

냉각 시스템 제어에 따른 디젤 엔진의 배기가스 저감에 관한 연구

최경욱[†] · 조원준* · 이기형**

A study on the reduction of emission by controlled cooling system in a diesel engine

Kyungwook Choi, Wonjoon Cho and Kihyung Lee

Key Words : Cooling system(냉각 시스템), Emission(배기가스), Diesel engine(디젤 엔진),

Abstract

These days the exhaustion of petroleum resources and environmental problems are getting serious. Many researchers are focused on low emission and high performance vehicles. Therefore, we should concern about emission regulation when we design a new car. In this study, we investigated the characteristics of the traditional mechanical engine cooling systems which control the engine temperature using engine speed and wax type thermostat. This experiment used three components which are Radiator fan, water pump and water valve controlled by an electronic system based on the engine status (load, speed). We elucidated how different between traditional mechanical cooling system and electronic cooling system which control coolant temperature and coolant flow rate in a DI diesel engine in this paper. The results revealed a fuel saving and an emission (CO, HC) reduction on NEDC cycle.

1. 서 론

지구 온난화와 환경 오염 문제가 전세계적으로 대두 되고 있는 요즘 자동차에서 나오는 배기가스 문제가 큰 문제로 거론되고 있다. 유럽의 EURO 시리즈 규제나 미국의 SULEV 와 같은 까다로운 배기 규제를 만족시키기 위해서 자동차 제조업체는 엔진개발에 있어서 출력만큼이나 배기가스 문제를 크게 다루고 있다. 성능과 배기가스 이 두 가지를 다 만족시키기 위해서 연소적인 측면 뿐만 아니라 새로운 냉각 방법이 요구되고 있다. 최근에 엔진 냉각 시스템의 최적화를 통하여 연비 향상 및 배기가스 저감에 관한 연구가 계속 진행 중이며 일부에서는 실차에 적용하고 있다.

냉각 시스템을 엔진의 속도 및 부하에 따른 조

건에 맞춰서 제어하기 위해서 본 연구와 같은 냉각수 온도와 유량에 따른 특성에 관한 이해는 필수적이다. 현재 대부분의 엔진에 적용되고 있는 냉각 시스템은 엔진의 각 회전 수의 full load 에서 엔진의 내구성을 확보할 수 있게 설계된다. 그러나 full load 는 실주행조건에서 5%미만일 뿐만 아니라 대부분의 운전 영역인 중저부하 조건에서는 과냉각되어 friction loss 가 증가되고 cooling loss 또한 증가된다.

이런 점에 착안하여 본 연구에서는 엔진의 냉각 시스템을 기존의 엔진 회전 수에만 의존했던 기계식 시스템을 엔진의 회전 수 및 부하 조건에 따라 능동적으로 제어해서 각각의 조건에 맞는 최적의 상태를 만드는데 목적이 있다. 이러한 목표를 구현하기 실차에 적용하는 test drive mode 인 NEDC drive cycle 을 test bench 에서 구현 시킬 수 있는 NEDC drive cycle 의 Key point 을 선정하여 실험을 수행하였다.

실험을 수행한 결과, 냉각수의 온도를 기존의 90℃에서 105℃로 상승시켰을 경우, THC 와 CO 가 감소하였으며 NOx 는 증가하였다. 냉각수의 양

[†] 비회원, 한양대학교 대학원

E-mail : kyungwook.choi@gmail.com

TEL : (031)418-9293 FAX : (031)406-5550

* 한양대학교 대학원

** 한양대학교

을 기존의 60%를 엔진으로 공급했을 경우에도 마찬가지로 THC와 CO는 감소하였고 NOx는 증가하였다. 이 외에도 warm up 기간을 단축하기 위하여 시동 후 냉각수 온도가 적정 온도까지 도달하기 전에는 워터펌프를 작동시키지 않고 실험을 수행하여 THC와 CO 값을 줄일 수 있었다.

