

## 산소과급 대형디젤기관에서 고압루트방식 Cooled-EGR적용에 따른 성능 및 배출가스 특성에 관한 실험적 연구

김재진<sup>1)</sup> · 오상기<sup>1)</sup> · 백두성<sup>\*2)</sup> · 한영철<sup>2)</sup>

국민대학교 자동차전문대학원<sup>1)</sup> · 국민대학교 기계 · 자동차공학부<sup>2)</sup>

### An Experimental Study on the Characteristics of Performance and Exhaust Gas Emission with Charging Diesel Engine on Oxygen-enrich and High Pressure Route Cooled-EGR

Jae-jin Kim<sup>1)</sup> · Sang-ki Oh<sup>1)</sup> · Doo-sung Baik<sup>\*2)</sup> · Young-Chool Han<sup>2)</sup>

<sup>1,2)</sup>Graduate School of Automotive Engineering, Kookmin University, Seoul 136-702, Korea  
(Received 18 February 2003 / Accepted 30 June 2003)

**Abstract** : This research was carried on an 8100cc turbo-charged heavy duty diesel in the application of a cooled-EGR. Exhaust and intake manifold were modified and an electronically controlled EGR was installed in order to investigate engine performance and exhausted emission characteristics. High pressure route was designed in the compact form on the purpose of practicability in this cooled-EGR system, which constitutes a venturi tube to maintain pressure difference between exhaust manifold and compressor, an EGR cooler, an EGR valve and a solenoid valve.

**Key words** : Oxygen-enriched(산소과급), EGR(배기가스재순환), NOx(질소산화물)

#### 1. 서론

차량에서 배출되는 주요대기오염원<sup>1)</sup>은 각종 연소과정에서 배출되는 물질들이고, 특히 가솔린기관에서 배출되는 유해성분들보다 디젤기관에서 배출되는 유해성분들의 종류가 많으며, 저감기술의 측면에서도 디젤기관의 유해성분 저감기술이 가솔린기관보다 뒤떨어져 있는 실정이다. 그러나 높은 열효율과 저급연료를 포함한 여러 종류의 연료를 사용할 수 있다는 장점과 장기간 사용에 대한 고장이 적고 신뢰성이 높은 특징 때문에 오늘날 그 수요가 점차 증가하고 있는 디젤기관 자동차의 경우 이산화탄소의 배출량도 적기 때문에 바람직한 동력원임

이 입증되고 있으므로 이에 따른 오염물질에 대한 저감대책방안들이 다각적으로 모색되고 있다.

현재 대형 디젤기관의 주요 배출물질인 PM<sup>2,3)</sup>에 관한 연구는 많은 진척을 보이고 있으나, NOx와 PM의 동시저감<sup>4,5)</sup>에 대해서는 어려움을 가지고 있어 강화된 배기가스규제를 만족시키기 위해서는 특히, NOx와 PM에 대하여 동시에 저감할 수 있는 방법이 관건이다. 이와 관련하여 대형디젤기관에서 NOx저감기술로서 Cooled-EGR방법을 사용하고 있으나 그 적용방법에 따라 많은 차이를 보이고 있다. 따라서 본 연구에서는 기존의 저압루트(Low pressure route)방식은 배기가스가 콤프레셔와 인터쿨러를 통과하기 때문에 내구성과 신뢰성 문제를 발생시키며, 흡기온도가 콤프레셔 설계온도를 초과하는 단점을 가지고 있기 때문에 본 연구에서는 고압루트

\*To whom correspondence should be addressed.  
dsbaik@kookmin.ac.kr

(High pressure route)방식을 사용하여 기관내구성 및 안정적인 성능향상을 구현하고자 하였다. 또한 저 부하영역에서 발생하는 문제점과 충분한 EGR 양을 확보하고자 벤투리를 사용한 전자제어식 Cooled-EGR방식을 적용하여 NOx의 배출특성을 파악하고, PM저감을 위해 산소과급을 시킴으로서 디젤기관의 배기가스특성 및 기관성능결과를 통해 배기가스 규제 강화에 대응하고자 한다.

