

소형 원심형 팬의 형상변수가 성능에 미치는 영향에 대한 실험적 연구

최종수* · 이 옥**

Experimental Study of the Effects of Dimensional Parameters on the Performance of Small Centrifugal Fans

Jong-Soo Choi*, Wook Rhee**

Key Words: Centrifugal Fan(원심형 팬), Dimensional Parameter(형상변수), Maximum Efficiency Point(최대 효율점), Performance(성능)

ABSTRACT

The performance of a centrifugal fan depends on the dimensional parameters of impeller, such as the inlet and exit diameter, area ratio, relative flow angles to the blade, and the number of blades. These design parameters, however, are inter-related, so it is very difficult to identify the effect of each parameter on the fan performance. In this experimental study the effects of the design parameters on the performance of a small centrifugal impeller being used for vacuum cleaners are investigated. A total of 30 shrouded impellers with 120mm diameter were tested and the results were non-dimensionalized to compare their performance.

1. 서 론

원심형 팬은 제작의 용이성과 높은 단단 압축비 등의 장점 때문에 넓은 운전범위에서 다양한 용도로 사용되고 있다. 이와 같은 터보 기기를 이용한 유체기계 성능을 최적화 하는데는 시스템의 설계 작동조건에 각 구성요소들의 최고 효율점을 일치시키는 방법이 사용되는데 이를 위해서는 원하는 작동점에서 최대 효율을 가지는 구성요소를 선정하는 것이 중요한 문제가 된다. 원심형 팬의 성능은 임펠러 내부에서의 마찰이나 유동박리 등에 의한 압력손실에 기인하며 이러한 손실은 임펠러 입구와 출구에서의 면적비, 회전 속도, 입구와 출구에서의 폭, 날개의 입, 출구각, 날개의 개

수, 날개의 형상, 디퓨저의 형상 등에 의하여 영향을 받는 것으로 알려져 있다^(1,3). 하지만 이들 형상변수는 그 수가 많고 서로 연관되어 있어 그 해석이 매우 어렵다. 최근 수치 해석적 방법에 의한 내부 유동장의 해석이나 손실에 대한 모델링을 통한 이론적 방법에 의한 성능 해석방법이 개발되고 있으나 아직 이를 설계에 적용하는데 있어서는 여러 가지 한계점을 지닌다.

본 연구에서는 진공청소기에 사용되는 소형 원심형 팬에서의 형상변수가 성능에 미치는 영향을 살펴 보기 위하여 Fig. 1과 같이 크게 평면 슈라우드 임펠러와 곡면 형상의 슈라우드 형태를 갖는 두가지의 경우로 나누어 성능을 비교하였다. 또한 각각의 경우 임펠러의 출구직경은 120 mm로 고정하고 평면 슈라우드형 임펠러에 대하여는 입구직경(D_1)과 출구 폭(b_2), 입구 날개 각(β_1), 출구 날개 각(β_2)을 변화시킨 21종의 모델을 이용하였고, 곡면 슈라우드형 임펠

* 충남대학교 항공우주공학과

** 충남대학교 항공우주공학과 대학원

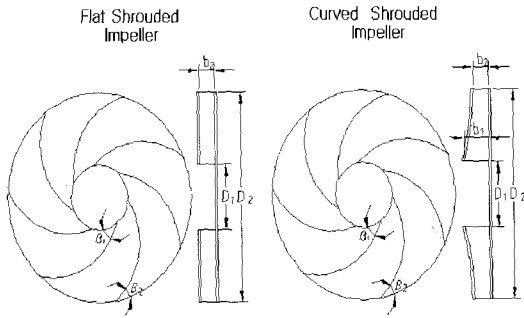


Fig. 1 Geometric configuration of the impellers

러에 대하여는 입, 출구 폭과 입구 날개 각을 변화시킨 9종의 모델을 이용하였다. 그리고 모든 모델에서의 날개수는 영향을 주는 변수의 개수를 최소로 하기 위하여 7개로 통일하였으며 날개의 형상은 입구와 출구에서의 날개 각으로부터 결정되는 반경을 갖는 원호형으로 결정하였다.

