



## 원심형 송풍기에 있어서 전향익과 후향익의 특성 차이에 관한 연구

김재원<sup>\*1</sup>, 박진원<sup>\*2</sup>

### Study on Difference of Characteristics between Backward and Forward Blades in Centrifugal Blower

J. W. Kim and J. W. Park

Centrifugal blowers are widely used for air handling units in industry applications. The blower has a centrifugal impeller and a scroll casing including a driving component such as an electric motor. The impeller takes forward or backward blades to induce flows into the blower. Comprehensive investigation according to the two kinds of blades is systematically carried out for a guidance of design. It is observed that flow rate of the blower with forward blades is larger than that of the system with backward blades. The reason is due to larger velocity from the rotating forward blades and the tendency is validated by a parallel experiment with a wind tunnel. Numerical analysis for the system shows detail information inside the blades and the casing. A series of figures to show the flow details offers deep understanding of a centrifugal blower with different blades.

**Key Words:** 전산유체역학(CFD), 원심송풍기(Centrifugal Blower), 전향익(Forward Blade), 후향익(Backward Blade), 비정상유동 (Unsteady Flow), 음해법(Implicit Method)

#### 1. 서 론

본 연구의 대상이 되는 원심형 송풍기는 시로코 팬(Sirocco fan)이라고 불리며 정압 상승이 크게 요구되는 환경 조건에서 널리 사용된다. 이 공기 공급 장치는 고 유량과 고 효율에 적합한 송풍 장치로서 널리 활용되고 있다 [1-2]. 이 원심형 송풍기는 가정용 에어컨을 포함한 가전제품, 산업용 공조기에 이르기까지 그 적용범위가 날로 증가하고 있다. 그 주된 이유로는 원심 팬의 경우 동일한 원주 속도를 갖는 다른 팬들에 비하여 풍량이 많고 소음

이 비교적 낮은 특성이 있다 [2]. 그러나 내부유동이 복잡하고 성능에 영향을 미치는 설계 변수가 많고 그 변수들 간의 상호간의 관계가 매우 복잡하여 설계 시 예상했던 결과와 다른 경우들이 종종 발생하는 특징이 있다 [3-5]. 마찬가지로 원심 팬의 개발에 있어서 원심 팬 단독으로의 성능이 만족하였다더라도 실제 제품에 적용해서는 기대에 못 미치는 경우도 발생한다[6-7]. 본 연구는 일반적인 목적의 공기 공급 장치에 사용되는 원심형 송풍기로서 Fig. 1과 같이 회전하는 날개를 포함하는 스크롤 형상의 케이싱을 가진 원심형 송풍기의 성능 특성을 날개의 특성인 전향익과 후향익에 따라 비교하고 그 차이에 대한 해석을 위해 전산 해석적 자료를 바탕으로 공학적 설명을 시도하려고 한다. 전산 해석을 수행함에 있어서 필요한 입구 조건의 확보와 전산 해석의 결론에 대한 검증은 위해 풍동을 사용한 유량 측정 실험, 정압 상승 측정 실험이 병행되

