

SPG 에멀전 연료유를 사용하는 기관의 성능에 관한 실험적 연구

권기린* · 강창남*

제주대학교 기계시스템공학부

An experimental study on Engine performance of SPG emulsified fuel

Ki-Rin Kwon* and Chang-Nam Kang*

Faculty of Mechanical System Engineering, Jeju National University, Jeju 690-756, Korea

In order to clarify the characteristics of emulsified fuel which is blended diesel fuel and water, an experimental study was carried out using a real diesel engine. The experimental apparatus was composed of high speed diesel engine with 4 cylinder, dynamometer, main controller and smoke analyzer. As changing engine speeds, brake specific fuel consumption, engine torque, engine power, thermal efficiency and smoke emission were measured in detail. The results are as follows.

- 1) As engine speed was increased, engine torque for SPG emulsified fuel became higher, while that for diesel fuel became lower.
- 2) When engine speed was 2,200 rpm, brake horse power for SPG emulsified fuel was higher than that for diesel fuel, but the difference was very small.
- 3) When engine speeds were 1,500 rpm and 2,200 rpm, brake specific fuel consumption for SPG emulsified fuel increased to 17.3% and 5.7%, respectively compared with that for diesel fuel.
- 4) In case of 2,200 rpm, thermal efficiency for SPG emulsified fuel was 30.3%, and it was larger than that for diesel fuel.
- 5) Smoke concentration for SPG emulsified fuel was less than half of that for diesel fuel.

Key words : Emulsified fuel(에멀전 연료), Specific fuel consumption(연료소비율), Thermal efficiency (열효율), Engine performance (기관성능), Smoke(매연), Shirasu Porous glass(SPГ; 시라스 다공질 글라스)

1. 서론

디젤기관은 가솔린기관에 비해 저급의 연료를 쓰고, 열효율이 25 ~ 35%로 높아 경제적 이점이 있다. 또한 낮은 오염물질형성으로 자동차용 엔진 동력원으로 사용빈도가 높아지고 있다. 그러나 전 세계적으로 자동차 연료로 사용되는 석유의 가격상승과 그 유한성이 거론되고, 자동차 배기가스로 인한 대도시 지역의 광화학스모그 증가와 오존층 파괴로 인한 자외선의 증가로 탄화수소계 연료에 대한 환경오염 문제가 부각되고 있다. 특히 1992년 Rio 선언 이후 대기 오염 규제가 더욱 엄격해진 가운데, 디젤기관은 가솔린기관에 비하여 CO, HC의 배출 농도는 낮으나, NOx 및 매연(smoke) 농도가 큰 것이 단점으로 지적되고 있다[1].

석유계 연료의 유한성에 따른 대체 연료 및 저공해 연료를 개발하기 위한 연구가 진행되어, 식물유[2][3], 흡기관내 수분사, 유화제를 이용한 경유-물의 에멀전 연료[4][5][6][7]등을 사용하는 방식 및 유화제를 사용하지 않고 초음파 에너지를 이용하여 에멀전 연료를 제조하는 방법[8] 등이 보고되고 있다.

에너지원 중에서 에멀전 연료는 연소실에 분사될 때 기름 입자 중에 위치한 물 입자가 고열에 의해 급격한 증발현상(micro explosion)을 일으켜 기름 입자를 더욱 더 잘게 분산시켜 기름의 공기와의 접촉면을 크게 증가시킴으로써 연소효율이 높다[4]. 또한 배출가스 중 NOx · SOx 및 매연의 농도가 동시에 저감되므로 공해를 방지할 수 있으나, 그 제조방법에 따라 에멀

전 연료의 특성과 효과에도 큰 차이가 있다.

본 연구에서는 SPG(씨라스 다공질유리) 막 모듈을 사용한 에멀전 연료의 특성을 살펴보기 위하여, 경유(Diesel Fuel; DF) 및 SPG(에멀전유 (SPG Emulsified Fuel; SEF)를 사용하여 실제 디젤엔진에서 회전속도 1,500rpm과 2,200rpm에 대하여 엔진의 토크 및 동력, 연료소비율, 열효율을 조사하였고, 배출 가스에 미치는 영향에 관하여도 실험을 실시하였다.

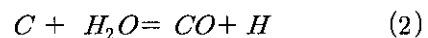
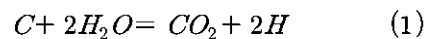
II. 에멀전 연료와 제조방법

2-1. 에멀전 연료

에멀전 연료가 연소실에 분사될 때, 기름입자 중에 위치한 물 입자가 고열에 의해 급격한 증발현상(Micro-explosion)을 일으켜 기름입자를 더욱 더 잘게 분산시켜 주는데, 재 미립자화 된 기름입자는 연소용 공기와의 교반 효과로 접촉면적이 증대하고 증발, 가스화가 빨라져서 완전 연소를 촉진한다.

