

차량용 냉각 팬과 엔진 블록의 간격 변화에 따른 성능 특성 연구

Experimental Study on Performance Characteristics with Various Spacings between Automobile Cooling Fan and Engine Block

유병민*·유기완†·장재경*·이강덕**·홍성규***

Byoung-Min Yu, Ki-Wahn Ryu, Jea-Kyung Jang, Kang-Duck Ih and Sung-Kyu Hong

Key Words : Cooling fan(냉각 팬), Engine block(엔진 블록), Engine block constant(엔진 블록 상수), Fan tester(팬 시험장치), Performance curve(성능 곡선)

ABSTRACT

Recently, according to the tendency to the more comfortable automobile, the improvement of performance of the cooling fan is required. The performance of cooling fan is affected by many peripheral parts, such as radiator, condenser, engine block and etc. Therefore, it is important to consider the effect of peripheral components on the fan performance in design and analysis stages. In this paper, the performance of automobile cooling fan is investigated experimentally by using the large capacity fan tester based on the ASHRAE and the AMCA standards. In particular, the various spacing between cooling fan and engine block are considered to obtain the effect of engine block. An empirical relation between the fan flow rate and the spacing was proposed.

1. 서 론

개발 초기 단순한 수송수단으로 개발된 자동차는 사회가 유행해지고 자동차 관련 기술이 발달하면서 단순한 수송수단 이상의 의미를 가지게 되었다. 특히, 최근 세계 주요 자동차 메이커에서 출시되는 자동차들은 세계적인 유가 상승과 소비자들의 요구에 의해 차량성능이 고효율, 고성능화 되어 가고 있는 추세이다. 이러한 현상은 자동차 냉각시스템의 냉각 팬에도 영향을 주고 있으며, 현재 자동차용 냉각 팬의 최적설계에 대한 연구¹⁻⁵⁾가 활발하게 이루어지고 있다.

차량성능을 고효율, 고성능화 하기 위해 차체의 경량화와 슬림한 디자인이 도입되어 차량 전면에서의 냉각풍 도입면적의 축소와 엔진룸의 협소화를 야기시킨다. 이는 자동차용 냉각 팬이 엔진룸내의 주변 부품들에 의해 팬 단독

운전상태인 경우와는 성능 및 소음 측면에서 전혀 다른 현상을 일으키는 요인으로 작용한다. 즉, 협소한 공간에서 큰 시스템 저항으로 인해 냉각 팬의 성능과 불균일 유입류로 인한 소음 증가 현상이 동반된다. 이로 인해 자동차용 엔진 냉각 팬의 설계 및 성능평가는 실제 차량에 장치를 구성하고 각종 요소 부품들을 변화시켜 가며 실제 시험을 통하여 이루어지는 것이 일반적이다. 그러나 전적으로 실제 시험에만 의존할 경우, 시행착오에 의한 개발일정, 소요경비 증가 등의 문제가 적지 않으므로 이를 개선하기 위해 이론적 계산과 해석적 방법이 실제실험과 병행되는 것이 매우 바람직하다. 특히, 개발 초기단계에서 이러한 이론적, 해석적 방법을 통해 냉각 팬의 성능예측이 가능하다면, 이를 설계 초기 단계에 적용, 피드백함으로써 개발기간 단축과 개발 비용 절감 및 성능 개선 효과를 기대할 수 있다⁶⁾.

본 논문에서는 자동차용 내각 팬의 냉각 성능에 냉각 팬 주변부품인 라디에이터, 콘덴서, 엔진 블록 등의 저항체들이 미치는 영향을 파악하는 것의 일환으로, 엔진 블록이 냉각 팬의 냉각 성능에 미치는 영향을 중점적으로 연구하고자 한다. 이를 통해 냉각 팬의 성능예측에 엔진 블록 효과를 고려할 수 있는 기초를 마련하도록 한다.

본 논문에서는 앞선 연구를 통해 확인된 엔진 블록 효

† 교신저자; 전북대학교 항공우주공학과
E-mail : kwryu@chonbuk.ac.kr

* 전북대학교 항공우주공학과

** 현대자동차(주) 남양연구소

*** (주)엔지비

과⁷⁾가 다른 다양한 냉각 팬에도 적용 가능한지를 확인하기 위해 국내 양산 차량에서 사용되는 냉각 팬을 대표할 수 있는 6개의 냉각 팬에 대해서 엔진 블록 효과 실험을 수행하였다. Fan tester를 이용하여 냉각 팬의 유량 변화와 냉각 팬과 엔진 블록 사이의 거리 변화에 따른 냉각 팬의 성능 변화를 파악하고, 이를 통해 엔진 블록 효과가 냉각 팬에 미치는 영향을 분석하였다.



