

## 다단 블로어 덕트형상에 따른 압력특성 연구

박영빈\* · 장춘만\*\* · 양상호\*\*

### Pressure Characteristics According to the Duct Shapes of Turbo Blowers Connected in Serial

Young-Bin Park\*, Choon-Man Jang\*\*, Sang-Ho Yang\*\*

Key Words : Turbo Blower(터보블로어), Refuse Collecting System(생활폐기물 관로이송 시스템), Piping System(파이프 시스템), Pressure Drop(압력강하)

#### ABSTRACT

Pressure characteristics according to the duct shapes of turbo blowers connected in serial have been performed to reduce pressure loss in the piping system. To analyze three-dimensional flow field in the turbo blower system, general analysis code, CFX, is introduced in the present work. SST turbulence model is applied to estimate the eddy viscosity. Throughout the numerical simulation for the turbo blower system having a various shape of a inlet guide, optimal inlet guide can be selected. It is found that the pressure loss in the piping system having the optimal inlet guide can be reduced by minimizing the inflow distortion at the upstream of the impeller. Detailed flow analysis of the blower system serially connected is also performed and analyzed.

#### 1. 서론

약 40년 전 스웨덴에서 개발되기 시작한 생활폐기물 관로 이송 시스템은 건물 내부 또는 외부에 설치된 쓰레기 투입구로 투입된 쓰레기를 이송관로를 이용하여 자동으로 수거하는 방식으로 유럽, 미국 및 일본을 비롯하여 우리나라에서도 적용이 확대되고 있다.<sup>(1)</sup>

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

생활폐기물 관로이송 시스템 전체에서 터보블로어가 차지하는 전력소비량은 90퍼센트 이상이 되며, 시스템의 에너지 절감을 위해서는 터보블로어의 고효율 운전 및 각종손실의 저감이 필요하다.<sup>(2)</sup>

터보블로어의 고효율 설계를 위해서는 각종형상의 손실을 저감시키는 인자들의 특성분석이 중요하다. 최근 들어 수치

해석을 이용한 터보블로어 임펠러를 비롯하여 볼류트 케이싱 및 입구가이드 형상에 대한 다양한 연구가 진행되고 있으며, 터보블로어의 설계인자를 최적화하기 위한 최적설계기법이 터보블로어의 고효율화 연구에 함께 적용되고 있다.<sup>(3),(4)</sup>

본 연구에서는 다단 직렬로 설치되는 터보블로어의 고효율화 연구의 일환으로 터보블로어 입구가이드의 형상과 입구 박스의 형상 그리고 다단 직렬로 연결되는 터보 블로어 연결용 덕트의 형상 변화에 따른 압력특성을 고찰하였다.

#### 2. 터보블로어

##### 2.1 터보블로어 설계사양

본 연구는 생활폐기물 관로이송 설비용으로 사용되고 있는 터보블로어를 대상으로 하였으며, Fig. 1에 형상을 나타낸다. Table 1에는 기본형태의 볼류트 케이싱을 갖는 터보블로어의 설계사양을 나타낸 것으로 설계점에서의 유량 계수  $\Phi$  및 전압계수  $\Psi$ 는 0.167과 0.99이며, 유량계수 및 정압계수는 다음과 같이 정의한다.

\* 한국건설기술연구원 건축도시연구본부 설비플랜트연구실

\*\* (주)삼월이앤비 기술연구소

† 교신저자, E-mail : jangcm@kict.re.kr

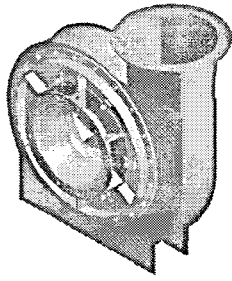


Fig. 1 Perspective view of a testing blower

Table 1 Specifications of a turbo blower

Name	Value
Flow coefficient*	0.167
Pressure coefficient*	0.99
Rotational speed, rpm	3550
Efficiency*, %	76
Inlet diameter of impeller, mm	465
Outlet diameter of impeller, mm	885
Blade thickness, mm	3.2
Number of blade, ea	11

\*at design point

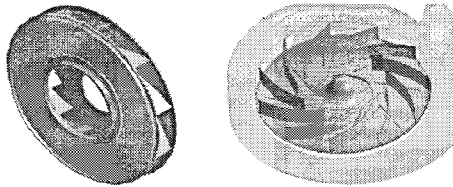


Fig. 2 Impeller and casing

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

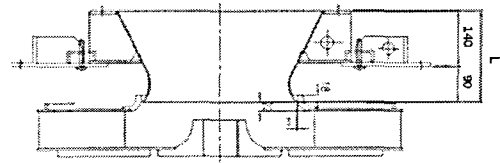
$$\psi = \frac{2\Delta P_t}{\rho U_t^2} \quad (2)$$

여기서  $Q$ ,  $A$ ,  $U_t$ ,  $\Delta P_t$ ,  $\rho$ 는 유량, 입구단면적, 임펠러 끝단의 회전방향 속도, 전압상승 및 공기밀도를 각각 의미한다.

