

이중관 구조 박막형 순간온도 프로브의 응답성에 관한 연구

최석렬* · 박경석**

A Study on the Responsibility of Thin film instantaneous surface temperature probe of a Dual-pipe structure

Seokryeol Choi*, Kyoungsuk Park**

ABSTRACT

The measurement study of instantaneous temperature at combustion chamber wall and the temperature of combustion gas has been under lots of research and development to conclude the temperature process in internal combustion engine for combustion characteristics analysis. The measurement with fast responsibility should be used for temperature measurement inside combustion chamber wall since temperature of wall changes, due to the various gas temperature, irregularly during the combustion. Therefore, thin film instantaneous surface temperature probe, which characterizes the fastest and the most accurate responsibility among contact typed temperature measurement, was used for the experiments. This new thin film instantaneous surface temperature probe improved the problems of noise and durability. The optimal coating thickness of thin film instantaneous surface temperature probe was proven to be $10\mu\text{m}$ for the best responsibility and durability. It also allowed the stable temperature measurement be taken up to $1,200^\circ\text{C}$ and proven to be read possibly from the combustion chamber wall.

Key Words : thin film instantaneous surface temperature probe

1. 서 론

인류 문명의 발달과 산업의 발달은 자동차 수요를 더욱 증가시키게 되었고 이에 따라 자동차로부터 배출되는 오염물질의 증가는 환경 공해를 일으키는 원인이 되고 있다. 이들 배출물중의 오염물질 저감은 매우 중요한 과제가 되고 있다. 따라서 자동차 연구는 연소 후 배출되는 오염물질과 연료 소비 저감 및 열효율 향상에 목적을 두고 있다. 연소실에서 발생한 열응력은 온도와

압력 등에 밀접한 관계를 갖고 있으며 연료의 소비율과도 관계가 있다.⁽¹⁾ 이것을 연소 과정에서 도출하기가 쉽지 않으므로 시뮬레이션 및 연소실 벽면내의 온도를 측정하여 사용하고 있다.

본 연구에서는 연소실내의 벽면에서 순간온도를 측정할 수 있는 이중관구조의 박막형 순간 온도 프로브의 제작 및 검증을 목적으로 하며, K, R 타입 열전대를 이용하여 고온에서의 센서간의 응답성을 비교 분석하였다.

2. 박막형 순간온도 프로브

2.1 박막형 순간온도 프로브의 연구 동향

최초의 박막형 순간온도 프로브는 Bendersky⁽²⁾

* 경희대학교 기계공학과 대학원

** 경희대학교 테크노공학대학

† 연락처자, choisr79@empal.com

에 의해 철폐된 너트의 중심에 구멍을 뚫고, 전기 절연시킨 니켈 소선을 삽입하여 그 표면에 니켈 박막을 입힌 프로브를 개발하였다. Overbye⁽³⁾는 이전에 사용된 프로브보다 진보된 프로브를 제작하여 소형 4행정 스파크 점화 기관에서 여러 가지 운전조건을 변수로 하여 순간온도 데이터를 취득하였다. Hohenberg⁽⁴⁾는 박막형 순간온도 프로브 모재를 제 1 금속, 제 2 금속으로 니켈과 니켈크롬의 주위에 열전도율이 아주 작은 시멘트 및 세라믹으로 절연하여 프로브를 제작한 후 연소실 벽면에서 순간온도를 측정하였다. Alkidas⁽⁵⁾는 CFR 기관의 연소실 벽면에 4개의 순간온도 프로브를 장착하여 연소실 벽면에서의 순간온도를 계측하였다. 연소실 각부의 국부적인 온도변화를 측정하려는 목적으로 많은 순간온도 프로브를 연소실 벽면에 장착하여 순간온도를 계측하였다. Keriber⁽⁶⁾는 박막형 순간온도 프로브를 사용하여 연소실에서 연소가스로부터 실린더 벽면으로의 열전달을 계산하였다. Mary Chrenka Opris⁽⁷⁾ 등은 직접분사방식 2행정 기관으로부터 2,000~4,000rpm, 전부하 연소 조건에서 회전력, 동력 및 점화시기에 따른 피스톤의 순간온도를 박막형 순간온도 프로브를 사용하여 측정하였다. Brian P. Boyce⁽⁸⁾ 등은 4행정 과급방식의 기관에서 실린더 헤드 표면에 순간온도 프로브를 장착하여 순간온도를 계측하여 공연비와 점화시기에 대하여 실린더의 열 유속 변화를 고찰하였다.

