

## 대형디젤기관에서 EGR에 의한 배출가스 연구

### A Exhaust Gas Study by EGR in Heavy-Duty Diesel Engine

한영출 · 류정호<sup>1)</sup> · 오용석<sup>2)</sup> · 이현우<sup>3)</sup> · 강호인<sup>4)</sup>

국민대학교 기계공학과, <sup>1)</sup>국립환경연구원,

<sup>2)</sup>국민대학교 대학원, <sup>3)</sup>(주) UNICK, <sup>4)</sup>동해대학교 자동차공학과

(2000년 2월 15일 접수, 2000년 5월 24일 채택)

Young-Chool Han, Jung-Ho Ryu<sup>1)</sup>, Yong-Suk Oh<sup>2)</sup>,

Hyun-Woo Lee<sup>3)</sup> and Ho-In Kang<sup>4)</sup>

Department of Mechanical Engineering, Kook Min University

<sup>1)</sup>National Institute of Environmental Research, <sup>2)</sup>Graduate School, Kook Min University,

<sup>3)</sup>UNICK Corporation, <sup>4)</sup>Department of Automotive Engineering, Tong Hae University

(Received 15 February 2000; accepted 24 May 2000)

### Abstract

EGR (Exhaust Gas Recirculation) is known as the technique reducing the NOx emissions from diesel engine. Low pressure roote and high pressure roote are applied for heavy-duty diesel engine are.

In this study, as research for the heavy duty diesel engine equipped with EGR, reduction characteristic of CO, THC, NOx, and PM in HD diesel engines are investigated by applying EGR device. Also, through the experiments using 11 liters, turbocharged diesel engine with EGR valve and intercooler, exhaust gas reduction characteristics were measured as changing in EGR rate according to D-13 mode.

**Key words :** EGR, CO, THC, NOx, PM, D-13Mode

### 1. 서 론

자동차 배출가스에 대한 규제는 세계적으로 계속 강화되고 있으며, 우리나라의 2000년도 배기ガス 규제도 이미 선진국 수준으로 크게 강화되고 있다. 정용일(1995)에 의하면 국내 대도시의 공기오염에 대형디젤차가 차지하는 비율은 질소산화물이 50% 이상, 입자상물질은 84% 이상을 차지하고 있어 이에 대한 대책이 시급함을 언급하였다. 질소산화물의 저감기술로 배기ガス재순환(EGR)이 매우 효율적이고, 경제적인 기술로 알려져 있으나, 디젤자동차의

배기규제가 강화될 경우 현재의 디젤차량에 적용되고 있는 기계식 EGR밸브로서는 정밀하고 신속한 제어가 어려워 대형디젤차 배기ガス의 규제치를 만족하기에는 어려움이 있다. Noboru Uchida *et al.* (1993)도 소형디젤기관이나 가솔린 기관은 EGR을 적용시키기가 대형차저기관에 적용시키는 것이 압력차이 등 때문에 바로 적용시키는데는 다소 어려움이 있음을 발표한 바 있다. 트럭이나 버스 등에 사용되는 대형디젤기관은 고부하 운전빈도가 높아 이 영역에서의 EGR사용이 절대적으로 필요하며, 이를 위해서는 EGR을 위한 배기매니폴드 압력이 흡기매니폴드 압력보다 커야하며, 고부하 영역에서

의 배기가스온도가 700°C까지 도달하는 고온이기 때문에 가솔린의 400°C에 비해 내열성을 크게 향상 시켜야 한다. 또한 고온의 EGR가스에 의한 충진효율 저하를 방지하기 위한 장치도 필요하다.

따라서 본 연구에서는 배기량 11,000cc급 대형터보디젤기관에 EGR밸브를 장착하여 장착전·후의 성능과 연비를 측정하였고, 유해가스 배출측정을 위해 현재 대형디젤기관의 배출가스 측정모드인 D-13모드를 선정하여 유해가스 배출성분 중에서 CO, HC, PM 그리고 NOx의 배출량을 비교·검토하였다.

