유량 제어 밸브 방식이 DME 고압 연료 펌프의 성능에 미치는 영향

신 윤 섭¹⁾ · 이 기 수¹⁾ · 김 현 철¹⁾ · 정 수 진¹⁾ · 박 경 용²⁾ · 서 현 규^{*3)}

자동차부품연구원 동력시스템연구센터¹⁾ · 영진전문대학 기계공학부²⁾ · 공주대학교 기계자동차공학부³⁾

Effect of Flow Control Valve Type on the Performance of DME High Pressure Fuel Pump

Yunsub Sin¹⁾ · Geesoo Lee¹⁾ · Hyunchul Kim¹⁾ · Soo-Jin Jeong¹⁾ · Kyungyeong Park²⁾ · Hyun Kyu Suh^{*3)}

¹⁾Powertrain System R&D Center, Korea Automotive Technology Institute, 74 Yongjeong-ri, Pungse-myeon, Cheonan-si, Chungnam 330-912, Korea

²⁾School of Mechanical Engineering, Youngjin College, Daegu 702-721, Korea

³⁾Division of Mechanical and Automotive Engineering, Kongju National University, Chungnam 331-717, Korea

(Received 6 August 2012 / Revised 30 November 2012 / Accepted 29 January 2013)

Abstract : This experimental work described the effect of flow control valve type on the performance of wobble plate type fuel pump for the stable DME fuel supply. In order to study this, different four types of flow control valves (ITV, SCV, IMV and MPROP) were installed on the wobble plate fuel pump, and fuel flow rate, torque, and temperature variation of pump were investigated under various operating conditions by using pump performance test system. It was revealed that wobble plate type fuel pump worked well with ITV and SCV control valve, and the flow rate and torque of fuel pump was in proportion to the value of valve open duty. The maximum flow rate and torque of fuel pump were achieved around the 50% duty of control valve. Temperature variation at all pump measuring points were under 60 °C which is acceptable.

Key words : Wobble plate type fuel pump(사판식 연료 펌프), Flow control valve(유량 제어 밸브), High pressure fuel pump(고압 연료 펌프), Fuel supply system(연료 공급 장치)

Nomenclature

n : pump speed, rpm
P : pressure, bar
Q : flow rate, kg/h
T : temperature, °C

Subscripts

r : rail
sup : supply

1. 서론

현재 전 세계적으로 화석 연료 자원의 고갈이 진행됨과 함께 고유가 시대에 대비하기 위하여 기존 연료 자원을 대체할 대체 에너지의 필요성이 확산되고 있다. 동시에, 강화되는 대기 환경오염 규제에 대응할 수 있는 새로운 청정 대체 연료의 보급이 필요한 실정이다. 이와 같은 이유로, 자동차 유해 배기 가스 저감에 탁월한 장점이 있는 전기자동차¹⁾와 연료전지 자동차²⁾에 대한 연구가 진행되고 있으나 상용화를 하기에는 많은 문제점들이 제기되고 있다.

DME(Di-methyl Ether)는 높은 세탄가로 인해 압축착화 방식 엔진의 대체 연료로 적합하고, 연료 자

*Corresponding author, E-mail: hksuh@kongju.ac.kr

체의 산소 함유량이 높아 입자상물질(PM)의 발생이 적으며 제조 원료 및 방법이 다양하여, 여러 분야에서 사용 가능한 장점이 있다. 반면에, 디젤 연료에 비하여 점도가 낮고, 윤활성이 떨어지기 때문에 연료 펌프와 연료 분사 기구의 구동부 마모를 초래하여 이를 방지하기 위한 활발한 연구가 진행되고 있다.³⁻⁵⁾ 또한, DME는 기체 연료의 특성상 디젤 연료에 비해 압축성이 크고, 단위 체적당 발열량(Heating value)이 낮으며, 분사압력 또한 낮기 때문에 기존의 압축착화 엔진 시스템 방식에 적용할 경우에는 출력 저하 문제가 발생한다. 이를 극복하기 위하여 DME 연료 펌프 변경에 관한 많은 연구가 진행되고 있으며,⁶⁻⁸⁾ 그중 대표적인 것이 연료 펌프의 토출 용량을 증가시켜, 충분한 연료를 확보하는 것으로 이를 위하여 대용량 연료 펌프의 개발이 필수적이다.

