

스월형 GDI 엔진의 연소실내 현상에 관한 연구

김기성* · 박상규*

A Study on In-cylinder Phenomena in a Swirl Type GDI Engine

K-S Kim* · S-K Park*

Key words : GDI Engine(가솔린 직접분사식 엔진), PLIF(평면 레이저 유도 형광법), Fuel Distribution(연료분포), Swirl Injector(스월형 분사기)

Abstract

For the purpose of development of a GDI engine, the in-cylinder phenomena, such as the spray behaviors, 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 fuel distributions. The effects of the injector specifications, such as the spray cone angle and the offset angle on the in-cylinder phenomena were investigated. As a result, it was found that the injected fuel collided with the bottom of the bowl and moved upward along the exhaust side wall of piston bowl. This fuel vapor played an important role in the instance of spark ignition. The unburned fuel and flame characteristics were greatly influenced by the injector specifications.

1. 서론

자동차의 연비 향상을 위해 연소실 내에 직접 분사를 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 연료소비율을 약 20~30% 정도 대폭 감소시킬 수 있는 것으로 알려져 있다^{1)~3)}. 이는 전개시 연소실 내로 분사된 연료가 흡입공기로부터 증발잠열을 얻는 과정에서 흡기 냉각효과가 발생하고, 이로 인하여 체적효율과 노킹 억제성이 증가하기 때문이다. 그리고, 부분부하 운전의 경우 압축행정 후기에 분사하여 성층 연소를 행함으로써 초회박 연소가 가능

* 여수대학교 기계공학과

하기 때문에, 펌핑손실을 줄일 수 있어서 연료소비율을 크게 줄일 수 있다.

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

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

따라서, 본 연구에서는 GDI 엔진의 성능을 좌우하는 주요 변수인 인젝터의 사양이 연소실 내의 연료혼합 및 연소현상에 미치는 영향을 규명하고자 하였으며, 이를 위하여 엔진 내부를 가시화하여 관련 현상을 측정하였다. 시험은 단기통 가시화 엔진에서 행하였는데, 연소실 내 분무거동 및 혼합과정 측정은 PLIF (Planar Laser Induced Fluorescence) 방법⁷⁾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 있으며, Table 1과 같은 사양의 엔진을 단기통 가시화 엔진으로 수정한 것이다. 이 엔진은 스윙형 전자식 인젝터가 장착되어 있으며, 분사압은 10MPa 정도이다. 연소실 내 혼합기 형성을 유동으로 제어하기 위해 엔진 전방측 흡기포트는 직선 형상이고, 엔진 후방측 흡기포트는 헬리컬 형상이며, 직선 포트측에는 스윙 제어를 위한 SCV(Swirl Control Valve)가 장착되어 있다. 부분부하 조건에서 SCV를 닫게 되면 연소실 내로 유입되는 공기의 대부분이 헬리컬 포트를 통해서 유입

되기 때문에, 연소실 내의 스윙비가 증가하게 된다. 그리고, 부분부하 조건에서는 보통 초회박 연소를 행하기 위해 압축행정 후기에 분사를 행하기 때문에, SCV에 의한 연소실 내의 스윙비 변화는 분사된 연료의 거동과 혼합기 분포에 영향을 주어서 엔진의 성능에 지대한 영향을 주게 된다. 피스톤에는 보울(bowl)이 파져 있으며, 이 보울의 위치와 형상은 부분부하 조건에서의 분사된 연료의 공간분포에 크게 영향을 미치기 때문에 이를 최적화하는 것은 매우 중요한 일이다.

Table 1에 나타낸 바와 같이 이 엔진은 연소실 형상이 펜트루프(Pent-roof)형이며, DOHC 4밸브이다. 이 엔진의 포트에 있어서 스윙비는 3.0이다.

연소실 내 현상을 측정하기 위한 가시화 엔진은 위 사양의 성능시험용 직접분사식 단기통 엔진을 수정한 것으로서, Fig. 2와 같다. 가시영역을 넓게 하기 위하여 헤드 밀면을 8mm 깎아냈으며, SFS(Synthetic Fused Silica)로 된 실린더 라이너가 설치되어 있어서 측면에서 연소실 내를 관찰할 수 있도록 되어 있다. 실린더 라이너를 SFS 재질로 한 이유는 자외선 영역에서 투과성을 좋게 하기 위한 것으로 본 연구에서 이용하는 PLIF 연료분포 측정시스템의 레이저 광원인 KrF 엑시머 레이저의 경우 파장이 248 nm이기 때문이다.

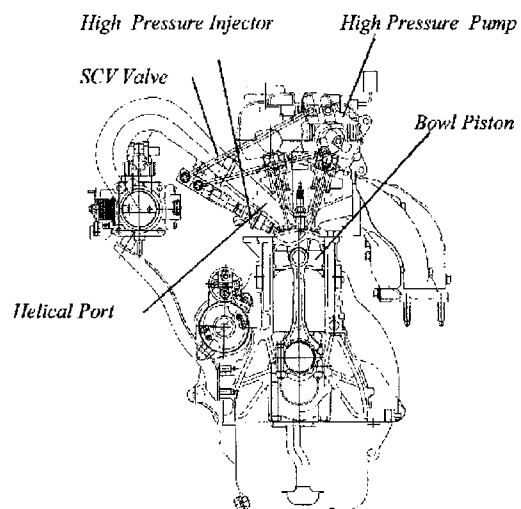


Fig. 1 Schematic of the GDI engine.

