

## 대형 액상분사식 LPG엔진 인젝터의 아이싱 특성연구

### Characteristics of Icing Phenomenon on Injector in a Liquid Phase LPG Injection SI Engine

김 창 업\*, 오 승 목\*, 강 건 용\*  
C. U. Kim, S. M. Oh, K. Y. Kang

#### Abstract

The liquid phase LPG injection (LPLI) system (the third generation technology) has been considered as one of the next generation fuel supply systems for LPG vehicles, since it has a very strong potential to accomplish the higher power, higher efficiency, and lower emission characteristics than the mixer type(the second generation technology) fuel supply system. However, when a liquid LPG fuel is injected into the inlet duct of an engine, a large quantity of heat is extracted due to evaporation of fuel. This leads to freezing of the moisture in the air around the outlet of a nozzle, which is called *icing phenomenon*. It may cause damage to the outlet nozzle of an injector or inlet valve seat. In this work, the experimental investigation of the icing phenomenon was carried out. The results showed that the icing phenomenon and process were mainly affected by humidity of inlet air instead of air temperature in the inlet duct. Also, it was observed that the total ice formed around the nozzle weighs at about 150mg~260mg after injection for ten minutes. And some fuel species were found in the ice attached at the front side of a nozzle, while frozen ice attached at the back of a nozzle was mostly consisted of moisture of inlet air. Therefore, some frozen ice deposit, detached from front nozzle of an injector, may cause a problem of unfavorable air fuel ratio control in the small LPLI engine.

주요기술용어 : Liquid phase LPG injection(LPLI, LPG액상분사), icing phenomenon(아이싱 현상), frozen ice deposit(아이싱 덩어리), nozzle of an injector(인젝터 노즐)

#### 1. 서 론

LPLI(Liquid Phase LPG Injection) 방식은 기존의 LPG 믹서시스템(제2세대)이 LPG 액상 연료를 기화시켜 믹서를 이용해서 엔진에 공급

하는데 비해, LPG 연료를 연료펌프를 이용하여 가압하여 액상상태를 유지한 후 이를 이송하여 인젝터를 통해 고압 정밀 분사하는 제3세대 연료공급방식을 말한다. 이 방식의 장점으로는, 액상연료의 분사로 연료밀도가 증가하여 엔진의 출력이 믹서방식에 비해서 10~15% 상승하고, 전자식 정밀제어로 인해 배기가스 유해물질이 현저히 저감된다는 것이다. 또한 고

\* 한국기계연구원, LP가스엔진연구사업단

압분사로 LPG 연료의 미립화가 촉진되어 운전  
 곳에서의 냉시동성 문제와 워밍업 전 엔진의  
 도오크 불안정성 문제가 완전히 해결된다.<sup>1)</sup>  
 그리고 고압 정밀제어 연료분사로 인해 운전자가  
 느끼는 가속성 및 차량의 응답성이 현저히 상  
 승한다. 따라서 지금까지 LPG 택시차량에서  
 나타났었던 출력부족과 냉시동성 문제 등이 가  
 속린차량 수준으로 향상되며, LPG 연료가 갖  
 는 정정성을 차량에서 그대로 구현시킬 수 있  
 는 선진기술이라 할 수 있다.<sup>1)</sup>

엔진에서의 아이싱 현상은 기화온도가 낮은  
 액상의 연료가 분사되면서 기상으로 변할 때  
 연료의 기화잠열에 의하여 연료 분사 노즐부가  
 냉각되어 주위공기 중에 함유되어 있는 수분이  
 얼어붙는 현상을 말한다. 이러한 연료 분사 노  
 즐부가 얼어붙는 현상은 연료 분사가 출구에  
 영향을 줌으로써 연료 분사량의 변화를 일으키  
 고 노즐부에 생성된 얼음이 계속적으로 떨어져  
 나가감으로써 엔진헤드 밸브계의 파손 및 연소실  
 안의 공연비 변화를 일으키는 등의 엔진성능에  
 악 영향을 미치게 된다고 알려져 있다.<sup>2)</sup> 특히,  
 실제 벤치실험상에서 이 같은 아이싱 현상이  
 잘 관찰되었다.<sup>3)</sup>

