



LPG 펌프에서 필터 종류에 따른 펌프 토출성능에 대한 연구

*이석환 · 박철웅 · 김창업

한국기계연구원

(2009년 1월 2일 접수, 2009년 3월 30일 수정, 2009년 7월 4일 채택)

Performance of Blowoff Flow for a LPG Fuel Pump with Various Fuel Filters

*Seok Hwan Lee · Cheol Woong Park · Chang Up Kim

*Korea Institute of Machinery and Materials, 171, Jang-dong, Yuseong-gu,
Daejeon-si, 305-338, Korea*

(Received 4. January. 2009, Revised 30. March 2009, Accepted 4. July. 2009)

요 약

최근 연료경제성 및 강화되는 배출가스 규제를 만족하기 위하여 대체연료의 하나인 LPG에 대한 수요가 증가하고 있다. 현재 LPG 차량에 적용되고 있는 제3세대 LPG 연료공급방식인 LPLi (Liquid Phase LPG Injection) 시스템은 가솔린 차량과 비교하여 배출가스는 적게 배출하면서 동등한 출력을 낼 수 있게 하는 핵심 기술이다. LPG 연료를 고압의 액상 상태로 공급하기 위해서는 LPG 펌프가 필요하다. 연료펌프의 성능을 저하 시킬 수 있는 연료 내 불순물을 제거하기 위하여 연료펌프에는 연료필터가 장착되어 있으며 장착되는 연료필터의 종류에 따라서 연료펌프의 성능도 변하게 된다. 본 연구에서는 임펠러 방식을 채택한 LPG 연료펌프에서 극세사, 이중메쉬, 외장형 필터의 세 가지 필터에서 부하별 토출성능 및 효율을 파악하였으며 온도 변화에 따른 펌프유량 변화를 측정하였다.

Abstract - In recent years, the needs for more fuel-efficient and lower-emission vehicles have driven to use the alternative fuel of LPG(Liquefied Petroleum Gas) which is able to meet the more stringent legislations without many modifications to current engine. LPLi (Liquid Phase LPG Injection) system (the 3rd generation LPG injection system) is the core technology to produce power equivalent to a gasoline engine with less emissions. The LPG fuel pump can supply the compressed LP gas in the liquid phase to engine. The fuel filter is attached in the fuel pump to eliminate the remnants in the liquid phased LP gas and the performance of blowoff flow for a pump can be varied with various filters. In this study, experiments were conducted to investigate the performance and efficiency of the impeller type LPG fuel pump under various filter types of microfiber, double mesh and external filter. And blowoff flow for a LPG fuel pump was measured according to the temperature of the fuel.

Key words : liquid phase lpg injection, fuel pump, fuel filter, microfiber filter, double mesh filter, external filter

*주저자:shlee@kimm.re.kr

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, 벤츨리에서 연료와 공기가 혼합되기 때문에 정밀한 혼합기의 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 LPG 연료를 펌프를 이용해서 고압으로 승압하고 이를 액상상태에서 분사기를 이용해서 분사하는 방식으로서, 기화기 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 배출가스로서 인해서 촉매에도 부하를 줄여줌으로써 촉매원가가 저감되는 이점이 있다[4].

이러한 LPLi 방식은 고압의 LPG 연료를 액상상태로 공급하기 위한 연료펌프가 가장 핵심적인 부품으로서 일정량의 연료량을 안정되게 토출해야 하는 것이 주된 기능이다[5]. 액상 상태의 LPG 연료에

포함되어 있는 불순물들의 펌프부 유입을 방지하기 위해서 연료펌프에는 연료필터를 장착하여야 하는데 이 경우 연료필터의 종류에 따라서 펌프에서의 부하별 토출량 및 효율이 변할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 극세사 필터(Microfiber filter), 이중메쉬 필터(Double mesh filter), 외장형필터(External filter)의 세 가지 종류에 따른 부하별 연료유량 및 소모전류, 펌프효율 등의 일반적인 특성을 살펴보고, 연료 온도 변화에 따른 토출유량 특성도 파악하였다. 이를 통하여 여러 운전 조건의 변화에 따른 연료필터의 차량 적용 가능성 여부를 파악하고자 하였다.