2. 실험장치의 구성과 측정방법

임펠러의 성능을 측정하기 위하여 Fig. 2와 같이 펌하우징을 제작하였다. 임펠러의 출구에는 배인이 없는 디퓨저와 단순 확장형 케이싱으로 구성하였다. 임펠러의 슈라우드와 케이싱간의 간격을 2mm로 유지하기 위하여 임펠러의 두께폭의 변화에 따라 입구쪽 케이싱의 두께를 조절할 수 있도록 하였다. 펌 케이싱의 출구는 개방되어 대기압 상태로 방출되며, 입구측에는 Fig. 3과 같이 유량과 흡입압력을 측정할 수 있도록 실험장치를 구성하였다.

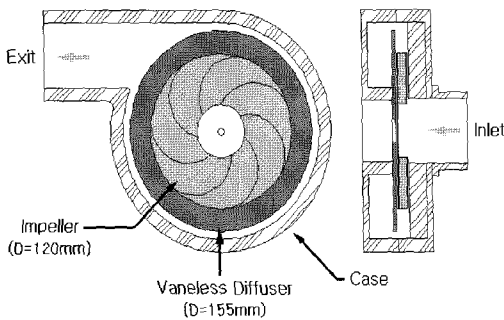


Fig. 2 Configuration of Impeller & Diffuser

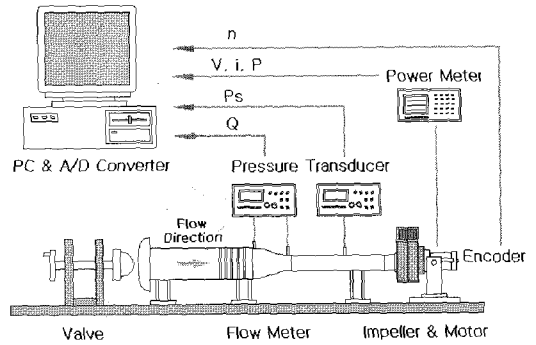


Fig. 3 Schematics of test jig

임펠러는 교류 모터를 이용하여 구동되었고 이때의 회전수는 입력전압을 조절하여 가변되었으며, 회전수의 측정은 비접촉 광센서를 이용하여 카운터로 측정되었다. 펌의 성능은 입구측에서 측정되는 유량(Q)과 입, 출구에서의 입력차(\$P_s\$), 모터 인가전압(V), 임펠러의 회전수(n)를 측정함으로써 산출되었다. 이때 유량은 측정 장치 입구에 부착된 밸브를 이용하여 변화시켰으며, 이로부터 Fig. 4와 같은 펌의 성능곡선을 구할 수 있었다.

아래 그림에서 펌의 출력 일률, \$P_{out}\$은 다음과 같이 구해지며,

$$P_{out} = Q \times P_s \quad (1)$$

또한 펌의 입력일률, \$P_{in}\$은 임펠러에 전달되는 토크(\$T_q\$)와 펌의 회전속도(\$\omega\$)로부터 다음과 같이 구해진다.

$$P_{in} = T_q \times \omega \quad (2)$$

펌의 효율을 계산하기 위해서는 입력 일률을 알아야 하는데, 통상 임펠러의 회전축 입력 토크를 측정함으로써 계산이 가능하다. 입력 토크를 측정하는 방법에는 직접적 방법과 간접적인 방법이 있을 수 있는데, 본 실험에서 임펠러는 20,000~30,000 rpm의 고속으로 작동되었기 때문에 모터와 임펠러 사이에 동력계를 설치하여 토크를 직접 측정하는 것이 어려워 간접적인 방법을 사용하였다. 즉, 실험에 사용할 교류 모터를 동력계에 연결하고 부하를 가변하면서 모터에 인가되는 전압과 회전수의 변화에 따른 출력 토크를 Fig. 5와 같이 측정하였다. 이를 이용하여 Fig. 4에 표시된 각 작동점에서의 입력토크를 계산하고 이로부터 펌의 효율을 구할 수 있었다.

