

研究論文

동특성 파라미터 설계의 3종류 SN비 비교 분석

이상복

서경대학교 산업공학과

A Comparative analysis of three Signal-to-Noise ratios
of dynamic characteristics parameter design

Ree, Sangbok

Dept. of Industrial Engineering Seokyeong University

Key Word : Taguchi Method, Dynamic Characteristics Parameter Design,
S/N Ration, American Supplier Institute(ASI), MINITAB,
Japanese Standard Institute

Abstract

Taguchi robust design is widely used to quality improve methods. Especially, interest of dynamic characteristics parameter design is getting grow. In this paper, we have a comparative analyzed three Signal-to-Noise Ratios which are used in American Supplier Institute(ASI), MINITAB and Taguchi series published by Japanese Standard Institute with numerical examples.

1. 서론

다구찌(田口玄一)가 제안한 다구찌 품질 개선기법은 우리 나라 현장에서도 활발하게 사용되고 있다. 많은 품질개선운동(예를 들면 100PPM, 6시그마 혁신활동 등) 이후 특히 연구부서, 설계부서에서는 대부분 다구찌 기법을 적용하고 있다.

다구찌는 품질 개선은 제품의 설계단계나 기획단계인 원류단계에서 더 많은 효과를 볼 수 있다고 주장한다. 원류단계의 품질특성은 대부분 동적 특성(동특성)으로 표현된다. 동특성 품질은 신호인자에 따라 품

질특성이 변하는 경우이다.

예를 들면, 자동차 핸들의 각도는 신호인자이고 실제로 바뀌가 돌아가는 각도는 품질특성이다. 이 경우 핸들을 조금 돌리면 바뀌는 조금 돌고, 핸들을 많이 돌리면 바뀌는 많이 돌아야 한다. 생산된 수많은 제품의 핸들은 조사하면, 어떤 제품은 조금 돌렸는데 바뀌가 너무 많이 도는 경우가 있다. 반대로 핸들은 많이 돌렸는데도 바뀌가 조금 도는 제품이 많다. 이런 현상을 제품간 산포가 있다고 한다. 제품간 산포를 줄이는 것이 다구찌 품질개선의 목표이다.

다구찌는 품질개선 기법으로 시스템 설

계, 파라미터 설계, 허용차 설계 단계를 제시하였다.

이중 파라미터 설계가 현장에서 많이 사용된다. 파라미터 설계는 제품 특성에 영향을 미치는 많은 요인을 제품 특성에 많은 영향을 미치면서 일정 범위내에서 제어할 수 있는 인자는 제어인자라하고, 특성에 많은 영향을 미치지만 특정값만 가져야 하는 인자는 상수인자라 하여 표준화된 특성값을 지키도록 노력해야 한다. 또한 품질 특성에 많은 영향을 미치지만 제어할 수 없는 인자를 잡음인자(Noise)라 하였다.

파라미터 설계는 잡음인자에 강한 제어인자의 수준을 찾는 것이다. 즉 잡음에 강한 강건설계 혹은 영어로 로부스트 설계(Robust Design)라 한다.

강건설계는 제어인자와 잡음인자를 크게 2부분으로 분류하여 배치한다. 제어인자는 내측배열이라 하여 직교배열표를 이용하여 왼쪽에 배치하고, 잡음인자는 외측배열이라 하여 잡음의 수와 반복 수를 미리 설계하여 문제에 따라 적당하게 오른쪽에 배치한다.

실험은 왼쪽 내측배열의 제어인자의 수준을 맞추어 오른쪽에 배치 수 만큼 반복 실험 한다. 반복 실험 후, 잡음의 영향력과 제어인자의 영향력의 비를 수치로 나타내는 수치가 SN(Signal to Noise)비이다. 다구찌의 파라미터 설계시 SN비가 없다면 기존의 실험계획법(Design of Experiments)과 차이점이 크지 않다.

다구찌 파라미터 설계는 SN비를 간편법이나 분산분석법으로 분석하여 제어인자의 최적을 찾는다.

동특성에서는 신호인자 속에 잡음인자를 포함하여 외측배열을 설계한다.

