

# 로바스트 설계

## Robust Design



장기일 / ASI 컨설팅그룹  
Kil Chang / ASI Consulting Group

### 1. 설계 최적화의 개념

설계 최적화 기법으로는 실험 계획법도 사용 되고 있으나 도요다를 위시한 니산, 혼다 등 일본의 자동차 회사들은 주로 로바스트 설계 기법을 1950년대부터 사용해 왔으며, 1990년대부터는 미국 자동차 회사들도 이를 활용하기 시작 했다. 최근에는 우리나라의 자동차 회사들도 이를 적극적으로 도입 하고 있다. 로바스트 설계 기법은 다구찌 겐이찌 박사가 개발 하였으며 이에 관련된 이야기는 다구찌 박사의 자서전<sup>1)</sup>에 상세하게 나와 있다.

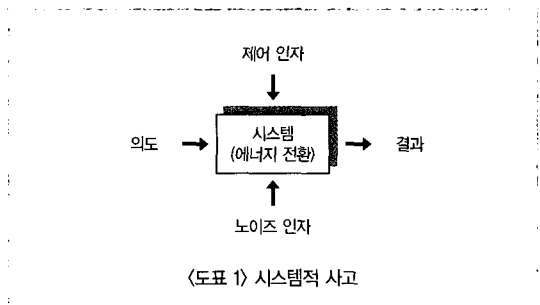
1950년대 초에 일본 전화 전신 공사(NTT)의 전기 통신 연구소에서 X-bar 전화 교환기 개발에 활용 하여 1년 먼저 동일한 기종의 개발에 착수 했던 AT & T의 Bell Lab.과의 경쟁에서 다음과 같이 불리한 상황 하에서도 승리 함으로서 주목받기 시작 했다.

구분	예산	연구인원	개발 기간
Bell Lab.	50	5	7년 - 개발 미완성
ECL	1	1	6년 - 개발 성공

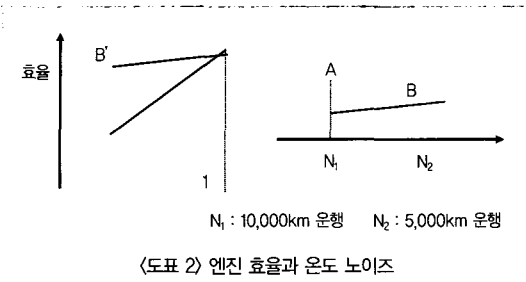
이 기법은 처음에는 미국에서 Xerox 사의 부사장이었고 후에 MIT 교수가 되셨던 Don Clausing 박사에 의하여 '다구찌 기법'으로 명명 되었으며 차 후에 로바스트 설계, 품질 공학으로 불려지게 되었으며, 일본에서는 1993년에 품질 공학 학회로 학회가 결성 되어 현재에는 회원 약 2,500명의 품질공학회로 발전 되어 있는데, 이 논문에서는 주로 로바스트 설계로 부르려고 한다.

NTT의 전기통신 연구소가 성공한 이유는 다음과 같다.

1) 시스템적 사고와 제어 인자(Control Factor)와 노이즈 인자(Noise)의 교호 작용을 활용 하였다



예를 들어서 자동차 엔진의 효율은 운행 거리에 따라 달라지는데 다음의 A와 B의 두 엔진 중에서 어느 엔진의 설계가 상대적으로 우수한 설계라고 생각 되는가?



여기에서 제어 인자는 설계 변수이고 노이즈 인자는 설계 엔지니어가 제어할 수 없는 환경 조건, 노화, 제조 산포 등을 일컫는다. 장, 단거리 운행 모두에서 효율이 더 높은 A 엔진의 설계가 더 우수해 보이나, 이의 효율은 운행 거리에 민감하고 B 엔진의 효율은 A 엔진보다 못하나 운행 거리 변화에 둔감하다. 만일에 어느 제어 인자를 조정 해서 B 엔진의 효율을 B' 수준으로 조정할 수 있다면 B 엔진 설계가 더 우수한 설계일 것이다.

2) 제어 인자를 직교표에 할당, 실험하여 실험 수를 감소 시키고 실험의 효율을 증대시켰다. 직교표에 대한 설명은 뒤로 미룬다.

3) 단계 최적화를 실행하였다. 이에 대한 설명도 차 후에 행해질 것이다.

