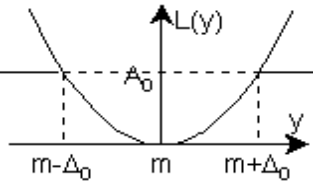
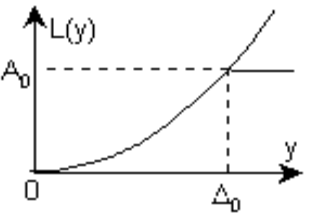
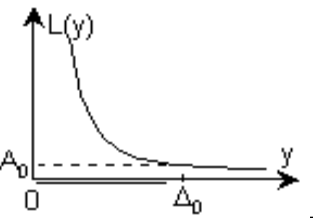
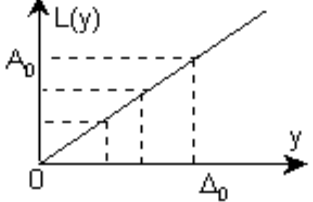
▼ 일반적 실험계획과 다구찌 방법의 비교

구분	일반적 실험계획	다구찌 방법
초점	모델을 통한 프로세스 이해	인자의 강건 설계
최적화 실험	분산 분석 회귀 분석	2단계 최적화 - S/N비 최대화 - 평균/감도의 최적화
특징	신호와 노이즈 분리 모형 설정 통계학적인 접근 실험 완전요인/부분요인실험 단계적 최적화	S/N 비 Noise (잡음) 전략 공학적 접근 실험 직교 배열표 사용 재현성 (확인) 실험

II. 파라메타 설계 - 9. SN비, 감도계산

: 각 품질특성별 손실함수와 SN비, 감도

○ 계량치 data인 경우

특성치의 종류	신호 인자	data 부호	손실함수 L(y)	그 래 프	SN비	감도S
망목특성	없음	+	$\frac{A_0}{\Delta_0^2} (y - m)^2$		$10 \log \left[\frac{\frac{1}{n} (S_m - V_e)}{V_e} \right]$	$10 \log \left[\frac{1}{n} (S_m - V_e) \right]$
		±			$10 \log \left[\frac{\bar{y}^2}{V_e} \right]$	$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$
망소특성	없음	+	$\frac{A_0}{\Delta_0^2} y^2$		$-10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right]$	$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$
망대특성	없음	+	$A_0 \Delta_0^2 \left(\frac{1}{y^2} \right)$		$-10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right]$	$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$
동특성	있음	+	$\frac{A_0}{\Delta_0^2} (y - m)^2$		$10 \log \frac{\frac{1}{r^* \text{반복}} (S_\beta - V_e)}{V_N}$	$10 \log \frac{1}{r^* \text{반복}} (S_\beta - V_e)$

II. 파라메타 설계 - 9. SN비, 감도계산

정특성 범례

y_i : 측정값

T : Data합 = $\sum y_i$

n : data수

자유도 (ϕ) : 자유스러운 정도

m : \bar{y} : 평균 = $T/n = (\sum y_i)/n$

S_T : DATA 전제곱 합 = $\sum y_i^2$,

자유도 ϕ :n

S_m : 평균변동 = $T^2/n = m^2 * n$,

자유도 ϕ :1

S_e : 오차변동 = $(\sum (y_i - m)^2) = S_T - S_m$,

자유도 ϕ :n - $\phi_{(S_m)}$:n - 1

V_e : 불편분산 = $S_e / \phi_{(S_e)}$

동특성 범례

y_i : 측정값

T : Data합 = $\sum y_i$

n : data수

자유도 (ϕ) : 자유스러운 정도

m : \bar{y} : 평균 = $T/n = (\sum y_i)/n$

S_T : DATA 전제곱 합 = $\sum y_i^2$,

자유도 ϕ :n

S_β : 비례항 변동 = $(\sum L_i)^2 / (r * \text{반복수})$,

자유도 ϕ :1

$S_{N \times \beta}$: Noise항변동 = $\frac{(\sum L_i^2)}{r} - S_\beta$,

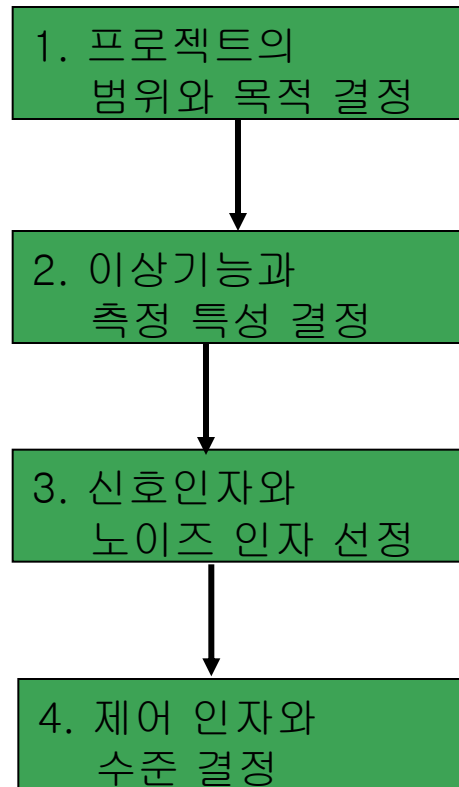
자유도 ϕ :(DATA반복수 - 1):(선형식수 - 1)

S_e : 오차 (Non - Linear) 변동 = $S_T - S_\beta - S_{N \times \beta}$, 자유도 ϕ :n - $\phi_{(S_\beta)}$ - $\phi_{(S_{N \times \beta})}$

V_e : 불편분산 = $S_e / \phi_{(S_e)}$

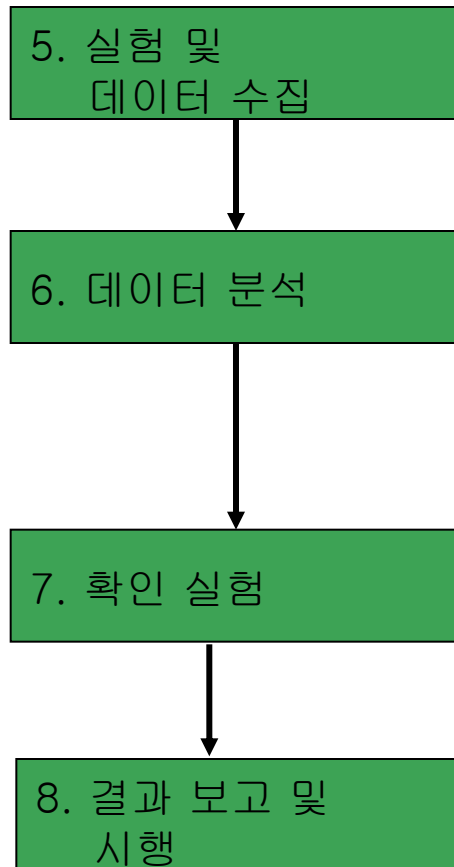
V_N : 유해 (Harmful) 항분산 = $(S_T - S_\beta) / \text{자유도}$, 자유도 ϕ :n - $\phi_{(S_\beta)}$

▼ 파라미터 설계의 8단계



- 프로젝트의 목적 결정
- 시스템 또는 하부시스템 파악
- 프로젝트 팀장과 팀원 선정
- 종합적 설계 전략 수립
- 시스템의 설계 의도 및 원하는 결과의 명확화
- 입력신호와 측정 특성 결정
- 이상기능 선정
- 측정 가능성 타진
- 입력신호의 수준과 범위 결정
- 모든 노이즈 인자 파악
- 주요 노이즈 인자와 수준 선정
- 노이즈 전략 수립
- 모든 제어인자 파악
- 주요 제어인자와 수준 선정
- 직교표 선정
- 제어인자를 직교표에 할당

▼ 파라미터 설계의 8단계(계속)



- 실험계획수립 및 실험준비/시행
- 데이터 수집

- S/N비 및 감도 계산
- 반응표와 반응 그래프 작성
- 주요 노이즈 인자와 수준 선정/분석
- 2단계 최적화 실행
- 추정치 계산

- 초기 조건에서 확인실험 실시
- 최적 조건에서 확인실험 실시
- 초기 조건에 비해 최적조건이 어느 정도의 S/N비 이득이 있는지 비교한다.

- 결과를 보고하고 최적 조건을 표준화 한다.

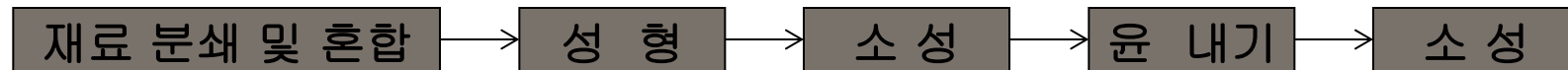
□ 파라미터 설계 사례

- 1953년, INAX (일본의 타일 제조 회사)
 - 유럽에서 \$ 2M짜리 터널 가마 구입, 가마 길이 80 m
 - 새 가마는 일정한 치수의 타일을 생산하지 못함.
(바깥쪽 타일의 40% 이상 사양 밖, 안쪽 타일들도 겨우 사양 안)
 - 원인 : 가마 안의 온도 변동 (온도 : 노이즈 인자)
 - 방법 : 가마를 다시 설계해서 온도를 일정하게 유지 (많은 비용 초래)

☞ 가마 속 위치에 상관 없이 항상 좋은 품질의 타일을 만들어 낼 수 있는 타일 원료 배합을 찾아 낼 실험을 수행하기로 결정

□ 단계 1. 프로젝트의 범위와 목적 결정

- 대상 : 1 톤 용량인 생산 가마 대신 2kg 용량인 ball mill이나 pot mill 사용
- 전제 조건 : 소규모 실험에서 찾아낸 강건설계 조건은 대규모 생산에서도 같은 결과를 갖는다.



