

# 전자제어 디젤엔진의 연료압력 레귤레이터 고장에 따른 진단 및 성능 연구

김태중<sup>1</sup>, 조흥현<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>조선대학교 기계공학과 대학원, <sup>2</sup>조선대학교 기계공학과

## Study on Performance of an Fuel Pressure Regulator under Failure Condition in an Electric Control Diesel Engine

Tae-Jung Kim<sup>1</sup>, Hong-Hyun Cho<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Graudate school of Mechanical engineering, Chosun University

<sup>2</sup>Department of Mechanical engineering, Chosun University

**요약** 배출가스 규제강화에 대응하기 위해 전자제어 디젤엔진의 적용으로 연료 분사량과 연료 분사시기를 정밀하게 제어하여 연료소비율과 출력 향상 및 소음과 진동이 감소되었다. 전자제어 디젤엔진 시스템의 성능을 유지하기 위해서는 연료압력을 정밀하게 제어하는 중요한 부품이 연료압력 레귤레이터이며 제어불량이 발생할 경우 연료압력이 정밀하게 제어되지 않아 시동불량, 시동지연, 가속불량, 엔진부조 등 이상 현상이 초래된다. 본 실험에서는 연료압력 레귤레이터의 고장에 따른 성능 변화를 고찰하기 위하여 연료압력 레귤레이터 제어율에 변화를 주어 연료압력, 회수된 연료유량과 엔진회전수에 미치는 영향을 실험적으로 고찰하였다. 실험결과, 연료압력 레귤레이터의 제어율이 기준에서 4~6% 정도 낮아지면 엔진회전수, 회수되는 연료유량의 변화가 크게 나타났으며 이 때 이상현상이 발생함을 확인하였다. 또한 이를 통하여 연료압력 레귤레이터의 고장 유무를 판단할 수 있다.

**Abstract** To cope with exhaust gas regulation, Diesel engine applied to electronic control system. As it accurately regulated the injected fuel mass and the fuel efficiency and the output are increased but the noise and the vibration are decreased. In order to keep the performance of Electronic Diesel Control System, it is important to accurately control the fuel pressure. However, when the regulator of fuel pressure is not controlled properly, the failure phenomenons(starting failure, starting delay, accelerated failure, engine mismatch et al.) occur because the fuel pressure is not stabilize. In this study, effects on a fuel pressure, engine rotating speed according to the control rate of fuel-pressure regulator are investigated in order to analyzed the performance variation with failure of fuel-pressure regulator. As a result, when the control rate of a fuel-pressure regulator is 4%~6% lower than that of standard condition, the variation of engine's rpm and return fuel flow is increased, and the abnormal condition was occurred. Besides, it is possible to diagnose the failures on fuel-pressure regulator under these conditions.

**Key words** : Common rail diesel engine, Fuel pressure regulator, Fuel pressure regulator controller

### 1. 서론

현대사회는 화석연료의 과다 사용으로 인한 지구온난화 및 대기의 환경오염이 심각한 실정이며 이에 화석 연

료의 사용을 제한하고 있다. 따라서 국제적인 지구온난화 규제가 강화되면서 규제 조건을 맞추기 위해 많은 노력을 진행 중에 있으나 나날이 유해 배출가스 규제조건이 강화되고 있다. 기존의 디젤엔진은 작동압력이 높아

\*Corresponding Author : Hong-Hyun Cho(Chosun Univ.)

Tel: +82-10-6658-8695 email: hhcho@chosun.ac.kr

Received October 8, 2014

Revised (1st January 5, 2015 2nd February 10, 2015)

Accepted March 12, 2015

Published March 31, 2015

소음이 크며, 낮은 출력과 유해 배출가스(매연)가 다량 발생하는 여러 가지 문제점이 있어 각국의 배출가스 규제에 만족하지 못하고 있는 실정이다. 이에 따라 배출가스 규제강화에 대응하기 위해 디젤엔진에 전자제어장치를 적용한 전자제어 디젤엔진(Common-rail diesel engine)이 개발되어 상용화되었다.

