

# 다구찌 기법과 요인실험의 실험 데이터의 산포 크기에 따라 결과 변화 고찰

이 상복<sup>†</sup>

서경대학교 산업공학과

## Study on the Result Changes with the Size of the Variance in Taguchi Method and Factor Experimental

Ree, Sangbok<sup>†</sup>

Dept. of Industrial Engineering, Seokyeong University

### Abstract

**Purpose:** The purpose of this paper is to show whether the results are changed with respect to the variance of the data, by analysis of data obtained from the Taguchi experimental techniques and general experiment. Because which cannot be prove by mathematical Formula, through experimental examples will show.

**Methods:** Taguchi experiments were carried out with paper Helicopter experiment. Experimental Data are obtained by special designed Drop Test Equipment. While Experimental value arbitrarily changed, we looked at how Significant control Factor of Taguchi Methods and Factor experiments are changed. This process cannot be expressed as a Mathematical formula, but showed as a numerical example.

**Results:** Saw significant changes in the factors when data is outside a certain range of the experimental data. By Test of Equivalence Variance, Experiment data is verified reliability. To find the Control Factor, Taguchi Method is better than the general experiment.

**Conclusion:** We know that a Significant Factor is changed with the range of Variance of Experiment Data. The value of this paper is verified change process with Numerical Data obtained Experiment.

**Key Words :** Taguchi Method, Variance Range, Analysis of Variance(ANOVA), SN Ratio

• Received 7 March 2013, revised 12 March 2013, accepted 13 March 2013

† Corresponding Author(sbree@skuniv.ac.kr)

© 2013, The Korean Society for Quality Management

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-Commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

※ 본 연구는 2011학년도 서경대학교 교내연구비 지원에 의하여 이루어졌음

## 1. 서 론

다구찌기법과 일반 실험계획과의 차이는 잡음인자의 설정에 있다. 다구찌 기법은 과거 실험계획법에서 고려하지 않는 잡음 인자를 선정하여 잡음인자에 강한 제어인자를 찾는 기법이다. 다구찌 기법은 특성치에 영향을 주는 잡음 인자에 강한 제어인자 조건을 찾게 되면 특성치의 산포를 줄이는 효과가 있다. 다구찌 실험은 잡음인자 수준의 조건에 따라 다양한 실험을 해야 한다. 잡음 수준에 따라 실험 회수는 차이가 많다.

실험 후 분석하는 방식은 각 열별로 SN비를 구하고, 구해진 SN비 분석은 요인실험 혹은 직교배열법 분산분석으로 분석한다. 다구찌는 제어인자별로 수준간 SN비 영향력이 큰 제어인자만 선정하여 높은 SN비를 갖는 수준을 최적 수준으로 정하는 사례를 많이 제시하였다. 하지만 다구찌도 SN비를 분산분석하여 유의한 인자를 찾는 방법을 제안하였다(Joseph 1985, KSA(tranlated) 1991, Raghu 1985, Ree, 1997, 2001, 2003, 2009, Yum 2000).

본 논문은 잡음인자의 변화에 따라 실험했을 때 실험 데이터가 어느 정도 산포가 커지면, 데이터로만 분산분석한 결과(평균치 중심으로)와 SN비를 환산하여 분석한 분산분석과 어떤 차이가 나타나는지 찾아보고자 한다.

다구찌 기법과 일반 실험계획에서 얻은 데이터의 산포에 따라 결과값들이 어떻게 변화하는지 수식으로 표현하면 명확하나, 실험을 여러 번 하게 되면 변수가 많아져서 수식으로 분석이 어렵다(Park, 2009). 이에 이번 논문에서는 실험을 통하여 기본 데이터를 구하고 이중 한 데이터를 변화시키면서 평균치 중심의 분산분석 변화와 SN비 중심의 분산분석이 어떻게 변화되는지 살펴본다. 본 논문에서 사용한 분산분석, 다구찌 분석은 모두 미니탭 16버전을 사용하여 계산하였다.

## 2. 변수가 1개 있는 경우 분산분석

### 2.1 1원배치에서 산포 범위 추정

1원배치 분산분석에서 같은 조건에서 반복실험 했을 때, 데이터 값에 따라 인자가 유의할 수 도 있고, 유의하지 않을 수도 있다. 1원배치인 경우는 수식으로 쉽게 보일 수 있다. 아래와 같이 2수준에서 데이터를 ‘a’라 하자(Table 2.1 참조).

Table 2.1 one-way experiments data

Level	Data	
1	1	2
2	4	a

Table 2.1의 분산분석을 구하면 Table 2.2와 같다.