다구찌 강건설계에서 사용되는 많은 SN비는 통계적 논리의 정당성과 유도식의 정확성에서는 비판을 받고 있다. 이에 다구찌 박사는 현실적으로 개선되어 효과보는 것이 이론적인 증명보다 더 중요하다고 주장한다. 즉 자신은 과학자보다는 공학자이라고 변명한다.

많은 통계학자들이 SN비에 대한 논의를 하고 있다. 일본 규격협회에서 출간된 품질공학강좌 7권 시리즈 책에는 문제에 따른 다양한 SN비가 소개되고 있다. 업종별로 다르게 정의되었고, 같은 업종이라도 다르게 정의된 경우도 있다.

이는 SN비가 이론에 근거하기 보단 현실에 근거하기 때문인 것 같다.

본 논문에서는 현장에서 사용하는 동특성의 서로 다른 3가지 SN비 공식에 대하여 살펴본다. 이는 SN비 공식에 따른 다른 결과에 대하여 많은 질문을 받는 부분이다.

먼저, 현장에서 많이 사용되는 3가지 동특성의 SN비를 소개하고, 예제를 통하여 서로 비교분석해본다. 다음엔 이들 결과를 정리한다.

2. 많이 쓰이는 3가지 SN비

동특성 SN비 공식에 대해선 기존의 많은 논문이 있다. 특히 최근에 임용빈&이영조(1997)와 김성준(1998)의 논문에서 자세하게 논의하였다. 이들 논문은 공통으로 산포에 영향을 주는 인자를 구별하는 변별력이 높은 SN비 공식으로 Lunani et al.(1997)를 인용하여 다음 식 (1)을 제시한다.

$$\eta = 10 \log(\beta^r / \sigma^2) \quad (1)$$

여기서 γ 은 기대손실이 최소가 되게 되고, 감도조정인자와 산포조정인자가 구분을 명확하게 하기 위하여 감도조정인자가 산포에 영향을 주지 않는다는 조건을 첨가하여, 조건을 가장 만족할 수 있는 γ 의 최적값을 다음 식 (2)을 이용하여 정한다.

$$\gamma^* = 2 \frac{\sum_{u=1}^l \sum_{v=1}^{l_u} (\log s_{uv} - \log s_u) \log b_{uv} / (l_u - 1)}{\sum_{u=1}^l \sum_{v=1}^{l_u} (\log b_{uv} - \log b_u) \log b_{uv} / (l_u - 1)} \quad (2)$$

식 (1)은 실험데이터의 추정값으로 사용하므로 식 (3)과 같이 나타낸다.

$$\hat{\eta} = 10 \log(b^r / s^2) \quad (3)$$

위에서 제시된 논문들에서는 예제로 든 문제에서는 현실적으로 많이 사용되는 $\gamma=2$ 보다는 $\gamma>3$ 이 되는 예제를 보여주고 있다. 즉 문제에 따라 γ 값은 다양함을 나타낸다.

이들이 제시한 방법은 해의 정밀성에선 인정되지만, 사용절차가 복잡하고 이를 쉽게 사용할 수 있는 패키지가 범용화 되지 않았기 때문에 현장에서 위에 제시된 공식보다는 다음에 제시하는 공식을 사용한다.

2.1 ASI(American Supplier Institute)에서 사용한 SN비

ASI에서 사용하는 SN비는 American Supplier Institute(2000), Robust Design Using Taguchi Methods Workshop

Manual ver 3에서 다음 식을 사용한다. 예제를 사용하여 설명한다.

