

직접분사식 디젤기관에서 EGBE 첨가에 의한 배기가스 배출특성과 분석에 관한 실험적 연구

오 영 택[†] · 최 승 훈^{*}

(2001년 9월 11일 접수, 2002년 1월 2일 심사완료)

An Experimental Study on Analyses and Exhaust Emission Characteristics with EGBE Addition in D.I. Diesel Engine

Young-Taig Oh and Seung-Hun Choi

Key Words: Exhaust Emission(배기배출물), Oxygenated Fuel(함산소연료), Ethylene Glycol Mono-n-butyl Ether(EGBE), Diesel Engine(디젤기관), Smoke(매연)

Abstract

Improvements of fuel properties have become essential for exhaust emission reduction as well as for optimization of directly-related design factors and exhaust gas aftertreatment. In this study, the potential possibility of oxygenated fuel such as ethylene glycol mono-n-butyl ether(EGBE) was investigated for the sake of smoke reduction from diesel engine. Because EGBE include oxygen content approximately 27%, it is a kind of effective oxygenated fuel that the smoke emission of EGBE is reduced remarkably in comparison with commercial diesel fuel, that is, it can supply oxygen component sufficient at high load and speed in diesel engine. And, it was tried to analyze the quantities of the low and high boiling point hydrocarbon among the exhaust emissions in diesel engine. It have been investigated by the quantitative analysis of the hydrocarbon $C_1 \sim C_6$ using the gas chromatography. This study was carried out by comparing the chromatogram with diesel fuel and diesel fuel blended EGBE 20vol-%. The results of this study show that the hydrocarbon $C_1 \sim C_6$ among the exhaust emissions of the mixed fuels are exhausted lower than those of the diesel fuel at the all load and speed. In particular, high boiling point hydrocarbons such as C_5 and C_6 were reduced remarkably at high speed and load.

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.

이러한 문제를 해결하기 위한 디젤기관에 관한 연구로는 기관 연소실 형상의 최적화나 배기후처리 장치의 개발 및 개선 등과 더불어 연료성상에 관한 연구도 필수적인 연구과제라 할 수 있다.⁽¹⁾

이중에서도 취급이 용이하고, 연구 기간을 절약할 수 있다는 이점 때문에 기관자체로의 접근 방법보다는 연료자체의 성상변화 즉, 함산소연료를 상용 경유와 혼합하는 방법, 세탄가 개선제의 첨가 등과 같은 방법이 제시되고 있다.

함산소연료는 일반적으로 디에테르 계열(diether group, -O-), 모노에테르 계열(mono ether group, -O+-OH), 카보네이트 계열(carbonate group, -O(C:O)O-)과 저알코올 계열(lower alcohol group, -OH)로 분류되며, 이들의 가장 큰 차이점은 결합

[†] 책임저자, 회원, 전북대학교 기계공학과
자동차 신기술 연구소

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

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

^{*} 회원, 전북대학교 대학원 기계공학과

상태와 활성기의 유무이다.

이러한 합산소연료를 이용한 실험들을 살펴보면, B.L. Edgar 등⁽²⁾은 기체상태의 DME와 DMM을 압축·이용하여 디젤기관에 적용한 경우의 자기착화 특성과 배기 배출물 저감에 대한 연구를 수행하였고, 또한, Oh 등은 합산소연료와 EGR 방법을 병용하여 매연과 NOx를 동시에 저감시키는 연구⁽³⁾에서 합산소연료가 매연과 NOx를 동시에 저감할 수 있는 가능성을 입증하였고, 또한 카보네이트 계열의 합산소제인 DMC (dimethyl carbonate)를 디젤기관에 적용한 연구⁽⁴⁾에서 합산소연료가 고부하영역에서 디젤기관의 공기이용률을 높여준 결과 매연이 현저히 저감되었음을 보고하고 있다.

또한, Shuichi Kajitani 등⁽⁵⁾의 연구에서는 예연소실식 디젤기관에서 디에테르계열의 합산소연료이며 가솔린의 옥탄가 향상제인 Methyl tertiary butyl ether를 경유와 각각 5, 10, 15%를 혼합하여 실험한 결과 NOx와 검댕(soot)를 동시에 저감하였다는 보고가 있다.

Miyamoto 등⁽¹⁾은 이러한 합산소물질이면서 모노에테르 계열인 ethylene glycol mono-n-butyl ether(이하 EGBE)에 관한 연구에서 다른 합산소연료의 일종인 diethylene glycol dimethyl ether와 혼합하여 직접분사식 디젤기관에 적용한 결과, 매연저감에 상당히 큰 효과를 거두었음을 언급하고 있으나, 일반적으로 실제 기관에서 널리 사용되지 않는 저속(1320rpm)인 경우에만 EGBE와 경유가 아닌 타 합산소연료를 혼합한 경우의 매연저감에 대하여 보고하고 있어 디젤기관의 전체적인 운전영역에 적용하기에는 다소 무리가 있다.

