

냉각 공기량이 자동차 냉각성능에 미치는 영향에 관한 실험적 연구 (II)

김진현*, 이해철*, 이민호*, 박종남*, 차경옥**

An Experimental Study on the Effects of the Automotive Cooling Performance by Cooling Airflow rate (II)

J.H. Kim, H.C. Lee, M.H. Lee, J.N. Park, K.O. Cha

Key words : Cooling System(냉각시스템), Airflow rate(공기유량), ATW(Air to Water:냉각성능), Heat Release rate(발열량)

Abstract

Gasoline engine manufacturers are currently considering designs that will result in low combustion air temperature for improvement of fuel consumption and emission levels. There are a variety of cooling systems that can be used to accomplish this goal. Cooling is therefore normally achieved through a balance of ram and fan action.

This paper studies the various systems and compare the cooling performance for several conditions, based on a automotive engine. An experimental analysis was developed to predict the interaction of the fan system and the heat exchangers of the engine cooling system. The local temperature induced by the fan on the cooling system is measured. These experimental result were accomplished using airflow management techniques.

1. 서 론

최근 자동차용 디젤 및 가솔린 엔진은 소형화와 더불어 보다 높은 출력, 저연비 및 저공해를 목표로 개발되고 있다. 일반적으로 엔진에서 발생하는 동력의 약 30 ~ 35%가 냉각손실에 해당하는 것으로 알려져 있다. 이러한 엔진의 소형화에 따른 고

출력화는 엔진 블록과 헤드부 등의 열부하를 증가시켜 제한된 공간에서 보다 향상된 냉각 시스템을 요구하고 있다. 그러므로 차량의 냉각 시스템은 높은 엔진 출력에 맞는 최적의 냉각 성능 즉, 효율적인 냉각수온의 관리, 연비의 향상 및 엔진 출력 손실의 최소화를 달성할 수 있는 냉각 시스템이어야 한다. 또한, 적절한 냉각수온의 관리를 위해 무수히 많은 방법들이 엔진 및 차량의 설계자들에 의해 시도되고 있다. 이들 시스템들은 각각의 장, 단점을 가지고 있으며, 자동차의 운전조건을 모두 만

* 명지대학교 대학원 기계공학과

** 명지대학교 기계공학과

족하는 냉각시스템의 구성은 해결되어야 할 과제 중의 하나이다.

차량의 냉각성능에 영향을 미치는 인자들은 엔진부하(운전조건), 냉각수 순환 수량, 냉각 공기 유량 및 방열기의 구조등 무수히 많이 존재하며, 이들 각각의 인자들이 냉각성능에 미치는 영향들을 알기위한 많은 실험적 시도가 진행되어 왔다.

이에 본 연구에서는 우선 엔진의 운전 조건에 따른 냉각성능을 실험적으로 평가하였으며, 여기서 얻은 실험 결과를 토대로 방열기를 통과하는 냉각 공기유량, 방열기 각부의 냉각공기 유속등 다양한 조건에서의 냉각 성능을 실험적으로 평가하고자 하였다. 또한 본 실험 결과를 토대로 실제 자동차의 주행중에 차량의 방열기로 유입되는 실제 공기 유량을 파악하고, 이를 통한 차량 냉각 시스템의 개선 및 차량 냉각시스템의 효율 평가를 위한 새로운 방법을 제시하고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험 장치

2.1.1 실험용 기관

본 연구에 사용된 엔진은 배기량 1489cc의 수냉식 4기통 전자제어 방식의 가솔린 기관으로서 제원은 다음과 같다.

Table 1 Engine Specification

총배기량 (cc)	1498
직 경 (mm)	76.5
행 정 (mm)	81.5
최대출력 (ps/rpm)	94/5600
최대토크 (kg·m/rpm)	14/3400
점화방식	전자제어식
냉각방식	수냉식(S/Tank방식)

2.1.2 동력계

동력계는 와전류식 전기 동력계로 최대 흡수동력은 180 ps이며, 최대 흡수토크는 35 kg·m이다. 본 실험에 사용된 동력계는 정속도 제어 모드, 정

전류 제어 모드, 정토크 제어 모드, 급기율기 제어 모드등을 갖추고 있다. 제어 정밀도는 최대 $\pm 0.5\%FS$ 이다.

