

급속 압축팽창 장치를 이용한 직접분사식 가솔린 기관의 실린더 내 분무 및 연소특성에 관한 연구

A Study on In-cylinder Spray and Combustion Characteristics of GDI Engine using RCEM

조 규 백*, 정 용 일*
Gyubaek Cho, Yongil Jeong

ABSTRACT

GDI(Gasoline Direct Injection) engine technology is well known as a new technology since it can improve fuel consumption and meet future emission regulations. But the GDI has many difficulties to be solved, such as complexity of injection control mode, unburned hydrocarbon, and restricted power.

A 2-D shape combustion chamber was adopted to investigate mixture formation and combustion characteristics of GDI engine. Spray and combustion experiments were performed by changing the injection timing, injection pressure and in-cylinder flow in Rapid Compression and Expansion Machine(RCEM). Through the experiments, the detailed characteristics of fuel spray and combustion was analyzed by visualizing the in-cylinder phenomena according to the change of injection conditions, and the optimal fuel injection timing and fuel injection pressure were obtained.

주요기술용어 : GDI Engine(직분식 가솔린기관), Emission Regulation(배기규제), Mixture Formation(혼합기 생성), RCEM(급속압축팽창기)

1. 서 론

자동차 배기규제가 계속하여 엄격해지면서 미국의 ULEV 규제를 만족하기 위한 초저공해 자동차 기술 개발이 핵심적인 기술로 자리잡아 왔다. 한편, 기후 변화협약에 따른 CO2 규제에 대

한 국제적 규제가 본격화되어 자동차 배출가스에서 직접 CO2 를 규제하는 법안이 통과되면서 이에 대응하기 위한 저연비 기술이 중요하게 되었다. 따라서 이와 같은 급변하는 여건의 변화에 대응하기 위해서는 자동차배출가스와 연비를 동시에 저감하는 초저연비 저공해 자동차개발이 요구된다.

지금까지 알려진 저공해 저연비 엔진기술로는 직접분사식 가솔린 엔진 기술, 직접분

* 정회원, 한국기계연구원

사식 소형 디젤엔진 기술, 그리고 대체연료 기술로 크게 구분할 수 있다. 직접분사식 가솔린 엔진은 지금까지 개발된 가장 진보된 기술중의 하나로 포트분사엔진에 비해 연료경제성, 과도응답성, 그리고 배출가스를 개선할 수 있는 잠재력을 가지고 있는 것으로 알려져 있다[1-3].

직접분사식 가솔린엔진의 연료분사방식은 일반적으로 운전조건에 따라 두 가지 방법을 채택하는데, 고부하의 운전조건에서는 조기분사(early injection)로 균일한 혼합기를 생성하며, 부부하 또는 저부하의 운전조건에서는 후기분사(late injection)로 혼합기의 국부적인 성층화를 생성한다. 성층연소는 점화플러그 부근에 착화하기 쉬운 혼합기를 형성하고 그 주변에는 공기층을 형성시켜, 전체적으로 대단히 희박한 혼합기 이면서 안정한 연소를 실현할 수 있다. 그러나 이런 장점에도 불구하고 미연 탄화수소(HC)의 과다배출, 제한된 운전조건, 성능 저하, 점화플러그의 오염등 해결해야할 많은 문제점을 안고 있다 [4].

본 연구에서는 분사조건이 분무 및 연소에 미치는 영향을 알아보기 위해 먼저 고압인젝터를 선정하고 압축공기로 흡기유동을 모사 하였으며, 이들에 맞는 연소실 및 피스톤 캐비티를 설계 제작하였다. 후기 분사에서 최적 성층화를 위하여 분사조건과 흡기유동에 따른 분무 및 연소특성 실험을 급속압축팽창장치(RCEM)에서 수행하였다. 분무특성은 분사시기, 분사압력, 그리고 유동의 유무 및 강도에 대해 음영사진법(shadowgraph)을 이용하여 가시화 하였고, 연소특성실험은 분무실험 결과를 바탕으로 2가지의 점화플러그에 대해 수행하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험 장치

2.1.1 급속압축팽창장치

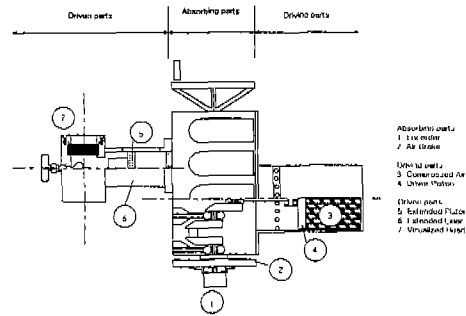


Fig. 1 Schematic diagram of RCEM

본 연구에 사용된 급속압축팽창장치(Rapid Compression and Expansion Machine)는 Fig. 1에서 보는 바와 같이 구동부, 회전흡수부 및 피구동부(가시화부)로 구성되어 있다. 구동부에는 직경 200mm의 구동 피스톤을 설치하였으며 공기 압축기로부터 최대 6bar까지의 압축공기를 공급할 수 있다. 구동부로 공급되는 압축공기의 압력은 상당 엔진회전수를 결정하기 때문에 실험조건에서 요구되는 엔진속도에 따라 공압조절장치로 적절한 압력을 조절하였다.

