

관류팬의 설계인자 변화에 따른 리어가이더의 표면압력 특성에 관한 실험적 연구

Experimental Study on the Surface Pressure Characteristics of a Rear-Guider for the Various Design Factors of a Cross-Flow Fan

김 장 권
J. K. Kim

Key Words : Cross Flow Fan(관류팬), Eccentric Vortex(편심와류), Fan Tester(팬테스터), Flow Coefficient(유량계수), Rear Guider(리아가이더), Stabilizer(스테빌라이저)

Abstract : A cross-flow fan is strongly influenced by the various design factors of a rear-guider and a stabilizer. The purpose of this paper is to investigate the effects of a rear-guider and a stabilizer on the surface pressure of a rear-guider in an indoor room air-conditioner using a cross-flow fan. The design factors considered in this paper are a rear-guider clearance, a stabilizer clearance, and a stabilizer setup angle, respectively. The operating condition of a cross-flow fan was controlled by changing the static pressure and flowrate using a fan tester. All surface pressures of a rear-guider are differently distributed according to the stabilizer setup angle, and show a zero value in the flow coefficient, $\phi=0.5$ only of a stabilizer setup angle, 45° . Especially, they show a big negative value in the expansion angle larger than 34° regardless of a rear-guider clearance, a stabilizer clearance, and a stabilizer setup angle. On the other hand, surface pressures for various stabilizer cutoff clearances are better than those for various rear-guider clearances.

기호 설명

1. 서 론

- D_0 : 리어가이더의 곡률중심 원의 직경 [m]
- D_2 : 관류팬의 외경 [m]
- l : 관류팬의 길이 [m]
- P_s : 정압 [Pa]
- P_{S178} : 리어가이더의 표면압력 [Pa]
- Q : 유량 [m^3/min]
- R : 리어가이더의 곡률반경 [m]
- U_2 : 관류팬의 출구측 원주속도 [m/s]
- ϵ_1 : 리어가이더의 선단부와 관류팬사이 틈새 [m]
- ϵ_2 : 스테빌라이저의 설단부와 관류팬 사이 틈새 [m]
- θ_1 : 리어가이더의 선단부 각도 [$^\circ$]
- θ_2 : 스테빌라이저의 설치각도 [$^\circ$]
- ϕ : 유량계수, $\left(\phi = \frac{Q}{D_2 \times l \times U_2} \right)$

최근까지 국내의 에어컨은 환경문제에 대응하면서 소비자의 구매 욕구를 신규 창출하기 위해 효율 증대, 콤팩트(compact) 디자인과 저소음운전 등을 주로 추구해왔는데, 그 결과 에어컨 판매 시장이 급속도로 확장되고 있다.

1990년대 초기 국내에서의 룸에어콘 실내기 설계의 관점은 저소음 운전에 큰 비중을 두었으나, 1990년 중반이후부터는 CFC 대체 냉매의 사용에 따른 에너지 효율저감의 기술극복과 실내의 인테리어(interior)성과 공간 활용에 잘 조화될 수 있는 디자인 개발이 동시에 요구되었다. 이후 이들은 벽걸이형 분리형 룸에어콘의 설계에 항상 핵심사항들이 되어 왔다.

벽걸이형 분리형 룸에어콘의 실내기는 일반적으로 관류팬(cross-flow fan)을 중심으로 전면측에 스테빌라이저(stabilizer), 배면측에 리어가이더(rear-guider)를 배치한 구조를 갖는다. 보통 실내기 전면부나 상부로부터 실내의 고온공기를 흡입하는 쪽에는 그릴부와 필터 그리고 열교환기가 배치

접수일 : 2005년 6월 2일
김장권 : 군산대학교 동력기계시스템공학 전공
E-mail : flowkim@kunsan.ac.kr Tel : (063)469-1848

되어 있다. 일반적으로 저소음 및 고효율 운전을 위해서는 Fig. 1과 같이 열교환기를 거친 저온공기는 관류팬의 날개를 두 번 관통하여 하부 전면으로 토출할 때, 리어가이더의 표면에 유동박리가 없이 매끄럽게 최대크기의 토출면적을 확보하면서 빠져 나가야 한다.

따라서 룸에어컨 실내기의 내부 유동은 리어가이더의 형상과 관류팬과의 틈새, 그리고 스테빌라이저의 간극과 설치 각도에 따라 많은 성능 변화를 가져오게 되는데, 특히 스테빌라이저 근방에 존재하는 편심와류(eccentric vortex)에 따라 관류팬의 유동성능 특성이 크게 달라진다고 보고되고 있다^{1, 4)}.

관류팬은 횡류팬, 접선팬(tangential fan), 주변팬(peripheral fan)이라고도 다양하게 불려지고 있는데, 1893년 Mortier의 발명특허를 통해 최초로 도입되었다⁵⁾. 그 후 Eck, Coaster, Laakso, Zenkner 등 많은 연구자들에 의해 초창기 연구가 수행되었으며⁶⁾, 그 결과들은 Porter 등¹⁾, Murata 등⁶⁾, Ilberg 등⁷⁾, Preszler 등⁸⁾에 의해 더욱 활용가치가 높은 연구로 발전되어져 현재 룸에어컨, 통풍장치, 에어컨튼에 이르기까지 널리 응용되어지고 있다.

