

## 진공청소기용 원심팬의 성능향상을 위한 유동해석

최 용 규<sup>\*1</sup>, 박 형 구<sup>\*2</sup>

## Flow Analysis for the Performance Improvement of the Centrifugal Fan in a Vacuum Cleaner

Y. K. Choi and H. K. Park

The performance of the centrifugal fan in a vacuum cleaner is affected by the hydraulic loss, such as the friction loss, the recirculation loss and the impact loss etc., Those losses depend on the rotational speed of the impeller, the inlet and exit widths, the relative flow angles to the blade, the number of the blades and the geometry of the shroud and the diffuser. These parameters are complicatedly interrelated, so the experimental means in analyzing the fans are rather limited. In the present study, the flow analysis are done numerically by changing the relevant fan parameters. A commercial code, STAR-CD, is used for the calculations. It is seen from the analyses that the computational results agree well with the experimental results. The results obtained can be used for the basic design of a centrifugal fan.

**Key Words:** 원심팬(Centrifugal Fan), 진공청소기(Vacuum Cleaner), 유동해석(Flow Analysis), 수력손실(Hydraulic Loss)

## 1. 서 론

최근 가전제품은 고효율, 저소음뿐만 아니라 소형화 등이 요구되고 있으며, 특히 가정에서 쉽게 접할 수 있는 진공 청소기는 다른 가전 제품에 비해 소음이 크고 전력 소비가 많다. 진공 청소기는 흡입력을 발생시키는 핵심 부품인 원심팬과 유로, 먼지봉투 등으로 이루어져 있다. 이 중 원심팬에서 대부분의 소음이 생성된다. 원심팬의 성능은 소음과 효율로 나타낸다. 원심팬의 소음은 주로 30,000rpm 이상 고속으로 회전하는 회전자(impeller)와 안내깃(diffuser)의 공기역학적인 상호작용에 의해 발생된다[1]. 그리고 원심팬의 효율은 팬 내부의 수력손실이 최소화 되도록 팬의 형상을 최적화 함으로서 극대화할 수 있다. 따라서 고효율, 저소음의 원심팬을 설계하기 위해서는

반드시 팬의 내부 유동장의 이해가 선행되어야 한다. 원심팬의 내부 유동장을 가시화 하는 방법으로는 실험적인 방법과 전산해석적인 방법이 있다. 실험적인 방법은 PIV을 이용하여 현재 가장 많이 연구되고 있지만 팬의 고속회전으로 인해 비정상 3차원 유동특성을 가지고 있기 때문에 가시화가 용이하지 않다. 하지만 전산해석적인 방법은 팬 내부뿐만 아니라 실험으로 측정하기 곤란한 영역의 유동특성까지 파악할 수 있다.

본 연구에서는 원심팬의 성능 요소 중 효율에 초점을 맞추어 유동해석을 수행하였다. 효율에 영향을 미치는 요인으로는 원심팬의 회전자와 안내깃의 입·출구 폭과 각도, 깃(blade) 수, 보호판(shroud)의 형상, 회전자의 회전속도 등 여러 가지 형상변수가 있지만, 그 중 회전자와 안내깃의 입구 각도와 출구 각도가 성능에 미치는 영향을 조사하였다.

유동 해석은 회전영역의 격자를 실제로 움직이는 이동격자법(moving mesh)를 이용하여 수행되었으며, 전산해석의 타당성 검증을 위하여 실험결과와 비교하였다.

\*1 학생회원, 전남대학교 대학원 기계공학과

\*2 정회원, 전남대학교 기계시스템공학부

\*E-mail : cygjung@hanmail.net

## 2. 실험장치 및 방법

팬의 성능은 소음과 효율로 나타낸다. 이 두 가지 중 팬의 효율은 Fig.1에 나타난 시험관(test duct) 내의 유량과 벽압력, 모터에 인가되는 전력 즉 입력 일률, 회전차의 회전속도 등을 측정함으로써 구할 수 있다.

시험관 내의 유량과 벽압력, 허니컴(honeycomb)의 전후의 압력차는 회전차의 회전속도를 변화시켜 가면서 각각 열선 유속계와 압력계로 측정하였다. 여기서 허니컴의 전후 압력 차를 측정하는 이유는 유동 해석 시 허니컴을 다공성 매체(porous medium)로 모사 함으로써 허니컴을 지날 때 발생하는 압력차를 고려해 주기 위해서이다.

