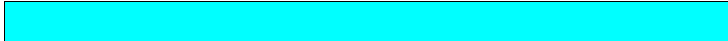


## 제 1 4 장

---

# 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
-

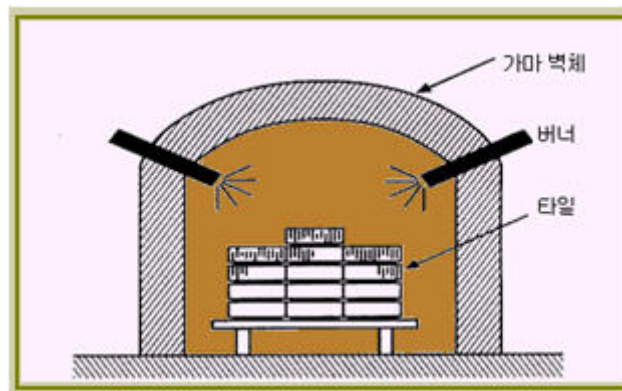
## 1. 다구치 품질공학

### 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 다구찌로 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.

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

- \* 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.

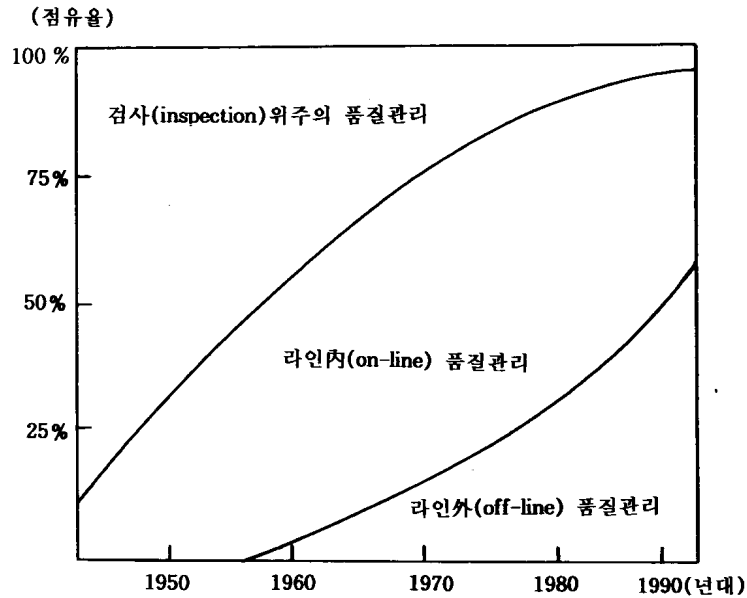
**(2) 손실함수(Loss Function)의 사용**

- \* 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

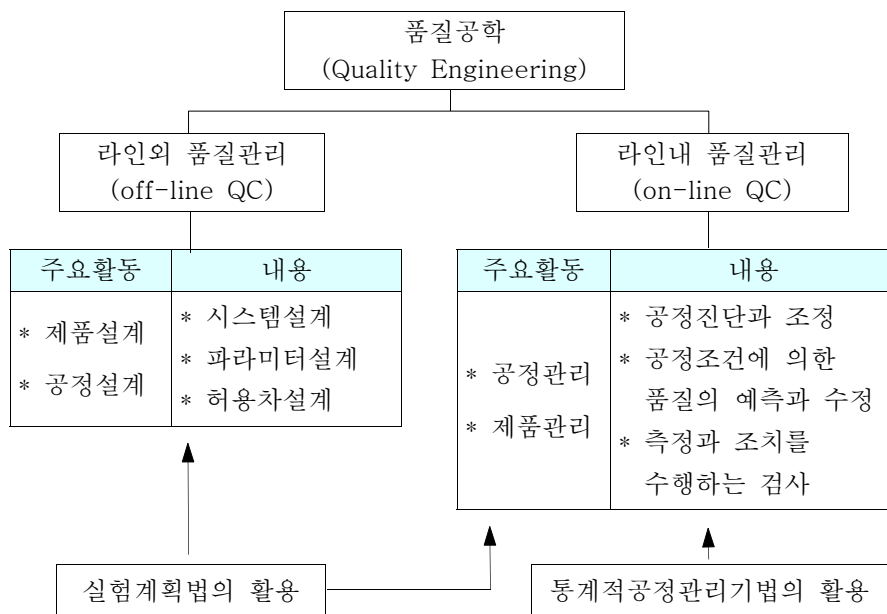
- \* 제조공정의 각 부분공정의 최적공정조건을 정하여 주고, 또한 구입하여야 할 적절한 원부자재, 부품 등도 정하여 줌.
- \* 이 설계에서는 각종 잡음의 영향 하에서도 공정능력이 높은 조건을 찾아 주는 것이 주요한 목적이 되며, 실험계획법이 흔히 사용됨.

(3) 허용차설계

- \* 공정조건외 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.

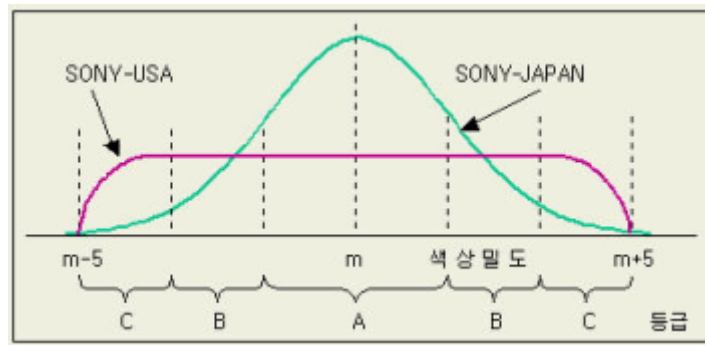


[그림 14.3] 품질공학의 개요

### 1.3 손실함수 2011 등 총7회

#### 1.3.1 품질손실함수의 개념

- \* 기존의 합격판정 기준은 주어진 규격내의 제품은 모두 합격으로 처리하였으나, 다구치는 품질손실함수를 제안하였음. 그가 제안한 제품의 양품은 목표치를 정확하게 만족하는 제품만 합격으로 인정하고, 나머지는 모두 부적합(불량)으로 처리하였음.
- \* 다구치 박사는 현대의 품질기준으로 볼 때 합격구간 내 제품에 대한 차별이 없어 실제 소비자의 취향을 반영하지 못한다고 주장하였음. 합격구간 내에서도 목표치에 가까운 정도에 따라 차별화되어야 하는 것이 적합하다고 제안하였음.



[그림 14.4] 일본과 미국 소니의 품질 비교

- \* 이에 대한 예로서, 1979년 4월 일본 아사히신문에 일본의 소니공장과 미국 캘리포니아주 샌디에고 소니공장의 컬러TV 품질비교가 게재된 바 있음. 이 경우 특성값은 컬러 농도에 대한 것이었음. 똑같은 제품이 같은 공정으로 일본과 미국에서 생산되었음.
- \* 일제 TV세트 특성값의 분포는 [그림 14.4]로 알 수 있듯이, 목표값을 중심으로 거의 정규 분포로 되어 있음. 일본 소니의 부적합품률은 0.27%임. 미국 공장에선 부적합품이 출하되지 않도록 제품 하나하나를 자동계측하여, 부적합품이 나온 순간 공정을 멈추고, 생산설비를 허용차 내에서 조정했음. 출하중의 부적합품은 0임. 일본의 부적합품 비율이 미국보다 더 높음.
- \* 미국 공장은 부적합품이 없는 데도 왜 일본 제품을 선호하는지 설명해 줄 수 없음. 다구치는 허용차를 벗어나면 불합격으로 처리하고, 허용차 안에 있으면 모두 양품으로 취급하는 것은 불합리하다고 지적했음.
- \* 다구치가 제시한 품질손실 함수로 각 제품별로 품질에 대하여 손실비용을 구하면 미국 소니는 200달러이고 일본 소니의 손실비용은 66.7달러였음. 손실금액으로 나타냈을 때, 미국이 일본에 비해 3배이상의 손실비용을 나타냈음. 품질손실비용으로 보면, 일본 제품을 선호하는 이유가 설명될 수 있음.

#### 1.3.2 손실함수의 공식

- \* 다구치는 품질을 합리적으로 평가하기 위해서 다음과 같은 손실함수를 제시했음.



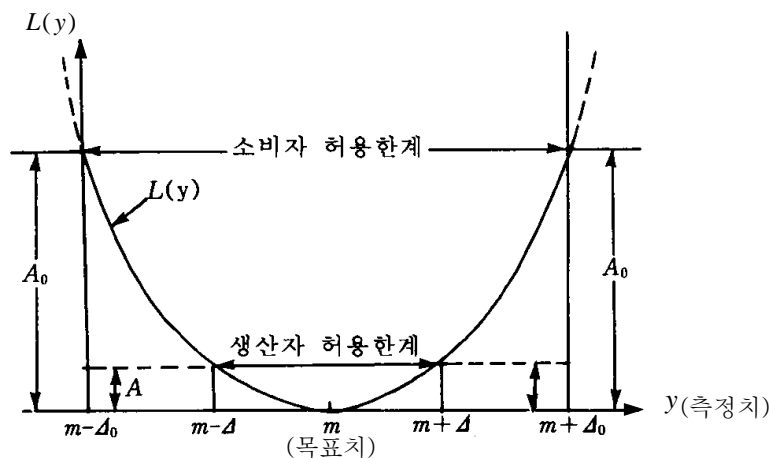
- \* 손실함수에서 사용되는 특성치  $y$ 는 금액으로 환산할 수 있는 제품의 결과임. 특성치  $y$ 의 목표값을  $m$ 이라 하면, 목표값  $m$ 에서 벗어났을 때의 경제적 손실을  $L(y)$ 로 표시함.  
특성값이  $y$ 인 제품이 출하되어, 설계수명동안 사용되었을 때 그 평균 손실이  $L(y)$ 가 됨.
- \* 일반소비자에게 팔리는 제품의 경우에는 그 제품을 구입한 전소비자를  $N$ 으로 함. 국내용 냉장고 경우라면  $N$ 은 국내 전세대수가 되고, 제품의 설계수명은  $T$ 년으로 표시함.  
예를 들어, 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 2021 등 총6회

- \* 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.

