

소형 디젤엔진용 E-EGR밸브 개발에 관한 실험적 연구

송창훈*, 우세종**, 이진욱**, 정용일**, 차경옥***

An Experimental Study on the Development of E-EGR Valve for Light Duty Diesel Engine

Chang-Hoon Song*, Se-Jong Woo**, Jin-Wook Lee**, Young-il Jeong**
and Kyung-Ok Cha***

Key Words: E-EGR valve(전자식 EGR밸브), EGR ratio(EGR율), NO_x(질소산화물), CVS-75모드

Abstract

EGR(Exhaust Gas Recirculation) is an effective strategy to control nitrogen oxides emissions from diesel engine. The EGR reduces NO_x through lowering the oxygen concentration in the combustion chamber as well as through heat absorption. However, application of EGR system is difficult because of the penalty in fuel consumption and the increase in particulate matter.

The engine used for the experimental was a 3-cylinder 0.8-liter turbo-charged light duty diesel engine with an electronic EGR valve.

In this study, experiments were performed at variable vehicle speeds and loads on the chassis dynamometer. To evaluate the exhaust emissions with the EGR system testing was performed using cvs-75 mode test procedure. Results of the cvs-75 mode test achieve sufficiently to meet EURO3 standards.

1. 서론

디젤엔진은 가솔린 엔진보다 높은 열효율과 낮은 연료소비율로 인하여 지구온난화의 주된 원인인 CO₂의 배출이 상대적으로 적게 배출되며 원동기로서 고부하 고효율이 가능하므로 동력원으로서 그 수요가 증가하고 있다. 이러한 장점을 가지는 디젤엔진이 승용차로서 위치를 확보하기 위해서는 가솔린 엔진에 비해 상대적으로 불리한 PM(입자상물질)과 NO_x(질소산화물)등 배기가스 저감대책이 필수적이라 할 수 있다.

배출가스 환경 규제치에 대응할 수 있는 저공해, 저연비, 고효율 엔진개발을 목표로 하는 디젤

엔진의 연구는 배기가스중의 NO_x와 PM 및 연료 소비율이 서로 상반관계(trade-off)로 인하여 이들을 동시에 저감시키면서 연비를 향상시키는 것은 매우 어려운 당면과제이다. 최근에는 점차 강화되어지고 있는 배출물 규제에 의하여 이러한 분야에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.^[1]

이중에서 NO_x저감 기술로는 연료분사 시기 지연, 연소실 형상 개선, 연료분사계 개선, EGR(배기가스 재순환)등의 방법이 사용되고 있지만, EGR시스템 적용이 일반화되고 있는 추세이다. EGR은 NO_x를 저감하기 위하여 배출가스중의 일부를 엔진으로 재 순환시키는 방법이다. 이러한 EGR시스템은 흡기의 일부분을 재순환된 배기가스로 대체시키면서 비열이 큰 CO₂의 농도가 증가하여 연소시의 온도저감으로 NO_x생성이 저해된다. 또한 재순환된 배기가스가 흡기중의 산소 일부분을 대체하므로 연소실내 산소가 감소하기 때문에 NO_x생성이 억제된다.^[2,3,4]

지금까지의 EGR밸브는 기계식 장치가 사용되

* 명지대학교 대학원 기계공학과

** 한국기계연구원

*** 명지대학교 기계공학과

어져 왔지만 배기 규제가 점차 엄격해지면서 보다 신속하고 정밀한 제어를 위하여 전자식 모터나 솔레노이드 밸브를 사용하는 E-EGR 밸브의 사용이 증가하고 있다.^[5,6]

따라서 본 연구의 목적은 E-EGR 밸브를 개발하기 위하여 터보급 소형 디젤엔진에 장착되어진 E-EGR 밸브의 특성을 파악하고자 차대 동력계상에서 여러 가지 운전조건별로 EGR 밸브의 특성 및 배기가스 저감 특성에 대하여 연구하였으며, 또한 CO, HC, NO_x, PM 및 연비가 과도하게 증가하지 않는 범위에서 최적 EGR율을 결정하여야 하므로 이러한 인자들을 고려한 엔진 작동상태별 EGR-map을 알아보았다. 마지막으로 EGR 밸브를 적용한 소형 디젤엔진이 어떠한 emission regulation을 만족하는지 cvs-75 mode test를 수행하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 EGR을 시험방법

실험차량은 smart cdi 모델로써 3.4L/100km의 연비를 가지고 있으며, 총행정체적이 799cc, turbocharger 및 intercooler가 장착되었고, E-EGR 방식이 채택되어진 차량이다. 엔진의 제원은 Table 1에 나타내었고 사진은 Fig. 1에 나타내었다.