제 1 단계 : 산포 감소

제 2 단계 : 목표치에로의 조정

## 2. 로바스트 설계 개념

이 기법은 “제품 및 공정 개발을 위한 좀 더 효과적이고 능률적인 공학적 접근 방법은 없는가?”라는 질문

에서 시작되었다. 한영 사전에 의하면 Robustness는 강건함, 튼튼함, 건전함 등을 의미 한다. 그러나 이러한 정의들은 다구찌 박사의 개념을 표현하고 있지는 않다. 다구찌 박사는 로바스트니스를 다음과 같이 정의하고 있다.

최소의 제조 비용으로 기술, 제품 또는 공정의 성능이 이의 산포를 일으키는 요인(고객의 사용 조건 또는 제조 조건이며 이를 노이즈라고 함)들에 가장 둔감한 상태로 만드는 것, 즉 노이즈의 영향이 최소가 되는 상태로 만들어 어떠한 고객의 사용 조건하에서도 수명의 전기간동안 제품이 설계된 대로의 성능을 발휘 할 수 있도록 하는 것이다. 따라서 로바스트니스의 달성이 로바스트 설계의 목표이다.

로바스트니스의 정의는 이해할 수 있으나 과연 이를 어떻게 측정 할 수 있을 것인가? 제품 및 공정 설계 엔지니어는 언제 자신의 설계가 로바스트 하다는 것을 알 수 있는가? 로바스트니스를 측정할 수 있는 척도는 무엇인가?

이러한 질문을 받았을 때 기술자들은 흔히 설계의 로바스트니스는 다음과 같은 척도로 측정 한다고 말한다.

- 신뢰성 데이터
- 품질 보증(Warranty) 정보
- Cp/Cpk
- 스크랩(Scrap)
- 재작업
- 불량률(%)

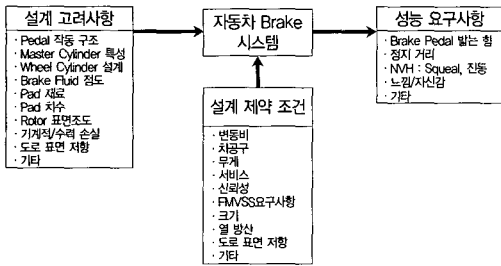
그러나 문제는 위의 척도로 로바스트니스를 측정한다면 제품 개발 과정의 최종 단계에서나 로바스트니스의 정도를 파악할 수 있게 된다는 것이다. 이것은 연구 개발에 종사하는 기술자들에게는 아주 심각한 문제이다.

로바스트니스를 좀 더 효율적으로 측정 할 수 있는 방법은 없는가? 물론 있다. 이것이 바로 S/N 비 (Signal to Noise Ratio)이다. 다구찌 박사는 로바스트니스를 측정할 수 있는 유일한 척도가 S/N 비라고 주장 한다. 이의 합리성에 대해서는 이 논문에서 설명 될 것이다.

‘왜 로바스트 설계를 해야 하는가?’ 라는 질문을 자주 받는데 이에 대한 대답은 한마디로 효율이다. 로바스트 설계는 엔지니어로 하여금 고품질, 저가의 제품 생산에 필요한 기술 정보를 효율적으로 수집, 활용 할 수 있도록 한다. 이러한 조직적인 공학적 기법을 이용할 수 없으면 엔지니어는 능률적으로 업무를 수행 하기가 곤란하게 된다.

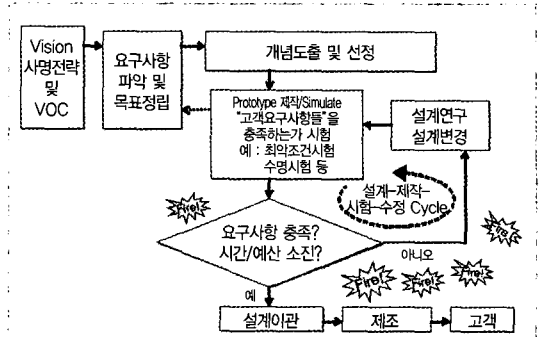
### 3. 로바스트 설계 사례

자동차의 Brake 시스템 설계로 로바스트 설계를 설명 하고자 한다.



(도표 3) Brake 시스템 설계 요구 사항과 제약 조건

위의 도표에서 보는 바와 같이 엔지니어들은 다양한 성능 요구 사항들을 여러가지 제약 조건들 하에서 만족 시켜야 하며 이를 위해서 엔지니어들이 할 수 있는 것은 몇 개의 설계 변수들을 변경할 수 있는 것뿐이다. 전통적인 설계 방법은 다음과 같다.



