

커먼레일엔진 EGR RATE에 따른 배기가스 변화에 대한 실험적 연구

김진용[†]·나병철^{*}·이계철^{**}·서준호^{*}

An experimental study on exhaust gas variation depending on EGR rate of common rail engine

Jin-yong Kim, Byung-chul Na, Kye-cheul Lee, Joon-ho Seo

Key Words: Exhaust Gas Recirculation (EGR, 배기재순환), Diesel engine, NOx(질소산화물), Smoke(매연)

Abstract

Current common rail engines are equipped with cooled EGR systems by using an engine cooling water system. In this study, investigations of exhaust gas reduction characteristics have been carried out in the common rail engine system depending on the EGR rate variation. The experimental results shows that NOx reduces and smoke increases as the EGR rate increases.

1. 서 론

선진국을 중심으로 자동차 배출가스 규제를 대폭 강화하고 있는 추세이다. 미국의 경우, 현재 시행 중인 연방규제를 2004년 이후 대폭 강화할 예정이고, 유럽연합도 2005년 Euro IV 50% 수준으로 허용치가 하향 조정되는 Euro V도 2008년에 적용될 예정이다. 국내의 경우에도 디젤차량에 대한 규제가 2002년 하반기부터 대폭 강화되고 있는 실정이다. 이에 대응하기 위하여 많은 연구자들이 디젤차량의 배기가스를 줄이기 위한 연구를 활발히 진행하고 있다.¹⁾ EGR(Exhaust Gas Recirculation) 연소과정에서 발생하는 유해물질인 3원소 CO, HC, NOx는 서로 상반된 관계를 가지고 있다. 즉, CO, HC에 대하여 NOx는 항상 반대

의 인과관계를 가지고 있다.

실용적인 출력 범위에서는 CO, HC가 가장 감소하는 시점에 NOx는 가장 많이 발생하므로 배기가스를 흡기계로 재순환시켜 실린더내의 연소온도를 낮추어 NOx의 발생을 억제하는 EGR을 이용한다.

본 실험에서는 VGT(Variable Geometry Turbo)가 적용된 CRDI(Common Rail Direct Injection) 디젤엔진의 EGR율이 배기가스와 연료소비율, 출력에 어떠한 영향을 주는지를 알아보았다.

2. 실험 장치 및 실험방법

2.1 실험 장치

Fig. 1은 동력계에 설치된 엔진과 계측장비들의 구성을 나타내는 사진이며, Fig. 2는 실험장치를 도시화한 것이다. 실험엔진은 4기통 2000cc CRDI 디젤엔진으로 주요 제원은 Table 1과 같다. ETK ECU, 통신모듈 (ES-1000), 컴퓨터를 사용하여 운전변수를 실시간으로 제어 하였다.

† 자동차부품연구원

E-mail : jykim@katech.re.kr

TEL : (041)559-3293, FAX : (041)559-30694

* 자동차부품연구원

** 군장대학 자동차기계계열

배기분석장비는 HORIBAR MEXA-9100D를 사용하였다.



