

저비점 함산소물질 혼합에 의한 고점도유 사용 디젤기관의 성능특성 연구

김 봉 석^{*1)} · 宮本 登²⁾

원주대학 동력기계과^{*1)} · 북해도대학 대학원 공학연구과²⁾

A Study on Performance Characteristics of the Diesel Engine using High Viscous Oils by blending Low Boiling Point Oxygenates

Bongseock Kim^{*1)} · Noboru Miyamoto²⁾

^{*1)}Department of Mechanical Engineering for Power, Wonju National College, Wonju 220-711, Korea

²⁾Graduate School of Engineering, Hokkaido University, Kita13, Nishi8, Kita-gu, Sapporo 060-8628, Japan

(Received 11 March 2003 / Accepted 16 April 2003)

Abstract : 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, our 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 20vol.% 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.

Key words : Diesel engine(디젤기관), High viscous oil(고점도유), Low boiling point oxygenates(저비점 함산소 물질), NOx-smoke trade off relationship(질소산화물-매연 트레이드 오프 관계), Dimethoxy methane(DMM)

1. 서론

수송용 차량이나 산업용 차량의 주 원동기로서 널리 사용되고 있는 디젤엔진은 그 특성상 입자상 물질, 매연, 질소산화물 등의 배기 배출물이 다량 배출되기 때문에 엄격한 환경규제를 충족시키기 위해서는 더욱 감소시켜야 한다. 특히, 질소산화물과 입자상 물질은 대도시 지역에서 심각한 사회문제를 유발하고 있기 때문에 각국에서는 디젤기관의 배출물 규제를 더욱 강화시켜 시행하고 있지만, 질소산화물과 입자상 물질은 일반적으로 트레이드오프 관계가 있어 이들을 동시에 저감시키는 것은 매우 어렵

다. 지금까지 시도되어온 디젤차량의 배출가스 저감기술로는 기관본체 개량, 연료분사계 개선, 흡·배기 계통 구조변경, 연료개선 및 후처리장치 등을 들 수 있다.

그러나, 2003년 이후 우리나라의 배출가스 규제가 미국, EU와 같은 선진국 수준으로 더 엄격하게 강화된다는 점을 감안할 때, 기관본체 개량이나 연료분사계 개선 및 후처리 장치 사용만으로는 배출가스 규제를 만족시키기에는 한계가 있다.

이러한 점을 고려할 때, 현재로서 NOx와 PM을 동시에 저감시키고 에너지의 효율적 이용이라는 측면에서 함산소물질과 디젤연료 혼합에 의한 연료개선 기술이 가장 효과적인 방법이라 할 수 있다. 즉,

*To whom correspondence should be addressed.
bskim@ky.wonju.ac.kr

최근에 디젤연소와 배출물의 향상을 위해 알콜을 제외한 카보네이트, 에테르, 아세테이트, 케톤 화합물 등과 같은 함산소연료들이 크게 주목받고 있다. 연료로서 기존 경유에 함산소화합물을 혼합하거나 순수 함산소화합물을 사용하면 배출물을 더 효과적으로 저감시킬 수 있고 열효율과 소음도 향상시킬 수 있을 것으로 보고되고 있다.¹⁻⁹⁾

이러한 함산소화합물의 사용은 아주 유망한 기술로 그 필요성이 강조되고 있으나 아직 국내의 연구활동은 극히 미미한 수준이며, 특히 저질유에 대한 연구활동은 전무하다.

따라서, 본 연구에서는 저질유를 연료로 사용하는 고속 디젤기관에 있어서 연료에 저비점물질 또는 함산소물질을 혼합하였을 때의 에너지의 효율적 이용측면과 연소개선의 효과 및 그 기구에 대해서 해명을 시도했다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

Fig. 1은 본 실험장치의 개략도로서, 실험용 기관,

엔진 동력계 및 측정장치 등으로 구성되어 있다.