(도표 4) 전통적 설계 방법

위의 도표와 같이 현재의 전형적인 제품 설계 방법은 위의 제품의 개념 설계가 끝난 후에는 반드시 시제품 (Prototype)을 제작하고 여러가지 시험을 실시 하여 문제가 발생되지 않을 때까지 설계변경을 하면서 시험하는 과정을 반복한다. 그러나 이러한 반복 과정은 다음과 같은 비효율성을 초래한다.

(a) 한번의 ‘개념 설계 - 시제품 제작 - 시험’의 과정에서 평가 할 수 있는 설계 변수의 개수가 한 개 또는 몇개로 한정되어 있다.

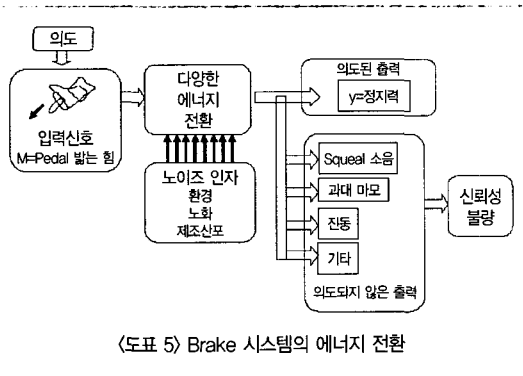
(b) 하나의 설계 요구 사항을 만족 시키면 다른 요구 사항이나 제약 조건을 만족 시키지 못하는 반복적인 문제가 발생한다.

(c) 대량 생산을 시작하기 전에 모든 문제를 파악 하고 해결 하기가 쉽지 않다. 따라서 생산 시작 후에도 통상적으로 많은 문제점이 발견 되는데 이 시점에서는 이미 생산 설비 및 치공구에 많은 비용과 시간이 소요 된 이후이기 때문에 설계 변경의 여지가 지극히 제한 되게 된다.

(d) 하나의 문제를 해결 하면 일반적으로 또 다른 문제가 발생 하여 계속 해서 Fire Fighting을 실시 하여야 한다.

그러면 어떻게 하여야 하는가?

공학 시스템은 일반적으로 입력 에너지를 출력 에너지로 전환하는 시스템이며 이들 간에 일정한 관계가 성립 된다. Brake 시스템의 에너지 전환은 다음과 같다.



〈도표 5〉 Brake 시스템의 에너지 전환

〈도표 5〉에서 보는 바와 같이 만일에, 에너지 전환 효율이 100%라면 소음, 마모, 진동과 같은 의도 되지 않은 출력은 나타나지 않을 것이다. 따라서 이들은 Brake 설계가 잘 되지 못했다는 증상인 것이다. 지금까지는 설계와 관련된 여러가지 문제를 증상(예를 들면 소음, 진동 등)을 최소화 함으로써 해결 하여 왔다. 그렇기 때문에 하나의 증상을 제거 하면 다른 증상들이 나타나서 설계-제작-시험-수정 Cycle이 반복되는 것이다.

그러면 어느 하나의 특성을 측정해서 시험을 함으로서 모든 설계 요구 사항들과 제약 조건들을 모두 만족 시킬 방법은 없는가? 비유해서 말하면 100마리의 새들을 모두 한 번에 잡을 수 있는 방법(一石百鳥)은 없는가?

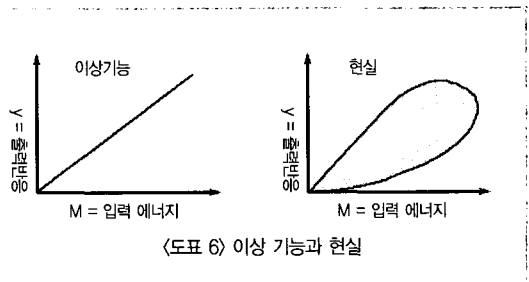
이것이 있다는 것이 다구찌 박사의 입장인 것이다. 로바스트 설계에서는 이 하나의 돌이 바로 이상 기능이라고 하는 것이다. 이 기법은 증상 보다는 제품이나 공정의 기본 기능을 고려 함으로서 좀 더 효율적으로

설계를 평가 할 수 있다는 발상인 것이다. 그리고 이 기본 기능이 이상적으로 작용하는 것이 이상 기능인 것이다.