\*1 정희원, 선문대학교 기계공학부

\*2 학생회원, 선문대학교 대학원 기계공학과

\*E-mail : jwk@sunmoon.ac.kr

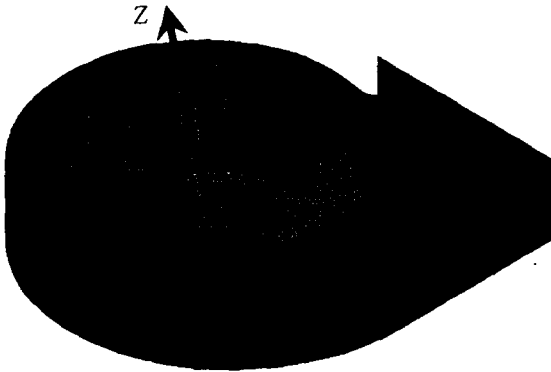


Fig. 1 Grid system for centrifugal blower with forward blades

었다. 또한 전향익을 가진 원심 송풍기의 단점인 익차 출구에서의 고속 유동에 의해 발생하는 케이싱 내부의 정압 손실을 확인하기 위해 시스템 전체에서 소비 되는 에너지를 기준으로 시스템 효율을 측정하였다. 전산 해석과 성능 평가 실험에서는 케이싱과 운전 조건을 동일하게 유지하면서 단지 팬의 날개 형상만 전향익 또는 후향익으로 변경하면서 연구를 수행하였다. 결과적으로 전향익을 가진 원심 송풍기에서는 유량의 증가가 발견되고 압력 손실의 증대가 확인되어 그 사용에 있어서 신중함이 요구됨이 요구된다. 본 연구에 사용된 송풍기는 가전용 기기에 채용되어 사용되어지는 것으로 그 주요 제원은 다음의 Table 1과 같다.

Table 1 Dimension of blower

Items	Dimension
Cut-off distance	17 mm
Scroll expansion index	0.065
Casing inlet diameter	216 mm
Fan outer-diameter	246 mm
Scroll size (height×wide×depth)	350×350×80mm
Fan inner-diameter	246 mm
Blade inlet angle	45 degree
Blade outlet angle	28 degree
Blade chord length	62.7 mm
Impeller depth	70 mm

## 2. 실험 및 전산해석

### 2.1 성능 실험

회전 날개의 형태만에 따른 원심 송풍기의 성

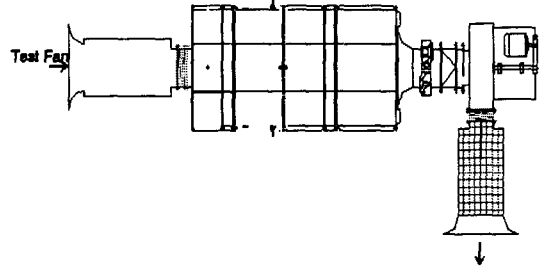


Fig. 2 Wind tunnel for performance evaluation

능 평가를 위해 미국공조학회 (ASHRAE)의 규격[8]에 따라 제작된 풍동을 사용하여 해당 송풍기의 유량에 따른 정압 상승의 정도를 측정하였다. 송풍기의 성능 평가를 위해서는 유량과 송풍기 토출 유량의 정압 상승의 정도 등이 측정되어야 하며 이를 위해 사용된 풍동에서는 시험용 송풍기의 하류 측에 안정실(Plenum chamber)을 마련하여 송풍기 토출 유동의 정압 상승을 확인할 수 있게 하였다[9]. 또한 풍동의 하단에는 다수개의 노즐(Nozzle)을 마련하여 노즐 전후의 압력차로부터 유량을 산출할 수 있었다. 따라서 풍동으로부터 출력되는 신호는 모두 압력 변환기(Pressure transducer)로부터 발생되며 이 압력 변환기는 컴퓨터와 연결되어 시간에 따른 압력 자료를 수용하여 저장하게 준비되었다.

본 연구에서는 송풍 시스템의 전 효율( $\eta$ )도 산출하였는데, 전 효율의 평가를 위해서는 시스템 전체에서 소비되는 에너지( $W$ )를 측정하여 생산되는 유체 에너지에 대한 기준양으로 삼았다. 소비 전력량은 3상 220V 용 소비 전력 측정기 (모델 : 이탈리아의 VIP system 3)를 사용하여 유량 및 정압 별로 측정하였다. 이 전 효율의 산출시 사용된 식은 다음의 식 (1)이다.

$$\eta = \frac{P \cdot Q_0}{W} \quad (1)$$

여기서  $P$ 는 송풍기에 의한 정압 상승이고,  $Q_0$ 는 유량이다. Fig. 2는 성능의 평가에 사용된 풍동의 모습을 나타내고 있다.

2.2 전산 해석

전향익과 후향익을 채용한 동일한 형상과 조건의 원심형 송풍기 전체에 대한 전산 해석을 상용해석 프로그램인 STAR-CD[10]를 사용하여 수행하였다. 회전 날개의 형태만에 따른 원심 송풍기의 성능 평가의 결과에 대한 공학적 상세 근거를 제시하였다.

송풍기 전체의 전산 해석을 위해서는 총 220,780 개의 격자가 사용되었으며 그 전체의 격자는 다음의 Table 2에서 나타내었듯이 송풍기의 각 영역별로 나뉘어져 해당 부분의 계산 영역을 만들기 위해 사용되어졌다. 팬을 별도의 영역으로 지정하여 구성된 이 유는 팬의 회전 조건을 인가하기 위해 회전 격자계(Moving grid)를 사용했기 때문이다.

