

# 다양한 확률분포 하에서 다구찌 기법의 잡음인자 수준 정하는 기법

이상복<sup>†</sup>

서경대학교 산업공학과 / 경영대학원 6시그마 전공

## Method determining level of Noise Factor of Taguchi Method under various probability distribution

Ree, Sang bok<sup>†</sup>

Dept. of I.E. Seokyeong University / 6 sigma Major Business Graduate school

Key Words : Taguchi Method, Level of Noise Factor, Pattern of Noise Factor Frequency

### Abstract

In this paper, we propose new methods which is to determine level of noise factor. Even Taguchi give level of noise factor which is best(or maximum) and worst(or minimum) condition, we give level of noise factor which is representative value by observing noise factor frequency. Sometimes level of noise factor is given one, two and three. We know this method is more fit in real fields.

## 1. 서 론

다구찌 기법은 일본의 다구찌 겐이찌(田口玄一)가 제안한 기법으로, 품질 특성에 영향을 주는 잡음인자에 강한 최적조건을 찾는 기법으로 잘 알려졌다. 지금까지 많은 적용사례가 발표되었다(한국공업표준협회간(1991), 품질공학강좌 3-6권 모두 사례임).

다구찌는 3대 설계를 제안하였다. 파라미터 설계, 안전설계, 공차설계가 있다(Fowlkeas & Creveling, 2000); Creveling, 1996). 6시그마 활동에서, 특히 DFSS에서, 다구찌 기법은 현장 적용 사례에서 많이 발표되고 있다(이상복 & 이광수, 2008). 다구찌 기법은 설계 단계에서 사용조건, 생산조건을 충분히 고려하여 설계되어야 한다.

다구찌 기법 적용을 위해선 3가지 인자를 다룬다. 제어인자는 제어가 가능한 인자로 최적 수준을 찾아 고정한다. 잡음인자는 제어 가능하지 않은 인자로 품질 특성에 산포가 발생하게 된다. 신호인자는 품질특성이 동특성에서 사용된다.

다구찌 기법에서 잡음인자는 중요한 인자이다. 잡음인자는 품질특성에 지대한 영향을 주기 때문에 제어인자의 수준 설정은 잡음인자의 영향에 따라 결정된다. 잡음인자의 영향력을 감소시키지 않고는 좋은 품질특성(산포가 적은 것)을 기대할 수 없다.

다구찌 기법의 아이디어는 잡음의 영향력을 감소시키기 위하여 제어인자의 수준을 정하는 방법이다. 이러한 의미로 다구찌 기법은 강건설계로 불린다. 다구찌 기법에서 잡음인자를 고려하지 않으면 일반 실험계획법과 같다(Vijayan, 2004; 이상복, 2000, 2004, 2007).

다구찌 기법은 제어인자들을 내측에 직교배열표를 이용하여 배치하고 외측에 잡음인자로 배치하며, 잡음인자 수준만큼 반복실험을 수행한다.

다구찌 기법의 성공은 품질에 영향을 주는 중요한 잡음인자를 찾는 데 달려있다. 다구찌는 잡음인자 찾는 것에 많은 노력을 기울였지만, 잡음인자의 수준 정하는 방법에 대해선 별다른 방법을 제시하지 않았다. 다구찌 기법은 잡음인자 수준을 가능하면 많이 선정하여 실험하면 좋지만, 실험이 어려우면 잡음인자의 최대치와 최

<sup>†</sup> 교신저자 sbree@skuniv.ac.kr

소치(혹은 좋은 조건과 나쁜 조건) 2가지 수준에서 실험하라고 제안 하였다.

다구찌 기법의 SN비(Signal to Noise) 계산은 실험을 실시한 잡음인자의 2수준(최대값, 최소값)의 범위 전체를 포함하는 것이 아니라, 2수준의 값만으로 계산된다(최소 최대 2수준의 범위 전체를 커버하는 것이 아니라 2점만 커버한다).

많은 적용사례는 다구찌의 제안에 따라 2수준으로 실험을 실시하였다(American Supplier Institute, 2000; 이상복, 2000).

이처럼 기존연구에서는 잡음인자의 수준을 정하는 방법을 제시한 연구가 없으므로 본 연구에서 알아보고자 한다.

