

# 액상분사식 LPG엔진 인젝터의 후적 및 아이싱 특성에 관한 연구

박철웅<sup>†</sup> · 김창업<sup>\*</sup> · 최교남<sup>\*</sup> · 강건용<sup>\*</sup>

## A Study of Droplets and Icing Characteristics on Injector in a Liquid Phase LPG Injection Engine

Cheolwoong Park, Changup Kim, Kyonam Choi and Kernyong Kang

**Key Words:** Liquid phase LPG injection(LPLI, LPG 액상분사), Droplet(후적), Icing phenomenon(아이싱현상), Frozen ice deposit(아이싱 덩어리), Nozzle tip(분사팁), Anti-icing bushing(아이싱 방지용 부싱)

### Abstract

Since the Liquid Phase LPG injection (LPLI) system has Advantages in power generation and emission characteristics compared to the mixer-type fuel-supply system, a variety of studies regarding LPLI system has been conducted and its applications are made in automobile industry. However, the heat extraction due to the evaporation of liquid fuel, causes not only a post-accumulation of fuel but also an icing phenomenon which is a frost of moisture in the air around the nozzle tip. Since there exists a difficulty in the accurate control of air fuel ratio in both fuel supply systems, it can result in poor engine performance and a large amount of harmful emissions. This research examines the characteristics of icing phenomenon and develops anti-icing bushing to prevent an icing on the surface of the injection tip. It was found that n-butane, which has a relatively high boiling point (-0.5°C), was a main species of post-accumulation. Also the results show that the post-accumulation problem was alleviated the utilization of a large inner to outer bore ratio and smooth surface roughness. In addition, an icing phenomenon and its formation process were found to be mainly affected by the humidity and the temperature of inlet air in an inlet duct. Also, it was observed that an icing phenomenon is lessened using aluminum bushing whose end coincides with the end of fuel injection tip in length.

### 1. 서 론

세계적으로 대기오염문제는 환경문제 중 가장 중요한 문제 중의 하나이며 세계 각국에서 대기오염을 줄이기 위한 다각적인 노력을 기울이고 있다.

특히 대기오염물질의 주원인인 자동차 배기가스 규제를 강화하려는 움직임이 계속되고 있다. 이에 따라 차량용 엔진에서는 고효율 및 저공해성을 목표로 하는 청정 가스연료 중의 하나인 LPG의 사용 또한 증가하는 추세

이다. 그러나 LPG의 경우, 기존의 LPG 믹서시스템에서는 연료탱크 내에 포화증기압 상태로 존재하는 LPG 액상연료가 자체 압력에 의해 별도의 가압장치 없이 기화시켜 믹서를 이용해 엔진에 공급되는 방식이기 때문에, 연료공급의 정확도가 떨어져 청정한 연료로서 제 역할을 다하지 못하게 된다. 이에 비해 제3세대 연료공급방식인 LPG 액상분사(Liquid Phase LPG Injection, LPLI) 기술은 기존의 LPG차량의 문제점을 해결함과 동시에 향후 배출가스 규제를 대응할 수 있는 필수적인 기술이라 할 수 있다.

LPLI 방식은 LPG 연료를 연료펌프를 이용해 LPG의 포화증기압보다 높은 압력으로 가압 공급하여 인젝터까지 액상상태를 유지한 후 정밀 분사하는 방식이다. 이러한 높은 압력의 유지는 연료공급 라인의 형상, 엔진에서

(2006년 12월 26일 접수 ~ 2007년 1월 22일 심사완료)

\*한구기계연구원

<sup>†</sup>책임저자, 회원, 한국기계연구원

E-mail : cwpark@kimm.re.kr

TEL : (042)868-7928 FAX : (042)868-7305

발생되는 열 및 연료분사에 의한 압력강하로 인하여 연료공급라인 중에 상변화가 일어나 액상 LPG연료가 기화되는 문제를 해결하기 위한 것으로, LPG를 액상으로 정확하게 인젝터에서 분사 할 수 있도록 하는 안정적인 연료공급방법이다<sup>(1-3)</sup>. 이 방식의 장점으로는, 액상연료의 분사로 연료밀도가 증가하여 엔진의 출력이 믹서방식에 비해서 10~15% 상승하고, 추운 곳에서의 냉시동성 문제와 워밍업 전 엔진의 토크 불안정성 문제가 완전히 해결된다. 또한 전자식 정밀제어로 인해 배기가스 유해물질이 현저히 저감되며 운전자가 느끼는 가속성 및 차량의 응답성이 현저히 상승한다. 따라서 지금까지 LPG 믹서차량에서 나타났었던 출력부족과 냉시동성 문제 등이 가솔린차량 수준으로 향상되며, LPG 연료가 갖는 청정성을 차량에서 그대로 구현시킬 수 있는 선진기술이라 할 수 있다.

