

〈논문〉 SAE NO. 2000-03-0060

방사성 추적자를 이용한 피스톤의 비정상 온도 특성에 관한 연구 - 피스톤 링 갭 위치와 블로우 바이 가스의 영향

The Investigations on the Characteristics of Unsteady Piston Temperature Using Radiotracers - The Effect of Piston Ring Gap Position and Blow By Gas

김 중 수*, 김 승 일*, 민 병 순*, 박 승 일*, 오 대 윤*, 정 성 희**, 진 준 하**
Joong-Soo Kim, Seung-Il Kim, Byoung-Soon Min, Seung-Il Park, Dae-Yoon Oh, Sung-Hee Jung, Joon-Ha Jin

ABSTRACT

To understand the thermal characteristics around the piston ring gap, ring gap positions and piston temperatures are measured simultaneously. The locations of piston ring gap are measured by the radio-tracer method, and piston temperatures are measured by a K-type thermocouple and scissors type linkage system.

From these experiments, following facts are clarified. Piston temperatures fluctuate according to the piston ring rotation. And the temperature fluctuation is mainly affected by top ring gap position irrelevant to the second ring gap position. If the top ring gap position gets close to the temperature measuring point, the temperature of top ring groove rapidly increases, and the temperature of top ring groove shows maximum value when top ring gap position coincide with temperature measuring point. The maximum amplitude of temperature fluctuation, which is proportional to the blow by gas rate, is around 12~15°C.

주요기술용어 : Ring gap position(링갭 위치), radio-tracer method(방사성 추적자 방법), Temperature fluctuation(온도 변동), blow by gas rate(블로우 바이 가스량)

1. 서 론

엔진의 열부하 관점에서 주로 고려되는 문제는 연소에 의해 발생한 열이 엔진 외부로 전달되는 과정에서 발생하는 피스톤과 라이너의 온도 분포

변화 및 온도 한계 등에 관한 것이다. 이러한 열적 특성 변화는 피스톤과 라이너의 과다 열변형이나 디포짓(deposit) 형성으로 인한 보어 폴리싱(polishing)등을 유발할 수 있으므로, 이의 특성에 대한 많은 연구들이 수행되어 왔다.^{1,3)}

블로우 바이 가스가 피스톤 랜드 사이의 오일을 쓸어내리는 블로우 다운(blow down) 효과에 의해 엔진 오일 소모에 영향을 준다는 연구가 Petris 등⁴⁾에 의해 수행되었고, Min 등⁵⁾은 블로

* 회원, 현대자동차 선형연구소

** 회원, 한국 원자력 연구소

우 바이 가스의 주요 경로인 링갭의 위치와 오일 소모량의 상관성에 대하여 연구하였다.

이러한 연구를 통하여, 링갭이 블로우 바이 가스의 주요 통로로 엔진의 오일 소모와 밀접한 관련이 있다는 것이 알려졌다. 하지만, 링갭 부근에서 발생하는 마모나 스커핑(scuffing)과 같은 윤활 측면의 문제에 대한 연구는 아직 미진한 상태이다. 일반적으로, 엔진 시험후의 피스톤 링 마모량은 링갭 부근이 다른 부분에 비해 높고, 엔진 시험중 발생하는 링 스커핑의 문제도 링갭 부근에서 시작되는 경우가 많다. 그러므로, 링갭 부근에서 발생하는 트라이볼로지 측면에서의 특수한 현상을 명확히 파악해야 할 필요성이 있다.

피스톤 링갭 부근에서 발생하는 윤활 측면에서의 현상을 이해하기 위해서는 기계적, 열적인 관점에서 접근해야 한다. 그러나, 링갭 부근의 기계적 특성 중 윤활 측면에서 중요 인자인 열적 특성은 측정의 어려움 때문에 파악하기 어렵다.

따라서, 본 연구에서는 링갭의 위치와 피스톤 및 라이너의 온도 분포를 동시에 측정하여, 피스톤 링갭 부근의 열적 특성을 규명하고자 한다.

2. 실험 장치 및 방법

2.1 실험 엔진 제원

본 실험에 사용한 엔진은 직렬형 6기통 직접 분사식 디젤 엔진으로, 배기량은 13 l 이다.

