

# 농업용 직접분사식 디젤기관에서 함산소연료 적용시 배기배출물 특성 연구

최승훈 오영택 서정덕

## A Study on Characteristics for Exhaust Emission with Oxygenated Fuel in an Agricultural DI Diesel Engine

S. H. Choi Y. T. Oh J. D. So

### Abstract

In this study, the potential possibility of oxygenates on di-ether group (DBE, dibutyl ether) was investigated as an additives for an agricultural direct injection diesel engine. It tested to estimate change of engine performance and exhaust emission characteristics for the commercial diesel fuel and oxygenates additives blending fuel which has four kinds of mixed ratio. The smoke emission of blending fuel (diesel fuel 80 vol-% + DBE 20 vol-%) was reduced in comparison with diesel fuel, that is, it was reduced approximately 26% at 2500 rpm, full load. And, power, torque and brake specific energy consumption didn't have large differences. But, NOx emission of blended fuel was increased compared with commercial diesel fuel.

**Keywords :** Oxygenated fuel, Diesel engine, Smoke, Emission

### 1. 서론

디젤기관에 관한 연구는 고출력과 저연비 실현에 관한 연구와 배출가스 저감에 관한 연구로 크게 나눌 수가 있으며, 전자는 온실가스 증대에 영향을 미치는 CO<sub>2</sub>배출량의 저감을 가져오고, 후자는 NO<sub>x</sub>와 입자상물질의 저감을 주요 목표(Choi and Oh, 2005)로 하고 있다. 이중 배출가스 저감을 위한 방법으로는 엔진설계변경 기술과 연료의 성상 등에 변화를 주어 연료가 연소실내에서 연소하여 배출되기 전에 배출가스를 저감시키기 위한 전처리 방법과 연료가 연소한 후에 연소실 밖에서 촉매장치나 배출가스 재순환(EGR, exhaust gas recirculation) 방법 등을 사용하여 배출가스를 처리하는 후처리 방법으로 나눌 수가 있다.

전처리 방법은 함산소연료를 상용 경유와 혼합하는 방법(Ren 등, 2006), 개질연료를 사용하는 방법, 바이오메스 계열

의 연료를 적용하는 방법(Sheet, 1992; Choi 등, 2002; 최 등, 2006) 등이 제시되고 있다. 이 중에서 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(Choi and Oh, 2005), 이들의 가장 큰 차이점은 원자간의 결합상태와 활성기의 유·무이다.

이러한 함산소연료를 이용한 실험들은 현재 많은 연구자들에 의해 수행(Oh and Choi, 2002; Li 등, 2006)되고 있으나, 디에테르계열의 함산소제인 dibutyl ether(이하 DBE)에 대한 연구는 거의 없다. DBE는 다른 함산소연료에 비해 비교적 소량인 12%정도의 산소를 함유하고 있으면서도 발열량이 경유의 93%에 이르고, 세탄가는 경유의 91% 수준으로 거의 경유와 유사한 성분을 가지고 있다. 이는 순수 함산소연료 및 첨가제 중 가장 높은 발열량과 세탄가를 가지고 있는 것이다.

The article was submitted for publication in August 2007, reviewed and approved for publication by the editorial board of KSAM in October 2007. The authors are Seung Hun Choi, KSAM member, Research Professor, HUNIC Coop, Jeonju University, Jeonju, Young Taig Oh, Professor, The Research Center of Industrial Technology, Dept. of mechanical Engineering, Chonbuk National University, Jeonju, and Jung Duck So, Professor, Dept. of Manufacturing and Design Engineering, Jeonju University, Jeonju, Korea. Corresponding author: Y. T. Oh, Professor, Dept. of mechanical Engineering, Chonbuk National University, Jeonju, 664-14, Korea; Fax: +82-63-270-2316; E-mail: <ohyt@chonbuk.ac.kr>.

따라서, 본 연구에서는 국내에서 농업용 경운기 기관으로 적용되는 직접분사식 디젤기관에 디에테르계 합산소연료의 일종인 DBE를 각 체적비율로 혼합사용한 경우 연료내의 합산소성분이 농업용 직접분사식 디젤기관의 각 운전영역에 미치는 배기가스 배출특성에 대한 영향을 조사하고자 하였다.

