

〈논문〉 SAE NO. 2000-03-0067

디젤기관에서 연료중의 산소성분이 배기가스 배출특성에 미치는 영향

The Effect of Oxygen in Fuel on the Exhaust Gas Emissions in Diesel Engine

유 경 현*, 오 영 택**
Kyung-hyun Ryu, Young-taig Oh

ABSTRACT

Recently, the world is faced with the very serious problems related to the increasing use of the conventional petroleum fuels. The air pollutions in big cities were also occurred by the exhaust emissions from automobiles. Many researchers have been attracted various oxygenated fuels as an alternative fuel and a renewable fuel for the measure of these problems.

In this study, the effect of oxygen in fuel on the exhaust gas emissions has been investigated with oxygenated fuels as an alternative fuel for diesel engine. The exhaust gas emissions were investigated by comparing with that of the diesel fuel.

The vegetable fuel oil such as soybean oil gives lower smoke level than that with diesel fuel. Furthermore, the smoke emission is more affected by the oxygen content in fuel than by the fuel viscosity.

This study concluded that the fuels including oxygen might be a good measure to reduce smoke in diesel engine because the oxygen strongly influenced the combustion process.

주요기술용어 : Oxygenated fuel(함산소연료), Alternative fuel(대체연료), Renewable fuel(재생 연료), Smoke(매연), Exhaust gas emission(배기가스 에미션), Diesel engine(디젤기관)

* 회원, 전북대학교 기계공학과 대학원

** 회원, 전북대학교 기계공학과,
자동차 신기술 연구소

1. 서 론

자동차의 증가로 인한 오염물질의 배출증가는 대기뿐만 아니라 수질에도 영향을 미치고 있어 자동차기술 및 연료품질의 개선을 통한 오염방지

대책이 전세계적으로 절실히 필요한 실정이다. 특히, 높은 열효율과 저급연료를 포함한 여러 종류의 연료를 사용할 수 있다는 특징 때문에 오늘날 그 수요가 점차 증가되어 온 디젤기관 자동차의 경우, 배출되는 유해가스에 의한 환경오염이 많은 사회문제를 야기하면서 이를 저감시키기 위한 방법들이 다각적으로 모색되고 있다.

디젤엔진에 관한 연구는 고출력 및 저연비 실현에 관한 연구와 배출가스 저감에 관한 연구로 크게 나눌 수 있다. 배출가스 저감을 위한 연구로는 연료가 엔진의 연소실에서 연소하여 배출되기 전에 배출가스를 저감시키기 위한 전처리 방법과 연료가 연소하고 난 후에 연소실 밖에서 촉매장치 등을 이용하여 배출가스를 처리하는 후처리 방법으로 나눌 수 있다. 전처리 방법으로는 엔진 설계 변경기술과 연료조성 변경 기술을 들 수 있으며, 후처리 방법으로는 입자상물질 트랩, 배기 가스재순환(EGR), 촉매이용기술 등을 들 수 있다.

그러나, 후처리 방법으로 사용되고 있는 방법들은 배출가스 생성을 억제할 수 있는 근본적인 해결 방법이 되지 못하기 때문에, 많은 연구자들은 연료가 엔진 내에서 연소하기 전이나 연소한 후 배기관으로 배출되기 전에 배출가스를 줄이는 전처리 방법을 이용하여 문제를 해결하고자 노력을 하고 있다.

이러한 전처리 기술중 연료조성 변경기술에는 연료자체의 성상 변화를 유도하거나, 연료자체에 산소를 다량 함유하고 있는 즉, 합산소 연료를 기존의 경유와 혼합하는 방법, 그리고, 세탄가 증진제의 첨가 등과 같은 방법들이 제시되고 있으며, 최근 환경오염문제로 인한 선진국의 배출가스 규제강화와 석유연료의 고갈 문제가 합산소 물질에 대한 연구를 촉진하는 계기가 되었다.

