

# 고압 이단 링블로워의 삼차원 유동해석 및 성능평가

이기돈<sup>1</sup>, 김광용<sup>2\*</sup>

## FLOW ANALYSIS AND PERFORMANCE EVALUATION OF HIGH PRESSURE DOUBLE STAGE RING BLOWER

K.D. Lee<sup>1</sup> and K.Y. Kim<sup>2\*</sup>

*In the present work, flow analysis has been performed for side channel type double stage ring blower by solving three-dimensional Reynolds-averaged Navier-Stokes equation. Shear stress transport model is used as turbulent closure. The commercial CFD code CFX 11.0 is used for the calculations. Each of two stage is calculated separately and the second stage inlet flow is same as the first stage outlet flow so that consecutive calculation is possible. Velocity and pressure fields have been analyzed at the midplane between blades. The numerical results are validated with experimental data for head coefficients at different flow coefficients.*

**Key Words :** 링블로워(Ring Blower), 사이드채널형(Side Channel Type), 재생형 유체기계(Regenerative Turbomachinery), 임펠러(Impeller), 전산유체역학(CFD)

### 1. 서 론

링블로워는 가전제품, 차량, 선박, 산업용 기계 등 산업전반에 걸쳐 폭 넓게 사용되고 있는 기계요소로서 그 용도에 따라 매우 다양한 사양을 가지고 설계 제작되고 있다. 링블로워는 사이드 채널이라고 불리우는 임펠러 내부의 통로에서 흡입구를 통해 흡입된 기체가 임펠러의 회전운동에 의해 가압되는 과정을 거친다. 이단 블로워의 경우 1단에서 압축된 기체를 동일한 구조의 2단에서 재차 압축하게 된다.

이러한 사이드 채널형의 링블로워는 재생형 유체기계라고 불리며 작은 유량에서 큰 양정을 낼 수 있는 장점이 있으나, 양정을 상승시키는 과정에서 발생하는 마찰과 임펠러와 채널 사이에서 발생하는 와동으로 인해 효율이 매우 낮다.

이러한 재생형 블로워에 관련된 연구로 Choi 등[1]은 사이드 채널형 연료펌프의 날개 개수, 사이드채널의 단면적, 임펠러와 펌프 외벽 사이의 간극 등의 변화에 따른 펌프의 성능예측을 수행하여 실험값과 비교하였다. Sim 등[2]은 CFD

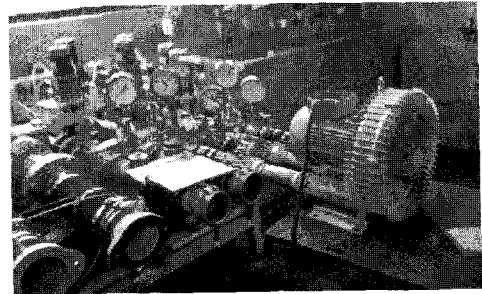


Fig. 1 Photo of the ring blower test facility

를 이용하여 연료전지용 수소 재순환 블로워의 스트리퍼 간극, 케이싱 중심의 직경값, 케이싱 이격거리, 채널폭과 케이싱 깊이 등의 변화에 따른 성능을 평가하였다.

본 연구에서 해석한 이단 링블로워는 2개의 임펠러가 직렬로 장착되어 임펠러의 회전에 의해 흡입된 공기가 두 개의 단을 차례로 거치면서 반복되는 원심력에 의해 압력이 상승된다.