### 2. 재료 및 방법

실험에 사용된 기관은 단기통, 수냉식, 4행정, 농업용 직접 분사식 디젤기관이며, 기관 부하와 회전속도는 기관 동력계에 의해 임의로 조정할 수 있도록 하였다. 실험에 사용된 기관의 사양은 표 1에, 사용된 연료의 특성은 표 2에 각각 나타내었으며, 실험장치의 개략도는 그림 1과 같다. 실험은 경유를 기본 연료로 하여 합산소연료인 DBE를 0~20 vol-% 혼합한 연료를 사용하여 기관의 회전속도 및 부하 변화에 따른 기관성능과 매연 및 NOx를 측정하였다. 매연 농도의 측정은

매연 측정장치(Hesbon; HBN-1500)를 사용하여 기관으로부터 300 mm 하류에서 일정량의 배출가스를 흡입한 후, 여과지에 흡착된 것을 측정하였으며, 동일 조건에서 각각 3회 측정하여 평균값을 취하였다. NOx의 측정은 배기 매니폴드로부터 약 400 mm 하류에서 배기가스 분석기(Motor branch; Mod. 588)로 일정량의 배기가스를 흡입하도록 하였다. 또한, 기관이 일정량의 연료를 소모하는 시간을 측정하여 단위시간 및 출력당의 연료소비율을 계산하였으며, 정적 분사시기는 BTDC 23°CA로 고정하였다. 또한, 실험조건이 변경될 때마다 냉각수, 윤활유, 연료 등의 온도를 일정하게 유지하였으며 동력계 및 기관의 냉각수는 강제순환방식을 채택하여 적용하였다. 특히, 연료 공급계통, 연료 필터 및 연료탱크 속의 모든 연료를 완전히 교체하고, 전 실험이 다음의 실험에 영향을 미치지 않도록 충분한 시간동안 예비운전을 실시한 후 실험을 수행하였다.

### 3. 결과 및 고찰

그림 2는 기관 회전속도 및 부하가 변화할 때 기관 출력특성의 변화를 경유만을 적용한 경우와 비교하여 제동평균유효압력(Brake Mean Effective Pressure; BMEP)에 따라 나타낸 그림이다. 그림에서와 같이 경유만을 적용한 경우와 비교하여 합산소제인 DBE의 혼합율이 증가함에 따라서 기관 출력

Table 1 Specification of test engine

Item	Specification
Engine model	ND130
Bore × Stroke	95×95 (mm)
Displacement	673 (cc)
Compression ratio	18
Combustion chamber	Toroidal

Table 2 Properties of test fuels

	Diesel fuel	DBE
Molecular formula	C <sub>12</sub> H <sub>26</sub>	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub> O
Density (kg/m <sup>3</sup> )	0.8054	0.767
LHV [MJ/kg]	45.88	42.800
Cetane number	51	46.410
Oxygen content (%)	0	12.286

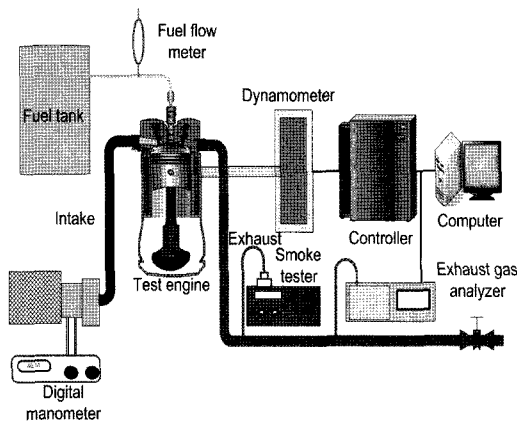


Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus.

