

디젤기관에서 함산소연료(DMC)와 Cooled EGR방법에 의한 매연과 NOx의 동시저감

Simultaneous Reduction of Smoke and NOx with Oxygenated Fuel(DMC) and Cooled EGR method in Diesel Engine

오영택 · 최승훈

Y. T. Oh and S. H. Choi

Key Words : Diesel engine(디젤 기관), Oxygenated fuel(함산소연료), Smoke(매연), Exhaust gas recirculation(배기가스 재순환)

Abstract : In this paper, the effect of oxygen component in fuel on the exhaust emissions has been investigated for direct injection diesel engine. It is tested to estimate change of engine performance and exhaust emission characteristics for the commercial diesel fuel and oxygenate blended fuel which has four kinds of mixed ratio. And, the effects of exhaust gas recirculation(EGR) on the characteristics of NOx emission and brake specific fuel consumption rate have been investigated. Dimethyl carbonate(DMC) contains oxygen component 53.3% in itself, and it is a kind of effective oxygenated fuel of carbonate group that the smoke emission of DMC is reduced remarkably in comparison with commercial diesel fuel, that is, it can supply oxygen component sufficiently at higher loads and speeds in diesel engine. It was found that simultaneous reduction of smoke and NOx was achieved with oxygenated fuel and EGR method.

1. 서 론

디젤기관은 높은 열효율을 낼 수 있고, 저급연료까지도 사용할 수 있어 그 수요가 증가되는 추세에 있지만, 기관 특성상 연소 후 배출되는 매연으로 인하여 전 지구촌적인 대기오염의 주범으로 주목받고 있다.¹⁻²⁾

현재 진행중인 배기가스 규제방향을 살펴보면, 미국의 경우 현재 시행중인 연방규제보다 2004년 이후 대폭 강화될 예정이며, 유럽연합도 2000년 EuroIII, 2005년 EuroIV규제를 적용할 것을 예정하고 있고, 2010년 Euro V는 EuroIV의 50%수준으로 PM(particulate matter)과 NOx 규제를 강화할 것으로 알려져 있으며, 국내의 경우에도 디젤차량에 대한 규제가 대폭 강화될 것으로 예상된다.

디젤기관은 이러한 배기배출물의 규제강화에 대응하여 배기정정화를 진행시켜 왔으며, 그 주요 기술로는 분사시기 조절, 물분사, 배기가스 재순환(exhaust gas recirculation; EGR), 물과 경유의 유화연료 사용, 필터트랩(filter trap) 등의 많은 연구가 진행되고 있지만, 일반적으로 NOx와 매연의 배출 특성은 trade off관계에 있기 때문에 기관자체의 개량에 의해서 이들 배출물을 동시에 저감시키는 것은 한계점에 다다르고 있다.³⁻⁴⁾

이와 같은 배기가스 규제에 대응하기 위한 일종의 방법으로 함산소연료를 이용하여 그 해결책을 찾아내고자 하는 연구가 많이 진행 중에 있다.

기존의 화석연료는 연료 자체에 산소성분이 전혀 존재하지 않는 탄화수소 화합물이기 때문에 디젤기관의 특성상 저부하영역에서는 물론 고부하영역 즉, 농후한 혼합기 영역 및 연소말기에 불완전 연소가 될 가능성이 농후하므로 연료자체에 산소를 다량 함유하고 있는 함산소연료를 기존의 경유

접수일 : 2001년 12월 29일

오영택 : 전북대학교 기계공학과, 자동차 신기술 연구소

최승훈 : 전북대학교 기계공학과 대학원

와 혼합하여 사용하므로써 유해 배기가스의 현저한 저감을 시도하고 있다.⁵⁻⁶⁾

또한, 디젤기관의 각종 배기 배출물, 특히 NOx 배출물에 미치는 EGR의 영향에 관한 연구들이 이전부터 계속 진행되고 있으나, EGR이 배기 배출물에 미치는 영향에 관한 과정이 아직도 만족스럽게 파악되고 있지 않는 이유는 순간적인 난류유동의 조건하에서 액체연료의 분무연소인 디젤연소과정이 매우 복잡하기 때문이다.

이와 같은 난점과 더불어 EGR율의 증가에 따라 고부하영역에서는 매연이 상당히 증가하고, 연료소비율도 약간 증가할 뿐만 아니라, 매연 미립자 및 SOx 배출물의 순환에 따라 기관내부의 마모나 침식이 발생하고, 윤활유의 열화를 가속시키기 때문에 디젤기관에 EGR을 적용시켜 NOx 배출물을 효과적으로 저감시키기란 간단하지 않지만, 매연 미립자의 제거장치를 이용하여 흡기로 재순환되는 배기가스의 매연 성분을 제거시키고, EGR의 온도를 저감시킬 수만 있다면 효과적으로 NOx 배출물을 줄일 수 있을 것으로 생각된다.

본 연구에서는 카보네이트 계열(O(C:O)O)의 합산소연료인 디메틸 카보네이트(dimethyl carbonate, 이하 DMC)를 디젤기관의 상용연료인 경유와 혼합하여 사용할 경우, 기관성능 및 배기가스 배출 특성을 경유와 비교·분석하고자 하였으며, 동시에 합산소연료를 사용할 경우 증가하는 NOx의 유용한 저감방법으로 널리 알려진 cooled EGR을 사용하여 매연과 NOx의 동시저감을 이루고자 하였다.

2. 실험장치 및 방법

실험에 사용된 기관은 단기통, 수냉식, 4행정, 직접분사식 디젤기관으로 시동은 시동모터에 의해 이루어지고, 기관 부하와 회전속도는 엔진 동력계에 의해 임의로 조정할 수 있도록 하였다. 실험에 사용된 기관의 사양은 Table 1에, 사용된 연료의 특성은 Table 2에 각각 나타내었으며, 실험장치의 개략도는 Fig. 1과 같다.

본 실험은 일반적인 상용 경유에 합산소연료인 DMC를 각각 2.5, 5, 10, 15vol %를 혼합한 연료를 사용하여 기관의 각 회전속도에서 무부하, 25%, 50%, 75%, 90% 및 전부하의 경우, 기관 성능과 배기가스 농도를 측정하였다.

