

저비점 함산소물질이 디젤기관의 성능과 배기배출물에 미치는 영향

김봉석 · 송용식* · 宮本 稔**

원주대학 동력기계과, *제천기능대학 자동차과, **북해도대학 대학원 공학연구과

E-mail : bskim@sky.wonju.ac.kr

The Effect of Low Boiling Point Oxygenates on the Diesel Engine Performance and Emissions

Bong-Seock Kim, Yong-Seek Song* and Noboru Miyamoto**

Department of Mechanical Engineering for Power, Wonju National College

*Department of Automobile, Jecheon Polytechnic College

**Graduate School of Engineering, Hokkaido University

요 약

본 연구에서는 고점도 저질유를 연료로 사용하는 디젤기관에 있어서 연료에 저비점 함산소물질을 혼합하였을 때의 배기배출물 특성변화에 대해 조사하였다. 실험은 6종류의 혼합물을 여러 혼합비로 베이스 연료에 첨가하여 기관 성능과 배기배출물 특성 변화에 대해 실시하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다. 저질유로의 저비점물질 혼합에 의해 매연, CO, PM, SOF 및 열소비율이 대폭적으로 개선되었다. 이러한 경향은 분사시기 지연시에 현저하였으며, 혼합물질의 비점이 낮을 수록 혼합비율이 클수록 또한 비함산소 물질보다는 함산소물질에 있어서 더 현저하였다. 또한, 저질유에 함산소물질 DMM을 20 vol.% 혼합하고 연료분사시기를 지연시킬 경우에는 통상의 경우 운전을 상회하는 NOx-매연 트레이드 오프 관계가 얻어졌다. 따라서, 고점도의 저질유연료를 사용하는 디젤엔진에 있어서도 저비점 함산소물질의 혼합에 의해 효과적이고 청정하게 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

Abstract — In the study, the effect of low boiling point oxygenates in high viscous fuels on the exhaust emissions has been investigated for a single cylinder DI diesel engine. It was tested to estimated change of engine performance and exhaust emission characteristics for the base fuels and low boiling point oxygenates blended fuel which have six kinds of fuels and various mixed rates. The results of the study may be concluded as follows : By blending of various low boiling point oxygenated agents to lower grade fuels, significant improvements were simultaneously obtained in smoke, CO, PM, SOF and BSEC. Especially, these trends were remarkably obtained by retarding injection timing, by decreasing boiling point and increasing blending contents of additives in case of oxygenated agents rather than non-oxygenated agents. Also, it was revealed that when 20 vol.% DMM added to high viscosity fuels and injection timing was retarded, NOx-smoke trade off relationship was much better than that of ordinary diesel fuel. Thus, lower grade fuels with high viscosity could be expected to be used efficiently and cleanly in diesel operation by blending low boiling point oxygenates.

1. 서 론

오늘날, 전세계적으로 수송용, 산업용 차량의 주 원동기로서 널리 사용되고 있는 디젤엔진은 기본적으로 가솔린엔진에 비해 열효율이 높고 연비가 좋으며 지구온난화

의 주원인으로 불리는 CO₂의 배출량도 적다. 그러나, 입자상 물질(PM, particulate matter), 매연, 질소산화물 등의 배기배출물이 다량 배출되기 때문에 엄격한 환경규제를 충족시키기 위해서는 더욱 감소시켜야 한다. 이들 중 질소산화물과 입자상 물질은 대도시 지역에서 심각한 사

화문제를 유발하고 있어 각국에서는 디젤기관의 배출물 규제를 더욱 강화시켜 시행하고 있지만, 질소산화물과 입자상 물질은 일반적으로 트레이드 오프(trade-off) 관계가 있어, 이들을 동시에 저감시키기는 매우 어렵다.

이와 같은 문제를 해결하기 위해 시도되고 있는 디젤 차량의 배출가스 저감기술로는 크게 기관본체 개량, 연료분사계 개선, 흡·배기계통 개선, 연료개선 및 후처리 장치 사용 등으로 나눌 수 있다¹⁾.

기관본체의 개량 기술로는 연소실 형상 개조, 배기량 증대, 압축비 증대, EGR, 오일소비량 저감 등이 있다. 연료분사계 개선에는 연료분사시기 지연, 연료펌프의 고압화, 가버너와 타이머의 전자제어화, 가변분사율 제어 등이 있다. 흡·배기계 개선기술에는 과급화 및 과급기 성능향상, 가변노즐 터보, 인터쿨러화, 흡·배기 포트 개량, 가변 스윙 기구 등이 있다. 연료개선 기술에는 세탄가 향상제, 방향족 성분 저감, 유허연료, 합산소연료(oxygenated fuel) 등이 있다. 후처리장치 기술에는 입자상물질 여과장치(DPF, diesel particulate filter), 산화촉매, DeNOx 촉매, SCR(selective catalytic reduction) 촉매 등이 디젤차량의 배출가스 저감 대책기술로 연구되어 왔다.