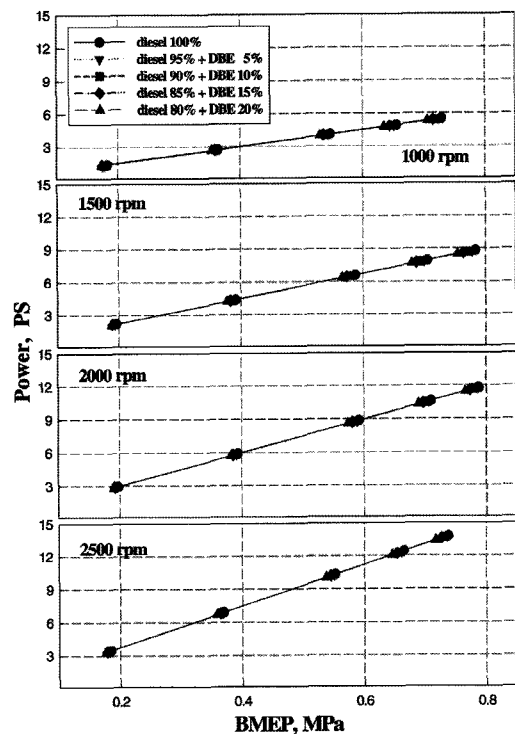


Fig. 2 Performance of power at various engine load engine speeds.

은 약간의 차이가 나타나며, 경유만을 순수연료로 적용한 경우에 최대 출력이 가장 크게 나타남을 알 수 있다. 그러나, 기관의 운전 최대 약조건인 2500 rpm, 전부하 시 경유만을 연료로 사용한 경우와 비교하여 DBE 5%를 적용한 경우 약 0.3%, DBE 10%의 경우 약 0.8%, DBE 15%의 경우 약 1.5%, 본 실험의 최대 혼합율인 DBE 20%의 경우 약 3%의 출력저하가 나타나고 있어 경유만을 적용한 경우와 그 차이가 크지 않음을 알 수 있다. 이는 합산소제인 DBE의 첨가량이 증가함에도 불구하고, DBE의 세탄가와 발열량이 경유에 비하여 거의 비슷하기 때문으로 생각된다.

그림 3은 기관의 각 회전속도에 대해 BMEP 변화에 따른 연료소비율의 변화를 DBE의 함유량에 따라 나타낸 것이다. 그림에서와 같이, 연료중의 DBE 함유량의 차이에 따른 연료소비율의 변화는 각 회전수별로 거의 유사한 경향을 나타내었다. 그러나, DBE 20%를 혼합하여 적용한 경우 2000 rpm, 90% 및 전부하 영역에서 경유만을 연료로 사용한 경우에 비하여 2.1%, 2.9%가 각각 증가되었고, DBE의 함유량이 증가할수록 연료소비율은 전체적으로 약간 증가됨을 알 수 있다. 이는 전(Fig. 2)에 언급한 바와 같이 DBE의 세탄가와 발열량이 경유와 비교하여 거의 비슷하고, 혼합연료내에 포함된 산소성분이 디젤기관의 연소말기에 국부적인 산소부족현상을 해결하는데 기여(Choi and Oh, 2005)하기 때문으로 생각된다.

그림 4는 경유와 DBE의 혼합율을 각각 연료로 사용한 경우에, 기관의 각 회전속도 및 BMEP 변화에 따른 매연의 배출 특성을 나타낸 그림이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이, 경유와 DBE 혼합연료 사이에는 현격한 매연 배출 농도 차이를 보이고 있다. 공기이용률이 부족한 2500 rpm, 전부하의 경우에 경유의 경우에 비해서 DBE 5%를 적용한 경우 약 4.6%, DBE 10%의 경우 약 15.5%, DBE 15%의 경우 약 20.8%, DBE 20%의 경우 약 26.2%의 매연 저감률을 보이고 있다. 이는 저회전영역인 경우에는 경유를 연료로 사용한 경우에도 공기이용률이 충분하기 때문에 DBE 혼합연료와 비교하여 매연 배출에 대한 산소성분의 영향이 크지 않았으나, 고회전 및 고부하영역으로 갈수록 합산소제인 DBE 자체에 포함된 산소성분이 비교적 산소농도가 희박한 후연소기간동안에 연료입자의 산화를 더욱 촉진시켰기 때문으로 생각된다. 경유의 경우는 전체적인 기관의 회전속도영역에서 부하변화에 따른 매연 배출특성이 현저하게 차이를 보이고 있으나, DBE 혼합연료를 사용한 경우에는 혼합율이 증가함에 따라 부하변화에 따른 매연 배출특성의 차이가 경유와 비교하여 크지 않음을 알 수 있다. 즉, DBE 혼합연료를 적용한 경우에 실린더내의 고온상태에서 잔존하는 탄소상미립자의 생성량과 산화량의 차이가 줄어들었기 때문이며, DBE내에 포함된 산소성분이 탄화수소성분의 산화속도를 더 빠르게 진행시켜

