

## LPLi 엔진 인젝터의 결빙조각 형성이 연소 및 배기가스에 미치는 영향

박정철<sup>\*1)</sup> · 김우석<sup>1)</sup> · 이종화<sup>2)</sup> · 이병옥<sup>2)</sup> · 박경석<sup>3)</sup>

아주대학교 대학원 기계공학과<sup>1)</sup> · 아주대학교 기계공학부<sup>2)</sup> · 금오공대 기계공학부<sup>3)</sup>

### Visualization of the Icing at LPLi Engine Injector and the Effect of the Inflow of Ice Particle into Cylinder on the Combustion and the Exhaust Gas

Jungcheol Park<sup>\*1)</sup> · Wooseok Kim<sup>1)</sup> · Jonghwa Lee<sup>2)</sup> · Byungohk Lee<sup>2)</sup> · Koungseok Park<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup>Automotive Engineering, Lab., Graduate School of Mechanical Engineering, Ajou University, Suwon 442-749, Korea

<sup>2)</sup>School of Mechanical Engineering, Ajou University, Suwon 442-749, Korea

<sup>3)</sup>School of Mechanical Engineering, Kumoh National Institute of Technology, Gu-mi 730-701, Korea

(Received 10 November 2003 / Accepted 10 February 2004)

**Abstract** : As air pollution has become an important issue across the world, studies of clean fuel are on going to reduce combustion emissions. One example is development of the LPLi(Liquefied Phase LPG injection) engine. Some problems are occurred during development. One of the problems is icing phenomenon at injector tip due to evaporation potential heat when liquid LPG is injected. If the Icing is raised at injector tip or injector inserting hole, it disturbs fuel injection. And if the ice particles are inducted into cylinder, it brings problems associated with control of emission and air/fuel ratio. In order to solve the problems, a rig system was set up and observed Icing of injector tip. Engine test was carried out for visualization of injector tip icing and its effects on combustion and emissions.

**Key words** : LPG(액화석유가스), LPLi(액화석유가스 액상분사), Visualization(가시화), Icing(응결현상), Injector tip(인젝터 끝단)

### 1. 서론

자동차의 배출 가스에 대해서는 북미를 중심으로 매우 강력한 규제를 시행 중에 있어, 세계 각국의 자동차사 및 부품 개발사 등은 이러한 규제에 대응하기 위한 기술 개발에 많은 노력을 기울이고 있다.

이러한 규제 강화의 대안으로 LPG 연료의 사용은 가솔린과 디젤 연료의 대체 에너지로서 활발히 연구되고 있다.

흡기 포트 액상 분사식 LPG 공급 시스템은 SI 엔진의 연료 공급 장치로 사용되어지고 있는 MPI

(Multi Point Injection)방식과 각각의 실린더에 연료를 균일하게 공급하고 연료 분사 신호를 변화시켜 연료량을 제어한다는 점에서 유사하다 할 수 있다.

MPI의 장점인 흡기관 형상에 따른 실린더별 혼합기 편차 감소로 Emissions 촉매의 변환 효율을 높이고, 흡기 포트 내에 공급되지 않은 잔량의 혼합기를 최적화 할 수 있으며, 가스 분사식에 비하여 좋은 응답성과 높은 출력을 얻기에 유리하다.<sup>1,2)</sup>

그러나, LPG는 상온에서 포화 증기압(약 0.23 MPa)이 높기 때문에 감압 비등이 쉽게 일어난다.<sup>2)</sup> 연료 분사 후 감압비등은 액적 미립화와 체적효율 개선에 도움이 되는 현상으로 볼 수 있으나, 인젝터 팁 부근의 급격한 온도 저하로 인해 실린더로 유입

\*To whom correspondence should be addressed.  
parkkong95@hotmail.com

되는 공기 중의 수분이 응결되는 현상(Icing)은 문제점으로 대두되고있다.

특히, 외기의 습도가 높을 때 인젝터 주위에서 결로가 얼어 인젝터 팁이나, 주위 벽면에서 성장하게 되면 연료 분사 시 저항 성분으로 작용하거나 Icing 조각들이 실린더 안으로 유입되어 결국엔 정확한 공기연료비 제어가 어렵게 되는 문제점을 야기시킬 수 있다.

