

## Neural Network 을 이용한 시로코 팬 설계 인자 분석

민현석, 안철오, 류호선\*

### 1. 서론

원심 팬 소음에 관한 연구는 효율 상상을 위한 연구 만큼이나 오랫동안 진행되어 왔다. 축사류 팬 분야에서는 이론적으로나 경험적인 식이 많이 발표되었지만[1,2], Sirocco 팬의 경우 유동이 3차원이고 복잡한 난류 유동의 특성을 가지고 있어 정확하게 성능과 소음을 정확하게 예측할 수 있는 연구 결과는 드문 편이다. 그래서 시로코 팬의 설계는 주로 실험적인 접근 방법에 의존하고 있는 형편이다[3]. 최근 가전 제품의 전반적인 추세는 고효율화, 저소음화, compact 화이다. 그러나 일부 제품은 거실 등에 사용되고 있기 때문에 가전제품의 저소음화 연구는 상당히 활발한 편이다.

팬의 소음에 대한 연구를 살펴보면, Maling[4]은 실험적인 연구를 통하여 기하학적으로 상사성을 가진 원심 팬의 sound pressure spectrum 에 적당한 무차원 수를 도입하면 spectrum 은 상사분포를 나타낸다고 발표하였다. 그래서 이 사실을 근거로 Mugridge[5]와 Konieczny[6]는 실험을 통해서 여러 종류의 sirocco 팬 소음에 대하여 소음 예측 결과를 발표하였다. 한편 Konieczny 는 Sirocco 팬의 소음의 상사성에 법칙의 타당성을 확인한 것은 물론 blower 의 외경과 높이에 관한 적당한 무차원 변수를 이용하면 scale up/down 된 팬의 팬 성능 곡선을 예측할 수 있음은 물론 1/3 Octave 로 얻어진 팬 소음 level 을 얻을 수 있다고 하였다.

그러나 위의 연구 결과는 Sirocco 팬의 여러 설계 인자 중에서 일부만 고려되었기 때문에, 각 설계 인자가 변화에 따른 성능 및 소음 변화를 종합적으로 예측하거나 판단하는 데 다소 미흡하기 때문에 각 설계 인자 변화에 따른 성능 및 소음의 특성 변화에 대한 연구는 반듯이 수행해야 한다. 그래서 Morinushi[7]는 Sirocco 팬의 인자 변화에 따른 소음 실험을 집중적으로 수행하여 Sirocco Fan 의 비소음에 대하여 많은 자료를 제시하였다. Morinushi 는 전향 각을 갖는 경우에 비소음이 가장 작은 경우는  $b/D_2$  은 0.65 이며 이보다 클 때에는 비소음이 급히 커지는 사실을 밝혔다. Sirocco 팬 입구부의 clearance 는 impeller 폭의 0.03 ~ 0.10 의 범위에서 소음에 미치는 영향은 거의 없고, 최적 취부 각은  $26^\circ$  이다고 하였다. 그리고 scroll 의 형상은 소음에 많은 영향을 주기 때문에 설계 시 주의가 필요하다고 하였다. 그러나 제품 설계와 같이 특별한 제약 조건이 있는 경우에는 각 설계 인자가 팬 성능에 미치는 영향을 고려하여 설계하는 것이 바람직하며, 기존의 자료를 충분히 활용하는 것이 바람직하다고 할 수 있다.

그래서 본 연구에서는 팬 설계 인자가 성능 및 소음에 미치는 영향을 살펴보기 위해 실험 계획법에 의해서 설계된 sirocco 팬의 실험 결과를 경제적으로 활용하는 데 주안점을 두고자 한다. 최근 Taguchi 방법은 제품 설계 시 실험적으로 최적 값을 찾는 데 많이 사용되고 있으며, 설계 인자 중에서 간단한 계산을 통해서 어떤 설계 인자가 영향을 많이 가장 주는가를

---

LG 전자 리빙시스템연구소 유체유동팀

살펴보는 상당히 도움을 주는 방법이다. 그러나 이 방법은 설계 인자 선정이 각 설계 인자의 수준 만 결정하고, 다른 설계 인자가 첨가되었을 때에는 새로운 실험 계획을 세워서 실험을 다시 수행해야 한다는 약점이 있다. 그래서 본 연구에서는 실험 계획법에 따라 실험을 수행하되 Neural network 을 이용하여 시로코 팬의 성능과 소음에 대한 인자 연구를 집중적으로 하고자 한다.

