



렌지후드의 성능개선을 위한 시로코 팬 주위의 유동해석

한 병 윤,^{*1} 박 진 우,¹ 이 명 수,² 박 형 구,³

PERFORMANCE IMPROVEMENT OF A RANGE HOOD SIROCCO FAN BY CFD FLOW ANALYSIS

B.Y. Han,^{*1} J.W. Park,¹ M.S. Lee² and H.K. Park³

A sirocco fan is widely used for discharging pollutants of a kitchen space since it is able to generate a relatively high air flow rate considering its small size and makes less noise than a axial fan or a centrifugal fan. However, it has a problem because its efficiency is low, and power consumption is larger. Performance of a sirocco fan is influenced by various factors such as number of the fan blades, diameter of the fan, geometry of the fan, geometry of its housing, revolution frequency, static pressure condition, and etc. This research investigated the effect on the performance of geometry of the housing.

For CFD analysis, we used a commercial code, SC/Tetra, and used a sliding mesh method to give the same condition as an actual state. Verification of the CFD results is done by comparison of experimental data and numerical one about the suction flow rate, and it is confirmed that two results are well consistent. After we changed the shape of housing according to Archimedes' screw, we observed that suction efficiency is improved by 10.7% maximum.

Key Words : 전산유체역학(CFD), 비정상유동(Unsteady Flow), 3차원해석(3-D Analysis), 시로코 팬(Sirocco fan), 렌지후드(Range hood)

1. 서 론

현대 고도 산업화된 도시에서는 공기 중 오염물질에 자주 노출된다. 따라서 적어도 가정에서는 쾌적한 삶, 건강 등의 이유로 깨끗한 실내 공기를 유지할 필요가 있다. 그러나 상황에 따라 외부 공기보다 가정의 실내 공기가 더 심각한 오염을 일으킬 가능성도 있다. 특히 주방에서 불연소 가스, 음식물 냄새 등으로 인해 실내 공기가 오염되기 때문에 이러한 물질들을 흡수하여 외부로 배출하기 위한 환기 시스템이 필요하다. 주방의 오염물질 배출원이 주로 취사행위이므로, 렌지후드(range hood)는 이러한 주방환기 시스템의 가장 중요한 모듈이라고 할 수 있다.

이러한 실내 공기 오염물질을 배출[1-2]하기 위해 사용되는

팬은 일반적으로 시로코 팬(sirocco fan)을 사용한다. 시로코 팬은 효율은 낮지만 비교적 소형으로 많은 풍량을 낼 수 있고 동일 유량에서 축류형 팬이나 뒷굽음깃 원심형 팬(backward curved centrifugal fan) 등보다 소음이 적어 공조기, 환기장치, 전자기기 등의 송풍장치로 널리 쓰이고 있다[3,4].

현재까지 시로코 팬의 성능예측에 대한 연구는 국내외에서 다양하게 이루어지고 있다. 신동신[5]등은 STAR-CD를 이용한 수치해석으로 내부 유동을 해석하였으나 2차원해석으로 수행하였으며, 서성진[6]등은 다중블록방식을 사용하여 비압축성 난류유동을 해석하였으나 정상상태로 해석을 수행하였으므로 실제현상을 정확히 예측하는데 제한적이다. 또한 Morinushi[7], Raj and Swim[8], Maeng[9]등은 실험을 통한 성능예측을 수행하였지만 단품의 최적치로 제시되었기 때문에 다양한 변수를 예측하는데 어려움을 안고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 실제 현상과 비슷한 조건으로의 해석이 필요하다고 판단된다.

