

스월형 GDI 엔진의 연료혼합특성 연구

김기성[†] · 박상규^{*}

(원고접수일 : 2002년 10월 22일, 심사완료일 : 2003년 1월 9일)

Aspects of Mixture Formation in a Swirl Type GDI Engine

Ki Seong Kim[†] · Sang-Kyoo Park^{*}

Key words : GDI engine(직접분사식 가솔린 기관), Fuel Distribution(연료분포), PLIF(Planar Laser Induced Fluorescence, 평면 레이저 형광 유도법), Spray(분무)

Abstract

For the purpose of understanding the mixing phenomena of a GDI(Gasoline Direct Injection) engine, the spray behaviors and fuel distributions were investigated in a single cylinder transparent GDI engine. The experimental engine is a swirl type GDI engine with a SCV(Swirl Control Valve). PLIF(Planar Laser Induced Fluorescence) system with KrF Excimer laser was used for the measurement of the fuel distributions. The effects of SCV opening angles and the injector specifications on the fuel distribution characteristics were investigated. As a result, it was found that the SCV opening angle had a great effect on the fuel distributions in the late stage of compression process by changing the flow fields in the combustion chamber.

1. 서 론

가솔린 엔진에서 연소실 내에 직접 분사를 행하는 GDI(Gasoline Direct Injection) 방식은 연료소비율을 크게 줄일 수 있는 잠재력을 갖고 있다. 일부 선진 자동차 업체에서는 이를 상용화하였고, 보다 발전시키기 위한 연구·개발이 진행되고 있다. 직접분사식 엔진은 기존의 흡기포트에 연료를 분사하는 방식에 비해 전부하시 약 10%정도 향상된 출력을 얻을 수 있고, 부분부하시 연료소비

율을 약 20~30% 대폭 감소시킬 수 있는 것으로 알려져 있다^{[1]~[3]}. 이는 전개시 연소실 내로 분사된 연료가 흡입공기로부터 증발잠열을 얻는 과정에서 흡기 냉각효과가 발생하고, 이로 인하여 체적 효율과 노킹 저항성이 증가하기 때문이다. 그리고, 부분부하 운전의 경우 압축행정 후기에 분사하여 성층 연소를 행함으로써 초회박 연소가 가능하기 때문에 펌핑 손실을 줄일수 있어서 연료소비율을 크게 줄일 수 있다. 이와 같은 직접분사식 엔진의 고출력, 고효율은 이미 오래 전에 이론적, 실험적

[†] 책임저자(여수대학교 기계공학과) E-mail : sugkim@yosu.ac.kr, T : 061)659-3286

^{*} 여수대학교 기계공학과 (E-mail : psk@yosu.ac.kr)

으로 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 왔었다.

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

스윙형 GDI 엔진은 토요타사에서 처음 상용화한 방식으로 직선형과 헬리컬형 2개의 흡입 포트를 가지며, 직선형 포트에는 나비 밸브 형상의 스윙 제어 밸브(SCV)가 장착되어 있다. 운전 조건에 따라 SCV의 개도를 변경하여 연소실 내 유동을 최적화하는 방식이며, 압축말기에 분사가 이루어지는 부분부하 조건에서 특히, 그 영향이 크다. 이 조건에서 SCV 개도의 영향이 큰 것은 SCV 개도에 따라 연소실 내의 스윙 유동의 형성과 강도가 크게 변하게 되며, 이러한 유동의 변화는 분사된 연료분무의 거동과 연료분포에 지대한 영향을 주기 때문이다.^{4,15)}

GDI 엔진의 성능에 지대한 영향을 미치는 연료분무의 거동과 연료분포특성을 보다 명확하게 이해하기 위하여 GDI 엔진 내부의 현상을 가시화하는 연구들이 행해져 왔으나^{4)~8)} 엔진의 사양과 연소실 내부 유동장, 피스톤 형상, 분사시스템, 운전조건들이 각기 다르고, 피스톤 보울(bowl)로 인해 가시화에 많은 제약을 받기 때문에 특정 사양의 GDI 엔진의 개발을 위해서는 이 엔진에 대해 측정된 데이터가 요구된다.

따라서, 본 연구에서는 스윙형 GDI 엔진의 개발에 도움을 주고자 엔진 성능에 큰 영향을 미치는 SCV(Swirl Control Valve) 개도와 인젝터 사양을 변수로 하여 연소실 내에서의 분무거동 및 혼합기 형성과정을 가시화방법을 이용하여 측정하였다. 시험은 단기통 가시화 엔진에서 행하였는데, 연소실 내 분무거동 및 혼합과정 측정은 PLIF

(Planar Laser Induced Fluorescence) 방법¹⁸⁾을 이용하였다.

2. 시험장치 및 조건

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 엔진의 주요 특징은 다음과 같다. 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 SCV가 장착되어 있다. 부분부하 조건에서 SCV를 닫게 되면 연소실 내로 유입되는 공기의 대부분이 헬리컬 포트를 통해서 유입되기 때문에 연소실 내의 스윙비가 증가하게 된다. 그리고, 이 조건에서는 초회박 연소를 행하기 위해 압축행정 후기에 분사를 행하기 때문에 SCV에 의한 연소실 내의 스윙비 변화는 분사된 연료의 거동과 혼합기 분포에 영향을 주어서 엔진의 성능을 좌우하게 된다. 피스톤에는 보울이 파져 있으며, 이 보울의 위치와 형상은 특히 부분부하 조건에서 분사된 연료의 공간분포에 크게 영향을 미치기 때문에 이를 최적화하는 것은 매우 중요한 일이다.