II. 실험장치

본 실험은 LPLi 연료 공급 시스템을 적용한 엔진에서 LPG 펌프의 부하별 토출성능을 파악하기 위하여 실제 차량의 연료시스템을 사용하였다. 일반적으로 LPG 연료펌프는 다이어프램 방식이나 임펠러 방식이 사용되는데 다이어프램 방식의 경우에는 연료펌프내의 다이어프램의 변형으로 성능을 저하시킬 수 있는 문제점이 있을 수 있으므로 본 연구에서는 이를 보완한 임펠러 타입의 연료펌프를 사용하였다. Table 1에서는 본 연구에서 사용한 펌프의 기본적인 제원을 나타내고 있다.

Fig. 1의 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

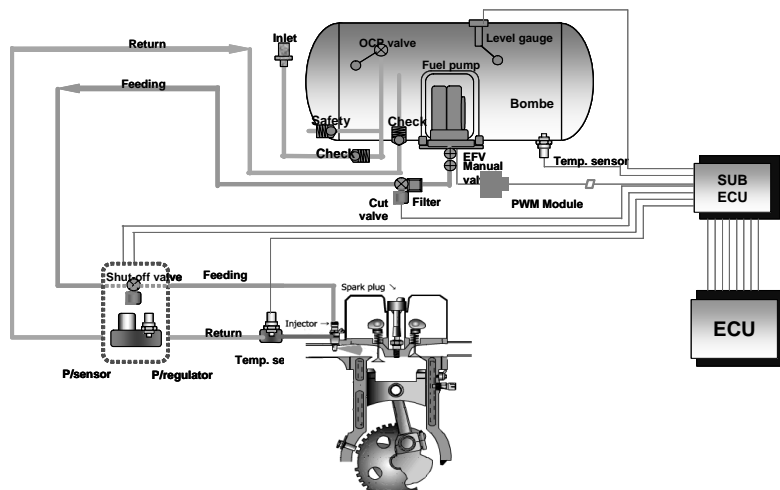


Fig. 1. Schematic diagram of LPLi fuel supply system.

Table 1. Specification of fuel pump.

Item	Specification
Working pressure	Maximum 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
Fuel contamination	up to 0.7 mm
Min. Temperature	-25℃
Max. Temperature	90℃
Safety valve setting	2.5 MPa

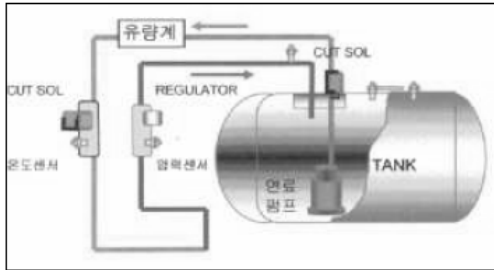


Fig. 2. Schematic diagram of rig setup for fuel pump.

조절하였다. 1m³의 내부 용적을 갖는 항온기 (Constant Temperature Chamber)는 최대온도 80℃까지 온도 조절이 가능하도록 제작하였고, 연료 공급 시스템의 온도는 상온 조건과 비교할 수 있는 20℃ 및 60℃ 조건으로 변화시키며 초기시동시의 펌프의 성능 및 변수들을 관찰하였다. 연료 펌프는 PWM (Pulse Width Modulation) 신호의 Duty 가변에 의한 회전수 조절이 가능한 펌프 전용 드라이버 (Driver)에 의해 제어되었다.

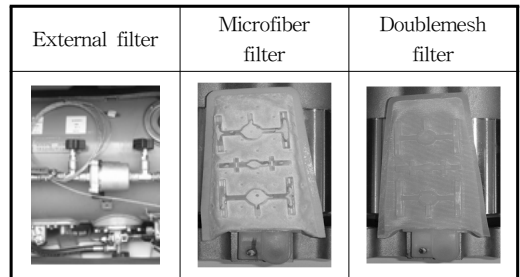
연료는 국내에서 일반적인 하절기에 사용 되는 부탄(Butane)이 95%, 프로판 (Propane)이 5% 함유된 연료를 사용하여 실험을 수행하였다. Fig. 2는 연료 공급 시스템 및 제어장치의 개략도를 나타내고 있다.

