

# 사이드 채널형 링블로워의 임펠러 내부 유로에 따른 성능변화 분석

이경용\* · 최영석\*\* · 정경호\*\*\* · 박운진\*\*\*\*

## Analysis of Performance Characteristics by Inner Flow Path of Side Channel Type Ring Blower

Kyoung-Yong Lee\*, Young-Seok Choi\*\*, Kyung-Ho Jeong\*\*\*, Woon-Jean Park\*\*\*\*

*Key Words* : Side channel type(사이드 채널형), Ring blower(링블로워), Impeller groove(임펠러 홈), Inner flow path(내부 유로), CFD(수치해석), Internal circulatory flow(내부 순환 유동)

### ABSTRACT

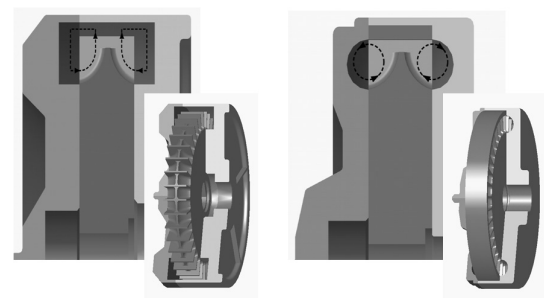
This study analyzed performance changes by an inner flow path of impeller groove for side channel type ring blower using CFD. Two models have the same side channel and clearance while one has an inner flow path and the other doesn't. To analyze the performance change of a ring blower, overall performance and local flow field were analyzed. For the overall performance, pressure increase and impeller torque were checked under the design flow condition. Under the design flow condition, pressure increase was greater for the model with the inner flow path. The model with the inner flow path showed improved efficiency because the area subject to torque decreased due to the creation of inner flow path. To analyze local flow field, a section was created from the representative location of each impeller groove toward the direction of radius. Inner channel pressure distribution depending on the rotation direction shows that the model with the inner flow path has pressure equilibrium of working fluid through the inner flow path. Velocity distribution of inside impeller groove shows that flow field was coupled and appeared to form an inner wall where the flow field was stabilized.

### 1. 서론

산업용 링블로워(ring blower)는 고압의 공기를 요구하는 시스템의 공기 공급용으로 사용된다. 유체기계(turbomachinery)의 형식을 결정하는 비속도(specific speed)로 구분하면 용적식(displacement type)과 원심식(centrifugal type)의 사이에 해당된다. 링블로워는 구조가 단순하고 유지보수가 용이하여 산업계에서 널리 사용되고 있다.

최근 이산화탄소 배출 규제 등으로 산업용 기기의 고효율에 대한 요구가 쇄도하고 있으며 산업 현장에서 장시간 운전해야 하는 링블로워도 고효율에 대한 필요성이 대두되어 왔다. 링블로워와 같은 재생형 유체기계의 고효율을 실현하기

위한 여러 가지 방법 중에서 가장 효과적인 방법으로는 사이드 채널(side channel)을 적용하는 방법을 들 수 있다. Fig. 1에 개방 채널형(a)과 사이드 채널형(b)의 임펠러 및 채널 형상을 비교하였다. 개방 채널형(open channel type)은 현재까지 주로 사용되는 형식이고 사이드 채널형은 최근 들어 양산을 위한 연구가 진행되고 있는 형식이다. 사이드 채널형은



(a) Open channel type (b) Side channel type

Fig. 1 Classification of ring blower by channel shapes

\* 한국생산기술연구원 / 한국기술교육대학교 대학원

\*\* 한국생산기술연구원 그린에너지설비센터

\*\*\* 황해전기 개발실

\*\*\*\* 한국기술교육대학교 기계공학과

† 교신저자, E-mail : yschoi@kitech.re.kr

기존의 개방 채널형에 비해 임펠러와 채널이 독립적으로 존재하고 있어 효과적인 내부 순환유동(inner circulatory flow)이 기대되는 형식이나 개방 채널형에 비해 임펠러의 개방성이 떨어져 입출구부에 대한 손실이 상대적으로 크다.

