

# Crossflow Fan 주변의 유동

김재원\* · 정윤영\*\*

## Flows around crossflow fan

Jae Won KIM\*, Yeun Young JUNG\*\*

**Key Words:** Cross Flow Fan(직교류형 팬), Scroll Casing(스크롤 케이징), Performance Analysis(성능해석), PIV (입자영상유속계)

### Abstract

The present work has carried out experimental study on a cross-flow fan system with a simplified vortex wall scroll casing. A cross-flow fan test rig was constructed to obtain pressure rise and volume flow rate for various fan operating conditions. The performance estimation is using a wind tunnel with a motor driven damper for flow rate control and flows are quantitatively visualized by light scattering system with a pulsed laser. Min focus on the visualization is finding a eccentric vortex inside a fan which is a major factor reducing fan efficiency. Comprehensive engineering data are prepared for industrial applications and show a good agreement with a prior work by experimental measurements.

### [ 기호설명 ]

### 1. 서론

- D : Crossflow Fan Dia.
- Do : Crossflow Fan inlet Dia.
- N : Rotation Speed (rpm)
- L : Crossflow Fan Length.
- a : Stabilizer와 Fan의 간격

$\phi$  : 유량계수 (flow coefficient)

$$\phi = \frac{Q}{\pi N D^2 L}$$

$\psi$  : 압력계수 (pressure coefficient)

$$\psi = \frac{\Delta P_t}{\frac{1}{2} \rho N^2 D^2}$$

직교류형 팬이 개발된 이후 많은 연구자들이 의하여 성능의 증가와 저소음화를 위한 노력들이 계속되어 지고 있다. 직교류형 팬은 1953년 Eck<sup>(1)</sup>에 의하여 내부 유동을 구성하는 편심와 (eccentric vortex) 구조가 발견된 이후 비약적인 발전을 거듭하고 있으며, 가정용 에어컨을 비롯하여 전자장치, 차량의 공조에 이르기까지 그 사용은 증가하는 추세이다. 직 교류형 팬의 특징은 공기가 팬의 내부를 관통하는 구조를 갖고 있다. 곧 하나의 날개로 두 가지의 역할을 할 수 있는 특징이 있다. 뿐만 아니라 팬의 축 방향 길이의 증감을 통하여 유량의 증감을 조절할 수 있으며, 소음이 비교적 낮은 특징이 있다.

직교류형 팬이 하나의 System을 구성하기 위하여서는 팬뿐만 아니라 Scroll casing, Stabilizer등이 필요하며, 효율이 좋고, 저소음형 직교류형 팬을 구성하기 위하여서는 모든 주

\* 선문대학교 기계공학과

jwk@email.sunmoon.ac.kr

\*\* 선문대학교 대학원 기계공학과

jdin@omega.sunmoon.ac.kr

요 부품들의 효과적인 설계를 통하여 얻을 수 있다. 또한 팬의 내부에 존재하는 편심와는 직교류형 팬의 소음과 성능 향상에 밀접한 관계를 맺고 있는 것으로 알려져 있고, 많은 연구자들이 이를 가시화 하였다. 또한 그 유동속도도 LDV(laser doppler velocimeter)나 열선 유속계(hot wire) 등의 장비는 동시 다점적으로 측정하기 곤란한 단점이 있다.

본 연구에서는 이러한 점을 단점을 보완하고자 동시 다점적으로 측정이 가능한 PIV(particle image velocimetry)를 사용하여 직교류형팬의 내부유동과 주변 유동에 대하여 관찰하고자 한다.

