

선박 디젤유 및 선박 디젤유 에멀전을 이용한 자동차용 디젤엔진의 연소특성

박진규* · 오정모* · 김형익* · 이창희** · 이기형*†

* 한양대학교 기계공학과, ** STX 종합기술원

Combustion Characteristics of MDO and MDO Emulsion in Automotive Diesel Engine

Jin Kyu Park*, Jung Mo Oh*, Hyung Ik Kim*, Chang Hee Lee** and Ki Hyung Lee*†

* Dept. of Mechanical Engineering, Hanyang Univ.

** Institute of Technology, STX

(Received May 2, 2012 ; Revised July 16, 2012 ; Accepted July 16, 2012)

Key Words: MDO(Marine diesel oil, 선박 디젤유), ME(MDO Emulsion, 선박 디젤유 에멀전), DO(Diesel oil, 디젤유), Diesel Engine(디젤엔진), Surfactant(계면활성제)

초록: 물 에멀전 연료는 연소과정 중 물의 기화에 따른 증발잠열 흡수로 인한 연소온도 저하와 급격한 증발에 의한 미소폭발로 인하여 연료가 미립화되어 NOx 와 Soot 의 동시 저감이 가능하고, 전처리 및 후처리 기술과 달리 추가적인 장치가 필요하지 않으며, 별도의 개조 없이 기존 디젤엔진에 사용 가능하므로 이에 관한 연구가 주목 받고 있다. 또한 국제유가가 상승함에 따라 기존에 사용되는 연료보다 저등급의 연료를 엔진에 사용하기 위한 적용가능성에 대한 연구가 요구되고 있다. 따라서 본 연구는 기존의 경유보다 저 등급인 선박 디젤유와 물과 선박 디젤유를 혼합한 유중수적형(W/O:water in oil)의 선박 디젤유 에멀전 연료를 자동차 디젤엔진에 적용하여 기본 연소특성 및 배기특성을 파악하였다.

Abstract: A water emulsion fuel can be used to reduce soot and NOx emissions simultaneously because it has a lower combustion temperature and better fuel atomization owing to the evaporative latent heat and microexplosion of water. Moreover, it can be used without making special modifications to conventional diesel engines. Therefore, this fuel has attracted considerable research attention. In addition, lower-grade fuels are being considered for use in conventional engines because of an increase in oil prices. In this study, we investigated the combustion and exhaust characteristics of MDO (marine diesel oil), which has a lower grade than common diesel oil, and ME (MDO water emulsion) under various test conditions in an automotive diesel engine.

1. 서론

전 세계적으로 유한한 화석연료로 인하여 높은 효율을 갖는 엔진 기술과 엔진의 배기가스로 인한 환경오염 증가로 배기규제가 점차 강화됨에 따라 이에 대응하기 위한 유해 배기가스 저감 기술이 필요 시 되고 있다.

디젤엔진은 엔진효율이 높아 연비에 이점이 있고, 가솔린 엔진에 비해 이산화탄소(CO₂) 배출량이 적어 운송수단, 발전설비, 플랜트 등 여러 분야

에서 사용되고 있으나, 연소특성상 NOx(질소산화물) 및 Soot(미연탄소미립자)의 배출량이 문제시 되고 있다. 이를 해결하기 위한 기술로는 커먼레일 고압 연료분사, EGR(Exhaust Gas Recirculation)등의 전처리 기술과 LNT(Lean NOx Trap), DPF(Diesel Particle Filter), SCR(Selective Catalytic Reduction), 등의 후처리 기술 및 물 에멀전 연료(Water emulsion fuel), 바이오 디젤, DME(Dimethyl Ether)등의 대체 연료기술이 있다. 이러한 전처리 및 후처리 기술은 엔진효율과 배기가스 저감의 두 가지 목적을 연관하여 연구가 활발히 진행 중이고 일부는 이미 상용화 된 기술들도 있다. 반면, 대체연료 기술은 기존 상용엔진에 적용하기 위하여 출력저하, 부식

† Corresponding Author, hylee@hanyang.ac.kr

성, 연료 점도 등과 같은 단점을 개선시키기 위한 연구가 활발하게 진행 중이다.

대체연료 기술 중 물 에멀전 연료는 서로 혼합되지 않는 물과 연료에 계면활성제(Surfactant)를 첨가하여 일정한 비율로 한 종류의 액체가 미세한 입자로 다른 액체에 분산되어 있는 상태이다. 이러한 연료에는 물에 연료가 분산된 유중수적형(O/W : Oil in water)과 연료에 물이 분산된 유중수적형(W/O : Water in oil)으로 크게 2 종류가 있으며, 디젤 엔진에 사용하기 위해 에멀전의 점도 및 부식성을 고려하여 유중수적형(W/O : Water in oil)의 에멀전 연료에 대하여 많은 연구가 진행되고 있다.^(1,2) Fig. 1 은 에멀전의 대표적인 형태를 보여주는 그림이다.

