

## 가솔린엔진의 냉각계 유로 변경을 통한 금속면 온도 및 전열에 관한 실험적 연구

### An Experimental Study on the Metal Surface Temperature and Heat Transfer by Improving Gasoline Engine Cooling Passages

이재현\*, 류택용\*, 신승용\*, 최재권\*  
Jaehoon Lee, Taekyong Ryu, Seungyong Shin, Jaekwon Choi

#### ABSTRACT

Metal surface temperatures around the combustion chamber in a gasoline engine directly affect thermal durability and performance of the engine. Metal surface temperatures are influenced by many cooling factors such as drilled water passage, deflector, combustion chamber wall thickness, pillar, and coolant flow pattern. The object of this study is to learn how the coolant passages and coolant flow pattern in an engine influence to the engine metal surface temperature at engine full load and speed. From the test result, it is suggested a plan to reinforce the engine stiffness and to reduce the thermal stress simultaneously. Also, approaches are introduced to reduce the thermal load on the engine by adjusting the discharging direction from the water pump and by optimizing the water transfer holes in the cylinder head gasket. These methods and the optimized engine cooling system, which were suggested in this paper, were adapted for an engine in progress to eliminate the exhaust valve seat wear.

주요기술용어 : Metal surface temperature(금속면 온도), Wall thickness(벽면 두께), Coolant flow pattern(냉각수 흐름 형상), Wear of exhaust valve seat(배기밸브 시트의 마모), Engine cooling system(엔진 냉각계), Thermal durability(열적 내구성)

#### Nomenclature

$q''$  : 열유속 [ $W/mm^2$ ]  
 $k$  : 열전도계수 [ $W/m \cdot C$ ]  
 $F$  : 열유속계수 [ $W/mm^2 \cdot (hr \ mm^2/g)n$ ]  
 $G$  : 연료소모량 [ $g/hr$ ]  
 $A_p$  : 피스톤면적 [ $mm^2$ ]

#### 1. 서론

승객보호 및 편의를 위한 여러 안전장치와 보조장치가 새롭게 개발되어 차량에 부착되어 차량무게가 점점 증가됨에 따라, 가솔린엔진은 고출력, 저연비화라는 방향으로 지속적으로 개발되고 있다. 가솔린엔진의 고출력, 저연비화는 가솔린직접분사, 희박연소, 가변흡기계와 가변밸브 타이밍 등 주로 연소와 밸브타이밍 최적화로 발전되어 왔으며, 최근에는 피스톤 등 무빙(Mov-

\* 회원, 현대자동차 파워트레인연구소

ing) 시스템의 최적화, 특히 전자제어 흡·배기 밸브 적용을 통해 마찰저감을 도모하고 있다.

아울러, 엔진냉각계 분야에서도 연비 및 성능 향상을 위한 연구로서, 실린더헤드의 금속면 온도를 낮게 제어하여 DBL(Detonation Border Line) 이 MBT(Minimum Spark Advance for Best Torque)에 선행하는 엔진속도 구간에서 노크발생을 억제하여 점화시기를 앞당겨 연비개선 효과 및 충전효율을 높일 수 있는 MBT 제어기법에 대한 연구가 수행되었다.<sup>1)</sup> 그렇지만, 엔진 전체의 금속면 온도를 낮게 제어할 경우, 실린더블록에서는 마찰손실(Friction Loss) 증대와 소염(Quenching) 효과 증대로 연비 악화 및 THC 배출량을 증대시키므로,<sup>2)</sup> 엔진성능 증대 및 배기가스 배출 저감이라는 관점에서 실린더헤드의 온도는 낮게, 실린더블록의 온도는 상대적으로 높게 제어하는 것이 바람직하다. 이러한 개념을 도입한 것이 분리냉각 및 실린더헤드 선행냉각이다. 그리고, 최근에는 연비향상 및 배기가스 저감을 달성하기 위해 엔진제어유니트(ECU)의 연료량/점화시기 신호에 따라 수온조절장치의 최적 개폐변위를 직접적으로 제어하는 전자제어 써모스탯(Electric Controlled Thermostat)에 대한 연구가 활성화되고 있다.