Table 2 Distribution of elements

Region	Number of cells
Inlet region	55410
Fan	113470
Inside casing	41100
Out port region	10800
Total	220780

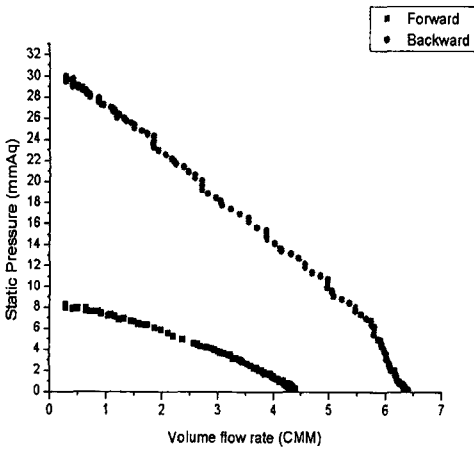


Fig. 3 Comparison of blower performance according to types of blades

전산 해석에 사용된 지배방정식은 질량에 대한 연속방정식, 운동량 보존 방정식, k-ε 난류 에너지 방정식, 그리고 난류 소산 방정식이며 이들 각각은 식

(2)~(5)에 표기하였다. 아래의 방정식에서 ρ는 밀도, p는 압력, s는 잔류량, u는 속도, x는 좌표를 표시하며, 그 물리량들의 방향성은 하첨자 (i, j)등으로 나타내었다. 기타 물리량 및 첨자, 그리고 계수 등은 본 연구에서 사용한 상용 프로그램의 매뉴얼[10]에 따라 전산 해석이 수행되었다.

$$\frac{\partial}{\partial x_j} (\rho \tilde{u}_j) = S_m \quad (2)$$

$$\frac{\partial}{\partial x_j} (\rho \tilde{u}_j \mu_{ij} - \tau_{ij}) = - \frac{\partial p}{\partial x_j} S_i \quad (3)$$

$$\begin{aligned} & \frac{1}{\sqrt{g}} \frac{\partial}{\partial t} (\sqrt{g} \rho k) + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho \tilde{u}_j k - \frac{\mu_{eff}}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x_j}) \\ & = \mu_t (P + P_B) \end{aligned} \quad (4)$$

$$- \rho \epsilon \frac{2}{3} (\mu_t \frac{\partial u_i}{\partial x_i} + \rho k) \frac{\partial u_i}{\partial x_i} + P_{NL}$$

$$\begin{aligned} & \frac{1}{\sqrt{g}} \frac{\partial}{\partial t} (\sqrt{g} \rho \epsilon) + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho \tilde{u}_j \epsilon - \frac{\mu_{eff}}{\sigma_\epsilon} \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j}) \\ & = C_{\epsilon 1} \frac{\epsilon}{k} [\mu_t (P + C_{\epsilon 3} P_B) \end{aligned} \quad (5)$$

$$- \frac{2}{3} (\mu_t \frac{\partial u_i}{\partial x_i} + \rho k) \frac{\partial u_i}{\partial x_i}]$$

$$- C_{\epsilon 2} \rho \frac{\epsilon^2}{k} + C_{\epsilon 4} \rho \epsilon \frac{\partial u_i}{\partial x_i} + C_{\epsilon 1} \frac{\epsilon}{k} P_{NL}$$

유동의 전산 해석을 위한 경계조건으로는 입구에서의 대기압 조건과 출구에서의 일정 유량 조건을 인가하여 수행하였으며, 이 경우 유량의 크기는 실험으로부터 획득된 정보를 활용하였다.

