

## 자동차용 기관의 냉각수 온도조절 최적화에 관한 연구(I)

### A Study on the Optimum of Cooling Water Temperature Control of an Automotive Engine (I)

박 경 석\*, 신 진 식\*\*, 이 경 우\*\*\*  
K.S. Park, J.S. Shin, K.W. Lee

#### ABSTRACT

The purpose of this study is to consider the performance and exhaust characteristics in the practical engine according to the cooling water temperature change of engine and to set up the optimum cooling condition and to obtain the optimum operating condition of thermostat in the cooling system. In order to accomplish the purpose of this study, authors have used the following procedure.

1. This study is to investigate the influence of the cooling water temperature on the engine performance and the exhaust gas, authors regulated the cooling water temperature by using the special closing circuit and measured the concentration of exhaust gas by using the exhaust gas measuring system in the exhaust pipe.
2. This study carried out the experiment by regulating the opening degree of throttle valve and engine speed in the dynamometer and by changing the cooling water temperature, at the same time kept air - fuel ratio constant and made the spark ignition time MBT (Minimum spark advance for Best Torque)
3. This study measured the cooling water temperature by using the K-type thermocouple centring around the easy over-heated parts and by installing a special closing circuit.

Therefore, in this study, authors intend to examine the influence of the cooling water temperature on the engine performance, exhaust gas and present the basic materials needed in the engine design including the optimum operating time control system for the cooling water temperature.

#### 1. 서 론

가솔린 기관 사이클에서 사용된 연료의 발열량은 모두 기계적인 에너지로 변할 수 없

으며, 그것의 대부분은 배기손실, 복사 및 기타 손실로 되고 실제로 사용되는 유효인 상당열량은 약 30%에 불과하다. 냉각수 손실은 열효율의 입장에서 본다면, 낭비같이 생각

\* 경희대학교 기계공학과

\*\* 공화급속 연구소

\*\*\* 경희대학교 대학원 기계공학과

되나 기관 내부의 온도를 적절히 조절하여 기관의 운전을 원활히 하고, 기계부분의 신뢰성을 증가시켜야 하므로 냉각은 불가피한 일이라고 할 수 있다.

연소실 주변의 냉각목적과 그 한계를 살펴보면 과열로 인한 기계적 성질의 변화로 강도저하 및 변형과손이 되지 않아야 하므로, 일정온도 이상 가열되지 아니하여야 하며, 특히 가솔린 기관의 경우는 소기작화가 생기지 않게 하기 위해서 연소실 주위의 온도를 연료의 자연발화 온도 이하로 항상 유지해야 한다.

그러므로 과열 및 과냉을 방지하기 위해서는 냉각수의 온도를 최적 온도로 일정하게 유지시키는 것이 요구된다. 그러나 기관의 손실 중 많은 부분을 차지하는 냉각손실을 어떠한 방법으로 유효한 일로 전환시킬 수 있는가 하는 연구는 앞으로도 계속 진행되어야 할 것이다.

이에 대한 연구 동향을 보면, 자동차 기관의 냉각 문제의 연구는 발열측의 면(기관 발열량, 기관내부 온도 등)에서와 방열측(라디에이터 방열성, 통풍성 등)이 연구되고 있으며, 종래에는 라디에이터의 방열성의 연구<sup>1,2)</sup> 및 차체의 통풍성의 연구<sup>3)</sup> 등 방열측에 관하여 주로 많이 여러 연구자에 의하여 연구되어 왔다. 자동차 기관에 있어서 냉각손실에 관한 연구<sup>4)</sup>는 방열량에 영향을 미치는 인자로서 흡기압력 및 온도, 혼합비, 압축비, 점화시기

등으로 관련되어 주로 기관 내부 연소에 미치는 인자가 관련되어져 발표<sup>1,2)</sup>되었다.

그러나, 실용 자동차용 기관의 냉각수 온도 변화에 따라서 기관성능 특히, 연소특성이나 배기조성에 미치는 영향에 대하여는 명확한 연구가 이루어지고 있지 않다.

따라서, 기관에서 냉각수의 온도가 기관성능과 배기가스에 미치는 영향을 조사하기 위하여 냉각수 온도를 별도의 폐쇄회로로 조정하고, 배기관(Exhaust Manifold)에서 유해 배기가스를 측정하였다. 동력계에서 스톱 밸브의 개도 및 기관 회전속도를 조정하여 냉각수 온도를 변화시켜 실험을 수행하였다. 이때에 기관에 공급되는 혼합기의 공기 연료비는 일정하게 조정하고, 점화시키는 MBT (Minimum spark advance for Best Torque)로 하였다. 냉각수의 온도는 기관의 전후와 내부 및 별도의 폐쇄회로에 대하여 K-형 열전대를 사용하여 측정하였다.