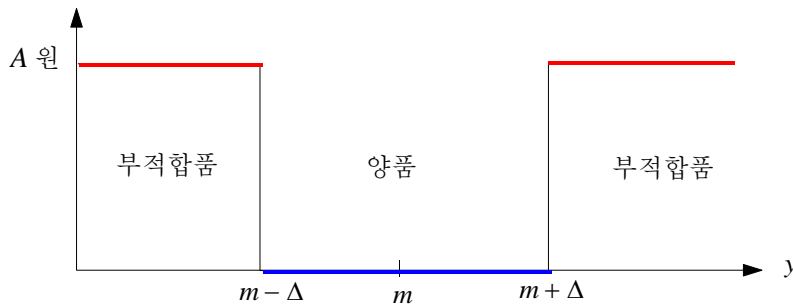
$$k = \frac{A}{\Delta^2} \quad (\text{여기서, } \Delta = y - m)$$

\* 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 2021 1회차

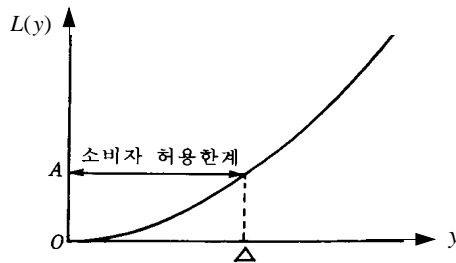
- \* 망소특성은 음수가 아니면서 작을수록 좋은 특성임. 자동차의 배기가스 같은 것은 작을수록 좋음. 망소특성인 경우는 아래 그림과 같이 특성치가 작을수록 좋은 경우로 목표치  $m=0$ 인 경우를 뜻함.
- \* 망소특성의 경우에는  $m=0$ 이므로, 식 (14.3)은 다음 식으로 주어짐.

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

- \*  $L(y)$ 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 2021 1회차

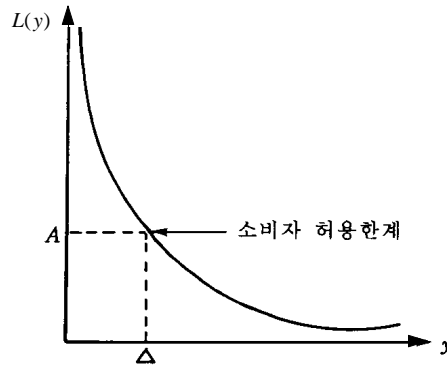
- \* 망대(望大)특성은 음수가 아니면서 클수록 좋은 특성임. 자동차의 안전도, 화학물질의 순도 같은 경우는 특성치가 높을수록 좋음.

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

\* 만약  $n$ 개의 특성치에 대하여  $y_1, y_2, \dots, y_n$  이 측정되어 평균과 분산

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n}, \quad V = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n - 1}$$

으로 계산될 수 있다면, 기대손실의 추정값은 이들  $\bar{y}$ 와  $V$ 의 함수로 얻을 수 있음.

### 1.4 제품·공정설계 단계의 실험계획법 2017

- \* 제품설계 및 공정설계는 품질공학의 핵심으로, 연구개발부서의 기술개발단계에서 품질규격을 설정하거나 최적생산조건 등을 결정하기 위하여 실시하는 것으로, 실험계획법은 주로 파라미터설계와 허용차설계로 이루어짐.
- \* 제품·공정 설계시의 다구치 실험계획법을 단계별로 나누어 보면 <표 14.3>과 같음.
- \* 실험계획법 순서로서 제1장의 “실험계획법의 순서”와 유사하나, 주요기법은 특징적인 면이 있음. 여기에서는 SN비 계산, SN비 분석, 허용차설계, 직교다항식 등이 활용됨.

<표 14.3> 제품·공정 파라미터설계 추진절차

단계	세부단계	활동항목	주요기법
Plan (계획)	1. 실험테마 선정	1) 대상제품 선정 2) 고객의 요구품질 선정	매트릭스도법 파레토도
	2. 선정동기 및 문헌 조사	1) 제품기능 설명 2) 기술문헌 자료 확보	제품도면 매트릭스도법
	3. 목적기능 혹은 특성치 선택	1) 대상제품 목적기능 확보 2) 고객요구특성 명확화	품질기능전개 SN비 계산법
	4. 관련인자 도출	1) 공정도 및 조립도면 검토 2) 품질기능과 원인추구표	QC/SPC 공정도 특성요인도
	5. 주요인자 구분 및 공정도 작성	1) 주요 설계변수 선정 2) 제어·잡음인자 도출	공정도 중회귀분석
	6. 실험인자 및 수준 수 결정	1) 실험인자 다수 결정 2) 실험수준수(2~4) 결정 3) 인자간 교호작용 선정	인자 및 수준수 선정표
Do (실시)	7. 실험배치 및 설계	1) 요인배치법(인자수가 적은 경우) 2) 직교배열표(인자수가 많은 경우) 3) 반복수 결정(정밀도·비용을 고려)	요인배치법 직교배열표
	8. 실험실시 준비	1) 예산승인 확보 2) 데이터시트 작성(5W1H)	5W1H법 데이터시트
	9. 실험실시	1) 실험실시기간(1~4주 이내) 2) 데이터의 수치변환	SN비
	10. 데이터분석	1) 망소·망대·망목의 SN비 2) 분산분석 및 최적조건 선정	SN비분석 분산분석표

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

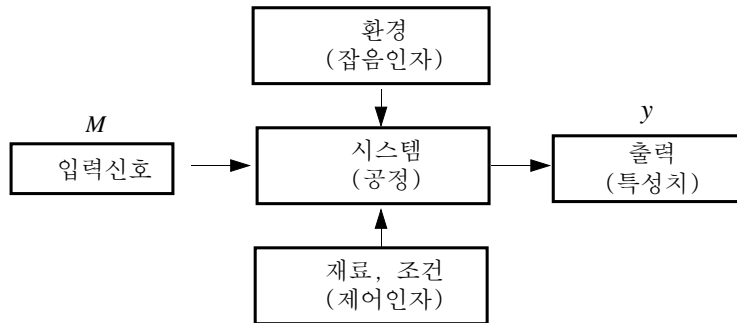
- \* 다구치 기법의 적용은 제품의 초기단계일수록 효과를 많이 볼 수 있음. 특성치 선정은 하류단계의 계수치 데이터보다 상류나 원류단계의 정적 계량치나 동적 특성이 효율적임. 하류단계의 계수치 데이터를 특성치로 잡으면 데이터 측정이 오래 걸리고 제어할 수 있는 제어인자가 적어 개선의 여지가 없음.
- \* 제품 단계별 품질특성은 <표 14.4>와 같이 정리될 수 있음.

<표 14.4> 제품 단계별 품질특성

적용단계	적용 실험	품질특성 명칭
원류	제품 기획단계에서의 실험	목적 기능의 기능성
상류	실험실에서 제품특성에 대한 실험	기본 기능의 기능성
중류	생산설비 설계시의 실험	기술특성
하류	완성품 생산에서의 실험	소비자 품질

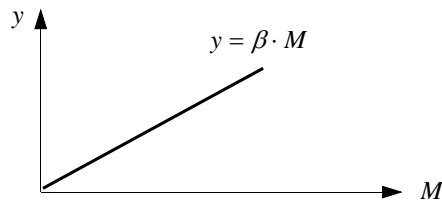
### 2.1.3 동특성과 정특성

- \* 기술의 기본은 원하는 제품(출력)을 얻기 위하여 재료(입력)를 투입하여 일정한 공정을 거쳐 (시스템) 제품을 만드는 과정에 있음. 이를 그림으로 그리면 다음과 같음.



[그림 14.9] 제품 시스템과 관련인자

- \* 우리는 출력에 관심이 있음. 출력값은 입력신호에 따라 변하는 것(동특성)을 원할 수도 있고, 입력신호에 관계없이 일정(정특성)할 수 있음.
- \* 동특성 예로서 자동차 브레이크가 있음. 성능이 좋은 것은 브레이크는 살짝 밟으면 살짝 브레이크가 잡히고, 세게 밟으면 세게 브레이크가 잡히는 것임. 브레이크를 밟는 것이 신호인자(M)임. 신호인자에 따라 브레이크가 잡히는 힘(계량치로 측정되는)이 특성치(y)가 됨. [그림 14.10]은 이상적인 경우를 보임. 입력에 따라 정확하게 출력이 나오는 경우가 됨.
- \* 정특성은 입력신호에 관계없이 일정한 출력이 나오는 것임. 위의 자동차 예로 유해 배기가스는 어느 조건 하에서든 조금 나올수록 좋음(정적 망소특성). 복사기가 만약 입력되는 원고농도에 관계없이 항상 읽기 좋은 농도로 나오게 한다면 이런 조건은 정적 망목특성이 됨.



[그림 14.10] 이상(理想) 기능

### 2.1.4 특성치의 분류와 평가

- \* 특성치 평가는 출력(결과)에 대한 측정임. 정확한 특성치 평가는 시스템의 목적을 만족하는 기본 기능을 찾아 입출력 관계를 정의하고 이에 맞는 특성치를 정의해야 함.
- \* 입출력 관계를 정의할 수 없는 경우는 정특성을 사용함. 입력·출력 관계가 명확하게 정의되면 동특성을 사용함. 다구치 박사는 정특성보다 동특성이 개선효과가 있음을 강조함.
- \* 다구치는 특성치를 선정할 때, 다음과 같이 3가지를 제안했음.
  - ① 특성치는 가능한 한 상류나 원류단계를 측정하라. 원류단계 특성치는 대개 동특성임.
  - ② 특성치는 기본 기능을 정확하게 측정할 수 있는 특성치를 선정함.
  - ③ 부적합품률 등 계수치 데이터는 가능한 한 특성치로 정하지 않음. 하류단계의 특성치는 대개 계수치를 가짐. 하류 단계에선 별로 개선할 것이 없음.
- \* 특성치는 분류하여 정리하면 다음 <표 14.5>와 같음.