회전 흡수부에는 엔진에서의 회전각을 감지하기 위하여 엔코더(encoder)를 설치하였으며, 구동부의 피스톤을 잡아주기위한 공압 브레이크를 장착하였다. 브레이크는 디스크형이며 2bar의 압축공기로 구동된다. 피구동부(가시화부)는 실제 디젤엔진에서 사용되는 피스톤을 개조하여 사용하였으며, 피스톤의 내부를 탈착가능하게 함으로써 직분식의 경우 피스톤 보울 형상을 자유로이 변경할 수 있도록 하였다. 연소실 가시화 부분은 실린더 헤드만을 변경 제작하여 사용함으로써 여러 가지 형상의 연소실을 모사할 수 있도록 하였다.

급속압축팽창기는 흡배기 시스템을 실제엔진과 같이 설치할 수 없는 단점이 있기 때문에 흡입유동을 모사하기 위해 흡배기밸브를 솔레노이드 밸브로 대체하였으며 압축공기를 이용하여 유

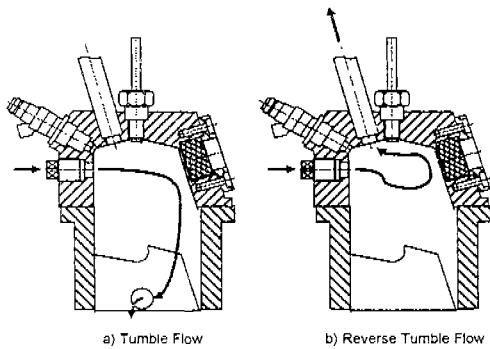


Fig. 2 Simulation of tumble & reverse tumble flow

장을 형성하였다. 유동장 생성은 먼저 급속압축 팽창기가 준비상태에 있을 때 흡배기 스피리노이드 밸브가 열려 텀블 또는 역텀블 유동 패턴을 따라 정상상태로 흐른다. 급속압축팽창기가 압축을 시작하기 위해 공압브레이크를 놓는 순간 흡배기 스피리노이드 밸브가 동시에 닫힘으로써 유동장 생성에 의한 연소실 압력의 상승문제를 최소화하였으며 연소실 내의 유동장은 그대로 유지할 수 있게 하였다. Fig. 2는 출구밸브의 위치를 변화시킴으로써 텀블 및 역텀블 유동 생성의 예를 보여준다.

2.1.2 연소실 형상

연소실내 연료분사용 고압스윙 인젝터는 기존 인젝터 중에서 직접분사식 엔진의 요구특성에 가장 알맞는 미쯔비시사의 고압스윙인젝터를 사용하였다. 또한 4밸브 펜트루프형 연소실에서 유동 운동량 보존에 유리한 텀블유동을 생성시켰다. 이러한 유동은 상대적으로 압축행정 말기에 벽면 근처의 유동속도를 빠르게 하여 연료분무의 충돌로 생긴 유막의 증발을 촉진시키고 점화플러그로의 연료 혼합기 이동을 쉽게 할수 있다[5].

분사된 연료가 효율적으로 점화플러그로 움직일수 있도록 피스톤 캐비티를 Fig. 3과 같이 적용하였다. 피스톤 캐비티 형상은 적합하게 설계하여 역텀블 유동을 강화시키도록 하였고 역텀블 유동의 회전운동량을 압축행정 말기까지 보존할

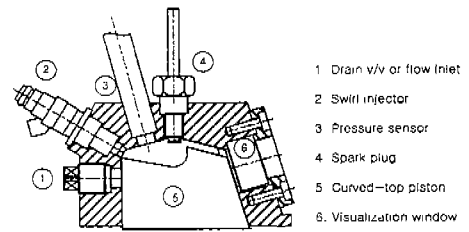


Fig. 3 Schematics of combustion chamber

수 있게 하였으며[4], 압축행정 말기 강한 스쿼시 유동을 생성할 수 있게 하였다.

실제 직분식 엔진의 연소실에서 펜트루프 타입의 실린더 헤드와 유동특성에 맞는 피스톤

캐비티 형상은 3차원으로 복잡한 형상을 가지고 있으나 본 연구에서는 분무 및 연소특성을 효과적으로 연구하기 위해 연소실 형상을 단순화하였다. 실린더 헤드 및 피스톤 형상은 폭 20mm로 일정하게 2차원화 시켰으며, 실린더 헤드의 양측에 피스톤의 압축과정동안의 분무와 연소를 가시화 할 수 있는 충분히 큰 창을 설치하였다.

2.1.3 가시화장치

Fig. 4는 연료분무의 음영사진(shadow-graph)을 촬영하기 위한 실험장치 구성도를 보여준다. 텀스텐 할로겐 램프를 광원으로 사용하였으며 두 개의 렌즈(convex, f=600)와 핀홀을 이용하여 평행 광을 만들었다. 분무사진은 고속 카메라(Model 350, Cordin)에 의해 연속적으로 촬영되었으며 필름(35mm, Try-x 400, Kodak)은 현상후 필름스캐너(scan II, Kodak)를 통해 디지털 화하여 컴퓨터에 저장, 처리하였다.