따라서 본 연구에서는 현재 시판되는 렌지후드의 팬과 하우징 주위의 유동을 전산해석 상용코드인 SC/Tetra를 이용하

1 학생회원, 전남대학교 대학원 기계공학과

2 학생회원, 전남대학교 기계시스템공학부

3 정회원, 전남대학교 공과대학 기계시스템공학부 교수

* Corresponding author E-mail: ehirun2@naver.com

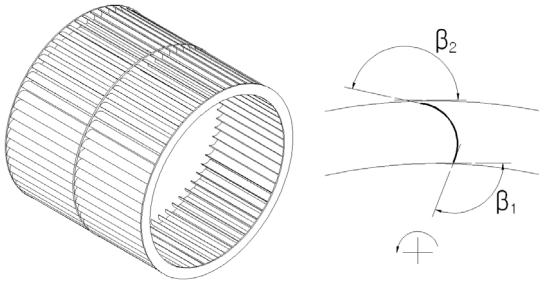


Fig. 1 Schematic of sirocco fan impeller

여 비정상 3차원 해석을 수행하고 얻어진 데이터를 바탕으로 흡입성능향상을 위한 개선방향을 제시해보고자 한다.

2. 본 론

2.1 실험장치

본 연구에서 사용된 시로코 팬은 Fig. 1과 같으며 제원은 Table 1에 수록하였다.

시로코 팬의 성능과 소음을 측정하기 위해 무향실에 Fig. 2와 같이 실험장치를 구성하였으며 정압에 따른 유량, 회전수, 전류 및 전력을 측정하였다. 본 연구에서의 실험은 4단 정압모터를 사용하였으며 실제 사용 환경과 비슷한 조건에서의 해석을 위해 직경 $\varnothing 156.6$ mm, 길이 2600 mm의 풍동관에 정압조건을 부여하며 실행되었다. 각 단(고속-U저속)에 따른 정압은 풍동관 끝단에 위치한 정압조절기의 레버를 회전하여 제어하였다.

2.2 지배방정식 및 난류모델

1000rpm으로 회전하는 시로코 팬은 마하수(Mach Number)가 0.3보다 작기 때문에 비압축성으로 계산하였다. 연속방정식과 Navier-Stokes 방정식을 지배방정식으로 사용하였으며, 직교 좌표계에서 텐서 형태로 표기하면 다음과 같다.

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \tag{1}$$

Table. 1 Geometry of Range Hood

fan	outer diameter D_2	0.161 m
	inner diameter D_1	0.140 m
	number of blades Z	50
	blade width b	0.065 m
	inlet blade angle β_1	115°
	outlet blade angle β_2	170°
housing	inlet diameter	$\varnothing 0.135$ m
	outlet area	0.157m \times 0.087 m

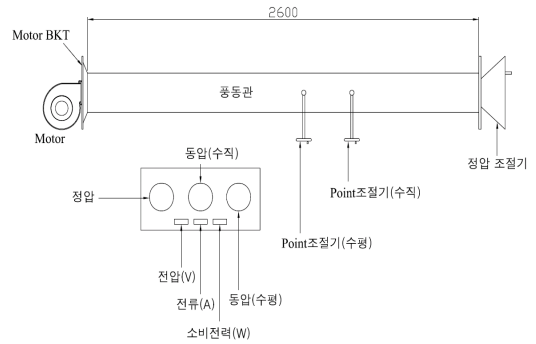


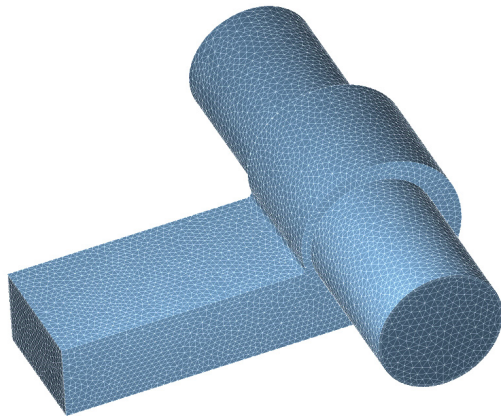
Fig. 2 Schematic of experiment apparatus

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + \frac{\partial u_j u_i}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \nu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) + g_i \tag{2}$$

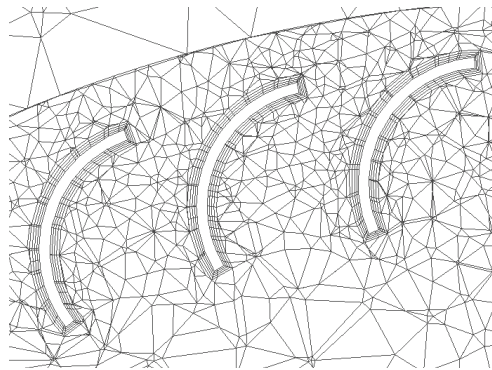
식(1)은 연속방정식, 식(2)은 운동량방정식이다.