<표 14.5> 특성치 분류

대분류	중분류	소분류	정의	사례
동특성	계량치	능동적	신호를 임의로 조정할 수 있는 경우	자동차 핸들 자동현금인출기
		수동적	신호를 조정하지 않는 경우	냉장고 자동온도 조절
정특성	계량치	망소	작을수록 좋은 것	유해 배기가스
		망대	클수록 좋은 것	강도, 신뢰성
		망목	목표치가 있는 것	규격 제품, 100g 치약
	계수치	망소	작을수록 좋은 것	부적합품률
		망대	클수록 좋은 것	양품률

## 2.2 인자 선정 1994

- \* 특성치가 결과 수치라면, 입력에 관련된 변수들은 인자라 함.
- \* 다구치 실험에 관련된 인자들은 크게 제어인자, 잡음인자, 신호인자, 오차인자로 구분됨.

### (1) 인자 선정

- \* 특성치(y)에 관련된 모든 인자를 찾음. 인자를 찾는 단계에서는 관련된 모든 사람들이 모여 브레인스토밍, 특성요인도 등의 기법을 이용함.
- \* 이 단계에 주의할 점은 인자들의 중요도를 고려하지는 않도록 함. 조금이라도 관련된 인자들은 모두 찾아 나열함. 가장 가까이 있는 전문가의 의견만 중시되면 새로운 개선은 기대할 것이 없음. 이미 그가 아는 개선은 많이 진행되었기 때문임.

### (2) 인자 분류 2019 등 총4회

- \* 인자들이 충분히 수집되었으면, 인자들을 분류하는 작업을 함. 분류작업은 관련자들이 모여 객관적인 증거를 갖고 분류함. 만약 객관적인 자료의 부족으로 평가할 수 없는 경우엔, 전문가들이 모여 합의할 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.

② 이 직교배열표는 2수준의 인자 1개와 3수준의 인자 7개 이하인 경우에 유용하게 사용할 수 있는 장점이 있음.

<표 14.8>  $L_{18}(2^1 \times 3^7)$  혼합직교배열표

실험 번호	열번호								데이터
	1	2	3	4	5	6	7	8	
1	0	0	0	0	0	0	0	0	
2	0	0	1	1	1	1	1	1	
3	0	0	2	2	2	2	2	2	
4	0	1	0	0	1	1	2	2	
5	0	1	1	1	2	2	0	0	
6	0	1	2	2	0	0	1	1	
7	0	2	0	1	0	2	1	2	
8	0	2	1	2	1	0	2	0	
9	0	2	2	0	2	1	0	1	
10	1	0	0	2	2	1	1	0	
11	1	0	1	0	0	2	2	1	
12	1	0	2	1	1	0	0	2	
13	1	1	0	1	2	0	2	1	
14	1	1	1	2	0	1	0	2	
15	1	1	2	0	1	2	1	0	
16	1	2	0	2	1	2	0	1	
17	1	2	1	0	2	0	1	2	
18	1	2	2	1	0	1	2	0	
배치									

(3) 응용직교배열표

\* 표준직교배열표에서 일부의 열을 합쳐서 다수준 작성법에 의하여 4수준, 8수준, 9수준 등의 열을 갖는 직교배열표를 만들 수 있음. 이처럼 표준형을 응용하여 만들어지는 직교배열표를 응용형이라고 부름.

<표 14.9>  $L_8(4^1 \times 2^4)$  응용직교배열표

실험번호	열번호 (괄호내 : 본래의 열번호)					데이터
	1 (1~3)	2 (4)	3 (5)	4 (6)	5 (7)	
1	0	0	0	0	0	
2	0	1	1	1	1	
3	1	0	0	0	1	
4	1	1	1	1	0	
5	2	0	0	1	0	
6	2	1	1	0	1	
7	3	0	0	1	1	
8	3	1	1	0	0	
배치						합계

\* 응용직교배열표의 예를 들면 다음과 같음.

① 2수준계 표준형에서 3개 열(기본표시  $a, b, ab$  인 열)을 합쳐 4수준의 1개 열을 만듦.

- ② 7개 열(기본표시가  $a, b, c, ab, ac, bc, abc$  인 열)을 합쳐서 8수준의 1개 열을 만들.
- ③ 3수준계 표준형에서는 4개 열(기본표시가  $a, b, ab, ab^2$  인 열)을 합쳐서 9수준의 1개 열을 만들.
- ④ 따라서 다음과 같은 응용직교배열표가 가능함.

$$L_8(4^1 \times 2^4), L_{16}(4^1 \times 2^{12}), L_{16}(4^2 \times 2^9), L_{16}(4^5), L_{32}(4^2 \times 2^{25}), L_{27}(9^1 \times 3^9) \text{ 등}$$

- \* 예를 들어  $L_8(4^1 \times 2^4)$  형은  $L_8(2^7)$  에서 1, 2, 3열(기본표시  $a, b, ab$ )을 합쳐서 4수준의 1개 열을 만들면 <표 14.9>가 됨. 이때 4수준을 정하는 방법은 <표 14.10>과 같음.

<표 14.10> 4수준을 정하는 방법

기본표시 $a$ 형	기본표시 $b$ 형	4수준 인자의 수준
0	0	0
0	1	1
1	0	2
1	1	3

### 3.2 내측배열

- \* 내측배열은 제어인자를 적당한 직교배열표를 이용하여 배치하는 것임. 제어인자가 결정되었을 때, 이에 필요한 직교배열표를 선정함. 예를 들어 제어인자수가 9개, 각 인자들의 수준수 2, 교호작용은 없을 때, 사용가능한 직교배열표는  $L_2(2^{11})$  이 됨.
- \* 직교배열표 선정은 ① 제어인자의 수, ② 제어인자의 수준수, ③ 교호작용의 존재 여부를 고려하여 적당한 직교배열표를 선정함.
- \* 다구치 기법에서는 기본적으로 교호작용은 무시함. 상류, 원류에서 교호작용을 고려하여 선정된 인자는 하류단계에서 잡음요소가 많기 때문에 재현성이 나쁘게 됨. 주효과만으로 개선하고 재현성이 확인되면 하류단계에서 재현성이 좋음. 하류에서 재현성을 보장하기 위해서는 교호작용을 할당하지 않는 것이 좋음.
- \* 교호작용을 구할 필요가 없는 경우에는 교호작용이 모든 인자에 분산되어 나타나게 하는 직교배열표를 선정함. 교호작용을 검출하려면 표준직교배열표가 적합함. 직교배열표에 배치되지 않은 열은 오차항이 되며, 측정오차, 실험시의 오차 정도를 파악할 수 있음.
- \* 다구치기법에서 많이 사용되는 직교배열표는  $L_{12}(2^{11}), L_{18}(2^1 \times 3^7)$  등이 있음. 이들 직교배열표는 실험인자를 많이 배치할 수 있으나 교호작용은 검출할 수 없음.
- \* 이 중 가장 많이 사용되는 직교배열표는 혼합직교배열표  $L_{18}(2^1 \times 3^7)$  임.

$L_{18}(2^1 \times 3^7)$  은 ① 인자를 많이 배열할 수 있고, ② 교호작용을 구할 필요가 없을 경우에 가능하고, ③ 재현성이 높음.

### 3.3 외측배열

\* 외측배열은 신호인자, 잡음인자 등의 조합으로 전체 실험의 반복수를 나타냄. 동특성에서는 신호인자와 잡음인자를 같이 고려하고, 정특성에서는 신호인자를 고려하지 않음.

\* 각 잡음인자별 수준 간격은 가능하면 크게 잡음. 수준 간격이 커야 결과에 반영되는지 정도를 쉽게 알 수 있기 때문임.

잡음인자가 하나이면 잡음인자 조건이 최선과 최악인 경우 2가지만으로 나누어 실험함. 잡음인자가 2개 이상이면, 각 잡음인자별로 최선과 최악을 구분하여 실험이 가능한 범위로 조건을 조합하여 실험함. 잡음인자가 2개 이상이고, 각 인자별 최선과 최악의 모든 조합에 대하여 실험하면 실험횟수가 너무 많음. 잡음인자가 3개라면 각 잡음인자별로 최선과 최악의 모든 경우의 조합인  $2^3 = 8$  회 반복실험을 해야 함.

\* 외측배열에서도 잡음인자가 많으면 직교배열표를 이용하여 배치함.

만약 잡음인자가 3개이고 각 인자별 2수준을 선정하면, <표 14.11>의  $L_4(2^3)$  직교배열표를 사용함. 예를 들어 잡음인자가 A, B, C, 각 잡음인자별 최적조건 0, 최악조건 1을 나타냄. 아래 직교배열표를 이용함.

<표 14.11>  $L_4(2^3)$  직교배열표

실험번호	잡음인자의 배치		
	A	B	C
1	0	0	0
2	0	1	1
3	1	0	1
4	1	1	0

\* 실험배치는 다음 <표 14.12>와 같이 함.

<표 14.12>  $L_4(2^3)$  직교배열표에서의 실험배치 방법

내측배열	외측배열				
	$L_4$				
$L_{18}(2^1 \times 3^7)$	A	0	0	1	1
	B	0	1	0	1
	C	0	1	1	0

\* 동특성에서 사용되는 신호인자의 수준수는 3개 이상 잡도록 하고 있음. 신호인자는 기본기능의 주요 점검 포인트를 포함함. 각 신호인자 수준별로 필요한 잡음인자를 배치함.

