

## 초음파장치를 이용한 경유-물 유화연료 사용 디젤엔진에 관한 연구 -함수율이 기관성능 및 배기배출물 특성에 미치는 영향-

김봉석 · 이영재\*

원주전문대학 자동차과, \*한국에너지기술연구소 수송기술연구팀

### A Study of the DI Diesel Engine Using Light Diesel-Water Emulsified Fuel with Ultrasonic Apparatus - Effect of Water Content on Engine Performance and Exhaust Gas Characteristics -

Bong-Seock Kim and Young-Jae Lee\*

Department of Automotive Technology, Wonju National College

\*Transportation Research Team, Korea Institute of Energy Research

#### 요 약

본 연구에서는 경유-물 유화연료를 디젤엔진에 적용하였을 때의 엔진의 성능 및 배기배출물 특성에 대해 고찰하였다. 그 결과, 초음파장치(40 kHz, 200 W)로 제조한 경유-물 유화연료 운전시, 경유운전시에 비해 연료소비율(함수율 30%시 최대 28% 감소)과 매연(함수율 30%시 최대 60% 감소) 및 CO(함수율 30%시 최대 79% 감소)의 현격한 개선효과를 보였다. 이러한 플러스적인 효과는 유화연료의 미세폭발에 의한 것으로, 초음파에너지로 유화연료를 제조함과 동시에 엔진내로 공급하는 것이 디젤기관의 배기배출물과 연료소비율을 동시에 개선시킬 수 있는 가장 유력한 방법일 것으로 판명되었다. 그러나, 유화연료를 사용한 경우 상대적으로 경유의 유입량 자체가 줄어들게 됨으로써 엔진의 출력 및 토크는 오히려 감소하였다.

**Abstract**— The objective of this study is to investigate the effects light diesel-water emulsified fuel on performance and exhaust emissions of the compression ignition engine. The experimental results of light diesel-water emulsified fuel operation with new type ultrasonic emulsification apparatus as compared with light diesel operation are very positive; maximum 28% reduction of SFC (in the case of 30% of water content), maximum 60% reduction of smoke (in the case of 30% of water content), maximum 79% reduction of CO emission (in the case of 30% of water content). However, comparing light diesel-water emulsified fuel and light diesel in the same engine under the same operating conditions, power and torque were lower in the case of emulsified fuel. In view of the results for the above mentioned, the mixing of water into light diesel in the form of emulsification proved to be the best means for reduction of specific fuel consumption and exhaust emissions of C.I. engines.

#### 1. 서 론

자동차로부터 배출되는 오염물질은 세계적으로 지구 온난화와 산성비 문제를 야기하고 국지적으로는 대도시 스모그현상, 독성물질 과다노출 등에 따른 인체장애의 문제를 낳고 있어, 세계각국에서는 강력한 배출가스 규제법규를 만들어 자동차 배출가스량을 엄격히 규제

하고 있다. 특히 미국과 같이 자동차 관련산업이 발달한 나라에서는 일찍부터 자동차 배출가스, 연비, 소음, 진동 및 CFC 등에 대하여 매우 광범위하게 규제를 실시해 왔으며, 그 중에서도 배출가스 및 연비규제는 세계의 규제법들을 앞서 나가고 있다. 지난 '90년 11월에 강화된 미연방 환경청(EPA: Environmental Protection Agency)의 대기정화법(CAAA: Clean Air Act Amend-

ment)은 자동차 배출가스의 90% 이상 저감시키는 것을 골자로 하는 공기청정화에 관한 적극적인 대책을 강구하고 있다. 또한, '92년 6월 브라질에서 열렸던 리오택담 이후 국내에서도 환경보존에 관한 기술개발 문제가 시급한 과제로 부상하고 있는 가운데, 가솔린엔진에 비해 희박연소를 한다는 특성으로 인해 NOx와 입자상물질의 배출량이 큰 자동차용 압축점화 디젤기관은 움직이는 심각한 도시공해 발생원의 하나로 지적되고 있다.

종래, NOx를 저감시키는 방법은 주로 연료분사 시기 지연에 의해 진행되어 왔으나, 이 방법은 매연의 증가를 초래하기 때문에 이를 개선하기 위하여 기관개량을 도모하여 왔다. 기타 경유-물 유화연료, 물분사, 배기가스 재순환(EGR), 필터트랩(filter trap) 등의 전처리와 후처리 방법에 의해 많은 연구가 진행되고 있지만, 일반적으로 압축점화 디젤기관의 NOx 저감기술은 매연저감 및 연비향상 기술과 상호보상관계(trade-off)가 있기 때문에 지금까지 주로 저연비화를 목표로 추구되어 왔던 기술 즉, 기관자체의 개량에 의해서 이들 배출물을 어느정도 단기간내에 연비저감과 동시에 배기배출물 저감효과를 얻기 위해서 전면적인 재검토가 필요하게 되었다. 현재 많은 연구들이 상술한 여러가지 방법들에 대해 진행되고 있지만, 그중 물을 액체연료와 함께 유화연료 상태로 사용하는 방법은 특히 유화연료만의 독특한 미소폭발이라는 특징으로 인해 열효율을 개선시키면서도 NOx, particulate 및 CO 등을 동시에 저감시킬 수 있는 기술로 주목되어 오고 있었다<sup>1,2)</sup>.

