

LPLi 시스템에서 외장형 펌프의 연료조성 및 온도에 따른 성능특성 연구

남덕우¹ · 윤준규² · 임중한[†]

(원고접수일 : 2011년 2월 14일, 원고수정일 : 2011년 4월 26일, 심사완료일 : 2011년 6월 16일)

Performance Characteristics with Various Fuel Composition and Temperature for an External Type Fuel Pump in LPLi System

Deok-Woo Nam¹ · Jun-Kyu Yoon² · Jong-Han Lim[†]

요 약 : LPG 연료공급방식은 배출가스를 저감시킬 수 있는 유용한 시스템으로 연구가 지속적으로 진행되고 있다. LPG는 경유와 휘발유보다 높은 증기압과 낮은 점도와 표면장력을 유지하므로 고무류와 화학 반응에 따른 연료펌프의 기계적인 손상으로 내구성이 저하되고 있는 실정이다. 본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 LPLi 시스템에서 유지보수의 편리함과 가격경쟁을 위해 개발된 외장형 펌프를 사용하여 LPG 연료의 조성 및 온도에 따른 특성을 평가하고자 실험을 하였다. 그 결과로서, 내장형 펌프와 외장형 펌프의 성능차이는 거의 없으며 프로판 함유율이 높고, 연료온도가 높아짐에 따라 유량은 많아지나 펌프효율은 거의 차이가 없었다. 또한 LPG 자동차 연료공급장치의 특성상 연료조성 및 온도변화에 따른 차압도 거의 일정하게 나타내었다.

주제어 : 외장형 연료펌프, 연료조성, LPG 액상분사, 공동현상, 유효흡입수두, 펌프효율

Abstract: Since LPG (Liquefied petroleum gas) fuel supply system has an advantage of low emission characteristics, many studies have been conducted. In spite of the advantage of LPG supply system, a higher vapor pressure and lower viscosity than diesel or gasoline fuel may cause unstable running of fuel pump by the deterioration in lubrication performance and chemical reaction with rubber parts than that of diesel and gasoline fuel. Therefore its physical properties can cause the deterioration of durability. In this research, we developed an external type LPG pump which has the advantage of the price competitiveness and the convenient maintenance for LPLi system. The experiments were carried out in order to assess characteristics of the external type fuel pump at different fuel composition and temperature. As a result, there aren't any differences between internal and external type pump performance. It is observed that the same level of efficiency was maintained for both pumps as flow rate was increased with higher fuel temperature and more contents of propane in the fuel. And the pressure difference in LPLi system is maintained at constant with the various fuel compositions and temperatures due to their own characteristics of fuel supply system.

Key words: External fuel pump, Fuel composition, LPLi (Liquid Phase LPG Injection), Cavitation, NPSH (Net Positive Suction Head), Pump efficiency

[†] 교신저자(경원대학교 기계·자동차공학과, E-mail:kkjong@kyungwon.ac.kr, Tel: 031-750-5650)

1 경원대학교 대학원 기계공학과

2 경원대학교 기계·자동차공학과

1. 서 론

최근 자동차 배출가스규제 강화 및 천연자원의 효율적인 사용을 위하여 대체연료 사용에 대한 관심과 연구가 활발하게 진행되고 있다. 이에 따라 차량용 엔진에서 저연비 및 저공해를 목표로 하는 청정가스연료인 LPG 사용이 증가하는 추세를 보이고 있으나, 더욱더 배출가스저감을 위한 새로운 시스템개발이 시급하다. 기존에 적용하는 LPG 자동차의 연료공급방식은 봄베 내에 존재하는 LPG의 자체적인 포화증기압에 의해 벤추리로 공급되어 공기와 혼합되는 제2세대방식으로서 혼합기의 정밀한 공연비형성이 어려워 저출력, 낮은 응답성, 냉시동 성능의 저하 및 배출가스규제에 대한 대응이 불가능하다. 이에 대한 대책으로 LPG 전용펌프를 연료탱크내부에 장착하여 연료를 고압으로 연료를 승압하여 액상상태로 인젝터까지 공급하여 이를 분사하는 제3세대 연료공급방식인 LPG 액상분사(Liquid Phase LPG Injection, 이하 LPLi)방식에 대한 연구가 진행되고 있다[1-2].

이 LPLi 기술은 가솔린차량 동급의 출력성능을 유지하면서 제2세대 연료공급방식에 비해 10~15%의 출력상승과 7~9%의 연비개선효과가 있고, 연료분사시에 잠열에 의해 흡입되는 공기온도가 감소되며, 이에 따른 배출가스 온도감소, 노킹저감 등의 장점과 정확한 연료량분사로 정밀한 공연비제어가 가능하여 강화되는 LPG 자동차의 배출가스규제를 만족시키기 위한 핵심기술로 적극 활용되고 있다[3-6]. 이러한 연료펌프는 LPLi 연료시스템의 가장 중요한 부품중의 하나로서 자동차 제작사는 국내외적으로 개발된 연료탱크 내장형 연료펌프를 채택하고 있다. 그러나 이 방식은 펌프의 문제가 발생하여 교체나 수리 등의 상황이 발생하였을 경우, 내부에 잔류가스를 제거한 후 펌프를 수리하거나 연료통 전체를 교환해야하는 단점이 있다. 이를 보완하기 위해 잔류가스 회수장치가 추가로 개발하여 별도 자동차 서비스센터에 공급하고 있지만 불편한 점이 많다. 또한 연료펌프가 연료탱크 내에 위치함으로써 발생하는 공진소음의 발생 문제 등으로 내장형 연료펌프의 사용에 한계가 있다. 이에 대한 개선책으로 현재 한국기계연구원에

