

실험에 의한 직교류팬의 유량 및 소음 분석

안철오* · 류호선**

Experimental Study on the Design Parameter Effects on the Flow-rate and the Noise level in a Cross-flow Fan

Cheol-O Ahn*, Ho-Seon Rew**

Key Words: Cross-flow Fan(직교류팬), Neural Network(신경회로망), Volume Flow-rate(유량), Noise Level(소음), Orthogonal Array(직교배열), Design Parameter(설계인자), Number of Neuron(뉴런 수)

ABSTRACT

This study was carried out to investigate the effect of design parameters on the volume flow-rate and the noise level and to finally find the optimal design variables. Eighteen cross-flow fans were designed by the method of orthogonal array, and the flow-rate and the noise level were measured. These data were analyzed by the neural network system. The effects of eight design variables(scroll exit angle, scroll arc length et al.) on the fan performance and the noise level were evaluated and discussed. This experiment shows that the design solutions suggested by neural network system may increase its volume flow-rate and reduce noise simultaneously.

1. 서 론

직교류팬은 축방향을 가로지르는 특이한 유동 특성을 가짐으로 인하여 축방향으로 열교환기가 설치되면 전열 면적을 충분히 확보할 수 있어서 전체 시스템을 컴팩트하게 구성할 수 있고, 또한 열교환기를 통과하는 유동을 축방향에 따라 비교적 균일화 할 수 있어서 직교류팬은 분리형 에어 컨의 실내기에 오랫동안 사용되어 왔다. 직교류팬은 Fig. 1에 나타난 바와 같이 약 30개 이상의

블레이드로 구성되는 임펠러와 열교환기, 임펠러로부터 토출되는 유동의 동압의 일부를 정압으로 회복시켜주는 스크롤, 그리고 유동의 입구와 출구의 경계를 형성하는 스탠들라이저 등으로 구성되어 있다.

Fig. 1에 나타난 바와 같이 직교류팬은 임펠러에 부착된 블레이드의 수가 많고, 직교류팬의 특성상 임펠러가 회전하면서 생성되는 편심화로 인하여 비정상적인 유동 특성을 보이기 때문에 직교류팬의 성능 해석은 상당히 어렵다. 그러나 최근 전산 유체의 발달로 인해 직교류팬의 유동 해석을 시도하고 있으나,^(1,2) 실험 결과와 비교하여 볼 때 직교류팬의 성능 곡선을 정확하게 예측을

* LG전자(주) 리빙시스템연구소 냉동공조팀

** LG전자(주) 리빙시스템연구소 열유체팀

할 수 있는 형편은 아니다. 그리고 직교류팬의 블레이드가 회전하기 때문에 많은 연산 시간이 소요되며, 유동 해석 결과를 이용해서 소음 스펙트럼 등을 예측하기에는 아직도 많은 연구가 필요한 형편이다. 이러한 이유로 인해 직교류팬은 실험적인 연구가 그 주류를 이루고 있다.^(3,4) 그러나 실험에 의해 직교류팬을 구성하는 여러 설계 인자가 유량 및 소음에 미치는 영향을 파악하고자 하는 연구를 수행하는 데 있어서, 성능에 영향을 미치고 있는 인자의 수가 많기 때문에, 설계 인자의 수에 따라 발생하는 모든 경우에 대해 실험을 수행하여 데이터 베이스 확보 후, 이를 설계에 반영하는 것은 매우 비경제적이며 많은 시간이 필요하게 된다. 그리고, 모든 설계 인자가 서로 완전한 독립적 관계를 가지고 있지 않기 때문에⁽⁵⁾ 각각의 설계 인자가 성능에 미치고 있는 기여도를 구하는 방법 또한 어려운 일이다. 다시 말하면, 다른 모든 설계 인자는 동일하게 하고, 오직 하나의 설계 인자의 변화에 따른 성능을 얻었다고 하더라도 나머지 설계 인자들의 값이 달라지는 경우 기존의 실험 결과를 이용하여 어떻게 예측을 하고 대응할 것인가 하는 문제이다. 보통, 실험 인자가 2개 미만일 경우는 수회의 인자 변화 실험을 통해 얻어진 데이터를 적당하게 회귀분석 혹은 보간함수를 사용함으로써 소기의 결론에 다다를 수 있으나, 인자의 수가 3개 이상이 되면 충분한 정확도를 보장하기 위하여 보간함수의 사용시, 혹은 회귀분석 과정에서 요구되는 실험 데이터는 기하급수적으로 늘어나게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 최근 신경 회로망이 설계 인자 평가 등의 목적으로 많이 사용되고 있다.^(6,7)

