

다구찌 방법을 이용한 시로코 팬의 최적설계에 관한 실험적 연구

김 장 권*
(1998년 12월 7일 접수)

An Experimental Study on the Optimum Design of Sirocco Fan by Using Taguchi Method

Jang Kweon Kim

Key Words: ANOVA(분산분석), Control Factor(제어인자), Noise Factor(잡음인자), Optimum Condition (최적조건), PAC(패키지 에어컨), Parameter Design(변수설계), Sensitivity (감도), Signal Factor(신호인자), Signal-to-Noise Ratio(S/N비), Sirocco Fan(시로코 팬), Taguchi Method(다구찌 방법)

Abstract

This paper is studied to find the optimum condition of double-inlet Sirocco fan installed in an indoor PAC for low noise operation by the Taguchi method. The goal of this study is to obtain the best combination of each control factor which results in a desired flowrate of Sirocco fan with minimum variability. In this study, the parameter design of the Taguchi method is adopted for robust design by the dynamic characteristic analysis using orthogonal arrays and S/N ratios. The flowrate measurements are conducted by using a multiple-nozzle-type fan tester according to the orthogonal array L9(3⁴). The results of this study can be summarized as follows ; (i) The optimum condition of control factor is a set of <A1 B2 C2 D3> where A is an inner to outer diameter ratio(D₁/D₂), B is a width to outer diameter ratio(L/D₂), C is a blade attachment angle(θ) and D is a number of blade(Z), (ii) The flowrate under the optimum condition satisfies the equation $y = 0.0384 \cdot M$ where M is a signal factor, namely number of revolution. The flowrate performance improves about 7.3% more largely as compared with the current condition, which results in about 35RPM reduction of number of revolution for the target flowrate 18.5m³/min, and (iii) The sensitivity analysis shows that the major factors in contribution to flowrate performance are A, B, and D ; the percentage contributions of each control factor are 44.01%(Z), 26.77%(D₁/D₂) and 20.42%(L/D₂).

기호설명

ANOVA : 분산분석(analysis of variance)

A : 임펠러(impeller) 내외경비(D₁/D₂)에 대한 제어인자(control factor)

B : 임펠러 폭외경비(L/D₂)에 대한 제어인자

C : 익 휘부각(θ)에 대한 제어인자

D : 익매수(Z)에 대한 제어인자

B_s : 스크롤(scroll) 폭 [mm]

D₁ : 임펠러 내경 [mm]

D₂ : 임펠러 외경 [mm]

D₀ : 오리피스(orifice) 직경 [mm]

D_f : 자유도(degree of freedom)

(e) : 풀링(pooling)된 오차항

F : F 분포(F-distribution)

G, H, N₁, N₂ : 잡음인자(noise factor)

k : 신호인자수(k = 3)

L : 임펠러 폭 [mm]

M : 신호인자(signal factor)

r : 유효 응답수(effective number of replication)

* 회원, 군산대학교 기관공학과

r_0	: 잡음인자수(number of response data for each signal level, $r_0 = 2$)
R	: 임의 각도 θ 에 대한 스크롤 곡률 반경 [mm]
S	: 변동(sum of square)
S'	: 순변동(pure sum of square)
S _E	: 오차변동(error sum of square)
S _m	: 측정자료에 대한 감도(sensitivity)향 [dB]
S _T	: 전체 제곱합(total sum of square)
S _g	: 신호인자의 선형효과와 변화 (variation of linear effect of signal factor)
t	: 익(blade) 두께 [mm]
V	: 분산(variance)
V _E	: 오차분산(error variance)
y _{i,1}	: i, 1번째의 출력 실험값
Z	: 익매수(number of blade)
β	: 비례상수
η	: 측정자료에 대한 S/N(signal-to-noise)비 [dB]
$\Delta \eta$: 최적조건과 현재조건의 S/N비의 차 [dB]
$\Delta \eta_1$: 예측값의 최적조건(Z)과 현재조건(Y)의 S/N비의 차 [dB]
$\Delta \eta_2$: 실험값의 최적조건(X)과 현재조건(W)의 S/N비의 차 [dB]
θ	: 익 취부각도(attachment angle) [°]
θ_0	: 설부(舌部) 각도(cutoff angle) [°]
θ	: 임의 곡률 R에 대응하는 스크롤 확대각도 [°]
ρ	: 기여율(percentage of contribution of source) [%]
ρ_0	: 설부 곡률반경 [mm]

1. 서 론

시로코 팬(Sirocco fan)은 일명 다익(多翼 : multi-blade) 팬이라고도 하며, 이것은 다른 팬에 비해 소형으로서도 고정압, 고품탕을 발휘할 수도 있으며, 비소음 레벨이 비교적 낮아 주로 공조용 기기에서 기류 순환과 저소음 운전 목적으로 많이 사용되고 있다.