시스템의 동기를 맞추기 위해 고정도의 엔코더(OMRON, 3600pulse/rev), pulse generator (DG 535)와 자체 제작한 엔코더 카운터를 사용하였다. 엔코더 카운터는 엔코더에서 Z-신호에 의해 동기되며 A-신호를 카운터 하여 일정시간

Schematic Diagram of Experimental Setup

- 1. RCEM
- 2. Charge Amp.
- 3. Oscilloscope
- 4. Power supply
- 5. Time retard
- 6. Camera controller
- 7. High speed camera

- 8. Film scanner
- 9. PC
- 10. Fuel compressor
- 11. Injector
- 12. Head
- 13. Lens
- 14. Light source

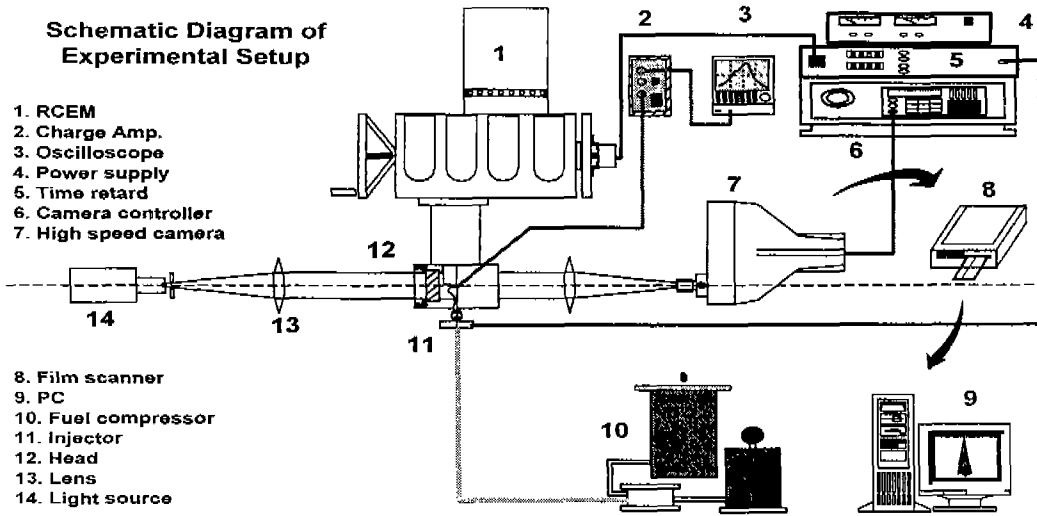


Fig. 4 Experimental setup for shadowgraph

후 카메라, 인젝터, 점화장치로 동기신호를 전송한다. 고속카메라의 셔터 응답성과 분사시기, 점화시기 등은 오실로스코프로 관찰하였으며 카메라의 셔터지연은 700rpm에서 약 18°이다.

연소사진을 촬영하기 위한 영상취득용으로 CCD 카메라(4Quik 05A, Stanford computer optics inc.), VTR(HR-X5, Victor), 컴퓨터에 영상을 저장하기 위한 이미지 보드(DT3155)를 사용하였다.

2.2 실험방법

분무실험은 상온에서 실시하였으며 연소실험은 연료의 기화를 촉진하고 실제 엔진조건에 가깝게 하기 위해 헤드 및 실린더 라이너의 온도를 70~80°C로 유지하였다. 그리고 유동생성용 압축 공기도 연소실과 같은 온도로 가열하여 공급하였다.

분무 실험에서는 분무의 분사시기 영향을 살펴 보기 위해 BTDC 40, 30, 20, 15°로 분사시기를 변화시켰으며, 동일한 분사시기에 대해 분사압력을 30, 60bar의 두 가지로 바꾸어 분사압력의 영향을 관찰하였다. 그리고 실린더내의 유동 영향을 관찰하기 위해 유동이 없는 경우와 텀블, 역

텀블 유동에 대해 각각의 분무역적 분포를 살펴 보았다.

연소실험의 경우에는 분무실험의 결과를 바탕으로 분사시기와 점화시기, 그리고 유동의 강도를 변화시켜가며 실험하였으며 일반 점화플러그와 연장 점화플러그를 사용하여 점화플러그의 위치 변화에 따른 실험도 하였다. Fig. 5는 실험에 사용된 일반 점화플러그와 연장 점화플러그의 사

Table 1 Experimental conditions

Conditions	Injection	Combustion
Injection press. (P_{inj})	30, 60bar	60bar
Injection timing (T_{inj})	BTDC 40, 30, 20, 15°	BTDC 50, 40°
Injection duration (ΔT_{inj})	1.7, 2.4ms	1.7ms
Flow type	No flow, Tumble & Rev. tumble 1, 2bar	Rev. tumble 1, 2bar
Temperature	Room temp.	70~80°C
Plug type	-	Normal Elongated
Ignition timing (T_{ign})	-	BTDC 10, 5°

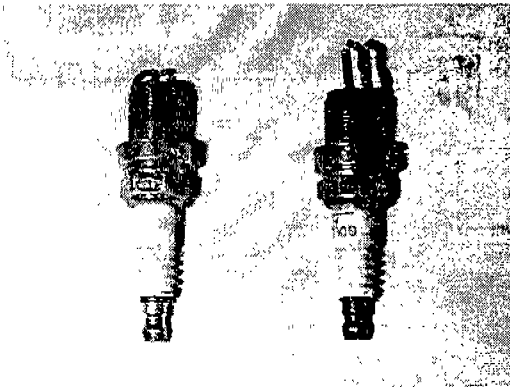


Fig. 5 Elongated spark plug

진을 보여주며, 표 1은 실험에 사용된 조건들을 나타내었다.