기름입자가 연소과정에서 탄소미립자와 물(H₂O)과의 접촉으로 수성가스화 반응을 일으켜 미연소물의 완전연소를 이루어 미연소 카본을 발생시키지 않는다.

물 첨가에 의해 화염 중에 일어나는 반응은 다음과 같이 3종류로 이루어진다.



하지만 에멀전 연료의 액적 크기가 디젤연료에 비하여 상대적으로 크기 때문에 연료가 공기와 접촉하는 면이 작아서 연소조건은 디젤연료에 비해 나쁘다고 볼 수 있다. 그러나 에멀전 연료는 특정영역의 부하에서 물 혼합물의 증가와 함께 NOx와 매연이 동시에 저감되며 열효율의 향상으로 연료소비율도 감소하게 된다. 발화시기 지연, 연소실 압력 상승에도 불구하고 NOx가 저감되는 것은 물 첨가에 의해 연소실내 열흡수와 불활성 가스로서의 수증기 역할에 의하여 연소실내의 온도 저감 동시에 미세폭발 및 공기 유동의 활성화에 의한 국부적 온도상승의 억제에 의한 것으로 알려져 있다. 일반적으로 물 첨가율은 엔진의 특성마다 다르지만 육상수송기관에서는 30%이하로 조정되며 그 이상에서는 오히려 역효과가 나타날 수 있다[5].

동시에, 에멀전 연료는 경유에 비해 점도가 높아 분사시 액적이 크며, 발열량이 없는 물을 포함하고 있어, 세탄가와 단위 질량당 발열량이 낮다. 저 세탄가로 인하여 착화 지연 시간이 길어져 노킹 우려가 있으며, 발열량 저하로 인하여 출력이 낮아져 운전성능 저하를 가져올 수도 있다[5].

2-2. 에멀전 연료의 제조 및 특성

에멀전 연료를 제조하기 위하여, 체적비로 경유 85%, 물 15%를 혼합하고, 물-경유를 혼합한 체적비의 2%에 상당하는 유화제(품명: 扁平岳1L, 품번: H0181, 재질: 폴리에틸렌, 瑞穂化成工業株式会社)를 넣은 다음, SPG 에멀전유 제조기로 약 20분간 순환시켜 SPG 에멀전유를 제조하였다.

Fig. 1은 SPG 에멀전유 장치회로도를 나타낸 것이고, Fig. 2는 이 실험에서 사용된 유화제를 나타낸다. 이 유화제는 황색을 띤 걸쭉한 액체이다.

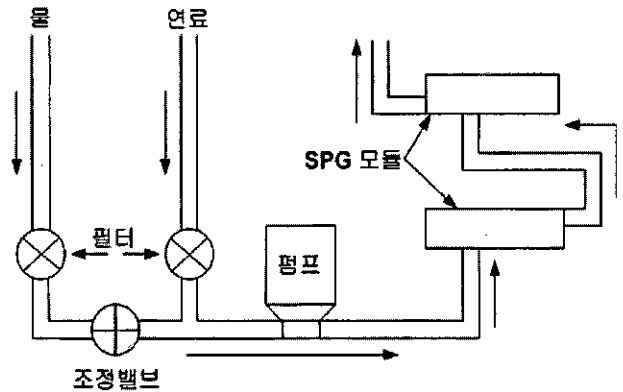


Fig. 1. Diagram of SPG Emulsified fuel manufacturing machine.

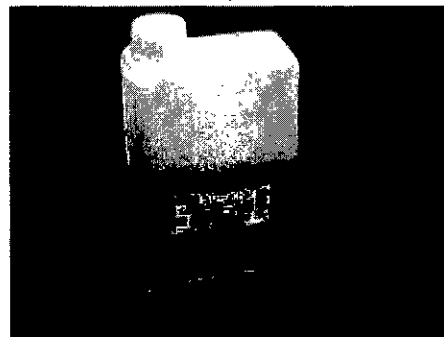


Fig. 2. Emulsifier

Fig. 3은 SPG 에멀전유 제조기를 나타낸다. 에멀전유 제조 시 유체의 압력변화를 알 수 있도록 전면에 압력계가 부착되어 있다. 이 제조기는 사용시 처음을 제외하고는 절대 공기가 같이 흡입되어서는 안 된다. 또한 이 제조기의 핵심부품이라고 할 수 있는 필터는 일정한 양의 에멀전유를 제조한 다음에 교환해서 사용해야 한다.