본 연구에서는 이러한 합산소성분 첨가방법의 일환으로서 널리 알려져 있지 않은 모노에테르 계열의 합산소연료인 EGBE를 디젤기관의 상용연료인 경유와 최대 40%까지 혼합하여 배기배출물의 특성을 조사함과 동시에 각 기관회전속도와 부하에서 합산소성분이 매연생성에 미치는 영향을 분석하고자 정량·정성 분석이 모두 이용 가능한 가스 크로마토그래피(gas chromatography)를 이용하여 EGBE의 각 함유량에 따라서 배출되는 배기가스 성분 중에 함유되어 있는 C₁~C₆까지의 탄화수소의 정량적인 분석도 동시에 수행하여 저비등점 탄화수소와 고비등점 탄화수소를 분석하여 매연 배출농도와와의 상관관계를 조사하고자 한

다. 여기서, 탄소수가 4이하인 경우를 저비등점 탄화수소로, 5이상인 경우를 고비등점 탄화수소로 정의하였다.⁽⁶⁾

2. 실험장치 및 방법

실험에 사용된 기관은 단기통, 수냉식, 4행정, 직접분사식 디젤기관이며, 시동모터에 의해 시동이 이루어지고, 기관 부하와 기관 회전속도는 기관 동력계에 의해 임의로 조정할 수 있도록 하였다.

실험에 사용된 기관의 사양은 Table 1에, 사용된 연료의 특성은 Table 2에 나타내었으며, 실험장치의 개략도는 Fig. 1과 같다.

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	EGBE
Molecular formula	C ₁₆ H ₃₄	C ₆ H ₁₄ O ₂
Stoichiometric air fuel ratio	1 : 14.9	1 : 9.82
Molecular weight	226	118.175
Heating value [MJ/kg]	43.12	32.4
Oxygen content(%)	0	27.1

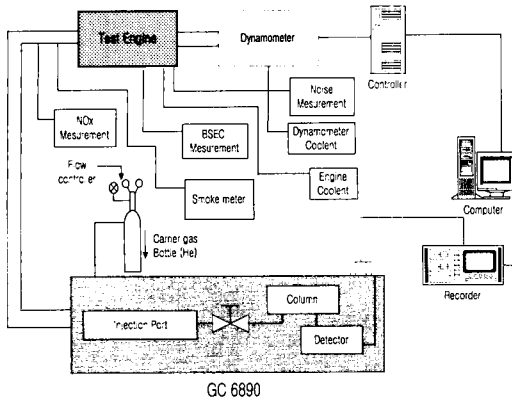


Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus

실험은 상용 경유와 모노에테르계 합산소연료인 EGBE를 체적비율로 5, 10, 15, 20, 25, 30 및 40vol-%를 혼합한 7가지 경우의 연료를 사용하여 기관의 각 회전속도에서 무부하, 25%, 50%, 75%, 90% 및 전부하의 경우에 기관 성능과 배기에 미치는 영향을 측정하였다.

기관부하의 변화는 기관 회전속도를 일정하게 한 후 스로틀을 완전히 개도한 상태를 전부하로 설정하고, 전부하의 토크값을 측정하여 부하를 %별로 변화시키면서 실험하였다.

매연 농도의 측정은 매연측정장치(HBN-1500)를 사용하여 기관으로부터 300mm 하류에서 일정량의 배기가스를 흡입한 후, 여과지에 흡착된 매연의 농도를 측정하였으며, 매연 농도는 동일 조건에서 각각 3회 측정하여 평균값을 취하였다.

NOx의 측정은 배기 매니폴드로부터 약 400mm 하류에서 배기가스 분석기(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.

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

또한, 기관이 일정량의 연료를 소모하는 시간을 측정하여 단위시간당의 에너지소비율(MJ/kWh)로 계산하였다.

Table 3 Condition of GC for C₁ ~ C₆

GC	Hewlett Packard 6890GC
Column	HP-PLOT/Al ₂ O ₃ 30m×0.53mm×15.0μm film thickness
Carrier	He, 3ml/min constant flow
Oven	30°C for 7.5min, Programmed at 20°C/min to 180°C
Injector	Split (15:1), Inlet 250°C
Detector	FID, 250°C

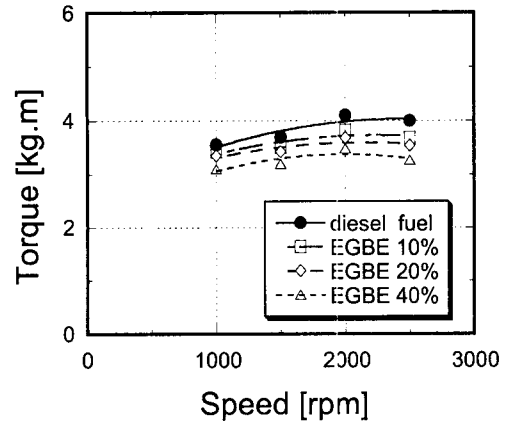


Fig. 2 Performance of torque at full load

분사시기는 실험조건에 관계없이 BTDC 23°C로 고정하였다.