서는 LPG용 연료펌프를 연료탱크 외부에 설치하는 외장형 연료펌프 기술개발이 진행되어 시작품이 완성된 단계에 이르고 있다. 본 연구에서는 국내에서 처음으로 개발된 LPG 외장형 연료펌프를 기존 사용 중인 내장형 펌프의 성능특성을 비교하고 신뢰성을 확보하기 위해 LPG 연료의 각 조성과 온도에 따라 펌프의 유량, 출력 및 효율 등에 미치는 영향을 고찰하고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 외장형 연료펌프

본 연구에서 사용된 외장형 연료펌프는 롤러 베인 형으로 BLDC 모터를 사용하며, 베인부는 탱크 압력과 배관사이의 압력차를 0.5 MPa로 유지하기 위해 설계되었으며, 3000 rpm 내외에서 160 L/hr 이상의 유량이 토출된다. 베인펌프의 장점으로는 충분한 승압 및 유량확보가 가능하며, 금속재질로 설계된 펌핑부는 LPG의 올레핀반응이 없다. 단점으로는 열부하 및 전단부의 캐비테이션발생으로 설치위치에 따라 다소 민감성이 있으나 현재 개발과정에서 이 문제를 해결하는 중에 있다. 베인 압출부는 LPG 연료에 가장 최적화된 내마모성 재질을 사용하여 내구성을 보완하기 위해 초정밀 가공방법을 채택하였다. 기존의 가솔린 및 디젤 차량에 적용하는 연료펌프 구성품의 재질은 연료점도에 적합하게 설계되어 있으므로 LPG 연료펌프도 연료특성에 맞게 내구성이 있는 재질로 변경할 필요가 있다.

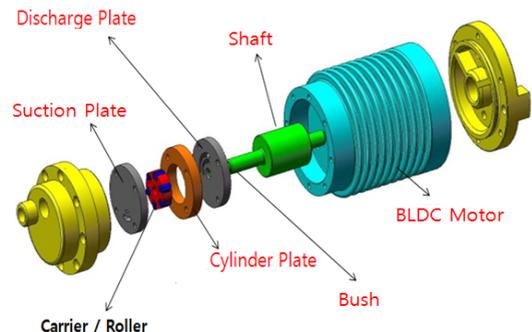


Figure 1: Schematic of a LPLi vane-type fuel pump being developed for LPG vehicles

캐비테이션발생에 대비한 내구성 향상을 위한 금속재료로 주철, 청동 및 알루미늄 등을 사용하였으며, 본 연구에서는 Figure 1에서 나타난 바와 같이 베인형 펌핑부에 LPG 연료에 가장 최적화된 내마모성 재질인 SiC를 사용하여 펌프특성 및 내구성을 확보하였다. 이 펌프의 펌핑부는 Al_2O_3 제품을 선택하였고, 캐리어부품은 철계소결제품에 산질화처리, DLC코팅 및 CONIF코팅 등의 최적화된 표면처리기술을 이용하였고, 성능 및 내구성 향상을 위해 트러스트 밸런싱 캐리어 및 부쉬 등을 적용하였다. Figure 2는 본 연구에서 적용한 외장형 펌프의 각 구성품과 조립품을 나타내고 있다.



Figure 2: Component of external fuel pump

2.2 실험장치

Figure 3은 외장형 펌프에 대한 실험장치의 개요도를 나타내고 있으며, 연료용기와 연료펌프의 전후단, 연료용기로 회수되는 배관에 온도 및 압력 센서를 취부하여 데이터를 얻을 수 있도록 하였으며, 유량계는 탱크 리턴위치에 설치하여 유량을 측정하도록 하였다. 펌프는 PWM(Pulse Width Modulation)을 통하여 신호의 Duty변화로 회전수조절이 가능하며, 이를 위해 제어전용 드라이버를 이용하였다. 펌프전단의 압력센서를 이용해 중요한

펌프흡입압력을 구할 수 있으며, 펌프와 레귤레이터 후단의 압력을 측정하여 0.5 MPa 이상의 압력차를 관찰한다. 이때 연료의 승압을 위해 LPG 차량에서 실제 사용되고 있는 레귤레이터를 사용하였다. 그리고 내장형 펌프실험은 차량에 장착되어 구동되고 있는 시스템을 활용하여 수행하였다. 또한 연료온도에 따른 특성실험을 하기 위해 별도의 항온기를 제작하였다. 항온기의 내부크기는 체적 1 m³으로 실내온도를 -20 ~ 80 ℃까지 조절이 가능하도록 하였다.