그러나 연료의 특성만을 간단히 바꿔 플러스적인 효과를 얻을 수 있는 유화연료 이용기술이 아직까지 실용화되지 못하고 있는데, 그 이유는 주로 비에너지원인 물을 첨가하므로써 야기되는 출력 저하 문제와 비록 유화제를 사용해도 장기간 보관시 물과 기름이 상분리되어 연료공급시설의 구축이 어려워지는 문제 등으로 인하여 배기배출물 규제가 그다지 강하지 않았던 때에는 유화연료의 메리트가 별로 크지 않았기 때문이다.

이에 따라 배기배출물 규제가 날로 강화되고 있는 최근에는 압축점화기관용 유화연료 이용기술을 실용화시키기 위한 새로운 시도가 이루어지고 있는데, 본 연구에서는 인젝션펌프 직전에서 경유-물유화연료를 제조하여 곧바로 엔진내로 공급하는 장치(이하 동시공급형 유화연료 제조장치)의 엔진 적용 가능성을 확인한 결과를 보고하고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

2-1. 동시공급형 유화연료 제조장치

본 연구에 사용한 동시공급형 유화연료 제조장치는

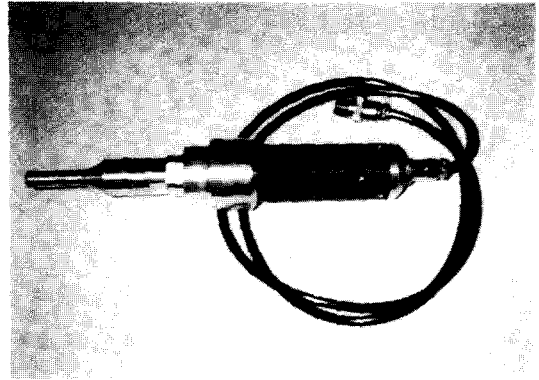


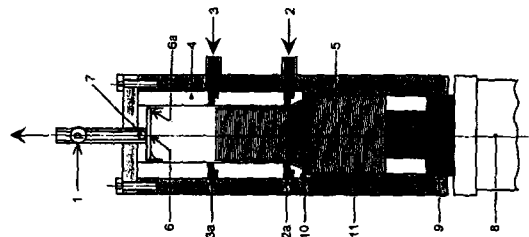
Fig. 1. Horn and vibrator.

강력한 초음파에너지를 응용하여 유화제를 사용하지 않고 유화연료를 제조하여 즉시 엔진내로 공급할 수 있도록 설계 제작된 것이다. 본 장치는 초음파 발전부와 초음파 진동부 그리고 유화연료 생성조로 구성되어 있다.

초음파 발전부는 Feed-back 장치부 MOPA(Master Oscillator Power Amplifier)방식으로 40 kHz 진동자용이며 출력은 200 W이다. 초음파 진동부에 사용한 진동자는 압전세라믹 소자를 갖는 내부 볼트체결형(BLT: Bolted Langevin Transducer)이며, 발생된 초음파는 단순스텝형 혼을 사용하여 증폭하였다. 유화연료 생성조는 인젝션펌프 직전에서 별도 라인을 통해 공급된 물과 경유가 가능한한 균일하게 유화연료로 생성되어 공급될 수 있도록 Fig. 1, 2와 같이 설계 제작하였다.

2-2. 대기중 분무특성 측정장치

유화연료의 분무특성은 유화연료 제조장치부, 연료분사 장치부 그리고 분무촬영 및 해석부로 시스템을 구성하여 측정하였으며, 개략도는 Fig. 3과 같다. 유화연료 제조장치부는 경유/물 탱크, 동시 공급형 유화연료 제조



1. Pump 2. Fuel Inlet 2a. Fuel Inlet 3. Water Inlet  
3a. Water Inlet 4. Emulsification Vessel 5. Horn 6. Reflector  
6a. Reflector Guide 7. Emulsified Fuel Outlet 8. Ultrasonic 9. BLT

Fig. 2. Schematic diagram of ultrasonic emulsification apparatus.