국내에서는 1990년대 말부터 박막형 순간온도 프로브를 실린더 헤드⁽⁹⁾, 피스톤⁽¹⁰⁾, 실린더 라이너⁽¹¹⁾에 설치하여 연소실 벽 표면의 순간온도와 비정상 열 유속을 측정하였다. 또한 이치우 등⁽¹²⁾은 박막형 순간온도 프로브를 이용하여 정적연소기에서 순간 온도를 이용한 열 유속에 관한 연구하였다.

2.2 박막형 순간온도 프로브의 구조

박막형 순간온도 프로브의 대표적인 구조는 Fig. 1과 같이 원주상 제 1금속의 내부에 극히 얇은 전기적 절연막을 붙인 제 2금속의 모선을 통해, 한편의 단면을 연마해서 진공증착 또는 도금에 의해 박막 도체를 밀착시켜 열 접점을 형성한다.

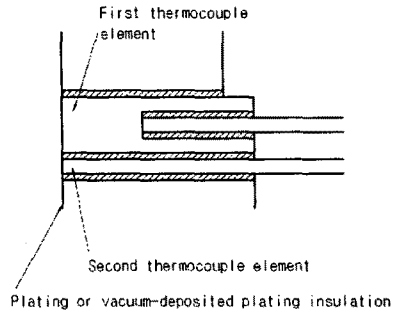


Fig. 1 Basic structure of thin film instantaneous surface temperature probe

원주상 계측기에 전기적 절연 막을 붙여서 벽내에 매몰한다. 열 유속을 산출하는데 2점의 온도가 필요하기 때문에 Fig. 2과 같이 원주상태 제 1 금속의 내부에 1개의 열 접점을 설치하거나 또는 간단하게 냉각수에 접할 수 있는 외부의 위치에 설치한다. 이 열 접점은 온도변동을 산출할 필요는 없고, 위치의 시간 평균온도를 전해주기 위한 것이다.

Fig. 2는 현재까지 국내에서 실린더 내 열전달 연구에서 사용된 박막형 순간온도 프로브 들이다.

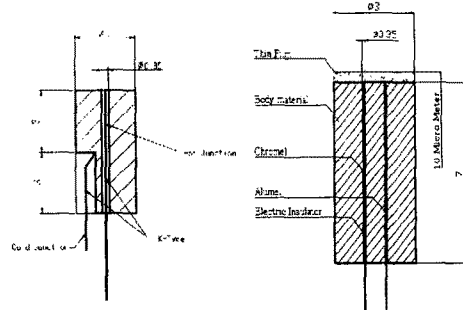


Fig. 2 Thin film instantaneous surface temperature probe of J. W. JO and C. W. Lee

2.3 이중관 구조의 박막형 순간온도 프로브의 제작

박막형 순간 온도 프로브는 Elia 등⁽¹³⁾에 의해 수치해석 및 실험적 연구의 결과 박막의 두께는 10 μ m 내외가 가장 적당하다고 하였다. 박막형 순간온도 프로브는 국내외적으로 많은 연구가 이루어지고 있으나 제작 과정의 어려움과 측정시 노이즈에 대한 문제점이 지적되어 왔다. 본 연구에서는 이러한 문제점을 개선하기 위해 프로브의 재질 및 소선의 열적 물성치와 크기, 절연층의

두께 그리고 박막의 두께 등의 차이에 따라 측정값에 오차를 수반함으로 이점을 고려하여 측정값의 신뢰도가 있도록 Fig. 3과 같이 이중관 구조로 박막형 순간온도 프로브를 제작하였다.

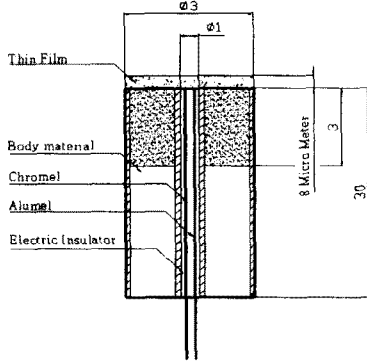


Fig. 3 Structure of thin film Instantaneous surface temperature probe

박막형 순간온도 프로브의 재질 및 소선의 열적 물성치와 크기, 절연층 두께, 박막 두께 등의 차이에 따라 측정값에 오차가 발생되므로 제작시 주의하여야 한다. 소선은 내열성과 내식성이 뛰어나고 열기전력의 직진성 및 기준 열기전력에 대한 안전성 및 오차가 적은 K-type 열전대의 소선을 사용하였다. 기존의 박막형 순간온도 프로브는 모재는 연소기와 동일한 재질을 사용하였으며 모재의 중심은 열전대의 소선을 삽입할 수 있도록 방전가공에 의하여 구멍이 가공하였다. 그러므로 모재가 흡수한 열량은 외부로 방출되는 속도가 늦으며 냉 접점부의 과열로 접점부 파손이 심각하였고 또한 제작 공정상의 문제로 제작 성공률이 낮은 단점이 있다.