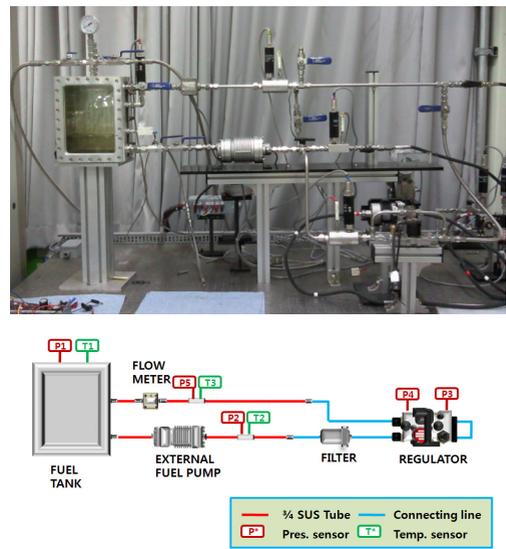


Figure 3: Experimental apparatus

2.3 실험방법

2.3.1 실험인자

일반적으로 LPLi방식에 사용되는 연료펌프는 LPG의 조성에 따른 내부압력의 변화, 입력과 출력전압의 비례관계, 온도, 회전수, 공급유량과 연료라인의 배압에 따른 여러 요소들의 긴밀함이 요구된다[7]. 펌프의 성능특성을 연구하는 주요 인자들은 입력동력, 회전수, 관로손실, 펌프 입출구의 압력, 연료의 물성치(밀도, 점성계수 등)로서 운전시 펌프특성을 변화시킨다[8]. 이러한 인자들을 고려하여 내장형 펌프와 외장형 펌프의 특성실험을 수행하였다. 수두는 물 단위질량당 지니고 있는 에너지로서 물을 올릴 수 있는 물기둥 높이로 나타낸

것으로 펌프운전시 유량과 밀도와 함께 수동력의 인자가 되어 효율을 구하는 척도가 되며, 내장형 펌프와 외장형 펌프의 특성을 비교하기 위해 유량과 회전수와 함께 비속도를 나타내며, 수두 H는 베르누이방정식을 적용하여 다음과 같은 식으로 펌프토출에 의한 에너지와 흡입부위의 에너지 차로 나타낸다.

$$H = \left(\frac{P_d}{\rho g} + \frac{v_d^2}{2g} + z_d \right) - \left(\frac{P_s}{\rho g} + \frac{v_s^2}{2g} + z_s \right) \quad (1)$$

여기서 P_d , P_s 는 각각의 토출압력, 흡입압력이다. 그리고 유체역학적 손실을 고려하지 않은 경우에 펌프효율 η 는 입력동력 L에 대한 수동력 L_w 의 비로 다음과 같은 식으로 구할 수 있다.

$$\eta = \frac{L_w}{L} = \frac{\rho g Q H}{E I} \quad (2)$$

여기서 Q, E, I는 각각의 유량, 전압, 소비전류이다. 또한 유효흡입수두 $NPSH_a$ 는 펌프운전시 캐비테이션발생이 없이 펌프를 안전하게 운전되고 있는가를 나타내는 척도로서 펌프의 설치조건은 수면과 펌프와의 거리, 흡입관경 및 흡입배관의 길이, 이송액체의 온도와 배관시스템에 의하여 결정되며, 다음과 같은 식으로 구할 수 있다.

$$NPSH_a = \frac{P_i + P_s - P_v}{\gamma} + \frac{v_d^2}{2g} + y \quad (3)$$

여기서 P_i , P_v 는 각각의 대기압력, 증기압력이다. 필요흡입수두 $NPSH_r$ 은 펌프 제작사에 의해서 결정되는 흡입수두로, 이때 $NPSH_a$ 가 $NPSH_r$ 보다 큰 경우에는 펌프내부에서 캐비테이션이 발생하지 않고, 안정된 상태에서 토출할 수 있다. 그러므로 캐비테이션을 방지하기 위해 $NPSH_a > NPSH_r \times 1.3$ 이 기본설계가 되어야 한다. 따라서 두 값을 비교하여 유량의 영향을 알아보고, 본 연구에서는 다음과 같은 식으로 $NPSH_r$ 을 구할 수 있다.

$$NPSH_r = \left(\frac{N \sqrt{Q}}{1200} \right)^{4/3} \quad (4)$$

여기서 N는 펌프회전수이다. 본 연구에서는 외장형 펌프의 하절기 및 동절기의 유사한 성능, 외국에서 사용하는 프로판 함유율이 높은 LPG의 특성을 파악하기 위하여 각 회전수의 운전조건에서 유량, 압력 및 온도를 측정하여 연료용기내의 물성치와 펌프운전시에 변화하는 측정값을 대입하여 $NPSH_r$ 를 계산할 수 있다.