합산소 물질에 대한 연구는 1900년에 디젤기관의 발명자인 Rudolf Diesel¹⁾이 연료로서 땅콩유를 사용한 것을 시작으로, 1948년 長尾不二夫에 의해 松根油와 여러 가지 식물유를 이용하여 실험을 하였고²⁾, C. Adams³⁾, S. C. Borgelt⁴⁾,

⁵⁾, J. D. C. Baldwin⁶⁾ 등은 대두유와 경유를 혼합하여 실험을 하였으며, 윤 등⁷⁾ 과 S. Vinyard 등⁸⁾은 식물유와 알콜 및 경유와의 혼합연료를 이용하여 대체연료로서의 타당성을 조사하였다.

또한, Theo Fleisch 등⁹⁾과 S. C. Sorenson 등¹⁰⁾은 DME를 디젤연료나 프로판과 혼합하여 실험하였고, B. L. Edgar 등¹¹⁾은 DME와 DMM를 이용하여 디젤기관의 대체연료로서의 자기착화 특성과 배기 배출물 저감에 대한 연구를 수행하였으며, L. Dodge 등¹²⁾은 Methylal을, B. Bailey 등¹³⁾은 DEE가 디젤기관의 대체연료로서 가능성을 제시하였다.

이와 같이 여러 연구자들에 의하여 합산소 연료를 이용한 연구들이 보고되고 있지만, 합산소 연료들이 가지고 있는 산소의 함량이 디젤기관의 배기 배출물인 매연에 미치는 영향에 대해 명확히 규명한 예가 나타나지 않고 있다.

따라서, 본 논문에서는 합산소 연료를 디젤기관의 연료로 이용하였을 경우 산소의 함량에 따라 기관에서 배출되는 배기 에미션에 미치는 영향과 배출특성을 조사하고자 한다.

2. 실험 장치 및 방법

2.1 실험 장치 및 방법

본 실험에 사용된 기관은 수냉식, 4기통, 4행정, 간접분사식 디젤기관과 횡형, 수냉식, 단기통, 예연소실식, 4행정 디젤기관이며, 단기통기관은 동력계에 의해 시동이 되고, 부하는 진자식 자동계측 저울에 의해 조절되었으며, 속도 조절기에 의해 회전수를 임의로 조절할 수 있도록 되었다. 4기통기관은 시동모터에 의해 시동이 되고, 엔진 부하와 회전속도는 엔진 다이내모미터에 의해 임의로 조절할 수 있도록 하였다. Table 1은 기관의 주요 사양을, Fig. 1은 실험 장치의 개략도를 나타낸 것이다.

본 연구에서는 디젤기관의 대체연료로서 합산소연료를 이용한 경우 배기가스 배출 특성을 조사하기 위하여, 4기통 디젤기관에는 점도가 경유

와 비슷한 에스테르 연료와 DMC를 적용하여 실험하였으며, 단기통 디젤기관에는 경유와 일정비율로 혼합한 혼합연료와 고점도 연료인 순수 합산소 연료를 적용하여 실험하였다. 특히, 경유와 합산소 연료를 혼합 이용하였을 경우, 기관 회전속도 변화와 기관 부하변화에 따라 배기가스의 배출 농도 양상을 중점적으로 연구하였다.

2.2 실험 연료

Table 2는 실험에 사용된 각 연료의 물성치들을 나타낸 것이다. 본 연구에 사용된 합산소 연료는 대두유, 채종유, 팜유, 폐식용유, MEUS (methylene ester of used soybean oil), MER (methylene ester rapeseed oil), DMC, 메탄올 및 에탄올이며, 경유와 알코올을 혼합한 경우 첨가제로서 옥타놀을 사용하였다. 표 2에서 알 수 있는 것처럼 이들 연료는 산소를 10~53%까지 함유하고 있다.

또한, 대두유나 채종유의 고점도 성분을 제거한 에스테르 연료의 점도는 거의 경유의 것과 비슷하지만, 에스테르 연료로 전환되어도 연료내에 포함되어 있는 산소의 함량은 거의 변화되지 않음을 알 수 있다.

