

다구치 방법의 강점 및 약점에 대한 사례 연구

권혁무[†] · 장현애

부경대학교 시스템경영공학부

Case Studies on Strengths and Weaknesses of Taguchi Method

Hyuck Moo Kwon · Hyeon Ae Jang

Department of Systems and Management Engineering, Pukyong National University
45 Yongso-ro, Nam-gu, Busan 608-737, Korea

Taguchi method is a technique widely used in industries to attain a reliable quality even under existence of various noise variables. Basically, it relies on the interactions between the controllable and the noise factors. Under insignificant interactions between the design parameters and noises, the effectiveness of Taguchi methodology will be doubtful. Furthermore, existence of strong interactions among controllable factors may undermine the power of Taguchi approach. An abundant crop may be expected by a well planned Taguchi approach. A well designed set of experiments is one of the important prerequisites for its successful result. For this, we must have a clear understanding on strengths and weaknesses of Taguchi methodology together with a sound knowledge on the applicable system. This study provides some insights on Taguchi approach based on two case examples of one successful and the other unsuccessful. Eventually, this research aims to facilitate deeper understanding and right application of Taguchi methodology in industries.

Keywords: Taguchi Method, Robustness, Signal to Noise Ratio

1. 서론

다구치 방법은 제품의 품질특성에 변동을 초래하는 여러 교란 요인들에 대해 직접적인 조치를 취하는 대신 이들에 둔감한 공정조건을 찾음으로써 품질변동을 감소시키는 방법이다. 제조 혹은 사용 환경에 개입되는 다양한 교란요인(잡음인자)들의 영향에 둔감하다는 의미에서 로버스트 설계 혹은 강건설계라고도 하는데, 일본에서는 다구치의 지도하에 이미 1950년대부터 여러 산업현장에서 널리 응용되고 있었던 듯하며 1959년 일본과학기술연맹에서 [직교표에 의한 실험의 배치방법]이라는 책자로 엮어내게 되었다. 그러나 세계적으로 이 분야 학자들의 관심을 끈 것은 그보다 수십년 뒤의 일로 1980년대 이후 Phadke *et al.*(1983), Kackar(1985), Box(1988), Nair(1986, 1992) 등의 학자들이 관련 논문을 발표하면서부터였다.

서구의 학자들에게 소개된 이후 Box(1988)를 비롯한 통계학자들은 주로 비판적인 시각에서 다구치 방법을 평가하였으며 통계적인 이론 면에서 미흡하다는 것이 주된 이유였다. 예를 들어 SN비의 사용 근거, 제어인자의 주효과 위주의 설계, 교호작용 파악에 부적절한 직교표의 사용, 유의한 효과의 판정방법 등에 대한 비판이 그것이다. 이와 같은 비판에 대한 다구치의 대답에는 나름대로의 근거가 있으나 이론적으로는 완벽하지 못하다고 할 수 있다. 그러나 이러한 문제들은 근본적으로 관점의 차이에서 발생하는 것으로 통계학자들이 수학적 무결성을 중시하는 입장과 엔지니어로서 산업 현장에서의 문제 해결을 중시하는 입장의 차이에서 발생한다고 볼 수 있다. 통계학자들의 부정적인 시각에도 불구하고 다구치 방법은 산업 현장에서의 수많은 성공사례들과 함께 Taguchi(1987), Phadke(1989), Fawkes and Creveling(1995), Mori, T.(1995), Roy, R.

본 연구는 산업통상자원부 기술표준원 품질혁신기반구축사업의 지원으로 수행되었음.

[†] 연락저자 : 권혁무 교수, 608-737 부산광역시 남구 용소로 45 부경대학교 시스템경영공학부, Tel : 051-629-6480, Fax : 051-629-6478,

E-mail : iehmkwon@pknu.ac.kr

2013년 6월 18일 접수; 2013년 8월 9일 수정본 접수; 2013년 9월 9일 게재 확정.

K.(2001), Taguchi(2004) 등과 같은 학자들의 저서를 통해 일본 뿐만 아니라 세계 각국의 많은 산업현장에 널리 보급됨으로써 제품개발과 공정 개선에 효과적으로 활용될 수 있는 강력한 방법론으로 자리매김되고 있다.

본 연구에서는 다구치 방법을 이론적인 측면보다는 산업현장에서 사용되는 문제해결의 강력한 도구라는 측면에서 수용하고 올바른 사용에 대한 이해를 높이는데 초점을 맞추고자 한다. 다구치 방법은 개발순서를 고려한 적용단계로 보아 시스템설계, 파라미터설계, 허용차 설계가 있고, 파라미터설계를 위해 시스템의 출력특성이 망목, 망소 혹은 망대 특성으로 정특성일 경우와 동특성일 경우뿐만 아니라 기능창 등 현실 상황에서 나타나는 다양한 특성을 취급할 수 있도록 하고 있다. 여기서는 정특성 파라미터설계 중 망목특성에 초점을 맞추어 서술한다. 본 논문의 제 2장에서는 파라미터설계의 핵심 개념을 살펴보고, 제 3장에서는 성공사례와 실패 사례를 비교적 구체적으로 소개한 후, 제 4장에서는 사례를 토대로 부각된 다구치 방법의 장점 및 취약점과 이에 대한 대응책을 정리하고 제 5장의 결론으로 매듭짓는다.

2. 파라미터설계의 핵심개념 검토

2.1 품질손실함수와 SN비

다구치 방법의 가장 큰 특징은 기존의 실험계획법들이 반응 변수의 평균값에 초점을 맞추고 있는데 반해 산포에 더 큰 비중을 두고 분석한다는 점이다. 일반적으로 기존의 실험계획법에 의해 공정 파라미터의 최적조건을 찾았다고 하더라도 반응 변수는 변동을 초래하는 제조공정의 잡음요인이나 사용 환경의 다양성으로 인한 영향으로부터 자유로울 수가 없기 때문에 현실적인 성취도는 예측된 수준에 훨씬 못 미칠 경우가 많게 된다. 다구치 방법의 혁신성은 이러한 현실을 외면하지 않고 해결 방안을 모색했다는 점에 있다고 하겠다. 다구치는 제품과 공정의 개발단계를 시스템 설계, 파라미터설계, 허용차설계의 3단계로 나누어 설명하고 있으나 여기서는 로버스트설계의 핵심 개념이 잘 반영되어 있는 망목특성의 파라미터설계를 중심으로 간략하게 살펴본다.