입력일을 측정 방법에는 직접적인 방법과 간접적인 방법이 있다. 직접적인 방법은 입력토크와 회전속도를 측정함으로써 일률을 구하고, 간접적인 방법은 모터에 인가되는 전류와 전압 즉 전력을 측정함으로써 일률을 구한다[2]. 본 연구에서 다루는 진공청소기용 원심팬은 30,000 rpm 이상 고속 회전하기 때문에 일률을 직접 측정하는데 어려움이 있어서 간접적인 방법으로 일률을 측정하였다.

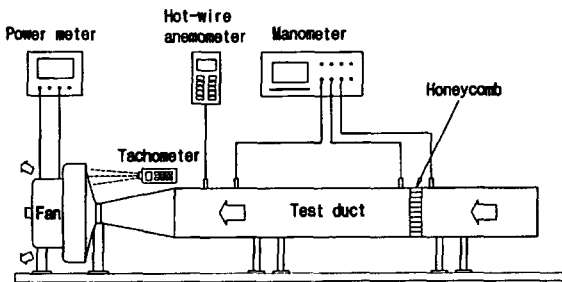


Fig.1 Test apparatus of the centrifugal fan

## 3. 유동 해석

### 3.1 유동해석 방법

터보기계의 내부 유동장을 해석할 때 사용되는 CFD 기법은 다좌표계법(MRF, multiple rotating frame)과 이동 격자법 등으로 분류된다. 본 연구에는 비정상상태로 실제 회전영역의 격자를 회전시키는 이동격자법을 사용하여 유동해석을 수행하였다. 이 기법은 회전하는 격자계와 정지된 격자계의 경계면을 슬라이딩 경계로 정의하고 매 시간마다 팬의 회전 각속도에 따라

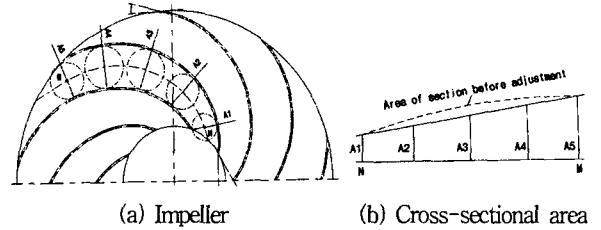


Fig.2 Method of establishing passage area changes[3]

회전 영역을 회전시키는 방법이다. 또한 이 기법은 시간에 따른 유동변수의 변화추이 등의 정보를 얻을 수 있으나 계산시간이 많이 걸린다는 단점이 있다[4].

본 연구에서 회전차 깃은 입구각이 변화함에 따라 출구각도도 같이 변화되도록 하였다. 즉 Fig.2와 같이 회전차 깃과 깃 사이의 유로가 점차 확대되도록 하여 깃 각도를 결정하였다. 안내깃의 입구각은 회전차의 상대 유동각을 기초로 하여 결정하였고, 유로 확대각은 16.°로 설정하였다.

### 3.2 격자 생성

격자는 Fig.1의 실험장치에서 시험관과 원심팬을 포함한 영역을 상용 소프트웨어인 ICFM-CFD를 사용하여 생성하였다. 원심팬은 형상이 복잡하여 전체를 하나의 격자계로 생성하는 어려움이 있어, 각 부분을 따로 생성하였다. 여기서 서로 다른 격자의 경계면은 커플링(coupling)을 사용하여 하나의 격자계로 구성하였다. 또한 벽 부분은 점성의 영향을 고려하기 위해 격자를 집중시켰다. 기본모델은 총 334,800 개의 육면체 격자 요소로 이루어져 있다.

Fig.3은 회전차와 안내깃, 리턴채널의 격자를 나타낸 것이다.

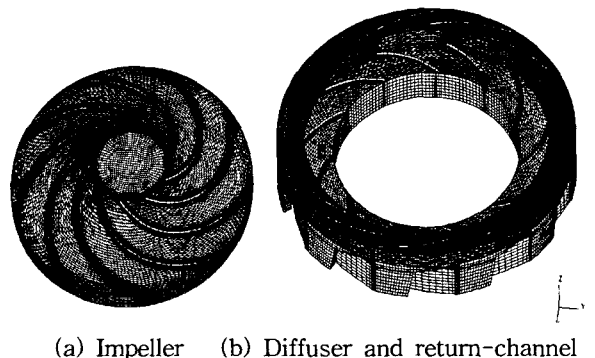


Fig.3 Mesh of the impeller and the diffuser and return-channel

### 3.3 경계 조건

계산 영역의 입구와 출구에는 대기압, 난류강도 3%, 길이 척도는 입구 수력직경의 10%를 주었다. 난류 모델은 High Reynolds number k-ε 모델을 사용하였다.

