

에너지 전환 이상기능 기반 다구찌 동특성을 활용한 Fan Case 설계

지수윤[†] · 장중순

아주대학교 산업공학과

Fan Case Design using Energy Conversion Ideal Function Based Taguchi Dynamic Characteristics

Soo Yoon Ji · Joong Soon Jang

Department of Industrial Engineering, Ajou University

An electric-motor which uses electric energy to dry laundry in a dryer generates wind by rotating a fan. The roles of electric motor and fan are crucial for drying. To reduce the noises or vibration, their performances should be improved. However, it requires a relatively high cost to redesign them. In this case, redesigning the fan case rather than the motor or the fan would be easier and cheaper. This paper is to apply Taguchi dynamic characteristic concept with the ideal function of energy conversion to redesign the fan case. Not only the increase of the wind power but also the decrease of noise, vibration and the other side effects are resulted.

Keywords: Taguchi Method, Dynamic Characteristics, Taguchi Dynamic SN ratio, Generic Function, Ideal Function, Control Factor, Noise Factor, Transformability

1. 서론

다구찌 방법은 1980년대 일본, 미국에서 소개된 이후 다양한 산업분야에서 많이 활용되고 있다. 특히 국내에는 Yum *et al.*(1990, 1991)의 연구 논문을 시작으로 많은 논문과 사례들이 발표되고 있다. 또한 이러한 국내의 활용, 강약점 등에 대하여 Yum *et al.*(2013), Kim(2013), Kwon(2013) 등이 연구한 바 있다.

다구찌박사는 품질을 하류, 중류, 상류, 원류의 4가지로 분류하는데, 원류 단계로 갈수록 개선이 더 효과적이라고 했다. 또한 다구찌박사는 강건성을 평가하는 척도로 출력이 일정하기를 원하는 경우에는 정특성 SN비, 입력이 변화하고 그에 따라 출력이 대응되어 변화하는 경우에는 동특성 SN비 활용을 적극 권장한다. 즉 제품 개발 이전 단계인 원류단계에서 다구찌 동특성 SN비 활용이 가장 효과적이라 할 수 있다.

이러한 강건설계는 국내외에 많이 활용되고 있다. 특히 일

본 등에서는 원류품질인 기술 개발 단계에서 다구찌 동특성을 많이 활용하고 있으며 발표되는 사례는 거의 대부분이 다구찌 동특성을 활용한 예이다(Takahashi *et al.*, 2001; Ueno, 1993; Asakawa *et al.*, 1992; Koyama *et al.*, 2000).

그러나 국내에서는 원류 단계보다는 거의 대부분 상류 단계에서 정특성 위주로 사례가 소개되고 있다(Lee *et al.*, 2002; Lee *et al.*, 1995; Cha *et al.*, 2002; Ji *et al.*, 2005).

특히 에너지 전환이 중요한 제품 개발에서는 기존처럼 품질 특성치(불량율, 효율 등)를 측정치로 하기보다는 에너지전환의 이상기능을 고려하는 것이 매우 효과적이다. 왜냐하면 품질 특성치는 하류품질로서, 다수의 폐해항목이 있는 경우 하나의 품질 특성치를 개선한다 하더라도 다른 특성치가 나빠지는 경우가 대부분이지만, 원류품질인 이상기능 즉 에너지전환 이상기능을 높이는 실험을 하게 되면 이러한 혼란을 막을 수 있기 때문이다.

[†] 연락저자 : 지수윤 교수, 443-749 경기도 수원시 영통구 월드컵로 206 아주대학교 산업공학과, Tel : 031-219-2957, Fax : 031-219-1610, E-mail : jeesyn@hanmail.net

2014년 6월 2일 접수; 2014년 7월 21일 1차 수정본 접수; 2014년 9월 24일 2차 수정본 접수; 2014년 11월 14일 게재 확정.

본 논문에서는 다구찌 동특성 중 에너지 전환 이상기능 활용의 경험적 효율성을 논하고 그 유효성을 제품개발 사례를 통해 입증하고자 한다.

2. 다구찌 특성 구분과 에너지 전환 이상기능

다구찌 강건설계는 이미 잘 알려진 바와 같이 특성을 크게 두 가지로 구분한다. 입력이 고정되고 출력이 일정하기를 원하는 정특성과 의도적으로 입력을 다르게 하여 그에 따라 출력이 비례가 되기를 원하는 동특성으로 구분한다. 정특성의 경우 입력이 일정할 때 출력 y 가 원하는 목표에 맞게 산포 없이 일정하게 되기를 원하는 망목특성(Nominal is Best)이 있으며, 이때 강건성 평가를 위해 망목특성 SN비를 활용한다. 출력특성이 산포가 작으면서 평균도 작을수록 좋은 망소특성(Small is Better, 목표 0)의 경우 망소특성 SN비를 활용한다. 반대로 산포가 작으면서 특성의 평균이 클수록 좋은 망대특성(Large is Better, 목표 ∞)의 경우 망대특성 SN비로 강건성을 평가 한다. <Table 1>은 동특성의 정의, 이상기능, SN비 등을 나타낸 것이다.