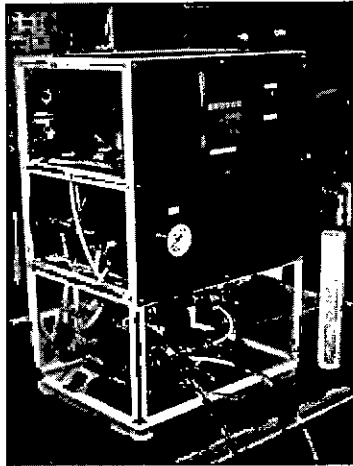


Fig. 3. SPG Emulsified fuel manufacturing machine.

에멀전 연료의 물리적 특성은 Table 1과 같다. 물, 경유, 에멀전유의 비중은 직접 계측하여 구하였고, 에멀전유의 발열량은 물은 발열량이 없으므로 경유 85%에 해당하는 발열량으로 환산하여 구하였다.

Table 1. Specific gravity and lower heating value of Water, DF and SEF

	Water	DF	SEF
Specific gravity	1.0	0.829	0.880
Lower heating value(kcal/kg)	-	10,600	9,010

III. 실험장치 및 방법

3-1. 실험장치

본 연구에 사용된 실험장치의 전체 구성은 Fig. 4와 같이 디젤기관, 동력계 및 컨트롤러, 연료 탱크와 유량계, 배기가스 측정기로 구성되어 있으며, 주요 부분을 요약해서 설명하면 다음과 같다.

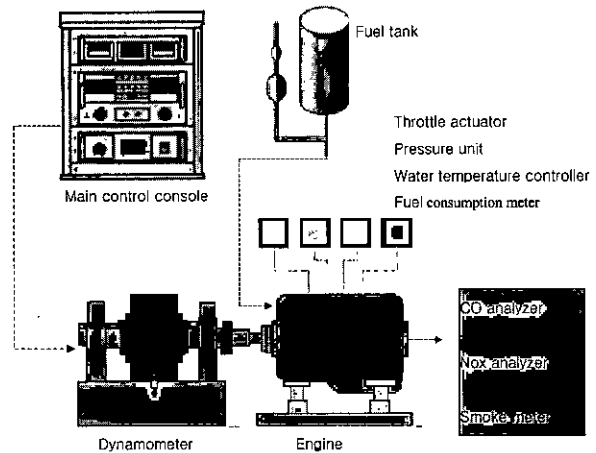


Fig. 4. Schematic diagram of experimental apparatus.

3-1-1. 기관

본 실험에 사용한 디젤기관은, 실린더 내경 91.1mm, 행정 95mm로서 이론배기량은 2,476cc 이고, 압축비는 21:1이다. 이 기관의 최대토크는 16.2kgm (2,200rpm)이고, 최대출력은 80ps (4,200rpm)으로 주요제원은 Table 2와 같다. 각 측정치의 신뢰도를 높이기 위하여 기관시동 후 기관회전 수 및 부하가 안정되고 엔진 온도가 일정 상태로 유지될 때의 연료소비량, 부하토크, 시간을 측정하였다.

Table 2. Specification of experimental engine

Description		Specification	
Engine type		Water cooled, 4Cycle, 4Cylinder Diesel Engine	
Piston displacement(cc)		2,476	
Bore×Stroke (mm)		91.1×95	
Compression ratio		21:1	
Max. output (ps/rpm)		80/4,200	
Max. torque (kg·m/rpm)		16.2/2,200	
Valve timing	Intake	I.V.O	20°BTDC
		I.V.C	49°ABDC
	Exhaust	E.V.O	55°BBDC
		E.V.C	22°ATDC

각종 측정값으로부터 계산식은 다음과 같다.

$$N_b = \frac{2\pi \times n \times T}{60 \times 102} \quad (1)$$

$$f_b = \frac{B}{N_b} \quad (2)$$

$$\eta_b = \frac{N_b \times 3600 \times 1000}{B \times H_1 \times 4.1868} = \frac{3600 \times 1000}{f_b \times H_1 \times 4.1868} \quad (3)$$

여기서,

N_b : 제동출력 (kW)

n : 엔진 회전수 (rpm)

T : 엔진 토크 (Nm)

f_b : 제동 연료소비율 (g/kWh)

B : 연료소비량 (g/h)

η_b : 제동 열효율

H_1 : 저위 발열량 (kcal/kg)

(3)식에서 1 kcal = 4.1868 kJ을 적용하였다.

