

시로코팬 블레이드의 소음특성연구

⁰최한림*, 꺾지호**, 송기선**, 이덕주***

A study for noise properties of Sirroco fan blades

Han Lim Choi, Ji Ho Kwak, Ki Seon Song and Duck Joo Lee

ABSTRACT

The purpose of this study is to find the amount of contributions of each Sirroco fan parameter to noise and performance using experimental and numerical approaches. We made several fans and structures related to fan housing and fan for parameter study like inlet blade angle, outlet blade angle, inlet diameter, outlet diameter, blade shape. etc.. Numerical analysis was performed using commercial code (FANNOISE) for the part not to be possible to do experiment. Using these parameter study, We have found the way to reduce noise and improve performance of fan and had some useful data for designing low noise and high performance fan.

1. 서론

일반적으로 팬은 기계구조물이나 전자제품, 또는 건축물에는 기계나 전자 장비의 작동에 의한 열을 식히기 위해서 이용이 된다. 이러한 팬은 아주 작은 전자장비에서부터 대형 건축물에 이르기까지 유체의 흐름이 필요한 곳이면 어디든지 쓰이고 있는 필요불가결한 장치이다. 이러한 팬을 지나는 유체의 흐름에 따라 크게 세가지로 나누면 다음과 같이 나눌 수 있을 것이다. 유체가 팬의 축방향으로 들어와서 같은 방향으로 분출되는 축류팬, 팬의 축방향으로 들어와서 원주방향으로 나가는 원심팬, 그리고 기타의 흐름을 보이는 팬(회류팬 등)이 그

것이다. 이중에서도 실제로 많이 쓰이는 것은 축류팬과 원심팬인데, 유동의 흐름이 비교적 단순한 축류팬에 대한 연구는 많이 수행이 된 반면 팬을 지나면서 유동의 흐름이 90도로 꺾이는 원심팬, 특히 블레이드의 길이가 긴 시로코팬의 경우에는 삼차원 효과가 지배적이기 때문에 그 연구는 실험적인 것에 치우쳐 있고 또 이에따라 소음원에 대한 파악이 쉽지가 않아서 저소음 시로코팬에 대한 지침도 미흡한 실정이다. 그러므로 팬을 각각의 용도에 맞게 설계를 하고자 하는 설계자가 무수히 많은 팬 파라미터에 대해서 각각 설계 후 제작 시험, 파라미터 변경이라는 아주 소모적인 설계 방법을 사용하고 있다. 이러한 팬 설계방법은 많은 파라미터에 대해서 다양한 경우의 팬을 그 설계점에 맞게 제작을 해보아야 하므로 시작품 제작비가 엄청나게 소요가 되고 필요한 성능을 갖는 팬을 설계하

* 한국과학기술원 항공우주공학전공 대학원

** 만도공조(주)

*** 정회원, 한국과학기술원 항공우주공학전공 교수

기 위해서는 많은 시간이 소요되는 단점이 있다. 실제로 팬을 설계하려는 기업의 입장에서는 이러한 소모적이고 비용이 많이 드는 방법은 시도하는 것조차 어려운 일이라고 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 일단 시로코팬의 수많은 파라미터들 중에서 시로코팬의 블레이드와 관련된 파라미터를 선별하고 그 중에서도 팬의 성능과 소음에 가장 많은 영향을 주는 파라미터를 선정하여 이에 따른 시제품을 제작하고 실험함으로써 향후 기업에서 팬을 제작할 때 참고할 수 있는 설계변수에 관한 지침을 마련하는 것을 목표로 하였다. 그리고 시제품 제작에는 비용의 한계가 있기 때문에 실제로 제작을 통해서 실험을 할 수 없는 파라미터에 대해서는 팬의 성능과 소음을 예측할 수 있는 상용 프로그램(FANNOISE)를 이용하여 수치적인 연구를 수행하였다.