국내에서는 2000년 이후부터 보급되기 시작하여 대부분이 디젤엔진이 다단 분사를 통해 연소 소음과 배기물질 감소를 가능하게 하는 커먼레일(common rail) 시스템을 가진 클린디젤엔진으로 계속 변화하고 있으며 이에 대한 연구가 꾸준히 수행되고 있다[1-3]. Kim 등[4]은 피에조 인젝터의 수학적 모델을 수립하여, 센서를 이용하지 않고 인젝터 상수 변수를 추정하는 관측기를 모델링하고, 모델의 정확성을 실험을 통해 비교 검증하였으며 연료분사량 및 분사시기의 되먹임 제어 가능성을 입증하였다. Jo 등[5]은 솔레노이드 코일과 피에조 세라믹으로 구동되는 커먼레일 디젤 분사용 인젝터의 응답성에 대한 연구를 수행하였다. 인젝터의 응답 특성을 알기위해 연료압력, 분공경 등을 변수로 설정하여 비교를 수행한 결과 솔레노이드 구동 인젝터에 비해 피에조 구동 인젝터가 빠른 응답성과 더 높은 제어성을 가지며, 다단분사 수행 시 이러한 특징은 더욱 두드러짐을 확인하였다. 또한 Moo 등[6]은 커먼레일 디젤 인젝터 분사성능을 향상시키기 위해 CFD 해석을 통해 디젤인젝터의 내부유로형상에 대한 최적화 연구를 수행하였으며 내부유로 개선을 통해 연료분사량이 54% 향상됨을 보고하였다.

전자제어 디젤엔진은 초고압분사(약 1350 bar, 미립화/관통력)가 가능한 연료장치 적용으로 차량의 배출가스를 기존의 디젤엔진에 비해 획기적으로 감소시켰으며 전자제어 시스템의 적용으로 연료 분사량과 연료 분사시기를 정밀하게 제어함으로써 연료소비율과 출력 성능의 향상 및 소음과 진동의 감소를 이끌어냈다. 이러한 전자제어 디젤엔진 시스템의 성능을 유지하기 위해서는 일정한 연료압력을 정밀하게 제어해야 하는데 연료압력을 정밀하게 제어하는 가장 중요한 부품이 연료압력 레귤레이터(fuel pressure regulator)이다. 전자제어 디젤엔진의 연료압력 레귤레이터의 제어불량(기밀불량)이 발생하는 경우 연료압력이 정밀하게 제어되지 않아 연료압력 레귤레이터의 성능저하로 이어지며 시동불량, 시동지연, 가속불량(출력부족), 엔진부조 등 전자제어 디젤엔진에 이상 현상이 초래된다. 이러한 전자제어 디젤엔진의 이상 현상을

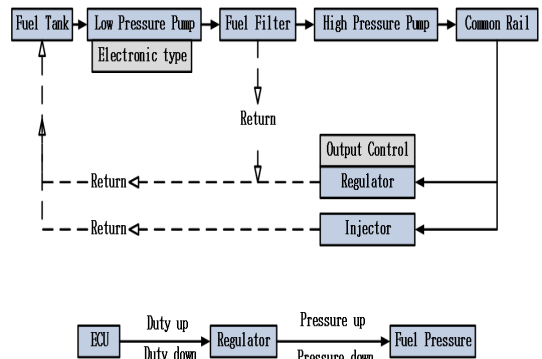
수리하기 위해서는 자동차 정비공장으로 들어가야 하며 전자제어 디젤엔진의 이상 현상을 일으키는 원인은 인젝터, 커먼레일, 고압펌프, 연료압력 레귤레이터, 엔진의 압축압력저하, 엔진 헤드블량, 엔진 피스톤 블량 등 여러 가지 원인이 있으므로 자동차 진단기 및 검사기로 정밀하게 진단하고 점검해야 찾아낼 수 있다. 이는 시간과 비용 측면에서 많은 손실이 발생한다.

따라서 이러한 문제를 보완하여 자동차 고장부위의 정확한 파악과 점검 및 수리시간을 절약하여 자동차의 신뢰성을 향상시키기 위한 연구가 필요하다. 이에 본 연구에서는 전자제어 디젤엔진의 부품중의 하나인 연료압력 레귤레이터를 임의로 가변 조절하여 연료압력 레귤레이터의 고장으로 나타나는 여러 가지 현상을 분석하고, 회수되는 연료의 양에 대한 고찰을 통하여 고장시 특징과 고장 유무와 관련된 진단에 대한 기초적인 실험 데이터를 제시하고자 한다[7].