Table 1 The specification of engine

| Item | Specification | |
|----------------|-------------------------|------------------------|
| | 4 cylinder | 1 cylinder |
| Eng. model | HD D4BA | DD ND 100 |
| Bore × stroke | 91.1 × 95 (mm) | 96 × 110 (mm) |
| Displacement | 2476 (cm ³) | 796 (cm ³) |
| Comp. ratio | 21 | 20 |
| Chamber type | Pre-combustion | Pre-combustion |
| Rated output | 58.8kW/4200rpm | 7.5kW/2200rpm |
| Inject. nozzle | Pintle nozzle | Pintle nozzle |
| Inject. timing | ATDC 4 °C | - |
| Cool. T | 80 ± 2 °C | 80 ± 2 °C |

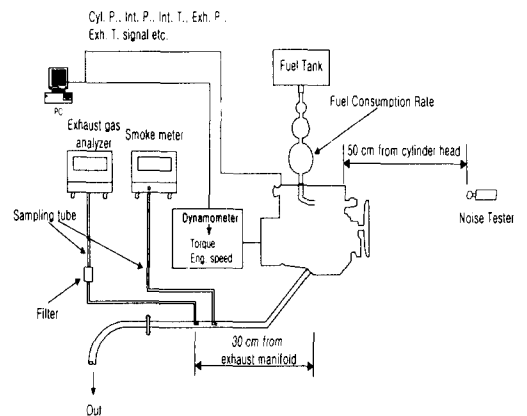


Fig. 1 Scheme of test equipments(4 cylinder engine)

Table 2 Properties of test fuels

| Parameter | Diesel fuel | Soybean oil | Rapeseed oil | Palm oil | Used soybean oil | Methylene ester of used soybean oil | Methylene ester of rapeseed oil | DMC | Methanol | Ethanol | Octanol |
|----------------------------|-------------|--------------|--------------|--------------|------------------|-------------------------------------|---------------------------------|-------|----------|---------|---------|
| Net calorific value(MJ/kg) | 43.126 | 39.93 | 36.887 | 36.553 | 39.6 | 39.5 | 37.055 | 15.78 | 19.68 | 20.88 | - |
| Stoichmetric A/F ratio | 14.37 | 12.56 | 12.53 | 12.42 | 12.48 | 12.56 | 12.48 | 3.51 | 6.438 | 8.956 | 12.672 |
| Viscosity (cP, 20°C) | 3.25 | 64.89 (20°C) | 47.62 (15°C) | 57.49 (30°C) | 57.75 | 5.875 | 5.64 (15°C) | - | - | - | - |
| Carbon(wt %) | 86.76 | 77.14 | 78.2 | 76.49 | 76.45 | 77.25 | 77.06 | 40.0 | 37.5 | 52.2 | 73.9 |
| Hydrogen(wt %) | 13.05 | 11.43 | 11.71 | 12.11 | 11.07 | 11.83 | 11.91 | 6.67 | 12.5 | 13.1 | 13.8 |
| Oxygen(wt %) | 0 | 11.43 | 10.09 | 11.40 | 11.34 | 9.89 | 11.03 | 53.3 | 50.0 | 34.7 | 12.3 |

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 식물유를 사용한 경우

Fig. 2는 경유, 채종유, 그리고 팜유를 디젤기관의 연료로 사용하였을 경우 최적의 연료소비율이 나타나는 평균유효압력(0.4MPa)하에서 분사시기 변화에 따른 NOx와 매연 농도의 배출 특성을 나타낸 것이다. 분사시기가 지연될수록 NOx 농도는 모든연료에 있어서 감소함을 알 수 있으며, 매연의 경우 BTDC 17 $^{\circ}$ CA를 기점으로 증가하는 경향을 볼 수 있어 최적의 분사시기가 존재함을 알 수 있다. 전체적으로 산소를 함유한 채종유나 팜유의 경우가 산소를 함유하지 않은 경유에 비교하여 NOx나 매연이 동시에 저감되어 배출됨을 알 수 있으며, 연료의 산소함량이 많을수록 NOx나 매연의 저감이 현저함을 알 수 있다.

Fig. 3은 제동평균유효압력에 따른 경유, 채종유, 그리고 팜유의 배기가스 배출 경향을 나타낸 것이다. 기관의 평균유효압력이 증가함에 따라 NOx나 매연이 모든 연료 공히 증가됨을 알 수

있으며, 분사시기변화에 있어서와 같이 산소를 함유한 채종유나 팜유의 경우가 산소를 포함하지 않는 경유의 경우보다 매연이 저감되어 배출함을 알 수 있다.