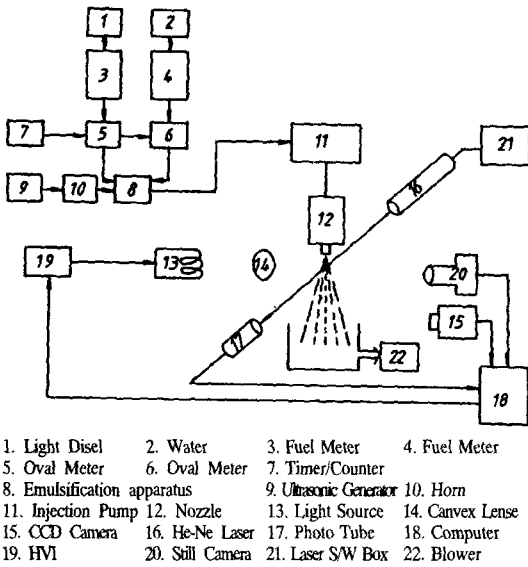


Fig. 3. Schematic diagram of spray measuring system.

장치 그리고 유량측정 및 조절장치로 구성되어 있다. 경유-물 합수를 조절 및 계량에는 부자식 유량계(측정범위 0-0.6 l/h)와 오발 유량계(1 cc/pulse) 그리고 타이머가 달린 카운터를 이용하였다. 연료분사장치부는 단공 핀틀형 분사노즐(분사압력 120 kg/cm<sup>2</sup>)과 실험대상 엔진의 인젝션펌프로 이루어졌으며, 인젝션펌프는 DC모터로 구동시켰다(2000 rpm). 유화연료의 분무촬영 및 해석부는 분무개시점을 감지할 수 있는 레이저 부분과 분무에 의해 산란된 광을 촬영하고 해석하는 부분으로 구성되어 측정항목에 따라 분무촬영장치가 약간 상이하다. 즉, 분사각과 관통길이를 측정하는 경우에는 빛을 집광시키기 위한 볼록렌즈( $f=30\text{ mm}$ ,  $d=50\text{ mm}$ )와 52 mm 스틸카메라(아남니콘사 model F-801S)를 이용하였고, 카메라 렌즈는 105 mm 마크로렌즈에 13 mm expander를 덧붙여 사용하였다. 분무입경을 측정하는 경우에는 광집광용 볼록렌즈를 제거하고 CCD카메라를 이용하였다.

연료분사노즐에서 분출되는 연료의 입경 측정장치로는 PMA(VTEC사 model PMA10)를 사용하였다. He-Ne 레이저(UNIPHASE사 model HN10, 출력 10mW)광에 의해 분무가 개시되었다는 신호를 시점으로 필요한 시간만큼 신호를 지연시킨 후 발광되는 듀얼광(duration: 50 ns)을 광원으로 사용하였고, 분무내의 입자에 의해 산란된 광이 CCD소자를 통해 맺힌 영상의 해석은 컴퓨터로 실시하였다. 분무개시점 측정에는 입경 측정시 사용한 레이저광이 분무에 의해 차단되는 경우 수광부에서의 신호레벨(차광시 3.8 V: High, 입광시: low)이 바뀌는 것을 응용하였다. 한편, 수광부는 분사압력

에 따른 수광부의 감도를 조절할 수 있도록 구성하였으며, 레이저 광량을 줄이기 위해 ND-4 필터를 2개 사용하였다.

2-3. 엔진성능 측정장치

Fig. 4는 엔진성능 측정장치의 개략도로서 실험대상 기관, 엔진동력계 및 부수 측정장치, 그리고 동시공급형 유화연료 제조장치로 구성되어 있다. 실험대상 기관은 Lister-Petter사의 공냉 단기통 직접분사식 4행정 디젤기관(Table 1)이며, DC 엔진동력계(Thrige-Scott사 model LAK 132A, Max. power: 11 kW)를 이용하여 제어하였다. 연료의 분사기간 및 분사개시시기를 구하기 위해 압전식 압력변환기(Kistler사 model 6005)를 이용하여 연료라인 압력을, 차동 트랜지스터식 변환기(Wolff사 model 327, Hall effect type)를 이용하여 노즐의 니들리프트 양정을 측정하였다. 이때 모든 측정값은 다기능인 디케이터(Plint & Partner사 model TE28)로 받아들여 디지털 커서를 이용하여 읽었다. CO 및 HC 측정장치는 NDIR법에 의한 것(Horiba사 model MEXA-324F)을, smoke 측정에는 여지반사식의 디젤스모크미터(Diesel Kiki사 model DSM-10B)를 사용하였다. 디젤엔진의 운전중 소음은 KS B 6004에 의거 마이크로폰(Onosoki사 model OS-11)을 이용, 주파수 보정회로 A특성으로 측정하였다.