Table 1. Taguchi Dynamic Characteristics

이상기능 및 목표	이상기능 $y = \beta \times M$ 신호인자 M에 따라 출력 y가 비례적 변화, β 를 목표치에 맞춤
평가특성(y) 유형	0을 포함한 양수, 음수
정의	다양한 입력에서 출력이 목표에 일치하는 것이 이상적이며, 이때 손실이 가장 적음
사례	전동모터입력에너지(W) vs 모터출력(W), Fan에서 소비전력 vs 풍량, compressor 입력에너지 vs 방열성능, 체중계, 패턴형성, NC머신, CAE해석 모델, Sensor 및 Algorithm, 제어로직, 용수철의 Hook's law 등
SN비 (안정성)	동특성 SN비 $\eta = 10 \log \left[\frac{1}{rr_0} \frac{(S_\beta - V_e)}{V_N} \right]$
감도 (sensitivity)	S 또는 기울기 β $S = 10 \log \left[\frac{1}{rr_0} (S_\beta - V_e) \right] \text{ 또는 } \beta = \frac{L}{rr_0}$

이때 각각의 신호 M_i 에서 풍량이 많을수록 좋으므로 망대 특성 기대손실 $L = E[L(y)] = E\left(k \frac{1}{y^2}\right) = kE\left(\frac{1}{y^2}\right) \approx \frac{k}{\mu^2} \left(\frac{3\sigma^2}{\mu^2} + 1\right)$ 로 볼 수 있다.

위에 기술한 다구찌 정특성과 동특성을 다구찌박사가 분류한 4가지 품질 분류와 연관을 지을 수 있다. 다구찌박사는 품질을 하류품질, 중류품질, 상류품질 및 원류품질 등 4가지로 분류하였다(Taguchi, 1996; Taguchi, 2002).

- (1) 하류품질(Downstream quality(customer quality)) : 고객이 요구하는 품질특성으로 자동차인 경우 연비, 소음, 진동, 문 닫는 힘 등이 해당 된다. 하류 품질은 이해하기는 쉬우나 이를 직접 측정하여 개선하기에는 효율이 매우 낮다.
- (2) 중류품질(Midstream quality(specified quality)) : 일반적으로 규격이 이에 해당되며 치수, 강도, 불순물 함량 등이 예가 된다. 이는 생산 엔지니어에게는 중요 할 수 있으나 이것이 규격 안에 있다고 해서 모두 품질이 좋다고는 할 수 없다. 이것을 측정치로 하여 개선을 하는 것은 하류 품질보다는 좋으나 역시 효율적이지 않다.
- (3) 상류품질(Upstream quality(robust quality)) : 특정 제품의 고정된(정적) 출력에 대한 강건성을 평가하는 것으로 아래의 원류 품질 다음 두 번째로 바람직한 품질특성이라고 할 수 있다. 즉 정특성 SN비(Non-dynamic SN비)를 활용하여 평가한다.
- (4) 원류품질(Origin quality(functional quality)) : 상류품질특성이 특정 제품에 대한 강건성을 좋게 하는 것이라면 원류품질은 기술(개발)의 강건성을 평가함으로써 제품 군(Product family) 전체에 대한 범용적인 강건성을 확보하는데 효과적이며 이를 위해 동특성 SN비를 활용한다. 즉 제품이나 공정의 기본기능(generic function)을 측정하고 그 안정성을 확보하기 때문에 이를 통한 개발의 결과는 범용성은 물론 다양한 제품이나 공정에서의 재현성 확보가 용이하여 가장 좋은(효율적인) 특성이라 할 수 있다.

다구찌박사는 동특성 SN비를 활용하는 원류품질은 기술(개발)의 특성치(기본기능(generic function)를 평가함으로써 제품 군(Product family) 전체에 대한 범용적인 강건성을 확보하는데 가장 효율적이라고 주장하고 있으며, 많은 사례로 입증되고 있다. 즉 Mori(1995)의 연구처럼 기술개발이나 제품개발에서 선행성(Precedency), 범용성(Universality), 재현성(Reproducibility)을 확보하기 위하여 이상기능을 바탕으로 한 동특성 SN비를 활용한다. 여기서 선행성이란 기술적 준비 정도를 나타낸 것이며, 범용성은 융통성을, 재현성은 강건성을 나타낸 것이다.