**Table 2.2** one-way experiment ANOVA

Factor	DF	SS	MS	F0	P-value
A	1	$\frac{1}{4}a^2 + \frac{2}{4}a + \frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}a^2 + \frac{2}{4}a + \frac{1}{4}$	$\frac{a^2 + 2a + 1}{a^2 - 8a + 17}$	
error	2	$\frac{1}{2}a^2 - 4a + \frac{17}{2}$	$\frac{1}{4}a^2 - 2a + \frac{17}{4}$		
Total	3	$\frac{3}{4}a^2 - \frac{14}{4}a + \frac{35}{4}$			

$F(1, 1, 0.1) = 8.5$  이므로, 0.1에서 유의하려면  $\frac{a^2 + 2a + 1}{a^2 - 8a + 17} > 8.5$  이어야 하므로, 이를 풀면  $3.06 < a < 6.24$  이어야 한다. 이 사이에선 유의수준 10%에서 유의하다. 예로  $a = 5$ 일 때, Table 2.3과 같이 일원 분산분석표를 작성할 수 있으며 P값이 0.051로 유의수준 10%에서 A 인자는 유의하다는 대립가설을 채택한다.

**Table 2.3** Numerical example of one-way experiment ANOVA

Factor	DF	SS	MS	F	P-value
A	1	9	9	18	0.051
error	2	1	0.5		
Total	3	10			

1원배치 문제에서 변수가 하나일 때는 위와 같은 방식으로 풀 수 있다. 그러나 변수가 2개 이상이면 해가 다수 개 존재하며 수식이 복잡하다.

## 2.2 망대특성 다구찌 기법에서 산포범위 추정

망목특성의 SN비 계산은 다음과 같다.

$$SN = -10\log_{10} \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right) \quad \text{eq. 2.1}$$

다구찌 최적해를 구할 때, Yum(2000), Ree(2003, 2009), Pignatiello & Ramberg(1985) 등은 잡음인자 실험 후 SN비를 구한 다음 분산분석으로 유의한 인자를 찾는다. Table 2.4는 특성치가 망대특성인 경우의 제어인자가 A, B, C 3개이고, 잡음인자 조건은 N1, N2와 같이 2개 수준에서 실험한 결과이다. SN비는 (eq. 2.1)로 계산한 값이다.

**Table 2.4** Orthogonal array of Taguchi Method experiments

No	A	B	C	Noise Factor		SN Ratio
				N1	N2	
1	1	1	1	2	3	7.4339
2	1	2	2	3	4	10.6145
3	2	1	2	4	5	12.9031
4	2	2	1	5	a	$-10\log_{10} \frac{1}{2} \left( \frac{1}{5^2} + \frac{1}{a^2} \right)$

$-10\log_{10} \frac{1}{2} \left( \frac{1}{5^2} + \frac{1}{a^2} \right)$  를 SN4로 치환하면 분산분석표는 Table 2.5와 같다.

**Table 2.5** ANOVA of Taguchi Method

Factor	DF	SS	V	F0	F value of Sign.
A	1	$S_a$	$S_a$	$S_a/S_e$	$F(\phi_a, \phi_e, 0.05)$
B	1	$S_b$	$S_b$	$S_b/S_e$	$F(\phi_b, \phi_e, 0.05)$
C	1	$S_c$	$S_c$	$S_c/S_e$	$F(\phi_c, \phi_e, 0.05)$
error	0	$S_e = S_T - S_a - S_b - S_c$	$S_e$		
Total	3	$S_T$			

$$S_a = \frac{(7.4339 + 10.6145 - 12.9031 - SN4)^2}{4} = 0.25 * SN4^2 - 2.5726 * SN4 + 6.6185 \quad \text{eq. 2.2}$$

$$S_b = \frac{(7.4339 + 12.9031 - 10.6145 - SN4)^2}{4} = 0.25 * SN4^2 - 4.8612 * SN4 + 23.6317 \quad \text{eq. 2.3}$$

$$S_c = \frac{(7.4339 + SN4 - 10.6145 - 12.9031)^2}{4} = 0.25 * SN4^2 - 8.0418 * SN4 + 64.6713 \quad \text{eq. 2.4}$$

$$\begin{aligned} S_T &= (7.4339^2 + 10.6145^2 + 12.9031^2 + SN4^2) - \frac{(7.4339 + 10.6145 + 12.9031 + SN4)^2}{4} \\ &= 0.75 * SN4^2 - 15.4757 * SN4 + 94.9216 \end{aligned} \quad \text{eq. 2.5}$$

error 항이 없으므로, 임으로  $S_e$ 를 풀링하여 error 항으로 만들어 풀어본다(즉,  $S_e = S_c$ ).

