유체기계공업학회 '98 강연회 및 연구개발 발표회 논문집, pp.73-81
과학기술회관 국제회의실, 1998. 2. 18

Neural Network 를 이용한 MWO 용 축류팬 연구

류호선*, 안철오
리빙시스템연구소
LG 전자,

1. 서론

축류팬은 산업 분야에서 사용되고 있는 대형 축류팬 뿐만 아니라 가전 분야에서 냉각의 목적으로 직경이 상대적으로 작은 소형 송풍기 등의 형태로 다양하게 사용되고 있다. 그러나 산업용인 경우에 오랜 역사를 가지고 연구가 수행되어 성능 예측을 위한 다양한 손실 모형이 개발되어 비교적 성능 예측을 할 수 있는 수준에 도달하였다[1]. 그러나 가정용 축류팬의 경우에는 다양하고 복잡한 유로, 대량 생산을 위한 공차 등의 이유 때문에 산업용 축류팬에 비해서 성능 예측등에 어려운 점이 많이 있다[2]. 산업용 축류팬 응용에 있어서 대부분의 경우에는 직선 형태의 덕트에서 작동되어, 외부 유동을 흡입하는 입구 지역을 제외하고 유동이 축류팬의 축 방향과 일치하는 반면에 가정용 축류팬의 경우에는 냉각 등의 목적으로 사용되고 있기 때문에 축류팬 축방향과 유동 방향이 일치하지 않는 경우가 상당히 많다. 그리고 가전용 축류팬의 경우에 팬의 효율보다는 소음 수준이 더 중요한 요소이기 때문에 전향각이 상대적으로 크며, hup/tip 비율이 상대적으로 작고 산업용 축류팬의 경우에 덕트 벽면에 의해서 팬에서 빠져 나온 유동이 팬 축방향과 일치하려는 특성이 강하지만 가정용 팬의 경우에는 팬에서 나온 유동이 자유 공간에 토출되기 때문에 반경 방향의 유동 성분이 산업용보다 크다[3]. 이와 같은 유동의 복잡성 때문에 기존에 산업용 축류팬에서 사용하였던 손실 모형을 사용하여 소형 축류팬 성능 예측을 시도하였지만 아직 가전용 축류팬 성능 예측을 위해서는 많은 연구가 진행되어야 할 것이다. 비록 최근 많이 사용되고 있는 전산 유체의 발달과 이를 지원할 수 있는 전산 환경이 많이 개선되서 팬 설계에 응용이 되고 있지만[4,5], 소형팬의 경우에 팬 설계에서 실험 과정과 시간이 경제적 측면과 제품 개발이라는 측면에서 유리한 경우가 많기 때문에 실험을 이용하는 것이 효율적일 수도 있다. 최근에 소형팬 개발에 많이 사용되고 있는 Stereo Lithography Apparatus 는 실험으로 소형 팬 개발을 하는 것이 바람직하게 하는 요인 중의 하나이며[6] 팬의 다양한 설계 인자 실험 분석이 가능이 용이해졌다[7].

보통 MWO 에 축류팬이 사용되고 있는 경우에 실질적으로 사용되고 있는 경우에 LDV 를 이용하여 측정된 속도 분포는 Magnetron 주위에서(축류팬의 hub 와 가까운 지역) 역류가 발생하며, 속도 분포도 팬의 반경 방향으로 변화가 상당히 심하다. 기하 형상이 다른 것은 물론 유동 형태도 상당히 복잡하게 나타나기 때문에 기존에 산업용 축류팬 손실 모형을 적용하는 어렵다. 이미 언급하였듯이 유동 해석을 통한 축류팬 설계인자 연구는 경제적인 측면에서 실험적인 접근보다 단점이 많기 때문에 본 연구에서는 실질적인 유동 상황을 고려하여 팬 개발을 시도하였다. 시험은 실험 계획법을 기초로 하여 총 18 개의 축류팬을 설계/제작하여 성능 및 소음 실험을 수행하였다. 그리고 18 개의 축류팬에 대한 실험 결과는 기존에 발표되었던 Neural network 를 이용하여 각 설계 인자가 성능 및 소음 수준에 미치는 영향을 살펴보고 설계 인자가 미치는 영향에 대해서 논하기로 한다.