## 2. 실험 장치 및 방법

### 2.1 실험장치

#### 2.1.1 실험기관

본 실험에 사용된 실험기관은 국내에서 생산되어 산업용 및 시내버스에 탑재되는 터보과급(Turbo-charged)디젤기관을 대상으로 하였으며, 주요 제원은 Table 1과 같다.

Table 1 Specifications of test engine

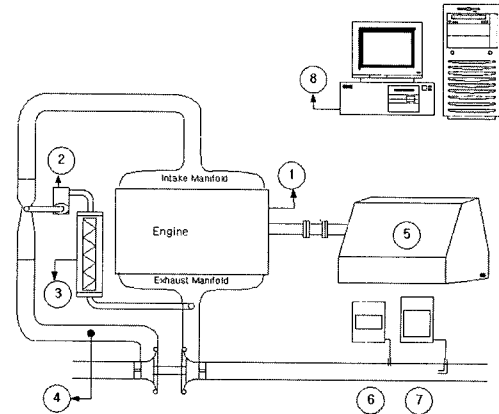
Type	In-line, 6 cylinders
Fuel injection	Direct injection
Aspiration	Turbo-charged
Bore & Stroke	111mm×139mm
Compression ratio	16.7 : 1
Displacement	8,071 cc
Rated power	132kW / 2200rpm
Max. Torque	696Nm / 1200rpm

#### 2.1.2 기관동력계 및 분석장치

250kW EC형 기관동력계(U.K, Froude consine limited)와 연료온도 조절장치, 냉각수 온도 조절장치, 흡입공기 유량계, 연료 유량계 등으로 구성된 측정장치를 Fig. 1과 Fig. 2에 나타내었다.

본 실험에 사용된 디젤기관 배기가스 측정장치(Electra control co. DST210)는 배기가스 중 CO, HC, NOx 및 CO<sub>2</sub>를 분석할 수 있으며, 매연은 현재 제작차 매연 검사방법으로 사용하고 있는 여지반사식 매연측정기를 사용하였고, 입자상물질은 테프론이 코팅된 유리섬유 여지에 포집하는 미니회석터널(MDT)을 사용하였다.

흡입공기의 산소농도를 측정하기 위한 산소분석기의 제원을 Table 2에 나타내었다.



- 1. DI diesel Engine
- 2. EGR valve
- 3. EGR cooler
- 4. Air flow sensor
- 5. EC Dynamo-meter
- 6. Exhaust gas analyzer
- 7. Mini Dilution Tunnel
- 8. Dynamo-meter Controller

Fig. 1 Schematic diagram of experiment system

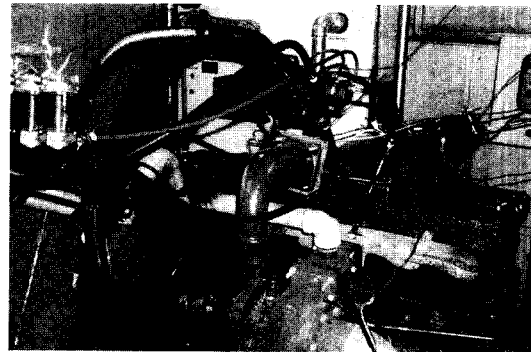


Fig. 2 Photo. of experiment system

Table 2 Specifications of oxygen analyzer

Item	Specification
Model	320WP, NOVA
Ranges	0~25.0%, 0.1% O <sub>2</sub>
Accuracy and repeatability	± 1% of full scale
Output	4~20ma
Response time	8~10 seconds for 90% of step change
Operating temperature range	0°C ~ 40°C

### 2.1.3 EGR 밸브 제어장치

본 실험에 이용한 EGR 밸브는 솔레노이드밸브로 구동되는 4스텝을 가지는 전자식 밸브이다. 솔레노이드의 On/Off는 PC에서 보내는 신호에 의해 콘트롤보드(Control board)를 통해 제어된다. 이러한 제어는 Cooled-EGR 밸브를 부착한 기관을 전자제어하기 위한 방법으로 실험을 통해 배출가스의 추이를 각 조건별로 데이터화하여 토크와 배출 가스량을 고려한 데이터를 PC에 저장하여 기관회전수와 스로틀 위치(Throttle position)의 입력을 토대로 EGR량을 조절하며, Fig. 3에 구성도를 나타냈다.

