

자동차용 시로코팬의 성능 및 유동특성에 관한 실험적 연구

유 성 연, 이 대 응*

충남대학교 기계설계공학과, *한라공조 기술연구소

An Experimental Study on Performance and Flow Characteristics of Automotive Sirocco Fan

Seong-Yeon Yoo, Dae-Woong Lee*

Department of Mechanical Design Engineering, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

*Halla Climate Control Corp., 1689-1, Shinil-Dong, Daedok Gu, Daejeon 306-230, Korea

(Received July 12, 2002; revision received September 24, 2002)

ABSTRACT: For the optimal design of an automotive blower system, effects of the scroll cut-off starting angle, the clearance between blade tip and bellmouth, and the scroll expansion angle on the performance of sirocco fan are investigated experimentally. Best performance is achieved at fan exposure ratio $\Delta e/r_c=1.0$, and clearance ratio $\Delta C/C=0.62$. Flow characteristics inside sirocco fan are also studied by using LDV. Flow patterns in the inside of fan can be classified into three regions. Velocity vector has the same direction as rotational direction of fan at $0\sim 120^\circ$, toward the fan blades at $150\sim 180^\circ$, and opposite direction at $210\sim 330^\circ$. Turbulent intensity is relatively high near the cut-off edge in the scroll housing.

Key words: Automotive sirocco fan(자동차용 시로코팬), Scroll(스크롤), Bell-mouth(유입구), Cut-off(설부), P-Q curve(압력-풍량 선도), LDV(레이저 유속계)

기 호 설 명

b : 팬 폭 [mm]

C : 팬과 스크롤과의 거리 [mm]

ΔC : 팬과 유입구 간격 [mm]

D : 팬 지름 [mm]

Δe : 팬 반경과 설부의 거리 [mm]

N : 팬의 회전수 [rpm]

P : 압력 [mmAq]

Q : 체적유량 [m^3/h]

r_c : 팬 반경 [mm]

Δr : 설부와 팬과의 간격 [mm]

W : 스크롤 폭 [mm]

그리스 문자

δ : 스크롤 전개각

η : 효율

ϕ : 유량계수

ψ : 압력계수

하첨자

s : 정압

t : 전체압

v : 동압

† Corresponding author

Tel.: +82-42-930-6683; fax: +82-42-930-6619

E-mail address: dwlee@e-hcc.com

1. 서론

자동차의 공기조화시스템에서 송풍기는 시스템의 성능을 좌우하는 중요한 구성요소로 효율은 다소 떨어지지만 비교적 소형으로 많은 풍량을 낼 수 있고 운전소음이 적다는 장점 때문에 전곡 날개(forward curved blades)형 시로코팬(sirocco fan)이 많이 사용되고 있다. 시로코팬은 건물이나 가정용 에어컨 등의 공기조화장치에 널리 사용되어 효율향상과 유동특성을 알기 위한 연구가 일찍부터 수행되어 왔다.

Rai and Swim⁽¹⁾은 연기를 사용한 유동가시화로 팬 유입구 부근에서 유동이 흐르지 않는 영역이 있음을 밝혔고, 열선풍속계로 날개 출구에서의 유동의 변동성을 측정하였다. Morinushi⁽²⁾는 팬의 내경과 폭, 유입구(bell mouth)와 팬과의 간격, 날개의 설치각, 날개익현 높이(blade pitch-chord)비, 스크롤 전개각도를 변경하면서 소음과 성능에 미치는 영향에 대하여 연구하였으며, Kind and Tobin⁽³⁾은 5공 피토판을 이용하여 팬 날개 입출구에서 유동을 측정하였다. Maeng et al.⁽⁴⁾은 공기 유입구인 팬의 내측면에서 5공 피토판을 사용하여 유동장을 측정하였고 유동가시화로 유동특성을 확인하였으며, Qi et al.⁽⁵⁾은 기존의 스크롤 설계방법과는 다른 역 2차원 스크롤 설계방법으로 새로운 스크롤을 설계하여 서로 다른 2개의 팬을 조합하여 성능에 미치는 영향을 연구하였고, Kim and Lee⁽⁶⁾는 다익송풍기에서 설부간격을 변화하면서 이산주파수 소음, 성능, 스크롤부 압력, 설부의 압력변동, 설부근처에서의 2차 유동변화를 실험하여 이산주파수 소음에 미치는 영향을 연구하였다.

산업용 또는 가정용 에어컨에 사용되는 시로코팬과는 달리 자동차용 시로코팬은 차 실내에 위치하므로 작은 크기가 필수적이고, 다양한 송풍 모드(vent, floor, defrost mode)에 따라 시스템 저항이 달라지는 특성 때문에 최대효율이 되도록 공기역학적으로 설계되는 것보다는 제한된 공간속에서 상대적으로 많은 유량을 전달할 수 있도록 설계되는 것이 현실이다. 이와 같은 특성을 가진 자동차용 시로코팬에 대하여는 성능 및 유동특성에 대한 연구결과가 많지 않다.

