

Glow-Plug를 이용한 가솔린 연료의 조기증발 특성 실험 연구

The Experimental Study of Early Fuel Evaporation Characteristics in Gasoline Engine Using Glow-Plug

문영호*, 김진구*, 오영택**
Young-ho Moon, Jin-goo Kim, Young-taig Oh

ABSTRACT

In order to reduce hydrocarbon emissions of spark ignition engine, it is important not only to improve catalyst conversion efficiency but also to reduce direct engine out hydrocarbon emissions, during cold starting and warm up process. Therefore many researchers have been attracted to develop an early fuel evaporator (EFE) by introducing a ceramic heater for a solution of engine out hydrocarbon emissions in SI engine. But, the performance of the EFE in MPI engine to reduce the exhaust emissions and to improve the cold startability has not been clarified yet. The purpose of this study is to evaluate the feasibility of a glow plug for EFE.

주요기술용어 : Hydrocarbon emissions(탄화수소 배출물), Cold starting(냉시동), Warm up process(난기 과정), Evaporation(기화), Glow plug(글로우 플러그), Early fuel evaporator(연료조기증발장치), Cold startability(냉시동성), MPI(다점 분사식)

1. 서론

최근 자동차 기술의 발달과 더불어 선진국을

중심으로 환경에 대한 관심이 더해지고 있는 가운데, 자동차 엔진으로부터 배출되는 배기가스 규제는 향후에도 계속하여 강화하려는 계획들이 진행되고 있다.

가솔린 기관에서 유해 배기가스 중의 하나가 UHC이며, 이는 FTP-75주행모드의 경우 주로 엔진 시동 초기 90~120초 사이의 난기(warm-up) 운전 기간에 80%가 배출된다고 보고하고 있다.^{1,2)}

* 회원, 전북대학교 대학원

** 회원, 전북대학교 기계공학과
자동차 신기술 연구소

이는 냉시동 및 난기 기간에는 엔진이 차가운 상태이고 삼원촉매장치의 담체(monolith)가 작동온도(light-off temperature : LOT)에 이르지 못하는 문제 때문이다. 그러므로 이 기간 중에 엔진에서 배출되는 HC를 직접 저감하는 것이 매우 중요하며, 특히 이 과정에서의 혼합기 형성과정의 이해와 개선이 요구된다.^{3,4)}

가솔린 엔진 차량에서 이에 대응하기 위한 배기가스 저감방식으로는 크게 엔진 자체에서 배출되는 배기가스를 저감하는 방식과 전자제어에 의한 과도운전시의 공연비 제어기술 및 후처리방식으로 촉매제의 조기 가열을 위해 CCC(closed coupled catalyst), EHC(electric heated catalyst), AIS(air injection system)등과 같은 기술이 개발되었다.^{5,6,7)}

MPI가솔린 기관에서는 연료 분사시 흡기포트 및 밸브에 부착되는 연료량을 감소시키고, 미립화를 촉진시키면 기관 응답성능과 냉시동시 HC 배출 성능이 향상된다고 보고하고 있다.⁸⁾

따라서, 냉시동 및 난기기간의 배기가스 저감을 위해서는 연료가 점화하는 순간에 가스 상태로 공급되어야 한다. 이 가스화된 연료량은 혼합기의 점화성과 점화지연에 민감하게 영향을 미치며 결과적으로 연소성능에 커다란 영향을 준다.

그러나 전자제어 연료 분사장치는 적절한 양을 정밀하게 제어하여 공급할 수 있으나 연료의 분사압력이 낮아 분사된 연료의 평균 입경이 크기 때문에 냉시동 초기에는 입경이 큰 연료 액적이 가스 상태가 되지 못하고 흡기포트, 밸브 및 연소실등의 벽면에 부딪혀 액막 상태가 되어 연소 효율을 저하시켜 유해 가스량이 증대되는 문제점이 있다.^{9,10)}

이 같은 문제점을 해결하기 위해 최근에는 연료 공급방식은 전자제어 방식을 사용하면서 2유체 연료공급장치¹¹⁾ 및 초음파 연료 공급장치²⁾의 개발을 시도하고 있으나 실용화를 위해서는 아직도 장시간의 개발기간이 필요하다.

따라서, 최근에 개발하려는 새로운 방식의 연료 공급장치는 전자제어식 연료 분사장치의 장점

을 살리면서 이 장치의 단점을 적절히 보완하는 방식이 시도되고 있다.

