

글로우플러그를 이용한 총돌분무의 미립화특성에 관한 연구

A Study on Atomization Characteristics of Gasoline Impinging Spray Using Glow plug

문영호*, 오영택**
Young-ho Moon, Young-taig Oh

ABSTRACT

It is reported that during the cold starting, especially in gasoline engine, the engine response and the effect of HC emission can be improved by prompting atomization and reducing the quantity of fuel adhered to the range of injector tip, inlet port, and inlet valve.

The purposes of this study are to promote atomization of fuel before air-fuel mixture in the inlet port. In order to achieve its goal, the glow plug is to evaluate the feasibility of for the early fuel evaporator and the spray behavior characteristics of gasoline, injected on the surface of glow plug with room temperature(20°C) and high temperature(250°C) is to examine. Particle motion analysis system(PMAS) was used to measure the SMD and the dropsize distribution of impinging spray and free spray.

The results of this experiment, evaporation rate of impinging spray was higher than that of free spray, and the higher evaporation rate was, the smaller peak dropsize was. Especially, during early spray SMD of impinging spray was still smaller than that of free spray.

주요기술용어 : Pintle type injector(핀틀형인젝터), Sauter mean diameter(SMD : sauter 평균직경), Drop size distribution(액적크기분포), Particle motion analysis system(PMAS : 입자운동분석장치)

1. 서론

차량 배기시험 모드로 운전한 경우 가솔린 기관에서 배출되는 유해성분 중의 하나인 UHC는 주로 엔진 시동 초기 90~120초 사이의 난기(warm-up)운전 기간에 약 80%가 배출된다고 보고하고 있다.^{1,2)} 이것은 냉시동 및 난기 기간에 엔진이 차가운 상태에서 불완전 연소를 하

거나 배기가스 후처리장치인 삼원촉매장치가 작동온도에 이르지 못하기 때문이다. 그러므로 이 기간 중에는 엔진에서 배출되는 HC를 직접 저감하는 것이 매우 중요하며, 이 과정에서 혼합기 형성과정의 이해와 개선이 요구된다.^{3,4)}

특히 가솔린 기관에서는 인젝터 선단부, 흡기포트 및 흡기밸브에 부착되는 연료량을 감소시키고, 미립화를 촉진시키면 냉시동시 기관 응답성과 HC 배출성능이 향상된다고 보고하고 있다.⁵⁻⁸⁾

그러므로, 본 연구에서는 흡기포트와 연소실

* 회원, 전북대학교 대학원

** 회원, 전북대학교 기계공학과
자동차 신기술 연구소

에서 혼합기 형성 전에 연료의 미립화를 촉진시켜 연소효율을 개선시킴으로써 배기 배출물을 근본적으로 저감시키기 위한 것이 목적이다. 이를 위해 Fig. 1과 같이 대기온도, 대기압 상태에서 전류를 통전시킨 고온의 글로우 플러그 표면에 연료를 분사시켜 열교환으로 인한 가열된 연료의 미립화 촉진을 시도하였다. 미립화 정도를 파악하기 위해 광학적 계측장치인 PMAS를 사용하여 평균역적 크기를 측정하였고, 측정 위치 및 측정 시간에 따른 액적분포에 대한 분석을 실시하였다.

2. 실험 장치 및 방법

2.1 기화율 측정

Fig. 1은 핀틀형 인젝터로부터 분사된 연료를 글로우 플러그에 충돌시켰을 때 기화특성을 분석하기 위한 실험장치의 개략도이다.

연료는 연료펌프에 의하여 공급되며, 연료관 한쪽 단에 설치된 압력조절기에 의해 250kPa의 일정한 분사압력이 유지되도록 하였다. 글로우 플러그에 충돌되어 기화된 연료가 액화되는 것

을 방지하기 위해 잔유량 변화에 영향을 주지 않는 위치에 12V, 0.157A용 펜을 인젝터 상부에 유도막과 함께 설치하였고, 1/100g까지 측정할 수 있는 전자저울을 사용하여 잔유량을 계측하였다.

분무 실험장치에서의 분사시기는 실제 승용차의 분사기간 t_d 가 2.5~10ms임을 고려하고 냉시동 초기 분사기간을 고려하여 인젝터의 분사기간 t_d 를 5ms로 하고, 분사간격 t_p 는 500ms로 하여 총 240초(480회)동안 분사한 양을 5회 반복하여 최대값과 최소값을 무시한 나머지 값들의 평균을 기본 분사유량으로 하였다.