신호인자 \ 잡음인자	M1	M2	M3	M4
N1Q1	y11	y12	y13	y14
N1Q2	y21	y22	y23	y24
N2Q1	y31	y32	y33	y34
N2Q2	y41	y42	y43	y44

각 잡음조건 별로 선형식을 계산한다.

$$L_1 = M_1 y_{11} + M_2 y_{12} + M_3 y_{13} + M_4 y_{14}$$

$$L_2 = M_1 y_{21} + M_2 y_{22} + M_3 y_{23} + M_4 y_{24}$$

$$L_3 = M_1 y_{31} + M_2 y_{32} + M_3 y_{33} + M_4 y_{34}$$

$$L_4 = M_1 y_{41} + M_2 y_{42} + M_3 y_{43} + M_4 y_{44}$$

신호인자 값을 제공하여 합한다.

$$r = M_1^2 + M_2^2 + M_3^2 + M_4^2$$

$$S_T = \sum_i^{r_0} \sum_j^k y_{ij}^2, \quad k = \text{신호인자 수}$$

r_0 = 각 신호인자 안에서 잡음인자의 반복수.

S_T 는 다음과 같이 분해된다.

$$S_T = S_\beta + S_{\beta \times N} + S_e$$

$$S_\beta = \frac{(L_1 + L_2 + L_3 + L_4)^2}{r \times r_0} \quad \text{기울기에}$$

관련된 제곱합,

$$S_{\beta \times N} = \frac{L_1^2 + L_2^2 + L_3^2 + L_4^2}{r} - S_\beta \quad \text{잡음과}$$

기울기에 관련된 제곱합,

$$S_e = S_T - (S_\beta + S_{\beta \times N}) \quad \text{오차합}$$

$V_N = \frac{S_{\beta \times N} + S_e}{(r_0 \times k) - 1}$ 순변동을 고려한 분석,

$V_e = \frac{S_e}{r_0 \times (k-1)}$ 변동의 분산

이 때의 SN비는 다음과 같이 정의한다.

$$SN = 10 \log \left[\frac{S_{\beta} - V_e}{(r \times r_0) \times V_N} \right] \quad (6)$$

기울기 β 는 다음과 같이 정의된다.

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

2.2 미니탭에서 사용한 SN비

미니탭 프로그램에서 사용하는 SN비는 Fowlkeas, W.Y. & C.M. Creveling (2000) 책을 참조한 다음 식을 사용한다

$$SN = 10 \log \left[\frac{S_{\beta}}{r^* \times V_e} \right] \quad (7)$$

단 $r^* = r_0 \sum M_i^2$ 유효 반복수, r_0 는 잡음인자의 반복수 ; $S_{\beta} = \frac{1}{r^*} (\sum y_i M_i)^2$:

회귀의 변동, 비례항; $V_e = \frac{S_e}{k-1}$: 오차 분산에 의한 분산; $S_T = \sum_i \sum_j y_{ij}^2$

$S_e = S_T - S_{\beta}$; $\beta = \sqrt{\frac{S_{\beta}}{r^*}}$ 기울기 또는 회귀계수로 사용한다.

2.3 일본규격협회에서 사용한 SN비

일본규격협회(1992)에서 사용한 SN비 공식은 다음과 같다.

$$SN = 10 \log \left[\frac{S_{\beta} - V_e}{r^* \times V_e} \right] \quad (8)$$

단, $r^* = r_0 \sum M_i^2$ 유효 반복수, r_0 는 잡음인자의 반복수 ; $S_{\beta} = \frac{1}{r^*} (\sum y_i M_i)^2$: 회귀

의 변동, 비례항 ; $V_e = \frac{S_e}{k-1}$: 오차분산;

$S_T = \sum_i \sum_j y_{ij}^2$; $S_e = S_T - S_{\beta}$;

$\beta = \sqrt{\frac{S_{\beta}}{r^*}}$ 기울기

이상을 정리하면 다음 표와 같다.

세 방법의 S/N비 비교

방법	S/N비
ASI	$SN = 10 \log \left[\frac{S_{\beta} - V_e}{(r \times r_0) \times V_N} \right]$
미니탭	$SN = 10 \log \left[\frac{S_{\beta}}{r^* \times V_e} \right]$
규격협회	$SN = 10 \log \left[\frac{S_{\beta} - V_e}{r^* \times V_e} \right]$

세 방법의 S_T 비교

방법	S_T 비
ASI	$S_T = S_{\beta} + S_{\beta \times N} + S_e$
미니탭	$S_T = S_{\beta} + S_e$
규격협회	$S_T = S_{\beta} + S_e$

위의 방법을 비교하면, $r_0 = 1$ 일때는

$S_e^* = S_e$ 이고, $r_0 > 1$ 에서는 $S_e^* \leq S_e$ 을 만족한다. 즉 ASI의 S/N비는 항상 Minitab이나 JSI의 S/N비보다 크다.