벽걸이형 룸에어컨의 실내기에서 사용되는 관류팬에 대한 논문은 지금까지 많이 발표되어졌으나, 관류팬의 설계방법은 아직까지도 완벽하게 확립되지 않아, 업계에서조차도 경험에 의한 설계에 주로 의존하고 있다.

Porter 등¹⁾은 열선프로브와 유동가시화법을 사용하여 관류팬의 내부유동을 측정하였으며, 케이싱 설계에 해당하는 유용한 정보를 얻었다. 또한 Tsurusaki 등⁴⁾은 익근차 원주상에 중심을 갖는 편심와류영역과 유체수송을 행하는 관류유동역이 존재함으로 편심와류의 크기와 세기를 쉽게 결정할 수가 없고, 유동장이 케이싱(casing) 형상에 강하게 영향을 받기 때문에 동일한 익근차에도 케이싱에 의해서 성능이 다르게 된다고 하였다. Murata 등⁶⁾은 다양한 기하학적 크기의 케이싱과 설단부 틈새 및 설치각도 등을 변화시켜 관류팬의 성능을 분석한 바 있다. 또 Ilberg 등⁷⁾은 관류팬에서 편심와류 구조에 관련한 기본적인 이론들을 개발하였으며, Preszler 등⁸⁾은 편심와류를 측정하기 위해 피토판을 이용하여 Eck형 팬의 임펠러 내부에서 와류 분포를 밝혔다.

한편 국내에서도 관류팬에 대한 연구가 1990년대 후반부터 집중적으로 연구되었다. 여기서 구⁹⁾는 룸

에어컨의 내부구조를 형성하는 스테빌라이저의 다양한 형상과 설치 위치, 그리고 스크롤의 형상 및 공기토출구의 형상변화에 따른 성능변화를 연구하였다. 또한, 조 등¹⁰⁾은 복잡한 관류팬의 내부유동장을 전산 해석하여 유량대 압력의 실험결과와 비교를 통해 해석기법의 정확성을 검증하였으며, 또 예측된 유동소음을 통해 등피치팬과 부등피치팬의 소음특성을 조사하였다.

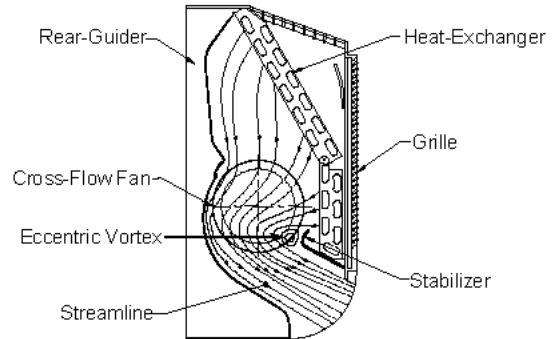


Fig. 1 Configuration of indoor room air-conditioner

본 연구의 저자는 관류팬을 중심으로 룸에어컨의 실내기를 보다 구체적으로 설계하여 적용할 수 있도록 리어가이더 곡률반경의 원점을 결정하는 새로운 기준을 제시하였다¹¹⁾. 이를 바탕으로 제작된 리어가이더와 스테빌라이저 등을 가지고 리어가이더와 관류팬과의 틈새조정 및 관류팬과 스테빌라이저의 틈새 및 설치 각도를 자유롭게 조정할 수 있는 룸에어컨 실내기의 실험세트를 제작하여 사용하였다.

본 연구에서는 관류팬 케이싱의 다양한 조립조건에 따라 얻어진 유량계수별 리어가이더의 표면압력 분포 특성에 대해 검토하고자 한다. 이를 통해 관류팬의 각 운전점에 따른 리어가이더의 표면압력 분포로부터 토출기류의 유동박리 현상을 편심와류의 거동과 연계하여 분석하고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

Fig. 2는 본 연구에서 사용한 핸테스터, 관류팬, 구동장치 및 측정장치 그리고 컴퓨터로 구성된 실험장치를 나타내고 있다. 핸테스터는 흡입형 단일노즐의 차압을 직접 측정하여 풍량을 얻을 수 있도록 설계 제작하였다¹²⁾. 또 핸테스터의 구동장치는 토크 검출기(Onosokki, MD-105R)와 회전수감지기

(Ono-sokki, MP-981) 및 AC 서보모터(Samsung, CSM- 01)로 구성하였다. 또 구동 축 끝은 관류현 축을 쉽게 결합할 수 있도록 척(chuck)을 이용하였다. 여기서 AC 서보모터의 구동은 인버터 방식의 서보드라이브(Samsung, CSDJ-01BX1)를 사용하였다. 팬테스터에서의 정압과 차압은 차압센서(Furness, FCO332)로 각각 측정하였으며, 관류현의 토크와 회전수는 전용지시기(Onosokki, TS-3600B)를 사용하였다. 또한 리어가이더의 표면 압력은 10 채널을 쌍으로 연결이 가능하고, 최대 작동 정압이 1 bar까지 가능한 압력스캐너(Furness, FCO91-10)와 미압계(Furness, FCO510-3)를 사용하여 측정하였다.

