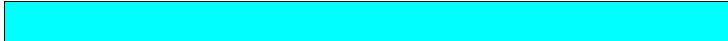


## 제 1 4 장

---

# 다구치 실험계획법

- 
1. 다구치 품질공학 / 14-02
  2. 특성치 및 실험인자 선정 / 14-15
  3. 직교배열법 활용 실험배치 / 14-18
  4. 파라미터설계 / 14-23
  5. 허용차설계 / 14-40
  6. 기출문제 및 착안점 / 14-50
-

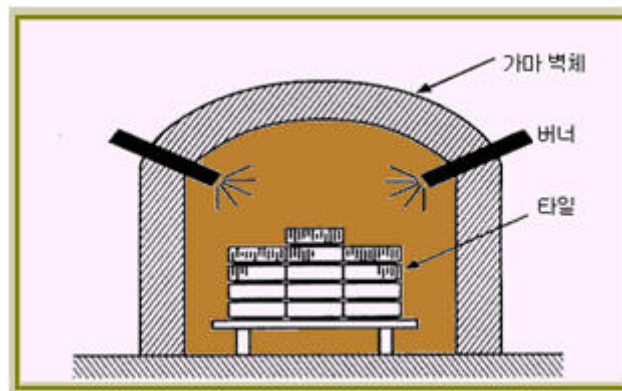
## 1. 다구치 품질공학

### 1.1 다구치 품질공학 개념

#### 1.1.1 다구치 품질관리 정의

##### (1) 다구치 기법이란 2013

- \* 다구치 기법은 일본의 다구치 겐이찌(田口玄一) 박사가 구현한 제품의 품질개선 기법임.  
(참고 : 다구치는 다구치로 번역되어 쓰이기도 함.)
- \* 다구치 기법은 제어 가능한 인자로 제어할 수 없는 잡음(환경) 인자에 강건한 설계, 영어로 로버스트 설계(Robust Design)를 하는 것으로 알려져 있음.
- \* 다구치 기법으로 알려진 최초의 적용 예로는 1954년에 일본의 타일 생산업체인 Inax사를 지도했던 사례가 있음.
- \* Inax사는 장식용 타일을 만드는 회사였음. Inax사에서는 타일의 모양을 만든 후 가마에서 굽는 공정이 있음(그림 14.1 참조). 타일을 굽는 가마 속은 장소에 따라 온도분포가 다름. 가마 속에서 구워진 후 타일 치수에 편차가 생겨 1등급(비싸고, 빌딩 외장재로 사용)이 80%정도, 2등급(1등급에 비해 값이 싸고, 주택용으로 사용)이 20%정도 생산됨. Inax사는 어떻게 하면 2등급을 줄이느냐가 관심이었음.



[그림 14.1] 타일생산 가마 구조

- \* 손쉬운 해결방법은 새 가마를 사 오는 것이나, 당시 Inax사의 재정규모로는 새 가마를 구입하는 것은 무리였음. 이 문제해결을 다구치 박사가 의뢰받았음. 다구치의 접근은 부적합품(불량품)의 가장 큰 원인인 가마 안의 온도분포는 그대로 둔 채(실제로 가마 안의 온도를 모두 일정하게 하는 것은 불가능함) 자유롭게 선택할 수 있는 설계변수(이 경우는 타일의 원료배합과 타일의 판금조건 등)를 바꿔 특성치의 편차를 줄이는 것이었음.
- \* 이와 같이 부적합품(불량품)의 가장 큰 원인을 제어할 수 없는 경우는 잡음인자로 두고, 제어가능한 요소를 적당하게 조작하여 원하는 목적을 달성하려는 시도이었음. Inax사에서는 제어가능한 원료배합을 바꾸어 전체가 1등급이 되게 할 수 있었음.

**(2) 다구치의 품질·생산성에 대한 정의 2014**

- \* 다구치 박사는 품질과 생산성을 다음과 같이 손실금액으로 정의하고 있음.

$$\begin{aligned} \text{품질} &= (\text{기능산포에 의한 손실}) + (\text{폐해 항목에 의한 손실}) + (\text{사용비용}) \\ \text{생산성(productivity)} &= \text{품질} + \text{생산비용} \\ \text{여기서, 생산비용} &= \text{재료비} + \text{가공비} + \text{관리비} + \text{공해환경비} \end{aligned}$$

- \* 품질은 3가지 손실의 합으로 정의되었는데, 기능산포에 의한 손실은 성능특성치의 변동에 의한 손실을 의미하고, 폐해항목에 의한 손실은 부작용 등에 의하여 소비자가 받는 손실이고, 사용비용은 제품을 사용할 때 발생하는 비용(전기값, 물값 등)을 의미함.
- \* 생산성은 품질과 생산비용의 합으로 정의되는데, 생산비용은 4가지 비용의 합으로 구해짐. 여기서 가공비 속에 인건비가 포함되어 있고, 관리비는 주로 생산관리비용과 품질관리비용으로 구성됨. 공해환경비는 공해를 없애고 환경을 관리하는데 소요되는 경비임.
- \* 생산성을 증가시키려면 품질을 높이고 생산비용을 감소시켜야 함. 품질향상은 주로 기능산포의 감소에 있고, 생산비용 절감은 주로 가공비의 감소에 의존하고 있으므로, 생산성 향상의 초점은 가공비를 가능한 범위 내에서 억제하면서 기능산포를 줄여 나가는 것임. 즉, 품질향상은 생산성향상을 가져 온다는 것임.
- \* 설계품질, 제조품질, 서비스의 품질 중에서 특히 설계단계에서의 품질이 중요하다고 보았음. 그 이유는 제품의 설계단계에서 생산비용을 증가시키지 않으면서 기능의 산포를 최소화시키는 설계작업이 가능하며, 또한 허용차의 크기를 설계할 수 있어서, 재료비나 가공비의 관리가 용이하고 생산성 증가에 크게 기여할 수 있기 때문임.
- \* 다구치는 품질부적합이 발생되었을 때 금액으로 환산하는 품질손실함수를 제시하였음.

**1.1.2 다구치 품질관리 특징 2019 등 총10회**

- \* 종래의 전통적 품질관리 방법과 비교하여 볼 때 다구치의 품질관리 접근방식에는 여러 가지 독특한 면이 있음. 이러한 특성이 품질공학의 바탕이 되며, 다음의 6가지의 특징으로 요약됨.

**(1) 설계단계의 중요성**

- \* 전통적 품질관리에서 품질을 정의할 때 품질은 제품의 성능특성치의 변동에 의하여 좌우된다고 보고 있음.
- \* 이 성능특성치의 변동에 가장 큰 영향을 주는 단계는 제품의 설계단계(제품설계와 공정설계)이며, 이 단계에서 가장 철저한 품질관리가 이루어져야 함.

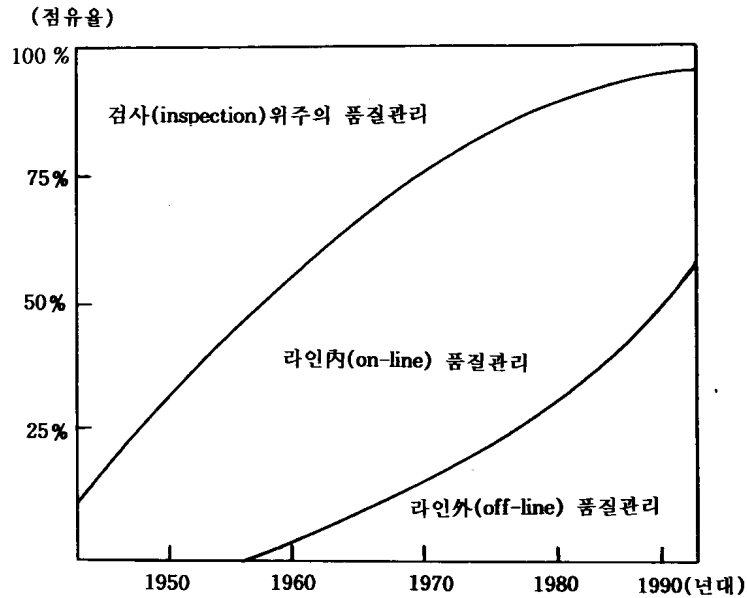
**(2) 손실함수(Loss Function)의 사용**

- \* 제품특성의 목표치가  $m$  이고, 제품의 실질 특성치가  $y$  인 경우(즉, 망목특성인 경우)에 손실함수는 다음 식으로 정의됨.

$$L(y) = k(y - m)^2$$

여기서,  $k$ 는 상수이며, 좋은 품질의 제품은 이 손실함수의 값을 작게 하는 것임.

- \* 실험계획법에서는 이 손실함수에 근거하여 만들어진 SN비(signal-to-noise ratio)를 특성치로 하여 인자들의 최적조건을 찾아 주는 방법이 주로 사용됨.



[그림 14.2] 품질관리의 발전추세

### (3) 잡음의 사용 2018 등 총4회

- \* 제품성능의 변동에 영향을 주는 요인은, 원인을 찾으면 제어(control)가 가능한 설계변수와, 원인을 찾기 어렵고 제어가 용이하지 않은 잡음(noises)으로 나뉘어짐.
- \* 잡음의 종류로 다음의 3가지가 있음.
  - ① 외부 잡음 : 외부 사용환경 조건의 변화에 의한 잡음
  - ② 내부 잡음 : 사용하면서 발생하는 내부 마모나 열화에 의한 잡음
  - ③ 제품간 잡음 : 제품의 불완전 제조로 발생하는 제품간 성능특성치의 산포로 인한 잡음

### (4) 라인의 품질관리와 라인내 품질관리의 구분 2007 등 총3회

- \* 제품성능의 변동이나 부작용을 최소화시켜서 사회에 끼치는 총손실을 최소화시키기 위하여 수행되는 설계나 개발부서의 품질관리 활동을 라인의 품질관리(off-line QC)라고 부름.
- \* 품질관리의 발전추세로 볼 때 [그림 14.2]에서와 같이 라인의 품질관리가 최근에 더욱 강조되고 있음. 라인내 품질관리(on-line QC)는 생산라인에서의 품질관리 활동을 의미함.

### (5) 잡음제거의 기능 2018 등 총2회

- \* 라인외와 라인내 품질관리 활동의 구분은 <표 14.1>과 같으며, 잡음제거의 대부분은 개발·설계의 제품설계 단계와 생산기술의 공정설계 단계에서 이루어져야 효과적임.

**(6) 품질향상 계획의 초점**

\* 품질향상에 관한 노력은 다음 사항들에 초점이 맞추어져 끊임없이 수행되어야 함.

- ① 목표치에 대한 성능특성치의 변동을 끊임없이 줄여 나가야 함.

<표 14.1> 잡음제거 방법 가능 여부

품질관리 구분	담당부서	대응책	잡음의 종류		
			외부잡음	내부잡음	제품간 잡음
라인외 품질관리	설계·개발	(1) 시스템설계	●	●	●
		(2) 파라미터설계	●	●	●
		(3) 허용차설계	○	●	●
	생산기술	(1) 시스템설계	×	×	●
		(2) 파라미터설계	×	×	●
		(3) 허용차설계	×	×	●
라인내 품질관리	생산	(1) 공정진단과 조정	×	×	●
		(2) 예측과 수정	×	×	●
		(3) 검사(측정과 조치)	×	×	●
	판매	애프터 서비스	×	□	□

비고 : ● 대응 가능 × 대응 불가능

○ 대응책이 가능하나 최후의 수단임 □ 예방보전의 의미로서 가능

- ② 제품의 공정을 설계하거나 개선함에 있어 제품의 성능특성치가 잡음에 둔감(robust)하도록 하여야 함.
- ③ 제품이나 공정을 설계할 때는 적은 비용이 소요되면서 목표치의 허용한계를 만족시키는 설계변수들의 최적조건을 찾아야 함.

\* 위에서 ①을 만족시키기 위해 SN비를 특성치로 사용하여 변동을 최소화시키는 노력을 함.

