

임펠러 출구각 및 리어가이더 형상 변화에 따른 횡류팬의 성능 특성

김형섭*·김동원*·윤태석**·박성관**·김윤제***

Performance Characteristics of a Cross-Flow Fan with Various Impeller Outlet Angles and Rearguiders

H.-S. Kim, D.-W. Kim, T.-S. Yoon, S.-K. Park and Youn J. Kim

Key Words: Archimedes Spiral (아르키메데스 나선), Performance Characteristic (성능 특성),
Outlet Angle (출구각), Rearguider (리아가이더), Cross-Flow Fan (횡류팬)

Abstract

A cross-flow fan consists of an impeller, a stabilizer and a rearguider. When it applied for an air conditioner, an evaporator should be added. It relatively makes high dynamic pressure at low speed because a working fluid passes through an impeller blade twice and blades have a forward curved shape. Therefore, the performance of a cross-flow fan is influenced 25% by the impeller, 60% by the rearguider and the stabilizer, 15% by the heat exchanger. At the low flow rate, there are a rapid pressure head reduction, a noise increase and an unsteady flow against a stabilizer and a rearguider. Moreover, the reciprocal relation between the impeller and the flow passage is the important factor for performance improvement of the cross-flow fan because each parameter is independent. The performance characteristics in the cross-flow fan are graphically depicted with various impeller outlet angles and rearguiders.

기호설명

b	폭[mm]	a	임펠러 유동각[degree]
C	유동의 절대속도 [m/s]	β	임펠러 날개각[degree]
C_p	압력회복계수	ε_r	리아가이더 간극[mm]
N	회전수[rpm]	ε_s	스테빌라이저 간극[mm]
q	체적유량[m ³ /min, CMM]	σ	미끄럼 계수
r	반경[mm]		
U	임펠러 원주속도[m/s]		하첨자
W	유동의 상대속도[m/s]		

그리스 문자

2	임펠러출구
3	리아가이더 기초원
d	설계점
m	반경방향
r	리아가이더
s	스테빌라이저
θ	접선방향

* 성균관대학교 기계공학부 대학원

** 삼성전자 DA 연구소

*** 성균관대학교 기계공학부

E-mail : yjkim@skku.edu

TEL : (031)290-7448 FAX : (031)290-5849

1. 서론

유체기계 중 송풍기와 압축기는 압력과 자동원리에 따라 분류하는 것이 일반적이며 송풍기는 보통 압력 상승이 10mAq 이하의 것을 말한다. 횡류팬 (cross-flow fan)은 이 중 송풍기에 속한다. 일반적으로 벽걸이형 에어컨 실내기의 송풍장치에는 유로 구성이 비교적 단순하고 고압력을 발생시키는 횡류팬이 사용된다. 횡류팬은 임펠러 입·출구각의 구분없이 유체가 날개 (blade)를 두 번 통과하기 때문에 높은 동압 (dynamic pressure)을 얻을 수 있고, 전향기를 채용하기 때문에 원주속도가 큰 특성을 갖고 있다. 또한, 임펠러의 지름이 제한을 받을 경우에 팬의 축방향 길이를 가감하여 작동유체의 유량을 조절할 수 있다. 따라서, 동일 풍량에서 원주 속도가 다른 팬보다 작아도 되므로 소형, 고풍량을 요구하는 공기조화 설비분야에 많이 적용되고 있다. 이같은 특징을 이용하여 실내 공기를 순환시키는 블박이 서큘레이터 (circulator), 공기 제트의 막을 이용한 건물 입구에서 공기 유동을 차단하는 에어커튼 (air curtain), 공기조화 장치에 사용되는 통풍팬 등에 사용된다.