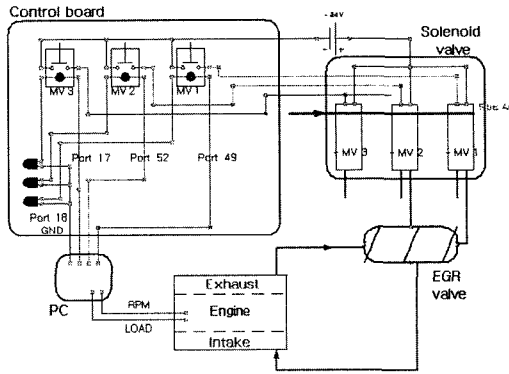


Fig. 3 Schematic diagram of electronic EGR system

## 2.2 실험방법

### 2.2.1 기관성능실험

본 고압루트방식 Cooled-EGR을 장착한 대형터보디젤기관에 산소과급에 따른 기관의 성능시험을 위한 조건은 먼저 기관회전수를 1000rpm에서부터 1800rpm까지 200rpm씩 변화시키면서, 전부하 조건에서 3분 동안 안정시킨 상태에서 30초 동안 데이터를 수집, 산술평균 하였다. 산소는 흡기구로부터 50mm 떨어진 지점에 공급하고, 산소농도 측정은 흡기구로부터 500mm 지점에서 측정하였다. 산소농도는 Kashmir S. Virk<sup>6,7)</sup> 등의 실험에서 제시한 NOx배출과 관련한 대기중의 산소 20%를 기본으로 설정하여 최적 산소과급율에 의해 채적단위 21%, 22% 및 23%에 고정하여 테스트를 실시하였으며, 각 기관 회전수에 따라 산소공급량을 일정하게 유지하기 위해 산소분석기를 통해 각각의 산소량을 조정하였다.

### 2.2.2 배기가스 성능실험

기관의 작동조건은 기관성능 측정시와 동일하며, NOx 및 매연 배출이 저부하보다는 고부하에 대하여 더 큰 영향을 받는 것을 감안, 전부하상태에서 각각 CO, THC, NOx 및 매연을 3분동안 20초간 데이터 수집하여 산술평균하였다. PM은 PM측정용여지(Teflon coated glass fiber filter,  $\phi 70\text{mm}$ )의 무게를 전자저울로 측정한 후 미니회석터널 필터홀더에 장착, 회석법으로 배기관에서 배기가스를 일정 유량 등속흡입하여 PM 시료를 채취, 여지의 최종 무게를 측정하여 측정 전·후 무게 차이를 구하는 방법을 사용하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 기관성능실험

전부하 상태의 기관회전수를 1000rpm부터 1800rpm까지의 조건에서 출력 및 토크를 측정하였다. 본 실험에서는 산소분석기 범위와 Kashmir S. Virk<sup>7)</sup>의 자료를 바탕으로 과급율은 21%를 기준으로 최대 23%로 제한하여 얻어낸 실험 데이터만을 취하였다. Fig. 4는 기관 회전수별 산소과급에 따른 출력의 측정결과를 나타내고 Fig. 5는 EGR량에 따른 출력을, Fig. 6은 23%의 산소과급에서의 EGR량에 따른 출력 결과를 반복된 실험을 통한 평균치를 비교하여 나타낸 것이다.

