전자제어 EGR을 사용한 대형디젤기관의 배출가스연구

박귀열*, 오용석+, 문병철+

(논문접수일 2005. 9. 12, 심사완료일 2005. 10. 19)

An Exhaust Gas Study of HD Diesel Engine with the Electronic control EGR

Kyi-yeol Park*, Yong-suk Oh+, Byung-chul Moon+

Abstract

Modern after-treatment technology has been developed variously in order to decrease exhausted emission in diesel engine. However, it seems very difficult to comply with updated stringent emission standards. Specially, it has been many years that exhaust gas from gasoline automobile rather than from diesel is the major object concerned by Korea and other countries, and it is strongly required on the reduction techniques on harmful NOx and PM among those compositions. Thus, this research focused on the electronic control EGR and the target for this research is heavy-duty turbo-diesel engine with EGR technology(High pressure route and low pressure route system).

Key Words : After-treatment technology(후처리기술), NOx(질소산화물), High pressure route and low pressure route(고압루트와 저압루트), Electronic control EGR(전자제어 배기가스재순환), HD diesel engine(대형디젤기관)

1. 서 론

최근 우리나라 급속한 경제성장과 더불어 환경오염문제가 심각하게 대두되고 있어, 오염원을 줄이기 위한 다양한 기술이 개발되고 있으며 엄격한 배출가스를 규제에 맞추기 위한 노력도 점차 강력해지고 있는 현실이다[1]. 그 중에서 미국 캘리포니아주의 LEV(Low Emission Vehicle) 프로그램과 유럽의 EURO-Ⅳ가 대표적이다. 하지만 EURO-Ⅳ기준을 만족하기 위해서는 디젤차량의 주 오염물질인 NOx와 PM을 저감하는 기술개발이 반드시 필요한 실정이다. 더욱이 선진국에서는 2007년까지 첨단 후처리 장치를 적용하지 않으면 PM과 NOx규제를 만족시킬 수 없도록 규제를 강화하고 있다[2].

이에 발맞추어 여러 가지 저감 기술이 연구되고 있으나 NOx를 저감시키는데 지금까지 알려져 온 방법 중에서 가장 효과적이며 경제적 기술인 EGR장치(EGR : Exhaust Gas Recirculation)에 관한 연구가 활발히 진행 중이다. 또 한 PM 저감 기술로는 배기후처리장치인 DPF장치(DPF : Diesel Particulate Filter)가 연구 되고 있다[3]. 하지만 이 두 물질은

* 인천기능대학 자동차과 (kypark@kopo.ac.kr)
주소: 670-802 경남 거창군 거창읍 송정리 700
+ 거창기능대학 자동차과

상반관계가 있어서 동시저감의 어려움이 많은 상태이고 궁극적 목표는 NOx와 PM의 동시저감 기술개발이 필요하지만 본 연구에서는 EGR기술에 대하여 집중적으로 다루고자 한다. 따라서 본 논문에서는 고압루트식 EGR과 저압루트식 EGR을 적용하여 EGR 장치를 통한 배기가스 특성과 EGR 장치에 의한 영향을 평가하였다. 각각의 EGR방식에 따른 배출가스 특성과 기관성능에 어떠한 영향을 미치는지를 확인하기 위해 Cooled EGR과 전자제어 방식 EGR밸브를 함께 적용하여 EGR에 대한 영향을 분석하고자 하였다.

EGR을 함으로서 배출되는 배기가스 중 CO, HC, PM 및 SO_2 등은 증가되나 NOx는 감소하므로 NOx에 대한 평가 및 저압루트방식과 고압루트방식의 EGR을 비교 실험하여, 매연특성시험에서 스모크와 NOx의 상반관계를 확인하여 기준값과 비교하였다.

2. EGR 시스템

EGR을 대형 트럭과 버스용 터보차저-인터쿨러 디젤기관에 적용하면, 기관 내구성 문제와 더불어, 터보기구의 내구성과 신뢰성이 유지되어야 하고, 다른 부품의 수정이 필요하게 된다. 또한, 터보차저와 인터쿨러를 장착한 디젤기관에서는 일반적으로 부스트 압력이 터빈 입구의 압력보다 높은 영역이 존재하므로, 배기가스를 흡기쪽으로 재순환시키기 위한 압력차가 불충분하다는 문제가 있다. 이 문제를 해결하기 위해 배기에서 흡기까지의 EGR 경로에는 저압루트와 고압루트방식이 고안되고 있다[4].

