

원심블로어 임펠러 토출 날개 형상에 따른 성능특성

이종성* · 전현준* · 장춘만**

Performance Characteristics according to the Outlet Impeller Blade Shape of a Centrifugal Blower

Jong-Sung Lee*, Hyun-Jun Jeon*, Choon-Man Jang**

Key Words : Centrifugal blower(원심블로어), Efficiency(효율), Design variables(설계변수), Numerical simulation(수치해석), Bending angle(꺾임각)

ABSTRACT

This paper presents the performance characteristics of a centrifugal blower using the design parameters of an impeller blade. Two design variables, the bending length from the blade trailing edge and bending angles of an impeller blade, are introduced to analyze the effects on the blower performance. Three-dimensional Navier-Stokes equations with shear stress transport turbulence model are introduced to analyze the performance and internal flow of the blower. Relatively good agreement between experimental measurements and numerical simulation at the design flow condition is obtained. Throughout present study, it is known that pressure increases as the bending length from the trailing edge and bending angle increase while efficiency decreases. But efficiency is decreased. Detailed flow field inside the centrifugal blower is also analyzed and compared.

1. 서론

뒷보기 구배 날개(backward curved blade)를 갖는 원심 블로어는 동일한 원주 속도에 대하여 다른 형식의 블로어 보다 유량이 많고 상대적으로 낮은 소음특성을 가지기 때문에 산업용으로 여러 분야에 적용된다. 산업용으로 사용되는 원심 블로어는 환경플랜트 설비의 핵심요소 부품으로 사용되어, 생활폐기물 관로이송 시스템에 적용되는 원심 블로어의 경우에는 전체 설비의 가동전력에서 90%를 소비한다. 전체 설비의 에너지 절감을 위해서는 성능개선이 중요하다. 에너지 소비가 큰 원심 블로어의 성능개선을 위해서는 블로어의 구성 부품인 임펠러 및 볼류트 케이싱의 형상최적화 설계가 중요하다. 주요 최적화 설계변수로는 임펠러 입출구 각도, 임펠러 날개의 두께 분포, 스플리터 형상, 날개수, 볼류트케이싱 폭 및 높이, 볼류트 케이싱 스크롤의 형상등이 있다. 최근들어 컴퓨터를 이용한 블로어 설계변수에 대한 형상최적화 연구가 많이 발표되고 있다.⁽¹⁻⁴⁾ 생활폐기물 관로이송 설비의 집하장에 설치되는 원심 블로어의 경우에 복수의 원심 블로어

가 직렬로 연결되어 가동되며, 이송관로의 다양한 흡입거리에 따른 다양한 압력 조건에 의해 고압의 원심 블로어 설계가 요구된다. 본 연구에서는 환경 플랜트에서 사용되는 산업용 원심 블로어를 대상으로 블로어 압력특성을 향상시키기 위하여 임펠러 날개 후연부의 형상 변화에 따른 성능특성을 고찰하였다. 원심 블로어의 임펠러 날개 후연에서 전연측으로 일정 거리의 꺾임길기와 꺾임각도를 설계변수로 설정하고, 각 변수가 블로어 성능특성에 미치는 영향을 3차원 수치해석을 이용하여 분석하였다.

2. 원심 블로어

본 연구에서는 환경플랜트 분야중 하나인 생활폐기물 관로 이송 설비에 적용되고 있는 130 kW급 원심 블로어를 대상으로 하였으며, Table 1과 Fig. 1에는 설계유량조건에서의 블로어 기본제원과 외형도를 각각 나타낸다. 설계 유량, 압력계수 및 효율은 각각 0.139, 1.29 그리고 84%이며, 유량계수(Φ), 정압계수(Ψ), 효율(%)은 다음과 같이 정의한다.

