HILS기반 상용차 디젤엔진용 연료펌프의 전기구동 시스템 적용에 관한 연구

고 영 진*

전북자동차기술원 선행기술연구팀

Study on the Application of the Electric Drive System of Fuel Pump for Diesel Engine of Commercial Vehicle using HILS

Youngjin Ko*

Advanced Technology Research Team, Jeonbuk Institute of Automotive Technology, 1641-4 Soryong-dong,
Gunsan-si, Jeonbuk 573-882, Korea

(Received 27 September 2013 / Revised 13 December 2013 / Accepted 16 December 2013)

Abstract : Fuel injection pressure has steadily increased in diesel engines for the purpose of improving fuel efficiency and cleaning exhaust gas, but it has now reached a point, where the cost for higher pressure does not warrant additional gains. Common rail systems on modern diesel engines have fuel pumps that are mechanically driven by crankshaft. The pumps actually house two pumping module inside: a low pressure pump component and a high pressure pump component. Part of the fuel compressed by the low pressure component returns to the tank in the process of maintaining the pressure in the common rail. Since the returning fuel represents pumping loss, fuel economy improves if the returned fuel can be eliminated by using a properly controled electrical fuel pump. As the first step in developing an electrical fuel pump the fuel supply system on a 6 liter diesel engine was modeled with AMESim to analyze the workload and the fuel feed rate of the injection pump, and the results served as basis for selecting a suitable servo motor and a reducer to drive the pump. A motor controller was built using a DSP and a program which controls the common rail pressure using a proportional control method based on the target fuel pressure information from the engine ECU. A test rig to evaluate performance of the fuel pump is implemented and used to show that the newly developed electrically driven fuel pump can satisfy the fuel flow demand of the engine under various operating conditions when the rotational speed of the pump is adequately controlled.

Key words : AMESim(아메심), Common rail system(고압연료분사시스템), DSP(디지털 신호 프로세서), Diesel engine(디젤엔진), Electrically driven fuel pump(전기구동식 연료펌프)

Nomenclature

CRS : common-rail system
DSP : digital signal processor
HILS : hardware in the loop simulation
OBD : on-board diagnostics
RTOS : real-time operating system

1. 서론

일반적인 디젤엔진의 연료 분사장치는 주로 인라인(In-line) 펌프방식의 연료펌프와 분사압력을 얻기 위해 캠 구동장치가 사용되었으나, 배출가스 규제가 강화되면서 이를 만족하기 위해 고압의 연료 분사 시스템이 요구되고 전자 제어식 커먼레일 분사시스템이 적용되었다. 이 시스템은 기존 기계식과 달리 고압의 연료를 형성하고 전자 제어방식으

*Corresponding author, E-mail: yjko@jiat.re.kr

로 제어의 자유도가 커짐에 따라 엔진 회전수에 관계없이 연비향상과 배출가스 저감의 핵심 요소인 분사압력, 분사량, 분사율, 분사시기 등을 독립적인 제어를 가능케 한다.¹⁾

커먼레일 시스템(CRS)은 크게 연료를 공급하는 저·고압 연료펌프, 고압의 연료를 저장하는 커먼레일, 고압의 연료를 연소실에 분사하는 인젝터 등으로 구성된다. 연소 개선에 의한 열효율 및 배출가스를 저감하기 위한 시스템 개발은 1세대에서 4세대 기술로 발달하였다. 연료 분사압력이 1,350 bar에서 2,200 bar 이상까지 증가되고 연료펌프의 구동 에너지 손실을 개선하기 위하여 저·고압 일체형 펌프형태, 연료압력 제어밸브의 응답성 향상을 위한 개발과 초고압 연료를 분사하기 위해 응답속도가 빠른 피에조타입의 인젝터가 개발되는 등 커먼레일 시스템의 기술은 진보되고 있다.²⁾ 그리고 CFD 및 AMESim Tool에서 제공하는 library와 사용자가 개발한 Sub system을 이용하여 엔진모델을 포함한 커먼레일 시스템을 구성하고 특성해석을 통해 응답속도가 빠른 피에조타입의 인젝터를 개발하기 위하여 상세한 해석기술이 이용되고 있다.³⁻⁶⁾

