

# 냉각수 및 오일의 온도에 따른 연비향상에 관한 실험적 연구

조원준<sup>1)</sup> · 김형익<sup>1)</sup> · 이기형<sup>\*2)</sup>

한양대학교 대학원<sup>1)</sup> · 한양대학교 기계공학과<sup>2)</sup>

## An Experimental Study on the Improvement of Fuel Economy according to Coolant and Oil Temperature

Wonjoon Cho<sup>1)</sup> · Hyung-ik Kim<sup>1)</sup> · Kihyung Lee<sup>\*2)</sup>

<sup>1)</sup>Graduate School, Hanyang University, Gyeonggi 426-791, Korea

<sup>2)</sup>Department of Mechanical Engineering, Hanyang University, Gyeonggi 426-791, Korea

(Received 29 April 2008 / Accepted 28 August 2008)

**Abstract** : Recently, the internal combustion engines have focused on reducing the CO<sub>2</sub> gas in order to cope with severe regulations for fuel economy. Therefore, various new technologies have been developed. Among them, cooling system is spotlighted because it has great effect on fuel economy. In this study, we measured the friction losses of engine parts according to engine speed and oil temperature. We also obtained optimized oil temperature which has the minimum friction losses. Then, we selected optimized oil temperature range and gave informations of friction losses for each engine parts. In addition, we analyzed relationship between coolant temperature and oil temperature by using engine performance test system. From this experiment, we obtained the database for relationship between coolant temperature and oil temperature. Then, we found the optimal temperature about engine oil.

We analyzed BSFC and exhaust emissions by controlling the high coolant temperature. If we controlled coolant temperature more higher, BSFC has a little difference but exhaust emissions such as THC and CO have reduced.

By using these experimental results, we predicted that IC engine have more low fuel consumption and exhaust emissions by optimized cooling control strategy.

**Key words** : BMEP(제동평균유효압력), BSFC(연료소모량), Power(출력), Mass flow rate(질량유량), Coolant temperature(냉각수온도), Oil temperature(오일 온도), Frictional loss(마찰손실)

### Nomenclature

- A/F : air-fuel ratio
- BMEP : brake mean effective pressure (bar)
- BSFC : brake specific fuel consumption
- mf : mass flow rate (kg/min)

### 1. 서론

엔진의 기계적 마찰손실은 엔진 동력 손실 중 큰

비중을 차지하고 있으며 이를 줄이기 위한 노력들이 다양한 방법으로 연구되어지고 있다. 엔진의 기계적 마찰손실을 측정하는 방법은 여러 가지가 있으나 가장 정확한 방법은 엔진을 Firing한 상태에서 엔진의 구동마찰과 부품들의 마찰을 측정하는 방법이다. 하지만 이 방법으로는 엔진의 각 부품별 마찰손실을 측정하기는 어려우며 특히 밸브트레인과 크랭크샤프트계의 마찰특성을 측정하기가 어렵기 때문에 여러 가지 리그 시험기가 개발되어있다.<sup>1-3)</sup> 이처럼 엔진을 Firing 하면서 마찰손실을 측정하는 것

\*Corresponding author, E-mail: hylee@hanyang.ac.kr

은 상당히 어려운 과정이다. 따라서 상대적인 평가의 용이성으로 인하여 모터링 상태에서 엔진의 마찰손실을 측정하는 스트립 다운(Strip-down) 방식<sup>4,7)</sup>이 이용되고 있다.

본 연구에서도 스트립 다운 방식을 사용하여 엔진의 회전수 및 오일의 온도에 따라서 엔진이 가지는 각 부품별 마찰손실을 측정하였으며, 이를 통하여 엔진의 각 부품별 마찰손실을 정량화 하였고, 엔진오일의 온도별 마찰손실을 측정하여 마찰손실이 가장 적은 엔진오일의 최적온도 조건을 산출하였다.