그러나 낮은 기화온도를 갖는 LPG가 액상으로 분사되면서 기상으로 변할 때 연료의 기화잠열에 의하여, 연료 분사 노즐부가 냉각되어 주위공기 중에 함유되어 있는 수분이 얼어붙는 아이싱 현상 및 연료가 기화되지 못하고 흘러나와서 떨어지는 후적현상이 발생하는 단점도 있다. 이러한 아이싱 현상은 연료 분사기 출구에 영향을 줌으로써 연료 분사량의 변화를 일으키고, 노즐부에 생성된 얼음이 계속적으로 떨어져 나가므로써 엔진 헤드 밸브계의 파손 및 연소실 안의 공연비 변화를 일

으키는 등의 엔진성능에 악영향을 미치게 된다고 알려져 있다<sup>(4, 5)</sup>. 후적현상은 이러한 아이싱 현상을 악화시키는 요인으로 작용하기도 한다.

이에 본 연구에서는 LPLI 시스템에서 발생하는 아이싱 현상을 여러 가지 주변 조건에 따라서 가시화 리그 장치를 통해 측정하고, 아이싱 방지용 부품을 장착하여 그 효과를 살펴봄으로써 후적 및 아이싱 방지에 도움이 될 수 있는 기초자료를 마련하고자 하였다.

## 2. 실험장치 및 방법

### 2.1 실험장치

본 실험에서는 LPLI 연료 공급 시스템을 적용한 엔진에서 연료 분사 노즐 팁 부위의 후적현상 및 아이싱현상을 관찰하기 위해 실제 연료시스템을 사용하였다.

Figure 1의 실험장치 개략도와 같이 연료의 분사압력과 유량이 일정하게 유지되는 상태에서 수정된 연료레일로 연료가 공급될 수 있도록 가시화 창이 장착된 정적 연료 탱크와 연료펌프 등으로 연료공급 시스템을 구성하고, 인젝터 드라이버를 이용하여 연료가 분사되도록 하였다.

실제 인젝터 및 엔진헤드 등에서 아이싱이 발생하는

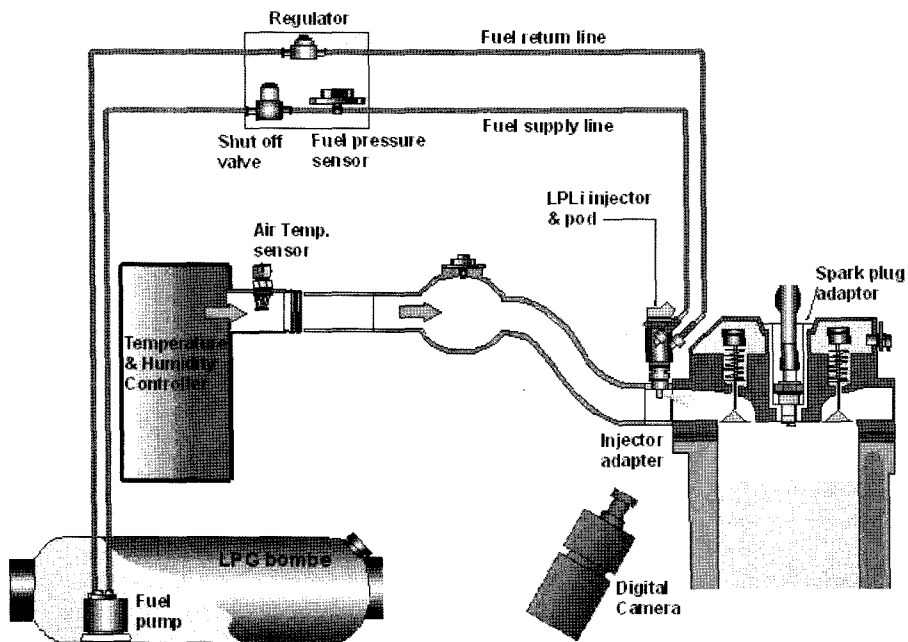


Fig. 1 Schematic diagram of rig setup for the icing and droplet analysis

모습을 관찰하기 위하여 엔진헤드를 사용한 실험장치를 제작하였다. 엔진운전조건을 모사하기 위해 엔진헤드의 온도 및 엔진 흡기부를 통해 공급되는 공기의 유량, 온도 및 습도의 조절이 가능하도록 흡기공급제어시스템을 구성한 후, CCD카메라를 이용하여 후적현상 및 아이싱 이미지의 취득이 가능하도록 하였다.

