

함산소연료(Diglyme, DEE)와 EGR 방법을 이용한 간접분사식 디젤기관의 배기가스 배출 특성

The Characteristics of Exhaust Emissions by using Oxygenated Fuels and EGR in IDI Diesel Engine

유 경 현*, 오 영 택**
Kyunghyun Ryu, Youngtaig Oh

ABSTRACT

The diesel engine is one of the most effective transport options available in all sizes and covering a wide range of applications. But, many researchers developing the diesel engine are facing tough challenges in view of the increasingly lower emissions standards. Thus, this study will explore the possible fuel additive technology to further reduce the emissions from the IDI diesel engine.

The purpose of this study is to investigate the effects of oxygenated fuels on the exhaust emissions and to attain a better trade-off relation between smoke and NOx in four cylinder diesel engine. Experiments were conducted with oxygenated fuels as an effective way to improve the combustion efficiency. Some of oxygenated fuels(Diglyme and DEE) were added to the conventional diesel fuel which had no an oxygen content. Also, EGR was adopted for reducing NOx without any strong adverse effects on other exhaust emissions.

This study concluded that exhaust emissions in diesel engine could be reduced by adding the oxygenated fuels which had lower boiling point, and the combustion efficiency was also improved as the oxygen content in fuel increased.

주요기술용어 : Exhaust emissions(배기 배출물), Oxygen content(산소 함량), Diglyme(디에틸렌글리콜디메틸에테르), DEE(디에틸에테르), Combustion efficiency(연소 효율), Oxygenated fuels(함산소 연료)

1. 서 론

디젤기관은 에너지의 효율적 이용 측면에서 가장 높은 열효율을 가지는 기관으로서 큰 출력

을 필요로 하는 대형 수송용이나 선박용, 산업용 등에 널리 사용되고 있다.

그러나, 현대 사회의 특성상 대도시에 집중된 자동차의 배기가스에 의한 대기오염으로 광화학스모그, 산성비, 오존층 파괴, 온실효과 및 생태계 파괴 등 인명 및 동·식물에 미친 막대한 피해를 자동차의 배기가스 공해가 얼마나 심각한

* 회원, 전북대학교 대학원

** 회원, 전북대학교 기계공학과,
공학연구원 자동차신기술연구센터

지를 여실히 보여주고 있다.

이와 같은 과제를 해결하기 위한 방안으로 자동차 수를 줄이는 극단적인 방안에서부터 기관의 연소실 형상의 개조 또는 연료 분사계의 고성능화 등과 같이 기관 자체의 접근 방법과 다른 한편으로는 대체 연료의 개발 및 합산소연료의 이용과 같이 기관의 연료를 이용한 연소 개선 효과로 배기가스 저감이 시도되고 있다.

디젤기관의 연료와 연소 특성에 관한 연구 중에서 Miyamoto 등¹⁾은 직분식 디젤기관에서 경유에 각종 합산소 물질을 혼합하여 사용했을 때, 매연의 저감에 효과적이며, 이 저감 특성은 연료자체가 갖는 산소 함유 비율에 크게 영향을 받는다고 보고하고 있다. 또한, 경유에 Diglyme을 고농도로 혼합했을 때 큰 폭의 매연 저감은 이를 수 없지만, NOx, THC 및 CO 등이 개선된다고 보고하고 있다.

Liotta 등²⁾은 여러 분자구조를 가진 합산소 첨가제를 이용한 실험 결과 연료 내의 산소 농도가 입자상 물질 저감에 직접적인 영향을 미치는 것으로 나타났으나, 소량의 NOx 증가를 수반하였고 CO와 HC는 저감하였으며, 현재 법적으로 규제되고 있지 않은 알데하이드와 케톤의 배출이 저감하는 사실을 밝혔다.

Murayama 등³⁾과 Likos 등⁴⁾은 디젤연료에 알콜계 연료를 첨가하여 다른 배기 배출물 성분들을 악화시키지 않으면서 입자상 물질을 효과적으로 저감시킬 수 있다는 사실을 밝혔으며, 많은 연구자들⁵⁻¹³⁾이 합산소연료가 디젤기관의 배기배출물의 저감에 효과적이라고 보고하고 있으나, 간접분사식 디젤기관에 대한 합산소연료의 연소 특성, 그리고 연소효율과 배기 배출물의 상관관계에 대한 연구는 미비한 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 간접분사식 디젤기관에서 배기 배출물을 저감시키는 방안의 일환으로, 연료 자체에 상당량의 산소를 포함하고 있으면서도 아직 많은 연구가 수행되지 않은 Diglyme (diethylene glycol dimethyl ether)과 DEE (diethyl ether)를 기존 디젤연료인 경유에 첨가하여 사용했을 때, 그 종류 및 첨가량에 따른 연소특성을

