

엔진 냉각계 개선을 통한 가솔린엔진의 성능 향상

Improvement of Gasoline Engine Performance by Modifying the Engine Cooling System

류택용*, 신승용*, 이은현*, 최재권**
T. Y. Ryu, S. Y. Shin, E. H. Lee, J. K. Choi

ABSTRACT

In this paper, we investigated the improvement of characteristics of knock, emission and fuel consumption rate by optimizing the location and size of water transfer holes in cylinder head gasket without change of engine water jacket design itself. The cooling system was modified in the direction of reducing the metal temperature in the head and increasing the metal temperature in the block.

The optimization of water transfer holes in cylinder head gasket was obtained by "flow visualization test". The water transfer holes were concentrated in front side of the engine in order to reduce thermal boundary layer in the water jacket of No. 2 and No. 3 combustion chamber in the cylinder head, which would have a large knock intensity, and increase thermal boundary layer in the water jacket of the cylinder block.

When the modified coolant flow pattern was applied as proposed in this paper, the knock characteristic was improved. The spark timing was advanced up to 2° in low and middle speed range at a full load. In addition, HC emission at MBT was reduced by 5.2%, and the fuel consumption rate was decreased up to 1% in the driving condition of 2400 rpm and 250 KPa. However, since this coolant flow pattern mentioned in this paper might deteriorate the performance of vehicle cooling system due to the coolant flow rate reduction, a properly optimized point should be obtained.

주요기술용어 : Water transfer hole(물통로), Metal temperature(금속면 온도), Flow visualization test(유동 가시화 실험), Spark timing(점화 시기), Coolant flow pattern(냉각수 유동 형태), Coolant flow rate(냉각수 유량)

* 현대자동차 중앙연구소

** 정회원, 현대자동차 중앙연구소

1. 서 론

오늘날 자동차 분야에 엔진 출력 향상과 연비 개선의 요구가 점점 거세어지고 있다. 이러한 측면에서 엔진 개발시 연소실 형상 개선, 부품 경량화와 더불어 정유 업계에서도 연료와 윤활유의 개선이 꾸준히 이루어져 왔다.

엔진 냉각계에서도 고출력화에 따른 엔진 내구성 확보뿐만 아니라 최적화를 통한 연비 향상이라는 이중의 부담을 안고 있다. 엔진 냉각계를 최적화하기 위해서는 먼저 엔진내 열전달 해석과 실운전시 엔진 금속면 온도를 정확히 측정하는 것이 기본이다. 이에 대한 노력은 국외뿐만 아니라 국내에서도 많이 이루어져 왔다.¹⁻³⁾

이러한 기본 바탕 위에 엔진 냉각계 개선을 통한 엔진 효율 향상 방안은 다음과 같은 두 가지 방향에서 이루어져 왔다. 첫째는, 엔진 연소실 주위를 단열시켜 냉각 손실량 감소를 유도함으로써 엔진 효율을 향상시키려는 것이었고,⁴⁾ 둘째는, 연소실과 냉각수 물통로 사이의 살 두께 축소 등과 같이 워터 재킷(water jacket)의 설계 변경을 통한 냉각계 개선에 의해, 노크(knock) 발생을 억제시켜 엔진 효율 및 출력을 향상시키려는 것이었다.⁵⁾

그러나 단열 엔진에 의해 얻어진 냉각수로의 전열량 감소분이 엔진 효율을 향상시키는데 이용되지 못하고 오일 및 배기가스로의 전열량 증대로 나타나, 라디에이터와 냉각팬의 차량 냉각계 축소를 유도하고, 촉매(catalyst) 활성화 온도 도달 시간을 단축시켜 유해 배출가스 방출량을 줄일 수도 있으나, 단열에 의해 말단 가스(end gas) 온도가 상승하여 노크 발생을 증가시키기 때문에 점화시기 지연에 의해 오히려 엔진 자체의 연비는 악화된다.

따라서 최근의 추세는 엔진 금속면 온도 저감에 의한 노크 발생 억제 쪽으로 관심이 집중되고 있다. 즉 엔진 금속면 온도를 제어해 노크 특성뿐만 아니라 배출가스와 연료 소비율을 저감시키는 연구가 활발히 진행되고 있다.

본 논문에서는, 엔진 냉각수 온도에 따른 노크 특성과 연료 소비율 그리고 유해 배출가스

변화에 대해서 실험을 수행하였으며, 그 실험 결과에 따라서 엔진 금속면 온도 개선 방향을 설정하였다. 그리고 기존의 연구와는 다르게, 워터 재킷의 설계 변경이 아닌 실린더 헤드 가스켓의 물통로를 조절하여, 설정된 금속면 온도 개선 방향에 부합되도록 엔진 금속면 온도를 개선하였다. 이때 노크 특성 개선에 의한 성능 향상 효과와 연료 소비율 및 탄화수소(HC) 배출가스 저감 효과를 정량적으로 파악하였다.