2. 시로코팬의 특성 및 작동 원리

시로코팬은 원심팬의 한 종류로서 일반적으로는 FC 원심팬 (forward curved centrifugal fan)이라 불리운다. 이러한 시로코팬의 가장 큰 특징은 팬의 블레이드가 팬 휠의 회전방향으로 굽어있다는 것이며, 이로 인해서 다른 형상을 지니고 있는 backward curved type이나 radial type의 팬보다 팬의 바깥으로 나오는 유동의 속도가 빠른 특징을 지니고 있다. 또 이로 인해 상대적으로 작은 크기와 회전 속도에서도 많은 유동을 공급할 수 있는 장점을 지니고 있다. 하지만 그림 1.에서 보이는 바와 같이 시로코팬의 블레이드를 살펴보면 그 curvature가 급격히 변하기 때문에 실제로 팬이 회전을 하는 경우에 유동의 박리등으로 인한 난류의 발생등으로 인해서 여타의 형태를 지니는 원심팬들에 비해서 효율이 떨어진다는 단점이 있으며 이는 곧 유동에 의한 소음은 더 크다는 것을 의미하고 있다. 시로코팬은 여러 가지 heating, ventilating, air-conditioning system과 같이 저속과 작은 크기로도 많은 공기를 공급할 수 있는 곳에 이용이 되고 있으며 팬의 크기와 회전 속도에 비해서 많은 공기를 유도하기 위해서는 diameter ratio가 커져야 하기 때문에 일반적인 시로코팬의 경우에는 0.75 ~ 0.90 정도의 큰 값을 가지고

있다. 이로 인해서 시로코팬은 블레이드의 길이가 팬의 직경에 비해 굉장히 짧은 독특한 모양을 지니게 되었으며, 필연적으로 블레이드의 개수가 늘어나서 공기의 흐름을 잘 유도할 수 있도록 만들어지게 되었다.

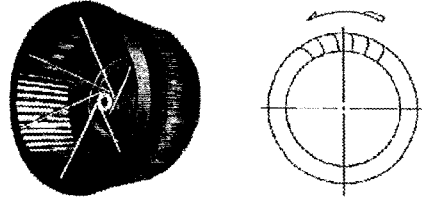


그림 1. 시로코팬의 형상

블레이드의 각도는 큰 유량을 얻기위해서 매우 크게 설계하게 되는데 블레이드의 leading edge의 경우에는 보통 80에서 120도를 가지게 되며 trailing edge의 경우에는 이보다 더 큰 120에서 170도를 가지게 되어 팬을 나온 공기가 거의 원주방향에 가깝게 흐르도록 되어 있다. 따라서 시로코팬의 경우에 팬의 바깥으로 나오는 공기의 유속은 팬 끝의 회전 속도보다도 커지게 된다. 이것은 마치 블레이드로 공기를 바깥쪽으로 퍼내는 효과와 같다고 할 수 있다. 시로코팬의 하우징은 다른 타입의 원심팬에서와 같은 모양을 하고 있지만 cutoff가 하우징의 outlet 쪽으로 더 많이 튀어나온 형상을 지니고 있다. 큰 속도를 지니고 팬을 빠져나온 공기는 스크롤 하우징을 돌면서 점차 속도가 늦어지게 되고 따라서 이것이 정압으로 바뀌게 된다. 시로코팬에서 발생되는 정압의 대부분은 이러한 하우징 안에서 공기의 동압으로부터 얻어지기 때문에 시로코팬은 하우징 안에 있을 때만 제대로 그 기능을 할 수 있다. 시로코팬은 다른 타입의 팬보다 효율이 낮게 되는데 저효율의 원인은 블레이드 사이에 있는 공기 흐름의 방향이 거의 180도만큼 변하는데서 찾을 수 있다. 공기의 흐름은 시로코팬 블레이드의 급격한 curvature를 제대로 따라가지 못하기 때문에 박리가 일어나게 되고 따라서 블레이드를 지나는 공기의 흐름이 부드럽게 유도되지 못한다. 이로 인해 시로코팬은 다른 팬들에 비해서

흐름이 더 난류성을 띠게 되고 효율은 나빠지게 되는 것이다. 일반적인 시로코팬의 경우에 작은 크기의 팬에서는 단일 원호로 설계를 하게 되고 좀 더 큰 크기의 팬에서는 leading edge쪽에 더 큰 curvature를 갖는 형상이 블레이드 사이의 공간이 부드럽게 확장되기 때문에 더 효과적이다.