$S/N_{ASI} \geq \text{Max}(S/N_{Minitab}, S/N_{JSI})$ 을 만족한다.

3. 예제를 통한 분석

PCB 기판 제작에 주요 8개 인자를 사용했다. 동적계획법을 사용했다.

내부 직교배열표로 $L_{18}(2^1 * 3^7)$ 를 사용했다[표1].

[표 1] 내부 직교배열표 $L_{18}(2^1 * 3^7)$

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	2	2	2	2	2	2
3	1	1	3	3	3	3	3	3
4	1	2	1	1	2	2	3	3
5	1	1	2	2	3	3	1	1
6	1	2	3	3	1	1	2	2
7	1	3	1	2	1	3	2	3
8	1	3	2	3	2	1	3	1
9	1	3	3	1	3	2	1	2
10	2	1	1	3	3	2	2	1
11	2	1	2	1	1	3	3	2
12	2	1	3	2	2	1	1	3
13	2	2	1	2	3	1	3	2
14	2	2	2	3	1	2	1	3
15	2	2	3	1	2	3	2	1
16	2	3	1	3	2	3	1	2
17	2	3	2	1	3	1	2	3
18	2	3	3	2	1	2	3	1

신호인자는 4개, 잡음인자는 2개 잡았으며, 각 조건에 따라 2회씩 반복하였다. 실험 결과는 다음 표와 같다[표2].

[표 2] 실험결과

	M1=0.008				M2=0.016			
	N1		N2		N1		N2	
	Q1	Q2	Q1	Q2	Q1	Q2	Q1	Q2
1	4.8	0.9	5.8	0.8	0.8	6.5	11.5	6.8
2	4.5	2.5	5.7	3.2	3.2	9.6	13	10
3	5.9	5.2	6.8	5.9	5.9	9.3	11.4	10.2
4	4.5	2.1	5.7	3	12.1	8.9	14.3	10.5
5	6.5	2.1	7.8	3.2	3.2	6.9	13.2	8.6
6	5	4.2	5.8	4.3	4.3	9.4	12.3	9.9
7	5.2	4	5.6	4.5	4.5	9.1	12.3	10.1
8	2.4	0	4.3	2.8	2.8	4	7.2	3.6
9	6.3	4.8	7.8	6.1	6.1	9.3	13.5	11.9
10	2.1	0	2.9	0	4.9	0	7.4	4.2
11	4.9	1.2	7.6	1.8	1.8	6.5	15.3	6.8
12	5.1	4.4	6.4	4.4	4.4	7.8	11.2	8.5
13	2.1	0	5.4	0.6	0.6	1.2	7.3	2.3
14	5.9	5	6.8	5.2	5.2	12	14.2	13.3
15	3.2	0	3.9	1.8	1.8	3.2	9.6	5.1
16	4.1	2.7	5.9	4.4	4.4	8.7	13.7	9.2
17	2.3	0.8	3.2	2.1	2.1	8	12.5	8.8
18	1.2	0	5.1	1.2	1.2	2.3	13	5

