

# 사이드채널형 재생블로워의 성능평가

이경용\* · 최영석\*

## Performance Evaluation of Side Channel Type Regenerative Blower

Kyoung-Yong Lee\*, Young-Seok Choi\*

**Key Words** : Regenerative Blower(재생블로워), Side Channel Type(사이드채널형), Performance Prediction(성능예측), CFD(전산유체역학)

### ABSTRACT

The performances of side channel type regenerative blowers were evaluated by the blower performance test, 1-D performance prediction and CFD. The performance prediction method was modified using the results of the performance test and CFD and applied to the design of the new regenerative blowers. The major geometric parameters such as channel height, channel area and expansion angle were decided from the performance prediction method for the improved models and the predicted results were compared with CFD and experimental data. Both of the modified models showed improved efficiency at the operating condition. Especially, model3 could be possible to reduce operating rotating speed, that is benefit to noise performance, because of the high head performance at the design point. The CFD results showed that the performance of the regenerative blower was influenced by the secondary circulatory flow in the channel.

### 1. 서론

재생형 유체기계(regenerative turbomachinery)는 작은 유량에서 큰 양정을 낼 수 있는 유체기계로서 고압을 필요로 하는 자동차 연료공급 장치의 연료펌프, 가정용수용 펌프 및 산업용 고압 송풍기로 널리 사용되고 있다. 송풍기 분야에서는 링블로워(ring blower)로 알려져 있으며 원주를 따라 방사형으로 파여진 임펠러 홈(impeller groove)이 케이싱(casing)안에서 회전하면서 발생하는 유체의 마찰에 의한 압력변화로 양정을 상승시키는 원리이다. 링블로워를 포함하여 재생블로워는 일반적으로 소음이 적다는 장점이 있으나 여러 개의 날개깃(impeller vane)에서 발생하는 마찰손실과 유체가 임펠러와 수로(channel) 사이에서 순환유동(circulatory flow)을 하면서 발생하는 난류의 영향으로

효율이 매우 낮다.

일반적으로 재생형 유체기계는 수로의 형태와 위치에 따라 분류되는데 링블로워와 같이 수로가 반경방향에 위치한 개수로형(open channel type)과 수로가 축방향에 위치하여 임펠러 홈과 유동장을 형성하는 사이드채널형(side channel type)이 있으며 사이드채널형은 주로 재생펌프에 널리 사용되고 있다. 최근 저유량, 고압력을 요구하는 소형장비에서 공기 과급용으로 재생블로워의 사용 빈도가 높아지고 있는데 사이드채널형이 주를 이루고 있다. 그러나 재생펌프와 비교해보면 관련된 연구 및 특허 발표 건 수가 매우 미흡한 상태이며 현재 상용화된 제품을 살펴보면 매우 단순한 형상을 가지고 있어 앞으로 성능 및 효율 향상을 위해 개선할 요지가 많다고 판단된다.

본 연구에서는 사이드채널형 재생블로워를 제작하여 성능시험을 수행하고 재생펌프의 1차원 성능예측에

\* 한국생산기술연구원 에너지응용팀

E-mail : chrisst@kitech.re.kr

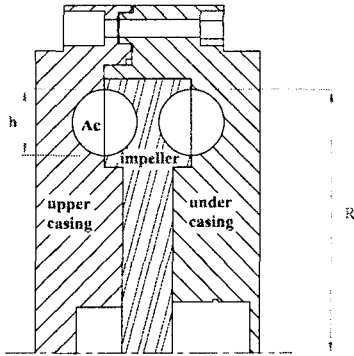


Fig. 1 Schematic and geometric symbols of the side channel type regenerative blower

사용된 프로그램을 재생블로워에 적용하여 형상에 따른 성능예측을 하였다. 또한 제작된 재생블로워의 3차원 모델링 자료를 통해 얻은 유동영역에 대해 CFD를 활용하여 내부유동장 분석 및 성능예측을 수행하였다. 재생블로워의 성능시험, 1차원 성능예측 및 CFD 결과를 비교하여 각각의 결과에 대해 검증을 하였고, 1차원 성능예측 프로그램을 사용하여 새로운 재생블로워를 설계하였으며 CFD를 활용하여 성능 및 효율이 상승된 설계임을 확인하였다.