Fig. 1 Experimental Engine installation on Bench

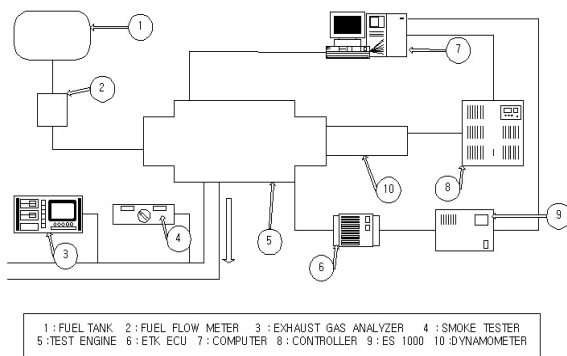


Fig. 2 Schematic diagram of experimental apparatus

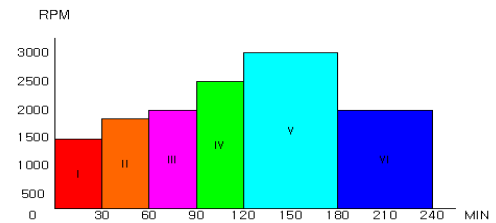
Table 1. Specification of test engine

Item	Specification
Engine Model	2.0 VGT
Max. Torque (kg · 1/rpm)	29.5/2000
Max. Power ps/rpm	126/4,000
Bore×Stroke(mm)	83×88
Compression Ratio	18.4 : 1
EGR Type	cooled EGR
Induction Type	Turbo Charger (VGT)

2.2 실험 방법

2.2.1 길들이기 실험

본 연구에서는 본 실험 이전에 길들이기 운전을 시행함으로써 기계가공에 의한 가공정밀도의 충분하지 못한 부분에 대하여 미끄럼 운동하는 부품끼리 강제적으로 마멸되도록 하여 신속하게 친화성을 가지도록 하였다. 이 과정을 통하여 급격한 부하변동이나 회전속도 변화에 대응 할 수 있는 적절한 틈새와 양호한 접동면을 형성할 수 있다.



- I : 1500rpm BMEP 4bar 30분
- II : 1800rpm BMEP 4bar 30분
- III : 2000rpm BMEP 6bar 30분
- IV : 2500rpm BMEP 8bar 30분
- V : 3000rpm BMEP 10bar 60분
- VI : 2000rpm 전부하 60분

Fig. 3 Warm-up mode of C/R Testing System

Table 2. Torque specific character of BMEP at various condition

BMEP(bar)	Torque(Nm)
2	31.85
4	63.69
6	95.54
8	127.4
10	159.2

엔진 기본 성능시험을 하기 전에 엔진 길들이기를 위해서 Fig. 3과 같은 길들이기 모드를 실행하였다. 길들이기 모드는 주로 운전자들이 많이 사용하는 운전영역을 설정하였으며, BMEP는 다음과 같은 식을 이용하여 계산하였다.

$$BMEP(kPa) = \frac{6.28n_R T(Nm)}{V_d(dm^3)} \quad (1)$$

여기서 $n_R = 2$ (4stroke engine) $dm^3 = \text{liter}$

2.2.2 엔진 성능실험

Table 2와 같이 BMEP에 따른 Torque를 기준으로 하여 1000RPM, 1500RPM, 2000RPM, 2250RPM, 2500RPM의 영역에 대한 배기가스 및 연료소비량을 분석하였다.

2.2.3 EGR을 실험

본 연구의 실험 조건은 Table 3에 나타나 있는 RPM, BMEP, EGR율과 같으며, 측정 데이터를 받기위해서 설정한 모드를 일정한 시간 동안 유지하여 배기가스의 온도가 안전화가 된 상태에서 20초 동안의 집산평균을 내어 NOx, CO, THC, Smoke, 연료소비량, 각부의 온도를 동시에 측정하였다.

EGR율의 계산식은 식(2)와 같이 새로운 흡입공기량의 감소율로 나타내었고, EGR율의 제어를 위해 솔레노이드를 이용해 EGR밸브의 개폐 정도에 따른 흡입공기량을 계측하여 식(2)에 대입하였으며, 실험 조건은 BMEP 4bar를 기준으로 2000 RPM, 2250 RPM, 2500 RPM 에서의 배기가스 분석을 시행하였다. EGR율 변화량 설정은 각 RPM에서 상용화 ECU에 설정되어 있는 기본값을 기준으로 하여 2000RPM일 때 0%, 22%, 26%, 30%, 34%, 38% 측정하였고 2250RPM일 때 0%, 29%, 33%, 37%, 41%, 45% 측정하였고 2500RPM일 때 0%, 32%, 36%, 40%, 44%, 48%에서 측정하였다.

$$\text{EGR rate}(\%) = \frac{Q_o - Q_e}{Q_o} \times 100 \quad (2)$$

여기서, Q_o 는 EGR을 하지 않았을 때의 흡입공기량(Kg/hr)이고, Q_e 는 EGR을 했을 때 흡입 공기량(Kg/hr)을 나타낸다.