* 한국건설기술연구원 환경연구실 (Korea Institute of Construction Technology)

† 교신저자(Corresponding Author), E-mail : jangcm@kict.re.kr

Table 1 Design specifications of a test blower

Name	Value
Flow Coefficient	0.139
Pressure Coefficient	1.29
Efficiency	74%
Rotational Frequency of Impeller	1780 rpm
Outlet diameter of impeller	1625 mm
Inlet diameter of impeller	568 mm
Blade thickness	4.5 mm
Number of blade	11 ea



Fig. 1 Perspective view of a test blower

$$\Phi = \frac{Q}{AU_t} \quad (1)$$

$$\Psi = \frac{2\Delta P}{\rho U_t^2} \quad (2)$$

$$\eta = \frac{Q \cdot \Delta P}{P_{input}} \quad (3)$$

여기서, Q , A , U_t , ΔP , ρ , P_{input} 는 유량, 입구 덕트 단면적, 임펠러 끝단의 회전방향 속도, 상승, 블로어 입구 공기밀도 그리고 입력 동력을 각각 의미한다.

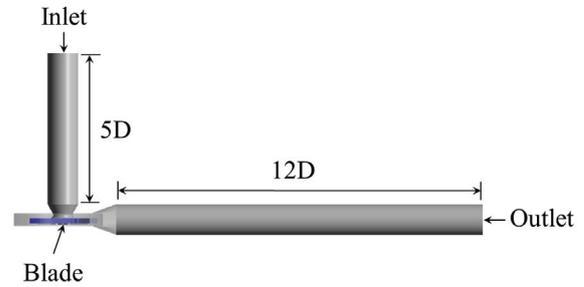


Fig. 2 Computational domain

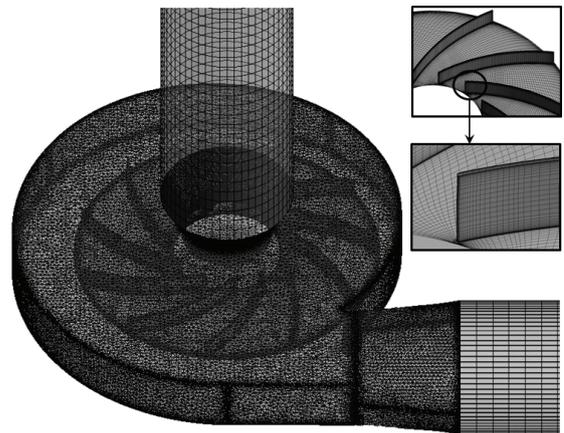


Fig. 3 Computational grids

3. 수치해석 방법

3.1. 수치계산 기법

원심블로어의 수치해석을 통한 성능평가를 위하여 상용코드인 ANSYS-CFX 13⁽⁵⁾을 사용하였다. 수치계산은 3차원, 압축성 RANS (Reynolds Averaged Navier-Stokes)방정식을 유한 체적법으로 이산화하였으며, Pressure based fully coupled implicit방법으로 정상 수치해석을 수행하였다. 난류모델은 유동의 박리현상 해석에 유용한 전단응력이송모델 (shear stress transport model)을 사용하였다.⁽⁶⁾

3.2. 계산영역 및 경계조건

수치계산에 적용된 블로어의 계산영역은 Fig. 2에 나타난다. 케이싱의 입구와 출구에 직선 관로를 이용하여 입출구 영역을 연장함으로써 안정된 입출구 유동 조건이 되도록 하였다. 입구덕트의 길이는 관경의 5배, 출구덕트는 12배가 되도록 설정하였다. 경계조건으로는 입구는 압력 및 상온 조건을, 출구에서는 질량유량 조건을 각각 적용하였다. 입구면과 출구면을 제외한 모든 벽면에는 점착조건을 적용하였다.

