

가솔린기관의 냉시동시 Glow Plug를 이용한 배기가스저감에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Reduction of Exhaust Emissions by using Glow Plug during Cold-start and Warm-up in Gasoline Engine

문영호*, 김종호*, 오영택**
Young-ho Moon, Jong-ho Kim, Young-taig Oh

ABSTRACT

In order to reduce exhaust emissions of spark ignition engine, it is important not only to improve catalyst conversion efficiency but also to directly reduce engine out exhaust 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 exhaust 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.

Impinging spray using heated and unheated glow plug helps the vaporization of the fuel and heat up the three way catalyst sufficiently. The amount of CO, and UHC is reduced overall. The amount of NOx is higher at the initial stage, but become lower as time goes on than without glow plug.

주요기술용어 : Exhaust emissions(배기 배출물), Warm up process(난기 과정), Evaporation(기화), Glow plug(글로우 플러그), Early fuel evaporator(연료조기증발장치), Cold start-ability(냉시동성)

1. 서론

차량의 배기가스 시험에서 모드 운전의 경우 가솔린 기관에서 배출되는 유해성분 중의 하나인 UHC(Unburned hydrocarbon)을 비롯한 배기배출물은 주로 엔진 시동 초기 90~120초 사이의 난기(warm-up)운전 기간에 약 80%가 배출된다고 보고하고 있다.^{1,2)} 이것은 냉시동 및 난기 기간

에 엔진이 차가운 상태에서 불완전 연소를 하거나 배기가스 후처리장치인 삼원촉매장치가 작동온도에 이르지 못하기 때문이다. 그러므로 이 기간 중에는 엔진에서 배출되는 UHC를 직접 저감시키는 것이 매우 중요하며, 이 과정에서 혼합기 형성과정의 이해와 개선이 요구된다.^{3,4)}

특히, 가솔린 기관에서는 인젝터 선단부, 흡기 포트 및 흡기밸브에 부착되는 연료량을 감소시키고, 미립화를 촉진시키면 냉시동시 기관응답성과 UHC 배출성능이 향상된다고 보고하고 있

* 회원, 전북대학교 대학원

** 회원, 전북대학교 기계공학과
자동차 신기술 연구소

다.⁵⁻⁸⁾

따라서, 본 연구의 목적은 흡기포트와 연소실에서 혼합기가 형성되기 전에 연료의 미립화를 촉진시켜 연소효율을 개선시킴으로써 배기 배출물을 근본적으로 저감시키기 위한 것이다.

이 목적을 달성하기 위해 난기운전 기간 동안 현재 디젤기관에 사용되는 글로우 플러그(glow plug)에 연료를 충돌시킴으로써 연료·공기의 혼합기 형성전에 연료를 조기 증발시켜 냉시동 직후에 다량 배출되는 유해 배기가스량의 저감을 시도한 것이다.

또한, 현용 가솔린 기관의 흡기매니포트 하부에 글로우 플러그 탈부착 어댑터를 설치하여 흡기매니포트를 연료 조기증발장치를 장착하여 사용하는 하나의 모듈이 되도록 설계제작하고, 현용 기관의 큰 개조 없이 간단히 부착하여 사용할 수 있는 가능성을 검토하기 위함이다.

2. 실험 장치 및 방법

2.1 글로우 플러그 온도 특성 실험

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 실험을 수행하였다.

우선 가솔린 기관에서 연료 조기증발 장치로 글로우 플러그를 이용할 수 있는 가능성을 판단하기 위해 온도 특성을 파악하였다.

통상 승용차용 가솔린 기관에 사용되는 배터리 용량은 12.6V에 45~60Ah이고 일반적인 전기 부하는 10A 정도의 전류가 흐른다. 그러므로, 글로우 플러그 전원으로서는 전압 및 전류를 각각 1~30V, 1~30A까지 조절 할 수 있는 전원공급기(power-supply : migh-tec DR-3030A)를 이용하였다.