위와 같은 가솔린엔진의 고출력화, 연비향상 및 배기가스 배출저감에 대한 연구가 최근까지 지속적으로 진행되면서, 엔진 냉각계를 통한 엔진 내구성 확보는 엔진성능 증대의 선결조건으로 부상하였다. 엔진 내구성을 확보하기 위해서는 엔진 금속면 온도를 좀더 세밀하게 제어하여야 하는데, 그렇지 않을 경우, 엔진에서 심각한 문제가 야기 될 수 있다. 예를 들어, 밸브 협각화를 통해 엔진의 성능을 증대한 경우, 연소실과 물자켓까지의 열전달 경로가 증대되므로, 실린더헤드 밸브시트의 편마모 및 밸브파손이 발생할 가능성이 있다. 실린더블록에서는 엔진경량화 요구에 따른 사이아미즈(Siamese) TRR(Top Ring Reversal) 부위에서는 발열량에 비해 전열면적이 작으므로, 심한 열부하에 의한 보어변형(Bore

Distortion)의 원인이 될 수 있다.<sup>3)</sup> 또한, 실린더블록의 TRR 부위는 피스톤의 직접적인 열전달 경로가 되므로 이 부분의 금속면 온도를 저감시키지 못하면 피스톤의 재질 강도와 내마모성을 떨어뜨림은 물론이고 카본 디포짓 형성량을 증가시켜 링고착을 유발하게 된다. 그러므로, 성능향상과 내구성 확보라는 두 가지 목적을 동시에 만족시키기 위해서, 실린더헤드의 온도는 낮게, 실린더블록의 온도는 상대적으로 높게 제어하는 수준에서 그쳐서는 안되고, 엔진 냉각계 각 부위의 특성과 열전달 경로를 배려한 정확한 금속면 온도 분포 특성을 확보하여야 한다.

따라서, 본 연구에서는 엔진 열부하에 직접적으로 영향을 미치는 금속면 살두께에 대한 영향을 기본적으로 고찰하고, 실린더 헤드 열부하 개선 및 강성보강을 위해 널리 이용되는 설계기법에 대한 금속면 온도 영향을 파악하는데 주목적이 있고, 이에 따른 열부하 및 냉각성능을 고찰하고자 한다. 열부하 저감 및 엔진강성 보강을 위한 설계기법으로서 첫째, 국부적으로 금속면 온도가 높은 지역의 냉각을 위하여 도입된 드릴 가공 물통로(Drilled Water Passage) 및 유동변이 칸막이(Deflector)가 있으며, 둘째, 실린더헤드의 강성보강을 위해 설치되는 물자켓 기둥(Pillar), 셋째, 실린더헤드 및 실린더 블록의 냉각수 유동 강도 및 순환방향 등이 있다.

## 2. 실험장치 및 실험방법

### 2.1 실험장치

본 실험 장치의 개략도는 Fig. 1에 나타나 있는 바와 같이, 실차 라디에이터 시스템과 오일냉각기가 연결된 엔진과 데이터 취득 시스템(Data Acquisition System)으로 구성되어 있다. 또한, 엔진의 연료소비율을 측정하기 위해서 Onosokki사의 FX-203P 중량 유량계(Gravity Flow Meter)를 사용하였다. 라디에이터 시스템에는 샤워(Shower)가 설치되어 있어, 샤워의 물량조절을 통하여 엔진 냉각수 온도를 제어할 수 있도록 하였으며, 오

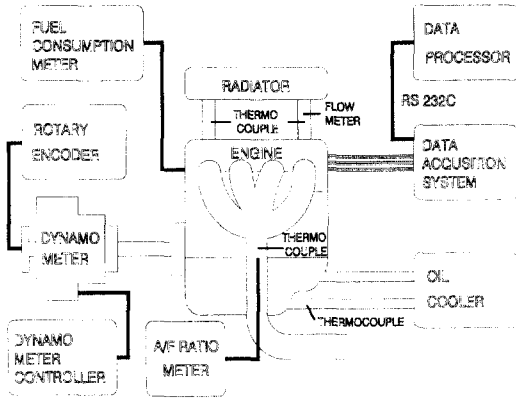


Fig. 1 Schematics of experimental setup

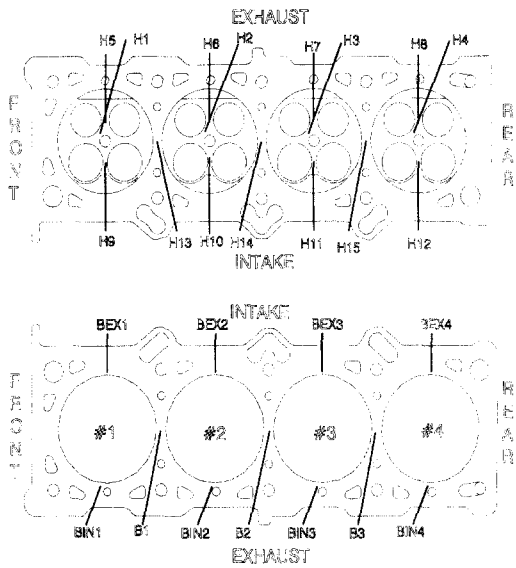


Fig. 2 Location of thermocouples

일냉각기(Oil Cooler)는 오일온도를 제어하기 위하여 사용되었다. 냉각수와 엔진오일 온도는 엔진의 입출구에 Sheath형 1.6mm T-Type 열전대를 장착하여 측정하였고, 엔진 금속면 온도를 측정하는 1.6mm K-Type 열전대를 사용하였고, 그 측정 위치는 Fig. 2 에 나타내었다.