2.3.2 펌프실험

외장형 펌프는 PWM신호의 Duty가변에 의한 회전수조절이 가능한 전용드라이버를 사용하였으며, 내장형 펌프는 전압가변에 의하여 단계별의 운전을 하였다. 내장형 펌프는 3단계 운전영역으로 나누며, 외장형 펌프는 5단계의 운전영역으로 나눈다. 두 펌프 모두 Idle상태와 유량의 중간, 최고 토출영역에서 출력특성을 파악하기 비교실험을 수행한다. 외장형 펌프는 5단 제어형식이므로 내장형 펌프와 비교하기 위해 1, 3, 5단을 사용하였으며, 이는 내장형 펌프와 외장형 펌프의 동일한 출력에서 특성을 비교한다.

2.3.3 연료조성실험

연료의 조성변화에 따른 특성실험을 하기 위해서 국내 하절기와 동절기의 연료를 사용하여 G.C(Gas Chromatography)를 통하여 분석하였으며, 프로판 함유율이 높은 외국의 LPG 연료특성을 비교하기 위하여 실험연료를 사용하였다. Table 1은 G.C로 분석한 실험연료에 대한 부탄과 프로판의 비율을 나타낸 것이다.

Table 1: Fuel composition

Type	C ₃ H ₈	i-C ₄ H ₁₀	n-C ₄ H ₁₀	Others
A Fuel	5.3%	41.1%	53.3%	0.3%
B Fuel	23.5%	30.8%	45.2%	0.5%
C Fuel	39.1%	25.2%	34.9%	0.8%

3. 실험결과 및 고찰

3.1 펌프특성

Figure 4는 상온조건에서 각 펌프별 운전영역 (Idle, 중속 및 고속)에 따른 유량 및 효율 특성을

나타낸 것이다. 실험연료는 하절기를 대표하는 연료인 부탄을 기본으로 사용하는 LPG 연료에 프로판 약 5%가 첨가된 연료를 사용하였다. LPLi 시스템의 특성상 레귤레이터에 의해 압력이 제어되는 만큼 각 제어단수에 따른 변화는 회전수에 따른 특성 값들로 볼 수 있다. 그 결과로서 유량은 회전수에 비례함을 알 수 있다. 외장형 펌프는 내장형 펌프에 비해 실제 제어 단수에서 유량이 높다. 비속도에 따른 효율이 내장형 펌프보다 베인방식을 사용하는 외장형 펌프의 효율이 더 좋으며, 설계특성상 외장형 펌프의 유량이 더 높음을 알 수 있다. 이는 LPLi 시스템에 사용되는 펌프특성상, 압력상승에 요구되는 에너지를 제외한 나머지 동력에 의해 유량이 결정되기 때문이라 사료된다.

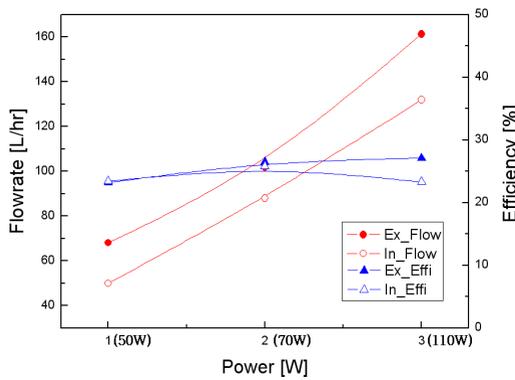


Figure 4: Characteristic comparison of external pump and internal pump

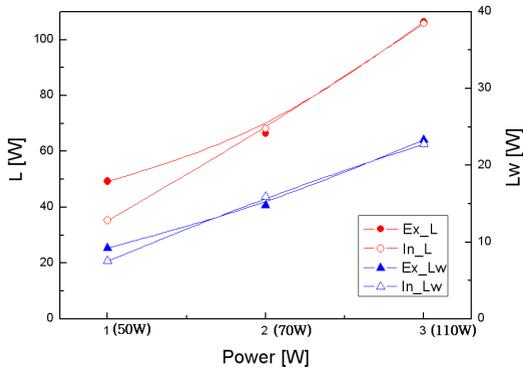


Figure 5: Characteristic comparison of external pump and internal pump

Figure 5는 상온조건에서 각 펌프별 운전영역 (Idle, 중속 및 고속)에 따른 입력동력과 출력동력의 특성을 나타낸 것이다. 그 결과로서 출력동력과 입력동력의 값이 거의 일치한다. 즉, 입력동력에 대비하여 소비되는 동력이 두 펌프 모두 비슷한 특성을 갖는다는 점을 알 수 있다.

3.2 연료조성에 따른 펌프의 특성

국내에서는 현재 계절별 LPG 연료 특성을 파악하여 자동차의 성능에 맞춰 연료조성을 조절하고 있다. 이러한 연료조성은 시동성능 및 연료공급을 위한 펌프를 포함한 연료공급계에 커다란 영향을 미치게 된다.