3-1-2. 기관성능시험장치

본 실험에서는 Fig. 5와 같이 동력계본체 (Hwanwoong Mechatronics CO, LTD, DYTEK-130) 와 Fig. 6와 같이 동력계를 제어하는 동력계 컨트롤러와 동력을 흡수하는 동력계 본체로 구성되어 있으며, 정회전속도제어, 정토크제어, 급구 배특성, 정전류특성 제어기능이 있다.

흡수 토크 검출은 Stran Gauge Type의 로드셀에 의해 검출된 전기적 신호를 컨트롤러 내부의 증폭기로 증폭하여 정확한 토크를 디지털 미터로 표시가 되며, 회전속도검출은 전자식 펄스 발생기에 의해 검출하여 컨트롤러 증폭기에 의해 디지털 미터로 표시된다.

동력계 수용마력은 180PS, 수용토크는 35kgm,

수용회전속도는 9,000rpm이며, 컨트롤러의 측정 가능한 회전속도는 0~10,000rpm이고, 토크는 0~100kg·m이다. 주요사양은 Table 3과 같다.

Table 3. Specification of eddy current dynamometer

Contents	Specification
Absorption Capacity	180 PS
Absorption Torque	35 kg.m
Max. RPM	9000 RPM
Torque Detector	Load Cell type Sensitivity : 2mv/v
Cooling method	Water Cooling system
Water pressure	0.7Kg/cm ² more
Lubrication system	Grease lubrication
Dynamometer Weight	300Kg

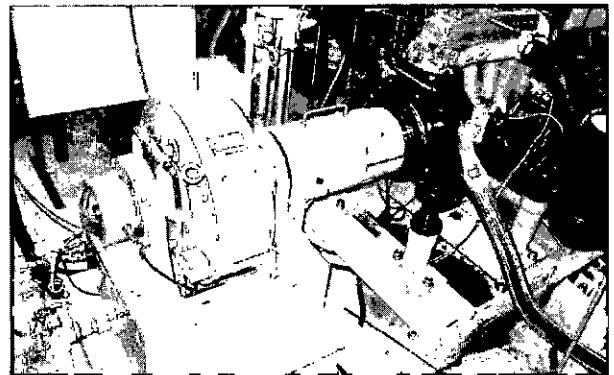


Fig. 5. Eddy current dynamometer.

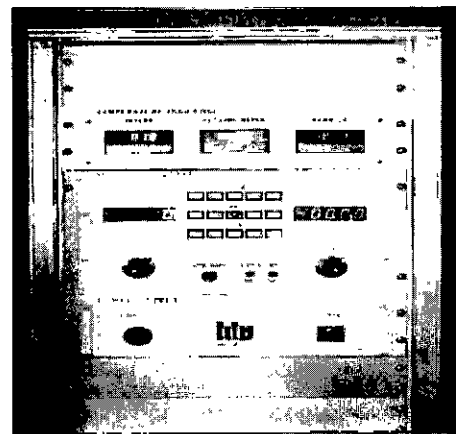


Photo. 6 Control box

3-2. 실험방법

기관의 회전속도 및 부하는 전기 동력계를 이용하여 전부하 상태, 냉각수온도 80°C에서 경유, SPG 에멀전유 2종류의 연료에 대하여 엔진의 회전수를 제어하는 방식인 정속도 모드로 기관회전수 1,500rpm, 2,200rpm하에서 토크, 연료소비량(kg/h)을 측정하였고, 또한 디젤기관에서 가장 심각한 문제인 매연(smoke)의 농도를 측정하였다.

냉각수 온도는 유량계의 유량 조절 밸브 및 온도센서를 사용하여 동력계 컨트롤러의 온도 제어 방식으로 $80 \pm 2^\circ\text{C}$ 를 유지하였고 연료소비량 측정은 뷰렛을 이용하여 200ml 연료가 소비하는데 걸린 시간을 측정하였다.

축 토크와 축 출력은 동력계로 측정하였으며 매연의 농도는 스모그측정기(AFT2000-A, SANGSHIN Engineering)로 측정하였다.

동력계 컨트롤러의 안정을 위해 메인 전원 작동한 후 10분간 유지시킨 다음 토크 표시계의 영점을 조절하였다. 또한 기관의 안정을 위하여 시동 후 무부하 상태에서 30분 공회전 후 실험 조건에 도달하도록 하였으며 이후 10분간 동일 조건으로 운전하여 각 항목별 데이터를 측정하였다.

각 연료에 대하여 실험은 5회 실시하였고 측정치의 평균값을 취하였다. 실험 방법은 Fig. 7과 같다.

