

☒ 연구논문

다구치의 표준 SN비를 이용한 이산형 시스템의 로버스트설계*

김성준

강릉대학교 산업공학과

Robust Design of a Discrete System Using Taguchi's Standard Signal-to-Noise Ratio

Seong-Jun Kim

Dept. of Industrial Engineering, Kangnung National University

Abstract

The purpose of Taguchi's robust design lies in quality improvement by making the performance of a system robust against noise. Robust design with continuous performance characteristics has been the subject of much interest. However relatively little work has been done for discrete characteristics such as 0-1, good-medium-bad, etc. This paper is concerned with robust design of a discrete dynamic system. We first investigate the Taguchi method for robust design with discrete dynamic characteristics and discuss his standard error probability (SEP). Then we propose a generalized SEP, which makes it possible to encompass a wider class of robust design problems. An illustration is also given by example.

1. 서론

로버스트설계(robust design)는 잡음의 영향에 민감하지 않도록 제품 또는 공정을

* 이 논문은 1997년도 한국학술진흥재단의 공모과제 연구비에 의하여 연구되었음.

설계하여 품질을 개선하는 방법으로 많은 관심과 논의의 대상이 되고 있다. 로버스트 설계에서는 설계문제를, 신호인자의 존재여부에 따라 동특성(dynamic characteristic)과 정특성(static characteristic)의 문제로, 또한 품질특성의 종류에 따라 연속형과 이산형의 문제로 각각 구분하여 다루고 있다[1, 7]. 신호인자란 품질특성에 대한 입력의 역할을 하거나 변화하는 목표치에 대응하기 위한 인자를 의미한다. 따라서 동특성은 목표치가 변화하는 경우에 해당되고 정특성은 목표치가 고정되어 있는 경우에 해당된다고 볼 수 있다[Phadke, 1989]. 연속형 품질특성이란 강도, 전압, 두께 등과 같이 연속적인 수치로 측정되는 품질특성을 말하고, 이산형(또는 범주형) 품질특성이란 '합격-불합격' 또는 '상-중-하'와 같이 범주나 계급으로 분류되어 관측되는 품질특성을 뜻한다[1, 7].

정특성이나 연속형 품질특성의 로버스트설계에 관한 연구는 그간 활발하게 전개되어 왔지만 본 연구의 관심사인 동특성이면서 이산형 품질특성의 경우는 그 연구가 상대적으로 미비한 실정이다. 이산형 동특성의 예는 디지털통신을 위한 수신기나 수신방법, 문자나 음성의 인식장치, 자동선별기 등의 다양한 설계문제에서 찾아볼 수 있는데, 본 논문에서는 특히 신호인자가 두 가지 조건을 가지고 품질특성이 두 가지 계급으로 분류되는 경우 즉 이원입출력(binary-input-and-binary-output)시스템의 로버스트설계에 대해 다룬다. 다구치는 이 경우 표준오류율(standard error probability) 또는 표준 SN비(standard signal-to-noise ratio)를 이용하여 최적설계를 결정할 것을 제안하고 있는 데[1, 8], 이 표준 SN비가 얼마나 타당한 것인가에 대해서는 아직 다양한 연구가 이루어지지 않고 있다. 본 논문은 우선 다구치의 표준오류율의 배경과 함께 그 일반화 방안에 대해 논의하고 이를 통해 새로운 표준오류율을 제안한다. 아울러 제안된 표준오류율의 결정방법을 개발하고 그 절차를 예시하고자 한다.

2. 로버스트설계를 위한 다구치의 표준오류율

2.1 이원입출력시스템의 두 가지 오류율

신호의 두 가지 조건을 0과 1, 출력의 두 가지 결과를 역시 0과 1이라고 하면 이원입출력시스템의 로버스트설계를 위한 실험의 결과로 얻어지는 데이터는 다음과 같이 정리할 수 있다[1, 7, 8].