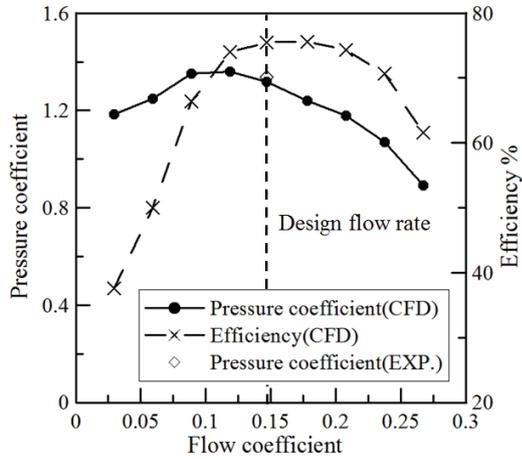
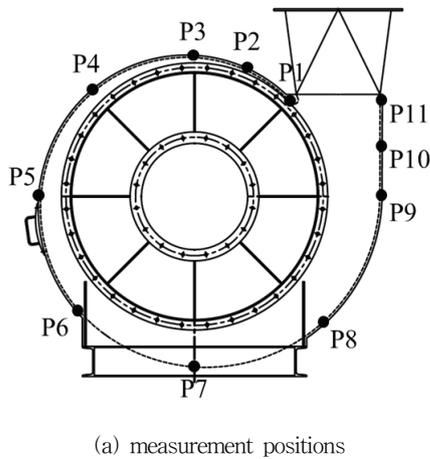
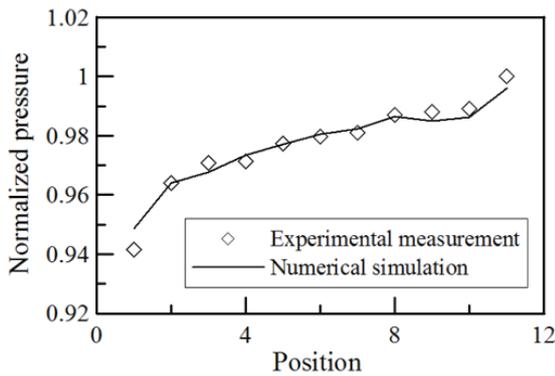


Fig. 4 Performance curve of a test blower⁽⁷⁾



(a) measurement positions



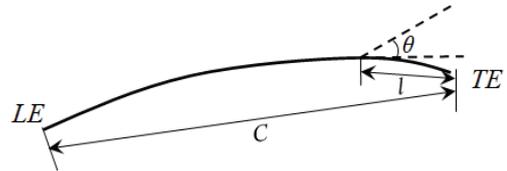
(b) pressure comparisons

Fig. 5 Comparisons of pressure along the volute casing⁽⁷⁾

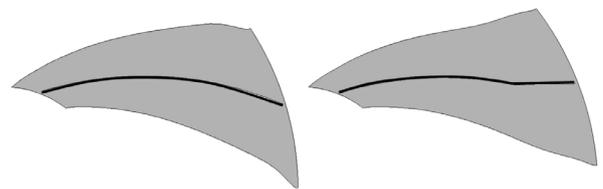
회전조건은 설계 회전수인 1780rpm으로 설정하였다. 입구덕트, 임펠러 및 볼류트케이싱에 대한 해석격자는 Fig. 3에 나타낸다. 임펠러는 ANSYS사의 Turbo-Grid를 사용하여 정렬 격자로 생성하였으며, 볼류트케이싱은 ANSYS사의 ICEM CFD를 사용하여 비정렬 격자로 생성하였다. 입/출구 덕트는 정렬격자로 구성하여 계산부하를 줄였다. 본 수치계산에 사

Table 2 Design variables of impeller

Name			
bending angle (θ), deg.	5	15	25
bending position (l/c)	0.1	0.2	0.25



(a) definition of design variables



(b) chord shape in one blade passage
(left : reference model, right: $\theta=15^\circ$, $l/c=0.2$ model)