Table 3. Experimental conditions

Description	conditions
Engine Speed(RPM)	2000, 2250, 2500
BMEP(bar)	4bar
EGR rate(%)	0%-38%, 0%-45%, 0%-48

3. 시험결과 및 고찰

3.1 엔진성능실험

Cooled EGR을 장착한 CRDI디젤엔진의 출력, 연료소비율, NOx, Smoke량은 Fig. 4에서 Fig. 7 다음과 같다.

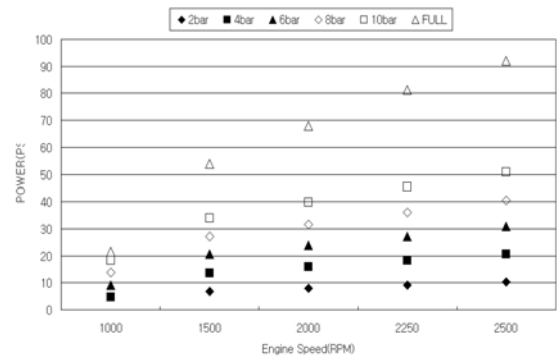


Fig. 4 Engine Power test results

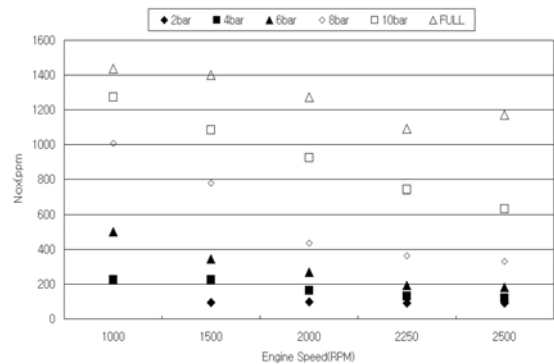


Fig. 5 NOx test results

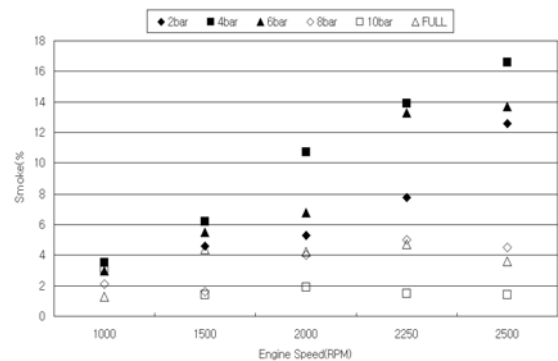


Fig. 6 Smoke test results

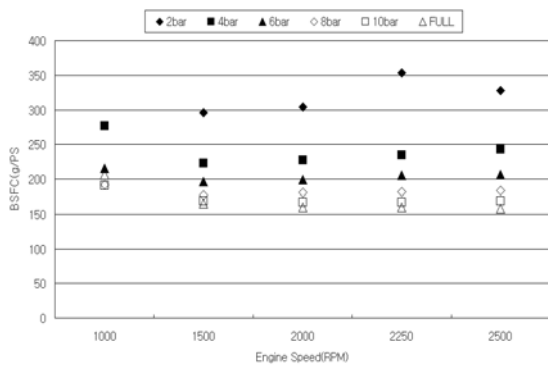


Fig. 7 BSFC test results

3.2 EGR을 실험

Fig. 8 ~ Fig. 10은 BMEP 4bar일 때 EGR율에 따른 NOx 발생량을 나타낸 것이다. 그림에서 보는 것과 같이 EGR율이 증가함에 따라서 NOx의 점점 감소하는 것을 볼 수 있다. Fig. 11 ~ Fig. 13은 Smoke량을 나타낸 것이다. 그림에서 보는 것과 같이 EGR율이 증가함에 따라서 Smoke량이 증가하는 것을 볼 수 있다.