연료필터가 펌프의 성능에 미치는 영향을 파악하기 위하여 동일한 사양의 펌프에 일반적으로 널리 사용되고 있는 극세사필터, 이중메쉬필터, 외장형필터를 장착하여서 펌프부하별 연료유량 및 소모전류, 펌프효율 등의 일반적인 특성과 연료온도 변

Table 2. Specification of fuel filter.

	External filter	Microfiber filter	Double mesh filter
Material	Nylon, Polyester	Nylon, Polyester	Nylon
Thickness(mm)			
- Plain	- 0.52	- 0.54	-0.51
- Corrugated	- 0.77	- 0.78	-0.75
Mean pore size (μm)	36.4	45.5	60.2

Table 3. Photographs of fuel pump filter.



화에 따른 필터별 펌프토출유량을 측정하였다. Table 2에서는 각각의 필터별 제원을 나타내고 있으며 Table 3에서는 샘플들의 실제 사진을 보여주고 있다. 모든 필터는 나일론과 폴리에스테르를 사용하여 제작되었으며 필터의 성능에 가장 큰 영향을 미치는 필터의 기공 크기를 비교해 보면 외장형 필터의 기공 크기가 가장 작으며 이중메쉬필터의 기공의 크기가 가장 크다. 필터의 두께는 거의 비슷한 수준이었다.

III. 실험결과

3.1 필터 종류에 따른 펌프의 효율 평가

필터의 종류에 따라서 각각의 필터가 가지고 있는 필터링 효율을 측정하기 위하여 공인시험법인 ISO 19438 / ISO 4548-12법을 적용하여 시험한 결과를 Fig. 3에 나타내었다. 5~90 μm의 크기를 가지는 입자를 흘려 보내면서 필터에 의해서 여과되어지는 효율을 측정하는 방법으로 필터의 효율을 정의한다. 결과를 살펴보면 외장형필터가 필터링 효율이 가장 높으며 이중메쉬필터의 효율이 가장 낮다. 특히 20 μm 이하의 매우 작은 입자 범위에서는 외장형필터의 효율이 매우 높는데 이는 기공 크기가

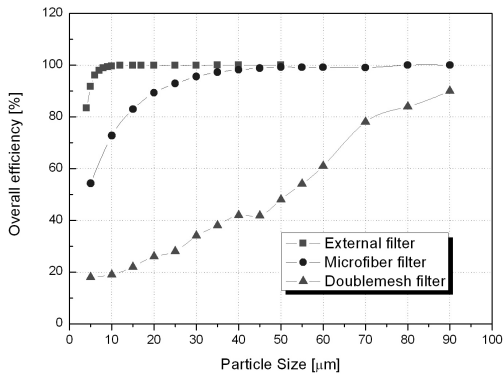


Fig. 3. Overall filtration efficiency for pump filter.

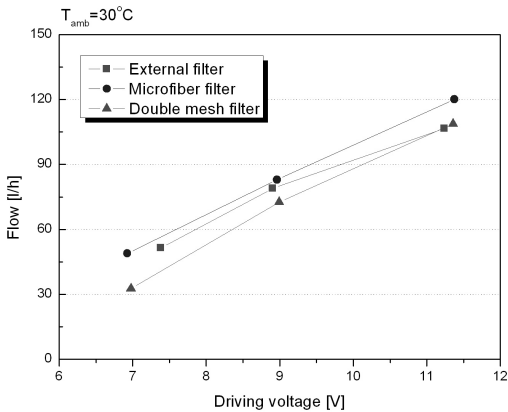


Fig. 4. Pump blowoff flow according to driving voltage under various filters at 30°C condition.

가장 작아서 연료 내의 입자들이 잘 통과하지 못하는 것이다.