(a) Fan A (b) Fan D
Photo 1 Automobile cooling fans

2. 실험

본 실험에서 사용된 냉각 팬은 국내 양산차량에서 사용되는 냉각 팬으로 Photo. 1에서 보여주는 것과 같이 2가지 제조사의 냉각 팬이다. 각 냉각 팬에 대해서 국내에서 사용하는 냉각 팬을 대표할 수 있는 직경이 다른 6종류의 냉각 팬을 선정하여 실험에 사용하였다. Table 1은 실험에 사용된 냉각 팬의 종류를 보여준다.

Table 1 Specification of fan models

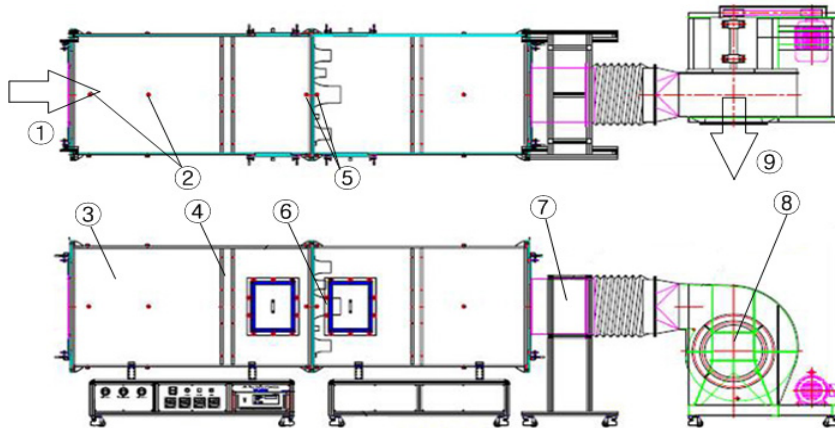
Classification		Diameter
Manufacturer		(mm)
Manufacturer 1	Fan A	370
	Fan B	420
	Fan C	460
Manufacturer 2	Fan D	390
	Fan E	420
	Fan F	460

2.1 실험장치

본 실험은 냉각 팬 주변부품이 냉각 팬의 냉각 성능에 미치는 영향을 파악하는 것에 목적을 두고 있다. 특히, 주변 부품 중에 하나인 엔진블럭이 냉각 팬에 미치는 영향을 파악하기 위해 냉각 팬과 엔진 블록 사이의 거리를 변화시켜 그에 따른 냉각 팬의 성능 변화를 확인하여 엔진 블록 효과를 파악하는 것에 목적을 두고 있다. Fig. 1은 본 실험에서 사용된 실험장치인 Fan tester로 ANSI/ASHRAE 51-1985, AMCA210-95의 규격⁸⁾에 근거하여 제작하였으며, 측정 범위는 5 CMH ~ 5,000 CMH 이다. 8개의 노즐이 사용되는 멀티 노즐형식으로 노즐의 모습과 직경에 따른 유효 측정 범위는 Fig. 2와 Table 2에 나타내었다.

Fan tester는 공기의 흐름에 따라 정압실(③)과 유입된 공기의 유동을 안정시키는 screen(④), 차압을 이용하여 유량을 측정할 수 있는 노즐(⑥), 댐퍼(damper)(⑦), 보조 송풍기(⑧)로 구성되어 있다.

screen(④)은 SUS 타공판을 전단에 2개 후단에 2개



- | | |
|---------------------------------------|--------------------------|
| 1. Inflow | 6. Nozzle & Nozzle Plate |
| 2. Static Pressure Tap | 7. Damper |
| 3. Static Pressure Chamber | 8. Sub Blower |
| 4. Screen | 9. Outflow |
| 5. Static Pressure Tap (ΔP) | |