본 연구에서는 다수의 설계 인자를 선정하고 이와 관련된 실험을 수행하고, 실험을 통하여 얻은 각각의 결과의 상호 관계를 추론하고, 최종적으로 향상된 설계안을 얻고자 신경 회로망을 채용하였다. 본 연구에서는 직교류팬을 구성하고 있는 중요한 설계 인자 중에서 총 8개의 설계 인자를 선정하고, 실험 결과를 이용하여 그 계

(system)가 가지는 특성과, 각각의 인자가 실험 결과에 어떻게 또 얼마 만큼의 영향을 미치고 있는지를 알아보고 최대 풍량 및 최저 소음 설계 인자를 찾고자 한다.

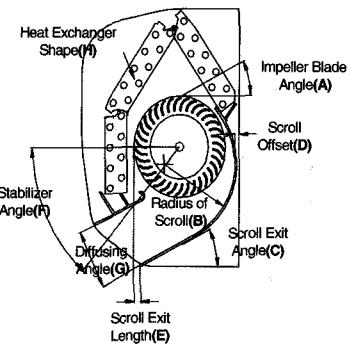


Fig. 1 Schematic diagram of the cross flow fan

2. 실험 방법 및 측정

직교류팬에서는 그 구성요소 중에서 임펠러 및 블레이드 뿐만 아니라 유로를 구성하는 설계 인자가 전체 성능에 많은 영향을 미친다는 것은 잘 알려진 사실이다. 그래서 본 연구에서는 Fig. 1에 나타난 바와 같이 유로를 구성하는 인자 7가지 (인자B~인자H)와 임펠러의 외주각(인자A) 등 8개의 설계 인자를 선정하였다. 유로를 구성하는 인자는 스크롤 반경(인자B), 스크롤 토출 각도(인자C), 스크롤 오프셋(offset) 길이(인자D), 스크롤 토출 길이(인자E), 스테빌라이저 설치 각도(인자F), 그리고 토출시 확산과 관련된 설계 인자로 출구 확대(diffusing)각도(인자G) 등이며, 유동 이입과 관련된 항목은 열교환기 꺾임 형상(인자H)을 선정하였다. 이때 사용되었던 임펠러의 외경은 100mm이고 내외경 비는 0.77이었다. 한편 열교환기는 LG전자에서 생산되는 Ø7, 19FPI, louvered type을 사용하였다. 열교환기는 3단 꺾임을 기본으로 하였으며, Table 3과 4의 인자 H를 표시하는 숫자는 열교환기 꺾임 형상을 표시

하기 위해서 각 단의 pipe 열(row) 수를 표시하였다.

Table 1 Design Parameters and their levels

Parameter	Design Variable and its unit	Level
A	outer blade angle [deg]	2
B	radius of the scroll [mm]	3
C	scroll exit angle [deg]	3
D	scroll offset length [mm]	3
E	scroll exit length [mm]	3
F	stabilizer angle [deg]	3
G	diffuser angle [deg]	3
H	heat exchanger shape [-]	3

위의 구성 요소를 기본으로 하여 작성된 직교 배열 표로 단의 길이가 65 mm인 5단의 직교류환을 총 18가지 설계 및 제작하였다. 그리고 각 직교류환 실험은 ASHRAE에서 추천하는 방법⁽⁹⁾으로 설계된 fan tester에서 유량을 측정하였다. Fan tester에서 압력 측정은 해상도가 0.005 mmAq인 FURNESS manometer를 사용하였다.

소음은 cut-off frequency가 200 Hz이고 암소음이 16 dB(A)인 무향실에서 FFT signal analyzer (B&K 3550)를 사용하여 측정하였다. 소음 측정 시 직교류환과 microphone 간의 수평 거리는 1 m이었고 각 직교류환 소음 값은 500회 측정하여 평균 값을 취하였다.

