

## 디젤기관에서 다중 함산소연료 첨가에 의한 배기배출물 특성에 관한 실험적 연구

### An Experimental Study on Exhaust Emission Characteristics by Various Oxygenated Additives in Diesel Engine

오 영 택\*, 최 승 훈\*\*  
Youngtaig Oh, Seunghun Choi

#### ABSTRACT

In this paper, the effects of oxygen component in blended fuel on the exhaust emissions have been investigated for direct injection diesel engine. It was tested to estimate change of engine performance and exhaust emission characteristics for the commercial diesel fuel and oxygenated blended fuels which have three kinds of fuels and various mixed rates. And, it was tried to analyze not only total hydrocarbon but individual hydrocarbons(C<sub>1</sub> ~ C<sub>6</sub>) in exhaust gases using gas chromatography to seek the reason for remarkable reduction of smoke emission on various oxygenated fuels. This study carried out by comparing the chromatogram with diesel fuel and diesel fuel blended DGM(diethylene glycol dimethyl ether), MTBE(methyl tert-butyl ether) and EGBE(ethylene glycol mono-n-butyl ether). The results of this study show that individual hydrocarbons as well as total hydrocarbon of oxygenated fuel are reduced remarkably compared with commercial diesel fuel.

주요기술용어 : Oxygenated fuel(함산소연료), Hydrocarbons(탄화수소), Diesel engine(디젤기관), Smoke(매연), Chromatogram(크로마토그램)

#### 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 디젤기관에 관한 연구에서 직접적으

로 기관과 연관된 연소실 형상의 최적화나 배기 후처리 장치의 개발 및 개선 등과 더불어 배기배출물을 저감시키기 위하여 연료성상에 관한 연구도 필수적인 연구과제라 할 수 있다.<sup>1)</sup>

또한, 가격 상승을 억제할 수 있고, 연구 기간을 절약할 수 있다는 이점 때문에 기관자체로의 접근 방법보다는 연료자체의 성상변화, 함산소연료를 상용 경유와 혼합하여 사용하는 방법, 세탄가 개선제의 첨가 등과 같은 방법이 제시되고 있다. 이 중에서 함산소연료는 일반적으로 디에테르 계열(diether group, -O-), 모노에테르 계열(mono

\* 회원, 전북대학교 기계공학과 공학연구원  
공업기술 연구센터

\*\* 회원, 전북대학교 대학원

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 원자간의 결합상태와 활성기의 유·무이다. 이러한 합산소연료를 이용한 실험들을 살펴보면, Edgar 등<sup>2)</sup>은 기체상태의 DME(dimethyl ether)와 DMM (diemthoxy methane)을 압축이용하여 디젤기관에 적용한 경우 자기착화 특성과 배기 배출물 저감에 대한 연구를 수행하였고, Oh 등<sup>3)</sup>은 카보네이트 계열의 합산소제인 DMC (dimethyl carbonate)를 디젤기관에 적용한 연구에서 합산소연료가 고부하영역에서 디젤기관의 공기이용률을 높여준 결과 매연이 현저히 저감되었음을 언급하고 있다.

또한, Kajitani 등<sup>4)</sup>의 연구에서는 예연소실식 디젤기관에서 디에테르계열의 합산소연료이며 가솔린의 옥탄가 향상제인 Methyl tertiary butyl ether(이하 MTBE)를 각각 5, 10, 15%의 혼합물로 경유와 혼합하여 실험한 결과 NOx와 그을음(soot)을 동시에 저감하였다는 보고가 있다. 모노에테르 계열인 ethylene glycol mono-n-butyl ether(이하 EGBE)에 관한 연구를 살펴보면, 다른 합산소연료의 일종인 diethylene glycol dimethyl ether(이하 DGM)와 혼합하여 직접분사식 디젤기관에 적용한 결과 매연저감에 상당히 큰 효과를 거두었음을 언급하고 있으나, 이러한 모노에테르 계열의 합산소연료를 상용연료인 경유와 혼합하여 디젤기관에 적용한 연구는 많지 않다. 그러나, Miyamoto 등<sup>1)</sup>의 연구에서 살펴보면, 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 모두 포화탄화수소 계열이면서 함유된 산소량에 따라 물성치가 변화하는 모노에테르 계열의 합산소연료인 EGBE와 디에테르 계열의 MTBE, DGM을 디젤기관의 상용연료인

경유와 혼합하여 사용한 경우 배출가스의 배출 특성을 조사하고자 하였다.

또한, 대부분의 배출가스 저감에 관한 연구는 통상적인 배출가스 분석기에 의한 THC(total hydrocarbon)나 PM(particulate matter)의 배출량 측정으로, 각 구성성분에 대한 정확한 정량적인 정보를 주지 못하기 때문에 성분조성을 면밀하게 파악할 수가 없었다.