- 타일 공정 흐름도 -

□ 단계 2. 이상기능과 측정 특성 결정

- 회사가 규정한 이상기능 :
 - 열처리 공정의 에너지 전환에 관한 것
 - 망목 형태의 반응
- 회사의 생각 :
 - 타일 치수의 균일성은 열 침투의 균일성
 - 결과적으로 타일의 강도를 높임
- 측정할 출력 반응 : $y = \text{타일 두께} \quad (\text{mm})$
- 두께 y 의 규격 : $10.00 \pm 0.15 \text{ mm}$

□ 단계 3. 신호인자와 노이즈 인자 선정

- 이상 기능 : m 주위에 산포가 없는 $y = m$ (m : 망목 치수)
- 노이즈 인자 : 가마 속에서의 타일 위치

P_1 = 안쪽 앞

P_2 = 안쪽 뒤

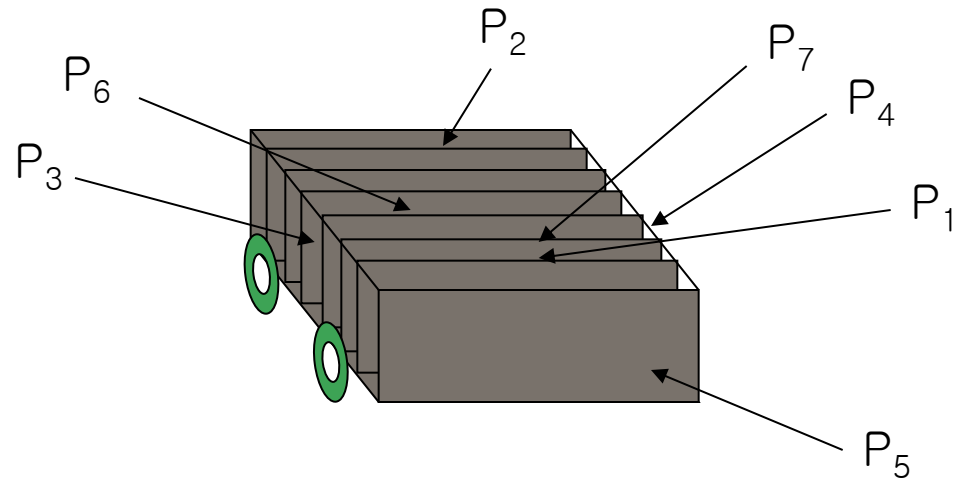
P_3 = 바깥쪽 오른쪽

P_4 = 바깥쪽 왼쪽

P_5 = 바깥쪽 앞

P_6 = 바깥쪽 위

P_7 = 안쪽 가운데



- (그림 1) 노이즈 인자와 수준 -

□ 단계 4. 제어인자와 수준 결정

- 브레인스토밍을 통해 제어 인자들과 수준 선정

A: 석회석 양	A ₁ = 5.0 % A ₂ = 1.0 % (현행)	E: Chamotte	D ₁ = 0.0 % D ₂ = 1.0 % (현행)
B: Agalmatolite 양	B ₁ = 43 % B ₂ = 53 % (현행) B ₃ = 63 %	F: 굽기 차례	D ₃ = 3.0 % F ₁ = 첫 번째 F ₂ = 두 번째 (현행) F ₃ = 3.0 %
C: Agalmatolite 형태	C ₁ = 첨가제 넣은 새 혼합 C ₂ = 현행 C ₃ = 첨가제 뺀 새 혼합	G: Feldspar 양	G ₁ = 7 % G ₂ = 4 % (현행) G ₃ = 0 %
D: 첨가제 입자 크기	E ₁ = 더 작게 E ₂ = 현행 E ₃ = 더 크게	H: 진흙 유형	H ₁ = K-type H ₂ = K와 G 반씩 H ₃ = G-type

□ 단계 4. 제어인자와 수준 결정(계속)

- 제어 인자들의 평가 실험 방법

1) Shotgun 방식 : 전통적인 실험 방법

- 지식, 영감, 경험, 배짱, “ 이렇게 해보고 저렇게 해보고 ”하는 방법

2) One-Factor-At-A-Time 실험 : 전통적인 방법 (그림 2 참조)

- 한번에 한 인자씩 바꾸어 가며 실험하면서 관찰하고 비교하는 방법
- 취약점 : 비교를 고정된 조건에서 함으로 다른 인자 수준들이 바뀔 때 모순 없는 결과의 불 확실성

3) Full factorial 실험 : 있을 수 있는 모든 조합을 포함 (그림 3 참조)

4) Fractional factorial 실험 :

- 미리 선정한 교호작용들을 연구하기 위해 full factorial의 일부분만 실험하는 것

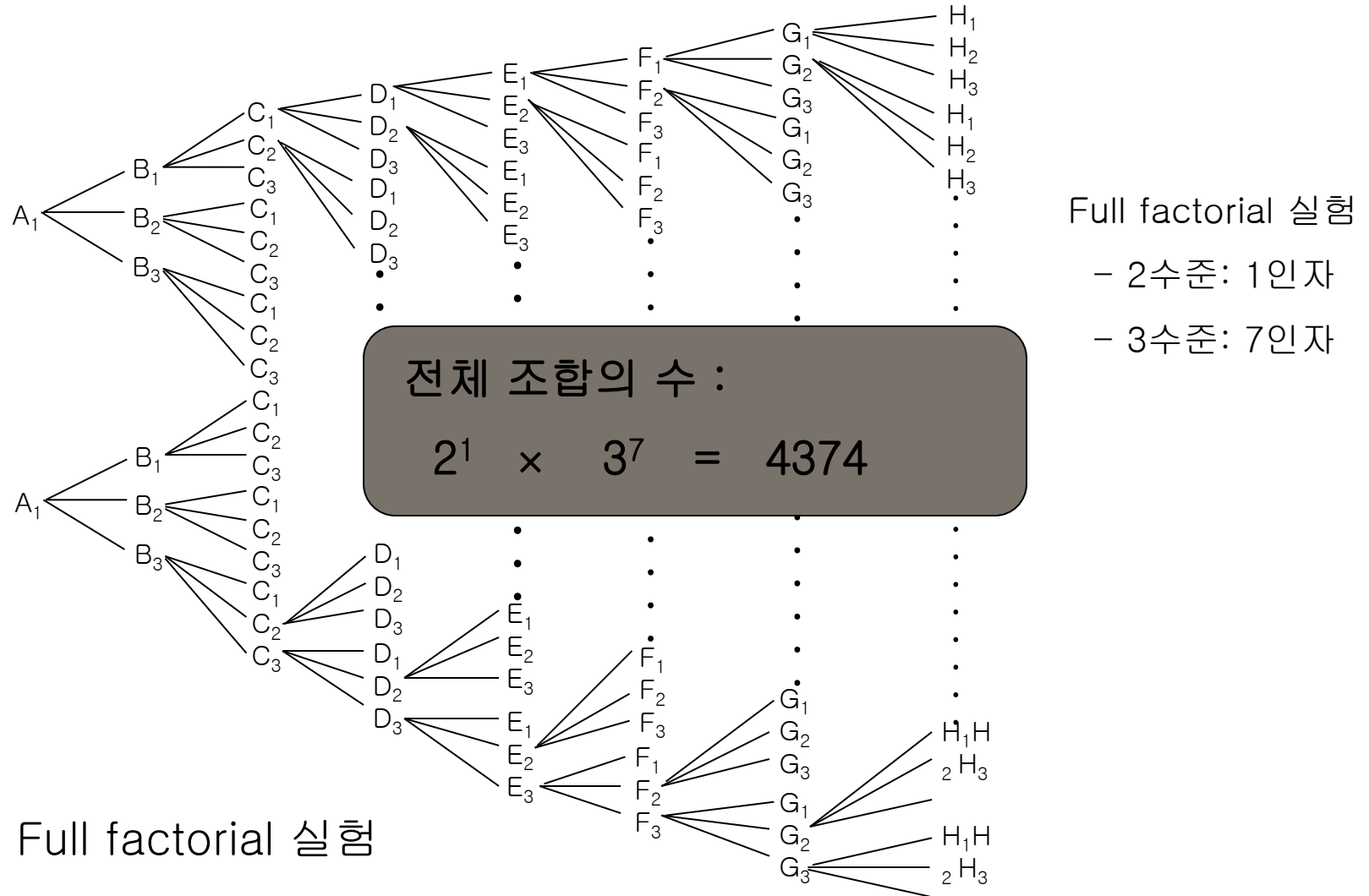
5) 직교표 (Orthogonal array) : (그림 4 참조)

□ 단계 4. 제어인자와 수준 결정(계속)

실험번호	A	B	C	D	E	F	G	H	결과
1	1	1	1	1	1	1	1	1	결과1
2	2	1	1	1	1	1	1	1	결과2
3	2	2	1	1	1	1	1	1	결과3
4	2	3	1	1	1	1	1	1	결과4
5	2	3	2	1	1	1	1	1	결과5
6	2	3	3	1	1	1	1	1	결과6
7	2	3	3	2	1	1	1	1	결과7
8	2	3	3	3	1	1	1	1	결과8
9	2	3	3	3	2	1	1	1	결과9
10	2	3	3	3	3	1	1	1	결과10
11	2	3	3	3	3	2	1	1	결과11
12	2	3	3	3	3	3	1	1	결과12
13	2	3	3	3	3	3	2	1	결과13
14	2	3	3	3	3	3	3	1	결과14
15	2	3	3	3	3	3	3	2	결과15
16	2	3	3	3	3	3	3	3	결과16

(그림 2) 한번에 한 인자씩 하는 실험

□ 단계 4. 제어인자와 수준 결정(계속)



(그림 3) Full factorial 실험

□ 단계 4. 제어인자와 수준 결정(계속)

L ₁₈	A	B	C	D	E	F	G	H	결과
	1	2	3	4	5	6	7	8	
1	1	1	1	1	1	1	1	1	
2	1	1	2	2	2	2	2	2	
3	1	1	3	3	3	3	3	3	
4	1	2	1	1	2	2	3	3	
5	1	2	2	2	3	3	1	1	
6	1	2	3	3	1	1	2	2	
7	1	3	1	2	1	3	2	3	
8	1	3	2	3	2	1	3	1	
9	1	3	3	1	3	2	1	2	
10	2	1	1	3	3	2	2	1	
11	2	1	2	1	1	3	3	2	
12	2	1	3	2	2	1	1	3	
13	2	2	1	2	3	1	3	2	
14	2	2	2	3	1	2	1	3	
15	2	2	3	1	2	3	2	1	
16	2	3	1	3	2	3	1	2	
17	2	3	2	1	3	1	2	3	
18	2	3	3	2	1	2	3	1	

(그림 4) 직교표 L₁₈

□ 직교성 (Orthogonality)

- 직교 (Orthogonal) : 균형이 잡힌 (balanced), 분리할 수 있는
공정한 비교를 하기 위함

예제) (그림 4) 참조

실험 번호 1 - 9는 A_1 수준, 실험 번호 10 - 18은 A_2 수준

→ 실험 번호 1-9에서 얻은 결과의 평균과 실험 번호 10-18
에서 얻은 결과의 평균 비교

A_1 수준 실험 : B_1 세 번, B_2 세 번, B_3 세 번

A_2 수준 실험 : B_1 세 번, B_2 세 번, B_3 세 번

☐ 균형 또는 “ 직교성 ”

III. 파라메타 설계의 8단계

□ 미니탭을 이용한 L_{18} 직교배열표 생성

Stat > DOE > Taguchi > Create Taguchi Design

The screenshot shows the Minitab 'Stat' menu with 'DOE' selected, leading to 'Taguchi' and then 'Create Taguchi Design...'. A blue arrow points to this option with the text '• 처음 배치할 경우' (First time setting up).

Below the menu, three conditions are listed with arrows pointing to the 'Taguchi Design' dialog box:

- 인자들의 수준수가 동일할 때 (When the number of levels for factors is the same) → points to the '2-Level Design' radio button.
- 인자들의 수준수가 다를 때 (When the number of levels for factors is different) → points to the 'Mixed Level Design' radio button.
- 인자의 수 (Number of factors) → points to the 'Number of factors' dropdown menu, which is set to 8.