## 2. 재생블로워의 특징 및 연구내용

본 연구에 사용된 재생블로워는 사이드채널형으로써 Fig. 1과 같이 채널과 임펠러 홈이 반원형을 이루고 있으며 임펠러 홈은 축방향 기준으로 임펠러의 앞면과 뒷면에 원주방향을 따라 파여져 있으면서 서로 독립적인 유동장을 형성한다. 재생블로워의 원리가 임펠러 홈과 채널간의 내부순환유동에 의한 양정 상승인 점을 감안하여 볼 때 임펠러 홈과 채널의 형상이 재생블로워의 성능에 직접적인 영향을 미친다고 해도 과언이 아니다. 따라서 재생블로워는 임펠러 깃 개수, 채널 확장각( $\theta_c$ ), 채널 면적( $A_c$ ), 임펠러 깃 각도, 임펠러 반경( $R$ ) 및 채널 폭( $h$ ) 등 성능에 영향을 미치는 인자가 많다.

본 연구에서는 기존의 상용 재생블로워와 유사한 형상을 가지는 재생블로워를 제작(model1)하고 제작 과정에서 생성된 3차원 모델링으로부터 유동장을 정의하여 CFD에 적용하였다. 또한 model1의 형상정보로부터 1차원 성능예측을 수행하였고, 소형 송풍기 성능시

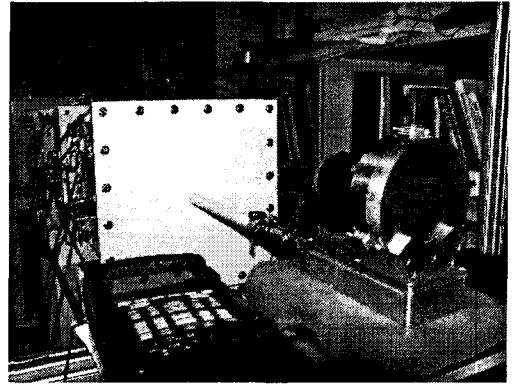


Fig. 2 Photograph of the small fan tester and model1

험장치(small fan tester)를 사용하여 유량에 따른 압력 상승을 측정하였다. 성능시험, 1차원 성능예측 및 CFD 결과를 비교 분석하여 1차원 성능예측 프로그램을 수정하였으며 수정된 1차원 성능예측 프로그램을 통해 model2 및 3을 설계하였다. 설계는 model1과 동일한 임펠러 반경을 가지면서 임의의 설계점 유량에서 압력 상승량 및 효율이 증가되는 것을 목표로 하였고 CFD를 통해 설계목표의 달성여부를 확인하였다.

## 3. 재생블로워의 성능평가

### 3.1 성능시험

저유량, 고압력의 재생블로워의 성능시험을 위해 제작된 소형 송풍기 성능시험장치를 Fig. 2에 나타내었다. 크기는  $0.3 \times 0.3 \times 1.0$  m이고 측정유량범위는 0.08-3 CMM, 최대정압은 1000 mmAq이며 유량측정을 위해 직경이 9, 15, 20, 30 mm인 노즐을 유량범위에 따라 선택하여 사용하도록 되어 있다. 1차원 성능예측 및 CFD에서는 재생블로워의 임펠러 및 채널 부분에 한정되었으나 실험에서는 재생블로워의 입출구 유동소음을 낮추기 위해 장착한 소음기를 장착한 상태로 유량변화에 따른 압력변화를 측정하였다.

### 3.2 1차원 성능예측 및 설계인자

재생형 유체기계의 성능은 임펠러 홈과 채널이 형성하는 내부영역에서 얼마나 효과적인 순환유동을 형성하는가에 달려있다. 이러한 관점에서 보면 재생형 유체기계의 성능예측은 내부의 순환유동에 대해 얼마

