

레인지 후드용 시로코 팬의 성능 향상을 위한 연구

박상태* · 최영석** · 박문수** · 김철호** · 권오명***

Numerical study on the Performance Improvement of the Sirocco Fan in a Range Hood.

Sang-Tae Park*, Young-Seok Choi**, Moon-Soo Park**, Cheol-Ho Kim** and Oh-Myoung Kwon***

Key Words : Range Hood(레인지후드), Sirocco Fan(시로코 팬), Performance(성능), CFD(전산유체역학)

ABSTRACT

This paper presents numerical study on the performance improvement of the sirocco fan in a range hood. The performance of sirocco fan means a higher flowrate, a higher static pressure and a lower required motor power in a fixed geometry constraint. Various impeller geometric parameters, such as blade profile, blade diameter, blade thickness profile and blade exit angle, were investigated by numerically and the results were compared with each other to know the effects on the performance. In this approach, the volute geometry were fixed with the original shape. The numerical results show that the blade profile with airfoil shape and small exit blade thickness increases the performance. The blade exit angle shows optimum angle within a varied range. The efficiency of the optimized exit angle was about 10% higher than the base blade exit angle and the static pressure was about 28% higher at the flow coefficient 0.22.

1. 서론

음식물 조리시 발생하는 불 연소가스, 수증기, 냄새 등 주방에서 가장 많은 양의 오염 물질이 발생하는 곳이 주방이며, 이러한 주방에서 오염물질을 원활히 배출시키고 또한 주거공간으로의 확산을 방지하는 것을 주목적으로 하는 것이 주방환기 시스템이다. Fig. 1에 나타난 레인지후드는 보조급기 시스템과 더불어 주방환기 시스템의 핵심 모듈이며 레인지후드의 성능은 일정량 이상의 배기능력을 갖고 고온의 열과 함께 빠른 속

도로 상승되는 오염공기를 충분히 포집할 수 있는 형상을 가져야 한다. 레인지 후드의 구성부품 중에서 배기능력과 소음에 가장 큰 영향을 미치는 것이 바로 팬이며, 일반적으로 레인지 후드용 팬으로는 효율은 다소 떨어지지만 비교적 소형으로 많은 풍량을 낼 수 있고 운전소음이 적다는 장점 때문에 전곡날개(forward curved blades)형 시로코 팬이 많이 사용된다. 이러한 시로코 팬은 건물이나 가정용 주방환기장치 등의 공기조화장치에 널리 사용되어 효율향상과 유동특성을 알기 위한 연구가 일찍부터 수행되어 왔다.

Morinushi⁽¹⁾는 팬의 내경과, 폭, 유입구(bell mouse)와 팬과의 간격, 날개의 설치각, 날개익현 높이(bladepitch-chord)비, 스크롤 전개각도를 변경하면서 소음과 성능에 미치는 영향에 대하여 연구하였다. 이

* 고려대학교 대학원 한국생산기술연구원

** 한국생산기술연구원

*** 고려대학교 기계공학과

E-mail : yschoi@kitech.re.kr

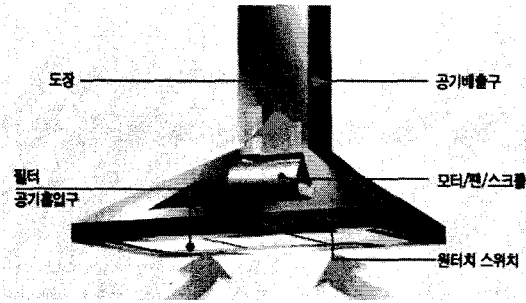
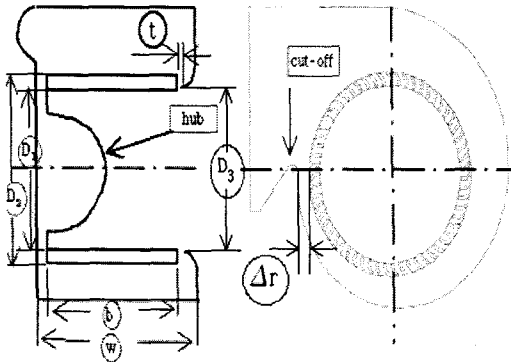


