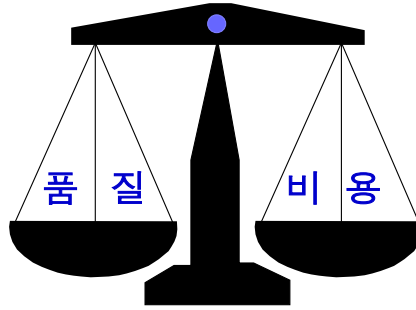


제 3장 다구찌 방법 개요

다구찌 품질공학의 기본 Concept?

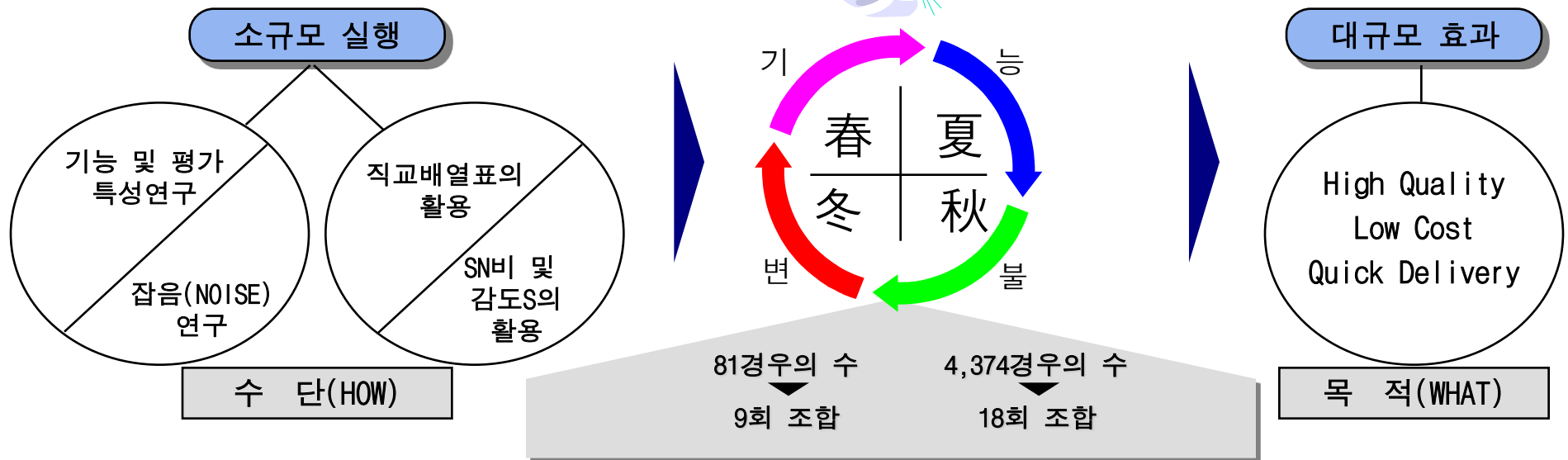


다구찌 품질공학의 기본 철학은
내가 만든 제품, 서비스 및 프로세스가
성능을 저해 하려는 사용자의 나쁜 조건을
억지로 “관리” 해서 성능을 좋게 하려는 것이 아니라,
그것을 “극복” 하는 “내가 할 수 있는 요소” 를 찾아
최적화하고 품질과 비용의 균형을 맞추는 방법으로,
학자에게 활용되기 보다는 엔지니어에게 활용되기를 원하는
최적화 기법이다.

다구찌품질공학의 개요 - 정의/목적

○ 정의 : 기술개발, 제품 및 공정에 대하여 사용자(고객)의 어떠한 환경에서도 기능이 안정(강건)되도록 **Parameter**의 조건을 최적화하고, 가장 경제적이 되도록 **Tolerance Design**을 하는 것.

- 목적 - 개발기간의 단축
- 제품, 공정설계의 최적화를 통한 **Loss** 최소화
 - 사용자(고객) 환경에서의 기능 안정화
 - 기술개발의 先行性, 汎用性, 再現性 확보



☞ 3수준 4인자일 때 81 경우의 수, 2수준1인자 및 3수준 7인자일 때 4,374 경우의 수

Taguchi 기법은 무엇인가?

- ▶ 1950년대에 겐이찌 다구찌 박사에 의해 개발되었다.
- ▶ 제품 또는 프로세스 기능을 개발/개선하기 위해 사용되었다.
- ▶ 그러나 종종 DOE와 다를 바 없는 방법으로 잘못 이해되고 있다.
- ▶ 기술적으로는 “품질 공학”으로 불린다.
- ▶ 일본에서 널리 활용, 한국에는 1980년대 초 소개
- ▶ 근본적으로 공학적인 방법론이나, 흔히 통계적인 접근방법으로 오판 되고 있음.
- ▶ 정의:
제품 및 프로세스 기능의 변동을 감소하는 목적을 수행하기 위한 활동에 대한 연구 또는 과학

“Taguchi 기법은 방법론이다”

cf : 한국에서는 일반적으로 “다구찌 품질공학”이라고 불림.

다구찌 방법의 기본전략

- 품질관리 활동은 제품설계, 늦어도 공정설계 단계에서 이루어지는 것이 바람직 함
- 공정관리나 검사단계에서는 제품의 고유 품질수준을 향상시키기 어려움
- 제품의 성능특성은 잡음의 영향으로 목표치 또는 이상치로 부터 산포하며 이러한 산포를 손실의 개념으로 정량화함으로써 품질문제를 객관적, 공학적 문제로 다룰 수 있음
- 높은 품질의 제품은 손실이 작은 제품이며 손실은 성능의 산포로 야기되므로 성능특성치가 잡음에 둔감하도록(즉, 잡음하에서도 성능변동이 적도록, 로버스트) 제품이나 공정을 설계해야 함

수행방법

- 직교표 (orthogonal table)를 이용한 실험
- SN비 (signal-to-noise ratio)의 분석

다구찌의 공헌

- 구체적인 방법론의 개발
- 다양한 사례를 통한 효용성의 입증

• 로버스트니스 (Robustness) 란 ?

☞ 최소의 단위 제조 비용으로 기술, 제품 또는 공정의 성능이 이의 산포를 일으키는 요인들에 가장 둔감한 상태로 만드는 것.
즉, 노이즈의 영향이 최소가 되는 상태를 만드는 것.