Table 1 Engine specifications.

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

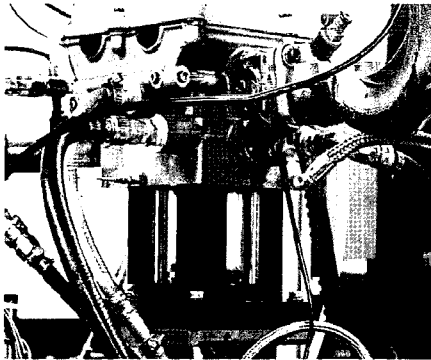


Fig. 2 The picture of experimental engine.

2.2 연료분포 및 화염 측정 시스템

연소실 내 연료분포 측정 방법은 고출력 레이저 및 고성능 ICCD(Intensified CCD) 카메라에 의한 레이저 응용 광계측법이 주로 이용되고 있다. 본 연구에서는 S/N비(Signal to Noise Ratio)가 커서 엔진 내 연료분포 측정에 적합한 PLIF 방법을 이용하였으며, 이 시스템의 구성은 다음과 같다. 레이저는 파장이 248 nm인 빛을 내는 KrF 엑시머 레이저이며, 레이저빔은 평면광으로 만들어 가시화 엔진의 측정단면을 통과하도록 되어 있다. 측면 관찰(side view) 즉, 실린더 축 방향 단면 측정시에는 레이저 평면광이 배기밸브측 중앙에서 흡기밸브측 중앙으로 실린더 축중심을 지나 투과되며, 레이저 빔 두께는 약 3 mm이다. 상부 관찰(top view) 즉, 실린더 축에 직각인 단면 측정시에는 레이저 빔이 스파크 전극에서 3 mm 하단면을 통과하며, 이 때의 빔 두께는 약 2 mm이다.

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

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 산란과 Mie 산란에 의한 빛까지 모두 포함하도록 필터를 사용하지 않았다.

화염측정은 화염으로부터 자발광되는 빛을 필터에 의하지 않고 PLIF 시스템에서의 ICCD 이미징 시스템으로 측정하였다.

엔진에서의 연료분포는 흡기포트 내 분사 방식이든 연소실 내 직접분사방식이든 엔진온도에 의해 크게 좌우된다. 즉, 의미있는 연료분포 데이터가 되기 위해서는 실 엔진 조건에서와 같이 연소를 행하면서 시험이 이루어져야 한다. 따라서 연료로는 가솔린과 연소특성이 유사한 이소옥탄을 주로

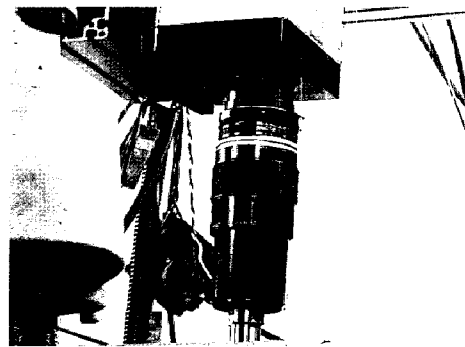


Fig. 3 The picture of endoscope for top viewing.

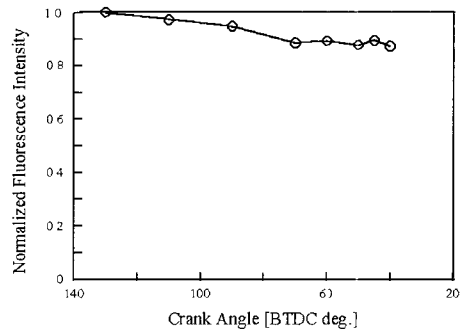


Fig. 4 Fluorescence intensity during compression process.

이용하는데, 이소옥탄의 경우 248nm 파장의 레이저빔에 의해 여기될 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, 실엔진의 연료이기 때문이다. 이 연료의 실엔진 운전조건에서의 켄칭효과는 Fig. 4와 같다. 압축이 진행됨에 따라 형광의 세기가 약간 감소하는 것으로 나타났으나, 압축에 의한 혼합기의 밀도증가를 고려하면 켄칭에 의한 형광의 감소가 아주 크다는 것을 알 수 있다. 그러나 공연비 측면에서 보면 획득된 이미지의 형광세기가 같을 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 연료 분포는 정성적으로만 파악하였는데, 직접분사식 엔진의 경우 실 엔진과 비슷한 조건에서 시험할 경우 연소실 내에 액체상태로 존재하는 연료입자가 많아 관측창을 오염시키는 정도가 심하기 때문에 연료분포의 정량화가 어렵기 때문이다.

2.3 시험조건

GDI엔진의 설계시 성능을 좌우하는 여러변수들이 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 오프셋각(offset angle)은 인젝터 축과 분무중심축 간의 각을 나타낸다. 이와 같이 인젝터에 오프셋각을 두는 것은 Fig. 1의 개략도에서 볼 수 있는

Table 2 Specifications of injectors.