본 연구에서 제작한 박막형 순간온도 프로브의 모재는 스테인리스를 사용하였다. 제작한 박막형 순간온도 프로브는 우선 열 접점에서 냉 접점으로 열의 흐름이 1차원적으로 단지 수직방향으로 전달된다고 전제하기 위해 기존의 Enomoto 등⁽¹⁴⁾이 제시한 설계법을 응용해 검증 시스템의 순간온도 뿐만 아니라 순간 열 유속을 측정할 수 있도록 모재는 시스템과 동일한 재질의 직경 1.5mm와 3mm의 파이프를 이중관 구조로 용접으로 고정시킨 후 내관에 K-type 0.127mm 열전대를 설치하였다. 열전대의 측정부를 폴리싱을 통하여 가공한 후 니켈 도금을 실시하여 열 접점을 형성한 후 비전해 도금을 이용하여 모재에 니켈 박막을 형성하였다.

3. 실험 방법 및 결과

3.1 이중관 구조의 박막형 순간온도 프로브의 도막 두께 측정

박막형 순간온도 프로브의 측정 오차 및 응답성을 위해서는 박막의 두께가 중요하다. 외부조건이 일정하다면 작업시간에 따라 도막의 두께는 변화하게 된다.

본 연구에서 센서 제작 시 박막 두께를 일정하게 유지하기 위하여 제조된 도금액에 센서 표면을 담근 후 20분부터 10분 주기로 25개를 니켈 도금을 실시하였다. 이때의 대기 상태는 온도 24°C, 습도 29%이다. 그 후 진공 증착에 의하여 금 박막을 형성하였다. 이를 절단해 전자 현미경(OLYMPUS, GX51)을 사용하여 박막의 두께를 측정하였다. Fig. 4는 도금작업을 실시한 5개 시편의 도막두께 결과이다. Fig. 5는 광학 현미경으로 박막 두께의 배율을 100배로 하여 촬영한 사진이다. Fig. 6은 박막형 순간온도 프로브의 두께별 사진이다.

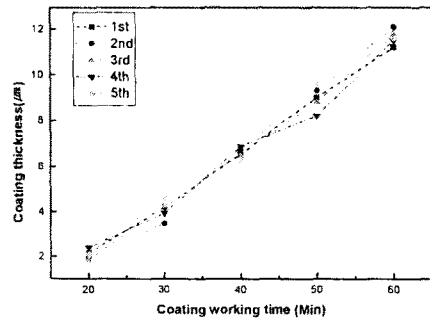


Fig. 4 Coating thickness by coating work time

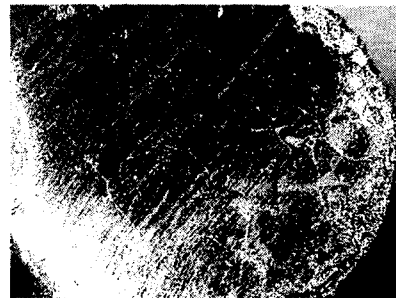


Fig. 5 Picture of coating phase

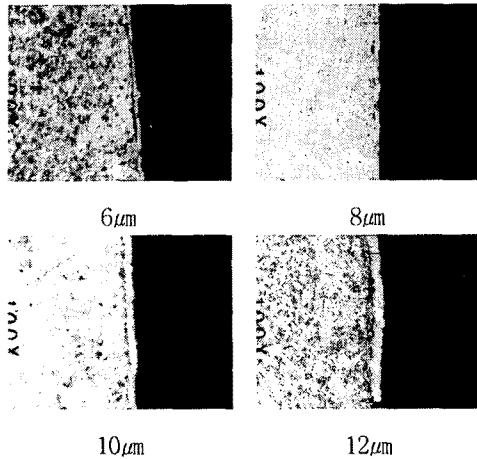


Fig. 6 Picture of the coating thickness of thin film instantaneous surface temperature probe