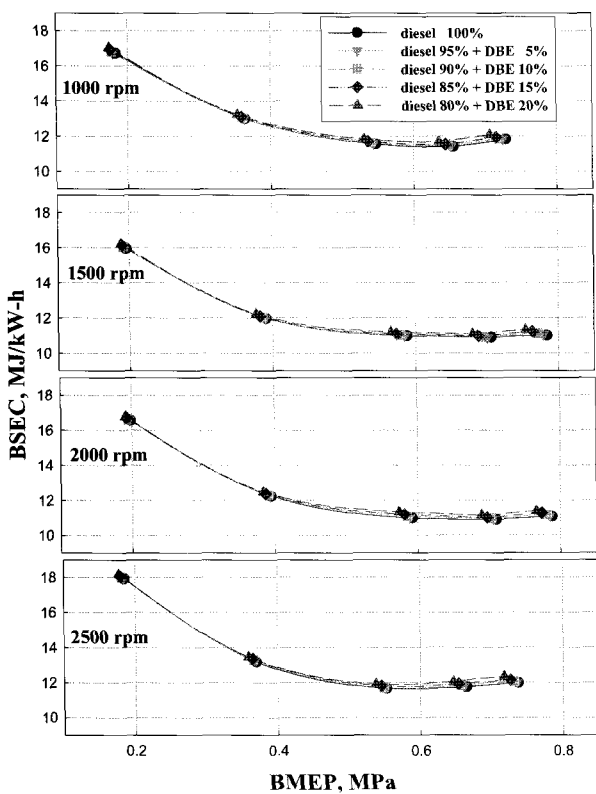


Fig. 3 BSFC versus engine loads at various engine speeds.

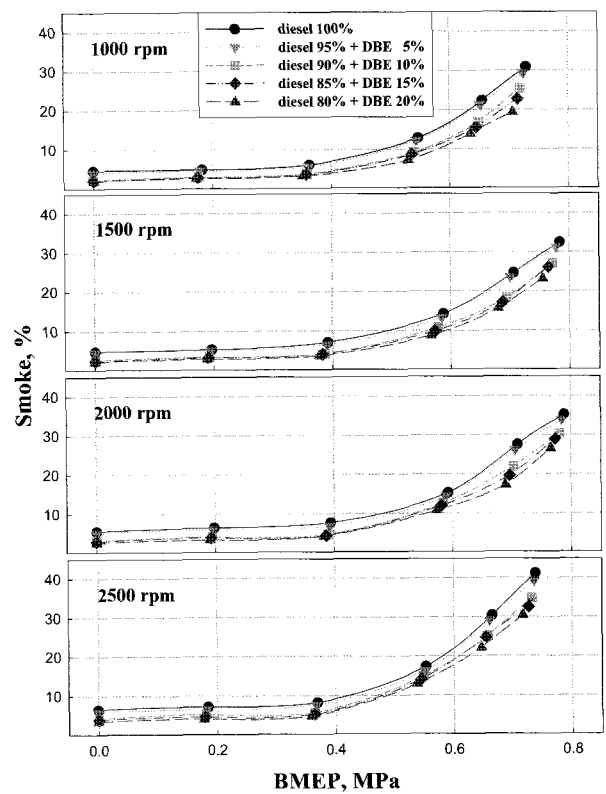


Fig. 4 Smoke versus engine loads at various engine speeds.

주었기 때문(Sheet, 1992; Choi and Oh, 2005)으로 생각된다.

