

스월형 GDI 엔진의 연소실내 현상 연구

김기성* · 박상규*

(여수대학교)

In-Cylinder Phenomena in a Swirl Type GDI Engine

Ki Seong Kim, Sang Kyu Park

(Yosu National Univ.)

Abstract: For the purpose of helping development of a GDI(Gasoline Direct Injection) engine, the in-cylinder phenomena, such as the spray behaviors and fuel distributions, unburned fuel, and flame characteristics were investigated in a single cylinder GDI engine. The GDI engine was equipped with a swirl type electronic injector and SCV(Swirl Control Valve). PLIF(Planar Laser Induced Fluorescence) system with KrF Excimer laser was used for the measurements of the fuel distributions. The effects of the injector specifications, such as the spray cone angle and the offset angle on the fuel distributions and combustion characteristics were investigated. As a result, it was found that the injected fuel spray collided with the bottom of the bowl and moved upward along the exhaust side wall of the piston bowl. This fuel vapor played a important role in the instance of spark ignition. The injector specifications had a great influence on the flame characteristics

Key Words: GDI Engine(가솔린 직접분사식 엔진), PLIF(레이저 유도 형광법), Fuel Distribution(연료분포), Flame(화염), Injector(분사기)

1. 서론

계속 강화되는 배기규제와 연비규제에 대응하기 위하여 연소실내 직접분사를 행하는 GDI(Gasoline Direct Injection) 엔진이 일부 상용화되었고, 이를 보다 발전시키기 위한 연구·개발이 진행되고 있다. 직접분사식 엔진은 기존의 흡기포트에 연료를 분사하는 방식에 비해 전개(WOT, Wide Open Throttle)시 약 10%정도 향상된 출력을 얻을 수 있고, 부분부하시의 연

료소비율을 약 20~30% 대폭 감소시킬 수 있는 것으로 알려져 있다^{[1]~[3]}. 이는 전개시 연소실내로 분사된 연료가 흡입공기로부터 증발잠열을 얻는 과정에서 흡기 냉각효과가 발생하고, 이로 인하여 체적효율과 노킹저항성이 증가하기 때문이다. 그리고, 부분부하운전의 경우 압축행정 후기에 분사하여 성층연소를 행함으로써 초회박연소가 가능하기 때문에 펌핑손실을 줄일 수 있어서 연료소비율을 크게 줄일 수 있다.

* 여수대학교 기계공학과

이와 같은 직접분사식 엔진의 고출력, 고효율은 이미 오래 전에 이론적, 실험적으로 예견된 것이나 저부하 운전시 혼합방식에 비해 다량으로 발생하는 미연탄화수소, soot, 그리고 점화플러그 오염과 같은 몇 가지 해결하기 어려운 기술적 문제점 때문에 많은 장점에도 불구하고 양산화가 지연되어 왔었다.

그러나, 직접분사식 엔진의 분사시스템으로서 디젤엔진용 기계식 인젝터를 대체할 소형 전자식 스웰형 인젝터가 개발됨으로써 GDI 엔진의 개발은 획기적인 전기를 마련하게 되었으며, 이에 따라 GDI 엔진의 기술적 문제점을 해결하기 위하여 유동제어기술과 혼합제어기술 개발에 다각적인 노력을 기울이고 있다^{[4]-[6]}.

따라서, 본 연구에서는 GDI 엔진의 개발에 도움을 주고자 연소실내에서 일어나는 혼합기 형성과 연소과정을 가시화를 이용하여 측정하였다. 시험은 단기통 가시화 엔진에서 행했으며, 연소실내 분무거동 및 혼합과정 측정은 PLIF(Planar Laser Induced Fluorescence) 방법^[7]을 이용하였으며, ICCD(Intensified CCD) 카메라를 이용하여 화염을 측정하였다.

2. 시험장치 및 시험조건

2.1 가시화 엔진

시험에 이용한 직접분사식 엔진은 Fig.1과 같은 구조를 갖고, Table 1과 같은 사양의 엔진을 단기통 가시화 엔진으로 수정한 것이다. 이 엔진의 주요 특징은 다음과 같다. 스웰형 전자식 인젝터가 장착되어 있으며, 분사압은 100bar 정도이다. 연소실내 혼합기 형성을 유동으로 제

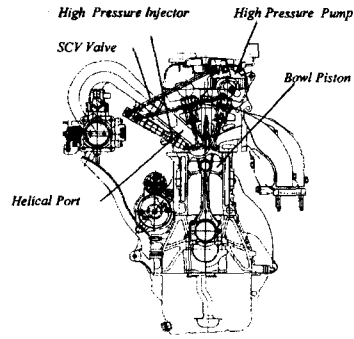


Fig.1 Layout of the GDI engine

Table 1 Engine specifications

Combustion Chamber	Pent-Roof
Bore × Stroke[mm]	82.0 × 93.5
Valve Configuration	DOHC 4 Valve
Swirl Ratio(Port)	3.0

어하기 위해 엔진 전방측 흡기포트는 스트레이트 형상이고, 엔진 후방측 흡기포트는 헬리컬 형상이며, 스트레이트 포트측에는 스웰제어를 위한 SCV(Swirl Control Valve)가 장착되어 있다. 부분부하 조건에서 SCV를 닫게 되면 연소실내로 유입되는 공기의 대부분이 헬리컬 포트를 통해서 유입되기 때문에 연소실내의 스웰비가 증가하게 된다. 부분부하조건에서는 보통 초회박연소를 행하기 위해 압축행정 후기에 분사를 행하기 때문에 SCV에 의한 연소실내의 스웰비 변화는 분사된 연료의 거동과 혼합기 분포에 영향을 주어서 엔진의 성능에 지대한 영향을 주게 된다. 피스톤에는 보울(bowl)이 파져 있으며, 이

보울의 위치와 형상은 부분부하조건에서의 분사된 연료의 공간분포에 크게 영향을 미치기 때문에 이를 최적화하는 것은 매우 중요한 일이다.

Table 1에 나타낸 바와 같이 이 엔진은 연소실 형상이 펜트루프형이며, DOHC 4밸브이다. 이 엔진 헤드의 스윙비는 3.0이다.