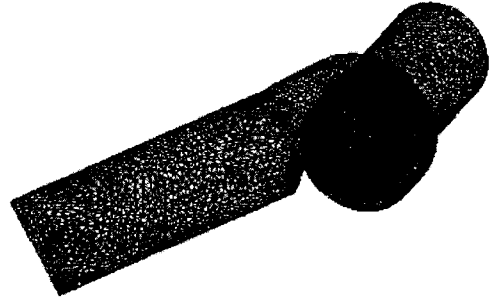
Fig. 1 Range hood



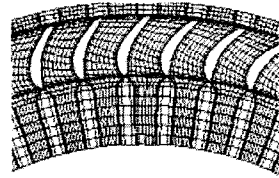
Fan width, b	(mm)	68
Bell mouse diameter, D_3	(mm)	132
Out diameter, D_2	(mm)	146.5
Inner diameter, D_1	(mm)	127
Number of blade, Z	(ea)	59
Scroll width, W	(mm)	82
Tip clearance, t	(mm)	4.67
Clearance of cut-off, Δr	(mm)	10.3

Fig. 2 Geometric parameters of sirocco fan

중에서 유입구와 팬과의 간격은 후향각 팬에는 성능에 많은 영향을 미치나 전향각 팬에는 영향을 미치지 못한다는 것을 확인하였다. Raj and Swim⁽²⁾은 연기를 사용한 유동가시화로 팬 유입구 부근에서 유동이 흐르지 않는 영역이 있음을 밝혔고, 열선풍속계로 날개 출구에서의 유동의 변동성을 측정하였다. Maeng⁽³⁾등은 공기 유입구인 팬의 내 측면에서 5공 피토관을 사용하여 유동장을 측정하였고 유동가시화로 유동특성을 확인하였으며 실험적으로 inactive zone에 대해서 연구하



(a) Total grid system



(b) Blades

Fig. 3 Computational Grids

였으며, Youand Lee⁽⁴⁾등은 자동차용 시로코팬에서 스크롤 팽창팽창 각도, 설부의 크기에 따른 팬의 노출비율, 팬과 유입구(bell-mouse)와의 간극이 성능에 미치는 영향을 확인하였고, Ha and Moon⁽⁵⁾ 등은 STAR-CD를 사용하여 시로코 팬의 3차원 비정상 및 준정상 유동해석을 수행하여 성능 예측과 블레이드 위치에 따른 익간 유동의 변화를 관찰해 보았으며, Kang⁽⁶⁾ 등은 임펠러 흡입구 세 가지 간극이 원심형 에어포일 송풍기의 전압성능과 효율에 미치는 영향을 실험적으로 연구하였다. 또한 Park⁽⁷⁾등은 레인지 후드용 시로코 팬의 입구영역에 존재하는 모터로 인한 입구영역 봉쇄(blockage)가 시로코 팬의 성능에 미치는 영향을 실험 및 수치해석을 통해 알아보았다.

본 연구에서는 기존의 레인지 후드용 시로코 팬 임펠러의 형상을 임펠러 설계 프로그램인 blade-gen을 이용하여 에어포일 형상으로 설계변경하고, 날개 출구각을 변경하여 팬 성능에 미치는 영향을 알아보았다. 수치해석은 상용 유동해석 프로그램인 CFX 5.7을 사용하였으며 격자생성은 ICM-CFD.4와 CFX-Turbogrid를 사용하였다.

