

디젤기관에서 산소과급과 EGR에 의한 기관성능 및 배출특성에 미치는 효과

백두성^{1*}

The Effect of Engine Performance and Emission Characteristics in A HD Diesel Engine by The Application of Oxygen-enriched and EGR

Doo-Sung Baik^{1*}

요 약 엔진출력에 영향을 미치지 않고 질소산화물을 제거하기 위한 최적의 EGR율을 산정하기 위해서 여러 가지 방면의 연구가 수행되고 있다. 본 연구에서는 EGR와 산소과급에 의한 시스템을 장착함으로써 대형디젤에 미칠 수 있는 엔진 영향에 미칠 수 있는 변수들 사이의 관계를 집중적으로 검토했다.

Abstract Numerous researches have been conducted to investigate an optimal EGR rate which minimizes emission levels of NOx without increasing PM or losing an engine power. In this research, the interrelation among engine parameters were intensively investigated and evaluated quantitatively, and proposed some directions in design of a heavy diesel engine by applying EGR and Oxygen-enriched system.

Key Words : Oxygen-enriched(산소과급), EGR(배기가스재순환), NOx(질소산화물), PM(입자상물질)

1. 서 론

차량에서 배출되는 주요대기오염원은 각종 연소과정에서 배출되는 물질들이고, 특히 가솔린기관에서 배출되는 유해성분들보다 디젤기관에서 배출되는 유해성분들의 종류가 많으며, 저감기술의 측면에서도 디젤기관의 유해성분 저감기술이 가솔린기관보다 뒤떨어져 있는 실정이다[1]. 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 동력원이 입증되고 있으므로 이에 따른 오염물질에 대한 저감대책방안들이 다각적으로 모색되고 있다.

현재 대형 디젤기관의 주요 배출물질인 PM에 관한 연구는 많은 진척을 보이고 있으나, Trade-off관계인 NOx의 동시저감에 대한 연구는 어려움을 겪고 있다[1-5]. 따라서 본 연구에서는 NOx와 PM의 동시저감을 위해 산소

과급 및 EGR을 적용함으로써 디젤기관의 배기가스특성 및 기관성능을 파악하고 배기가스규제 강화에 대응하고자 한다

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

2.1.1 실험기관

본 연구에 사용된 실험기관은 국내에서 생산되어 산업용 및 시내버스에 탑재되는 Turbo-charged 디젤기관을 대상으로 하였으며, 주요 제원은 표 1과 같다.

2.2.2 기관동력계

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

¹한국기술교육대학교 기계정보공학부

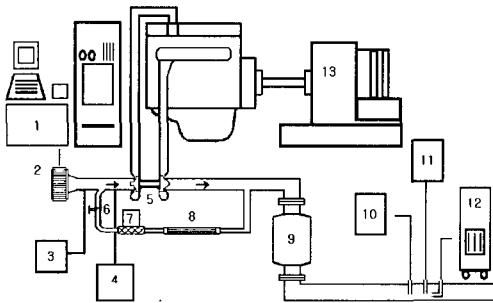
*백두성(dsbaik@kut.ac.kr)

표 1. 실험 기관의 제원

Type	In-line, 6 cylinders
Fuel injection	Direct injection
Injection timing	BTDC 11°
Aspiration	Turbo-charged
Bore & Stroke	111mm×139mm
Compression ratio	16.7 : 1
Displacement	8,071 cc
Rated power	132kW / 2200rpm
Max. Torque	696Nm / 1200rpm

표 2. 산소분석기의 제원

Item	Specification
Model	320WP, NOVA
Ranges	0 ~ 25.0%, 0.1% O ₂
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



- 1. Control desk
- 2. Air flow meter
- 3. Oxygen
- 4. Oxygen analyzer
- 5. Turbo charger
- 6. EGR valve
- 7. Blower
- 8. EGR Cooler
- 9. Muffler
- 10. Exhaust analyzer
- 11. Smoke meter
- 12. Mini dilution tunnel
- 13. Dynamometer

그림 1. 실험장치의 구성도

2.1.3 배기가스 분석장치

본 실험에 사용된 디젤기관 배기가스 측정장치 (Electra control Co. DST210)는 배기가스 중 CO, HC, NOx, CO₂를 분석할 수 있으며, 매연은 현재 제작차 매연 검사방법으로 사용하고 있는 여지반사식 매연측정기를 사용하였다. 입자상물질을 측정하기 위한 시료채취장치는 미니희석터널(MDT)을 사용하였다.