연소실내 현상을 측정하기 위한 가시화 엔진은 위 사양의 엔진 성능시험용 직접분사식 단기통 엔진을 가시화 엔진으로 수정한 것으로서, Fig.2와 같다. 가시영역을 넓게 하기 위하여 헤드 밀면을 8mm 깎아냈으며, SFS(Synthetic Fused Silica)로 된 실린더 라이너가 설치되어 있어서 측면에서 연소실내를 관찰할 수 있도록 되어 있다. 실린더 라이너를 SFS 재질로 한 이유는 자외선 영역에서 투과성을 좋게 하기 위한 것으로 본 연구에서 이용하는 PLIF 연료분포측정시스템의 레이저 광원인 KrF 엑시머 레이저의 경우 파장이 248nm이기 때문에 일반 수정을 이용할 경우 투과성이 좋지 않아 적합하지 않기 때문이다.

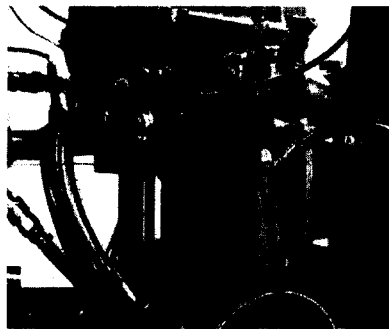


Fig.2 The picture of experimental engine

2.2 연료분포 및 화염측정 시스템

연소실 내 연료분포를 측정하기 위한 방법은 고출력 레이저 및 고성능 ICCD(Intensified CCD) 카메라의 개발로 인하여 레이저 응용 광계측법이 주로 이용되고 있다. 레이저를 이용한 연료분자의 농도측정 기술은 적용되는 광학 원리에 따라 크게 세 가지로 나뉘는데, Rayleigh 산란, Raman 산란 및 LIF(Laser Induced Fluorescence)를 이용한 방법이 있으며, 이 중에서 LIF 방법이 가장 많이 이용되고 있다. LIF 방법은 적정 파장대의 레이저를 연료분자에 조사하여 기저상태(ground state)에 있는 분자를 여기시켜 이 분자가 불안정한 여기상태에서 기저상태로 천이 되면서 발생하는 형광을 측정하는 것이다. 이 형광은 Raman 산란광에 비하여 세기가 커서 2차원 연료분포 측정이 용이하고, Rayleigh 산란광과는 다르게 입사광 보다 큰 파장대의 빛을 방출하기 때문에 S/N비(signal to noise ratio)가 크다는 장점이 있다. 이러한 장점 때문에 엔진과 같이 협소한 밀폐 공간에서의 연료분포 측정에 가장 적절한 방법으로 알려져 있고, 선호되고 있는 방법이다.

그러나 압력과 온도가 높은 엔진 조건에 적용시 이러한 영향을 많이 받는 퀸칭(quenching)효과(여기상태의 분자가 분자간의 충돌에 의해 에너지를 소진함으로써, 형광을 발생하지 않고 기저상태로 에너지 준위가 떨어지는 현상)로 인해 정량적인 분석이 어렵다는 단점이 있다.

엔진에서 KrF 엑시머 레이저를 이용하여 연료분포 측정시 발생하는 emission spectrum은 300nm-450nm 부근에서 형광이 많이 발생하며, 수많은 모드에 의한

형광이 증착되어 파장대에 따른 세기 변화가 완만한 곡선형태를 나타낸다. 따라서 이 경우에는 형광이 많이 발생하는 영역의 빛만을 통과시키는 특정 필터를 이용하여 측정 단면의 각 부분에서 전체의 세기를 측정해 연료농도분포를 파악하는 방법을 이용하고 있다.

본 연구에서 이용한 PLIF 시스템의 구성은 다음과 같다. 레이저는 파장이 248nm인 빛을 내는 KrF 엑시머 레이저이며, 레이저빔은 평면광으로 만들어 가시화 엔진의 측정단면을 통과하도록 되어 있다. Side view 즉, 실린더 축 방향 단면 측정 시에는 레이저 평면광이 배기밸브측 중앙에서 흡기밸브측 중앙으로 실린더 축중심을 지나 투과되며, 레이저 빔 두께는 약 3mm이다. Top view 즉, 실린더 축에 직각인 단면 측정시에는 레이저 빔이 스파크 전극에서 3mm하단면을 통과하며, 이때의 빔 두께는 약2mm이다.

측정면에서 연료분자에 의해 발생된 형광은 UG11 Schott Glass type 필터(300~450nm 영역의 빛을 주로 통과)를 거쳐서 105mm UV 렌즈 ICCD(4QUIK05)에 의해 화상소자에 영상이 맺히게 된다. ICCD에서 발생된 영상신호는 PC에 내장된 프레임 그래버에 의해 디지털 값으로 바뀌어 저장된다.

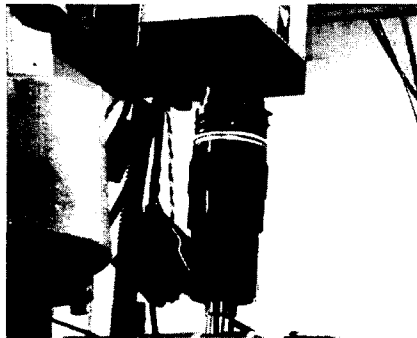


Fig.3 The picture of endoscope for top viewing

Fig.3은 실린더 축에 직각인 단면의 측정을 위한 장치사진이다. 특수 제작한 엔도스코프를 스파크 플러그 홀에 장착하고 105mm UV 렌즈를 대안렌즈에 근접시켜서 영상을 얻었다. 엔도스코프의 측정범위를 넓히기 위해 굴절률이 큰 사파이어 렌즈를 이용하였으며, 형광만을 측정하기 위해 UG11 필터를 쓸 경우 광량이 적기 때문에 Rayleigh scattering과 Mie scattering에 의한 빛까지 모두 포함하도록 필터를 이용하지 않았다.

화염측정은 화염에서 자발광되는 빛을 필터를 사용하지 않고 PLIF 시스템에서의 ICCD 이미징 시스템으로 측정하였다.

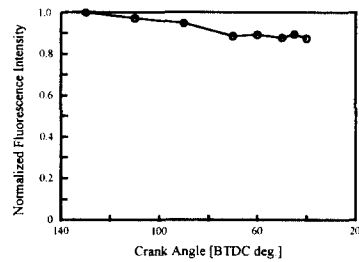


Fig.4 Fluorescence intensity during the compression process.