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

Table 1에 나타낸 바와 같이 이 엔진은 연소실 형상이 펜트루프(Pent-roof)형이며, DOHC 4밸브이다. 이 엔진 헤드의 스윙비는 3.0이다. 연료분포를 측정하기 위한 가시화 엔진은 위 사양의 성능

시험용 직접분사식 단기통 엔진을 가시화 엔진으로 수정한 것이다. 가시영역을 넓게 하기 위하여 헤드 밑면을 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 측정 시스템의 레이저 광원인 KrF 엑시머 레이저의 경우 파장이 248nm이기 때문이다.

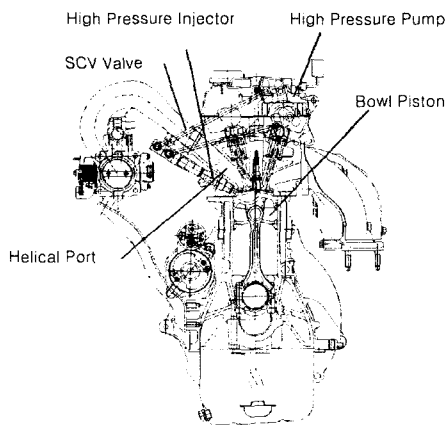


Fig. 1 Layout of the GDI engine.

2.2 연료분포 측정 시스템

연소실 내 연료분포 측정은 PLIF 방법을 이용하였는데, PLIF 시스템의 구성은 다음과 같다. 레이저는 파장이 248nm인 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 약3mm이다. 저면 관찰(bottom view) 즉, 실린더 축에 직각인 단면 측정시에는 레이저 빔이 스파크 전극에서 3mm 하단면을 통과하며, 이 때의 빔 두께는 약2mm이다. 측정면에서 연료분자에 의해 발생된 형광은 UG11 Schott Glass 필터(300~450nm 영역의

빛을 주로 통과)를 거쳐서 105mm UV 렌즈와 ICCD(4QUIK05)에 의해 화상소자에 영상이 맺히게 된다. ICCD에서 발생된 영상신호는 PC에 내장된 프레임 그라버에 의해 디지털 값으로 바뀌어 저장된다. 연료는 이소옥탄을 썼으며, 형광 발생 물질로서는 가솔린(10% by volume)을 이용하였다⁽⁹⁾.

2.3 시험조건

GDI 엔진의 설계시 성능을 좌우하는 여러 변수들이 있지만 본 시험에서는 스윙형 직접분사식 엔진에서 가장 중요한 변수인 SCV 개도와 인젝터의 사양에 따른 영향을 조사하였다. SCV 개도의 영향을 파악하기 위하여 SCV 개도가 0, 20, 90. 인 조건에서 시험하였다. SCV는 연소실 내 유동에 지대한 영향을 미치는데, SCV를 완전히 닫게 되면 대부분의 흡입되는 공기가 엔진 후방측의 헬리컬 포트에 유입되므로 스윙 유동이 생성된다. SCV를 완전히 열게 되면 직선 포트와 헬리컬 포트 양쪽으로 비슷한 양의 공기가 유입되고, 헬리컬 포트의 경우 스윙비가 3.0 정도로 비교적 약하게 통로가 꼬여 있기 때문에 연소실 내의 주유동은 텀블 유동이며 약한 스윙 유동이 형성된다.

Table 2 Specifications of injectors.

Abbreviation	Spray Cone Angle	Offset Angle
45/15	45	15
45/22	45	22

인젝터 사양 변화 시험은 Table 2와 같은 사양을 갖는 2가지에 대해서 영향을 파악하였다. 여기서 윗셀각(offset angle)은 인젝터 축과 분무 중심축 간의 각을 나타낸다. 이와 같이 인젝터에 윗셀각을 두는 것은 Fig. 1의 개략도에서 볼 수 있듯이 인젝터가 흡기포트 하단에 장착되어서 인젝터 장착각 즉, 인젝터 축과 헤드 밑면이 이루는 각을 크게 하는 것은 흡기포트에 의해 제한을 받기 때문에 이를 보완하기 위해서 윗셀각이 있는 인젝터를 이용하였다. 윗셀 인젝터의 장착시 윗셀 방향

이 하단을 향하도록 장착하는 위치에서 회전시킨 상태로 장착하게 되면 분무축이 틀어지게 되는데 이를 인젝터 회전각으로 정의하였고, 본 시험에서는 인젝터 회전각을 엔진 후방부로 15°편향시켜 시험하였다.

