

## LPG 가스분사시스템의 기초특성에 대한 실험적 연구

장열성<sup>†</sup> · 우성동 · 김형식 · 박찬준\* · 엄인용\*

서울산업대학교 에너지환경대학원, \*서울산업대학교 기계공학과  
(2006년 9월 21일 접수, 2006년 10월 30일 채택)

## An Experimental Study on the Fundamental Characteristics of LPG Gas Injections System

Yeol-Sung Jang<sup>†</sup>, Sung-Dong Woo, Hyeong-Sig Kim, Chan-Jun Park\* and In-Yong Ohm\*

Graduate School of Energy & Environment, Seoul National University of Technology, Seoul, Korea

\*Department of Mechanical Engineering, Seoul National University of Technology, Seoul, Korea

(Received 21 September 2006, Accepted 30 October 2006)

### 요 약

본 연구에서는 온도 변화에 따른 실제 연료에서의 증기압 변화를 관찰하기 위하여 부탄 100%를 사용하였다. 연료공급방식은 V-6 엔진의 다점분사시스템과 동일하며 연료의 액상 가능성을 최소화하기 위하여 연료레일은 “L” 형상으로 설계하였고, 순차분사시스템을 사용하여 한 열로 작동되도록 하였다. 분사유량은 분사시간, 엔진속도, 연료공급압력에 따라서 측정되었다. 또한 액상으로 분사되는 것을 방지하기 위하여 베이퍼라이저와 연료레일 온도를 변화시켜 가며 실험하였다. 그 결과 연료분사의 기본적인 특징으로 공기와 LPG 분사의 상대적인 차이를 확인하였다. 하지만 냉 시동 하에서는 압력이 조금만 증가하여도 액상분사가 발생하였고, 베이퍼라이저와 연료레일 사이에서의 충분히 높은 온도가 가스분사를 하는데 매우 중요한 인자임을 확인하였다. 또한, 베이퍼라이저의 온도는 LPG를 기상으로 유지하는데 보다 중요한 역할을 했고, 연료레일의 “L” 형상은 액상분사의 억제에 기여를 하였다.

**주요어** : 다점분사, 순차분사, 베이퍼라이저

**Abstract** — In this study, butane 100% was used as fuel to verify the real fuel effect such as vapor pressure variation due to temperature change. A MPI fuel injection system for V-6 engine, which has reverse “L” type cross section to minimize the possibility of liquid phase injection, was composed and one bank was operated under sequential injection scheme. Flow rate were measured according to injection duration, interval, and pressure. Also occurring of liquid phase injection was monitored with varying vaporizer and fuel rail temperature. The result shows that basic characteristics of injection is a relatively difference between air and LPG injection. Under cold start condition, however, the occurrence of liquid injection becomes more severe as the pressure increases, and sufficiently high temperature both in vaporizer and fuel rail is very important to insure gaseous injection. In addition, the temperature of vaporizer plays more important role in keeping LPG vapor state and the reverse “L” type cross section of the rail is available to prevent liquid injection.

**Key words** : MPI (Multi Point Injection), Sequential injection, Vaporizer

<sup>†</sup>To whom correspondence should be addressed.  
Graduate School of Energy & Environment, Seoul National  
University of Technology, Seoul, Korea  
Tel: 02-970-6936  
E-mail: carjys@hanmail.net

## 1. 서 론

강화되는 배기가스 규제와 환경오염 문제가 크게 대두되면서 이에 대응하기 위한 신기술이 도입/연구되고 있으며 동시에 가솔린이나 디젤 연료에 비해 이산화탄소의 배출이 적고 비교적 배기가스가 청정한 대체연료에 대한 관심이 높아지고 있다. 이중 LPG(Liquefied Petroleum Gas)연료는 청정연료로 인식되어 왔으며 낮은 압력에서 액화가 가능하여 적재성과 항속거리가 우수하고 연료공급을 위한 인프라 구축이 많이 이루어져 있는 실정이다. 이러한 LPG를 이용한 엔진은 스토틀 전면에서 혼합기가 형성되는 믹서(Mixer)방식과 각각의 실린더에 연료를 공급하여 인젝터 신호에 의해 연료량을 제어하는 다점분사방식 등이 있다. 이중 다점분사(MPI)방식의 LPG 가스분사시스템에 대한 연구가 이루어지고 있으며<sup>[1][2]</sup> 이러한 LPG 분사방식에서 중요한 인자중 하나는 분사유량을 정확히 제어하는 것으로 기존의 믹서방식에서는 정확한 분사유량을 알 수가 없었다. 하지만 LPG 가스분사시스템에 다점분사와 같은 방식이 적용됨에 따라 분사유량을 정확히 제어 할 수가 있게 됨으로서 연료분사장치는 적절한 양을 정밀하게 제어하여 공급할 수 있었지만 가스분사시스템은 냉시동 초기에 연료가 기상상태

