

피치각과 날개 길이 변화에 따른 축류팬의 성능 및 소음 특성에 관한 실험적 연구

전성택^{1*}, 조진표²

¹인천대학교 기계시스템공학부, ²인천대학교 기계·전자 RIC

Effect of pitch angle and blade length on an axial flow fan performance

Sung-Taek Jeon^{1*} and Jin-Pyo Cho²

¹Devison of Mechanical system Engineering, Incheon University

²Mechanic·Electron Regional Innovation Center, Incheon University

요 약 본 연구에서는 피치각 가변형 축류팬의 성능(정압별 풍량, 소비전력)과 소음특성을 실험으로 구하였다. 피치각은 20°~45°로 5° 간격으로 6개의 각도를 변화시켜 가면서 측정 하였고 팬 날개는 동일한 에어포일 형상으로 길이는 80 mm, 90 mm, 100 mm, 110 mm, 120 mm로 변경하여 실험을 수행하였다.

Abstract In this study, the performance of an impeller according to blade length and pitch angle was studied experimentally by building a variable pitch impeller while changing blade length to review the effect of blade length and pitch angle on a fan's performance and sound characteristics. The pitch angle was changed in six steps from 20°~45° at intervals of 5° while the blade lengths were changed 80 mm, 90 mm, 100 mm, 110 mm and 120 mm with an identical airfoil shape while carrying out the experiment.

Key Words : Axial flow fan, Camber angle, Chord length, Pitch angle

1. 서론

팬은 기계적인 에너지를 회전자를 이용하여 기체에 일을 가해 압력과 속도에너지로 변화시켜주는 유체기계로 산업 시스템의 주요 구성 부품이다. 즉, 건물의 공기순환 장치와 터널 및 지하공간의 환기장치, 증장비, 가전제품 및 각종 열교환기의 냉각 장치 등으로 산업 전반에 걸쳐 매우 폭 넓게 사용된다. 축류 압축기에 대한 3차원 점성 유체 유동분석은 이론뿐만 아니라 실험적으로 많은 연구가 이루어져 왔으며[1], 근래에는 축류 압축기의 실속 현상에 대한 분석 및 능동적 실속 제어를 통한 안전 운전 영역의 확대를 위한 연구가 활발히 이루어지고 있다.[2-4] 축류팬의 피치각에 대한 기존연구에서 피치각과 최대캠

버가 축류팬의 성능에 미치는 영향을 시험적으로 연구하여 피치각 변경의 중요성을 강조하였고, Kim등은 설치각 변화가 축류팬의 성능 및 유동 특성에 미치는 영향에 관하여 3개의 피치각을 변경 시키며 실험을 수행하였다 [5-6]. 일반적인 축류팬의 성능특성은 회전수가 일정할 때, 압력의 변화 특성은 운전영역에서 유량이 감소할수록 상승하다가 최고점을 지나 실속영역으로 들어가면 감소하는 양상을 보이게 된다. 실속영역은 날개에서 유동박리가 발생하고 난류성분이 강해지며 소음도 커지는 등 모든 면에서 비효율적인 영역임이 밝혀져 있다. 축류팬의 소음에 영향을 주는 인자는 여러 가지가 있는데 Fukano[7-10]는 날개의 끝에서 발생하는 후류의 너비가 난류소음의 지배적인 요소임을 알아냈으며, 날개의 수,

이 논문은 인천대학교 2011년도 자체 연구비지원에 의하여 연구 되었음.

*Corresponding Author : Sung-Taek Jeon(Incheon Univ.)

Tel: +82-2-835-8681 email: stj@incheon.ac.kr

Received April 22, 2013

Revised (1st May 23, 2013, 2nd June 20, 2013)

Accepted July 11, 2013

현의 길이, 캠버 각 등이 난류 소음의 주요인자로, 캠버 각이 20° 이상이면 후류의 영향이 커져 소음이 커지는 것을 밝혀냈다.

축류팬은 피치각을 조정함에 따라 성능 및 소음 특성의 변화가 커서 많은 산업시설에서 절실하게 요구되는 부분이기도 하지만, 날개 길이와 피치각을 동시에 변경하여 축류팬의 성능 및 소음 시험에 관한 연구는 거의 없는 실정이다.

