

엔진 블록과 냉각 팬의 간극에 따른 자동차 냉각 팬의 성능 특성 연구

Performance Characteristics of Automobile Cooling Fan according to Gap between Engine Block and Cooling Fan

유병민* · 유기완† · 이강덕** · 이명한*** · 홍성규***

Byoung-Min Yu, Ki-Wahn Ryu, Kang-Duck Ih, Myung-Han Lee 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

The performance of cooling fan is affected by many peripheral parts, such as radiator, condenser, engine block and etc. Higher power has been requested in more confined automobile engine room. Thus, cooling performance becomes very important to remove the heat generated from the automobile engine more efficiently. In this paper, the performance of cooling fan including effects of engine block is investigated by using a fan tester based on the ASHRAE and the AMCA standards. A flow rate - gap distance curves and a flow rate - engine block constant curves are obtained from this study.

1. 서 론

과거 단순한 수송수단의 용도로 사용되어지던 자동차는 급속한 산업의 발달과 그로 인한 인간의 생활이 윤택해짐에 따라 단순한 수송수단 이상의 의미를 가지게 되었다. 특히 최근 세계적인 유가상승과 소비자들의 요구에 의해 차량성능의 고효율, 고성능화 되어 가고 있는 추세이다. 이로 인한 자동차의 부품 또한 고효율화, 경량화 및 저소음화가 요구되고 있다. 이러한 현상은 자동차 냉각시스템의 냉각 팬에도 영향을 주고 있으며, 현재 자동차용 라디에이터, 콘덴서, 냉각 팬에 대한 연구^{1~5)}가 활발하게 이루어지고 있다.

차량성능을 향상시키기 위해 엔진룸 내부의 장치가 복잡 다양화됨에 따라 한정된 공간에 많은 부품이 들어야 하는 상황이 발생하게 되었다. 이는 차량의 엔진룸이 밀집화와 더불어 엔진룸내의 주변 부품들에 의해 팬 단독 운전상태인 경우와는 성능 및 소음 측면에서 전혀 다른 현상을 일으키는 요인으로 작용한다. 즉, 협소한 공간에서 큰 시

스템 저항으로 인해 냉각 팬의 성능과 불균일 유입류로 인한 소음 증가 현상이 동반된다. 이로 인해 자동차용 엔진 냉각 팬의 설계 및 성능평가는 시스템의 특성상 실차 테스트를 통해 개발하는 것이 가장 확실한 방법이다. 그러나 전적으로 실제 시험에만 의존할 경우, 시행착오에 의한 개발 일정, 소요경비 증가 등의 문제가 적지 않다. 특히 초기 설계 과정 시, 적절한 기준이 없기 때문에 자칫 잘못하면 시행 착오에 따른 예상 밖의 시간이 더 소요될 수 있다. 결국 이를 개선하기 위해서는 이론적 계산과 시험을 병행함으로써 시행착오를 줄이는 과정이 필요하게 된다⁶⁾.

본 연구의 목적은 냉각 팬 주변부품인 라디에이터, 콘덴서, 엔진 블럭 등의 저항체들이 냉각 팬의 냉각 성능에 미치는 영향을 파악하는 것으로, 특히 엔진룸 내의 엔진 블럭이 냉각 팬의 냉각 성능에 미치는 영향을 중점적으로 고려하는 것이다. 이를 통해 냉각 팬의 성능예측에 엔진 블럭 효과를 고려할 수 있는 기초를 마련하도록 한다.

본 연구에서는 Fan tester를 이용하여 엔진 블럭 효과가 고려된 냉각 팬의 성능 변화 실험을 수행하였다. 이를 위해, 냉각 팬의 유량 변화와 냉각 팬과 엔진 블럭 사이의 거리 변화에 따른 냉각 팬의 성능 변화를 파악하고, 이를 통해 엔진 블럭 효과가 냉각 팬에 미치는 영향을 분석하였다.

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

* 전북대학교 항공우주공학과

** 현대자동차(주) 남양연구소

*** (주)엔지비

2. 실험

본 실험에서 사용된 냉각 팬은 양산차량에서 사용되는 모델이다. Table 1은 2종류의 냉각 팬으로 각각 Model A와 Model B의 냉각 팬 사양을 보여준다. RPM은 인가 전압이 12V일 때의 값이다.