그러나 이러한 LPLi 엔진에서 아이싱 현상  
 에 대한 정량적이고 체계적인 분석결과는 아직  
 많지 않다. 이에 본 연구에서는 LPLi 엔진에서  
 의 아이싱 현상을 정성적, 정량적으로 분석하  
 기 위하여 실험리그를 제작하여 여러 가지 주  
 위조건에 따라서 실험을 하였으며 결과를 체계  
 적으로 정리하여 아이싱 방지에 도움이 될 수  
 있는 기초자료로서 이용될 수 있도록 하였다.

## 2. 실험장치 및 방법

### 2.1 실험장치

일반적으로 아이싱 현상은 엔진의 워업  
 (warm-up)이 끝나기 전인 시동 후 5분 이내에  
 주로 생성되지만 지속적인 연료의 분사도 인한  
 노즐부의 온도강하로 정상적인 운전상태에서도  
 아이싱이 만들어지는 것으로 알려져 있다. 그  
 러나 아직까지 아이싱에 의한 엔진의 파손이나

연동성은 공식적으로 발표된 적이 없기 때문에  
 본 연구에서는 이에 대한 실험장치를 제작하여  
 여러 가지 기초실험을 통해서 LPLi 방식의 아  
 이싱 발생특성을 파악하고자 하였다. Fig. 1에  
 실험 개념도를 나타내었다.

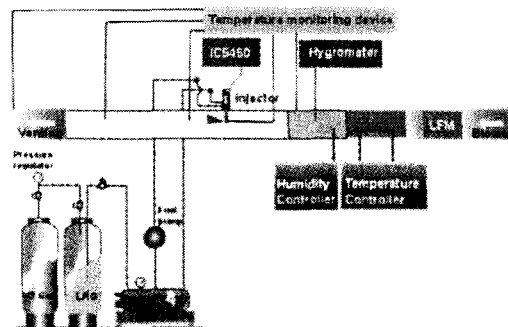


Fig. 1 Schematic diagram of rig setup for the icing analysis

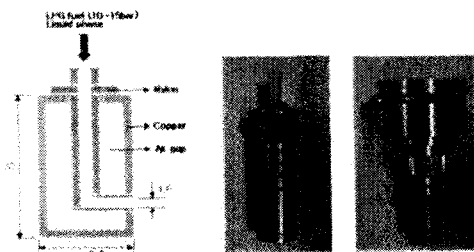


Fig. 2 DEKA II injector nozzle tip

본 연구에서 사용중인 LPLi용 DEKA-II 분  
 사기(Siemens사 제작)의 경우는 이러한 아이싱  
 현상을 방지하기 위하여 연료분사 노즐팁을 사  
 용하고 있으며 이는 비엘라사의 특허<sup>7)</sup>로 되어  
 있다(Fig. 2). 그러나 벤치실험결과<sup>6)</sup>, 이 아  
 이싱 방지팁에서도 상당한 아이싱에 생기는 것을  
 알 수 있었으며 이에 대한 개선이 반드시 필요  
 한 것으로 판단되었다. 따라서 본 연구에서는  
 아이싱에 대한 여러 가지 변수변화에 대한 실험  
 을 진행하기 위하여 보다 냉각성능이 우수한  
 냉동장치와 습도조절장치를 만들기 위하여 Fig.  
 3과 같은 장치를 설계 제작하였다. 아이싱 냉동  
 장치는 대기의 온도 10℃ 조건에서 흡입유량이  
 2,000 L/min에서도 -30℃로 냉각을 시킬 수 있

는 냉각성능을 내며 상대습도는 제습(0%)부터 가습(100%)까지 조절이 가능하다. 연료분사기는 IC5460으로 조절하며 분사후 일정시간마다 아이싱 발생정도를 측정하였다.

