

임펠러 직경비 및 리어가이더 형상변화가 횡류팬 성능에 미치는 실험적 연구

김형섭* · 김동원* · 윤태석** · 박성관** · 김윤제***

Experimental Study on the Performance of a Cross-Flow Fan with Various Diameter Ratios of Impeller and Rearguider Shapes

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

Key Words : Archimedes Spiral (아르키메데스 나선), Cross-Flow Fan (횡류팬), Stabilizer (스테빌라이저), Rearguider (리아가이더), Diameter Ratio (직경비)

ABSTRACT

A cross-flow fan relatively produces higher dynamic pressure at low speed because a working fluid passes through an impeller blade twice and blades have a forward curved shape. The performance of a cross-flow fan is influenced 25% by the impeller, 60% by the rearguider and the stabilizer, and 15% by the heat exchanger. At the low flow rate, there exist a rapid pressure head reduction, a noise increase and an unsteady flow against a stabilizer and a rearguider. The purpose of this study is to investigate the reciprocal relation among each parameter. Experiments are conducted to study the effects of a rearguider and a diameter ratio of impeller on the performance analysis of a cross-flow fan. Comparing with the rearguider of radial type, the Archimedes type shows excellent results for various diameter ratios.

1. 서론

유체기계 (fluid machinery)란 물이나 공기 등을 작동유체로 하여 에너지 교환을 수행하는 기계이다. 유체기계 중 송풍기 (blower)와 압축기 (compressor)는 압력과 작동원리에 따라 분류하는 것이 일반적이며, 송풍기는 보통 압력 상승이 10mAq 이하인 것을 말한다. 횡류팬 (cross-flow fan)은 이 중 송풍기에 속하며 1892년 Mortier에 의하여 처음 고안되어 다양한 산업 분야에 적용되고 있다.

횡류팬은 2개의 등근 축관 사이에 원주방향을 따라 비틀림이 없는 날개를 부착한 원통형 로터 형상을 갖는다. 또한, 그 주위에 비대칭 케이싱을 사용함으로써 관통류를 안정화시키는 원리로 작동한다. 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 크며, 유로의 기하학적 형상이 비교적 단순하다. 세장형으로 설치하면 원하는 풍량을 비교적 낮은 팬 회전속도와 풍속으로 이송시킬 수 있어 최근에는 벽걸이형 에어컨에 많이 장착되고 있다. 특히, 실내기에 적용할 경우 실내 거주자의 쾌적성과 관련한 기류속도 및 소음을 고려할 때 낮은 회전속도를 유지하며 원하는 풍량을 이송시킬 수 있다는 점에서 적용성이 우수하다고 볼 수 있다.