3. 수치해석 결과

Fan의 유동과 소음을 해석할 수 있는 상용프로그램인 FANNOISE를 이용하여 시로코팬이 하우징 안에서 회전을 하게 될 때 하우징과 팬 주위의 유동이 어떠한 모습을 보이는지에 대한 수치해석을 수행하였다. 그림 3과 4는 현재의 팬과 비슷한 형상을 갖고 있는 시로코팬에 대한 유동 해석 결과이다. 그림4를 살펴보면 스크롤을 돌아서 나온 유동이 출구쪽으로 잘 빠져나가고 있음을 알 수 있다. 하지만 cut-off 영역 근처에서는 cut-off를 급격하게 돌아나오는 속도 성분이 눈에 띄는 등 공기의 흐름이 매우 복잡함을 보이고 있어서 이 영역의 흐름을 제어하는 일이 중요하다는 것을 알 수 있다. 또 출구를 나오는 흐름 자체가 균일하게 나오는 것이 아니라 출구의 오른쪽으로 치우쳐 있어서 출구의 왼쪽부분이 상대적으로 유속이 적기 때문에 와류가 발생할 수 있는 영역으로 보여지게 되고 압력의 교란 역시 심할 것이라 예측할 수 있다.

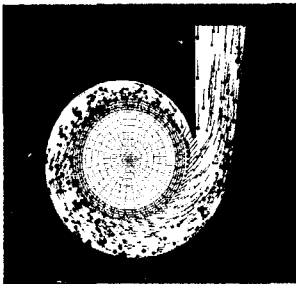


그림 3. FANNOISE 해석 결과 (시로코팬 주위의 와류의 크기와 속도)

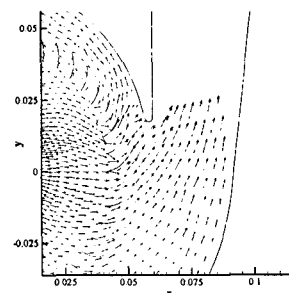
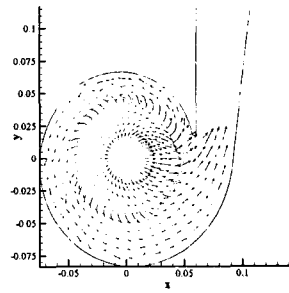
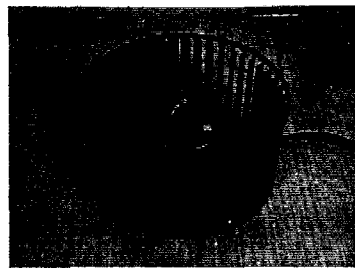


그림 4. FANNOISE 해석 결과 (시로코팬 주위의 속도 벡터)

4. 실험 결과



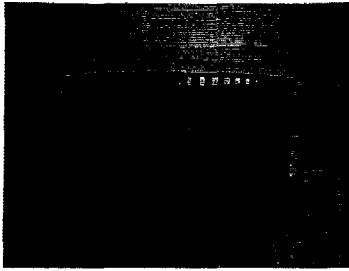


그림 5. 본 연구에 쓰인 에어컨 실내기용 시로코펜 형상



그림 6. 기존의 airfoil blade (좌) 와 arc blade (우)