## 4. 유동해석 결과 및 고찰

유동해석 결과는 비압축성 비정상상태에서 유동이 없는 초기 조건에서부터 회전차를 회전시켜 유동이 완전 발달할 때까지 나타내었다. 유동은 회전차를 60 회전이상 회전시켰을 때 완전 발달되었다.

### 4.1 실험 결과와 유동해석 결과 비교

Fig.4는 회전차의 회전속도를 변화시켜가면서 원심팬의 입구에서 측정된 유량과 벽 압력으로 성능곡선을 나타낸 것이다. 실험결과와 유동해석 결과는 정성적으로 잘 일치하나 정량적으로 다소 차이를 보였다. 즉 시험에서의 오차나 난류 모델 및 대류항 처리기법 등에 의한 수치해석 상의 오차에 의해 실험결과와 유동해석 결과는 약 8 ~ 20 %의 차이를 나타내었다.

일반적으로 터보기계의 유동해석 결과는 앞서 언급한 이유로 실험결과를 정량적으로 정확히 예측하지 못하지만, 설계변수에 따른 성능변화는 잘 예측할 수 있다[5].

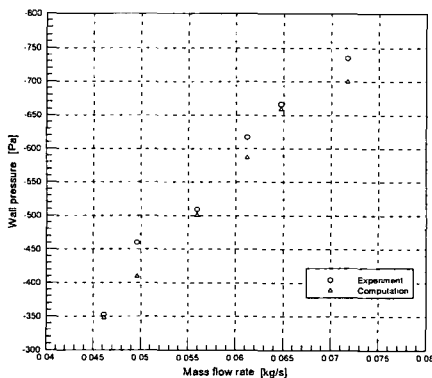


Fig.4 Performance curves of the centrifugal fan

### 4.2 회전차 깃 형상의 영향

Fig.5은 회전차 깃의 변화에 따른 원심팬의 출력일률과 효율을 나타낸 것이다. 여기서 출력일률은 입구에서 유량과 압력을 곱하여 구하였고, 효율은

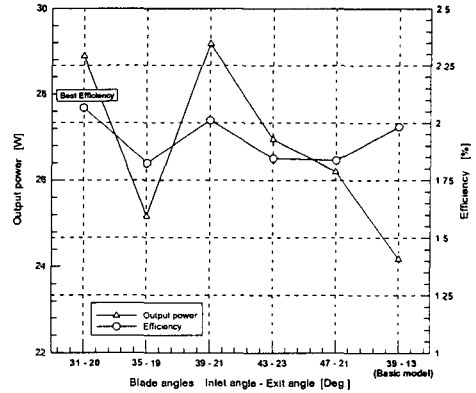
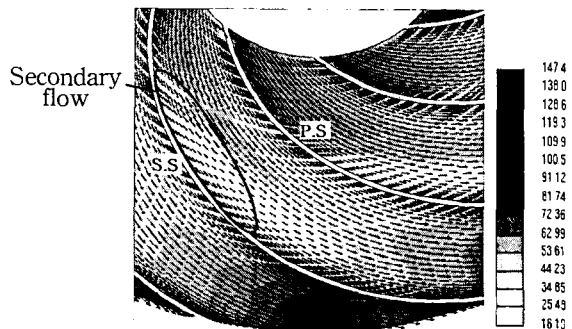


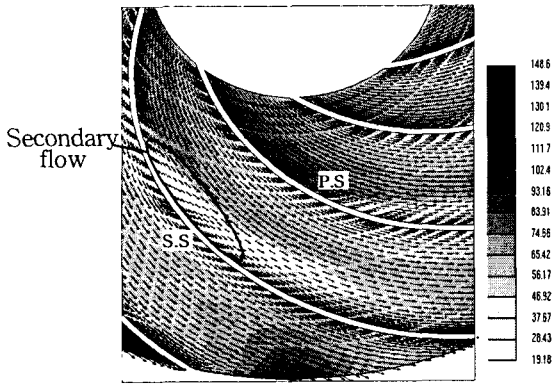
Fig.5 Output power and efficiency with the impeller blade angles

출력일률을 입력일률로 나누어 구하였다. 전산해석적인 방법에서 입력일률은 회전차 깃과 깃 사이 유로의 입·출구에서 각 운동량보존을 적용하여 구하였다. 출력일률은 전체적으로 기본모델보다 월등히 상승된 것을 확인할 수 있었다. 하지만 효율 면에서 보면 두 가지의 경우 즉 입·출구 각도가 각각 31° - 20°, 39° - 21° 경우를 제외하고 다른 경우는 더 저하되는 결과를 나타내었다. 이는 깃의 입구각도가 커짐에 따라 출력일률도 함께 증가된 것으로 판단된다.