시스템이나 프로세스는 입력과 출력이 있게 마련인데 이때 반드시 에너지가 투입이 된다. 여기서 이상기능 $y = \beta M$ (y 는 출력, β 는 기울기, M 은 신호인자)을 설정하고, 기능의 안정성을 다구찌 동특성 SN비로 평가를 한다. 다구찌박사는 이때 이상기능을 에너지 전환 관계로 설정하는 것이 가장 효율적이라 하며 이의 활용을 적극 추천 한다. 이러한 에너지 전환 이상기능 다구찌 동특성을 활용하는 경우 장점 및 특징은 다음과 같다.

- (1) 입력 에너지가 원하는 출력으로 전환되는 것을 최대화하여 폐해항목(Negative Characteristics)인 품질특성(예, 자동차 엔진의 소음, 진동, 마모, 발열, 수명 등)으로의 입력에너지 전환을 최소화 할 수 있다. 이는 에너지 보존 법칙에 따라 동일 에너지 투입 시 이상기능(본질)의 출

력을 크게 하면 할수록 폐해항목으로 전환 되는 입력 에너지는 그만큼 적어지게 되어 결국 폐해항목의 출력은 줄게 된다.

- (2) 가장 작은 에너지로 구현 할 수 있는 기능의 한계치를 도출하여 제품개발 이전에 제품을 구현하는 기술을 확보 할 수 있다. 이를 통해 기술 개발 효율을 높이고 비용을 시간을 줄일 수 있으며 소형화(Downsizing)를 할 수 있다.
- (3) 품질특성의 다양성(예 : 자동차 엔진의 소음, 진동, 마모, 발열, 수명 등)을 모두 평가하는 어려움(노력)을 이상기능으로 단순화하여 실험의 노력을 줄이는 것은 물론 복잡하고 과다한 분석 노력을 줄일 수 있다.
- (4) 관심이 있는 품질특성 중 하나를 좋게 하면 다른 품질특성이 나빠게 되는 현상(품질특성간 trade-off)을 방지 할 수 있다.

이러한 에너지 전환이 중요한 시스템에서 에너지 전환 이상기능 다구찌 동특성 활용 효율성을 제시 했고 이를 입증하는 사례는 아래의 제 3장과 같다.

3. 사례연구

3.1 배경 및 목적

본 사례는 L사 빨래건조기의 Fan Case 파라미터 설계를 통해 소음과 진동을 해결한 것이다. 빨래 건조기는 메카트로닉스 가전제품으로 구동 시스템이 동반되어 제품 사용 시 진동과 소음이 사용자들로부터 문제가 되는 경우가 많다. 이는 민감한 엔지니어링 대상이 되며, 이를 해결하기 위하여 연구개발 부문에 ‘진동 소음 팀’이 있을 정도다. 현재의 시스템은 경쟁사 대비 소음이 큰 편이다. 따라서 가급적 비용을 많이 들이지 않고 제한된 기간 내에 소음을 줄여야 한다.

3.2 제품 개요

세탁 후 젖은 빨래를 건조하는 빨래 건조기는 전기에너지를 활용하여 전기모터를 구동하고 그 에너지원으로 Fan(Impeller, 임펠러)을 돌려 빨래 건조에 필요한 바람을 발생시킨다. 일반적으로 알려진 바와 같이 전기 모터와 Impeller의 성능이 전체 시스템의 성능과 소음에 미치는 영향은 매우 크다. 그러나 해당 팀의 업무는 진동과 소음을 개선하는 팀으로 모터를 설계할 권한이 없으며 또한 임펠러 설계는 금형을 새로 만드는 등 비용의 한계 때문에 재설을 할 수 없는 상황이다. 이러한 이유로 상대적으로 자원이 적게 드는 Fan Case를 재설계하여 당면한 소음 문제를 해결하기로 하였다. 즉 효과는 크지만 비용이 많이 드는 임펠러는 동일한 것으로 사용하고, universal jig.에 의한 열교환 fan-case에 한정하여 설계 파라미터 디자인 최적화를 통해 소음 문제를 해결 하였다.

3.3 실험계획

3.3.1 이상기능, 평가 특성, 신호인자 선정

Fan Case는 임펠러로부터 발생한 바람을 누설과 저항 없이 원하는 출구 방향으로 이동하는 가이드 역할을 한다. 당면한 문제는 소음이었지만 최적화 실험에서 소음을 측정하지 않았다. 이 시스템의 기본 기능은 소음을 발생시키는 것이 아니라 바람을 생성하는 것이므로 풍량을 평가 특성(측정치)으로 선정 하였다. 이미 언급 한 것처럼 실험 측정치를 소비자 관심사항인 품질특성 즉 연료 효율, 진동, 소음, 오염, 결함, 불량 등 하류품질을 다루는 것은 효율적이지 않다. 즉 본질적 기본기능을 측정치로 다루어야 효율적이다. 즉 에너지 보존 법칙에 의해 입력된 에너지가 바라는 기능(여기서는 풍량)으로 전부 혹은 최대한 많이 전환 되었다면 나머지 입력 에너지 전환의 출력인 폐해항목(여기서는 소음)이 없어지거나 혹은 아주 적어진다는 논리이다.