## 2. 이론적 고찰

### 2.1 EGR 기술

그림 1(a)는 터보차저의 터빈출구에서 콤프레샤입구로 EGR통로를 설치한 방식 (low pressure route)으로 압력차가 크기 때문에 기관의 넓은 작동영역에서 EGR량을 제어할 수 있다. 그러나 배기가스가 콤프레샤와 인터쿨러를 통과하기 때문에 이들의 내구성과 신뢰성에 문제를 야기하며, 또한 흡기온도가 콤프레샤의 설계온도를 초과할 수도 있다. 반면 그림 1(b)는 터빈입구 이전의 기관배기관에서 콤프레샤 이후의 흡기관을 연결한 high pressure route 방식으로 배기가스가 콤프레샤와 인터쿨러를 지나가지

않기 때문에 이들 장치에 영향을 미치지는 않는다. 이 방식은 디젤승용차용 과급기관에 사용되고 있으나 기관의 고부하 작동시 흡기관측 압력이 배기관측 압력보다 높아 EGR을 사용할 수 없고 따라서 기관의 저부하영역으로 사용이 제한된다.

High pressure route 방식에서는 충분한 EGR량을 공급하기가 어렵기 때문에 이 시스템을 대형디젤기관에 적용하기 위해서는 강제적으로 EGR가스를 공급할 수 있는 EGR pump가 필요하다. 그러나 트럭이나 버스 등에 사용되는 대형디젤기관은 배기온도가 높은 고부하 운전빈도가 많아 내열성이 요구되며, 또한 고온의 EGR가스에 의한 충진효율저하를 방지하기 위해 Cooled EGR방식이 필요하다. 고부하 영역에서 매연과 PM이 훨씬 높게 발생되기 때문에 EGR밸브와 기관마모 및 내식성에 대한 대책이 필요하며 재순환가스의 전처리기술 등의 적용이 가능하다. 따라서 엄격한 배기규제에 대응하기 위해서는 가능한 한 EGR제어속도가 빨라야 할 것이며 이에 대해서 류정호(1998)는 종래의 기계식방식 대신 전자제어식 솔레노이드 EGR밸브 사용도 불가피할 것이라고 언급하였다.

### 2.2 EGR의 질소산화물 저감원리

EGR(Exhaust Gas Recirculation)은 NOx저감을 위한 가장 효과적인 방법의 하나로서 가솔린기관에서

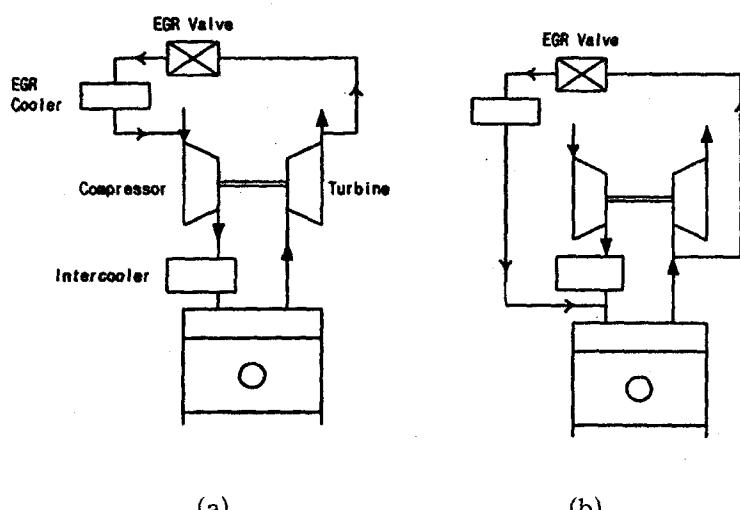


Fig. 1. EGR type of turbo diesel engine.