저압루트(Low pressure route) 방식은 터빈출구에서 컴프레서 입구로 배기가스를 공급하는 방식으로 배기가스를 재순환시키기에 충분한 압력차를 쉽게 얻을 수 있으므로, 폭넓은 기관작동 범위에서 EGR율 제어가 가능하다. 그러나, 배기가스가 컴프레서와 인터쿨러를 통과하므로, 이들의 내구성 및 신뢰성에 문제가 발생한다. 또한, 고온의 배기가스로 인해 급기온도가 컴프레서 설계온도를 초과하게 되고, 인터쿨러를 오염시켜 압력 손실이 증가하는 결과를 가져오게 된다.

고압루트(High pressure route)방식은 터빈입구에서 컴프레서 출구로 배기가스를 도입하는 것으로, 재순환 배기가스는 컴프래서나 인터쿨러를 통과하지 않으므로 저압루트에서와 같은 문제는 없다. 그러나 고부하 작동시에는 부스트압력이 배기메니폴드 압력보다 높아지므로, 저부하 영역으로 EGR 사용이 제한된다. 따라서 고부하 영역에서 운전빈도가 높은 대형트릭과 버스용 터보차저와 인터쿨러를 장착한 디젤기관에 EGR을 적용했을 때는 앞에서 언급한 부적절한 압력차 문제를 해결하기 위해서, 강제적으로 EGR 가스를 공급할 수 있는 부수 장치가 필요하다.

따라서 이러한 압력차이를 극복하기 위하여 블로워나 벤츄리관을 사용하는 방법이 쓰이고 있다[5].

3. 실험장치 및 방법

3.1 실험장치

본 연구에서 적용한 EGR시스템은 배기메니폴드에서 배기가스를 재순환시키는 저압루트 및 고압루트 EGR시스템으로 벤추리관, EGR 쿨러 및 EGR 밸브 등으로 구성되어 있으며, 저압루트 및 고압루트 시스템 구성도를 Fig. 1에 나타내었다.

실린더내의 체적효율의 증가와 EGR 밸브의 내구성 측면에서 배기가스 온도를 낮추기 위해 배기관 측의 EGR밸브로의 분지관에 수냉식 EGR 쿨러를 장착하였으며, 쿨러에 지나는 냉매량을 조절하여 EGR 가스온도를 조절하였고, 냉매는 20~25℃ 물을 사용하였다. EGR 가스량 확보를 위해 벤추리관을 설치하고 EGR쿨러를 거쳐 냉각된 EGR가스를 벤츄리관의 압력차를 이용해 흡기메니폴드로 유입되도록 하였다.

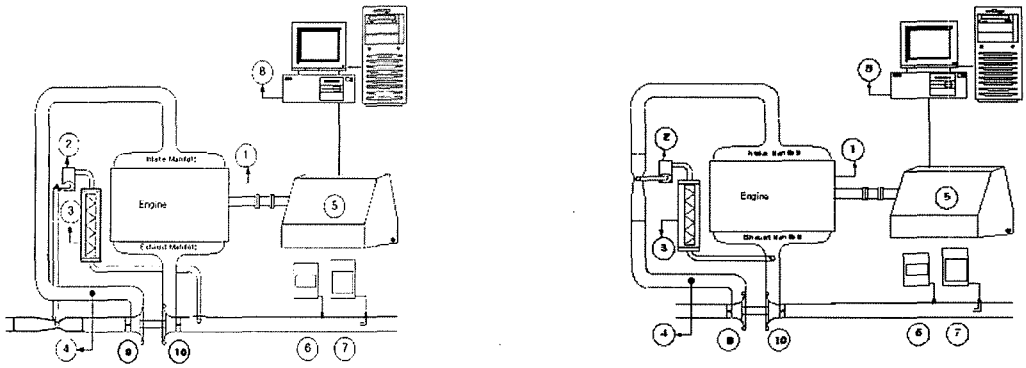
사용된 실험기관의 제원은 Table 1과 같다.