시로코 팬 단품의 성능향상에 대한 연구는 지

속적으로 진행되고 있으나, 시로코 팬이 임펠러(impeller)와 스크롤(scroll)로 구성되어 있기 때문에, 성능변수에 영향을 미치는 인자가 매우 많다고 볼 수 있다. 즉 임펠러에서는 내외경비, 폭외경비, 익입구각, 익출구각, 익매수, 익형상, 익취부각도 등으로 나눌 수 있으며, 스크롤에서는 스크롤형상, 확대율, 설부(cutoff)반경, 설부각도, 설부름새, 오리피스(orifice) 직경 및 형상 등으로 나눌 수 있다.

시로코 팬 단품의 성능향상에 대한 연구는 공력성능을 만족하면서 저소음 운전이 가능하도록 하는 설계변수 결정에 대한 내용이 많은데, Morinushi⁽¹⁾는 시로코 팬에 대한 기하학적 변수들 중에서도 임펠러 폭내경비, 오리피스외 축방향 틈새폭비, 익취부각, 익피치코드비, 스크롤 확대각들의 공력성능과 소음에 대한 영향을 검토하였는데, 폭내경비가 0.6에서 가장 안정적인 공력성능을 보였으며, 설계상 최적치로 0.8까지는 선택 가능하며, 폭내경비가 1.0일 때는 공력성능이 만족스럽지 못하여 소음도 높게 올라가는 것으로 제시하였다. 또 축방향 오리피스 틈새비가 임펠러 폭 기준으로 3~10% 내에서는 비소음(specific noise) 크기에 영향을 받지 않으며, 최적의 익취부각은 약 26°, 피치코드비는 대유량역에서 약 0.7, 소유량역에서는 약 1.1로 제시하였으며, 또 스크롤 확대율은 공력성능과 소음특성에 상당히 영향을 미친다는 것을 확인하였다. 이밖에도 시로코 팬의 공력성능과 소음에 관련한 설계인자들을 제시하는 문헌들이⁽²⁻⁶⁾ 많이 보고되고 있다. 그러나, 이같이 문헌에서 보고되는 시로코 팬 단품의 최적치로 제시되는 설계인자들도 실제 제품에 하나의 부품으로서 적용되는 환경에서는 제한되는 설계인자들이 존재하게 된다. 즉, 제품의 외팍크기에 따라서 시로코 팬의 임펠러 직경크기와 폭 그리고 스크롤 확대율 등의 설정에 있어 한계가 존재하기 때문에, 김장권⁽⁵⁾은 패키지 에어컨(package air-conditioner : 이하 PAC로 통일함) 실내기의 저소음화를 위한 설계수단으로서, 실내기 내부 유로 내의 각종 부품 등에서 얻어질 수 있는 유동압력 손실을 최소화하는 설계를 한 후에, 유사크기의 스크롤 확대율 하에서 임펠러의 대구경화를 적용하여 낮은 회전수에서 흡입공기량을 최대화시키는 저소음화 팬설계 및 익형상 결정을 시도한 바 있다.^(5,6)

그러나, 이런 상황에서도 시로코 팬의 최적화 설계를 시도하였다는 확신이 없기 때문에, 본 연구에서는 새로운 PAC 실내기를 개발하면서,⁽⁶⁾ 시로코 팬이 주어진 PAC 실내기의 시스템저항을 만족하며 최적시스템으로 고성능 저소음 운전이 가능하도록, 시로코 팬 임펠러의 주요 설계인자들을 실험을 통해 결정하고자 다구찌 실험방법^(9~14)을 도입하였다.

따라서 본 연구에서는 PAC 실내기와 스크롤의 형상 및 크기, 그리고 임펠러 외경은 고정하고, 시로코 팬 임펠러만을 조건별로 설계 변경시켜 제작한 후, 이를 PAC 실내기내에 설치하여 주어진 풍량 기준 하에서 가장 낮은 회전수로 시로코 팬을 운전시키고자, 시로코 팬 임펠러의 설계인자들 중에서도 운전 시에 가장 성능에 큰 영향을 미친다고 생각되는 임펠러의 내외경비, 폭외경비, 익매수, 익취부각도들을 중심으로 다구찌 방법의 동특성 해석을 통하여 최적조건을 검토하였다.