Yamazaki and Satoh⁽⁷⁾는 5공 피토판을 사용하여 팬과 스크롤에서의 유동을 측정하였고, 저항

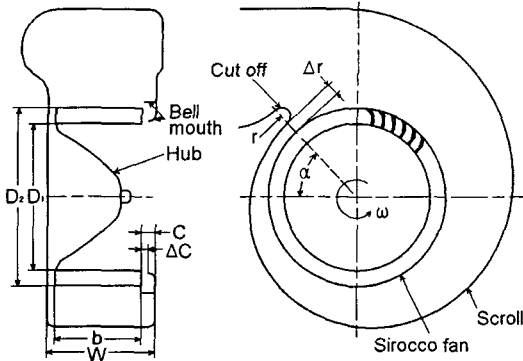
인자(blockage factor)를 평균유속과 운동량 평균 유속과의 비로 정의하여 팬 크기비, 팬 내외경비를 변경하면서 실험하였다. Kadota et al.⁽⁸⁾ 및 Kawaguchi et al.⁽⁹⁾은 불꽃추적법(spark tracing)으로 팬 날개익현에서의 유동을 가시화를 하였으며, 펠렌 프리즘(petchan prism)과 드럼(drum) 카메라를 이용하여 날개와 날개 사이에서 발생하는 유동을 촬영하였다. 또한 반도체 압력센서를 이용하여 날개익현 상에서의 압력변동을 측정하였고, 열선풍속계로 스크롤 내의 유속을 측정하였다. Asad et al.⁽¹⁰⁾은 상사법칙을 이용하여 물속에서 유동가시화를 하였으며, Monier et al.⁽¹¹⁾은 선형과 지수형의 스크롤 전개형태와 설부와 팬과의 간격, 유입구와 팬과의 간격에 대하여 실험계획법(design of experiments)을 이용하여 성능과 소음이 미치는 영향에 대하여 실험하였고, CFD를 이용하여 송풍기 내부유동을 해석하였다. Saeki et al.⁽¹²⁾은 양방향 흡입 시로코팬에 대하여 음향강도(sound intensity)법으로 소음을 측정하고 오일분무(oil mist) 방법으로 날개익현과 스크롤에서의 유동형태를 측정하였으며, 이를 바탕으로 전산해석을 이용하여 난류소음과 성능이 개선된 새로운 형태의 팬(slit fan)을 개발하였다.

본 연구에서는 앞선 연구자들의 연구내용을 바탕으로 자동차용 시로코팬에서 스크롤 팽창각도, 설부의 크기에 따른 팬의 노출비율, 팬과 유입구(bell-mouth)와의 간격이 성능에 미치는 영향을 실험적으로 살펴보고, 이들 각각의 최적인자들로 조합된 시로코팬을 실제 자동차용 공기조화시스템에 장착한 후 2차원 LDV를 사용하여 팬 내측과 스크롤에서의 속도장을 측정하여 유동특성을 고찰하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 성능시험

본 연구에 사용된 시로코팬의 형상과 주요 제원은 대하여 Fig. 1에 상세히 나타내었다. 팬과 스크롤은 모두 PP계열(polypropylene)의 합성수지로 제작하였으며, 이중유입구(double bell-mouth)를 사용하였다. 팬의 스크롤 전개형태는 지수함수를 사용하였으며, 전개각은 아래와 같다.



Fan width, b	(mm)	75.0
Outer diameter, D_2	(mm)	147
Inner diameter, D_1	(mm)	121
Number of blade, Z	(ea)	44
Scroll width, W	(mm)	89.5
Radius of cut-off, r	(mm)	7.3
Clearance of cut-off, Δr	(mm)	10.4
Start angle of scroll, α	(deg)	24.6

Fig. 1 Schematic and geometric parameters of sirocco fan.

$$r_s = 83.9 \cdot e^{(\theta/k)} \quad (1)$$

$$k = \frac{2\pi}{\ln(1 + 2\pi \cdot \tan \delta)} \quad (2)$$

여기서, θ 와 δ 는 각각 스크롤 전개각도, 스크롤 팽창각도이고 단위는 라디안(radian)이다.

Fig. 2는 팬 성능실험에 사용된 장비의 개략도이다. 장비는 국제 규격인 ANSI/ASHRAE 51-1985, ANSI/AMCA 210-85을 만족하는 구조로 Torrington사에서 제작한 FM600 모델이다.

FM600은 실험실에서 제작하는 다양한 시작형태의 팬 설치가 가능하며, 팬의 종류에 따라 배기(exhaust)와 공급(supply) 모드의 선택이 가능

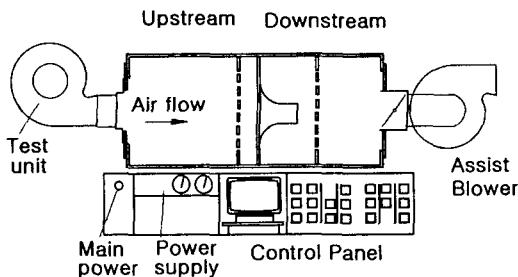
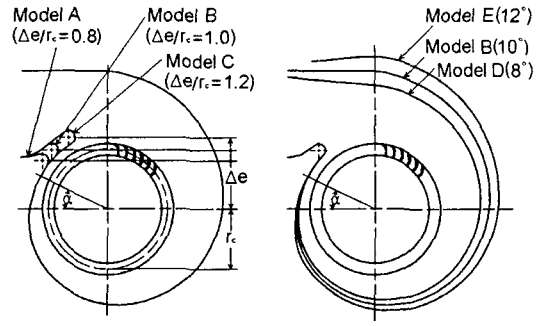


Fig. 2 Schematic of performance test apparatus.



Exposure ratio of fan, $\Delta e/r_c$ (deg)	0.8, 1.0, 1.2
Expansion angle of scroll, δ (deg)	8, 10, 12
Clearance ratio of $\Delta C/C$	0.62, 0.12

Fig. 3 Experimental parameters of sirocco fan.