난류 유동장을 해석하기 위해 여러 가지 방법이 사용되고 있으며, 그 중 가장 널리 사용되는 방법은 2-방정식 난류모델이다. 2-방정식 모델 중에서 Standard $k - \epsilon$ 난류모델이 현재 가장 널리 사용되고 있다. 그러나 강한 압력구배가 존재하는 유동영역에서 만족할만한 해석 성능을 보이지 못한다. 반면에 Wilcox[10]의 $k - \omega$ 2-방정식 모델은 viscous sublayer에서 훨씬 단순한 형태로 표현되며 벽함수를 도입하는 등의 특별한 처리가 필요 없기 때문에 경계조건을 단순하게 적용할 수 있다는 장점이 있다[11]. 이러한 이유로 본 연구에서는 SST(Shear-StressTransport) $k - \omega$ 모델을 사용하였다.

$$\frac{\partial \rho k}{\partial t} + \frac{\partial u_i \rho k}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_i} \right) + G_s + G_T - \rho \epsilon \tag{3}$$



(a) Total grid system



(b) Blades

Fig. 3 Computational grids

$$\frac{\partial}{\partial t} \rho \omega + \frac{\partial}{\partial x_j} u_j \rho \omega = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\omega} \right) \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \right] + \frac{\gamma \rho}{\mu_t} G_s - \beta \rho \omega^2 \quad (4)$$

식(3),(4)는 SST $k - \omega$ 방정식을 나타낸다. 풀고자 하는 변수는 압력, 각 방향의 속도, 난류의 정도이므로 위의 식들에 적합한 계수를 사용하여 계산을 수행하였다.

2.3 수치해석 방법

터보기계의 내부 유동장을 해석할 때 사용되는 CFD 기법에는 여러 방법이 있다. 그 중 다좌표계법(MRF, multiple reference frame method)과 이동격자법(sliding mesh method)이 대표적이다. 다좌표계법은 정상상태의 가정으로 유동장을 해석하는 방법인데 반해 이동격자법은 비정상 유동으로 가정하여 회전 영역과 비회전 영역으로 분류하여 해석하는 방법으

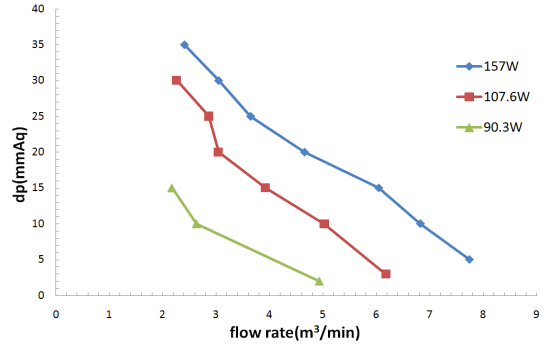


Fig. 4 Pressure-flow rate diagram

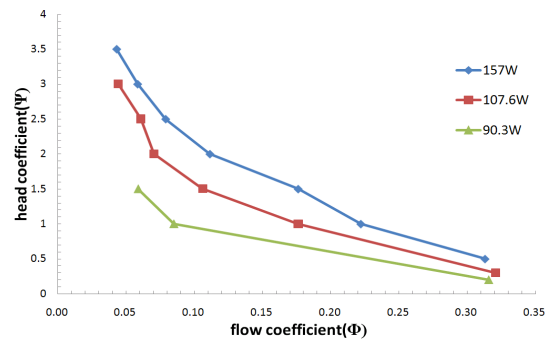


Fig. 5 Flow coefficient-head coefficient diagram

로 실제문제와 가장 유사한 조건으로 해석할 수 있다. 본 연구에서는 이러한 이유로 비정상상태 이동격자법을 사용하였으며 압력보정방법으로는 SIMPLEC 알고리즘을 사용하였다.