2. 실험 장치 및 실험 방법

2.1 실험 장치

본 실험 장치의 개략도는 Fig.1에 나타나 있는바와 같이, 실차 라디에이터 시스템과 오일 쿨러가 연결된 1.5 l MPI 엔진과 배기 가스 분석기 및 데이터 취득 시스템(data acquisition system)으로 구성되어 있다. 라디에이터 시스템에는 샤워(shower)가 설치되어 있어, 샤워의 물량 조절을 통하여 엔진 냉각수 온도를 제어할 수 있도록 하였으며, 오일 쿨러는 오일 온도를 제어하기 위해 사용되었다. 또한 연소 가스 성분 및 공연비를 측정하기 위하여 Horiba 사의 Mexa-8120 Motor 배기 가스 분석기를 사용하였고, 엔진의 연료 소비율을 측정하기 위해서 Onosokki 사의 FX-203P 중량 유량계(gravity flow me-

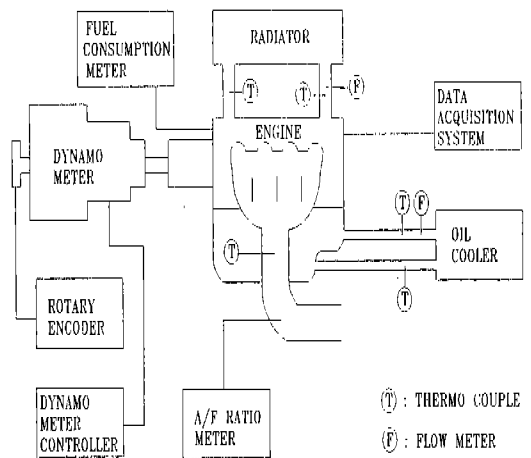
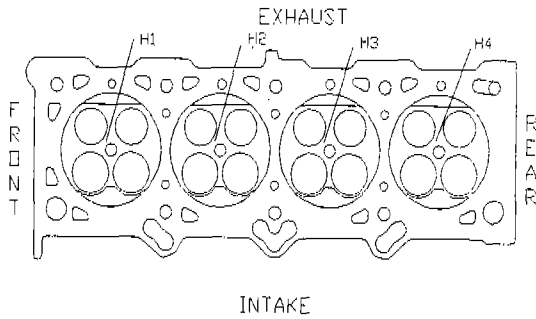
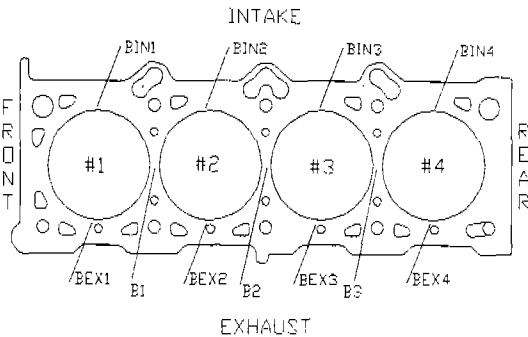


Fig.1 Schematics of experimental setup



(a) Cylinder head



(b) Cylinder block

Fig.2 Locations of thermocouples

ter)를 사용하였다. 엔진 금속면 온도 측정은 1.6mm Sheath형 K-Type 열전대를, 냉각수 및 오일 온도 측정은 Sheath형 T-Type 열전대를 이용하였다.

금속면 온도 측정 위치는 Fig.2 및 Table 1에 나타내었다. 실린더 헤드 온도는 열적 부하를 가장 많이 받는 곳으로 알려진 점화 플러그와 배기 밸브 시트 사이 4곳에서 측정하였으며, 실린더 블록 온도는 연소실 주위의 흡기와 배기쪽 TRR(Top Ring Reversal) 부위 각각 4곳 및 사이아미즈(siamese) TRR 부위 3곳에서 측정하였다. 여기서 사이아미즈 TRR의 3 지점을 제외한 모든 지점의 온도는 연소실 1mm 전의 금속면 온도이다.

또한 실험 엔진은 현대자동차의 1.5ℓ 급 MPI 엔진으로 제원은 Table 2에 나타나 있다.

Table 1 Locations of metal temperature measurement

	Term	Location	Combustion Chamber No.
Head	H1	Spark Plug Boss & Exhaust Valve Seat	# 1
	H2		# 2
	H3		# 3
	H4		# 4
Block	B1	Siamese TRR	# 1 & # 2
	B2		# 2 & # 3
	B3		# 3 & # 4
	BIN1	Intake Side TRR	# 1
	BIN2		# 2
	BIN3		# 3
	BIN4		# 4
	BEX1	Exhaust Side TRR	# 1
	BEX2		# 2
	BEX3		# 3
BEX4	# 4		

Table 2 Specifications of test engine

Type	I4
Stroke Volume(cc)	1,495
Bore(mm)×Stroke(mm)	75.5×83.5
Compression Ratio	10
Valve Mechanism	DOHC

2.2 실험 방법

2.2.1 금속면 온도 측정 및 노크 평가

각 실험 사양에 대한 엔진 금속면 온도 측정은 전부하, 공연 13 : 1 조건에서, 엔진 회전수 변화에 따라서 수행하였다. 냉각수 및 오일 온도의 영향을 없애기 위하여 별도의 실험 조건을 명시하지 않은 모든 실험에서는, 냉각수 출구 온도 및 오일 입구 온도를 90℃ 정상 상태로 유지하였다. 이때 DBL(Detonation Border Line) 또는 최적 점화시기(MBT : Minimum spark advance for Best Torque)를 측정하여 각 실

험 사양에 대한 노크 특성 변화를 평가할 수 있도록 하였는데, 흡기온의 영향을 피하기 위하여 공조 시스템에 의해 흡기 온도를 일정하게 유지하였다. 또한 각 실험 사양마다 연료 소비율 변화를 측정하였다.