물 에멀전 연료는 연소과정 중 물의 기화에 따른 증발잠열 흡수로 인한 연소온도 저하와 급격한 증발에 의한 미소폭발(micro-explosion)에 따라 연료가 미립화되어 NOx 와 Soot 를 동시에 저감 가능하다. 이 외에도 기존의 전처리 및 후처리 기술과 달리 추가적인 장치가 필요하지 않으며, 별도의 개조 없이 기존 엔진에 사용이 가능하므로 이에 관한 연구가 주목 받고 있다.^(2,3) 또한 국제유가가 상승함에 따라 원가절감의 일환으로 엔진이 사용되는 여러 분야에서 기존의 연료보다 저질의 연료를 사용하기 위한 적용가능성이 검토되고 있다.

따라서 본 연구에서는 기존의 경유보다 저 등급인 선박 디젤유와 유중수적형(W/O : Water in oil)의 선박 디젤유 에멀전을 자동차 디젤엔진에 적용하여 기본 연소특성 및 배기 특성을 파악하였다. 위와 같은 연구를 통하여 기존 상용디젤엔진에 대한 저질유의 적용가능성과 물 에멀전 연료에 관한 연소특성을 분석하였다.

2. 실험 장치 및 방법

2.1 실험장치

본 연구에 적용된 실험엔진은 자동차용으로 VGT(Variable Geometry Turbocharger)가 장착된 2.0L

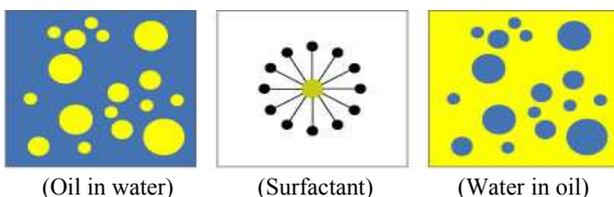


Fig. 1 Type of emulsion⁽¹⁰⁾

급 4 기통 커먼레일 디젤엔진이며 자세한 엔진 제원은 Table 1 과 같다.

Fig. 2 는 연소 해석을 위하여 엔진 동력계에 실험엔진을 설치한 실제 실험장치의 사진이다. 연소 특성은 NO. 1 Cylinder 예열 플러그에 설치한 Kistler 사 압력센서와 엔진축에 설치한 Encoder 에서 발생한 신호를 연소해석기(A&D Technology, inc. E002.0094 CAS system)를 통하여 취득하였으며, 배기가스 데이터는 배기분석계(HORIBA MEXA-8120D)를 이용하여 취득하였다.

Table 2 와 3 은 본 연구에 사용한 동력계와 배기 분석계의 제원이고, 배기온도는 VGT 후단에 온도 센서를 장착하여 측정하였다. 선박 디젤유와 선박 디젤유 에멀전을 위해 별도의 연료 탱크를 제작하였다. 또한, 기존의 표준 연료필터는 유수분리 기능이 있기 때문에 에멀전에서 물의 분리를 회피하기 위하여 유수분리 기능이 없는 필터를 사용하여 연료라인을 추 가로 구성하였고, 연료 소모량은

Table 1 Specifications of engine

Description	Specification
Engine type	4-stroke DI common-rail
Number of cylinder	4
Bore × Stroke (mm)	83 × 92
Displacement volume (cc)	1991
Swirl ratio	1.5 ~ 2.7
Compression ratio	17.3
Connecting rod length	145.8
Valve train	IVO: BTDC 8°
	IVC: BBDC 38°
	EVO: ABDC 52°
	EVC: ATDC 8°

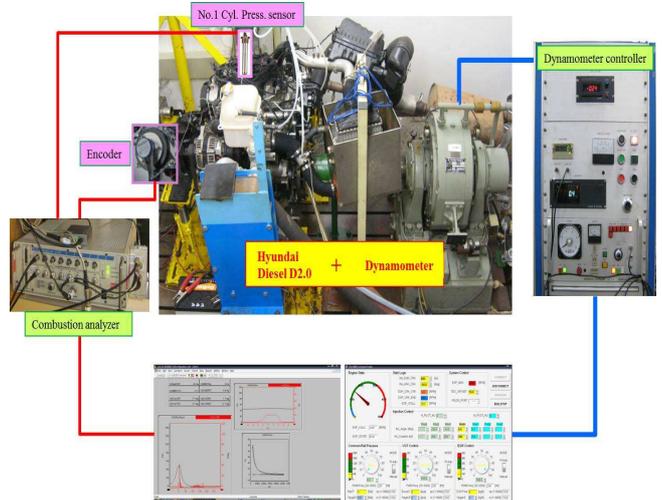


Fig. 2 Photograph of the engine experiment system

Table 2 Specifications of engine dynamometer

Model	FUCHINO ESF-H-150
Type	Eddy current, load cell type
Max. power	110kw at 10000 rpm
	35.8kgm at 970 rpm