횡류팬은 Fig. 1과 같이 임펠러 (impeller), 스테빌라이저 (stabilizer)와 리어가이더 (rearguider)로 구성되며, 에어컨의 경우 열교환기인 증발기를 포함한다. 횡류팬 내부의 유동은 임펠러와 스테빌라이저 사이의 역류에 의해 편심와유동 (eccentric vortex)이 형성되는 특징을 가지며, 설계변수들 사이의 의존성이 다른 유체기계 보다 크다. 특히 편심와의 강도 및 위치 제어가 횡류팬의 성능과 직결된다. 그러나 설계 이론이 확립되어 있지 못하고 편심와에 관련하여 상호 영향을 미치는 형상변수가 매우 다양하지만 이에 대한 연구가 미약하다.

횡류팬의 형상 설계를 위한 내부 유동 및 성능 해석에 대한 연구는 대부분 실험에 의존해 왔다. Eck⁽¹⁾는 횡류팬 내부 유동이 자유와 (free vortex)와 강제와 (forced vortex)가 동시에 존재함을 밝혔고, 다양한 스테빌라이저 형상에 따른 유동과 소음특성을 연구하였다. 가시화 실험을 통해 팬 내부에 편심된 와류가 존재한다는 사실을 발견하였고, 일반적인 유체기계에서 확립된 이론을 횡류팬에 수정 적용하였다. Tsurusaki 등^(2,3)은 횡류

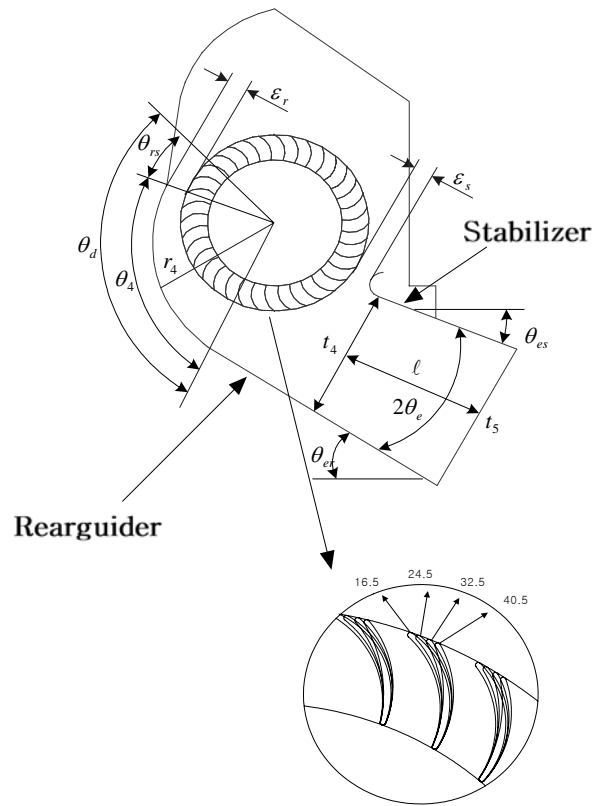


Fig. 1 Schematic diagram of a cross-flow fan.

팬 내부유속을 particle tracking velocimetry(PTV)를 사용하여 측정하고 디지털카메라로 촬영하여 속도 분포 및 경로선 (path line)을 구하였으며, 편심와류에서의 와도 (vorticity) 생성과 확산에 대한 계산을 수행하였다. Yamafuji와 Nishihara⁽⁴⁾는 횡류팬 임펠러 내부의 유동가시화를 통해 비정상적인 주유동의 형성과정을 밝혔다. 임펠러 내외부 날개 끝단에서 보텍스 shedding (vortex shedding)이 발생함을 알아냈으며, 이러한 현상은 편심와류의 생성과정을 설명해 준다. Murata와 Nishihara⁽⁵⁾, 그리고 Tanaka와 Murata⁽⁶⁾는 초기연구에서 스테빌라이저의 설치각, 스테빌라이저와 임펠러 사이의 간극과 리어가이더 형상이 팬의 성능을 결정하는 중요한 설계변수임을 밝혔고 편심와류에 대한 연구도 수행하였다. 구형모 등⁽⁷⁾은 실험을 통한 횡류팬 설계요소 변경에 따른 성능특성을 고찰하였으며, 진심원 등⁽⁸⁾은 횡류팬 임펠러 날개 설치각 변경에 의한 성능 변화는 리어가이더의 토출각도에 밀접한 관계가 있다는 것을 규명하였다. 허남건 등⁽⁹⁾은 횡류팬의 임펠러 입·출구각의 변

화를 통한 성능 특성을 수치해석과 실험을 통해 비교하였다. 이러한 연구를 통해 횡류팬의 성능은 모든 변수에 대해 상호작용하는 것으로 밝혀졌지만 상호 의존적 특성에 대한 유기적 관계는 정립되지 않은 실정이다.