2. 수치 해석

2.1. 수치해석 방법

본 연구에서는 터보기계의 유동해석에 주로 사용되는 압축성 난류유동의 해석을 위한 3차원 평균 Navier-stokes 방정식을 적용하고 지배방정식을 유한 체적법에 의해 이산화하여 해석하는 상용 프로그램인 CFX-5.7을 사용하였다. 이산화기법으로는 2차 이상의 정확도를 가지는 high resolution scheme, 난류 모델로는 유동박리 등의 현상을 비교적 정확히 예측할 수 있는 Shear Stress Transport (SST) k- ω 모델을 사용하였다. 경계조건으로 본 연구에 사용된 시로코 팬은 좌우 대칭을 이루는 양 흡입 방식의 팬이나, 대칭조건을 사용하여 한쪽 흡입면만을 계산하였다. 임펠러와 볼루트 사이의 경계면은 MFR 기법 중 frozen rotor 방법을 사용하였다. 계산 영역의 입구에는 균일한 상태인 대기압을 주었고 출구에서는 질량 유량을 변화시키면서 해석하였다. 실제 시험에서는 모터 특성상 유량에 따라 날개 회전수가 변하게 되나, 해석에서는 회전수 1700 rpm(revolutions per minute)로 고정하였으며, 유량 범위는 4, 6, 8, 10 CMM 및 자유송출유량 (free delivery)까지로 설정하여 해석을 수행하였다.

2.2. 수치해석모델

본 연구에 사용된 시로코 팬의 기하학적 형상과 변수를 Fig. 2에 나타내었다. 기존의 날개형상으로 설계된 시로코 팬을 DECO2라 명하고, 임펠러 설계시 임펠러의 직경과 입, 출구각동의 모든 인자는 동일하고 끝단의 두께만을 2.0mm에서 0.9mm로 축소시킨 후 에어포일 형상으로 재설계된 시로코 팬을 Model1 이라 한다. DECO2는 Fig. 2에서 확인 할 수 있듯이 임펠러의 직경(D₁)이 벨마우스의 직경(D₃)보다 작다. D₁과 D₃을 같게 한 후 DECO2의 $\Delta D(D_2 - D_1)$ 을 동일하게 하기 위해서 D₂ 직경을 DECO2보다 5mm크게 하여 설계한 것을 Model2라 하고, Model2의 날개 출구각(46°)을 각 각(43°, 49°, 52°, 55°, 58°, 61°)으로 변경시킨 것을 Model(3-8)로 한다.

끝단의 두께를 감소시킨 후 날개형상을 에어포일로 변경하였을 경우(Model1), 직경 D₁과 D₃을 같게 하였을 경우(Model2), 마지막으로 날개 출구각을 다르게 하였을 경우(Model3-8) 팬성능에 미치는 영향을 해석을 통해 상호 비교하도록 한다. 해석의 입구경계면은 날개 입구영역에 연결된 250 mm 연장 덕트의 입구영역으로 설정하였으며, 출구경계면은 팬 볼루트 출구면에서 400

mm 연장된 영역을 설정하였다.

2.3. 격자 생성

시로코 팬의 격자 구성을 Fig. 3에 나타내고 있다. Fig. 3(a)는 전체 계산 영역을 나타내고 있다. 계산에 사용된 전체 격자수는 50만개이고 이중 46만개가 팬 내부와 날개에 집중되었다. Fig. 3(b)가 블레이드 주위의 격자를 보여 주고 있다. Fig. 3에서 확인 할 수 있듯이 볼루트 부분은 ICM-CFD4를 이용한 비정렬격자로 이루어졌으며, 날개주위는 CFX-TurboGrid를 이용하여 정렬격자로 이루어져 있다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 헤드 및 효율 정의

시험과 유동 해석을 수행한 후 레인지 후드용 시로코 팬의 성능을 비교하기 위하여 사용된 무차원계수인 유량계수, 압력계수는 아래와 같이 정의 하였다.

$$\Phi = \frac{Q}{ND^3} \quad (1)$$

$$\Psi = \frac{P_s}{\rho N^2 D^2} \quad (2)$$

또한 효율은 아래와 같이 나타내었다.

$$\eta_t = \frac{QP_t K_p}{T\omega} \quad (3)$$

여기서, Q는 팬의 체적유량, N은 팬의 회전속도, D는 임펠러 지름, P_s는 정압, P_t는 전압, T는 날개의 토크, ω 는 회전각속도를 나타낸다.