Fig. 4는 일정한 평균유효압력하에서 식물유에 경유를 혼합하였을 경우 경유의 혼합 비율에 따른 배기가스 배출 농도를 나타낸 것이다. 식물유에 대한 경유의 혼합비율이 증가함에 따라 NOx와 매연의 경우에 약간씩 증가함을 알 수 있다. 즉, 혼합 연료속의 산소농도가 감소함에 따라 매연의 배출농도가 높아짐을 알 수 있는데, 이것으로 보아 연료속의 산소가 매연의 배출 특성에 많은 영향을 미침을 알 수 있다.

Fig. 5는 경유, 대두유, 그리고 경유와 대두유의 혼합연료에 대한 매연의 배출 특성을 나타낸 것이다. Fig. 5의 (a)는 제동평균유효압력의 증가에 따른 매연의 배출특성을 나타낸 것으로, 경유의 경우가 대두유의 경우보다 더 많은 매연을 배출함을 알 수 있다. 특히, 동일조건하에서 대두유의 밀도나 점성이 경유보다 훨씬 높기 때문에 연료의 분무조건이 악화되었음에도 불구하고 전체

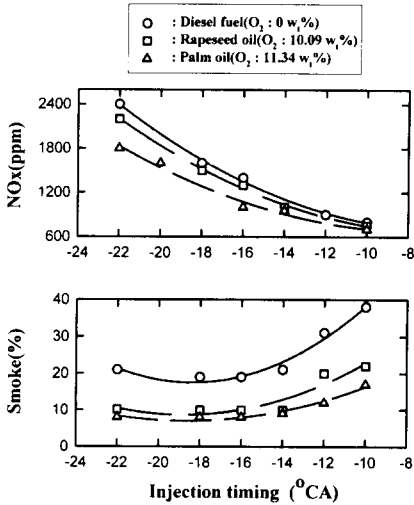


Fig. 2 Exhaust emissions in diesel fuel and vegetable oils by varying injection timing at engine speed 1400rpm

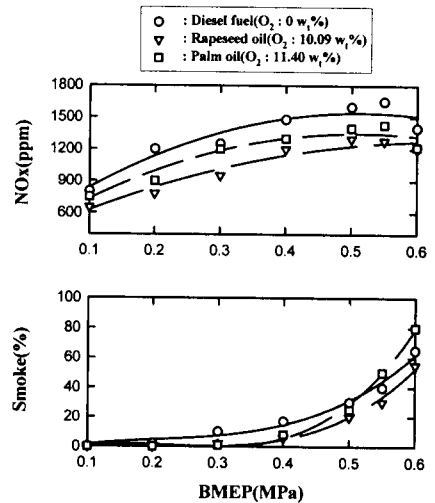


Fig. 3 Exhaust emissions in diesel fuel and vegetable oils by varying BMEP at engine speed 1400rpm

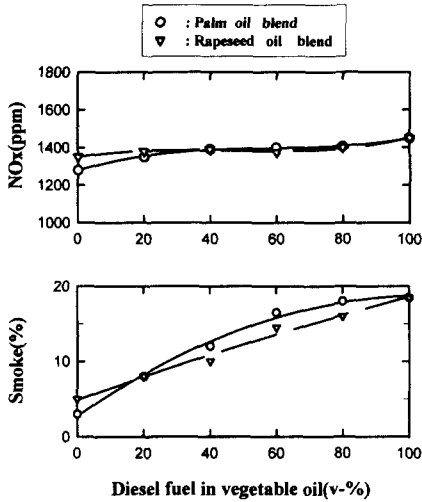


Fig. 4 Exhaust emissions versus diesel fuel content in vegetable oils under BMEP 0.4MPa

적으로 경유가 대두유보다 더 많은 매연을 배출함을 알 수 있다. Fig. 5의 (b)는 일정한 분사시기 BTDC 17°C A에서 대두유에 대한 경유의 혼합비율에 따른 매연의 배출 특성을 나타낸 것이다. 경유의 혼합비율이 증가함에 따라 매연의 배출농도가 점점 증가함을 알 수 있다.