$S_a/S_e > F(\phi_a = 1, \phi_e = 1, \alpha = 0.05) = 161.448$  방정식은 eq. 2.6 으로 표현된다.

$$40.112 * SN4^2 - 1295.77 * SN4 + 10434.44 < 0 \quad \text{eq. 2.6}$$

eq. 2.6을 풀면 eq. 2.7과 같다.

$$15.28564 < SN4 < 17.018110$$

eq. 2.7

가능해 중 하나인  $SN4 = 16$  을  $-10\log_{10} \frac{1}{2} \left( \frac{1}{5^2} + \frac{1}{a^2} \right)$  에 대입하면  $a = 9.88$ (정확한 값은 9.883214이다).

### 2.2.1 다구찌 기법이 유의한 경우인 $a = 9.88$ 인 경우

$a = 9.88$ 이라면  $SN4 = 15.9994$ 이다. Table 2.5을 수치로 구한 분산분석표가 Table 2.6과 같다.

Table 2.6 ANOVA of SN ratio at  $a=9.88$

Factor	DF	SS	V	F0	P-value
A	1	29.453	29.453	*	*
B	1	9.850	9.850	*	*
C	1	0.002	0.002	*	*
error	0	*	*	*	*
Total	3	39.305			

'\*' : denominator of F-test is zero or undefined

효과가 적은 C 인자를 풀링하여 분산분석하면 Table 2.7과 같다.

Table 2.7 ANOVA of C pooling in Table 2.6

Factor	DF	SS	V	F0	P-value
A	1	29.453	29.453	16589.53	0.005
B	1	9.850	9.850	5548.21	0.009
error	1	0.002	0.002		
Total	3	29.4918			

$$S = 0.0421352 \quad R^2 = 00.00\% \quad R^2(\text{adj}) = 99.99\%$$

A, B 인자 모두 유의하다. Table 2.4의 수식을 요인배치로 분산분석을 구하면 Table 2.8과 같다. SN비를 사용하지 않고 원 데이터로 구한 것이다.

Table 2.8 ANOVA of Table 2.4 at  $a=9.88$

Factor	DF	SS	V	F0	P-value
A	1	17.642	17.642	5.26	0.083
B	1	7.762	7.762	2.32	0.203
C	1	1.882	1.882	0.56	0.495
error	4	13.407	3.352		
Total	7	40.693			

$$S = 1.83079 \quad R^2 = 67.05\% \quad R^2(\text{adj}) = 42.34\%$$

효과가 적은 C 인자를 풀링하여 분산분석하면 Table 2.9과 같다.

**Table 2.9** ANOVA of C pooling in Table 2.8

Factor	DF	SS	V	F0	P-value
A	1	17.642	17.642	5.77	0.061
B	1	7.762	7.762	2.54	0.172
error	5	15.289	3.058		
Total	7	40.693			
$S = 1.74866 \quad R^2 = 62.43\% \quad R^2(\text{adj}) = 47.40\%$					

위 분산분석에서는 유의수준 5%에서 유의한 인자가 없다.

SN비 분산분석 Table 2.7에서는 A, B 인자 모두 유의했으나, 평균치 중심의 일반 분산분석 Table 2.9에서는 5% 유의 수준에서 유의한 인자는 없다. 이는 다구찌 기법 입장에서는 제어인자 A, B 인자는 잡음에 강한 인자이나, 일반 실험의 분산분석에서는 잡음의 영향으로 도리어 유의한 인자가 없다. 다구찌 입장과 일반 실험계획과의 해석에서 많은 차이가 있음을 보여주고 있다.

### 2.2.2 임의로 정한 $a = 6$ 인 경우

$a=6$ 이라면  $SN_4 = 14.6994$  이다. Table 2.5을 수치로 구한 분산분석표가 Table 2.10과 같다.

**Table 2.10** ANOVA of Taguchi Method at  $a=6$

Factor	DF	SS	V	F0	P-value
A	1	22.8201	22.8201	*	*
B	1	6.1926	6.1926	*	*
C	1	0.4790	0.4790	*	*
error	0	*	*	*	*
Total	3	29.4918			

'\*' : denominator of F-test is zero or undefined

효과가 적은 C 인자를 풀링하여 분산분석하면 Table 2.11과 같다.

**Table 2.11** ANOVA of C pooling in Table 2.10

Factor	DF	SS	V	F0	P-value
A	1	22.8201	22.8201	47.64	0.092
B	1	6.1926	6.1926	12.93	0.173
error	1	0.4790	0.4790		
Total	3	29.4918			

위 분산분석에서는 A인자만 10%로 유의하나, 5%에서는 유의하지 않다.