분사시기 조절은 신호 발생기(function generator)를 이용하였으며, 이때의 신호는 전압 및 전류가 낮아 인젝터가 구동되지 못하므로 증폭기를 직접 제작하여 사용하였다.

2.2 SMD 및 입경 분포 측정

Fig. 2는 글로우 플러그에 분사된 연료가 충돌과 기화에 따른 SMD 및 입경분포를 측정하기 위한 실험장치의 개략도이다.

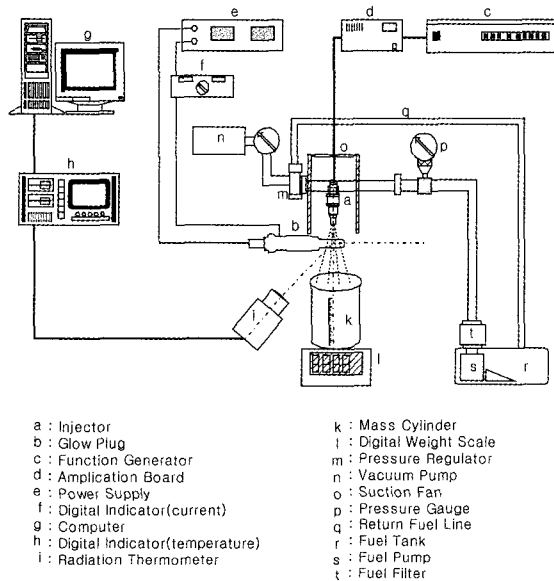


Fig. 1 Schematic diagram of fuel impinging system

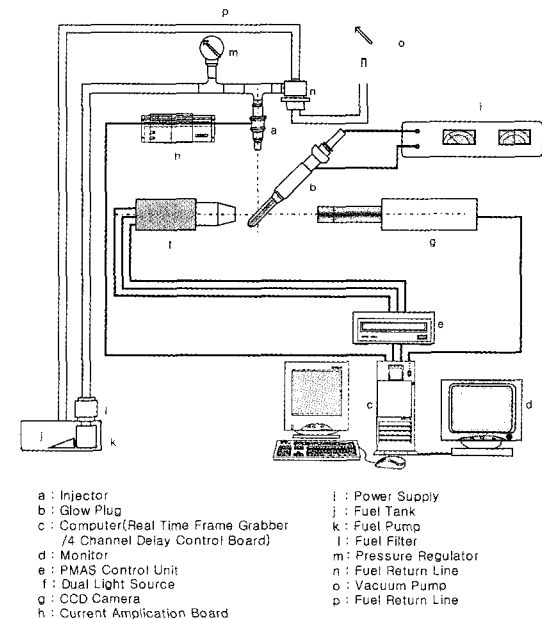


Fig. 2 Schematic diagram of drop size analysis system

액적크기 계측방법은 화상이 갖는 휘도와 농도의 정도를 디지털 양으로 양자화하여 정량적으로 처리하는 PMAS(V-tec사, MXII)를 사용하였으며, 이는 광 지속시간이 약 50ns인 이중 방전광원, CCD카메라(관찰영역 3×3mm), 렌즈, ND 필터, 화상기록을 위한 frame grabber(512×480, 30frame/s), 4-채널 제어보드, PC 등으로 구성되어 있다. 본 계측장치는 촬영된 화상으로부터 데이터를 획득하기 때문에 화상과 실제 액적과의 정확한 상관관계를 확립하고 보정하여 신뢰도를 높일 수 있는데, 조정된 확대비와 보정비는 각각 1.87과 0.4이다.