본 연구는 사이드 채널형 링블로워의 입출구 유동장 개선을 위해 대칭적으로 위치한 두 개의 임펠러홈(impeller groove) 내부에 유로(flow path)를 형성하였다. 임펠러홈 내부 유로(inner flow path)의 효과를 확인하기 위해 블로워 전체를 대상으로 CFD(전산유체역학)를 수행하였고, 기존 모델과 비교하기 위해 동일한 채널을 대상으로 내부 유로가 없는 기존 임펠러에 대한 CFD도 추가로 수행하였다. 해석 결과의 분석으로 설계점 유량(design flow rate) 조건에서 블로워 전체의 압력상승(pressure rise)과 효율을 예측하였다. 그리고 성능개선 효과를 확인하기 위해 입출구부, 채널 및 임펠러홈 내부의 유동장(flow field)을 분석하였다.

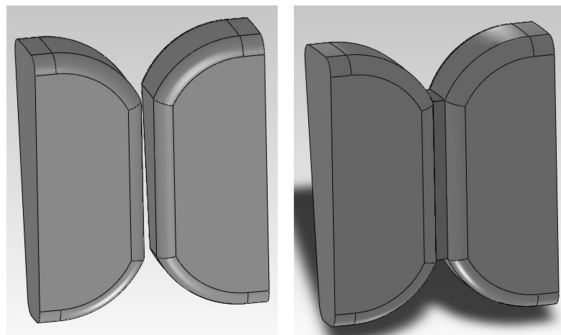
## 2. 본 론

### 2.1 설계조건 및 형상소개

본 연구에 사용된 사이드 채널형 링블로워는 Table 1의 설계조건을 목표로 설계되었다. 링블로워의 설계관련 내용은 선행된 연구를 통해 도출하였다.<sup>(1)</sup> 일반적으로 링블로워는 크게 임펠러, 하우징(housing) 및 커버(cover)로 구성이 된다. 하우징과 커버는 대칭의 형상이며 임펠러홈과 대응되는 위치에 채널이 존재한다. 본 연구에서 적용한 임펠러홈의 형상은 Fig. 2와 같다. Fig. 2(a)는 내부에 유로가 없는 기존 형상이고 Fig.2(b)는 내부에 유로가 있는 형상이다. 채널은

Table 1 Design requirements

Design requirement	value
Volume flow rate(CMM)	15
Pressure rise(kPa)	29.36 (3000 mmAq)
Rotating speed(rpm)	3550



(a) No-inner flow path (b) Inner flow path

Fig. 2 Comparison of impeller groove shapes

임펠러홈과 동일한 형상으로 결정하였다. Table 2에 링블로워의 형상관련 정보를 정리하였고 관련된 정의는 Fig. 3에 표기하였다.

임펠러홈에 내부 유로를 생성한 것은 입출구부의 손실을 감소시키려는 시도에서 시작되었다. 일반적으로 산업용 링블로워는 Fig. 1과 같이 임펠러홈 및 채널이 쌍을 이루고 있다. 특히 사이드 채널형의 경우, Fig. 4와 같이 채널이 두 개로 되어 있어 입출구가 각각 2개씩 4개가 필요하다. 그러나 일반적으로 입출구는 1개씩이며 동일한 방향으로 병렬식(parallel type)이다(Fig. 4). 결국 블로워 입구 및 출구와 인접한 채널이 있는 반면에 반대쪽에도 채널이 존재하게 된다. 이것으로 인하여 입출구부와 멀리 떨어진 채널로 작동유체(working fluid)가 이동할 수 있는 통로가 존재해야 한다(Fig. 5). 이 통로를 설계하는 데 있어 유동 손실이 적은 방

Table 2 Design variables

Design variable	Value
Impeller outer radius ( $R_2$ , mm)	225
Channel height( $h$ , mm)	92.3
No. of impeller(EA)	43
Expansion angle of channel( $\theta_c$ , deg.)	265
Gap between impeller and case(mm)	0.8