실린더헤드 금속면 온도는 열부하를 가장 많이 받는 곳으로 알려진 점화 플러그와 배기밸브 시트 사이 4곳을 측정하였고, 그 밖에 배기밸브 브릿지 사이, 흡기밸브 브릿지 사이 각각 4곳과

Table 1 Specifications of test engine

	2.0l Eng.	2.2l Eng.
Type	I4	I4
Stroke volume(cc)	1975	2154
Bore(mm)×Stroke(mm)	82×93.5	84.5×96
Compression ratio	10.3	10.0
Valve mechanism	DOHC	DOHC
Coolant	50% Antifreeze	50% Antifreeze

연소실 사이 3곳을 측정하였다. 실린더블록 온도는 연소실 주위의 흡기와 배기쪽 TRR부위 각각 4 곳 및 사이아미즈 TRR 부위 3곳에서 측정하였다. 여기서 실린더 헤드 연소실 사이 및 실린더블록 사이아미즈 TRR 각각 3지점을 제외한 모든 지점의 온도는 연소실 1mm 전의 금속면 온도이다.

본 실험에 사용된 엔진은 현대자동차의 2.0 l 급과 2.2 l 로서, 각 엔진에 대해 유동가시화 및 온도 측정 실험을 수행하였다. 엔진의 제원을 Table 1 에 나타내었다.

## 2.2 실험방법

본 실험은 엔진회전속도를 2000rpm에서 6000 rpm까지 1000rpm 단위로 증가시키며 이루어졌다. 엔진출구 냉각수온도와 엔진입구 오일온도는 각각 90°C로 제어하였다. 공조시스템을 이용해 흡기온의 영향 및 흡기 충전효율 편차를 최소화 하였다.

## 3. 실험결과 및 검토

### 3.1 냉각계 유로 변경이 엔진 금속면 온도에 미치는 영향

#### 3.1.1 금속면 살두께와 열유속

엔진의 열부하 및 열유속은 식(1)의 Fourier 1 차원 열전도식과 같이 엔진의 금속면 살두께와 직접적인 상관관계가 있다. 그런데, 이때의 열유속은 엔진부하 및 엔진속도에 따라 변하므로, 각 운전조건에 따른 열유속을 얻기 위해서는 많은

실험을 반복하여야 한다. 따라서, 엔진운전조건에 독립적인 열유속계수를 포함하는 식(1)의 우변과 같은 경험식을 도입하면,<sup>4)</sup> 엔진의 열부하는 연료소모량에만 종속적인 관계가 되므로 많은 실험횟수를 감소시킬 수 있다. 여기서, n은 첨자로서 가솔린엔진의 경우 0.6이다.

$$\dot{q}'' = k \frac{\Delta T}{\Delta L} = F \left( \frac{G}{A_p} \right)^n \quad (1)$$

6000rpm, WOT, 공연비 13:1의 조건에서 점화플러그와 배기밸브시트 사이지점의 열유속계수를 구하여, 본 실험의 5000rpm, WOT 연료소모량을 적용하였을 때, 열유속 5.53 · k [w/mm<sup>2</sup>]를 얻을 수 있었다. 이는 같은 조건에서 신승용 등<sup>5)</sup>이 이송열전대를 이용하여 직접 열유속을 측정 한 결과인, 5.5 · k [w/mm<sup>2</sup>]의 값에 매우 근접함을 알 수 있다.