## 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.

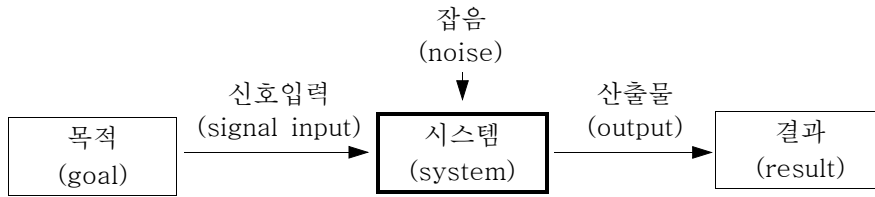
\* 위의 4가지 착안점에 대한 특기사항으로서 다음 사항에 유의함.

- 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 목표치로서 일반평균과 유사).

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

\* 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.

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

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.

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

**(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

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

인 MSD를 사용하여 SN비를 다음 식과 같이 계산함.

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

\* 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 열번호	수준		비제어인자배치
														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 실험번호		1	2	3	4	5	6	7	(품질특성 기재)				(SN비 공식기재)			
1		0	0	0	0	0	0	0	$y_{11}$	$y_{12}$	$y_{13}$	$y_{14}$	$SN_1$			
2		0	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.

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

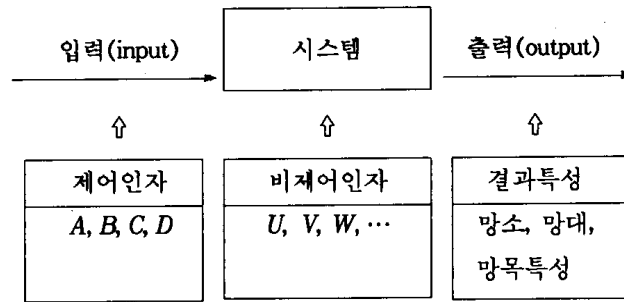
여기서,  $V_i = \sum_{j=1}^n (y_{ij} - \bar{y}_i)^2 / (n-1) = i$  번째 행의  $n$  개 데이터의 시료분산

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

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

- 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.

\* ③과 ④의 분석을 실시하여 다음과 같이 3가지로 제어인자를 분류할 수 있음.

㉠ 산포제어인자 : SN비에 유의한 영향을 주는 인자

㉡ 평균조정인자 :  $\bar{y}$ 에만 유의한 영향을 주는 인자

㉢ 기타 제어인자 : SN비나  $\bar{y}$ 에 유의한 영향을 주지 못하는 인자

\* 만약 하나의 제어인자가 SN비와  $\bar{y}$ 에 동시에 영향을 준다면 산포제어인자로 분류함.

⑤ 산포제어인자는 SN비를 최대한으로 하는 수준에 놓고,  $\bar{y}$ 가 목표치( $m$ )에 접근하도록 평균 조정인자의 수준을 조정함. 기타 제어인자에 대해서는 경제성, 작업성 등을 고려하여 적절한 수준을 선택함.

⑥ 위의 ⑤에서 구한 최적수준조합에서 특성치의 모평균을 추정하여 보고, 확인실험을 실시하여 재현성이 충분한가를 조사함.

\* 위의 ⑤에서 보는 바와 같이 인자의 최적수준을 선택할 때, 산포를 작게 해 주는 조건이 가장 우선하며, 그 다음으로 평균치를 목표치에 근접시키는 조건이 따르게 됨.

\* 이 원리는 파라미터설계에서는 비제어인자에 의한 산포를 최소화시키는 것이 가장 중요함을 말하여 주고 있으며, 따라서 파라미터설계를 로버스트설계(robust design, 강건설계)라고도 부름. 즉, 잡음이 특성 변동에 둔감(robust)하도록 하는 설계임.

\* 각 실험조건에서 취하여야 할 데이터의 개수에는 뚜렷이 정하여진 기준은 없음. 통계분석에서는 데이터가 많을수록 좋음. 그러나 시간이나 비용을 고려하여 대개 특성치의 종류에 따라 <표 14.15>와 같은 크기가 바람직함.

<표 14.15> 실험데이터의 개수

특성치의 종류	데이터의 개수(표본의 크기)
계량치인 경우	2~10
단순계수치나 다계수치인 경우	5~20
계수분류치인 경우	10~150

#### 4.2.4 개선 효과금액 파악방법

\* 다구치 기법에서 전체의 개선효과는 각 인자의 개별효과의 합으로 산출함. 이는 제어인자간의 교호작용을 무시하고 개선했기 때문임.

개선효과는 절대적인 효과로 나타내지 않고 현재조건과 비교한 상대적인 차이로 파악함.

\* SN비 개선이 얼마만큼 금액적으로 이익을 보는지 살펴보기로 함. SN비 개선은 제품손실비용에 직접적으로 효과가 있음.

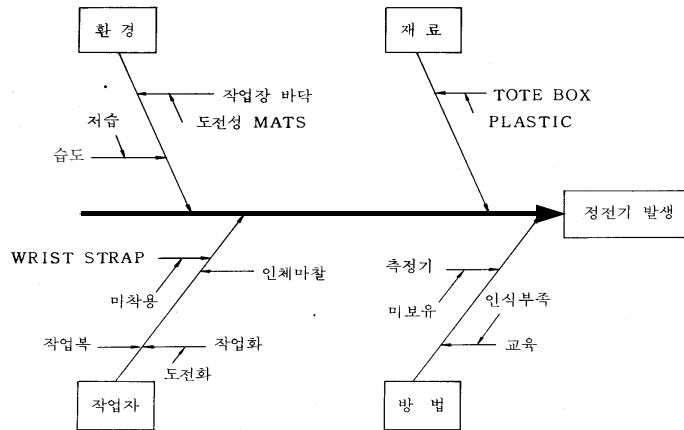
\* 개선 효과금액 파악은 예를 들면 최적조건일 때가 현재조건보다 SN비 값으로 1만큼 개선되었을 때 이를 금액으로 환산하면 약  $10^{0.1} = 1.25$  배만큼 손실금액이 감소되었다고 해석함.

\* 즉, 손실금액이 현재 10,000원이라면 최적조건에서의 손실금액은  $10,000/1.25=7,936$ 원이고,  $10,000-7,936=2,063$ 원만큼 감소하게 되었음. 이는 개당 금액이며, 연간 100만개 생산된다면 전체 절감된 손실금액은 20.63억원이 절감된 것이 됨.

\* 이 계산방식은 동특성, 망목특성, 망소특성, 망대특성 모두 같은 방식으로 적용될 수 있음.

**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 (%)	<p>(기여율 기준의 파레토그림임)</p>							
		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,  $S_{(E)} = S_C + S_E = 13.339 + 37.120 = 50.459$

\* 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.

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

\* 또한 총변동은 수정항(일반평균변동)을 빼지 않고 다음 식으로 정의하였음.

$$S_T = \sum_i y_i^2 = \sum_i y_i = np$$

\* 따라서 오차변동은 다음과 같음.

$$S_E = S_T - S_m = np - np^2 = np(1-p)$$

\* 이와 같은 0, 1 데이터에 대해서는 SN비를 다음 식으로 정의하여 사용함.

$$\begin{aligned} SN &= 10 \log \left( \frac{S_m / n}{V} \right) = 10 \log \left( \frac{S_m}{nV} \right) = 10 \log \left( \frac{S_m}{S_E} \right) = 10 \log \left( \frac{np^2}{np(1-p)} \right) = 10 \log \left( \frac{p}{1-p} \right) \\ &= -10 \log \left( \frac{1}{p} - 1 \right) \end{aligned} \quad (14.32)$$

\* 시료합격률  $p$  가 증가할수록 SN값은 커지며, SN값이 크면 클수록 좋음.

\* 한편 0, 1 데이터를 식 (14.31)과 같이 정의하지 않고 그 반대로 다음과 같이 하여 분석할 수도 있음.

$$y_i = \begin{cases} 0: \text{합격품인 경우} \\ 1: \text{불합격품인 경우} \end{cases} \quad (14.33)$$

\* 이 경우에는  $y_i$  값이 작은 것이 좋으므로 망소특성으로 생각하고, 다음의 SN공식을 사용하여 SN값을 최대화 하는 조건을 찾으면 됨.

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

\* 이 공식을 사용하게 되면 0, 1 데이터이므로 다음 식으로 정리됨.

$$SN = -10 \log \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) = -10 \log \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \right) = -10 \log(p) = 10 \log \left( \frac{1}{p} \right) \quad (14.34)$$

여기서  $p$  는 시료의 불합격률로서, 이  $p$  값이 작으면 작을수록 SN값은 커짐.

\* 식 (14.34)의 SN값을 구하려면 <부표 17> 데시벨(dB)표에서  $\text{dB} = 10 \log \eta$ 의 수치를 사용하여,  $1/p = \eta$ 로, dB를 SN으로 하여 구하면 됨.

\* 식 (14.31)과 (14.33)은  $y_i$ 에 대한 정의를 반대로 하여 출발하였고, 이에 따라 식 (14.32)와 (14.34)의 SN비 정의가 달라지지만, 이 SN값들을 최대화 하는 인자들의 최적조건은 동일하게 됨. 따라서 편의에 따라서 어느 것을 사용하여도 좋음.

\* 시료합격률  $p$ 에 대하여 SN값을 데시벨 dB로 나타내어 식 (14.32)의 관계를 수치화시킨 것이 <부표 16> 오메가변환표가 됨.

\* 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.

