

가솔린엔진의 負荷에 따른 실린더 벽면 溫度特性에 關한 研究

An Experimental Study on the Cylinder Wall Temperature Characteristics for Load Variations in a Gasoline Engine

권기린 · 고장권 · 홍성찬

K. R. Kwon, J. K. Ko and S. C. Hong

Key Words : Gasoline Engine(가솔린 엔진), Temperature of Cylinder Wall(실린더 벽면 온도), Peripheral Temperature Distributions(원주방향 온도분포), Axial Temperature Distributions(축방향 온도분포)

Abstract : The purpose of this study is to prevent the stick, scuffing, scratch between piston and cylinder, is to contribute the piston design such as piston profile, clearance by calculating reaction force by over-lap of piston skirt, as measuring the temperature distributions of cylinder wall. The experiment has been performed to obtain data during actual engine operation. Temperature gradient in peripheral and axial distributions of cylinder wall according to torque and speed of engine were measured by use of an 800cc class gasoline engine.

The results obtained are summarized as follows ;

- 1) The temperature of cylinder wall at TDC was about 50~75°C higher than temperature of cooling water.
- 2) The rear side temperature of top dead center was 141°C(1/4 load) in axial distribution, whereas the rear side of midway position temperature was 98°C.
- 3) The temperature of cylinder wall increased in according to rising temperature of cooling water.
- 4) The thrust side temperature of cylinder wall was about 15°C in all load test.
- 5) The rear side temperature of top dead center was 159°C (1/2 load) in peripheral distribution, it was about 39°C higher than thrust side temperature.

1. 서 론

가솔린 엔진은 고출력화, 경량화, 저소음화, 저배기화, 저연비를 만족시켜야 한다. 그러나 가솔린 엔진의 설계시 구성 부품, 특히 운동 부품의 고온화로 인하여 내구성이 약해지는 문제점을 고려하여야 한다. 이러한 문제점으로는 재료의 내열성, 열팽창, 열변형 등을 지적할 수 있다^{1,2)}. 또한, 최근의 엔진 설계 경향은 경량화를 목적으로 실린더와 실린더 사이에 충분한 냉각수 자켓을 두고 있지 않은 예가 점점 많아지고 있고, 이 경우 인접한 실린더 벽면 온도는 엔진의 내구성에 대한 중요한 측정 부분의 하나라고 선진국에서는 지적하고 있

다^{3,4)}.

현재 한국의 자동차 공업중 엔진 분야의 외국기술 의존도가 높다는 점과 실린더 블록의 경우 열응력 및 열변형 문제는 엔진 성능과 진동 특성에 큰 영향을 미치고 있으며⁵⁾, 실린더 표면 온도 160°C 이상에서는 윤활유의 증발로 인하여 윤활유 소비가 급격히 증대하고, 180°C 이상에서부터 윤활유에 의해 카본 부착이 심해진다고 보고되고 있다⁶⁾.

본 연구에서는 800cc급 가솔린 엔진을 사용해서 각 회전수와 냉각수 온도를 변동시켜 실린더 벽면의 원주 방향, 축방향의 온도 구배를 다점 온도 기록계를 사용하여 24점을 동시에 실측하였다. 특히, 실린더 벽면 온도 측정 수단으로서 JSME 007³⁾에 의거하여 $\phi 0.8$ 의 구멍으로부터 $\phi 0.15$ 열전대소선을 냉각수가 누설됨이 없도록 기관 외부로 인출시켰다. 이것은 엔진 운전시 예상되는 피스톤과 실린

접수일 : 1998년 12월 22일

권기린, 고장권 : 제주대학교 기계공학과

홍성찬 : 제주직업전문학교 자동차과

더 사이의 소손, 소착등의 신뢰성 문제를 사전에 제시하고, 신규 엔진 개발시 내구 개시 가부에 대한 사전 판단과 개발 예산을 줄이는데 크게 기여할 뿐만 아니라, 전 운전시의 실린더 벽면 온도를 실측하여 피스톤 스커트 오버랩 양⁷⁾과 반력을 예측하고 피스톤 형상, 조립간극 등 피스톤 설계에도 기여할 수 있도록 하였다.