Table 1 Specifications of the test engine

Engine	In-line 6 cyl.
Displacement(l)	13
Combustion type	Direct injection

2.2 온도 측정 장치 및 방법

피스톤과 라이너의 정상 상태 온도는 K-type 열전대를 이용하여 측정하였다. 또한, 열전대 선을 엔진 외부로 인출하기 위하여 가위형 링크 기구를 사용하였다. 링크 장치를 통하여 엔진 외부로 인출된 신호는 서모미터(thermometer)를 거

쳐 데이터 처리 장치로 입력된다.

실험 엔진의 피스톤 형상 및 온도 측정 위치를 Fig. 1에 나타내었다. 피스톤의 온도 측정 위치는 크라운(crown), 톱랜드(top land), 톱링 그루브(top ring groove), 세컨 랜드(second land)등의 16개소이며, 라이너의 온도 측정 위치는 TRR(top ring reversal; 상사점에서 톱링이 위치하는 라이너 부위)의 8개소이다.

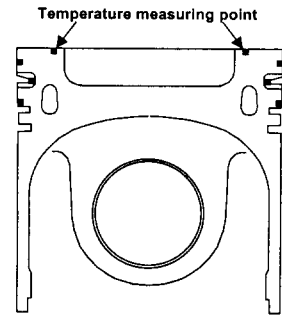


Fig. 1 Schematics of the test piston and the temperature measuring points

2.3 피스톤 링 회전 운동 측정 장치 및 방법

2.3.1 측정 방법

본 실험에서는 링 회전 운동을 측정하기 위하여 방사성 동위원소를 추적자로 사용하였으며,⁵¹ 측정 과정을 Fig. 2에 나타내었다.

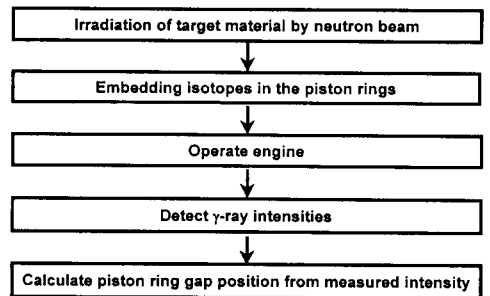


Fig. 2 Measuring procedure of ring gap position

톱링(top ring)과 세컨링(second ring)의 회전 운동을 독립적으로 측정하기 위하여, 코발트(⁵⁹Co)와 이리듐(¹⁹¹Ir)을 한국 원자력 연구소의 연구용 원자로(하나로)에서 중성자(선속; 1.7×

10^{13} n/cm²·sec)를 조사하여 방사성 동위원소인 ⁶⁰Co와 ¹⁹²Ir을 제작하였다. 이 동위 원소 중 ⁶⁰Co는 톱링의 회전 운동 측정에, ¹⁹²Ir은 세컨링의 회전 운동 측정에 사용하였다. ⁶⁰Co은 1.17 MeV 및 1.33 MeV의 고에너지 γ -선을, ¹⁹²Ir은 0.296~0.612 MeV의 저에너지 γ -선을 방출하며, 이 동위 원소의 제작 제원은 Table 2와 같다.

Table 2 Production properties of 2 radioisotopes

표적	중량	조사시간	생성핵종	방사능
Co-59	4.3mg	105 min	Co-60	≈20 μ Ci
Ir-191	3.7mg	10 min	Ir-192	≈100 μ Ci

2.3.2 측정 장치

Fig. 3은 측정 시스템의 개략도이다. 동위 원소에서 방출되는 방사능량을 측정하기 위하여, 엔진 외부에 γ -선 검출기를 설치하였다. 검출된 γ -선은 NaI(Tl) 섬광 검출기(scintillator)에 의해 γ -선의 에너지에 비례하는 전기 신호로 변환되어 계수기 역할을 하는 레이트미터(ratemeter)로 이송된다. 이 레이트미터는 2개의 에너지 창(window)을 가지고 있어 두 방사성 동위 원소로부터 방출된 γ -선을 분리하여 측정할 수 있으며, 지정된 시간(10초) 동안의 방사선 계측치는 데이터 기록 장치로 이송되어 저장된다.

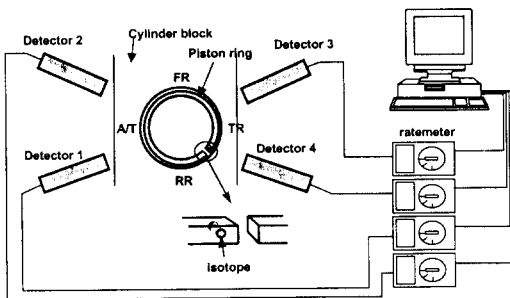


Fig. 3 Measuring system of the ring gap position

2.3.3 보정 실험 과정 및 방법

검출기에 의해 측정된 γ -선 강도로부터 링갭의 위치를 계산하기 위해서는 γ -선 강도와 링갭

위치의 상관 관계를 먼저 구하여야 한다. 이 관계식은 아래와 보정 실험을 수행하여 구하였다.