이때의 흡입공기온도는 상온과 영하권에서 실험을 하였으며 사용한 LPG연료는 프로판/부탄 6/4이고 공급연료압력은 12bar, 공기유량은 9.2L/sec인 상태이다.

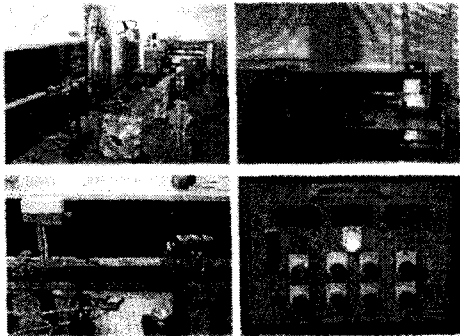


Fig. 3 icing rig setup

### 2.2 실험방법

실험에는 우선 아이싱이 발생하도록 상대습도를 높여가며 실제 발생된 아이싱량을 210g, 0.1mg 정확도의 미세 전자저울로 측정하였다.

### 3. 결과 및 고찰

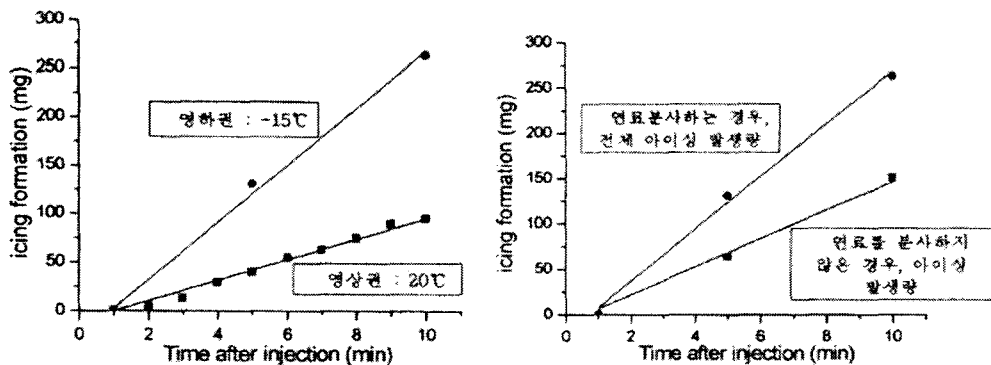
#### 3.1 영상권의 아이싱 현상특성

실험리그에서 연료분사 5분 후에 나타난 노즐부의 아이싱 현상을 볼 때, 영상권(20℃)에서는 상대습도 30% 이하에서는 전혀 아이싱이 발생하지 않았으며 40%이하에서 연료가 분사되는 노즐입구에서만 약하게 아이싱이 발생하였다. 40-60%에서는 노즐입구에서 강한 아이싱이 발생하기 시작하며 60%를 넘어서면서 크게 아이싱이 성장하였다. 영상권에서의 아이싱은 주로 노즐의 앞면에서 성장하며 옆이나 뒷면에서는 물방울들이 맺히게 된다. 상대습도 80%조건, 상온에서 측정한 아이싱량은(Fig. 4, 5) 분



1min 2min 3min 4min 5min 6min 7min 8min 9min 10min  
(LPG P/B=6/4, fuel supply pressure : 12bar, air flow rate: 9.2L/min)

Fig. 4 Formation of the icing with time (air temperature of 20℃ , 80 % of humidity)



(a) above and sub zero condition

(b) with and without fuel injection at sub zero condition

(LPG P/B=6/4, fuel supply pressure : 12bar, air flow rate: 9.2L/min)