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 전처

리 방법에 접근하여 문제를 해결하고자 하였으며, 여러 가지 전처리 방법 중에서 합산소연료를 상용 경유와 혼합하거나 세탄가 개선제를 첨가하는 등의 연료자체의 성상변화와 같은 방법을 제시하고 있다.

즉, 최근에 디젤연소와 배출물의 향상을 위해 알콜을 제외한 카보네이트, 에테르, 아세테이트, 케톤 화합물 등과 같은 합산소 연료들을 이용하고 있다. 연료로서 기존 경유에 합산소화합물을 혼합하거나 순수 합산소화합물을 사용하면 배출물을 더 효과적으로 저감시킬 수 있고 열효율과 소음도 향상시킬 수 있을 것으로 보고되고 있다²⁾³⁾.

이러한 합산소화합물의 사용은 아주 유망한 기술로 그 필요성이 강조되고 있고, 경유 등에 합산소물질 혼합에 의한 열효율 및 배기 배출물의 개선이 확인되고 있으나 아직 국내의 연구활동은 극히 미미한 수준이며, 특히 저질유에 대한 연구활동은 전무하다.

따라서, 본 연구에서는 저질유를 연료로 사용하는 고속 디젤기관에 있어서 연료에 저비점물질 또는 합산소 물질을 혼합하였을 때의 기관 성능과 배기배출물 특성 변화에 대해 미치는 영향에 대해 규명하였다.

2. 실험장치 및 방법

2-1. 실험장치

Fig. 1은 기관성능 및 배출가스의 해석을 위한 실험

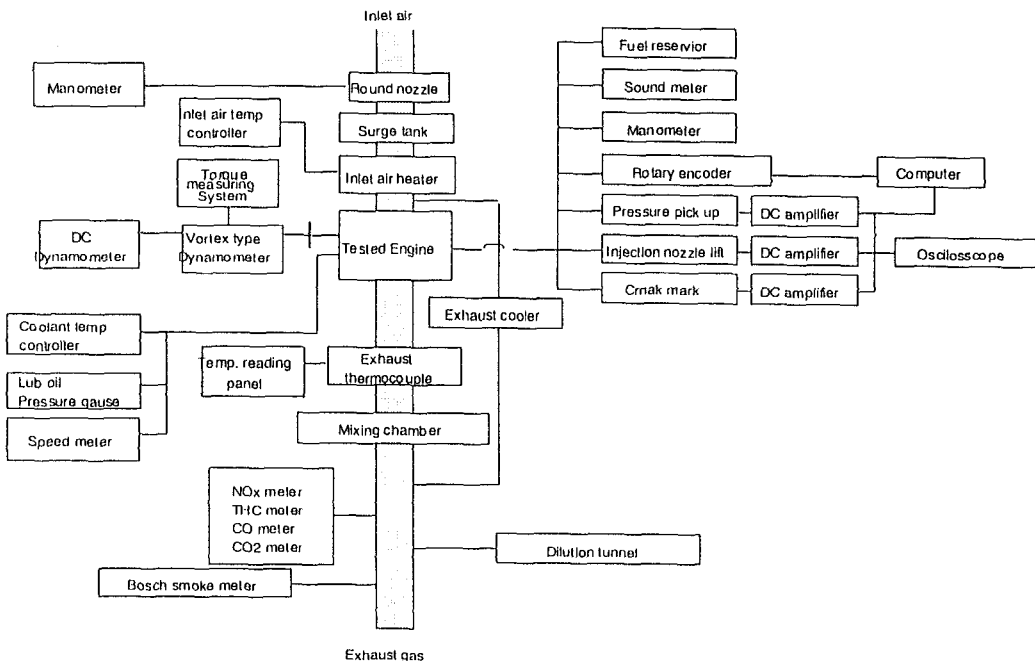


Fig. 1. Schematic diagram of experimental apparatus.

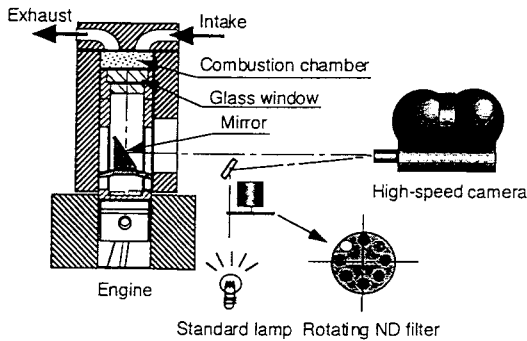


Fig. 2. Measuring system of flame temperature and KL factor by two-color method.

장치의 개략도로서, 실험용 단기통 디젤 기관, 동력계, 데이터 취득 및 제어장치 등으로 구성되어 있다. 실험용 기관에는 무과급의 수냉·단기통 직분식 4행정 디젤 기관(직경 x 행정 : $\phi 110 \text{ mm} \times 106 \text{ mm}$, 행정체적 : 1007 cm^3 , 압축비 : 16.3)을 사용했다. 분사계에는 경유로 최적화된 보쉬 K형 펌프와 분공경 0.3mm의 4공 노즐을 사용하였으며 노즐 개변압은 19.6 MPa로 했다. 연소실의 형상은 Toroidal 형으로서 구경은 $\phi 56 \text{ mm}$ 이다.