그러므로, 본 연구에서는 디젤기관의 연료로 다양한 합산소연료를 사용한 경우 THC나 PM의 측정은 물론, 가스 크로마토그래피를 사용한 미연탄화수소의 분석을 통하여 매연 배출특성과 미연탄화수소와의 관계를 규명하고자 하였다.

## 2. 실험장치 및 방법

실험에 사용된 기관은 단기통, 수냉식, 4행정, 직접분사식 디젤기관이며, 시동모터에 의해 시동이 이루어지고, 기관부하와 회전속도는 엔진동력계에 의해 임의로 조절할 수 있도록 하였다.

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

실험은 일반적인 상용 경유와 경유에 에테르계 합산소연료인 DGM을 5~15vol-%, MTBE를 2.5~15vol-%, 그리고 EGBE를 5~40vol-% 혼합한 연료를 사용한 경우, 기관의 각 회전속도에서 무부하, 25%, 50%, 75%, 90% 및 전부하상태에서 기관 성능과 배출되는 배기가스를 측정하고, 매연 및 NOx의 배출량과 에너지소비율과의 관계를 분석하여 DGM 5vol-%, MTBE 10vol-%와 EGBE 20vol-%를 각각의 합산소제를 사용한 경우의 최적 혼합률로 설정하였다. 기관부하의 변화는 기관회전속도를 일정하게 유지한 상태에서 스로틀을 완전히 개도한 상태를 전부하로 설정하고, 이 때 전부하의 토크값을 측정하여 이 토크값을 일정한 비율(%)로 변화시키면서 실험하였다.

기관으로부터 배출되는 매연농도의 측정은

Table 1 Specification of test engine

Item	Specification
Engine model	ND130DIE
Bore × Stroke	95 × 95 (mm)
Displacement	673 (cc)
Compression ratio	18
Combustion chamber	Toroidal type
Injection timing	BTDC 23°CA

Table 3 Measurement conditions for C<sub>1</sub>~C<sub>6</sub>

GC	Hewlett Packard 6890GC
Column	HP-PLOT/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 30m × 0.53mm × 15.0 $\mu$ m 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

Table 2 Properties of test fuels

	Diesel fuel	DGM	MTBE	EGBE
Molecular formula	C <sub>16</sub> H <sub>34</sub>	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub> O <sub>3</sub>	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> O	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub> O <sub>2</sub>
Stoichiometric air fuel ratio	1:14.9	1:8.2	1:12.546	1:11.113
Molecular weight	226	134.2	88.15	118.18
Heating value [MJ/kg]	43.12	24.5	32.1	32.4
Oxygen content(%)	0	35.79	18.16	27.1

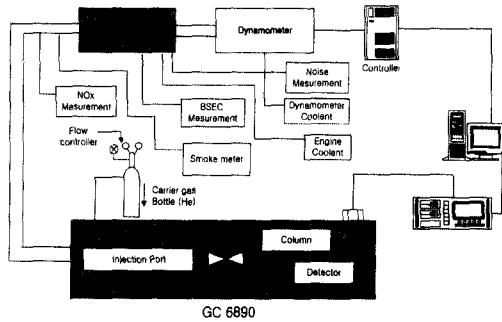


Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus

보쉬법(Bosch method)을 적용하는 매연 측정장치(Hesbon, HBN-1500)를 사용하여 기관으로부터 300 mm 하류에서 일정량의 배출가스를 흡입한 후, 여

과지에 흡착된 매연의 농도를 측정하였으며, 매연 농도는 동일 조건에서 각각 3회 측정하여 평균값을 취하였다.

NO<sub>x</sub>의 측정은 배기 매니폴드로부터 약 400mm 하류에서 비분산적외선방식(NDIR)을 사용하는 배출가스 분석기(Motor brnach. Mod. 588)로 일정량의 배출가스를 분석기의 다이아프램 펌프로 흡입하여 측정 셀로 이동시켰고, 샘플링 튜브 중간에 필터를 설치하여 측정 조건의 변화에 따라 새로운 필터로 교환하여 배출가스 샘플링 농도의 오차를 줄였다. 실험조건이 변경될 때마다 각 연료 공히 냉각수, 윤활유, 연료 등의 온도를 일정하게 유지하였으며, 연료 공급계통, 연료필터 및 연료탱크 속의 모든 연료를 완전히 교체하고, 전 실험이 다음 실험에 영향을 미치지 않도록 충분한 시간동안 예운전을 실시한 후 실험을 수행하였다.

또한, 기관이 일정량의 연료를 소모하는 시간을 측정하여 에너지소비율(MJ/kW-h)로 계산하였으며, 분사시기는 BTDC 23°CA로 고정하였다.

가스 크로마토그래피를 이용한 탄화수소류의 분석 실험은 각 연료의 최적 혼합률인 경우를 설정하여 분석·비교하였다.