다구치 방법은 품질을 종전의 관점과 전혀 다르게 이해하는 것으로부터 시작된다. 다구치는 제품의 품질을 그 제품이 출하

된 이후 사회에 끼친 총 손실로 정의하였다. 이와 같은 관점은 제품을 양품과 불량품으로 구분하여 모든 양품은 같은 품질수준으로 이해하는 종전의 관점과는 크게 다른 것으로 똑 같은 양품이라 하더라도 출하 후 소비자를 포함한 사회에 끼친 손실이 클수록 품질수준이 낮다고 평가하는 것이다. 이 정의에는 일단 양품을 출하한 이상 생산자에게 직접적인 손실이 발생하지 않는다 하더라도 소비자가 그 제품을 사용하는 도중 겪은 불편함이나 불만족스러운 기능 등은 결국에는 매출 감소 등의 불이익으로 생산자에게 되돌아온다는 생각이 깔려 있다. <Figure 1>은 이와 같은 품질과 손실에 대한 관점의 차이를 비교하여 도시하고 있다. 즉, 다구치에 의하면 품질특성이 목표치와 완벽하게 일치하지 않으면 비록 규격 내에 있다고 하더라도 그 차이에 대응하는 손실이 발생하게 된다. 그러므로 손실을 최소화하기 위해서는 품질특성 y 의 중심을 목표치 T 에 맞추고 산포를 감소시켜 제품이 균일하도록 해야 한다는 것이다.

y 가 망목특성일 경우 다구치의 손실함수는 $k(y - T)^2$ 로서 y 의 평균과 분산을 각각 μ, σ^2 이라고 하면 손실함수의 기댓값은 $k[\sigma^2 + (\mu - T)^2]$ 으로 주어진다. 만약, 품질특성의 평균이 목표치와 일치하도록 $y' = (T/\mu)y$ 와 같이 조정한다면 y' 의 평균은 T , 분산은 $(T/\mu)^2\sigma^2$ 이 되므로 손실함수의 기댓값은

$$L' = kT^2 \left(\frac{\sigma^2}{\mu^2} \right) \tag{1}$$

과 같이 얻어진다. 여기서 k 와 T 는 고객과 소비자를 포함하는 외부사회에 의해 정해지는 값이고 μ 와 σ 는 생산자에 의해 어느 정도 변경이 가능한 값이다. 따라서 다구치는 식 (1)을 토대로 μ 및 σ 항만을 고려하여 SN비(신호 대 잡음비 : signal-to-noise ratio)를 다음과 같이 정의하였다.

$$SN = 10 \log \left(\frac{\mu^2}{\sigma^2} \right) \tag{2}$$

다구치는 SN비가 품질특성의 유형에 관계없이 클수록 좋은 척도가 되도록 정의하였고 망목특성일 경우에도 예외가 아니다. 현실적으로는 식 (2)에서 μ 와 σ 의 참값을 모르므로 식 (3)과 같이 표본 평균과 표본표준편차를 대입하여 사용한다.

$$SN = 10 \log \left(\frac{\bar{x}^2}{s^2} \right) \tag{3}$$

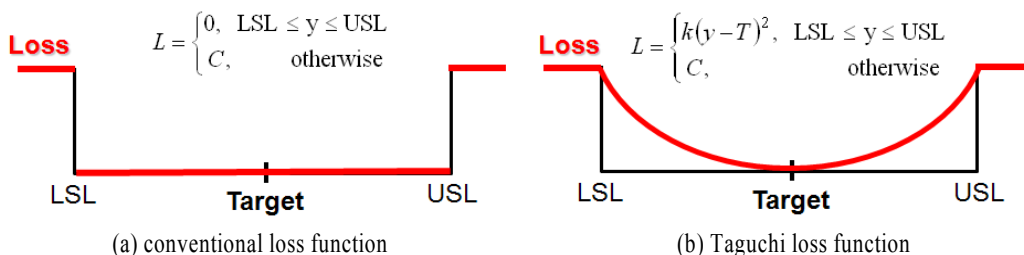


Figure 1. Quality and loss

2.2 실험의 설계와 실시 및 분석

실험인자의 선택과 수준의 결정에서 다구치 방법과 일반 실험계획법과의 주요 차이점은 잡음인자의 취급 방식과 사용하는 직교배열표에 있다. 일반 실험계획법에서는 잡음인자를 실험에서 별도로 고려하지 않을 경우가 많고 고려한다고 하더라도 다른 인자들과 똑같이 취급하게 된다. 그러나 다구치 방법에서는 실험에서 잡음인자의 영향이 최대한 반영될 수 있도록 전략적으로 접근한다. 다만, 실험을 배치할 때 다른 제어인자들과 같이 배치하는 것(내측 배열)이 아니라 제어인자들의 각 처리조건에서 고려되고 있는 잡음인자들의 모든 수준조합에서 실험데이터가 얻어질 수 있도록 배치(외측 배열)한다. 또, 다구치 방법에서 널리 사용되는 직교배열표는 제어인자들 간의 교호작용을 배치할 수 없게 되어 있으며 교호작용으로 인한 영향이 여러 열에 분산되도록 하고 있다. 다구치 방식을 적용하여 실험을 설계하고자 할 때에는 대상 시스템에 대한 공학적 전문지식을 최대한 활용하여 (i) 제어인자 간의 교호작용이 최소화될 수 있도록 반응변수를 선택하고, (ii) 잡음인자들의 영향이 실험데이터에 최대한 크게 반영될 수 있도록 잡음인자들의 실험조건을 설정해야 한다는 점에 특히 주의해야 한다.

<Figure 2>는 다구치 방법에서 사용하는 전형적인 직교배열표인 L_{18} 에 배치된 제어인자들(A~H)과 잡음인자들(U, V, W)을 보여주고 있다. 예로서 첫 번째 행의 실험, 즉, 모든 제어인자들의 수준을 1로 하여 실험을 할 경우 데이터는 잡음인자의 네 가지 조건 $U_0V_0W_0$, $U_0V_1W_1$, $U_1V_0W_1$, $U_1V_1W_0$ 에서 하나씩

총 4개의 관측값이 얻어진다. 다른 행의 실험에서도 같은 방법으로 각각 4개의 관측값을 얻게 되어 전체적으로는 총 72개의 데이터를 얻게 된다. 여기서 잡음인자는 반응변수의 변동에 지배적인 영향을 주는 교란요인들을 선택하고 잡음인자들의 실험조건도 반응변수의 값이 크게 되는 조건과 작게 되는 조건이 모두 포함되도록 설정한다.

제어인자들의 각 처리조건에서 얻어진 4개의 데이터는 분석에 직접 사용되지 않고 이들을 토대로 계산된 SN비와 평균이 결과 분석에 사용된다. 그러므로 분석에 사용되는 데이터는 18개의 SN비와 평균인 셈이다. SN비는 잡음인자들의 영향에 둔감할수록 큰 값을 갖게끔 정의된 척도이다. 따라서 로버스트 설계 조건을 찾기 위해서는 SN비에 큰 영향을 주는 제어인자(산포제어인자)들을 이용하여 SN비를 최대화하고 SN비에 별 영향을 주지 않으면서 평균에 큰 영향을 주는 제어인자(평균조정인자)를 이용하여 평균이 목표치에 가깝게 되도록 조정하는 2단계 최적화 과정을 거치게 된다. 이와 같은 접근 방식은 산포제어인자와 평균조정인자가 존재해야 효력을 발휘할 수 있다.

3. 파라미터설계 사례

다구치 방법은 이론적으로는 미흡한 점이 있으나 실무 적용 측면에서는 DOE보다 훨씬 더 구체적이고 정형화된 절차를 제시하고 있다. 여기서는 파라미터설계의 8단계에 따라 진행된 성공적인 사례와 실패한 사례를 소개한다. 성공 사례는 1998년 ASI(American Supplier Institute)에서 국내 S사에 제공된 교육용 교재에 포함된 내용을 재정리한 것이며, 실패사례는 같은 회사에서 공정개선을 위해 시험 적용한 결과를 정리한 것이다(ASI, 1998).