엔진에서의 연료분포는 흡기포트 내 분사 방식이든 연소실 내 직접 분사 방식이든 엔진 온도에 의해 크게 좌우된다. 즉, 의미 있는 연료분포 데이터가 되기 위해서는 실 엔진 조건에서와 같이 연소를 행하면서 시험이 이루어져야 한다. 따라서 연료로는 가솔린과 연소특성이 유사한 이소옥탄을 주로 이용하는데, 이소옥탄의 경우 248nm 파장의 레이저빔에 의해 여기될

Table 2 Specifications of injectors

Abbreviation	Spray Cone Angle	Offset Angle
45/15	45	15
48/15	48	15
28/18	28	18

경우 형광이 발생되기는 하지만 형광의 세기가 크지 않기 때문에 형광 발생용 물질을 연료에 첨가하여 시험하는 것이 일반적이다. 본 연구에서는 연료로는 이소옥탄을 썼으며, 형광 발생 물질로서는 가솔린(10% by volume)을 이용하였다. 가솔린을 이용한 이유는 KrF 엑시머 레이저를 광원으로 하는 경우 형광발생량이 많고, 실 엔진의 연료이기 때문이다. 이 연료(iso-octane+10% gasoline)의 실 엔진 운전조건에서의 켄칭효과는 Fig.4와 같다. 압축이 진행됨에 따라 형광의 세기가 약간 감소하는 것으로 나타났으나 압축에 의한 혼합기의 밀도 증가를 고려하면 켄칭에 의한 형광의 감소가 아주 크다는 것을 알 수 있다. 그러나 공연비 측면에서 보면 획득된 이미지의 형광세기가 같은 경우 흡입 및 압축 어느 시점에서 측정했는지 비슷한 공연비를 나타내는 것으로 볼 수 있기 때문에 데이터를 분석하는 측면에서 유리한 점도 있다.

PLIF 방법으로 획득한 형광 이미지로부터 연료분포는 정성적으로만 파악하였는데, 직접분사식 엔진의 경우 실 엔진과 비슷한 조건에서 시험할 경우 연소실 내에 액체상태로 존재하는 연료입자가 많아 관측창을 오염시키는 정도가 심하기 때문

에 연료분포의 정량화가 어렵기 때문이다.

2.3 시험조건

GDI엔진의 설계시 성능을 좌우하는 여러 변수들이 있지만 본 시험에서는 직접분사식 엔진에서 가장 중요한 변수 중의 하나인 인젝터의 사양에 따른 영향을 조사하였다.

본 실험에서는 3가지 사양의 인젝터에 대해서 시험하였는데, 인젝터 사양은 Table 2와 같다. 여기서 offset angle은 인젝터 축과 분무중심축 간의 각으로써 Fig.1의 개략도에서 볼 수 있듯이 인젝터가 흡기포트 하단에 장착되는데, 인젝터 장착각 즉, 인젝터 축과 헤드 밑면이 이루는 각을 크게 하는 것은 흡기포트에 의해 제한을 받기 때문에 이를 보완하기 위해서 offset angle이 있는 인젝터를 이용하였다. Offset이 되어 있는 인젝터를 장착시 특정 각도로 회전시킨 상태로 장착하게 되면 분무축이 틀어지게 되는데 이를 인젝터 회전각으로 정의하였고, 분무축 방향을 엔진 후방부로 편향시켜 시험하였다.

Fig.5는 45/15 인젝터의 분무형상을 분무시험리그에서 측정한 사진이다. 인젝터축과 분무중심축이 offset되어 있는 것을 볼 수 있다. 분무평균입경은 분무입경 측정 시험을 한 결과 인젝터 사양에 따라 약간의 차이는 있지만 약10 μ m정도였다.

본 시험에 이용한 피스톤의 형상은 Fig.6과 같은데 bowl 형상에 따라서 엔진의 성능이 크게 달라지므로 bowl 형상을 최적화하는 것도 매우 중요한 과제 중의 하나이지만 본 연구에서는 한 가지에 대해서만 시험을 행하였다.

시험시 엔진 운전조건은 Table 3과

Table 3 Engine operating conditions

Parameters	Values
Injection End Timing	BTDC 65°
Spark Timing	BTDC 23°
MAP	80kPa
A/F	30
Coolant Temp.	85°C
Engine Speed	1800rpm

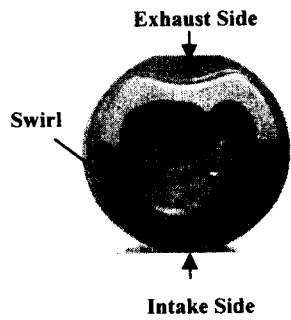


Fig.6 The shape of piston bowl

같은데, 공연비는 30으로 하였고, MAP이 80kPa로써 부분부하 조건이다. 실제의 엔진과 비슷한 조건으로 하기 위해서 냉각수 온도는 85°C로 하였고, side view인 경우에는 연소를 시키면서 측정하였고, top view인 경우에는 모터링 조건에서 측정하였다.

3. 시험결과

3가지 사양의 인젝터에 대해서 SCV 개도와 인젝터 회전각도를 각각 30°로 고정한 조건에서 연료분포 및 화염측정 시험을 행하였다.