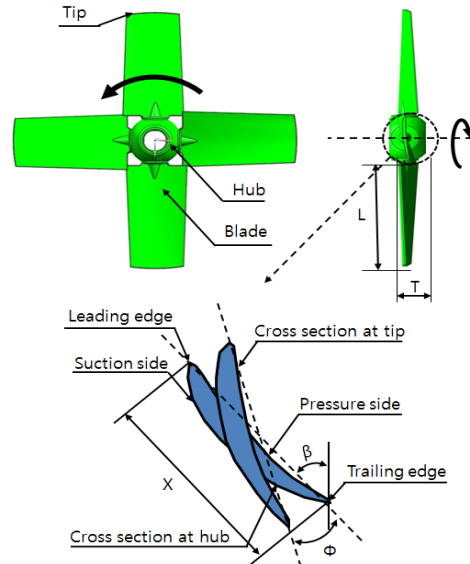
따라서 본 연구에서는 임펠러의 날개 길이와 피치각의 크기가 팬의 성능 및 소음에 어떠한 영향을 주는 가를 알아보기 위해서 피치각을 가변 할 수 있는 임펠러를 제작하여 날개 길이를 변경해 가며 날개 길이와 피치각에 따른 임펠러의 성능을 실험적으로 고찰 하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 날개 형상

본 연구에서 사용된 임펠러의 정면도와 측면도 및 날개의 세부 형상을 Fig. 1과 Table 1에 나타내었다. 임펠러는 허브와 날개로 구성되어 있고 날개의 끝단을 팁이라 한다. 그림에서 L은 날개의 길이로 80 ~ 120mm이고, T는 임펠러의 두께를 뜻한다. 그림의 하단부는 날개 단면의 세부형상을 나타낸 것이다. X는 날개의 양쪽 끝단인 전단(leading edge)과 후단(trailing edge)을 일직선으로 연결한 현의 길이(chord length)이고, ϕ 는 허브에서 단면과 팁에서의 단면이 이루는 비틀림 각(twist angle)으로 날개 길이에 따라 18 ~ 24°이다. 피치 각(pitch angle) β 는 임펠러 날개 양쪽 끝단을 일직선으로 이은 현과 임펠러 회전방향이 이루는 각으로 정의한다[11].Koo[12]는 실험적 방법에 의하여 산업용에 쓰이는 조정 피치형 축류팬의 송풍운전 시 임펠러 블레이드의 피치각 변경에 따른 팬의 전압, 정압 등을 측정하여 팬 성능 변화를 예측한 바 있으나 26° 이하의 피치각에서 시험 및 수치해석을 수행 하였다.

본 연구에서는 축류팬의 회전수는 1780 rpm, 피치각은 20°에서 45°까지 5°간격 변경해서 정압 변경에 따른 성능 및 소음특성에 관하여 시험을 수행 하였다. 팬날개 길이는 동일한 에어포일 형상의 날개로 80, 90, 100, 110, 120mm의 5종을 가공해서 측정 하였다.



[Fig. 1] Schematic diagram of the Impeller

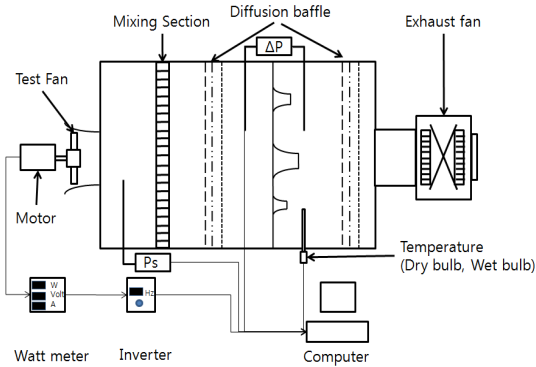
[Table 1] Tested impeller geometry parameters

Definition		Value
L	Blade length [mm]	80,90,100,110,120
T	Impeller thickness [mm]	37
X	Chord length [mm]	65
β	Pitch angle [°]	20 ~ 45
ϕ	Twist angle [°]	18 ~ 24