가 되지 못하고 액상의 분사가 이루어져 흡기포트나 연소실 등의 벽면에 부딪혀 액막상태가 되어 연소효율을 저하시켜 유해 가스량을 증대시키는 문제점이 발생하였다. 이에 연료의 기화가 잘 이루어지게 할 수 있는 연료공급시스템의 개발이 요구되고 있다<sup>[4]</sup>. 따라서 본 연구에서는 LPG 연료의 기화를 촉진하여 연료레일 내부의 연료를 가열하는 방법에 대한 액상과 기상의 발달 과정을 확인하고 실험조건에 따른 LPG 가스분사시스템의 기초연구를 수행하였다<sup>[5][6]</sup>.

## 2. 실험장치 및 방법

### 2-1. 실험장치

Fig. 1은 실험장치 구성에 대한 개략 도를 나타낸 것이다. 흡기포트 분사식 LPG 연료공급 장치로서 가스분사시스템을 적용하여 연료분사유량 측정과 LPG 연료의 액·기상여부 실험을 위한 Rig장치를 구성하였다. 실험에 사용된 인젝터와 연료레일의 형상 및 특징을 Fig. 2와 Table 1에 나타내었다. 인젝터의 경우 솔레노이드에 의하여 니들밸브를 개폐하는 Pick & Hold방식으로 전류를 제어할 수 있도록 되어있으며 LPG는 높은 압력과 저온에서 쉽게 액화하는 특성이 있어서 분사에 의한 연

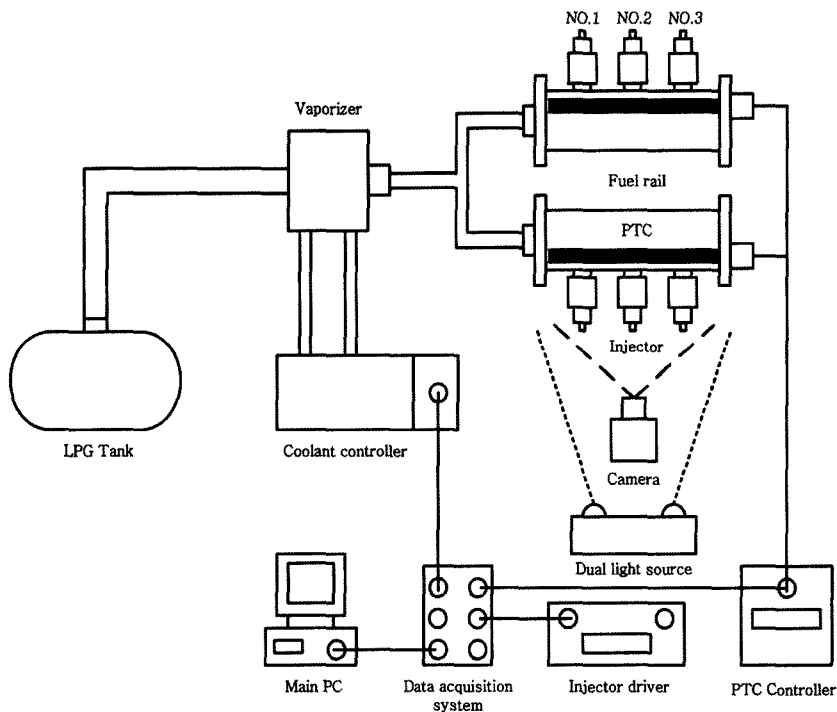
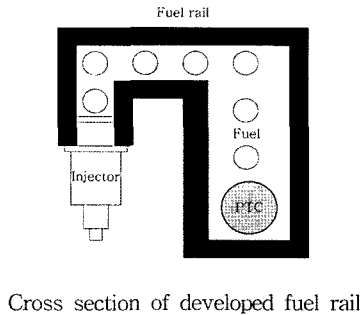
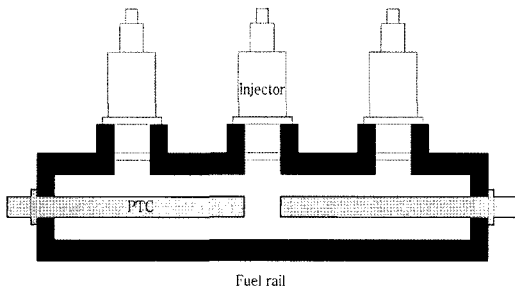