실험에는 단기통, 무과급의 4행정 직분식 디젤기관(직경*행정: $\phi 110\text{mm} \times 106\text{mm}$, 행정체적: 1007cm^3 , 압축비: 16.3)을 사용했다. 분사계는 경유로 최적화된 분공경 0.3mm의 4공 노즐을 사용하였으며, 노즐개변압은 19.6MPa로 했다. 연소실의 형상은 Toroidal 형으로서 구경은 $\phi 56\text{mm}$ 이다.

2.2 실험연료

Table 1에 실험에 사용한 베이스 연료를, Table 2에 혼합연료의 주요 물성치를 각각 나타냈다. 베이스 연료는 경유와 점도가 다른 저질유를, 혼합연료는 산소 함유량과 비점이 다른 함산소계와 비함산소의 파라핀계 탄화수소를 각각 선정·사용하였다.

2.3 실험방법

기관운전 조건은 전 실험에 걸쳐서 기관회전수 1320rpm, 계동평균 유효압력 0.69MPa, 연료분사시기 -7°CA ATDC, 냉각수 온도 80°C 로 일정하게 유지하고 4가지 베이스 연료 및 이들 베이스 연료에 함

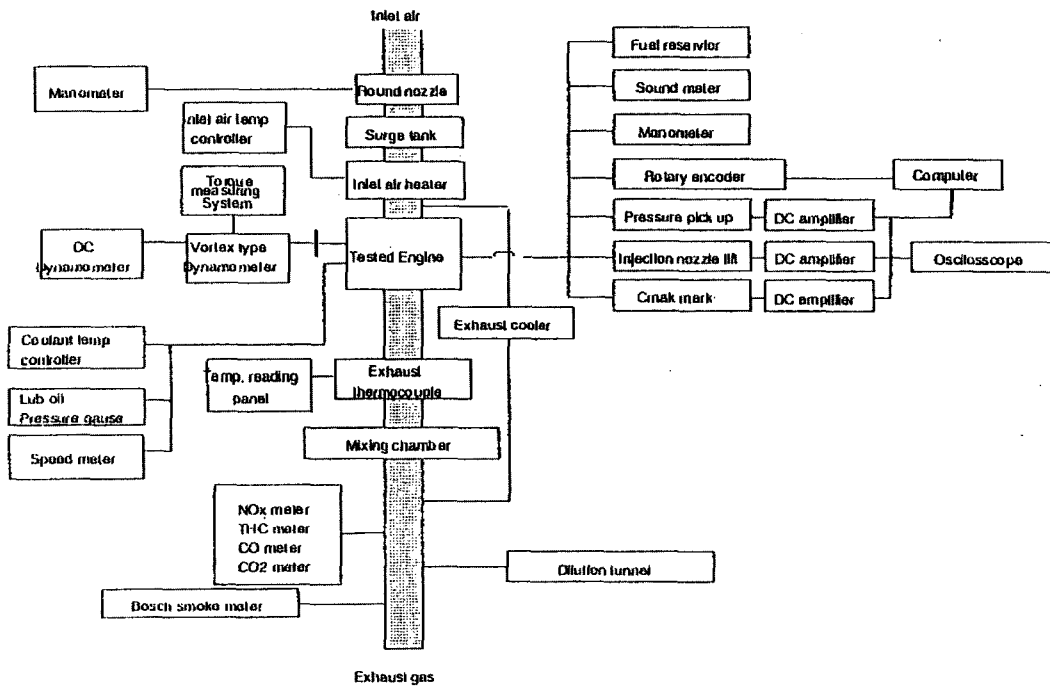


Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus

산소계 물질과 파라핀계 물질을 0vol.%, 10vol.%, 20vol.% 혼합한 연료를 각각 사용했다.

또한, 필요에 따라 제동평균 유효압력(BMEP)은 0.18MPa에서 0.83MPa까지, 연료분사시기는 -20°C A ATDC에서 0°C A ATDC까지 변화시켰다.