링갭을 고정시킨 상태에서 특정 각도에서의 γ -선 강도를 측정한다. 이 때, 방사선 계측 시간은 10초이며, 10회 측정하여 평균값을 구하였다. 이렇게 한 각도에서의 γ -선 강도를 측정된 후, 링갭을 시계 방향으로 10° 간격으로 회전시키면서 링갭 위치에 따른 γ -선의 강도를 측정하여 링갭과 γ -선 강도의 상관 관계를 구하였다.

2.3.4 링갭 위치와 γ -선 강도의 관계식

보정 실험에서 구한 링갭의 위치(θ)와 γ 선 강도(I)의 관계를 수학적식으로 나타내면 아래와 같이 표현된다.

$$I = C + A \cdot \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\theta - \mu}{\sigma} \right)^2 \right]$$

- C : background count
- A : peak amplitude
- μ : centroid
- σ : standard deviation

Fig. 4(a)는 윗창인 ⁶⁰Co, (b)는 아랫창인 ¹⁹²Ir의 보정 실험 결과로, 실선은 보정 방정식을, 표식은 측정 데이터를 나타낸다.

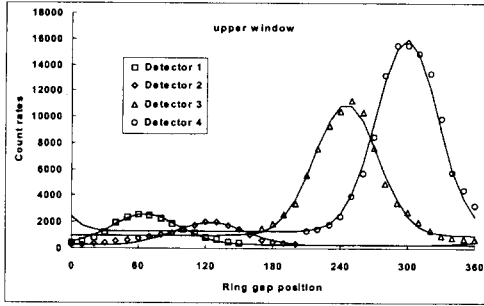
본 실험에서는 측정 오차를 최소화 하기 위하여 검출기의 최대 강도가 발생하는 위상각을 조절하였으며, 검출기 1은 링갭의 위상각이 65°, 검출기 2는 125°, 검출기 3은 245°, 검출기 4는 300° 인 지점에서 최대치가 발생한다.

2.3.5 링갭 위치의 결정

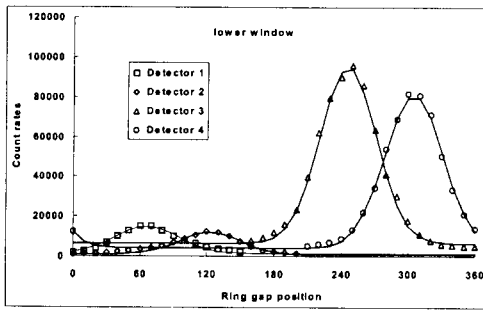
본 연구에서는 실제 측정된 γ 선의 강도와 보정 관계식에서 산출한 강도의 차이 E(θ)를 최소로 하는 위상각 θ 를 링갭 위치로 선정하였다.

$$E(\theta) = \sqrt{\sum_{i=1}^4 [C_i(\theta) - I_i]^2}$$

- C_i : intensity from calibration equation
- I_i : measured intensity



(a) ⁶⁰Co



(b) ¹⁹²Ir

Fig. 4 Measured γ -ray counts and calibration curve according to ring gap position

3. 실험 결과

3.1 링갭 위치와 피스톤 온도 변화

톱링은 일정한 주기로 회전하고, 세컨링은 특정 위치에 고정되어 있는 경우에 대하여, 피스톤 톱링 그루브의 온도를 측정된 결과를 Fig. 5에 나타내었다. 이 그래프에서 링갭이 0인 지점은 리어부(rear point)를 표시하며, 링갭이 증가한다는 것은 링이 시계 방향, 즉 리어(rear)→안티 스러스트(anti thrust)→프런트(front)→스러스트(thrust)의 방향으로 이동하고 있음을 의미한다.

Fig. 5에 나타낸 바와 같이, 톱링은 약 1.5°/sec(회전 주기 : 240sec)의 일정한 속도로 시계 방향으로 회전하고 있으며, 세컨링은 안티 스러스트 부근에 머무르는 경향을 보인다.