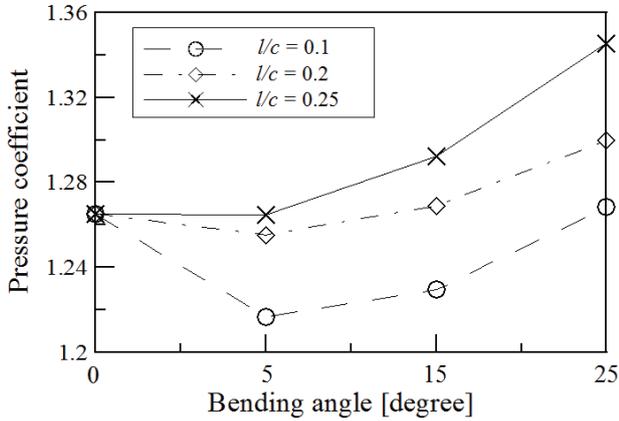
Fig. 6 Definition of design variables

용한 원심블로어의 전체 격자수는 약 3,700,000 노드이다. 계산영역에서 회전도메인과 정지도메인의 경계면에서는, 블로어 성능평가 시에는 스테이지(stage)기법을, 내부유동장 특성을 분석할 경우 프로즌 로터(frozen rotor)기법을 각각 적용하여 수치해석을 수행하였다. 이는 이전의 연구⁽⁷⁾에서 알수 있듯이, 정상수치해석(steady state flow analysis)에서 원심블로어 컷오프(cut off)와 임펠러 날개 설치각의 상대적인 위치에 따라 성능특성이 일정한 스테이지 기법(stage interface)을 블로어의 성능평가에 적용하였다.

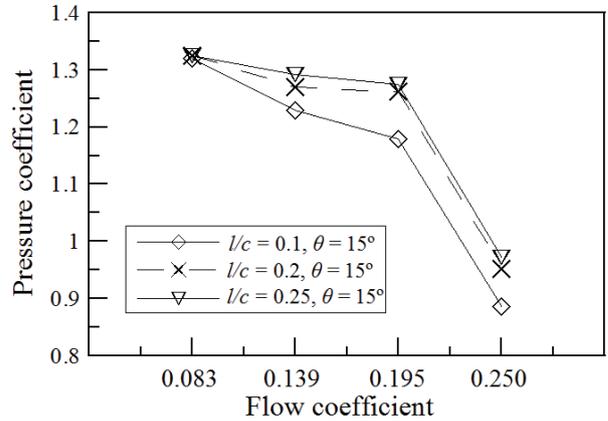
3.3. 수치해의 타당성 검토

수치해석의 타당성을 검토하기 위하여, 설계유량조건에서 실험을 통해 측정된 결과를 수치해와 비교하였다. 기본설계 블로어 형상 및 성능곡선은 Fig. 4에 나타내었다. 성능곡선에서 점선의 위치가 설계유량을 나타내며, 기본설계 블로어 효율은 설계유량점 근방에서 최대값을 갖는다. 설계 유량점에서 실험에 의한 압력은 수치해석에서 구한 압력과 잘 일치함을 알 수 있다.

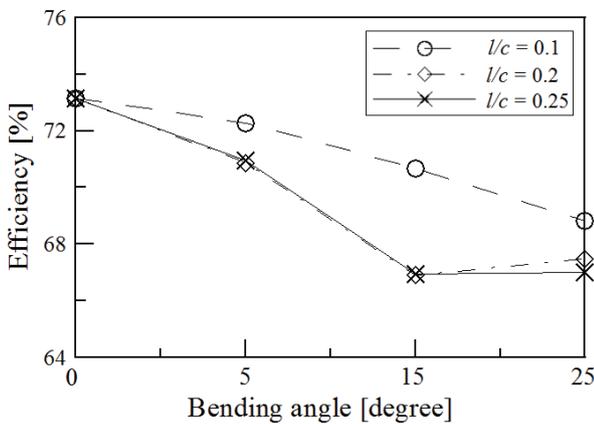
Fig. 5는 설계유량 조건에서 측정된 볼류트 케이싱 외측의 압력 특성을 나타낸다. 실험에서 측정된 압력측정위치는 Fig. 5(a)에 나타내며, 볼류트 케이싱의 컷오프에서 출구까지 총 11곳에서 압력을 측정하였다. 측정된 압력은 절대압(abs)으로 환산하여 대기압(101,325pa)으로 무차원화 하였다.