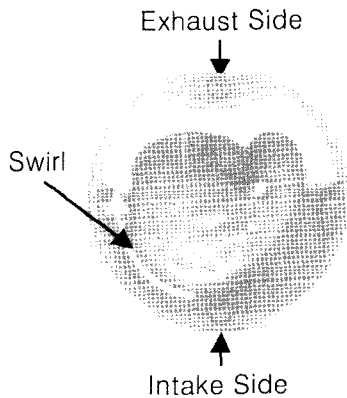


Fig. 2 The shape of piston bowl.

Table 3 Engine operating conditions.

Parameters	Values
Injection End Timing	BTDC 65°
Spark Timing	BTDC 23°
Intake Manifold Pressure	80kPa
A/F	28
Coolant Temp.	85°C
Engine Speed	1800rpm

본 시험에 이용한 피스톤의 형상은 Fig. 2와 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 운전조건은 Table 3과 같으며, 공연비는 28로 하였고, 흡기관 압력이 80kPa로써 부분부하 조건이다. 실제의 엔진과 비슷한 조건으로 하기 위해서 냉각수 온도는 85°C로 하였고, 연료분포 측정은 연소를 행하는 조건에서 하였다.

3. 시험결과

SCV 개도가 연료분포에 미치는 영향을 파악하기 위하여 45/15 인젝터 조건에서 SCV 개도를 0°, 20°, 90°로 하여 시험을 행하였다. Fig. 3은 45/15 인젝터에 대한 측면 관찰 결과이다. 인젝터 구동 신호가 BTDC 65°에 끝났지만 구동신호와 실제로 분사가 이루어지는 시점 사이에는 지연이 있기 때문에 BTDC 55°까지도 계속 분사가 이루어지고 있다. 분무의 운동량이 크기 때문에 분무가 거의 직선적으로 진행해 나가는 것을 볼 수 있다. 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 볼 수 있는데, 이 사실로 미루어 분무가 피스톤 보울의 바닥면에 부딪친 후 바닥면을 따라 진행하다가 배기측 벽면을 따라 상승하는 것으로 추측할 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.

엔진 후방 쪽으로 편향되게 분사된 연료 분무는 피스톤의 하트 모양의 피스톤 보울에서 엔진 후방 쪽 불룩한 부위를 향하게 되며, 피스톤 보울 벽면에 부딪친 분무는 보울 벽면을 따라 상승하게 되고 스웰 유동을 따라 이동한다. 연소특성이 좋기 위해서는 이러한 연료구름이 점화시 점화플러그 주위에 안정적으로 분포되는 것이 중요하다. 분사된 연료가 피스톤 보울 바닥면에 많이 묻게 되면

