

〈技術論文〉

디젤 기관의 연소와 배출물에 관한 연구

— 경유-물의 유화연료사용시 —

조진호* · 김형섭** · 박정률*

(1991년 7월 19일 접수)

A Study on Combustion and Exhaust Emissions of Diesel Engine

— For Gas Oil-Water Emulsified Fuel —

Jin-Ho Cho, Hyung-Sup Kim and Jung-Yul Park

Key Words : Emulsified Fuel(유화연료), Smoke(매연), Sauter(사우터), HLB(Hydrophile Lipophile Balance), W/O(Water in Oil), O/W(Oil in Water)

Abstract

By means of the compatibility according to solving environmental pollution and energy problem due to the emissions of NO_x and smoke from diesel engine this paper experimentally inspected the effect of using emulsified fuel, gas oil-water, for combustion characteristic, that is combustion pressure, pressure rise rate, heat generating rate, the period of ignition delay and specific fuel consumption, and CO, HC, NO_x concentration and smoke density. When using emulsified fuel, as a water addition rate was increased, combustion pressure, pressure rise rate and heat generating rate was increased, the period of ignition delay was lengthening, the specific fuel consumption was some what increased in contrast to diesel fuel in low load, but decreased in high load region. And NO_x concentration was decreased, CO concentration was increased in low load, but decreased in high load region, HC concentration was increased in contrast to diesel fuel in all region.

1. 서 론

디젤 기관은 연료의 경제성으로 인한 이점으로 중수송 분야를 비롯한 여러 분야에 걸쳐 널리 사용되고 있다. 그러나 가솔린 기관에 비하여 디젤 기관은 CO, HC의 배출 농도는 낮으나 NO_x의 배출량이 많고 또한, 매연의 배출로 인한 환경오염이 문제점으로 지적되고 있다. 그리고 석유자원은 유한하나 최근 석유계 연료의 사용량이 급증되고 있어 에너지 문제가 심각히 대두되고 있다. 따라서

석유계 연료의 유한성에 따른 대체 연료 및 저공해 연료를 개발하기 위한 연구가 진행되어 저질유⁽¹⁾, 알콜 등 저 세탄 가 연료와의 혼합⁽²⁾, 알콜 퓨미게이션 법⁽³⁾, 식물유⁽⁴⁾, 흡기관내 수분사⁽⁵⁾, 경유-물의 유화연료⁽⁶⁾ 등을 사용하는 방식이 보고되었다. 그 가운데 유화연료를 사용하는 경우 이는 연소효율이 높으며, 배출 가스 중 NO_x 및 매연의 농도가 동시에 저감되므로 대단히 유용한 것으로 보고되었다.^(6~12)

따라서 본 연구에서는 와류실식 디젤 기관에 경유-물의 유화연료 사용시 기관의 회전속도(1500rpm)가 일정한 경우 물의 첨가량(체적비, 0~20%)과 기관의 부하(BMEP, 2.1~7.5kg/cm²) 변화에 따른

*정회원, 한양대학교 공과대학 기계공학과

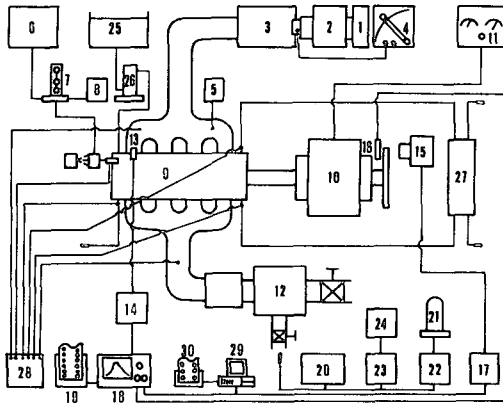
**정회원, 아주대학교 공과대학 기계공학과

연소실내 압력, 압력상승률 및 열발생률, 착화지연 시간, 연료소비율 등의 연소특성과 CO, HC, NOx 및 매연의 배출농도 등 유해 배출 가스에 미치는 영향에 관하여 실험적으로 구한 것이다.

2. 실험장치 및 실험방법

2.1 실험장치

실험 장치는 디젤 기관을 비롯하여 흡기계, 배기계, 냉각계, 동력측정계, 연소특성 분석계, 배출



1. Heater
2. Humidifier
3. Inlet air surge tank
4. Inclined manometer
5. Hydrometer
6. Fuel tank
7. Burette
8. Fuel consumption meter
9. Diesel engine
10. Eddy current dynamometer
11. Current controller
12. Exhaust gas surge tank
13. Pressure transducer
14. Charge amplifier
15. Projector
16. Receiver
17. Source of electricity focus
18. Combustion analyzer
19. Graphic printer
20. CO-HC analyzer
21. Standard gas
22. Nox analyzer
23. Smoke meter
24. Air compressor
25. Cooling water tower
26. Rotary flowmeter
27. Engine oil cooling system
28. Digital thermometer
29. IBM-PC/386
30. Line printer

Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus

Table 1 Specification of engine

Engine type	Water cooled, 4 Cycle, 4 Cylinder, Turbulence Com. Cham. Diesel Engine		
Piston displacement cc	2184		
Bore×Stroke mm	86.0×94.0		
Connecting rod length mm	157.0		
Max. output ps/rpm	72/4250		
Max. torque Kg-m/rpm	14.7/2500		
Valve timing	Intake	I.V.O.	13° BTDC
		I.V.C.	39° ABDC
	Exhaust	E.V.O.	60° BBDC
		E.V.C.	8° ATDC

가스 농도 측정계로 구성되어 있으며, 이의 개략도는 Fig. 1과 같다.

실험에 이용된 기관은 수냉, 4행정 4실린더, 와류실식 디젤 기관이며, 그 주요 제원은 Table 1과 같다.

흡기계는 가열기, 가습기, 흡기 서지 탱크, 경사 마노메타, 습도계로, 냉각계는 분무기, 윤활유 냉각기, 로타리 유량계, 디지털 온도계 (2176A OMEGA) 로, 동력 측정계는 와전류형 동력계 (DG-104, TOLEDO), 전류조절 장치, 회전속도계 (FT-243, ONO SOKKI)로 각각 구성되어 있다. 그리고 연소 분석계는 압력변환기 (601A, KISTLER), 차지 앰프 (5007, KISTLER), 전원 포커스 (PA-500, ONO SOKKI), 발광기, 각도 분할기, 수광기 (PP-935, ONO SOKKI), 연소 해석기 (CB-366, ONO SOKKI), 그래픽 프린터 (RQ-411, ONO SOKKI), 라인프린터 (LQ-1050, EPSON), IBM-PC/386로, 또한 배출 가스 분석계는 CO-HC 분석기 (MEXA-441F, HORIBA), NOx 분석기 (ENOA-102, HORIBA), 배기 매연 분석기 (409, AVL), 표준 가스, 공기 압축기로 각각 구성되어 있다.

2.2 실험 방법

실험은 연료의 분사시기와 기관의 회전속도가 각각 BTDC 14°, 1500rpm인 경우 부하(BMEP=2.1

~7.5kg/cm²) 및 유화연료의 물 첨가비율의 변화에 따른 기관의 성능, 연소특성, 그리고 유해 배출 농도를 측정하였다.

이 때 기관의 운전은 동력계의 전류와 연료분사 펌프의 락 위치를 조절하여 본 연구의 운전 조건인 기관의 회전속도 1500rpm과 일정 부하로 유지하였다. 기관으로 흡입되는 흡기의 온도와 습도는 가열기와 가습기를 이용하여 25±1°C, 35±1%로, 연료 온도는 분사 펌프에 물을 분무기로 분사시켜 35±1°C로, 그리고 냉각수 온도는 로타리 유량계의 유량 조절 밸브를 이용하여 85±1°C, 또한 윤활유 온도는 윤활유 냉각기의 유량을 조절하여 90±1°C로 일정하게 유지하였다.

실린더내의 압력($p-\theta$)은 크랭크 각도 1°마다 압력변환기로 부터 연소해석기에서 360 사이클 연속적으로 수집하였다. 그리고 연소특성 해석 및 기록은 연소해석기의 시리얼 포트를 통해 압력 데이터($P-\theta$)를 컴퓨터에서 전송받아 데이터 처리 프로그램으로 $P-\theta$ 선도, 열발생률 선도, 압력상승률 선도, 착화지연기간 등을 구하였다.

3. 유화연료의 제조법 및 성질

3.1 유화연료 제조법

(1) 유화제 (surfactant)

유화제는 그 분자 구조상 기름에 용해되기 쉬운 친유기와 물에 용해되기 쉬운 친수기를 가지고 있다. 따라서 이는 분산상(dispersed phase or internal phase) 입자의 계면에 응집(coalescence)하여 분산상 입자와 연속상(continued phase or external phase) 입자 사이의 계면장력을 작게한다. 이로써 분산상의 기계적 미립자화를 용이하게 하는 동시에 생성된 유화유의 계면 자유 에너지를 작게하여 열역학적 불안정도를 감소시킨다. 그리고 유화제는 그 분자 구조에 따라서 W/O형(water in oil)과 O/W형(oil in water)이 있으며, W/O형을 형성시키는 유화제는 그 분자내에 친유기가 친수기보다 큰 경우($HLB < 7$)이고, O/W형은 그 반대의 경우($HLB > 7$)⁽¹¹⁾이다. 그러므로 연료의 물리적, 화학적 특성에 따라 적절한 유화제를 선정하여야 하고, 또 그 량을 결정하여야 한다.

