

# 실험에 의한 CROSS FLOW FAN 소음 분석

°안철오, \*류호선

## Experimental study on the design parameter effect on the noise in the cross flow fan

Cheol-O Ahn and Ho-Seon Rew

### ABSTRACT

The flow rate and the noise level of 18 cross flow fans were measured to analyze the effect of design variables on these and to finally find the optimal design value. These data were analyzed by the Taguchi method and the neural network. The optimal values obtained by the neural network showed good agreements with that by the Taguchi method. The effects of eight design variables on the fan performance and the noise were evaluated and discussed.

### 1. 서론

Cross flow fan(이후 CFF 라 칭함)은 축류 팬이나 시로코 팬에 비해 주어진 풍량이나 정압에 비해 차지하는 체적이 작고 조용하기 때문에 분리형 에어컨 실내기에 오랫동안 사용되어 왔다. CFF는 그림 1에 나타난 바와 같이 회전하는 blade, 열교환기, stabilizer, rear guide 등으로 구성되어 있다.

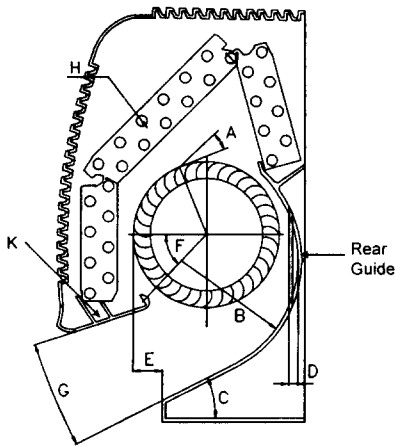


Fig.1 Schematic of the cross flow fan

Fig. 1에 나타난 바와 같이 복잡한 CFF는 항상 때문에 CFF의 성능 해석은 상당히 어렵다. 그래서 CFF에 대한 연구는 이론적인 경우보다 실험적인 접근 방법에서 연구 개발되고 있는 편이다 [1,2]. 그러나 실험적으로 CFF를 구성하는 여러 설계 인자가 성능 및 소음에 미치는 영향에 대한 연구를 수행하는 데 있어서 모든 설계 인자 변화를 변화시켜 가면서 실험/분석하는 것은 경제적이지 못하다. 그래서 본 연구에서는 실험 계획법에 의하여 CFF를 구성하는 8가지 설계 인자를 선정하여 CFF의 풍량 및 소음을 측정하였다. 실험 결과를 이용하여 최적 설계 인자를 선정하는 방법 중에 하나가 田口 방법[3]이다. 이 방법은 품질 개선이라는 측면에서 오랫동안 사용해 온 방법이지만 이 방법에서 사용되고 있는 직교 배열을 사용하고 직교 배열 표에 나타난 설계 인자를 선정하기 때문에 좀더 세밀한 설계 인자 값을 선택하려면 다시 설계 인자를 선정하여 재시험을 해야 한다는 단점이 있다. 그리고 이와 같이 실험 자료를 근거로 하여 팬의 성능과 소음을 예측하여 설계 점이 변경되었을 때에 유용하게 사용하기에는 田口 방법 적용은 어렵다. 그리고 기존에 축류 팬 [4]과 시로코 팬[5]에 개발에 있어서 田口 방법은 위에서 언급한 단점이 있다는 것을 확인하였다.

신경 회로망(neural network) 이론[6]은 입력과 출력 간의 상호 관계를 규명하는 데 매우 유용하고, 규명된 상호 관계는 출력을 예측할 수 있고, 출력을 예측할 수 있기 때문에 최적 설계에 많이 사용하고 있다. 그러나 유체 기계 분야에서는 신

\* 주) LG 전자 리빙시스템연구소 유체유동팀

경 회로망 이론을 사용한 경우는 드문 형편이다. 그러나 본 연구에서는 신경 회로망 이론을 사용하면 CFF의 유량 및 소음을 예측할 수 있다는 점에 착안하여 CFF의 성능 및 소음과 관련하여 영향을 미치는 설계 인자를 선정하여 설계 인자와 성능 및 소음의 상호 관계를 규명하고 田口 방법과 신경 회로망 이론을 이용하여 얻어진 추론 결과를 비교할 것이다.