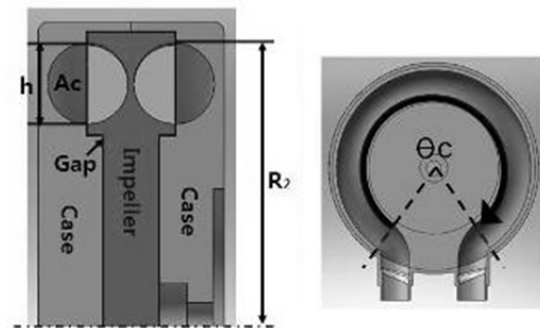


Fig. 3 Design variables of side channel type ring blower

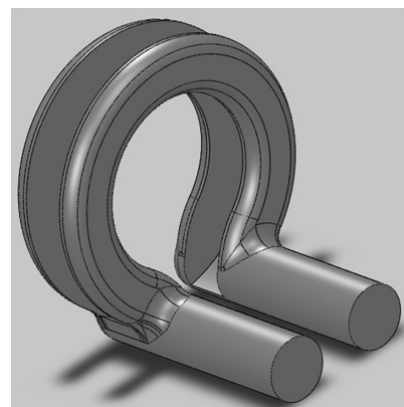


Fig. 4 Flow region of channel

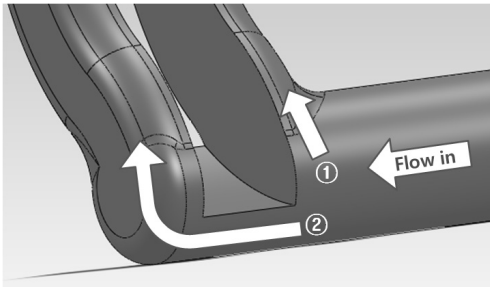


Fig. 5 Flow phenomenon of channel at inlet

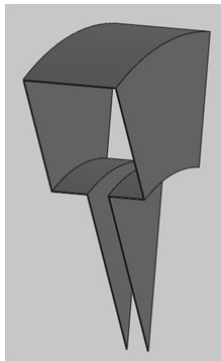


Fig. 6 Flow region of gap

향으로 설계해야 한다. 그러나 유동 손실을 적게 하기 위해 통로의 면적을 넓히면 전제적으로 블로워 외경이 증가하게 된다. 본 연구에서는 블로워 전체 크기에 대한 제한조건을 만족하면서 설계 경험을 통해 채널간 작동유체의 이동 통로를 우선적으로 결정하였다. 채널간 이동 통로의 면적은 입구 면적 대비 41%이다. 그리고 입출구에 비해 상대적으로 좁은 채널간 이동 통로로 작동유체가 이동하며 발생하는 손실을 최소화하기 위해 임펠러홈 내부에 유로를 형성하였다. 임펠러홈의 내부에 유로가 있는 경우, 작동유체가 채널간 이동 통로뿐만 아니라 임펠러홈의 내부 유로로도 이동하여 손실이 감소할 것으로 예상하였다.

## 2.2 수치해석 대상 및 조건

본 연구의 해석 대상은 Fig. 2 및 4에서 제시한 임펠러홈 및 채널 이외에 임펠러홈과 채널 사이에 존재하는 간극(gap)을 포함시켰다. 링블로워의 수치해석은 다수의 임펠러홈과 상대적으로 좁은 간극으로 인하여 많은 격자가 요구된다. 특히 간극은 입출구 사이의 누설유동을 모사하는 데 있어 중요한 역할을 한다. 따라서 신뢰할 수 있는 해석결과를 위해 효과적인 간극의 격자생성이 필요하다. 본 연구에서는 Fig. 6과 같이 회전방향으로 일정한 형상을 갖는 간극의 형상을 모사하고 회전방향으로 2D 격자를 생성하여 격자수를 감소시켰다. 격자가 생성된 간극을 회전방향으로 복사하여 360도 전체에 대해 간극이 존재하도록 하였다. 총 격자점 개수는 임펠러홈의 내부 유로의 유무에 따라 다르나 최대 800만개