2.2.2 배기 가스 성분 측정

배기 가스 성분(HC, NO_x, CO)은 엔진 회전수 2,400rpm, BMEP 250KPa, 공연비 14.5 : 1 조건에서 냉각수 출구 및 오일 입구 온도를 90℃ 정상 상태로 유지하여 측정하였고, 동시에 연료 소비율 변화를 변화도 함께 측정하였다.

3. 실험 결과 및 검토

3.1 냉각수 온도 변화 실험

3.1.1 냉각수 온도에 따른 금속면 온도 변화

Fig.3은 엔진 회전수 3,000rpm, 전부하, 공연비 13 : 1 조건에서, 오일 온도가 90℃ 정상 상태를 유지할 때, 냉각수 온도 증가에 따른 헤드 및 블록 금속면 평균 온도 변화를 나타내고 있다. 여기서 헤드 온도는 배기 밸브 시트와 점화 플러그 사이 연소실 1mm 전 4곳의 평균 온도 변화이고, 블록 온도는 사이아미즈 TRR 부위 3곳의 평균 온도 변화이다.

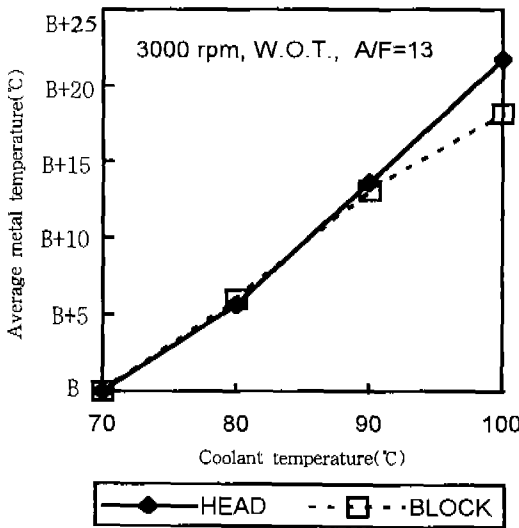


Fig.3 Effect of coolant temperature on metal temperature

실험 결과, 냉각수 온도를 10℃ 증가시킬 때 엔진 금속면 온도는 헤드와 블록 공히 대략 6~7℃ 상승하는 것으로 나타났다. 즉 냉각수 온도는 엔진 금속면 온도와 선형적인 관계가 있고, 냉각수 온도 상승이 곧 금속면 온도 상승을 유발함을 알 수 있다.

3.1.2 냉각수 온도 변화에 따른 성능 변화

Fig.4는 냉각수 온도를 90℃에서 110℃로 20℃ 상승시켰을 때, 전부하 조건에서 엔진 속도별 DBL 변화와 그에 따른 성능 변화를 나타내고 있다. 여기서 흡기온은 23℃를 유지하였고, 오일 온도는 90℃ 정상 상태를 유지하였다.

실험 결과, 냉각수 온도가 20℃ 증가하면(90℃ → 110℃) 주로 저중속에서 DBL이 지각되고, 토크(torque)도 감소하는 것으로 나타났다. 이는 3.1.1항에 언급되어 있듯이, 냉각수 온도 증가에 따른 엔진 금속면 온도 상승으로 혼합기의 미연 가스부에서 자기 착화하는 시간이 빨라졌기 때문인 것으로 판단된다.

Fig.5에 엔진 회전수 2,400rpm, BMEP 250KPa, 공연비 14.5 : 1 조건시, 냉각수 온도 변화에 따른 연료 소비율 변화를 나타내고 있다. 이때 오일 온도는 90℃ 정상 상태를 유지하였다.