* 성균관대학교 대학원

** 삼성전자 DA연구소

*** 성균관대학교

책임저자 E-mail : yjkim@skku.edu

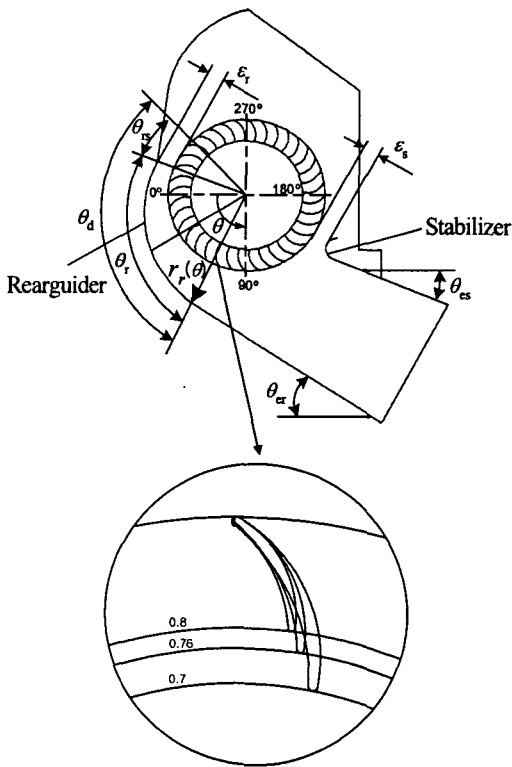


Fig. 1 Design parameters of a cross-flow fan

횡류팬은 Fig. 1과 같이 임펠러 (impeller), 스테빌라이저 (stabilizer)와 리어가이더 (rear guider)로 구성되며, 에어컨의 경우 열교환기인 증발기가 포함된다. 횡류팬 내부 유동은 크게 자유와 (free vortex)와 강제와 (forced vortex) 두가지로 구성된다. 임펠러와 스테빌라이저 사이의 역류에 의해 생성되는 편심와 (eccentric vortex)는 강제와이고, 리어가이더 곡선부에서 형성되는 와류동은 자유와이다. 특히 편심와의 위치는 임펠러의 토출영역 (θ_d)에서 유출된 유체가 입구로 재순환하는 양을 결정하는 주요요소이므로 횡류팬의 성능과 직결된다. 이 재순환은 에너지 손실의 상당 부분을 차지하게 되어 횡류팬의 효율이 재순환되는 양에 비례하여 저감된다. 실제의 경우 우수한 팬이라 하더라도 재순환유량이 전체 유량의 1/3정도가 되어 횡류팬의 효율은 대부분 65%미만이다. 그러나 설계 이론이 확립되어 있지 못하고 편심와에 관련하여 상호 영향을 미치는 다양한 형상변수에 대한 체계적인 연구가 미약한 실정이다.

횡류팬의 형상 설계를 위한 내부 유동 및 성능해석에 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. Yamafuji와 Nishihara⁽²⁾는 가시화기법을 이용하여 횡류팬 임펠러 내부 비정상적인 주유동의 형성과정을 밝혔다. 임펠러 내외부 날개 끝단에서 보텍스 shedding (vortex shedding)이 발생함을 알아냈으며, 이러한 현상으로부터 편심와류의 생성과정을 설명하였다. 구형모 등⁽³⁾은 실험을 통한 횡류팬 설계요소 변경에 따른 성능특성을 고찰하였고, 진심원 등⁽⁴⁾은 횡류팬 임펠러 날개 설치각 변경에 의한 성능 변화는 리어가이더의 토출각도에 밀접한 관계가 있다는 것을 규명하였다. 서상호 등⁽⁵⁾은 LDV를 이용하여 리어가이더 곡률과 횡류팬의 흡입구와 토출구 면적비를 변경시켜가면서 실험을 실시하였고, 내부 유동의 속도변화량에 대한 분석도 수행하였다. 허남건 등⁽⁶⁾은 횡류팬의 임펠러 입·출구각 변화를 통한 성능특성을 수치해석과 실험을 통해 비교하였다.

횡류팬에 관한 수치적 연구로 이지석 등⁽⁷⁾은 V.E.M (Vortex Element Method)을 사용하여 횡류팬내의 유동특성을 해석하였고, Comes 등^(8,9)은 유한요소법을 이용하여 횡류팬 내부에서의 난류 및 비정상 유동을 분석하였다. Gabi와 Klemm⁽¹⁰⁾는 상용코드인 STAR-CD를 이용해 2차원 형상에 대한 정상 해석 결과와 PIV로 측정된 실험결과를 비교하여 수치해석결과의 타당성을 입증하였다. 전용두와 이종수⁽¹¹⁾는 STAR-CD를 이용하여 다중 회전좌표계 (multi rotating frames of reference)에 대한 정상 2차원 수치해석을 회전수에 따라 수행하여 기존모델과 수정모델에 대한 수치해석 연구를 수행하였다.

지금까지 횡류팬의 설계와 성능해석에 관한 많은 연구가 이루어져 왔으나 아직까지도 정형적인 설계접근방법이 통용되고 있지 않은 실정이다. 본 연구에서는 스테빌라이저 설치각 (θ_{cs})을 21° , 그리고 임펠러와 스테빌라이저의 간극 (ϵ_s)을 3.5 mm 고정하고 리어가이더에 대한 임펠러 직경비 변화가 횡류팬의 내부 유동 및 성능 특성에 미치는 영향을 분석하고자 한다.