Table 3 Comparison of performance prediction by CFD

	$Q_{in}$ (CMM)	$\Delta P_{T-s}$ (kPa)	Torque (Nm)	$\eta$ (%)
Basic model (no-inner flow path)	15.0	13.54	20.18	44.0
Modify model (inner flow path)	15.0	13.97	18.08	50.5

정도이다.

링블로워의 수치해석은 상용 CFD 프로그램인 ANSYS CFX v13을 사용하였고 해석 조건은 성능측정을 위한 실험과 유사한 조건으로 부여하였다. 링블로워의 압축성 효과를 반영하기 위해 이상기체상태의 공기(air ideal gas)를 작동유체로 설정하였다. 입구에는 표준상태의 대기압 조건을, 출구는 질량유량 조건을 부여하였다. 임펠러는 회전하는 영역으로, 채널과 간극은 회전하지 않는 영역으로 설정하였으며 두 영역간의 경계조건은 Frozen rotor를 사용하여 정상상태(steady state) 계산을 하였다. 난류모델은 SST(shear stress transport)  $\kappa-\omega$  모델을 사용하였다.

## 2.3 결과분석

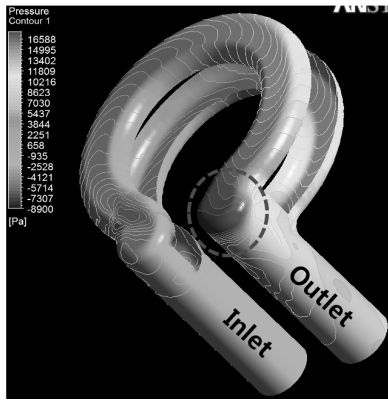
### 2.3.1 전체성능 분석

CFD를 통한 성능예측 결과로부터 전체 성능에 해당되는 내용을 도출하였다. 유체기계의 전체 성능은 유량에 대한 압력 상승과 효율로 나타낼 수 있다. 유량의 경우는 CFD에서 경계조건으로 부여하기 때문에 미리 결정된다. 압력 상승량은 CFD의 결과로부터 얻을 수 있으며 효율은 회전하는 영역의 벽면에 걸리는 토크를 사용하여 계산한다. Table 3은 임펠러홈의 내부 유로 유무에 따른 전체 성능에 대한 비교 결과이다.

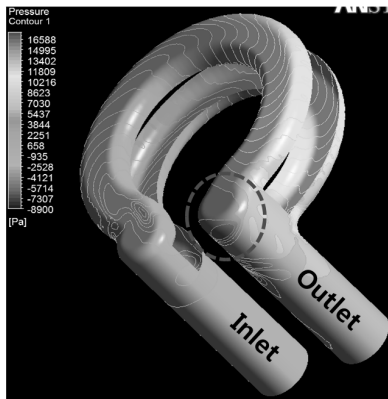
Table 3의 비교 결과를 분석하면 동일 유량에서 임펠러홈의 내부에 유로가 존재하는 모델의 성능이 향상된 것을 볼 수 있다. 동일 유량에서 압력상승량이 증가하였고 토크가 감소하였다. 결국 효율이 6.5% 증가하는 효과가 발생하였다.