### 2. 잡음인자 수준의 결정 제안

다구찌가 제안한 잡음인자 수준인 최대값과 최소값은 현장에서 발생이 적은 경우가 많다. 현장에서 발생이 적은 조건에 맞춘 강건 설계의 최적값을 현장에 적용하면 비효율적이다. 이를 해결하기 위해, 본 논문에선 잡음인자의 빈도를 관찰하여 잡음인자를 대표할 수 있는 빈도수가 많은 대푯값을 잡음자 수준으로 실험할 것을 제안한다. 잡음인자는 변동을 예측할 수 없으므로 잡음인자의 변동 패턴을 알기 위해선 많은 시간과 노력이 필요하다. 잡음인자 중 품질특성에 영향을 미치지 않거나 잡음인자의 변화를 측정할 수 없는 경우는 제외한다.

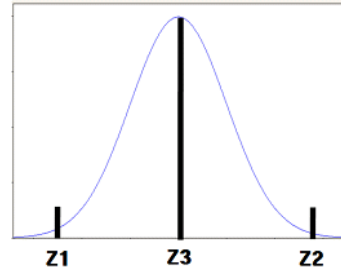
예로 천연 가스 가공 공정 중 실내 온도는 품질 특성에 영향을 많이 주며 제어할 수 없기 때문에 잡음인자이다. 실내가 넓기 때문에 전체를 일정한 온도로 맞출 수 없으며(제어할 수 없으며), 계절에 따라 실내온도는 변한다. 실내온도는 언제든지 측정할 수 있다. 일정한 기간 동안 측정하면 온도 변화의 패턴을 알 수 있다.

이 논문에서 잡음인자 변화의 빈도를 6가지 형태에 대하여 살펴본다. 정규분포형태, 봉우리가 2개인 형태, 봉우리가 3개인 형태, 한쪽으로 치우침이 큰 형태, 일정한 형태, 알려지지 않았지만 일정한 형태를 보이는 경우 등이다. 이 논문에서 살펴본 6가지 형태의 확률분포로 대부분 다구찌 기법을 적용하는 현장의 다양한 경우를 해결할 수 있다.

#### 2.1 정규분포형태

잡음인자의 빈도가 <그림 1>과 같이 정규분포형태

라면, 중심값(Z3)이 잡음인자 빈도를 대표한다. 이 값이 다구찌가 제안한 최대값(Z2)와 최소값(Z1) 2가지 수준보다 1가지 경우로 반복 실험 하는 것을 제안한다. Z3은 Z3 중심의 주위의 범위를 대표하므로, Z1과 Z2이 대표하는 범위보다 넓다(Z1, Z2의 범위를 대표하는 범위의 면적은 매우 적다). 넓은 범위를 대표하는 Z3을 이용하여 구한 최적값이 Z1과 Z2의 최적값보다 더 현실에 적합하다.

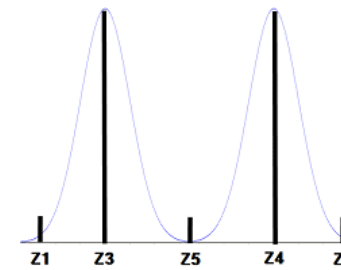


<그림 1> 잡음인자의 빈도형태가 정규분포형태인 경우

Z3 주위의 많은 점을 잡음인자의 수준으로 정하면 더 많은 범위를 대표하므로 좋은 해를 제시할 수 있지만, 이는 실험 횟수가 기하급수적으로 늘어나므로 현실적이지 않다. 본 논문에선 다구찌가 제안한 2수준과 비교하고 가능한 최소 실험 회수가 되게 하는 것이 기본 가정이다.

#### 2.2 봉우리가 2개인 경우

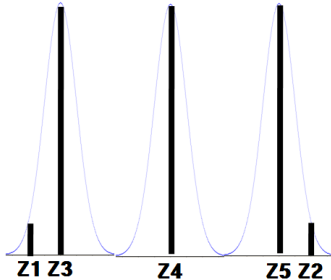
잡음인자의 빈도가 <그림 2>와 같이 봉우리가 2개인 경우라면, Z3(한쪽 봉우리의 중심값)과 Z4(다른 봉우리의 중심값)를 잡음인자의 수준으로 제안한다. 이 값이 다구찌가 제안한 최대값(Z2)와 최소값(Z1)보다 Z3과 Z4가 발생 빈도가 높다. 이점에 대한 강건설계가 더 현실적이다. Z5는 전체의 평균값이나 현실에서 발생빈도가 낮아 대푯값으로 불충분하다.



