

## 디젤기관의 대체연료로서 DEE의 연소 특성에 관한 연구

### A Study on the Combustion Characteristics of DEE as an Alternative Fuel in Diesel Engine

유 경 현\*, 최 준 혁\*, 오 영 택\*\*  
Kyunghyun Ryu, Junhyug Choe, Youngtaig Oh

#### ABSTRACT

Nitrogen oxides(NOx) and smoke emissions of diesel engine are regarded as a source of air pollution, and there is a global trend to enforce more stringent regulations on these exhaust gas emissions. However, the trade-off relation of NOx and smoke is a main obstacle to reduce both of them simultaneously. In this paper, experiments were conducted with an oxygenated fuel(diethyl ether) as an effective way to improve the trade-off relation of NOx and smoke. Exhaust emissions of diesel fuels with DEE were influenced by the additive content of DEE and the injection timing. Especially, DEE effected more at the high engine speed and load than at the low engine speed and load. Diesel fuel blended with DEE 10% was a desirable blend for the simultaneous reduction of NOx and smoke.

주요기술용어 : Oxygenated fuel(합산소 연료), NOx(질소산화물), Smoke(매연), Diethyl ether(디에틸에테르), Diesel engine(디젤기관), Alternative fuel(대체연료)

#### 1. 서 론

NOx와 매연은 그 생성 기구가 상이하 며, 저감 대책 또한 서로 상반된 관계를 가지고 있어서 두 물질을 동시에 저감하는 것은 매우 어려운 실정에 놓여 있다.

유해 배출가스를 저감시키기 위한 연구로는 연료가 기관 내에서 연소하기 전에 배출가스를 저감시키기 위한 방법인 전처리 방법과 연료가 연소하고 난 후에 촉매장치 등을 이용하여 배기관 내에서 배출가스를 처리하는 후처리 방법으로 나눌 수 있다. 전처리 방법으로는 엔진 설계

변경기술과 연료 조성 변경 기술 등을 들 수 있으며, 후처리 방법으로는 매연 트랩, 촉매 이용 기술 등을 들 수 있다. 그러나, 후처리 방법으로 사용되고 있는 방법들은 배출가스를 저감시키기 위한 근본적인 해결 방법이 되지 못하기 때문에, 많은 연구자들은 전처리 방법을 통하여 배출가스의 생성을 억제하기 위한 방법을 개발하고자 노력하고 있다.

이러한 여러 가지 기술 중에 최근 환경오염 문제로 인한 선진국의 배출가스 규제강화와 석유 연료의 고갈 문제가 합산소 연료(oxygenated fuel)에 대한 연구를 촉진하는 계기가 되었다.

디젤기관의 연료와 연소 특성에 관한 연구로 경유에 합산소 물질을 첨가 또는 혼합하여 연소

\* 회원, 전북대학교 대학원

\*\* 회원, 전북대학교 기계공학부, 자동차신기술연구소

특성을 개선시킴으로써 배기가스 저감을 실현한 연구들을 살펴보면, T. Murayama 등<sup>1)</sup>과 B. Likos 등<sup>2)</sup>은 알콜계 합산소 연료를 경유에 첨가하여 다른 배기가스 성분들을 악화시키지 않으면서 매연을 효과적으로 저감시킬 수 있다고 밝혔다. 하지만, 이 경우 각 연료간의 용해성이 악화되어 연료간의 상 분리가 쉽게 일어나고, 착화성이 저하되어 소음 등이 증가하는 현상이 발생하며, 혼합연료의 유향성이 악화되는 문제점들이 제기되고 있다.

Young-Taig, Oh 등<sup>3)</sup>은 직접 분사식 디젤 기관에서 배기배출물을 저감시키기 위하여 기존 연료와 DMC(dimethyl carbonate)의 혼합연료를 이용한 실험을 통해 매연은 연료내 산소 농도와 직접적으로 관계가 있으며 DMC의 농도가 증가할수록 큰 폭으로 감소하는 반면에, NOx는 소량 증가한다는 사실을 밝혔다. 그리고, 디젤기관에 식물유, 식물유의 에스테르 연료 및 알코올 등을 사용할 경우, 연료 내 산소함량이 매연저감에 커다란 영향을 미친다고 보고하고 있다.<sup>4)</sup>

에테르계 합산소 연료는 DME(dimethyl ether), DMM(dimethyl methane, dimethoxy), DEE(diethyl ether), MTBE(methyl tertiary butyl ether) 등을 들 수가 있는데, 이에 대한 연구로는 직접분사식 디젤엔진에서 DME를 경유와 혼합하여 적용한 결과, 기관 성능과 배출가스 특성상 DME를 10% 혼합한 경우가 질소산화물과 매연을 효과적으로 저감시킬 수 있다고 보고되었다.<sup>5)</sup> 국내의 경우, 한국에너지기술연구원에서 DME의 제조방법에 대한 연구가 있었고, 디젤기관에 적용한 연구가 실제 수행되고 있다.<sup>6,7)</sup>

DMM은 정적연소장치에서 열분해 및 소화과정을 실험한 결과 디젤엔진의 연소에 적합하다고 볼 수 있으며, 자발점화 특성이 우수하기 때문에 소음 및 NOx 저감 등에 효과를 볼 수 있을 것으로 기대된다고 보고하고 있다.<sup>8)</sup>

Yamamoto 등<sup>9)</sup>은 알코올과 에테르를 경유에 혼합하였을 때, 세탄가와 기관성능이 개선된다고 보고하였다.

