

# 함산소연료(DGM)와 EGR 방법이 디젤기관의 배기배출물에 미치는 영향에 관한 연구

최 승 훈\*·오 영 택†

(2002년 4월 14일 접수, 2003년 9월 17일 심사완료)

## A Study on Effects of Exhaust Emissions with Oxygenated Fuel(DGM) and EGR Method in a Diesel Engine

Seung-Hun Choi and Young-Taig Oh

**Key Words:** Oxygenated Fuel(함산소 연료), Exhaust Gas Recirculation(배기가스 재순환), Exhaust Emission(배기배출물), Gas Chromatography(가스 크로마토그래피)

### Abstract

In this paper, the combination effects of oxygen component in fuel and exhaust gas recirculation on the exhaust emissions have been investigated for a direct injection diesel engine. It is a kind of effective oxygenated fuel of diether group that the smoke emission of DGM(diethylene glycol dimethyl ether) blended fuel is reduced remarkably compared with commercial diesel fuel, that is, it can supply oxygen component sufficiently at higher loads and speeds in diesel engine. But, NOx emission of oxygenated fuel was increased compared with commercial diesel fuel. Also, the effects of exhaust gas recirculation(EGR) on the characteristics of NOx emission has been investigated. It was found that simultaneous reduction of smoke and NOx was achieved with oxygenated fuel(DGM 5vol-%) and cooled EGR method(10~15%).

### 1. 서 론

디젤기관은 공기 과잉 상태로 운전되기 때문에 비열이 증대되어 열해리가 적고 열효율이 높으며, 또한 고압축비를 기관에 적용할 수 있어 전체적인 내연기관의 관점에서는 가장 열효율이 높은 열기관<sup>(1)</sup>이다.

그러나, 동일한 행정체적에서 연소되는 연료량이 적기 때문에 출력이 낮은 결점을 가지고 있으며, 고출력을 얻기 위하여 완전연소가 가능한 연료농도 이상을 공급하면 기관의 출력은 증대되지만 확산연소 영역에서의 국부적인 산소 부족으로

불완전연소되는 연료가 거의 대부분 매연으로 배출된다. 이러한 디젤기관의 배기배출물의 저감을 위한 방법으로는 기관설계 변경기술과 연료의 성상 등에 변화를 주어 연료가 연소실내에서 연소하여 배출되기 전에 배출가스를 저감시키기 위한 전처리 방법과 연료가 연소한 후에 연소실 밖에서 촉매장치나 입자상물질 트랩(DPF), 배기가스 재순환<sup>(2)</sup>(exhaust gas recirculation, 이하 EGR) 방법 등을 사용하여 배출가스를 처리하는 후처리 방법으로 나눌 수가 있다. 이 중 후처리 방법은 배출가스의 생성을 근본적으로 억제할 수 있는 방법이 되지 못하기 때문에 많은 연구자들은 연료가 연소실내에서 연소하기 전이나, 연소 후 배기관으로 배출되기 전에 배출가스를 저감시키는 전처리 방법에 접근하여 문제를 해결하고자 하였으며, 여러 가지 전처리 방법 중에서, 가격의 저렴함과 시간을 절약할 수 있다는 이점 때문에 엔진 자체로의 접근 방법보다는 연료자체의 성상변화, 즉, 함산소연료를 상용경유와 혼합하는 방법, 세

\* 회원, 전북대학교 대학원 기계공학과

† 회원, 전북대학교 기계공학과

전북대학교 부설 공학연구원 자동차신기술연구센터

E-mail : ohyt@moak.chonbuk.ac.kr

TEL : (063)270-2323 FAX : (063)270-2315

탄가 개선제의 첨가 등과 같은 방법이 제시되고 있다.

이중 합산소연료를 이용하여 디젤기관의 배기 배출물 저감 방법으로 사용한 이전의 연구에서 Bertoli 등<sup>(3)</sup>은 합산소연료의 일종이며 디젤기관의 냉간시동성능 개선제로 알려진 diethyl ether와 4% 정도의 toluene을 혼합하여 디젤기관의 대체연료로서의 가능성을 타진하였으며, Miyamoto 등<sup>(4)</sup>은 dithylene glycol dimethyl ether(이하 DGM)를 비롯한 4가지의 합산소연료와 EGR을 조합하여 산소 함유량에 따른 배기 배출물의 특성을 조사하였으나 기관 회전속도를 비교적 저속인 1320rpm으로 국한하여 부하의 변화만을 시도한 실험의 결과만을 보고하고 있다. 또한, 이 등<sup>(5)</sup>은 dimethyl ether를 이용한 연구에서 NOx를 제외한 다른 배기배출물의 저감효과를 보고하고 있다.