배출가스 성분측정을 위한 가스 크로마토그래피의 사양은 Table 3에 표시하였으며, 가스 크로마토그래피를 통하여 나타난 크로마토그램의 피크 면적을 비교하여 각각의 미연탄화수소가 매연농도에 미치는 영향을 조사하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 각 합산소연료를 사용한 경우 기관성능 및 배출가스 배출특성

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

그림에서와 같이 합산소연료의 혼합률이 증가할수록, 즉 연료속의 산소량이 증가할수록 연료내의 발열량 차이로 인하여 기관 출력은 경유에 비하여 약간 저하되지만, 모든 합산소연료 공히 전 회전범위에 걸쳐 기관 출력특성은 거의 유사한 경향을 보이고 있음을 알 수 있다.

이는 합산소연료가 혼합된 연료를 기관의 연료로 사용할 경우에, EGBE 20vol-%의 경우, 경유에 비하여 발열량의 차이는 약 7.43%가 낮지만, 기관출력의 차이는 최대 4.62%에 불과하여 합산소연료가 디젤기관의 연료로 사용될 경우 합산소성분에 기인한 연소효율 개선이 있음을 알 수 있었다.

Fig. 3은 경유와 경유에 최적의 각 합산소연료를 혼합한 경우 각각의 기관회전속도에서 부하 변화에 따른 매연 배출특성을 나타낸 것이다.

디젤기관의 공기이용률이 충분한 저회전, 저부하에서는 합산소연료를 혼합한 경우 매연배출량의 차이는 미소하지만, 기관의 회전수가 증가함에 따라 체적효율이 저감되는 고속영역과

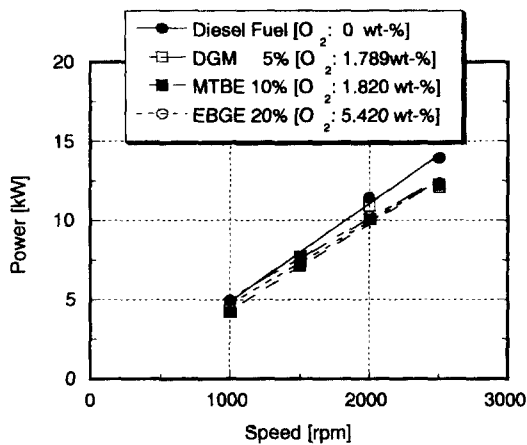


Fig. 2 Performance of power at full load

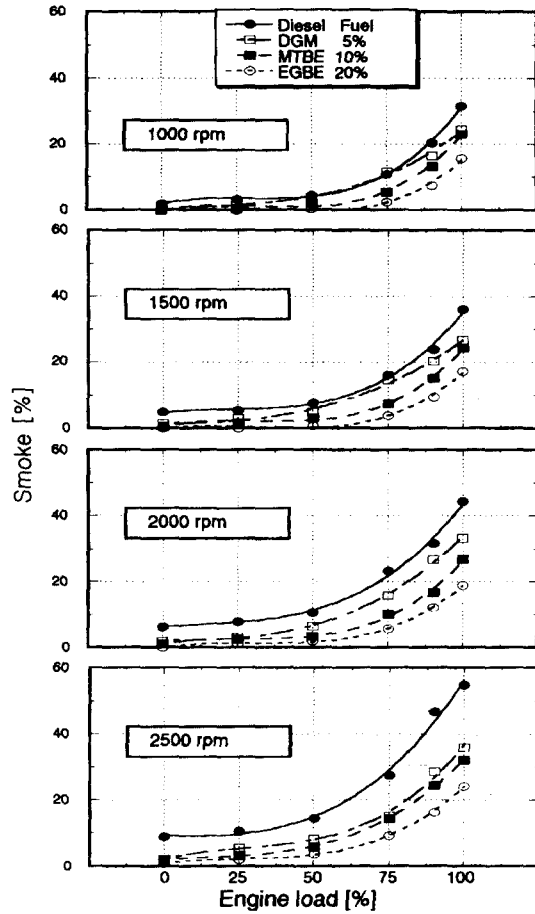


Fig. 3 Comparison of smoke density on oxygenated fuel contents under varying load and engine speed

공급연료량이 많아지는 고부하영역에서는 매연 배출량에 큰 차이를 보이고 있으며, EGBE 20vol-%를 혼합한 경우 2000rpm, 전부하시에 약 58.3%의 저감효과가 있어, 그림에서와 같이 고부하·고회전수로 진행할수록 매연배출이 현격하게 차이가 남을 알 수 있다.

일반적으로 매연은 연소실내에 공기가 부족한 분위기에서 연료의 열분해과정을 거친 후, 축·중합과정과 탈수소 반응을 거치면서 성장과정과 산화과정을 마친 후 산화되지 못한 성분이 배기과정중에 대기 중으로 배출되는 것이다.<sup>6)</sup>

즉, 합산소연료를 사용한 경우에는 연소실내의 공기가 부족한 고부하·고회전 분위기에서

연소실내에 국부적으로 부족한 산소성분을 합산소연료내의 산소성분이 충당하여 산화과정을 촉진시켜 매연이 현저히 저감된 것으로 생각된다.