따라서 본 연구에서 유화제의 선정은 친유기와 친수기를 동시에 내포하고 있다는 것에 근거를 둔 HLB(hydrophile lipophile balance)가 방법에 따

랐으며, 유화제로 Span 80(sorbitan monooleate, HLB가 = 4.3, Sigma Chemical Co.)과 Tween 85 (polyoxyethylene sorbiten trioleate, HLB가=11, Sigma Chemical Co.)를 중량비 3 : 1로 혼합하여 사용하였다.

3.2 교반기 및 교반방법

유화연료의 제성상은 혼합온도 및 교반방법 등에 따라 달라진다. 특히 터빈 블레이드식 교반기와 같이 기계적 교반방법에 의한 혼합방식의 경우에는 교반량 및 교반시간, 터빈 블레이드의 회전속도 및 잠긴 깊이 등의 영향을 받게 된다.

따라서 본 연구에서는 Fig. 2에서와 같이 높이 300mm, 직경 200mm인 원통형의 교반 탱크에 와

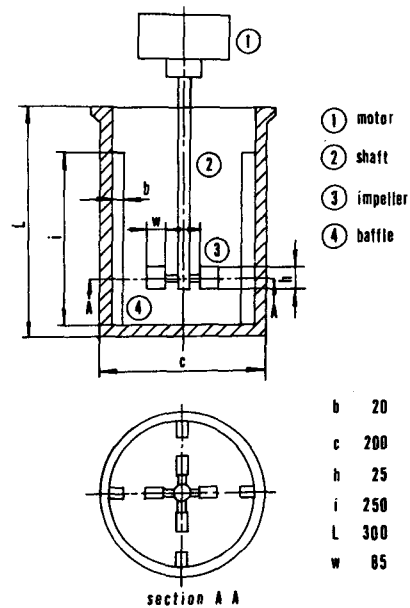


Fig. 2 Apparatus of agitator

Table 2 Specification of emulsified fuel

W/O (%)	Gas Oil (ml)	Water (ml)	Surfactant (ml)	Specific Weight
0	100	0	0	0.856
10	100	10	2	0.868
15	100	15	2	0.875
20	100	20	2	0.882

류 유동을 일으켜 교반효과를 높이기 위하여 폭 20mm인 베플 4개를 원통에 고정시키고 폭 25mm 길이 85mm인 회전날개를 축에 부착한 교반기를 제작하여 사용하였다. 교반방법은 경유의 2%(체적비)의 유화제를 경유에 첨가한 후, 정하여진 물의 양(경유의 10, 15, 20%)을 첨가하여 2150rpm으로 20분간 교반하였다.

3.3 유화연료의 성상

유화연료는 교반 직후 수초내에 우유빛의 백색 에멀전 상태로 되었다. Table 2에서와 같이 경유에 대한 물의 첨가 비율이 높아짐에 따라 유화연료의 비중은 증가함을 볼 수 있으며, 상온(18°C)에서 점도를 측정(YOSHIDA)한 결과 Fig. 3에서 보는 바와 같이 점도 변화는 거의 없다.

그리고 Fig. 4에서 보는 바와 같이 교반된 유화연료를 시험관 속에 넣고 시간의 경과에 따른 상분

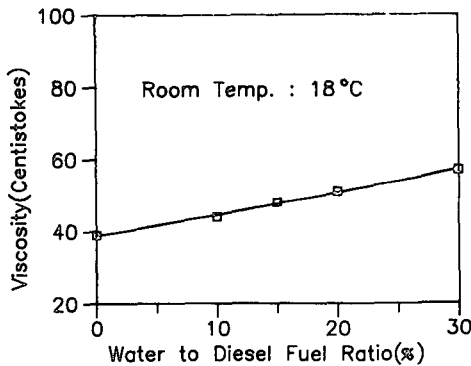


Fig. 3 Viscosity variation under varied water to gas oil rate of emulsion

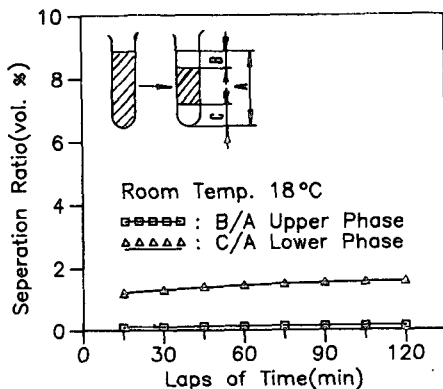


Fig. 4 The stability of the emulsion of water to gas oil ratio

리를 측정한 결과 HLB가 4.3은 2시간 이내에는 거의 상분리가 일어나지 않으나, HLB가 4.3보다 크거나 작은 경우에는 에멀전의 상층 및 하층에 분리가 일어남을 볼 수 있다. 이상의 결과로부터 HLB가 4.3인 유화제를 사용하여 교반하는 경우 2시간 이내에는 분리가 일어나지 않는 안정성이 큰 물-경유의 유화연료를 제조할 수 있다.