또한, 엔진 성능 실험 장치를 구성하여 엔진의 회전수와 냉각수 온도 및 부하조건에 따른 냉각수와 엔진오일의 상관관계를 분석하여 엔진의 냉각수 온도와 엔진오일의 상관관계를 데이터베이스화 하였고, 냉각수의 온도를 고온제어 할 경우의 BSFC와 배기성능을 알아보기 위하여 엔진의 회전수와 부하조건을 각각 고정하고 BSFC와 배기성능을 측정하여 그 결과를 분석하였다.

## 2. 실험장치 및 연구방법

### 2.1 엔진 마찰손실 측정장치

본 연구에서는 DC모터를 이용하여 피구동용 엔진을 구동하는 대신 상용 800cc 카뷰레터 방식의 엔진을 사용하여 피구동용 엔진을 구동시키는 마찰측

정 장치를 구성하였다. DC모터 대신 엔진을 선택한 이유는 DC모터의 rpm은 한계가 있으며 또한 보다 높은 rpm을 측정하기 위해서는 DC모터의 크기가 상당히 증가되기 때문이다. 마찰측정시 오일온도를 조절하기 위하여 히터와 온도센서를 오일팬에 장착하였으며 이를 통해 오일의 온도를 피드백 제어할 수 있도록 구성하였다. 또한 오일의 온도만으로 측정을 할 경우에 실린더블록의 온도가 낮기 때문에 오일온도가 급방 저하하는 점을 감안하여 써모스택을 제거하고 외부의 물탱크에서 부동액을 히터로 가열하여 펌프를 이용하여 실린더블록 및 실린더헤드로 순환을 시켜주었다. Fig. 1은 엔진 마찰 손실 측정 장치의 개략도이다.

### 2.2 엔진 성능 실험장치

엔진 성능 실험 장치는 Eddy-current type 동력계를 사용하여 구성하였다. 실험장치의 구성 시 냉각시스템의 각 부품별로 가공을 통하여 워터펌프 전·후단, 히터코어 입·출구, 써모스택 하우징 등 총 다섯 부분에 압력을 측정할 수 있도록 하였으며, 냉각수의 온도는 라디에이터 전·후단, 써모스택 하우징, 워터펌프 입구, 히터코어 입구에 RTD 타입 온도센서를 사용하여 온도를 측정하였다. 또한 라디에이터 입구, 워터펌프 입구, 히터코어 입구에 유

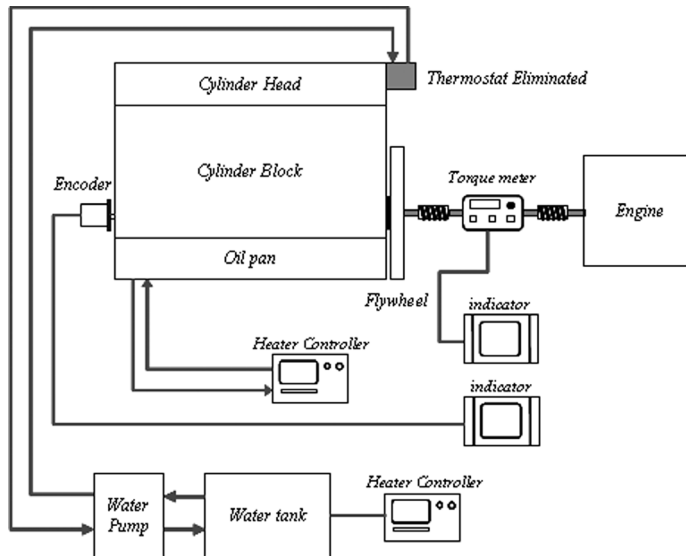


Fig. 1 Schematic of engine friction measurement system

량계를 설치하여 냉각수의 유량을 측정하였고, 오일의 온도는 K-type 열전대를 사용하여 오일팬을 통하여 측정을 하였다. 실험 시 사용된 ECU는 상용 ECU를 사용하였다. 냉각수의 온도를 고정하기 위하여 라디에이터에 별도의 샤워시스템을 제작하였으며 샤워시스템을 통하여 엔진 출구의 냉각수 온도를 제어하였다.

Fig. 2는 엔진 성능 실험장치의 개략도이며 이 실험에 사용된 엔진의 사양은 Table 1과 같다.