**2.2 실험방법**

실험은 연료가 지속적으로 분사되는 상태에서 후적되는 연료를 채집하여 그 성분을 분석하고, LPG용기로부터 채집된 원래의 LPG연료의 성분과 비교하였다. 후적현상의 특성과약을 위해서 연료분사팁의 표면거칠기와 각각 다른 크기의 내경과 외경을 갖는 분사팁을 교체하면서 이미지를 취득하였다. 실험에 사용된 다른 내경외경비의 분사팁의 종류는 Table 1과 같다.

후적현상에 의한 아이싱을 관찰하기 위해 연료분사시간이 5 ms인 조건에서 매 100 ms마다 1회씩 분사되도록 하였으며, 항온항습기를 이용하여 흡기구를 통해 공급되는 공기는 온도 13°C, 공기유량 200 l/min, 50%의 상대습도조건을 유지하도록 하였다.

엔진헤드의 온도는 30, 50, 70, 87°C로 변화시키며 분사시간이 경과함에 따라 발생하는 아이싱 이미지를 취득하였다. 아이싱 방지용 부싱의 효과를 관찰하기 위해 각각 다른 재질 및 형상을 갖는 부싱을 교체하면서 이미지를 취득하였다. Table 2에 실험에 사용된 부싱의 종

Table 1 Inner/Outer diameter ratio of the nozzle tip

내경	외경		
	3 mm	5 mm	10 mm
1 mm	3	5	10
1.5 mm	2	3.3	6.7
2 mm	1.5	2.5	5

Table 2 Specification of anti-icing bushing

재질	구분	단위 (mm)			
		4.5	4.5	4.5	3.5
알루미늄	내경	4.5	4.5	4.5	3.5
	외경	9	9	9	9
	길이	5	9	13	9
나일론	내경	4.5	4.5	4.5	
	외경	9	9	9	
	길이	5	9	13	

류를 나타내었다.

**3. 실험결과 및 고찰**

**3.1 후적현상**

LPG 액상분사식 벤치실험장치상에서 인젝터를 관찰해 보면 액상의 LPG연료가 분사되면서 주위의 기화열을 흡수하면서 급속한 냉각이 일어나며 아이싱현상과 후적현상이 동시에 발생하는 것을 볼 수 있다.

후적현상은 초기에 분사된 액상 LPG연료가 기화되면서 분사팁 주위의 온도가 영하권으로 떨어지게 되면서 발생한다. LPG연료는 주로 프로판과 부탄연료가 주성분이며, 특히 수송용으로는 부탄성분이 대부분이다. 부탄성분은 보통 노말부탄과 이소부탄으로 나뉘며 약 6:4에서 7:3의 비율로 존재하며 각각 성질도 약간의 차이가 있어서, 비점의 경우 노말부탄은 영하 0.5°C이며 이소부탄은 약 영하 11.7°C이다. 따라서 영하권으로 떨어진 연료팁에서 노말부탄 성분이 기화되지 않고, 분사시 그대로 흘러나와서 떨어지기 때문에 후적현상의 주원인이 되는 것으로 판단된다.

분사된 연료 중에 후적된 연료가 분사팁의 밑으로 떨어지게 되고 이를 채집하여 그 성분을 GC(Gas Chromatograph)로 분석을 하였으며 다음과 같은 결과를 얻었다. Fig. 2의 결과그래프를 통해 알 수 있듯이, 후적된 LPG연료를 채집하여 LPG용기에서 채집된 원래의 LPG연료의 성분과 비교해 본 결과, 예상대로 용기 내의 노말부탄 성분보다 후적된 LPG연료의 노말부탄 성분의 비율이 약 20% 정도 많은 것을 확인할 수 있다. 또한