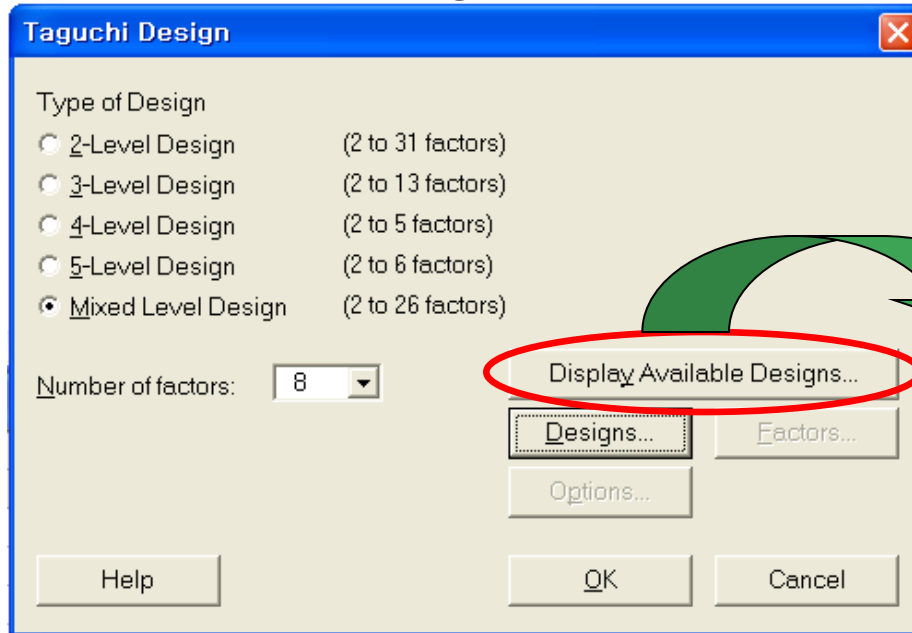
The 'Taguchi Design' dialog box shows the following options:

- Type of Design:
 - ☐ 2-Level Design (2 to 31 factors)
 - ☐ 3-Level Design (2 to 13 factors)
 - ☐ 4-Level Design (2 to 5 factors)
 - ☐ 5-Level Design (2 to 6 factors)
 - ☒ Mixed Level Design (2 to 26 factors)
- Number of factors: 8
- Buttons: Display Available Designs..., Designs..., Factors..., Options..., Help, OK, Cancel.

III. 파라메타 설계의 8단계

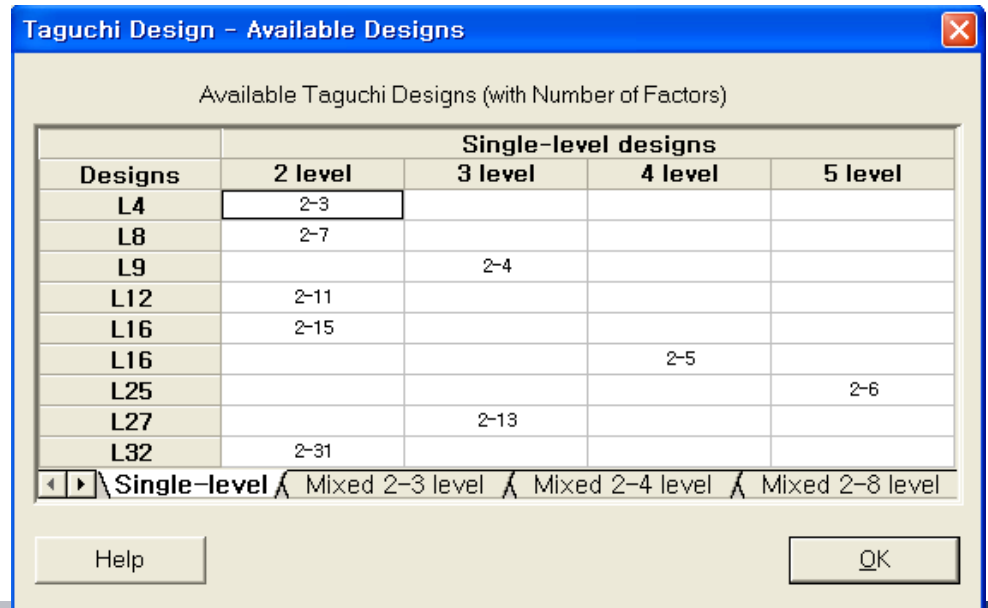
□ 미니탭을 이용한 L_{18} 직교배열표 생성

Stat> DOE> Taguchi > Create Taguchi Design



-인자 및 수준수에 따른 직교 배열표를 볼 수 있다.

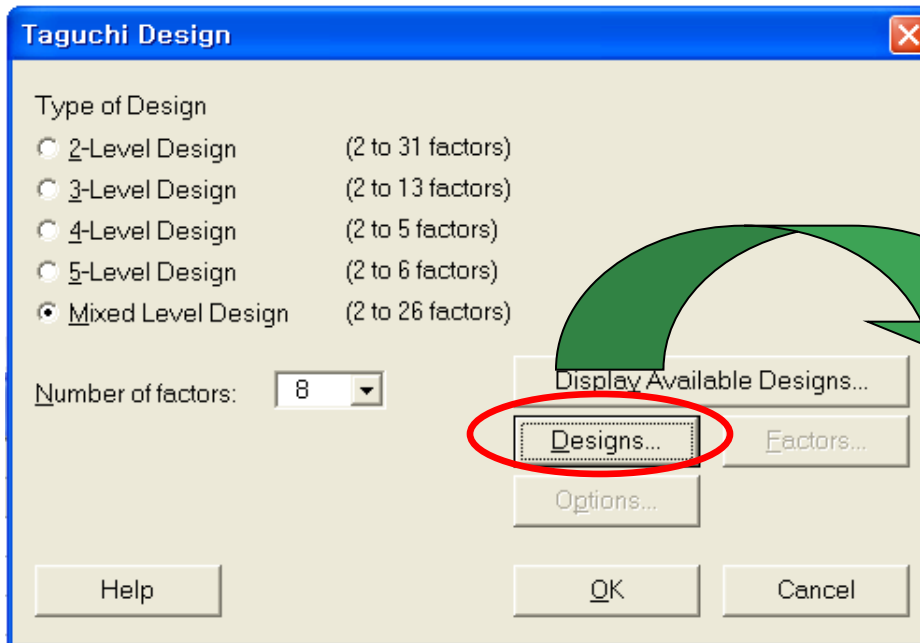
- Single-level Design : 인자들의 수준수가 동일할 때
- Mixed level Design : 인자들의 수준수가 다를 때