2.4 격자 생성 및 해석 조건

이동격자법을 사용하기 위해서는 회전하는 영역과 비회전 영역으로 분류하여 격자를 생성해야 한다. 특히 회전하는 영역에는 계산의 정확도를 높이기 위해 충분한 수의 격자가 요구된다. 본 연구에서는 SC/Tetra의 Pre-Process의 격자생성 기능을 이용하여 회전하는 영역에 대해서는 약 100만개의 격자를 집중시켰으며, 비회전 영역에는 약 20만개의 격자를 생성하였다. Fig. 3(a)은 전체 계산 영역에 대한 격자를 나타낸 그림이며, Fig. 3(b)은 블레이드 주위의 격자를 나타낸 그림이다.

3. 결과 및 고찰

3.1 실험 결과와 유동해석 결과의 비교

Fig. 4에는 시로코 팬을 실험장치에 설치한 후 고속-저속의 평균 사용전력에 따른 정압-풍량 곡선을 나타낸 그림이다. 모든 영역에서 최소 정압이 작용할 때 최대 풍량이 토출됨을 확인하였다.

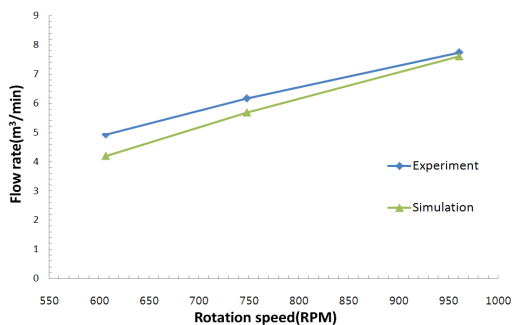


Fig. 6 Comparison of flow rate-rotation speed between experiment and computation

Fig. 5는 무차원계수를 이용하여 유량계수와 압력계수를 나타낸 그림이다. 유량계수(Φ)와 압력계수(Ψ)는 아래와 같이 정의 하였다[12].

$$\Phi = \frac{Q}{ND^3} \tag{5}$$

$$\Psi = \left(\frac{P_s + P_a}{P_a} - 1 \right) \times 100 \tag{6}$$

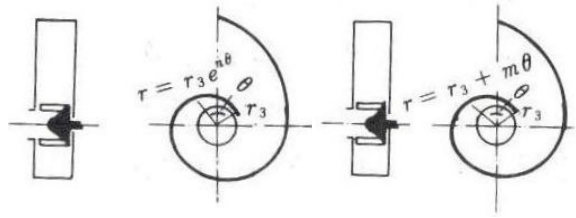
여기서, Q 는 팬의 체적유량, N 은 팬의 회전속도, D 는 임펠러 지름, P_s 는 정압, P_a 는 대기압을 나타낸다.

Fig. 5의 그래프를 분석하면 동일 전력사용량에서 정압이 최소가 되었을 때 유량효율이 최대가 됨을 알 수 있으며 정압이 높아질수록 유량효율은 현저히 떨어짐을 확인할 수 있다. 따라서 유량효율이 좋기 위해서는 시로코 팬에 최소 정압이 작용하여야 한다.

Fig. 6은 정압이 최소로 작용할 때의 실험값을 기준으로 전산해석을 실시하여 그 결과를 비교한 그래프이다. 고속으로 팬이 회전할 경우 약 1.6%의 근사한 오차를 나타내지만 중속일 경우 약 7.8%, 저속일 경우 약 14.8%의 정량적 오차를 보인다. 이는 실험에서의 측정오차와 난류모델 및 대류항 처리 기법 등에 의한 수치해석 상의 오차가 이에 포함된다. 하지만 정성적으로 결과가 잘 일치함을 확인하였으며 특히 고속일 경우 매우 근사한 차이를 나타내고 있음을 확인하였다. 즉 본 계산 결과가 실제 시로코 팬의 성능을 잘 예측함을 알 수 있으며, 이를 통하여 전산해석의 신뢰성을 확보하였다.