### 3.1.2 드릴 가공 물통로의 효과

Fig. 3은 드릴 가공 물통로의 유·무에 따른 실린더헤드의 단면도를 나타내었다. 드릴 가공 물

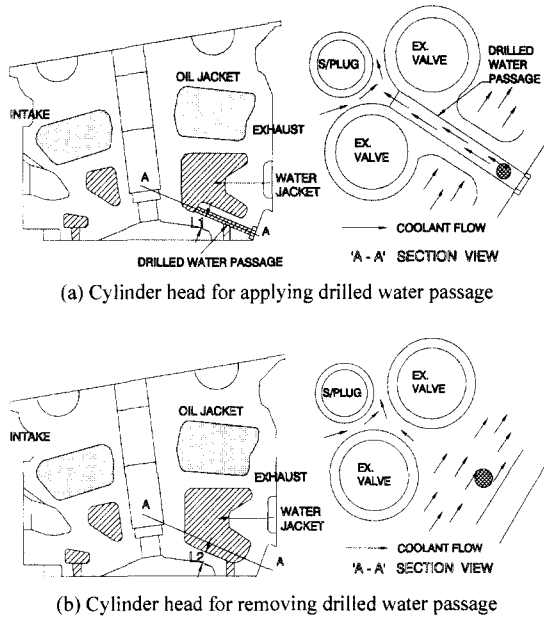
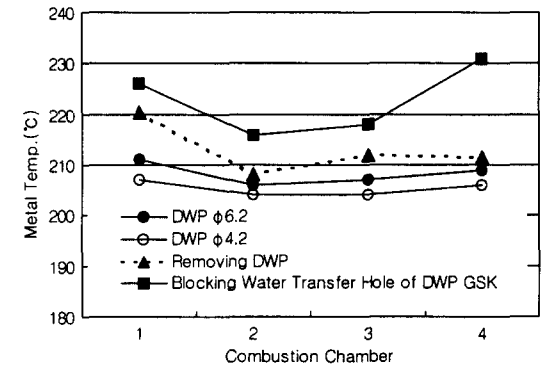


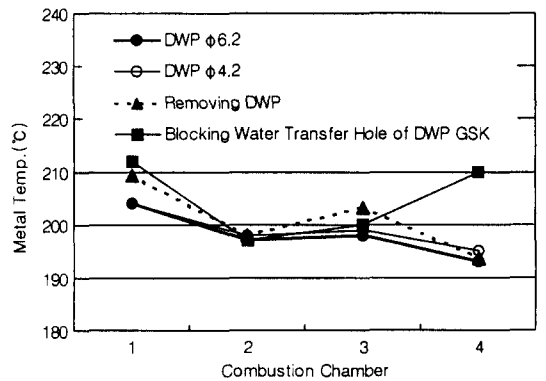
Fig. 3 Cylinder head structure according to drilled water passage existence

통로 적용시의 냉각수 흐름은 실린더블록의 물통로에서 유입된 냉각수를 드릴 가공 물통로를 통하여 점화플러그 보스 주위까지 직접 분출시켜 열부하가 큰 지역을 냉각시키게 되나, 삭제시에는 점화플러그 주위까지 분출되지 않고 곧바로 빠져나가는 구조로 되어 있다. 이때의 유동흐름 묘사는 유동가시화 시험을 통하여 흐름에 따라 표시하였다.

드릴 가공 물통로 직경변화(Ø6.2, Ø4.2), 드릴 가공 물통로가 없는 경우 그리고, 드릴 가공 물통로를 유지하되, 드릴 가공 물통로에 해당하는 실린더헤드가스킷의 물구멍을 막은 조건에 따른 금속면 온도 변화 측정 실험은 2.0 l 급 엔진을 사용하여 6000RPM, WOT, 공연비 13:1의 조건에서 수행하였으며 온도측정결과를 Fig. 4에 나타내



(a) Metal temperature between spark plug boss and exhaust valve seat



(b) Metal temperature between exhaust valve bridges

Fig. 4 Metal temperature by drilled water passage

었다. 여기서 실린더헤드의 점화플러그 보스와 배기밸브시트 사이 및 배기밸브 시트 사이의 급속면 온도를 실린더별로 나타내었다.

드릴 가공 물통로가 적용되어 있지 않은 일반적인 실린더 헤드의 점화플러그 보스와 배기밸브 시트 사이 지점의 실린더별 급속면 평균온도를 기준으로 하였을 때, 드릴 가공 물통로  $\varnothing 4.2$  적용시의 급속면 평균온도는  $8^{\circ}\text{C}$ , 드릴 가공 물통로  $\varnothing 6.2$  경우는  $5^{\circ}\text{C}$  감소하였고, 드릴 가공 물통로 쪽의 실린더헤드가스켓 물구멍을 막은 경우는  $20^{\circ}\text{C}$  증가하였다. 또한, 드릴 가공 물통로가 적용되어 있지 않은 일반적인 실린더 헤드의 배기밸브 시트와 배기밸브 시트 사이 온도를 기준으로 하였을 때, 드릴 가공 물통로  $\varnothing 6.2$ 의 경우  $2^{\circ}\text{C}$ , 드릴가공물통로  $\varnothing 4.2$ 의 경우 약  $1^{\circ}\text{C}$  감소하였고, 실린더헤드 물구멍을 막은 경우는 약  $4^{\circ}\text{C}$  상승하였다.