이 경우, 톱링 그루브의 온도는 모든 측정 지점에서 일정한 주기(240sec)와 진폭(8~10℃)을

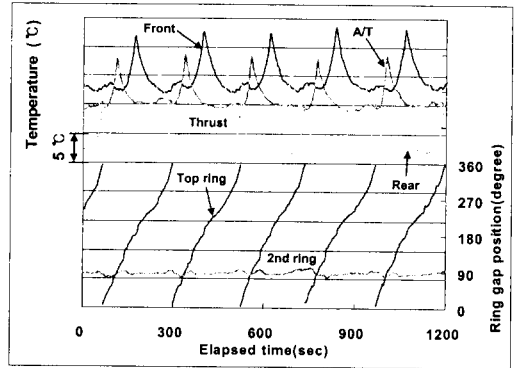


Fig. 5 Variations of top ring groove temperature when top ring is rotating

가지며 변동하며, 온도 변동 주기는 톱링의 회전 주기와 일치한다. 본 시험에서 온도 변동 주기는 온도가 최대가 되는 지점 사이의 시간 간격으로, 진폭은 한 주기 사이의 최대 온도와 최소 온도의 차이로 정의했다.

Fig. 6은 Fig. 5와 동일한 실험 조건에서 라이너 TRR 부의 온도 변화를 측정된 결과이다. 톱링 그루브의 경우와 마찬가지로, 라이너 TRR 지점의 온도도 일정한 주기와 진폭을 가지며 변화한다. 라이너의 온도 변동 주기도 톱링의 회전 주기와 일치하고, 진폭은 톱링 그루브와 비슷한 6~9℃이다.

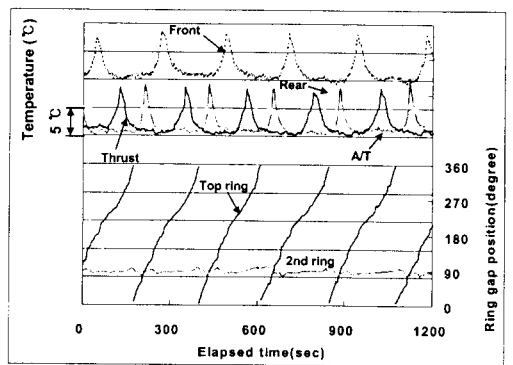


Fig. 6 Variations of liner TRR point temperature when top ring is rotating

Fig. 7은 피스톤 링의 회전 운동과 피스톤의 온도 분포를 측정된 결과이다.

톱링은 시계 방향으로 $0.8^\circ / \text{sec}$ (회전 주기 : 420sec)의 속도로 회전하고 있으며, 세컨링은 안티 스러스트에서 프론트 방향으로 이동하고 있지만, 주기적인 회전 운동을 하지는 않는다. 이러한 경우, 톱링 그루브의 온도는 Fig. 5의 결과와 마찬가지로 톱링 갭의 위치와 상관성을 가지며, 일정한 주기와 진폭을 가지며 변화한다.

이 그래프에서 주목할 점은 톱링 그루브의 온도 뿐만 아니라, 크라운과 세컨 랜드등 피스톤 전체의 온도 분포가 톱링 갭의 위치와 상관성을 가지며 변동한다는 것이다. 이러한 현상은 톱링갭을 통과하는 블로우 바이 가스에 의한 열전달의 영향과 톱링 그루브 온도 변화에 따른 열 전달 조건 변화에 기인한다.

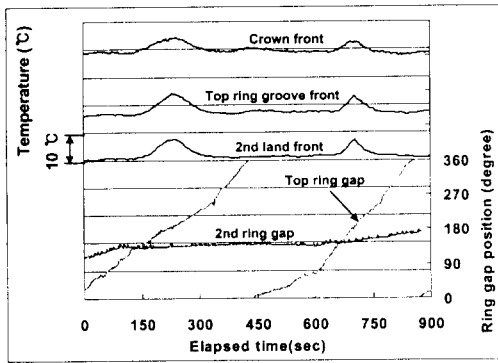


Fig. 7 Relations of top ring gap position and piston temperature fluctuation

Fig. 8은 톱링은 특정 위치에 고정되어 있고, 세컨링이 일정한 주기를 가지며 회전하는 경우의 피스톤 온도를 측정된 결과이다. 톱링은 리어와 안티 스러스트 사이에서 진동하며 움직이지만 주기적으로 회전하지는 않고, 세컨링은 평균 $0.9 \sim 1.1^\circ / \text{sec}$ (회전 주기 : 340~420sec)의 속도로 시계 방향으로 회전하는데, 프론트 부근에서는 회전이 느려져서 거의 정지했다가 다시 회전하는 불규칙한 경향을 보인다.