3.2 실험방법

대형터보디젤기관에 배기가스재순환장치를 장착함에 따른 기관의 성능(출력, 토크 및 연료소비율의 변화)과 배기가스성능(CO, THC, NOx, Smoke 및 PM)을 파악하기 위한 운전조건으로 기관회전수를 1000rpm, 최대토크지점인 1400rpm, 고속회전수에 속하는 1800rpm 및 최대출력지점인 2200rpm으로 각각 고정하고, 그때 부하는 0%, 25%, 50%, 75% 및 100% 조건에서 EGR율을 최저 0%부터 최

Table 1 Specification of test engine

Item	Specifications
Type	In-line, 6 cylinders
Fuel injection	Direct injection
Aspiration	Turbo-charged
Bore & stroke	111mm×139mm
Com. ratio	16.7 : 1
Displacement	8,071cc
Rated power	132kW/2200rpm
Max. torque	696Nm/1200rpm



(a) low pressure route EGR system **(b) high pressure route EGR system**

1. DI diesel Engine 2. EGR valve 3. EGR cooler
4. Air flow sensor 5. EC Dyn 6. Exhaist gas analyzer
7. Mini dilution tunnel 8. Dynamo-meter controller 9. Compressor 10. Turbine

Fig. 1 Schematic diagrams of experiment

대 20%까지 10%씩 변화시켜가며 측정하였다. 또한 Cooled -EGR장치를 이용하여 인위적으로 기관의 재순환되는 배기가스온도를 50℃ 이하로 하여 기관성능 및 배기가스성능을 측정, 분석하였다.

4. 결과 및 고찰

Cooled-EGR시스템을 장착한 대형 터보 디젤기관에 고압루트 방식과 저압루트 방식에 따른 기관성능특성과 배기가스특성을 파악하기 위하여 기관 작동 조건을 1000rpm에서 2200rpm까지 전부하 상태에서 측정하였다.

4.1 기관 성능 결과

기관 출력 결과를 Fig. 2에 비교하였다. 그림에서 알 수 있듯이 대형터보디젤기관에서 베이스상태와 비교하여 EGR율이 증가함에 따라 출력 감소 경향이 있음을 알 수 있었으며, 전체적으로 본 대상기관의 경우 대형기관이 최대토크점 및 최대출력에서 높은 빈도로 운전됨을 고려할 때 4~6%의 출력 감소가 나타나고 있었다. 따라서 EGR율의 증가에 따른 고압루트 방식 EGR과 저압루트 방식 EGR에서 출력에 미치는 영향은 크지 않음을 알 수 있었다.

Fig. 3에서 보는 바와 같이 각 기관 회전수에서 EGR율이 0%(base)에서 20%로 상승함에 따라 저속 영역에서는 약간

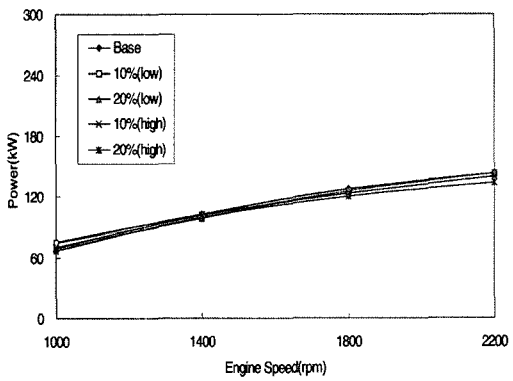


Fig. 2 Effects of high pressure route and low pressure route Cooled-EGR on power with engine speed at full load

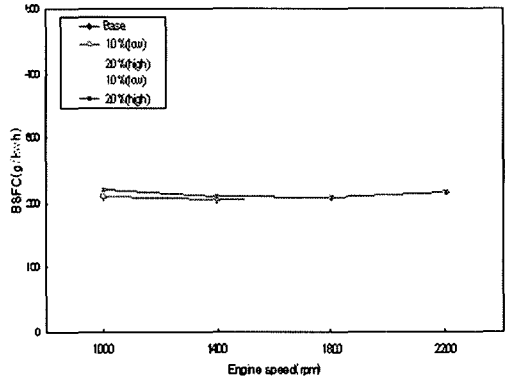


Fig. 3 Effects of high pressure route and low pressure route Cooled-EGR on BSFC with engine speed at full load

의 연료소비율 상승경향을 보이고 고속 영역에서는 약간의 연료소비율 감소 경향이 나타남을 볼 수 있다.