한 구조이다. 체적공기량의 측정범위는 7~1020 m³/h이고, 주요 구성은 실험대상 팬을 설치하여 측정하는 실험부(test section)와 제어부, 팬의 토크를 측정하는 토크동력계로 이루어져 있다. 압력측정은 노즐 전후의 차압을 압전센서를 이용하여 측정하였으며, 온도측정은 노즐상류(upstream)에 위치한 2개의 열전대를 이용하여 측정하였고, 상대습도와 대기압력측정은 습도변환계와 기압변환계로 측정하여 공기밀도의 보정값으로 사용하였다. 또한 토크측정은 자석으로 회전속도를 측정하는 Eaton Lebow사의 1102 모델의 토크센서를 사용하였다.

실험은 팬의 중심에서 설부 중심까지의 거리를 팬의 반경으로 나누어서 정의한 팬노출비($\Delta e/r_c$)가 각각 $\Delta e/r_c=0.8, 1.0, 1.2$ 인 모델 A, B, C와 스크롤 팽창각도 $\delta=8^\circ, 10^\circ, 12^\circ$ 인 모델 D, B, E의 경우, 팬과 유입구와 간극비($\Delta C/C$)를 0.12, 0.62로 변화한 모델 F, B에 대하여 성능에 미치는 영향을 실험하였고, 주요 형상은 Fig. 1과 3에 상세히 나타내었다. 또한 평가방법은 자동차용 시로코팬의 특성상 외부의 공기를 차 실내로 유입하는 외기 모드와 실내 공기를 재순환하는 내기 모드로 구분하여 평가하였다.

2.2 유동특성 실험

Fig. 4는 속도장 측정에 사용된 LDV의 개략도이다. LDV는 덴마크 Dantec사 제품의 IVOVA 70계열로 5 W 아르곤-이온(Argon-Ion) 레이저를

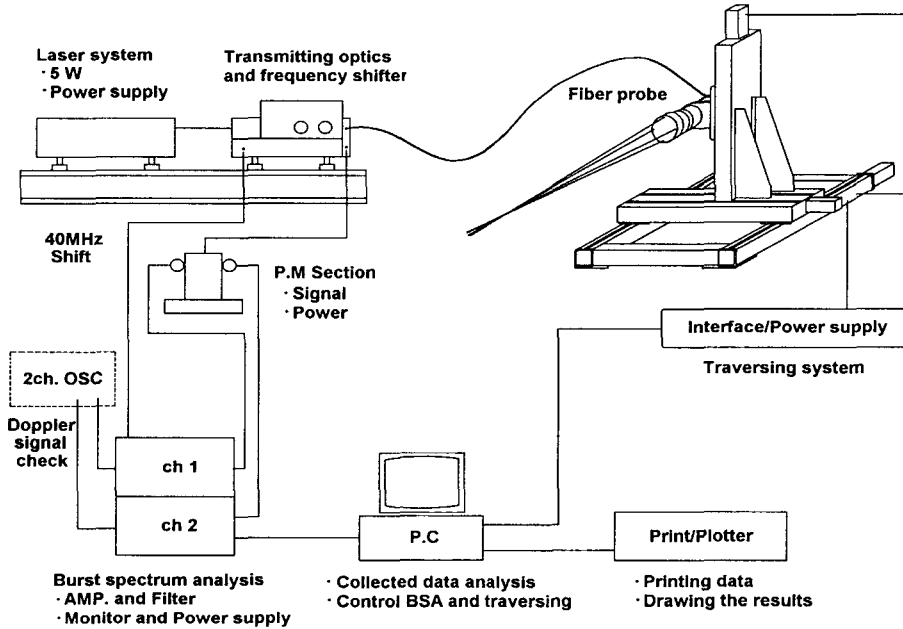


Fig. 4 Schematic of laser doppler velocimeter.

사용하며, 냉각방식은 수냉식이다. 주요 구성은 렌즈, 프리즘, 수신광학장치(receiving optics), 신호처리장치(digital burst correlation), 이송장치, 컴퓨터 등으로 구성되어 있으며, 속도의 측정범위는 공기의 경우 100 m/s까지 측정 가능하며, 정밀도는 일반적으로 ± 0.05 m/s 이내이고, 100 m/s의 속도측정에서는 최대 ± 0.2 m/s의 정확도를 가진다. 이송주기는 최대 40 MHz이고, 각 레이저의 채널 폭은 120 MHz이다.

속도측정은 스크롤 상단부 케이스를 투명 아크

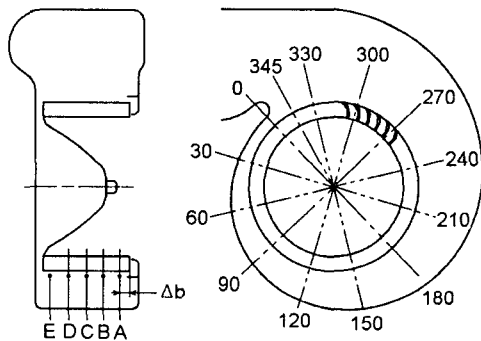
릴로 제작하여 팬 중심에서 일정 반경과 임의의 유선을 따라 측정하였으며, 내측과 외측 모두 설부를 시작각으로 원주방향으로 30°씩 변화하면서 측정하였고, 폭방향으로는 $\Delta b/b$ 의 비율로 5군데로 나누어 측정하였다. 상세한 측정위치는 Fig. 5에 나타내었다.