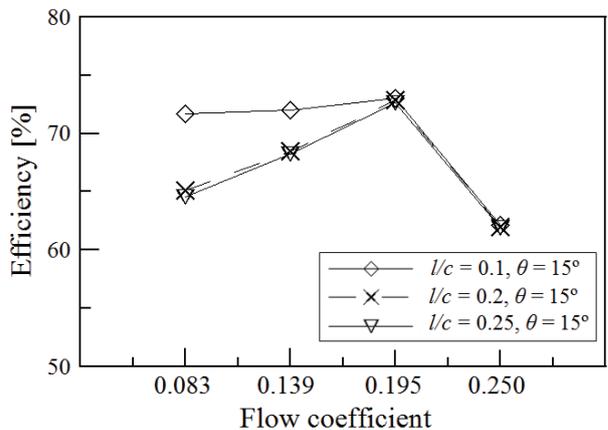
(a) pressure



(a) pressure



(b) efficiency



(b) efficiency curve

Fig. 7 Blower performance according to the bending angle and length

Fig. 8 Blower performance according to flow rates

그림에서 P1은 볼류트케이싱의 컷오프 근방에, P11은 볼류트케이싱의 출구 근방에 각각 위치한다. 볼류트 케이싱을 따른 실험 및 수치결과의 압력 비교를 Fig. 5(b)에 나타낸다. 그림에서 실선은 수치해석 결과를, 마름모는 실험값을 각각 나타낸다. 실험과 수치해석에서 구한 볼류트케이싱 측면에서의 압력차가 최대 2% 이내의 편차범위 내에서 잘 일치함을 알 수 있다. Fig. 5의 수치해는 스테이지 기법을 적용한 결과이다.

4. 임펠러 형상 변수

본 연구에서는 원심블로어 임펠러의 출구측의 날개 형상에 따른 성능 특성을 분석하기 위하여 날개후연(trailing edge)에서부터 전연(leading edge)방향으로 무차원 꺾임 길이(l/c)와 꺾임 각도(θ)를 변수로 설정하였다. 각각의 변수에 대한 정의 및 설계 값은 Table 2 및 Fig. 6에 나타내었다.

Fig. 6 (a)에서 C 는 날개코드(blade chord)길이, l 은 날

개 후연에서 꺾임 위치까지의 길이, θ 는 꺾임 각도를 각각 의미한다. Fig. 6 (b)의 왼쪽 그림은 임펠러 날개의 기본 설계 모델이며, 오른쪽은 $\theta=15^\circ$, $l/c=0.2$ 인 임펠러 모델의 날개형상을 각각 나타낸다.

5. 결과 및 고찰

5.1. 임펠러 꺾임 위치 및 각도에 따른 성능 평가

Fig. 7은 임펠러 꺾임 길이(l/c) 및 각도(θ)에 대한 블로어 성능특성을 나타낸다. Fig. 7(a)는 꺾임 각도에 따른 블로어 압력특성을 나타낸다. 그림에서 알 수 있듯이 전체적으로 $\theta=0^\circ \sim 5^\circ$ 까지는 압력이 감소하지만, 5° 이후 부터는 각도가 증가함에 따라 압력이 증가하는 경향이 나타난다. 즉, 모든 경우의 꺾임 위치에 대해서 꺾임각이 가장 큰 25° 에서 최고 압력값을 가지며, 설정한 변수 범위에서는 꺾임각이 25° , 꺾임 길이가 0.25일 경우가 최고 압력을 가진다. 이는 기존