고찰하고 연소효율을 개선시킴으로서 고효율과 저공해 연료로서의 이용 가능성을 고찰하고자 한다. 또한, 연소효율 개선에 따라 매연은 저감되지만 이와 상반관계에 있는 NOx의 증가가 예상됨에 따라 NOx 저감의 가장 유효한 수단으로 알려져 있는 EGR 실험을 동시에 실시하고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치 및 측정방법

실험에 사용된 기관은 수냉식, 4기통, 4행정, 간접분사식 디젤기관이며, 시동모터에 의해서 시동이 되고 엔진 부하와 회전속도는 엔진 다이 나모메타에 의해 임의로 조정할 수 있도록 되었다. 실험에 사용된 기관의 주요 사양과 연료의 물성치는 Table 1과 2에 나타내었다.

합산소연료로는 에테르 계통 물질인 Diglyme과 DEE를 사용하였으며, Table 2에서처럼 Diglyme의 발열량은 경유에 비해 상당히 낮지만 경유가 갖고 있지 않은 산소를 약 35% 함유하고 있으며, 밀도가 0.95로 경유보다 높다. 또한, DEE의 경우 비등점이 34.6℃로 휘발성이 매우 뛰어난 연료로서 대기압하에서도 쉽게 기화하는 특성을 갖고 있다.

2.2 실험 방법

실험은 디젤기관의 연료인 경유에 합산소연료인 Diglyme과 DEE의 첨가량 변화에 따라 기관 성능 및 배기가스 배출특성에 미치는 영향을 조사하고자 한다. 기관의 운전조건은 4기통 간접

Table 1 Specification of test engine

Item	Specification
Engine model	HD D4BA
Bore × Stroke	91.1 × 95 (mm)
Displacement	2476 (cm ³)
Compression ratio	21
Combustion chamber type	Pre-combustion chamber
Injection timing	ATDC 4°
Coolant temperature	80℃

Table 2 Properties of test fuels

	Diesel fuel	Diglyme	DEE
Molecular structure	C ₁₆ H ₃₄	C ₆ H ₁₄ O ₃	C ₄ H ₁₀ O
C : H : O by mass	5.7:1:0	5.1:1:3.4	4.8:1:1.6
Stoichiometric air fuel ratio	1:14.9	1:8.2	1:11.1
Molecular weight	226	134.2	74.1
Density [g/cm ³]	0.85	0.95	0.714
Heating value [MJ/kg]	42.9	24.5	33.8
Cetane number	51.4	≈112	>125
Flashing point [°C]	48	-	-45
Oxygen [wt. %]	0	35.77	21.58
Boiling point [°C]	210 ~325	163	34.6

분사식 디젤기관을 이용하여 각 회전속도에서 무부하, 25% 부하, 50% 부하, 75% 부하, 90% 부하 및 전부하 상태에서 비교 실험하였다.

Diglyme의 경우 경유에 대한 첨가량은 체적 분율(첨가율 vol.% = 합산소연료/(합산소연료+경유))로 각각 1%, 3%, 5%, DEE의 경우 5%, 10%, 15%를 적용하여 실험하였다. 연료에 대한 산소농도로는 각각 Diglyme의 경우 0.4%, 1.2%, 1.98%, 그리고 DEE의 경우 0.91%, 1.84%, 2.79%였다.

또한, EGR 율은 흡입공기내의 CO₂ 농도와 배기관내에서의 CO₂ 농도를 측정하여 CO₂ 가스를 기준으로 식 (1)과 같이 정의하였으며, 본 실험에서는 5%의 EGR 율을 적용하였다.

$$EGR \text{ 율} = \frac{[CO_2]_m}{[CO_2]_e} \times 100 [\%] \quad (1)$$

여기서, [CO₂]_m은 흡입공기내의 CO₂ 농도, [CO₂]_e은 배기관 내에서의 CO₂ 농도를 나타낸다.