2. 다구찌 실험방법의 적용

다구찌 실험기법은 제품 및 공정에 대하여 사용자의 어떤 환경에서도 기능이 둔감하도록 설계 변수(design parameter)의 조건을 최적화 하는 공학적 툴(tool)로 정의한다. 즉 다구찌 실험기법의 수단은 기능 특성치(function characteristics)와 잡음(noise)을 토대로 직교 배열표(orthogonal array)와 S/N비(signal-to-noise ratio)를 바탕으로 소규모 실험을 통하여 낮은 가격(lower cost), 높은 품질(higher quality), 빠른 납기(quick delivery), 원하는 기능(desired function) 등을 얻을 수 있는 대규모 효과를 발휘하는 방법이다.⁽⁹⁾

2.1 변수설계

다구찌 실험방법중에서 변수설계(parameter design)는 기능의 산포를 유발시키는 오차요인을 관리하거나 피하지 않고, 그 오차 환경에서도 영향을 최소화하여 안정성을 갖고 하류에서의 재현성을 확보하기 위해 설계변수의 최적조건을 찾는 방법으로 알려져 있다. Fig. 1은 본 연구에서 저소음 PAC를 만족하는 시로코 팬의 최적화 기법으로 채택한 설계변수들의 분류를 나타낸 그림이다. 시로코 팬시스템을 동특성으로 분석하기 위해 입력신호로 3가지의 팬 회전수를, 그리고 제어인자로는 4가지 임펠러의 설계변수들을 설정하였으며, 잡음인자로는 설부름새와 오리피스 룬새를 조합하여 양호, 불량조건으로 변화시켰을 때, 이들 조합의 결과로서 실험을 실시하면 풍량이 얻어지게 되는 변수설계 방식을 택하였다. 즉 이 변수설계의 실제함수관계를 수학적 표현으로 나타내면, 입력변수에 대한 출력은 식(1)로 나타낼 수 있다.

$$y = f(M, A, B, C, D, M, N2) \quad (1)$$

식(1)은 출력 y 가 입력신호 M 에 따라 바뀔 경우, 조정인자인 비례상수 β 와 오차인자 e 를 도입하면 식(2)로 다시 나타낼 수 있다.

$$y = \beta M + [f(M, A, B, C, D, M, N2) - \beta M] = \beta M + e \quad (2)$$

여기에서 오차인자 e 의 영향을 최소화하기 위해 시로코 팬시스템의 내부 변수들의 값을 S/N비의 양과 감도(sensitivity) S_m 를 이용하여 최적으로 조정하게 되면, 식(2)는 이상적인 함수 관계로서 식(3)으로 나타낼 수 있다.

$$y \approx \beta M \quad (3)$$

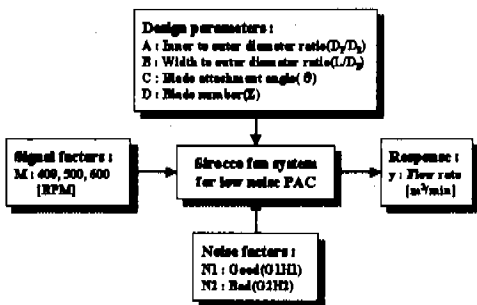


Fig. 1 Classification of design parameters.

Table 1 Inner array.

		Factor description	Level 1	Level 2	Level 3
Control factors	A	Inner to outer diameter ratio(D ₁ /D ₂)	0.82	0.85	0.88
	B	Width to outer diameter ratio(L/D ₂)	0.52	0.57	0.60
	C	Blade attachment angle(theta)	24.7	23.7	20.7
	D	Blade number(Z)	28	43	48

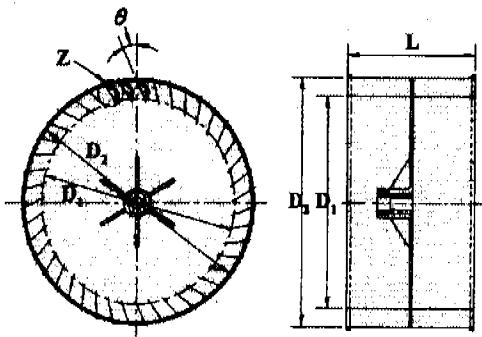


Fig. 2 Geometry configuration of double inlet Sirocco impeller.

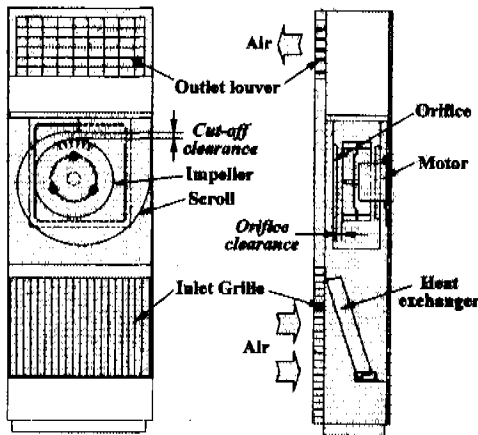


Fig. 3 Schematic diagram of structure elements in the PAC system.

2.2 각 인자의 설정 배경

Fig. 2는 양흡입 시로코 휠의 임펠러 단면구조를 나타내는 그림이다. 본 연구에서는 다구찌 실험기법의 변수설계에서 내외경비, 폭외경비, 익허부각, 익매수를 제어인자로 설정하여 그 결과물 Table 1에 나타내었다. Table 1은 직교배열표의 내측배열을 나타내는 표이며, 각 제어인자들의 수준(level) 값의 결정은 종래의 연구에서⁽⁶⁾ 적용하였던 수준 2의 값들을 기준으로 증감의 변화를 주어 3수준으로 정리하였다.