DEE는 세탄가가 125 이상으로 매우 높고 부식성이 없으며, 발열량이 다른 합산소 연료에 비해 높아 디젤기관의 대체연료로서 양호한 조건을 갖고 있으면서도 냉간시동 보조제나 알콜엔진 점화촉진제<sup>10)</sup>로만 사용되어 왔다. 그리고, 경유나 식물성 연료와 어떤 비율로 혼합해도 상용성이 양호하며, 경유와 혼합하여 사용할 경우에도 경유 자체의 세탄가보다는 훨씬 높은 세탄가를 갖게 된다. 더군다나, DEE는 알콜로부터 쉽게 전환될 수 있으며, 다른 탄화수소 연료와 거의 같은 연소속도를 가지고 있어 디젤기관의 연료로 사용하기에 바람직하다고 보고되고 있다.<sup>11)</sup>

그러나, 분사시기가 고정된 디젤기관에 DEE를 첨가연료로 사용할 경우 전반적으로 NOx는 감소하지만 PM은 DEE의 첨가량에 따라 증가되거나 감소하였으며<sup>12)</sup>, 직접분사식 디젤기관에서 DEE가 NOx와 PM의 상반관계 개선에 효과적이다<sup>13)</sup>는 최근의 몇몇 논문을 제외하고는 디젤기관에 대한 DEE의 폭넓은 연구가 없는 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 더욱 강화되는 자동차의 배출가스 규제에 대응하기 위하여 DEE를 경유에 첨가하였을 경우, 경유만 사용한 경우와 비교하여 기관성능 및 배출가스 배출성능을 고찰하고자 한다. 특히, DEE를 첨가한 경우 분사시기 변화에 따른 기관성능 및 배기가스 배출특성을 경유를 사용한 경우와 비교·분석함으로써 대두되는 문제점을 파악하고, DEE를 디젤기관의 연료로 적용하기 위한 방안을 제시하고자 한다.

## 2. 실험 장치 및 방법

### 2.1 실험 장치

본 실험에 사용된 기관은 수냉식, 4기통, 4행정, 간접분사식 디젤기관이며, 시동모터에 의해서 시동이 되고 기관부하와 기관 회전속도는 엔진 다이나모메타에 의해 임의로 조정할 수 있도록 되었다. 실험에 사용된 기관과 실험장치들에 대한 주요 사양을 각각 Table 1과 2에 나타내었다.

Table 1 The specification of test engine

Item	Specification
Engine model	HD D4BA
Bore × stroke	91.1×95 (mm)
Displacement	2476 (cm <sup>3</sup> )
Compression ratio	21
Combustion chamber type	Pre-combustion
Injection timing	Variable
Coolant temperature	80±2°C

Table 2 The specification of test apparatus

Item	Specification
Dynamometer	HE-130 (35kg·m/9000rpm, eddy current type, water cooled)
Pressure pick-up	PE-100KJ
Charge amplifier	Kistler 5011
Smoke meter	HBN-1500
Fuel metering gauge	3연구식(150cc), stop watch
Exhaust gas analyzer	Mod. 588

## 2.2 실험 연료

본 연구에서는 경유와 합산소연료로 에테르계통의 물질인 DEE(diethyl ether)를 사용하였다. Table 3는 본 실험에 사용된 연료의 물성치를 나타낸 것이다. Table 3에서 알 수 있는 것처럼, DEE의 비등점이 36.4°C로 휘발성이 매우 뛰어난 연료로서 대기압 하에서도 쉽게 기화하는 특성을 갖고 있으며, 경유에 비해 높은 세탄가, 낮은 발열량, 높은 증발열을 갖고 있다. 또한, 분자량이 74.1로 경유보다 훨씬 낮고, 산소를 21.58% 함유하고 있음을 알 수 있다.

## 2.3 실험 방법

본 실험은 디젤기관의 연료인 경유에 합산소 물질인 DEE를 첨가한 경우, 운전조건에 따른 기

Table 3 Properties of fuels

	Diesel fuel	DEE
Molecular structure	C <sub>16</sub> H <sub>34</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OC <sub>2</sub> H <sub>5</sub>
C : H : O by mass	5.7 : 1 : 0	4.8 : 1 : 1.6
Stoich. A/F ratio	1:14.9	1:11.14
Molecular weight	226	74.1
Density[g/cm <sup>3</sup> ]	0.84	0.714
Heating value[MJ/kg]	42.9	33.8
Flashing point[%]	48	-45
Oxygen content[vol.%]	0	21.58
Boiling point[°C]	210~325	34.6
Cetane number	43	≥125

관성능 및 배기가스 배출특성을 파악하고 고찰해 보고자 한다. 실험에 사용된 연료는 상용연료인 경유와 합산소 연료인 DEE를 5%, 10%, 15% 첨가시켰을 경우 각 회전속도에서 무부하, 25% 부하, 50% 부하, 75% 부하, 90% 부하 및 전부하 상태에서 기관성능 및 배기가스 배출 특성을 비교 실험하였다.