Fig. 1 Configuration of fan tester

설치하였으며, 압력의 측정은 Yokogawa EJX110A 압력계를 이용하였고, 정압실(③)의 정압측정과 노즐 전후단(⑤)의 차압을 측정하는데 이용하였다. 정압과 차압은 상하좌우 4곳의 압력측정용 구멍으로 평균되어 측정한다. 압력측정용 구멍은 ASHRAE standard에 따라 제작되었다. 댐퍼(⑦)는 원판형 댐퍼를 이용하였고, 유량 조절을 위한 보조 송풍기(⑧)는 10 Hp 모터를 사용하여 회전수 조절로 시험 조건에 적합한 유량을 조절 하며, 최대 5,000CMH까지 가능하다. 보조송풍기(⑧)와 댐퍼(⑦)를 이용하여 최대 정압과 최대 유량을 획득하게 된다.

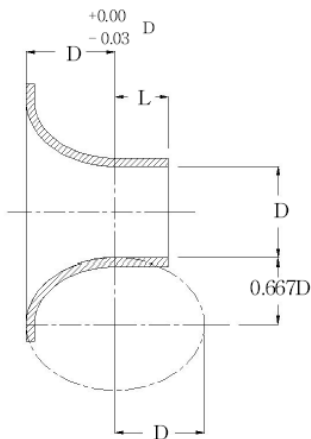


Fig. 2 Dimension of nozzle shape

Table 2 Nozzle size and effective measuring range

Nozzle Dia D [Inch]	Flow Range Q [CMH]	EA
0.375	3 ~ 9.5	1
0.75	9.5 ~ 30	1
1	30 ~ 60	1
1.6	60 ~ 150	1
2.5	150 ~ 380	1
4	380 ~ 900	2
6	900 ~ 2,000	1

2.2 실험방법

유체기계가 일정한 회전수, 일정한 유량으로 정상 작동을 한다면, 압력 상승, 구동 마력, 효율 등은 일정하게 결정된다. 그들 사이의 관계를 나타내는 선도를 성능 곡선(performance curve)이라 한다. 본 실험에서는 Fan fester를 이용하여 냉각 팬의 성능 곡선을 얻었다.

실험 장치에 사용되는 유량 측정법은 노즐을 통한 압력 손실을 측정하는 것으로, 기본적으로 베르누이 이론(Bernoulli theory)을 이용하는 것이다. Fig. 2의 노즐이 주어졌을 때 노즐의 전과 후 사이에는 질량 보존이 성립하고, 손실을 무시하면 베르누이 방정식이 성립한다.

실험에서 유량은 대상 시료를 Fig. 1 ①의 위치에 장

착하여 가동한 후 보조 송풍기(②)를 이용하여 정압실(③) 내의 정압을 대기압과 같게 하여, 계기 압력이 0이 되도록 조정한 후 댐퍼의 개도를 조절하며 노즐 양단의 압력차를 이용하여 다음과 같이 측정하였다.

$$Q = A_1 V_1 = A_v V_v \quad (1)$$

$$p_1 + \frac{1}{2} \rho V_1^2 = p_v + \frac{1}{2} \rho V_v^2 \quad (2)$$

여기서 Q 는 유량, A 는 노즐 단면적, v 는 유체 속도, p 는 공기 정압력, ρ 는 공기 밀도이다. 또한, 첨자 1은 노즐의 입구, 2는 노즐의 출구, v 는 Vena contracta를 의미한다. 유량 Q 를 속도를 소거한 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$Q = A_v \sqrt{\frac{2(p_1 - p_v)}{\rho \left[1 - \left(\frac{A_1}{A_v} \right)^2 \right]}} \quad (3)$$

따라서, 노즐 전후단의 압력차를 알면 유량을 구할 수 있다. 그러나 실제로는 노즐의 출구에서 Vena contracta 현상이 발생하며 그 면적을 알 수 없고, 손실이 존재하므로, A_v 대신에 A_2 , $p_1 - p_v$ 대신에 $p_1 - p_2$ 를 사용하고, 이를 보정하기 위해서 송출 계수(discharge coefficient) C_d 를 도입하여 다음과 같이 나타낸다.

$$Q = C_d A_2 \sqrt{\frac{2(p_1 - p_2)}{\rho \left[1 - \left(\frac{A_1}{A_2} \right)^2 \right]}} \quad (4)$$