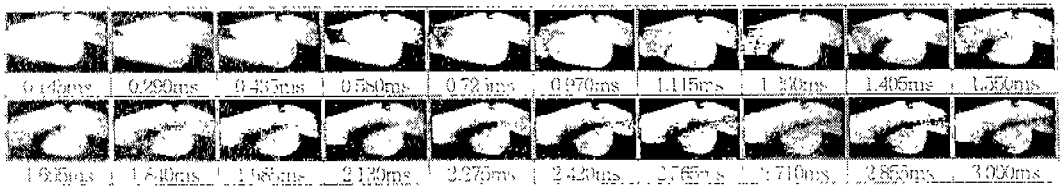
3. 결과 및 고찰

3.1 분무특성

Fig. 6은 피스톤이 정지한 상태로 대기압, 상

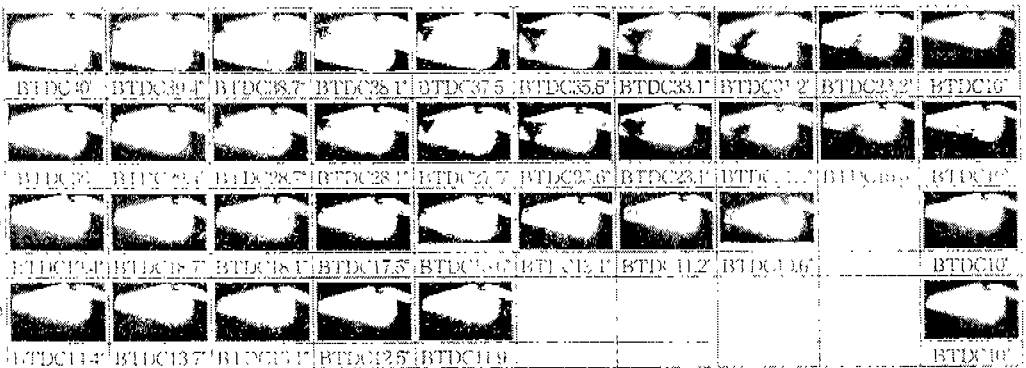
은 조건에서 분사압력 60bar로 분사했을 때의 분무특성을 보여준다. 분무는 할로우 콘(hollow cone)형태로 약 60°의 분무각을 형성하며 피스톤의 캐비티를 향해 분사된다. 그림에서 보는 바와 같이 분무의 코어(core, initial spray)가 먼저 분사되며 약 0.3ms 이후 본 분무(main spray)가 시작됨을 알 수 있다. 본 분사는 삼각형의 형상을 유지하며 넓게 퍼져 가는데 이는 연료 액적에 작용하는 항력 때문이다. 즉 주위 공기의 밀도가 증가하면 항력도 증가하기 때문에 분무기 압력이 낮은 경우, 연료의 분무는 넓게 퍼진 할로우 콘 구조를 가진다[4]. 1.115ms 이후부터 연소실의 원도우에 분무가 충돌하여 검은 그림자가 나타났

다. Fig. 7은 피스톤을 약 700rpm으로 운동시키면서 분사압력 30bar로 분사했을 때 분사시기에 따른 분무 특성을 보여준다. BTDC 30~40°일 때 양호한 분무형상을 보여주는데 비해 BTDC 20~15°의 경우에는 분무가 거의 일어나지 않음을



Pinj : injection pressure Tinj : injection timing dt : injection duration E.S.: engine speed

Fig. 6 Typical behavior of fuel development (Pinj:60bar, dt:1.7ms, E.S.:0rpm)



(a) BTDC 40° (b) BTDC 30° (c) BTDC 20° (d) BTDC 15°

Fig. 7 Behavior of fuel spray with different injection timings at Pinj=30bar (dt:2.4ms, E.S.:700rpm)

알 수 있다. 그리고 분사시기가 늦어짐에 따라 분무도달 거리가 짧아짐을 관찰할 수 있다. 이는 피스톤의 압축으로 인해 연소실 압력이 상승하여 분사압력과 연소실 압력의 차가 작기 때문이다. 분무의 형상은 Fig.6과 같이 삼각형의 기본형태를 유지하며 분무 선단의 가장자리에서 토로이달 와류(toroidal vortex)가 약하게 일어남을 관찰할 수 있었다.

Fig. 8은 분사압력을 60bar로 했을 때 분무시기에 따른 분무 특성을 보여준다. 분무의 초기에는 삼각형의 형태를 유지하나 시간이 지남에 따라 긴 나팔꽃 형태로 변화하며 분무선단의 가장자리에서는 토로이달 와류가 강하게 형성됨을 알 수 있다. 그리고 대부분의 분무는 피스톤의 캐비티에 충돌하여 캐비티의 벽면을 타고 흘러가는 것이 관찰된다.