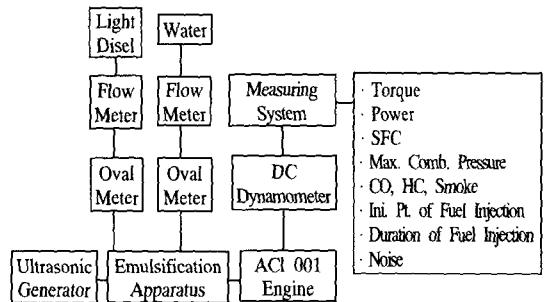


Fig. 4. Schematic diagram of test engine.

Table 1. Specifications of test engine.

Items	Specification
Engine/Model Type	Lister-Petter/AC1 001 Air-Cooled, 1 Cylinder, 4 Cycle, Direct Injection, Natural Aspiration
Bore × Stroke	76.2 mm × 66.68 mm
Displacement	304cc
Compression Ratio	17:1
Max. Power/rpm	6.5 kW/3600 rpm
No. of Injection Nozzle Hole	4
Nozzle Opening Pressure	200 kg/cm <sup>2</sup>

2-4. 엔진 실험조건 및 방법

기관의 성능실험은 엔진회전속도 1500 rpm, 2000 rpm, 2500 rpm 및 3000 rpm 각각의 경우에 대해 함수율이 서로 다른 경유-물 유화연료를 사용하여 실시하였다. 유화연료의 함수율,  $R_{gw}$ 은 물과 경유가 섞인 유화연료 총량중 물의 질량이 차지하는 비로 정의하였으며, 식 (1)과 같다. 함수율은 0%(즉, 경유 100%), 10%, 15%, 20%, 25% 및 30% 총 6가지로 변화시켰으며, 실험중 엔진부하는 전부 하 상태로 고정하였다.

$$\text{함수율 } R_{gw} (\%) = \frac{G_w}{(G_w + G_o)} \times 100 \quad (1)$$

여기서 G는 질량, w, o는 물, 기름을 각각 의미한다. 한편, 본 실험은 물이 섞인 유화연료를 사용하기 때문에 실험엔진을 시동시킬 때에는 경유로 하고 유화연료 운전후에는 약 3분간 다시 경유로 운전하여 실험엔진 연료공급시스템에 유화연료가 남아있지 않도록 하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3-1. 유화연료의 대기중 분무특성

3-1-1. 분무도달거리

Fig. 5는 경유-물 유화연료의 분사개시후 경과시간에 따른 분무선단의 도달거리를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이, 유화연료의 분무도달거리는 진행시간이 길어질 수록 경유의 그것에 비해 길어지고 있다(일례로, 함수율 30%의 경우 350 $\mu$ s 진행되었을 때 4% 증가). 이것은 후술한 바와 같이, 유화연료의 분무입경이 크기 때문에 주위 분위기 공기로의 확산이 억제되고, 또 물을 함유한 분무의 운동량이 증대되기 때문인 것으로 생각된다.

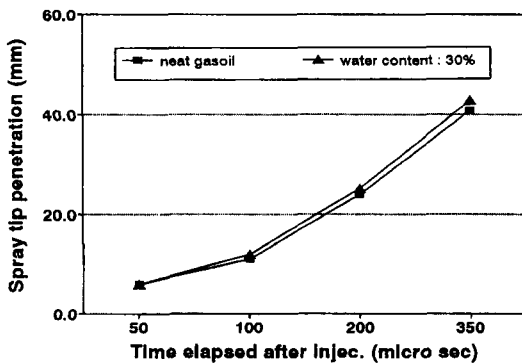


Fig. 5. Comparison of spray penetration(neat light diesel and light diesel-water emulsified fuel).

3-1-2. 분무각

Fig. 6에 사용연료와 분무각 사이의 관계를 보이고 있다. 이것에 의하면 유화연료의 분무각은 경유에 비해 약간 작은 각(최대 1.3°)을 보이고 있으나, 함수율의 증가에는 별로 영향을 받지 않는다. 이러한 경향은 연료가 유화됨에 따라 동점도계수가 증가하기 때문인 것으로 추정된다. 경유의 동점도계수는 상온(18°C)에서 약  $6 \times 10^{-6} \text{m}^2/\text{s}$  이지만, 유화제를 사용하여 기계적인 방법으로 제조한 경유-물 유화연료의 경우에는 약  $19 \times 10^{-6} \text{m}^2/\text{s}$ 로 증가한다<sup>6)</sup>. 물론, 이와같은 점도증가율을 본 연구와 같이 유화제없이 초음파만으로 제조한 유화연료에 그대로 적용할 수 없지만, 동점도가 분명히 증가하는 성향은 보이리라고 사료된다. 이와같이 분무각이 적어 분무체적도 적은 유화연료이긴 하지만 분무속내의 공기와 연료의 양적비율, 즉 공연비는 경유분무에 비해 높아 공기이용률 측면에서 보면 유화연료가 훨씬 플러스효과를 미칠 것이다. 이러한 성향은 연료의 총분사량이 일정할 때나, 공급열량이 일정할 때에는 언제든지 성립한다<sup>6)</sup>.