## 2. 측정 방법

실험 계획법에 의해서 설계된 시로코 팬은 그림 1 과 같이 구성된 팬 테스트에서 풍량과 정압의 실험 결과를 얻었다. 시로코 팬을 구성하는 많은 설계 인자 중에서 비교적 중요도가 크다고 생각하는 blade 입출구 각( $\beta_1, \beta_2$ ), 현절비(bpcr), 스크롤 확장각( $\alpha$ ), blade 와 cut-off 간의 거리( $D_{co}$ ) 등 총 8 개의 설계 인자를 변화시켜서 설계/제작하였다. 이 설계 변수에 대한 자료는 민현석과 류호선[8]을 참조하기 바란다. 그리고 설계된 18 개의 시로코 팬의 성능 및 효율 등에 대한 자료는 그림 1 에 나타낸 fan tester 에서 구하였다.

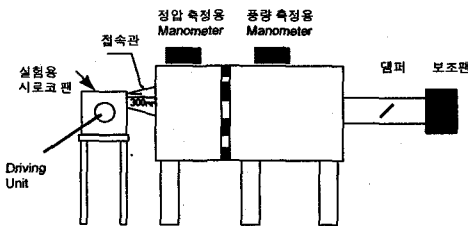


그림 1 Fan tester

그림 1 의 Fan tester 는 ASHARE 표준으로 설계/제작하였으며, 팬의 성능 및 효율과 관련된 자료는 Yokokawa Hybrid 기록계를 A/D Converter 로 사용해 PC 에서 평균 값을 취하였다. 압력

측정은 차압 측정 용인 Furness 의 manometer 를 사용하였으며, 시로코 팬의 축에 걸리는 Torque 는 ONOSOKI 사의 MS-800 를 사용하였다. Torque 측정 시에는 각 RPM 따라 MS-800 의 보정 방법을 사용하였다. 그림 2 에는 시로코 팬의 RPM 이 800, 1000, 1200 인 경우에 RPM 이 blower 의 직경과 회전수를 기준으로 하여 유량 계수와 압력 계수를 나타내었다. Phelan[10]의 연구에 의하면 팬의 직경과 RPM 을 기준으로 한 레이놀즈 수가  $1.06 \times 10^5$  이상이면 압력 계수와 유량 계수가 상사 분포를 나타낸다고 하였다. 그림 2 유량 및 압력 계수는 이러한 특성을 잘 나타내고 있다.

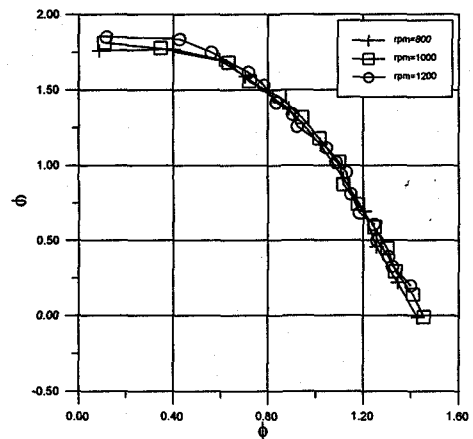


그림 2 시로코 팬의 유량 및 압력 계수

한편 시로코 팬에 의해서 발생하는 소음은 cut-off 주파수가 200Hz 이고 압 소음이 16dBA 인 무향실에서 측정하였으며, Microphone 및 B&K 의 장비를 사용하였다. 음압 변동 자료는 HP 의 A/D converter 에서 signal 을 digital 로 변환하여 power spectrum 을 100 회 평균하여 소음 값을 얻었다. 시로코 팬의 소음 수준은 시로코 팬에 가해지는 유동 저항에 따라 달라진다는

사실은 잘 알려진 사실이다. 그래서 본 연구에서는 그림 3에 나타난 바와 같이 유동 이입부에 열교환기를 장착하여 소음을 무향실에서 측정하였다.