Fig. 7의 30bar일 때와 비교하여 보면 분무압

이 증가함에 따라 분무도달 거리가 길어졌으며 분무각은 작아졌다. 이는 두 가지 원인으로 해석할 수 있는데 그중 하나는 분사압력 증가에 따른 축방향의 직선운동 성분의 운동량 증가 때문이다. 분무액적의 운동은 분무의 회전 방향의 스월운동과 축 방향의 직선운동으로 나눌 수 있는데 분사압력이 증가하면 축 방향의 직선 운동에 의한 운동량은 증가하나 스월운동에 의한 각운동량은 일정하게 유지되기 때문에 분무각이 감소됨을 알 수 있다[4]. 그러나 분사압력이 증가하면 액적의 초기속도의 증가와 분무도달거리도 함께 증가해야 하나 실제로 액적의 크기가 작아지며 이로 인한 속도 감소가 커지기 때문에 분무도달거리의 증가를 어느 정도 상쇄해주어 30bar에 비해 월등히 크지 않은 것이다[6].

두 번째는 분사압력의 증가에 따른 분무액적크기 감소 때문이다. 분무형태는 인젝터의 형상으

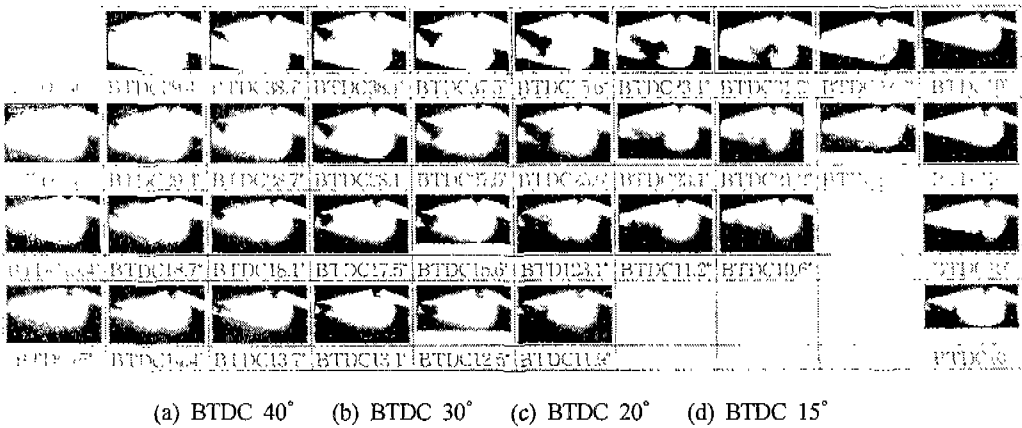


Fig. 8 Behavior of fuel spray with different injection timings at Pinj=60bar (dt:1.7ms, E.S.:700rpm)

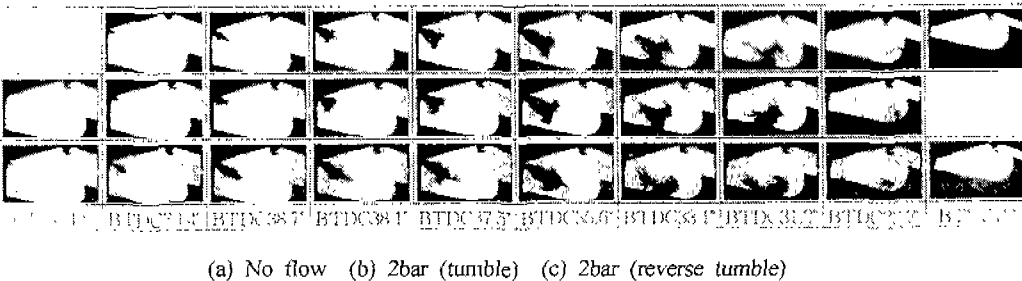


Fig. 9 Behavior of fuel spray regarding flow patterns (Pinj=60bar, Tinj:BTDC40°, dt:1.7ms, E.S.:700rpm)

로 인해 할로우 콘 형태를 가진다. 1차 분열후, 액적과 공기사이의 운동량 변화에 의해 분무의 내부에는 동적진공(dynamic vacuum)이 발생하는데 이 효과는 분무의 내부로 2차공기 유동을 유도한다. 특히 이 유동 뒤에는 작은 액적들이 따라 들어가는데 이들은 축방향의 분무 도달 거리를 증가시키고 분무의 빈 공간을 채워 성층화 급기를 균질하게 해준다. 2차 유동에 의한 분무 형상의 변화를 분무수축(spray contraction)이라 부르며 연소실 압력과 초기 액적크기에 의존한다 [6].

트로이달 와류의 생성시기도 30bar에 비해 빨라졌음을 알 수 있다. 또한 분무시기가 빠를수록 기화할 수 있는 시간이 길어짐에 따라 기화가 잘 되었으며 벽면에 충돌하여 생긴 액막은 거의 증발하지 않았다. 분사압력이 증가함에 따라 실린더 내에 부유한 액적들이 빨리 증발함을 관찰할 수 있었는데 이는 앞에서 언급한 바와 같이 액적의 크기가 분사압력에 반비례하기 때문으로 여겨진다.