Table 1 Specification of fan models

Model Classification	Model A	Model B
Fan diameter	0.41 m	0.46 m
Hub diameter	0.154 m	0.168 m
Blade number	7	7
RPM (12V)	1,720	1,728



(a) Model A (b) Model B

Photo 1 Automobile cooling fans

2.1 실험장치



- | | |
|---------------------------------------|--------------------------|
| 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

본 실험은 냉각 팬과 엔진 블럭 사이의 거리를 변화시켜 그에 따른 냉각 팬의 성능 변화를 파악하는 것과 냉각 팬을 작동시키는 인가 전압의 변화로 유량을 변화시켜 각각의 유량에 대한 엔진 블럭 효과를 파악하는 것에 목적을 두고 있다. Fig. 1은 본 실험에서 사용된 실험장치인 Fan tester로 ANSI/ASHRAE 51-1985, AMCA210-95의 규격⁷⁾에 근거하여 제작하였으며, 측정 범위는 최소 5CMH에서 최대 5,000CMH까지 가능하다. 8개의 노즐이 사용되는 멀티 노즐형식으로 노즐의 모습과 직경에 따른 유효 측정 범위는 Fig. 2와 Table 2에 나타내었다. Fan tester의 골격은 유동가시화가 가능하도록 투명한 아크릴로 제작되어 있다.

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.

압력의 측정은 Yokogawa EJX110A 압력계를 이용하였고, 정압실(③)의 정압측정과 노즐 전후단(⑤)의 차압을 측정하는데 이용하였다. 정압과 차압은 상하좌우 4곳의 압력측정용 구멍으로 측정한다. 댐퍼(⑦)는 원판형 댐퍼를 이용하였고, 유량 조절을 위한 보조 송풍기(⑧)는 10 Hp 모터를 사용하여 회전수 조절로 시험 조건에 적합한 유량을 조절한다.

본 실험을 수행하는데 있어, Fan tester를 통하여 얻은 데이터는 indicator 패널에 숫자로 표시된다.

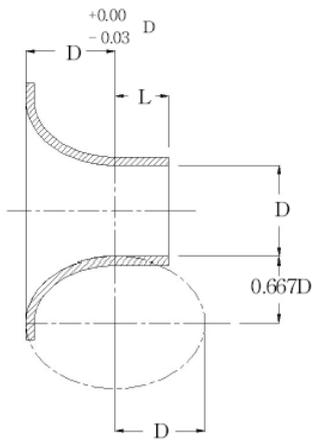


Fig. 2 Dimension of nozzle shape

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

유체기계는 일정한 회전수, 일정한 유량으로 정상 작동을 한다면, 차압, 구동 마력, 효율 등은 일정하게 결정된다. 이들 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 보존식이 성립하고, 손실을 무시하면 베르누이 방정식이 성립한다.

실험에서 유량은 대상 시료를 Fig. 1 ①의 위치에 장착하여 가동한 후 보조 송풍기(②)를 이용하여 정압실(③) 내의 정압을 대기압과 같게 하여, 계기 압력이 0이 되도록 조정된 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 입구를, 2는 노즐의 출구를, 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)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 수행하였다. 엔진 블럭 효과를 주기 위한 저항체는 직경 0.52m를 가지는 원형 스티로폼 판을 사용하였다. 냉각 팬과의 거리 변화는 0.1m에서 0.025m 간격으로 0.2m까지 실험을 수행하였다. 정압의 측정은 2mmAq 단위의 간격으로 변화되도록 하였다. 또한, 각각의 유량에 대한 엔진 블럭 효과를 파악하기 위해서 냉각 팬의 인가전압을 바꾸어 냉각 팬의 유량을 변화시켜 가며 실험을 수행하였다.

실험을 수행하면서 획득한 데이터 값들 즉, RPM, 전압 및 전류 값들은 indicator 패널에 표시된다.

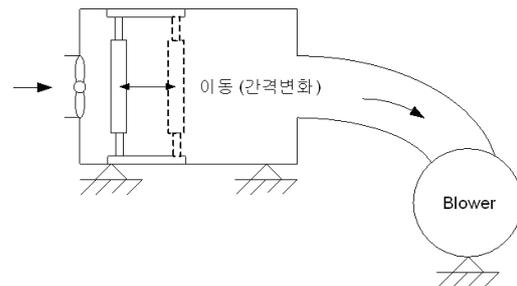
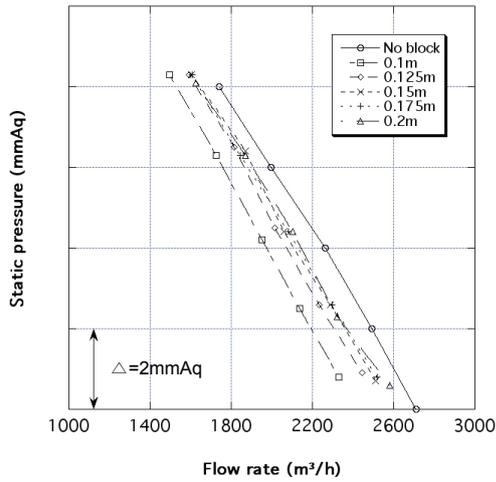