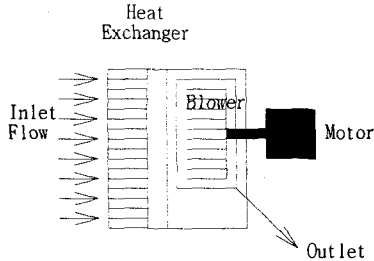


그림 3 열 교환기가 장착된 시로코 팬

### 3. Neural Network

이미 언급한 대로 Taguchi 방법은 기본적으로 각 설계 인자가 전체 성능에 얼마 정도 영향을 주는 지 알 수 있는 장점은 있지만, 설계 인자 선정이 각 설계 인자의 수준 만 정한다는 약점이 있다. 따라서 Taguchi 방법을 이용하여 최적 조건을 찾으려면 몇 번의 설계 과정을 거쳐야 하며 새로운 설계 인자가 고려되는 경우에는 새로운 직교 배열 표를 구성하여 실험을 다시 해야 한다는 단점이 있다. 다시 말하면 Engineering Database의 확장성 면에서 단점을 가지고 있다는 것이다. 따라서 이와 같은 방법을 사용하게 되면 많은 실험으로 인한 시간과 비용이 소모되게 된다. 그러므로 위에서 얻어진 실험 자료를 좀 더 효과적으로 이용할 수 있는 방법을 고려해야 한다. 그 방법 중의 하나가 설계 변수에 대한 자료를 regression 하여 다 변수 함수를 설정하여 이용하는 방법이 그 하나일 것이다. 그러나 이와 같은 방법은 여러 변수에 대한 자료를 multi-variable 을 fitting 해야 하며 이 fitting 된 자료가 실험 결과와 잘 일치하는

가를 살펴보아야 한다. Cross flow fan의 경우 P-Q 선도가 급격히 변하는 양상이 나타나는 경우와 시로코 팬에서 P-Q 선도가 급격히 변화하는 경우에는 고차의 다항식을 사용하여야만 정확도를 유지할 수 있는 데, 이러한 경우에는 엄청난 양의 실험을 수행해야 하는 결정적인 단점을 가지고 있다. 그래서 본 연구에서는 횡류 팬과 마찬가지로 Neural-network 를 이용한 추론 알고리즘을 사용하기로 한다.

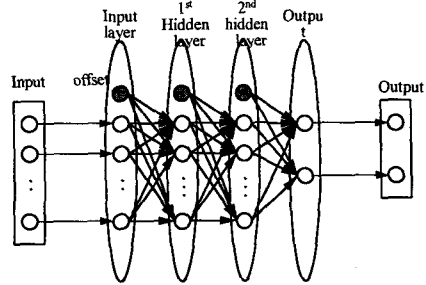


그림 4 4 단계로 이루어진 neural network model

Neural network에서는 unit 들의 일련의 집합을 층(layer)으로 구분하여 부르며, 그림 4에 나타난 바와 같이 전체의 시스템은 입력신호를 받아들이는 입력 층, 결과에 해당하는 신호를 의미하는 출력 층, 그리고 입력 층과 출력 층 사이에 존재하는 은닉 층으로 이루어져 있다. 실험 결과를 정확하게 예측하게 하기 위해서는 입력 자료의 수와 실험 자료의 질 등에 따라 층의 수 등을 조정해가면서 각 unit 간의 연결 강도를 찾는 것이 neural network 을 기본 작업이다. Neural network 에서 unit 간의 연결 강도를 찾는 방법은 상당히 많이 있지만 본 연구에서는 역전파 학습법 (back-propagation method)을 사용하였다. 각 unit 수 및 연산 방법에 따른 추론 결과의 차이점에 관한 내용은 Ahn. et al.[11]을 참고하기 바란다.

#### 4. 결과 및 고찰

위에서 언급하였듯이, 본 연구에서는 총 8개의 설계 인자에 대한 성능 및 소음 연구를 시도하였다. 따라서 각 설계 인자가 전체 성능에 미치는 영향을 한번에 도시하기란 불가능하다. 그래서 편의 상 본 연구에서는 표 1에 나타난 바와 같이 최저 비소음을 나타내는 설계 값을 기준으로 하여 각 그림마다 1가지 설계 값을 변화시키면서 풍량과 비소음에 미치는 영향을 살펴보기로 한다. 그리고 비소음 값은 Morinushi[7]가 정의한 대로 유량과 전압을 기준으로 정하였다.