하지만 엔진의 동력손실에 기여도가 큰 연료펌프의 구동에너지지를 저감할 근본적인 해결책은 연구되지 않고 있다. 반면에 전기자동차 및 연료전지 차량을 대상으로 개발된 전동식 보기류가 연비개선을 목적으로 하이브리드 차량용 엔진에 확장 적용되고 있다. 그리고 엔진의 크랭크축으로 구동되는 워터 펌프, 브레이크 부스트 펌프, 오일펌프 및 에어컨 컴프레서 등 보기류의 대부분이 전동식으로 개발되는 경향을 보이고 있다.

이 연구의 대상인 연료 분사펌프의 전동화 사례를 조사해본 결과, 고압 연료분사 펌프의 전동화에 대한 선행연구는 없지만 5 bar 이하 저압의 소형 연료펌프를 대상으로 모터나 펌프의 형식과 전기자 구조 변경을 통한 효율과 성능에 대한 내용만 찾아볼 수 있었다.^{7,8)} 이는 고압의 연료를 생성하기 위한 연료펌프, 고출력의 모터, 배터리 용량 그리고 고효율의 발전 시스템이 요구됨에 따라 지금까지 충분한 연구가 진행되지 않았던 것으로 예상된다. 본 연구에서는 연료펌프를 개발할 기술적 한계를 극복하

기 위하여 엔진에 장착되는 연료펌프에 전기구동 시스템을 적용하는데 의미를 부여하고자 한다.

전동식 연료펌프를 개발하기 위해서 이 연구에 사용된 HILS 기술은 주로 시스템의 성능을 예측하고 평가하는 기술로서 자동차 산업에서 차량의 개발시간 단축과 신뢰성 확보에 널리 활용되고 있다.

Fig. 1은 대상차량의 연료 공급계를 나타낸 것이며, 텐소의 커먼레일 시스템을 적용하였다. 그리고 연료펌프는 모델명 HP4이고 저압펌프와 고압펌프가 일체형으로 모듈화로 되어 있다. 연료가 공급되는 과정을 살펴보면, 연료는 저압펌프에 의하여 연료탱크에서 흡입되고 공급된다. 이때, 레귤레이션 밸브에 의해서 연료압력은 5 bar로 유지된다. 또한, SCV(suction control valve)에 의해 연료의 공급량을 조절하여 고압펌프에서 요구되는 압력에 상응한 연료를 공급한다. 그리고 레일에 저장된 연료는 인젝터에 의하여 엔진 연소실에 분사된다. 연료가 회송되는 곳은 펌프의 챔버에 위치한 오리피스와 인젝터의 회송부분이다. 연료압력을 조절하는데 있어 SCV의 역할이 크다고 말할 수 있다.

이 연구는 6 리터급 디젤엔진(현대자동차, D6GA)에 장착되는 텐소의 연료 분사시스템을 대상으로 목표 연료압력에 도달할 수 있도록 저·고압 일체형 연료펌프를 구동하는데 소모되는 구동에너지를 최소화하고 이를 위해 전기구동 시스템을 적용하고자 한다. 전기구동식 연료펌프를 개발하는 과정에서 비용과 시간을 단축하기 위하여 HILS 기술을 이용

Fig. 1 Structure of Denso common-rail system

하였다. AMESim으로 연료 공급시스템을 모델링하여 연료 분사펌프의 구동토크 및 송출유량을 분석하고 그 결과를 토대로 분사펌프의 구동에 적합한 서보모터와 감속기는 선정되었다. MCU(Texas Instruments, TMS320F28335)를 이용하여 서보모터를 제어하고 엔진 ECU로부터 OBD-II CAN 통신을 이용하여 목표 연료압력을 추종할 수 있도록 P 제어를 설계하여 커먼레일의 연료압력을 제어하였다. 개발된 전기구동식 연료펌프의 성능을 검증하는데 필요한 시험장치를 제작하고 다양한 엔진 운전조건에서 필요한 연료의 유량은 펌프속도를 제어하여 공급할 수 있었다.