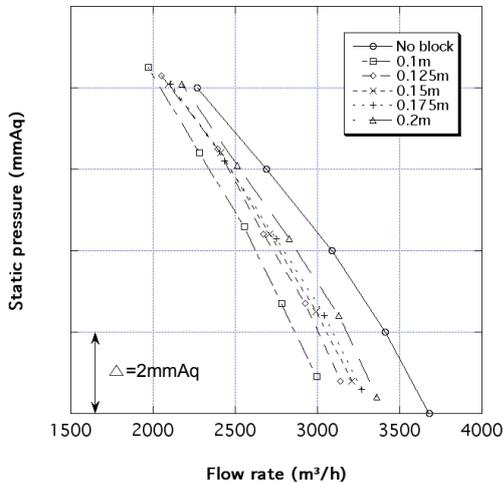
Fig. 3 Experiment cases using the fan tester

3. 실험결과 및 검토

본 실험에서는 현재 양산되어 실제로 차량에 장착되는 냉각 팬에 대한 엔진 블럭 효과가 고려된 성능실험을 통해 엔진 블럭이 냉각 팬의 성능에 미치는 영향을 파악하였으며, 차후 냉각 팬 설계에 필요한 성능예측에 관한 기초 데이터를 얻고자 한다.



(a) Model A



(b) Model B

Fig. 4 Static pressure - flow rate (P-Q) curves for 12V

Fig. 4는 자동차 냉각 팬의 구동 전압인 12V에서 정압과 유량과의 관계를 나타낸 성능곡선으로, 엔진 블럭의 거리 변화에 따른 성능곡선을 비교한 것이다. 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. 이는 Model A와 Model B 냉각 팬 모두에서 나타난다.

Fig. 4의 결과를 비교해보면, 실험에 사용된 Model A 냉각 팬과 Model B 냉각 팬의 직경이 다르기 때문에 유량 범위가 다를 뿐 엔진 블럭 거리별 유량 변화 경향이 유사함을 확인할 수 있다. 이러한 유량 변화 경향을 확인하기 위해, 각 Model별 냉각 팬의 Flow rate - gap distance curve에 대한 방정식을 추출하여 아래와 같이 근사화할 수 있다.

$$Q_{max} = 1000a \left(1 - \frac{0.017}{L} \right) \quad (5)$$

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 상수로, 본 연구에서는 a 를 엔진 블럭 상수(engine block constant)라 지칭하겠다. 사용된 Model A 냉각 팬의 엔진 블럭 상수는 2.9의 값을, Model B 냉각 팬은 3.8의 값을 갖는다. 엔진 블럭 효과에 의한 유량변화에 대해서 보다 명확한 판단을 위해 실험을 통해 얻은 데이터들을 무차원화 하였으며, 실험식을 재정립하였다.