## 2. 실험장치 및 실험방법

### 2.1 실험 모델

본 연구에서는 34개의 전향 원호익형(forward curved circular camber)을 갖는 직교류형 임펠러에 대해 단순한 와벽(simplified vortex wall)을 갖는 팬 시스템에 대한 실험을 수행하였다. 실험의 방법은 Fan 성능실험장치에서 이루어졌다. Fig. 1은 실험에 사용된 직교류 팬의 임펠러에 대한 기하학적 형상을 나타낸 것으로 주요인자를 살펴보면 외경,  $D : 95.4\text{mm}$ , 내경,  $D_o : 77.4\text{mm}$ , 축방향 길이,  $L : 84.7\text{mm}$ 이며, Stabilizer와 팬과의 간격  $a : 8\text{mm}$ ,이며, 형상은 Convex형태로 설계하였고, Scroll의 재질은 5mm 아크릴을 사용하여 제작하였다. 임펠러의 1단 입구축 접선 방향의 깃 각도 ( $\beta_{1i,b} = \beta_{2i,b}$ )는  $82.1^\circ$  이다.

### 2.2 실험 장치

실험은 Fig.2와 같이 ASHRAE(american society of heating, refrigerating and air conditioning engineers) 규격에 준하여 설계, 제작된 성능시험장치를 통하여 정압이 약  $0\text{ mm Aq}$ .인 상태에서의 내부유동을 촬영하였다. PIV의 광원인 펄스 레이저는  $15\text{mJ}$ ,  $50\text{Hz}$ 의 성능을 갖추고 있으며, CCD 카메라는  $1\text{K} \times 1\text{K}$ 의 화소(pixel)의

해상도를 갖고 있다.

PIV를 이용하여 속도를 측정하기 위하여서는 광원인 Laser와 카메라가 수직으로 배치되어야 하는데, 직교류형 팬의 경우 원주방향으로 여러 개의 날개들이 배열되어 있어 실험에 어려움이 있다. 이를 해결하고자 본 연구에서는 Fig.3과 같이 실험대상의 직교류형 팬의 가운데 단과 Scroll Casing을 투명하도록 제작하였다. Scroll Casing의 경우 Scroll이 원호의 형태로 되어 있어 광원이 굴절될 것을 염려하여 실험대상 영역은 흡을 설치한 후 얇고 투명한 막을 부착하였다. Fig. 4는 Casing과 결합된 직교류형 팬 System이다.Scroll Casing은 현재 국내에서 생산되고 있는 가정용 벽걸이 에어컨의 기하학적 정보를 사용하여 제작하였다. 실험대상의 직교류형 팬의