이와같은 개념으로 미국의 TLEV와 ULEV에 대응할 수 있는 기술로 PTC (PTCR : positive temperature coefficient of resistive)소자로 만든 세라믹 히터장치를 이용하여 연료를 조기 증발시켜 엔진에서 배출되는 배기가스 저감과 동시에 배기 점화촉매제의 조기가열을 실현한바 있다.¹³⁾

본 연구는 가솔린 기관의 난기기간동안 연료의 기화특성을 향상시키기 위하여 현재 디젤기관에 사용되는 글로우 플러그(glow plug)를 이용하여 연료·공기의 혼합기 형성전에 연료를 조기 증발시켜 냉시동 직후에 다량 배출되는 유해 배기가스량의 저감을 시도 한 것이다. 이 방법은 TWC(three-way catalyst)가 정상적인 작동온도에 도달되지 않은 시동초기에 글로우 플러그의 고온표면에 연료를 직접 분사 충돌시켜 연료의 기화를 촉진시킴으로써 실린더내의 연료 분무특성 향상에 따른 유해 배기가스량의 저감뿐만 아니라 시동성 향상을 시도하고자 한 것이다.

이 목적을 달성하기 위해 본 연구는 글로우 플러그에 공급되는 전압과 전류의 변화에 따른 글로우 플러그의 온도 특성을 파악하고, 이 고온의 표면에 연료를 분사시켜 충돌로 인한 분무특성 및 기화율을 분석하여 MPI식 가솔린 기관에서 연료 조기증발 장치로 사용하기 위한 기초 실험이다.

2. 실험 장치 및 방법

2.1 글로우 플러그 온도 특성 실험 장치 및 방법

디젤 기관에서 사용되는 글로우 플러그는 크게 메탈형(metal type)과 세라믹형(ceramic type)이 사용된다. Fig.1은 메탈형과 세라믹형 글로우 플러그의 외관을 내타낸 것이다.

메탈형의 발열부는 $\phi 4.5\text{mm}$ 에 길이는 22mm 이고, 세라믹형은 $\phi 3.5\text{mm}$ 에 길이는 9mm로 기

본 작동 전압은 12V이다. 가솔린 기관에서 연료 조기증발 장치로 글로우 플러그를 이용할 수 있는 가능성을 판단하게 위해 우선 각 타입별 온도 특성을 측정하였다.

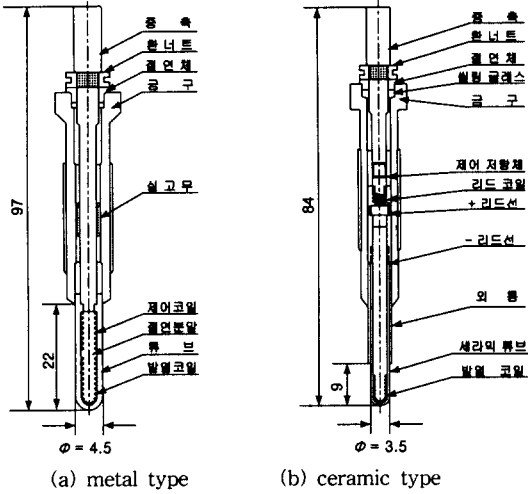


Fig. 1 Details of glow plug

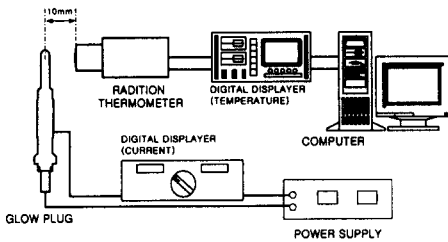


Fig. 2 Schematic diagram of experimental apparatus

Fig. 2는 글로우 플러그의 온도 측정을 위한 실험장치의 개략도이다. 통상 승용차용 가솔린 기관에 사용되는 배터리 용량은 12.6V에 45~60Ah이고 일반적인 전기부하는 10A정도의 전류가 흐른다. 그러므로, 글로우 플러그 전원으로는 전압 및 전류를 각각 1~30V, 1~30A까지 조절할 수 있는 전원공급기(power-supply : migh-tec DR-3030A)를 이용 하였다.

온도측정은 비접촉 적외선 온도계(CHINO : IR-AL8TB2, IR-AHS)를 사용하였으며, 이는 비접촉 적외선 온도계는 측정범위가 저온영역인

-50~1000℃와 고온영역인 600~3000℃를 측정할 수 있도록 나누어져 있다. 실험에서는 측정할 온도를 서로 연결할 수 있는 전용프로그램을 통해 PC에 실시간 데이터로 저장되도록 하였고, 측정시 데이터의 신뢰성을 높이기 위해 K형 열전대로 온도를 보정 하였다. 측정시 열전대로 비접촉 방사율을 선택하여 온도를 보정한 후 시간에 따라 온도를 측정하였다.