Table 2.12 ANOVA of Table 2.4 at  $a=6$

Factor	DF	SS	V	F0	P-value
A	1	8.0000	8.0000	16.00	0.016
B	1	2.0000	2.0000	4.00	0.116
C	1	0.0000	0.0000	0.00	1.000
error	4	2.0000	0.5000		
Total	7	12.0000			
$S = 0.707107 \quad R\text{-제곱} = 83.33\% \quad R\text{-제곱(수정)} = 70.83\%$					

위 분산분석에서는 A인자만 5%로 유의하다.

SN비 분산분석 Table 2.11에서는 5% 유의수준에서 유의한 인자가 없었으나, 평균치 중심의 일반 분산분석 Table 2.12에서는 5% 유의 수준에서 A 인자는 유의하게 나타났다. 이는 다구찌 기법 입장에서는 제어인자는 A 인자의 영향력이 잡음효과에 대응할 수 없어 A 인자는 유의하지 않다고 해석하며, 일반 실험의 분산분석에서는 A 인자가 유의하여 A인자의 수준(2수준)으로 정해야 한다고 해석한다. 어느 결과가 맞는지는 현실에 적용하여 결과로 판정할 수 있다. 다구찌 입장과 일반 실험계획과의 해석에서 많은 차이가 있음을 보여주고 있다.

### 3. 잡음인자하의 데이터 산포에 따라 유의한 인자가 변화를 보이는 예제

다구찌 기법실험을 위하여 Figure3.1과 같이 종이 헬리콥터를 만들어, 종이 헬리콥터가 공중에서 오래 날게 하는 제어 조건을 찾는 실험을 실시하였다. 그동안 종이 헬리콥터 실험시 가장 큰 오차는 시간 측정이다. 낙하시간은 평균 2초 근처이지만, 그동안 측정한 초시계로는 0.4초 이상 오차가 발생하여 측정된 데이터의 신뢰성이 없었다. 초시계는 측정자가 손으로 작동하므로 반복실험 했을 때, 0.4초 이내로 일정하게 측정하는 것이 어렵다. 종이 헬리콥터 실험은 시간측정을 해결하지 않고 신뢰성 있는 데이터 확보가 어렵다.

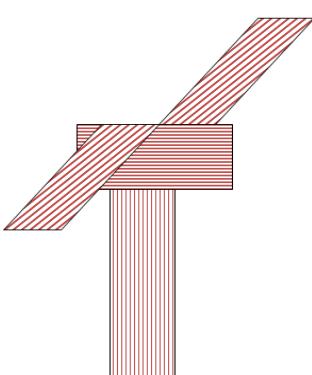


Figure 3.1a Paper Helicopter

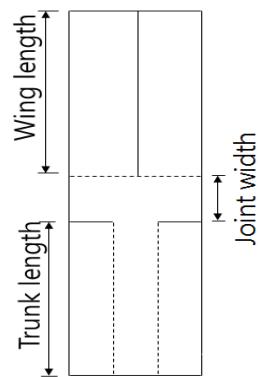


Figure 3.1b Design of Paper Helicopter

Figure 3.1 Paper Helicopter

이에 본 실험에서는 종이 헬리콥터의 시간 측정 오차를 해결하기 위해 특별 설비를 제작하였다(Figure 3.2). 설비는 낙하 시간 측정을 자동으로 할 수 있게 제작하였다. 낙하 실험은 먼저, 종이 헬리콥터를 설비 상단에 고정시키고(Figure 3.2a), 낙하 버튼을 누르고 원판위에 떨어지면(Figure 3.2b), 자동으로 시간이 측정되는 설비이다(Figure 3.2c). 본 시스템을 통하여 측정한 시간은 오차를 모두 제거한 정확한 데이터이다(본 시스템은 전문업체에서 낙하 실험을 위하여 특별 제작하였다).



Figure 3.2a



Figure 3.2b



Figure 3.2c

**Figure 3.2** Drop Test Instrument of Paper Helicopter

Figure 3.2a: The scene Fixed at the top of Paper Helicopter

Figure 3.2b: Dropping the disc on the sensor look of Paper Helicopter

Figure 3.2c: Fall time measurement machine of Paper Helicopter

### 3.1 인자와 수준 선택

종이 헬리콥터가 오래 나는데 관련 있는 인자들을 살펴보면, 날개폭, 날개길이, 몸통길이, 몸통 폭, 헤드길이, 조인트 등이다(Figure 3.1a 참조). 이들은 제어 가능하므로 제어인자이다. 실험을 하는 실험실안에 천장 온난방기가 설치되어 있다. 온난방기 바람의 세기는 종리 헬리콥터가 나는 시간에 강한 영향을 주지만 통제되지 않으므로 잡음인자로 설정하였다. 이를 정리하면 Table 3.1과 같다.