3-1-3. 평균입경

분무의 평균입경은 입자들의 체적과 표면적을 고려하여 구한 sauter 평균입경,  $D_{32}$ (SMD, sauter mean diameter)로 정의<sup>6)</sup> 하였으며,  $D_{32}$ 와 사용연료와의 관계를 Fig. 7에 나타내었다. 이 결과에 의하면, 유화연료의 분무평균입경은 함수율이 커질수록 경유의 분무평균입경보다 커진다(일례로, 함수율 30%의 경우 25% 증가). 이것은 분무가 주위분위기 공기로부터 힘을 받아 변형, 분열하는 과정에서 유화연료의 경우 동점도가 높아 변형과 분열이 억제되면서 미립화가 진행되어 경유에 비해 평균입경이 커지기 때문이라고 생각된다<sup>6)</sup>.

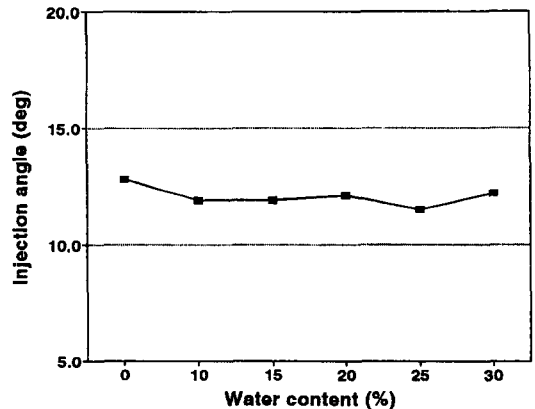


Fig. 6. Relation between the water content and injection angle.

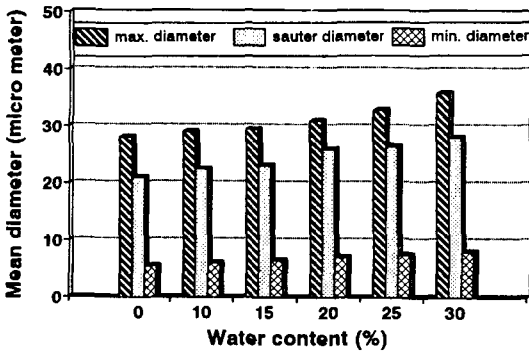


Fig. 7. Relation between the water content and mean diameter.

3-2. 유화연료가 기관의 분사특성에 미치는 영향

3-2-1. 분사기간

Fig. 8은 경유와 유화연료로 운전할 때의 분사기간을 나타낸 것이다. 유화연료의 경우 에너지분사량(단위 체적당 발열량×분사율)이 적기 때문에 연료분사기간이 증가할 것이라는 예상과 같이 유화연료 사용시의 분사기간이 경유 사용시에 비해 길어지고 있다. 그 차이는  $R_{gw}$ 가 높아질 수록 커지며, 경유-물 유화연료의 경우, 전 운전영역에 있어 대략 2°C A 이하이다(엔진회전수 변화에 상관없이 차이가 거의 일정). 이러한 현상은 주로 유화연료의 점도가 증가하기 때문에 발생하는 것으로 생각된다<sup>8)</sup>. 이와같이, 분사기간이 길어지는 것은 엔진회전속도를 일정하게 유지하는 경우, 유화연료에 함유된 實 에너지원인 경유분사율(크랭크각도 1도당 분사연료량)이 낮아지는 것을 의미하므로 유화연료 사용시 어느 정도의 엔진출력 감소가 있음을 예상할 수 있다. 한편, 엔진회전수 2500 rpm 이상의 고속회전 영역에서 함수율이 증가할 수록 분사기간이 저속회전 영역에서의 그것과 달리 약간 짧게 나타나는 이유는, 유화연료의 점도

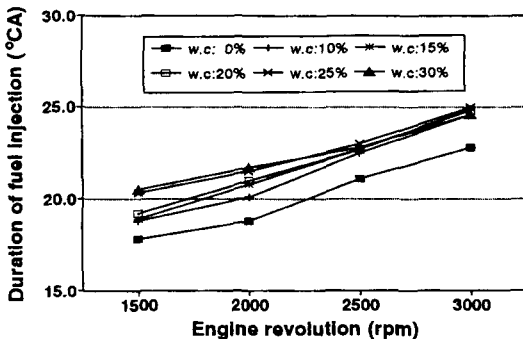


Fig. 8. Effect of water content on the duration of fuel injection.