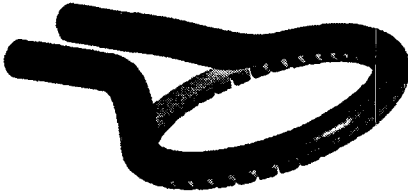


Fig. 3 Simulation region of model1

나 정확한 모델을 제시하는가에 달려있다. Badami<sup>(1)</sup>는 수로와 임펠러 홈의 순환유동을 고려한 펌프의 성능해석을 통해 새로운 수로의 형상에 대한 성능해석을 수행하였다. Yoo et al.<sup>(2),(3)</sup>는 운동량 교환 이론을 개선하여 순환유량과 각운동량 변화를 산출할 수 있는 개선된 수력학적 모델을 개발하고 순환 및 접선 유동에 의한 손실 모델을 제시하여 성능예측을 수행하였으며 실험결과와 비교하였다. 본 연구에 사용된 성능예측 프로그램은 사이드채널형 연료펌프의 수로와 임펠러 홈의 순환유동을 고려하여 펌프의 성능해석을 수행하고 새로운 수로의 형상을 제시하면서 검증된 프로그램<sup>(4)</sup>으로써 model1의 형상정보를 입력하여 성능예측을 수행하였다. 1차원 성능예측의 경우, 사이드채널의 기본적인 형상 이외에 블로워의 입출구 및 임펠러 홈 형상 등 손실과 관련 있는 형상에 대해서는 실험 및 경험에 의한 손실계수로 대체하였고 이상적인 내부순환유동이 발생한다고 가정하였기 때문에 정확한 예측이 어렵다. 따라서 본 연구에서는 실험 및 CFD의 결과와 성능예측 결과를 비교하여 발생하는 오차에 대해 손실계수를 조절하여 보상하였다.

model2 및 3의 설계는 model1의 설계점 성능을 만족하는 조건으로 재생형 유체기계의 성능과 관련 있는 인자들 중 채널 폭(h), 채널 면적비(Ac/Acir) 및 채널 확장각( $\Theta_c$ )을 변화 시켰으며 Table 1에 각각의 인자를 비교하였다. 인자들 중 채널 폭은 임펠러 반경과의 비율로 나타냈으며, 임펠러 반경을 고정한 상태에서 변경시켰다. 채널 면적비는 채널 폭을 지름으로 하는 반원형 채널 면적(Acir)과 실제 채널 면적(Ac)과의 비율이며, 실제 채널 면적은 채널 폭을 고정하고 채널의 깊이를 조절하여 채널이 타원형상이 되도록 변화시켰다. model2의 설계는 model1의 성능예측 결과에 비해 동일한 회전수에서 효율 상승 및 최고 효율점의 유량

Table 1 Design parameter

parameter model	h	Ac/Acir	$\Theta_c$	RPM
model1	0.25R	1.0	261	5500
model2	0.25R	0.9	300	5500
model3	0.275R	0.8	300	5200

감소를 목표로 하였고, model3은 효율 상승 및 회전수 감소를 목표로 하였다.

### 3.3 CFD

재생블로워의 CFD는 전체 크기에 비해 작은 여러 개의 임펠러 홈과 고압력의 작동조건으로 인한 누설 유동을 고려해야 한다는 문제점을 가지고 있다. 또한 회전하는 임펠러 홈과 정지하고 있는 채널간의 상호작용을 고려해야 한다.

본 연구에서는 Fig. 3과 같이 임펠러 홈과 채널 사이의 축방향 간극(axial gap), 임펠러 홈 및 채널을 유동영역으로 선정하여 상용 전산유체해석 프로그램인 CFX-10으로 해석을 수행하였다. 임펠러 홈과 채널은 상용 격자생성 프로그램인 ICEM CFD 10을 사용하였고 수십 마이크로미터( $\mu m$ )의 축방향 간극은 CFX mesher의 2D 격자계를 이용하여 격자를 생성하였다. 임펠러 홈과 간극, 그리고 간극과 채널의 경계조건을 부여하는데 있어 경계면의 면적이 정확하게 일치하지 않는다는 조건을 해결하기 위해 중복되지 않은 경계면(non overlap interface)은 해당되는 해석영역(domain)의 조건(회전 또는 정지)에 맞도록 지정해주었다. 총 격자수는 146만개이며 해석시간을 단축하기 위해 7대의 컴퓨터를 병렬 연결하여 해석을 수행하였다.