3. 신경회로망 적용

본 연구에서는 직교 배열표에 의거하여 얻어진 실험 결과를 신경 회로망을 이용하여 다차원의 데이터를 모델링하고 그 결과를 이용하여 각각의 인자들의 영향을 파악해 보았다. 직교 배열표에 따라 실험에 적용되는 설계 인자의 조합과 그에 따른 실험에 의해 측정된 풍량과 소음이 학습 패턴이 되고, 신경망은 이를 미리 정해준 학습 조건에 따라 허용된 오차 범위 이내에 그 학습 오

차가 접근할 때까지 반복적으로 학습하고 자기 자신을 학습 패턴에 맞게 적응시켜 나간다. 학습 오차란 신경망이 제시된 학습 패턴에 대해 제시하는 출력이 가지는 학습 패턴과의 차이를 말한다. 이 학습 오차가 매우 적은 값으로 수렴이 되었을 때 우리는 학습이 끝난 것으로 간주한다. 학습이 끝난 후, 직교 배열표에 선정된 수준 내에서 조합이 가능한 모든 설계안에 대하여 최대의 풍량이 예측되는 설계안과 최저의 소음이 예측되는 설계안을 제시하도록 하였다.

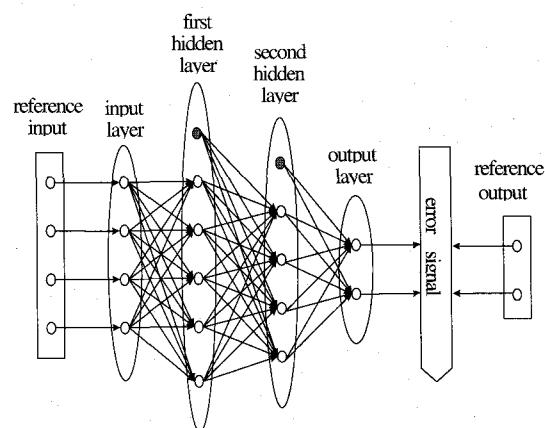


Fig. 2 The structure of 2 hidden layer neural network

신경망은 Fig. 2에 나타난 바와 같이 최소한 하나의 입력층(input layer)과 하나의 출력층(output layer), 그리고 모델링하고자 하는 학습 패턴에 따라 은닉층(hidden layer)을 사용한다. 각각의 층(layer)에는 미리 결정된 수 만큼의 뉴런이 놓여 있다. 본 연구에서는 비교적 복잡한 경우에 대하여 문제를 해결할 수 있도록 두개의 은닉층을 가지는 신경망을 사용하였다. 이때 각각의 층에 놓인 뉴런간의 연결 강도(synaptic weights) 결정에 있어서는 가장 보편적으로 사용되고 있는 역전파 학습법(Back-propagation method)을 채택하였다.⁽⁸⁾ 한편, 수렴의 고속화를 위해 모멘텀(momentum)항을 첨가하여 학습 오차 정도에 따라 모멘텀을 증가 혹은 감소시키는

방법을 사용하였다.

본 연구에서는 실험 테이터를 학습 패턴으로 사용하기 때문에 입력 패턴 숫자는 18개가 되고, 입력층의 뉴런의 수는 설계 인자의 수로서 8이 된다. 즉, 학습을 통해 얻어지는 결과는 8차원 공간상에 펼쳐진 가상의 함수이다. 이 함수를 구성하기 위해서 주어지는 조건은 이 공간 내에 띄엄띄엄 놓인 18개의 점(학습 패턴)만을 사용하는 것이다. 그러므로 우리가 구성할 함수의 모형은 최대한 단순한 것이 바람직하다. 그것은 18개의 정보만을 가지고 결정해야 할 미지수의 수는 적을수록 유리하다는 의미이다. 다시 말하면 이 함수를 구성하는 것은 신경회로망의 각각의 층에 놓인 뉴런을 서로 연결하는 연결 강도들인데, 은닉층의 수를 증가시키고 은닉층에 놓인 뉴런의 수를 증가시킨다는 것은 함수를 결정하기 위해서 학습을 통하여 결정해야 할 미지수가 증가하는 것이 되므로 불필요한 은닉층의 수의 증가와 뉴런수의 증가는 오히려 좋지 않은 결과를 낼 수 있다는 것이다. 이러한 문제점은 은닉층의 수가 동일하다고 하더라도 은닉층에 포함된 뉴런의 수에 차이가 있는 경우, 학습 후 최대 풍량을 내는 설계안과 최저 소음을 내는 설계안의 추론 결과는 서로 다를 수 있다는 것이다. 결론적으로 이러한 분석 방법을 이용할 때, 과연 은닉층에서의 뉴런의 수를 몇 개로 할 것인가 하는 문제에 직면하게 된다.

