

회전하는 임펠러를 포함한 스크롤 케이싱 내부 유동장의 전산 해석

김재원^{*1}, 안은영^{*2}, 박진원^{*3}

Numerical Simulation of Flows Inside Scroll Casing with Rotating Impeller

J. W. Kim, E. Y. Ahn, and J. W. Park

The design procedure for centrifugal blower with high inlet resistance is not presented yet. Overall fluid dynamic performance is estimated for comparison between the case of atmospheric inlet condition and the present model. Detail information between blades is prepared by using a commercial program, SCRYU-Tetra. A centrifugal blower with large inlet pressure is adopted in an air purifier having filtering devices. As the inlet residence increases the flow rate of the system is decreased. In parallel, outlet area of the system affects the performance of the system in the sense of flow balance. Consequently, the flow balance between the inlet and outlet becomes an important parameter for the design of the scroll casing for the centrifugal blower with high inlet pressure.

Key Words: 원심 송풍기 (Centrifugal Blower), 스크롤 케이싱 (Scroll Casing), 설부 위치 (Cut-off Position), 흡입 저항 (Inlet Resistance)

1. 서 론

회전하는 임펠러를 구비한 스크롤 케이싱은 원심형 송풍기의 주요 구성 요소이다. 본 연구에서는 설부의 위치에 따른 스크롤 케이싱 내부의 이상유동에 관심을 갖고 전산해석을 수행하였다. 본 연구의 모델은 공기정화기와 같이 입구 저항이 높은 유동 환경에서 공기 공급 장치로 사용되는 원심형 공기 공급 장치이다. 유동장의 분석을 위한 전산해석은 SCRYU/Tetra를 사용하여 수행되었으며 전산 해석의 결과는 병행된 실험 결과와 비교하여 그 검증성을 완성하였고 해석 결과의 정도를 향상시켰다. 실험은 풍동을 사용한 거시적 성능 평가의 실험과 스크롤 케이싱의 자오면에 설치된 압력변환장치를 통한 압

력 값의 확인으로 구분되며 그 두 가지 실험 결과가 상호 보완적이며 일치된 결과를 제공하였다.

일반적인 대기압의 흡입 조건에서의 송풍기의 설계에는 매우 다양하게 선행 연구가 진행되어 있으나, [1-5] 본 연구 대상인 고 흡입 압력 조건의 송풍기의 설계에 관한 체계적인 보고는 크게 미흡한 실정이다. 본 모델의 흡입구에 설치된 필터 박스에는 집진과 탈취를 위한 여러 개의 필터가 순차적으로 설치되어있고 그 필터들을 통과한 공기가 송풍기로 흡입된 후 에너지를 얻어 실내로 토출되는 형태를 갖추고 있다. 그러나 이러한 장치로부터 발생하는 손실은 제품의 목적상 기피할 수 없는 실정이다. 일반적으로 가정용 에어컨의 경우 열교환기로 인한 압력손실이 약 2 mm Aq.로 말하고 있다[6]. 반면에, 본 연구대상의 흡입구 주변 공기필터는 약 19 mm Aq.의 압력 상승을 유발하여 전자에 비하여 약 9.5배의 손실 효과를 발생한다.