또한, 실제 실험에서 EGR율을 구하기 위하여 흡기관과 배기관에서 CO₂농도를 측정하여 사용하기도 하지만⁷⁾, 본 연구에서는 EGR율을 계산할 때

전체 연소실 흡기량에 대한 EGR된 양, 즉 새로운 흡입공기량의 감소율로서 (1)식을 이용하였다.⁸⁻⁹⁾

$$EGR율(\%) = \frac{V_0 - V_a}{V_0} \times 100 \quad (1)$$

여기에서 V₀는 EGR을 수행하지 않았을 경우의 흡입공기량(m³/h), V_a는 EGR을 수행했을 경우의 새로운 흡입공기량이다.

또한, 기관에 대한 EGR율은 5%, 10%, 15%, 20% 및 30%를 적용하여 실험하였다.

기관부하의 변화는 기관 회전속도를 일정하게 유지한 상태에서 분사펌프의 연료조절장치인 ‘랙’을 최대로 한 상태를 전부하로 설정하고, 이 때 전부하의 토크값을 측정하여, 이 토크값을 일정한 비율(%)로 변화시키면서 실험하였다.

Table 1 Specification of test engine

Item	Specification
Engine model	ND130DIE
Bore ×Stroke	95 × 95 (mm)
Displacement	673 (cc)
Compression ratio	18
Combustion chamber type	Toroidal
Injection timing	BTDC 23, CA
Coolant temp.	80+2°C

Table 2 Properties of test fuels

	Diesel Fuel	DMC (dimethyl carbonate)
Molecular formula	C ₁₆ H ₃₄	C ₅ H ₈ O ₃
C : H : O by mass	5.6 : 1 : 0	6 : 1 : 8
Fuel/air ratio	1 : 14.9	1 : 3.51
Molecular Weight	226	90.1
Density(kg/m ³)	0.8054	1.0706
Heating value[MJ/kg]	43.96	13.5
Flashing point(°C)	48	17
Oxygen content(%)	0	53.28
Cetane Number	51	-

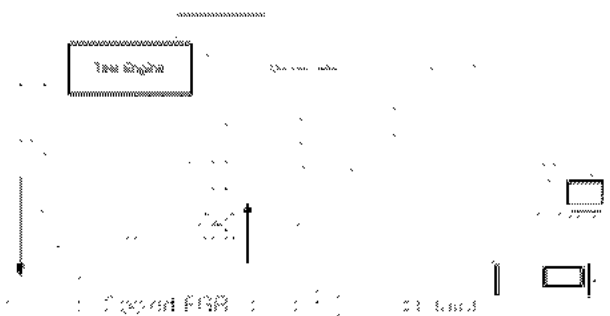


Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus

매연 농도의 측정은 매연 측정장치(HBN 1500)를 사용하여 기관으로부터 300mm 하류에서 일정량의 배기가스를 흡입한 후, 여과지에 흡착된 매연의 농도를 측정하였으며, 매연 농도는 동일 조건에서 각각 3회 측정하여 평균값을 취하였으며, NOx의 측정은 Mod.588 측정장치를 사용하였다.

또한, 실험조건이 변경될 때마다 냉각수, 윤활유, 연료 등의 온도를 일정하게 유지하였으며, 연료 공급계통, 연료 필터 및 연료탱크 속의 모든 연료를 완전히 교체하고, 이전에 실시한 실험이 다음 실험에 영향을 미치지 않도록 충분한 시간동안 예운전을 실시한 후 실험을 수행하였다.

그리고, 기관이 일정량의 연료를 소모하는 시간을 측정하여 단위시간당의 에너지소비율(MJ/kW·h)을 계산하였으며, 분사시기는 실험조건에 관계없이 BTDC 23. CA로 고정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 DMC를 사용한 경우의 배기특성

Fig. 2는 기관의 부하변화에 따른 매연의 배출 특성을 각 기관회전수와 DMC의 혼합율에 따라 나타낸 것이다. 그림에서와 같이, 고회전과 고부하 영역으로 갈수록 경유와 경유에 DMC를 혼합한 연료사이의 현격한 매연 배출농도의 차이를 보이고 있음을 알 수 있다.

경유에 DMC 10vol %를 혼합한 연료의 경우 1000rpm, 전부하에서 약 37%, 2500rpm, 전부하에서 약 59%의 매연농도의 저감을 가져왔다. 이는 중부하 이하인 경우에는 경유를 연료로 사용하여 기관을 작동할 때에도 공기이용율이 충분하기 때문에 DMC를 혼합한 연료와 비교해 볼 때 큰 차이를 나타내지 않았으나, 고부하·고회전으로 갈수록 DMC연료 자체에 포함된 산소가 연료의 연소시 공기이용률에서 경유와 큰 차이를 보여, 연료의 산화를 더욱 촉진시켰기 때문으로 생각된다.

또한, 경유의 경우는 고회전·고부하 영역으로 갈수록 매연 배출농도의 증가폭이 현저하게 커지고 있으나, DMC를 혼합한 경우에는 혼합율이 증가함에 따라 고부하로 됨에도 불구하고 매연 배출 특성의 차이가 상대적으로 적음을 알 수가 있었다. 즉, 매연은 실린더내에 공기부족으로 인해 연료가 완전연소하지 못하여 산화되지 못한 성분이 배기가스로 배출되는 것으로, DMC를 혼합한 경우는 실린더내의 고온상태에서 탄소상미립자의 생성량과 산화량의 차이가 저감되었기 때문이며, DMC에

