

링 블로어 내부유동장 및 성능특성 연구

장춘만* · 한기영**

Performance and Internal Flow Analysis on Ring Blower

Choon-Man Jang* and Gi-Young Han**

Key Words : Ring Blower(링블로어), Fan Efficiency(송풍기 효율), Numerical Simulation(수치해석), Performance Curve(성능곡선)

ABSTRACT

This paper describes the performance and internal flow characteristics of two-stage high pressure ring blower. Chamber-type test rig is designed and manufactured for the performance test of the ring blower. Detailed flow characteristics inside the impeller and casing are analyzed by three-dimensional numerical simulation. Throughout numerical simulation, non-uniform inflow to the impeller inlet and reverse flow are observed near the inlet duct of the blower. This non-uniform inflow makes various recirculation flow inside the casing with the complicated shape of casing. Low velocity region is locally formed near the both sides of impeller outlet due to the non-uniform inflow to the impeller, thus deteriorates the performance of a ring blower.

1. 서론

최근 들어 산업의 발달과 인구의 도시집중화로 공기 및 수질 등 환경문제가 심각하게 대두되고 있는 실정이다.

일반적으로 아파트와 같은 공동주거지역이나 공장 등에서 발생한 오폐수는 단위별로 정화조에서 일차적으로 정화처리를 거쳐서 공공 하수도 설비로 배출된다. 일차적으로 정화처리를 거친 하수는 공기와 일정시간 접촉을 시켜, 하수 중에 포함되어 있는 미생물이 하수 중의 유기물질과 산소를 흡수함으로써 번식하게 되고 이를 통하여 하수의 부패를 방지한다. 또한 오염물의 침전방지와 수질의 균질화 및 부유물질과 슬러지 침전

이 쉽도록 하수를 고압공기로 교반시키고 정화조 내에 오폐수가 순환되도록 하여야 한다. 이러한 환경설비 시스템의 폭기용으로 고압의 링 블로어가 널리 사용되고 있다.^(1,2)

현재 고압의 폭기용으로 널리 사용되고 있는 2단 링 블로어를 연구대상으로 하였다. 이 링 블로어는 고압의 공기압축을 위하여 재생펌프의 원리를 이용하고 있다. 즉 두 개의 임펠러가 독립적인 공간에서 회전하여 2단으로 공기를 압축하며, 각 단 사이에는 연결 유로를 설치하여 1단에서 압축된 공기가 가압될 수 있는 구조로 되어 있다. 이와 같이 링 블로어는 복잡한 유로형상을 가질 뿐만 아니라 다단으로 구성되어있으며, 아직 상세한 내부유동장 특성에 대하여 잘 알려져 있지 않다.

본 연구에서는 고압 2단 링 블로어를 연구대상으로 하였으며, 링 블로어의 성능평가를 위해 다양한 흡입 및 토출구경을 갖는 링 블로어의 성능실험장치를 설계, 제작하여 성능특성을 평가하였다.

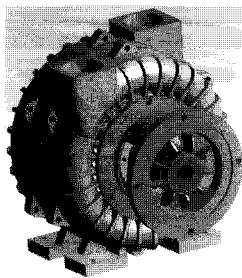
* 한국건설기술연구원 화재 및 설비연구센터 (교신저자)

** 디에이치엠 주식회사

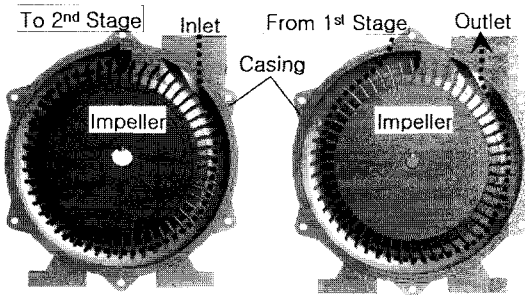
E-mail : jangcm@kict.re.kr

Table 1 Specifications of ring blower

Impeller Type	Radial
Flow Rates	4 m ³ /min
Pressure Rise	30 kPa
Rotational Speed	3515 rpm
Blower Efficiency	38.5 %
Number of Impeller	52 ea
Diameter of Impeller	359 mm
Stages	2