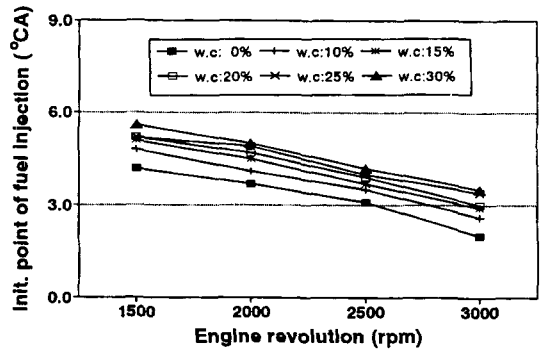


Fig. 9. Effect of water content on the initial point of fuel injection.

증가 특성이 고속회전 영역에서는 유량 증가로 인해 약간 저하하기 때문인 것으로 생각된다<sup>9)</sup>.

3-2-2. 분사개시시기

Fig. 9는 경유와 유화연료로 운전할 때의 분사개시시기를 나타낸 것이다. 유화연료를 사용한 경우, 경유만을 사용한 경우에 비해 일반적으로 진각되고 있다. 이러한 진각정도는  $R_{gw}$ 가 높아질 수록 커지며, 경유-물 유화연료의 경우 대략 1.5°C A 이하이다. 또, 유화연료의 분사개시시기는 분사기간과 달리, 엔진 회전속도가 높아질 수록 진각정도가 줄어들고 있다. 이렇게 분사개시시기가 진각되는 것은 주로 유화연료의 점도가 증가하여 인젝션펌프와 분사노즐 부위에서의 누설량이 줄어들기 때문인 것으로 생각된다<sup>8)</sup>. 이와 같은 분사개시시기의 진각은 착화 지연 시간을 증가시켜, 초기연소를 과대해지게 하므로써 최고연소압력을 증가시키고 NOx를 증가시킬 것이므로, 추후 유화연료 사용 엔진의 체변수를 최적화하는 경우, 비교적 낮은 분사율의 분사방식을 취하는 것이 바람직할 것으로 생각된다. 또한, 이러한 성향은 엔진의 압축비를 낮춰 최고연소압력을 낮춤으로써 NOx를 줄일 수 있는 한가지 방안을 제시하고 있기도 하다.

3-3. 유화연료가 기관의 성능특성에 미치는 영향

유화연료가 기관의 성능에 미치는 영향을 Fig. 10에 나타내었다. 경유 운전시에 비해 유화연료 운전시의 출력은 비가연성 물이 함유됨에 따라 저하되고  $R_{gw}$ 가 커질수록 감소폭이 커지고 있다(일례로,  $R_{gw}=0.3$ 일 때 최대 8.6%의 출력이 감소함). 토크의 경우에도 출력과 비슷한 감소성향을 보이고 있다. 반면, 단위 출력 단위 시간당 연료소비량, 즉 연료소비율은 유화연료를 사용함에 따라 대폭적으로 개선되고 있으며,  $R_{gw}$ 가 커질수록 개선폭이 커지고 있다. 개선폭은 물을 질량비로 30% 혼합하였을 때, 최대 28%에 달하고 있다.