②와 ③을 충족시키기 위하여 직교배열표 활용 실험계획법이 주로 사용됨.

## 1.2 설계의 단계와 품질공학 2011 등 총2회

### 1.2.1 품질공학의 활용단계

\* 제조기업에 있어서 제품이 개발되고 생산되어 소비자의 손에 들어가 사용될 때까지는 일반적으로 다음의 여섯 단계를 거치게 됨.

- ① 제품기획 : 제품의 성능, 수명, 안정성, 가격 등에 관한 계획
- ② 제품설계 : 제품기획에서 정하여진 것을 구현하는 제품의 개발설계
- ③ 공정설계 : 제품설계에서 설계된 제품을 제조하기 위한 제조공정의 설계
- ④ 생산 : 공정설계에 따라 만들어진 제조공정에서 제품설계에서 작성된 설계품질의 제품을 생산하는 활동
- ⑤ 판매 : 생산된 제품을 소비자에게 파는 활동
- ⑥ 애프터 서비스 : 소비자의 제품사용시 발생 문제에 대한 서비스 활동

- \* 품질공학은 제품설계와 공정설계의 단계에서 특히 유용한 방법론이 되고 있음.
- \* 제품설계와 공정설계는 각각 3단계로 구성되며, 이들을 간단히 설명하면 다음과 같음.

### 1.2.2 제품설계의 3단계 2012 등 총2회

#### (1) 시스템설계 (System Design)

- \* 개발하려는 제품분야를 고유기술, 전문지식, 경험 등을 바탕으로, 제품기획단계에서 결정된 목적기능을 갖는 제품의 원형을 개발함.
- \* 일반적으로 처음부터 완벽한 시스템설계는 어려우므로, 대개 두 세 가지의 가능성 높은 설계를 한 후, 다음 단계의 파라미터설계나 허용차설계에서 미비점을 보완함.
- \* 신뢰성은 충분치 않더라도 어떤 소재를 어떻게 가공하면 요구된 기능을 가진 시스템으로서 후보가 되는지를 연구하거나, 하나의 시스템이 여러 개의 부시스템으로 구성될 때 각 부시스템의 역할 등을 연구하는 단계임.

#### (2) 파라미터설계 (Parameter Design) 2019 등 총2회

- \* 파라미터는 제품성능의 특성치에 영향을 주는 인자 중에서 제어가능한 인자를 의미하며, 파라미터설계는 이들 인자들의 최적수준을 정하여 주는 것을 말함.
- \* 파라미터를 설계변수(design variable)라고도 부르며, 파라미터설계에서는 제품의 품질변동이 잡음에 둔감하면서 목표품질을 가질 수 있도록 설계변수들의 최적조건을 구하여 줌. 이때 목표품을 만족시키는 범위 내에서 되도록 비용절감의 조건이나 부품 등을 이용함.
- \* 최적조건을 찾을 때 실험계획법이 이용되며, 설계변수와 잡음을 주는 요인들을 포함시켜 실험하는 직교배열표 등이 사용됨.

#### (3) 허용차설계 (Tolerance Design)

- \* 파라미터설계에 의하여 최적조건을 구하였으나 품질특성치의 변동이 만족할 만한 상태가 아닌 경우에 허용차설계가 수행됨. 이때 사용환경의 변화에 따르는 영향도 조사하여야 하며, 품질변동에 큰 영향을 주는 원인을 찾아내어 허용차를 줄일 수 있도록, 부품을 선별적으로 바꾸어 주거나 작업방법의 자동화 등 적절한 조치를 취함.
- \* 대개 변동을 줄이기 위해서는 비용이 증가하며, 만족스러운 허용차를 얻는 범위 내에서 최소비용이 드는 방법이 고려되어야 함. 허용차설계에서는 직교배열표를 이용한 실험계획법이 흔히 사용됨.

### 1.2.3 공정설계의 3단계 2019 등 총2회

#### (1) 시스템설계

- \* 생산기술부서에서는 고유기술 및 생산기술적인 측면에서 제조공정이 설계되며, 흔히 목표 품질을 확보하기 위한 자동제어(automatic control)장치도 같이 설계됨.

(2) 파라미터설계

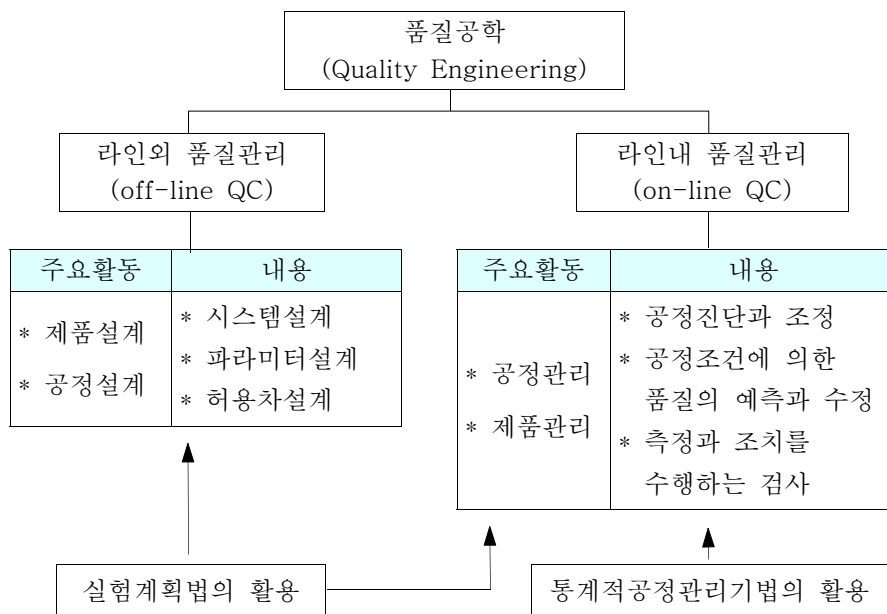
- \* 제조공정의 각 부분공정의 최적공정조건을 정하여 주고, 또한 구입하여야 할 적절한 원부 자재, 부품 등도 정하여 줌.
- \* 이 설계에서는 각종 잡음의 영향 하에서도 공정능력이 높은 조건을 찾아 주는 것이 주요한 목적이 되며, 실험계획법이 흔히 사용됨.

(3) 허용차설계

- \* 공정조건외의 허용차와 품질변동의 원인을 찾아내어, 허용차를 줄여 주거나 원인을 제거시키는 설계로서, 실험계획법이 품질변동의 원인을 찾기 위하여 주로 사용됨.

1.2.4 품질공학의 정의 2017

- \* 품질공학(quality engineering)은 “라인외 품질관리와 라인내 품질관리 활동을 통하여 제품 품질이 사회에 끼치는 손실의 최소화를 위해 수행되는 모든 활동의 체계”라고 정의됨.
- \* 이를 간단히 그림으로 그려 보면 [그림 14.3]과 같음.
- \* 제품의 품질은 제품설계와 공정설계 단계에서 대부분 이루어지며, 따라서 라인의 품질관리가 품질공학에서 가장 중추적인 역할을 수행함.
- \* 라인의 품질관리의 파라미터설계와 허용차설계에서는 직교배열표를 사용하는 실험계획법이 유용하게 활용됨.
- \* 라인내 품질관리는 생산부서에서 공정관리와 제품관리를 통하여 제품간 변동이 적은 양품을 생산하도록 노력하는 활동이며, 주로 통계적 공정관리 기법이 활용되며, 실험계획법이 사용되기도 함.



[그림 14.3] 품질공학의 개요

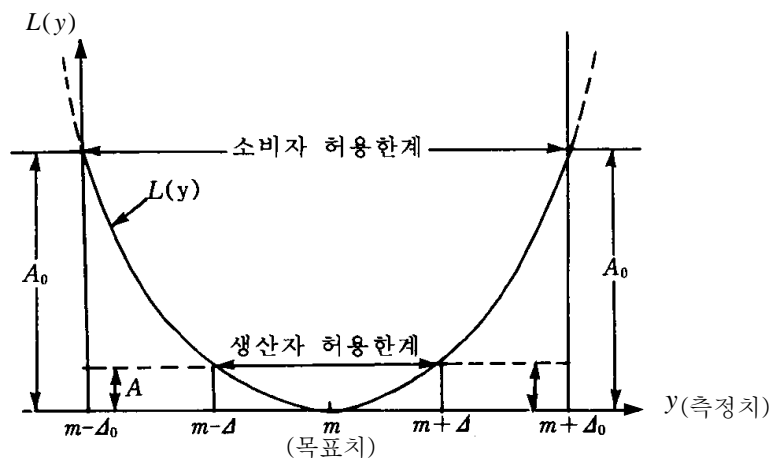
- \* 손실함수에서 사용되는 특성치  $y$ 는 금액으로 환산할 수 있는 제품의 결과임. 특성치  $y$ 의 목표값을  $m$ 이라 하면, 목표값  $m$ 에서 벗어났을 때의 경제적 손실을  $L(y)$ 로 표시함.  
특성값이  $y$ 인 제품이 출하되어, 설계수명동안 사용되었을 때 그 평균 손실이  $L(y)$ 가 됨.
- \* 일반소비자에게 팔리는 제품의 경우에는 그 제품을 구입한 전소비자를  $N$ 으로 함. 국내용 냉장고 경우라면  $N$ 은 국내 전세대수가 되고, 제품의 설계수명은  $T$ 년으로 표시함.  
예를 들어, 설계수명  $T$ 가 10년이라는 것은 표준조건에서 10년간은 충분히 기능을 발휘하도록 설계하지만, 그 이후는 기능을 발휘하지 않아도 좋다는 것임.
- \*  $i$ 번째의 소비자가 특성값이  $y$ 인 제품을 샀을 때  $t$ 년 후에 생기는 경제적 손실을  $L_i(t, y)$ 로 가정해 봄.  $L_i(t, y)$ 는 어떤  $t$ 에서 갑자기 고장이 나면 손실이 발생하지만, 다른  $t$ 에서는 고장이 나더라도 손실이 0이 될 수 있는 불연속성을 가진 복잡한 함수임.
- \* 모든 소비자의 수가  $N$ 이고, 설계수명  $T$ 년 동안 사용되었을 때의 경제적 손실의 평균이  $L(y)$ 이며, 다음 식과 같이 정의할 수 있음.

$$L(y) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \int_0^T L_i(t, y) dt \quad (14.1)$$

- \* 손실함수  $L(y)$ 를 실제로 구하려면, 특성값  $y$ 인 제품을 1,000개 정도 만들어 전 소비자에게 랜덤하게 분산시키고,  $T$ 년간 사용한 후 그 특성에 의한 트러블의 손실을 구해 평균을 취하면 됨. 물론 이런 조사는 사실상 어려우므로 손실함수  $L(y)$ 의 근사식 계산 방법이 필요함.

### 1.3.3 $y$ 값이 망목특성의 경우 2016 등 총5회

- \* 망목특성은 어떤 목표값이 있고, 목표값보다 작아도 혹은 커도 만족스럽지 못한 특성임.  
대부분 제조물은 목표치를 갖고 제조하며, 망목특성은 목표값  $m$ 이 주어진 경우임.



[그림 14.5] 망목특성의 손실함수



\* 측정치가  $y$ 이고 목표치가  $m$ 인 경우 손실함수  $L(y)$ 를  $m$ 에 대하여 테일러 급수전개를 하면 다음과 같은 식이 됨.

$$L(y) = L(m + y - m) = L(m) + \frac{L'(m)}{1!}(y - m) + \frac{L''(m)}{2!}(y - m)^2 + \dots \quad (14.2)$$

\* 그런데 [그림 14.5]에서와 같이

$$L(m) = 0 \quad L'(m) = 0$$

이 되어야 하고, 식 (14.2)에서 3차 이상의 항을 무시하면 손실함수는 다음과 같음.

$$L(y) = k(y - m)^2 \quad (14.3)$$

\* 여기서 상수  $k$ 는  $k = L''(m)/2$ 로서, 특성치가 생산자 허용한계점  $m \pm \Delta$ 에서 소비자의 손실이  $A$  원이라고 한다면 다음 식과 같음.