Fig. 3은 분사된 연료가 글로우 플러그에 충돌 후 미립화된 액적의 측정위치를 조건별로 나타낸 것이다. (a)는 핀틀형 인젝터로부터 분사된 연료의 자유분무 계측위치를 나타낸 것으로 실제 기관에서 인젝터와 흡입밸브의 일반적인 거리를 고려하여 측정 위치 Z=70mm를 선정하였으며, 액적이 계측되는 전 기간중에서 주 분무로 판단되는 t=9ms를 기준으로 위치를 변경시켜가면서 액적을 측정하였고, 측정 선단에서 액적이 다량 포집되는 한 점을 선정하여 시간변화에 따른 액적 분포 및 SMD를 분석하였다. (b)와 (c)는 L=10mm 떨어진 거리에 위치한 메탈형 및 세라믹형 글로우 플러그에 연료를 충돌시켰을 경우의 액적 측정 위치를 나타낸 것이다. 충돌에 의한 분무 길이는 자유분무 길이보다 현저히 줄어들어 노즐 팁으로부터 45mm 이상에서는 분무를 관찰 할 수 없었으므로, t=9ms에서 주 분무를 관찰 할 수 있는 거리 Z=40mm를 측정위치로 선정하였다.

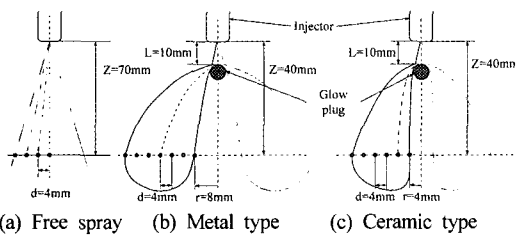


Fig. 3 Drop size measuring position

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 증발 실험

Fig. 4는 핀틀형 인젝터에서 글로우 플러그에 연료를 충돌시키지 않은 자유분무(free spray)와 글로우 플러그에 전류를 통전시키지 않은 상태에서 연료를 단순 충돌(impinging spray)시켰을 때 기화량을 제외하고 메스실린더에 고인 잔유량 변화를 충돌거리별로 나타낸 그래프이다. 기화량은 분무후 잔유량의 연료를 측정하여 분사된 총량에서 잔유량을 제외한 것으로 잔유량이 적을수록 기화량은 많은 것이다. 자유분무의 잔유량을 기준으로 충돌분무의 잔유량을 비교한 결과 충돌거리가 가까울수록 기화가 효과적이며, 메탈형보다는 세라믹형 글로우 플러그에 충돌시켰을 경우에 기화가 양호한 것으로 나타났다.

Fig. 5는 글로우 플러그에 통전 전류를 변화시켜 충돌분무 시켰을 때 충돌거리별로 기화율을 나타낸 그래프이다. (a)는 메탈형 글로우 플러그와 인젝터의 거리를 L=5mm와 10mm로 하고 글로우 플러그의 통전 전류를 변화시키면서 연료를 충돌분무 시켰을 때의 기화율에 대한 결과이다. L=5mm이고 12V, 2.5A로 통전시킨 조건에서 42%의 최대 기화율이 관찰되었다. 통전 초기에는 충돌에 의한 미립화가 이뤄지다가 약 15초 이후에는 글로우 플러그 표면온도 상승에 의한 열교환으로 기화는 활발히 이뤄지는 것으로

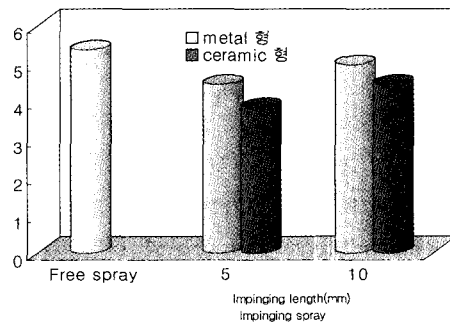
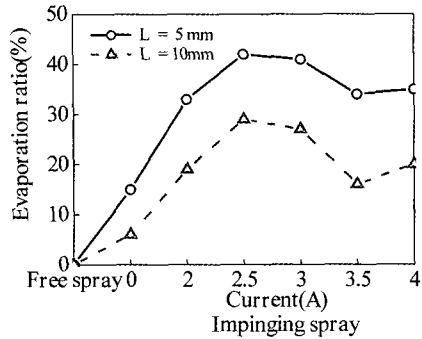
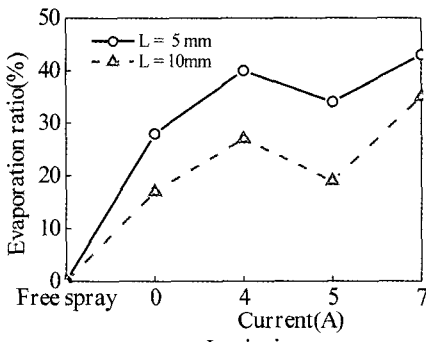