2.2 글로우 플러그의 분무 실험 및 방법

연료조기증발장치로서 글로우 플러그의 적용 가능성을 알아보기 위하여 1500cc 승용차용 MP I기관의 인젝터(injector), 흡기포트와 밸브 주위의 상황을 상세히 검토하였다.

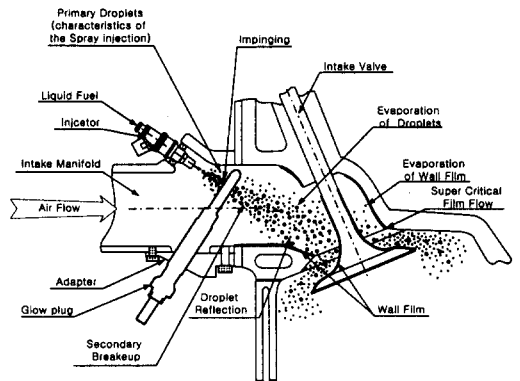


Fig. 3 Attached position of glow plug

Fig. 3은 가솔린 기관의 흡기포트 및 글로우 플러그의 부착위치를 나타낸 그림이다.

검토 결과 인젝터와 밸브 사이에 글로우 플러그를 위치시킬 수 있으며, 그 위치로 인젝터와 글로우 플러그 사이의 거리는 5~10mm 정도로 판단된다.

이곳에 글로우 플러그가 위치할 때 분무특성을 파악하기 위해 인젝터는 핀틀형과 2홀형(HMC)을 사용하였으며, 인젝터와 글로우 플러그 각 형태별 표면온도와 충돌거리에 따른 연료의 기화현상을 파악하기로 하였다.

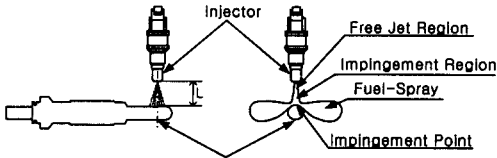


Fig. 3 Impinging phenomenon of fuel spray on the glow plug

Fig3은 분사된 연료가 글로우 플러그에 충돌되는 그림을 나타낸 것이다. 충돌각은 글로우 플러그의 충돌면이 각 형태별로 $\phi 3.5\text{mm}$ 와 $\phi 4.5\text{mm}$ 의 원형으로 기화의 극대화를 위해 수직으로 충돌시켰다. 흡기 포트에 분사된 연료는 분사 후 분열(break-up)·충돌(impingement)·기화(vaporization)와 같은 복잡한 과정을 거치는데, 이와 같은 현상을 가시화(visualization)하여 보다 정밀한 데이터를 얻기 위해 주위가 어두운 상태에서 분무 주위를 집중으로 조명하여 캠코더(sony CCD T-RV30)로 촬영하였고, PC에서 비디오 캡처(video capture)를 통해 재현한 다음 편집 처리하여 출력하였다. 기화율은 기화된 양을 직접 측정할 수 없으므로 기화되지 못하고 글로우 플러그 밑에 포집된 액체량을 전자저울로 측정하여 전체 분사량에서 포집된 양을 제외시키는 방법을 이용하였다.

또한 충돌시 기화된 연료가 다시 액화 되는 것을 방지하기 위해 12V, 0.157A용 펜을 인젝터 상부에 유도막과 함께 설치하였다. 연료의 잔류량은 1/100 g 까지 측정할 수 있는 전자저울을 사용하였다.

Fig. 4는 분무 실험장치에서의 인젝터의 구동 펄스에 대한 그림이다. 분사시기는 실제 승용차에서 구동 펄스 t_i 가 2.5~10ms임을 고려하여 인젝터의 솔레노이드 구동펄스 t_i 를 5ms로 하고, 펄스 주기 t_p 는 500ms로 하여 총 240초(480회)동안 분사한 양을 5회 반복하여 최대값과 최소값을 무시한 나머지 값들의 평균을 기본 유량으로 하였다.