2. 실험 장치 및 실험 방법

2.1 실험 장치

본 실험 장치의 개략도는 Figure 1에 나타나 있는 바와 같이 실차의 라디에이터 대신 냉각수의 온도를 일정하게 유지할 수 있는 냉각수 온도 제어 시스템을 사용하였고, 워터펌프의 회전 수를 제어하기 위해서 0.75KW의 AC 모터와 기존의 워터펌프를 벨트로 연결하여 사용하였다.

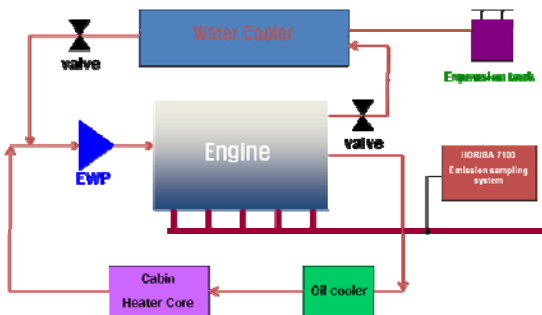


Figure 1. Schematics of experimental set up



Figure 2. 엔진 동력계 실험 장치

본 연구에 사용된 기관은 쌍용 자동차의 2.7L HSDI 디젤 엔진으로서 엔진의 제원은 Table 1에 나타내었다.

Table 1. Specifications of test engine

| | | | |
|---------------|-----------|-------------------|---------------------|
| Configuration | In line 5 | Number of valves | 20 |
| Swept volume | 2696cc | Compression ratio | 18:1 |
| Bore | 86.2mm | Rated Power | 170PS at 4000rpm |
| Stroke | 92.4mm | Rated torque | 347Nm at 1800rpm |

동력계는 Eddy current type로서 MEIDEN사의 230KW 용량의 EC-80를 사용하였고 동력계의 제원은 Table 2에 나와있다.

Table 2. Specification of Dynamometer

| | |
|-----------------------|--------------|
| Manufacturing company | MEIDEN |
| Type | Eddy-current |
| Max RPM | 7000 rpm |
| Max Power | 230kW |

엔진으로 유입되는 냉각수의 온도를 제어하기 위해서 엔진의 냉각수 입구 부분에 K-형 열전대를 냉각수 온도 제어 시스템의 냉수 공급 장치의 solenoid 형의 밸브와 연결하여 제어 온도보다 높을 경우에 냉수를 유입하여 냉각수의 온도를 일정하게 유지하였다.

엔진에서 나오는 배기 가스의 성분 및 농도를 측정하기 위해서 Horiba사의 MEXA-7000EGR을 사용하여 HC, CO, NOx를 측정하였다.

2.2 실험 방법

본 실험은 NEDC drive cycle를 test bench에서 실험하기 위해서 NEDC drive cycle 중에서 8개의 Key point⁽²⁾를 선정하였고 이 점들에서의 실험조건은 Table 3에 기재된 바와 같다.

Table 3. NEDC drive cycle Key Point

| Key Point | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|---------------|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|
| Engine Speed | rpm | 750 | 1100 | 1200 | 1600 | 2000 | 1900 | 2200 | 2600 |
| Engine Torque | Nm | 0 | 98 | 333 | 58 | 17 | 141 | 108 | 160 |
| Engine load | % | 0 | 55.0 | 14.2 | 19.8 | 5.0 | 42.3 | 32.4 | 48.0 |

본 실험에서는 냉각수의 온도와 유량에 따른 배기가스의 변화를 알아보기 위해서 냉각수의 온도를 90℃, 95℃, 100℃, 105℃로 변화하여 측정해보았다. 냉각수 온도는 외부의 냉각수 온도 제어 시스템을 통하여 일정하게 유지하였다.