Fig. 14 ~ Fig. 16은 출력을 나타낸 것이다. 그림에서 보는 것과 같이 EGR율이 0일 때의 출력은 증가하지만 나머지 EGR율에서는 미소하게 출력이 감소하는 것을 볼 수 있다.

Fig. 17 ~ Fig. 19는 연료소비율의 변화를 나타낸 것이다. EGR율이 0일 때의 연료소비율은 감소하지만 나머지 EGR율에서는 미소하게 연료소비율이 증가하는 것을 볼 수 있다.

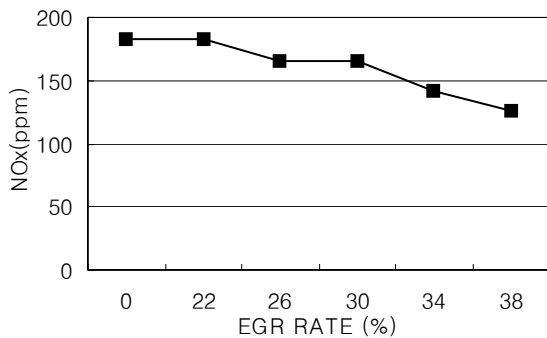


Fig. 8 NOx according to EGR rate at applied BMEP 4bar(2000RPM)

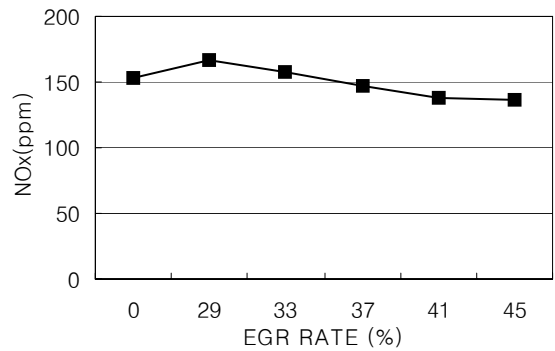


Fig. 9 NOx according to EGR rate at applied BMEP 4bar(2250RPM)

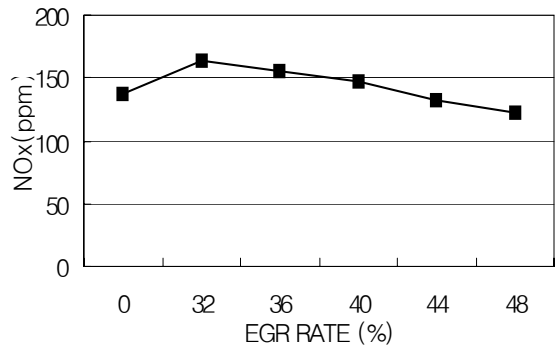


Fig. 10 NOx according to EGR rate at applied BMEP 4bar(2500RPM)

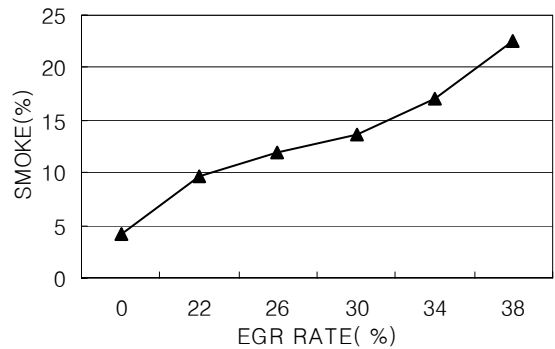


Fig. 11 Smoke according to EGR rate at applied BMEP 4bar(2000RPM)