그림 5는 각각의 기관회전속도에서 연료내의 산소량에 따른 배연의 배출특성을 재정리하여 나타낸 그림이다. 그림에서 나타난 바와 같이 연료내의 산소량이 증가함에 따라서 배연의 저감률이 현저해지는 것을 알 수 있다. 즉, 연료내의 산소량이 약 1.8%인 경우 1500 rpm, 75% 및 90%의 부하영역에서 경유와 비교하여 각각 21.7%와 28.7%의 배연저감이 이루어지고 있음을 확인할 수 있다. 특히, 중부하이하의 영역에서는 배연 배출량의 차가 크게 나타나지 않았으나, 고부하 영역에서는 경유만을 사용한 경우와 비교하여 1.3%이상의 산소가 포함된 영역에서 연료내의 산소 성분의 영향이 크게 나타남을 알 수 있다.

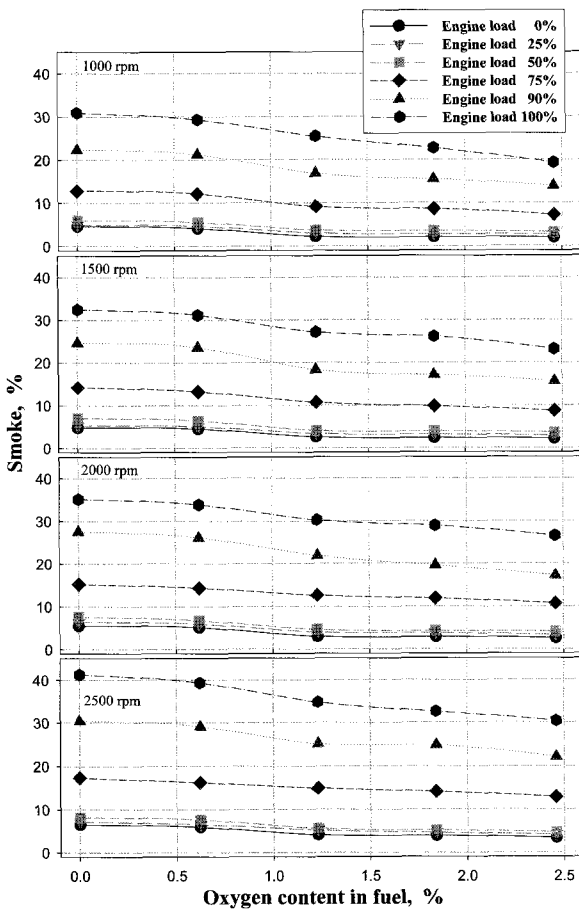


Fig. 5 Comparison of smoke versus oxygen contents in fuels.

그림 6은 그림 5와 동일한 조건에서 농업용 직접분사식 디젤기관에 경유만을 연료로 적용한 경우와 비교하여 DBE의 혼합율에 대한 배연의 저감 비율을 나타낸 것이다. 저부하영역에서 배연의 저감율이 크게 나타나는 것을 알 수 있으나, 이는 경유만을 연료로 적용한 경우에도 저부하영역에서는 배연의 배출량이 크지 않았기 때문이다. 그러나, 전체적인 측면

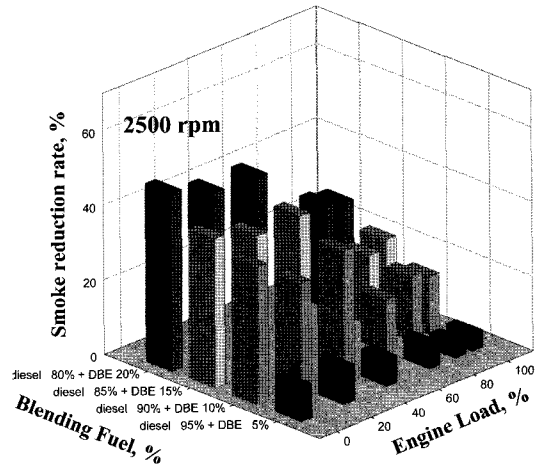


Fig. 6 Smoke reduction rate versus DBE mixing rates at 2500 rpm at various engine loads.