2. 형상설계방법

횡류팬 내부 유동은 비압축성이므로 액체를 작동유체로 하는 원심펌프 내 유동의 원리와 같다고 할 수 있다. 토출된 작동유체는 리어가이더의 곡선부를 지나 스테빌라이저와 리어가이더 직선부에 의해 이루어지는 출구 디퓨저 부위를 통과하여 최종적으로 토출이 이루어진다. 리어가이더의 형상은 횡류팬 성능에 미치는 중요한 설계인자이다.

본 연구에서는 유체기계의 스크롤 (scroll) 역할을 하는 리어가이더의 곡선시작부에서 토출구까지 아르키메데스 나선 (Archimedes spiral)을 이용하여 설계하였다. 아르키메데스 나선은 기존 유체기계의 스크롤 설계 방법의 하나로 우수한 압력회복성능을 갖는 것으로 알려져 있다. 성능에 있어 가장 중요한 역할을 하는 리어가이더 곡선을 반경이 56 mm인 단순원형과 두가지의 아르키메데스 나선 (Archimedes spiral)형을 본 연구에 적용하였으며, 횡류팬의 운전조건 및 임펠러의 일반적 사양을 Table 1에 기술하였다.

$$r_{r(\theta)} = r_3 \exp\left(\frac{q_d \theta}{C_{\theta 2} r_2 b_2 \theta_d}\right) \quad (1)$$

여기서,

$$r_3 = r_2 + \varepsilon_r$$

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

위 식에서 $C_{\theta 2}$ 는 임펠러 출구 접선방향 유속, C_{m2} 는 임펠러 출구 반경방향 유속, β_2 는 임펠러 출구각, ε_r 는 임펠러와 리어가이더 사이 간극, b 는 폭, r_2 는 임펠러 반경을 의미하며, 이 식을 사용하여 곡선부 형상이 아르키메데스 나선형이며 설계점 (q_d)이 5 CMM인 리어가이더를 제작하였다. 두가지 아르키메데스형의 차이점은 시작각 (θ_{rs})으로, 제 1 아르키메데스 나선형

Table 1 General parameters and operating conditions.

Impeller diameter (D_2)	95 mm
Diameter ratio (D_1/D_2)	0.65, 0.70, 0.76, 0.80
Blade angles	$\beta_1=90^\circ$, $\beta_2=32.5^\circ$
Number of blades	35
Blade profile	circular arc
Rotating speed	16.67 sec^{-1}
R_b (for blade chord length)	4490

과 반경형에 대해 제 2 아르키메데스 나선형은 13.7° 후방에 위치한다. 또한, 횡류팬의 효율은 유량과 팬 입·출구 정압, 팬의 공기동력으로 나타낼 수 있는데, 차원해석을 통해 무차원수인 압력 계수 (ψ)와 유량 계수 (ϕ)로 표기할 수 있다.

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

$$\phi = q / N D^3 \quad (3)$$

위 식에서 N , D , q 는 각각 회전수, 임펠러 직경과 체적유량을 나타낸다.

3. 실험장치 및 방법

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

횡류팬에 의해 발생하는 정압은 실험장치 상부에 위치한 안정실 (settling chamber)의 정압탭을 통해 측정하였으며, 유량은 실험장치 내에 설치된 노즐 전후의 정압차를 측정하여 실험식을 사용하여 계산하였다. 차압성능 및 유량측정을 위해 micromanometer (FCO510)를 사용하여 압력을 측정하였다. FCO510의 측정오차는 $\pm 0.25\%$ 이며, 계산된 유량의 불확도 (uncertainty)는 $\pm 2.83\%$ 이다.

횡류팬 구동용 모터는 효율 측정을 위해 입력 전력을 powermeter를 사용하여 측정하였다. 팬 구동모터의 동력은 토오크미터 (torquemeter)를 이용하여 측정된 후, 회전수와 곱으로 구하는 것이 일반적이지만, 본 연구에서는 동력측정을 위해 powermeter (Yokogawa, WT1000 series)를 사용하여 모터의 구동력을 측정된 후 모터의 성능곡선을 이용하여 이를 보정하였다.