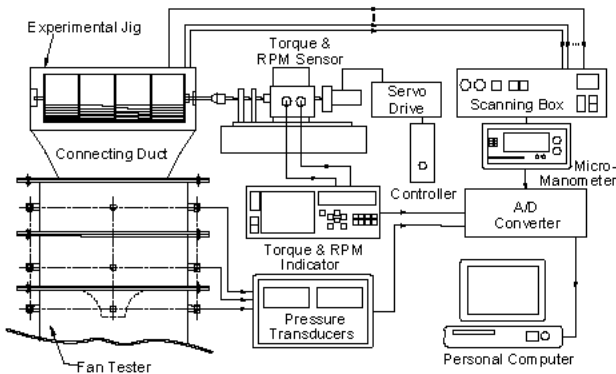


Fig. 2 Experimental setup

한편, 컴퓨터에서 차압센서와 토크검출기, 회전수 감지기 및 미압계 등의 신호들을 받아들이기 위해서는 A/D컨버터 (Keithley, KPCI-3101)를 이용하는 데이터 취득 전용프로그램을 만들어 사용하였다.

2.2 실험방법

Fig. 3은 본 연구에서 사용한 룸에어콘의 실내기 모델을 구현할 수 있는 실험세트를 나타내며, Fig. 4는 관류현의 상세한 기하학적 치수를 나타낸 그림이다. 본 관류현은 외경이 106 mm이고, 35장의 날개가 부등피치로 배치되어 있는 폭 길이가 710 mm인 양산품을 314 mm의 길이가 되도록 개조하여 사용하였다. 한편, Fig. 5는 관류현을 구성하는 리어가이더와 스테빌라이저의 설계인자를 나타내며, 또 리어가이더의 표면압력 측정 위치를 동시에 나타낸 그림이다. 본 연구에서 채택한 리어가이더¹¹⁾는 관류현과 동일 원점을 갖는 팬 외경의 0.4배 크기로 기초원을 그린 다음, 리어가이더의 선단각

도 33°에서 그려진 직선이 팬 중심을 통과하면서 기초원과 4상한에서 교차하는 지점을 원점으로 하여 곡률반경이 80.2 mm가 되도록 선단각도 33°에서 108°가 되는 지점까지 원호를 그리고, 108°이후 부분은 꺾임이 없이 매끈하게 직선처리를 하여 설계하였다. 선단각도 이전부분은 실제 에어컨 실내기에서처럼 돌출부를 도입하였다.

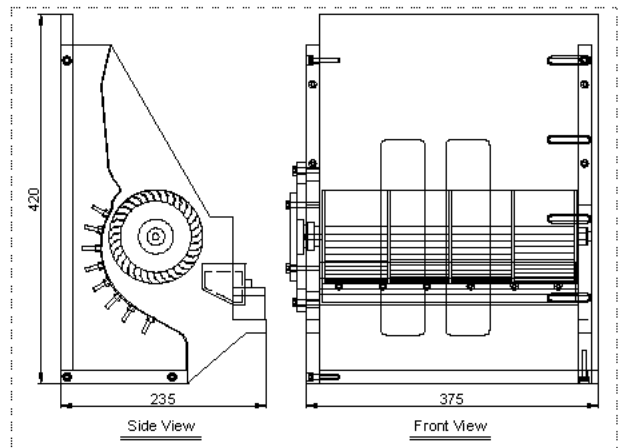


Fig. 3 Indoor room air-conditioner set for experiment

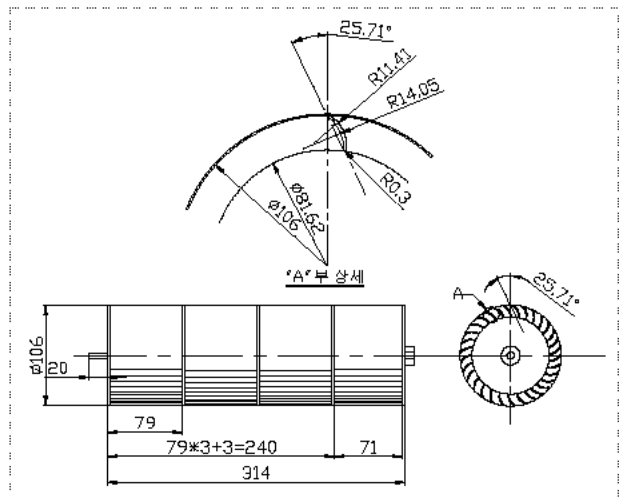


Fig. 4 Geometry configuration of a cross-flow fan

본 연구에서 다른 관류현의 유량계수에 따른 리어가이더의 표면압력은 룸에어콘 실내기의 실험장치를 팬테스터에 덕트로 연결한 다음 구동장치를 이용하여 관류현의 회전축을 700rpm의 일정회전수로 회전시켜 팬테스터로부터 형성되는 유량을 보조팬과 댐퍼(damper)에 의해 제어하면서 동시에 측정하게 된다.