Table 3 Specifications of exhaust emission analyzers

Emissions	Measurement principle	Model
NOx	Chemiluminescent	Horiba MEXA-8120D
Soot	Filter Smoke Number	AVL-415S
THC	Flame Ionization Detector	Horiba MEXA-8120D
O ₂ , CO ₂ , CO	Non-Dispersive Infrared Rays	Horiba MEXA-8120D

Table 4 Comparison of diesel oil and MDO

Fuel	Diesel	MDO
Flash point (°C)	62~74	73
Density(g/cm ³)	0.8~0.86	0.882
Kinetic viscosity(mm ² /s)	1.9~4.1	6.3
lower calorific value(kcal/l)	8,500 - 8,700	8,800 - 9,000
Surface tension(mN/m)	27.2	
Boiling point (°C)	180~340	

RHEONIK 사의 유량계(RHE-08)를 이용하여 측정하였다.

Table 4 는 본 기초실험에 사용한 디젤유(DO)와 선박 디젤유의 물성치 비교이다. 발화점과 밀도는 비슷하지만 동점도의 경우 디젤유에 비해 선박 디젤유가 약 50% 정도 높고 발열량도 선박디젤유가 디젤유보다 높다. 따라서 상용자동차의 디젤엔진에 선박 디젤유를 적용함에 있어서 점도변화에 따른 연소특성이 달라질 것으로 예상할 수 있다.

본 연구에 사용된 선박 디젤유 에멀전 연료는 선박 디젤유와 물의 혼합비를 8:2 로 섞어 계면활성제를 사용하여 유중수적형(W/O : Water in oil)의 에멀전 연료로 (ME20%) 제조 하였으며, 한국석유관리원에 선박 디젤유와 ME20%의 성분 분석을 의뢰하여 연료의 성상을 파악하였다. 분석결과는 Table 5 와 6 과 같다.

분석결과 연료에 물이 함유됨에 따라 발열량 감소와 밀도 증가 등 성상의 변화와 물에 의한 미소 폭발 등과 같은 연소과정의 변화로 인한 연료소모량의 증가 및 열발생률, 연소압력, 배기온도등의 연소특성과 NOx, Soot 등의 배기특성의 변화가 있을 것으로 예상된다.

Table 5 Test result of MDO

Item/Classification	Test result
Lower calorific value (J/g)	41 060
Gross calorific value (J/g)	43 670
Moisture (Volume %)	0.5
Sulfur Content (Weight %)	0.15
Ash (Weight %)	0.012
Density @15°C (kg/m ³)	923.6
Deposit (Volume %)	0.06
Copper Strip Corrosion (100°C, 3h)	1
Flash point (°C)	104

Table 6 Test result of ME20%

Item/Classification	Test result
Lower calorific value (J/g)	32 990
Gross calorific value (J/g)	36 050
Moisture (Volume %)	16.8
Sulfur Content (Weight %)	0.10
Ash (Weight %)	0.007
Density @15°C (kg/m ³)	929.7
Deposit (Volume %)	0.07
Copper Strip Corrosion (100°C, 3h)	1
Flash point (°C)	86

2.2 실험방법

ME20%(MDO80% / W20%)의 연소특성을 파악하기 위하여 앞서 실험엔진으로 선정된 상용 자동차 디젤엔진에 선박 디젤유의 적용가능성 여부를 판단하기 위하여 대상엔진의 최대 토크 성능 구간으로 연소가 안정적으로 이루어지며 사용빈도가 빈번한 2500RPM 의 BMEP 3, 6, 9bar 에서 선박 디젤유의 연소특성을 파악 하였다.

ME20%의 연소특성을 파악하기 위하여 최대 토크 성능구간을 포함하며, 실제 운전시 사용빈도가 많은 RPM(1500, 2000, 2500RPM)과 부하조건(BMEP 3, 6, 9, 12bar)을 선정하였고, 엔진제어는 보유 중인 연구 개발용 상용 ECU 를 사용하였다. 이에 따른 엔진실험 조건은 Table 7 과 같다. 연료소모량 실험은 경향성 파악을 위하여 1000RPM 조건을 추가하여 실험을 진행 하였으며 1000RPM 은 최대 토크 성능구간이 아니므로 부하조건을 선정함에 있어 다른 RPM 조건보다 제한적이어서 부하조건을 BMEP 1, 3, 5, 7bar 로 선정하였다.