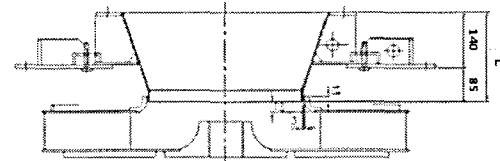
터보블로어의 공기흡입구와 배출구의 내경은 모두 500mm이다. Fig. 2는 외부 벽면이 포함된 임펠러 및 볼류트 케이싱의 형상을 나타낸다.

## 2.2 입구가이드 형상

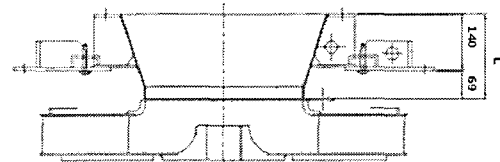
터보블로어 입구가이드 형상에 따른 압력특성 분석을 위하여 Fig. 3에 나타낸 것과 같이 3종류의 입구 가이드 형상을 적용하였다. Table 2에서는 각 입구가이드 형상의 회전축방향의 길이를 나타낸다. 입구에서 케이싱까지의 거리 140mm



(a)



(b)



(c)

Fig. 3 Configuration of inlet guide

Table 2 Design value of inlet guides

Inlet guide type	Value("L" in Fig. 3), mm
A	230
B	225
C	209

를 기준으로 하여 입구가이드 하단과 임펠러 벽과의 간극은 3mm로 일정하게 유지하였다. 입구가이드(a)는 곡률 반경을 갖으며, 입구가이드 하단 길이는 90mm이다. 입구가이드(b)와 (c)는 직선가이드를 갖으며 가이드 하단의 길이는 각각 85mm 및 69mm이다.

## 3. 수치해석 및 경계조건

### 3.1 수치해석

#### 3.1.1 격자 및 수치해석

수치해석에 사용된 볼류트 케이싱과 임펠러의 격자를 Fig. 4에 나타내었다. 볼류트 케이싱에 대해서는 격자 생성 전용 프로그램인 ICEM CFD를 이용하여 비정렬격자로 생성하였으며, 임펠러부의 격자는 Turbo-grid를 이용하여 정렬 격자로 구성하였다.

볼류트 케이싱은 입구가이드의 형상에 따라 다소 격자수의 차이가 나지만, 평균적으로 약 260만개의 노드로 구성되어 있으며, 임펠러 부분은 약 151만개의 노드로 구성하였다. 각 격자에 대한 수치해석은 상용 소프트웨어인 Ansys

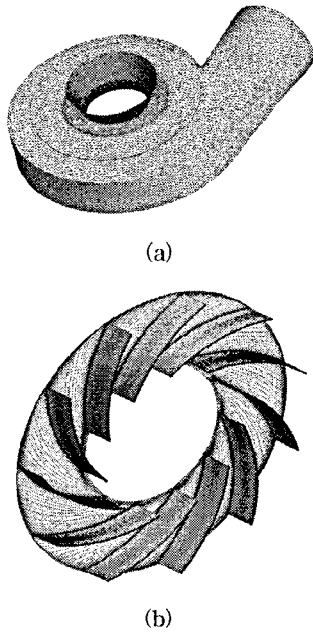


Fig. 4 Computational grid of (a) volute casing and (b) impeller

CFX 12를 사용하였다.<sup>(5),(6)</sup> 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 수행하였다.

### 3.1.2 경계조건

볼류트 케이싱의 입구와 출구에서는 직선 관로를 이용하여 입출구 영역을 연장함으로써 안정된 입출구조건이 되도록 하였다. 입구의 경계조건은 대기압 및 상온 조건을, 출구에서는 설계점에서의 유량 조건을 각각 적용하였다. 입구면과 출구면을 제외한 전 벽면에서는 점착조건을 적용하였다. 임펠러의 회전조건은 설계회전수인 3550 rpm으로 하였다.