Fig. 4 Residual fuel amount of impinging spray at various distance(pintle type injector, p=250kPa)



(a) Metal type



(b) Ceramic type

Fig. 5 Evaporation ratio of spray at various current in glow plug(pintle type injector, p=250kPa, 12V)

로 보인다. 하지만 전류가 높을수록 글로우 플러그 표면온도는 약 800~1100℃ 정도로 상승하여 실제 엔진의 밀폐된 흡기포트 내부에서는 증발된 연료를 자발화 온도 이상으로 상승시켜 조기발화와 같은 이상연소가 발생할 수 있다고 판단되어 300℃ 이상의 온도조건은 본 실험에서 제외시켰다.⁸⁾ (b)는 세라믹형 글로우 플러그에 충돌 분무시킨 경우로써 메탈형과 유사한 온도를 보이는 12V, 4A의 조건에서 최대 40%의 기화율이 관찰되었으며 (a),(b) 모두 L=10mm 보다 L=5mm인 경우가 약 20%정도 기화효과가 높았다.

3.2 SMD 및 입경분포 측정

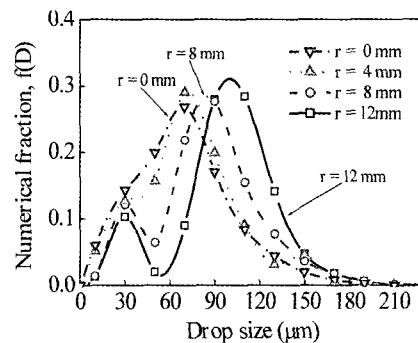
앞 실험에서 얻어진 기화율변화와 SMD 및 입경분포와의 상관관계를 규명하고자 자유분무,

상온에서의 단순충돌 및 250℃의 표면온도를 갖는 각 글로우 플러그에 연료를 충돌시켰을 경우에 얻어지는 입경분포와 SMD를 분석하였다. 실험에 사용된 인젝터는 핀틀형 인젝터이며 분사압력은 250kPa로 일정하게 유지하였고, 사용된 글로우 플러그는 메탈형 및 세라믹형이다.

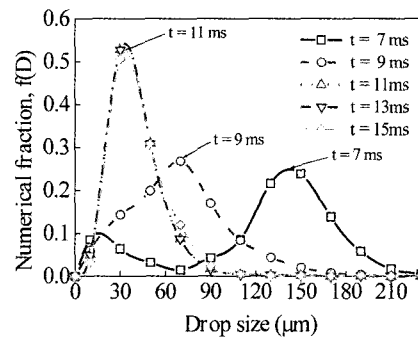
Fig. 6은 핀틀형 인젝터의 자유분무에서 측정 위치 및 시간을 변화시켜가면서 얻은 입경분포 곡선이다. 그림에서 세로축 f(D)는 입경에 대한 정규 분포로서 다음과 같이 정의된다.

$$\frac{dN}{dD} = f(D) = \frac{1}{S_n \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{(d - \bar{d}_{10})^2}{2S_n^2} \right]$$

S_n은 산술 평균값 \bar{d}_{10} 로부터 분산의 정도를 나타내며 S_n=1.0, \bar{d}_{10} =2일 때의 분포 곡선으로 입경 d의 전구간에 걸쳐 적분하면 그 값은 1이 된다. (a)는 Fig. 3에서와 같이 인젝터 선단으로



(a) As to radial direction(t=9ms)



(b) As to time (r=0mm)

Fig. 6 Drop size distribution of the free spray (p=250 kPa, L=70mm)

