

LPG 엔진의 냉 시동시 시동성 개선 및 배출물 저감을 위한 연구

A Study for the Improvement of Start Ability and Exhaust Emissions in a Conventional Mixer Type LPG Engine on Cold Start

김우석*, 이종화**
Wooseok Kim, Jonghwa Lee

ABSTRACT

On the cold start of LPG engine, as the engine temperature has not reached its equilibrium temperature, liquid LPG could not be changed perfectly gaseous LPG, although it was passed to the vaporizer. Liquid and gas mixed fuel could influence starting ability and exhaust emission characteristics of LPG engine. In this study, the vaporization characteristic of liquid LPG was investigated with a conventional vaporizer and the vaporizer with heat source(glow plug) installed at preheated chamber inlet, by using the visualization methods and engine test. According to visualization result, even if the engine coolant temperature was 14°C, liquid fuel was supplied to primary chamber over 25 seconds without vaporizing from preheated chamber in such a conventional vaporizer. However, the vaporizer with heat source do not correspond with that, scarcely had been turn on glow plug when LPG began to vaporize. The effectiveness of heat source could be verified by application to the conventional LPG engine.

주요기술용어 : LPG(액화석유가스), Visualization(가시화), Vaporization(기화), Glow plug(글로우 플러그), Starting(시동)

1. 서 론

최근 자동차 배기 규제강화와 환경오염에 대한 관심 고조로 엔진의 저공해, 고 효율화 기술에 대한 요구가 크게 확대되고 있고, 저공해 엔진 연구를 위해 가솔린에 비해 높은 수소와 탄소비를 가진 LPG와 CNG를 이용한 저공해 엔진 개발이 활발히 진행되어지고 있다.

또한, 유가 상승과 더불어 LPG차량은 날로 늘

어가고 국내 LPG 차량의 보급이 60만대를 넘어선 이 시점에서 환경 친화적이고 경제적인 LPG 차량의 문제점 개선과 시스템의 보안이 중요한 문제로 대두되고 있다.

전기점화기관의 미연탄화수소(UHC) 배출의 80%는 시동초기 5분 동안 배출하게 된다.¹⁾ 특히 과도상태 냉 시동 시에는 공기와 연료의 혼합 불균일과 삼원촉매의 변환효율이 정상상태에 도달하기까지 대부분의 유해 배출물을 발생시킨다.

본 연구에서는 기존 기화기의 예열실 내부에 시동보조장치인 글로우 플러그(glow plug)를 설치하여 액상의 연료가 기화시 요구되는 열원을

* 회원, 아주대학교 대학원

** 회원, 아주대학교 기계 및 산업공학부

공급해 줌으로써 시동성 향상과 배기 배출물 저감을 위한 연구를 가시화 기법과 엔진 실험을 이용하여 수행하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

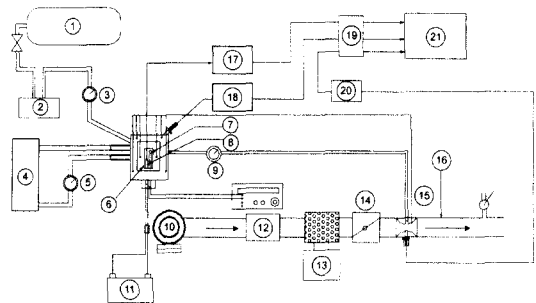
LPG vaporizer의 예열실에 액상의 연료가 충전되어진 상태에서는 연료가 증발되는 현상과 기체연료의 원활한 공급 여부를 가시화 방법을 이용하여 버블(bubble)을 관찰함으로써 정성적으로 시동 초기의 연료거동을 관찰할 수 있다.

또한 엔진 실험에서는 크랭킹 시작 시점부터 최초의 연소가 일어나는 시기까지의 기간과 공기연료비 및 배출가스 성분 분석을 통해 시동시 문제점 파악과 개선 정도의 확인이 가능하다.

Fig. 1은 가시화 창이 설치된 vaporizer 테스트 리그를 나타내며, Fig. 3은 시동보조장치가 장착된 vaporizer를 이용한 LPG 엔진 실험 장치를 개략적으로 도시한다.