Fig. 2는 연소과정 중 화염온도를 측정하기 위한 실험장치의 개략도 및 광학계의 구성도를 나타낸 것이다. 경유와 DMM을 혼합한 저질유의 연소과정은 bottom view type의 가시화용 직분식 디젤기관(Nissan SC-77)과 고속도 칼라 비디오카메라(PHOTORON FASTCAM-ULTIMA-RGB)를 이용하여 4500frame/s로 촬영했다. 가시화용 엔진은 평면 석영유리의 관찰창을 장착한 단기

통 4사이클 디젤기관(직경 x 행정 : $\phi 85 \times 88 \text{ mm}$, 노즐 개변압 : 18 MPa, 압축비 22)이다^[2].

또한, 화염의 온도분포와 KL값은 2색법에 근거한 시스템으로 분석하였으며^[2], 연소실내의 화상과 온도조정을 위한 텅스텐 전구로부터의 복사는 필름으로 촬영하였다. 흑체 온도를 알기 위해 텅스텐 램프 앞에 설치된 ND 필터용 회전판은 서로 다른 투과율을 가지고 있고 고해상도의 reversal 필름(KODAK, EC 7250)이 사용되었다. 인화된 화상은 적색(643 nm) 및 녹색(540 nm) 밴드 통과 필터를 거쳐 CCD 카메라(SONY, XC-771)에 의해 기록되었다.

CCD 카메라로부터의 적색 및 녹색출력은 8비트 A/D 변환기(Photoron, FRM2-RGB)와 발광온도에 의해 수치화되고, TaR과 TaG는 텅스텐 램프의 상으로부터 조정되어 이미 알고있는 발광온도에 근거하여 추론하였다. 실제 화염온도와 KL값은 발광온도로부터 조정되며, 분포화상은 D/A 변환기를 통하여 나타냈다^[2].

2-2. 실험연구

Table 1은 실험에 사용된 베이스 연료를, Table 2는 혼합연료의 주요 물성치를 각각 나타냈다. 베이스 연료는 경유와 점도가 다른 저질유를, 혼합연료는 산소 함유량과 비점이 다른 합산소계와 비합산소의 파라핀계 탄화수소를 각각 선정·사용하였다. 여기서, 합산소물질은 저질유의 연소개선 및 배기배출물을 저감시킬 목적으로 산소함유율이 다른 3가지(DMM, DMC, DGM)를 베이스 연료에 혼합하여 운전을 했으며, 비합산소의 파라핀계 탄화수소는 첨가제의 비점에 따른 영향을 조사하기 위해 비점이 다른 3가지(n-pentane, n-heptane, n-decane)

Table 1. Properties of tested base fuels.

Base fuels	Kinematic viscosity [mm ² /s]	Distillation temperature 50% [°C]	Oxygen content (wt.%)	Density (g/cm ³)	Cetane number	Calorific value [MJ/kg]
Fuel A (Diesel fuel)	2.5	257.0	0	0.832	50.0	42.0
Fuel B	29.4	379	0	0.907	53.0	43.9
Fuel C	23.6	378.5	0	0.874	53.0	45.2

Table 2. Properties of tested additives.

Additives	Abbreviation	Molecular structure	Oxygen content [wt.%]	Density [g/cm ³]	Boiling point [°C]	Calorific value [MJ/kg]
Dimethoxy methane	DMM	CH ₃ OCH ₂ CH ₃	42.1	0.860	43	22.3
Dimethyl carbonate	DMC	CH ₃ O(CO)OCH ₃	53.3	1.079	91	13.5
Diethylene glycol dimethyl ether	DGM	CH ₃ O(CH ₂) ₂ O(CH ₂) ₂ OCH ₃	35.8	0.950	163	24.5
n-pentane	-	CH ₃ (CH ₂) ₃ CH ₃	0.0	0.626	36	48.3
n-heptane	-	CH ₃ (CH ₂) ₅ CH ₃	0.0	0.684	98	47.6
n-decane	-	CH ₃ (CH ₂) ₈ CH ₃	0.0	0.731	174	47.3

를 이용하여 동일한 실험을 행했다.

2-3. 실험방법

기관운전 조건은 전 실험에 걸쳐서 기관회전수 1320 rpm, 제동평균 유효압력 0.69 MPa(3/4부하), 연료분사시기 -7°CA ATDC, 냉각수 온도 80°C로 일정하게 유지하고 3가지 베이스 연료 및 이들 베이스 연료에 합산소계 물질과 파라핀계 물질을 0 vol.%, 10 vol.%, 20 vol.%, 30 vol.% 혼합한 연료를 각각 사용했다. 한편 저비점 성분인 DMM과 n-pentane을 20 vol.% 이상 혼합한 연료를 사용할 때는 분사펌프의 이상분사를 방지하기 위해 연료탱크와 분사 펌프 사이에 냉각장치를 설치하여 냉각시켰다.

