

직접분사식 디젤기관에서 MTBE 함유율 변화에 의한 배출가스 특성

최 승 훈* · 오 영 택†

(2001년 9월 22일 접수, 2002년 4월 3일 심사완료)

Exhaust Emission Characteristics by Alteration of MTBE Contents in D. I. Diesel Engine

Seung-Hun Choi and Young-Taig Oh

Key Words: Gas Chromatography(가스 크로마토그래피), Oxygenated Fuel(함산소연료), Diesel Engine(디젤 기관), Exhaust Emissions(배기배출물), Hydrocarbon(탄화수소)

Abstract

Although the demands for diesel engine is increased, our world is faced with very serious problems related to the air pollution due to the exhaust emissions of the diesel engine. In this study, the potential possibility of oxygenated fuel such as Methyl tertiary butyl ether (MTBE) was investigated for the sake of exhausted smoke reduction from diesel engine. MTBE has been used as a fuel additive blended into unleaded gasoline to improve octane number, but the study of application for diesel engine was incomplete. Because MTBE includes oxygen content approximately 18%, it is a kind of oxygenated fuel that the smoke emission of MTBE is reduced remarkably compared with commercial diesel fuel, that is, it can supply oxygen component sufficiently at high load and speed in diesel engine. But, the NO_x emission of MTBE blended fuel is increased compared with commercial diesel fuel. And, it was tried to analyze not only total hydrocarbon but individual hydrocarbon components from C₁ to C₆ in exhaust gas using gas chromatography to seek the reason for remarkable reduction of smoke emission. The results of this study show three conclusions. 1. The smoke emission of the MTBE blended fuel is lower than that of the diesel fuel at all experimental region in direct injection diesel engine. 2. Individual hydrocarbons(C₁~C₆) as well as total hydrocarbon of oxygenated fuel are reduced remarkably compared with diesel fuel. 3. Smoke emission from diesel engines was strongly depended on oxygen content in fuel regardless of operating condition.

1. 서 론

디젤기관은 기관 특성상 연소 후 배출되는 매연으로 인하여 전 지구촌적인 대기오염의 주범으로 주목받고 있으나, 높은 열효율을 낼 수 있고,

저급연료를 포함한 다종의 연료를 사용할 수 있을 뿐만 아니라, 고출력을 낼 수 있어 유럽을 중심으로 가솔린기관이 점유하던 승용차 부문에까지 그 수요가 증가되는 추세에 있다.⁽¹⁾

이러한 디젤엔진에 관한 연구는 고출력과 저연비 실현에 관한 연구와 배출가스 저감에 관한 연구로 크게 나눌 수가 있으며, 전자는 CO₂배출량의 저감을 가져오고, 후자는 NO_x와 입자상물질의 저감을 주요 목표로 하고 있다.

배출가스 저감을 위한 방법으로는 엔진설계변경기술과 연료의 성상 등에 변화를 주어 연료가 연소실내에서 연소하여 배출되기 전에 배출가스

* 회원, 전북대학교 대학원 기계공학과

† 책임저자, 회원, 전북대학교 기계공학과,
자동차 신기술 연구소

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

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

를 저감시키기 위한 전처리 방법과 연료가 연소한 후에 연소실 밖에서 촉매장치나 입자상물질 트랩(diesel particulate filter), 배출가스 재순환(exhaust gas recirculation) 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 하였다.

여러 전처리 방법 중에서, 가격의 저렴함과 시간을 절약할 수 있다는 이점 때문에 엔진자체로의 접근 방법보다는 연료자체의 성상변화, 즉, 합산소연료를 상용경유와 혼합하는 방법, 세탄가 개선제의 첨가 등과 같은 방법이 제시되고 있다.

이러한 합산소연료를 이용한 실험들을 살펴보면, Liotta 등⁽²⁾은 글리콜 에테르, 방향족 알콜, 지방족 알콜, 폴리에테르 폴리올 등을 이용한 연구에서 글리콜 에테르가 매연과 알데히드, 케톤, 포름알데히드 등을 저감시키는데 매우 유용함을 밝혔다. Murayama 등⁽³⁾은 합산소연료와 EGR 방법을 병용하여 매연과 NOx를 동시에 저감시키는 연구에서 합산소연료가 매연과 NOx를 동시에 저감할 수 있는 가능성을 입증하였으며, 오 등⁽⁴⁾은 다종의 합산소연료를 이용한 연구에서 합산소연료에 포함된 산소성분이 고부하영역에서 디젤기관의 공기이용율을 향상시켜 준 결과 매연이 저감되었음을 보고하고 있다.