	M3=0.032				M4=0.064			
	N1		N2		N1		N2	
	Q1	Q2	Q1	Q2	Q1	Q2	Q1	Q2
1	20.4	13.2	25	16.2	36.9	32.7	43.5	34.5
2	23.5	20.3	25.1	21.4	42	36	43.2	36.1
3	23.5	22	24.3	22.5	42.9	40.3	43.8	40.6
4	22.1	16.9	24.2	20	41	34	42.4	37.6
5	23.3	17.2	24.3	18.3	44.3	36.9	48.9	37.2
6	20.8	16.8	21	18.5	43	40.2	43.1	41
7	21.2	17.5	20	18.3	40.3	36.2	42.2	38.2
8	16.3	11.1	18.3	12.3	30.1	27.8	34.3	30.6
9	24.4	19.6	26.3	22.3	48.5	40.3	50.2	44
10	18.3	9.5	17.7	10.8	32	26.3	35.3	28.1
11	23.4	15	25.1	17.2	40.1	33.2	50.5	35.5
12	21.7	18.7	22.1	20.1	43.1	41.2	44.4	41.5
13	13.4	9.4	16.4	11.1	38.9	27.9	43.3	31.1
14	24.9	23.1	26.3	25.4	47.9	46.3	49.7	47.2
15	13.2	7.9	19.5	11.1	38.2	32.1	42.5	33
16	24.3	18.9	25.5	20.2	44.3	39	47.7	42.4
17	21.6	16.5	23.6	20.4	38.8	32.4	41.1	36.6
18	20.3	11.1	21.2	12.4	40.1	31.6	45.1	32

위의 데이터를 ASI, 미니탭, 일본 규격협회에서 제시한 공식으로 나누어 풀었다. 각 실험순서별 S/N비는 다음과 같다[표3].

[표 3] S/N비 비교표

	ASI	미니탭	규격협회
1	44.03	42.9498	42.61743
2	47.1	46.2395	45.91289
3	53.21	51.163	50.83989
4	46.91	46.7041	46.90767
5	45.28	44.0068	44.20689
6	52.45	49.2441	49.44946
7	51.35	49.1925	49.30398
8	44.96	43.9959	44.10201
9	48.88	47.6308	47.74126
10	41.55	41.2365	41.54401
11	42.44	41.2616	41.56919
12	53.29	49.4633	49.78264
13	40.01	39.5788	39.34802
14	55.34	50.9961	50.78679
15	41.45	40.989	40.76464
16	48.45	47.0423	46.9244
17	46.3	44.7727	44.65206
18	41.23	40.6133	40.48163

표 3을 그림으로 나타내면 다음 그림 1(부록)과 같다.

그림 1을 분석하면, ASI의 S/N 값이 나머지 2개보다 모든 경우에 더 높으면, 특히 50이상에선 차이가 더 많이 난다. 이 의미는 S/N비 값이 크면 클수록 다른 2개보다 차이를 많이 나타낸다.

위의 S/N비중 상대적으로 적은 B, E, F 인자를 풀링하고 나머지를 간편 비교법으로 풀었더니 다음 표4와 표5와 같다.

[표 4] 간편법에 의한 S/N비 순서

	S/N 비		
	ASI	미니탭	규격협회
A	24.11	25.1729	25.2281
C	18.21	12.3995	12.41403
D	25.95	19.3699	19.39433
G	26.51	18.7724	18.81099
H	47.9	38.5004	38.55642

[표 5] 간편법에 의한 S/N비의 상대적인 크기 순서

	상대적 순서		
	ASI	미니탭	규격협회
A	4	2	2
C	5	5	5
D	3	3	3
G	2	4	4
H	1	1	1

[표 5]를 그래프로 나타내면 다음 그림 2(부록)와 같다.

간편법에 의한 결과를 분석하면, 작은 것은 더 작고, 큰 것은 더 크다. 더 변별력이 좋다고 할 수 있다. 중요 인자를 선택하면, ASI 기준으로는 H-G-D-A-C 순으로, 미니탭이나 규격협회의 기준으로는 H-A-D-G-C로 선택된다. 크게 차이 나는 것은 2번째와 4번째가 바뀐 것이다.

위의 [표 3]의 계산 결과를 분산분석으로 풀어, 차이가 심하게 나는 B, E, F 인자들을 풀링시키고 나머지 인자들의 F값을 P값으로 구했더니 다음과 같다[표 6].

중요 인자를 선택하면, ASI 기준으로는 H(1)-G(1)-D(3)-A(1)-C(3) 순으로, 미니탭이나 규격협회의 기준으론 H(1)-A(1)-D(3)-G(1)-C(1)로 선택된다. 크게 차이나는 것은 2번째와 4번째가 바뀐 것이다.