**Table 3.1** Factor and level of Paper Helicopter

Division	Indication	Factor	1-level	2-level	3-level
Control Factor	A	Wing length	50	60	70
	B	Trunk length	50	60	70
	C	Wing width	20	20	20
	D	Trunk width	20	20	20
	E	Joint width	10	10	10
	F	No of clip	1	1	1
Noise Factor	N	wind strength	8th place different levels of Noise factor		

본 실험에서는 제어 인자로 날개길이, 몸통길이 2개만 사용하였다. 나머지 인자는 상수로 고정하였다(Table 3.1). 2개의 제어인자는 각각 3 수준으로 정하였다. 실험의 정확성을 높이기 위해 최대한 오차를 줄이기 위하여 이곳에 사용된 클립은 모두 무게가 0.17g으로 일정한 것만 사용했으면, 종이의 무게도 모두 일정한 것을 사용하였다. 다구찌 실험은  $L_9(3^4)$  직교배열표를 이용하였다. 실험한 결과는 Table 3.2와 같이 데이터를 얻었다. SN비는 망목특성(eq, 2.1)으로 계산하였다.

**Table 3.2** Result of Taguchi experiment in  $L_9(3^4)$ 

No	A Wing length	B Trunk length	8th place different levels of Noise factor								SN ratio
			N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	
1	50	50	1.01	1.02	1.03	1.05	1.01	1.02	1.03	1.3	0.4174
2	60	60	1.03	1.03	1.05	1.07	1.03	1.03	1.05	1.2	0.4864
3	70	70	1.01	1.03	1.05	1.09	1.01	1.03	1.05	1.2	0.4600
4	50	60	1.19	1.2	1.22	1.23	1.19	1.2	1.22	1.2	1.6270
5	50	70	1.21	1.22	1.24	1.25	1.21	1.22	1.24	1.2	1.7515
6	60	50	1.2	1.22	1.22	1.24	1.2	1.22	1.22	1.2	1.6900
7	60	70	1.32	1.34	1.36	1.36	1.32	1.34	1.36	1.3	2.5226
8	70	50	1.31	1.34	1.35	1.36	1.31	1.34	1.35	1.3	2.4901
9	70	60	1.32	1.34	1.36	1.36	1.32	1.34	1.36	1.3	2.5226

실험결과는 2원 배치 분산분석과 SN비로 분산분석하였다(Table 3.3, Table 3.4 참조).

**Table 3.3** ANOVA of Table 3.2 DATA

Factor	DF	SS	V	F0	P-value
A	2	0.9206	0.4603	215.61	0.000
B	2	0.0003	0.0002	0.07	0.932
Interaction	4	0.0011	0.0003	0.13	0.972
error	63	0.1345	0.0002		
Total	71	1.0564			

$S = 0.04620$     $R\text{-제곱} = 87.27\%$     $R\text{-제곱(수정)} = 85.65\%$

**Table 3.4** ANOVA of Table 3.2 SN ratio

Factor	DF	SS	V	F0	P-value
A	2	6.4329	3.2164	2064.82	0.000
B	2	0.0045	0.0022	1.43	0.411
Interaction	2	0.0033	0.0017	1.06	0.485
e	2	0.0031	0.0016		
Total	8	6.4438			

$S = 0.0394681$     $R^2 = 99.95\%$     $R^2(\text{adjust}) = 99.81\%$

위 실험결과 2원배치 분산분석과 SN비 분산분석 결과는 같다. A 인자가 유의하고 B 인자와 교호작용은 유의하지 않았다.

다구찌 기법의 잡음인자는 일반 실험계획에선 새로운 인자로 해석할 수 있다. 잡음인자가 영향을 주려면 잡음 수준간 데이터가 차이가 있어야 하는데, 잡음 수준에 따라 데이터가 어느 정도로 변화되어야 유의한 인자가 변화되는지 알아보고자 하는 것이 본 논문의 목적이다. 또한 이러한 경우에 잡음인자를 고려하지 않은 실험계획과 잡음인자를 고려한 SN비 분산분석에서 유의한 인자가 다르게 결과가 나타나는지 알아보는 것이 본 논문의 또 다른 목적이다. 이러한 목적을 알아보는데 수식으로 표현이 어려워 신뢰성 있는 데이터를 기본으로 데이터를 변화시키면서 유의한 인자의 변화 과정을 살펴보자 한다.

Table 3.2의 마지막 잡음 수준(N8)의 데이터를 강제로 증가시켜보자 한다. N8=2.7, N8=2.8, N8=21 경우로 나누어 변화과정을 살펴보기로 한다. 2.7, 2.8 등의 수치는 다양한 실험 결과 이 점들에서 변화가 있음을 알아냈다.