이 결과로부터 본 연구에서는 냉각수 온도가 기관성능, 연소실내 연소 및 배기가스에 미치는 영향을 검토하여 냉각수 온도 조절 장치의 적정 운전시기를 포함한 기관 설계에 필요한 냉각수 최적의 기본자료를 구하고자 한다.

## 2. 실험장치 및 방법

### 2.1 기관성능 실험장치의 구성

Fig.2 에는 본 연구에 사용된 기관성능 실험장치의 전체 구성도를 표시하였다.

#### 2.1.1 기관성능 실험 시스템

##### (1) 기관, 동력계 및 가스 분석기

기관성능 실험용 실험 기관은 4기통 4사이클 가솔린 기관이며, 동력계는 와전류식 전기 동력계이다. Table 1 은 실험 기관의 세원을 나타내며, Table 2 는 동력계의 제원이다. 배기가스의 측정은 비분산형 적외선 가스분석법(NDIR) 방식의 CO, HC 측정기와 화학 발광 측정법(CLD) 방식의 NOx 분석기를 사용하였다.

##### (2) 흡기량 측정

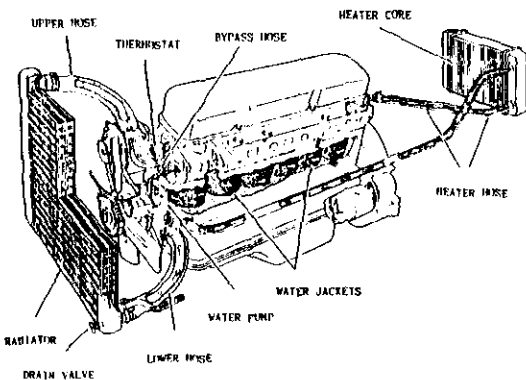


Fig.1 Cooling system of automobile engine

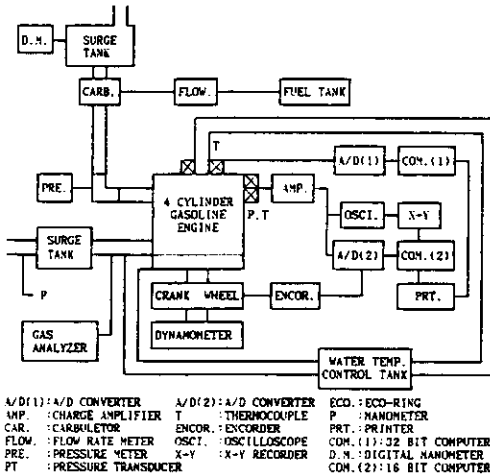


Fig. 2 Schematic diagram of experimental apparatus.

Table 1 Specification of experimental engine.

ITEM	SPECIFICATION
Type	Water cooled 4 cycle 4 cylinder gasoline engine
Bore × Stroke (mm)	73 × 68
Displacement (cc)	1138
Position of valve	Over head valve
Compression ratio	8.0 : 1
Maximum torque (kg · m/rpm)	7.4/2.100
Maximum output (Ps/rpm)	29.9/3.070
Ignition order	1-3-4-2
Spark timing	8°/600 rpm BTDC

Table 2 Specification of engine dynamometer.

ITEM	SPECIFICATION
Type	Electro dynamometer
Form	Water cooled eddy current
	Electro dynamometer
Maximum absorbing power	100 PS
Maximum absorbing	7000 rpm
Rotational speed	
Tachometer	Electro tachometer
Brake arm length	0.3591 m

공기와 연료의 혼합비를 구하기 위하여 실제 기관내로 흡입되는 공기의 양은 흡기관 앞에 서지 탱크를 부착하고, 서지 탱크의 입구에 동근 노즐을 설치하여 오리피스 전후의 압력차를 디지털 마노미터로 측정하고, 다음과 같은 식으로 계산하였다.

$$G_o = \alpha \times \epsilon \times \frac{\pi}{4} \times d^2 \times \sqrt{2 \times g \times r_a \times (P_1 - P_2)} \quad (1)$$

$$\text{단, } r_a = r_N \times \frac{P_a - P_w}{760} \times \frac{273}{273 + \theta} \times \varphi \times r_w$$

$\alpha$  : 유량계수 (동근노즐 : 0.822)

$\epsilon$  : 압축성 계수를 비압축성 계수로 환산했을 경우 계수

- $g$  : 중력가속도(m/sec<sup>2</sup>)
- $d$  : 노즐의 내경(m)
- $\rho_a$  : 실온에서의 습공기의 비중량(kg/m<sup>3</sup>)
- $\rho_N$  : 0°C, 760mmHg에서 건공기의 비중량
- $\rho_w$  : 실온에서의 수증기의 비중량
- $\phi$  : 실온에서의 상대습도(%)
- $P_1 - P_2$  : 노즐부에서의 압력차(mmHg)

(3) 연료 유량 측정

순간 연료유량 측정장치를 사용하여 기관내에 유입되는 연료 유량을 측정하였고, 순간 연료소비량의 측정에 의하여 기관출력 측정과의 관계로 연료 소비율을 구하였다.