4.1. 시로코펜 블레이드에 대한 실험

팬의 블레이드 이론을 살펴보면, 압력은 유량, 반경, 그리고 출구각등에 대하여 다음과 같이 표현된다.

$$p = \rho u_2^2 + \frac{\rho u_2 Q}{\pi d_2 b_2} \cot(180 - \beta_2)$$

만일 동일한 작동조건, 즉 유량과 압력을 일정하게 유지코자 한다면, 팬의 기하학적인 형상과 관련이 있는 출구각과 반경 그리고 블레이드의 span길이등을 변화시킨후에 팬의 회전수와 밀접한 관련이 있는 u_2 를 감소시키면 성능은 유지하면서 소음을 떨어뜨릴 수 있게 된다. 이 중에서 본 연구에서는 출구각과 입구각, 그리고 팬의 외경과 내경을 변화시키면서 각각의 경우에 대하여 소음과 유량을 실험적으로 측정하였다.



(1) 입구각과 출구각 효과

팬의 성능에 큰 영향을 미치게 되는 블레이드의 입구각과 출구각을 변화시키면서 유량과 소음의 경향을 살펴보았다. 출구각은 점차 커짐에 따라 동일 회전수에 대해서 유량이 증가함을 알 수 있고 이에 따라 소음도 증가함을 알 수 있었다. 또 출구각이 180에 가까워 짐에 따라 유량의 증가폭이 둔화됨을 알 수 있었다. 즉 어느 정도 이상 출구각이 커지게 되면 그 기여도가 낮아진다는 의미이다. 하지만 유량보다는 소음의 증가폭이 더 적기 때문에 출구각을 키워주는 것이 소음과 유량면에서 유리함을 알 수 있었다.

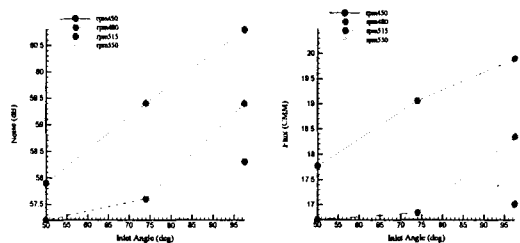


그림 7. 입구각 변화에 따른 유량과 소음

입구각의 경우에는 출구각과는 달리 점차 줄어들면서 유량도 급격히 감소할 함을 알 수 있지만 흥미로운 사실은 동일한 유량에 대해서 입구각이 가장 작은 경우에 가장 우수한 소음 결과를 보이고 있다는 것이다.

(2) 블레이드 끝단의 변화 효과

블레이드의 단면은 팬이 성능을 발휘하는 주요 부분이기 때문에 블레이드의 입,출구각과 함께 큰 영향을 미치는 인자이다. 또 팬의 제작 공정상 팬의 trailing edge 쪽이 절단이 되게 되는 구조를 지니고 있기 때문에 이에 대한 실험을 같이 수행하였다. airfoil 단면형상을 지니고, 끝단에 절단이 된 기존의 팬과 이와 동일한 입출구각을 가지고 있지만 단면이 아크형상을 지니면서 끝단이 절단이 된 경우와 되지 않은 경우를 비교 실험하였다. 실험 결과 현재의 익형 단면을 가지고 있는 팬의 성능은 단면이 단순한 아크형상을 지니고 있는 것과 비슷함을 알 수 있었다. 이는 익형의 설계가 큰 장점을 지니지 못했다는 것을 의미하고 있다. 그리고 블레이드의 끝단의 절단 효과는 소음과 유량에 모두 영향을 미쳤으며 끝단 처리를 한 경우가 그렇지 않은 경우보다 우수한 성능을 보였다. 하지만 소음보다는 유량의 증가가 두드러지는 것으로 볼 때 블레이드 끝단의 절단은 그로인해 변형되는 와류에 의한 소음효과보다는 절단으로 인해 출구각이 변화하는 효과가 더 큼을 알 수 있었다.