본 연구에서는 LPLi시스템을 개발함에 있어서 인젝터 팁 주위에서의 결빙 문제가 엔진 연소와 배기 배출 물에 미치는 영향을 확인하고 결빙 제거의 필요성을 부각 시키는데 그 목적이 있다고 하겠다. 결빙 문제 확인을 위한 첫번째 방법으로 가시화를 선택하였다. 서지탱크와 흡기 매니 폴드에 각각 CCD를 설치하여 인젝터 팁 주변에서의 결빙 생성 모습과 실린더 내로의 유입 과정을 촬영하였다. 둘째로 배기분석을 통하여 결빙조각이 연소실로 유입될 때 연소와 배기가스에 어떤 영향을 미치는지 확인하였다. 그 외에 실린더 압력과 공연비 변화를 통하여 결빙조각 유입으로 인한 연소의 영향을 분석하였다.

## 2. 실험장치 및 방법

Fig. 1은 엔진 실험을 위해 준비한 장치의 개략도이다. 실험에 사용된 엔진의 주요 제원은 Table 1에 나타내었다.

기관 동력계는 EC 형 수냉식 동력계를 사용하여 회전속도 및 토크를 제어하였고, LPG연료에 맞는 공연비 제어를 위해서 엔진 제어장치 개발장치(ETAS 및 제어 s/w)를 이용하였다.

공연비 측정에는 광역산소센서(MEXA-110 λ)를 사용하였다. 또한 배기가스 분석을 위해서 HORIBA사의 MEXA 8120배기분석 장비를 이용하였다. 실린더 압력 측정용 센서로는 KISTLER사의 스파크 플러그형 6051B를 6번 실린더에 장착하여 실린더 압력을 측정하였다.

Fig. 2는 인젝터 가시화를 위한 인젝터 설치 위치가 변경된 흡기 매니폴더, 공기 유동방향과 영상 취득 위치 등을 자세히 표현하였다.

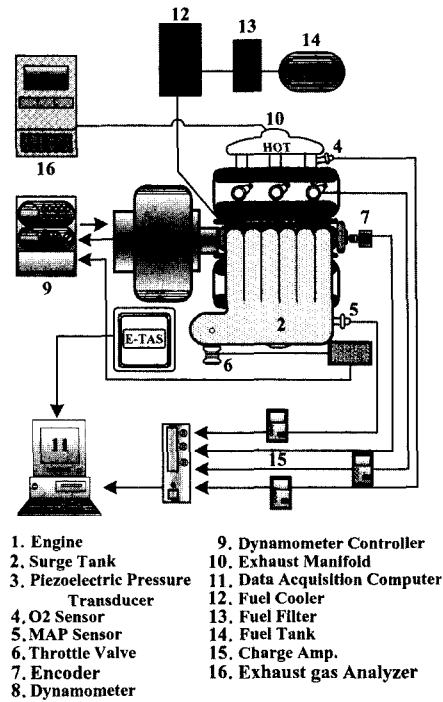


Fig. 1 Schematic diagram of LPLi engine test equipments

Table 1 Specifications of experimental engine

Engine		V-6 2.7 DOHC
Fuel		LPG
Bore × Stroke(mm)		86.7 × 75
Displacement(cc)		2,656
Connecting rod(mm)		141
Compression ratio		10.0
Intake valve	Open	6 deg. (BTDC)
	Close	38 deg. (ATDC)
Exhaust valve	Open	44 deg. (BTDC)
	Close	8 deg. (ATDC)

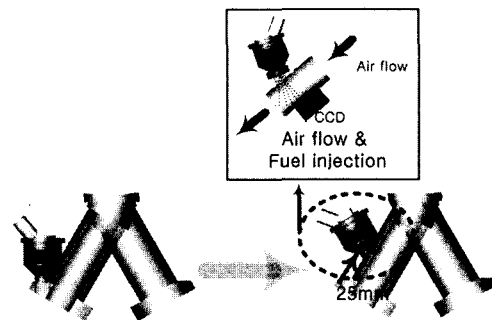


Fig. 2 Comparison of the original injector position and the moved injector position for visualization

인젝터 촬영은 1/4 DSP color CCD(f:3.6 mm, A.O.V : 78)를 이용하여 초당 30프레임으로 취득하고 digital 캠코더를 영상 저장장치로 사용하였다. Digital 캠코더에 저장된 영상은 캡션을 이용해 동영상과 정지 화상으로 취득하였다.

Fig. 3은 엔진 실험시 영상 취득을 위한 장치 개략도 이다. 인젝터 팁 부분에 발생한 결빙 조각들이 엔진 안으로 유입되는 순간을 촬영하기 위해서 16 mm 렌즈가 부착된 CCD1을 서지탱크 위치에 설치하였다.