가스 크로마토그래피를 이용한 탄화수소류의 분석 실험은 매연저감 측면에서 상당한 효과가 있으면서, 질소산화물은 타 혼합율에 비하여 경유와 유사하게 배출한 EGBE 20%를 경유에 혼합한 경우를 최적의 혼합율로 설정하여 분석·비교하였다.

배기가스 성분측정을 위한 가스 크로마토그래피의 사양은 Table 3에 표시하였으며, 실험조건은 기관의 각 회전속도에서 무부하, 25%, 50%, 75%, 90% 및 전부하의 경우 가스 크로마토그래피를 통하여 나타난 크로마토그램의 피크 면적을 비교하여 각 탄화수소가 매연농도에 미치는 영향을 조사하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 EGBE의 혼합률에 의한 기관실험

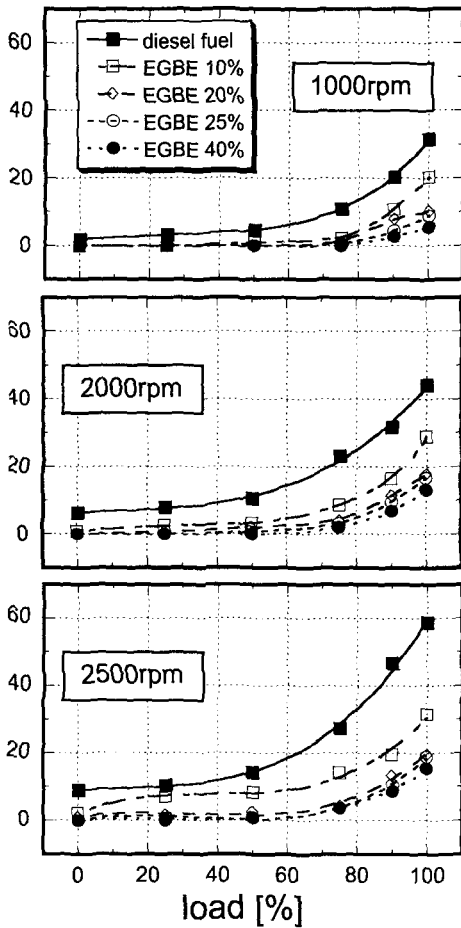


Fig. 3 Comparison of smoke density for difference of oxygenated fuel content under varying load and engine speed

Fig. 2는 전부하시 기관 회전속도가 변화할 때 기관 출력특성의 변화를 나타낸 그림이다.

그림에서와 같이 EGBE의 혼합율이 증가함에 따라서 기관 출력은 약간의 차이는 있지만, 모든 연료 공히 전 회전범위에 걸쳐 기관 출력특성은 거의 유사한 특성을 보이고 있음을 알 수 있다. 이는 합산소연료가 혼합된 연료를 기관의 연료로 사용할 경우에, 최대 혼합율인 40%에서 경유에 비하여 발열량의 차이는 약 10%가 낮지만, 기관 출력에서의 차이는 최대 6%에 불과하여 EGBE가 디젤기관의 연료로 사용될 경우 합산소성분에 기인한 연소효율 개선이 있음을 알 수 있었다.

Fig. 3은 경유에 EGBE를 0~40%까지 혼합한

연료를 이용하여 각 기관회전속도에서 부하변화에 따른 매연 배출특성을 나타낸 것이다.

그림에서와 같이 디젤기관의 공기이용율이 비교적 충분한 저회전 영역에서는 피스톤의 운동속도가 상대적으로 저속이어서 연소시간이 충분하고, 경유의 경우에도 충분하게 충전효율을 만족할 수 있어 합산소연료를 혼합한 경우에도 중부하 이하에서는 거의 영향이 없음을 알 수 있다.

그러나, 중부하 이상에서 매연 배출량의 차이를 보이고 있으며, 기관 회전수가 증가함에 따라 충전효율이 저감되는 고속에서는 저부하 영역에서는 물론 특히, 고부하 영역에서 매연 배출량에 현저한 차이를 보이고 있다.

합산소연료의 혼합량이 증가할수록 매연 저감이 현저하지만, 25%이상의 혼합율에서는 그 저감폭이 둔화되는 것을 알 수 있다.

일반적으로 알려진 바와 같이, 매연배출은 후연소기간에 생성된 매연의 산화보다 근본적으로 매연생성이 적어야 되는 것으로 알려져 있다. 즉, 매연배출은 생성된 매연의 산화량보다 매연의 생성량이 더 지배적이라고 할 수 있다.

합산소연료를 사용한 경우에는 가연성 혼합기내의 충분한 산소성분 때문에 매연의 생성자체를 연소과정 전반에 걸쳐서 억제할 수 있는 것이다.

또한, 매연배출에 큰 영향을 미치는 확산연소기간에 있어서는 산소성분의 기여로 급격한 탄화수소의 산화를 유도하여 매연생성을 더욱 억제할 수 있는 것으로 생각된다.