3.2 필터 종류에 따른 펌프 기본성능 평가

필터 종류가 펌프 성능에 미치는 영향을 파악하기 위하여 각각의 필터가 장착된 동일한 제원의 펌프에서 7, 9, 11.4V의 구동전압을 공급한 후 펌프의 토출유량, 소모전류, 효율을 측정하였다. Fig. 4는 30°C의 연료온도 조건에서 필터 종류에 따른 펌프에서의 토출유량을 측정한 결과이다.

필터 종류에 따라서 토출유량의 차이가 나는데 극세사필터, 외장형필터, 이중메쉬필터 순으로 유량이 많이 확보되었다. 극세사필터와 이중메쉬필터는 필터가 연료분배에 내장되어 있는데 이중메

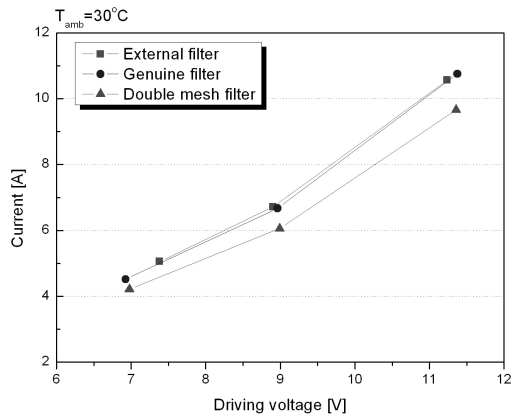


Fig. 5. Pump current according to driving voltage under various filters at 30°C condition.

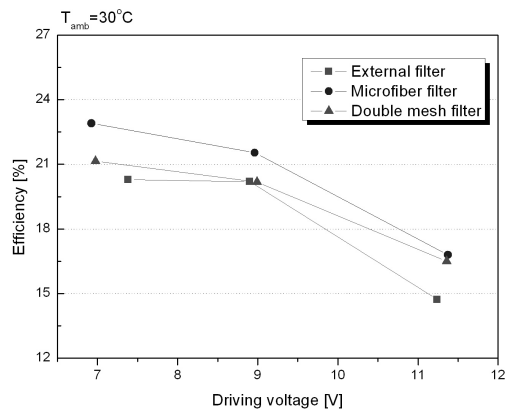


Fig. 6. Pump efficiency according to driving voltage under various filters at 30°C condition.

쉬필터의 경우 기공의 크기가 더 크기 때문에 전체적인 저항은 작을 것으로 예상되지만 두개의 층으로 이루어진 구조로 인하여 전체적으로는 저항이 커진 것으로 작용하여서 동일한 전압으로 구동되더라도 15 L/h 정도의 유량이 감소하는 것으로 파악된다. 외장형필터의 경우 기공의 크기가 작으므로 구동전압이 낮은 조건에서는 극세사필터와 비슷한 비교적 높은 유량을 유지하였지만 구동전압이 높은 조건에서는 토출유량이 이중메쉬필터를 사용하는 경우와 비슷하였다. 이는 외장형필터의 위치에 따라서 길어진 연료라인에 따른 저항증가로 인한 결과이다.

Fig. 5는 구동전압에 따른 펌프 소모전류를 나타내고 있는데 극세사 필터와 이중메쉬필터에서 소모되는 전류가 비슷하고 이중메쉬필터에서 소모되는 전류는 최대 1A 정도 낮다. 이는 이중메쉬필터의 이중 구조에 의한 저항 증가로 인하여 실제 펌프의 성능도 감소한 것이다. Fig. 6에서 필터 종류에 따른 펌프효율을 살펴보았다. 펌프의 효율은 실제 펌프에 공급된 전력에서 토출유량으로 계산한 실제 펌프에서 수행된 일의 비율로 계산이 가능하다. 결과를 살펴보면 소모전류는 비교적 높지만 토출유량도 가장 많은 극세사 필터의 경우 효율이 가장 높다. 이중메쉬필터의 경우는 극세사필터보다 낮은 16~21% 정도의 펌프효율을 보이고 있으며 외장형필터의 경우 전압의 증가에 따라서 유량 증가폭이 크지 않아서 효율은 감소하는 경향을 보이고 있으며 11.4V의 구동전압 조건에서는 효율이 15% 아래로 내려갔다.