이러한 합산소연료의 일종이며, 가솔린의 옥탄가 향상제로 널리 사용되고 있는 Methyl tertiary butyl ether(이하 MTBE)는 미국에서 가솔린에 산소첨가를 위해 휘발유에 평균 부피비로 최고 15vol-%까지 첨가(oxyfuels)되고 있으며, 국내에서도 산소첨가제 및 독성물질 저감제로 사용됨에 따라 연평균 24%의 생산증가율을 보여 저가에 쉽게 구입할 수 있어 그 효용성이 크다고 할 수 있겠다.

MTBE에 대한 기존의 연구를 살펴보면, Shuichi Kajitani 등⁽⁵⁾의 연구에서는 예연소실식 디젤기관에서 5, 10, 15%의 혼합율로 실험한 결과 NOx와 검댕(soot)을 동시에 저감하였다는 보고가 있으나, 타 합산소연료에 비하여 MTBE를 첨가한

합산소연료를 디젤엔진에 응용한 연구는 거의 없는 실정이다.⁽⁶⁾

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. 따라서, 본 연구에서는 단기통, 직접분사식 디젤기관에 합산소연료의 일종인 MTBE를 체적비율로 혼합사용한 경우 합산소성분과 산소량이 배출가스 배출특성에 미치는 영향을 조사하고, 배출가스를 가스 크로마토그래피를 사용한 분석을 통하여 매연 배출량과 각 미연탄화수소성분과의 관계를 규명하고자 하였다. 또한, 본 연구에서는 C₁~C₄를 저비등점 탄화수소로, C₅~C₆를 고비등점 탄화수소로 정의⁽⁷⁾하였다.

2. 실험장치 및 방법

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

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

본 실험은 일반적인 상용 경유와 에테르게 합산소연료인 MTBE를 체적비율로 2.5, 5, 10, 15%를 경유에 혼합한 연료를 이용하여 기관의 각 회전속도에서 무부하, 25%, 50%, 75%, 90% 및 전부하의 경우에 기관 성능과 배출가스를 측정하였다. 기관의 부하변화는 기관 회전속도를 일정하게 유지한 상태에서 인젝션 펌프의 랙을 완전히 당긴 상태를 전부하로 설정하고, 전부하의 토크값을 측정하여, 이 토크값을 일정 비율(%)별로 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
Coolant temp.	80 ± 2°C

Table 2 Properties of test fuels

	Diesel fuel	MTBE
Molecular formula	$C_{16}H_{34}$	$C_5H_{12}O$
Stoichiometric air fuel ratio	1 : 14.9	1 : 12.55
Molecular weight	226	88.15
Heating value [MJ/kg]	43.12	32.1
Oxygen content(%)	0	18.16

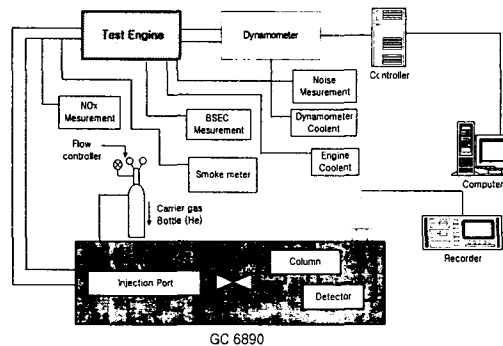


Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus

매연 농도의 측정은 매연측정장치(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.

NO_x의 측정은 배기 매니폴드로부터 약 400mm 하류에서 배출가스 분석기(Mod. 588)로 일정량의 배출가스를 흡입하도록 하였다. 배출가스는 분석기의 다이어프램 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 공회 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 각각 측정하여 단위시간당의 에너지소비율(MJ/kW-h)로 계산하였다.

Table 3 Measurement conditions 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

분사시기는 실험조건에 관계없이 BTDC 23°C로 고정하였다.

가스 크로마토그래피를 이용한 탄화수소류의 분석 실험은 매연저감 측면에서 상당한 효과를 보이며, 질소산화물은 경유와 유사하게 배출한 MTBE 10%를 경유에 혼합한 경우를 최적의 혼합율로 설정하여 분석, 비교하였다.

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

3. 실험결과 및 고찰

3.1 MTBE의 각 혼합율에 따른 기관실험 및 배출 가스 배출 특성

Fig. 2는 경유와 경유에 MTBE를 각 체적비율로 혼합하여 사용한 경우 각 회전속도에서 부하 변화에 따른 매연 배출특성을 나타낸 것이다.

디젤기관의 특성상 공기이용율이 충분한 저회전속도, 저부하에서는 MTBE를 혼합한 경우 매연 배출량의 차이는 미소하지만, 기관의 회전속도가 증가함에 따라 체적효율이 저감되는 고속영역과 공급 연료량이 많아지는 고부하영역에서는 매연 배출량에 현저한 차이를 나타내며, MTBE 10%를 혼합한 경우 최대 약 43%의 저감효과가 있었다.