2. 연료펌프의 AMESim 해석

2.1 AMESim 모델링

연료펌프를 구동할 모터의 용량을 선정하기 위해 연료펌프의 거동 해석을 준비하는 과정에서 우선적으로 연료펌프에 대한 3D 모델링을 수행하고 ADAMS 해석을 통하여 피스톤이 축 방향으로 움직이는 행정과 편심량을 Fig. 2와 같이 모델링 해석을 통하여 Table 1과 같이 도출하였다. 저압과 고압펌프에서 이송되는 연료의 양과 생성되는 연료압력 그리고 목표 연료압력에 도달하기 위해서 필요한 구동토크를 예측하고자 1D 해석 소프트웨어인 AMESim (Advanced Modeling Environment for Simulation of Engineering System)을 사용하였다.

Fig. 3은 AMESim을 이용해 고압펌프에 대해서 모델링 한 것을 보여주고 있다.

거동 해석에 적용된 디젤 연료의 밀도, 체적계수 그리고 음속은 단일 조건으로 적용되며, ISO 4113의

Fig. 2 3D modelling and design analysis of high pressure pump

Table 1 Specifications of fuel pump (Denso HP4)

	Parameter	Value
LP	Pump displacement [cc/rev]	0.7
	Piston diameter [mm]	8.5
HP	Rod diameter [mm]	0
	Length of contact [mm]	28
	Clearance on diameter [mm]	0.01
	Length of chamber [mm]	9
	Mass [kg]	0.034
	Spring stiffness [N/mm]	100
	Spring force at zero displacement [N]	100
	Chamber length at zero displacement [mm]	1
	Radius of the eccentric [R] [mm]	23
	Eccentricity [AT] [mm]	4.4
	Shaft diameter [mm]	14

연료특성을 적용하였다. 고압펌프는 캠축과 3개의 실린더를 이용하여 모델링이 수행되었고 해석조건으로 펌프의 속도는 1,000 rpm이며, 펌프의 입구 압력은 5 bar, 인젝터의 역할(load restrictor)을 수행하는 오리피스스의 직경은 0.1mm로 설정하였다.

고압펌프의 피스톤의 이동길이와 체적에 대한 계산식은 식 (1), (2)와 같다. 여기서 L_c 는 피스톤의 이동거리(mm), x_1 는 피스톤의 상사점(mm), x_3 는 피스톤의 하사점(mm), Vol 는 실린더 체적(cm^3), v_3 는 port 3의 속도(m/s), ρ 는 압력에 따른 밀도(kg/m^3)을 나타낸다.

$$L_c = x_1 - x_3 \quad (1)$$

$$Vol = L_c \cdot \frac{\pi}{4} (d_p^2 - d_r^2) \quad (2)$$

Port 1에서 토출유량은 식 (3)과 같이 계산된다.

$$q_1 = v_3 \cdot \frac{\pi}{4} (d_p^2 - d_r^2) \cdot \frac{\rho(p_1)}{\rho(p_0)} \quad (3)$$

펌프에 입력되는 축마력은 식 (4)와 같이 계산된다.

$$L_s = \frac{T_s \cdot N}{974} \quad (4)$$

여기서 L_s 는 펌프의 입력 축마력(kW), T_s 는 구동토크(Nm), N 는 펌프의 회전 속도(rev/min)을 나타낸다.

2.2 AMESim 해석 결과

Load restrictor의 말단에 위치한 오리피스스의 직경

Fig. 3 AMESim modeling for the high pressure pump

Fig. 4 Drive torque and fuel pressure in simulated pump operation at 1,000rpm

에 따라 해석 결과는 달라지기 때문에 실제로 분사되는 평균 연료량에 가깝게 직경을 입력하였다.

Fig. 4는 펌프의 1,000 rpm 일정속도에 대하여 토출된 연료의 압력과 그에 따른 구동토크에 대한 해석결과를 나타내고 있다. 토출 압력은 대략 1,500 bar이며, 구동 토크는 37 Nm의 시뮬레이션 결과를 얻었다. 이 결과를 토대로 연료펌프를 구동하기 위한 서보모터를 선정하였다.