이와 같은 불리한 조건에 적용될 수 있는 송풍 시

*1 정희원, 선문대학교 기계공학부, jwk@sunmoon.ac.kr

*2 정희원, 천안대학교 정보통신공학부

*3 학생회원, 선문대학교 대학원

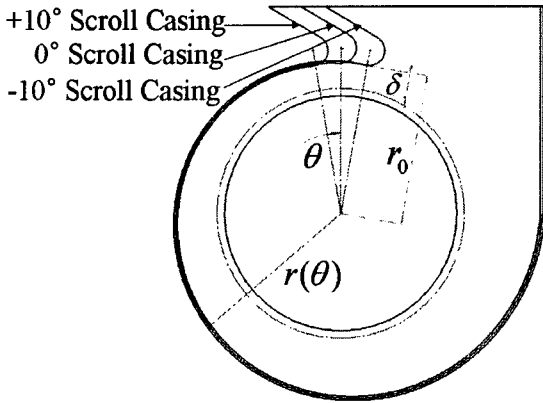


Fig. 1 Three different shapes of cutoff for parameter study

시스템의 개발에 관련된 설계 개선의 대상은 원심 송풍기의 핵심 구성품인 임펠러와 설부(cut-off) 형상을 포함한 그 케이싱(casing)이다. 결과적으로 본 연구에서는 선행 연구의 결과를 [6] 바탕으로 팬의 날개는 에어포일(airfoil)의 형상을 채택하였고, 팬의 허브(Hub) 방향과 팁(Tip) 방향의 코드길이(Code length)를 일정비율로 감소시키는 경사 날개 길이를 갖는 송풍기를 고안하였다. 구체적으로 그 날개는 두 원호의 조합으로 이루어지는 형상이다. 또한 팬의 케이싱의 설부(Cut-off)의 형상은 등근형(Convex)으로 설계하였고 그 회전 반경은 일반적인 설계방법에 따라 팬 외경의 1.2배로 설계하였다. 따라서 고려되는 설계인자는 설부의 위치 따른 성능 변화이며, 모두 3가지 형태의 설부 위치가 Fig. 1과 같이 고려되어 비교 평가되었다. Fig. 1에서의 3가지 설부는 12시 방향을 기준으로 $\pm 10^\circ$ 의 차이를 가지며 그에 따라 출구의 면적도 아울러 증가 또는 감소되는 형태를 갖는다.

성능 평가 실험 결과 흡입저항이 대기압 보다 큰 경우에는 좁은 출구 면적을 제공하는 설부 형상의 조건에서 많은 유량이 확인되었으며 대기압 정도의 흡입 저항을 갖는 운전 조건에서는 오히려 넓은 토출 면적을 제공하는 설부의 구조에서 최대 유량의 운전 조건이 확인되었다. 이는 유동의 흡입 및 토출의 균형으로 이해될 수 있다. 즉, 흡입저항이 상대적으로 큰 경우에는 흡입 유동이 감소되며 그에 따라 축소된 토출 면적을 제공하는 설부 조건이 유리하다고 판단된다. 이와 같은 결과는 성능 평가 실험과 전산 해석 모두의 경우에서 일관되게 확인되었으며 전

산 해석의 결과에서는 그에 따른 세부 유동의 모습이 확인될 수 있어 본 연구 결과의 근거를 제시하기에 충분하였다.

2. 전산해석 및 성능평가

2.1 전산해석

동일한 형상의 스크롤 케이싱에 대해 설부의 위치에 따른 원심형 송풍기 전체에 대한 전산 해석을 상용해석 프로그램인 SCRYU-TETRA[7]을 사용하여 수행하였다. 이는 원심 송풍기의 성능 평가의 결과에 대한 공학적 상세 근거를 제시하기 위해 수행되었다.

송풍기 전체의 전산 해석을 위해서는 총 약 180만 개의 격자가 사용되었으며 그 전체의 격자는 송풍기의 각 영역별로 나뉘어져 해당 부분의 계산 영역을 만들기 위해 사용되어졌다. 팬을 별도의 영역으로 지정하여 구성한 이유는 팬의 회전 조건을 인가하기 위해 회전 격자계(Moving grid)를 사용했기 때문이다.

전산 해석에 사용된 지배방정식은 질량에 대한 연속방정식, 운동량 보존 방정식, $k-\epsilon$ 난류 에너지 방정식, 그리고 난류 소산 방정식이다. 본 연구의 수치 계산은 상용 프로그램을 이용한 것이므로 해석의 과정에서 필요한 각종 계수(C)와 기타 물리량 및 첨자, 그리고 계수 등은 프로그램의 매뉴얼[7]에 따라 전산 해석이 수행되었다. 이 과정에서 가장 중요한 처리는 흡입구 전면에 설치된 필터를 모델링하는 것인데 본 연구에서는 필터를 저항을 유발하는 다공체(porous media)로 간주하여 해석을 진행하였다.

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

2.2 성능평가

공기정화기에 사용되는 원심 팬의 가장 큰 손실은 공기정화용 필터로부터 발생된다. 공기정화기에서 공기의 질의 개선은 화학적 방법을 이용하는 것과 물리적 필터를 이용하는 방법으로 구분될 수 있는데 본 시스템의 경우는 광촉매를 이용한 화학적 방법과 물리적 기법인 필터들을 사용하여 여과하는 방법 두 가지 모두를 채택하고 있다. 광촉매 장치는 몇 개의 광원을 지나는 단순한 구조로 여기에서 발생하는 정압 손실은 극히 미소하며 대략 1.0 내지 1.5 mmAq.