\* 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

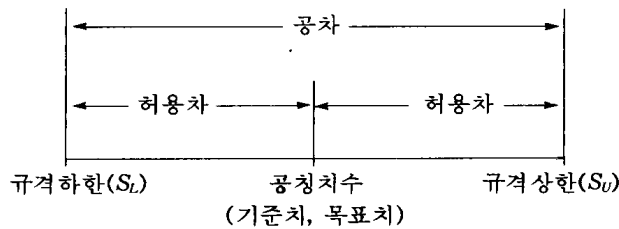
$$\text{dB} = 2.054 \rightarrow p = 64\%, \text{ dB} = 15.192 \rightarrow p = 97.1\%$$

\* 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.

## 5.2 망목특성과 허용차 및 안전설계 2012 등 총2회

- \* 허용한계에는 손실함수의 [그림 14.5] 망목특성의 손실함수에서 본 그림에서 보았듯이 생산자 허용한계와 소비자 허용한계가 있음.
- \* 기준치를  $m$ 이라고 쓸 경우에 생산자 허용한계를  $m \pm \Delta$  로, 소비자 허용한계를  $m \pm \Delta_0$  로 나타냄. 일반적으로  $\Delta < \Delta_0$  가 됨.
- \* 생산자 허용한계는 공장내에서의 생산자 규격이고, 소비자 허용한계는 소비자가 제품을 사용할 때에 제품이 기능을 벗어나는 한계임.
- \* 허용한계에 따라서 손실금액도 다음과 같이 나누어 나타냄.

$A_0$  = 소비자 허용한계  $m \pm \Delta_0$  를 벗어날 때의 손실로서

소비자 입장에서 제품이 기능부적합일 때의 평균손실금액

$A$  = 생산자 허용한계  $m \pm \Delta$  를 벗어날 때의 손실로서

생산자 입장에서 제품을 불합격처리할 때의 평균손실금액

- \* 안전설계는  $\Delta$  를  $\Delta_0$  보다 충분히 작게 잡아줌으로써 가능함. 기능한계  $\Delta_0$  와 기능을 다하지 못할 때의 손실을  $A_0$  라고 하면 손실함수는 망목특성  $y$  에 대하여 다음과 같음.

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

- \* 생산자 허용한계  $m \pm \Delta$  에서 손실금액이  $A$  이므로 다음의 관계가 성립함.

$$A = \frac{A_0}{\Delta_0^2} (m \pm \Delta - m)^2 = \frac{A_0}{\Delta_0^2} \cdot \Delta^2$$

- \* 상기 식을 달리 쓰면 다음과 같이 됨.

$$\Delta = \sqrt{\frac{A}{A_0}} \cdot \Delta_0 = \frac{\Delta_0}{\phi}$$

여기서,  $\phi$  를 안전계수라고 부르며, 다음으로 정의됨.

$$\phi = \sqrt{\frac{A_0}{A}} = \sqrt{\frac{\text{기능한계를 벗어났을 때의 소비자의 손실}}{\text{공장규격을 벗어났을 때의 공장의 손실}}}$$

- \* 생산자 허용한계를 결정하는 예를 들어 보기로 함.

- ① 모니터용 전원회로에서 출력전압의 기능한계는  $\pm 20\%$ 이며, 시장에서 기능한계를 벗어났을 때의 사회적 손실(수리비용과 수리중 모니터를 사용하지 못하는 경우에서 오는 손실의 합계)  $A_0$  는 50,000원이 됨.
- ② 공장에서 규격을 벗어난 전원회로는 회로중의 저항값을 바꾸어 줌으로써 수리가 가능하다고 함. 이 경우에 인건비와 저항값을 바꾸어 주는 비용의 합이  $A$  가 되며, 이 값은 2,000원이 됨.

③ 안전계수와 공장규격의  $\Delta$  값을 구해보면 다음과 같음.

$$\text{안전계수 } \phi = \sqrt{\frac{A_0}{A}} = \sqrt{\frac{50,000}{2,000}} = 5.0, \text{ 공장규격 } \Delta = \frac{\Delta_0}{\phi} = \frac{20\%}{5.0} = 4.0\%$$

④ 120V가 목표인 경우 공장규격  $\Delta$ 는  $120 \pm 120 \times 0.04 = 120 \pm 4.8V$ 에서 4.8V로 작게 됨.  
 시장에서의 기능한계가  $120 \pm 120 \times 0.2 = 120 \pm 24V$ 인 것에 비해 보다 엄격한 규격이 됨.

### 5.3 망소 및 망대특성과 허용차

- \* 망소특성인 경우에는 망목특성에서  $m=0$ 으로 놓으면 망목특성에서 사용한 공식들을 모두 그대로 사용할 수 있음.
- \* 그러나 망대특성인 경우에는 손실함수가

$$L(y) = A_0 \Delta_0^2 \left( \frac{1}{y^2} \right)$$

이므로, 생산자 허용한계  $\Delta$ 에서 손실금액이  $A$ 이라면 다음 식이 됨.

$$A = A_0 \Delta_0^2 \left( \frac{1}{\Delta^2} \right)$$

따라서 안전계수를

$$\phi = \sqrt{\frac{A_0}{A}}$$

라고 하면, 공장규격  $\Delta$ 는 망대특성인 경우에는 다음과 같이 됨.

$$\Delta = \phi \Delta_0$$

- \* 예로서, 어떤 제품의 강도는 망대특성이고, 강도가 5,000kgf이하이면 기능한계를 벗어나며, 이때의 손실은 1m당  $A_0=150,000$ 원이 됨.
- 공장에서 이 제품을 강도부적합으로 하여 폐기처분할 때 공장손실은 1개당  $A=10,000$ 원임.
- 강도의 공장규격은 얼마이어야 하는가?

$$\text{이때의 안전계수는 } \phi = \sqrt{\frac{A_0}{A}} = \sqrt{\frac{150,000}{10,000}} = 3.87 \text{ 이고,}$$

$$\text{강도의 공장규격은 } \Delta = \phi \Delta_0 = 3.87 \times 5,000 = 19,350 \text{ kgf과 같이 됨.}$$

### 5.4 직교다항식에 의한 허용차설계

- \* 허용차설계에 직교다항식(orthogonal polynomials)이 흔히 사용되므로 우선 직교다항식에 대한 기본부터 알아볼 필요가 있음.
- \* 직교다항식의 개념과 직교다항식에 의한 회귀계수의 추정, 그리고 이해를 돕기 위한 활용 예제 등은 제7장 직교다항식을 참조하도록 함.

## 5.5 2원배치법과 허용차설계

- \* 허용차설계에 관련된 1원배치법, 2원배치법, 3원배치법 등의 요인배치법이 허용차 설계에 사용됨. 여기에서는 2원배치법을 사용하는 허용차설계를 예제를 통해 살펴보기로 함.

**예제 14.4** 한 전기제품의 회로상에서 100V의 전압과 50헤르츠(Hz)의 주파수상태에서 저항(resistance)  $R$  과 자체 인덕턴스  $L$  이 전류  $y$  에 주는 함수관계는 다음 식으로 알려져 있다.

$$y = \frac{100}{\sqrt{R^2 + (2\pi \times 50L)^2}}$$

여기서, 단위로서  $R$  은 옴(ohm),  $L$  은 헨리(henry), 전류  $y$  는 암페어(ampere)이다.

- \* 소비자의 사용조건에서 보면 이 회로에 대한 전류의 허용한계는  $10.0 \pm 4.0$  암페어이다. 만약 이 허용한계를 벗어나는 경우에 손실금액은 15,000원이다. 이 공장에서 일년에 20만개의 회로를 생산한다고 하자. 이 회로에는 2등급의 값 싼 저항부품과 자체인덕턴스 부품이 사용되는 관계로  $R$  과  $L$  의 기대값과 표준편차는 대략 다음과 같이 알려져 있다.

$$E(R) = 9.920, \sigma_R = 0.30$$

$$E(L) = 0.004, \sigma_L = 0.0008$$

- \*  $R$  과  $L$  이  $y$  에 주는 영향관계는 2원배치법으로 조사하여 보고,  $R$  과  $L$  의 허용차(tolerance)를 줄이기 위하여 1등급품을 사용할 필요가 있는지 없는지의 관계를 밝혀 보고 싶다.
- \* 사용환경 등을 계량값으로 설정시 오차인자( $K$ ) 조건은 다음 3수준이 합리적이다.

$$\begin{cases} K_1 = m - \sqrt{\frac{3}{2}} \times \sigma \\ K_2 = m \\ K_3 = m + \sqrt{\frac{3}{2}} \times \sigma \end{cases}$$

여기서,  $m$  : 오차인자  $K$  의 평균,  $\sigma$  : 오차인자  $K$  의 표준편차

- \*  $R, L$  을 각각  $A, B$  인자로 하고, 각각 3수준으로 하여 다음과 같이 조사하였다.

$$\begin{cases} A_1 = 9.920 - \sqrt{\frac{3}{2}} \times 0.30 = 9.552 \\ A_2 = 9.920 \\ A_3 = 9.920 + \sqrt{\frac{3}{2}} \times 0.30 = 10.288 \end{cases} \quad \begin{cases} B_1 = 0.004 - \sqrt{\frac{3}{2}} \times 0.0008 = 0.00302 \\ B_2 = 0.004 \\ B_3 = 0.004 + \sqrt{\frac{3}{2}} \times 0.0008 = 0.00498 \end{cases}$$

- \* 위의  $A_i B_j$  수준조합에서  $y_{ij}$  를 계산 후에 10암페어를 빼 주면 다음 [표 1]을 얻을 수 있다.



$$S_E = S_T - (S_{A(1)} + S_{A(2)} + S_{B(1)} + S_{B(2)})$$

$$= 0.8088 - (0.79935 + 0.00045 + 0.00882 + 0.00005) = 0.8088 - 0.80867 = 0.00013$$

(2) 위의 변동으로부터 분산분석표를 작성하여 보면 다음 [표 2]와 같음.