그러나 각 은닉층에서의 뉴런수를 달리해 가며 여러 가지의 경우에 대해 학습을 시키며 그 추론 결과를 관찰해 보면 흥미로운 결과를 얻을 수 있다. 성능에 주요한 역할을 담당하는 인자는 은닉층에서의 뉴런의 수가 변하는 경우에 있어서도 추론의 결과는 일치하며, 역으로 성능에 기여하는 정도가 미미한 인자는 일부의 경우에 있어서 서로 다른 추론 결과를 제시하고 있다는 것이다.

즉, 각각의 경우 만일 이들 각각의 추론 결과가 서로 일치한다면 학습된 결과가 신뢰성 있는 것으로 인정할 수 있으며 역으로, 각각의 경우에 대해 제시하는 결과가 서로 많은 부분 불일치하

는 경우, 제시된 결과를 불확실한 것으로 판단한다. 이는 기존의 결과에 대해 이러한 방법으로 확인한 결과 타당한 것으로 여겨진다. 마치 이는 은닉층의 뉴런 수에 따른 각각의 경우를 서로 다른 전문가라고 생각하면, 제시된 실험 결과를 통해 그들이 제시하는 결론은 성능에 비교적 큰 영향을 끼치는 인자의 경우 차이를 보이지 않으나, 사소한 정도의 기여를 하는 인자에 대해서는 약간의 견해차를 보이는 것으로 생각할 수도 있다.

이런 경우 우리는 그들의 결론을 종합하여 비용과 조립성 등을 고려한 설계값들로 최적 안을 도출 할 수 있다. 그러나 그들이 같은 실험 네이터를 통해서도 서로 제시하는 결과가 서로 다른 경우에는 설계안을 찾지 못하고 혼란에 빠지고 말게 될 것이다. 은닉층에서의 뉴런의 수를 달리 한 각각의 경우를 검토하는 것은 바로 이러한 방법으로 결과에 대해 타당성과 신뢰성을 판단할 수 있도록 도와준다.

본 연구에서는 다음의 Table 2와 같이 네가지 경우(case A~D)에 대해 은닉층에서의 뉴런의 수를 변화시켜가며 각각의 신경망이 제시하는 설계안을 비교함으로써 제시된 설계안의 신뢰성을 검토하였다.

Table 2 Number of hidden layers

	A	B	C	D
1 st Hidden Layer	4	4	5	5
2 nd Hidden Layer	3	4	3	4

4. 추론 결과 고찰

Table 3과 4는 은닉층1과 2에서의 뉴런의 수가 각각 다른 네 가지의 신경 회로망(case A~D)을 이용하여 최대 풍량을 실현할 수 있으리라 예측되는 설계안과 최저 소음을 실현할 것이라 예측되는 설계안을 정리한 것이다. 최대 풍량 설계안의 경우 제시된 설계 값은 인자 F의 스테빌라이저 설치각을 제외하고는 나머지 7개의 설계