Fig. 9(b)는 연소실내 유동을 주었을 때의 영향을 살펴 본 것이다. 분사압력을 60bar로, 분사시기를 BTDC 40°로 고정하고 흡기포트의 측면에서 실린더 라이너의 측면으로 빠져나가게 공기의 흐름을 주어 순 방향의 텀블유동을 모사하였다. 유동이 없는 경우와 비교하면 우선 분무가 넓게 퍼졌으며 BTDC 30° 이후에도 연소실에 액적들이 많이 분포되어 있는 것이 관찰되었다. 이는 텀블 유동이 분무의 대칭성을 깨면서 분무의 확산을 촉진하였으며 피스톤의 캐비티에 충돌되는

연료의 양을 줄인 것을 의미한다.

Fig. 9(c)는 역텀블 유동을 모사 하였다. 텀블 유동과는 다른 분무형상을 보여준다. 역텀블 유동은 피스톤 캐비티 곡선을 따라 분무진행방향과 동일하게 형성되기 때문에 분무도달거리가 유동이 없는 경우나 텀블 유동의 경우에 비해 크게 증가하였으며 트로이달 와류의 생성도 크게 눈에 띄지 않는다. 특히 BTDC 33.1°에서부터 분무선단이 피스톤 캐비티곡선을 따라 방향을 선회함으로써 피스톤 캐비티에서 연료액적의 증착(wetting)을 크게 줄일 수 있으며 분무형상이 전체적으로 넓게 분포함으로써 연소에 크게 기여할 것으로 예상되어진다.

3.2 연소특성

Fig. 10(a)는 유동을 주지 않은 경우 BTDC 50°에서 60bar로 분사하였을 때의 연소과정을 보여준다. 약 50%정도의 점화 성공률을 보였으며 연소속도가 상당히 느림을 알 수 있다. 사진의 화염 경계면 근처에서 밝게 빛나고 있는 것은 액적으로 기화가 미처 되기도 전에 연소가 되고 있음을 관찰 할 수 있었다. 이와 함께 분무실험에서 좋은 결과를 나타낸 역텀블 유동이 있는 경우도 분사시기와 점화시기를 바꿔가며 같이 실험하였으나 연소가 되는 시기에서 점화 성공률이 10%에도 미치지 못한 관계로 촬영에 실패하였다.

유동이 없는 경우보다 유동이 있는 경우 연소가 잘 이루어지지 않는 이유는 세 가지로 해석할 수 있는데 그중 첫 번째는 유동이 있는 경우 유동강

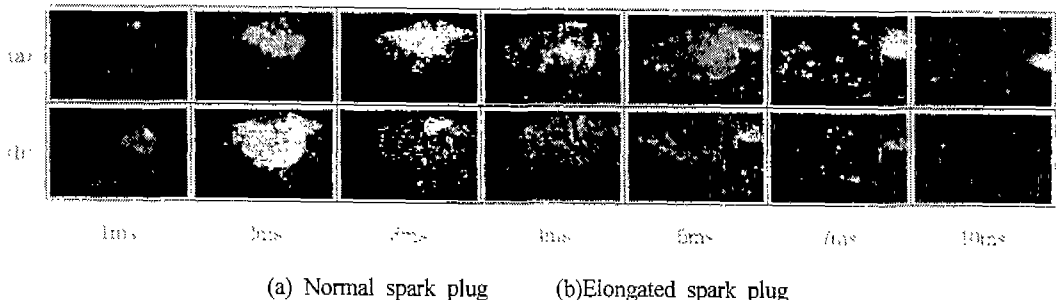
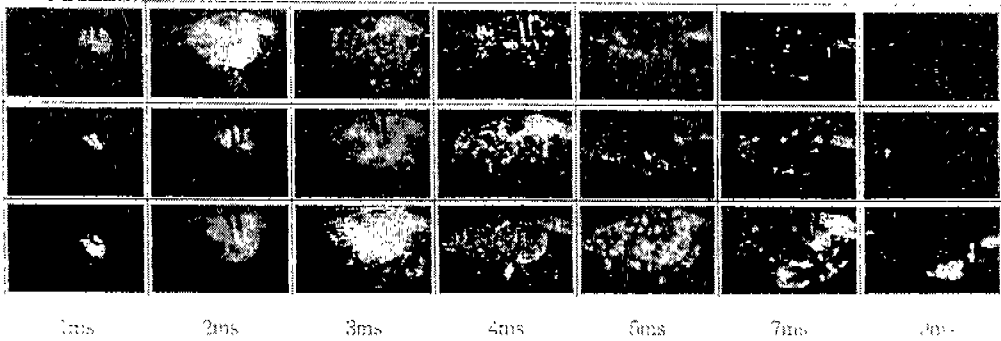


Fig. 10 Combustion characteristics with different spark plug (Tinj:BTDC 50°, Tign:BTDC 5°)



(a) Tinj 50°, Tign 5° (b) Tinj 40°, Tign 5° (c) Tinj 40°, Tign 10°(BTDC)

Fig. 11 Combustion characteristics with different injection and ignition timings (Elongated spark plug)