이와 같은 매연 저감효과는 고부하, 고회전속도로 진행할수록 현격하게 차이가 남을 알 수 있다. 이러한 매연은 연소실내에 공기가 부족한 분위기에서 연료의 열분해과정을 거친 후, 축, 중합과정과 탈수소 반응을 거치면서 성장과정과 산화과정을 마친 후 산화되지 못한 성분이 배기과정 중에 대기 중으로 배출되는 것으로 생각한다.⁽⁸⁾

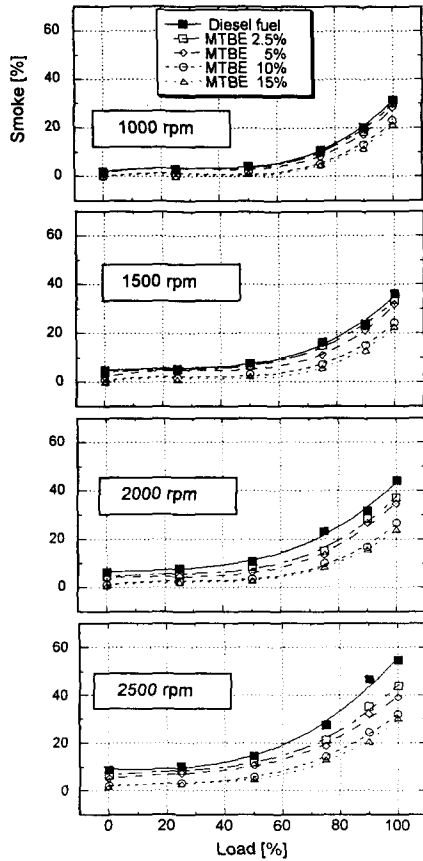


Fig. 2 Comparison of smoke density for difference of oxygenated fuel content under varying load and engine speed

즉, MTBE를 사용한 경우에는 저부하에 비해 상대적으로 연소실내의 공기가 부족한 고부하, 고회전속도 분위기에서 연소실내에 국부적으로 부족한 산소성분을 MTBE내의 산소성분이 충당하여 산화과정을 촉진시켜 매연이 현저히 저감된 것으로 생각된다.

Fig. 3은 기관의 부하변화에 따른 NOx의 배출 특성을 나타낸 그림이다. 그림에서와 같이 합산소연료인 MTBE를 첨가한 경우, 전체적으로 경우보다 NOx의 배출량이 증가하는 경향을 보이고 있으며, 저부하영역에서의 차이보다 고부하영역에서의 배출량의 차이가 상당히 증가하였고, 2.5%의 MTBE를 첨가한 경우에는 소량의 혼합량임에도 불구하고 NOx배출량이 급격하게 증가하며, MTBE 10%를 첨가한 경우에는 다른 혼합율에 비하여 NOx가 상대적으로 적게 배출됨을 알

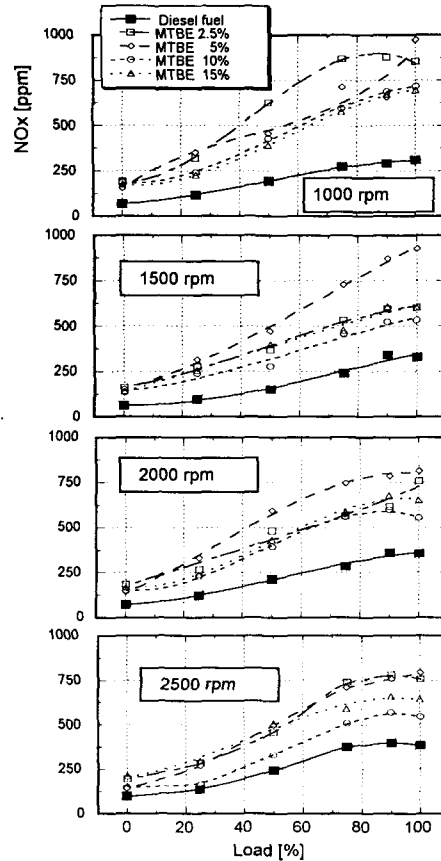


Fig. 3 Comparison of NOx emission for difference of oxygenated fuel content under varying load and engine speed

수 있다. 이는 MTBE 2.5%를 혼합한 경우에는 연소 개선 효과에 의한 연소실내의 온도상승을 유도하여 연소실내의 온도가 높아진 때문으로 생각되며, MTBE 10%를 혼합한 경우에는 합산소성분에 기인하여 연소효율이 높아지기는 하지만, 발열량의 저하로 연소온도가 낮아져 NOx의 배출량이 약간 저하된 것으로 생각된다.