Fig. 4는 Fig. 3과 동일한 조건에서 기관의 각 부하변화에 따른 NOx의 배출특성을 나타낸 그림이다.

그림에서와 같이, 경유보다 합산소연료인 EGBE를 첨가한 경우 전체적으로 NOx의 배출량이 증가하는 경향을 보이고 있다.

이는 합산소연료내에 포함된 산소성분이 연소가 활발해지는 후연소기간에 화염온도를 상승시켜 NOx의 배출량을 증가시킨 것으로 생각되며, 합산소연료인 EGBE의 연료내 함유량이 25% 이상의 경우 급격히 NOx가 증가함을 알 수 있다. 이것은 합산소연료의 공급비율만큼 경유의 분사량이 줄어들기 때문에 발열량의 차이로 인하여 Prompt NOx의 생성이 저감하고, 초기에 급격하게 연소가 일어남으로써 연소실의 압력 및 연소온도가 상승하게 되어 Thermal NOx가 지배적인 상태가 되기 때문으로 생각된다.⁽⁷⁾ 즉, 경유를 연료로

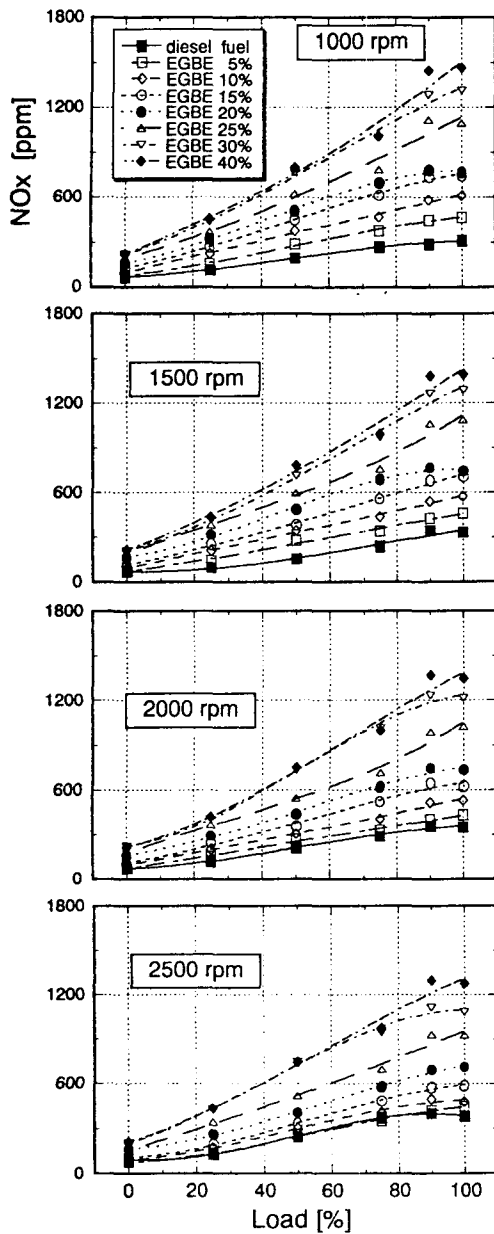


Fig. 4 Comparison of NOx emission for difference of oxygenated fuel content under varying load and engine speed

사용한 경우에는 연소실내의 산소량이 상대적으로 감소하므로 Thermal NOx의 생성이 둔화되며, 합산소연료를 사용한 경우에는 연료자체내에 포함된 산소성분에 의한 연소개선으로 연소실 온도의

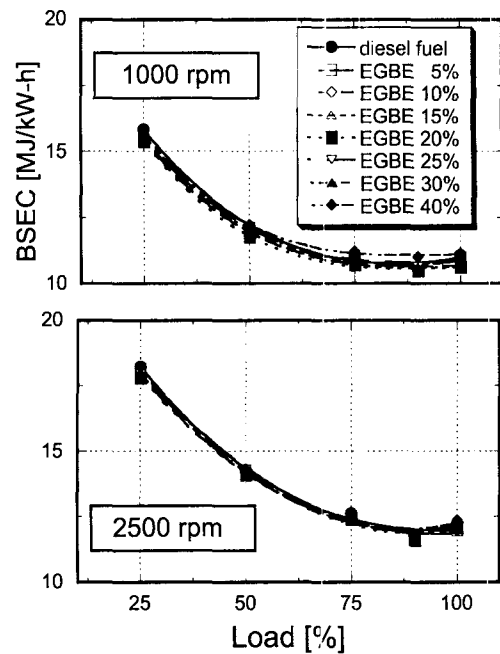


Fig. 5 Comparison of BSEC for difference of oxygenated fuel content under low and high speeds

상승을 수반함과 동시에 전체적인 NOx의 증가가 발생하는 것으로 생각된다.