<그림 2> 잡음인자의 빈도형태가 봉우리 2 개인 경우

### 2.3 봉우리가 3개인 경우

잡음인자의 빈도가 <그림 3>와 같이 봉우리가 3개인 경우라면, Z3(왼쪽 봉우리의 중심값)과 Z4(중앙 봉우리의 중심값), Z5(오른쪽 봉우리의 중심값)를 잡음인자의 수준으로 제안한다. 이 값이 다구찌가 제안한 최대값(Z2)와 최소값(Z1) 2개보다 3개 수준을 제안한다. 현실적으로 잡음인자의 수준 3개에서 실험하는 것이 어렵지만, 이러한 상황에서는 강건설계가 효과를 얻기 위해선 3점에서의 실험이 필요하다.



<그림 3> 잡음인자의 빈도형태가 봉우리 3 개인 경우

### 2.4 한쪽으로 치우침이 큰 경우

잡음인자의 빈도가 <그림 4>와 같이 한 쪽(왼쪽 혹은 오른쪽)으로 치우친 경우는, Z3(왼쪽 봉우리의 중심값)이 다구찌가 제안한 최대값(Z2)와 최소값(Z1) 2개 대신 1개를 제안한다. 현실적으로 잡음인자의 수준이 1개가 대푯값인 경우는 잡음인자 수준을 1개로 제안하는 것이 현실적이다.

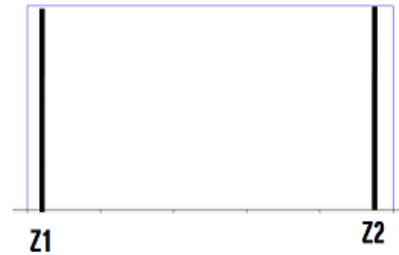


<그림 4> 잡음인자의 빈도형태가 한쪽으로 치우침이 큰 경우

### 2.5 분포가 일정한 경우

잡음인자의 빈도가 <그림 5>와 같이 분포형태가 일

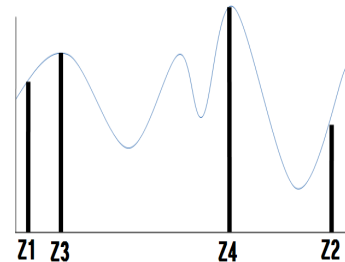
정한 경우는 다구찌가 제안한 최대값(Z2)와 최소값(Z1)인 경우가 적당하다. 다구찌는 잡음인자의 분포형태가 일정하다고 가정한 것이다.



<그림 5> 잡음인자의 빈도형태가 일정한 경우

### 2.6 일정한 형태가 없는 경우

잡음인자의 빈도가 <그림 6>과 같이 잡음인자의 빈도를 히스토그램을 그리면 알려진 형태가 아니지만 일정한 형태를 얻을 수 있다, 이러한 경우는 그림의 형태에 따라서 최대 빈도를 중심으로 잡음인자 수준을 찾는다. <그림 6>인 경우는 빈도가 높은 Z3과 Z4가 적당하다.



<그림 6> 잡음인자의 빈도형태가 형태가 일정하지 않은 경우

이상의 내용을 정리하면 다음 <표 1>과 같다.

<표 1> 잡음인자의 새로운 수준

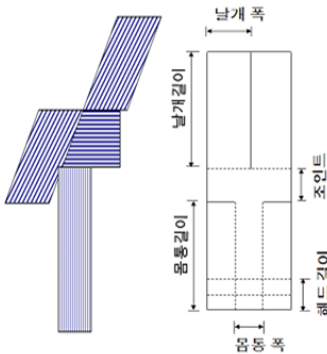
잡음인자 빈도의 형태	다구찌 제안	새로운 수준
(1)정규분포형태	최대값,최소값	1개 중심값
(2)봉우리가 2개인 경우	최대값,최소값	2개의 봉우리 중심값
(3)봉우리가 3개인 경우	최대값,최소값	3개의 봉우리 중심값
(4)한쪽으로 치우침이 큰 경우	최대값,최소값	1개의 치우침의 대푯값
(5)분포가 일정한 경우	최대값,최소값	최대값,최소값
(6)일정한 형태가 없는 경우	최대값,최소값	분포형태에 따라 가감

### 3. 잡음인자의 새로운 수준을 이용한 다구찌 설계 예제

2절에서 논의한 잡음인자 빈도를 이용하여 예제를 풀어본다.

#### 3.1 테마 선정

다구찌 기법을 이용하여, <그림 7>과 같이 종이 헬리콥터가 공중에서 오래 날게 하는 조건을 찾는 실험을 실시하였다(나는 시간 측정은 초시계를 이용하였다).