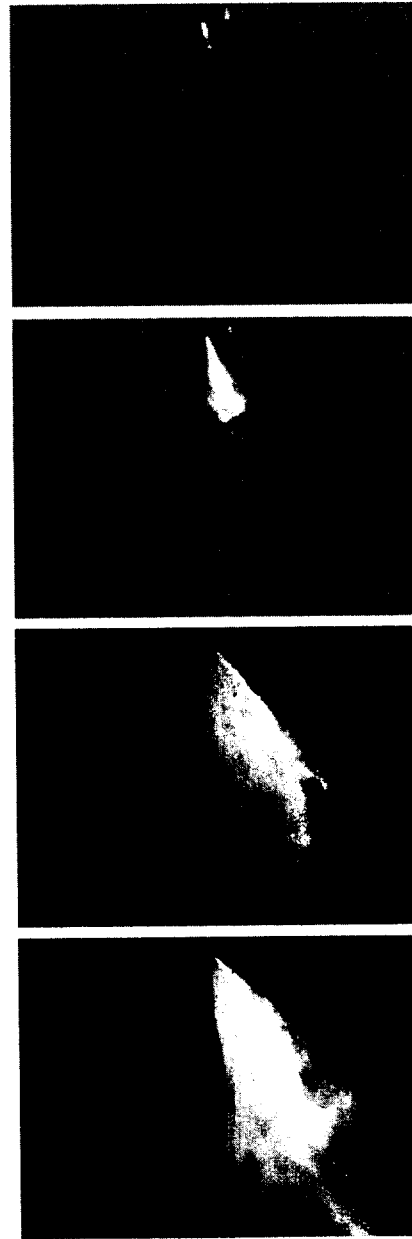


Fig.5 Spay shapes of the 45/15 injector

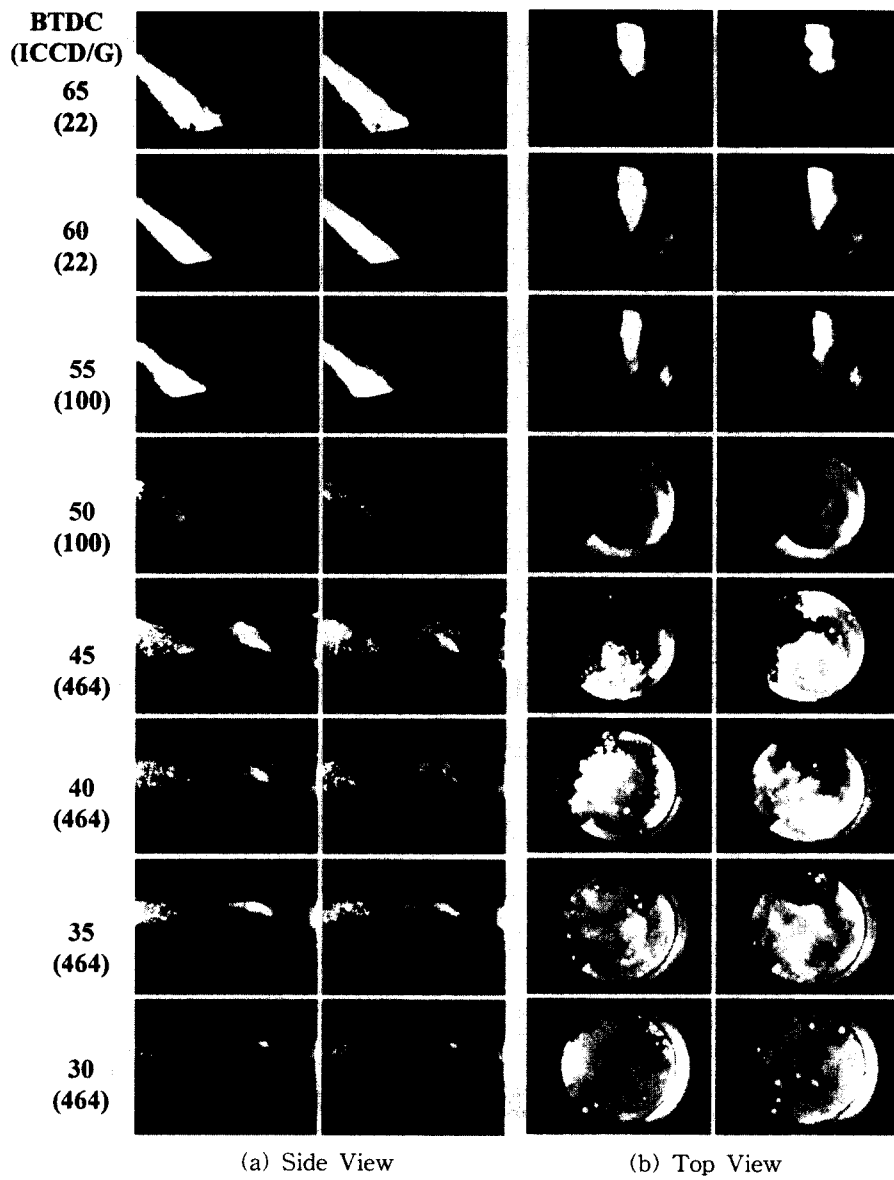


Fig.7 Fuel distributions in the GDI engine equipped with 45/15 injector

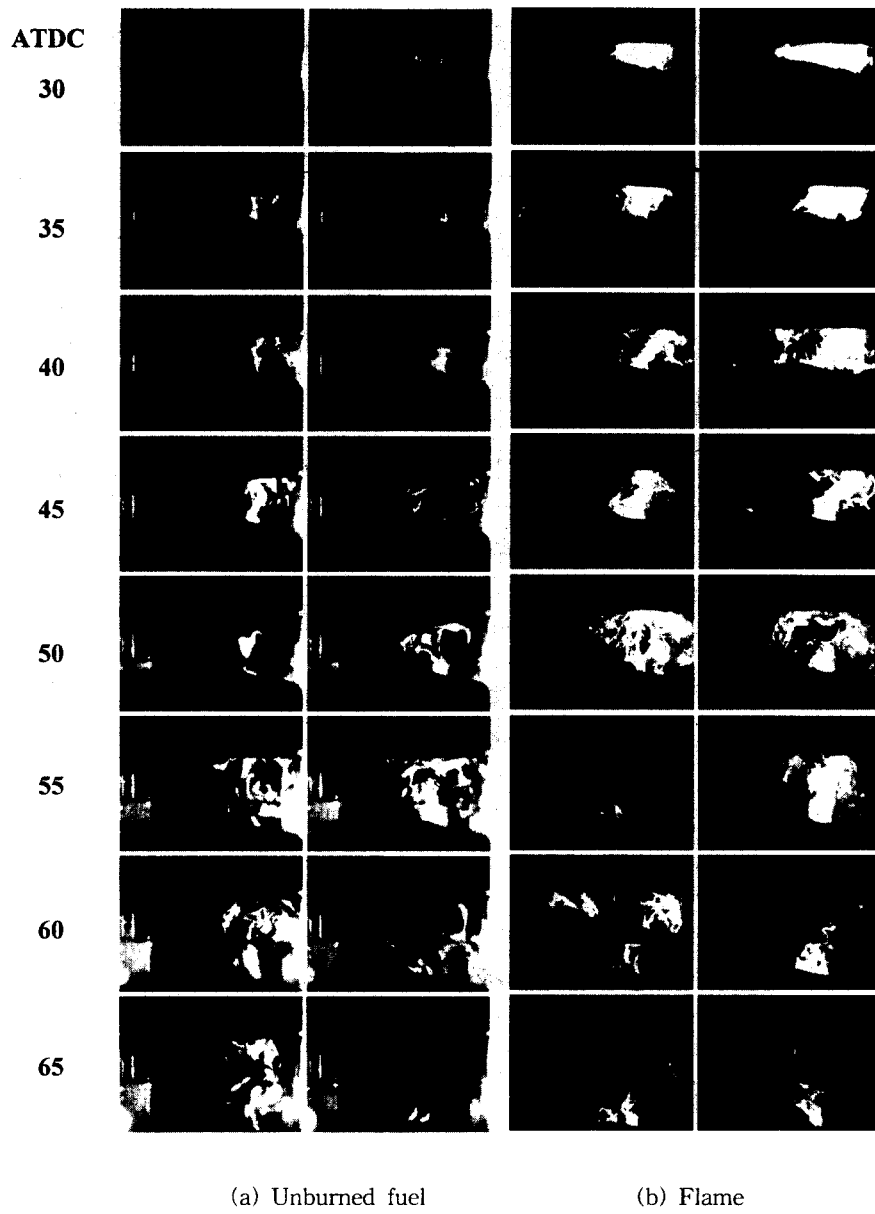


Fig.8 Unburned fuel and flames in the GDI engine equipped with 45/15 injector

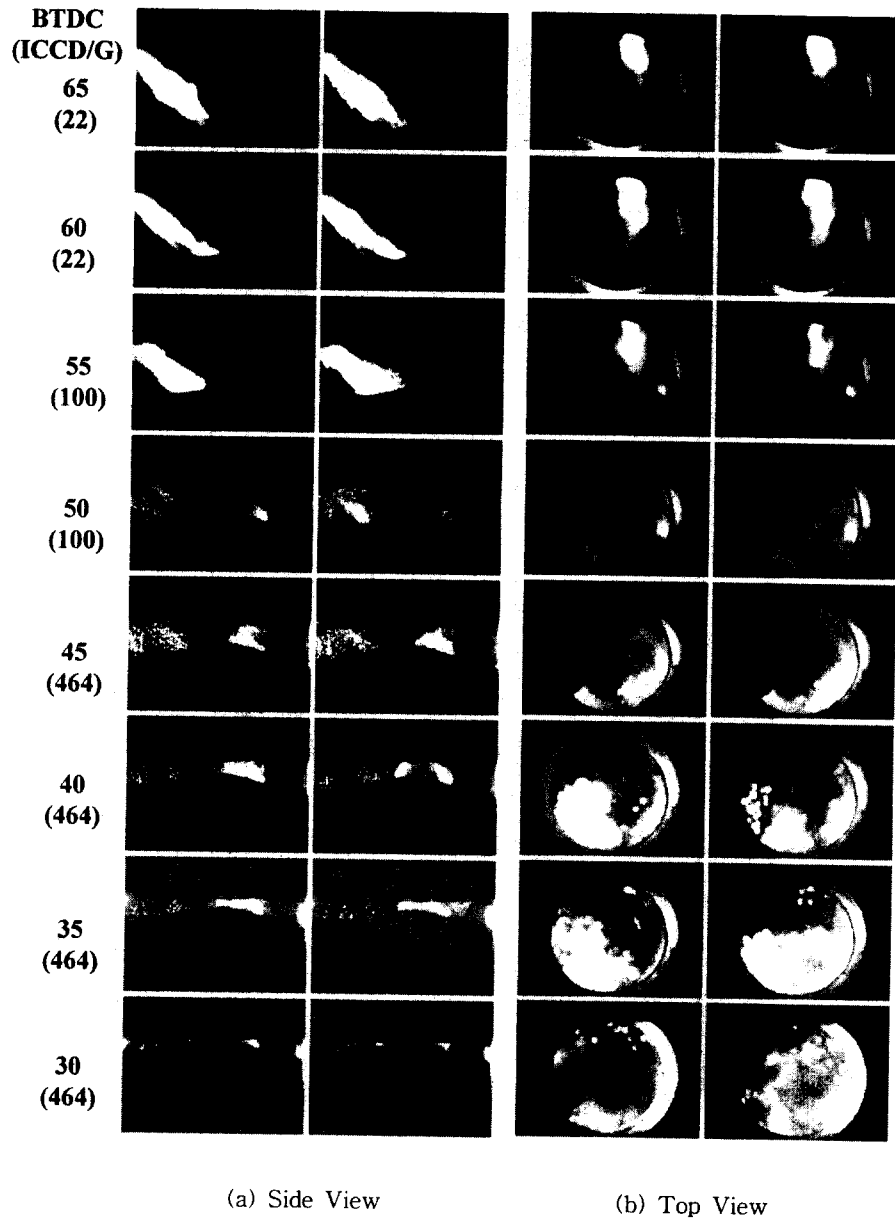


Fig.9 Fuel distributions in the GDI engine equipped with 48/15 injector

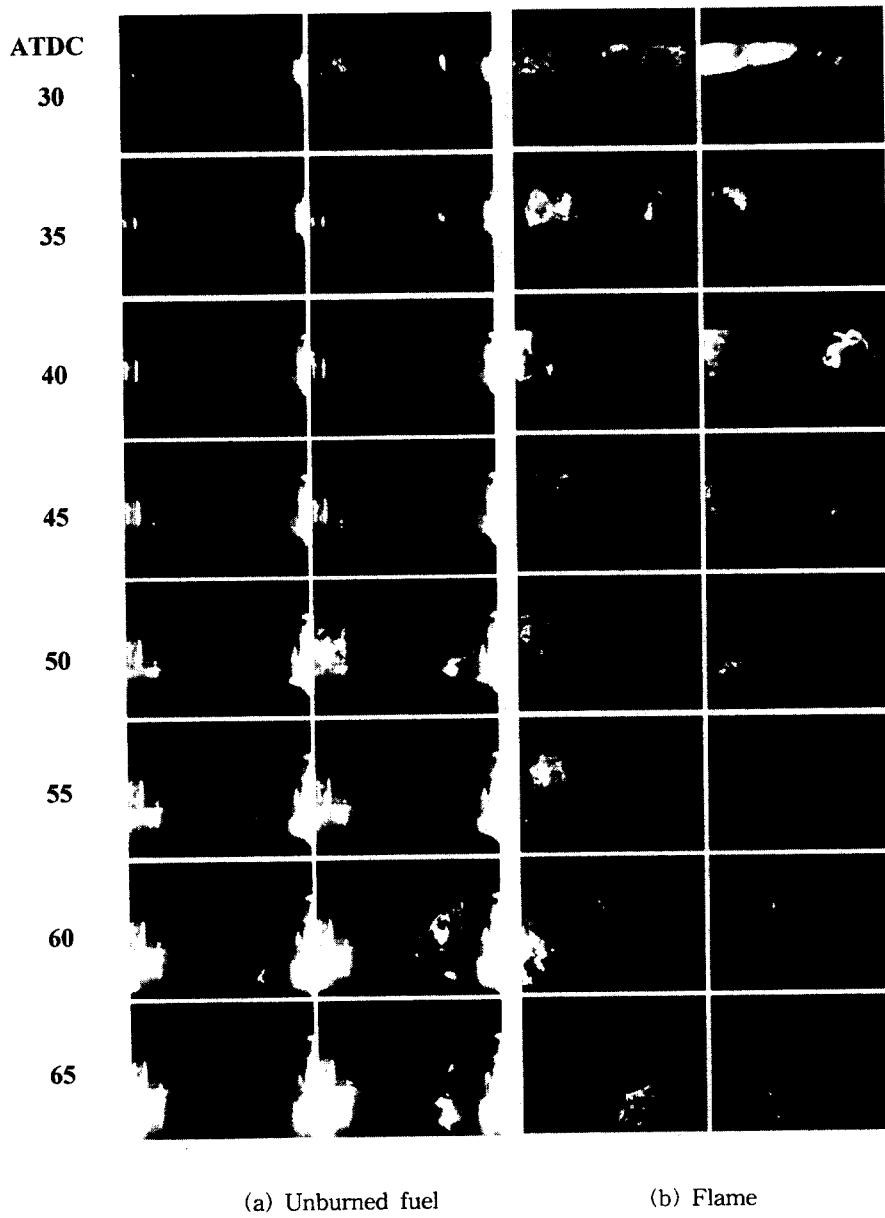


Fig.10 Unburned fuel and flames in the GDI engine equipped with 48/15 injector