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 회석터널(내경 : 310mm, 유효길이 : 3100mm), CVS(constant volume sampler, Horiba, CVS-31), HVS(high volume sampler, DIREC SU) 및 미립자 샘플링 시스템 등으로 구성된 회석터널에 의한 방법을 사용, 배기의 일부를 회석터널로 도입시켜 공기로 약 10배로 희석한 후, 테프론 코팅 석영 필터(203mm*254mm, Pallflex type TX 40H 120WW)에 의해 미립자를 포집했다. 전 미립자중량(TPM)은 채집 전후의 필터 중량차로부터 구하고, 가용유기성분(SOF, soluble organic fraction)의 추출은 디클로로메탄(dichloro methane)을 용매로 한 필터링법을 사용했다.^{1,4,7)}

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 열발생을 및 착화지연을 계산했다. 분사시기는 노즐내에 부착한 캡센서(ACE-2525-05)에 의해 니들의 움직임을 검출했다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 연료의 점도에 의한 영향

Fig. 2는 동점도가 다른 베이스 연료(Fuel A, B, C)를 사용, 부하를 변화시킨 경우에 연료의 동점도가 연소 및 배기특성에 미치는 영향을 나타냈다. 이때 연료분사시기는 열소비율^{1,9)}과 배기배출물간의 트레이드 오프 관계를 고려하여 -7°C A ATDC로 고정하고 운전하였다. 그림으로부터 알 수 있듯이, 연료의 동점도가 크게 됨에 따라 열소비율, 배기 매연이 전부하에 걸쳐서 악화되고 있다. 이는 저질유의 동점도가 커서 분무액적의 미립화가 나빠지고 증류온도도 높아 혼합기 형성이 악화되었기 때문이라고 생각할 수 있다. THC도 저질유에서 현저히 악화되지만 이것도 분무의 미립화가 나빠져 연소실 벽면에 충돌된 연료가 증가하여 연소가 진행되지 않기 때문이라고 생각할 수 있다. 특히 TPM은 저부하 영역에서 현저하게 악화되고 있는데 이는 SOF의 증가가 그 주원인이기 때문으로 판단된다.^{1,2)}

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	50.2	41.97
Fuel B	15.1	338.0	0	0.857	62.8	45.28
Fuel C	25.8	-	0	0.878	57.9	45.04
Fuel D	29.4	378.5	0	0.907	53.0	43.89

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
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-decane	-	CH ₃ (CH ₂) ₈ CH ₃	0.0	0.731	174	47.3

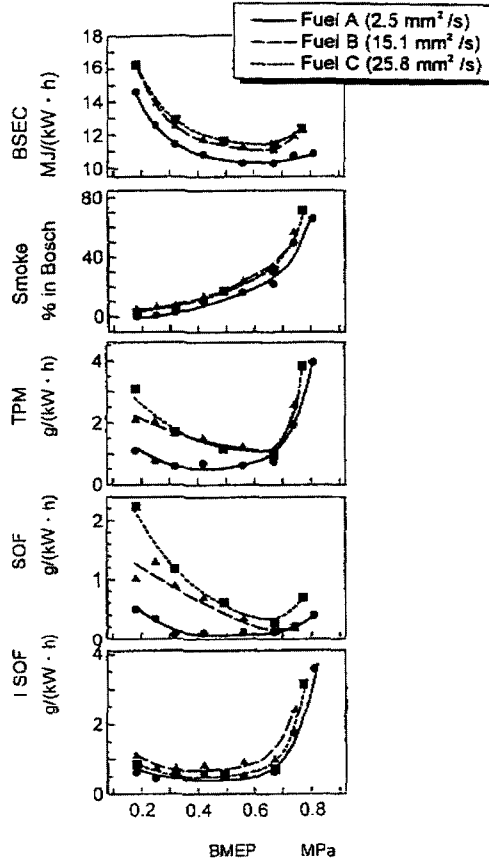


Fig. 2 Influence of fuel viscosity and load in BSEC and exhaust emissions(Injection timing = -7°CA ATDC)