이들을 종합하여 볼 때 일반적으로 연소가 촉진되어 매연이 저감된 경우 NOx가 증가되는 것이 보통이지만, 식물유의 경우는 연료의 점도가 높기 때문에 분무의 분열시간이 길어져¹⁴⁾ 연소 전반부에서의 순간적인 연소 최고온도가 감소하여 NOx의 발생이 억제되었고, 매연이 생성되는 연소 후반부에는 연료속의 산소농도에 의해 연소가 촉진되어 매연을 저감시킨 것으로 생각된다.

3.2 알콜을 사용한 경우

Fig. 6은 경유와 알콜의 혼합연료에 옥타놀을 첨가하였을 경우 연료속의 산소농도 변화에 따른 매연의 배출 특성을 기관의 평균유효압력이 변화할 경우에 대하여 나타낸 것이다. 평균유효압력이 증가할수록 매연이 증가함을 알 수 있으며,

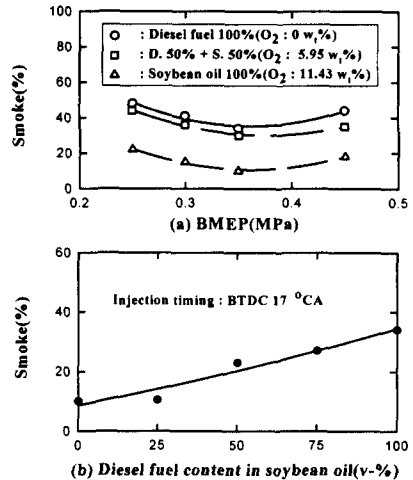


Fig. 5 Smoke versus (a) BMEP and (b) Diesel fuel content in soybean oil at 1100rpm

연료내 산소의 농도가 증가함에 따라 매연의 배출농도는 적었으며 부하증가에 따른 매연의 증가율도 완만하여 연료속의 산소의 농도가 고부하영역에서 매연저감에 큰 효과가 있음을 알 수 있다.

또한, 확산연소기간과 매연 농도와는 밀접한 관계가 있는데, Fig. 7은 알콜과 경유의 혼합연료에 옥타놀을 혼합하였을 경우 옥타놀비(연료내 산소비)에 따른 확산연소기간 θ_d 값을 나타낸 것

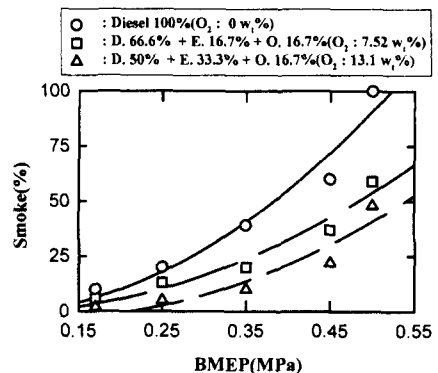


Fig. 6 Comparison of smoke for difference of oxygen content

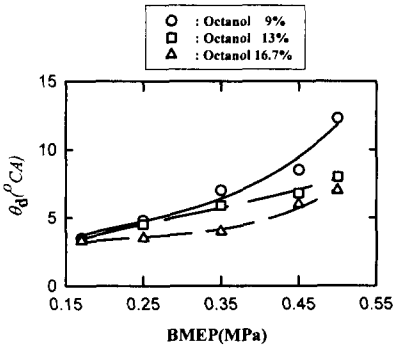


Fig. 7 Comparison of θ_d for amount of octanol

으로, θ_d 가 저부하에서는 거의 일정하나 고부하 일수록 옥타놀비가 증가하면 θ_d 값이 작아져서 매연이 감소함을 알 수 있다. 이것은 옥타놀비가 증가함에 따라 연료내 산소량이 증가하여 연소가 촉진되어 연소기간이 단축되었기 때문으로 생각 된다.

이상에서 알 수 있듯이, 산소를 다량 함유한 식물유 및 알콜을 디젤기관의 연료로 사용하였을 경우, 밀도나 점성이 경유의 경우보다 크고 높음에도 불구하고 경유의 경우보다 양호한 매연 배출 특성을 나타냄을 알 수 있다. 이는 식물유속에 함유된 산소의 농도가 매연 저감에 효과적임을 의미하며, 식물유속에 함유된 다량의 산소가 연소후반부에까지 연소를 촉진하는 화학반응을 일으켜 완전연소를 촉진시켰기 때문으로 분석된다.