2.1.1 기화기 가시화 실험장치

실제 엔진에서의 실험 조건을 모사하기 위해



- | | | |
|----------------------------------|----------------------|---------------------------|
| 1.LPG tank | 2.Fuel flow meter | 3.Pressure gauge |
| 4.Coolant temperature controller | 5.Pressure gauge | |
| 6.Visualization window | 7.Light source | |
| 8.Glow plug | 9.Pressure regulator | 10.Fan |
| 11.Battery | 12.Air filter | 13.Laminar flow meter |
| 14.Throttle body | 15.Mixer | 16.Window |
| 17.Temperature signal converter | 18.AMP | |
| 19.Terminal | 20.AMP | 21.Data aquisition system |

Fig. 1 Schematic diagram of visualization of LPG vaporizer test rig

하나로 결합되어 있는 기화기를 1차실과 2차실로 분리하여 제작한다.

가시화 실험에 사용된 LPG연료 공급시스템은 실제 차량에서 사용되어지고 있는 C사의 기화기를 사용하였고, 리그장치는 팬 모터, 유량측정장치, 온도측정장치, 압력측정장치, 냉각수 콘트롤러, LPG탱크 등으로 구성된다.

연료는 1차실로 공급되기 전 예열실을 거치게 되고 1차실로 진입하면서 감압 되어진다. 그러므로 감압 되기 전 예열실을 가시화하기 위하여 예열실 표면을 가공하여 두께 5mm의 압축유리창을 설치하였다.

예열실 내부에 2.5L디젤 차량의 시동시 heat source로 이용되는 글로우 플러그(glow plug)를 설치하여 초기 시동 시 액상의 LPG에 증발 잠열을 공급할 수 있도록 설계하였다.

실제 엔진에서와 동일한 연료 압력 레귤레이팅(regulating)조건을 재현하기 위해 1차실로부터 분리한 2차실 mixer와 가시화 실험장치 사이에 두었다. vaporizer로 공급되는 냉각수 온도는 콘트롤러를 이용하여 -10~90°C까지 일정한 온도로 조절할 수 있도록 하였다.

또한 기화기의 내부 예열실과 1차실에 각각 T 타입 열전대와 압력 센서(Kistler, 4075A)를 설치하여 LPG 온도변화와 압력변화를 측정하였다. Fig. 2는 열전대와 압력 센서가 설치된 가시화 실험장치이다.

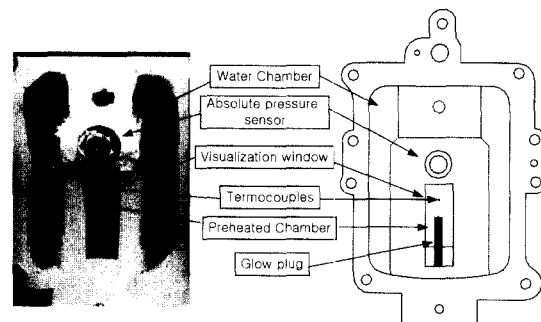


Fig. 2 Photograph of visualization window and thermocouples and pressure sensor installation in pre-heated chamber

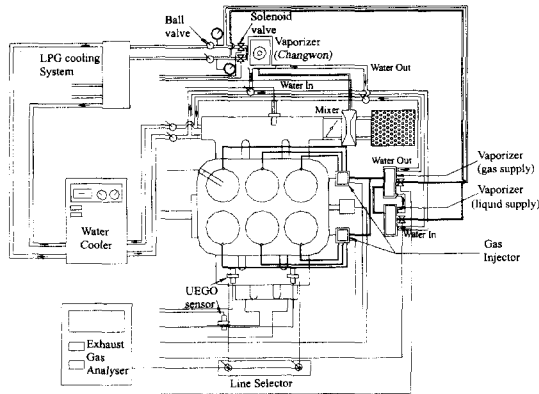


Fig. 3 Schematic diagram of V6 2.7L LPG engine

가시화 화상 취득에 사용된 캠코더는 sony사의 30frame/sec의 DCR-PC10 NTSC를 이용하여 연속적으로 촬영한 디지털영상을 캡처보드(PINNACLE사, studio DV)를 통해 이미지로 획득하였다.

2.1.2 엔진 실험장치

실험에 사용한 엔진은 V형 6기통, DOHC, 행정체적 2656cc, 압축비가 10인 믹서식 LPG 전용 엔진이고, 기관동력계는 EC(eddy current) type의 수냉식 동력계(극동기전사)를 사용하여 회전속도를 제어하였으며, 스로틀 바디(Throttle body)에 콘트롤러(극동기전사)를 설치하여 부하를 조절하였다.

흡기 매니폴더 압력측정에는 KISTLER사의 4045A를 사용하였다. LPG 유량 측정에는 유량 측정범위 0~1kg/min, 정밀도 $\pm 0.1\%$ 로 코리올리포스 원리를 이용하는 질량 유량계(OVAL사 CX003C-SS-200R)를 사용하였다.