IV. 실험결과 및 고찰

에멀전 연료는 디젤연료에 비해 연료가 가지고 있는 화학적 특성 때문에 디젤기관에 사용 시에는 여러 가지로 불리한 결과를 야기시킬 수 있다. 첫째, 세탄가가 낮아서 점화지연시간이 커지므로 노킹이 발생할 수 있다. 그러므로 연소촉진제와 같은 세탄가 향상제를 첨가제로 쓰거나 연료분사시점을 앞당기는 방법을 사용하여야 한다. 둘째, 연료에 물을 첨가함으로써 연료의 단위 질량당 발열량이 디젤연료에 비하여 작으므로 엔진의 출력이 감소하게 되어 운전 성능을 저하시킬 수 있다. 이 점은 에멀전연료의 특성상 부득이 하므로 연료 분사량은 늘리는 방법에 의하여 극복될 수 있으므로 연료 펌프의 개조를 필요로 하게 된다.

하지만 에멀전 연료는 이러한 불리한 분사 특성에도 불구하고 미세폭발이 발생하여 액체

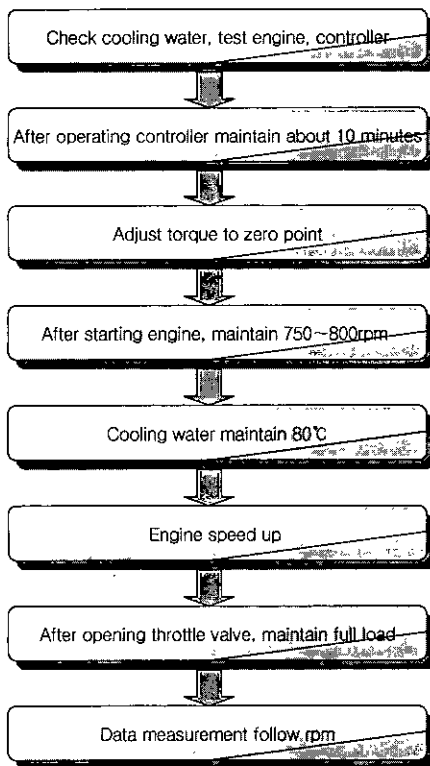


Fig. 7. Process of experiment.

연료의 기화를 촉진시켜 효율적인 연소진행을 도와주고, 기관내의 연소온도를 낮추어 유해배출물의 농도가 저하된다. 또한 액체 미립화에 탁월한 효과를 가지고 있는 초음파를 이용하여 에멀전 연료를 생성함으로써 분무시 초음파 효과(미립화연료의 점도 및 표면장력의 변화)로 인하여 분무 액적의 크기를 상당히 낮출 수 있다.

Fig. 8~14는 전부하, 냉각수온도 80°C일 때, 각 연료에 대한 기관성능을 나타내며, 성능 파라메타는 기관의 토크, 제동출력, 연료소비량, 연료소비율, 열효율 및 매연이다.

1. 토크

Fig. 8은 각 기관 회전수에서 토크의 특성을 보여준다. 경유의 경우, 엔진회전수가 1,500rpm에서 2,200rpm으로 증가하자 토크가 약간 떨어지고 있다. 이는 엔진회전수가 증가하면서 피스톤과 실린더벽 사이의 마찰손실의 증가에 기인한다고 사료된다. 반면, SPG 에멀전유의 경우, 엔진회전수가 증가함에 따라 오히려 토크는 142.78Nm에서 149.75Nm로 훨씬 증가하고 있다. 에멀전유는 분무 액적의 미립화가 경유보다 훨씬 잘 이루어지므로 연소가 촉진되어 경유에 비하여 높은 토크값을 나타낸다고도 해석할 수 있다.

이 실험에서는 행하지 않았지만, 에멀전 연료는 2,200rpm 보다 더 고속으로 엔진을 회전시킨다면, 토크 값은 낮아질 것으로 생각된다. 그 이유는 에멀전 연료는 연료에 물을 첨가함으로써 연료의 단위 질량당 발열량이 경유에 비하여 낮고, 세탄가가 낮아서 착화 지연이 발생하기 쉽고, 이로 인하여 고속 회전으로 갈수록 토크

값은 점점 낮아질 것으로 생각된다.

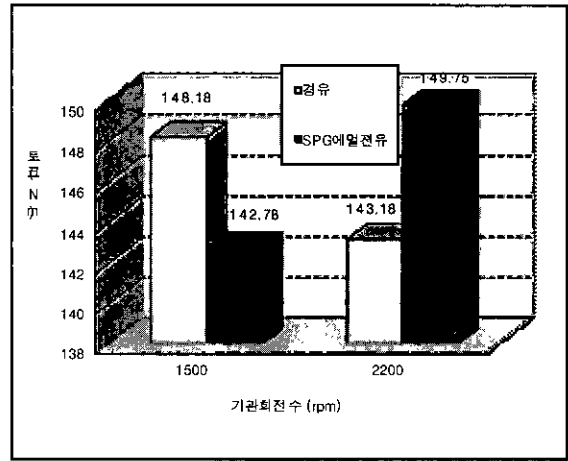


Fig. 8. Relationship between torque and engine speed for DF and SEF.