전체적으로 흡입공기중의 산소질량에 지배를 받는 출력과 토크<sup>6,8)</sup>에 대하여 산소를 과급함에 따라 출력과 토크가 증가함을 확인할 수 있었는데, 산소과급율 21~23%에서 베이스상태 대비 각각 5~7%의 출력증가를 확인할 수 있었다. 또한

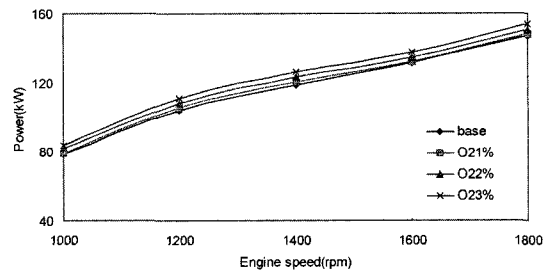


Fig. 4 Effect of oxygen enriched on power

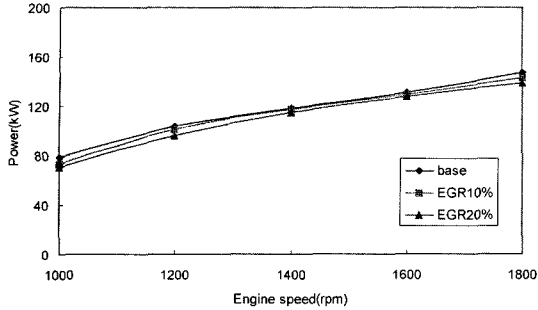


Fig. 5 Effect of cooled-EGR on power

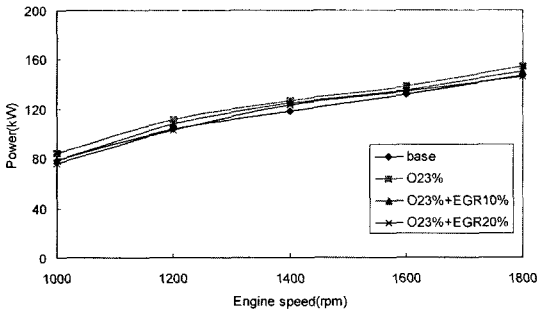


Fig. 6 Effect of oxygen enriched and cooled-EGR on power

Cooled-EGR 적용시 EGR율이 20%로 증가함에 따라 1000rpm의 경우 8%, 1400rpm의 경우 4%, 1800rpm의 경우 1%의 평균적인 출력 감소 경향이 있음을 알 수 있었으며, 이것은 운전조건에 따른 오차율을 감안했을 때 전체적으로 EGR율 상승에 따른 출력감소는 최고 1000rpm에서 8%정도로 20% EGR율이 본 연구에서 사용된 기관출력에 미치는 영향은 크지 않음을 알 수 있었다. 또한, 23% 산소과급에서의 EGR을 적용할 경우 베이스에 비교하여 다소 증가하는 경향을 얻었으나, 결과적으로는 산소과급과 EGR을 동시에 적용할 경우 기관의 출력에 큰 영향을 주지는 않음을 확인하였으며, 이에 따라 배기가스 성능실험에서 산소과급량 23%의 조건으로 결과값을 도출하였다.

### 3.2 배기가스 성능실험

#### 3.2.1 입자상물질

Fig. 7과 Fig. 8는 산소과급과 EGR에 따른 전부하 상태에서의 기관회전수별 입자상물질의 배출특성을 보여주고 있으며, Fig. 9는 산소과급 23%에서의 EGR에 따른 입자상물질의 배출특성을 나타낸 것이다.