Fig. 1은 실험장치의 개략도를 나타낸 것이다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 Diglyme을 첨가한 경우의 기관 성능 및 배기가스 배출특성

Fig. 2는 전부하(100% load)시 기관 회전속도

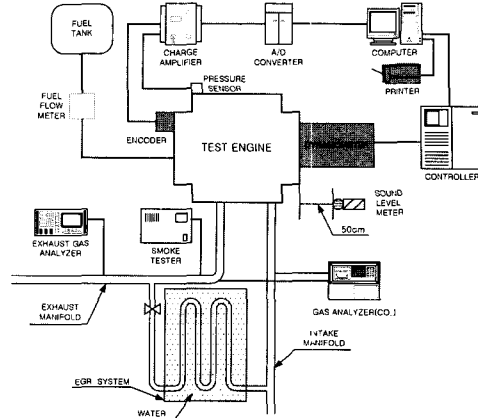


Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus

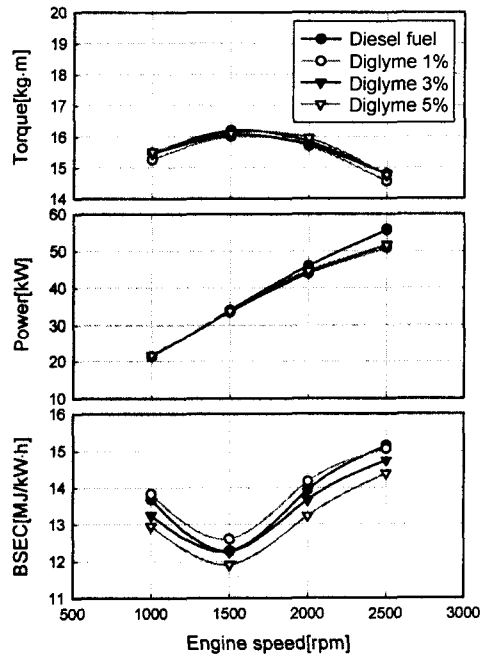


Fig. 2 Engine performance with various engine speed at engine load 100% using Diglyme

가 변화할 때 제동 토크, 출력 그리고 제동에너지 소비율 변화를 나타낸 것이다. 전 연료에 대하여 1500rpm에서 제동에너지소비율은 최소가 되고 토크는 최대로 나타났다. 이는 1500rpm에서 연소효율의 증가로 연소온도의 증가와 냉각 및 마찰 손실이 가장 적었기 때문으로 생각된다. 그리고, 경유만의 것과 합산소연료 Diglyme을 첨가한 연료를 비교했을 때 Diglyme 1%를 첨가한 경

우, 전 회전 범위에 걸쳐 토크와 출력은 물론 에너지소비율까지 모두 악화된 것을 알 수 있다. 이는 Diglyme의 첨가량이 너무 미소해 합산소연료로서의 연소 개선 특성이 적어서 기관에 뚜렷한 영향을 미치지 못한 것으로 사료된다. 그러나, Diglyme의 첨가량이 3%와 5%인 경우는 경유보다 출력이 다소 저감된 것을 제외하고는 토크 및 에너지소비율이 오히려 개선되었다. 이는 Diglyme의 발열량이 경유에 비해 약 42% 정도 낮음에도 불구하고 Diglyme의 첨가량이 증가함에 따라 토크와 에너지소비율이 개선된 것은 Diglyme 자체가 산소를 함유하고 있어 활발한 연소에 의한 연소효율 개선 때문으로 생각된다.

Fig. 3은 Fig. 2와 같은 실험 조건의 경우 배기가스 배출 특성을 나타낸 것이다. 전체적으로 1500rpm에서 CO와 매연이 감소하고 매연은 약간 증가하는 경향을 나타냈다. 이는 Fig. 2의 에너지소비율에서 알 수 있듯이 냉각 및 마찰손실이 적은 1500rpm에서 완전연소가 촉진되었기 때문에 나타난 것으로 분석된다. 경유와 Diglyme

을 첨가한 연료를 비교했을 때, Diglyme 1%를 첨가한 경우를 제외하고는 전 속도 범위에 걸쳐 Diglyme의 첨가량이 증가할수록 CO와 매연의 저감폭이 컸으며 NOx는 매연과는 전형적인 상관관계(trade-off)를 보여 악화되는 것을 알 수 있다. 이는 Diglyme을 첨가한 경우 연료 내 함유된 산소가 고부하시의 확산연소시에 연소촉진을 일으켜 매연 형성을 억제하였기 때문으로 분석된다.

Fig. 4는 기관 회전속도 1500rpm에서 기관부하가 변화할 때 합산소연료 Diglyme의 첨가량 증가에 따른 배기가스 배출특성을 나타낸 것이다. 합산소연료인 Diglyme을 첨가하였을 경우 CO와 매연은 경유를 사용한 경우보다 감소하였고, 중·고부하 영역에서는 그 저감효과가 크게 나타났다. 이를 정량적으로 고찰해보면, Diglyme을 5% 첨가했을 때, 매연의 저감 정도는 경유만의 것과 비교해볼 때 대략 12~42%, CO는 대략 15~41% 정도의 저감 효과가 있는 것을 알

