



자동차용 LPG 펌프의 온도 및 연료조성에 따른 초기토출성능에 관한 연구

†박철웅 · 김창업 · 최교남

한국기계연구원

(2008년 4월 17일 접수, 2008년 5월 19일 수정(1차), 2008년 5월 26일 수정(2차), 2008년 5월 26일 채택)

A Study on Performance of Initial Blowoff Flow for a Fuel Pump with Various Temperature and Composition Condition in LPG Engine

†Cheolwoong Park · Changup Kim · Kyonam Choi

Korea Institute of Machinery and Materials

(Received April 17, 2008, Revised(1st) May 19, 2008, Revised(2nd) May 26, 2008, Accepted May 26, 2008)

요 약

강화되는 배출가스 규제에 대응하기 위한 대책으로 LPG 차량에 적용되고 있는 제3세대 LPG 연료공급방식인 LPLi(Liquid Phase LPG Injection)은 LPG 연료를 펌프를 이용해서 고압의 액상연료를 공급하는 것이 가장 핵심적인 기술이다. 그러나 LPG 연료의 경우 저점도, 저비등점의 물리적 특성을 갖는 가스연료로서 기존의 가솔린 또는 디젤용 펌프를 사용할 경우 성능 및 효율이 달라질 수 있다. 본 연구에서는 가솔린 연료 펌프의 임펠라 방식을 응용 변형시켜서 LPG연료용으로 개발된 펌프를 이용하여 다양한 온도와 연료조성 조건에서 초기토출성능 및 효율을 파악하고, 기존 펌프의 단점을 극복할 수 있는 펌프방식의 적용가능성 여부를 판단하고자 한다.

Abstract – The In recent years, the need for more fuel-efficient and lower-emission vehicles has driven the technical development of alternative fuels such as LPG (Liquefied Petroleum Gas) which is able to meet the limits of better emission levels without many modifications to current engine design. LPG has a high vapor pressure and lower viscosity and surface tension than diesel and gasoline fuels. These different fuel characteristics make it difficult to directly apply the conventional gasoline or diesel fuel pump. In this study, experiments are performed to get initial performance and efficiency of the fuel pump under different condition of the temperature and composition of fuel. The characteristics of vane type fuel pump were investigated to access the applicability on LPLi engine.

Key words : liquid phase LPG injection, fuel pump, fuel composition, fuel flowrate, cavitation

I. 서 론

전 세계적으로 배출가스 규제가 더욱 엄격해짐에 따라 가솔린 및 디젤 차량과 더불어 LPG 차량도 이러한 배출가스 규제를 대응하기 위해 배출가스 저감 기술 개발이 절실히 요구되고 있다. 그러나 기존의 LPG 차량의 연료공급방식인 제2세대 믹서(mixer) 시스템은 LPG 탱크 내에 포화증기압상태로 존재하는 연료가 자체 압력에 의해 별도의 가압장치가 없이 기화기로 공급되며, 벤츄리에서 연료와 공기가 혼합되기 때문에 정밀한 혼

합기의 공연비 형성이 어려워 차세대 배출가스규제에 대한 대응이 불가능하고, 가스공급에 의한 저응답성, 출력감소, 겨울철 기화불량에 따른 시동성 저하 등의 문제점이 있다[1,2].

이에 대한 대책으로서 적용되고 있는 제3세대 LPG 연료공급방식인 LPLi(Liquid Phase LPG Injection) 시스템은 LPG연료를 펌프를 이용해서 고압으로 승압하고 이를 액상상태에서 인젝터를 이용해서 분사하는 방식으로서, 믹서 시스템에 비해 출력 성능이 약 15% 정도 증가하여 동급 가솔린차량과 대등한 가속성능 및 출력을 내고 있으며, 연비도 약 7~9% 개선되는 것으로 평가되고 있다[3]. LPG 가스의 특성상 낮은 배출가스