전체적인 공기연료비 측정을 위하여 광역산소 센서(MEXA-110 λ)를 사용하였고, 배기가스 분석에는 HORIBA사, MEXA-8120를 사용하였다.

2.2 실험방법

2.2.1 기화기 가시화 리그 실험

기존의 상용화된 LPG 기화기는 초기 시동성 개선과 운전중 기화 안정성을 위해 기화기로 액상의 LPG가 공급되면 연료가 1차실로 공급되기

전 예열실에서 냉각수에 의해 예열 되어 지도록 되어 있다. 그러므로 엔진 운전중 1차실로 지속적인 안정적인 연료를 공급하기 위해 예열실에는 항상 일정량의 액상 LPG가 남아 있는 상태가 된다.

실제 차량에서는 시동을 끄기 전 인위적으로 운전자가 솔레노이드 스위치를 차단하여 예열실 내부의 액상 LPG를 완전히 제거하도록 되어 있으나, 대부분의 운전자는 잘 이행하지 않는다.

만일, 액상 솔레노이드 밸브 OFF과정 없이 KEY OFF를 하게 되면 예열실에는 액상의 연료가 가득차 있게 된다. 엔진이 식은 후 재시동시 ECU는 시동성이 용이하도록 로직에 의해 냉각수 온도에 따라 기상 솔레노이드 밸브를 제어하지만 설계자의 의도와는 달리 예열실에 가득찬 액상의 농후한 연료가 기상 LPG와 함께 엔진으로 유입 될 수 있다. 특히, 냉 시동시에는 냉각수의 온도가 낮으므로 LPG 증발잠열을 충분히 공급할 수 없게 된다. 따라서 1차실과 2차실의 벽면 온도가 냉각수 온도 이하로 내려가는 경우가 발생하게 되고, 1차실과 2차실을 지나면서 감압에 의한 증발에도 불구하고 충분한 열원공급을 받지 못하는 냉 시동시에는 농후한 LPG의 공급 또는 충분한 기체연료의 공급이 이루어지지 않는 현상이 발생할 수 있다.

가시화 리그 실험장치에서는 실제차량의 시동시와 동일한 조건에서 액상 LPG를 예열실에 채운 후 기상 솔레노이드 밸브를 열면서 예열실 내부를 촬영하였고, 이때 예열실과 1차실의 온도와 압력 및 연료의 온도와 압력을 측정하여 엔진으로 공급되는 연료의 상태를 가시화 이미지와 함께 관찰하였다. 또한 액상의 연료가 가득 찬 상태에서 글로우 플러그 작동과 동시에 기상의 연료를 공급할 때 예열실 안의 상변화 및 온도와 압력 변화를 시간에 따라 관찰하여 기존의 일반적인 vaporizer의 결과와 비교하였다.

2.2.2 초기시동 엔진실험

가시화 리그 실험장치에서 제거된 바와 같이

Table 1 Experimental condition of engine

Case	연료 공급 상태
1	액상의 연료만 공급
2	기상 연료만 공급
3	액상연료가 가득 찬 상태 + 기상 연료 공급 (conventional)
4	액상연료가 가득 찬 상태 + 기상 연료 공급 + glow plug 작동

냉 시동시 LPG tank로부터 기상의 연료만을 공급할 지라도 냉각수 온도에 따라 엔진으로 공급되는 연료는 농후하거나 희박한 공기연료비 조성을 보일 수 있다.

엔진으로 공급되는 연료가 완전히 기화되지 않은 상태의 공급될 경우 나타나는 냉 시동시의 공기연료비와 배기 배출물에 대한 문제점 확인과 글로우 플러그를 장착한 vaporizer 성능 확인을 위한 엔진 적용 실험을 수행하였다.

실험은 냉각수와 기관의 온도를 8°C로 일정하게 유지면서 Table 1의 조건으로 수행하였다.