(4) 냉각수 유량 측정

냉각수 유량 측정은 Fig.3과 같은 시스템 구성과 전자기 유도 센서를 갖는 유량계(UPC 608- Validyne Engineering Corp.)를 사용하였으며, 유량은 다음 식으로부터 구한 전압으로부터 계산하였다.

$$E = kBDV \quad (2)$$

여기서,  $E$  : 유도전압,  $k$  : 페러데이 상수(Faraday's Constant),  $B$  : 자기장 강도,  $D$  : 자기장 유로관의 폭,  $V$  : 전도체의 속도이다.

(3) 기관 회전속도

기관 회전속도는 디지털 타코미터(Digital tachometer)를 사용하여 측정하였다.

2.1.2 냉각수 시스템

(1) 냉각수 온도 측정 시스템

본 실험의 냉각수 온도는 Fig.4에 표시한

온도측정 장치를 사용하였으며, 온도센서로는 열전대(K형)을 사용하였다. Fig.4는 냉각수 온도를 측정하기 위한 시스템의 구성을 나타낸 것이다.

(2) 냉각 시스템의 구성

Fig.5는 본 실험의 냉각 시스템 실험장치

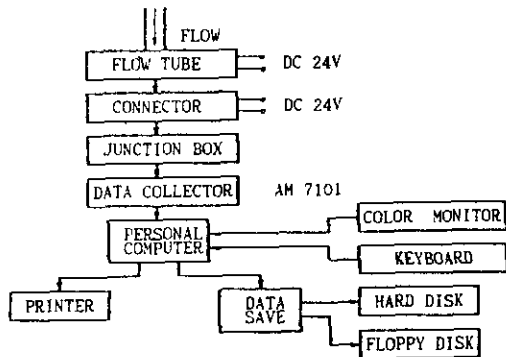


Fig.3 Block diagram of flow meter system.

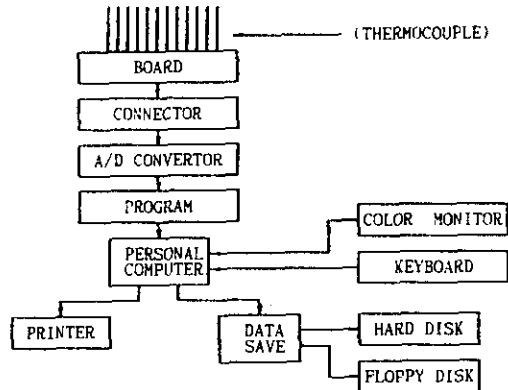


Fig.4 Block diagram of temperature measurement system.

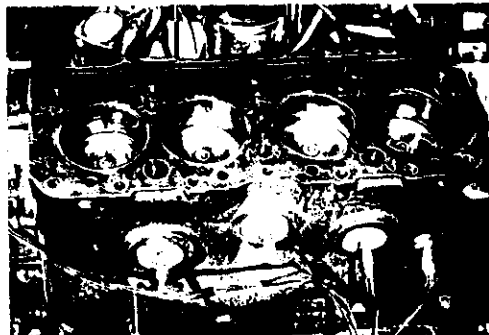
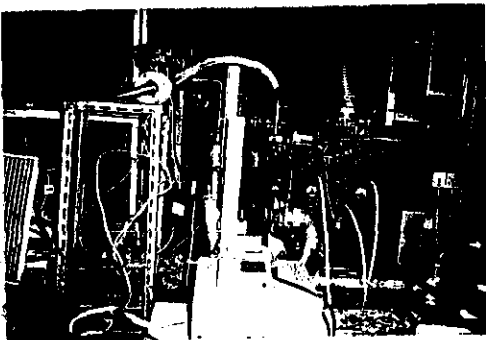


Fig.5 A photograph of experiment equipment.

및 구성을 나타낸 사진이다. Fig.6은 본 실험에 사용된 냉각수 유량 조절 장치인 수온 조절기의 개요도를 표시하였다.

Fig.7은 이 수온 조절기의 온도에 따른 밸브 개폐의 스트로크를 표시한 특성 선도로 82°C에서 열림이 시작되어 91°C 부근에서 전개되고, 닫힘에 대하여는 열릴때에 비하여 빠른 동작의 특성을 갖음을 보여주고 있다.