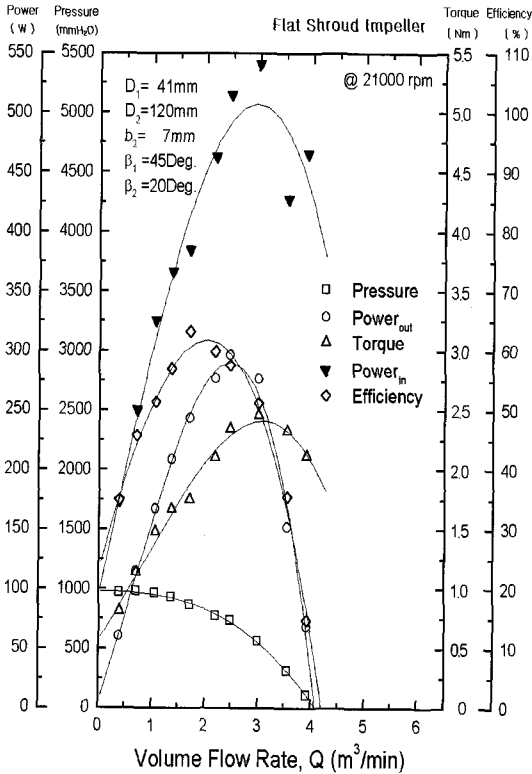


Fig. 4 Measured performance curve

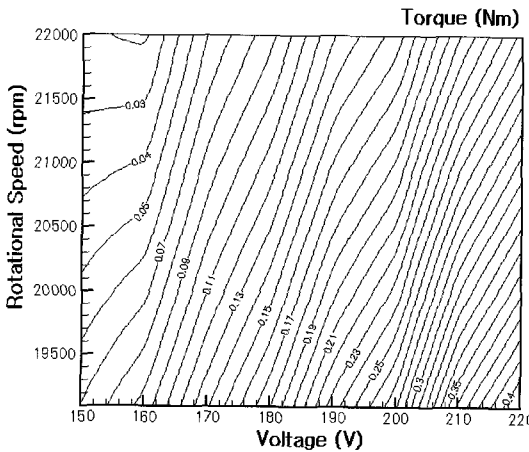


Fig. 5 Measured torque of the test motor

이렇게 측정된 서로 다른 모델에 대한 성능을 비교하기 위해서 무차원화 방법을 사용하였고 각 변수들의 무차원화계수는 다음과 같이 정의되었다.

$$\text{Coeff. of Volume Flow Rate: } \phi = \frac{Q}{\omega D^3} \quad (3)$$

$$\text{Coeff. of Pressure: } \psi = \frac{P_s}{\rho \omega^2 D^2} \quad (4)$$

$$\text{Coeff. of Power: } P = \frac{P_{out}}{\rho \omega^3 D^5} = \phi \psi \quad (5)$$

$$\text{Efficiency of Fan: } \eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{Q \times P_s}{Tq \times \omega} \quad (6)$$

3. 실험 결과

평면 슈라우드 임펠러와 곡면 슈라우드 임펠러에서의 각 형상변수가 성능곡선의 형태와 최대 일률점과 최대 효율점의 위치에 미치는 영향을 알아보기 위하여 한가지의 형상변수만 변화를 준 모델들의 성능곡선을 측정하고 결과를 무차원화하여 서로 비교한 결과를 정리하면 다음과 같다.

3.1. 평면 슈라우드 임펠러

3.1.1. 입구 직경, D_1 의 영향

Fig. 6은 D_1 의 변화에 따른 유량과 압력간의 관계를 도시한 것이고 Fig. 7은 이로부터 계산된 환200의 일률과 효율을 나타낸 것이다. Fig. 7에서 D_1 의 증가에 따라 최대 유량에는 큰 변화가 없고 최대 일률점과 최대 효율점의 위치가 유량이 큰 쪽으로 이동함을 볼 수 있다.