• 로버스트 설계의 새로운 패러다임

- 높은 성능의 제품이 항상 많은 비용을 필요로하는 것은 아님.
- 문제의 원인을 항상 제어/제거할 필요는 없음.
- 교호작용은 최소화 할 수 있음.
- 목표치와 상이한 모든 경우에 손실 발생
- 로버스트 설계방법 응용 : 공학지식이 필요함.
(수학이나 통계학 지식이 아님)

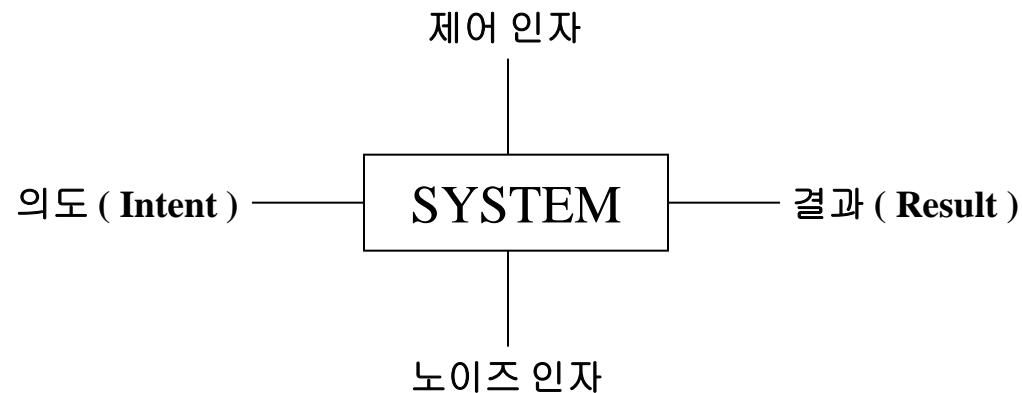
• 일본 전기 통신 공사 (NTT) 성공사례

· X - BAR 교환기 개발을 미국 AT&T의 BELL Lab보다 1년 늦게 시작하여 먼저 개발 성공

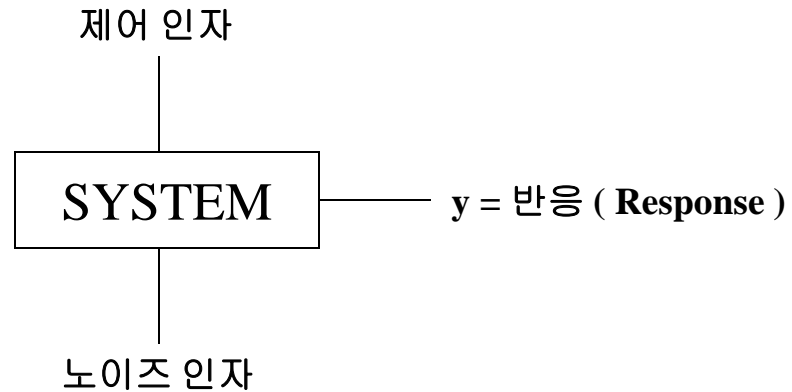
구 분	연구인원	개발기간	결 과
NTT	1 명	6 년	성 공
AT&T	5 명	7 년	실 패

• NTT의 성공 요인

① 제어인자 (CONTROL FACTOR) 와 노이즈인자 (NOISE FACTOR) 간의
교호작용 (INTERACTION) 이용



② 제어인자를 직교 표에 할당



③ 2 단계 최적화 (2 - step Optimization)

제 1 단계 : 평균치 주위의 산포 감소

제 2 단계 : 목표치에로의 조정

다구찌품질공학의 개요 - 중요성

• 엔지니어의 역할

- 엔지니어와 과학자의 역할이 비슷한 것으로 혼동되는 경우가 많음.
- 과학자의 역할 : 어느 현상에 대한 원리와 법칙을 발견하고 이를 세상에 알리기 위해 연구하는 것
- 엔지니어의 역할 :
 - 과학적인 진실이나 법칙을 활용해서 고객의 요구를 만족시킬 수 있는 제품이나 공정을 만드는 것.
 - 자연계에 존재하지 않는 새로운 제품이나 공정을 창출하는 것
- 어려운 역할을 성공적으로 수행하기 위해서 효율적인 전략 및 기법이 필요하게 됨 .

다구찌품질공학의 개요 - 중요성

• 다구찌 방법의 다섯 가지 전략

- ① 제어인자와 노이즈인자간의 교호작용을 이용하라.
- ② 출력 특성을 잘 결정하라.
 - 모든 공학시스템은 에너지 변환을 위해 존재한다.
- ③ 직교배열표를 사용하여 제어인자의 최적화를 시도하라.
- ④ 2단계 최적화를 하라.
 - a. 산포를 최소화할 수 있는 제어인자 수준들의 조합을 구한 후,
 - b. SN비에는 별 영향을 주지 않고 평균(또는 감도)에는 큰 영향을 주는 제어인자를 사용하여 목표치를 옮겨라.
- ⑤ 확인 실험을 통해 유해한 교호작용 (제어 인자간)의 유무와 재현성을 확인하라.

품질의 정의

- 사용하기에 적합함 (fitness for use)

- 소비자 입장 강조
- 지나치게 포괄적이며 정량화하기 어려움

- 도면에 표시된 규격에 부합되는 것

- 불량률 등으로 품질을 정량화할 수 있음
- 소비자의 관점이 반영되어 있지 않음. 즉 규격에 맞는다고 해도 동일한 적합도를 갖는다고 할 수 없음
- 품질에 대해 안이한 자세를 유발

- 제품이 출하되어 사용되어질 때 야기되는 사회적 손실 (다구찌)

- 전통적인 관점 (“값어치” 또는 “바람직스러운 것”) 과 상치
- 품질을 값어치와 관련지어 생각하는 것은 개개인의 효용성 (utility)에 의존하는 것으로 마케팅, 제품기획의 관점에서는 유리할 지 모르나 공학적 관점에서는 부적당함

