

입구베인 각도에 따른 터보블로어 성능특성 연구

장춘만^{*†}, 임수정^{*}, 양상호^{**}

* 한국건설기술연구원 설비플랜트연구실, ** 삼원이앤비㈜

Performance Analysis for Turbo Blower According to Inlet-Vane Angles

Choon-Man Jang^{*†}, Soo-Jung Lim^{*} and Sang-Ho Yang^{**}

* Plant Research Div., Korea Institute of Construction Tech.,

** Samwon E&B.

(Received November 17, 2010 ; Revised December 13, 2010 ; Accepted December 13, 2010)

Key Words : Turbo Blower(터보블로어), Efficiency(효율), Inlet Vane(입구베인) , Vortical Flow(와류), Numerical Simulation(수치해석)

초록: 본 연구에서는 생활폐기물 관로이송 설비에서 사용되고 있는 터보블로어 입구베인의 설정각도에 따른 성능특성을 삼차원 나비에-스톡스 방정식을 통한 수치해석과 실험적인 방법을 적용하여 분석하였다. 다양한 압력특성에 따라 운전되는 시스템 특성을 고려하여 2 대의 터보블로어를 직렬로 연결한 실험용 시뮬레이터를 설계, 제작하고 각각의 터보블로어 성능특성을 입구베인의 설정각도에 따라 분석하였다. 입구베인의 설정각도에 따른 터보블로어 성능특성을 수치해석과 실험적 평가방법으로 분석하여, 입구베인 설정각도가 완전 개방조건인 90 도에서 60 도까지 사용하였을 경우 효율의 손실없이 압력 및 유량을 제어할 수 있음을 확인하였다. 입구베인의 설정각도가 작은 경우에는 입구측의 스웰흐름으로 인하여 입구 유속분포가 불균일하게 되며, 이로 인하여 하류측에 설치되는 터보블로어의 효율이 상대적으로 감소됨을 알 수 있었다.

Abstract: Turbo blowers are mainly used in refuse collection systems. We discuss blower performance in relation to the angle of the inlet vane installed at the upstream of the blower. The flow characteristics of the components are analyzed by three-dimensional Navier-Stokes analysis and compared to experimental results. A two-stage serially connected turbo blower is introduced to analyze the performance experimentally. Throughout the experimental measurements and the numerical simulation, the distorted inlet velocity generated in the small vane angle reduces the performance of the blower, because of the local leading-edge separation and the resulting non-uniform blade loading. We also perform a detailed flow analysis using the results obtained in the numerical simulation.

1. 서 론

쾌적한 생활환경을 위하여 신도시를 중심으로 대단위 주거단지에 생활폐기물 관로이송 설비의 설치가 최근 들어 증가하고 있다. 생활폐기물 관로이송 설비는 쓰레기 투입구, 이송관, 집하장 등으로 구성되어 있으며, 집하장에는 쓰레기를 쓰레기 투입구로부터 집하장까지 이송시킬 수 있는 터보블로어가 설치되어 있다. 터보블로어의 전력소비량은 시스템전체 소비 에너지의 90 퍼센트

이상을 차지하며, 시스템의 운전에너지 절감을 위해서는 터보블로어의 고성능 설계 및 최적운전기술 개발이 필요하다. 고성능의 터보블로어 설계를 위해서는 블로어 성능에 영향을 미치는 주요 설계인자들의 성능특성을 파악하는 것이 중요하다.⁽¹⁻³⁾ 원심형 터보기계의 임펠러 형상 최적화,⁽⁴⁾ 원심송풍기의 회전 및 비회전부의 간격특성 연구⁽⁵⁾가 최근 들어 발표되고 있다.