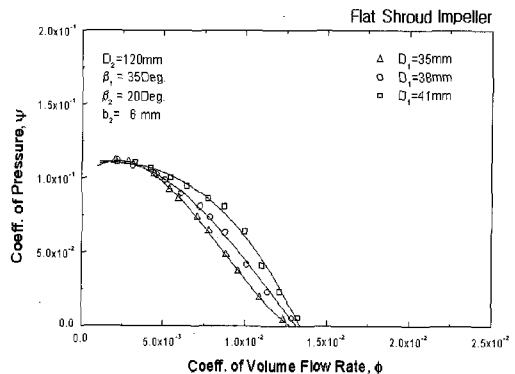


Fig. 6 The effect of inlet diameter, D_1 (Coefficient of pressure, ψ)

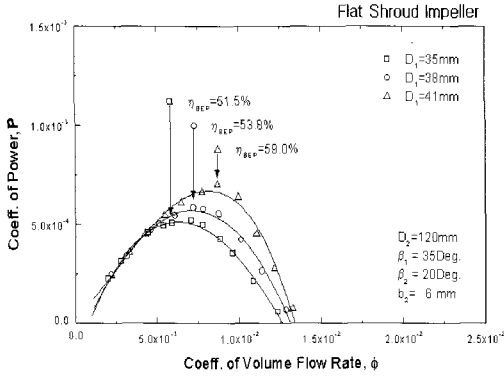


Fig. 7 The effect of inlet diameter, D_1 (Coefficient of power, P)

이는 입구 면적의 증가에 따라 Fig. 7에서 보는 바와 같이 동일 유량점에서의 압력이 커지기 때문으로 생각되고 이에 의하여 입구의 면적은 펌의 압력상승에 관계함을 유추할 수 있다.

3.1.2. 출구 폭, b_2 의 영향

Fig. 8에서는 b_2 가 커짐에 따라서 펌의 최대 유량은 증가하고 최대 일률점과 최대 효율점의 위치는 유량이 큰 쪽으로 이동함을 볼 수 있다. 하지만 이 경우 D_1 의 경우와는 달리 성능곡선의 형태에는 변화가 나타나지 않는데 이는 b_2 가 커짐에 따라 펌의 유량과 압력이 같이 증가하기 때문이라 생각된다. 이로부터 출구 면적의 변화는 펌의 설계점에서의 유량과 밀접한 관계가 있음을 유추할 수 있다. 그러나 D_1 의 증가는 출력의 증대와 함께 입력 토크의 증가를 수반하여 최대효율에는 큰 변화를 주지 못하는 것으로 판단된다.

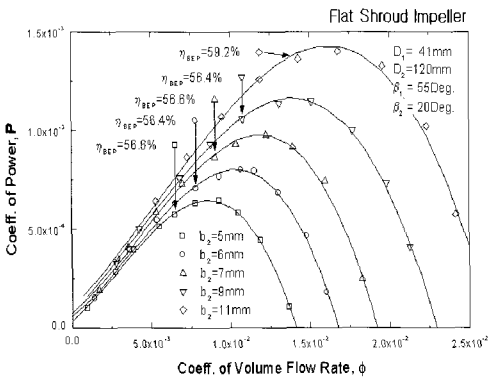


Fig. 8 The effect of outlet breadth, b_2 (Flat shroud impeller)

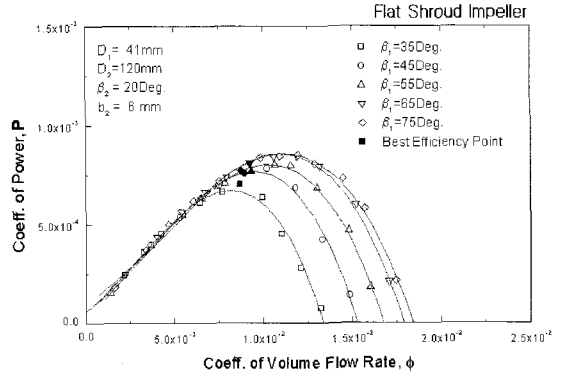


Fig. 9 The effect of inlet blade angle, β_1 (Flat shroud impeller)