따라서 본 연구에서는 실험의 출력으로 풍량을 선정하고 이때 입력인 전기 소모 에너지의 척도 중의 하나인 RPM을 신호인자로 선정하였다. 현재는 원하는 풍량(출력)을 얻기 위해 입력 신호가 700RPM으로 고정되어 있다. 그러나 이상기능을 평가하기 위해 그보다 적거나 많은 650, 750RPM을 실험 수준으로 추가하였다(<Table 2> 참조). 이는 더 적은 에너지로 더 많은 풍량(기능)을 발생시키는 제어인자의 최적 조건을 찾기 위해서다. 제어인자의 역할은 입력에너지를 저항 등 노이즈에 영향을 받지 않고 기본기능인 풍량을 많이 발생하게 하는 것이다. 즉 엔지니어가 스트레스를 받고 줄이고자하는 것이 소음인 것은 분명하나 이 시스템의 기능은 입력 에너지를 풍량으로 전환하는 것이므로 폐해 항목인 소음이 아닌 풍량을 측정치로 선정 했다. 본 연구의 특징은 흔히 엔지니어가 실험에서 관심대상(스트레스)이 되는 폐해 항목인 소음을 측정했던 기존 방식으로부터 시스템의 이상기능을 측정하는 것, 입력을 700rpm으로 고정하고 실험을 했던 것을 선행성과 범용성 확보를 위해 700rpm을 중심으로 앞뒤로 신호 입력을 확장한 것이다. 본 사례 연구의 이상기능 $y = \beta \times M$ (y 는 실험 측정치, M 은 입력 신호)은 다음과 같이 정의하였다(<Figure 1> 참조).

- Ideal function : $y = \beta M$

- 풍량(CMM : m^3/min) = $\beta \times$ 모터 RPM

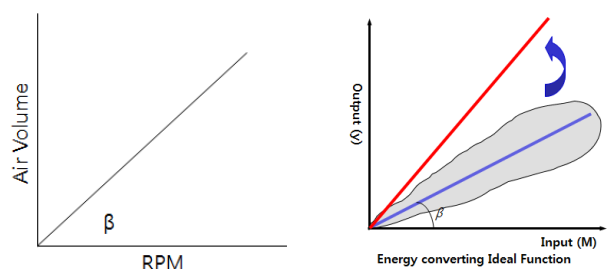


Figure 1. Ideal function and Improvement strategy

Table 2. Signal M

Signal M(RPM)	650	700	750
---------------	-----	-----	-----

3.3.2 노이즈 인자(Noise factor) 선정

빨래 건조기에서 빨래가 많거나 적거나 간에 풍량 차이가 적으면서 많이 나오는 것이 바람직하다. 따라서 노이즈인자는 빨래를 적게 넣었을 때와 많이 넣었을 때를 고려하였다. 그렇지만 각각의 실험 런에서 실제 빨래를 적게, 많이 넣는 것을 일정하게 제어한다는 것은 현실적으로 매우 어렵다. 여기서 빨래가 적다는 것은 기술적(공학적)으로 보면 저항이 적다는 것이고 빨래가 많다는 것은 저항이 크다는 것을 의미하므로 이를 일정하게 하기 위해 저항 제어장치를 만들어 실험마다 제어 일정하게 제어하였다(<Table 3> 참조). 이렇게 노이즈인자의 수준을 실험마다 균일하게 제어하는 것이 강건성 평가와 재현성 확보는 물론 실험 효율에도 매우 중요하다.

Table 3. Noise Factor

Noise Factor : 저항	N1	N2
Level(mmAq)	6	9

3.3.3 제어인자 선정 및 직교표 할당

제어인자는 엔지니어와 협의를 통해 풍량에 영향을 줄만한 인자 중 중요하다고 생각하는 인자 4개 선정하고 제어인자의 비선형성을 파악하기 위해 3수준으로 정하였다(<Table 4> 참조). 흡입 풍량과 관계가 있다고 생각한 Orifice suction 내경, Universal jig와 함께 연동되면서 토출 풍량에 영향을 준다고 생각한 Fan case와 Impeller 간극, Cutoff 각도, Cutoff 간극 등 4가지를 제어인자로 선정 하였다(<Figure 2> 참조). 현실적으로 실험에 드는 시간, 비용을 고려하여 가장 적합하다고 생각하는 $L_9(3^4)$ 직교배열표에 할당하여 실험을 하였다(<Table 5> 참조).