인젝터 팁의 가시화는 CCD2에서 촬영하였다.

Fig. 4에는 실험대상 인젝터를 간략하게 소개하고 있다. 인젝터 팁 전방에는 인젝터 팁과 재질을 달리하는 재료로 구성되어 있고, O링과 O링을 지지하는 리테이너(Retainer)로 인해서 주위로의 열전달 또한 분리된 상태이다. 인젝터 팁 주위는 LPG액적의 기화와 더불어 온도 강하가 가장 활발히 진행되는 부분이고, 인젝터 삽입부분의 주위 벽면은 분사 후

미쳐 기화되지 못한 연료의 접촉에 의해 온도가 내려가게 되는 부분이다.

엔진 실험 조건은 BMEP 2.4bar에서 엔진회전수를 1500rpm, 2000rpm, 2500rpm으로 변화를 시켰다. 각각의 실험은 Fully Warm Up 상태(냉각수 온도 85~90℃)에서 수행하였고, 연료 압력은 절대압 7bar로 제어하였다.

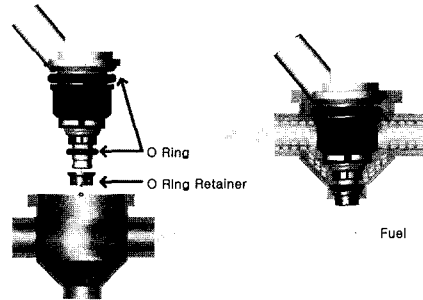


Fig. 4 Schematic drawing of the injector assembly and the flow of the liquefied phase

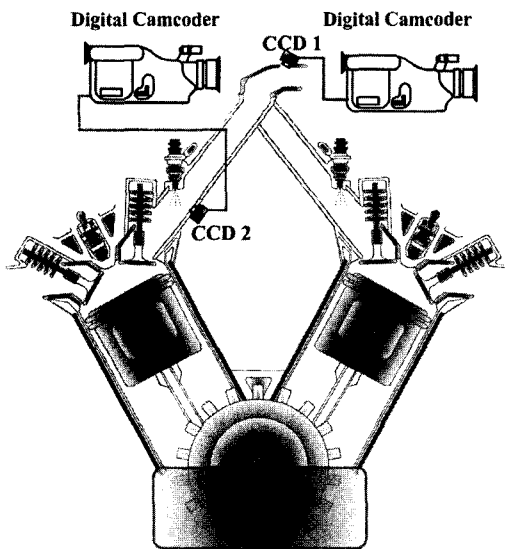


Fig. 3 Experimental set up for injector tip and fuel spray visualization

### 3. 실험결과 및 고찰

Fig. 5는 시간이 경과함에 따라서 인젝터 팁에서 결빙이 성장하는 모습을 관찰한 결과이다. 결빙은 인젝터 팁 주위에서 결빙핵이 생성된 후 점차적으로 커지고 어느 일정크기에 도달하면 결빙조각이 떨어져 성장하는 것을 반복한다.

Fig. 6은 팁에서 떨어져 나간 결빙 조각이 실린더로 유입되는 모습을 인젝터 팁을 관찰한 사진과 흡기 매니폴드를 관찰한 사진을 동기시켜 표현한 것이다. Fig. 6의 A에서는 연료 분사 초기의 사진이다. 결빙이 생성되지 않았고 실린더로 유입되는 결빙 조각도 없다. B는 팁주위에 결빙이 성장한 모습이고 작은 조각이 떨어져 나가서 실린더 안으로 유입되는 모습을 관찰한 사진이다. C는 B보다 더 큰 결빙조각이 떨어져 들어가는 모습을 관찰한 결과한 결과이다. C의 흡기 매니폴드를 관찰한 사진을 보

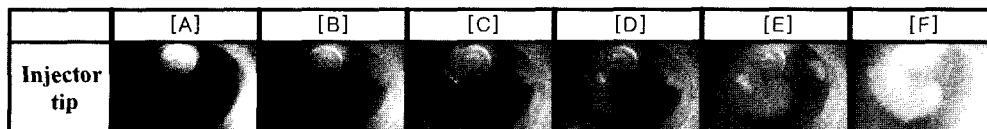


Fig. 5 Visualization images of the injector tip icing corresponds to elapsed time