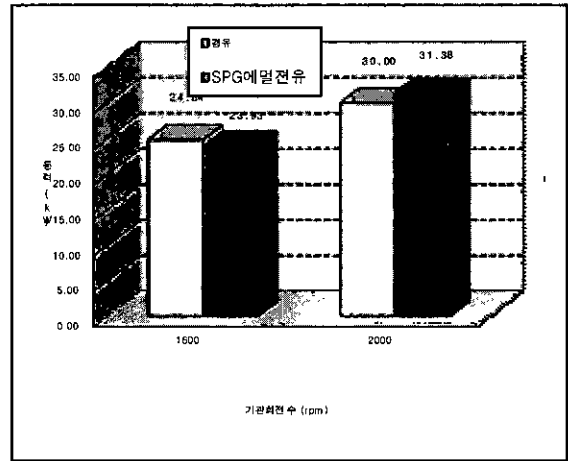


Fig. 9. Relationship between brake engine power and engine speed for DF and SEF.

2. 제동출력

Fig. 9에 기관회전수에 따른 엔진동력(제동출력)을 나타낸다. 제동출력은 경유가 회전수 변화에 따라 17.2% 증가하였고, 에멀전유는 23.7% 증가하였다. 제동출력 역시 토크와 마찬가지로 1,500rpm에서는 경유가 크지만, 2,200rpm에서는

에멀전유가 크게 나타나고 있다. 그러나 그 차이는 매우 작다. 제동출력이 경유와 차이를 보이는 이유는 다음과 같이 추론할 수 있다.

- 1) 에멀전 중의 물 입자의 급속한 체적팽창, 즉 미세폭발에 의한 분무유적의 미세화
- 2) 분무의 관통력 증가에 의한 분무내의 공기 도입효과
- 3) 물 함유로 인한 분무내의 국소 공기과잉률의 증대
- 4) 착화지연기간 증대로 인한 예혼합 연소량의 증가
- 5) 연소온도의 저하 및 휘염의 감소로 인한 냉각손실의 저감
- 6) 연소온도 저하로 인한 열해리의 억제
- 7) 연료 중 물 입자가 증가되면 연소 가스의 전 물수가 증가되므로 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 연료소모량이 저감된다고 판단된다.

3. 연료소비량

연료소비량은 Fig. 10과 같이 기관 회전수가 증가함에 따라 비례적으로 증가하는 모습을 보이고 있다. 에멀전유인 경우, 1,500rpm에서 경유에 비해 약 14.2% 높고, 2,200rpm에서도 약 9.8% 높다. 이와 같이 경유보다 에멀전유가 연료소비량이 많은 것은 초음파에너지를 이용하여 제조한 에멀전유나 기타 에멀전유에서도 마찬가지이다. 에멀전유는 일반적으로 연료의 비중, 점도의 증가와 저세탄가로 인하여 연료소비량이 경유에 비하여 일정하게 증가한다.

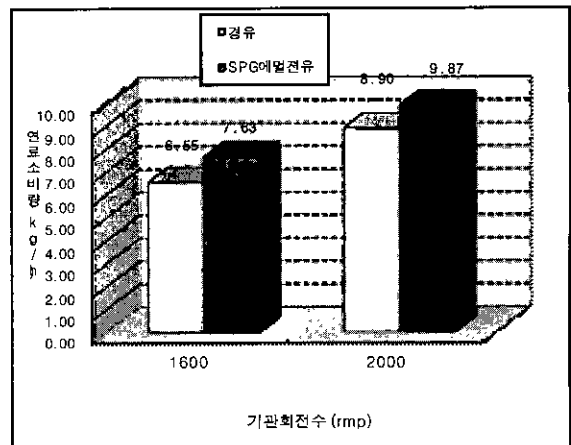


Fig. 10. Relationship between fuel consumption and engine speed for DF and SEF.