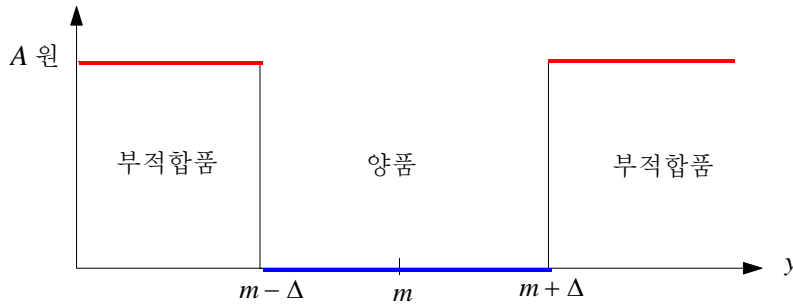
$$k = \frac{A}{\Delta^2} \quad (\text{여기서, } \Delta = y - m)$$

\* 손실함수 식 (14.3)은  $y$ 의 연속함수로서 2차곡선 방정식임.

\* 종래에 양품과 불량품으로만 판정하는 방법은 손실함수가 다음과 같다고 볼 수 있음.

$$L(y) = \begin{cases} 0 & : m \pm \Delta \text{ 안에 있는 경우} \\ A & : m \pm \Delta \text{ 밖에 있는 경우} \end{cases} \quad (14.4)$$

\* 식 (14.4)를 그림으로 나타내면 [그림 14.6]이 되며, 이것은 [그림 14.5]와 대비하여 큰 차이점이 있음.



[그림 14.6] 양품·불량품 구분에 의한 손실함수

\* 식 (14.3)의 기대손실은  $E(y) = \mu$ 이고  $V(y) = \sigma^2$ 인 경우에 변형된 다음 식으로 주어짐.

$$\begin{aligned} L &= E[L(y)] = E[k(y - m)^2] \\ &= kE(y - m)^2 \\ &= kE[\{y - E(y)\} + \{E(y) - m\}]^2 = k[\sigma^2 + (\mu - m)^2] \end{aligned} \quad (14.5)$$

즉, 기대손실은 산포의 크기에 정비례하고, 또한 평균치가 목표치로부터 얼마나 벗어났는가의 크기에 정비례함.

### 1.3.4 y 값이 망소특성의 경우

\* 망소특성은 음수가 아니면서 작을수록 좋은 특성임. 자동차의 배기가스 같은 것은 작을수록 좋음. 망소특성인 경우는 아래 그림과 같이 특성치가 작을수록 좋은 경우로 목표치  $m=0$ 인 경우를 뜻함.

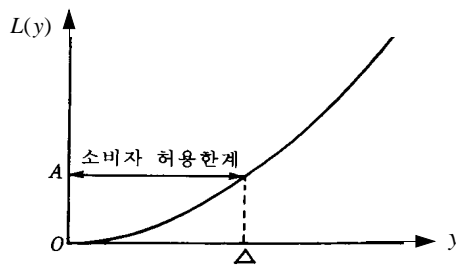
\* 망소특성의 경우에는  $m=0$ 이므로, 식 (14.3)은 다음 식으로 주어짐.

$$L(y) = ky^2 \quad (\text{단, } k = \frac{A}{\Delta^2}) \quad (14.8)$$

\*  $L(y)$ 의 기대값은 다음과 같이 됨.

$$L = kE(y^2) = k(\sigma^2 + \mu^2) \quad (14.9)$$

\* 식 (14.8)의 그래프는 [그림 14.7]과 같음.



[그림 14.7] 망소특성의 손실함수

\* 망소특성 사례로서 자동차의 배기가스와 같은 유해물질 등의 특성에 대한 예를 보기로 함.

- ① 만약 현재 CO농도를  $m_0$  이라 하고, 이 농도의 1,500배가 되면 인류 절반이 죽을 수 있다고 가정함. 그렇다면  $\Delta_0$ 는 현재 자동차의 배기가스 중에 포함되어 있는 CO농도의 평균값  $m_0$ 의 1,500배가 됨.

$$\text{기능한계 } \Delta_0 = 1,500m_0$$

- ② 다음에  $A_0$ 를 구함. 사람 1명이 사망할 때 발생하는 손실을 (국민소득×평균수명)이라 하면, 자동차 1대 당 손실  $A_0$ 는 아래 식으로 5억원/대가 됨.

$$A_0 = \frac{1\text{명 사망에 따른 손실} \times \text{인구}}{\text{자동차 대수}}$$

- ③ 따라서 손실함수  $L$ 은 식 (14.8)에 대입하여 구해짐.

$$L = \frac{A_0}{\Delta_0^2} \times y^2 = \frac{5\text{억원}}{(1,500)^2} \times \left(\frac{y}{m_0}\right)^2$$

### 1.3.5 y 값이 망대특성의 경우

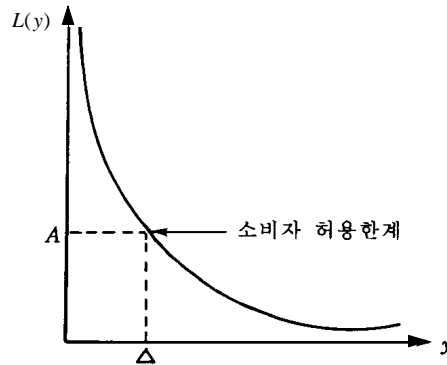
\* 망대(望大)특성은 음수가 아니면서 클수록 좋은 특성임. 자동차의 안전도, 화학물질의 순도 같은 경우는 특성치가 높을수록 좋음.

\* 망대특성  $y$ 를 변환하여  $y' = 1/y$ 로 하면 망소특성이 되며, 이렇게 변환시키면 망대특성을 항상 망소특성으로 취급할 수 있음.

\* 망대특성인 경우의 손실함수는

$$L(y) = k \left( \frac{1}{y^2} \right) \quad (\text{단, } k = A\Delta^2) \quad (14.10)$$

이 되며, 이를 그래프로 나타내면 [그림 14.8]이 됨.



[그림 14.8] 망대특성의 손실함수

\* 식 (14.10)의 손실함수  $L(y)$ 의 기대값은 다음 식으로 알려져 있음.

$$L = k \left( \frac{1}{\mu^2} \right) \left( 1 + \frac{3\sigma^2}{\mu^2} \right) \quad (14.11)$$

\* 망대특성의 예로서, 어떤 파이프의 강도나 가격은 단면적에 비례한다고 함. 그 파이프는 중력 50kgf에서 절단된다고 하고, 그 때의 손실은 30만원이라 가정함.

위 식에서  $k = 30\text{만원} \times (50)^2 = 75,000\text{만원}$ 이 됨.

이때 손실함수는 식 (14.10)으로부터  $L = 75,000\text{만원}/y^2$ 이 됨.

\* 위에서 설명된 3가지의 손실함수의 비교를 위해 표로 정리하여 보면 <표 14.2>와 같음.

<표 14.2> 손실함수의 비교

특성치 종류	손실함수 $L(y)$	기대손실 $L$	기대손실 추정값
망목특성	$k_1(y-m)^2$	$k_1[\sigma^2 + (\mu-m)^2]$	$k_1[V + (\bar{y}-m)^2]$
망소특성	$k_1y^2$	$k_1(\sigma^2 + \mu^2)$	$k_1[V + (\bar{y})^2]$
망대특성	$k_2 \left( \frac{1}{y^2} \right)$	$k_2 \left( \frac{1}{\mu^2} \right) \left( 1 + \frac{3\sigma^2}{\mu^2} \right)$	$k_2 \left( \frac{1}{\bar{y}^2} \right) \left( 1 + \frac{3V}{\bar{y}^2} \right)$

단,  $k_1 = \frac{A}{\Delta^2}$ ,  $k_2 = A\Delta^2$

단계	세부단계	활동항목	주요기법
Check (검토)	11. 재현성실험	1) 최적조건의 확인실험 2) 예측구간 설정 및 검토	신뢰구간추정
	12. 허용차설계	1) 원인특성의 허용차설계 2) 재현성실험 3) 허용차설계	요인배치법 직교다항식
Action (조치)	13. 효과파악 및 표준화	1) 손실함수(유·무형효과) 2) 최적설계조건 표준화	
	14. 사후관리 및 향후계획	1) 최종보고서 2) 지속적인 관리를 위한 향후계획 3) 필요시 세부단계 1로 반복	QC/SPC공정도 설계도면·표준 그래프, 관리도

## 2. 특성치 및 실험인자 선정

### 2.1 특성치의 선정

#### 2.1.1 다구치 기술의 관점

- \* 다구치는 기존의 품질문제 해결이 근본적인 대책이 아니라 임시방편적인 해결이라고 했음. 즉, 품질문제가 발생하면 기존의 품질관리 활동은 원인을 규명하고 개선책을 내놓음. 이와 같이 나중에 개선책이 나오는 것은 기술력이 부족해서가 아니라 기술력을 사전에 평가하는 방법이 부족하기 때문인데, 이는 결과중심에 의존했기 때문임. 과거에는 기능에 대한 연구가 경시되고 결과의 품질만이 문제가 되었음.
- \* 품질을 말할 때 기능의 안정성이 확보되었다면 문제가 없지만, 소비자의 요구와 동떨어진 생산자 주체의 품질 항목으로는 소비자의 요구에 맞출 수 없음.
- \* 다구치 기법은 기술이나 상품의 신뢰성을 기획단계에서 평가·개선하기 위해 등장한 것임. 다구치 기법은 연역적으로 제품의 생성단계에 많은 투자를 하여 문제를 미연에 방지하고 개발기간을 단축하고, 설계의 완성도를 높이고자 함. 상품을 기획하기 전에 설계에 필요한 요소기술이나 제조기술을 고유기술로 축적, 상품설계에서 기술의 편집설계가 필요하다고 제안함.  
따라서 기술의 기본 기능인 “기능성”을 높이는 기술개발 선행을 대단히 중시함.

#### 2.1.2 제품 단계별 품질특성

- \* 다구치 기법의 적용은 제품의 초기단계일수록 효과를 많이 볼 수 있음. 특성치 선정은 하류단계의 계수치 데이터보다 상류나 원류단계의 정적 계량치나 동적 특성이 효율적임. 하류단계의 계수치 데이터를 특성치로 잡으면 데이터 측정이 오래 걸리고 제어할 수 있는 제어인자가 적어 개선의 여지가 없음.
- \* 제품 단계별 품질특성은 <표 14.4>와 같이 정리될 수 있음.

\* 다구치 실험계획법에서의 인자들을 정리하면 다음 <표 14.6>과 같음.

<표 14.6> 인자 구분

인자 종류	정의	중요도	사례	실험배치
제어인자	제품 특성에 영향을 주고, 제어가능한 변수	고중시	브레이크 시스템 재료	내측
잡음인자	제품 특성에 영향을 주고, 제어불가능한 변수(실험가능).	중시	브레이크 시스템의 타이어상태, 도로상태	외측
신호인자	최적화시키는 인자가 아님. 출력에 관련된 입력인자	고려	브레이크 시스템의 브레이크 밟는 힘	외측
오차인자	제품 특성에 영향을 미미하게 미치거나, 제어불가능하고 실험할 수 없는 인자	불고려	브레이크 시스템의 자동차 주위의 온도	없음

**참조** 기존의 실험계획과 다구치 기법의 가장 크게 차이나는 점 2019 등 총2회

- \* 기존 실험계획은 실험실에서 잡음인자를 고정하고 실험하였음. 이런 결과는 실험실에서는 정확하지만, 현실에서 사용할 때는 잡음 조건이 바뀌어 성능이 떨어짐.
- \* 다구치 기법에서는 실험할 때 현실과 똑같이 잡음 조건을 바꾸어 가면서 실험하면서 최적조건을 찾음.