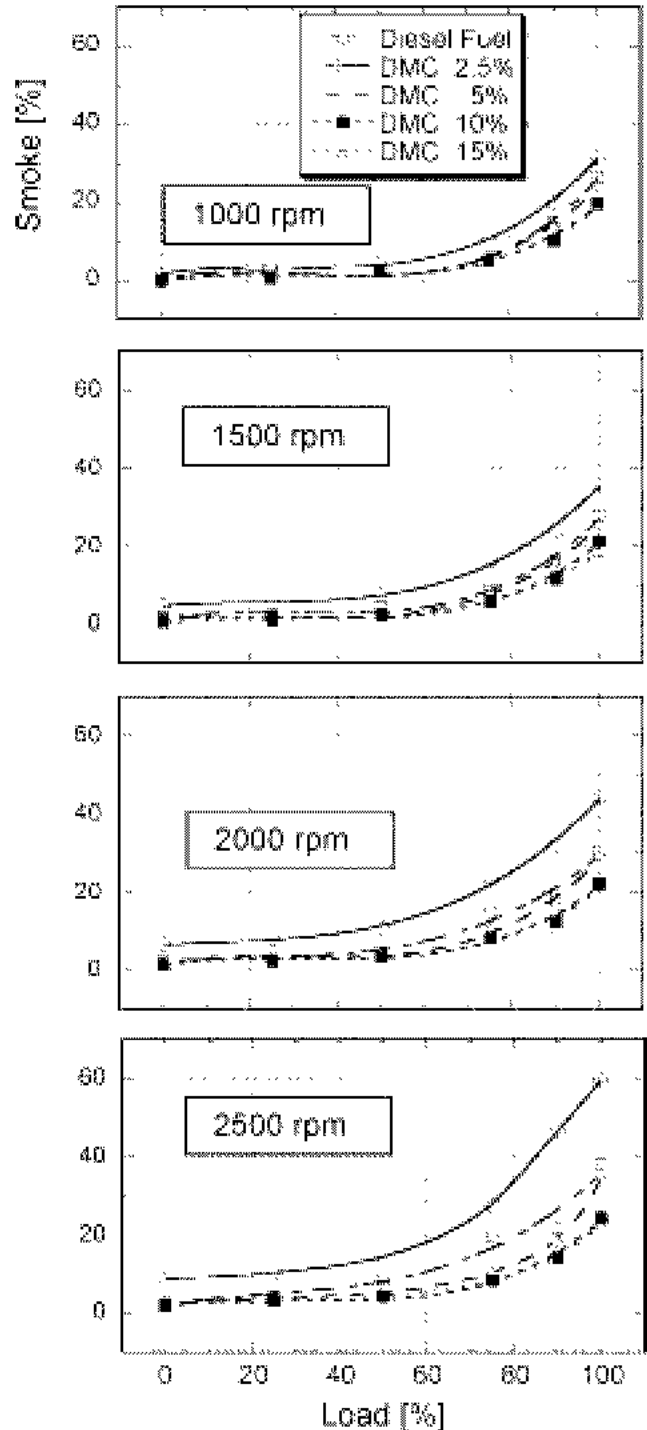


Fig. 2 Comparison of smoke density for difference of oxygenated fuel content under varying engine load and speed

포함된 합산소성분이 탄화수소성분의 산화를 촉진시켜주었기 때문으로 생각된다.

Fig. 3은 부하변화에 따른 에너지소비율(BSEC)의 변화를 각 기관회전수와 DMC의 혼합율에 따라 나타낸 것이다.

합산소연료인 DMC의 발열량이 경유에 비하여 약 30.7%정도이고, DMC를 최대로 혼합한 DMC 15vol %의 경우에는 발열량의 차이가 10.4%이지만, 에너지소비율면에서 보면 오히려 1000rpm, 저부하의 경우 약 4.3%, 그리고 2500rpm, 전부하의 경우 약 2.3%의 개선효과를 나타내고 있다.

또한, 중·저부하영역을 포함한 거의 모든 운전 조건하에서 DMC를 혼합한 연료와 경유만을 사용한 경우를 비교하여 에너지소비율이 거의 차이가 없는 것으로 나타났으며, 이는 발열량이 작음에도 불구하고 DMC 혼합연료내의 합산소성분에 기인한 기관의 연소 개선이 이루어졌기 때문으로 생각된다.

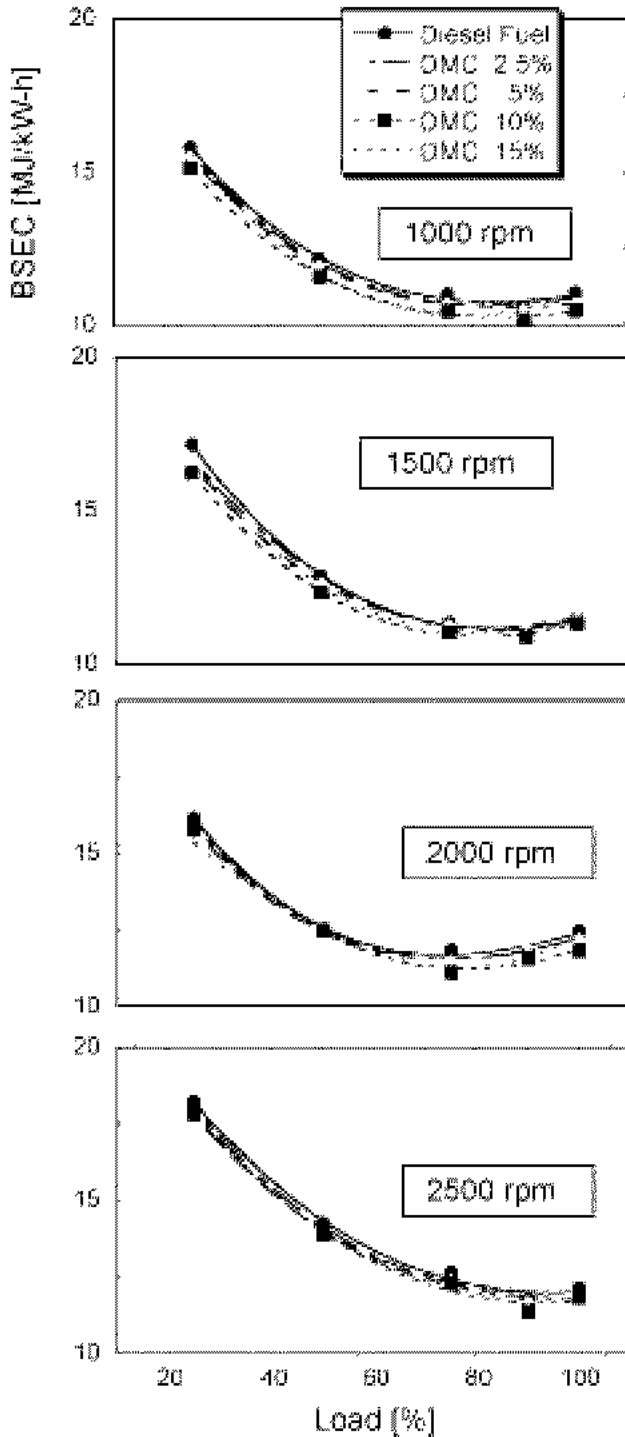


Fig. 3 Comparison of BSEC for difference of oxygenated fuel content under varying engine load and speed