산란입자는 가슴기를 이용한 물을 분무하여 사용하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 성능시험

팬의 성능은 공기의 유량에 대한 팬의 회전속도, 팬 출구에서의 공기속도, 팬의 기동토크, 정압, 전체압의 관계를 나타내게 되나, 본 실험에서는 실험장비의 제한으로 속도를 측정하지 못하였다. 따라서 속도는 각 측정점에서의 공기유량을 팬 출구면적으로 나누어 계산하였다. 또한 팬의 성능을 비교하기 위하여 사용된 무차원계수인 유량계수, 압력계수는 아래와 같이 정의하였다.



Radius at fan (mm)	39, 47, 55, 90, Streamline
Ratio of $\Delta b/b$	0.13, 0.27, 0.47, 0.67, 0.88

Fig. 5 Velocity measurement location.

$$\phi = \frac{4Q}{\pi^2 D_2^3 \left(\frac{N}{60}\right)} \quad (3)$$

$$\psi_t = \frac{2P_t}{\rho\pi D_2^2 \left(\frac{N^2}{60}\right)} \quad (4)$$

$$\psi_s = \frac{2P_s}{\rho\pi D_2^2 \left(\frac{N^2}{60}\right)} \quad (5)$$

팬의 전체효율과 정압효율은 각각 아래와 같이 나타내었다.

$$\eta_t = \frac{\Delta P_t \cdot Q}{T \cdot \omega} \quad (6)$$

$$\eta_s = \frac{\Delta P_s \cdot Q}{T \cdot \omega} \quad (7)$$

$$P_t = P_s + P_v \quad (8)$$

여기서, T 는 팬의 토크, ω 는 팬의 각속도, P_t , P_s , P_v 는 각각 전체압과 정압, 동압을 나타낸다.

Fig. 6은 외기 모드에서 팬의 노출비($\Delta e/r_c$)가 성능에 미치는 영향을 비교한 것이다. 모델 C는 유량계수 0.3 이상에서 효율과 압력계수가 낮게 나타나며, 모델 A는 유량계수 0.2 부근에서 효율과 압력계수가 저하되고 있다. 자동차용 시로코팬에서 유량계수 0.2는 주로 겨울철에 사용되는 난방영역으로 발축(floor) 모드 또는 자동차 앞 유리창에 생기는 성에를 제거하기 위한 제상(de-frost) 모드에 해당되고, 유량계수 0.35 부근은 냉방영역으로 여름철 에어컨을 사용하는 냉방(vent) 모드가 해당된다.

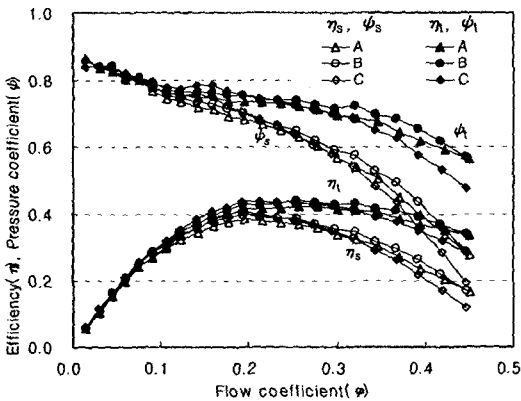


Fig. 6 Effect of $\Delta e/r_c$ on the fan performance at fresh mode.

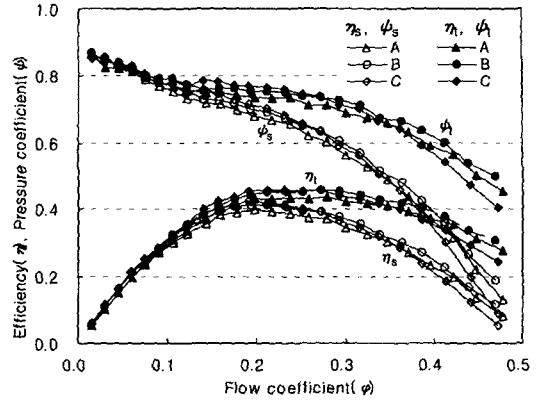


Fig. 7 Effect of $\Delta e/r_c$ on the fan performance at recirculation mode.

Fig. 7은 내기 모드에서 팬의 노출비가 성능에 미치는 영향을 비교하였다. 외기 모드에서 살펴본 것과 같이 모델 B대비 모델 C는 유량계수 0.3 이상에서, 모델 A는 유량계수 0.2를 전후하여 정압효율과 정압계수가 낮게 나타나고 있다. 따라서 팬의 노출비가 성능에 미치는 영향은 $\Delta e/r_c = 1.0$ 의 설부위치가 성능측면에서는 우수하게 나타났다.

Fig. 8은 외기 모드에서 스크롤 팽창각도가 성능에 미치는 영향을 비교하였다. 스크롤 팽창각도의 영향은 모델 D의 경우 유량계수 0.35 이상에서 성능이 저하되나, 일반적으로 유량계수 0.4 이상은 자동차용 시로코팬에서는 사용하지 않는 영역이므로 전반적으로 모델 B와 유사한 성능이라고 볼 수 있다. 모델 E는 스크롤 팽창각도가

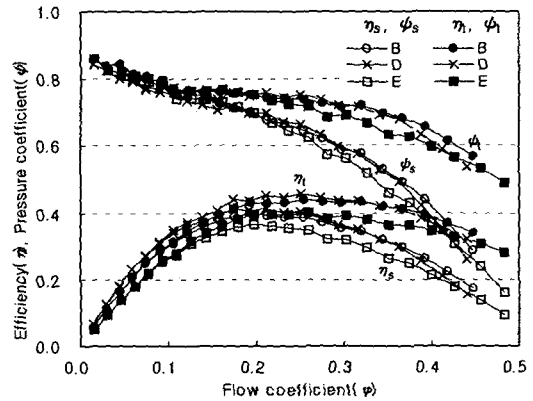


Fig. 8 Effect of δ on the fan performance at fresh mode.