Fig. 3은 PAC 실내기내의 부품 배치 구조를 나타내는 그림이다. 한정된 실내기 외곽크기 내에서 유동저항을 최소화하면서 유로 공간을 최대화하기 위해 시로코 휠의 조립방법은 임펠러와 스크롤을 별도로 분리하여 설계하였다. 즉, 실내기 뒷면에 용접된 보강판을 사이에 두고 보강판에

Table 2 Outer array.

Factors	Level 1	Level 2	Level 3
Signal factor :			
M : Number of revolution [RPM]	400	500	600
Noise factor :			
G : Cut-off clearance(Reference : 18 mm)	Good(G1H1)	Bad(G2H2)	-
H : Orifice clearance(Reference : 5 mm)	5	+ 2(20)	-

Table 3 Double inlet Sirocco fan's specification without control factors.

Parts	Data (Unit : mm)
Outer diameter of impeller (D_2)	300
Orifice to outer diameter ratio (D_2/D_1)	0.967
Blade thickness (t)	3 (maximum)
Blade shape	Beats deflection arc
Cutoff angle (θ_c)	0
Cutoff radius of curvature (ρ_c)	R20
Scroll shape	Archimedes : $R=160+0.416\theta$
Width of scroll (B_s)	190

나와있는 보유틈에 방진고무와 함께 설치된 모터의 축에 임펠러가 연결되고, 스크롤은 실내기에 별도로 설치된다. 따라서 임펠러의 치짐 현상이나 회전시 흔들림 등의 발생으로 임펠러와 스크롤 사이의 설부 틈새와 오리피스 틈새가 PAC실내기의 제조과정에서 설계자의 의도대로 정확히 일치시키기 어렵게 된다. 그러므로 본 연구에서는 설부 틈새와 오리피스 틈새를 다구찌 실험기법의 변수설계에서 잡음인자로 설정하여 종래의 연구결과물⁽⁶⁾ 토대로 양호한 조건으로서 설부틈새물 18mm, 오리피스 틈새물 5mm로 각각 설정하고, 불량한 조건으로는 각각 2mm씩 더한 값으로 선택하였다. 그러나 이 잡음인자들이 실내기내에서 시로코 휠의 회전시 독립적으로 발생하지 않기 때문에, 본 연구에서는 잡음인자로 설부 틈새와 오리피스 틈새 조건을 동시에 반영시켜 양호조건을 G1H1, 불량조건을 G2H2로 조합하여 2수준으로 선택한 후, 그 결과물 Table 2에 나타내었다.

Table 2는 직교배열표의 외측배열에 해당하는 잡음인자 2수준과 신호인자 3수준을 나타낸 표이다. 특히 신호인자는 다구찌 실험기법의 동특성 해석에서 입력신호에 해당하는 인자로서, 본 연구에서는 시로코 휠의 회전수로 선정하여 적용하였다. Table 3은 본 연구에 적용하였던 제어인자들을 제외하고는 공통적으로 모든 시로코 휠에 동일하게 적용하였던 고정된 기하학적 치수관계물 나타내는 표이다.

3. 실험 방법

본 연구에서 시로코 팬을 탑재한 PAC 실내기의 풍량 측정에는 KSB6311 및 AMCA STANDARD210-85를 참고로 하여 만들어진 흡입식 다중노즐 방식의 팬 테스터(fan tester)를 이용하였으며, 풍량측정 방법은 문헌 5를 참조하였다. 또 본 연구에서 다구찌 실험에 사용하기 위해 시로코 팬의 임펠러는 3수준에 해당하는 각 제어인자들의 조합에 의해 총 9가지로 제작하여 실험하였다. 그 결과, Table 4는 본 연구에서 직교배열 L9(3⁴)을 이용하여 총 9가지의 시로코 팬 임펠러를 반영한 PAC 실내기의 풍량을 3가지 팬의 회전수에 따라 양호, 불량 조건의 잡음인자별 측정된 결과들을 나타낸 표이다. Table 4의 풍량 실험 결과값들의 크기 차이가 각 신호인자에 대한 양호, 불량조건에서 비교적 작게 나타나, 본 연구에서 적용한 오리피스 틈새와 설부 틈새 변화물 너무 작게 반영한 것으로 판단된다. 한편, 실험자료의 분산분석에는 상용 소프트웨어인 ANOVA-TM Ver.2.5⁽¹⁰⁾를 활용하였다.

4. 실험 결과의 분산분석

4.1 기여율 분석

Table 5와 Table 6은 제어인자들의 최적인자에 미치는 기여도를 알아보기 위해 ANOVA 소프트웨어로 분석한 S/N 비와 S_m의 분산분석표를 각각

Table 4 Experimental results of orthogonal array L9(3⁴).