3.2 이중관 구조의 박막형 순간온도 프로브의 응답성 및 내구성

박막형 순간온도 프로브와 기존에 사용되었던 열전대간의 응답성 및 정확도를 측정하기 위하여 Fig. 7과 같이 전기로 내에 단열실을 제작하여 단열실내 R-Type, K-Type 열전대와 박막형 순간온도 프로브의 열 접촉은 동일한 높이가 되도록 설치한다. 이때 단열실의 입구는 솔레노이드 밸브에 의해 순간적으로 열리게 설치하며 신호는 컴퓨터에 의해 제어하도록 설치한다.

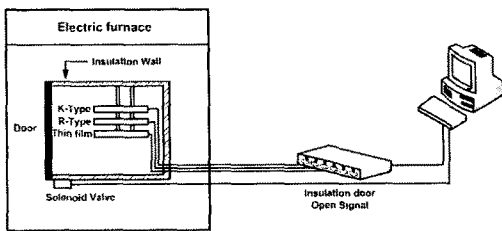


Fig. 7 Schematic diagram for responsibility of thermometer

Fig. 8은 전기로 내부의 온도는 353[K]로 일정하게 유지시킨 상태에서 단열실의 입구를 열었을 때 각 온도 계측기로부터 신호를 측정된 데이터이다.

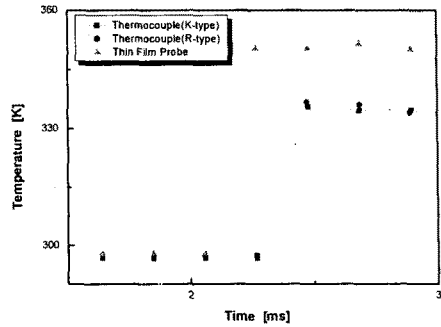


Fig. 8 Chart for responsibility of thermocouple

R-타입 열전대에 비해 박막형 순간 온도 프로브의 응답성은 12.54ms 가 빠르게 나타났다. K-타입 열전대의 응답성은 R-타입과 거의 같게 나타났다. 따라서 센서의 응답서에서는 박막형 순간온도 프로브의 성능이 우수함을 알 수 있다.

그리고 박막형 순간온도 프로브의 도막 두께에 따라 응답성 및 측정 한계를 측정하기 위하여 Fig. 9와 같이 전기로에 도막 두께별로 설치 하였다. 설치한 후 전기로의 온도를 올리면서 출력 되는 기전력을 측정였다.

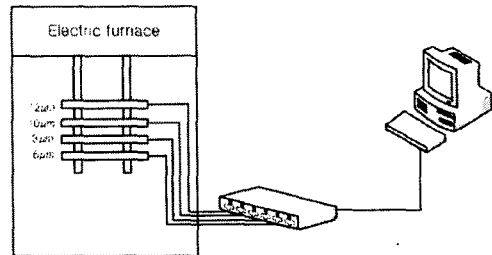


Fig. 9 Schematic diagram of thin film instantaneous surface temperature probe responsibility

Fig. 10은 전기로에 도막 두께별로 설치한 후 전기로의 온도를 올리면서 출력되는 기전력을 측정된 데이터이다. 측정 결과 도막의 두께에 따른 측정 온도는 표준온도를 기준으로 도막 두께가 두꺼울수록 응답성이 느리게 나타나고 있다. 그러나 도막의 두께가 얇을 경우 내구성 및 노이즈 등의 문제로 인해 최소한 연소실 벽면의 온도 측정 시 10 μm의 도막 두께가 가장 안정적인 것으로 사료되고 1000K 이상의 온도를 측정할 수 있었다.