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

정범위가 저온영역인 $-50\sim 1000^{\circ}\text{C}$ 와 고온영역인 $600\sim 3000^{\circ}\text{C}$ 를 측정 할 수 있도록 나누어져 있다. 실험에서는 고온과 저온의 측정 온도를 서로 연결 할 수 있는 전용프로그램을 통해 PC에 실시간 데이터로 저장되도록 하였고, 데이터의 신뢰성을 높이기 위해 K형 열전대로 온도를 보정하였다. 측정시 열전대로 비접촉 방사율을 선택하여 온도를 보정한 후 시간에 따라 온도를 측정하였다.

2.2 기화율 측정 실험

연료는 연료펌프에 의하여 공급되며, 연료관 한쪽 단에 설치된 압력조절기에 의해 250kPa의 일정한 분사압력이 유지되도록 하였다. 글로우 플러그에 충돌되어 기화된 연료가 액화되는 것을 방지하기 위해 잔류량 변화에 영향을 주지 않는 위치에 12V, 0.157A용 팬을 인젝터 상부에 유도막과 함께 설치하였고, 1/100g까지 측정할 수 있는 전자저울을 사용하여 잔류량을 계측하였다. 분무 실험장치에서의 분사기간은 실제 승용차의 분사기간 t_f 가 2.5~10ms임을 고려하고 냉시동 초기 분사기간을 고려하여 인젝터의 분사기간 t_f 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 조정은 신호 발생기(function generator)를 이용하였으며, 이때의 신호는 전압 및 전류가 낮아 인젝터가 구동되지 못하므로 증폭기를 직접 제작하여 사용하였다.

2.3 글로우 플러그를 사용한 기관 실험

실험에 사용한 기관은 1500cc 승용차용 MPI가솔린기관이며, 연료 조기증발장치로서 글로우 플러그의 적용 가능성을 알아보기 위하여 인젝터흡기포트와 밸브 주위의 상황을 상세히 검토하였다.

검토 결과 인젝터와 밸브사이 에 글로우 플러그를 위치시킬 수 있으며, 그 위치에서 인젝터와 글로우 플러그 사이의 거리는 10mm 정도 확보할 수 있다고 판단하였다.

기관에 장착된 인젝터는 2홀형이고, 메탈형 글로우 플러그를 장착한 기관이 운전되는 동안 각종 자료를 얻기 위하여 각각의 측정위치에 센서를 삽입하였다. 측정 항목은 냉각수 온도, 배기 온도, 윤활유 온도 및 엔진 회전수로 하고 더불어 배기가스 농도를 중점적으로 측정하였다.

배기가스 농도는 배기가스 측정기(MOD 588)의 프로브를 배기밸브 후방 100cm 지점에 연결하여 측정하였다. 냉각수 온도는 수온 조절기 부근에서 측정하였고, 배기 온도는 배기 밸브로부터 25cm의 지점인 배기 다기관 중간지점에서, 윤활유 온도는 윤활유 트레인 플러그 자리에서 각각 측정하였다. 엔진 회전수는 플라이휠에 야광 테이프를 부착한 후 디지털 타코메타로 측정하였다.

실험시 글로우 플러그에 공급되는 전원은 전원공급기(power supply)를 이용하여 일정한 전압과 전류값이 흐르도록 하였다.

실험은 기관 시동과 동시에 글로우 플러그에 전류가 흐르도록 한 후 시동 직후부터 난기운전이 끝날 때까지 10초 간격으로 각종 자료를 취득하였으며, 자료의 변동폭을 최소한으로 작게 하기 위하여 실험을 5회 반복한 후 그 평균값으로 하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 글로우 플러그 온도 특성

Fig. 1은 메탈형 글로우 플러그의 경우 일정한 전류상태에서 전압을 변경시켰을 경우 통전시간에 따른 온도변화를 나타낸 그래프이다. 온도는 전압 및 전류량에 따라 변화하므로 글로우 플러그의 온도 특성에 따라 실험 조건을 결정하기 위하여 9V, 11V, 13.5V의 전압에 전류를 10A로 고정시켜 통전한 경우 통전시간에 따른 온도 변

화를 측정하였다. 초기 15초까지는 900~1100℃ 까지 급격히 상승하다가 이후 900~1000℃ 정도에서 각 전압별로 일정한 온도를 유지하였다.