2.1.3 냉각 공기온도 측정과 유량 제어

방열기로 공급되는 공기 유량은 덕트에 장착된 2개의 전기 모터에 의해 구동되는 펜에 의해 공급되며, 전압 및 전류 조절을 통해 냉각공기 유량을 제어하였다. 또한 냉각공기 공급용 모터에서 방열기까지를 덕트로 구성하여 정확한 공기유량의 측정 및 냉각 공기 손실을 최소화하였다.

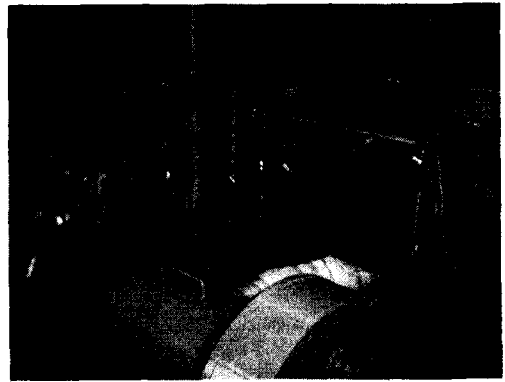


Fig. 1 The experimental equipment gasoline engine and dynamometer

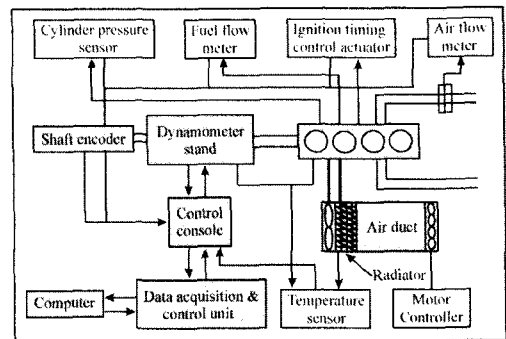


Fig. 2 Schematic diagram of experimental apparatus

또한, 방열기 전면과 후면에 각각 5개의 T형 열전대를 장착하여 냉각 공기온도 측정하였다.

2.2 실험조건

본 실험은 기관이 정상적인 운전이 되도록 충분

한 워밍업을 실시하여 냉각수온이 약 80°C 이상 되도록 한 후 실험을 수행하였다. 방열기 입기 및 출구측에 냉각수 온도 측정을 위해 Sheath Type 열전대를 장착하였다. 냉각공기 온도는 방열기 전면과 후면의 약 5mm 지점에 K Type 열전대를 각각 5개 장착하여 측정하였다. 방열기로 공급되는 냉각공기유량은 방열기 전면 약 50mm 지점, 62개소에서 측정하였다.

엔진의 운전조건은 전부하 및 무부하시로 하고, 각각 가솔린 자동차의 상용 기관 회전수인 1500 rpm 에서 3500 rpm까지 500 rpm씩 증가시켜 가면서 냉각성능을 평가하였다. 또한 데이터의 신뢰성을 높이기 위해 동일 조건에서 3회의 실험을 반복하였으며, 냉각수 온도가 충분히 안정화 되었음을 확인한 후 데이터를 취득하였다. 이때 기관 전부하 운전시 냉각공기 유량을 각각 4077, 3443 m³/hr로 변화시켜 가면서 데이터를 취득하였다. 각 실험 조건을 Table 2에 나타내었다

Table 2 Test Conditions

Engine Speed (rpm)	Air Flowrate (m ³ /hr)
1000	
1500	① 0
2000	② 3443
2500	③ 4077
3000	
3500	

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 무부하 및 전부하 운전시 냉각수온

Fig. 3은 자동차의 상용 운전 구간인 1500 ~ 3500 rpm에서 전부하 및 무부하시 엔진 냉각수온을 측정된 결과이다.

전부하 운전시 측정된 냉각수온은 무부하 운전시의 냉각수온에 비해 약 4 ~ 6°C 높게 측정되었다.

일반적으로 전자 제어 방식의 엔진에서는 엔진 워밍업(Warm-up)을 위한 제어로 인해 엔진 냉각수

온을 일정온도 이상으로 빠르게 도달시키기 위해 연료 분사량이 많아지게 된다. 이는 1000 rpm의 엔진 운전시 소비되는 연료량이 다른 구간의 운전시에 비해 많은 연료를 소비하고 있음을 엔진 성능 곡선을 통해 확인할 수 있다. Fig. 4는 실험시 측정된 엔진 출력곡선이다.