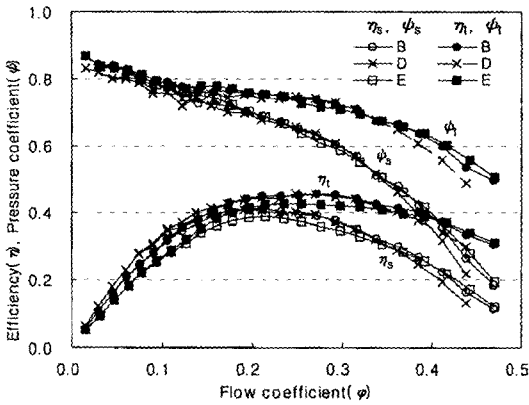


Fig. 9 Effect of δ on the fan performance at recirculation mode.

음에도 불구하고 유량계수 0.15 이상의 운전영역에서 효율이 현저히 저하되었다. 이는 스크롤 전개각도의 증가효과보다는 팬에서의 일량이 많아지기 때문으로 판단된다.

Fig. 9는 스크롤 팽창각도가 성능에 미치는 영향을 내기 모드에서 비교하였다. 모델 E의 경우 효율과 압력계수가 외기 모드보다는 높아졌으나, 전반적으로 외기 모드와 동일한 경향을 나타내고 있다.

Fig. 10은 외기 모드에서 팬과 유입구와의 간격, 즉 $\Delta C/C$ 의 비율이 성능에 미치는 영향을 비교하였다. 기술적으로 허용한다면 $\Delta C/C$ 의 비율이 작을수록 성능은 우수하게 나타날 것 같았으나, $\Delta C/C$ 의 비율이 0.62인 모델 B가 $\Delta C/C$ 의 비율이 0.12인 모델 F보다 효율과 압력계수가 높

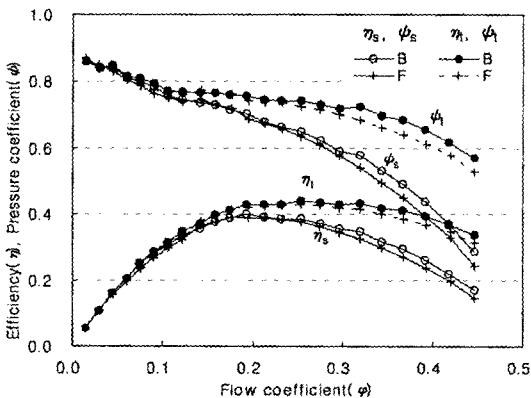


Fig. 10 Effect of $\Delta C/C$ on the fan performance at fresh mode.

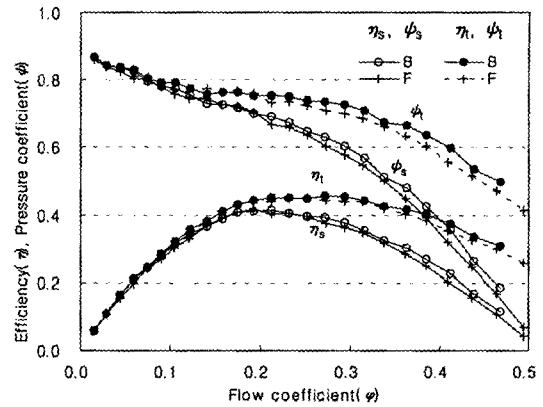


Fig. 11 Effect of $\Delta C/C$ on the fan performance at recirculation mode.

게 나타났다.

Fig. 11은 내기 모드에서 $\Delta C/C$ 의 비율이 성능에 미치는 영향을 비교하였다. 효율과 압력이 약간 증가하였으나, 외기 모드에서와 같이 $\Delta C/C$ 의 비율이 0.62인 모델 B가 유량계수 0.2 이상의 운전영역에서 성능이 우수하게 나타났다.

이와 같이 자동차용 시로코펜에서 성능에 영향을 미치는 인자를 변경하면서 외기와 내기 모드에서 시험한 결과 팬의 노출비는 1.0, 스크롤의 팽창각도는 10° , 팬과 유입구와의 거리비는 0.62가 성능측면에서는 우수한 것으로 나타났다.

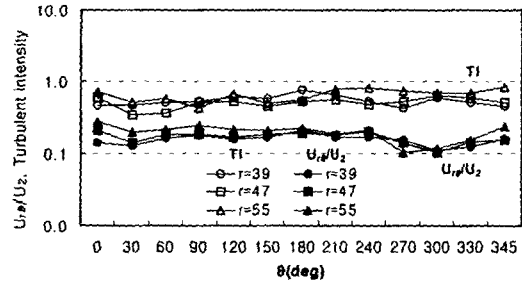
3.2 유동특성 실험

유동특성 실험은 앞서 성능시험에서 언급한 각 변수들을 조합하여 가장 우수한 성능을 나타내는 모델 B 팬에 대하여 자동차에 설치되는 조건과 동일하게 공조시스템에 설치한 후 최대 냉방모드에서 유량계수 $\phi=0.285$ 로 고정하여 2차원 $r-\theta$ 평면에서 실험하였다.