또한, 전체적인 NOx배출은 MTBE내에 포함된 산소성분이 연소가 활발해지는 후연소기간에 화염온도를 상승시켜 NOx의 배출량을 증가시킨 것으로 생각된다.

합산소연료의 단열화염온도는 낮지만, 연료의 열분해 영역에 산소를 공급함에 따라서 열복사물질인 매연은 저감되지만, 복사열전달의 손실 때문에 화염온도가 증가하여 NOx배출이 증가되기도 하는 것으로 알려져 있다.⁽⁶⁾

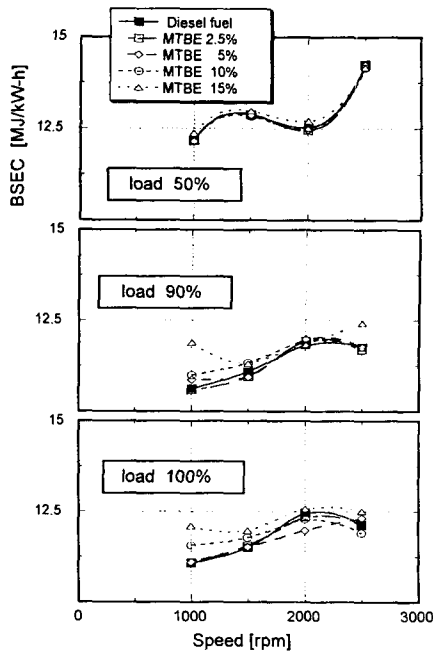


Fig. 4 Comparison of BSEC for difference of oxygenated fuel content under varying load and engine speed

Fig. 4는 중부하인 load 50%와 고부하인 load 90%, 그리고 전부하에서의 에너지소비율을 비교한 것이다. 합산소연료인 MTBE는 경우에 비하여 발열량이 약 74% 정도로 MTBE를 최대 혼합한 15%의 경우에 발열량의 차이는 4.05%이지만, 에너지 소비율의 차이는 2500rpm, 전부하의 경우에 있어서는 약 3.19%의 차이만이 나타나 오히려, 발열량 저감율에 비해 에너지 소비율이 개선된 것으로 나타났다.

이는 발열량이 감소되었음에도 불구하고 연료내의 합산소성분에 기인한 연소 효율이 증가하였기 때문이라고 생각된다. 중부하영역에서는 에너지소비율의 차이는 거의 없으며, 저회전속도의 경우 고부하영역에서 에너지소비율의 약간의 저감은 있으나, 이는 저회전속도에서 과도한 부하에 기인한 것으로 생각되며, 고회전속도, 고부하의 경우에 나타나는 40% 이상의 현저한 매연저감 효과와 비교하여 볼 때 미세한 차이라고 생각된다.

Fig. 5는 각 회전속도에서 부하변화에 따른 소음의 크기를 측정된 결과이다. 그림에서와 같이, 기관회전속도가 증가함에 따라 합산소연료인 MTBE를 혼합한 경우가 전체적으로 소음이 증가

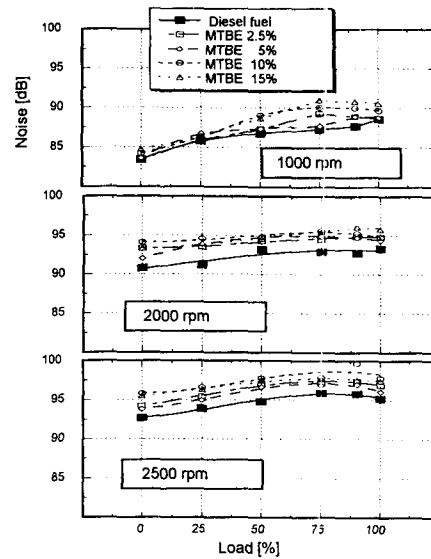


Fig. 5 Comparison of noise for difference of oxygenated fuel content under varying load and engine speed

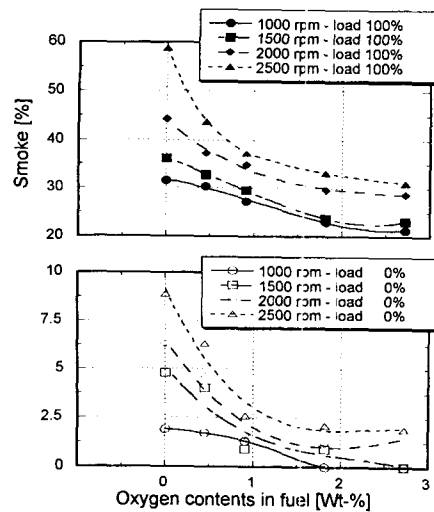


Fig. 6 Comparison of smoke density of load 0% vs. full load with various oxygen contents

하고 있다. 이는 합산소성분을 포함한 경우에 연료가 분사된 후 예혼합연소량이 증가되었기 때문으로 생각된다.