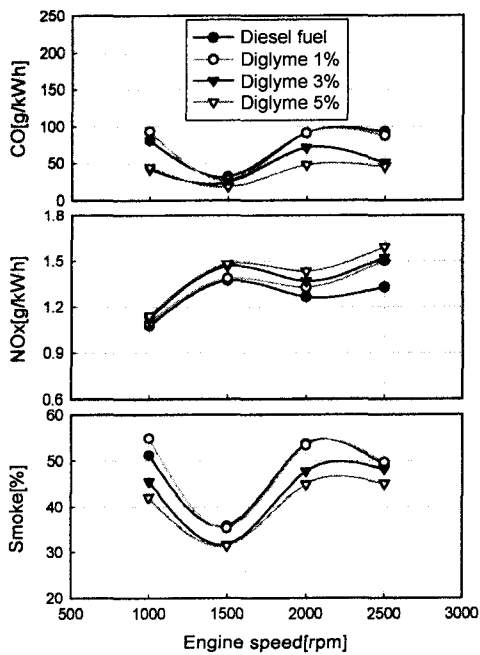


Fig. 3 Exhaust emissions with various engine speed at engine load 100% using Diglyme

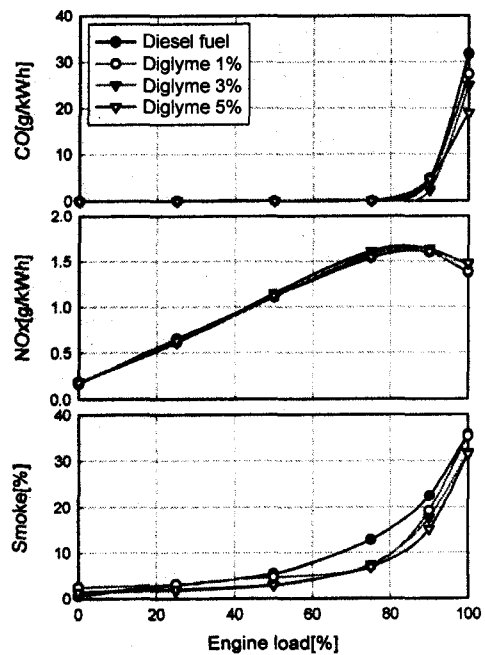


Fig. 4 Exhaust emissions with various engine load at engine speed 1500rpm using Diglyme

수 있으나, NOx는 이 영역에서 약간 증가하는 경향을 나타내었다. 이는 앞에서 언급한바와 같이 연료속에 함유된 산소의 영향으로 생각되며 중·고부하영역에서 특히 효과가 있는 것으로 사료된다.

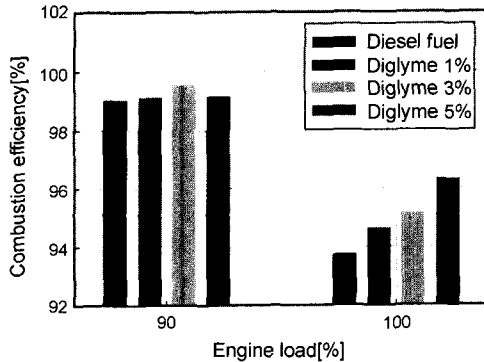


Fig. 5 The effect of Diglyme on combustion efficiency at high engine load

Fig. 5는 합산소연료 첨가에 의한 연소개선 효과를 알아보기 위하여 기관 회전속도 1500rpm의 경우 배기가스 배출이 가장 두드러지는 부하, 즉 90%와 100% 부하시의 연소효율을 나타낸 것이다. 모든 연료의 경우 부하가 증가할수록 연소효율은 감소하였으나, 합산소연료인 Diglyme를 첨가하였을 경우 경유의 경우보다 연소효율이 0.9~2.6% 증가하였고, 그 첨가량이 증가할수록 연소효율이 개선됨을 알 수 있다. 이를 통해서 합산소연료가 연소효율을 향상시키는데 상당한 효과가 있음을 알 수 있다.

3.2 DEE를 첨가한 경우의 기관 성능 및 배기가스 배출특성

Fig. 6은 합산소연료인 DEE를 경유에 혼합하여 사용할 경우 전부하시 기관 회전속도 변화에 따른 제동 토크, 출력, 그리고 에너지소비율을 나타낸 것이다. DEE를 첨가하였을 경우 DEE의 함유량이 증가할 수록 경유만을 사용한 경우보다 제동토크와 출력은 감소하였으나, 에너지소비율은 개선되어지는 것을 알 수 있다. 이는 DEE의 발열량이 작

지만 연료 자체내에 약 21%의 산소를 가지고 있어 연소를 활발히 촉진시켰기 때문으로 분석된다.