삼차원 RANS (Reynolds-averaged Navier-Stokes) 해석을 통해 링블로워 내의 삼차원 유동특성을 분석하기 위한 연구를 수행하였으며, 차압계를 이용한 풍량 및 풍압 자동 시험기를 사

1 인하대학교 대학원 기계공학과

2 정회원, 인하대학교 기계공학부

\* Corresponding author, E-mail: kykim@inha.ac.kr

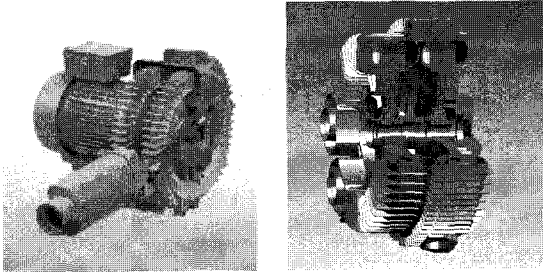


Fig. 2 Geometry of Ring Blower

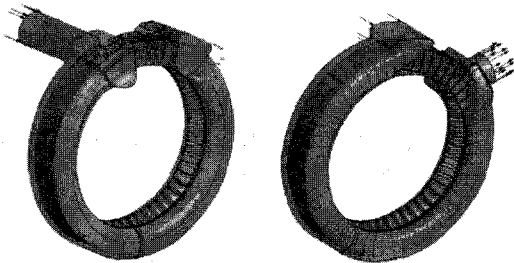


Fig. 3 Shape of Computational Domain

용하여 유량에 따른 압력상승을 추정하여, 유동해석을 통해 얻어진 결과와 비교하였다.

## 2. 유동해석방법

### 2.1 링블로워 형상 및 계산영역

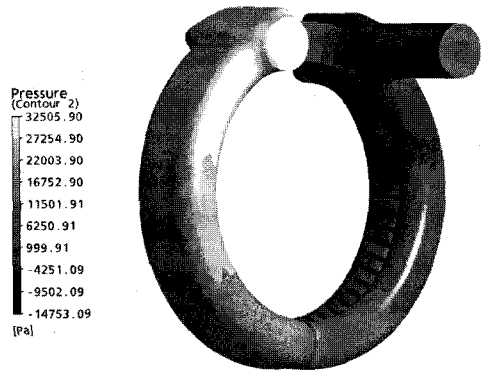
본 연구에서는 Fig. 2에 나타난 바와 같은 사이드 채널형 2단 링블로워를 대상으로 하였다. 실제 제품의 3차원 정밀측정을 통해 얻어진 데이터를 이용하여 입출구 부분, 임펠러와 임펠러 케이싱부분을 포함하는 계산영역을 설정하였으며, 2단 링블로워를 해석하기 위해 Fig. 3과 같이 각 단을 분리하여 계산영역을 설정하고 첫 번째 단을 해석한 뒤, 그로부터 얻은 출구의 정보를 두 번째 단의 입구조건으로 부여함으로써 연속적인 반복계산이 가능하게 하였다.

### 2.2 계산격자

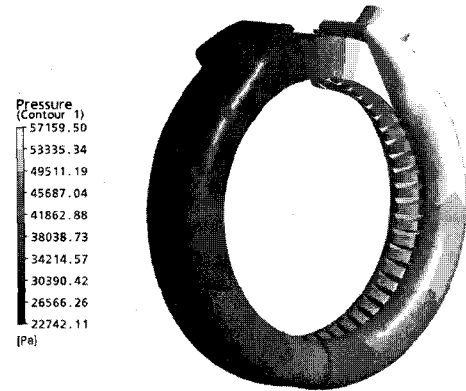
계산에 사용된 격자계는 사면체의 비정렬격자계로 구성하였다. 격자의 의존성을 제거하기 위한 격자 의존성 테스트는 총 100만~140만개의 격자수 사이에서 이루어졌으며, 그 결과 최적격자수는 125만개로 결정되었다.

### 2.3 수치해석 및 경계조건

본 연구에서는 상용코드인 ANSYS 사의 CFX-11.0을 사용하여 비압축성 삼차원 정상유동에 대한 연속방정식과



(a) First stage



(b) Second stage

Fig. 4 Pressure distributions on casing surfaces

Reynolds-averaged Navier-Stokes 방정식을 계산하였다. 난류모델은 벽함수와 함께 SST[3] 모델을 사용하였다. SST모델은  $k-\epsilon$  모델과  $k-\omega$  모델의 장점을 결합한 모델로서, 벽 근처에서는  $k-\omega$  모델이 사용되며, 나머지 영역에서는  $k-\epsilon$  모델이 사용된다.