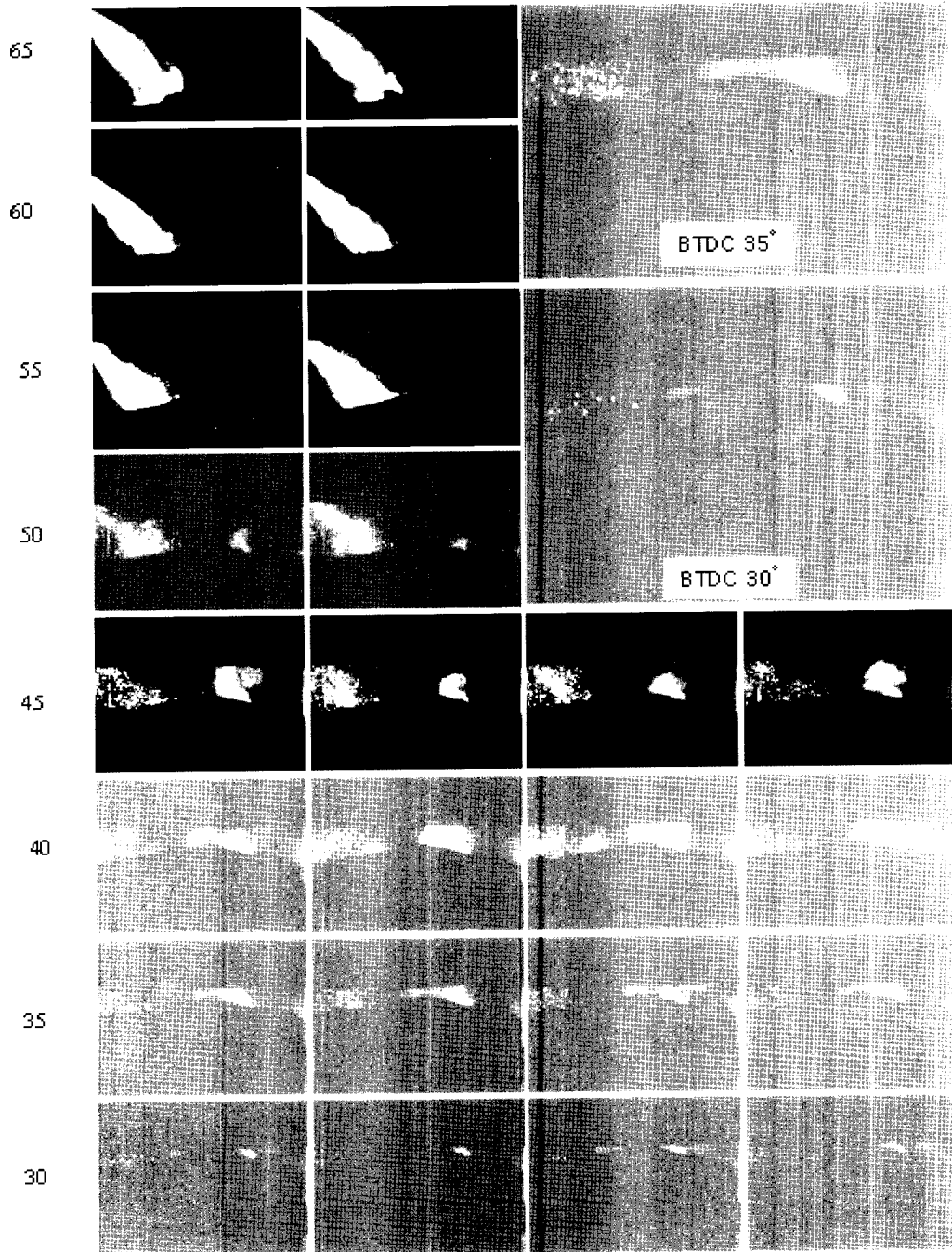


Fig. 3 Side view images of fuel distributions in the GDI engine at the conditions of 45/15 injector and SCV 20°.

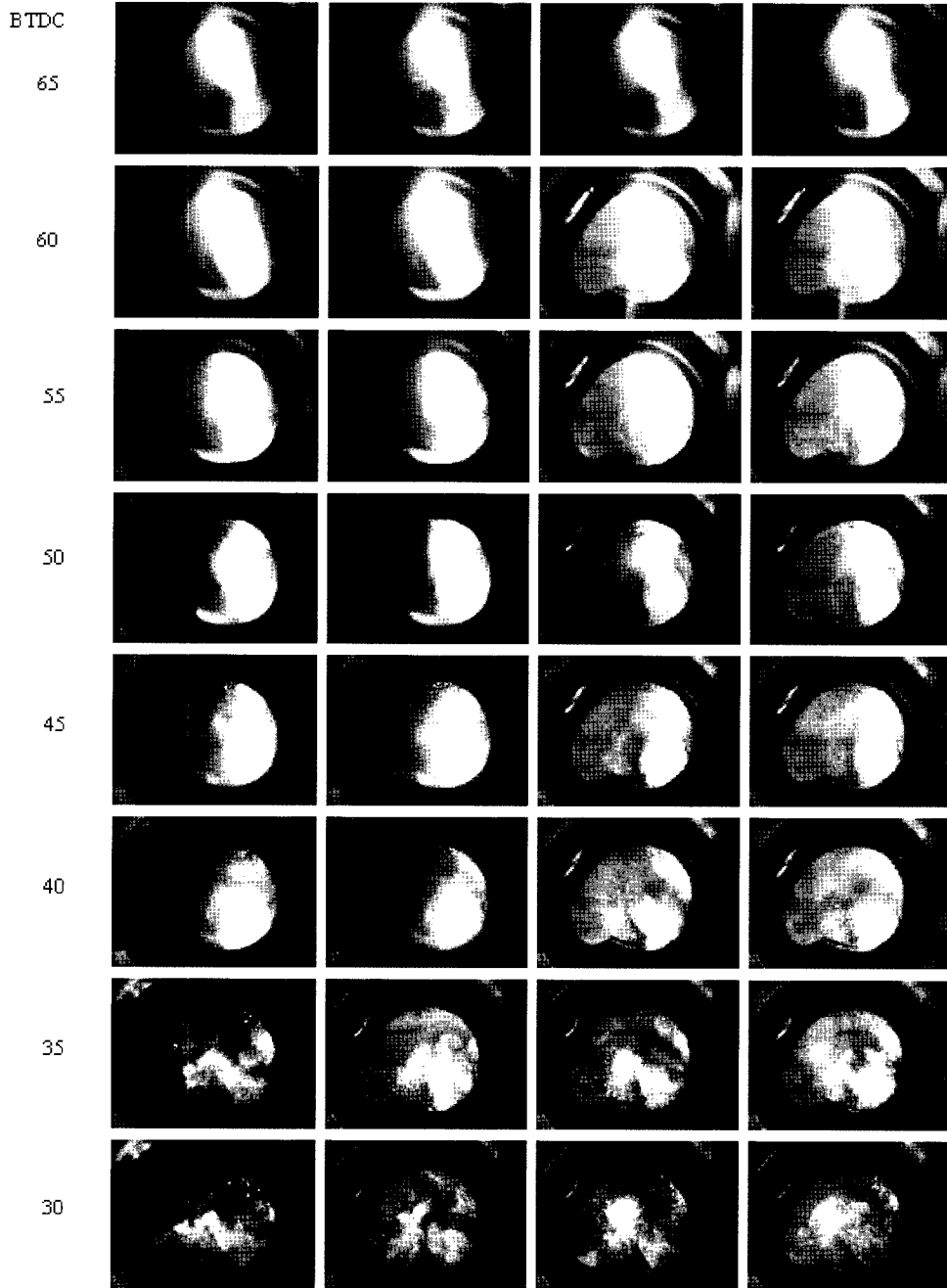


Fig. 4 Top view images of fuel distributions in the GDI engine at the conditions of 45/15 injector and SCV 20°.