3.2. 성능예측

회전 각속도 1700 rpm에서 저 유량점을 제외한 유량점에서 계산 결과와 시험결과 값을 무차원화하여 유량계수에 따른 압력계수를 Fig. 4에 나타내었다. 정량적으로는 다소 차이가 있으나 정성적으로 매우 유사한 경향이 나타나고 있음을 알 수 있다.⁽⁶⁾ 이를 통해서

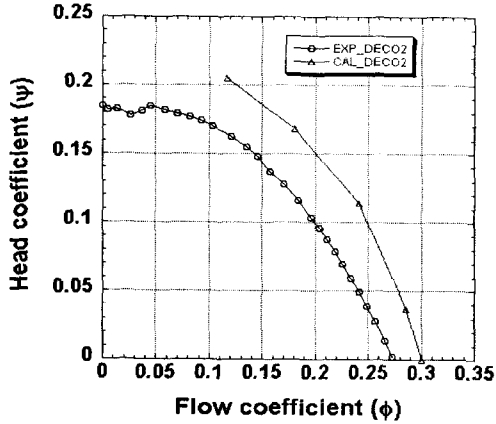


Fig. 4 Comparison of head coefficient between experiment and computation

전산해석 결과가 실험으로 구한 성능 특성과 유사함을 볼 수 있었다. 즉, 본 계산 결과가 실제 시로코 팬의 성능을 잘 예측함을 알 수 있으며, 이로써 본 계산 결과의 신뢰성을 확인할 수 있다.

3.3. 임펠러 형상에 의한 영향

팬의 성능은 공기의 유량에 대한 팬의 회전 속도, 팬 출구에서의 정압 및 전압, 소요동력 등의 관계를 나타낸다. 팬의 중요한 성능중의 하나인 정압 상승량을 압력계수-유량계수 곡선으로 무차원화하여 Fig. 5에 나타내었다. DECO2는 실제 사용되고 있는 시로코 팬의 날개형상을 모사한 것으로 날개 모양을 에어포일 형상 (Model1)으로 설계하였을 경우와 비교하였을 때 각 유량에 대해서 정압헤드가 증가하는 것을 확인할 수 있다. 이는 에어포일의 형상으로 설계 시 끝단의 두께를 절반으로 줄여 DECO2에 비해서 약 10%의 날개 출구에서의 유동면적을 확보 할 수 있고 이는 DECO2와 비교 하였을 경우 상대적으로 날개 입구면적에 비해 날개 출구에서의 면적이 증가하는 효과가 있으며 이는 유동속도가 깃 통로를 통과함에 있어서 상대적으로 감소되는 효과가 있으며 이를 통해서 정압상승의 효과가 있는 것으로 판단된다. Model2는 D_1 의 크기를 D_3 의 크기와 같게 하였으며, 또한 D_2 의 직경도 커진 D_1 의 크기만큼 확장하였다. 이는 임펠러의 직경이 기존 (Model1)의 크기보다 대략 3.7% 증가 하였고 증가된 직경에 따라 정압도 상승하고 있음을 알 수 있다. DECO2에 대한 상대적인 효율증가율과 정압증가율