2. 실험 장치 및 실험 방법

2.1 실험 장치

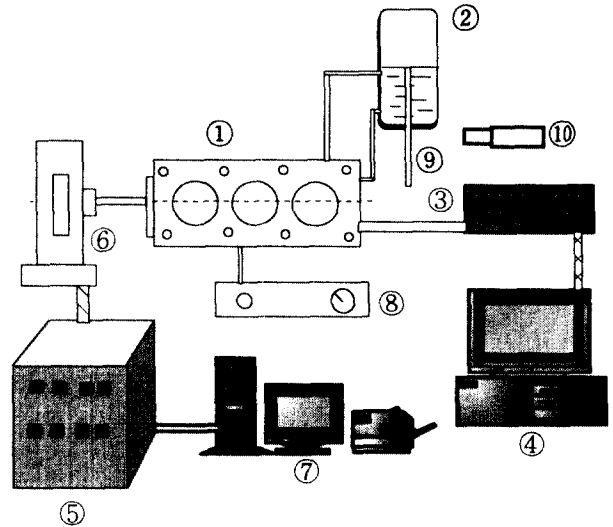
본 연구에 사용된 엔진은 아시아 자동차(주)의 제품으로서 실린더 내경 70mm, 행정길이 69mm, 3실린더 기화기식 가솔린 기관을 사용했으며 그 제원은 Table 1과 같다. 실험에 사용된 실험 장치도는 Fig. 1과 같고, 주요 구성부는 동력계, 동력계 제어장치, 다점온도 기록계, 디지털 온도기록계, 냉각수 온도 조절 탱크 등이며, 열전대는 Front부와 Rear부 10점, Thrust와 Anti-thrust부 10점, 상사점 45° 방향 4점, 냉각수 출구 1점으로 구성되어 있다.

Table 1 Test engine specifications

Item	Content
Type of engine	CD800
Type of cooling system	Water cooling
Cylinder arrangement	In-line type
Cycle	4 cycle
Bore×Stroke	70×69 mm
Piston displacement	796cm ³
Maximum torque	6.0 kgf · m/3600rpm
Maximum brake horsepower	29.4 kW/5600rpm
Compression ratio	9.5
Fuel supply type	Carburetor type

2.2 실험 방법

실린더의 온도는 은접점으로 구성되어 있는 직경 0.15mm의 J-Type 열전대를 실린더 벽면에 설치하여 측정였다. 피스톤 상부에 들어온 열량의 80% 이상이 제 1압축링을 통하여 실린더벽에 전달되기 때문에 피스톤이 상사점에서 제 1압축링이 일치하는 중심부 위치(5.7mm)와 하사점에서 제 1압축링이 일치하는 위치(79.25mm)사이를 4등분하여 Front, Rear, Thrust, Anti-thrust 방향에 20점과 원주방향의 경우 원주 방향에 8등분하여 F, R, T, A/T



- 1. Gasoline engine
- 2. Water cooling tank
- 3. Digital temperature recorders
- 4. Personal computer(1)
- 5. Dynamometer controller
- 6. Dvnamometer
- 7. Personal computer(2)
- 8. Fuel tank
- 9. Drain valve, pipe
- 10. Timming light

Fig. 1 Schematic diagram of experimantal apparatus

부위를 제외한 45° 방향에 4점(5.7mm)을 추가로 설치하였다.

운전에 있어서 점화진각은 각 엔진 회전속도에 대한 MBT (Minimum advance for best torque), 냉각수 온도는 80±1℃로 제어하여 측정하였다. 측정은 이러한 조건이 갖춰진 후 실린더 벽면의 온도가 각 엔진 회전속도 조건에서 정상 온도가 유지하도록 하기위해 한 조건을 약20분 정도 운전한 후 측정하였다.