도가 너무 강하여 오히려 실화를 유발할 수 있는 가능성이 크기 때문이다. 다른 하나는 RCEM이 대기하는 동안 유동이 없는 경우에는 신기로 배기가스를 교환하였다고는 하나 피스톤 등에 묻어 있는 연소되지 않은 연료가 기화하여 연소에 도움을 주었을 가능성이 크다. 반면에 유동이 있는 경우는 RCEM이 대기하는 동안 신기가 정상상태로 연소실을 통과하기 때문에 미연의 연료가 증발하여도 공기를 따라 배출되어 연소는 순전히 분사된 연료만으로 이루어지기 때문이다. 마지막으로 연소실험과 분무실험의 온도 조건이 다른 것을 볼 수 있다. 연소실험에서는 연료의 빠른 기화를 촉진하기 위해 실제 엔진운전 조건에 가깝게 70~80℃로 가열함으로써 분무특성이 달라졌기 때문이며 이것이 가장 주된 원인으로 판단된다.

그러나 정확한 원인 규명을 위해서는 연소에 직접 영향을 미치는 연료 기상의 공간적 분포를 효과적으로 관찰하여야 하며 이를 위해서는 슈리렌법[4]이나 레이저 유도형광법[6] 등을 도입할 필요가 있다.

Fig. 10(b)는 점화 플러그를 연장하여 피스톤이 TDC에 있을 때 연소실의 중앙에 위치하게 하여 Fig. 10(a)와 동일한 조건으로 연소를 시켰을 때의 결과를 보여준다. 물론 연료액적이 타고 있는 현상은 여전히 관찰되었으나 Fig. 10(a)에

비해 연소속도가 상당히 빠름을 알 수 있었으며 점화 율도 거의 100%였다. 그리고 연소의 후반에 피스톤 캐비티의 윗면에서 연료의 액막이 타고 있는 현상도 현저하게 줄었음을 알 수 있었다. 그러나 연장된 점화플러그는 높은 엔진출력에서 내구성의 문제가 생길 수 있다[3].

Fig. 11은 연장 점화플러그를 장착하였을 때 유동이 없는 경우에 대하여 분사시기와 점화시기를 바꿔가며 연소특성을 관찰하였다. Fig. 11(a)는 BTDC 50°에 분사하여 BTDC 5°에 점화하였으며 Fig. 11(b)는 BTDC 40°에 분사하여 BTDC 5°에 점화한 경우이다. 늦게 분사한 경우 초기의 화염크기가 빨리 분사한 경우보다 적는데 이는 기화할 수 있는 시간이 그만큼 짧기 때문이며 액적의 분포나 피스톤 캐비티 윗면에서 연료액막의 연소도 더 오래 지속되는 것을 관찰할 수 있었다. Fig. 11(c)는 Fig. 11(b)에 비해 점화시기를 5°진각 시켰을 때의 연소과정을 보여준다. 점화를 빨리 시킨 만큼 연소실의 압력이 낮아 초기 화염의 전파 속도는 빠르지만 훨씬 더 오래 연소되어 전체 연소속도는 오히려 늦음을 알 수 있다. 일반적으로 성층연소하에서는 동일한 분사시기에 대해 점화시기가 너무 빠르거나 너무 늦은 경우 연소를 나쁘게 할 수 있으며 결과적으로 출력저하를 가져오기 때문에 적절한 점화시기를 선택해야 한다[7].

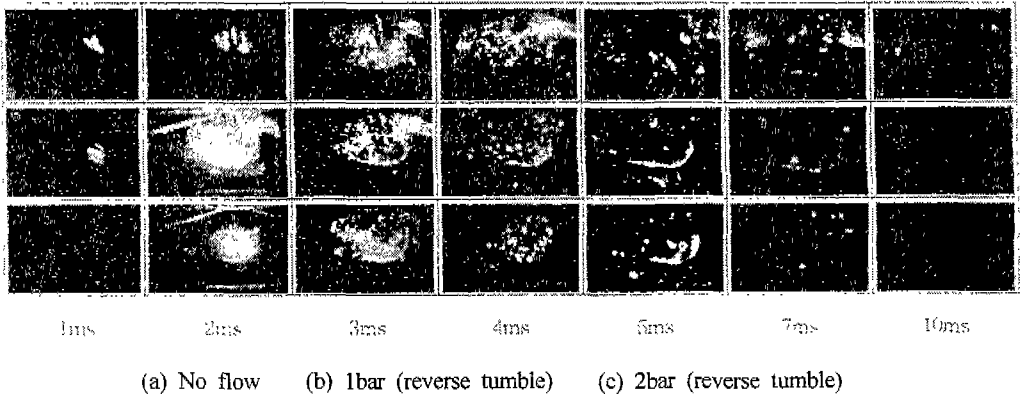


Fig. 12 Combustion characteristics regarding different flow patterns (Elongated spark plug, $T_{inj}:BTDC 40^\circ$, $T_{ign}:BTDC 5^\circ$)