## 2. 실험 방법 및 측정

CFF에서는 CFF를 구성하는 요소 중에서 blade보다도 유로를 구성하는 설계 인자가 전체 성능에 많은 영향을 미친다는 것은 잘 알려진 사실이다. 그래서 본 연구에서는 표 1에 나타난 바와 같이 유로를 구성하는 요소를 7가지와 blade를 결정하는 외주 각(A)에 대하여 직교 배열 표에 의한 CFF를 설계하였다. 그리고 유로를 구성하는 요소는 단 하나의 변수로 나타내기가 상당히 어렵기 때문에 rear guide를 구성하는 요소로는 스크롤 원호 반경(B), 스크롤 출구 각도(C), 스크롤 절단 길이(D), 스크롤 출구 길이(E)이고 stabilizer를 구성하는 요소로는 stabilizer 장착 각(F), 그리고 유동 토출과 관련된 확산과 관련된 설계 인자는 확산기 각(G), 스크롤 출구 길이(E)이고 유동 입과 관련된 항목은 열교환기 형상(G)을 선정하였다. 자세한 내용은 표 1을 참고하기 바란다. 이때 사용되었던 blade의 외경은 100mm이고 내외경비는 0.77이었다. 한편 열교환기는 LG전자에서 생산되는 7f, 19FPI, louvered type을 사용하였다. 열교환기는 3단 꺾임을 기본으로 하였으며 표 1에 나타난 숫자는 열교환기 형상을 표시하기 위해서 각 단의 pipe의 열 수를 표시하였다.

위의 구성 요소를 기본으로 하여 작성된 직교 배열표로 총 18가지의 5단 CFF를 설계 및 제작하였다. 그리고 각 CFF 실험은 AHRAE에서 추천하는 방법으로 설계된 Fan tester에서 유량을 측정하였다. Fan tester에서 압력 측정은 해상도가 0.005mmAq인 FURNESS manometer를 사용하였다. 그리고 CFF 소음은 cut-off frequency가 200Hz이고 암소음이 16dBA인 무향실에서 측정하였다. 소음 크기는 microphone과 FFT analyzer(B&K 3550)를 사용하여 측정하였다. 소음 측정 시 CFF와 microphone 간의 수평 거리는 1m이었고 각 CFF 소음 값은 500번 측정하여 평균 값을 취하였다. 다.

Table 1. Design variables and their levels

design variables		level	
A	impeller outlet angle	2	21 ° 25 °
B	scroll arc radius	3	76mm 81mm 86mm
C	scroll exit angle	3	30 ° 35 ° 40 °
D	scroll cutting depth	3	0mm 3mm 6mm
E	scroll exit length	3	0mm 15mm 30mm
F	stabilizer installation angle	3	50 ° 55 ° 60 °
G	diffusing angle	3	0 ° 5 ° 15 °
H	heat exchanger bending shape	3	4-5-5 4-6-4 3-6-5

## 3. 신경 회로망 이론

신경회로망 이론은 설계 인자와 실험 결과의 상호 관계를 추론하고 최종적으로 성능을 예측하고자 사용할 수 있다. 본 연구에서는 실험에 의한 data를 적절히 처리하기 위해 우선 data를 modeling하는 작업을 시도하였다. Data의 modeling을 위해 multi-layer perceptron을 이용하였는데 이때 각 layer상에 놓인 각 neuron간의 연결 강도(synaptic weights) 결정에 있어서는 가장 널리 사용되고 있는 back-propagation method를 채택하였다(Fig.2 참조). 한편, 수렴의 고속화를 위해 momentum term을 첨가하여 학습 오차 정도에 따라 momentum을 증가/감소시키는 방법을 사용하였다.