분사시기 변화에 따른 영향들을 파악하기 위하여 분사시기가 기관회전수에 따라 자동으로 조절되는 분사펌프를 개조하여 분사시기를 수동으로 조절할 수 있도록 하였으며 분사시기는

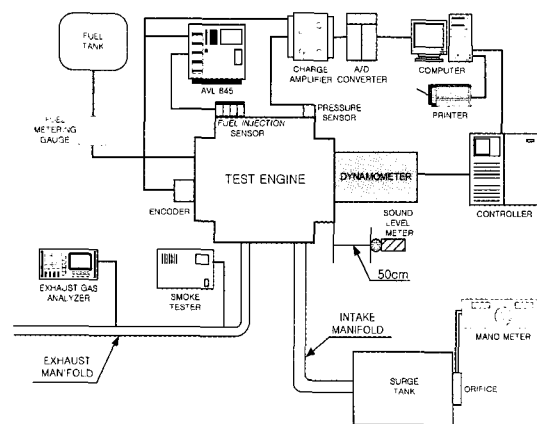


Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus

BTDC 2°CA에서 BTDC 40°CA까지 조절 가능하도록 하였다.

실험조건이 변경될 때마다 냉각수 온도를 일정하게 유지하였으며, 실험이 끝난 후 연료필터를 교체하고 연료공급라인을 정비하여, 전 실험이 다음 실험에 영향을 미치지 않도록 충분한 시간동안 기관을 운전한 후 실험을 실시하였다. Fig. 1은 실험장치의 개략도를 나타낸 것이다.

### 3. 실험 결과 및 고찰

#### 3.1 분사시기가 기관성능 및 배기가스 배출특성에 미치는 영향

Fig. 2는 기관회전수 1500rpm, BMEP 0.16MPa에서 분사시기 변화에 대한 각 연료의 에너지소비율과 소음을 나타낸 것이다. 에너지소비율(BSEC)의 경우, 경유를 사용한 경우에 BTDC 14°CA에서 가장 양호한 에너지소비율을 나타내었

고, DEE 5%, 10%, 그리고 15%를 첨가한 경우는 BTDC 12°CA에서 에너지소비율이 가장 양호한 것으로 나타남을 알 수 있었으며, 분사시기를 BTDC 10°CA 이하로 지연시키거나 BTDC 14°CA 이상으로 진각시키면 에너지소비율이 악화되는 일반적인 경향을 나타내었다.

소음의 경우, 분사시기가 지연될수록 소음이 감소함을 알 수 있는데, 이는 분사시기가 지연되면 연소초기에 급격한 압력상승률을 억제하기 때문인 것으로 분석된다. 또한, DEE 첨가량이 증가할수록 소음이 감소함을 알 수 있는데, 이는 DEE의 세탄가가 높아 경유와 혼합하였을 때 DEE의 첨가량이 증가함에 따라 착화지연기간이 짧아지게 되고 이로 인해 예혼합 연소시의 연료량이 감소하여 급격한 압력상승률을 억제하였기 때문으로 분석된다.

Fig. 3은 기관회전수 1500rpm, BMEP 0.16MPa일 때 분사시기 변화에 의한 배기가스 배출특성

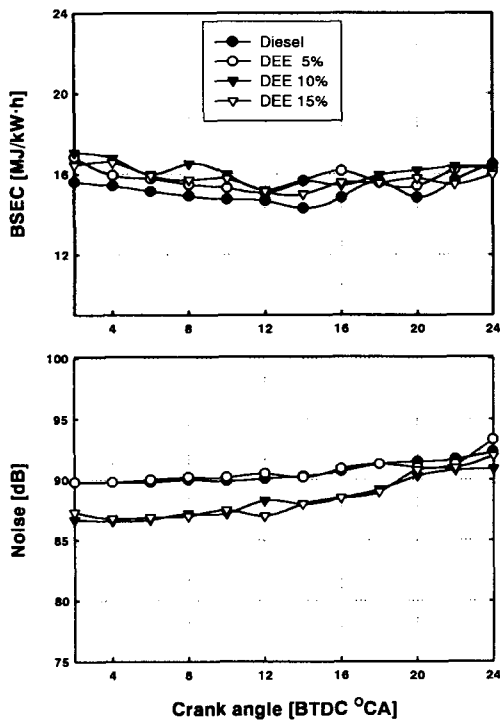


Fig. 2 Engine performance with injection angle variation under BMEP 0.16MPa at engine speed 1500rpm