2.1.4 산소분석기

흡입공기의 산소농도를 측정하기 위한 산소분석기의 제원을 표 2에 나타내었다.

2.2 실험방법

2.2.1 기관성능실험

EGR을 장착한 대형터보디젤기관에 산소과급에 따른 기관의 성능시험을 위한 조건은 먼저 기관회전수를 1000rpm에서부터 2200rpm까지 400rpm씩 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 NOx 배출과 관련하여 Kashmir S. Virk[6] 등의 실험에서 제시한 최적 산소 과급율인 21%, 22% 및 23%에 고정하여 테스트를 실시하였으며, 각 기관 회전수에 따라 각각의 산소량을 조정하였다. 또한 EGR율은 새로운 흡입공기량의 감소율로서 나타내고, 과급되는 산소량은 산소과급율 (Oxygen Enriched Rate)로 나타내는데 이는 총흡입량의 질량분율로 정의된다.

$$EGR율 = \frac{V_0 - V_a}{V_0}$$

V₀: EGR 하지 않았을 경우의 흡입공기량

V_a: EGR 시켰을 경우의 흡입공기량

2.2.2 배기가스 성능실험

배기가스 실험에 있어서 기관의 작동조건은 기관성능 측정시와 동일하며, NOx 및 매연배출이 저부하 보다는 고 부하에 대하여 더 큰 영향을 받는 것을 감안, 75%부하 상태에서 각각 CO, THC, NOx 및 매연을 3분 동안 20초 간 데이터 수집하여 산술평균하였다. PM은 PM측정용 여지를 미니희석터널 필터홀더에 장착한 후, 희석법으로 배기관에서 배기가스를 일정 유량 등속 흡입하여 PM 시료를 채취, 그 여지의 최종 무게를 측정하여 측정 전·후 무게 차이를 구하는 방법을 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 기관성능실험

본 연구에서는 전 부하 조건하에서 기관회전수를 1000rpm부터 2200rpm까지 변화시키며 산소과급 전·후의 출력을 비교·분석하였으며, Base상태의 대기 중의 산소농도범위는 18%~20%였다. 그림 2는 기관 회전수별 산소과급에 따른 출력의 측정결과를 그림 3은 산소과급을 23%에서의 EGR량에 따른 출력 결과를 비교하여 나타낸 것이다.

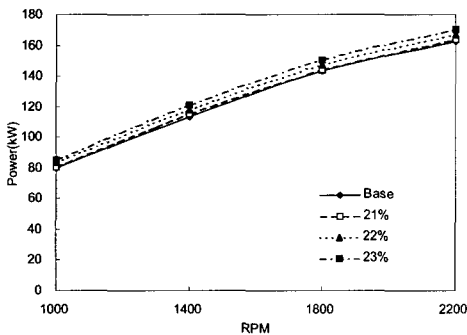


그림 2. 100% 부하에서의 엔진회전수에 따른 산소과급의 효과

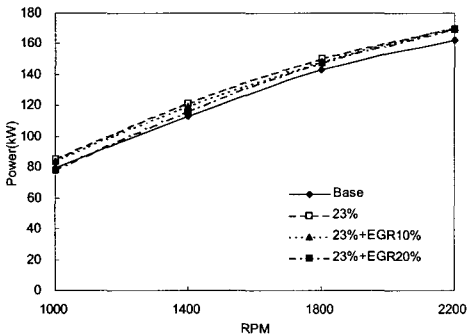


그림 3. 23% 산소과급에서 EGR율에 따른 출력의 변화

전체적으로 흡입공기중의 산소질량에 지배를 받는 출력이 있어서 산소를 과급함에 따라 출력이 증가함을 확인할 수 있었으며, 산소과급을 23%에서 최고 6%의 출력 증가를 확인할 수 있었다. 또한 EGR 적용시 EGR율 20% 조건에서 회전수 증가에 따라 8%~0.1%까지 감소하는 경향이 나타났다. 결과적으로 산소과급과 EGR을 동시에 적용할 경우 기관의 출력에 큰 영향이 없음을 확인하였다.

3.2 배기가스 성능실험

기관성능실험에서 얻어진 자료와 PM의 배출량이 고 부하조건 및 EGR율 20%에서 다량 배출되므로 이 영역

에서 배기가스 성능시험을 수행하였다.