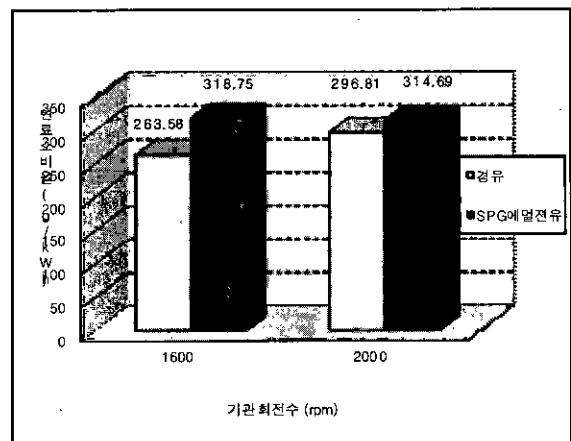


Fig. 11. Relationship between brake specific fuel consumption and engine speed for DF and SEF.

4. 연료소비율

Fig. 11은 기관회전수에 따른 연료소비율을 나타낸다. 연료소비율은 기관회전수가 높아질수록 커진다. 실험연료 모두 제동출력에서는 큰 차이를 보이지 않는 반면에 연료소비량이 많은 차이로 인하여 연료소비율은 큰 차이를 보이고 있다. SPG 에멀전유의 연료소비율은 경유에 비하여 16.3%, 5.5% 증가하였다.

5. 열효율

Fig. 12는 기관회전수에 따른 열효율을 나타낸다. 엔진회전수 1,500rpm에서 열효율은 경유가 30.77%, 에멀전유가 29.94%로 별 차이가 없다. 또한 에멀전유가 1% 미만의 차이로 열효율이 낮다. 반면에 2,200rpm에서는 에멀전유가 30.30%로 경유의 27.33%보다 오히려 3%나 높다. 이는 에멀전연료의 단위 질량당 발열량이 낮은 반면, 연료소비율은 1,500rpm에서 에멀전유가 경유에 비해 큰 값을 나타내고, 2,200rpm에서는 경유보다 크지만 그 차이는 작기 때문이다. 또한 에멀전유가 가지고 있는 불리한 화학적 특성이 에멀전유 제조기의 필터를 통과하면서 극복된 것으로 사료된다.

6. 배출가스

배출가스 중 매연(smoke)농도는 1,500rpm에서 에멀전 연료의 매연은 경유의 46.6%에 지나지 않고, 더구나 2,200rpm에서는 39.7%밖에 되지 않는다. 이는 지금까지의 다른 에멀전 연료에 비하여 획기적으로 낮은 매연수치를 나타내는 것이다.

매연의 농도가 저하되는 이유는 물이 탄소입자와 수성가스화 반응을 하여 매연의 농도를 상당부분 낮춘 것으로 사료된다. 에멀전 연료가 연료분무상의 단점에도 불구하고 연소시에 미세폭발에 의해 연소촉진효과와 미립화 촉진효과에 기인한 것으로 분사특성의 부정적 효과가 연소시에 보완되고 있음을 알 수 있다.

Fig. 13은 경유를 사용했을 때에 측정된 매연의 농도를 출력한 결과이고, Fig. 14는 에멀전유를 사용했을 때의 매연의 농도를 출력한 결과

이다. 좌측 그림은 1,500rpm에서의 결과이고, 우측 그림은 2,200rpm에서의 결과이다. 그림에서 알 수 있듯이 에멀전유의 경우가 훨씬 매연농도가 적다.

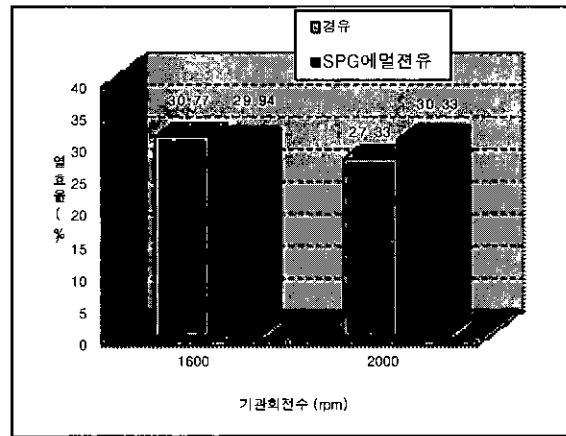


Fig. 12. Relationship between thermal efficiencies and engine speed for DF and SEF.

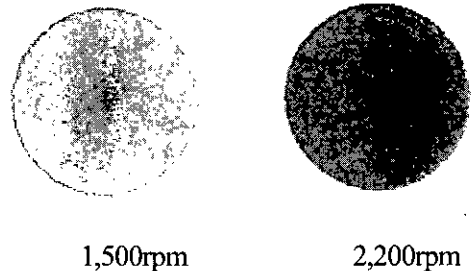


Fig. 13. Smoke from the test engine using diesel fuel.