[표 2] 분산분석표

요인	SS	DF	MS
$A_{(1)}$	0.79935	1	0.79935
$A_{(2)}$	0.00045	1	0.00045
$B_{(1)}$	0.00882	1	0.00882
$B_{(2)}$	0.00005	1	0.00005
$E$	0.00013	4	0.0000325
$T$	0.8088	8	

(3) 데이터는 10을 뺀 편차 데이터이므로 망소특성(편차는 작을수록 좋음)이며, 이 경우의 손실금액은 다음과 같이 계산됨. **2019 2회차**

$$L = \frac{A}{\Delta^2} \cdot MSD = \frac{A}{\Delta^2} \cdot \frac{1}{n} \sum_i \sum_j y_{ij}^2 = \frac{15,000}{(4.0)^2} \cdot \frac{1}{9} (0.8092) = (937.5)(0.08991) = 84.3\text{원}$$

$$(\because L(y) = ky^2, k = \frac{A}{\Delta^2} \rightarrow L = \frac{A}{\Delta^2} MSD, \Delta = y - m \text{이고, 전류허용한계치가 } 10 \pm 4.0)$$

따라서, 1년에 20만개를 만든다면 연간손실금액은  $84.3 \times 200,000 = 16,860,000$ 원이 됨.

## 5.6 직교배열표에 의한 허용차설계

\* 신제품의 개발과정에서 이 제품의 내압강도(kgf/cm<sup>2</sup>)에 영향을 준다고 생각되는 4개의 설계변수를 취하여 내압강도를 강하게 하여 주는 공정조건을 설계하려 함.

\* 여기서는 직교배열표에 의한 허용차설계에 대해 사례를 통해 이해를 돕고자 함.

<표 14.16> 설계변수와 수준

설계변수	수준		
	0	1	2
$A$ (소성온도)	1200 <sup>0</sup> C	1300 <sup>0</sup> C	1400 <sup>0</sup> C
$B$ (소성시간)	2시간	3시간	4시간
$C$ (첨가제의 함량)	3%	4%	5%
$D$ (교반속도)	700RPM	800RPM	900RPM

\* 각각 설계변수에 하나의 잡음인자가 대응하며, 이 잡음인자는 실제 공정운용시 설계변수의 값이 명목치를 유지하지 못하고 변동하는 것을 나타내고 <표 14.17>에 허용차(%)로서 그 수준이 나타나 있음.

\* 이러한 상황 하에서 파라미터설계와 허용차설계를 위한 실험계획과 결과가 <표 14.18>에 나타나 있음.

<표 14.17> 잡음인자의 수준

잡음인자	수준(%)		
	0	1	2
A'	-1	0	+1
B'	-3	0	+3
C'	-8	0	+8
D'	-5	0	+5

\* 원 데이터가 망대특성이므로 SN비 계산은  $i$  번째 실험번호에 대하여 다음의 공식을 사용함.

$$SN_i = -10 \log \left( \frac{1}{9} \sum_{j=1}^9 \frac{1}{y_{ij}^2} \right)$$

\* 첫 번째 SN비의 값은 다음과 같이 구한 것임.

$$SN_1 = -10 \log \left( \frac{1}{9} \left( \frac{1}{(26)^2} + \frac{1}{(19)^2} + \dots + \frac{1}{(28)^2} \right) \right) = -10 \log(0.00134) = 28.73$$

\* 유사한 방법으로 구한 SN비의 값이 <표 14.18>에 실려 있음.

<표 14.18> 내압강도의 실험설계와 데이터

인자배치	A	B	C	D	原 데이터									SN비
인자이름	소성 온도	소성 시간	첨가제의 량	교반 속도	실험번호									인자배치
					1	2	3	4	5	6	7	8	9	
열 번호 실험 번호	1	2	3	4	0	0	0	1	1	1	2	2	2	A'
					0	1	2	0	1	2	0	1	2	B'
					0	1	2	1	2	0	2	0	1	C'
					0	1	2	2	0	1	1	2	0	D'
1	0	0	0	0	26	19	20	40	34	37	31	37	28	28.73
2	0	1	1	1	28	20	18	39	41	30	38	42	49	29.17
3	0	2	2	2	31	34	38	50	40	28	27	26	35	30.21
4	1	0	1	2	45	68	71	47	50	67	33	49	61	33.99
5	1	1	2	0	50	47	29	43	49	61	44	38	62	32.79
6	1	2	0	1	43	48	60	39	42	29	34	58	61	32.47
7	2	0	2	1	12	18	20	41	19	20	21	30	32	25.97
8	2	1	0	2	23	41	29	40	33	28	27	34	38	29.79
9	2	2	1	0	18	33	29	34	28	19	16	15	30	26.64

\* 이 SN비를 사용하여 수준별로 통계를 구하여 정리해 보면 <표 14.19>를 얻을 수 있음.

\* <표 14.20>의 분산분석결과  $A$ 와  $D$ 의 기여율이 각각 10% 이상이므로 유의한 인자로 판정하고, SN비를 최대화 하는  $A, D$ 의 수준을 <표 14.19>에서 찾아보니  $A_1D_2$ 이 됨.

$B$ 와  $C$ 인자에 대해서는 작업성이나 경제성을 고려하여  $B_0$ 나  $C_0$ 로 선택하여 주었음.

\* 따라서 최적조건은  $A_1B_0C_0D_2$ 이며, 이 조건에서 SN비의 추정값은 다음과 같이 계산됨.

$$\hat{\mu} = \bar{A}_1 + \bar{B}_0 + \bar{C}_0 + \bar{D}_2 - 3\bar{T} = 33.08 + 29.56 + 30.33 + 31.33 - 3 \times 29.97 = 34.39$$

\* 최적수준조합 조건에서 SN비의 모평균의 95% 신뢰구간은 다음 식으로 추정됨.

$$\hat{\mu}(A_1B_0C_0D_2) = 34.39 \pm t_{0.975}(\nu_e) \sqrt{\frac{V_e}{n_e}}$$

여기서, 유효반복수  $n_e$ 는  $\frac{1}{n_e} = \frac{1}{3} + \frac{1}{3} + \frac{1}{3} + \frac{1}{3} - 3 \times \frac{1}{9} = \frac{1}{3} \rightarrow n_e = 3$ 임.

\* 최적수준조합에서의 신뢰율 95% 신뢰구간 추정은 다음과 같음.

$$\hat{\mu}(A_1B_0C_0D_2) = 34.39 \pm t_{0.975}(4) \sqrt{\frac{V_e}{3}} = 34.39 \pm (2.776) \sqrt{\frac{0.605}{3}} = 34.39 \pm 1.25$$

\* 조건에서는 실험이 행해지지 않았으므로 확인실험을 1회 행하여 보도록 함.

이러한 확인실험의 SN비의 결과가 예측구간인 다음의 식

$$34.39 \pm (2.776) \sqrt{V_e \left( \frac{1}{n_e} + \frac{1}{n_{\text{회}}} \right)} = 34.39 \pm (2.776) \sqrt{0.605 \left( \frac{1}{3} + 1 \right)} = 34.39 \pm 2.49$$

의 구간속에 포함되어 있으면 실험의 재현성이 있다고 볼 수 있음.

\*  $A_1B_0C_0D_2$ 의 실험조건은  $A_1 = 1300^\circ\text{C}$ ,  $B_0 = 2$ 시간,  $C_0 = 3\%$ ,  $D_2 = 900\text{RPM}$ 이므로, 잡음인자의 수준은 <표 14.21>과 같이 결정됨.

<표 14.21> 잡음인자의 수준

잡음인자	수준		
	0	1	2
$A'$	1300-13 <sup>0</sup> C	1300 <sup>0</sup> C	1300+13 <sup>0</sup> C
$B'$	2시간-3.6분	2시간	2시간+3.6분
$C'$	3-0.24%	3%	3+0.24%
$D'$	900-45RPM	900RPM	900+45RPM

\* 이 잡음인자의 조건에서 확인실험 결과 <표 14.22>의 데이터를 얻었음.

\* <표 14.22>의 내압강도 데이터에 대한 SN비의 값은

$$SN = -10 \log \left( \frac{1}{10} \left\{ \frac{1}{(48)^2} + \frac{1}{(57)^2} + \dots + \frac{1}{(38)^2} \right\} \right) = 33.49$$

로 계산되며, 예측구간  $34.39 \pm 2.49$ 안에 들어가므로 재현성이 있음이 확인되었음.

\* <표 14.22>의 확인실험 데이터에 대하여 분산분석을 실시하여 보면 <표 14.23>과 같음.