엔지니어링 시스템에서 입력 에너지와 출력 에너지가 이상적인 최고의 에너지 전환 효율을 달성 하는 상태가 이상 기능을 수행 하는 상태인 것이며 입력 에너지의 100%가 요구되는 출력 에너지로 전환될 때에만 비로서 이상 기능을 달성 하게 되는 것이다. 만일에 이것이 가능 하다면 불량한 기능의 증상을 만드는데 소요 되는 에너지의 손실도 없어 질것이고, 따라서 소음, 진동, 스크랩, 재작업, 품질 관리 요원, A/S 요원, 고객 불평 해소 전담 요원 등도 필요하지 않게 될 것이다.

다시 말하면, 원하지 않는 것을 제거 하려고 노력 하기 보다는 원하는 것을 극대화 한다는 것이다. 문제가 설계의 목적인 제품 기능의 산포에 기인 한다면 이 산포를 최소화 함으로써 제품 기능을 개선 할 수 있다. 이러한 발상이 로바스트 설계의 가장 중요한 신조이며 이것이 또한 제일 이해 하기 어려운 개념이다.

그러나 현실적으로 이렇게 이상적인 것은 존재 하지 않고 다음 도표에서 보는 바와 같이 어떠한 시스템의 에너지 전환 효율도 100% 이하이다. 이것은 즉, 에너지 손실이 원하지 않는 기능을 만드는데 쓰인다는 것을 의미 한다. 또한 에너지 손실이 크면 클수록 문제가 더욱 커지게 된다.



〈도표 6〉 이상 기능과 현실

Brake 시스템 설계의 이상 기능은 다음과 같이 표현 된다.

$$y = \beta M$$

y = 정지력 (Output Response)

M = Pedal 밟는 힘 (Input Signal)

전에 로바스트니스를 “최저의 비용으로 제품이나 공정 성능에 산포를 일으키는 요인들의 영향을 최소화 하여 제품/공정이 수명 기간 동안 항상 설계된 대로 제 성능을 발휘 하는 상태”를 말한다고 정의 하였다. 이것이 바람직한 개념이기는 하나 문제는 ‘로바스트니스를 어떻게 측정 할 것인가’ 하는 것이다.

다구찌 박사는 엔지니어가 로바스트니스를 측정 하기 위한 척도는 S/N 비 하나뿐이라고 주장 한다. 특히 설계의 상류 단계인 기술 개발이나 신제품 개발에 있어서는 S/N 비가 더욱 중요 하다. 이것 이외에는 제품 개발의 하류 단계인 생산, 판매 단계에서의 제품의 품질을 상류 단계에서 평가할 마땅한 척도가 없기 때문이다.

S/N비는 제품/공정에서 일어나는 에너지 전환 품질의 평가 기준으로 로바스트니스의 척도가 되는 것이다. 이 에너지 전환의 품질은 다음과 같이 표시 된다.

$$S/N = \frac{\text{원하는 출력으로 전환된 에너지}}{\text{원하지 않는 출력으로 전환된 에너지}} = \frac{\text{유효에너지}}{\text{유해에너지}}$$

따라서 S/N 비가 크면 클수록 품질이 좋은 것이 된다.

입력 신호와 출력 반응간의 에너지 전환은 일반적으로 엔지니어가 원하고 설계한 대로 진행 되지 않는다. 이것은 노이즈 인자 때문이다. 노이즈 인자는 시스템의 기능에 영향을 주기는 하나 제어가 불가능 하거

나, 제어나 변경 시키려면 비용이 과다 하게 지출 되어야 하는 변수들이며 이에 는 고객의 사용 환경(자연 환경 및 사용 조건), 장기간 사용에 의한 열화와 제조 공정의 산포 등 3 종류가 있다. 산포의 원인인 노이즈에 대한 대책은 여러가지가 있을 수 있으나 로바스트니스를 위해서는 노이즈에 둔감한 설계를 하는 것이 최선의 대책이다. 이러한 관점에서 Brake 시스템 설계 사례를 계속 하려고 한다.

Brake 시스템 설계 최적화는 니산 자동차와 Ford 자동차에서 실시 하였는데 문제는 Brake의 Squeal 소음을 감소 시키는 것이었다. 이 사례에서의 설계 범위는 Brake 패드/로터 하부 시스템이었다.