그러나, 2500rpm의 고회전의 경우, 저회전인 1000rpm의 경우보다 합산소연료를 사용한 경우의 NOx가 저감되는 이유는 매연의 배출에 의한 불완전 연소로 연소온도가 저하되었기 때문으로 생각된다. 이것을 매연배출량과 비교해 볼 때, 25% 이상의 합산소연료가 포함된 경우에는 매연의 저감폭이 둔화되며, NOx의 증가폭은 늘어나는 것으로 보아 경우에 EGBE를 혼합하여 사용할 경우에 최적의 혼합율은 20%의 정도로 생각된다.

Fig. 5는 저회전수인 1000rpm과 고회전수인 2500rpm에서의 에너지 소비율을 비교한 것이다.

경유에 비하여 합산소연료인 EGBE는 발열량이 약 25%가 낮으면서도, 합산소연료에 포함된 산소성분에 의한 연소개선에 의하여 에너지 소비율이 거의 비슷하게 나타나고 있다.

본 실험에서 최대의 혼합율인 EGBE 40vol-%를 경유 60vol-%에 혼합하여 적용한 경우에 발열량의 차이는 약 10%이지만, 연소 개선의 극대화로 인하여 에너지 소비율의 차이는 약 2%에 불과하였다.

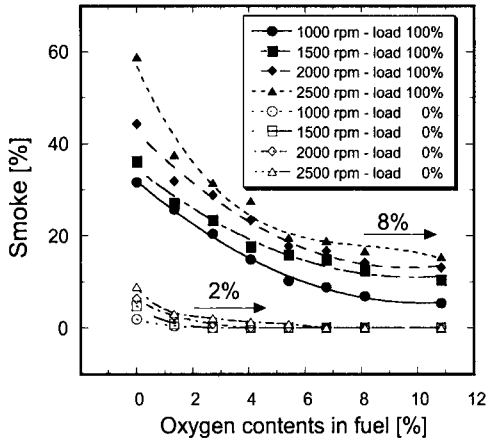


Fig. 6 Comparison of smoke density of load 0% vs. full load with various oxygen contents

Fig. 6은 전부하와 무부하 상태에서 배출되는 매연의 배출특성을 연료내에 함유된 산소농도와 비교하여 나타낸 것이다.

그림에서와 같이, 공기이용율이 부족한 전부하 상태에서는 연료속의 산소성분양에 비례하여 매연 배출이 현저하게 저감되며, 저회전인 경우보다 고회전인 경우가 연료속의 산소농도의 영향으로 매연 저감효과가 현저함을 알 수 있으며, 연료속의 산소농도가 8%이상이면 어느 회전영역에서나 매연 배출량이 거의 15% 미만이며, 그 이상의 산소량이 증가하여도 매연의 저감폭은 둔화되는 것을 알 수 있다.

또한, 저부하에서는 연료속의 산소농도가 2%이상만 되어도 매연이 거의 배출되지 않음을 알 수 있다.

이는 디젤기관의 연소특성상 연료내의 산소가 흡입과정시 흡입된 공기속의 산소보다는 연소를 위한 연료증기와의 균일한 가연성 혼합기 형성과 충분한 산소로 연소개선을 이루었기 때문으로 생각되며, 또한 발열량의 차이에도 불구하고 Fig. 5의 에너지 소비율이 큰 차이가 나지 않은 것과 다시 연관지어 생각할 수 있다.

Fig. 7은 전부하상태에서 기관회전속도가 변화할 때 합산연료의 함유량에 따른 매연 저감율을 나타낸 것이며, 이는 경유의 매연 배출량을 기준으로 EGBE의 혼합율에 따른 매연 저감의 비

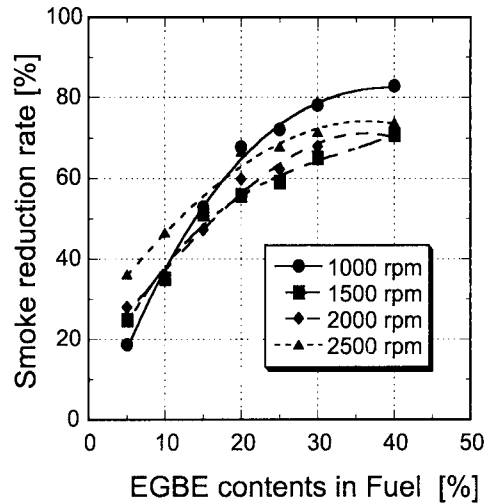


Fig. 7 Rate of smoke reduction vs. engine speed at full load

율을 나타낸 것이다.

EGBE의 함유량이 증가할수록 매연의 저감폭은 증가하지만, 20%이상 혼합한 경우에는 매연의 저감폭이 둔화됨을 알 수 있었다.

이상의 기관실험에서 매연과 NOx 배출량 및 에너지소비율의 관계를 검토한 결과, 경유와 유사한 에너지소비율을 유지하면서 현저한 매연저감효과를 나타내고 있는 EGBE 20%를 경유 80%와 혼합한 경우가 최적의 상태로 판단되었다.

따라서, 이 경우에 매연의 저감원인을 조사하기 위하여 가스 크로마토그래피를 이용한 전체적인 미연탄화수소 및 C₁~C₆까지의 개별탄화수소를 비교·분석하여 보았다.