Fig.6은 기본모델과 최대 효율을 가지는 모델(31°-20°)의 상대 속도장을 나타낸 것이다. 이 두 모델의 경우 모두 흡입면(S.S)에서 이차유동(secondary flow)으로 인해 유로폐쇄(blockage)와 속도가 느린 저속영역이 나타났다. 하지만 기본모델의 저속 영역은 최대효율을 가지는 모델보다 크게 분포되어 있으며 유로 내의 상대속도가 전체적으로 낮다. 이와 같은 이유로 최대효율을 가지는 모델이 기본모델보다 효율이 상승된 것으로 판단된다.



(a) 39°- 13(Basic model)

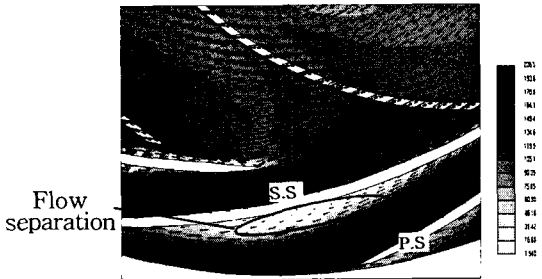


(b) 31°- 20°(Best efficiency model)

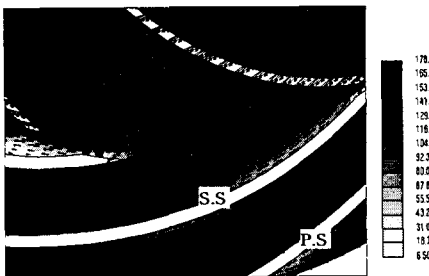
Fig.6 Relative velocity vectors (inlet-exit angle)

4.3 안내깃 깃 형상의 영향

Fig.7 (a)는 회전차 깃 각도와 안내깃의 각도가 각각 31°- 20°, 5°- 18°(b)는 31°- 20, 12.7°- 28.7°이다. (a)의 경우 회전차 출구의 상대 유동각과 안내깃 입구각도의 불일치로 인한 입사손실(incidence loss)과 유로 단면적의 확대율이 커 안내깃 흡입면에서 유동박리가 발생되었다. (b)의 경우 안내깃 입구각도를 회전차 출구의 상대유동각으로 설정함으로써 입구에서의



(a) 5°- 18°(Basic model)



(b) 12.7°- 28.7°

Fig.7 Velocity vectors (inlet-exit angle)

입사손실과 흡입면에서의 유동박리 발생이 감소하였다. 이러한 이유로 인해 전술한 최대효율을 가지는 모델보다 Fig.7 (b) 모델이 0.422% 효율이 상승되었다. 또한 기본모델(회전차와 안내깃 각도가 각각 39°- 13, 5°- 18)보다 0.5% 향상되었다.

5. 결 론

본 연구에서는 진공청소기용 원심팬의 회전차와 안내깃의 형상이 성능 요소 중 효율에 미치는 영향을 고찰하기 위해 유동해석을 수행하였다. 이를 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 회전차 깃과 깃 사이의 유로 면적을 점차 확대되도록 깃 각도를 결정함으로써 잘못된 깃 각도 변화에 따른 유동해석 시간을 절약할 수 있다.
- 2) 회전차 흡입면에서 유로폐쇄나 저속영역 등의 수력 손실이 발생된다.
- 3) 회전차 입구각도의 무리한 증가는 원심팬의 효율을 저하시키고, 이상적인 출구각도는 20°±1~ 2°이다.
- 4) 안내깃 각도를 회전차 출구의 상대 유동각을 기초로 설정함으로써 흡입면에서 발생하는 유동박리 현상을 감소시킬 수 있다.
- 5) 원심팬의 회전차와 안내깃 각도는 상호연관성이 있게 설계되어야 한다.

참고문헌

- [1] 전완호, 백승조, 김창준, 허남건, “청소기 공력소음 특성 파악 및 저소음화에 관한 연구”, 한국소음진동공학회, 춘계학술대회논문집, (2002), p.633-638.
- [2] 최중수, 이욱, “소형 원심형 팬의 형상변수가 성능에 미치는 영향에 대한 실험적 연구”, 유체기계널, 제2권, 제1호, (1999), p.50-55.
- [3] R.K. Turton, Principles of turbomachinery, Chapman & Hall Press, New York, (1995), p.166.
- [4] STAR-CD Version 3.15A Manuals, (2002), Computational Dynamics Limited.
- [5] 허남건, 김욱, 강신형, “직교를 팬의 유동해석 : 깃 형상변화가 성능에 미치는 영향”, 유체기계저널, 제2권, 1호, (1999), p.96-102.