3.1 INAX 사례

1953년 일본의 한 타일 제조회사에서 200만 불을 투자하여 유럽에서 길이 80m인 터널가마를 구입하였다. 타일을 적재한 수레가 궤도를 따라 천천히 움직이는 동안 가마 내의 연소기들이 타일을 굽는데, 문제는 이 새 가마에서 소성된 타일의 치수가 균일하지 않았다. 특히 수레 바깥쪽에 적재된 타일의 40%가 불량이었으며 안쪽에 적재된 타일들도 겨우 규격을 만족시키는 정도였다. 이 문제의 근본적인 원인은 가마 내 불균일한 온도 변동임을 알고 있었지만 가마의 직접적인 설계 개선을 위해서는 50만 불의 추가 투자가 요구되었다. 당시 이 회사에서는 이 정도의 추가투자를 감당할 여력이 없었기 때문에 다구치 방법을 적용하여 문제를 해결하기로 하였다.

1단계 : 프로젝트 범위 결정

실제 생산에 사용되는 1톤 용량의 생산가마를 실험에 사용하기는 어렵기 때문에 2Kg 용량의 소형 가마를 사용하기로 하였다.

No.	Inner array								Outer array				U	V	W	Noise
	Control factors								0	0	1	1				
	A	B	C	D	E	F	G	H	0	1	1	0				
1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	Experimental data	SN ratio	Mean	
2	1	1	2	2	2	2	2	2	0	1	0	1				
3	1	1	3	3	3	3	3	3	0	1	1	0				
4	1	2	1	1	2	2	3	3	1	0	1	1				
5	1	2	2	2	3	3	1	1	1	0	1	0				
6	1	2	3	3	1	1	2	2	1	1	0	1				
7	1	3	1	2	1	3	2	3	1	1	1	0				
8	1	3	2	3	2	1	3	1	1	1	0	1				
9	1	3	3	1	3	2	1	2	1	1	1	0				
10	2	1	1	3	3	2	2	1	1	1	1	0				
11	2	1	2	1	1	3	3	2	1	1	1	0				
12	2	1	3	2	2	1	1	3	1	1	1	0				
13	2	2	1	2	3	1	3	2	1	1	1	0				
14	2	2	2	3	1	2	1	3	1	1	1	0				
15	2	2	3	1	2	3	2	1	1	1	1	0				
16	2	3	1	3	2	3	1	2	1	1	1	0				
17	2	3	2	1	3	1	2	3	1	1	1	0				
18	2	3	3	2	1	2	3	1	1	1	1	0				

Figure 2. L_{18} array example of control and noise factors

2단계 : 이상기능 규명

타일 소성은 열처리 공정의 에너지 전환에 관련된 것이며 확인 결과 열 침투의 균일성은 타일 치수의 균일성을 의미한다는 것을 알게 되었다. 따라서 측정할 출력반응을 $y =$ 타일두께(mm)로 정하였다. 두께의 제조 규격은 $10 \pm 0.15\text{mm}$ 으로 망목특성이므로 이상기능은

$$y = T$$

으로 목표치 $T = 10\text{mm}$ 주위에 산포가 없는 것이다.

3단계 : 잡음인자 및 수준의 결정

타일 두께의 산포에 영향을 주는 직접적인 요인은 가마 내 온도의 불균일한 분포 때문이다. 수레의 바깥쪽에 적재된 타일은 열 공급원에 가까이 위치해 있으므로 수레의 움직임에 따라 큰 폭의 온도변화를 겪게 된다. 이에 비해 수레 안쪽에 적재된 타일은 비교적 작은 폭의 온도변화를 겪게 된다. 수레 내의 타일 적재 위치 P는 타일 두께 산포에 지배적인 영향을 주는 요인이므로 잡음인자로 정하고 수준을 온도 차이가 심할 것으로 예상되는 위치를 고려하여 다음과 같이 정했다.

P1 : 안쪽 앞, P2 : 안쪽 뒤, P3 : 바깥쪽 오른쪽,
P4 : 바깥쪽 왼쪽 P5 : 바깥쪽 앞, P6 : 바깥쪽 위,
P7 : 안쪽 가운데

4단계 : 제어인자와 수준 결정

브레인스토밍으로 A인자부터 H인자까지 8개의 제어인자를 선정하고 A인자를 2수준, 나머지 인자들을 3수준으로 하여 각 인자별 실험조건(수준)을 결정하였다.

5단계 : 실험의 실시 및 데이터 수집

각 제어인자들을 L_{18} 직교배열표에 배치하고 실험을 실시한 후, 7개 적재 위치별로 타일의 두께를 측정하여 <Table 1>과 같이 데이터를 수집하였다.

6단계 : 데이터 분석

먼저 <Table 1>의 데이터를 사용하여 식 (3)에 의거 SN비와 평균을 계산한 후 <Table 2> 및 <Figure 3>과 같이 반응표와 반응그래프를 작성하였다. 결과를 토대로 제어인자들을 다음과 같이 분류하였다.

Table 1. Experimental data

No.	Control factors								Noise factors						
	A	B	C	D	E	F	G	H	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
1	1	1	1	1	1	1	1	1	10.18	10.18	10.12	10.06	10.02	9.98	10.20
2	1	1	2	2	2	2	2	2	10.03	10.01	9.98	9.96	9.91	9.89	10.12
3	1	1	3	3	3	3	3	3	9.81	9.78	9.74	9.74	9.71	9.68	9.87
4	1	2	1	1	2	2	3	3	10.09	10.08	10.07	9.99	9.92	9.88	10.14
5	1	2	2	2	3	3	1	1	10.06	10.05	10.05	9.89	9.85	9.78	10.12
6	1	2	3	3	1	1	2	2	10.20	10.19	10.18	10.17	10.14	10.13	10.22
7	1	3	1	2	1	3	2	3	9.91	9.88	9.88	9.84	9.82	9.80	9.93
8	1	3	2	3	2	1	3	1	10.32	10.28	10.25	10.20	10.18	10.18	10.36
9	1	3	3	1	3	2	1	2	10.04	10.02	10.01	9.98	9.95	9.89	10.11
10	2	1	1	3	3	2	2	1	10.00	9.98	9.93	9.80	9.77	9.70	10.15
11	2	1	2	1	1	3	3	2	9.97	9.97	9.91	9.88	9.87	9.85	10.05
12	2	1	3	2	2	1	1	3	10.06	9.94	9.90	9.88	9.80	9.72	10.12
13	2	2	1	2	3	1	3	2	10.15	10.08	10.04	9.98	9.91	9.90	10.22
14	2	2	2	3	1	2	1	3	9.91	9.87	9.86	9.87	9.85	9.80	10.02
15	2	2	3	1	2	3	2	1	10.02	10.00	9.95	9.92	9.78	9.71	10.06
16	2	3	1	3	2	3	1	2	10.08	10.00	9.99	9.95	9.92	9.85	10.14
17	2	3	2	1	3	1	2	3	10.07	10.02	9.89	9.89	9.85	9.76	10.19
18	2	3	3	2	1	2	3	1	10.10	10.08	10.05	9.99	9.97	9.95	10.12