(3) 냉각수 온도 측정위치

본 실험에서는 실린더 블럭 헤드 부위 단면 내의 냉각수 온도의 변화를 조사하기 위하여 Fig.8에서 보는 것과 같이 12개소 위치의 유로내에 열전대를 장착하였다. 열전대는 유

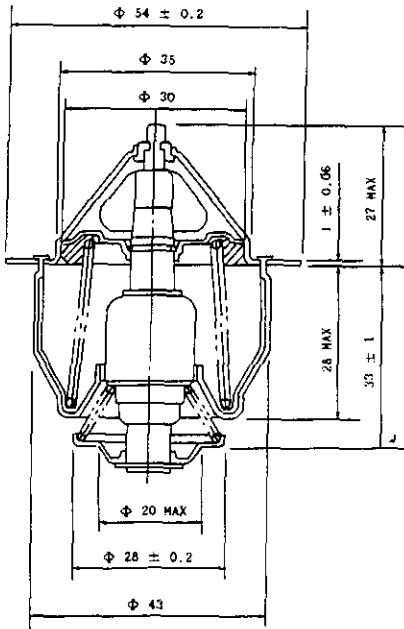


Fig.6 The thermostat used in experiment.

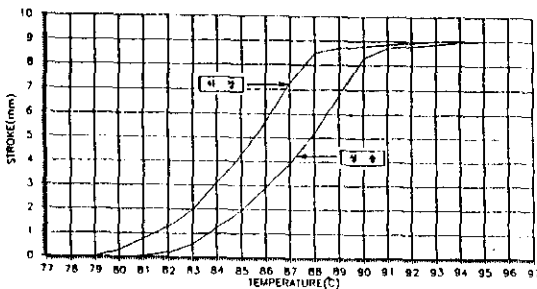


Fig.7 Temperature-stroke diagram of the used thermostat.

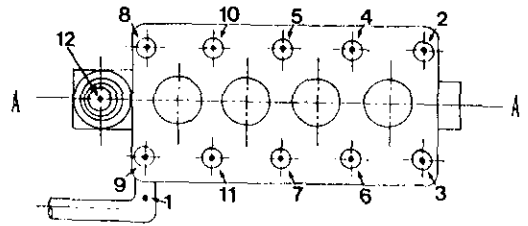


Fig.8 Measuring positions of cooling temperature (A-A 단면)

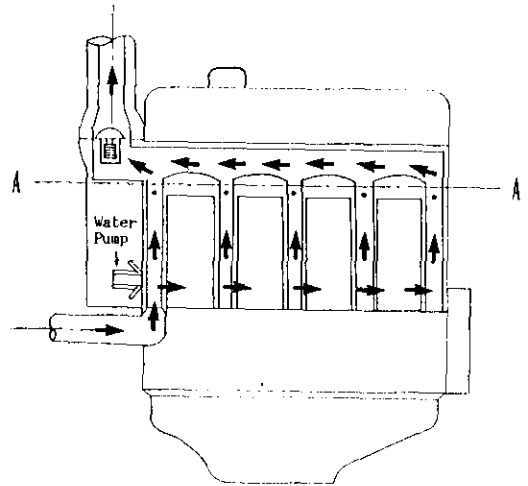


Fig.9 A flow of cooling water in cylinder block.

로 벽면에 접촉되지 않도록 유로통로 중앙에 얇은 지지선을 이용하여 설치하였다. 실린더 블럭내의 냉각수 온도 측정위치는 Fig.8과 같으며, 유로의 흐름 방향의 개략도는 Fig.9와 같다.

### 3. 실험결과 및 검토

#### 3.1 기관 성능

3.1.1 냉각수 온도에 따른 출력 성능변화  
Fig.10과 Fig.11에는 냉각수 입구 온도를 변화시켰을 경우 토크의 변화를 표시한 것이다. 그림에서 보는바와 같이 냉각수 입구 온도 변화에 대하여 각 기관 회전속도에 따른 토크의 변화는 냉각수 온도 변화에는 거의 무관하게 나타나고 있으며, 이는 냉각수 온도의 변화가 토크 측정 변화의 정도 만큼 크게 영향을 미치고 있지 않음을 알 수 있다.

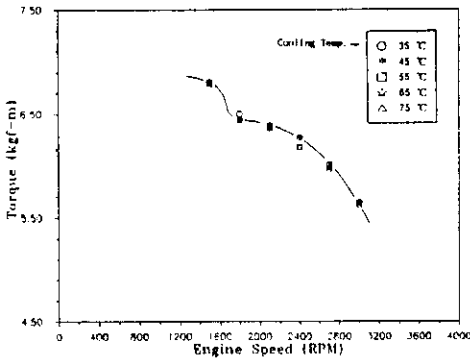


Fig. 10 Torque-temperature diagram at 25% throttle opening degree.