드릴 가공 물통로 적용시 점화플러그 보스와 배기밸브 시트사이 온도가 저감되는 이유는 드릴가공 물통로에서 체트 형태로 분출되는 고유속의 냉각수가 주유동의 방해받지 않고 점화플러그 보스와 배기밸브 주위의 급속표면을 충분히 냉각시키기 때문으로 판단되며, 직경  $\varnothing 4.2$ 의 경우 냉각수 유속이 증가하여 체트 효과가 증대된다는 것을 알 수 있었다. 일반적으로, 드릴 직경을 축소하면 체트효과가 커지는 반면 열전달 면적이 줄어들고, 냉각수까지 열전달경로는 늘어나는 단점이 있다.

또한, 드릴 가공 물통로 적용시에 배기밸브와 배기밸브 사이의 급속면 온도도 드릴 가공 물통로가 없는 경우에 비해 더 낮게 유지할 수 있는데, 이는 Fig. 3에 나타나 있는 바와 같이 드릴가공물통로 삭제시의 연소실에서 물자켓까지의 살두께 L2보다 드릴가공물통로 적용시의 살두께 L1을 더 얇게 유지시켜 열전달경로를 짧게 할 수 있기 때문이다. 마찬가지로, 드릴가공물통로의 실린더헤드가스켓의 물구멍을 막은 경우, 급속면 온도가 급격하게 상승하는데, 이는 드릴가공물통로 내의 냉각수가 정체되어 열전달 효과

가 감소하기 때문이다.

위의 결과로부터 엔진운전시 헤드볼트 축력에 의한 정적응력과 연소압 및 밸브트레인의 동적응력, 그리고 연소열에 의한 열응력을 합해 부하를 가장 많이 받는 곳이 스파크 플러그와 배기밸브 사이 부근인데, 이곳의 강성을 보강하기 위해 살두께 증대 등을 피하게 되면, 이에 따라 증대되는 열부하를 줄이기 위해 드릴 가공 물통로를 적용하는 것이 바람직하다.

### 3.1.3 유동변이 칸막이(Deflector) 및 물자켓 기둥(Pillar)의 효과

실린더헤드의 유동변이 칸막이의 적용이 급속면 온도에 미치는 영향을 파악하기 위해 Fig. 5와 같은 물자켓 형상에 따른 급속면 온도 영향 측정 실험과 실린더헤드의 강성을 보강하기 위해 Fig. 6에 나타나 있는 바와 같이 물자켓 내부의 Bottom Deck과 Middle Deck을 연결시키는 사각 물자켓기둥의 유무에 따른 급속면 온도 측정 실험을 각각 2.0 l, 2.2 l 엔진을 이용하여 6000 RPM, WOT, 공연비 13:1의 조건에서 실험을 수행하였고, 그 결과를 Fig. 7에서 나타내었다.

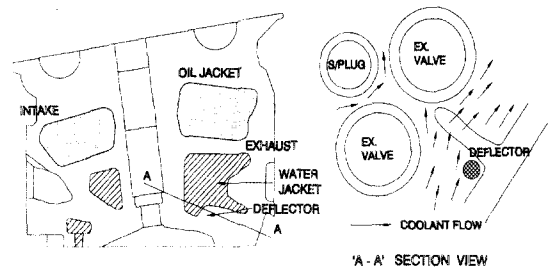


Fig. 5 Cylinder head view with deflector

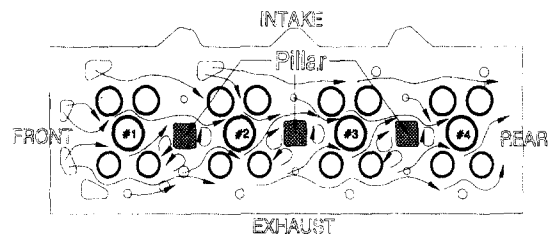
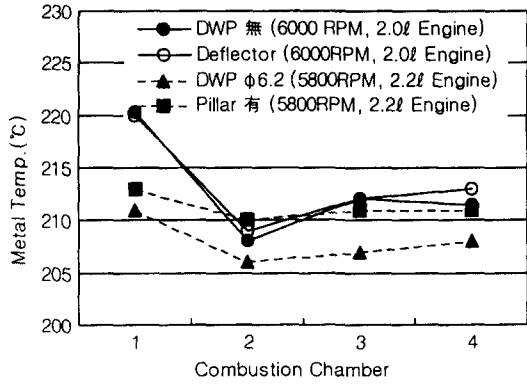
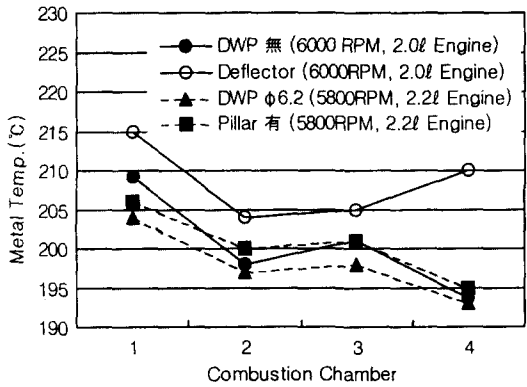