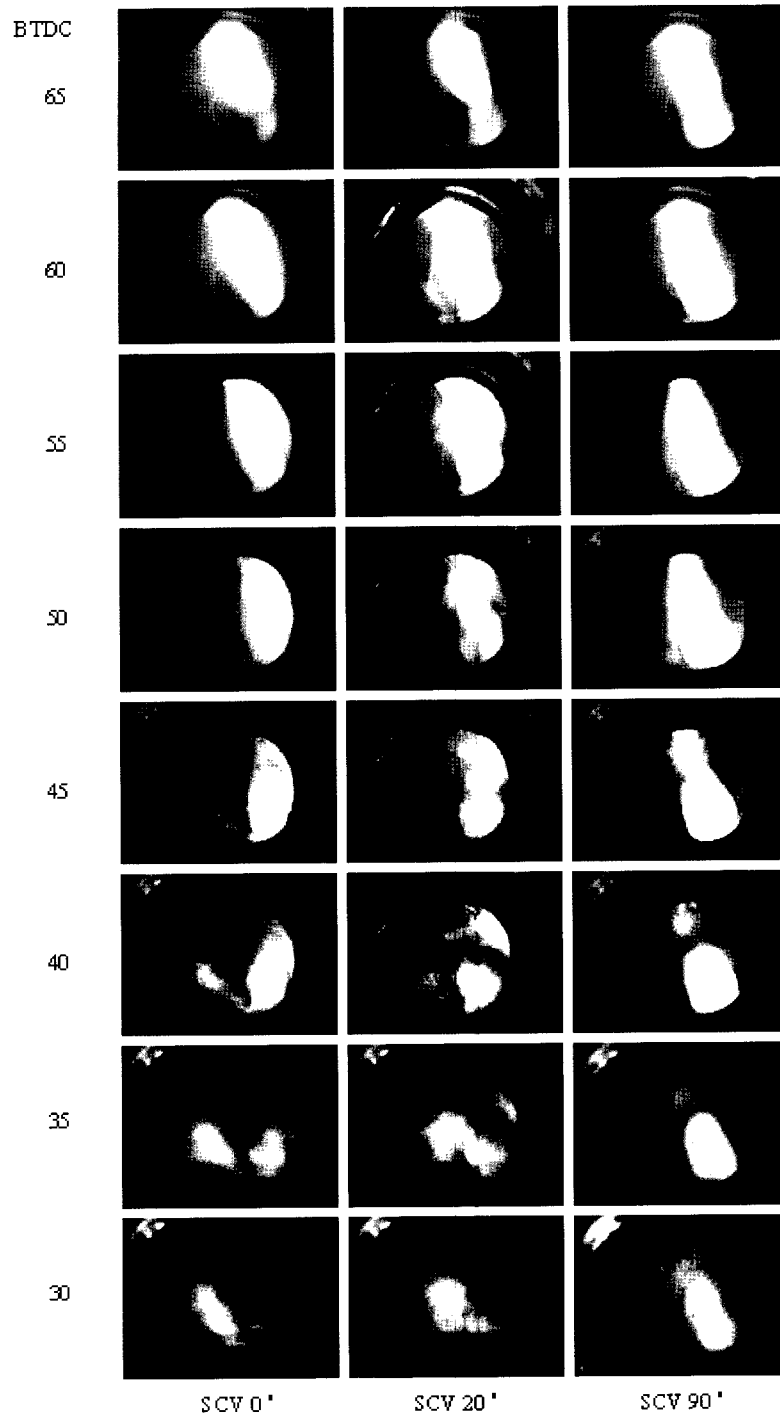


Fig. 5 Ensemble averaged fuel distributions in the GDI engine with respect to SCV opening angles at the condition of 45/15 injector.