인자의 경우 모두 일치한다. 따라서 제시된 설계 안은 비교적 신뢰할 만하다고 할 수 있다. 일반적으로 스태빌라이저는 직교류환의 설계에 있어서 매우 중요한 설계 인자로서, 편심와의 근방에 위치하여 입구와 출구를 나누며, 다른 인자들에 크게 영향을 받고, 부적당한 위치에 설치되는 경우 전체적인 유동이 불안정해지기도 한다. 스태빌라이저 설치 각도는 분명 중요한 설계 인자임에도 불구하고 일치된 결과를 얻지 못한 것은 스태빌라이저 근방에 위치하는 편심와의 비선형 특성에 기인하는 것으로 생각된다. 최저 소음 설계 안의 경우에 있어서는 스크롤 출구 길이의 경우, 제시된 설계안이 일치하지 않는다. 그러나 다른 인자들의 경우 제시된 설계안이 일치하므로, 이 결과 역시 신뢰할 만하다고 할 수 있다. Table 3과 4 결과를 비교하면 인자 A, 인자 B 그리고 인자 H에 있어서 서로 다른 결과를 보인다. 다시 말해 이들 인자는 풍량이 증가하도록 설계하면 소음도 따라서 증가하게 되므로, 풍량을 증가시키며 동시에 소음을 낮추는 설계를 하는데 있어서 별로 유효한 인자는 아니며, 그 외의 다른 인자들은 주어진 값으로 설계하는 경우 풍량을 증가시키며 동시에 저소음화를 이룰 수 있음을 말하고 있다.

Table 3 Recommended design variables for maximum flow rate by neural network

Case	Case A	Case B	Case C	Case D
Flow rate (C.M.M.)	7.237	7.240	7.268	7.260
Parameter A	25	25	25	25
Parameter B	86	86	86	86
Parameter C	30	30	30	30
Parameter D	0	0	0	0
Parameter E	0	0	0	0
Parameter F	57.5	50.0	60.0	60.0
Parameter G	10	10	10	10
Parameter H	4-5-5	4-5-5	4-5-5	4-5-5

Table 4 Recommended design variables for minimum noise level by neural network

Case	Case A	Case B	Case C	Case D
Flow rate (dBA)	42.441	42.547	42.427	42.552
Parameter A	21	21	21	21
Parameter B	76	76	76	76
Parameter C	30	30	30	30
Parameter D	0	0	0	0
Parameter E	0	7.5	0	7.5
Parameter F	60.0	60.0	60.0	60.0
Parameter G	10	10	10	10
Parameter H	3-6-5	3-6-5	3-6-5	3-6-5

본 연구에서 다룬 설계 인자는 8개이다. 모든 설계 인자를 동시에 변화시키면서 풍량이나 소음이 어떻게 변화하는가 하는 것을 살펴보는 것은 매우 어렵다. 그래서 편의상 풍량의 경우, Table 3에서 최대 풍량 설계안을 기준으로, 소음의 경우 Table 4의 최저 소음 설계안을 기준으로 각각 2개의 인자를 연속적으로 변화시킬 때 이미 학습된 신경 회로망으로부터 얻어지는 풍량과 소음을 등고선으로 나타내기로 한다.

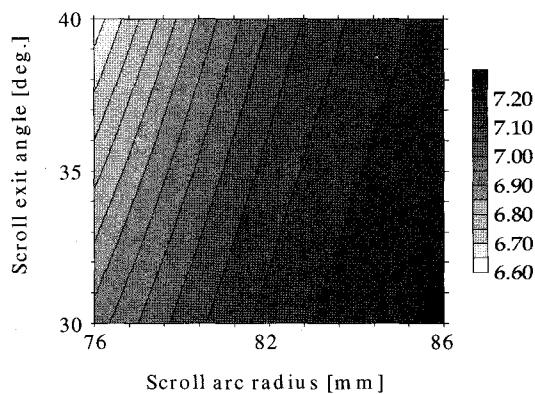


Fig. 3 Contour plot of the flow-rate [CMM]; factor A: 25o, factor D: 0mm, factor E: 0mm, factor F: 60 o, factor G: 10 o, factor H: 4-5-5 type

Fig. 3은 최대 풍량 설계안에서 스크롤 반경과 스크롤의 출구 각도를 변화하는 경우의 풍량의 변화를 나타낸다. 스크롤의 반경이 커지고 출구 각이 작을수록 풍량이 증가하고 있음을 알 수 있다. 이는 열교환기의 저항에 의해 압력 강하가 생긴 이후에 유동이 임펠러를 빠져 나오며 얻은 동압을 다시 정압으로 회복시켜줄 수 있는 공간과 시간이 충분할 수록 풍량이 증가하고 있음을 의미한다.