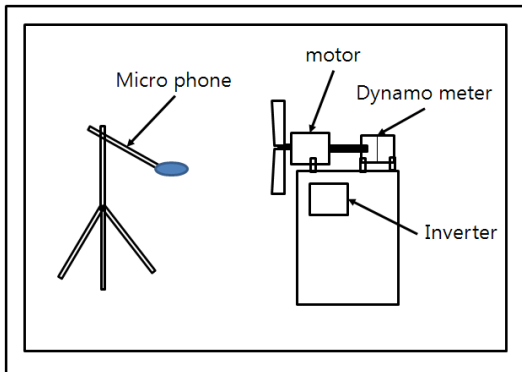
2.2 실험장치

축류팬의 풍량 측정을 위한 실험장치는 KS B 6311[13]에 규정 되어진 복합노즐 방식의 실험장치로 Fig. 2에 나타내었다. 실험장치는 사각형의 덕트 형태로 구성되어 있고 풍량 측정에 사용된 노즐은 ASHRAE 노즐을 사용 하였다. 정압 및 차압의 측정은 사각 덕트의 네곳에 압력 측정용 홀을 가공해 한곳으로 모아 측정하였으며 공기측 온도 측정에는 정밀도 $\pm 0.01^{\circ}\text{C}$ 의 교정된 PT-100Q 센서를 장착한 공기 취득 장치를 이용해 건구 온도와 습구 온도를 측정하였다. 정확한 풍량 계산을 위해서 압력(정압, 차압)과 온도를 측정 하였고 노즐 차압을 이용하여 풍량을 측정하였다. 모터에 인가되는 전력은 YOKOGAWA (WT-1600) 전력계를 사용해서 측정하였으며, 모터 회전수는 Inverter를 이용해서 정확히 제어 하였으며 교정된 스트로브 스코프로 재차 확인 하였다. 계

측된 압력, 온도, 전력은 YOKOGAWA (MX-100) 데이터 취득 장치를 통해서 컴퓨터로 보내져 계산 되었다. 모든 물성값 계산은 KS B 6311에 제시된 식을 이용하여 계산 하였다. 실험의 오차해석을 ANSI/ASHRAE 37[14]에 따라 수행 하였는데 공기측 풍량 측정의 오차는 ±0.5% 이내로 나타났다. 팬의 소음 측정은 KS B 6311의 시험 방법으로 암소음 20dB의 반무향실(Anechoic chamber)에서 측정하였으며 Fig. 3과 같이 설치 하였다. 팬 동력은 Fan-Dynamometer를 이용하였고 팬 회전수는 Inverter를 사용하여 정확히 제어 하였다. 팬의 풍량은 노즐부의 단면적에 통과풍속을 곱한 값으로 나타내고, 팬 효율은 측정된 공기동력에 소비전력을 나눈 값으로 구할 수 있다.