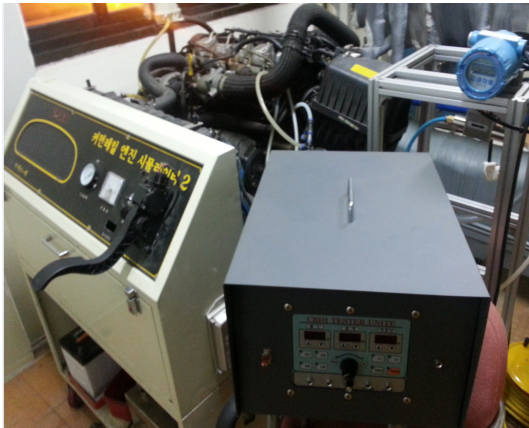
## 2. 실험장치 및 실험방법

### 2.1 실험장치 구성

Fig. 1은 본 연구에서 사용된 실험장치의 연료시스템의 흐름을 보여주고 있으며, Fig. 2에 본 연구에서 사용된 실험장치의 사진을 보여주고 있다. 전자제어 디젤엔진 시스템은 고압펌프, 커먼레일, 연료압력 레귤레이터, 압력센서(pressure sensor), 인젝터, 전자제어 유닛(electronic control unit) 등 기타 센서와 액추에이터(actuators)로 구성되어 있다. 연료압력 레귤레이터는 고압펌프와 인젝터 사이에 위치한 커먼레일 끝단에 장착되어 있다[8-9].



[Fig. 1] Flow chart of fuel system

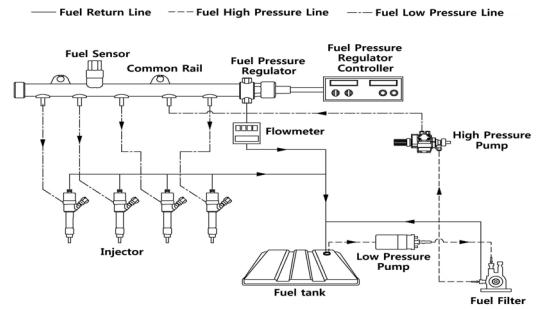


[Fig. 2] Photograph of experiment setup

연료압력 레귤레이터의 제어불량(내부불량)이 발생하면 연료압력 레귤레이터에서 회수(return)되는 연료의 양이 일정하게 유지되지 못하고 회수된 연료의 양의 증감 현상이 발생한다. 이 경우 연료압력 레귤레이터의 제어가 균일하게 이루어지지 않게 된다. 본 연구에서는 이를 방지하기 위하여 전자제어 디젤엔진 연료압력 레귤레이터의 연료회수관(return line)에 유량계를 설치하여 회수되는 연료의 유량을 감지함으로써 전자제어 디젤엔진의 연료압력 레귤레이터의 고장 유무를 검출 후 연료압력 레귤레이터의 제어 성능저하로 일어나는 현상을 파악하고 이를 예방할 수 있는 시스템을 설계하여, 연료가 회수되는 양에 따라 고장 여부를 판단할 수 있도록 엔진을 통하여 성능실험을 실시하였다.

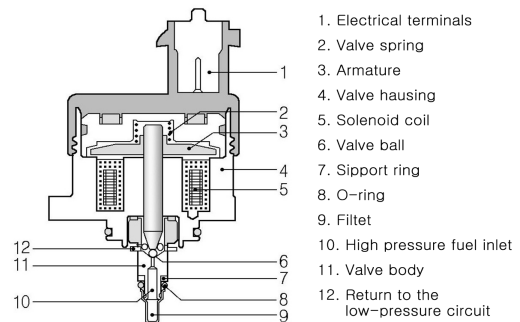
## 2.2 연료압력 레귤레이터

연료압력 레귤레이터는 커먼레일 끝단부에 설치되어 있으며, 엔진 ECU가 각종 센서의 신호를 받아 운전 상태에 맞는 연료압력을 맞추기 위하여 단힘 정도를 듀티(Duty) 제어한다. 이는 연료의 양을 출구 측에서 제어하는 방식이다. Fig. 3은 연료압력 레귤레이터 시스템의 구조를 보여주고 있다. 연료압력 레귤레이터는 엔진 부하의 함수로써 커먼레일에서의 정확한 연료의 압력을 설정하여 제어하며 압력이 과도하게 증가하면, 압력제어밸브가 열리고 연료의 일부분이 회수관을 통해 연료탱크로 회수된다. 또한 압력이 너무 낮으면, 연료압력 조절밸브가 닫히게 되어 커먼레일의 연료압력은 상승하게 된다 [9-10].