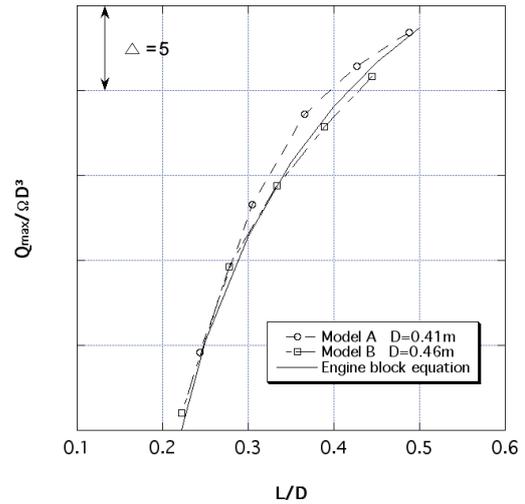


Fig. 5 Maximum flow rate - gap distance ($Q_{max} - L$) curves for 12V

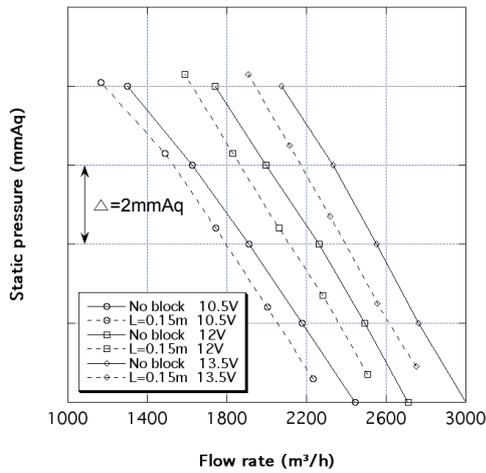
Fig. 5에서 Model A 냉각 팬과 Model B 냉각 팬의 Flow rate - gap distance curve를 무차원화 하여 비교해 보았다.

$$\frac{Q_{max}}{\Omega D^3} = \left(232.1 - \frac{9.2}{D} \right) \quad (6)$$

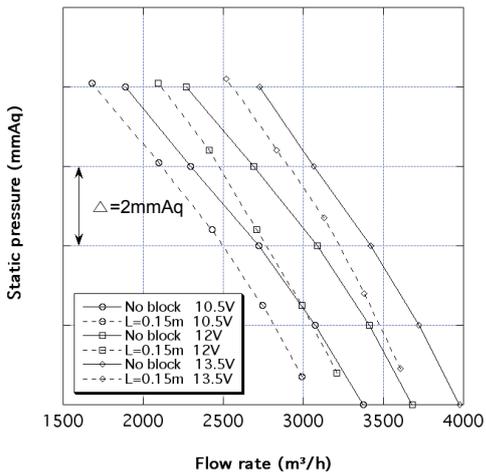
여기서, $Q[m^3/h]$ 는 유량을, $\Omega[rad/s]$ 는 각속도를, $D[m]$ 는 냉각 팬의 직경을, $L[m]$ 은 냉각 팬과 엔진 블럭의 거리를 의미한다. 식 (5)와 식 (6)을 통해 냉각 팬의 유량은 엔진블럭 상수에 비례하고 엔진 블럭과 냉각 팬의 거리에 반 비례함을 확인할 수 있다.

Fig. 6은 Model A와 Model B 냉각 팬의 인가 전압을 변화시켜가며 그에 따른 성능곡선과 각 인가 전압에서 엔진 블럭 효과를 비교한 것이다. 인가 전압의 변화에 의한 유량 변화를 통해 각 유량에서 엔진 블럭 효과를 파악하기 위해 냉각 팬과 엔진 블럭과의 거리를 냉각 팬 제조회사에서 엔진 블럭 효과를 실험하는 거리인 0.15m로 고정하여 그에 따른 성능곡선을 얻어냈다. 인가 전압이 낮을수록 냉각 팬의 유량이 적어지는 것을 확인할 수 있으며, 인가 전압의 변화에 의한 유량 변화에도 불구하고, 엔진 블럭 효과

에 의한 성능 변화에 대한 양상은 유사함을 확인할 수 있다. 이는 식 (6)이 실험에 사용된 냉각 팬과 다른 유량을 가지는 냉각 팬에서도 적용된다는 것을 의미한다.



(a) Model A



(b) Model B

Fig. 6 Static pressure - flow rate (P-Q) curves

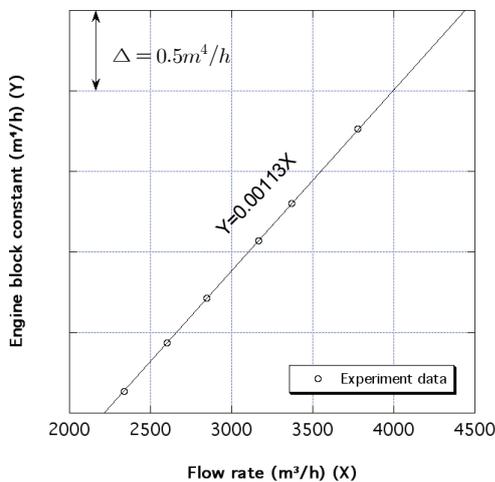


Fig. 7 Engine block constant - flow rate ($a-Q_{max}$) curves

Fig. 7에서 보여지는 것과 같이, 식 (5)에 의해 각 유량별 엔진 블럭 상수를 확인할 수 있으며, 이를 통해 각 유량별 엔진 블럭 효과를 파악할 수 있다. Model A 냉각 팬의 엔진 블럭 상수는 10.5V에서 2.6의 값을, 12V에서 2.9의 값을, 13.5V에서 3.2의 값을 얻을 수 있다. 또한, Model B 냉각 팬의 엔진 블럭 상수는 10.5V에서 3.57의 값을, 12V에서 3.8의 값을, 13.5V에서 4.26의 값을 얻을 수 있다. 냉각 팬과 엔진 블럭과의 거리가 고정된 상태에서 엔진 블럭 상수는 냉각 팬의 유량에 의해 결정되어지며, 그 양상은 냉각 팬의 최대 유량에 비례하여 증가한다.