각 센서의 신호는 A/D board와 인터페이스 프로그램 언어인 LabView 8.2를 사용하여 프로그램을 작성하여 PC에서 취득하였으며, 각 데이터 값은 각각의 실험조건에서 정상상태로 1분간 취득한 값의 평균치를 사용하였다.

또한, 연비측정을 위하여 Micromotion사의 연료유량계를 사용하여 연비측정을 실시하였다. Fig. 3에서 보는 바와 같이 탱크와 연료유량계를 연결하는 통로에 연료필터를 장착하였으며 엔진 입·출구에는 에어필터를 장착하여 연료라인에 들어가는 공기를 제거하였다. 측정되어진 연료 유량 값은 kg/min으로 수집되며 이 데이터 값을 BSFC로 환산하기 위하여 아래와 같은 식을 사용하였다.

이 외에도 배기가스 측정을 위하여 Horiba사의 배기분석계를 사용하였다.

Table 1 Engine specification

Engine type	4-Cylinder, DOHC, 16 valve, SI
Displacement	1.975cc
Bore×Stroke	82×93.5mm
Compression ratio	10.3:1
Cooling type	Water cooled Engine inlet temperature control Non-pressurized recovery bottle R/V pressure : 0.9 bar

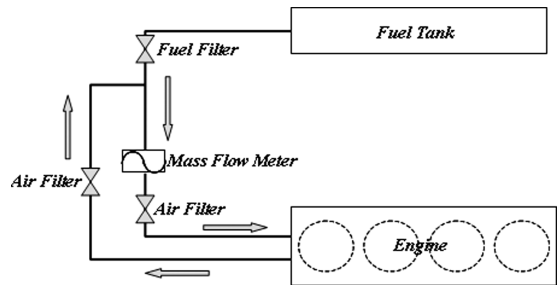


Fig. 3 Schematic of fuel line

$$BSFC = \frac{m_f \times 1000 \times 60}{power(kW)}$$

$m_f$  : mass Flow rate (kg/min)

Power :  $Power = 2\pi NT \times 10^{-3}$  (kW)

N : revolution per second (rev/s)

T : Torque (Nm)

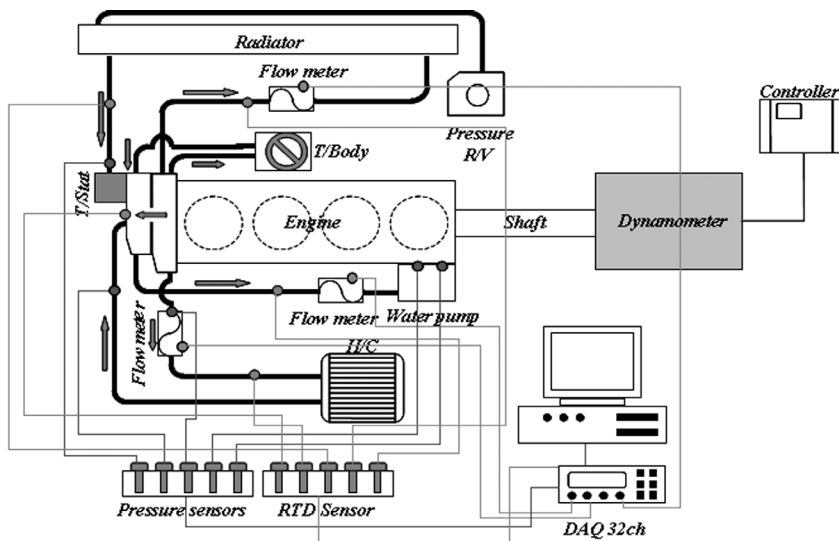


Fig. 2 Schematic of engine performance test system

### 2.3 엔진 마찰손실 측정방법

각 구동요소의 마찰손실은 모터링 운전상태에서 엔진 구동요소를 차례로 제거하면서 마찰토크를 측정하는 스트립다운 방법을 통하여 구할 수 있다. 각 요소의 마찰토크를 측정하는 일반적인 순서는 다음과 같다.