(a) perspective view



(b) 1st stage

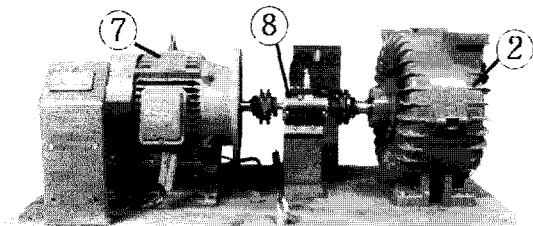
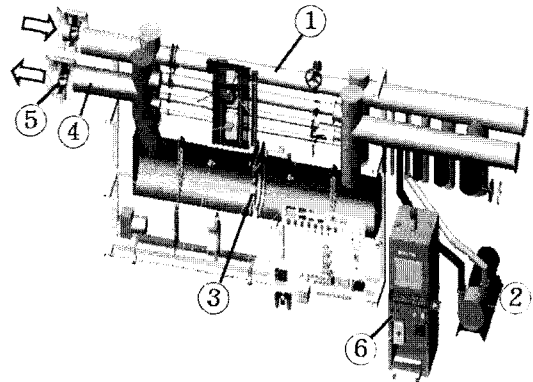
(c) 2nd stage

Fig. 1 Configuration of ring blower

또한 설계유량조건으로 3차원 나비에-스톡스방정식을 이용한 수치해석을 수행하여 링 블로어 임펠러를 포함하는 내부유동장 특성을 분석하였다.

2. 링 블로어

본 연구는 2단 고압 링 블로어를 대상으로 하였으며, 상세한 사양은 Table 1에 수록하였다. 본 실험 링 블로어는 외경이 359mm이며, 원심형 타입의 익형을 사용하였다. 설계(작동)유량은 4 m³/min이며, 이 때 압력은 30 kPa이다.



- ① 흡기관
- ② 링 블로어
- ③ 노즐
- ④ 배기관
- ⑤ 보조 블로어
- ⑥ 제어판
- ⑦ 모터
- ⑧ 토오크 미터

Fig. 2 Experimental apparatus

본 연구에 사용된 링 블로어의 형상도를 Fig. 1에 나타내었다. 그림에서 점선은 1단과 2단에서의 공기의 흐름방향을 나타낸다. 즉, 입구측과 출구측이 모두 상면을 향하고 있으며, 1단과 2단의 사이에는 별도의 차단막이 설치되어 있다. 1단의 공기흡입구와 2단의 공기 출구의 사이에 연결통로가 있어, 1단에서 가압된 공기가 2단으로 이동한다. 흡, 배기구와 연결통로 사이에는 케이싱과 임펠러 사이에 0.5mm 틈새를 두어 각단에서 기류통과가 방지되도록 설계되었다.

본 연구 링 블로어는 모터 직결형이고, 모터 효율은 87%이다. 링 블로어 공기흡입구와 배출구의 관 내경은 모두 53.8mm이다.

3. 실험장치 및 방법

2단 고압 링 블로어의 유량에 따른 압력과 효율을 측정하기 위하여 챔버식 성능시험장치를 설계, 제작하였다. 시험장치는 ASHRAE/AMCA 210, KS B 6530 및 KS B 6350 등의 규격을 참조하여 설계하였다. 링