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

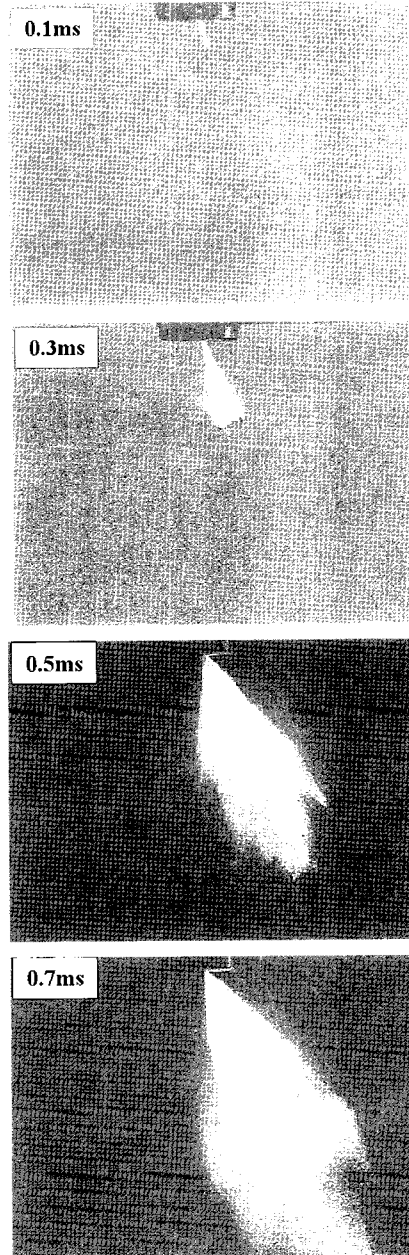


Fig. 5 Spray shapes of the 45/15 injector.

것처럼, 인젝터 장착각 즉, 인젝터 축과 헤드 밑면이 이루는 각을 크게 하는 것은 흡기포트에 의해 제한을 받기 때문에 이를 보완하기 위해서 오프셋각이 있는 인젝터를 이용하였다. 오프셋각 인젝터의 장착시 오프셋각 방향이 하단을 향하도록 장착하는 위치에서 얼마간 회전시킨 상태로 장착하게 되면 분

무축이 틀어지게 되는데 이를 인젝터 회전각으로 정의하였고, 분무축 방향을 엔진 후방부로 30° 편향시켜 시험하였다.

Fig. 5는 45/15 인젝터의 분무형상을 분무시험 리그에서 측정한 사진이다. 인젝터축과 분무중심축이 겹셋각어 있는 것을 볼 수 있다. 분무평균입경은 분무입경 측정 시험을 한 결과 인젝터 사양에 따라 약간의 차이는 있지만 약 10 μm 정도였다.

본 시험에 이용한 피스톤의 형상은 Fig. 6과 같은데 보울 형상에 따라서 엔진의 성능이 크게 달라지므로 보울 형상을 최적화하는 것도 매우 중요한 과제 중의 하나이지만, 본 연구에서는 한 가지 형상에 대해서만 시험을 행하였다. 시험시 엔진 운전 조건은 Table 3과 같은데, 공연비는 30으로 하였고, 흡기관 압력이 80 kPa로써 부분부하 조건이다. 실제의 엔진과 비슷한 조건으로 하기 위해서 냉각수 온도는 85℃로 하였고, 측면관찰인 경우에는 연소를 시키면서 측정하였고, 상부관찰인 경우에는 모터링 조건에서 측정하였다.

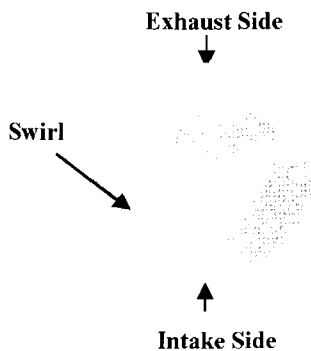


Fig. 6 The shape of piston bowl.

Table 3 Engine operating conditions.