이미 언급하였듯이 축류팬을 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 **database** 확보 후 이를 설계에 반영하는 것은 매우 비경제적이며 많은 시간이 필요하게 된다. 그리고, 모든 설계 인자가 서로 완전한 독립적 관계를 가지고 있지 않기 때문[7]에 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 2 개 미만일 경우는 수회의 인자 변화 실험을 통해 얻어진 데이터를 적당하게 **regression** 함으로써 소기의 결론에 다다를 수 있으나, 인자의 수가 3 개 이상이 되면 충분한 정확도를 보장키 위하여 **regression** 과정에서 요구되는 실험 데이터는 기하급수적으로 늘어나게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 다수의 설계 인자와 실험을 행하여 얻은 각각의 결과의 상호 관계를 추론하고, 최종적으로 향상된 설계안을 얻고자 신경회로망을 채용하였다. 본 연구에서는 축류팬을 구성하고 있는 설계 인자자 중에서 총 8 개의 설계 인자와 실험 결과를 이용하여 그 계(system)가 가지는 특성과, 각각의 인자가 실험 결과에 어떻게 또 얼마 만큼의 영향을 미치고 있는지를 알아보고자 한다.

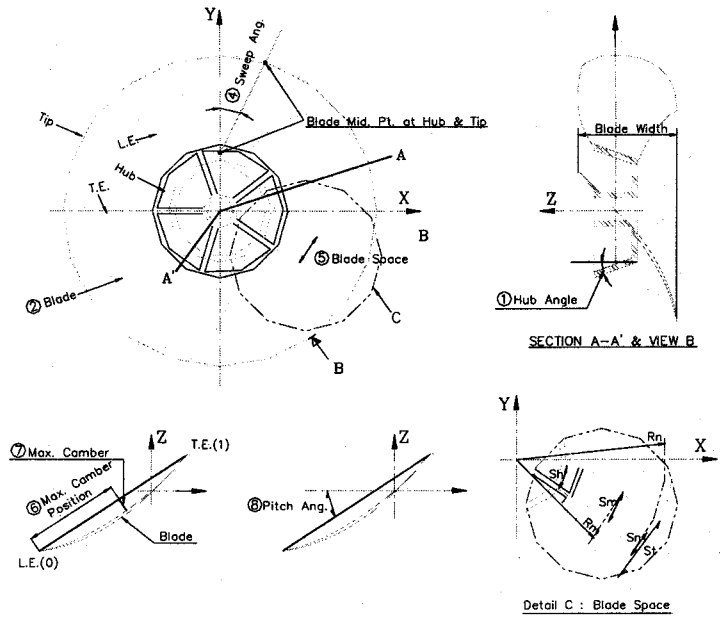

그림 1 설계 인자 정의

2. 설계 인자 선정 및 실험 결과

축류팬 유동 관련하여 구성요소 중에서 유로를 구성하는 중요 구성요소인 **shroud** 혹은 **tip** 간격이 소음 및 효율에 많은 영향을 미친다는 것은 잘 알려진 사실이다[8]. 그러나 본 연구에서는 MWO 유로 시스템에 영향을 주기 때문에 **shroud** 가 팬의 성능

및 소음에 주는 영향을 배제하기로 한다. 그래서 본 연구 설계인자는 팬 브레이드 및 허브 형상과 관련된 설계 인자로 국한시키기로 한다. 본 연구에서는 그림 1 에 나타난 바와 같이 축류팬을 구성하는 8 개의 설계 인자를 선정하였다. 먼저 허비 지역 반경 방향 속도 성분에 영향을 주리라고 예상되는 허브 각도(A), 브레이드 하중과 팬의 공간에 많은 영향을 주는 브레이드 수(B), 팬을 통과하면서 유동이 느끼는 폐쇠율인 허브/팁 비(C), Fukano et al.[9]에 의해서 제안된 축류팬 소음 인자인 전향각(D), 후연에서 떨어져 나가는 와류가 전연에 부딪히는 가능성에 대한 설계인자인 브레이드 간격(E), 브레이드 표면에서 발달하는 경계층에 영향을 주는 압력구배를 지배하는 최대 캠버 위치(F)와 최대 캠버 값(G) 그리고 회전 속도와 유량에 의해서 결정되는 피치각(H)를 중요 설계 인자로 설정하였다. 이 설계 인자를 이용해 실험계획법에서 많이 사용하는 직교배열표를 표 1 과 같이 구성하여 총 18 개의 축류팬을 설계 제작하였다.