### 3. 직교배열법 활용 실험배치

#### 3.1 특수형 직교배열표

- \* 직교배열법은 직교배열표를 이용한 실험임. 직교배열법을 정확히 이해하면 다구치 기법 실험을 이해할 수 있는 바탕이 됨.
- \* 실험계획에서 직교란 어떤 요인의 어떤 수준(예, 0)에 대해서나 다른 요인의 수준이 같은 횟수씩 나타나는 상태를 말함. 이 경우는 기여가 같다고 함. 기여가 같은 경우 기여가 제로(0)라고도 함.  
이와 같이 A는 B로부터의 기여가 제로, 그리고 B는 A로부터의 기여가 제로인 경우 A와 B는 서로 직교한다고 함.
- \* 2수준계의  $L_{2^m}(2^{2^m-1})$  과 3수준계의  $L_{3^m}(3^{(3^m-1)/2})$  형 직교배열표를 표준형이라고 함.  
2수준계로는  $L_4(2^3)$ ,  $L_8(2^7)$ ,  $L_{16}(2^{15})$  등, 3수준계로는  $L_9(3^4)$ ,  $L_{27}(3^{13})$  등이 주로 사용됨.
- \* 다구치방법에서는 이들 표준형 직교배열표 뿐만 아니라 확대직교배열표, 혼합직교배열표, 응용직교배열표 등과 같은 특수형의 직교배열표로도 실험배치가 가능함.

**(1) 확대직교배열표**

- \* 교호작용을 모두 무시하고 많은 인자들만을 배치하여 실험할 수 있도록 만든 확대 직교배열표가 있음.
- \* 여기에서는 두 개의 열의 교호작용이 어느 특정한 열에 나타나지 않고 다른 열에 나누어 퍼져 있어서 교호작용을 배치할 수 없음.

〈표 14.7〉  $L_{12}(2^{11})$  확대직교배열표

실험 번호	열번호											데이터
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	
3	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	
4	0	1	0	1	1	0	1	1	0	0	1	
5	0	1	1	0	1	1	0	1	0	1	0	
6	0	1	1	1	0	1	1	0	1	0	0	
7	1	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0	
8	1	0	1	0	1	1	1	0	0	0	1	
9	1	0	0	1	1	1	0	1	1	0	0	
10	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	1	
11	1	1	0	1	0	1	0	0	0	1	1	
12	1	1	1	0	1	0	1	0	1	1	0	
배치												

- \* 대표적인 것으로  $L_{12}(2^{11})$ ,  $L_{27}(2^{22})$  등이 있음. 교호작용을 배치하려면 표준직교배열표를 사용해야 함.
- \* 이 중  $L_{12}(2^{11})$  확대직교배열표가 다구치기법에서 많이 사용됨.
- \* 11개 열이 서로 직교하고는 있으나, 어느 두 개 열의 교호작용이 다른 한 열에 나타나 있지 않고 나머지 9개 열에 조금씩 교락되어 있음. 따라서 교호작용을 배치할 수 없고, 그 변동도 직교배열표를 이용하여 구할 수도 없음.
- \* 확대직교배열표  $L_{12}(2^{11})$  은 12회 실험에 2수준의 인자를 11개까지 배치할 수 있는 장점을 가지고 있음.

**(2) 혼합직교배열표**

- \* 한 직교배열표상에 서로 다른 수준수를 가진 직교배열표를 혼합형이라 함.
- \* 대표적인 것으로  $L_{18}(2^1 \times 3^7)$ ,  $L_{32}(2^1 \times 4^9)$  등이 있으며, 교호작용은 구하지 않고 주인자만 배치하려는 경우에 사용됨.
- \* 이 중 다구치기법에서 많이 사용되는 직교배열표로  $L_{18}(2^1 \times 3^7)$  가 있음.
  - ① 3수준의 열들(열번호 2~8)간의 교호작용은  $L_{12}(2^{11})$  에서와 유사하게 3수준의 다른 열들에 고르게 나누어져 있음.

## 4. 파라미터설계 2014 등 총3회

### 4.1 파라미터설계와 SN비 1999

#### 4.1.1 파라미터설계의 주요 착안점 2016 등 총5회

\* 파라미터설계시 고려하여야 할 주요 착안사항으로서는 다음의 4가지를 꼽을 수 있음.  
이들 4가지는 그 중요도의 순서로 나열되었다고 보아도 좋을 것임.

##### ① 품질특성치의 산포를 줄여야 함(reduce variability).

- \* 제품의 성능변동이 잡음(noise)에 둔감하도록 설계변수의 최적조건을 구함. 즉, 잡음에 최소의 영향을 받는 생산 및 공정 조건의 설계로 품질의 안정성(robustness)을 도모함.
- \* 이때 산포의 특성치로 뒤에서 설명되는 신호대 잡음비(SN비)를 사용함.

##### ② 평균치 이동이 목표치에 접근하도록 함(approach to target value).

- \* 평균치  $\bar{y}$ 에 유의하게 영향을 주는 설계변수들을 선택하여 평균치가 목표치에 접근하도록 하는 설계변수들의 조건을 구하여 줌.
- \* 만약 산포를 최소화시키는 어떤 설계변수의 조건과 평균치를 목표치에 접근시키는 이 설계변수의 조건이 일치하지 않는 경우에는 산포를 최소화시키는 조건이 우선함.

##### ③ 비용을 최소화시켜야 함(least cost).

- \* 위의 ①, ②단계에서 최적수준이 결정되지 않은 인자의 수준은 비용을 작게 하는 수준을 선택함. 따라서 낮은 등급 또는 최소비용의 구성부품, 재료 또는 공정조건으로 제품이나 공정설계를 시도함.
- \* 예를 들어 만약 낮은 등급의 부품이 허용차를 만족시켜 주지 못한 경우에 허용차설계 단계에서 조사하여 부품을 선별적으로 고가품으로 대체시켜 줄 수 있음.

##### ④ 재현성이 있는 결과가 표출되었는지 확인함(confirm reproducibility).

- \* 위의 ①, ②, ③에서 얻은 설계변수의 조건들이 실험의 재현성이 있어야만 실질적인 가치가 있으므로, 확인실험을 실시하여 재현성이 있는가를 조사함.

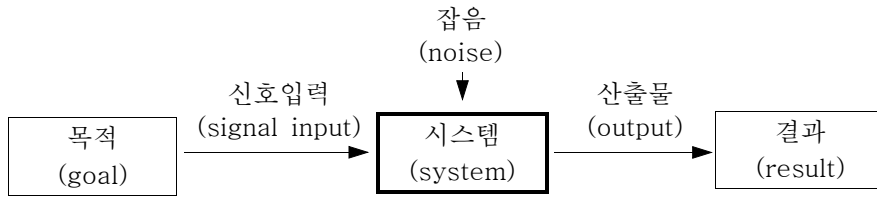
\* 위의 4가지 착안점에 대한 특기사항으로서 다음 사항에 유의함.

- ① 위의 4가지 착안점은 주로 망목특성의 경우에 해당함.
- ② 망소특성치인 경우는 ①과 ②를 합쳐서 SN비에 의해 설계변수의 조건을 선택하여 줌.  
이는 망소특성인 경우에 평균치  $\bar{y}$ 가 작아지면 작아질수록 산포를 작게 해주기 때문임.
- ③ 망대특성인 경우에도 그 역수를 취하면 망소특성과 동일하므로 ①과 ②단계를 합쳐 SN비만을 가지고 다루게 됨.

#### 4.1.2 SN비 2007 등 총3회

##### (1) SN비의 의미 2000

\* 통신공학에서 기능적인 품질특성을 다룰 때에 [그림 14.11]과 같이 신호입력과 잡음이 시스템의 산출물에 어느 정도의 영향을 주는가를 조사하게 됨.



[그림 14.11] 통신시스템의 기능 관계

\* 이때 목적을 수행하기 위하여 전달된 신호입력이 산출물의 품질수준에 영향을 주며, 시스템에 가해지는 잡음이 산출물의 품질에 변동을 초래하게 되어 결과에 대한 신뢰성을 떨어뜨리게 됨.

\* SN비는 “신호 대 잡음의 비율(signal-to-noise ratio)”을 의미하며, 다음 식으로 정의됨.

$$SN비 = \frac{\text{신호입력이 산출물에 전달된 힘}}{\text{잡음이 산출물에 전달된 힘}} = \frac{\text{신호의 힘 (power of signal)}}{\text{잡음의 힘 (power of noise)}} \quad (14.12)$$

\* 식 (14.12)의 SN비는 특성치 종류별로 달리 정의되는데, 이들에 대하여 살펴보기로 함.

\* 다구치 기법에서 사용하는 SN비는 문제에 따라 다양하게 정의되는 특징이 있음.

- ① SN비는 고유의 공식이 있는 것이 아님. ② 사용자가 정의하여 사용할 수 있음.
- ③ 좋은 SN비란 개선의 정도를 수치로 정확하고 눈에 보이게 만들 수 있으면 됨.
- ④ 지금까지 문제에 따라 정의된 SN비는 백여 개 이상 보고되어 있다고 함.

(2) 동특성 계량치의 SN비 2006 등 총2회

\* 자동차의 브레이크 성능을 실험할 때 속도에 따라 브레이크 성능이 변하는 경우가 동특성의 예가 됨. 동특성 SN비의 가장 기본은 제로점 비례식의 SN비임. 이는 입력이 0(M=0)일 때, 출력이 0(y=0)인 경우로, 기본 기능의 이상적 능력은  $y = \beta \cdot M$  으로 표시됨.

\* 동특성 계량치의 SN비 공식으로서 하나의 예를 들면 다음과 같음.

$$SN = 10 \log \left[ \frac{S_{\beta}}{r^* \times V_e} \right] \quad (14.13)$$

여기서,  $r^* = m_i \sum M_i^2$  : 유효반복수 (단,  $m_i$  는  $i$  수준의 반복수,  $M_i$  는 신호입력)

$S_{\beta} = \frac{1}{r^*} \left( \sum y_i M_i \right)^2$  : 회귀의 변동, 비례 항 (첨자  $\beta$  는 회귀계수)

$V_e = \frac{S_e}{k-1}$  : 오차에 의한 분산,  $S_T = \sum_i \sum_j y_{ij}^2$ ,  $S_e = S_T - S_{\beta}$

\* 6시그마 활동에 쓰이는 미니탭 통계패키지에서는 개선에 SN,  $\beta$  만을 사용함.

\* 동특성은 ① 제로점 비례식의 SN비, ② 기준점 비례식의 SN비, ③ 1차식 비례식의 SN비가 있음.



## (3) 정특성 계량치 망목특성의 SN비

\* 식 (14.12)의 비율을 실험 데이터로부터 추정할 때에 다구치는 다음 식으로 정의하였음.

$$\frac{\text{신호의 힘 (power of signal)}}{\text{잡음의 힘 (power of noise)}} = \frac{\text{목표치 } m^2 \text{의 추정치}}{\text{분산 } \sigma^2 \text{의 추정치}} \quad (14.14)$$

\* 만약  $n$ 개의 데이터  $y_1, y_2, \dots, y_n$ 이 얻어졌다면  $\sigma^2$ 의 추정값은 다음 식이 됨.

$$\hat{\sigma}^2 = s^2 \approx V = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n-1} \quad (14.15)$$

\*  $m^2$ 의 추정치는  $S_m = (y_1 + y_2 + \dots + y_n)^2 / n = (\sum y)^2 / n$ 인 경우에  $E(S_m) = \sigma^2 + nm^2$ 이 성립되므로,  $S_m = \hat{\sigma}^2 + n\hat{m}^2$ 이며, 다음 식이 됨(여기서,  $m$ 은 일반평균).

$$\hat{m}^2 = (S_m - V) / n \quad (14.16)$$

\* 따라서 식 (14.15)와 (14.16)을 식 (14.14)에 대입시켜서 다음 식을 얻음.

$$SN \text{ 비} = \frac{(S_m - V) / n}{V} \quad (14.17)$$

\* 그러나 실제 사용되는 SN비의 값은 통신공학에서와 같이 식 (14.17)의 SN비에 상용대수를 취하고 10을 곱하여 데시벨(decibel ; dB)의 단위로 나타낸 다음 식을 사용함.

$$SN = 10 \log \left[ \frac{(S_m - V) / n}{V} \right] \quad (14.18)$$

$$\text{여기서, } S_m = \frac{(\sum y)^2}{n}, \quad V = \sum (y_i - \bar{y})^2 / (n-1), \quad n : \text{data}(y_i) \text{의 수}$$

이 SN 값은 크면 클수록 신호의 힘이 크고 잡음의 힘이 작아지는 것으로, SN값을 가장 크게 하는 조건이 최적조건이 됨.