Fig. 2는 측정 실린더의 각부 명칭을 나타내고 있으며, 실린더내부에 있어서, 피스톤이 상사점과 하사점에 위치하고 있을 때의 제 1압축링 중앙부에 실린더 벽면 측정점이 위치하고 있는 것을 나타내고 있으며, 실린더 벽면의 축방향과 원주방향의 측정 포인트중 원주방향의 측정 위치를 나타내고 있다.

TDC에서 원주방향센서는 Front, Rear, Thrust, Anti-thrust 각 방향의 45° 위치에 1점씩 설치하여 총 8점의 온도 분포를 파악할 수 있도록 하였다.

실린더 벽면 표면 온도 측정을 위한 열 접점은 Fig. 2와 같이 실린더 표면에 $\phi 0.8\text{mm}$ Hole을 가공하고 Fe-Co 열전대선을 넣어 $\phi 1\text{mm}$ 정도의 열 접점을 형성시키고 열 접점이 앉을 수 있도록 10° 테이퍼 가공을 하여 열 접점이 실린더 표면과 동일한 형상을 유지하도록 정교하게 연질동해머로

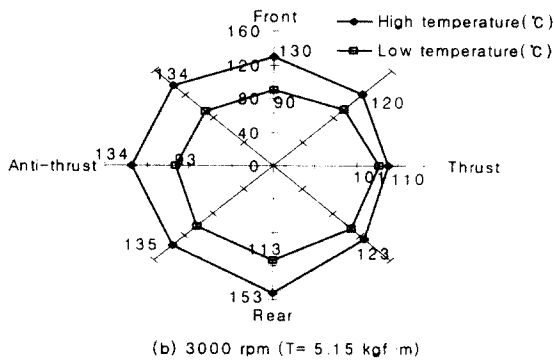
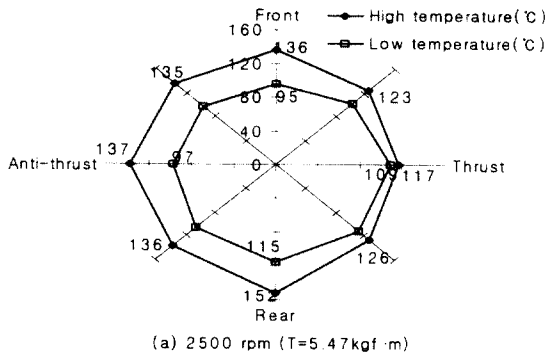


Fig. 4 Peripheral temperature distributions of cylinder wall at 1/2 load

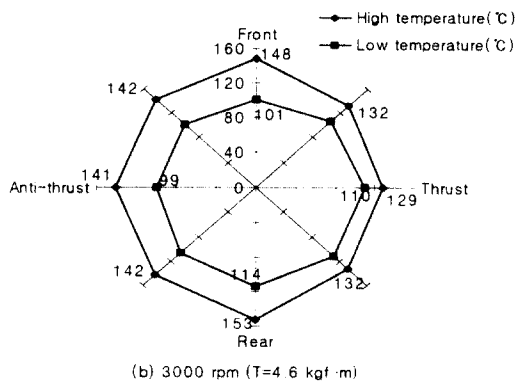
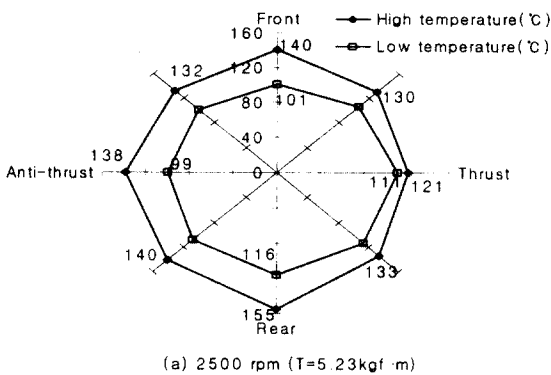


Fig. 5 Peripheral temperature distributions of cylinder wall at 3/4 load

고있는 것으로서, Thrust부를 제외하고 전 영역에서 37~41°C의 온도편차가 발생하였으며, Torque가 증가함에 따라 실린더 벽면 상부의 온도가 증가하고 있다. 실린더 원주방향의 온도중 Rear부의 온도가 가장 높게 나타나는 것은 인접한 실린더의 영향을 받고있는 것으로 해석된다.