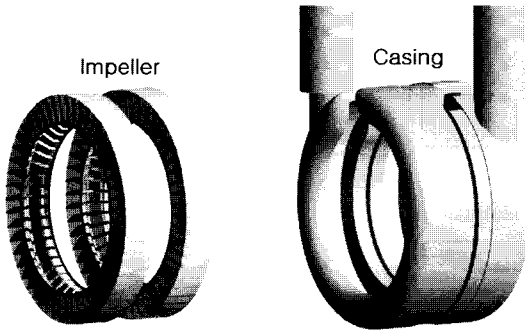


Fig. 3 Separated region for computational grid

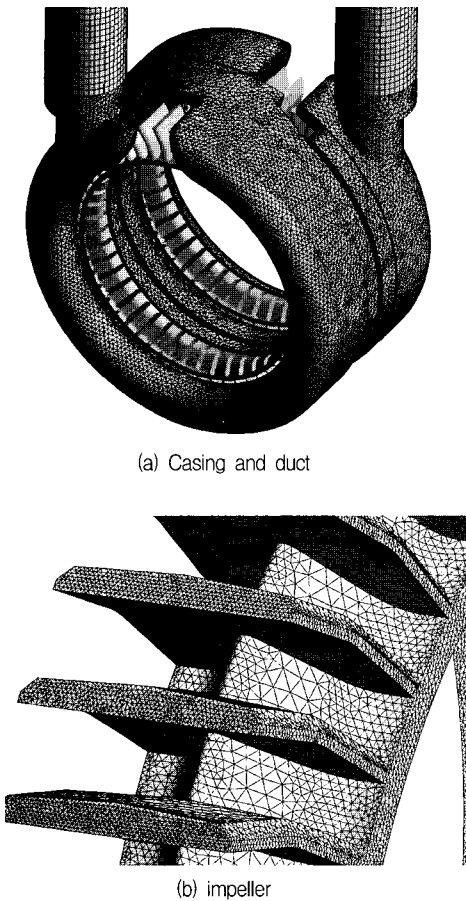


Fig. 4 Computational grid

블로어 성능실험장치의 구성도는 Fig. 2에 나타났다. 링 블로어 실험은 간이적인 방법으로 현장에서는 흡기관 상류 측에 오리피스나 속도계를 설치하고, 토출 측에 배관을 연장하여 유량 조절계와 압력계를 장착하여 성능을 측정한다. 이 경우에는 흡

기관의 작은 직경으로 인한 부정확한 속도계측과 측정압력 등으로 실험오차가 다소 크다는 단점이 있다.

본 연구에서는 노즐을 이용하는 챔버식의 측정장비를 설계하여 측정의 정확성을 향상 시켰을 뿐만 아니라, 다양한 직경을 갖는 링 블로어의 흡입 및 배기관의 직경에 대응이 용이하도록 설계하였다.

링 블로어의 효율측정을 위하여 블로어 구동모터와 링 블로어 사이에 토오크 미터를 설치하여, 유량실험과 동시에 링 블로어에 가해지는 동력을 측정하였다. 토오크 미터는 CTAplus사(모델명 : TCR)로 최대용량은 5kgfm이다.

4. 수치해석방법 및 경계조건

본 연구에서는 복잡한 케이싱 구조와 회전 임펠러를 갖는 링 블로어의 내부유동장 특성을 해석하기 위해 비정열격자계를 채택한 상용해석 소프트웨어인 CFX 10.0⁽³⁾을 사용하였다. 비압축성 삼차원 정상유동에 대한 연속방정식과 Reynolds-Averaged Navier-Stokes 방정식 등의 지배방정식은 유한체적법으로 이산화되며, 대류항과 확산항의 이산화 방법으로는 각각 수정된 상류차분도식과 중심차분법이 사용되었다.

난류모델로는 표준 k-ε 모델⁽⁴⁾을 사용하였다. 벽함수(Wall Function)로는 벽면근방의 경계층효과를 인정하는 Scalable Wall Function을 적용하였다.

회전하는 링 블로어 임펠러와 정지하는 케이싱의 복잡한 형상과 경계조건을 원활히 설정하기 위하여 Fig. 3에서와 같이 임펠러부와 케이싱부로 분리하여 각각에 계산격자를 형성시켰다. 계산격자는 Fig. 4에서 나타냈듯이, 링 블로어 임펠러 및 케이싱 내부는 사면체를 이용한 비정열격자로 구성하였으며, 흡입 및 배기구 덕트의 내부에는 육면체 격자로 형성하였다. 비대칭형 케이싱 형상을 고려하여, 임펠러를 포함하는 내부 유동장 전체에 격자를 형성하여 계산하였다. 본 계산에 사용한 임펠러부 및 케이싱부(흡배기 덕트 포함)의 계산 노드 수는 각각 142만 개 및 57만 개 이다.

수치계산의 입구에서는 1단 링 블로어의 상류 덕트의 끝단에 대기압 조건을, 2단 링 블로어의 하류 연결덕트 끝단에 설계점에서의 유량을 기준으로 속도분포를 적용하였다. Fig. 3에서와 같이 회전하는 임펠러와 케이싱 내부의 정지영역의 경계면에는 Frozen Rotor Interface 조건을 설정하였다.