이런 일련의 과정들은 관류현의 유로를 구성하는 스테빌라이저의 위치와 틈새변화 및 리어가이더의

틈새변화에 따라 조립조건이 달라지기 때문에, 매 조건마다 위의 공력성능 및 리어가이더의 표면압력 특성을 얻을 수 있다. 스테빌라이저의 설치각도 변화는 45°, 55°, 65°로 정하였으며, 스테빌라이저의 설단부 틈새 변화는 5, 7, 9 mm로 하였다. 또한 리어가이더의 선단부 틈새변화는 4, 6, 8, 10 mm로 각각 설정하였다.

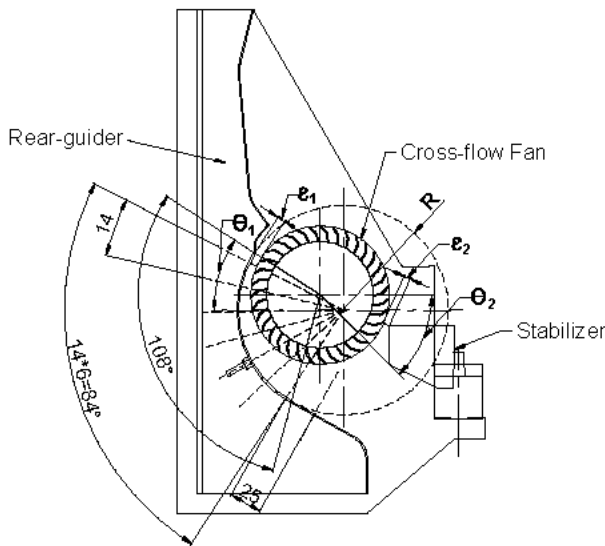


Fig. 5 Geometry configuration of experimental jig

한편 모든 데이터는 A/D 변환기의 샘플링주파수를 10 kHz, 샘플링 수를 32,768개로 설정한 다음 모두 평균 처리하여 사용하였다. 특히 다수의 리어가이더의 표면 압력은 Fig. 5와 같이 리어가이더의 선단부로부터 뿔창각이 6°떨어진 원호상을 시작으로 14°간격으로 7개의 압력 탭(tap)을 설치하고, 이후 25 mm 떨어진 직선부 위치에 나머지 한 개의 압력 탭을 설치하여 측정하였다. 이때, 8개의 표면 압력들은 압력스캐너를 이용하여 하나의 미압계로 압력을 취득 시 발생할 수 있는 채널별 잔류압력을 충분히 배제키 위해 압력스캐너의 채널을 각 유량계수 위치에서 각각 5초 간격으로 조정하여 사용하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 스테빌라이저 설치각도에 따른 표면압력 특성

Fig. 6은 각각 리어가이더 선단부에서 관류현과의 틈새가 6 mm이고, 관류현과 스테빌라이저의 최소틈새인 설단부가 각각 7 mm인 조건에서 스테빌라이저의 설치위치를 결정하는 각도(θ_2)에 따라 얻

어진 유량계수에 대한 리어가이더의 표면압력 분포를 나타낸다. 여기서 Ps_1 부터 Ps_8 까지 8개의 표면 압력들은 Fig. 5에 나타난 바와 같이 각각 리어가이더의 선단부로부터 뿔창각이 6°떨어진 호의 위치부터 시작하여 차례로 설치한 압력 탭들로부터 얻어진 것들이다.

스테빌라이저 설치위치에 따른 리어가이더의 표면압력 분포는 스테빌라이저의 설치각도가 45°의 경우 모두 유량계수 $\phi=0.5$ 부근에서 0의 값으로 나타나 있다. 이것은 관류현을 통과한 유선이 Fig. 1과 같이 리어가이더 내측면에서 박리되거나 충돌하지 않고 부드럽게 형성됨을 의미한다. 따라서 이 조건에서는 유량계수 $\phi=0.5$ 부근이 유동소음 발생이 낮을 것으로 예상되어 최적의 운전조건으로 판단된다. 그러나 설치각도 45°의 경우 유량계수 $\phi=0.5$ 부근에서 공력성능이 설치각도 65°보다는 우수하나, 55°에 비해서는 다소 떨어지기 때문에 적절한 스테빌라이저의 설치각도는 45°와 55°사이에서 존재한다고 생각한다¹³⁾. 반면에 설치각도 55°의 경우 리어가이더의 선단부로부터 뿔창각이 20°인 Ps_2 지점까지는 전 유량영역에서 모두 양의 값으로 나타나 관류현을 통과한 토출공기가 리어가이더 내측면에 충돌함을 의미하며, 이 같은 현상은 설치각도 65°의 경우 리어가이더의 뿔창각이 48°인 Ps_4 지점까지 형성되고 있다. 또 설치각도 55°와 65°의 경우 표면압력이 0으로 나타난 유량계수의 값은 $\phi \geq 0.4$ 에서 리어가이더의 선단부로부터 거리가 멀어질수록 감소하는 경향을 보이고 있다. 그리고 $\phi \leq 0.4$ 에서는 스테빌라이저의 설치각도가 작아질수록 표면압력이 변곡되는 경향은 더 커지며, 그 값의 크기 분포는 더 작아짐을 보이고 있다. 대체로 리어가이더의 뿔창각이 48°떨어진 Ps_4 이후부터는 최대유량영역으로 갈수록 모든 설치각도에서 표면압력들은 음의 값으로 크게 형성되는데, 이것은 관류현을 통과한 토출공기가 리어가이더 내측면의 곡률을 따르지 않고 박리되어 나타나는 현상으로 볼 수 있다. 이 같이 동일한 형상의 리어가이더 형상임에도 불구하고 스테빌라이저의 설치각도가 달라짐에 따라 리어가이더의 표면압력 모두 다르게 분포되어 나타나며, 유량계수에 따라서도 그 크기들이 다르게 보이고 있다. 이 원인은 관류현 날개 부근에 형성되는 편심와류가 스테빌라이저의 설치각도에 따라, 또 교축 되는 정도에 따라 이동하기 때문으로 판단된다.