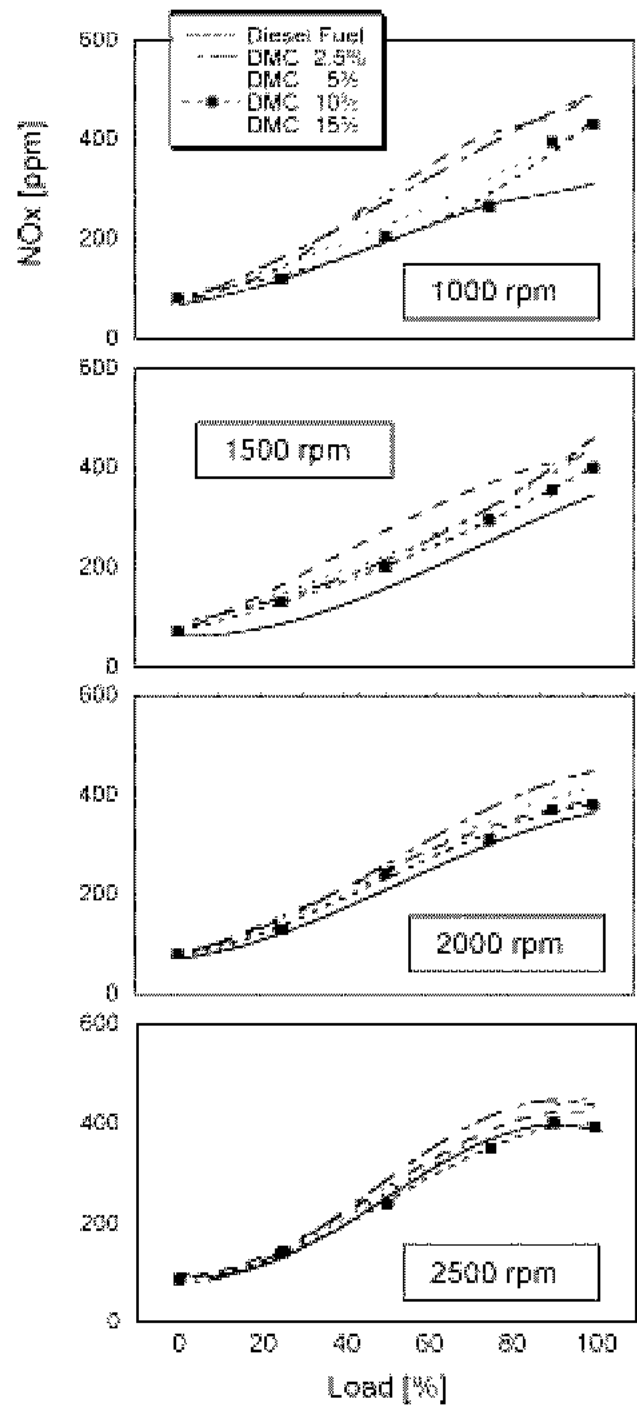


Fig. 4 Comparison of NOx concentration for difference of oxygenated fuel content under varying engine load and speed

Fig. 4는 기관의 부하변화에 따른 NOx의 배출특성을 각 기관회전수와 DMC의 혼합율에 따라 나타낸 것이다.

그림에서와 같이 NOx의 배출특성은 부하가 고부하로 진행할수록 DMC를 혼합한 연료의 경우가 경유와 비교했을 때 전체적으로 증가하는 경향을 나타내고 있는데, 이는 고부하에서 합산소연료내에 포함된 산소성분으로 인한 연소 개선 효과로 실린더내의 온도를 상승시킴에 따라 NOx 생성을 증가시킨 것으로 생각된다.

또한, DMC 10vol %를 혼합한 경우가 경유를 사용한 경우의 NOx 배출특성에 가장 근접한 결과를 보이고 있어, 다른 혼합율의 경우에 비하여 NOx가 상대적으로 적게 배출됨을 알 수 있으며, 이는 합산소연료인 DMC의 발열량이 경유에 비하여 낮기 때문으로 생각된다.

Fig. 5는 무부하와 전부하 상태에서 배출되는 매연의 배출특성을 연료내에 함유된 산소량에 따라 나타낸 것이다.

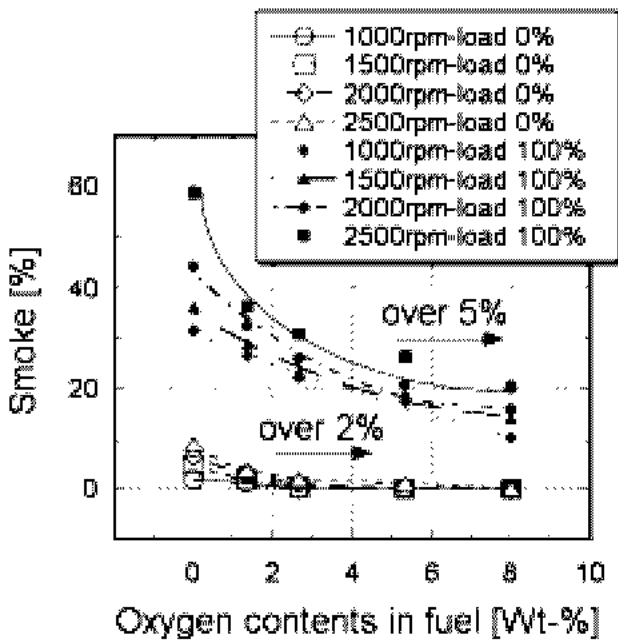


Fig. 5 Comparison of smoke density of load 0% vs. full load with various oxygen contents

전부하 상태에서는 모든 경우에 연료속의 산소농도가 증가함에 따라서 매연 배출이 현저하게 저감되고 있으며, 산소농도가 5Wt %이상 함유된 경우에는 어느 경우에도 매연 배출량이 약 20%미만임을 알 수 있다.

또한, 무부하 상태에서는 연료속의 산소농도가 2Wt %이상만 되어도 모든 경우에 있어서 2%미만의 매연이 배출되는 것을 알 수 있어 연료속의 산소성분이 매연 배출량에 큰 영향을 미친다는 것을 알 수 있다.