- 1) 엔진 전체의 마찰토크 측정
  - 2) 흡기 및 배기 매니폴드를 제거한 상태의 엔진 마찰토크 측정
  - 3) 워터펌프 및 보기류를 제거한 상태의 마찰토크 측정
  - 4) 벨브트레인을 제거하고 실린더 헤드를 장착한 상태에서 마찰토크 측정
  - 5) 피스톤을 제거한 상태에서 마찰토크 측정
  - 6) 벨브트레인을 장착한 상태에서 마찰토크 측정
- 피스톤계의 마찰손실은 4단계와 5단계의 마찰차이로부터 구할 수 있으며, 단계 5의 마찰손실은 크랭크 샤프트계의 마찰손실이 된다. 벨브트레인계의 마찰손실은 단계 6과 5의 차이로부터 구할 수 있다.

본 연구에서는 2단계와 3단계 보기류의 마찰손실은 측정하지 않았으며 순수구동손실인 피스톤, 벨브트레인, 크랭크샤프트계의 마찰손실을 측정하였다.

### 2.4 엔진 성능 측정방법

본 실험에서는 스트립 다운 방식을 통하여 얻은 엔진오일의 최적온도를 실제 엔진에 적용하여 연비 및 배기 향상효과가 나타나는지를 확인하였다.

실험 시 냉각수 온도는 85°C ~ 105°C까지 5°C 간격으로 측정을 실시하였고, 냉각수의 성분은 Ethylene Glycol(HOCH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>OH)과 물을 체적비 5:5로 혼합하여 사용하였다. 또한 동력계의 부하 조건은 엔진의 성능에 대비하여 10~50%까지 10% 간격으로 실험하였으며, 엔진의 회전수는 1200, 1600, 2000, 2400, 3000, 4000rpm으로 측정을 하였다. 실험조건 및 사용되어진 센서의 사양은 Table 2와 Table 3과 같다.

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 엔진오일 온도에 따른 마찰특성

Fig. 4는 스트립 다운 방식을 사용하여 구하여진

Table 2 Experimental conditions

Engine speed (rpm)	1200, 1600, 2000, 2400, 3000, 4000	
Load condition (%)	10, 20, 30, 40, 50	
Coolant temperature (°C)	85, 90, 95, 100, 105	
Property of engine oil	7.5W 30	
% Volume of EG in coolant	50	
Properties of EG	Chem. composition	HOCH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> OH
	Boiling point	196 ~ 198 (°C)
	Density	1.113 g/mL @ 25°C
	Melting point	-13°C
	Vapor pressure	0.08 mmHg @ 20°C

Table 3 Sensor specification

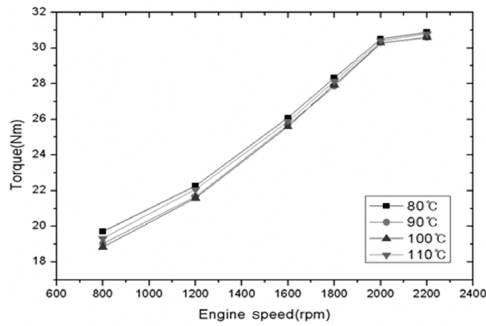
Sensor	Type	Measurable range	Accuracy
Pressure transducer	Gage pressure	-1 ~ 5bar	0.15 % @F.S
	Gage pressure	0 ~ 5bar	0.15 % @F.S
Volume flowmeter	Magnetic	0 ~ 250 LPM	0.10 % @F.S
		0 ~ 200 LPM	0.10 % @F.S
		0 ~ 100 LPM	0.10 % @F.S
Temperature sensor	RTD Pt100Ω	0 ~ 399°C	high

엔진의 회전수에 따른 오일온도별 마찰특성을 나타내고 있다. 이 네단계 과정의 각각의 차이를 통하여 엔진 각 부품별 마찰손실의 특성을 구할 수 있다. (b)와 (c)의 단계 차이를 통해서 피스톤계의 마찰손실을 구하게 되며, (c)의 단계에서 크랭크샤프트계의 마찰손실이, (c)와 (d)의 단계 차이로 벨브트레인계의 마찰손실을 구하게 된다.