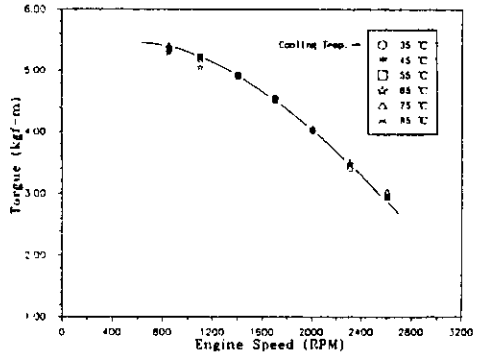


Fig. 11 Torque-temperature diagram at 50% throttle opening degree.

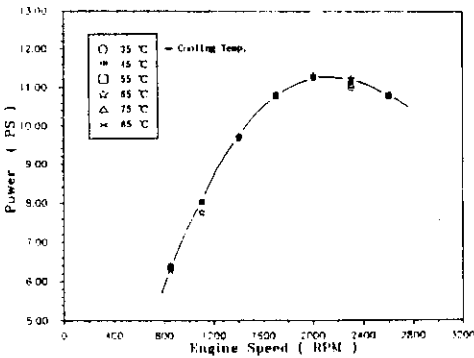


Fig. 12 Power-temperature diagram at 25% throttle opening degree.

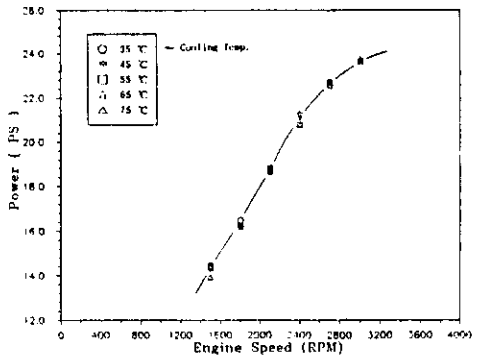


Fig. 13 Power-temperature diagram at 50% throttle opening degree.

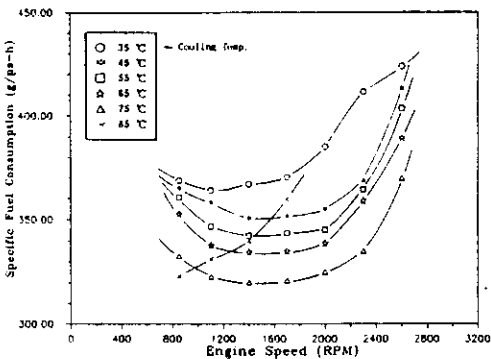


Fig. 14 Fuel consumption-temperature diagram at 25% throttle opening degree.

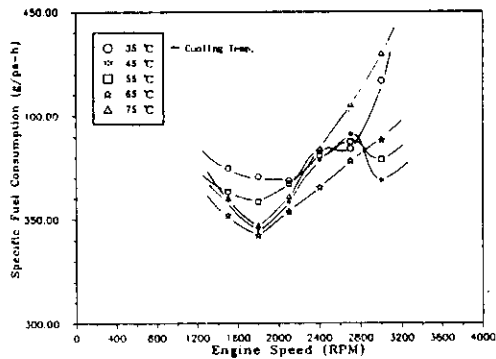


Fig. 15 Fuel consumption-temperature diagram at 50% throttle opening degree.

또한, Fig. 12, Fig. 13에는 각각의 스톱클 벨브개도 25%, 50%인 경우의 냉각수 입구 온도 변화에 대하여 각 기관 회전 속도에 따른 축출력의 변화를 표시한 것으로 그림에

서 보면, 일정한 회전속도에 대하여 냉각수 입구 온도변화에 대한 축출력 변화는 토크 변화와 마찬가지로 냉각수 입구의 온도가 거의 영향을 미치지 못함을 알 수 있다.

Fig.14. Fig.15에는 냉각수 입구온도 변화에 대한 연료 소비율을 표시한 것으로서 각각 스로틀 밸브 개도 25%, 50%인 경우를 표시하였다. 그림에서 보는 바와 같이 냉각수 온도가 높을 수록 연료 소비율은 감소하는 경향이 나타나고 있음을 알 수 있고, 연료 소비율에 대하여는 냉각수 입구 온도 변화에 큰 영향을 받는 것으로 나타나고 있다.

3.1.2 냉각수 온도에 따른 배출가스 성분 농도 변화

Fig.16과 Fig.17에는 냉각수 입구 온도 변화에 대한 CO, HC 배출가스의 농도 변화를 표시한 일 예이다. 그림에서 스로틀 밸브 개도가 25%, 50%인 경우에 전 회전속도 범위에서 CO (%)가스는 냉각수의 입구 온도의 증가에 따라 감소하며 기관 회전 속도가 증

가할 수록 이에 비례하여 증가함을 알 수 있다. HC (ppm)가스에 대하여도 CO 가스와 비슷한 경향을 나타내고 있음을 알 수 있다.