Fig. 6 Cylinder head water jacket with pillar



(a) Metal temperature between spark plug boss and exhaust valve seat



(b) Metal temperature between exhaust valve bridges

Fig. 7 Comparison of metal temperature with deflector and pillar

실험결과, 드릴가공물통로를 적용하지 않은 일반적인 실린더헤드의 금속면 온도를 기준으로 할 때, 유동변이칸막이 적용시 실린더헤드의 점화플러그 보스와 배기밸브 사이 실린더별 평균 온도는 약 1°C, 배기밸브와 배기밸브 사이 금속면 평균온도는 약 6°C 정도 오히려 상승하여, 이러한 형태의 유동변이 칸막이는 금속면 온도 저감 효과가 없는 것으로 나타났다. 이는 낮은 유동변이칸막이 적용으로 인해 냉각수의 흐름이 점화플러그와 배기밸브 사이까지 도달하지 못한 채 유동변이칸막이의 상부 쪽으로 빠져나가 열전달효율이 나쁠 뿐만 아니라, 배기밸브 위의 금속면 살두께(연소실에서 물자켓까지)가 증가하여 열전달 경로가 증가했기 때문이다.

한편, 드릴 가공 물통로가 적용된 실린더헤드의 냉각계 내에 물자켓기둥을 적용할 때, 점화플러그 보스와 배기밸브 시트사이의 금속면 온도를 각각 3°C 증대시켰다. Fig. 6에 나타나 있는 바와 같이 사각형태의 물자켓기둥이 냉각수 통로를 막아 물자켓기둥 후위의 냉각수 유동이 나빠지기 때문이며, 실린더헤드의 연소실 사이 금속면 온도증가는 물자켓기둥을 적용함으로써 연소실사이의 금속면 살두께가 증가했기 때문이다. 따라서, 실린더헤드 강성을 보강하기 위한 물자켓기둥을 적용할 때는 실린더헤드의 금속면 온도를 내구성 한계 허용온도이하로 저감한 후에, 물자켓 기둥에 의한 온도상승이 허용온도를 상회하는 범위에서 적용하는 것이 바람직하다.

### 3.1.4 냉각수 유동 형태의 변화

Fig. 8에서는 실린더헤드의 냉각수 유동이 흡기측에 비해 배기측에서 활발하도록 실린더헤드가스켓의 흡기측 물구멍 단면적에 대한 배기측 물구멍 단면적의 비율을 증대하여, 배기측 평균유속을 약 50% 증대시킨 실린더헤드가스켓을 적용(Fig. 8(a))한 경우와 물펌프 토출방향을 조절하여 실린더블록의 냉각수 유동이 흡기측(#1→#2→#3→#4)을 우선해서 배기측(#4→#3→#2→#1)으로 순환하는 경우와 반대로 순환하는 경우(Fig. 8(b)) 각각에 대해서 실린더 4곳의 평균 금속면 온도 측정결과를 Fig. 9에 나타내었다.(각 위치는 Fig. 2 참조)

실험결과 최고 출력조건에서 실린더헤드의 배기측 유동을 강화시켰을 때, 실린더헤드 금속면 온도를 3~8°C 감소되고, 실린더블록 금속면 온도도 3~9°C 감소하는 결과를 나타내었다. 이처럼 실린더헤드가스켓의 물구멍 단면적 감소에 의해 전체적인 냉각수 유량이 137 ℓ/min에서 123 ℓ/min으로 감소하는데도 불구하고 금속면 온도가 저감되는 이유는 냉각계 유로 변경을 통해 열유속이 큰 지역의 국부적인 냉각수 유속 증대에 의한 효과 때문이다.