†주저자:cwpark@kimm.re.kr

자동차용 LPG 펌프의 온도 및 연료조성에 따른 초기토출성능에 관한 연구

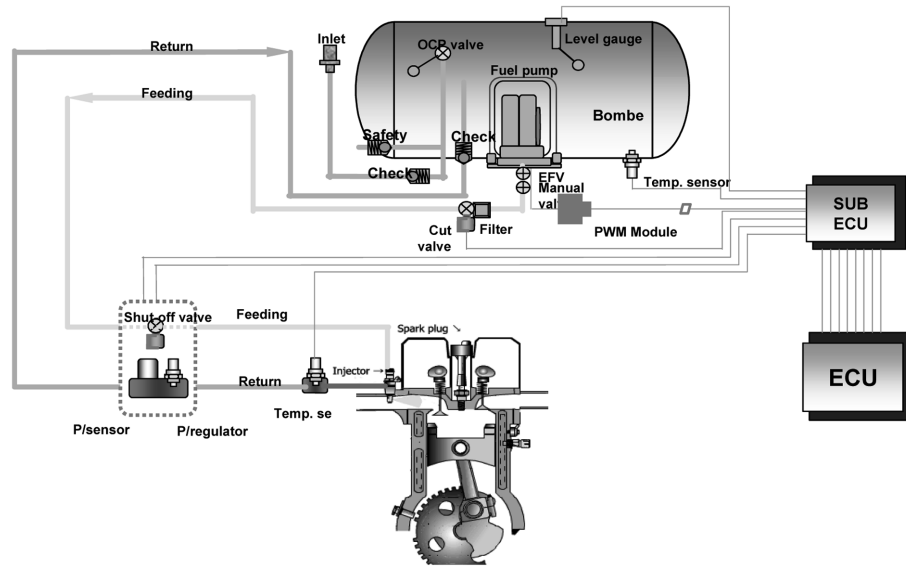


Fig. 1. Schematic diagram of LPLi fuel supply system.

Table 1. Specification of fuel pump.

Item	Specification
Working pressure	P of max 1 MPa
Pump flow	Max 140 L/hr @ 2,800 rpm
Setting pressure relief valve	1.1~1.3 MPa
Dry run capacity	3,000 Hr
Endurance life	5,000~10,000 Hr
Furl contamination	up to 0.7 mm
Min. temperature	-25°C
Max. temperature	90°C
Safety valve setting	2.5 MPa

로 인해서 촉매에도 부하를 줄여줌으로써 촉매원가가 저감되는 이점이 있다[4].

이러한 LPLi 방식은 원활한 LPG 액상연료공급을 위한 연료펌프가 가장 핵심적인 부품으로서 지속적으로 일정량의 연료량을 토출해야 하는 것이 주된 기능으로, Table 1에 나타난 것과 같이 연료펌프의 기본적인 스펙은 기존 펌프와 크게 다르지 않지만, 현재까지의 모든 자동차제작사에서 채택한 방식이 선진 외국기술을 이용하여 상대적으로 고가이기 때문에 이에 대한 국산화 실용화 연구가 필요한 실정이다. 기존 펌프의 경우 5개의 다이어프램 펌핑부에 의한 연료의 토출이 일어나는 방식이다. 이는 다이어프램의 한쪽 면은 LPG와 접하고

있고 나머지 한쪽 면은 윤활유와 접하고 있어 다이어프램의 변형으로 연료펌프의 성능을 저하시킬 수 있는 문제점이 있다. 따라서 본 연구에서는 이런 문제를 보완하기 위해 개발 중에 있는 임펠라 타입의 연료펌프를 이용하여 초기토출시의 연료유량 및 연료압력, 소모 전력 등의 일반적인 특성을 살펴보고, 운전 조건의 변화에 따른 적용가능성 여부를 파악하고자 하였다.

II. 이 론

LPG 연료는 저장온도에 해당하는 포화압력에서 저장되고, 연료레일에서는 LPG 연료를 액체로 유지하기 위해 더 높은 압력상승이 요구된다. 미국 Chrysler사는 탱크 내에 가솔린 펌프를 사용하여 탱크의 압력을 340 kPa 이상으로 가압하여 LPG 액상분사방식을 구현하는 방법을 사용하고 있으나, 인젝터 주위의 액상 LPG는 엔진이 가열되는 동안 기화하기 쉽고, 또한 열간 시동이 어려운 단점이 있다[5].