Fig. 2는 메탈형 글로우 플러그에 일정 전압상태에서 전류를 변화시켰을 때의 통전시간에 따른 온도변화 곡선이다.

글로우 플러그 온도특성은 전압이 12V일 때 전류값이 1~4A 범위에서는 온도가 완만하게 상승하다 240초 이후에는 지속적으로 일정한 온도를 유지하였으나, 10~30A에서는 3초 이내에 약950℃까지 급상승 한 후 60초 이후에는 900℃ 정도로 안정된 온도값을 나타내었다. 글로우 플러그의 온도 특성값을 분석한 결과 실제 기관에서 가솔린 연료가 분사될 때 글로우 플러그의 표면온도에 의해 조기발화와 같은 이상연소를 방

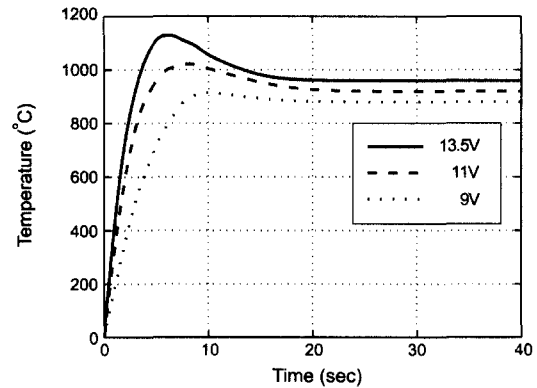


Fig. 1 Temperature characteristic by varying voltage in the metal type glow plug at 10A

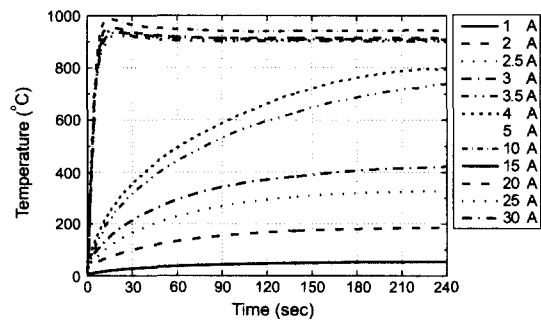


Fig. 2 Temperature characteristic by varying current in the metal type glow plug at 12V

지하고, 분사된 연료에 의한 열 교환에 따른 글로우 플러그의 냉각을 고려하여 조기 증발율의 향상이 예측되는 온도, 즉 전류 통전후 약 60초 이후 일정한 온도를 유지하는 약 200~400°C 범위로 정하여 분무실험을 하였다. 또한 700°C~800°C의 경우도 고온 상태에서 증발효과를 관찰하기 위하여 실험을 하였다. 이는 글로우 플러그 적열 상태가 된 경우에 증발효과를 관찰하여 적정 온도 범위라고 판단되는 온도영역에서 나타나는 현상과 비교 검토하기 위한 것이다.

Fig. 3은 각 형태별 인젝터에서 최고 증발효과를 보인 각 글로우 플러그의 전류조건에서 글로우 플러그에 연료를 분무시켰을 때 연료에 의한 글로우 플러그의 냉각 특성을 나타낸 그래프이다. 이는 글로우 플러그에 12V, 2.5A(약 300°C)를 통전시켰을 때 최대증발율을 나타낸 경우로, 이 글로우 플러그에 연료를 충돌분무 시킬 경우 냉각율이 약 50~60%정도 이어서 약 150°C 정도가 되는데, 이는 액적 증발시간이 가장 짧고 열 전달율이 매우 큰 온도영역인 핵 비등 온도구역과 일치함을 알 수 있었다. 이는 글로우 플러그의 종류에 따라 기화가 가장 양호했던 전압 12V, 전류 2.5A에서 메탈형 글로우 플러그와 인젝터의 거리를 L=5mm로 하였을 경우 글로우 플러그의 계속되는 연료 충돌에 의한 가열소자의 냉각특성