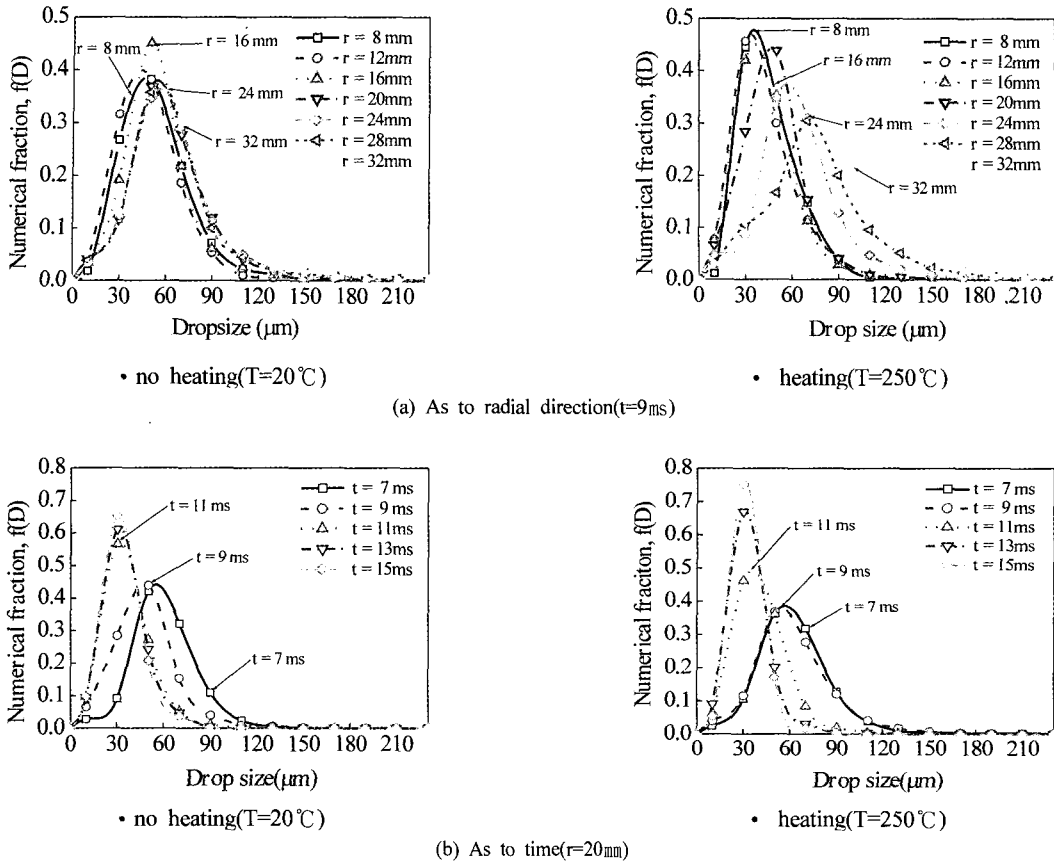


Fig. 7 Drop size distribution($p=250\text{kPa}$, $L=0\text{mm}$, $Z=40\text{mm}$, metal type glow plug)

부터 $Z=70\text{mm}$, 측정시간 $t=9\text{ms}$, 반경 $r=0, 4, 8, 12\text{mm}$ 에서 측정한 결과로, 분무 중심($r=0, 4\text{mm}$)에서는 작은 액적과 중간 액적이 주가 되지만 반경 방향($r=8, 12\text{mm}$)으로 갈수록 큰 액적이 중심이 되어 입경분포 곡선이 2중으로 나타나는 bi-mode 분포 특성을 갖는다. 이는 초기에 분무 중심의 주류가 교란 및 분열에 의해 미세 입경의 연료가 되는 것과는 달리 분무 중심에서 반경 방향으로 멀어질수록 연료의 관성 및 외부 공기의 저항으로 미처 분열되지 못해 큰 입경의 연료로 남게 되어 bi-mode 형태를 나타내는 것으로 분석된다. (b)는 반경 $r=0\text{mm}$ 인 지점에서 $t=7, 9, 11, 13, 15\text{ms}$ 에 따른 입경분포로 주 분무 측정 시간이 $t=9\text{ms}$ 를 중심으로 2ms 의 간격을 두어 측정한 결과이다. 액적이 관찰되기 시

작하는 약 $t=7\text{ms}$ 는 분무 초기의 큰 액적이 증가 되어 피크의 입경이 크게 나타나고, $t=11\text{ms}$ 이후에는 시간변화에 따른 입경분포 변화가 거의 일정하며, 작은 액적이 주가 되어 $35\mu\text{m}$ 에서 피크를 갖는다.

