

<논 문> SAE NO. 97370104

## DI 디젤기관 실린더 헤드표면의 순간온도 및 열유속 측정에 관한 실험적 연구

### An Experimental Study on the Measurement of Instantaneous Surface Temperature and Heat Flux on the Cylinder Head Surface of DI Diesel Engine

이 재 순\*, 김 기 태\*\*, 이 현 구\*\*, 강 태 경\*\*, 우 종 현\*\*, 김 수 성\*\*\*  
J. S. Lee, K. T. Kim, H. K. Lee, T. K. Kang, C. H. Woo, S. S. Kim

#### ABSTRACT

For the experimental measurement of heat flux of DI diesel engine combustion chamber, the instantaneous temperature probes and data acquisition system were developed. By the analysis of measured temperatures at the cylinder head, the temperature at the point 3 which is located between intake and exhaust valve was higher than that of the other points. Temperatures at the point located near the exhaust valve were higher than those of intake valve. The instantaneous and mean temperature at the cylinder head increases proportionally to the increase of the engine speed, while the temperature swing varies inversely. Temperature swings have influence on the maximum heat flux values from gas into head surface.

It has been verified that these probes and data acquisition system perform well by the comparison of the trend of instantaneous temperature variation with that of measured combustion chamber pressure variation with respect to crank angle. It is presumed that these probes could be used in the measurement of other parts of combustion chamber as piston, cylinder wall etc. for the future study.

주요기술용어 : Instantaneous Temperature(순간온도), Heat Flux(열유속), Cylinder Head(실린더 헤드), Combustion Chamber(연소실), Temperature Swing(온도진폭)

———— 기 호 설 명 ————		
$A_n$ : Fourier Coefficient	$B_n$ : Fourier Coefficient	
	$c_p$ : 정압비열	[kJ/kg·K]
	$h$ : 열전달계수	[W/m <sup>2</sup> ·K]
	$k$ : 열전도계수	[W/m·K]
	$n$ : harmonic number	
	$P$ : 압력	[atm]
	$\dot{q}_w$ : 순간열유속	[W/m <sup>2</sup> ]

\*정회원, 건국대학교 기계공학과

\*\*정회원, 건국대학교 대학원

\*\*\*대동공업주식회사

$\bar{S}_0$ : 평균피스톤속도	[m/s]
$T$ : 온도	[K]
$t$ : 시간	[s]
$x$ : 거리	[m]
$a$ : 열확산계수	[m <sup>2</sup> /s]
$\tau$ : 주기	[s]
$\omega$ : 각속도	[rad/s]

### 첨자(Subscript)

$g$ : gas
$l$ : length
$m$ : mean
$w$ : wall

## 1. 서 론

내연기관의 연구에서는 연소실 벽면으로부터 열전달률 계산이 필수적이다. 통상적으로는 사이클 당 평균 열전달 계산으로 충분하나, 노킹이나 고출력화, 저연비화 등과 같은 보다 정확한 기관 설계를 위해서는 순간 연소현상에 관한 자료가 필요하다.<sup>1)</sup> 근간 가용한 상용 시뮬레이션 프로그램으로 열응력, 열전달 등에 관한 각종 필요 자료를 구할 수 있으나 이러한 시뮬레이션 프로그램으로 보다 정확한 자료도출은 순간온도와 순간 열플럭스 등과 같은 정확한 경계조건이 필수적이다.<sup>2)~3)</sup>

순간온도 열플럭스에 관한 연구는 이론이든 실험이든 많지 않다. 국외 연구로는 Enomoto와 Furuhashi는 벽표면에서의 순간온도 측정용 열전대 설계법에 대해 이론적인 해석과 실험적인 검증을 수행하였다.<sup>4)~5)</sup> Enomoto와 Endo는 가솔린 기관에 대해 노킹에 의한 연소실 벽표면의 이상온도상승 현상을 계속하였다.<sup>6)</sup> Kevin은 직분식 디젤기관 실린더 헤드부에서의 비정상 열유속을 측정하여 공연비, 기관회전수 및 냉각수 온도에 따른 순간열유속의 영향을 연구하였다.<sup>7)</sup> 국내 연구로는 이성렬 등이 가솔린기관의 연소실 벽표면의 비정상 온도측정에 관한 연구를 하였고,<sup>8)</sup> 이종태 등도 가솔린 기관의 연소실 벽표면

의 순간온도 및 열플럭스에 관한 실험적 연구를 수행하였다.<sup>9)</sup>

본 연구는 직분식 디젤기관 연소실의 실린더 헤드표면으로부터 순간온도와 순간열플럭스를 측정하여 연소실에서의 순간열전달률에 관한 실험적인 연구를 수행하였다. 이 연구를 위한 순간온도 측정용 프루브와 자료취득장치는 직접 제작하여 사용하였다.