3. 연료펌프의 구동시스템 구성

3.1 모터 제어기 및 제어 알고리즘 개발

엔진 ECU와 OBD CAN 통신을 이용하여 정보 획득 및 연료 공급을 위한 펌프의 구동 시스템을 제어하기 위해서 Fig. 5와 같이 DSP를 사용하여 모터 제어를 개발하였다. 또한, 개발자의 편의성을 위하여 CAN 프로토콜 명령어를 정의하고 실시간 동작 상태 및 연료 압력을 모니터링 할 수 있도록 프로그램을 설계하였다.

서보모터의 제어기는 키 온(key on) 상태에서 엔진 ECU와 초기에 통신 상태를 확인하고 엔진 ECU에 오류를 삭제하는 명령어를 전달한다. 다음으로 엔진 스타트 신호가 입력되면 연료의 목표/현재 압력 값을 요청하도록 프로그램을 설계하였다. 또한, 목표 연료압력에 도달하기 위해서 엔진 ECU로부터 현재 연료압력과 목표 압력을 비교하여 압력차가 제로에 근접하도록 P 제어를 적용하였다.

서보모터의 속도를 제어하고 목표 연료압력에 도

Fig. 5 Prototype of motor controller for the electrically driven fuel pump

Fig. 6 Comparison of simulation results about fuel pressure that is acquired by fuel pressure MAP and OBD CAN communication

달하도록 제어로직을 설계하였으며, 현재 SCV duty와 목표 duty를 비교하여 20 %에 가깝게 서보모터를 제어함으로써 연료의 회송량이 감소되도록 구현되었다.

Fig. 6은 엔진 부하에 따라 연료 압력을 제어할 때 모터 제어기의 메모리에 엔진 거동에 따라 요구되는 연료압력에 대해 맵을 이용하는 방식과 엔진 ECU와 직접 통신을 통해 요구되는 연료의 압력정보를 요청하는 OBD CAN 통신 방식 중 효율적인 압력제어 방법을 선택하기 위하여 실험을 통해 분석하였다. 엔진 ECU와 OBD CAN 통신을 통하여 획득한 목표 압력 값을 추종한 결과를 비교해 볼 때 큰 차이는 보이지 않지만 정상상태에서 맵 데이터가

Table 2 OBD CAN protocol analysis

	ID	Data frame						
Response	0x18DAF100	10	10	62	A0	엔진 속도	00	흡기 온도
		10	1B	62	C0	실제 압력	목표 압력	00
		21	08	연료 분사량		연료 보정량		
		22	80	80	SCV 실제 구동전류	SCV 목표 구동전류	SCV Duty	

추출되었기 때문에 불일치한 부분이 발생하고 있다. 이러한 현상은 엔진 ECU에서 오류 코드를 생성할 수 있기 때문에 OBD CAN 통신을 적용하기로 결정하였다. 또한 연료압력 맵은 OBD CAN 통신 오류에 대응할 수 있도록 활용하고자 한다.

Table 2는 엔진 ECU의 OBD CAN통신을 위한 프로토콜을 분석한 결과를 나타내고 있다.

3.2 연료펌프의 구동장치 제작

위 연료펌프의 거동해석을 근거로 연료펌프는 연료의 승압에 따른 구동토크를 고려하여 5 kW 서보모터(정격토크 : 22.3 Nm)와 감속기(감속비 3:1)를 사용하여 Fig. 7과 같이 구동시스템을 구성하였다. 그리고 인젝터에서 연소실에 분사되는 연료량과 연료탱크로 회송되는 양을 재현하기 위하여 한 개의 인젝터와 유량 조절을 위한 니들 밸브를 설치하여 회송되는 유량을 재현하였다. 여기서 공급된 연료는 인젝터에 의해 분사되지 않는 조건이다.

Fig. 7 Picture of tester about operation system of electrically driven fuel pump

3.3 엔진 ECU_ILS 이용 개발환경 구축

엔진 ECU_ILS는 한 개의 Host와 세 개의 실시간 운영체제(RTOS)가 탑재된 Target node으로 구성된다. Table 3은 실시간 제어시스템의 하드웨어에 대한 제원을 보여주고 있다.