4. 실험결과 및 고찰

본 실험에 사용한 유화제는 sorbitan과 각종 지방족의 에스테르(ester) 화합물로 이루어져 있으며, 구조적으로는 C,H,O의 각 원소로 구성되어 있는 복잡한 이성체의 화합물이다. 이러한 구조의 유화제는 220~350°에서 대부분 CO₂와 H₂O로 분해되지만 탄분이 0.2~0.3% 정도 배출된다. 그러나 본 실험에서 사용된 유화제의 첨가량은 미량(체적비로 경유의 2%)이므로 유화제의 첨가로 인한 연료소비율과 출력, CO, HC, NO_x 및 매연의 생성농도에 미치는 영향은 거의 없는 것으로 가정하였다.

기관의 부하를 변화(1500rpm, BMEP=2.1~7.5 kg/cm²)시켜 운전하는 경우 유화연료의 물 첨가 비율에 따른 연소실내 연소압력, 압력상승율, 열발생율, 연소최고압력, 연료소비율 및 착화지연기간 등 연소특성과 유해 배출 가스인 CO, HC, NO_x 및 매연의 배출 농도에 미치는 영향에 관하여 실험적으로 구하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

4.1 유화연료의 물 첨가비율 및 부하 변화에 따른 연소특성

(1) 연소실내의 압력, 압력상승률 및 열발생률

Fig. 5는 BMEP=7.5kg/cm², 연료의 분사시기가 BTDC 14°, 그리고 기관의 회전속도가 1500rpm인 경우에 유화연료의 물 첨가비율에 따른 연소실내의 압력을 나타낸 선도이며, Fig. 6과 Fig. 7은 이 때 압력상승률 및 열발생률의 경과를 나타낸 선도이다. 선도에서 보는 바와 같이 유화연료의 물 첨가 비율이 높으면 연소실내의 최고압력이 높게 나타나며, 그리고 착화지연기간의 증대로 인하여 압력상승률과 예혼합연소기간에 있어 열발생율이 다소 높게 나타나고, 또한 경유로 운전하는 경우에 비하여 거의 차가 없음을 알 수 있다. 본 실험에서 사용한 유화연료는 HLB가 7 이하이므로 연속상인 오일 내에 분산상인 물이 들어가 있는 W/O형이다. 따