\* 그런데  $S_m = (\sum y)^2 / n = n(\bar{y})^2$ 이므로 식 (14.18)은 다음 식으로 쓸 수 있음.

$$SN = 10 \log \left( \frac{(\bar{y})^2 - V / n}{V} \right) \quad (14.19)$$

\*  $n$ 이 충분히 크면  $V/n$ 가 무시될 수 있을 정도로 작아지므로,  $V = s^2$ 으로 나타나는 경우에 다음 식을 사용할 수도 있음.

$$SN = 10 \log \left( \frac{(\bar{y})^2}{V} \right) \quad (14.20)$$

$$= 10 \log \left( \frac{(\bar{y})^2}{s^2} \right)$$

$$= 20 \log \left( \frac{\bar{y}}{s} \right) \quad (14.21)$$

여기서,  $\bar{y}/s$ 는 산포의 크기를 나타내는 하나의 척도가 되는 변동계수(CV ; coefficient of variation)의 역수임.

#### (4) 정특성 계량치 망소특성의 SN비 1996

\* 망소특성인 경우는 식 (14.14)에서 목표치  $m$ 이 0이므로,  $m^2$ 을 추정시에 식 (14.16)에 의할 경우  $\hat{m}^2 < 0$ 이 될 수도 있으므로, 상용대수가 사용되는 데시벨을 사용할 수 없음.

\* 이런 이유로 인하여 망소특성인 경우에는 식 (14.12)에서 정의되는 SN비의 개념을 직접 도입하여 사용하지 않고, 식 (14.9)에서 정의된 손실함수의 기대값은 다음 식을 최소화시키는 SN비를 생각하여 줌.

$$L = kE(y^2)$$

\* 반복 측정 데이터  $y_1, y_2, \dots, y_n$ 이 얻어진 경우에  $E(y^2)$ 의 추정값은 MSD로 볼 수 있음.

$$MSD = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - 0)^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \quad (14.22)$$

여기서, MSD는 0으로부터의 평균제곱편차(mean squared deviation)을 의미함.

\* 따라서 데시벨로 나타내는 SN비로  $10 \log(MSD)$ 로 사용할 수 있으나 망목특성인 경우와 같이 SN값을 크게 하는 것이 좋은 것으로 하기 위하여 다음 식을 망소특성인 경우의 SN비로 함. 이 SN의 값도 단위는 데시벨(dB)임.

$$SN = -10 \log \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \quad (14.23)$$

#### (5) 정특성 계량치 망대특성의 SN비 1996

\* 망소특성인 경우와 같이 기대손실  $L = kE(1/y^2)$ 을 작게 해 주기 위해서  $E(1/y^2)$ 의 추정값을

$$MSD = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left( \frac{1}{y_i} - 0 \right)^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \quad (14.24)$$

인 MSD를 사용하여 SN비를 다음 식과 같이 계산함.

$$SN = -10 \log \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right) \quad (14.25)$$

\* 이 SN비의 값은 크면 클수록 좋은 것이 됨.

여기서, MSD는 망대특성에서는  $1/y = 1/\infty = 0$ 이 목표치가 되므로  $1/y_i$ 들이 0으로부터 얼마나 벗어나 있는가를 나타내는 평균제곱편차에 해당함. 이 SN의 값도 단위는 데시벨(dB)임.

**참조** 망목특성인 경우의 SN비 계산공식

- \* SN비의 계산공식을 정의할 때에 망소특성과 망대특성인 경우에는 손실함수로부터 유도하여 식 (14.23)과 식 (14.25)를 얻었음.
- \* 그러나 망목특성인 경우는 손실함수에서 유도하지 않고 통신공학에서 사용하는 (신호의 힘)/(잡음의 힘)의 비를 추정하는 방법으로 유도하였음.
- \* 망목특성일 경우에도 손실함수로부터 유도하여 SN비를 다음 공식으로 정의하여 사용할 수도 있음.

$$SN = -10 \log \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - m)^2 \right) \quad (14.26)$$

- \* 이 계산공식은  $y_i$ 의 값들이 음수와 양수가 섞여 있거나  $y$ 의 평균이 0에 가까워서  $S_m \leq V$ 이 발생하여

$$SN = 10 \log \left( \frac{(S_m - V) / n}{V} \right) \quad (14.27)$$

의 공식을 사용할 수 없는 경우에는 이 공식이 바람직함.

- \* 위에서 얻은 결론을 비교하기 위하여 표로 나타내 보면 <표 14.13>을 얻을 수 있음.

<표 14.13>  $n$ 개 데이터가 있는 경우의 손실함수와 SN비

특성치 종류	$n$ 개 데이터가 얻어진 경우 개당 평균 손실함수	SN비
망목특성	$k_1 \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - m)^2 \right)$	$10 \log \left( \frac{(S_m - V) / n}{V} \right)$ 혹은 $20 \log \left( \frac{\bar{y}}{s} \right)$
망소특성	$k_1 \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right)$	$-10 \log \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right)$
망대특성	$k_2 \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right)$	$-10 \log \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right)$

단,  $k_1 = \frac{A}{\Delta^2}, k_2 = A\Delta^2$

**예제 14.1** 다음과 같이 5개의 반복측정값이 얻어 졌다고 하자.

32, 38, 36, 40, 37

망목특성치, 망소특성치, 망대특성치로 각각 생각하고 SN비를 구하여라.

**해설** 2018

(1) 망목특성치인 경우

$$SN = 10 \log \left( \frac{(S_m - V) / n}{V} \right) = 10 \log \left( \frac{(6,697.8 - 8.8) / 5}{8.8} \right) = 10 \log(152.02) = 21.81(\text{dB})$$

$$\text{여기서, } S_m = \frac{1}{n} \left( \sum_i y_i \right)^2 = \frac{1}{5} (32 + 38 + \dots + 37)^2 = 6,697.8$$

$$V = \frac{1}{n-1} \sum_i (y_i - \bar{y})^2 = \frac{1}{4} [(32 - 36.6)^2 + \dots + (37 - 36.6)^2] = 8.8$$

$$\text{단, } \bar{y} = \frac{1}{n} \sum_i y_i = \frac{1}{5} (32 + 38 + 36 + 40 + 37) = 36.6$$

한편 또 다른 식을 사용하여 계산해도 계산결과는 동일함.

$$SN = 20 \log \left( \frac{\bar{y}}{s} \right) = 20 \log \left( \frac{36.6}{\sqrt{8.8}} \right) = 20 \log(12.34) = 21.82(\text{dB})$$

(2) 망소특성치인 경우

$$SN = -10 \log \left( \frac{1}{n} \sum_i y_i^2 \right) = -10 \log \left( \frac{1}{5} (32^2 + \dots + 37^2) \right) = -10 \log(1,346.6) = -31.29(\text{dB})$$

(3) 망대특성치인 경우

$$SN = -10 \log \left( \frac{1}{n} \sum_i \frac{1}{y_i^2} \right) = -10 \log \left( \frac{1}{5} \left( \frac{1}{32^2} + \dots + \frac{1}{37^2} \right) \right) = -10 \log(0.001532) = 28.15(\text{dB})$$

## 4.2 파라미터설계의 특징 및 방법 2012 등 총5회

### 4.2.1 파라미터설계의 목적 2016

- \* 앞에서 설명된 바와 같이 제품설계 또는 공정설계를 위한 파라미터설계의 목적은 잡음의 영향 하에서도 성능특성치의 분산이 작고, 평균이 목표치에 근접하도록 하는 제어인자(설계 변수)의 조건을 찾는 것임.
- \* 제어인자의 최적조건에서도 특성치의 변동이 아직 만족할 만한 상태가 아닐 때에는 허용차 설계를 통하여 성능변동에 큰 영향을 주는 부품 등을 교환시키거나 기타 적절한 조치를 위하여 허용차를 줄여 주게 됨.

### 4.2.2 파라미터설계의 특징 및 구조 2015 등 총2회

- \* 파라미터설계는 일반적으로 다음의 몇 가지 중요한 특징을 가짐.
  - ① 주로 직교배열표를 이용하여 설계되며, 제어인자들의 한 실험조건(직교배열표의 한 행)에서 2개 이상의 측정치를 얻음.
    - \* 이처럼 반복 데이터를 얻는 것은 성능특성치에 대한 잡음(외부, 내부 또는 제품간의 잡음)이나 제어가 어려운 변량인자(블럭인자, 보조인자 등)의 영향을 파악하기 위함임.
    - \* 반복 측정치를 얻는 방법은 다음의 2가지가 있음.
      - ㉠ 비제어인자들을 있는 그대로 놔둔 상태에서 특성치를 반복하여 측정하는 것임.
      - ㉡ 비제어인자들의 수준을 정하여 이들 수준조합에서 성능특성치를 측정하는 것임.
    - \* 위의 실험은 2개 직교배열표가 교차되는 형태로 되며, <표 14.14>가 하나의 예가 됨.

\* 제어인자들로 이루어진 직교배열을 내측배열 또는 설계변수 행렬이라고 부르고, 비제어인자들로 이루어진 직교배열을 외측배열 또는 비제어인자 행렬이라고 부름.

② 분산분석시에 성능특성치  $y_{ij}$  ( $i$  번째 행의  $j$  번째 데이터)에 대하여 분석하지 않고  $y_{ij}$  들로부터 SN비를 계산하여 SN비를 새로운 특성치로 삼아 분석을 실시하는 것이 특징임.

\* 앞에서 살펴본 SN비의 정의와 같이 하여 SN비를 계산함.  $SN_i$  는  $i$  행의 SN비 값을 말하고,  $n$  은 각 행에서의 반복수임.

$$\textcircled{㉠} \text{ 망소특성인 경우 : } SN_i = -10 \log \left( \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n y_{ij}^2 \right) \quad (14.28)$$

$$\textcircled{㉡} \text{ 망대특성인 경우 : } SN_i = -10 \log \left( \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \frac{1}{y_{ij}^2} \right) \quad (14.29)$$

<표 14.14> 파라미터설계의 기본 구조

구분		내측배열 [ $L_8(2^7)$ ]						외측배열 [ $L_4(2^3)$ , 반복2회]									
요인배치		A	B	C	D	F	$e_1$	$e_2$	1	2	3	4	실험번호		수준		비제어인자배치
													열번호	실험번호	0	1	
인자이름									0	0	1	1	1				U
수준	0								0	1	0	1	2				V
	1								0	1	1	0	3				W
열번호		1	2	3	4	5	6	7	(품질특성 기재)				(SN비 공식기재)				
실험번호		1	2	3	4	5	6	7	$y_{11}$	$y_{12}$	$y_{13}$	$y_{14}$	$SN_1$				
		2	0	0	1	1	1	1	$y_{21}$	$y_{22}$	$y_{23}$	$y_{24}$	$SN_2$				
		3	0	1	1	0	0	1	1		$\vdots$			$\vdots$			
		4	0	1	1	1	1	0	0								
		5	1	0	1	0	1	0	1								
		6	1	0	1	1	0	1	0								
		7	1	1	0	0	1	1	0								
		8	1	1	0	1	0	0	1	$y_{81}$	$y_{82}$	$y_{83}$	$y_{84}$	$SN_8$			

$$\textcircled{㉢} \text{ 망목특성인 경우 : } SN_i = 10 \log \left( \frac{(S_{m(i)} - V_i) / n}{V_i} \right) \quad (14.30)$$