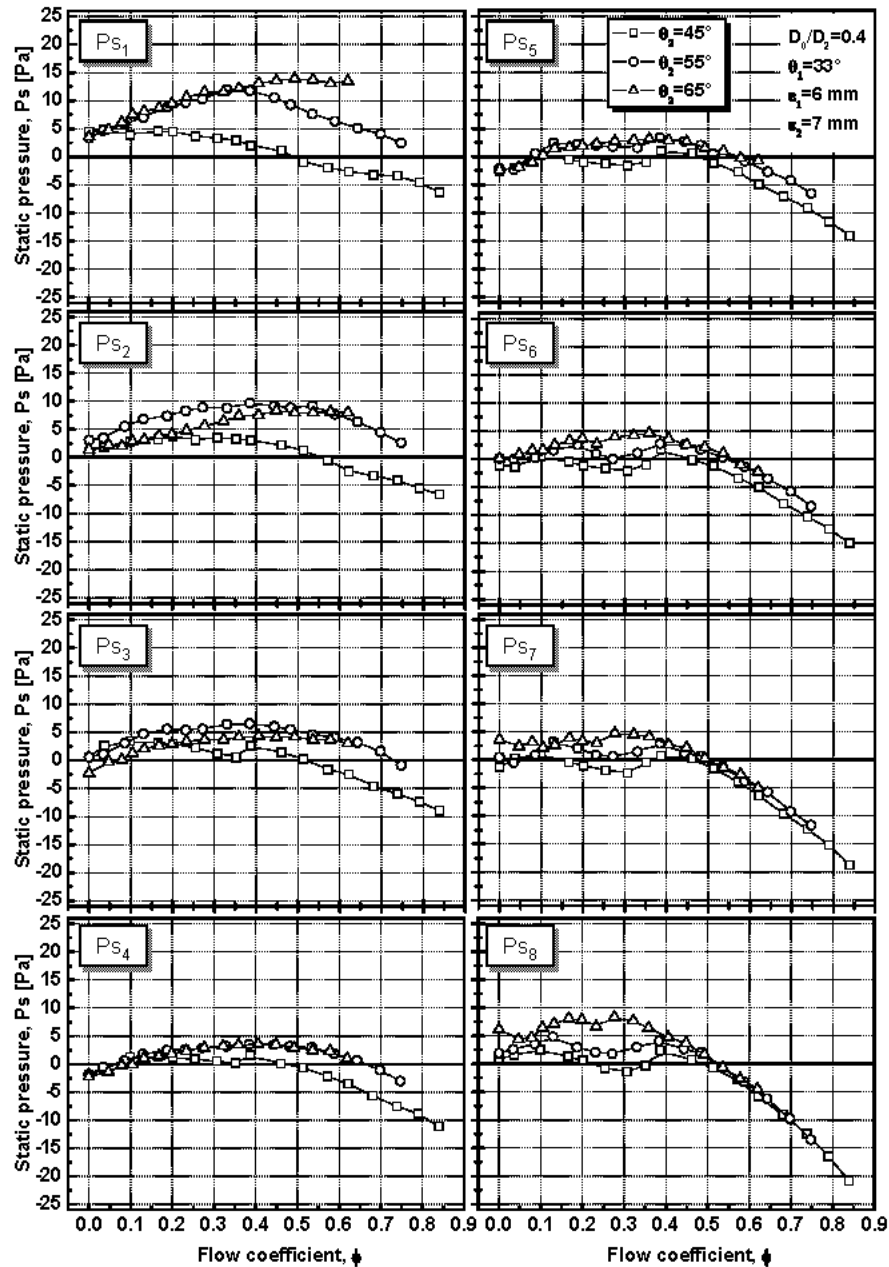


Fig. 6 Surface pressure distributions for various stabilizer setup angles

Porter 등¹⁾과 Toffolo 등³⁾은 관류팬의 유동가시 화실험을 통하여 편심와류의 궤적에 가장 영향을 많이 미치는 케이싱 부분은 리어가이더이고, 스테빌라이저는 편심와류를 생성하는 역할을 한다고 하였다. 특히 최대유량역에서는 편심와류의 중심이 스테빌라이저쪽 날개 경로내에서 일어나고, 교축을 하게 되면, 편심와류는 임펠러 내부쪽으로 움직이며, 스테빌라이저 근처에서 유입하는 유체유동은 불안정해진다고 하였다. 더욱 심하게 교축하면, 편심와류는 임펠러 내부에서 상당히 안정되는 반면, 스테빌라이저 근처에서 유입하는 유체유동은 더욱 불안정해지고 리어가이더로 흐르는 유체는 속도가