생활폐기물 관로이송 시스템의 집하장에 설치되는 고압용 터보블로어는 쓰레기 투입구와 집하장 사이의 거리에 따라 다양한 압력이 요구되며, 이러한 압력조건에 대응하기 위하여 통상 3 - 5 대의 터보블로어를 직렬로 연결하여 운전한다.⁽⁶⁾

† Corresponding Author, jangcm@kict.re.kr
© 2011 The Korean Society of Mechanical Engineers

Table 1 Design specifications of a test blower

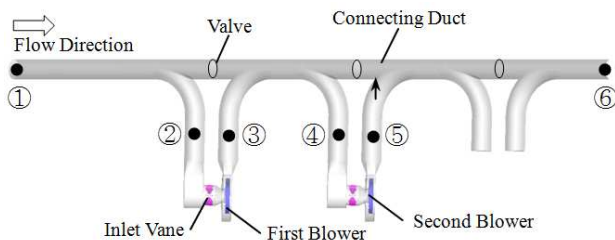
Name	Value
Flow Coefficient (Design Point)	0.175
Pressure Coefficient (Design Point)	1.06
Rotational Frequency of Impeller	3550 rpm
Efficiency	76 %
Outlet diameter of impeller	885 mm
Inlet diameter of impeller	465 mm
Blade thickness	3.2 mm
Number of blade	11 ea

Table 2 Range of vane angles and flow rates

Inlet vane	
Inlet vane angle , degree	45, 67.5, 81, 90
Flow coefficient	0.047, 0.111, 0.175, 0.239



(a) Simulator for experiments



(b) Layout for numerical simulation

Fig. 1 Two-stage turbo blower system connected in serial

3 - 5 대의 터보블로어가 직렬로 연결되어 다단으로 운전되는 시스템에서 쓰레기투입구의 위치에 따른 다양한 요구압력조건에 대응하는 유량의 제어가 필요하며, 적절한 유량의 제어는 각 단에 설치된 터보블로어의 최적운전을 위하여 중요하다.

본 연구에서는 생활폐기물 관로이송 설비의 집하장에 설치되는 터보 블로어의 최적운전제어를 위하여, 터보블로어 전방에 유량과 압력을 동시에

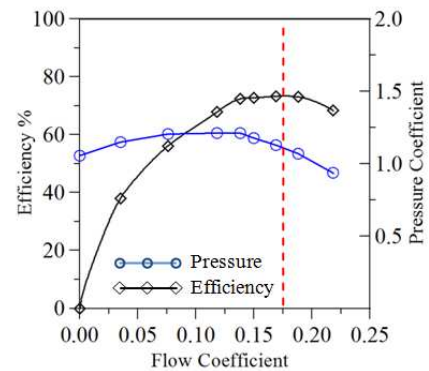


Fig. 2 Performance curves of a test blower

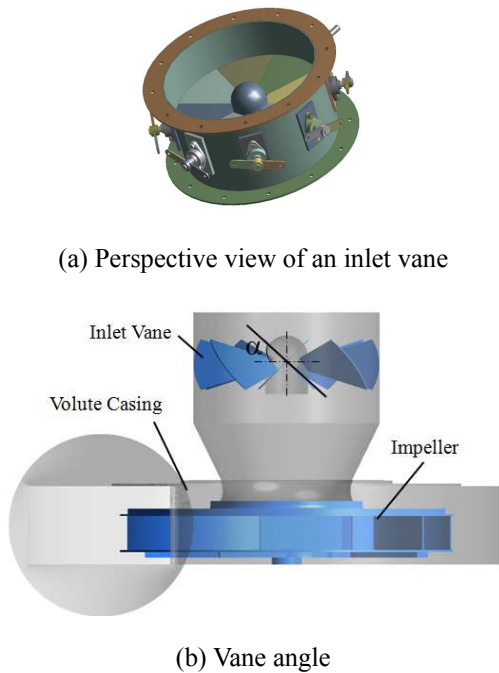
제어할 수 있는 입구베인(inlet vane)을 설치하여 설정각도에 따른 터보블로어 성능특성을 실험 및 수치해석 방법으로 고찰하였다. 또한 입구베인의 각도 범위를 고려한 성능특성을 분석하여, 시스템에서 제어 가능한 입구베인 각도의 특성을 효율 측면에서 고찰하였으며, 입구베인 각도에 따른 터보블로어 내부유동장 특성을 삼차원 수치해석을 이용하여 상세히 분석하였다.