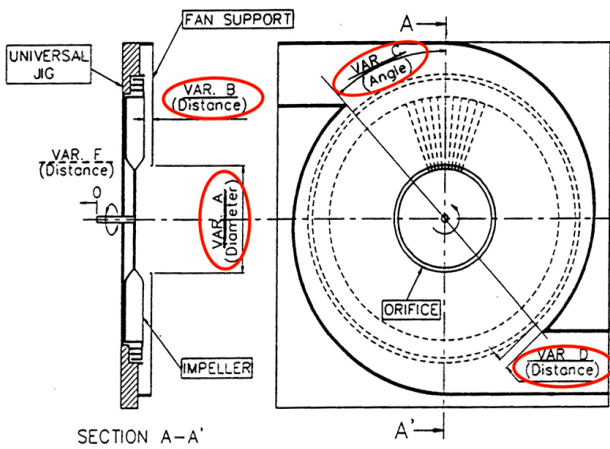


Figure 2. Product Structure and Control Factor

Table 4. Control Factor and Level

Factor	Orifice Suction Dia.	Impeller gap	CUTOFF Angle	CUT OFF Gap
Level	A	B	C	D
1	150	B1	C1	15
2	170	B2	C2	20
3	190	B3	C3	25

Table 5. $L_9(3^4)$ Experimental Design

column	1	2	3	4
Factor	Orifice Suction Dia.	Impeller gap	CUT OFF Angle	CUT OFF Gap
	A	B	C	D
1	150	B1	C1	15
2	150	B2	C2	20
3	150	B3	C3	25
4	170	B1	C2	25
5	170	B2	C3	15
6	170	B3	C1	20
7	190	B1	C3	20
8	190	B2	C1	25
9	190	B3	C2	15

3.4 실험 실시 및 데이터 측정

실험 런 9개 각각에 대하여 신호인자 650, 700, 750 RPM에 2개의 노이즈 인자를 반영하여 실험을 하여 데이터를 측정하였다. 각 실험의 일부 데이터는 <Table 6>과 같다.

Table 6. Measured Data

Run	OUTPUT					
	N1			N2		
	y1	y2	y3	y1	y2	y3
1	1.23	1.40	1.56	0.99	1.19	1.38
2	1.80	2.05	2.28	1.48	1.76	2.03
3	.	.	.	.	.	.
4	.	.	.	.	.	.
5	.	.	.	.	.	.
6	.	.	.	.	.	.
7	.	.	.	.	.	.
8	1.61	1.79	1.99	1.31	1.54	1.77
9	2.26	2.55	2.83	1.87	2.20	2.52

3.5 실험 데이터 분석

실험계획 단계에서 계획 한 바와 같이 다구찌 동특성으로 분석하였다. 여기서 SN비와 감도는 전통적인 다구찌 동특성을 그대로 활용하였다. 최적화 절차는 2단계로 진행 한다. 먼저 SN비를 척도로 안정성을 확보하고, 다음 감도S를 이용하여 목표치로 맞춘다.

Step 1 : 강건성 확보(Improvement Robustness)

$$\eta = 10 \log \left[\frac{\frac{1}{rr_0}(S_\beta - V_e)}{V_N} \right]$$

Step 2 : 목표로 조정(Sensitivity Adjustment, 본 사례연구에서는 최대화)

$$S = 10 \log \left[\frac{1}{rr_0}(S_\beta - V_e) \right], \text{ 효율의 척도}$$

$$\beta = \frac{L_1 + L_2}{2r}$$

3.5.1 강건성 평가를 위한 SN비 계산(실험 run 1)

노이즈에 둔감한 안정성을 확보하기 위하여 SN비를 다음과 같이 계산하였다.

$$\eta = 10 \log \left[\frac{\frac{1}{rr_0}(S_\beta - V_e)}{V_N} \right]$$

$$S_T = 1.23^2 + 1.40^2 + 1.56^2 + \dots + 1.19^2 + 1.38^2 = 10.2071, \text{ d.f.} = 6$$

$$L_1 = 650 \times 1.23 + 700 \times 1.40 + 750 \times 1.56 = 2,949.50$$

$$L_2 = 650 \times 0.99 + 700 \times 1.19 + 750 \times 1.38 = 2,511.50$$

$$r = 650^2 + 700^2 + 750^2 = 1,475,000$$

Table 7. SN ratio, S, β for Each Run

Factor	1	2	3	4	SN ratio	Sensitivity	β
	Orifice Suction Dia.	Impeller gap	CUT OFF Angle	CUT OFF Gap			
	A	B	C	D			
1	1	1	1	1	-37.57	-54.6545	0.001851
2	1	2	2	2	-36.96	-51.3036	0.002723
3	1	3	3	3	-36.97	-49.2097	0.003465
4	2	1	2	3	-38.19	-54.2586	0.001938
5	2	2	3	1	-36.89	-50.3323	0.003045
6	2	3	1	2	-36.36	-50.0657	0.003139
7	3	1	3	2	-37.88	-52.9864	0.002243
8	3	2	1	3	-36.70	-52.4362	0.002389
9	3	3	2	1	-36.52	-49.3798	0.003397

$$S_\beta = (L_1 + L_2)^2 / 2r = 10.1093, \text{ d.f.} = 1$$

$$S_{N\beta} = (L_1^2 + L_2^2) / r - S_\beta = 0.0650, \text{ d.f.} = 1$$

$$S_e = S_T - S_\beta - S_{N\beta} = 0.0327, \text{ d.f.} = 4$$

$$V_e = S_e / 4 = 0.008175$$

$$V_N = (S_{N\beta} + S_e) / 5 = 0.01954$$

실험 런 1의 SN비는 $\eta = -37.57db$ 가 된다.