선박 디젤유 에멀전의 경우 냉간 시동성이 불량하여 선박 디젤유 에멀전 실험전에 디젤유로 엔진을 기동하여 냉각수 온도 80°C까지 워밍업 후 연료라인을 선박 디젤유 에멀전 연료용으로 전환하였고 연료의 온도는 40°C로 일정하게 유지하면서 실험을 진행하였으며, 데이터 취득 전 엔진을 충분히 운전하여 NOx, Smoke 등의 배기수치와 배

기온도 및 연료 유량 등 연소가 안정된 상태에서 연소 및 배기 데이터를 취득하였다.

3. 실험결과 및 고찰

Fig. 3 은 2500RPM 의 3, 6, 9bar 의 실험 조건에서 디젤유와 선박 디젤유의 연소압력과 열발생률을 나타낸 그래프이다. 선박 디젤유가 디젤유보다 모든 부하 구간에서 연소압력이 높고 압력분포가 더 넓게 나타났다. Fig. 3 의 열발생률로부터 연소지연(Ignition delay)은 선박 디젤유가 디젤유보다 지각되며 부하가 증가할수록 그 지각 기간이 감소하여 BMEP 9bar 에서는 거의 비슷해졌다. 이는 선박 디젤유가 디젤유보다 발열량이 높기 때문에 연소압력 면에서 차이를 보이며, 점도와 밀도는 높으나 분사압력이 동일하므로 연료의 미립화가 좋지 못해 착화 지연이 발생한 것으로 판단된다.^(4,5)

Fig. 4 는 Fig. 3 과 동일한 조건에서 NOx 와 Smoke 배출결과를 비교한 그래프이다. 이 결과로부터 알 수 있는 바와 같이 NOx 는 두 경우에 큰 차이를 보이지 않지만, Smoke 의 경우는 저 부하시 선박 디젤유가 디젤유보다 높은 배출수준을 나타낸다. 이를 통하여 상용 디젤엔진에 디젤유보다 등급이 낮은 선박 디젤유를 적용하여도 연소가 가능한 것으로 판단되며, 선박 디젤유를 다른 대체 연료와 혼합하거나 선박 디젤유 연료 성상에 맞는 분사전략을 세우면 기존 상용디젤 엔진에 구조변경 없이 적용이 가능할 것으로 기대된다.

Table 7 Engine test condion

Fuel	DO, MDO, ME20%			
RPM	1000	1500	2000	2500
BMEP	1,3,5,7bar	3,6,9,12 bar		

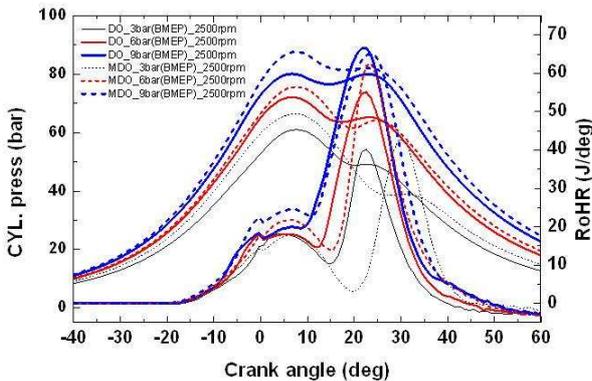


Fig. 3 Combustion characteristics of DO & MDO

Fig. 5 는 BMEP 6bar, 각 RPM 조건에서 선박 디젤유와 ME20%의 연소압력을 비교한 그래프이고, Fig. 6 은 2000rpm, 각 부하조건에서 선박 디젤유와 ME20%의 열발생률을 비교한 그래프이다. 연소압력과 열발생률의 경우 모든 실험조건에서 ME20%가 선박 디젤유보다 높다. 이는 ME20%에 함유된 물의 증발로 인한 미소폭발에 의해 미립화된 연료가 연소를 촉진시킨 것으로 판단된다.⁽⁶⁾ Fig. 6 의 열발생률 패턴으로부터 부하가 증가함에 따라 연소실내의 온도가 증가되어 예멸전에 열의 흡수가 용이해짐으로써 공기와 연료의 혼합형성시간이 단축되어 연료착화가 선박 디젤유보다 빨라지는 경향을 볼 수 있다. 이러한 결과는 실험에 사용된 엔진이 선박 디젤유에 최적화 되지 않은 자동차용 엔진이므로 선박 디젤유가 디젤유보다 점도가 높은 등 물성치가 달라서 선박 디젤유는 연소 시 연소가 제대로 이루어 지지 않았으나 ME20%의 경우 물의 증발에 따른 연료의 미립화 등^(2,3,7) 연소특성을 향상시켜 연소압력과 열발생률에 영향을 미친 것으로 판단된다.