Fig. 4는 최저 소음 설계안에서 역시 스크롤 반경과 스크롤 출구 각도에 따른 소음의 변화를 나타내고 있다. 소음은 스크롤의 반경이 작고 출구 각이 작을수록 유리함을 나타내고 있다. 이전의 결과와 비교할 때, 스크롤의 반경에 따라서 풍량이 증가하면 소음이 증가하고, 소음이 감소 하기 위해서는 풍량 또한 감소해야 한다는 것을 의미한다. 그러나 출구 각도는 최대 풍량 안의 결과와 최저 소음 안의 결과가 동일하므로 실질적인 저소음화를 위해서는 출구 각도의 선정에 신중하여야 할 것으로 생각한다.

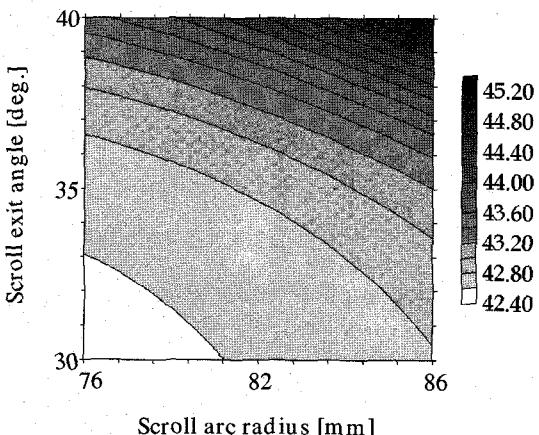


Fig. 4 Contour plot of the noise level [dB(A)]; factor A: 21o, factor D: 0mm, factor E: 0mm, factor F: 60 o, factor G: 10 o, factor H: 3-6-5 type

직교류렌에서 다른 중요 설계 인자는 스크롤 오프셋 길이와 스크롤 출구 길이다. 이 두 설계 인자는 직교류렌의 외곽 크기를 결정하는 인자이기

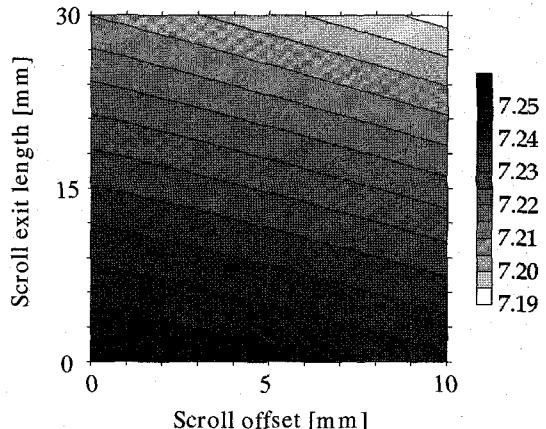


Fig. 5 Contour plot of the flow-rate [CMM]; factor A: 25o, factor B: 86mm, factor C: 30 o, factor F: 60 o, factor G: 10 o, factor H: 4-5-5 type

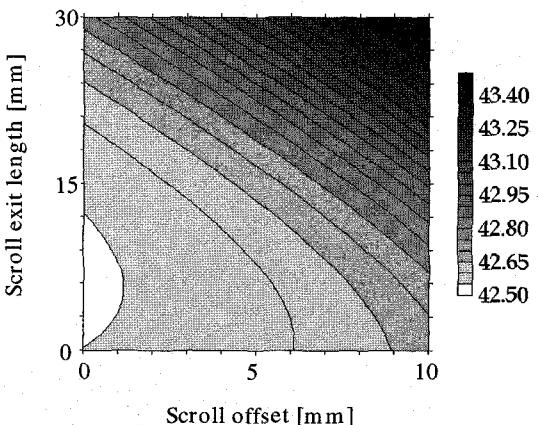


Fig. 6 Contour plot of the noise level [dB(A)]; factor A: 21o, factor B: 76mm, factor C: 30 o, factor F: 60 o, factor G: 10 o, factor H: 3-6-5 type

때문에 이들 인자가 유량 및 소음에 미치는 영향을 살펴보는 것은 중요하다. 스크롤 오프셋 길이는 그 정의에 따라 그 길이가 0에 가까울수록 원래의 스크롤 반경을 모두 활용하는 설계안을 의미하며, 출구 길이 또한 0에 가까울수록 실제로 출구의 길이가 긴 것을 의미하고 있다. Fig. 5와 Fig. 6을 살펴보면 두 인자 모두에 대해 출구 길이가 길고 원래의 스크롤 반경을 해치지 않는 설

계가 풍량의 증가와 저소음화에 유리하다는 사실을 알 수 있다. 앞서 언급한 바와 마찬가지로 토출되는 동안 충분히 디퓨징(diffusing)이 일어나도록 설계하는 것이 풍량을 늘리는 설계안과 일치한다고 해석할 수 있다. 이 두 인자는 모두 풍량을 증가시키는 설계안과 저소음화를 위한 설계안이 일치하므로 각각의 값은 0이 가장 적절하다는 것을 알 수 있다.