시동시 부부하 상태로 엔진을 구동시키게 되면 엔진회전수와 흡기압이 ISCA(Idle speed control actuator)에 의해 달라질 수 있으므로 실험에 앞서 다이내모미터 정속도 모드에서 엔진회전 속도를 2000rpm으로 부하를 흡기압 0.43bar로 고정시킨 후 20시간 이상 방치하여 기관이 완전히 냉각된 후 크랭킹을 시작하였다. 크랭킹이 시작되는 시점에서부터 HC, CO, CO₂, O₂ 등의 배기가스와 공기연료비, 엔진회전수, 냉각수 온도의 변화에 대한 기상과 액상 솔레노이드 밸브의 작동여부를 비교 관찰하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 LPG 기화기 가시화 리그 실험

예열실 안의 액상 연료가 가득 찬 상태에서 기상의 연료를 공급하면서 글로우 플러그 작동 유무에 따라 관찰한 가시화 사진을 Fig. 5와 Fig. 6에 나타낸 것이고, Fig. 7은 냉각수 온도 1°C에서

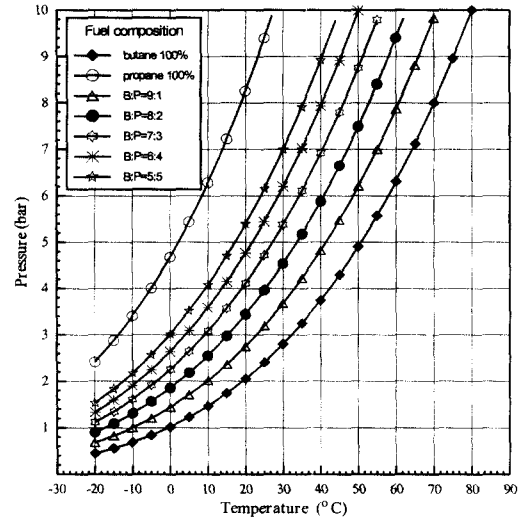


Fig. 4 Saturation curve as butane and propane composition ratio

액상의 LPG를 가득 채운 상태에서 글로우 플러그 작동 후 예열실 내부의 연료가 모두 기화될 때까지를 나타낸 것이다. 가시화 실험 결과 글로우 플러그를 작동했을 경우 냉각수 온도와 무관하게 약 3초 후에는 예열실 내부의 액상 연료까지 모두 기화되어진다. 그러나 Fig. 5에서는 기체 연료가 공급된 후 약 25초부터 기체 연료가 나타나기 시작한다.

Glow plug를 사용하지 않은 Fig. 8은 예열실에서 1차실로 유입된 연료가 1.35bar로 감압되고, 벽면의 온도는 냉각수 온도와 동일한 14°C에서부터 약 3°C까지 떨어짐을 보여준다. 이것은 예열실로부터 액상의 LPG가 1차실로 유입되어 계속 기화되고 있으며, 이와 같은 벽면 온도와 압력 조건에서는 완전한 기체 연료공급이 힘들다는 것을 Fig. 4에 나타낸 LPG 조성에 따른 증발 곡선으로부터 확인할 수 있다.

또한 Fig. 4에서 100% 부탄(butane)일 경우 1차실의 압력 1.35bar에서 연료 온도는 7°C 이상면 기체상태로 존재하게 되는데, glow plug를 작동시킨 Fig. 9의 연료 온도와 압력 그리고 Fig. 6의 가시화 결과로부터 글로우 플러그를 작동시킴과 동시에 예열실 내부의 액상의 연료는 증발을

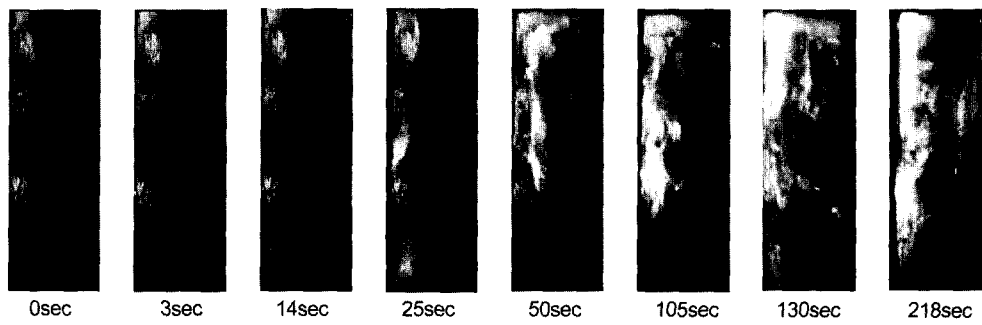


Fig. 5 Photos of LPG vaporizer visualization without glow-plug heating, at coolant temperature 15°C