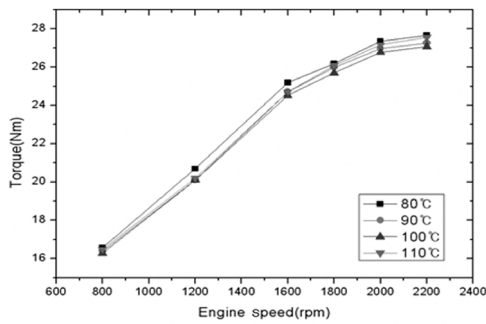
Fig. 4의 (a)에서 보는 바와 같이 총 마찰 상태는 선형적으로 증가함을 알 수 있으며 특이한 점은 오일온도가 100°C 이후에는 다시 마찰이 증가하는 경향을 보이고 있다. 이러한 현상은 (a)뿐만 아니라 (b) ~ (d)의 전 과정에 걸쳐 나타났으며 이는 선정된 오일의 특성이 반영된 것이라고 생각된다. 따라서 마찰손실을 최소화하기 위한 오일의 적절한 컨트론편 온도는 약 95 ~ 100°C 사이임을 알 수 있었다.

### 3.2 냉각수 온도와 오일온도의 상관관계

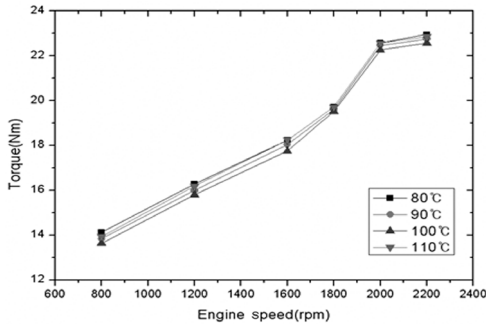
냉각수 온도와 오일온도는 밀접한 관계가 있으며 이를 규명하기 위하여 엔진 성능 실험 장치를 사용하여 특성을 파악해 보았다. 엔진의 부하 및 회전수



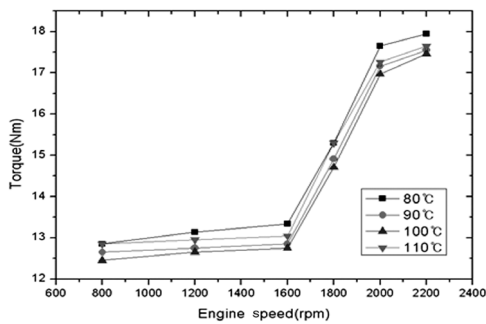
(a) Total friction



(b) Friction of crankshaft & piston



(c) Friction of crankshaft



(d) Friction of crankshaft & valve

Fig. 4 Friction characteristics according to oil temperature

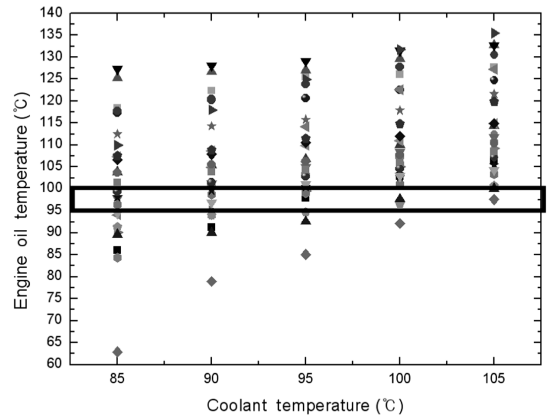


Fig. 5 The relation between coolant temperature and engine oil temperature

를 변화시켜 가면서 냉각수온을 85~105°C로 각각 5°C씩 증가시키며 실험을 수행하였다. 오일의 온도를 정확하게 측정하기 위하여 실험 시 냉각수온도는 일정하게 유지시킨 상태에서 오일의 온도가 안정화된 후 측정하였다.