Fig. 6은 전부하와 무부하 상태에서 매연의 배출특성을 연료내에 함유된 산소량과의 관계로 나타낸 것이다. 무부하에서는 전 회전속도범위에 걸쳐서 연료속의 산소농도가 2%정도만 되어도 매연의 배출량이 2.3%이하로서 거의 배출되지 않

으며, 2500rpm, 전부하의 경우에도 매연농도가 33%이하로 매연 저감효과가 크다. 이는 연소에 필요한 산소량이 부족한 고부하와 고회전속도영역에서 연료내의 산소성분이 연소촉진제로 작용하여 매연을 현저하게 저감시킨 것으로 생각된다. 즉, 매연생성은 연료내의 산소농도에 의하여 강하게 좌우됨을 알 수 있다.⁽⁹⁾

3.2 가스 크로마토그래피를 이용한 개별탄화수소의 분석 실험

경유와 유사한 에너지소비율을 유지하면서 현저한 매연 저감효과를 나타내고 있는 MTBE 10%를 경유와 혼합한 경우에 가스 크로마토그래피를 사용하여 전체적인 탄화수소는 물론 C₁~C₆까지의 개별탄화수소를 비교, 분석하여 보았다.

Fig. 7은 1000, 1500, 2000, 2500rpm의 기관회전속도에서 부하변화에 따라 경유를 사용한 경우와 MTBE를 10%혼합하여 사용한 경우에 미연탄화수소 분석결과로서 크로마토그램상에 나타난 각각의 피크면적을 보여주고 있다. 양 연료 공회 고회전속도와 고부하로 갈수록 탄화수소의 배출농도는 현저히 증가하며, 증가폭은 경유가 더욱 급격함을 알 수 있다.

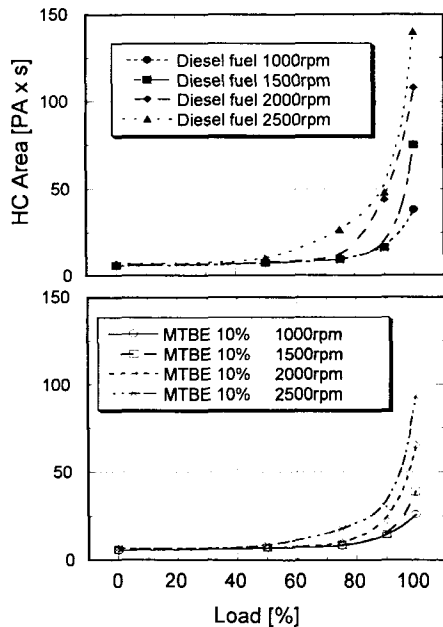


Fig. 7 Total area of hydrocarbon of two fuels on chromatogram analysis under varying engine speeds and loads

이는 중부하 이하인 경우에는 경유를 연료로 사용한 경우에도 공기이용률이 충분하기 때문에 함산소연료인 MTBE의 산소성분이 미연탄화수소 생성에 큰 영향을 미치지 않았으나, MTBE를 사용한 경우에 고부하와 고회전속도로 갈수록 MTBE에 포함된 산소성분에 기인하여 연료 입자의 산화를 더욱 촉진시켜 매연생성에 영향을 미치는 미연탄화수소의 전체적인 양이 크게 저감되었기 때문으로 생각된다.

특히, 기관의 회전속도가 증가할수록 미연탄화수소의 배출량이 증가하는 측면을 고려할 때, MTBE를 혼합한 경우에 미연탄화수소 성분이 가장 많이 배출되었던 2500rpm, 전부하의 경우는 경유를 사용시에 비교적 미연탄화수소가 적게 배출되는 2000rpm, 전부하의 경우에 배출되는 미연탄화수소보다도 약 17%가 저감되었음을 알 수 있다.