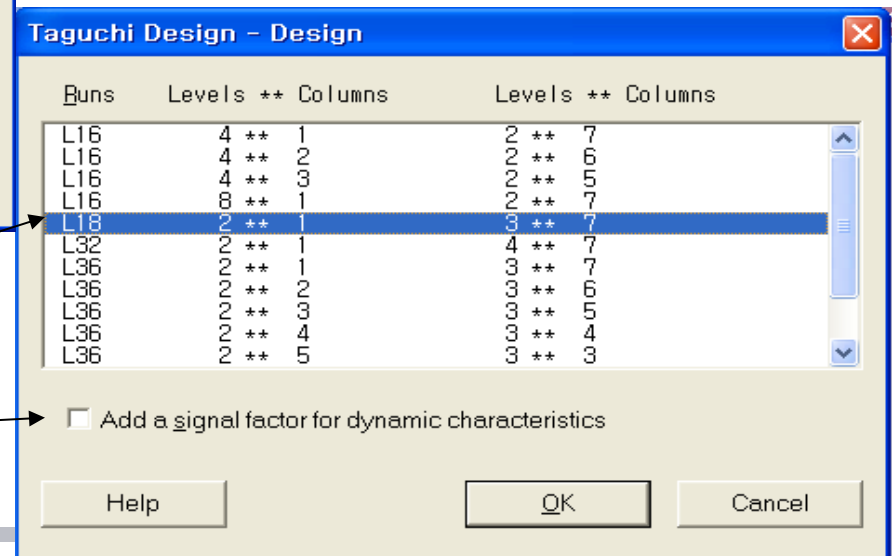
III. 파라메타 설계의 8단계

□ 미니탭을 이용한 L_{18} 직교배열표 생성

Stat> DOE> Taguchi > Create Taguchi Design



- 직교 배열표 선택

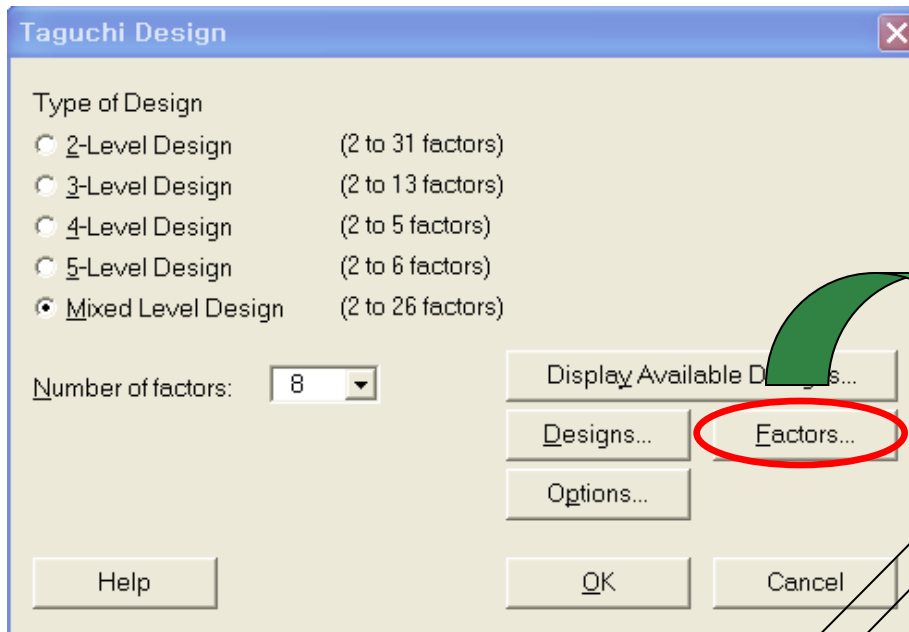


- 2수준인자 1개와 3수준 인자 7개 인 L18 디자인 선택

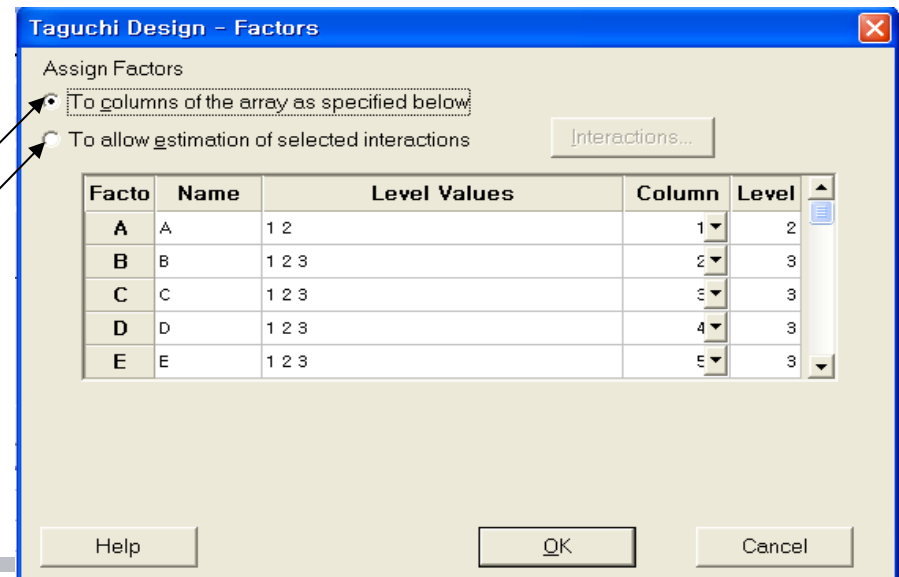
- 동특성 설계시 사용

□ 미니탭을 이용한 L_{18} 직교배열표 생성

Stat> DOE> Taguchi > Create Taguchi Design



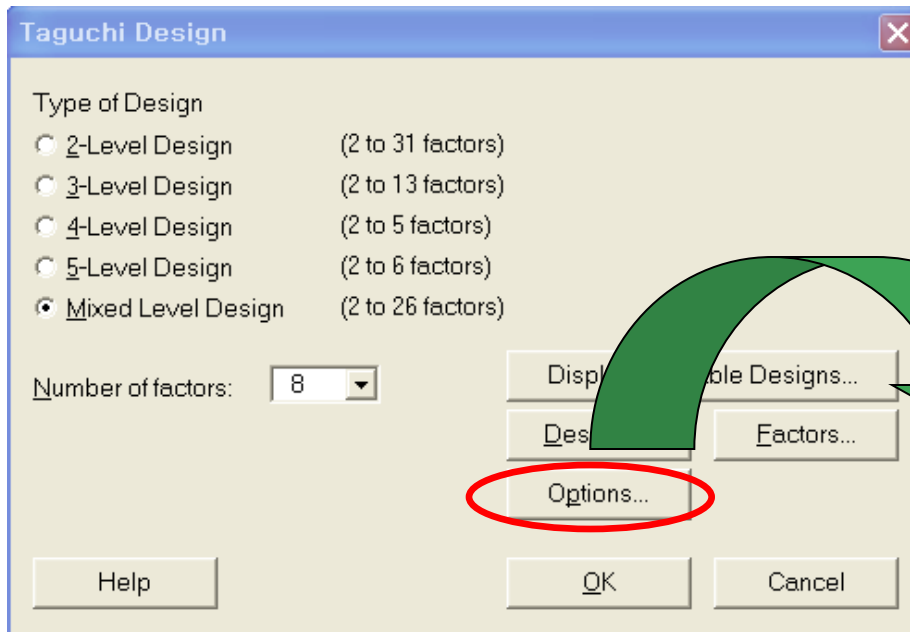
- 인자의 이름 및 수준 값 입력



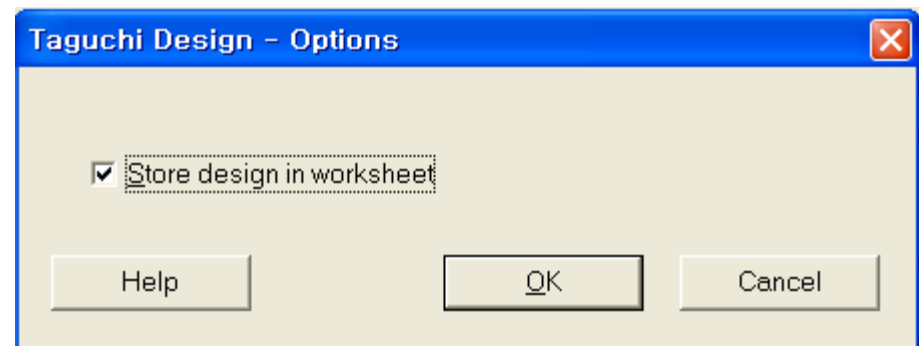
- 교호작용이 있을 경우
- 교호작용이 없을 경우

□ 미니탭을 이용한 L_{18} 직교배열표 생성

Stat> DOE> Taguchi > Create Taguchi Design



- 워크시트에 실험계획 저장



□ 미니탭을 이용한 L_{18} 직교배열표 생성 : 결과

↓	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
	A	B	C	D	E	F	G	H
1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	2	2	2	2	2	2
3	1	1	3	3	3	3	3	3
4	1	2	1	1	2	2	3	3
5	1	2	2	2	3	3	1	1
6	1	2	3	3	1	1	2	2
7	1	3	1	2	1	3	2	3
8	1	3	2	3	2	1	3	1
9	1	3	3	1	3	2	1	2
10	2	1	1	3	3	2	2	1
11	2	1	2	1	1	3	3	2
12	2	1	3	2	2	1	1	3
13	2	2	1	2	3	1	3	2
14	2	2	2	3	1	2	1	3
15	2	2	3	1	2	3	2	1
16	2	3	1	3	2	3	1	2

III. 파라메타 설계의 8단계

L ₁₈	A	B	C	D	E	F	G	H	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆	P ₇
1	1	1	1	1	1	1	1	1							
2	1	1	2	2	2	2	2	2							
3	1	1	3	3	3	3	3	3							
4	1	2	1	1	2	2	3	3							
5	1	2	2	2	3	3	1	1							
6	1	2	3	3	1	1	2	2							
7	1	3	1	2	1	3	2	3							
8	1	3	2	3	2	1	3	1							
9	1	3	3	1	3	2	1	2							
10	2	1	1	3	3	2	2	1							
11	2	1	2	1	1	3	3	2							
12	2	1	3	2	2	1	1	3							
13	2	2	1	2	3	1	3	2							
14	2	2	2	3	1	2	1	3							
15	2	2	3	1	2	3	2	1							
16	2	3	1	3	2	3	1	2							
17	2	3	2	1	3	1	2	3							
18	2	3	3	2	1	2	3	1							

(그림 5) 타일 실험의 최종 배치

□ 단계 5. 실험 및 데이터 수집

L ₁₈	A	B	C	D	E	F	G	H							
	1	2	3	4	5	6	7	8	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆	P ₇
1	1	1	1	1	1	1	1	1	10.18	10.18	10.12	10.06	10.02	9.98	10.2
2	1	1	2	2	2	2	2	2	10.03	10.01	9.98	9.96	9.91	9.89	10.12
3	1	1	3	3	3	3	3	3	9.81	9.78	9.74	9.74	9.71	9.68	9.87
4	1	2	1	1	2	2	3	3	10.09	10.08	10.07	9.99	9.92	9.88	10.14
5	1	2	2	2	3	3	1	1	10.06	10.05	10.05	9.89	9.85	9.78	10.12
6	1	2	3	3	1	1	2	2	10.2	10.19	10.18	10.17	10.14	10.13	10.22
7	1	3	1	2	1	3	2	3	9.91	9.88	9.88	9.84	9.82	9.8	9.93
8	1	3	2	3	2	1	3	1	10.32	10.28	10.25	10.2	10.18	10.18	10.36
9	1	3	3	1	3	2	1	2	10.04	10.02	10.01	9.98	9.95	9.89	10.11
10	2	1	1	3	3	2	2	1	10	9.98	9.93	9.8	9.77	9.7	10.15
11	2	1	2	1	1	3	3	2	9.97	9.97	9.91	9.88	9.87	9.85	10.05
12	2	1	3	2	2	1	1	3	10.06	9.94	9.9	9.88	9.8	9.72	10.12
13	2	2	1	2	3	1	3	2	10.15	10.08	10.04	9.98	9.91	9.9	10.22
14	2	2	2	3	1	2	1	3	9.91	9.87	9.86	9.87	9.85	9.8	10.02
15	2	2	3	1	2	3	2	1	10.02	10	9.95	9.92	9.78	9.71	10.06
16	2	3	1	3	2	3	1	2	10.08	10	9.99	9.95	9.92	9.85	10.14
17	2	3	2	1	3	1	2	3	10.07	10.02	9.89	9.89	9.85	9.76	10.19
18	2	3	3	2	1	2	3	1	10.1	10.08	10.05	9.99	9.97	9.95	10.12

(그림 6) 실험 데이터

□ 단계 6. 데이터 분석

- 데이터 분석 절차

- 1) S/N 비 (signal-to-noise ratio) 와 평균 계산
- 2) 반응표 작성과 해석
- 3) 2 - 단계 최적화 실행
- 4) 추정

- 망목 특성의 경우 S/N비의 개념 : 단위 db

- S/N 비 = (Useful Output / Harmful Output)
= (평균의 효과 / 평균 주위의 산포)
= \bar{y}^2 / s^2

□ S/N비와 평균의 계산

- n개의 데이터 : y_1, y_2, \dots, y_n

$$S_m = \frac{Total^2}{n} = \frac{(y_1 + y_2 + \dots + y_n)^2}{n}$$

$$\bar{y} = \frac{y_1 + y_2 + \dots + y_n}{n}$$

$$V_e = \sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n-1}$$

$$S/N : \eta = 10 \times \log \left[\frac{\frac{1}{n}(S_m - V_e)}{V_e} \right]$$

III. 파라메타 설계의 8단계

L ₁₈	A	B	C	D	E	F	G	H										
	1	2	3	4	5	6	7	8	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆	P ₇	평균	S/N	
1	1	1	1	1	1	1	1	1	10.18	10.18	10.12	10.06	10.02	9.98	10.20	10.11	41.31	
2	1	1	2	2	2	2	2	2	10.03	10.01	9.98	9.96	9.91	9.89	10.12			
3	1	1	3	3	3	3	3	3	9.81	9.78	9.74	9.74	9.71	9.68	9.87			
4	1	2	1	1	2	2	3	3	10.09	10.08	10.07	9.99	9.92	9.88	10.14			
5	1	2	2	2	3	3	1	1	10.06	10.05	10.05	9.89	9.85	9.78	10.12			
6	1	2	3	3	1	1	2	2	10.20	10.19	10.18	10.17	10.14	10.13	10.22			
7	1	3	1	2	1	3	2	3	9.91	9.88	9.88	9.84	9.82	9.80	9.93			
8	1	3	2	3	2	1	3	1	10.32	10.28	10.25	10.20	10.18	10.18	10.36			
9	1	3	3	1	3	2	1	2	10.04	10.02	10.01	9.98	9.95	9.89	10.11			
10	2	1	1	3	3	2	2	1	10.00	9.98	9.93	9.80	9.77	9.70	10.15			
11	2	1	2	1	1	3	3	2	9.97	9.97	9.91	9.88	9.87	9.85	10.05			
12	2	1	3	2	2	1	1	3	10.06	9.94	9.90	9.88	9.80	9.72	10.12			
13	2	2	1	2	3	1	3	2	10.15	10.08	10.04	9.98	9.91	9.90	10.22			
14	2	2	2	3	1	2	1	3	9.91	9.87	9.86	9.87	9.85	9.80	10.02			
15	2	2	3	1	2	3	2	1	10.02	10.00	9.95	9.92	9.78	9.71	10.1			
16	2	3	1	3	2	3	1	2	10.08	10.00	9.99	9.95	9.92	9.85	10.14			
17	2	3	2	1	3	1	2	3	10.07	10.02	9.89	9.89	9.85	9.76	10.19			
18	2	3	3	2	1	2	3	1	10.10	10.08	10.05	9.99	9.97	9.95	10.12			