동일한 포화탄화수소 계열의 합산소연료를 사용할 경우에 합산소연료의 종류에 관계없이 연료속의 산소량에 따라 매연저감량이 결정됨을 알 수 있다.

Fig. 4는 기관의 부하변화에 따른 NOx의 배출 특성을 나타낸 그림이다. 그림에서와 같이, 경유보다 각각의 합산소연료를 혼합한 경우가 전체적으로 NOx의 배출량이 증가하는 경향을 보이고 있으며, 저부하·저회전 영역에서의 차이보다 고부하와 고회전영역에서의 배출량이 크게 증가하였다. 이는 합산소연료내에 포함된 산소성분이 연소가 활발해지는 후연소기간에 화염

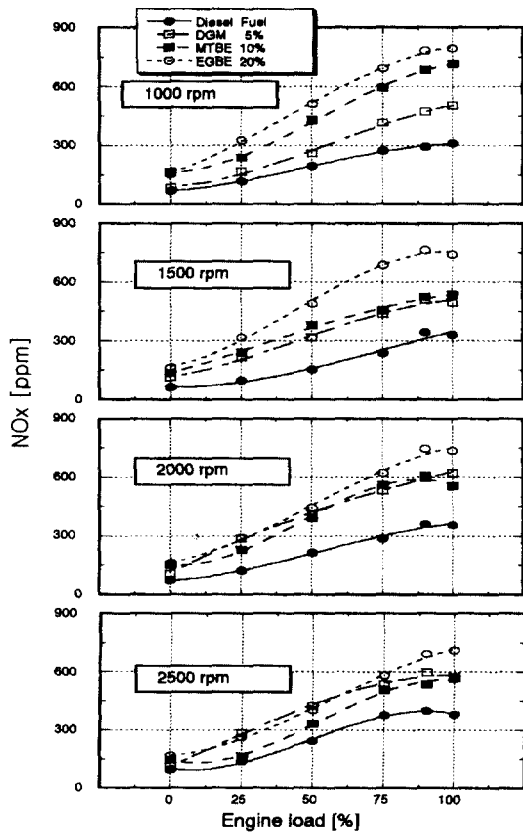


Fig. 4 Comparison of NOx emission on oxygenated fuel contents content under varying load and engine speed

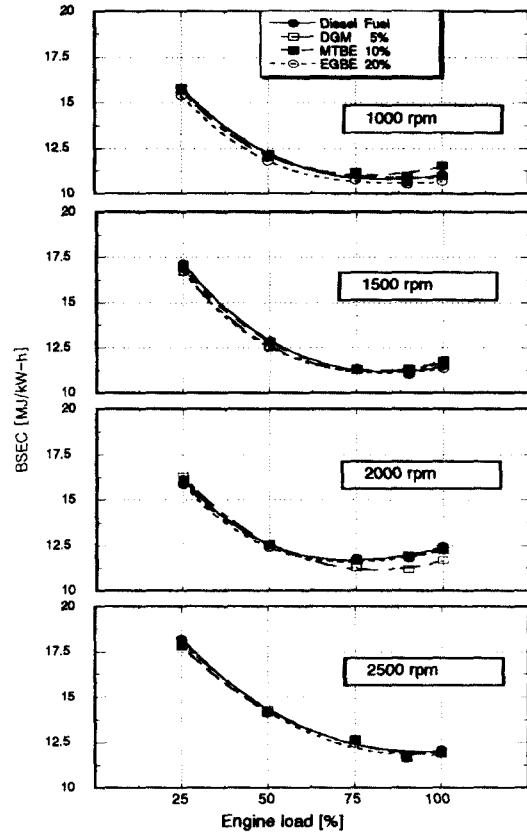


Fig. 5 Comparison of BSEC on oxygenated fuel contents content under varying load and engine speed

온도를 상승시켜 NOx의 배출량을 증가시킨 것으로 생각된다. 합산소연료의 단열화염온도는 낮지만 연료의 열분해 영역에 산소를 공급함으로써 열복사물질인 매연은 저감되지만, 복사열전달이 잘 안되기 때문에 화염온도가 증가하여 NOx배출이 증가되기도 하는 것<sup>7)</sup>으로 알려져 있다.

Fig. 5는 합산소연료의 혼합률에 따른 에너지 소비율의 특성을 나타낸 것이다.

경유에 비하여 각 합산소연료는 발열량이 약간 저하하지만, 본 연구에서 합산소연료의 최대 혼합률이 20vol-% 미만으로 크지 않은 편이며, 합산소연료에 포함된 산소성분의 기여에 의한 완전연소에 의하여 에너지 소비율의 성향이 비슷하게 나타나는 것으로 생각된다.