이 경우, 톱링 그루브의 온도는 리어부와 안티 스러스트부의 온도가 증가했다가 감소하는 경향을 보이지만, Fig. 5와 같은 주기적인 변동 현상

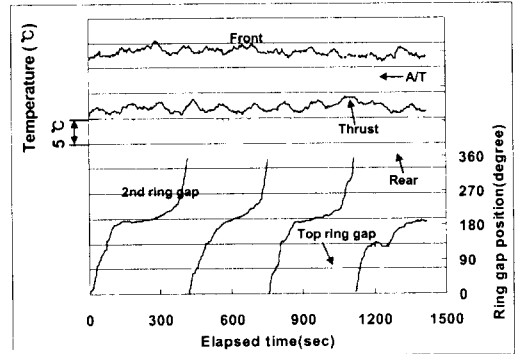


Fig. 8 Variations of top ring groove temperature when second ring is rotating

은 나타나지 않는다. 또한, 리어부와 안티 스러스트부에서 발생하는 온도 변화도 톱링 갭의 위치와 연관성을 가지는 것으로 판단되며, 톱링 갭에서 멀리 떨어져 있어 톱링의 영향을 받지 않을 것으로 판단되는 스러스트 부의 온도는 $2 \sim 3^\circ \text{C}$ 변화하는 경향을 보이지만, 세컨링 갭의 위치와 관련되는 주기적인 경향을 보이지 않는다.

이러한 현상은 피스톤에서 발생하는 비정상적인 온도 변동이 세컨링의 위치에는 영향을 받지 않으며, 톱링갭의 위치에만 영향을 받는다는 것을 의미한다.

톱링 갭의 위치와 상관 관계를 가지면서 엔진 전체의 온도 분포가 아닌 특정 지점의 금속면 온도 변화를 유발하는 엔진 요소는 블로우 바이 가스이다. 연소실과 크랭크 케이스의 압력차에 의해 발생하는 블로우 바이 가스는 대부분 링갭을 통하여 랜드 사이로 전달되므로 링갭의 위치와 상관성을 가진다. 이러한 블로우 바이 가스가 링갭을 통하여 랜드 사이로 전달되는 과정에서 대류 열전달의 형태로 피스톤 톱링 그루브 및 라이너 TRR 지점의 온도 분포에 영향을 미치게 된다. 즉, 링갭이 특정 위치로 접근하면, 기존에 존재하는 크라운으로부터 전도에 의해 전달되는 열원 (q_1)에 블로우 바이 가스로부터 대류에 의해 전달되는 열원 (q_2)이 합성되므로, 톱링 그루브의 온도가 정상 상태보다 상승하게 된다.

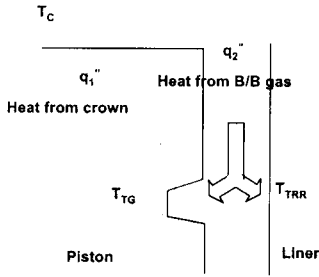


Fig. 9 Heat flow by blow by gas

3.2 온도 변동량과 링갭 위치의 상관 관계

톱링 갭의 위치와 톱링 그루브 및 라이너의 온도 변화를 Fig. 10에 나타내었다.

이 그래프에서 위상각은 온도 측정 지점과 톱링 갭의 상대 위치를 의미한다. 즉, 위상각이 0이라는 것은 온도 측정 위치와 링갭의 위치가 일치함을 의미하고, 위상각이 증가하거나 감소한다는 것은 링갭의 위치가 온도 측정 지점으로부터 멀어짐을 의미한다.

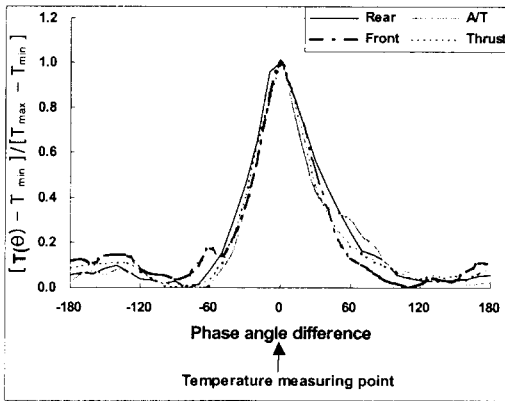


Fig. 10 Relations of top ring gap position and temperature fluctuations

Fig. 10에 나타난 바와 같이, 톱링 갭의 위치가 온도 측정 지점으로 접근하면, 측정 지점 60° 전방부터 온도가 서서히 증가하기 시작하여 톱링 갭이 온도 측정 지점을 지날 때에 측정 온

도는 최대값을 보인다. 또한, 톱링 갭의 위치가 온도 측정 지점을 지나 멀어지면, 온도는 감소하기 시작하여 링갭의 위치가 측정 지점으로부터 60° 이상이 되면, 온도는 거의 변하지 않는다.