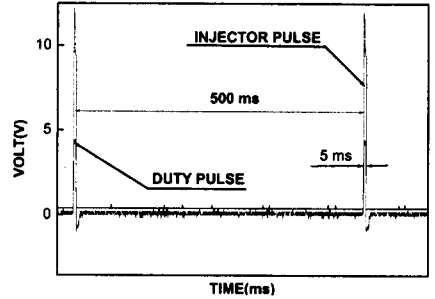


Fig. 4 Injection pulse of fuel spray system

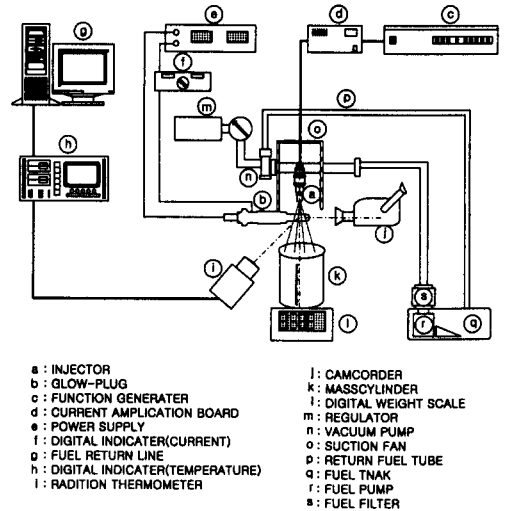


Fig. 5 Schematic of the experimental setup

Fig. 5는 MPI식 가솔린 기관 분사장치의 인젝터로부터 글로우 플러그에 충돌 분무시 기화특성을 가시화 하기 위한 실험장치의 개략도이다. 연료는 연료펌프에 의하여 연료탱크로부터 파이프를 통하여 분사밸브로 보내어지는데, 이때 파이프의 한쪽단에 압력 조절기를 설치하였다. 이 압력 조절기에 진공압력계를 이용하여 항상 일정한 압력(250kPa)이 유지되도록 하고 초과 공급한 연료는 연료탱크로 되돌아가도록 하였다.

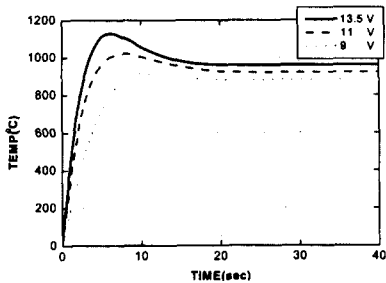
분사시기 조절은 신호 발생기(function generator)를 이용하였으며, 이때의 신호는 전압 및 전

류가 낮아 인젝터가 구동되지 못하므로 증폭기를 직접 제작하여 사용하였다.

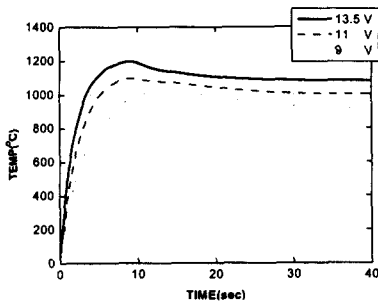
3. 실험 결과 및 고찰

3.1 글로우 플러그 온도 특성 실험

Fig.6의 (a),(b)는 메탈형과 세라믹형 글로우 플러그의 경우 일정 전류상태에서 전압을 변경시켰을 때의 통전시간에 따른 온도변화를 나타낸 그래프이다. 온도는 전압 및 전류량에 따라 변화하므로 글로우 플러그의 온도 특성을 파악하여 실험 조건을 결정하기 위하여 9V, 11V, 13.5V의 전압에 전류를 20A로 고정시켜 통전한 경우 통전시간에 따른 온도 변화를 측정하였다. 두 종류 모두 초기 20초까지는 900~1100℃까지 급격히 변화하다가 이후 800~1000℃정도에서 각 전압 별로 일정한 온도를 유지하였다.

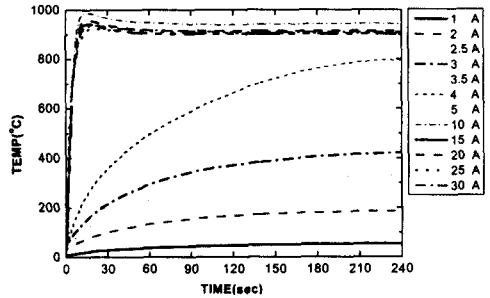


(a) metal type

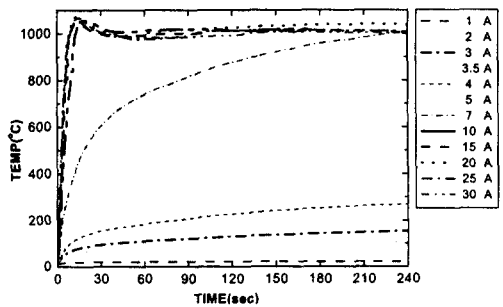


(b) ceramic type

Fig. 6 Temperature characteristic according to the types of glow plug(9V, 11V, 13.5V, 20A)



(a) metal type



(b) ceramic type

Fig. 7 Temperature characteristic according to the types of glow plug(12V, 1A~30A)

Fig. 7의 (a), (b)는 메탈형과 세라믹형 글로우 플러그의 경우 일정 전압상태에서 전류를 변화시켰을 때의 통전시간에 따른 온도변화 곡선이다.