3.2 가스 크로마토그래피를 이용한 탄화수소의 농도 분석

Fig. 8은 1000, 1500, 2000, 2500rpm의 기관회전속도에서 경유를 사용한 경우와 EGBE를 20%혼합하여 사용한 경우에 미연탄화수소의 분석결과로서 크로마토그램상에 나타난 각각의 피크면적을 보여주고 있다.

그림에서와 같이, 양 연료 공히 고회전과 고부하로 갈수록 탄화수소의 배출농도는 현저히 증가하며, 증가폭은 경유의 경우가 더욱 급격함을 알 수 있다.

특히, 2500 rpm, 전부하에서 EGBE를 혼합하여

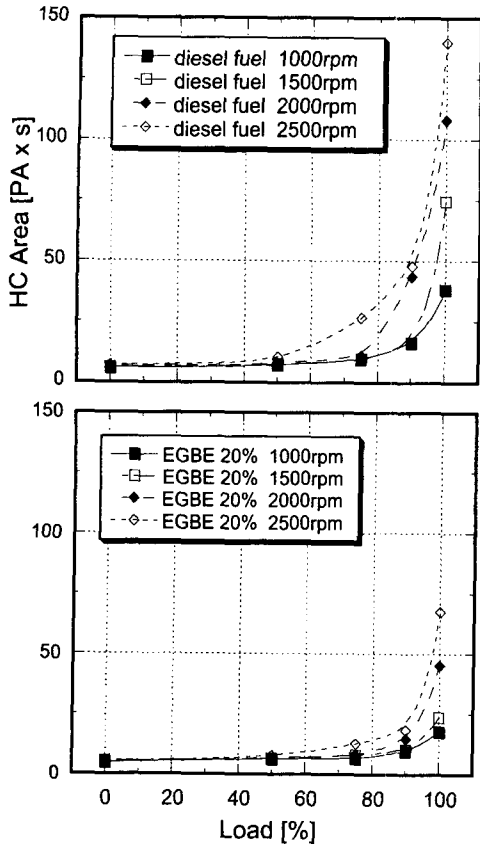


Fig. 8 Total area of hydrocarbon of two fuels on chromatogram analysis under varying engine speed and load

사용한 경우에 배출되는 미연탄화수소는 경유를 사용한 경우 비교적 탄화수소의 배출량이 적은 1500rpm의 경우보다도 약 10%가 적게 배출되는 것을 알 수 있다.

이는 중부하 이하인 경우에는 경유를 연료로 사용한 경우에도 공기이용률이 충분하기 때문에 합산소연료인 EGBE의 산소성분이 탄화수소 산화에 큰 영향을 미치지 않았으나, 고부하·고회전수로 갈수록 EGBE에 포함된 산소성분에 기인하여 탄화수소의 산화를 더욱 촉진시켜 매연생성에 영향을 미치는 미연탄화수소의 전체적인 양이 크게 저감되었기 때문으로 생각된다.

Fig. 9는 경유와 EGBE 20%를 첨가한 경우에서 무·중부하와 고부하영역에서 기관회전속도 변화에 따른 탄화수소의 배출특성을 나타내고 있다.

모든 회전범위에 걸쳐서 경유의 경우보다 합산

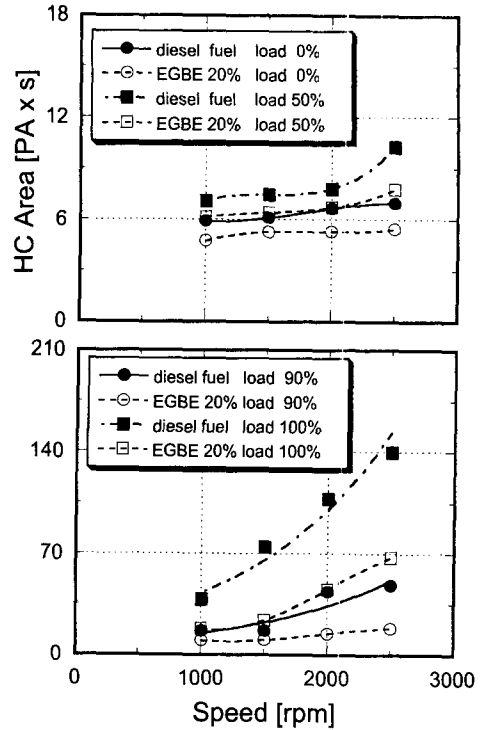


Fig. 9 Comparison of low vs. high load on total area of hydrocarbon under varying engine speed

소연료를 첨가한 경우가 탄화수소의 면적비가 현저하게 작게 나타나고 있으며, 특히 고부하로 갈수록 그 차이가 확실히 나타난다.