## 2. 순간온도프루브의 제작 및 열유속 해석

비정상적으로 변화하는 연소실 벽표면의 온도를 측정하기 위해서 빠른 응답성을 갖는 박막형 순간온도프루브를 제작하였다. 프루브의 재질 및 소선의 열적 물성치와 크기, 절연층의 두께 그리고 박막두께 등의 차이에 따라 측정값에 오차를 수반하므로, 이점을 고려하여 측정값에 신뢰도가 있도록 박막형 순간온도프루브를 제작한다.<sup>10)~15)</sup>

제작하는 박막형 순간온도프루브는 우선 열접점에서 냉접점로의 열의 흐름이 1차원적으로 단지 수직방향으로 전달된다고 전제하기 위해 기존에 Enomoto 등이 제시한 설계법을 응용해 벽표면 순간온도 뿐만 아니라, 순간 열유속을 측정할 수 있도록 프루브 표면에 열접점과 표면으로부터 4mm 깊이, 중심으로부터 0.65mm 떨어진 지점에 냉접점을 만든다. 열접점부는 화학도금하며 냉접점부는 냉점용접한다.<sup>4)~5)</sup> 프루브 크기는 장착상의 문제로 몸체외경은 기존의 3mm에서 3.5mm로 하였고 길이는 9mm 그대로 채택하였다. 그리고 프루브 중앙홀의 내경은 기존의 0.15mm에서 0.3mm로 하였다.<sup>4)~5)</sup> Fig.1은 프루브의 개략적인 설계도를 나타낸다. 열접점부에는 0.25mm 열전대 소선을 1.1mm 내경에 삽입하고 세라믹접착제로 절연한다. 두 소선 끝단에는 금을 증착시키고 10 $\mu$ m 니켈 박막을 형성시켜 열접점을 형성한다.

연소실 벽면의 순간 열유속은 순간온도프루브로부터 측정된 벽표면 온도와 냉접점의 온도를 1차원 비정상 열전도방정식에 관한 Fourier 미분방정식에 대입하여 구한다. 측정된 결과로부터 실린더 헤드로의 순간 열유속의 거동 및 분포,

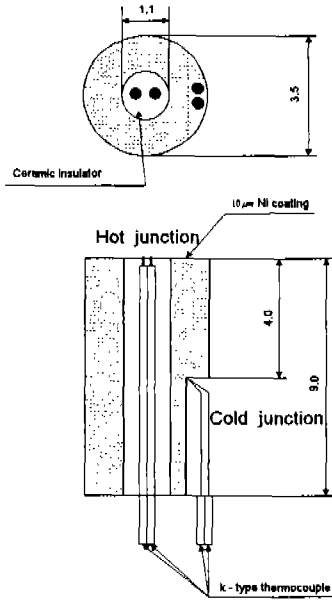


Fig.1 Schematic Diagram of Instantaneous Temperature probe

순간열유속을 파악한다.

또한 Eichelberg의 경험식에 의한 계산된 열유속과 본 연구에서 수행한 연구결과를 비교하여본다.

### 3. 실험장치 및 측정방법

Fig.2은 실험장치의 개략도이며 실험에 사용한 기관은 수냉식 4행정 단기통 디젤기관이다. 실험에 사용된 엔진의 주요제원은 Table 1과 같다.

압력데이터를 취득하기 위해 실린더 헤드 외부에서 연소실 헤드 표면까지 냉각수통로를 관통하는 아답터를 제작하여 취부하였다. 측정에 사용된 압력센서는 Kistler 6125A1 Piezoelectric Pressure Transducer이다.

온도데이터를 취득하기 위해 실린더 내 헤드표면의 순간온도프루브로부터 출력되는 미소전압을 K형 열전대 냉접점보상회로와 증폭기능이 있는 AD595 IC에서 증폭한다. Fig.3은 제작된 증폭기에 대한 온도환선도이다. 실험에 사용할 프루브를 헤드부에 장착한 후 온도를 일정하게 조정

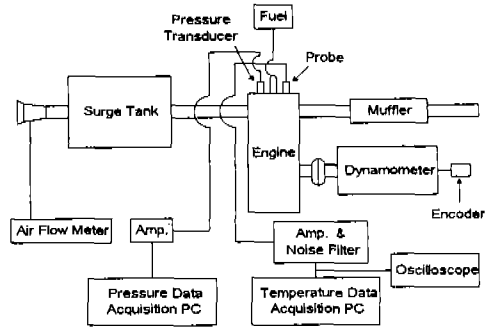


Fig.2 Schematic Diagram of Experimental Apparatus (Dual Mode)