빨라지게 된다고 하였다. 또 유량이 없는 교축상태에서 유체는 임펠러와 거의 같은 속도로 강제 와와 같이 회전을 하므로, 유체는 리어가이더측으로 더욱 치우쳐 빠르게 흐르지만 곧 스테빌라이저측으로 역류되어 재순환을 겪게 되며, 입구측에서 매우 불안정해진다고 하였다.

따라서 리어가이더의 표면압력이 0이 되는 유량 계수는 리어가이더 형상, 스테빌라이저의 설치각도, 스테빌라이저의 틈새 및 교축정도 등에 의해서 많은 영향을 받으므로 바람직한 관류팬의 운전점 위치를 선택하는 것은 공력성능과 소음특성까지를 동시에 고려하여 선택하여야 한다고 본다.

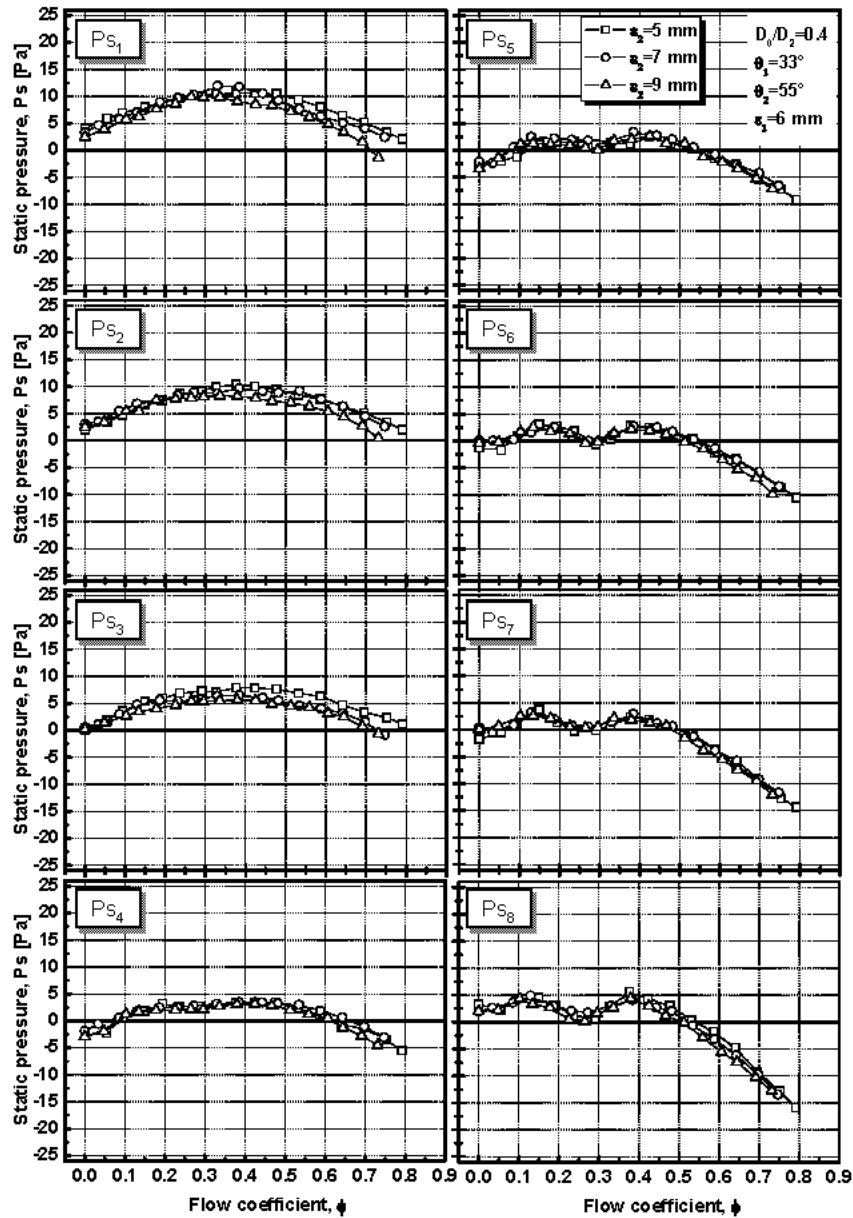


Fig. 7 Surface pressure distributions for various stabilizer cutoff clearances

3.2 스테빌라이저 설단부 틈새에 따른 표면 압력 특성

Fig. 7은 리어가이더 선단부에서 관류현과의 틈새가 6 mm이고, 관류현을 관통하는 중심선과 이루는 스테빌라이저의 설치각도가 55°인 조건에서 스테빌라이저가 관류현과 이루는 설단부 최소틈새에 따라 얻어진 유량계수에 대한 리어가이더의 표면압력 분포를 나타낸다.