### 3.4 전체 성능평가

재생블로워의 성능시험, 1차원 성능예측 및 CFD 결과를 비교하는데 있어 회전수 및 밀도를 고정시킬 수 있는 1차원 성능예측 및 CFD와 달리 성능시험 결과는 시험환경에 따라 밀도가 변할 수 있으며 재생블로워에 장착된 모터의 특성에 따라 회전수가 변화하게 된다. 따라서 동일한 조건으로 비교하기 위해 유량계수( $\phi = Q/(ND^3)$ ) 및 수두계수( $\psi = \Delta P / (\rho N^2 D^2)$ )로 무차원화 하여 Fig. 4에서 비교하였다.

model1은 1차원 성능예측 프로그램 및 CFD의 검증

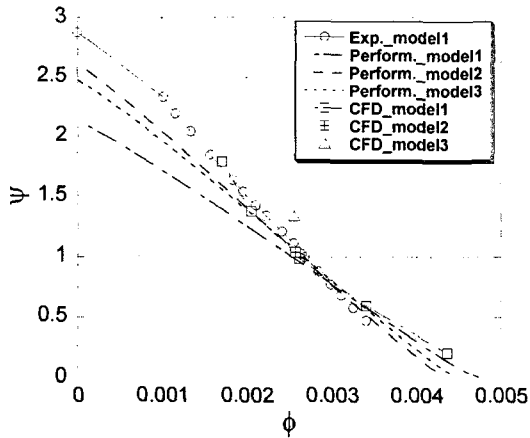


Fig. 4 Flow and head coefficient of models

을 위해 실험결과를 포함하여 비교하였으며 model2 및 3은 설계에 사용된 1차원 성능예측 결과 및 설계점 유량 근처에서의 CFD 결과를 비교하였다. model1의 결과를 비교해보면 설계점 기준으로 고유량 영역에서는 1차원 성능예측 결과와 CFD 결과가 거의 일치하고 성능시험 결과가 낮게 측정된 경향을 보이고 있으나 저유량 영역에서는 CFD 결과와 성능시험결과가 유사한 경향을 보이는데 반해 1차원 성능예측 결과는 낮게 예측되는 것을 확인할 수 있다. 이러한 차이를 분석해보면 우선적으로 성능시험 결과에서 회전수 측정 오차로 인한 무차원값의 차이 및 실제 성능분석 영역의 차이라고 판단된다. 성능분석에 사용된 영역을 비교해보면 성능시험 결과는 모든 영역을 포함하고 있으나 CFD는 소음기 영역 및 간극의 일부가 제외되었고 1차원 성능예측에서는 채널에 대한 평가만을 수행하였다.

model1의 결과를 통해 1차원 성능예측 프로그램의 손실계수를 조절하였으며 그 결과, 설계점 유량 및 압력상승을 만족하는 것을 확인하였다. 이러한 결과를 model2 및 3의 설계에 반영하였다. model2의 설계는 효율 상승을 중점으로 하여 채널 면적의 변화에 따른 효율 변화를 예측하여 형상을 결정하였고 model1에 비해 효율이 상승하는 효과가 CFD를 통해 입증되었다. model3의 설계는 좀 더 많은 인자들의 변화를 통해 회전수 감소 및 효율 상승의 두 가지 목표를 위해 수차례의 인자 변화에 따른 성능변화 분석으로 원하는 인자 조합을 이끌어 냈다. 그 결과, 설계점 회전수가 5500 rpm에서 5200 rpm으로 감소시킬 수 있었으며 기존 회전수 대비 성능향상을 알아보기 위해 model3의

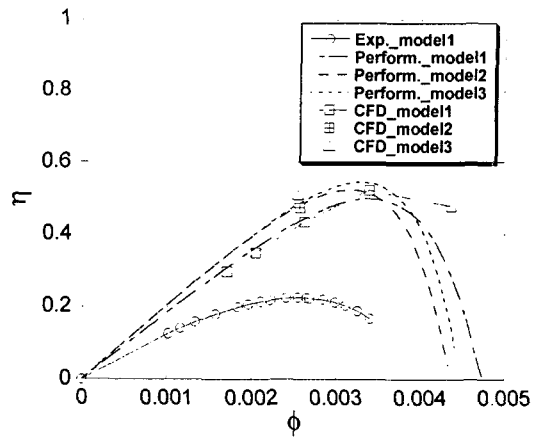


Fig. 5 Flow coefficient and eta of models

CFD는 5500 rpm으로 회전하는 조건에서 해석하였는데 상당히 향상된 성능을 보이고 있다. 또한 효율에서도 다른 모델에 비해 월등한 효율 상승을 나타내고 있다.