표 1 설계 인자 및 설계 인자 범위

기호	설계인자	설계인자 범위	수준
A	허브 각	0° ~ 20°	2
B	브레이드 수	5 ~ 7	3
C	허브/팁 비	0.23 ~ 0.33	3
D	전향 각	25° ~ 35°	3
E	브레이드 간격	Type A, B, C	3
F	최대 캠버 위치	0.45 ~ 0.75	3
G	최대 캠버 값	1 ~ 11	3
H	피치 각	27° ~ 44°	3

설계 당시 shroud 직경과 shroud 와 브레이드 팁 사이의 간격이 설계 제약 조건으로 설정되어 팬의 팁 직경은 105mm 로 결정하였으며, 모든 축류팬은 SLA 로 제작되었다. 모든 팬의 표면 거칠기는 전체 성능에 영향을 주지 않을 정도로 가는 사포로 연마되었다. 한편 각 축류팬 실험은 ASHRAE 에서 추천하는 방법으로 설계된 fan tester 에서 유량을 측정하였다. Fan tester 에서 압력 측정은 해상도가 0.005 mmAq.인 FURNESS manometer 를 사용하였다. 그리고 축류 팬 소음은 cut-off frequency 가 200Hz 이고 암소음이 16dBA 인 무향실에서 측정하였다. 소음 크기는 microphone 과 FFT signal analyzer(B&K 3550)를 사용하여 측정하였다. 소음 측정 시 축류 팬과 microphone 간의 수평 거리는 1m 이었고 각 축류 팬 소음 값은 500 번 측정하여 평균 값을 취하였다. 기타 팬 효율과 관련된 실험 방법은 Rew et al.[7]을 참고하기 바란다.

3. 신경회로망 적용

본 연구에서는 직교배열표에 의거하여 얻어진 실험 결과를 신경회로망을 이용하여 다차원의 데이터를 modeling하고 그 결과를 이용하여 각각의 인자들의 영향을 파악해 보았다. 직교배열표에 따라 실험에 적용되는 설계 인자의 조합과 그때의 성능이 학습 패턴이 되고, 신경회로망은 이를 미리 정해준 학습 조건에 따라 허용된 오차 범위 이내에 그 학습 오차가 접근할 때까지 반복적으로 학습하고 자기 자신을 학습 패턴에 맞게 적응시켜 나간다. 학습 오차란 신경회로망이 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, 직교배열표에 선정된 수준 내에서 조합이 가능한 모든 설계 안에 대하여 최대의 풍량이 예측되는 설계 안과 최소의 소음이 예측되는 설계 안을 제시하도록 하였다.

신경회로망은 그림 2에 나타난 바와 같이 최소한 하나의 입력 층(input layer)과 하나의 출력층(output layer), 그리고 modeling 하고자 하는 학습 패턴에 따라 은닉 층(hidden layer)을 사용한다. 각각의 층에는 미리 결정된 수 만큼의 neuron이 놓여있다. 본 연구에서는 비교적 복잡한 경우에 대하여 문제를 해결할 수 있도록 두개의 은닉

층을 가지는 신경망을 사용하였다. 이때 neuron간의 연결 강도(synaptic weights) 결정에 있어서는 가장 보편적으로 사용되고 있는 역전파 학습법(Back-propagation method)을 채택하였다. 한편, 수렴의 고속화를 위해 momentum항을 첨가하여 학습 오차 정도에 따라 momentum을 증가 혹은 감소시키는 방법을 사용하였다.