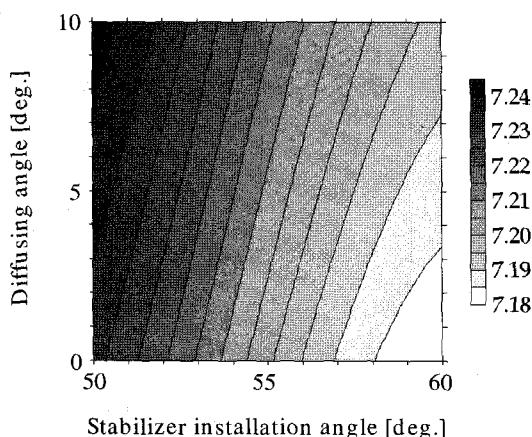


Fig. 7 Contour plot of the flow-rate [CMM]; factor A: 25o, factor B: 86mm, factor C: 30 o, factor D: 0mm, factor E: 0mm, factor H: 4-5-5 type

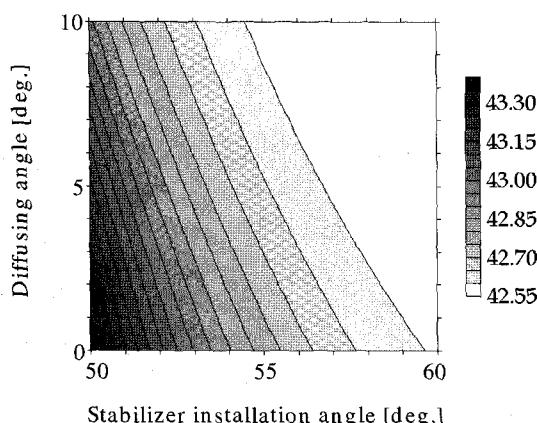


Fig. 8 Contour plot of the noise level [dB(A)]; factor A: 21o, factor B: 76mm, factor C: 30 o, factor D: 0mm, factor E: 0mm, factor H: 3-6-5 type

직교류핸에서 스태빌라이저 근처에 발생하는 편심화의 운동과 밀접한 관련이 있는 것이 스태빌라이저 설치 각도이다. 그리고 토출과 관련된 설계 인자는 출구 확대 각도이다. Fig. 7과 Fig. 8에는 스태빌라이저 장착 각도와 출구 확대 각도의 변화가 유량 및 소음에 미치는 영향을 나타내었다. Fig. 7에 나타내었듯이 출구 확대 각도가 클수록 유량이 증가하며 동시에 소음이 저감되는 것을 알 수 있다.

본 연구에 의해 제시된 방법으로 설계 인자별 특성을 분석하고 제시된 설계안에 따라 새로이 실험 세트를 제작하여 이전과 동일한 조건 하에서 확인실험을 수행하였다. 다음의 Fig. 9는 직교배열표에서 얻어진 18개의 데이터의 평균값과 그 중 동일한 풍량에서 가장 정숙한 특성을 가지는 것(pattern #4)과 신경회로망을 이용하여 얻은 설계안을 비교한 것이다. 동일한 풍량에서 비교하여 보면, 본 연구를 통해 얻어진 설계안의 경우, 18개 학습패턴의 평균에 비하여 약 6 dB(A)정도 가, 18개 학습패턴 중 가장 정숙한 경우와 비교하여도 약 3.7 dB(A)의 소음이 저감되었음을 확인하였다.