[Fig. 3] Common rail diesel fuel injection system with pressure control valve

Fig. 4는 연료압력 레귤레이터의 구조를 보여주고 있다. 일반적으로 연료압력 레귤레이터 내의 밸브에는 두 개의 힘이 작용한다. 첫째로, 리턴 스프링에 의해 눌러지는 힘과, 둘째로 전자기력에 의해 움직이는 힘이다. 솔레노이드 코일에 전류가 공급되지 않으면 전자기력이 형성되지 않으므로, 고압연료에 의한 힘이 스프링 장력보다 크다. 그러므로 압력제어밸브는 열리고, 연료가 유입된다. 고압회로의 압력을 상승시키기 위해서는 스프링 장력 외에 추가로 자력을 형성시켜야 한다. 압력제어밸브가 활성화되면 스프링 장력과 자력을 합한 힘이 고압연료에 의한 힘보다 커져 압력제어밸브가 닫히게 된다. 그리고 닫힌 상태는 작용방향이 서로 반대인 두 힘이 평형상태에 도달할 때까지 지속된다. 두 힘이 서로 균형을 이루게 되면 밸브는 약간 열린 상태가 되며 압력은 일정하게 유지되게 된다. 연료압력 레귤레이터는 펄스폭을 변조하는 PWM(Pulse width modulation)방식을 사용한다.



[Fig. 4] Structure of fuel pressure regulator

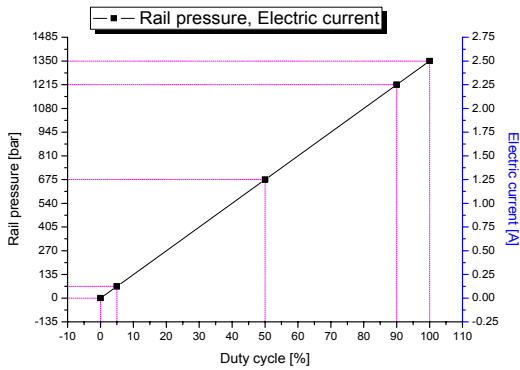
ON/OFF의 작동주기인 Duty cycle은 전체시간 중 ON 시간의 비율을 의미하며 식(1)과 같이 계산한다. 또

한 듀티사이클의 변화에 따라 레일의 압력과 전류의 값은 일정하게 변화하며 이는 Fig. 5와 같다[11].

$$DutyCycle = \frac{ON_{time}}{ON_{time} + OFF_{time}} \times 100 \quad (1)$$

### 2.3 실험조건 및 방법

전자제어 디젤엔진 커먼레일 끝단에 붙어있는 연료압력 레귤레이터의 연료 회수관에 연료의 유량을 측정할 수 있는 유량계를 연결하여 회수된 연료의 양을 측정할 수 있도록 실험장치를 제작하였다. 회수된 연료는 연료 탱크로 다시 돌아오게 설계하였고 연료압력 레귤레이터를 가변 제어할 수 있도록 제어기를 설치하여 유량을 변화시키며 실제 주행시 발생할 수 있는 조건과 동일한 조건으로 실험을 시행하였다.



[Fig. 5] The duty cycle relationship between the current and pressure

본 연구에서 사용된 연료압력 레귤레이터와 제어기의 자세한 사양은 Table 1과 2에 나타내었다. 또한 Table 3는 전자제어 디젤엔진의 제원으로 엔진의 운전 상태에 따른 변화를 살펴볼 수 있도록 구성하였으며 Table 4는 회수되는 연료의 양을 측정하기 위한 유량계의 사양을 나타내고 있다. 본 연구에서 연료압력 레귤레이터의 제어량으로 전자제어 디젤엔진의 이상 유무(엔진 부조현상, 출력저하, 시동 꺼짐 등)를 판단할 수 있도록 실험을 실시하였다.

Table 5는 설정된 실험조건을 나타내고 있으며 공회전 상태인 780 rpm, 그리고 1000 rpm, 1500 rpm 상태를 기준으로 연료압력을 일정하게 유지하고 연료압력 레귤레이터 제어량에 따라 회수된 연료량을 측정하였다[10].

연료압력 레귤레이터의 고장을 가정하여 연결된 연료압력 레귤레이터 제어기에 인위적으로 변화를 주고 엔진회전수, 연료압력, 회수된 연료의 유량변화와 이에 따른 엔진의 이상 현상에 대하여 고찰하였다.

