

〈 논문 〉

예연소실을 갖는 점화플러그의 연소 특성에 관한 연구

지명석[†] · 김진혁* · 유성연*
(2007년 5월 4일 접수, 2007년 7월 8일 심사완료)

A Study on the Combustion Characteristics of Spark Plug with Pre-ignition Chamber

Myoung-Seok Jie, Jin-Hyuck Kim and Seong-Yeon Yoo

Key Words: Spark Plug(스파크 플러그), Pre-ignition Chamber(예연소실)Flame Propagation(화염전파), Combustion Characteristics(연소 특성)

Abstract

The new concept spark plug was developed to study its influence on the combustion characteristics of SI engine. It has pre-ignition chamber in the lower end of spark plug and flame hole, in which fresh mixture gas can be introduced without any fuel supply system. This spark plug was tested with a commercial SI engine. Fuel consumption rate, emission gas and MBT timing were measured in the engine dynamometer for various flame hole numbers, hole positions, hole sizes of the pre-ignition chamber of the spark plug. And average flame propagation speed was measured by using the head gasket ionization probe in single cylinder engine. The new concept spark plug induces fast burn in combustion compared with the conventional spark plug, and MBT(Minimum advance for Best Torque) timing was retarded about 3~5° crank angle. The flame hole number, hole direction and volume of pre-ignition chamber were found to influence the combustion characteristics.

1. 서 론

환경과 에너지 문제는 전 세계적으로 주요한 관심사가 되고 있다. 특히 자동차 대수의 증가로 자동차의 배기가스 문제는 지구의 온난화와 환경에 미치는 영향으로 인해 자동차 배기가스 저감에 대한 많은 연구가 진행되어오고 있다.⁽¹⁻⁵⁾ 그리고 각 나라에서는 배기가스 규제치를 정하여 해마다 규제를 강화시킴으로써 국내 뿐 아니라

해외 시장에서도 연비 향상과 배기가스 규제에 대응하기 위하여 회사별로 자동차의 성능을 향상시키기 위한 연구가 계속되고 있다.⁽¹⁾ 특히 최근의 엔진은 엔진 성능 향상을 위하여 높은 엔진 회전수와 고 압축비에서 연소가 이루어지고 있다. 그러나 성능 향상을 위한 압축비 증가는 노크 발생을 용이하게 하므로 그 한계점을 가지고 있다. 그러므로 엔진 성능 향상과 HC, CO 등의 유해배기가스 저감을 위해서는 강력한 불꽃을 발생시켜 연소성능을 향상시킬 수 있는 점화원의 역할이 매우 중요하다.⁽²⁾ 이와 같이 연소기간이 짧은 고속엔진에서는 연소실내의 유동장 개선과 점화플러그에 의한 초기의 화염형성이 매우 중요한 역할을 한다.^(3,4) 따라서 본 연구에서는 예연소실 점화플러그에 의한 엔진의 연소특성을 파악하

[†] 책임저자, 회원, 아주자동차대학 자동차계열
E-mail : jms@motor.ac.kr
TEL : (041)939-3163 FAX : (041)932-6173

* 충남대학교 BK21 메카트로닉스사업단

기 위하여 화염공의 수, 위치, 크기 그리고 예연소실의 체적을 변화시키며 엔진 성능실험을 하였으며 실린더헤드개스켓을 이용하여 평균 화염전파속도를 측정하였다.

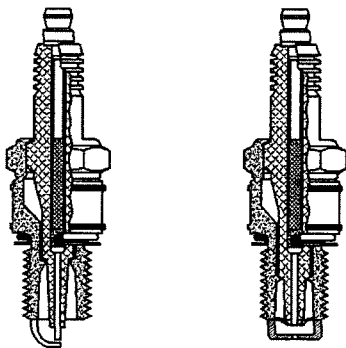
2. 실험장치 및 실험방법

2.1 엔진 제원

본 실험에 사용된 엔진은 단기통 엔진을 사용하였으며 엔진의 제원은 다음과 같다.