펌프에 인가전압이 가해지고 난후 일정량의 토출유량을 확보하는데 걸리는 시간은 또 하나의 펌프성능 평가인자가 될 수 있다. Fig. 7에서는 11.4V의 인가 (Driving) 전압 조건에서 필터 종류별 시간에 따른 토출유량을 나타내고 있다. 인가전압에 따른 유량이 가장 많이 확보가 되는 극세사 필터의 경우가 펌프 응답시간도 가장 빨랐으며 일정한 유량을 확보하는 데에도 가장 짧은 시간이 걸렸다. 외장형필터의 경우 극세사필터에 비해서 기공사이즈가 작아서 저항이 더 커서 초기 토출유량 확보 시간이 더 느린 것으로 측정이 되었고 이중메쉬필터보다도 초기 토출유량 확보 시간이 길었다. 이는 다른 내장형필터의 경우 필터가 펌프에 일체형으로 장착되어 있어서 연료가 필터를 통해 바로 유입

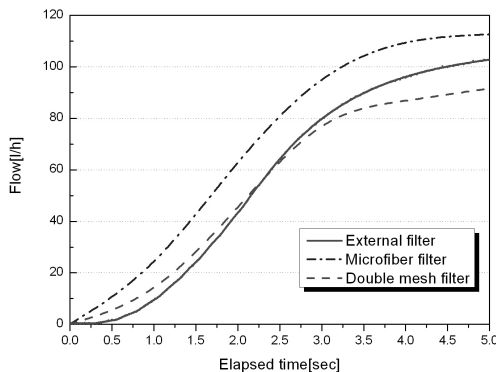


Fig.. 7. Initial blowoff flow according to driving voltage under various filters at 11.4V condition.

되지만 외장형필터는 연료보메 (Fuel Bomb) 외부에 장착되어 있어서 연료가 필터를 거쳐서 펌프로 유입되기 위한 라인이 길어지기 때문에 내부저항의 증가로 인하여 펌프 입구부 유량확보에 불리하며 초기 반응시간도 길어진다.

3.3 연료 온도 변화에 따른 필터별 펌프 유량 측정

연료의 온도가 변하게 되면 연료보메 내의 증기압 변화로 인하여 펌프의 성능에도 영향을 미치게 된다. 특히 외장형필터의 경우는 필터가 연료보메 외부에 설치되기 때문에 연료온도가 높은 경우 외부라인을 지나는 연료가 기화할 가능성도 있기 때문에 온도변화에 따른 토출유량 성능을 파악하는 것이 중요하다. 연료탱크 및 라인의 온도를 20~60°C로 변화시키는 경우 필터 종류에 따른 유량 변화를 9V 인가전압 조건에서 측정한 결과를 Fig. 8에 나타내었다. 연료 온도의 증가에 따라서 극세사필터와 이중메쉬필터의 경우 유량이 감소하는 경향을 나타내었다. 연료의 온도가 증가하면 연료의 증기압이 높아져서 유량이 증가할 것으로 예상하였지만 오히려 감소하였다. 이는 펌프내부에서 발생하는 캐비테이션 현상에 의하여 발생하는 기화된 연료에 의해서 펌프 성능이 약간 감소하기 때문이다. 외장형필터의 경우는 온도가 증가하면 유량이 감소하다가 약 36°C 정도에서 갑자기 유량이 급감하였고 연료 온도가 더 높아지면 펌프에서 연료를 펌핑하지 못하는 결과가 발생하였다. 이는 연료보메 외부에 필터가 장착되어 있어서 필터에 연결된 라인을 통과하는 연료가 쉽게 기화되고 기화된 연료가 펌프에 유입되어 펌프는 더 이상 연료를 펌핑