열간시동의 어려움을 최소화하거나 제거하기 위해서는 레일 압력을 증가시키거나 기화된 연료가 다시 탱크로 리턴될 수 있도록 충분한 유량이 확보되어야 한다. 연료 레일 압력 제어회로는 엔진 헤드로부터 연료가 가장 열을 많이 받는 부분이 이상 과열되지 않거나 충분히 낮은 온도 조건에서 LPG 연료를 액상으로 적절히 유지시킬 수 있어야 한다. 보통의 운전조건에서는 연료레일을 흐르는 액상 LPG의 높은 Bypass율과 흡기

매니폴드의 차가운 흡입공기의 대류에 의해 인젝터를 포함한 연료공급부위의 냉각을 유지할 수 있으나, 열간 시동의 경우 가열된 엔진으로부터 전도된 열이 연료공급시스템의 냉각에 불리하게 작용하게 된다[6,7]. 엔진 정지 시의 연료공급시스템의 온도증가는 기화된 연료가 분출되거나 재응축되기 전까지 차량의 시동을 불가능하게 만든다. 이 현상은 가솔린 기화기 엔진의 베이퍼록(Vapor Lock)과 유사하고, 이를 연료레일의 압력조절기에 모듈화하여 장착되고 Solenoid에 의해서 작동하는 Shut-off 밸브를 사용하여 해결하였다. 엔진이 정지했을 때, 펌프 토출구로부터 압력조정기 사이에는 펌프 토출구의 체크밸브와 압력조정기와 모듈형태로 장착되어있는 Shut-off 밸브에 의해서 연료탱크 압력 이상의 연료가 연료레일에 남아있게 된다. 열간 정지기간 동안 연료는 가열되지만 증발되지 않으며 체적이 일정하므로 압력이 증가하고, 시동 시에 밸브가 열려 연료가 탱크로 되돌려 보내진다. 그러나 이런 방법도 펌프의 초기토출 성능에 따라서 연료의 재응축 또는 연료레일로부터의 제거여부가 결정된다[8].

III. 실험

본 실험은 LPLi 연료 공급 시스템을 적용한 엔진에서 LPG 펌프의 초기토출성능을 관찰하기 위해 현재 LPLi 차량에 사용되고 있는 연료공급 및 회수라인과 압력조정기 등의 연료공급시스템 모듈을 포함한 실제 연료시스템을 사용하였다. Fig. 2의 실험장치 개략도와 같이 차량 내 연료펌프의 환경과 동일한 조건을 구현하기 위해 상용 연료탱크와 연료라인에 온도, 압력 센서 및 유량계를 장착하고, 고온 및 저온 실험이 가능한 대형 항온기를 제작하여 연료 공급 시스템 전체의 온도를 조절하였다. 1m³의 내부 용적을 갖는 항온기는 최대온도 80°C까지 온도 조절이 가능하도록 제작·사용하였고, 연료 공급 시스템의 온도는 상온 조건과 비교할 수 있는 -20°C 및 40°C 조건으로 변화시키며 초기

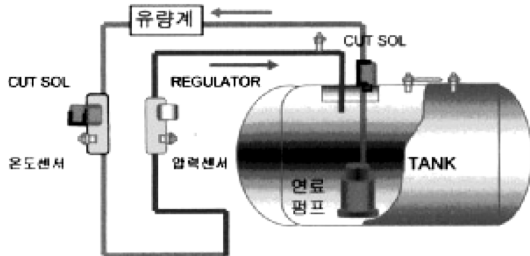


Fig. 2. Schematic diagram of rig setup for fuel pump.

시동시의 펌프의 성능 및 변수들을 관찰하였다. 연료 펌프는 PWM(Pulse Width Modulation) 신호의 Duty 가변에 의한 회전수 조절이 가능한 펌프 전용 Driver에 의해 제어되었다.

