

## 제12장 다구치 실험계획법

### 1. 다구치 품질공학

#### 1.1 다구치 품질공학 개념

##### 1.1.1 다구치 품질관리 정의

###### (1) 다구치 기법이란

- \* 다구치 기법은 일본의 다구치 겐이치(田口玄一)가 구현한 제품의 품질개선 기법이다.
- \* 다구치 기법은 제어 가능한 인자로 제어할 수 없는 잡음(환경) 인자에 강건한 설계, 영어로 로버스트 설계(robust design)를 하는 것으로 알려져 있다.

###### (2) 다구치의 품질·생산성에 대한 정의

- \* 다구치는 품질과 생산성을 다음과 같이 손실금액으로 정의하고 있다.

$$\text{품질} = (\text{기능산포에 의한 손실}) + (\text{폐해 항목에 의한 손실}) + (\text{사용비용})$$

$$\text{생산성(productivity)} = \text{품질} + \text{생산비용}$$

$$\text{여기서, 생산비용} = \text{재료비} + \text{가공비} + \text{관리비} + \text{공해환경비}$$

- \* 품질은 3가지 손실의 합으로 정의되었는데, 기능산포에 의한 손실은 성능특성치의 변동에 의한 손실을 의미하고, 폐해항목에 의한 손실은 부작용 등에 의하여 소비자가 받는 손실이고, 사용비용(operating cost)은 제품을 사용할 때 발생하는 비용(전기값, 물값 등)을 의미한다.
- \* 생산성은 품질과 생산비용의 합으로 정의되는데, 생산비용은 4가지 비용의 합으로 얻어진다. 여기서 가공비 속에 인건비가 포함되어 있고, 관리비는 주로 생산관리비용과 품질관리비용으로 구성된다. 공해환경비는 공해를 없애고 환경을 관리하는 데 소요되는 경비이다.
- \* 생산성을 증가시키려면 품질을 높이고 생산비용을 감소시켜야 한다. 품질향상은 주로 기능산포의 감소에 있고, 생산비용 절감은 주로 가공비의 감소에 의존하고 있으므로, 생산성 향상의 초점은 가공비를 가능한 범위 내에서 억제하면서 기능산포를 줄여 나가는 것이다. 즉, 품질향상은 생산성향상을 가져오는 것이다.
- \* 설계품질, 제조품질, 서비스의 품질 중에서 특히 설계단계에서의 품질을 중요시 하였다.
- \* 다구치는 품질불량이 발생되었을 때 금액으로 환산하는 품질손실함수를 제시하였다.

##### 1.1.2 다구치 품질관리 특징

- \* 종래의 전통적 품질관리 방법과 비교할 때 다구치의 품질관리 접근방식에는 여러 가지 독특한 면이 있다. 이러한 특성들은 품질공학의 바탕이 되며 다음의 6가지의 특성으로 요약된다.

###### (1) 설계단계의 중요성

- \* 전통적 품질관리에서의 품질은 제품의 성능특성치의 변동에 의하여 좌우된다고 보고 있다.

- \* 이 성능특성치의 변동에 가장 큰 영향을 주는 단계는 제품의 설계단계(제품설계와 공정설계)이며, 이 단계에서 가장 철저한 품질관리가 이루어져야 한다.

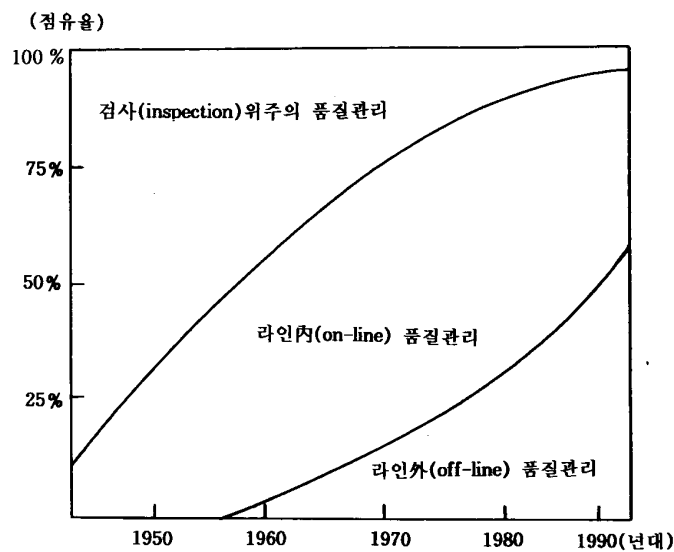
## (2) 손실함수(loss function)의 사용

- \* 제품특성의 목표치가  $m$ 이고, 제품의 실질 특성치가  $y$ 인 경우에 손실함수는 다음 식으로 정의된다.

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

여기서  $k$ 는 상수로서, 좋은 품질의 제품은 이 손실함수의 값을 작게 하는 것이다.

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



[그림 12.1] 품질관리의 발전추세

## (3) 잡음의 사용

- \* 제품성능의 변동에 영향을 주는 요인은, 원인을 찾으면 제어(control)가 가능한 설계변수와, 원인을 찾기 어렵고 제어가 용이하지 않은 잡음(noises)으로 나뉘어 진다.
- \* 잡음의 종류로 다음의 3가지가 있다.
  - ① 외부 잡음(external noise) : 외부 사용환경 조건의 변화에 의한 잡음
  - ② 내부 잡음(internal noise) : 사용하면서 발생하는 내부 마모나 열화에 의한 잡음
  - ③ 제품간 잡음(between-products noise) : 제품의 불완전 제조에 의하여 발생하는 제품간 성능특성치의 산포로 인한 잡음

## (4) 라인의 품질관리와 라인내 품질관리의 구분

- \* 제품성능의 변동이나 부작용을 최소화시켜서 사회에 끼치는 총손실을 최소화시키기 위하여 수행되는 설계나 개발부서의 품질관리 활동을 라인의 품질관리(off-line QC)라고 부른다.
- \* 품질관리의 발전추세로 볼 때 [그림 12.1]에서와 같이 라인의 품질관리가 최근에 더욱 강조되고 있다. 라인내 품질관리(on-line QC)는 생산라인에서의 품질관리 활동을 의미한다.

(5) 잡음제거의 기능

\* 라인외와 라인내의 품질관리 활동의 구분은 <표 12.1>과 같으며, 잡음제거의 대부분은 설계, 개발의 연구단계와 생산기술의 공정설계 단계에서 이루어져야 효과적이다.

(6) 품질향상 계획의 초점

- \* 품질향상에 관한 노력은 다음 사항들에 초점이 맞추어져 끊임없이 수행되어야 한다.
  - ① 목표치에 대한 성능특성치의 변동을 끊임없이 줄여 나가야 한다.
  - ② 제품의 공정을 설계하거나 개선함에 있어 제품의 성능특성치가 잡음에 둔감(robust)하도록 하여야 한다.

<표 12.1> 잡음제거 방법 가능 여부

품질관리 구분	담당부서	대응책	잡음의 종류		
			외부잡음	내부잡음	제품간 잡음
라인외 품질관리	설계·개발 (research and development)	(1) 시스템 설계	●	●	●
		(2) 파라미터 설계	●	●	●
		(3) 허용차 설계	○	●	●
	생산기술 (production engineering)	(1) 시스템 설계	×	×	●
		(2) 파라미터 설계	×	×	●
		(3) 허용차 설계	×	×	●
라인내 품질관리	생산 (production)	(1) 공정진단과 조정	×	×	●
		(2) 예측과 수정	×	×	●
		(3) 검사(측정과 조치)	×	×	●
	판매(sales)	애프터 서비스	×	□	□

비고 : ● 대응 가능 × 대응 불가능 ○ 대응책이 가능하나 최후의 수단임  
□ 예방보전의 의미로서 가능

③ 제품이나 공정을 설계할 때는 적은 비용이 소요되면서 목표치의 허용한계를 만족시키는 설계변수들의 최적조건을 찾아야 한다.

\* 위에서 ①을 만족시키기 위하여 SN 비를 특성치로 사용하여 변동을 최소화시키는 노력을 한다. ②와 ③을 충족시키기 위하여 직교배열표 활용 실험계획법이 주로 사용된다.

1.2 설계의 단계와 품질공학

1.2.1 품질공학의 활용단계

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

- ① 제품기획(product planning) : 제품의 성능, 수명, 안정성, 가격 등에 관한 계획
- ② 제품설계(product design) : 제품기획에서 정하여진 것을 구현하는 제품의 개발설계
- ③ 공정설계(process design) : 제품설계에서 설계된 제품을 제조하기 위한 제조공정의 설계
- ④ 생산(production) : 공정설계에 따른 설계품질의 제품을 생산하는 활동

- ⑤ 판매(sales) : 생산된 제품을 소비자에게 파는 활동
  - ⑥ 애프터 서비스(after service) : 소비자의 제품사용시 발생 문제에 대한 서비스 활동
- \* 품질공학은 제품설계와 공정설계의 단계에서 특히 유용한 방법론이 되고 있다.
- \* 제품설계와 공정설계는 각각 3단계로 구성되며, 이들을 간단히 설명하면 다음과 같다.

## 1.2.2 제품설계의 3단계

### (1) 시스템 설계 (system design)

- \* 개발하려는 제품분야를 고유기술, 전문지식, 경험 등을 바탕으로, 제품기획단계에서 결정된 목적기능을 갖는 제품의 원형을 개발한다.
- \* 일반적으로 처음부터 완벽한 시스템 설계는 어려우므로, 대개 두 세 가지의 가능성 높은 설계를 한 후, 다음 단계의 파라미터 설계나 허용차 설계에서 미비점을 보완한다.
- \* 신뢰성은 충분치 않더라도 어떤 소재를 어떻게 가공하면 요구된 기능을 가진 시스템으로서 후보가 되는지를 연구하거나, 하나의 시스템에 여러 개의 부시스템으로 구성될 때, 각 부시스템의 역할 등을 연구하는 단계이다.