Fig. 1. Schematic diagram of experimental apparatus.



Cross section of developed fuel rail



Heater installed in fuel rail

Fig. 2. Schematic diagram of heated fuel rail system.

Table 1. Fuel rail specification.

Rail location	Intake manifold
Rail volume (cc)	1970
Rail diameter (∅)	44
Rail length (mm)	320

료공급방식이 상방향(Top Feed) 방식인 인젝터가 사용되었다. 본 연구에서는 분사에 따른 연료레일의 압력변동이 인젝터의 유량에 영향을 주지 않도록 최대한 체적을 확보한 가스분사 전용의 연료레일을 설계 제작하였으며 연료압력증가 및 온도 저하에 따라 연료가 액상으로 존재할 가능성을 배제하기 위해 PTC(Positive Temperature Coefficient) 소자를 이용한 연료증발장치를 연료레일 내부에 설치하여 엔진이 정상적인 작동온도에 도달되지 않은 시동 초기에 연료증발장치의 고온표면에 연료를 직접 접촉시켜 기화를 촉진시킴으로써 액상의 연료가 기화시 요구되는 열원을 공급하였다. 또한 연료레일의 단면을 “ㄱ”자 형으로 설계하여 액상분사의 확률을 최소화 하고자 하였다.

2-2. 실험방법

실험의 주요조건들은 Table 2에 제시하였다. 본 연구에서는 조성비가 부탄 100%인 LPG를 사용하였으며 분

Table 2. Experimental conditions.

Engine speed (rpm)	600~6000
Injection duration (msec)	5~15
Fuel injection pressure (bar)	0.3~2.5

사유량 측정 실험은 연료공급압력과 분사시간, 엔진속도에 따라 수행되었으며 인젝터의 분사유량 특성을 알아보기 위하여 분사시간의 변화에 따라 연료의 분사유량을 도시하였다. 단발분사로 분사되는 연료량은 그 양이 매우 적기 때문에 동일 분사시간에서 측정의 정확도를 위해 300회 동안 분사되는 연료량을 투명아크릴 용기를 이용하여 체적을 측정 후 체적유량으로 환산하였으며 이를 평균하여 인젝터 1회 분사에 대한 데이터를 제시하였다. 적용된 연료분사시스템은 비회귀방식(Returnless Type) 연료공급시스템으로 연료가열장치를 부착할 경우 가열된 연료의 연료탱크로의 손실이 없으므로 연료가열에 더욱 효과적이다. 또한 비회귀형 연료공급시스템은 구조상 연료공급관로 내부에 연료증발장치를 장착할 수 있으므로 대기 중으로의 열손실도 최소화 할 수 있다. 따라서 비회귀형 연료공급시스템에 대하여 연료증발장치를 구성하여 실험을 하였고 효과적인 열전달을 위하여 연료와 직접 접촉하도록 연료증발장치를 설계 제작하여 연료레일내부에 설치하였다. LPG는 연료의 압력과 온도에 의해 액상 및 기상 또는 액·기상이 동시에 존재하게 되므로 연료의 온도와 압력변화에 따라 일정한 압력 온도를 조절하였다. 연료탱크에서 송출된 액상의 LPG는 연료펌프를 이용하여 베이퍼라이저로 보내지고 감압기 화과정을 거쳐 연료레일로 공급되며 베이퍼라이저로 공급되는 냉각수 온도는 냉각수 컨트롤러를 이용하여 일정한 온도로 조절할 수 있도록 하였다. 연료의 분사는 인젝터 컨트롤러를 이용하여 분사되고 분사횟수와 분사신호의 폭을 실험조건에 맞게 조절하였다. 연료의 온도와 압력은 연료레일에 설치된 온도센서와 압력센서를 이용하여 모니터링 하였고 다점분사식 LPG 공급시스템을 이용한 Rig 실험을 통해 실험조건에 따른 연료량분사특성과 LPG 연료의 액·기상여부를 제시하고자 한다.