[Fig. 2] Air Flow Measurement System



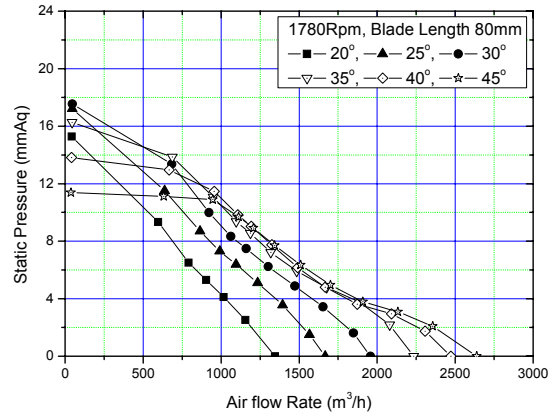
[Fig. 3] Anechoic chamber

$$Q = A \sqrt{\frac{2P_D}{\rho}} \quad (1)$$

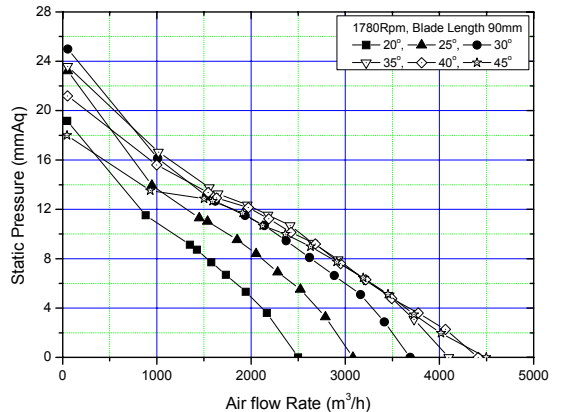
$$\eta_T = \frac{QP_T}{L} \quad (2)$$

3. 실험결과 및 고찰

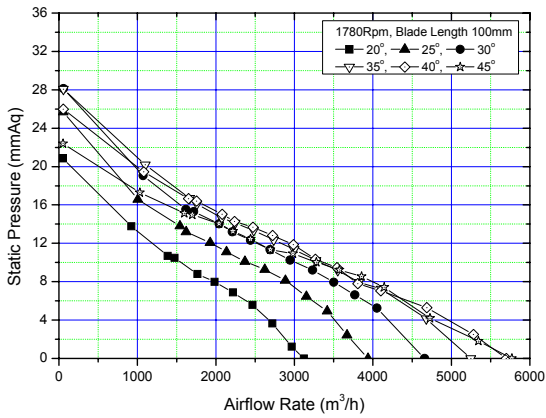
Fig. 4~Fig. 8는 팬의 rpm을 1750으로 고정하고 설정된 날개 길이(80mm, 90 mm, 100 mm, 110 mm, 120mm)에 대하여 피치각을 6단계(20°~45°, 5° 간격)로 조정하면서 정압별 풍량을 측정하였다. Fig. 4~Fig. 7을 보면 정압이 0 mmAq 일때 피치각이 커지면 날개 길이가 커질수록 풍량이 증가하였다. 그러나 정압이 높은 영역에서 특정 피치각 35°를 기점으로 풍량이 역전 되는 현상이 발생하는데, 이러한 현상은 피치각이 커질수록 심했다. 날개길이에 대한 영향을 보면 날개 길이가 짧을수록 피치각의 영향이 크게 나타났는데, 이는 피치각이 커지면 날개에 양력 발생이 어렵기 때문으로 판단된다.



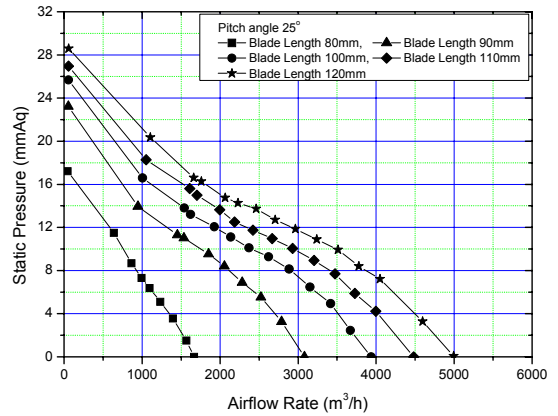
[Fig. 4] Airflow Various Pitch angle Value at Blade Length 80mm



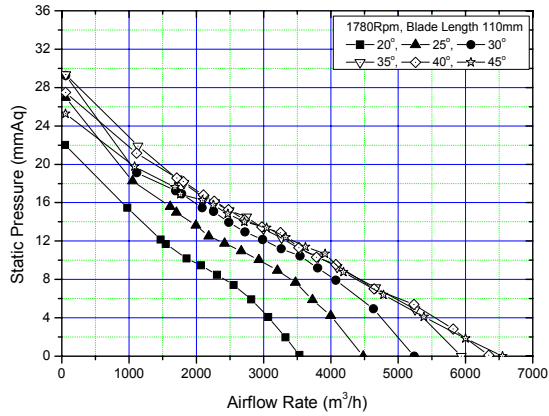
[Fig. 5] Airflow Various Pitch angle Value at Blade Length 90mm