Table 1 Engine Specification

Engine Type	Water Cooled DI Diesel Engine
Bore × Stroke	95mm × 95mm
Displacement Volume	673cc
Combustion Chamber Volume	39.6cc
Compression Ratio	18
Number of Cylinder	1
Valve Timing	IVO : 20degBTDC IVC : 44degABDC EVO : 44degBBDC EVC : 20degATDC

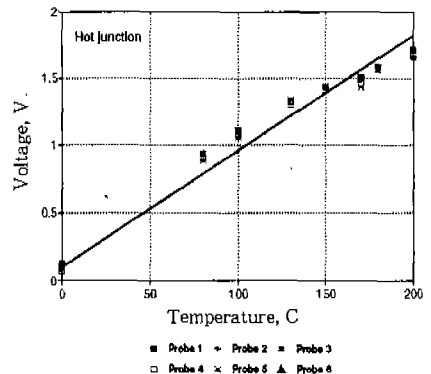


Fig.3 Calibration Diagram of Instantaneous Temperature Probe

할 수 있는 교반기에 장치하고 0~200℃까지 상승과 감소를 반복하여 전압을 측정하였으며 정확한 측정온도의 정확도를 위해 표준온도계로 확인하였다. 온도환산식은 다음과 같다.

$$T = \frac{(Volt - 0.125)}{0.865} \times 10^3 \quad (1)$$

실린더 헤드에 삽입한 순간온도프루브의 삽입 위치와 연료분사방향을 Fig.4에 나타낸다. 프루브는 흡·배기밸브 브릿지를 중심으로 대칭적으로 6개를 삽입하였다.

가스로부터 실린더 헤드로의 열유동을 1차원적이라 볼 때 이를 만족시키기 위해서는 각각의 순간온도프루브를 연소실 벽면과 단열 시킴으로써 가능하다. 단열성이 우수한 것에는 세라믹본드가 있지만 수용성이므로 냉각수와 접촉하는 프루브 후면에는 열전도성이 적고 내수성·내열성이 우수한 Polyamide 접착제를 사용하여 순간온도프루브를 실린더 헤드에 삽입한다. 삽입된 순간온도프루브의 리드선은 냉각수 통로를 거쳐 실린더 헤드 측면으로 인출하고 실리콘으로 접착하여 기밀을 유지한다.

본 연구에서는 연료분사펌프를 전개시킨 상태에서 동력계의 하중을 조절하여 1000rpm에서

1800rpm 까지 200rpm 단위로 5번에 걸쳐 실험이 수행되었다.

실린더 헤드에는 soot와 같은 퇴적물이 벽표면에 부착되어 온도경계층을 형성하게 된다. 기관의 초기구동시에는 이러한 퇴적물의 영향이 없어 정상적인 작동이라고 볼 수 없으므로 실린더 헤드의 교체 후 정상작동을 위해 임의의 시간동안의 예비운전이 선행되어야 한다. 예비운전이 수행되는 동안 순간온도프루브에서 출력되는 신호의 파형이 정상인지를 오실로스코프로 확인하고 Noise 요소를 제거한 후 데이터측정이 수행되었다.

#### 4. 결과 및 토의

##### 4.1 벽표면 순간온도의 거동

Fig.5는 실린더 헤드의 벽표면 온도가 가장 높은 1800rpm에서 각각의 순간온도프루브로부터 측정된 열접점과 냉접점의 온도를 나타낸다. 그 중 흡기와 배기밸브 사이의 브릿지에 있는 P3점의 순간온도는 압축작화가 일어나면서 온도가 급격히 상승하고 있으며 다소 완만히 감소하고 있다. P1, P2점의 온도변화도 상승폭에 있어 크기 차이는 있으나 P3점과 비슷한 경향을 보이고 있다. 냉접점에서는 전 구간에 있어 정상온도값을

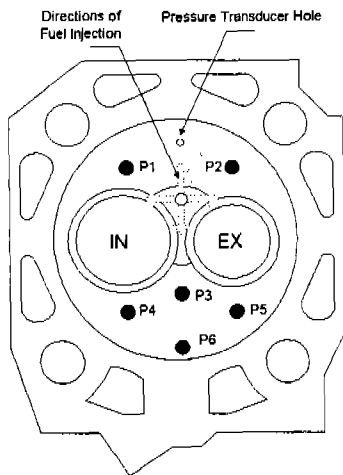


Fig.4 Location of Measuring Points

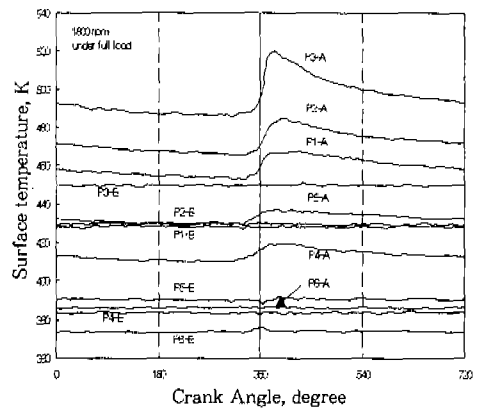


Fig.5 Temperature Variation of Each Probes Versus Crank Angle(A:Hot Junction, B:Cold Junction)