각 계절별로 사용되는 LPG 연료의 성분과 외국에서 사용하는 프로판 함유량이 높은 LPG의 특성을 파악하기 위해 Table 1에서 나타난 연료조성의 LPG 실험연료를 사용하여 외장형 펌프의 성능을 고찰하였다.

Figure 6과 Figure 7은 연료조성에 따라 펌프회전수에 대한 유량, 수두 및 압력의 특성을 나타낸 것이다.

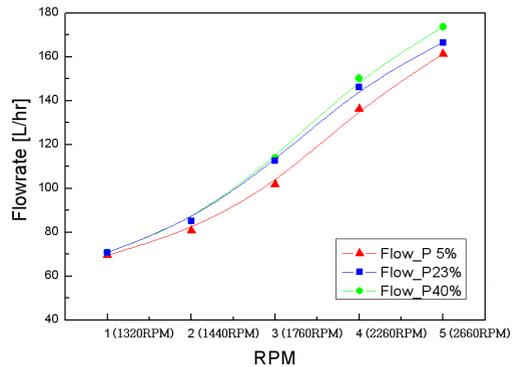


Figure 6: Effects of fuel composition on flow rate and head

그 결과로서 프로판의 함유율이 높을수록 유량 및 수두가 증가하는 경향을 나타내고 있다. 베인방식을 사용하는 외장형 펌프는 연료탱크 외부에 위치하기 때문에 유량이 펌프 입구부 압력에 크게 영향을 받는다. Figure 7에서도 나타난 바와 같이

프로판의 함유율이 높아질수록 유량증가로 인해 증기압력이 증가하게 되어 입구부 압력도 증가한다.

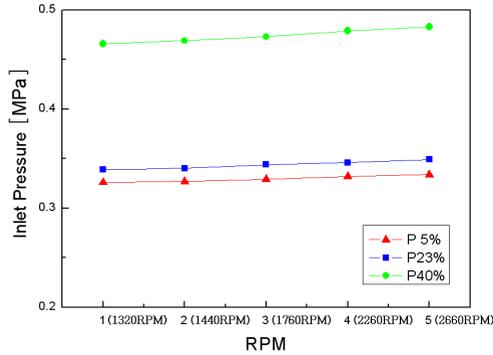


Figure 7: Effects of fuel composition on inlet pressure

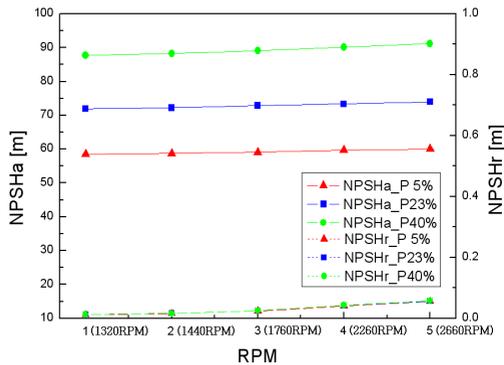


Figure 8: Effects of fuel composition on $NPSH_a$ and $NPSH_r$.

Figure 8은 연료조성에 따라 펌프회전수에 따른 유효수두특성을 나타낸 것이다. 그 결과로서 $NPSH_a$ 와 $NPSH_r$ 은 펌프특성에 따른 값으로 포화 증기압에 의한 캐비테이션의 영향을 고려할 수 있다. Figure 7에 나타난 바와 같이 펌프 흡입구 압력을 이용하여 $NPSH_a$ 를 계산할 때 프로판의 함유율이 높을수록 $NPSH_a$ 값이 높아지는 것을 Figure 8에서도 확인할 수 있다. $NPSH_a$ 값이 높아지면 펌프 작동 시 캐비테이션이 발생할 수 있는 빈도 또한 감소하게 됨을 의미한다. 이는 앞에서 나타난 유량특성과 같이 프로판 비율의 증가 시 유량증가에 추가적인 영향을 주었음을 알 수 있다. 그러나 Figure 6의 저단에서 프로판의 함유율이 바뀌더라도

유량차이가 크지 않음을 알 수 있다. 이것은 프로판의 함유율이 높아지더라도 점성과 밀도가 낮으며, 저단에서 발생하는 동력차이가 작기 때문에 유량이 큰 차이가 없는 것으로 판단된다. Figure 9와 Figure 10은 연료조성에 따라 펌프회전수에 대한 펌프효율, 차압 및 밀도의 특성을 나타낸 것이다. 그 결과로서 펌프효율은 프로판의 비율이 변하더라도 큰 차이를 보이지 않는다.