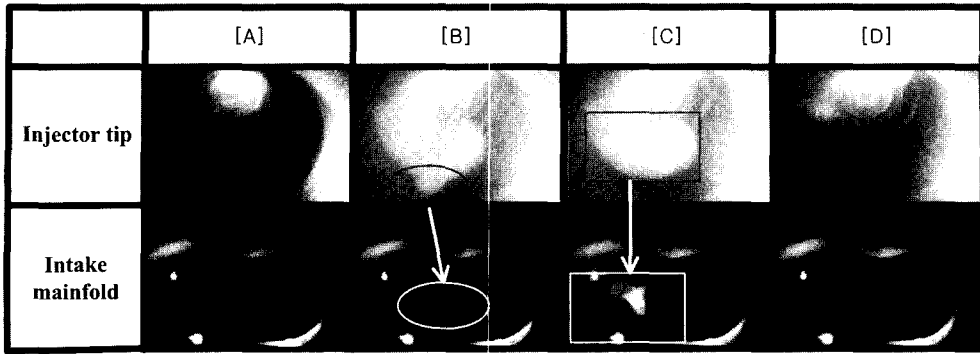


Fig. 6 Images of the icing of an injector tip and the inflow into cylinder at the same time

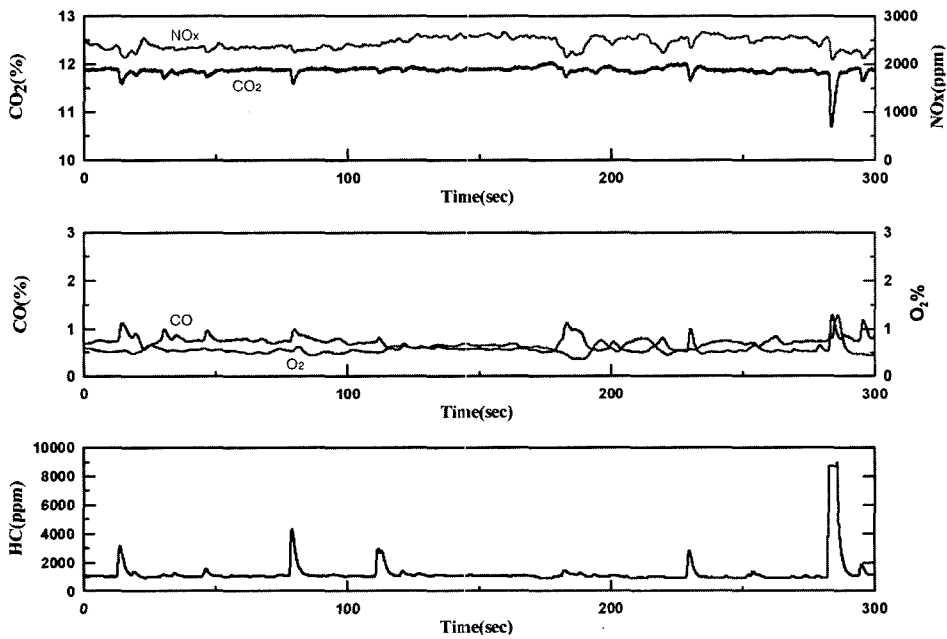


Fig. 7 The effect of the icing particle inflow into the cylinder #6 on exhaust gas emissions, at 2500rpm and bmep = 2.4bar

면 팁에서 떨어져 나간 결빙 조각은 그 형상을 잃지 않고 그대로 실린더 안으로 유입된다.

Fig. 7은 인젝터 팁에서 떨어져 나간 결빙 조각이 실린더로 유입 되었을 때의 배기시험 결과이다. 배기 분석 결과, 결빙 유입 후 몇 사이클 동안은 HC와 CO, O<sub>2</sub>의 농도 수치가 높아졌고 CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>의 농도 수치가 낮아짐을 알 수 있다. 이것은 결빙으로 인해 유입된 조각들이 연소 안정성에 영향을 줄 수 있고 공연비 제어에도 영향을 미치게 되어서 궁극적으로는

완전연소에 장애를 미칠 수 있음을 보여준다.