이 브레이크 사례에서 선정한 이상 기능의 입력 에너지 즉 신호 인자 수준들은 :

M = 브레이크 Line 압력 (Kg/mm<sup>2</sup>)

M<sub>1</sub> = 0.008      M<sub>2</sub> = 0.016

M<sub>3</sub> = 0.032      M<sub>4</sub> = 0.064

노이즈 인자들을 출력 반응인 정지력을 최소 및 최대가 되는 2 수준으로 조합하면 다음과 같다.

N<sub>1</sub> = 60° F/습함/80% 마모된 패드 (정지력 최소)

N<sub>2</sub> = 360° F/건조함/10% 마모된 패드 (정지력 최대)

이 노이즈 인자(N)는 환경, 사용에 따른 열화의 노이즈 조건을 대표한다. 이 노이즈(N)에 대해서 가장 로바스트한 설계는 모든 다른 노이즈들에 대해서도 제일 로바스트한 설계가 될 것이며, 따라서 Squeal소음, 진동, 마모 등도 최소가 되리라는 것이 로바스트 설계의 핵심 사고 방식인 것이다. 이 노이즈들 이외에도 또 다른 중요한 노이즈 인자가 있다.

즉 발생한 토크는 자동차가 제동되는 동안 변하지 않아야 한다.

실제로는 로터의 원통도와 온도 차 때문에 자동차의 제동 중에 토크가 변한다. 그래서 또 다른 노이즈 인자(Q)가 고려되어야 하는 것은 이 현상 때문이다.

Q: 차가 제동 중의 토크

$Q_1$  = 차가 제동 중의 최대 토크

$Q_2$  = 차가 제동 중의 최소 토크

Brainstorming을 통해서 패드와 로터의 설계 파라미터들 중에서 제어 인자들과 수준 들을 다음과 같이 결정한다

제어 인자	수준-1	수준-2	수준-3
A : 패드 재료	Type-1	Type-2	
B : 패드 모양	4	5	6
C : 패드 곡선 모양	Type-1	Type-2	Type-3
D : 패드 첨가물	Low	Medium	High
E : 로터 재료	Gray	Cast	Steel
F : 패드 Taper	Low	Medium	High
G : Tapering 두께	Low	Medium	High
H : 로터 구조	Type-1	Type-2	Type-3

다음 <도표 7>은 실험에서 수집한 데이터를 보여 준다.