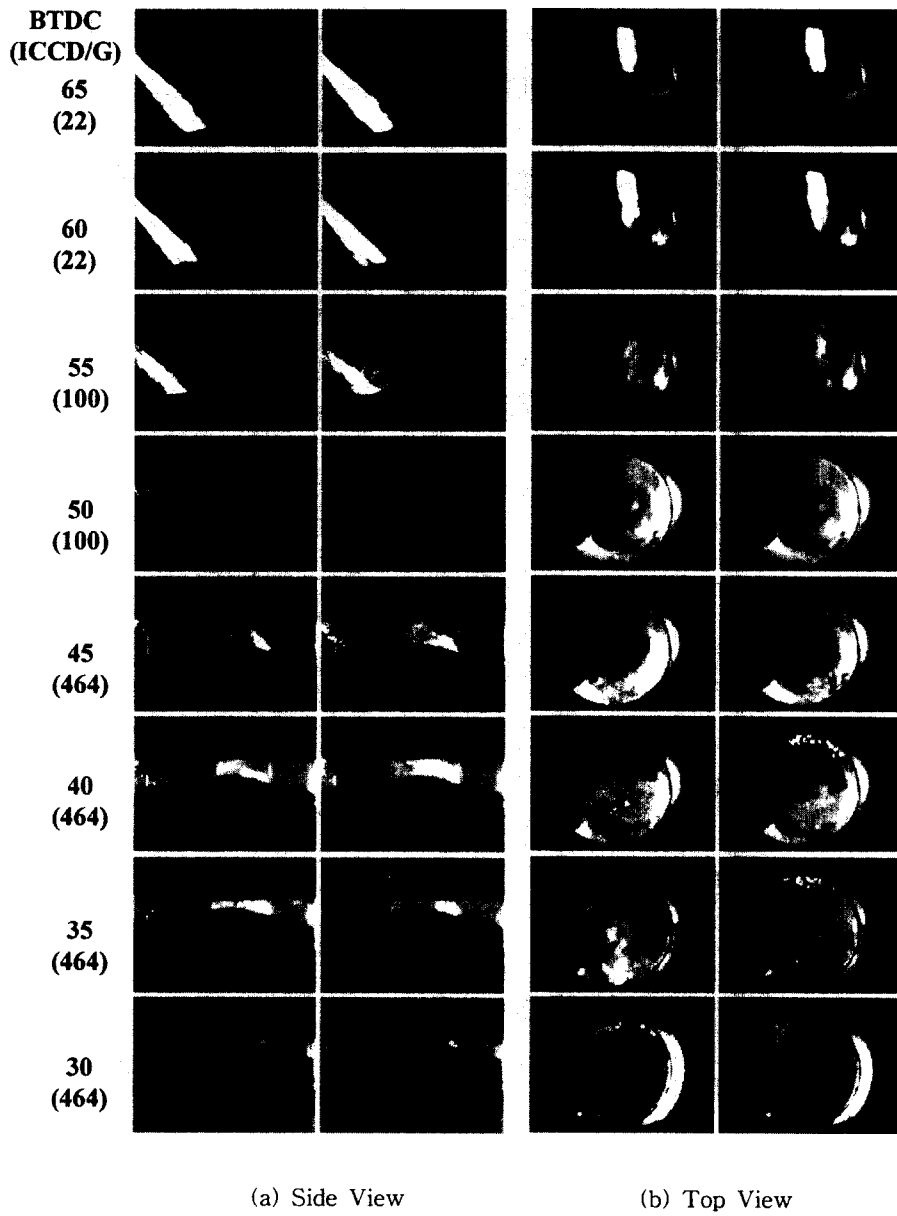


Fig.11 Fuel distributions in the GDI engine equipped with 28/18 injector

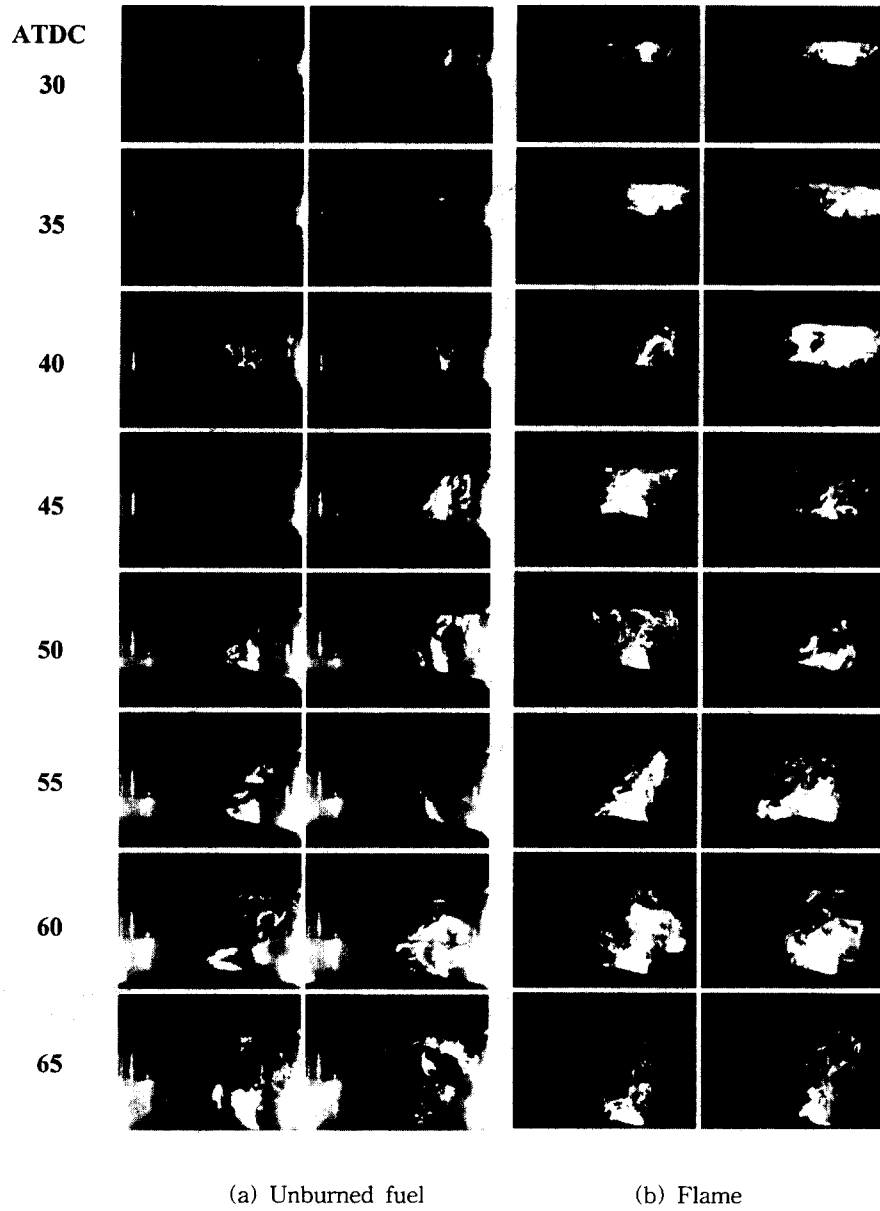


Fig.12 Unburned fuel and flames in the GDI engine equipped with 28/18 injector

Fig.7은 45/15 인젝터에 대한 사이드 뷰 및 탑 뷰 시험 결과이다. 인젝터 구동 신호가 BTDC 65° 에 끝났지만 구동신호와 실제로 분사가 이루어지는 시간사이에는 지연이 있기 때문에 BTDC 55° 까지 도 계속 분사가 이루어지고 있다. 피스톤의 상승운동으로 연소실내의 공기가 상승운동을 하겠지만 분무의 운동량이 크기 때문에 분무가 거의 직선적으로 진행해 나가는 것을 볼 수 있다. 탑 뷰를 보면 분무방향이 배기측으로 약간 편향되어 있는 것을 알 수 있는데, 이는 인젝터 회전각을 30° 로 주었기 때문이다.