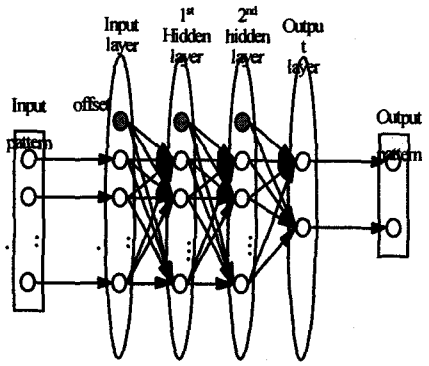

그림 2 신경회로망 구조

본 연구에서는 실험 데이터를 학습 패턴으로 사용하기 때문에 입력 패턴 숫자는 18 개가 되고, 입력 층의 neuron 의 수는 설계 인자의 수로서 8 이 된다. 즉, 학습을 통해 얻어지는 결과는 8-dimensional vector space 에 펼쳐진 가상의 함수이다. 이 함수를 구성하기 위해서 주어지는 조건은 이 공간 내에 띄엄띄엄 놓인 18 개의 점(학습 패턴)만을 사용하는 것이다. 그러므로 우리가 구성할 함수의 모형은 최대한 단순한 것이 바람직하다. 그것은 18 개의 정보만을 가지고 결정해야 할 미지수의 수는 적을 수록 유리하다는 의미이다. 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 미지수가 증가하는 것이 되므로 불필요한 은닉 층의 수의 증가와 neuron 수의 증가는 오히려 좋지 않은 결과를 낼 수 있다는 의미이다. 이러한 문제점은 은닉 층의 수가 동일하다고 하더라도 은닉 층에 포함된 neuron 의 수에 차이가 있는 경우, 학습 후 최대 풍량을 내는 설계 안과 최소 소음을 내는 설계 안의 추론 결과는 서로 다를 수 있다는 것이다. 결론적으로 이러한 분석 방법을 이용할 때, 과연 은닉 층에서의 neuron 의 수를 몇 개로 할 것인가 하는 문제에 직면하게 된다.

그러나 각 은닉 층에서의 neuron 수를 달리해 가며 여러 가지의 경우에 대해 학습을 시키며 그 추론 결과를 관찰 해 보면 흥미로운 결과를 얻을 수 있다. 성능에 주요한 역할을 담당하는 인자는 은닉 층에서의 neuron 의 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 불일치하는 경우, 제시된 결과를 불확실한 것으로 판단한다. 이는 기존의 결과에 대해 이러한 방법으로 확인한 결과 타당한 것으로 여겨진다. 마치 이는 은닉 층의 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 설계 값들로 최적 안을 도출 할 수 있다. 그러나 그들이 같은 실험 데이터를 통해서도 서로 제시하는 결과가 서로 다른 경우에는 설계 안을 찾지 못하고 혼란에 빠지고 말게 될 것이다. 은닉 층에서의 neuron 의 수를 달리한 각각의 경우를

검토하는 것은 바로 이러한 방법으로 결과에 대해 타당성과 신뢰성을 판단할 수 있도록 도와준다.

신경망회로에 대한 구체적인 계산 과정 내용은 Min et al.[10]을 참고하기 바라며, 표 2에 나타난 바와 같이 신경망회로를 써서 얻어진 팬의 효율 및 비소음 수준은 실험 결과와 잘 일치하는 것을 알 수 있다.