Fig. 5는 각각의 조건별로 실험한 결과를 나타낸 그림이다. 그림을 통하여 보면 냉각수 온도별로 오일온도의 최대와 최저 온도를 알 수 있다. 즉, 냉각수온도를 컨트롤함으로써 위의 그림에서 표기된 구간 사이에서 엔진오일의 온도가 결정된다는 사실을 알 수 있다.

또한, 박스로 표시한 부분은 앞의 마찰실험에서 도출한 오일온도 95 ~ 100°C의 범위를 표시한 것으로 이 범위 안에 표기되어 있는 실험조건에 의한 결과 값들과 다른 조건의 실험결과들을 비교하여 BSFC가 우수함을 살펴보고자 한다.

### 3.3 BMEP에 따른 BSFC 분석

운전조건별 BSFC는 연료유량계로 측정되어진 유량값을 BSFC로 환산하여 구하였다. 본 실험의 경우 안전상의 문제로 전 부하 영역실험은 실시하지 못하였으며 중 부하 영역까지 수차례 반복 실험하여 평균한 결과를 도표로 정리한 것이 Fig. 6이다. 저속 영역에서는 기계적 마찰에 의한 손실이 약 60%를 차지하고 있으며, 고속 영역에서는 펌핑 손실과 기계적 마찰손실이 각각 41 ~ 46% 정도를 차지하게 되니<sup>8)</sup> 본 실험에서는 중 부하 영역까지 실험한 결

## 냉각수 및 오일의 온도에 따른 연비향상에 관한 실험적 연구

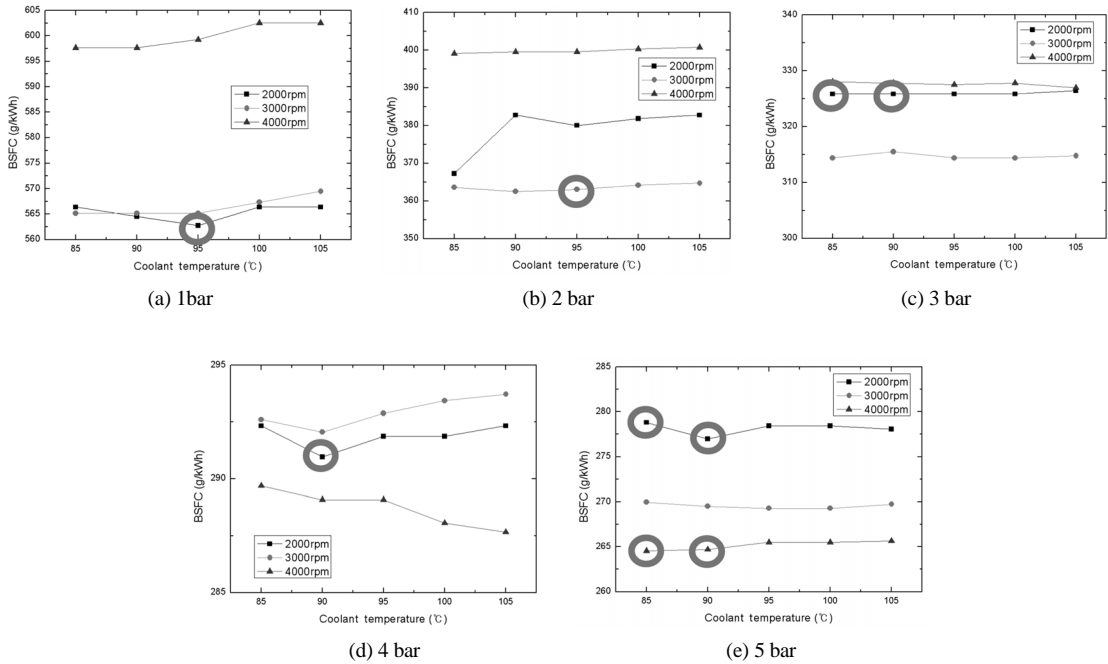


Fig. 6 BSFC according to BMEP

과로 BMEP가 증가할수록 즉, 엔진의 부하가 증가할수록 연료소비율은 감소한다. 저 부하 영역에서는 회전수가 높은 고속구간에서의 연료소비율이 높았고, 고 부하로 갈수록 저속구간 영역의 연료소비율이 증가하였다.