본 연구에서는 실험 data를 학습 패턴으로 사용하는데 그 수는 18개인 반면, 입력 층의 neuron의 수는 설계 변수(design variables)의 수로서 8이 된다. 즉, 학습을 통해 얻어지는 결과는 8-dimensional vector space에 펼쳐진 가상의 함수이다. 이 함수를 구성하기 위해서 주어진 조건은 단지 8차원 공간 내에 띄엄띄엄 놓인 18개의 점의 좌표만을 사용하는 것이다. 그러므로 우리가 구성할 함수의 모형은 최대한 단순한

것이 바람직하다. 더욱 직접적으로 이야기 하면 이 함수를 구성하는 것은 각각의 layer 에 놓인 neuron 을 서로 연결하는 연결 강도(synaptic weight)들인데, 은닉 층의 수를 증가시키고 은닉 층에 놓인 neuron 의 수를 증가시킨다는 것은 함수를 결정하기 위해서 학습을 통하여 결정해야 할 미지수 - synaptic weight 의 수가 증가하는 것이 되므로 불필요한 은닉 층 수의 증가와 neuron 수의 증가는 오히려 좋지 않은 결과를 낼 수 있다.

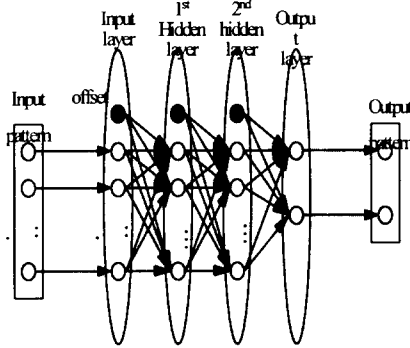


Fig. 2 Structure of 4-layer neural network model

표 2에 나타난 바와 같이 hidden layer 의 수를 변경시켜도 최대 풍량과 최소 소음의 최적치가 거의 유사함을 나타내고 있기 때문에 본 연구에서 채택한 신경 회로망 이론을 적용하는 것이 매우 유용함을 알 수 있다. 그리고 신경 회로망 이론을 사용하여 얻은 값과 田口 방법으로 얻은 값이 차이가 나고 있다. 최대 풍량을 제시해준 값 중에서 두 방법이 차이가 나는 것 중의 하나가 blade 출구 각이다. 일반적으로 blade 의 출구 각이 커질수록 정압 상승이 커져 동일 회전 수에서 유량이 커진다는 것으로 알려져 있다. 따라서 본 연구 방법이 보다 물리적으로 타당하다고 할 수 있다. 그리고 위에서 언급한 바와 같이 본 연구 방법은 설계 인자 변화에 대한 출력(본 연구에서는 유량과 소음이 해당함)을 추론할 수 있기 때문에 田口 방법보다는 실험 자료를 다양하게 쓸 수 있다는 사실을 명심하기 바란다.

Table 2. Comparison between the neural network and the Taguchi method

Table 2-a. Maximum flow rate design

	Taguchi analysis	Neural network analysis			
		1st	2nd	3rd	4th
예 측	-	7.24	7.24	7.27	7.26
A	25°	25	25	25	25
B	30mm	30	30	30	30
C	30°	30	30	30	30
D	3mm	0	0	0	0
E	0mm	0	0	0	0
F	55°	57.5	50	60	60
G	10°	10	10	10	10
H	4-5-5	4-5-5	4-5-5	4-5-5	4-5-5

Table 2-b Minimum noise design

	Taguchi analysis	Neural network analysis			
		1st	2nd	3rd	4th
예 측	-	42.4	42.5	42.4	42.6
A	25°	21	21	21	21
B	20mm	20	20	20	20
C	30°	30	30	30	30
D	0mm	0	0	0	0
E	0mm	0	7.5	0	7.5
F	60°	60	60	60	60
G	10°	10	10	10	10
H	3-6-5	3-6-5	3-6-5	3-6-5	3-6-5

(Predictions are performed at 1200rpm)

#### 4. 추론 결과 고찰

본 연구에서 다른 설계 인자는 8개이다. 각 설계 인자를 동시에 변화시키면서 풍량이나 소음이 어떻게 변화하는 것을 살펴보는 것은 불가능하다. 그래서 편의상 풍량과 관련된 그림은 표 2에서 최대 풍량을 기준으로 한 설계 인자 값을 기준으로 소음과 관련된 것은 최저 소음 설계 인자를 기준으로 나타내기로 한다.