(a)는 전압을 12V로 고정하고 전류값을 다양하게 변화시켰을 경우로, 전류값이 2A에서 4A까지는 온도가 완만하게 상승하였고 240초 이후에는 일정 온도를 유지하는 경향을 보였다. 특히 2~3A까지는 200℃~400℃사이의 온도값을 유지하였으며 통전 30초경에는 100℃~200℃의 온도를 유지하였다. 3.5A~4A의 경우는 시간에 따른 온도상승속이 증가하였으며 240초 이후에는 700℃~800℃까지 상승하였다. 10~30A의 경우 비슷한 온도 경향으로 처음 3초 이내에는 800℃이상 급속히 상승하다가 1000℃부근에서 온도가 떨어지기 시작하여 60초 이후에는 900℃ 부근의 안정된 온도값을 나타내었다.

(b)는 메탈형과 동일한 실험조건에서 세라믹형 글로우플러그의 경우 전류를 변화시켜 가며 온도 특성을 측정된 것으로, 적정 전류값은 7.7A인 것으로 나타났다. 특히 5A 이하에서는 온도의 응답성이 완만하게 나타났으며, 메탈형 2.5A의 경우와 세라믹형의 4A가 동일한 경향의 값을 보였다. 10A 이상의 경우는 1000℃의 일정 온도를 지속적으로 유지하였다. 또한 각 형태별로 공통적으로 600℃ 부근에서 적열 현상이 나타났다.

이상의 글로우 플러그에 대한 기초 온도 특성 실험에서 가솔린 연료의 이상적인 증발 조건은 100℃~300℃로 자발화 이하의 조건이 가장 양호할 것으로 판단하였으며, 공기 및 분사된 연료와의 열 교환으로 인하여 글로우 플러그 표면 온도가 냉각될 것을 고려하여 200℃~400℃를 최적 조건이라 판단하였다. 메탈형은 전압이 12V에서 전류가 각각 2, 2.5A일 때, 세라믹형은 전압이 12V에서 전류가 4, 5A일 경우 가장 양호한 증발율을 보일 것으로 판단하였다.

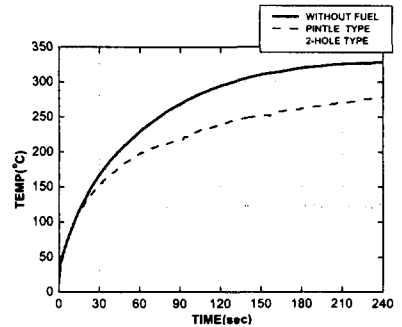
3. 2 글로우 플러그의 분무 실험

글로우 플러그의 온도특성값을 분석한 결과 실제 엔진에서 가솔린 연료가 분사될 때 글로우 플러그의 표면온도에 의해 조기발화와 같은 이상연소를 방지하고, 분사된 연료에 의한 열 교환에 따른 글로우 플러그의 냉각을 고려하여 조기 증발율의 향상이 예측되는 약 200~400℃ 범위로 한정하여 분무실험을 하였다. 또한 700℃~800℃의 경우도 고온 상태에서 증발효과를 관찰해 보기 위하여 실험을 하였다. 이는 글로우 플러그가 적열 상태가 된 경우에 증발효과를 관찰하여 적정 온도 범위라고 판단되는 온도 영역에서 나타나는 현상과 비교 검토하기 위한 것이다.

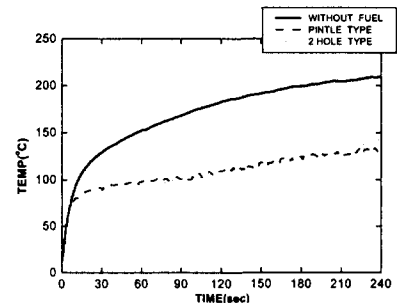
Fig. 8은 각 형태별 인젝터에서 최고 증발효과를 보인 각 글로우 플러그의 전류조건에서 글로우 플러그에 분무시켰을 때 연료에 의한 글로우 플러그의 냉각 특성을 나타낸 그래프이다. 이는 글로우 플러그의 종류에 따라 기화가 가장 양호

했던 전압12V, 전류 2.5A와 4A 경우 계속되는 연료 충돌에 의한 가열소자의 냉각특성을 파악하여 실제 엔진에 적용할 경우 흡기포트내에 장착할 글로우 플러그 온도를 예측하여 조기발화등 이상연소를 방지하기 위함이다.