본 연구에서는 재생블로워의 전체 성능평가를 통해 재생블로워의 설계에 대한 방법을 제시하였다. 제대로 검증된 1차원 성능예측 프로그램을 사용하여 성능에 관련된 인자들의 적절한 조합을 통해 주된 형상을 결정할 수 있고, 형상 결정 이후 성능시험을 위한 시제품을 제작하기에 앞서 설계의 검증을 위해 CFD를 활용하는 방법의 가능성을 확인하였다.

### 3.5 내부유동장 평가(CFD 결과)

재생형 유체기계의 내부유동장 평가는 일반적인 유체기계와 다른 유동장을 형성하기 때문에 정량적인 비교에 어려움이 있어 주로 내부순환유동을 분석하는데 중점을 둔다. Fig. 6은 해석영역의 벽면에서의 압력분포이다. 상대적으로 압력이 작은 부분이 입구부이고 입구부 이후에 출구부까지 압력이 상승되는 경향을 볼 수 있으며 특히 입구부와 출구부 사이의 스트리퍼(stripper)영역에서 축방향 간극으로 인한 압력손실을 3가지 모델 모두에서 확인할 수 있다. 재생형 유체기계에서 스트리퍼는 입구부와 출구부를 구별해주는 중요한 요소이며 스트리퍼의 원주방향 확장각, 축방향 폭 및 스트리퍼의 형상에 따라 성능이 변화할 수 있다고 알려져 있다. 본 연구에서는 스트리퍼의 형상은 채널과 입출구부 사이의 완만한 유동장 형성 및 채널 확장각의 변화에 따라 결정되었기 때문에 스트리퍼의 최