또한 냉각수의 유량을 기존의 유량의 60%만 엔진으로 유입시켜보았다. 유량의 제어는 기존의 워터펌프의 성능을 분석한 결과 회전수에 비례하는

것으로 파악하고 기존의 엔진 회전 수와 1:1의 비율로 회전하는 것을 감안하여 회전 수를 40% 감소시켜 작동시켰다. 워터펌프의 회전 수는 inverter로 회전 수의 제어가 가능한 AC motor를 belt로 연결하여 제어하였다. 단, 엔진의 내구성 및 안정성 확보를 위하여 냉각수의 온도는 90°C로 유지시켰다.

이 외에도 엔진의 warming up 기간 단축을 위하여 초기 시동 시에는 워터펌프를 작동시키지 않고 시동 후 KP6를 유지하면서 냉각수 온도가 90°C에 도달하는 시간을 측정하고 배기가스도 측정하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 냉각수 온도에 따른 특성

엔진 동력계 실험을 통한 냉각수 온도 변화에 따른 배기가스 측정 결과를 Figure 3의 (a), (b)와 (c)에 나타내었다. 냉각수의 온도가 증가할수록 THC와 CO 값은 떨어지는 것을 볼 수 있으며, NOx 값은 증가하는 것을 볼 수 있다. (d)에서는 각각의 Key point 값을 평균을 내서 비교한 결과이다. 그 결과를 보면 냉각수 온도를 90°C와 105°C로 유지했을 때를 비교해보면 THC는 약 10%정도, CO는 약 15%정도 감소한 것을 볼 수 있으며 NOx는 약 10%정도 증가한 것을 볼 수 있다. NOx의 증가분에 관한 문제는 본 실험에서는 EGR과 DeNOx 촉매를 적용하지 않았으며 향후 EGR과 현재 많은 연구가 진행 중인 후처리 장치를 이용할 경우 많이 감소할 것으로 예상된다.