### 3.1.3 수치해석의 타당성 검토

본 수치해석의 타당성을 검증하기 위하여, 입구가이드(a)타입을 적용한 터보 블로어 시제품을 대상으로 챔버식 성능시험 장치를 통한 성능 시험 결과를 이용하였다. 임펠러의 회전속도가 3550rpm일 때의 압력과 효율특성을 Fig. 5에 나타낸다.

설계점인 유량계수 0.167 부근에서의 수치해석 값은 그림에서 알 수 있듯이, 실험값과 수치해석 결과가 비교적 잘 일치한다.

## 4. 결과 및 고찰

### 4.1 입구가이드 형상에 따른 유동 특성

Fig. 6은 입구가이드 형상에 따른 효율특성을, Fig. 7은

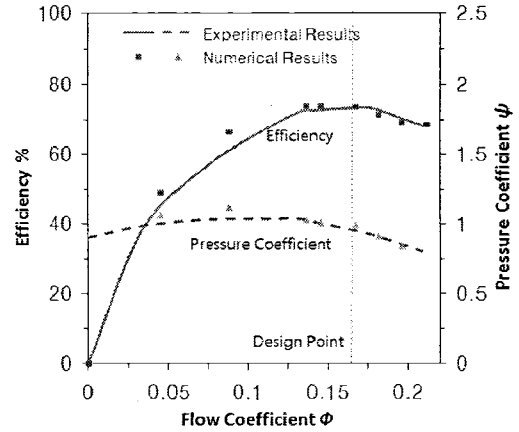


Fig. 5 Performance curves of a turbo blower

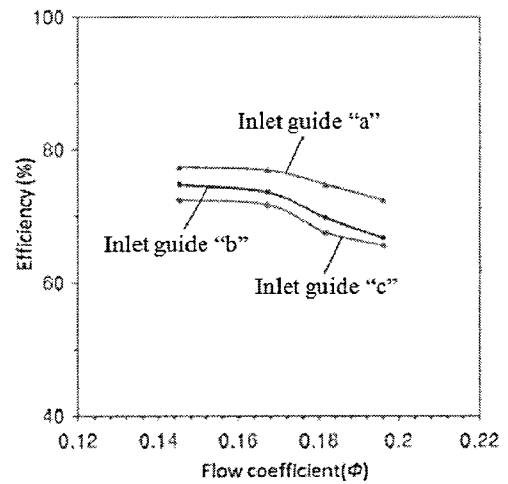


Fig. 6 Comparison of efficiency for different inlet guides

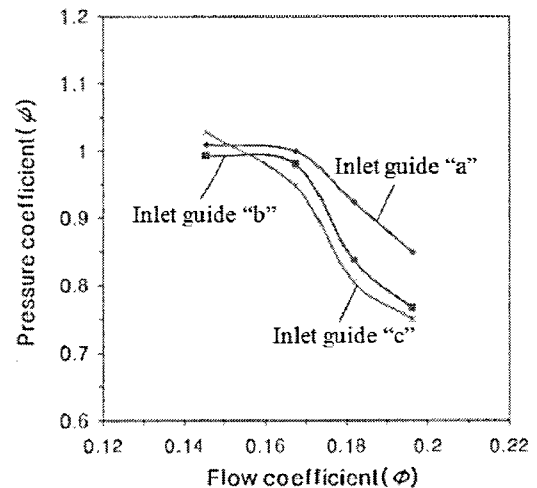


Fig. 7 Comparison of pressure for different inlet guides

입구가이드 형상에 따른 압력특성을 각각 나타낸다. 효율의 경우 (a)타입의 입구가이드가 (b)타입 및 (c)타입에 비해서 전 유량 영역에서 상대적으로 높은 효율특성을 나타낼 수 있으며, 압력의 경우 저유량 영역에서는 (c)타입 입구가