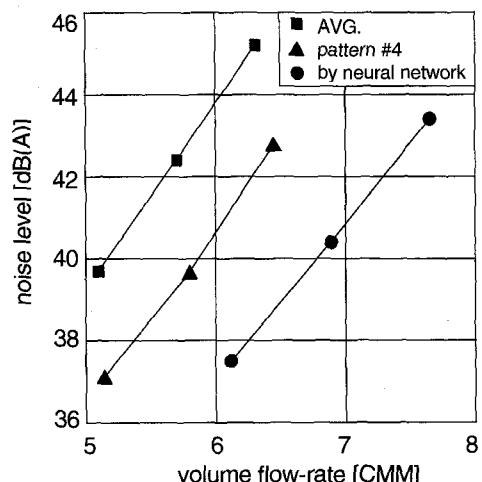


Fig. 9 A comparison of noise level-Volume flow-rate curves

5. 결 론

본 연구에서는 직교류팬 설계에 중요한 임펠러 외주각, 스크롤 반경, 스크롤 출구 각도, 스크롤 오프셋 길이, 스크롤 출구 길이, 스태빌라이저 설치 각도, 출구 확대 각도 그리고 열교환기 형상의 8 가지 설계 인자를 선정하여 유량 및 소음에 대하여 실험을 수행하였고, 신경 회로망 이론을 이용하여 풍량을 증가시킬 수 있는 설계안과 소음을 저감할 수 있는 설계안에 관한 추론 결과를 얻었으며, 인자별로 직교류팬의 성능에 미치는 영향을 살펴 보았다.

스크롤 출구 각도와 스크롤 오프셋 길이가 작고, 스크롤 출구 길이가 길며, 출구 확대 각도가 충분할수록 풍량을 늘리고 저소음화에 유리한 것으로 나타났다. 풍량을 증가시킬 수 있도록 제시된 설계안과 저소음화 설계안이 임펠러의 외주각, 스크롤 반경 그리고 열교환기 꺾임 형상에 대해서는 일치하지 않았는데 이 인자들은 풍량을 증가시키는 것이 곧 소음을 증가시키게 되므로 적절한 범위에서 제반 조건을 고려해 설계해야 한다.

비교적 다수의 인자가 성능에 복잡하게 영향을 미치고 있는 문제에 있어서 본 연구에서 제안하는 신경 회로망을 이용한 인자 분석 방법이 효과적임을 확인하였으며, 기타 다른 문제의 분석과 해결에 있어서도 적극적인 활용이 기대된다.

참고문헌

- (1) Tsurusaki,H., Tsujimoto,Y., Yoshida,Y., and Kitagawa,K., 1997, "Visualization Measure-
- ment and Numerical Analysis of Internal Flow in Cross-Flow Fan," J. of Fluids Eng., Vol. 119, pp. 633~638
- (2) 허남건, 김욱, 강신형, 1997, "Cross-flow Fan 의 유동해석: 블레이드 형상의 변화에 대한 영향 연구," 유체기계연구개발협의회 '97 강연회 및 연구개발 발표회 논문집, pp. 125~132
- (3) 진심원, 이진하, 서상호, 이내영, 임금식, 1995, "에어콘용 직교류팬의 고풍량화에 대한 실험적 연구," 공기조화 냉동공학회 추계학술발표회 논문집, pp. 234~241
- (4) 박동섭, 맹주성, 이상환, 1995, "직교류팬 스테빌라이저 설계를 위한 실험적 고찰," 공기조화 냉동공학회 추계학술발표회 논문집, pp. 234~241
- (5) Tanaka, S., and Murata, S., 1995, "Scale Effects in Cross-flow Fans," JSME series B, Vol.38, No.3, pp.388~397
- (6) Raisinghani, S.C., Ghosh, A.K. and Kalra, P.K., 1998, "Two new Techniques for Aircraft Parameter Estimation using Neural Network," The Aeronautical Journal, Vol. 102, No. 1011, pp. 25~30
- (7) Ahn, C.O., Jin, S.W. and Rew, H.S., 1997, "Parametric Study in Cross-flow Fan Using Neural Network," Proceedings of ICFE Conference Vol. I, Tokyo, Japan, pp. 213~218
- (8) Chester, M., 1993, Neural networks-a Tutorial, PTR Princess Hall, New Jersey
- (9) ANSI/ASHRAE Standard 41.2-1987 (RA 92), "Standard methods for laboratory airflow measurement"