배기가스 중 NOx는 화학발광법, THC는 FID법, CO와 CO₂는 NDIR법(Horiba, MEXA- 8120), Smoke는 보쉬 스모크 미터법(Diesel Kiki, FFAW-65)을 각각 사용하여 측정하였다. 미립자의 측정에는 희석터널(내경 : 310 mm, 유효길이 : 3100 mm), CVS(constant volume sampler, Horiba, CVS-31), HVS(high volume sampler, DIREC SU) 및 미립자 샘플링 시스템 등으로 구성된 희석터널에 의한 방법을 사용, 배기의 일부를 희석터널로 도입시켜 공기로 약 10배로 희석한 후, 테프론 코팅 석영 필터(203 mm×254 mm, Pallflex type TX 40H 120 WW)에 의해 미립자를 포집했다. 전 미립자중량(TPM)은 채집 전후의 필터 중량차로부터 구하고, 가용유기성분의 추출은 디클로로메탄(dichloro methane)을 용매로 한 필터링법을 사용했다¹⁴⁾¹⁶⁾¹⁷⁾.

또한, 연소실내 압력을 압력변환기(Kyowa, PE-100KWS)로 측정, 증폭기(Kyowa, CDA- 230C)와 A/D 변환기(Kanops, ADJ-98)를 통해 컴퓨터로 입력시켜 그 데이터를 처리하는 것에 의해 열발생율 및 착화지연을 계산했다. 분사시기는 노즐내에 부착한 갠센서(ACE-2525-05)에 의해 니들의 움직임을 검출했다.

3. 실험결과 및 고찰

Fig. 3은 경유(Fuel A)와 동점도 29.4 mm²/s인 저질유(Fuel B)를 사용하여 연료분사시기를 -20°CA TDC로부터 TDC까지 변화시켰을 때 연료의 동점도와 분사시기가 기관성능 및 배기가스 특성에 미치는 영향을 나타낸 것이다. 그림으로부터 알 수 있듯이, 통상의 경유에 비해서 저질유를 사용한 경우에는 NOx 배출농도는 거의 동등한 수준이나 정미열소비율(BSEC)과 매연은 전체 연료분사시기에 있어서 상당히 악화되고 있다. 이는 주로 연료의 동점도 및 비점이 증가됨에 따라 분무 액적의 미립화가 나빠지고 증류온도의 증가 즉, 증발성 저하로 혼

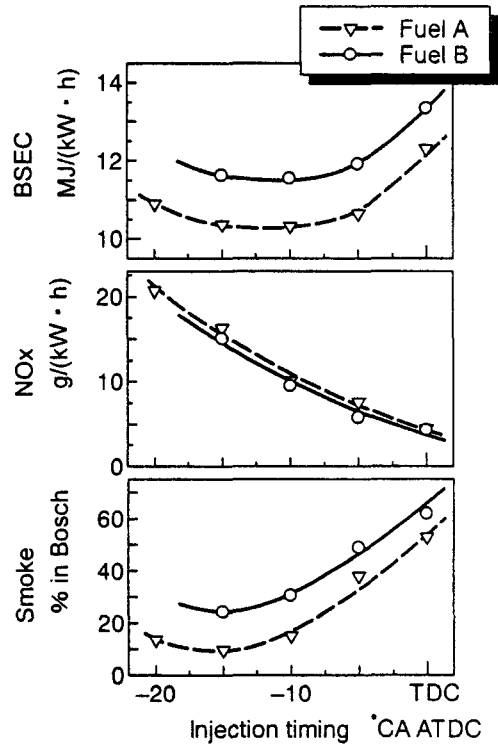


Fig. 3. Influence of kinetic viscosity and injection timing on BSEC and exhaust emissions (1320 rpm, BMEP=0.69 MPa).

합기 형성이 악화되어 연소의 등용도와 연소효율이 저하하기 때문으로 생각할 수 있다¹⁸⁾. 한편, 저질유 Fuel B만을 사용한 경우에는 연료분사시기가 -15°CA TDC를 넘어 진각되면 엔진의 부조현상이 발생되어 이후의 실험은 연료분사시기를 -15°CA TDC까지로 고정하였다.

Fig. 4에 저질유(Fuel B)에 합산소물질(DMM, DGM)을 20 vol.% 혼합한 경우에 있어서 NOx와 smoke, CO 배기가스 및 열소비율과의 트레이드 오프 관계를 나타냈다. 합산소물질의 혼합에 의해 열소비를 및 매연과 NOx의 트레이드 오프 관계가 대폭적으로 개선되며 그 개선의 정도는 혼합한 합산소물질의 비점이 낮을수록 현저하게 나타나고 있다. 특히, DMM을 혼합한 경우에는 DGM을 혼합한 경우보다 더욱 그 관계가 개선되어 NOx-smoke의 동시개선이 가능하게 되었으며 연료분사시기를 지연시킨 경우에는 DMM을 혼합한 저질유에 있어서 경유를 상회하는 트레이드 오프의 개선이 얻어졌다. 한편, Fig. 5에서와 같이 일반적으로 착화지연이 단축되면 후연소기간의 증가에 의한 열효율의 저하와 매연의 증가가 발생하는 경우가 많지만, DGM에서는 그러한 염려가 생김이 없이 오히려 개선되고 있음을 알 수 있다. 또한,