실험결과, 냉각수 온도 60℃ 증가에 따라서

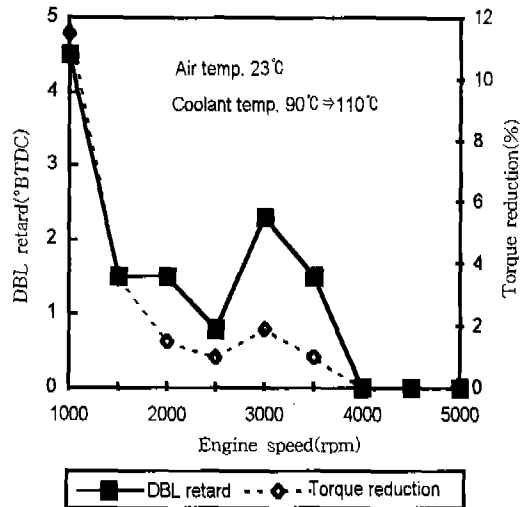


Fig.4 Effect of coolant temperature on engine performance

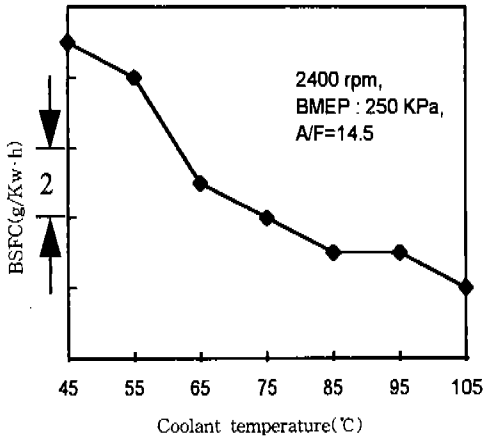


Fig.5 Effect of coolant temperature on fuel consumption rate

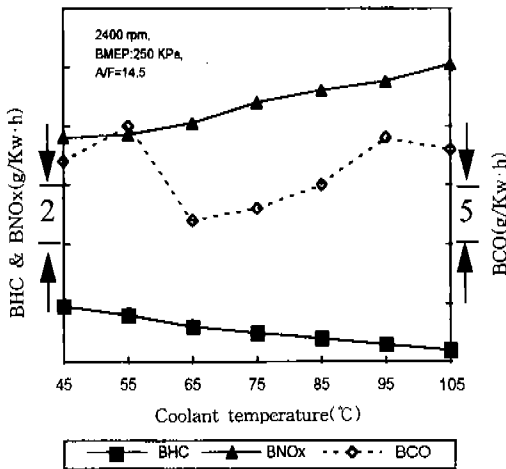


Fig.6 Effect of coolant temperature on emission

연료 소비율이 약 2~3% 감소하는 결과를 나타내었다. 이는 MBT가 DBL에 선행하는 운전 조건에서는, 냉각수 온도 증가가 마찰 손실을 저감시켜 연비를 개선한 것으로 판단된다.

즉 전부하시 금속면 온도 증가는, 노크 발생을 촉진시켜 성능이 저하되지만, 부분부하시 금속면 온도 증가는 마찰 손실을 저감시켜 연료 소비율을 개선시킨다.

3.1.3 냉각수 온도에 따른 배출가스 변화

Fig.6에 엔진 회전수 2,400rpm, BMEP 250 KPa,

공연비 14.5 : 1 조건시, 냉각수 온도에 따른 HC와 NOx 그리고 CO 변화를 나타내었다. 이때 오일 온도는 90°C 정상 상태를 유지하였다.

실험 결과, 냉각수 온도 60°C 증가시 HC는 약 25% 감소하였고 NOx는 약 22% 증가하였으나 CO는 어떤 일관된 경향을 보여주지 못하였다. 즉 엔진 금속면 온도 증가는 HC 배출가스를 감소시키나 NOx 배출가스는 증가시킨다는 것을 알 수 있다.

3.2 엔진 금속면 온도 개선 방향

3.1항의 실험 결과를 종합해 보면, 냉각수 온도 증대는 엔진 금속면 온도를 상승시켜 노크 발생을 촉진시키고, 또한 HC는 감소시키나 NOx는 증가시키며, 그리고 MBT가 DBL에 선행하는 운전 조건에서는 연비를 개선시킨다. 다시 말해서, 엔진 금속면 온도를 낮추면 노크 발생을 지연시켜 점화시기를 앞당길 수 있는 잇점이 있는 반면 연소실 벽면 온도 저하에 따라 마찰 손실 증대와 소염(quenching) 효과 증대로 연료 소비율과 HC 배출가스가 증가하게 되는 단점이 있다.

따라서, 엔진 금속면 온도 개선에 의해 기술된 엔진의 성능 향상을 도모하기 위해서는, 모든 엔진 금속면 온도를 한 방향으로 개선해서는 안되며, 위치에 따라 감소시킬 부분과 상승시킬 부분을 선택적으로 적용해야 함을 알 수 있다.

실린더 헤드와 블록을 분리하여 독립적으로 냉각시킨 참고문헌⁶⁾의 실험 결과를 보면, 노크 발생을 억제하기 위해서는 실린더 헤드의 금속면 온도를 낮추는 것이 블록의 금속면 온도를 낮추는 것에 비해 더욱 효과적임을 알 수 있다.

한편, 배출가스중 NOx는 배기 재순환 장치를 적용하여 쉽게 그 양을 줄일 수 있으므로, 본 논문에서는 HC를 줄이고자 시도하였다. 참고문헌⁷⁾의 실험결과를 보면, 전체 HC 배출가스중 피스톤 톱 랜드 틈새 체적(top land crevice volume)에서 80%, 헤드 가스켓 틈새(crevice)에서 13%, 점화 플러그 주위의 틈새에서 5%, 그밖의 다른 곳에서 2% 배출한다는 것을 보여주고 있다. 이로부터 HC 배출가스를 줄이기 위해서는, 피스톤

톱 랜드와 라이너 사이의 간격을 줄이는 것이 효과적이지만 간격이 작을 경우 피스톤 스키핑(scuffing)을 유발시키므로 적정한 수준을 유지하기란 어려운 과제이다. 냉각 측면에서 본다면 라이너 온도를 상승시키면 피스톤 링을 통한 열 전달이 감소하여 피스톤 온도도 라이너 온도와 동일 수준으로 상승하는데⁸⁾ 재질이 주철인 라이너와 알루미늄인 피스톤의 열팽창계수 차이로 틈새 체적이 감소하게 된다. 따라서 라이너 온도 상승은 HC 배출가스 저감을 유도할 수 있다.