무부하나 중부하인 경우에 있어서는 경유를 연료로 사용한 경우에도 기관의 특성상 디젤기관의 공기이용률이 충분하기 때문에 큰 영향을 보이지는 않았다. 특히, 고부하와 전부하에서 전체적인 탄화수소의 피크 면적이 합산소연료를 사용한 경우가 훨씬 저감하는 이유는 합산소연료에 포함된 산소가 특히 연소후반부에 기관의 공기이용률을 크게 높여 주어 탄화수소 성분의 산화를 촉진시키기 때문으로 생각된다.

이를 좀더 고찰해보면 디젤기관에서 배출되는 탄소상 미립자 즉 매연은 Kittleson⁽⁸⁾ 등의 연구에 의하면 연소가 시작되는 즉시 매연이 발생하는 것이 아니고 확산연소 개시 때부터 매연이 생성되기 시작하며, 실린더내의 매연의 생성속도는 운전 조건에는 별 영향이 없고, 피크 농도에도

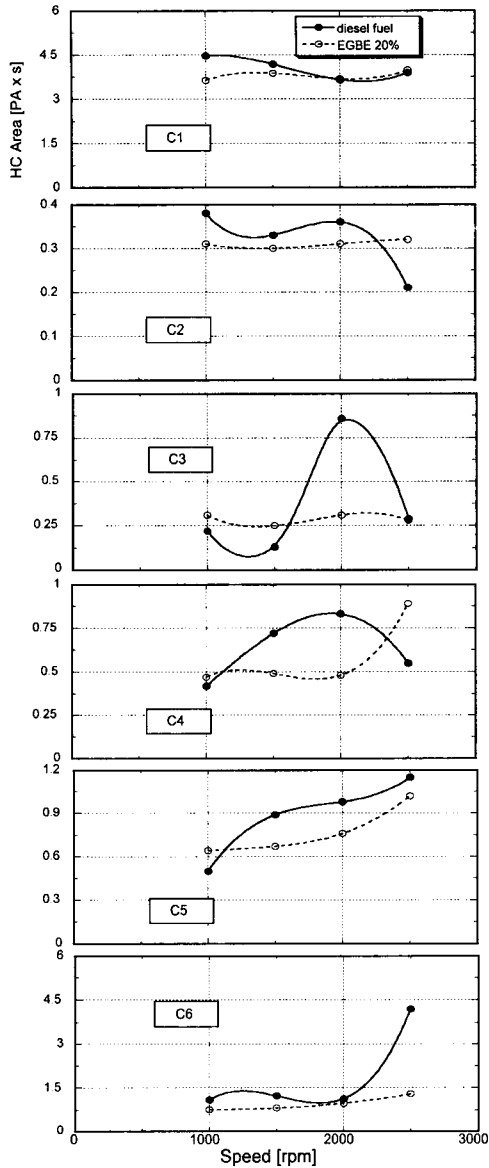


Fig. 10 Area of each hydrocarbon on chromatogram analysis under varying engine speed at load 50%

크게 영향을 미치지 않는다고 보고하고 있어 연소 후반부에 디젤기관의 공기이용률이 매연생성에 큰 영향을 주고 있음을 알 수 있다.

Fig. 10은 기관부하가 50%인 중부하 상태에서 개별탄화수소를 분석한 경우로서, 경유와 경유가 다소 증가하는 추세를 보이고 있으나, 그 차이는 미미하였다.

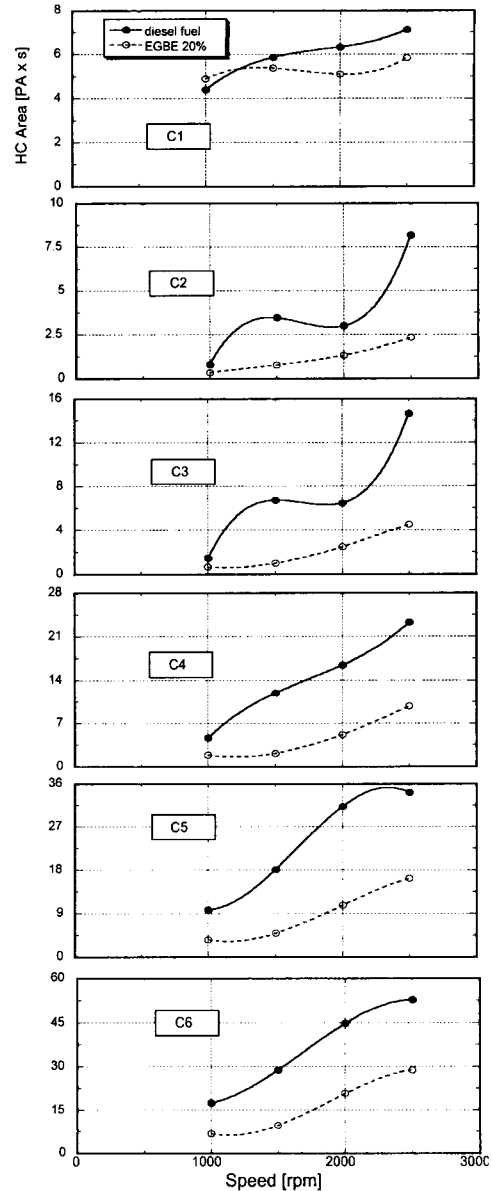


Fig. 11 Area of each hydrocarbon on chromatogram analysis under varying engine speed at load 100%

Fig. 11은 전부하 상태에서 개별 탄화수소를 분석한 경우로서, C₁에서 저회전의 경우를 제외한 모든 경우에 있어서 합산소연료를 사용한 경우가 미연탄화수소가 대폭 저감되어 배출되고 있음을 나타내고 있다.