Exp. no.	Estimate characteristic value : Flow rate [m ³ /min]											
	Estimate characteristic type : Dynamic											
	Inner array			Outer array								
	Control factor			M1			M2			M3		
	A	B	C	D	N1	N2	N1	N2	N1	N2	N1	N2
1	1	1	1	1	13.6	13.4	17.1	16.8	21.3	21.1		
2	1	2	2	2	14.1	14.3	18.5	18.4	22.8	22.4		
3	1	3	3	3	13.8	13.7	17.7	18.0	21.5	21.8		
4	2	1	2	3	14.4	14.3	18.8	18.5	22.6	22.3		
5	2	2	3	1	13.0	12.8	17.0	16.5	20.9	20.2		
6	2	3	1	2	12.9	12.9	16.8	16.8	20.6	20.7		
7	3	1	3	2	12.7	12.3	16.5	15.8	20.1	19.8		
8	3	2	1	3	13.8	13.8	18.2	18.0	22.1	21.9		
9	3	3	2	1	11.3	11.4	14.9	14.8	18.4	18.2		

나타내고 있다. Table 5의 S/N 비에 대해서는 제어인자들의 변동과 분산 값이 상대적으로 작은 값을 나타내지 않아 풀링(pooling)을 할 수 없기 때문에 기여율을 확인할 수 없다. 그러나 Table 6의 감도에 대해서는 제어인자 C의 변동과 분산 값이 상대적으로 작기 때문에, 제어인자 C를 풀링을 하여 오차인자로 대체시키면 기여율의 분석이 가능하게 되는데, 그 결과 제어인자 D가 41.01%로 기여율이 가장 높고, 다음은 제어인자 A, B 순으로 나타남을 알 수 있다. 여기에서 제어인자 C의 기여율이 무시된 것은 본 연구에서 설정한 C의 수준 값들의 범위로서는 다른 제어인자와 비교할 때 상대적으로 기여율에 영향을 덜 미치고 있음을 알 수 있다.

4.2 S/N 비와 감도의 분산분석

일반적으로 다구찌 실험기법의 변수설계 방식은 2단계 최적화(two-step optimization) 설계기법을 채택하고 있다. 1단계에서는 특성의 변동과 산포는 변화시키지만 특성의 크기는 변화시키지 않는 설계변수로 정의되는 산포 제어인자로서 S/N 비가 큰 조건을 선택함으로써 잡음의 영향이 최소화되는 가장 안정된 조건을 찾는 방식이고, 2단계에서는 조정인자인 감도량을 조정함으로써 특성의 평균치를 목표값으로 조정하는 방식이다. 시스템의 출력이 입력의 크기에 대응하여 변화하는 특성인 동특성에서는 감도량과 비례상수 β가 유사한 경향을 갖고 있기 때문에 2단계의 조정인

Table 5 ANOVA analysis of S/N ratio.

Source	D _f	S	V	F	S'	ρ(%)
A	2	2.98	1.49	-	-	-
B	2	2.89	1.46	-	-	-
C	2	4.29	2.15	-	-	-
D	2	3.99	1.99	-	-	-
(e)	0	0.00	0.00	-	-	-
Total	8	14.15	7.08	-	-	-

Table 6 ANOVA analysis of S_m.

Source	D _f	S	V	F	S'	ρ(%)
A	2	1.30E-5	6.50E-6	10.08	1.17E-5	26.77
B	2	1.02E-5	5.11E-6	7.93	8.93E-6	20.42
C	2	1.29E-6	6.45E-7	pooled	pooled	pooled
D	2	1.92E-5	9.61E-6	14.91	1.79E-5	41.01
(e)	2	1.29E-6	6.45E-7	-	6.16E-6	11.90
Total	8	14.15	2.19E-5	-	-	100.00

Table 7 Data conversion for η , S_m and β of each set experiment.

Set No.	Control factor				η	S_m	β
	A	B	C	D			
1	1	1	1	1	1838.07	1837.18	0.9427
2	1	2	2	2	2092.12	2091.27	0.9466
3	1	3	3	3	1944.72	1943.63	1.0940
4	2	1	2	3	2115.89	2114.93	0.6647
5	2	2	3	1	1736.94	1737.66	1.2823
6	2	3	1	2	1736.17	1728.94	1.2349
7	3	1	3	2	1618.78	1617.84	1.1923
8	3	2	1	3	2004.14	2003.06	1.0936
9	3	3	2	1	1368.00	1367.46	1.0376

자로서 β 를 선택할 수 있다.