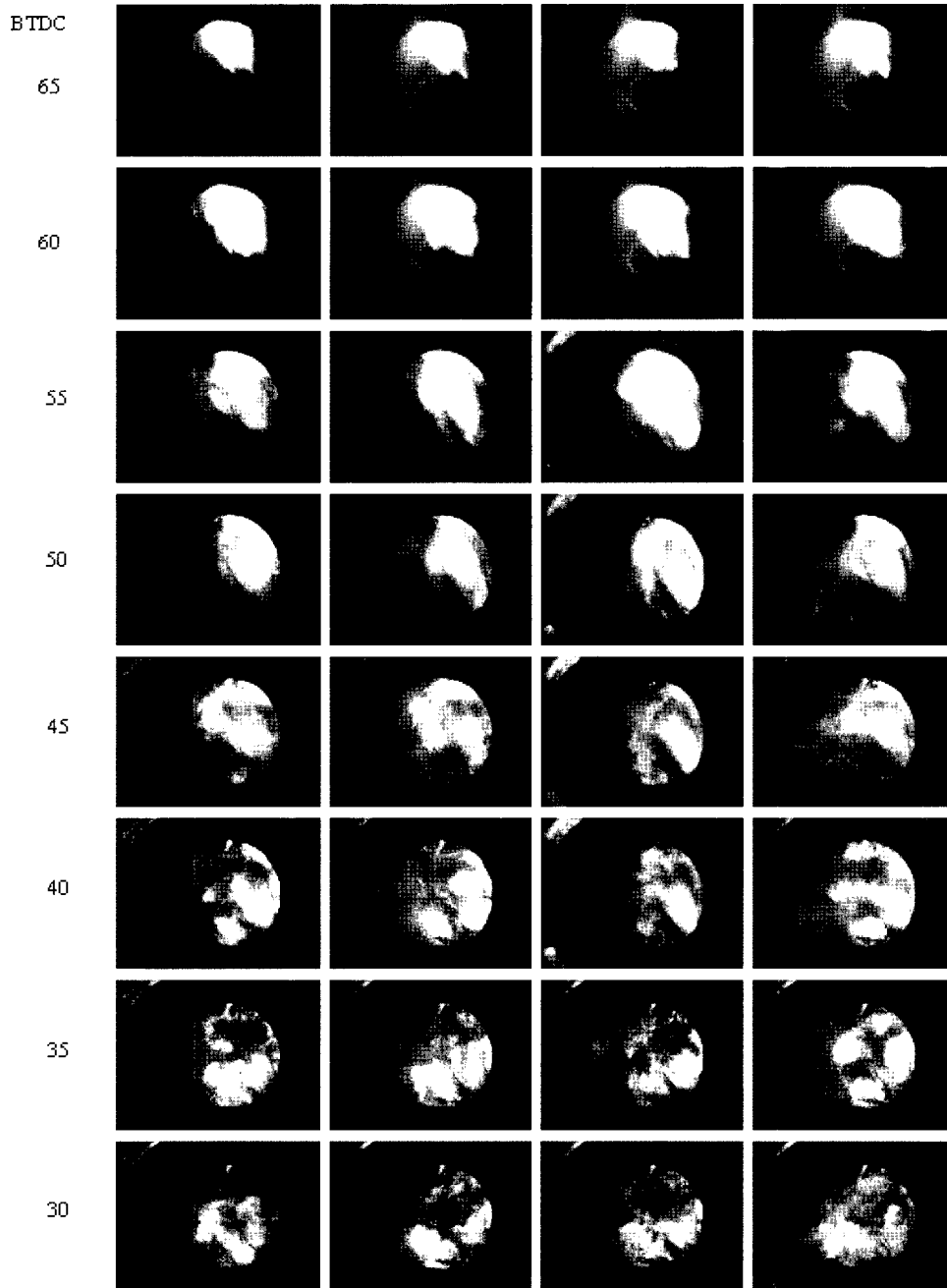


Fig. 6 Top view images of fuel distributions in the GDI engine at the conditions of 45/22 injector and SCV 20°.

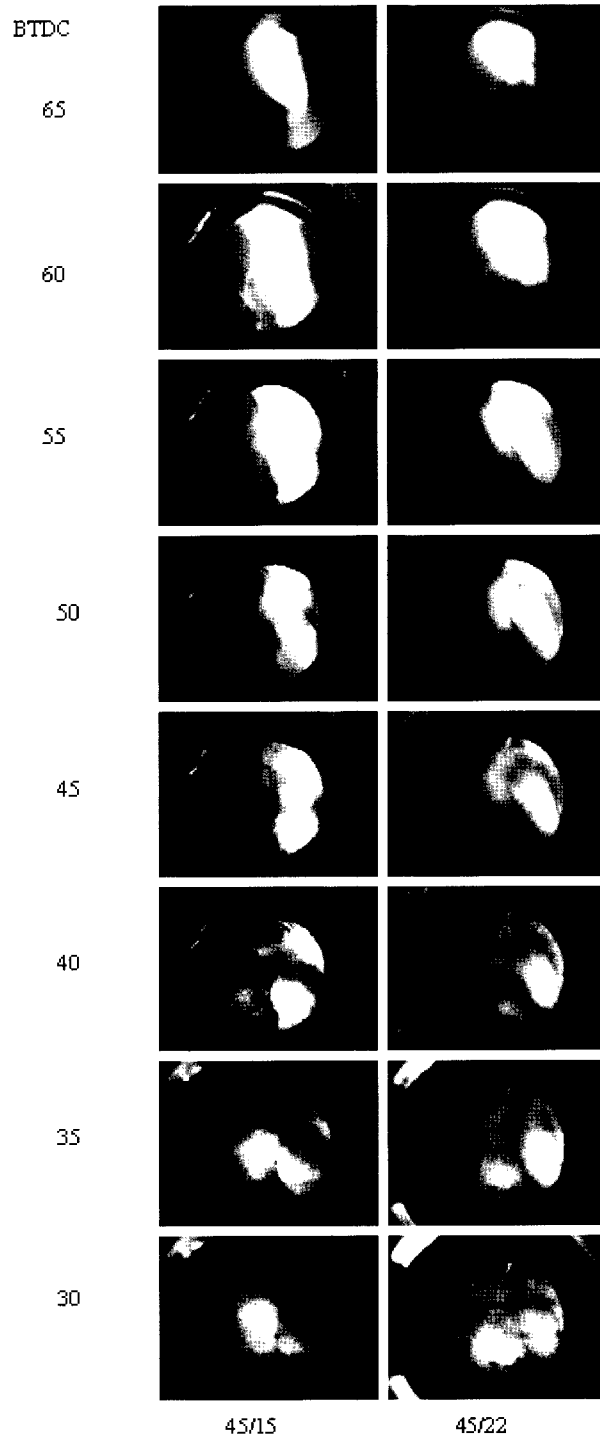


Fig. 7 Ensemble averaged fuel distributions in the GDI engine with respect to injector specifications at the condition SCV 20°.