또, Fig. 11에서 볼 수 있듯이, 유화연료 운전시의 제동열효율도 경유 운전시의 그것보다 5.6%~29.6% 정도

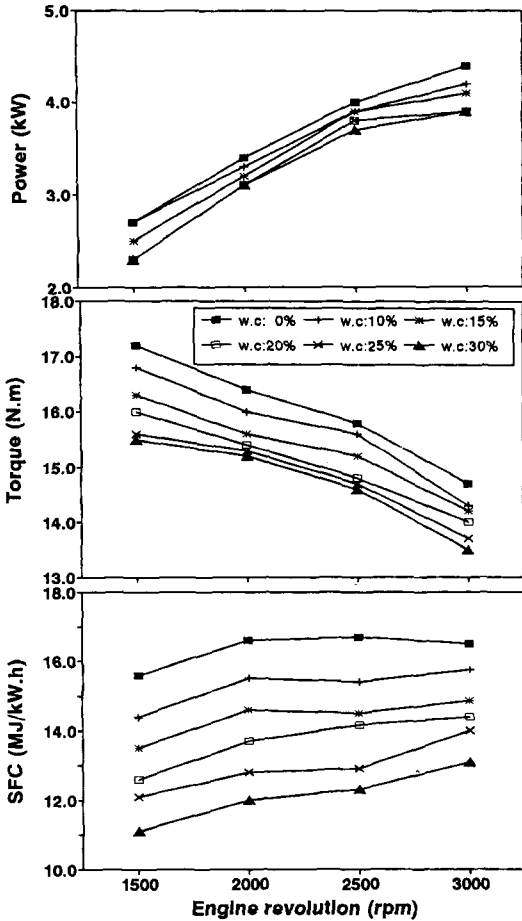


Fig. 10. Effect of light diesel-water emulsified fuel on the engine performance.

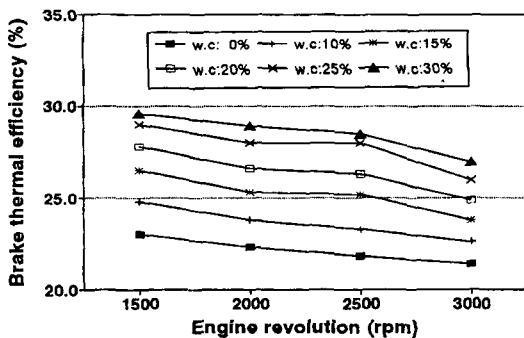


Fig. 11. Comparison of brake thermal efficiency under neat light diesel and light diesel-water emulsified fuel operation.

높고,  $R_{gw}$ 가 증가함에 따라 개선폭이 커지고 있다.

유화연료 분무의 대기중 분무특성(특히 sauter 평균입경이 큼)이 미립화 측면에서 볼 때, 경유에 비해 불리함에도 불구하고 이와같이 연료소비율과 제동열효율이 경유에 비해 개선되는 요인을 정리하면 다음과 같다.

- ① W/O형 유화연료중에 포함된 물입자의 급속한 체적팽창인 미소폭발(micro 폭발) 효과에 따른 분무유적의 미세화(일례로, 출력이 BMEP로 31 kg/cm<sup>2</sup>이고 분사시기가 16.7°C A BTDC인 엔진에서의 유화연료 체적증가비는 83.7인 반면, 경유는 5.7임)
- ② 분무의 관통력 및 운동량의 증가에 의한 분무속내로의 공기혼입효과 증대
- ③ 물함유에 의한 분무내의 국소공기과잉율의 증대
- ④ 착화지연의 증가에 따른 예혼합 연소량의 증가 등과 같이 연소실내의 분무연료와 공기와의 혼합이 촉진되는 점
- ⑤ 연소온도의 저하 및 불꽃취염(輝炎)의 감소에 따른 냉각손실의 저감
- ⑥ 연소온도 저하에 따른 열해리 경향의 억제
- ⑦ 연소생성가스의 물수 증가 등과 같은 요인이 합쳐 연료소비율의 개선이 가능한 것으로 생각된다<sup>9,12</sup>.

### 3-4. 유화연료가 기관의 배기배출물 특성에 미치는 영향

#### 3-4-1. 매연농도

Fig. 12에 사용연료와 매연농도의 관계를 나타내었다. 경유 운전시에 비해 유화연료 운전시의 매연농도가 대폭적으로 감소하고 있으며(최대 59.5%),  $R_{gw}$ 가 높아질수록 감소폭이 커지고 있다. 이와같이, 유화연료를 사용함에 따라 매연농도가 감소하는 이유는 유화연료에 물을 내포하므로써 야기되는 착화지연기간의 증가와 연소 촉진 효과, 경유 유입량 감소 때문인 것으로 생각된다. 일반적으로, 압축점화 디젤기관에서 배출되는 매연농도

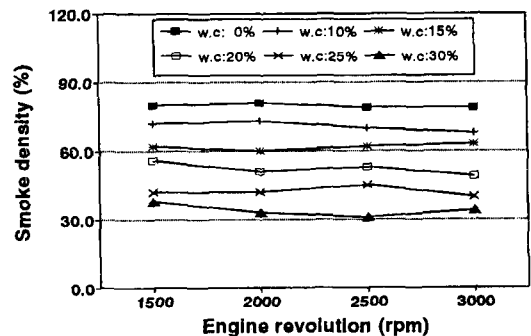


Fig. 12. Effect of light diesel-water emulsified fuel on the smoke density.