Table 1 Specification of engine

Model	MCC smart cdi
Type	In-line, 3-cylinder
Fuel injection	Commonrail direct injection
Aspiration	TCI
Bore× Stroke	65.5× 79mm
Compression ratio	18.5 : 1
Total displacement	799cc
Max. power	30kW at 4200rpm
Max. torque	100 N· m at 1800-2800rpm

엔진의 작동 구간별 EGR율을 확인하기 위해서 측정 장비로 사용된 샤시 동력계(미국 Clayton사) 위에 차량을 위치한 후 차량운전 조건을 차속 10km/h에서 100km/h까지 변화시켜 가면서 운전하였으며 부하율 변화를 위해서 변속기를 수동모드로 1단에서 6단까지 차속에 따라 변화시켜 총 21가지의 운전조건별로 실험을 실시하였다.

EGR을 정의를 위하여 실험실내의 대기상태인

CO₂농도를 측정하였고 EGR 밸브를 약 70mm지난 intake부분에서 흡기중의 CO₂농도와 온도를 측정하였고 EGR pipe내에서 배기가스의 온도를 측정하였다. EGR율은 CO₂가스를 기준으로 정의하였으며 관련식은 아래 식 (1)과 같다.

$$\text{EGR율(\%)} = \frac{\text{흡기중의CO}_2\text{농도} - \text{대기중의CO}_2\text{농도}}{\text{배기중의CO}_2\text{농도} - \text{대기중의CO}_2\text{농도}} \times 100 \quad \dots\dots\dots(1)$$

흡기 및 배기중의 CO₂농도는 Portable Exhaust Gas Analyzer(horiba사)를 사용하였다. 또한 배기가스분석기는 Pierburg사의 디젤차량 배기가스분석기로 CO, CO₂, NO_x 및 HC를 측정하였다.



Fig. 1 Photograph of smart cdi

2.2 CVS-75모드 시험방법

차대동력계는 미국 Clayton사에서 제작된 것으로 차량 총 중량 3톤 미만의 자동차를 측정할 수 있는 동력계로 2Roll type, roller 직경 8.65", 최고 주행속도는 90mile/h, 관성중량 설정범위는 1000~6875 lbs(125 lbs간격)이다.

CVS-75모드 시험방법에 의거하여 시험을 실시하여 연비 및 배출가스를 테스트하였다. CVS-75 모드 시험방법은 chassis D/Y를 warm-up 한 후 CVS-75주행모드 Full cycle을 1회 주행하는 Pre-run을 실시한 후 차량을 실온 20~30℃의 실험실 내에 엔진이 정지된 상태로 시험 차량을 12~36시간 정차(soaking)시킨 후 엔진이 정지된 상태 그대로 샤시 동력계상으로 위치시켜 Table 2의 주행모드를 추적하여 차량을 운전한다.

Table 2 3-phase of CVS-75 mode

단 계	시간(초)	거 리	비 고
저온시동시험 초기 단계	505	5.78km	저온시동
저온시동시험 안정 단계	865	6.26km	
주 차	9~10분		
고온시동시험 초기 단계	505	5.78km	고온시동
계	42분	17.84km	

이때 동력계는 시험차량이 80.5km/h로 주행할 때의 도로부하를 재현할 수 있도록 도로 부하력을 설정하며, 아울러 차량 중량에 맞춘 등가관성 중량을 설정하였다.

Fig. 2는 cvs-75모드에 대한 실험장치의 개략도이다. Fig. 3은 차대동력계상에서의 실험장면을 나타내고 있다.

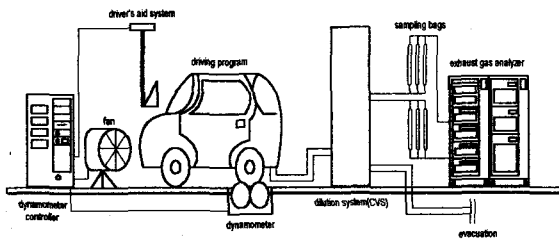


Fig. 2 Schematic diagram of experimental apparatus



Fig. 3 Experimental scenery

3. 실험결과 및 고찰

3.1 여러 가지 운전조건별 EGR을 특성

21가지의 운전조건별로 실험을 실시하였을 경우 각 조건별 배출가스의 양을 아래의 Fig. 4에

나타내었다. 전체적으로 CO와 HC의 경우에는 디젤엔진의 특성상 대부분의 운전조건이 공기과잉인 경우로 운전되므로 그 양은 미흡하게 나타나고 있다.