스테빌라이저의 설단부 틈새에 관계없이 리어가이더의 표면압력분포는 거의 유사한 모습으로 나타나는데, Ps1~Ps3까지는 작은 크기 차이를 보이지만, 리어가이더의 팽창각이 48°인 Ps4부터는 비교적

비슷한 크기로 중첩되는 분포특성을 나타내고 있다. 한편 팽창각이 34°인 Ps3까지의 표면압력은 최대풍량 부근을 제외하곤, 스테빌라이저의 설단부 틈새에 관계없이 양의 값으로 나타나 거의 전 유량범위내에서 리어가이더의 내측면에 토출 유동이 충돌하는 경향을 보이고 있으며, 특히 교축이 일어난 중간유량의 영역대에서 가장 큰 크기를 보이고 있다. 그러나 Ps4부터 표면압력은 과도하게 교축된 저유량영역에서 음의 값도 보이며, 유량계수 0.3 < phi < 0.4에서는 오목하게 들어가는 모습을 나타낸다. 또 0의 표면압력 크기를 나타내는 유량계수는 주로 0.5 < phi < 0.6에서 형성되는데, 리어가이더의 팽창길이

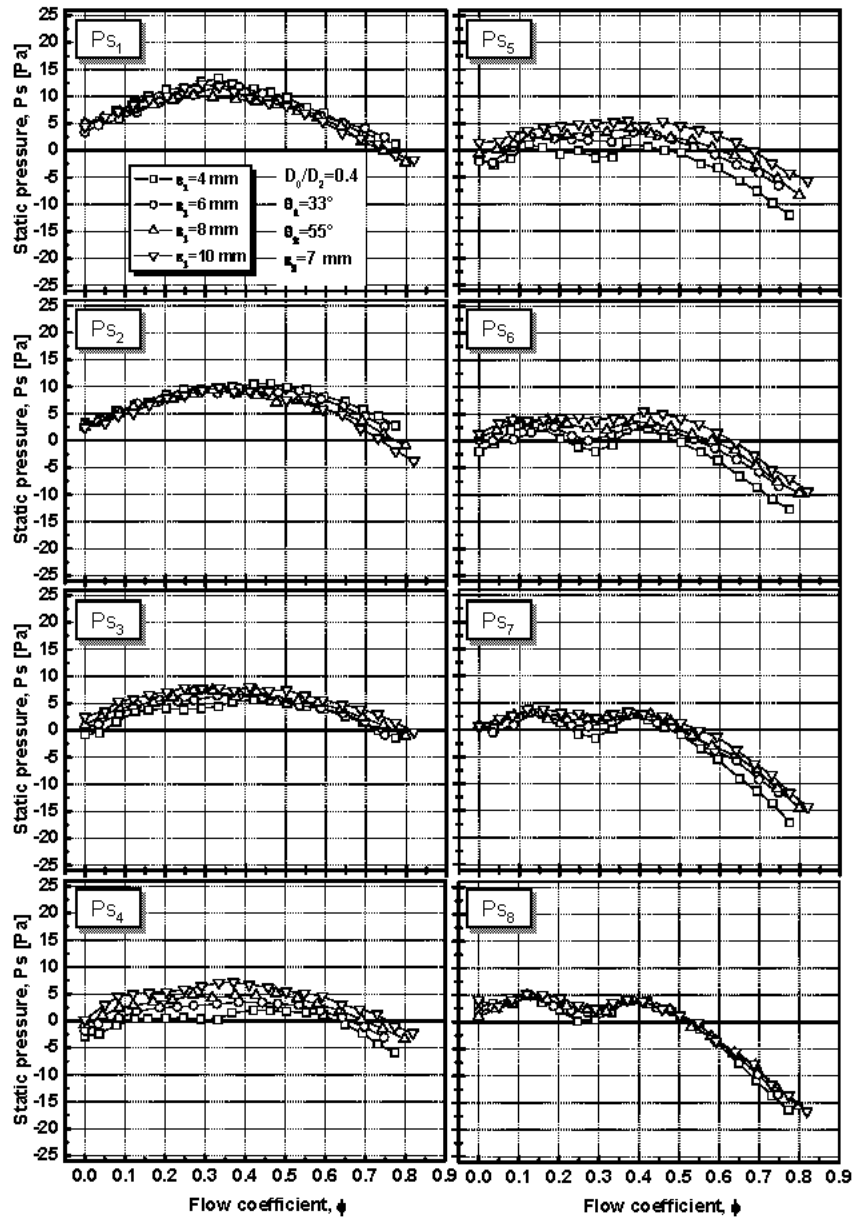


Fig. 8 Surface pressure distributions for various rear-guider clearances

가 증가할수록 $\phi \approx 0.6$ 에서 $\phi \approx 0.5$ 쪽으로 이동한다. 그러나 $\phi > 0.6$ 부터는 표면압력이 음의 값으로 급격히 증가해 토출유동이 리어가이더의 표면으로부터 크게 박리됨을 알 수 있다.