Fig. 7은 메탈형 글로우 플러그에 연료를 충돌시켜 각 분무입경에 대한 빈도수를 나타낸 것으로 (a)는 측정시간 $t=9\text{ms}$ 로 일정하게 유지하고 측정위치 변화에 따른 상온면과 고온면에 대한 충돌의 평균입경분포를 비교한 것이다. 상온면 충돌에 비하여 고온면에 대한 충돌의 경우 최대 피크값을 나타내는 입경이 분무 중심을 향할수록 작아지며 피크값도 커지는데, 외측으로 갈수록 피크입경은 단순충돌보다 커지고 분포 곡선도 완만해진다. 이것은 글로우

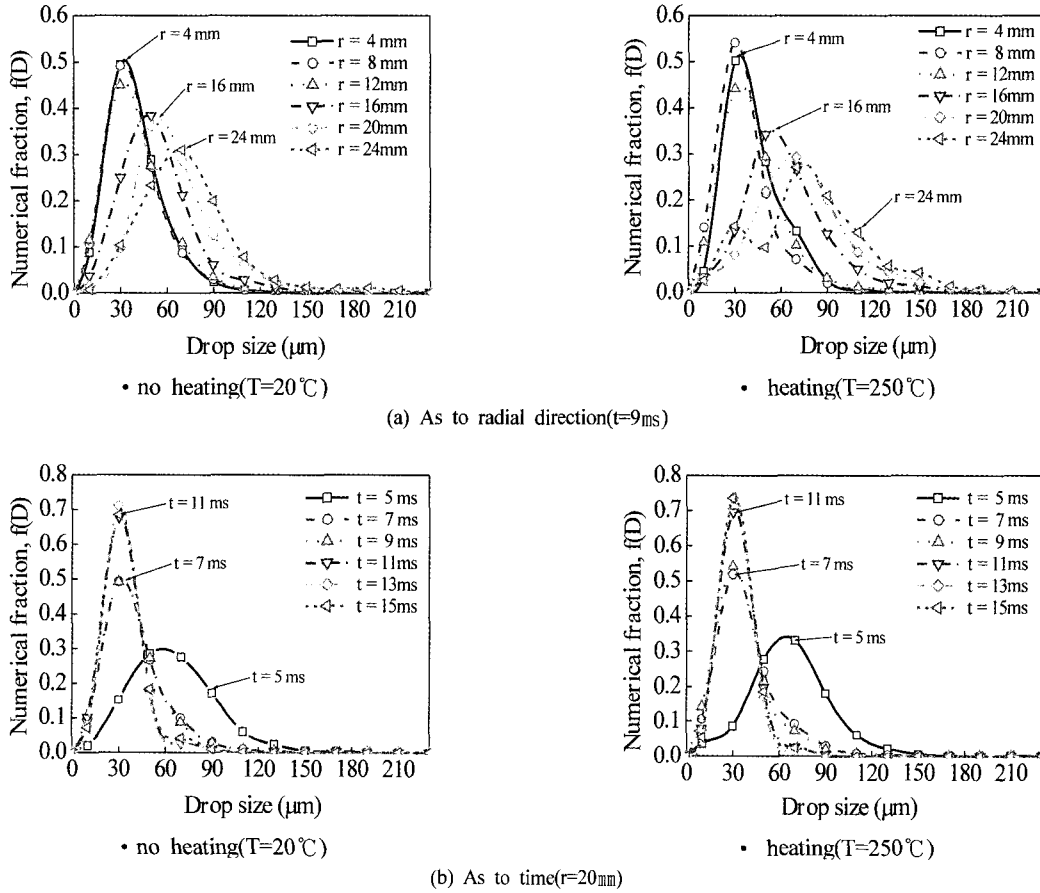


Fig. 8 Drop size distribution($p=250\text{kPa}$, $L=10\text{mm}$, $Z=40\text{mm}$, ceramic type glow plug)

플러그 고온면에 연료가 증돌되면서 글로우 플러그 표면에 증기막이 형성됨으로써 더이상 표면과 열교환을 일으키지 못하고 외측으로 비산되기 때문으로 생각된다. (b)는 $r=20\text{mm}$ 인 위치에서 시간변화에 따른 입경분포를 비교한 그래프이다. 고온면에 대한 증돌분무가 단순증돌에 비하여 최대 피크값을 나타내는 입경은 시간이 경과될수록 작아짐을 알 수 있다.

