

배기 Hydrocarbon의 생성과정에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Mechanism of Hydrocarbon Emissions

심 현 성,** 박 찬 준,* 이 대 운**
 H. S. Sim, C. J. Park, D. U. Lee

ABSTRACT

The formation process of hydrocarbon emissions was investigated in SI engine. The time-resolved concentrations of hydrocarbon emissions were measured using a high gas sampling valve and a gas chromatography. The gas was sampled at exhaust port, or the position of spark plug, or the wall of combustion chamber. The experiments were conducted using the Alpha engine of Hyundai Motor Company. The fuel used was methanol or propane.

It was found that the effect of the quenching layer of combustion chamber wall on hydrocarbon emissions was not significant. The increasing rate of hydrocarbon concentration at combustion chamber wall near crevice and oil layer after flame was reached was much higher than that at the position of spark plug. The hydrocarbon concentrations at exhaust port had two peak values just after opening exhaust valve and just before closing it.

1. 서 론

자동차 수의 증가와 함께 자동차 엔진으로부터 배출되는 배기 가스에 의한 환경 오염이 심각한 문제로 대두되었다. 자동차로부터 배출되는 배기 가스를 저감하는 방법으로는 엔진 자체에서 연소시 발생하는 배기 가스를 억제하는 방법과 엔진에서 발생된 배기 가스를 촉매 등 정화 장치를 이용하여 억제하는 방법이 있다.

엔진으로부터 발생하는 배기 가스를 저감하기 위해서는 배기 가스의 생성 과정과 그것에

미치는 인자들을 정확히 파악할 필요가 있다. 배기 가스 생성 원인에 대하여는 많은 연구가 행해져 왔으며, 특히 Hydrocarbon (HC)의 생성 원인에 대하여 많은 연구가 행해져 왔다. 일반적으로 알려진 HC의 생성 원인은 연소실의 흡배기 밸브 및 점화 프러그, 실린더 헤드 Gasket, 피스톤의 압축링에 의하여 형성되는 Crevice Volume의 영향과 연료가 실린더 벽면의 Oil 막에 용해되었다가 방출되는 영향, Quenching Layer에 의한 영향, 희박 연소에 있어서 Bulk Quenching의 영향 등으로 알려져 있다.^{1~11)} 배기 가스 생성 과정을 파악하

* 정회원, 국립서울산업대학 기계공학과

** 정회원, (현)현대자동차 마부리연구소

기 위한 한가지 방법으로 고속 가스 샘플링 밸브를 이용하여 연소나 배기 과정중의 가스를 원하는 시기에 샘플하여 분석하는 방법이 있다.

본 실험에서는 연소실 내의 점화 프러그 위치, 연소실 측면 위치 및 배기 Port 위치에서 고속 가스 샘플링 밸브를 이용하여 원하는 Crank Angle에서 샘플 가스를 채집하여 Gas Chromatography를 이용하여 HC의 농도를 측정하였다.

사용된 연료는 주로 메탄올을 사용하였으나, 배기 Port에서의 측정시에는 Oil막에 용해된 연료가 배기 HC의 농도 변화에 미치는 영향을 파악하기 위하여 Oil에 거의 흡수되지 않는 프로판 연료를 이용하여 Crank Angle에 따른 HC의 농도 변화를 측정하였다.

2. 실험 장치 및 방법

2.1 실험 장치

실험 장치는 그림 1과 같이 엔진, 가스 샘플링 System, Gas Chromatography(GC), 진공 펌프로 구성되었다.

엔진은 본 현대자동차 마북리 연구소에서 개발한 Alpha 엔진으로 4실린더, 1,500cc, 12 밸브를 가진 엔진을 사용하였고, 엔진의 제어를 위하여 Dynamometer와 배기 Pipe에서 배기 농도를 측정하기 위하여 배기 가스 분석기를 사용하였다.

그림 2는 가스 샘플링 System을 보여주며 고속 가스 샘플링 밸브 및 Controller, Photo-Electric pick-Up과 Slit Disk로 구성되어 있다.