값는다. P4와 P5점의 온도상승이 다른점보다 다소 빠르는데 그 이유는 피스톤과 실린더 헤드 상하로 마주볼 때 P1과 P2점은 피스톤의 보울(Bowl)의 경계선 상에 비해 P4, P5 및 P6는 보울의 외곽에 위치하고 있다. 피스톤이 압축행정을 할 때 압축행정 말기에 피스톤면과 실린더 헤드의 부분이 가깝게 접근할 때 보울의 반경방향 안쪽으로 스쿼시(Squish)가 발생한다. 따라서 보울 경계면에 위치한 P1, P2는 공기유동의 영향을 받아 온도상승을 감쇄시키는 영향이 있다고 보는데 P4, P5는 보울 밖의 랜드(Land) 부위에 위치하므로 공기유동의 영향을 적게 받으므로 좀더 빠른 온도상승이 일어난다고 사료된다.

Fig.6은 P3점에 대한 1000rpm~1800rpm까지 200rpm 단위로 측정된 벽표면 온도를 나타낸다. 열접점의 비정상 벽표면온도와 냉점점의 정상온도가 기관회전수에 따라 증가함을 볼 수 있다. 이는 기관회전수의 증가로 인한 단위시간당 공급열량의 증가로 인한 온도 상승 경향이다. 또한 벽표면 순간온도의 급격상승 최고온도가 기관회전수 증가에 따라 7°의 지연을 나타내고 있으며 이는 크랭크각당 연료분사시간이 매우 짧기 때문이다.

Fig.7은 각 엔진속도에 따른 각각의 측정점의 순간온도프루브에서의 열접점의 온도진폭, 최고온도 및 평균온도를 나타낸다. Fig.7(a)에서 보

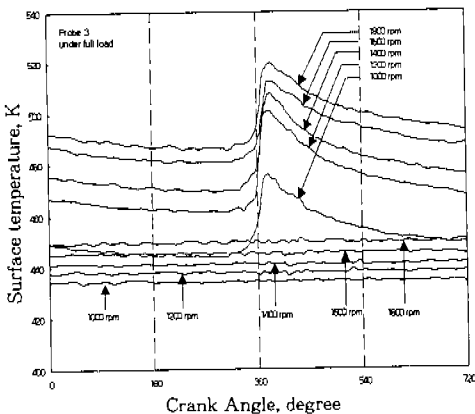
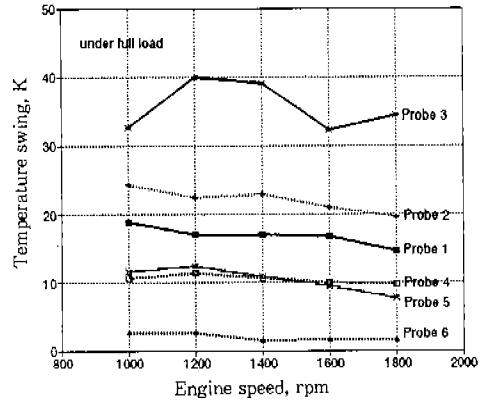
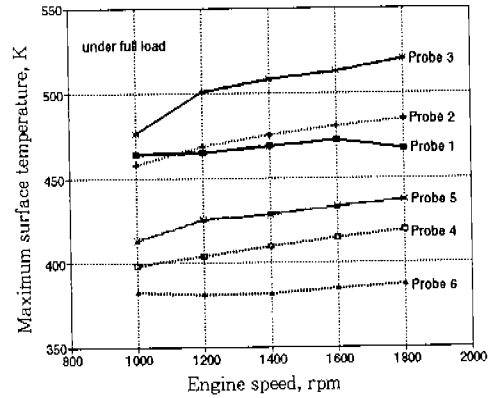