이러한 엔진의 제어로 인해 무부하 운전시에서도 일정 온도가 되기까지 엔진 냉각수온은 빠르게 상승하고, 이후 정상적인 제어로 복귀된 결과 냉각수온이 일정한 범위에서 유지됨을 알 수 있었다. 또한, 전부하 운전시 엔진 냉각수온은 엔진 출력의 증가에 비례하여 상승하였다.

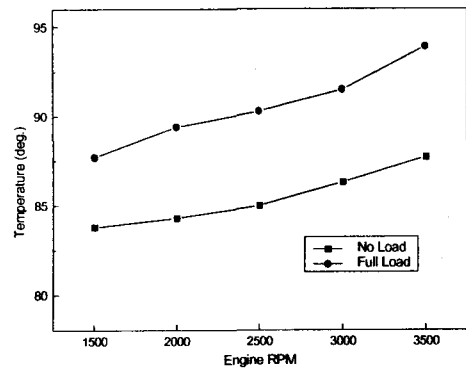


Fig. 3 Comparison of Coolant Temperature at No Load and Full Load

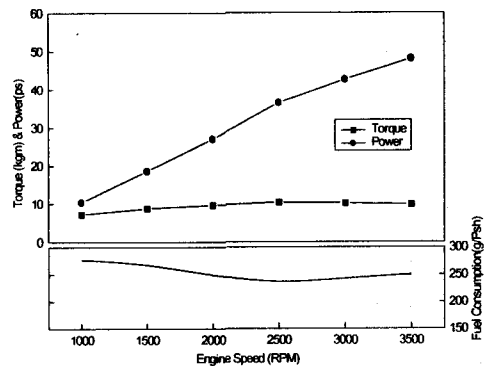


Fig. 4 Engine Performance Curve

Fig. 5와 Fig. 6은 서로 다른 냉각공기 유량에서

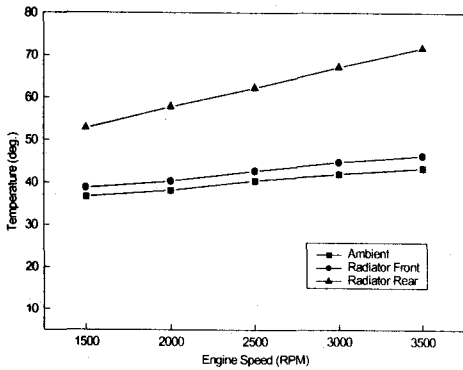


Fig. 5 Cooling Air Temperature at Full Load (air flowrate 4077 m³/hr)

방열기 전면과 후면의 5개소에서 측정된 냉각공기의 평균 온도이다.

방열기 전면에서 냉각공기의 온도는 대기온도에 비해 약 2 ~ 3℃ 높게 측정되었으며, 방열기로 유입되는 냉각공기 유량의 증가와 더불어 대기온과의 차이가 작아짐을 알 수 있다. 이로써 실제 차량의 냉각 시스템에서는 냉각공기의 흐름을 방해하는 많은 저항 요소와 제한된 공간, 즉 시스템 저항으로 인해 대기온과 방열기 전면의 온도의 차이가 높아질 수도 있다고 판단된다. 본 실험 결과를 기초로 향후 자동차 냉각성능 평가를 위한 시뮬레이션 프로그램에 적용하여 정확도를 높일 예정이다.

방열기를 통과한 냉각공기의 온도는 엔진의 출력 증가와 더불어 높아짐을 알 수 있다.

방열기로 공급되는 냉각공기 유량이 4077 m³/hr 인 경우 방열기 전후의 온도차이는 약 14 ~ 25℃, 3443 m³/hr로 냉각공기가 공급된 경우는 온도차이가 약 17 ~ 28℃였다. 이로써 방열기로 공급되는 냉각공기 유량이 증가됨에 따라 유속이 증가하여 방열기 전면과 후면의 온도차이가 작아짐을 알 수 있다. 또한, 약 16 %의 냉각공기 증가로 엔진 냉각성능(ATW)이 6℃까지 개선됨을 알 수 있다.

따라서, 냉각공기 유량의 증가는 냉각성능의 향상에 크게 기여하고 있음을 알 수 있다.