일반적으로 터보유체기계에서는 계산 시간 단축을 위하여 하나의 임펠러 즉 단일 채널에 대하여 주기조건을 적용하여 해석을 수행하지만, 링블로워의 입출구부의 구조상 주기경계조건을 적용하기가 불가능하기 때문에 임펠러 채널 전체에 대하여 격자를 구성하여 해석을 수행하였다. 또한 각단을 회전하는 Rotating Frame과 회전하지 않는 Stationary Frame 으로 나누었고, 회전좌표계와 정지좌표계 사이의 경계면 처리는 링블로워 특성상 임펠러는 회전방향에 대하여 압력이 계속 증가하므로 회전좌표계 격자면에서의 계산 값을 평균해서 절대좌표계에 입력하는 Mixing Plane 방식을 적용하지 않고, 회전좌표계 격자면에서의 계산 값을 그대로 정지좌표계 입력값으로 사용하는 방식인 Frozen-Rotor 방식을 적용하였다.[2]

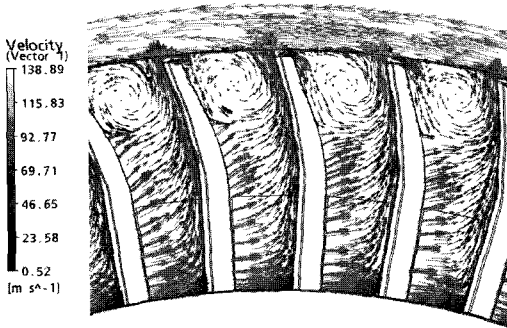


Fig. 5 Velocity vectors at impeller cross section

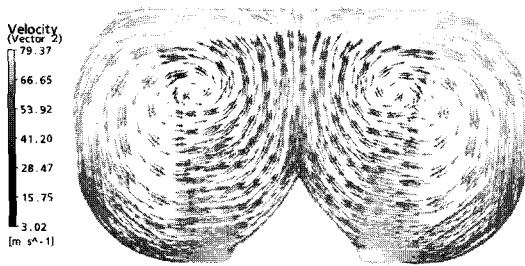


Fig. 6 Velocity vectors at mid plane between blades

계산을 위한 조건들은 Table 1과 같이 주었으며, 출구 유량을 조절하여 변화된 압력 상승값을 계산 하였다.

### 3. 결과 및 고찰

Fig. 4의 (a)와 (b)는 링블로워 각단의 표면에서의 정압분포를 나타내고 있으며, 그림에서 나타내는 바와 같이 정압이 회전하는 원주 방향에 따라 선형적으로 증가함을 알 수 있다. Fig. 5에서는 임펠러사이와 케이싱에 흐르는 유동의 단면에서의 속도벡터를 보여 준다. 그림을 통해 임펠러 상단 부분에서 발생하는 큰 와동 (vortex)을 확인할 수 있으며, 이러한 와동이 연속적으로 발생하면서 압력손실이 크게 발생함을 알 수 있다.

Table 1 Conditions for Numerical Calculation

Rotational speed		3,500 rpm
Working fluid		Air (Ideal Gas)
Inlet	First stage	Total Pressure 0 Pa Temperature 298 K
	Second stage	Outlet Profile of First stage
Outlet		Mass flow
Turbulent closure		SST model
Number of impeller blades		55