Fig. 5는 3/4 부하에서의 원주방향의 온도편차를 나타내고 있는 것으로 1/4 부하와 1/2 부하에서와 유사한 온도분포를 나타내고 있다.

Fig. 6(a)는 냉각수온도를 80°C로 유지한 상태에서 2,500 rpm에서 TDC의 원주방향의 온도분포를 각 부하별로 비교하여 나타내고 있는 것으로 0 load보다 Front부는 28~44°C, Thrust부는 22~38°C, Rear부는 42~50°C, Anti-thrust부는 31~50°C 온도편차가 발생하였다.

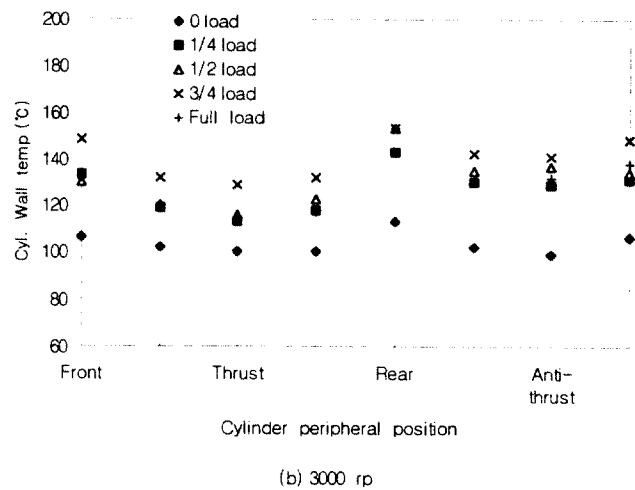
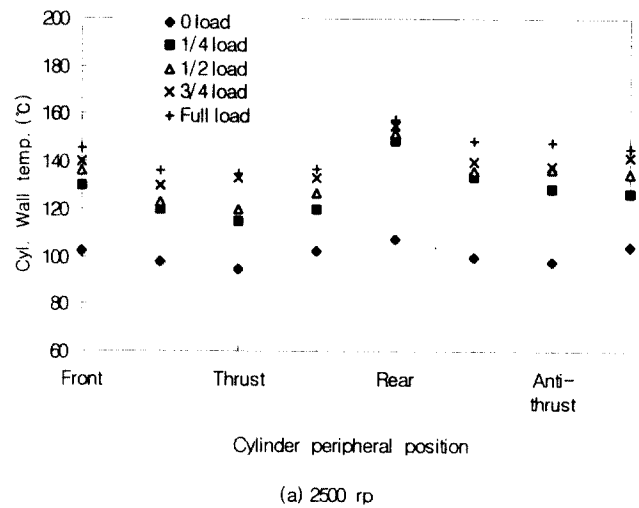