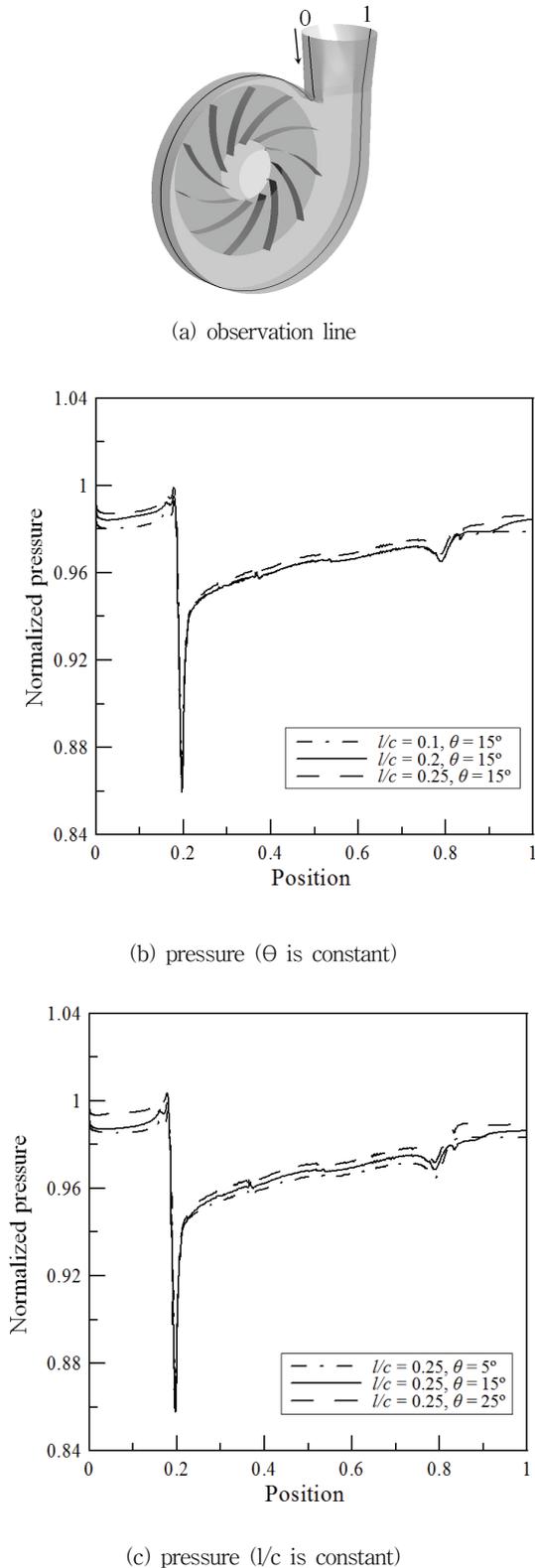


Fig. 9 Pressure along a volute casing

모델 대비 약 6.3% 증가한 압력이다. 킁임길이가 상대적으로 낮은 0.1에서는 최고 압력점이 기본 설계 모델($\theta=0^\circ$)의 경우 보다 전 킁임각 범위에서 낮음을 확인 할 수 있다.

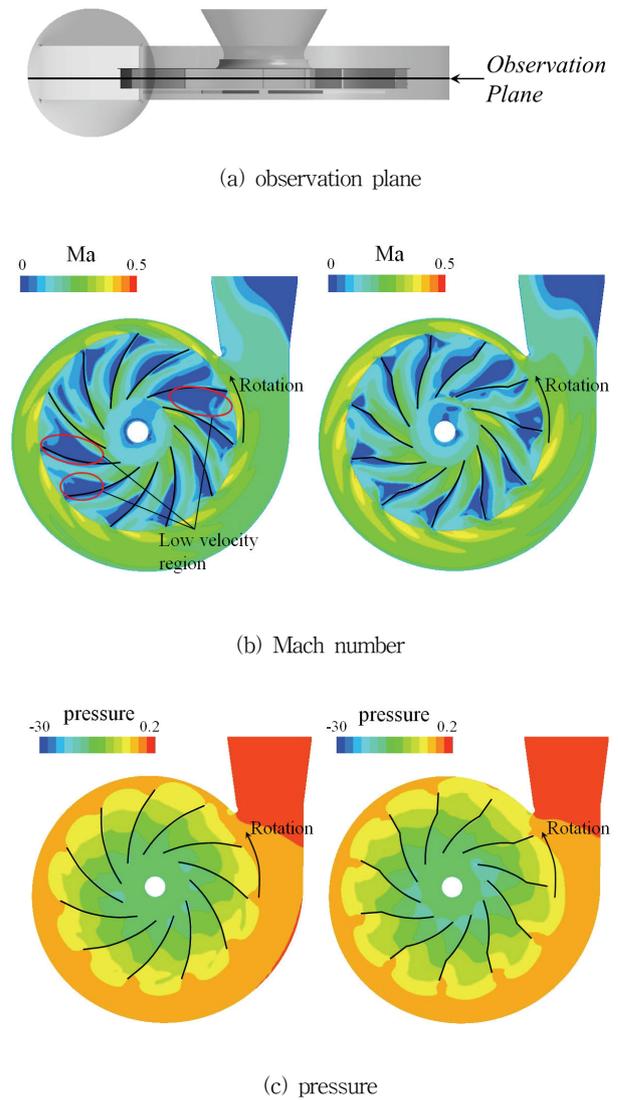


Fig. 10 Comparison of Mach number and pressure contours (left : reference blower, right : blower having max. pressure)