발열량이 적은 합산소연료를 혼합하였기 때

문에 약간이나마 발열량의 차이가 존재함에도 불구하고, 거의 경유와 비슷한 에너지 소비율을 나타내고 있으며, 2500rpm, 전부하의 경우에 있어서는 오히려 약 1% 이상의 우위를 보이고 있음을 알 수 있다. 이는 발열량이 감소되었음에도 불구하고 연료내의 합산소성분에 기인하여 연소개선이 극대화되었기 때문이라고 생각되며, 이와 같은 결과에 의해 58% 이상의 현저한 매연 저감 효과가 나타난 것으로 생각된다.

Fig. 6은 본 실험에서 사용한 각 합산소연료를 경유에 혼합하여 사용한 경우, 전부하와 무부하 상태에서 배출되는 매연의 배출특성을 연료내에 함유된 산소량과의 관계로서 나타낸 것이다.

그림에서 나타난 바와 같이 무부하에서는 전회전범위에 걸쳐서 연료속의 산소농도가 2Wt-% 정도만 되어도 매연의 배출량이 1.9% 이하로서 거의 배출되지 않으며, 전부하에서는 연료내의 산소농도가 2Wt-%정도만으로도 최고회전수인 2500rpm, 전부하의 경우에도 매연농도가 30% 정도로 매연 저감이 현저한 것을 볼 수 있다. 특히, 연료내의 산소성분이 5Wt-% 이상이 되면, 무부하에서는 모든 기관회전수에서 매연이 전혀 배출되지 않으며, 전부하 상태에서도 매연배출이 20% 이하에 머무는 것을 알 수 있다.

이는 연료내의 산소성분이 연소에 필요한 산

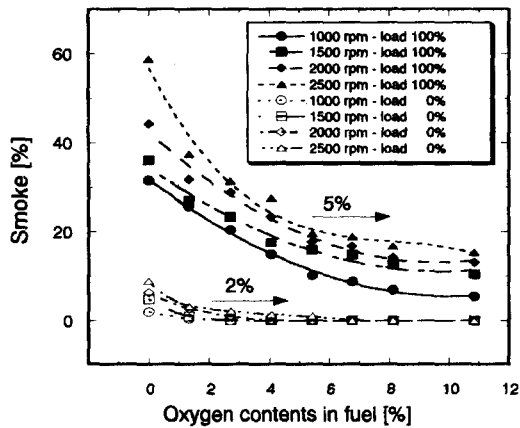


Fig. 6 Comparison of smoke density of load 0% vs. full load with various oxygen contents

소량이 절대 부족한 고부하·고회전영역에서 연소촉진제로 작용하여 매연을 현저하게 저감시킨 것으로 생각되며, 매연생성은 연료내의 산소농도에 의하여 강하게 좌우된다는 Akasaka 등<sup>8)</sup>의 실험결과와 유사함을 확인할 수 있었다.

### 3.2 가스 크로마토그래피를 이용한 미연탄화수소의 분석

이상의 실험결과를 기초로 하여 합산소연료의 전체적인 매연 배출 저감의 원인을 살펴보기 위하여 가스 크로마토그래피를 이용하여 각 연료를 사용시에 배출되는 미연탄화수소를 분석하였다.

Fig. 7은 1000, 1500, 2000, 2500rpm의 기관회전속도에서 부하변화에 따라 경유를 사용한 경우와 각 합산소연료를 경유와 혼합하여 사용한 경우에 미연탄화수소 분석결과로서 크로마토그램 상에 나타난 각각의 피크면적을 보여주고 있다.

그림에서 알 수 있는바와 같이, 모든 연료 공회전과 고부하로 갈수록 탄화수소의 배출농도는 현저히 증가하며, 증가폭은 경유의 경우가 더욱 급격함을 알 수 있다.

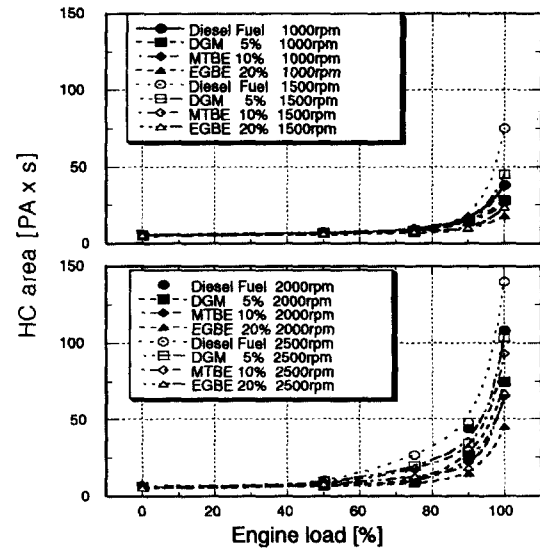


Fig. 7 Total area of hydrocarbon of four fuels on chromatogram analysis under varying engine speed and load

이는 중부하 이하인 경우에는 경유를 연료로 사용한 경우에도 공기이용률이 충분하기 때문에 합산소연료의 산소성분이 미연탄화수소 생성에 큰 영향을 미치지 않았으나, 합산소연료를 사용한 경우에 고부하·고회전수로 갈수록 각 합산소연료에 포함된 산소성분에 기인하여 연료 입자의 산화를 더욱 촉진시켜 매연생성에 영향을 미치는 미연탄화수소의 전체적인 양이 크게 저감되었기 때문으로 생각된다. 특히, 합산소연료를 혼합한 경우에 미연탄화수소 성분이 가장 많이 배출되었던 DGM 5vol-%, 2500rpm, 전부하의 경우는 경유를 사용시에 2000rpm의 기관회전속도에서 배출되는 미연탄화수소보다도 약 4.4%가 저감되었음을 알 수 있다.