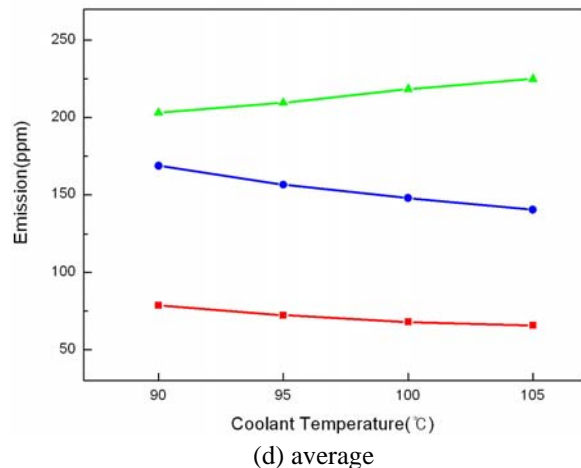
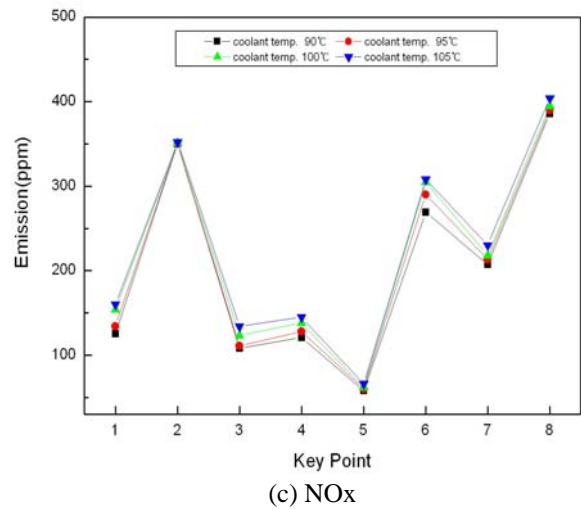
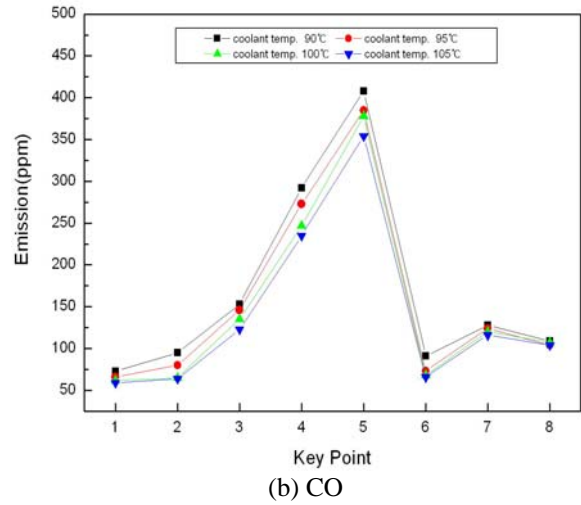
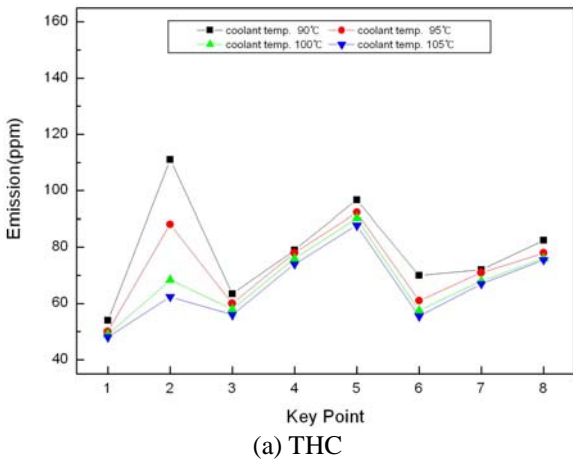
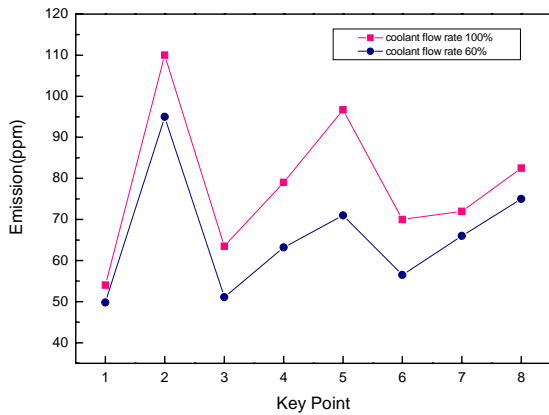


Figure 3. Effect of coolant temperature on exhaust emission at each operating condition

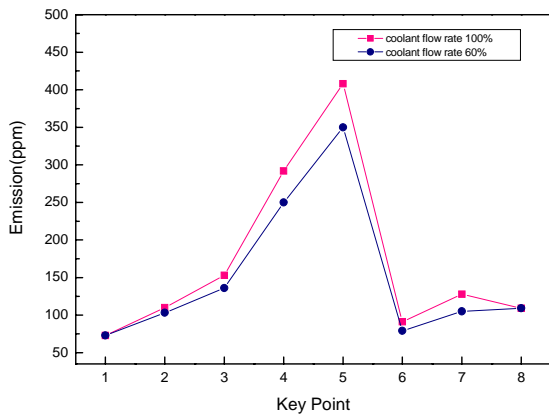
3.2 냉각수 유량에 따른 특성

Figure 4의 (a),(b)와 (c)는 엔진 동력계 실험을 통

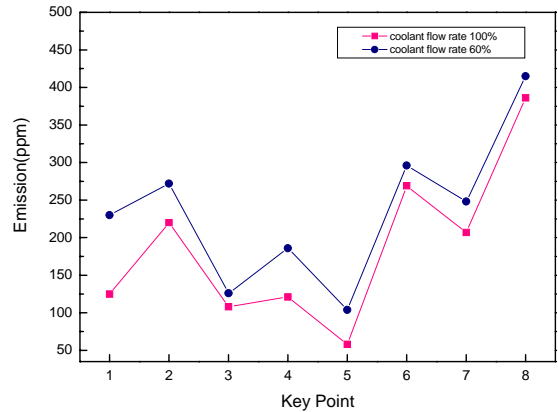
하여 워터펌프의 토출량을 기존의 60%로 제어하여 냉각수를 엔진으로 유입하여 실험을 한 결과이다. 그 결과, 기존의 기계식 워터펌프를 사용하였을 때와 비교했을 때 유량이 적어지면서 열전달량이 적어지기 때문에 실린더 블록과 헤드의 온도가 높아져서 THC와 CO의 양이 약 20% 정도 감소하였고, NOx의 양은 증가하였다.