Fig. 8에 나타나 있는 것처럼 실린더블록의 냉

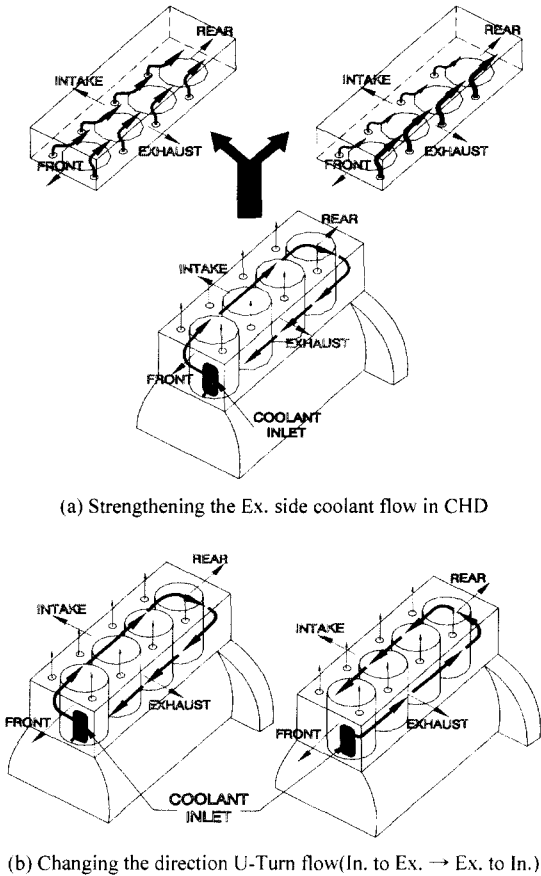


Fig. 8 Coolant flow pattern change

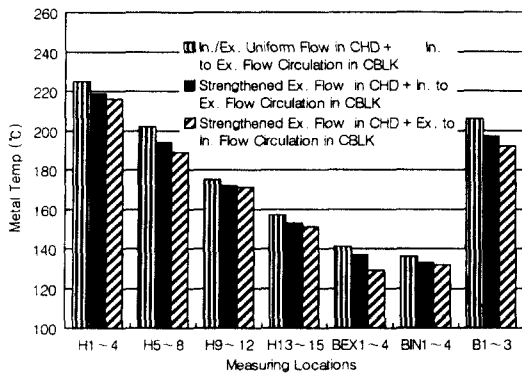


Fig. 9 Metal temperature difference at changing coolant flow pattern

각수 유동이 흡기측(#1→#2→#3→#4)을 우선해서 배기측(#4→#3→#2→#1)으로 순환하는 경우

와 반대로 배기측을 선 순환하는 경우에 대해서 금속면 평균온도 측정결과를 Fig. 9에 나타내었다. 이때 실린더블록의 냉각수 유동방향은 물펌프가 장착되는 블록면 안쪽에 유동변환 가이드를 설치하여 조절하였다.

실험결과, 실린더블록의 냉각수 유동이 배기측을 우선하여 흐르는 경우가 흡기측을 우선하여 흐르는 경우보다 실린더헤드의 접화 플러그와 배기밸브 사이 금속면 온도를 3°C, 배기밸브 시트사이 금속면 온도를 5°C 저감시켰으며, 또한 실린더블록의 배기 TRR 부위 온도를 8°C, 사이아미즈 부위 온도를 5°C 저감시키는 결과를 나타내었다. 그러나 실린더헤드의 흡기밸브 사이나 실린더블록의 흡기 TRR 부위의 금속면 온도에는 변화가 없는 것으로 나타났다. 이는 열유속이 큰 배기측은 냉각수 유속증대효과가 나타났지만, 열유속이 낮은 흡기측은 냉각수 유속에 대해 포화열전달상태에 도달하여 유속 감소에 의한 영향이 나타나지 않았기 때문이다.

위와 같이 실린더헤드가스켓의 물구멍조절 및 실린더 블록의 냉각수 순환방향 조절을 통해 얻을 수 있는 온도개선의 효과는 상당하다. 한편, 물펌프 폴리비(Pulley Ratio) 변경 등을 통한 전체 냉각수 유량을 증대시키는 방법은 차량냉각 성능은 개선할 수는 있으나, 엔진 자체의 열부하를 개선효과는 미미하다.<sup>6)</sup> 따라서, 엔진 열부하 저감을 위해서는 실린더헤드가스켓 물구멍과 펌프 토출방향을 조절하여 열유속이 높은 중요지역의 국부유속 증대를 도모하는 것이 바람직하다.