Table 2. Response table for control factors

Control factors		A	B	C	D	E	F	G	H	
SN ratio	Level	1	43.10	40.51	40.45	40.33	44.53	41.11	40.44	39.90
		2	39.50	41.24	40.96	40.88	40.12	41.38	41.47	42.82
		3		42.16	42.51	42.71	39.26	41.42	42.00	41.19
	Maximum difference(Δ)		3.60	1.65	2.06	2.38	5.27	0.31	1.57	2.92
	Rank		2	6	5	4	1	8	7	3
Mean	Level	1	10.02	9.93	9.99	9.99	10.00	10.07	9.98	10.03
		2	9.95	10.00	10.00	9.97	10.02	9.97	9.97	10.02
		3		10.02	9.97	9.99	9.94	9.91	10.01	9.90
	Maximum difference(Δ)		0.06	0.08	0.03	0.02	0.08	0.17	0.04	0.13
	Rank		5	3	7	8	3	1	6	2

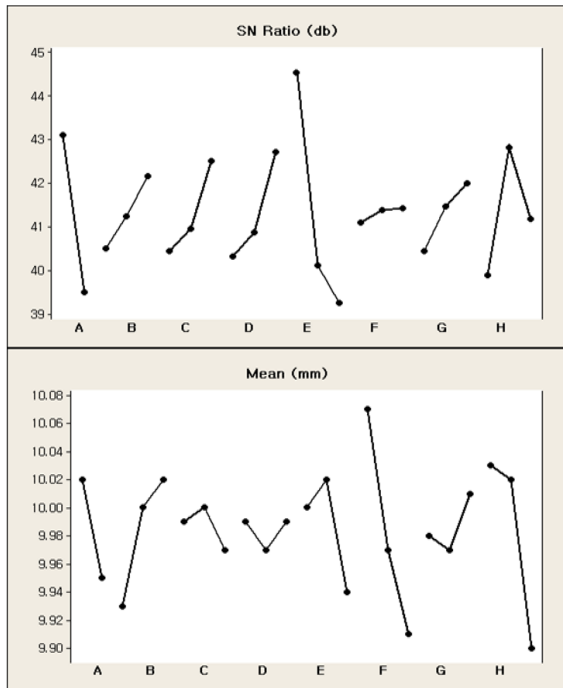


Figure 3. Response graphs for control factors

- 유형 I. 산포와 평균 모두에 큰 영향을 주는 인자 : A, E, H
- 유형 II. 산포에는 별 영향을 주지 않고 평균에 큰 영향을 주는 인자 : B, F
- 유형 III. 산포에는 큰 영향을 주지만 평균에는 별 영향을 주지 않는 인자 : C, D
- 유형 IV. 산포와 평균 모두에 별 영향을 주지 않는 인자 : G

다음으로 2단계 최적화의 첫 단계로서 먼저 SN비를 크게 하는 조건으로 산포에 영향을 주는 인자들의 수준을 A₁C₃D₃E₁H₂로 정하였다. 두 번째로 산포에 거의 영향을 주지 않으면서 평균에 영향을 주는 인자인 F를 조정하여 반응변수인 타일두께의 평균이 10mm에 근사하도록 하였다. 나머지 인자들은 비용 절감을 고려하여 적절한 수준으로 최적조건을 설정하고 초기조건 및 최적조건에서의 SN비를 추정한 결과 다음과 같았다.

$$\begin{aligned}
 SN비(초기) &= \overline{A_2} + \overline{C_2} + \overline{D_2} + \overline{E_2} + \overline{H_2} - 4\overline{T} \\
 &= 39.50 + 40.96 + 40.88 + 40.12 + 42.82 - 4 \times 41.30 \\
 &= 39.08
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 SN비(최적) &= \overline{A_1} + \overline{C_3} + \overline{D_3} + \overline{E_1} + \overline{H_2} - 4\overline{T} \\
 &= 43.10 + 42.51 + 42.71 + 44.53 + 42.82 - 4 \times 41.30 \\
 &= 50.47
 \end{aligned}$$

따라서 최적조건으로 설정할 경우 SN비는 50.47-39.08 = 11.39만큼 증가할 것으로 추정되며, 이것은 최적조건에서의 산포범위가 초기조건의 산포범위에 비해 약 1/4로 감소할 것으로 기대된다는 의미이다. 참고로 산포감소의 정도는 식 (4)에 의해 구할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 \text{최적조건 산포범위} &= (0.5)^{\frac{SN비\ 차이}{6}} \\
 &\times \text{초기조건 산포범위} \quad (4)
 \end{aligned}$$

7단계 : 확인실험

초기 및 최적조건에서 확인실험을 수행하여 SN비를 계산한 결과 각각 38.57 및 50.37로서 6단계에서의 예측치와 거의 같은 결과를 보여주었다. 소형 가마에서의 실험결과를 토대로 대형 가마에서도 실험한 결과 비슷한 개선이 확인되었으며 SN비에 그다지 큰 영향을 주지 않는 비싼 원료를 10% 줄임으로써 품질향상 뿐 아니라 원가절감 효과도 상당한 것으로 파악되었다.

8단계 : 결과보고 및 시행

실험과정 및 결과를 요약 정리하여 보고하고 회사 전체 각 부서와 공유함으로써 비슷한 실험을 중복 실시하는 것을 방지하고 개선효과를 극대화할 수 있도록 하였다.

3.2 S사 사례

S사에서는 컴퓨터 하드디스크의 중요 부품인 MR Head의 제조공정을 개선하고자 photo공정에 대해 다구치 방법을 시범적으로 적용하였다. 개선 프로젝트는 제 3.1절의 사례에서와 같이 파라미터설계 8단계에 따라 진행되었다. 여기서는 방법론에 관련된 중복된 설명을 피하고 사례 소개를 위해 필요한 부분을 중심으로 기술한다.

1~2단계 : 프로젝트 범위 및 이상기능

먼저 프로젝트 범위 및 출력 반응의 선택과 관련하여 제품특성 중 불량문제가 큰 것으로 Asymmetry, MTW(magnetic track width) 등이 있었으나 공정의 제반 여건을 고려하여 MTW를 개선하기로 하였다. 그런데 MTW를 반응변수로 하여 개선하고자 하면 지나치게 많은 공정들이 포함되게 되어 프로젝트의 범위가 너무 광범위하게 되는 문제가 있었다. 따라서 적정 규모의 프로젝트를 정의하기 위해 MTW에 직접적인 영향을 주는 TPCD(top pole critical dimension)를 반응변수로 설정하였다. 프로젝트 범위는 TPCD의 가공을 담당하는 Photo 공정으로 하였다. TPCD는 망목특성으로서 2.2mm일 때가 MTW가 가장 좋게 나타났으므로 TPCD의 가공 목표치를 2.2mm에 맞추고 이를 중심으로 한 산포를 최소한으로 줄이기로 하였다.

3~4단계 : 잡음 전략과 제어인자 및 수준 결정

TPCD에 영향을 줄 수 있는 요인으로는 선행공정의 topography 두께, apex angle, sputter 반사율과 photo 공정의 PR(photo resist) 코팅 두께, bake 온도 및 시간, bake 후 냉각 시간, stepper 노광에너지 및 초점, 현상 시간과 온도, 오븐 bake 온도와 시간 등 수많은 요소들이 있었으나 엔지니어와 협의 및 예비실험을 거쳐 제어인자 및 수준과 잡음인자를 정하였다. 먼

저 잡음에 대한 전략으로서 선행공정에서 결정되는 요소로서 TPCD에 큰 영향을 미치지만 photo 공정에서는 조정이 불가능한 topography 두께를 잡음인자로 선정하였다. PR 코팅 두께는 직접적으로 수준을 설정하기 어렵기 때문에 이에 직접 관련된 웨이퍼 회전속도(A)로 대신하고 제어인자 및 수준을 결정하였다. 나머지 제어인자로서 PR bake 온도 및 시간(B), stepper 노광에너지(C), 초점(D), 현상시간(E)을 선정하였고 각 인자별 수준은 <Table 3>에 나타나 있다.