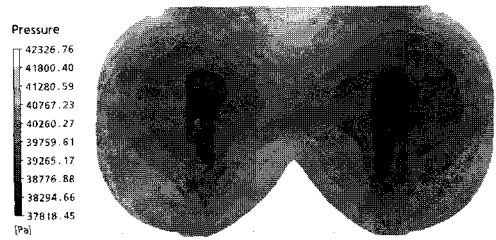


Fig. 7 Pressure distribution at mid plane between blades

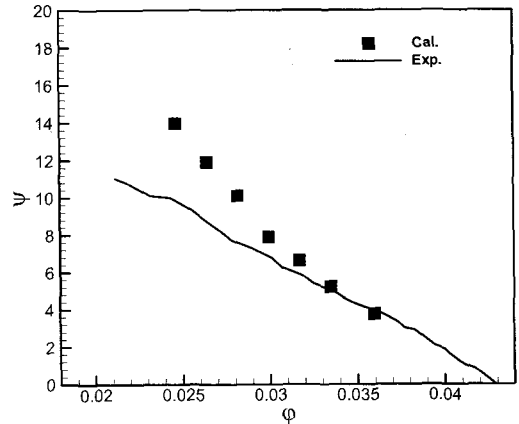


Fig. 8 Comparison between calculated data and experimental data

Fig. 6은 스트리퍼의 정중량을 0°로 설정하였을 때 원주방향으로 180°부분에 위치한 임펠러 날개 사이 단면의 속도벡터를 나타내고 있다. 임펠러 사이 단면에서의 유동은 케이싱 바깥부분에서 임펠러의 반경이 작은 쪽으로 들어와 임펠러의 반경이 큰 쪽으로 흘러 다시 케이싱 방향으로 올라가는 양상의 큰 순환유동이 존재함을 보여주고 있다. Fig. 7에서는 임펠러 날개 사이 단면의 압력분포를 통해 확인할 수 있다. 앞에서 언급한 큰 순환유동으로 인해 중심부의 압력이 낮고 벽면으로 향할수록 압력이 높아짐을 알 수 있다.

유량과 압력을 유량계수 ( $\phi = Q/(ND^3)$ ) 및 수두계수 ( $\psi = \Delta P/(\rho N^2 D^2)$ ) 로 무차원화 하여 성능곡선을 얻고 이를 성능시험을 통해 얻은 결과와 Fig. 8에 비교하였다. 결과를 비교해보면 고유량 영역에서는 유동해석결과가 시험결과와 접근하는 경향을 보이고, 저유량 영역에서는 수치해석이 실험결과 보다 높게 예측함을 알 수 있다. 성능시험은 실제 링브로워를 대상으로 측정하였으나 유동해석은 링블로워의 내부유로를 모델링하는 과정에서 형상의 일부가 단순화되었고 고체표면의 거칠기가 고려되지 않았기 때문에 이러한 효과가 크게 나타나는 저유량 영역에서 큰 차이가 발생함을 알 수 있다.

## 4. 결 론

## 참고문헌

본 연구에서는 고압 이단 링블로워의 내부 유동장의 삼차원 RANS 해석을 수행하였다. 해석결과를 통해 임펠러 날개 사이에서 상단부에서 반복적으로 발생하는 강한 와동과 회전 방향에 수직하는 단면 내에서 발생하는 큰 순환유동을 통한 압력 및 유동장의 특성을 확인할 수 있었다. 성능곡선에 있어 계산치는 측정치에 비해 고유량 영역에서는 비교적 일치하는 결과를 보이거나 저유량 영역에서는 큰 차이를 나타내었다.

## 후 기

본 연구는 황해전기의 2007년도 연구비 지원에 의해 수행되었음을 밝힌다.

- [1] 2003, 최영석, 이경용, 강신형, “사이드채널형 연료펌프의 성능예측,” *유체기계저널*, 제6권 제2호, pp.29-33.
- [2] 2005, 심창열, 이경훈, 홍창욱, 김영수, “연료전지용 수소 재순환 블로워의 유동 및 성능의 수치적 평가,” *한국자동차공학회 추계학술대회논문집*, Vol.11, pp.1395-1400.
- [3] 2006, CFX-11.0 Solver Theory, *Ansys inc.*