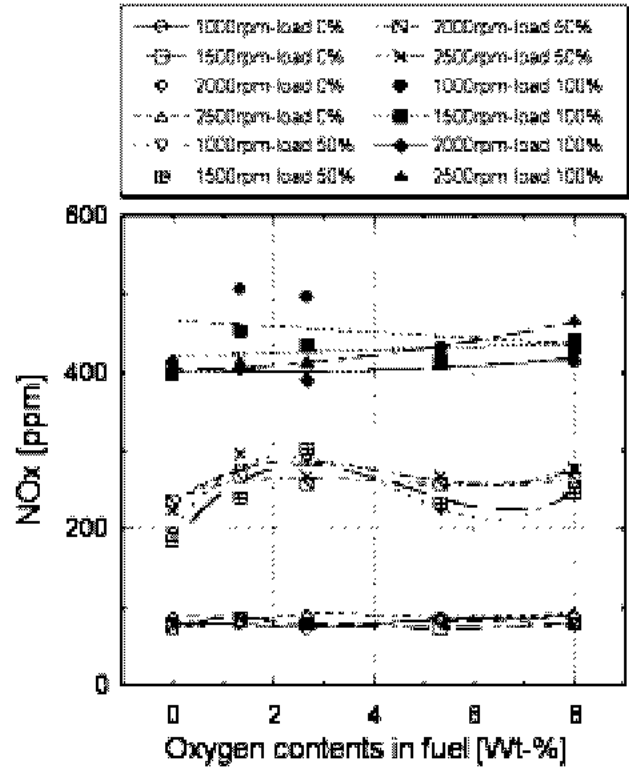


Fig. 6 Comparison of NOx concentration of load 0%, 50% and full load with various oxygen contents

Fig. 6은 무부하, 50%의 중부하와 전부하 상태에서 배출되는 NOx의 배출특성을 연료내의 산소량에 따라 나타낸 그림이다.

DMC를 혼합한 경우에는 NOx의 배출특성은 기관부하가 증가함에 따라서 증가하는 경향을 보이고 있지만, 연료내의 산소농도에는 크게 영향을 받지 않음을 알 수 있다.

이상의 기관실험에서 매연과 에너지소비율의 관계를 검토한 결과, 경유와 유사한 에너지소비율을 유지하면서 현저한 매연저감효과를 나타내고 있는 DMC 10vol %를 경유 90vol %와 혼합한 경우가 최적의 상태로 판단되었다.

이러한 매연 저감의 원인을 살펴보기 위하여 가스 크로마토그래피를 이용하여 배기가스의 분석을 수행하였다.

Fig. 7은 1000, 1500, 2000 및 2500rpm의 기관회전속도에서 경유의 경우와 DMC를 10%혼합하여

사용한 경우의 탄화수소 분석결과로서 크로마토그램상에 나타난 각각의 피크면적을 보여주고 있다.

그림에서와 같이, 두 가지 연료 모두 고회전과 고부하로 갈수록 탄화수소의 배출농도는 현저히 증가하지만, 증가폭은 경유의 경우가 더욱 급격함을 알 수 있다.

이는 중부하 이하인 경우에는 경유를 연료로 사용한 경우에도 공기이용률이 충분하기 때문에 합산소연료인 DMC의 산소성분이 미연탄화수소 생성에 큰 영향을 미치지 않은 것으로 생각되나, 합산소연료를 사용한 경우에 고부하·고회전수로 갈수록 DMC에 포함된 산소성분에 기인하여 연료입자의 산화를 더욱 촉진시켜 매연생성에 영향을 미치는 미연탄화수소의 전체적인 양이 크게 저감되었기 때문으로 생각된다.

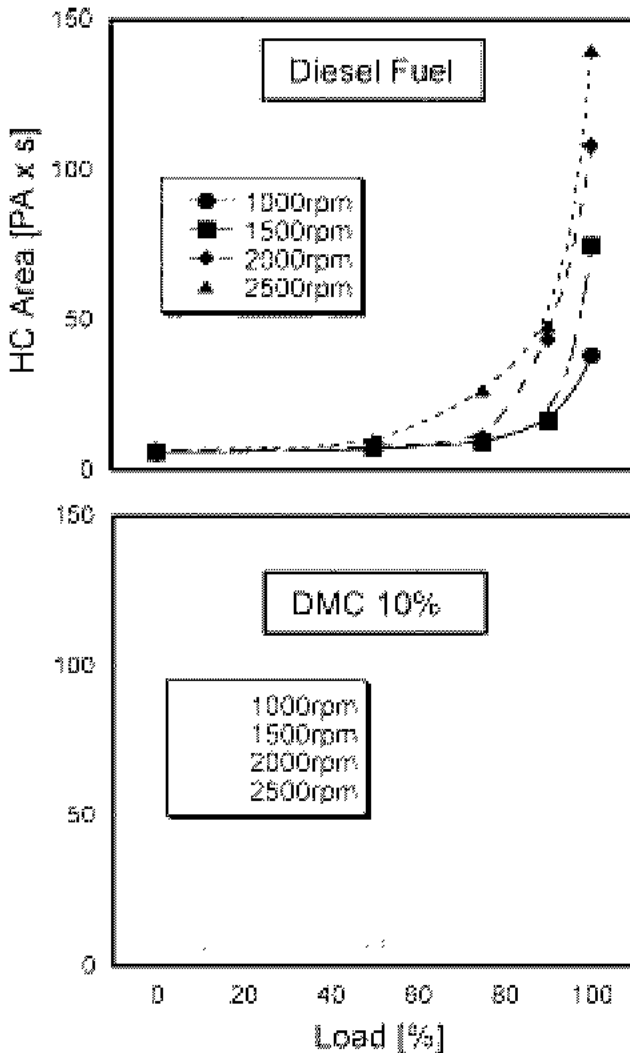


Fig. 7 Total area of hydrocarbon of two fuels on chromatogram analysis under varying engine speed and load

3.2 cooled EGR을 적용한 경우의 배기특성

이상에서 언급한바와 같이 합산소연료를 첨가함으로써 배기가스 중의 매연의 저감은 현저하였으나, 기관의 부하가 증가함에 따라서 NOx의 배출농도는 약간 증가하는 것을 알 수 있었다. 이와 같은 문제를 해결하기 위하여 디젤기관에서 NOx 저감 방법의 일환으로 알려진 cooled EGR방법을 병행하여 사용하였다.

Fig. 8은 2000rpm, 전부하의 경우에 EGR율의 증가에 따라 실린더내에 흡입되는 산소농도를 나타낸 것으로, 흡기 산소농도는 EGR율이 증가함에 따라서 직선적으로 감소하는 것을 알 수 있다.