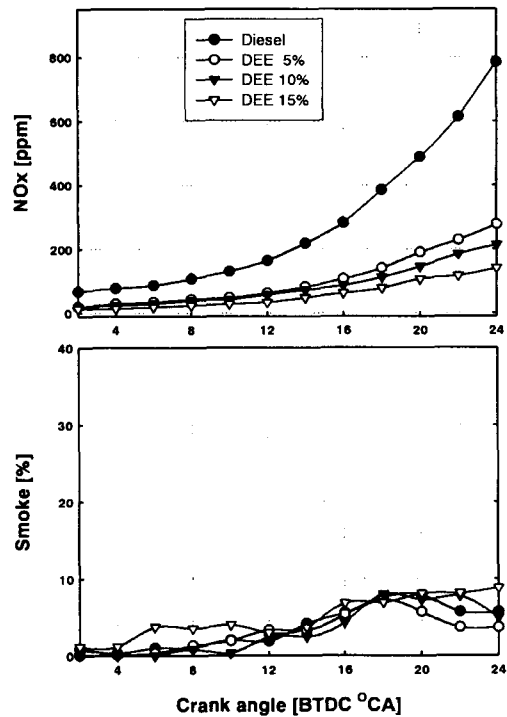


Fig. 3 Exhaust emissions with injection angle variation under BMEP 0.16MPa at engine speed 1500rpm

을 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 분사 시기가 지연될수록 NO<sub>x</sub>가 저감됨을 알 수 있다. 이는 예혼합연소시 압력상승률과 열발생률이 억제되어 연소실내 연소온도가 낮아지고, 연소가스의 고온 지속시간도 감소하여 NO<sub>x</sub> 생성이 억제된 것으로 분석된다. 또한, DEE 첨가량이 증가할수록 큰 폭으로 NO<sub>x</sub>가 저감되는데, 이는 DEE의 첨가량이 증가할수록 세탄가가 증가하여 착화지연기간을 단축시킴에 따라 예혼합연소량이 감소하여 낮은 연소압력과 온도 때문에 NO<sub>x</sub>의 생성이 억제된 것으로 생각된다.

Fig. 4는 기관회전수 1500rpm, BMEP 0.16MPa, 최적분사시기(MBT, Maximum Brake Torque Timing)인 경우, 각각의 연료에 대한 연소실내 압력, 압력상승률 그리고 열발생률의 변화를 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 MBT 14°CA인 경유를 사용한 경우가 MBT 12°CA에서 DEE 5%, 10%,

15%를 첨가한 연료들에 비해, 압력상승률의 피크가 높게 나타남을 알 수 있다. 이는 경유의 경우에 착화지연기간이 길기 때문에 예혼합연소시 연료량이 많아져서 더 높게 나타난 것으로 분석된다. 또한, 열발생률의 경우에서도 경유가 다른 연료들에 비해 분사시기는 약간 빠를지라도 세탄가가 낮기 때문에 연소 시작점은 약간 늦게 나타났고, 예혼합연소량이 많기 때문에 열발생률이 크게 나타남을 알 수 있다.

이는 세탄가가 높은 DEE가 착화지연기간을 단축시켜서 연소과정에서의 연소속도가 경유에 비해 빨라진 것으로 분석된다.