3. 성능 및 유동 계산 결과

3.1 성능

두 가지 형태의 날개를 가진 원심 송풍기의 성능 특성을 풍동을 통해 산출하였다. 성능을 확인하기 위해 측정된 물리량은 유량, 정압 상승치, 효율 등이다. 다음의 Fig. 3은 송풍기의 성능 특성을 두 가지 회전익에 따라 비교한 것이다. 유량의 비교에 있어서 전향익을 가진 송풍기에서 보다 우수한 성능이 발휘됨

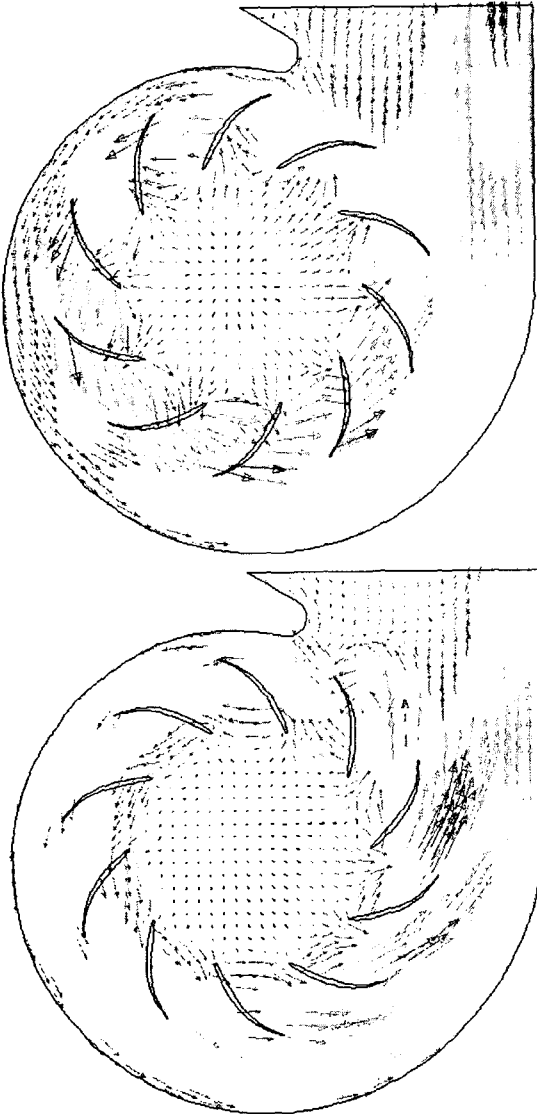


Fig. 4 Comparison of flow details for backward blades blower (upper) and forward one

을 알 수 있다. 구체적으로 최대 유량은 전향익을 가진 송풍기에서 대기압 조건에서 6.3 CMM(Cubic Meter per Minute)이 확인되었고, 후향익을 가진 송풍기에서는 같은 대기압 조건에서 4.4 CMM이 측정되었다. 또한 최대 유량의 50% 유량 조건에서의 정압 상승도 전향익을 가진 송풍기에서 2배이상 차이가 발생함을 알 수 있다. 날개 출구에서의 속도 삼각형(Velocity triangle)을 고려하면 전향익에서의 토출 유속이 후향익에서 보다 증가한다는 것을 알 수 있

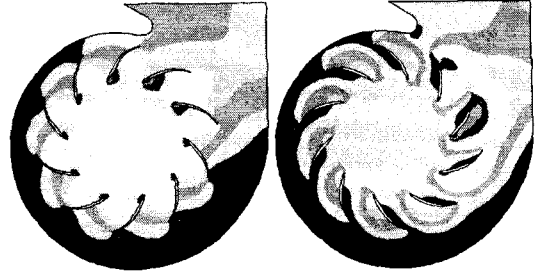


Fig. 5 Comparison of pressure distribution for backward blades blower (left) and forward one

다. 실제로 전향익 가진 송풍기에서는 날개를 따르는 속도 삼각형의 상대속도 (임펠러와 같이 회전하는 좌표계에서 측정된 유속)의 방향이 원주 속도(익차의 지름과 회전수에 비례하는 속도)와 예각을 이루기 때문에 둔각을 이루는 후향익에 비해 익차를 빠져나가는 유동의 절대 속도가 증가하게 된다. 전향익을 가진 원심 팬의 여러 특징 중에서 익차 출구 속도의 과대로 스크롤 케이싱 내부에서의 에너지 변환 (운동에너지에서 압력 에너지로의 변환)과정에서 손실이 발생한다 [5-6]. 이와 같은 유동에너지의 손실을 설명하는 유동의 상세 모습은 전산 해석의 결과로부터 알 수 있다.