3. 3 에스테르 연료를 사용한 경우

Fig. 8은 부하변화에 따른 경유와 폐식용유의 에스테르 연료에 대한 배기가스 배출특성을 나타낸 것이다. NOx 농도 및 매연 농도는 부하가 증가함에 따라 증가하지만, 매연의 경우 두 연료 공히 부하가 75%이상에서는 크게 증가함을 알 수 있었으며, 전체적으로 경유의 경우보다는 이미 사용되었던 폐식용유의 에스테르 연료가 더 적은 매연을 배출하였다. 에스테르 연료는 폐식용유와

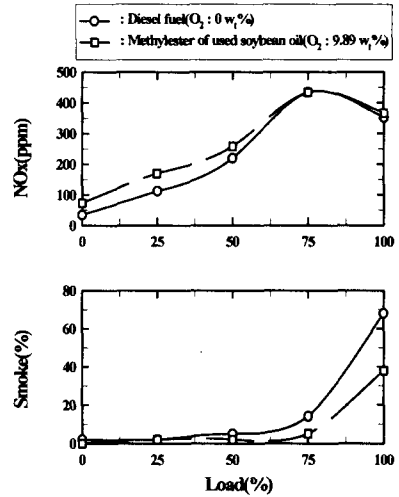


Fig. 8 Exhaust emissions with methylester of used soybean oil and diesel fuel under varying load at engine speed 2500rpm

알콜을 화학반응시켜 고점도 성분을 제거한 연료로서, 산소함량은 식용유의 경우와 거의 동일하면서 점도가 에스테르화반응으로 인해 감소되어 경유와 비슷하게 됨에 따라, 양호한 분무의 분열로 연소가 촉진되어 NOx는 약간 증가되었고, 연소후반부에 부족한 산소를 연소속의 산소가 공급되면서 매연의 배출농도를 감소시킨 것으로 사료 된다.

Fig. 9는 채종유와 채종유의 에스테르 연료를 사용한 경우 기관의 부하변화에 따른 매연의 배출농도를 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 고부하에서 상당한 매연이 배출함을 알 수 있다. 하지만, 채종유가 에스테르 연료보다 더 큰 점성을 갖기 때문에 부정분사, 과도한 관통도 등과 같은 분무의 악화에도 불구하고 채종유와 채종유의 에스테르 연료에 있어서 매연의 배출 특성은 에스테르 연료가 약간 저감되었지만, 그렇게 큰 차이는 나타나고 있지 않다. 이는 두 연료의 점도 차이보다는 두 연료가 함유한 산소농도가 매연의 배출 특성에 더 큰 영향을 미치는 것으로 분석된다.

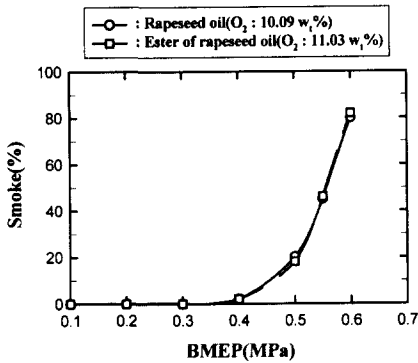


Fig. 9 Smoke with various BMEP in rapeseed and ester of rapeseed oil at engine speed 1500rpm

3. 4 DMC를 첨가한 경우

Fig. 10은 전부하에서 경유에 5%와 10%의 DMC를 첨가하였을 경우에 기관의 회전속도 변화에 따른 배기가스 배출 특성을 나타낸 것이다. 기관의 회전속도가 증가할수록 NOx는 경유와 경유에 DMC를 첨가한 연료의 경우 모두 증가함을 알 수 있으며, DMC를 5% 첨가한 경우 NOx