Fig. 7 (b)는 킁임각도에 따른 블로어 효율변화를 나타낸다. 그림에서와 같이 킁임 각도가 증가할수록 효율은 전반적으로 감소하는 경향이 나타난다. 즉, 킁임길이가 0.2이상에서는 모든 킁임각 범위에서 유사한 효율값을 갖음을 알 수 있다. 설정 변수 범위에서 최저 효율은 $\theta=15^\circ$, $l/c=0.2$ 에서 발생하며, 기본 설계 블로어 대비 약 6.2% 감소함을 알 수 있다.

Fig. 7에서 알 수 있듯이 킁임 길이와 각도가 증가할수록 압력은 증가하지만, 효율은 감소하는 경향을 가짐을 알 수 있다. 즉 임펠러 날개 후연부에 킁임길이에 따른 킁임각의 변형이 블로어 효율보다 압력에 효과적임을 알 수 있다.

Fig. 8은 킁임각을 15° 로 설정하고, 유량에 따른 성능특성

을 나타낸다. Fig. 8(a)는 유량에 따른 압력 변화를 나타낸다. 유량계수 0.195이하에서는 꺾임 길이에 대하여 압력이 일정하게 유지되지만 0.195이상에서는 급격한 감소를 나타낸다.

Fig. 8(b)는 유량에 따른 효율 특성을 나타낸다. 그림에서 알 수 있듯이 유량계수가 0.195까지는 유량 증가와 함께 효율도 증가하지만, 압력이 급감하는 유량계수(0.195 이상)에서는 효율도 감소함을 알 수 있다. Fig. 8에서 알 수 있듯이, 꺾임길이가 0.2이상에서는 유량에 따른 블로어 성능특성이 유사함을 알 수 있다.

Fig. 9는 볼류트 케이싱 외측 중앙에 따른 압력 특성을 나타낸다. 압력선정위치는 Fig. 9 (a)에 나타낸다. Fig. 9 (b)에서는 꺾임각 15°에서의 꺾임길이에 따른 압력분포를 나타내며, Fig. 9 (c)는 꺾임길이를 0.25로 하고, 꺾임각도에 따른 압력특성을 나타낸다. 꺾임각이 15°인 경우에는 Fig. 7(a)에서와 같이 꺾임길이가 증가할수록 볼류트 케이싱 면압력도 증가함을 알 수 있다. 꺾임길이를 0.25로 고정한 Fig. 9 (c)의 경우에도, 꺾임각의 증가에 따라 압력 특성이 향상됨을 알 수 있다. 이상에서 알 수 있듯이 본 연구에서 설정한 꺾임 길이와 각도 범위에서는 각 변수의 설정값이 증가할수록 압력 특성이 향상됨을 알 수 있다.

5.2. 설계유량에서 내부유동장 특성

설계유량에서 원심블로어의 내부유동장 특성을 분석하기 위하여 기본 블로어와 가장 큰 압력특성을 갖는 설계조건($\theta=25^\circ$, $l/c=0.25$)에 대하여 내부유동장 특성을 비교하였다. 원심블로어의 내부유동장 평가에서는 수치해석시 임펠러 및 볼류트 케이싱의 경계면에 프로즌-로터 방법을 적용하였다.

Fig. 10은 기본설계 블로어 및 최고압력을 갖는 경우의 임펠러 형상에 대하여 속도 및 압력 분포를 각각 나타낸다. 해석단면의 위치는 Fig. 10(a)에서와 같이 원심블로어 임펠러 중간 높이로 설정하였다. Fig. 10 (b)와 (c)에서 왼쪽 그림은 기본설계 블로어를, 오른쪽 그림은 최고 압력값을 갖는 블로어의 해석 결과를 나타낸다. Fig. 10(b)의 속도 분포에서 알 수 있듯이, 기본 설계 블로어가 최고 압력을 갖는 블로어에 비하여 임펠러 익간 저속유동이 더 넓게 분포됨을 알 수 있다. 기본설계 블로어에서는 날개의 부압면의 끝단 근방에서 발생하는 역류(reverse flow)에 의한 저속 영역이 상대적으로 최고압력을 갖는 블로어에 비해 크며, 특히 볼류트 케이싱의 컷오프 근방의 익간에서 상대적으로 큰 값을 갖는다. 이러한 임펠러 익간의 저속영역은 압력손실을 발생시키기에 최소화가 필요하다.