3.1.3. 입구 날개 각, β_1 의 영향

Fig. 9에서는 β_1 의 증가에 따라 펌의 최대 유량은 증가하나 그 증가폭은 점점 감소하여 β_1 이 65° 인 경우와 75° 인 경우는 큰 차이를 나타내지 않았다. 또한 최대 효율점의 경우 β_1 의 변화와는 무관하게 동일한 유량점에 위치함을 볼 수 있었으며 β_1 이 약 41° 근처에서 최대 효율을 보였다 (Fig. 10). 이는 Fig. 10에서 보는 바와 같이 β_1 의 증가에 따라 임펠러 입구에서의 날개와 유동과의 상대받음각이 증가하고 따라서 일정한 받음각을 얻어내는 β_1 에서 유동의 박리가 발생하고 이로 인한 손실이 증가하게 되는 것으로 판단된다. 대부분의 문헌에서는 이러한 내부에서의 압력 손실을 최소화 할 수 있는 이상적인 입구 날개각은 30~35° 로 추천하고 있으나 본 실험의 결과에서는 약 45° 에서 상대 받음각이 0° 근처로서 이때 최대 효율을 보였다.

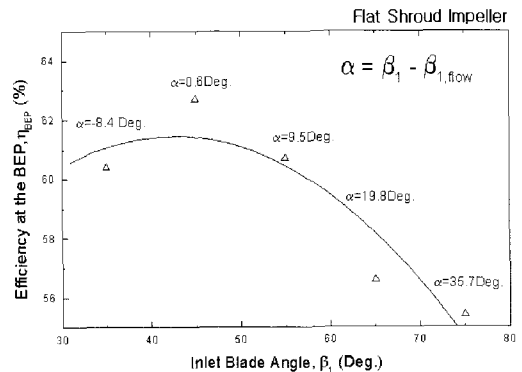


Fig. 10 The effect of relative inlet flow angle(Flat shroud impeller)

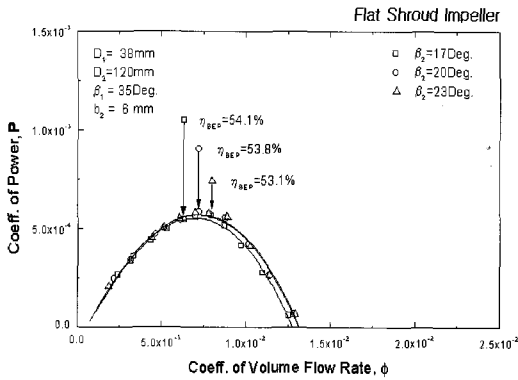


Fig. 11 The effect of outlet blade angle, β_2 (Flat shroud impeller)

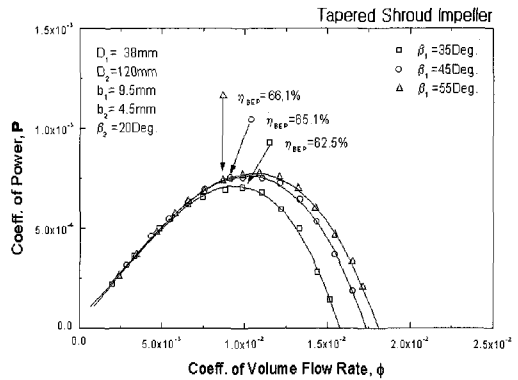


Fig. 13 The effect of inlet blade angle, β_1 (Tapered shroud impeller)

3.1.4. 출구 날개 각, β_2 의 영향

Fig. 11은 β_2 의 변화에 따른 성능곡선을 나타내고 있다. β_2 가 커짐에 따라 최대 효율이나 성능곡선의 형태에는 영향을 주지 못하나 최대 효율점의 위치를 유량이 높은 쪽으로 이동시켜 줌을 볼 수 있었다. 원호형 날개의 경우 β_2 가 너무 작으면 날개의 길이가 길어져 웬 내부유동에서의 마찰손실을 증가시켜 웬의 성능에 악영향을 주게 되는데 문헌에서는 이상적인 출구 날개각으로 20° 내외를 추천하고 있다.