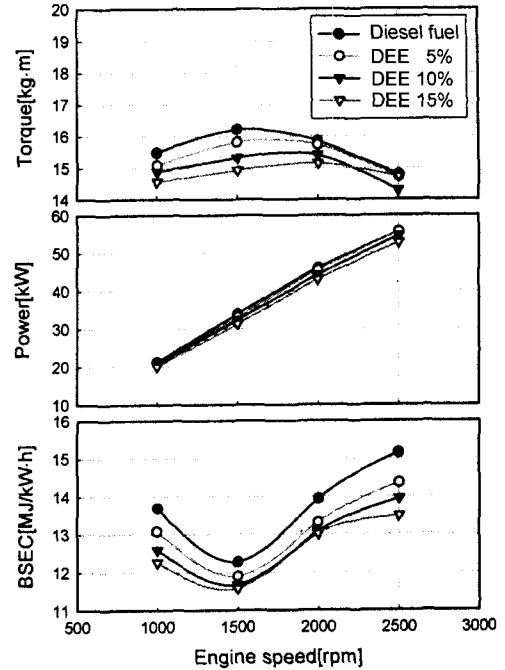


Fig. 6 Engine performance with various engine speed at engine load 100% using DEE

Fig. 7은 Fig. 6과 동일한 실험조건에서의 배기가스 배출 특성을 나타낸 것이다. Fig. 3에서와 같이 모든 연료에 있어서 1500rpm에서 CO와 매연은 감소하고 NOx는 증가하는 특성이 나타남을 알 수 있다. 그림에서 알 수 있듯이 CO와 매연의 경우, DEE를 사용한 경우가 모든 범위에 걸쳐서 경유를 사용한 경우보다 큰 폭으로 저감하였으며, 전 회전속도 범위에 걸쳐 DEE의 첨가량이 증가할수록 그 저감 폭이 첨가량에 거의 비례해서 커지는 것을 알 수 있다. 특히, DEE 15%의 경우, 매연은 전 회전속도 범위에 걸쳐 대략 40~45% 정도 감소하였는데, 이는 상대적으로 낮은 비등점을 갖고 있는 DEE 연료의 조기증발과 연료속의 산소 농도 증가가 매연 저감과 연소특성에 커다란 영향을 미쳤기 때문으로 생각된다. 다른 합산소연료와는 달리 DEE가 첨가되었을 경우 NOx의 경우는 기관 회전속도가 변화함에 따

라 일반적인 매연과의 상반관계 특성을 보이지 않았다. 이는 DEE의 기화에 의한 연소실내의 온도저감에 기인한 것으로 생각된다.

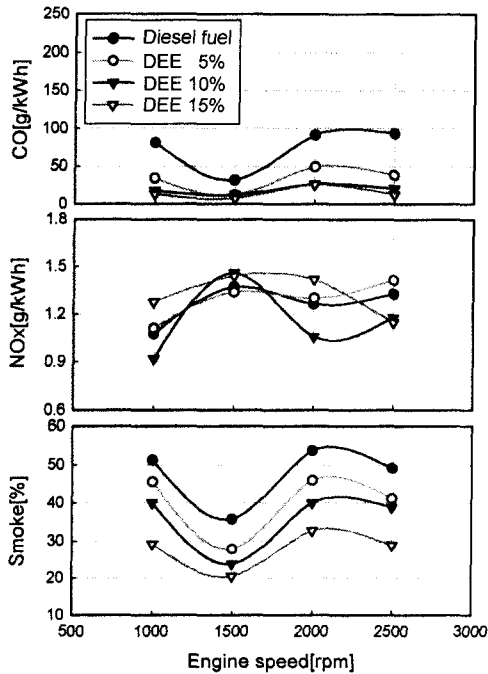


Fig. 7 Exhaust emissions with various engine speed at engine load 100% using DEE

Fig. 8은 기관 회전속도 1500rpm에서 기관부하의 변화에 따른 배기가스 배출특성을 나타낸 것이다. CO, 매연 및 NOx 모두가 전 범위에 걸쳐서 합산소연료 DEE를 첨가하였을 때 경유만을 사용한 경우보다 감소하였으며, 저부하 영역에서보다는 중·고부하에서 그 저감폭이 크게 나타났다. 또한, 일반적으로 매연과 NOx의 배출특성은 서로 상반관계를 나타내는데 비하여, DEE를 사용한 본 실험에서는 매연과 NOx가 동시에 저감되는 특성을 볼 수 있었다. 이는 Table 2에서 살펴본 것처럼, 에테르계 연료인 DEE는 연료 특성상 분자량이 작고 비등점이 34.6℃로 아주 낮기 때문에 저온에서도 쉽게 기화하는 특성을 갖고 있어 경유와의 혼합연료로 기관에 공급하였을 경우, 경유만 사용하였을 경우보다 쉽

게 착화하도록 작용하여 착화지연기간이 짧아지고 그에 따라 연소 초기 피크온도를 낮추어 NOx의 생성을 억제한 것으로 분석된다. 또한, 연소 후반부에서는 DEE의 산소함량이 연소를 활발하게 촉진하는 작용으로 나타나 매연 생성의 억제와 생성된 매연의 산화를 촉진시킨 것으로 분석된다.