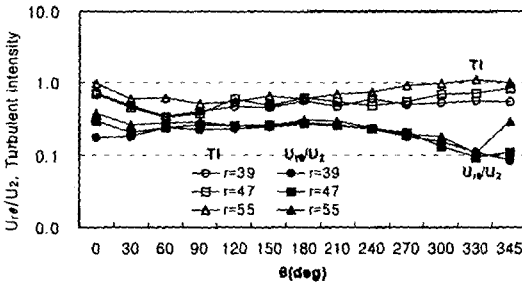
Fig. 12는 팬 내부에서의 무차원속도 ($U_{r\theta}/U_2$)와 난류강도를 나타낸 것으로, 난류강도는 r 과 θ 중 최대값을 팬의 평균속도로 나누어 정의하였다. 실험은 폭방향 깊이 ($\Delta b/b$)에 따라 반경 $r=39, 47, 55$ mm인 원주면상에서 원주각을 30° 씩 변화시켜 가며 측정된 결과이다. 단면 A에서는 전반적으로 무차원속도와 난류강도가 고른 분포를 보이며, 345° 부근에서만 난류강도가 약간 증가함을 볼 수 있다. 단면 B에서는 전체적인 무차원속도

단 단면 A보다 증가하였다, 330°에서 무차원속도가 감소하였고, 이때 난류강도도 단면 A보다는 낮게 나타났다. 단면 C와 D에서는 다른 경향을

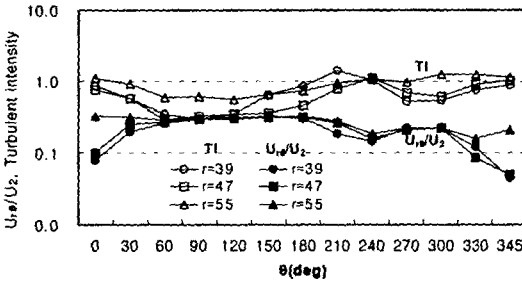
보이고 있다. 60~180° 사이에서는 무차원속도가 증가하나, 그외에서는 오히려 감소하며, 난류강도가 높아지는 구간도 설부인 345°와 240°에서 크



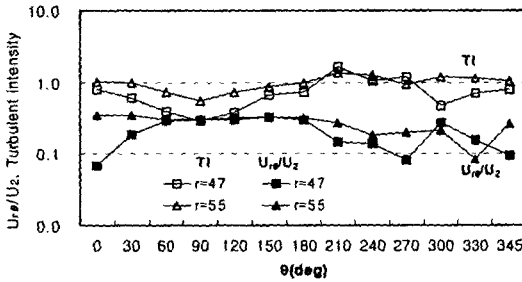
(a) Section A ($\Delta b/b=0.13$)



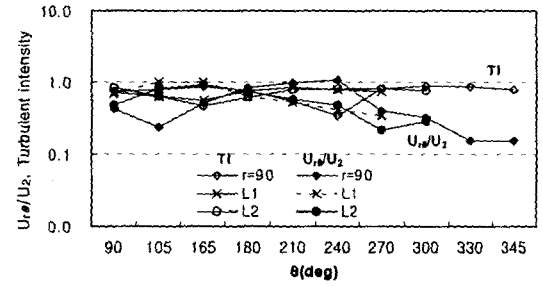
(b) Section B ($\Delta b/b=0.27$)



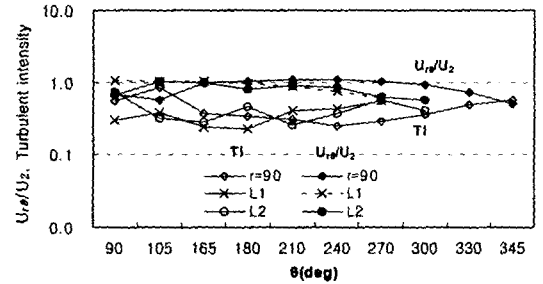
(c) Section C ($\Delta b/b=0.47$)



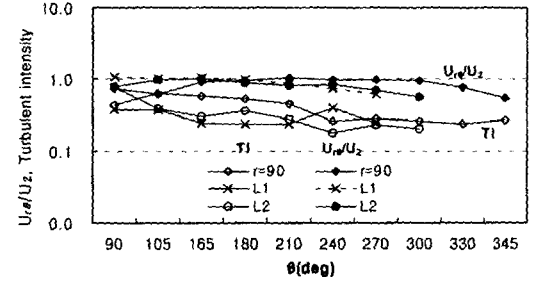
(d) Section D ($\Delta b/b=0.67$)



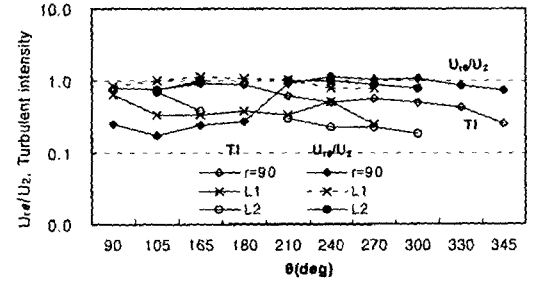
(a) Section A ($\Delta b/b=0.13$)



(b) Section B ($\Delta b/b=0.27$)



(c) Section C ($\Delta b/b=0.47$)



(d) Section E ($\Delta b/b=0.88$)

Fig. 12 Distribution of velocity and turbulent intensity at inside of fan.

Fig. 13 Distribution of velocity and turbulent intensity at inner scroll.