\* 또는 상기 식은  $S_{m(i)} = n(\bar{y})^2$  이므로, 다음과 같이 변형되어 사용되기도 함.

$$SN_i = 10 \log \left( \frac{\{n(\bar{y})^2 - V_i\} / n}{V_i} \right) = 10 \log \left( \frac{(\bar{y})^2 - V_i / n}{V_i} \right) = 10 \log \left( \frac{(\bar{y})^2}{V_i} \right)$$

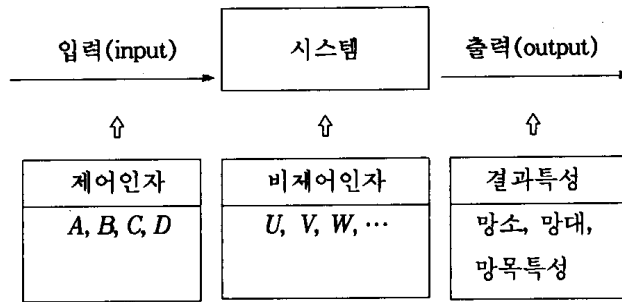
여기서,  $V_i = \sum_{j=1}^n (y_{ij} - \bar{y}_i)^2 / (n-1) = i$  번째 행의  $n$  개 데이터의 시료분산

$$S_{m(i)} = \left( \sum_{j=1}^n y_{ij} \right)^2 / n = i \text{ 번째 행의 } n \text{ 개 데이터의 수정합}$$

$$\bar{y}_i = \sum_{j=1}^n y_{ij} / n = i \text{ 번째 행의 } n \text{ 개 데이터의 평균}$$

③ 제품설계나 공정설계의 대상이 되는 시스템에 대하여 [그림 14.12]와 같은 “인자·특성 관계 그림”을 만들어, 특성치에 영향을 주리라고 예상되는 가능한 모든 제어인자를 포함시키고, 비제어인자로서 잡음인자, 신호인자 등을 배치하되 가능한 한 너무 많지 않게 배치함.

\* 비제어인자가 1개 또는 2개일 때에는 1원배치나 2원배치를 외측배열에 배치시키는 것이 좋으나, 3개 이상인 경우에는 <표 14.14>와 같이 직교배열을 배치하는 것이 좋음.



[그림 14.12] 인자·특성 관계 그림

#### 4.2.3 파라미터설계의 방법 2020 2회차

\* 설계의 구체적인 방법에 대해서는 다음과 같이 크게 두 가지로 나누어 생각할 수 있음.

##### (1) 망소특성과 망대특성에 대한 파라미터설계 방법

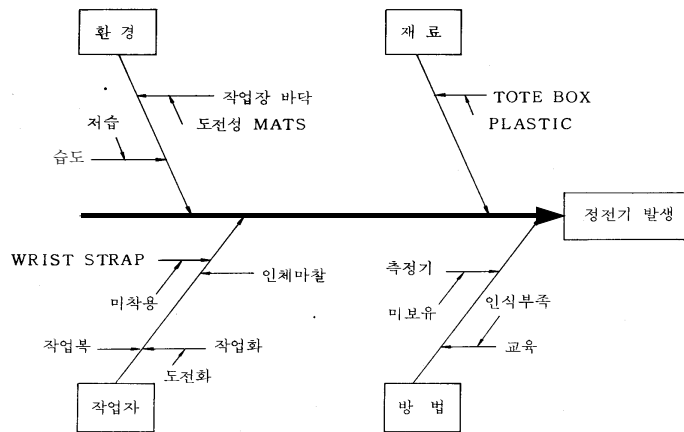
- ① 제어인자들로 이루어진 실험을 구성함.
  - \* 이때에는 주로 직교배열표가 사용되며, <표 14.14>에서와 같이 각 실험조건에서 반복 측정치가 있도록 함.
- ② 각 실험조건 of 반복측정치로부터 SN비를 계산함.
- ③ SN비에 대한 분산분석(또는 간이분석)을 통하여 SN비에 영향을 미치는 제어인자를 찾음.
- ④ 위의 ③에서 찾은 유의한 제어인자들의 최적수준은 SN비를 최대화 하는 수준조합이 됨.
  - \* SN비에 유의한 영향을 주지 못하는 제어인자는 경제성, 작업성 등을 고려하여 적절한 수준을 선택함.
- ⑤ 위의 ④에서 구한 최적수준조합에서 특성치의 모평균을 추정하여 보고, 확인실험을 실시하여 재현성이 있는가를 조사함.

##### (2) 망목특성에 대한 파라미터설계 방법 2008

- ① 위의 ①과 동일(제어인자들로 이루어진 실험 실시).
- ② 각 실험조건 of 반복측정치로부터 SN비를 계산함.
- ③ SN비에 대한 분산분석(또는 간이분석)을 통하여 SN비에 유의한 영향을 주는 제어인자를 찾아냄.
- ④ 각 실험조건에서의 평균  $\bar{y}_i$  들에 대한 분산분석(또는 간이분석) 등을 통하여  $\bar{y}$  에 영향을 주는 제어인자를 찾아냄.

**예제 14.2** 한 전자회사에서 효율적인 정전기 감소대책을 마련하기 위하여 망소특성에 대한 실험을 하였다. 본 실험의 목적으로서는 제조현장에서의 정전기발생으로 인한 직·간접적인 피해(부품 부적합 등이 발생)를 최소화하여 제조공정의 품질안정 및 제품신뢰성을 유지하기 위하여 정전기를 발생시키는 요인을 규명하여, 이 요인들에 대한 최적대책을 추구하기로 했다.

- \* 정전기 현상을 파악하기 위하여 실내온도  $23\pm 1^{\circ}\text{C}$ , 습도 45%의 표준적인 작업실에서 일반 근무복을 입고 일반 실내화를 착용한 근무자 인체에서 발생하는 정전기로 재어 보니, 보행시에는 평균 1300V가 발생하고, 작업의자에 앉아 있다가 일어날 때에는 평균 800V 정도가 발생하는 등 동작에 따라 200~1300V정도의 정전기가 발생하였다.
- \* 이 회사에서는 각종 반도체 및 전자부품의 품질에 영향을 주지 않기 위해서는 작업자의 어떤 동작 하에서도 발생하는 정전기가 200V이하로 유지되어야 한다고 생각하고 있다.
- \* 정전기 발생에 영향을 주리라고 믿어지는 요인에 대하여 브레인스토밍 방법에 의하여 조사한 결과 [그림 1]과 같은 특성요인도를 얻었다.



[그림 1] 정전기 발생 특성요인도

\* 이 특성요인도의 검토결과 다음과 같이 5개의 제어인자로 파라미터설계를 실시하기로 한다.

A (작업장 바닥)	$A_0$ =비닐타일	$A_1$ =도전성
B (작업화)	$B_0$ =일반화	$B_1$ =도전화
C (작업복)	$C_0$ =일반복	$C_1$ =제전복
D (작업대)	$D_0$ =도전성	$D_1$ =일반
F (wrist strap)	$F_0$ =착용	$F_1$ =미착용

\* 비제어인자로는 다음을 취해 주기로 하였다.

N (실내 습도)	$N_0$ =28%	$N_1$ =45%
M (작업자 동작)	$M_0$ =작은 동작	$M_1$ =큰 동작

\* 실험설계로서 [표 1]과 같이  $L_8(2^7)$ 에 제어인자를,  $L_4(2^3)$ 에 비제어인자를 배치하여 주고, 비제어인자들의 4개 수준조합에서 각각 2회씩 실험을 반복하여 정전기를 측정하여 데이터를 얻었다.

\* 이 실험은 망소특성 실험이므로 정전기를 최소화시키는 제어인자들의 조건을 찾고자 하는 것이 목적이다.

[표 1] 정전기 실험설계와 데이터

구분	내측배열 [ $L_8(2^7)$ ]							외측배열 [ $L_4(2^3)$ , 반복2회]								
인자 배치	A	B	C	D	F	$e_1$	$e_2$	1	2	3	4	실험/인자 번호	수준		비제어 인자 배치	
	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0		1			
인자 이름	작업장 바닥	작업화	작업복	작업대	ST RAP			0	0	1	1	1	28%	45%	N	
수준	0	비닐 타일	일반화	일반복	도전성	착용		0	1	0	1	2	소	대	M	
	1	도전성	도전화	대원복	일반	미착용		0	1	1	0	3			e	
실험/인자 번호	1	2	3	4	5	6	7	정전기 발생데이터(Volts) (망소특성)								$SN_i = -10 \log \left[ \frac{1}{8} \sum_{j=1}^4 y_{ij}^2 \right]$
	1	0	0	0	0	0	0	20	20	20	20	5	5	5	5	
2	0	0	0	1	1	1	1	700	800	1500	1700	300	350	1200	1000	$SN_2 = -60.47$
3	0	1	1	0	0	1	1	20	20	20	20	5	5	5	5	$SN_3 = -23.52$
4	0	1	1	1	1	0	0	400	450	600	650	300	350	500	550	$SN_4 = -53.78$
5	1	0	1	0	1	0	1	160	180	340	260	60	80	100	130	$SN_5 = -44.40$
6	1	0	1	1	0	1	0	10	10	10	10	5	5	5	5	$SN_6 = -17.96$
7	1	1	0	0	1	1	0	50	50	50	50	20	20	20	20	$SN_7 = -31.61$
8	1	1	0	1	0	0	1	5	5	5	5	5	5	5	5	$SN_8 = -13.98$
								합	2,900	5,160	1,520	3,560			$\sum SN_i = -268.99$	
								평균	181.25	322.50	95.00	222.50			$\overline{SN} = -33.62$	

[참조] [표 1]에서 평균 181.25는 2900/16=181.25,  $\overline{SN} = -33.62$  는  $-268.99/8=-33.62$

**해설**

(1) 간이분석 실시 : [표 2] 정전기 실험데이터의 간이분석법

인자		A	B	C	D	F			
		작업장바닥	작업화	작업복	작업대	STRAP			
수준합계	0	-161.04	-146.10	-129.33	-122.80	-78.73			
	1	-107.95	-123.89	-139.66	-146.19	-190.26			
차이(절대치로 표시)		53.09	22.2	10.33	23.29	111.53	합계=220.54		
기여율(%)		24.1	10.1	4.7	10.6	50.5	합계=100%		
파레토 그림	기여율 (%)	50.5	24.1	10.6	10.1	4.7	(기여율 기준의 파레토그림임)		
		요인	F	A	D	B	C		
		누적기여율	50.5	74.6	85.2	95.3	100.0		
		최적수준조합 (SN비를 크게 하는 것)	인자수준	A <sub>1</sub>	B <sub>1</sub>	C <sub>0</sub>	D <sub>0</sub>	F <sub>0</sub>	
		수준내용	작업장바닥 (도전성)	실내화 (도전화)	작업복 (일반복)	작업대 (도전성)	STRAP (착용)		
비고		정전기 전압차이에 관한 기여율 중에서 전체에서 95% 정도를 차지하는 F, A, D, B 인자에 대해서 최적조건을 F <sub>0</sub> A <sub>1</sub> D <sub>0</sub> B <sub>1</sub> 으로 정해 주고, 기여도가 작은 C 인자에 대해서는 작업성, 경제성 등을 고려하여 일반복(C <sub>0</sub> )으로 하여 주기로 함.							



- \* 정전기 실험설계 데이터 표의 데이터에 대한 분산분석을 실시하기 전에 간이분석을 실시.
- \* 이와 같은 간이분석은 최적수준조합을 간단히 알아볼 수도 있고, 변동계산을 위하여 인자의 수준별로 필요한 통계도 제공하여 주므로 유용한 분석방법임.