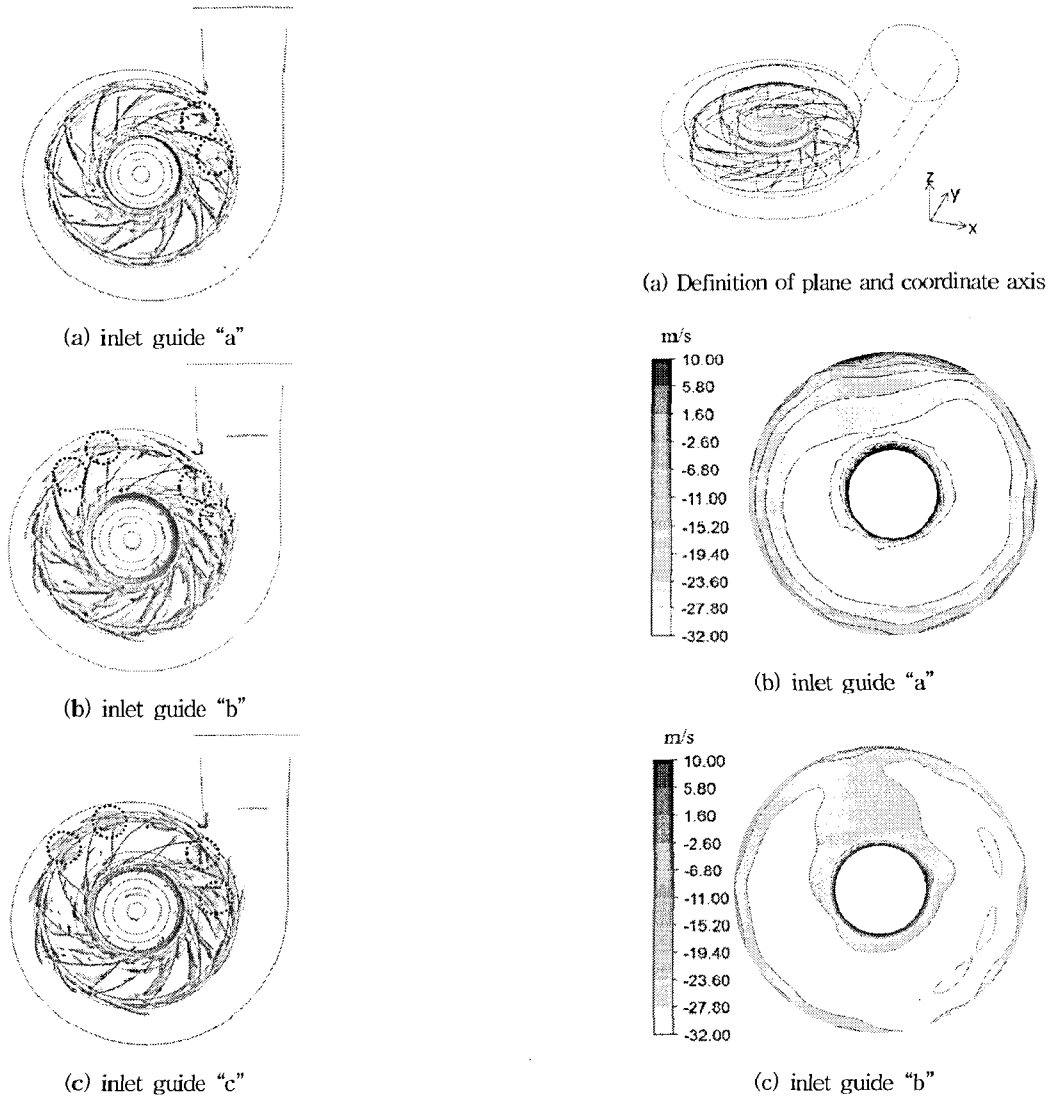


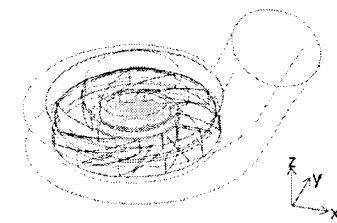
Fig. 8 Isosurface of vortex

이드의 압력이 근소하게 높으나 설계점에 가까워질수록 (a) 타입의 입구가이드를 사용한 경우의 압력값이 다른 두 타입의 경우보다 약 20% 정도 높게 나타남을 알 수 있다.

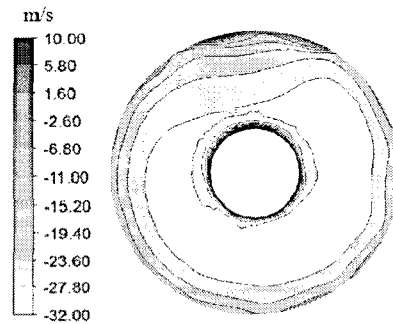
Fig. 8은 임펠러 내부에서 발생하는 와류(vortex)의 선회강도가 0.25인 등가면(isosurface)를 나타낸다. 입구가이드 형상에 따라 유동의 차이가 상대적으로 크게 나타나는 지점들을 점선으로 표시하였다. 그림에서 알 수 있듯이, 입구가이드(b)와 (c)타입의 경우가 입구가이드(a)에 비하여 상대적으로 넓은 영역에서 높은 와류값을 갖음을 알 수 있다.