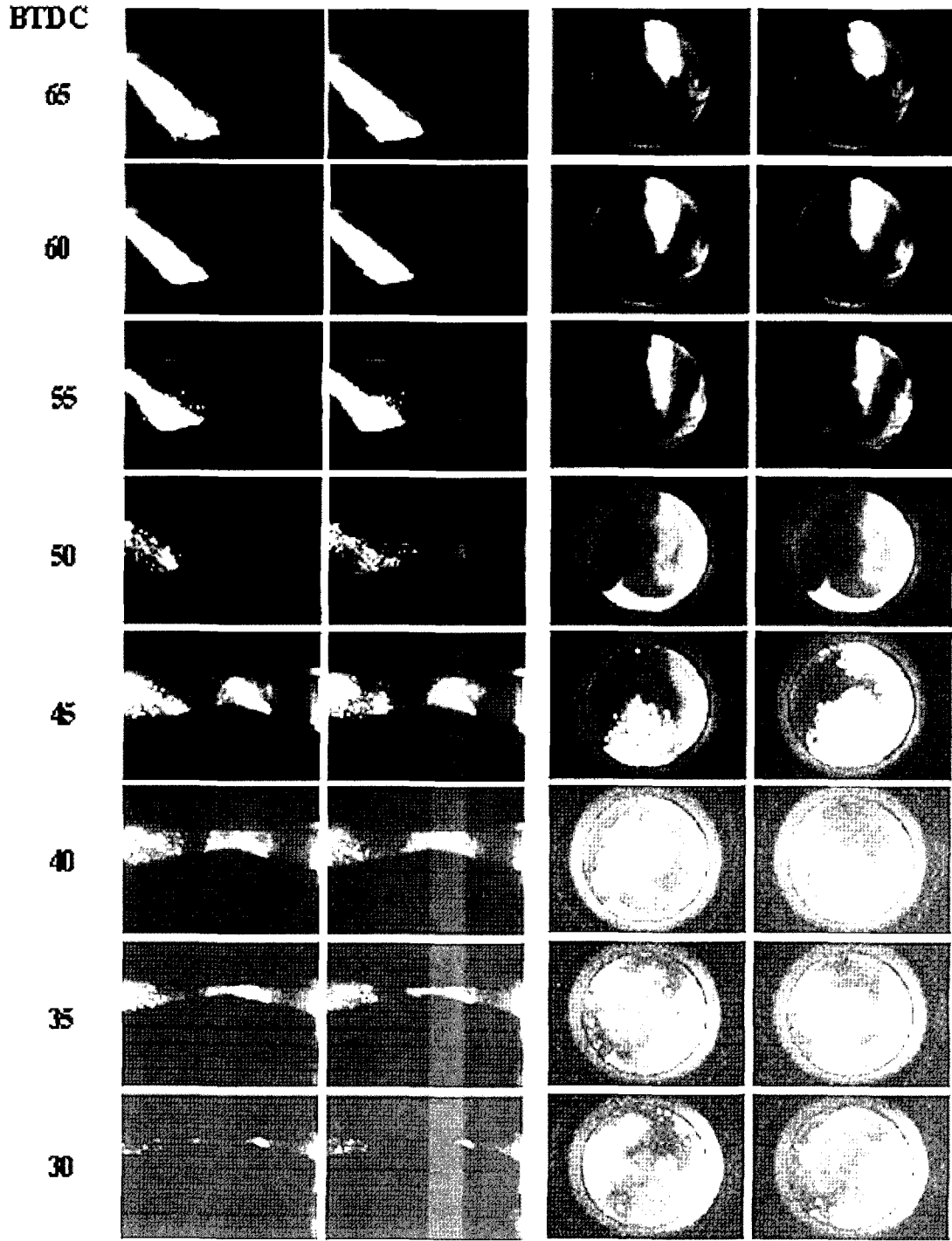
Items	Values
Injection End Timing	BTDC 65°
Spark Timing	BTDC 23°
Intake Manifold Pressure	80 kPa
A/F	30
Coolant Temp.	85℃
Engine Speed	1800 rpm

3. 시험결과

3가지 사양의 인젝터에 대해서 SCV개도와 인젝터 회전각을 각각 30°로 고정한 조건에서 연료분포 및 화염측정 시험을 행하였다.

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

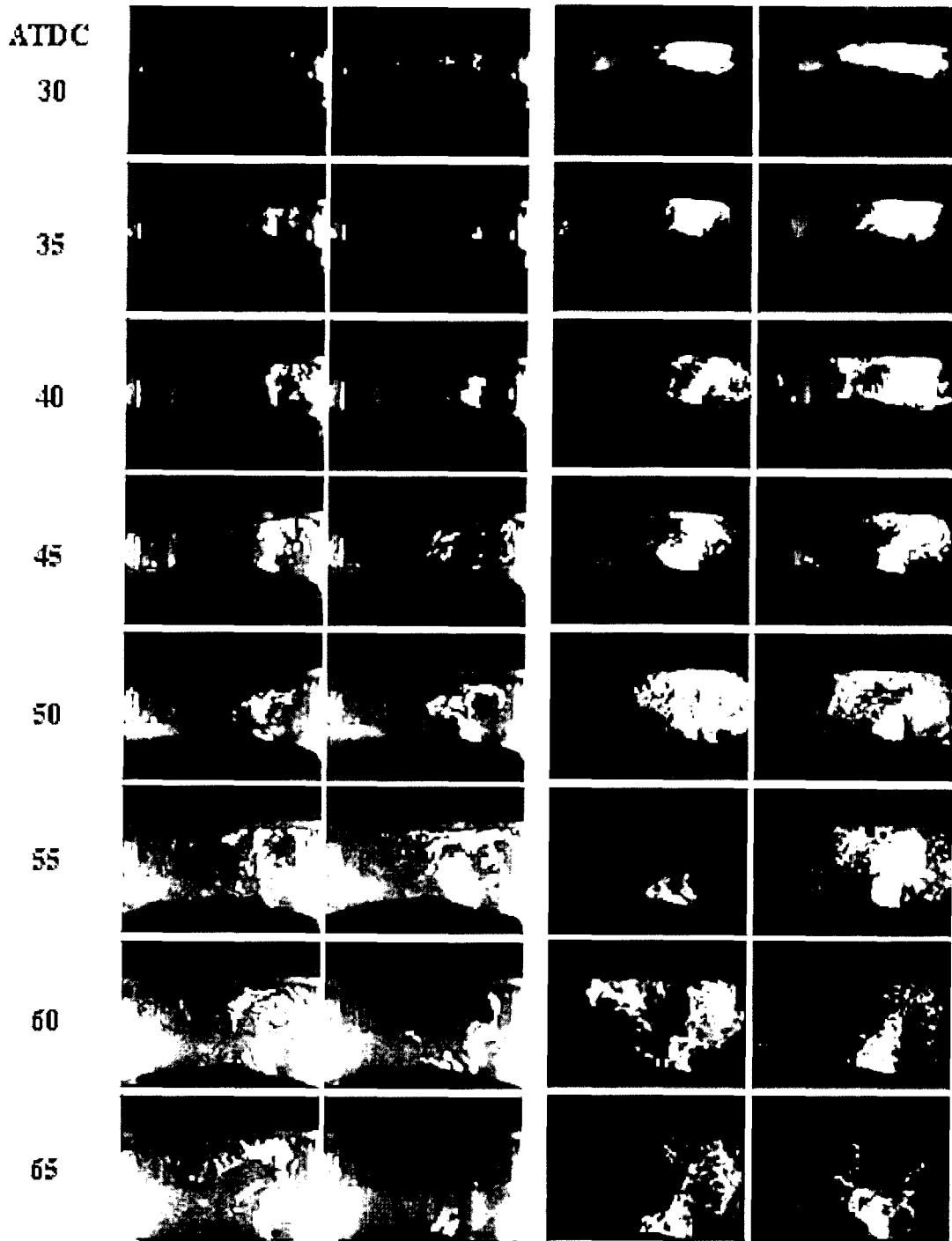
BTDC 50°에서는 분사가 끝난 상태인데 분무후기에 분사된 연료 중에는 상당히 큰 입자들이 존재함을 알 수 있다. 이 사진을 통해서 피스톤 보울 내에서의 연료 거동을 알 수는 없지만 보울의 배기측 벽면을 따라 농후한 연료 증기가 상승하는 것을 알 수 있는데, 이 사실로 미루어 볼 때 분무가 피스톤 보울의 바닥면에 부딪친 후 바닥면을 따라 진행하다가 배기측 벽면을 따라 상승한다는 것을 알 수 있다. BTDC 45°에서는 배기측 벽면을 따라 상승하는 농후한 연료가 스파크 플러그 부근까지 진행하는 것을 볼 수 있으며, 후기에 분사된 연료는 피스톤 보울 내로 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 보울 벽면을 따라 상승하는 농후한 연료가 주로 스파크 플러그 주위로 진행하기 때문이다. 만일 보울 벽면을 따라 상승한 연료가 배기측으로 넘어가는 경우에는 연소 안정성이 나빠지며, 이것은 피스톤 보울의 배기측 끝을 어느 곳에 설정하는가에 따라 크게 영향을 받는다. BTDC 45° 이후의 상부관찰 결과를 보면 스월 방향이 시계방향이기 때문에 스월 방향으로 농후