Fig. 8은 결빙조각 유입 순간을 촬영한 영상과 배기 분석 결과 중 결빙과 가장 민감하게 반응한 HC데이터, 6번 실린더 압력,  $\Phi$ 값을 동기시켜 비교한 그림이다. 그림에서 결빙조각 유입시의 실린더내의 최고 압력 변화를 보면 전체적으로 한 사이클 정도 낮게 측정이 되었고 결빙조각 유입사진 [7]번을 보면 다른 결빙조각 보다 큰 것이 유입되었는데 이때에는 약 다섯 사이클 정도 최고 압력이 낮게 측정 되었

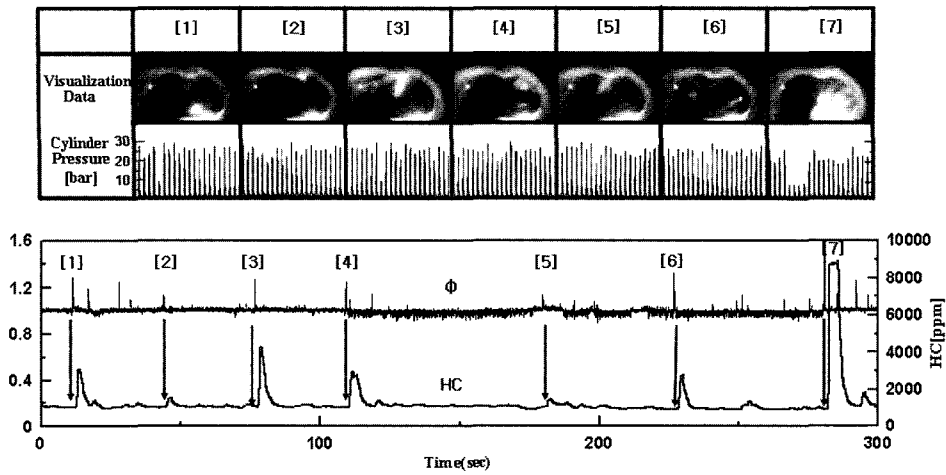


Fig. 8 The effect the of the icing particle inflow into the cylinder #6 on HC,  $\phi$ , cylinder pressure, and visualization image, at 2500rpm and bmep = 2.4bar

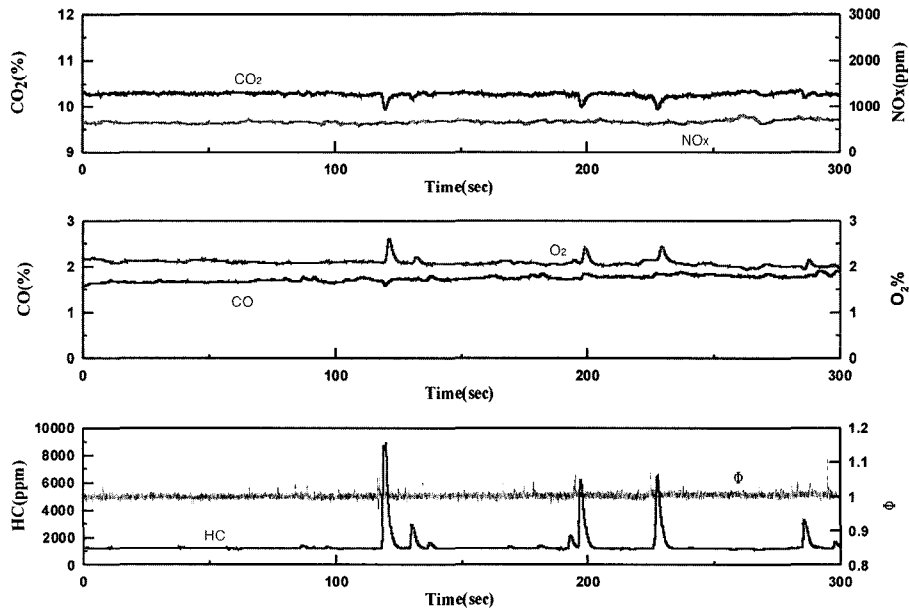


Fig. 9 The effect of the icing particle inflow into all cylinders on exhaust gas emissions, at 2500rpm and bmep = 2.4bar

다. 이는 결빙조각이 실린더에 유입되면 실린더 내부의 고열로 녹게 되어 증발가스가 연소에 영향을 끼친 결과로 볼 수 있다. 결빙조각의 유입시에 공연비 값은 결빙조각 내부에 포함되어 있는 연료의 영향과 또한 결빙 조각 크기가 클 경우 불완전 연소의 영향으로 농후한 값을 나타내고 있다.

다른 실험 조건들은 동일하게 하고 엔진 회전 속도만 변화시킨 실험에서도 역시 비슷한 결과들을 확인할 수가 있었다.

각각의 실험 결과로 미루어 볼 때 결빙조각의 유입은 그 크기에 따라서 다르지만 1사이클에서 크게는 5사이클까지 불완전 연소를 유발한다고 볼 수 있

다. 또한 HC의 경우에는 아주 미세한 결빙 조각의 유입에도 반응을 보였으며 실린더 안으로 유입되는 결빙 조각의 크기에 따라서 크기는 8배까지의 반응을 보였다.