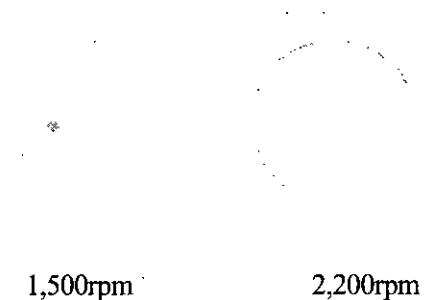


Fig. 14. Smoke from the test engine using SPG emulsified fuel

V. 결 론

본 연구는 경유, SPG 에멀전 연료를 기관성능 시험장치를 이용해 전부하 냉각수 온도 80℃에서 기관회전수(1,500rpm, 2,200 rpm)변화에 따른 기관출력, 연료소비량, 연료소비율 및 열효율을 측정하였고, 또한 스모크미터를 사용하여 매연의 배출농도도 측정하였다. 결론은 다음과 같다.

1. 토크는 엔진회전수가 증가하면서 경유의 경우는 떨어지고, SPG 에멀전유의 경우는 오히려 높아졌다.

2. 제동출력은 토크와 마찬가지로 1,500rpm에서는 경유가 크지만, 2,200rpm에서는 SPG 에멀전유가 크게 나타나고 있다. 그러나 그 차이는 매우 작다.

3. 연료소비량은 SPG 에멀전유인 경우, 1,500rpm에서 경유에 비해 약 14.2% 높고, 2,200rpm에서도 약 9.8% 높다. 또한 SPG 에멀전유의 연료소비율은 경유에 비하여 17.3%, 5.7% 증가하였다. 이는 다른 에멀전유에서도 일반적으로 경유보다 에멀전유가 높은 연료소비량을 나타낸다.

4. 열효율은 1,500rpm에서 두 연료는 별 차이가 없다. 그러나 2,200rpm에서는 SPG 에멀전유가 30.13%로 경유의 27.33%보다 오히려 3%나 높았다.

5. 매연(smoke)농도는 SPG 에멀전유의 경우, 1,500 rpm에서 경유의 46.5%에 지나지 않고, 더구나 2,200rpm에서는 39.5%밖에 되지 않는다. 이는 지금까지의 다른 에멀전 연료에 비하여 획기적으로 낮은 매연 수치를 나타내는 것이다.

후 기

이 논문은 2013학년도 제주대학교 학술진흥 연구비 지원사업에 의하여 연구되었음

VI. 참고문헌

1. 조진호, 김형섭, 박정률, 1992, “디젤기관의 연소와 배출물에 관한 연구”, 대한기계학회 논문집 제 16권 제 11호, pp. 180~188
2. 오영택, 1996, “디젤기관의 대체연료로서의 식물유”, 자동차공학회지, Vol. 18, No. 2,
3. 高長權, 1987, “代替燃料로서 油菜油을 使用한 小型農用 디젤機關의 性能向上에 關한 實驗的研究”, 慶尙대학교 대학원 農工學科博士學位論文.
4. Angelo De Vita, 1989, “Multi-cylinder D.I. Diesel Engine Tests with Unstabilized Emulsion of Water and Ethanol in Diesel Fuel”, SAE Paper 890450
5. 오승목, 서희준, 허환일, 임경식, 김기선, 2000, “에멀전 연료를 이용한 디젤엔진의 분무 및 배기특성 연구”, 한국자동차공학회 2000년 추계학술대회, pp. 439~443.
6. 최계원, 최경호, 이종태, 김명년, 1994, “디젤기관에서 디젤/물 Emulsion 연료의 수치연소 해석”, 한국자동차공학회 추계학술대회, pp. 88~91.
7. 류정인, 1992, “초음파 연료공급장치를 이용한 디젤기관의 성능 향상에 관한 연구”, 한국에너지 기술연구소, X1 65~77.

8. 권기린, 고경남, 2005, “초음파에너지가 물-경유 에멀전유를 사용하는 기관에 미치는 영향”, 한국동력기계공학회 추계학술대회, pp. 190~195.
9. 박종규, 윤면근, 최두식, 김관태, 류정인, 1995, “초음파 에너지 부가연료 사용시 디젤 기관의 성능특성에 관한 연구(II)”, 한국자동차공학회, 1995년, 추계학술대회, 95-17-0108
10. 오영택, 1998, “디젤기관의 대체연료로서 폐식용유의 유용성에 관한 연구”, 대한기계학회논문집 B권, 제22권 제4호 pp. 481~488
11. 조진호, 김형섭, 박정률, 1991, “디젤기관의 연소와 배출물에 관한 연구 - 경유-물-메탄올의 유화연료 사용시”, 자동차공학회지, Vol. 13, No. 5
12. SPG 에멀전 연료 기관성능시험, 교통기계공학과, 구루미공업대학, 일본