는 이미 실용화되어 사용되고 있다. 한영출 등 (1999)은 EGR의 기본 개념을 배기ガ스의  $\text{CO}_2$ 나  $\text{H}_2\text{O}$ 등과 같은 불활성ガ스가 흡기의 일부와 치환되어 혼입됨으로써 혼합기의 열용량이 증대되어 실린더내 연소가스 온도상승을 억제하며 또한 공기과잉율을 낮추어 Thermal NOx 생성을 억제함으로써 전체 NOx 발생량을 줄이는 원리라고 설명하였다. 또한 흡기의 일부가 산소농도가 낮은 배기ガ스로 치환되므로 연소실내 산소가 감소하기 때문에 NOx 생성이 억제된다. 디젤기관의 EGR에 의한 NOx 저감효과는 가솔린기관과는 차이가 있다. Admir *et al.* (1998)도 가솔린기관과 디젤기관의 EGR기술에 따른 NOx의 저감 원리가 다르다는 것을 언급한 바 있다. 가솔린기관에서는 EGRガ스가 연료혼합기와 균일하게 혼합되기 때문에 연소화염을 효율적으로 냉각시킨다. 반면 디젤기관의 경우는 연료혼합기가 공간적으로 매우 불균일하기 때문에 EGRガ스가 연소화염을 냉각시키는 데는 공간적으로 제한되어 있다. 따라서 디젤기관에서 EGR에 의한 NOx저감 메카니즘은 가솔린기관처럼 EGRガ스가 연소온도를 낮춘다는 설명보다는 연소공기의 산소농도를 저감 시킴으로써 NOx가 저감된다는 이론이 강하게 제시

되고 있으며 현재 이것들의 규명에 대한 연구가 계속되고 있다.

### 3. 실험방법

#### 3. 1 실험장치

##### 3. 1. 1 실험기관

실험기관은 국내에서 생산, 제작되어 시내버스 및 대형트럭 등에 가장 많이 탑재되는 Turbo charger 사용 대형기관을 대상으로 하였으며 주요제원은 표 1과 같다.

##### 3. 1. 2 측정장치

대형기관동력계는 630 kW의 AC동력계(오스트리아 AVL사, APA DYNOL)로서 그림 2는 기관동력계

Table 1. Specifications of test engine.

Items	Specifications
Maker	DAEWOO
Model	DE12T
Displacement	11,051cc
Max. Power	300 PS / 2,200 rpm
Max. Torque	110 kgf · m / 1,300 rpm

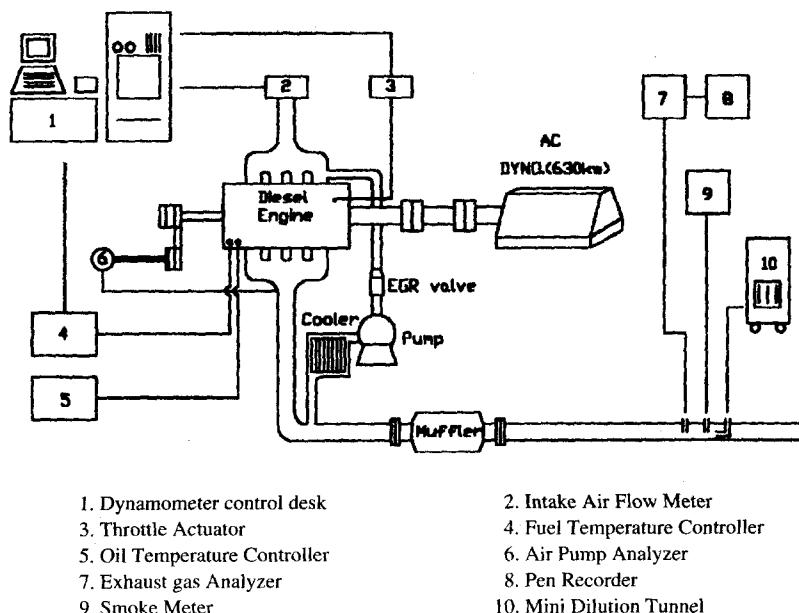


Fig. 2. Schematic diagram of experimental measuring apparatus.