Fig. 9는 2500RPM, BMEP 2.4bar에서 배기 뒷단에서 측정된 배기 분석 데이터와 당량비를 비교한 그래프이다. 결과 값은 단기통의 실험한 결과와 크게 다르지 않은 것을 확인 할 수 있다. 다만 결빙조각이 작은 미세한 덩어리가 유입되었을 경우에는 실린더 바로 뒷단에서 측정된 결과에서는 그 영향이 크게 드러났으나 배기 뒷 단에서는 다른 실린더의 배기 가스와 합쳐져서 영향이 드러나지 않았다. 하지만 입자가 큰 경우에는 배기 뒷 단의 결과도 HC의 농도 수치가 높게 나타남을 확인하였다.

#### 4. 결론

인젝터 팁에서 발생한 결빙을 가시화한 결과와 배기가스 분석등을 통하여 실린더로 유입되는 결빙 조각의 영향을 정리하면 다음과 같다.

- 1) 인젝터 팁을 관찰한 결과 결빙의 시작은 열적 취약부분인 O링 리테이너 부근을 중심으로 수분의 응결로 인한 핵이 생기면서 핵 주위로 결빙이 성장하고 일정 크기에 다다르면 떨어져서 실린더 안으로 유입되고 다시 성장하는 것을 반복하고 있다.
- 2) 배기가스 분석결과 결빙조각 유입 후 몇 사이클 동안은 HC, CO, O<sub>2</sub>의 농도 수치가 높아졌고 CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>의 농도 수치가 낮아졌다. 이러한 결과는 보통 불완전 연소시에 발생하는 결과와 유사하다.
- 3) 실린더 내 압력측정 결과 결빙조각 유입 후 작게는 1사이클에서 크게는 4사이클까지 실린더 최고 압력이 낮게 나타났다. 이 또한 결빙조각이 불완전 연소의 요인임을 입증하는 결과이다.
- 4) 결빙조각 유입시  $\phi$ 값이 농후한 결과를 보였다. 이와 같은 현상들 모두 결빙조각의 실린더 내부로 유입시, 불완전 연소가 유발됨을 확인하였다.
- 5) 불완전 연소로 인한 HC의 증가는 배기가스 문제로 직결되기 때문에 배기가스 저감을 목적으로 하는 LPLi 시스템에서 결빙의 문제는 간과해서는 안 될 중요한 문제점으로 확인되었다.

#### 후 기

본 연구는 “LG Caltex 가스/SK 가스/한국 LP 가스 공업협회”, 그리고 “국가지정 연구실 사업(NRL)”의 일부로 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

#### References

- 1) W. S. Kim, J. H. Lee, C. H. Jang, “A Study on the Combustion Characteristics and the Control on the Fuel Flow Rate of LPG Intake Port Injection Engine,” Transactions of KSAE, Vol.8, No.6, pp.31-39, 2000.
- 2) B. R. Lutz, R. H. Stanglmaier, R. D. Matthews, J. Cohen, R. Wicker, “The Effects of Fuel Composition, System Design, and Operating conditions on In-System Vaporization and Hot start of a Liquid-Phase LPG Injection System,” International Spring Fuels and Lubricants, SAE 981388, 1998.
- 3) A. Stodart, “Fuel System Development to Improve Cold Start Performance of a Flexible Fuel Vehicle,” SAE 982532, 1998.
- 4) H. S. Lim, K. H. Park, “Liquid LPG Spray Characteristics with Injection Pressure Variation-Comparison with Diesel Spray-,” KOSCO, Vol.4, No.2, pp.43-50, 1999.
- 5) R. Cipollone, C. Villante, “A/F and Liquid-Phase Control in LPG Injected Spark Ignition ICE,” International Fall Fuels and Lubricants, SAE 2000-01-2974, 2000.
- 6) W. S. Kim, J. C. Park, S. S. Park, J. S. Yoo, J. H. Lee, “A Study on the Development of Icing by Injection of LPG in the Liquid Phase around Injector(I),” Transactions of KSAE, Vol.11, No.1, pp.87-94. 2003.
- 8) G. J. Bates, D. Favrat, S. Germano, M. Nicollerat, “Ultra Rapid Natural Gas Port Injection,” SAE 951913, 1995.
- 9) R. Sierens, “an Experimental and Theoretical Study of Liquid LPG Injection,” SAE 922363, 1992.