이러한 온도 변동량과 톱링 갭 위치는 정규 분포를 이루며, 다음과 같은 관계식으로 표현할 수 있다.

$$\frac{T(\theta) - T_{\min}}{T_{\max} - T_{\min}} = \exp\left[-\frac{1}{2} \times \left(\frac{\theta}{25}\right)^2\right]$$

- $T(\theta)$: Temperature at arbitrary top ring gap position (°C)
- T_{\min} : minimum temperature during top ring rotation (°C)
- T_{\max} : maximum temperature during top ring rotation (°C)
- θ : Phase angle of top ring gap and temperature measuring point (degree)

Fig. 11은 톱링 갭 위치에 따른 원주 방향의 온도 분포이다. Fig. 10에서 나타낸 바와 같이, 톱링 갭 60° 전방부터 온도가 서서히 증가하기 시작하여 톱링 갭 위치에서 최고 온도를 보이며, 톱링 갭 위치에서 멀어지면 온도가 감소한다. 이때, 최고 온도와 최소 온도는 측정 위치 및 링의 회전 속도, 블로우 바이 가스량의 영향에 의해 차이를 보이지만, 약 6~12°C이다.

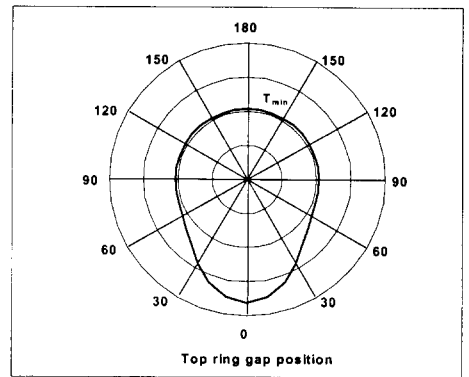


Fig. 11 Circumferential temperature distribution according to top ring gap position

3.3 블로우 바이 가스량과 온도 변동량의 상관 관계

전술한 바와 같이, 온도 변동은 톱링 겹을 지나는 블로우 바이 가스의 영향으로 발생한다. 그러므로, 온도 변동량은 블로우 바이 가스량과 상관 관계를 가진다. 톱링이 회전한 경우에 대하여 블로우 바이 가스량과 톱링 그루브 온도 진폭의 상관 관계를 Fig. 12에 나타내었다.

이 결과에 의하면, 톱링 그루브의 온도 변동량은 블로우 바이 가스량과 거의 선형적인 관계를 가짐을 알 수 있다. 즉, 블로우 바이 가스량이 많아질수록, 링갭의 위치가 피스톤 및 라이너 온도에 영향을 줄 가능성이 높아진다.

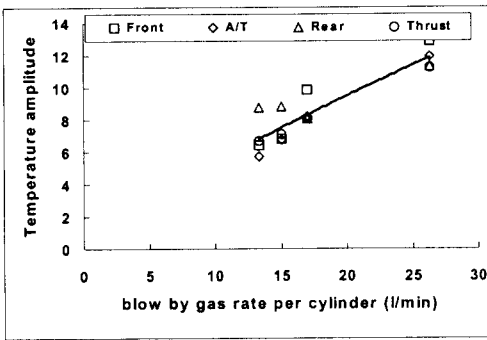


Fig. 12 Effect of blow by gas rate on the amplitude of temperature fluctuation

4. 결 토

피스톤 및 라이너의 비정상적인 온도 변동은 톱링갭의 위치에는 크게 영향을 받지만, 세컨링갭의 위치와는 큰 상관 관계를 가지지 않는다. 이 원인을 규명하기 위하여 연소실 압력을 측정하여 랜드의 압력 및 가스의 온도를 계산하였다. 가스의 온도는 WAVE code로 계산하였으며, 각 링을 통한 랜드 간의 가스 흐름은 각 링 사이의 공간, 즉 랜드의 체적이 오리피스스를 통하여 서로 연결되어 있다고 가정된 오리피스-체적(orifice-volume) 모델을 이용하여 랜드의 압력을 해석하였다.⁶⁾