이러한 연료는 늦게 연소가 되며, 따라서 엔진 성능이 떨어지게 되고, 미연탄화수소의 발생도 많아지게 된다. 한편 연료구름이 많이 흩어지게 되면 국부적으로 연료가 지나치게 희박한 영역이 많이 발생하게 되고 이 또한 엔진 성능을 저하시키고 미연탄화수소의 발생을 막게 하는 원인이 된다.

앞과 같은 조건에서 피스톤에 장착된 관측창을 통하여 저면 관찰한 분무 및 연료분포 형태는 Fig. 4와 같다. 압축 후기에 분사된 연료는 인젝터 및 분무 윗셀이 엔진 후방쪽으로 틀어져 있음으로 인해 실린더 중심 단면에서 약 20° 정도 엔진 후방쪽으로 편향되어 진행되어 가는 것을 볼 수 있다. BTDC 60°에는 이미 맞은편 피스톤 보울의 벽면에 분무가 도달되었다. 분무의 방향이 엔진 후방쪽으로 편향되어 있기 때문에 BTDC 40°에서도 분사된 연료분무는 피스톤 보울을 반분했을 때 엔진 후방쪽 영역에만 분포하고, 엔진 전방쪽에는 거의 분포하지 않는 것을 볼 수 있다. 분사말기에 분사된 분무에는 크기가 큰 연료입자들이 많이 존재하며, 인젝터 주변인 흡기측에 분포하다가 압축이 진행됨에 따라 이 입자들은 스윙 유동에 실려 이동하며, BTDC 35°, 30°에서는 피스톤 보울의 배기측에 있는 돌출부에 많이 분포한다. Fig. 3의 측면 관찰 결과에서 볼 수 있듯이 분사말기에 분사된 분무 중에는 크기가 큰 연료 입자들이 많이 포함되어 있는데, 이 큰 입자들은 Fig. 4의 저면 관찰 결과에서 볼 수 있는 바와 같이 피스톤 보울의 엔진 후방측 벽면 근처에서 스윙을 따라 시계 방향으로 이동해 가는 것을 볼 수 있다. 피스톤 보울 영역을 벗어난 연료 입자는 저면 관찰에서 나타나지 않기 때문에 정확히 알 수는 없지만 Fig. 3의 측면관찰에서 볼 수 있듯이 분사 말기에 분사된 크기가 큰 많은 연료 입자들이 피스톤 윗면에 분포하는 것을 봤을 때 상당수의 입자들이 피스톤 보울 외곽에 존재할 것으로 사료된다. Fig. 4의 BTDC 35°, 30°에서의 연료분포 특성을 보면 연료 농후한 혼합기가 구름 형태로 분무측에 대응하는 피스톤 보울 벽면을 따라 상승하여 스윙 방향으로 이동해 가는 것을 알 수 있다. 그리고, 연료가 농후한 부분과 연료가 거의 없는 부분간의 차

이가 심하고, 사이클 변동이 상당히 있기 때문에 GDI 엔진의 경우 안정된 연료특성을 갖기 위해서는 운전조건에 따라 연료분포가 최적화될 수 있도록 하는 것이 매우 중요함을 알 수 있다.

본 시험에 이용한 피스톤 보울은 배기측 형상이 왜곡된 하트 모양을 갖고 있다. 이와 같은 형상이 연료분포에 미치는 영향은 BTDC 35°, 30°의 연료분포 형태를 보면 알 수 있는데, 하트 모양으로 인해 곡률반경이 작아 스윙에 의한 농후한 혼합기 구름이 점화플러그가 있는 연소실 중앙부위로 보다 용이하게 갈 수 있도록 해준다.

Fig. 5는 SCV 개도가 0°, 20°, 90°인 경우에 대해 각 크랭크 각에서의 이미지를 앙상블 평균한 것이다. 피스톤 보울 바닥면을 보면 연료 분무가 직접 바닥면에 부딪침으로 인해 바닥면, 즉 관측창에 흔적이 남는 것을 볼 수 있다. 연료분무가 피스톤 바닥면에 부딪치는 정도가 심하면 SCV 개도가 90°인 경우와 같이 흔적이 강하게 남게되고 SCV 개도가 0°인 경우가 가장 약하게 흔적이 남는다. 이와 같은 현상을 볼 때 SCV 개도가 작아지면 강해진 스윙 유동의 간섭을 받아 분무가 진행되는 동안 엔진 후방 쪽으로 왜곡되어진다는 것을 알 수 있다. 그리고, 이러한 강한 스윙의 간섭에 의해 분무의 직선 운동량이 감소되어 바닥면에 부딪치는 연료가 적어진다는 것을 알 수 있다. 압축말기인 BTDC 35°, 30°에서의 연료분포특성을 보면 SCV 개도가 0°인 경우 농후한 혼합기가 배기측 엔진 전방 부근에 주로 분포하는 것을 볼 수 있다. 이 경우에는 연료가 농후한 혼합기가 점화플러그 근방에서 벗어나 있기 때문에 연소안정성이 크게 떨어질 수밖에 없다. 실제로 성능시험 시험 결과에 의하면 이 조건에서는 연소안정성이 아주 나쁘게 나타났다.