Fig. 8은 세라믹형 글로우 플러그에 대한 증돌분무의 측정위치 및 시간변화에 따른 입경분포를 나타낸 그래프이다. (a)는 글로우 플러그 고온면에 연료를 증돌분무 시킨 경우 입경분포가 분무 중심을 향할수록 피크값의 입경이 작아지나 외측으로 갈수록 피크값의 입경이 단순증돌

의 피크값의 입경에 비해 크게 나타났다. 이는 앞선 Fig. 7과 같이 고온면의 연료증기막 형성이 연료미립화에 장애를 일으키기 때문인 것으로 분석된다. (b)는 시간변화에 따른 입경분포로 메탈형에 대한 동일 조건 보다 미립화가 촉진되어 $t=9\text{ms}$ 이후에는 직경 $35\mu\text{m}$ 정도의 피크값을 갖는 입경분포곡선을 지속적으로 유지함을 확인하였다.

Fig. 9은 Fig. 7과 Fig. 8의 각 조건을 분석하여 SMD 변화를 나타낸 그래프이다. (a)는 증돌 거리에 따른 SMD 변화를 나타낸 것으로 전반적으로 분무중심에서 거리가 멀수록 SMD는 현저히 커짐을 알 수 있었다. 고온면에 대한 증돌분무의 SMD 경우 일정 반경 안에서는 작지만

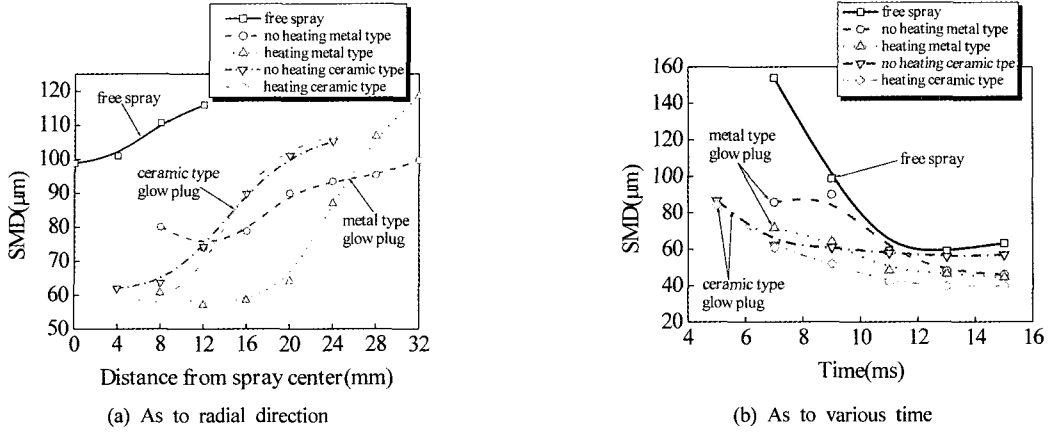


Fig. 9 SMD distribution(p=250kPa)

일정 반경 이상에서는 오히려 SMD가 크게 나타나 역전되는 경향을 보였다. 이는 고온의 플러그에 분사된 연료가 충돌 즉시 얇은 증기막을 형성시켜 연료가 고온의 글로우 플러그 표면과 충분한 열교환이 이루어지지 않은 상태로 큰 액적이 외부로 비산되기 때문이다. 또한 세라믹형이 메탈형에 비해 SMD 편차가 작게 나타났으며 SMD는 충돌 분무가 자유분무에 비해 현저히 작게 나타났다. 세라믹형에 대한 충돌 분무의 입경 분포가 메탈형에 비해 외측으로 갈수록 더 높게 나타나는 것은 세라믹형 글로우 플러그 직경이 메탈형 보다 작아 분무전 연료가 충돌에 의해 충분히 미립화 되지 못하기

때문인 것으로 분석된다. (b)는 시간 변화에 따른 SMD 분석결과이다. SMD는 글로우 플러그 고온면에 대한 충돌이 단순충돌에 비하여 분무 초기에는 작게 나타나지만 시간이 경과함에 따라 그 값의 차이가 작아지는 경향을 볼 수 있었다.