또한 블록 라이너 온도 상승은 3.1.2항의 실험 결과에서 알 수 있듯이 피스톤과의 마찰 손실을 저감시켜 연비를 좋게 한다.

위 결과를 종합해 보면, 노크 특성을 개선하기 위해서는 헤드 금속면 온도 저감을, HC 배출가스와 마찰 손실을 개선하기 위해서는 블록 라이너 온도 증가를 동시에 추구해야 함을 알 수 있다.

3.3 엔진 냉각계 개선

노크 특성을 개선시키고, HC 배출가스와 연료 소비율을 저감시키기 위해서는 헤드의 금속면 온도는 낮추고, 블록의 금속면 온도는 상승시켜야 한다.

위와 같이 개선하기 위한 방안으로 실린더 헤드 가스켓의 물통로를 조절하여 냉각수 유동 형태를 변경하였다. 블록은 워터 재킷(water jacket) 내부면의 열경계층을 증가시키는 쪽으로, 헤드는 워터 재킷 하면의 열경계층을 감소시키는 쪽으로 개선하였다.

여기서 실린더 헤드 가스켓의 물통로 조절은 유동 가시화 실험을 통해 수행하였는데, 실험 장치 및 실험 방법은 참고문헌⁹⁾에 나타나 있다.

3.3.1 냉각수 유동 형태 비교

기존에 개발해 왔던 냉각수 유동 형태는, 각 연소실로 공급되는 냉각수 온도의 균일화를 위해 Fig.7에 나타나 있는 바와 같이, 실린더 헤드 가스켓의 물통로를 연소실마다 골고루 분배시켜 왔다.

그래서 실린더 블록의 물펌프에서 출발한 냉각수는 각각의 연소실에서 상승류와 횡류로 나

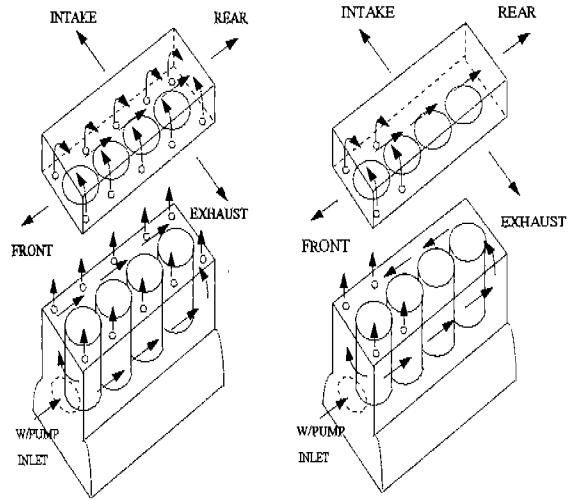


Fig.7 Original coolant flow pattern Fig.8 Modified coolant flow pattern

누어져, 블록 냉각을 활발하게 수행하는데 반해, 헤드에서의 냉각수는 각각의 연소실에서 생성된 상승류에 의해 워터 재킷 하면의 열경계층이 증가하게 되는 유동이 되므로, 헤드 냉각은 블록에 비해 불리하게 되어 있다.

그런데 엔진 통과 후의 냉각수 온도 상승은 약 5°C 정도로 크지 않기 때문에, 본 논문에서는 냉각수 온도 균일화보다는 열경계층 변화를 유도하였다. 개선된 냉각수 유동 형태는 Fig.8에 나타내었는데, 실린더 헤드 가스켓의 전면에 물통로를 집중시킴으로서, 실린더 블록의 물펌프에서 출발한 냉각수는 물펌프의 위치와 수압에 의해 블록을 한바퀴 도는 횡흐름만이 존재하여 블록 냉각은 기존 냉각수 흐름 형태에 비해 불리하게 작용하나, 헤드에서의 냉각수는 상승류가 전면에만 존재하고 나머지는 연소실과 평행한 흐름이 주류가 되므로, 노크 발생 가능성이 클 것으로 예상되는 #2 & #3 연소실 주위 워터 재킷 하면의 열경계층이 감소하게 되고 이에 따라 기존 냉각수 유동 형태에 비해 헤드에서의 열전달은 원활하게 된다.

3.3.2 유동 형태 변경에 따른 금속면 온도 변화

기존 실린더 헤드 가스켓(이하 기존 사양이라

칭함)과 개선 사양 실린더 헤드 가스켓(이하 개선 사양이라 칭함)을 적용할 때, 실린더 블록의 금속면 온도 측정 결과를 Fig.9에, 실린더 블록의 금속면 온도 측정 결과를 Fig.10에 나타내었다.