3.2 하우징 와류실의 제원결정

회전차를 통해 토출되는 공기는 될 수 있는 대로 손실 없이 운동에너지를 압력에너지로 회수하도록 와류실을 설계하는 것이 좋다. 폭이 일정한 하우징의 와류실을 설계하는데 두



(a) logarithmic spiral (b) Archimedean spiral

Fig. 7 Logarithmic spiral and Archimedean spiral

가지 방법이 있다. 첫째는 Fig. 7(a)의 대수나선(logarithmic spiral)을 생각할 수 있다. 대수나선은 회전차로부터 나온 기체가 회전하면서 방출될 때의 궤적으로서 자유소용돌이의 궤적에 상당한다. 이때의 축심에서 와류곡선까지의 반지름 r 는 식 (7)과 같이 표현된다.

$$r = r_3 e^{n\theta} \tag{7}$$

둘째는 Fig. 7(b)의 아르키메데스 나선(Archimedean spiral)을 생각할 수 있다. 아르키메데스 나선이란 회전차 축심에서 와류곡선까지의 안지름 r 가 축심을 중심으로 한 각도 θ 에 비례하여 증대하는 곡선이다. 이 경우의 반지름 r 는 식(8)과 같이 표현된다.

$$r = r_3 + m\theta \tag{8}$$

위 식에서 r_3 는 와선시점의 지름이고, θ 는 각도, m, n 은 상수이다. 두 가지 와류실에 동일한 회전차를 붙여서 특성 곡선을 실험으로 구한 결과[13]에 의하면 최대 풍량과 최고 효율점에서의 풍량은 아르키메데스 나선 쪽이 크다는 것을 알 수 있으며, 풍압과 효율 또한 아르키메데스 나선 쪽이 전 풍량에 걸쳐 균일함을 알 수 있다. 이러한 이유로 본 연구에서는 아르키메데스 나선을 적용하였으며 하우징 최대 크기 및 제작 가능성을 고려하여 상수 m 값은 8로 결정하였으며 θ 에 따른 r 의 제원을 Table 2에 수록하였다.

Table 2 Specification of the Housing

degree(θ)	radius(r)	degree(θ)	radius(r)
60 °	87.88 mm	240 °	113.01 mm
90 °	92.07 mm	270 °	117.20 mm
120 °	96.25 mm	300 °	121.39 mm
150 °	100.44 mm	330 °	125.58 mm
180 °	104.63 mm	360 °	129.76 mm
210 °	108.82 mm		

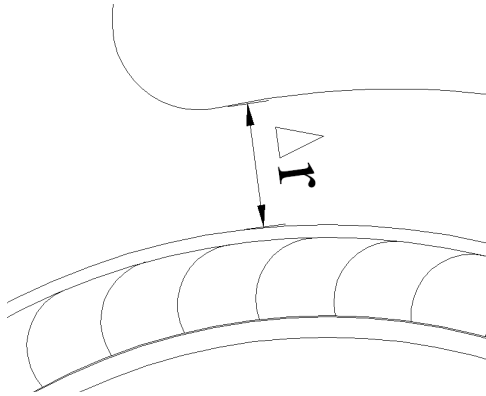


Fig. 8 Cut-off gap

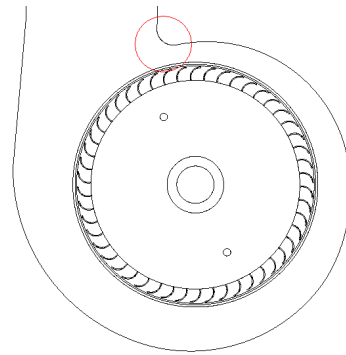
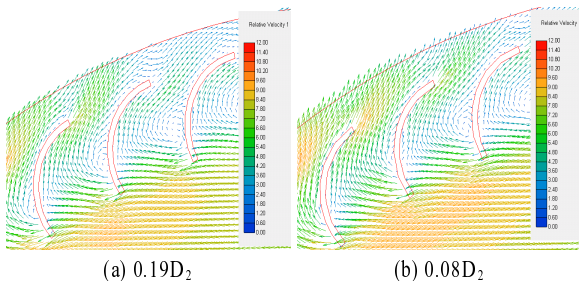


Fig. 10 Shape of housing



(a) $0.19D_2$ (b) $0.08D_2$

Fig. 9 Blade passage flows

3.3 날개 내경비

시로코 팬의 D_1/D_2 는 일반적으로 0.8~0.9의 값을 가진다. 민현석 등[14]은 시로코 팬의 설계인자 분석에서 D_1/D_2 가 0.9일 때 운전소음이 가장 적다고 하였으나 0.9로 하면 날개 수의 변경에 따른 제작상의 문제가 발생하므로 본 연구에서는 D_1/D_2 를 기존 0.87에서 0.88로 하였다.