3.2. 곡면 슈라우드 임펠러

3.2.1. 출구 폭, b_2 의 영향

Fig. 12는 곡면 슈라우드 임펠러에서의 성능에 대한 출구 폭의 영향을 나타내고 있다. 이를 살펴보면

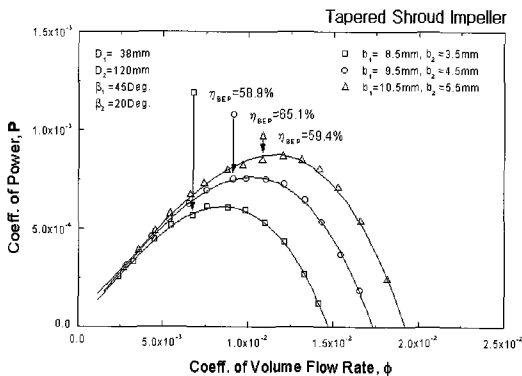


Fig. 12 The effect of outlet breadth, b_2 (Tapered shroud impeller)

평면 슈라우드 임펠러에서의 마찬가지로 b_2 가 커짐에 따라 웬의 최대 유량은 증가하고 최대 일률점과 최대 효율점의 위치는 유량이 큰 쪽으로 이동함을 볼 수 있다. 그러나 최대효율을 비교해 볼 때 출구폭이 $b=4.5$ mm인 경우 출구면적($A_2 = \pi D b_2$)과 입구면적($A_1 = \pi D_1 b_1$)의 비가 1.5로서 이 비가 각각 1.3과 1.65인 다른 두 경우 보다 더 적절한 것으로 판단되나, 이 경우 입구에서의 면적비(A_1/A_0) 또한 변화하므로 이의 영향을 받았을 수도 있다. 이에 대한 명확한 분석을 위해서는 입구면적비와 입·출구면적비를 독립적으로 변화시키면서 영향을 파악하는 것이 필요하며 이는 앞으로 수행되어져야 할 연구과제이다.

3.2.2. 입구 날개각, β_1 의 영향

입구 날개각의 경우도 평면 슈라우드 임펠러에서의 마찬가지로 Fig. 13에서 보는 것처럼 β_1 의 증가에 따라 최대효율점은 동일한 유량점에 위치하며, 웬의 최대 유량은 증가하나 그 증가폭은 점점 감소함을 볼 수 있었다.

위에 비교한 세 가지 입구날개각의 경우 최대효율점에서의 상대반음각은 각각 3.5° , 14.3° , 20° 로서 β_1 이 증가함에 따라 반음각도 증가하는데, 평면 슈라우드의 경우와는 달리 반음각이 클수록 더 높은 효율을 보였으나, 이에 대한 해석은 현재로서는 어려워 추가적인 실험을 요한다.