Inflow

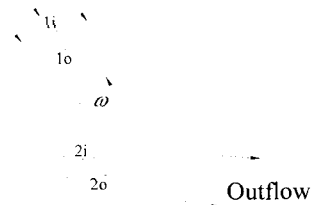


Fig. 1 Schematic diagram of crossflow fan with typical flows

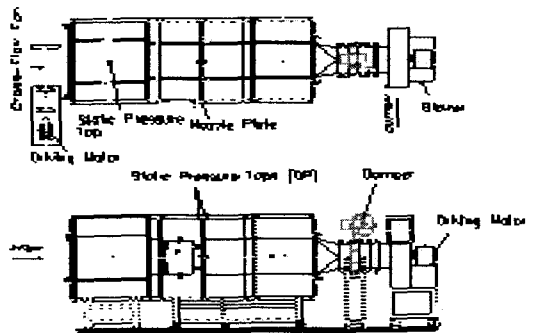


Fig. 2 Fan Performance Tester

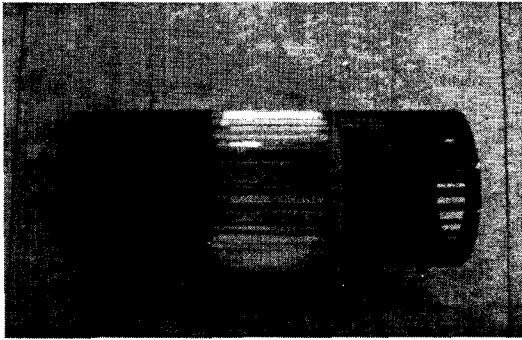


Fig. 3 Crossflow fan with transparent blades

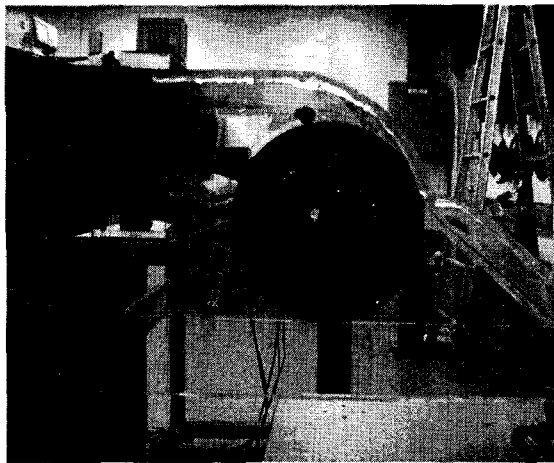


Fig. 4 Crossflow fan and its transparent casing

단의 개수는 재질의 강도문제로 3개로 하였는데, 일반적으로 이러한 경우 Casing의 벽으로 인한 유동 방해가 예상되지만 성능시험장치와 동시에 실험 하는 관계로 유동방해에 대한 내용은 고려하지 않았다. 또한 유동의 특성이 2차원으로 판단되므로 팬의 직경에 D에 비해 축 방향의 길이가 3배 이상이 됨으로 모델 팬의 단의 개수를 더 이상 확장하지는 않았다.<sup>(2)</sup>

### 2.3. 실험 방법

연구의 순서는 실험대상의 직교류형 팬의 상사성을 비교하기 위하여 13개의 단으로 구성되어 있는 양산 팬의 성능을 측정 한 후 실험대상이 되는 3개의 단을 갖는 팬의 성능을 측정하였다. 그

이유는 모델 팬 (단의 개수는 3)의 여러 유체 역학적 자료를 양산 예정 실용 팬의 적용 여부를 확인하고자 하기 때문이다. 이를 위해, PIV를 사용하여 내부 유동과 주변 유동을 가시화 하였다. 본 연구는 추후 진행될 Stabilizer 의 간격, 출구각의 변경에 따른 유동변화를 관찰 하기 위한 선행 연구임으로 다른 구성 요소들의 고려는 배제하였다.

## 3. 실험 결과 및 분석

### 3.1 상사성의 검토

기하학적으로 동일한 팬의 경우 상사법칙을 이용하여 특성곡선을 비교할 수 있는데 본 연구에서는 차원 해석 방법을 통하여 상사성 (similarity law)을 알아보았다. Fig. 5는 양산 제품과 실험대상의 무차원 곡선이다. 팬의 회전수, N은 780rpm으로서 제품에서 유량이 최소인 경우이다. 그 이상의 회전수에서는 재질의 문제로 추후 진행 할 예정이다. 실험결과 상사성이 완전하게 일치하지는 않지만 정압과 유량의 변화 형태가 비슷함을 알 수 있었다. 저 유량계수의 영역과 최고 정압의 영역에서는 무차원 곡선들이 조금씩 다르지만 PIV 실험의 작동점이 되는 최대 유량계수의 영역에서는 무차원 곡선들이 비교적 서로 유사함을 알 수 있다.

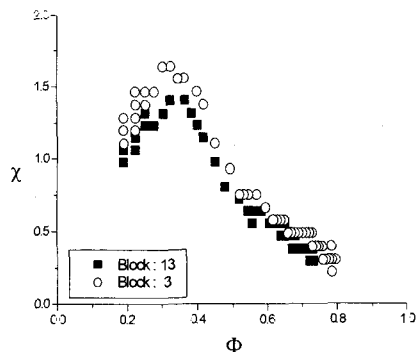


Fig. 5 Comparison of fan-performance for model fan (closed symbols) and running fan (open symbols)

### 3.2 Fan 내부 및 주변 유동가시화

직교류형 팬의 유동가시화는 Fig. 6과 같이 5개의 영역으로 나누어 실험하였다. A 영역은 직교류형 팬 내부, B 영역은 토출방향의 Stabilizer 부근, C 영역은 Stabilizer와 직교류형 팬과의 사이, D 영역은 흡입 방향의 Stabilizer 부근, 그리고 마지막으로 E 영역은 Scroll Casing과 직교류형 팬 사이로 나누어 실험을 진행하였다. PIV 실험에서 첫 번째 화상과 두 번째 화상의 시간 간격  $\Delta t$ 는  $0.25\mu s$  이며, 실험에 사용된 입자는 Olive-oil을 액적계(atomizer)를 사용하여 분사한 유적(oil drop)을 이용하였다.