3.4 커트오프(cut-off) 간극

커트오프 간극(Fig. 8)은 시로코 팬의 소음과 유량에 큰 영향을 미친다. 간극이 너무 크면 출구 쪽으로 공기가 토출되지 않고 다시 와류실 쪽으로 유입되어 흡입효율이 떨어지게 되며, 간극이 너무 작으면 것이 통과하여 발생하는 소음이 크게 증가하고 유동상태 또한 나빠진다. 소음과 효율을 고려하여 Morinushi[15]가 제안한 값은 식(9)와 같다.

$$\Delta r = 0.1D_2 \quad (9)$$

본 연구에서는 커트오프 간격을 $0.19D_2$ 에서 $0.08D_2$ 로 하였다. 이는 하우징의 와류실 제원을 결정하기 위해 아arki

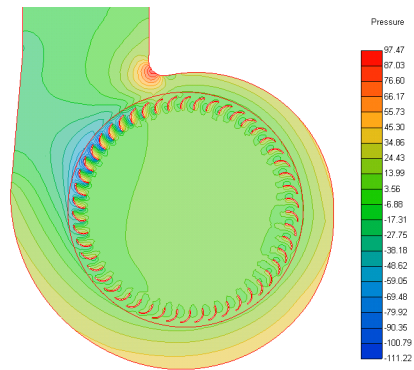
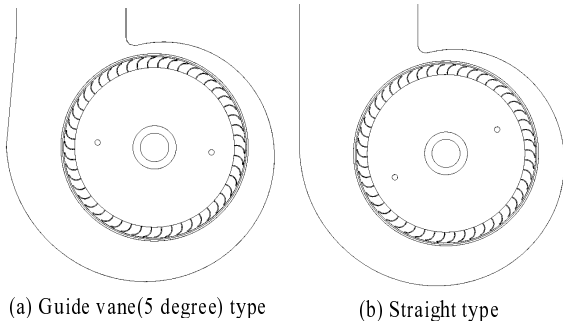


Fig. 11 Comparison of pressure between original type(up) and modified type(down)

메테스 나선을 적용하였으며 이에 따른 제작 가능한 크기를 고려하여 볼 때 식(9)에 가장 근접한 커트오프 간격이라 판단 되기 때문이다.

Fig. 9는 θ 가 50도에서 70도 사이에 위치한 커트오프 간격에 따른 블레이드 익간 유동(상대속도)을 보여주고 있다. Fig. 9(a)에서 확인하듯 커트오프 간격이 $0.19D_2$ 인 경우에는 50



(a) Guide vane(5 degree) type (b) Straight type

Fig. 12 Comparison of outlet shape effect

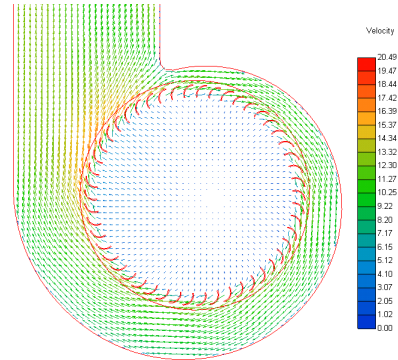


Fig. 15 Velocity vector of straight type

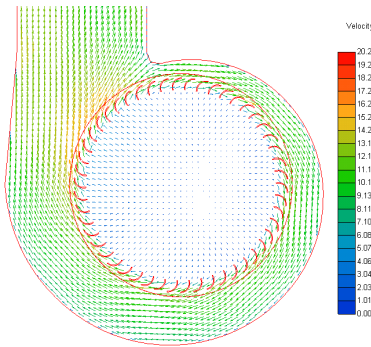


Fig. 13 Velocity vector of guide vane type(5 degree)