Fig. 8은 경유와 경유에 MTBE 10%를 첨가한 경우에 무, 중부하와 고부하영역에서 기관회전속도 변화에 따른 탄화수소의 배출특성을 나타내고 있다. 모든 회전속도범위에 걸쳐서 경유의 경우

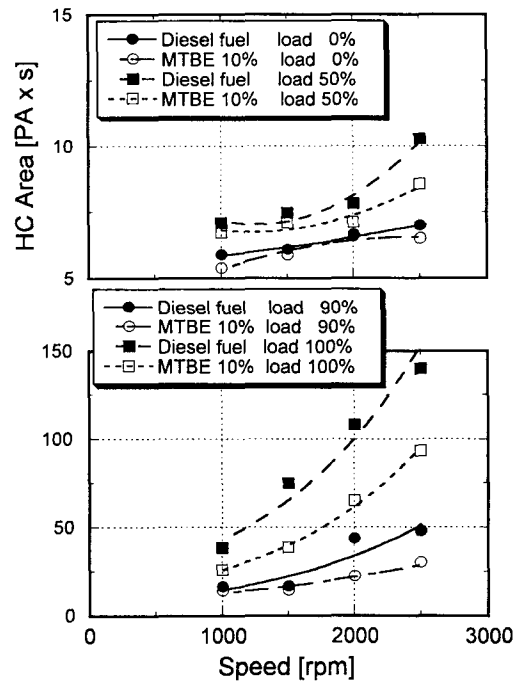


Fig. 8 Comparison of low vs. high load on total area of hydrocarbon under varying engine speeds

보다 MTBE를 첨가한 경우가 미연탄화수소의 면적비가 현저하게 작게 나타나고 있으며, 특히 고부하, 고회전속도로 갈수록 그 차이가 확실히 나타난다. 무부하나 중부하에 있어서 경유를 사용한 경우에는 디젤기관의 공기이용률이 충분하기 때문에 큰 영향을 보이지는 않았으나, 고부하영역에서 전체적인 탄화수소의 피크 면적이 MTBE를 사용한 경우가 훨씬 저감하는 이유는 MTBE

에 포함된 산소가 특히 연소후반부에 공기이용률을 높여 주어 탄화수소 성분의 산화를 촉진시키기 때문으로 생각된다.

디젤기관에서 배출되는 탄소상 미립자 즉 매연은 Kittleson⁽¹⁰⁾ 등의 연구에 의하면 연소가 시작되는 즉시 매연이 발생하는 것이 아니고 확산연소 개시 때부터 매연이 생성되기 시작하며, 실린

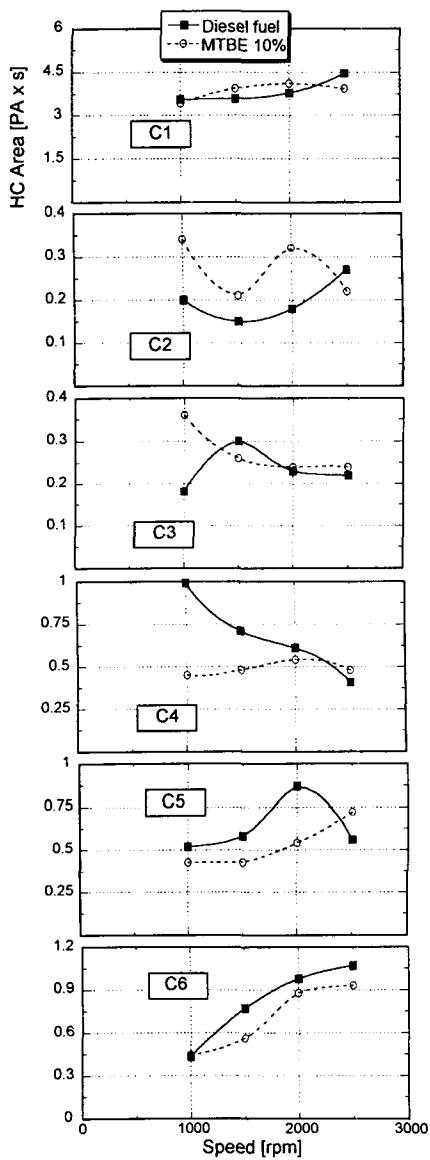


Fig. 9 Area of each hydrocarbon on chromatogram analysis under varying engine speed at load 0%