< 표 1 > 이원입출력시스템의 로버스트설계를 위한 실험데이터

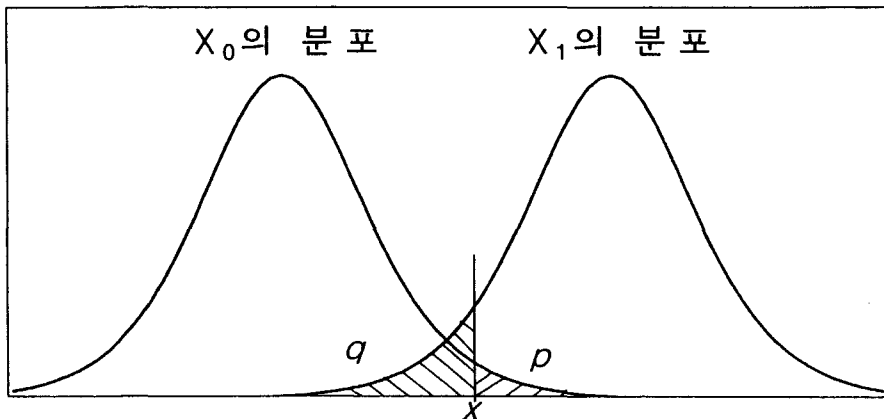
(a) 관측도수에 의한 이원표		(b) 분류확률에 의한 이원표			
신호 \ 출력	0	1	신호 \ 출력	0	1
0	N_{00}	N_{01}	0	$1-p$	p
1	N_{10}	N_{11}	1	q	$1-q$

<표 1(a)>에서 N_{ij} 는 신호 i 를 출력 j 로 분류한 도수를 말한다. 따라서 N_{01} 은 신호 0이 1로 잘못 분류된 도수이고 반대로 N_{10} 는 신호 1이 0으로 잘못 분류된 도수가 된다. 이 관측도수에 의해 신호 i 를 출력 j 로 분류할 조건부확률 $\Pr(j|i)$ 를 계산하여 정리한 것이 <표 1(b)>이다. 즉 p 와 q 는 각각 신호 0을 1로 잘못 분류할 확률과 신호 1을 0으로 잘못 분류할 확률을 의미하며 다음과 같이 계산된다[1, 8].

$$p = \Pr(1|0) = N_{01} / (N_{00} + N_{01})$$

$$q = \Pr(0|1) = N_{10} / (N_{10} + N_{11})$$

이원입출력 시스템에 대한 로버스트설계의 핵심은 오류율 p 와 q 가 동시에 작게 되는 설계조건을 찾아내는 것이다. 예를 들어[Taguchi, 1987], 구리원석으로부터 순동(純銅)을 분리, 생산하는 공정에서는 구리원석에 포함된 순수한 구리성분과 그 외의 불순물을 각각 신호 0과 1로 간주할 수 있다. 구리원석을 적절한 온도로 가열하면 순수한 구리성분이 먼저 용융되기 시작하고 가열온도를 더욱 높이면 불순물이 용융되기 시작한다. 이와 같은 용융점의 차이를 이용해 구리원석을 순동과 폐기물로 분리하는데 이 때 순동은 출력 0, 그리고 폐기물은 출력 1에 해당된다고 볼 수 있다. 그러나 용융점이란 일정하지 않고 그 평균으로부터 다소나마 산포하기 때문에, 분리된 순동 중에는 구리성분 이외의 다른 불순물도 어느 정도 포함되기 마련이며 그 오류율은 바로 q 라고 할 수 있다. 마찬가지로, 폐기물에도 순수한 구리성분이 역시 일정 부분 포함되어 버려지는 데 이 오류율은 p 라고 할 수 있다. 여기서 구리성분(신호 0)과 불순물(신호 1)이 각각 용해되기 시작하는 온도를 확률변수 X_0 와 X_1 이라 하면, 이들 온도의 확률분포는 다음 그림처럼 부분적으로 중첩되어 있다고 볼 수 있을 것이다 [Phadke, 1989].