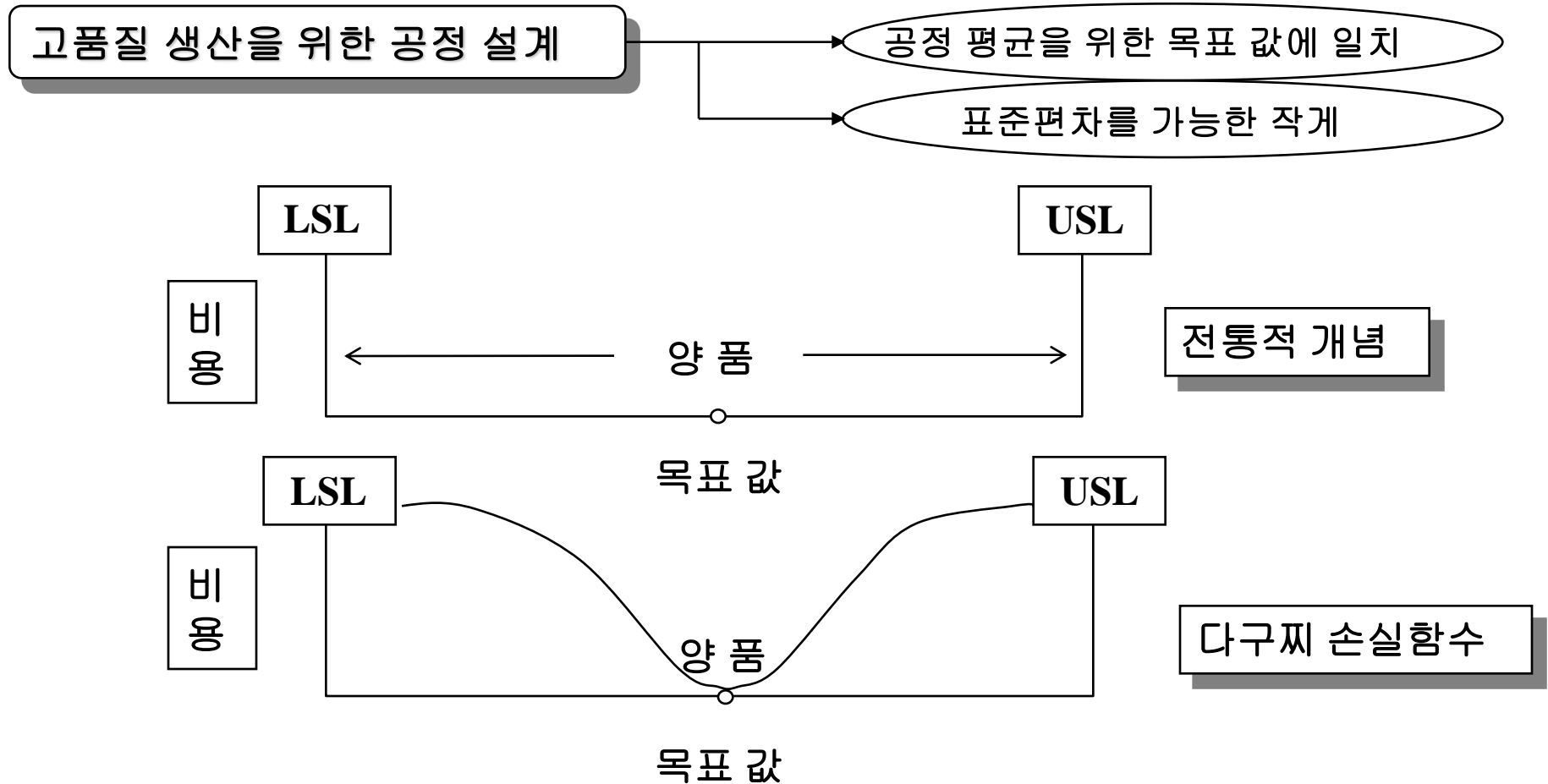
손실의 원인

- 성능특성의 목표치 또는 이상치로 부터의 산포
- 예 (자동차 성능특성)

성능특성	목표치 또는 이상치	목표치 또는 이상치로부터 산포의 원인
리터당 주행거리	이상적으로 가능한 최대치	잡음 (noise) - 사용환경(외란) - 부품의 노후화(내란) - 생산환경(불완전 제조)
배기가스중 일산화탄소의 함량	0	
엔진점화를 위한 전기회로의 정격전압	목표치 (예, 20 kV)	