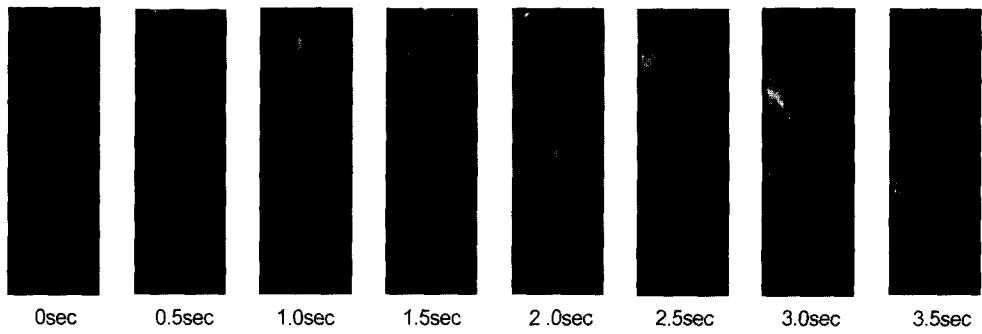


Fig. 6 Photos of LPG vaporizer visualization with glow-plug heating, at coolant temperature 15°C

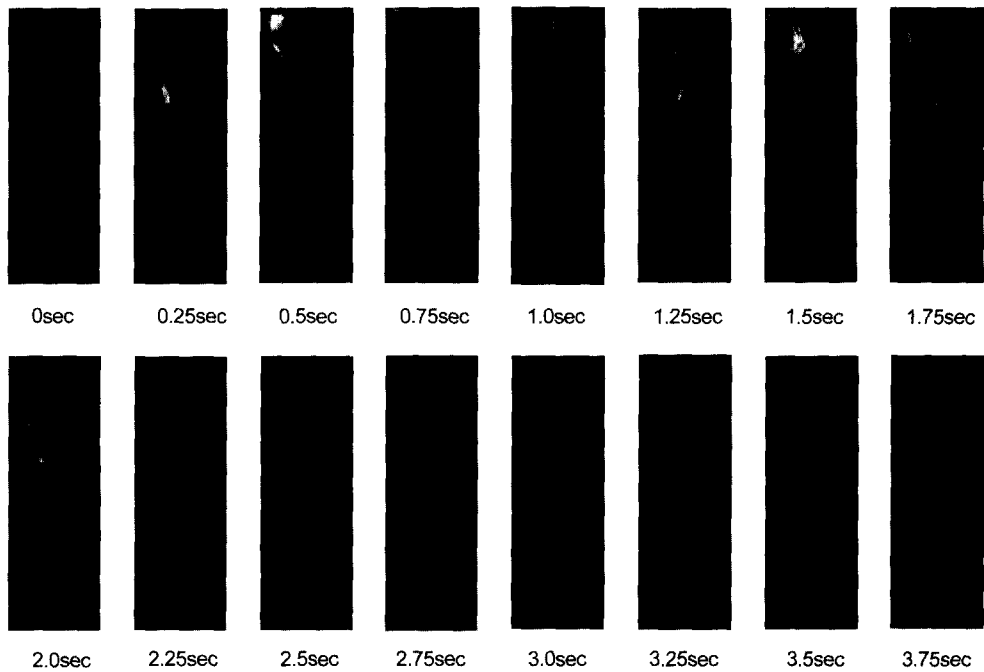


Fig. 7 Photos of LPG vaporizer visualization with glow-plug heating, at coolant temperature 1°C

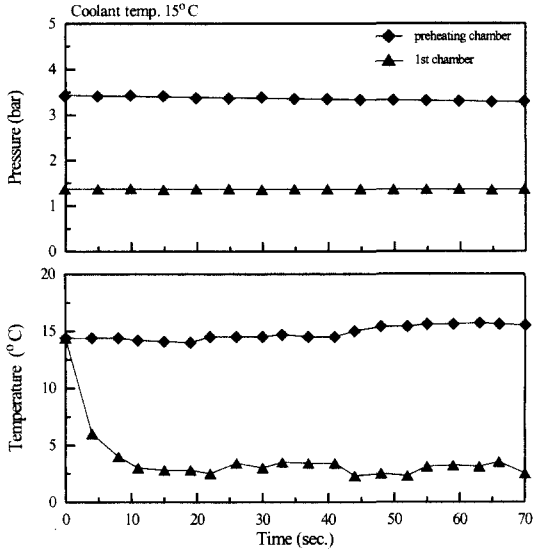


Fig. 8 Pressure and temperature profile of preheated chamber filled with liquid LPG from gaseous solenoid opening, coolant temp. 15°C