(a)는 메탈형에서 전압12V에 전류가 2.5A인 경우 통전시간에 따른 온도 변화곡선이다. 실험 조건에서 30초 이후 2홀형은 60%의 냉각율을 보였고, 핀틀형은 20% 정도의 냉각율이 관찰되었는데, 2홀형은 핀틀형보다 분사량이 적은 대신 접지 면적이 넓어 기화되는 양이 많고, 그에 따라 냉각율도 높아진 것으로 분석된다. (b)는 세라믹형에서 전압12V에 전류가 4A일 경우 통전시간에 따른 온도 변화로써 핀틀형과 2홀형 모두 냉각율은 약 50%정도로 비슷하였는데, 이러한 경향은 세라믹 소자의 고유 특성으로 분석된다.



(a) metal type(12V, 2.5A, L : 5mm)



(b) ceramic type (12V, 4A, L : 5mm)

Fig. 8 Cooling characteristic according to the types of glow plug and injector

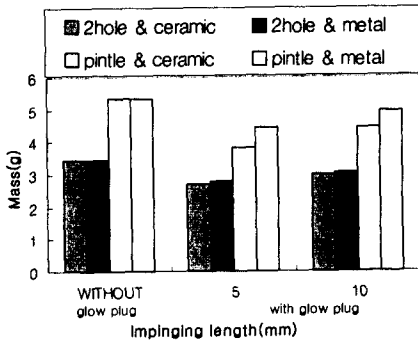
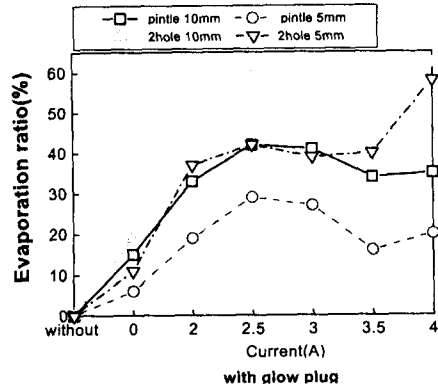


Fig. 9 Residual fuel amount of spray at various distance with and without glow plug

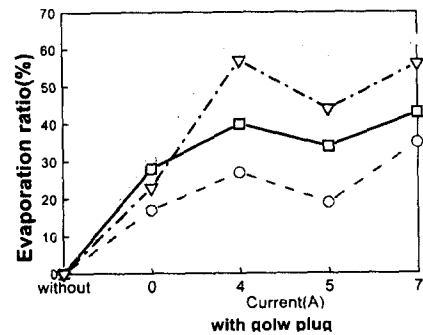
Fig. 9은 글로우 플러그에 연료를 단순히 충돌 분무시켰을 때와 그렇지 않을 경우에 잔유량의 변화를 나타낸 것이다. 240초 동안 각 타입별 인젝터로부터 분사된 연료의 기본유량과 인젝터와 글로우 플러그의 거리(Fig. 3의 L)에 따라 분사 충돌시켰을 때 잔유량을 나타낸 것이다. 가로축의 WITHOUT는 글로우 플러그에 연료를 충돌 분사시키지 않은 상태, 즉 증발율이 "0%"인 경우의 잔유량으로 기본 분사량으로 하였다. 증발율(evaporation ratio)은 이때의 기본 분사량에 대한 증발 연료량의 비율이고, 기화율은 기본 분사량에서 잔유량을 감한 것이다. 인젝터의 기본 분사량이다. 핀들형 인젝터로 L=5mm인 곳에서 메탈형 글로우 플러그에 분사시켰을 때 17%, 동일 조건에서 세라믹형은 28% 이상이 충돌로 인한 미립화가 이뤄져 대기에 기화되었다. 2홀형의 경우 동일 조건에서 메탈형은 19%, 세라믹형은 31%의 기화율을 보였다.

또한 L=10mm인 충돌 거리에서 핀들형 인젝터로 메탈형 글로우 플러그에 분사시켰을 때 7%, 세라믹형일 때 17%의 기화율이 나타났으며, 동일 조건에서 2홀형 인젝터의 경우 메탈형은 11%, 세라믹형은 23%의 기화율을 얻었다. 이와 같이 2홀형 인젝터가 핀들형 인젝터와 동일조건에서 더 많은 기화율을 나타낸 것은 분사유량이 2홀형 인젝터가 핀들형 인젝터에 비하여 64%로

서 유량대비 충돌면적이 상대적으로 넓어 기화될 확률이 높기 때문인 것으로 생각된다.