오일 온도 최적구간으로 설정된 실험 조건에 의해 측정된 결과를 빨간색 원으로 표시하였다. 결과를 보면 동일부하 동일 속도영역에서 정량적으로는 미소하지만 BSFC가 감소하는 경향을 확인할 수 있었다.

### 3.4 BMEP에 따른 배기분석

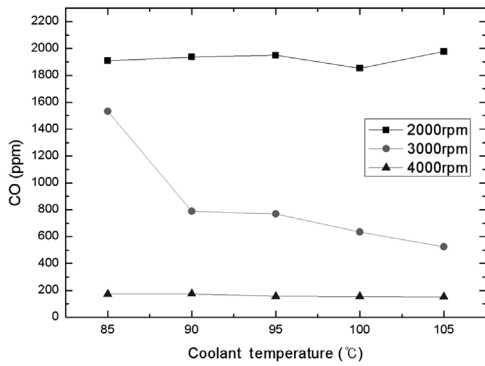
Fig. 7과 8은 BMEP에 따른 배기특성을 정리한 그림이다. CO와 THC를 분석해 본 결과 아래에서 알 수 있듯이 CO과 THC는 rpm이 증가하고 냉각수 온도가 증가할수록 감소하는 경향을 보인다. 특히 THC의 경우에는 그 경향이 더욱 뚜렷한 것을 확인할 수 있었다. 이는 엔진의 전체적인 온도가 상승함에 따라 연소실 온도도 상승하여 연료의 기화가 원활해지고 이로 인하여 배기배출물이 감소되는 것으로 판단된다. 따라서 냉각수의 온도를 고온제어 할

경우 배기측면에서 매우 유리함을 알 수 있다.

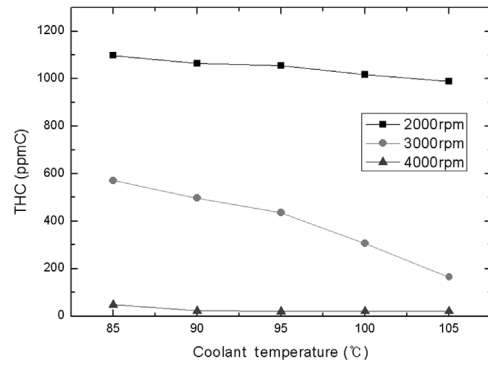
## 4. 결론

본 연구에서는 엔진오일과 냉각수 온도에 따른 BSFC와 배기특성 등을 측정하였다. 또한, 마찰손실을 최소화 할 수 있는 엔진오일 온도의 최적구간을 설정하고 실 엔진에서의 실험을 통하여 최적구간에서의 BSFC의 향상정도를 알아보았으며, 엔진 냉각수와 오일의 상관관계를 규명하였다. 이들로부터 얻은 결론은 다음과 같다.

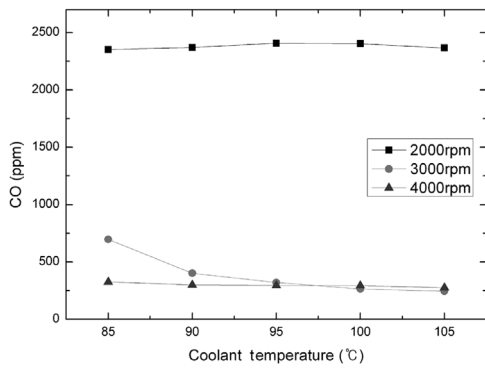
- 1) 엔진의 냉각수 온도와 오일온도의 상관관계를 분석한 결과 냉각수 온도가 85°C부터 105°C까지 5°C씩 증가할 경우 오일온도의 최저온도와 최고 온도 범위를 정량적으로 데이터화 할 수 있었다.
- 2) THC와 CO는 냉각수 온도가 증가할 경우 급격히 감소하는 경향을 보였으며 이는 냉각수 온도의 상승으로 인한 연소실 온도의 상승과 이에 기인하여 연료의 기화특성이 좋아지기 때문으로 판단된다.
- 3) 냉각수 온도를 고온 제어할 경우 BSFC 측면 보다는 배기 배출 성능 측면에 영향을 많이 주었으