Fig. 9는 기관 회전속도 1500rpm일 때 DEE를 첨가한 경우, 90%와 100% 부하 변화시의 연소효율을 나타낸 것이다. Fig. 5의 Diglyme을 첨가한 경우에서와 마찬가지로 전 범위에 걸쳐서 부하가 증가할수록 연소효율은 감소하였으나, 합산소연료 DEE의 첨가량이 증가할수록 연소효율의 감소기울기가 작아져 DEE가 15%인 경우에는 전부하에서 경유의 경우보다 약 4.9%가 개선됨을 알 수 있다.

이상에서 알 수 있듯이 고부하인 경우, 연소효율측면에서 합산소연료인 Diglyme과 DEE의 경우가 경유만을 사용한 경우보다 각각 2.6%와

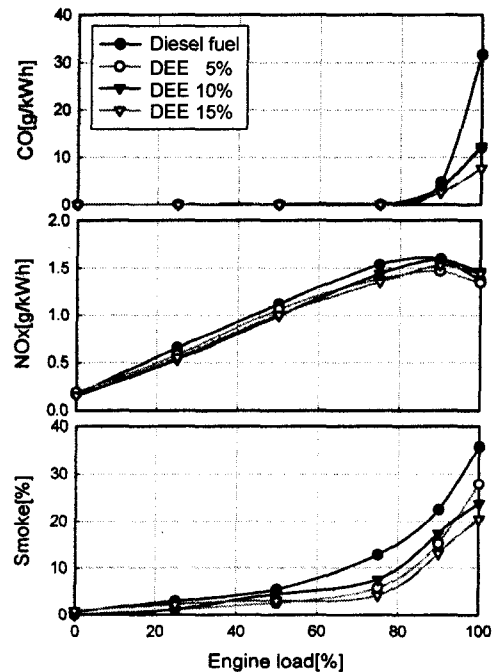


Fig. 8 Exhaust emissions with various engine load at engine speed 1500rpm using DEE

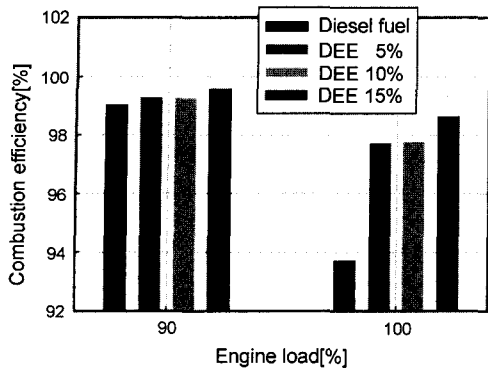


Fig. 9 The effect of DEE on combustion efficiency at high engine load

4.9% 개선시켰음을 알 수 있고 그에 따라 CO와 매연의 생성이 억제되었음을 알 수 있다. 또한, Diglyme의 경우보다 DEE의 경우가 연소개선 효과가 현저함을 알 수 있다.

3.3 연료 속의 산소 농도와 배기가스의 상관관계

Fig. 10은 실험의 모든 영역에서 연료속의 산소농도 증가에 따른 매연과 NOx의 배출특성을 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 모든 연료 공히 매연은 연료내에 산소농도가 증가함에 따라 점차 감소함을 알 수 있다. 이는 연료속의 산소 농도가 증가하면 매연의 배출 피크 농도를 사이클의 초기과정으로 전진시켜 산화되는 시간을 길게 하고 특히, 연소 후반에 부족한 산소량을 연료 자체에서 공급함으로써 매연의 저감을 이룬 것으로 사료된다. NOx의 경우 DEE를 첨가한 경우에는 산소함량에 관계없이 경유의 경우보다 감소하였지만, Diglyme의 경우 경유의 경우와 동등하거나 약간 증가하는 경향을 나타내고 있어, 산소의 함량보다는 연료 그 자체의 특성에 더 많은 영향을 받고 있음을 알 수 있다.