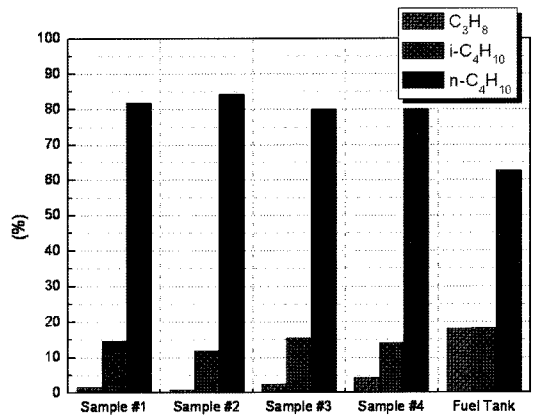


Fig. 2 Comparison of components between droplet samples and test fuel

쉽게 기화되는 프로판은 평균적으로 약 15% 정도로 크게 감소하였고, 이소부탄성분도 5% 정도 감소하였다.

따라서 LPLi 인젝터의 팁에서 발생하는 후적현상은 액상의 LPG연료가 분사되면서 비점이 낮은 프로판과 이소부탄은 쉽게 기화되어 날아가고 기화가 상대적으로 잘 일어나지 않는 노말부탄 성분이 주로 후적된 것으로 확인되었다.

### 3.2 엔진헤드 온도변화에 따른 아이싱 특성

이전의 실험결과와 같이 후적된 LPG연료는 원하는 시간에 기체상태로 분사되지 못하고 흘러내림으로 인해서, 연료의 분사량 조절 및 아이싱 형성에도 큰 영향을 미쳐 냉시동시의 공기연료비와 배기 배출물에 대한 문제점으로 나타날 것으로 예상된다<sup>(6, 7)</sup>. 따라서 엔진에서의 후적현상을 근본적으로 억제하는 방법이 필요하며, 엔진헤드에 장착된 인젝터에서의 아이싱 발생특성을 파악하기 위한 실험을 수행하였다.

Figure 3은 기본적인 엔진헤드온도에 따른 아이싱특성실험 결과를 나타낸 것이다. 엔진헤드의 온도가 증가함에 따라 인젝터 팁에서의 아이싱 생성량이 점차 감소하고 엔진 헤드온도가 87°C일 때 급격히 감소하는 것을 볼 수 있다.

특히, 엔진헤드의 온도가 낮을 경우에는 앞장에서 설명한 비점이 높은 연료성분이 중력방향으로 성장하다가

떨어져 나가는 후적현상이 관찰되기도 하였고, 이로 인해서 아이싱이 더욱 크게 성장하였다. 엔진헤드의 온도가 낮을수록 아이싱의 성장속도는 빠르고 발생한 액상의 결속력이 강하여 크게 성장하였다.

### 3.3 아이싱 방지팁 효과

아이싱 특성실험을 수행한 결과에서 알 수 있듯이, 엔진헤드에 기존의 인젝터 분사팁을 그대로 장착하였을 경우 많은 양의 아이싱이 발생하는 것으로 확인되었다. 이러한 아이싱의 발생을 억제할 수 있는 방법 중의 하나로, 간단한 부싱을 제작하여 팁에 설치함으로써 연료분사팁의 내외경비를 제어할 수 있는 방법을 채택하였다.

인젝터 팁의 끝단을 기준으로 하여 부싱의 끝단의 길이가 일치하게 되는 9 mm의 플라스틱 재질의 부싱을 제작하여 인젝터 파드의 끝단에 장착하여, 동일한 조건에서 실험을 수행하였다.

아이싱 방지팁의 설계의 최적화를 위하여 부싱의 길이를 5 mm와 13 mm로 변경하며 실험하였으며, Fig. 4에 분사경과시간에 따른 아이싱 이미지 취득한 결과를 보여주고 있다. 부싱의 길이에 관계없이 모든 형상에 대해서 아이싱의 생성, 성장이 일어났으며, 부싱 끝단의 길이가 연료분사팁 끝단과 일치하는 경우에 그 양이 가장 작은 것을 확인할 수 있었다.