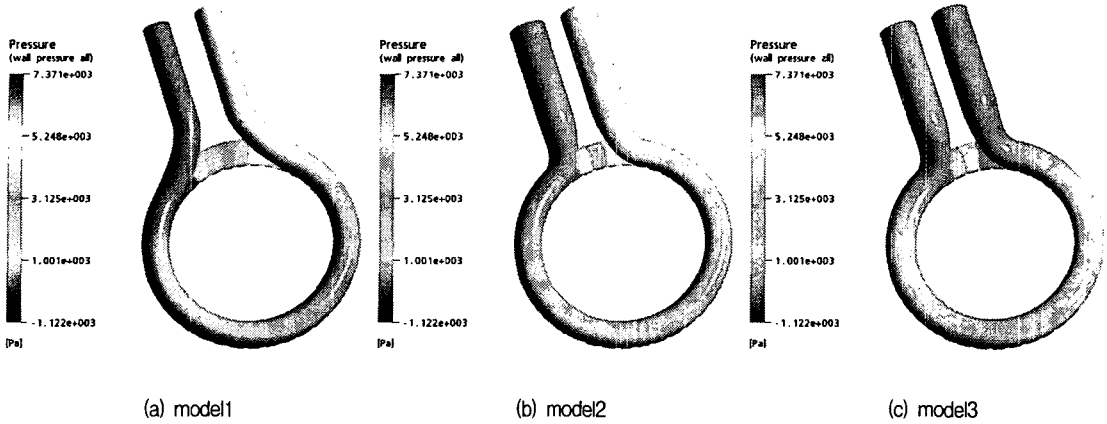


Fig. 6 Pressure distribution at blower wall

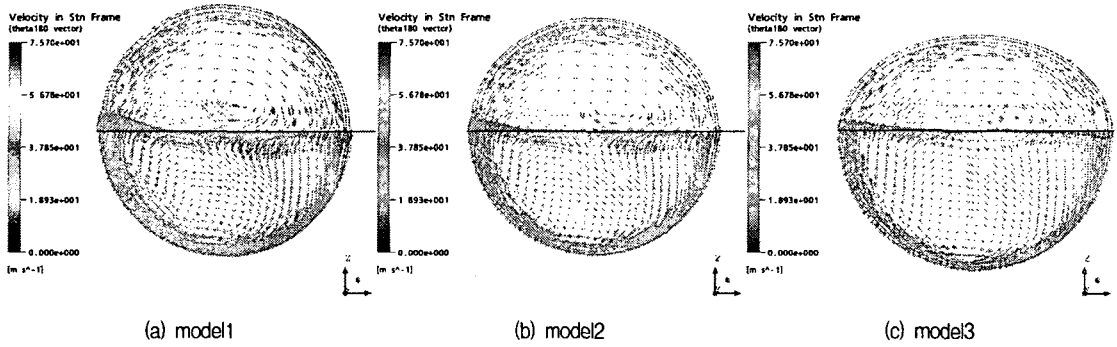


Fig. 7 Vector at cross section( $\theta=180^\circ$ )

적 설계를 별도로 수행하지 않았으며 향후 고려해볼 사항이라고 판단된다.

Fig. 7의 (a)-(c)는 스트리퍼의 정중앙을  $0^\circ$  로 설정 하였을 때 원주방향으로  $180^\circ$  인 위치의 단면 속도벡터이다. 단면에서 상부 반원은 채널영역이고 하부 반원은 임펠러 홈 영역이며 우측 방향이 중심방향이다. 단면 속도벡터를 분석해보면 전체적으로 임펠러 홈의 반경이 작은 부분에서 유동이 채널로부터 유입되어 순환유동을 이루며 반경이 큰 부분에서 채널쪽으로 토출되는 경향을 보인다. 이러한 큰 흐름외에 임펠러 홈과 채널내부에서 2차 순환유동이 발생하는 것을 확인할 수 있으며 앞서 1차원 성능예측에서 내부 유동을 이상적인 내부순환유동이라고 가정하는 것과 차이를 보인다. 내부순환유동에서 2차 순환유동은 주된 유동에 대해 손실로써 작용하기 때문에 재생형 유체기계의 성능 향상을 위한 연구에서는 채널 및 임펠러 홈의 단면적 변화를 통해 이러한 2차 순환유동을 억제 시키는 방안을 제시하고 있으며 본 연구의 결과에서도 채널 면적

이 감소함에 따라 채널의 2차 순환유동이 감소하는 경향을 확인할 수 있다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 사이드채널형 재생블로워의 성능시험, 1차원 성능예측 및 CFD등을 수행하고 각각의 결과를 비교 검토하여 새로운 모델을 제시하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 사이드채널형 재생블로워의 성능은 내부순환유동으로 인해 발생하는 압력상승을 모델링한 재생형 유체기계의 1차원 성능예측 프로그램으로 예측이 가능하며, 성능에 영향을 미치는 인자들의 평가를 통해 재생블로워 설계의 기본 자료로 활용이 가능하다.
- 2) 재생블로워의 성능인자 중 임펠러 폭(h), 채널 면적비( $Ac/Acir$ ) 및 채널 확장각( $\theta_c$ )의 조합으로 새로운 모델의 기본 형상 설계를 수행하여 성능 및

효율이 향상되었다.

- 3) 재생블로워의 내부유동장 분석을 통해 2차 순환 유동이 상대적으로 적게 나타나는 모델의 성능이 향상되었음을 확인하였다.

### 참고문헌

- (1) Badami, M., 1997, "Theoretical and Experimental Analysis of Traditional and New Periphery Pumps," SAE Technical Paper Series, n.971074.
- (2) 유일수, 박무룡, 정명균, 2004, "비압축성 재생형 기계에 대한 개선된 운동량 교환 이론(I) -수력학적 모델-", 대한기계학회논문집 B권, 제28권 제10호, pp. 1238-1246.
- (3) 유일수, 박무룡, 정명균, 2004, "비압축성 재생형 기계에 대한 개선된 운동량 교환 이론(II) -손실 모델 및 성능 예측-", 대한기계학회논문집 B권, 제28권 제10호, pp. 1247-1254.
- (4) 최영석, 이경용, 강신형, 2003, "사이드채널형 연료 펌프의 성능예측," 유체기계저널 제6권 제2호, pp. 29-33.