본 연구에서는 대용량 연료 공급이 가능한 Wobble plate 방식 고압 연료 펌프의 DME 엔진 적용 가능성 평가를 위하여 유량 제어 방식이 서로 다른 제어 밸브를 펌프에 장착하여 제어 Duty 값에 따른 고압 연료 펌프의 유량(Flow rate), 토크(Torque) 및 온도(Temperature) 변화를 실험적으로 비교 연구하였다. 이를 통하여 안정적인 DME 연료 유량 공급을 위한 펌프 구동에 관한 기본 데이터를 제시하고자 하였다.

2. 시험 장치 및 방법

본 연구에 적용된 Wobble plate 타입 고압 연료 펌프는 Fig. 1에서 확인할 수 있듯이 5개의 Wobble plate 방식 플런저를 사용하고 있어 다른 연료 펌프에 비해 Idle 유량이 4~5배 많아 대용량 대응 및 초기 엔진 시동성이 우수할 것으로 예상되며, 단위 회전수당 토출 유량 횡수가 많아 레일의 맥동특성이 우수한 장점이 있다.

Wobble plate 방식 연료 펌프의 유량 제어 밸브 종류에 따른 작동 특성을 연구하기 위하여 4가지 종류(ITV, SCV, IMV, MPROP)의 유량 제어 밸브를 선정하였고, 밸브 단품의 유량 실험을 통하여 각각의 유량 및 제어 특성을 DAQ 및 질량유량계를 이용하여 실험적으로 연구하였다. Fig. 2는 실험에 사용된 4가지 유량 제어 밸브와 연료 펌프 성능 평가를 위한 실험장치의 계략도이다.

Fig. 1 Schematics of wobble plate type fuel pump

Table 1 Specification of pump performance test system

Power (V/Hz)	380/60
Motor (HP)	15 (Inverter type)
Motor speed (rpm)	0 ~ 4,000
Supply pressure (MPa)	low : Max. 0.4 / high : Max. 4.0
Air pressure (MPa)	0 ~ 0.3

Table 2 Experimental conditions

Valve control duty (%)	0 ~ 100
Fuel supply pressure (MPa)	1.2, 1.4
Feed pump speed (rpm)	500 ~ 770
High pressure pump speed (rpm)	500
Rail pressure (MPa)	35

고압 연료 펌프의 성능 평가를 위하여 유량 제어 밸브의 Duty 변화에 따른 펌프의 실시간 유량은 질량유량계(Mass flow meter)를 이용하여 측정하였고, 펌프의 부하(Torque)는 모터 회전부에 장착된 토크미터(Torque meter)를 이용하여 측정하였다. 또한, 연료 펌프의 각 부분의 온도 측정 센서(Thermocouple)를 부착하여 작동시의 온도를 실시간으로 측정하였다. 본 연구에 사용된 테스트 장치의 주요 제원 및 실험 조건은 Table 1 및 Table 2와 같다.

3. 연구 결과 및 토의

3.1 제어 밸브 방식에 따른 연료 유량 변화

연료 펌프의 제어 밸브 방식에 따른 연료 공급 유량의 변화를 확인하기 위하여 Fig. 3에 나타난 바와 같이 서로 다른 방식의 유량 제어 밸브를 연료 펌프에 장착하여 각 단품별 밸브의 Duty값 변화(0%→

(a) Photo of flow control valves

(b) Schematics of pump performance test system

Fig. 2 Experimental apparatus for the control valves and wobble plate type fuel pump performance

100%)에 따른 유량 변화 특성을 비교하였고, 전류 프루브를 이용하여 각 Duty에 따른 밸브의 개폐 정도를 확인하였다. DAQ 및 질량유량계를 이용하여 서로 다른 유량 제어 밸브들(ITV, SCV, IMV, MPROP valve)의 유량 제어 성능을 실험한 결과, 펌프 회전 속도 500rpm 조건에서 각 유량제어 밸브들에 따른 연료 펌프의 최대 유량은 약 80kg/h로 거의 비슷한 유량을 보였다. 연료 공급 압력과 Feed pump speed의 변화에 따른 연료 유량의 증감 변화를 실험한 결과, 연료 공급 압력의 변화($P_{sub}=12\text{bar} \rightarrow 14\text{bar}$)는 연료 공급 유량에 큰 영향을 주지 않는 반면에, Fig. 3(a)에 나타난 바와 같이 Feed pump speed가 증가할수록

($n=500\text{rpm} \rightarrow 770\text{rpm}$) 연료 공급 유량이 비례하여 증가하였다.