&lt;표 14.22&gt; 확인실험 데이터

인자배치 실험번호	A'	B'	C'	D'	내압강도 데이터
1	0	0	0	0	48
2	0	1	1	1	57
3	0	2	2	2	52
4	1	0	1	2	34
5	1	1	2	0	56
6	1	2	0	1	49
7	2	0	2	1	58
8	2	1	0	2	55
9	2	2	1	0	38

\* 분산분석표 작성을 위한 변동 계산을 먼저 해 보도록 함.

$$CT = \frac{T^2}{9} = \frac{(447)^2}{9} = 22,201$$

$$S_T = \sum_i y_i^2 - \frac{(\sum y_i)^2}{n} = (48)^2 + (57)^2 + \dots + (38)^2 - 22,201 = 582.0$$

$$S_{A'} = \frac{1}{3}(A_0'^2 + A_1'^2 + A_2'^2) - CT = \frac{1}{3}[(157)^2 + (139)^2 + (151)^2] - 22,201 = 56.0$$

$$S_{B'} = \frac{1}{3}(B_0'^2 + B_1'^2 + B_2'^2) - CT = \frac{1}{3}[(140)^2 + (168)^2 + (139)^2] - 22,201 = 180.7$$

$$S_{C'} = \frac{1}{3}(C_0'^2 + C_1'^2 + C_2'^2) - CT = \frac{1}{3}[(152)^2 + (129)^2 + (166)^2] - 22,201 = 232.7$$

$$S_{D'} = \frac{1}{3}(D_0'^2 + D_1'^2 + D_2'^2) - CT = \frac{1}{3}[(142)^2 + (164)^2 + (141)^2] - 22,201 = 112.9$$

&lt;표 14.23&gt; 잡음인자의 분산분석표

요인	SS	DF	MS	$\rho(\%)$
A'	56.0	2	28.0	9.6
B'	180.7	2	90.35	31.0
C'	232.7	2	116.35	40.0
D'	112.6	2	56.30	19.4
T	582.0	8	72.75	100.0

[참조] 기여율 계산은 오차항을 생각하지 않았으므로 각 인자의 총변동으로 나누어 100을 곱하여 얻어진 것임.

$$\rho_{A'} = \frac{S_{A'}}{S_T} \times 100 = \frac{56.0}{582.0} \times 100 = 9.6(\%), \quad \rho_{B'} = \frac{S_{B'}}{S_T} \times 100 = \frac{180.7}{582.0} \times 100 = 31.0(\%)$$

- \* 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)

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

$$= 72.75 \times \frac{0.096 + 0.31 \times (1/2)^2 + 0.40 \times (1/3)^2 + 0.194}{1.00} = 29.97$$

[참고] 식의 분자에서  $\pm$ 허용차  $\rightarrow$  각각 1/2씩 감소  $\rightarrow \rho'_B \times (1/2)^2, \rho'_C \times (1/3)^2$

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

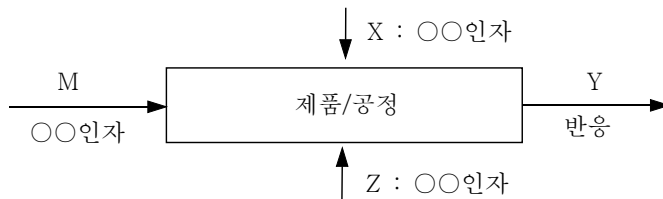
- \* 이때  $B'$ 와  $C'$ 의 허용차를 이와 같이 줄여 주는데 대한 장비교체나 부품교체 비용을 고려하여야 하며, 또한 새로운 허용차 하에서 기대한  $y$ 의 분산을 근사적으로 얻을 수 있는지 확인 실험이 계획되어야 할 것임.

## 6. 기출문제 및 착안점

**01** 잡음(Noise)이란? (10점) (2000년 1차)

☞ 힌트 : 본문 『다구치 품질공학 특징  $\rightarrow$  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  $\rightarrow$  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

11) 일반적으로 품질특성은 다음 3가지 형태로 구분됨. 다음의 품질특성에 관하여 설명하시오. (2005년 2회차)

- ① 망소특성 ② 망대특성 ③ 망목특성

☞ 힌트 : 본문 『손실함수 - 품질특성치의 분류』 해설 참조

12) 기존의 실험계획법과 다구찌기법의 가장 큰 차이점을 설명하시오. (2005년 2회차)

☞ 힌트 : 본문 『다구찌 품질관리 특징』 해설 참조

13) 어떤 수지(resin)를 생산하는 한 화학업체에서의 이 수지에 포함되는 불순물의 함량을 줄이기 위한 실험을 실시하고자 한다. 규격상한은 4.0%이고, 이 규격이 만족되지 않으면 10kg 당 50,000원의 손실이 발생한다.

이 불순물에 영향을 주리라고 예상되는 4가지 제어인자를 다음과 같이 주었다.

A(분드의 배합비) 3수준( $A_0, A_1, A_2$ ) B(분당방법) 3수준( $B_0, B_1, B_2$ )

C(표면처리방법) 3수준( $C_0, C_1, C_2$ ) D(열처리방법) 3수준( $D_0, D_1, D_2$ )

비제어인자로서

U(작업자) 2수준(비숙련공, 숙련공) V(수지 생산라인) 2수준

을 선택해 주고, 생산된 수지를 실험실에서 분석하여 불순물의 함량 %를 얻었다.

이 실험은 망소특성 실험임. SN비의 값을 구하시오. (2005년 2회차)

인자배치	A	B	C	D	불순물 함량 (%)				SN비
열번호	1	2	3	4	$U_0$		$U_1$		
실험번호					$V_0$	$V_1$	$V_0$	$V_1$	
1	0	0	0	0	680	552	227	375	
2	0	1	1	1	343	258	249	211	
3	0	2	2	2	217	250	157	198	
4	1	0	1	2	179	281	133	176	
5	1	1	2	0	198	238	257	200	
6	1	2	0	1	293	278	261	217	
7	2	0	2	1	243	218	170	156	
8	2	1	0	2	425	390	191	163	
9	2	2	1	0	405	328	150	212	

☞ 힌트 : 본문 『파라미터설계의 특징 및 방법』 해설 및 예제 참조

14) 품질공학의 특징을 5가지 이상 나열하시오. (2005년 2회차)

☞ 힌트 : 본문 『다구찌 품질관리 특징』 해설 참조

15) 품질공학에서 정특성과 동특성의 개요를 쓰고 차이점을 설명하시오. (2006년 2회차)

☞ 힌트 : 본문 『정특성과 동특성』 해설 참조

16 Robustness 개념을 간략히 설명하시오. (2006년 2회차)

힌트 : 본문 『파라미터설계의 방법 → 로버스트 설계』 해설 참조

17 오토바이 엔진의 자동점화시스템에서는 현재 25KV의 고전압을 이용하여 불꽃을 튀게 하여 엔진을 점화하고 있다. 전압이 15KV로 떨어졌을 때에는 불꽃이 튀지 않아 엔진이 점화되지 않는다. ( $\Delta_0=15KV$ ). 이때 운전자의 사회적 손실  $A_0$ 은 15,000원이다. 제조회사의 제품 하한규격( $\Delta$ )을 구하시오(제조회사의 손실비용  $A=8,000$ 원).

다음에 제시되는 손실함수식에서 알맞은 식을 이용하시오. (2006년 2회차)

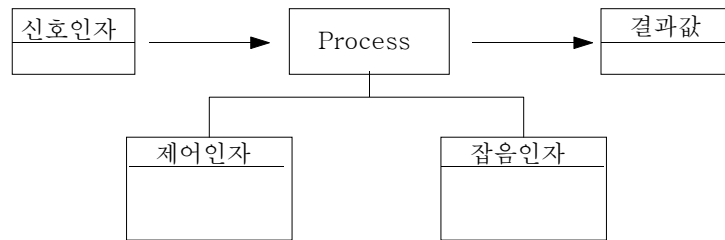
망대특성 :  $L(y) = y^{-2}$     망소특성 :  $L(y) = ky^2$     망목특성 :  $L(y) = k(y - m)^2$

힌트 : 본문 『허용차설계→망목특성과 허용차 및 안전설계』 해설 참조 응용

18 동박을 생산하는 공장에서 신설비를 도입하여 호일 두께( $y$ )에 대해 최적운전조건을 설정하는데 영향을 주는 원인변수 중 제어인자는  $A$ (축매량),  $B$ (용해온도),  $C$ (속도),  $D$ (Cu성분),  $F$ (이송량),  $G$ (전류량), 신호인자는  $S$ (압하량), 잡음인자는  $N$ (외부온습도) 등이다.

표준직교표인  $L_8(2^7)$ 인 품질특성이 동특성으로 실험설계하고자 할 때 물음에 답하시오.

(1) 직교표 실험설계의 프로세스 맵핑을 하시오.



(2) 상기 실험설계를  $L_8(2^7)$  동특성 실험한 데이터이다. 물음에 답하시오.

인자명	A 축매량	B 온도	C 속도	D 성분	F 이송량	G 전류량	error	SN	$S_\beta$
1수준	3	500	2.5	0.5	180	18			
2수준	5	600	4.5	0.8	180	25			
	1	2	3	4	5	6	7		
1	1	1	1	1	1	1	1	1.97	11.64
2	1	1	1	2	2	2	2	-2.04	11.07
3	1	2	2	1	1	2	2	-2.06	11.09
4	1	2	2	2	2	1	1	-2.86	11.44
5	2	1	2	1	2	1	2	2.03	12.06
6	2	1	2	2	1	2	1	-0.31	11.90
7	2	2	1	1	2	2	1	-0.08	11.90
8	2	2	1	2	1	1	2	-2.22	12.78

① 산포(SN비)에 영향을 주는 인자를 빈칸에 계산표를 작성하고 우선순위를 분석하시오.

	A 축매량	B 온도	C 속도	D 성분	F 이송량	G 전류량
1수준	-4.99	1.64	-2.38		-2.62	-1.08
2수준	-0.58		-3.20	-7.43	-2.95	-4.49
텔 타	4.41		0.82		0.33	3.41
순 위						

② 전체인자의 최적조합수준을 구하고 SN비를 점추정하시오.

㉠ 최적수준기호와 수준값을 적으시오.

㉡ 최적조합수준의 점추정 식을 쓰고 구체적인 값을 기록하시오. (2006년 2회차)

☞ 힌트 : 본문 『과라미터설계 → 직교배열표 활용』 해설 및 예제 참조

19) 품질공학의 특징을 열거하고 각기 내용을 기술하시오. (2007년 1회차)

☞ 힌트 : 본문 『다구치 품질관리 특징』 해설 참조

20) 다구치 품질공학에서 On-Line QC와 Off-Line QC의 관계를 설명(도표 등을 활용)하고, 정적특성에서의 손실함수와 SN비에 대하여 산식과 의의를 설명하시오. (2007년 2회차)

☞ 본문 『라인내 품질관리와 라인의 품질관리』 및 『손실함수, SN비』 해설 참조

21) 품질비용(Q-Cost)과 품질공학에서 다루는 손실함수( $L(y)$ )와 관계를 간략하게 설명하시오. (2008년 1회차)

☞ 힌트 : 본문 『손실함수』 및 품질경영편 제12장 『품질코스트』의 해설 참조.