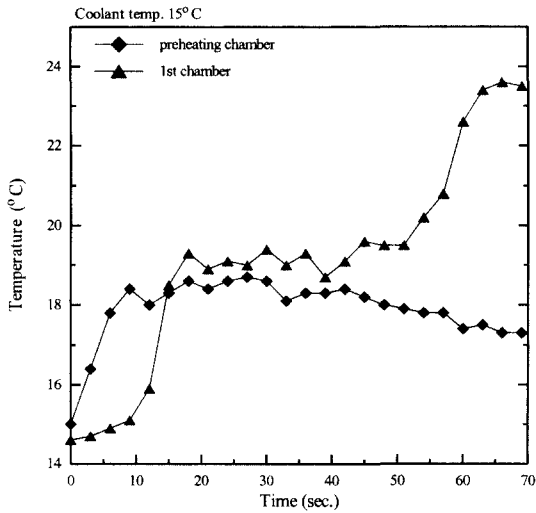


Fig.9 Temperature profile of vaporizer of liquid LPG from gaseous solenoid opening with glow-plug heating, coolant temp. 15°C

시작하고, 1차실로 유입되는 연료는 기체상태임을 알 수 있다. 따라서 시동시 예열실에 강제열원을 공급하게 되면 예열실 내부에 액상의 연료가 가득찬 상태에서도 초기 시동시 요구되는 기체상태의 연료가 원활히 공급될 수 있음을 알 수 있다.

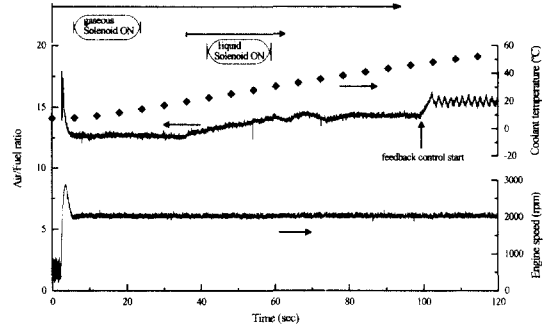


Fig. 10 Behavior of solenoid valve, air/fuel ratio, coolant temp. and engine speed for supply gaseous LPG at start and part load

3.2 초기 시동성 실험

엔진 적용 실험에서 완전 기체상태의 연료만을 공급하는 가장 이상적인 경우에, 크랭킹을 시작하면서 측정된 엔진회전수, 공기연료비, 냉각수온도와 솔레노이드 밸브 개폐여부를 Fig. 10에 나타내었다.

Fig. 11은 냉각수 온도에 따른 액상과 기상 솔레노이드 밸브작동 제어로직이다.

실험에 사용된 LPG 엔진의 솔레노이드 제어는 초기 시동시 냉각수 온도 20°C 이하에서는 기상 솔레노이드 밸브만 작동하도록 되어 있고, 이상에서는 액상 솔레노이드 밸브가 열리게 되어 60°C까지 기상과 액상 솔레노이드 밸브가 함께 열려 있는 구간이 있다. 이러한 로직은 냉 시동성 향상을 위해 일반적으로 사용되는 방법이다.

Fig. 12는 크랭킹 시작부터 초기 연소가 이루어져 엔진 회전수가 목표치에 도달하는 데까지

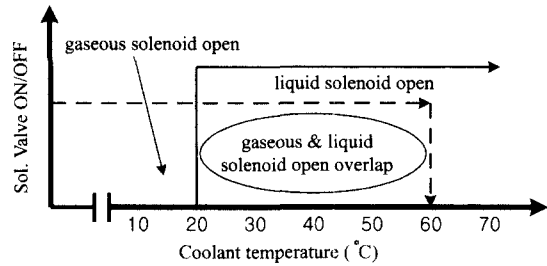


Fig. 11 Schematic diagram of solenoid valve open and close as a function of coolant temperature

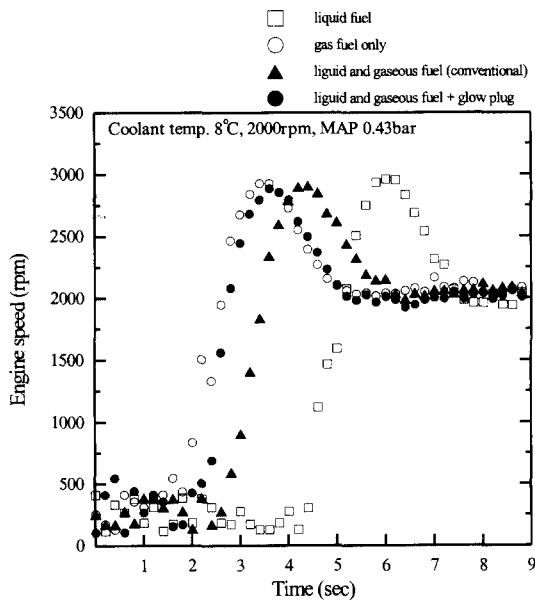


Fig. 12 Comparison of engine speed increase for each experimental condition at 2000rpm, MAP 0.43bar