(a) metal type



(b) ceramic type

Fig. 10 Evaporation ratio of spray at various current in glow plug

Fig. 10은 글로우 플러그의 경우 전류와 충돌 거리를 변화시켰을 경우의 기화특성을 나타낸 것이다. (a)는 메탈형 글로우 플러그에 핀들형 및 2홀형 인젝터로 분사시켰을 때 기화율을 비교한 것이다. 핀들형은 실험조건 전 영역에 걸쳐 고른 기화율을 관찰할 수 있었으며, 2홀형은 적정 전압 12V, 전류 2.5A일 때 최대 59%의 기화율을 보였다. 2.5~3A 전류를 통전시켰을 때의 실험 관찰 결과 전류에 의해 온도가 상승하기 시작하고, 분사가 개시된 약 15초 이후부터 기화가 시작되어 실험종료까지 지속적으로 양호하고 고른

기화 특성을 보였다. 이는 초기 15초 이내에서는 연료가 온도에 의한 증발보다는 충돌에 의한 미립화가 이뤄지고, 일부는 글로우 플러그 표면에 액막(fuel film)을 형성시키고 이 액막의 연료가 약 15초 이후의 적정 온도영역에서 열에 의해 활발히 증발되는 과정을 볼 수 있었다. 거리에 따라서는 L= 5mm인 경우가 L=10mm에 비해 동일한 인젝터일 경우 모두 약10%정도 더높은 기화율을 보였다. 하지만 메탈형의 경우 전압이 12V이고 전류가 4A일 때 온도가 800℃ 정도로 고온이 되는데 이때는 글로우 플러그에 액막을 형성하지 못하고 충돌 즉시 연료가 폭발(explosion) 및 flash boiling 현상을 보이며 뿜겨 나가는 현상이 관찰되었는데, 이때 기화율은 적정 온도 영역과 비슷하게 나타났다. 하지만 실제 엔진에 적용할 경우 주위 분위기 온도를 상승시켜 조기 발화로와 같은 이상 연소등이 나타날 것으로 판단되었다.

(b)는 글로우 플러그가 세라믹형 일 경우 핀틀

형 및 2홀형의 잔유량을 비교한 그래프이다. 여기에서 전압이 12V이고 전류가 4A일 때 거리가 5mm인 경우 기화율이 핀틀형은 40%, 2홀형은 66%로 가장 양호하게 나타났는데, 전체적으로 (a)의 경우와 거의 비슷한 경향을 보여 주고 있다.

Fig.11의 (a)는 핀틀형과 2-홀형 인젝터의 분무형태이고, (b), (c)는 각 타입별 인젝터에서 글로우 플러그에 기화율이 가장 양호한 조건에서 충돌 분무시켰을 때 기화되는 현상을 나타낸 것이다. 초기 수초동안은 글로우 플러그 표면에 충돌하여 미세한 액상의 연료가 비산되는 현상이 나타났으며, 이어 표면의 온도가 상승함에 따라 담배연기와 같이 가솔린 연료가 기화되는 현상을 볼 수 있었다. 특히 그림에서 (b)와 (c)를 비교한결과 각 글로우 플러그의 최적 전압 및 전류 조건에서 메탈형보다는 세라믹형에 대한 분사가 충돌로 인한 분사가 작았으며 가시적으로도 메탈형의 최적 조건보다는