DMM과 DGM 두 연료의 산소함유비율 차이가 그리 크지 않다는 사실로부터 열소비율, CO 및 매연의 개선효

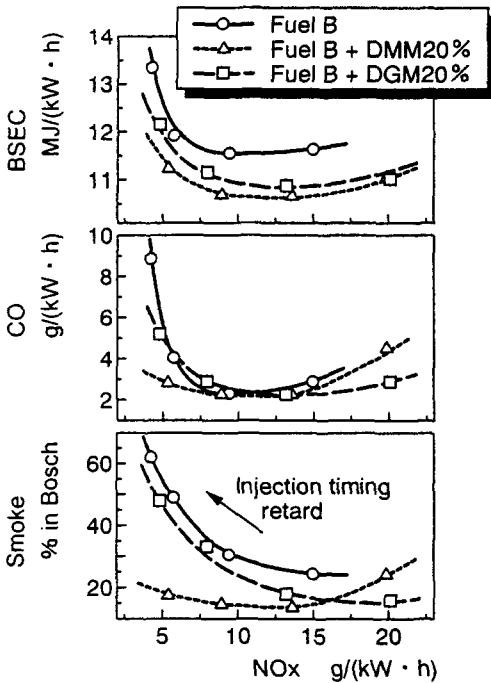


Fig. 4. Trade-off relationship between NOx and BSEC, exhaust emissions Fuel B with DMM and DGM additions (1320 rpm, BMEP=0.69 MPa).

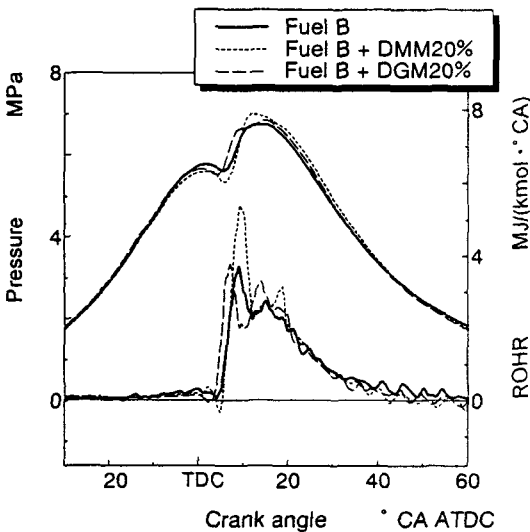


Fig. 5. Indicator and ROHR diagrams for fuel B with DMM and DGM additions (1320 rpm, BMEP=0.69 MPa, Injection timing=TDC).

과는 산소함유비율보다는 혼합물질의 비점에 따른 영향이 더 크다고 예상할 수 있다.

Fig. 5는 DMM 및 DGM을 저질유(Fuel B)에 각각 20 vol.% 혼합하고 연료분사시기를 TDC까지 지연시켰을 때의 지압선도 및 열발생율을 나타낸 것이다. 저질유에 함산소물질을 혼합한 경우에 있어서 착화지연은 저질유만을 사용한 경우에 비해 약간 단축되거나 거의 같게 나타나고 있으나, 주 연소의 활성화와 후연소 감소에 의한 연소기간의 단축이 보여지고 있다. 일반적으로, 착화지연이 길어지게 되면 NOx와 TPM 중의 SOF는 증가하는 경향이 있지만 저질유에 함산소물질을 혼합한 경우에 있어서는 Fig. 4에서와 같이 거꾸로 그것이 감소하는 것으로부터 저질유에서의 착화지연의 증가에 따른 염려가 함산소 혼합연료에서는 오히려 개선되고 있는 것이 명확하게 되었다. 한편, DMM을 혼합한 경우에는 제

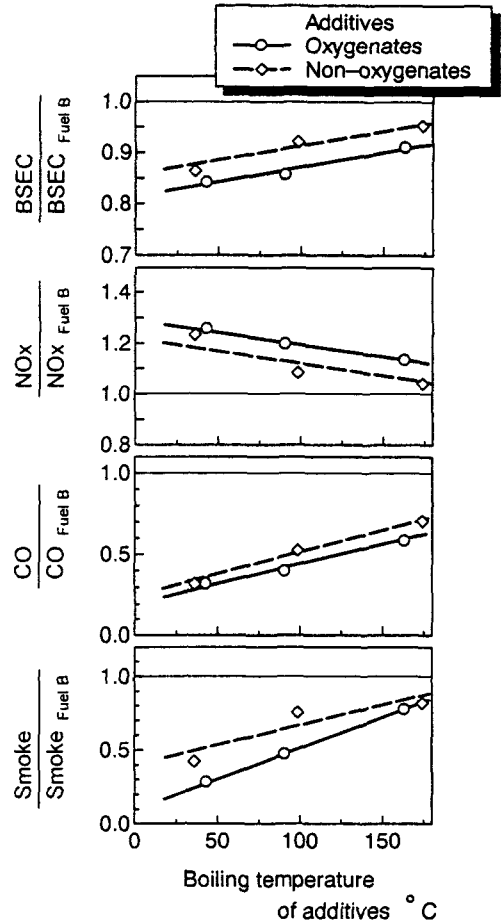


Fig. 6. Influence of boiling temperature of additives on BSEC and exhaust emissions (Fuel B, 1320 rpm, BMEP=0.69 MPa).