Fig. 9는 임펠러 중간 높이의 입구 단면에서의 축방향 속도 분포를 나타낸다. 입구가이드(a)타입의 경우에는 임펠러 입구로 유입되는 기류의 축방향 속도 성분이 다른 두 타입에 비해서 상대적으로 적으며, 이는 입구가이드의 곡률형상을 따르는 기류가 임펠러 입구측으로 균일하게 유입됨을 의미한다.

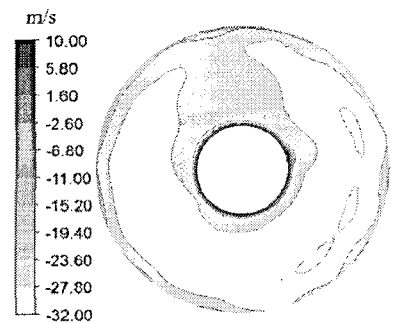
또한 이러한 축방향속도 분포로 인하여 입구 유입각이 상대적으로 큰 입구가이드(b)와 (c)타입을 사용한 블로어에서



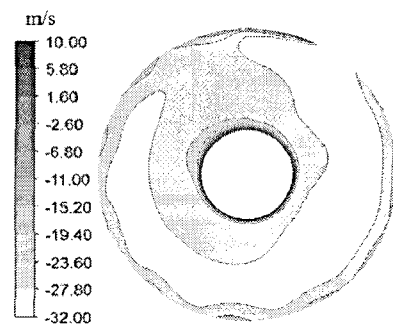
(a) Definition of plane and coordinate axis



(b) inlet guide "a"



(c) inlet guide "b"



(d) inlet guide "c"

Fig. 9 Axial velocity contour

임펠러 출구 부근에서 상대적으로 넓은 저속 영역이 존재함을 알 수 있다.

이와 같은 유동특성은 터보블로어의 효율 및 압력상승에 영향을 미치게 되며, 입구가이드(a)타입이 유량계수 0.18인 지점에서 약 76%의 효율을 가지는데 반해 입구가이드(b)와 (c)타입의 터보블로어는 각각 73.6%, 및 71.7%의 비교적 낮

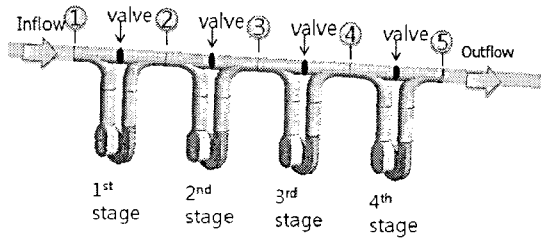


Fig. 10 Serially connected multi-stage turbo blower

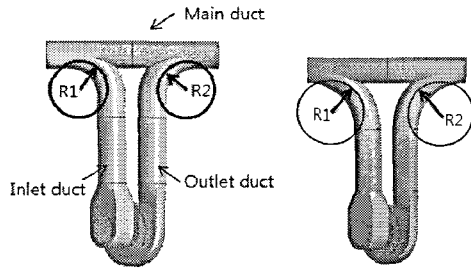


Fig. 11 Definition of design variables for connecting pipe

Table 3 Curvature of connecting pipe

Name	R1, mm	R2, mm
Reference	500	500
Rmax	1147	1147

은 효율을 갖는다.

#### 4.2 다단 블로어 연결덕트 형상

Fig. 10에 나타냈듯이, 수 개의 터보블로어가 직렬로 연결되어 운전되는 생활폐기물 관로이송 시스템용 다단 블로어에서 블로어의 운전조건에 따라 각 블로어의 입출구 덕트사이의 밸브를 이용하여 유로를 조절한다. 또한 메인 덕트와 연결되는 각각의 블로어 입출구 덕트의 형상에 따라 시스템 저항의 차이가 있음을 착안하여, 블로어 연결덕트의 특성을 수치적으로 분석하였다. 그림에서 숫자는 압력측정 지점을 나타낸다.