있다. 또한 무차원속도는 전 단면에 가까울수록 증가하는 경향으로 나

Fig. 13은 스크롤에서의 무차원속도와 난류강도를 나타낸 것으로, 난류강도는 r 과 θ 에서 최대값을 스크롤에서의 평균속도로 나누어 정의하였다.

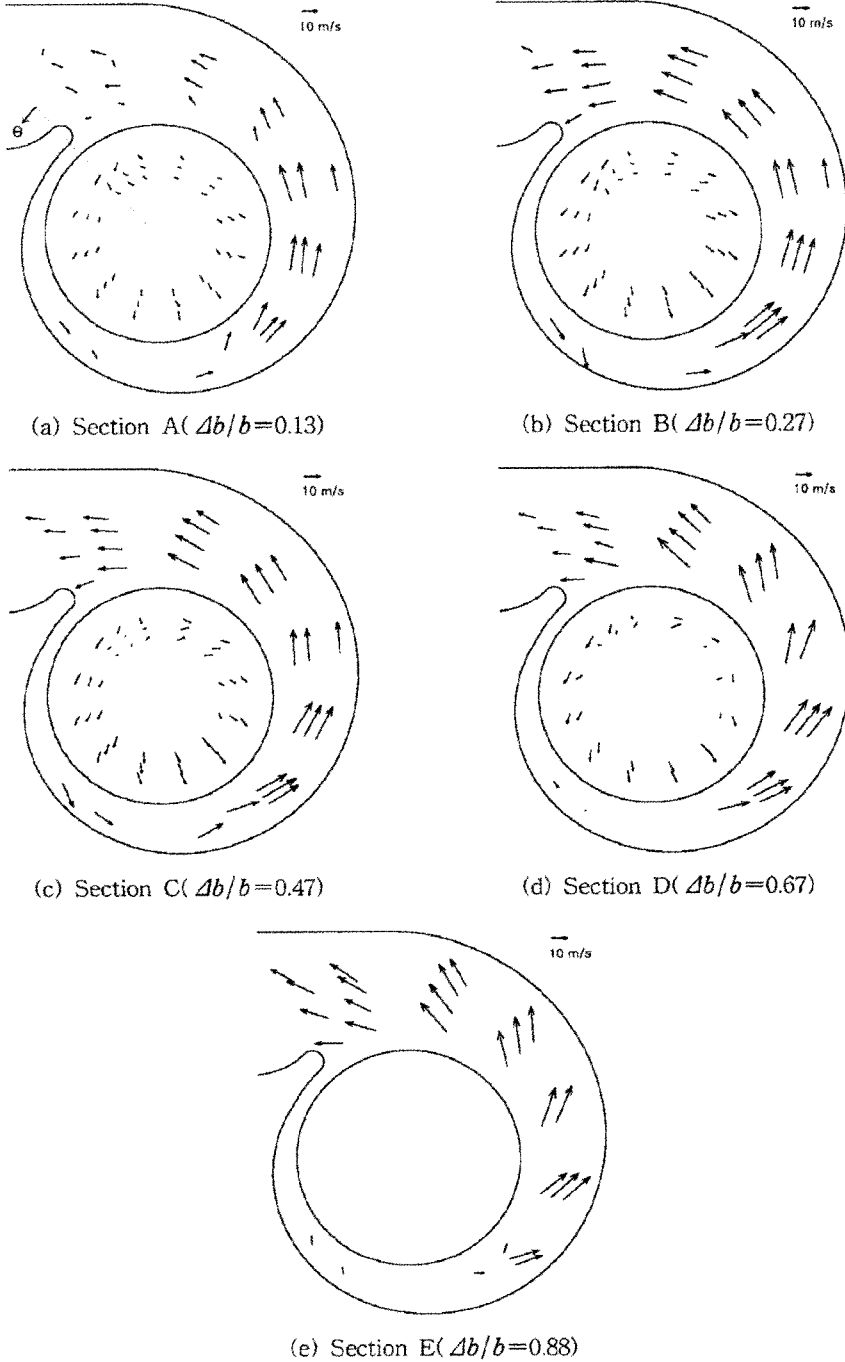


Fig. 14 Velocity vector in $r-\theta$ for sirocco fan.

폭방향 깊이($\Delta b/b$)에 따라 반경 $r=90$ mm와 임의의 스크롤 선을 따라 원주면상에서 원주각을 30° 씩 변화시켜 가며 측정된 결과이다. 단면 D는 단면 C와 거의 유사한 유동형태이므로 나타내지 않았다. 팬 내부의 무차원속도와는 달리 전체적으로 무차원속도가 증가하였고, 난류강도는 약간 감소하고 있는 것을 볼 수 있다. 팬과 스크롤과의 간격이 좁아서 일부구간은 측정하지 못하였지만 $r=90$ mm에서의 무차원속도와 난류강도만을 보면 폭방향 깊이($\Delta b/b$)가 커질수록 출구단(345°)에서의 무차원속도는 높아지고, 난류강도는 감소하는 경향을 보여주고 있다.