오 등<sup>(6)</sup>은 사전 예비 실험결과 DGM의 최적 혼합율인 5vol-%를 혼합하여 사용할 경우 현저한 매연 저감 효과에 대비하여 NOx가 증가함을 확인하였고, 그 원인은 가스 크로마토그래피를 이용한 분석을 통하여 규명하였다. 즉, 전처리 방법으로서의 합산소연료를 혼합하여 사용한 이전의 결과<sup>(6)</sup>와 비교하여, 후처리 방법으로서 합산소연료를 사용할 경우 증가되는 NOx의 저감방법으로 cooled EGR방법을 구현하여 최적의 EGR율을 선택하고자 하였으며, 전·후처리 방법을 모두 병용하여 매연과 NOx의 동시저감을 이루고자 하였다. 후처리 방법의 일종인 EGR의 영향이 디젤기관의 NOx 배출물에 미치는 특성 연구들이 계속 진행되고 있으나, EGR이 배기 배출물에 미치는 영향에 관한 과정이 아직도 확실하게 파악되지 못한 이유는 액체연료의 분무연소인 디젤연소과정이 매우 복잡하기 때문이다. 이와 같은 난점과 더불어 EGR율의 증가에 따라 고부하영역에서는 매연이 증가하고, 연료소비율도 악화될 뿐만 아니라, 매연 미립자 및 SOx 배출물의 순환에 따라 기관내부의 마모나 침식이 발생<sup>(2)</sup>하고, 윤활유의 열화를 가속시키기 때문에 반드시 적정량의 EGR율을 유지해야할 필요가 있다. 즉, 매연 미립자의 제거장치를 이용하여 흡기로 재순환되는 배출가스의 미립자 성분을 제거시키고, cooled EGR을 사용하여 EGR의 온도를 저감시킬 수만 있다면 효과적으로 NOx 배출물을 줄일 수 있을 것으로 생각된다. 따라서, 본 연구에서는 서로 상반되게 배

출되는 매연과 NOx를 동시에 저감시키기 위한 방법의 일환으로 전처리 방법의 하나인 합산소연료를 이용하고, 후처리 방법으로 EGR 방법을 동시에 적용할 경우 배기가스 배출 특성을 조사하고자 한다.

## 2. 실험장치 및 방법

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

Table 1 Specification of test engine

Item	Specification
Engine model	ND130DIE
Bore × Stroke	95 × 95 (mm)
Compression ratio	18
Combustion chamber type	Toroidal
Injection timing	BTDC 23°CA

Table 2 Properties of test fuels

	Diesel fuel	DGM
Molecular formula	C <sub>16</sub> H <sub>34</sub>	C <sub>8</sub> H <sub>14</sub> O <sub>3</sub>
Stoichiometric air fuel ratio	1 : 14.9	1 : 8.2
Molecular weight	226	134.2
Heating value [MJ/kg]	43.12	24.5
Oxygen content(%)	0	35.79

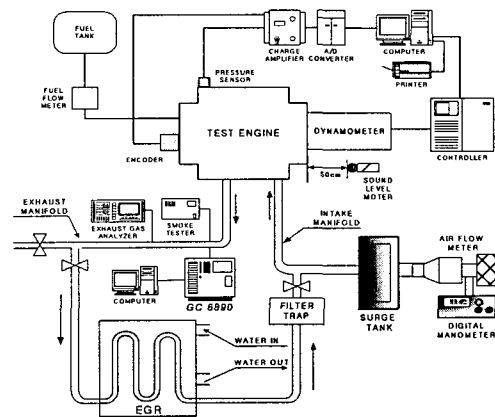


Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus

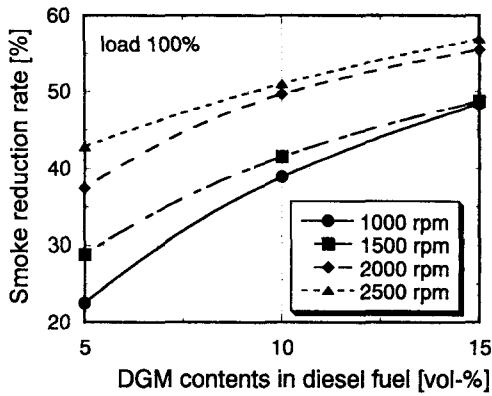


Fig. 2 Smoke reduction rate vs. engine speed at full load

기관 실험은 상용 경유와 디에테르계 합산소연료인 DGM을 체적비율로 5~15vol-%를 혼합한 연료를 사용하여 기관의 각 회전속도에서 무부하, 25%, 50%, 75%, 90% 및 전부하의 경우에 기관 성능과 배기배출물을 측정하였으며, 매연 농도의 측정은 매연 측정장치(Hesbon; HBN-1500)를 사용하여 기관으로부터 300mm 하류에서 일정량의 배출가스를 흡입한 후, 여과지에 흡착된 매연의 농도를 측정하였으며, 매연 농도는 동일 조건에서 각각 3회 측정하여 평균값을 취하였다. NOx의 측정은 배기 매니폴드로부터 약 400mm 하류에서 화학루미네스스 방식의 분석기(Motor branch; Mod. 588)로 일정량의 배기가스를 흡입하도록 하였다. 배기가스는 분석기의 다이어프램 펌프로 흡입하여 측정 셀로 이동시켰고, 샘플링 튜브 중간에 필터를 설치하여 측정 조건의 변화에 따라 새로운 필터로 교환하여 배기가스 샘플링 농도의 오차를 줄였다. 기관이 일정량의 연료를 소모하는 시간을 측정하여 단위시간 당의 에너지소비율(MJ/kW-h)로 계산하였으며, 정적분사시기는 실험 조건에 관계없이 BTDC 23°C로 고정하였다.