< 그림 1 > 신호의 확률분포와 오류율

그림에서, p 를 줄이기 위해 가열온도 x 를 높이면 순동으로 들어가는 불순물이 증가하므로 q 가 상승함을 알 수 있다. 반대로 q 를 줄이기 위해 x 를 낮추면 폐기물로 들어가는 구리성분이 증가하여 p 가 상승하게 된다. 즉 온도의 변화 만으로는 p 와 q 를 동시에 줄일 수 없으며 온도는 단지 p 와 q 의 비를 조정하는 역할만 담당하게 된다. 이러한 변수를 다구치는 레벨링인자(leveling factor)라고 부르고 있으며 p 와 q 가 같아지도록 x 를 조정하는 것을 레벨링이라고 정의하고 있다[7, 8]. 순동제품의 품질을 높이고 동시에 순수한 구리가 버려지는 데서 오는 비용을 줄이기 위해서는 온도 이외의 다른 공정변수의 최적조건을 찾아 두 가지 오류율을 동시에 작게 해야 한다. 이는 다른 화학적 분리 또는 합성 공정에서도 마찬가지이다. 레벨링인자의 다른 예로는 디지털통신의 문턱전압(threshold voltage)이나 전사기(photographer)의 광량(光量) 등을 들 수 있다.

2.2 다구치의 표준오류율과 SN비

이원입출력시스템의 로버스트설계에 있어 다구치가 제안한 표준 SN비를 구하기 위해서는 먼저 표준오류율을 알아야 하는 데 이 것은 다음과 같이 정의된다. 우선 레벨링인자가 변화함에 따라 p 가 개선되고 q 가 악화되는 것, 또는 반대로 q 가 개선되고 p 가 악화되는 것을 다구치는 로지트(logit) 변환을 이용해 다음과 같이 가정하고 있다 [1, 8].

$$\log(1/p_a - 1) = \log(1/p - 1) + K \quad (1)$$

$$\log(1/q_a - 1) = \log(1/q - 1) - K \quad (2)$$

여기서 p_a 와 q_a 는 레벨링인자를 어떤 값으로 조정했을 때의 오류율을 각각 뜻한다. 레벨링에 의해 p_a 와 q_a 는 어떤 값 p_0 로 같아질 수 있으므로 $p_a = p_0$ 와 $q_a = p_0$ 를 각각 식 (1)과 (2)에 대입한 후 서로 더하여 정리하면 다음과 같이 p_0 를 구할 수 있다[1, 7, 8].

$$p_0 = \frac{1}{1 + \sqrt{(1/p - 1)(1/q - 1)}} \quad (3)$$

즉 p_0 는 레벨링을 수행한 후의 같아진 오류율을 의미하며, 레벨링인자가 실제로 변화 하더라도 p_0 는 항상 일정하다는 특성을 갖고 있다. 그런 의미에서 다구치는 p_0 를 표준오류율이라 부르고 있으며 대안비교를 위한 기본적인 기준으로 삼고 있다[Taguchi, 1987]. 하지만 실제로 설계조건을 평가할 때에 다구치는 p_0 를 이용해 다음의 표준 SN비를 구한다.

$$\eta_0 = -10 \log(1/\rho_0 - 1) \text{ (dB)} \quad (4)$$

단 $\rho_0 = (1-2\rho_0)^2$ 으로 구한다. 식 (4)의 정의에 대한 자세한 내용은 참고문헌 [1], [7], [8]을 참조하기 바란다.

지금까지 설명한 바와 같이, 이원입출력 시스템의 로버스트설계를 위한 다구치방법의 핵심은 표준오류율을 유도하기 위해 가정된 식 (1)과 (2)라고 볼 수 있다. 그 배경에 대해서 다구치는 레블링인자의 값이 바뀔 때 나타나는 두 오류율의 개선과 악화의 정도가 로지트 단위에서 서로 같게 된다는 것으로 설명을 대신하고 있지만 그 타당성은 여전히 불분명하다.