Fig. 7은 전부하 운전시 방열기 후면의 5개소에서 측정된 냉각공기 온도이다. 측정 위치에 따라 약

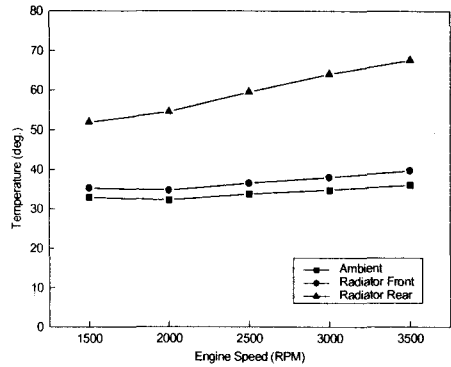


Fig. 6 Cooling Air Temperature at Full Load (air flowrate 4077 m³/hr)

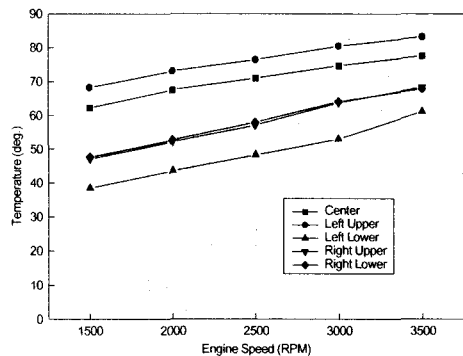


Fig. 7 Cooling Air Temperature at Radiator Rear Side(5 points)

45℃까지 온도차가 발생함을 알 수 있다. 이는 방열기를 통과하는 냉각공기의 유속과 밀접한 관련이 있다. 즉, 냉각팬의 용량, 위치 그리고 엔진룸 내부의 유동 저항 요소등에 대한 설계적인 충분한 고려가 필요하다고 판단된다.

Fig. 8은 방열기 전면 62개소에서 측정된 냉각공기의 유속을 측정된 결과이다. 본 실험에서 측정 위치에 따라 냉각공기의 유속이 차이가 있음을 알 수 있다. 이는 곧 방열기를 통과한 냉각공기 온도에 영향을 주고 결국 엔진 냉각성능에 영향을 미치고 있음을 알 수 있다.

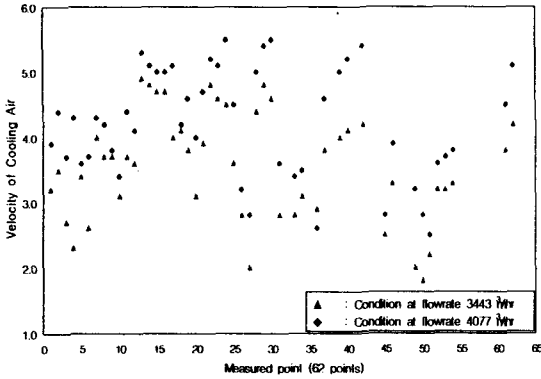


Fig. 8 Velocity of Cooling Air at Radiator Front Side (62 points)

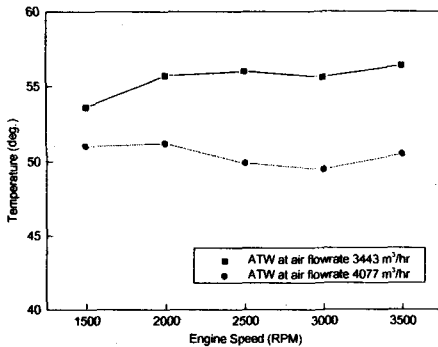


Fig. 9 ATW(Air to Water) at air flowrate 3443 m³/hr and 4077 m³/hr

차량 냉각성능의 향상을 위해서는 보다 많은 냉각 공기량이 요구됨과 더불어 방열기 전면으로 유입되는 냉각 공기유속의 균일한 분포(공기 유속의 균일화)는 냉각 성능 향상에 효과가 있을 것으로 기대된다. 이 결과는 향후 냉각성능 시뮬레이션 프로그램 개발시 방열기 영역을 세분화하여 각각의 영역을 통과하는 냉각공기 온도를 계산하는 방식의 알고리즘에 적용활용할 예정이다.

Fig. 9는 차량 냉각성능을 나타내는 방법의 하나인 ATW(엔진냉각수온 - 대기온) 결과이다.

ATW는 자동차 냉각시스템의 성능을 평가하는 방법중의 하나로 차량의 냉각시스템이 허용할 수 있는 최고의 대기온이다. 이와는 별도로 ATB(Air

to Boil)라는 평가 방법이 있다. 일반적으로 서로 다른 냉각시스템의 성능을 비교하고자 할 때 유용하게 이용된다.