본 실험은 엔진 블럭 효과가 냉각 팬의 성능에 미치는 영향을 파악하기 위해 냉각 팬과 엔진 블럭 사이의 거리를 Fig. 3과 같이 변화시켜 가면서 실험을 수행하였으며, 엔진 블럭과 냉각 팬의 거리는 Fig. 4와 같이 정의하였다. 엔진 블럭 효과를 주기 위한 저항체는 실제 엔진을 실험에 사용할 수 없기에 엔진 블럭 형상 모사체로 냉각 팬 제조 회사에서 표준으로 사용하고 있는 직경 0.52 m를 가지는 원형 알루미늄 팬을 사용하였다. 냉각 팬과의 거리 변화는 0.155 m에서 실험 냉각 팬의 직경 거리까지 실험을 수행하였다. 정압의 측정은 2 mmAq 단위의 간격으로 변화되도록 하였다.

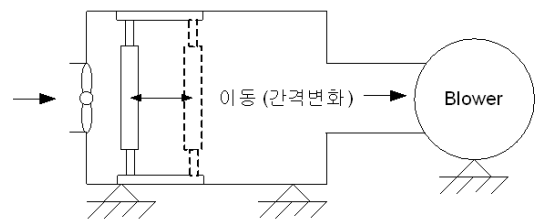


Fig. 3 Experiment cases using the fan tester

각 제조사별 하나의 냉각 팬에 대해서 Fig. 4에 정의된 간격에 맞추어 엔진 블럭 실험을 수행하여 엔진 블럭 효과를 파악하였고, 파악된 엔진 블럭 효과가 다른 냉각 팬에도 적용 가능한지를 확인하기 위해 다른 4개의 냉각 팬에 대해서 추가 실험을 수행하였다.

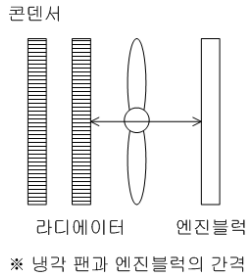
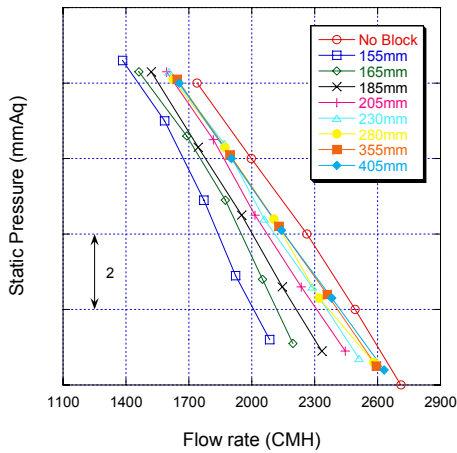
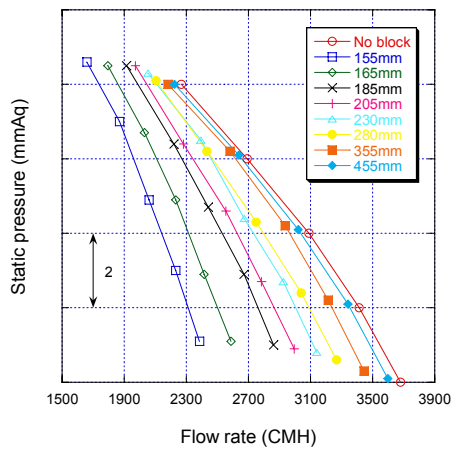


Fig. 4 Spacing between cooling fan and engine block

3. 실험결과 및 검토



(a) Fan B (D = 420 mm)



(b) Fan F (D = 460 mm)

Fig. 5 Static pressure - flow rate (P-Q) curves for 12V

자동차 엔진룸에서 사용되어지는 냉각 팬 모듈은 자동차의 엔진 및 성능 등에 따라 위치 및 설치 간격이 달라진다. 특히 고효율, 고성능화 되어가고 있는 현재의 추세로 차체의 경량화와 슬림한 디자인이 도입되고 있으며, 이는 엔진룸의 축소를 야기하고, 큰 시스템 저항을 극복하면서 높은 냉각 성능을 요구한다. 본 연구에서는 냉각 팬과 엔진 블럭의 간격변화에 따른 냉각 팬의 성능변화를 실험을 통해 평가하고, 차후 냉각 팬 설계에 필요한 성능예측에 관한 기초 데이터를 얻고자 한다.