3. 결과 및 고찰

Fig. 3은 통전시간에 따른 PTC의 온도변화를 나타낸 그래프이다. PTC 히터의 최대 소비전력은 400 W이며 발열량을 조절하기 위해 전압을 조정하여 이용하였다. PTC 히터의 표면온도는 초기 20초까지는 200°C까지 급격히 상승하다가 이후 220°C 정도에서 일정한 온도를 유지하였다. 이는 연료증발기 고온의 표면에 의해 LPG 연료가 조기 증발함에 따라 냉간 시동 시에 기상연료의 분

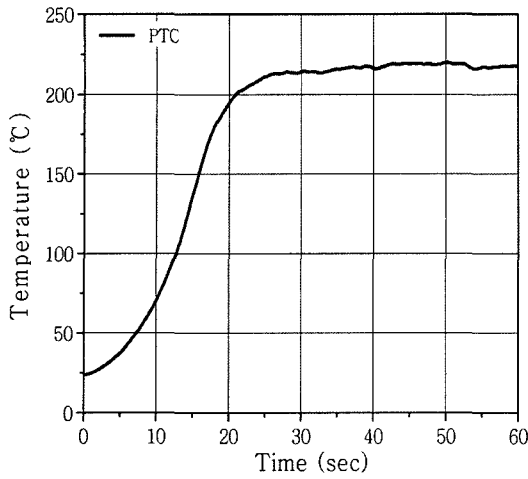


Fig. 3. Temperature characteristic according to the PTC.

사가 가능하리라 판단되며 LPG의 경우 압력과 온도에 따라 액·기상이 존재하게 되므로 분사압력의 상승에 따른 분사 압 변동에 의한 온도 저하까지를 고려할 때 연료 레일의 온도를 일정온도이상 확보하여야한다.

Fig. 4는 인젝터 단품의 분사유량 특성을 알아보기 위하여 엔진속도(1200 rpm)와 분사시간의 변화에 따른 연료의 분사유량을 도시하였으며 인젝터를 통해 분사되는 기체유량의 체적유량을 나타낸 그림이다. 연료공급시스템에서 공급되는 압력을 변화시키면서 인젝터를 통해 분사되는 연료의 유량을 보면 공급압력이 증가하면 분사되는 유량이 증가함을 알 수 있고 분사시간이 증가함에 따라 분사유량이 거의 선형적으로 증가함을 알 수 있었다. 또한 인젝터의 연료 분사 기간이 일정할 경우 분사 압력의 증가는 인젝터로부터 분사되는 연료의 분사유량을 증가시키는 인자임을 알 수 있었다.