### 2.3.2 내부 유동장 분석

링블로워와 같은 재생형 유체기계는 일반적인 유체기계와 달리 내부적으로 여러 차례 압력을 상승시키는 특성이 있어 전체적인 유동장에 대한 분석 이외에 임펠러홈 각각에 대한 분석을 통해 유동장을 평가해야만 한다. Fig. 7에 임펠러홈 내부 유로의 유무에 따른 채널 벽면에서의 압력분포를 비교하여 나타내었다. 두 결과 모두 전체적으로 입구에서 유입된 작동유체가 임펠러가 회전함에 따라 압력이 상승하는 경향을 보인다. 임펠러홈 내부 유로의 유무에 따른 비교를 보면 Fig. 7(b)의 내부 유로가 있는 결과가 Fig. 7(a)의 내부 유로



(a) No-inner flow path



(b) Inner flow path

Fig. 7 Pressure distribution of channel wall

Table 4 Comparison of mass flow rate at channel flow path in outlet

Model	Mass flow rate (kg/sec)	Ratio of mass flow rate (total = 0.3 kg/sec)
No-inner flow path	0.140	46.7 %
Inner flow path	0.057	18.9 %

가 없는 결과에 비해 입출구부에서의 압력 손실이 적음을 알 수 있다. 특히 출구부의 손실은 압력이 상승된 작동유체가 출구 방향으로 토출되는 과정에서 발생하는데, 임펠러홈의 내부에 유로가 형성된 모델의 출구부 손실이 적은 것으로 확인이 된다. 이러한 효과를 좀 더 정량적으로 분석하기 위해 Table 4에 모델별로 출구부 채널간 이동 통로에서의 질량유량을 비교하였다. 즉, 임펠러홈 내부 유로의 유무에 따라 채널을 연결해주는 통로에서의 유동 분배량을 확인하여 손실 여부를 판단하고자 하는 것이다.

이상적인 유동 분배의 상황이라면 블로워 전체 질량유량 (0.3 kg/sec)의 절반에 해당되는 유량(0.15 kg/sec)이 채널간 이동 통로로 이송되어야 한다. 우선 내부에 유로가 없는 모델의 채널간 이동 통로로 이송된 유량이 0.14 kg/sec 인 점을 보면 블로워의 전체 크기를 고려하여 결정한 채널간 이동 통로를 통해 유동 분배가 잘 이루어진 것으로 판단할 수 있다.

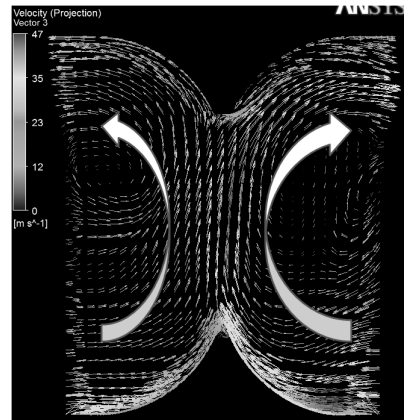


Fig. 8 Inner flow velocity distribution of impeller groove

그리고 내부 유로의 유무에 따른 비교를 보면 내부 유로가 없는 모델에 비해 내부 유로가 있는 모델은 채널간 이동 통로로 이송되는 양이 매우 적다. 이것은 내부 유로가 존재하는 모델의 경우, 채널간 이동 통로뿐만 아니라 임펠러홈 내부 유로도 작동유체가 토출된다는 것을 증명하는 결과이다. 작동유체가 상대적으로 손실이 적은 통로를 통해 출구로 이동하게 되어 손실이 감소하게 된다는 매커니즘이다. 이러한 매커니즘은 출구뿐만 아니라 입구에서도 동일하게 발생하며 결론적으로 블로워 전체의 성능을 향상시키게 된다.

손실이 감소하여 동일 유량 조건에서 압력 상승량이 증가하는 것은 일반적인 유체기계의 성능개선 방법이다. 그러나 이런 경우에 압력의 상승과 함께 토크도 상승하기 때문에 효율이 개선되는 효과는 매우 적다. 그러나 Table 3의 결과를 보면 임펠러홈 내부에 유로가 있는 경우, 압력이 상승되었음에도 불구하고 토크가 감소하여 효율이 크게 개선되는 것을 볼 수 있다.