(2) 블레이드의 코드길이 변화 효과

블레이드의 코드는 외경과 내경의 차이값에 의해 결정이 되는 양으로써 본 연구에서는 외경을 고정시키고 비교적 팬의 성능에 효과가 적은 내경을 감소시키면서 코드 길이를 변화 시켰다. 실험 결과 동일한 회전수에 대해서 블레이드의 길이가 길어짐에 따라 유량이 월등히 증가하고 있음을 알 수 있었다. 코드길이가 길어지는 경우에 동일 유량에 대해서 소음이 감소하는 것을 볼 수 있었는데 이는 동일한 입구각과 출구각에 대해서 코드길이가 길어짐으로써 블레이드를 따라 흐르는 공기의 유선의 꺾임이 더 부드러워지고 따라서 유동의 박리로 인한 난류가 적어진 결과로 해석할 수 있다. 하지만 블레이드의 코드길이가 과도하게 길어지게 되면 블레이드가 팬의 허브와 가까워지게 되어 입구를 통해 블레이드에 들어오게 되는 유동이 매끄러운 곡선을 그리지 못하게 되고, 허브에 뚫려있는 구멍에 의한 유동의 난류화 영향 증가, 또 팬의 내경 감소로 인한 유동의 손실에 의해서 소음과 성능 모두 나빠짐을 알 수 있었다.

4.2. 블레이드를 제외한 시로코팬에 대한 실험

이 절에서는 기존의 팬에서 블레이드의 형상등은 고정을 시킨 상태에서 여러 가지 구조물들을 팬에 부착함으로써 소음에 기여할 것이라 예측 되는 파라미터들을 알아보고 또 그 기여도를 실험하였다.

(1) 팬 허브의 구멍 효과

기존의 시로코팬에는 팬의 허브에 구조적인 문제와 모터의 냉각 효과를 위한 구멍이 두가지의 모양으로 뚫어져 있다. 이는 팬의 성능과 소음적인 측면에서 축방향으로 들어온 공기를 자연스럽게 블레이드 쪽으로 유도하지 못하고 구멍에 의한 유동의 손실을 일으키고 구멍과 유동의 충돌로 인해 공력 소음이 발생하는 원인이 된다고 하겠다. 실험결과 같이 허브 하반부의 사각형의 구멍은 1.5KHz~2.7KHz대역에서 발생하는 소음에 기여함을 알 수 있으며, 허브 상반부의 원형 구멍은 3KHz 이상의 광대역에 걸친 소음 발생 요인이 됨을 알 수 있으며 이러한 구멍을 모두 막았을 경우에 약 0.9dB의 소음 저감 효과를 볼 수 있었다. 또 이는 구멍의 개수나 크기를 조절함으로써 소음제어효과가 좋은 주파수 영역으로의 천이를 시킴으로서 보다 많은 소음 저감을 이룰 수 있음을 의미하고 있다.

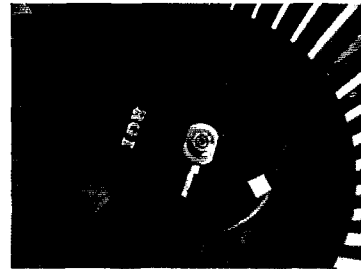


그림 8. 기존의 시로코팬에 뚫려있는 구멍

(2) 팬 블레이드의 strip 효과

기존의 시로코팬 주위의 유동을 가만히 살펴보게 되면 그림 9와 같이 정상적인 팬 유동의 흐름과는 반대의 흐름을 보이는 영역이 존재함을 알 수 있다. 팬의 안쪽으로 공기가 들어와서 블레이드를 지나 바깥쪽으로 빠져나가