[Table 1] Specification of fuel pressure regulator

Item	Specification	
Common rail pressure	1350(bar) (Return spring pressure +Current intensity)	
Control method	PWM : Duty control	
Idle (750 rpm)	Duty	18~20%
	Pressure	260~280(bar)
Signal input	Fuel pressure sensor	
Power off	100(bar): Spring pressure	

[Table 2] Specification of fuel pressure regulator controller

Item	Specification
Pressure control	0 - 1350 bar
Injection time	180~2000 uS
Injection times	10~999 회

[Table 3] Specification of diesel engine with electric control

Item	Specification
Model	D-2.0 CRDI(D4EA)
Displacement (cc)	1,991
Number of cylinder	4
Cam shaft type	SOHC (4 Valve)
Compression ratio	17.7 : 1
Maximum power (ps/rpm)	112/4,000
Nozzle pressure modification	1,350 bar
Fuel pressure control system	Outlet control
Idle (rpm)	750±40

[Table 4] Specification of flow meter

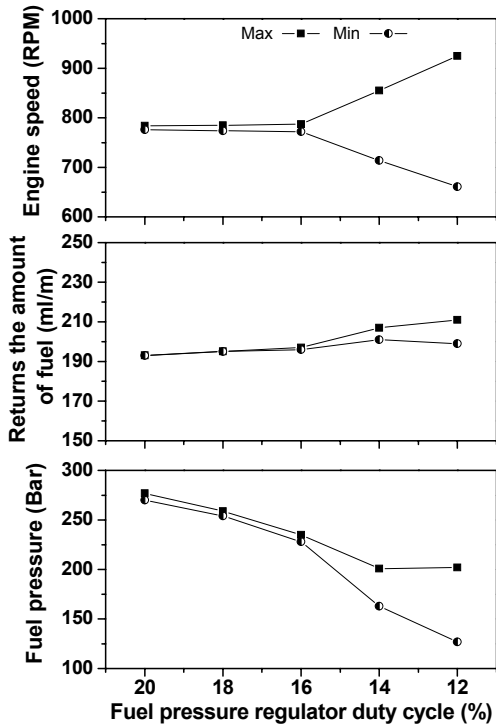
Item	Specification
Model	FTT-S-s 8A
Max	2500 [ml/min]
MFG	Auto flow
Maximum power (ps/rpm)	112/4,000
Accuracy	±0.5% of Full Scale

[Table 5] Test conditions and results

Parameters	conditions		
	*780	1000	1500
Set engine speed (rpm)	*780	1000	1500
Fuel pressure (bar)	*275±5	300±10	360±10
Mass flow rate of return fuel (ml/min)	*193	260±1	400±1
Fuel pressure regulator standard duty cycle (%)	*20%	22%	24%

\*Idle condition

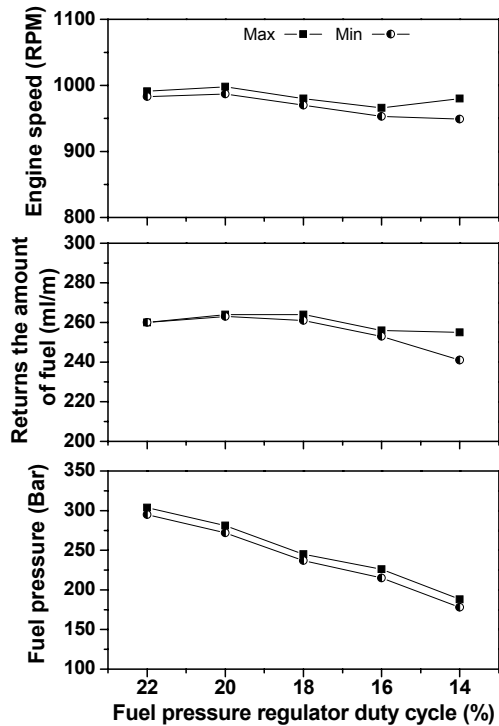
### 3. 결과 및 고찰



[Fig. 6] Performance variation of engine (Set engine speed : 780 rpm(Idle))