**Table 3.5** Data N8=2.7 of Table 3.2

No	A Wing length	B Trunk length	8th place different levels of Noise factor								SN ratio
			N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	
1	50	50	1.01	1.02	1.03	1.05	1.01	1.02	1.03	2.7	0.6979
2	60	60	1.03	1.03	1.05	1.07	1.03	1.03	1.05	2.7	0.8387
3	70	70	1.01	1.03	1.05	1.09	1.01	1.03	1.05	2.7	0.8101
4	50	60	1.19	1.2	1.22	1.23	1.19	1.2	1.22	2.7	2.0909
5	50	70	1.21	1.22	1.24	1.25	1.21	1.22	1.24	2.7	2.2297
6	60	50	1.2	1.22	1.22	1.24	1.2	1.22	1.22	2.7	2.1611
7	60	70	1.32	1.34	1.36	1.36	1.32	1.34	1.36	2.7	2.9878
8	70	50	1.31	1.34	1.35	1.36	1.31	1.34	1.35	2.7	2.9515
9	70	60	1.32	1.34	1.36	1.36	1.32	1.34	1.36	2.7	2.9878

**Table 3.6** ANOVA of Table 3.5 DATA

Factor	DF	SS	V	F0	P-value
A	2	0.8719	0.4359	3.17	0.048
B	2	0.0003	0.0006	0.00	0.996
error	67	9.2002	0.1373		
Total	71	10.0732			

$$S = 0.370563 \quad R^2 = 8.67\% \quad R^2(\text{adjust}) = 3.21\%$$

교호작용 효과가 작아 풀링하였다.

**Table 3.7 ANOVA of Table 3.5 SN ratio**

Factor	DF	SS	V	F0	P-value
A	2	7.3753	3.6877	2423.24	0.000
B	2	0.0107	0.0053	3.51	0.222
Interaction	2	0.0078	0.0039	2.58	0.280
error	2	0.0030	0.0015		
Total	8	7.3969			
$S = 0.0390101 \quad R^2 = 99.96\% \quad R^2(\text{adjust}) = 99.84\%$					

N8=2.7인 경우 실험결과 2원배치 분산분석과 SN비 분산분석 결과는 같다. 단 SN비 분석에서 A 인자가 2원배치 실험보다 더 유의하게 나타났다.

**Table 3.8 Data N8=2.8 of Table 3.2**

No	A Wing length	B Trunk length	8th place different levels of Noise factor								SN ratio
			N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	
1	50	50	1.01	1.02	1.03	1.05	1.01	1.02	1.03	2.8	0.7041
2	60	60	1.03	1.03	1.05	1.07	1.03	1.03	1.05	2.8	0.8451
3	70	70	1.01	1.03	1.05	1.09	1.01	1.03	1.05	2.8	0.8164
4	50	60	1.19	1.2	1.22	1.23	1.19	1.2	1.22	2.8	2.0994
5	50	70	1.21	1.22	1.24	1.25	1.21	1.22	1.24	2.8	2.2384
6	60	50	1.2	1.22	1.22	1.24	1.2	1.22	1.22	2.8	2.1697
7	60	70	1.32	1.34	1.36	1.36	1.32	1.34	1.36	2.8	2.9982
8	70	50	1.31	1.34	1.35	1.36	1.31	1.34	1.35	2.8	2.9619
9	70	60	1.32	1.34	1.36	1.36	1.32	1.34	1.36	2.8	2.9982

**Table 3.9 ANOVA of Table 3.8 DATA**

Factor	DF	SS	V	F0	P-value
A	2	0.8719	0.4359	3.10	0.051
B	2	0.0011	0.0006	0.00	0.996
error	67	9.3699	0.1398		
Total	71	10.2429			
$S = 0.373965 \quad R^2 = 8.52\% \quad R^2(\text{adjust}) = 3.06\%$					

교호작용 효과가 작아 풀링하였다.

**Table 3.10** ANOVA of Table 3.8 SN ratio

Factor	DF	SS	V	F0	P-value
A	2	7.4028	3.7014	2422.82	0.000
B	2	0.0107	0.0054	3.51	0.222
Interaction	2	0.0079	0.0039	2.58	0.280
error	2	0.0031	0.0015		
Total	8	7.4244			
$S = 0.0390860 \quad R^2 = 99.96\% \quad R^2(\text{adjust}) = 99.84\%$					

$N_8=2.8$ 인 경우 실험결과 2원배치 분산분석에선 5% 유의수준에서 유의한 인자는 없고, SN비 분산분석은 A 인자가 유의하게 나타났다. 결과가 다르게 나타났다.

다구찌 실험으로  $N_8=2.8$ 에서는 잡음의 영향력이 대응할 수 있는 인자로 A 인자가 선택되었지만, 잡음인자를 고려하지 않은 실험에서는 전체 실험 산포가 커서 인자 A가 영향력이 없다는 결론이다. 위 예제에서는  $N_8$ 이 2.7과 2.8에서 결과가 변화되었다. 즉 2.7과 2.8사이를 임계값으로 볼 수 있다. 이번에는  $N_8$ 을 크게 변화시켰다. 대부분 21로 했지만 몇 개는 다르게 했다.