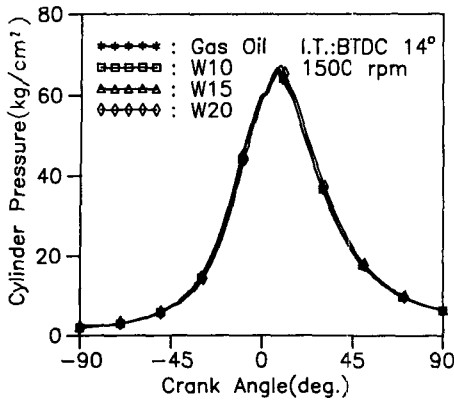


Fig. 5 Effect of water to gas oil ratio on cylinder pressure at 1500rpm

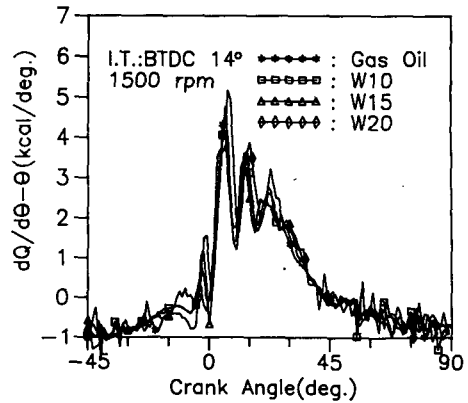


Fig. 7 Effect of water to gas oil ratio on rate of heat release at 1500rpm

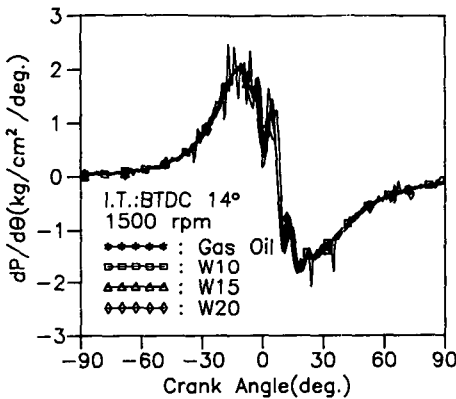


Fig. 6 Effect of water to gas oil ratio on rate of pressure rise at 1500rpm

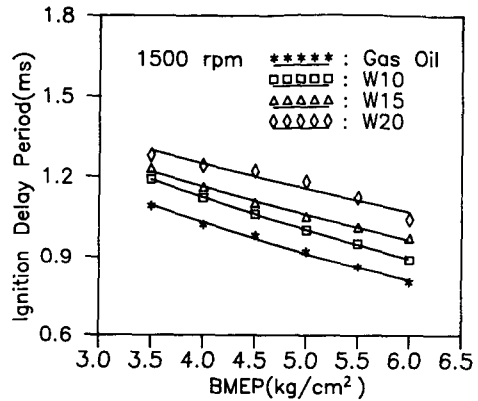


Fig. 8 Effect of engine load on ignition delay for different W/O emulsions at 1500rpm

라서 연소압력, 압력상승률 및 열발생률이 물 첨가 비율의 증가와 함께 다소 높게 나타나는 것은 ① 유화연료 중의 미세한 물 입자가 급속한 기화로 인하여 체적팽창, 즉 미세폭발에 의한 연료 유적의 재미립화와 분무의 운동량 증가로 인한 공기와 연료의 혼합이 촉진되므로 연소가 급속하게 일어나게 되고, ②착화지연기간이 보다 길어짐으로 인하여 이 기간중에 증발된 저온의 연료증기의 축적량이 많아져서 급속한 연소가 일어나기 때문이라고 판단된다.

(2) 착화지연기간

Fig. 8은 기관의 회전속도가 1500rpm인 경우 유화연료의 물 첨가비율 및 부하 변화에 따른 착화지연기간을 시간으로 나타낸 것이다. 선도에서 보는 바와 같이 동일한 부하인 경우 물 첨가비율이 높아

질수록 착화지연기간이 길어짐을 알 수 있다. 유화연료의 물 첨가비율이 높아지면 동점도가 증가⁽¹¹⁾되어 사우터의 평균 입경이 커지게 되며⁽¹²⁾, 물리적 측면의 착화지연 기간 중에서 유럽의 증발시간은 유럽의 적경의 제곱에 비례한다. 따라서 사우터의 평균 입경 증대로 인한 유럽의 증발시간 증가와 유화연료 중 수분의 증발에 의한 온도 강하로 인하여 착화지연기간이 길어지는 것으로 판단된다.

4.2 연료소비율

Fig. 9는 기관의 회전속도 1500rpm인 경우 유화연료의 물 첨가비율 및 부하 변화에 따른 연료소비율을 나타낸 것이다. 선도에서 보는 바와 같이 물의 첨가비율이 높을 수록 저부하 영역에서는 유화연료가 경유에 비하여 연료소비율이 다소 높게 나

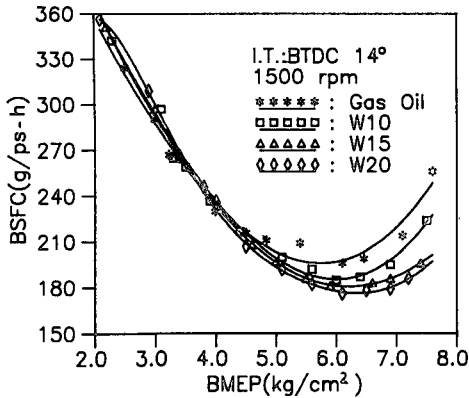


Fig. 9 Effect of engine load on BSFC for different W/O emulsions at 1500rpm

타나게 되지만 고부하 영역에서는 낮아짐을 알 수 있다. 유화연료 사용시 연료소비율이 저감되는 이유는 다음과 같이 추론할 수 있다.

- (1) W/O형 에멀전 중 물 입자의 급속한 체적팽창, 즉 미세폭발에 의한 분무유적의 미세화
- (2) 분무의 관통력 증가에 의한 분무내의 공기도입 효과⁽¹⁰⁾
- (3) 물 함유로 인한 분무내의 국소 공기과잉율의 증대⁽¹⁰⁾
- (4) 착화지연기간 증대로 인한 예혼합 연소량의 증가
- (5) 연소온도의 저하 및 휘염의 감소로 인한 냉각손실의 저감
- (6) 연소온도 저하로 인한 열해리의 억제⁽⁹⁾
- (7) 연료 중 물 입자가 증가되면 연소 가스의 진물수가 증가⁽¹⁰⁾되므로 ① (1)~(4)의 효과에 의해 연소실내에 분사되는 연료와 공기의 혼합이 촉진되어 연소가 빠르게 진행되어 연소효율 및 등용도 증대와 더불어 ② (5) (7)의 효과로 인하여 연료소비율이 저감된다고 판단된다.