Fig. 6은 공회전(780 rpm)상태에서 연료압력 레귤레이터의 제어율(기준: 20%)의 변화에 따른 연료의 압력, 회수되는 연료의 양, 그리고 엔진회전수의 성능 변화를 보여주고 있다. 연료압력은 270~277 bar이고, 연료의 리턴량은 193 ml/min이다. 연료압력 레귤레이터 제어율 16%에서 압력은 228~235 bar, 엔진회전수는 772~787 rpm이며, 회수된 연료의 유량은 196~197 ml/min으로 나타났다. 엔진회전수는 어느 정도 일정하게 유지되었으나 연료압력은 기준에서 약 40 bar정도 낮아지며, 회수된 연료유량은 3~4 ml/min 정도 증가하였다. 실험결과 연료압력 레귤레이터의 제어율이 16%미만부터 엔진의 부조현상이 나타남을 확인하였다. 연료압력이 낮아지는 경우 연소에 필요한 연료의 양과 연료의 분사형태가 연소에 적합하도록 완전하게 분사되지 않아 연소가 불안정하게 되며, 이에 부조현상이 발생한다. 또한, 연료압력 레귤레이터의 제어율이 14%일 때, 연료압력은 163~201 bar, 엔진회전수는 714~855 rpm, 회수된 연료유량은 201~207 ml/min으로 나타났다. 이 경우 엔진회전수가 일정하게

유지되지 않고 증감현상이 나타나 엔진의 부조현상(엔진의 소음 진동 및 끊김 현상)이 심해지며, 연료압력은 기준에서 약 70 bar정도 낮아지는 것으로 확인되었다. 회수된 연료유량은 기준에서 8~15 ml/min정도로 회수된 연료유량도 크게 증가하였으며 최대값과 최소값의 폭도 증가하였다. 실험결과 연료압력 레귤레이터의 제어율이 16% 미만부터 엔진의 부조현상이 나타나고, 연료압력 레귤레이터의 제어율이 12%미만에서 시동꺼짐 현상이 나타났다. 연료압력 레귤레이터의 제어율을 2%씩 낮추면 연료압력도 16%까지 20 bar정도 비례하여 감소하고, 16%미만에서는 연료압력의 변화의 폭이 크게 나타났다.



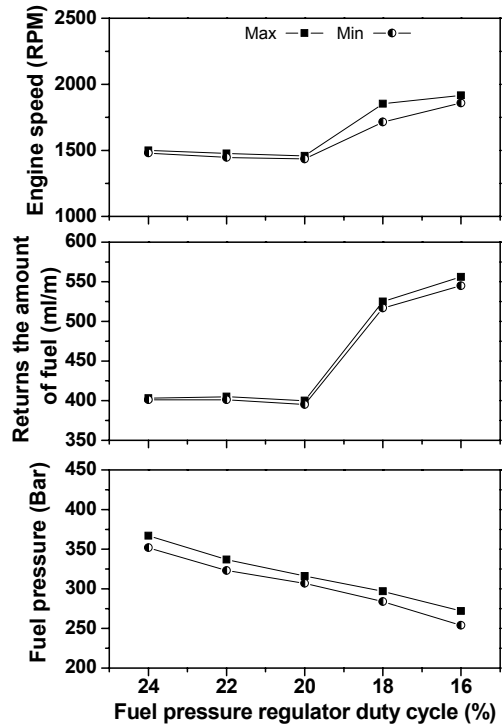
[Fig. 7] Performance variation of engine (Set engine speed : 1000 rpm)

Fig. 7는 엔진회전수(1000 rpm) 상태에서 연료압력 레귤레이터의 제어율(기준: 22%)의 변화에 따른 연료의 압력, 회수되는 연료의 양, 그리고 엔진회전수의 성능 변화를 보여주고 있다. 연료압력은 295~304 bar, 엔진회전수는 983~991 rpm, 회수된 연료의 유량은 260 ml/min으로 일정하게 유지되었다. 연료압력 레귤레이터의 제어율이 16%일 때 연료의 압력은 215~226 bar, 엔진의 회전수는 953~966 rpm, 회수된 연료유량은 253~264 ml