**Table 3.11** Data  $N_8=21$  of Table 3.2

No	A Wing length	B Trunk length	8th place different levels of Noise factor								SN ratio
			N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	
1	50	50	1.01	1.02	1.03	1.05	1.01	1.02	1.03	23	0.7851
2	60	60	1.03	1.03	1.05	1.07	1.03	1.03	1.05	22	0.9286
3	70	70	1.01	1.03	1.05	1.09	1.01	1.03	1.05	21	0.8992
4	50	60	1.19	1.2	1.22	1.23	1.19	1.2	1.22	21	2.2111
5	50	70	1.21	1.22	1.24	1.25	1.21	1.22	1.24	22	2.3540
6	60	50	1.2	1.22	1.22	1.24	1.2	1.22	1.22	22	2.2834
7	60	70	1.32	1.34	1.36	1.36	1.32	1.34	1.36	21	3.1360
8	70	50	1.31	1.34	1.35	1.36	1.31	1.34	1.35	21	3.0985
9	70	60	1.32	1.34	1.36	1.36	1.32	1.34	1.36	21	3.1360

**Table 3.12** ANOVA of Table 3.11 DATA

Factor	DF	SS	V	F0	P-value
A	2	0.28	0.1398	0.00	0.997
B	2	0.03	0.0128	0.00	1.0
Interaction	4	0.30	0.0757	0.00	1.0
error	63	3268.39	51.8792		
Total	71	3269.00			
$S = 7.203 \quad R^2 = 0.02\% \quad R^2(\text{adjust}) = 0.00\%$					

**Table 3.13** ANOVA of Table 3.11 SN ratio

Factor	DF	SS	V	F0	P-value
A	2	7.7738	3.8869	2405.91	0.000
B	2	0.0112	0.0056	3.46	0.224
Interaction	2	0.0082	0.0041	2.55	0.282
error	2	0.0032	0.0016		
Total	8	7.7965			

S = 0.0401941 R^2 = 99.96% R^2(adjust) = 99.83%

N8=21인 경우 실험결과 2원배치 분산분석에선 모든 인자가 전혀 유의하지 않게 나타났고, SN비 분산분석은 A 인자가 매우 유의하게 나타났다. N8=2.8 이상은 같은 결과가 나온다고 볼 수 있다.

Table 3.11과 같이 같은 수준에서 반복 데이터가 차이가 많이 나면 실험의 오류로 볼 수 있어 등분산 검정을 하였더니 Table 3.14 같이 등분산에 문제가 없는 것으로 나타났다.

**Table 3.14** Test of Equal Variance of Table 3.11

CI of 95% Bonferroni standard standard deviation					
A	B	N	Lower	SD	Upper
1	1	8	4.40526	7.76960	22.6851
1	2	8	4.20137	7.40999	21.6351
1	3	8	4.00150	7.05748	20.6059
2	1	8	3.96769	6.99785	20.4318
2	2	8	4.16414	7.34433	21.4434
2	3	8	4.16614	7.34786	21.4537
3	1	8	3.94048	6.94987	20.2917
3	2	8	3.94163	6.95189	20.2976
3	3	8	3.94048	6.94987	20.2917

Bartlett test(normal distribution): test statistic = 0.17, P-value = 1.000  
Levene test(continuous distribution): test statistic = 0.00, P-value = 1.000

이상의 결과에서 잡음인자 수준별로 실험한 경우 실험이 등분산을 만족한 경우라도, N8이 2.7과 2.8에서 2원배치로 분산분석한 것과 SN비로 분석분석한 결과는 다르게 나타났다. 위와 같은 경우를 정리하면 Table 3.15와 같다.

Table 3.15 Summary of numerical example

	P-Value at N8 = 2.7		P-Value at N8 = 2.8		P-Value at N8 = 21	
	two-way Exp.	SN ratio	two-way Exp.	SN ratio	two-way Exp.	SN ratio
A Factor	0.048	0.000	0.051	0.000	0.997	0.000
B Factor	0.996	0.222	0.996	0.222	1.0	0.222
Interaction	*	0.280	*	0.280	1.0	0.280

\* : error term is too small in 2-way ANOVA, cannot seek an interaction P-value.

위의 Table 3.15의 A 요인만 그래프로 그리면 아래와 같다. N8가 2.7에서 2.8로 변화하는 과정에서 A 인자가 SN비로 계산한 분산분석에서는 차이가 없으나, 데이터를 이용한 분산분석에서는 A 인자의 유의성이 변하는 것을 볼 수 있다.