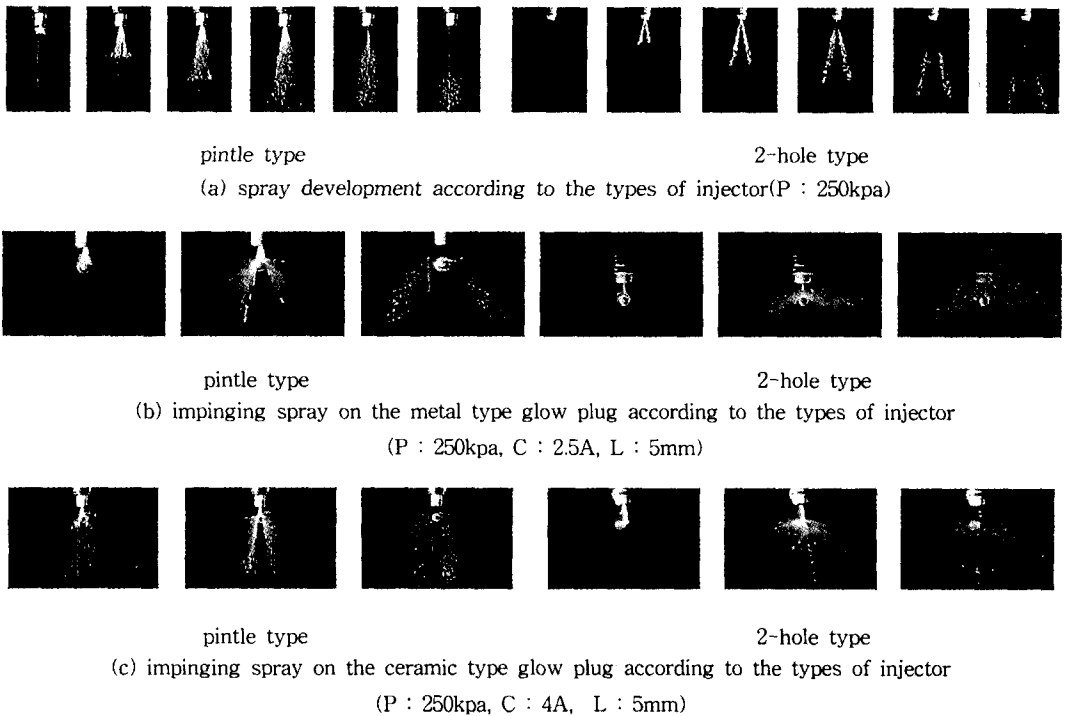


Fig. 11 Spray pattern according to the types of glow plug

세라믹형의 최적조건에서 액적이 더욱 미립화되었음을 관찰할 수 있었다.

4. 결론

가솔린 기관의 연료조기증발장치로서 적용하기 위해 글로우 플러그의 기본적인 온도 특성 실험과 고온 표면에 연료를 분사시켜 충돌로 인한 분무특성 및 기화율에 대한 기초실험 연구결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 글로우 플러그 온도특성은 전압을 12V로 일정하게 하고 전류를 변화시켰을 때 메탈형과 세라믹형 모두 10A 이상에서는 10초 이내에 온도가 급격히 상승하다가 30초 이후부터는 메탈형은 약 900°C, 세라믹형은 약 1000°C 정도에서 정온상태를 유지하였다.

2) 글로우 플러그 표면온도 및 연료 충돌 거리에 따른 기화율은 100~300°C에서 가장 양호하고, 연료 분사에 의한 히터부의 냉각이 메탈형과 세라믹형 각각의 글로우 플러그의 경우 20~60% 정도가 되므로, 실제 엔진에 적용할 경우 조기발화와 같은 이상 연소를 피할 수 있다고 판단된다.

3) 구동펄스 5ms, 펄스 주기 500ms의 실험조건에서 글로우 플러그에 전압을 12V로 일정하게 유지하여 충돌분사 시켰을 경우에 인젝터의 종류에 관계없이 충돌 거리가 10mm보다 5mm일 경우 더 높은 증발율을 보였으며, 글로우 플러그에 공급되는 전류가 메탈형은 2.5A, 세라믹형은 4A일 때 최대의 증발율을 보였다.

이와같은 결과를 토대로 향후 글로우 플러그를 MPI 엔진의 큰 개조 없이 쉽게 장착할 수 있도록 설계하여 배기가스 배출 및 기관 특성을 실험하고자 한다.

참 고 문 헌

- 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, 1999.
- 3) Y. Takehisa, Y. Kouuji, "New Technologys for Reducing the Power Consumption of Electrically Heated Catalyst", SAE 940464, 1994.
- 4) K. Nishizawa, et al., "Technologys for Reducing Cold-start Emissions of V6 ULEVS", SAE 971022, 1997.
- 5) Takede, Megashi, et al., "Mixture Preparation and HC Emissions of a 4-Valve Engine with Port Fuel Injection during Cold Starting and Warm-up", SAE 950074, 1995.
- 6) Nakayama, Maruya, et al., "Reduction of HC Emission from VTEC Engine during Cold-start Condition", SAE 940481, 1994.
- 7) J. A. Kaplan and J. B. Heywood, "Modeling the Spark Ignition Engine Warm-up Process to Predict Component Temperatures and Hydrocarbon Emissions" SAE 91030, 1991.
- 8) J. W. Fox, K.-D. Min, et al., "Mixture Preparation in a SI Engine with Port Fuel Injection during Starting and Warm-up," SAE 922170, 1992.

- 9) H. Iwamoto, et al., "An Analysis of Induction Port Fuel Behavior", SAE 912348, 1991.
- 10) M. Kashiways and T. Kosuge, "The Effect of Atomization of Fuel Injectors on Engine Performance", SAE 900261, 1990.
- 11) M. Iwata, M. Furuhashi and M. Ujihashi., "Two-hole Injector Improves Transient Performance and Exhaust Emission In 4-valve Engines", SAE 870125, 1987.
- 12) M. Ohkoshi, K. Kokubo, et al., "Diesel Smoke Reduction by Gasoline Fumigation Using an Ultrasonic Atomizer", SAE 920691, 1992.
- 13) 오영택, 문영호, 김준수, "연료조기증발 장치를 이용한 가솔린기관의 배기가스 저감 및 시동성능 개선에 관한 연구", 자동차공학회논문집 제7권 제2호, KSAE 99370041, 1999.