### (2) 파라미터 설계 (parameter design)

- \* 파라미터는 제품성능의 특성치에 영향을 주는 인자 중에서 제어가능한 인자(controllable factor)를 의미하며, 파라미터 설계는 이들 인자들의 최적수준을 정하여 주는 것을 말한다.
- \* 파라미터를 설계변수(design variable)라고도 부르며, 파라미터 설계에서는 제품의 품질변동이 잡음에 둔감하면서 목표품질을 가질 수 있도록 설계변수들의 최적조건을 구하여 준다. 이때 목표품을 만족시키는 범위 내에서 되도록 비용절감의 조건이나 부품 등을 이용한다.
- \* 최적조건을 찾을 때 실험계획법이 이용되며, 설계변수와 잡음을 주는 요인들을 포함시켜 실험하는 직교배열표 등이 사용된다.

### (3) 허용차 설계 (tolerance design)

- \* 파라미터 설계에 의하여 최적조건을 구하였으나 품질특성치의 변동이 만족할 만한 상태가 아닌 경우에 허용차 설계가 수행된다. 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 취한다.
- \* 대개 변동을 줄이기 위해서는 비용이 증가하며, 만족스러운 허용차를 얻는 범위 내에서 최소 비용이 드는 방법이 고려되어야 한다. 허용차 설계에서는 직교배열표를 이용한 실험계획법이 흔히 사용된다.

## 1.2.3 공정설계의 3단계

### (1) 시스템 설계

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

(2) 파라미터 설계

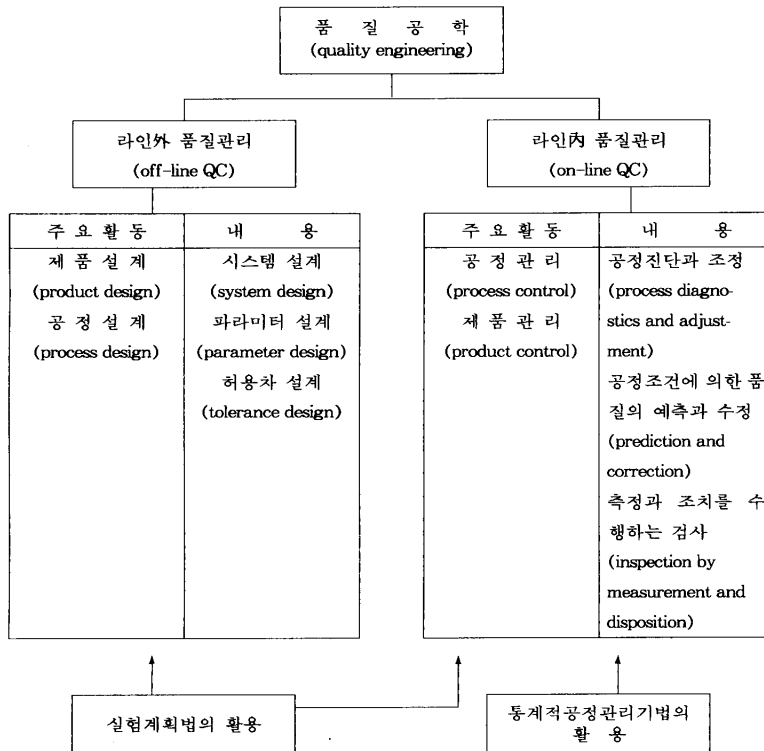
- \* 제조공정의 각 부분공정의 최적공정조건을 정하여 주고, 또한 구입하여야 할 적절한 원부자재, 부품 등도 정하여 준다.
- \* 이 설계에서는 각종 잡음의 영향 하에서도 공정능력이 높은 조건을 찾아 주는 것이 주요한 목적으로 실험계획법이 흔히 사용된다.

(3) 허용차 설계

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

1.2.4 품질공학의 정의

- \* 품질공학(quality engineering)은 “라인의 품질관리와 라인내 품질관리 활동을 통하여 제품 품질이 사회에 끼치는 손실의 최소화를 위해 수행되는 모든 활동의 체계”라고 말할 수 있다.
- \* 이를 간단히 그림으로 그려 보면 [그림 12.2]와 같다.
- \* 제품의 품질은 제품설계와 공정설계 단계에서 대부분 이루어지며, 따라서 라인의 품질관리가 품질공학에서 가장 중추적인 역할을 수행한다.
- \* 라인의 품질관리의 파라미터 설계와 허용차 설계에서는 직교배열표를 사용하는 실험계획법이 유용하게 활용된다.
- \* 라인내 품질관리는 생산부서에서 공정관리와 제품관리를 통하여 제품간 변동이 적은 양품을 생산하도록 노력하는 활동으로, 주로 통계적 공정관리 기법이 활용되며, 실험계획법이 사용되기도 한다.

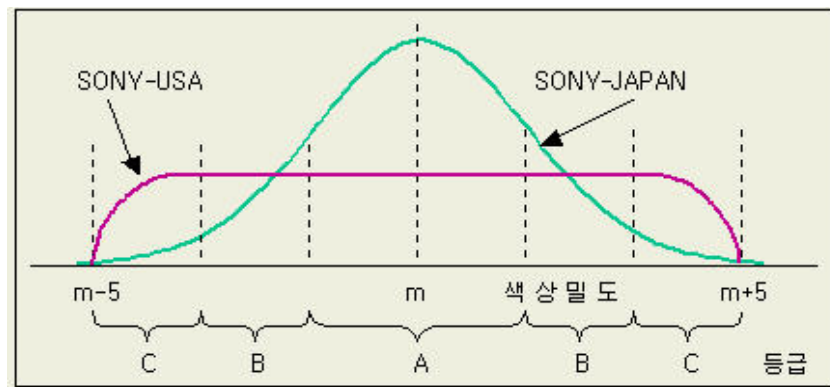


[그림 12.2] 품질공학의 개요

## 1.3 손실함수

### 1.3.1 품질손실함수의 개념

- \* 기존의 합격판정 기준은 주어진 규격내의 제품은 모두 합격으로 처리하였으나, 다구치는 품질손실함수를 제안하였다. 그가 제안한 제품의 양품은 목표치를 정확하게 만족하는 제품만 합격으로 인정하고, 나머지는 모두 불량으로 처리하였다.
- \* 다구치 박사는 현대의 품질기준으로 볼 때 합격 구간 내 제품에 대한 차별이 없어 실제 소비자의 취향을 반영하지 못한다고 주장하였다. 합격 구간 내에서도 목표치에 가까운 정도에 따라 차별화해야 하는 것이 적합하다고 제안하였다.
- \* 이에 대한 예로서, 1979년 4월 일본 「아사히 신문」에 일본의 소니 공장과 미국 캘리포니아 주 샌디에고 소니 공장의 컬러 TV품질 비교가 게재되었다. 이 경우 특성값은 컬러 농도에 대한 것이다. 똑같은 제품이 같은 공정으로 일본과 미국에서 생산되었다.
- \* 일제 TV세트 특성값의 분포는 [그림 12.3]으로 알 수 있듯이, 목표값을 중심으로 거의 정규 분포로 되어 있다. 일본 소니의 부적합품률은 0.27%이다. 미국 공장에선 불량품이 출하되지 않도록 제품 하나 하나를 자동 계측하여, 불량품이 나온 순간 공정을 멈추고, 생산 설비를 허용차 내에서 조정한다. 출하중의 불량품은 0이다. 일본의 불량품 비율이 미국보다 더 높다.



[그림 12.3] 일본과 미국 소니의 품질 비교

- \* 미국 공장은 불량품이 없는 데도 왜 일본 제품을 선호하는지 설명해 줄 수 없다. 다구치는 허용차를 벗어나면 불합격으로 처리하고, 허용차 안에 있으면 모두 양품으로 취급하는 것은 불합리하다고 지적했다.
- \* 다구치가 제시한 품질손실 함수로 각 제품별로 품질에 대하여 손실비용을 구하면 미국 소니는 200달러이고 일본 소니의 손실비용은 66.7달러이다. 손실금액으로 나타냈을 때, 미국이 일본에 비해 3배이상의 손실비용을 나타냈다. 품질손실비용으로 보면, 일본 제품을 선호하는 이유가 설명될 수 있다.

### 1.3.2 손실함수의 공식

- \* 품질을 합리적으로 평가하기 위해서 다음과 같은 손실함수를 생각한다.
- \* 손실함수에서 사용되는 특성치  $y$ 는 금액으로 환산할 수 있는 제품의 결과이다. 특성치  $y$ 의 목표값을  $m$ 이라 하면, 목표값  $m$ 에서 벗어났을 때의 경제적 손실을  $L(y)$ 로 한다.

특성값이  $y$ 인 제품이 출하되어, 설계수명동안 사용되었을 때 그 평균적 손실이  $L(y)$ 이다.

- \* 일반소비자에게 팔리는 제품의 경우에는 그 제품을 구입한 전소비자를  $N$ 으로 한다. 국내용 냉장고 경우라면  $N$ 은 국내 전 세대수가 되고, 제품의 설계수명은  $T$ 년으로 한다.

예를 들어, 설계수명  $T$ 가 10년이라는 것은 표준조건에서 10년간은 충분히 기능을 발휘하도록 설계하지만, 그 이후는 기능을 발휘하지 않아도 좋다는 것이다.

- \*  $i$  번째의 소비자가 특성값이  $y$ 인 제품을 샀을 때  $t$ 년 후에 생기는 경제적 손실을  $L_i(t, y)$ 로 하자.  $L_i(t, y)$ 는 어떤  $t$ 에서 갑자기 고장이 나면 손실이 발생하지만, 다른  $t$ 에서는 고장이 나더라도 손실이 0이 될 수 있는 불연속성을 가진 복잡한 함수이다.