3.3 리어가이더 최소틈새에 따른 표면압력 특성

Fig. 8은 각각 관류철편과 이루는 스테빌라이저의 설치각도가 55°이고, 설단부 틈새가 7 mm인 조건에서 리어가이더의 선단부가 관류철편과 이루는 최소틈새에 따라 얻어진 유량계수에 대한 리어가이더의 표면압력 분포를 나타낸다.

리아가이더의 표면압력 분포는 리어가이더의 틈새에 관계없이 매우 유사한 분포 모습을 보여주며,

P_{S1} 과 P_{S2} 를 제외하곤 표면압력의 크기 값이 리어가이더의 틈새가 증가함에 따라 증가하는 경향을 보여주고 있다. 따라서 표면압력이 0이 되는 유량계수는 리어가이더의 틈새가 증가함에 따라 증가하는 경향을 보여주고 있다. 또 리어가이더의 틈새가 작아지면 유량계수 $\phi < 0.4$ 로 교축 시 표면압력은 더 불안정한 기울기로 분포되며, 이 현상은 리어가이더의 팽창각이 34°인 P_{S3} 부터 발생하기 시작한다.

4. 결 론

룸에어콘 실내기에 적용되는 관류철편에서 리어가이더의 선단부 틈새와 스테빌라이저의 설단부 틈새

및 설치 각도에 변화를 주어 리어가이더의 표면압력 특성을 분석한바 얻어진 결과들은 다음과 같다.

- 1) 스테빌라이저의 설치각도가 달라짐에 따라 리어가이더의 표면압력은 모두 다르게 분포되며, 설치각도 45°에서만이 유량계수 $\phi=0.5$ 에서 모두 0을 나타낸다.
- 2) 리어가이더의 팽창각 34°이후에서의 표면압력은 최대유량역으로 갈수록 스테빌라이저의 설치각도, 틈새, 리어가이더의 틈새에 관계없이 모두 큰 음의 값을 나타낸다.
- 3) 리어가이더의 팽창각이 증가할수록 표면압력이 0이 되는 유량계수는 스테빌라이저의 설단부 틈새에 관계없이 $\phi=0.5$ 까지 감소된다.
- 4) 스테빌라이저 틈새 변화에 따른 표면압력 크기 분포의 상사성은 리어가이더의 틈새 변화에 의한 것보다 더 우수하다.

참고 문헌

1. A. M. Porter and E. Markland, 1970, "A Study of the Cross Flow Fan", Journal Mechanical Engineering Science, Vol. 12, No. 6, pp. 421~431.
2. H. Trampusch, 1965 "Cross-Flow Fan", ASME publication, 64-WA/FE-26, pp. 1~15.
3. A. Toffolo, A. Lazzaretto and A. D. Martegani, 2004, "An Experimental Investigation of the Flow Field Pattern within the Impeller of a Cross-Flow Fan", Experimental Thermal and Fluid Science, article in press.
4. H. Tsurusaki et al., 1993, "Study of Cross-Flow Fan Internal Flow by Flow Visualization (1st Report, Discussion of Measured Results by Particle-Tracking Velocimetry)", Transactions of JSME (Series B), Vol. 59, No. 568, pp. 3743~3748.
5. P. Mortier, 1893, "Fan or Blowing Apparatus", U. S. Patent No. 507445, October 24.
6. S. Murata and K. Nishihara, 1976, "An Experimental Study of Cross Flow Fan (1st Report, Effects of Housing Geometry on the Fan Performance)", Bulletin of the JSME, Vol. 19, No. 129, pp. 314~321.
7. H. Ilberg and W. Z. Sadeh, 1965, "Flow Theory and Performance of Tangential Fans", Proc. Instn. Mech. Engrs., Vol. 180, Part 1, No. 19, pp. 481~491.
8. L. Preszler and T. Lajos, 1972, "Experiments for the Development of the Tangential Flow Fan", Proceedings of the 4th Conference on Fluid Machinery, Budapest, Akademiai Kiado, pp. 1071~1082.
9. 구형모, 1999, "에어콘용 직교류팬 시스템의 성능특성에 대한 기본적 설계변수의 영향에 관한 실험적 연구", 대한기계학회논문집 B권, 제23권, 제6호, pp. 695~702.
10. 조 용, 문영준, 진심원, 1999, "횡류팬의 비정상 유동 전산해석에 의한 성능 및 소음특성 예측", 대한기계학회 춘계학술대회논문집 B, pp. 417~422, KSME 99S234
11. 김장권, 1996, "관류형 송풍기의 리어가이더 형상결정 방법", 특허 제107610호.
12. 김장권, 1993, "Fan Tester의 성능평가에 대한 연구", 한국항공우주학회지, 제21권, 제1호, pp. 45~51.
13. 김장권 외 3명, 2004, "리아가이더와 스테빌라이저의 설계인자 변화에 따른 관류팬의 공력성능 연구", 대한기계학회 추계학술대회논문집(호남지부), KSME 2004R108, pp. 45~50.