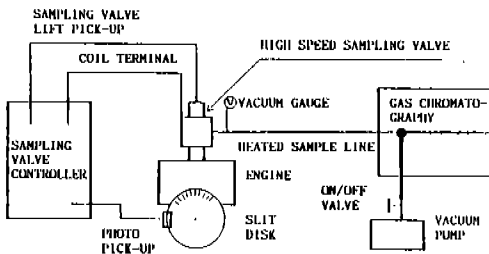


그림 1 실험 장치

고속 가스 샘플링 밸브는 그림 3과 같이 Sokken사에서 제작한 Needle Type의 밸브로서, 최소 열림 시간은 1 msec.이며 밸브에 부착되어 있는 Valve Lift Pick-Up을 이용하여 밸브의 열리는 시기를 오실로스코프를 통하여 알 수 있다. 본 실험에서 측정된 밸브의 열리는 시간 지연은 1.2msec.이다.

Photo Electric Pick Up은 Slit Disk에 뚫린 구멍을 이용하여 Crank Angle과 TDC를 감지하여 고속 가스 샘플링 밸브 Controller에 신호를 보낸다.

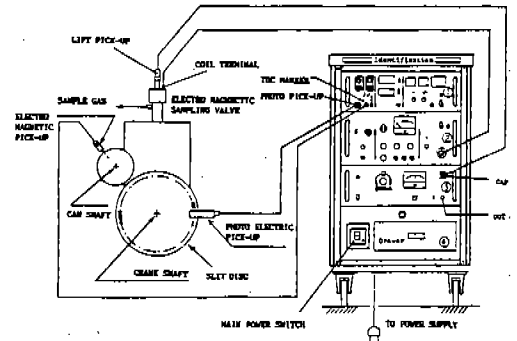


그림 2 가스 샘플링 System

- ① Contact pin
- ② Shield cable connector
- ③ Exciting coil terminal
- ④ Cylindrical electrode
- ⑤ Electric insulator
- ⑥ Magnet shell
- ⑦ Exciting coil
- ⑧ Air gap (valve lift)
- ⑨ Amature plunger
- ⑩ Helical spring
- ⑪ Cooling water pipe
- ⑫ Valve spring
- ⑬ Needle valve
- ⑭ Valve proper
- ⑮ Mounting thread

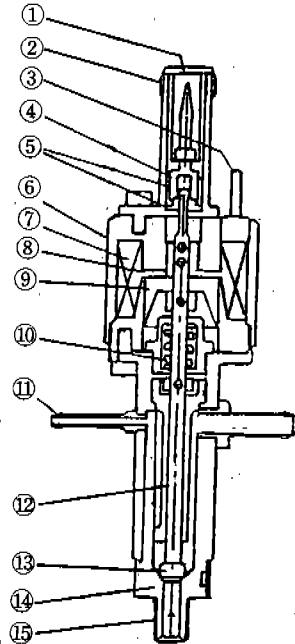


그림 3 고속 가스 샘플링 밸브 구조

고속 가스 샘플링 밸브 Controller는 고속 가스 샘플링 밸브를 설정한 Crank Angle마다 설정된 횟수만큼 작동시켜, 샘플 Line이 원하는 Crank Angle에서의 샘플 가스로 충분히 채워지도록 한다.

샘플링 Line은 샘플 가스중의 수분에 의한 응축을 방지하기 위하여 120°C로 유지하였으며 샘플링 밸브로부터 GC에 이르는 부분의 부피를 줄이기 위하여 길이를 1.2m로 가능한 짧은 짧게 하였다.

Gas Chromatography는 소량의 샘플 가스를 성분별로 분리 분석한다. 그림 4와 같이 GC의 구성은 가스를 주입하는 Injector와 주입된 가스를 성분별로 분리하는 Column, Column을 통하여 분리되어 나온 가스의 광을 감지하는 Detector로 이루어져 있다. 본 실험에 사용한 GC는 Varian 3400으로 TCD (Thermal Conductivity Detector)와 FID (Flame Ionization Detector)를 내장하고 있어, Injector를 통하여 주입된 샘플 가스는 Column을 통하여 분리된 후, TCD를 거친 후에 FID로 흐르게 되어 있다.