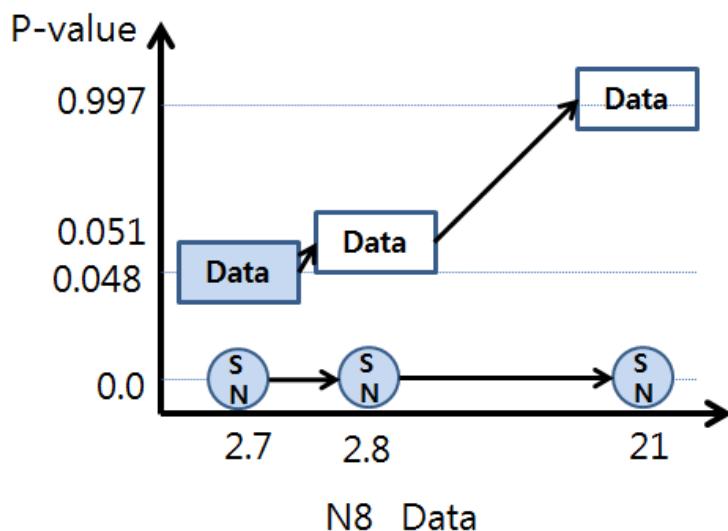


Figure 3.3 A factor Graph of Table 3.15

위의 예제에서 우리는 반복 실험 데이터 값에 따라 일반실험계획과 다구찌 실험계획의 결과가 차이가 있음을 확인하였다.

본 논문에서 잡음을 고려한 다구찌 기법은 잡음 인자를 고려하지 않은 실험계획과 차이는 실험 실시시 환경조건을 바꿔가면서 실험한 것이다. 분산분석시에는 다구찌 기법은 실험한 내용을 SN비로 변환하여 반복인 없는 요인설계 혹은 직교배열 실험의 분산분석과 같다. 다구찌 기법에서는 실험 데이터 차이가 많이 나야 잡음인자가 유의한 것으로 나타난다. 반대로 일반 실험계획에서는 산포가 크면 유의한 인자가 없다.

## 4 결 론

본 논문에서 실험 데이터 변화가 어느 정도에서 다구찌 실험과 일반실험과 다른 결과가 나타나는지 알아보았다.

이러한 관계를 수식으로 분석하는 것이 명확하나, 수식이 복잡하고 변수가 많아 명료하게 보여주지 못하고 짐작만 하여왔다.

본 논문에서는 예제를 통하여 이러한 변화를 확인한 것이 본 논문의 성과이다. 본 논문에서 종이 헬리콥터를 만들어 실험하였다. 실험도구는 실험에 영향을 주는 오차를 모두 제거할 수 있는 설비를 제작하여 실험하였다. 실험결과 어떤 임계치에서 다구찌 기법의 SN비 분산분석과 일반 분산분석과 결과가 다르게 나타나는 것을 확인하였다. 본 논문은 정확한 실험으로 얻은 데이터에 근거하여 다양한 실험을 하였다. 그동안 막연히 알고 있던 사실을 확인한 것이 본 논문이 기여한 바이다.

추후 다구찌 기법을 현장의 새로운 과제에 맞추어 현장의 과제에 적합하게 수정한 새로운 해법을 제시하는 것이 추후 연구로 남아 있다.

## REFERENCES

- Joseph J. Pignatiello, Jr. and John S. Ramberg, 1985, "Discuss about: Raghu N. Kackar's Taguchi Method", Journal of Quality Technology, Vol. 17, No. 4, 198-206
- KSA(tranlated), 1991, "Taguchi's quality engineering 1 : Design phase of development", Korean Standards Association
- Park, Sunghyun, 2009, "Modern Design of Experiment", Minyoungsa
- Raghu N. 1985, "Off-line Quality Control, Parameter Design, and the Taguchi Method", Journal of Quality Technology, Vol. 17, No. 4, 176-188
- Ree, Sangbok, 1997, "Analysis of Quality Loss Function(QLF) of Taguchi", Journal of Quality Management, Vol. 25, No. 3, 82-91
- Ree, Sangbok, 2001, "A Comparative analysis of three Signal-to-Noise ratios of dynamic characteristics Parameter design", Journal of Quality Management, Vol. 29, No. 4, 82-91
- Ree, Sangbok, 2003, "Easy Taguchi technique from foundation to the field application, the third edition", Sangjosa
- Ree, Sangbok, 2009, "Method determining level of Noise Factor of Taguchi Method under various probability distribution", Journal of Quality Management, Vol. 37, No. 4, 10-15
- Yum, Bongjin etc, 2000, "Cooperative public lectures, experimental design and analysis: utilizing Taguchi method and the orthogonal table", KAIST