Table 1 Specific of engine

Displacement volume(cc)	375
Type of engine	MPI SOHC
Bore(mm)	76.5
Stroke(mm)	81.5
Compression Ratio	9:1



(a) Conventional spark plug (b) Spark plug with pre-ignition chamber

Fig. 1 Configuration of spark plug

2.2 예연소실 점화플러그

점화플러그는 실린더헤드에 설치되어 점화코일의 2차 코일에서 발생한 고전압에 의해 중심전극과 접지전극 사이에서 전기불꽃을 발생시켜 실린더내의 혼합기에 점화하는 일을 한다. 본 실험에 사용된 일반 점화플러그는 Fig. 1(a)와 같은 형상이며 예연소실 점화 플러그 형상은 Fig. 1(b)와같이 점화플러그 하단부에 중공관형(中空管形) 예연소실이 있으며 예연소실의 중공 내(中空內)에 장착된 중심전극과 예연소실 하단부에 일체로 형성된 한 쌍의 접지 전극 및 화염을 분출할 수 있는 화염공(火焰孔)으로 이루어진다. 예연소실의 재질은 니켈합금(nickel alloy)을 이용하였다. 예연소실 점화플러그는 점화 시 중공관형(中空管形) 예연소실에서 초기 점화를 일으킨 후 화염이 좁은 화염공을 통해서 분출되므로 고난류 점화표면을 제공하게 되어 연소실내에 점화에너지를 넓게 공급하므로 급속연소와 연소성능을 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다. 예연소실 점화플러그의 제원은 Table 2와 같다.

Table 2 Specific of spark plug with pre-ignition chamber

Type	Number of flame hole	Size of flame hole (mm)	Vol. of pre-ig. chamber (cm ³)	Change details
1	Bottom 1	Bottom ϕ 3.5	0.45	
2	Bottom 1	Bottom ϕ 3.5	0.48	Pre-Ignition chamber Volume
3	Bottom 1, Side 4	Bottom ϕ 2.0, Side ϕ 1.0	0.52	Flame hole number, Pre-Ignition chamber Volume
4	Bottom 1, Corner 4	Bottom ϕ 2.0, Side ϕ 1.0	0.52	location of side hole
5	Bottom 1, Corner 4	Bottom ϕ 2.2, Side ϕ 1.0	0.55	Pre-Ignition chamber volume, Bottom hole size

2.3 실험방법

2.3.1 엔진성능 시험

새로 제작된 예연소실 타입의 점화플러그와 일반 점화플러그의 연소 특성을 비교하기 위하여 1500cc SOHC 엔진을 사용하였으며 엔진 다이내모미터(EBD-130,극동기전)에서 성능실험을 하였다. 실험 조건은 일반 주행 시 많이 사용되는 구간인 1800RPM/2.0Bar BMEP와 2400RPM/2.5Bar BMEP에서 실험하였고 MOTEC장비를 이용하여 공연비와 점화시기를 조정하였다. 공연비는 λ (공기과잉률)=1을 유지시키며 배기가스(CO, HC)와 MBT (Minimum advance for Best Torque) timing, 연료분사시간 등을 측정하였다. 배기가스 측정은 BOSCH의 MOT205 장비를 이용하여 배기관측의 촉매 전 위치에서 정상상태로 30초간 200개의 데이터를 샘플링하여 평균값을 구하였다. 배기가스 분석기에서 CO의 분석은 가스성분에 따라 적외선 흡수량의 차이가 발생하는 분산 적외선법(Non Dispersive Infrared Method)이 사용되며 HC측정은 수소 불꽃에 의해 고온에서 이온화되는 현상을 이용하여 탄화수소를 측정할 수 있는 수소염이온화법(Flame Ionization Detector Method)이 이용된다. 실험장치의 구성도는 Fig. 2와 같다.