BTDC 50° 에서는 분사가 끝난 상태인데 분무후기에 분사된 연료 중에는 상당히 큰 입자들이 존재함을 알 수 있다. 이 사진을 통해서서는 피스톤 bowl 내에서의 연료 거동을 알 수는 없지만 bowl의 배기측 벽면을 따라 농후한 연료 증기가 상승하는 것을 알 수 있는데, 이 사실로 미루어 볼 때 분무가 피스톤 bowl의 바닥면에 부딪친 후 바닥면을 따라 진행하다가 배기측 벽면을 따라 상승한다는 것을 짐작할 수 있다. BTDC 45° 에서는 배기측 벽면을 따라 상승하는 농후한 연료가 스파크 플러그 부근까지 진행하는 것을 볼 수 있으며, 후기에 분사된 연료는 피스톤 bowl내로 유입되지 못하고 흡기측의 피스톤 위에 분포하고 있는 것을 볼 수 있다. BTDC 40° , 35° 에서는 이러한 과정이 계속 진행되고 있으며, 후기에 분사된 연료 중 큰 입자들은 완전히 증발되지 못하고 계속해서 흡기측 피스톤 위에 분포한다. 본 시험 조건은 비교적 연소 안정성이 좋은 조건인데, 이는 배기측 피스톤 bowl 벽면을 따라 상승하는 농후한 연료가 주로 스파크 플러그 주위로 진행하기 때문이다. 만일 bowl 벽면을 따라 상승한