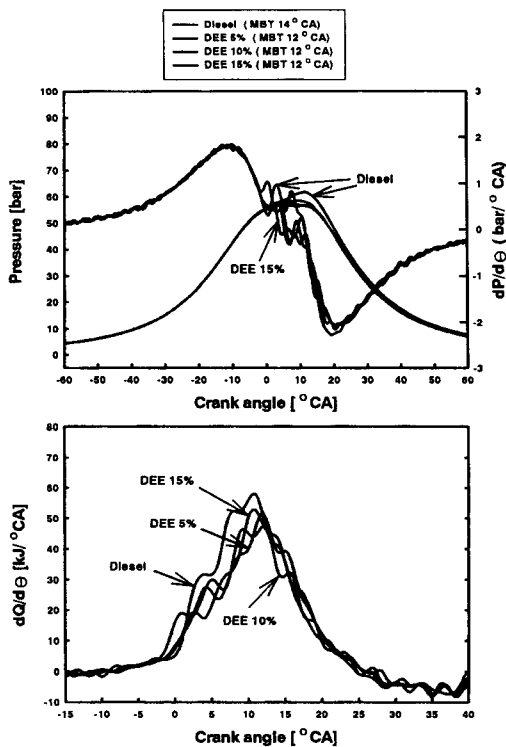


Fig. 4 Pressure, dP/dθ and dQ/dθ versus crank angle under 1500rpm at MBT

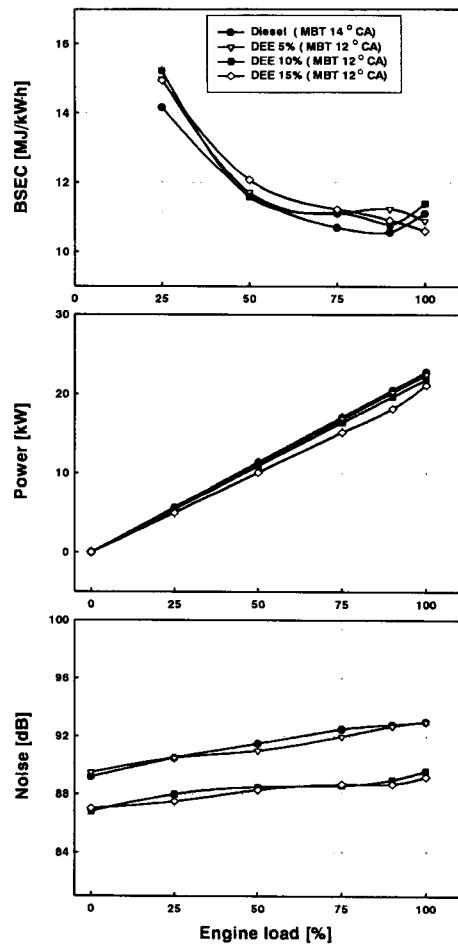


Fig. 5 Engine performance with various load under 1500 rpm at MBT

### 3.2 기관 부하 변화에 따른 기관 성능 및 배기가스 배출특성

Fig. 5는 기관 회전속도 1500rpm, 최적분사시기(MBT)에서 각각의 연료들에 대한 부하변화에 따른 기관성능 특성을 나타낸 것이다. 에너지 소비율의 경우, 전체적으로 부하가 증가할수록 0~75%부하까지는 감소하고 이후에는 거의 일정한 경향을 보여주고 있으나, DEE첨가량이 증가할수록 약간의 출력감소와 에너지 소비율이 증가하는 경향을 나타내었다. 소음의 경우 부하가 증가할수록 약간씩 증가하고 있음을 알 수 있으며, 경유를 사용한 경우와 DEE 5%를 첨가한 경우보다 DEE 10%와 15%를 첨가한 경우가 전체적으로 감소하는 소음 특성을 보여주고 있다. 이는 연소압력과 압력상승률이 DEE 5%를 첨가하였을 경우에는 거의 영향을 미치지 못하지만, 10% 이상 DEE를 혼합하였을 때에는 그 효과가 크게 나타나 연소압력과 압력상승률에 영향을 미쳐 소음을 감소시킨 것으로 분석된다.

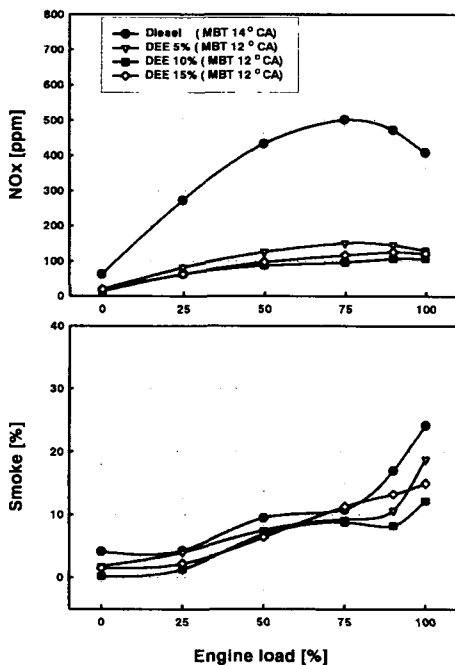


Fig. 6 Exhaust emissions with various load under 1500 rpm at MBT

Fig. 6은 Fig. 5와 동일한 운전 조건에서 각 연료들에 대한 부하변화에 따른 배기가스 특성을 나타낸 것이다. 전체적으로 기관 부하가 증가할수록 NOx와 매연이 모두 증가하는 경향을 나타냈다. 또한, DEE를 혼합하였을 경우가 경유만 사용한 경우보다 NOx가 크게 감소하고, 매연은 약간 감소한 것으로 나타났으며, DEE의 첨가량에 따라서는 큰 차이를 보이지 않았지만, 고부하 영역에서 DEE의 효과가 현저하게 나타났다. 이는 DEE의 연료 특성상 분자량이 작고 저온에서 쉽게 기화하는 특성으로 인해, 경유와의 혼합연료로 기관에 공급하였을 경우, 첨가된 DEE가 착화지연기간을 단축시켜 연소 초기온도가 낮아지고 결국 NOx의 생성이 억제된 것으로 분석된다. 또한, 연소 후반부에 DEE의 산소함량이 연소를 활발하게 촉진하는 작용으로 나타나 매연의 생성을 억제시킨 것으로 분석된다.

### 3.3 기관 회전수 변화에 따른 기관 성능 및 배기가스 배출특성

Fig. 7은 BMEP 0.16MPa, MBT에서 기관 회전수 변화에 따른 각 연료의 에너지소비율 및 소음 특성을 나타낸 것이다. 기관 회전수가 증가함에 따라 에너지소비율은 중속에서 감소하다가 고속으로 갈수록 증가하는 일반적인 경향을 보여주고 있고, DEE의 첨가량이 증가할수록 에너지 소비율이 약간 증가하며, 고회전 영역에서는 거의 동일한 것으로 나타났다.

소음의 경우, 기관 회전수가 증가할수록 기관 소음이 점차로 증가하는 것을 알 수 있으나, 경유와 경유에 DEE 5%를 첨가하였을 때 거의 차이가 없었지만, DEE 10%와 15%를 첨가하였을 때 소음이 현저히 감소함을 알 수 있다. 이는 DEE의 세탄가가 높기 때문에 DEE의 첨가량이 증가할수록 착화지연기간이 짧아짐에 따라 예혼합연소량이 작아져 급격한 압력상승률이 억제되었기 때문으로 분석된다.