에서 살펴보면 경유만을 적용한 경우와 비교하여 DBE 20% 혼합연료의 경우 고부하영역에서 22~34%의 배연 저감을 이루었으며, 비교적 소량인 DBE 5%를 혼합한 경우에도 고부하영역에서 6%이상의 배연 저감 효과를 보이고 있어 합산소 연료를 혼합하여 농업용 디젤기관에 적용시 배연 저감 효과가 탁월함을 알 수 있었다.

그림 7은 그림 4와 동일한 조건에서 NOx의 배출특성을 나타낸 것이다. NOx의 배출특성은 DBE의 함유량이 증가함에 따라서 전체적으로 약간 증가하는 경향을 나타내고 있는데, 이는 고부하와 고회전수에서 연료내의 산소성분으로 인하여 실린더내의 온도가 상승함에 따라 thermal NOx 생성을 준 것으로 생각된다. 즉, 연료내 DBE의 함유량이 증가함에 따라 NOx배출량의 차이가 약간 증가하였는데, 이는 DBE 혼합연료에 포함된 산소성분이 연소시에 연소실내의 온도를 높여주어 NOx의 증가를 가져온 것으로 생각된다(최 등, 2006). 이를 자세하게 고찰하여 보면 전부하 영역에서 DBE 20%를 혼합하여 적용한 경우 1000 rpm의 경우 9.3%, 1500 rpm은 7.5%, 2000 rpm은 9.2%, 2500 rpm은 17.5%의 증가를 나타내고 있다.

그림 8은 그림 6과 동일한 조건에서 NOx의 증가율을 나타낸 것이다. 그림에서 나타난 바와 같이 본 연구에서 최대 혼합율인 DBE 20%를 혼합하여 적용한 경우, 경유만을 적용한 경우와 비교하여 최대 17%의 NOx 증가가 나타남을 알 수 있다. 그러나, 그림 6에서 나타난 바와 같이 DBE를 적용한 경우 배연 저감율은 저부하영역에서 최대 42%, 고부하영역에서는 30%까지 나타났다. 즉, DBE를 경유와 혼합하여 적용할 경우 배연의 저감효과가 NOx의 증가율을 크게 상회함을 알 수 있었다.

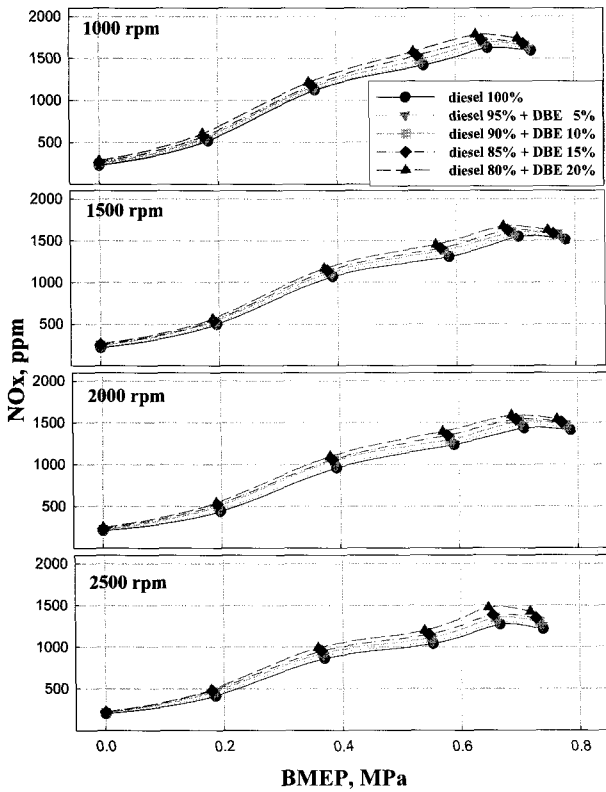


Fig. 7 NOx versus engine loads at various engine speeds.