를 비롯한 측정장치의 구성도를 나타낸다.

### 3.2 실험방법

디젤기관 배출가스 측정장치(Horiba사, MEXA-9100D)는 디젤기관의 배출가스 중 CO, THC, NOx 및 CO<sub>2</sub>를 분석할 수 있는 장비로서 측정원리는 다음과 같다. CO 및 CO<sub>2</sub>는 비분산적외선분석법(ND-IR, Nondispersive infrared), HC는 가열식불꽃이온화 검출기법(HFID, Heated flame ionization detector), NOx는 화학발광법(CLD, Chemiluminescence detector)을 사용하였다.

배기재순환장치(EGR)의 장착에 따른 NOx를 포함한 CO, THC 및 PM은 기관성능 측정조건과 동일

한 운전조건에서 측정하였으며, 또한 현행 우리나라 중량자동차 배출가스 규제시험모드인 D-13모드를 선정하여 EGR장착에 따른 EGR율별 배출가스를 측정, 분석함으로 향후 EGR적용에 따른 국내 중량 디젤자동차 배출허용기준 달성을 여부를 확인코자 하였다.

### 4. 결과 및 고찰

그림 3은 전부하율에서 EGR율을 5%, 10%, 15%, 및 20%씩 각각 변화시켰을 때 1,000 rpm에서부터 2,200 rpm까지 400 rpm씩 변화시킨 경우에 기관출력 및 연료소비율의 변화를 측정하여 각각 나타낸

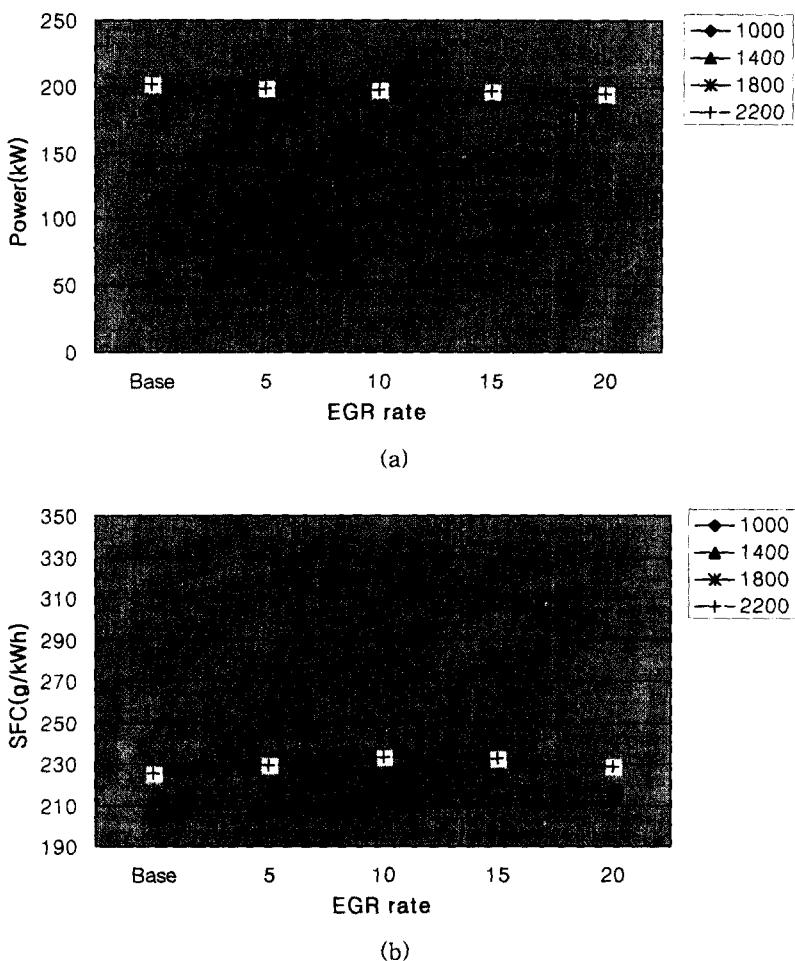


Fig. 3. Effect of EGR on engine power and BSFC of engine speed at full load.