Fig. 6 Peripheral temperature distributions of cylinder wall at TDC

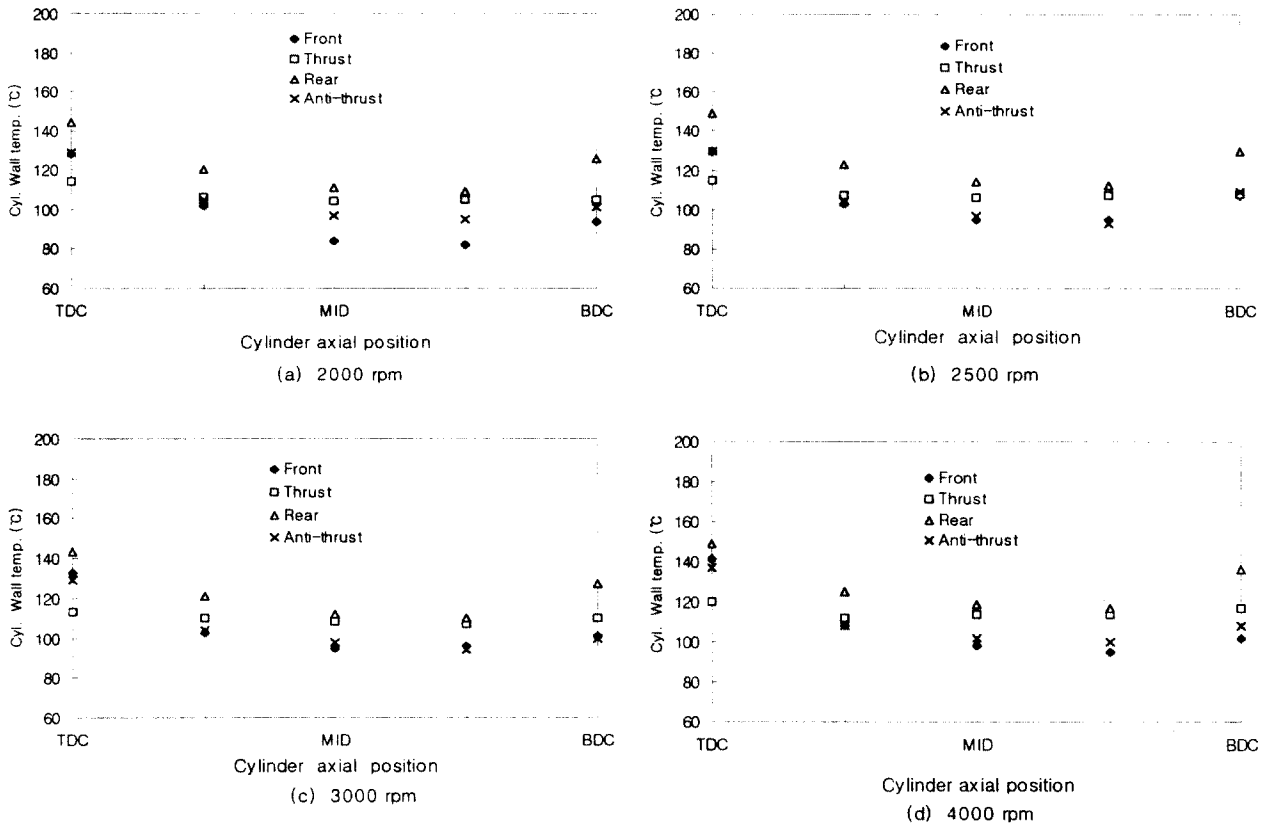


Fig. 7 Axial temperature distributions of cylinder wall at 1/4 load

3.2 실린더 습동 방향 온도측정

Fig. 7은 냉각수 온도를 80℃로 유지한 상태에서 1/4 부하에서의 실린더 축방향의 온도분포를 나타내고 있는 것으로서, Thrust부의 온도변화는 TDC와 BDC에서 온도변화가 10℃로서 거의 없고 나머지 부위는 TDC와 MID부위에 심한 온도편차를 나타내고 있어 피스톤의 운동속도와 운동조건이 실린더 온도상승과 밀접한 관계가 있음을 나타내고 있다.

즉, 피스톤의 운동속도가 빠르면 열전달 시간이 짧아 실린더벽면 온도가 낮게 나타나고 있으며, 상사점과 하사점에서는 피스톤의 운동방향이 바뀌는 시점에서 속도가 느리거나 정지해있는 기간동안 많은 열을 피스톤 링을 통하여 실린더벽면에 전달하기 때문으로 해석된다.

Fig. 8은 1/2 부하에서 최대 토크가 발생한 시점의 실린더 축방향의 온도분포를 나타내고 있는 것으로 TDC에서 Rear부와 Thrust부의 온도편차가 크게 나타나고 있다.