- \* 모든 소비자의 수가  $N$ 이고, 설계수명  $T$ 년 동안 사용되었을 때의 경제적 손실의 평균이  $L(y)$ 이며 다음 식과 같이 정의된다.

$$L(y) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \int_0^T L_i(t, y) dt \tag{12.1}$$

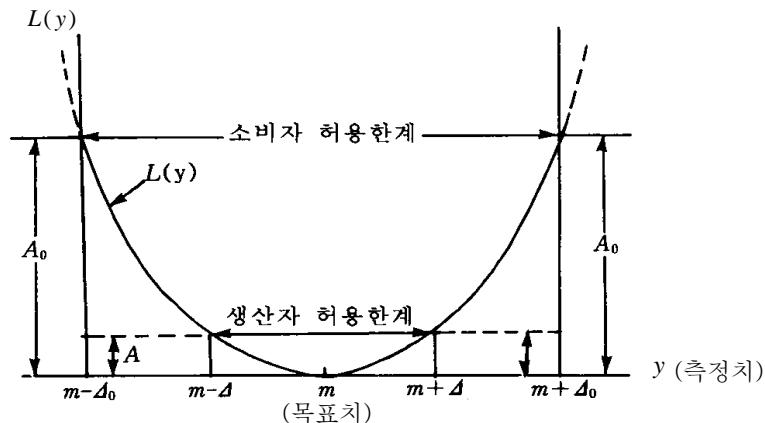
- \* 손실함수  $L(y)$ 를 실제로 구하려면, 특성값  $y$ 인 제품을 1,000개 정도 만들어 전 소비자에게 랜덤하게 분산시키고,  $T$ 년간 사용한 후 그 특성에 의한 트러블의 손실을 구해 평균을 취하면 된다. 물론 이런 조사는 사실상 어려우므로 손실함수  $L(y)$ 의 근사식 방법이 필요하다.

### 1.3.3 $y$ 값이 망목특성의 경우

- \* 망목특성은 어떤 목표값이 있고, 목표값보다 작아도 혹은 커도 만족스럽지 못한 특성이다. 대부분 제조물은 목표치를 갖고 제조하며, 망목특성은 목표값  $m$ 이 주어진 경우이다.
- \* 측정치가  $y$ 이고 목표치가  $m$ 인 경우 손실함수  $L(y)$ 를  $m$ 에 대하여 테일러 급수전개를 하면

$$L(y) = L(m + y - m) = L(m) + \frac{L'(m)}{1!}(y - m) + \frac{L''(m)}{2!}(y - m)^2 + \dots \tag{12.2}$$

이 된다.



[그림 12.4] 망목특성의 손실함수

- \* 그런데 [그림 12.4]에서와 같이  $L(m) = 0$ ,  $L'(m) = 0$ 이 되어야 하고, 식 (12.2)에서 3차 이상의 항을 무시하면 손실함수는 다음과 같다.

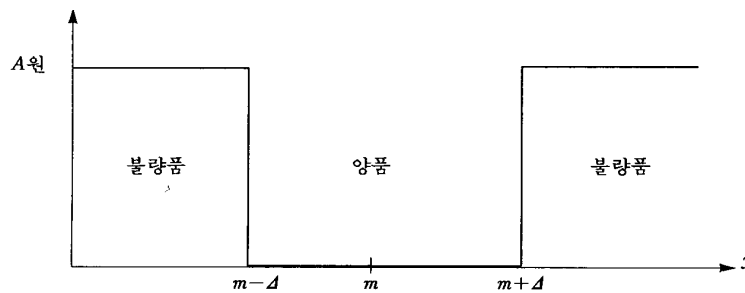
$$L(y) = k(y - m)^2 \quad (12.3)$$

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

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

- \* 손실함수 식 (12.3)은  $y$ 의 연속함수로서 2차곡선 방정식이다.
- \* 종래에 양품과 불량품으로만 판정하는 방법은 손실함수가 다음과 같다고 볼 수 있다.

$$L(y) = \begin{cases} 0 & : m \pm \Delta \text{ 안에 있는 경우} \\ A & : m \pm \Delta \text{ 밖에 있는 경우} \end{cases} \quad (12.4)$$



[그림 12.5] 양품·불량품 구분에 의한 손실함수

- \* 식 (12.4)를 그림으로 나타내면 [그림 12.5]가 되며, 이것은 [그림 12.4]와 대비하여 큰 차이 점이 있다.
- \* 식 (12.3)의 기대손실은  $E(y) = \mu$ 이고  $V(y) = \sigma^2$ 인 경우에 다음 식으로 주어진다.

$$\begin{aligned} L &= E[L(y)] = E[k(y - m)^2] \\ &= kE(y - m)^2 \\ &= kE[\{y - E(y)\} + \{E(y) - m\}]^2 = k[\sigma^2 + (\mu - m)^2] \end{aligned} \quad (12.5)$$

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

- \* 손실함수를 구할 때는 비례상수  $k$ 를 결정해야 한다. 가장 중요한 정보는 기능한계( $\Delta_0$ 로 표시한다)와 기능을 발휘하지 못했을 때의 손실  $A_0$ 의 값을 구하는 일이다.

예를 들어 자동차 문의 크기를 고려할 때, 문의 크기가 그 기준값보다 얼마나 벗어나면 문이 닫히지 않거나 또는 문이 작아 문 사이로 물이 새게 되는가와 같은 한계를 나타내 주는 값이 기능한계  $\Delta_0$ 이다.

- \* 일반적으로 시스템, 서브시스템, 부품 등에서 기능이 상실되는 점을 기능한계라 한다.

- \* 식 (12.3)의 좌변에  $A_0$ ,  $(y - m)$ 에  $\Delta_0$ 를 대입하여 다음 식을 얻을 수 있다.

$$A_0 = k\Delta_0^2 \quad (\text{여기서, } k = \frac{A_0}{\Delta_0^2}) \quad (12.6)$$

\* 예로 자동차 문의 경우, 기능한계  $\Delta_0$ 는 3mm이고 문이 닫히지 않거나 물이 뺏을 때 원래대로 회복시키는데 필요한 수리비 등 손실  $A_0$ 의 값이 90,000원이라 하면, 이때의 비례상수  $k$ 는  $k = 90,000 / 3^2 = 10,000$ 이 된다.

\* 손실함수  $L$ 은 다음과 같이 주어진다.

$$L = \frac{A_0}{\Delta_0^2}(y - m)^2 \quad (12.7)$$

\* 기능한계  $\Delta_0$ 가  $m$ 의 위와 아래에서 서로 다를 때에는 위 아래 따로 따로 손실함수를 구하는 경우도 적지 않지만, 일반적으로 불편하기 때문에 비례상수  $k$ 를 작은 쪽으로 손실을 계산하여 위, 아래 양쪽에 사용한다. 즉, 작은 한쪽으로 손실을 계산한다.

\* 기능한계  $\Delta_0$ 와 기능을 발휘하지 못할 때의 손실  $A_0$ 가 중간 사용자와 최종 사용자에게 있어서 서로 다를 때에는 편의상 비례상수가 큰 쪽의 손실함수가 이용되고 있다.

예를 들어 어떤 부품의 치수가 변동하게 되면 조립공정 뿐 아니라 최종소비자에게도 트러블이 발생하는 경우, 조립공정에서의 기능한계가  $20 \mu m$ 이고, 조립불능일 때의 손실  $A_0$ 가 300이라 하자. 최종소비에서의 기능한계가  $150 \mu m$ 이고 트러블이 발생했을 때의 손실  $A_0$ 가 25,000이라 하면, 이때, 두 경우의 비례상수는 다음과 같다.

$$\text{조립공정 : } k = \frac{300}{(20)^2} = 0.75$$

$$\text{시장 : } k = \frac{25,000}{(150)^2} = 1.11$$

따라서 시장쪽의 비례상수를 사용하여 손실함수를 구하게 된다.

\* 품질에 대한 설계연구의 목적은 종합적으로 손실을 작게 하려는데 있다. 치수 등과 같은 특성에서 초기값의 산포에 의한 품질상의 손실을 작게 하려면, 손실함수보다  $A_0$ 를 작게 하거나,  $\Delta_0$ 를 크게 하거나,  $(y - m)^2$  값을 작게 하는 세 가지 방법이 있다.

\*  $A_0$ 가 작은 시스템을 선택하는 것이 안전설계이며,  $\Delta_0$ 를 크게 하는 것이 시스템의 허용차 설계이고,  $(y - m)^2$ 의 평균값( $\sigma^2$ )을 작게 하는 것이 파라미터 설계이다.

### 1.3.4 $y$ 값이 망소특성의 경우

\* 망소특성은 음수가 아니며 작을수록 좋은 특성이다. 자동차의 배기가스 같은 것은 작을수록 좋다. 망소특성인 경우는 아래 그림과 같이 특성치가 작을수록 좋은 경우로 목표치  $m=0$ 인 경우를 뜻한다

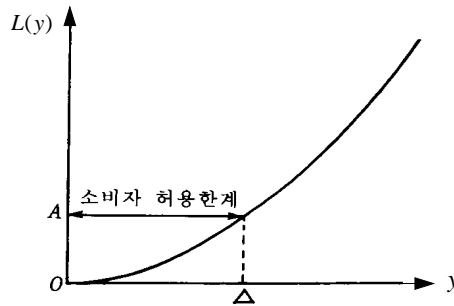
\* 망소특성의 경우에는  $m=0$ 이므로 식 (12.3)은 다음 식으로 주어진다.

$$L(y) = ky^2 \quad (\text{단, } k = \frac{A}{\Delta^2}) \quad (12.8)$$

\*  $L(y)$ 의 기대값은 다음과 같다.

$$L = kE(y^2) = k(\sigma^2 + \mu^2) \quad (12.9)$$

\* 식 (12.8)의 그래프는 [그림 12.6]과 같다.



[그림 12.6] 망소특성의 손실함수

\* 망소특성으로서 자동차의 배기가스 같이 유해물질 등의 특성에 많이 사용된다.

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

$$\text{기능한계 } \Delta_0 = 1,500m_0$$

\* 다음에  $A_0$ 를 구한다. 사람 1명이 사망할 때 발생하는 손실을 (국민소득×평균수명)이라 하면, 자동차 1대 당 손실  $A_0$ 는 아래 식으로 5억원/대이다.

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

\* 따라서 손실함수  $L$ 은 식 (12.8)에 대입하여 구한다.

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

### 1.3.5 $y$ 값이 망대특성의 경우

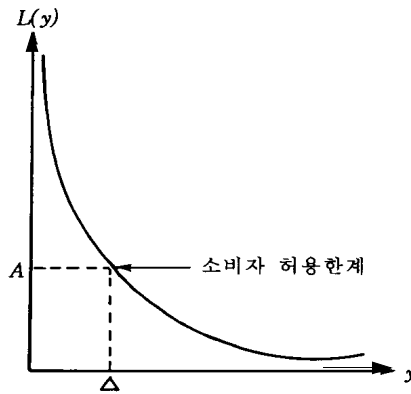
\* 망대(望大)특성은 음수가 아니면서 클수록 좋은 특성이다. 자동차의 안전도, 화학물질의 순도 같은 경우는 특성치가 높을수록 좋다.