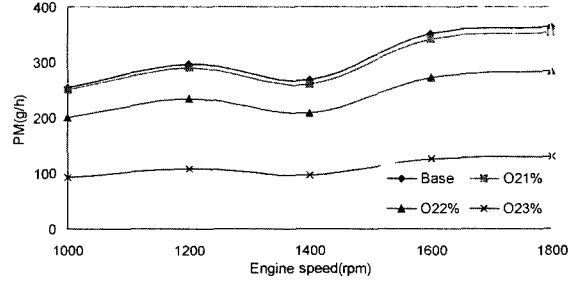


Fig. 7 Effect of oxygen enriched on PM emission

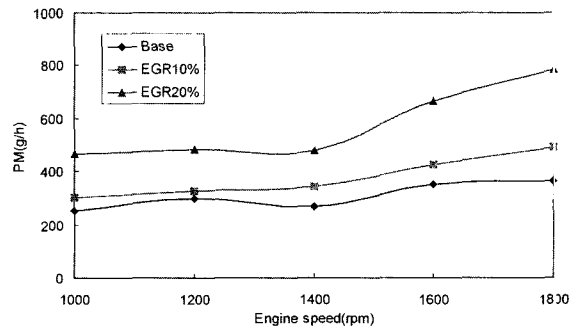


Fig. 8 Effect of cooled-EGR on PM emission

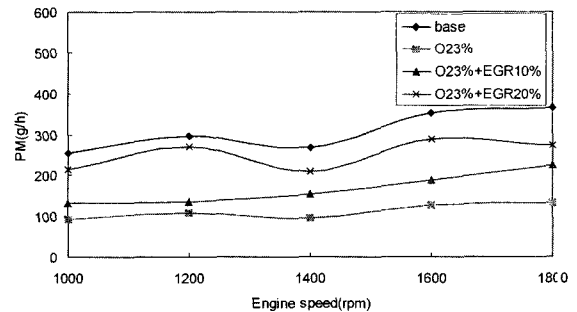


Fig. 9 Effect of oxygen enriched and cooled-EGR on PM emission

Cooled-EGR 적용시 EGR율의 증가에 따라 입자상물질이 증가함을 확인 할 수 있었다. 약 20%의 EGR을 적용시에는 베이스기관 대비 기관회전수 변화에 따라 63~116%까지 입자상물질이 증가하며, 약 10% EGR과 23% 산소과급에서 입자상물질은 기관회전수 변화에 따라 25~50% 감소함을 확인하였다.

EGR율 약 10%~25%를 기관회전수에 따라 최적화한다면 베이스조건 대비 최고 약 50%의 입자상물질을 감소시킬 수 있음을 알 수 있다.

### 3.2.2 질소산화물

Fig. 10은 기관회전수별 산소과급율을 21%~23%로 변화시켰을 경우의 NOx변화를 나타낸 그래프이며, Fig. 11은 Cooled-EGR을 적용하였을 때의 결과를 보이고 있다.

Fig. 12에서 산소과급과 EGR을 적용한 경우 베이스기관과 대비 29%~32%의 NOx 감소율을 확인할 수 있었으며, 질소산화물과 상반관계(Trade-off)에 있는 입자상물질을 고려하여 23% 산소과급과 동시에 기관운전조건별로 10%~25%의 EGR율을 적용하였을 때 질소산화물, 입자상물질을 동시에 저감할 수 있음을 알 수 있다.