시로코 팬에서 정압 상승과 밀접하게 관련되어 유량 변화에 큰 영향을 미치는 설계 인자는 스크롤 각과 cut-off 의 거리이다[1]. 그림 1에 나타난 바와 같이 스크롤 출구 각과 스크롤 원호 반경은 시로코 팬에서 스크롤의 역할을 하고 있다고 쉽게 할 수 있다. 기존의 연구에 의하면 일정한 범위 내에서 스크롤 확장 각이 클수록 cut-off 의 거리가 클수록 풍량이 커진다는 현상과 마찬가지로 스크롤 출구 각이 작을수록 스크롤 원호 반경이

클수록 유량이 증가하는 것을 Fig.3은 잘 나타내고 있다. 여기서 Fig.1에 나타난 바와 같이 스크롤 출구 각이 작을수록 스크롤 원호 반경이 클수록 스크롤의 확장 각과 blade와 rear guide의 거리가 커진다는 것을 명심하기 바란다. 한편 Fig.4에는 소음 변화를 나타내었는데 스크롤 출구 각과 스크롤 원호 반경이 클수록 소음이 커지는 것을 알 수 있다. 그러나 소음 변화는 풍량의 변화와는 달리 소음 변화가 심한 곳이 있다. 이는 스크롤 출구 각과 스크롤 원호 반경이 클수록 blade에서 빠져 나오는 유동이 rear guide가 가까와지면서 유동의 비정상 운동이 발생하기 때문이라고 사료된다. 설계 시에는 소음 변화가 심한 것을 피하면 제품의 편차를 줄일 수 있기 때문에 Fig.3과 4의 자료는 매우 유용할 수 있다고 할 수 있다.

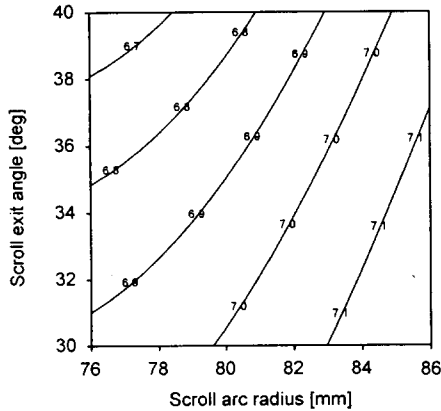


Fig. 3 Contour plot of the flow rate(CMM);  
A=25°, D=0mm, E=0mm, F=50°, G=10°, H; 4-5-5 shape

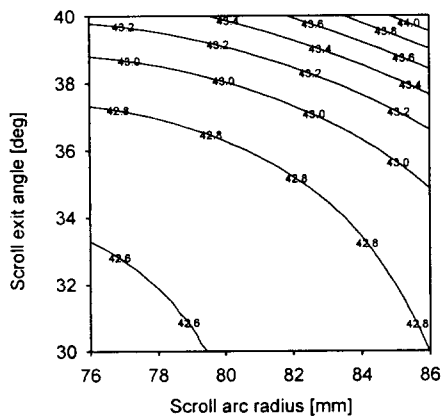


Fig. 4 Contour plot of the noise level(dBA);  
A=21°, D=0mm, E=0mm, F=60°, G=10°, H; 3-6-5 shape

CFF에서 다른 중요 설계 인자는 스크롤 절단 길이와 스크롤 출구 길이이다. 이 두 설계 인자는 CFF의 외곽 크기를 결정하는 설계 인자이기 때문에 이 설계 인자가 유량 및 소음에 미치는 영향을 살펴보는 것은 상당히 중요하다. Fig.1에 나타난 바와 같이 스크롤 절단 길이는 스크롤의 형상과 밀접하고 blade에서 빠져 나오는 유동과 거리가 상당히 가깝기 때문에 유동과 소음에 많은 영향을 주리라고 예상되지만 스크롤 출구 길이는 상대적으로 유동 토출과 관련이 크기 때문에 유량과 소음에 미치는 영향이 작으리라고 예상된다. Fig. 5와 6은 이와 같은 특성을 잘 나타내고 있다. 여기서 명심해야 할 사항은 스크롤 절단 길이가 클수록 회전하는 impeller와 rear guide간의 거리가 작아진다는 것을 명심하기 바란다. Fig.5와 6을 살펴보면 스크롤 절단 길이와 스크롤 출구 길이가 작을수록 유량이 증가하는 특성을 나타내지만 유량의 변화량은 Fig. 3과 비교하여 상대적으로 작은 것을 알 수 있다. 그리고 스크롤 절단 길이와 스크롤 출구 길이가 커질수록 소음 값은 커지는 것을 나타내고 있다. 이미 스크롤 절단 길이와 스크롤 출구 길이의 변화가 유량에 미치는 영향은 상당히 작지만 유량 변화에 비해서 소음 변화(소음값 변화/유량 변화)가 상대적으로 크다. 따라서 소음을 고려하여 설계를 할 상황에서는 이 두 설계 인자도 신중하게 선택하여야 할 것이다.