각각의 실험결과는 조건별로 3번 이상 반복수행하여 얻은 것이며, 측정값들의 변동계수(COV, coefficient of variance)값의 관찰을 통해 실험의 재현성 및 타당성을 확인할 수 있었다. 연료의 조성변화에 따른 특성을 측정하기 위해 일반적인 하절기 및 동절기의 사용 연료를 모사하여, 부탄(Butane) 대비 프로판(Propane)이 각각 5%, 25% 함유된 연료에 대해서 실험하였다. Fig. 3은 제작된 항온기와 연료 공급 시스템 및 제어장치의 모습을 나타낸다.

Fig. 4는 상온 조건인 20°C에서 연료펌프의 초기토출시 측정된 유량과 압력 및 소모전류를 나타낸 그래프이다. 펌프의 성능은 연료의 종류에 따라 큰 차이를 보이기 때문에 본 실험에서는 우리나라에서 동절기를 제외한 시기에 일반적으로 사용되는 부탄 95%의 연료를 사용하여 성능시험을 실시하였다. 유량의 경우 펌프에

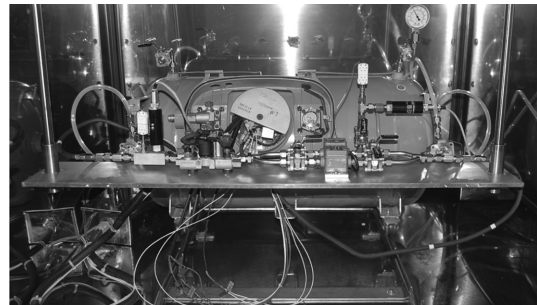


Fig. 3. Photographs of experimental rig.

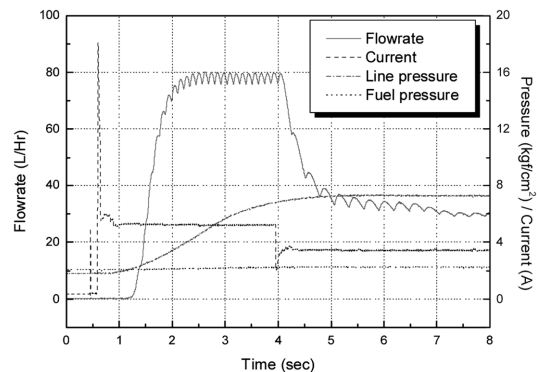


Fig. 4. Initial performance curves of turbine type pump at 20°C condition.

자동차용 LPG 펌프의 온도 및 연료조성에 따른 초기토출성능에 관한 연구

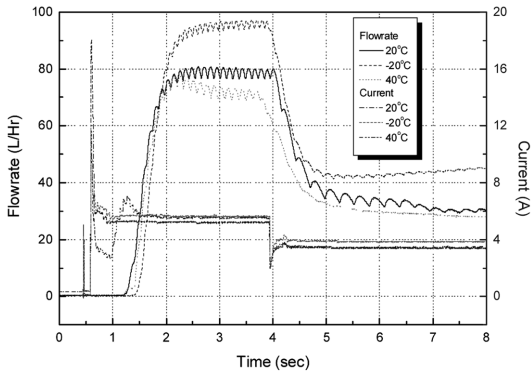


Fig. 5. Effect of fuel temperature on initial performance.

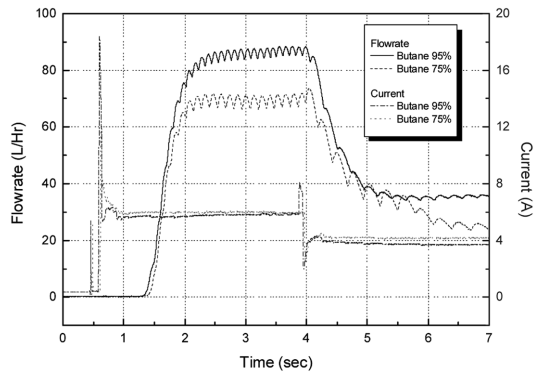


Fig. 6. Effect of fuel composition on initial performance.