Leon *et al.*(1987)은 다구치의 표준오류율은 다른 아닌 로지스틱분포(logistic distribution)에 근거한 회귀모형으로부터 유도될 수 있음을 지적하였다. 다시 말해서, <그림 1>의 두 확률분포를 표준편차가 같고 평균이 서로 다른 로지스틱분포로 가정하면 식 (1)과 (2)가 성립하게 된다는 것이다. 그러나 디지털통신의 신호전송처럼 확률분포를 정규분포로 묘사하는 것이 일반적인 경우가 많으므로 Leon *et al.*(1987)은 정규분포에 근거한 표준오류율과 최적화절차를 제안하였다. 이들의 지적대로 많은 설계문제가 정규분포를 이용해 다루어질 수는 있지만, 현실적으로 정규분포와 로지스틱분포가 차별화 되기 위해서는 매우 많은 수의 표본이 필요하다는 점은 이미 알려져 있다[Johnson and Kotz, 1981]. 또한 로지스틱분포는 상대적으로 수치연산을 용이하게 할 뿐 아니라 분포함수도 간단하게 표현되므로 다루기 쉽다는 특징이 있다. 한편, Dehnad(1989)는 다구치의 표준오류율이 통신공학에서 이용되어 온 개념인 채널용량(channel capacity)이나 엔트로피(entropy)와 유사한 것임을 설명하고 있으며, Yum and Kim(1993)은 표준오류율이 조정을 고려한 기대손실과 근사적으로 대등한 관계에 있음을 논의한 바 있다.

3. 새로운 표준오류율의 개발 및 적용절차

3.1 다구치 표준오류율의 확장

앞에서 다구치가 취한 기본 가정의 배경과 타당성에 대해 논의하였다. 여기서는 그 가정을 다른 각도에서 완화시켜 보다 다양한 경우의 이원입출력 시스템을 다룰 수 있는 새로운 표준오류율의 개발에 대해 설명하고자 한다.

로지스틱분포를 가정하더라도 식 (1)과 (2)는 <그림 1>과 같은 두 분포의 표준편차가 서로 같은 경우에만 성립될 수 있다. 그러나 앞의 순동분리문제에서 유추할 수 있듯이, 구리성분과 불순물이 녹기 시작하는 온도의 산포가 서로 같다고 보는 것은 다소 강한 가정이 아닐 수 없다. 따라서 두 분포의 표준편차가 다른 경우를 어떻게 다룰 것인가에 대해 우선 살펴본다.

신호 i 에 대한 분포가 평균이 μ_i 이고 표준편차가 σ_i 인 로지스틱분포라 가정하고,

또한 어떤 기준치 x 에서 오류율이 각각 p 와 q 라고 하면 다음과 같은 관계식이 성립하게 된다. 단 $i=0, 1$.

$$\log(1/p-1) = \alpha_0 + \beta_0 x \quad (5)$$

$$-\log(1/q-1) = \alpha_1 + \beta_1 x \quad (6)$$

여기서 $\mu_i = -\alpha_i/\beta_i$ 이고 $\sigma_i = \pi/(\sqrt{3}\beta_i)$ 이다. 식 (6)의 양변에 $-\beta_0/\beta_1$ 을 곱한 후 이를 식 (5)와 더하여 정리하면 다음과 같다.

$$\log(1/p-1)(1/q-1)^\lambda = \alpha_0 - \lambda\alpha_1 \quad (7)$$

단, $\lambda = \beta_0/\beta_1 = \sigma_1/\sigma_0$ 는 두 표준편차의 비를 뜻한다. 식 (7)의 우변은 기준치 x 가 바뀌더라도 변하지 않는 일정한 값이므로, 조정된 기준치 x_a 에서의 오류율을 각각 p_a 와 q_a 라고 하면 다음 관계식이 성립한다.

$$\log(1/p_a-1)(1/q_a-1)^\lambda = \log(1/p-1)(1/q-1)^\lambda \quad (8)$$

레블링에 의해 $p_a = q_a$ 가 될 수 있으므로, $p_a = p(\lambda)$ 와 $q_a = q(\lambda)$ 를 각각 식 (8)에 대입한 후 $p(\lambda)$ 에 대해서 정리하면 λ 의 함수로서 표준오류율 $p(\lambda)$ 를 다음과 같이 구할 수 있다.

$$p(\lambda) = \frac{1}{1 + [(1/p-1)(1/q-1)^\lambda]^{1/(1+\lambda)}} \quad (9)$$

식 (9)에 $\lambda=1$ 을 대입하면 $p(\lambda)$ 는 다구치의 표준오류율로 된다. 따라서 다구치의 기본 가정인 식 (1)과 (2)는 다음과 같이 수정되는 것이 바람직할 것이다.

$$\log(1/p_a-1) = \log(1/p-1) + \lambda K \quad (10)$$

$$\log(1/q_a-1) = \log(1/q-1) - K \quad (11)$$

즉 x 가 증가할 때 p 가 개선되는 정도와 q 가 악화되는 정도는 일반적으로는 같지 않다는 의미이다. 식 (11)의 양변에 λ 를 곱한 후 이를 식 (10)과 서로 더하여 정리해 주면 역시 식 (8)을 이끌어낼 수 있다.