(a) Side View

(b) Top View

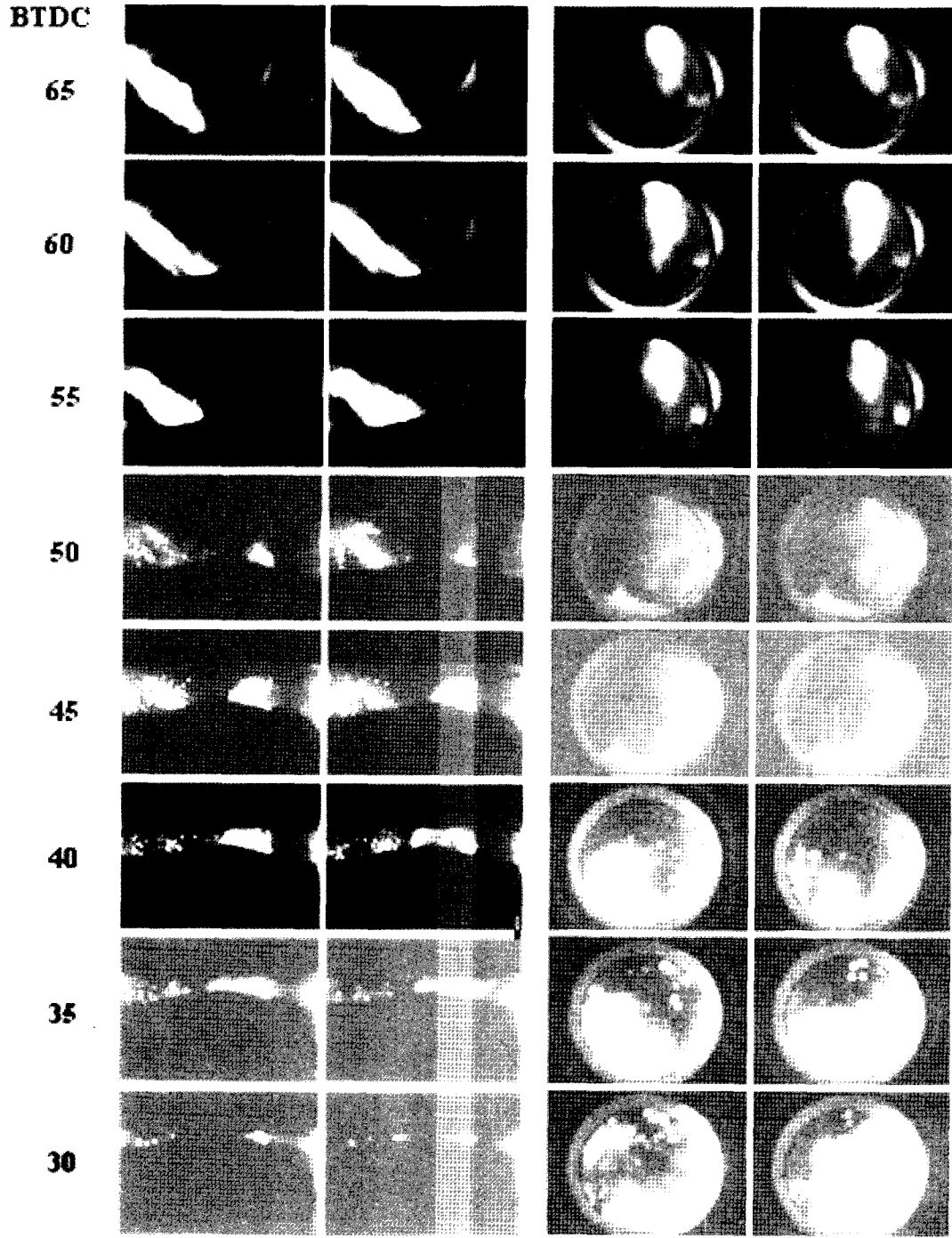
Fig. 7 Fuel distributions in the GDI engine equipped with 45/15 injector.