손실함수와 Q-Cost 중 F-Cost의 정의, 고유 특성, 연관성 등을 정리함

22) 동박을 생산하는 공장에서 신설비를 도입하여 호일 두께( $y$ )에 대해 최적인전조건을 설정하는데 영향을 주는 원인변수 중 제어인자는 A(축매량), B(용해온도), C(속도), D(Cu 성분), 교호작용은  $A \times B$ ,  $B \times D$ , 신호인자는 S(압하량), 잡음인자(N)는 외부온습도 등이다.

표준직교표인  $L_8(2^7)$ 인 품질특성이 망목특성으로 실험설계하고자 할 때 아래의 실험 데이터를 이용하여 다음 물음에 답하시오. (단, 소숫점 2자리까지 구하시오)

인자명	A		B	C		D	e	N		호일 두께 ( $\bar{y}$ )	호일 두께 (s)	망목 20log ( $\bar{y}/s$ )
	축매		온도	속도		성분	오차	외기온습도	외기온습도			
1수준	3		500	2.5		0.5		1수준	2수준			
2수준	5		600	4.5		0.8		60	95			
열번호	1	2	3	4	5	6	7	$y_1$	$y_2$			
1	1	1	1	1	1	1	1	2.51	2.65	2.58	0.10	28.32
2	1	1	1	2	2	2	2	1.98	2.58	2.28	0.42	14.61
3	1	2	2	1	1	2	2	3.23	3.98	3.61	0.53	16.65
4	1	2	2	2	2	1	1	3.19	4.23			
5	2	1	2	1	2	1	2	4.32	4.68	4.50	0.25	24.95



26) 브라운관 부품 중 포밍 마스크 곡률변화를 최소화하기 위하여 제어인자(A~H)를 다음과 같이 직교배열표  $L_8(2^7)$ 에 배치하고 잡음인자인 포밍횟수를 2수준으로 하여 곡률변화량을 측정한 실험 데이터임. 다음 각 물음에 답하시오.

요인		A	B	F	C	D	(1)	(2)	잡음인자		$\bar{y}$	SN비 (망소)
		D/QS 압력	온도	시간	쿠션 높이	셋팅 위치			$N_1$	$N_2$		
수 준		70	5	10	5	5						
열번호		1	2	3	4	5	6	7	곡률변화량			
1	0	0	0	0	0	0	0	0	15	16	15.5	(3)
2	0	0	0	1	1	1	1	1	12	21	16.5	-24.66
3	0	1	1	0	0	1	1	1	10	23	16.5	-24.98
4	0	1	1	1	1	1	0	0	14	16	15.0	(4)
5	1	0	1	0	1	0	1	1	13	21	17.0	-24.84
6	1	0	1	1	0	1	0	0	6	9	7.5	-17.67
7	1	1	0	0	1	1	0	0	8	10	9.0	-19.14
8	1	1	0	1	0	0	1	1	5	7	6.0	(5)
기본 표시		a	b	a b	c	a c	b c	a b c	합계		103	-174.32

- (1) 곡률변화량 특성에 대해 실험배치(1, 2)와 SN비값(3~5)을 구하시오.
- (2)  $C \times F$ 의 평균제곱합( $MS_{C \times F}$ )을 구하시오.
- (3) 다음 분석표를 이용하여 1~5를 채우시오.

요인	A	B	C	$C \times F$	오차	D	F
열번호	1	2	4	(1)	(2)	5	3
0	-96.99	-90.99	-92.77	(3)	(5)	-82.14	-83.29
1	-77.33	-83.34	-81.56	(4)	-86.4	-92.18	-91.03
차이	19.65	7.65	11.21	6.00	1.43	10.04	7.74
점유율	30.84	12.00	17.59	9.42	2.24	15.76	12.14

- (4) 최적조합수준을 선정하고 추정하시오.
- (5) 개당손실비용이 1000원이고 곡률변화량 규격이  $USL=10\mu m$ 일 때 손실비용  $L(y)$ 를 구하시오. (2009년도 2회차)

힌트 : 본문 『파라미터설계의 특징 및 방법』 해설 참조.  $MS=SS \div DF$

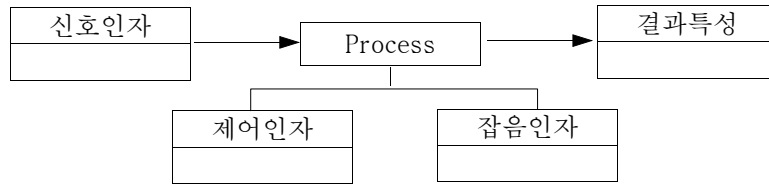
(2)항 : 제12장 「2수준계 직교배열표의 각 요인의 변동 산출식」 참조하여 구함.

27) 어떤 수지(resin)를 생산하는 D 화학업체에서는 이 수지에 포함되는 불순물의 함량을 줄이기 위해 다음의 조건으로 실험을 하고자 한다. 즉, 불순물에 영향을 줄 것으로 예상되는 제어인자 4가지를 다음과 같이 취했다.

A(본드의 배합비) 3수준( $A_0, A_1, A_2$ )    B(본딩방법) 3수준( $B_0, B_1, B_2$ )

C(표면처리방법) 3수준( $C_0, C_1, C_2$ )    D(열처리방법) 3수준( $D_0, D_1, D_2$ )

(1) 실험인자 구분 및 프로세스



(2) 합당한 직교배열표

☞ 힌트 : 본문 『파라미터설계의 특징 및 방법』, 『인자·특성 관계 그림』 해설 참조.

혼합직교배열표  $L_{18}(2^1 \times 3^7)$  형

29) 품질공학에서 제품 및 공정의 3단계 설계방법에 관하여 설명하시오. (10점)

(2011년 1회차)

☞ 힌트 : 본문 『설계의 단계와 품질공학 → 제품설계의 3단계, 공정설계의 3단계』 해설 참조

30) 품질손실함수의 개념과 품질손실함수의 종류를 3가지만 설명하시오. (25점)

(2011년 1회차)

☞ 힌트 : 본문 『손실함수』 해설 참조

31) 박판재 레이저로 용접하는 공정에서 신선투입을 도입하여 용접강도( $y$ )에 대해 최적운전 조건을 설정하는데 영향을 원인변수 중 제어인자는  $A$ (초점거리),  $B$ (주파수),  $C$ (가스유량),  $D$ (노즐경),  $F$ (피크출력),  $G$ (평균출력),  $H$ (용접속도), 잡음인자( $N$ )는  $P$ (초점위치),  $Q$ (판간격) 등임.  $L_{18}(2^1 \times 3^7)$  혼합직교표를 활용하여 품질특성이 망대특성인 것에 대해 실험 설계하고자 할 때 아래의 실험 데이터를 이용하여 다음 물음에 답하시오. (단, 소수점 3자리까지 구하시오.)

		A	B	C	D	F	G	e	H	잡음인자(위치/간격)				망대특성
		초점거리	주파수	가스유량	노즐경	피크출력	평균출력	오차	용접속도	$P_1$		$P_2$		SN비
수준	1	70	12	15	5	2.5	750		700	$Q_1$	$Q_2$	$Q_1$	$Q_2$	
	2	80	25	25	6	3.5	800		800	$y_1$	$y_2$	$y_1$	$y_2$	
	3		50	35	7	4.5	850		900					
열번호		1	2	3	4	5	6	7	8					
1		1	1	1	1	1	1	1	1	35	45	43	54	32.608
2		1	1	2	2	2	2	2	2	15	20	30	31	26.432
3		1	1	3	3	3	3	3	3	54	58	58	60	35.174
4		1	2	1	1	2	2	3	3	67	63	57	73	36.152
5		1	2	2	2	3	3	1	1	35	55	54	67	33.684
6		1	2	3	3	1	1	2	2	15	30	34	41	27.560
7		1	3	1	2	1	3	2	3	63	47	46	55	34.237
8		1	3	2	3	2	1	3	1	33	34	37	36	30.855
9		1	3	3	1	3	2	1	2	115	79	99	120	
10		2	1	1	3	3	2	2	1	81	93	71	108	38.600
11		2	1	2	1	1	3	3	2	57	42	59	64	34.541
12		2	1	3	2	2	1	1	3	60	84	67	103	37.349

13	2	2	1	2	3	1	3	2	10	40	21	47	24.767
14	2	2	2	3	1	2	1	3	57	101	84	96	37.851
15	2	2	3	1	2	3	2	1	55	75	61	70	36.103
16	2	3	1	3	2	3	1	2	20	25	23	26	27.288
17	2	3	2	1	3	1	2	3	56	67	64	75	
18	2	3	3	2	1	2	3	1	82	88	71	79	37.983
합계													607.287
평균													33.738

(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	
	초점 거리 (mm)		주파 수		가스 유량		노즐 경		피크 출력		평균 출력 (W)		오차		용접 속도	
열번호	1		2		3		4		5		6		7		8	
수준 합	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 풀링한 후 **H 인자의 ρ(기여율)** 값을 소수점 3자리로 구하시오.

$L_{18}$  혼합직교배열표 분산분석표

요인	SS	DF	MS	$F_0$	F 표 값	SS' (순변동)	ρ(%) 기여율
A	10.950	1	10.950	1.188	$F_{0.90}(1, 8) = 3.46$ $F_{0.90}(2, 8) = 3.11$ $F_{0.95}(2, 8) = 4.46$	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 (플링)	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,  $t_{0.025}(6) = 3.143$ ,  $t_{0.025}(8) = 2.306$  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 절차에 대하여 순서대로 설명하십시오. (25점) (2011년 1회차)

☞ 힌트 : 본문 『허용차설계』 해설 참조

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

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

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