연소과정에서 필연적으로 발생하는 열분해는

탄화수소 연료를 분해하여 매연성분의 핵을 형성 시키게 되는 것으로 알려져 있다.⁽⁹⁾

이때 발생하는 미연탄화수소의 성분중에서 저비등점 탄화수소는 산화가 용이하여 매연 생성에 큰 영향을 미치지 못하지만, 고비등점 탄화수소는 산화가 용이하지 못하며 매연 생성에 커다란 영향을 미치는 것으로 생각된다.

일반적으로 알려진 바와 같이, 매연배출은 후연소에 의한 매연의 산화보다 근본적으로 매연생성이 적어야 되는 것으로 알려져 있다.

즉, 매연배출은 매연의 산화량보다 매연의 생성량이 더 지배적이라고 할 수 있다. 합산소연료를 사용한 경우에는 연료내에 산소성분이 균일하게 일정부분 점유하는 부분이 있어, 매연의 생성 자체를 연소과정 전반에 걸쳐서 억제할 수 있을 것으로 생각되며, 합산소연료를 사용한 경우에 확산연소기간에 있어서는 산소성분의 기여로 인해 탄화수소의 연소개선으로 매연생성을 더욱 억제할 수 있는 것으로 생각된다.

4. 결 론

수냉식, 4행정, 직접분사식 디젤기관의 연료로서 경유와 연료내에 약 27%의 산소를 함유하고 있는 EGBE를 0~40vol-%까지 혼합하여 사용한 경우 기관 성능 및 배기 배출물에 미치는 영향을 조사·분석한 결과 다음과 같은 결론에 도달하였다.

(1) 모노에테르 계열의 합산소연료인 EGBE를 디젤기관에 적용하여 전부하시에 저회전 영역에서는 82%, 고회전 영역에서 최대 74% 정도의 현저한 매연저감이 이루어지는 것을 확인하였다.

(2) 매연 배출특성은 연료내의 산소농도에 의하여 강하게 좌우되며, 연료내에 함유된 산소량이 2% 정도만 유지되어도 무부하영역에서는 매연이 거의 배출되지 않았으며, 고부하의 경우 산소량이 증가하면 할수록 매연 배출량의 저감과 직접적인 연관성을 가짐을 알 수 있었다.

(3) 매연 배출특성은 고비등점 탄화수소의 생성 및 산화와 밀접한 관계가 있으며, EGBE와 같은

합산소연료는 고부하와 고회전 영역에서 고비등점 탄화수소의 산화를 촉진시켜 매연 배출을 현저하게 억제하였다.

참고문헌

- (1) Noboru Miyamoto, et al., 1999, "Ultra Low NOx and Smokeless Diesel Combustion with Highly Oxygenated Fuel," *Proceeding of The 15th Internal Combustion Engine Symposium*, pp. 81~86, JSAE, Korea.
- (2) Edgar, B. L., Dibble, R. W. and Naegeli, D. W., 1997, "Autoignition of Dimethyl Ether and Dimethoxy Methane Sprays at High Pressures," SAE 971677.
- (3) Tadashi Murayama, Young-Taig Oh, et al., 1995, "Simultaneous Reductions of Smoke and NOx from a DI Diesel Engine with EGR and Dimethyl Carbonate," SAE 952518.
- (4) 오영택, 최승훈, 2000, "디젤엔진에서 DMC를 사용한 경우의 배기가스의 농도분석에 관한 실험적 연구," 한국자동차공학회 논문집, Vol. 8, No. 2, pp. 1~8.
- (5) Shuichi Kajitani, H. Usisaki, E. Clasen et al., 1994, "MTBE for Improved Diesel Combustion and Emissions?," SAE 941688.
- (6) 登坂 茂, 藤原康博, 1989, "ディーゼル機関排出微粒子の生成に及ぼす燃料性状の影響," 日本機械學會 論文集, 55卷 509号.
- (7) 장영준, 전충환, 이춘우, 1993, "디젤기관의 LPG혼합에 의한 오염배출물 저감특성," 한국자동차공학회지, Vol. 15, No. 2, pp. 44~52.
- (8) Kittleson, D. V., et. al., 1988, "In-cylinder Measurement of Soot Production in a Direct Injection Diesel Engine," SAE 880344.
- (9) 한성빈, 문성수, 이성열, 1994, "디젤기관의 스모크 배출의 확산연소 의존성에 관한 연구," 대한기계학회 논문집, Vol. 18, No. 2, pp. 397~404.