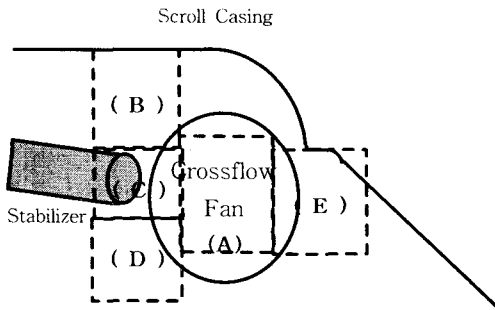


Fig. 6 Regions for flow visualizations

각 영역에서의 대표길이는 일정하지 않고 실험 대상영역의 관심범위에 따라 개별적으로 선정하였다.

Figs.7-11은 각 영역에서의 유동장을 가시화하여 속도 벡터의 모습을 표시한 그림이다. 우선 Fig. 7은 A 영역에 대해 PIV를 이용하여 유속을 측정하는 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 직교류형 팬의 중심부분에 왼쪽 상단 부분으로 유동이 토출되는 모습을 관찰할 수 있었고, Stabilizer의 하단부분으로 토출되는 공기의 속도분포도를 측정할 수 있었다. Fig. 8은 B 영역의 유동장에서 팬으로부터 토출된 공기가 Scroll을 따라서 유출되는 모습을 확인 할 수 있었다. 유속의 분포

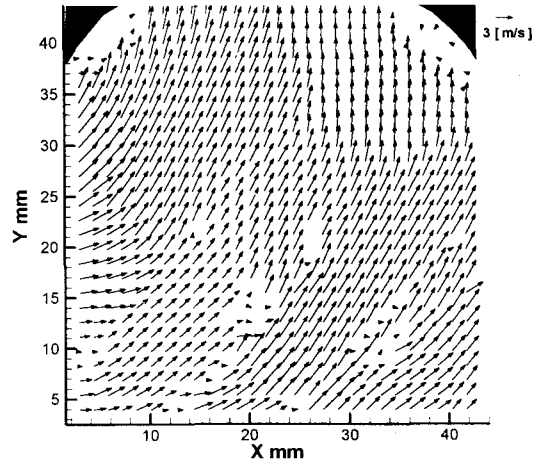


Fig. 7 Plots of velocity vectors in region A

를 살펴보면 출구에서 토출된 공기가 Stabilizer 부근에서 다시 Fan의 내부로 흡입되어지는 현상을 발견할 수 있는데 이러한 현상의 이유가 내부에 발생된 Vortex로 인한 것이라 판단 할 수 있다.

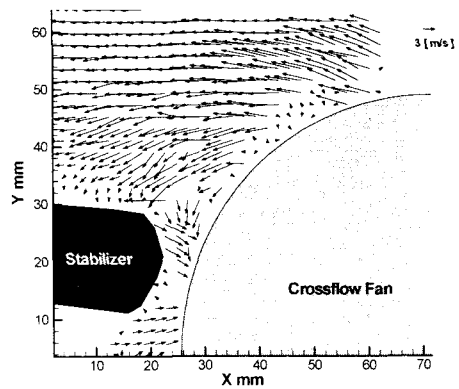


Fig. 8 Same as Fig. 7 except for B

'C'의 영역은 Stabilizer와 직교류형 팬 사이의 좁은 영역으로 그 속도분포는 Fig. 9에 도시되어 있다. 본 유속측정의 정도를 확인하기 위해 영역 A와 C의 연결부분에 대한 검토를 수행하였

다. 팬의 입구에서의 유동이 영역 C와 A가 연결

되는데, 그 연결이 Fig. 7과 Fig. 9에서 자연스럽게 이어지고 있다. 이를 바탕으로 본 유동의 획득이 비교적 정도 있게 이루어 졌음을 알 수 있었다. 마찬가지로 Fig. 8에서 보여진 결과와 같이 Stabilizer 바로 앞에서 다시 Fan의 내부로 공기가 흡입되는 현상을 확인할 수 있었다.