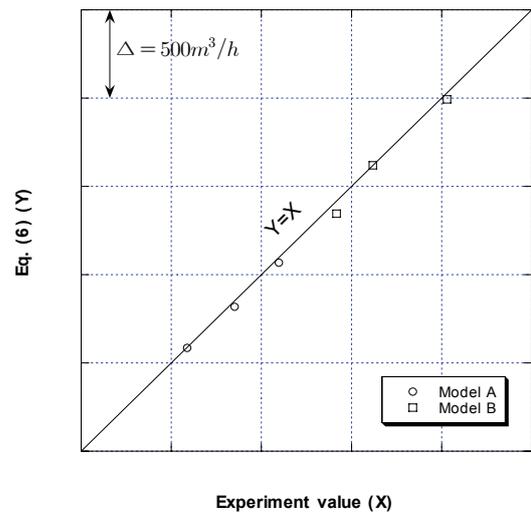


Fig. 8 Compare experiment maximum flow rate with Eq. (6)

인가 전압을 변화시킴으로서 그에 따라 냉각 팬의 유량이 변하게 된다. 동시에 냉각 팬의 RPM 값도 변하게 된다. RPM 값에 의해 무차원화된 식 (6)의 경우 결과값에 영향을 미치게 되는 것은 당연하다. 이에 각 인가 전압별 실험 냉각 팬의 RPM 값에 의한 식 (6)의 결과값을 실험값과 비교 분석하여 Fig. 8에 나타내었다. Model A와 Model B 냉각 팬 모두 실험값과 식 (6)의 결과값은 잘 일치하는 것을 확인할 수 있다. Model B 냉각 팬의 10.5V에서의 값은 약 2.2%의 오차가 존재하고, Model A 냉각 팬을 포함한 Model B 냉각 팬의 다른 인가 전압에서는 1%이내의 오차를 지닌다.

본 연구에서는 냉각 팬 제조회사에서 엔진 블럭 효과를 실험하는 거리인 0.15m를 고려하여 엔진 블럭과 냉각 팬의 거리를 0.1m에서 0.2m사이로 제한하여 실험을 수행하였다. 그러나 자동차의 고성능화와 차량의 슬립화는 앞으로 계속될 것이고, 그에 따른 엔진룸의 밀집화에 의해 냉각 팬과 엔진 블럭과의 거리는 점점 더 짧아질 것이다. 이러한 관점에서 보면, 냉각 팬과 엔진 블럭과의 거리가 0.1m 이하인 구간에서의 엔진 블럭 효과는 앞으로 연구할 가치가 있다고 판단된다.

4. 결 론

엔진 블럭 효과에 따른 자동차 냉각 팬의 성능 특성에 관한 연구를 위해 냉각 팬과 엔진 블럭의 거리 변화에 따른 유량변화를 확인하였다. 냉각 팬과 엔진 블럭의 거리가 가까울수록 저항이 커져 유량이 감소하며, 거리가 가까울수록 그 감소폭은 더 커짐을 확인하였다.

엔진 블럭 효과가 반영된 냉각 팬의 성능변화에 대한 유량 계산 실험식을 도출하였다. 엔진 블럭 상수를 도입하였으며, 냉각 팬의 유량은 엔진블럭 상수에 비례하고 엔진 블럭과 냉각 팬의 거리에 반비례한다.

또한, 냉각 팬의 인가 전압을 변화시켜가며 그에 따른 성능곡선과 각 인가 전압에서 엔진 블럭과 냉각 팬의 거리를 고정된 상태로 엔진 블럭 효과 실험을 수행하여 그에 따른 엔진 블럭 효과를 비교하였다. 인가 전압이 낮을수록 냉각 팬의 유량이 적어지며, 엔진 블럭 상수도 작아짐을 확인할 수 있었다. 즉, 냉각 팬과 엔진 블럭과의 거리가 고정된 상태에서 엔진 블럭 상수는 냉각 팬의 유량에 의해 결정되어지며, 그 양상은 냉각 팬의 최대 유량에 비례하여 증가한다.

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