원심형 보조날개를 부착한 축류팬의 유동특성에 관한 실험적 연구

이석중*, 성재용**, 이명호[†]

*서울과학기술대학교 에너지환경대학원

**[†]서울과학기술대학교 기계자동차공학과

An Experimental Study on the Flow Characteristics of Axial Flow Fan with Centrifugal Sub-Blade

Sukjong Lee*, Jaeyong Sung**, Myeong-Ho Lee[†]

*Graduate School of Energy and Environment, Seoul National University of Science and Technology, Seoul 139-743, Korea

**[†]Department of Mechanical and Automotive Engineering, Seoul National University of Science and Technology,
Seoul 139-743, Korea

Abstract

A new type axial flow fan with centrifugal sub-blades has been designed and fabricated in the present study. We investigated velocity and pressure distributions in downstream flow fields of the fan experimentally to detect the detailed flow characteristics of new axial flow fan and an existing axial flow fan. Two-dimensional velocity components were probed by applying a particle image velocimetry system and pressure distributions were measured by Pitot tube and micro-manometer. Our results show that the velocity and pressure distributions at the flow fields of the new fan are quite different from the existing fan, and that the centrifugal sub-blades in the new fan can improve the performance characteristics in view of kinetic energy.

Key words: Axial Flow Fan(축류팬), Centrifugal Sub-Blade(원심형 보조날개), Particle Image Velocimetry(입자영상 유속계), Velocity Distribution(속도분포)

1. 서 론

최근에 축류형 팬의 적용범위가 공기조화설비나 급배기설비 등에서 보다 높은 전압을 요구하는 용도로 까지 확대되어 가는 추세이지만, 기존

의 축류형 팬은 설계점 이외의 운전조건에서는 성능이 급격하게 낮아지는 단점이 있어서 사용범위가 제한적이었다.

축류형 팬의 성능향상을 제한하는 주요한 요인으로는 회전자의 회전시에 날개 끝단의 간극(tip)에서 누설유동이 발생하고, 원심형에 비하여 날개의 회전운동에 의하여 유체가 얻는 운동에너지 작다는 구조이다. 이러한 축류팬의 성능을 향상시키기 위한 최근의 연구로서는 고효율 축류형 팬의 설계를 위하여 날개 형상의 설계최적화에 의

[†] Corresponding author

Tel.: +82-2-970-6322, Fax: +82-2-970-6322

E-mail: myeong@seoultech.ac.kr

접수일 : 2013년 7월 19일

심사일 : 2013년 7월 22일

채택일 : 2013년 8월 19일

한 손실의 감소 및 성능향상에 관한 연구결과^[1]가 있으며, 축류팬의 성능감소에 가장 큰 영향을 미치는 틱간극의 누설유동이 성능향상에 미치는 영향을 실험적으로 해석하거나^[2], 축류팬의 유동장에서 틱간극의 누설유동을 수치적으로 해석한 연구가 발표되었다^[3]. 그러나 팬의 전압성능을 향상시켜서 기존 축류팬의 적용범위를 넘어서는 범위로 까지 확대하기 위한 연구는 거의 없는 실정이다. 이러한 상황에서 원심형 보조날개를 이용하여 유동장의 속도변화를 크게 하여 유체의 운동에너지를 증가시키기 위한 시도으로써 새로운 모델의 축류팬을 제시하고 상용프로그램을 이용하여 팬의 유동장에서 속도분포와 압력분포를 이론적으로 수치해석한 연구^[4]가 발표되었다. 그러나 축류팬에서 원심형보조날개를 부착하여 유동장의 속도분포와 압력분포를 이론적으로만 계산한 연구의 결과는 실제의 유동에서 발생하는 여러 가지 손실들을 고려하지 않았기 때문에 실제의 유동과는 차이가 있으며 그 결과를 실제의 설계자료로 이용하기에는 여전히 미흡한 점이 있다. 이러한 배경하에서 본 연구에서는 선행연구^[4]의 후속연구로써 원심형 보조날개를 부착한 새로운 모델의 축류팬을 설계하고 실제로 제작하여 실험적으로 성능을 해석하고자 하였다. 실험은 PIV(Particle Image Velocimetry)기법^[5]을 이용하여 원심형 보조날개를 부착한 축류팬과 동일한 사양의 기존 축류팬을 제작하여 팬의 하류 유동장에서 2차원 유속분포를 계측하고 피도 튜브와 마이크로액주계를 이용하여 정압분포를 계측하여 비교하였다.