<도표 7> 데이터는  $L_{18}$  직교 표를 사용하여 실험한 데이터인데  $L_{18}$  직교표를 사용 하면 2수준의 제어 인

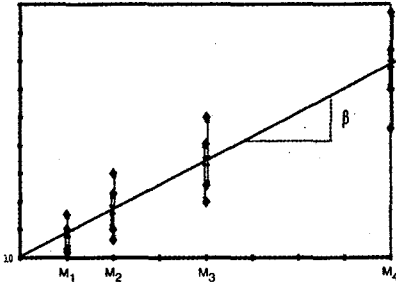
									$M_1:0.008$				$M_2:0.016$				$M_3:0.032$				$M_4:0.064$			
	A	B	C	D	E	F	G	H	$N_1$		$N_2$		$N_1$		$N_2$		$N_1$		$N_2$		$N_1$		$N_2$	
	1	2	3	4	5	6	7	8	$Q_1$	$Q_2$	$Q_1$	$Q_2$	$Q_1$	$Q_2$	$Q_1$	$Q_2$	$Q_1$	$Q_2$	$Q_1$	$Q_2$	$Q_1$	$Q_2$	$Q_1$	$Q_2$
1	1	1	1	1	1	1	1	1	4.8	0.9	5.8	0.8	8.5	6.5	11.5	6.8	20.4	13.2	25	16.2	36.9	32.7	43.5	34.5
2	1	1	2	2	2	2	2	2	4.5	2.5	5.7	3.2	12.5	9.6	13	10	23.5	20.3	25.1	21.4	42	36	43.2	36.1
3	1	1	3	3	3	3	3	3	5.9	5.2	6.8	5.9	10.6	9.3	11.4	10.2	23.5	22	24.3	22.5	42.9	40.3	43.8	40.6
4	1	2	1	1	2	2	3	3	4.5	2.1	5.7	3	12.1	8.9	14.3	10.5	22.1	16.9	24.2	20	41	34	42.4	37.6
5	1	2	2	2	3	3	1	1	6.5	2.1	7.8	3.2	12.3	6.9	13.2	8.6	23.3	17.2	24.3	18.3	44.3	36.9	48.9	37.2
6	1	2	3	3	1	1	2	2	5	4.2	5.8	4.3	11.5	9.4	12.3	9.9	20.8	16.8	21	18.5	43	40.2	43.1	41
7	1	3	1	2	1	3	2	3	5.2	4	5.6	4.5	11.8	9.1	12.3	10.1	21.2	17.5	20	18.3	40.3	36.2	42.2	38.2
8	1	3	2	3	2	1	3	1	2.4	0	4.3	2.8	6.7	4	7.2	3.6	16.3	11.1	18.3	12.3	30.1	27.8	34.3	30.6
9	1	3	3	1	3	2	1	2	6.3	4.8	7.8	6.1	12.1	9.3	13.5	11.9	24.4	19.6	26.3	22.3	48.5	40.3	50.2	44
10	2	1	1	3	3	2	2	1	2.1	0	2.9	0	4.9	0	7.4	4.2	18.3	9.5	17.7	10.8	32	26.3	35.3	28.1
11	2	1	2	1	1	3	3	2	4.9	1.2	7.6	1.8	11.3	6.5	15.3	6.8	23.4	15	25.1	17.2	40.1	33.2	50.5	35.5
12	2	1	3	2	2	1	1	3	5.1	4.4	6.4	4.4	10.1	7.8	11.2	8.5	21.7	18.7	22.1	20.1	43.1	41.2	44.4	41.5
13	2	2	1	2	3	1	3	2	2.1	0	5.4	0.6	6.7	1.2	7.3	2.3	13.4	9.4	16.4	11.1	38.9	27.9	43.3	31.1
14	2	2	2	3	1	2	1	3	5.9	5	6.8	5.2	13.3	12	14.2	13.3	24.9	23.1	26.3	25.4	47.9	46.3	49.7	47.2
15	2	2	3	1	2	3	2	1	3.2	0	3.9	1.8	8.7	3.2	9.6	5.1	13.2	7.9	19.5	11.1	38.2	32.1	42.5	33
16	2	3	1	3	2	3	1	2	4.1	2.7	5.9	4.4	12.3	8.7	13.7	9.2	24.3	18.9	25.5	20.2	44.3	39	47.7	42.4
17	2	3	2	1	3	1	2	3	2.3	0.8	3.2	2.1	10.2	8	12.5	8.8	21.6	16.5	23.6	20.4	38.8	32.4	41.1	36.6
18	2	3	3	2	1	2	3	1	1.2	0	5.1	1.2	7.8	2.3	13	5	20.3	11.1	21.2	12.4	40.1	31.6	45.1	32

<도표 7> 실험 데이터

자 1개와 3수준의 제어 인자 7개인 경우의 가능한 전 인자들의 조합인  $2^7 \times 3^1 = 4374$  번의 실험과 동등한 결과를 18번의 실험으로 얻을 수 있다.<sup>[2]</sup>

$L_{18}$  직교 표의 매 실험 마다 16개의 측정치가 있다. 이 측정치들로 이 실험 조건의 S/N비와 기울기  $\beta$ 를 계산한다.

$$S/N = \frac{\text{유효에너지}}{\text{유해에너지}} = \frac{\beta^2}{\sigma^2}$$



〈도표 8〉 S/N비와 기울기  $\beta$

그러면 db로 표시한 S/N비와  $\beta$ 는 다음으로 계산할 수 있다<sup>[2]</sup>:

$$S/N = \eta_{db} = 10 \times \log \frac{r \times r_0}{V_e} \frac{1}{S_\beta - V_e}$$

$$\beta = \sqrt{\frac{1}{r \times r_0} (S_\beta - V_e)}$$

여기에서

$r_0$  = 선형식의 수

$S_\beta$  = 회귀 변동

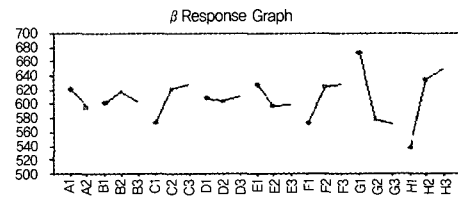
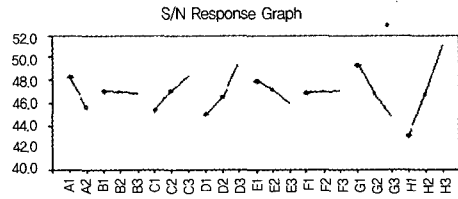
$V_e$  = 오차 분산

모든 실험에 대한 S/N 비와  $\beta$ 를 계산하면 다음과 같다.