Fig. 3에 연료분사시기를 TDC까지 지연시켜 각 연료를 사용한 경우의 지압선도 및 열발생율을 비교한 결과를 나타냈다. 세탄가가 높은 Fuel B에서는 착화지연의 단축과 연료점도의 증가가 상쇄되어 제 1기 열발생이 감소되었다. 한편, Fuel C의 제1기 열발생은 Fuel B와 같은 정도이나 고점도·고중류 온도이기 때문에 후연 및 연소기간의 증가는 보다 현저하게 된다. 따라서, Fig. 2에 나타낸 동점도의 증가에 따른 열소비율의 악화 및 NOx의 저감은 이와 같은 연소의 변화에 기인하는 것이라고 판단된다.^{1,2)}

3.2 합산소물질 첨가에 의한 저질유 연료의 연소 및 배기특성 개선 효과

위에서 살펴본 바와 같이, 연료 동점도 및 중류 온

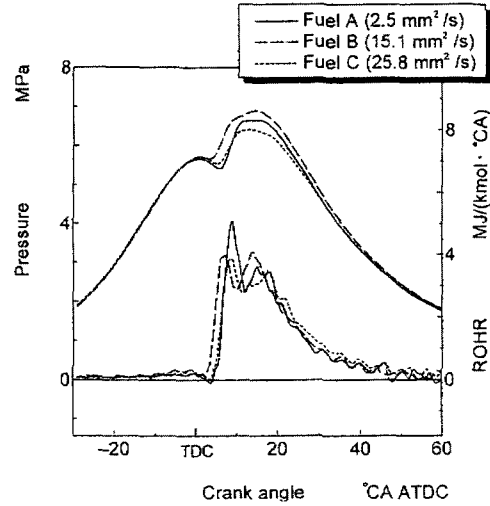


Fig. 3 Influence of fuel viscosity on indicator and ROHR diagrams(1320rpm, BMEP = 0.69MPa, Injection timing = TDC)

도가 높은 저질유를 디젤기관에 사용한 경우에는 연소 및 배기특성이 현저하게 악화된다. 그러나, 합산소물질 혼합에 의한 경유의 열효율 및 배기배출물의 개선은 확인되고 있다.⁴⁾ 따라서, 저질유의 연소개선 및 배기배출물을 저감시킬 목적으로 합산소물질인 비점 43°C의 DMM 및 비점 163°C의 DGM을 각 연료에 소량 혼합하여 운전을 행했다. 또한, 첨가제의 비점에 따른 영향을 조사하기 위해 비점 36°C의 n-pentane 및 비점 174°C의 n-decane을 이용하여 동일한 실험을 행했다.

Fig. 4는 저질유(Fuel D)에 DMM 및 DGM을 각각 20vol.% 첨가한 경우의 연소 및 배기특성을 나타낸 것이다. 그림으로부터 알 수 있듯이, NOx는 첨가한 합산소물질의 종류에 관계없이 전체 분사시기에 있어서 저질유만을 사용한 경우보다 약간 증가하고 있다. 한편, 열소비율, CO 및 배기 배연은 두 합산소물질 첨가에 의해 개선되고 있으며, 연료분사시기를 지연시킨 경우에 그 효과가 현저하게 되고 있다. 특히, DMM을 첨가한 경우에는 개선효과가 현저하나 DGM을 첨가한 경우는 개선효과가 그리 크지 않게 나타나 DMM이 DGM보다도 그 개선효과가 뛰어난 것을 알 수 있으며 이는 첨가물질의 비점의 차이에 의한 것이라고 생각할 수 있다.⁷⁾