Thrust부 보다 Anti-thrust부의 온도가 높게 나타나는 것은 Piston의 축압으로 인하여 유막두께

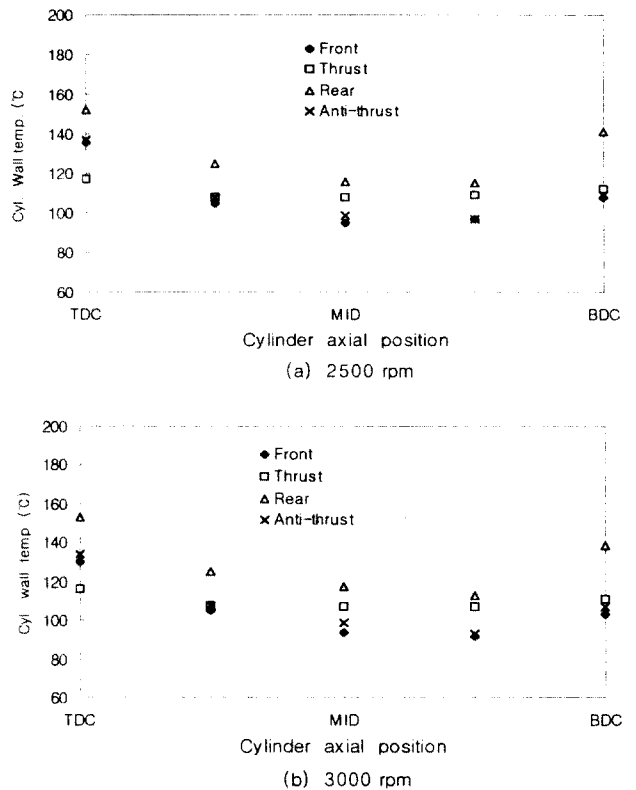


Fig. 8 Axial temperature distributions of cylinder wall at 1/2 load

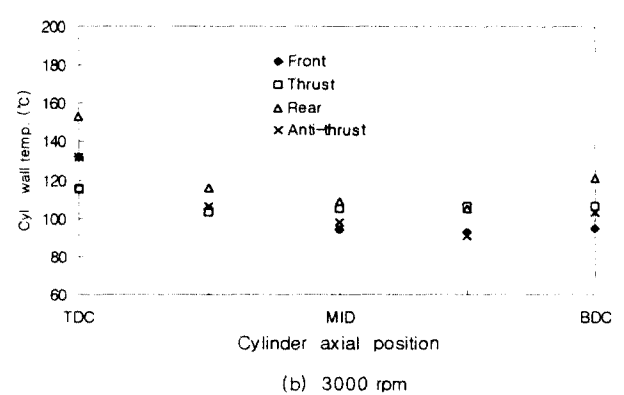
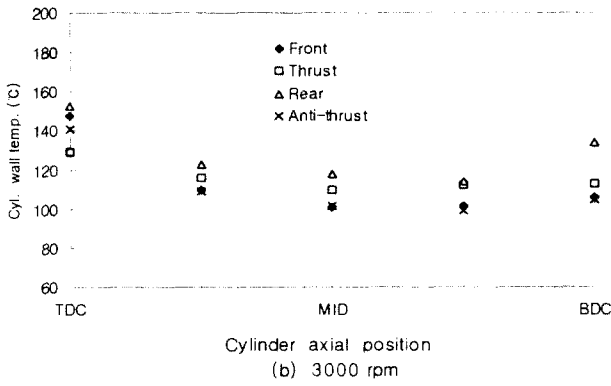
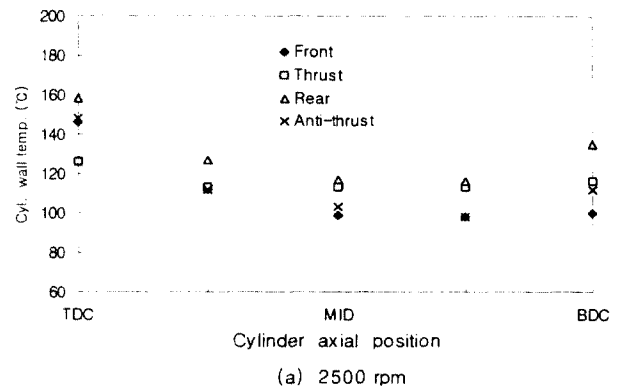
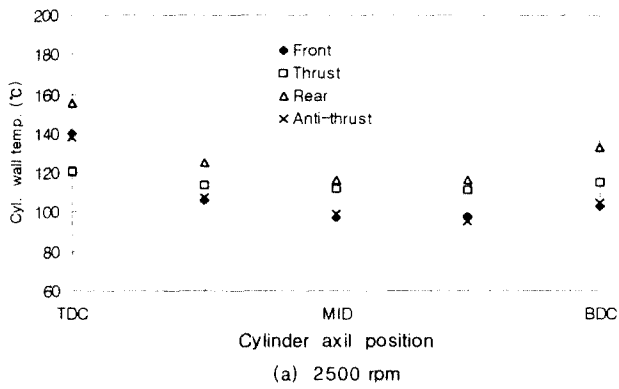