횡류팬 성능 측정을 위해 팬 성능실험장치는 최초 구동에서 30분 이상 예열 후 실험을 시작하였다. 횡류팬의 작동 유체는 공기이므로 실험 당일 온도 및 대기압 상태를 측정하여 보정하였다. 실험준비가 완료되면 실험 오차를 최소화하기 위하여 반경형 리어가이더에 대한 실험을 수행한 후 평균 데이터와 비교하여 실험의 반복성 (repeatability)을 확인하였다.

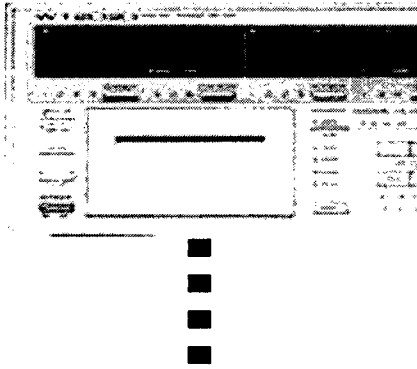


Fig. 2 Schematic apparatus of a fan tester.

4. 결과 및 고찰

횡류팬의 리어가이더 형태와 임펠러의 설계변수인 직경비 변화에 따른 횡류팬 내부의 유동변화에 대한 성능특성 및 효율을 실험을 통해 고찰하였다. 일반적으로 다익팬은 임펠러 출구각이 30° 근방에서 성능과 효율면에서 가장 좋은 결과를 나타내고 있으며, 횡류팬의 토출이 일어나는 날개부분에서는 다익팬의 내부 유동과 동일하므로 본 연구에서는 임펠러 출구각을 32.5°로 고정한 채 실험을 수행하였다.

리가이더 곡선부 형태에 따른 임펠러 직경비 (0.65~0.8)에 대한 실험결과를 Figs. 3-5에 도시하였다.

리가이더 곡선부 형태가 반경형인 직경비 0.70의 임펠러는 0.76과 0.80보다 성능과 효율면에서 우수함을 나타내고 있지만 상대적으로 최대 유량계수가 0.4의 왼쪽인 저유량대역에서 스톨 (stall)에 의하여 불안정한 영역이 형성되고 있다. 또한, 직경비가 0.8과 0.76의 경우 거의 동일한 성능 및 효율을 나타내었다. 일반적으로 직경비가 작을수록 임펠러 길이는 길어지고, 임펠러가 길어질수록 임펠러가 유체에 가하는 에너지는 증가하지만 손실도 마찬가지로 증가하게 된다.

이러한 현상은 아르키메데스 나선형의 경우도 동일하게 나타나는 것을 알 수 있다. 아르키메데스 나선형의 경우 반경형보다 직경비에 있어서 성능 차이가 다소 감소하는 것을 알 수 있는데, 특히, 이 현상은 제 2 아르키메데스 나선형에서 더욱 두드러지게 나타남을 알 수 있다.

제 2 아르키메데스 나선형에서 각 직경비에 대해 임펠러는 최대 유량계수 왼쪽의 저유량 대역에서 불안

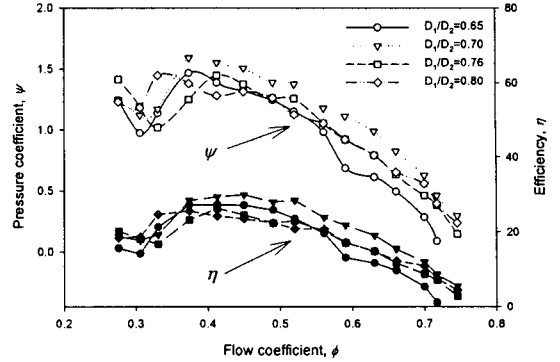


Fig. 3 Pressure and efficiency coefficients with various impeller diameter ratios(Radial type).