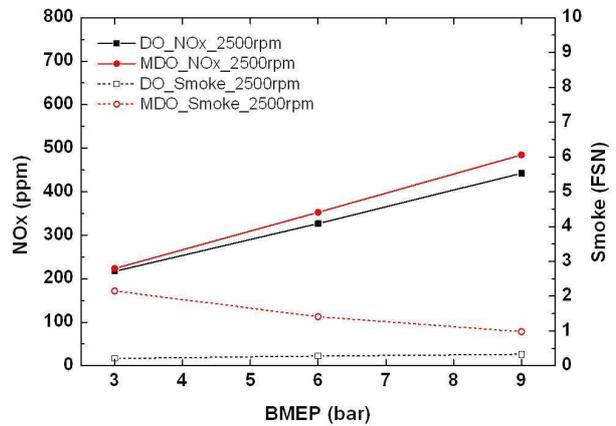


Fig. 4 NOx and smoke of DO & MDO

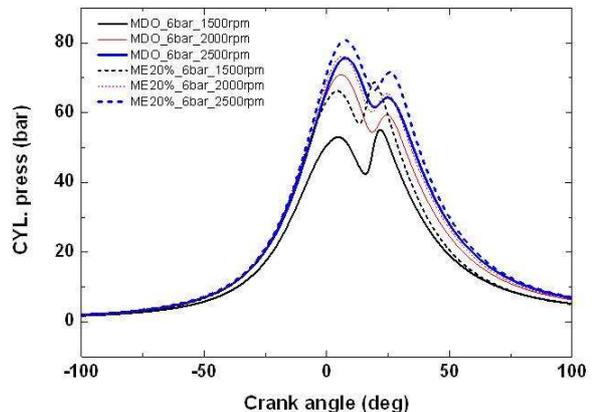


Fig. 5 Cylinder pressure of MDO & ME20%

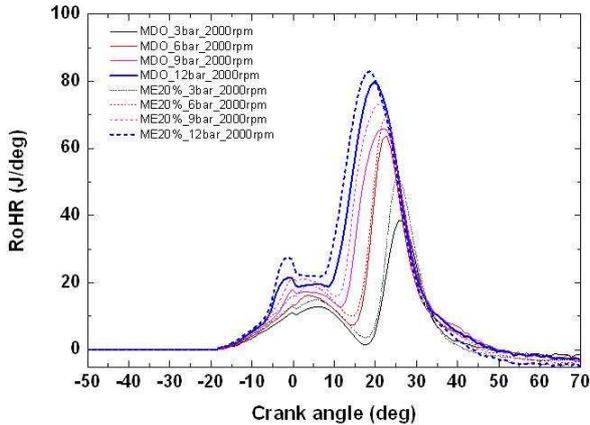


Fig. 6 Rate of heat release of MDO & ME20%

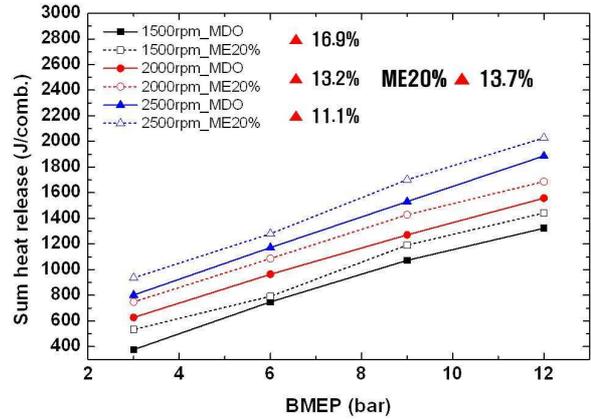


Fig. 8 Sum heat release of MDO & ME20% during combustion

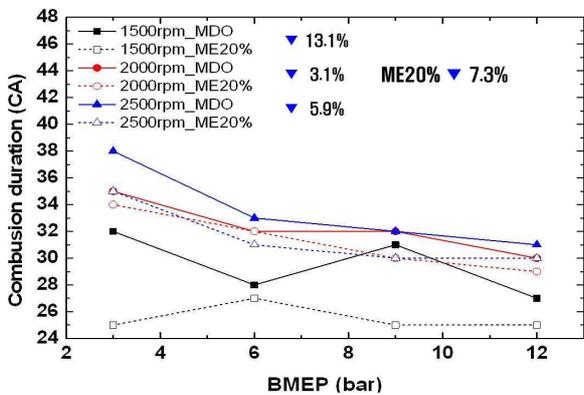


Fig. 7 Combustion duration of MDO & ME20%

Fig. 7은 각 실험조건에서 선박 디젤유와 ME20%의 연소기간을 비교한 그래프이다. MBF(Mass Burned Fraction)의 0~10%는 점화지연기간으로 90~100% 구간은 열발생률에서의 오차율을 감안하여 제외한 MBF의 10~90%를 연소기간으로 하였다.⁽⁸⁾ ME20%의 연소기간이 선박 디젤유의 연소기간보다 평균 7.3% 정도 짧다. 이는 ME20%에 함유된 물의 증발에 따른 연료의 미립화 효과와 미소 폭발 후 급격한 연소로 인하여 연소 기간이 단축되었기 때문으로 판단된다.