<그림 7> 종이 헬리콥터

#### 3.2 인자와 수준 선택

헬리콥터가 오래 나는데 관련 있는 인자들을 살펴보면, <그림 7>의 오른쪽 그림과 같이 날개폭, 날개길이, 몸통길이, 몸통 폭, 헤드길이, 조인트 등이며, 바람의 세기는 오래 나는 시간 에 강한 영향을 주지만 통제되지 않는다. 이를 정리하면 <표 2>와 같다.

<표 2> 인자와 수준 정리

구분	표시	인자	1수준	2수준
제어인자	A	날개 폭	10	40
	B	날개 길이	30	100
	C	몸통 길이	50	100
	D	몸통 폭	10	30
	E	조인트	10	30
잡음인자	N	바람세기	약함	강함

### 3.3 실험 배치와 실험

<표 3>과 같이 제어인자를 내측에 배치하고 잡음인자인 바람세기는 외측에 배치하여 실험하였다. 다구찌는 잡음인자의 2수준으로 N1(0cm/sec, 가장 약함)와 N2(5cm/sec, 가장 강함)로 실험을 하였다.

<표 3> 다구찌 인자배치와 실험결과

No.	Inner Array					Out Array			
	A	B	C	D	E	Taguchi		New level	
1	1	1	1	1	1	2.9	3	2.9	2.9
2	1	1	1	1	1	2	2.8	2	2.6
3	1	1	2	2	2	2.1	2.9	2.1	2.8
4	1	2	1	2	2	2.4	2.9	2.4	2.9
5	1	2	2	1	2	2.5	2.6	2.5	2.5
6	1	2	2	2	1	2.7	2.5	2.7	2.3
7	2	1	2	2	1	1.9	2.7	1.9	2.7
8	2	1	2	1	2	2.3	2.5	2.3	2.3
9	2	1	1	2	2	2.4	2.6	2.4	2.5
10	2	2	2	1	1	2.5	2.8	2.5	2.8
11	2	2	1	2	1	2.2	2.9	2.2	2.8
12	2	2	1	1	2	2.4	3	2.4	3

#### 3.4 최적 조건 찾기

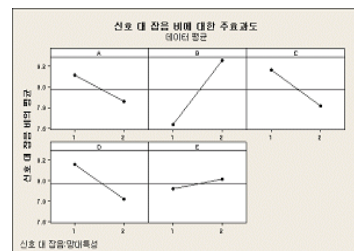
미니탭에 의해서 분석한 결과가 다음과 같다.

Taguchi Analysis: N1, N2 as A, B, C, D, E

Response Analysis Table of noise & parameter  
The better than longer

level	A	B	C	D	E
1	8.113	7.633	8.164	8.156	7.922
2	7.855	8.255	7.812	7.819	8.014
delta	0.257	0.621	0.352	0.337	0.092
rank	4	1	2	3	5

SN 비 그래프는 <그림 8>과 같다.



<그림 8> SN비 그래프

최적 수준은 <A1, B2, C1, D1, E2>이며, SN비의 추정값은 8.76231, 평균의 추정값은 2.75833 이다.

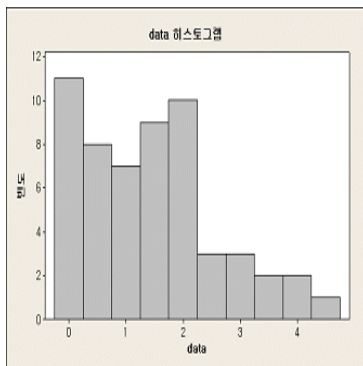
### 3.5 잡음인자의 빈도를 조사하여 새로운 잡음인자 수준 찾기

1주일동안 10분 간격으로 풍속계를 이용하여 바람의 세기를 측정하였다(ARCO사의 AR836 풍속계의 단위는 m/sec이나 cm/sec로 숫자를 변환하였다). 측정된 데이터는 <표 4>와 같았다.

<표 4> 측정된 풍속 데이터

1.1	1.2	0.0	1.8	0.5	0.5	0.3	1.1	1.2
0.6	1.0	0.6	1.5	1.8	0.0	0.0	2.0	1.2
0.0	0.1	0.0	0.7	0.0	0.0	0.1	0.0	0.3
1.8	2.2	0.6	3.6	2.9	2.3	2.8	1.5	1.7
1.5	2.7	1.8	1.7	4.1	3.3	1.6	2.1	2.0
2.0	1.6	4.1	1.0	1.9	0.7	2.5	0.9	2.8
1.7	4.3	0.2						

이를 <그림 9>와 같이 히스토그램을 그렸다.그림에서 잡음의 빈도 수가 큰 것을 고려하여 잡음인자 수준으로 N3=0(cm/sec), N4=2(cm/sec)를 선택하였다.