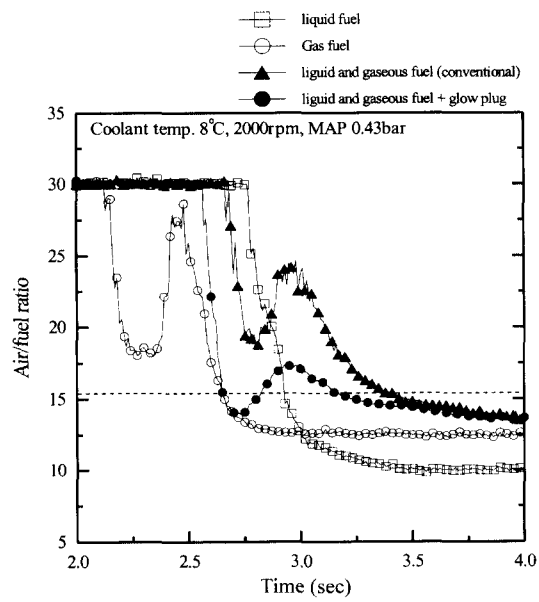


Fig. 13 Comparison of air/fuel ratio fluctuation for each experimental condition at 2000rpm, MAP 0.43 bar

를 비교하여 나타내었다. 기체 연료만을 공급한 경우와 글로우 플러그를 사용했을 경우가 유사하게 시동 시간이 짧게 나타났다.

이것은 글로우 플러그를 작동시키게 되면 크랭킹 시작과 동시에 예열실 내부의 액상 LPG가 기화를 시작하여 기체상태의 연료만을 공급한 경우와는 가장 유사한 시간에 엔진으로 기체 연료가 공급 될 수 있기 때문이다.

Fig. 13은 시동 초기에 각 조건에서의 광역 산소 센서로부터 얻은 공기 연료비를 비교한 것이고, Fig. 14(a)와 (b)는 배기 분석기로부터 얻은 배출가스 농도이다.

Fig. 13 결과로부터 LPG엔진의 ECU 로직상 요구되는 가장 이상적인 경우로서 초기 시동 시 완전 기체상태의 연료가 공급되었을 때에는 이론 공기 연료비 15.4보다 약 19% 정도 농후하게 공급되고, 글로우 플러그를 사용했을 경우 예열실 내부의 액상 연료의 증발로 인해 기상 연료만 공급했을 때의 연료공급량과 유사한 연료량이 엔진으로 공급되고 있음을 알 수 있다.

이것은 초기 시동시 엔진으로 공급되는 연료량 조절이 농후하게 되어 있기 때문이다.

또한 기존 연료 공급 방식의 경우에는 가시화 실험 결과로부터 시동 초기에 농후한 연료가 엔진으로 공급된다는 확인하였으나, 공기 연료비 결과에서는 희박하게 나타났고, 배기가스 분석 결과에서는 탄화수소의 양이 다소 높게 나타났다. 이것은 실제로 농후한 연료가 엔진으로 공급되고 있으나 광역산소센서는 연소 후 산소의 양을 측정하여 공기연료비를 알 수 있으므로, 초기 시동시에 농후한 연료공급으로 인한 불완전 연소때문으로 판단된다.

그리고 초기 시동시에 완전 기체 연료가 공급되었을 때 농후한 혼합기 조성으로 인해 미연 탄화수소(UHC) 농도는 글로우 플러그를 사용한 경우보다 9.7% 높게 나타났다.

또한, CO의 농도는 혼합기가 농후할수록 많이 나오게 되므로 공기연료비 그래프에서 나타난 농후한 순으로 배출량이 높게 나타나는 경향을 보이고 있다.