Fig. 5는 DMM 및 DGM을 저질유(Fuel D, 동점도

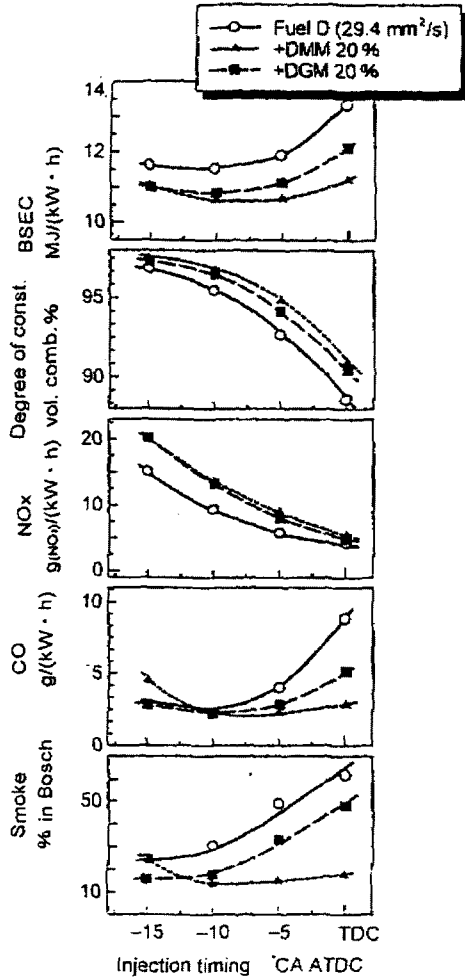


Fig. 4 Influence of DMM and DGM additions on BSEC, degree of constant and exhaust emissions (1320rpm, BMEP = 0.69MPa)

29.4mm²/s)에 각각 20vol.% 혼합하고 연료분사시기를 TDC까지 지연시켰을 때의 지압선도 및 열발생율을 나타낸 것이다. 합산소물질을 혼합한 경우에 있어서 착화지연은 저질유만을 사용한 경우에 비해 그리 큰 차이가 없지만, 주 연소의 활성화와 후연소 감소에 의한 연소기간의 단축이 보여지며, 이 결과는 Fig. 4에 나타난 등용도 및 연소효율의 개선에 잘 대응하고 있다. 또한, DMM을 혼합한 경우에는 제1기 열발생율의 증가가 확인되지만 이것은 DMM의 증발성이 높기 때문에 NOx 증가의 한 요인으로 되고 있다고 생각할 수 있다.^{4,8)}

Fig. 6은 첨가연료의 비점에 의한 영향을 고찰 하

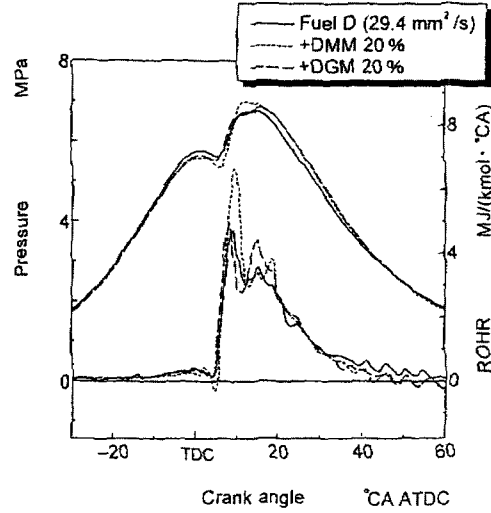


Fig. 5 Indicator and ROHR diagrams for Fuel D with DMM and DGM additions(1320rpm, BMEP = 0.69MPa, Injection timing = TDC)

기 위해, 저질유(Fuel D)에 비점 36°C의 n-pentane과 비점 174°C의 n-decane을 각각 20vol. % 혼합하였을 때의 연소 및 배기특성에 미치는 영향을 나타낸 것이다.

열소비율, 등용도, CO 및 배기매연은 모든 비함산소계 탄화수소 첨가에 의해 개선되고 있으며 연료분사시기가 지연될수록 그 효과가 현저하게 되고 있다. 특히, n-pentane을 첨가한 경우의 개선 효과는 n-decane을 첨가한 경우에 비해 분사시기가 지연될수록 DMM을 첨가한 경우와 유사하게 나타나고 있어 첨가물질의 비점의 차이에 의한 것이라고 판단 된다.