Fig. 8은 모든 실험조건에 연소기간 중 발생한 ME20%와 선박 디젤유의 총 열발생량을 비교한 그래프이다. 총열발생량은 ME20%가 선박 디젤유보다 평균 13.7% 정도 많음을 알 수 있다. 이러한 결과로부터 ME20%에 함유된 물의 미소폭발로 인한 연료의 미립화로 연료의 표면적이 증가하여 연소가 향상되어 짧은 연소기간에도 선박 디젤유보다 많은 열을 발생시키는 것으로 판단된다.⁽⁹⁾ 열발생량은 RPM 및 부하증가에 따라 증가한다. 이는 Fig. 9, 10의 연료소모량 및 한번 연소당 연료량을 보면 RPM 및 부하의 증가에 따라 공급 연료량이 증가하여 열발생량이 증가하는 것으로 판단된다.

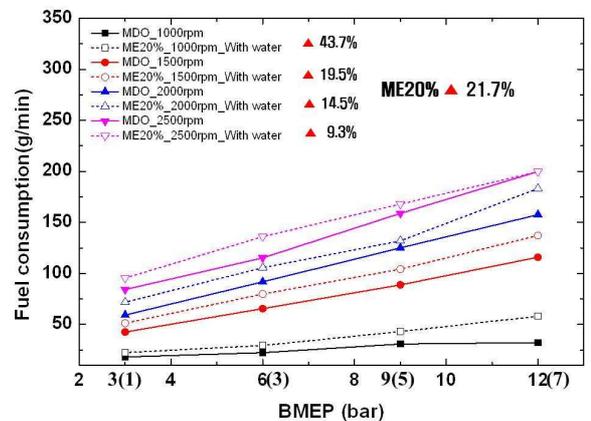


Fig. 9 Fuel consumption of MDO & ME20% (with water)

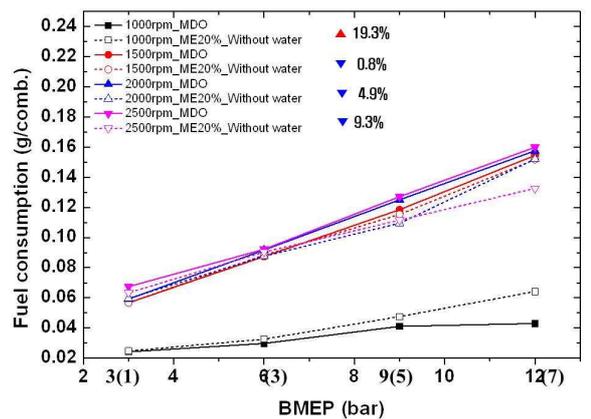


Fig. 10 Fuel consumption of MDO & ME20% during combustion (without water)

Fig. 9는 ME20%와 선박 디젤유의 연료소모량을 비교한 결과로서 모든 실험조건에서 ME20%의 소모량은 선박 디젤유보다 평균 21.7% 많게 나타났다. 각 RPM 조건에서 ME20%의 연료소모 증가량은 1000RPM : 43.7%, 1500RPM : 19.5%, 2000RPM :

14.5%, 2500RPM : 9%로서 엔진의 회전수가 증가함에 따라서 연료소모 증가율이 감소하고 있으며, 엔진의 실제사용 빈도가 많은 1500 ~ 2500RPM 구간에서는 ME20%의 소모량은 선박 디젤유보다 평균 14.4%증가한다. 저 RPM 에서는 고 RPM 보다 연소온도가 낮아 ME20%에 함유된 물의 증발 및 미소폭발이 원활하지 못해 연소가 불안정하여 ME20%의 연료소모 증가량이 큰 것으로 판단된다.