4.3 유화연료의 물 첨가비율 및 부하 변화에 따른 배출 가스 농도

(1) NOx의 배출농도에 미치는 영향

Fig. 10은 기관의 회전속도가 1500rpm인 경우 유화연료의 물 첨가비율과 부하 변화에 따른 NOx의 배출농도를 나타낸 것이다. 선도에서 보는 바와 같이 물의 첨가비율이 높아짐에 따라 NOx 배출농도가 낮아짐을 알 수 있다. 연소에 의해 생성되는

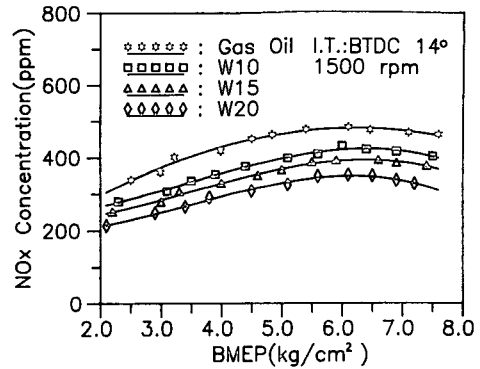


Fig. 10 Effect of engine load on NOx concentration for different W/O emulsions at 1500 rpm

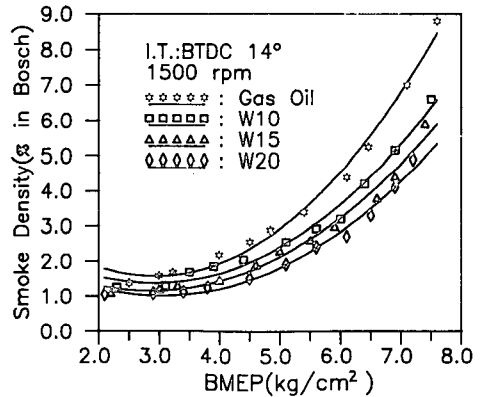


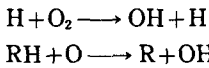
Fig. 11 Effect of engine load on exhaust smoke density for different W/O emulsions

NOx의 농도를 지배하는 주요 인자는 이미 잘 알려져 있는 바와 같이 연소역에 있어 산소의 농도, 연소온도, 그리고 고온 가스의 체류시간이다. 따라서 유화연료로 운전하는 경우에 물의 첨가비율이 높아짐에 따라 NOx의 배출농도가 낮아지는 것은 ① 에멀전 중 수분의 증발잠열에 의한 연소온도의 강하, ② 유화연료 연소시 미세폭발^(13,14)효과로 인한 연소촉진 작용으로 온도강하가 빨라져 고온 가스의 체류시간이 단축, ③ 유화연료 중 수분의 증발로 인하여 발생하는 수증기에 의해 연소실내의 가스가 희석되어 산소농도가 낮아지기 때문이다.

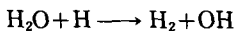
(2) 배기 매연의 농도에 미치는 영향

Fig. 11은 기관의 회전속도가 1500rpm인 경우 유화연료의 물 첨가비율 및 부하의 변화에 따른 배기매연의 농도를 나타낸 것이다. 선도에서 보는 바와 같이 물의 첨가비율이 높아짐에 따라 배기매연

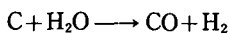
의 농도가 감소되며, 그리고 부하의 변화에 따른 경유 및 유화연료 양자 모두 매연이 배출되는 경향이 거의 비슷함을 알 수 있다. 고부하시 경우만으로 기관을 운전하는 경우에는 분사된 연료와 공기와의 혼합이 불충분하기 때문⁽⁶⁾에 매연의 배출량이 대폭적으로 증가된다. 그러나 유화연료로 기관을 운전하는 경우에는 수분에 의한 국소 연소온도의 저하, 분무 액적의 미립화 및 공기와 연료의 혼합이 촉진되므로 고부하에서 소폭적으로 증가하게 된다. 또한 유화연료의 경우에 물의 첨가비율이 높아짐에 따라 매연의 농도가 감소되는 것은 물리적 및 화학적인 양면의 효과 때문이다. 첫째로 물리적인 효과는 분무내에서의 화염과 액적 표면과의 연료 과농영역에 있어서 ① 수증기 농도의 증가, ② 연소온도의 저하, ③ 에멀전의 미세폭발 등으로 액적의 표면적 증가로 인한 효과로 공기와 연료의 혼합이 촉진되기 때문에 특히 기상에서의 배기매연의 생성이 억제된다. 둘째로 화학적 효과에 의한 매연의 저감은 수증기에 의한 hydroxyl radical의 농도 변화로 인한 기상의 매연 형성 억제효과 및 물과 탄소의 수성반응에 의한 효과를 들 수 있다. hydroxyl radical은 매연을 형성하는 물질들을 산화시키는데 매우 효과적이어서 탄소의 중합 및 환형성 속도를 저하시킨다. 연료 유립이 많은, 즉 연료가 농후한 경우의 연소는 산소가 충분하지 못하므로 다음과 같은 화학적 반응속도를 무시할 수 있으므로 Hydroxyl Radical의 농도는 대단히 희박할 것으로 예상된다.