Column은 Porapak N 80/100, 2m×1/8" ss를 사용하였으며 샘플 가스의 주입은 그림 5와 같이 6-Port Rotary 밸브의 0.25cc 샘플 Loop를 이용하였다. 진공 펌프는 샘플 계

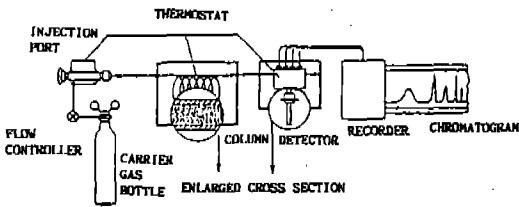


그림 4 GC 구성도

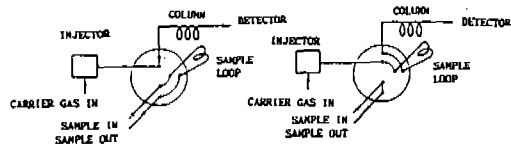


그림 5 6-Port Rotary Valve 작동

통 내의 기존의 가스를 제거하고 원하는 가스를 샘플 계통에 흐르게 한다.

2.2 실험 방법

점화 프러그 장착 위치와 연소실 측면 위치는 그림 6과 같으며, 점화 프러그 장착 위치에서 샘플을 하는 경우에는 연소실 측면 위치에서 점화를 하였으며, 연소실 측면 위치에서 샘플을 하는 경우에는 점화 프러그 위치에서 점화를 하였다. 배기 Port에서의 샘플 위치는 그림 7와 같이 가능한 한 배기 밸브에 가깝게 장착하였으며, 이때 점화 프러그 위치에서 점화를 하였다. 연료는 단일 성분을 가지는 메탄올과 프로판을 사용하여 GC를 이용한 HC의 측정이 쉽도록 하였다.

엔진은 충분히 Warm-Up을 한 후 원하는 조건으로 설정하였다. 연소실 내에서 샘플을 하는 경우에는 메탄올을 연료로 쓰고, 엔진 속도는 고속 가스 샘플링 밸브의 최소 열림 시간을 고려하여 안정된 엔진 제어가 가능한 최저 엔진 속도인 1,200 rpm으로 하고 부하를 2.5 BAR BMEP, Spark Timing을 MBT, 공연비를 Stoichiometric으로 하였다. 배기 Port

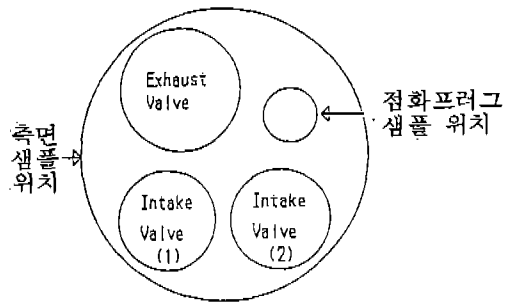


그림 6 연소실내 샘플 위치

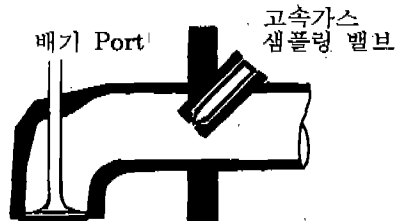


그림 7 배기 Port 샘플 위치

에서 샘플을 한 경우에는 위와 동일한 조건에서 실험을 하였으며, 추가로 메탄올과 프로판 연료를 이용하여 6.0 BAR BMEP의 조건에서 실험을 하였다. 이 경우 배기 포트를 Purge 하지 않았기 때문에 배기 밸브가 열린 초기에 샘플한 가스는 샘플을 행하는 Cycle에 배기 밸브를 통하여 배출된 가스와 샘플을 행하기 전 Cycle에서 배기 밸브가 닫히기 전에 배출된 잔류 가스가 함께 혼합되어 샘플된다. 또한 가스를 샘플하기 전에, 진공 펌프를 이용하여 고속 가스 샘플링 밸브 및 샘플링 line, GC의 샘플 Loop 등의 샘플 계통을 진공으로 한 후, 진공 펌프와 GC사이의 ON/OFF 밸브를 OFF로 하여 진공 Gauge를 이용하여 샘플 계통의 Leak를 검사한다. 샘플 계통의 Leak가 없으면 샘플링 밸브 Controller로 원하는 Crank Angle에서 고속 가스 샘플링 밸브를 작동시켜서 가스를 샘플 계통으로 빨아드려, 샘플 계통의 압력이 대기압이 될때까지 샘플을 행한다.

샘플 계통의 압력이 대기압이 되면 GC에 내장된 6-Port 샘플링 밸브를 이용하여 샘플 가스를 Column에 주입함과 동시에 Integrator와 Pen Recorder를 작동시킨다.