실험 결과, 개선 사양은 기존 사양에 비해 실린더 헤드 온도가 3,000rpm에서는 7°C, 6,000rpm에서는 10°C 내외의 감소하는 결과를 나타내었다. 이에 반해 실린더 블록 온도는 개선 사양이 기존 사양에 비해, 사이아미즈와 흡기 TRR 부위의 경우, 엔진 회전수가 1,500에서 2,500rpm까지의 저속에서는 각각 평균 5~6°C와 3~4°C, 3,000rpm 이상의 중고속에서는 각각 평균 2°C 내외의 상승하는 것으로 나타났고, 배기 TRR 부위는 전영역에서 평균 6°C~13°C 내외의 상승하는 것으로 나타났다. 즉 물통로 위치 및 크기를 최적화한 개선 사양 실린더 헤드 가스켓은 기존 사양에 비해, 실린더 헤드의 금속면 온도는 감소시키고, 블록의 금속면 온도는 증가시킴을 알 수 있다. 또한 개선 사양 적용시 헤드의 연소실간 온도 편차가 감소함을 알 수 있다.

3.3.3 유동 형태 변경에 따른 노크 억제 효과

기존 사양과 개선 사양 실린더 헤드 가스켓을 각각 적용하였을 때의 제동 출력과 토크 변화를 Fig.11에, 점화 시기와 연료 소비율 변화를 Fig.

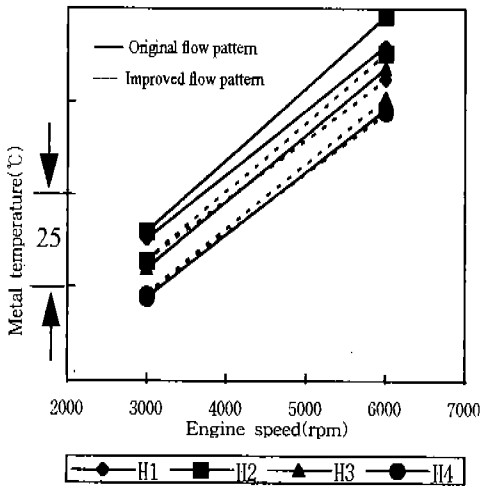
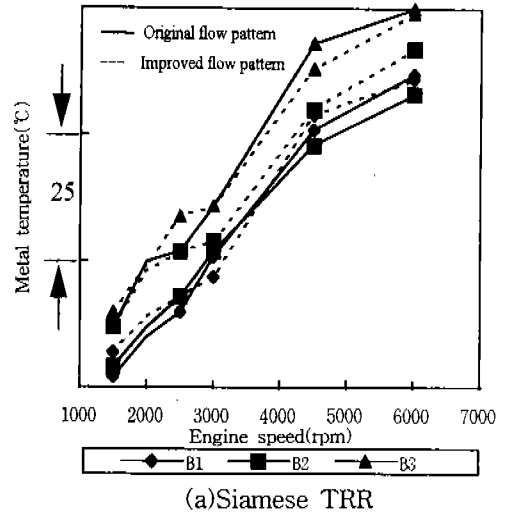
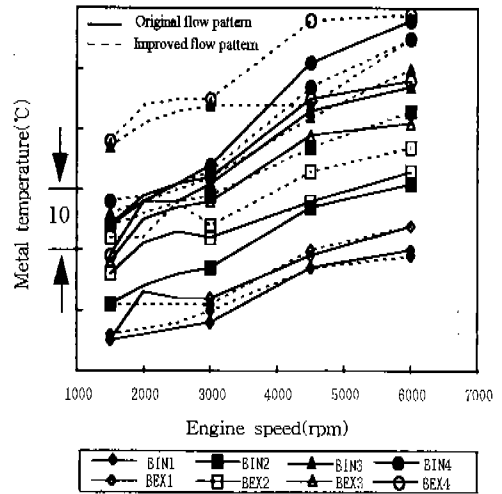


Fig.9 Effects of modified cylinder head gasket on head metal surface temperature



(a) Siamese TRR



(b) Intake & Exhaust TRR

Fig.10 Effect of modified cylinder head gasket on block temperature

12에 나타내었다.

실험 결과, 개선 사양은 기존 사양에 비해 저중속 영역(2,500~4,000rpm)에서 점화시기가 최대 2.0도 진각되어 토크를 2.6% 향상시켰고, 연료 소비율도 최대 2.3% 감소시키는 결과를 나타내었다. 이같은 결과는, 연소 속도가 비교적 느려 DBL이 MBT에 선행하는 저중속 영역에서, 실린더 헤드 금속면 온도를 감소시킴에 따라 점화시기를 앞당길 수 있었기 때문이다.