3.3. 평면과 곡면 슈라우드 형상의 비교

Fig. 14는 동일한 입·출구직경과 날개각을 갖으나 슈라우드의 형상이 평면인 경우와 곡면인 경우를 비교

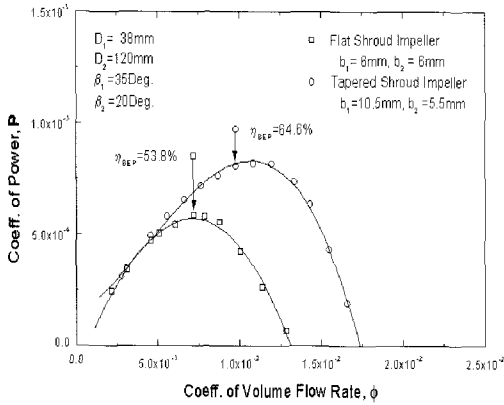


Fig. 14 The effect of shroud shape

한 것으로, 거의 동일한 출구 면적에 대하여 곡면 슈라우드의 경우가 효율이 더 높은 것을 알 수 있다. 두 가지 경우의 비교에서 가장 중요한 차이는 입구와 출구에서의 면적비(A_2/A_1)인데, 평면 슈라우드의 경우는 면적비가 3 정도로서 곡면 슈라우드인 경우의 1.65 보다 매우 큰 값을 갖는다. 임펠러 날개 사이를 흐르는 유동은 출구 쪽으로 진행함에 따라 점차 감소되는데 이때의 확산률이 너무 크면 유동의 박리를 일으켜 손실이 증가한다. 따라서 동일한 입출구 면적비에서 확산각을 줄이기 위해서는 날개의 길이를 늘리는 방법이 사용된다. 그러나 실험에 사용된 임펠러의 날개는 원호형으로 제작되어 입·출구에서의 날개각이 동일하면 확산비는 면적비와 비례한다. 따라서 두 가지 경우의 비교에서 평면 슈라우드 경우의 확산비가 너무 큰 것으로 인한 손실이 효율을 떨어트린 원인이라 생각된다.

통상 비속도가 큰 원심형 팬에서는 임펠러의 입구에서의 공간이 좁아, 유동은 급격히 90° 로 방향을 변환하게 되고 이때 유동의 박리로 인한 손실이 발생한다. 이를 최소화하기 위해서 임펠러 입구에서의 임펠러의 입구면적($A_1 = \pi b_1 D_1$)과 흡입구 면적($A_0 = \pi b_1 D_1$)의 비를 0.8 정도로 하여 유동을 가속시킴으로서 유동의 박리를 막아주는 방법이 사용되고 있다. 평면 슈라우드 임펠러인 경우는 곡선인 경우와 달리 입구면적비를 바꾸기 위해서는 출구에서의 면적비까지 영향을 받기 때문에 설계에 제약을 받으며 입구에서의 유동박리에 의한 손실이 클 것으로 생각된다.

4. 결 론

본 연구에서는 진공청소기에 사용되는 소형 원심형 팬에서의 형상변수가 성능에 미치는 영향을 살펴보기 위하여 형상변수에 변화를 준 평면 슈라우드 임펠러와 곡면 슈라우드 임펠러에 대한 성능 평가 및 비교 실험을 수행하였다 이를 통하여 다음과 같은 사항을 알 수 있었다.

- 임펠러의 입구 직경의 증가는 팬의 입, 출구 압력차를 증가시켜 최대 효율점을 유량이 높은 쪽으로 이동하게 한다.
- 임펠러의 출구 폭의 증가는 팬의 최대 유량을 증가시켜 최대 효율점을 유량이 높은 쪽으로 이동하게 한다.
- 임펠러의 입구 각의 증가는 팬의 최대 유량을 증가시키지만 최대 효율점의 위치에는 영향을 주지 못한다.
- 임펠러의 출구 각의 증가는 팬의 성능곡선에 변화를 주지는 못하지만 최대 효율점을 유량이 높은 쪽으로 이동하게 한다.
- 경사진 슈라우드의 경우가 평면 슈라우드인 경우보다 입구와 출구에서의 유로 면적비를 조절하는데 유리하며, 결국 더 높은 효율을 얻을 수 있다.

이러한 형상변수에 의한 성능에 미치는 영향에 대하여는 팬 내부 유동장이나 출구 유동의 계측 등의 방법에 의하여 마찰이나 유동의 박리 등으로 인한 손실에 대한 보다 정확한 분석과 검증이 있어야 하겠다.

본 연구를 통하여 얻어진 결과는 동급의 소형 원심형 팬의 설계나 개조 작업시에 유용한 자료로 활용될 수 있으리라 생각되며, 앞으로 임펠러의 입·출구 면적비에 의한 영향과 날개사이의 유로에서의 확산각 등에 대한 추가적인 연구가 필요함을 알 수 있었다.

후 기

본 연구는 삼성전자의 후원으로 수행되었으며 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

- (1) Eck, B., 1973, Fans, 1st English Edition, Pergamon Press.
- (2) Boyce, M.P., 1982, Gas Turbine Engineering Handbook, Gulf Publishing Co..
- (3) Yahya, S.M., 1983, Turbines, Compressors and Fans, McGraw-Hill.