표 1 최저 비소음 설계 인자 값

Min. Ks	Neural Network
$\theta(^{\circ})$	70
$D_1/D_2$	0.9
$\beta_2(^{\circ})$	150
$\beta_1(^{\circ})$	50
bpcr	1
$b/D_2$	0.6
$\alpha(^{\circ})$	10
$D_{\infty}/D_2$	0.06

그림 5는 시로코 팬의 토출 각 변화에 따른 풍량과 비소음 변화량을 나타내었다. 시로코 팬의 토출구는 팬의 출구 유동과 밀접하게 관련되어 있으며 회전하는 blade에서 나오는 유동이 원만하게 토출구를 빠져나가는 것을 결정하는 설계 인자이기 때문에 팬의 풍량과 소음에 영향을 어느 정도 줄 수는 가능성을 가지고 있다고 생각된다. 그리고 그림 5를 살펴보면 팬의 토출각을 크게할 수록 풍량은 감소하고 소음은

증가하는 양상이 나타나고 있는 데, 이는 토출각을 지나치게 크게 하면 시로코 팬 토출구 부위 유동은 급속한 확대 관을 지나는 유동에서 유동의 박리가 발생하고 유동의 박리에 의해서 손실이 증가하며 박리 발생에 따른 와류의 운동이 활발한 현상과 유사하기 때문이라고 사료된다. 이미 언급 한대로 그림 5는 표 1에 나타난 설계 인자 값 중에서 시로코 팬의 토출 각을 변화하고 다른 설계 인자 값을 고정된 상태를 명심하기 바란다.

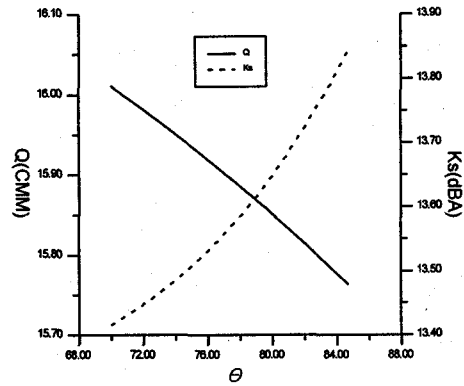


그림 5  $\theta$  변화에 따른 풍량 및 비소음의 변화

Blade 내/외경 비는 blade와 blade 사이의 channel 길이와 매우 밀접한 관련을 가지고 있다. Channel 길이가 길어지면 유동 마찰에 의해서 유동 저항이 커질 것이고 길이가 짧으면 blade를 빠져나가는 유동의 방향과 blade가 그리는 출구 각이 일치하지 않아 손실을 야기시킬 것이다. 그림 6는 blade 내/외경 비 변화에 따른 풍량 및 비소음 변화를 나타내었다. 이 결과는 팬의 내/외경 비가 클 수록 유량이 증가하지만 0.82 보다 커지면 유량이 감소하는 경향을 나타내고 있다. 이는 이미 언급한 대로 유동 마찰과 유동 방향이 설계 안대로 충분히 변화하지 못하기 때문이라고 사료된다. 그리고 비소

음은 내외경비가 작을수록 비소음이 증가하는 양상을 나타내고 있는 사실이 흥미롭다. 한편 내외경비는 그림 6에 나타난 바와 같이 소음에 많은 영향을 주기 때문에 내외경비 선택은 신중히 결정해야 한다.