Fig. 5는 엔진속도에 따른 분사유량의 실험결과를 나

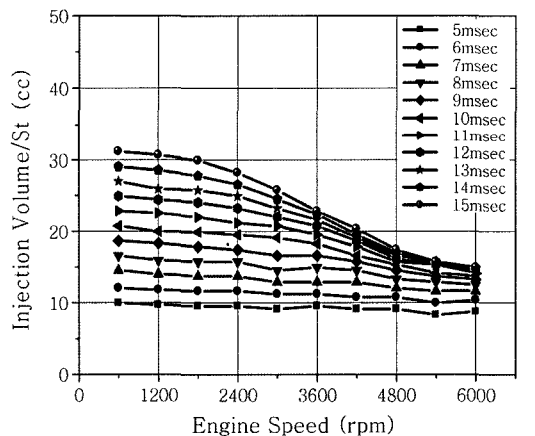
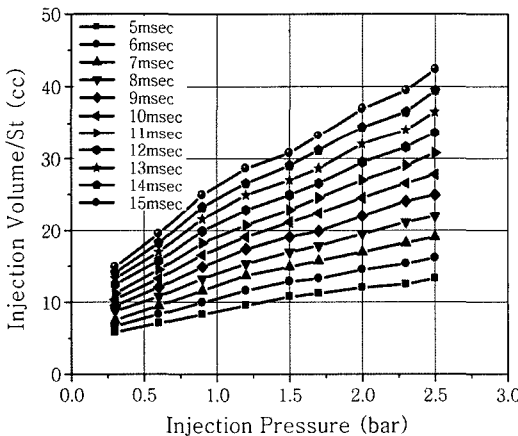
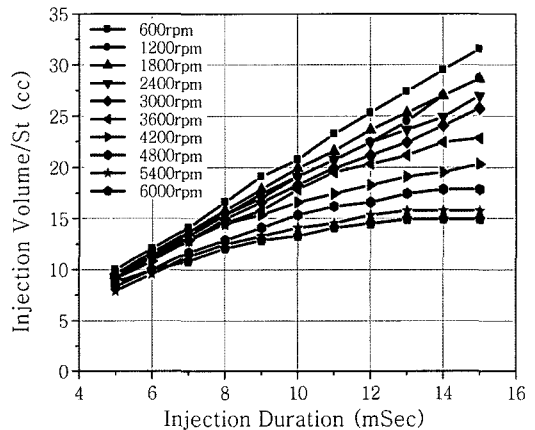
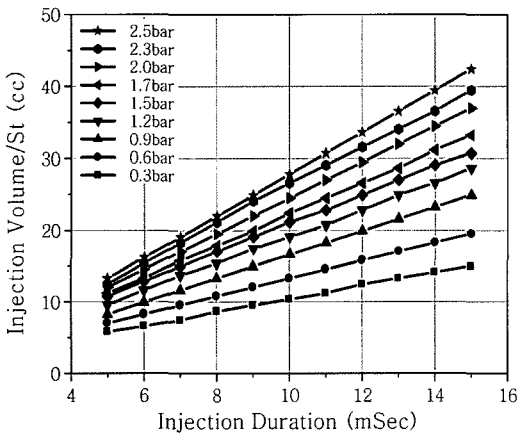


Fig. 4. Effect of injection pressure on injection flow rate according to fuel injection duration (Engine speed : 1200 rpm).

Fig. 5. Effect of engine speed on injection flow rate according to fuel injection duration (Injection pressure : 1.5 bar).

타내었으며 연료공급압력(1.5 bar), 분사시간, 엔진속도를 변화시켜가며 분사유량을 측정하였다. 인젝터에서 분사되는 분사유량을 엔진속도의 변화에 대하여 비교한 것으로 엔진속도가 3000rpm 이하 일 때는 분사유량과 분사시간 사이에는 직선적 비례관계가 있었으나 엔진속도가 3000 rpm 이상 일 때는 분사 시간이 증가됨에 따라 분사 유량이 감소됨을 볼 수 있는데 이는 베이퍼라이저의 연료공급용량이 고속에서는 충분히 공급되지 않으므로 인해 분사유량의 처짐 현상이 발생된다고 판단되며 결과적으로 고속에서도 안정된 분사유량을 확보하기 위해선 베이퍼라이저 용량의 증가가 요구된다고 판단된다.

Fig. 6은 분사유량의 실험결과를 나타내었으며 엔진속도와 연료공급압력을 변화시켜가며 분사유량을 측정하였다. 엔진속도가 빠를수록 분사유량이 감소함을 알 수 있었고 저속회전 영역에서는 인젝터 간 분사유량의 차이가 적게 나타났지만 고속회전 영역에서는 분사유량의 처짐 현상을 볼 수 있었다. 이는 고속회전에서 베이퍼라이저 공급용량이 현저히 저감되어 발생하는 현상으로