Fig. 8은 경유와 각 합산소연료를 첨가한 경우에 중부하와 고부하영역에서 기관회전속도 변화에 따른 탄화수소의 배출특성을 나타내고 있다.

모든 회전범위에 걸쳐서 경유의 경우보다 합산소연료를 첨가한 경우가 탄화수소의 면적비가 현저하게 작게 나타나고 있으며, 특히 고부하의 경우에 그 차이가 확실히 나타난다. 한편, 중부하의 경우에는 기관 회전속도가 2000rpm까지

는 미연 탄화수소의 증가가 미약하지만, 그 이상의 회전수에서 급격히 증가하며, 전부하의 경우는 기관 회전속도가 증가할수록 미연탄화수소가 직선적으로 증가하며, 연료속의 합산소량이 증가할수록 증가폭은 둔화됨을 알 수 있다.

무부하나 저부하인 경우에 있어서는 경유를 연료로 사용한 경우에도 기관의 특성상 디젤기관의 공기이용률이 충분하기 때문에 미연탄화수소의 배출에 큰 영향을 미치지 않지만, 고부하에서 전체적인 탄화수소의 피크 면적이 합산소연료를 사용한 경우가 훨씬 저감하는 이유는 합산소연료에 포함된 산소가 특히 연소후반부에 공기이용률을 높여 주고, 또 고회전속도, 고부하일수록 연소하는데 주어지는 시간이 부족하고 혼합기 형성이 불량하여 연료자체속의 산소성분이 탄화수소 성분의 산화를 촉진시켜 연소개선에 크게 작용하기 때문으로 생각된다.

이를 좀더 고찰해보면 디젤기관에서 배출되는 탄소상 미립자 즉 매연은 Kittleson 등<sup>9)</sup>의 연구에 의하면 연소가 시작되는 즉시 매연이 발생하는 것이 아니고 확산연소 개시 때부터 매연이 생성되기 시작하며, 실린더내의 매연의 생성속도는 운전 조건에는 별 영향이 없다고 보고하고 있어 연소 후반부에 디젤기관의 공기이용률이 매연생성에 큰 영향을 주고 있음을 알 수 있다.

Fig. 9는 무부하 상태에서 각 연료를 기관에 적용했을 때의 개별탄화수소를 분석한 경우로서, 저비등점 탄화수소를 제외한 모든 경우에 있어서 경유의 경우가 다소 증가하는 추세를 보이고 있으나, 그 차이는 미약하였다.

Fig. 10은 각 연료 사용시, 전부하 상태에서 개별 탄화수소를 분석한 경우로서, C<sub>1</sub>을 제외한 모든 경우에 있어서, 합산소연료를 사용한 경우가 미연탄화수소가 대폭 저감되어 배출되고 있음을 나타내고 있다.

연소과정에서 필연적으로 발생하는 열분해는 탄화수소 연료를 분해하여 매연성분의 핵을 형성시키게 되는 것으로 알려져 있다.<sup>6)</sup> 이때 발생하는 미연 탄화수소의 성분중에서 저비등점 탄

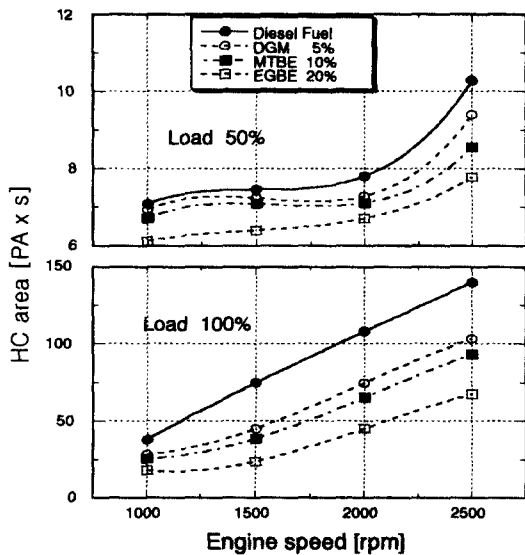


Fig. 8 Comparison of low vs. high load on total area of hydrocarbon under varying engine speed