### 3.2 전산해석 결과

전산해석은 팬(반 시계 방향으로 회전하는 경우)과 케이싱을 포함한 전체 영역에 대하여 수행되었다. 앞서도 설명하였듯이 본 연구에서 전산 해석의 수행 이유는 익차의 출구에서 발생하는 유동의 모습과 케이싱 내부의 압력 분포를 분석하여 케이싱의 설계에 유용한 자료로 활용하기 위해서이다. 다음의 Fig. 4는 팬의 축 방향 위치(Fig. 1에서의 Z 방향)에 따른  $(r-\theta)$ 평면에서의 2차원 유동을 보이고 있다. 전향익을 가진 송풍기에서의 유동은 최대 유속 24.07m/sec. 인데 반해 후향익 송풍기의 경우 유속은 13.49m/sec.에 불과함을 알 수 있었다. 이처럼 유량의 증대 측면에서는 전향익을 가진 원심 송풍기가 우수함을 알 수 있었다.

날개의 특성에 따른 유량의 성능이외에 케이싱 내부의 압력 분포를 관찰하였다. Fig. 5는 두 가지 유형의 날개에 따른 케이싱 내부의 압력 분포이다. 압력의 분포를 나타낸 위치는 날개의 폭의 중간 높이

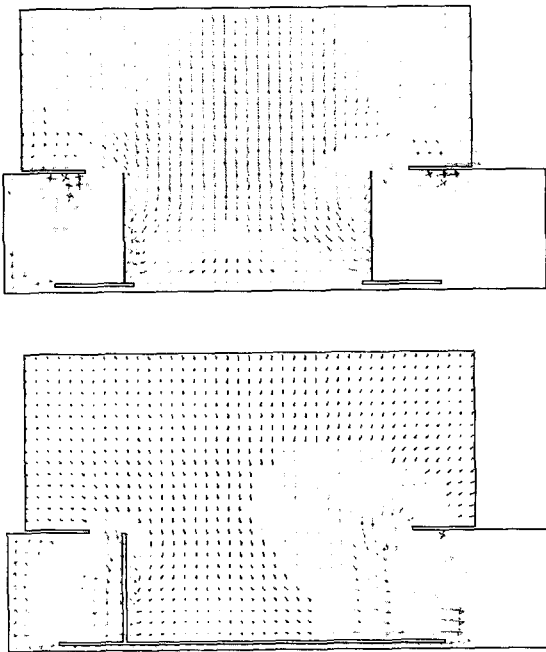


Fig. 6 Plots of meridional velocity vectors for backward blades blower (upper) and forward one

에서의  $(r-\theta)$ 평면에 대하여 표시하였다. 그림의 비교에서 알 수 있듯이 전향익을 가진 송풍기에서의 압력 분포는 케이싱의 전체에서 비교적 넓은 영역에서 고압이 발견되며, 후향익을 가진 송풍기에서는 케이싱의 출구 근처에서 고압 영역이 발견되고 있다. 그 이유는 전향익을 가진 송풍기에서는 익차 출구의 유속이 크게 되어 운동에너지의 압력 에너지로의 변환이 증대되어 정압의 분포가 비교적 크게 나타나고 있음을 알 수 있다. 또한 고압의 정도 역시 전향익에서는 80Pa정도의 값이 관측되었으나, 후향익 송풍기에서는 약 68Pa의 압력이 최고 값으로 등장되었다.

Fig. 6에서는 입구와 출구 영역을 모두 볼수 있는 자오 평면(Meridional plan)에서의 유속 분포를 보이고 있다. 후향익을 가진 송풍기에서는 출구 유동이 불안정하게 와류를 동반하나 전향익을 가진 송풍기에서는 출구 유속이 안정됨을 알 수 있다. 전향익의 기하학적 형상이 유동을 안내하는 형상을 갖추고 있어 비교적 안정적인 유동의 토출구조를 이루고 있음을 확인할 수 있다. 또한 최대 유속의 크기에 있어서도 2배 이상 차이가 발생함이 확인되었다.