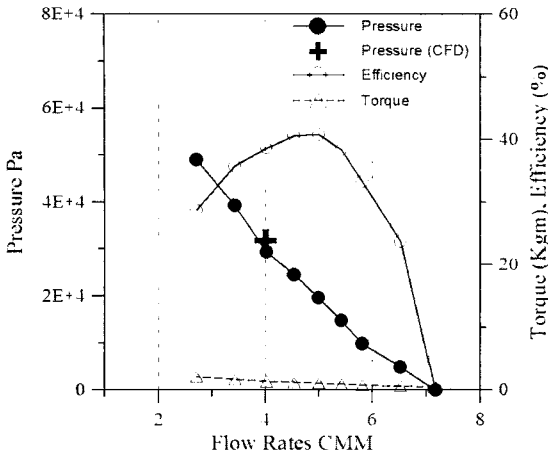


Fig. 5 Performance curve

입구 및 출구에서 연장한 덕트 길이는 임펠러 외경의 약 2 배로 하였다. 작동유체는 상온조건에서의 공기로, 링 블로어 임펠러의 회전속도는 3515 rpm 로 선정하였다.

5. 결과 및 고찰

5.1 실험에 의한 성능 평가

Fig. 2에서 설명하였듯이, 챔버식 성능평가 장비를 설계, 제작하여 유량에 따른 링 블로어의 성능특성을 측정하였다. 본 실험에서는 링 블로어 토오르크 미터 구동모터로 연결된 측정 장치에서 구동모터를 링 블로어 부하에 따라 가변되는 교류식 모터로 설치하여 측정하였다. 측정된 변수값들은 링 블로어 부하변화에 따른 모터 회전수의 변화를 고려, 블로어의 상사법칙을 이용하여 설계 회전수(3515 rpm)로 측정값들을 측정 후 보정하였다.

유량에 따른 임펠러 토오르크, 효율 및 압력특성을 Fig. 5에 나타낸다. 그림에서 알 수 있듯이 링 블로어의 최대유량, 최대압력 및 최대효율 값은 각각 7.2 m³/min, 49kPa 및 40.8%이다. 설계 유량점(4m³/min)에서의 압력과 효율값은 각각 30 kpa 및 38.5%이다. 링 블로어의 입력 토오르크 값은 유량이 감소함에 따라 상대적으로 증가함을 알 수 있다. 효율 값의 분포도 최대유량점에서 최소값을 가지나, 유량의 감소와 함께 점차 증가하여 최대값을 가진 후에 다시 감소하는 전형적인 링 블로어의 특성을 나타낸다.

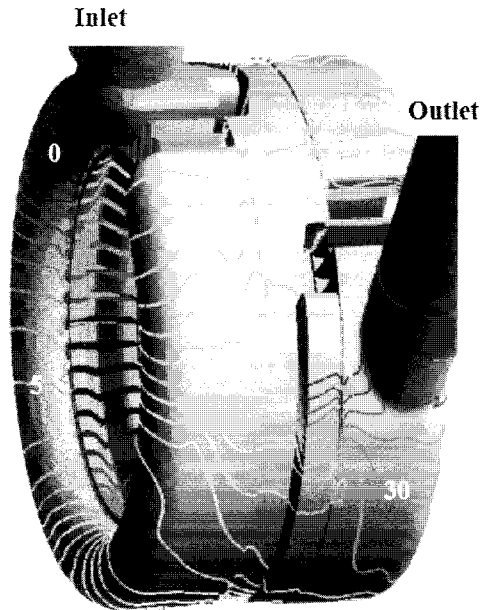


Fig. 6 Pressure on casing (units: kPa, contour intervals : 0.5 kPa)

5.2 링 블로어 내부 유동장 특성

링 블로어의 성능향상을 위해서는 링 블로어의 내부유동장의 상세한 이해가 필요하다. 본 연구에서는 복잡한 내부형상을 갖는 링 블로어의 내부 유동장 특성을 이해하기 위하여 상용 소프트웨어인 CFX을 이용하여 3차원 수치해석을 수행하였다.

수치계산에서는 설계(작동) 유량인 4 CMM (m³/min) 조건에서의 내부유동장 특성을 평가하였다. 설계 유량조건에서 수치해석을 통해 도출한 링 블로어 입구 및 출구에서의 압력값(그림에서 "+"로 표시)은 Fig. 5에서와 같이 실험을 통하여 구한 압력값과 유사함을 알 수 있다.