부싱 끝단의 길이가 연료분사팁의 끝단에 비해 짧은

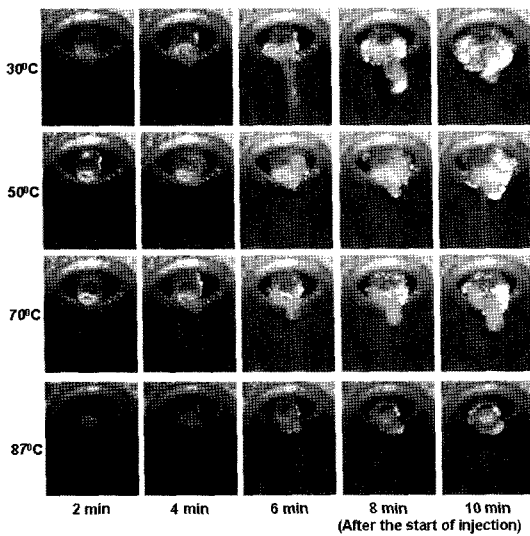


Fig. 3 Temporal images of icing (After the start of injection) Test condition : 13°C intake air temperature, 200 L/min intake air flow rate, 50% relative humidity

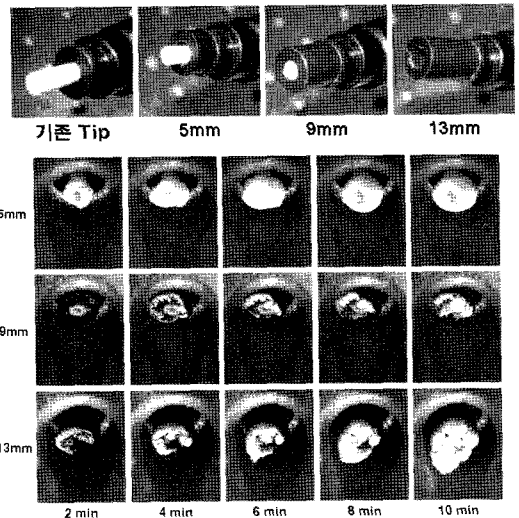


Fig. 4 Temporal images of icing with nylon bushing (After the start of injection) Test condition : 13°C intake air temperature, 200 L/min intake air flow rate, 70% relative humidity, 87°C engine head temperature

경우(부싱 길이 5 mm)는 외부공기에 노출된 부위에서의 외부습기와와의 접촉으로 아이싱의 생성 및 성장이 일어났다. 아이싱 방지용 부싱 끝단의 길이가 연료분사팁 끝단과 일치하는 경우(부싱 길이 9 mm) 아이싱의 발생이 관측되었으나, 내외경비가 증가하는 효과로 인하여 다른 경우에 비하여 생성되는 아이싱의 양이 많지 않았다.

부싱 끝단의 길이가 연료분사팁의 끝단 길이에 비해 긴 경우(부싱 길이 13 mm)는 부싱의 내경이 연료분사팁의 내경에 비해 크기 때문에 내외경비의 증가가 크지 않고, 부싱에 의해 기존의 연료분사팁이 길이 방향 및 원주 방향으로 확대된 것과 같은 효과가 나타난다. 이로 인해 헤드온도의 영향을 받는 부싱의 원주 방향을 제외한 부싱의 끝단 부분에서 아이싱의 생성 및 성장이 일어났다.

분사팁의 내경대 외경 비율의 효과를 보다 자세히 관찰하기 위하여 알루미늄 분사팁의 내경과 외경을 변경하며 생성되는 아이싱 및 후적을 관찰하였다.

Figure 5는 알루미늄 분사팁의 내경대 외경의 비율의 변화에 따른 아이싱 및 후적현상 결과를 나타낸 것이다. 분사팁의 최소외경인 3 mm의 경우 내경의 크기가 1.5 mm와 2 mm인 경우 후적 및 아이싱 현상이 발생했으나 1 mm에서는 발생하지 않았다. 외경의 크기가 5 mm인 경우는 내경의 크기가 2 mm인 경우를 제외한 나머지에서 후적 및 아이싱 현상이 크게 개선되었다.

실험결과를 종합해보면 내경대비 외경의 비가 약 2.5를 초과할 경우 후적이 거의 나타나지 않는데, 이는 후

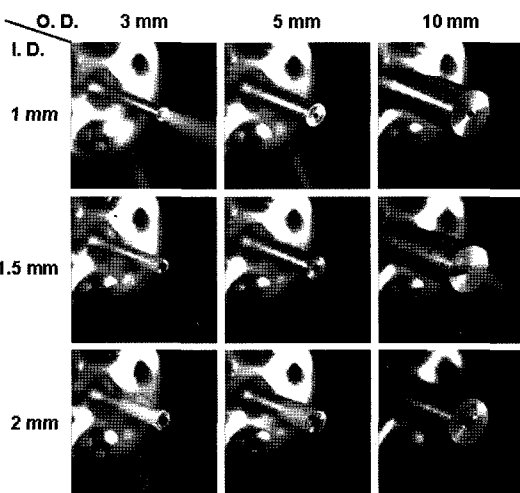


Fig. 5 Effect of inner versus outer diameter ratio on icing and droplet phenomenon