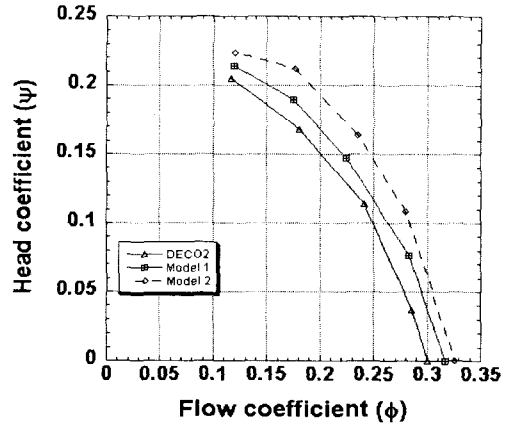


Fig. 5 Fan head coefficient variation with blade shape

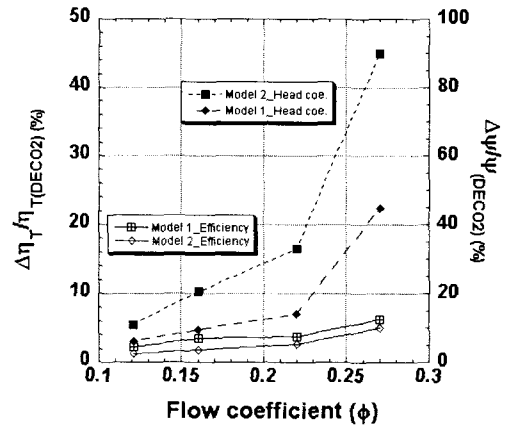


Fig. 6 Head coefficient and efficiency increment with flow coefficient

을 Fig. 6에 나타내었다. 앞선 Fig. 5에서는 Model1에 비해서 Model2의 정압이 상대적으로 상승효과가 있는 것을 확인 하였으나 효율에서는 대략 2% 정도의 감소를 확인할 수 있다. 그러나 효율 감소율에 비해서 model2의 경우에 정압상승율이 현저히 크기 때문에 Model2를 날개 출구각 변경의 기본 모델로 선택하도록 한다. 시로코 팬의 성능에 미치는 많은 요소 중에서 임펠러 출구의 속도감각형에 중요한 영향을 미치며 이후 볼루트 입구로의 속도에 큰 영향을 미치는 날개 출구 각을 변경하여 성능에 미치는 영향에 대해서 수치적으로 알아보고자 한다.