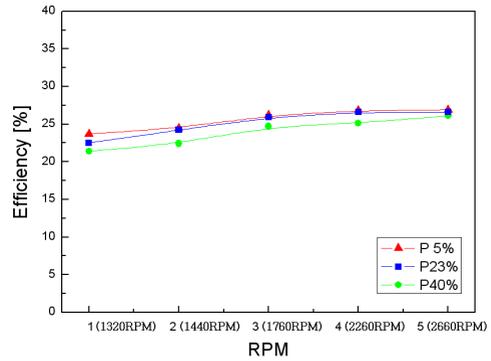


Figure 9: Effects of fuel composition on pump efficiency

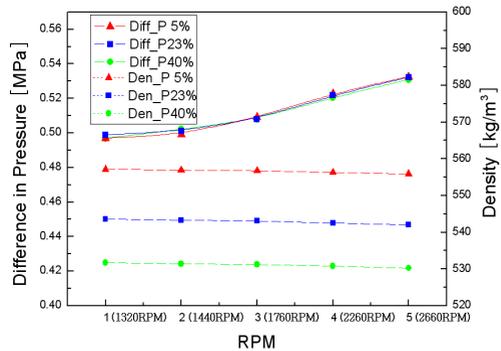


Figure 10: Effects of fuel composition on differential pressure and density

이는 유량증가에 따른 추가적인 입력동력 및 수동력의 값이 같이 증가하므로 효율차이가 크지 않은 것으로 판단된다. 또한 차압과 밀도의 특성은 저단에서 LPLi 시스템의 특성에 따라 레굴레이터 전·후단의 압력이 약 0.5 MPa 정도의 차압을 유지한다.

따라서 이러한 시스템의 특성에 따라 프로판의 함유량이 증가하더라도 차압의 차이는 발생되지 않는 것으로 보인다. 그러나 펌프회전수가 증가함에 따라 차압이 증가하는 것을 볼 수 있다. 즉, 회전수가 증가함에 따라 동력 또한 커지게 되며, 펌프 후단의 유량이 많아지면서 압력 또한 증가하게 된다. 그러나 레귤레이터 후단의 압력은 인젝터의 분사와 리턴라인의 연결에 의해 커다란 압력변화가 생기지 않는다. 즉, 레귤레이터 후단의 압력변화가 펌프 후단의 압력변화에 비해 작기 때문에 회전수가 증가함에 따라 차압이 증가하는 것으로 판단된다.

프로판의 비율이 높아질수록 밀도가 낮아지는 것을 볼 수 있으며, 이 값은 연료의 물성치로 기인함을 알 수 있다. 회전수가 증가함에 따라 밀도가 다소 감소하는 것은 펌프 특성실험시 온도상승에 의한 것으로 사료된다.

3.3 연료온도에 따른 펌프의 특성

현재 국내에서 계절별 기온차이에 의해 LPG 연료특성이 바뀌어 펌프특성에도 큰 영향을 미치게 된다. 따라서 본 연구에서는 하절기에 해당하는 기본성분 부탄에 프로판이 약 5% 함유된 LPG 연료를 10~40 °C까지 10 °C씩 변화시키면서 연료온도에 따른 외장형 펌프의 특성을 고찰하였다.

Figure 11, Figure 12 및 Figure 13은 연료온도에 따라 펌프회전수에 대한 유량, 흡입압력 및 유효수두의 특성을 나타낸 것이다. 그 결과로서 Figure

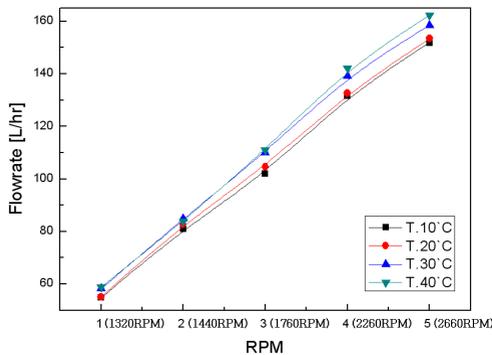


Figure 11: Effects of influence of fuel temperature on flow rate

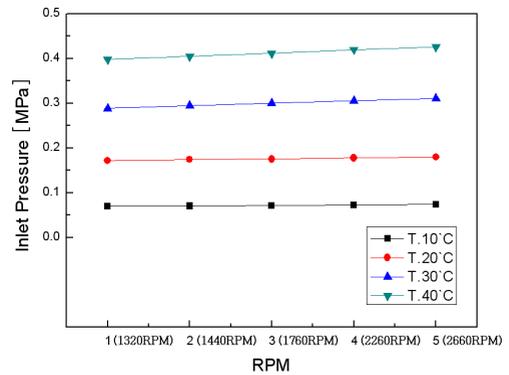


Figure 12: Effects of fuel temperature on inlet pressure

11에 나타난 바와 같이 연료온도가 증가함에 따라 유량이 증가함을 알 수 있다. 이는 Figure 6에 나타난 연료조성이 변할 때 발생하는 펌프특성과 같이 연료온도도 증가할 때 유사한 경향을 나타냄을 알 수 있다. 따라서 베인방식을 사용하는 외장형 펌프는 연료탱크 외부에 위치하기 때문에 유량이 펌프 입구부의 영향을 크게 받는다. Figure 12에서는 연료온도가 증가할수록 증기압력이 증가하게 되어 입구부 압력 또한 증가하게 된다. 따라서 이러한 영향으로 유량 또한 증가되는 것으로 사료된다.