냉각 팬 모듈에 대한 엔진 블럭 간격변화 실험에 앞서, 냉각 팬 단품에서의 엔진 블럭 간격변화에 따른 냉각 팬의 엔진 블럭 효과 실험을 수행하였다. 실험은 2개의 제조사에서 각각 한 개의 냉각 팬을 선정하여 실시하였다. 엔진 블럭 형상은 모든 냉각 팬에서 대해서 동일한 형상을 사용하였으며, 이 형상은 냉각 팬을 제작하는 회사에서 냉각 팬의 엔진 블럭 효과 실험 시에 사용되는 형상이다.

Fig. 5는 자동차 냉각 팬의 구동 전압인 12V에서 정압과 유량과의 관계를 나타낸 성능곡선으로, 엔진 블럭의 간격 변화에 따른 성능곡선을 보여주고 있다. 정압이 낮아지면서 유량이 커지는 것을 확인할 수 있으며, 엔진 블럭이 고려된 경우는 고려되지 않은 경우보다 동일 정압대비 유량이 낮아짐을 확인할 수 있다. 또한, 동일 정압대비 유량 감소의 경향은 냉각 팬과 엔진 블럭의 거리가 가까울수록 커지고 멀어질수록 작아짐을 확인할 수 있다.

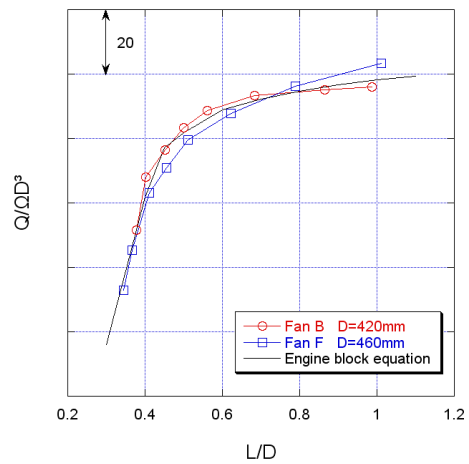


Fig. 6 Maximum flow rate - Spacing ($Q_{max} - L$) curves for 12V

Fig. 5의 결과를 비교해보면, Fan B 냉각 팬과 Fan F 냉각 팬의 유량 범위는 다르지만, 엔진 블럭 간격별 유량 변화 경향이 유사함을 확인할 수 있다. 이러한 유량 변화 경향을 확인하기 위해, 각 냉각 팬의 Flow rate - gap distance curve에 대한 방정식을 추출하여 아래와 같이 근사화 하였다.

$$Q = a \cdot 1414 \left(1 - \frac{0.0806}{L}\right) \quad L/D : 0.3 \sim 0.45 \quad (5)$$

$$Q = a \cdot 1083 \left(1 - \frac{0.0388}{L}\right) \quad L/D : 0.45 \sim 0.6 \quad (6)$$

$$Q = a \cdot 1000 \left(1 - \frac{0.0246}{L}\right) \quad L/D : 0.6 \sim \infty \quad (7)$$

여기서, Q [m^3/h]는 유량을, L [m]은 냉각 팬과 엔진 블럭의 거리를 의미한다. a [m^4/h]는 실험 냉각 팬에 해당되는 엔진 블럭 상수(engine block constant)이다. 사용된 Fan B 냉각 팬의 엔진 블럭 상수는 2.9의 값을, Fan F 냉각 팬은 3.8의 값을 갖는다.

엔진 블럭 효과에 의한 유량변화에 대해서 보다 명확한 판단을 위해 Fig. 6에서와 같이 실험을 통해 얻은 데이터들을 무차원화 하였으며, 실험식을 재정립하였다.

$$\frac{Q}{\Omega D^3} = 319.1 - \frac{54.93}{L/D} \quad L/D : 0.3 \sim 0.45 \quad (8)$$