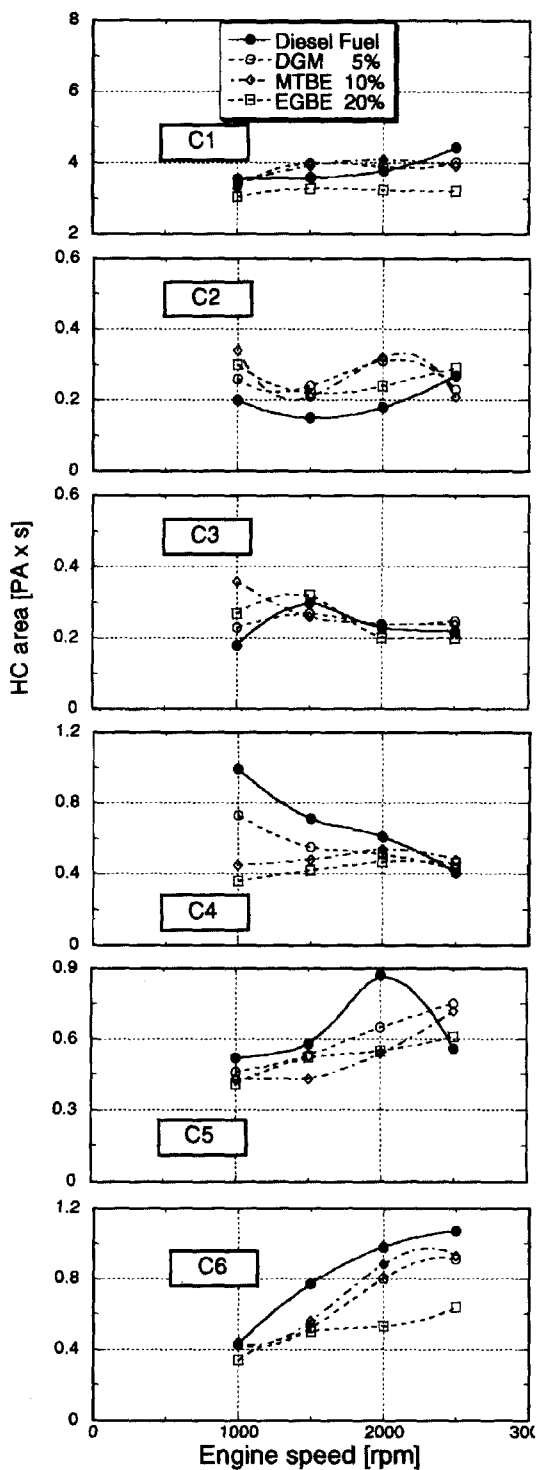


Fig. 9 Area of each hydrocarbon on chromatogram analysis under varying engine speed at load 0%

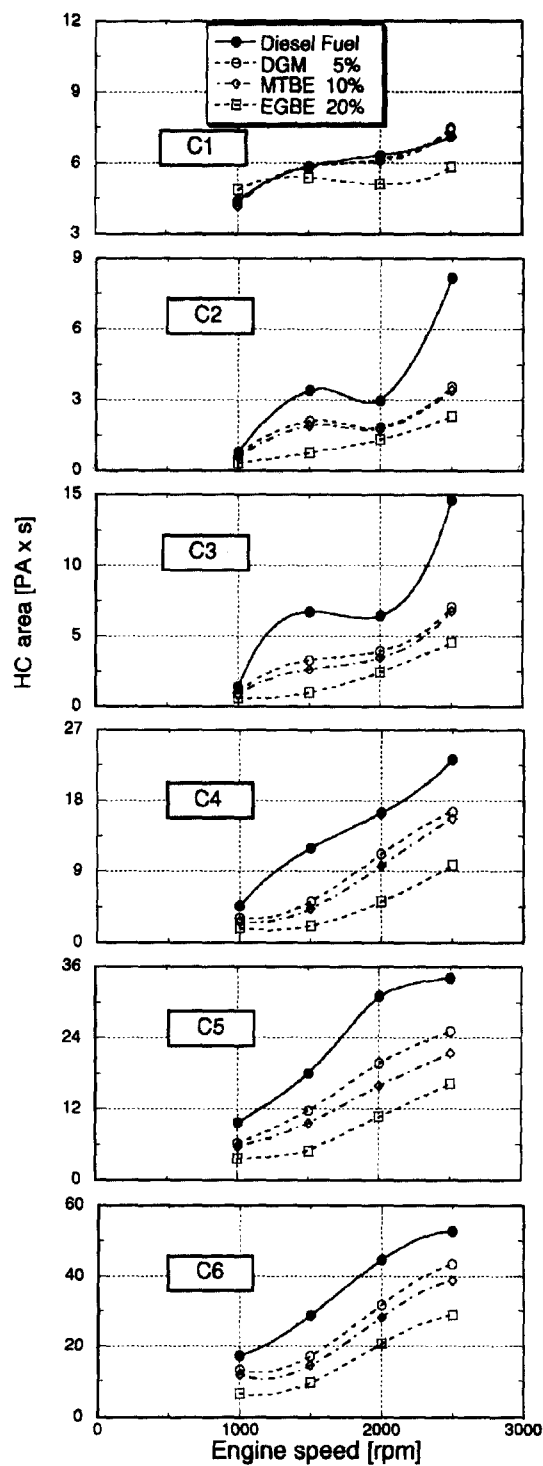


Fig. 10 Area of each hydrocarbon on chromatogram analysis under varying engine speed at load 100%



화수소는 산화가 용이하여 매연 생성에 큰 영향을 미치지 못하지만, 고비등점 탄화수소는 산화가 용이하지 못하여 매연 생성에 커다란 영향을 미치는 것으로 생각된다.