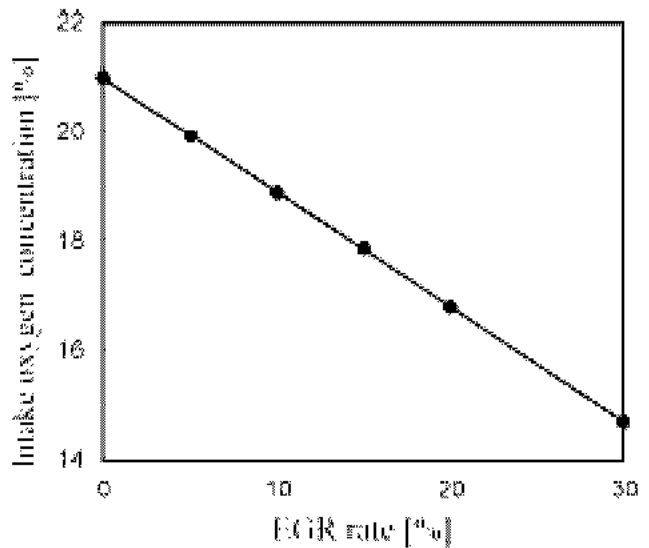


Fig. 8 Intake oxygen concentration vs. EGR rate at 2000rpm, full load

Fig. 9는 기관의 회전속도와 부하, EGR율을 파라미터로 하여 매연의 배출특성을 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 EGR율이 증가함에 따라서 합산소연료를 사용한 경우에도 매연이 증가되는 것을 알 수 있다.

특히, 20%이상의 EGR율이 기관에 적용된 경우에는 중·고부하 영역에서 경유를 사용한 경우보다도 매연이 다량 배출됨을 알 수 있다. 이는 재순환되는 배기가스가 연소실내로 흡입되는 신기 중의 산소량을 감소시켜 연소에 충분한 산소의 공급이 어렵기 때문으로 생각한다.

Fig. 10은 각 기관회전속도에서 기관부하와 EGR율을 변화시킨 경우, NOx의 배출 특성을 나타낸 것이다.

NOx는 EGR율의 증가에 따라 현저하게 저감됨

을 알 수 있으며, 고회전·고부하 영역에서 더욱 저감폭이 현저해지는 것을 알 수 있다.

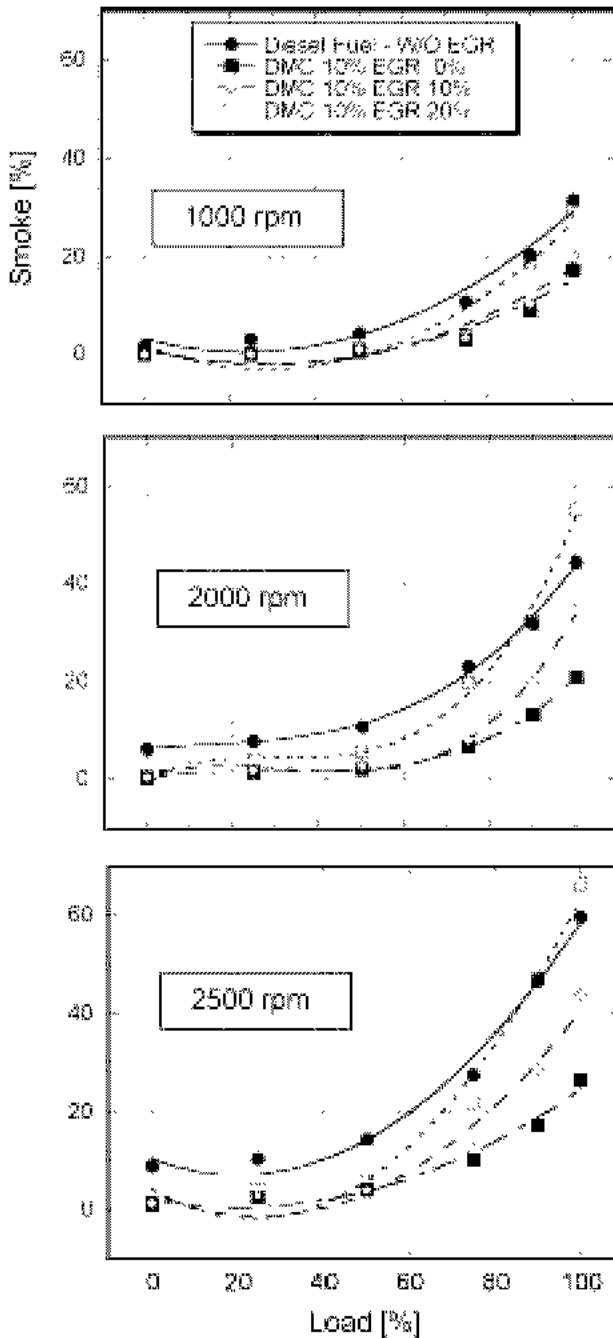


Fig. 9 Comparison of smoke density of diesel fuel vs. oxygenated fuel on EGR rate under varying engine load and speed

기관회전속도 2500rpm, 전부하의 경우에 경유를 사용한 경우와 비교하여, 합산소연료를 사용한 경우에 EGR을 10%를 적용한 경우는 12%, EGR을 15%인 경우에는 24%, EGR을 20%인 경우에는 34%, EGR을 30%인 경우에는 53%의 NOx 배출량의 저감을 보이고 있다.

그러나, EGR을 20%이상의 영역에서는 고부하·고회전 영역에서 매연의 급격한 증가를 수반하기 때문에 매연과 NOx의 동시저감을 위한 EGR율은 10~15%정도가 적절한 것으로 생각된다.