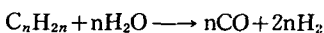
따라서 주로 다음 반응에 의한 Hydroxyl Radical이 형성되며, 또한 반응 속도는 물의 첨가로 인하여 현저히 높아질 것으로 판단된다.



화염대를 지배하는 고온도에 있어서는 연료, 또는 생성 카본 입자와의 직접적인 반응에 의한 매연 저감으로 생각된다. 즉 고온인 경우에 탄소와 수증기와의 반응은 다음과 같이 나타낼 수 있다.



그리고, 연료와 수증기와의 직접적인 반응은



이로 부터 가스반응에 의해서 생성된 가스 상호간에는 다음과 같은 수성 가스 반응이 일어난다.



따라서 유화연료로 기관을 운전하는 경우에 이와 같은 화학적인 반응과 물리적인 반응의 효과로 인하여 물의 첨가비율이 높아짐에 따라 매연이 저감된다고 판단된다.

(3) CO의 배출농도에 미치는 영향

Fig. 12는 기관의 회전속도 1500rpm인 경우 부하 및 유화연료의 물 첨가비율에 따른 CO의 배출농도를 나타낸 것이다. 선도에서 보는 바와 같이 물의 첨가비율이 높아짐에 따라 CO의 배출농도가 저부하 영역에서는 높게 나타나며, 그리고 고부하 영역에서는 낮게 나타남을 알 수 있다. 물 첨가비

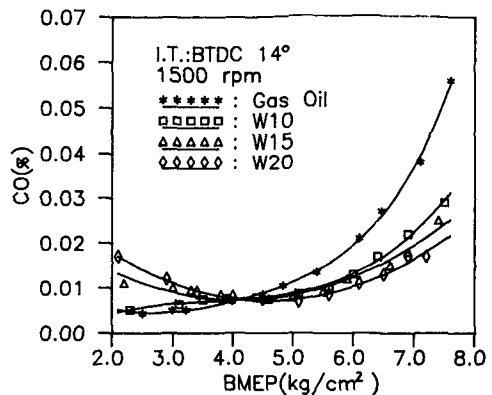


Fig. 12 Effect of engine load on CO concentration for different W/O emulsions at 1500 rpm

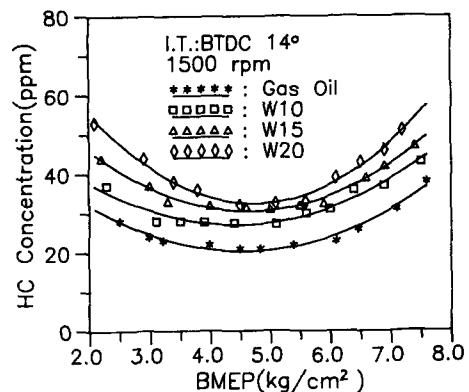


Fig. 13 Effect of engine load HC concentration for different W/O emulsions at 1500 rpm

율의 증가에 따른 CO 배출농도가 높아지는 것은 유화연료 중 물의 증발에 의해 연소실내 가스의 온도가 저하되기 때문이며, 물 첨가비율 20%인 경우에 고부하 영역에서 CO 배출농도가 낮게 나타나는 것은 산소농도 저하와 짧은 반응시간 때문인 것으로 판단된다.

(4) HC의 배출농도에 미치는 영향

Fig. 13은 기관의 회전속도 1500rpm인 경우에 부하 및 물의 첨가비율에 따른 HC의 배출농도를 나타낸 것이다. 선도에서 보는 바와 같이 동일한 부하인 경우 물의 첨가비율이 높을수록 HC의 농도가 높게 배출됨을 알 수 있다. 이는 물의 첨가비율이 높아짐에 따라 연소실내의 온도가 강하되기 때문이며, 그리고 고부하시 HC의 배출농도가 높게 나타나게 되는 것은 고부하시에는 체적효율의 악화⁽⁶⁾와 농후한 혼합기로 인한 불완전 연소 때문이라고 판단된다.