3.2.1 입자상물질과 매연

그림 4-5는 산소과급에 따른 입자상물질과 매연의 배출특성을 나타낸 것이며, 그림 6은 EGR율 20%에서의 산소함량별 입자상 물질의 배출특성을 그림 7은 매연의 배출특성을 나타낸 것이다. EGR에 의한 산소부족분을 산소과급에 의해 보충함으로써 전체적으로 입자상물질은 최고 46%, 매연은 49%까지 감소하였다.

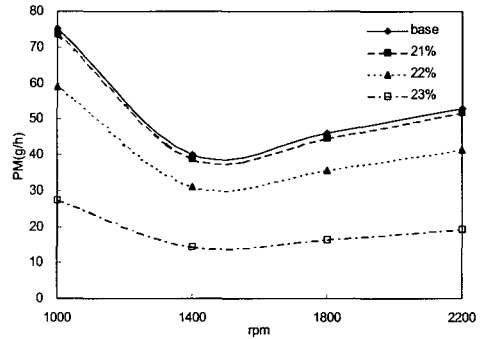


그림 4. 75% 부하에서 입자상물질에 미치는 산소과급의 영향

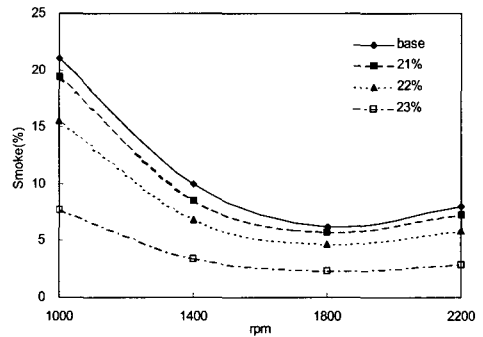


그림 5. 75% 부하에서 매연에 미치는 산소과급의 영향

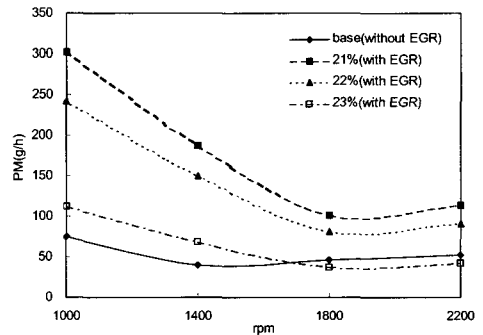


그림 6. 75% 부하에서 EGR율 20%와 산소과급이 입자상 물질에 미치는 영향

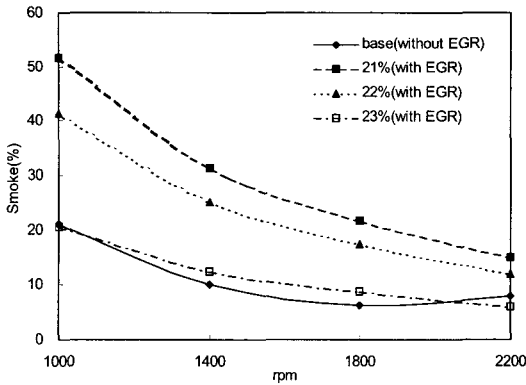


그림 7. 75% 부하에서 EGR을 20%와 산소과급이 매연에 미치는 영향

3.2.2 질소산화물

그림 8은 각 기관 회전수마다 산소과급율을 21%~23%로 변화시켰을 경우의 NOx 변화를 나타냈으며, 그림 9는 EGR율을 20%로 적용하였을 때의 결과를 나타낸 것이다.

산소과급율을 21%, 22%, 23%로 변화시켰을 때 NOx 배출은 10~16%이상 증가하는 경향을 보이며, 이는 NOx 형성은 연소온도 및 산소에 따른 영향에 지배를 받기 때문이며, 산소농도 증가에 따라 불활성가스량의 감소에 따른 연소온도의 증가, 높은 화염온도 및 산소의 일부가 질소산화에 이용된 것에 기인한 것이다. 산소과급과 EGR을 적용한 경우 EGR을 20%의 경우 산소과급량에 따라 59%~61%로 감소되는 것을 확인할 수 있었다.