1기 열발생율의 증가가 확인되고 있는데 이것은 DMM의 증발성이 높기 때문으로 생각할 수 있으며, 이로 인해 DMM을 혼합한 연료의 경우에는 Fig. 6에서와 같이 NOx 증가의 한 요인으로 되고 있다고 생각할 수 있다^[48].

Fig. 6은 혼합물질의 비점이 열소비율 및 배출가스 특성에 미치는 영향을 나타낸 것이다. 여기서 베이스 연료로는 저질유(Fuel B)를 사용하였으며, Table 2에 나타난 각 물질을 20 vol.% 혼합하고 연료분사시키는 TDC로 했다. 또한, 그 결과는 Fuel B만을 사용하였을 때의 결과를 베이스로 하여 무차원화 하였다. 그림으로부터 알 수 있듯이, 혼합물질의 비점 저하에 따라 NOx는 약간 증가하지만 열소비율, CO 및 매연은 직선적으로 감소되고 있다. 또한, 열소비율과 매연의 개선 정도는 비합산소물질에 비해서 합산소물질을 혼합한 경우가 더 강하

게 영향을 미치고 있는 것을 명확하게 보여주고 있으며, 그 개선폭은 기율기의 정도를 보았을 때 매년쪽이 더 크게 나타나고 있다. 이처럼 열소비율이 개선되는 이유로는 주로 CO 감소에 따른 연소효율의 개선과 등용도의 향상에 기인하는 것이라고 말할 수 있으며, 그 배경의 하나로써 저비점물질의 혼합에 의한 저질유입자의 마이크로폭발(microexplosion) 현상도 생각할 수 있다^[10].

Fig. 7에 혼합물질의 혼합비율이 열소비율 및 배기가스 특성에 미치는 영향을 나타냈다. 여기서도 Fig. 6에서와 같이 실험 결과를 무차원화 하였으며, 혼합물질로는 비점이 서로 비슷한 합산소물질(DMM)과 비합산소물질(n-pentane)을 각각 사용하였다. 그림에서와 같이, 두 혼합물질 모두에 있어서 혼합비율의 증가에 따라서 NOx는 직선적으로 증가하고 있다. 그러나, 열소비율, CO 및 매연은 20 vol.%까지 대폭적으로 감소하고 있으며 그 이후의 감소 경향은 혼합비율이 증가함에 따라 서서히 줄어들어 그다지 변화하지 않는다. 따라서, NOx의 증가분까지 고려한다면 저비점 물질의 혼합은 20 vol.% 정도 이하로 유지해야 할 것으로 판단된다. 또한, 비합산소물질(n-pentane)에 비해서 합산소물질(DMM)에서는 그 혼합비율이 높을수록 매연 및 열소비율의 개선효과가 현저하게 나타나고 있어 산소비율의 영향이 크게 미치고 있음을 알 수 있다.

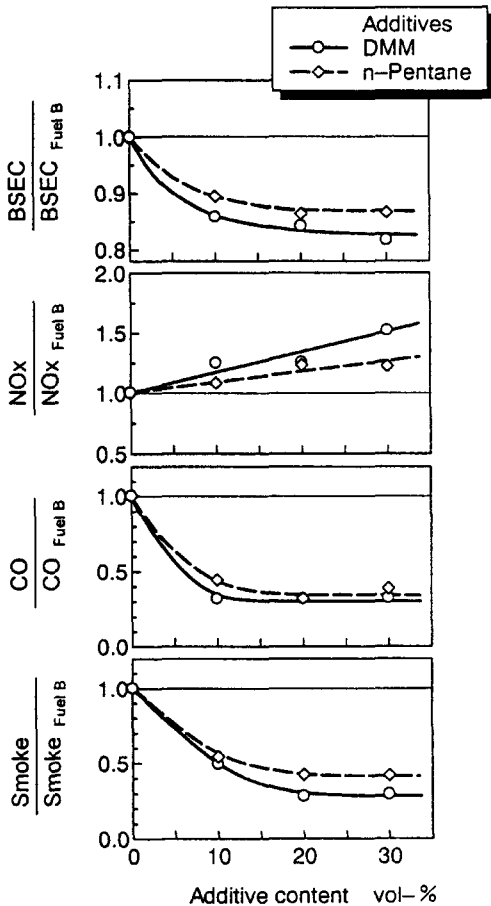


Fig. 7. Influence of additive content of additives on BSEC and exhaust emissions (Fuel B, 1320 rpm, BMEP=0.69 MPa).