Wobble plate 방식 고압 펌프에 설치할 유량 제어 밸브의 선정을 위하여 위의 연구 결과를 분석한 결과, Normal close 밸브(ITV와 MPROP)의 성능은 거의 비슷한 경향을 보여 고압 연료 펌프에 기본 장착 밸브인 ITV 밸브를, Normal open 밸브(SCV와 IMV)는 SCV 밸브가 유량 제어 범위가 넓고, 안정적인 특성을 보여 본 연구에 선정하였다. 이와 같이 선정된 밸브를 고압 연료 펌프에 장착하여 최대 유량에 도달하는 Duty 범위인 0 ~ 50%까지 펌프의 작동 특성을 실험적으로 연구하였다.

(a) ITV valve

(b) SCV valve

(c) IMV valve

(d) MPROP valve

Fig. 3 Effect of control valve type on the flow rate in wobble plate type fuel pump

3.2 제어 밸브 Duty 변화에 따른 연료 펌프의 유량 및 부하 특성

유량 제어 밸브의 평가 결과를 참조로 하여, Wobble plate 방식 고압 펌프의 제어를 위해 ITV와 SCV 밸브를 Fig. 4와 같이 고압 연료 펌프에 장착하여 펌프의 유량(Flow rate), 토크(Torque) 및 온도(Temperature) 성능 평가 실험을 수행하였다.

Fig. 5는 유량 제어 밸브의 제어 Duty 값에 따른 고압 연료 펌프의 공급 유량의 변화를 나타낸 그림이다. 펌프에 장착된 ITV(Normal close)와 SCV(Normal open) 밸브들의 기본 구동방식이 서로 반대의 특성을 가지고 있어, 밸브 제어 방식에 따른 유량 변화 특성은 Duty값의 변화에 따라 정반대의 유량 특성을 보였고, 제어 밸브가 단계적으로 열릴수록 고압 연료 펌프로의 연료 공급량은 증가하는 경향을 보였

다. 또한, 제어 Duty 값이 50% 부근에서 두 제어 밸브 모두 비슷한 최대 유량값(약 50kg/h)을 보였다.

Fig. 6은 동일한 실험 조건에서 토크미터를 이용하여 제어 Duty에 따른 펌프에 걸리는 부하량(Torque)을 나타낸 것이다. 제어 Duty별 펌프에 걸리는 부하의 변화 특성 역시 유량(Flow rate)의 특성과 동일한 경향을 보였다. 특히, Duty 값이 최대 유량을 보이는 45~50%영역에서는 25N·m정도의 고 토크 영역의 구동으로 인하여 펌프의 구동이 불안정해지는 특성을 보이기도 하였다.

3.3 제어 밸브 Duty 변화에 따른 연료 펌프의 온도 변화 특성

Wobble plate 방식 고압 펌프의 각 주요부분(펌프 입구, 펌프 리턴, 펌프 본체, 레일 리턴)에서의 온도

(a) ITV valve

(b) SCV valve

Fig. 4 Photos of wobble plate type fuel pump with ITV and SCV control valve

Fig. 5 Effect of control valves duty variation on the flow rate of wobble plate type fuel pump

Fig. 6 Effect of control valves duty variation on the torque of wobble plate type fuel pump

변화 특성을 측정한 결과, Fig. 7과 같이 펌프 입구, 펌프 리턴 및 펌프 본체의 온도는 50°C 이하의 적정 온도범위에서 일정한 값을 유지하였다. 반면에, 커

먼 레일 리턴 부분의 온도는 밸브가 개방될수록 점차 높아지는 경향을 보였으나, 작동 적정 온도 범위인 60°C 이하로 유지하였다. 이러한 결과는 연료의 유량이 증가할수록 많은 유량의 연료가 레일 리턴 오리피스를 통과하고, 큰 저항이 걸려 레일 리턴 부분의 온도가 상승하는 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 서로 다른 제어 방식의 유량 제어 밸브를 장착한 Wobble plate 방식 고압 연료 펌프의 성능을 평가하기 위하여 서로 다른 유량 제어 밸브의 유량(Mass flow), 부하(Torque) 및 온도(Temperature) 변화 특성을 실험하였다. 연구를 통해 얻은 결과는 다음과 같다.