3.5.2 목표 조정(최대화)을 위한 감도S의 계산

감도는 $S = 10 \log \left[\frac{1}{2r}(S_\beta - V_e) \right]$ 를 활용하여 계산하였다.

$S = -54.654514db$ 이고, 이때 기울기 β 는 $\beta = \frac{L_1 + L_2}{2r} = 0.0018512$ 가 된다.

이와 같이 각 실험별 SN비, 감도 S, 기울기 β 를 구하면 <Table 7>과 같다.

3.5.3 반응표 작성

각 제어인자 수준별 SN비 및 감도 S에 대한 반응표는 <Table 8>, <Table 9>와 같다.

Table 8. Response table of SN ratio

	Orifice Suction Dia.	Impeller gap	CUT OFF Angle	CUT OFF Gap	
1	-37.16	-37.88	-36.87	-36.99	
2	-37.14	-36.85	-37.22	-37.06	
3	-37.03	-36.61	-37.24	-37.29	
avg	-37.11	-37.11	-37.11	-37.11	total
max-min	0.0184	1.2639	0.3709	0.2941	1.9474
portion	0.95%	64.91%	19.05%	15.10%	100.00%

Table 9. Response table of Sensitivity

	Orifice Suction Dia.	Impeller gap	CUT OFF Angle	CUT OFF Gap	
1	-51.7226	-53.9665	-52.3855	-51.4555	
2	-51.5522	-51.3574	-51.6473	-51.4519	
3	-51.6008	-49.5517	-50.8428	-51.9682	
avg	-51.6252	-51.6252	-51.6252	-51.6252	total
max-min	0.1704	4.4147	1.5427	0.5163	6.6441
portion	2.56%	66.45%	23.22%	7.77%	100.00%

3.5.4 요인효과 그래프 분석

각 제어인자 수준별 SN비 및 감도 S에 대한 요인효과 그래프는 <Figure 3>, <Figure 4>와 같으며 B인자가 SN비 및 효율의 척도인 감도 S에 가장 영향이 큰(65% 이상) 것을 알 수 있다.

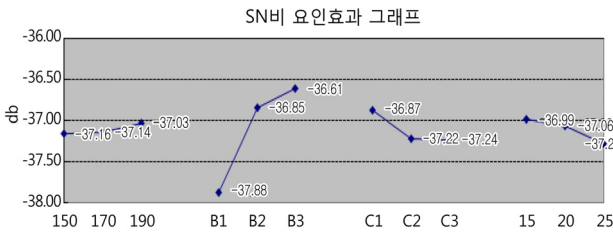


Figure 3. Main Effects Plot for SN ratio

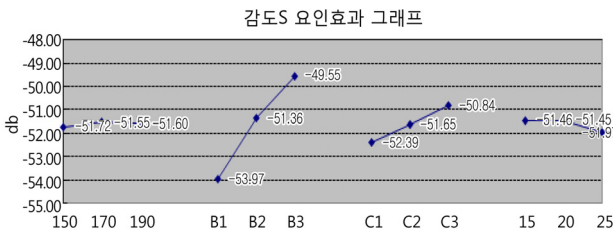


Figure 4. Main Effects Plot for Sensitivity

3.6 실험 해석 및 최적 조건 도출

요인효과 그래프를 통해 인자별로 기술적 해석을 하고 각 인자의 최적 수준을 선정하였다. 본 실험에서는 비용이 많이 드는 Impeller를 고정하였기 때문에 Impeller의 내경이 고정되

었으므로 유입되는 공기의 양을 결정하는 원주 면적이 일정하게 되게 된다. 따라서 인자 A인 Orifice suction 직경이 변화를 하더라도 토출 풍량의 변화에는 영향이 미미하다. 그래서 감도 S보다는 SN비가 큰 3수준인 190을 최적 조건으로 선정하였다.

유입 공기 체적이 일정한 상태에서 B인자인 Impeller와 Fan Support와의 Gap이 크면 공기 토출 단면적이 커지게 되어 저항이 적어지므로 공기의 배출량이 많아지게 된다. 이때 소모된 에너지가 공기 누설(leak)에 적게 투입이 되어 공기 누설이 적게 되며, 그 만큼 누설에서 발생하는 진동과 소음 발생이 적어졌다고 기술적인 해석을 하였다. 그러므로 인자 B는 SN비와 감도 S를 모두 좋게 하는 3수준을 선택하였다.