따라서, 자동차에서 배출되는 배기가스 중에서 특히 CO, HC가 냉각수 입구 온도의 변화에 따라서 영향을 받고 있으며, 냉각수 입구 온도가 높을 수록 감소하고 있음을 알 수 있다. 이는 냉각수의 온도가 증가함에 따라 연소실 내의 가스의 증발 및 혼합을 촉진하게 되어, 연소효율이 증가하는 것으로 생각된다.

3.2 냉각수의 유량 변화

3.2.1 기관 회전속도 및 냉각수 온도에 따른 유량변화

Fig.18과 Fig.19에는 냉각수의 유량 변화

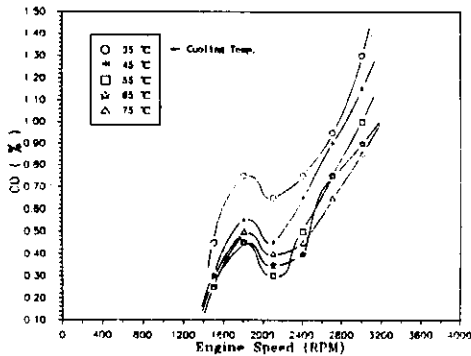


Fig.16 CO-temperature diagram at 50% throttle opening degree.

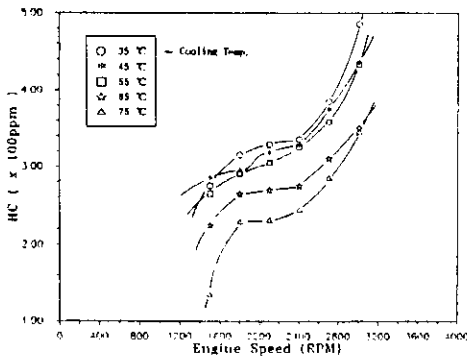


Fig.17 HC-temperature diagram at 50% throttle opening degree.

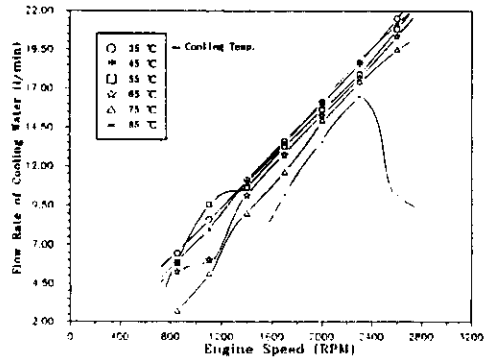


Fig.18 Flow rate-temperature diagram at 25% throttle opening degree.

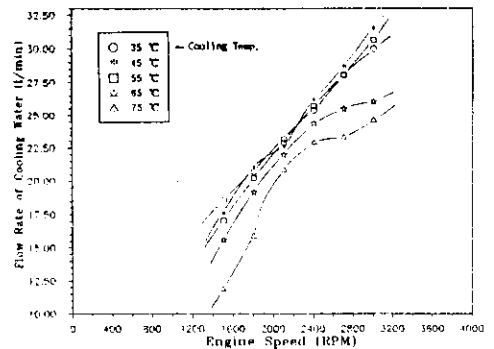


Fig.19 Flow rate-temperature diagram at 50% throttle opening degree.

를 표시한 것이다. 냉각수 입구 온도 변화와 기관 회전속도 증가에 따른 냉각수 유량 변화를 보게되면, 냉각수 입구 온도가 높을 때 보다 낮을 때가 같은 기관 회전속도에서 많이 흐름을 알 수 있다.

이는 기관 내에서 온도가 높아짐에 따라 냉각수가 비등하는 성질 때문에 비체적인 증가로 인해서 유량의 감소를 초래하는 것이라 할 수 있다.

특히, Fig.18에서 보는바와 같이 냉각수 입구 온도가 85℃, 기관 회전속도 2700rpm에서 냉각수 유량이 급격히 감소하는데, 이것은 전술한 바와같이 냉각수의 비등에 기인한 것으로 생각된다.

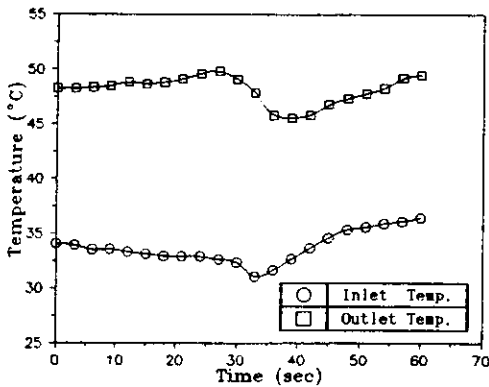


Fig. 20 Temperature variations of inlet and outlet for 60 sec. at 50% throttle opening degree at 1500 rpm.