또한, EGR율을 구하기 위하여 전체 연소실 흡기량에 대한 EGR된 양, 즉 새로운 흡입공기량의 감소율로서 식 (1)을 이용하였다. 이 때 부하변동에 따른 EGR율의 변화는 ±2% 미만이었다.

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

여기에서  $V_0$ 는 EGR을 수행하지 않았을 경우의 흡입공기량(m<sup>3</sup>/h),  $V_a$ 는 EGR을 수행했을 경우의

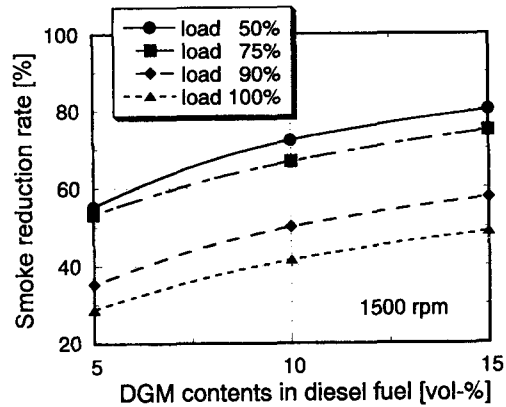


Fig. 3 Smoke reduction rate vs. engine load at 1500rpm

새로운 흡입공기량이다. 또한, 각 기관 부하에서 45~140°C까지 변화하는 EGR 가스의 온도는 냉각시스템을 거쳐 20°C정도로 유지하였으며, 재순환되는 배기가스 중의 미립자를 제거하기 위한 필터를 설치하여 실험하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

Fig. 2는 DGM을 혼합하여 사용한 경우를 경우만을 사용한 경우와 비교하여 전부하상태에서 회전속도 변화에 따른 매연의 저감율을 나타낸 것으로 기관 회전속도와 DGM의 혼합율이 증가함에 따라 매연 저감율이 증가하는 것을 알 수 있다. 즉, 연소실내의 공기가 부족한 고부하·고회전속도 영역에서 국부적으로 부족한 산소성분을 합산소연료 자체가 충당하여 DGM의 혼합량이 증가함에 따라 매연 배출이 현저하게 저감된 것으로 생각된다. 이와 같은 매연은 연소실내에 공기가 부족한 분위기에서 연료가 열분해과정을 거친 후, 축·중합과정과 탈수소 반응을 거치면서 성장과정과 산화과정을 마친 후 산화되지 못한 성분이 배기과정 중에 대기 중으로 배출되기 때문<sup>(7)</sup>으로 생각된다. 합산소연료를 사용한 경우에는 가연성 혼합기내의 충분한 산소성분 때문에 매연의 생성자체를 연소과정 전반에 걸쳐서 억제할 수 있으며, 매연배출에 큰 영향을 미치는 확산연소기간에 있어서는 산소성분의 기여로 급격한 탄화수소의 산화를 유도하여 매연생성을 더욱 억제할 수 있는 것으로 생각된다.

Fig. 3은 비교적 매연이 적게 배출되는 1500rpm의 회전속도에서 부하변화에 따른 매연 저감율의 특성을 나타낸 것이다. 그러나, Fig. 2와는 달리 부하가 증가함에 따라 매연 저감율이 감소되는 것을 알 수 있다. 이는 매연 배출의 절대량이 비교적 적은 저부하 영역에서 합산소연료를 혼합한 경우에는 거의 매연 배출이 이루어지지 않았기 때문에 오히려 매연 저감율면에서는 현저한 것으로 나타나고 있지만, 매연 배출의 절대량 측면에서는 고부하영역에서 더욱 현저한 저감을 확인하였다.

Fig. 4는 합산소연료인 DGM을 혼합하여 사용한 경우 매연 생성과 밀접한 관계가 있는 것으로 생각되는 고비등점 탄화수소( $C_{5}$ ,  $C_{6}$ )량과 매연 배출의 절대량과의 상관관계를 75% 이상의 고부하 경우를 예로하여 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 전반적으로 고비등점 탄화수소의 배출량이 증가함에 따라 매연 배출량은 급격하게 증가됨을 알 수 있으며, DGM 5vol-%를 혼합한 경우에는 경유를 사용한 경우보다 미연 탄화수소의 배출이 억제되고 있음을 알 수 있다. 따라서, 매연 배출 농도에 합산소성분과 고비등점 탄화수소의 영향이 크다는 것을 알 수 있다.