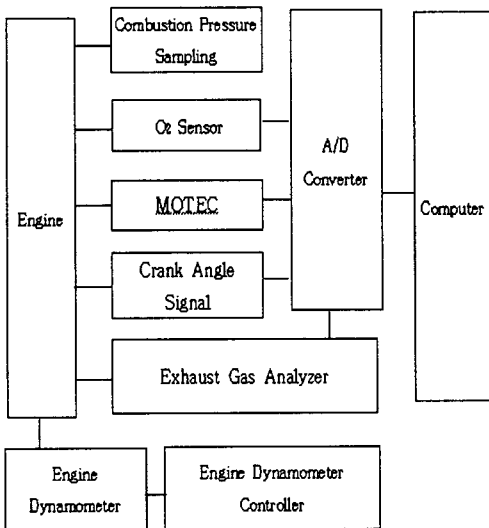


Fig. 2 Schematic diagram of experimental apparatus

2.3.2 화염전파측정시험

이온프로브는 연소실내의 화염전파에 대한 정보를 효과적으로 제공할 수 있으며 연소현상을 좀더 상세하게 분석할 수 있게 해준다. 본 실험에서는 연소실 끝단에서의 화염 도달시간을 측정하기 위하여 실린더 헤드개스켓 이온프로브를 제작하여 단기통 엔진에서 실험을 하였으며 제작된 헤드개스켓 이온프로브의 형태는 Fig. 3과 같다.

헤드개스켓 이온프로브는 연소실 안으로 약 1mm 돌출되게 하였으며 내열성 액상개스켓으로 이온프로브를 고정하였다. 이온프로브에는 DC 전원공급장치에 의해서 그라운드와 300 V의 전위차가 존재하게 되며 화염면이 이온프로브에 도달하게 되면 화염에 존재하는 많은 이온들 CHO⁺, CH₃O⁺, C₃H₃⁺, H₃O⁺, NO⁺ 등에 의해 이온프로브에 대기하고 있던 고전압이 흐르게 되며 이것을 이온전류증폭기(Sokken HG-164)로 증폭하여 전위차

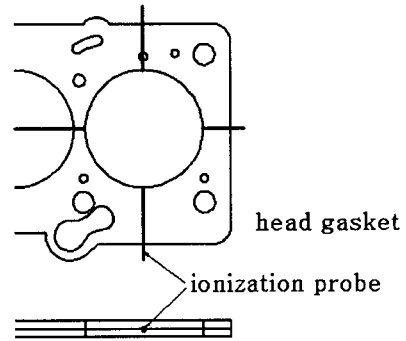


Fig. 3 Ionization probe of cylinder head gasket

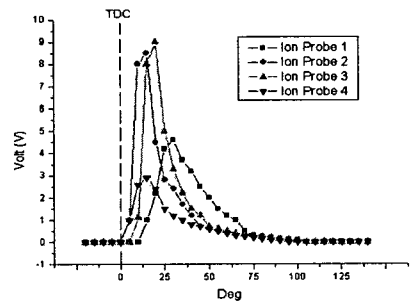


Fig. 4 Output voltage of cylinder head gasket ionization probe

로 출력한다. 이때 최대 출력값은 약 9V였으며 이온프로브의 출력 형태는 Fig. 4와 같다. 화염면이 이온프로브에 도달하면 출력값이 급격하게 상승되므로 임계값은 0.5V로 정하였으며 임계점을 지나는 시점의 크랭크 각도를 화염이 이온프로브에 도달한 시간으로 하였다. 샘플링 데이터는 30개의 평균값을 취하였다.