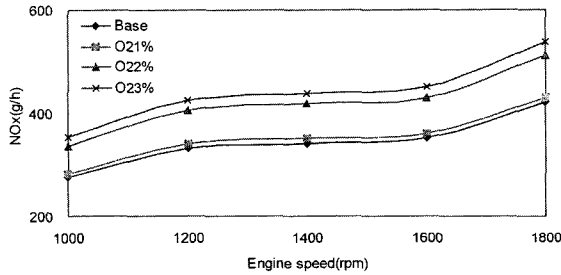


Fig. 10 Effect of oxygen enriched on NOx emission

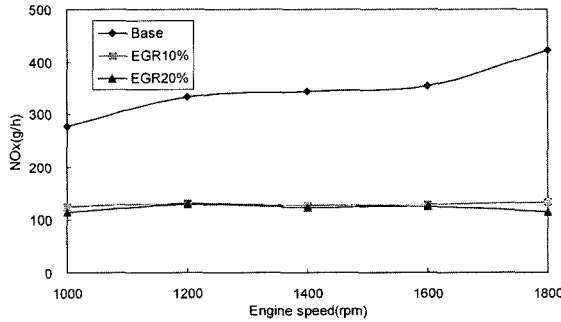


Fig. 11 Effect of cooled-EGR on NOx emission

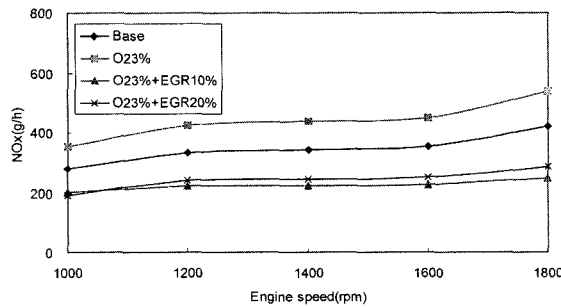


Fig. 12 Effect of oxygen enriched and cooled-EGR on NOx emission

### 3.2.3 일산화탄소

Fig. 13은 산소과급율 증가에 따른 기관회전수 1000~1800rpm에서 일산화탄소의 배출특성을 나타낸 것이다.

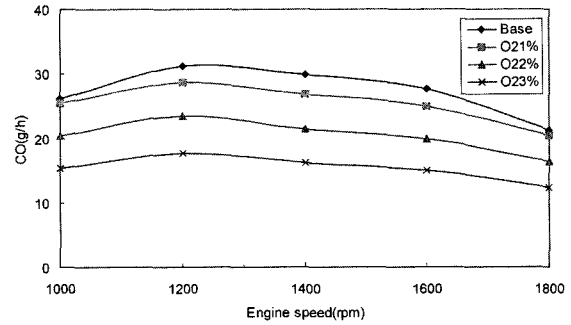


Fig. 13 Effect of oxygen enriched on CO emission

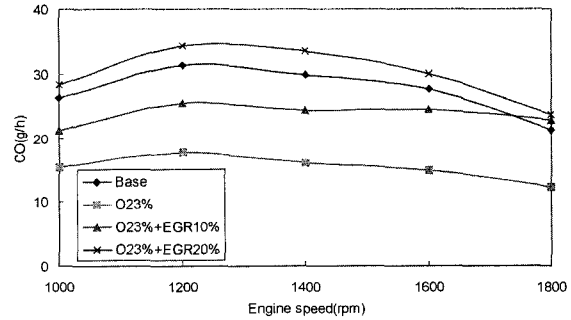


Fig. 14 Effect of oxygen enriched and cooled-EGR on CO emission

산소과급율이 증가함에 따라 CO는 감소하였으며, 이는 산소농도의 증가에 따른 CO의 산화반응의 촉진에 따른 영향이다<sup>9)</sup>. 본 실험에서는 산소과급율 21~23% 증가시 베이스기관 대비 42~46%정도 감소함을 보였으나, Fig. 14에서 산소과급과 EGR 적용시 EGR량이 증가할수록 CO배출량이 10% 이상 증가함을 확인할 수 있었다.

### 3.2.4 탄화수소

Fig. 15는 산소과급에 따른 각 기관회전수별 HC 배출특성을 보여주고 있다. 전반적으로 산소과급율 증가에 따라 탄화수소는 감소하는 경향을 나타내었으며, 산소과급율 23%에 최고 46%의 저감을 보여주었다.

Fig. 16에서 Cooled-EGR 적용시에는 베이스 기관 대비 최고 12%의 HC 저감율을 확인할 수 있었다.

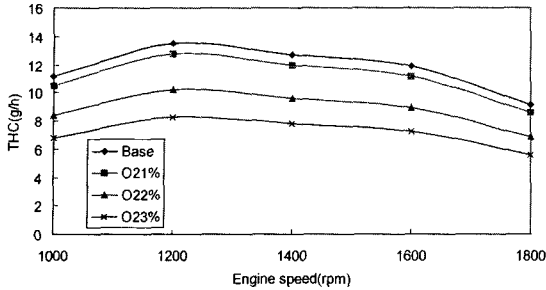


Fig. 15 Effect of oxygen enriched on THC emission

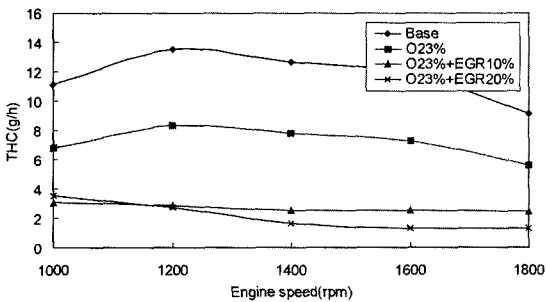


Fig. 16 Effect of oxygen enriched and cooled-EGR on THC emission

이는 EGR에 의한 연소악화에 따른 증가에 대한 산소과급으로 인한 보상의 결과인 것으로 판단된다.