인자 C인 Cutoff 각도가 커지면 토출관의 면적이 커지게 되고 단면적이 증가되어 풍량은 많아지지만 풍량의 파장 안정성이 낮아지게 된다. 반대로 각도가 작아지면 토출 면적이 작아져 풍량은 적어지지만 파장의 길이가 축소되므로 풍량의 변화는 적어진다. 이와 같은 현상으로 SN비와 감도 S가 상반되어 최적 조건 선정이 혼란스럽다. SN비를 좋게 하는 1수준을 선택 할 수도 있지만 에너지 변환 효율을 높이기 위해 감도 S를 기준으로 하여 최종적으로 3수준을 선정하였다.

인자 D인 Cutoff gap이 커지면 면적이 넓어지게 되고 이로 인해 일부 공기가 토출되지 않고 유입되어 토출 풍량 손실이 발생하여 토출 풍량이 작아지게 된다. 본 실험에서는 효과는 작지만 SN비와 감도 S의 경향이 바람직한 방향으로 일치하는 1수준을 최적 조건으로 선정하였다.

이러한 조건들을 최적조건으로 최종 선정할 이유는 SN비도 중요하지만 동시에 연구의 목적인 에너지 변환의 효율을 높이는 것도 매우 중요하기 때문이다. 따라서 SN비도 개선하면서 동시에 감도 S도 높이는 조건을 선정하였다.

현재조건과 최적조건에 대한 재현성 확인 실험 결과는 <Table 10>과 같다. 여기서 소음에 대해 측정 및 분석하지 않은 것은 시스템의 에너지 전환 이상기능을 최대화하는 것이 이상기능으로 전환되지 않은 입력에너지가 다수의 폐해 항목을 유발하는 것을 최소화 할 수 있다는 원류 품질의 이상기능을 다루었기 때문이다. 이 논리의 타당성은 최적 조건에 대한 재현성 확인 및 그에 대한 폐해항목(여기서는 소음)을 평가해서 확인 할 수 있다.

Table 10. Optimal Condition and Confirm Test Data

	Control Factor				Signal factor, Noise factor					
	Orifice Suction Dia.	Impeller gap	CUT_OFF_Angle	CUT_OFF_Gap	650rpm		700rpm		750rpm	
					Good	Bad	Good	Bad	Good	Bad
A	B	C	D	6mmAq	9mmAq	6mmAq	9mmAq	6mmAq	9mmAq	
Base	170	B2	C2	20	1.8	1.48	2.05	1.76	2.28	2.03
Optimum	190	B3	C3	15	2.62	2.15	2.95	2.53	3.26	2.88
Increasing Rate					46%	45%	44%	44%	43%	42%

Table 11. Confirm of Reproducibility

	Estimation			Confirm		
	SN ratio	Sensitivity	β	SN ratio	Sensitivity	β
Base	-36.96	-51.1332	0.002750	-36.96	-51.3036	0.002723
Optimum	-36.66	-48.5267	0.003659	-36.70	-48.1534	0.003912
Gain	0.30	2.6065	0.000909	0.26	3.1502	0.001190

3.7 재현성 확인 실험

현재조건과 최적조건에 대해 같은 조건으로 확인실험을 한 결과는 <Table 10>과 같으며 재현성 확인 결과는 <Table 11>과 같다.

재현성의 평가는 통계적인 방법과 경험적인 방법이 있다. SN비는 db단위로 이미 가법성이 있기 때문에 이를 분산분석을 통해 통계적 유의성 검증하는 방법보다 다구찌박사가 제시한 경험적인 방법을 활용하였다. 즉 예측 대비 $\pm 30\%$ 이내에서 0에 가까울수록 재현성이 좋다는 기준을 적용하였다. SN비 이득(gain)에 대한 재현성 확인 결과, 예측 0.3db에서 재현 결과가 0.26db로 약간의 개선이 있었으며 예측 대비 오차 13%로 재현성이 있다고 판단했다. 그리고 감도 S의 재현성 확인 결과 예측 대비 20.9%로 재현성이 있다고 판단하였다.

결과적으로 효율을 나타내는 β 는 기존대비 평균 44% 향상되었으며 그에 따라 각 신호인자에서 실제 풍량이 42~45% 증가하였고 SN비도 0.26db 개선되었다. 또한 원래 해결하고자 했던 품질 특성 중 하나인 소음도 X, Y축 별로 3~5db 감소되었다.

4. 결론

에너지 전환이 특히 중요한 시스템에서는 바라지 않는 폐해항목을 측정하여 줄이려는 것 보다는 시스템의 본래의 기능을 에너지 전환 이상기능으로 설정하여 측정하는 것이 분석의 복잡성을 줄일 수 있고 개선을 효율적으로 할 수 있다. 이 논리는 에너지 보존법칙에 따라 이상기능이 높아진 것만큼 바라지 않는 출력인 폐해항목에 투입된 에너지가 적게 되어 폐해항목이 줄게 되기 때문이다.