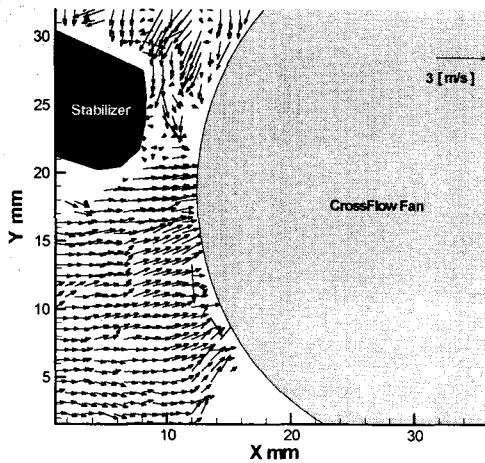


Fig. 9 Same as Fig. 7 except for C

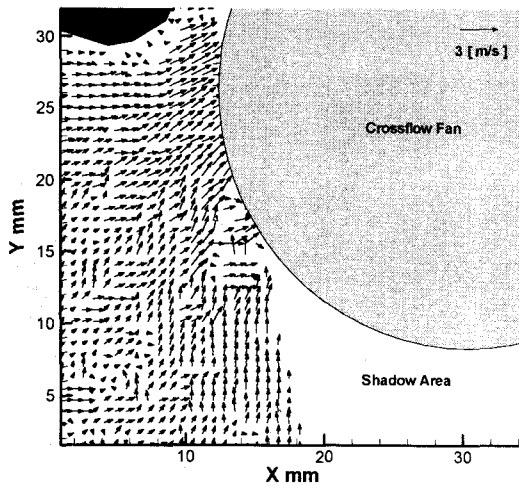


Fig. 10 Same as Fig. 7 except for D

Fig. 10은 Stabilizer의 하단흡입부분에서의 유동을 좀더 크게 분석한 그림이다. 그림에서 알 수 있듯이 강한 난류 성분의 유동이 Stabilizer와 직교류팬 사이에서 발생하고 있음을 확인할 수 있다. 이러한 유동장의 해석이 필요한 이유는 Stabilizer의 역할에 대한 논의를 위한 것이다. 잘 알려진 바와 같이 Stabilizer는 회전하는 직교류 팬 내부의 편심 와류의 크기를 축소할 수 있는 주요 기구물로 인식 되어왔는데 그 이유에 대해서는 명확하고 활발한 별도의 논의가 없던게 사실이다. 본 논문에서는 이 Stabilizer에 의한 편심 와류 축소의 이유를 팬의 표면과 Stabilizer에 의해 구성되는 좁은 유로의 생성으로 이해하고자 한다. 그림에서 알 수 있듯이 Stabilizer와 직교류팬의 표면이 구성하는 좁은 유로에서는 상대적으로 유속의 증가와 정압의 감소가 예측되며 이에 따라 팬 내부의 편심 와류가 그 크기가 축소되는 현상을 나타내리라 예측된다.