	A	B	C	D	E	F	G	H	S/N	$\beta$
1	1	1	1	1	1	1	1	1	44.0	573.0
2	1	1	2	2	2	2	2	2	47.4	634.3
3	1	1	3	3	3	3	3	3	53.2	667.9
4	1	2	1	1	2	2	3	3	46.9	617.4
5	1	2	2	2	3	3	1	1	45.3	651.6
6	1	2	3	3	1	1	2	2	52.5	644.2
7	1	3	1	2	1	3	2	3	51.4	613.6
8	1	3	2	3	2	1	3	1	45.0	465.6
9	1	3	3	1	3	2	1	2	48.9	718.0
10	2	1	1	3	3	2	2	1	41.6	454.3
11	2	1	2	1	1	3	3	2	42.4	622.1
12	2	1	3	2	2	1	1	3	53.3	657.1
13	2	2	1	2	3	1	3	2	40.0	504.5
14	2	2	2	3	1	2	1	3	55.3	755.9
15	2	2	3	1	2	3	2	1	41.5	527.1
16	2	3	1	3	2	3	1	2	48.5	679.2
17	2	3	2	1	3	1	2	3	46.3	590.7
18	2	3	3	2	1	2	3	1	41.2	556.3

〈도표 9〉 S/N비와  $\beta$

위의 도표를 사용 하여 반응표와 반응 그래프를 작성 하여 최적 조건을 구한다.



〈도표 10〉 반응 그래프

위의 반응 그래프에서 구한 최적 조건은 다음과 같다.

1-단계 : S/N 비 최대화

A1 B C3 D3 E1 F G1 H3

2단계 : 기울기 조정

(기울기를 최대화하는 것이 바람직하다. 그래서 S/N 비에 영향 없이 기울기를 증가 시키는 것을 도와 주는 인자를 찾는다.)

B2 F3

이 최적 조건에 대한 추정치를 구해서 확인 실험을 한 결과는 다음과 같다.

	추정치		확인 실험	
	S/N 비	$\beta$	S/N 비	$\beta$
초기설계	47.5	634	47.6	635
최적 설계	59.5	789	57.4	758
이득	12.0	24%	9.8	19%

<도표 11> 확인 실험 결과

확인 실험의 결과는

- S/N 비의 9.8 dB 이득
- $\beta$  = 효율이 19% 증가  $\longrightarrow$  감소된 무게 및 크기
- Squeal 소음 발생율 1/20로 감소

위의 결과에 의하면 확인 실험이 잘 되었기 때문에 파라미터 설계가 성공적으로 이루어졌다고 볼 수 있다. 특히 원래의 문제였던 Squeal 소음 발생율이 1/20으로 감소했고, 더욱이 효율이 19% 증가했기 때문에 패드/로터 시스템의 무게 및 크기를 감소 시켜서 비용 감소가 가능 하게 되었다. 또한 S/N 비의 9.8 dB 이득은 성능의 표준 편차가 1/3로 감소, 즉  $\sigma$  수준이 3 배가 되는 것을 의미한다.

#### 4. 동특성 이외의 특성(Non-Dynamic Response)

지금까지 설명한 Brake 시스템 설계에서와 같이 이상 기능,  $y=\beta M$ , 이 존재 하는 측정 특성을 동특성이라고 하며, 대부분의 엔지니어링 시스템은 에너지 전환을 하기 때문에 에너지 사고에 의한 이상 기능이 존재 함으로 동특성으로 파라미터 설계가 가능하다. 그러나 측정 기술이 미비 하거나, 측정이 고가이거나 또는 이상기능을 확실하게 찾을 수 없는 경우에는 다음과 같은 동특성 이외의 특성들을 사용할 수 있다

##### 1) 명목 특성 (Nominal-the-Best Response)

이 특성은 목표치를 갖고 있으며 이의 목적은 목표치 주위의 산포를 최소화 하는 것이다.