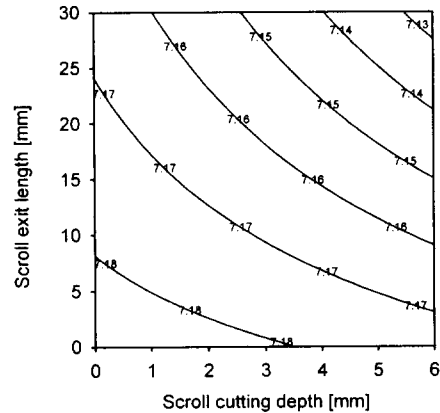


Fig. 5 Contour plot of the flow rate (CMM);  
A=25°, B=86mm, C=30°, F=50°, G=10°, H;4-5-5 shape

CFF에서 stabilizer 근처에 발생하는 vortex의 운동과 밀접한 관련이 있는 것이 stabilizer 장착 각이다, 그리고 유동 토출 면적과 관련된 설계 인자는 확산기 각이다(Fig.1 참조). 한편, stabilizer 근처에 발생하는 vortex의 운동은 CFF의 소음에 많은 영향을 준다는 것이 알려져

있다. Fig. 7 과 8 에는 stabilizer 장착 각과 확산기 각의 변화가 유량 및 소음에 미치는 영향을 나타내었다. Fig. 7 에 나타내었듯이 stabilizer 장착 각과 확산기 각이 클수록 유량이 증가하는 특성을 그리고 stabilizer 장착 각과 확산기 각이 클 수록 소음이 증가하는 특성을 나타내고 있지만 확산기 각이 작을 경우에는 Fig.8에 나타내었듯이 정해진 확산기 각에 따라 최소 소음을 갖는 stabilizer 장착 각이 존재한다는 것을 나타내고 있다. 이는 CFF 의 유동 가시화 실험[7]에서 작은 확산 각을 갖는 경우 stabilizer 장착 각에 따라 'K'라고 표시된 부분에 작은 vortex 들이 발생하여 'K'면을 따라 움직이는 현상과 관련이 있다고 사료 된다.

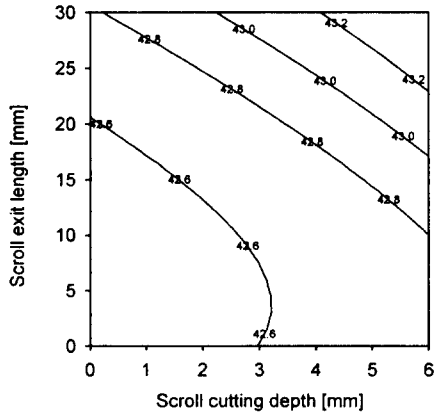


Fig. 6 Contour plot of the noise level(dBA); A=21°, B=76mm, C=30°, F=60°, G=10°, H; 3-6-5 shape

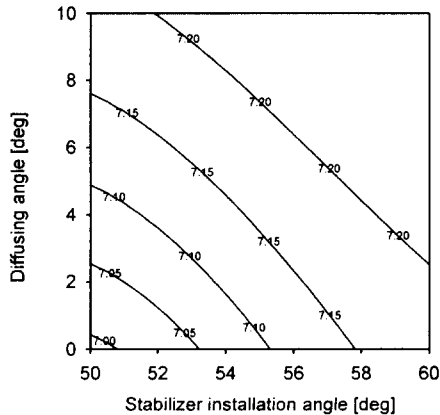


Fig. 7 Contour plot of the flow rate (CMM); A=21°, B=86mm, C=30°, D=0mm, E=0mm, H;4-5-5 shape