Fig. 5 Amount of the icing with time after end of injection

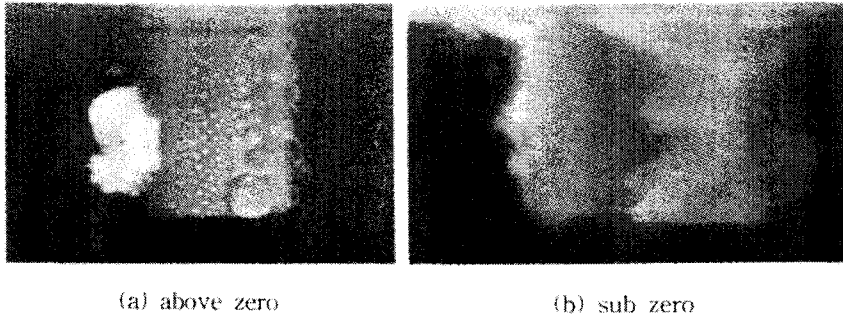


Fig. 6 Pictures of typical icing formation

사 후 10분 뒤 최대 100mg으로 측정되었다. 또한 발생한 아이싱은 계속적으로 떨어져 나가며 이로 인하여 10분 뒤에 8mg의 아이싱만 노즐에 붙어 있는 경우도 있었다. 이는 상온하에서 발생한 아이싱이 계속적으로 녹으며 없어지고 발생한 성애의 결속력이 약하여 쉽게 떨어져 나가기 때문으로 판단된다.

### 3.2 영하권의 아이싱 현상특성

주위 공기가 영하권인 경우( $-15^{\circ}\text{C}$ ), 아이싱의 생성량은 상온때와 비교하여 생성된 아이싱의 결속력이 상대적으로 높아서 계속적으로 덩어리가 떨어져 나갈에도 불구하고 노즐부에서 생성되는 아이싱 양은 매우 많게 된다. 특히 분사가 이루어지지 않는 경우에도 주위의 차가운 습기가 아이싱 방지팁에 붙어서 얼어버리는 현상이 발생하며 이를 측정해 보면 5분 후에 약 63.5mg 정도가 10분후에는 약 150mg 정도의 아이싱이 발생하였다. 발생위치는 주로 아이싱 팁의 뒷부분으로 공기에 포함된 습기가 얼어붙음을 확인 할 수 있다.

발생량은 상온에서 발생하는 아이싱의 양보다 많은 양으로 영상권에 비해서 거의 2배 정도로 늘어나며 노즐부의 뒷부분에 주로 생기며 분사가 이루어지는 앞 부분에는 약간의 아이싱이 발생하였다. 영하 15도 조건에서 상대습도 30% 이하에서는 아이싱이 발생하지 않으며 50%의 습도하에서 뒷면에 아이싱이 발생하기 시작하며 이때 앞이나 옆면에서의 발생은 매우 약하였다. 상대습도가 60%를 넘어서게 되면 아

이싱이 크게 성장하며 주위 공기에 포함된 습기가 관찰 창 벽면에도 부수히 쌓이게 되어 정확한 사진관측이 어려울 정도였다. 이에 정량적인 무게를 측정하였으며 10분 정도의 분사 후에 생성된 아이싱의 양은 최대 약 262.5mg였다. 물론 이때도 계속적으로 떨어져 나가는 덩어리가 관측되지만 영하기 때문에 결속력이 좋아서 크게 성장하였다. Fig. 6은 대표적인 영상권과 영하권의 아이싱 발생을 비교한 것이다.

### 3.3 아이싱이 포함된 연료성분

아이싱은 공기중의 습기가 차가운 노즐부에 얼어버리는 현상을 말하는데, 영상권의 경우, 연료분사가 되는 앞면에 주로 아이싱이 생성됨으로 연료성분이 일부 얼어버리는 경우도 있게 된다. 주로 boiling point가 높은 부탄성분이 얼어버릴 수 있으며 i-부탄( $-11^{\circ}\text{C}$ )보다는 n-부탄( $-0.5^{\circ}\text{C}$ )이 더 많이 얼것으로 판단된다. 이를 알아보기 위하여 아이싱 덩어리에서 기화되어 날아가는 양을 전자저울로 측정하였다.