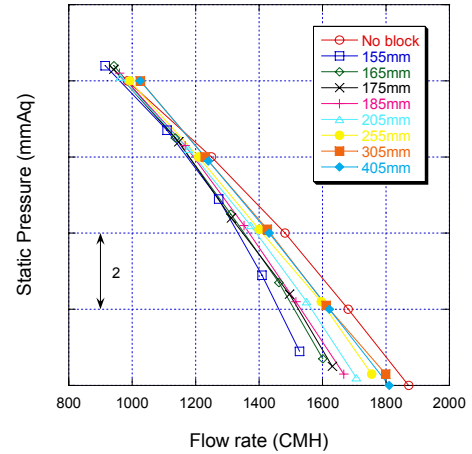
$$\frac{Q}{\Omega D^3} = 244.5 - \frac{21.36}{L/D} \quad L/D : 0.45 \sim 0.6 \quad (9)$$

$$\frac{Q}{\Omega D^3} = 232.1 - \frac{13.92}{L/D} \quad L/D : 0.6 \sim \infty \quad (10)$$

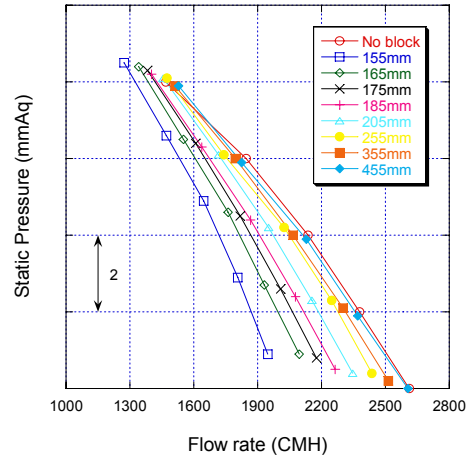
여기서, Q [m^3/h]는 유량을, Ω [rad/s]는 각속도를, D [m]는 냉각 팬의 직경을, L [m]은 냉각 팬과 엔진 블럭의 거리를 의미한다. 식 (5)~(7)와 식 (8)~(10)을 통해 냉각 팬의 유량은 엔진 블럭 상수에 비례하고 엔진 블럭과 냉각 팬의 거리에 반비례함을 확인할 수 있다.

도출된 실험식을 통하여 엔진 블럭 효과는 대상 냉각 팬의 엔진 블럭 상수와 엔진 블럭의 간격에 의해 결정되어짐을 확인할 수 있다. 다시 말해, 냉각 팬의 엔진 블럭 상수가 대상 냉각 팬 단품의 최대 유량에 의해 결정되어지므로, 냉각 팬의 엔진 블럭 효과는 대상 냉각 팬 단품의 최대 유량과 엔진 블럭의 간격에 의해 결정되어진다. 이는, 콘덴서와 라디에이터가 결합된 냉각 팬 모듈의 경우 엔진 블럭 상수를 냉각 팬 단품의 최대 유량이 아닌 냉각 팬 모듈의 최대 유량으로 대체하면, 냉각 팬 모듈에서도 엔진 블럭 효과에 대한 실험식이 적용가능하다는 의미를 가진다.

Fig. 7은 두 종류 냉각 팬 모듈의 엔진 블럭 간격에 따른 정압과 유량과의 관계를 나타낸 성능곡선 이다. Fan B와 Fan F의 냉각 팬 모듈의 동일정압 대비 유량 변화의 경향을 비교해 보면, 냉각 팬 단품에서와 마찬가지로 유량 범위가 다를 뿐 엔진 블럭 간격별 유량 변화 경향이 유사함을 확인할 수 있다. 이러한 유량 변화 경향이 냉각 팬 단품의 엔진 블럭 효과 실험식에 적용 가능한지를 확인하기 위해 실험을 통해 획득한 데이터를 식 (8)~(10)을 이용해 비교하였다.



(a) Fan B (D = 420 mm)



(b) Fan F (D = 460 mm)

Fig. 7 Static pressure - flow rate (P-Q) curves for 12V (Module)