2. 터보블로어 및 입구베인

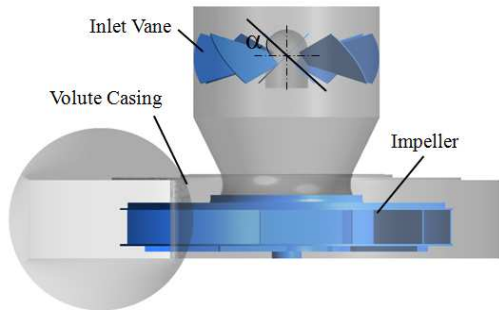
2.1 설계사양

본 연구에 적용한 터보블로어 및 2 단 직렬 연결 블로어 시스템 형상도는 Fig. 1 에 나타내며, 생활폐기물 관로이송 설비의 공기흡입용 블로어로 설계되었다. Fig. 1(a)는 2 단 직렬 연결 터보블로어의 성능평가용 실험장치이며, 상세한 구성도를 Fig. 1(b)에 나타낸다. Fig. 1(b)의 구성도는 후술하는 2 단 직렬연결 터보블로어 수치해석용 계산영역에 상응한다. 그림에서 알 수 있듯이, 각단의 터보블로어 상류측에 유량 및 압력을 제어할 수 있게 입구베인을 설치한다.

Table 1 에는 본 연구에서 사용한 터보블로어 단품의 설계사양을 나타낸다.



(a) Perspective view of an inlet vane



(b) Vane angle

Fig. 3 Definition of a vane angle

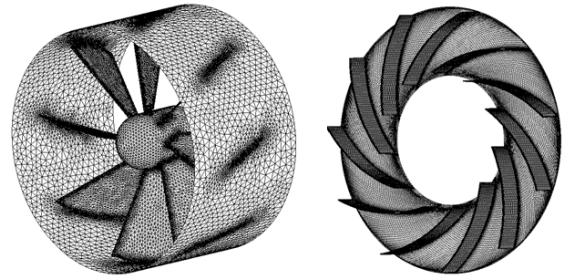
설계점에서의 유량 계수 Φ 및 압력(정압)계수 Ψ 는 0.175 과 1.06 이며, 유량계수 및 압력(정압) 계수는 다음과 같이 정의한다.

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

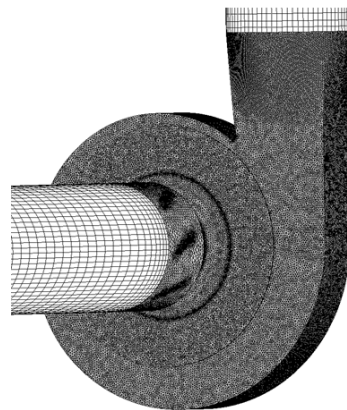
$$\Psi = \frac{2 \Delta P}{\rho U_i^2} \quad (2)$$

여기서, Q , A , U_i , P , 는 유량, 출구 단면적, 임펠러 선단에서의 회전방향 속도, 정압차 및 밀도를 각각 나타낸다. 터보블로어의 이송관은 500A 인 탄소강관으로 설계하였다. 터보블로어의 유량에 따른 압력과 효율을 측정하기 위하여 챔버식 성능시험장치를 설계, 제작하였다. 시험장치는 ASHRAE/AMCA 210 의 규격을 참조하여 설계하였으며, 실험으로 측정한 성능특성은 Fig. 2 에 나타낸다.⁽⁷⁾ 본 성능곡선은 터보블로어의 임펠러 회전속도가 3550 rpm 일 때의 압력(정압) 및 효율을 나타낸다. 블로어 효율 η 는 다음과 같이 정의한다.