(예 : 도장 막 두께, 출력 전압, 직경)

##### 2) 망대 특성 (Larger- the-Better Response)

이 특성의 목적은 평균치를 최대화 하고 산포를 감소 시키는 것이다. (예 : 누출 시작 압력, 강도, 신장율)

##### 3) 망소 특성 (Smaller-the-Better Response)

이의 목적은 평균치를 최소화 하고 산포를 감소 시키는 것이다. (예 : 수축 율, 뒤틀림, 가청 소음)

##### 4) 기능창 (Operating Window Response)

이의 목적은 시스템의 기능창을 확대 시키기 위하여 양극단의 실패 임계치(Threshold)를 최대화 시키는 것이다. (예 : 종이 공급 장치의 스프링 힘의 임계치, 용접 전류 임계치, 환자의 치료 임계치)

##### 5) 동적 기능창 (Dynamic Operating Window Response)

이의 목적도 시스템의 기능창을 확대 시키기 위하



여 양극단의 실패 임계치(Threshold)를 최대화 시키는 것이다. (예 : 종이 이송장치)

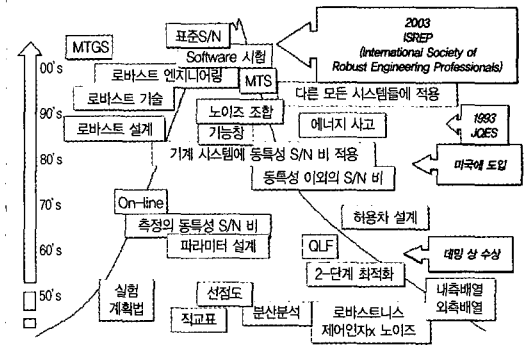
6) 계수 분류치 (Classified Attribute Response)

이 특성은 수치로 나타낼 수 있는 계량치가 아니고 양호/불량, 성공/실패, 수/우/미/양/가 등의 계수치를 갖는다. (예 : 외관, 기공성, 등급)

일반적으로 동특성이 가장 바람직한 특성인데 이는 시스템의 에너지 전환과 밀접 하게 관련 되어 있기 때문이다. 망목 특성은 대부분의 경우에 동특성의 한 점 이라고 생각 할 수 있으며 동특성 다음의 두번째로 바람직한 특성이다. 특히 최근에는 파라미터 설계의 50 % 정도가 컴퓨터 시뮬레이션으로 진행되고 있으며 여기에는 망목 특성이 주로 사용된다. 이 이외의 특성들은 동특성 및 망목 특성과 비교하여 일반적으로 재현성이 훨씬 떨어진다.

5. 로바스트 설계의 발전 과정과 향후 발전 방향

다음에 로바스트 설계 기법의 발전 과정이 도표로 설명 되어 있다.<sup>[3]</sup>



<도표 12> 다구찌 기법의 역사

최근에는 비선형 시스템에도 적용할 수 있는 표준 S/N 비가 개발 되었으며<sup>[4]</sup>, Software Testing에 활용 되기 시작 했으며<sup>[5]</sup>, MTGS(Mahalanobis Taguchi Gramm Schmidt) 시스템에 의한 패턴 인식을 제품 및 부품의 평가 및 진단에 널리 사용 하고 있다.<sup>[6,7]</sup> 이를 또한 미래의 상태 추정에 많이 활용 되기 시작하여 과거의 데이터들을 분석 하여 주식 및 부동산 가격 동향 예측<sup>[8]</sup>, 회사의 성장 및 이익성 추정 등에까지도 활용 하기 시작했다.<sup>[8]</sup>

(장기일 고문 : asikkc@korea.com)

참고문헌

[1] 다구찌 기법의 발상법, 다구찌 겐이찌(장기일, 이 상복 번역), 한국 품질 재단, 2004 (비매품)  
 [2] 품질 공학 강좌 4-품질 설계를 위한 실험 계획법, 한국 공업 표준 협회, 1991  
 [3] History of Robust Engineering Using Taguchi Methods, Shin Taguchi, 20th year ASI Symposium Proceedings, 2004  
 [4] Taguchi's Quality Engineering Handbook, Genichi Taguchi, Subir Chowdhury, Yui Wu, Wiley, 2004  
 [5] Improving Software Subsystem Testing with Mahalanobis-Taguchi System, Yixin Chen, John Phillips, Linson Qiao, 20th year ASI Symposium Proceedings, 2004  
 [6] A research of Defect Detection using The Mahalanobis-Taguchi System Method, Shoichi Teshima, Tomonori Bando, Dan Jin, 품질 공학 Vol. 6, No.6, 1998  
 [7] MT 법에 의한 화상 얼룩과 고장 진단, 오노 츠카사, 세도 노보루, 제 12 회 품질 공학 발표 대회 논문집, 2004  
 [8] MTS 시스템에 의한 부동산 가격의 예측, 요시노 소헤이, 제 12 회 품질 공학 발표 대회 논문집, 2004