2. 실험장치 및 실험방법

2.1 실험장치

원심형 보조날개를 부착한 신모델 축류팬의 하류 유동장에서 축방향(방향)과 반경방향(방향)의 2차원 속도분포를 측정하기 위한 PIV(Particle Image Velocimetry)장치는 Fig. 1과 같이 구성하였다.

PIV 장치는 카메라, 펄스 레이저, 동기화 장치로 구성되어 있으며 TSI 사의 Insight 소프트웨어

(a) Schematic diagram of PIV System

(b) Experimental equipment of PIV System

(c) Pitot tube for pressure measurement

Fig. 1 Experimental apparatus for axial flow fan test

를 통해 이미지를 획득하고 해석하였다. 본 실험 장치에 사용된 CCD 카메라는 4M(2048 x 2048)의 해상도를 가지고 있으며 Double straddle 기능을 가지고 있다. 50 mJ Nd:YAG 펄스레이저에서 나오는 빛은 오목렌즈(spherical lens)와 원통형 렌즈(cylindrical lens)를 통해 측정 영역에 평면광을 조사 하였다. 유동장에 주입된 입자는 공기의 밀도와 비슷하게 만들기 위해 Laskin 노즐을 사용한 oil generator를 이용하여 평균 1um 크기의 올리브 오일 방울을 유동장에 공급하였다.

(a) Fan without sub-blade (b) Fan with sub-blade

Fig. 2 Shapes of fan

Table 1 Specifications of axial flow fans

Parameters	Specifications
Number of blades	8
Channel diameter	400mm
Diameter of rotor	398mm
Span	134mm
Chord length	85mm
Blade thickness	4mm
Hub diameter	130mm
Tip clearance	1mm
Radius of blade curvature	237mm
Pitch angle	27°
Radius of sub-blade curvature	645mm
Width of sub-blade	13mm
Rotational speed	800, 1200, 1700rpm

축류팬의 성능에 영향을 미치는 주요한 변수는 회전수, 날개의 크기 그리고 팬 날개의 형상이다. 팬 날개의 형상을 결정하는 주요인자로는 날개의 피치각(pitch angle), 캠버각(camber angle), 두께(thickness), 익현길이(chord length), 스패(span) 등이다. 그리고 팬의 형상은 회전자의 지름과 허브(hub)의 지름을 결정한 후에 각 반경위치에서 날개의 형상을 결정하는 변수를 정해주면 된다. 본 연구에서는 Fig. 2와 같은 2개의 팬 모델을 설정하였다. 먼저 기존의 축류 팬(a)에서 날개의 수는 8매이며 회전자의 직경은 398mm, 스패(span)은 134mm, 익현길이는 85mm, 날개의 두께는 4mm, 곡률반경 237 mm 이고 피치각 27°이며, 원심형 보조날개를 부착한

팬(b)에서 보조날개의 곡률반경은 645mm, 보조날개의 폭은 13mm로 하였으며, Table 1에 실제로 제작하여 실험에 사용된 팬의 사양을 상세히 제시하였다.

2.2 실험방법

실험장치는 Fig. 2와 같이 내경이 400 mm인 투명한 아크릴 원형관 중심에 팬을 장착하였다. 측정영역은 팬의 중심단면에서 40mm 떨어진 위치부터 400mm까지로 하였으며 아크릴관 뒤쪽에 검은색 종이를 붙여 시험부 내부에서 발생하는 반사광을 줄이고 입자의 선명성을 높였다. 축류팬으로부터 측방향으로 유동장을 관찰하기 위하여 레이저는 측방향으로 조사하였고 수직으로 설치된 CCD 카메라로 촬영하였다. 전압조절기를 이용하여 팬의 회전수를 800rpm, 1200rpm, 1700rpm으로 변화시켰으며 타코메타로 회전수를 측정하였다. 각각의 실험조건에서 1000장의 이미지를 획득하여 시간 평균하였으며, 이미지의 시간간격은 50μm이고 초당 2개의 이미지를 획득하였다. 상호상관법(cross-correlation method)으로 구한 입자의 변위와 영상 사이의 시간 간격으로부터 2차원 속도 벡터를 계산하였고 상관영역은 32×32 pixel²로 하였으며 50%의 overlap을 사용하였다^[5]. 또한 피토판과 마이크로액주계를 이용하여 반경방향과 측방향의 위치변화에 따른 압력을 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 유동장 가시화