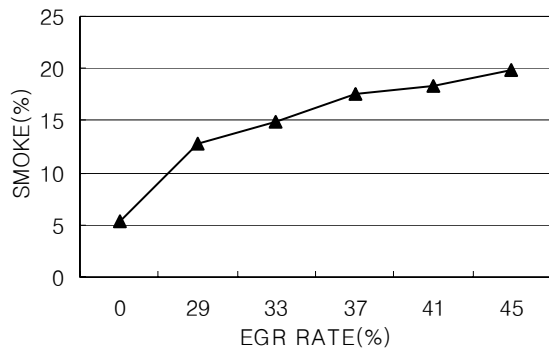


Fig. 12 Smoke according to EGR rate at applied BMEP 4bar(2250RPM)

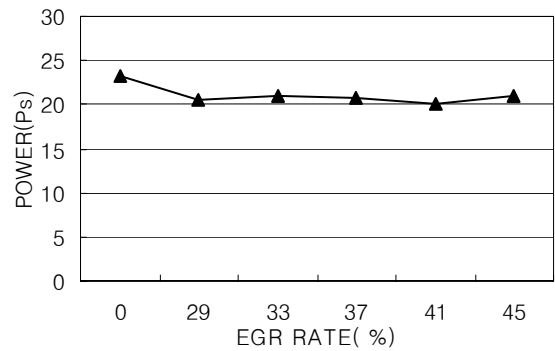


Fig. 15 Power according to EGR rate at applied BMEP 4bar(2250RPM)

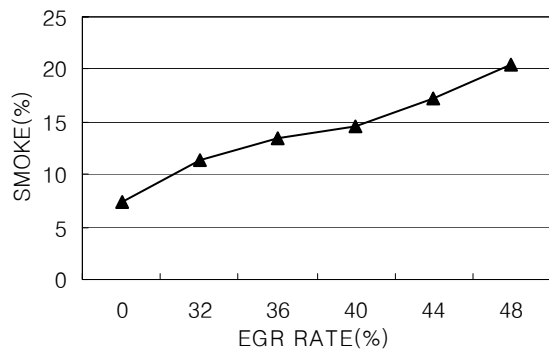


Fig. 13 Smoke according to EGR rate at applied BMEP 4bar(2500RPM)

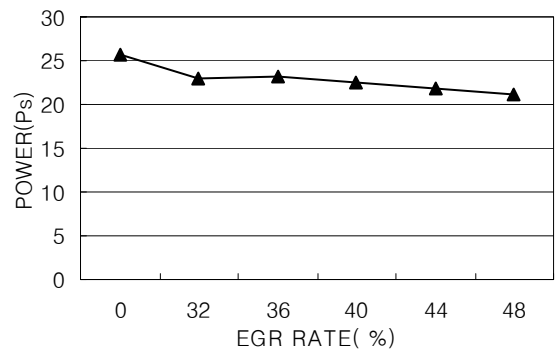


Fig. 16 Power according to EGR rate at BMEP 4bar(2500RPM)

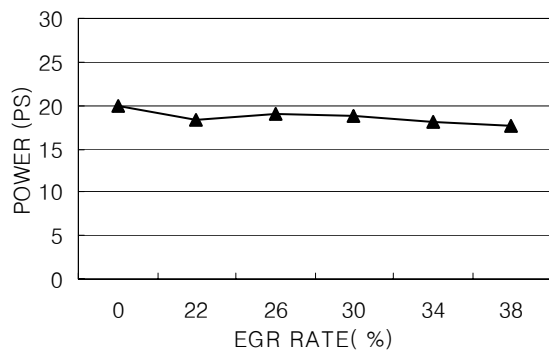


Fig. 14 Power according to EGR rate at applied BMEP 4bar(2000RPM)