전원이 공급된 후 증부하에서의 성능인 80 L/Hr의 유량이 토출되다가 Idle 조건으로 감소하였다. 유량을 기준으로 하여 토출시기를 살펴보면 펌프에 전원이 공급되는 시간인 0.43초를 고려하면, 1초 이내에 라인 상에 연료가 흐르는 것을 알 수 있다. 임펠러의 회전에 의한 토출시의 펌핑작용이 유량값의 변동으로 나타나고 있으며, 시간이 지날수록 안정화되어 유량변동이 감소하였다. 압력선도와 비교할 때 압력조정기에 의해 압력차 0.5 MPa로 제어되는 라인상의 압력이 연료탱크의 압력 대비 0.5 MPa에 도달하기 전에 연료의 흐름이 나타나고 있다. 즉 엔진의 시동 시 충분한 압력에 도달하지 못한 연료가 흡기포트로 분사됨을 예상할 수 있고, 이러한 현상은 정밀한 연료분사량 제어와 냉시동시의 탄화수소(HC) 배출에 악영향을 미칠 수 있다[8].

연료탱크 및 라인의 온도를 변화하였을 때의 초기토출유량 결과를 Fig. 5에 나타내었다. 영하의 조건인 -20°C 조건에서는 상온조건에 비해 전체적으로 유량이 증가하여, 연료 중에 프로판의 함량이 높지 않더라도 믹서시스템에서 문제시되던 시동성능 불량과 같은 문제는 발생하지 않을 것으로 보인다. 40°C의 온도조건에서는 작동초기에는 상온에서의 유량값과 같은 수준에 도달했다가 유량이 점점 감소하였고, 유량값의 변동은 보다 빨리 안정화되었다. 이렇게 온도에 따라 유량의 차이를 보이는 이유는, 온도가 증가하게 되면 연료의 증기압이 상승하게 되고 따라서 캐비테이션의 발생이 증가할 수 있기 때문이다. 시동시의 운전조건이 급격하게 유량증가가 일어나는 조건이므로 부분적인 캐비테이션이 발생하여 유량이 감소하고, 이러한 현상이 온도가 증가할수록 펌프성능에 영향을 미치는 것으로 볼 수 있다.

연료의 조성변화에 따른 성능특성을 측정하기 위해

상온 조건에서 프로판이 25% 함유된 연료를 이용하여 실험한 결과와 부탄 95%, 프로판 5%의 실험결과를 비교한 그래프를 Fig. 6에 나타내었다. 온도증가의 결과와 유사하게 유량의 경우 프로판이 혼합됨으로 인해 감소하게 되는데, 이는 프로판의 혼합 비율이 증가함에 따라 연료의 증기압이 증가하게 되어 캐비테이션에 의한 영향이 나타난 것으로 판단된다. 시동시의 전력소모를 줄이기 위해 낮은 유량의 작동조건으로 할 경우, 프로판 혼합이 액상분사시스템에서는 오히려 시동성을 악화시킬 수 있음을 나타내는 결과라 할 수 있다.

Fig. 7은 연료의 조성 및 온도 조건에 따라서 펌프에 전원이 공급된 시점으로부터 탱크압력 대비 라인의 압력이 0.5 MPa에 이르기까지 걸린 시간을 비교한 결과이다. 온도가 증가할수록 또는 프로판의 함량이 높을수록 라인상의 연료를 승압시키는데 걸리는 시간이 증가하였다. 즉, 연료가 충분한 압력에 도달하여 정확한 량

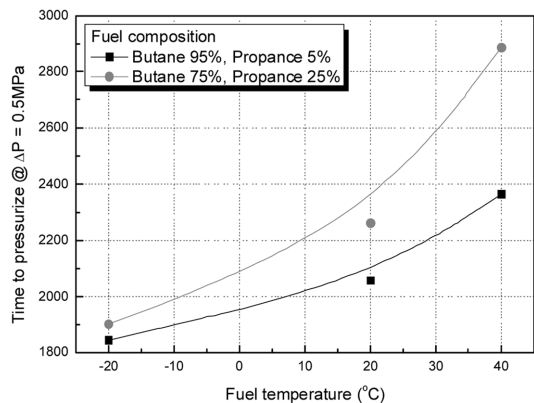


Fig. 7. Difference in time to pressurize fuel line by $\Delta P = 0.5$ MPa.