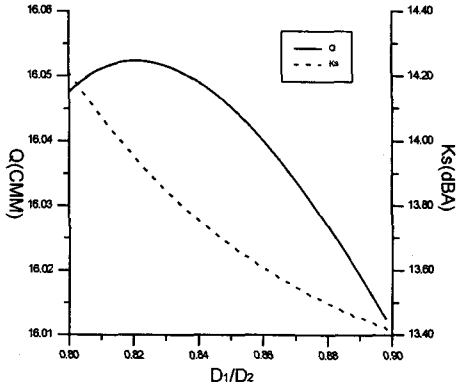


그림 6 내외경비 변화에 따른 풍량 및 비소음 변화

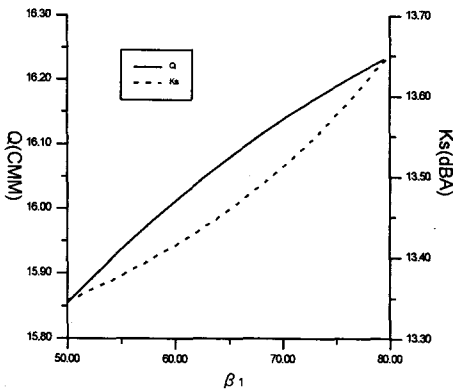


그림 7 blade 입구 각 변화에 따른 풍량 및 비소음 변화

Blade 입출구 각은 시로코 팬 설계 시 이론적으로 정압 상승이 어느 정도 상승하나 알아보는 속도 삼각형과 밀접한 관련이 있다. 기존의

민현석 & 류호선[8]의 연구에 의하면 blade의 입/출구 각은 스크롤 각이 시로코 팬의 풍량에 미치는 기여도는 상당히 작지만 소음에 미치는 기여도는 스크롤 각보다는 크지는 않지만 거의 대등한 수준임을 밝힌바 있다. 그리고 blade 출구각( $\beta_2$ )의 풍량과 소음에 대한 기여도는 blade 입구각( $\beta_1$ )보다 크다. 그림 7과 8은 이러한 사실을 잘 반영하고 있다. 그리고 blade 입출구 각을 크게 하면 할수록 팬의 풍량이 증가하고 소음이 크게 증가하는 영향이 두드러진다. 이는 속도 삼각형을 이용해서 출구각( $\beta_2$ )이 커지는 경우 blade를 통과하면서 많은 정압이 야기되며 blade channel을 따라 흐르는 경계층은 역압력 구배를 받아 경계층이 두꺼워 소음이 증가하기 때문이라고 사료된다.

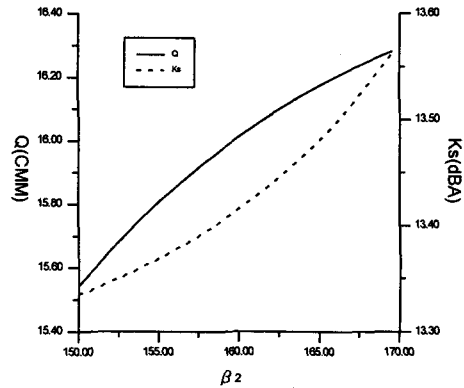


그림 8 blade 토출 각의 변화에 따른 풍량 및 소음 변화

원심형 송풍기에서 중요한 설계 인자 중의 하나가 blade의 수이다. 본 연구에서는 유동이 blade 사이를 빠져나가는 유동이 측면의 영향을 받는가를 살펴보기 위해서 blade pitch chord ratio(이후 bpcr라 칭함)의 설계 인자로 선택하였다. 여기서 bpcr이 크면 blade와 blade 사이가 촘촘하다는 것을 뜻한다. 그림 9를 살펴보면

면 bpcr 이 클수록 유량은 증가하고 비소음은 감소하는 특성을 나타내고 있다. 이는 blade 간격이 좁아질수록 유동이 blade 간격을 매끈하게 빠져나기 때문이다.

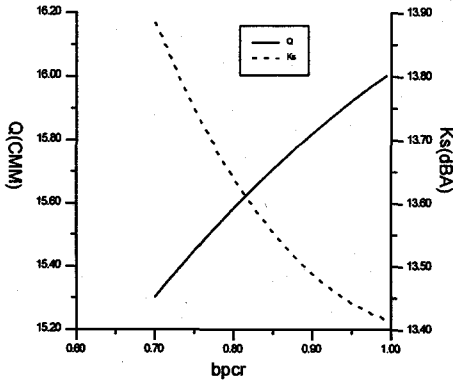


그림 9 blade pitch chord ratio 변화에 따른 풍량 및 소음 변화

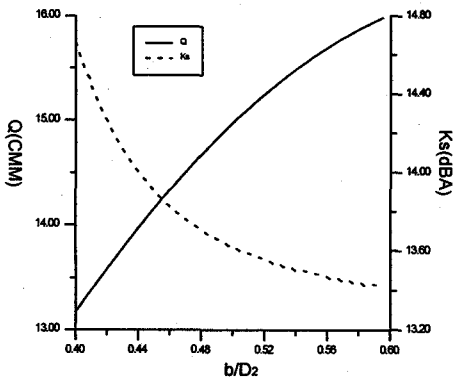


그림 10 blower 높이/의경 비에 따른 풍량 및 소음 변화

Morinushi 는 시로코 팬에 대한 연구에서  $b/D_2$  가 0.65 일 경우가 가장 팬의 효율과 팬 소음이 낮다고 하였다. 그림 10은 Morinushi의 실험 범위와는 다르지만 유사한 추론 결과를 나타내고 있다. 그림 10은  $b/D_2$  가 커질수록 풍량이 커지는 기울기가 어느정도 유지되지만 비