(a) Unburned fuel

(b) Flame

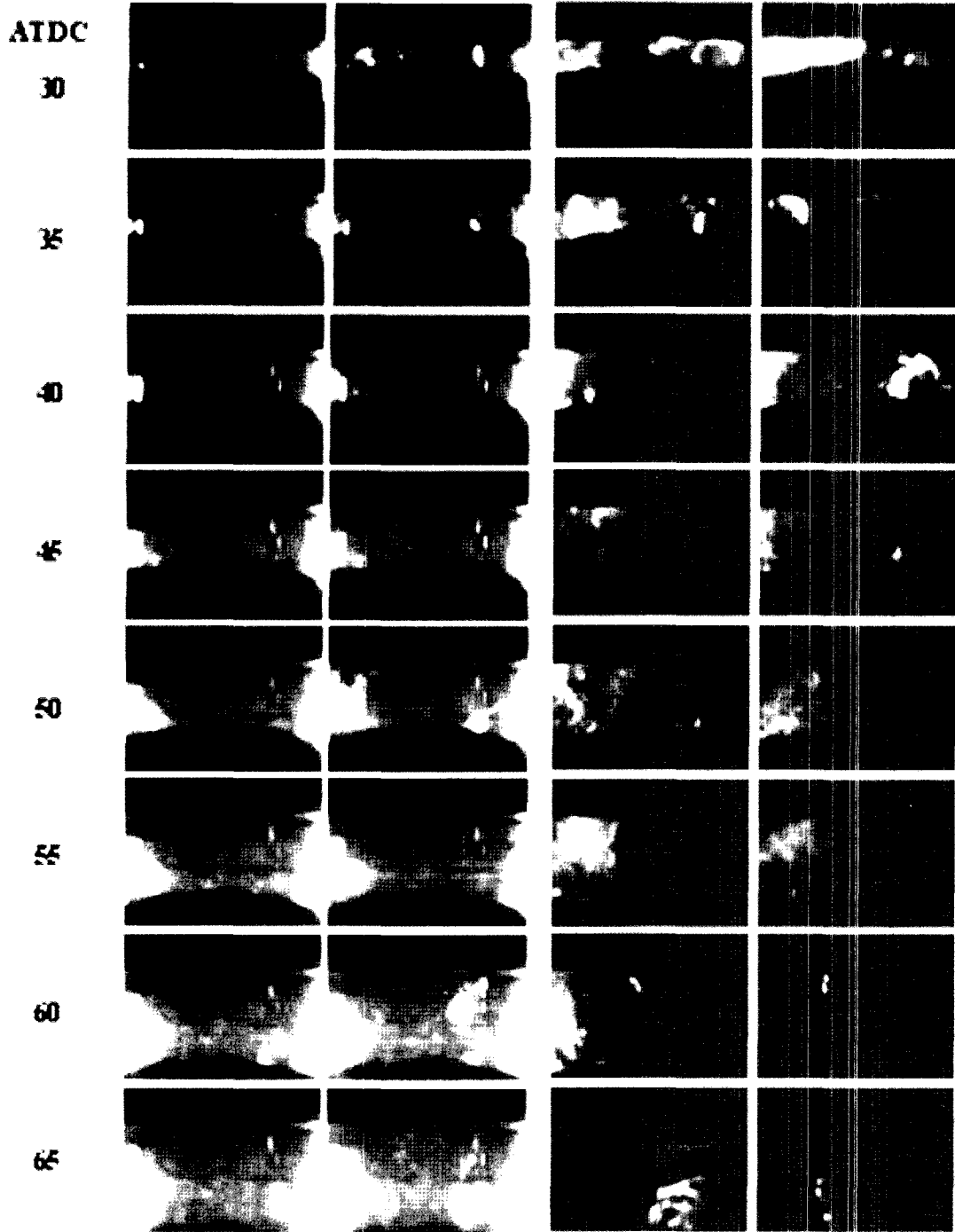
Fig. 8 Unburned fuel and flames in the GDI engine equipped with 45/15 injector.