제안된 표준오류율 $p(\lambda)$ 는 이처럼 두 분포의 표준편차가 서로 다른 경우를 설명할

수 있으므로, λ 를 구할 수 있다면 우리는 $p(\lambda)$ 로써 보다 다양한 이원입출력시스템의 로버스트설계를 다룰 수 있게 된다. 다음 절에서는 여러 인자가 포함된 실험데이터가 주어져 있을 때 그래프를 이용하여 λ 를 구하는 방법에 대해 설명한다.

3.2 그래프를 이용한 λ 의 결정

우선 설계조건마다 관측도수 데이터로부터 p 와 q 를 계산한다. 식 (7)을 정리하여 $\log(1/p-1)$ 과 $-\log(1/q-1)$ 를 각각 종속변수와 독립변수로 놓으면 k 번째 실험조건에 대한 선형모형을 다음과 같이 수립할 수 있다.

$$\log(1/p-1)_k = (\alpha_0 - \lambda\alpha_1)_k - \lambda \log(1/q-1)_k \quad (12)$$

단 $k=1, 2, \dots, n$. 여기서 p, q, α_0, α_1 은 설계조건마다 다르며 특히 절편값인 $\alpha_0 - \lambda\alpha_1$ 은 그 설계조건이 얼마나 우수한가를 의미하게 된다. 한편 기준치 x 와 λ 는 모든 설계조건에 대해 공통임을 가정한다. 식 (12)에서, 절편 $\alpha_0 - \lambda\alpha_1$ 은 설계조건마다 다르므로 보통 회귀분석으로 기울기 λ 를 구할 수 없다. 하지만 Lunani *et al.*(1997)이 제안한 Sensitivity-Standard Deviation(S-S) 그래프와 Box(1988)가 제안한 λ 그래프를 이용하면 효율적으로 λ 를 결정할 수 있다.

S-S 그래프는 원래 연속형 동특성의 로버스트설계에서 감도유의인자와 산포유의인자를 구별해내기 위해 고안된 것이지만, 본 논문에서는 두 가지 오류율을 타점하여 표준오류율에 유의한 인자를 식별하는 데 활용된다. 그런 의미에서 본 연구에서는 이를 p-q 그래프라고 부르기로 한다. 이 그래프를 작성하는 절차는 다음과 같다. 우선, 설계조건마다로 구한 $\log(1/p-1)$ 과 $-\log(1/q-1)$ 을 각각 Y축과 X축으로 잡아 타점한다. 다음, 모든 인자(또는 효과)에 대해 타점한 결과를 인자의 수준에 따라 표시해 준다. 만약 $\alpha_0 - \lambda\alpha_1$ 또는 $p(\lambda)$ 에 유의한 인자가 있다면 직선적인 경향이 나타나면서 수준에 의해 증별될 것이고 그 절편에도 차이가 생길 것이다. λ 그래프는 $p(\lambda)$ 에 대한 각 인자의 통계적 유의성을 t-통계량으로 계산하여 이를 λ 의 변화에 따라 타점한 것이다. 이제 p-q 그래프를 통해서 얻은 $p(\lambda)$ 에 유의한 인자와 그렇지 않은 인자에 관한 정보와 모순되지 않도록 λ 그래프 상에서 적절한 λ 를 선택하면 된다. 구체적인 실험데이터를 통해 λ 와 $p(\lambda)$ 를 구하는 과정을 다음 절에서 예시한다.