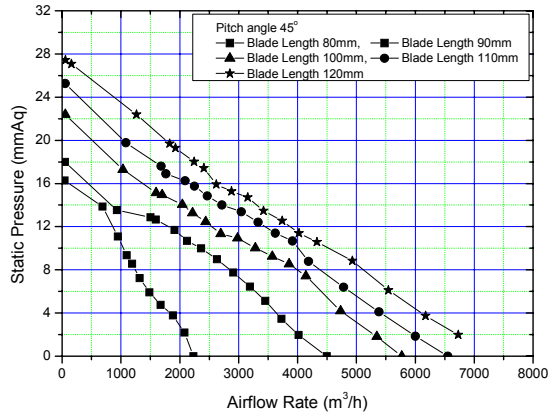
[Fig. 6] Airflow Various Pitch angle Value at Blade Length 100mm



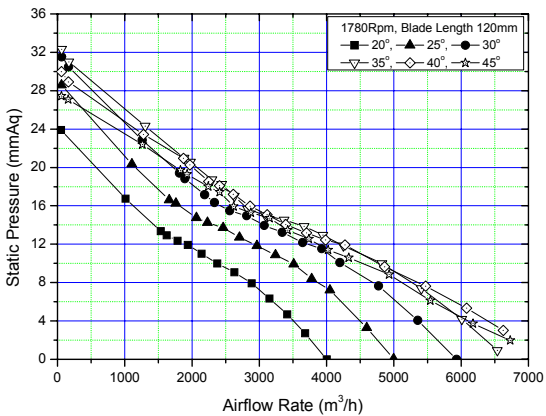
[Fig. 9] Airflow Various Blade Length Value at Pitch angle 25°.



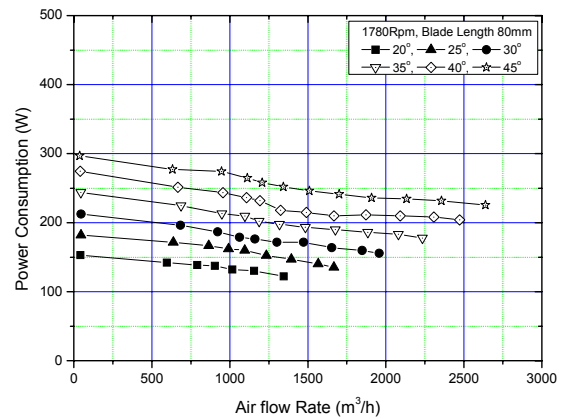
[Fig. 7] Airflow Various Pitch angle Value at Blade Length 110mm



[Fig. 10] Airflow Various Blade Length Value at Pitch angle 45°.



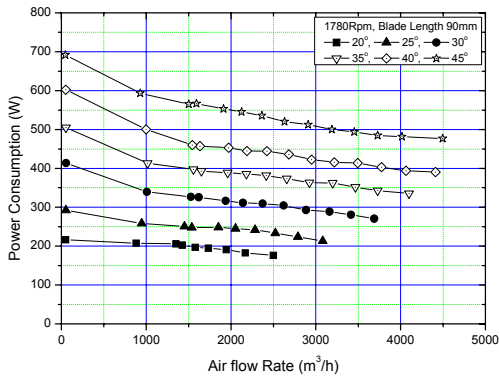
[Fig. 8] Airflow Various Pitch angle Value at Blade Length 120mm



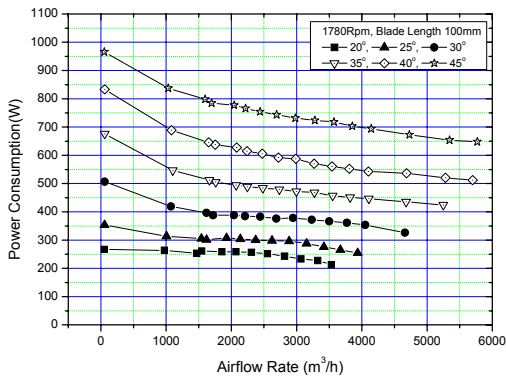
[Fig. 11] Power Consumption Various Pitch angle Value at Blade Length 80mm

Fig. 9에는 피치각 25°, Fig. 10에는 피치각 45°일 때 팬의 rpm을 1750으로 고정하여 정압별 풍량을 나타냈다. 동일한 피치각에서 정압에 따른 풍량은 날개 길이가 길어짐에 따라 점진적으로 커짐을 볼 수 있고 풍량 곡선의 기울기 변화는 피치각이 큰 45° 경우가 심하게 변화했다. Fig. 4~Fig. 10의 시험결과를 보면 풍량은 피치각에 비례하다가 고정압 영역에서 일정 피치각 이상이 되면 급격히 감소됨을 알 수 있었고, 동일한 피치각 일 경우 팬의 날개 길이에 비례한다.