/min으로 나타났다. 기준조건에 비하여 엔진회전수는 40~50 rpm정도 낮아졌으며 엔진 떨림과 같은 엔진 부조현상이 나타나는 것을 확인하였다. 연료압력은 기준의 연료압력에서 70~80 bar정도 낮아지고 회수된 연료유량은 기준보다 4~7 ml/min정도 증가 또는 감소하는 것으로 나타났다. 또한, 연료압력 레귤레이터 제어율이 14%로 변화하면, 연료압력은 178~188 bar, 엔진회전수는 949~980 rpm, 회수된 연료유량은 241~251 ml/min으로 나타났다. 엔진회전수는 20~50 rpm정도 감소하였으며 엔진의 부조현상이 나타났다. 연료압력은 178~188 bar로 기준연료압력보다 110~120 bar정도 낮아졌으며, 공회전(780 rpm)상태와 다르게 연료압력의 최대값과 최소값의 차이가 일정하게 유지하면서 낮아지는 현상을 보였다. 회수된 연료유량은 241~255 ml/min 로 기준조건보다 15~20 ml/min정도 감소하였으며 회수된 연료유량도 심한 헛팅 현상을 나타냈다. 엔진의 회전수가 증가하면서 연료압력의 증가에 따른 변화폭이 증대되고 이에 엔진의 이상현상을 나타내는 범위가 780 rpm에 비하여 크게 나타남을 확인하였다. 연료압력 레귤레이터 제어율이 12%가 되었을 때 엔진의 심한 부조현상을 나타내면서 시동이 꺼지는 현상을 확인하였다. 연료압력 레귤레이터의 제어율을 2%씩 낮추면 연료압력도 16%까지 20 bar정도 비례하여 감소하고, 16%미만에서는 연료압력의 변화의 폭이 나타났다.

Fig. 8은 1500 rpm에서 연료압력 레귤레이터의 제어율(기준: 24%)의 연료의 압력, 회수되는 연료의 양, 그리고 엔진회전수의 성능 변화를 보여주고 있다. 연료압력은 352~367 bar, 엔진회전수는 1480~1500 rpm, 회수된 연료의 유량은 401~403 ml/min으로 일정하게 유지되었다. 연료압력 레귤레이터 제어율이 18%일 때 연료압력은 284~297 bar, 엔진회전수는 1715~1854 rpm, 회수된 연료유량은 517~525 ml/min으로 급격하게 변화하는 것으로 나타났다. 특히, 엔진회전수는 1500 rpm에서 1800 rpm으로 급격히 상승하였는데 이는 엔진의 페일세이프(Fail safe: 고장기기 또는 장치가 오작동을 일으켰을 경우 엔진보호 목적으로 반드시 안전성을 유지되도록 제어하는 방식) 기능으로 작동되는 것을 확인하였다. 연료압력은 기준연료압력에서 약 70~80 bar정도 낮아지고 회수된 연료유량은 117~125 ml/min정도 증가하였다. 연료압력 레귤레이터의 제어율이 24%에서 14%로 변화를 주었을 때, 엔진 떨림과 함께 심한 부조현상과 시동 꺼짐

현상을 나타냄을 확인하였다. 본 연구에서는 전자제어 디젤엔진으로 저속상태(저 rpm)에서 실험을 하였으며, 2000 rpm이상의 고속상태(고 rpm)에서의 엔진부조, 출력부족, 시동 지연, 시동 꺼짐 등의 현상을 초래하는 연료계통 부품에 대한 연구가 추가적으로 필요할 것으로 판단된다.



[Fig. 8] Performance variation of engine (Set engine speed :1500 rpm)

#### 4. 결론

본 실험에서는 연료압력 레귤레이터의 고장유무에 따른 성능변화를 고찰하기 위하여 연료압력 레귤레이터 제어율에 변화를 주었을 경우 연료압력, 회수된 연료 유량과 엔진회전수에 미치는 영향을 실험적으로 알아보았으며 이를 통하여 얻은 결과는 다음과 같다.

- 1) Idle 상태(780 rpm)에서 연료압력 레귤레이터를 기준에서 2%씩 낮추어 16%미만 일 때 연료압력, 회수된 유량, 엔진회전수의 최대-최소의 차이가 조금씩 커지며 14%에서부터 엔진의 심한 부조현상이 나타남을 확인하였다. 또한 엔진회전수가 1000



rpm 상태에서 연료압력레귤레이터를 기준에서 2%씩 낮추어 14%일 때 엔진의 심한 부조현상이 나타났고 연료압력은 기준연료압력에서 20 bar씩 감소하였다.