Fig. 5는 고부하인 90%의 부하에서 DGM을 혼합하여 사용한 경우 NOx의 배출특성을 나타낸 것으로 가로축은 경유만을 사용한 경우에 비하여 합산소 연료를 사용한 경우의 기관 회전속도에 따른 NOx의 증가율을 나타낸 것이다. 1500rpm 이하에서는 DGM의 혼합율이 증가함에 따라

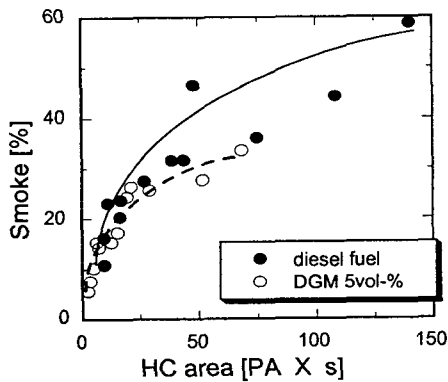


Fig. 4 Comparison of Smoke vs. higher boiling point hydrocarbons

NOx의 증가량도 현저해짐을 알 수 있으나, 2000rpm 이상의 경우는 그 증가폭이 둔화되는 것을 알 수 있다. 2000rpm 이상에서 합산소연료를 사용한 경우의 NOx의 증가폭이 저감되는 이유는 연소실 온도에 기여하는 합산소연료의 산소성분 영향보다는 연소시간 단축으로 인한 연소효율 저하때문인 것으로 생각된다. 합산소연료는 단열화염온도는 낮지만 연료의 열분해 영역에 효과적으로 산소를 공급함에 따라서 열복사물질인 매연은 저감되지만, 복사열전달이 잘 안되어서 화염온도가 증가하여 NOx배출이 증가되는 것<sup>(8)</sup>으로 알려져 있다.

Fig. 6은 2000rpm의 기관회전속도에서 DGM의 혼합량에 따라 중부하 이상의 영역에서 NOx의 배출량을 나타낸 것으로 경유만을 사용한 경우에

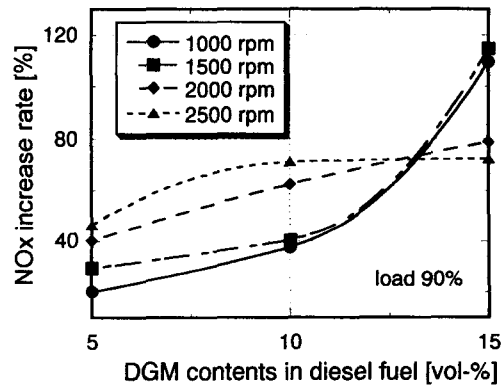


Fig. 5 NOx increasing rate vs. engine speed at load 90%

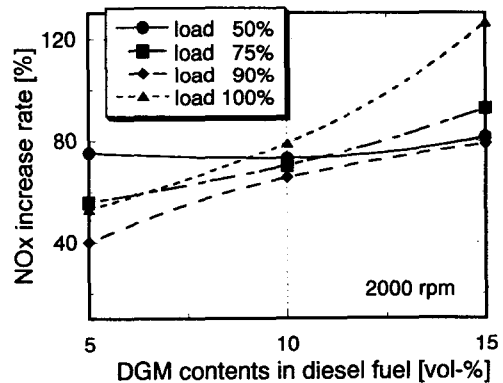


Fig. 6 NOx increasing rate vs. engine load at 2000rpm

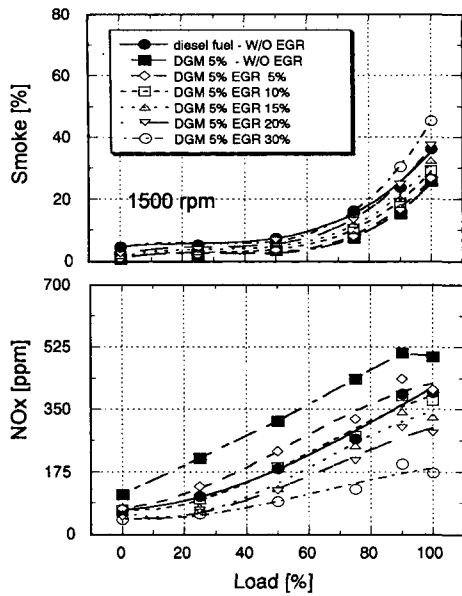


Fig. 7 Exhaust emissions vs. engine load for different EGR rates at 1500rpm

비하여 기관 부하에 따른 NOx 증가율을 나타낸 것이다. NOx의 배출량은 중부하영역에서보다 전 부하영역에서의 배출량 차이가 현저히 증가하였고, 합산소연료의 첨가량이 증가할수록 부하의 증가와 함께 급격하게 증가됨을 알 수 있다.