3.4. 날개 출구각에 의한 영향

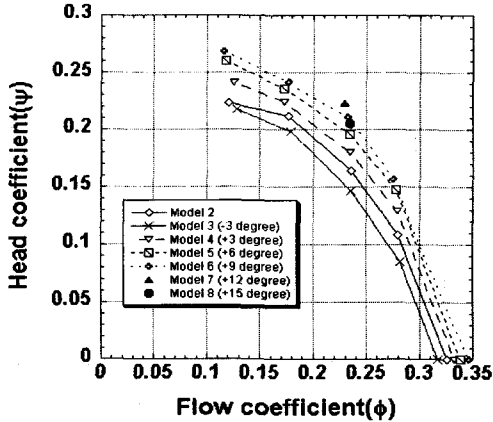


Fig. 7 Head coefficient with various blade exit angle

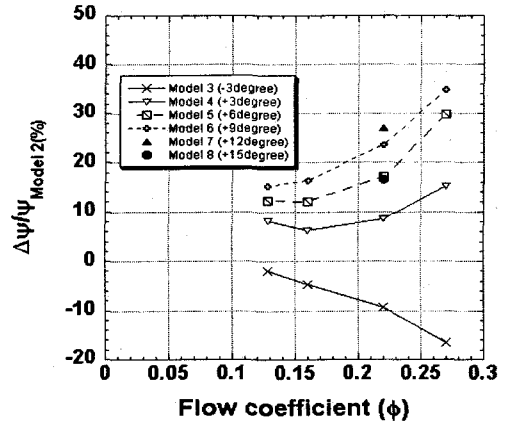


Fig. 9 Head coefficient increment with blade exit angle

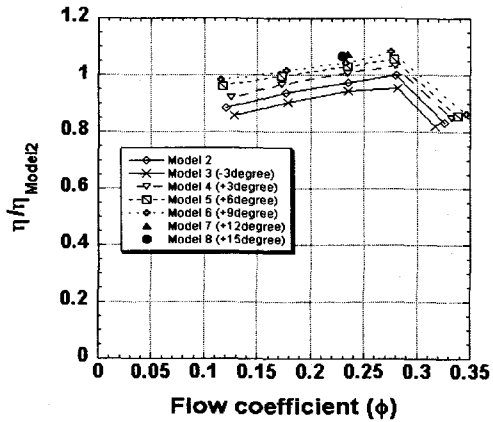


Fig. 8 Fan efficiency variation with blade exit angle

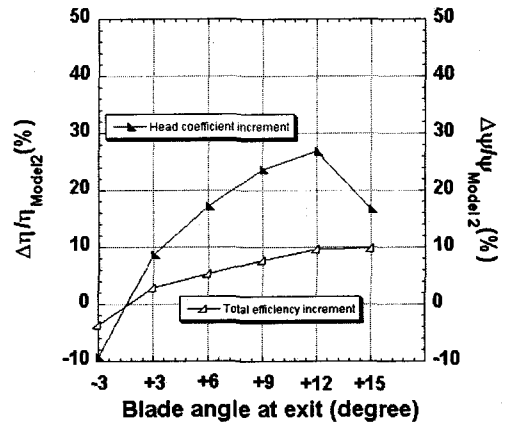


Fig. 10 Head coefficient and efficiency increment with blade exit angle (interpolated at $\phi=0.22$)

본 연구에서는 Model2와 비교하여 날개의 출구각을 -3° 에서 3° 씩 변화를 주어 $+15^\circ$ 까지 총 7가지의 Model을 수치해석 대상으로 결정하였다. 유량계수에 따른 압력계수를 무차원하여 Fig. 7에 나타내었다. Model(2-6)에서는 저 유량점을 제외한 전 유량점에서 수치해석을 수행하였으며, 그 결과 출구각의 변화에 따른 헤드 변화가 유사한 경향을 보이고 있어 Model7과 Model8에 대해서는 유량계수 0.22 근처에서 해석을 수행하여 결과를 비교하였다. Fig. 7에서 확인할 수 있듯이 날개 출구각이 증가하면서 유량계수에 대한 압력계수가 증가하는 것을 알 수 있다. 날개 출구부에서는 날개각이 증가할수록 출구속도의 회전방향속도 성분이 크게 되고 이러한 속도 성분은 블루트를 통과하면서 압력으로 회복된다. 블루트는 고정된 형상이므로 날개 출구 유동각도(물론 회전 방향으로 불균일한 분포를

가지므로 평균적인 의미)에 따라서 최적의 블루트 설계각도가 존재하게 되며, 본 모델의 경우는 Model7까지는 헤드가 향상되는 것으로 계산결과가 보여주고 있다. 그러나 Model8에서와 같이 출구각을 너무 크게 하였을 경우는 오히려 출구각의 속도 분포가 블루트의 압력회복에 방해가 되어 압력헤드가 떨어지는 것으로 나타나고 있다. Model2를 기준으로 하여 날개출구각의 변화가 효율에 미치는 영향을 Fig. 8에 나타내었다. 앞서 날개출구각에 따른 압력헤드가 상승하는 것과 마찬가지로 효율도 출구각이 증가함에 따라서 증가하는 경향이거나, 특정 출구각 이상에서는 거의 변화가 없음을 알 수 있다. 효율 곡선이 자유 송출 유량점으로 가면서 급격히 떨어지는 것은 계산 소요 시간 관계로 수치해석시 유량점을 크게 나누어 해석을 수행하였기 때문이

며 좀 더 많은 유량점에서 해석을 할 경우는 효율곡선이 완만한 경향을 나타낼 것이라고 판단된다.