Fig. 7은 배기매연에 미치는 산소함유량과 비점의 영향을 파악하기 위해 저질유(Fuel D)에 DMM, DGM, n-pentane 및 n-decane을 각각 20% 첨가했을 때의 배기매연을 나타낸 것이다. 그림으로부터 알 수 있듯이, 저질유에 소량의 저비점물질 첨가에 의한 매연저감효과는 연료의 산소 함유량보다는 저비점에 더 강한 영향을 받고 있다. 이상의 결과로부터, 실험에 사용된 모든 합산소 및 비함산소물질을 혼합한 경우에 있어서도 약간의 NOx의 증가가 확인되고 있지만 분사시기를 지연시킨 경우에 열소비율, CO 및 배기매연의 개선효과가 현저하기 때문에 분사시기의 지연에 의한 연소개선 및 배기배출물

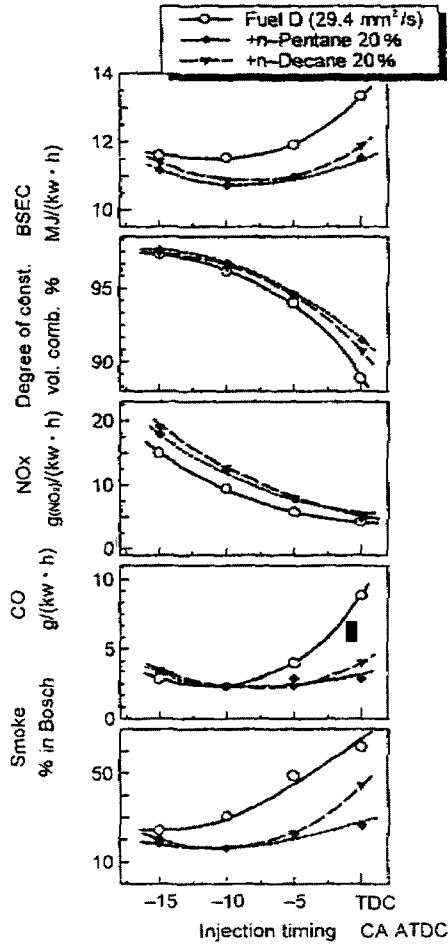


Fig. 6 Influence of n-pentane and n-decane additions on BSEC and exhaust emissions(1320rpm, BMEP = 0.69 MPa)

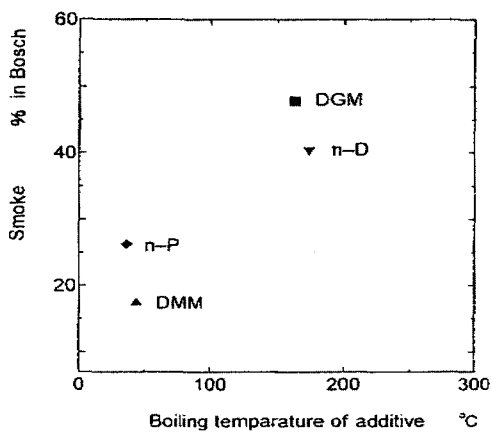


Fig. 7 Relationship between boiling temperature of additive and smoke(Fuel D, 1320rpm, BMEP = 0.69MPa)