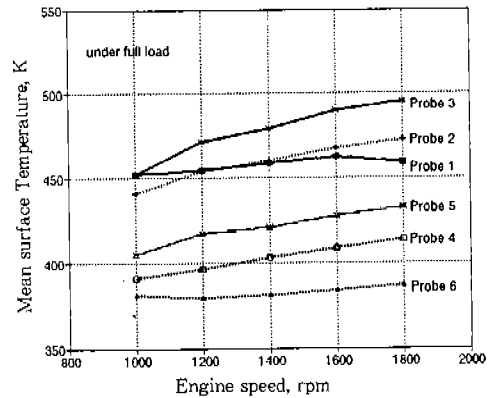
Fig.6 Hot and Cold Junction Temperature Variation Versus Crank Angle



(a)



(b)



(c)

Fig.7 Diagram of (a) Temperature Swing, (B) Maximum and (c) Mean Temperature Variations Versus rpm at Each Point of Probes(Hot Junction)

듯이 순간온도의 최고값과 최저값의 차이인 온도 진폭은 대체로 기관회전수의 증가에 따라 대체로 감소하는 경향을 보여준다. Fig.7(b)는 기관회전수에 따른 벽표면온도의 최고값을 나타내며, Fig.7(c)는 사이클 중 벽표면 순간온도의 평균값을 나타내 준다. 여기서 최고온도값이나 평균온도값은 기관의 회전수의 증가에 따라 상승하고 있음을 보여준다. 이는 전술한 바와 같이 기관회전수의 증가에 따른 단위시간당 공급열량의 증가에 기인한다. 그러나 P1 점이 1600rpm에서 1800rpm으로 증가할 때 감소하는 현상은 기관회전수 증가에 따른 흡기밸브에 인접한 흡입공기의 유동 영향으로 생각된다.

Fig.5~7에서 보듯이 흡기쪽의 P1 측정점의 온도구배가 배기쪽의 P5 측정점보다 높은 것은 Fig.4에서 알 수 있듯이 연료분사 영역이 흡기쪽 P1점에 근접되어 있어 화염전파시 직접적인 비정상열류를 접하기 때문이라고 할 수 있다. 또한 6번 측정점의 순간온도의 거동이 완만한 것은 화염전파가 제대로 이루어지지 않는 구역인 이유로 간주된다.

4.2 벽표면 순간온도의 분포

Fig.8은 순간온도의 거동으로 살펴본 각 측정점에서의 온도분포를 나타낸다. Fig.8(a)는 사이클 중 벽표면 순간온도의 평균값이며 Fig.8(b)는 최고온도값이다.

인젝터를 중심으로 연료분사 방향으로 직접 향

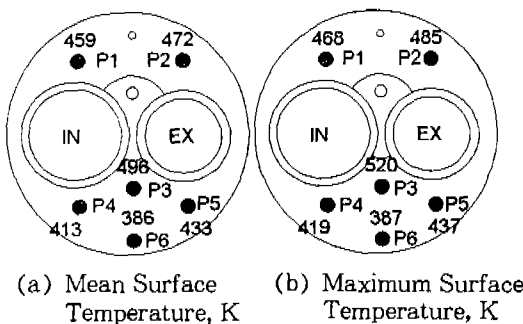


Fig.8 Mean and Maximum Temperature of Each Point of Head at 1800rpm Under Full Load

하고 있는 P3점의 온도가 가장 높으며 P1, P2 점은 P4, P5, P6보다 연료분사 영역에 매우 근접되어 있으므로 보다 높다. 또한 배기쪽이 흡기쪽보다 높다. 온도배치는  $P3 > P2 > P1 > P5 > P4 > P6$  순서로 이루어진다.

4.3 순간열유속 계산

연소실벽으로의 순간열유속은 순간표면온도를 측정함으로써 얻을 수 있다. 벽에서의 온도변화는 가스와 벽사이의 시간에 따라 변화하는 경계조건 때문에 발생한다. 벽에서의 온도변화는 벽표면으로부터 미소거리인 1mm 이내에서 감쇠되므로 측정은 표면에서 이루어져야 한다.<sup>(6)</sup>

연소실 가스로부터 순간온도프루브의 열냉점점으로 흐르는 열유속은 제작시에 고려된 전체하에 1차원 비정상유동으로 가정하여 Fourier 1차원 비정상 열전도방정식으로 순간열유속을 구한다.<sup>(7)~(8)</sup>

지배방정식 :

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{1}{\rho c_v} \frac{\partial}{\partial x} \left( k \frac{\partial T}{\partial x} \right) \tag{2}$$

벽표면에 수직한  $x$ 방향으로  $x=0$ 인 열접점과  $x=l$ 만큼 떨어진 곳에 위치한 냉접점에 대한 경계조건은 다음과 같다.