SCV 개도가 20°인 경우 압축말기에는 점화플러그 부근인 연소실 중심부에 농후한 혼합기가 주로 분포하는 형태이다. 이 경우는 압축말기에 점화플러그 주위에 농후한 혼합기가 분포하기 때문에 연료분포특성에서도 예측할 수 있는 바와 같이 위의 세 가지 SCV 개도 조건 중에서 가장 좋은 연소안정성을 나타내는 것으로 나타났다.

SCV 개도가 90°인 경우는 분무가 바닥면에 심하게 부딪치고 피스톤 보울 벽면을 타고 상승하여 바닥면의 혼적 부위 상부에 주로 분포하는 형상이다. 스윙 유동이 거의 없는 조건이기 때문에 이와 같은 현상이 발생하고 있다. 이 경우도 농후한 혼합기가 점화플러그 주위에 있지 않기 때문에 연소 안정성이 나쁠 수밖에 없고, 실제로 성능시험에서 그와 같이 나타났다.

Fig. 6은 45/22 사양의 인젝터에 대한 연료분포 측정 결과이다. 45/15 사양 인젝터에 비해 분무가 엔진 후방쪽으로 보다 많이 편향되어 있다. 45/22 인젝터의 경우 윗셀이 크기 때문에 피스톤 보울 바닥에 보다 일찍 부딪치게 된다. 피스톤 바닥면에 부딪친 분무는 바닥면을 타고 피스톤 보울 벽면에 맞게 되는데, 분무축이 피스톤 보울 벽면과 사각을 이루고 있어서 이 벽면을 타고 시계방향으로 이동하면서 상승하는 형태이다. 이 때 스윙 방향도 시계방향이기 때문에 스윙의 영향이 더해져 이러한 움직임이 보다 강해질 것으로 사료된다. 그 결과 피스톤 보울 바닥면에 부딪친 후 상승하는 농후한 연료구름은 하트 모양의 피스톤 보울에서 변곡점 근방에 주로 분포하게 된다. 이러한 특징은 45/15 인젝터와 45/22 인젝터에 대한 결과를 앙상블 평균한 Fig. 7에서 잘 확인할 수 있다.

4. 결 론

스윙형 직접분사식 엔진에 대해서 SCV 개도와 인젝터 사양이 연료분포특성에 미치는 영향을 단기통 가시화 엔진에서 조사하였으며, 다음과 같은 주요 결과를 얻었다.

- (1) SCV 개도에 따라 연소실 내부 유동이 크게 바뀌며, 유동의 변화는 분무의 진행과 압축말기의 연료분포특성에 큰 영향을 미친다.
- (2) SCV 개도가 적어 스윙 강도가 크면 분무진행시 스윙방향으로 왜곡되며, 피스톤 바닥면에 부딪치는 연료가 적어진다.
- (3) 45/22 인젝터의 경우에는 분무축과 피스톤 보울 벽면간의 각이 경사져 있어서 피스톤 벽면

에 부딪친 분무가 피스톤 벽면을 따라 진행하면서 상승하기 때문에 농후한 혼합기가 피스톤 벽면 부근에 주로 분포한다.

- (4) 후기에 분사된 연료는 피스톤 보울 내로 유입되지 못하고, 흡기측 피스톤 위에 분포하며, 큰 입자들이 점화직전까지 많이 존재한다.
- (5) 점화직전의 스파크 플러그 주위의 연료분포는 국부적으로 변화가 크고, 사이클 변동이 심하다.

참고문헌

- [1] N. Jackson, J. Stokes, P. Whitaker, and T. 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
- [2] K. Shimotani, K. Oikawa, O. Horada, and Y. Kagawa, "Characteristics of Gasoline In-Cylinder Direct Injection Engine", JSAE Review 17, pp.267- 272, 1996
- [3] T. Lake, J. Stokes, P. Whitaker, and J. Crump, "Comparison of Direct Injection Gasoline Combustion Systems", SAE 980154, 1998
- [4] J. Harada, T. Tomita, H. Mizuno, Z. Mashiki, and Y. Ito, "Development of direct-injection gasoline engine", SAE 970540, 1997
- [5] 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, 1997
- [6] 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, 1998
- [7] 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, 1997
- [8] C. Stan, S. Guenther, L. Martorano, and C. Tarantino "Aspects of Mixture Formation and Combustion in GDI Engine", SAE 2000-01-0648, 2000
- [9] 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, 1997

저 자 소 개



김기성 (金基成)

약 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 공과대학 정밀기계공학과 졸업, 1983년 인하대학교 기계공학과 졸업(석사), 1989년 인하대학교 대학원 기계공학과 졸업(박사), 1991년~ 여수대학교 기계공학과 부교수, 당학회 증신회원