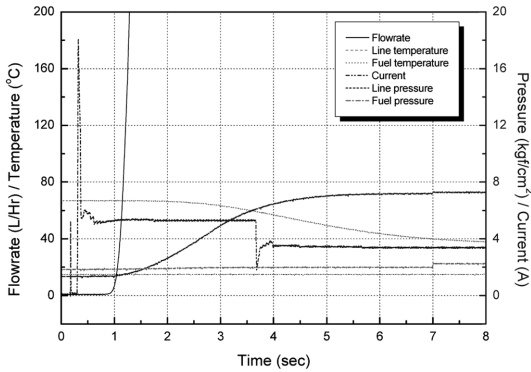


Fig. 8. Hot startability of fuel pump at 70°C soaking condition.

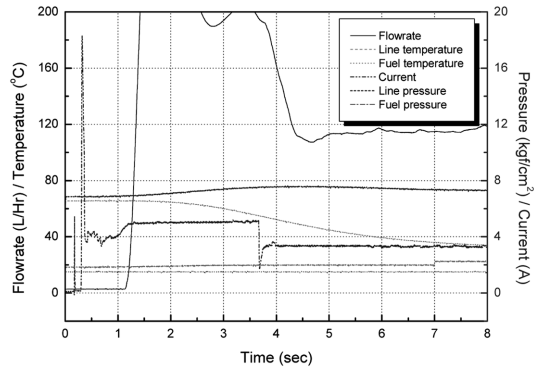


Fig. 9. Hot startability of fuel pump at 70°C soaking condition with rear solenoid valve.

의 연료가 분사되는데 걸리는 시간이 보다 많이 필요함을 나타낸다. 프로판 함유율이 낮은 경우에는 온도 증가에 따라서 소요시간의 증가폭이 크지 않으나, 프로판 함유율이 높은 경우에는 큰 폭으로 증가하기 때문에 시동에 영향을 미칠 수 있다.

LPG 액상분사방식의 엔진은 엔진으로부터 열전달이 인젝터 팁과 연료레일에서의 연료증발의 원인으로 작용하기 때문에 열간시동시에는 시동지연이 되는 특성이 있다[9]. 이러한 열간시동시의 시동지연 문제를 해결하기 위해서, 빠른 압력상승과 온도가 낮은 연료의 재순환이 요구된다. 열간시동 평가를 모사하기 위해서 연료레일에 해당하는 부위만을 70°C에 도달할 때까지 가열한 뒤 펌프의 초기토출성능을 살펴보았다.

Fig. 8을 살펴보면 펌프가 작동된 이후에는 연료의 유량이 유량계의 측정한계를 넘어서는 200 L/Hr 이상의 유량값을 보이고 있다. 이것은 시동 초기에 연료 펌베에 장착된 펌프에 의해서 레일을 지나는 연료의 흐름으로 인해 레일을 포함한 라인상의 연료 온도가 감소하고 있으나, 이미 펌프 작동 이전에 라인의 온도 및 압력상승으로 인해 연료의 일부가 연료 펌베로 복귀되어 라인내 연료의 밀도가 감소한 상태에서 외부로부터 열전달에 의한 연료기화가 일어나서 기상에 의한 빠른 유속이 유량계의 측정에 영향을 미친 것으로 보인다. 라인내의 연료가 압력조정기에 의한 레일압력의 증가로 펌베 대비 0.5 MPa 이상의 압력을 유지하고 있고, 연료 흐름에 의해 온도가 감소하기 때문에 Vapor lock과 같은 문제는 발생하지 않은 것을 알 수 있다. 그러나 일부 기화된 연료가 액상연료와 함께 엔진 내부로 공급되기 때문에 공급되는 연료량의 정확한 제어가 어렵게 되어 시동성 및 배출가스 특성에 악영향을 미칠 것으로 예상된다.