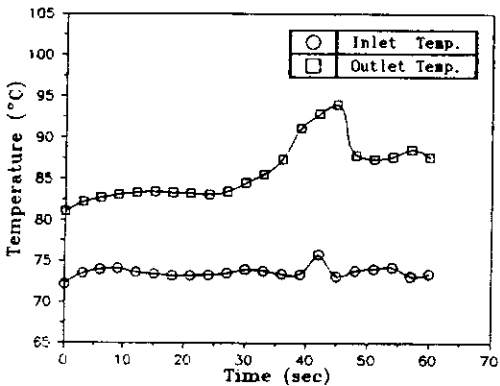


Fig. 21 Temperature variations of inlet and outlet for 60 sec. at 50% throttle opening degree at 3000 rpm.

### 3.3 냉각수의 온도 변화

#### 3.3.1 실린더 주위의 냉각수 온도 변화

Fig.20, Fig.21은 실린더 헤드의 냉각수 온도 변화를 냉각수 입구와 출구에 대해서 1초에 200개의 측정치를 검출하여 나타낸 그림이다.

Fig.22, Fig.23은 실린더 헤드 부분의 냉각수 온도 변화를 입구 온도를 기준으로 나타낸 것이다. 1번은 기관 입구 직전의 냉각수가 통과하는 위치이고, 12번은 기관 출구 직후의 냉각수가 통과하는 위치를 나타낸다.

따라서, 그림에서 알 수 있듯이 기관내에서 5번의 측정 위치에서부터 온도가 증가하는

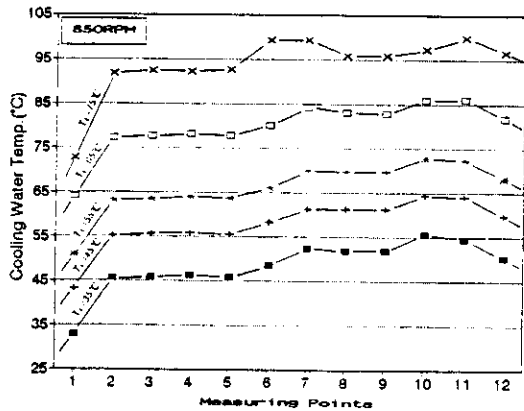


Fig. 22 Temperature variations between inlet and other points at 25% throttle opening degree, 850 rpm.

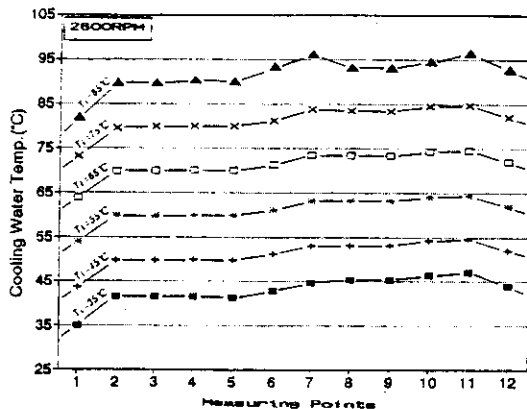


Fig. 23 Temperature variations between inlet and other points at 25% throttle opening degree, 2600 rpm.



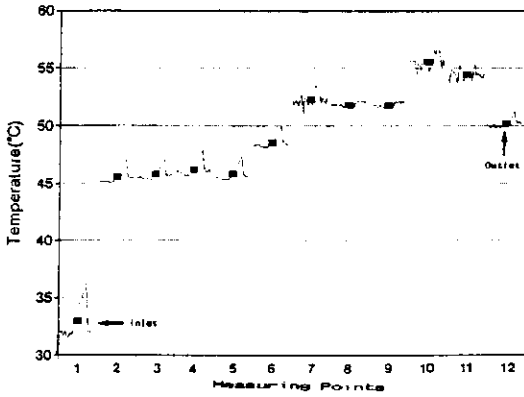


Fig.24 Temperature distributions at 12 points in 25% throttle opening degree, 850 rpm .

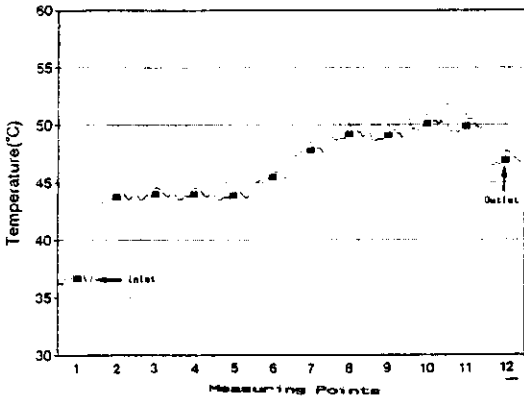


Fig.25 Temperature distributions at 12 points in 50% throttle opening degree, 3000 rpm.