- 2) 엔진회전수가 1500 rpm 상태에서 연료압력레귤레이터를 기준에서 2%씩 낮추어 18%부터 페일세이프 기능으로 엔진회전수가 급격히 상승하였으며 연료의 압력은 기준연료압력에서 70~80 bar 정도 낮아지나 엔진의 부조현상이 나타나지 않았다.
- 3) 연료압력이 기준 압력(780 rpm: 270~277 bar, 1000 rpm: 295~304 bar, 1500 rpm: 352~367 bar)에 대해 약 50 bar 이상, 그리고 연료압력 레귤레이터의 제어율이 기준에서 4~6% 정도 감소하면 엔진의 불안정 현상이 나타났으며 이를 통하여 연료압력 레귤레이터의 이상 유무를 판단할 수 있음을 확인하였다.

## References

- [1] Gerhard Stumpp, M. R., 1996, "Common Rail - An Attractive Fuel Injection System for Passenger Car DI Diesel Engines," International Congress & Exposition Detroit, Michigan, United States.
- [2] Joachim Schommers, F. D., Stotz, M., Peters, A., Ellwanger, S., Koyanagi, K. and Gildein, H., 2000, "Potential of Common Rail Injection System for Passenger Car DI Diesel Engines," SAE 2000. World Congress, Detroit, Michigan, United States
- [3] Liu, Y., Zhang, Y. T., Tian, H. and Qin, J., 2008, "Research and Applications for Control Strategy of High-Pressure Common Rail Injection System in Diesel Engine," Harbin.
- [4] Y. W. Kim, K. Y. Lee, N. H. Chung, M. H. Sunwoo, "Obersever Design of an Injector for Fuel Control in DI Diesel Engines with an Electronically Controlled Injector", Journal of Control, Automation and System Engineering, Vol 10, No 12, 1305-1311.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.5302/JICROS.2004.10.12.1305>
- [5] I. S. Jo, J. H. Lee, J. W. Lee, "Analysis of Fast Injection Response Characteristics Between Solenoid and Piezo-Driven Injector", Trans. of the KSME(B) Engineering, Vol. 36, No. 10, pp. 971-977, 2012.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.3795/KSME-B.2012.36.10.971>
- [6] S. J. Moon, S. J. Jeong, S. G. Lee, T. H. Kim, "A Numerical Study on the Geometry Optimization of Internal Flow Passage in the Common-rail Diesel Injector for Improving Injection Performance", Trans. of KSAE, Vol. 22, No. 2,

pp.91-99, 2014.

DOI: <http://dx.doi.org/10.7467/KSAE.2014.22.2.091>

- [7] S. N. Yun, Y. R. Lee, E. S. Lim, et al., Performance Evaluation Technique of a Proportional Actuator for Common Rail System, 2012 KSAE Spring Conference, No.5, pp.1339-1343, May, 2012.
- [8] S. N. Yun, D. W. Yun, Y. B. Ham, et al., "Characteristics Analysis of Solenoid Actuator for Common Rail System", Transactions of Korea Society of Automotive Engineers, Vol. 17, No. 6, pp. 31-38, 2009.
- [9] D. S. Baek, J. S. Lee, "Study on Smoke Prediction in Heavy-duty Diesel Engine", Journal of academia-industrial technology, Vol.9, No.4, pp.865-870, 2008.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2008.9.4.865>
- [10] H. H. Kim, Y. C. Yoon, K. H. Choi, "Common Rail Diesel Engine", pp. 48-57, Golden Bell, 2009.
- [11] G. T. Park, H. G. Lee, J. S. Choi, "Professional Engineer Transportation Vehicles", Sungandang, 2010.

## 조 흥 현(Hong-Hyun Cho)

[정회원]



- 2005년 8월 : 고려대학교 기계공학과 대학원 (공학박사)
- 2005년 9월 ~ 2006년 10월 : 삼성 전자 가전연구소 책임연구원
- 2007년 1월 ~ 2008년 3월 : 미국 NIST 객원연구원
- 2008년 4월 ~ 2014년 2월 : 조선대학교 기계공학과 조교수
- 2014년 3월 ~ 현재 : 조선대학교 기계공학과 부교수

<관심분야>

신재생에너지, 냉동공학, 열전달

## 김 태 중(Tae-Jung Kim)

[정회원]



- 1998년 2월 : 목포해양대학교 기관공학과 (공학사)
- 1998년 4월 ~ 2000년 6월 : STX 팬오션 해기사 (2등기관사)
- 2010년 2월 : 조선대학교 대학원 기계공학과 대학원 (공학석사)
- 2013년 2월 : 조선대학교 대학원 기계공학과 대학원 수료

• 2013년 3월 ~ 현재 : 조선이공대학교 자동차과 강의전담교수

<관심분야>

열전달, 자동차 배출가스