Fig. 6은 링 블로어의 케이싱면에서의 압력분포를 나타낸다. 그림에서 알 수 있듯이 임펠러의 회전으로 공기 흡입측에서는 부압이 발생되고, 유로에 따라 압력이 증가하는 것을 알 수 있다. 링 블로어의 1단부에서 2단부로 연결되는 통로에서는 약 16 kPa의 압력증가가 발생되며, 이는 2단 토출구의 압력 32 kPa의 절반에 상응한다.

Fig. 7은 임펠러에 대한 흡, 토출구의 상대적인 설치위치 및 흡입구 근방에서 내부 유동의 흐름분포를

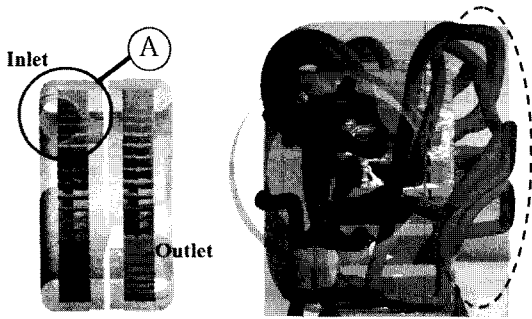


Fig. 7 Streamlines near the inlet duct

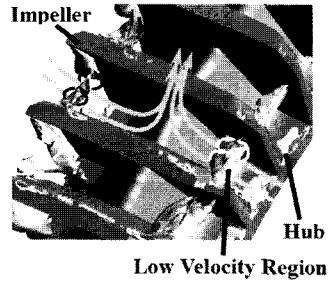
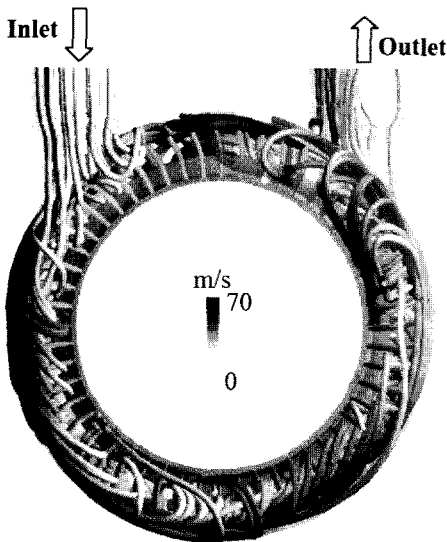
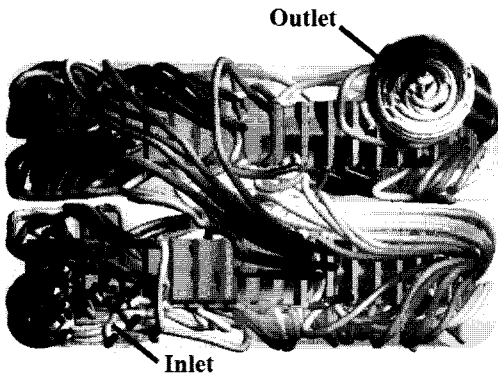


Fig. 9 Flow pattern in the impeller



(a) front view (1st stage)



(b) top view

Fig. 8 Streamlines colored by velocity

나타낸다. 그림에서 알 수 있듯이, 공기 흡입구 덕트가 1단 임펠러의 좌측으로 편심되게 설치되어 있어서, 입구측에서 임펠러로 유입되는 기류가 임펠러 좌측으로 대부분 유입되어 링 블로어의 좌측면으로 이동한다. 또한, 일부 유입유동은 임펠러 회전반대방향으로 역류한 후, 임펠러 우측 측면으로 이동하게 된다(그림에서 점선부분). 즉, 유입된 기류는 역류로 인하여 임펠러 좌측과 우측흐름이 시간차 및 비대칭 흐름을 가짐을 알 수 있다.

Fig. 8은 링 블로어 내부에서의 유선분포를 나타낸다. 각각의 유선에는 속도값을 분포시켰다. Fig. 8(a)의 1단축의 정면도에서 알 수 있듯이, 균일하게 유입된 흐름은, 임펠러 흡입구에서 일부는 역류하고, 일부는 측면으로 유입됨을 알 수 있다. 임펠러의 회전방향에 따라 임펠러 측면으로 유입되는 흐름(유선 분포)이 불균일할 뿐만 아니라 일부에서는 역류가 발생됨을 알 수 있다. 이는 Fig. 7에서 설명하였듯이, 비대칭적이고 불균일하게 유입된 공기가 케이싱내부에서 다양한 유동형태를 나타내며 이동하기 때문이다.