(2) 분산분석 실시

① 변동의 계산

- \* 유의한 요인의 도출을 위한 분산분석을 실시하여 통계적으로 고찰하여 보기로 함.
- \* 이하 2수준계 직교배열표와 유사한 방법으로 행함.

$$S_T = \sum_i SN_i^2 - \frac{(\sum SN_i)^2}{n}$$

$$= (-23.27)^2 + (-60.47)^2 + \dots + (-13.98)^2 - \frac{(-268.99)^2}{8} = 2,087.694$$

$$S_A = \frac{1}{8}(A_1 - A_0)^2 = \frac{1}{8}(-107.95 + 161.04)^2 = 352.319$$

여기서, 수준수가 2인 경우  $S_A = \frac{(A_1 - A_0)^2}{\text{전 데이터 수}}$  에 의거 계산됨.

$$S_B = \frac{1}{8}(B_1 - B_0)^2 = \frac{1}{8}(-123.89 + 146.10)^2 = 61.661$$

$$S_C = \frac{1}{8}(C_1 - C_0)^2 = \frac{1}{8}(-139.66 + 129.33)^2 = 13.339$$

$$S_D = \frac{1}{8}(D_1 - D_0)^2 = \frac{1}{8}(-146.19 + 122.80)^2 = 68.387$$

$$S_F = \frac{1}{8}(F_1 - F_0)^2 = \frac{1}{8}(-191.26 + 78.73)^2 = 1,554.868$$

$$S_E = S_T - (S_A + S_B + S_C + S_D + S_F) = 37.120$$

② 분산분석표 작성 및 F-검정

[표 3] 정전기 데이터의 분산분석표

요인	SS	DF	MS	$F_0$	$F_{0.95}$	$F_{0.99}$	기여율 $\rho(\%)$
A	352.319	1	352.319	20.95*	10.1	34.1	16.1
B	61.661	1	61.661	3.67	10.1	34.1	2.1
C	13.339	1	13.339	-	-	-	
D	68.387	1	68.387	4.07	10.1	34.1	2.5
F	1,554.868	1	1,554.868	92.44**	10.1	34.1	73.7
E	37.120	2	18.560				5.6
(E)	(50.459)	(3)	16.820				100.0
T	2,087.694	7					

[참조] ①  $F_0$ 의 20.95는  $352.319/18.560=20.95$

② 기여율  $\rho_A = (S_A - v_A V_{(E)}) / S_T = (352.319 - 16.820) / 2,087.694 = 0.161 (16.1\%)$

③ 풀링후 오차항은  $C + E = (E)$ 가 됨,  $S_{(E)} = S_C + S_E = 13.339 + 37.120 = 50.459$

- \* 분산분석 결과에서  $A, F$  인자만이  $\alpha=0.05$ 에서 유의하나,  $B, D$  인자의  $F_0$  값도 3이상으로 무시하기는 어려움( $F_0$  값이 2이상이면 약간의 유의성이 있다고 보아도 좋음).
- \* 따라서  $A, B, D, F$  인자에 대하여 최적조건을 찾아보면  $SN$  값을 크게 하는 수준이 좋으므로, 간이분석표에서  $A_1, B_1, D_0, F_0$ 를 구할 수 있음.  $C$  인자는 유의치 않아 풀링되었으므로,  $C$  인자에 대해서는 기타의 여건을 조사하여 정해 주면 됨.
- \* 분산분석을 통하여 얻은 결론은 간이분석에 의하여 얻은 결론과 동일함. 간이분석법에서는  $A, B, D, F$  인자의 누적기여율이 95.3%였고, 분산분석표에서는  $A, B, D, F$  인자의 기여율의 합이 94.4%로 대략적으로 유사한 결과를 주고 있음.

## (3) 분산분석후의 추정

- \* 유의한 인자의 최적수준조합에서  $SN$ 비를 추정하도록 함. 점추정치는 다음과 같이 됨.

$$\begin{aligned}\hat{\mu}(A_1B_1D_0F_0) &= \overbrace{\mu + a_1 + b_1 + d_0 + f_0} = \overbrace{\mu + a_1} + \overbrace{\mu + b_1} + \overbrace{\mu + d_0} + \overbrace{\mu + f_0} - 3\hat{\mu} \\ &= \bar{A}_1 + \bar{B}_1 + \bar{D}_0 + \bar{F}_0 - 3\bar{T} \\ &= \frac{-107.95}{4} + \frac{-123.89}{4} + \frac{-122.80}{4} + \frac{-78.73}{4} - 3 \times \frac{-268.99}{8} = -7.47 \text{ (dB)}\end{aligned}$$

- \* 95% 신뢰구간의 폭(정밀도)을 구하기 위해, 먼저 유효반복수  $n_e$ 를 구하면

$$\frac{1}{n_e} = \frac{1}{4} + \frac{1}{4} + \frac{1}{4} + \frac{1}{4} - 3 \times \frac{1}{8} = \frac{5}{8} \rightarrow n_e = 8/5$$

이므로, 신뢰구간의 폭은 다음과 같이 구해짐.

$$\beta = \pm t_{1-\alpha/2}(v_E) \sqrt{\frac{V_E}{n_e}} = \pm t_{0.975}(3) \sqrt{\frac{16.82}{8/5}} = \pm (3.182)(3.242) = \pm 10.42$$

- \* 이 조건에서  $SN$ 비의 신뢰율 95% 구간추정은 다음과 같이 행해짐.

$$\hat{\mu}(A_1B_1C_0D_0) = \hat{\mu}(A_1B_1C_0D_0) \pm t_{1-\alpha/2}(v_E) \sqrt{\frac{V_E}{n_e}} = -7.47 \pm 10.42$$

## (4) 최적수준조합에서 재현성의 확인실험

- \* 최적수준조합에서 재현성이 있는가를 보기 위하여 확인실험을 실시하기로 함.

8회 확인실험 결과로서의 정전기 데이터 : 5, 0, 0, 5, 0, 0, 5, 0

- \* 8회 반복데이터를 얻을 경우  $SN$ 비의 예측구간을 먼저 구하면, “확인실험시의  $SN$ 비의 예측구간 추정공식”을 적용하여 계산하면 다음 식과 같음(단, 확인실험회수  $n=8$ 회).

$$\begin{aligned}SN\text{비의 예측구간} &= -7.47 \pm (3.182) \sqrt{V_E \left( \frac{1}{n_e} + \frac{1}{8} \right)} \\ &= -7.47 \pm (3.182) \sqrt{16.82 \left( \frac{5}{8} + \frac{1}{8} \right)} = -7.47 \pm 11.30\end{aligned}$$

\* 이 데이터의 SN비는

$$SN = -10\log\left(\frac{1}{8}\sum y_i^2\right) = -10\log\left(\frac{(5)^2 + (0)^2 + \dots + (0)^2}{8}\right) = -10\log\left(\frac{75}{8}\right) = -9.72$$

으로서, 위의 95% 예측구간에 포함됨. 따라서 재현성이 충분히 있다고 판단됨.

(5) 결과의 정리

\* 실험설계 데이터 표에서 비제어인자  $N, M$ 에 대하여 살펴보면  $N_1(45\%)$ 이  $N_0(28\%)$ 보다 정전기가 적게 발생하고,  $M_0$ (작은 동작)이  $M_1$ (큰 동작)보다 정전기가 적게 발생함.

$$\therefore N_1 \text{ 수준합} - N_0 \text{ 수준합} = (1,520 + 3,560) - (2,900 + 5,160) \rightarrow N_1 \text{ 수준합이 작은 수치}$$

$$M_0 \text{ 수준합} - M_1 \text{ 수준합} = (1,520 + 2,900) - (3,560 + 5,160) \rightarrow M_0 \text{ 수준합이 작은 수치}$$

\* 동작에 대해서는 제어하기가 어려우나, 실내습도는 어느 정도 제어가 가능하므로, 습도는 40% 이상으로 유지하는 것이 좋다고 판단됨.

\* 실험결과 효율적인 정전기 감소대책으로 다음의 내용을 확정하여 실시하기로 하였음.

- ① 작업자는 wrist strap( $F_0$ )을 착용해서 확실하게 인체를 접지시킬 것
- ② 작업장 바닥은 도전성 재료( $A_1$ )를 사용할 것
- ③ 작업장의 습도는 40% 이상( $N_1$ )을 유지할 것
- ④ 실내화는 도전화( $B_1$ )로, 작업대는 도전성( $D_0$ )으로 하여 모든 물체는 접지시키는 것이 좋음.

4.2.5 계수치 데이터의 파라미터설계 (0, 1 데이터의 실험)

\* 실무에서는 특성치가 계수치로 나타나는 경우가 매우 흔함. 가장 간단한 예로서, 어떤 실험 조건에서 제품을  $n$ 개 만들어 품질검사를 실시한 결과  $i$ 번째 제품의 결과가

$$y_i = \begin{cases} 0 : \text{불합격품인 경우} \\ 1 : \text{합격품인 경우} \end{cases} \quad (14.31)$$

로 얻어진다고 봄. 이 경우는  $y_i$  값이 클수록 좋으므로 망대특성으로 볼 수 있음.

\* 이것은 조(組)가 2개인 계수분류치에 해당함. 이 제품의 합격률이  $p'$ 라고 한다면 베르누이 분포로부터 다음과 같이 정의됨.

$$E(y_i) = p'$$

$$Var(y_i) = p'(1 - p')$$

\* 이제  $n$  개 데이터  $y_1, y_2, \dots, y_n$ 이 얻어졌을 때, 이 시료의 합격률(편의상  $p$ 로 표기)은

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

이 되고, 일반평균변동( $S_m$ )은 다음 식으로 계산됨.

\* 식 (14.32)의 SN비를 사용하여 파라미터설계를 실시하고 실험하는 문제를 보기로 함.

**예제 14.3** PC(개인용 컴퓨터)의 개발단계에서 스위치를 켜올 때 화면이 착오없이 기능을 잘 발휘하도록 하는 신뢰도를 높이기 위하여 다음의 PC제어인자를 가지고 실험하고자 한다.

A(부품의 종류) :  $A_0$ =현재 사용하는 것,  $A_1$ =신제품 I,  $A_2$ =신제품 II

B(회로의 종류) :  $B_0$ =현재 사용하는 것,  $B_1$ =회로 M형,  $B_2$ =회로 N형

C(사용전력) :  $C_0$ =현재 사용전력의 -50%,  $C_1$ =현재사용전력,  $C_2$ =현재 사용전력의 +50%

D(방진방법) :  $D_0$ =현재방법,  $D_1$ =개선안 I,  $D_2$ =개선안 II

실험은 까다로운 사용조건을 만든 상태에서 100회 실험을 실시한 중에 올바르게 작동한 횟수를 세어 기록한 것이다. 실험조건은 다음의 [표 1]과 같이  $L_9(3^4)$ 형을 사용하였다.

[표 1] PC 신뢰성실험 데이터

인자배치	A	B	C	D	데이터	SN 비
열번호 실험번호	1	2	3	4	100회 중 작동한 횟수	$SN_i = -10\log(\frac{1}{p_i} - 1)$
1	0	0	0	0	57	1.224
2	0	1	1	1	94	11.950
3	0	2	2	2	60	1.761
4	1	0	1	2	58	1.402
5	1	1	2	0	98	16.902
6	1	2	0	1	60	1.761
7	2	0	2	1	83	6.886
8	2	1	0	2	88	8.653
9	2	2	1	0	72	2.126
합 계					660	52.665

\* 실험번호 1번에서는  $A_0B_0C_0D_0$  조건에서 100회 실험을 실시한 결과 작동이 양호한 것이 57회, 불량한 것이 43회로 1의 데이터가 57개, 0의 데이터가 43개가 있는 망대특성 결과이다.

\* 따라서 합격율  $p_1$  은  $p_1 = \frac{1\text{의 개수}}{\text{실험횟수}} = \frac{57}{100} = 0.57$

\* 그리고, SN의 값은  $SN_1 = -10\log(\frac{1}{p_1} - 1) = -10\log(\frac{1}{0.57} - 1) = 1.224$  로 계산된 것이다.

기타의 SN비도 동일한 방법으로 구한 것이다.

\* SN비의 값이 크면 클수록 합격률은 높은 것이며, SN비에 대하여 분산분석을 실시하여 유의한 인자들과 최적조건을 찾아 보아라.

**해설**

(1) 우선 인자 수준별로 SN비의 합을 구해 보면 다음 [표 2]와 같음.