(그림 7) S/N 비와 평균 계산

□ 반응표 작성과 해석

- 각 인자에 대한 수준 평균을 계산해서 결과를 반응표에 기록하여 작성

- 인자들이 평균 및 산포에 미치는 영향을 보여 줌 : (그림 8)
- 3 db 이득은 30%의 산포 범위를 줄인다 : (그림 9)

반응표

S/N 비

수준	A	B	C	D	E	F	G	H
1	<u>43.10</u>	<u>40.51</u>	40.45	40.33	44.53	41.11	40.44	39.90
2	<u>39.50</u>	41.24	40.68	40.88	40.12	41.38	41.77	42.82
3		42.16	42.42	42.71	39.26	41.42	42.00	41.19
△	3.60	1.65	1.97	2.38	5.27	0.31	1.57	2.92
순위	2	6	5	4	1	8	7	3

반응표

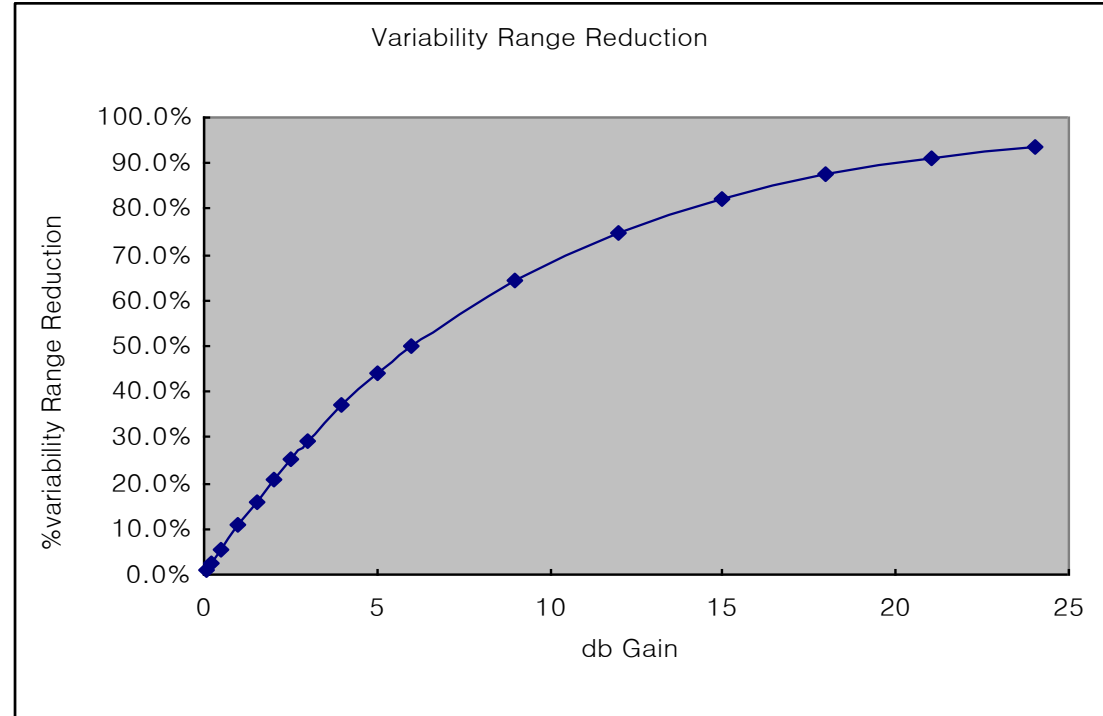
평균

수준	A	B	C	D	E	F	G	H
1	10.02	9.93	9.99	9.99	10.00	10.07	9.98	10.03
2	9.95	10.00	10.00	9.97	10.02	9.97	9.97	10.02
3		10.02	9.97	9.99	9.94	9.91	10.01	9.90
△	0.06	0.08	0.03	0.02	0.08	0.17	0.04	0.13
순위	5	3	7	8	3	1	6	2

(그림 8) 반응표

III. 파라메타 설계의 8단계

s/n비 이득 (db)	산포범위 감소
0.1	1.1%
0.2	2.3%
0.5	5.6%
1.0	10.9%
1.5	15.9%
2.0	20.6%
2.5	25.1%
3.0	29.3%
4.0	37.0%
5.0	43.9%
6.0	50.0%
9.0	64.6%
12.0	75.0%
15.0	82.3%
18.0	87.5%
21.0	91.2%
24.0	93.8%



(그림 9) S/N비 이득 대 산포 범위 감소

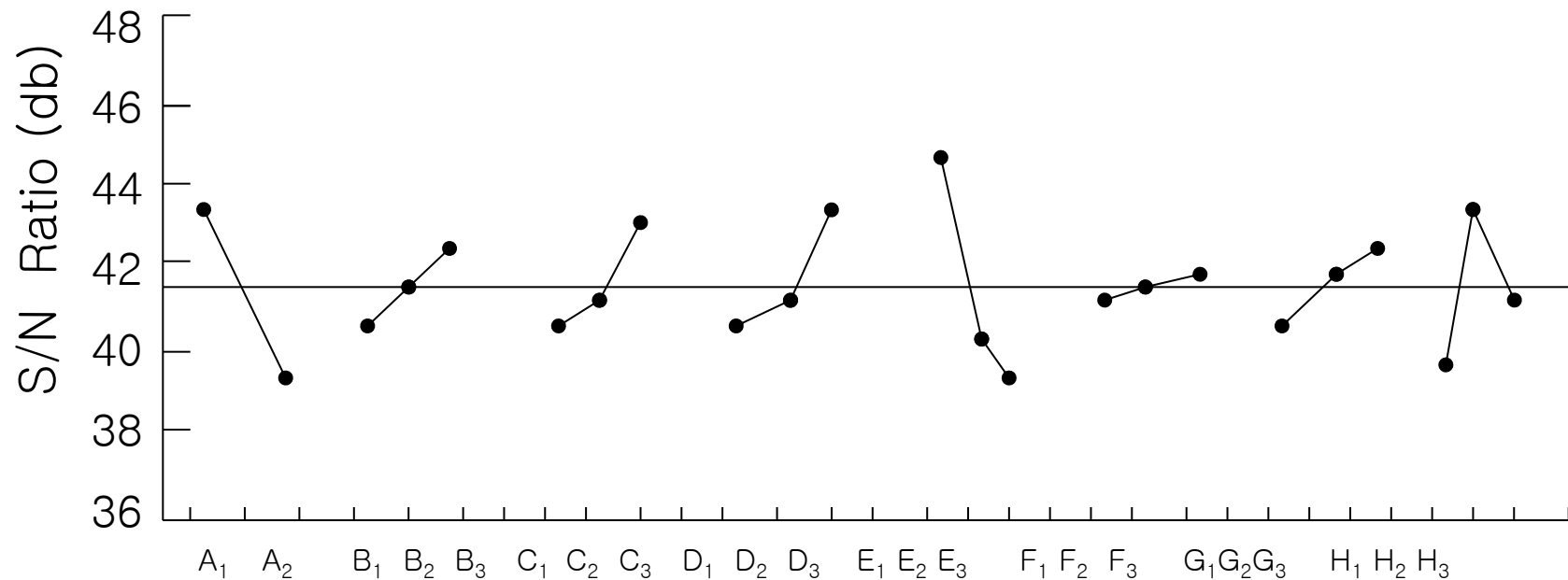
$$\text{산포범위}_{\text{개선후}} = \left(\frac{1}{2} \right)^{\left(\frac{\text{이득}}{6} \right)} \times \text{산포범위}_{\text{초기}}$$

III. 파라메타 설계의 8단계

연습 문제) A_1 의 S/N비 : 43.1 db , A_2 의 S/N비 : 39.5 db (그림 8, 9 참고)

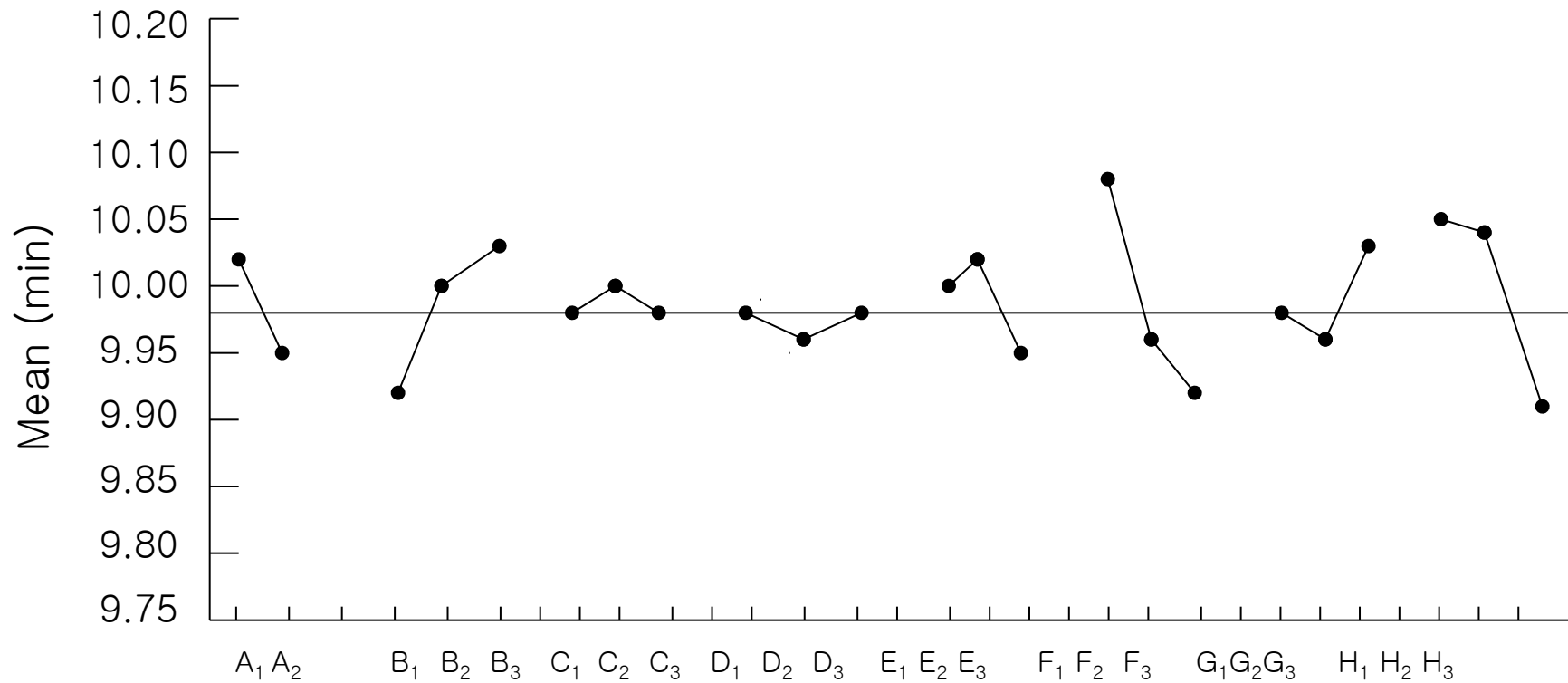
- A_1 이 A_2 보다 얼마나 좋습니까? _____ db
- 산포 범위는 얼마나 감소 하겠습니까? _____ %
- E_1 이 E_2 보다 얼마나 좋습니까? _____ db
- 산포 범위는 얼마나 감소 하겠습니까? _____ %

- 반응표 (그림 8)의 데이터를 종합해 다음의 반응 그래프를 그릴 수 있다.