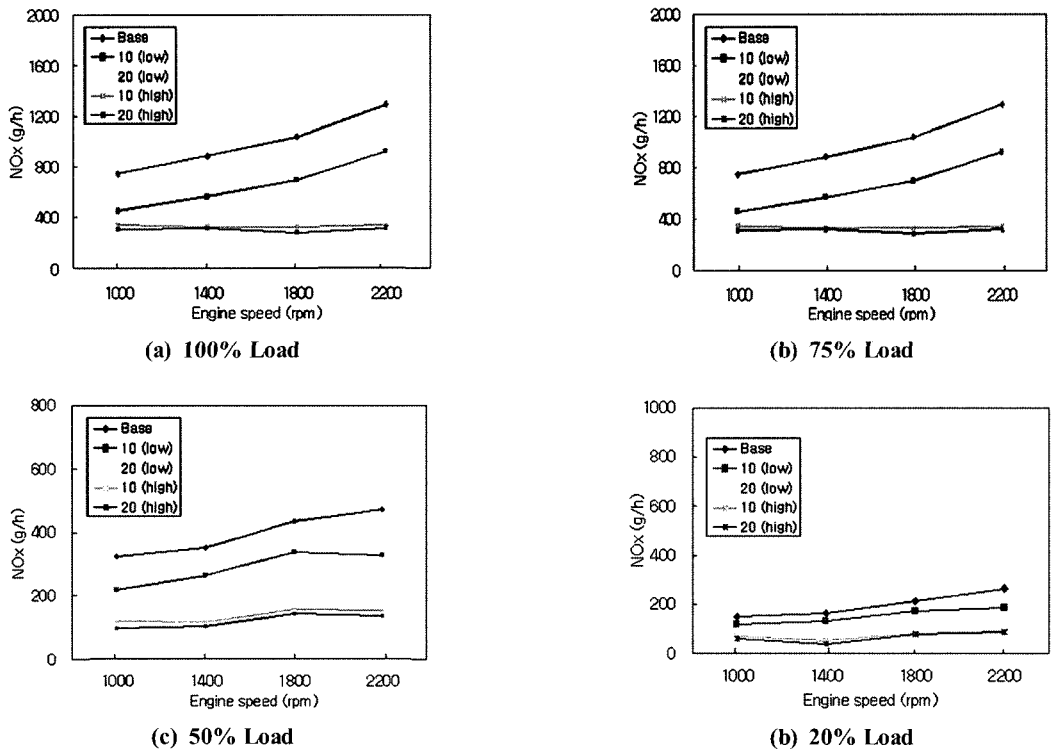
4.2 배출가스 결과

4.2.1 질소산화물 결과

Fig. 4는 기관회전수를 1000, 1400, 1800, 및 2200rpm으로 고정한 상태에서 부하율을 25, 50, 75 및 100%로 변화시켜가면서 고압루트와 저압루트방식 EGR율에 따른 NOx의 변화를 나타낸 결과 그래프이다.

Fig. 4에서 알 수 있듯이 저압루트 방식의 EGR그래프에서 보면 EGR율 20%에서 1400rpm～1800rpm 사이에서는 다소 증가하는 경향을 보여주고 있으며 전체적으로 저부하 조건에서 NOx의 저감효과는 크지 않았고, NOx의 저감 정도는 각 기관회전수에서 부하율이 증가할수록 저감효과가 나타났다.