Fig. 8은 Fig. 7과 동일한 운전 조건에서 기관 회전수 변화에 따른 배기가스 배출 특성을 나타

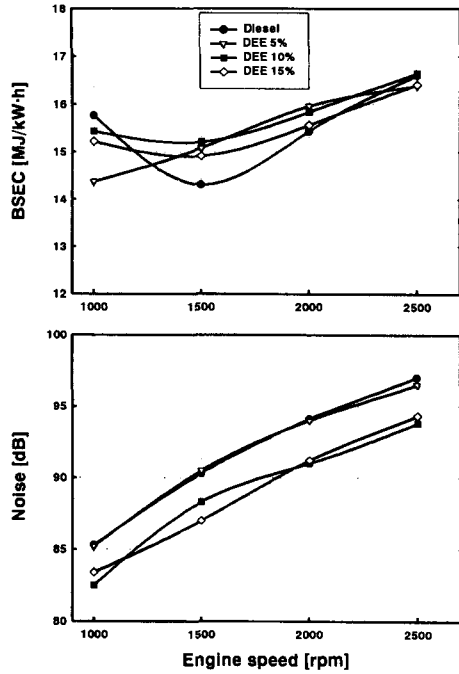


Fig. 7 Engine performance with various engine speed under BMEP 0.16MPa at MBT

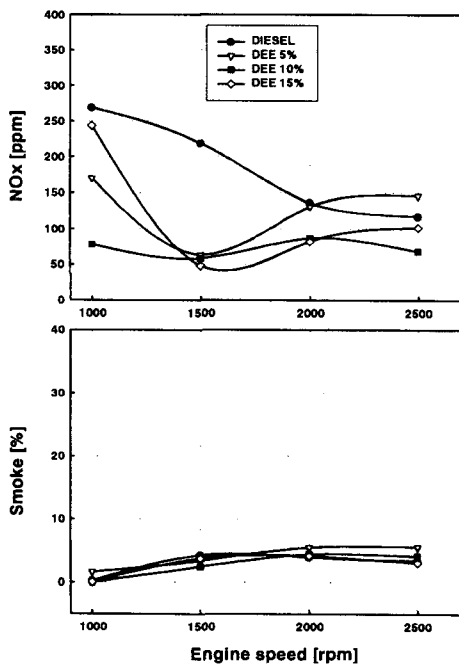


Fig. 8 Exhaust emissions with various engine speed under BMEP 0.16MPa at MBT

낸 것이다. NOx는 저회전영역에서 경유에 비해 DEE를 첨가하였을 때 감소함을 알 수 있고, 고회전영역으로 갈수록 경유와 큰 차이가 없음을 알 수 있다. 대체적으로 NOx는 2000rpm 이상에서는 DEE를 5%와 10% 첨가시 경유에 비해 약간 감소함을 알 수 있다. 매연의 경우, 저부하인 경우에 경유와 비교했을 때 DEE를 첨가하였을 경우에도 별 차이가 없음을 확인할 수 있었다.

Fig. 9는 전부하(full load), 최적 분사시기(MBT)에서 기관 회전수 변화에 따른 각 연료의 에너지 소비 및 소음 특성을 나타낸 것이다. 에너지 소비율은 고회전 영역에서 DEE 첨가량이 증가할수록 출력의 큰 변화 없이 감소하는 경향을 나타내었다.

소음은 기관부하가 증가할수록 전체적으로 증가함을 알 수 있고, 경유와 DEE 5%를 첨가하였을 경우는 전 기관회전속도에서 별 차이가 없었지만, 10%와 15%의 경우 확실히 감소하는 것을 알 수 있어 저부하인(BMEP 0.16MPa)인 경우