(그림 10) 반응 그래프

III. 파라메타 설계의 8단계



(그림 10) 반응 그래프 (계속)

미니탭에 의한 계산 : Stat > DOE > Taguchi > Analyze Taguchi Design

The screenshot shows the Minitab software interface. The menu path **Stat > DOE > Taguchi > Analyze Taguchi Design** is highlighted. A green curved arrow points from the **Analyze Taguchi Design** menu item to the **Analyze Taguchi Design** dialog box. The dialog box has a list of factors on the left: C9, C10, C11, C12, C13, C14, C15, C17, and C18. C17 is labeled SNRA1 and C18 is labeled MEAN1. A 'Select' button is at the bottom left of the list. On the right, the 'Response data are in:' field contains 'C9-C15'. At the bottom right are buttons for 'Graphs...', 'Tables...', 'Options...', 'Storage...', 'OK', and 'Cancel'. A yellow box with the text '- 측정 데이터 입력' (Input measured data) has an arrow pointing to the 'Response data are in:' field. Another text annotation '• 데이터 입력 후 분석 시 사용' (Use after data input for analysis) points to the 'Analyze Taguchi Design' menu item.

MINITAB - Untitled

File Edit Data Calc Stat Graph Editor Tools Window Help

Basic Statistics
Regression
ANOVA
DOE
Control Charts
Quality Tools
Reliability/Survival
Multivariate
Time Series
Tables
Nonparametrics
Power and Sample Size

Factorial
Response Surface
Mixture
Taguchi
Modify Design...
Display Design...

Create Taguchi Design...
Define Custom Taguchi Design...
Analyze Taguchi Design...
Predict Taguchi Results...

• 데이터 입력 후 분석 시 사용

- 측정 데이터 입력

Analyze Taguchi Design

C9
C10
C11
C12
C13
C14
C15
C17 SNRA1
C18 MEAN1

Select

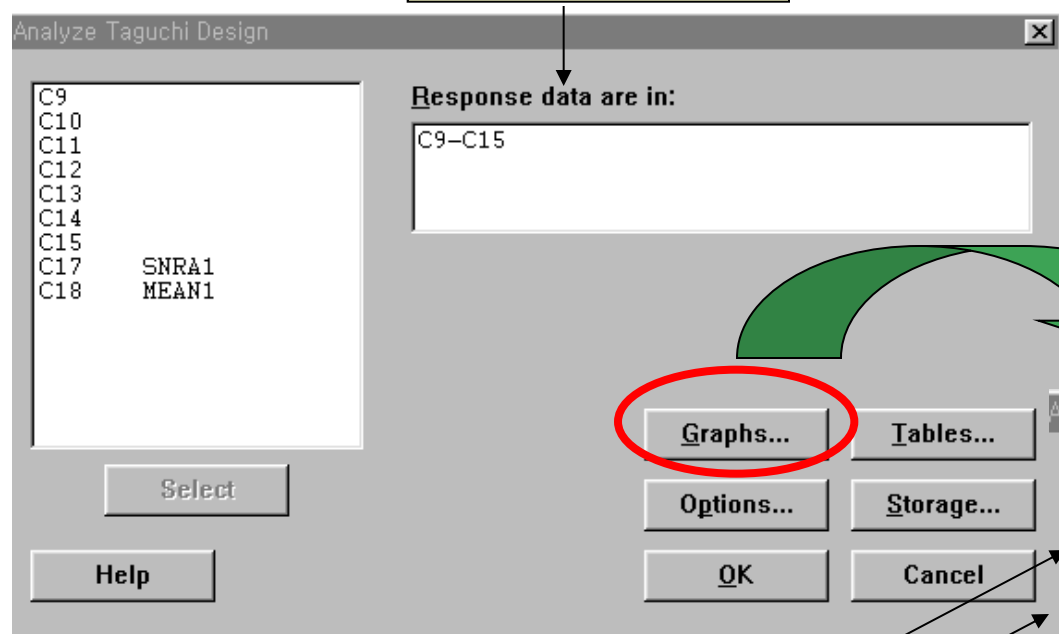
Help

Response data are in:
C9-C15

Graphs... Tables...
Options... Storage...
OK Cancel

미니탭에 의한 계산 : Stat > DOE > Taguchi > Analyze Taguchi Design

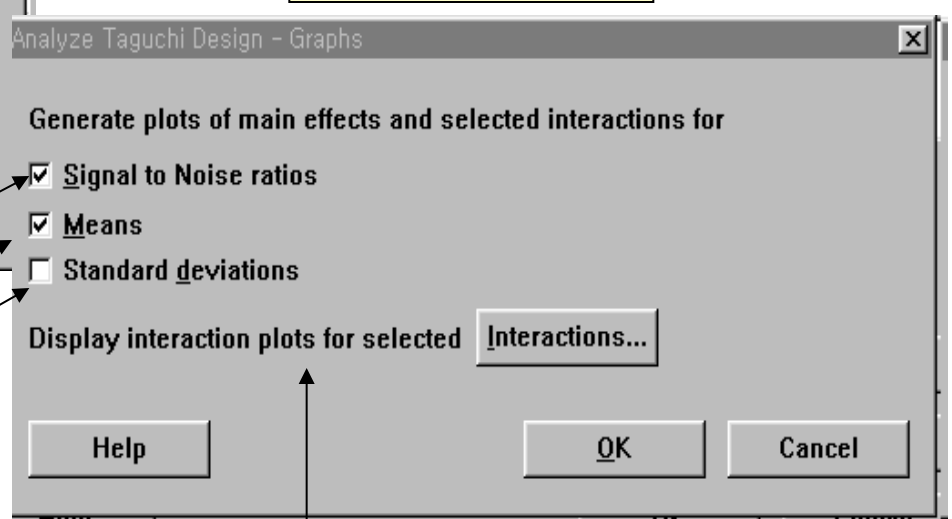
- 측정 데이터 입력



Response data are in:
C9-C15

Graphs... Tables...
Options... Storage...
OK Cancel

- 그래프 분석



Generate plots of main effects and selected interactions for

- ☒ Signal to Noise ratios
- ☒ Means
- ☐ Standard deviations

Display interaction plots for selected Interactions...