5. 결 론

디젤 기관의 연료로 경유-물의 유화연료를 사용하여 부하(1500rpm, BMEP=2.1~7.5kg/cm²)를 변화시켜 운전하는 경우 유화연료의 물 첨가비율(0, 10, 15, 20%)에 따른 연소실내 압력 및 압력상승률, 열발생률, 그리고 착화지연기간, 연료소비율 등의 연소특성과 유해 배출물인 CO, HC NOx 및 매연의 배출농도에 대하여 실험적으로 구한 결과로부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 유화연료 사용시 물의 첨가비율이 높아짐에 따라 연소실내 압력 및 압력상승률과 열발생률이 높아진다.
- (2) 유화연료 사용시 물의 첨가비율이 높을수록 유립의 증발시간과 수분의 증발에 의한 온도 강하의 증대로 인하여 착화지연기간이 길어진다.
- (3) 유화연료 사용시 연료소비율이 저부하 영역에서는 경유에 비하여 다소 높아지나, 고부하 영역에서는 연소 효율과 등용도의 증대로 인하여 낮아진다.
- (4) 유화연료의 사용시에 물 첨가비율이 높을수록 NOx의 배출농도는 연소기간의 단축으로 인한 고온 가스 체류시간의 단축, 그리고 산소농도 저감과 수분의 증발에 의한 온도 강하로 인하여 저하된다. CO의 배출농도는 물의 첨가비율이 높을수록 저부하 영역에서는 증대되며, 그리고 고부하영역에서는

감소된다. HC의 농도는 전운전 영역에 걸쳐 물의 첨가비율이 높을수록 높게 배출된다. 또한 매연도 전운전 영역에 걸쳐 물의 첨가비율이 높을수록 공기와 연료와의 혼합이 촉진되어 기상의 매연 형성 억제 효과 및 탄소의 수성반응으로 인하여 낮아진다.

참 고 문 헌

- (1) 西野正見, 金岡浩, 吉原計一, 森下晋一, 1986, “小形低質重油の使用について”, 内燃機関, Vol. 25, No. 319, pp. 9~17.
- (2) 村山正, 宮本登, 山田貞延, 川島純一, 1982, “アルユール駆動ディーゼル機関に関する研究(工タノール・ひまし油ブレンド燃料による機関性能)”, 日本機械學會論文集(B編), 57卷 434號, pp. 2134~2142.
- (3) L.D. Savage, A.R. Schroeder, 1988, “The Effect of Diesel Injection Timing on a Turbocharged Diesel Engine Fumigation with Ethanol”, SAE paper 880496.
- (4) 村山正, 吳永澤, 高木伸和, 宮本登, 近久武美, 伊藤光一郎, 1986, “ディーゼル機関における植物油の利用に関する研究”, 内燃機関, Vol. 25, No. 314, pp. 9~15.
- (5) 小倉勝, 小林幸雄, 1984, “吸気管内水噴射による火花點火機関のノッキング抑制効果”, 内燃機関, Vol. 23, No. 297, pp. 31~38.
- (6) Angelo De Vita, 1989, “Multi-Cylinder D.I. Diesel Engine Tests with Unstabilized Emulsion of Water and Ethanol in Diesel Fuel”, SAE paper 890450.
- (7) 石田正弘, 泉修平, 吉村良孫, 末次秀雄, 植木弘信, 1988, “高速ディーゼル機関の燃焼と排気に関する研究(第2報, 水添加乳化油の燃焼と振動・騒音)”, 日本機械學會論文集(B編), 54卷 498號, pp. 513~517.
- (8) 村山正, 塚原賢, 宮本登, 森島泰, 1978, “ディーゼル機関におけるNOx低減に関する研究”, 日本自動車技術會論文集, Vol. 16, pp. 30~37.
- (9) 新井雅隆, 桶口豪, 廣安博之, 1984, “輕油および複合燃料の着火おくれ”, 日本機械學會論文集(B編), 50卷, 453號, pp. 1345~1352.
- (10) 石田正弘, 泉水平, 吉村良孫, 末次秀雄, 植木弘信, 1988, “高速ディーゼル機関の燃焼と排気に関する研究(第1報, 排気NOxの低減)”, 日本機械學會論文集(B編), 54卷 498號, pp. 506~512.
- (11) 塚原賢, 村山正, 吉本康文, 1982, “ディーゼル機関に水・エマルジョン燃焼法を適用した場合の燃焼促進効果に及ぼす燃料性状の影響”, 日機械學會論文集(B編), 48卷 428號, p. 801.

- (12)塚原實, 吉本康文, 1984, “乳化燃焼驅動ディーゼル機關の性能に及ぼす各種運轉條件の影響”, 内燃機關, Vol. 23, No. 296, pp. 27~36.
- (13)塚原實, 常本秀幸, 前田好弘, 宮本登, 村山正, 1980, “北海島におけるディーゼルの機關の研究”, 内燃機關, Vol. 19, No. 239.
- (14)吉本康文, 塚原實, 1988, “乳化燃料驅動ディーゼル機關の性能に及ぼす噴射特性の影響”, 日本機械學會論文集(B編), 54卷 503號, pp. 1866~1871.