것이 나타나며, 출구쪽으로 갈수록 높게 증가하는 경향을 나타내고 있다. 특히, 측정 위치 8, 9번이 10, 11번보다 낮은 온도 분포를 나타내는데, 이는 기관내의 냉각수 유로에서 냉각수 흐름의 영향을 받고 있는 것으로 기인된다.

전 운전 범위에서도 이러한 경향은 동일하며, 각 냉각수 입구 온도에 대하여 출구온도는 약 $10^{\circ}\text{C}$ 의 증가를 나타내고 있다. 한편 부하가 커지게 되면, 입구쪽의 온도와 출구쪽의 온도차이가 커짐을 알 수 있다. 특히, 입구온도가 고온인 경우에 낮은 기관 회전속도에서 입·출구 온도차가 크게 나타나고 있는 원인

은 이때에 냉각수 순환량이 크게 감소하는데 기인한다.

Fig.24, Fig.25는 일정시간 동안에 밸브개도 50%, 냉각수 입구 온도가  $35^{\circ}\text{C}$ 일 때의 기관 회전속도에 따른 출구 온도의 변화를 나타낸 것이다.

그림에서 보는 바와 같이 냉각수 입구 온도 변화에 따라서, 출구 온도의 변화가 밀접한 관계가 있음을 알 수 있고, 온도차는 약  $10^{\circ}\text{C}$ 를 나타내고 있으며, 밸브 개도가 적은 경우에도 50% 일때와 같은 경향을 나타낸다.

#### 4. 결 론

자동차용 가솔린 기관의 냉각수 온도가 기관 성능에 미치는 영향을 조사하고, 냉각수의 온도를 알맞게 조절하기 위한 최적 제어용 기초 자료를 얻기 위한 실험적 연구이다.

(1) 기관의 회전 속도와 스로틀 밸브 개도가 일정할 때 기관의 토크와 축출력은 냉각수 온도 변화에 크게 영향을 받지 않았으나, 연료 소비율, 배기가스 중의 일산화탄소, 탄화수소 배출농도, 냉각수 유량은 냉각수 온도 변화에 크게 영향을 받는다.

(2) 기관내의 냉각수 온도 분포는 기관 실린더 블럭의 위치에 따라서 큰 차이가 있으며, 기관의 입구와 출구 사이의 온도차는 전 운전 범위에서 약  $10^{\circ}\text{C}$ 의 온도차이가 있었다.

(3) 기관의 냉각수 출구의 온도는 냉각수 출구쪽으로 향하면서 점차 증가하며, 출구의 수온 조절기 직전에서 수온이 약  $3\sim 5^{\circ}\text{C}$ 가 높은점이 존재 하였다.

#### 후 기

본 연구는 1990년도 산학협동재단의 지원과 공화금속(주) 연구소의 협조로 수행되었으며, 관계 제위께 감사드립니다.

#### 參 考 文 獻

1. 山岸謙一, 星滿; "4사이클 水冷ガソリ

- ン機関 放熱量 についての研究(第1報)", 内燃機関, Vol. 12. No. 141. pp.21-29. 1973. 8.
2. 山岸 謙一, 星 滿; "4サイクル 水冷ガソリン機関 放熱量 についての研究(第2報)", 内燃機関, Vol. 12. No. 142. pp.11-22. 1973. 9.
3. 星 滿, 今井孝男; 自動車 エンジンの熱管理 入門(8)", 内燃機関, Vol. 17. No. 208. pp. 87-93. 1978. 4.
4. Frank G. Tenkel; "Computer Simulation of Automotive Cooling System", SAE Paper, 740087. pp.422-432.
5. 星 滿, 今井孝男; "自動車 エンジンの熱管理 入門(1)", 内燃機関, Vol. 16. No. 200. pp. 43-47. 1977. 9.
6. 星 滿, 今井孝男; "自動車 エンジンの熱管理 入門(4)", 内燃機関, Vol. 16. No. 204. pp.48-56. 1977. 12.
7. 星 滿, 今井孝男; "自動車 エンジンの熱管理 入門(5)", 内燃機関, Vol. 17. No. 205. pp. 65-72. 1978. 1.
8. Willam. H. Crouse, Donald. L. Anglin; "Automotive Mechanics", Ninth Edition, pp.224-235.
9. 林 洋; "自動車用 内燃機関 冷却水系の問題点", 内燃機関, Vol. 3. No. 25. pp. 61-66. 1964. 7.
10. 岡元敏治, 佐藤滋, 金子和弘; "サーモスタット", 内燃機関, Vol. 7. No. 72. pp. 89-95. 1968. 6.
11. 星 滿, 今井孝男; "自動車 エンジンの熱管理 入門(7)", 内燃機関, Vol. 17. No. 207. pp.80-86. 1973. 3.