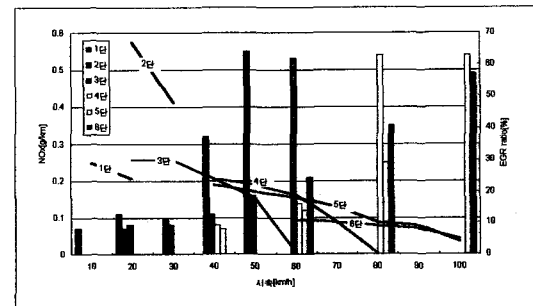
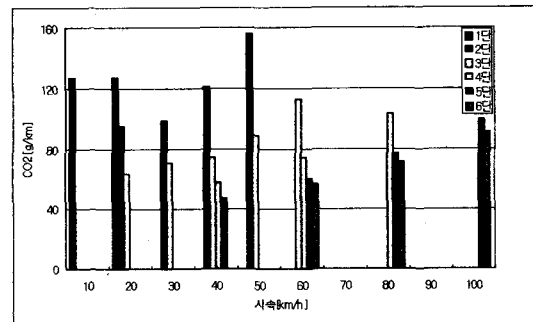
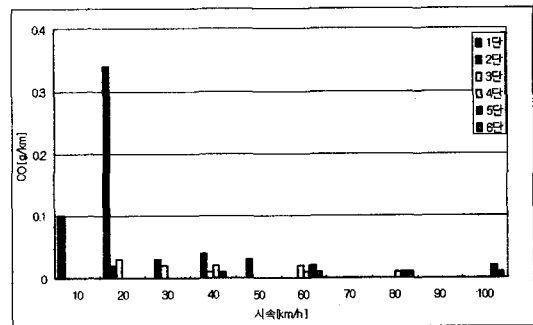
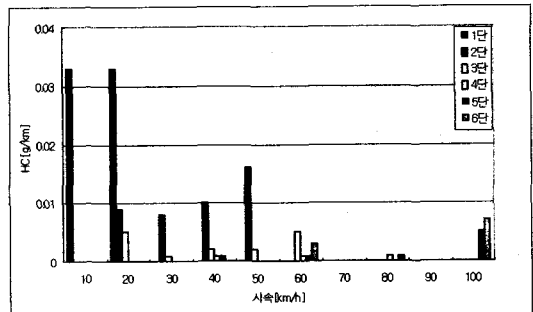


Fig. 4 Performances of exhaust emissions at variable test mode

EGR율과 NO_x의 경우를 살펴보면 2단의 경우

에 약 3000rpm에서 EGR을 48%에 대하여 NO_x는 약 0.1g/km 나타냈으며 6단 3000rpm에서 EGR을 5%에 대하여 NO_x는 0.5g/km를 나타내고 있다.

아래의 Fig. 5는 각 운전조건에서 신기와 재순환된 배기가 혼합된 온도를 나타내고 있다. 전체적으로 EGR율과 관계없이 흡기온도는 80℃미만으로 나타나고 있다. Fig. 6에서는 배기가스 온도가 최대 433℃까지 나타나고 있다. Fig. 7은 운전조건별로 EGR율을 나타내고 있다. 대략 30%구간에서 0%까지 나타나고 있으며 최대 67%인 부분도 나타나고 있다.