[표 6] 중요 인자들이 분산분석 결과 P 값

	ASI	미니탭	규격협회
A	0.00637 3	0.000847 87	0.0008482 47
C	0.02555 8	0.026689 27	0.0268295 42
D	0.00445 3	0.002825 32	0.0028381 43
G	0.00439	0.004042 41	0.0040472 2
H	0.00018 1	8.0156E-0 5	8.05327E-0 5

[표 7] 중요 인자들이 분산분석 결과 P 값의 순서

	ASI	미니탭	규격협회
A	4	2	2
C	5	5	5
D	3	3	3
G	2	4	4
H	1	1	1

위의 표 7를 그림으로 그리면 그림 3(부록)과 같다.

위의 그림을 분석하면, 규격협회와 미니탭의 결과는 별차이가 없으나, ASI값과는 많은 차이가 있다. 위 문제에서 ASI는 다른 2개보다 변별력이 뛰어난 것을 알 수 있다.

하지만, ASI의 방법이 다른 두 개의 방법보다 더 좋다는 수학적 증명은 없다. 현장에서 이 문제에 대해 풀 때는 ASI 방법

과 Minitab의 방법으로 풀고, 순서가 차이나는 것은 현실적으로 문제가 없는 인자(비용과 수준을 바꾸는데 소요되는 작업의 난도도 등)을 선택하였다.

4. 결론

현장에서는 동특성 S/N비를 구하는 계산식이 다르게 사용되고 있다. 사용자들의 많은 질문중 하나는 어느 것이 제일 좋은지이다. 이 논문에선 현장에서 가장 많이 사용되는 ASI 기준, 미니탭, 일본 규격협회 기준을 적용하여 실험한 결과 ASI 결과가 나머지 둘과 차이가 있음을 확인했다. 그러나 반듯이 ASI 계산방식의 S/N비가 좋다고 수학적 통계적으로 증명할 수는 없다. 현재 현장에선 ASI 방법과 Minitab의 방법으로 풀고, 순서가 차이나는 것은 현실적으로 문제가 없는 인자(비용과 수준을 바꾸는데 소요되는 작업의 난도도 등)을 선택하는 방식으로 사용한다.

앞으로 어느 것이 더 좋은지 빨리 그리고 정확하게 추출해내는 방법을 찾아내는 것은 추후 연구과제로 남겨둔다.

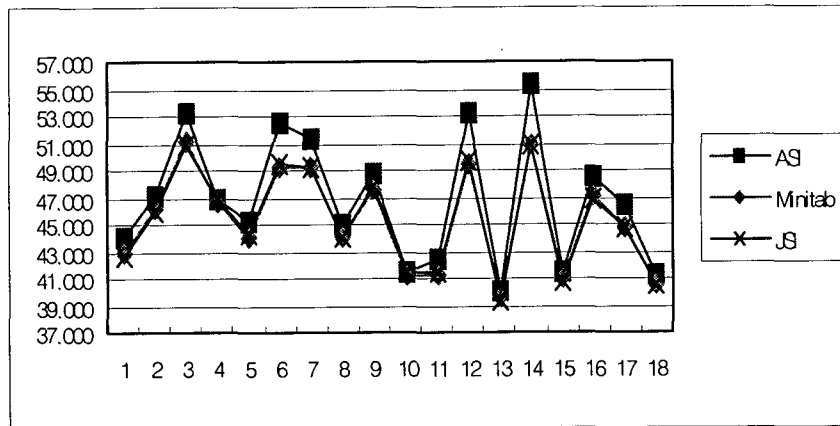
* 실제 이 문제를 Minitab 본사에 문의했으나, 미니탭에서도 이점을 시인하였으며 현재론 새로운 방법이 없으며 계속 새로운 방법을 연구중이라는 답변을 들었다.