3.3 수치 예 및 비교

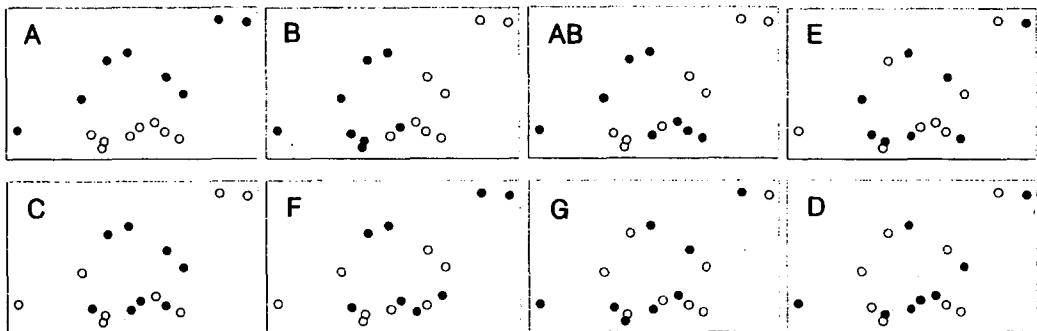
다음의 <표 2>는 일본의 한 담배제조공장에서 수행된 풍선(風選)분리실험의 결과이다. 이 공장에서는 담배 잎사귀를 얇게 썬 후 잎가루에서 불량품이라 할 수 있는 엽맥(葉脈) 덩어리를 걸러내기 위해 바람을 이용하고 있다. 잎가루에 비해 엽맥 덩어리가 상대적으로 무겁다는 점을 이용한 것이지만 엽맥 덩어리가 잎가루에 섞여 들어가는 경우도 있고 반대로 잎가루가 엽맥 덩어리와 같이 남아 함께 버려지는 경우도

있다. 여기서 레블링인자는 풍속이 될 것이며 실험목적은 두 가지 오분류를 최소화할 수 있는 풍선분리조건을 찾는 데 있다. 이 사례에 대한 보다 자세한 사항은 참고문헌 [1]을 참고하기 바란다.

< 표 2 > 풍선분리실험 데이터

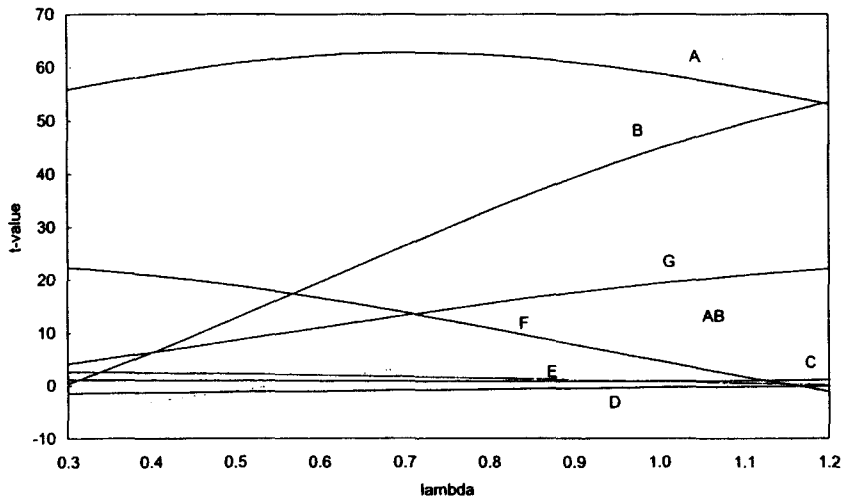
공정 변수								데이터				p	q
A	B	AB	E	C	F	G	D	N ₀₀	N ₀₁	N ₁₀	N ₁₁		
1	1	1	1	1	1	1	1	14553	103	47	71	0.01	0.40
1	1	1	1	2	2	2	2	14335	294	55	186	0.02	0.23
1	1	1	2	1	1	2	2	14395	121	55	118	0.01	0.32
1	1	1	2	2	2	1	1	14206	609	24	242	0.04	0.09
1	2	2	1	1	2	1	2	14420	179	50	39	0.01	0.56
1	2	2	1	2	1	2	1	14299	50	71	14	0.00	0.84
1	2	2	2	1	2	2	1	13976	256	74	43	0.02	0.63
1	2	2	2	2	1	1	2	14507	48	41	13	0.00	0.76
2	1	2	1	1	1	1	2	21165	983	49	140	0.04	0.26
2	1	2	1	2	2	2	1	22137	1202	58	132	0.05	0.31
2	1	2	2	1	1	2	1	22040	870	76	94	0.04	0.45
2	1	2	2	2	2	1	2	21340	1357	50	118	0.06	0.30
2	2	1	1	1	2	1	1	22832	1106	57	83	0.05	0.41
2	2	1	1	2	1	2	2	21829	1118	121	75	0.05	0.62
2	2	1	2	1	2	2	2	22481	987	90	72	0.04	0.56
2	2	1	2	2	1	1	1	22412	793	82	78	0.03	0.51