Integrator로 FID의 출력을 적분하여 HC의 농도를 구하고 Pen Recorder로 TCD의 출력을 이용하여 N_2 와 O_2 , CO_2 및 H_2O 의 농도를 구하여 주입된 가스량을 확인하였다. GC의 조건은 Column 온도 $120^\circ C$, Carrier Gas(Helium) 유량 $30cc/min.$, Injector 온도 $120^\circ C$, TCD 온도 $140^\circ C$, TCD Filament 온도 $160^\circ C$, FID 온도 $160^\circ C$ 로 하였는데, 이 경우 메탄올의 프로판에 대한 상대 감도는 0.68이었다.

3. 실험 결과 및 검토

3.1 점화 프러그 위치에서 HC의 농도 변화

그림 8에서와 같이 화염이 샘플하는 위치에 도달한 직후 HC의 농도는 배기 Pipe에서 측정된 HC의 농도보다 낮은 값을 가지며, 그후 HC의 농도는 완만히 증가한다. 화염이 샘플

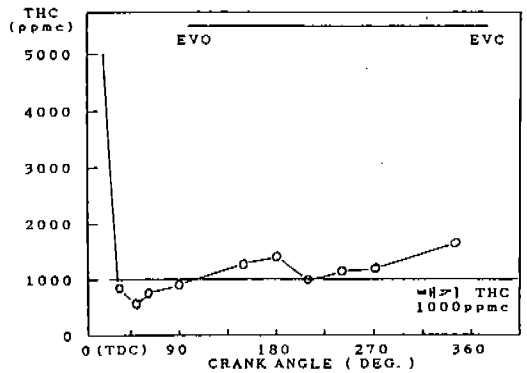


그림 8 점화 프러그 위치에서 HC 농도 1,200 rpm, 2.5 BAR BMEP, S/A = 19° BTDC, 메탄올 연료

하는 위치에 도달한 직후의 실제 연소실 벽에서 HC 농도는, 고속가스 샘플링 밸브의 샘플링 구멍과 Needle에 의하여 발생하는 Cervice Volume를 고려하면, 본 실험에서 측정된 최소 HC 농도보다 더 낮은 농도를 가질 것이다. 또한, 고속 가스 샘플링 밸브의 열림 기간이 10° Crank Angle이므로 좀 더 좁은 열림 기간을 가지고 샘플을 한다면 더욱 적은 HC 농도를 가질 것이다. 이는 연소실 벽면의 Quenching Layer에 의해 발생된 HC가 배기 HC에 미치는 영향은 매우 적다는 것을 의미한다.

HC가 화염이 지나간 후에 증가하는 이유는 실린더 헤드 Gasket 및 점화 프러그 주위에 의하여 형성된 Crevice의 영향이라 생각된다. Crank Angle이 ATDC 330° 부근에서 HC의 농도가 그림 10의 배기 Port에서의 HC 농도보다 낮은 이유는 실린더 벽면에서 발생한 고농도의 HC가 점화 프러그 위치까지 도달하지 않고 배기 밸브를 통하여 배출되기 때문이라 생각된다.

3.2 연소실 측면 위치에서 HC의 농도 변화

그림 9는 연소실 측면 위치에서 HC의 농도 변화를 측정된 것으로 그림 8에서와 같이 화염이 도달한 직후 HC의 농도는 배기 HC의 농도보다 낮은 값을 가지나, 그후 HC 농도는 매우 급격하게 증가한다.

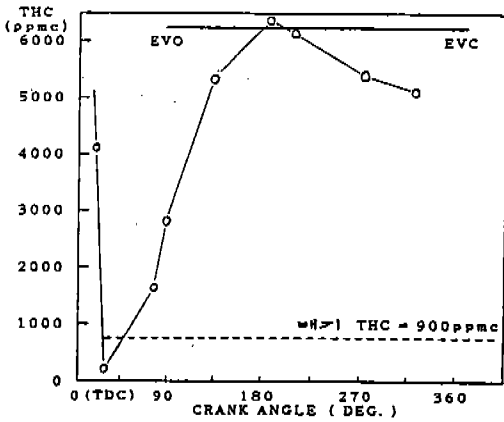


그림 9 연소실 측면위치에서 HC 농도 1,200 rpm, 2.5 BAR BMEP, S/A = 19° BTDC, 메탄을 연료

화염도달 후 HC의 농도가 그림 8에 비하여 급격히 증가하는 이유는 연소실 측면 위치가 샘플링 밸브 장착시 발생한 Crevice와 Head Gasket의 Crevice에 가깝고, 또한 실린더 벽면에 가깝기 때문이라 사료된다. 이는 실린더 벽면 부근에는 피스톤 Ring의 Crevice에서 나온 HC와 오일에 흡수되었다가 나온 HC가 많이 존재한다고 생각되기 때문이다.