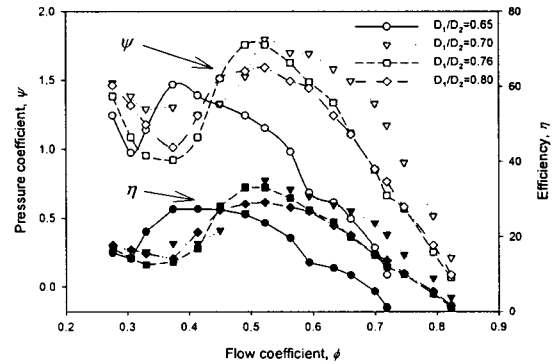


Fig. 4 Pressure and efficiency coefficients with various impeller diameter ratios(1st Archimedes type).

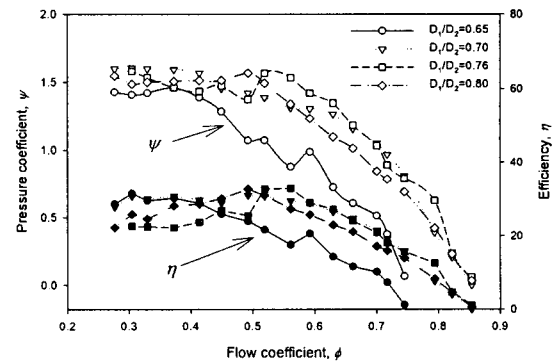


Fig. 5 Pressure and efficiency coefficients with various impeller diameter ratios(2nd Archimedes type).

정 영역이 존재하지 않으며, 저유량에서 고유량으로 갈수록 효율은 대체적으로 일정하게 감소하는 경향을 나타내었다. 또한, 임펠러 직경비가 0.7-0.8인 횡류팬은 성능특성과 효율면에서 거의 동일한 경향을 나타내었다.

횡류팬 임펠러는 대기압에서 대기압으로 운전하는 특성을 가지고 있으며, 고유량에서 우수한 성능을 가지고 있다. 그러므로, 최대 유량계수가 큰 것이 유리하다고 볼 수 있는데, 실험 결과를 통해서 모든 임펠러 직경비에 대해 반경형, 제 1 아르키메데스 나선형과 제 2 아르키메데스 나선형의 최대 유량계수는 0.75, 0.82, 0.85로 순차적으로 증가함을 알 수 있다.

Figs. 3-5에 도시한 실험 결과를 통해 리어가이더 형상에 따른 횡류팬의 성능 특성과 효율면에서는 제 2 아르키메데스 나선형이 가장 우수함을 알 수 있으며, 이를 정리하여 직경비 0.76에 대해서 리어가이더 형상에 관한 결과를 Fig. 6에 도시하였다.

리아가이더 곡선부 형상 중 반경형, 제 1 아르키메데스 나선형과 제 2 아르키메데스 나선형에 대해 비교해보면, 최고 효율점의 왼쪽인 저유량에서는 스톨에 의해 비정상 유동이 발생하여 유량계수 감소에 따라 압력계수가 감소 후 증가하는 현상이 발생하였다. 이러한 현상은 다익셀에서 발생하는 일반적인 것으로 해석대상인 리어가이더에서 모두 발생하였다. 반경형의 경우 유량계수 0.45 이하에서 압력변동 (± 0.15 mmH₂O)이 발생하는 불안정 영역이 발생하였고, 제 1 아르키메데스 나선형에서는 유량계수 0.49 이하에서 불안정 영역 (± 0.2 mmH₂O)이 발생하였다. 제 2 아르키메데스 나선형의 경우 저유량 대역에서 불안정 영역

이 거의 존재하지 않았으며, 압력계수도 거의 일정하게 유지됨을 알 수 있다. 이는 제 2 아르키메데스 나선형의 시작각 (θ_{rs})이 다른 형상과 달리 13.7° 후방에 있기 때문에 저유량 대역에서 유동의 비정상성을 증가시키는 임펠러 상부의 확산유동을 감소시키기 때문으로 판단된다.