원심형 보조날개를 부착한 신모델 팬의 유동장을 기존 축류팬의 유동장과 비교하기 위하여 유동장을 가시화하였다.

Fig. 3은 측방향(x 방향)으로는 팬하류의 위치 $x/d=0.1$ 에서 $x/d=1$ 까지이고 반경방향(r 방향)으로는 관중심($r/d=0$)에서 $r/d=0.45$ 인 영역의 유동장 속도벡터를 나타낸다. 기존의 축류팬에 비하여 원심형 보조날개를 부착한 팬의 유동장에

(a) Fan without sub-blade

(b) Fan with sub-blade

Fig. 3 Velocity vector plots of flow field

서는 반경방향 속도성분이 더 크고, 재순환 영역이 기존의 축류팬 보다 넓게 분포하는 것을 확인할 수 있다. 이로부터 원심형 보조날개를 부착한 신모델 팬은 기존의 축류팬과 다른 유동장의 속도분포가 가능하다는 것을 알 수 있다.

3.2 유동장 속도분포

Fig. 4는 팬의 날개 끝에서 관 중심방향으로 스펠길이(l)의 $0.1l$ (a), $0.5l$ (b), $0.9l$ (c)인 위치에서 축방향으로의 속도분포를 나타낸다. Fig. 4에서 알 수 있듯이 보조날개를 부착한 팬의 유동장에서 축방향속도는 기존 축류팬보다 전체적으로는 작은 것으로 나타났다. 그러나 Fig. 4(a)에서 스펠길이 $0.1l$ 인 날개 끝부분에서는 보조날개를 부착한 팬의 유동장에서 오히려 크게 나타났으며, Fig. 4(b)에서 스펠길이 $0.5l$ 인 날개중간 위치에서는 보조날개를 부착한 팬의 유동장에서 축방향으로 갈수록 약간씩 증가하는 것으로 나타났다.

(a) $0.1l$ spanwise position (b) $0.5l$ spanwise position (c) $0.9l$ spanwise position

Fig. 4 Comparison of axial velocities in the axial direction

Fig. 5는 팬의 날개 끝으로부터 관 중심방향으로 스패길이(l)의 $0.1l(a)$, $0.5l(b)$, $0.9l(c)$ 인 지점에서 반경방향 속도분포를 나타낸다. Fig. 5에서 기존 축류팬에 비하여 보조날개를 부착한 팬에서는 반경방향 속도성분은 커지는 것을 알 수 있으며 이러한 경향은 축 중심보다는 날개 끝부근에서 더 심하게 나타나는 것을 확인할 수 있다. 이 것은 축류팬에 원심형 보조날개를 부착하면 원심형 팬의 특성인 축방향속도는 작아지고 반경방향속도는 커지게 되어 축류형 팬과 원심형 팬의 중간 영역의 성능특성을 나타내는 팬이 될 수 있다는 것을 보여준다.

Fig. 6은 팬의 회전수(N)를 800 rpm, 1200 rpm, 1700 rpm으로 변화시키면서 스패길이 (l)의 $0.5l$ 인 날개 중간위치에서 축방향 속도와 반경방향 속도를 합성한 속도벡터의 크기를 축방향에 따라서 나타낸 것이다. Fig. 7(a)로부터 기존의 축류팬에서는 팬의 하류로 갈수록 속도벡터는 작아지는 것을 볼 수 있으나, Fig. 7(b)로부터 보조날개를 부착한 팬에서는 팬의 하류로 갈수록 속도벡터는 커지며, 이러한 경향은 회전수가 증가할수록 더 분명히 나타나고 있는 것을 확인할 수 있다. 이로부터 원심형 보조날개에 의하여 발생된 반경방향의 속도성분이 팬의 하류에서 유체의 운동에너지로 변화하는 것을 알 수 있으며, 원심형 보조날개를 부착한 팬은 기존의 축류팬보다 유체의 전압상승이 가능하다는 것을 알 수 있다.