Fig. 8은 경유(Fuel A)와 저질유(Fuel B)에 DMM을 10 vol.%, 20 vol.% 각각 혼합한 경우에 있어서 연소화염내의 KL값 분포추이를 나타낸 것이다. 여기서 KL값은 고속 화상 이색법으로 계측하여 해석한 것으로 soot 농도에 대응한 값이다^{[11][26]}. 그림으로부터 알 수 있듯이, 높은 KL값 영역은 두 베이스 연료 모두 DMM을 첨가함에 따라 감소하고 있다. 이와 같이 DMM을 혼합하여 연소시키게 되면 혼합 화염 중에 있어서 KL값의 높은 영역이 특히, 연소후반의 캐비티(cavity) 내를 중심으로 감소하고 있어 soot 농도가 저하되고 있다는 것을 명확하게 알 수 있다.

Fig. 9는 PM 배출량에 대한 혼합물질의 영향을 나타낸 것으로 이때의 기관운전조건은 저부하인 BMEP=0.18 MPa이고 베이스 연료는 경유와 저질유 Fuel C이며 혼합비율은 20 vol.%로 했다. 그림으로부터 알 수 있듯이, 기존의 경유 운전에 비해 저질유만의 운전에서는 PM의 증가가 현저하지만 이때의 SOF는 DMM 혼합에 의해 대폭적으로 개선되고 있다. 또한, 그 개선의 폭도 기존의 경유보다 저질유인 Fuel C에서 더 크게 나타나고 있어 합산소물질의 혼합에 따른 개선효과는 경유보다는 저질유에 더 적합하다고 생각할 수 있다.

이상의 결과를 종합하여, Fig. 10에 경유, 저질유 및

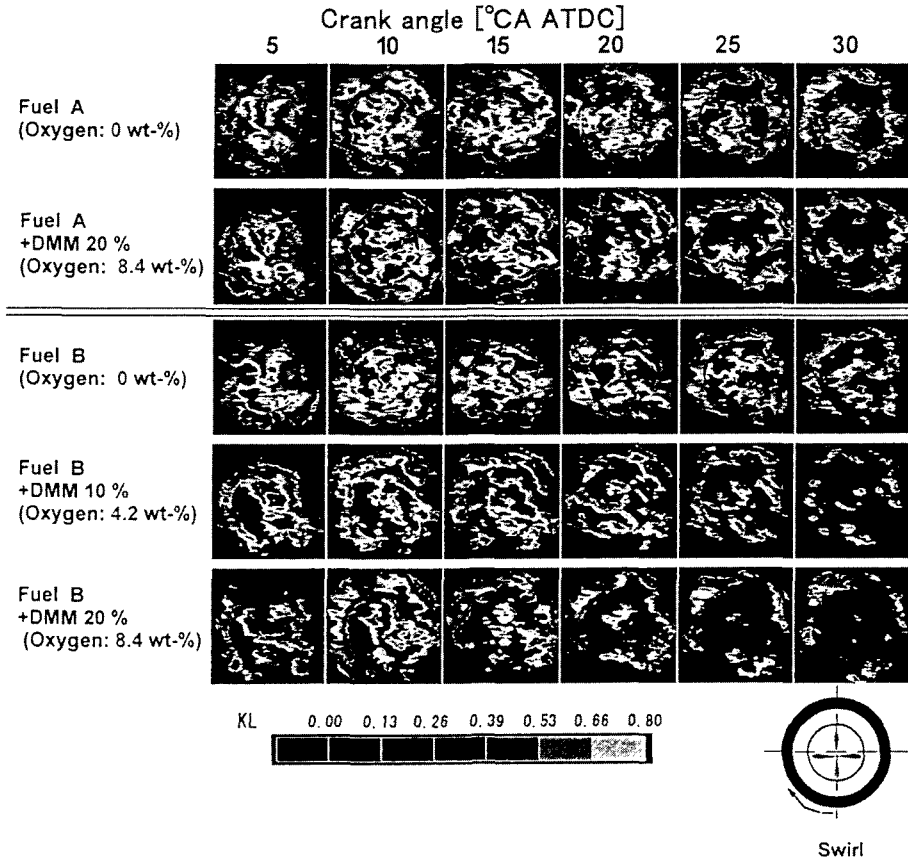


Fig. 8. KL factor distribution transition of flames in piston cavity with various fuels in a bottom view type diesel engine ($\phi=0.56$, 1000 rpm, 4500 frame/s, f/5.6).

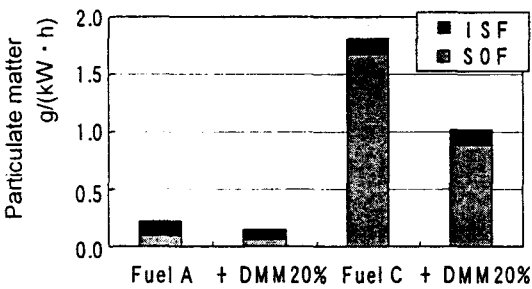


Fig. 9. Influence of oxygenated agents on particulate matter (BMEP=0.18MPa).