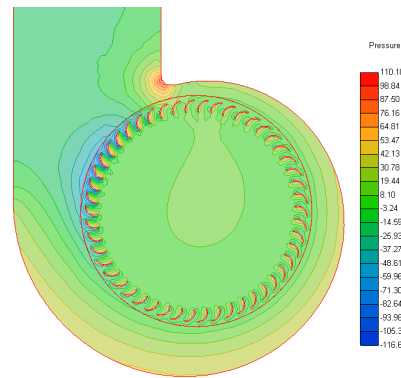


Fig. 16 Pressure field of straight type

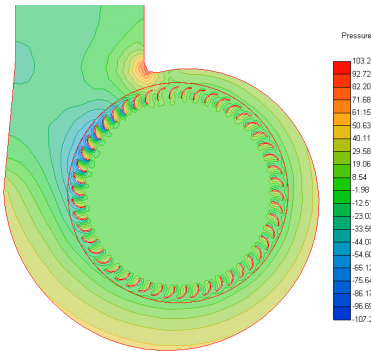


Fig. 14 Pressure field of guide vane type(5 degree)

도에서부터 블레이드 사이에 역류가 발생한 반면, $0.08D_2$ 변경한 경우 70도에서부터 역류가 발생하는 것을 확인할 수 있다. 따라서 커트오프를 $0.08D_2$ 인 경우가 소음과 유량측면에서 우수함을 확인할 수 있었다.

3.5 와류실 형상에 의한 영향

Fig. 10에 표시된 하우징 와류실의 시작점의 곡률을 R10.8 mm에서 R3.2 mm로 설계변경을 하여 그에 따른 영향을 살펴본다. 그 결과 Fig. 11과 같이 기존모델에 비해 압력손실이 줄

어들을 확인하였으며, 이로 인한 흡입유량도 0.6% 향상되었음을 알 수 있었다.

또한 Table 2에 의해 와류실의 곡률을 변경하였다. 기존 하우징의 크기에 비해 약 4.4%정도 증가하였으며, 출구면적의 확보와 아르키메데스 나선에 의한 효율증가로 인하여 흡입효율이 10.7% 향상됨을 확인할 수 있었다.

기존 하우징의 크기와 비교하기 위해 상수 m 값을 7로 하여 전산해석을 수행하였을 경우 기존에 비해 크기는 1.6% 정도 감소하였음에도 흡입효율은 약 8.3%정도 향상됨을 확인하였다. 이로써 아르키메데스 나선이 하우징의 와류실을 결정하는데 있어 중요한 기초 자료가 된다고 판단된다.

또한 상수 m 값을 8로 하고 아르키메데스 나선을 적용한 상태에서 Fig. 12(a)와 같이 $\theta = 360^\circ$ 인 지점에서 출구방향으로 5도 정도의 안내각이 존재하는 것보다 출구방향으로 Fig. 12(b)와 같이 직선 형태로 공기를 배출하는 형태가 더 많은 출구면적을 확보할 수 있으며 흡입효율 또한 약 8%의 흡입효율 상승을 얻을 수 있었다. Fig. 13-14는 안내각이 있을 때의 속도장과 압력장을 나타낸 그림이며, Fig. 15-16은 직선



형태일 때의 속도장과 압력장을 나타낸 그림이다.

4. 결 론

본 연구에서는 상용코드인 SC/Tetra를 이용하여 렌지후드용 시로코 팬 주위의 유동해석을 수행하였다. 또한 하우징의 형상변경을 통하여 얻은 결론은 다음과 같다.