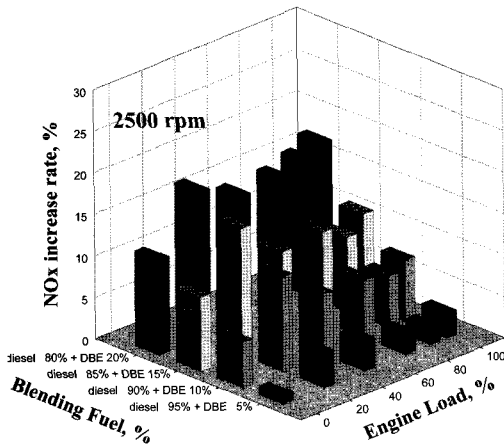


Fig. 8 Comparison of NOx increase rate versus DBE mixing rates at 2500 rpm.

#### 4. 결론

수냉식, 단기통, 4행정, 직접분사식 농업용 디젤기관의 연료로서 경유 및 디에테르계열의 함산소제인 dibutyl ether를 일정한 체적비율로 혼합한 연료를 사용하여, 이들 연료들이 기관 성능 및 배기 배출물에 미치는 영향에 대하여 조사한 결과 다음과 같은 결론에 도달하였다.

(1) dibutyl ether 혼합연료의 출력은 경유만을 기관에 적용

한 경우와 큰 차이를 보이지 않았으며, 연료소비율은 연료내의 산소성분이 증가할수록 경유보다 다소 악화됨을 확인 할 수 있었다. 그러나, 그 차이는 최대 혼합율인 DBE 20%에서 3%미만으로 크지 않았다.

(2) dibutyl ether 혼합연료를 디젤기관의 연료로 사용하였을 경우, 연료내 dibutyl ether의 함유량이 증가할수록 매연 배출의 감소량이 증가하며, dibutyl ether의 최대 혼합량(경유 80 vol-% + DBE 20 vol%)를 적용한 경우에 경유만을 연료로 사용한 경우와 비교하여 2500 rpm, 무부하에서는 약 42%, 전부하에서는 약 30%의 매연 저감효과를 확인하였다.

(3) dibutyl ether 혼합연료에 대한 NOx 배출특성은 dibutyl ether의 함유량이 증가함에 따라, 즉 연료내의 산소량이 증가함에 따라 경유만을 사용한 경우와 비교하여 증가함을 알 수 있었다. 그러나, 전체적인 NOx 증가율은 동일 조건에서의 매연 저감율보다 낮아 직접분사식 디젤기관에 대한 dibutyl ether 혼합연료의 적용가능성을 확인 할 수 있었다.

#### 참고문헌

- Choi, B. C., C. H. Lee and H. J. Park. 2002. Power and emission characteristics of DI diesel engine with a soybean bio-diesel fuel. *Journal of the Korea Soc. for Power System Engineering* 6(3):11-16. (In Korean)
- Choi, S. H. and Y. T. Oh. 2005. Experimental study on emission characteristics and analysis by various oxygenated fuels in a DI diesel engine. *Int. Journal of Automotive Technology* 6(3):197-203.
- Li, X., H. Chen, Z. Zhu. and Z. Huang. 2006. Study of combustion and emission characteristics of a diesel engine operated with dimethyl carbonate. *Energy Conversion & Management* 47:1438-1448.
- Oh, Y. T. and S. H. Choi. 2002. A study on characteristics of rice bran oil as an alternative fuel in diesel engine (II). *Transaction of Korea Soc. of Automotive Engineers* 10(3):8-17.
- Ren, Y. Z. H., D. Jiang, L. Liu, K. Zeng, B. Liu and W. Wang. 2006. Combustion characteristics of a compression-ignition engine fuelled with diesel-dimethoxy methane blends under various fuel injection advanced angles. *Applied Thermal Engineering* 26:327-337.
- Sheet, F. 1992. Effects of rapeseed methyl esters on diesel engine pollution-A review. *SAE Technical paper Series No. 920446.*
- 최승훈, 오영택, 서정덕, 2006. 농업용 디젤기관의 대체연료로서 바이오디젤유와 함산소제 적용시의 배기배출물 특성. *바이오시스템공학* 31(6):457-462.