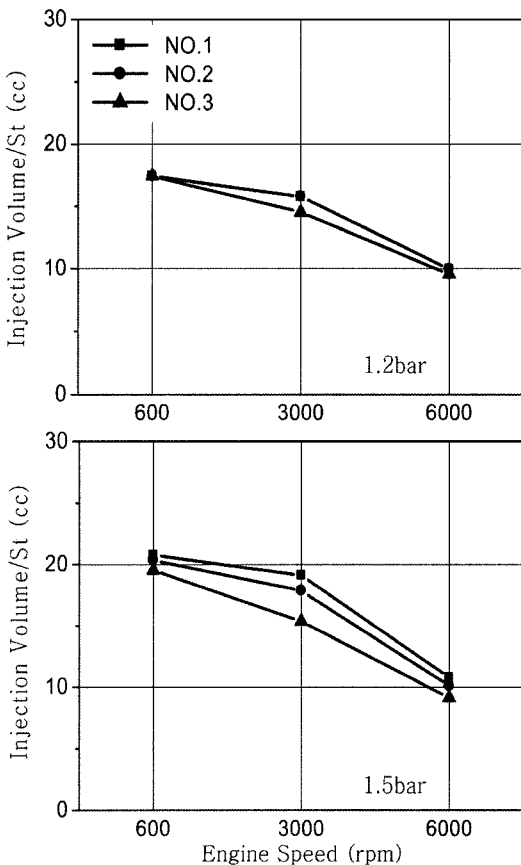


Fig. 6. Flow rate due to supply pressure to fuel rail.

판단된다. 또한 인젝터별 유량을 비교했을 때도 Fig. 1에서 볼 수 있듯이 NO. 3 인젝터가 가장멀리 떨어져있고 NO. 1 인젝터가 가장가까이에 위치하며 이 현상으로부터 인젝터가 입구에 가까울수록 유량 처짐 현상이 둔화되는 것을 알 수 있었다. 물론 유량계의 특성을 확인하기 위해서 1번 3번 인젝터를 바꾸어 보았으나 역시 동일한 결과를 얻었다. 또한 연료공급압력이 낮아짐에 따라 인젝터간 분사유량차이가 작아짐을 알 수 있는데 이는 분사압력이 다를 때 단위시간당 분출되는 연료의 양이 다르기에 나타나는 현상이라 판단된다.

Fig. 7은 연료의 액상분사와 기상분사가 발생할 때 연료레일의 온도변화를 나타낸 것으로 빠른 상변화 관찰을 위해 엔진속도(6000 rpm), 분사시간(10 ms), 연료공급압력(1.2 bar) 등을 설정하여 측정하였고 베이퍼라이저에 공급되는 냉각수온도를 20°C로 일정하게 유지하면서 연

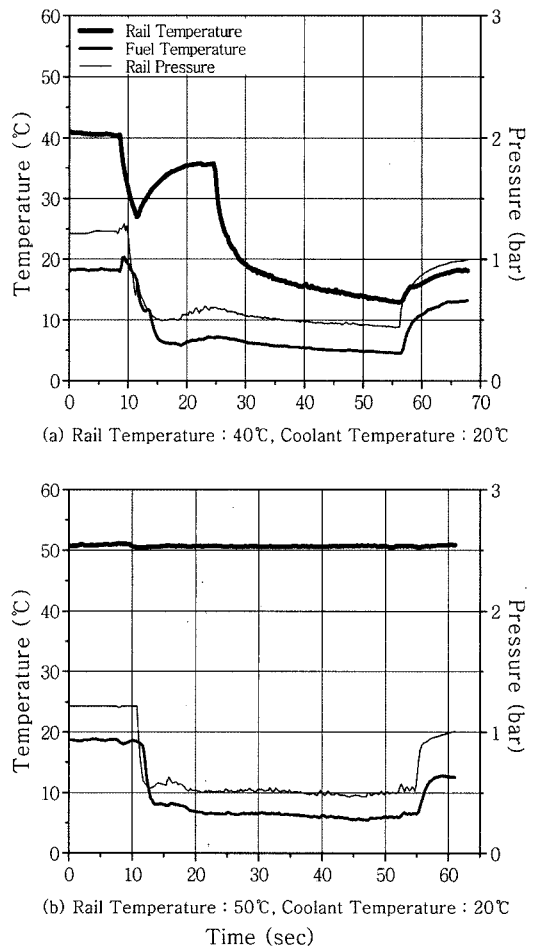


Fig. 7. Fuel rail temperature experimental results.