3.3 압력분포

Fig. 7은 팬하류의 축방향으로 3개의 위치(x/d)에서 반경방향의 위치(r/d)에 따른 유동장의 정압을 피토포와 마이크로 액주계를 이용하여 측정한 결과이다. Fig. 7에서와 같이 원심형 보조날개를 부착한 팬의 정압이 기존 축류팬보다 낮게 나타났다. 원심형 보조날개에서 발생시킨 회전방향의 속도성분이 정압을 낮아지게 하기 때문이다. 이 결과로 원심형 보조날개에 의하여 회전방향의 운동에너지가 증가하였다는 것을 보여준다.

(a) $0.1l$ spanwise position

(b) $0.5l$ spanwise position

(c) $0.9l$ spanwise position

Fig. 5 Comparison of radial velocities in the axial direction

(a) fan without sub-blade

(b) fan with sub-blade

Fig. 6 Distribution of velocity vectors in the axial direction

(a) fan without sub-blade

(b) fan with sub-blade

Fig. 7 Comparison of static pressure

Fig. 7에서 기존 축류팬의 유동장에서는 회전자에서 가까운 $x/d=0.25$ 인 단면에서 정압은 원심형 보조날개를 부착한 팬보다 높지만 회전자에서 축방향으로 떨어진 $x/d=1.25$ 인 단면에서는 원심형 보조날개를 부착한 팬의 유동장에서 정압이 더 커지는 것을 확인할 수 있다. 이 결과로부터 원심형 보조날개를 부착한 팬에서 원심형 보조날개를 부착함으로써 나타나는 압력상승효과는 회전자하류의 유동장에서 커지는 것을 확인하였다.

4. 결 론

축류팬의 전압성능을 개선하기 위하여 기존의

축류팬 날개에 원심형의 보조날개를 부착한 신모델의 팬을 설계하고 제작하여 유동특성을 실험적으로 구하고 기존의 축류팬과 비교하였다. 원심형 보조날개를 부착한 팬의 유동장에서 원심형 보조날개에 의하여 발생된 반경방향의 속도성분으로 인하여 팬의 하류에서 유체의 운동에너지가 커지고 팬의 전압상승이 가능하며, 이 결과로부터 축류팬에 원심형 보조날개를 부착하면 원심형 팬의 특성인 축방향속도는 작아지고 반경방향속도는 커지게 되어 축류형 팬과 원심형 팬의 중간 영역의 성능특성을 나타내는 팬이 되어 적용범위가 매우 넓어질 수 있다는 것을 확인하였다.

후 기

이 연구는 서울과학기술대학교 교내 학술연구
비지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. Lee, S. H. and Ahn, C. O., 2004, Design Optimization of Axial Flow Fan Using Genetic Algorithm, Journal of Fluid machinery, Vol. 8, No. 3, pp. 7-14.
2. Yim, D. W., Ahmed, N. A., Lee, M. H. and Milton, B. E., 2002, Effect of tip Leakage Flow on an Isolated Rotor of an Axial Compressor, Proceedings of the Second National Congress on Fluids Engineering, pp. 619-622.
3. Lee M. H. and Jeong, J. G., 2004, An Analysis of the Flow Characteristics in the Tip Clearance of Axial Flow Rotor, Journal of Korean Society of Marine Engineers, Vol. 28, No. 5, pp. 735-745.
4. Choi, J. G., Lee, S. J., Lee, M. H. and Sung, J., 2006, Analysis of Flow Characteristics on the Axial Flow Fan with Centrifugal Blade, Journal of Korean Society of Marine Engineers, Vol. 30, No. 5, pp. 589-596.
5. Yoon, J., Sung, J. and Lee, M. H., 2012, Velocity Profiles and Friction Coefficients in Circular Open Channels, Journal of Hydraulic Research, Vol.50, No.3, pp.304-311.