5-6단계 : 실험의 실시 및 데이터 분석

L_{18} 직교배열표에 의거하여 실험을 실시하고 수집된 데이터를 사용하여 계산된 TPCD의 SN비와 평균을 <Table 3>에 정리하였다. <Table 3>에서 제목 난이 비어 있는 열은 인자가 배치되지 않았음을 의미한다.

<Table 4>와 <Figure 4>는 <Table 3>을 토대로 반응표와 반응그래프를 작성한 것으로 유형 II와 III에 속하는 인자를 따로 분리하기 어렵다는 것을 알 수 있다. 그러나 C, D, E인자는 SN비에 큰 영향을 주고 있으므로 수준을 $C_2D_3E_1$ 으로 정하였다. 그리고 A, B인자는 평균을 목표치에 가깝도록 맞추기 위해 A_1B_3 로 정하였다. 제어인자들의 조건을 이와 같이 설정할 경우 SN비의 예측값은

$$\begin{aligned}
 SN비(최적) &= \overline{C_2} + \overline{D_3} + \overline{E_1} - 2\overline{T} \\
 &= 31.94 + 32.97 + 31.23 - 2 \times 30.115 \\
 &= 35.91
 \end{aligned}$$

로 기대된다. 이것은 초기 공정조건보다 SN비가 약 6db 증가한 값으로 산포범위가 절반으로 감소할 것이 예측된다. 오차를 감안하여 $C_2D_3E_1$ 에서의 SN비의 95% 예측구간을 계산해본

Table 3. SN ratio and mean response

No.	Spindle Speed	PR bake Temp/Time	Stepper Light Energy	Focus	Developing Time				SN ratio	Mean
1	3500	100도/3분	1400	-4	6분	1	1	1	28.21	2.39
2	3500	100도/3분	1500	-2	6분 10초	2	2	2	32.86	2.37
3	3500	100도/3분	1600	0	6분 20초	3	3	3	32.48	2.45
4	3500	105도/4분	1300	-4	6분 10초	2	3	3	24.46	1.86
5	3500	105도/4분	1450	-2	6분 20초	3	1	1	34.77	2.02
6	3500	105도/4분	1600	0	6분	1	2	2	34.79	2.14
7	3500	110도/5분	1600	-2	6분	3	2	3	28.85	1.91
8	3500	110도/5분	1700	0	6분 10초	1	3	1	32.02	2.06
9	3500	110도/5분	1800	-4	6분 20초	2	1	2	26.56	2.33
10	4000	100도/3분	1400	0	6분 20초	2	2	1	32.61	2.21
11	4000	100도/3분	1500	-4	6분	3	3	2	29.18	2.65
12	4000	100도/3분	1600	-2	6분 10초	1	1	3	24.76	2.54
13	4000	105도/4분	1300	-2	6분 20초	1	3	2	26.91	1.97
14	4000	105도/4분	1450	0	6분	2	1	3	34.83	2.04
15	4000	105도/4분	1600	-4	6분 10초	3	2	1	28.22	2.60
16	4000	110도/5분	1400	0	6분 10초	3	1	2	31.07	1.86
17	4000	110도/5분	1550	-4	6분 20초	1	2	3	27.95	2.62
18	4000	110도/5분	1700	-2	6분	2	3	1	31.50	2.10

Table 4. Response table for control factors

Control factors		A	B	C	D	E	
SN ratio	Level	1	30.56	30.02	28.69	27.43	31.23
		2	29.67	30.66	31.94	29.94	28.90
		3		29.66	29.72	32.97	30.21
	Maximum difference(Δ)		0.89	1.00	3.25	5.54	2.33
	Rank		5	4	2	1	3
Mean	Level	1	2.17	2.43	2.03	2.41	2.20
		2	2.29	2.10	2.29	2.15	2.22
		3		2.15	2.36	2.13	2.27
	Maximum difference(Δ)		0.12	0.33	0.33	0.28	0.07
	Rank		4	1	2	3	5

결과(30.49, 41.31)를 얻었다. 이것은 경우에 따라서 최적조건 하에서도 SN비가 기대만큼 증가하지 않을 수도 있음을 의미한다. 즉, 산포의 감소 정도가 기대에 못 미칠 수도 있다.

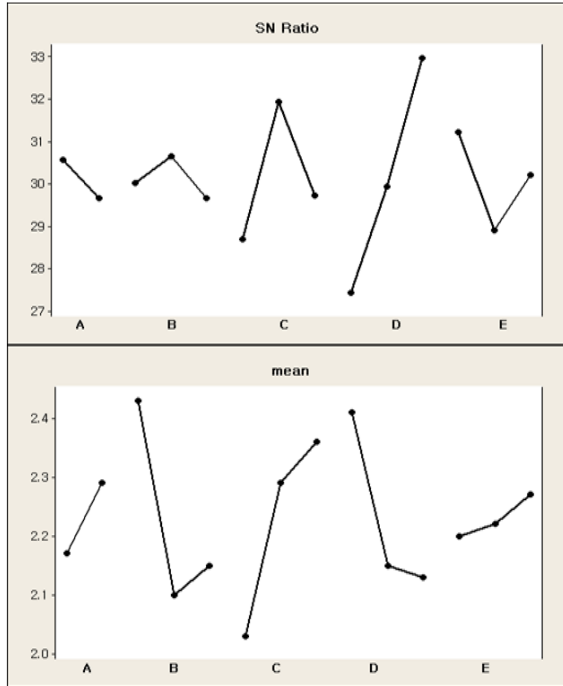


Figure 4. Response graphs for control factors

7단계 : 확인 실험

확인실험은 공정조건의 불확실성을 고려하여 3회 실시하였는데 SN비가 각각 32.48, 32.20, 31.74로서 초기조건에 비해 약 3db 증가하여 출력반응의 산포범위가 약 30% 감소하는 것으로 나타났다. 현장 엔지니어는 이 정도로 상당히 의미 있는 개선으로 판단하였으나 기대에는 훨씬 못 미치는 수준이었다. 이것은 개선 목표에는 못 미친 수준이지만, 예측구간을 감안할 때 충분히 나올 수 있는 결과로서 어느 정도는 예상할 수 있었던 결과라고 하겠다. 보다 나은 조건을 찾기 위해 C, D, E인자를 C₂D₃E₁으로 고정시킨 채, 결측치를 발생시키지 않으면서 평균을 목표값에 더 가깝게 하는 조건을 찾기 위해 A, B인자를 조금씩 바꾸어가면서 실험을 실시하였으나 평균치를 목표값에 맞추면 산포가 커지는 등 더 이상의 개선이 용이하지 않았다.