Fig. 10은 ME20%의 물 함유량을 제외한 ME20%와 선박 디젤유의 순수 연료의 한번 연소당 소모량을 비교한 그래프이다. 물의 함량은 제조시 혼합량이 아닌 한국석유관리원의 분석결과인 17%를 제외하여 비교하였다. ME20%의 한번 연소당 순수 연료소모량을 선박 디젤유와 비교시 1000RPM에서는 19.3% 증가하나, 1500, 2000, 2500RPM에서는 반대로 -0.8%, -4.9%, -9.3%로 ME20%의 순수 연료소모량이 선박 연료유보다 적다. 엔진 회전수가 증가함에 따라서 ME20%의 순수 연료소모량이 감소되며 1500RPM 이상의 조건에서는 선박 디젤유의 순수 연료 소모량보다 적으며, 고속영역으로 갈수록 연료소모 감소율이 커진다. 연소특성 실험 구간인 1500 ~ 2500RPM 구간에서 ME20%의 한번 연소당 순수 연료소모량은 선박 디젤유보다 평균 5.0%적다. 이와 같이 연소특성 실험구간에서 ME20%의 총 연료 소모량은 선박 디젤유보다 많으나, ME20%의 물 성분을 제외한 순수 연료 소모량이 선박 디젤유보다 적은 것은 ME20%에 포함된 물의 미소폭발의 효과로서 연료의 미립화로 표면적이 증가하여 연소가 향상되어 더 짧은 연소기간과 더 적은 순수 연료량으로도 더 많은 열을 발생하기 때문으로 판단된다.

Fig. 11은 각 실험조건에서 ME20%와 선박 디젤유의 NOx 을 비교한 그래프이다. ME 20%는 대부분의 실험조건에서 NOx 수치가 선박 디젤유보다 적다. 이는 ME20% 연소 시 물이 증발 잠열을 흡수함으로써 연소온도가 낮아지고, 미소폭발로 인하여 연소가 향상되어 연소기간이 짧아져 NOx 생성이 저하 되는 것으로 판단된다. ME20%는 선박 디젤유보다 평균 20%정도 NOx 가 저감된다.

Fig. 12는 각 실험조건에서 ME20%와 선박 디젤유의 Smoke 를 비교한 그래프이다. 모든 실험조건을 통하여 ME20%의 Smoke 가 선박 디젤유보다 평균 71.2%적게 나타났다. 이는 물의 증발, 급속한 미소폭발로 인한 연료 입자의 미립화 및 분무의 부피팽창과 화염 확산속도 증가와 분무 내 공기의 Swirl 증가로⁽²⁾ 연소가 향상되기 때문에 Smoke 가 저감되는 것으로 판단된다.