본 연구에서는 스테빌라이저와 리어가이더에 의해 형성되는 출구 확대각(21°) 및 임펠러와 스테빌라이저의 간극(3.5 mm)은 고정하고 여러가지 형태의 리어가이더에 따른 임펠러의 출구가 변경이 횡류팬의 내부 유동 특성 및 성능에 미치는 영향에 대해 알아보고자 한다.

2. 리어가이더의 형상설계방법

횡류팬의 내부 유동은 비압축성 유동($M < 0.3$)이므로 원심펌프의 작동원리와 유사하다고 할 수 있다. 특히, 작동유체가 임펠러를 두 번 통과하면서 에너지를 공급받게 되며, 임펠러의 특정 범위에서만 리어가이더로 토출이 이루어지게 된다. 유체기계에서 임펠러 다음으로 가장 큰 손실을 가져오는 리어가이더의 형상은 매우 중요하다. 본 연구에서는 기존 유체기계의 스크롤 역할을 하는 리어가이더의 곡선시작부에서 토출구까지 아르키메데스 나선(Archimedes spiral)을 이용하여 설계하였다. 아르키메데스 나선은 기존 유체기계의 스크롤 설계 방법의 하나로 우수한 압력회복 성능을 갖는 것으로 알려져 있다. 임펠러의 출구각(16.5°, 24.5°, 32.5° 및 40.5°)은 경험적 수치를 사용하였고, 리어가이더 곡선으로 단순 원호를 사용한 모델과 비교 분석하여 성능특성을 구하였다. 아르키메데스 나선을 설계하기 위한 식은 다음과 같다.

$$r_{4(\theta)} = r_3 \exp\left(\frac{q_a \theta}{C_{\theta 2} r_2 b_2 \theta_o}\right) \quad (1)$$

여기서,

$$r_3 = r_2 + \varepsilon_r,$$

$$C_{\theta 2} = \sigma (C_{m2} / \tan \beta_2).$$

본 연구에서는 설계점(q_d)이 각각 4, 5, 6 CMM으로 하는 3가지의 리어가이더 형상을 제작하였다.

또한, 횡류팬의 효율은 유량과 팬 입출구 정압, 팬의 공기동력으로 나타낼 수 있다. Re수에 의한 영향을 무시한 팬의 공기동력은 차원해석을 통해 다음의 무차원계수로 표기된다.

$$\Psi = \Delta p / \rho N^2 D^2 \quad (2)$$

$$\Phi = q / ND^3 \quad (3)$$

위 식에서 N , D 는 각각 회전수와 임펠러 직경을 나타낸다.

3. 실험적 방법

3.1 실험장치

횡류팬의 성능시험을 위해서 ASHRAE 표준 51-75에 따라 전방흡입형 실험장치를 구성하였으며 Fig. 2에 이를 도시하였다. 팬 성능시험장치에 유량 측정용 노즐은 사각형 단면의 중심에서 대각선으로 다섯개의 노즐이 설치되어, 유량 변화에 따라 노즐이 개방, 폐쇄되도록 제작하였다.

횡류팬에 의해 발생하는 정압은 실험장치 상류에 위치한 안정실(settling chamber)의 정압탭을 통해 측정하였으며, 유량은 실험장치 내에 설치된 노즐 전후의 정압차를 측정하여 실험식을 사용하여 계산하였다. 차압성능 측정 및 유량측정을 위해 micromanometer(FCO510)를 사용하여 압력을 측정하였다. Micromanometer의 측정오차는 $\pm 0.25\%$ 이며, 계산된 유량의 불확실도(uncertainty)는 $\pm 2.83\%$ 이다.