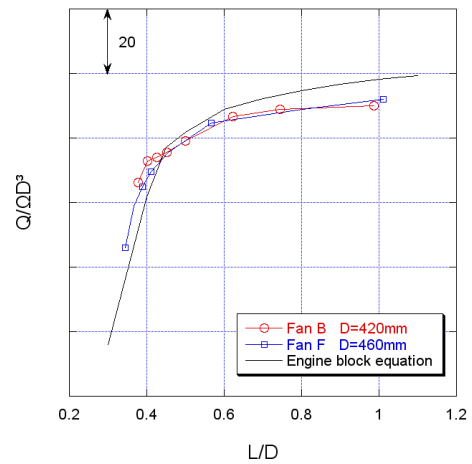
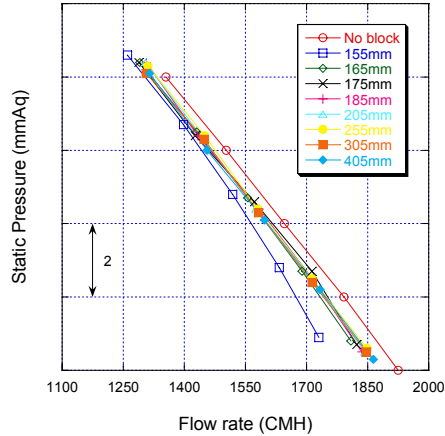
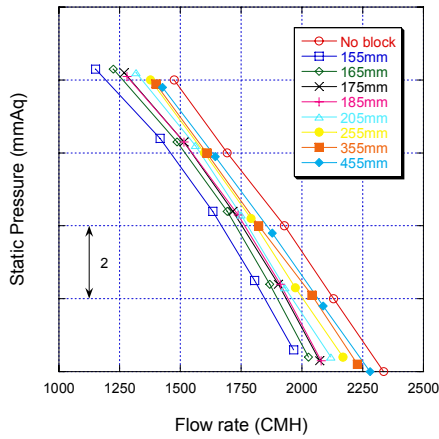


Fig. 8 Maximum flow rate - Spacing ($Q_{max} - L$) curves for 12V (Module)

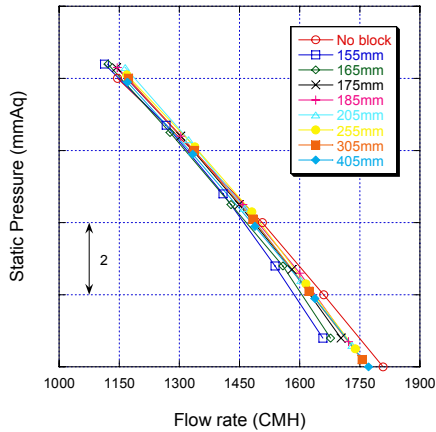
Fig. 8을 보면, 냉각 팬 단품에서의 엔진블럭 효과 실험식과 냉각 팬 모듈의 간격별 유량변화가 비교적 잘 일치함을 확인할 수 있다. 앞서 언급했듯이, 엔진블럭 효과는 대상 냉각 팬의 최대유량과 엔진블럭의 간격에 의해 결정되어짐을 확인할 수 있다.



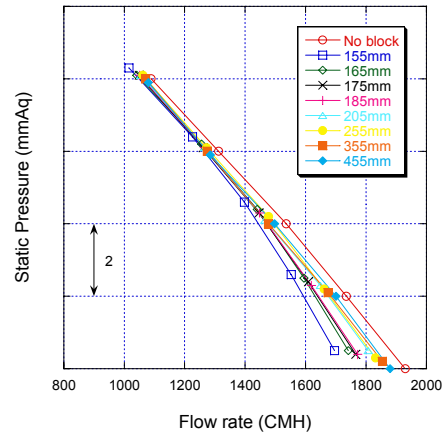
(a) Fan A (D = 370 mm)



(b) Fan C (D = 460 mm)



(c) Fan D (D = 390 mm)



(d) Fan E (D = 420 mm)

Fig. 9 Static pressure - flow rate (P-Q) curves for 12V (Module)

유량범위와 Type이 다른 2개의 냉각 팬이 엔진블럭 간격변화에 따른 성능특성에 대해서 하나의 방정식으로 근사화될 수 있다는 것을 확인하였다. 그러나 실험에 사용된 2개의 냉각 팬에 대한 실험식만으로 다른 모든 냉각 팬의 엔진블럭 효과를 판단하기에는 무리가 있다. 그렇기에 실험식이 도출된 냉각 팬과 직경이 다른 4개의 냉각 팬에 대해서 추가 실험을 수행하였다.

Fig. 9는 추가 실험을 수행한 냉각 팬의 엔진 블럭의 간격 변화에 따른 성능곡선을 나타내고 있다. 정압이 낮아 지면서 유량이 커지는 것을 확인할 수 있으며, 엔진 블럭이 고려된 경우는 고려되지 않은 경우보다 동일 정압대비 유량이 낮아짐을 확인할 수 있다. 또한, 동일 정압대비 유량 감소의 경향은 앞서 실험한 두 개의 냉각 팬과 유사한 경향으로 냉각 팬과 엔진 블럭의 거리가 가까울수록 커지고 멀어 질수록 작아짐을 확인할 수 있다. 이러한 유량 변화 경향을 엔진블럭 효과 실험식과 비교해보았다.