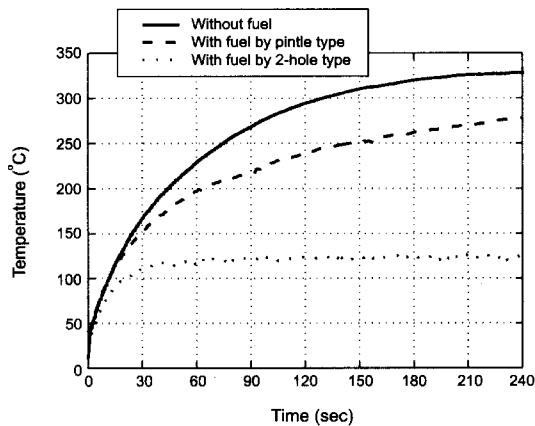


Fig. 3 Cooling temperature of the metal type glow plug with and without fuel(12V, 2.5A, L : 5mm)

을 파악하여 실제 엔진에 적용하기 위함이다. 이는 흡기포트 내에 장착할 글로우 플러그 온도를 예측하여 조기발화등 이상연소를 방지하기 위함이며, 2홀 타입 인젝터의 경우 30초 이후 60%의 냉각율이 관찰되었다.

3.2 기화율 실험

Fig. 4는 2홀형 인젝터의 경우 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 잔류량 변화를 충돌거리별로 나타낸 그래프이다. 기화량은 분무 후 잔류량의 연료를 측정하여 분사된 총량에서 잔류량을 제외한 것으로 잔류량이 적을수록 기화량은 많은 것이다.

증발율은 자유분무를 기준으로 하여 L=5mm 조건에서 19%이고, L=10mm 조건에서 11%로써 충돌거리가 가까운 L=5mm 조건이 8%정도 높은 증발율을 보였다.

Fig. 5는 글로우 플러그에 통전 전류를 변화시켜 충돌분무 시켰을 때 충돌거리별로 기화율을 나타낸 그래프이다. 메탈형 글로우 플러그와 인젝터의 거리를 L=5mm와 10mm로 하고 글로우 플러그의 통전 전류를 변화시키면서 연료를 충돌분무 시켰을 때의 기화율에 대한 결과이다. 적정 전압 12V, 2.5A로 전류를 통전시킨 조건에서 2홀형의 경우 L=5mm인 경우 59%의 최대 기화율이

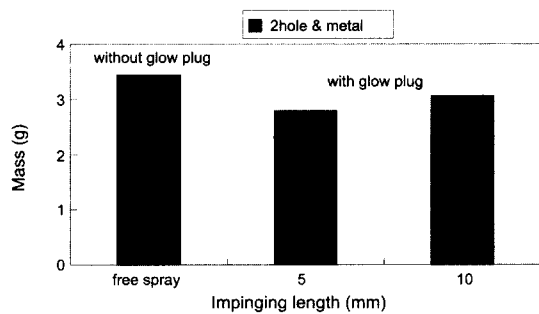


Fig. 4 Residual fuel of spray by impinging length with metal type glow plug and 2 hole injector type

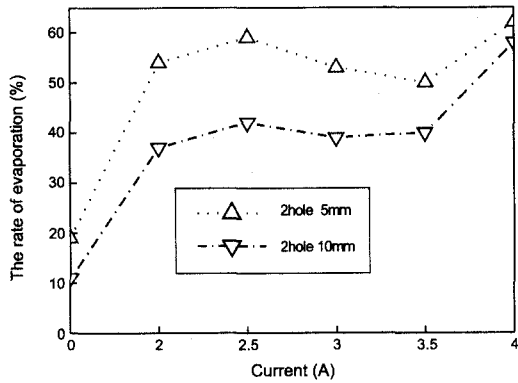


Fig. 5 The rate of evaporation of spray versus various current with metal type glow plug(12V)

관찰되었다.