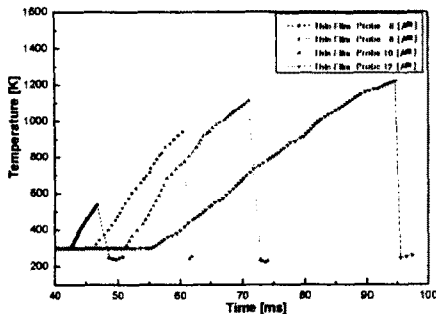


Fig. 10 Responsibility of thin film instantaneous surface temperature probe

4. 결론

연소실 벽면내의 순간온도를 측정하기 위해 박막형 순간온도 프로브와 R-타입, K-타입 열전대를 노출형으로 제작하여 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 이중관 구조의 박막형 순간온도 프로브의 박막 두께 측정을 통하여 도막의 두께를 확인할 수 있었다.
- 2) 박막형 순간온도 프로브를 진기로에 장착하여 출력값을 확인한 결과 안정적인 것을 확인할 수 있었다.
- 3) 진기로의 온도를 일정하게 유지하여 온도측정 및 응답성 측정에서 R-타입, K-타입 열전대에 비하여 온도측정 응답성이 빠르게 나타났다.
- 4) 박막형 순간온도 프로브는 소형이어서 연소실 내 벽면이나 피스톤 헤드에 설치하여 각 부위의 순간 온도 측정이 가능하다. 단, 박막형 순간온도 프로브는 제작과정이 어려워서 성공률이 낮다는 결점을 갖고 있다.
- 5) 본 연구에서 제작한 이중관 구조의 박막형 순간온도 프로브는 기존의 박막형 순간온도 프로브에 비해 제작 성공률도 높으며 신호 또한 안정적으로 출력되었다. 지속적인 연구를 통하여 박막형 순간온도 프로브의 성능을 향상시킬 수 있을 것이다.

참고문헌

[1] 이강운, 심한섭, 선우명호, 이수룡, "LPG 액체분사 엔진의 연료분사제어에 관한 연구", 한국자동차공학회, pp. 190~195, 2001

[2] D. B. Rhodes, J. C. Keck, "Laminar Burning Speed Measurement of Indolene-air-Diluent Mixture at High Pressure and temperature", SAE Paper No. 850047, 1985

[3] Overbye, et al., "Unsteady Heat Transfer in Engines", SAE Transaction Vol. 69 No. 461, pp. 461~494, 1961

[4] Gunter F. Hohenberg, "Advanced Approaches for Heat Transfer Calculation", SAE Paper No. 790825, pp. 61~79, 1979

[5] A. C. Alkidas, "Transient Heat Flux Measurements in the Combustion Chamber of a Spark Ignition Engines", ASME Journal of Heat Transfer Vol. 104, pp. 62~67, 1982

[6] Thomas Morel Rifat Keribar, "A Model for Predicting Spatially and Time Resolved Convective Heat Transfer in Bowl-in-Piston Combustion Chambers", SAE Paper No. 850204, pp. 1~17, 1985

[7] Mary Chrenka Opris, Robin Renee Jason, Carl L. Anderson, "A Comparison Of Time-Averaged Piston Temperatures and Surface Heat Flux Between a Direct-Fuel Injected and Carbureted Two-Stroke Engine", SAE No. 980763, 1998

[8] Brian P. Boyce, Jay K. Martin, Art Poehlman, Doug Shears, "Effects of Ignition Timing and Air-Fuel Ratio on In-Cylinder Heat Flux and Temperatures in a Four-Stroke, Air Cooled, Homogeneous Charge Engine", SAE Paper No. 1999-01-0284, pp. 1~9, 1999

[9] 조진우, 이종태, 류영, "DOHC 가솔린기관의 연소실 벽표면 순간온도와 비정상 열유속의 측정 및 해석(제1보: 실린더헤드에 관한 연구)", 한국자동차공학회논문집, Vol. 7, No. 1, 1999

[10] 류영, 위신환, 류영태, "DOHC 가솔린기관의 연소실 벽표면 순간온도와 비정상 열유속의 측정 및 해석(제2보: 피스톤에 관한 연구)", 자동차공학회논문집, Vol. 7, No. 2, 1999

[11] 위신환, 이종태, "DOHC 가솔린기관의 연소실 벽표면순간온도 및 비정상 열유속 측정 및 해석(제3보: 실린더 라이너에 관한 연구)", 한국자동차공학회논문집, Vol. 8, No. 3, 2000

[12] 이치우, 김지훈, 하종철, 김시범, "정적연소기에서 순간 온도를 이용한 열유속에 관한 연구", 한국자동차공학회논문집, Vol. 9, No. 4, pp. 103~111, 2000

[13] Elia C. Bedrar, Gian Paolo Beretta, "General Thermodynamic Analysis for Engine Combustion Modeling", SAE Paper, No. 850205, pp. 94~102, 1985

- [14] Enomoto et al., “サイクルガソリン機関の
燃焼室壁への直接熱損失 第1報”, JSME Vol.
50, No. 456, pp. 1972~1980, 1984