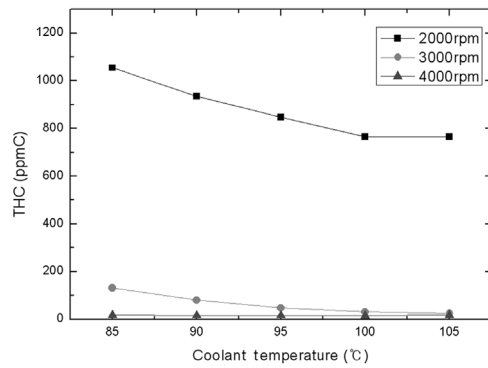
(a) 1bar



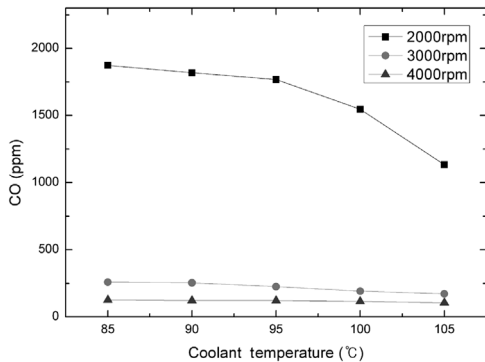
(a) 1bar



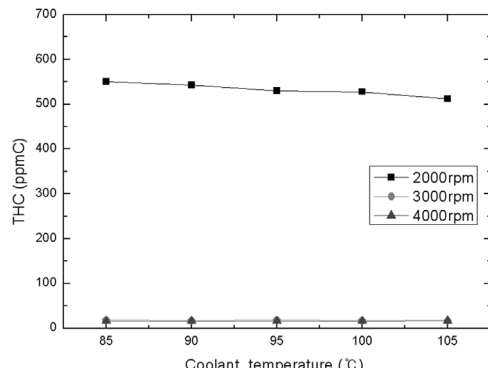
(b) 3bar



(b) 3bar



(c) 5bar



(c) 5bar

Fig. 7 CO according to BMEP

Fig. 8 THC according to BMEP

며 오일온도를 최적구간에서 제어할 경우 BSFC 를 향상시킬 수 있을 것으로 판단된다.

제'의 일환으로 수행되었으며 관계기관에 감사드립니다.

### 후 기

### References

본 연구는 산업자원부의 ‘자동차기반기술개발과

1) Y. Ogita, K. Niwa and T. Tanaka, “Measure-

- ment of Bearing Friction Loss Under Dynamic Load," SAE 880547, 1988.
- 2) D. C. Han and M. R. Cho, "Friction Characteristics of Direct Acting Type OHC Valve Train System," J. KSTLE, Vol.14, No.1, pp.23-27, 1998.
  - 3) J. M. Pieprzak, P. A. Willermet and D. Klassen, "A Tappet Rotation Monitor Based on Light Reflectance - Development and Functional Testing," SAE 890722, 1989.
  - 4) M. Hoshi, Reducing Friction Losses in Automobile Engines, Tribology International, 1984.
  - 5) J. T. Kovach and E. A. Tsakiris and L. T. Wang, "Engine Friction Reduction for Improved Fuel Economy," SAE 820085, 1982.
  - 6) M. R. Cho., D. Y. Oh and D. C. Han, "The Problem of Engine Friction Test by Strip Down Method," A. of KSME, Vol.26, No.11, pp.2429-2435, 2002.
  - 7) M. R. Cho, J. S. Kim, D. Y. Oh and D. C. Han, "The Effect of Additional Factors on the Engine Friction Characteristics," A. of KSME, Vol.26, No.10, pp.2159-2164, 2002.
  - 8) J. Choi, "Design Techniques of Lubricating System for Ultra Low Fuel Consumption Engines," Workshop of Gasoline Engines, Diesel Engines, Fuels & Lubricants Activities, pp.107-129, 1997.