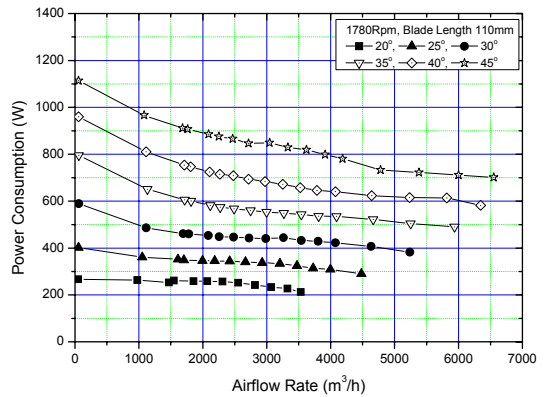
Fig. 11~Fig.15는 날개 길이에 따른 팬의 축동력을 나타낸 그래프이다. 모든 날개 길이에서 피치각이 증가하면 축동력이 증가하는 것을 확인 할 수 있고 풍량이 증가하면 축동력이 감소하는 전형적인 축류팬의 성능곡선을 볼 수 있었다. 날개 길이에 대한 영향을 보면 동일한 피치각에서 날개 길이가 길어 질수록 축동력이 비례적으로 증가 하였는데 피치각이 클수록 증가폭이 크게 측정되었다. 이는 피치각이 클수록 항력이 크게 발생하기 때문인 것으로 판단된다.



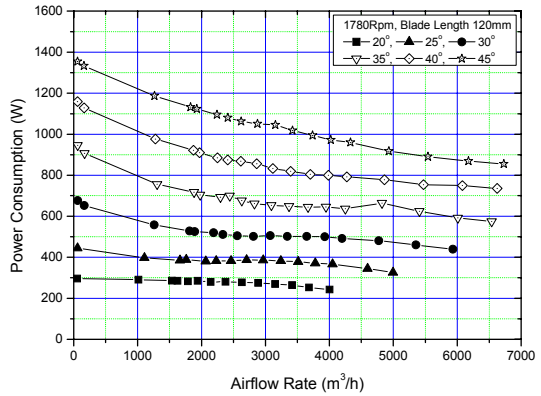
[Fig. 12] Power Consumption Various Pitch angle Value at Blade Length 90mm



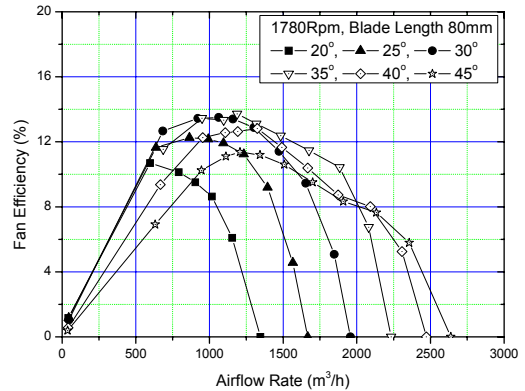
[Fig. 13] Power Consumption Various Pitch angle Value at Blade Length 100mm



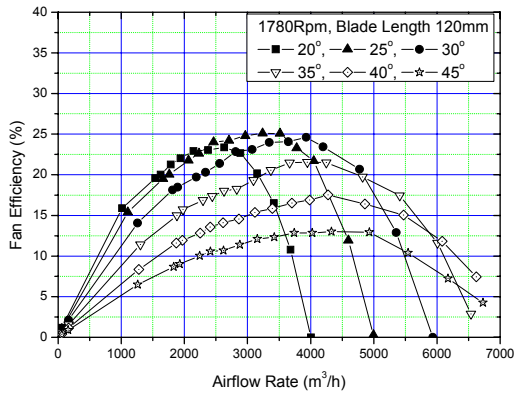
[Fig. 14] Power Consumption Various Pitch angle Value at Blade Length 110mm