또한, Fig. 8(b)에서 나타냈듯이, 1단과 2단의 연결 통로에서는 유로 단면적의 축소로 기류가 가속됨을 알 수 있고, 출구측에서는 기류 흐름방향과 출구덕트의 설치방향의 차이로 인하여 강한 선회류가 발생함을 알 수 있다. 유선의 속도분포에서 임펠러 내부를 통과하고 반경방향으로 토출되는 기류의 속도가 상대적으로 크게 분포함을 알 수 있다. 좌우 대칭의 유입기류를 갖는 링 블로어 임펠러에서는 Fig. 9에 나타냈듯이, 임펠러의 회전과 함께 반경방향으로 강한 반경류를 가질 뿐만 아니라, 임펠러 출구의 양단 부근에는 저속 영역이 존재한다.

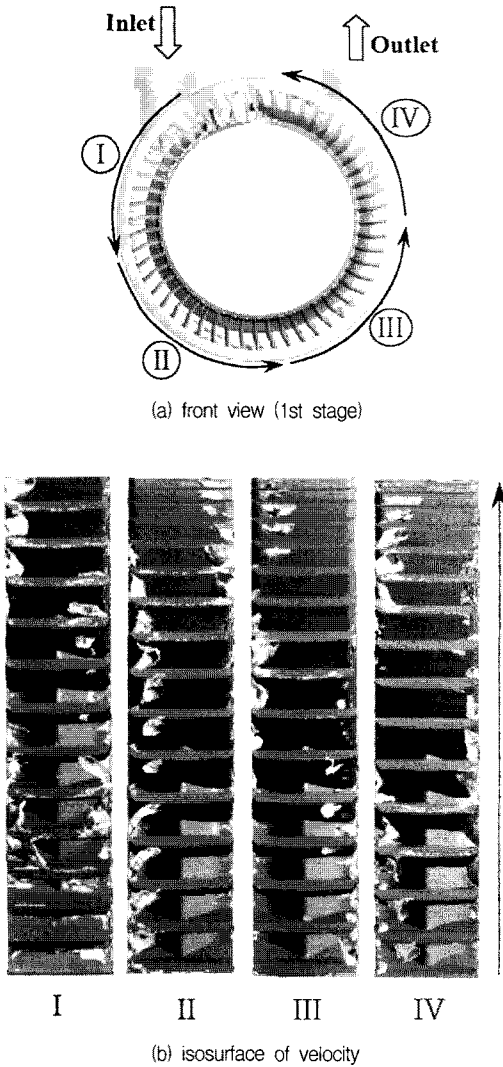


Fig. 10 Isosurface of velocity (= 10 m/s)

Fig. 10은 첫 번째 단의 임펠러 내부에서 기류속도의 등치면을 나타낸 것이다. 그림에서는 등치면의 유속은 10 m/s로 저속영역을 나타내며, 임펠러를 4분하여 각각에서 분포를 나타낸다. 또한, Fig. 10(a), (b)의 상대위치는 화살표로서 나타낸다.

그림에서 알 수 있듯이, 임펠러 측면으로 기류가 유입됨으로써 발생하는 임펠러 끝단 양측에서의 저속영역은 임펠러 측면의 유입유동 불균일로 인하여 비대칭적으로 생길뿐만 아니라, 회전방향으로도 국부적으로 발생과 소멸을 반복함을 알 수 있다.