Fig. 12는 텀블 유동이 있는 경우에 대해 연소 과정을 나타낸 것이다. 유동이 없는 경우에 비해 전체적인 연소기간이 짧으며 특히 전반부(2-3ms)에 대부분의 연소가 일어나는 것을 관찰할 수 있다. 또한 유동이 없는 경우의 피스톤 캐비티 윗부분에서 관찰되던 연료 액막의 연소(5-7ms)가 유동이 주어진 경우에는 없어졌으며 4-5ms에서 피스톤의 캐비티 밑면에서 연료액막이 연소되는 것을 관찰할 수 있다. 이는 유동이 없는 경우 피스톤에 충돌한 연료가 피스톤의 곡면을 타고 넘어가는데 비해 유동이 주어졌을 때는 피스톤의 캐비티 내를 벗어지지 않는다는 것을 알 수 있었다. 특히 유동이 1bar로 주어졌을 때 2bar로 주어진 경우보다 초기(1-2ms) 화염의 전파가 크며 연소가 보다 원활함을 알 수 있다. 일반적으로 흡기 유동은 압축과정동안 난류성분으로 변하여 연소를 촉진하나 성층연소에서는 오히려 너무 강한 유동은 연소에 나쁜 영향을 미친다고 알려져있다[7]. 이로써 무조건 유동이 강하게 주어진다고 연소에 좋은 영향을 미친다고 볼 수 없으며 적절한 유동이 주어졌을 때 연소에 도움이 됨을 알 수 있었다.

4. 결론

본 연구는 직접분사식 가솔린엔진의 분사조건

이 분무 및 연소특성에 미치는 영향을 파악하기 위해 엔진을 모사할 수 있는 급속압축팽창장치(RCEM)에서 실험을 수행하였으며 아래와 같은 주요 결론을 얻었다.

1) 음영사진법을 통한 가솔린의 연료분무실험 결과 연료액적의 분포를 효과적으로 관찰할 수 있었으며, 분사압력과 분사시기에 따라 분무형상이 확연하게 구분되었다. 분사시기가 늦을수록 분사압력과 연소실 압력의 차가 줄어들어 분사압력이 30bar인 경우 분사가 원활하게 이루어지지 않았으며 분사압력이 60bar인 경우 분무도달거리의 증가로 분무가 피스톤의 캐비티에 부딪혔다. 점화시기를 $BTDC 5-10^\circ$ 로 가정했을 때 분사압력 60bar, 분사시기 $BTDC 40^\circ$ 가 가장 이상적임을 알수있었다.

2) 유동이 있는 경우(역텀블 유동)에는 같은 분사시기와 분사압력에서도 분무의 선단부가 피스톤의 캐비티를 따라 선화하면서 연료의 액적이 넓게 분포하였고 피스톤의 캐비티에서의 분무적심 현상이 현저하게 줄어들 수 있었으며 연소실험에서도 액막연소를 통해 확인할 수 있었다.

3) 연장 점화플러그를 사용한 경우는 일반점화플러그를 장착한 경우에 비해 연소가 원활하게 이루어졌으며 연소 속도도 상당히 빨랐다. 그리고 분사시기가 빠를수록 연소가 잘 이루어 졌으

며 점화시기가 빠를수록 연소기간이 길었다. 그리고 유동이 있는 경우에도 여전히 연료액적의 연소가 관찰되었으나 피스톤 캐비티에서의 액막 연소가 상당히 줄어들었고 전 연소기간도 단축되어 유동이 연소개선에 도움이 되었음을 알 수 있었다.

4) 가솔린을 이용한 분사 및 연소실험에서 분사조건에 따른 연소특성결과가 상당부분 일치하였으나 연료의 기상 및 액상에 대한 보다 정확한 정보를 얻기 위해 슈리렌법이나 레이저 유도 형광법을 적용할 필요성이 있는 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- 1.R. H. Stanglmaier, M. J. Hall, and R. D. Matthews, "Fuel-Spray/ Charge-Motion Interaction within the Cylinder of a Direct-Injected, 4-Valve, SI Engine", SAE Technical Paper, No. 980155, 1998.
- 2.Jackson, N. S., Stokes, J., and Lake, T. H., "Stratified and Homogeneous Charge Operation for the Direct Injection Gasoline Engine - High Power with Low Fuel Consumption and Emissions", SAE Technical Paper, No. 970543, 1997.
- 3.G. K. Fraid, W. F. Piock, and M. Wirth, "Gasoline Direct Injection : Actual Trends and Future Strategies for Injection and Combustion Systems", SAE Technical Paper, No. 960465, 1996.
- 4.Y. Iwamoto, K. Noma, O. Nakayama, T. Yamauchi, and H. Ando, "Development of Gasoline Direct Injection Engine", SAE Technical Paper, No. 970541, 1997.
- 5.F. Q. Zhao, M. C. Lai, and D. L. Harrington, "A Review of Mixture Preparation and Combustion Control Strategies for Spark-Ignited Directed - Injection Gasoline Engines", SAE Technical Paper, No. 970627, 1997.
- 6.C. Preussner, et al. "GDI : Interaction Between Mixture Preparaton, Combustion System and Injector Performance", SAE Technical Paper, No. 980498, 1998.
- 7.M. Kano, K. Saito and M. Basaki, "Analysis of Mixture Formation of Direct Injection Gasoline Engine", SAE Technical Paper, No. 980157, 1998.1. Author, "title", Publishing, Pages, Date.