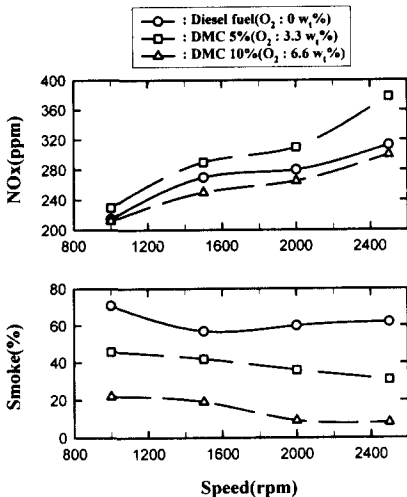


Fig. 10 Exhaust emissions versus DMC content in diesel fuel under varying engine speed at engine load 100%

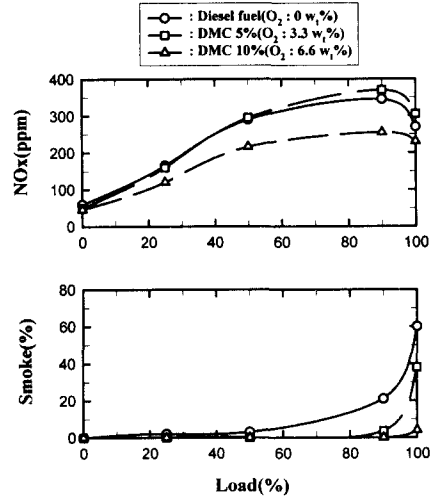


Fig. 11 Exhaust emissions versus DMC content in diesel fuel under varying engine load at engine speed 2000rpm

는 경유의 경우보다 증가하나 DMC를 10% 첨가한 경우는 오히려 적게 배출함을 알 수 있어 DMC의 량이 NOx의 배출농도에 영향을 끼치게 됨을 알 수 있다. 매연의 경우, 전체적으로 기관의 회전속도에는 큰 영향이 없으나, DMC의 첨가량이 증가할수록 즉, 연료속의 산소농도가 증가할수록 매연이 현저하게 저감됨을 알 수 있다.

Fig. 11은 기관의 회전속도가 2000rpm인 경우 기관의 부하변화에 따른 배기가스 배출 특성을 나타낸 것이다. 기관의 회전속도가 증가할수록 NOx는 증가함을 보였으며, 매연의 경우 고부하에서 크게 증가함을 알 수 있었으며, DMC량이 증가할수록 고부하영역까지 매연이 거의 발생하지 않음을 확인하였다. 기관의 부하 변화에 있어서도 경유에 대한 DMC의 첨가량이 증가할수록 현저한 매연 저감 효과가 있음을 알 수 있다.

Fig. 12는 실험에 사용된 모든 연료속의 산소농도에 대한 매연의 배출 특성을 95% 신뢰도로 나타낸 것이다. 전반적으로 연료속의 산소농도가 증가함에 따라 매연이 현저히 감소함을 알 수 있다. 또한, 연료속의 산소농도가 적은 경우(0~5

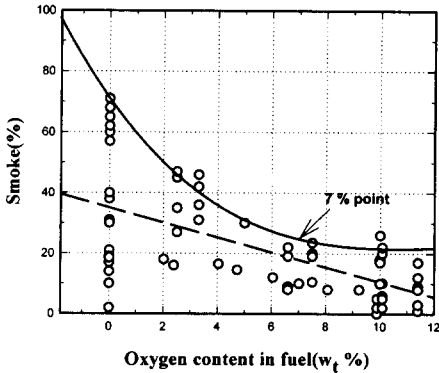


Fig. 12 Smoke versus oxygen in fuel

%)는 산소농도 증가에 따른 매연의 배출 저감폭이 현저하나 산소농도가 그 이상 증가하여도 매연의 저감율은 둔화되어 연료속의 산소량이 7% 정도 되면 매연의 배출 특성은 거의 일정하였다. 이는 연료내의 산소가 흡입과정시 흡입된 공기속의 산소보다는 연소를 위한 탄소나 수소와의 화학반응 속도가 빨라 완전연소를 촉진시켰기 때문으로 분석되며, 일정량 이상의 산소는 이 같은 반응에 큰 효과가 없음을 알 수 있다.