에너지소비율의 변화는 경유와 비교하여 큰 변화를 나타내지 않았으며, 이는 DGM의 발열량이 경유에 비하여 상대적으로 낮음에도 불구하고 전체적인 혼합량이 크지 않고, 또한 DGM내에 포함된 산소성분의 영향으로 연소효율의 개선을 유도하였기 때문으로 생각된다.

이상의 실험결과에서와 같이 경유에 합산소제인 DGM을 혼합하여 사용할 때 매연은 현저히 감소하며, 에너지소비율도 거의 유사한 경향을 나타내지만, NOx의 배출농도는 꾸준히 증가되는 것을 알 수 있었다. 이와 같은 문제를 해결하기 위하여 디젤기관에서 NOx 저감방법의 일환으로 알려진 EGR방법을 병행하여 사용하였으며, 특히 체적효율의 증대를 위하여 cooled EGR 방법을 적용하였다. EGR은 보통 흡입공기보다 상당히 고온이기 때문에 흡기의 온도를 증가시켜 연소온도의 상승을 유발하여 NOx 생성을 증가시키므로 EGR 효과인 비열 증가나 O<sub>2</sub>농도의 저감으로 얻어지는 화염온도 저감 효과를 상쇄시킨다. 또한

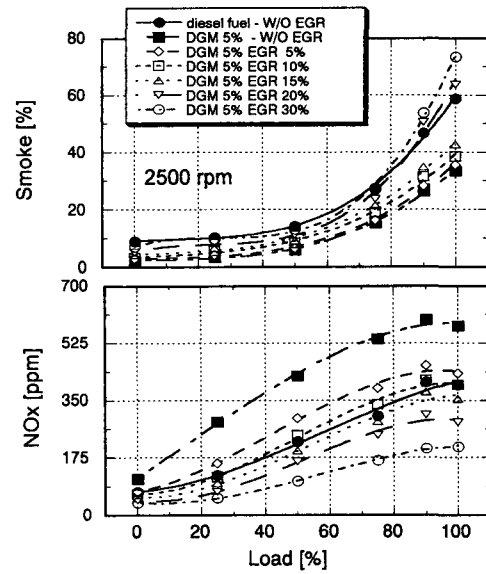


Fig. 8 Exhaust emissions vs. engine load for different EGR rates at 2500rpm

EGR에 의해 높아진 흡기의 온도는 체적효율을 감소시키는 영향이 있다. 따라서 효과적인 NOx 저감을 위해서는 EGR의 온도를 냉각시키는 방법이 필요<sup>(9)</sup>하다고 생각되어진다.

Fig. 7은 최적 혼합율로 설정한 DGM 5vol-%를 혼합하여 사용한 경우 저회전속도인 1500rpm에서 각 기관부하와 EGR율에 따라 배기 배출물의 배출특성 및 에너지소비율을 나타낸 것이다. EGR율이 증가함에 따라서 합산소연료인 DGM을 혼합하여 사용한 경우에도 매연의 증가폭이 커지는 것을 알 수 있다. 특히, 20%이상의 EGR율이 적용된 경우에는 고부하 영역에서 경유를 사용한 경우보다도 매연 배출이 증가됨을 알 수 있다. 이는 재순환되는 배출가스가 연소실내로 흡입되는 신기 중의 산소량을 감소시켜 연소에 충분한 산소의 공급이 어렵기 때문으로 생각된다. NOx는 EGR율의 증가에 따라 현저하게 저감되고, 15%이상의 EGR을 적용한 경우에는 경유만을 사용한 경우보다도 저감되었으며, 에너지소비율은 경유의 경우와 유사하였다.

Fig. 8는 기관의 고회전속도 2500rpm에서 각 기관부하와 EGR율에 따라 배기 배출물의 배출특성을 나타낸 것이다. Fig. 7에서 설명한 1500rpm의 경우와 비교하여 매연의 증가 경향이나 NOx의 저감경향은 유사하였으나, 2500rpm의 경우가