- 1) 실험결과와 비교하여 회전수에 따른 흡입유량의 경향이 잘 일치함을 알 수 있었다. 이로 인하여 전산해석의 신뢰성을 확보하였다.
- 2) 실험을 통해 유량계수와 압력계수를 구한 결과, 시로코 팬에 정압이 낮게 걸릴수록 효율이 높다는 것을 확인할 수 있었다.
- 3) 커트오프 간격을 기존 $0.19D_2$ 에서 $0.08D_2$ 로 변경한 결과 블레이드 익간 유동에서 2차유동이 줄어들음 확인하였으며, 소음과 유량에 관한 성능이 향상됨을 예측할 수 있었다.
- 4) 하우징 와류실의 제원을 결정하는데 있어 아르키메데스 나선을 적용함으로써 약 8~10%의 흡입효율 향상을 얻을 수 있었다.
- 5) $\theta = 360^\circ$ 인 지점에서 출구방향으로 5도 정도의 안내각이 존재하는 것보다 출구방향으로 직선 형태로 공기를 배출하는 형태가 더 많은 출구면적을 확보할 수 있으며 흡입효율 또한 약 8%의 흡입효율 상승을 얻을 수 있었다.
- 6) 향후 시로코 팬의 임펠러 형상과 개수 그리고 하우징의 형상변경을 통한 성능개선이 다각도로 이루어져야 할 것이다.

후 기

본 연구는 중소기업청의 선도형 기술혁신 전략과제 지원사업에 의해 수행된 연구 결과의 일부이며 지원에 감사드립니다.

참고문헌

- [1] 2001, Kang, Y.M. and Han, H.T., "A study on the capture efficiency of kitchen exhaust system with make up airflow configurations," *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, 2001-W-079, pp.596-599.
- [2] 2001, Lee, H.J. and Jeong, T.Y., "Development of Improved Kitchen Ventilation System," *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, 2001-W-090, pp.556-558.
- [3] 1999, Park, K.J., Lee, S.H. and Son, B.J., "A Study on Low-Noise and High-Efficiency Sirocco Fan Development," *Journal of Fluid Machinery*, Vol.2, pp.46-56.
- [4] 1999, Kim, K.H., Park, K.C. and Lee, S., "Measurement and Prediction of Aerodynamics Noise from Sirocco Fans," *Journal of Fluid Machinery*, Vol.2, pp.57-64.
- [5] 1999, 신동신, 임종수, 김창성, 노오현, 이수갑, "원심형 팬의 유동해석에 관한 연구," *유체기계저널*, 제2권, 제1호, pp.43-49.
- [6] 1998, 서성진, 첸시, 김광용, 강신형, "원심 다익송풍기내 3차원 유동의 Navier-Stokes 해석," *유체기계학술대회 발표논문집*, pp.42-48.
- [7] 1987, Morinushi, K., "The Influence of Geometric Parameters on F. C. Centrifugal Fan Noise," *Transactions of the ASME*, Vol.109, pp.227-234.
- [8] 1981, Raj, D. and Swim, W.B., "Measurements of the Mean Flow Velocity and Velocity Fluctuations at the Exit of an FC Centrifugal Fan Rotor," *Transaction of the ASME*, Vol.103, pp.393-399.
- [9] 2000, 맹주성, 유달현, 이광호, 박인규, "다익 팬/스크롤 시스템의 형상변수와 내부 유동장 특성과의 관계," *대한기계학회논문집*, B권, 제24권, 제9호, pp.1139-1147.
- [10] 1993, David, C. Wilcox., *Turbulence Modeling for CFD*, DCW Industries, Inc..
- [11] 1999, 이보성, 이상산, 이동호, "SST 난류 모델을 이용한 진동하는 익형 주위의 유동장 해석," *한국전산유체공학회 춘계학술대회논문집*, pp.131-136.
- [12] 2004, 박상태, 최영석, 박문수, 김철호, 권오명, "레인지 후드용 시로코 팬의 성능 향상을 위한 연구," *유체기계 연구개발 발표회 논문집*, pp.572-577.
- [13] 2008, 하재현, 박상언, 서이수, 모양우, *유체기계*, 보문당, 서울.
- [14] 1997, 민현석, 안철오, 류호선, "Neural Network을 이용한 시로코 팬 설계 인자 분석," *유체기계연구개발협의회 '97 강연회 및 연구개발 발표회 논문집*, pp.137-144.
- [15] 1991, Morinushi, "Noise Source of a Multiblade Fan," *일본기계학회논문집*, 제57권, 제543호, pp.3837-3844.