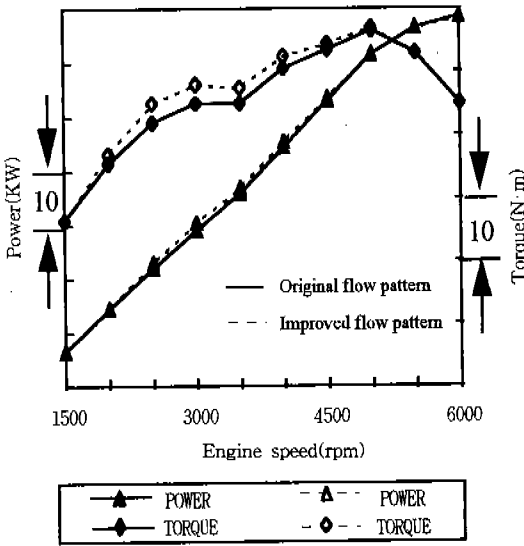


Fig.11 Effect of modified gasket on engine performance

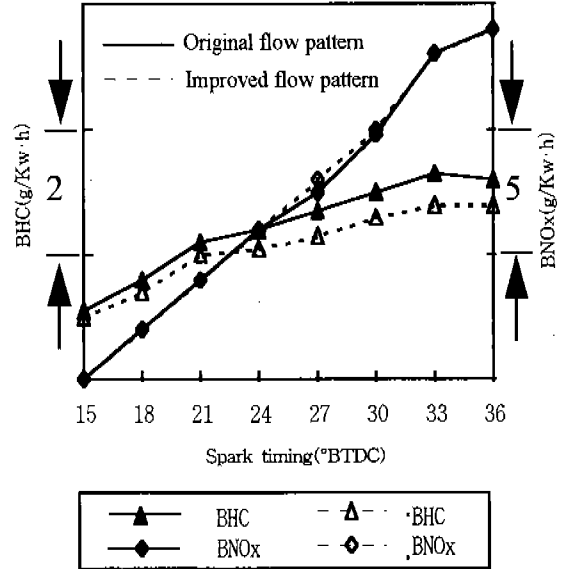


Fig.13 Effect of modified gasket on emission

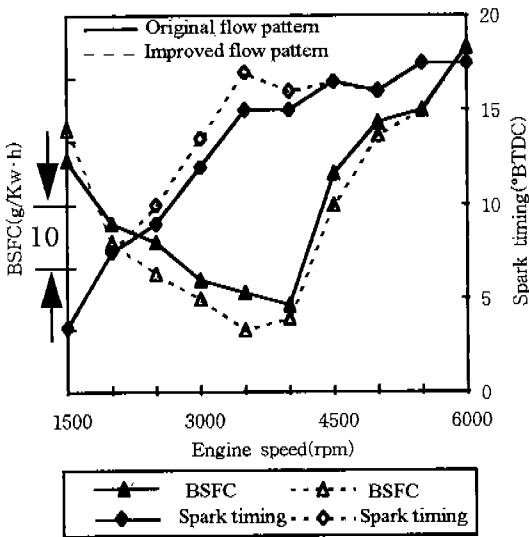


Fig.12 Effect of modified gasket on fuel consumption rate & spark timing

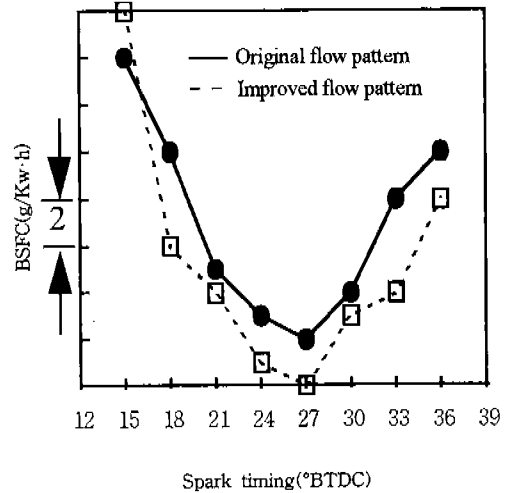


Fig.14 Effect of modified gasket on fuel consumption rate

3.3.4 유동 형태 변경이 배출가스와 연비에 미치는 영향

Fig.13, 14에 기존 및 개선 사양 실린더 헤드 가스켓에 대해서, 2,400rpm, BMEP 250KPa,

공연비 14.5 : 1 조건시, 점화시기에 따른 배출가스와 연비 변화를 나타내었다. 여기서 MBT는 BTDC 27 도이다.

실험 결과, 개선 사양 실린더 헤드 가스켓 적

용시, NO_x는 기존 사양 가스켓 적용시에 비해 차이가 없는 것으로 나타났으나, HC는 최대 6.2%, MBT에서는 5.2% 감소하는 결과를 나타냈다. 이는 Horiba 사의 Mexa-8120 Motor 배기 가스 분석기의 측정오차 3%를 고려한다 하더라도 HC가 저감되었음을 알 수 있다.

HC가 저감된 것은, 개선 사양이 기존 사양에 비해 라이너 온도를 상승시킴으로서 피스톤 톱랜드 틈새 체적을 저감시켜 나타난 현상으로 판단된다. 한편 NO_x는 변함이 없는데, 이는 헤드 온도 저감과 블록 온도 상승이 서로 상쇄되어 연소 가스 온도가 변하지 않기 때문인 것으로 판단된다.

또한 Fig.14에 나타나 있는 것처럼 연비가 최대 1% 개선됨을 알 수 있는데, 이는 마찰 손실의 대부분을 차지하는 라이너 온도 상승으로 피스톤과 라이너 사이에 막을 형성하는 윤활유의 점도가 낮아져 마찰 손실이 저감되었기 때문이다.

결론적으로 말하면, 실린더 헤드 가스켓의 물통로 최적화를 통하여, 실린더 헤드 금속면 온도 저감에 의한 노크 발생 억제로 점화시기를 진각시킬수 있어 엔진 성능을 증대시켰고, 블록 금속면 온도 증대에 의한 소염(quenching) 작용 억제와 틈새 체적 감소로 HC 배출 가스 감소를 달성할 수 있을 뿐만 아니라 연비도 개선된다.