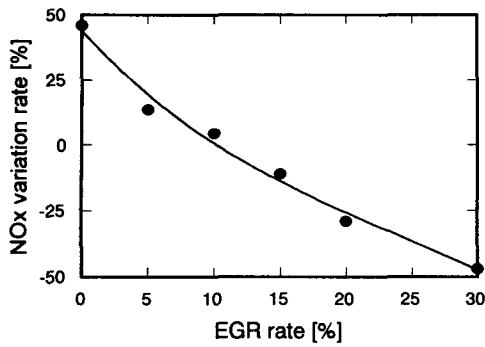


Fig. 9 NOx variation rate at 2500rpm. full load

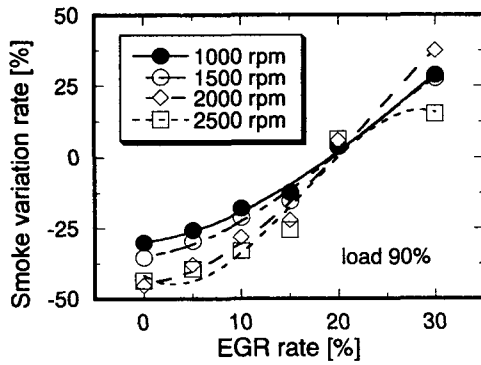


Fig. 10 Variation rate of smoke on EGR rate under varying speed at load 90%

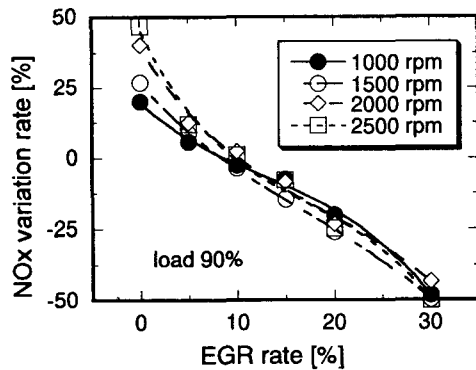


Fig. 11 Variation rate of NOx on EGR rate under varying speed at load 90%

그 경향이 더욱 뚜렷하였다. 또한, 그림에서 DGM 5vol-%를 혼합하여 사용할 때 EGR율이 증가함에 따라 감소되는 NOx의 저감폭을 Fig. 9에서 나타내었다. 그림에 나타난 바와 같이 2500rpm, 전부하의 경우에, EGR 0%의 경우는 경

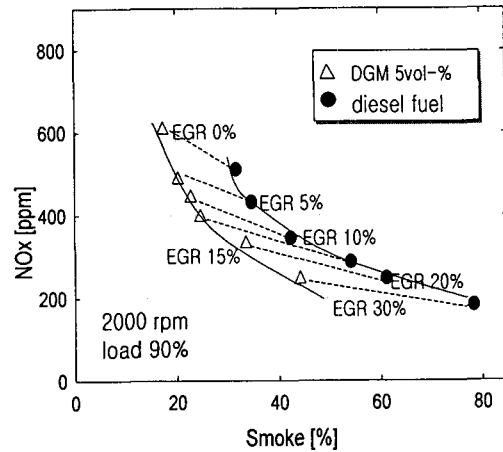


Fig. 12 The effect of combination of DGM and EGR on smoke and NOx emission

유의 경우에 비하여 46% 정도 증가하지만, EGR 10%의 경우는 경유의 수준이며, EGR 15%의 경우 11%, EGR 20%의 경우에는 29%가 저감되며, EGR 30%의 경우에는 48%가 저감되나, Fig. 8의 매연 배출경향에 나타난 바와 같이 20% 이상의 EGR율을 적용한 경우에는 기관부하 75% 이상의 고부하영역에서 DGM을 5vol-% 혼합하여 사용한 경우에도 매연이 경유만을 사용한 경우보다 다량 배출되므로, DGM 5vol-%를 혼합하여 기관의 연료로 사용할 경우 최적의 EGR율은 15% 정도가 적당한 것으로 판단된다.

Fig. 10은 매연 배출에 대한 EGR의 영향을 정량적으로 나타낸 경우이며, DGM 5vol-%를 혼합하여 사용한 경우에 90%의 부하에서 각 회전속도 변화에 따른 매연의 배출특성을 경유만을 사용한 경우와 비교하여 나타낸 것이다. 2500rpm의 경우에 매연 저감의 절대량은 저회전속도에 비하여 많았지만, 변화율은 다소 저하되는 것으로 나타났다. 또한 20% 이상의 EGR이 적용된 경우에는 경유만을 연료로 사용한 경우보다 매연 배출이 증가함을 확인할 수 있다.

Fig. 11은 Fig. 9와 동일한 조건에서 NOx배출의 변화를 나타낸 그림이다. NOx 변화율은 15%이상의 EGR을 적용한 경우에 경유만을 사용한 경우보다 최소 19%이상 저감되는 것을 알 수 있으며, EGR율이 증가함에 따라 NOx 감소폭은 커지는 것으로 나타났다.