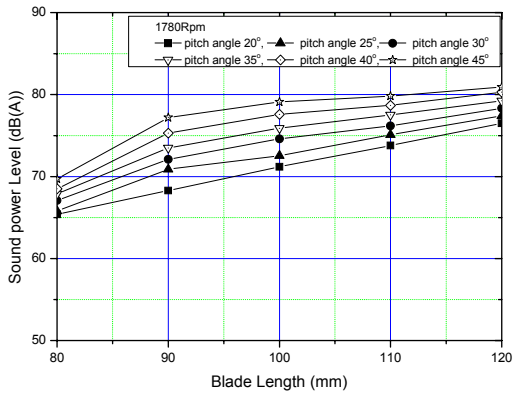
[Fig. 15] Power Consumption Various Pitch angle Value at Blade Length 120mm



[Fig. 16] Fan Efficiency Various Pitch angle Value at Blade Length 80 mm



[Fig. 17] Fan Efficiency Various Pitch angle Value at Blade Length 120 mm



[Fig. 18] Sound Power Level Various Blade Length Value and Pitch angles

Fig. 16~Fig. 17에는 날개길이 80 mm와 120 mm 일 때 풍량 변화에 따른 팬 효율곡선을 표시 하였는데 팬 효율은 측정된 공기동력에 소비전력을 나눈 값으로 구할 수 있다. 최대효율은 80 mm의 경우 피치각 35°에서 나타났으며, 120 mm의 경우 피치각 25°에서 최대 값을 보였다. 날개 길이에 따라 최대 효율을 내는 피치각이 존재함을 알 수 있으며, 날개 길이가 동일 할 경우 피치각에 따라 팬 효율은 최대 90%이상 차이를 보인다. 팬효율은 날개 길이에 따라 달라지는데 날개 길이가 긴 경우 피치각 영향을 많이 받고 짧은 경우 적게 받는다.

본 연구에서 고려한 축류팬의 경우 임펠러의 피치각이 35°를 기점으로 정압 상승에 따른 유량의 변화가 크게 발생하는데 이러한 특징이 나타나는 것은 피치각이 증가함에 따라 날개 흡입면에서 발생하는 박리점이 후단에서 점차 전단쪽으로 이동하여 항력이 급격히 증가하는 양상으로 압력분포가 변해 버린 것으로 판단된다.

Fig. 18은 팬의 블레이드 길이변화에 따른 피치각 별 소음 특성을 나타내고 있는데 피치각이 증가하면 소음값도 증가하고 동일한 피치각에서는 블레이드 길이가 증가할 때 소음 값도 같이 증가하는 것을 관찰 할 수 있었다.

4. 결론

본 연구에서는 피치각 가변형 축류팬의 성능(정압별 풍량, 소비전력)과 소음특성을 실험에 의하여 구하였다. 피치각은 20°~45°로 5° 간격으로 6개의 각도를 변화시켜 가면서 측정 하였고 팬 날개는 동일한 에어포일 형상으로 길이는 80 mm, 90 mm, 100 mm, 110 mm, 120 mm로 변경하여 실험을 수행하였으며 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 축류팬의 정압별 풍량은 피치각이 커질수록 선형적으로 증가 하였으나 특정 피치각 35°를 기점으로 정압이 높은 영역에서 역전되는 현상이 발생하였다.
2. 모든 날개 길이에서 피치각이 증가하면 축동력이 비례적으로 증가하였는데 피치각이 클수록 증가폭이 크게 측정되었다. 이는 피치각이 클수록 팬 전방의 항력이 크게 발생하기 때문인 것으로 판단된다.
3. 본 연구에서 고려한 축류팬의 경우 피치각이 30° 이하일 때까지 유량 및 정압 상승량이 증가 하지만 35° 이상에서는 갑작스럽게 감소하는 것으로 나타났다.
4. 팬의 블레이드 길이변화에 따른 피치각 별 소음 특성을 나타내고 있는데 피치각이 증가하면 소음값도 증가하고 동일한 피치각에서는 블레이드 길이가 증가할 때 소음 값도 같이 증가하는 것을 관찰 할 수 있었다.