4. 사례에 나타난 다구치 방법의 강점과 취약점

4.1 다구치 방법의 강점

• 잡음에 대한 적극적인 대응

다구치 방법은 시스템의 출력특성이 제조공정 혹은 사용 환경에 관련된 수많은 잡음요인들에 의해 현실적으로 영향을 받는다는 것을 직시하고 이에 대해 적극적으로 대응하는 방안을

제시했다는 점에서 의미가 크다. 구체적으로 말한다면 다구치 방법에서는 잡음요인에 대한 적극적인 대응책을 강구하되 직접적인 대응방안이 아니라 잡음요인에 둔감한 조건을 찾는 간접적인 대응 방안을 제시한다. 일반적으로 잡음요인에 대한 직접적인 대응책은 많은 비용을 유발한다는 점을 생각할 때, 이와 같은 접근방식은 비용 면에서 매우 효율적인 해결책을 찾을 수 있게 해준다.

예로서 제 3.1절에 소개된 타일 제조회사의 경우 타일 적재 위치에 따른 온도 편차 문제를 직접적으로 해결하기 위해 가마 내 열원의 배치를 인자로 하여 전통적인 실험계획법을 적용하였다면 엄청난 실험비용이 필요했을 것임을 짐작할 수 있고, 열원의 최적 배치조건을 찾았다고 하더라도 개선된 가마의 제작을 위해 50만 불의 추가경비가 소요되었을 것이다. 그러나, 다구치 방법을 적용한 사례 3.1은 큰 추가비용 부담 없이 품질문제를 깨끗이 해결하였을 뿐만 아니라 부수적으로 상당한 원가절감의 효과도 가져왔다.

• 신호인자의 고려

제 3장에 소개된 예들은 정특성에 관련된 것으로 다구치 방법의 강점을 충분히 드러내기에는 다소 부족한 측면이 있다. 기술개발에 훨씬 더 효과적으로 응용될 수 있는 방법으로 동특성에 관련된 실험설계에서는 시스템의 작동을 조절할 수 있는 신호인자를 고려하고 있다. 차량에 장착되는 브레이크시스템을 생각해보다도 브레이크를 밟으면 무조건 항상 10m만에 정지하는 것보다는 브레이크를 얼마나 세게 밟는가에 따라 제동거리가 일정한 비율로 감소해주는 것이 훨씬 더 사고예방에 도움이 될 것이다.

다구치 방법에서는 실험설계 시 반응변수를 되도록 동특성으로 선택하도록 권장하고 있으며, 이것은 당해 설계문제를 해결하는 것뿐만 아니라 미래 기술 확보라는 측면에서도 유리하다. 예를 들어 도금공정 개발 시 도금시간을 신호인자로 하여 실험을 설계하는 것이 특정 두께를 목표로 최적조건을 찾는 것보다 훨씬 더 가치 있고 풍부한 정보를 얻을 수 있다.

4.2 사례에 나타난 취약점

다구치 방법을 적용한다고 제 3.1절의 사례와 같은 성공적인 결과가 항상 보장되는 것은 아니며 상황에 따라서는 일반적인 실험계획법을 적용하는 것보다 훨씬 더 못한 결과를 초래할 수도 있다. 다구치 방법은 사전에 대상 시스템에 대한 지식이 있을 때 보다 효과적으로 적용할 수 있는데, 제어인자간의 교호작용이 크고 잡음인자와 제어인자 간 교호작용이 무시할 수 있다고 판단되면 다구치 방법보다 요인실험법을 사용하여 교호작용을 포함한 시스템의 특성에 대해 더 많은 정보를 얻을 수 있다. 이 절에서는 다구치 방법의 성공사례와 실패사례를 비교 검토함으로써 그 약점 내지 한계점을 파악한다. 이것은 다구치 방법의 약점을 들추어내는데 목적이 있는 것이 아니라 취약점 혹

은 유의해야 할 사항을 사전에 숙지함으로써 현장 적용 시 그 효과를 극대화할 수 있도록 하자는데 그 목적이 있다. <Table 5>는 제 3장의 사례 내용 중에서 이와 같은 목적에 비추어 필요하다고 판단되는 중요 항목에 대해 비교 정리한 것이다.

• 프로젝트 범위

다구치는 성공적인 로버스트 설계를 위해서는 프로젝트의 대상 시스템을 잘 정의하도록 권고하고 있다. 즉, 여러 개의 하위 프로세스 혹은 하위 시스템으로 구성된 시스템일 경우 입력과 출력의 에너지 전환이 일어나고 종료 후 결과가 바로 측정 가능한 하위 프로세스 내지 시스템을 대상으로 선택하도록 권장한다. 또한, 결과 측정 후 피드백이 일어날 경우 이와 같은 피드백 시스템은 대상에서 제외하도록 권고하고 있다.

사례 3.1의 경우 터널 가마 내에 열을 가함으로써 타일이 생성되는 공정으로서 에너지 전환에 관계된다. 사례 3.2 역시 빛 에너지를 감광물질에 가함으로써 패턴을 형성하는 photo 공정으로서 에너지 전환에 관계된다. 또, 두 공정 모두 작업 종료 후 출력 특성을 바로 측정할 수 있으므로 프로젝트 범위는 올바르게 결정되었다고 볼 수 있다.

• 출력 반응

다구치 방법을 적용하기 위해서는 대상 시스템에 대한 공학적 지식이 있어야 한다. 이와 같은 지식을 바탕으로 적절한 출력반응 및 제어인자와 잡음인자를 선택하고 잡음에 대한 전략을 수립하여 실험을 제대로 설계해야만 최적 조건을 찾을 수 있게 된다. 다구치 방법을 산업현장에 적용하고자 할 때 실효성에 비추어 가장 중요하게 고려해야 할 사항은 교호작용에 관한 것이다. 제어인자 간의 강한 교호작용은 확인실험에서 재현성을 떨어뜨리는 주된 원인이 된다. 다구치는 제어인자 간의 교호작용문제를 해결하기 위한 가장 효과적인 방안으로

서 가법성 있는 출력반응의 선택을 권장하고 있다.

가법성 있는 출력반응은 에너지 전환에 관련된 출력특성으로 올바른 선정을 위해서는 대상 시스템의 작동 메커니즘에 관련된 공학적 지식을 필요로 한다. 예를 들어, 불량률이나 수율 등은 에너지 전환과 직접 관련된 특성이 아니므로 이와 같은 특성을 출력반응으로 선택하는 것은 좋지 못한 결과를 초래하게 된다. 오븐에서 빵을 구울 경우 출력반응을 수율(yield)로 하게 되면 굽는 시간과 온도 사이에 강한 교호작용이 있게 되지만, 출력반응을 빵 색상의 어두운 정도(darkness)로 하면 두 인자 간 교호작용이 대폭 완화된다(ASI, 1998).

사례 3.1과 3.2의 경우 타일 두께나 TPCD는 모두 에너지 전환에 관련된 특성이다. 사례 3.2의 경우 엔지니어가 전문지식과 경험 뿐 아니라 현장 데이터를 충분히 검토하고 분석한 결과를 종합하여 출력반응을 TPCD로 결정한 것이다. 그러나 사례의 결과를 볼 때, 이와 같은 출력반응의 선택이 제어인자 간 교호작용 문제를 완벽하게 해결해주는 것은 아닌 것으로 판단된다.