열간시동시의 연료의 기화를 방지하기 위해 압력조정기를 지난 연료라인 상에 전자식 밸브를 추가로 장착하였다. 연료 라인의 온도가 증가하면 밸브의 추가 장착으로 인해 펌베로 연료가 복귀되지 않기 때문에 압력이 증가하게 된다. 그러나 연료의 밀도가 유지되기 때문에 기화가 어렵게 되어 시동 초기에 분사되는 연료를 액상으로 유지할 수 있다. Fig. 9에 연료 라인의 후단에 전자식 밸브를 장착하여 시험한 결과를 나타내었다. 유량이 감소하여 3단 작동 후 Idle 작동 형태는 보이고 있으나 절대값이 여전히 높은 것은, 엔진으로부터의 열전달에 의해 기화된 연료가 여전히 존재하고 있음을 나타내는 것이라 할 수 있다. 열간시동시의 시동지연 문제를 해결하기 위해서는 엔진으로부터의 열전달량 감소 또는 빠른 열방출을 위한 레일 구성부품의 열용량 감소 및 연료의 재순환 비율을 높이기 위한 펌프 유량 증가 등의 방안이 적용되어야 할 것으로 판단된다.

IV. 결 론

LPG 액상연료공급 시스템의 가장 핵심적인 부품인 연료펌프를 이용하여 초기토출 성능평가를 수행하여 특성을 살펴본 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 유량은 라인상의 압력이 연료탱크의 압력대비 0.5 MPa에 도달하기 전에 연료의 흐름이 나타나며 전원공급 후 1초 이내에 연료의 흐름을 확인하였다.
- 2) 시동시의 운전조건이 급격하게 유량증가가 일어나는 조건이므로 부분적인 캐비테이션이 발생하여 유량이 감소하고, 이러한 현상이 온도가 증가할수록 펌프 성능에 영향을 미쳤다.
- 3) 프로판의 혼합 비율이 증가함에 따라 연료의 증기

압이 증가하게 되어 초기토출유량이 감소하였다.

4) 프로판 함유율이 낮은 경우에는 온도 증가에 따라서 압력이 증가하는 데 걸리는 시간의 증가폭이 크지 않으나, 프로판 함유율이 높은 경우에는 큰 폭으로 증가하기 때문에 시동에 영향을 미칠 수 있다.

5) 열간시동시 연료라인 상에서 연료의 기화로 인하여 유량이 높게 나타났으나 압력조정기 후단에 추가적인 밸브 장착을 통해 기화의 일부 억제가 가능하였다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부 중소형 LPG상용차 기술개발 사업 및 환경부 ECO-STAR 사업의 지원 아래 이루어졌으며, 이에 저자일동은 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

[1] Payne, M.E., J.S. Segal, M. Newkirk and L.R. Smith, *Use of Butane as an Alternative Fuel Emissions from a Conversion Vehicle Using Various Blends*, SAE 952496 (1995)
[2] Baik, D.-S. "A Study on Emission Characteristics in A LPG Vehicle", *Transaction of KAIS*, 7(6), 993-997, (2006)
[3] Kang, K.Y., D. Lee, S.M. Oh and C.U. Kim, A

Fundamental Study on a MPI LPG Engine for Heavy-duty Vehicles, COMODIA 2001, 3-02, 358-364, (2001)
[4] Kang, K., D. Lee, S. Oh and C. Kim, *Performance of an Liquid Phase LPG Injection Engine for Heavy-duty Vehicles*, SAE 2001-01-1958 (2001)
[5] Yates, S. *Technical Highlights of the LPG Dodge Ram Van Wagon*, Propane Technology TOPTEC, (1995)
[6] Lutz, B.R., R.H. Stanglmaier and R.D. Matthews, *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)
[7] Sierens, R. *An Experimental and Theoretical Study of Liquid LPG Injection*, SAE 922363, (1992)
[8] Hong, M.-S., Y.-T. Park and W. Jang, "Development of Vehicle with Multi-point Liquid LPG Injection System", *Journal Environmental Research Chosun University*, 15, 137-158, (1999)
[9] Luan, Y. and N.A. Henein, *Contribution of Cold and Hot Start Transients in Engine-out HC Emissions*, SAE 982645, (1998)
[10] Cipollone, R. and C. Villante, *Model-Based A/F Control for LPG Liquid-Phase Injected SI ICEs*, SAE 2004-01-2958, (2004)