Fig. 11은 합산소연료 Diglyme을 첨가했을 때, 1500rpm에서 5%의 EGR율을 채택한 경우, 중부하에서 고부하로 변화시의 NOx와 매연 배출 특성을 나타낸 것이다. EGR을 채택했을 때 전 범위에 걸쳐서 약 55%의 NOx 저감이 실현된 것을 알

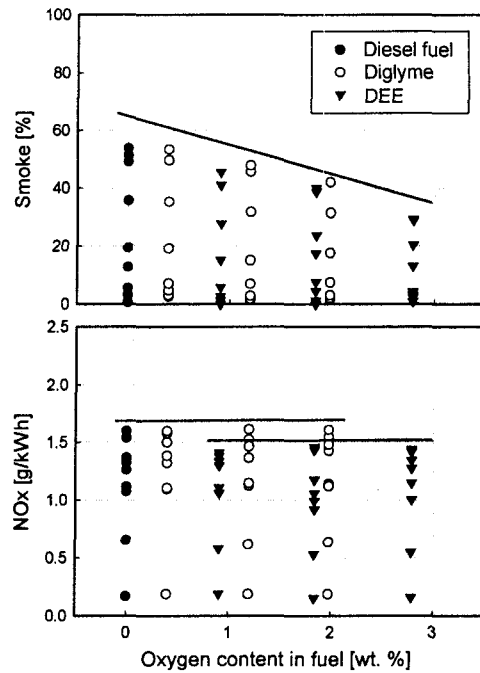


Fig. 10 Smoke and NOx versus oxygen content in fuel

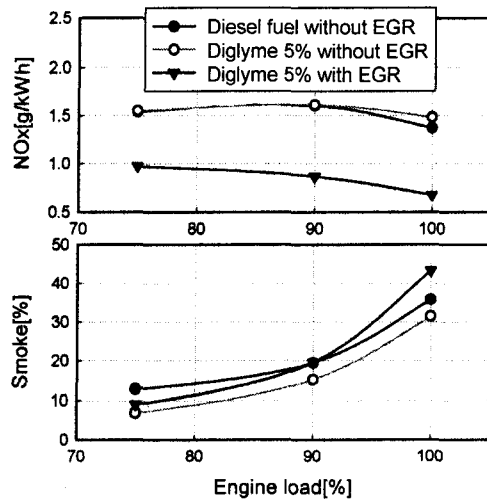


Fig. 11 Combined effects of EGR and Diglyme on Smoke and NOx

수 있다. EGR을 행했을 때 NOx 배출물이 감소하는 이유는 배기 가스내의 불활성가스가 흡기로의 재유입으로 인한 산소 농도의 감소로 연소 초기 피크온도가 낮아진 결과라고 사료된다. 매연은 전부하를 제외하고는 EGR을 사용하여도 경

유를 사용한 경우보다 저감함을 알 수 있다.

Fig. 12는 합산소연료 DEE 15%를 첨가했을 때, 기관 회전속도 1500rpm에서 5%의 EGR를 채택한 경우, 중부하에서 고부하로 변화시의 NOx와 매연 배출 특성을 나타낸 것이다. DEE를 첨가한 경우는 EGR을 행하지 않아도 경유를 사용한 경우보다 적은 NOx를 배출하였지만, 5%의 EGR만으로도 전 범위에 걸쳐서 경유의 경우보다 약 40%의 NOx가 저감되는 것을 알 수 있다. 매연의 경우는 EGR을 실행하지 않은 DEE 15%인 경우보다 약간 증가하였지만 경유의 경우보다는 역시 배출량이 현저히 저감되었다.

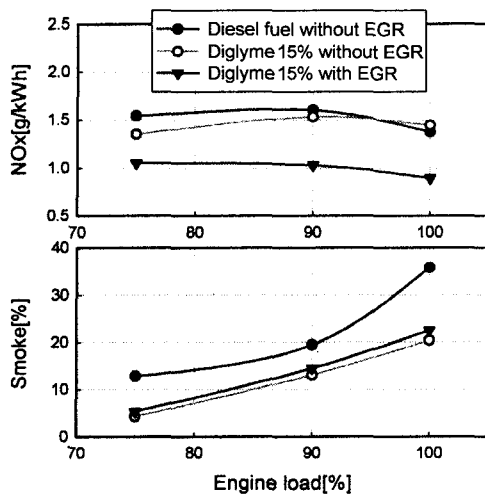


Fig. 12 Combined effects of EGR and DEE on Smoke and NOx

이상에서 알 수 있듯이, 합산소 연료를 경유에 첨가하였을 경우, 연료내 산소 함량의 증가로 연소 효율이 증가하고 그에 따라 CO와 매연이 감소함을 알 수 있었지만, NOx의 경우에 있어서는 산소함량보다는 연료의 특성에 더 많이 영향을 받기 때문에 적당한 EGR을 행한다면 연료의 특성에 관계없이 매연과 NOx를 동시에 저감시킬 수 있을 것으로 사료된다.