Table 7은 Table 4의 각 조합실험에 대해 얻어진 풍량 결과로부터 각 제어인자별 어느 수준이 풍량 성능에 더 많은 영향을 미치는지를 알아보기 위해 그리고 오차요인이 전혀 없을 때 완벽한 설계가 이루어지면 식(3)의 관계를 만족하는 풍량 성능의 기울기 β 를 결정하기 위해서 ANOVA 소프트웨어를 통해 S/N비, 감도(S_m), 비례상수(β) 들을 계산한 결과표이다. 여기서 ST는 각 조합실험별 3가지 신호인자 조건에서 얻어진 풍량값들을 제곱하여 합산한 결과이며, S_B 는 신호인자의 선형성의 변동을 의미하고, SE는 비직선성을 중심으로 하는 오차부분의 변동을 의미한다. 또 VE는 S/N 비의 오차분산 즉 잡음성분을 나타내고, S/N 비는 인자의 수준을 최적화하는 실험적 설계에 사용하는 특별한 방정식 군으로 신호인자대비 잡음인자의 에너지비를 나타내며 신호인자가 0일 때 출력값이 0이 되는 0점비례 방식의 동특성으로 정의되는 S/N 비였다. 한편, Table 7을 만족하는 각 변수들의 관계식을 살펴보면 다음과 같다.

전체 제곱합(S_T):

$$S_T = \sum_{i=1}^r y_{i,1}^2 \quad (4)$$

유효 응답수(r):

$$r = r_0 \sum_{i=1}^r M_i^2 \quad (5)$$

신호인자의 선형효과의 변화(S_B):

$$S_B = \frac{1}{r} \left(\sum_{i=1}^r M_i Y_i \right)^2 \quad (6)$$

오차변동(S_E):

$$S_E = S_T - S_B \quad (7)$$

Table 8 η , S_m and β response.

Level	η				S_m				β			
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
1	-21.78	-21.89	-22.86	-23.80	-26.99	-28.21	-29.28	-29.74	0.0284	0.0247	0.0246	0.0236
2	-22.28	-22.26	-21.80	-22.60	-29.28	-29.00	-29.27	-29.82	0.0247	0.0268	0.0246	0.0243
3	-22.17	-22.17	-22.17	-21.80	-28.72	-29.67	-29.42	-28.82	0.0220	0.0229	0.0228	0.0243

오차분산(V_E):

$$V_E = \frac{S_E}{k r_0 - 1} \quad (8)$$

S/N 비(η):

$$\eta = 10 \log \left[\frac{\frac{1}{r} (S_B - V_E)}{V_E} \right] \quad (9)$$

감도(S_m):

$$S_m = 10 \log \left[\frac{1}{r} (S_B - V_E) \right] \quad (10)$$

비례상수(β):

$$\beta = \frac{1}{r} \sum_{i=1}^r M_i Y_i \quad (11)$$

단, 여기서 실험 조합번호 1에 대하여 식(6)과 식(11)의 Y_i 는 식(12)로 각각 정의된다.

$$\begin{aligned} Y_1 &= \sum_{i=1}^2 y_{i,1}, \\ Y_2 &= \sum_{i=3}^4 y_{i,1}, \\ Y_3 &= \sum_{i=5}^6 y_{i,1} \end{aligned} \quad (12)$$

Table 7로부터 계산된 각 실험 순서에 대한 S/N비, 감도, 비례상수를 이용하여 직교배열표 L9에서 정의되는 각 제어인자의 수준별로 S/N비, 감도, 비례상수들의 평균값을 구하면 그 결과는 Table 8과 같이 정리할 수 있으며, 각 제어인자의 수준별 효과를 쉽게 비교하기 위해서 S/N비와 β 를 Fig. 4에 나타내었다. 여기서 Table 8의 감도 S_m 은 β 와 각 제어인자의 수준별 특성이 유사한 경향을 나타내기 때문에 Fig. 4에서는 생략하였다. 본 그림에서 S/N비를 기준으로 볼 때 S/N비가 큰 인자를 선택함으로써 편차발생이 적으므로 각 제어인자별 최적조건은 <A1 B1 C2 D3>로 판단된다. 또 β 를 기준으로 볼 때는 β 가 큰 경우, 식(3)을 만족하는 성능곡선의 기울기가 커져서 동일회전수에서 풍량이 증가하게 되므로, 각 제어인자별 최적조건은 <A1 B2 C1 D3>로 판단할 수 있다.

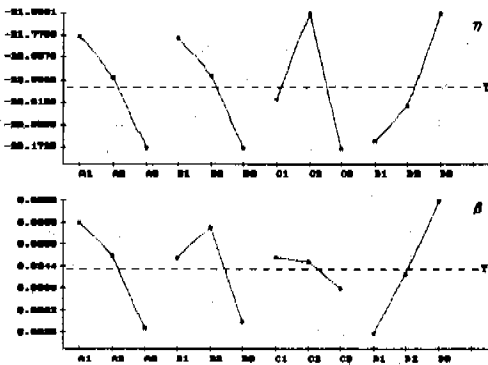


Fig. 4 Factorial effect chart of η and β .