경계조건 :

$$\begin{aligned} x=0 \text{에서 } T &= T_w(t) \\ x=l \text{에서 } T &= T_c = \text{constant} \end{aligned} \tag{3}$$

Sine과 형태의 표면온도는 동일 주파수를 갖는 시간에 대한 열유속으로 나타낼 수 있다. 표면온도  $T_w$ 를 Fourier 급수로 나타내면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} T_w(t) = T_w + \sum_{n=1}^N [A_n \cos(n\omega t) \\ + B_n \sin(n\omega t)] \end{aligned} \tag{4}$$

여기서

$T_w$  :  $T_w$ 의 시간평균값

$$T_m = \frac{1}{\tau} \int_{-\tau/2}^{\tau/2} T_w(t) dt$$

$A_n, B_n$  : Fourier Coefficients

$$A_n = \frac{2}{\tau} \int_{-\tau/2}^{\tau/2} T_w(t) \cos(n\omega t) dt$$

$$B_n = \frac{2}{\tau} \int_{-\tau/2}^{\tau/2} T_w(t) \sin(n\omega t) dt$$

$$\omega = 2\pi/\tau$$

식 (4)의 해는 다음과 같다.

$$T(x, t) = T_m - (T_m - T_i) \frac{x}{l} + \sum_{n=0}^N \exp(-\phi_n x) F_n(x, t) \quad (5)$$

여기서

$$F_n = A_n \cos(n\omega t - \phi_n x) + B_n \sin(n\omega t - \phi_n x)$$

$$\phi_n = \sqrt{\frac{n\omega}{2\alpha}}$$

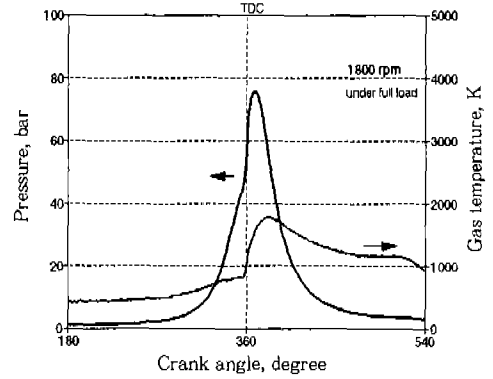
이제 각 주파수에서의 열유속은 Fourier법칙으로부터 계산되며 시간에 대한 열유속의 변화를 합산한다. 벽으로의 열유속의 관계식은 다음과 같다.

$$\dot{q}_w = -k \frac{dT_w}{dx} = \frac{k}{l} (T_m - T_i) + k \sum_{n=0}^N \phi_n [(A_n + B_n) \cos(n\omega t) - (A_n - B_n) \sin(n\omega t)] \quad (6)$$

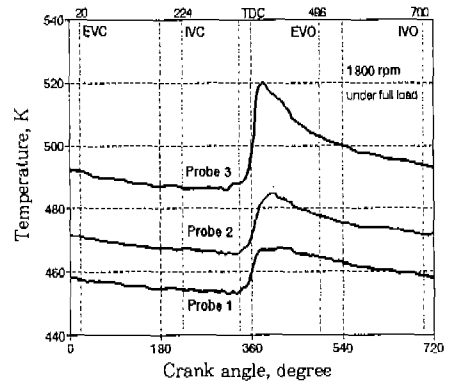
식(6)에서의 제1항은 벽표면온도의 평균온도와 냉접점 사이의 열유속의 정상성분이고 제2항은 표면온도에서 발생하는 시간에 대한 비정상 열유속의 섭동성분으로 주기함수를 나타낸다.

Fig.9는 1800rpm에서의 (a) 압력과 연소가스 온도, (b) 순간온도 및 (c) 순간열유속을 도시하고 있다. 연소가스온도는 측정된 연소가스압력으로부터 기체상태식을 이용해 구한다.

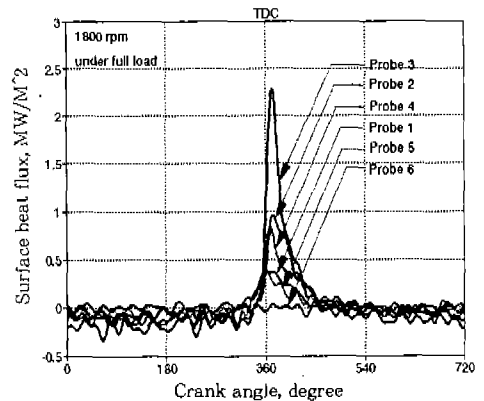
Fig.9(a)의 순간압력상승곡선과 Fig.9(b)의 순간온도상승곡선을 비교해보면 순간온도 포루브가 압력 변화에 충분히 응답하여 순간온도를 각



(a)



(b)



(c)

Fig.9 Diagrams of (a) Pressure and Gas Temperature (b) Surface Temperature and (c) Heat Flux at 1800rpm Under Full Load

순간마다 표시하고 있어 본 실험에서 개발한 순간온도 프루브의 동특성을 충분히 나타낸다고 보인다.