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



(a) Inlet vane and impeller



(b) Duct, inlet vane and volute casing

Fig. 4 Computational grids

여기서, P_{input} 은 터보블로어의 입력동력을 나타낸다. Fig. 2 에서 일점쇄선은 설계 유량점을 의미한다.

2.2 터보블로어 입구베인

터보블로어 상류에 설치된 입구베인의 설정각도에 따른 내부유동장 및 블로어 성능특성을 고찰하기 위하여 Fig. 3 에서와 같이 입구베인의 설정각도를 정의하였다. 즉 입구베인 설정각도가 90 도인 경우에는 입구베인이 완전히 열린상태를 의미한다. 본 연구에서 사용한 입구베인 설정각도와 유량값은 Table 2 에 나타낸다.

3. 수치해석 및 경계조건

3.1 계산격자

수치해석에 사용된 임펠러, 덕트, 볼류트 케이싱 및 입구베인의 격자를 Fig. 4 에 나타낸다. 볼류트 케이싱 및 입구베인에 대해서는 CFX 격자 생성 전용 프로그램을 이용하여 비정렬 격자로 생성하였으며, 임펠러부의 격자는 Turbo-grid 를 이용하여 정렬 격자로 구성하였다.

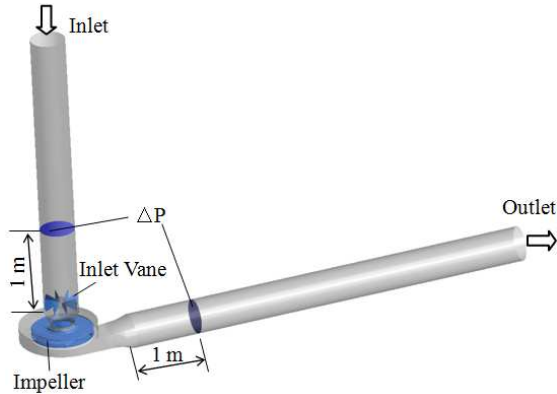


Fig. 5 Computational domain

입구와 출구덕트는 ICEM CFD 를 이용하여 정렬격자로 구성하여 계산부하를 줄였다. 격자에 대한 수치해석은 상용 소프트웨어인 ANSYS CFX12 을 사용 하였다.⁽⁸⁾ 난류모델은 유동의 박리현상 해석에 적합한 전단응력이송 (shear stress transport)모델을 사용하였다.

계산영역은 고정영역인 볼류트 케이싱 부분과 회전영역인 임펠러 디스크 두 개의 영역으로 설정하였으며, 각 영역간의 경계 계산은 프로즌 로터(frozen-rotor) 방법을 적용하여 계산을 수행 하였다.

입출구 덕트를 포함하는 터보블로어 전체 계산 격자수는 3,600,000 노드이다.

3.2 경계조건

볼류트 케이싱의 입구와 출구에서는 직선 관로를 이용하여 입출구 영역을 연장함으로써 안정된 입출구 조건이 되도록 하였다.

Fig. 5 에 나타내었듯이, 입구덕트의 길이는 관경의 6 배, 출구덕트는 12 배가 되도록 각각 설정하였다.

입구의 경계조건은 압력(-14,700 Pa) 및 상온 조건을, 출구에서는 질량유량 조건을 각각 적용하였다. 입구면과 출구면을 제외한 전 벽면에서는 점착조건을 적용하였다. 임펠러의 회전조건은 설계회전수인 3550 rpm 으로 하였다.

4. 결과 및 고찰

4.1 입구베인 설정각도에 따른 압력손실

본 연구에서는 입구베인 설정각도 변화에 따른 터보블로어의 유량 및 압력특성을 수치해석으로 분석하였다.