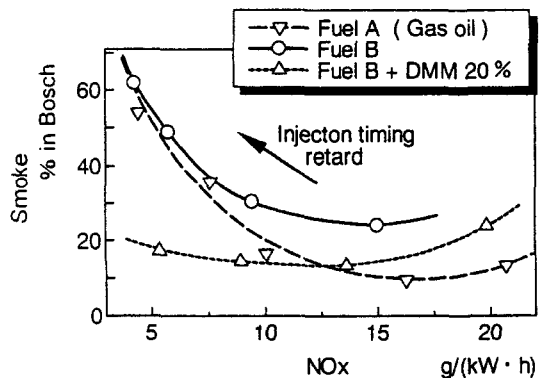


Fig. 10. Trade-off relationship between NOx and smoke with Fuel A, Fuel B and Fuel B+ DMM 20 vol.% (1320 rpm, BMEP=0.69 MPa).

저질유에 DMM 20 vol.% 혼합한 연료에 있어서 NOx와 매연의 트레이드 오프 관계를 나타냈다. 저질유에서의 NOx와 매연의 트레이드 오프 관계는 저비점 합산소 물질의 혼합에 의해 대폭적으로 개선되어 NOx와 매연의 동시 저감이 가능하였고, 또한 이들 값은 분사시기

를 지연시켰을 때의 저 NOx, 저 매연시에 있어서 통상의 경우운전시보다도 현저하게 개선되었다.

4. 결 론

본 연구에서는 저질유를 연료로 사용하는 디젤기관에 있어서 연료에 저비점물질 또는 합산소물질을 혼합하였을 때의 엔진 성능 및 배기배출물 특성 변화에 대해 규명하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다. 저질유로의 저비점물질 혼합에 의해 매연, CO, PM, SOF 및 열소비율이 대폭적으로 개선되고, 그 효과는 분사시기 지연시에 현저하였으며, 혼합물질의 비점이 낮을 수록 혼합비율이 클수록 또한 비합산소물질보다는 합산소물질에 있어서 더 현저하였다. 이러한 저질유로의 저비점 성분혼합에 의한 열소비율의 개선은 주 연소의 활성화와 후 연소기간에서의 열발생 감소 및 연소기간의 단축에 따른 응용도의 향상 및 연소효율의 증가에 기인한 것으로 판단되었다. 특히, 저질유로의 저비점 합산소물질 혼합에 의해 저부하에서 SOF가 대폭적으로 저감되고, PM은 개선되었으며, 연료분사시기를 지연시킬 경우에는 통상의 경우 운전을 상회하는 NOx-매연 트레이드 오프 관계가 얻어졌다.

후 기

본 논문은 한국과학재단의 해외 Post-Doc. 연수지원 사업의 연구비 지원에 의하여 이루어진 것으로서, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

1. Ogawa, H., Nabi, Md. N., Minami, M., Miyamoto, N. and Kim, B.S.: "Ultra Low Emissions and High Performance Diesel Combustion with a Combination of High EGR, Three-way Catalyst, and a Highly Oxygenated Fuel, Dimethoxy Methane (DMM)", SAE 2000-01-1819 (2000).
2. Ogawa, H., Miyamoto, N., Kimura, N., Hamada, Y.

- and Kim, B.S.: "Analysis of Diesel Combustion Flames with Highly Oxygenated Fuels", Proceedings of BUSAN Engine International Symposium 2001, ENSY 2001-CE-TS 22 (2001).
3. Kajitani, S., Chen, Z.L. and Konno, M.: "Engine Performance Exhaust Characteristics of DI Diesel Operated with DME", SAE 972973 (1997).
4. Miyamoto, N., Ogawa, H., Nabi, Md. N., Obata, K. and Arima, T.: "Smokeless, Low NOx, High Thermal Efficiency, and Low Noise Diesel Combustion with Oxygenated Agents as Main Fuel", SAE 980506 (1998).
5. Konno, M., Kajitani, S., Oguma, M. and Shima, K.: "NO Emission Characteristics in CI Engine Fueled with Neat Dimethyl Ether", SAE 1999-01-1116 (1999).
6. Rubino, L. and Murray, J.: "The Effects of Oxygenated Fuel Additives on Soot Precursor Formation", SAE 1999-01-3589 (1999).
7. Miyamoto, N., Ogawa, H., Arima, T. and Miyakawa, K.: "Improvement of Diesel Combustion and Emissions with Various Oxygenated Fuel Additives", SAE 962115 (1996).
8. Oh, Y.T. and Choi, S.H.: "An Experimental Study on Exhaust Emission Characteristics by Various Oxygenated Additives in Diesel Engine", Transactions of the Korean Society of Automotive Engineers, 10(3), 101 (2002).
9. Choi, S.H. and Oh, Y.T.: "The Effect of Cooled EGR and Oxygenate Fuel (EGBE) on the Diesel Engine Performance and Emissions", Transactions of the Korean Society of Automotive Engineers, 11(1), 79 (2003).
10. Sawa, N. and Kajitani, S.: "Physical Properties of Emulsion Fuel (Water/Oil Type) and its Effect on Engine Performance under Transient Operation", SAE 920198 (1992).