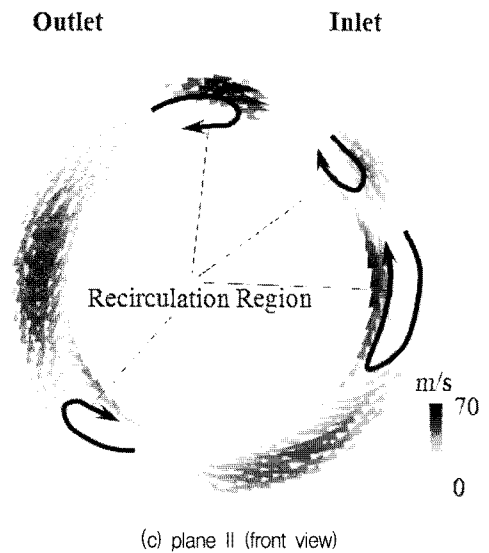
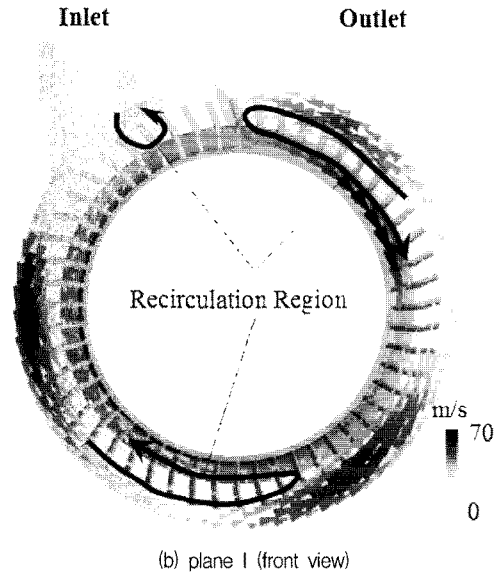
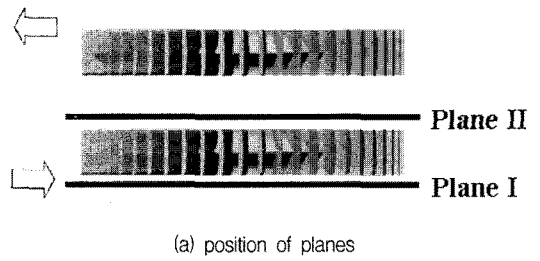


Fig. 11 Velocity vectors

Fig. 11은 첫 번째 단의 임펠러의 양측 면에서 10 mm 떨어진 케이싱 내부단면의 속도벡터 분포를 나타낸다. 그림에서 알 수 있듯이 각각의 내부단면에서의 속도분포는 비대칭적으로 나타나며, 국부적으로 크고 작은 재순환영역이 존재함을 알 수 있다. 이는 Fig. 8 및 Fig. 10의 유선분포와 저속영역분포에서도 확인하였듯이, 편심된 유입유동으로 인한 불균일 입구유동과 케이싱 내부유동특성에 기인된 것이다. 링 블로어 임펠러와 케이싱 형상특성으로 케이싱 내부에 국부적인 재순환영역이 존재하게 되면, 임펠러 내의 유입유동의 불균일로 진동이 발생하게 쉬우며, 임펠러 양단에서 임펠러로 유입되는 유입각 변화를 크게하여 궁극적으로 임펠러의 효율을 낮추는 원인이 된다.

이상의 연구결과에서 알 수 있듯이, 임펠러의 형상뿐만 아니라 케이싱과 임펠러의 매칭설계도 중요함을 알 수 있다.

6. 결론

본 연구에서는 2단 고압 링 블로어의 성능평가를 위하여 챔버 타입 실험장치의 설계, 제작을 통한 성능 측정과 3차원 수치 시뮬레이션을 통한 내부유동장 특성을 고찰하였다. 설계유량점에서의 3차원 수치계산을 통해, 편심된 유입유동으로 인한 불균일 입구유동과 역류현상이 임펠러 입구덕트 영역에서 나타났다.

이러한 불균일한 임펠러 입구측 유동은 케이싱 형상의 영향과 함께 케이싱 내부에 다양한 크기의 재순환영역을 만들며, 이로 인해 다시 임펠러 양단에서 임펠러로 유입되는 유입각 변화를 크게 변화시켜 임펠러의 효율을 저하시키는 원인으로 작용한다.

후 기

본 연구는 한국과학기술단체총연합회의 산업기술지원단사업의 후원을 받아서 수행하였습니다. 자문위원으로 참석하여 주신 (주)삼원이앤비 양상호이사와 수치해석의 자문을 주신 태성엔스트(주) 이상윤과장께도 감사드립니다.

참고문헌

- (1) 연구보고서, 1996, “대용량 2단 사이드 링 블로어 개발,” 중소기업청(중소기업 기술혁신개발 사업(환경분야))
- (2) 연구보고서, 2005, “4단 링 블로어에 관한 신뢰성 향상 지원,” 산업자원부(중소기업 신뢰성 향상 지원사업)
- (3) CFX-10 Manual, 2005년
- (4) Prandtl, L., 1925, “On the Fully Developed Turbulence,” J. Applied Math. & Mech., Vol. 5, pp. 136~139.