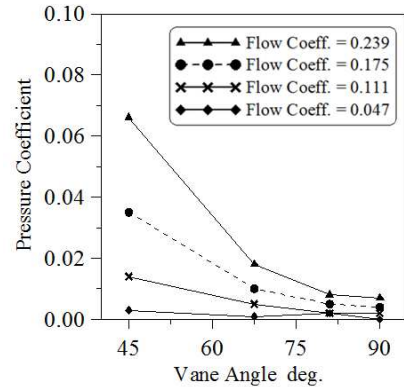
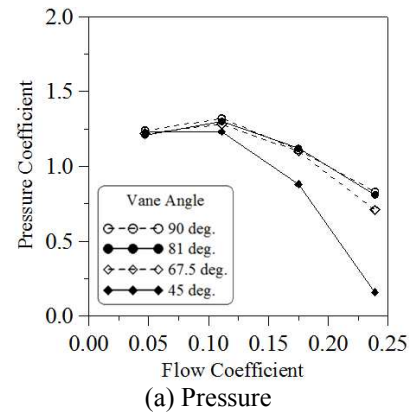
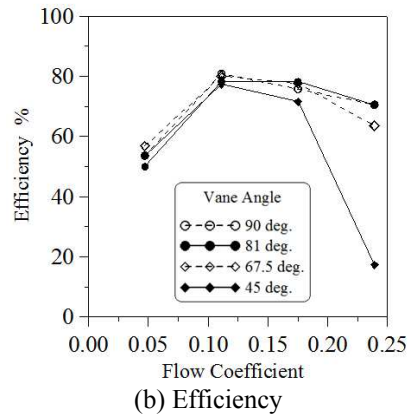


Fig. 6 Pressure loss due to an inlet vane angle



(a) Pressure



(b) Efficiency

Fig. 7 Performance curves of a turbo blower

수치계산에 관한 타당성 검토는 기 발표논문에서 상세히 기술하였다.⁽⁷⁾ Fig. 6 에 입구베인의 설정각도에 따른 압력손실 분포를 나타낸다. 그림에서 알 수 있듯이 압력손실은 모든 설정 유량값에서 입구베인의 설정각도의 증가에 따라 감소함을 알 수 있다. 특히 설정각이 약 65 도 이상에서는 비례적으로 서서히 감소함을 알 수 있다.

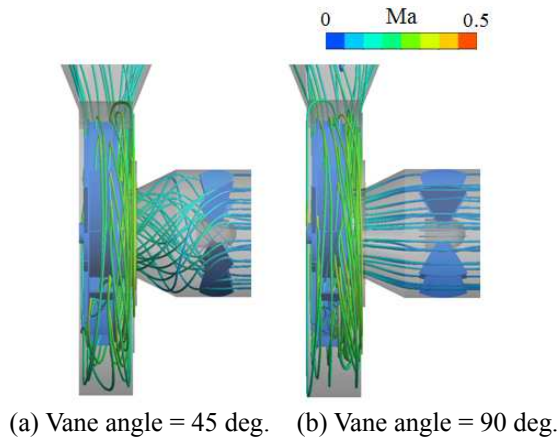


Fig. 8 Streamlines colored by Mach number ($\Phi=0.175$)

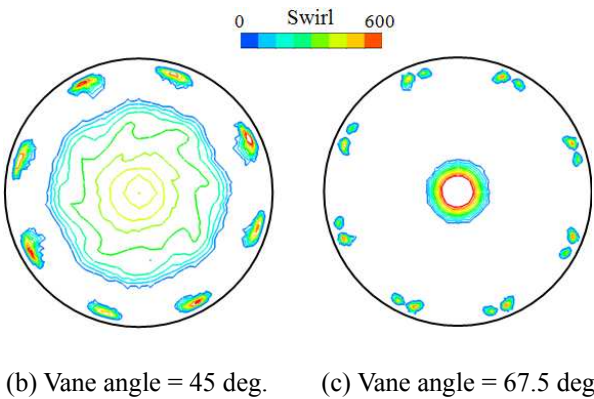
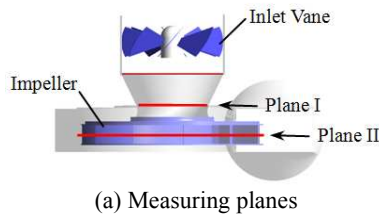


Fig. 9 Swirl distributions at Plane I ($\Phi=0.175$)

즉 입구베인 각도가 약 65 도 이하에서는 입구 베인에 의한 상대적인 압력손실이 크게 나타남을 알 수 있다.