### 3.2 냉각계 유로 변경에 따른 열적 내구성개선

전항들과 같이 냉각계 유로 변경 인자들의 영향평가를 통해, 배기밸브 시트 과다마모로 인해 출력저하가 발생한 엔진에 대해서 엔진냉각계 개선을 시도하였다. 실엔진에서의 적용 사양을 보면, 드릴 가공 물구멍은 공구 수명을 고려해 최적 사양이 아닌 Ø6.2를 적용하는 한편, FEM 해석을 통해 물자켓 기둥이 실린더헤드 강성보강

Table 2 Improvement of cooling passage factors

	Before optimizing	After optimizing
Drilled water passage	×	∅6.2 DWP
Pillar	○	×
Wall thickness between spark plug boss & Ex. valve sea	Reference	2mm Reduction
Coolant velocity at water transfer hole of CHD GSK	2.15m/s	3.19m/s
Coolant flow patten at CBLK	In. → Ex.	Ex. → In.

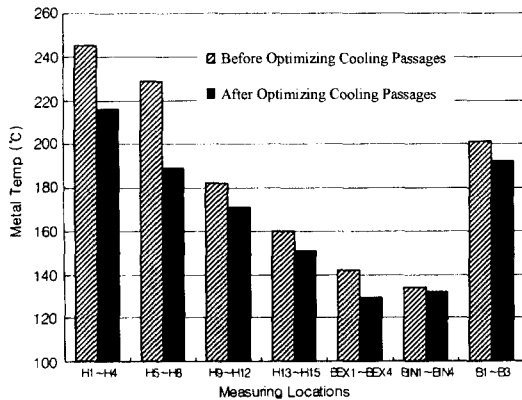


Fig. 10 Metal temperature improvement effect after optimizing cooling passages

에 큰 도움이 되지 않는다는 것이 밝혀져 삭제하였다. 양산엔진에의 적용인자들을 Table 2에, 열부하 개선효과를 Fig. 10에 나타내었다. Fig. 10과 같은 열부하 개선 효과로 개발엔진에서 발생하였던 배기밸브시트 과다 편마모 문제는 해결되었다.

#### 4. 결론

최근에 엔진 냉각계의 최적화를 통하여 연비 향상 및 배기 가스 저감 효과를 얻기 위해서는 물자켓 내 구조물에 대한 엔진 금속면 온도 변화 특성 및 금속면 한계온도 조건을 만족하는 지에 대한 냉각 구성요소들의 영향평가가 필수적이다.

본 연구에서는 이러한 목적을 달성하기 위하여 여러 경우의 엔진 냉각계 유로 변경 인자들에 대한 실험을 진행하였으며, 실험 결과로부터 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 엔진냉각계 유로 변경 인자들(드릴가공물통로, 유동변이칸막이, 물자켓 내 기둥, 냉각수 유동형태)에 대한 엔진금속면 온도에 미치는 영향을 파악하였다.

2) 최근 엔진의 고출력화와 컴팩트화에 따라 열부하가 상승하는데, 본 연구에서 파악한 유로 변경인자를 조절함으로써 엔진의 열적 내구성에 측면에서 금속면 온도를 세밀하게 제어할 수 있다.

3) 엔진열부하를 개선하기 위해서는, 물펌프 속도증가 등을 통한 전체 냉각수 유량증대보다는, 실린더헤드가스켓 물구멍과 물펌프 토출방향 등의 조절을 통한 중요부위 국부유속 증대가 더욱 효과적이다.

4) 냉각계 유로변경인자들의 영향평가를 통해 엔진냉각계 개선 사양을 선정 개발엔진에 적용하여, 배기밸브시트 과다 편마모로 인해 출력저하가 발생하는 문제를 해결할 수 있었다.

#### 참고 문헌

- 1) French, C. C. J., "Thermal Loading of a Petrol Engine," I Mech E, Vol.187, 49/73, Proc., 1973.
- 2) 류택용, 신승용, 이은현, 최재권, "엔진 냉각계 개선을 통한 가솔린엔진의 성능 향상," 자동차공학회논문집, 제6권 제3호, 1998.
- 3) 김홍집, "배기밸브 Seat 편마모 및 배기밸브 Failure 대책 설계방안," 현대 자동차 학술대회 논문집, pp.33-46, 1996.
- 4) Ricardo Consulting Engineers, "Heat Flows in Engines," No. DP 76/993, 1978.
- 5) 신승용, 이현순, "열전대를 이용한 가솔린 엔진의 실린더헤드 각 부위의 온도와 열량측정에 대한 실험적 연구," 한국자동차공학회 추계학술대회 논문 초록집, 1987.
- 6) 신승용, "α-DOHC Stage I Engine Thermal Survey 보고서," 현대자동차 내부보고서, 1992.