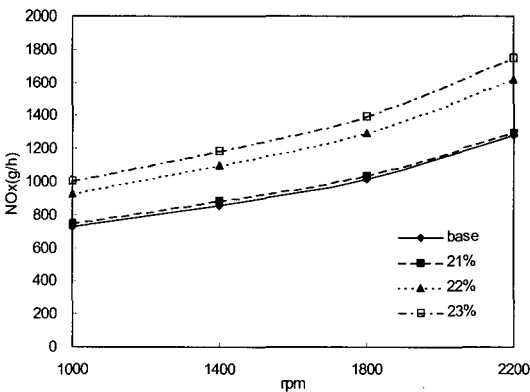


그림 8. 75% 부하에서 엔진회전수에 따른 NOx에 미치는 산소과급의 영향

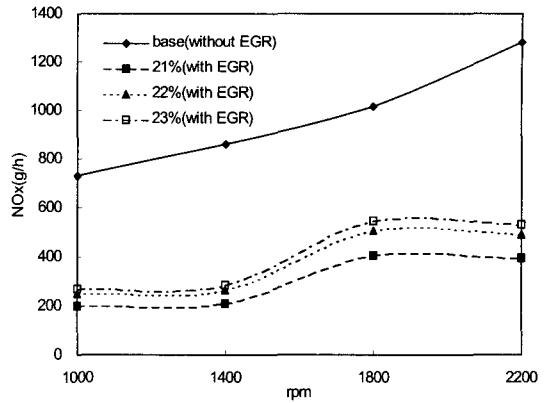


그림 9. 75% 부하에서 엔진회전수에 따른 NOx에 미치는 산소과급의 영향 (EGR 20% 적용)

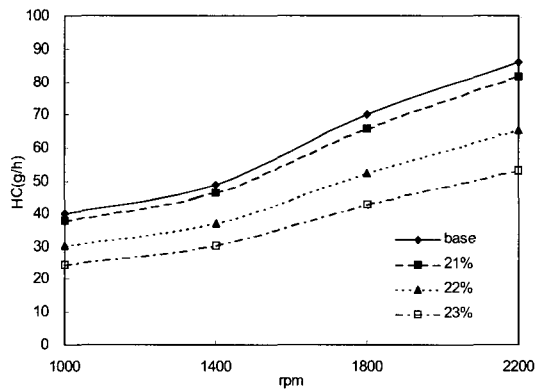


그림 10. 75% 부하에서 산소과급에 따른 각 기관 회전수별 HC의 배출특성

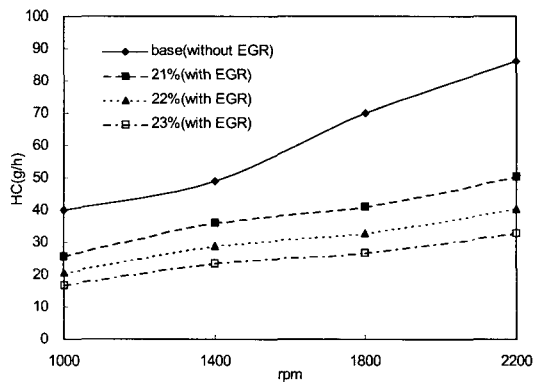


그림 11. 75% 부하에서 산소과급에 따른 각 기관 회전수별 HC의 배출특성 (EGR을 20% 적용)

3.2.3 탄화수소(HC)

그림 10은 산소과급에 따른 각 기관회전수별 HC 배출 특성을 보여주고 있다. 전반적으로 산소과급을 증가에 따라 탄화수소는 감소하는 경향을 보였으며, 산소과급을 23%에 최고 34%가 저감하였다. 이는 산소량의 증가에 의한 미연탄화수소의 산화반응의 증가에 의한 것이다. 그림 11은 EGR을 20% 적용시 산소과급량에 따라 Base 대비 60%~70%의 HC 저감율을 확인할 수 있었다.

3.2.4 일산화탄소(CO)

그림 12는 산소과급을 증가에 따른 기관회전수 1000~2200rpm에서 일산화탄소의 배출특성을 나타낸 것이다. 산소과급율이 증가함에 따라 CO는 감소하였으며, 이는 산소농도의 증가에 따른 CO의 산화반응의 촉진에 따른 영향이다. 본 실험에서는 산소과급을 21~23% 증가시 Base 대비 16~33%정도 감소함을 보였으며, 그림 13는 EGR을 20% 조건에서 산소과급량에 따른 CO배출량이 저속영역에서 최고 450% 이상 증가함을 확인할 수 있었다.