4.2 입구베인 설정각도에 따른 터보블로어 성능 특성

Fig. 7 에 입구베인의 설정각도에 따른 터보블로어 성능특성을 나타낸다. 입구베인 설정각도 및 유량에 따른 압력손실 특성은 Fig. 7(a)에 나타낸다. 그림에서 알 수 있듯이 압력손실 값은 유량증가에 따라 감소함을 알 수 있다.

입구베인 설정각도가 약 80 도 이상에서는 압력 변화가 거의 없음을 알 수 있다. 생활폐기물 관로

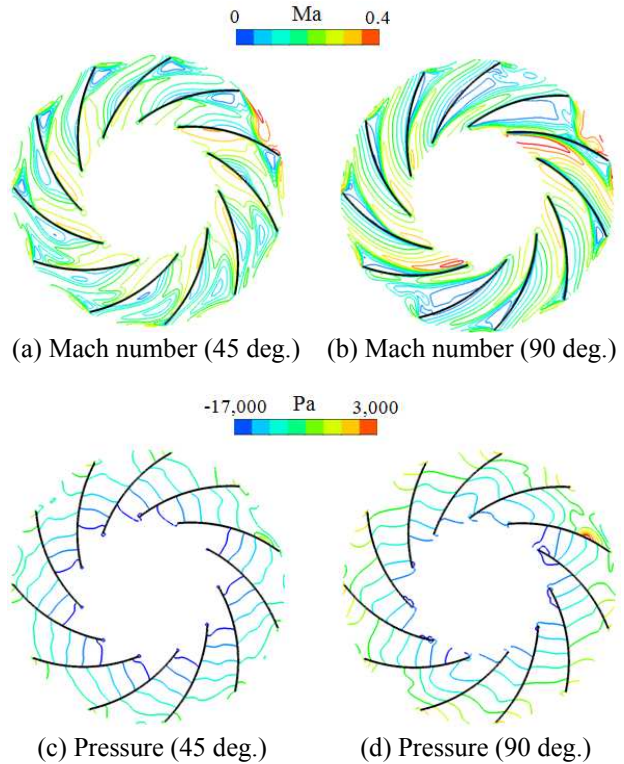


Fig. 10 Velocity and pressure distributions at Plane II of Fig. 9 ($\Phi=0.175$)

이송 설비용 터보블로어의 경우에는 통상적으로 Fig. 6 에서와 같이 각도에 따른 압력변화가 적은 설정각도 약 65 도 정도까지를 사용할 수 있다. 또한 이 각도범위에서는 Fig. 7(b)에서 나타냈듯이 효율도 설정각도 90 도와 유사함을 알 수 있다.

4.3 입구베인 설정각도에 따른 터보블로어 내부 유동장 특성

입구베인의 설정각도에 따른 성능특성을 검토하기 위하여 터보블로어 내부유동장을 분석하였다.

Fig. 7 에서 알 수 있듯이, 입구베인의 설정각도가 커짐에 따라 압력 및 효율이 저하된다.

Fig. 8 은 두 종류의 입구베인 설정각도에 대한 유선분포를 나타낸다. 즉 베인의 설정각도가 큰 Fig. 8(a)의 경우에는 고정베인의 영향으로 입구베인 하류측에 강한 선회류가 발생함을 알 수 있다. 이러한 임펠러 상류측에 발생하는 선회류는 터보블로어의 유입유동의 불균일을 가져온다.