Fig. 12는 2000rpm, 90%의 부하상태에서 DGM

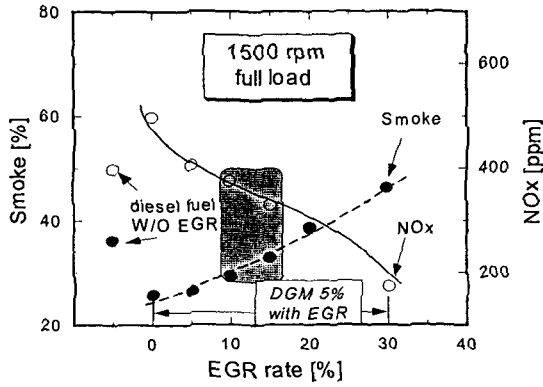


Fig. 13 Smoke and NOx emission vs. EGR rates at 1500 rpm, full load

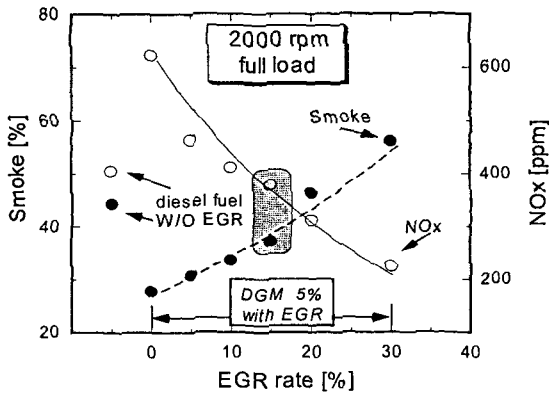


Fig. 14 Smoke and NOx emission vs. EGR rates at 2000 rpm, full load

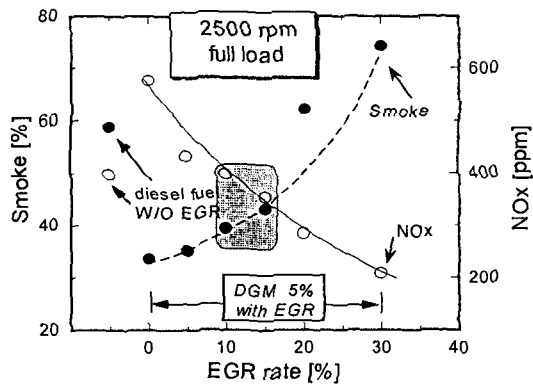


Fig. 15 Smoke and NOx emission vs. EGR rates at 2500 rpm, full load

5vol-%를 혼합하여 사용한 경우와 경유만을 사용한 경우의 EGR을 변화에 따른 NOx와 매연과의 관계를 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 EGR율이 증가함에 따라 양 연료 모두 NOx는 저감되지만 DGM 5vol-%의 경우가 더욱 현저하게 저감됨을 알 수 있다. EGR율은 고부하의 경우 약 30%까지 가능하였으며, 배기가스 재순환양에 따라서 NOx를 60% 정도까지 저감할 수 있었다. 또한, 전에 언급한 바와 같이 고부하영역의 경우 완전연소를 위하여 산소의 유효이용이 매우 중요하며 EGR율이 증가할수록 산소농도는 감소하므로 확산연소는 전반적으로 악화되어 EGR 20%이상에서는 경유만을 사용한 경우보다 매연이 증가함을 알 수 있다. 그리고, DGM 5vol-%를 혼합하여 사용하고 EGR을 적용한 경우는 배출특성이 상반된 NOx와 매연을 경유를 사용한 경우보다 동시에 상당히 저감시킬 수 있었다.

Fig. 13과 14 및 15는 1500, 2000 및 2500rpm의 기관 회전속도에서 전부하시에 경유를 연료로 사용하고 EGR을 적용하지 않은 경우와, DGM 5vol-%를 혼합한 연료와 EGR을 조합하여 적용한 경우의 매연과 NOx의 상반되는 배출특성을 나타낸 그림이다.

Fig. 13에서 EGR을 10%를 적용한 경우에는 매연은 크게 증가되지 않았으나, NOx는 경유만을 사용한 경우보다 약 3%정도 감소됨을 알 수 있다. 즉, 1500rpm·전부하의 경우에 있어서 DGM 5vol-%를 혼합하여 사용시의 최적의 EGR율은 약 10~15%정도가 될 것으로 생각한다.

Fig. 14에서는 EGR을 10%를 적용한 경우에 NOx의 배출측면에서 살펴보면, 경유만을 사용한 경우보다 약 2%정도만이 증가됨을 알 수 있으며, 그 이상의 EGR을 적용한 경우에는 NOx가 선형적으로 감소됨을 알 수 있다. 그러나, 20%이상의 EGR을 적용한 경우에는 매연이 경유만을 사용한 경우보다 6%정도 증가됨을 알 수 있다. 즉, 1500rpm·전부하의 경우에 있어서 DGM 5vol-%를 혼합하여 사용시의 최적의 EGR율은 약 15%정도가 될 것으로 생각한다.