소음은  $b/D_2$  가 0.6에 도달하면서 완만하게 감소하고 있다. 따라서  $b/D_2$  가 어느 정도 커져도 풍량 증가 및 소음 저감의 정도가 작아지리라고 예상된다. 그리고 여기서 주의할 사항은  $b/D_2$  가 그림 5~9에 나타난 설계 인자보다 영향이 큰 데, 설계 시에는 가능한  $b/D_2$ 의 값을 0.65 근처 값을 유지하는 것이 바람직하다고 할 수 있다.

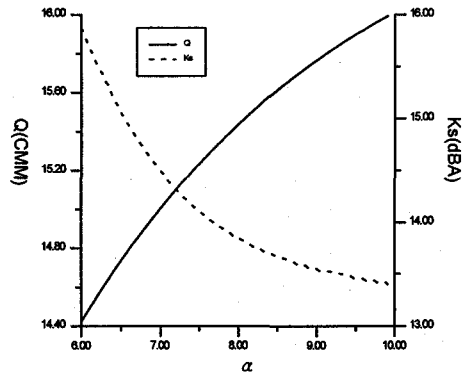


그림 11 Scroll 확산각 변화에 따른 풍량 및 소음 변화

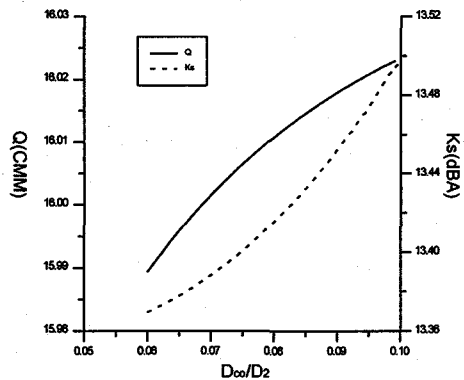


그림 12 Cut-off 거리 변화에 따른 풍량 및 소음 변화

시로코 팬 설계 인자 중에서 가장 중요한 부분

이 scroll 설계와 관련된 항이다. 그림 11~12에 나타난 바와 같이 scroll 확산 각이 전체 팬의 성능과 소음에 지대한 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 이러한 결과는 Konieczny[6]의 실험 결과에서도 이러한 현상이 관찰된 바가 있다. 그림 11에 의하면 scroll 각이 크면 유량이 증가하고 소음이 감소한다. 따라서 시로코 팬 설계 시 주어진 공간 내에서 되도록 scroll 확산각을 크게하는 것이 바람직하다고 할 수 있다. 이는 팬 blade에서 빠져 나오는 유동이 scroll을 따라 흐르는 유동과 완만하게 혼합되고 압력 회복이 서서히 회복될 수 있는 충분한 공간이 있어 이러한 특성이 나타나지 않나 사료된다. 한편 Cut-off 거리가 유량 및 소음에 미치는 영향은 상대적으로 작다. 따라서 scroll 설계 시에는 cut-off 거리 확보보다도 확산 각을 크게하는 것이 바람직하다고 할 수 있다. 그러나 불행하게도 시로코 팬의 크기에 많은 영향을 주는 것은 scroll이다.

그림 5 ~ 12에 나타나듯이 Neural-network을 이용하면 Taguchi 방법보다도 각 인자의 변화 상태를 자세하게 볼 수 있으며, 설계자가 많은 자료를 참고로 해서 새로운 제품 설계에 응용할 수 있다는 장점이 있다. 즉 Taguchi 방법 방법이 상황이 변화하더라도 전체 성능의 변화가 상대적으로 작도록 목적 함수로 선택하고 비교적 간단한 과정을 통해서 최적치를 찾기 때문에 설계 인자 변화에 따른 성능 등의 변화 양상을 나타내고 좀더 정밀한 최적 설계값 제시하기에는 다소 미흡한 점이 있다. 그리고 Multi-Input 과 Multi-Output 의 개념을 갖는 대부분의 공학적인 문제를 해결하는 데에는 Taguchi 방법이 다소 문제점이 있다고 할 수 있다. 따라서 비교적 연산 시간이 많이 걸린다 하더라도 Neural-network을 이용한 추론 방법은 다양성 면에서 매우 유용하다고 할 수 있다. 그리고 이 방법은 Taguchi 방법과 달리 직교 배열 표에 의

해서 구성된 자료를 사용해야 한다는 제약 조건이 없기 때문에 비록 Neural-network을 이용한 추론 방법이 연산 시간 면에서 매우 불리한 점이 있다 하더라도 다양한 변수를 사용하는 제품의 Engineering Database 구성 및 활용에 매우 유리한 장점이 있다고 할 수 있다..