<그림 2>에는 p-q 그래프가 도시되어 있는 데 어떤 인자가 $p(\lambda)$ 에 유의한가를 구별해보기로 한다. 인자 A와 B는 층별이 뚜렷하고 절편에도 차이가 드러나고 있어 $p(\lambda)$ 에 매우 유의할 것이다. 인자 F는 층별의 정도는 약해 보이지만 직선을 그을 때 절편에는 차이가 있을 것으로 판단된다. 인자 E와 C는 전혀 효과가 없는 것으로 보이며 나머지 AB, G, D는 그림만으로도 그 유의성을 짐작하기는 쉽지 않다. 따라서 유의한 효과는 일단 A, B, F의 순서대로 3개 정도 파악되고 있다.



< 그림 2 > 풍선분리실험 데이터에 대한 p-q 그래프

다음의 <그림 3>은 λ 그래프를 도시한 것이다. 여기서 λ 의 범위는 수준에 따른 절편의 차이가 없다고 보고 추정된 회귀계수 0.56을 중심으로 잡아주었으며 또한 비교를 위해 다구치의 표준오류율에 해당되는 1이 포함되도록 하였다. 그림을 보면, 우선 λ 에 상관없이 A는 매우 유의하였고 C, E, D의 효과는 무시할 수 있을 만큼 작음을 알 수 있다. 나머지 효과의 유의성은 λ 에 따라 변하고 있음을 관찰할 수 있다.



< 그림 3 > 풍선분리실험 데이터에 대한 λ 그래프

이제, p-q 그래프를 통해 유의한 것으로 파악된 A, B, F에 대한 유의성의 순서를 검증하면서 F의 효과가 지나치게 미약해지지 않게 하고 동시에 E보다는 AB의 효과가 커지도록 λ 를 선택하면 대략 0.65 내외가 됨을 알 수 있다. $\lambda=0.65$ 일 때 유의한 효과인 A, B, F에 대해 최적조건을 정하면 $A_1B_1F_1$ 이 된다. 이 조건에서의 표준 SN비 추정치는 7.03dB이고 이 값에 해당되는 표준오류율 $\mu(\lambda)$ 는 0.0432가 된다. $\lambda=1$ 에 해당되는 다구치방법의 경우에는 A, B, G가 유의하였으며 최적조건은 $A_1B_1G_1$ 이다. 역시 이 조건에 대해서 표준 SN비의 추정치를 구해보면 대략 5.34dB가 되고 이를 표준오류율로 환산해보면 0.0602가 나온다. 이 표준오류율의 계산 결과는 이원표로 정리하여 다음의 <표 3>에 요약하였다.

< 표 3 > 최적조건에서의 표준오류율 추정결과의 비교

(a) 다구치방법의 이원표

신호 \ 결과	0	1
0	0.9398	0.0602
1	0.0602	0.9398

(b) 제안된 방법의 이원표

신호 \ 결과	0	1
0	0.9568	0.0432
1	0.0432	0.9568

분석 결과, 다구치방법과 제안된 방법은 몇 가지 차이를 보여주고 있다. 우선 유의한 인자의 판별에 적지 않은 차이가 있다. 특히 인자 F는 $\lambda=0.65$ 일 때 상당한 효과가 있지만 $\lambda=1$ 일 때의 효과는 매우 미약하다. 이는 곧 두 방법 간에 통계적 유의성의 순서도 일치하지 않게 됨을 의미한다. 최적조건에서의 표준오류를 추정결과는 1.7%라는 차이가 나타났으며 있으며, 또한 앞의 분석에서는 일치했지만 최적조건의 결정이 다를 수 있음에 유의할 필요가 있다. 이러한 차이는 λ 의 적절한 선택이 로버스트설계를 위해 매우 중요하다는 사실을 암시해준다.