I. 다구찌 품질공학 개요

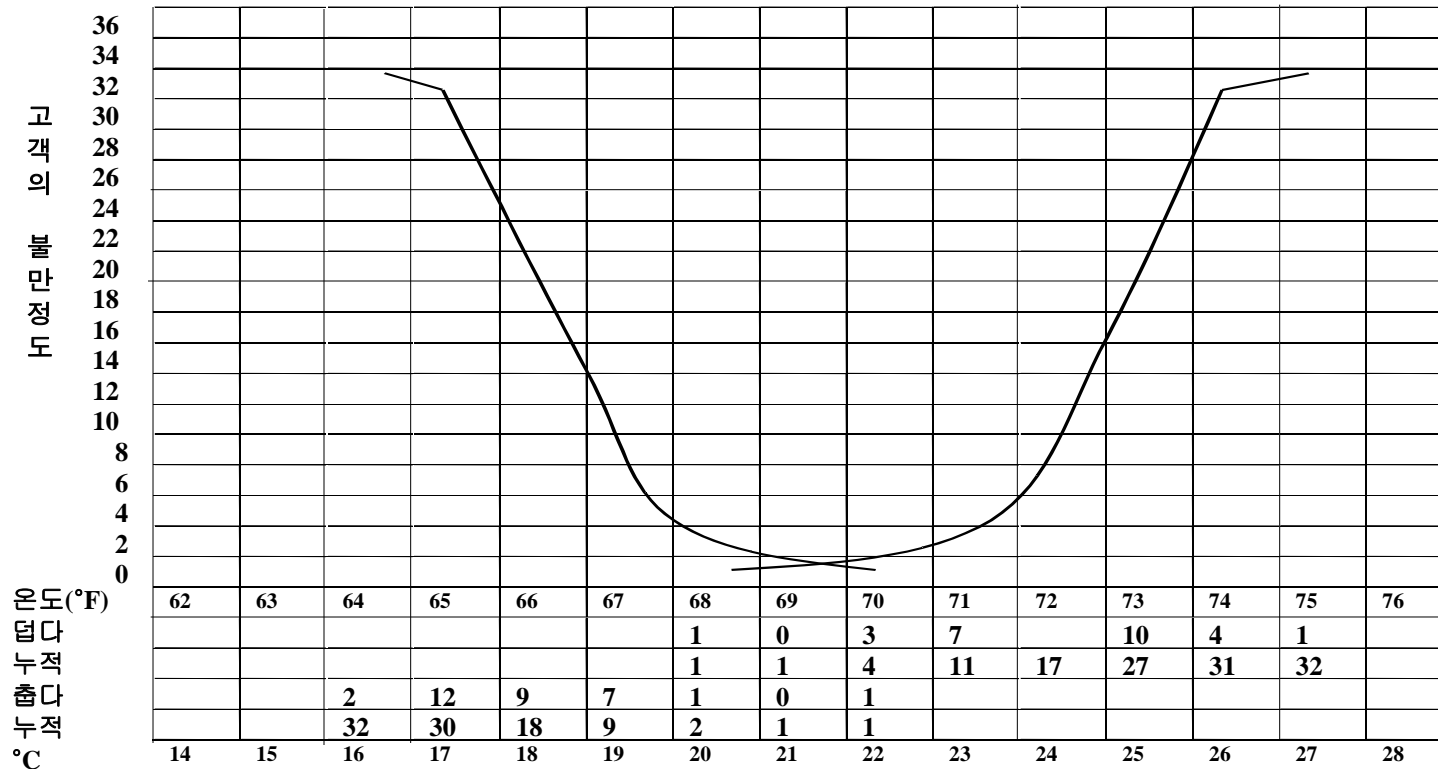
□ 전통적 개념 대 다구찌 손실함수



예제

손실 함수 : 온도 조절 (좋아하는 온도)

다음은 한 강의실에 있는 32명의 온도 선호 조사 결과로서 온도 조절의 손실함수를 보여 준다.



< 실내 온도 (°F) 와 고객 불만 >

손실함수

- 용어정의

y : 성능특성치 (소비자의 요구를 만족시킬 수 있는 제품의 성능을 결정짓는
주 품질특성치)

m : 목표치 또는 이상치

$L(y)$: 손실함수

성능변동(Performance variation) : 성능 특성치의 변동

- 특성치의 종류

망소특성 : 성능 특성치가 작을수록 좋은 경우 ($m = 0$)

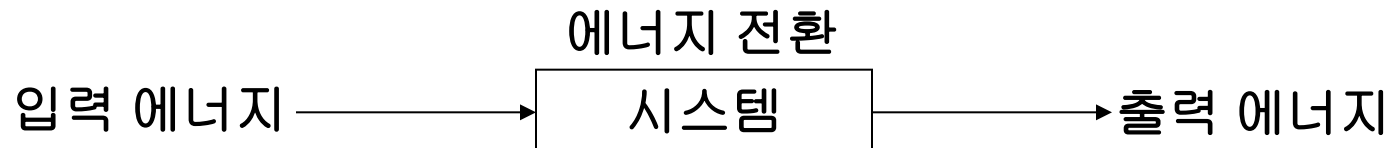
망대특성 : 성능 특성치가 클수록 좋은 경우 ($m = \infty$)

망목특성 : 성능특성치의 목표치가 주어진 경우 ($0 < m < \infty$)

이상 기능과 S/N 비

• 이상 기능

- 일반적인 시스템은 어떤 형태로든 입력과 출력이 존재
- 이상기능이란? : 입력에너지 100%가 출력 에너지로 전환되는 것.
- 현실적으로 이상적인 시스템은 존재하지 않음



- 설계의 '이상 기능' 표현

$$y = \beta M,$$

y = 출력 반응 (Output Response)

M = 입력 신호 (Input Signal)

I . 다구찌 품질공학 개요

- 시스템의 예

<u>시스템</u>	<u>입력신호</u>	<u>출력반응</u>
브레이크 패드/로타	압 력	torque
전동기	전 력	torque x rpm
도장 공정	도장 시간	도장 두께

- 연습 문제 : 이상 기능

다음 제품의 입력신호 (M) 와 출력반응 (y) 은 무엇인가 ?

- 체중기
- 수도꼭지

• S/N 비

- 시스템 성능측정의 척도, 노이즈 인자가 성능에 미치는 영향
- S/N 비는 제품/공정에서 일어나는 에너지 전환의 품질 평가기준
- 로버스트니스의 척도
- S/N 비가 클수록 품질이 양호

$$S/N = \frac{\text{Energy (or Power) that is transformed into intended output}}{\text{Energy (or Power) that is transformed into unintended output}}$$

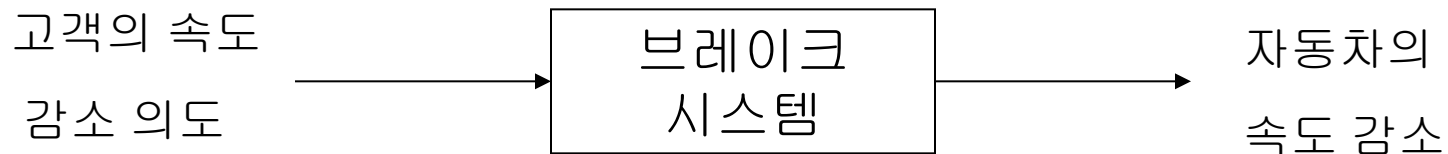
$$S/N = \frac{\text{Useful Output Energy}}{\text{Harmful Output Energy}}$$

- S/N 비에 영향을 주는 요인

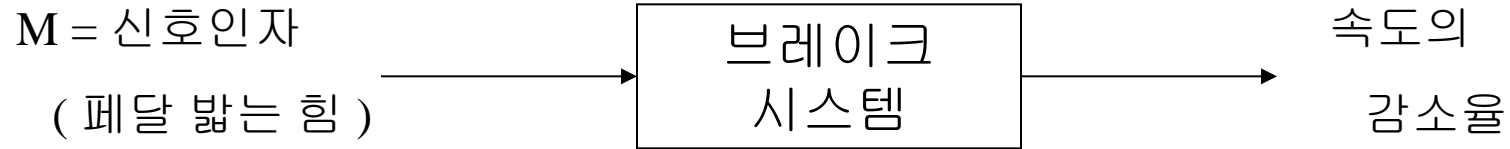
- 입력신호 (Input Signal)
- 에너지 전환 (Energy Transformation)
- 출력반응 (Output Response)
- 노이즈 인자 (Noise factors)