료레일의 온도를 변화시키며 수행하였다.

Fig. 7(a)은 액상분사가 발생한 경우에 대한 것으로, 강제열원을 공급한 경우에도 연료레일의 온도는 급격히 강하하고 약 25초 후부터는 연료레일의 온도가 분사연료의 온도에 수렴해 간다는 것을 알 수 있었고 약 30초 후부터는 온도가 낮은 1번 인젝터부터 액·기상의 연료가 분사되기 시작하여 종래에는 액상분사현상이 나타나기 시작하였는데 이는 유량이 증가됨에 따라 연료를 기화시키기 위해 요구되는 잠열의 증가로 벽면의 온도는 계속감소하게 되어 연료레일의 온도가 떨어지고 액상 분사된 연료의 증발로 인해 연료레일 벽면과 주변 온도가 서서히 강하하게 되며 특히 액·기상혼재 분사시 이후부터는 연료레일의 온도가 급격히 강하 하였는데 이는 연료증발장치가 초기에 분사된 연료는 기화시킬 수 있는데 비하여 계속하여 분사된 연료까지는 충분히 기화시킬 수 없다는 것을 가리키고 있다. 그러나 이것은 공급되는 연료량과 연료증발장치의 용량을 상호 판단하여 장치의 용량을 증대시킴으로서 충분히 해결될 수 있는 문제라고 생각되었다.

Fig. 7(b)은 기상분사만 발생한 경우인데, 연료증발장치를 이용 연료레일의 온도를 상승시킴에 따라 연료의 기화정도가 개선되어 레일온도 40°C에서 발생했던 액상 분사현상이 나타나지 않았다. 이는 연료증발장치의 표면 온도 상승에 의한 열 교환으로 기화가 활발히 이루어지면서 연료가 기체상태로 변화되어 연료레일의 온도 또한 일정온도를 유지하며 기상분사상태를 유지하였다. 이는 연료레일의 온도를 증가시킬수록 증발이 촉진되어 연료레일의 온도가 기상연료분사의 영향인자임을 알 수 있었다.

Fig. 8은 액상과 기상의 분포 변화를 비교해 볼 수 있도록 나타낸 것으로 연료공급압력의 변화에 따른 액상과 기상의 분포영역을 외곽선으로 겹쳐서 나타내었다. 냉각수온도(20, 40, 60°C)와 연료레일온도(10, 20, 30, 40, 50°C)를 가열하면서 Fully warm up 상태를 재현한 것으로 엔진속도(6000 rpm), 분사시간(10 ms), 연료공급압력(1.2, 1.5, 2.0, 2.3, 2.5 bar) 등을 변화시켜가며 측정하였고 액·기상 여부의 판별은 액상의 연료가 나오기 전에 액·기상이 혼재된 연료가 먼저 나오기 때문에 이 혼재된 연료가 나오는 시점을 잡아서 액상분사 여부를 판별하였다. 전반적으로 냉각수온도와 연료레일의 온도가 상승하면서 연료가 증발하여 액상에서 기상으로 바뀌며 압력이 증가되면 연료의 증발이 감소되고 액상분사의 현상이 발생한다. 이는 LPG의 경우 압력과 온도에 따라 액·기상이 존재하게 되므로 분사압력의 상승에 따른 분사 압 변동에 의한 온도 저하까지를 고려할 때 연료레일의 온도를 일정온도이상 확보하여야함을 보