Figure 13에서도 역시 프로판 비율이 변할 때 나타나는 특성과 같은 경향을 보이고 있다. $NPSH_a$ 과 $NPSH_r$ 은 펌프특성에 따른 값으로 포화증기압에 의한 캐비테이션의 영향을 고려할 수 있다. Figure 13은 Figure 12에 나타난 연료펌프 흡입구 압력을 이용하여 $NPSH_a$ 를 계산한 결과를 나타낸 것이다. 연료온도가 증가할수록 $NPSH_a$ 도 증가한다. 이는 프로판 비율변화에 따른 결과와 같이 연료온도가 높아짐에 따라 $NPSH_a$ 값이 높아지면 펌프작동시 캐비테이션이 발생할 수 있는 빈도가 감소하게 되어 유량증가에 영향을 준 것으로 판단된다. 저단에서 연료온도가 바뀌더라도 Figure 11의 결과와 같이 유량의 차이가 크지 않음을 알 수 있다. 이것은 연료온도가 높아짐에 따라 점성과 밀도가 낮아지며, 저회전수에서 발생하는 동력차이가 적기 때문에 유량차이도 나지 않음을 알 수 있다.

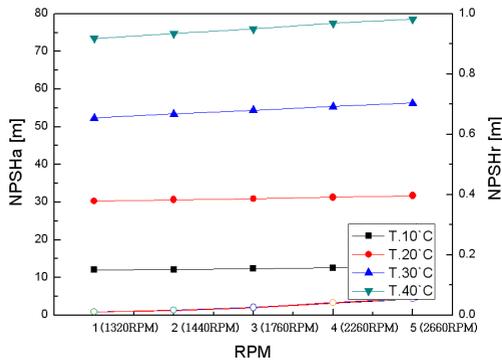


Figure 13: Effects of fuel temperature on $NPSH_a$ and $NPSH_r$.

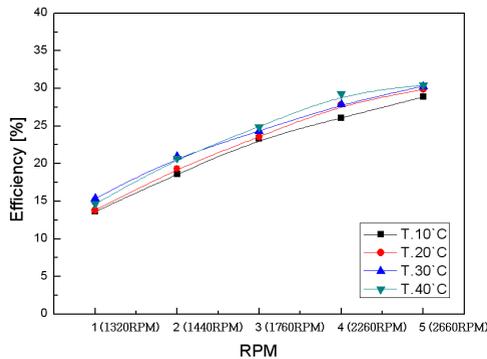


Figure 14: Effects of fuel temperature on pump efficiency

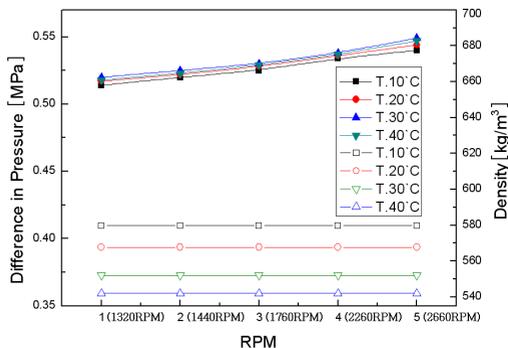


Figure 15: Effects of fuel temperature on differential pressure and density

Figure 14와 Figure 15는 연료온도에 따라 펌프 회전수에 대한 효율, 차압 및 밀도의 특성을 나타낸 것이다. 그 결과로서 Figure 14에 나타난 바와

같이 온도변화에 따른 효율차이는 크지 않음을 알 수 있다. 이는 연료온도가 증가하더라도 유량증가에 따른 추가적인 동력이 거의 같은 비율로 증가하므로 효율도 큰 차이가 나지 않음을 알 수 있다. 각 온도별로 약간의 차이가 발생하는 것은 온도가 높아질수록 $NPSH_a$ 의 상승으로 인해 캐비테이션발생이 줄어들어 유량이 많아지거나 추가적인 동력 증가로 인해 약간의 효율차이가 생기는 것으로 사료된다.

Figure 15에서는 Figure 10에서 나타난 차압과 밀도의 결과와 같이 프로판 비율에 따른 특성변화와 마찬가지로 저단에서 LPLi 시스템의 특성에 따라 레귤레이터 전·후단의 압력이 약 0.5 MPa 정도의 차압을 유지하게 되며, 이러한 시스템의 특성에 따라 프로판의 함유량이 증가하더라도 차압차이는 발생되지 않는 것으로 나타난다.

또한 펌프회전수가 증가함에 따라 차압이 증가하는 함을 알 수 있다. 이는 회전수가 증가함에 따라 펌프 후단의 유량증가로 인해 압력이 높아지나, 레귤레이터 후단 압력은 인젝터 후방의 일정한 압력유지로 인해 약간 상승하는 것으로 기인한다. 또한, 연료온도가 높아지면서 프로판 함유량이 높아질 때와 같이 밀도가 감소하는 경향을 나타낸다. 이것은 온도에 따른 LPG 연료의 물성치변화로 인하여 유량도 변하는 특성을 나타냄을 알 수 있다.