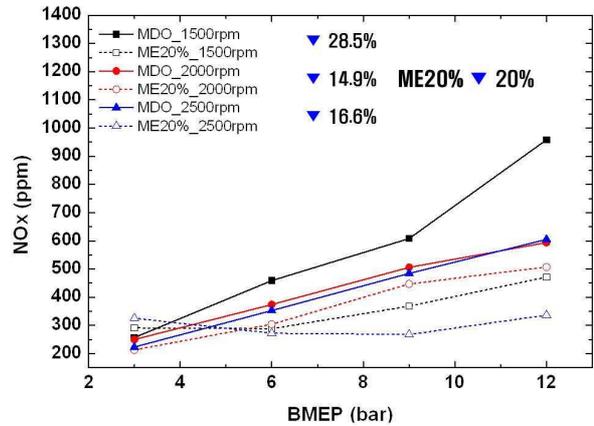


Fig. 11 NOx of MDO & ME20%

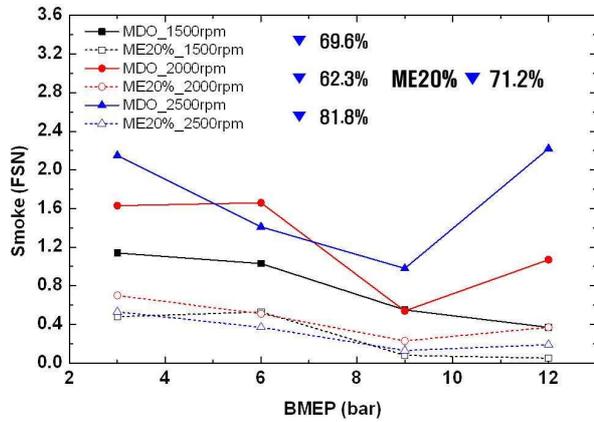


Fig. 12 Smoke of MDO & ME20%

4. 결론

본 연구에서는 기존의 디젤유보다 저질 연료인 선박 디젤유와 유중수적형(W/O:water in oil)의 선박 디젤유 에멀전을 자동차용 디젤엔진에 적용하여 기본 연소 특성과 배기 특성을 파악하였다. 이러한 실험결과로부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 선박 디젤유 적용가능성 실험결과, 2500RPM의 3, 6, 9bar에서 연소압력과 열 발생률은 선박 디젤유가 디젤유보다 높고, 연소 지연(Ignition delay)은 선박 디젤유가 늦으며 NOx 와 Smoke 는 선박 디젤유가 약간 높다.
- (2) 연소 압력과 열 발생률의 경우 실험 조건에서 ME20%가 선박 디젤유보다 높고, 연소 기간은 짧다. ME20%의 연소기간은 7.3% 짧고 연소기간 중 총열발생량은 13.7% 많다.
- (3) ME20%의 연료 소모량은 연소특성 실험조건으로 엔진의 실제 사용빈도가 많은 1500 ~ 2500RPM 구간에서 선박 디젤유보다 14.4% 증가

하나, 물 함유량을 제외한 순수 연료 소모량은 5.0% 적다.

(4) ME20%는 선박 디젤유보다 평균 20%정도 NOx 가 저감되며, ME20%의 Smoke 는 선박 디젤유보다 평균 71.2%적게 나타났다.

이상과 같은 결과는 선박 디젤유 에멀전에 함유된 물의 증발과 급속한 미소폭발에 의한 연료의 미립화와 증발잠열 흡수 등에 기인하여 나타났다고 판단된다. 따라서 상용디젤 엔진에 선박 디젤유를 다른 대체연료와 혼합하거나 선박 디젤유 성상에 맞는 분사전략을 세워 적용하면 연비 및 배기저감에 경제성 있게 사용가능 할 것으로 기대된다.

후 기

이 연구는 (주) STX 종합기술원의 "Urea-SCR 촉매 후단의 균일도 측정" 과제의 일부로 수행되었으며, 연구비 지원에 감사 드립니다.

참고문헌

- (1) Kadota, T. and Yamasaki, H., 2002, "Recent Advances in the Combustion of Water Fuel Emulsion," *Progress in Energy and Combustion Science*, Vol. 28, Issue 5, pp. 385~404.
- (2) Andrea, B., Renxian, L. and Konstantinos, B., 2003, "Influence of Water-Diesel Fuel Emulsions and EGR on Combustion and Exhaust Emissions of Heavy Duty DI-Diesel Engines Equipped with Common-Rail Injection System," SAE Technical Paper 2003-01-3146.
- (3) Hironori, S. and Koji, U., 2001, "Feasibility Study on the Utilization of Water-in-Oil Type Emulsified Fuels to Small DI Diesel Engines," *JSAE* 20119602.
- (4) Puhan, S., Jegan, R., Balasubramanian, K. and Nagarajan, G., 2009, "Effect of Injection Pressure on Performance, Emission and Combustion Characteristics of High Linolenic Linseed Oil Methyl Ester in a DI Diesel Engine," *Renewable Energy*, Vol. 34, Issue 5, pp. 1227~1233.
- (5) Hountalas, D.T., Kouremenos, D.A., Binder, K.B., Schwarz, V. and Mavropoulos, G.C., 2003, "Effect of Injection Pressure on the Performance and Exhaust Emissions of a Heavy Duty DI Diesel Engine," SAE Technical Paper, 2003-01-0340.
- (6) Selim, M. Y. E. and Ghannam, M. T., 2010, "Combustion Study of Stabilized Water-in-Diesel Fuel Emulsion," *Energy Sources*, Part A, 32 : 256~274.
- (7) Masatoshi, I., Koji, Y., Akira, I. and Hideo, S., 2011, "Study on Performance of Diesel Engine Applied with Emulsified Diesel Fuel," *JSAE* 20119606.
- (8) Yusuf, A., Milford A. H. and Joseph E. B., 1996, "Effect of Alternative Diesel Fuels on Heat Release Curves for Cummins N14-410 Diesel Engine," *ASABE*, Vol. 39, (2).
- (9) Leung, P., Tsolakis A. and Wyszynski, M. L., Rodríguez-Fernández, J. and Megaritis, A., 2009, "Performance, Emissions and Exhaust-Gas Reforming of an Emulsified Fuel: A Comparative Study with Conventional Diesel Fuel," SAE 2009-01-1809.
- (10) www.surfchem.co.kr