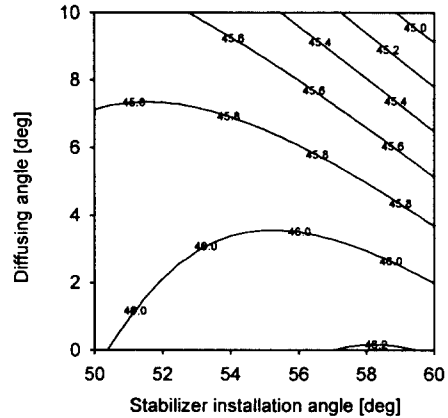


Fig. 8 Contour plot of the noise level(dBA); A=21°, B=76mm, C=30°, D=20mm, E=30mm, H; 3-6-5 shape

## 5. 결론

본 연구에서는 cross flow fan 설계에 중요한 impeller 외주각, 스크롤 원호 반경, 스크롤 출구 각도, 스크롤 절단 길이, 스크롤 출구 길이, stabilizer 장착 각, 확산기 각, 스크롤 출구 길이, 그리고 열교환기 형상의 8 가지 설계 인자를 선정하여 유량 및 소음에 대하여 실험을 수행하였고, CFF의 성능 및 소음의 상호 관계를 규명하기 위해 田口 방법과 신경 회로망 이론을 이용하여 얻어진 추론 결과를 비교하였다. 두 방법에 의해 제시된 최대 풍량과 최저 소음에 대한 설계 인자는 일부는 달랐지만 대체적으로 일치하였고 신경 회로망을 이용한 방법이 물리적으로 타당하였다. 스크롤 출구 각이 크고 스크롤 원호 반경이 작을 수록, 스크롤 절단 길이와 스크롤 출구 길이가 작을 수록 확산 각이 크고 stabilizer 장착 각이 클 수록 유량이 증가하는 것을 나타내었다. 그러나 소음의 경우에는 일반적인 유량 변화 양상과는 달리 일정 범위 내에서는 일정한 소음 값을 나타내다가 갑자기 소음 값이 변화하는 양상을 나타내고 있는 것이 관찰되었다. 본 연구에서와 같이 신경 회로망 이론을 통해서 얻어진 소음 변화 등고선은 소음이 중요한 설계 시에 매우 유용할 것이고, CFF를 구성하는 여러 설계 인자 변화에 대해 풍량과 소음을 예측할 수 있어 신경 회로망 이론은 다수의 실험 자료 정리에 매우 유용하다고 할 수 있다.

## 후기

본 연구는 통상산업부의 에너지절약과제인 ‘시로코 및 횡류형 송풍기 개발’ 과제의 일부입니다. 그 동안 협조해주신 여러분께 감사드립니다.

## 참고문헌

- [1] Jin, S.W., Lee, J.H., Seo, S.H., Lee, N.Y., and Im, K.S., An experimental study on high flowrate cross flow fan for room airconditioner, Proceedings of Air-Conditioning and Refrigerator Eng. Winter meeting, Seoul, Korea, 1995 (in Korean)
- [2] Tanaka, S., and Murata, S., Scale Effects in Cross Flow Fans, JSME series B, Vol. 38, No. 3, 1995, p388.
- [3] Dehnad, K., Quality Control, Robust Design, and the Taguchi Method, AT&T, 1989
- [4] Rew, H.S., J.E., Cha, C.J., Kim, and T.J., Kim, Parametric Study for the Noise Reduction in a Small Fan, The 2nd International Conference on Pumps and Fans, Tsinghua Univ., China, 1995, p731
- [5] Min, H.S., and Rew, H.S., “Parametric study of sirocco fan using Taguchi method,” Proceedings of Air-Conditioning and Refrigerator Eng. Winter meeting, Seoul, Korea, p251 (in Korean)
- [6] Chester, M., Neural networks - a tutorial, PTR Princess Hall, New Jersey, 1993
- [7] Rew, H.S, and Ahn, C.H., “An Experimental and numerical study on a cross flow fan,” LG Electronics Report 96-FANS-0830, 1996 (in Korean)