저압루트에서는 EGR 적용 시 NOx 발생량을 살펴보면 EGR율 10%나 20%는 비슷한 경향을 보이며 상승하는 것을 알 수 있다. 이는 저부하 운전조건에서는 고부하 운전조건에 비해 상대적으로 공기과잉상태여서 EGR에 의한 영향을 적게 받고 연소에 의해 소비되는 산소량이 적어짐에 따라서 배기가스 내 CO_2 및 H_2O량이 상대적으로 낮아 EGR에 의한 영향을 적게 받게 된다. 반면 고부하에서는 연소를 위해 많은 양의 산소가 소모되어 연소생성물을 포함한 배기가스가 급기 중 산소농도를 크게 감소시켜, 높은 NOx저감 효과를 나타낸다. 또한 고압루트 방식 EGR에서는 EGR율 20%에서는 NOx 배출량이 저압루트 방식보다 저부하에서는 22% 정도 낮은 NOx 배출량을 보이고 고부하에서는 저압루트 방식EGR에 비해 56%의 낮은 NOx 배출량을 보인다. 이는 EGR방식의 차이에 의해 산소농도 감소에 따른 점화지연의 연장이 연소실의 최고 압력과 온도를 낮추게 되어 흡입공기중의 질소와 산소의 고온반응이 억제되는 것으로 판단된다. 또한 동일 조건의 EGR 방식에서 비교해보면 고부하 영역에서 운전빈도가 높은 대형트럭과 버스용 터보차저와 인터쿨러를 장착한 디젤기관에 고압루트 방식 EGR을



(a) 100% Load (b) 75% Load

(c) 50% Load (b) 20% Load

Fig. 4 Effects of high pressure route and low pressure route Cooled-EGR on NOx emission characteristics of each engine speed by various load rate

적용했을 때는 고압루트방식에서 부적절한 압력차 문제를 해결하기 위해서, 벤츄리관의 압력강하를 이용하여 재순환하는 방법으로 EGR밸브의 작동영역을 최적화시키는 전자제어 Cooled-EGR을 사용하였기 때문에 저압루트방식에 비해 고압루트에서 많은 저감율을 나타내었다 또한 실린더 안으로 흡입되는 혼합가스의 열용량이 순수공기의 열용량보다 큰 이유도 연소실의 화염온도 감소에 일조하는 것으로 판단된다.

4.2.2. 입자상물질 결과

Fig. 5는 기관회전수를 1000, 1400, 1800, 및 2200rpm으로 고정한 상태에서 각 기관회전수마다 부하율은 25, 50, 75 및 100%로 변화시켜 가면서 EGR율에 따른 PM의 변화를 나타낸 결과 그래프이다. Fig. 5의 (a)~(d)에서 알 수 있듯이 전체적으로 PM은 기관회전수별 부하별로 동일한 기관회전수에서 EGR 방식에 따른 PM 배출량을 비교하면 저압루트 EGR 방식에서는 전부하시 EGR률 20%, 1000rpm에서 베이스 대비 PM은 50% 증가하였고 rpm이 증가 할수록 PM의 배출량은 줄어드는 양상을 보였다.

또한 고압루트 EGR 방식에서는 EGR률 20%, 1000rpm에서 베이스 대비 120%이상 증가하였고 rpm이 증가할수록 저압루트 EGR방식과 같은 경향을 보이며 감소하였다.

이는 두 가지 EGR 방식에서 보듯이 PM은 저부하보다는 고부하율에서 다량 배출되며, 75% 이상의 고부하 영역에서 EGR 적용에 따라 PM은 2배 이상 증가하였으며, 저부하 영역에서는 EGR의 영향은 크지 않았다. 이는 저부하 영역에서는 배기가스를 재순환 시키더라도 여전히 공기과잉상태에서 연소하므로 큰 영향을 주지 않는 것으로 생각되며, 중부하 이상의 영역에서는 EGR 가스가 공기과잉율의 감소에 크게 영향을 주어 PM의 증가에 큰 영향을 주는 것으로 생각된다.