- 예] 브레이크 시스템

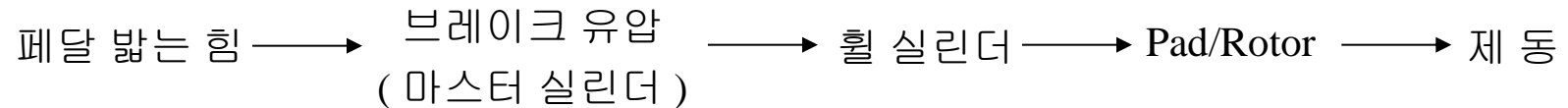
- 1) 시스템의 의도 (Intent)



2) 입력 신호 (Input Signal)



3) 에너지 전환 (Energy Transformation)



- 엔지니어의 임무 : 원하는 출력을 낼 수 있도록 능률적이고 효과적인 에너지 전환을 가능하게 하는 시스템을 만드는 것임.

※ 로버스트 설계의 주요한 전략의 하나는 기능을 수행하기 위해서 어떠한 에너지 전환이 일어나는가 하는 것을 알아내는 것임.

4) 출력 반응 (Output Response)

- 출력 반응 : 엔지니어링 시스템이 설계된 목적이며, 입력 신호와 출력 반응간의 이상적인 에너지 전환이 곧 이상 기능임.

5) 노이즈 인자 (Noise Factor)

- 노이즈 인자 : - 입력 신호와 출력 반응간의 에너지 전환이 원하고 설계한 대로 진행되지 않는 이유
 - 시스템의 기능에 영향을 주기는 하나 제어가 불가능하거나 또는 제어하거나 변경시키려면 비용이 과다하게 지출되어야 하는 변수

손실함수 : 망목특성

- 손실함수의 유도

- $y = m$ 에서 $L(y)$ 를 2차 항까지 Taylor series로 전개

- $$L(y) \approx L(m) + L'(m)(y-m) + \frac{L''(m)}{2}(y-m)^2$$

- $$L(y) \approx k(y-m)^2 \text{ (단, } L(m)=0, L'(m)=0, k=\frac{L''(m)}{2} \text{)} \quad (1.1)$$