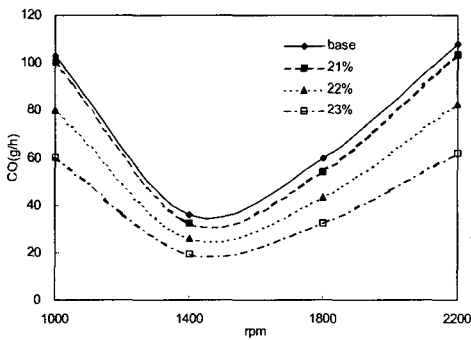


그림 12. 75% 부하에서 산소과급에 따른 각 기관 회전수별 CO의 배출특성

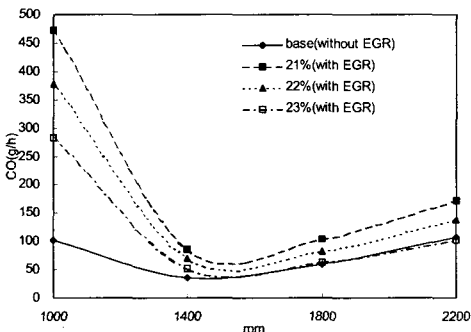


그림 13. 75% 부하에서 산소과급에 따른 각 기관 회전수별 CO의 배출특성 (EGR을 20% 적용)

4. 결론

EGR를 장착한 대형디젤기관에서 산소과급에 따른 기관성능 및 배기가스에 미치는 영향을 파악하기 위해 실제 실험을 통하여 얻은 결과를 비교·분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 산소과급율이 증가함에 따라 전체적으로 출력은 증가하였으며, 산소과급을 23%에서는 최고 6%의 출력증가를 보였다.
2. 산소과급에 따라 입자상물질 및 매연은 현저하게 감소하였으며, 흡입공기 산소농도가 23%에서 입자상물질은 최고 46%, 매연은 49% 저감되었다. 또한, HC와 CO는 산소과급을 23%에서 약 30%이상의 저감을 보였다.
3. 온도와 산소에 영향을 많이 받는 NOx는 산소과급을 23%시 최고 15%까지 증가하였으나 EGR을 20%조건 하에서 Base기관 대비 약 60%정도 저감되었다.
4. 본 연구를 통하여 산소과급을 23%와 EGR을 20%조건 하에서 PM, 매연과 NOx를 동시에 저감하는 조건을 찾을 수 있었으며, 모든 운전조건에서 만족할 만한 배출가스저감을 위해서는 보다 다양한 조건에서의 실험과 산소과급에 있어 방법적인 발전이 뒷받침되어야 할 것이다.

참고문헌

- [1] 한영출, 김동진, "신편 내연기관", pp.179~203, 1998.
- [2] 정용일, "자동차와 환경", pp.16~23, 1998.
- [3] 日本自動車研究所, "自動車のNOx低減対策に関する調査研究報告書", pp.32~59, 1996.
- [4] Uchida, N., Daisho, Y., Saito, T., and Sugano, H., "Combined Effects of EGR and Supercharging on Diesel Combustion and Emission", SAE930601, 1993.
- [5] H. Tsunemoto, et al., "The Role of Oxygen in Intake and Exhaust on NO Emission. Smoke and BMEP of a Diesel Engine with EGR System", SAE800030, 1980.
- [6] Kashmir S. Virk, Uygur Kokturk, and Craig R. Bartels, "Effects of Oxygen -Enriched Air on Diesel Engine Exhaust Emissions and Engine Performance", SAE 931004, 1993.
- [7] John B. Heywood, "Internal Combustion Engine Fundamentals", McGraw-Hill.

백 두 성(Doo-Sung Baik)

[정회원]



- 1983년 2월 : 국민대학교 기계공학과 (공학사)
- 1991년 3월 : Univ. of Cincinnati 기계공학과 (공학석사)
- 1997년 5월 : Wichita State Univ. 항공우주공학과 (공학박사)
- 2006년 3월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 기계정보공학부 대우교수

<관심분야>

에너지와 환경, 자동차환경기술, 대체에너지기관, 미세열유체, 항공기추진시스템, 초음속공기역학