[표 2] 인자 수준별 SN비의 합

인자 수준	A	B	C	D
0	14.935	9.512	11.638	20.252
1	20.065	37.505	15.478	20.597
2	17.665	5.648	25.549	11.816
합계	52.665	52.665	52.665	52.665

(2) 변동계산은 다음과 같이 구해짐.

$$CT = \frac{T^2}{n} = \frac{(52.665)^2}{9} = 308.178$$

$$S_A = \frac{1}{3}(A_0^2 + A_1^2 + A_2^2) - CT = \frac{1}{3}[(14.935)^2 + (20.065)^2 + (17.665)^2] - 308.178 = 4.392$$

[참조] 1/3에서 숫자 3은 A의 각 수준별 데이터수 3을 의미함(수준은 3수준임)

$$S_B = \frac{1}{3}[(9.152)^2 + (37.505)^2 + (5.648)^2] - 308.178 = 201.489$$

$$S_C = \frac{1}{3}[(11.638)^2 + (15.478)^2 + (25.549)^2] - 308.178 = 34.410$$

$$S_D = \frac{1}{3}[(20.252)^2 + (20.597)^2 + (11.816)^2] - 308.178 = 16.415$$

$$S_T = S_A + S_B + S_C + S_D = 4.392 + 201.489 + 34.410 + 16.415 = 256.779$$

(3) 분산분석표 작성 및  $F$ -검정

[표 3] PC 데이터의 분산분석표

요인	SS	DF	MS	$F_0$	$F_{0.95}$
A	4.392	2	-		
B	201.489	2	100.745	45.12*	19.0
C	34.410	2	17.205	7.70	19.0
D	16.415	2	8.208	3.68	19.0
(E)	(4.392)	(2)	(2.233)		
T	256.779	8			

(4) SN비의 최적조건 및 추정

\* 분석결과는 B 인자만이 유의하나 C 인자도 무시할 수 없을 정도로  $F_0$  값이 크기 때문에, B, C에 대한 최적조건을 구하여 보도록 함.

B, C 인자의 수준조합에서의 합으로부터  $B_1, C_2$ 가 최적조건이 됨.

\* SN비의 추정값은 A와 D인자에 대해서는 경제성과 작업성을 고려하여 현재 사용하고 있는  $A_0, D_0$ 을 쓸 경우에 최적수준조합은  $A_0B_1C_2D_0$ 이고, 이 조건에서의 SN비의 추정값은 다음과 같이 됨.

$$\hat{\mu} = \bar{A}_0 + \bar{B}_1 + \bar{C}_2 + \bar{D}_0 - 3\bar{T} = \frac{14.935}{3} + \frac{37.505}{3} + \frac{25.549}{3} + \frac{20.252}{3} - 3 \times \frac{52.665}{9} = 15.192(\text{dB})$$

\* 현재의 사용조건은  $A_0B_0C_1D_0$ 인데, 이 조건에서의 SN비의 추정값은 다음과 같음.

$$\hat{\mu} = \bar{A}_0 + \bar{B}_0 + \bar{C}_1 + \bar{D}_0 - 3\bar{T} = \frac{14.935}{3} + \frac{9.512}{3} + \frac{15.478}{3} + \frac{20.252}{3} - 3 \times \frac{52.665}{9} = 2.504(\text{dB})$$

(5) 결과의 정리

\* SN비의 증가는  $15.192 - 2.504 = 12.668$ 로서, 이 만큼 개선된 것임. 이와 같은 품질개선은 합격률로써 비교하여 보면 다음과 같음.

$$\text{현재품의 SN비} = -10\log\left(\frac{1}{p} - 1\right) = 2.054 \rightarrow p = 0.640$$

$$\text{개선품의 SN비} = -10\log\left(\frac{1}{p} - 1\right) = 15.192 \rightarrow p = 0.971$$

[참조] 오메가변환표  $\text{dB} = -10\log\left(\frac{1}{p} - 1\right)$ 로부터

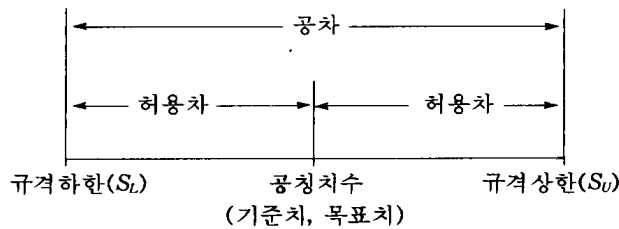
$$\text{dB} = 2.054 \rightarrow p = 64\%, \text{ dB} = 15.192 \rightarrow p = 97.1\%$$

\* 따라서 합격률이 64.0%에서 97.1%로 향상된 결과를 얻게 됨.

## 5. 허용차설계 2011

### 5.1 허용차의 결정

- \* 규격은 두 가지 요소, 즉 공칭치수(nominal size)와 허용차(tolerance)에 의하여 이루어짐.
- \* 공칭치수는 [그림 14.13]에서 보는 바와 같이 기준이 되는 치수를 말하고, 허용차는 기준치로부터 품질특성의 허용한계(tolerance limit)까지를 말함.



[그림 14.13] 규격과 허용차

- \* 예를 들어 규격이  $1.870 \pm 0.005\text{cm}$ 라고 할 때 치수의 품질특성의 허용한계는 1.865cm에서 1.875cm까지이고, 기준치는 1.870cm, 허용차는  $\pm 0.005\text{cm}$ , 공차는 0.01cm, 규격상한은 1.875cm이고, 규격하한은 1.865cm가 됨.
- \* 공차는 영어로 tolerance로서, 영어로는 허용차와 구분이 안되나, 한국산업규격(KS)에서는 이를 [그림 14.13]에서와 같이 엄격히 구분하고 있음.

\* 확인실험에서 얻은 내압강도의 평균  $\bar{y}=49.67$ 은 만족스러우나, 분산  $V_T=72.75$ 는 아직 크다고 판단되었음(결과치만 제시했음).

\* <표 14.23>에 제시된 기여율로부터  $B'$ ,  $C'$ 의 허용차를 각각 현재의 1/2과 1/3로 줄여주기로 하였음. 이 결과로 기대되는 분산은 다음과 같음(단,  $\rho_T = 100$ 으로 봄)

$$V_T' = \frac{V_T \times [\rho'_A + \rho'_B \times (\frac{1}{2})^2 + \rho'_C \times (\frac{1}{3})^2 + \rho'_D]}{\rho_T}$$

$$= 72.75[0.096 + 0.31 \times (1/2)^2 + 0.40 \times (1/3)^2 + 0.194] = 29.97$$

즉, 새로운 허용차 하에서 기대되는 내압강도  $y$ 의 분산은 대략 30정도가 됨.

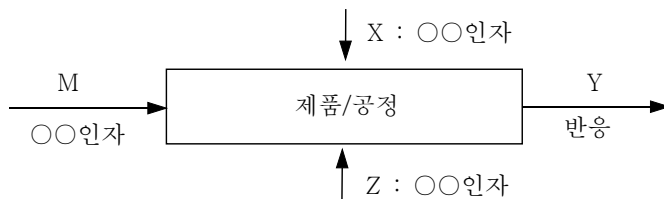
\* 이때  $B'$ 와  $C'$ 의 허용차를 이와 같이 줄여 주는데 대한 장비교체나 부품교체 비용을 고려하여야 하며, 또한 새로운 허용차 하에서 기대한  $y$ 의 분산을 근사적으로 얻을 수 있는지 확인 실험이 계획되어야 할 것임.

## 6. 기출문제 및 착안점

01 잡음(Noise)이란? (10점) (2000년 1차)

☞ 힌트 : 본문 『다구치 품질공학 특징 → 잡음의 종류』 해설 참조

02 제품의 품질 특성치는 인자와 잡음인자로 연관되어 있으며 이들은 복잡한 비선형 함수 형태를 갖는다. 이 인자가 제품에 미치는 영향과 특성에 대해 기술하시오. (25점) (2000년)



☞ 힌트 : 본문 『동특성과 정특성 → 제품 시스템 그림』, 『인자·특성 관계 그림』 해설 참조

03 다구치의 품질공학에서는 손실함수와 SN비의 개념을 도입하여 품질의 최적화를 추구한다. 오프라인(Off Line) QC와 온라인(On Line) QC로 구분하여 다구치 방법을 기술하시오.

(25점) (2000년 1차)

☞ 힌트 : 본문 『라인내 품질관리와 라인의 품질관리』 해설 참조

04 품질공학(Quality Engineering)에서 제품 및 공정 설계를 통한 품질개선 노력을 오프라인 품질관리(Off Line QC)라 한다. 제품 및 공정 설계의 3단계를 기술하시오. (2003년 1차)

☞ 힌트 : 본문 『설계의 단계와 품질공학』 해설 참조

(1) 상기실험 인자에 대하여 각 수준별 합계를 구한 결과는 아래와 같다. **D 인자와 H 인자의 수준별 합계**(①, ②, ③)를 구하시오.

인자명		A	B	C	D	F	G	e	H
		조집거리 (mm)	주파수	가스 유량	노즐 경	피크 출력	평균 출력 (W)	오차	용접 속도
열번호		1	2	3	4	5	6	7	8
수준	1	296.623	204.704	193.652	①	204.780	189.321	208.701	209.833
	2	310.664	196.117	199.545	194.452	194.179	216.939	199.114	②
	3	-	206.466	214.090	197.328	208.328	201.027	199.472	③
합계		607.287	607.287	607.287	607.287	607.287	607.287	607.287	607.287

(2) 전체요인 중 기술적인 의미인자는 **A, C, D, G, H** 이고, 나머지 실험인자는 오차에 폴링한 후 **H 인자의 ρ (기여율)** 값을 소수점 3자리로 구하시오.

L<sub>18</sub> 혼합직교배열표 분산분석표

요인	SS	DF	MS	F <sub>0</sub>	F 표 값	SS' (순변동)	ρ (%) 기여율
A	10.950	1	10.950	1.188	F <sub>0.90</sub> (1, 8) = 3.46 F <sub>0.90</sub> (2, 8) = 3.11 F <sub>0.95</sub> (2, 8) = 4.46	1.734	0.491
C	36.887	2	18.444	2.001		18.455	5.222
D	43.449	3	21.724	2.357		25.016	7.078
G							
H							
e (폴링)	73.730						
T	353.414	17					100

(3) 기술적으로 의미가 있는 인자 **A, C, D, G, H** 인자에 대한 **최적조합수준의 SN비에 대한 모평균을 신뢰수준 95%로 구간 추정**하시오(단, t<sub>0.025</sub>(6) = 3.143, t<sub>0.025</sub>(8) = 2.306 임.).

(4) 용접강도 Spec은 90kgf 이상이고, 규격을 벗어났을 때의 평균손실비용(A)이 1,000원일 때 **손실함수 L(y) 식**을 쓰고 계산하시오. (2010년도 2회차)

☞ 힌트 : 본문 『파라미터설계의 특징 및 방법』, 『혼합직교배열표』 해설 및 예제 참조 응용  
(2) H인자의 기여율 계산 → 5.6항 예제 참조

$$(4) L(y) = A \cdot \Delta^2 \left( \frac{1}{\mu^2} \right) \left( 1 + \frac{3\sigma^2}{\mu^2} \right)$$

32) 품질설계의 양산단계시 활용기법 중 **허용차설계(Tolerance Design)**의 개념과 목적을 설명하고, **허용차설계 절차**에 대하여 순서대로 설명하시오. (25점) (2011년 1회차)

☞ 힌트 : 본문 『허용차설계』 해설 참조



33) 망목특성 손실함수식을 이용하여 다구치기법의 강건설계 전략을 설명하시오. (10점)  
(2011년 2회차)

☞ 힌트 : 본문 『손실함수  $\rightarrow$   $y$  값이 망목특성의 경우』 해설 참조

[참고] 제14장 관련 2012년부터의 DOE 기출문제 풀이힌트는 제16장부터 별도로 제공됨.