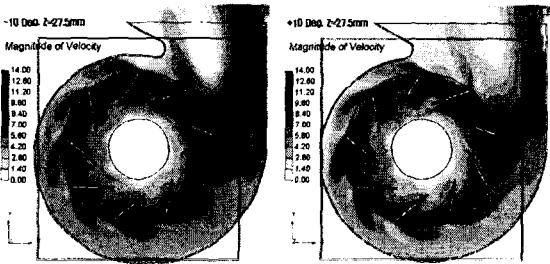


Fig. 2 Magnitude of outlet velocity on meridional plane

정도이다[8]. 반면에 HEPA 등을 사용하는 물리적 여과장치는 그 여과 방법의 특성상 매우 큰 정압손실이 흡입 저항으로 등장한다. 앞서 언급한 바와 같이 공기 정화의 목적상 불가피하게 피할 수 없는 부분이므로 원심 팬의 유량 증대 및 소음 저감이 주요 연구대상이 되었다. 본 성능 시험 장치는 미국 공조학회 (ASHRAE) 규격[9]에 의하여 설계하였으며, 실험방법은 KS 6311 송풍기 성능시험에 관한 규격[10]에 의거하여 실험하였다. 또한 이 풍동은 암소음 17dB의 완전 무향실에 연결되어 유체역학적 성능과 공기 역학적 소음을 동시에 측정할 수 있도록 준비하였다. 성능 시험 장치로부터 획득되는 공학적 자료는 팬에서 발생하는 유량과 그 토출 정압, 소음 준위, 온도 등이다. 또한 필터로 인해 발생하는 저항을 정량적으로 가늠하기 위해 필터박스 내부 정압 (pf) 을 측정하였다.

3. 결과 및 토의

전산 해석을 통한 세부 유동의 관찰이 진행되었고 풍동을 이용한 거시적 성능 평가가 수행되었다. 전산 해석의 결과를 검증하기 위해 전산 해석에 의한 최대 유량을 실험에 의한 것과 비교 검증하였으며 전산해석과 실험해석의 두 결과치는 필터 장착의 경우 14%의 상대오차를 필터가 없는 경우에는 24.5%의 상대오차를 보여 비교적 전산 해석의 결과에 신뢰성을 부여할 수준이었다. 또한 가장 중요한 점은 전산 해석이나 실험의 경우, 항상 일관되게 유량의 최대 조건과 최소 조건이 발견되었다는 것이다. 이는 전산 해석의 결과에 대한 신뢰성을 증가 시키는 사실로 확인되었다.

3.1 성능 평가 결과

풍동을 사용하여 거시적 유동 변수인 유량 대비

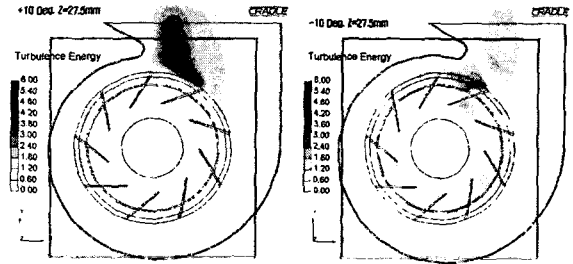


Fig. 3 Distribution of turbulent energy on mid-meridional plane for -10° cut-off (left one) and +10° cut-off casing

정압 상승의 정도를 모두 6가지의 경우에 대해 수행하였다. 3가지의 다른 설부 위치 조건과 흡입 저항의 유무에 따른 평가였다. 정압 상승에 따른 유량의 변화를 흡입 하중의 유무와 각기 3가지의 설부 조건에 대해 수행하였다. 필터의 유무에 따른 평가 조건은 설부의 위치 변화이며 필터가 장착된 경우에는 -10°의 경우에서 가장 큰 유량을 나타내고 필터가 없는 경우에는 +10°의 설부 위치의 조건에서 가장 큰 유량이 평가 되었다. 필터가 장착되어 흡입 저항이 증대된 경우의 최고 유량은 설부의 위치가 -10°인 경우에서 발견되며 그 경우의 유량은 대기압을 흡입 저항으로 가진 경우의 최고 유량에 비해 약 47.3%의 정도로 유량 손실이 흡입 저항의 존재로 크게 감소함이 밝혀졌다.

3.2 전산해석 결과

풍동을 이용한 성능 평가의 결과로부터 흡입저항이 상당한 경우의 송풍기 케이싱의 설계에서는 유동의 흡입과 토출에 있어서의 균형을 유지하기 위해 적절한 토출 면적을 결정해야함이 확인되었다. 구체적으로 설부 위치가 -10°인 경우 평균 토출 면적은 0.01246m²이 되며 +10°인 경우에는 평균 토출 면적이 0.01582m²이 되어 유동의 흡입과 토출 유속에 대한 균형을 고려해야 한다. 즉, 토출구를 통과하는 평균 유속의 크기가 3m/s에서 2.5m/s가 되어 유속이 감소하게 된다. 따라서 원활한 토출 현상이 이루어지지 않게 된다. 이와 같은 유량에 근거한 예측은 전산 해석 결과를 활용한 설명에서 보다 확실하게 규명될 것이다.