3.2 실험방법

횡류팬의 성능 측정을 위해 팬 성능시험장치는 최초 구동에서 30분 이상 예열 후 실험을 시작하였다. 횡류팬의 작동 유체는 공기이므로 당일 공기 온도 및 대기압 상태를 측정하여 보정하여야 하므로 이에 대한 측정을 선행하였다.

실험 대상은 우선 리어가이더를 기준으로 임펠러의 출구가 변화에 따라 유량을 변경하면서 성능을 측정하게 되므로 경우의 수가 많게 된다. 실험 수행을 위해 먼저 팬 성능시험장치의 노즐을 모두 개방하고 최대 유량점이 되도록 부스터 팬을 구동한다. 해석 대상인 리어가이더를 미리 준비한 실험계획에 따라 변경 장착한 후 횡류팬

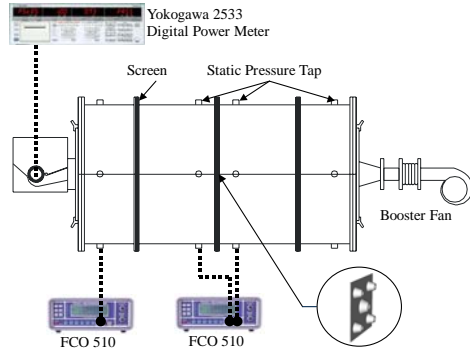


Fig. 2 Schematic apparatus of a fan tester.

구동 모터에 전원을 인가하고 회전수를 맞춘다. 그 후 임펠러 출구각을 변경하면서 각각의 경우마다 전 운전 유량범위에서 횡류팬의 차압과 유량을 측정한다.

성능 측정시 유량, 구동전력, 차압을 측정하게 되는데, 먼저 임펠러의 회전수 (1000 rpm), 스테빌라이저의 간극 (3.5 mm) 및 확대각 (21°)을 고정하고, 노즐과 부스터 팬의 제어를 통해 해당 유량을 고정된 후 구동모터의 인가 전력과 팬 시험 장치의 안정실 내부 압력과 대기압과의 차를 측정하게 된다. 모든 데이터는 정상상태에 도달한 후 1분 동안 발생하는 데이터의 평균값을 취하였다.

4. 결과 및 고찰

4.1 리어가이더의 형태

리아가이더 곡선부 형상인 나선형과 설계유량에 따른 구분을 위해 리어가이더 명칭은 Ar4, Ar5, Ar6 3가지로 정하였고, 설계 유량이 커지면서 리어가이더 곡선 반경이 증가하게 되도록 설계하였다. 리어가이더 곡선으로 R51, R56, R61인 단순 원호와 비교 분석하였다 (Figs. 3-8 참조).

결과를 고찰해보면 전반적으로 효율은 압력계수가 높은 곳에서 최대값을 나타내며 그 분포 또한 압력계수가 나타내는 경향과 비슷하다.

임펠러 출구각이 32.5°인 Archimedes 나선형에서 Ar4는 유량계수 0.42인 점에서 최대 압력계수와 최대 효율점을 나타내며, Ar5에서는 0.48, Ar6에서는 0.5인 점에서도 동일한 결과를 얻을 수 있다. 이 같은 결과는 식(1)을 이용하여 리어가이더 곡선부를 설계할 경우 저유량이나 고유량 등

운전점에 맞도록 리어가이더를 설계하는 것이 가능하다고 할 수 있다. 리어가이더 형태가 단순 원호보다는 Archimedes 나선형에서 효율 및 압력계수가 증가하였는데, 이것은 횡류팬 내부에서 발생하는 편심과 크기의 감소로 인한 것으로 판단된다.