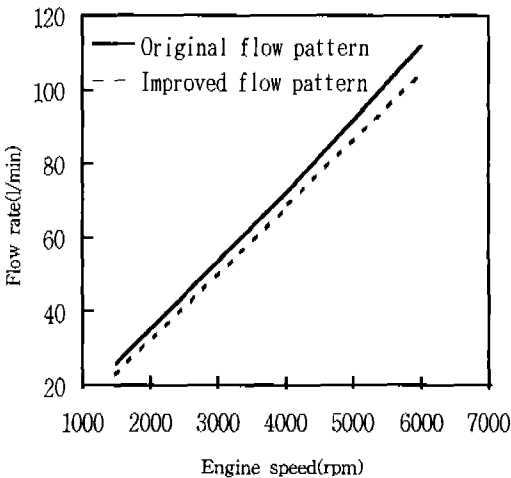


Fig.15 Effect of modified gasket on coolant flow rate

3.3.5 냉각수 유량 변화

개선 사양은 기존 사양 대비 냉각수가 흐르는 통로가 길어져 냉각수가 받는 저항이 커질 수밖에 없다. 각 사양 적용시 냉각수 유량을 Fig.15에 나타내었다.

Fig.15에서 볼 수 있듯이 개선 사양이 기존 사양 대비 냉각수 유량이 6.2% 감소한다. 이로 인하여 라디에이터 방열 성능 악화를 초래할 수 있는데, 유량 감소가 심한 경우에는 라디에이터와 냉각팬 용량 증대를 도모할 수밖에 없는 경우도 있을 수 있다.

4. 결 론

워터 재킷 설계 변경 없이 실린더 헤드 가스켓의 물통로 위치 및 크기 최적화를 통하여 아래와 같은 결과 및 결론을 얻었다.

- 1) 실린더 헤드 온도는 평균 7~10℃ 내외 감소하는데 비해, 실린더 블록 온도는 사이아미즈 톱링 리버설(siamese top ring reversal) 부위의 경우 평균 2~6℃, 흡기 TRR 부위의 경우 평균 2~4℃, 배기 TRR 부위의 경우 평균 6~13℃ 내외 상승하는 것으로 나타났다.
- 2) 전부하시 저중속 영역에서 점화시기가 최대 2도 진각되어, 토크를 2.6% 향상시킬 수 있었다.
- 3) 부분부하시 HC 배출가스는 5.2% 감소하였다.
- 4) 부분부하시 NO_x 배출가스는 변화가 없었다.
- 5) 부분부하시 연비가 최대 1% 개선되었다.
- 6) 엔진내 금속면 온도 최적화를 위해서는 각 지점의 열경계층 변화를 도모해야 한다.
- 7) 엔진내 냉각수 유동 형태에 따라 냉각수 유량이 변하므로, 냉각수 유동 최적화는 차량 냉각계와 함께 고려되어야 한다.

참 고 문 헌

1. 신승용, 이현순, "열전대를 이용한 가솔린 엔진의 실린더 헤드 각 부위의 온도와 열량 측

- 정에 대한 실험적 연구”, 한국자동차공학회 추계학술대회 논문 초록집, 1987.
2. 류택용, 신승용, 최재권, “엔진 냉각수에 부동액 혼합이 엔진 및 차량 냉각 성능에 미치는 영향”, 자동차공학회지, Vol. 16, No. 6, 1994.
 3. 류택용, 신승용, 이은현, 최재권, “가솔린 엔진에서의 냉각수로의 전열량에 대한 연구”, KSAE 97370115, 1997.
 4. J. F. Tovell, “The Reduction of Heat Losses to the Diesel Engine Colling System”, SAE Paper 830316.
 5. 山田 敏生, “冷却系 改良によるノック改善”, JSAE 902146.
 6. 團野 喜朗, “Effect and Feasibility of Cylinder Block Oil Cooling for Passenger Car Engine”, 自動車技術, Vol. 42, No. 8, 1988.
 7. Adamczyk, A. A., Kaiser, E. W., and Lavoie, G. A., “A Combustion Bomb Study of The Hydro Carbon Emissions from Engine Crevices”, Combust. Sci Technol., Vol.33, pp. 261~277, 1983
 8. 이정현, 최재권, 이현순, “Linkage System을 이용한 Piston의 온도 측정”, 한국자동차공학회 학술강연 초록집, 1989.
 9. 민병순, 최재권, “엔진 내 냉각수 유동 형태가 연소실 벽면 온도에 미치는 영향에 관한 연구”, KSAE 933731, 1993.
 10. 신승용, 이은현, “Gasoline Engine의 Warm-up특성에 관한 고찰”, 한국자동차공학회 학술강연 초록집, 1991.
 11. 한덕주, 민병순, 신승용, 최재권, “알루미늄 합금 실린더 블록을 적용한 가솔린 엔진의 냉각계 개발”, 자동차공학회지, Vol. 17, No.3, 1995.
 12. John B. Heywood, *Internal Combustion Engine Fundamentals*, McGraw-Hill Book Company, pp 601~619.