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

\* 망대특성인 경우의 손실함수는

$$L(y) = k \left(\frac{1}{y^2}\right) \quad (\text{단, } k = A\Delta^2) \quad (12.10)$$

이 되며, 이를 그래프로 나타내면 [그림 12.7]이 된다.



[그림 12.7] 망대특성의 손실함수

\* 식 (12.10)의 손실함수  $L(y)$ 의 기대값은 다음 식으로 알려져 있다.

$$L = k \left( \frac{1}{\mu^2} \right) \left( 1 + \frac{3\sigma^2}{\mu^2} \right) \tag{12.11}$$

\* 망대특성의 예로서, 어떤 파이프의 강도나 가격이 단면적에 비례한다고 하자. 그 파이프는 압력 50kgf에서 절단된다고 하고 그 때의 손실은 30만원이라 하자.

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

이때 손실함수는 식 (12.10)으로부터  $L = 75,000\text{만원}/y^2$  이 된다.

\* 위에서 설명된 3가지의 손실함수를 비교하여 하나의 표로 작성하여 보면 <표 12.2>와 같다.

<표 12.2> 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 계산된다면, 기대손실의 추정값은 이들  $\bar{y}$ 와  $V$ 의 함수로 얻을 수 있다.

## 1.4 제품·공정설계 단계의 실험계획법

- \* 제품 및 공정설계는 품질공학의 핵심으로, 연구개발부서의 기술개발단계에서 품질규격을 설정하거나 최적생산조건 등을 결정하기 위하여 실시하는 것으로, 실험계획법은 주로 파라미터 설계와 허용차 설계로 나누어 진다.
- \* 제품·공정 설계시의 활동을 단계별로 나누어 보면 <표 12.3>과 같다.

<표 12.3> 제품·공정 파라미터 설계 추진절차

단계	세부단계	활동항목	주요기법	품질경영 단계
Plan (계획)	1. 실험테마 선정	1) 대상제품 선정 2) 고객의 요구품질 선정	매트릭스도법 파레토도	증세 (필요성 증명 및 프로젝트 선별)
	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 SN 비 계산법	
	4. 관련인자 도출	1) 공정도 및 조립도면 검토 2) 품질기능과 원인추구표	QC/SPC 공정도 특성요인도	진단 (원인도출 및 실험계획구상)
	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	처방 (실험실시, 데이 터분석 및 확인)
	8. 실험실시 준비	1) 예산승인 확보 2) 데이터시트 작성(5W1H)	5W1H법 데이터시트	
	9. 실험실시	1) 실험실시기간(1~4주 이내) 2) 데이터의 수치변환	SN 비	
	10. 데이터분석	1) 망소·망대·망목의 SN비 2) 분산분석 및 최적조건 선정	SN 비분석 분산분석표	
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		이익확보 (품질동기 및 사후관리)
	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 다구치 기술의 관점

#### 2.1.1 다구치 기술의 중시 관점

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

#### 2.1.2 다구치 기술단계

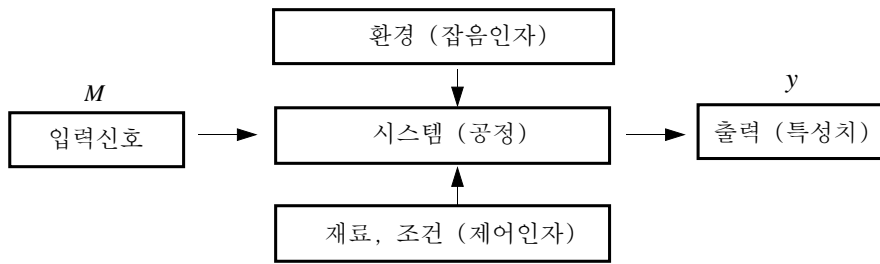
- \* 다구치 기법의 적용은 제품의 초기단계일수록 효과를 많이 볼 수 있다. 특성치 선정은 하류 단계의 계수치 데이터보다 상류나 원류단계의 정적 계량치나 동적 특성이 효율적이다. 하류 단계의 계수치 데이터를 특성치로 잡으면 데이터 측정이 오래 걸리고 제어할 수 있는 제어인자가 적어 개선의 여지가 없다.
- \* 제품 단계별 품질특성은 <표 12.4>와 같이 정리될 수 있다.

<표 12.4> 제품 단계별 품질특성

적용단계	제품 생산단계	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

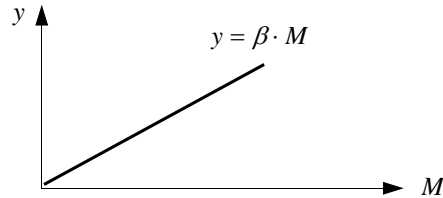
#### 2.1.3 동특성과 정특성

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



[그림 12.8] 제품 시스템

- \* 우리는 출력에 관심이 있다. 출력 값은 입력신호에 따라 변하는 것(동특성)을 원할 수도 있고, 입력신호에 관계없이 일정할 수 있다(정특성).
- \* 동특성 예로서 자동차 브레이크가 있다. 성능이 좋은 것은 브레이크는 살짝 밟으면 살짝 브레이크가 잡히고, 세게 밟으면 세게 브레이크가 잡히는 것이다. 브레이크를 밟는 것이 신호인자( $M$ )이다. 신호인자에 따라 브레이크가 잡히는 힘(계량치로 측정되는)이 특성치( $y$ )이다. [그림 12.9]는 이상적인 경우이다. 입력에 따라 정확하게 출력이 나오는 경우이다.
- \* 정특성은 입력신호에 관계없이 일정한 출력이 나오는 것이다. 위의 자동차 예로 유해 배기가스는 어느 조건 하에서든 조금 나올수록 좋다(정적 망소특성). 복사기가 입력되는 원고의 농도에 관계없이 항상 읽기 좋은 농도로 나오게 만든다면 이런 조건은 정적 망목특성이다.



[그림 12.9] 이상(理想) 기능

## 2.2 특성치 평가

- \* 특성치 평가는 출력에 대한 측정이다. 정확한 특성치 평가는 시스템의 목적을 만족하는 기본 기능을 찾아 입출력 관계를 정의하고 이에 맞는 특성치를 정의해야 한다.
- \* 입출력 관계를 정의할 수 없는 경우는 정특성을 사용한다. 입력·출력 관계가 명확하게 정의되면 동특성을 사용한다. 다구치 박사는 정특성보다 동특성이 개선효과가 있음을 강조한다.
- \* 다구치는 특성치를 선정할 때, 다음과 같이 3가지를 제안했다.
  - ① 특성치는 가능한 한 상류나 원류단계를 측정하라. 원류단계 특성치는 대개 동특성이다.
  - ② 특성치는 기본 기능을 정확하게 측정할 수 있는 특성치를 선정한다.
  - ③ 부적합품률 등 계수치 데이터는 가능한 한 특성치로 정하지 않는다. 하류단계의 특성치는 대개 계수치를 갖는다. 하류 단계에선 별로 개선할 것이 없다.
- \* 특성치는 분류하여 정리하면 다음 <표 12.5>와 같다.

&lt;표 12.5&gt; 특성치 분류

특성치	계량, 계수	특성	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

## 2.3 인자 선정

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

### (1) 인자 선정

- \* 특성치( $Y$ )에 관련된 모든 인자를 찾는다. 인자를 찾는 단계에서는 관련된 모든 사람들이 모여 브레인스토밍, 특성요인도 등의 기법을 이용한다.
- \* 이 단계에 주의할 점은 인자들의 중요도를 고려하지 않는다. 조금이라도 관련된 인자들은 모두 찾아 나열한다. 가장 가까이 있는 전문가의 의견만 중시되면 새로운 개선은 기대할 것이 없다. 이미 그가 아는 개선은 많이 진행되었기 때문이다.

### (2) 인자 분류

- \* 인자들이 충분히 수집되었으면, 인자들을 분류하는 작업을 한다. 분류작업은 관련자들이 모여 객관적인 증거를 갖고 분류한다. 만약 객관적인 자료의 부족으로 평가할 수 없는 경우엔, 전문가들이 모여 합의할 수 있다.
  - ① 상수인자는 특성치에 영향을 미치는 인자이지만 수준이 고정된 인자들이다. 이들 인자는 주어진 표준을 잘 지키는 것이 중요하다.
  - ② 제어인자는 실험자가 수준을 변경할 수 있고, 변경정도에 따라서 특성치에 영향을 미치는 인자들이다. 다구치 기법에서 가장 중요한 인자이다.
  - ③ 잡음인자는 결과치에 영향을 미치나, 제어할 수 없는 인자들이다. 다구치 실험에선 중요시한다.
  - ④ 오차인자는 특성치에 별 영향을 미치지 않거나, 영향을 미치는 것을 아는데 실험할 수 없는 인자들이다. 다구치 실험에서 고려하지 않는다.
- \* 인자들은 정리하면 다음 <표 12.6>과 같다.

&lt;표 12.6&gt; 인자 구분

인자 종류	정의	사례	실험배치
제어인자	제품 특성에 영향을 주고, 제어 가능한 변수	브레이크 시스템 재료	내측
잡음인자	제품 특성에 영향을 주고, 제어 불가능한 변수(실험 가능).	브레이크 시스템의 타이어 상태, 도로 상태	외측
신호인자	최적화 시키는 인자가 아니다. 출력에 관련된 입력인자	브레이크 시스템의 브레이크 밟는 힘	외측
오차인자	제품 특성에 영향을 미미하게 미치거나, 제어불가능하고 실험할 수 없는 인자	브레이크 시스템의 자동차 주위의 온도	없음

**참조** 기존의 실험계획과 다구치 기법이 가장 크게 차이나는 점은 기존 실험계획은 실험실에서 잡음인자를 고정하고 실험하였다. 이런 결과는 실험실에서는 정확하지만, 현실에서 사용할 때는 잡음 조건이 바뀌어 성능이 떨어진다. 다구치 기법에서는 실험할 때 현실과 똑같이 잡음 조건을 바꾸어 가면서 실험하면서 최적조건을 찾는다.