Table 3 Specifications of real-time control system

Contents	Specification
Manufacture	Opal-RT technologies Inc (Canada)
CPU board	Intel 2.6 GHz micro processor
CAN board	Softing CAN-PCI-AC2
AD I/O boards	NI 6602, 6031, 6070, 6713, DIO96
RTOS	QNX

본 연구에서 차량 시뮬레이션을 수행하기 위해 M.S.C사의 TruckSim을 사용하였고, 사용자 인터페이스에 대한 시스템 제어모델 및 엔진 모델은 Matlab/simulink를 활용하였다. 시뮬레이션이 수행되는 시간과 하드웨어의 실제 동작 절차를 고려하여 차량에서의 운전자 동작이 순차적으로 수행되도록 모델링하였다. 또한 엔진 ECU에서 내부 메모리의 오류 코드를 삭제하기 위한 명령어를 CAN 통신을 이용하여 전송하도록 하였다.

Fig. 8과 같이 엔진 ECU_ILS를 이용하여 전기구

Fig. 9 Schematic of equipment for electrically driven fuel pump using Engine ECU HILS

Fig. 10 Picture of equipment for electrically driven fuel pump using Engine ECU HILS

동식 연료펌프를 개발할 수 있도록 모델링하였다. 이 모델은 TruckSim과 신호를 주고 받는 모듈, 엔진 모듈, 외부 주변장치 및 인터페이스 모듈 그리고 개발자를 위한 모니터링 모듈을 포함하고 있다.⁹⁾

Fig. 9와 10은 전기구동식 연료펌프의 구동시스템을 개발하기 위한 환경을 나타낸다.

4. 실험 및 결과

4.1 연료펌프에 대한 기본적인 시험

전기구동식 연료펌프의 성능 시험을 수행하기 전 연료압력에 대한 펌프의 구동토크를 조사하였다. Fig. 11은 모터의 구동토크에 대한 연료의 토출압력을 나타내고 있다. 펌프는 300 rpm의 일정한 속도로 유지되며 엔진부하를 조절하면서 생성된 연료압력

Fig. 8 Overall real-time model for electrically driven fuel pump

Fig. 11 Drive torque of the motor versus fuel pressure at motor speed of 300 rpm

에 따른 모터에 인가되는 부하를 서보 인버터에서 제공하는 통신 데이터를 이용하여 측정하였다. 연료압력은 선형적인 증가를 보이며 1,400 bar에 도달하기 위한 구동토크는 대략 36 Nm으로 측정이 되고 앞에서 수행된 AMESim 거동 해석의 결과와 비교할 때 오차가 크지 않다는 것을 알 수 있다.

4.2 엔진동력계를 이용한 엔진의 아이들시험

엔진 아이들 상태의 연료압력에 대한 경향을 분석하기 위하여 엔진 동력계를 이용한 엔진 시험을 수행하였다. 시험 엔진은 대상 엔진보다 배기량이 작은 F 엔진이며, Euro-5 대응 EGR 및 후처리 기술 등이 동일하게 적용된 엔진이다.

Fig. 12에서 시험 결과를 나타내고 있다. 엔진 시동은 엔진 동력계의 동력으로 400 rpm까지 보조한 후 연료의 자기착화에 의하여 아이들 상태에 도달하게 된다. 이때의 엔진 속도는 650 rpm이다. 엔진의 구동 초기에 실제 압력이 목표압력 및 엔진 속도보다 먼저 상승하는 결과를 볼 수 있는데, 이는 엔진 동력계에 의한 구동시점과 엔진 ECU에서 인식된 cranking 시점을 OBD CAN 통신으로 취득함에 따라 시간지연이 발생한 것으로 판단된다. 연료 압력의 상승곡선을 분석 해 볼 때 아이들 초기에는 연료압력이 800 bar 근처까지 상승함을 알 수 있으며, 실제 연료압력이 이를 신속하게 추종하고 SCV duty는 20~60%의 동작범위에서 대략 49%로 제어됨을 알 수 있었다. 이 시험 결과에서 보여준 연료압력의 제어 패턴을 반영하여 전기구동식 연료펌프를 개발하는데 사용하였다.