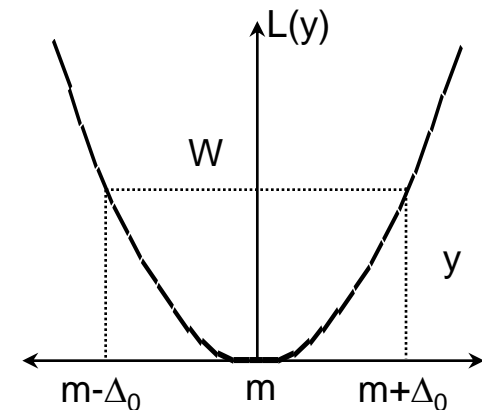
- k 값의 추정

- 어떤 y 값에 대해 알려진 $L(y)$ 를 이용

- 예 : 소비자 허용규격 $(m-\Delta, m+\Delta)$

수리 및 폐기비용 = W 원

$$\rightarrow k = W / \Delta_0^2$$



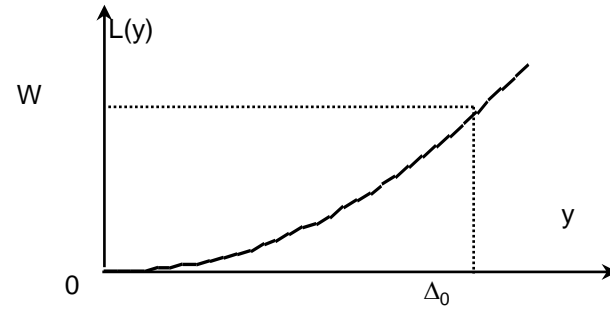
손실함수 : 망소특성

- 손실함수의 유도

$$L(y) \approx k y^2$$

- k 값의 추정

$$k = W / \Delta_0^2$$



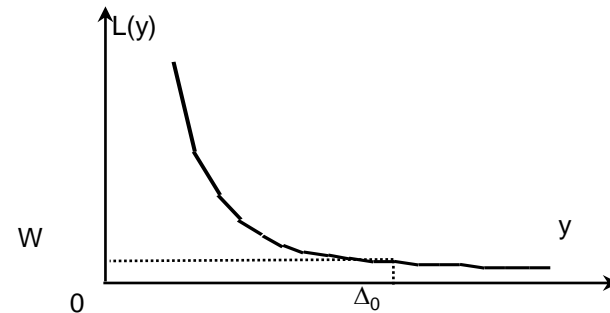
손실함수 : 망대특성

- 손실함수의 유도

$$L(y) \approx \frac{k}{y^2}$$

- k 값의 추정

$$k = W \cdot \Delta_0^2$$



I . 다구찌 품질공학 개요

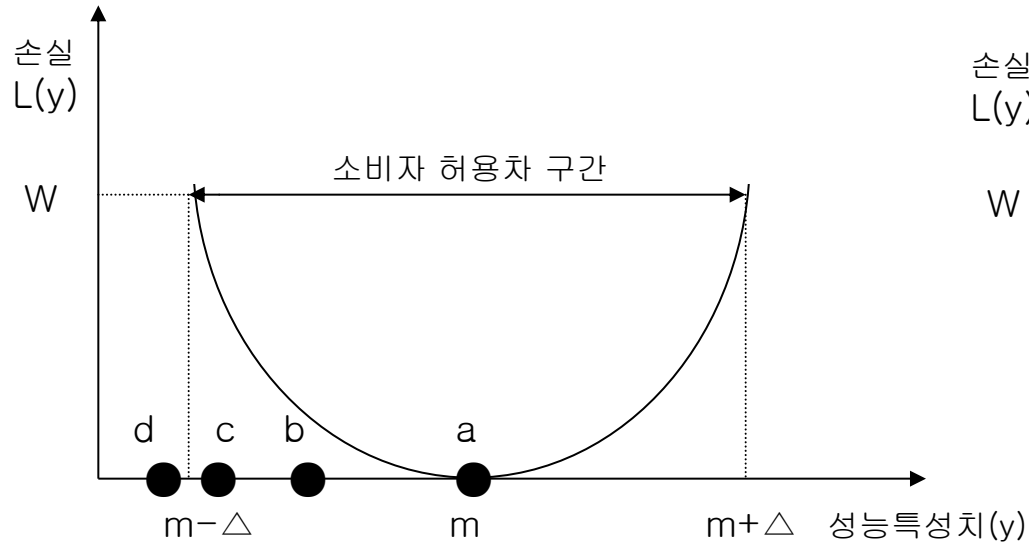


그림 1.1 성능 특성과 손실 함수

- $L(a) < L(b) < L(c)$
- $L(c)$ 와 $L(d)$ 의 차이가 거의 없음

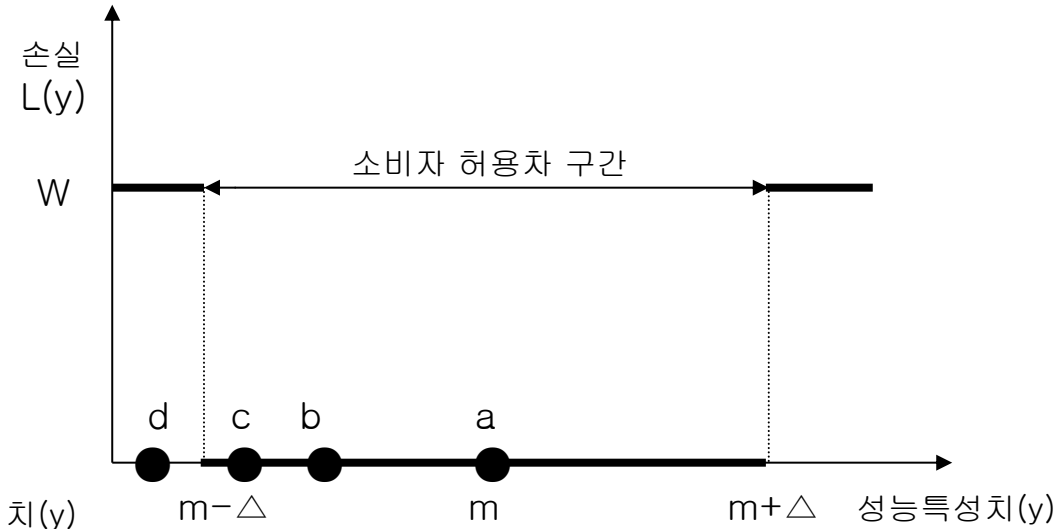


그림 1.2 이원적 손실 함수

- $L(a) = L(b) = L(c)$
- $L(d) = L(c) + W$

사례 (Taguchi and Wu [14])

- 특성치 : 농가의 비닐하우스에 사용되는 비닐쉬트의 두께
- 규격 : 0.8 ~ 1.2 (mm)
- $C_p = 1$

• 문제의 공장 (I)

➤ 평균두께 = 0.82 mm

➤ 공정능력 : ± 0.02 mm

➤ 생산원가는 줄일 수 있으나 비닐쉬트의 파손에 의한 교체비용이 과다

- 허용한계내에 속하는 제품은 무조건 양호하다는 개념은 비합리적임.

- 일본 비닐쉬트 제조협회는 두께의 중심값을 1.0mm로 조정

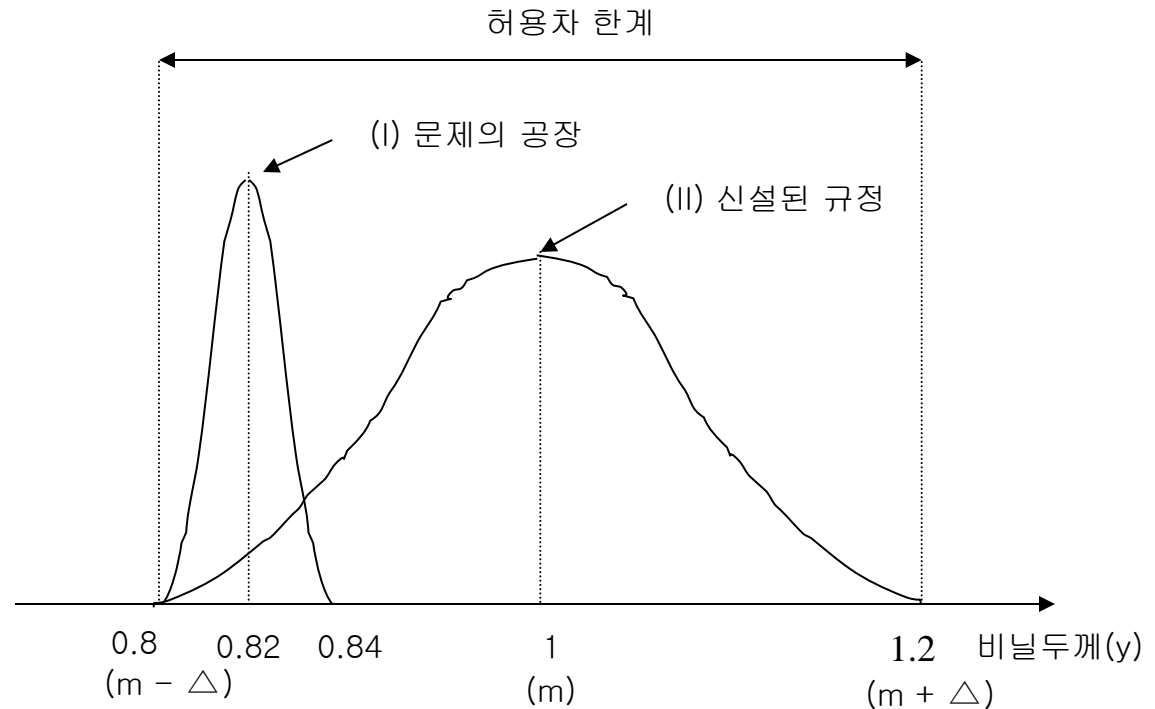


그림 1.3 비닐 두께의 가상적 분포허용차 한계

기대손실

- 제품이 사용되어지는 기간 동안에 성능특성치가 목표치로부터 산포함으로써 야기되는 손실의 평균치

➤ 망목특성 : $E\{L(y)\} = E\{k(y-m)^2\} = k\{\sigma^2 + (\mu - m)^2\}$

➤ 망소특성 : $E\{L(y)\} = E\{ky^2\} = k\{\sigma^2 + \mu^2\}$

➤ 망대특성 : $E\{L(y)\} = E\{\frac{k}{y^2}\} = \frac{k}{\mu^2} \{ \frac{3\sigma^2}{\mu^2} + 1 \}$