표 2 실험 결과와 추론 값 비교

	A	B	C	D	E	F	G	H	Eff(실험)	Eff(추론)	비소음실험)	비소음(추론)
1	0	5	0.23	25	type A	0.45	1.5~7.5	40~27	30.35	30.23	56.43	56.44
2	0	5	0.28	30	type B	0.6	3.5~9.5	42~29	28.11	28.22	55.35	55.33
3	0	5	0.33	35	type C	0.75	5~11	44~31	26.86	26.81	54.36	54.36
4	0	6	0.23	25	type B	0.6	5~11	44~31	22.48	22.49	56.86	56.87
5	0	6	0.28	30	type C	0.75	1.5~7.5	40~27	27.11	27.11	56.18	56.18
6	0	6	0.33	35	type A	0.45	3.5~9.5	42~29	24.12	24.12	55.35	55.36
7	0	7	0.23	30	type A	0.75	3.5~9.5	44~31	24.99	24.99	56.5	56.5
8	0	7	0.28	35	type B	0.45	5~11	40~27	24.89	24.91	57.56	57.55
9	0	7	0.33	25	type C	0.6	1.5~7.5	42~29	26.13	26.13	56.27	56.27
10	20	5	0.23	35	type C	0.6	3.5~9.5	40~27	27.36	27.36	55.42	55.42
11	20	5	0.28	25	type A	0.75	5~11	42~29	24.45	24.45	56.65	56.64
12	20	5	0.33	30	type B	0.45	1.5~7.5	44~31	28.32	28.32	56.05	56.05
13	20	6	0.23	30	type C	0.45	5~11	42~29	25.87	25.86	56.59	56.59
14	20	6	0.28	35	type A	0.6	1.5~7.5	44~31	28.6	28.6	54.71	54.71
15	20	6	0.33	25	type B	0.75	3.5~9.5	40~27	26.98	26.98	56.55	56.56
16	20	7	0.23	35	type B	0.75	1.5~7.5	42~29	26.08	26.08	55.99	55.99
17	20	7	0.28	25	type C	0.45	3.5~9.5	44~31	23.01	23.02	57.12	57.12
18	20	7	0.33	30	type A	0.6	5~11	40~27	25.9	25.9	57.42	57.41

4. 축류팬 설계 인자에 대한 고찰

이미 언급한 바와 같이 주어진 실험 자료 이용 시 일관된 자료 정리 및 설계 안이 제시 되어야 설계의 일관성 및 신뢰성이 있다고 할 수 있다. 그래서 자료 정리를 위해 신경회로망의 은닉층 1과 은닉층 2의 뉴런의 수가 각각 다음과 같은 세 가지의 경우에 대하여 최대 효율 설계안과 최소 비소음 설계안을 탐색하였다.

표 3 신뢰성 판단 조건

	case 1	case 2	case 3
1st layer	4	5	5
2nd layer	3	3	4

다음의 표는 위에 제시된 세가지 경우에 대해서 탐색한 최대 효율 설계 안과 최소 비소음 설계 안을 정리한 것이다.

표 4 최대 효율 설계 안

추론 값(%) 및 설계 인자 값			
추론 효율	30.341	30.401	30.337
A	20	20	0
B	5	5	5
C	0.23	0.23	0.23
D	25	25	25
E	A	A	A
F	0.45	0.45	0.45
G	A′	A′	A′
H	A′	A′	A′

표 5 최저 비소음 설계 안

추론 값(dBA) 및 설계 인자 값			
추론 비소음	54.347	54.354	54.347
A	20	20	20
B	6	6	6
C	0.33	0.33	0.33
D	35	35	35
E	C	C	C
F	0.75	0.75	0.75
G	A′	A′	A′
H	C′	C′	C′

표 4와 5에서 A′, B′, C′로 표시한 것은 최대 캠버 값과 피치 각은 반경 방향으로 일정한 값이 유지되는 것이 아니라 반경 방향으로 변화하기 때문에 수준을 대표적으로 나타내기 위함이다. 여기서 허브 각(설계 인자 A)의 경우, 최대효율 설계안에서 일치하지 않고 있는데 이 원인은 다음과 같이 두 가지로 예상 해 볼 수 있다. 첫째, 실험 및 제작 조건에서 수반되는 오차에 매우 민감한 인자인 경우, 둘째, 성능에 기여하는 정도가 매우 미미하여 별 영향을 주지 못하는 인자인 경우 등이다. 기타 제시된 설계 안은 서로 잘 일치하고 있음을 알 수 있다. 여기서 허브 각 의 설계 값이 일치하지 않는 것은 전체 기여도가 작아서 발생한 것으로 사료된다.

먼저 신경망회로에 근거한 축류팬 설계인자 평가를 하기 전에 각각의 인자가 성능(효율 혹은 비소음)에 어느 정도 영향을 미치고 있는가를 파악하는 것은 중요하다. 다음은 본 연구에서 결정된 인자의 수준 범위 내에서 인자들이 성능에 미치고 있는 영향을 상대적으로 비교한 것이다. 효율 및 비소음에 있어서도 인자 B,D,G,H 등이 비교적 크게 영향을 미치고 있는 것으로 나타났다. 특히 효율에 있어서는 최대 캠버 위치가, 비소음에 있어서는 전향각이 제일 큰 영향을 주고 있다.