Fig. 12 Test results about engine idle and fuel pressure rise that use engine dynamometer at 650 rpm

4.3 목표 연료압력 제어시험

위의 시험결과를 반영하여 HILS 시스템과 연동된 상태에서 아이들 제어 시험을 수행하였다. Start on 신호가 4~7초 사이에 입력되면 아이들 상태로 진입하고 연료펌프의 구동 속도를 150 rpm으로 유지하다가 실제 연료압력이 550 bar를 넘는 순간 목표압력을 추종하도록 제어된다. Fig. 13은 연료압력이 550 bar를 넘는 순간 엔진 ECU로부터 취득한 목표압력에 도달하기 위하여 서보모터의 속도를 제어함으로써 대략 1.5초안에 목표 연료압력에 도달하는 것을 볼 수 있다. 하지만 목표 연료압력을 추종할 때 불안정한 상태가 발생하는데 이유는 감속비와 Cavitation 발생을 고려하여 구동모터의 속도를 100 rpm 이상으로 제한시킨 것과 인젝터에서 연료를 분사하지 않는 조건으로 펌프는 저속 운전으로 구동되기 때문이다. SCV duty는 45% 이내로 제어됨에 따라 엔진 시험결과와 거의 일치함을 확인 할 수 있었다.

Fig. 13 Test data fuel pressure control at engine startup

Fig. 14 Fuel pressure control upon engine speed changes

Fig. 14는 수동 모드로 엔진 속도와 부하량(가속 페달)을 증가시키며 목표 연료압력을 잘 추종하는 지 여부를 시험한 결과이다. 아이들 상태에서 빠져 나갈 때 신속하게 목표 연료압력을 추종하지 못하는 부분을 제외하고는 중·고부하 영역에서는 잘 제어됨을 확인 할 수 있었다. SCV duty는 아이들 상태에서의 45%에서 35% 이내까지 감소함을 확인할 수 있었고 그 만큼 회송되는 연료량이 감소했다는 의미로 볼 수 있다.

4.4 과도운전 상태의 연료압력 제어시험

과도운전 상태에서 연료압력을 제어하는 성능을 평가하고자 ECE 도시 운전모드와 EUDC모드로 구성된 NEDC(new European driving cycle)시험법을 이용하였다. Fig. 15는 NEDC 사이클 중 ECE 도시 운전모드의 첫 번째 모드에 대한 연료펌프의 목표압력에 도달하는 시험결과를 보여주고 있다. 연료압력은 오차가 거의 없이 잘 제어되고 있고 SCV duty도 대략 45% 유지와 가속 구간 및 고부하 영역에서는 20% 근처까지 제어되고 회송되는 연료량은 감소했다. 또한 연료펌프를 구동하는 모터의 속도는 300~1000 rpm 범위에서 운전되고 있으며 감속비를 고려하면 연료펌프의 속도는 350 rpm이하에서 구동되기 때문에 비교적 저속 운전과 동시에 저 전력 운전이 가능하다는 결과를 얻을 수 있었다.

Fig. 16은 위 시험조건에서 공급된 유량을 조사한 결과를 나타내고 있다. 저압펌프에서 공급된 연료량이 펌프의 챔버에 위치한 오리피스스를 통해 회송되는 연료량, 레일에 설치된 니들밸브에 의해 회송

Fig. 15 Fuel pressure controlled by the electrically fuel pump in the first 200 seconds of NEDC driving schedule

Fig. 16 Measurement results of the amount of fuel is returned to the fuel tank

되는 양 그리고 하나의 인젝터에서 회송되는 양이며, 각각 1,256 g, 327 g, 17.5 g으로 측정되었다. 니들밸브에 의해 회송된 양은 실제로 인젝터에서 분사된 106 g과 비교할 때 3배가 넘는 양으로 정상 상태 운전 조건에서 분사량 모사가 가능하지만 과도상태 운전조건에는 모사가 불가능할 것으로 판단된다. 그리고 인젝터에서 회송되는 양은 실제 150 g과 비교할 때 11%에 해당하는 양이다.

Fig. 17은 엔진구동에 따라 기어로 구동되는 연료펌프와 전기 구동식 연료펌프의 구동 에너지를 비교한 결과이다. 저속 및 저 전력으로 구동되는 연료펌프는 기어로 구동되는 연료펌프보다 적은 에너지로 구동이 가능하며 85%의 에너지를 저감할 수 있다는 결론을 얻었다.