### 3. 파라미터 설계

#### 3.1 파라미터 설계와 SN비

##### 3.1.1 파라미터 설계의 주요 착안점

\* 파라미터 설계시 고려하여야 할 주요 착안사항으로서는 다음의 4가지를 꼽을 수 있다.

이들 4가지는 그 중요도의 순서로 나열되었다고 보아도 좋을 것이다.

① 품질특성치의 산포를 줄여야 한다(reduce variability).

제품의 성능변동이 잡음(noise)에 둔감하도록 설계변수의 최적조건을 구한다. 즉, 잡음에 최소의 영향을 받는 생산 및 공정조건의 설계로 품질의 안정성(robustness)을 도모한다.

이때 산포의 특성치로 뒤에 설명하는 신호대 잡음비(SN비)를 사용한다.

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

평균치  $\bar{y}$ 에 유의하게 영향을 주는 설계변수들을 선택하여 평균치가 목표치에 접근하도록 하는 설계변수들의 조건을 구하여 준다.

만약 산포를 최소화시키는 어떤 설계변수의 조건과 평균치를 목표치에 접근시키는 이 설계변수의 조건이 일치하지 않는 경우에는 산포를 최소화시키는 조건이 우선한다.

③ 비용을 최소화시켜야 한다(least cost).

위의 ①, ②단계에서 최적수준이 결정되지 않은 인자의 수준은 비용을 작게 하는 수준을 선택한다. 따라서 낮은 등급 또는 최소비용의 구성부품, 재료 또는 공정조건으로 제품이나 공정설계를 시도한다. 예를 들어 만약 낮은 등급의 부품이 허용차를 만족시켜 주지 못한 경우에 허용차 설계에서 조사하여 부품을 선별적으로 고가품으로 대체시켜 줄 수 있다.

④ 재현성이 있는 결과가 표출되었는지 확인한다(confirm reproducibility).

위의 ①, ②, ③에서 얻은 설계변수의 조건들이 실험의 재현성이 있어야만 실질적인 가치가 있으므로, 확인실험을 실시하여 재현성이 있는가를 조사한다.

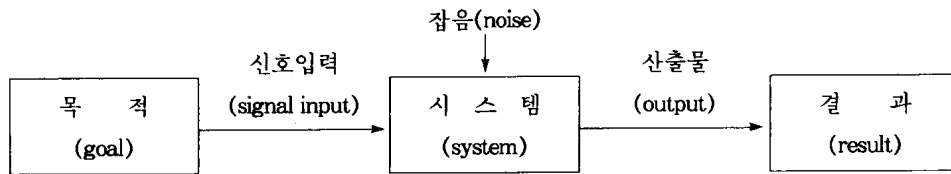
위의 4가지 착안점은 주로 망목특성의 경우에 해당하며, 망소특성치인 경우에는 ①과 ②를 합쳐서 SN 비를 가지고 설계변수의 조건을 선택하여 준다. 왜냐하면 망소특성인 경우에 평균치  $\bar{y}$ 가 작아지면 작아질수록 산포를 작게 해주기 때문이다.

망대특성인 경우에도 그 역수를 취하면 망소특성과 동일하므로 ①과 ②단계를 합쳐 SN 비만을 가지고 다루게 된다.

### 3.1.2 SN 비

#### (1) SN 비의 의미

- \* 통신공학에서 기능적인 품질특성을 다룰 때에 [그림 12.10]과 같이 신호입력과 잡음이 시스템의 산출물에 어느 정도의 영향을 주는가를 조사하게 된다.



[그림 12.10] 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 된다.
- \* SN 비는 “신호 대 잡음의 비율(signal-to-noise ratio)”을 의미하는 것으로, 다음과 같이 신호입력의 힘과 잡음이 주는 영향의 힘의 비율로서 나타내진다.

$$\begin{aligned}
 SN \text{ 비} &= \frac{\text{목적이 산출물의 결과에 어느 정도 반영되는가?}}{\text{잡음의 크기가 산출물의 결과에 어느 정도 나쁜 영향을 주는가?}} \\
 &= \frac{\text{신호입력이 산출물에 전달된 힘}}{\text{잡음이 산출물에 전달된 힘}} = \frac{\text{신호의 힘 (power of signal)}}{\text{잡음의 힘 (power of noise)}} \quad (12.12)
 \end{aligned}$$

- \* 식 (12.12)의 SN 비는 특성치 종류별로 달리 정의되는데, 이들에 대하여 살펴보자.
- \* 다구치 기법에서 사용하는 SN 비는 문제에 따라 다양하게 정의한다.  
SN 비는 고유의 공식이 있는 것이 아니다. 사용자가 정의하여 사용할 수 있다. 좋은 SN 비란 개선의 정도를 수치로 정확하고 눈에 보이게 만들 수 있으면 된다.  
지금까지 문제에 따라 정의된 SN 비는 백여 개 이상 보고되어 있다고 한다.

#### (2) 동특성 계량치의 SN 비

- \* 자동차의 브레이크 성능을 실험할 때 속도에 따라 브레이크 성능이 변하는 경우가 동특성이다. 동특성 SN 비의 가장 기본은 제로점 비례식의 SN 비이다. 이는 입력이 0(M=0)일 때, 출력이 0(y=0)인 경우로, 기본 기능의 이상적 능력은  $y = \beta \cdot M$ 으로 표시된다.
- \* 동특성은 ① 제로점 비례식의 SN비, ② 기준점 비례식의 SN비, ③ 1차식 비례식의 SN비가

있음.

### (3) 정특성 계량치 망목특성의 SN 비

\* 식 (12.12)의 비율을 실험 데이터로부터 추정할 때에 다구치는 다음 식으로 정의하였다.

$$\frac{\text{신호의 힘 (power of signal)}}{\text{잡음의 힘 (power of noise)}} = \frac{\text{목표치 } m^2 \text{의 추정치}}{\text{분산 } \sigma^2 \text{의 추정치}} \quad (12.13)$$

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

$$\hat{\sigma}^2 = s^2 \approx V = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n-1} \quad (12.14)$$

\*  $m^2$ 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,  $S_m = \hat{\sigma}^2 + nm^2$ 이며, 다음 식이 된다.

$$\hat{m}^2 = (S_m - V) / n \quad (12.15)$$

\* 따라서 식 (12.14)와 식 (12.15)를 식 (12.13)에 대입시켜서 다음 식을 얻는다.

$$SN \text{ 비} = \frac{(S_m - V) / n}{V} \quad (12.16)$$

\* 그러나 실제 사용되는 SN 비의 값은 통신공학에서와 같이 식 (12.16)의 SN 비에 상용대수를 취하고 10을 곱하여 데시벨(decibel: dB)의 단위로 나타낸 다음 식을 사용한다.

$$SN = 10 \log \left[ \frac{(S_m - V) / n}{V} \right] \quad (12.17)$$

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

$n$  : data( $y_i$ )의 수

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

\* 그런데  $S_m = (\sum y)^2 / n = n(\bar{y})^2$ 이므로 식 (12.17)은

$$SN = 10 \log \left( \frac{(\bar{y})^2 - V / n}{V} \right) \quad (12.18)$$

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

$$\begin{aligned} SN &= 10 \log \left( \frac{(\bar{y})^2}{V} \right) \\ &= 10 \log \left( \frac{(\bar{y})^2}{s^2} \right) \end{aligned} \quad (12.19)$$

$$= 20 \log \left( \frac{\bar{y}}{s} \right) \quad (12.20)$$

여기서  $\bar{y}/s$ 는 산포의 크기를 나타내는 하나의 척도인 변동계수( $CV$  : coefficient of variation)의 역수이다.

#### (4) 정특성 계량치 망소특성의 SN 비

\* 망소특성인 경우는 식 (12.13)에서 목표치  $m$ 이 0이므로  $m^2$ 을 추정할 경우에 식 (12.15)에서  $\hat{m}^2 < 0$ 이 될 수도 있으므로, 상용대수를 취하여 실시되는 데시벨을 사용할 수 없다.

\* 이런 이유로 인하여 망소특성인 경우에는 식 (12.13)에서 정의되는 SN 비의 개념을 직접 도입하여 사용하지 않고, 식 (12.9)에서 정의된 손실함수의 기대값

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

을 최소화시키는 SN 비를 생각하여 준다.

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

$$MSD = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - 0)^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \quad (12.21)$$

으로 볼 수 있다.

여기서  $MSD$ 는 0으로부터의 평균제곱편차(Mean Squared Deviation)을 의미한다.

\* 따라서 데시벨로 나타내는 SN 비로  $10 \log(MSD)$ 로 사용할 수 있으나 망목특성인 경우와 같이 SN 값을 크게 하는 것이 좋은 것으로 하기 위하여

$$SN = -10 \log \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \quad (12.22)$$

을 망소특성인 경우의 SN 비로 한다. 이 SN의 값도 단위는 데시벨이다.

#### (5) 정특성 계량치 망대특성의 SN 비

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

$$MSD = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left( \frac{1}{y_i} - 0 \right)^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \quad (12.23)$$

으로 사용하여 SN 비를 다음 식과 같이 계산한다.

$$SN = -10 \log \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right) \quad (12.24)$$

\* SN의 값은 크면 클수록 좋은 것이다.

여기서  $MSD$ 는 망대특성에서는  $1/y = 1/\infty = 0$ 이 목표치가 되므로  $1/y_i$ 들이 0으로부터 얼마나 벗어나 있는가를 나타내는 평균제곱편차에 해당한다. 이 SN의 값도 단위는 데시벨이다.

**참조** SN비 계산공식의 정의에서 망소특성과 망대특성인 경우에는 손실함수로부터 유도하여 식 (12.22)와 식 (12.24)를 얻었다. 그러나 망목특성인 경우는 손실함수에서 유도하지 않고 통신공학에서 사용하는 (신호의 힘)/(잡음의 힘)의 비(比) 추정 방법으로 유도했다.

망목특성일 경우에도 손실함수로부터 유도하여 SN비를

$$SN = -10 \log \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - m)^2 \right) \quad (12.25)$$

으로 정의하여 사용할 수도 있다. 이 계산공식은  $y_i$ 의 값들이 음수와 양수가 섞여 있거나  $y$ 의 평균이 0에 가까워서  $S_m \leq V$ 이 발생하여

$$SN = 10 \log \left( \frac{(S_m - V) / n}{V} \right) \quad (12.26)$$

의 공식을 사용할 수 없는 경우에는 이 공식이 바람직하다.