(a) Side View

(b) Top View

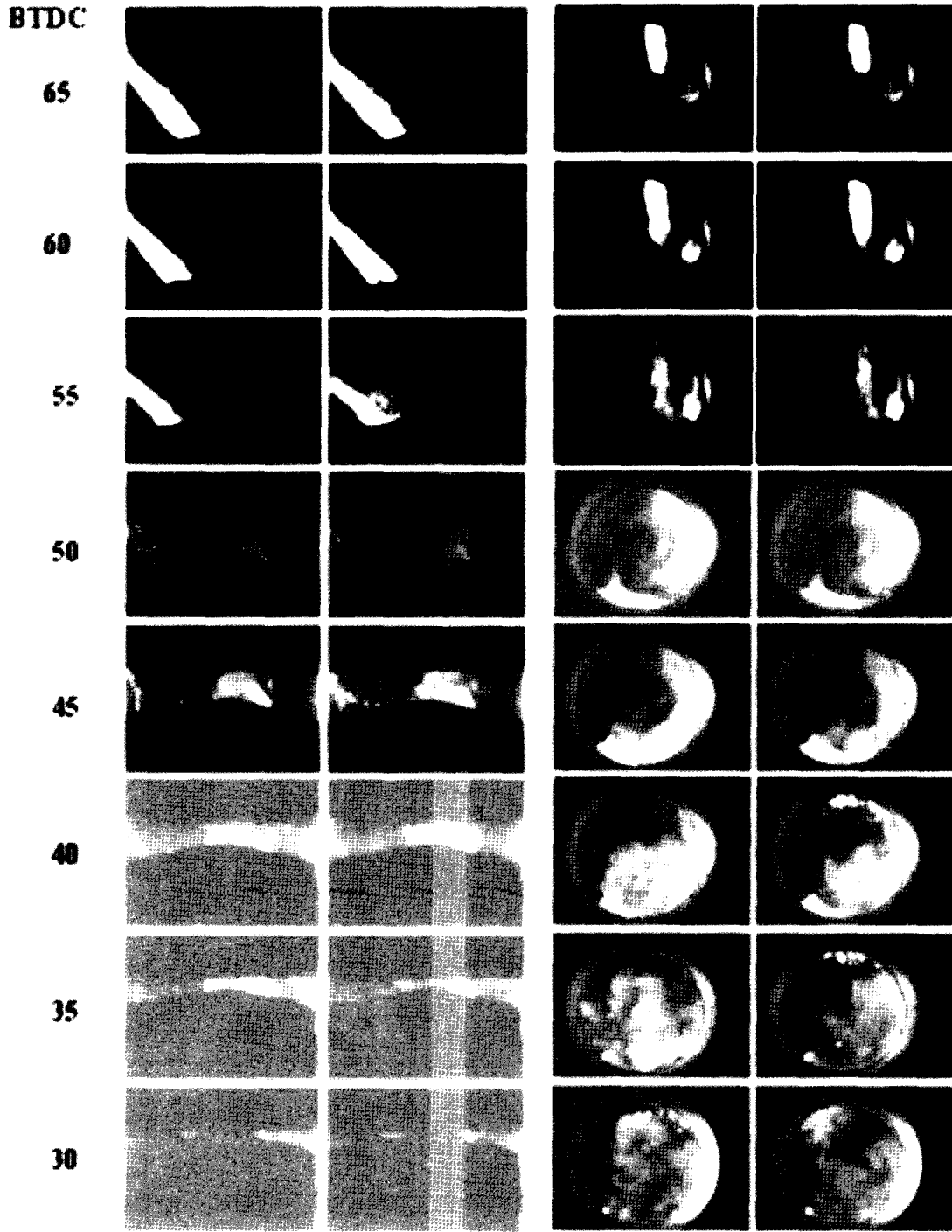
Fig. 9 Fuel distributions in the GDI engine equipped with 48/15 injector.