• 비닐슈트 사례 $E\{L_1(y)\} = k\{\sigma^2 + (\mu - m)^2\} \approx 0.032445k$

➤ 문제의 공정 : $\mu = 0.82 \text{ mm}$, 범위 = $0.8 \sim 0.84 \text{ mm}$, $\sigma = (0.84 - 0.80)/6 \approx 0.0067$

$$E\{L_2(y)\} = k\{\sigma^2 + (\mu - m)^2\} \approx 0.004489k$$

$$E\{L_1(y)\} / E\{L_2(y)\} \approx 7.3$$

➤ 신설된 규정 : $\mu = 1 \text{ mm}$, 범위 = $0.8 \sim 1.2 \text{ mm}$, $\sigma = (1.2 - 0.8)/6 \approx 0.067$

손실함수의 역할

- 전통적인 품질의 개념 : 허용차 구간, 불량률
 - 품질문제에 대해 안이한 자세를 갖게 할 우려가 있음
- 손실함수의 개념
 - 품질향상을 위해 지속적인 노력을 경주하며, 목표치에 대한 성능특성치의 산포를 끊임없이 줄여나가는 것은 기업의 당면과제
 - 만족스러운 제품의 생산, 시장점유율의 증대
 - 다구찌의 손실함수는 이를 위한 전략, 즉 성능특성의 산포를 줄이고 평균을 가능한 한 목표치에 접근시켜야 한다는 것을 제시

잡음의 종류

- 외란 : 사용조건이 바람직한 상태를 유지하지 못하고 변화함으로 인해 발생하는 변동요인
(예) 사용온도, 사용습도의 변화, 입력전압의 정격전압으로부터의 변화
- 내란 (노후화) : 오랜 사용으로 내부 부품의 값이 정격치로부터 벗어남으로 인해 발생하는 변동요인
(예) 전자제품의 저항치가 10Ω 에서 사용기간이 경과함에 따라 15Ω 으로 증가함
- 불완전 제조 : 제조시에 발생할 수 있는 여러가지 변동 요인
(예) 제조시 작업자간의 변동, 기계간의 변동, 공정변수의 변동

잡음에 대한 대응 사례

- 배경

- 1950년대 초, 일본의 Inax Tile Company
- 생산된 제품의 크기가 고르지 못함
- 타일을 구워내는 가마내의 온도분포가 균일하지 못한 것이 원인 (불완전 제조)

- 대응방안 I

- 고른 온도분포를 갖는 새로운 가마의 도입
- 많은 경비 소요, 기술적 문제

- 대응방안 II

- 타일의 원료 배합비의 변경 (석회석의 함량 : 1% → 5%)
- 현재의 가마를 사용하고서도 타일 크기의 산포를 크게 줄임
- 값싼 석회석을 이용하여 경제적으로 품질문제를 해결

잡음에 대한 대응책

- 직접적인 품질공학

- 잡음을 직접 제거 또는 통제하려는 방법
- 예 : 새로운 가마로 교체, 좀 더 엄격한 온도 제어
- 많은 경비와 노력이 필요, 기술적으로 불가능

- 간접적인 대응

- 잡음을 있는 그대로 놔둔 상태에서 성능특성이 잡음에 둔감하도록 (즉 잡음하에서도 성능특성의 산포가 심하지 않도록) 제품이나 공정을 설계
- 예 : 원료 배합의 적절한 조성비
- 경제적이며 기술적으로 용이

제품 개발에 따른 대응책

<div> <div>제품설계</div> <div>→</div> <div>공정설계</div> <div>→</div> <div>제조</div> <div>→</div> <div>사용현장</div> </div>				
		잡음		
		외란	내란	불완전 제조
오프라인 QC	제품설계	○	○	○
	공정설계	X	X	○
온라인 QC	제조	X	X	○
	사용현장	X	X	X

X : 대응책 불가능, ○ : 대응책 가능

그림 1.4 성능 변동의 원인과 제품 개발 단계별 대응책

- 외란, 내란 : 제품설계 단계에서만 가능
- 불완전 제조 : 제품설계 및 공정설계 단계 (간접적 대응)

제조사 (검사, 공정관리 등의 직접적인 대응)