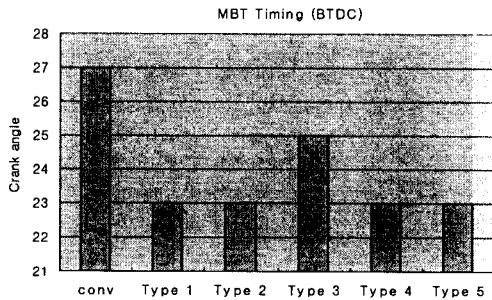
3. 실험결과 및 고찰

3.1 엔진 성능 시험

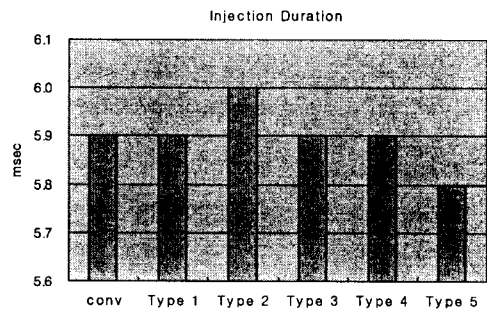
예연소실의 체적과 화염공의 크기, 위치를 변경하며 제작한 예연소실 점화플러그와 일반 점화플러그를 1500CC SOHC 엔진에서 연소특성을 비교하여 다음과 같은 결과를 얻었다. 결과 그래프에서 일반 점화플러그는 'conv', 예연소실 점화플러그는 특성에 따라 'Type 1~Type 5'로 표시하였다. Fig. 5는 MBT timing을 나타낸다. 예연소실 점화플러그를 사용한 경우가 일반 점화플

러그를 사용한 경우보다 MBT timing은 1800RPM /2.0Bar BMEP에서 2~4°CA. 지각되었으며 2400RPM /2.5Bar BMEP에서 MBT timing은 3~5° CA 지각되었다. 따라서 예연소실 점화플러그를 사용한 경우가 일반 점화플러그를 사용한 경우 보다 급속연소가 이루어짐을 알 수 있었으며 화염공의 개수나 크기는 MBT timing 변화에 큰 영향을 주지 않았다. 일반 점화플러그는 중심전극에서 화염 핵이 형성된 후 공기의 유동과 미연가스의 분포상태에 따라 화염성장이 영향을 받으나 예연소실 점화 플러그는 예연소실에서 점화가 된 후 화염공을 통하여 화염이 분출되어 급속연소를 이루게 되는 것으로 판단된다.

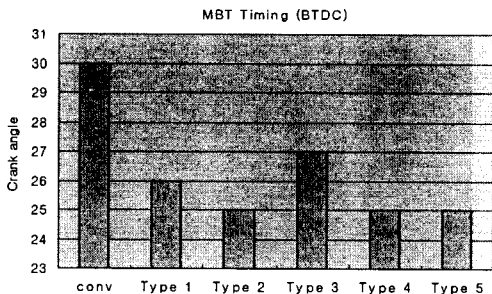
Fig. 6은 λ (공기과잉률)=1일 때 엔진의 연료 분사시간을 보여준다. 예연소실 점화플러그를 사용한 경우 급속연소가 이루어지고 있으나 연료 분사량은 일반 점화플러그를 사용한 경우와 비교하여 큰 차이를 보여주지 않고 있다. 그러나 Type 5의 경우 1800RPM/2.0Bar BMEP와 2400RPM/2.5Bar BMEP에서 연료소모량이 감소하였다. 이것은 화염