결론적으로 펌프 특성상 회전수 증가에 따라 유량이 높은 반면에 펌프효율이 그다지 높지 않은 이유는 펌프회전수 및 연료온도 상승에 따른 작동 유체의 점성과 밀도가 낮아져 펌프의 케이싱과 롤러 및 임펠러 사이에 마찰손실이 증가하게 되고, 시스템 내에서 각부의 멀티밸브와 레귤레이터 등에 의한 기계적 손실이 커지기 때문이라 사료된다 [9-10].

4. 결 론

LPLi 시스템에서 사용되는 베인방식 외장형 펌프의 성능을 내장형 펌프와 성능특성을 비교하기 위하여 실험연료의 각 조성과 온도에 따른 펌프의 유량, 출력 및 효율 등의 특성을 고찰한 결과는 다음과 같다.

(1) 외장형 펌프와 내장형 펌프의 유량특성은 외장형 펌프의 경우가 높게 나타나며, 효율특성은 두 펌프가 입력되는 동력에 대비하여 소비되는 동력 값이 모두 비슷한 값을 갖기 때문에 유사한 결과를 나타낸다.

(2) 프로판의 함유율이 높을수록 유량은 증가하였다. 입구부 압력의 영향을 많이 받는 외장형 펌프는 프로판의 함유율이 높을수록 증기압이 높아지고, 이것은 입구부 압력 상승의 효과를 가져와 유량이 상승하게 되며, NPSH_a 상승에 따른 추가적인 유량상승의 결과로 판단된다.

(3) 연료온도가 높아질수록 유량값은 증가하였다. 입구부 압력의 영향을 많이 받는 외장형 펌프는 연료온도가 높을수록 증기압이 높아지고, 이것은 입구부 압력상승의 효과를 가져와 유량이 상승하게 되며, NPSH_a 상승에 따른 추가적인 유량상승의 결과로 판단된다.

(4) LPG연료의 저점도 및 저밀도의 특성으로 저단에서는 연료조성 및 온도변화에 따른 유량값의 차이가 없음을 알 수 있으며, 펌프회전수 증가시 펌프의 성능특성이 증가함을 보이고 있다.

후 기

이 논문은 2011년도 강원대학교 지원에 의한 결과임.

참고문헌

- [1] Y. J.Kim, K. B. Kim and K. H. Lee “The spray characteristics of a liquid phase LPG port injection type injector for a remodeled diesel engine”, SAE 2009-01-1879, 2009.
- [2] D. S. Baik, “A Study on emission characteristics in a LPG vehicle”, Transaction of KAIST, vol. 7, no. 6, pp. 993-997, 2006.
- [3] D. R. Kim, LPi Engine System, US patent 7181073, 2007.
- [4] K. Y. Kang, D. Y. Lee, S. M. Oh and C. U. Kim, “Performance of a liquid phase LPG injection engine for heavy-duty vehicles”, SAE 2001-01-1958, 2001.

- [5] Z. Wang, B. Deng Y. Han and H. Wang, “Combustion and emissions characteristics of a small spark ignited LPG engine”, SAE 2002-01-1738, 2002.
- [6] S. Yamaguchi, M. Ishii, H. Yasujawa, S. Tsusaka, B. Takigawa, H. Ono and M. Tanuma, “Research and development of LPLi liquid fuel injection system(3rd. Report)-Fuel composition and exhaust emission performance of LPG vehicle with liquid injection system-”, JSAE 200350387, 2003.
- [7] B. Lutz, R. Stanglmaier and R. 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, pp. 43-60. 1998.
- [8] T. S. Gang and J. G. Sim, “Development of fuel pump for LPLi”, KSAE Fall Conference Proceeding, pp. 525-530, 2004.
- [9] S. N. Lee, and S. W. Kim, “A Study on performance characteristics for a mini turbo-pump”, Journal of the Research Institute of Technology, vol. 18, no. 2, 2003.
- [10] W. Li, “Effect of viscosity of fluids on centrifugal pump performance and flow pattern in the impeller”, International Journal of Heat and Fluid Flow, vol. 21, pp. 207-212, 2002.

저 자 소 개



남덕우(南惠祐)

1982년생, 2009년 강원대학교 기계공학과 졸업(학사), 2011년 강원대학교 기계공학과 졸업(석사), 관심분야: 열유체공학, 내연공학



윤준규(尹俊圭)

1957년생, 1981년 조선대학교 기계공학과 졸업(학사), 1987년 경희대학교 기계공학과 졸업(석사), 2001년 명지대학교 기계공학과 졸업(박사), 2007년~현재 강원대학교 기계·자동차공학과 교수, 관심분야: 열유체공학, 공기조화및냉동, 내연공학



임종한(林宗漢)

1957년생, 1981년 조선대학교 정밀기계공학과 졸업(학사), 1986년 경희대학교 기계공학과 졸업(석사), 1992년 경희대학교 기계공학과 졸업(박사), 2007년~현재 강원대학교 기계·자동차공학과 교수, 관심분야: 열유체공학, 공기조화및냉동, 내연공학