그림 7에는 이러한 결과를 나타내고 있다. 연료성분이 주로 앞면에서 발생하는 아이싱에 많이 포함되게 되므로 영하보다는 영상에서 연료성분의 포함정도가 크다. 영상권에서의 아이싱에 포함된 연료량을 측정해보면, 아이싱 생성량 100mg 이하에서는 약 10% 이하로 적게 존재하지만 100mg을 넘어서게 되면 급격하게 연료의 포함정도가 늘어나서 150mg 정도에서는 약 20% 정도의 연료성분이 존재하였다. 영하권에서는 100mg 이하에서 5% 이하의 연료성분이 검출되었다.

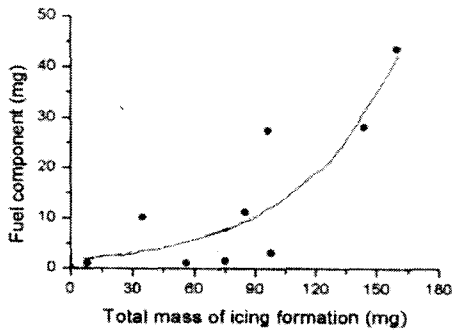


Fig. 7 Amount of the fuel contained in the icing at above zero condition

이러한 연료성분은 기화온도가 높은 n-부탄, n-부탄이 대부분이고 프로판 성분도 일부 있음 것으로 판단되며 이를 확인해 보기 위하여 아이싱 덩어리를 기화시켜 연료성분을 채집하여 이를 GC/MS(Gas chromatograph mass spectrometer system)로 분석하였다.

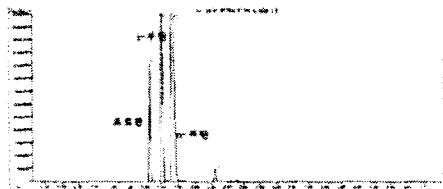


Fig. 8 Component of fuels contained in the frozen icing deposit

Fig. 8에 연료성분에 대한 분석결과를 나타내 있으며 대부분이 iso와 normal 부탄성분이었고 프로판 성분도 일부 발견되었다. 즉, 아이싱 덩어리에는 LPG 연료가 그대로 포함되어 있다는 것을 의미한다. 이러한 연료성분은 계속적으로 떨어져 나가는 (Fig. 9) 아이싱 덩어리에도 포함되어 있으며 이로 인하여 연소실로 들어가는 공기-연료의 혼합비의 비율이 매우 부정확하게 될 것이다. 표 1에 이러한 아이싱의 특징을 나타내었다.

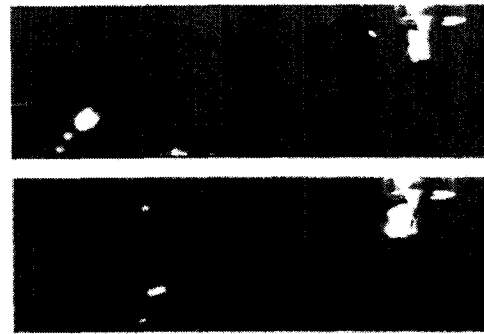


Fig. 9 the breakaway of the ice deposit

표 1 아이싱의 특성

(LPG연료 P/B=6/4, 연료압력 12bar, 공기유량 9.2L/sec)

|              | 영상권(20℃)                 | 영하권 (-15℃) |
|--------------|--------------------------|------------|
| 주 생성위치       | 노즐입구면                    | 노즐입구 뒷면    |
| 주 생성 상대습도(%) | 60% 이상                   | 60% 이상     |
| 최대 생성량       | 약 100mg                  | 약 260mg    |
| 연료성분 포함량     | 약 20% 이하<br>(주성분 : n-부탄) | 약 5% 이하    |