(a) THC



(b) CO

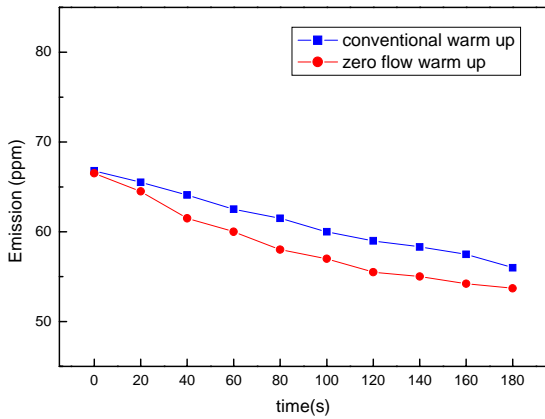


(c) NOx

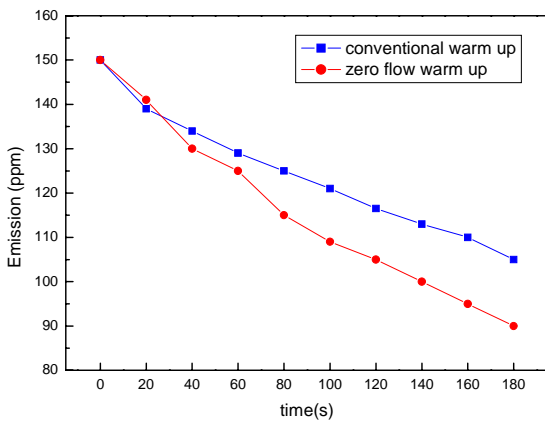
Figure 4. Effect of Coolant flow rate on NOx

3.3 냉각수 온도 상승 특성

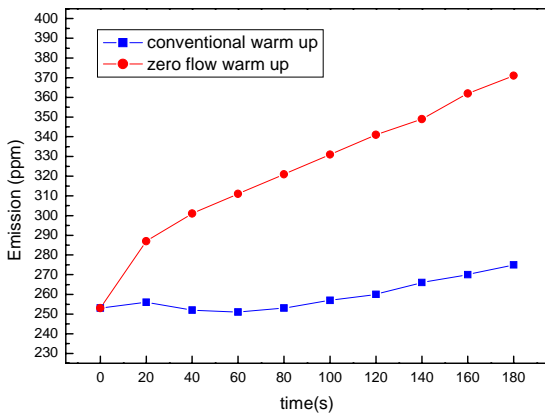
냉간 시동 시 연소실의 온도가 낮기 때문에 불완전연소로 인해 THC와 CO가 많이 배출된다. 또한 오일의 온도가 적정온도가 되기 전까지 viscous waste가 많기 때문에 friction loss가 증가한다. 따라서 시동 후 적정 온도로 냉각수 온도를 빠른 시간 내에 상승시키기 위해서 초기 시동 후 워터펌프를 작동시키지 않아서 냉각수의 순환을 막아 냉각수로의 전열되는 양을 줄여 금속면 온도를 빨리 상승시켰다. 실린더 블록과 헤드의 온도가 빨리 상승하기 때문에 연소 조건이 최적화 되는 온도까지 도달하는 시간이 단축 되므로 Figure 5의 (a)과 (b)를 보면 THC와 CO의 배출량이 기존의 경우보다 빨리 감소하는 것을 볼 수 있다. 반면에 Figure 5의 (c)에서는 NOx이 배출량은 빨리 증가하는 경향을 볼 수 있다. Figure 6에서는 냉각수 온도가 빨리 증가하는 결과를 볼 수 있는데, 이에 따라 warm up 기간이 짧아지면서 냉각수 온도에 의존하는 idle rpm이 기존의 기계식 워터펌프를 사용한 경우보다 더 빠른 시간 내에 떨어지면서 fuel consumption을 줄일 수도 있다.