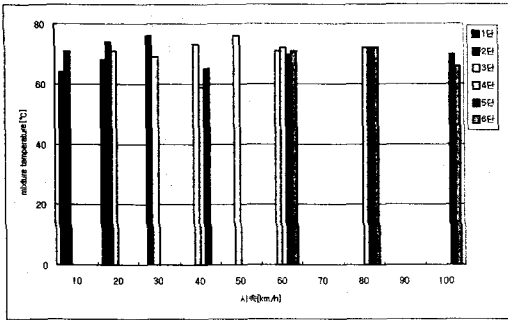


Fig. 5 Mixture temperature at variable test mode

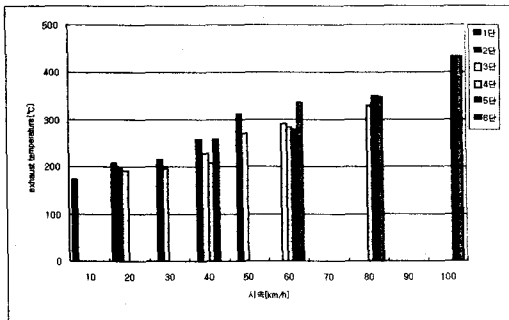


Fig. 6 Exhaust temperature at variable test mode

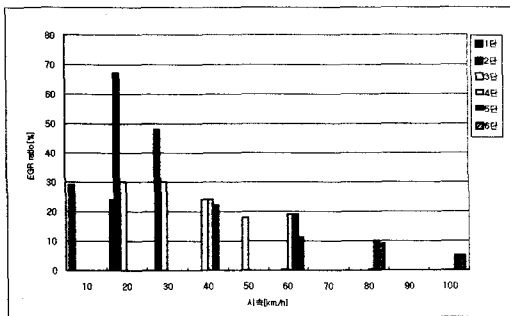


Fig. 7 EGR ratio variable test mode

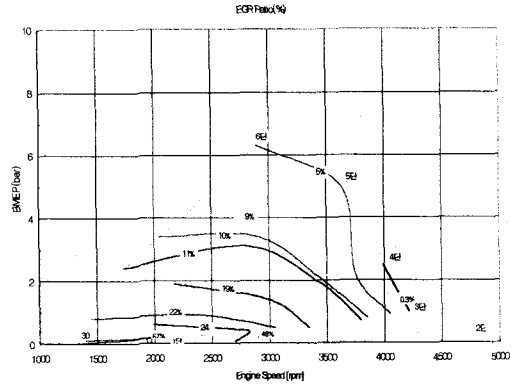


Fig. 8 EGR-map

Fig. 8은 실험에 사용되어진 차량의 운전조건별 EGR율의 관계를 나타낸 그림이다. 차대 동력계상에서 실험을 수행하였기 때문에 측정구간이 제한적이기는 하지만 엔진 EGR특성의 정성적 분석은 충분하리라고 사료된다. 엔진의 저속 저부하 영역에서 EGR율이 67%까지 크게 나타나고 있으며 고속 고부하 영역으로 갈수록 EGR율이 감소하게 된다. 디젤엔진의 경우에는 흡입공기 조절 없이 실질적으로 다량의 공기가 실린더에 유입하므로 저속의 영역에서도 다량의 EGR로 인하여 상당량의 NO_x를 감소시킬 수 있다.

따라서 고속 고부하 영역에서는 EGR율에 따라서 연소에 필요한 흡입공기량의 부족으로 산소농도가 줄어들어 출력감소는 물론 연비 및 매연 등에 미치는 영향이 크다는 것을 알 수 있다.

3.2 CVS-75모드 시험결과

시험차량은 3L자동차(3.4L/100km)로서 차대동력계상에서 CVS-75모드 시험을 통하여 국내 공인연비 및 배출가스를 측정하였다.

Fig. 9는 cvs-75모드 시험결과를 보여준다. 각 phase별로 배기가스의 양을 나타내고 있다. CO, HC는 cold start시에 다량으로 배출되는 것을 보여준다. 특히 CO₂배출은 90g/km로 2008년부터 적용되는 CO₂ 규제에 대비해서 중요한 역할을 할 수 있는 차종으로 분석된다.

Table 3은 CVS-75 모드로 시험한 배출가스 및 연비 결과이다. Smart car는 EURO3 기준을 만족하고 있으며, 2005년부터 시행되는 EURO4 기준에는 약간 못 미치는 것으로 나타나고 있다.