냉각공기 유량에 따른 ATW는 엔진의 운전영역에서 거의 일정하게 유지되고 있음을 알 수 있으며, 냉각 공기 유량에 따라 약 2.6 ~ 6 °C의 차이를 보인다. 이러한 온도차를 보상하기 위한 냉각팬 용량의 증대 또는 방열면적의 증대등의 시도는 많은 시간과 비용이 필요하게 될 것이다.

즉, ATW의 확보는 냉각 시스템에 소요되는 비용의 저감을 도모함으로써 생산비의 절감에도 기여할 수 있을 것이라 판단된다.

실제 자동차에서는 방열기를 통과한 냉각공기가 엔진룸 내의 엔진 블록과 여러 가지 공간인 제약으로 인해 방열기를 통과한 냉각공기가 역류되어 냉각성능을 악화시키고 있다. 따라서, 차량의 시스템 설계시 원활한 냉각 공기 흐름을 위해 적절한 공간의 확보와 역류 방지를 위한 대책이 필요하다 고 판단된다.

본 실험에서는 이러한 냉각공기 재순환에 의한 영향을 최소화 하고자 덕트를 통해서 냉각공기를 공급하였다. 이러한 시도는 대형 풍동에서 실시하는 자동차 냉각성능 시험의 결과와 덕트에 의해 강제로 공급되는 여러 가지 유량공급의 냉각시스템 실험 결과를 상호 비교함으로써 주행중 실제 자동차로 공급되는 실제 냉각공기의 유량을 평가할 수 있으며, 이를 통해 서로 다른 냉각시스템의 냉각공기의 유동효율을 비교 평가할 수 있다고 판단된다.

4. 결 론

엔진 동력계에 방열기를 장착하여 다양한 엔진 운전조건과 냉각공기 유량 변화에 따른 냉각성능 분석을 실시하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 엔진의 운전조건에 따라 냉각수온은 비례적으로 증가하지만, ATW는 엔진의 상용 운전구간에서 일정하게 유지됨을 알았다.
2. 방열기로 공급되는 공기 유량은 냉각성능에 크게 영향을 미치며, 본 실험에서 냉각 공기량이 약 16% 증가했을 때 냉각성능은 약 6 °C 향상

됨을 알았다.

3. 본 실험을 통해서 방열기 전면에서의 냉각 공기 온도는 대기온에 비해 약 2 ~ 3 °C 차이를 보였으며, 이는 냉각시스템의 유동저항에 기인한 것으로 판단된다.
3. 방열기를 통과한 냉각공기의 온도가 측정 위치에 따라 45°C까지 차이가 있음을 알았다. 또한 방열기 전후의 냉각 공기 온도는 약 14 ~ 28 °C 정도 차이가 있음을 알았다. 따라서, 방열기 전면에서 균일한 유동을 위한 개선을 통해 차량 냉각시스템의 향상을 도모할 수 있다고 판단된다.

Discharge", SAE Paper 920787

- (8) J. B. Heywood, 1988, "Internal Combustion Engine Fundamentals", McGraw-Hill
- (9) F. M. White, 1984, "Fluid Mechanics, 3rd Ed.", McGraw-Hill

참고문헌

- (1) 김진현, 박종남, 이해철, 차경옥, 2001, "냉각 공기량이 자동차 냉각성능에 미치는 영향에 관한 실험적 연구" 대한기계학회 춘계학술대회 논문집 D, pp.950~954, KSME 01S703.
- (2) U. W. Schaub, H. N. Charles, 1980, "Ram Air Effects on the Air Side Cooling System Performance of a Typical North American Passenger Car", SAE Paper 800032.
- (3) K. D. Emmenthal, 1987, "Engine Cooling System", Chap.9 in Aerodynamics of Road Vehicles, edited by W-H Hucho, pp.355~375
- (4) M. Hochkonig and M. Rauser(Porche), "Cooling System Layout for High Performance Cars", SAE Paper 920789
- (5) R. El-Bourini and S. Chen(Calsonic Technical Center), 1993, "Engine Cooling Module Development Using Air Flow Management Techniques", SAE Paper 931115
- (6) S. C. Morris and J. F. Foss, 1997, "Performance Measurement and Detailed Flow Field Observations for a Light Truck Cooling Fan", SAE Paper 971794
- (7) Hiroyuki Takahashi, Sigeru Ogino, Takao Nishimura and Yohiyuki Okuno, 1992, "Experimental Analysis of the Improvement of Radiator Cooling Air Intake and