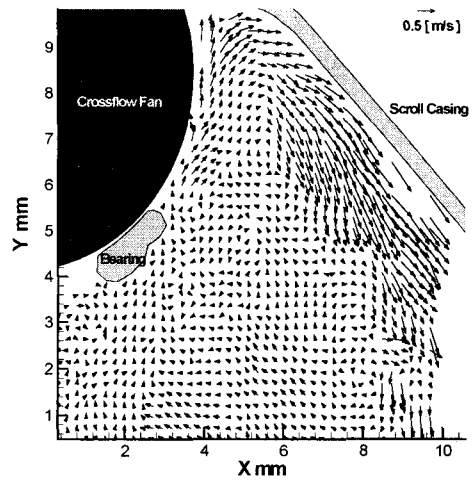
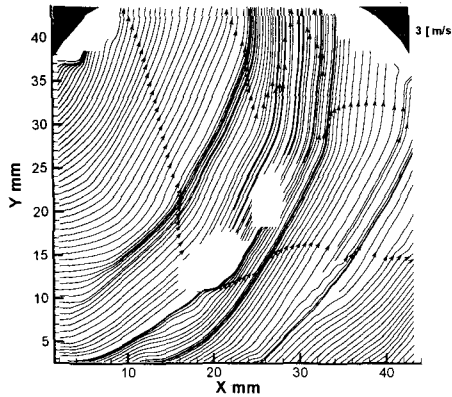
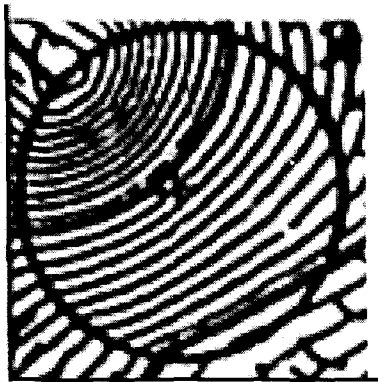


Fig. 11 Same as Fig. 7 except for E

Fig. 11은 Scroll Casing쪽의 흡입부분을 분석한 그림으로서 흡입되어진 공기가 Scroll과 팬과의 사이가 3mm로 좁아지는 부분에서 공기가 Scroll을 따라서 흡입되지 않고 반대의 방향으로 역류하는 현상을 살펴볼 수 있다. 이러한 현상은



(a)



(b)

Fig. 12 Patterns of streamlines inside crossflow fan : (a) present result, (b) experimental work by Combes and Marie

험대상 팬의 회전속도가 780rpm으로 낮은 유량 범위에 속하는데 기존 연구자들의 자료를 살펴보면 연구의 결과와 정성적으로 매우 잘 일치하고 있음을 알 수 있다.

#### 4. 결론

기하학적 상사성을 갖는 두 팬 (모델 팬과 양산 팬)에 대해 연구에 용이한 모델 팬을 대상으로 풍동을 사용한 성능 실험과 입장 영상 유속계를 이용한 유속 측정 및 유동 가시화를 수행하였

다. 풍동을 이용한 성능 평가는 모델 팬의 성능을 양산 팬의 것으로 확대 이해하기 위한 것이며 이를 바탕으로 팬 내부의 유동도 확인하였다. PIV의 장점이 동시 다점의 데이터 측정이지만 본 연구에서는 전체적인 직교류형 팬 System의 데이터를 획득하지 못하고, 몇 개의 구역으로 나누어 데이터를 확인 할 수 있었다. 이를 바탕으로 직교류팬의 가장 큰 단점인 팬 내부의 편심 와를 해석하기 위한 공학적 자료를 제시할 수 있었다. 또한 팬의 성능에 중요한 영향을 미치는 구조물 주변의 유동을 가시화 하여 관련 연구자들의 공학 설계를 돕는 자료도 아울러 제시할 수 있었다.

#### 후기

본 연구는 선문대학교 공조기술연구센터의 지원에 의한 것임을 밝힙니다.

#### 참고문헌

- (1) Bruno Eck, 1973, FANS, Pergamon Press, New York.
- (2) 구형모, 최원석, 이진교, 1999, 에어컨 실내기 직교류 팬의 저소음화 방안, 한국소음진동 공학회 10주년기념 학술대회논문집, pp. 1416~1422.
- (3) 구형모, 1999, 에어컨용 직교류팬 시스템의 성능특성에 대한 기본적 설계변수의 영향에 관한 실험적 연구, 대한기계학회 논문집, 제 23권, 제6호, pp. 695~702.
- (4) 구형모, 최원석, 1999, 공기조화냉동공학회 '99하계학술발표회 논문집, pp. 446~452.
- (5) J. F. Combes, L. Maire, 1994, Numerical modelling of the flow in a crossflow fan, FED-VOL. 195, Fluid machinery, ASME.

실