야 하는데 그림 9.에서 보이는 바와 같이 팬의 상부에서는 공기가 블레이드의 바깥쪽에 안쪽으로 들어오는 현상을 보이고 있다. 이는 팬의 성능에도 큰 손실을 가져올 것이며 소음면에서도 난류성 비정상 흐름을 만들게 되어 악영향을 미칠 것은 자명한 사실이다. 이에 본 연구에서는 이 영역을 없애고 보다 원활한 흐름을 유도하기 위해서 그림 9.에서 보이는 바와 같이 비정상적인 흐름을 보이는 영역에 strip을 부착하였다. strip을 부착한 후에는 그림 9.에서 보이는 바와 같이 대부분의 유동이 매끄럽게 팬 안으로 들어와서 블레이드를 통과하고 있는 것을 볼 수 있었다. 이에 따라 소음 역시 감소 함을 알 수 있었다.



그림 9. 비정상적인 유동을 보여주는 시로코팬의 상부와 제어

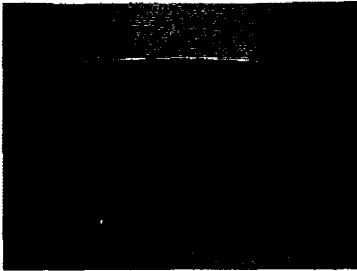


그림 10. strip을 부착한 시로코팬의 모습

4.3. 시로코팬 하우징에 대한 실험

(1) 입구 형상의 변화에 따른 효과

하우징의 입구는 팬이 하우징 안에 들어가서 작동을 할 때 팬으로 들어오는 유동의 흐름을 좌우하는 중요한 인자라고 할 수 있다. 본 연구에서는 입구의 벨마우스의 입구 면적과 곡률을 변화 시켜가면서 각각의 효과를 실험

하였다. 네가지 모두에서 유량과 소음이 달라짐을 알 수 있었는데 벨마우스의 곡률반경이 크고 하우징 안쪽으로 들어온 길이가 짧은경우에 우수한 성능을 보였다. 하우징 안쪽으로 들어간 길이가 긴경우에는 소음에 큰 증가를 가져왔는데 이것은 하우징 안으로 들어간 벨마우스가 팬의 안쪽으로 들어감에 따라 블레이드 안쪽의 유동과 교란을 일으키기 때문일 것이다.

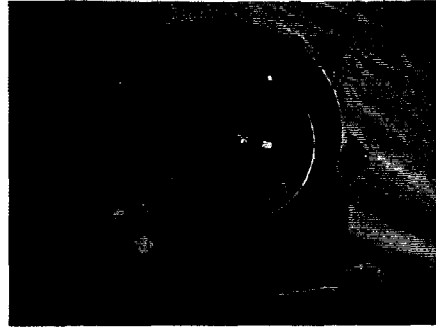


그림 11. 시로코팬 하우징의 모습

(2) cut-off 설치각 효과

팬 하우징의 cut-off 영역은 팬의 성능과 소음을 좌우하는 가장 중요한 부분이라고 볼 수 있으며, cut-off의 설치각은 블레이드 출구각과 맞물려서 팬에 의해 발생된 유동을 밖으로 보내는 중요한 인자중에 하나이다. 실험결과, 동일한 설치각이 커짐에 따라서 유량이 증가한다는 것을 알 수 있었다. 하지만 팬의 출구각이 바뀌는 경우에는 하우징의 cut-off설치각과의 관계를 잘 고려해줘야 할 것이다.

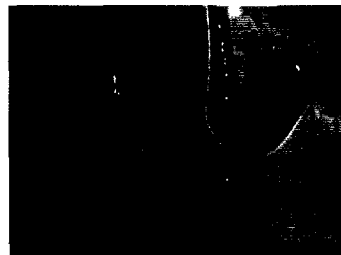


그림 12. cut-off 의 모습과 설치각

(3) cut-off 간극 효과

일반적으로 원심팬의 경우에 cut-off간극은 BPF 발생의 가장 큰 원인으로서는 BPF가 우세한 일반 원심팬에서는 그 중요도가 아주 크다. 하지만 시로코팬의 경우에는 상대적으로 BPF보다는 광대역의 소음이 우세하기 때문에 그 효과가 어느 정도인지를 실험을 통해서 알아보았다. 실험결과, 동일한 회전수에 대해서 간극이 줄어들수록 성능이 향상됨을 알 수 있었다. 하지만 cut-off간극이 너무 작으면 오히려 소음에 악영향을 끼침을 알 수 있었다. 물론 간극이 너무 큰 경우 역시 성능면에서 손실이 있음을 알 수 있었다.