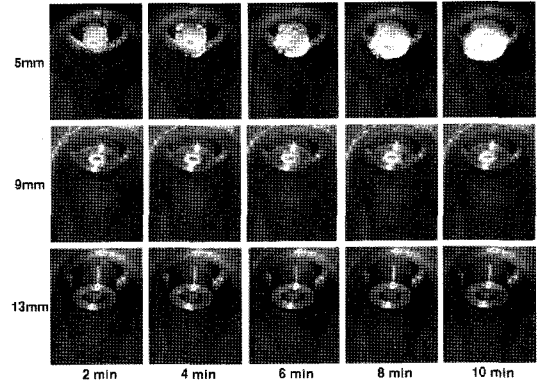


Fig. 6 Temporal images of icing with aluminum bushing (After the start of injection) Test condition : 13°C intake air temperature, 200 L/min intake air flow rate, 70% relative humidity, 87°C engine head temperature

적되는 연료의 노말부탄성분이 넓은 외경면으로부터 기화에 필요한 시간과 열을 얻기 때문으로 판단된다. 내경의 크기가 동일한 경우에도 내외경비가 1.5인 외경 3 mm의 경우는 많은 양의 후적과 함께 아이싱이 발생하였으나 내외경비가 5인 외경 10 mm의 경우는 후적 및 아이싱 현상이 거의 나타나지 않았으며, 외경이 10 mm인 경우는 주어진 내경 크기에서 내외경비가 모두 2.5 배 이상이기 때문에 후적이 관찰되지 않았다.

부싱의 형상은 동일하게 하고 재질을 플라스틱에서 알루미늄으로 변화시켰을 경우의 결과를 Fig. 6에 나타내었다.

부싱 길이 9 mm와 13 mm의 이미지에서 알 수 있듯이 아이싱 방지용 부싱 끝단의 길이가 연료분사팁 끝단과 일치하거나 연료분사팁 끝단의 길이에 비해 긴 경우 내외경비가 증가하는 효과로 인하여 연료의 아이싱에 큰 영향을 미치지 않았다. 그러나 부싱 끝단의 길이가 연료분사팁의 끝단에 비해 짧은 경우(부싱 길이 5 mm)는 외부공기에 노출된 부위에서의 외부습기와와의 접촉으로 후적현상이 일어나고 아이싱의 생성 및 성장이 일어났다.

부싱 끝단의 길이가 연료분사팁의 끝단 길이에 비해 긴 경우(부싱 길이 13 mm) 아이싱에 큰 영향을 미치지 않았으나, 분사조건의 변화에 따라서 연료분사팁의 끝단을 지난 연료가 공기 증으로 확산 및 기화되는 과정에서 부싱의 벽면에 충돌할 수 있고 이로 인한 후적현상 및 아이싱의 생성이 일어날 수 있기 때문에, 연료공급이 효율적으로 되기 위해서는 아이싱 방지용 부싱의

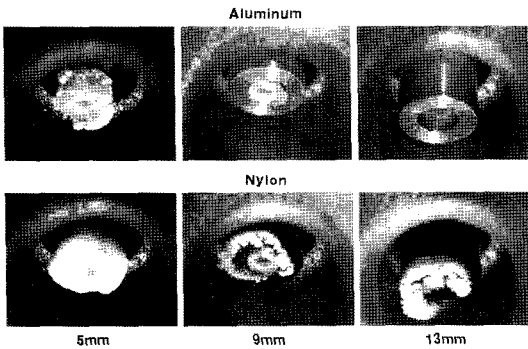


Fig. 7 Effect of anti-icing bushing (5 min had passed After the start of injection) Test condition : 13°C intake air temperature, 200 L/min intake air flow rate, 70% relative humidity, 87°C engine head temperature

끝단과 분사팁의 끝단이 일치하도록 해야 한다.