\* 위에서 얻은 결론을 비교하기 위하여 표로 나타내 보면 <표 12.7>을 얻을 수 있다.

<표 12.7>  $n$ 개 시료데이터가 있는 경우의 손실함수와 SN비

특성치의 종류	$n$ 개 시료데이터가 얻어진 경우에 해당 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	$k_2 \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right)$	$-10 \log \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right)$

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

**예제 12.1** 다음과 같이 5개의 반복측정값 [32, 38, 36, 40, 37]이 얻어 졌다고 하자. 망목특성치, 망소특성치, 망대특성치로 각각 생각하고 SN비를 구하여라.

**해설**

(1) 망목특성치인 경우

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

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

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

이므로, 식 (12.17)을 이용하여 SN비를 구하면 다음과 같다.

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

한편 식 (12.20)을 사용하여 계산하면

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

로서, 식 (12.17)을 이용하여 구한 값과 거의 동일하다.

(2) 망소특성치인 경우

식 (12.22)를 사용하여  $SN$  비를 구한다.

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

(3) 망대특성치인 경우

식 (12.24)를 사용하여  $SN$  비를 구한다.

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

## 3.2 파라미터 설계의 특징 및 방법

### 3.2.1 파라미터 설계의 목적

- \* 앞에서 설명된 바와 같이 제품설계 또는 공정설계를 위한 파라미터 설계의 목적은 잡음의 영향 하에서도 성능특성치의 분산이 작고, 평균이 목표치에 근접하도록 하는 제어인자(설계변수)의 조건을 찾는 것이다.
- \* 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 된다.

### 3.2.2 파라미터 설계의 특징 및 구조

- \* 파라미터 설계는 일반적으로 다음의 몇 가지 중요한 특징을 가진다.

- ① 주로 직교배열표를 이용하여 설계되며, 제어인자들의 한 실험조건(직교배열표의 한 행)에서 2개 이상의 측정치를 얻는다. 이처럼 반복 데이터를 얻는 것은 성능특성치에 대한 잡음(외부, 내부 또는 제품간의 잡음)이나 제어하기 어려운 변량인자(블록인자, 보조인자 등)의 영향을 파악하기 위함이며, 반복 측정치를 얻는 방법은 다음의 2가지가 있다.

① 비제어인자들을 있는 그대로 놔둔 상태에서 특성치를 반복하여 측정하는 것이다.

② 비제어인자들의 수준을 정하여 이들 수준조합에서 성능특성치를 측정하는 것이다.

위와 같이 실험계획이 이루어지는 경우에 실험은 2개의 직교배열표가 교차되는 형태로 주어지며, <표 12.8>이 그 하나의 예이다. 제어인자들로 이루어진 직교배열을 내측배열 또는 설계변수 행렬이라고 부르고, 비제어인자들로 이루어진 직교배열을 외측배열 또는 비제어인자 행렬이라고 부른다.

<표 12.8> 파라미터 설계의 기본 구조

구분		내측배열 [ $L_8(2^7)$ ]						외측배열 [ $L_4(2^3)$ , 반복2회]								
요인배치	인자이름	A	B	C	D	F	$e_1$	$e_2$	1	2	3	4	실험번호 열번호	수준		비제어 인자배치
														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	$y_{81}$	$y_{82}$	$y_{83}$	$y_{84}$	$SN_8$			

② 분산분석시에 성능특성치  $y_{ij}$  ( $i$  번째 행의  $j$  번째 데이터)에 대하여 분석하지 않고  $y_{ij}$  들로부터 SN 비를 계산하여 SN 비를 새로운 특성치로 삼아 분석을 실시한다.

앞에서 살펴본 SN 비의 정의와 같이 SN 비를 계산한다.  $SN_i$  는  $i$  행의 SN 비 값을 말하고,  $n$  은 각 행에서의 반복수이다.

㉠ 망소특성인 경우

$$SN_i = -10 \log \left( \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n y_{ij}^2 \right) \tag{12.27}$$

㉡ 망대특성인 경우

$$SN_i = -10 \log \left( \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \frac{1}{y_{ij}^2} \right) \tag{12.28}$$

㉢ 망목특성인 경우

$$SN_i = 10 \log \left( \frac{(S_{m(i)} - V_i) / n}{V_i} \right) \tag{12.29}$$

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

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

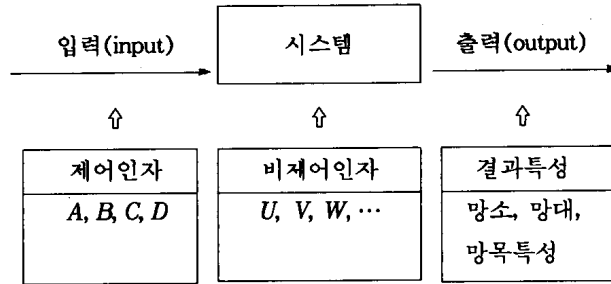
여기서,  $V_i = \sum_{j=1}^n (y_{ij} - \bar{y}_i)^2 / (n-1) = i$  번째 행의  $n$  개 데이터의 시료분산

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

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

③ 제품설계나 공정설계의 대상이 되는 시스템에 대하여 [그림 12.11]과 같은 인자·특성관계 그림을 만들어, 특성치에 영향을 주리라고 예상되는 가능한 모든 제어인자를 포함시키고, 비제어인자로서 잡음인자, 블록인자, 보조인자 또는 표시인자 등을 배치하되 가능한 한 너무 많지 않게 배치한다.

비제어인자가 1개 또는 2개일 때에는 1원배치나 2원배치를 외측배열에 배치시키는 것이 좋으나, 3개 이상인 경우에는 <표 12.8>과 같이 직교배열을 배치하는 것이 좋다.



[그림 12.11] 인자·특성관계 그림

### 3.2.3 파라미터 설계의 방법

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

#### (1) 망소특성과 망대특성에 대한 파라미터 설계 방법

- ① 제어인자들로 이루어진 실험을 구성한다.  
이때에는 주로 직교배열표가 사용되며, <표 12.8>에서와 같이 각 실험조건에서 반복측정치가 있도록 한다.
- ② 각 실험조건 of 반복측정치로부터  $SN$  비를 계산한다.
- ③  $SN$  비에 대한 분산분석(또는 간이분석)을 통해  $SN$  비에 영향을 미치는 제어인자를 찾는다.
- ④ 위의 ③에서 찾은 유의한 제어인자들의 최적수준은  $SN$  비를 최대로 하는 수준조합이 된다.  
 $SN$  비에 유의한 영향을 주지 못하는 제어인자는 경제성, 작업성 등을 고려하여 적절한 수준을 선택한다.
- ⑤ 위의 ④에서 구한 최적 수준조합에서 특성치의 모평균을 추정하여 보고 확인실험을 실시하여 재현성이 있는가를 조사한다.

#### (2) 망목특성에 대한 파라미터 설계방법

- ① 위의 ①과 동일(제어인자들로 이루어진 실험 실시).
- ② 각 실험조건 of 반복측정치로부터  $SN$  비를 계산한다.
- ③  $SN$  비에 대한 분산분석(또는 간이분석법)을 통하여  $SN$  비에 유의한 영향을 주는 제어인자를 찾아낸다.
- ④ 각 실험조건에서의 평균  $\bar{y}_j$  들에 대한 분산분석(또는 간이분석법) 등을 통하여  $\bar{y}$  에 영향을 주는 제어인자를 찾아낸다.
- ③과 ④의 분석을 실시하여 다음과 같이 3가지로 제어인자를 분류할 수 있다.

- ▶ 산포제어인자 :  $SN$  비에 유의한 영향을 주는 인자
- ▶ 평균조정인자 :  $\bar{y}$ 에만 유의한 영향을 주는 인자
- ▶ 기타 제어인자 :  $SN$  비나  $\bar{y}$ 에 유의한 영향을 주지 못하는 인자

만약 하나의 제어인자가  $SN$  비와  $\bar{y}$ 에 동시에 영향을 준다면 산포제어인자로 분류한다.

- ⑤ 산포제어인자는  $SN$  비를 최대화 하는 수준에 놓고,  $\bar{y}$ 가 목표치( $m$ )에 접근하도록 평균조정 인자의 수준을 조정한다. 기타 제어인자에 대해서는 경제성, 작업성 등을 고려하여 적절한 수준을 선택한다.
- ⑥ 위의 ⑤에서 구한 최적수준조합에서 특성치의 모평균을 추정하여 보고, 확인실험을 실시하여 재현성이 충분한가를 조사한다.
- \* 위의 ⑤에서 보는 바와 같이 인자의 최적수준을 선택할 때, 산포를 작게 해 주는 조건이 가장 우선하며, 그 다음으로 평균치를 목표치에 근접시키는 조건이 따르게 된다. 이 원리는 파라미터 설계에서는 비제어인자에 의한 산포를 최소화시키는 것이 가장 중요함을 말하여 주고 있으며, 따라서 파라미터 설계를 로버스트 설계(robust design)라고도 부른다. 즉, 잡음이 특성 변동에 둔감(robust)하도록 하는 설계이다.
- \* 각 실험조건에서 취하여야 할 데이터의 개수에는 뚜렷이 정하여진 기준은 없다. 통계분석에서는 데이터가 많을수록 좋다. 그러나 시간이나 비용을 고려하여 대개 특성치의 종류에 따라 <표 12.9>와 같은 크기가 바람직하다.

<표 12.9> 실험데이터의 개수

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

### 3.2.4 개선 효과금액 파악방법

- \* 다구치 기법에서 전체의 개선효과는 각 인자의 개별효과의 합이다. 이는 제어인자간의 교호작용을 무시하고 개선했기 때문이다. 즉, 개별인자의 효과로서  $SN$  비를 계산하여 합계한다. 개선효과는 절대적인 효과로 나타내지 않고 현재조건과 비교한 상대적인 차이로 파악한다.
- \*  $SN$  비 개선이 얼마만큼 금액적으로 이익을 보는지 살펴보기로 한다.  $SN$  비 개선은 제품손실 비용에 직접적으로 효과가 있다.
- \* 예를 들면 최적조건일 때가 현재조건보다  $SN$  비 값으로 1만큼 개선되었을 시 이를 금액으로 환산하면 약  $10^{0.1} = 1.25$  배 만큼 손실금액이 감소되었다고 해석한다.
- \* 즉, 손실금액이 현재 10,000원이라면 최적조건에서의 손실금액은  $10,000/1.25=7,936$ 원이고,  $10,000-7,936=2,063$ 원 만큼 감소하게 되었다. 이는 개당 금액이며, 연간 100만개 생산된다면 전체 절약된 손실금액은 20.63억원이 절감된 것이다.
- \* 이 방식은 동특성, 망목특성, 망소특성, 망대특성 모두 같은 방식으로 적용될 수 있다.