Fig. 9 는 입구베인 하류단면(Fig. 9a 의 Plane I)에서의 스월(swirl) 분포를 나타낸다. 스월은 CFX12의 후처리에서 정의⁽⁸⁾하는 grad V 의 eigenvalue 의 허수부로 정의 되며, 단위는 1/sec 이다. 설정각도가 커짐에 따라 스월값이 커짐과 동시에 높은 값

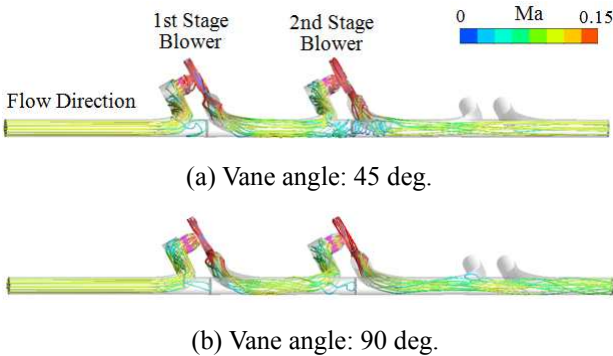


Fig. 11 Streamlines at the design flow condition ($\Phi=0.175$)

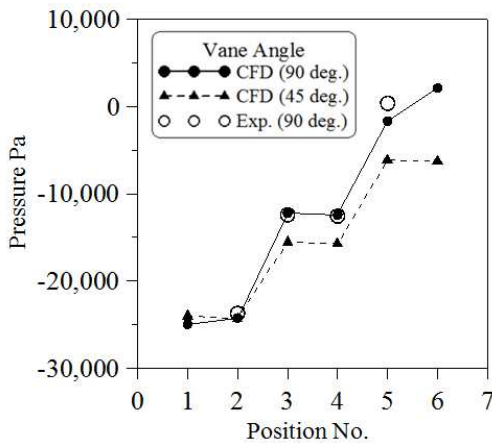


Fig. 12 Pressure distribution for the turbo blower system serially connected ($\Phi=0.175$)

을 갖는 스윙영역도 확대됨을 알 수 있다.

Fig. 10 은 임펠러 중앙스팬(mid-span, Fig. 9(a)의 Plane II)에서의 속도 및 압력분포를 각각 나타낸다. 그림에서는 입구베인 설정각도가 45 및 90 도인 경우를 도시한다. 그림에서와 같이 입구베인의 설정각도가 45 도인 경우에는 입구의 스윙에 의한 불균일한 유입유동으로 입구베인이 완전히 열린 90 도인 경우에 비해 상대적으로 큰 유속으로 인하여 커다란 입구 박리영역을 갖는다. 또한 익간의 불균일한 유동흐름으로 인하여 익간에서의 압력상승도 상대적으로 작게 되며, 이로 인하여 터보블로어의 효율도 저하하게 된다. 그러나 이러한 효율저하는 베인각도가 60 도 이하에서 나타난다.

4.4 2 단 직렬연결 터보블로어에서의 입구베인 설정각도에 따른 터보블로어 성능특성

복수의 터보블로어를 직렬로 연결하여, 다양한 요구압력에 따라 운전대수를 달리하는 방법을 생

활폐기물 관로이송 설비에서 채택하고 있다. 본 연구에서는 Fig. 1 에서와 같이 2 대의 터보블로어가 직렬로 연결되는 실물 실험용 시뮬레이터를 이용한 실험과 수치해석을 통한 압력특성을 두 종류의 입구베인 설정각도에 대하여 비교, 검토하였다.

2 단 직렬연결 터보블로어의 수치해석은 Fig. 1(b)의 계산영역을 사용하였으며, 본 계산에 사용된 격자수는 8,000,000 노드이며, 경계조건으로 입구압력은 -23.5 kPa 로 설정하였다.

Fig. 11 은 2 단의 터보블로어를 모두 가동하였을 경우의 유선분포를 나타낸다. 그림에서 유선상의 컬러는 속도값을 나타낸다. 덕트를 통하여 블로어에 유입된 공기는 블로어 임펠러에 의해 가속됨을 알 수 있다. 또한 베인의 설정각도가 45 도인 경우에는 입구스윙로 인하여 블로어 출구속도도 선회류를 갖음을 알 수 있다. 이는 블로어 임펠러 부하의 불균일화에 따른 것이다.