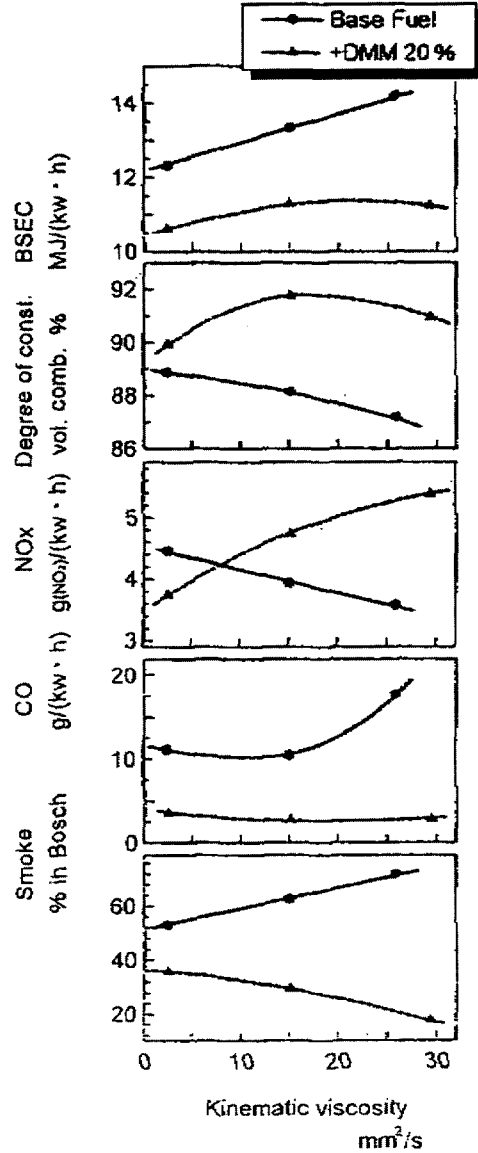


Fig. 8 BSEC, degree of constant and exhaust emissions with and without DMM addition(1320rpm, BMEP = 0.69MPa)

저점이 기대될 수 있다. 또한, 함산소 및 비함산소물질 어느 쪽을 첨가한 경우에 있어서도 고비점의 첨가제보다도 저비점의 첨가제를 혼합했을 때의 연소 개선 효과가 현저하기 때문에 배기특성은 혼합한 연료의 비점에 의존하고 있다고 생각할 수 있다.^{1,2)}

Fig. 8에 동점도가 다른 베이스 연료(Fuel A, B, C, D)에 DMM을 첨가하였을 때의 연소 및 배기특성의

개선효과를 나타냈다. 실험은 DMM을 첨가하지 않은 경우와 DMM을 20vol.% 첨가한 경우에 대해서 분사시기를 TDC까지 지연시켜서 운전을 행했다.

그림으로 볼 수 있듯이, DMM을 첨가한 경우에는 저질유와 비교해서 연료 동점도가 높은 경우에 NOx의 증가가 현저하지만, 열소비율, CO, 등용도 및 배기배연은 연료 동점도의 증가에 따라서 그 개선효과가 현저하다. 특히, 열소비율, 등용도 및 CO에 대해서는 DMM 첨가에 의해 저질유를 연료로 한 경우에도 경유에 가까운 값을 유지하고 있는 것을 알았다.

Fig. 9에 경유, 저질유(Fuel B) 및 저질유(Fuel D)에 DMM을 20vol.% 혼합한 경우에 있어서의 NOx-smoke 트레이드 오프 관계를 나타냈다. 모든 베이스 연료에 대해서 NOx-smoke 트레이드 오프 관계가 명확하게 확인되고 있다. 특히, DMM을 첨가한 경우에는 그 관계가 더욱 개선되어 NOx-smoke의 동시 개선이 가능하게 되었으며 연료분사시기를 지연

시킨 경우에는 DMM을 혼합한 저질유에 있어서 경유를 상회하는 트레이드 오프의 개선이 얻어졌다.

4. 결론

1) 저질유로의 저비점물질 혼합에 의해 열소 비율, 배연 및 CO가 대폭적으로 개선되고 그 효과는 분사시기 지연 시에 현저하였으며, 혼합물질의 비점이 낮을 수록 혼합비율이 클 수록, 또한 비함산소물질보다도 함산소물질에 있어서 각각 현저하였다.