Fig. 2는 축 방향 단면에서의 유속 분포를 나타낸다. 팬의 높이가 65mm이므로 중간 정도의 높이인 27.5mm의 위치에서 평면 유속을 관찰하였다. 유속의 크기 비교에서 설부의 위치가 +10°인 경우 설부의

형상이 토출구에 대해 노즐 형상을 제공하므로 유속이 비교적 일정하게 토출되고 있음이 확인된다. 이러한 결과는 축 방향 위치와 무관하게 관찰되었다.

유사한 관찰이 난류 에너지에 대해 수행되었다. 물리적인 관점에서 난류에너지는 유동의 요동 성분의 에너지 공급 정도이므로[11] 난류 에너지의 증가는 요동 유동의 증가를 의미한다. Fig. 3은 축 방향 높이가 27.5mm인 평면에서의 난류에너지 분포를 표시한다. 그림에서 알 수 있듯이 난류에너지의 증가가 +10°인 경우에서 확인되어 유동의 흡입/토출 균형이 그 조건에서 유지되지 못함을 알 수 있다. 따라서 난류 에너지의 증가가 유동의 불안정성을 제고시켜 유량의 저하를 가져온다는 것이 확인되었고 난류에너지의 증가는 유동의 흡입과 토출의 균형이 어긋나서 생성됨을 알 수 있다.

전산 해석의 장점인 세밀한 유동 분석이 자오면상에서의 유속 측정에서 이루어졌다. 필터가 장착된 세가지 다른 경우 (설부의 위치가 +10°, 0°, -10°인 경우)에서의 날개 사이에서의 유동을 분석하였다. 스크롤의 벽은 왼쪽이므로 유동은 왼쪽에서 하향하여 오른쪽으로 상향 형태를 취해야 이상적인 상태가 된다. 그와 같이 유동이 억제되는 이유는 날개의 시작단과 필터 박스 사이의 간극에서 과도한 압력이 발생하여 유동의 유량 토출에 불리하게 안내하고 있기 때문이다. 반면에 +10°의 설부 위치를 가진 경우 유동의 형태가 와류의 형태가 되어 유량이 감소되는 유동 형태를 보이고 -10°의 유동장에서는 비교적 순방향의 유동이 발생되어 유동이 유량의 증대에 도움이 되게 발생하고 있음을 확인할 수 있다.

5. 결 론

고 흡입저항을 갖는 원심형 송풍기의 설계시 고려해야 할 설부의 위치에 관한 연구를 수행하였다. 유동의 흡입과 토출에 관한 균형을 고려한 세 가지 설부 위치를 선정하여 최적의 설부 위치를 일반 원심 송풍기 (흡입저항이 대기압인 경우)와 흡입 저항이 큰 두 가지 경우로 구별하여 제시하였다. 이에 따라 흡입 저항이 큰 원심형 송풍기의 경우 일반적인 경우보다 유동 저항의 등장으로 유량이 감소하였으나 그 감소 정도를 최소화하기 위해서는 토출 면적을 축소하여 고압의 유동의 운동에너지를 증대시켜 배출하는 것이 유량 증대에 도움이 됨이 확인되었다.

후기

본 연구 수행을 위한 공조기술 연구 센터의 지원에 감사드립니다.

참고문헌

- [1] 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.353-360.
- [2] Neise, W., "Review of Fan Noise Generation Mechanism and Control Method," An International INCE Symposium, (1992), p. 45-56.
- [3] Wright, T.G., *Fluid Machinery*, CRC press, New York, (1999).
- [4] 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.353-358.
- [5] 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.227-234.
- [6] Kim, J.W., "Centrifugal blower with high inlet resistance," *Journal of Fluid Machinery*, Vol.6, (2003), p.15-22.
- [7] SCRYU/TETRA Korea, *SCRYU/Tetra User Guide Manual*, Cradle, (1998).
- [8] Kim, H., "Development of Optical LED for Air Cleaner," Report for RRC-ACCT., (2002), p.363-375.
- [9] ASHRAE Standard, *Laboratory Methods of Testing Fans for Rating*, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, (1985).
- [10] Korea Standards, *Industrial fans - performance testing*, (KS B 6311), KSSA, 1992.
- [11] Tennekes, H. and Lumley, J. L., *A First Course in Turbulence*, MIT Publishing Company, (1994).