Fig. 15에서는 EGR을 10%를 적용한 경우에는 경유만을 사용한 경우보다 매연은 33%가 저감되며, 증가하는 EGR 율의 영향으로 발생하는 NOx의 저감과정으로서 NOx 배출량은 경유의 경우와 비슷하게 배출되고 있다. 또한, 15%의 EGR을 적

용한 경우에는 매연은 약 26%, NO<sub>x</sub>는 12%가 감소되고 있어, 매연과 NO<sub>x</sub>가 저감되는 영역은 EGR을 10~15%이지만 전체적인 배기배출물의 배출특성으로 보아 매연과 NO<sub>x</sub>의 안정적인 동시저감 영역은 EGR을 15%정도 일 것으로 생각된다. 즉, Fig. 13과 14 및 15에서 살펴본 바와 같이 DGM 5vol-%를 경유와 혼합하여 사용하고, 약 15%의 EGR을 적용한 경우에는 매연과 NO<sub>x</sub>의 동시저감이 안정적으로 가능하게 됨을 확인하였다. 또한, 회전속도가 증가할수록 EGR율이 증가함에 따라서 매연의 증가율과 NO<sub>x</sub>의 저감율이 현저함을 알 수 있었다.

#### 4. 결 론

디젤기관에서 배출되는 배기배출물 저감에 대한 전처리방법의 일환으로써 경유와 DGM을 0~15vol-%까지 혼합하여 기관에 사용한 후, 배기배출물에 변화율을 분석하였으며, 매연과 NO<sub>x</sub>의 동시저감을 위하여 후처리방법의 일종인 cooled EGR을 적용한 결과 다음과 같은 결론에 도달하였다.

(1) 매연과 NO<sub>x</sub>의 배출특성은 합산소연료 혼합율의 증가, 즉 연료내의 산소농도에 의하여 강하게 좌우됨을 알 수 있었다.

(2) 합산소연료를 사용한 경우에도 EGR율이 증가함에 따라 매연과 NO<sub>x</sub>의 명확한 상반관계를 알 수 있었으며, 합산소연료의 경우 경유만을 사용한 경우보다 고부하로 진행할수록 NO<sub>x</sub>저감에 대한 EGR의 효과가 뚜렷하였다.

(3) 합산소연료인 DGM을 5vol-% 경유에 혼합하고 10~15%의 배기가스 재순환을 동시에 기관에 적용할 경우 서로 상반관계에 있는 매연과 NO<sub>x</sub>의 동시저감을 안정적으로 이룰 수 있었다.

(4) 합산소연료를 사용하고 EGR 방법을 적용할 경우 기관 회전속도가 증가할수록 EGR율이 증가함에 따라 매연의 증가율과 NO<sub>x</sub>의 저감율이 현저함을 알 수 있었다.

#### 참고문헌

(1) Naoki, S., Hirokazu, H., Toshio, N. and

Katsuhiko, Y., 1996, "A Study of Diesel Combustion Process Under the Condition of EGR and High-Pressure Fuel Injection with Gas Sampling Method," *SAE* 960030.

(2) BAE, M. W. and Tsuchiya, K., 2001, "A Study on Effects of Recirculated Exhaust Gas upon Wear of Cylinder Liner and Piston in Diesel Engines," *KSME International Journal*, Vol. 15, No. 11, pp. 1524~1532.

(3) Bertoli, C., Giacomo, N. D. and Beatrice, C., 1997, "Diesel Combustion Improvements by the Use of Oxygenated Synthetic Fuels," *SAE* 972972.

(4) Miyamoto, N., Ogawa, H., Nurun, N. Md., Obata, K. and Arima, T., 1998, "Smokeless, Low NO<sub>x</sub>, High Thermal Efficiency, and Low Noise Diesel Combustion with Oxygenated Agents as Main Fuel," *SAE* 980506.

(5) Lee, Y. J., Pyo, Y. D., Kim, G. C. and Kim, M. H., 2003, "A Study on Performance and Exhaust Emissions of DI Diesel Engine Operated with Neat DME and DME Blended Fuels," *Trans. of the Korean Society of Automotive Engineers*, Vol. 11, No. 2, pp. 75~82.

(6) Choi, S. H. and Oh, Y. T., 2002, "The Experimental Study in Emission Reduction by Oxygenate Additive in D.I. Diesel Engine," *Trans. of the Korean Society of Automotive Engineers*, Vol. 10, No. 4, pp. 33~42.

(7) Choi, S. H. and Oh, Y. T., 2000, "An Experimental Study on the Analysis of Exhaust Gas Concentration by Using DMC in Diesel Engine," *Trans. of the Korean Society of Automotive Engineers*, Vol. 8, No. 2, pp. 1~8.

(8) Choi, S. H. and Oh, Y. T., 2002, "Exhaust Emission Characteristics by Alteration of MTBE Contents in D. I. Diesel Engine," *Trans. of KSME (B)*, Vol. 26, No. 5, pp. 724~732.

(9) Ham, Y. Y. and Chun, K. M., 2002, "Engine Cycle Simulation for the Effects of EGR on Combustion and Emission in a DI Diesel Engine," *Trans. of the Korean Society of Automotive Engineers*, Vol. 10, No. 4, pp. 51~59.