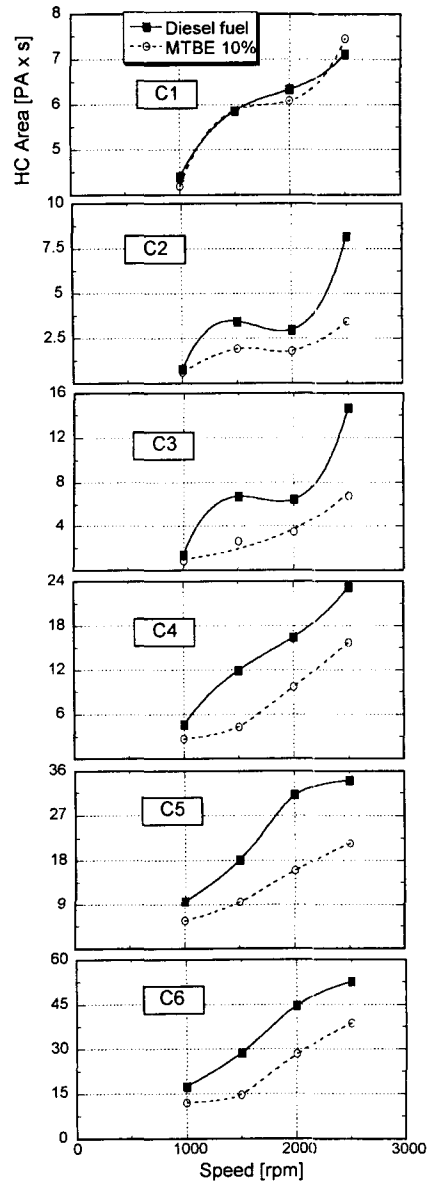


Fig. 10 Area of each hydrocarbon on chromatogram analysis under varying engine speed at load 100%

더내의 매연의 생성속도는 운전 조건에는 별 영향이 없고, 피크 농도에도 크게 영향을 미치지 않는다고 보고하고 있어 연소 후반부에 디젤기관의 공기이용률이 매연생성에 큰 영향을 주고 있음을 알 수 있다.

Fig. 9는 경유와 경유에 MTBE 10%를 혼합한 연료를 이용하여 무부하 상태에서 기관을 운전시에 배출되는 개별탄화수소를 분석한 경우이다.

C₁(methane)과 C₂계열의 저비등점 탄화수소를 제외한 모든 경우에 있어서 경유의 경우가 다소 증가하는 추세를 보이고 있으나, 그 차이는 미비하였다.

Fig. 10은 전부하 상태의 경우 개별 탄화수소를 분석한 경우로서, C₁을 제외한 모든 경우에 MTBE를 사용한 경우가 미연탄화수소가 대폭 저감되었음을 나타내고 있다.

연소과정에서 필연적으로 발생하는 열분해는 탄화수소 연료를 분해하여 매연성분의 핵을 형성시키게 되는 것으로 알려져 있다.⁽⁸⁾ 이때 발생하는 미연 탄화수소의 성분 중에서 저비등점 탄화수소는 산화가 용이하여 매연 생성에 큰 영향을 미치지 못하지만, 고비등점 탄화수소는 산화가 용이하지 못하여 매연 생성에 커다란 영향을 미치는 것으로 생각된다.

앞에서 언급한바와 같이, 매연배출은 후연소에 의한 매연의 산화보다 근본적으로 매연생성이 적어야 되는 것으로 알려져 있다. 즉, 매연배출은 매연의 산화량보다 매연의 생성량이 더 지배적이라고 할 수 있다.

함산소연료를 사용한 경우에는 연료내에 산소 성분이 일정부분 점유하는 부분이 있어, 연료자체내에 탄화수소 성분이 경유를 사용한 경우보다 적게 된다. 다시 말하면, 함산소연료를 디젤기관에 적용시에 매연의 생성자체를 연소과정 전반에 걸쳐서 억제할 수 있을 것으로 생각한다.

Fig. 11은 90%의 고부하상태에서 매연과 각 탄화수소와 상관관계를 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 90%의 부하에서 MTBE를 혼합한 모든 경우에 비하여 경유의 경우는 매연이 급격하게 증가하는 것을 볼 수 있다. 특히, C₁과 같은 저비등점 탄화수소는 뚜렷한 매연 배출과의 관계가 나타나지 않았지만, 저비등점 탄화수소의 일종인 C₂는 물론 C₅와 C₆의 고비등점 탄화수소는 위의 매연 배출성향과 유사하게 나타난 것을 알 수 있다.

이는 전체적인 매연 배출 특성과 유사한 관계를 보이고 있어 매연 배출농도에 고비등점 탄화수소의 영향이 크다는 것을 알 수 있다.