4.2 임펠러 출구각

임펠러 출구각 변화에 따른 효율은 전반적으로 최대 효율점인 유량계수를 정점으로 오른쪽은 안정한 운전을 하지만, 출구각이 16.5°인 임펠러에서는 성능과 유량이 급격하게 감소하는 경향을 볼 수 있다.

리아가이더 곡선으로 단순 원호를 사용한 모델은 전반적으로 24.5°와 32.5°인 임펠러 출구각에서 상당히 동일한 성능, 유량 및 효율을 가진다. 하지만 Archimedes 나선형에서는 32.5° 출구각이 24.5°에서보다 성능과 최대 효율점이 높은 것을 실험을 통해 알 수 있다. 즉, 스테빌라이저와 리어가이더에 의해 형성되는 출구 확대각(21°) 및 임펠러와 스테빌라이저의 간극(3.5 mm)을 고정하였다. 이때 유량계수 $\Phi=0.5$ 근방에서 각각의 리어가이더에 대해 임펠러 출구각에 대한 성능과 최대 효율점을 비교 분석해 보면 전반적으로 리어가이더의 형태에 관계없이 출구각이 32.5°인 임펠러가 최고 성능을 나타내고 있음을 알 수 있다 (Figs. 9와 10 참조).

5. 결론

비교적 다른 유체기계보다 상호 의존적 특성이 큰 횡류팬의 리어가이더 및 임펠러 출구각 변화에 따른 성능 변화 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

(1) 횡류팬은 구성요소의 설계변수가 성능에 미치는 영향이 상호 의존적이므로 리어가이더 형태와 임펠러 출구각을 하나의 설계인자로 해석하는 것이 횡류팬 성능 특성에 도움이 된다.

(2) 식(1)을 이용하여 리어가이더 곡선부를 설계할 경우 저유량이나 고유량 등 운전점에 맞도록 리어가이더를 설계하는 것이 가능하다.

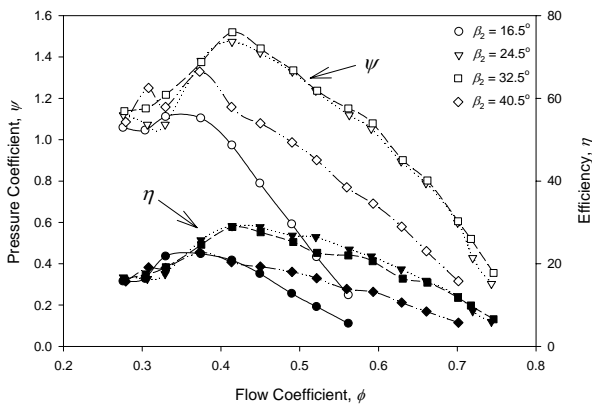


Fig. 3 Pressure coefficient and efficiency of R51 with flow coefficient for various impeller outlet angles.

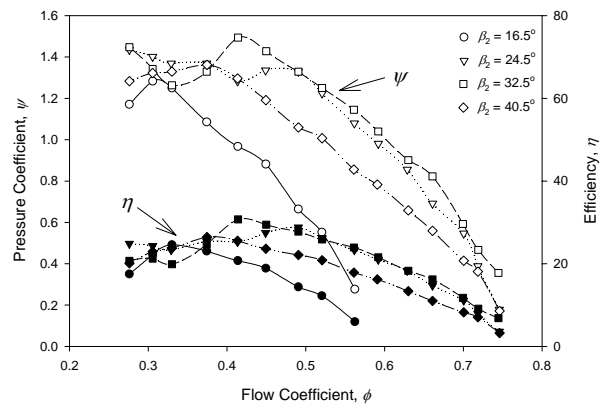


Fig. 6 Pressure coefficient and efficiency of Ar4 with flow coefficient for various impeller outlet angles.