점화 프러그 위치와 연소실 측면 위치에서 각각 측정된 HC의 농도를 볼 때, 화염 도달 직후 HC의 농도가 매우 적으므로, Bulk Quenching이 배기 HC에 미치는 영향은 본 실험 조건에서는 없다고 생각된다.

3.3 배기 Port에서의 HC의 농도 변화

배기 밸브가 열렸다가 닫히는 기간을 그림 10과 같이 a, b, c로 나누면, 배기 밸브가 열리는 초기 a기간에 배출되는 HC는 매우 높은 농도를 보이며, 배기 밸브가 충분히 열린 b기간에 배출되는 HC는 낮은 농도를 가진다. 배기 밸브가 닫히기 바로 전인 c 구간에서는 매우 높은 값의 HC 농도를 가진다.

배기 밸브가 열린 초기 a기간에 높은 농도의 HC가 배출되는 이유는 샘플을 행하기 전 Cycle에서 배기 밸브가 닫히기 직전에 배출되었던 고농도의 HC를 가진 배기 가스가 샘플되고 점화 프러그 및 배기 밸브 주위와 실

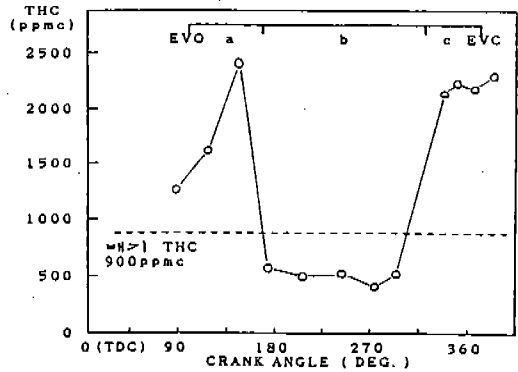


그림 10 배기 Port에서의 HC 배출 농도 1,200 rpm, 2.5 BAR BMEP, S/A = 19° BTDC, 메탄을 연료

린더 헤드 Gasket에 의하여 형성된 Crevice Volume에서 발생한 고농도의 HC와 Oil막과 피스톤 RING의 Crevice에 의하여 발생되어 실린더 벽면 상부에 존재하는 HC가 함께 배출되기 때문일 것이다.

배기 밸브가 닫히기 직전인 c 구간에서 HC의 농도는 배기 밸브가 열리기 전의 HC 농도보다 매우 높다고 알려져 있는데, 본 실험은 Part Load에서 행하였기 때문에 배기 밸브가 닫히기 직전에서 흡 배기밸브 Overlap이 일어나 배출된 가스가 실린더 내로 역류하는 현상이 일어난다. 그러므로 샘플된 가스에는 배기 밸브가 닫히기 직전 이전에 배출되었던 배기 가스가 샘플되었기 때문에, c 구간에서의 HC 농도는 급격히 증가하는 경향을 보이고 있다.

3.4 프로판과 메탄을 연료를 사용한 경우 배기 Port에서의 HC 농도 변화

배기 HC에 Oil이 미치는 영향을 검토하기 위하여 프로판과 메탄을 연료로 하여 배기 Port에서 HC의 농도를 측정하여 그림 11과 같은 결과를 얻었다.