4.3 최적조건의 도출

S/N비와 β 를 통해 얻어진 각 제어인자의 최적조건을 비교해 보면, 임펠러 내외경비에 대하여는 A1의 인자수준이 공통적으로 얻어져, A1이 오차의 편차를 줄이면서 풍량 성능이 증가하는데 기여하는 것을 알 수 있다. 그러나, 임펠러 폭의 경비에 대하여는 B1과 B2가 동시에 선택되었지만, 풍량의 성능을 우선 고려해 볼 때는 오차의 편차발생이 작은 B1을 선택하기보다는 B2를 선택하는 것이 더 바람직하다고 볼 수 있다. 그리고 익취부각에 대하여는 C1과 C2가 선택되었지만, 성능향상에 영향을 미치는 β 값이 서로 미소한 차이로 분포되어 있어, 여기서는 오히려 오차의 편차가 적은 C2를 선택하는 것이 바람직하다고 판단된다. 한편, 익매수에 대하여는 D3가 공통적으로 선택되어 있어 최적인자임을 알 수 있다. 따라서 이를 요약하면 S/N비와 β 를 동시에 만족하는 최적조건은 <A1 B2 C2 D3>임을 알 수 있다. 한편 최적조건과 비교하기 위해서 본 연구를 실시하기전의 종래 연구들^(5,6)로부터 자주 사용되어 온 현재조건을 도입하면 <A2 B2 C2 D2>로 나타낼 수 있다.

5. 확인실험 및 재현성 평가

직교배열표 L9에 의해 실시된 실험결과로부터 ANOVA 소프트웨어의 분석으로 얻어진 최적조건 외 재현성을 실험을 통하여 확인코자, 각 제어인자의 최적치인 <A1 B2 C2 D3>로 임펠러를 제작하여 PAC 실내기의 풍량을 측정하였다. 또한 현재조건 역시 <A2 B2 C2 D2>를 만족하는 임펠러

Table 9 Confirmation experiment result.

Condition	Set of factor	Estimate characteristic : Flow rate(l^3/min)					
		M1		M2		M3	
		N1	N2	N1	N2	N1	N2
Optimum	A1 B2 C2 D3	14.7	14.8	19.2	19.3	23.6	23.2
Current	A2 B2 C2 D2	13.8	13.7	17.8	17.6	22.1	21.9

Table 10 Confirmation result of reproducibility.

Condition	Set of factor	Estimation		Experiment		Gain($d\eta$)	
		η	β	η	β	$d\eta_1$	$d\eta_2$
Optimum	A1 B2 C2 D3	-19.81(Z)	0.04	-21.73(X)	0.0384	1.65	1.40
Current	A2 B2 C2 D2	-21.46(Y)	0.03 ~ 0.04	-23.13(W)	0.0353		

를 제작하여 풍량 실험을 병행하였으며, 그 결과들을 Table 9에 나타내었다. 최적조건의 풍량이 현재조건대비 신호인자 500RPM의 양호, 불량조건에서 각각 1.4, 1.7m³/min으로 나타나, 증가율이 각각 7.86, 9.65%로 나타나 성능개선이 이루어진 것을 알 수 있다.

Table 10은 재현성의 확인 결과를 나타낸 것이며, Table 10의 실험값은 Table 9의 풍량 자료로부터 최적조건과 현재조건을 식(9)와 식(11)에 의해 계산한 결과를 나타낸다. 그리고 예측값은 L9를 만족하는 이전의 풍량결과로부터 ANOVA 소프트웨어에서 얻어진 것이다.

예측값과 실험값 모두 최적조건의 η 와 β 가 현재조건보다 더 크게 나타나, 최적조건이 풍량의 성능향상에 더 유리하다는 점을 알 수 있다. 한편 최적조건의 재현성 판단기준은 일반적으로 이득(gain) 관계가 $\Delta\eta_1 \times 0.7 < \Delta\eta_2 < \Delta\eta_1 \times 1.3$ 의 조건을 만족하면 최적조건의 재현성이 성립한다고 보기 때문에,⁽⁹⁾ 이 조건을 살펴보면 $1.155 (= 1.65 \times 0.7) < 1.4 (= \Delta\eta_2) < 2.145 (= 1.65 \times 1.3)$ 로 되어 관계조건이 성립하므로, 재현성을 만족한다고 볼 수 있어, 본 연구에서 구한 최적조건은 성립한다고 할 수 있다. 또 식(3)을 만족하는 비례상수 β 는 실험값을 통해 볼 때 최적조건이 $\beta = 0.0384$ 로 나타나, 현재조건보다 약 7.3% 더 성능개선이 이루어짐을 알 수 있다. 즉 이것은 목표풍량 18.5m³/min에 대하여 시로코 팬의 회전수가 최적조건일 때 약 482RPM, 현재조건일 때 약 517RPM으로 산출되었기 때문에, 최적조건일 경우가 약 35RPM 더 작게 얻어져 그만큼 소음이 더 저감될 것으로 기대된다. 실제로

팬 테스터에서 목표풍량 $18.5\text{m}^3/\text{min}$ 를 유지하면서 시로코 팬의 회전수를 측정한다, 최적조건일 때 485RPM, 현재조건일 때 515RPM으로 얻어져 현재조건과 최적조건외 회전수 측정값이 각각 계산값과 2~3RPM 만의 편차를 보여주어, 현재조건과 최적조건외 시로코 팬을 PAC 실내기에 설치 시 오차와 실험할 때의 측정오차를 감안하면 상당한 신뢰성과 재현성이 있음을 확인할 수 있었다.