출구각을 증가시키면서 유량계수에 따른 Model2와의 상대적인 정압상승율을 Fig. 9에 나타내었다. Model 4,5,6의 경우는 정압이 전체적으로 상승하고 있으며, Model7의 경우 유량계수 0.22에서 약 28%의 정압상승을 나타내고 있다. 그러나 출구날개각을 더욱 크게한 Model8에서는 정압이 떨어지는 있다. 특정한 유량계수에서($\phi=0.22$) 날개 출구각에 따른 정압증가율과 전체 효율 증가율을 나타낸 Fig. 10에서 보다 명확히 확인할 수 있다. 앞서 설명한 것과 같이 대체로 출구각의 증가에 따라서 정압과 효율이 증가하는 것을 확인할 수 있지만 출구각이 15°(Model8)인 경우에는 효율은 Model7(Model2 대비 약 10% 증가)과 비교하였을 경우 비슷하나 정압은 10%이상 감소하는 것을 알 수 있다. 따라서 본 연구에 사용된 DECO2의 경우에 날개 출구각 변화 해석 결과를 통해서 기존의 출구각보다 12° 큰 58°에서 최고의 성능을 나타냄을 확인할 수 있었다.

4. 결론

날개의 형상 및 날개 출구각의 변화에 따른 시로코팬의 성능 변화에 대하여 수치해석을 통해 알아보았으며, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 끝단의 두께를 감소시킨 후 날개형상을 에어포일 형상으로 변경하였을 경우(Model1)와 기존 DECO2의 성능을 비교 하였을 경우 유량계수 0.22일 때 대략 14%의 정압상승과 8%의 효율 상승을 확인하였다.

(2) 임펠러의 직경이 기존(Model1)의 크기보다 대략 3.7% 증가된 Model2와 비교하였을 경우 유량계수가 0.22일 때 정압 상승률로 확인 하였을 경우 대략 13.3%증가하였으나 효율은 2%정도 감소되는 것으로 확인되었다.

(3) 날개 출구각에 따라 정압과 효율 경향을 살펴보

았으며, 최적의 출구각은 기존보다 12° 증가한 58°임을 확인하였다. 유량계수 0.22에서 날개 출구각 58°의 경우 기존 출구날개각에 비하여 정압은 약 28% 증가하였고, 효율은 약 10% 증가하였다.

후 기

본 연구는 산업자원부가 지원하는 부품·소재 종합 기술지원사업(저소음 고성능 레인지후드 개발)의 일환으로 수행 되었다.

참고문헌

- (1) Ken Morinushi, 1987, "The Influence of Geometric Parameters on F. C. Centrifugal Fan Noise", Transactions of the ASME, Vol. 109, pp. 227-234
- (2) Rai, D. and Swim, W.B., 1981, Measurements of the Mean Flow Velocity and Velocity Flutuations at the Exit of an FC Centrifugal Fan Rotor, Transaction of the ASME, VOL. 103, pp. 393-399
- (3) 맹주성, 유달현, 이광호, 박인규, 2000, "다익 팬/스크롤 시스템의 형상변수와 내부 유동장 특성과의 관계", 대한기계학회논문집 B권, 제24권 제9호, pp. 1139-1147
- (4) 유성연, 이대웅, 2002, "자동차용 시로코 팬의 성능 및 유동특성에 관한 실험적 연구", 설비공학논문집, 제14권 제 11호 , pp. 954-963
- (5) 하재홍, 문영준, 1996, "시로코 팬의 3차원 유동 특성 및 성능에 대한 전산해석", 공기조화 냉동공학회 '99하계학술발표회 논문집, pp. 384-389
- (6) 강신형, 김영재, 남일우, 윤인규, 남형백, "임펠러 흡입구 간극이 원심형 에어포일 송풍기의 성능에 미치는 영향", 공기조화 냉동공학회 98동계학술발표회 논문집, pp. 129-134
- (7) 박상태, 최영석, 박문수, 김철호, 권오명, 2004, "레인지 후드용 시로코 팬 성능 특성에 관한 연구", 한국유체공학 학술대회 논문집, pp. 251-254