<그림 9> 잡음인자 빈도의 히스토그램

### 3.6 잡음인자의 새로운 수준으로 최적 조건 찾기

새로운 잡음인자의 수준(N3, N4)을 이용하여 실험한 결과가 <표 3>의 오른쪽 끝의 N3, N4이다. 미니탐으로 계산한 결과가 아래와 같다.

Taguchi Analysis: N3, N4 as A, B, C, D, E

Response Analysis Table of noise and parameter  
The better than longer

level	A	B	C	D	E
1	7.937	7.471	8.070	8.014	7.779
2	7.752	8.140	7.641	7.688	7.884
delta	0.186	0.669	0.429	0.326	0.105
rank	4	1	2	3	5

최적 조건은 <A1, B2, C1, D1, E2>이며 이는 N1, N2 수준에서 얻은 최적 조건과 같다. 예측되는 SN비 추정값은 8.6410, 평균 추정값은 2.7167이다.

### 3.7 확인실험

최적 조건 <A1, B2, C1, D1, E2>에서 확인 실험하기 위하여, 1시간 간격으로 총 8번 실험하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

2.8 2.7 2.7 2.6 2.8 2.7 2.7 2.6

실험 결과의 SN비(망대특성 공식  $SN = -10 \log_{10} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2}$ )와 샘플의 평균값을 구하여 기존의 추정값과 비교하였다.<표 5>.

<표 5> SN비 평균값 비교

수준	SN비	평균
다구찌 2수준 (N1 N2)	8.7623	2.7583
새로운 수준 (N3 N4)	8.6410	2.7167
확인 실험	8.6183	2.7000

확인 실험 결과값이 새로운 수준의 추정값에 더 가깝게 나타났다. 이는 새로운 수준이 현실에 더 적합한 것으로 증명되었다.

## 4. 결론

이 논문에서는 다구찌 기법의 잡음인자 수준 정하는 새로운 기법을 제안하였다. 다구찌는 잡음인자 수준을

최대값, 최소값의 2가지를 제안했지만, 본 논문에선 잡음인자의 빈도를 관찰하여 빈도가 높은 값을 수준으로 정하도록 제안하였다. 잡음인자 빈도를 6개 형태로 살펴봤다. 경우에 따라선 잡음인자 수준이 1개, 2개 3개 등 다양하게 제안할 수 있다.

종이 헬리콥터 실험을 통하여, 잡음인자 빈도를 관찰하여 얻은 잡음인자 2수준(빈도수가 높은 것)과 다구찌가 제안한 잡음인자 2수준(최대값, 최소값)과 비교하여 실험하였다. 새로운 수준이 더 현실적임을 확인실험을 통하여 증명하였다.

이 논문의 기여는 실제 환경에 적합한 다구찌 최적해를 제시할 수 있는 잡음인자 수준을 정하는 기법을 제안한 것이다. 본 논문이 제조 현장에서 증명되기 위해선 현장에 적용하여 오랜 기간 동안 관찰하는 일은 숙제로 남긴다.

본 논문의 한계는 잡음인자 빈도를 관찰하는 일에 많은 노력이 필요한 것이다.

## 참고문헌

- [1] American Supplier Institute(2000), Robust Design Using Taguchi Methods Workshop Manual ver 3, Addison Wesley
- [2] C.M. Creveling(1996), Tolerance Design, Addison Wesley
- [3] Fowlkeas, W.Y. & C.M. Creveling(2000), Engineering Methods for Robust Product Design, Addison Wesley
- [4] Vijayan N. Nair(2004), "Taguchi's Parameter Design: A Panel Discussion", Technometrics, Vol 34 NO 2, pp 127-161
- [5] 이상복(2000), 「알기쉬운 다구찌 기법」, 상조사
- [6] 이상복(2004), "the improve Tolerance rules of taguchi", 「the proceeding of second ANQ Congress」, India
- [7] 이상복(2007), 「미니탭을 활용한 다구찌 기법」, 이레테크
- [8] 이상복, 이광수(2008), "6시그마의 추진요인에 관한 실증적 연구 - 3년 이상 도입한 기업을 중심으로-", 「한국생산관리학회」, 19권, 4호, pp. 31-55
- [9] 한국공업표준협회(1991), 「품질공학강좌 1-6권」, 한국공업표준협회