3.3 연료 조기증발 장치를 이용한 기관 실험

글로우 플러그의 온도특성 및 기화율 실험 결과를 기초로, 글로우 플러그에 최적 전압과 전류 값을 통전시켜 기관을 운전하였을 경우 배기가스농도는 물론 기관회전수, 윤활유 온도, 냉각수의 온도변화를 측정하였다.

Fig. 6은 기존 기관의 경우와 기존 기관에 메탈형 글로우 플러그를 장착하고 통전하지 않은 경우 배기가스 배출특성을 나타낸 것으로, 글로우 플러그를 장착한 경우에 시간이 경과함에 따라 HC, CO, NO_x의 배출농도가 현저히 저감되는 경향을 보였다.

이는 인젝터에서 분사된 분무가 글로우 플러그에 단순 충돌에 의해 미립화되어 연료의 공간확산을 용이하게 하고, 작아진 액적은 공기와 접촉 면적을 증대시키며, 쉽게 기화할 수 있게 하여 양호한 혼합기를 형성함으로써 초기 연소가 촉진되었기 때문이라고 생각한다.

또한, Fig. 7은 Fig. 6과 동일한 조건으로 기관을 운전하였을 경우 기관 회전수, 냉각수 온도, 배기가스 온도를 나타낸 것으로서, 그래프에서와 같이 기존 기관에 글로우 플러그를 장착하지 않았을 경우 기관 회전수는 냉시동후 10분이 지

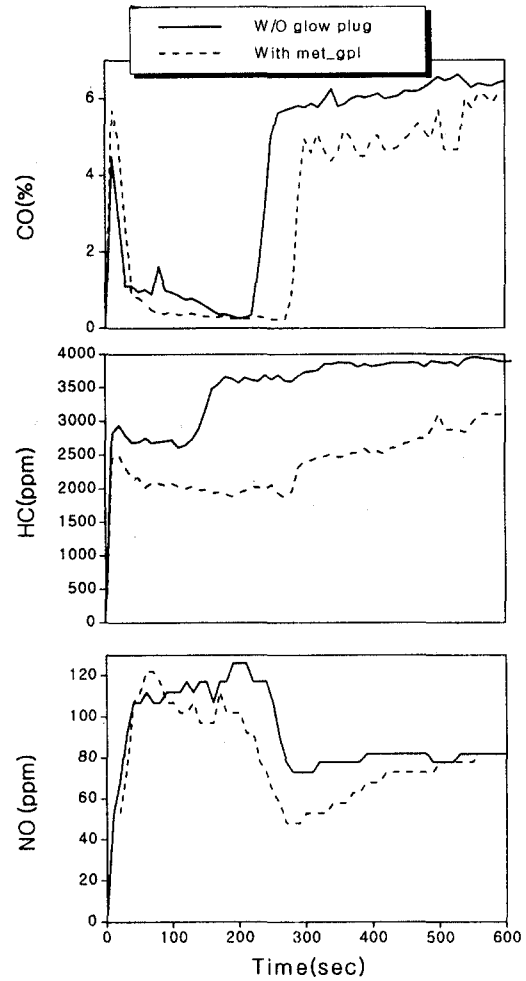


Fig. 6 Exhaust emissions versus time with and without the metal type glow plug

나면 난기운전이 끝난 공회전 상태에 도달하고 있음을 알 수 있다. 난기운전이 끝난 공회전 상태란 기관 회전수가 750rpm전후의 속도로 회전하고 있을 때를 의미하는 것으로 하였다.

기관특성에 영향을 미치는 냉각수 온도 변화는 엔진을 시동시킨 후 시간이 경과함에 따라 냉각수 온도가 점차로 증가하는 경향을 보이고, 배기가스 온도는 냉시동 후 아이들링 상태에 도달하는 시간까지 배기 매니폴드에서 배출되는 배기가스의 온도가 300℃ 전후로써 배기 파이프에 설치되어 있는 촉매제가 제 성능을 발휘하지

못하게 되어 유해 배기가스가 그냥 대기중으로 방출될 것이다.