## 4. 품질경영기사 필기 [출제예상 엄선문제]

### 4.1 다구치 품질공학

#### ◆ 다구치 품질공학 개념 ◆

01 다구치는 사회지향적인 관점에서 품질의 생산성을 높이기 위하여 다음과 같이 정의하였다. 품질항목에 속하지 않는 것은?

$$\text{생산성} = \text{품질(quality)} + \text{비용(cost)}$$

- ㉠ 사용비용      ㉡ 기능산포에 의한 손실
- ㉢ 공해환경에 의한 손실
- ㉣ 폐해항목에 의한 손실

#### 해설

☞ 다구치 품질공학에서는 품질과 생산성 정의  
 품질 = (기능산포에 의한 손실) + (폐해 항목에 의한 손실) + (사용비용)  
 생산성 = 품질 + 생산비용  
 여기서, 생산비용 = 재료비 + 가공비 + 관리비 + 공해환경비

02 다음 중 다구치방법의 특징과 관련이 없는 항목은?

- ㉠ 손실함수      ㉡ SN 비
- ㉢ 직교배열표      ㉣ 샘플링검사

#### 해설

☞ ㉣항 샘플링검사와는 직접적인 관련이 없다.

#### ◆ 설계의 단계와 품질공학 ◆

03 제품의 품질특성치가 잡음(noise)에 의한 영향을 받지 않거나 덜 받게 하기 위하여 다구치 방법을 적용하고자 할 때 가장 효과적인 단계는?

- ㉠ 시장조사단계      ㉡ 설계단계
- ㉢ 제조단계      ㉣ 생산단계

#### 해설

☞ 품질공학에서 중요시 하는 단계는 제품의 설계단계(제품설계와 공정설계)이다.

04 다음 중 다구치방법에서 사용되는 제품설계 또는 공정설계의 3단계에 해당되지 않는 것은?

- ㉠ 시스템설계      ㉡ 프로세스설계
- ㉢ 파라미터설계      ㉣ 허용차설계

#### 해설

☞ 다구치방법에서 제품설계 또는 공정설계의 3단계는 ① 시스템 설계, ② 파라미터 설계, ③ 허용차 설계이다.

05 다음 중 오프-라인(off-line) 품질관리 대표적인 기법으로 가장 적합한 것은?

- ㉠ 샘플링 검사      ㉡ 통계적 공정관리
- ㉢ 관리도 기법      ㉣ 다구치 품질공학

#### 해설

☞ 품질관리에는 라인 내 QC와 라인 외 QC로 대별된다. 라인의 QC의 대표적인 기법으로 다구치 품질공학이 사용된다. 샘플링 검사, 통계적 공정관리(SPC), 관리도 등은 라인내 QC에 해당된다.

06 파라미터의 설계에 의하여 최적조건을 구하였으나 품질특성치의 산포가 만족할 만한 상태가 아닌 경우에 수행되는 설계는?

- ㉠ 시스템설계      ㉡ 제품설계
- ㉢ 허용차설계      ㉣ 공정설계

#### 해설

☞ 허용차 설계(tolerance design)에 대한 내용이다.

#### ◆ 손실함수 ◆

07 TV 색상밀도의 기능적 한계가  $m \pm 7$  이라고 가정하자. 이는 색상밀도가  $m \pm 7$  일 때 소비자의 환경이나 취향의 다양성을 고려하여 소비자의 절반이 TV가 고장이라고 한다. TV의 수리비가 평균  $A = 98,000$ 원 이라

고 할 때 색상밀도가  $m+4$  인 수상기를 구입한 소비자가 입은 평균손실  $L(m+4)$  는?

- ㉠ 8,000원      ㉡ 16,000원
- ㉢ 32,000원    ㉣ 64,000원

**해설**

↳  $y$  값이 망목특성인 경우 손실함수를 구하면

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

$$= \frac{98,000}{7^2}(m + 4 - m)^2 = 32,000 \text{ 원}$$

**08** TV의 이상적 색상밀도값이  $m$ , 규격이  $m \pm 10$ 으로 주어져 있다. 제품의 품질특성치가 규격을 벗어나는 경우 5,000원의 비용이 발생한다고 한다. 다구치 손실함수를 사용한다고 할 때 비례상수  $k$ 의 값은?

- ㉠ 5      ㉡ 10      ㉢ 50      ㉣ 500

**해설**

↳ 망목특성의 경우 손실함수  $L = k(y - m)^2$  에

서 비례상수  $k = \frac{A_0}{\Delta_0^2} = \frac{5,000}{10^2} = 50$

### 4.2 특성치 및 실험인자 선정

**01** 일반적으로 품질특성은 3가지 형태로 구분된다. 다음 중 관련없는 것은?

- ㉠ 망소특성      ㉡ 망중특성
- ㉢ 망대특성      ㉣ 망목특성

**해설**

↳ 다구치 실험계획에서 주로 쓰이는 특성치 분류로는 ㉠, ㉢ 및 ㉣의 3가지이다.

- ㉠ 망소특성 : 작을수록 좋은 것(예; 유해가스)
- ㉢ 망대특성 : 클수록 좋은 것(예; 강도)
- ㉣ 망목특성 : 목표치가 있는 것(예; 규격 제품)

**02** 다음 중 변량인자가 아닌 것은?

- ㉠ 잡음인자      ㉡ 신호인자
- ㉢ 집단인자      ㉣ 블록인자

**해설**

↳ ㉠, ㉡항은 다구치 실험계획에서 쓰이는 인자 명칭으로서 신호인자는 모수인자이다.

↳ ㉢, ㉣항은 난괴법(亂塊法) 등 변량모형에서 쓰이는 인자 명칭이다.

**03** 실험계획에는 가장 좋은 수준을 선택하기 위하여 여러 수준을 설정하여 처리할 수 있는 인자는 무엇인가?

- ㉠ 제어인자      ㉡ 잡음인자
- ㉢ 표시인자      ㉣ 보조인자

**해설**

㉠ 제어인자 : 제품 특성에 영향을 주고, 제어 가능한 변수(예; 브레이크 시스템 재료 등)

㉡ 잡음인자 : 제품 특성에 영향을 주고, 제어 불가능한 변수(실험 가능) (예; 브레이크 시스템의 타이어 상태, 도로 상태 등)

**04** 각종 잡음이나 이유를 알 수 없으나 품질산포에 영향을 주는 것을 한데 묶어서 부르는 인자는?

- ㉠ 오차인자(error factor)
- ㉡ 신호인자(signal factor)
- ㉢ 표시인자(indicative factor)
- ㉣ 보조인자(supplementary factor)

**해설**

**05** 실험의 정도를 올릴 목적으로 실험의 장을 증별하기 위해서 채택한 인자로, 수준의 재현성도 없고 제어인자와의 교호작용도 의미가 없지만 실험값에는 영향을 준다는 인자는?

- ㉠ 표시인자      ㉡ 보조인자
- ㉢ 오차인자      ㉣ 블록인자

**해설**

㉠ 오차인자는 특성치에 별 영향을 미치지 않거나, 영향을 미치는 것을 아는데 실험할 수 없는 인자들이다.

다구치 실험에서 고려하지 않는다.

㉡ 블록인자는 블록을 하나의 인자로 하는 경우이다.

**06** 다음 중 실험재료나 실험조작이 갖는 오차의 정도를 적게 하기 위하여 고유기술적인 지식에 따라 층별을 실시하였을 때 이루어지는 인자를 무엇이라 하는가?

- ㉠ 제어(制御)인자    ㉡ 블록(block)인자
- ㉢ 층별(層別)인자    ㉣ 표시(標示)인자

**해설**

㉡ 블록(block)인자는 실험전체의 장을 실험환경이 동일한 몇 개로 층별하기 위해서 채택하는 인자이며, 실험의 정도(精度)를 높이는 것이 목적이다.

**07** 온도, 시간, 성분과 같이 작업조건을 변경한다든가 구입규격을 개정하거나 해서 실험결과를 사용하여 수준을 자유로이 통제(control)할 수 있는 인자는?

- ㉠ 제어인자    ㉡ 표시인자
- ㉢ 블록(block)인자    ㉣ 보조인자

**해설**

**08** 기술적으로 의미가 있는 수준(level)을 갖고 있으나 실험 후에 최적수준을 선택하는 것이 무의미한 인자는?

- ㉠ 제어(制御)인자    ㉡ 블록(Block)인자
- ㉢ 층별(層別)인자    ㉣ 표시(標示)인자

**해설**

㉢ 해석을 목적으로 하는 모수인자인 제어인자는 최적수준의 선택이 중요하지만, 표시인자는 모수인자이기는 하나 제어인자와의 교호작용만이 의미가 있다.

**09** 제품의 성능 특성치가 목표값으로부터 벗어나도록 하는 잡음요인에는 크게 3종류가 있다. 마찰에 의한 부품의 마모나 기계세팅의 변동과 같이 생산공정이 불완전해서 오는 요인은?

- ㉠ 외부 잡음    ㉡ 내부 잡음
- ㉢ 제품간 잡음    ㉣ 시스템 잡음

**해설**

㉣ 잡음인자는 결과치에 영향을 미치나, 제어할

수 없는 인자들이다. 다구치 실험에선 중요시 하는 인자이다.

### 4.3 파라미터 설계

#### ◆ 파라미터 설계와 SN 비 ◆

**01** 다구치실험계획법에서 사용되는 파라미터설계에서 파라미터(parameter)는 무엇을 의미하는가?

- ㉠ 변수의 계수(coefficient)를 의미한다.
- ㉡ 인자가 취할 수 있는 값의 범위(range)를 의미한다.
- ㉢ 제어가능한 인자(controllable factor)를 의미한다.
- ㉣ 망목, 망대, 망소를 나타내는 특성치를 의미한다.