2) 저질유로의 저비점 성분 혼합에 의한 열소 비율의 개선은 주 연소의 활성화와 후 연소기간의 단축에 의한 등용도의 향상 및 연소효율의 증가에 기인한다.

3) 저질유로의 저비점 함산소물질 혼합에 의해 특히, 저부하에서 SOF가 대폭적으로 저감되고 PM은 개선되었다.

4) 저질유에 DMM을 20vol.% 첨가한 연료의 분사시기를 지연시키는 것에 의해서 경유를 상회하는 NOx-smoke 트레이드 오프 관계가 얻어졌다.

References

- 1) H. Ogawa, Md. N. Nabi, M. Minami, N. Miyamoto, B. S. Kim, "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) H. Ogawa, N. Miyamoto, N. Kimura, Y. Hamada, B. S. Kim, "Analysis of Diesel Combustion Flames with Highly Oxygenated Fuels," Proceedings of BUSAN Engine International Symposium 2001, ENSY 2001-CE-TS 22, 2001.
- 3) S. Kajitani, Z. L. Chen, M. Konno, "Engine Performance Exhaust Characteristics of DI Diesel Operated with DME," SAE 972973, 1997.
- 4) N. Miyamoto, H. Ogawa, Md. N. Nabi, K. Obata, and T. Arima, "Smokeless, Low NOx, High Thermal Efficiency, and Low Noise Diesel Combustion with Oxygenated Agents as Main Fuel," SAE 980506, 1998.

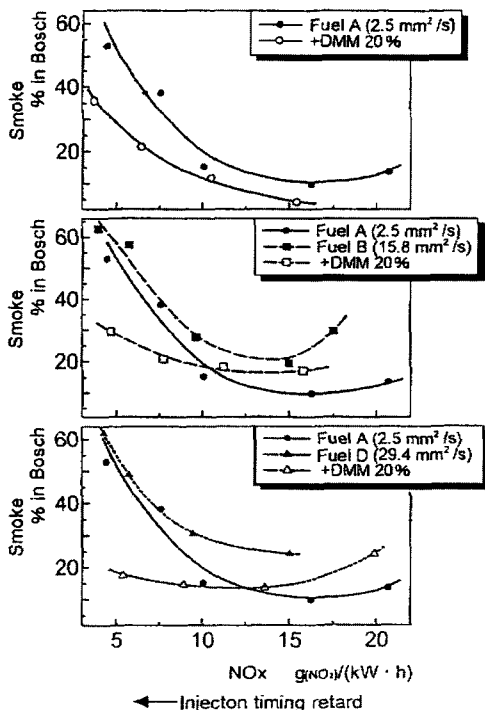


Fig. 9 Trade-off relationship between NOx and smoke with Fuel A, Fuel B and Fuel D+DMM20vol.% (1320rpm, BMEP = 0.69MPa)

- 5) M. Konno, S. Kajitani, M. Oguma, T. Iwase, and K. Shima "NO Emission Characteristics in CI Engine Fueled with Neat Dimethyl Ether," SAE 1999-01-1116, 1999.
- 6) L. Rubino, J. Murray, "The Effects of Oxygenated Fuel Additives on Soot Precursor Formation," SAE 1999-01-3589, 1999.
- 7) N. Miyamoto, H. Ogawa, T. Arima, K. Miyakawa, "Improvement of Diesel Combustion and Emissions with Various Oxygenated Fuel Additives," SAE 962115, 1996.
- 8) Y. T. Oh, S. H. Choi, "An Experimental Study on Exhaust Emission Characteristics by Various Oxygenated Additives in Diesel Engine," Transactions of KSAE, Vol.10, No.3, pp.101-110, 2002.
- 9) S. H. Choi, Y. T. Oh, "The Effect of Cooled EGR and Oxygenate Fuel(EGBE) on the Diesel Engine Performance and Emissions," Transactions of KSAE, Vol.11, No.1, pp.79-86, 2003.