것이다. 그림 3(a)에서처럼 기관출력은 EGR율의 증가에 따라 최고 4%까지 감소하였으며 그림 3(b)에서 보여주듯이 연료소비율의 증가, 감소경향은 불규칙적이며 그 변동폭은 아주 작고 연료소비율이 증가한 경우에도 최고 1.7% 미만으로 배출가스 저감 효과에 비추어 큰 영향은 미치지 않는 것으로 사료된다.

그림 4~7은 우리나라 대형디젤기관의 배출규제 시험모드인 D-13모드에서 EGR율을 5, 10 및 15%로 베이스상태에서 5%씩 증가시켰을 때 CO, THC, NOx, 및 PM의 배출수준을 보여주고 있다. 그림 4에서 보여주듯이 EGR율이 15%로 증가함에 따라 베이스상태에 비교하여 CO배출량은 약 100% 정도 증가하는 것으로 나타났으며, 이는 재순환된 배출가스의 양 때문에 산소의 농도가 베이스상태보다 낮

아졌기 때문으로 생각되고, 그림 5의 THC양은 EGR율의 15% 증가에 따라 거의 변화가 없는 것으로 나타났고 그림 6의 NOx양은 EGR율이 15% 증가에 따라 베이스상태와 비교해 볼 때 약 50% 정도 저감되는 것으로 나타났으며, 그림 7의 PM은 EGR율 15% 증가에 따라 약 200% 정도로 급격한 증가 현상을 보이고 있음을 알 수 있었다.

디젤기관에서 배출되는 NOx는 공기중의 질소( $N_2$ )와 산소( $O_2$ )가 반응하여 생성되는데 NO와  $NO_2$ 로 구성되며 이를 총칭하여 NOx라 한다. 디젤기관에서 NOx 발생량 중 90% 이상은 일산화질소(NO)이며 이는 열반응시 발생되는 NO(Thermal NO)와 연료중의 질소가 산화하여 생기는 연료 NO(Fuel NO)로 구분하지만 대부분이 Thermal NO이다. 이러한 NOx는 연소실 온도와 산소농도가 높을수록

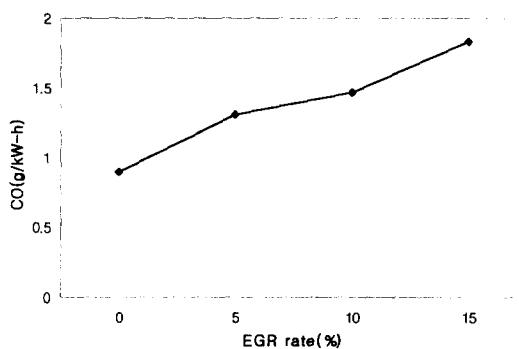


Fig. 4. The effects of CO emission change by EGR rate variation at D-13 mode.

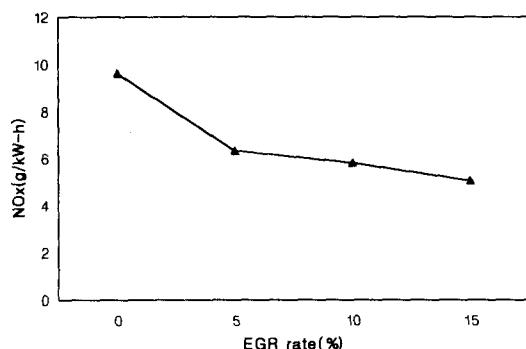


Fig. 6. The effects of NOx emission change by EGR rate variation at D-13 mode.