**해설**

㉢ 파라미터는 제품성능의 특성치에 영향을 주는 인자 중에서 제어가능한 인자를 의미하며, 파라미터 설계는 이들 인자들의 최적수준을 정하여 주는 것을 말한다.

**02** 파라미터 설계가 갖는 주요 특징이 아닌 것은?

- ㉠ 주로 직교배열표를 이용하여 배치한다.
- ㉡ 요인배치법을 많이 사용하여 교호작용을 파악한다.
- ㉢ 제어인자는 내측배열에 배치하여 제어인자의 최적조건을 찾아준다.
- ㉣ 잡음인자는 외측배열에 배치하여 잡음에 따른 산포의 크기를 파악할 수 있도록 한다.

**해설**

㉡ 파라미터 설계에서는 주로 직교배열표를 이용하며, 교호작용은 직교배열표에서 생략하고 배치된다.

**03** 파라미터 설계의 중요성으로 다구치는 주요 4가지를 특히 강조하였는데 다음 중 옳지 않은 것은?

- ㉠ 품질특성의 산포를 최대한으로 하여야 한다.
- ㉡ 평균치 이동이 목표치에 접근하도록 한다.
- ㉢ 손실비용을 최소화시켜야 한다.
- ㉣ 설계변수의 조건들이 실험의 재현성이 있는 결과로 얻어졌는가 확인한다.

**해설**

☞ 제품설계 또는 공정설계를 위한 파라미터 설계의 목적은 잡음의 영향 하에서도 성능특성치의 분산이 작고, 평균이 목표치에 근접하도록 하는 제어인자(설계변수)의 조건을 찾는 것이다.

**04** 제품성능의 특성치에 영향을 주는 제어 가능한 인자들의 최적수준을 정하여 주는데 사용되는 방법은?

- ㉠ 시스템설계      ㉡ 파라미터설계
- ㉢ 허용차 및 오차    ㉣ 예측 및 수정설계

**해설**

☞ 파라미터는 제품성능의 특성치에 영향을 주는 인자 중에서 제어가능한 인자를 의미하며, 파라미터 설계는 이들 인자들의 최적수준을 정하여 주는 것을 말한다.

**05** SN 비를 설명한 식 중 맞는 것은?

- ㉠  $\frac{\text{잡음의 크기가 산출물의 결과에 어느 정도 나쁜 영향을 주는가?}}{\text{목적이 산출물의 결과에 어느 정도 반영되는가?}}$
- ㉡  $\frac{\text{모평균 } \mu \text{의 제곱 } \mu^2 \text{의 추정값}}{\text{분산 } \sigma^2 \text{의 추정값}}$
- ㉢  $\frac{\text{잡음이 산출물에 전달되는 힘}}{\text{신호입력이 산출물에 전달되는 힘}}$
- ㉣  $\frac{\text{목적 외 잡음의 힘}}{\text{목적하는 신호의 힘}}$

**해설**

☞ SN 비 =  $\frac{\text{목적이 산출물의 결과에 어느 정도 반영되는가?}}{\text{잡음의 크기가 산출물의 결과에 어느 정도 나쁜 영향을 주는가?}}$

$$= \frac{\text{신호입력이 산출물에 전달된 힘}}{\text{잡음이 산출물에 전달된 힘}}$$

$$= \frac{\text{신호의 힘(power of signal)}}{\text{잡음의 힘(power of noise)}}$$

$$= \frac{\text{목표치 } m^2 \text{의 추정치}}{\text{분산 } \sigma^2 \text{의 추정치}}$$

**06** 다구치방법에서 목표값에 가까우면서 여러 종류의 잡음에 둔감한 파라미터의 최적수준을 결정하기 위한 척도는 무엇인가?

- ㉠ SN 비                      ㉡ 품질특성치
- ㉢ 직교배열표                ㉣ 잡음변수

**해설**

☞ 다구치방법에서는 파라미터 설계시 고려하여야 할 주요 착안사항으로서 품질특성치의 산포를 줄이는 것을 중요시 하며, 제품의 성능변동이 잡음(noise)에 둔감하도록 설계변수의 최적조건을 구한다.

산포의 특성치로는 SN 비(신호 대 잡음의 비율)를 사용한다.

**07** 하나의 실험점에서 30, 40, 38, 49(단위 : dB)의 반복관측치를 얻었다. 자료가 망목특성치라면 SN 비 값은 약 얼마인가?

- ㉠ -14dB                      ㉡ -13dB
- ㉢ 14dB                        ㉣ 13dB

**해설**

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

$$= 10 \log \left[ \frac{(6,162.25 - 60.92) / 4}{60.92} \right] = 13.99 \text{ dB}$$

여기서,

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i = \frac{1}{4} (30 + 40 + 38 + 49)$$

$$= \frac{157}{4} = 39.25$$

$$S_m = \frac{1}{n} \left( \sum_{i=1}^n y_i \right)^2 = \frac{1}{4} (30 + 40 + 38 + 49)^2$$

$$= \frac{1}{4} \times 157^2 = 6,162.25$$

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

$$= \frac{1}{3} [(30-39.25)^2 + \dots + (49-39.25)^2] = 60.92$$

**08** 실험의 결과 특성치가 다음과 같다. 이를 망목특성치로 생각하면 SN 비(Signal to Noise ratio)는 약 얼마인가?

[데이터] 43, 47, 49, 53, 61

- ㉠ 8.685dB      ㉡ 17.37dB
- ㉢ 20.01dB      ㉣ 40.02dB

**해설**

㉡ 망목특성 SN 비

$$= 20 \log \left( \frac{\bar{y}}{s} \right) = 20 \log \left( \frac{50.6}{6.841} \right) = 17.381$$

여기서,  $\bar{y} = \frac{\sum y}{n}$ ,  $s = \sqrt{V} = \sqrt{\frac{\sum (y_i - \bar{y})^2}{n-1}}$

**09** 망목특성의 식을 나타낸 것으로 옳지 않은 것은?

(단,  $s = \sqrt{V}$ ,  $S_m = \frac{1}{n} (y_1 + y_2 + \dots + y_n)^2$  이다.)

- ㉠  $10 \log \frac{\bar{y}}{s}$       ㉡  $10 \log \frac{(\bar{y})^2}{s^2}$
- ㉢  $10 \log \left[ \frac{(\bar{y})^2 - \frac{V}{n}}{V} \right]$
- ㉣  $10 \log \left[ \frac{\frac{1}{n} (S_m - V)}{V} \right]$

**해설**

망목특성일 때 SN 비 =  $10 \log \left( \frac{(S_m - V)/n}{V} \right)$

여기서,

$$S_m = \frac{(\sum y)^2}{n}, V = \sum (y_i - \bar{y})^2 / (n-1)$$

그런데  $S_m = (\sum y)^2 / n = n(\bar{y})^2$  이므로

$$SN \text{ 비} = 10 \log \left( \frac{\bar{y}^2 - V/n}{V} \right) \text{ 가 되며,}$$

$n$  이 충분히 커서  $\bar{y}^2 > V/n$  의 관계이면  $V/n=0$ 으로 간주하여

$$SN \text{ 비} = 10 \log \left( \frac{\bar{y}^2}{V} \right) = 20 \log \left( \frac{\bar{y}}{\sqrt{V}} \right) = 20 \log \frac{\bar{y}}{s}$$

**10** 망대특성 실험의 경우 특성치가 다음과 같을 때 SN 비(Signal-to-Noise ratio)를 구하면?

[데이터] 36, 38, 32, 37, 40

- ㉠ 31.20dB      ㉡ 28.15dB
- ㉢ -21.81dB      ㉣ -31.20dB

**해설**

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

$$= -10 \log \left[ \frac{1}{5} \left( \frac{1}{36^2} + \dots + \frac{1}{40^2} \right) \right] = 31.20 \text{ dB}$$

**11** 하나의 실험점에서 30, 40, 38, 49dB 의 반복 관측치를 얻었다. 자료가 망소특성치 라면 SN 비의 값은?

- ㉠ -32dB      ㉡ -30dB
- ㉢ 30dB      ㉣ 32dB

**해설**

망소특성 SN 비 =  $-10 \log \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right]$

$$= -10 \log \left[ \frac{1}{4} (30^2 + 40^2 + 38^2 + 49^2) \right]$$

$$= -32.004$$

**12** 제품을 150개 만들어서 상품, 중품, 하품으로 분류하여 보니 각각 80, 55, 15개 이었다. 상, 중, 하에 각각 0, 1, 2의 가중치를 줄 경우 SN 비를 구하면 약 얼마인가?

- ㉠ 1.154      ㉡ 2.467
- ㉢ 3.542      ㉣ 4.268

**해설**

상품에 가중치 0을 주고, 하품에 가중치 2를 주므로 망소특성으로 볼 수 있다.

$$\begin{aligned}
 \text{망소특성 SN 비} &= -10\log\left[\frac{1}{n}\sum_{i=1}^n y_i^2\right] \\
 &= -10\log\left(\frac{1}{150}(0^2 \times 80 + 1^2 \times 55 + 2^2 \times 15)\right) \\
 &= 1.154
 \end{aligned}$$

◆ 파라미터 설계의 특징 및 방법 ◆

13 다구치의 품질공학과 일반 실험계획법을 비교할 때, 다음 중 다구치의 품질공학과 관한 설명이 아닌 것은?

- ㉠ 기능성의 추구, 선행성, 범용성, 재현성에 목적을 둔다.
- ㉡ 오차요인을 적극적으로 이용하고 고의로 산포시켜 안정화된(둔감한) 파라미터를 산정한다.
- ㉢ 최적화의 수준 선택은 설계정수를 변화시켜서 직선성을 양호하게 하고, 동시에 산포를 작게 한다.
- ㉣ 실험수준간 등분산이라는 가정하에서 평균치를 분석하고 목표 평균치에 가장 가까운 조건을 설정한다.

해설

- ㉣ 평균치  $\bar{y}$ 에 유의하게 영향을 주는 설계변수들을 선택하여 평균치가 목표치에 접근하도록 하는 설계변수들의 조건을 구하여 준다.