Figure 7은 각각의 경우에 대하여 연료분사시작 후 5분이 경과된 인젝터 팁의 아이싱 이미지를 비교한 것이다. 부싱의 형상이 동일한 경우라도 알루미늄(2,210 W/m · K)의 경우 플라스틱(0.29 W/m · K)에 비해 열전도도가 약 10,000배 정도 크고, 표면거칠기 면에서도 보다 좋은 조건이기 때문에 엔진헤드 및 흡입구로 유입되는 공기로부터 전달되는 열에 의한 가열효과 때문에 생성되는 아이싱의 양이 많지 않았다. 그러나 나일론 부싱의 경우 각각의 경우에 대하여 알루미늄 부싱에 비해 많은 양의 아이싱이 생성되고 성장 속도도 더 빠른 것을 확인하였다.

표면거칠기에 대한 영향을 알아보기 위해 각각 다른 표면거칠기를 갖는 알루미늄 분사팁에서의 아이싱

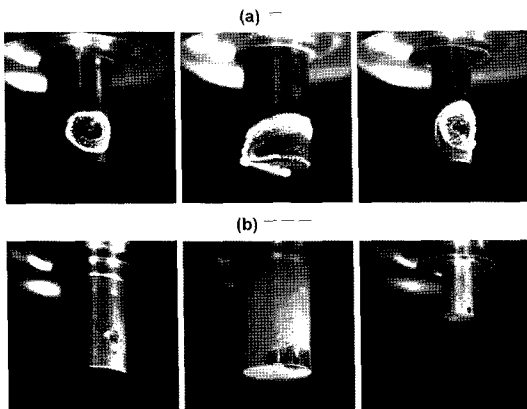


Fig. 8 Effect of nozzle surface roughness on icing and droplet phenomenon

및 후적현상을 관찰하였다. Fig. 8은 분사팁의 표면거칠기를 다르게 하여 연료를 분사하였을 경우 관찰된 후적현상을 촬영한 것으로, 위쪽의 분사팁이 아래쪽에 비해 표면의 거칠기가 심한 경우이다. 후적현상은 분사팁의 표면이 거칠수록 많이 발생하였으며, 연료가 거친 면을 따라 흘러나와 노즐부의 온도감소로 인해 발생하는 아이싱 덩어리와 함께 넓은 면적을 이루며 성장하였다. 실험을 통해 확인한 결과 표면의 거칠기가▽▽▽(정밀 다듬질) 이상이면 아이싱현상이 크게 감소하였다.

위의 실험 결과 9 mm의 알루미늄 부싱을 장착한 경우, 아이싱 방지용 부싱 끝단의 길이가 연료분사팁 끝단과 일치하기 때문에 내외경비가 증가하는 효과가 나타나고 동일한 형상의 플라스틱 부싱에 비해 열전도도가 약 10,000배 정도 크고, 표면거칠기 면에서도 보다 좋은 조건이기 때문에 엔진헤드 및 흡입구로 유입되는 공기로부터 전달되는 열에 의한 가열효과 때문에 아이싱의 생성이 가장 적은 것을 확인할 수 있었다.

그러나 이 경우에도 연료분사팁의 외경과 부싱의 내경의 크기가 일치하지 않아서 생기는 공간에서의 후적현상으로 인해 소량의 아이싱이 생성되었다. 이를 방지하기 위해 알루미늄 부싱의 외경의 크기와 길이는 동일하게 하고 내경의 크기가 연료분사팁의 외경 크기와 동일하게 하여 공간이 없도록 부착하여 실험한 결과를 Fig. 9에 나타내었다. 기존의 부싱 장착 시의 실험결과와 비교할 때 아이싱이 거의 생성되지 않음을 알 수 있었다.

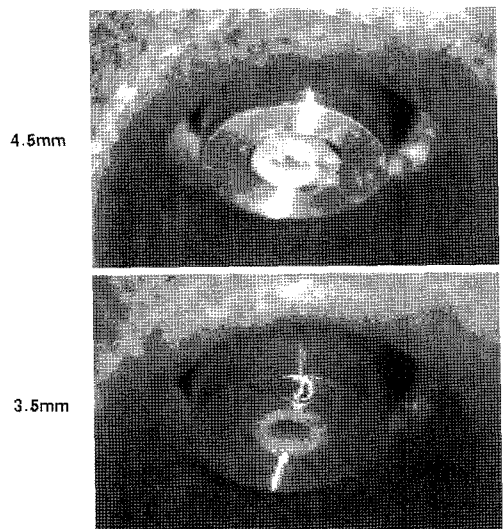


Fig. 9 Effect of a gap between bushing and nozzle tip (5 min had passed After the start of injection)