Fig. 13의 해석 결과에서 볼 수 있듯이, 연소실의 가스 온도는 블로우 바이 가스가 주로 발생

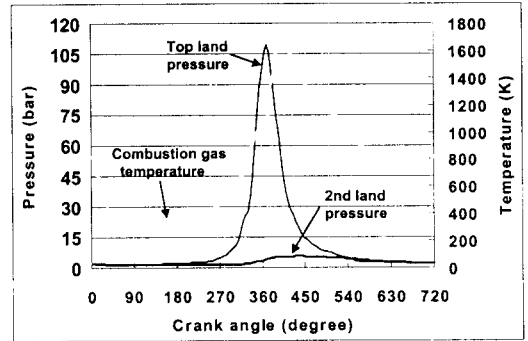


Fig. 13 Variations of land pressure and combustion gas temperature (simulation test results)

하는 압축 행정 말기-팽창 행정 초기에는 800~1400K로 주위 금속면 온도에 비해 상당히 높다. 하지만, 압력 감소에 비례하여 가스의 온도가 감소하므로, 세컨 랜드 가스의 온도는 톱랜드 가스 온도에 비하여 낮아지게 되고, 세컨 랜드의 가스에 의한 주위 금속면으로의 열전달량은 상대적으로 낮아진다. 그러므로, 비정상적인 피스톤 온도 변화는 톱링 갭의 위치에는 크게 영향을 받지만, 세컨링 갭의 위치에는 영향을 거의 받지 않는 것으로 판단된다.

Fig. 14는 가솔린 엔진에서의 라이너 온도 변화를 측정된 결과이다. 실험 조건에서의 블로우 바이 가스량은 4 l/min · cyl 이다.

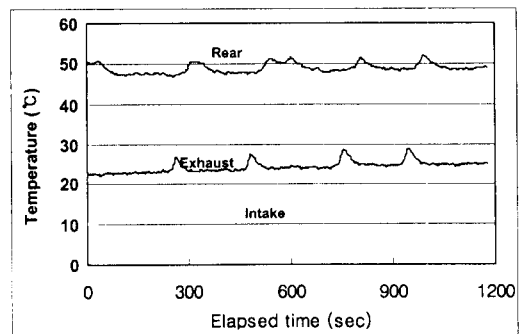


Fig. 14 Variation of liner TRR point temperature (result of gasoline engine test)

가솔린 엔진의 경우도 주기적으로 온도가 변동하는 현상이 나타남을 알 수 있다. 그러

나, 블로우 바이 가스량이 디젤 엔진에 비하여 낮으므로, Fig. 12의 결과에서 예상한 바와 같이 라이너의 온도 변동량은 디젤 엔진보다 낮은 2~3°C 수준이다.

이와 같은 피스톤 및 라이너의 온도 변동 현상은 다음과 같은 문제를 유발할 수 있다.

① 톱랜드 및 톱링 그루브의 카본 디포짓 형성량은 일정 온도 이상이 되면 급격히 증가하는 경향을 나타낸다.⁷⁾ 그러므로, 블로우 바이 가스에 의해 피스톤의 온도가 국부적으로 10~15°C 이상 상승하면, 카본 디포짓 형성량이 급증하여 라이너 과다 마모나 보어 팽리싱등의 문제를 발생시킬 가능성이 높아진다.

② 오일의 온도가 증가할수록 점도가 감소하여 유막은 얇아지므로,^{8,9)} 블로우 바이 가스의 전열에 의해 피스톤 링 및 링갭 주위의 금속면 온도가 증가하면, 링-라이너 사이의 윤활 조건 악화에 의한 링 스커핑이 유발될 수 있다.

③ 블로우 바이 가스에 의해 라이너의 온도가 국부적으로 상승하게 되면, 헤드 볼트 축력이나 열 팽창에 의한 라이너의 변형을 심화시키게 되므로 링의 원주 방향 하중 분포가 불균일하게 되고, 이로 인해 국부적인 과다 마모나 스커핑이 발생할 수 있다.