이러한 논리를 적용한 사례 연구 결과 바라는 이상기능인 풍량이 42~45%가 증가되면서 강건성(SN비)도 향상되고 동시에 초기 연구의 목적 특성인 바라지 않는 폐해 항목, 즉 소음이 각 X, Y축 별로 3~5db가 줄어들었다. 이를 통하여 에너지 전환 이상기능 적용의 유효성을 검증할 수 있었다.

참고문헌

Asakawa, A. and Ueno, K. (1992), Technology Development for Trans-

formability, *Quality Engineering Application Series. Tokyo : Japanese Standards Association*, 61-82 : Genichi Taguchi, Subir Chowdhury, Yuin Wu (2005), *TAGUCHI'S Quality Engineering HANDBOOK*, WILEY, 957-964.

Cha, K. J. and Chin, C. U. (2002), The Optimal Design of Low Noise Intake System Using Taguchi Method with Non-controllable Factors, *Journal of the Korean Society for Quality Management*, **28**(1), 41-56.

Ji, C. M. and Ree, S. B. (2005), The Study of Measure of Company Quality Competitive by using MTS Method, *Journal of the Korean Society for Quality Management*, **33**(2), 41-56.

Kim, S. J. (2013), A Review on the Taguchi Method and Its Alternatives for Dynamic Robust Design, *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, **39**(5), 351-360.

Koyama, Y., Sakurai, K., and Kato, A. (2000), Optimization of Adhesion Condition of Resin Board and Copper Plate, *Proceedings of the 8th Quality Engineering Symposium*, 262-265 : Taguchi, G., Subir, C. H., Wu, Y. I. (2005), *TAGUCHI'S Quality Engineering HANDBOOK*, WILEY, 890-894.

Kwon, H. M. and Jang, H. A. (2013), Case Studies on Strengths and Weaknesses of Taguchi Method, *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, **39**(5), 383-392.

Lee, S. H., Byun, J. H. and Kwon, H. K. (1995), Optimization of a Plastic Injection Moulding Operation Using Taguchi Methods, *Proceedings of the Korean Institute of Industrial Engineers*, 277-282.

Lee, S. H., Min, B. H., and Kim, B. G. (2002), Optimizing the Injection Molding Process for Cooling Filter Using Computer Simulation and Taguchi Methods, *IE Interfaces*, **15**(3), 263-269.

Mori, T. (1995), *Taguchi Techniques for Image and Pattern Developing Technology*, Prentice Hall PTR, Englewood Cliffs, New Jersey 07632, 60.

Taguchi, G. (1993), *Quality Engineering Series 1, Research and Development*, KSA Translation, Seoul, Korea.

Taguchi, G. (1993), *Quality Engineering Series 3, Signal-to-Noise Ratio for Quality Evaluation*, KSA Translation, Seoul, Korea.

Taguchi, G. (1993), *Quality Engineering Series 4, Design of Experiments*, KSA Translation, Seoul, Korea.

Taguchi, G. (1996), *ASI, 2nd Total Product Development Symposium QFD/TRIZ(TIPS)/TAGUCHI*, California, Pomona.

Taguchi, G. Subir, C. H., Wu, Y. I. (2005), *TAGUCHI'S Quality Engineering HANDBOOK*, WILEY, 8, 236, 229, 355.

Takahashi, K., Kousaka, S., Hoshiya, K. Yano, K., Nishiuchi, N. and Yano H. (2000), Optimization of machining condition through observation of electric power consumption, *Quality Engineering*, **8**(1), 24-30. Genichi Taguchi, Subir Chowdhury, Yuin Wu (2005), *TAGUCHI'S Quality Engineering HANDBOOK*, WILEY, 806-818.

Ueno, K. (1993), "Machining technology development for high performance steel to which concept of transformability is applied, *Quality Engineering*, **1**(1), 26-30 : Genichi Taguchi, Subir Chowdhury, Yuin

- Wu (2005), TAGUCHI'S *Quality Engineering HANDBOOK*, WILEY, 819-826.
- Yum, B. J., Ko, S. W., and Kim, J. H. (1990), The Taguchi Method for Product and Process Design, *Journal of The Korean Operations Research and Management Science Society*, 7(2), 3-21.
- Yum, B. J., Kim, S. J., Seo, S. K., Byun, J. H., and Lee, S. H. (2013), The Taguchi Robust Design Method : Current Status and Future Directions, *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, 39(5), 325-341.
- Yum, B. J., Lee, B. Y., Ko, S. W., and Kim, J. H. (1991), Principle for Constructing Taguchi Experimental Designs, *The Korean journal of applied statistics*, 4(1), 47-63.