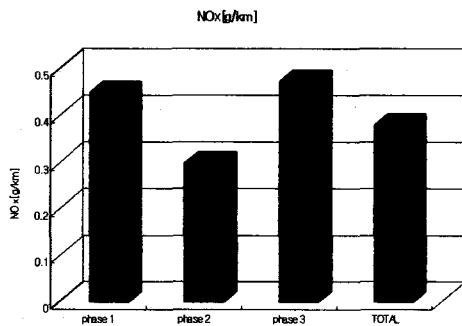
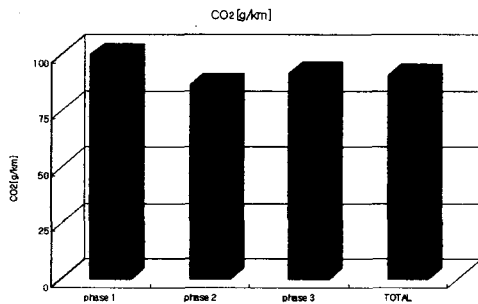
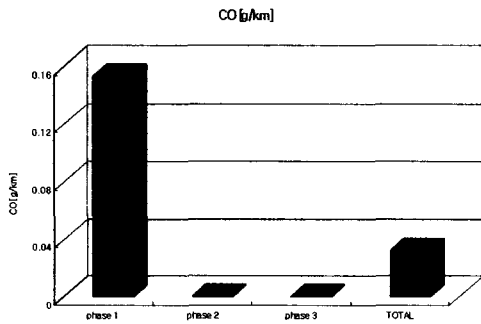
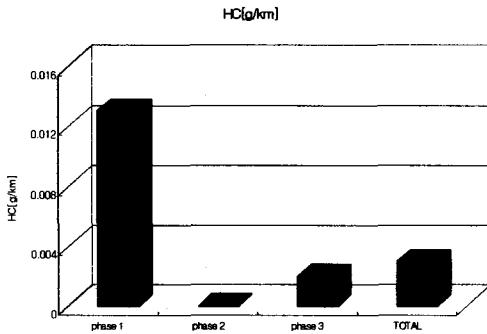


Fig. 9 Each phase results of cvs-75 mode test

Table 3 Results of cvs-75 mode test

[g/km]	CO	HC	NO _x	PM	CO ₂	FE
phase1	0.153	0.013	0.447	-	99.601	26.92
phase2	0	0	0.298	-	86.264	31.17
phase3	0	0.002	0.472	-	91.328	29.44
total	0.032	0.003	0.377	0.036	90.42	29.72
EURO3	0.64	0.05	0.5	0.05		
EURO4	0.5	0.025	0.25	0.025		

4. 결론

차대동력계 상에서 실험을 실시하여 운전조건 별로 EGR율을 확인할 수 있었으며 동급의 다른 엔진과 비교시에 비슷한 경향의 EGR-map을 나타내었다.

실험에 사용되어진 차량은 NO_x, PM등이 EURO3를 충분히 만족하고 있었으며 EURO4에는 약간 못 미치는 것으로 나타났다.

또한 EGR율은 저속 저부하 영역에서 최대 67%를 보이며 속도와 부하가 커질수록 감소하는 특징을 가진다. 따라서 NO_x의 주된 발생 영역인 고속 고부하 운전조건에서의 EGR율을 확보할 수 있는 기술이 더욱 요구된다.

향후에는 유니크에서 개발한 E-EGR밸브 시제품을 장착하여 차대 동력계에서 성능을 비교하고 cold EGR 기술을 적용하였을 경우 나타나는 현상들을 비교할 계획이다.

후기

본 연구는 G7 차세대 자동차 기술개발사업(저공해기술과제)의 일환으로써 한국기계연구원, 유니크 기술연구소, 명지대학교와 공동으로 수행한 연구 결과의 일부입니다.

참고문헌

- [1] P. Zelenka, H. Aufinger, W. Reczek and W. Cartellieri, "Cooled EGR-A Key Technology for Future Efficient HD Diesels", SAE paper 980190, 1998.
- [2] J. A. Leet, A. Matheaus and D. Dickey, "EGR System Integration on a Pump Line-Nozzle

- Engine”, SAE paper 980181, 1998.
- [3] R. S. G. Baert, D.E. Beckman and A. Veen, “Efficient EGR Technology for Future HD Diesel Engine Emission Targets”, SAE paper 1999-01-0837, 1999.
- [4] N. Ladommatos, S. M. Abdelhalim and H. Zhao, “The Effects of Carbon Dioxide in EGR on Diesel Engine Emissions”, IMechE paper NO. C517/028/96, 1996.
- [5] 한영출, 엄명도, 류정호,..“대형디젤기관에서 EGR장착에 의한 성능 및 배출가스의 특성에 관한 연구-(1)” KSAE paper 99380167, 1999.
- [6] 정용일, 윤재건 “자동차와 환경” pp83-85, 1998.