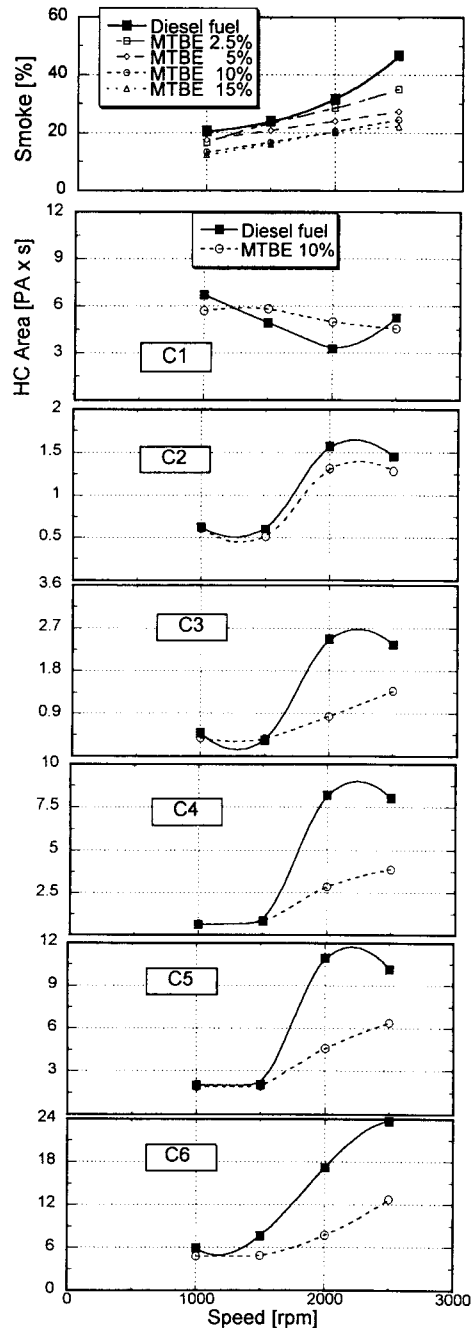


Fig. 11 Relationship of smoke and hydrocarbon for low vs. high boiling point at load 90%

4. 결 론

수냉식, 4행정, 직접분사식 디젤기관의 연료로서 경유와 합산소연료인 MTBE를 혼합하여, 이들 연료들이 기관 성능 및 배기 배출물에 미치는 영향과 가스 크로마토그래피를 이용하여 탄화수소 배출에 대하여 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) MTBE 10vol-%를 혼합한 연료를 디젤기관에 적용하여 고부하와 고회전속도 영역에서 최대 43% 정도의 현저한 매연 저감이 되었으며, trade-off 관계에 있는 NOx는 증가하였다.

(2) 매연 배출특성은 연료내의 산소농도에 크게 의존할 뿐만 아니라, 고비등점 탄화수소의 생성 및 산화와 밀접한 관계가 있으며, MTBE와 같은 합산소연료는 고부하와 고회전속도 영역에서 고비등점 탄화수소의 산화를 촉진시켜 매연 배출을 현저하게 억제하였다.

(3) MTBE를 디젤기관의 연료로 첨가하여 사용할 경우, 연료내에 함유된 산소농도가 2%정도만으로도 저부하영역에서는 매연 배출이 거의 없었으며, 매연이 다량 배출되는 고부하, 고회전속도에서도 30~40%이상의 매연을 저감시킬 수 있었다.

참고문헌

- (1) Beidl, C. V., Gill, D. W., Cartellieri, W. and Rust, A., 1998, "The Impact of Emissions and Fuel Economy Requirements on Fuel Injection system and Noise of HD Diesel Engines," SAE paper, No.980176.
- (2) Liotta, F. J., Jr., Montalvo, D. M., 1993, "The Effect of Oxygenated Fuels on Emissions from a Modern Heavy-Duty Diesel Engine," SAE paper, No.932734.
- (3) Murayama, T., Chikahisa, T., Oh, Y. T., Zheng, M., Fujiwara, Y., Tosaka, S., Yamashita, M. and Yoshitake, H., 1995, "Simultaneous Reductions of Smoke and NOx from a DI Diesel Engine with EGR and Dimethyl Carbonate," SAE paper, No.952518.
- (4) 오영택, 최승훈, 2000, "'디젤기관의 배기배출물 중 가스 크로마토그래피를 이용한 탄화수소 분석에 관한 실험적 연구,'" 한국동력기계공학회지, Vol. 4, No. 3, pp. 12 ~ 18.
- (5) Kajitani, S., Usisaki, H., Clasen, E., Campbell, S. and Rhee, K. T., 1994, "MTBE for Improved Diesel Combustion and Emissions?," SAE paper, No.941688.
- (6) 노수영, 1999, "합산소 연료에 의한 디젤엔진의 유해배출물저감," 자동차공학회지, Vol. 21, No.2, pp.16~19.
- (7) 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.
- (8) 오영택, 최승훈, 2002, "'직접분사식 디젤기관에서 EGBE 첨가에 의한 배기가스 배출특성과 분석에 관한 실험적 연구,'" 대한기계학회논문집 B권, 제26권, 제3호, pp. 498~506.
- (9) Yukio Akasaka, Yoshihito Sakurai, 1994, "Effects of Oxygenated Fuel and Cetane Improver on Exhaust Emission from Heavy-Duty D.I. Diesel Engines," SAE paper, No.942023.
- (10) Kittleson, D. B., Piphoo, M. J., Ambs, J. L. and Luo, L., 1988, "In-cylinder Measurement of Soot Production in a Direct Injection Diesel Engine," SAE Paper, No.880344.