• 제어인자

제품이나 공정의 개발 혹은 개선에 관련된 프로젝트라면 실험의 궁극적인 목적은 제어인자들의 최적조건을 찾는 일일 것이다. 그러기 위해 먼저 실험에 투입될 제어인자들을 어떻게 선정할 것인가가 아주 중요하다. 제어인자는 대상 시스템의 에너지 전환 메커니즘에 관련된 여러 변수들을 식별하여 선정하는 것으로 공학적인 지식을 필요로 한다.

다구치 방법은 본질적으로 제어인자와 잡음인자 간의 교호작용에 기초하고 있다. 다구치 방법의 유효성이 극대화되기 위해서는 잡음인자와 강한 교호작용을 가지되 출력반응의 평균에는 별 영향을 주지 못하는 제어인자, 잡음인자와 전혀 무관하게 출력반응의 평균에 큰 영향을 주는 제어인자, 출력반응 자체에 그다지 영향을 주지 않는 제어인자들이 고르게 섞

Table 5. Comparison of Cases 3.1 and 3.2

Key Issue	Case 3.1	Case 3.2
Project Scope	Tile Manufacturing Process (Tunnel Kiln)	MR Head Manufacturing Process (Photographic process)
Output Response	Y = Tile Thickness(mm) (Nominal-the-best)	Y = Top Pole CD(μm) (Nominal-the-best)
Controllable Factors	<u>8 controllable factors</u> • Type I : 3 factors(A, E, H) • Type II : 2 factors(B, F) • Type III : 2 factors(C, D) • Type IV : 1 factor(G)	<u>5 controllable factors</u> • Type I : 4 factors(A, B, C, D) • Type II : none • Type III : 1 factor(E) • Type IV : none
Noise Factors	• Number of noise factors : One dominant noise factor • Noise strategy : Planned level	• Number of noise factors : One possibly dominant noise factor • Noise strategy : random level
Interaction	• Negligible interaction among controllable factors • Strong interaction between controllable and noise factors	• Strong interaction among controllable factors • Significant interaction between controllable and noise factors

여 있는 것이 좋다. 다구치 방법에서 제어인자 선정의 구체적인 방법까지 정해두고 있지는 않지만 성공적인 파라미터설계를 위해서는 제 3.1절의 네 가지 유형의 인자들이 고르게 섞여 있는 것이 필수적이다.

사례 제 3.1의 경우에는 네 가지 유형의 제어인자들이 모두 있으므로 산포를 감소시키고 평균을 목표 값에 맞추어 조정하는 것이 용이할 것이다. 또한, 유형 IV에 속한 인자의 존재는 비용절감의 기회까지 보장해준다. 사례 3.2에서는 각 유형별로 적어도 하나 이상의 인자가 속해 있으나 사례 3.2의 경우 대부분 유형 I로서 성공적인 결과를 도출하기 어렵다는 것을 보여준다. 즉, 대부분의 제어인자들이 평균과 산포에 모두 영향을 줌으로써 2단계 최적화가 어려울 것으로 판단된다.

• 교호작용

다구치 방법은 그 구조상 제어인자 간 교호작용의 유무, 제어인자와 잡음인자 간 교호작용의 유무, 잡음인자 간 교호작용에 직접적인 영향을 받게 되어 있다.

먼저, 제어인자 간의 강한 교호작용은 출력반응에 일관성 없는 영향을 주게 되어 재현성을 떨어뜨리는 원인이 된다. 다구치에 의하면 L_{18} 직교표의 주된 용도는 제어인자간 교호작용의 유무 판단에 있다(ASI, 1998). 즉, L_{18} 직교표를 사용하여 실험을 설계하고 실시한 결과를 분석하여 최적화하고 결과를 예측했는데 확인실험에서 재현되지 않으면 이것은 제어인자간의 강한 교호작용 때문이라는 것이다. 사례 3.2는 제어인자 간 강한 교호작용이 복잡하게 얽혀 있는 경우이다. <Table 3>을 살펴보면 강한 교호작용이 있을 것으로 예상되는 PR bake 온도와 시간을 묶어서 하나의 인자로 취급했음에도 불구하고 Stepper 노광에너지는 슬라이딩 수준을 적용하였으며 이것은 PR bake 온도/시간의 조건에만 의존하는 것이 아니라 웨이퍼 회전속도의 조건에도 의존한다는 것을 알 수 있다. 즉, 대상 시스템인 photo 공정은 실험인자로 선택된 중요 공정변수인 웨이퍼 회전속도, PR bake 온도, PR bake 시간, Stepper 노광에너지 사이에 심각한 교호작용이 개입하고 있으며 이로 인해 재현성이 떨어질 가능성이 크다는 것을 짐작할 수 있다. 실제로도 사례의 경우 SN비는 예측에 비해 50% 정도의 재현성만을 보여주고 있다.

다구치 방법에서는 제어인자 간 강한 교호작용이 있을 경우에 대한 대책으로 적절한 프로젝트 범위의 선정, 가법성 있는 출력반응의 선정, 제어인자와 수준의 적절한 선정, L_{18} 과 같은 특별한 직교표의 사용, SN비를 이용한 분석 등을 권고하고 있다. 사례 3.2는 이와 같은 권고를 충분히 수용하여 시행한 결과로서 제어인자 간 강한 교호작용이 있을 경우에는 다구치 방법의 유효성이 제한적일 수 있음을 보여준다고 하겠다.

4.3 다구치 방법 적용 시 유의사항

다구치 방법은 본질적으로 제어인자와 잡음인자간의 교호작용을 이용한 강건설계 방법이다. 또 한편으로는 제어인자

간의 교호작용이 없도록 프로젝트 범위와 출력반응을 선택하도록 함으로써 최적조건에서의 재현성을 확보하는 전략을 사용한다. 따라서, 인자들 사이에 교호작용이 어떤 식으로 존재하는가에 따라서 다구치 방법이 효과적인 수도 있고 그렇지 않을 수도 있다. 여기서는 다구치 방법의 적용에 문제가 있을 경우에 대해서만 기술한다.

• 잡음인자의 영향이 작을 경우

실험에서 잡음인자를 전략적으로 취급한다는 점은 다구치 방법의 가장 혁신적인 면이라고 생각된다. 출력반응을 극단적으로 크게 하거나 작게 하는 잡음인자들의 조건을 의도적으로 실험에 포함시킴으로써 출력반응이 잡음에 둔감하게 되는 제어인자들의 조건을 찾아낸다는 것이다. 잡음인자에 대한 전략은 잡음인자의 수와 영향도에 따라 다르게 된다. 출력반응에 지배적인 영향을 주는 잡음인자가 하나만 있을 경우, 여러 개 있을 경우, 또는 없을 경우 등이 있을 수 있는데 제일 마지막의 경우는 다구치 방법보다는 일반적인 실험계획법을 적용하는 것이 더 나을 것이다.

사례 3.1의 경우는 지배적인 잡음인자가 확실하게 하나 있는 경우이고 사례 3.2의 경우는 선택된 잡음인자가 지배적인 영향을 줄 가능성도 있으나 다른 잡음인자의 존재 가능성도 배제할 수 없다. 또한, 전자의 경우는 잡음인자의 수준을 전략적으로 정해주었지만 후자의 경우 랜덤하게 정해졌다. 후자의 경우 기존 데이터를 토대로 잡음의 영향에 대한 사전검토가 충분히 이루어졌으면 보다 나은 설계가 가능했을 것이다.