6. 결 론

주어진 PAC 실내기내에 최대한의 폭을 확보한 상태로 설치된 시로코 팬 스크류의 크기와 형상을 고정된 후, 시로코 팬 임펠러의 외경용 고정시키고 PAC 실내기내에서 운전시에 가장 풍량 성능에 큰 영향을 미친다고 생각되는 많은 설계인자들 중에서도 임펠러의 내외경비, 폭외경비, 익매수, 익취부각을 중심으로 다구찌 실험방법을 도입하여 최적조건을 검토한바 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 제어인자의 최적조건은 <A1 B2 C2 D3>임을 확인하였으며 반복된 실험에서도 재현성이 나타났다.

(2) 최적조건외 풍량은 시로코 팬의 회전수에 대하여 $y = 0.0384 \cdot M$ 을 만족하고 있으며, 풍량의 성능향상은 현재조건대비 약 7.3%로 나타나, 목표풍량 $18.5\text{m}^3/\text{min}$ 에 대하여 약 35RPM의 회전수 저감이 얻어졌다.

(3) 풍량의 성능변화에 대한 기여도는 감도의 분산분석에서 A, B, D가 주요인자임을 확인하였으며, 그 크기 순서는 D (44.01%) > A (26.77%) > B (20.42%)로 나타났다.

이밖에 잡음인자로 선정하였던 오리피스 록새와 설부록새는 풍량 성능에 대한 영향이 작아, 향후 팬과 같은 연구에 다구찌 방법을 적용시에는 사용조건을 고려한 압력손실외 값으로 잡음인자를 고려하는 것이 타당하다고 생각한다.

참고문헌

(1) Ken Morinushi, 1987, "The Influence of Geometric Parameters on F.C. Centrifugal Fan Noise", *ASME Journal of vibration, acoustics,*

stress, and reliability in design, Vol.109, pp.227~234

(2) 生井武文, 井上雅弘, 1988, "ターボ送風機と壓縮機", Corona 社, pp.293~297

(3) Bruno Eck, 1973, "FANS-Design and Operation of Centrifugal, Axial Flow and Cross-Flow Fans", Pergamon press, pp.139~155

(4) 김장권, 1993, "에어콘의 소음저감 문제", 대한기계학회지, 제33권, 제2호, pp.171~182

(5) 김장권, 1995, "저소음 패키지 에어컨 개발에 관한 연구", 대한기계학회논문집, 제19권, 제10호, pp.2710~2719

(6) 김장권, 1996, "저소음 패키지 에어컨 실내외기 개발에 관한 연구", 대한기계학회논문집 (A), 제20권, 제6호, pp.1913~1920

(7) 野島信之, 林幹雄, 深澤義光, 青木美昭, 1972, "空調機用多翼送風機の性能に関する研究", 三菱重工技報, Vol.9, No.3, pp.40~48

(8) 中嶋幸敏, 大庭英樹, 渡辺 毅, 1988, "多翼送風機の性能改善に関する研究", タ-ボ 機械, 第16巻, 第12号, pp.15~21

(9) LG전자, 1993, "다구찌 기법 적용지침서"

(10) ANOVA-TM Users Manual, 1993, *American Supplier Institute*

(11) Case Studies & Tutorials, 1993, *Eleventh Annual Taguchi Symposium, November 2-4, Costa Mesa, California, American Supplier Institute*

(12) Wei Chen, J. K. Allen, Kwok-Leung Tsui, and F. Mistree, 1996, "A Procedure for Robust Design : Minimizing Variations Caused by Noise Factors and Control Factors", *Journal of Mechanical design, Transactions of the ASME*, Vol.118, pp.478~485

(13) Kwon-Hee Lee, In-Sup Eom, Gyung-Jin Park, and Wan-Ik Lee, 1996, "Robust Design for Unconstrained Optimization Problems Using the Taguchi Method", *AIAA Journal*, Vol.34, No.5, pp.1059~1063

(14) M Bounou, S Lefebvre, and X Dai Do, 1995, "Improving the Quality of an Optimal Power Flow Solution by Taguchi Method", *Electrical Power & Energy Systems*, Vol.17, No.2, pp.113~118