Fig. 7 Plots of meridional velocity vectors between sequence blades for backward blades blower (upper) and forward one

유동 정보의 구체적 제시를 위해 회전 하는 날개와 날개 사이에서의 유동을 관찰하였다. Fig. 7에서는 그 위치에서의 후향의 송풍기 및 전향의 송풍기에서 날개와 날개사이의 유동을 보이고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 유체는 후향의 송풍기의 경우 후향의 전연에서 유입된 후 회전하는 날개로부터 각 운동량을 얻은 후 날개 사이를 빠져 케이싱과 날개가 이루는 유로를 통해 이동함을 알 수 있다. 이 경우에서 유동은 회전 날개의 운전에 의해 유입되지만 케이싱을 향해 안내되지는 않고 있음을 알 수 있다. 반면에 전향의 송풍기의 경우에는 날개로 유입된 유동이 날개로부터 각 운동량을 얻은 후 날개의 표면을 따라 토출 되고 케이싱을 향해 안내되고 있음을 알 수 있다. 이러한 차이로 전향의 송풍기에서는 출구 유동이 안정적인데 반해 후향의 송풍기에서는 입구의 설부 (Cut-off) 영역에서의 유

동이 불안정함이 관찰되었다.

#### 4. 결 론

전산 해석과 실험을 통해 전향익과 후향익을 가진 원심 송풍기의 성능 비교와 유동 해석을 수행하였다. 성능의 실험에서 결론된 두 가지 송풍기의 토출 유량의 차이는 날개의 형상에 따라 유발 되는 익차 출구에서의 절대 속도의 차이에 의해 유발됨을 알 수 있었다. 아울러 전향익의 기하학적 특징에서 유발되는 유동의 안내 용이성에 의해 유동이 안정적으로 토출되고 있음도 확인할 수 있었다. 그러나 전향익의 경우 유속의 증대로 케이싱 내부의 압력이 전체적으로 증가 하여 전향익을 가진 송풍기의 케이싱에서는 넓은 범위에서의 압력 값이 크게 증가하고 있음을 확인할 수 있었다. 이와 같은 압력의 증대는 송풍기 전체의 효율을 저감 시키는 결과를 초래한다고 판단된다. 따라서 송풍기의 설계에 있어서 날개의 특성에 따른 케이싱의 선택도 중요하게 고려해야 된다고 판단된다. 구체적으로, 전향익을 채택한 송풍기에서는 입구 가까운 영역에서 유로의 확장이 요구되며, 후향익을 가진 송풍기에서는 케이싱의 출구에서의 유로 확장이 필요함이 확인되었다.

#### 후기

본 연구는 선문대학교 공조기술연구센터의 지원 하에 수행되었음을 밝힙니다.

#### 참고문헌

- [1] Wright, T.G., *Fluid Machinery*, CRC press, New York (1999), p.61.
- [2] Eck, B., *Fans*, Pergamon press (1976), p. 107.
- [3] Cau, G., Mandas, N., Manfrida, G., and Nurzia, F., "Measurement of Primary and Secondary Flows in an Industrial Forward-Curved Centrifugal Fan," *J. Fluids Engineering*, Vol.109, (1987), p.353.
- [4] Morinushi, K., "The Influence of Geometric Parameters on F.C Centrifugal Fan Noise," *Trans. ASME, Journal of Vibration, Acoustics, Stress, and Reliability in Design*, Vol.109, (1987), p.227.
- [5] Morinushi, K., "Noise Source of a Multiblade Fan," *JSME*, Vol.57, (1991), p.3834.
- [6] Raj, D., and Swim, W.B., "Measurements of the Mean Flow Velocity and Velocity Fluctuation at the Exit of a FC Centrifugal Fan Rotor," *Journal of Engineering for Power*, Vol.103, (1981), p.393.
- [7] Konieczny, J.P., and Bolton, S., "Design of Low-noise Centrifugal Blowers - Part2 : Optimization Study", *Noise Control Engineering J.*, 43, (1995), p.117.
- [8] ASHRAE Standard, "Laboratory Methods of Testing Fans for Rating," American Society of Heating, Refrigerating and Air- Conditioning Engineers (1985).
- [9] 한국산업표준심의회, 송풍기의 시험 및 검사 방법 (KS B 6311), 한국표준협회, (1992), p. 1.
- [10] CD-adapco Korea, *STAR-CD User Guide Manual*, CD-adapco (1998).