Help OK Cancel

- S/N비에 대한 Plot

- 평균에 대한 Plot

- 표준편차에 대한 Plot

- 교호작용 Plot

- 망소특성 } Signal to Noise Ratio만 선택

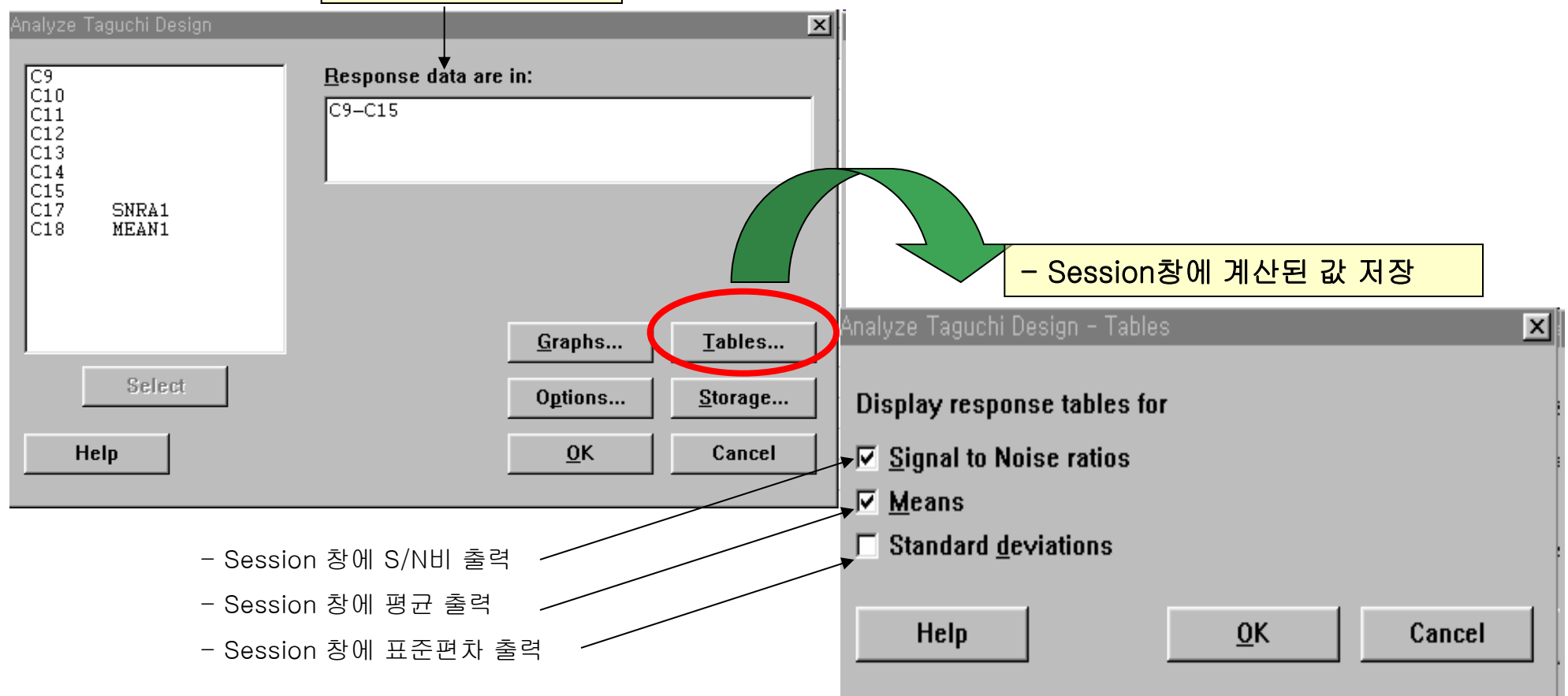
- 망대특성 }

- 망목특성 : Signal to Noise Ratio, Mean 선택

III. 파라메타 설계의 8단계

미니탭에 의한 계산 : Stat > DOE > Taguchi > Analyze Taguchi Design

- 측정 데이터 입력



- Session창에 계산된 값 저장

- Session 창에 S/N비 출력

- Session 창에 평균 출력

- Session 창에 표준편차 출력

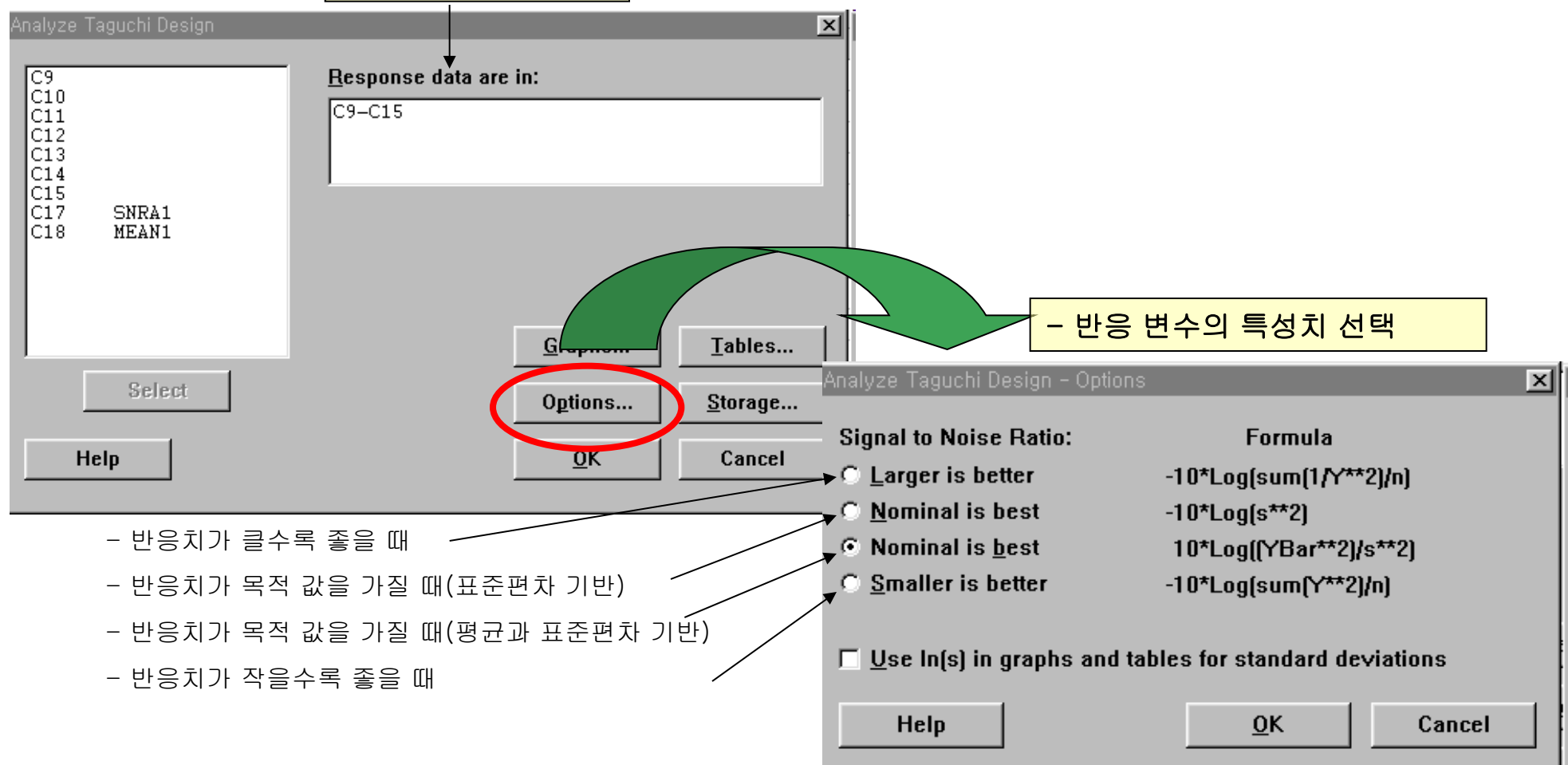
Display response tables for

- ☒ Signal to Noise ratios
- ☒ Means
- ☐ Standard deviations

III. 파라메타 설계의 8단계

미니탭에 의한 계산 : Stat > DOE > Taguchi > Analyze Taguchi Design

- 측정 데이터 입력



- 반응 변수의 특성치 선택

Options...

Signal to Noise Ratio:

	Formula
<input type="radio"/> Larger is better	$-10 \cdot \log[\sum(1/Y^{**2})/n]$
<input type="radio"/> Nominal is best	$-10 \cdot \log[s^{**2}]$
<input checked="" type="radio"/> Nominal is best	$10 \cdot \log[(Y\text{Bar}^{**2})/s^{**2}]$
<input type="radio"/> Smaller is better	$-10 \cdot \log[\sum(Y^{**2})/n]$

☐ Use ln(s) in graphs and tables for standard deviations

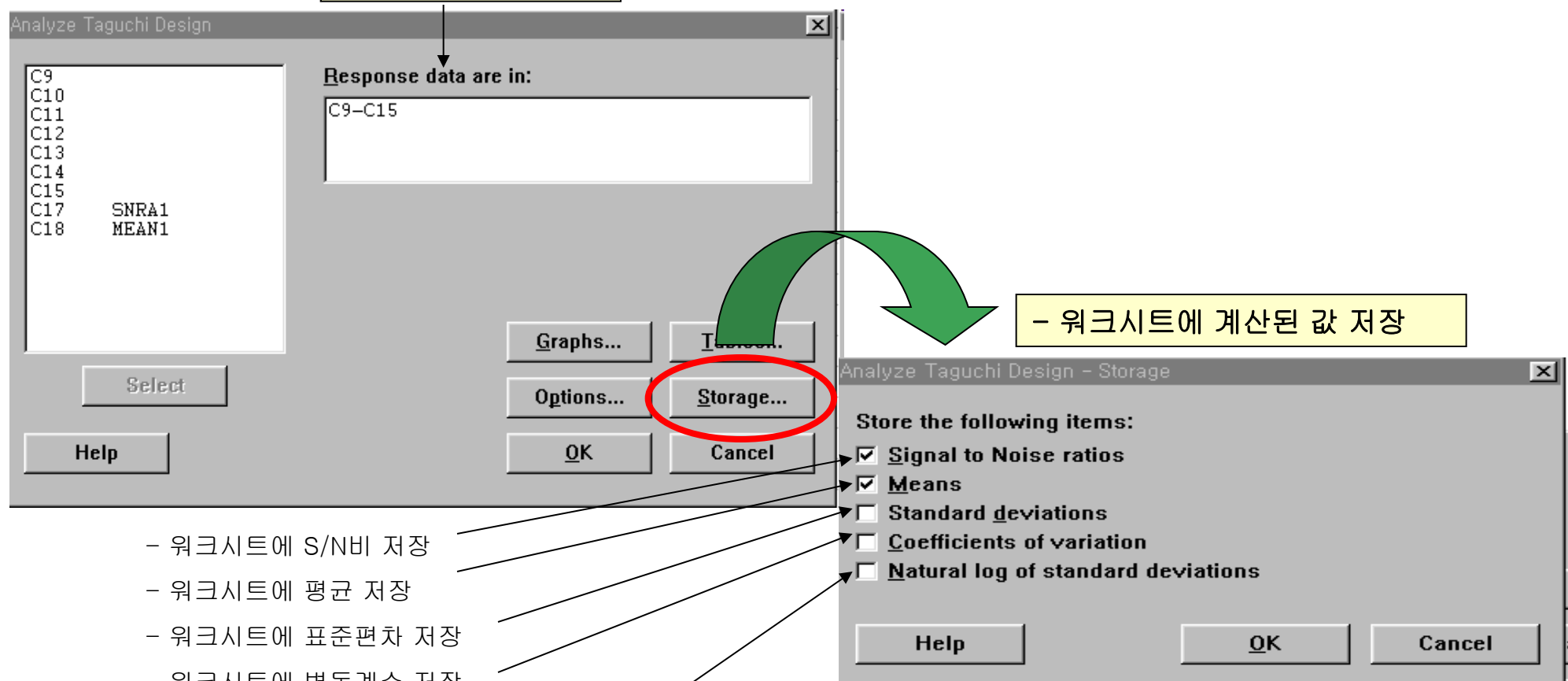
Help OK Cancel

- 반응치가 클수록 좋을 때
- 반응치가 목적 값을 가질 때(표준편차 기반)
- 반응치가 목적 값을 가질 때(평균과 표준편차 기반)
- 반응치가 작을수록 좋을 때

III. 파라메타 설계의 8단계

미니탭에 의한 계산 : Stat > DOE > Taguchi > Analyze Taguchi Design

- 측정 데이터 입력



- 워크시트에 계산된 값 저장

Store the following items:

- ☒ Signal to Noise ratios
- ☒ Means
- ☐ Standard deviations
- ☐ Coefficients of variation
- ☐ Natural log of standard deviations

- 워크시트에 S/N비 저장

- 워크시트에 평균 저장

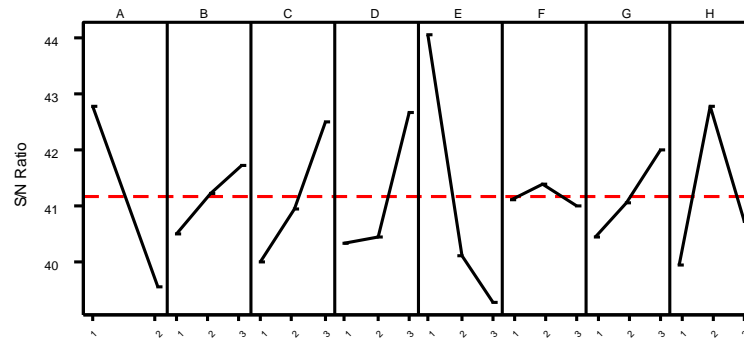
- 워크시트에 표준편차 저장

- 워크시트에 변동계수 저장

- 워크시트에 표준편차의 자연로그 저장

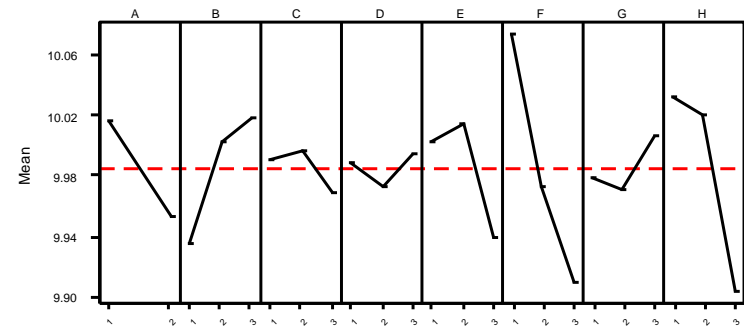
미니탭 결과

Main Effects Plot for S/N Ratios



- 인자선택 : A, C, D, E, H
- 수준선택 : A₁, C₃, D₃, E₁, H₂

Main Effects Plot for Means



- 위에서 선정되지 않은 인자 중
산포에 영향을 적게 미치고 평균에는
영향을 크게 미치는 인자로 평균을
조절할 때 이용 : 여기서는 B와 G 사용

□ 2 단계 최적화 실행

– 4 가지 유형의 제어 인자

유 형	산포에 영향을 주나 ?	평균에 영향을 주나 ?
I	예(YES)	예(YES)
II	아니오(NO)	예(YES)
III	예(YES)	아니오(NO)
IV	아니오(NO)	아니오(NO)

- 어떤 유형의 제어 인자가 망목 특성 반응에 유용합니까 ?
- 평균을 조정하려면 ?
- 평균을 중심으로 산포를 줄이려면 ?