4. 결론

디젤기관의 연료인 경유에 합산소연료를 첨

가했을 때, 그 종류 및 첨가량에 따른 배기 배출물의 영향을 분석하고, 주요 배기 배출물인 매연과 NOx를 저감시키고자 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 합산소연료인 Diglyme과 DEE을 사용할 경우, 합산소연료의 첨가량이 증가할수록 연소효율이 개선되었으며, 그에 따라서 매연의 저감 폭도 증가하였다. 특히, 최적 첨가량인 Diglyme 5%의 경우는 연소효율이 약 2.6% 개선되었고, DEE 15%의 경우는 약 4.9% 향상되었다.

2) 매연의 경우 연료속의 산소함량에 크게 영향을 받았으며, 특히 배기가스 배출이 두드러지는 중·고부하 영역에서 그 효과가 현저함을 알 수 있었다. 한편, NOx는 연료의 기화특성에 영향을 크게 받음을 알 수 있었다.

3) Diglyme을 첨가한 경우, 첨가량이 증가함에 따라 매연의 저감 폭은 크게 나타난 반면에 NOx는 증가하는 특성을 나타냈으나, 5%의 EGR을만 행하더라도 경유의 경우보다 55%의 NOx를 저감시킬 수 있었다.

4) DEE를 첨가한 경우, DEE의 첨가량이 증가함에 따라 기화특성이 좋은 DEE의 특성으로 인하여 NOx의 증가없이 매연이 감소하였으며, 5%의 EGR을 채택하였을 때 매연의 큰 증가없이 NOx의 배출량을 경유의 경우보다 40% 정도 저감시킬 수 있었다.

참고 문헌

- 1) N. Miyamoto, H. Ogawa, T. Arima, K. Obata, G.-H. Cao, "Improvements of Diesel Combustion and Emissions with Oxygenated Fuels," Transactions of Society of Automotive Engineers of Japan, Vol.29, No.1, pp.17-22, 1998.
- 2) F. J. Liotta, D. M. Montalvo, "The Effect of Oxygenated Fuels on Emissions from a Modern Heavy-Duty Diesel Engine," SAE 932734, 1993.
- 3) T. Murayama, N. Miyamoto, T. Yamada, J. Kawashima, K. Itow, "A Method to Improve the Solubility and Combustion Characteristic

- of Alcohol-Diesel Fuel Blends,” SAE 821113, 1982.
- 4) B. Likos, J. Timonhy, C. A. Moses, “Performance and Emissions of Ethanol and Ethanol-Diesel Blends in Direct-Injected and Pre-chamber Diesel Engines,” SAE 821039, 1982.
 - 5) N. Uchida, Y. Daisho, T. Saito, H. Sugano, “Combined Effects of EGR and Supercharging on Diesel Combustion and Emissions,” SAE 930601, 1993.
 - 6) T. Murayama, M. Zheng, T. Chikahisa, Y. T. Oh, “Simultaneous Reductions of Smoke and NO_x from a DI Diesel Engine with EGR and Dimethyl Carbonate,” SAE 952518, 1995.
 - 7) S. Gjirja, E. Olsson, A. Karlstr, “Considerations on Engine Design and Fueling Technique Effects on Qualitative Combustion in Alcohol Diesel Engines,” SAE 982530, 1998.
 - 8) B. Bailey, J. Eberhardt, S. Goguen, J. Erwin, “Diethyl Ether(DEE) as a Renewable Diesel Fuel,” SAE 972978, 1997.
 - 9) 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.
 - 10) C. Beatrice, C. Bertoli, N. Del Giacomo, M. na. Migliaccio, “Potentiality of Oxygenated Synthetic Fuel and Reformulated Fuel on Emissions from a Modern DI Diesel Engine,” SAE 1999-01-3595, 1999.
 - 11) L. K.-L. Shih, “Comparison of the Effects of Various Fuel Additives on the Diesel Engine Emissions,” SAE 982573, 1998.
 - 12) 유경현, 오영택, “디젤기관에서 연료중의 산소성분이 배기가스 배출특성에 미치는 영향,” 한국자동차공학회논문집, 제8권 제4호, pp.59-67, 2000.
 - 13) 유경현, 최준혁, 오영택, “디젤기관의 대체 연료로서 DEE의 연소 특성에 관한 연구, 한국자동차공학회논문집, 제9권 제6호, pp.47-56, 2001.