품질관리 활동의 변천과정

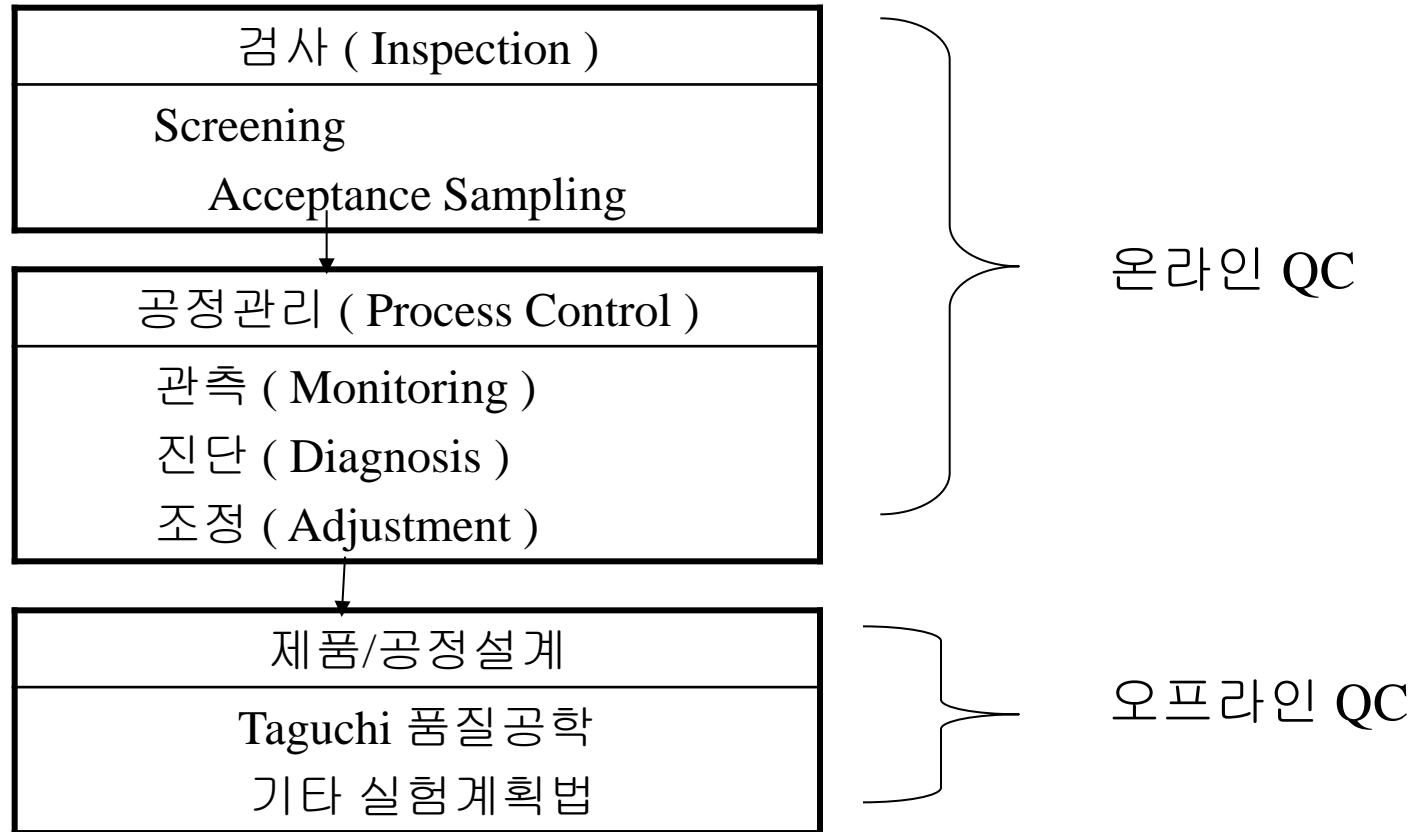


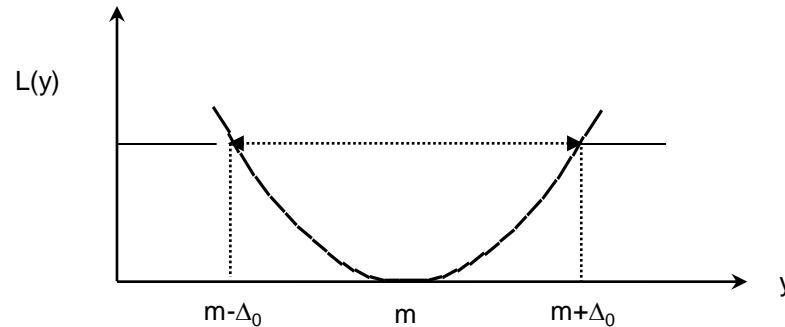
그림 1.5 품질 관리 활동의 변천과정

I . 다구찌 품질공학 개요

Taguchi Loss Quiz

- 규 격 : 1000 ± 2
- 스크랩 손실 : \$6/대
- subgroup size : 4
- \bar{x} (평균) : 999.63
- R_{bar} (범위들의 평균): 0.90

$$\text{표준편차: } \sigma = \frac{R_{\text{bar}}}{d_2}$$



y : 성능 특성치,
 m : y 의 목표치,
 Δ_0 : 허용차,
 A_0 : 허용차를 벗어났을 때 드는 수리/폐기 비용

문제1: 연간 1백만대를 생산한다고 볼 때 회사의 연간 손실은 얼마나 되는가?

- 1) 불량률에 의한 계산(정규분포표 이용)
- 2) Taguchi Loss Function

문제2 : 평균이 1000이고, 평균의 범위가 0.42로 각각 개선되었다면 이 회사는 얼마나 비용이 Save 되겠는가?

- 1) 불량률에 의한 계산 (정규분포표 이용)
- 2) Taguchi Loss Function

* d_2 Table

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10
d_2	1.13	1.69	2.06	2.33	2.53	2.70	2.85	2.97	3.08

n: subgroup size

I . 다구찌 품질공학 개요

문제1:

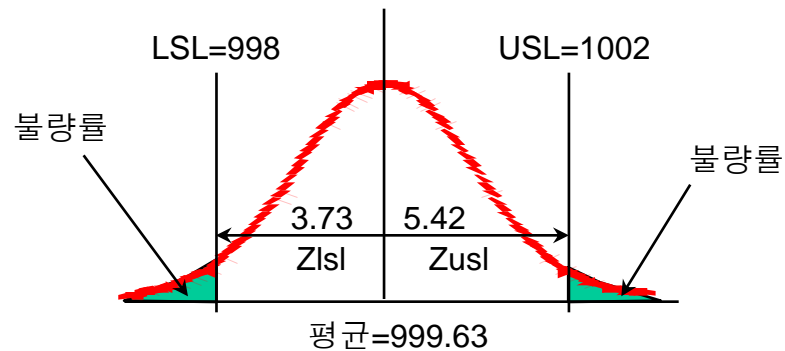
산포 개념의 비용 계산:

1) 표준편차를 계산한다

3) 총 불량률 계산: Z Table

2) 표준 정규분포 표로부터 불량률 계산한다

4) 손실금액 산출



I . 다구찌 품질공학 개요

Taguchi Method

1) 규격을 벗어 났을 때 대당 손실비용: k 산출

2) 손실비용

3) 총 손실비용

∴ Taguchi Method / 일반 산포 개념 = \$ / \$ = 로서 약 배의 차이가 난다.
결국 어떤 계산치를 적용하느냐에 따라 Management하는데 큰 GAP을 나타낸다.

I . 다구찌 품질공학 개요

문제2:

산포 개념의 비용

Taguchi Loss Function

결론:
문제1은