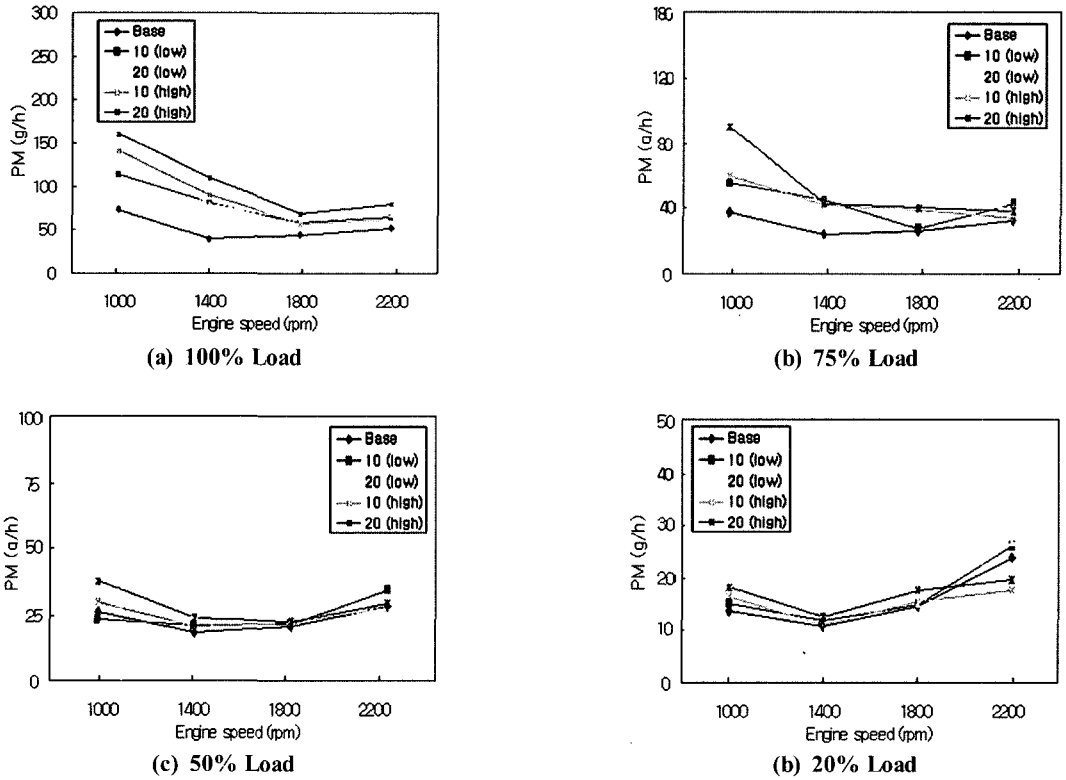


Fig. 5 Effects of high pressure route and low pressure route Cooled-EGR on PM emission characteristics of each engine speed by various load rate

5. 결 론

대형디젤기관에서 배출되는 NOx를 저감하기위하여 흡기 매니폴드에 벤츄리관과 전자제어식 EGR을 고압루트식과 저압루트식 방법으로 장착하여 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 기관성능은 EGR율 20%시 기관출력 최대 6% 감소, 연비 최대 약 4% 정도 증가하여 출력감소에 대한 적절한 EGR제어가 필요할 것으로 사료된다.

(2) NOx 배출량은 고부하 및 고회전 영역으로 갈수록 저감율이 증가하였으며 특히 전부하 영역에서 고압루트방식이 저압루트 방식에 비해 최고 26%에서 최대 19%까지 감소함을 보여주었다.

(3) PM 배출량은 EGR율이 증가할수록 베이스 대비 최대 320%로 증가하여 규제치에 만족할 수 없어 향후 규제치에 만족할 만한 후처리장치가 필요할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

(1) Han, Y. C., Rha, W. Y., Oh, Y. S., Moon, B. C., Park, B. K. and Park, K. Y., 2001, "A Study on NOx and Smoke by Exhaust Gas Measuring Method of Light -Duty Engine," *Journal of the KSMTE*, Vol. 10, No. 3, pp. 7~12.

(2) Yeo, G. K., 2002, "Trends of Automotive Catalysts Technologies for Low Emission Vehicle," *Journal of the KSAE*, Vol. 24, No. 1, pp. 28~32.

(3) Oh, S. K., Baik, D. S., Moon, B. C., Han, Y. C. and Lee, J. S., 2004, "Study on Performance and Exhaust Emissions for a Heavy-Duty Diesel Engine with a CR-DPF," *JSAE Annual Congress*, No. 28-04, pp. 5~10.

(4) Graf, G., Hrauda, G. and Bartsch, P., 2000, "Layout of a High Load EGR System for LD, MD and HD Truck Engines by Means of Simulation," *Journal of the SAE*, No. 2000-01-0225.

(5) Fasion, I. L., 1997, "The effect of ozone on diesel soot precursors," *Master of engineering thesis of Viginia polytechnic institute*, pp. 3~11.