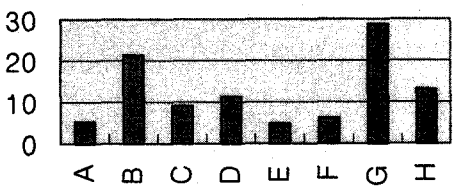

그림 3 각인자별 효율에의 기여도

그림 4 각인자별 비소음에의 기여도

다음은 비교적 효율과 비소음에 큰 영향을 미치고 있는 네 개의 인자들의 영향을 각각 두개의 인자를 변화시켜가며 성능을 예측한 것이다. 이 과정 역시 신경회로망을 이용한 결과를 응용함으로써 얻을 수 있는 것이다.

다음은 비교적 효율과 비소음에 큰 영향을 미치고 있는 네 개의 인자들의 영향을 각각 두개의 인자를 변화시켜가며 성능을 예측한 것이다. 이 과정 역시 신경회로망을 이용한 결과를 응용함으로써 얻을 수 있다.

그림 5 ~ 8에는 최대 효율 및 최저 비소음 설계 안은 고정되고 두 개의 설계 변수만 변화 시켜 설계 인자가 효율 및 소음에 미치는 영향을 살펴보았음을 명심하기 바란다.

이미 언급하였듯이 전향각은 소음 수준을 고려하여 중요 설계 인자로 고려된 것이다. 그림 5를 살펴보면 블레이드 수 변화가 전향 각 변화가 효율 변화에 다소 둔감하다는 것을 알 수 있다. 그러나 블레이드 수가 크면 전향각이 효율에 미치는 영향이 커진다는 것을 나타내고 있다. 그리고 contour plot을 보면 날개 수가 작을수록 그리고 전향각이 작을 수록 효율이 향상된다는 것을 알 수 있다. 본 연구 대상은 shroud의 역할이 상당히 작은 팬이다. 다만 shroud는 팬 주변에 유동을 모아주는 역할만 수행 할 뿐이지 유동을 축 방향으로 흐르게 하는 역할을 하지는 못한다. 따라서 전향각이 커지면 팬이 앞으로 쏠리는 특징이 나타나는 데, 이로 인해서 팬 쪽으로 유입되는 유동을 방해하여 효율이 작지만 떨어지는 특성이 나타난다고 사료된다. 한편 팬의 블레이드 수가 증가할 수록 블레이드 chord 길이가 커져 블레이드 회전에 의한 에너지가 유동에 충분히 전달할 공간이 있어서 이와 같은 현상이 발생한다고 사료된다.

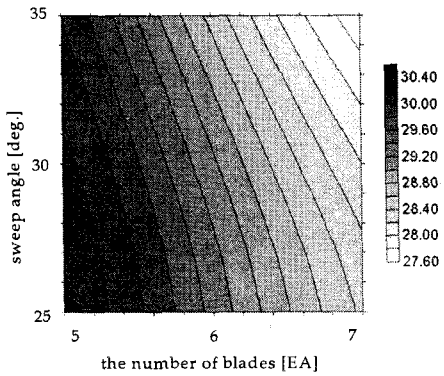

그림 5 블레이드 수와 전향 각이 효율에 미치는 영향

블레이드 수가 고정되어 있을 때, 팬의 효율 혹은 유량을 증가시키는 고전적인 방법 중의 하나가 피치 각과 최대 캠버 위치를 조절하는 것이다. 전자는 블레이드 면이 유입되는 유동과의 각도를 조절하는 것을 나타내며, 후자는 블레이드 표면에서 발달하는 경계층 발달과 밀접하게 관련이 있다. 그림 6을 살펴보면 두 설계의 인자가 효율에 미치는 영향이 서로 거의 비슷한 특성을 나타내고 있다. 그리고 최대 캠버 위치가 블레이드 앞쪽에 위치할수록 그리고 피치 각이 작을수록 효율이 상승하는 것을 알 수 있다. 그런데 여기서 주의해야 할 사항은 효율이 상당히 이 두 설계 인자에 민감하게 반응하는 곳이 존재하는 곳이 있다는 것을 눈여겨 볼 필요가 있다.