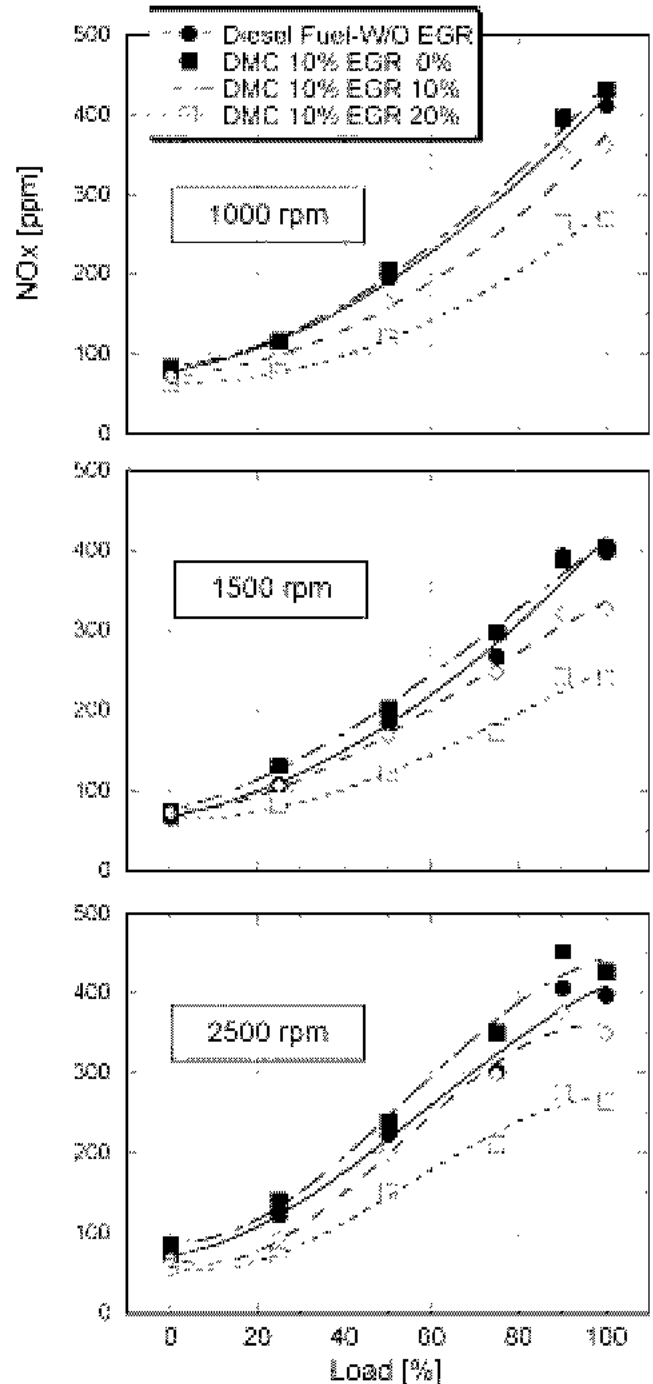


Fig. 10 Comparison of NOx concentration of diesel fuel vs. oxygenated fuel on EGR rate under varying engine load and speed

EGR을 기관에 적용하면 연소실에 들어가는 흡입 공기 일부가 배기가스로 치환되어 연소온도가 낮아지고, 연소속도가 늦어져 NOx 배출농도가 현저하

게 감소된다. 따라서, EGR양이 증가하면 급격히 NOx 농도가 감소하는데, 고부하로 갈수록 농도의 저감율은 크지만, 산소농도의 감소현상으로 인하여 매연의 농도가 현저하게 증가한다는 여러 연구자들의 연구결과(8, 11)와도 유사함을 알 수 있다.

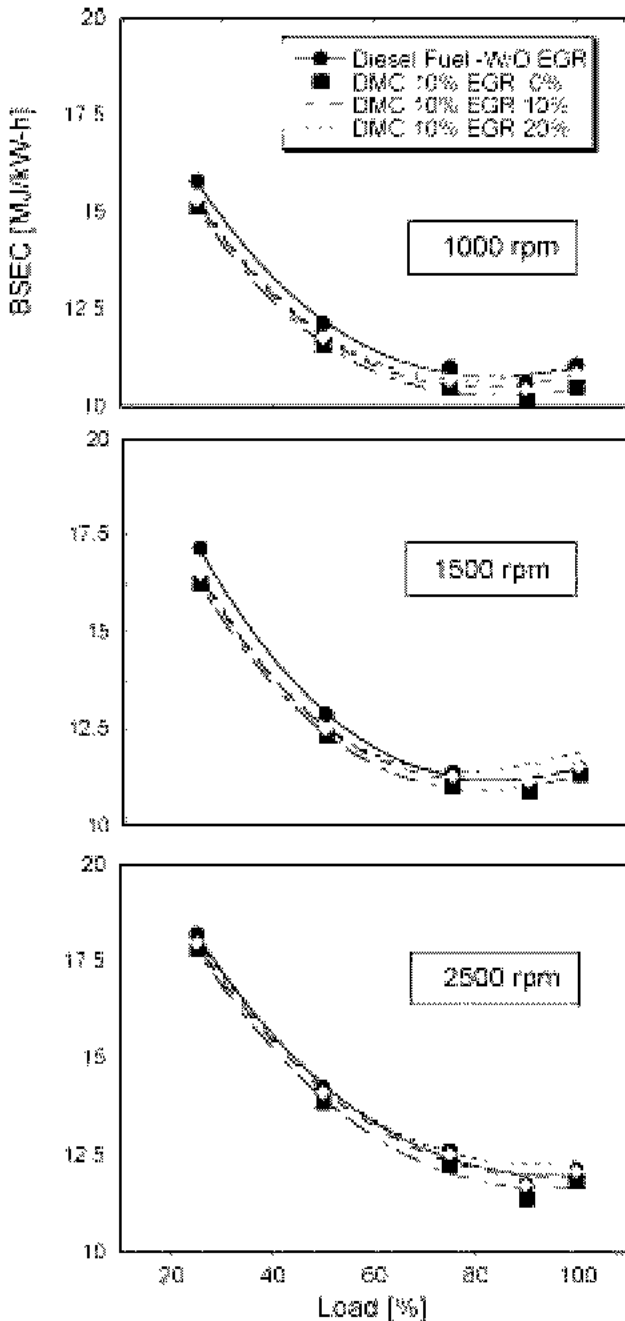


Fig. 11 Comparison of brake energy consumption of diesel fuel vs. oxygenated fuel on EGR rate under varying engine load and speed

Fig. 11은 각 기관 회전속도와 부하에서 EGR율의 변화에 따른 에너지 소비율의 변화특성을 나타낸 것이다. 그림에서 나타난 바와 같이, EGR율의 증

가에 따른 에너지 소비율은 상당히 불규칙적으로 나타나 있지만, 고부하와 고회전 영역에서 EGR율 20%이상의 경우에는 약 5%정도의 에너지 소비율의 악화가 나타나고 있음을 알 수 있다.