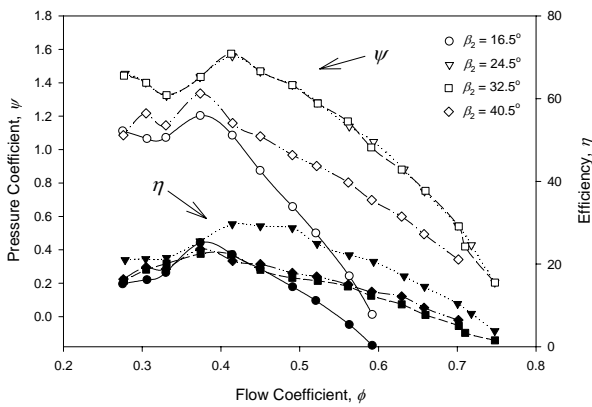


Fig. 4 Pressure coefficient and efficiency of R56 with flow coefficient for various impeller outlet angles.

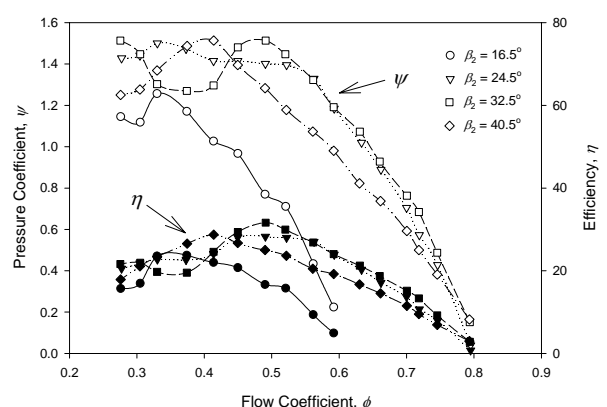


Fig. 7 Pressure coefficient and efficiency of Ar5 with flow coefficient for various impeller outlet angles.

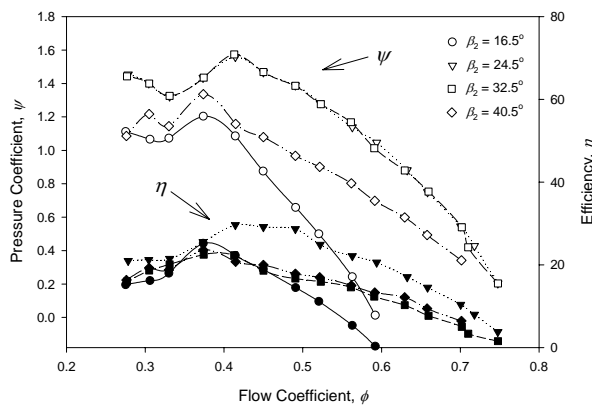


Fig. 5 Pressure coefficient and efficiency of R61 with flow coefficient for various impeller outlet angles.

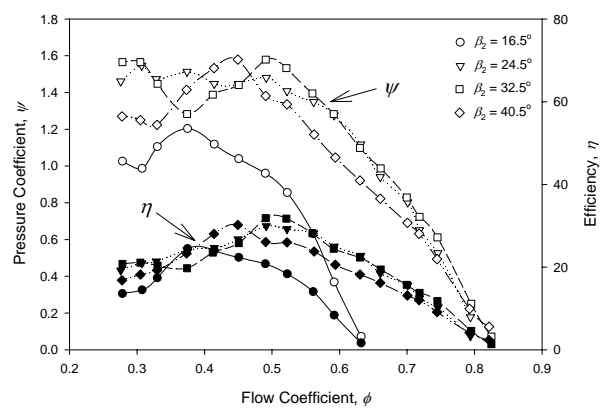


Fig. 8 Pressure coefficient and efficiency of Ar6 with flow coefficient for various impeller outlet angles.

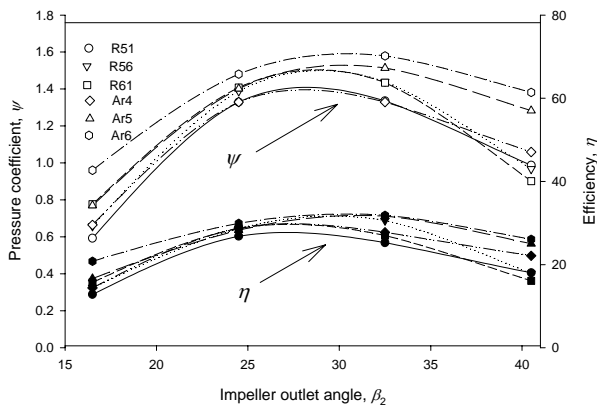


Fig. 9 Pressure coefficients and efficiency with different impeller outlet angles for various rear guiders and constant flow coefficient $\phi = 0.5$.