참고문헌

- [1] 김성준(1998), "동특성 파라미터설계를 위한 SN비의 결정 및 분석", 「품질경영학회지」, 26권, 2호, pp. 17-26

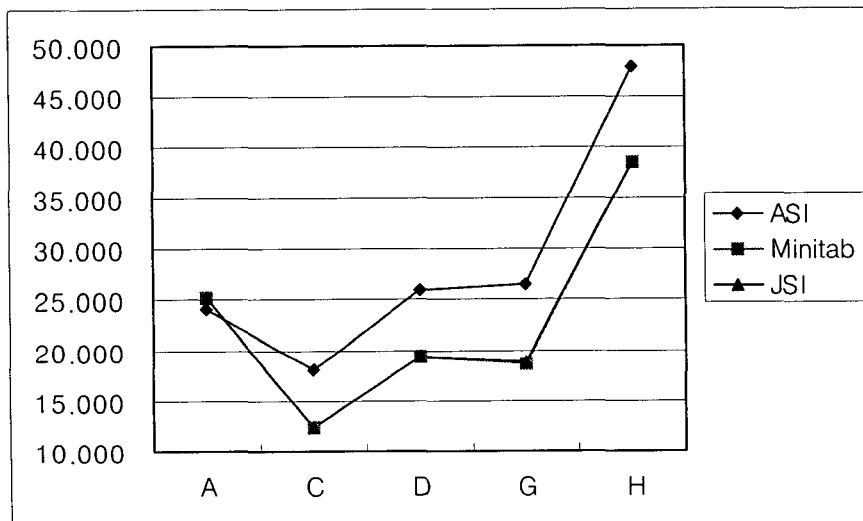
- [2] 이상복(2000), 「알기쉬운 다구찌 기법」, 상조사
- [3] 이상복(2001), 「미니탭을 이용한 다구찌 기법」, 이레테크
- [4] 이상복(2001), “동특성 파라미터 설계의 3종류 SN비 비교 분석”, *한국품질경영학회 2001년 춘계학술대회 발표논문집*, pp. 594-599
- [5] 임용빈, 이영조(1997), “일반적인 SN비에 관한 소고”, 「품질경영학회지」, 25권, 4호, pp. 88-98
- [6] 일본규격협회(한국표준협회 역)(1992), 「품질공학강좌 7권」, 한국표준협회
- [7] American Supplier Institute(2000), *Robust Design Using Taguchi Methods Workshop Manual*, ver 3, Addison-Wesley, New York
- [8] Fowlkeas, W.Y. & C.M. Creveling (2000), *Engineering Methods for Robust Product Design*, Addison-Wesley, New York
- [9] Lunani, M., Nair, V.N. and Wasserman, G.S.(1997), “Graphical Methods for Robust Design with Dynamic Characteristics”, *Journal of Quality Technology*, Vol. 29, No. 3. pp. 327-338
- [10] <http://www.minitab.com/>

부록 1



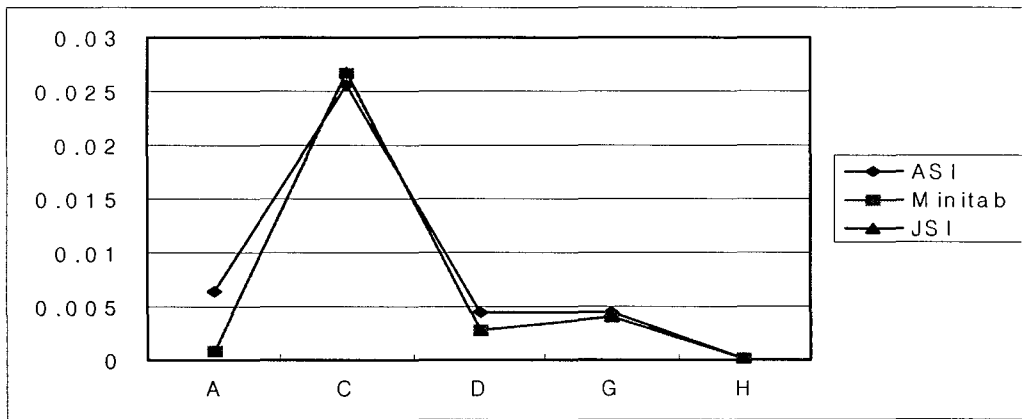
[그림 1] 여러 종류별 S/N비 그림

부록 2



[그림 2] 표 5의 그림

부록 3



[그림 3] 표 7의 그림