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 일정부분 점유하는 부분이 있어, 연료자체내에 탄화수소 성분이 경유를 사용한 경우보다 적게 된다. 다시 말하면, 합산소연료를 디젤기관에 적용시에 연소 초·중반에는 매연의 생성자체를 억제하고, 산소가 부족한 연소후반에는 미연탄화수소의 산화를 촉진시켜 연소과정 전반에 걸쳐서 매연 배출을 억제할 수 있을 것으로 생각한다.

#### 4. 결론

수냉식, 4행정, 직접분사식 디젤기관의 연료로서 경유와 분자구조가 다른 다종의 합산소연료를 경유와 혼합한 연료를 기관에 적용하여 기관 성능 및 배기 배출물에 미치는 영향을 조사하고, 매연에 대한 미연탄화수소의 영향을 알아보기 위하여 가스 크로마토그래피를 이용하여 미연탄화수소 배출에 대하여 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 디에테르 계열의 합산소연료인 DGM과 MTBE를 사용한 경우는 비교적 소량인 5vol-%와 10vol-%를 혼합한 경우에, 모노 에테르계열의 합산소연료인 EGBE를 사용한 경우는 다량인 20vol-%를 혼합한 경우가 매연 배출의 현저한 저감을 보이면서 에너지소비율은 경유와 유사한 경향을 보였다.

2) 합산소연료를 디젤기관에 적용한 경우, 에너지소비율의 저하없이도 고부하와 고회전속도 영역에서 최대 약 58% 정도의 현저한 매연 저감이 이루어지는 것을 확인하였다.

3) 매연배출특성은 연료내의 산소농도에 크게 의존할 뿐만 아니라, 고비등점 탄화수소의 생성 및 산화와 밀접한 관계가 있으며, 분자구조가 다른 합산소연료라 할지라도 고부하와 고회전 영역에서 연료 입자의 산화를 강하게 촉진시켜 매연배출을 현저하게 억제하였다.

4) 합산소연료를 디젤기관의 연료로 사용할 경우, 연료내에 함유된 산소량이 2Wt-% 정도만 유지되어도 매연 배출량이 전부하영역에서도 30% 미만을 유지하며, 산소량이 5Wt-% 이상이면 무부하영역에서는 매연이 전혀 배출되지 않으며, 고부하의 경우 약 20% 이하의 매연배출이 이루어지는 것으로 보아 디젤기관에 소량의 산소공급이 이루어진다고 할지라도 경유만을 사용한 경우보다 30~40% 이상의 매연을 현저하게 저감시킬 수 있음을 알 수 있었다.

#### 참 고 문 헌

- 1) N. Miyamoto, N. Md. Nurun, M. Minami, H. Ogawa, "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) B. L. Edgar, R. W. Dibble, D. W. Naegeli, "Auto-ignition of Dimethyl Ether and Dimethoxy Methane Sprays at High Pressures," SAE 971677, 1997.
- 3) 오영택, 최승훈, "디젤엔진에서 DMC를 사용한 경우의 배기가스의 농도분석에 관한 실험적 연구," 한국자동차공학회 논문집, 제8권 제2호, pp.1-8, 2000.
- 4) S. Kajitani, H. Usisaki, E. Clasen, E. Clasen, K. T. Rhee, "MTBE for Improved Diesel Combustion and Emissions?," SAE 941688, 1994.
- 5) 오영택, 최승훈, 김승원, "직접분사식 디젤기관에서 합산소성분 첨가에 의한 배기배출물 특성에 관한 연구," 대한기계학회 호남지부 학술대회 논문집, pp.77-82, 2001.
- 6) 한성빈, 문성수, 이성열, "디젤기관의 스모크 배출의 확산연소 의존성에 관한 연구," 대한기계학회 논문집, Vol.18, No.2, pp.397-404, 1994.

- 7) 노수영, “함산소 연료에 의한 디젤엔진의 유해배출물 저감,” 자동차공학회지, 제21권 제2호, pp.16-19, 1999.
- 8) Y. Akasaka, Y. Sakurai, “Effects of Oxygenated Fuel and Cetane Improver on Exhaust Emission from Heavy-Duty D.I. Diesel Engines,” SAE 942023, 1994.
- 9) D. V. Kittleson, M. J. Piphon, J. L. Ambs, L. Luo, “In-cylinder Measurement of Soot Production in a Direct Injection Diesel Engine,” SAE 880344, 1988.