④ 피스톤의 톱링이 특정한 위치를 중심으로 진동하거나, 특정 위치에서 고정되어 있는 경우는 블로우 바이 가스에 의한 전열 시간이 증가하므로 온도 변동량이 링이 회전하는 경우에 비해 높아진다. 즉, 링이 회전하지 않고, 특정한 위치에 정지되어 있다면, 링 갭 주위의 국부적인 온도 상승이 과다하여 라이너와의 접촉 형태 변화나 윤활 부족 현상을 유발하여 조기 피스톤 링 스커핑 발생의 원인이 될 수 있다.¹⁰⁾

5. 결 론

피스톤 링갭 부근의 열적 특성을 파악하기 위해 방사성 동위원소 추적자를 사용하여 피스톤

링갭의 위치와 피스톤 및 라이너의 온도를 동시에 측정하였으며, 이를 통하여 다음과 같은 사실을 알 수 있었다.

1) 톱링 그루브 및 라이너 TRR 지점의 온도는 세컨링 갭의 위치에는 상관없이 톱링갭의 위치에만 영향을 받으며 변화한다. 이러한 온도 변동 현상은 블로우 바이 가스가 링갭을 통하여 랜드 사이로 전달되는 과정에서 대류 열전달의 형태로 주위 금속면의 온도 분포에 영향을 주기 때문에 발생한다.

2) 온도 변동량과 톱링 갭 위치는 아래와 같은 관계를 가지며 변화한다.

$$\frac{T(\theta) - T_{\min}}{T_{\max} - T_{\min}} = \exp\left[-\frac{1}{2} \times \left(\frac{\theta}{25}\right)^2\right]$$

즉, 톱링 갭의 위치가 온도 측정 지점으로 접근하면, 측정 지점 60° 전방부터 온도가 증가하기 시작하여 톱링 갭이 온도 측정 지점을 지날 때에 측정 온도는 최대값을 보이며, 링갭이 측정 지점을 지나 멀어지면 온도가 감소하기 시작하여 링갭의 위치가 측정 지점으로부터 60° 이상이 되면, 온도는 거의 변하지 않는다.

3) 톱링 그루브 및 라이너의 온도 변동량은 블로우 바이 가스량에 비례하는 관계를 가진다. 즉, 블로우 바이 가스량이 많은 디젤 엔진에서는 온도 변동량이 8~15°C 수준으로 엔진 설계시 이러한 현상을 고려해야 할 만큼 크게 나타나지만, 블로우 바이 가스량이 적은 가솔린 엔진에서는 온도 변동량이 2~3°C로 크지 않다.

4) 이러한 온도 변동 현상은 톱링 그루브나 톱랜드 온도 상승에 의한 카본 디포짓 과다 형성, 링-라이너 윤활 조건 악화에 의한 링 스커핑 문제, 라이너의 온도 분포 변화에 의한 라이너 열변형등의 문제를 유발할 수 있다. 그러므로, 이러한 온도 변동 현상을 고려한 엔진 냉각계 설계가 필요하다.

참 고 문 헌

- 1) M. Roehrl, "Thermal Effects on Diesel Engine Pistons", SAE technical paper 780781, 1978.
- 2) S. Furuham, "Thermal Problems in Engines Part 5", Internal Combustion Engine, Vol.22, No.281, 1983.
- 3) Y. Suzuki, "The Pistons for Internal Combustion Engines", Engine Technology, Vol.1 No.2, 1999.
- 4) C. De Petris, V. Giglio and G. Police, "Some Insight on Mechanisms of Oil Consumption", SAE technical paper 961216, 1996.
- 5) B. S. Min, J. S. Kim and J. K. Choi, "Dynamic Characteristics of Oil Consumption", SAE technical paper 982442, 1998.
- 6) B. S. Min, J. S. Kim and J. K. Choi, "Effect of Piston Ring Gap on the Axial Motion of Piston Ring and Oil Consumption", KSAE 97370042 Vol 5. No. 2, 1997.
- 7) J. S. Kim, B. S. Min and J. K. Choi, "The characteristics of carbon deposit formation in piston top ring groove of gasoline and diesel engines", SAE technical paper 980526, 1998.
- 8) K. Shin, Y. Tateishi and S. Furuham, "Measurement of oil film thickness between piston ring and cylinder", SAE technical paper 830068, 1983.
- 9) S. L. Moore, "Piston Ring Oil Film Thickness-The Effect of Viscosity", SAE technical paper 850439, 1985.
- 10) J. Ma, T. W. Ryan and R. Dixon, "The Piston Ring Shape and Its Effects on Engine Performance", SAE technical paper 960052, 1996.