입구가이드 형상에 따른 압력 특성 연구를 통하여 다단 블로어의 최종 수치해석 모델을 결정하였으며, 기준모델, 최대 곡률반경 모델의 2가지 형상에 대한 다단 터보블로어 수치해석을 수행하였다. 기본적인 경계조건은 1단 블로어의 계산과 동일하게 하였지만, 입구에서의 압력조건은 실제 적용성을 고려하여 -4.5 kPa의 부압을 주었다. 본 계산에서는 압력 성능이 우수한 입구가이드 (a)타입을 적용하였다.

또한 Fig. 11과 같이 메인 배관과 블로어 입구 및 출구 연결부위의 덕트 곡률반경 R1과 R2를 정의하고, Table. 3에 각각의 적용값을 나타낸다.

Fig. 12는 각측정 지점에서의 전압을 나타낸 것으로 출구 단에서의 전압은 블로어 간격을 고려하여 곡률반경을 최대

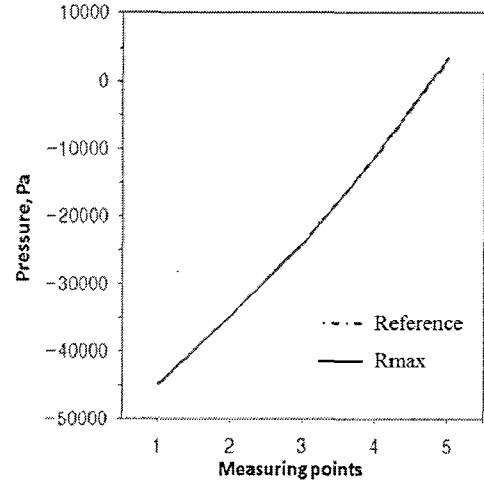


Fig. 12 Total pressure on measuring points

로 한 R max인 경우가 기존모델에 비해 압력상승값은 크지 않지만 하류측으로 갈수록 상대적으로 차이가 증가함을 알 수 있다.

이상에서 알 수 있듯이, 제한된 공간조건에서 메인 배관과 블로어 입구 및 출구 연결부위의 덕트 곡률반경이 클수록 블로어 효율이 향상되고, 각단에서의 압력특성도 향상됨을 알 수 있다.

#### 5. 결 론

터보블로어 입구가이드와 다단연동 터보블로어 연결덕트 형상에 따른 압력 및 블로어 효율 특성을 수치해석으로 분석하여, 다음의 결과를 도출하였다.

- 1) 터보블로어 입구가이드 형상에 따른 효율 및 압력은 입구가이드의 형상이 곡률을 갖는 경우가 직선인 경우에 비해 설계조건에서 블로어 효율은 5%, 압력은 20%정도 개선됨을 알 수 있었다. 즉 곡률을 갖는 입구가이드에서는 임펠러 입구로 유입되는 기류의 축방향 속도 성분이 다른 두 타입에 비해서 작으며, 입구가이드의 곡률형상을 따라 기류가 임펠러 입구로 균일하게 유입되기 때문이다.
- 2) 다단연동 터보블로어 연결덕트에서는 메인 덕트에 연결되는 블로어 입출구 연결덕트의 곡률 반경이 클수록 압력 손실이 적게 나타나며, 다단 직렬로 연결되는 블로어에서는 후단으로 갈수록 상대적으로 전단보다 압력특성이 향상됨을 알 수 있었다. 이는 블로어 출구 기류가 후단의 연결덕트 곡률반경에도 영향을 받음을 의미한다.

#### 후 기

본 연구는 한국에너지자원기술기획평가원(지식경제부)에너지자원기술개발사업의 지원을 받아 수행하였습니다.

## 참고문헌

- (1) 장춘만, 김동우, 최명덕, 2007, “관로이송 시뮬레이터를 이용한 요소부품의 특성평가,” 대한기계학회 추계학술대회 논문집.
- (2) 장춘만, 2009, “원심송풍기 볼류트 케이싱 형상에 따른 내부유동장 평가,” 대한설비공학회 하계학술발표대회 논문집.
- (3) Jang, C.-M., Lee, S.-Y., and Yang, S.-H., 2009, “Efficiency Enhancement by Shape Optimization of Centrifugal Fan Installed in Refuse Collecting System,” ASME FEDSM 2009-78491.
- (4) 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.
- (5) CFX-12 User Manual, 2009, Ansys Inc.
- (6) 이용갑, 육진환, 강만호, 2004, “CFX의 Pressure-Based Coupled과 다양한 난류모델을 이용한 유체기계의 유동해석,” 유체기계공업학회 유체기계저널 제7권 제5호, pp. 82~90.