Table 3의 토크 감소 효과를 확인하기 위해 임펠러홈 내부에 유로가 존재하는 모델을 대상으로 내부 유동장을 분석하였다. 유동이 균일해졌다고 판단되는 부분의 임펠러홈을 선택하고 임펠러홈 내부의 유로 중앙을 지나는 면을 생성하여 속도벡터를 확인하였다. 속도벡터는 내부 순환유동을 확인하기 위해 생성된 평면의 접선방향 속도 성분으로 정의하였다. Fig. 8의 결과를 보면 임펠러 내부 유동이 우측 임펠러홈으로 약간 쏠리는 현상이 발생하나 전체적으로 대칭인 경향을 보인다. 이러한 현상은 개방 채널형에서도 나타난다.<sup>(2)</sup> Fig. 1(a)의 개방 채널형의 설명에서 임펠러의 좌우측 유동이 균형을 이루는 것을 볼 수 있다. 임펠러 내부에서 유동이 대칭을 이루어 얻을 수 있는 효과는 가상의 벽(wall)이 존재하는 효과이다. 개방 채널형의 경우, 임펠러가 개방되어 있음에도 불구하고 임펠러의 좌우측 유동이 대칭을 이루면서 마치 날개가 연장된 것과 같은 효과를 보인다.

임펠러홈 내부에 유로가 존재하는 모델도 임펠러홈의 좌우측 유동이 균형을 이루어 마치 임펠러홈 사이에 벽이 있는

효과를 보인다. 실제로 임펠러홈을 구분하는 벽이 존재하지 않으나 가상의 벽이 존재하는 효과를 보여 성능은 동일하면서 벽면에 걸리는 토크가 상대적으로 감소하게 된다. 결국 유사한 성능에서 토크가 감소하여 효율이 증가하게 된다.

끝으로 연구의 내용을 정리하면, 본 연구는 성능이 개선된 사이드 채널형 링블로워를 설계하였다. 성능 개선을 위해 내부 유로가 존재하는 임펠러홈을 제안하였다. 임펠러홈의 내부 유로를 통해 작동유체가 원활하게 입구에서 채널로, 채널에서 출구로 이동하였다. 그 결과로서 작동유체가 입출구부로 이동하며 발생하는 손실이 감소하여 성능이 향상되었다. 또한 유동이 안정화 된 부분에서는 임펠러홈의 내부 유동이 대칭 형상이 되어 가상의 벽이 만들어 졌다. 이러한 현상으로 부터 성능의 변화 없이 토크가 감소하는 효과가 발생하는 것을 확인하였다.

### 3. 결 론

본 연구는 산업용 링블로워의 성능향상을 목표로 임펠러 홈 내부에 유로가 존재하는 사이드 채널형 링블로워를 설계 하였다. 성능을 검토하기 위해 CFD를 적용하였으며 그 결과로부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 입출구가 블로워의 한쪽에 병렬로 배치된 사이드 채널형 링블로워는 작동유체의 채널간 이동으로 인하여 손

실이 발생한다.

- 2) 임펠러홈의 내부에 유로가 생성된 모델은 입구 및 출구에서 작동유체가 임펠러홈의 내부 유로를 통해 이동하여 손실이 감소된다.
- 3) 임펠러홈의 내부에 유로가 생성된 모델은 유동이 안정화 된 부분에서 대칭과 유사한 속도장을 보인다.
- 4) 임펠러홈 내부에 발생된 가상의 벽으로 인하여 성능은 동일하면서 토크가 감소하여, 결국 효율이 증가한다.

### 후 기

본 연구는 지식경제부 청정제조기반산업원천기술개발사업의 연구비 지원에 수행되었음을 밝힙니다(No. 10031962).

### 참고문헌

- (1) 이경용, 최영석, 정경호, 박운진, 2010, "사이드 채널형 링블로워의 설계 및 성능평가," 2010 유체기계 연구개발 발표회, pp. 116~117.
- (2) 장춘만, 한기영, 2008, "링 블로워 내부유동장 및 성능특성 연구," 유체기계저널, 제11권, 제4호, pp. 38~44.