(a) THC



(b) CO



(c) NOx

Figure 5. Effect of zero flow during warm up on exhaust emission

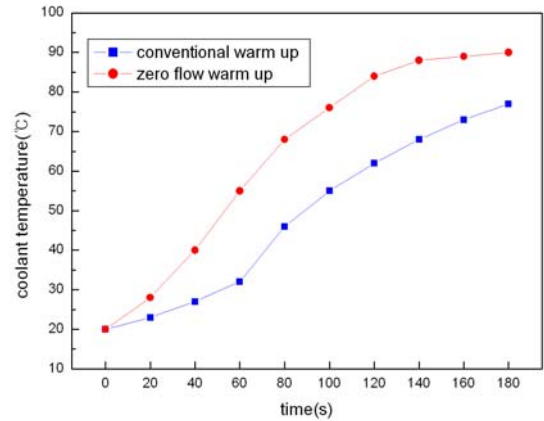


Figure 6. Engine temperature during warm up

4. 결론 및 후기

4.1 결론

본 연구에서는 냉각수의 온도와 유량의 변화에 따른 특성을 파악하기 위해 실험을 진행하였으며 실험 결과로부터 다음과 같은 결과를 알 수 있었다.

- 1) 부분부하 영역에서 진행된 NEDC drive cycle Key point 실험에서 냉각수의 온도를 기존의 90°C에서 105°C로 변화하였을 경우 THC와 CO의 양이 10~15%정도 감소하는 것을 볼 수 있었다.
- 2) 냉각수의 유량을 기존대비 60%정도로 줄였을 경우 실린더 블록과 헤드에 공급되는 냉각수의 양이 줄어들어 금속면 온도가 전체적으로 증가하므로 냉각수 온도를 변화했을 경우와 마찬가지로 THC와 CO의 양이 감소하였다.
- 3) 냉간 시동시 워터펌프의 작동을 멈춰서 냉각수의 온도가 상승하는 시간을 줄였을 경우, 기존의 기계식 워터펌프를 사용하였을 때보다 약 10%정도 빨리 도달하였으며 THC와 CO 또한 15~20%정도 감소하는 것을 볼 수 있었다.

후기

본 연구를 수행하는데 도움을 주신 미래형 자동차 사업단에 감사의 말씀을 드립니다.

참고문헌

- (1) John B. Heywood, "Internal Combustion Engine Fundamentals", McGraw-Hill International Editions
- (2) P. Revereault, B. Gessier, M. Chanfreau, 2003, "Intelligent vehicle system thermal management in a mild hybrid-diesel vehicle", *IMechE* 2003, pp.545~560.
- (3) M. Chanfreau, A. Joseph, D. Butler, R. Swiatek, 2001, "Advanced Engine Cooling Thermal Management System on a Dual Voltage 42V-14V Minivan", VTMS5 SAE 2001-01-1742
- (4) John R. Wagner, Venkat Srinivasan, Darren M. Dawson, 2003, "Smart Thermostat and Coolant Pump Control for Engine Thermal Management Systems", SAE technical paper 2003-01-0272
- (5) Franz W. Koch, Frank G. Haubner, 2000, "Cooling system Development and Optimization for DI Engines", SAE 2000-01-0283
- (6) Ngy-Srun Ap, Philippe Jouanny, Michel Potier, Jerome Genoist, 2005, "UltimateCooling System for New Generation of Vehicle", SAE 2005-01-2005