#### 4.4 열전달 경험식에 의한 열유속과 비교

본 연구에서 측정된 데이터를 기본으로 Eichelberg가 제시하는 경험식 (7)에서 구한 열전달계수를 적용하여 열플럭스를 구했다.<sup>19)~20)</sup>

$$h = 2.44 \bar{S}_p^{1/3} P^{1/2} T_k^{1/2} \quad (7)$$

$$q = h(T_g - T_m) \quad (8)$$

Fig.10은 1800rpm에 대한 3번 측정점에서의

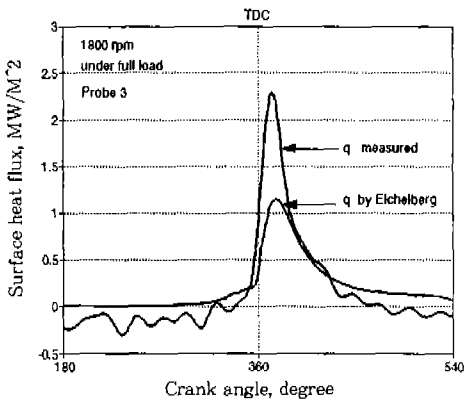


Fig.10 Comparison of Surface Heat Flux

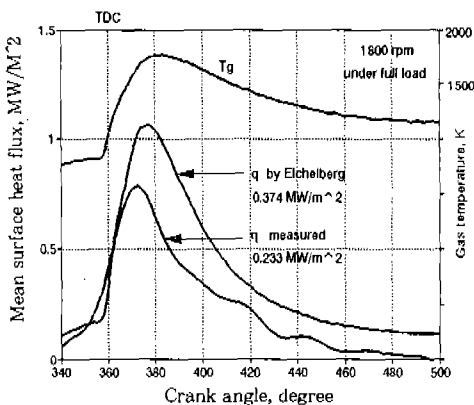


Fig.11 Comparison of Mean Surface Heat Flux

표면 열유속의 비교 결과이다. 그림에서 보듯이 측정된 열유속에 비해 Eichelberg 경험식의 열전달계수로 계산한 계산값은 급상승구역에서 낮고 지연된 값을 보이고 있다. 이는 경험식에서 구한 열유속은 벽표면 평균값의 표현이므로 최대값에서는 낮고 지연된 값을 갖는다.

본 연구에서 사용된 기관의 전열손실을 알아보기 위해 실린더 헤드의 6개의 측정점의 평균온도 값을 연소실 표면온도로 가정하고 또 4기통 대형 디젤기관의 연소실내 전열손실이 공급열량의 약 10%이므로 본실험에 사용된 소형단기통 디젤기관의 열손실을 20%로 가정하여 측정값과 평균 열유속을 비교하여 보았다. Fig.11은 6개 측정점에 대한 측정값과 경험식으로 계산된 값들의 평균 열유속을 도시한다. 측정값은 경험값의 63% 범위에 있다. 1800rpm 전부하에서 연소실면으로 전열된 열유속은 공급열량의 20%로 가정한 전열손실이  $0.22 MW/m^2$ 인데 비해 측정값은  $0.233 MW/m^2$ 이고 경험식에 의한 값은  $0.374 MW/m^2$ 이다.

가정값에 대해 경험값의 오차를 70%에 비해 측정값은 6%로 매우 적은 오차를 보이고 있는 것으로 보아 실험에 사용된 소형 단기통 디젤기관의 연소실 내 전열손실을 약 20%로 추정할 수 있으리라 본다. 그러나 전열손실의 정확한 검증을 위해서는 냉각조건이 서로 다른 피스톤, 실린더 라이너 등에 대한 연구도 병행되어야 할 필요성이 있다고 보며, 또한 소형 단기통 디젤엔진에 대한 경험식의 보완 필요성을 제시할 수 있으리라 본다.

## 5. 결 론

직접분사식 디젤기관의 연소실 열해석을 위해 순간온도와 열플럭스 측정을 위한 프루브를 개발, 제작하여 실험적 연구를 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 본 연구에 제작하여 사용된 순간온도프루브는 비정상적인 연소실 내 온도변화와 열플럭스를 측정하는데 응답성과 내구성이 양호함을 확인하였다.