References

[1] C. H. Hirsch, and P. Kool, "Measurement of the three dimensional flow field behind an axial compressor Stage", ASME Paper No. 76-GT-18, 1976. DOI: <http://dx.doi.org/10.1115/1.3446264>

[2] M. Inoue, and M. Kuroumaru, "Three dimensional structure and decay of vortices behind an axial flow rotating blade row", Trans. ASME, Journal of Engineering for Gas Turbines and Power, Vol. 106, No. 3, 1984.

DOI: <http://dx.doi.org/10.1115/1.3239607>

[3] C. A. Poensgen, and H. E. Gallus, "Rotating stall in a single stage axial flow compressor", ASME Paper No. 94-GT-210, 1994.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1115/1.2836625>

[4] T. R. Camp, and I. J. Day, "A study of spike and model stall phenomena in a lowspeed axial compressor", Journal of Turbomachinery, Vol. 120, 1998.

[5] C. J. Kim, C. M. Jang, M. Y. Choi, and D. I. Lee, "Effects of pitch angle and maximum camber on an axial flow fan performance", Proceedings of the SAREK 1996 Winter Annual Conference, pp. 269-274, 1996.

[6] C. S. Kim, Y. H. Shin, K. H. Kim, and J. T. Chung, "Experimental study on effects of stagger angle on performance and flow characteristics of axial fan", Proceedings of the SAREK 1999 Summer Annual Conference, pp. 453-457, 1999.

[7] T. Fukano, Y. Kodama, Y. Senoo, "Noise generated by low pressure axial flow fans, I: Modeling of the turbulent noise", Journal of Sound and Vibration, vol 50, pp. 63-74, 1977.

[8] T. Fukano, Y. Kodama, Y. Takamatsu, "Noise generated by low pressure axial flow fans, II: Effect of number of blades, chord length and camber of blade", Journal of Sound and Vibration, vol 50, pp. 75-88, 1977.

[9] T. Fukano, Y. Kodama, Y. Takamatsu, "Noise generated by low pressure axial flow fans, III: Effect of rotational frequency, blade thickness and outer blade profile", Journal of Sound and Vibration, vol 56, pp. 261-277, 1978.

[10] T. Fukano, Y. Kodama, Y. Takamatsu, "The effect of tip clearance on the noise of low pressure axial and mixed flow fans", Journal of Sound and Vibration, vol 105, pp. 291-308, 1986.
DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/0022-460X\(86\)90158-6](http://dx.doi.org/10.1016/0022-460X(86)90158-6)

[11] H. Y. Kim, J. H. Hur, S. J. Moon, J. H. Lee, H. S. You, and Y. C. Im, "A study on the fan efficiency decrease on the backward flow in an axial fan", Proceedings of the SAREK 2009 Summer Annual Conference, pp. 386-391, 2009.

[12] J. I. Koo, "Study on performance prediction of industrial axial flow fan with adjustable pitch blades", Proceedings of the KFMA(Korea Fluid Machinery Association), Annual Conference, pp. 30-34, 2001.

[13] Korea Standards Association, Testing methods for industrial fans, KS B 6311, 2011.

[14] ANSI/ASHRAE Standard 37, "Standard measurement guide, engineering analysis of experimental data", ASHRAE, 2005.

전 성 택(Sung-Taek Jeon)

[정회원]



- 1981년 2월 : 숭실대학교 공과대학원 기계공학 (공학석사)
- 1996년 2월 : 인천대학교 인천대학원 기계공학 (공학박사)
- 1980년 3월 ~ 2010년 2월 : 인천전문대학 교수
- 2010년 3월 ~ 현재 : 인천대학교 기계시스템공학부 메카트로닉스 전공 교수

<관심분야>

기계공학, 열-유체 분야

조 진 표(Jin-Pyo Cho)

[종신회원]



- 1998년 2월 : 인천대학교 인천대학원 기계공학 (공학석사)
- 2005년 2월 : 인천대학교 인천대학원 기계공학 (공학박사)
- 1998년 2월 ~ 2000년 8월 : 대우전자 주임연구원
- 2000년 9월 ~ 현재 : 인천대학교 기계전자RIC 팀장

<관심분야>

기계공학, 공기조화 및 냉동