4. 결 론

디젤기관의 연료로서 여러 가지 합산소연료를 사용하였을 경우 산소함량이 배기가스 배출물에 미치는 영향을 분석한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 1) 식물유, 에스테르 연료 및 알콜 등을 사용한 경우 매연은 연료의 점성보다는 연료내 산소함량에 큰 영향을 받음을 알 수 있었다.
- 2) 첨가제로 DMC를 사용한 경우 연료내 산소함량이 증가할수록 매연은 감소하였으나, 5%를 첨가한 경우보다는 10%를 첨가한 경우가 경유의 경우보다 더 적은 NOx를 배출하는 특성을 보여 매연과 NOx를 동시에 저감할 수 있는 최적의 첨가량이 존재함을 알 수 있었다.

3) 합산소 연료를 디젤기관의 연료로 사용하였을 경우, 연료내 산소 함량이 증가할 수록 매연의 배출은 감소하나 산소함량이 7%정도 되면 매연 배출 특성이 거의 일정하여, 매연 저감을 위한 연료내에 산소함량은 7%정도가 가장 적당함을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

- 1) R. C. Strayer, J. A. Blake and Craig, "Conola and High Erucic Rapseed Oil as Substitutes for Diesel Fuel : Preliminary Tests," JAOCS, Vol. 60, No. 8, pp. 1587-1594, 1983.
- 2) 長尾 不二夫, "ディーゼル 燃料としての松根油," 日本機械學會誌, Vol. 51, No. 3 54, pp. 37-44, 1948.
- 3) C. Adams, J.F. Peters, M.C. Rand, B.J. Schroer and M.C. Ziemke, "Investigation of Soybean Oil as a Diesel Fuel Extender," JAOCS, Vol.60, No. 8, pp. 1574-1580, 1983.
- 4) S. C. Borgelt and F. D. Harris, "Effects of Soybean Oil-Diesel Fuel Mixture in Small Pre-combustion Chamber Engines," ASAE Paper, No. MCR82-144, 1982.
- 5) S. C. Bolgelt and F. D. Harris, "Endurance Tests Using Soybean Oil-Diesel Fuel Mixture to Fuel Small Pre-combustion Chamber Engines," ASAE, Proceeding of the International Conference on Plant and Vegetable Oils as Fuels, p. 364, 1982.
- 6) J. D. C. Baldwin, H. Klimkowski and M. A. Keesy, "Fuel additives for Vegetable Oil-Fueled Compression Ignition Engines," ASAE, Proceeding of the International Conference on Plant and Vegetable Oils as Fuels, p. 224, 1982.

- 7) 윤석현 외 4인, "디젤기관에서 알콜 혼합연료 이용에 관한 연구", 한국자동차 공학회 추계학술대회 논문집, 2권, 1996.
- 8) S. Vinyard, E. S. Renoll, J. S. Goodling, L. Hawkins and R. C. Bunt, "Properties and Performance Testing with Blends of Biomass alcohols, Vegetable Oils and Diesel Fuel," ASAE, Proceeding of the International Conference on Plant and Vegetable Oils as Fuels, p. 287, 1982.
- 9) Theo Fleisch, Chris McCarthy, Arun Basu, and Carl Udovich, "A New Clean Diesel Technology : Demonstration of ULEV Emissions on a Navistar Diesel Engine Fueled with Dimethyl Ether", SAE paper 950061, 1995.
- 10) S. C. Sorenson and Svend-Erik Mikkelsen, "Performance and Emissions of a 0.273 Liter Direct Injection Diesel Engine Fuelled with Neat Dimethyl Ether", SAE paper 950064, 1995.
- 11) B. L. Edgar, R. W. Dibble, and D. W. Naegeli, "Autoignition of Dimethyl Ether and Dimethoxy Methane Sprays at High Pressures", SAE paper 971677, 1997.
- 12) L. Dodge and D. Naegeli, "Combustion Characterization of Methylal in Reciprocating Engines", NREL Report, June, 1994.
- 13) B. Bailey, J. Eberhardt, S. Goguen, and J. Erwin, "Diethyl Ether(DEE) as a Renewable Diesel Fuel", SAE paper 972978, 1997.
- 14) A. H. Lefebvre, "Atomization and Sprays", Hemisphere Publishing Co., p. 29, 1989.