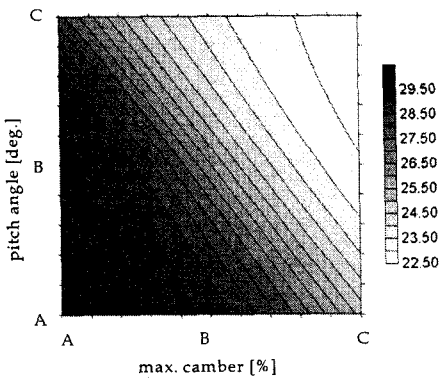

그림 6 최대 캠버 위치와 피치 각이 효율에 미치는 영향

그림 7은 전향각과 블레이드 수가 소음에 미치는 영향을 나타내었다. 그림에 나타나듯이 블레이드 수에 상관 없이 전향각이 비소음에 많은 영향을 주는 것을 알 수 있다. 가끔 블레이드 수나 회전 수에 따라 소음이 급격히 변화하는 현상이 발생하는 이는 주로 유동과 시스템 간에 공진이 발생하는 경

우다. 따라서 공진이 발생하지 않는 경우에 금형 제작 시간 등을 고려해서 소음 측면과 효율 측면에서 블레이드 수를 작게하는 것이 바람직하다고 할 수 있다. 한편 전향각이 클수록 비소음이 감소하는 특성이 두드러진데, 구조나 시스템 간섭의 문제가 발생하지 않으면 되도록 전향각을 크게 설계하는 것이 바람직하다고 할 수 있다. 그러나 전향각이 어느 정도 커지면 전향각을 증가시킨 소음 저감 효과는 상대적으로 떨어진다는 것을 그림 7은 잘 나타내고 있다.

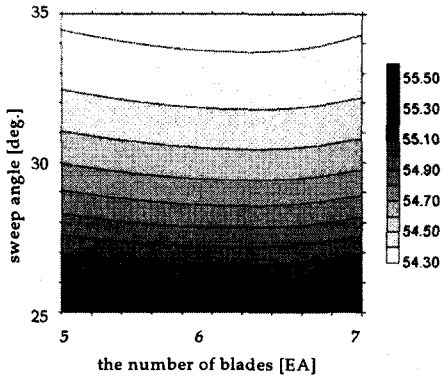

그림 7 블레이드 수와 전향 각이 비소음에 미치는 영향

이미 최대 캠버 위치가 블레이드 앞쪽에 위치할수록 그리고 피치 각이 작을수록 효율이 상승하는 것을 언급한 바가 있다. 그러나 비소음은 이와 대조적으로 피치각이 클수록 그리고 최대 캠버 위치가 앞에 있을수록 비소음이 저감하는 특성을 가지고 있다. 따라서 고효율 및 저소음 축류팬을 설계하려면 최대 캠버 위치는 앞 쪽으로 설정하는 것이 바람직하다고 할 수 있다. 그러나 비소음은 피치각보다 최대 캠버 위치에 민감하다는 것을 감안하면 설계에 많은 도움이 될 것이다(그림 8 참조).

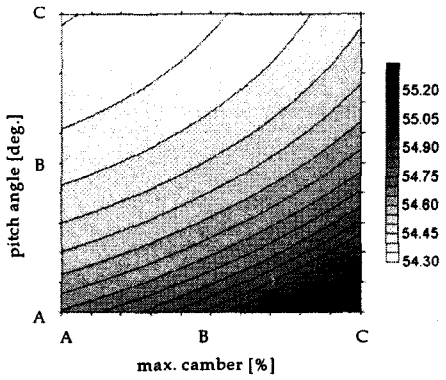

그림 8 최대 캠버 위치와 피치 각이 비소음에 미치는 영향

최근 시스템 최적화를 위해서 많은 기법을 사용하고 있다. 따라서 본 연구에서와 같이 작은 수의 실험 결과를 이용하여 각 설계 인자가 변화하였을 때, 성능 등을 예측 할 수 있다면 상당히 유용한 설계 기법이 될 것이다. 이러한 측면에서 본 연구는 설계 인자 변화가 전체 성능 등에 미치는 영향 평가를 통한 최적 설계에 유용하게 사용될 수 있을 것이다.