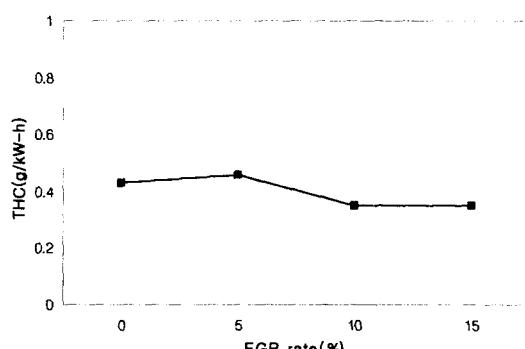


Fig. 5. The effects of THC emission change by EGR rate variation at D-13 mode.

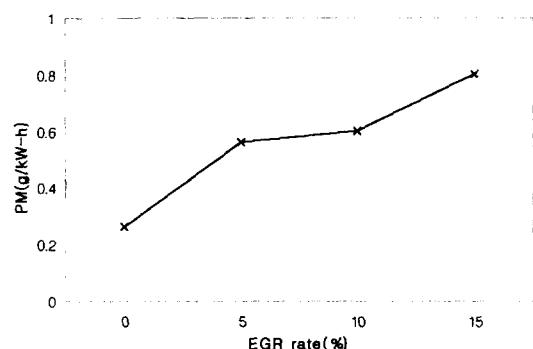
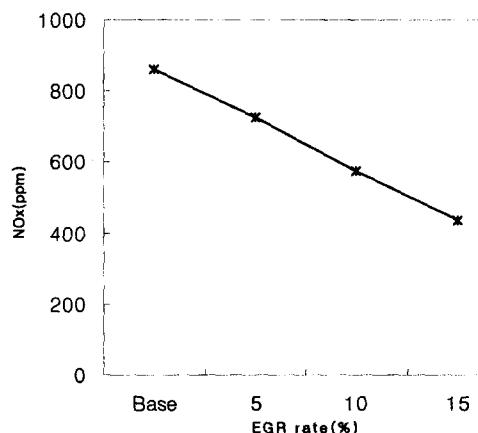


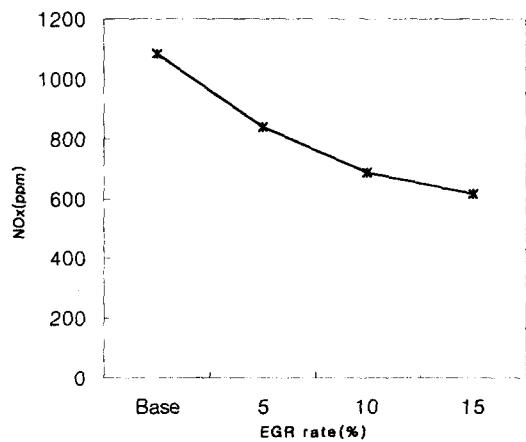
Fig. 7. The effects of PM emission change by EGR rate variation at D-13 mode.

많이 발생하며 매연 및 입자상물질의 발생과는 서로 상반(Trade-Off)되는 관계를 가진다. 그럼 8은 1,000, 1,400, 1,800 및 2,200 rpm 등 각 기관회전수에서 EGR율을 증가 시켰을 때 전부하율에서 NOx의 변화를 나타내고 있다. 그림에서 보여주듯이 EGR을 적용하지 않았을 때 NOx 발생량을 살펴보면 기관회전수를 높임에 따라 NOx는 1,800 rpm까지는 증가하다가 2,200 rpm까지는 다소 감소하는 경향을 보여주었으며 동일 기관회전수에서 EGR 적용시 NOx 발생량을 살펴보면 각 기관회전수별 100%