## 5. 결론

시로코 팬의 설계 인자가 팬의 풍량과 비소음에 미치는 영향을 Neural network을 사용하여 팬 설계 인자의 변화에 따른 유량, 소음에 대한 변화량을 쉽게 찾을 수가 있었다. 본 연구에서는 유량에 대한 최적 조건과 최저 비소음에 대한 최적화를 시도하였으며 최저 비소음 설계점 근처에서 시로코 설계 인자가 풍량 및 비소음에 미치는 영향을 집중적으로 살펴보았다. 최저 비소음 설계점 근처에서 시로코 팬의 유량과 비소음에 가장 큰 영향을 주는 설계 인자는 스크롤 확산 각이며 이 각이 커질수록 풍량이 증가하고 비소음이 감소하는 특성을 찾을 수가 있었다. 그리고 blower 높이도 팬의 풍량과 비소음에 매우 큰 영향을 미치는 설계 인자로서  $b/D_2$ 가 커질수록 팬의 유량과 비소음이 감소하는 특성을 나타내었다. 그리고 blade pitch chord ratio(bpcr)는 스크롤 각보다 영향은 작지만 bpcr이 클수록 유량이 증가하고 비소음이 감소하는 경향을 나타내었다. 한편 blade 입출구각과 내외경비는 풍량이 증가하면 비소음이 증가하는 현상을 나타내었다.

## 참고 문헌

- [1] Fukano, T., Kodama, Y., and Takamtsu, Y., "Noise Generated by Low Pressure Axial Fans, Part II : Effects of Number of Baldes, Chord Length and Camber of Blade," J., of Sound &

- Vibration, Vol. 50, pp. 75-88, 1978
- [2] Lee, C., Chung, M.K., and Kim, Y.H., "A Prediction for Vortex Shedding Noise from the Wake of an Airfoil or Axial Flow Fan Blades," *J. of Sound & Vibration*, Vol. 164, pp. 327-336, 1993
  - [3] Embleton, T.F., "Experimental Study of Noise Reduction in Centrifugal Blowers," *J. of the Acoustical Soc. Of America*, Vol.35, pp. 700 ~ 705, 1963
  - [4] Maling, G.C., "Dimensional Analysis of Blower Noise," *J. of the Acoustical Soc. Of America*, Vol.35, pp. 1556-1564, 1963
  - [5] Mugridge, B.D., "Noise Characteristics of Axial and Centrifugal Fans as used in Industry," *The Shock and Vibration Digest No.7*, pp.93-107, 1975
  - [6] Konieczny, P., *Noise Prediction Schemes for Centrifugal Blowers used in Computer Equipment*, PRF. No. 670-1288-1491, 1990
  - [7] Morinushi, K., "The Influence of Geometric Parameters on F.C. Centrifugal Fan Noise," *J. of Vibration, Acoustics, Stress, and Reliability in Design*, Vol. 109, pp.227-234, 1987
  - [8] 민현석, 류호선, "다구찌 방법에 의한 시로코 팬 인자 연구," *공기조화 냉동공학회 추계학회, 한국과학기술회거관*, pp.251-256, 1996
  - [9] .Ahn, C.O, Min, H.S., and Rew, H.S., "An Optimization Procedure in a Sirocco Fan using Experimental Data ," submitted to ASME conference, 1997
  - [10] Phelan, J.J., Russel, S.H., and Zelluff, "A Study of the Influence of Reynolds Number on the Performance of Centrifugal Fans," *ASME Paper 78-WA/PTC-3*, 1978
  - [11] Ahn, C.O., Jin, S.W., and Rew, H.S., "Parametric study in a cross flow fan using neural network," submitted to JSME conference, 1977