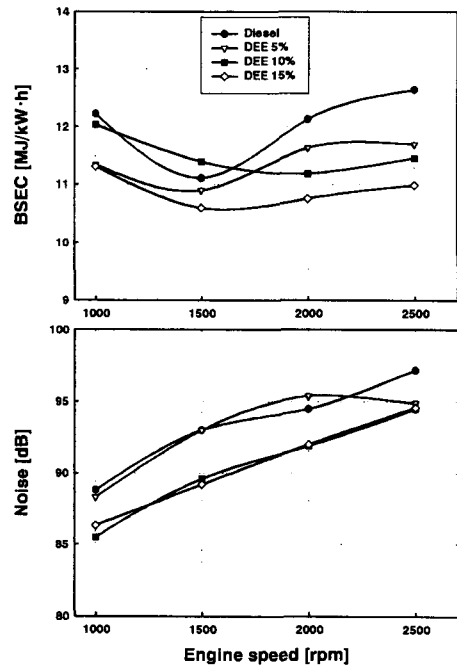


Fig. 9 Engine performance with various engine speed under load 100% at MBT

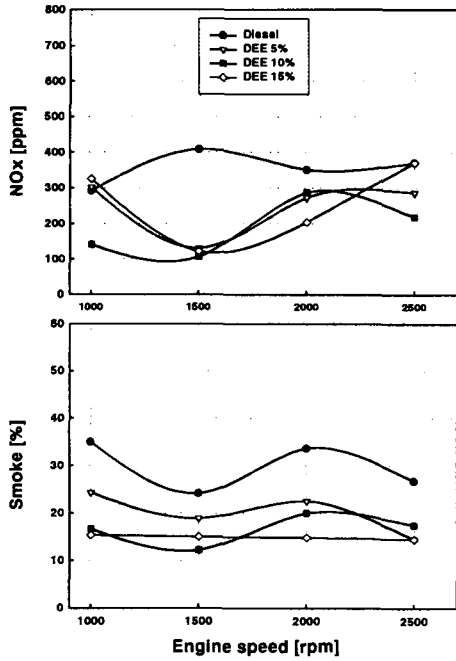


Fig. 10 Exhaust emissions with various engine speed under load 100% at MBT

와 유사한 경향을 보임을 알 수 있다.

Fig. 10은 Fig. 9와 동일한 운전조건에서 기관

회전수 변화에 따른 각 연료의 배기 배출특성을 나타낸 것이다. NOx의 경우 경유에 비해 DEE를 첨가하였을 때가 적게 배출되었고, 1500rpm의 경우 현저하게 감소하는 것을 알 수 있었다. 매연은 경유와 경유에 DEE 10% 첨가하였을 경우를 비교했을 때 약 35% 정도 감소하였다. 이는 DEE의 산소성분이 연소를 촉진시켜 매연의 생성을 억제하였기 때문으로 생각된다. Fig. 9와 10에서 알 수 있듯이 DEE의 효과는 고부하의 경우가 저부하인 경우보다 전회전영역에서 양호하게 나타났다.

### 3.4 NOx와 매연의 상반관계

Fig. 11는 분사시기 한계인 BTDC 8~14°CA 내에서, 각 분사시기변화에 따른 경유와 경유에 DEE를 첨가한 연료들에 대한 NOx와 매연의 관계를 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이, 모든 연료에 있어서 분사시기가 지연될수록 NOx와 매연의 분포영역이 좁아지는 것을 알 수 있다. NOx의 경우 BTDC 14°CA에서 500ppm 정도까지 분포하였지만, BTDC 8°CA인 경우는 150ppm 이하로 크게 감소함을 알 수 있다. 또한, 매

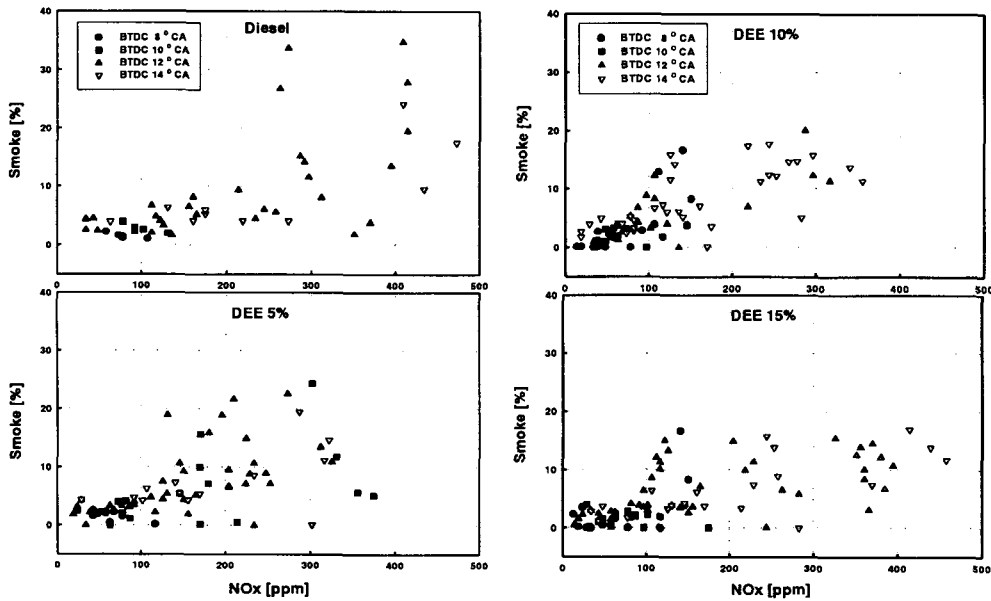


Fig. 11 The trade-off relationship of NOx and smoke for fuels



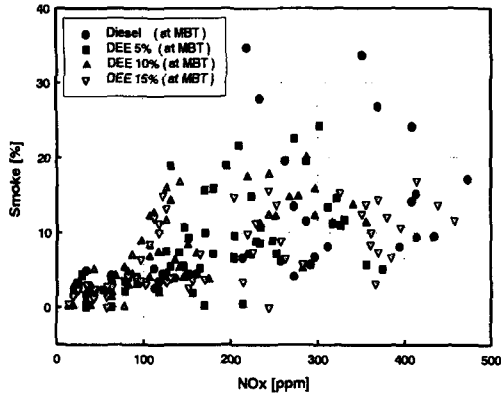


Fig. 12 The trade-off relationship of NOx and smoke

연의 경우는 BTDC 10~14°CA 이내에서는 거의 비슷한 분포를 보이지만, BTDC 8°CA인 경우 NOx의 감소와 함께 매연도 같이 감소하는 것을 알 수 있다.