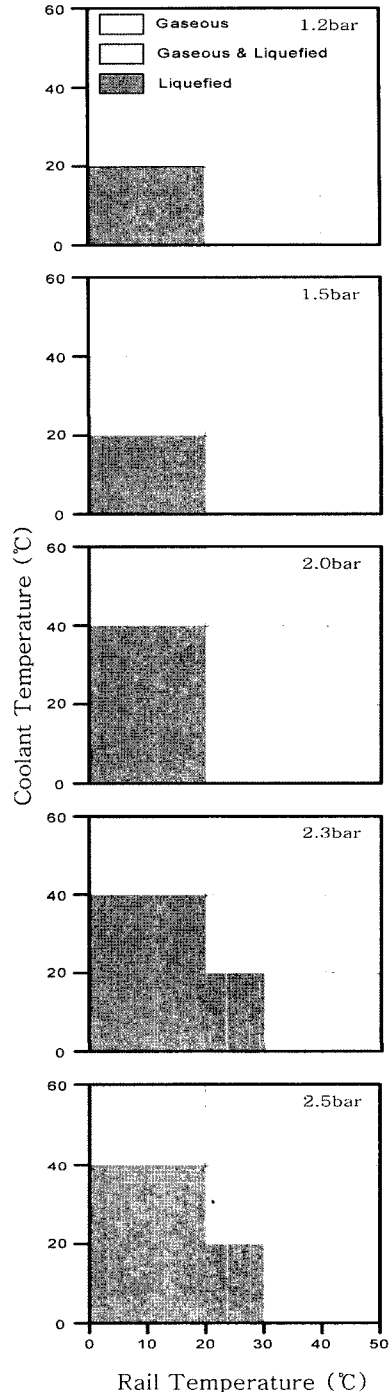


Fig. 8. Schematic diagram of injected fuel phase according to coolant/rail temperature and fuel pressure.

여주며 결과적으로 낮은 연료공급압력과 연료레일내부의 온도 상승은 연료의 액상분사현상을 저감시킬 수 있

음을 보여준다.

#### 4. 결 론

LPG 가스분사시스템의 분사유량특성과 액·기상연료의 기화특성에 대한 기초실험을 수행하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 공급압력이 증가하면 분사유량이 증가함을 알 수 있었고 분사시간이 증가함에 따라 분사유량이 거의 선형적으로 증가하였다.

2) 엔진속도가 증가됨에 따라 분사유량이 감소됨을 볼 수 있는데 이는 베이퍼라이저의 연료공급용량이 고속에서는 충분히 공급되지 않으며 이로 인해 분사유량의 처짐 현상이 발생된다고 판단된다.

3) 가스분사시스템의 경우 인젝터가 연료공급라인과 가까울수록 또는 연료공급압력이 낮아짐에 따라 분사유량의 불균형 현상이 둔화되는 것을 알 수 있었다.

4) LPG는 비점이 높으므로 완벽한 연료 분사(분사 압 1 bar 이상)를 달성하기 위해서는 연료계의 전체 온도가 40°C 이상으로 유지되어야 한다.

5) 연료공급압력을 1.2 bar로 설정하여도 냉 시동 시 엔진의 냉각수 활용만으로는 적정 온도의 확보가 어렵고 추가적인 고품량의 가열 장치가 필요하다.

6) 베이퍼라이저만 가열하면 베이퍼라이저 이후 상대적으로 온도가 낮은 연료 공급 관과 연료레일에서 LPG가 재 응축하여 액상으로 존재하고 또한 분사에 따른 연료의 냉각 효과가 발생하여 연료레일에 추가적인 가열 장치가 요구된다.

#### 참고문헌

1. Barry R. Lutz; Rudolf H. Stanglmaier; Ronald D. Matthews. "The Effects of Fuel Composition, System Design, and Operating Conditions on In-System Vaporization and Hot System of a Liquid-Phase LPG Injection System", SAE 981388, 1998.
2. Lars Greger; Andy Stodart; Jim Maher. "Fuel System Development to Improve Cold Start Performance of a Flexible Fuel Vehicle", SAE 982532, 1998.
3. Pan, C.-P.; Li, M.-C.; Hussain, S.F. "Fuel Pressure Control for Gaseous Fuel Injection Systems", SAE 981397, 1998.
4. Kim, W.S.; Lee, J.; Jang, C. "A Study on the Combustion Characteristics and the Control on the Fuel Flow Rate of LPG Intake Port Injection Engine", Transactions of the Korean Society of Automotive Engineers, 2000, 8(6), 31-39.
5. Sunwoo, M.; Yoon, P.; Park, S.; Eo, Y.; "An Experimental Study of Influences of Fuel-Rail Heating on Fuel Atomization", SAE 1999-01-0793, 1999.
6. Kim, W.S.; Lee, J.H.; "A Study for the Improvement of Start Ability and Exhaust Emissions in a Conventional Mixer Type LPG Engine on Cold Start", Transactions of the Korean Society of Automotive Engineers, 2002, 10(1), 84-92.