이와 비교하여 글로우 플러그를 장착하였을 경우 배기가스 온도의 상승으로 촉매장치의 예열 효과가 커서 시동초기 촉매장치의 작동시간을 앞당길 수 있으며, 냉각수 온도 및 오일 온도도 빨리 상승되어 난기운전 시간이 단축됨을 알 수 있었다.

Fig. 8은 기존 기관에 글로우 플러그를 장착하

고 가열한 경우와 가열하지 않은 경우의 배기가스 배출 특성을 조사한 것이다. 대기상태에서 충돌 분무시 2.5A로 통전시 최대 증발율을 보였으나 실제 기관에서의 1A, 2A, 3A 각각의 통전 실험결과 1A에서 배기가스 저감효과가 가장 양호하였다. 이는 실제 기관의 흡기포트부가 밀폐된 공간으로 주위 온도 상승이 빠르기 때문이라고 생각된다. 글로우 플러그를 가열하지 않은 경우에 비해 1A의 전원을 공급하여 가열한 경우가

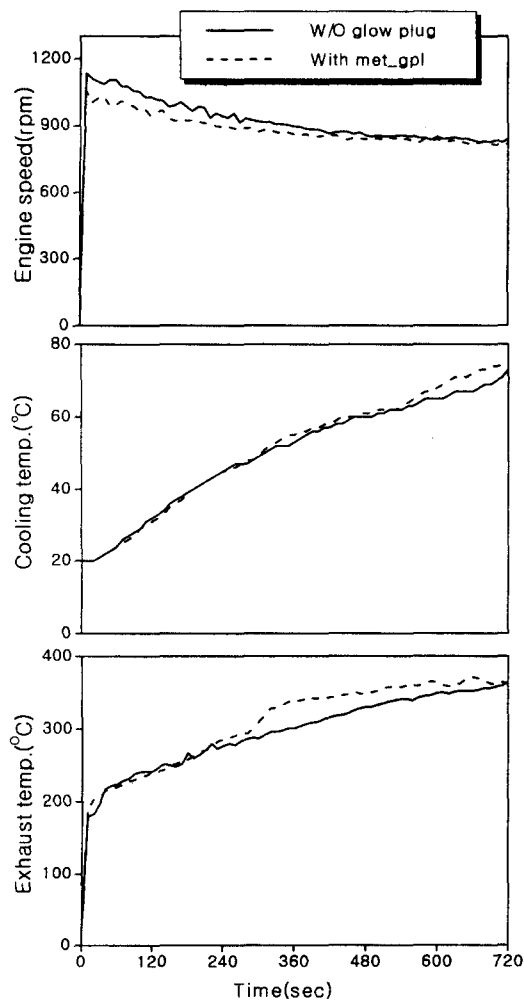


Fig. 7 Engine speed, cooling temperature and exhaust temperature versus time with and without the metal type glow plug

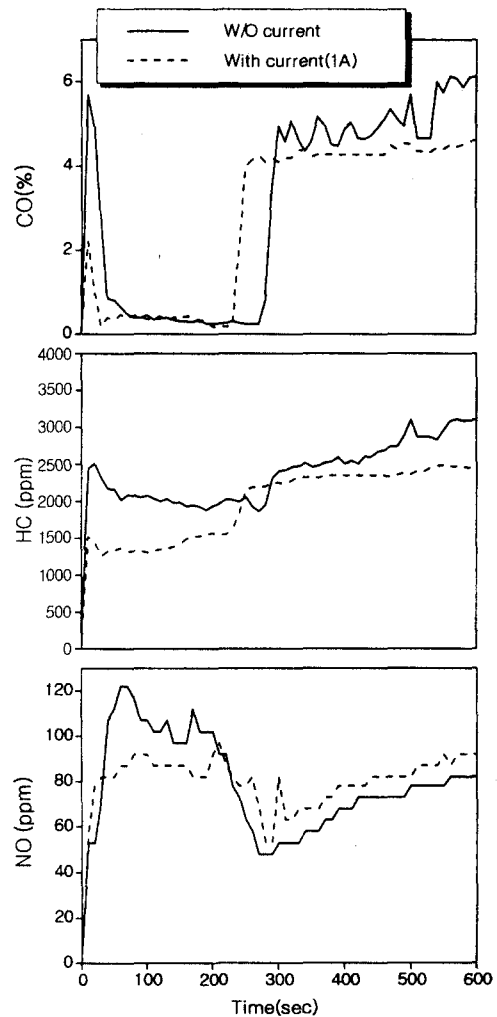


Fig. 8 Exhaust emissions versus time with and without current in the metal type glow plug