• 제어인자와 잡음인자 간 교호작용이 없을 경우

만약 제어인자들과 잡음인자들 사이에 교호작용이 전혀 없다면 잡음인자들의 영향에 둔감한 제어인자들의 조건이 따로 있을 수 없다. 따라서 이와 같은 경우라면 다구치 방법보다는 일반적인 실험계획법을 적용하여 최적조건을 찾는 것이 훨씬 더 효과적이다. 일반적인 실험계획법으로 제어인자 간의 교호작용까지 예측모형에 포함시켜 최적조건을 도출할 수 있다.

또, 이와 같은 상황에서 출력반응이 잡음인자의 영향을 크게 받고 있다면 평균을 최적화하는 것이 그다지 의미가 없게 된다. 따라서 실험계획법의 적용 이전에 비용 대비 효과분석을 전제로 잡음인자에 대해 직접적으로 조치하는 방안을 고려해야 할 것이다.

• 제어인자 간 강한 교호작용이 있을 경우

프로젝트 범위와 출력반응이 올바르게 정의되었다는 전제 하에서 일부 제어인자들 간에 강한 교호작용이 존재할 경우를 생각해 보자. 먼저 다른 인자들의 조건은 일정하게 고정시킨 채 교호작용이 큰 제어인자들에 대해 요인실험법 등 기존의 실험설계를 적용한다. 잡음인자는 기존의 다구치 방법에 준하여 배치하여 실험을 설계하고 데이터를 수집한 후, SN비와 평균을 토대로 최적에 가까울 만한 제어인자들의 수준조합을 찾

아 고정시킨다. 마지막으로 초기에 조건을 고정시켰던 나머지 제어인자들과 잡음인자들로 다구치 방법을 적용하여 최적조건을 찾는다.

드문 경우로서 평균에 대해서는 교호작용이 없는데 SN비로 분석한 결과 교호작용이 나타날 수도 있다. 이는 출력반응의 산포가 교호작용에 영향을 받는다는 것을 의미하므로 관련 인자들에 대해 일단 SN비를 최대화하는 수준조합을 선택하고 평균조정인자를 찾아 출력반응을 목표값에 맞추도록 한다.

• 잡음인자 간 교호작용

다구치 방법의 적용에 있어서 출력반응의 산포에 지배적인 영향을 주는 잡음인자가 하나만 있다면 잡음전략을 포함하여 실험을 설계하기가 수월하다. 그러나 중요한 잡음인자들이 여러 개 있고 잡음인자 간 교호작용이 있다고 해서 다구치 방법의 적용에 문제가 되는 것은 아니다. 만약, 잡음인자가 출력반응에 영향을 주는 메커니즘을 알고 있는 경우라면 잡음인자들을 묶어서 하나의 잡음인자로 취급하되 출력반응을 작게 하는 수준조합을 1수준, 출력반응을 크게 하는 수준조합을 2수준으로 하여 실험을 단순하게 설계할 수 있다.

잡음인자 간 교호작용이 있고 출력반응에 영향을 주는 메커니즘을 모르는 경우에는 다소 어려움이 있을 수 있다. 이 경우 일반적으로 잡음인자들의 외측배열에 대해 요인배치법을 적용하여 데이터를 수집하게 된다. 데이터 수집을 간소화하기 위해 부분요인배치를 이용할 때 출력반응의 양 극단 값에 대응되는 잡음요인의 수준조합이 모두 포함되도록 하는 것이 바람직하다.

5. 결론

지금까지 잡음요인에 둔감한 설계조건을 찾기 위한 다구치 방법의 적용과 관련하여 중요 개념의 소개와 함께 사례를 제시하였다. 또한, 사례를 토대로 다구치 방법의 강점과 약점을 검토하고 산업현장 적용 시 취약점을 보완하거나 대응책을 강구하는 방안을 제안하였다. 통계학자들이 주장하는 다구치 방법의 이론적인 허점에 대해서는 산업현장 적용에 있어 그다지 중요하지 않은 사소한 내용으로 사료되어 별도로 언급하지 않았다.

본 연구는 망목특성의 파라미터설계에 있어서 전형적인 성공사례와 실패사례를 함께 제시하여 비교해 봄으로써 다구치 방법의 현장적용 시 고려해야 할 사항에 대한 주의를 환기시키고 보다 나은 실험설계를 위한 참고가 되도록 하는데 목적이 있다. 다구치 방법의 성공적인 현장 적용사례가 많이 있어

이를 참고함으로써 현장문제 해결에 많은 도움이 될 수 있을 것이다. 그러나 다구치 방법 역시 만능이 아닌 만큼 약점이나 한계점을 올바르게 인식하고 현장에 적용한다면 성공확률을 높일 수 있을 것이다. 그런 의미에서 실패 사례에 대한 분석은 대단히 중요한 의미를 가진다고 할 수 있다.

제어인자 간 강한 교호작용이 있을 때에는 다구치 방법의 효용성이 반감될 수 있다는 것은 잘 알려진 사실이다. 이 경우, 강한 교호작용에 관련된 제어인자들에 대해 요인배치실험을 실시한 후 나머지 제어인자들에 다구치 방법을 적용하는 방안은 하나의 아이디어에 불과하며 그 유효성은 입증된 바 없다. 향후, 교호인자 간 강한 교호작용이 얽힌 경우에 대한 대응책에 대한 연구와 현장 적용을 통해 유효성이 입증된 사례들이 기대된다.

참고문헌

- ASI(American Supplier Institute), Korea (1998), Training Material for Robust Design.
- Box, G. (1988), Signal-to-Noise Ratios, Performance Criteria, and Transformations, with discussions, *Technometrics*, **30**, 1-17.
- Fowlkes, W. Y. and Creveling (1995), *Engineering Methods for Robust Product Design using Taguchi Methods in Technology and Product Development*, Addison-Wesley Publishing Co.
- Kackar, R. N. (1985), Off-Line Quality Control, Parameter Design, and the Taguch Method, with discussions, *Journal of Quality Technology*, **17**, 176-188.
- Mori, T. (1995), *Taguchi Techniques for Image and Pattern Developing Technology*, Prentice Hall Inc.
- Nair, V. N. (1986), Testing in Industrial Experiments with Ordered Categorical Data, with discussions, *Technometrics*, **28**, 283-291.
- Nair, V. N. (1992), Taguchi's Parameter Design : A Panel Discussion, *Technometrics*, **34**, 127-161.
- Phadke, M. S., Kackar, R. N., Speeney, D. V., and Grieco, M. J. (1983), Off-Line Quality Control in Integrated Circuit fabrication Using Experimental Design, *The Bell System Technical Journal*, **62**, 1273-1309.
- Phadke, M. S. (1989), *Quality Engineering Using Robust Design*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- Roy, R. K. (2001), *Design of Experiments using the Taguchi Approach*, John Wiley and Sons, Inc.
- Taguchi, G. (1987), *System of Experimental Design: Engineering Methods to Optimize Quality and Minimize Costs*, Vols. 1 and 2, Unipub, White Plains, NY.
- Taguchi, G., Chowdhury, S., and Wu, Y. (2004), *Taguchi's Quality Engineering Handbook*, Wiley, Hoboken, NJ.