프로판은 Oil에 거의 녹지 않는다고 알려져 있다. 프로판과 메탄을 연료를 사용한 경우의 배기 Port에서 HC의 농도 변화 형태는 거의 동일하다. 이것은 고압 미연 부분인 실린더 상부 벽면에서 많은 연료를 흡수한 Oil이 Oil

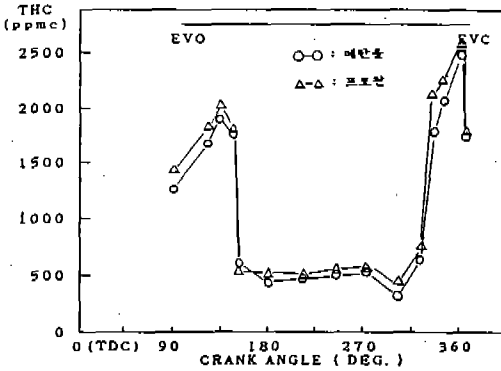


그림 11 프로판과 메탄올 연료의 배기 Port에서 HC의 배출 농도, 1,200 rpm, 6.0 BAR BMEP, S/A=MBT, 배기 PIPE 측정 THC 농도(메탄올=1,090 PPMC, 프로판=1,400 PPMC)

Ring을 따라서 내려오므로, Oil에 흡수되었던 HC가 배기 가스의 HC 농도에는 균일한 영향을 미치지 때문이라고 생각된다.

배기 밸브가 열린 직후보다 닫히기 직전의 HC 농도가 높게 나타나는 것은 그림 10 경우보다 부하가 높아 배기 밸브가 닫히기 이전에 배출된 배기 가스가 흡배기 밸브 Overlap 시에 그림 10일 때 보다는 적게 역류하기 때문이라 생각된다.

4. 결 론

SI 엔진에서 메탄올과 프로판 연료를 사용하여 연소실과 배기 Port에서 Crank Angle에 따른 HC의 농도를 고속 가스 샘플링 밸브와 GC로 측정하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 연소실 벽면의 Quenching layer가 배기 HC에 미치는 영향은 매우 적다.

(2) Crevice와 Oil Layer에 가까운 연소실 측면 위치에서 연소 후의 HC 농도 증가율은 점화 프러그 위치에서의 HC 농도 증가율보다 매우 높다.

(3) 배기 행정에서 실린더의 벽면에 있던 고농도의 HC은 점화 프러그 근처를 지나가지 않는다.

(4) 배기 Port에서의 HC의 농도 변화는 배기 밸브가 열린 직후와 닫히기 바로 전에 매우 높은 값을 가진다.

(5) Oil Layer에서 배출되는 HC는 배기 Port에서의 HC 배출 경향에 영향을 주지 않는다.

참 고 문 헌

1. A. Panesar and P.G. Brown, "The Results of Recent Experiments on Unburnt Hydrocarbons", C45/88 IMechE 1988.
2. S.C. Medina and R.M. Green, "Optical Measurements of Hydrocarbons Emitted from a Simulated Crevice Volume in an Engine", SAE Paper 840378, 1984.
3. N. Yamada and Y. Iwashita, "A Study of the Genesis Mechanism of Unburned Hydrocarbons in a Constant Volume Bomb", SAE Paper 810018, 1981.
4. John B. Heywood, "Internal Combustion Engine Fundamentals", pp. 360-367 & pp. 567-619, McGraw-Hill, 1988.
5. K.T. Rhee and S.L. Chang, "Incomplete Combustion in One-End-Open Crevices", SAE Paper 831695, 1983.
6. K.T. Rhee, P.S. Myers and O.A. Uyehara, "Time and Space-resolved Species Determination in Diesel Combustion Using Continuous Flow Gas Sampling", SAE Paper 780226, 1978.
7. J.C. Dent and P.A. Lakshminarayanan, "A Model for Absorption and Desorption of Fuel Vapour by Cylinder Lubricating Oil Films and Its Contribution to Hydrocarbon Emissions", SAE Paper 830652, 1983.
8. Sheridan C. Johnston and Robert M. Green, "Engine Hydrocarbon Concentration Measurements: A Comparison between a Sampling Probe and Raman

- Spectroscopy”, SAE Paper 820499, 1982.
9. Rodney J. Tabaczynski, John B. Heywood and James C. Keck, “Time-Resolved Measurements of Hydrocarbon Mass Flow Rate in the Exhaust of a Spark-Ignition Engine”, SAE Paper 720112, 1972.
 10. Svend Henningsen and Biorn Qvale, “Experimental Determination of the Flame Quenching Distance in a Spark-Ignition Engine”, SAE Paper 800104, 1980.
 11. E.W. Kaiser, A.A. Adamczyk and G.A. Lavoie, “The Effect of Oil Layer on the Hydrocarbon Emissions Generated During Closed Vessel Combustion”, Eighteenth Symposium International on Combustion, The Combustion Institute, 1981.