- 2) 실린더 헤드부위의 측정점들의 온도분석 결과 연료분사공을 중심으로하는 밸브브릿지 부근에서의 온도가 높았으며 배기밸브쪽에서의 순간온도 및 평균온도가 흡기밸브쪽에서 보다 높았다. 그리고 연소실 내 실린더 헤드의 벽표면의 순간온도 및 평균온도는 전부하시 기관회전수의 증가에 따라 증가하며 온도진폭은 반비례하는 경향이 있음을 알았다.
- 3) Eichelberg의 경험식에 의한 열유속과 측정값사이에는 1800rpm 전부하인 경우에 37% 정도의 오차가 발생하고 있으며 본 연구에 사용된 기관에서의 전열손실이 20% 이상이 발생하고 있다고 추정할 수 있었다.
- 4) 본 연구에서 개발·제작한 순간온도와 열플럭스 측정용 프루브는 앞으로 연소실의 피스톤·실린더 등의 기타부위 측정용으로 사용될 수 있는 신뢰성이 얻어졌다고 본다.
- 5) 더욱 정확한 전열손실을 알기 위해 피스톤 및 실린더 라이너에 대한 열유속 측정 연구가 필요하다고 생각한다.

## 후 기

본 연구는 건국대 산업기술연구원과 대동공업 주식회사의 산학협동연구과제로 수행되었으며 이에 관계자께 감사드립니다.

## 참 고 문 헌

1. Annand W.J.D., "Heat Transfer in the Cylinder of Reciprocating Internal Combustion Engine", Proc Instn Mech Engrs, Vol. 177, No.36, pp.973~990, 1963.
2. Gasoline Engine and Auxiliary Component Parts, 일본자동차 기술, pp.864~869, 1988.
3. NING LEI, "A Cycle Simulation Program for The Dynamic Operation of A Single Cylinder Direct Injection Diesel", University of Wisconsin-Madison, pp.2~6, 1988.
4. Enomoto et al., "內燃機關の燃燒室表面瞬間溫度測定用熱電對に關する研究", JSME, Vol.50 No.453, pp.1353~1362, 1984.
5. Enomoto et al., "內燃機關の燃燒室表面瞬間溫度測定用熱電對に關する研究", JSME, Vol.52 No.474, pp.680~687, 1986.
6. Enomoto, et al., "Measurement of Pressure and Instantaneous Wall Surface Temperature at Knocking Occured Part on a Gasoline Engine", JSAE 9433885, 1994.
7. Kevin L. Hoag, "Measurement and Analysis of the Effect of Wall Temperature on Instantaneous Heat Flux", SAE 860312, 1986
8. Songyol Lee, et al., "A Study on the Unsteady Temperature Field of Combustion Chamber Wall in a Turbocharged Gasoline Engine", KSME Journal, Vol.10, No.4, pp. 518~525, 1996.
9. 조진우, "기관연소실 벽표면 순간온도 및 열유속 해석에 관한 실험적 연구", 성균관대학교 석사학위 논문, 1995.
10. Enomoto, et al., "四サイクルガソリン機關の局所熱 達率に關する研究", JSME, Vol. 53 No.496, pp.3835~3843, 1987.
11. Enomoto, et al., "四サイクルガソリン機關の燃燒室壁への直接熱損失 第1報", JSME, Vol.50 No.456, pp.1972~1980, 1984.
12. Enomoto, et al., "四サイクルガソリン機關の燃燒室壁への直接熱損失 第2報", JSME, Vol.51 No.471, pp.3631~3640, 1985.
13. Enomoto, et al., "內燃機關の燃燒室壁面の瞬時熱流束解析に關する研究", JSME, Vol. 57 No.539, pp.2421~2427, 1990.
14. Enomoto, "A study on the Thermocouple for Measurement of Instantaneous Combustion Chamber Wall Temperature in Internal Combustion Engine", JSME, Vol.50 No.455, pp.1353~1362. 1984.

15. D. N. Assanis and E. Badillo, "On Heat Transfer Measurements in Diesel Engines Using Fast-Response Coaxial Thermocouples", Transaction of the ASME, Vol.111, pp.458~465, 1989.
16. C. H. Li, "Thermal and Mechanical Behavior of an L-4 Engine", SAE paper 881149, pp.1318~1331, 1988.
17. John B. Heywood, "Internal Combustion Engine Fundamental", pp.689~697, 1988.
18. Borman, G., and Nishiwaki, K., "A Review of Internal Combustion Engine Heat Transfer", Prog. Energy Combust. Sci., pp.1~46, 1987.
19. J. I. Ramos, "Internal Combustion Engine Modeling", Hemisphere Corp, pp.106~116, 1989.
20. 이재순, "최신내연기관", pp.126, 보성문화사, 1992.