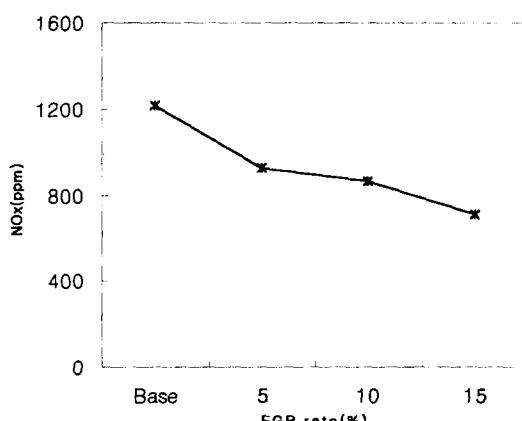
부하에서는 EGR율을 15%로 증가시킴에 따라 NOx는 기본 베이스상태보다 약 70~95% 정도 감소하는 결과를 얻을 수 있었다. 이처럼 전 운전영역에서 EGR이 증가됨에 따라 NOx 농도는 현저히 감소하였는데 이는 고부하에서는 비교적 공연비가 농후한 상태이므로 산소과잉상태인 저부하시보다 EGR에 의한 높은 NOx 저감효과를 얻을 수 있는 것이다. 그 이외에도 고부하에서의 EGR에 의한 NOx의 높은 저감 이유는 실린더 안으로 흡입되는 혼합가스의 열용량이 순수공기의 열용량보다 커서 연소실의 화



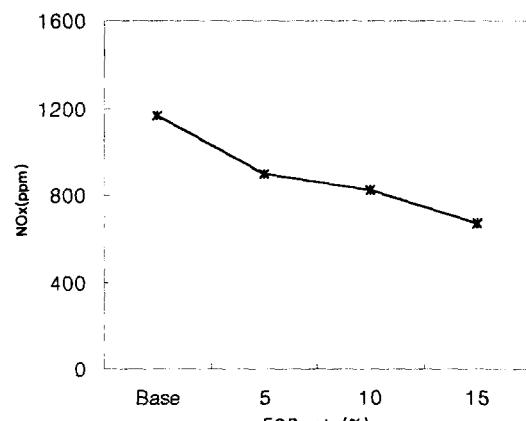
(a) 1,000 rpm



(b) 1,400 rpm



(c) 1,800 rpm



(d) 2,200 rpm

Fig. 8. The effect of EGR on NOx emission characteristics of each engine speed by full load rate.

염온도가 낮아져 흡입공기중의 질소와 산소의 고온 반응이 억제되는 것으로도 생각된다.

## 5. 결 론

대형터보디젤기관에서 D-13모드의 운전조건으로 EGR을 변화에 따른 배출가스의 특성을 실험으로 파악해본 결과는 다음과 같다.

1. 본 연구에 있어서 EGR을 20%까지는 대상기관의 성능 및 연료소비율에 미치는 영향이 크지 않음을 알 수 있었다.

2. D-13모드에서 EGR을 변화에 따라 CO, PM은 모두 증가하였으며, THC는 거의 변화가 없는 것으로 나타났으며, NOx는 최고 50%의 저감효과가 있음을 알 수 있었다.

3. 기관회전수별 100% 부하에서는 EGR율을 15%로 증가시킴에 따라 NOx는 기본 베이스상태보다 그 저감율은 약 70~95% 정도의 높은 저감 효과가 있음을 확인하였다.

## 후 기

본 논문은 (주)UNICK의 연구비 지원으로 이루어진 것으로서, 이에 관계자 여러분들께 감사드립니다.

## 참 고 문 헌

- 류정호(1998) 대형디젤기관에서 EGR장착에 의한 성능 및 배출가스의 특성에 관한 연구, 국민대 대학원 박사학위논문, 36-41.
- 정용일(1995) 자동차와 환경, 한국기계연구원, 82-86.
- 한영출, 엄명도, 류정호, 오용석, 오상기(1999) 대형디젤기관에서 EGR장착에 의한 성능 및 배출가스의 특성에 관한 연구(I), 한국자동차공학회 추계학술대회논문집, 242-247.
- Admir, M. Kreso *et al.* (1998) A Study of the Effects of Exhaust Gas Recirculation on Heavy-Duty Diesel Engine Emissions, SAE981422.
- Noboru Uchida *et al.* (1993) Combined Effects of EGR and Supercharging on Diesel Combustion and Emissions, SAE930601.