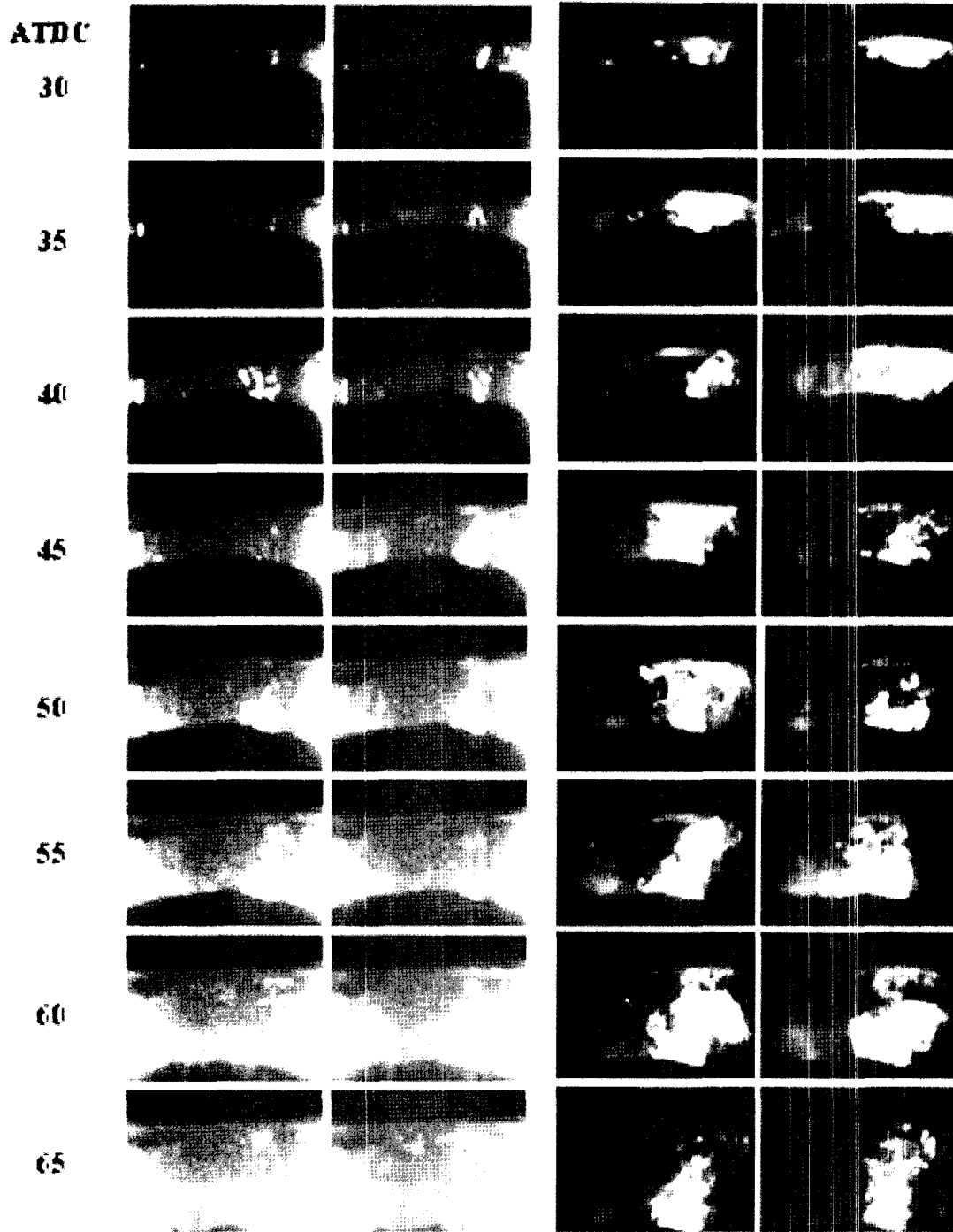
(a) Unburned fuel

(b) Flame

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



(a) Side View (b) Top View
Fig. 11 Fuel distributions in the GDI engine equipped with 28/18 injector.



(a) Unburned fuel

(b) Flame

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

한 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 0.1 정도 차이가 난다는 결과와 비교하면 GDI 엔진의 경우 국부적인 연료분포 편차가 심함을 알 수 있다.

Fig. 8은 45/15 인젝터를 장착했을 때 팽창과정에서의 미연연료와 화염을 찍은 사진이다. 미연연료 사진을 보면 피스톤 보울의 배기밸브측부근에서 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 보울 바닥면에 부딪친 분무에 의해 많은 연료가 배기측 벽면 근처의 바닥에 집중되어 있어서 이 부근에서는 늦게까지 연소가 이루어짐을 알 수 있다.

Fig. 9는 48/15 인젝터를 장착했을 때의 연료분포측정 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 보울의 배기측 벽면을 따라 상승하는 농후한 연료도 45/15 인젝터의 경우에 비해 다소 늦음을 알 수 있다. 45/15의 경우와 마찬가지로 후기에 분사된 연료는 흡기측 피스톤 위에 주로 분포하며, 늦게까지 입자로 남아있다. BTDC 40° 이후의 상부관찰 결과를 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 인젝터를 장착한 경우에 대한 팽창시의 미연연료 및 화염을 측정한 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 보울의 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 인젝터를 장착한 경우에 대한 연료분포 결과이고, Fig. 12는 미연연료 및 화염측정 결과이다. 45/15 인젝터의 경우에 비해 분무각이 적기 때문에 운동량이 커서 분무진행이 빠른 것을 볼 수 있다. 그리고 후기에 분사된 연료도 피스톤 보울 내로 많이 유입되고 적은 양이 흡기측 하단 피스톤 위에 분포함을 알 수 있다. 미연연료와 화염 사진을 보면 45/15 인젝터에서와 같이 피스톤 보울의 배기측에서 화염이 많이 발생하는 것을 볼 수 있는데, 28/18의 경우가 보울의 바닥면에서 발생하는 화염이 다소 넓게 나타나는 것을 알 수 있다. 이는 28/18의 경우 윗쪽이 45/15에 비해 커서 분무가 피스톤 보울 바닥면에 닿는 부위가 흡기측으로 다소 이동되었기 때문이다.

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

5. 결 론

직접분사식 엔진의 성능을 좌우하는 주요 변수인 인젝터 사양이 스웰형 직접분사식 엔진의 연소실내 현상 즉, 연료분포, 미연연료 및 화염에 미치는 영향을 단기통 가시화 엔진에서 조사하였으며, 다음과 같은 주요 결과를 얻었다.

1. 분사된 연료는 운동량이 커서 분무축 방향으로 진행하여 피스톤 보울의 바닥면에 부딪친 후 배기측 피스톤 보울 벽면을 따라 상승하며, 이 농후한 연료군은 연소실내 유동에 의해 이동해 가기 때문에 안정된 연소를 위해서는 적절한 스웰비를 갖도록 하는 것이 매우 중요하다.
2. 후기에 분사된 연료는 피스톤 보울 내로 유입

되지 못하고, 흡기측 피스톤 위에 분포하며, 큰 입자들이 점화직전까지 많이 존재한다.

3. 점화직전의 스파크 플러그 주위의 연료분포는 국부적으로 변화가 크고, 사이클 변동이 심하다.

4. 인젝터의 분무각이 작아지면 분무진행 속도가 빨라 피스톤 바닥면에 묻는 연료가 많아져 연소 후기에 이 부근에서 미연연료의 발생이 많다.

5. 인젝터 윗셋각이 커지면, 피스톤 바닥면에 부딪치는 부위가 길어지고, 바닥면에 묻는 연료량이 많아져 연소후기에 이 부근에서 미연연료의 발생이 많다.

참 고 문 헌

[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

저 자 소 개



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 증신회원