Fig. 9 Axial temperature distributions of cylinder wall at 3/4 load

Fig. 10 Axial temperature distributions of cylinder wall at full load

가 얇아져서 냉각효과의 저하 및 피스톤과 실린더 사이의 마찰열에 의한 온도 상승으로 볼 수가 있다.

Fig. 9, Fig. 10은 3/4 load 및 Full load에서의 원주방향의 온도편차를 나타내고 있는 것으로 1/4 load와 1/2 load에서와 유사한 온도분포를 나타내고 있다. Fig. 10에서 Rear부의 최고온도와 Anti-thrust부의 최저온도는 62°C 차가 발생하여 배기 가스의 과다 배출 및 오일소모의 요인으로 판정된다.

3.3 전부하와 무부하 상태의 온도 비교

Fig. 11, Fig 12은 동일 rpm에서 전부하와 무부하 상태의 실린더 원주방향 온도를 비교한 것으로, Fig. 11은 3000 rpm에서 무부하와 전부하의 온도 편차를 나타낸 것이다. Front부는 30°C, Rear부는 46°C의 온도차가 있다. Thrust부도 20°C의 온도편차가 있어 부하에 따라 온도상승이 크게 나타나고 있음을 알 수 있다.

Fig. 12는 4000 rpm 무부하와 1/4부하 4000 rpm에서 실린더 원주 방향의 온도를 비교한 것으

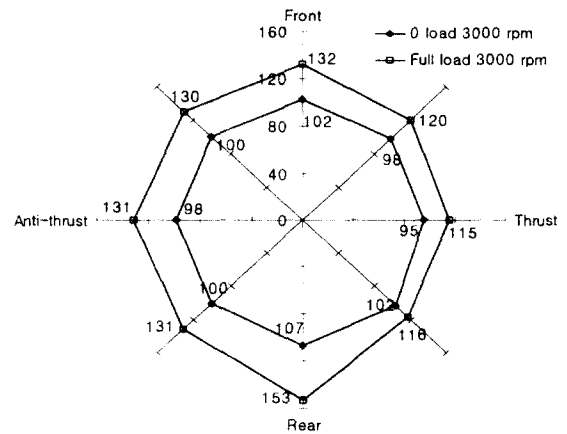


Fig. 11 Peripheral temperature distributions of cylinder wall at TDC under full and no load conditions

로서, Front부와 Anti-thrust부는 27°C, Rear부는 23°C, Thrust부는 12°C의 온도 편차가 발생하였다.