CO, HC는 감소함을 알 수 있고, NO_x의 경우는 처음에는 감소하나 시간이 경과함에 따라 약간 증가함을 알 수 있다.

결국 글로우 플러그를 장착한 것만으로도 분무가 글로우 플러그에 충돌되어 미립화가 양호하게 되는 등 여러 가지 효과가 있었지만, 글로우 플러그를 가열한 경우는 전자의 효과를 더욱 향상 시켜주는 경향이 뚜렷함을 알 수 있다.

이와 같은 결과로 볼 때 글로우 플러그에 의하여 냉시동시의 배기가스 배출 저감 효과를 확인하였다.

특히 Fig. 6에서 HC는 냉시동시 흡기포트, 밸브 및 연소실에서 벽면에 형성된 액막(wall wetting)에 기인한 것으로 알려져 있는데, 글로우 플러그에 의해 충돌 및 열교환으로 인한 증발로 인하여 미립화가 향상되어 연소실 벽면에 형성된 액막이 적기 때문으로 생각된다. 한편 배기가스 온도는 글로우 플러그를 장착한 경우가 전반적으로 높게 되어 삼원촉매장치의 예열 효과가 매우 클 것으로 생각되며, 냉각수의 온도 상승도 현저하여 난기운전 시간을 단축시킬 수 있을 것으로 판단된다.

Fig. 9는 Fig. 8과 동일한 조건에서 통전시간에 따른 기관 회전수, 냉각수 온도, 배기온도 변화특성을 나타낸 것으로써, 기관 회전수가 거의 일정함에도 불구하고 냉각수 온도 및 배기가스 온도가 높게 되어 Fig. 7의 단순 충돌효과 이외에 글로우 플러그의 통전한 효과를 확인할 수 있었다.

이상의 결과를 종합하면 글로우 플러그에 일정한 전압과 전류를 통전시켜 양호한 혼합기 형성에 의한 연소효율 향상으로 배기가스 저감은 물론 삼원촉매장치의 조기 가열효과 및 난기운전 시간의 단축효과를 얻을 수 있음을 확인하였다.

4. 결론

가솔린 기관의 연료 조기증발장치로서 적용하기 위해 글로우 플러그의 기본적인 온도 특성 실험과 고온 표면에 연료를 충돌 분사시켜 충돌

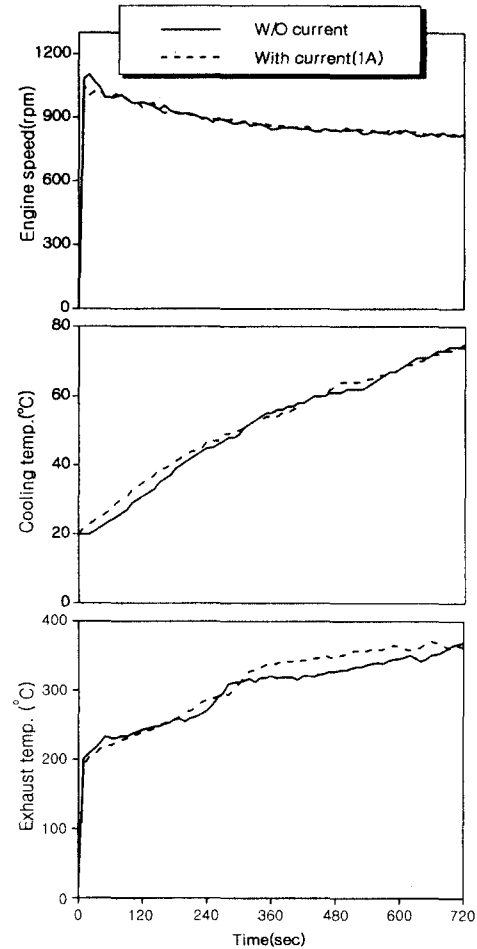


Fig. 9 Engine speed, cooling temperature and exhaust temperature versus time with and without current in the metal type glow plug