Fig. 12는 최적 분사시기(MBT)에서 경유와 경유에 DEE 5%, 10% 그리고 15%를 첨가한 경우 각 연료에 대한 NOx와 매연의 상반관계를 비교하여 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이, 경유는 NOx와 매연이 각각 500ppm, 35%까지 넓게 분포되어 있는 것을 알 수 있고, DEE 5%와 10%는 NOx와 매연이 각각 400ppm, 25% 정도까지 분포되어 있는 것을 알 수 있다. 그러나, DEE 15%는 연료 내에 포함하고 있는 산소성분이 연소를 촉진시켜 매연이 15% 정도까지 저감되었지만, NOx는 450ppm 정도까지 증가한 것을 알 수 있다. 따라서, 경유에 DEE 10% 정도 첨가하였을 때 NOx와 매연을 동시에 저감시키는 데 효과적임을 알 수 있다.

#### 4. 결론

디젤기관에서 합산소연료인 DEE를 첨가하였을 경우, 기관의 운전 조건변화에 따른 기관 성능 및 배기가스 배출특성을 비교·분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 경유에 DEE의 첨가량이 증가함에 따라 예혼합연소시기가 전진되며, 전체적인 연소기간

이 단축됨을 알 수 있었다.

2) DEE연료를 첨가한 경우, 분사시기를 지연시킴에 따라 매연의 증가없이 NOx가 저감되는 것을 알 수 있었다. 특히, 고부하, 고회전영역에서 DEE의 효과가 크게 나타남을 알 수 있었는데, DEE의 첨가량이 증가함에 따라 출력의 커다란 변화없이 BSEC, NOx, 매연이 감소하는 것을 알 수 있었다.

3) 경유에 DEE를 5%, 10% 그리고 15%를 첨가했을 경우, NOx와 매연이 동시에 저감되는 것을 알 수 있었다. 특히, DEE를 10% 첨가했을 때, NOx와 매연을 동시에 저감시키는 데 효과적임을 알 수 있었다.

#### 참고 문헌

- 1) T. Murayama, N. Miyamoto, T. Yomada, J. Kawashima, K. Itow, "A Method to Improve the Solubility and Combustion Characteristic of Alcohol-Diesel Fuel Blends," SAE 821113, 1982.
- 2) B. Likos, J. Timothy, C. A. Moses, "Performance and Emissions of Ethanol and Ethanol-Diesel Blends in Direct-Injected and Prechamber Diesel engines," SAE 821039, 1982.
- 3) T. Murayama, M. Zheng, T. Chikahisa, Y. T. Oh, Y. Fujiwara, S. Tosaka, M. Yamashita, H. Yoshitake, "Simultaneous Reduction of Smoke and NOx from a DI Diesel Engine with EGR and Dimethyl Carbonate," SAE 952518, 1995.
- 4) 유경현, 오영택, "디젤기관에서 연료중의 산소성분이 배기가스 배출특성에 미치는 영향," 한국자동차공학회논문집, Vol.8, No.4, pp.59-67, 2000.
- 5) S. Kajitani, C. L. Chen, M. Oguma, M. Alam, K. T. Rhee, "Direct Injection Diesel Engine Operated with Propane-DME Blended Fuel," SAE 982536, 1998.
- 6) 김종원, 이영재, "디젤 대체연료로서의 디메틸에테르의 연구현황과 전망," 대한기계학회 열공학부분 추계학술대회 논문집, pp. 279-284, 2000.
- 7) 이영재, "디젤엔진 대체연료로서의 디메틸

- 에테르,” 자동차공학회지, Vol.23, No.2, 2001.
- 8) 노수영, “함산소 연료에 의한 디젤엔진의 유해배출물 저감,” 자동차공학회지, Vol.21, No.2, pp.16-19, 1999.
- 9) T. Yamamoto, “Studies on the Utilization of Alcohol for Aviation Fuel,” Report No. TOM-231-698-701, Texas A&M University, College Station, 1945.
- 10) S. Gjirja, E. Olsson, A. Karlstrom, “Considerations on Engine Design and Fuelling Technique Effects on Qualitative Combustion in Alcohol Diesel Engines,” SAE 982530, 1998.
- 11) B. Bailey, J. Eberhardt, S. Goguen, J. Erwin, “Diethyl Ether(DEE) as a Renewable Diesel Fuel,” SAE 972978, 1997.
- 12) A. S. Cheng, R. W. Dibble, “Emissions Performance of Oxygenate-in-Diesel Blends and Fischer-Tropsch Diesel in a Compression Ignition Engine,” SAE 1999-01-3606, 1999.
- 13) D. R. Tree, W. B. Cooley, “A Comparison and Model of NOx Formation for Diesel Fuel and Diethyl Ether,” SAE 2001-01-0654, 2001.