Fig. 10은 자유 분무와 충돌분무의 분무발달 과정을 보여주는 그림이다. 자유분무보다는 충돌분무의 경우 미립화가 향상됨을 가시적으로 확인할 수 있으며, 단순 충돌분무보다는 고온면에 대한 충돌분무의 경우에 미립화가 양호하게 나타났다.

| | | | | | | | | | |
|--|-------|-----|-------|------|--------------------------------|-----|------|------|------|
| pintle type injector free spray (p=250kPa) | | | | | | | | | |
| | 1.8ms | 2ms | 2.4ms | 4ms | 6ms | 8ms | 10ms | 14ms | 20ms |
| metal type glowplug (T=20°C) | | | | | ceramic type glowplug (T=20°C) | | | | |
| | 2ms | 8ms | 14ms | 20ms | | 2ms | 8ms | 14ms | 20ms |
| metal type glowplug (T=250°C) | | | | | metal type glowplug (T=250°C) | | | | |
| | 2ms | 8ms | 14ms | 20ms | | 2ms | 8ms | 14ms | 20ms |

Fig. 10 Spray formation in the various condition(p=250kPa)

4. 결론

가솔린 기관의 연료조기증발장치로서 글로우 플러그를 적용하기 위해 전류를 통전시킨 글로우 플러그에 가솔린 연료를 충돌분무 시키고, 이로 인하여 미립화된 연료에 대하여 SMD를 측정하고 입경분포를 분석한 연구결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 분사시간 $t_f=5ms$, 분사간격 $t_p=500ms$ 의 실험조건에서 글로우 플러그에 충돌분사 시켰을 경우에 충돌 거리가 10mm보다 5mm일 경우에 더 높은 기화율을 나타내었으며, 12V의 일정전압에서 메탈형은 2.5A일 때 최대 42%, 세라믹형은 4A일 때 최대 40%의 기화율을 보였다.

2) 인젝터로부터 분사된 연료의 자유분무 및 충돌분무의 측정 위치별 입경분포를 분석한 결과 분무 중심에서 외측부로 갈수록 최대 피크값을 나타내는 입경은 커지면서 피크값이 작아지고, 단순 충돌 및 고온면에 대한 충돌분무에서 bi-mode형태의 분포곡선이 나타났다.

3) 측정위치 변화에 따른 SMD는 충돌분무의 경우가 자유분무의 경우보다 현저히 작으며, 충돌분무에서 글로우 플러그의 종류에 따라 고온면에 대한 충돌분무의 SMD가 단순충돌분무의 SMD에 비하여 작으나 일정거리 이상에서는 더 크게 나타났다.

4) 시간변화에 따른 SMD변화에서 분무초기에 충돌분무의 SMD는 자유분무의 SMD보다 작은값을 가지며 약 $t=11ms$ 이후에는 조건별로 일정한 SMD를 유지하였다.

5) 충돌 분무는 자유 분무보다 기화율이 높으며 기화율이 높을수록 피크값의 입경은 작아지며, 특히 분무 초기 SMD가 자유분무에 비하

여 현저히 작게 나타났다.

이와 같은 결과를 토대로 향후 글로우 플러그를 MPI 엔진의 큰 개조 없이 쉽게 장착할 수 있도록 설계하여 배기가스 배출 및 기관특성을 실험하고자 한다.

참고 문헌

- 1) M. E. Crame et al., "Reduce Cold-start emission Using Rapid Exhaust Port Oxidation (REPO) in a Spark-ignition Engine", SAE 970264, 1997.
- 2) G. S. Son, D. J. Kim et al., "A Study on the Practicability of a Secondary Air Injection for Emission Reduction", SAE 1999-01-1540, 1996.
- 3) Y. Takehisa and Y. Kouji, "New Technologys for Reducing the Power Consumption of Electrically Heated Catalyst", SAE, 940464, 1994.
- 4) N. Kimiyoshi et al., "Technologys for Reducing Cold-start Emissions of V6 ULEVS", SAE 971022, 1997.
- 5) J. Yang, E. W. Kaiser et al., "Effect of Port-Injection Timing and Fuel Droplet Size on Total and Seciated Exhaust Hydrocarbon Emission", SAE 930711, 1993.
- 6) N. Toshihara, O. Yoshishiga et al., "Effects of Misture Formation of Fuel Injection Systems in Gasoline Engine", SAE 870215, 1987.
- 7) 오영택, 문영호, 김준수, "연료조기증발장치를 이용한 가솔린기관의 배기가스 저감 및 시동성능 개선에 관한 연구", 자동차공학회논문집 제7권 제2호, pp.59-71, 1999.
- 8) 김진구, 문영호, 오영택, "Glow-Plug를 이용한 가솔린 연료의 조기 증발특성 실험", 한국자동차공학회논문집, 제9권 제2호, pp.1-10, 2000.