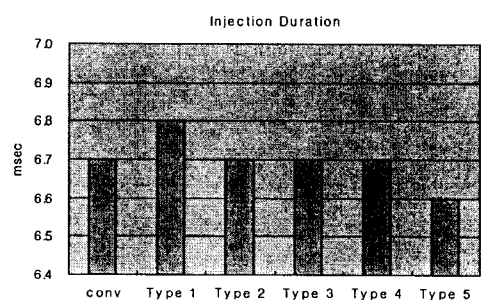
(a) 1800 RPM/2.0 Bar BMEP



(a) 1800 RPM/2.0 Bar BMEP



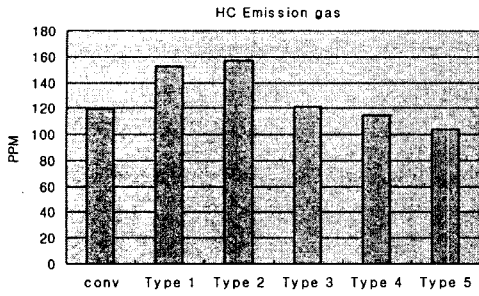
(b) 2400 RPM/2.5 Bar BMEP



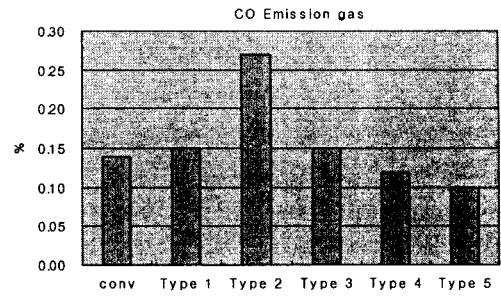
(b) 2400 RPM/2.5 Bar BMEP

Fig. 5 MBT timing

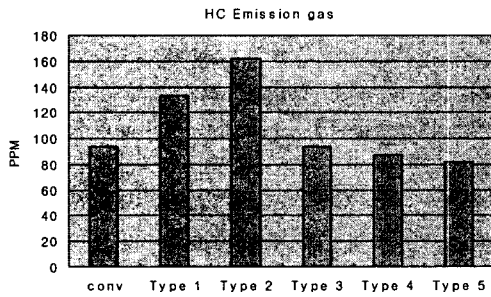
Fig. 6 Fuel injection duration



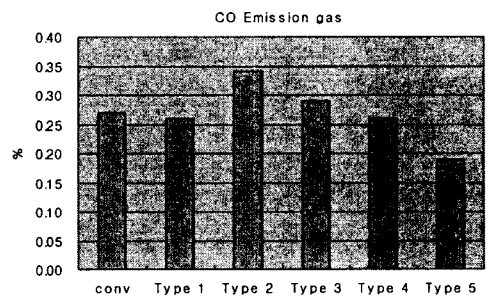
(a) 1800 RPM/2.0 Bar BMEP



(a)1800 RPM/2.0 Bar BMEP



(b) 2400 RPM/2.5 Bar BMEP



(b) 2400 RPM/2.5 Bar BMEP

Fig. 7 HC emission gas

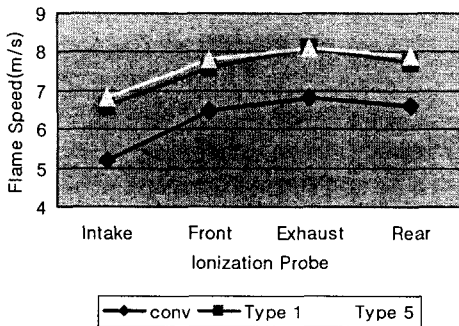
Fig. 8 CO emission gas

공의 크기, 방향, 예연소실의 체적 등을 최적화함으로써 연료소비율도 개선시킬 수 있음을 보여 준다.

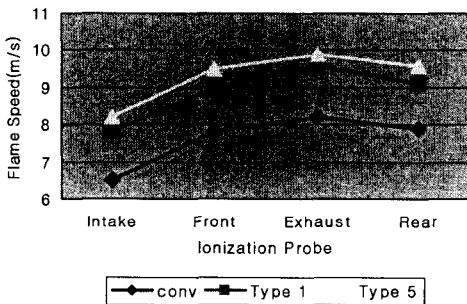
Fig. 6과 Fig. 7은 HC와 CO 배기가스량을 보여 준다. 예연소실 점화플러그 Type 1, Type 2를 사용한 경우에 일반 점화플러그를 사용한 경우보다 HC, CO 배기가스는 모두 증가하였다. 화염공이 예연소실 하단부에만 있는 Type 1, Type 2의 경우는 화염공을 통한 화염분출로 일반 점화플러그보다 연소속도는 증가되나 화염이 예연소실 하단으로만 분출되어 연소실 끝단의 미연가스를 충분히 연소시키지 못하는 것으로 판단된다. 따라서 연소실 끝단의 미연가스를 충분히 연소시키기 위하여 예연소실의 원주방향으로 4개의 화염공을 추가로 가공하여 화염이 예연소실 중앙부와 측면으로 동시에 분출될 수 있도록 예연소실 점화플러그 Type 3, Type 4, Type 5를 제작하였다. Type 3의 경우 예연소실 측면에 원주방향으로 화염공을 4개 설치하였으나 배기가스가 감소되지 못하

였다. 그것은 예연소실 측면의 화염 방향과 Pent roof 연소실 벽면의 간섭으로 인해 측면 화염이 제대로 전파되지 못하였기 때문으로 판단된다. 그러나 연소실 벽면과 간섭이 되지 않도록 예연소실의 코너에 4개의 화염공을 추가로 설치한 Type 4, Type 5의 경우 일반 점화플러그를 사용한 경우보다 HC 배기가스는 12.8 ~ 13.4%, CO 배기가스는 28.6 ~ 29.6% 감소하였다. 특히 Type 5의 경우 예연소실 체적과 하단부의 화염공의 크기를 증가시켰을 때 HC와 CO 배기가스를 더욱 감소시키는 결과를 얻었다. 따라서 화염공의 크기와 위치 그리고 예연소실의 체적이 배기가스량에 영향을 줄 수 있음을 알았다.