4. 결론

본 논문은 신호와 출력이 각각 두 가지로 분류되는 이원입출력시스템에 대한 로버스트설계에 관한 연구로서, 다구치의 표준오류율 및 그 일반화 방안을 검토하고 다구치방법에 대한 대안을 제시하였다.

먼저 여러 논의를 정리한 결과 다구치의 표준오류율 p_0 (또는 표준 SN비 η_0)은 시스템 평가를 위한 적절한 측도임을 알 수 있었으나, 이 것은 두 분포의 표준편차가 서로 같은 경우에만 적용할 수 있는 한계가 있음을 보였다. 따라서 표준편차가 서로 다른 경우의 이원입출력시스템을 다룰 수 있도록, 로지스틱분포 가정 하에 새로운 표준오류율 $p(\lambda)$ 를 유도하였으며 로버스트설계의 실험상황에 적용할 수 있는 계산방법을 개발하였다. 제안된 표준오류율 $p(\lambda)$ 의 계산을 위해서는 우선 두 분포의 표준편차 비인 λ 에 대한 사전지식이 요구된다. 이를 위해 본 논문에서는 p-q 그래프와 λ 그래프를 이용하여 λ 를 결정하는 정성적인 절차를 제안하였다. 다구치의 p_0 는 $\lambda=1$ 에 해당되는 것으로 곧 $p(1)=p_0$ 가 성립한다. 다루고 있는 문제에 대한 고찰 없이 항상 $\lambda=1$ 로 간주하는 것은 사실과 다른 분석결과를 초래할 수 있으므로 바람직하지 않다고 볼 수 있다. 기 발표된 사례를 통해 분석한 결과, 다구치방법을 그대로 적용할 경우 유의한 인자를 검출해내지 못할 뿐 아니라 유의성의 순서도 뒤바뀌어 판정하게 될 가능성이 존재한다는 것을 파악할 수 있었으며, 이를 토대로 λ 를 선택하는 문제가 로버스트설계에서 중요한 것임을 지적하였다. 본 논문에서 제안된 방법은 다구치방법의 한계를 극복하게 하고 아울러 보다 다양한 경우의 로버스트설계에 적용이 가능하다는 점에서 다구치방법에 대한 유망한 대안이 될 것으로 생각된다.

두 가지 그래프에 의존하여 λ 를 결정하는 절차를 보완할 수 있는 정량적인 방법의 개발과 로지스틱분포 가정의 이탈에 대한 민감도분석 등에 관해 후속적인 연구가 필요할 전망이다. 향후 신호와 출력의 범주가 각각 3개 이상인 경우를 다룰 수 있는 로버스트설계를 위한 연구가 요망된다.

참고문헌

- [1] 다구치(1991), 「품질평가를 위한 SN비」, 품질공학강좌 제3권, 한국공업표준협회.
- [2] Box, G. E. P.(1988), "Signal-to-Noise Ratios, Performance Criteria and Transformations," *Technometrics*, Vol. 30, No. 1, pp. 1-40.
- [3] Dehnad, K.(1989), "A Geometric Interpretation of Taguchi's Signal to Noise Ratio," Article 13 in *Quality Control, Robust Design and the Taguchi Method*, Wadsworth Books.
- [4] Johnson, N. L. and Kotz, S.(1981), *Encyclopedia of Statistical Sciences, Volume 5*, Wiley.
- [5] Leon, R. V., Shoemaker, A. C. and Kacker, R. N.(1987), "Performance Measures Independent of Adjustment: An Explanation and Extension of Taguchi's Signal-to-Noise Ratio," *Technometrics*, Vol. 29, No. 4, pp. 253-285.
- [6] 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.
- [7] Phadke, M. S.(1989), *Quality Engineering Using Robust Design*, Prentice-Hall.
- [8] Taguchi, G.(1987), *System of Experimental Design, Volume 2*, UNIPUB/Kraus International Publication.
- [9] Yum, B.-J. and Kim, S.-J.(1993), "On Parameter Design of Binary Input and Binary Output Dynamic Systems," *Quality and Reliability Engineering International*, Vol. 9, No. 6, pp. 471-476.