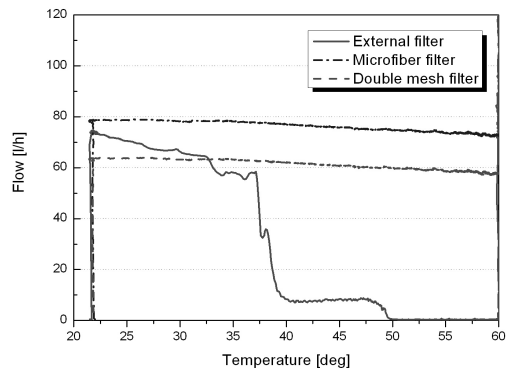


Fig. 8. Effect of fuel temperature on blowoff flow under various filter types at 9V driving voltage condition.

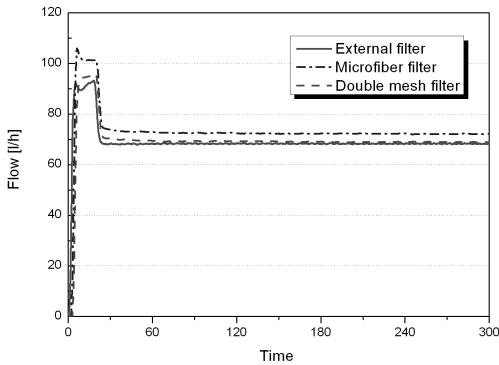


Fig. 9. Initial blow off flow under various filters at engine starting pattern.

하지 못하는 것으로 판단된다. 외장형 필터를 사용하는 경우 엔진 열원, 높은 대기온 등에 의하여 연료의 온도가 상승하는 경우 연료의 기화현상으로 연료가 엔진에 공급되지 못하여 엔진이 멈출 수 있는 문제가 발생할 가능성이 있다.

3.3 엔진 시동시 필터 종류에 따른 연료펌프 성능 파악

실제 차량에서의 초기 엔진 시동 조건을 모사하여 필터 종류에 따른 펌프의 토출유량을 연료온도 30°C에서 측정한 결과를 Fig. 9에 나타내었다. 초기 엔진 시동시 펌프의 구동은 연료레일상의 압력조건 및 액상유지를 위하여 시간을 초기 2.5s 동안 11.2V의 공급전압을 유지한 후 15s 동안 10.2V, 이후에는 8.5V의 공급전압 조건에서 아이들링 (Idling) 상태를 유지한다. 시험결과를 살펴보면 모든 경우의 필터에서 초기 2.5s 동안 95%로 유지된 부하에 의해서 토출유량이 급증하였다가 일정한 유량을 유지하는 것을 알 수 있다. 극세사필터의 경우 유량이 나머지 경우에 비해 조금 더 높았지만 엔진에서 필요한 요구유량인 50 L/h는 모든 경우에서 충분히 만족하고 있다.

펌프를 오랜 시간 동안 상온에 방치한 후 다시 시동패턴을 사용하여 펌프를 작동하는 경우 외장형 필터에서 시동 초기에 토출유량이 확보되지 않는 현상이 발생하였다. Fig. 10에서는 외장형 필터를 사용하는 경우 연료온도 20, 40°C 조건에서 시동 초기에 정상적으로 유량이 확보되는 경우와 비정상적으로 유량이 확보되지 않는 경우를 비교한 것이다. 정상적으로 펌프가 작동하는 경우에는 시동 초기부터 유량이 확보되지만 비정상적인 경우에는 약 2분 정도의 시간이 지난 후에야 유량이 일정

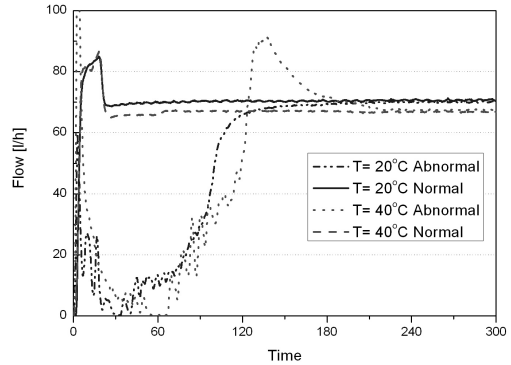


Fig. 10. Abnormal initial blow off flow under external filter at engine starting pattern.