5. 결 론

HILS 환경을 이용하여 전기구동식 연료펌프의

Fig. 17 Power and cumulative energy consumed in raising the fuel pressure for injection in the first 200 seconds of NEDC driving schedule

구동을 위해 제어기를 개발하고 목표 연료압력에 도달할 수 있도록 제어로직을 개발하였다. 또한 전기구동식 연료펌프의 성능을 검증하였다.

- 1) 연료펌프의 구동토크를 예측하고자 1D 해석 소프트웨어인 AMESim을 사용하여 모델링을 수행하였다. 연료 토출압력이 1,500 bar일 때 최대 구동 토크는 36 Nm의 시뮬레이션 결과를 얻었다.
- 2) 엔진 부하에 따라 연료압력 맵을 이용한 영향도 분석 및 엔진 ECU와 OBD CAN 통신을 이용하여 목표 압력 값을 도달할 수 있도록 P 제어기를 이용한 제어로직을 설계하였다.
- 3) 전기구동식 연료펌프의 구동시스템의 성능을 평가하기 위해 NEDC 모드를 이용하여 시뮬레이션 한 결과 과도운전 상태에서도 연료압력은 오차없이 잘 제어되고 있으며, SCV duty도 대략 45% 유지와 고부하 영역에서는 20% 근처까지 제어되고 있다. 연료펌프의 속도는 350 rpm 이하로 비교적 저속으로 동작하는 결과를 볼 때 저 전력 운전이 가능하다고 기어로 구동되는 연료펌프보다 적은 에너지로 구동이 가능하며 85%의 구동 에너지를 저감할 수 있다.

전기구동식 연료펌프는 엔진과 독립적으로 제어하기 때문에 엔진의 구동 에너지손실을 줄이고 요구되는 연료압력에 해당하는 연료를 공급함으로써 펌프 구동 에너지를 저감할 수 있었다. 향후 인젝터에서 연료를 분사할 수 있도록 시험 장치를 보완하고 발전기의 전기에너지 생성에 따른 엔진의 구동

에너지 손실을 고려한 에너지 효율향상 측면에 대하여 연구를 진행할 예정이다.

후 기

본 연구는 2012년 전라북도 신성장기술개발사업의 지원을 받아 수행된 연구이며, 관계된 여러분들께 감사드립니다.

References

- 1) W. Boehner and K. Hummel, "Common Rail Injection System for Commercial Diesel Vehicles," SAE 970345, 1997.
- 2) Robert Bosch, Automotive Handbook, 7th Edn., John Wiley & Sons, New York, pp.582-587, 2007.
- 3) AMESim IFP-Engine Library Manual, Ver.9, Imagine, Roanne, France, 2009.
- 4) O. Chiavola and P. Giulianelli, "Modelling and Simulation of Common Rail Systems," SAE 2001-01-3183, 2001.
- 5) M. Kim, G. Lee, J. Lee, J. Lee, H. Yoo and M. Kim, "Analysis of Hydraulic Characteristics and Modelling of Piezo Actuator for High Pressure Fuel Injection," KSAE11-B0057, pp.315-319, 2011.
- 6) I. Jo, J. Lee and J. Lee, "Characteristic Evaluation of Analytic Model Based on AMESim for CRDI Injector," KSAE Annual Conference Proceedings, pp.321-326, 2011.
- 7) R. N. Kunkel, "New Fuel Pump Technology," SAE 1999-01-0331, 1999.
- 8) J. W. Chang and D. Y. Yoon, "Sensorless Starting Method and Fuel Pressure Control of BLDC Motor for Fuel Pump of Vehicle," Transactions of KSAE, Vol.21, No.2, pp.114-121, 2013.
- 9) Y. J. Ko, T. J. Kim, K. M. Park, Y. S. Ro, N. S. Moon and S. Y. Oh, "Evaluation System Development for a Fuel Economy and Exhaust Emissions of Commercial Vehicle Applying Engine ECU_ILS Technology," KSAE Annual Conference Proceedings, pp.489-494, 2010.