Fig. 10(c)는 압력분포를 나타낸다. 최대압력을 갖는 블로어가 기본 설계 블로어에 비해 임펠러 입출구에서 압력차가 크게 나타남을 알 수 있다.

6. 결론

본 연구에서는 환경플랜트 분야에 적용되고 있는 130kW 급 원심블로어의 성능향상을 위한 연구의 일환으로, 임펠러 후연에서 전연방향으로 꺾임 길이 및 꺾임각을 설계변수로 적용하여 성능 특성에 미치는 영향을 3차원 수치해석 방법으로 분석하였으며, 결과는 아래와 같다.

- 1) 임펠러 후연으로부터 꺾임길이(l)와 꺾임각도(θ)가 증가할수록 압력특성은 증가하며, 효율은 감소하는 경향을 나타낸다. 본 연구에서 설정한 설계 범위에서 $\theta=25^\circ$, $l/c=0.25$ 인 임펠러 형상이 가장 큰 압력특성을 가지며, $\theta=15^\circ$, $l/c=0.2$ 인 경우가 최소 효율 특성을 가진다. 제작성을 검토하여 설정한 설계영역에서 기존 설계 블로어에 비해 압력은 최대 6.3%까지 증가함을 알 수 있었다.
- 2) 블로어 유량계수 0.195 이하에서는 꺾임 길이에 무관하게 일정한 압력을 나타내며, 0.195이상의 고유량 영역에서는 압력 특성이 급격히 저하됨을 알 수 있었다.
- 3) 무차원 꺾임 길이가 0.2 이상에서는 유량 변화량에 따라 일정한 압력 및 효율 특성을 갖음을 알 수 있었다.
- 4) 기본설계 블로어에서는 날개 부압면 및 볼류트 케이싱의 컷오프 영역에서 역류에 의한 저속 영역이 최고 압력 조건을 갖는 블로어보다 크게 나타났으며, 이로 인하여 상대적으로 큰 압력손실을 가져왔다.

후 기

본 연구는 한국산업기술평가관리원의 제조기반산업원천 기술개발사업(No. 10032063)의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

- (1) Bayomi, N. N., Abdel Hafiz, A., and Osman, A. M., 2006, "Effect of Inlet Straighteners on Centrifugal Fan Performance," *Energy Conversion & Management*, Vol. 47, pp. 3307~3318.
- (2) Jang, C.-M. and Yang, S.-H., 2011, "Performance Analysis on the Design Variables of a Turbo Blower," *Journal of Fluid Machinery*, Vol. 14, No. 2, pp. 47~51.
- (3) Jang, C.-M., Choi, K.-R. and Yang, S.-H., 2011, "Performance Analysis of a Centrifugal Fan with Splitters," *Journal of Korean Society of Mechanical Engineers(B)*, Vol. 35, No. 10, pp. 1067~1073.
- (4) Jang, C.-M., 2010, "Optimal Operation of Turbo Blowers Serially Connected Using Inlet Vanes," *Proceedings of 3rd Asian Workshop on Thermophysics and Fluid*

- Science, pp. 98~103.
- (5) CFX-13 User Manual, 2010, Ansys inc.
- (6) Menter, F. R., 1994, "Two-Equation Eddy-Viscosity Turbulence Models for Engineering Applications," AIAA Journal, Vol. 32, No. 8, pp. 1598~1605.
- (7) Lee, J.-S., and Jang, C.-M., 2012, "Evaluation of Numerical Models for Analysing an Industrial Centrifugal Blower," Journal of Trans. of Korean Hydrogen and New Energy Society, Vol. 23, No. 6, pp. 688~695.