Fig. 12 는 두 종류의 입구베인 설정각도에 대한 각 단계에서의 압력특성을 나타낸다. 입구베인의 설정각도가 90 인 경우에는 실험값과 수치해석 값을 함께 나타내었다. 그림에서 횡축의 위치번호는 Fig. 1(b)에 나타난 것과 동일하다. 즉 1 단 블로어의 입구 및 출구지점은 2 번과 3 번이며, 2 단 블로어는 각각 4 번과 5 번에 상응한다. 입구베인 각도가 90 도인 경우의 실험과 수치해석결과는 그림에서 알 수 있듯이 서로 잘 일치함을 알 수 있다. 입구베인이 닫힐수록 압력손실로 인한 압력 차이를 나타내며, 하류측으로 갈수록 압력차는 증가하게 된다.

이상의 연구를 통하여, 입구베인의 설정각도의 조절로 터보블로어의 유량 및 압력을 효과적으로 제어할 수 있음을 알 수 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 생활폐기물 관로이송 설비의 집하장에 설치되는 터보 블로어의 최적인전제어를 위하여, 터보블로어 전방에 설치하는 입구베인의 설정각도에 따른 터보블로어 성능특성을 실험 및 수치해석방법으로 평가하였으며, 상세한 고찰을 통하여 얻은 결론은 다음과 같다.

(1) 터보블로어의 입구베인 설정각도는 대체로 완전 개방조건인 90 도에서 60 도까지 사용하였을 경우 효율의 손실없이 압력 및 유량을 제어할 수 있다.

(2) 다단 직렬로 연결된 터보블로어에서는 하류

측으로 갈수록 압력손실이 입구베인 설정각도에 따라 증가하며, 입구베인이 닫힐수록 압력손실폭도 증가한다.

(3) 입구베인의 설정각도가 작은 경우에는 입구측의 스웰흐름으로 인하여 입구 유속분포가 불균일하게 되며, 이로 인하여 하류측에 설치되는 터보블로어의 효율이 입구베인이 없는 경우에 비하여 상대적으로 감소된다.

후 기

본 연구는 2010년도 지식경제부 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. 10032063)

참고문헌

- (1) Jang, C.-M., 2009, "Flow Characteristics of Piping System Having Various Shape in Refuse Collecting System," *Journal of Fluid Machinery*, Vol. 12, No. 3, pp. 13~18.
- (2) 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.
- (3) Chon, Y., Kim, K. I. and Kim, K., 1993, "A Knowledge-based System for Centrifugal Fan Blade Design," *Engng Applic. Artif. Intell*, Vol. 6, No. 5, pp. 425~435.
- (4) Cui, B.-L., Zhu Z.-C., Li, Y. and Jin, Y.-Z., 2010, Numerical Simulation of Flow in Centrifugal Pump with Complex Impeller, *Proceedings of 3rd Asian Joint Workshop on Thermophysics and Fluid Science*, pp. 57~62.
- (5) Lee, Y.-T., 2010, Impact of Fan Gap Flow to the Centrifugal Impeller Aerodynamics, *Proceedings of ASME turbo Expo 2010, GT2010-22381*.
- (6) Jang, C.-M., Kim D.-W. and Lee, S.-Y., 2008, Performance Characteristics of Turbo Blower in a Refuse Collecting System According to Operation Conditions, *Journal of Mechanical Science and Technology*, Vol. 22, pp. 1896~1901.
- (7) Jang, C.-M. and Yang, S.-H., 2010, Performance Characteristics on a Turbo Blower According to the Shape of a Volute Casing, *Journal of the KSME B*, Vol. 34, pp. 843~850.
- (8) CFX-12 User Manual, 2008, Ansys inc.