로 인한 분무특성 및 기화율에 대한 기초실험을 하고, 이를 토대로 1500cc 엔진에 글로우 플러그를 장착하여 실험한 결과 배기가스 배출 및 기관 특성에 대하여 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 글로우 플러그 온도특성은 전압이 12V일 때 전류값이 1~4A 범위에서는 온도가 완만하게 상승하다 240초 이후에는 지속적으로 일정한 온도를 유지하였으나, 10~30A에서는 3초 이내에 약 950°C까지 급상승 한 후 60초 이후에는 900°C 정도로 안정된 온도값을 나타내었다.

2) 글로우 플러그의 최대 증발율은 12V, 2.5A

(약 300℃)의 경우 이었으나 글로우 플러그가 연료의 증발분무에 의한 냉각율이 약 50~60% 정도를 고려하면 약 150℃ 정도가 되므로, 이는 액적 증발시간이 가장 짧고 열 전달율이 매우 큰 온도영역인 핵 비등 온도구역과 일치함을 알 수 있었다.

3) 노즐과 글로우 플러그사이의 충돌 거리가 L=10mm보다 L=5mm일 경우 약 8%의 높은 증발율을 보였다.

4) 대기상태에서 증돌 분무시 2.5A로 통전시 최대 증발율을 보였으나, 실제 기관 실험에서 1A의 경우가 배기가스 저감효과가 가장 양호하였다.

5) 배기가스 배출특성은 글로우 플러그를 사용한 경우 전류를 통전시키지 않은 경우나, 전류 1A를 통전 시킨 경우 CO, HC, NO_x의 배출농도 저감이 뚜렷하고 배기가스 및 냉각수의 온도 상승이 빨라져 난기운전 시간을 단축할 수 있어 연료 소비 저감은 물론, 삼원 촉매장치의 예열 효과도 현저하였다.

6) 냉시동의 경우 기관이 냉각되어 연료 기화율의 저하에 따른 불완전 연소로 인하여 배기가스 배출특성이 악화되나, 글로우 플러그를 사용함으로써 연료 기화율의 증가에 따라 연소효율이 향상되어 배기가스 농도 저감이 확실하였다.

참 고 문 헌

- 1) M. E. Crane, R. H. Thring, D. J. Ponder, L. G. Dodge, "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, K. Y. Lee, "A Study on the Practicability of a Secondary Air Injection for Emission Reduction," SAE 1999-01-1540, 1999.
- 3) Y. Takehisa, Y. Kouji, "New Technologys for Reducing the Power Consumption of Electrically Heated Catalyst," SAE 940464, 1994.
- 4) K. Nishizawa, T. Yamada, Y. Ishizuka, T. Inoue, "Technologys for Reducing Cold-start Emissions of V6 ULEVs," SAE 971022, 1997.
- 5) J. Yang, E. W. Kaiser, W. O. Siegl, R. W. Anderson, "Effects of Port-injection Timing and Fuel Droplet Size on Total and Seciated Exhaust Hydrocarbon Emissions," SAE 930711, 1993.
- 6) N. Toshihara, O. Yoshishiga, "Effects of Mixture Formation of Fuel Injection Systems in Gasoline Engine," SAE 870215, 1987.
- 7) 오영택, 문영호, 김준수, "연료조기 증발 장치를 이용한 가솔린 기관의 배기가스 저감 및 시동성능 개선에 관한 연구," 한국자동차공학회논문집, 제7권 제2호, 1999.
- 8) 문영호, 김진구, 오영택, "Glow-Plug를 이용한 가솔린 연료의 조기 증발특성 실험," 한국자동차공학회논문집, 제9권 제2호, 2001.