본 연구에서의 실험결과, 아이싱 현상의 문제점은 노즐의 막힘이나 분사되는 연료량의 변화, 밸브계의 파손이라는 영향보다는 계속적으로 떨어져 나가는 연료성분이 포함된 아이싱 덩어리 인한 흡입 공연비의 변화를 일으킴으로써 엔진의 부조화를 일으키는 것이 더 큰 문제점으로 파악된다. 따라서 아이싱의 생성자체를 억제하는 방법이 반드시 필요 할 것으로 보인다. 그러나 이러한 결과는 열원이 없는 아이싱 리그장치에서 발생하는 아이싱현상의 특성이기 때문에 열원이 있는 실 엔진조건에서는 다른 결과를 가져올 수 있다. 따라서 현재 실 엔진에서의 아이싱의 발생에 대한 연구를 추진 중에 있다. 이 실험 결과로 인하여 아이싱에 대한 차량에서의 특성까지 파악이 되므로 매우 유용한 데이터가 될 것으로 보인다.

## 4. 결 론

LPLI 연료공급방식에서 발생할 수 있는 아이싱 현상에 대한 정량적인 벤치실험결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 분사 10분 후에 영상권에서는 최대 100 mg 이 분사노즐면에서, 영하권에서는 260mg 정도가 분사노즐 뒷면에서 생성되었으며 주위온도의 영향보다는 상대습도에 의한 영향이 지배적이었다.
- 2) 아이싱은 계속적인 덩어리들의 이탈현상으로 연소실에 들어가는 혼합기 공연비의 변화를 일으킬 수 있는 여지가 있으며 특히, 영상권에서 생성되는 아이싱의 경우, 아이싱의 생성량이 100mg을 넘어가게 되면 20% 이하의 연료성분이 포함되었다.
- 3) 이러한 아이싱 덩어리의 이탈현상은 소형 LPLI 차량에서 A/F 변동문제가 될 수 있기 때문에 이에 대한 실엔진에서의 확인실험 및 해결책이 필요할 것으로 보인다.

## 후 기

본 연구는 과기부의 NRL 및 환경부의 ECO 사업의 지원아래 이루어 졌습니다. 이에 저자일 동은 깊은 감사말 드립니다.

## 참 고 문 헌

- 1) M. van der Steen "Gaseous Fuels: Past Experiences and Future Expectations", TNO-paper VM9608, 1996.
- 2) 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.
- 3) Kernyong Kang, Daeyup Lee, Seungmook Oh and Changup Kim, "Performance of an Liquid Phase LPG Injection Engine for Heavy Duty Vehicles", SAE 2001-02-1958, 2001.
- 4) Kernyong Kang, Daeyup Lee, Seungmook Oh and Changup Kim, "A Fundamental Study on a MPI LPG Engine for Heavy-Duty Vehicles", The 5th International Symposium on Diagnostics and Modeling of Combustion in Internal Combustion Engine, 3-02 COMODIA 2001.
- 5) Changup Kim, Daeyup Lee, Seungmook Oh, Kernyong Kang, Hoimyoung Choi and Kyoungdoug Min, "Enhancing Peformance and Combustion of an LPG MPI Engine for Heavy Duty Vehicles", SAE 2002 Inernational Congress and Exposition, 2002-01-0449, 2002.
- 6) Seungmook Ohm Seungyu Kim, Choongsik Bae, Changup Kim, Kernyong Kang "Flame Propagation Characteristics in a Heavy-Duty LPG Engine with Liquid Phase Port Injection", SAE International 2002 Spring Fuels and Lubricants Meeting and Exposition, 2002-01-1736, 2002.
- 7) JAASMA, Servatius, Alfons, Maria, Injection device, International Patent Number WO 98/10184, 1998.
- 8) Changup Kim, Daeyup Lee, Seungmook Oh, Kernyong Kang "Investigations of Icing Phenomenon in Liquid Phase LPG injection System for Heavy-duty Engine", The 6th Annual Conference on Liquid Atomization and Spray System - Asia(ILLSS-ASIA 2001), Oct, 11-13, Busan, Korea
- 9) 김창업, 오승목, 강건용, "액상분사식 LPG 연료공급방식의 아이싱현상에 관한 연구", 한국미립화학회지 제8권 제1호, 2003.