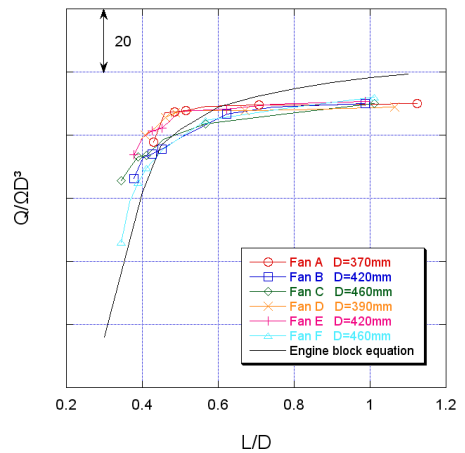


Fig. 10 Maximum flow rate - Spacing ($Q_{max} - L$) curves for 12V (Module)

Fig. 10은 총 6개 냉각 팬의 엔진 블럭 효과에 대한 유량변화 경향을 나타내는 그래프이다. 실험에 사용된 냉각 팬은 현재 국내에서 양산되는 차량에 장착되는 냉각 팬을 대표할 수 있는 냉각 팬이다. 실험을 통해 획득한 실험값을 엔진 블럭 실험식과 비교해 보면, 유량 변화 경향성이 비교적 잘 일치하는 것을 확인할 수 있다.

4. 결 론

엔진 블럭 효과를 고려한 자동차 냉각 팬의 성능 특성에 관한 연구를 위해 엔진 블럭의 간격 변화에 따른 유량변화를 확인하였다. 냉각 팬과 엔진 블럭의 간격이 가까울수록 엔진 블럭에 의한 저항증가로 인해 유량이 감소하며, 간격이 가까울수록 그 감소폭은 더 커짐을 확인하였다.

엔진 블럭 효과가 반영된 냉각 팬의 유량변화에 대한 엔진 블럭 실험식을 도출하였다. 엔진 블럭 상수를 도입하였으며, 냉각 팬의 유량은 엔진 블럭 상수에 비례하고 엔진 블럭과 냉각 팬의 거리에 반비례한다. 또한, 도출된 실험식의 다른 냉각 팬에 대한 적용성을 확인하기위해 추가실험을 수행하여 획득한 실험값과 엔진 블럭 실험식을 비교하여 엔진 블럭에 의한 냉각 팬의 유량변화 경향성이 비교적 잘 일치함을 확인하였다.

참 고 문 헌

(1) P. White, J. Smith, and L. Murdoch, "Cooling

System Performance Evaluation", SAE Paper 980431, 1998

(2) J. P. Chiou, "The Effect of the Air Flow Nonuniformity on the Thermal Performance of Automobile Air Conditioning Condenser", SAE Paper 830542, 1983

(3) E. Henon, "Fan Sizing in Cooling Module for the Optimization of Global Efficiency and Volume", IMechE Paper C496/050/95, 1995

(4) C. Eric, D. Bruno, M. Stephane, B. Robert, and B. Farid, "CFD Based Design for Automotive Engine Cooling Fan System", SAE Paper 980427, 1998

(5) 이재석, 정경남, 김진영, 이태경, 강정원, 심재구, 손득균, "굴삭기 냉각팬 성능해석 및 슈라우드 특성에 대한 실험적 연구", 대한기계학회 2007년도 춘계학술대회 논문집, pp. 446~451, 2007

(6) 김동일, 복기소, 이승규, "Fan 냉각장치에서 System 저항에 관한 수치해석", 대한기계학회 2004년도 추계학술대회 논문집, pp. 1424~1429, 2004

(7) 유병민, 유기완, 이강덕, 이명한, 홍성규, "엔진 블럭과 냉각 팬의 간극에 따른 자동차 냉각 팬의 성능 특성 연구", 한국소음진동공학회 2009년도 춘계학술대회 논문집, pp. 92~97, 2009

(7) AMCA and ASHRAE, Laboratory Methods of Testing Fans for Aerodynamic Performance Rating, AMCA and ASHRAE