5. 결론

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

(1) 임펠러 직경비가 0.7-0.8인 횡류팬은 각 리어가이더 형상에서 대부분 동일한 성능특성과 효율을 가지고 있으므로 이 범위에서 임펠러 직경비의 설계가 타당한 것으로 사료되며, 제 2 아르키메데스 나선형을 횡류팬 설계에 적용할 경우 팬 성능향상에 기여할 것으로 판단된다.

(2) 횡류팬의 운전특성으로 인해 최대 유량계수가 높을수록 좋은 성능을 나타내며, 제 2 아르키메데스 나선형의 경우 이 조건을 만족하고 있다. 또한, 저유량 대역에서 불안정 영역이 거의 존재하지 않았고, 압력계수도 거의 일정하게 유지됨을 알 수 있다. 이는 제 2 아르키메데스 나선형의 시작각 (θ_{rs})이 다른 형상과 달리 13.7° 후방에 있기 때문에 저유량 대역에서 유동의 비정상성을 증가시키는 임펠러 상부의 확산유동을 감소시키기 때문으로 판단된다.

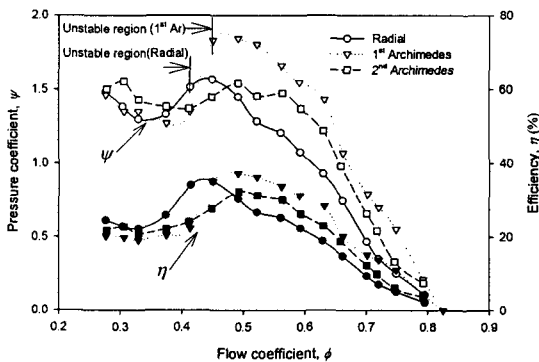


Fig. 6 Pressure coefficient and efficiency with various rearguider types for $D_1/D_2=0.76$

후 기

본 연구는 2002년도 미래가전 연구센터 (SFARC) 연구기금 (과제번호: 2002-0154-040)으로 수행되었으며, 관계자 여러분께 감사 드립니다.

참고문헌

- (1) Eck, B., 1973, Fans, Pergamon Press, New York.
- (2) Yamafuji, S. and Nishihara, K., 1976, An Experimental Study of Cross Flow Fan, Bulletin of JSME, Vol. 19, No. 129, pp. 314-321.
- (3) 구형모, 최원석, 오병재, 이진교, 1998, 공조기공

- 횡단류팬에 대한 실험적 연구: 기본적 설계변수의 영향에 관한 연구, 대한기계학회 춘계학술대회 논문집 B, pp. 438-443.
- (4) 진심원, 이진하, 서상호, 이내영, 임금식, 1995, "에어콘용 횡류팬의 고품량화에 대한 실험적 연구", 공기조화냉동공학회, 동계학술발표논문집, pp. 234-241.
- (5) 서상호, 이내영, 이진하, 진심원, 임금식, 1995, "룸에어컨 소음저감을 위한 Stabilizer에 관한 연구", 한국소음진동공학회 추계학술대회 논문집, pp. 136-141.
- (6) 허남건, 김욱, 강신형, 1999, "직교류 팬의 유동해석: 깃 형상 변화가 성능에 미치는 영향", 유체기계저널: 제2권, 제1호, pp. 96-102.
- (7) 이지석, 이상환, 정성원, 1995, "V.E.M.을 이용한 횡류팬 유동장 해석", 공기조화 냉동공학회, 하계학술발표논문집, pp. 203-208.
- (8) Combes, J. F. and Marie, L., 1994, "Numerical Modeling of the Flow in a Cross-Flow Fan", FED-Vol. 195, Fluid Machinery.
- (9) Combes, J. F., Bert, P. F., Pessiani, J. F. and Kueny, J. L., 1996, "Unsteady Flow Calculation in a Cross-Flow Fan Using a Finite Element Method", ASME 96-GT-443.
- (10) Gabi, M. and Klemm, T., 2003, Numerical and Experimental Investigations of Cross Flow Fan, the 12th International Conference on Modeling Fluid Flow, pp. 1214-1219.
- (11) 전용두, 이종수, 2002, "횡류팬 유로최적화를 위한 수치실험", 2002 유체기계 연구개발 발표회 논문집, pp. 147-151.