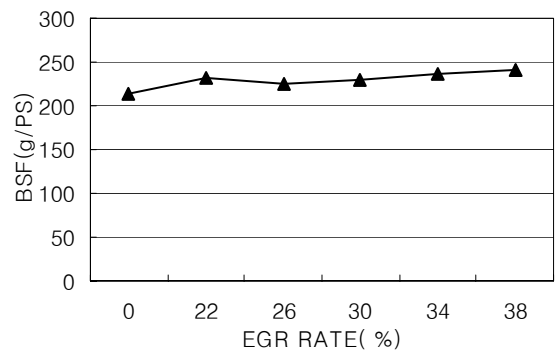


Fig. 17 BSFC according to EGR rate at BMEP 4bar(2000RPM)

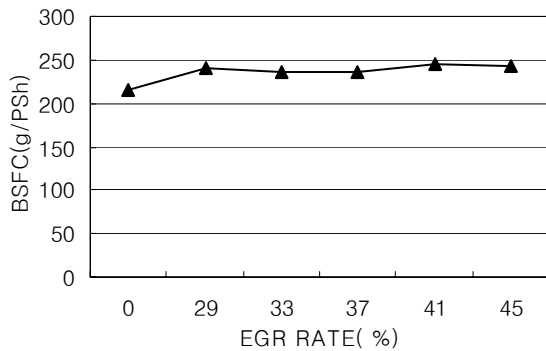


Fig. 18 BSFC according to EGR rate at BMEP 4bar(2250RPM)

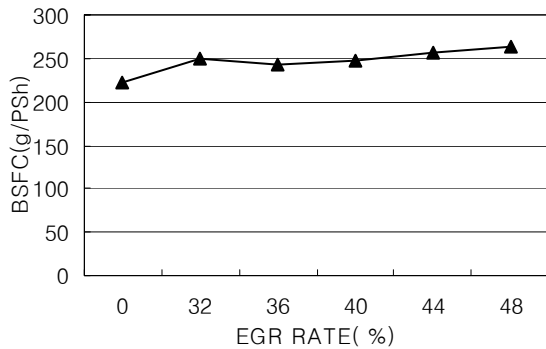


Fig. 19 BSFC according to EGR rate at BMEP 4bar(2500RPM)

4. 결 론

1. EGR율이 높아짐에 따라서 NO_x량이 감소함을 알 수 있었고 또한 Smoke량은 증가하는 것을 알 수 있었다.
2. EGR율이 높아짐에 따라서 EGR율 0일 때에는 출력이 증가하고 나머지 EGR율 구간에서는 변동이 미소함을 알 수 있었다.
3. EGR율이 높아짐에 따라서 EGR율 0일 때에는 연료소비율은 감소하고 나머지 EGR율 구간에서는 변동이 미소함을 알 수 있었다.
4. EGR이 엔진 출력에 미치는 영향은 크지 않음을 알 수 있었다.

참고문헌

- (1) 김병수, 나병철, 2001 “HSDI 디젤엔진의 배출

가스 후처리기술”, 한국자동차공학회, 23권, 제1호, pp 20 ~26

- (2) Seunghun choi, Yuntaig Hwang, Woosang Kim, Youngtaig Oh, Sangmin Park, 2003, “ An Experimental Study on Simultaneous Reduction of Smoke and NO_x wiht Property Alteration of Di-ether Group Fuel and EGR in a Diesel Engine”, The Korea Society of Automotive Engineers, Spring Conference Proceeding, pp 298~303
- (3) Jongwan Lim, Wooyoung Park, Byungmu Kang, Jungkuk Yeom, Sungsik, Chung, Jongyul Ha, 2003, “A study on Emission Chracteristics in a HSCI diesel engine applied Cooled EGR” The Korea Society of Automotive Engineers, Spring Conference Proceeding, pp 197~202
- (4) Inhyk Im, Sangki Oh, Kyiyeol Park, Wanyong Na, Doosung Baik, Youngchool Han, 2003, “An Experiment Study on the Characteristics of Performance and Exhaust Gas Emission With Charging Diesel Engine on the EGR Method, The Korea Society of Automotive Engineers, Spring Conference Proceeding, pp 410~415