수준으로 확보되는 것을 볼 수 있다. 이는 펌프를 오랜 시간동안 실내 온도로 방치하는 경우 외부 필터와 연결된 라인에 채워져 있는 연료가 연료보조에 다시 유입되어 빈 공간이 생겨서 기상의 연료가 펌프로 유입되면서 펌프가 정상적으로 작동하지 않는 것이다. 이는 연료가 필터를 통해서 펌프로 유입되기 때문에 생기는 현상으로 시동 패턴에서 펌프의 부하를 증가시키거나 외장형 필터의 위치 재조정을 통하여 해결하여야 할 것으로 사료된다.

VI. 결론

연료 필터 종류가 LPG 액상연료공급 시스템의 가장 핵심적인 부품인 연료펌프의 성능에 미치는 영향을 파악하기 위하여 펌프유량, 소모전류, 펌프 효율, 응답특성 등을 측정하였다. 본 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 필터의 종류에 따라서 기공 크기가 다르므로 필터효율은 다르게 측정이 되었으며 특히 20 μm 이하의 매우 작은 입자 범위에서는 외장형 필터의 효율이 매우 높는데 이는 기공 크기가 가장 작아서 연료 내의 입자들을 잘 제거해주기 때문이다.
- 2) 극세사필터를 장착하는 경우 외장형 필터와 이중메쉬필터에 비하여 토출유량이 높으며 펌프 효율도 높게 측정되었다. 외장형 필터의 경우 작은 기공 크기 및 장착 위치로 인하여 길어진 연료라인이 추가적인 저항으로 작용하여 유량이 극세사필터보다 적었다.
- 3) 펌프의 응답성도 극세사필터의 경우가 제일 우수하였으며 외장형 필터는 필터에 연결되는 라인의

길이 증가로 인하여 응답시간도 길게 측정되었다.

4) 연료온도 증가에 따라서 펌프내에서 발생하는 캐비테이션 현상에 의하여 토출유량이 약간 감소하였으며 외장형필터의 경우 라인을 통과하는 연료가 기화되어서 펌핑이 되지 않는 현상이 발생하였다.

5) 엔진시동 패턴에서 펌프를 구동하는 경우 필터종류에 상관없이 빠른 시간 내에 필요한 유량이 확보되었다.

6) 외장형필터의 경우 펌프를 오랜 시간동안 소킹하는 경우 라인에 공기가 들어와서 시동 초기에 유량이 확보되지 않는 현상이 발생하였으며 이는 실제 차량에서 엔진 정지와 같은 심각한 문제를 초래할 수 있다.

감사의 글

본 연구는 지식경제부의 “중소형 LPG 상용차 개발사업” 및 환경부의 “SULEV 규제대응 LPG액상연료 공급시스템 특성연구”의 연구비 지원으로 수행되었으며, 이에 감사의 뜻을 표합니다.

참고문헌

- [1] Payne M., Segal J., Newkirk M., Smith L., “Use of butane as an alternative fuel emissions from a conversion vehicle using various blends”, SAE 952496, 1995.
- [2] Baik D., “A Study on Emission Characteristics in a LPG Vehicle”, Transaction of KAIS, 7(6), 993~997, 2006.
- [3] Kang K., “A heavy-duty LPG lena burn engine using LPLi system”, 2002 International Symposium on LPG Vehicles, 2002.
- [4] Kang K., Lee D., Oh S. and Kim C., “Performance of an Liquid Phase LPG Injection Engine for Heavy-duty Vehicles”, SAE 2001-01-1958, 2001.
- [5] Park C., Kim C., Choi K., “A Study on Performance of Initial Blowoff Flow for a Fuel Pump with Various Temperature and Composition Condition in LPG Engine”, Journal of Korean Institute of Gas, 12(2), 12~17, 2008.