- 1) 유량 제어 밸브 방식(Normal open & close)에 따른 유량 변화의 특성은 제어 밸브의 Duty의 변화에 따라 정반대의 특성을 보였다. 하지만, 밸브가 개방될수록 유량은 증가하였으며, 일정 Duty 이상에서 유량이 급격히 상승하고, Duty 값이 50% 부근에서 두 제어 밸브 모두 비슷한 최대 유량(약 50kg/h)을 보였다.
- 2) 펌프의 제어 Duty 변화별 펌프에 걸리는 부하의 변화 특성 역시 유량 변화의 특성과 동일한 경향을 보였다. 특히 Duty 값이 최대 유량을 보이는 45~50% 영역에서는 25N·m 정도의 고부하의 구동으로 인하여 펌프의 구동이 불안정해지는 특징을 보이기도 하였다.
- 3) 펌프의 작동 온도는 측정 위치 모두에서 작동 적정 온도 범위인 60°C 이하를 유지하며 안정적으

(a) Pump inlet temperature

(b) Pump return temperature

(c) Pump body temperature

(d) Rail return temperature

Fig. 7 Effect of control valves duty variation on the temperature of wobble plate type fuel pump

로 작동하였다. 펌프 입·출구 및 본체의 연료의 온도는 거의 일정한 모습을 보였고 레일 리턴의 온도는 유량이 증가함에 따라 오리피스 부분의 저항 상승으로 온도가 동반 상승하는 것으로 판단된다.

- 4) Wobble plate type 방식 연료 펌프의 성능은 제어 밸브(ITV, SCV)의 유량 제어 방식(Normal open & Normal close)에 큰 영향을 받지 않았으며, 어느 방식의 제어 밸브를 고압 연료 펌프에 적용하여도, DME 엔진 운전에 필요한 적정 토출 유량 (30 ~ 40kg/h)을 유지할 수 있을 것으로 판단된다.

References

- 1) J. Lim, H. Lee, C. Kim, Y. Sin and Y. Park, "A

Study of Energy Consumption Test Method for Electric Vehicles," KSAE Annual Conference Proceedings, pp.2629-2635, 2011.

- 2) S. C. Kim, D. H. Lee, H. S. Lee, J. P. Won, D. W. Lee and W. S. Lee, "Studies on the Performance Characteristics of an Electronically Controlled CO₂ Air Conditioning System for Fuel Cell Electric Vehicles," Transactions of KSAE, Vol.16, No.2, pp.150-157, 2008.
- 3) Y. D. Pyo, G. C. Kim, Y. J. Lee and M. C. Kim, "A Study on Performance and Exhaust Emissions of DI Diesel Engine Operated with Neat DME and DME Blended Fuels," Transactions of KSAE, Vol.11, No.2, pp.75-82, 2003.
- 4) J. W. Chung, N. H. Kim, J. H. Kang, S. W. Park, H. K. Lee and S. K. Choi, "A Study on

- the DME Application Performance of a High Pressure Fuel Pump for an Electric Controlled Common-rail Compression Ignition Engine,” Transactions of KSAE, Vol.17, No.2, pp.132-140, 2009.
- 5) M. Y. Kim, S. H. Yoon, B. W. Ryu and C. S. Lee, “Combustion and Emission Characteristics of DME as an Alternative Fuel for Compression Ignition Engines with a High Pressure Injection System,” Fuel, Vol.87, Issue 12, pp.2779-2786, 2008.
 - 6) N. H. Kim, J. W. Chung, J. H. Kang and D. Y. Jeong, “A Study on Development of High Pressure Fuel Pump for DME,” KSAE Annual Conference Proceedings, pp.501-510, 2010.
 - 7) J. W. Chung, N. H. Kim, J. H. Kang, S. W. Park, H. K. Lee and S. K. Choi, “A Study on the DME Application Performance of a High Pressure Fuel Pump for an Electric Controlled Common-rail Compression Ignition Engine,” KSAE Annual Conference Proceedings, pp. 132-140, 2009.
 - 8) S. J. Jeong, S. D. Oh, H. K. Lee, J. K. Park, G. S. Lee, Y. D. Pyo and O. T. Lim, “Research and Development of a 2.9 Liter Light-duty DME Truck Using Common-rail Fuel Injection Systems,” KSAE Annual Conference Proceedings, pp.393-402, 2011.