Fig. 14는 각각 팬 내부와 스크롤 단면에서의 속도벡터를 나타내고 있다. 먼저 팬 내부에서의 유동을 살펴보면 크게 세 가지로 나눌 수 있으며, 먼저 $0\sim 120^\circ$ 사이에는 팬 회전방향과 동일한 방향의 유동과 $150\sim 180^\circ$ 에서는 날개방향으로 향하는 유동, $210\sim 330^\circ$ 에서는 팬의 회전방향과 반대방향으로 회전하는 유동으로 구분된다. 최대속도 벡터값은 팬 날개방향 유동인 $180\sim 210^\circ$ 에서 나타나며, 원주방향으로는 팬 외경(D_2)에 가까울수록 속도벡터는 커지고, 폭방향의 유동특성은 $\Delta b/b=0.47$ 에서 속도벡터가 증가하여 이 영역에서 팬이 효율적임을 알 수 있다. 단면 A에서의 속도벡터가 다른 단면에 비해 상대적으로 작기 때문에 여기서는 명확히 나타나지는 않지만 $\Delta b/b=0.13$ 이하에서는 앞선 연구자들이 연구한 유동 차단 영역이 나타날 것으로 보여진다.^(3,7) 단면 E에서는 $\Delta b/b$ 의 비가 허브(hub)에 근접하여 속도를 측정하지 못하였다.

스크롤에서의 유동특성은 단면 A, B, C, D, E 모두에서 스크롤 벽면을 따라가는 일정한 속도벡터를 볼 수 있으나, 벽 근처에서는 속도가 감소함을 알 수 있다. 또한 단면 A에서의 출구측 속도벡터의 교란과 단면 D와 E에서 105° 를 전후하여 속도벡터가 팬의 회전방향과 반대방향으로 하고 있는 것은 유동의 3차원적 특성으로 벽면에 충돌한 후 되돌아 나오는 유동의 영향 때문으로 보여진다. 폭 방향으로 단면 E가 단면 A보다 전반적으로 속도벡터가 크고 특히 출구측 속도벡터가 유선을 따라 증가하기 때문에 스크롤 아래면의 유동이 보다 효율적임을 알 수 있다.

4. 결 론

자동차용 시로코팬의 성능에 미치는 영향을 팬의 노출비율, 스크롤의 팽창각도, 유입구와 팬과의 거리비를 변경하면서 실험하였고, 선정된 팬에 대하여 실제 자동차 장착조건으로 공조시스템을 설치 후 유동특성을 실험적으로 규명하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 설부의 시작각도는 팬의 노출비와 연관지어 노출비가 1.0일 때가 성능이 가장 우수하였다.

(2) 유입구와 팬과의 거리비($\Delta C/C$)는 성능측면에서 0.62가 우수하였다.

(3) 난류강도는 팬 내부에서 전반적으로 345° 부근에서, $\Delta b/b$ 가 0.47 이상에서는 240° 부근에서도 크게 나타났다.

(4) 스크롤에서는 $\Delta b/b$ 가 0.13일 때 345° 에서 난류강도가 크게 나타나나, 바닥면($\Delta b/b=0.88$)으로 갈수록 난류강도는 감소하였고, 무차원속도는 증가하였다.

(5) 팬 내부의 유동특성은 $0\sim 120^\circ$ 사이에서 팬의 회전방향으로, $150\sim 180^\circ$ 사이에서는 날개방향으로, $210\sim 330^\circ$ 에서는 팬 회전방향과 반대방향으로 유동이 형성되었다.

참고문헌

1. Rai, D. and Swim, W. B., 1981, 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.
2. Morinushi, K., 1987, The Influence of Geometric Parameters on F. C. Centrifugal Fan Noise, Transaction of the ASME, Vol. 109, pp. 227-234.
3. Kind, R. J. and Tobin, M. G., 1990, Flow in a Centrifugal Fan of the Squirrel-Cage Type, Transaction of the ASME, Vol. 112, pp. 84-90.
4. Maeng, J. S., Yoon, J. Y., Ahn, T. B., Yoon, J. E. and Hahn, D. J., 1999, An Experimental Study for Flow Characteristics Inside the Rotor of a Multiblade Fan/Scroll System,

- KSME, Vol. B/23, No. 5, pp. 646-652.
5. Qi, D. T., Pomfret, M. J. and Lam, L., 1996, A new approach to the design of fan volute profiles, IMechE, Vol. 210, pp. 287-294.
 6. Kim, Y. C. and Lee, S. H., 1997, Experimental Study for Reduction of Blade passing Frequency Noise Level of Multi-Blade Fan, Proceedings of the SAREK, pp. 574-579.
 7. Yamazaki, S. and Satoh, R., 1986, An Experimental Study on the Aerodynamic Performance of Multi-Blade Blowers (1st Report, Measurement of Flow Patterns within the Blowers), JSME, Vol. B/52, No. 484, pp. 3987-3991.
 8. Kadota, S., Kawaguchi, K., Suzuki, M., Matsui, K. and Kikuyama, K., 1994, Experimental Study on Low-Noise Multiblade Fan (1st Report, Visualization of Three-Dimensional Flow between Blades), JSME, Vol. B/60, No. 570, pp. 102-107.
 9. Kawaguchi, K., Kadota, S., Suzuki, M., Matsui, K. and Kikuyama, K., 1994, Experimental Study on Low-Noise Multiblade Fan (2st Report, Relation of Flow between Fan Blades and Pressure Fluctuations), JSME, Vol. B/60, No. 570, pp. 108-111.
 10. Asad, M. S., William, K. G. Jr. and James, R. S., 2001, Flow Visualization Study of an HVAC Module Operated in Water, VTMS 2001-01-1702.
 11. Monier, B. B., Bashar, S. A., Todd, E. S. and Ming-Chia, Lai, 1996, Optimum Design Parameters of an Automotive Blower Fan Housing Scroll, SAE 960965.
 12. Saeki, N., Kamiyama, K., Uomoto, M. and Ishihara, Y., 1997, Development of Low Noise Blower Fan, SAE 971842.