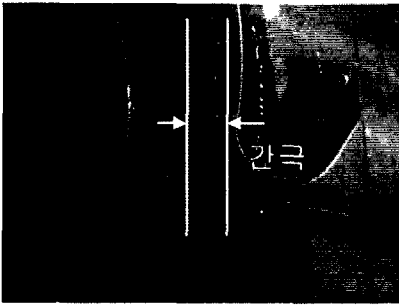


그림 13. cut-off 간극

5. 결론

지금까지 여러 가지 시로코팬의 파라미터들에 대한 실험 결과를 보았다. 실험 결과를 정리해보면 다음과 같다.

- (1) 삼차원 효과가 강한 시로코팬의 소음에서 우세한 것은 BPF보다는 광역소음이다.
- (2) 기존의 시로코팬의 상부에서는 정상적인 흐름과는 반대인 비정상 영역이 존재하며, 이를 strip등을 이용하여 제어하는 경우에 소음저감 효과를 얻었다.
- (3) 하우징의 입구에 있는 벨마우스의 형상을 변화시키면서 소음과 성능을 실험하였으며, 이 결과 벨마우스의 곡률반경이 클수록 우수한 성능을 보였으며, 깊이가 깊으면 소음에 악영향을 끼침을 확인하였다.

(4) Fan laws와 Fan theory를 이용하여 팬의 성능에 가장 중요한 파라미터인 팬의 내외 직경과 블레이드의 입구각, 출구각, 그리고 블레이드의 끝단 절단 효과에 대한 연구를 수행하였으며, 이 결과 입구각이 작을수록 우수한 소음을 보였으며, 출구각이 커짐에 따라 유량이 증가함을 알 수 있었다. 또 팬의 반경이 커짐에 따라 유량도 같이 증가를 하였으며 하우징 효과와 맞물려서 소음은 동일 유량에서 감소하는 효과를 보였다. 블레이드의 코드길이를 변화 시킨 경우에는 가장 큰 성능 향상을 보였으며, 코드길이가 너무 길어지는 경우에는 허브와의 상호작용과 내경의 감소로 인해 소음과 성능에서 향상폭이 줄어들음을 알 수 있었다. 또 블레이드의 끝단의 절단은 소음과 성능에서 큰 영향을 미침을 알 수 있었고, 향후 끝단의 절단 각도에 대한 연구가 더 이루어져야 할 것이며, 단순한 아크가 아닌 일반적인 블레이드의 단면 형상에 대한 연구가 필요할 것이다.

후기

본 연구는 공조기술연구센터와 만도공조(주)의 지원을 받은 “시로코팬의 소음특성연구” (2000.3~2001.2)의 일환으로 수행되었습니다. 도움을 주신 공조기술 연구센터와 만도공조에 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

- [1] 전완호, “원심팬 소음의 발생 및 덮개를 통한 방사 해석”, KAIST박사학위논문
- [2] S. V. Suarez, C. S. Morros, R. B. Tajadura, “Experimental Study on the Aeroacoustic Behavior of a Forward-Curved Blades Centrifugal Fan”, 1999, vol. 121, Transaction of the ASME
- [3] W. C. Osborne, “Fans” 2nd Ed., Pergamon press
- [4] C. M. Harris, “Handbook of Noise Control”, Mc Graw Hill
- [5] F. P. Bleier, “Fan Handbook”, Mc Graw Hill