그러나, Fig. 8과 9에서 언급한 바와 같이 본 실험에서 최적의 EGR율로 판단된 EGR율 10~15%의 경우에 있어서는 경유의 경우와 비교하여 에너지 소비율의 변화가 거의 없음을 알 수 있다.

이는 직접분사식 디젤기관을 사용한 연구에서 흡입 산소량이 18%이상인 영역에서는 연료소비율이 흡입 산소량의 감소, 즉 EGR의 증가에 의해 약간 저하한다 할지라도 대폭적인 감소는 관찰되지 않는다고 보고한 Narusawa⁹⁾ 등의 연구결과와 유사함을 알 수 있다.

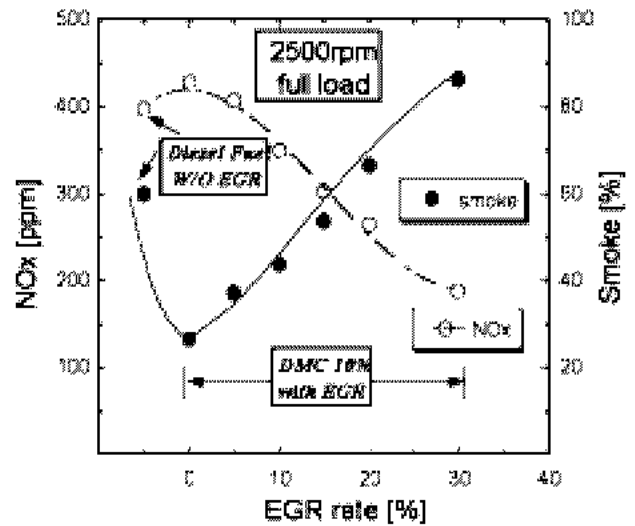


Fig. 12 Characteristics of smoke vs. NOx emission with diesel fuel and DMC 10vol % on EGR rates

Fig. 12는 2500rpm, 전부하 상태에서 경유를 연료로 사용하며 EGR을 적용하지 않은 경우와, DMC 10vol %를 혼합한 연료와 EGR을 적용한 경우의 매연과 NOx의 배출특성을 나타낸 그림이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이, EGR율이 증가해 갈수록 합산소연료를 사용한 경우에도 매연은 증가하며, NOx는 저감되고 있다.

합산소연료를 사용시에도 EGR율이 20%를 초과하는 경우에는 경유만을 사용한 경우보다 매연이 증가됨을 알 수 있으며, 5%미만의 EGR율을 적용한 경우에는 NOx 배출특성이 경유를 사용한 경우와 유사함을 알 수 있다. 즉, DMC 10vol %를 기관의 연료로 사용한 경우에 최적의 EGR율은 10~15%정도임을 확인할 수 있었다.

4. 결 론

수냉식, 단기통, 4행정, 직접분사식 디젤기관의 연료로서 경유, 카보네이트계열의 합산소 연료인 DMC를 2.5~15%의 체적비율로 혼합한 연료를 사용, 이들 연료들이 기관 성능 및 배기 배출물에 미치는 영향에 대하여 조사하고, 기관 부하의 상승과 함께 증가되는 NOx를 저감시키기 위하여 cooled EGR방법을 병행하여 실험하여 그 성능 및 배기 특성을 고찰한 결과 다음과 같은 결론에 도달하였다.

- 1) 출력과 에너지 소비율의 측면에서 경유를 사용한 경우와 DMC를 혼합하여 사용한 경우가 큰 차이를 보이지 않았으며, 이는 합산소연료의 발열량이 적음에도 불구하고 연료내에 포함된 산소에 의한 연소 개선에 기인한 것으로 생각된다.
- 2) DMC의 혼합율이 증가함에 따라서 매연이 현저하게 저감하며, DMC 10vol %의 경우 최대 59%의 매연 저감 효과를 확인할 수 있었다.
- 3) 매연 농도는 연료내의 산소농도에 크게 영향을 받으며, 저부하에서는 약 2Wt %정도의 산소만으로도 매연이 거의 배출되지 않았으며, 고부하에서는 매연 저감폭이 현저하나 산소농도가 약 5Wt %이상에서는 저감폭이 약간 둔화됨을 알 수 있다.
- 4) 합산소연료인 DMC 10vol %를 경유와 혼합하여 사용할 경우 trade off관계에 있는 매연과 NOx를 동시에 저감하기 위한 EGR율은 10~15%이다.

참고 문헌

1. N. Miyamoto, et al., "Ultra Low NOx and Smokeless Diesel Combustion with Highly Oxygenated Fuel", Proceeding of The 15th Internal Combustion Engine Symposium, pp.81~86, JSAE, 1999
2. C. V. Beidl et al., "The Impact of Emissions and Fuel Economy Requirements on Fuel Injection system and Noise of HD Diesel Engines.", SAE 980176, 1998
3. W.R. Wade, "Light Duty Diesel NOx HC Particulate Trade Off Studies", SAE 800335, 1980
4. W.R. Wade, et al., "Reduction of NOx and

Particulate Emissions in the Diesel Combustion Process", Transaction of the ASME Vol. 109, pp. 426~434, 1987

5. 오영택, 최승훈, 김승원, "직접분사식 디젤기관에서 합산소연료의 적용에 관한 실험적 연구", 한국자동차공학회 추계학술대회 논문집, Vol. I, pp. 299~304, 2001
6. 오영택, 최승훈, "디젤기관의 배기배출물 중 가스 크로마토그래피를 이용한 탄화수소분석에 관한 실험적 연구", 한국동력기계공학회지, 제4권, 제3호, pp. 12~18, 2000
7. Y. Nakajima, K Sugihara and S. Muranaka, "Effects of Exhaust Gas Recirculation on Fuel Consumption", Proc. Instn. Mech. Engrs. Vol. 195, pp. 369~376, 1981
8. S. L. Plee, T. Ahmad. and J. P. Myers, "Flame Temperature Correlation for the Effects of Exhaust Gas Recirculation on Diesel Particulate and NOx Emissions", SAE 811195, 1981
9. K. Narusawa, et al., "An EGR Control Method for Heavy Duty Diesel Engines under Transient Operations", SAE 900444, 1990
10. A. Mayer and E. Pauli, "Emissions Concept for Vehicle Diesel Engine Supercharged with COMPREEX", SAE 880008, 1988
11. T. Nagai and M. Kawakami, "Reduction of NOx Emission in Medium Speed Diesel Engines", SAE 891917, 1989