실린더 헤드캐스킷 이온프로브를 이용하여 1800 RPM 2.0Bar BMEP와 2400 RPM 2.5Bar BMEP에서 측정한 평균 화염전파속도는 Fig. 9와 같다. 예연소실 점화플러그 Type 1과 Type 5를 사용한 경우가 일반 점화플러그를 사용한 경우보다 평균 화염전파속도가 빠르게 측정되었다.



(a) 1800 RPM 2.0 bar BMEP



(b) 2400 RPM 2.5 bar BMEP

Fig. 9 Average flame speed at MBT timing

그리고 배기밸브 방향의 화염전파속도가 흡기밸브 방향의 화염전파속도보다 빠르게 나타난다. 이것은 텀블유동이 압축말기에 완전히 소멸되지 않고 연소과정에서 영향을 미치기 때문이다.⁽³⁾

4. 결론

예연소실 점화플러그와 일반 점화플러그를 사용하여 엔진에서 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 예연소실 점화플러그를 사용한 경우가 일반 점화플러그를 사용한 경우 보다 MBT timing이 3~5° 지연되어 급속연소가 이루어짐을 알 수 있었으며 화염공의 개수나 크기는 MBT timing 변화에 큰 영향을 주지 않았다.
- (2) 화염공이 예연소실 하단부에 1개만 설치된

경우 화염이 예연소실 하단으로만 분출되어 연소 속도는 증가하나 연소실 끝단의 미연가스를 충분히 연소시키지 못하여 HC와 CO 배기가스량이 증가되는 것으로 판단된다.

(3) 화염공을 예연소실의 하단과 측면방향으로 화염이 벽면과 간섭이 되지 않도록 분사시킬 때 연소성능이 개선되어 HC는 6.7~11.8%, CO는 28.6~33.3%를 줄일 수 있었다.

(4) 예연소실 체적과 화염공의 크기 및 방향이 연료소비율과 배기가스에 영향을 줄 수 있다고 판단된다.

(5) 헤드캐스켓 이온프로브를 이용하여 예연소실 점화플러그를 사용할 때 평균화염전파속도가 일반 점화플러그를 사용할 때보다 13.2~22.4% 빠르게 나타남을 확인 할 수 있었다.

참고문헌

- (1) Song, J. H., Sunwoo, M. H. and Kim, W. T., 1999, "A Study on the Engine Performance Improvement of a Lean Burn Engine by High Energy Ignition," *Trans. of the KSAE*, Vol. 7, No. 2, pp.31~40.
- (2) Song, J. H., Seo, Y. H. and Sunwoo, M. H., 2001, "A Study on the Effects of Ignition Energy and System on the Flame propagation in a constant Volume Combustion Chamber," *Trans. of the KSAE*, Vol. 9, No. 1, pp.45~56.
- (3) Jie, M. S., Kim, M. H. and Kim, W. T., 1993, "The Effect of Tumble Flow on Engine Performance and Flame Propagation", *SAE Technical Paper* 931946.
- (4) Lee, J. S., Kim, J. Y., Lee, J. S., Chung, S. S. and Ha, J. Y., 1998, "Effects of Ignition Energy Discharge Characteristics on the Lean Flammability Limit," *Trans. of the KSAE*, Vol. 6, No. 4, pp.47~55.
- (5) Shen, H., Hinze, P. C., and Heywood, J. B., 1994, "A Model for Flame Ignition and Early Development in SI Engine and its Application to Cycle to Cycle Variation," *Trans. of the SAE* 942049.