5. 결론

MWO에 응용되는 축류팬에 대한 설계 인자 연구를 수행하였으며 신경회로망을 이용한 추론 결과는 실험 결과와 잘 일치하였다. 한편 신경회로망을 통한 최대 효율 설계 점과 최저 비소음 설계 인자는 neuron 수의 변화에 비교적 일정한 최적 설계 값을 제시하여 나름대로 신뢰성이 높은 설계 기법이 될 수있다. 그리고 팬의 설계 인자에 변화에 대한 효율 및 비소음 결과를 살펴본 결과, 전향각은 효율에 거의 영향을 주지는 않지만 비소음 저감에 매우 중요한 설계 인자이며 전향각이 커질수록 비소음은 증가하

나 어느 점차 소음 저감량은 점차 작아지는 특성을 나타내었다. 한편 최대 캠버 위치는 앞 전 쪽으로 위치는 것이 소음과 효율에 유리하지만, 피치각은 피치각이 커질수록 효율은 저감하는 반면에 비소음은 감소하는 특성을 나타내었다.

참고문헌

[1] Kim, K.H., Jun,Y.D., Jun, H.C., Lee, J.S., Kim, H.R., "Application of Streamline curvature method for Axial Flow fan Development," Proceedings of the 5th Asian International Conference on Fluid Machinery, pp. 435~440, Oct. 6~8, Seoul, Korea, 1997

[2] 안철오, 퍼지 논리를 이용한 고성능 축류 송풍기의 설계이론에 관한 연구, 한양대학교 석사학위논문, 1995

[3] Rew, H.S., Kim, S.H., Jung, Y.G., Kim, C.J. and J.E. Cha, "LDA Measurement and Calculation in a Small Axial Fan," ISROMAC-6, Vol.2, pp. 209~ 218, Proceedings of 6th International Symposium on Transport Phenomena and Dynamics of Rotating Machinery, Feb. 26~28, 1996, Honolulu, Hawaii, U.S.A.

[4] 김성협, 류호선, 김창준, 김태진, "가전제품용 소형팬의 저소음을 위한 유동해석," 공기조화 냉동공학회, pp. 268~272, 춘계학술대회, 중앙대학교, 1994.

[5] Kim, K.Y., Choi, J.H., Chen, X.C., Kim, T.J., and Rew, H.S. "Application of Numerical Optimization Technique with Three-Dimensional Navier-Stokes Solver to the Design of an Axial-flow Fan", The 2nd International Conference on Pumps and Fans, Tsinghus Univ., 1995, pp. 169~178, 1995

[6] 김창준, 류호선, 김태진, "가전기기용 고효율, 저소음 소형 축류 fan 개발," 한일냉동공조공업협회 Symphosium, pp. 302 ~ 313, 1994

[7] Rew, H.S., J.E., Cha, C.J., Kim, T.J., Kim, "Parametric Study for the Noise Reduction in a Small Fan", The 2nd International Conference on Pumps and Fans," Tsinghua Univ., pp.731~738, 1995

[8] Lakshiminarayana,B. Sitaram, N., Zhang, J., "End-Wall and Profile Losses in Low-Speed Axial Flow Compressor Rotor," ASME Trans., J. of Eng. For Gas Turbine and Power, pp.22~31, 1986.

[9] Fukano, T., Kodama, Y. and Takamatsu, Y., "Noise Generated by Low Pressure Axial Flow Fans, Part III: Effects of Rotational Frequency, Blade Thickness and outer blade profile," J. of Sound and Vibration, Vol. 56, pp. 261 ~ 277, 1978

[10] Min, H.S., Rew, H.S., and C.O. Ahn, "Optimization Procedure of a Sirocco Fan using Neural Network" ASME DEC conference, Sept., Cecramento USA, 1997