#### 4. 결론

대형디젤기관에서 산소과급에 따른 기관성능 및 배기가스에 미치는 영향과 산소과급시 증가하는 NOx의 저감을 위하여 적용한 고압루트방식 Cooled-EGR에 따른 성능실험에 대한 결과는 다음과 같다.

1) 산소과급율이 증가함에 따라 전체적으로 출력과 토크는 증가하였으며, 산소과급율 23%에서는 최고 6%의 출력증가를 보였다. 이것은 저압루트방식과 비교했을 때 보다 낮은 증가분이다.

2) 흡입공기에 산소공급을 증가시키기에 따라 입자상물질은 현저하게 감소하였으며, EGR을 10~25%에서 베이스 조건 대비 최고 약 50%까지 감소하는 경향을 보였다.

3) 온도와 산소에 영향을 많이 받는 NOx는 다른 배기가스에 비해 증가하는 경향을 보였는데, 산소과급율 23%시 최고 28%까지 증가함을 확인할 수 있었으며, 증가한 NOx의 저감을 위하여 Cooled-EGR을 적용한 결과 20% EGR율에서 NOx는 베이스

기관 대비 31%정도의 저감을 얻을 수 있었다. 또한, HC와 CO는 산소과급과 EGR적용시 CO는 10%정도 증가하였으며, HC는 12%의 저감을 보였다.

4) 본 연구에서 산소과급과 Cooled-EGR을 동시에 적용하여 PM과 NOx를 동시에 저감하는 조건을 찾을 수 있었으며, EGR 밸브의 제어방법도 모색하였다. 모든 운전조건에서 만족할 만한 배출가스의 저감을 위해서는 보다 다양한 조건에서의 실험과 산소공급에 있어 방법적인 발전이 뒷받침되어야 할 것이다.

#### 후 기

이 논문은 2002년도 두뇌한국 21사업에 의하여 지원되었음.

#### References

- 1) Y. C. Han, D. J. Kim, New Internal Combustion Engine, pp.179-203, 1998.
- 2) M. K. Admir, H. J. John, D. G. Linda, T. B. Susan, G. L. David, "A Study of the effects of Exhaust Gas Recirculation on Heavy-Duty Diesel Engine Emissions," SAE 981422, 1998.
- 3) G. M. Bianchi, "Combined Effects of EGR and Supercharging on Diesel Combustion and Emissions," SAE 930601, 1993.
- 4) Y. L. Joung, The Automotive and Environment, pp.16-23, 1998.
- 5) K. Susumu, M. Sazutoshi, S. Kenji, H. Takazoh, "EGR Technologies for a Turbocharged and Intercooled Heavy-Duty Diesel Engine," SAE 970340, 1997.
- 6) H. Tsunemoto, H. Ishitani, "The Role of Oxygen in Intake and Exhaust on NO Emission, Smoke and BMEP of a Diesel Engine with EGR System," SAE 800030, 1980.
- 7) S. V. Kashmir, U. Kokturk, C. R. Bartels, "Effects of Oxygen-Enriched Air on Diesel Engine Exhaust Emissions and Engine Performance," SAE 931004, 1993.
- 8) J. B. Heywood, Internal Combustion Engine Fundamentals, McGraw-Hill, New York, 1998.
- 9) D. B. Kittelson, M. J. Piphoo, J. L. Amb, L. Luo, "In-Cylinder Measurements of Soot Production In a Direct-Injection Diesel Engine," SAE 880344, 1988.