연료가 배기측으로 넘어가는 경우에는 연소 안정성이 나빠지며, 이것은 피스톤 bowl의 배기측 끝단을 어느 곳에 설정하는가에 따라 크게 영향을 받는다. BTDC 45° 이후의 탑 뷰를 보면 스윙 방향이 시계방향이기 때문에 스윙 방향으로 농후한 연료가 이동해 가는 것을 알 수 있다. 그리고, 스파크 점화 직전인 BTDC 30° 에서도 스파크 주위의 연료분포가 국부적으로 차이가 많이 난다는 것과 사이클 변동도 심함을 알 수 있다. 일반 예혼합형 가솔린 엔진의 경우 국부적인 연료분포가 당량비로 0.1정도 차이가 난다는 결과와 비교하면 GDI 엔진의 경우 국부적인 연료 분포 편차가 심함을 알 수 있다.

Fig.8은 45/15 인젝터의 팽창과정에서의 미연연료와 화염을 찍은 사진이다. 미연연료 사진을 보면 피스톤 bowl의 배기 밸브측 부근에서 많은 미연연료들이 나오는 것을 볼 수 있고, 화염사진에서는 그 부위에 주로 화염이 늦게까지 존재하는 것을 알 수 있다. 이러한 결과를 볼 때 45/15 인젝터의 경우 피스톤 bowl 바닥면에 부딪친 분무에 의해 많은 연료가 배기측 벽면 근처의 바닥에 집중되어 있어서 이 부근에서는 확산화염특성이 일부 나타난다는 것을 알 수 있다.