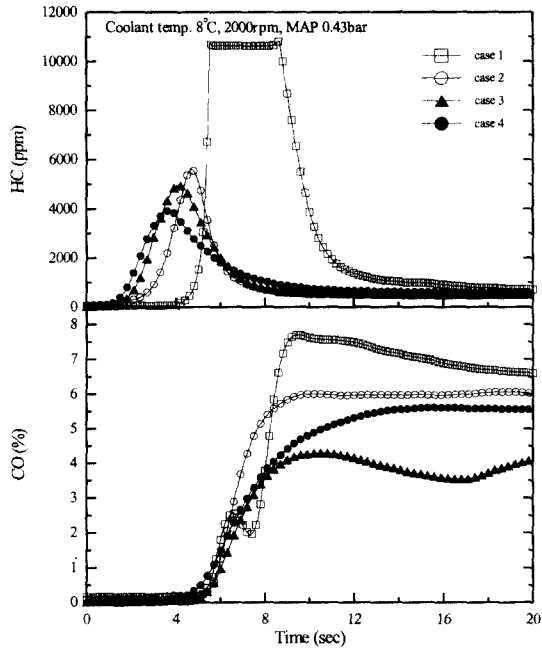


Fig. 14(a) Comparison of HC and CO concentration between supply liquid and gaseous LPG and supply gaseous LPG at start and part

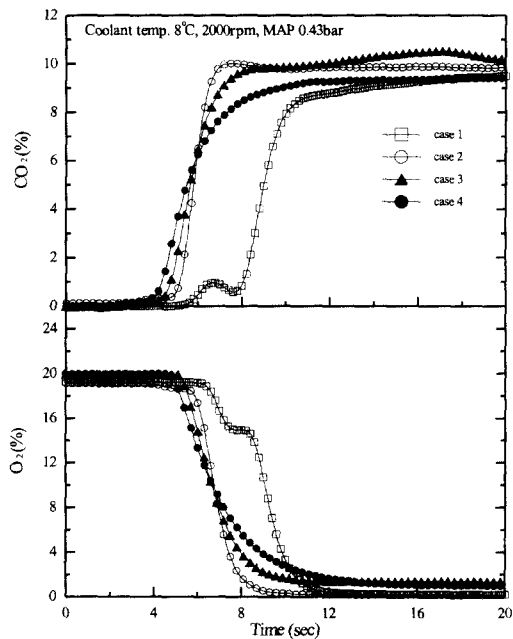


Fig. 14(b) Comparison of CO₂ and O₂ concentration between supply liquid and gaseous LPG and supply gaseous LPG at start and part

따라서 초기 시동시에 엔진으로 공급되는 연료량을 이론공연비 수준으로 조절하고, 글로우 플러그 적용하여 사용한다면 엔진으로의 원활한 연료 공급과 낮은 배출물 특성을 기대할 수 있다.

CO₂와 O₂의 농도는 시동 후 시간이 경과할수록 믹서타입의 경우와 비교하여 각각 증가와 감소의 경향을 보였고, 액체 상태의 LPG만 공급되었을 경우를 제외하고는 초기 연소가 시작되는 시점에서는 각각의 조건에서 대부분 유사한 경향을 보이고 있다.

4. 결론

LPG 엔진의 냉 시동시 시동성 및 배출물 저감을 위해 증발기 내부의 가시화 실험과 엔진 실험을 통해 얻은 결론은 다음과 같다.

1) 가시화 실험을 통해 열원을 공급해 줄 수 없는 기화기에서는 액상의 연료가 증발기 내에 가득 찬 상태에서 기상의 연료를 공급해도 다량의 액상 LPG가 1, 2차실로 유입될 수 있다.

2) 완전한 기체상태의 연료만을 공급하면서 크랭킹을 한 경우와 비교하여 액상의 연료가 예열실로부터 1, 2차실로 유입된다면 시동성능의 저하와 유해 배출물이 증가된다.

3) 시동보조 장치 장착으로 기존 연료공급방식 대비 초기 시동 기간은 약 20% 단축시킬 수 있고, 미연탄화수소의 농도는 약 22% 감소시킬 수 있다.

4) 현재 LPG 엔진의 제어가 초기 시동시에 이론공기 연료비에 비해 19% 정도 농후하게 조절되어 있으므로 이론공기연료비로 조절하고 글로우 플러그를 장착할 경우 원활한 연료공급과 유해 배출물 저감 효과가 기대된다.

참고 문헌

- 1) A. Stodart, "Fuel System Development to Improve Cold Start Performance of a Flexible Fuel Vehicle," SAE 982532, 1998.
- 2) Sihun Lee, "A Comparison of Fuel Distribution and Combustion During Engine Cold Start for

- Direct and Port Fuel Injection,” SAE 1999-01-1490, 1999.
- 3) J. Robert, “Changes in Pollutant Emissions from Passenger Cars under Cold Start Conditions,” SAE 961133, 1996.
- 4) G. Gerd, “Direct Air Injection for Substantial Improvement of SI Engine Cold Start Performance,” SAE 971069, 1997.