## 4. 결 론

LPLi 연료 공급 시스템을 적용한 엔진에서 연료 분사 노즐 팁 부위의 후적현상 및 아이싱현상을 관찰한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) LPLi 인젝터의 팁에서 발생하는 후적현상은 액상의 LPG연료가 분사되면서 비점이 낮은 프로판과 이소부탄은 쉽게 기화되어 용기 내 LPG에 비해 각각 15%와 5% 정도 날아가고, 기화가 상대적으로 잘 일어나지 않는 노말부탄 성분은 대부분 후적되어 그 비율이 용기 내 LPG에 비해 약 20%정도 증가한 것으로 확인되었다.

2) 후적현상은 분사팁의 표면이 거칠수록 많이 발생하였으며 표면 거칠기가 표면의 거칠기가  $\nabla\nabla\nabla$ (정밀 다듬질) 이상인 경우, 분사팁의 내경대 외경의 비가 2.5를 넘어서게 되면 후적현상이 크게 감소하였다.

3) 실제 연료시스템과 개발엔진헤드를 사용하여 아이싱의 발생모습을 관찰한 결과 엔진헤드의 온도가 낮을수록 후적현상의 성장으로 인해 아이싱의 성장속도도 빠르고 발생한 성애의 결속력이 강하여 크게 성장하였으며, 엔진헤드의 온도가 증가함에 따라 인젝터 팁에서의 아이싱 량이 점차 감소하고 엔진헤드온도가 87°C일 때 급격히 감소하였다.

4) 아이싱 방지용 부싱의 길이를 달리하며 실험한 결과, 부싱의 끝단과 연료분사팁의 끝단이 일치하는 경우에 아이싱의 생성 및 성장 방지 효과가 가장 좋았다.

5) 부싱의 형상이 동일한 경우라도 알루미늄( $2,210 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ )의 경우 플라스틱( $0.29 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ )에 비해 열전도도가 약 10,000배 정도 크기 때문에 엔진헤드 및 흡입구로 유입되는 공기로부터 전달되는 열에 의한 가열 효과 때문에 생성되는 아이싱의 양이 많지 않았다.

6) 부싱의 끝단과 연료분사팁의 끝단이 일치하더라도, 부싱 내경의 크기가 연료분사팁의 외경 크기와 동일하게 하여 공간이 없도록 해야 아이싱이 거의 생성되지 않았다.

## 후 기

본 연구는 과기부 NRL 및 환경부 ECO\_STAR사업의 지원 아래 이루어 졌습니다. 이에 저자일동은 깊은 감사를 드립니다.

## 참고문헌

- (1) Bas Hollemans, L. Conti and P. de Kok, "Propane the 'Clean' Fuel as the Next Century for Light and Heavy Duty Vehicles", TNO-Paper VM9504, 1995.
- (2) Changup Kim, Cheolwoong Park, Seungmook Oh, Keryong Kang, "Leakage Characteristics of LPG Injector with Low Viscosity LPG Fuel", Journal of ILASS-Korea, Vol. 10, No. 4, 2005, pp. 8~15.
- (3) Wooseok Kim, Jungcheol Park, Simsoo Park, Jaisuk Yoo, Jonghwa Lee, "A Study on the Development of Icing by Injection of LPG in the Liquid Phase around Injector (I)", Transaction of KSAE, Vol. 11, No. 1, 2003, pp. 87~94.
- (4) Keryong Kang, Daeyup Lee, Seungmook Oh, Changup Kim, "A Fundamental Study on a MPI LPG Engine for Heavy Duty Vehicles", SAE 2001-02-1958, 2001.
- (5) Changup Kim, Seungmook Oh, Keryong Kang, "Characteristics of Icing Phenomenon on Injector in a Liquid Phase LPG Injection SI Engine", KSAE Spring Conference Proceeding, 2003, pp. 419~424.
- (6) C. W. Park, C. U. Kim, K. N. Choi, K. Y. Kang, "Characteristics of Post-Accumulation and Icing Phenomenon of an Injector for Liquid Phase LPG Injection System", KSAE Spring Conference Proceeding, 2006, pp. 1860~1865.
- (7) B. R. Lutz, R. H. Stanglmaier, R. D. Matthews, J. Cohen, "The Effects of Fuel Composition, System Design and Operating Conditions on In-System Vaporization and Hot Start of a Liquid-Phase LPG Injection System", SAE 981388, 1998.