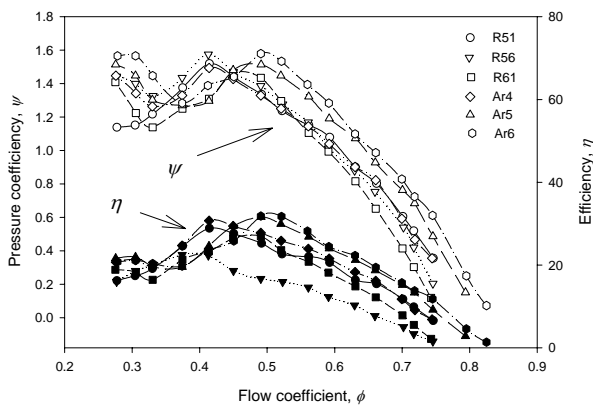


Fig. 10 Pressure coefficient and efficiency with different flow coefficients for various rear guiders and constant impeller outlet angle $\beta_2 = 32.5^\circ$.

(3) 리어가이더 형태가 Archimedes 나선형인 Ar6는 단순 원호를 사용한 리어가이더 곡선 형태보다 안정성, 성능 및 효율면에서 우수한 특성을 가졌다.

(4) 제 실험을 통해 임펠러 출구각이 32.5° 이고 리어가이더 형태가 Archimedes 나선형인 Ar6는 횡류팬의 성능 향상에 상당히 기여할 것으로 기대된다.

후 기

본 연구는 2002년도 미래가전연구센터(SFARC) 연구기금으로 수행되었으며 관계자 여러분께 감사 드립니다.

참고문헌

1. Eck, B., 1973, Fans, Pergamon Press, New York.
2. Tsurusaki, H., Shimizu, H., Tsujimoto, Y. and Yoshida, Y. 1996, Study of Cross-Flow Fan Internal Flow by Flow, JSME International Journal, series B, Vol. 39, pp. 540-545.
3. Tsurusaki, H., Tsujimoto, Y., Yoshida, Y. and Kitagawa, K., 1997, Visualization Measurement and Numerical Analysis of Internal Flow in Cross-Flow Fan, Journal of Fluids Engineering, Vol. 119, pp. 633-638.
4. Yamafuji, S. and Nishihara, K., 1976, An Experimental Study of Cross Flow Fan, Bulletin of JSME, Vol. 19, No. 129, pp. 314-321.
5. Murata, S. and Nishihara, K., 1976, An Experimental Study of Cross Flow Fan (1st Report, Effects of Housing Geometry on the Fan Performance), JSME, Vol. 19, No. 129.
6. Tanaka, S. and Murata, S., 1995, Scale Effects in Cross-Flow Fans, JSME International Journal series B, Vol. 38, No. 3, pp. 388-397.
7. Koo, H. M., Choi, W. S., Oh, B. J. and Lee J. K., 1998, An Experimental Study on the Cross-Flow Fan in Airconditioning Devices: Study on the Influence of Some Basic Design Parameters, KSME 98S226. (in Korean)
8. Jin, S. W., Lee, J. H., Seo, S. H., Lee, N. Y. and Im, K. S., 1995, An Experimental Study on High-Flowrate Cross-Flow Fan for Room Airconditioner, SAREK 95-W-037. (in Korean)
9. Hur, N. K., Kim, W. and Kang, S. H., 1999, A Numerical Study on Flow through a Cross Flow Fan: Effect of Blade Shapes on Fan Performance, Journal of Korea Fluid Machinery, Vol. 2, pp. 96-102. (in Korean)