Fig.9는 48/15 인젝터에 대한 연료분포 측정 결과이다. BTDC 65° , 60° , 55° 의 사진을 보면 45/15 인젝터에 비해 분무의 운동량이 적어서 분무진행이 다소 느리고, 연소실내 유동의 영향을 보다 많이 받는다는 것을 알 수 있다. 이는 48/15의 경우가 분무각이 다소 커서 분무의 운동량이 45/15에 비해 적기 때문이다. BTDC 50° 이후에 피스톤 bowl의 배기측 벽면을 따라 상승하는 농후한 연료도 45/15 인젝터의 경우에 비해 다소 늦음을 알 수 있

다. 45/15의 경우와 마찬가지로 후기에 분사된 연료는 흡기측 피스톤 위에 주로 분포하며, 늦게까지 입자로 남아있다. BTDC 40° 이후의 탑 뷰를 보면 45/15에 비해 늦게 스파크 플러그 주위에 농후한 연료군이 도달하지만 점화 직전인 30° 에서는 스파크 주위에 농후한 연료가 많이 분포함을 볼 수 있다.

Fig.10은 48/15 인젝터에 대한 팽창시의 미연연료 및 화염을 측정된 사진이다. 45/15 인젝터의 경우와는 달리 미연연료가 크게 줄었으며, 따라서 확산화염특성을 나타내는 주황색 화염도 조금 나타난다. 그리고 주황색 화염이 나타나는 부위도 흡기측 하단이 많다. 이러한 결과를 볼 때 48/15 인젝터의 경우 피스톤 bowl의 배기측 바닥면에 충돌하는 연료가 크게 줄었음을 알 수 있다. 그리고, 흡기측 하단에 발생하는 주황색 화염의 원인은 후기에 분사된 입자가 큰 연료들이 모여 있다가 연소되면서 나타나는 것으로 볼 수 있다.

Fig.11은 28/18 인젝터에 대한 연료분포 결과이고, Fig.12는 미연연료 및 화염 측정 결과이다. 45/15 인젝터의 경우에 비해 분무각이 적기 때문에 운동량이 커서 분무진행이 빠른 것을 볼 수 있다. 그리고 후기에 분사된 연료도 피스톤 bowl 내로 많이 유입되고 적은 양이 흡기측 하단 피스톤 위에 분포함을 알 수 있다. 미연연료와 화염 사진을 보면 45/15 인젝터에서와 같이 피스톤 bowl의 배기측에서 주황색 화염이 많이 발생하는 것을 볼 수 있는데, 28/18의 경우가 bowl의 바닥면에서 발생하는 주황색 화염이 다소 넓게 나타나는 것을 알 수 있다. 이는 28/18의 경우 offset각이 45/15에 비해 커서 분무가 피스톤 bowl 바닥면에 닿는 부위가 흡기측으로 다소 이동되었기 때문이다.

이러한 결과들을 종합해 보면 직접분사식 엔진의 경우 인젝터 사양 즉, 분무각 및 offset각이 약간만 변해도 연료분포 및 연소에 큰 영향을 미친다는 것을 알 수 있다. 특히, 피스톤 bowl 바닥면에 연료가 과도하게 묻으면 확산화염 형태로 연소가 되는 연료량이 늘어나고, 늦게까지 연소가 계속되기 때문에 미연탄화수소의 배출이 늘어날 것으로 사료된다.

5. 결론

직접분사식 엔진의 개발을 돕기 위해 인젝터 사양이 스웰형 직접분사식 엔진의 연소실내 현상 즉, 연료분포, 미연연료 및 화염에 미치는 영향을 단기통 가시화 엔진에서 조사하였으며, 주요 결과는 다음과 같다.

- (1) 압축행정 후기에 분사된 연료는 운동량이 커서 분무진행 단계에서는 연소실내 유동에 의해 큰 영향은 받지 않으며, 피스톤 bowl의 바닥면에 부딪친 후 배기측 피스톤 bowl 벽면을 따라 상승하여 스파크 플러그 주위에 분포한다. 따라서, 피스톤 bowl의 배기측 끝단의 위치는 아주 중요한 설계인자로서 작용한다.
- (2) 배기측 피스톤 bowl 벽면을 따라 상승하여 스파크 플러그 주위에 분포하는 농후한 연료군은 연소실내 스웰 유동에 의해 이동해 가기 때문에 적절한 스웰비를 갖도록 하는 것이 매우 중요하다.
- (3) 후기에 분사된 연료는 피스톤 bowl내로 유입되지 못하고, 흡기측 피스톤 위에 분포하며, 큰 입자들이 점화직전까지 많이 존재한다.

(4) 점화직전의 스파크 플러그 주위의 연료분포는 국부적으로 변화가 크고, 사이클 변동이 심하다.

참고문헌

[1] T.Tomoda, S.Sasaki, and D.Sawada, A.Saito, and H.Sami, "Development of Direct Injection Gasoline Engine -Study of Stratified Mixture Formation", SAE 975039

[2] T.H.Lake, J.Stokes, P.A.Whitaker, and J.V.Crump, "Comparison of Direct Injection Gasoline Combustion Systems", SAE 980154

[3] K.Shimotani, K.Oikawa, O.Horada, and Y.Kagawa, "Characteristics of Gasoline In-Cylinder Direct Injection Engine", JSAE Review 17, pp.267-272 (1996)

[4] Y.Takagi, T.Itoh, S.Muranaka, A.Iiyama, Y.Iwakiri, T.Urushihara, and K.Naitoh, "Simultaneous Attainment of Low Fuel Consumption, High Output Power, and Low Exhaust Emissions in Direct Injection SI Engines", SAE paper 980149

[5] F.Q. Zhao, M.C. Lai, and D.L.Harrington, "A review of Mixture Preparation and Combustion Control Strategies for Spark-Ignited Direct-Injection Gasoline Engines", SAE 970629

[6] N.S.Jackson, J.Stokes, P.A.Whitaker, and T.H.Lake, "A Direct Injection Stratified Charge Gasoline Combustion System for Future European

Passenger Cars", I.Mech E. Lean Burn Combustion Engines Seminar, 3-4 Dec. (1996)

[7] K.S.Kim, M.S.Choi, C.H.Lee, and W.T.Kim, "In-Cylinder Fuel Distribution Measurements Using PLIF in a SI Engine", SAE paper 970509

저자 소개



김기성(金基成)

1960년 6월생, 1987년 부산대학교 기계설계학과 졸업, 1994년 한국과학기술원 기계공학과 졸업(박사), 1994~1998 현대자동차 중앙연구소, 1998~여수대학교 기계공학과 조교수

박상규(朴相圭)



1960년 5월생, 1981년 조선대학교 금속대학 정밀기계공학과 졸업, 1983년 인하대학교 기계공학과 졸업(석사), 1989년 인하대학교 대학원 기계공학과 졸업(박사), 1991년~ 여수대학교 기계공학과 부교수, 당학회 종신회원