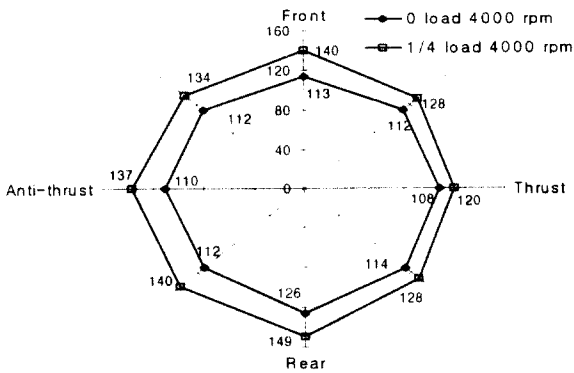


Fig. 12 Peripheral temperature distributions of cylinder wall at TDC under full and no load conditions

4. 결 론

각 부하 조건에 따른 엔진 운전시 발생하기 쉬운 피스톤과 실린더 사이의 열팽창에 의한 소손 및 이에 따른 현안 문제점을 미연에 추출하고 신규엔진 개발시 내구시험 개시 가부에 대한 사전 판단에 기여하기 위하여 3기통 800cc급 가솔린엔진을 사용해서 엔진의 부하와 회전수변화에 따른 실린더 벽면의 온도구배를 실험적으로 구함으로써 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 1) 실린더 원주방향 온도의 경우 무부하 운전과 부하 운전(1/4 부하 4000 rpm, 전부하 3000rpm)을 비교했을 때 3000 rpm TDC에서 Front부와 Anti-thrust부는 27°C, Rear부는 23°C, Thrust부는 12°C의 온도차가 발생하였으며, 4000 rpm TDC에서 Front부는 30°C, Anti-thrust부는 33°C, Rear부는 46°C로 가장 많이 상승했다.
- 2) 엔진의 냉각수 출구 온도는 80°C로 일정하게 유지시켰을 경우 TDC에서 원주 방향 온도는 부하상태에 따라 130~155°C로 냉각수 온도보다 50~75°C 상승하였으며, 이로 인한 피스톤의 열팽창을 고려해야 한다.
- 3) Thrust부 축방향의 온도 편차는 1/4 부하에서 6~7°C, 1/2 부하에서 8~9°C, 3/4 부하에서 10~19°C, 전부하에서 10~13°C로, 전 영역에서 6~19°C로 매우 작게 나타났다.
- 4) 실린더 원주 방향의 온도가 가장 높은 곳은 Rear부로 1/4 부하에서 149°C, 1/2 부하에서

153°C, 3/4 부하에서 155°C, 전부하는 158°C로 부하가 증가할 수록 높게 나타났다.

- 5) 실린더 습동방향의 온도 편차를 비교해보면 Front부는 34~47°C, Rear부는 32~48°C, Thrust부는 12~22°C, Anti-thrust부는 35~50°C로 Thrust부를 제외하고는 TDC와 MID 부의 온도 편차가 크게 나타났다.

참고문헌

1. 榎本良揮, "自動車エンジンの溫度測定および熱損失に關する研究", 武藏工業大學博士學位論文, pp. 1~18, 1986
2. 古浜庄一, "自動車エンジンのトライボロジナツメ社", pp. 251~253, 1984
3. 日本機械學會編, "エンジンの溫度測定", JSME-S007, pp. 101, 1986
4. 高松英俊, "薄幅オイルリングを持つ2本リングピストンの溫度およびリング舉動に關する研究" 武藏工業大學碩士學位論文, pp. 27~28, 1986
5. 이현순, "한국 내연기관 개발의 현재와 미래", 대한기계학회지, Vol. 29 (6), pp. 573~580, 1986
6. 吉田 秀樹, "內燃機關の潤滑油消費量に關する研究", 武藏工業大學碩士學位論文, pp. 144, 1981
7. 厚木自動車部品(株) 社内資料, 1986
8. 横堀 武夫, "內燃機關シリンダ内壁,ピストンピストンリングの潤滑に關する研究", 日本機械學會誌, 第13卷, 第45號, pp. 133~163, 1947
9. 藤本博也, 古浜庄一, 後藤隆治, "ギャップセンサをもつ回轉ピストンによる實動中のシリンダボア變形の測定", 日本機械學會論文集-56(523), pp. 851~857, 1990
10. 日本機械學會編, "機械工學便覽-應用編-B7. 內燃機關", p. 191, 1985