– 2-단계 최적화 : 망목 특성 반응을 최적화

- 1 - 단계 : 산포를 줄인다. (산포에 영향을 주는 모든 인자들을 이용)
- 2 - 단계 : 평균을 조정한다. (산포에 최소의 영향을 주며 평균을 원하는 방향으로 조정해 주는 인자들을 선정)

– INAX 타일 실험

- 1 - 단계 : 산포를 줄인다.

S/N 비 반응 표에서 최적 조합 선정

- A, C, D, E, H는 비교적 큰 영향, B, F, G는 비교적 약한 영향
따라서 다음과 같이 선정

A_1 B_3 C_3 D_3 E_1 F_3 G_3 H_2

- 산포에 영향을 주지 않는 인자들을 찾아 내는 것도 유익함.
→ 평균 조정 및 비용을 절감하는데 유용하게 활용할 수 있다.

- 2 - 단계 : 평균을 조정한다.
 - 성형에 들어가는 원료의 양 조절
 - 평균의 조정 방법이 확실하지 않은 경우는 평균에 큰 영향을 주고 산포에 작은 영향을 주는 제어 인자로 조정

□ 추 정

- 다구찌 기법 : 실험의 타당성과 실험 결론의 재현성을 알아보기
 위해 확인 실험을 하는 것을 필요로 한다.
- 최적 조합 때의 성과 추정 : 인자 효과들의 가법성으로 추정한다.
 (확인 실험을 하기 전)
- 가법성을 이용한 추정
 - 가법성 : 큰 영향을 주는 제어 인자들의 이득의 합
 - 다구찌 : 과대 평가를 피하기 위해 추정식에서 약한 인자 효과들을
 제외 시킬 것을 추천
 - 좋은 가법성 : 제어 인자 사이에 강한 교호 작용이 없는 것

- 가법성 계산

- \bar{T} : 18개의 S/N비의 평균 또는 L_{18} 실험의 평균, 추정의 기준
- 강한 제어 인자에 대해서 인자 수준 평균과 \bar{T} 의 차이를 구한다.
그 차이들을 \bar{T} 에 더한다.
- 일반적인 추정은 최적 배치와 초기 배치 두 경우에 대해 한다.

$$\begin{aligned}\hat{\eta}_{\text{최적}} &= \bar{T} + \left(\bar{A}_1 - \bar{T}\right) + \left(\bar{C}_3 - \bar{T}\right) + \left(\bar{D}_3 - \bar{T}\right) + \left(\bar{E}_1 - \bar{T}\right) + \left(\bar{H}_2 - \bar{T}\right) \\ &= \bar{A}_1 + \bar{C}_3 + \bar{D}_3 + \bar{E}_1 + \bar{H}_2 - 4\bar{T}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\hat{\eta}_{\text{초기}} &= \bar{T} + \left(\bar{A}_2 - \bar{T}\right) + \left(\bar{C}_2 - \bar{T}\right) + \left(\bar{D}_2 - \bar{T}\right) + \left(\bar{E}_2 - \bar{T}\right) + \left(\bar{H}_2 - \bar{T}\right) \\ &= \bar{A}_2 + \bar{C}_2 + \bar{D}_2 + \bar{E}_2 + \bar{H}_2 - 4\bar{T}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\hat{\eta}_{\text{최적}} &= \bar{A}_1 + \bar{C}_3 + \bar{D}_3 + \bar{E}_1 + \bar{H}_2 - 4\bar{T} \\ &= 43.10 + 42.51 + 42.71 + 44.53 + 42.82 \\ &\quad - (4 \times 41.30) = 50.47(db)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\hat{\eta}_{\text{초기}} &= \bar{A}_2 + \bar{C}_2 + \bar{D}_2 + \bar{E}_2 + \bar{H}_2 - 4\bar{T} \\ &= 39.50 + 40.96 + 40.88 + 40.12 + 42.82 \\ &\quad - (4 \times 41.30) = 39.08db\end{aligned}$$

기대되는 이득 11.39 db

□ 단계 7. 확인 실험

- 확인 실험 : 두 조합에 대해 수행 (최적 조건 및 초기 조건)
 - 초기조건에 비해 최적조건이 어느 정도의 S/N비 이득이 있는지를 조사
- 실제 INAX가 얻은 이익 : (그림 11) 확인 실험 결과
 - 전체적인 산포 범위를 1/4로
 - 비슷한 개선이 대규모 제조 가마에서 확인
 - (소규모 ball mill에서 가장 로바스트한 원료 배합
 - 대규모 가마에서도 가장 로바스트한 배합으로 확인)
 - 가장 비싼 원료인 agalmatolite의 양이 53%에서 43%로
 - (agalmatolite (인자 C)가 S/N 비에 강한 영향을 주지 않는다는 사실 이용)

III. 파라메타 설계의 8단계

	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆	P ₇	S/N	평균	비용
최적	10.07	10.06	10.03	10.02	10.03	10.01	10.09	50.37	10.04	감소
	10.07	10.05	10.04	10.02	10.02	9.99	10.09			
초기	10.15	10.11	10.02	9.96	9.89	9.86	10.18	38.57	10.02	기준
	10.14	10.12	10.01	9.94	9.91	9.88	10.17			
이득								11.80		

(그림 11) 확인 실험 결과

[재현성]

- 제어 인자들 사이에 심한 교호 작용이 없거나 인자 효과들의 가법성이
좋다는 것 의미
- 직교 표의 중요한 역할 : 확인 실험을 통해 강한 교호 작용의 존재를
검사하는 것

III. 파라메타 설계의 8단계

- 왜 결론이 확인 안 될 수도 있는가 ?
- 다음 상황들을 생각해 보자.

상황-1	추 정	확 인
초기 설계	39.1	38.6
최적 설계	50.5	50.4
이득	11.4	11.8

- 뛰어난 재현성과 가법성
- S/N 비 값과 이득 모두 확인

상황-4	추 정	확 인
초기 설계	39.1	38.6
최적 설계	50.5	41.6
이득	11.4	3.0

- 가법성이 없다.
- 재현성이 없다.

상황-2	추 정	확 인
초기 설계	39.1	38.7
최적 설계	50.5	47.5
이득	11.4	8.9

- 완전하지 않음. 나쁜 것은 아님.
- 산포에 대한 대부분의 인자들
의 효과 재현

상황-5	추 정	확 인
초기 설계	39.1	33.5
최적 설계	50.5	44.6
이득	11.4	11.1

- 우리가 파악하지 못한 노이즈
인자가 두 설계에 영향을 주고
있다.
- 이득 확인 S/N 비 값은 않 좋음.

상황-3	추 정	확 인
초기 설계	39.1	38.6
최적 설계	50.5	44.4
이득	11.4	5.8

- 사태가 별로 좋지 않다.
- 기대했던 것의 반 정도만 재현.
- 가법성이 좋지 않다.

상황-6	추 정	확 인
초기 설계	40.0	40.1
최적 설계	40.2	40.4
이득	0.2	0.3

- 최적 설계가 초기 설계 보다 약간
더 좋다.
- 초기 설계가 이 실험에서 사용한
제어 인자 들과 수준들 아래
에서는 거의 최적화 되어 있다.

- 상황 3과 4가 발생한 이유 ?

1) 제어 인자들 사이의 강한 교호 작용

- 제어 인자들 사이에는 어느 정도의 교호 작용이 항상 존재
- 심각한 교호 작용을 피하기 위해 고려할 사항
 - 데이터로 무엇을 측정할 것인가
 - 제어 인자들과 수준들을 어떻게 선정할 것인가

2) 노이즈 인자 (들)

- 효율적인 노이즈 조합 전략 수립

3) 순전한 실험 오차

- 실험을 올바르게 운영
- 측정 오차가 너무 지나치지 않도록 해야 한다.

Taguchi 방법 사례

Experimental Design Method Applied to Li/LiCoO₂ Rechargeable Cells

J. M. Chen, C. L. Tsai, C. Y. Yao, S. P. Sheu & H. C. Shik

Materials Chemistry and Physics

Vol. 51, pp. 190-194, 1997

배 경

- 대상: rechargeable battery
(lithium ion secondary battery: cellular telephone, notebook PC, camcorder 등에서 사용되고 있음)
- 목적
 - battery의 cycle life에 영향이 있는 제어인자를 찾고자 함
 - cycle life를 크게 하기 위한 제어인자의 최적조건을 결정하고자 함
- 접근방법: Taguchi Method

실험의 계획

제어인자와 특성치

● 제어인자

표1. 제어인자 및 수준값

인자 \ 수준	1 수준	2 수준
A. LiCoO ₂	C-type	H-type
B. Carbon black	AB	XC72R
C. *Carbon black ratio(wt.%)	3	6
D. Electrode density(g cm ⁻³)	2.3	3.0
E. Interelectrode spacing(piece)	1	3
F. Charging voltage(V)	4.1	4.2
G. Electrolyte system	D	M

* electrode slurry의 구성 중 carbon black의 비율

● 특성치

- cycle life: discharge후의 용량이 초기 용량의 80% 이하로 처음 떨어지게 되는 cycle회수로 정의
- cycle life는 크면 바람직하므로 망대특성임

실험의 계획

실험배치와 데이터

- 실험배치

내측: $L_8(2^7)$

외측: 3개씩 반복 측정

- 문제: 다음과 같은 실험데이터가 얻어 졌을 때 **cycle time**을 최대로 하는 인자들의 최적조건을 구하시오.

표2. 실험계획표 및 데이터

실험번호 \ 인자	A	B	C	D	E	F	G	특성값		
								y1	y2	y3
1	C-type	AB	3	2.3	1	4.1	D	46	51	61
2	C-type	AB	3	3.0	3	4.2	M	28	43	48
3	C-type	XC72R	6	2.3	1	4.2	M	41	45	50
4	C-type	XC72R	6	3.0	3	4.1	D	38	39	43
5	H-type	AB	6	2.3	3	4.1	M	110	112	106
6	H-type	AB	6	3.0	1	4.2	D	98	104	103
7	H-type	XC72R	3	2.3	3	4.2	D	53	44	70
8	H-type	XC72R	3	3.0	1	4.1	M	55	48	55