는 화염중 생성된 핵(nuclei)이 응고 및 응집하는 과정에서 탈수소 및 산화하는 경로와 직접 생성하는 경로와의 발란스에서 결정된다. 이때, 유리탄소는 예혼합 연소기간보다 확산 연소기간에서 생성되는율이 높고, 확산 연소기간의 길고 짧음, 확산 연소기간에서의 탄소입자의 양 및 산화정도가 매연농도에 영향을 미쳐 연소가 낮은 온도분위기에서 장기간 존재하는 것보다 높은 온도분위기에서 단시간 존재하는 것이 매연농도를 촉진하는 것으로 알려져 있다. 그런데, 유화연료는 연소실내에서 흡입 및 압축행정중 기화잠열로 인해 혼합기가스의 온도가 강하하고, 온도강하폭도  $R_{wv}$ 가 증가할 수록 커지므로<sup>8)</sup>, 유화연료에서의 착화지연기간은 경유에 비해 길어지고, 이 경향은  $R_{wv}$ 가 증가할 수록 증가하게 된다. 또, 유화연료인 경유에는 물이 혼합되어 예혼합 연소기간중 전술한 *micro explosion*과 같은 연소촉진효과가 있어 연소기간을 단축시켜 예혼합연소율을 증가시킴으로써 매연이 감소하는 것으로 판단된다.

3-4-2. CO 농도

Fig. 13에 유화연료 사용시의 CO 배출농도를 나타내었다. 경유 운전시에 비해 유화연료 운전시의 CO 농도가 최대 78.9% 정도로 대폭적으로 감소하고 있으며,  $R_{wv}$ 가 높아질 수록 감소폭이 커지고 있다. 이와같이, 유화 연료의 CO 농도가 감소하는 이유는 비록 전술한 바와 같이 착화지연이 길어져 예혼합 연소부분이 커져도 *micro explosion*에 의한 연소촉진으로 인하여 상당량의 CO가 CO<sub>2</sub>로 변환하였기 때문인 것으로 사료된다.

3-4-3. HC 농도

Fig. 14에 유화연료 사용시의 HC 배출농도를 나타내었다. 유화연료 운전시에는 경유 운전시에 비해 HC 배출농도의 감소효과를 별로 찾아보기 어렵고 운전조건에 따라서는 도리어 증가하고 있다. 압축점화 디젤연소에서 착화가 일어나기 전에 분사된 연료는 점화지연이 길어질 수록 가연한계 이하의 희박혼합기가 되어 미연소

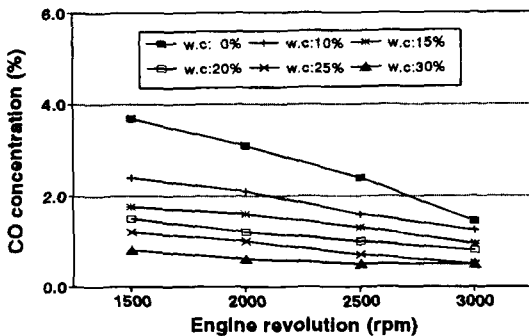


Fig. 13. Effect of light diesel-water emulsified fuel on CO concentration.

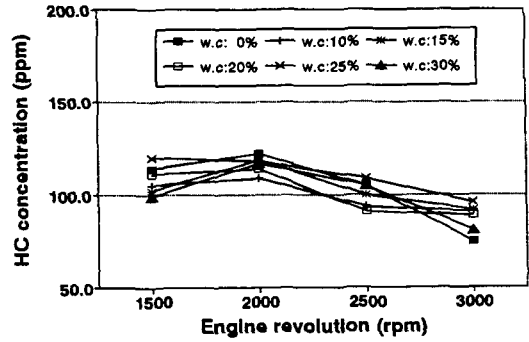


Fig. 14. Effect of light diesel-water emulsified fuel on HC concentration.

될 확율이 높아지고, 점화지연 기간후 분사되는 연료는 급격한 산화과정과 열분해를 거치면서 정상적인 완전연소를 하는데, 그렇지 못한 경우에는 과농혼합기가 형성되고 불완전연소 생성물을 형성, HC를 배출하게 된다. 이와같은 점을 감안할 때, 유화연료는 기화잠열에 의한 점화지연기간의 증가로 HC가 증가하는 측면과 *micro explosion*의 연소촉진에 의한 HC 감소측면이 양존하고 있다고 볼 수 있는데, 경유-물 유화연료의 경우에는 전자의 효과가 더 큰 영향을 미친 것으로 판단된다.

3-5. 유화연료가 기관의 소음에 미치는 영향

Fig. 15는 유화연료를 사용하였을 때의 기관소음을 나타낸 것이다. 유화연료 사용기관 소음은 경유 사용기관의 소음에 비해 운전조건에 따라 비슷하거나 아주 미미하게 줄어들고 있다. 감소폭은 1~3 dBA 정도이다. 그 중에서도  $R_{wv} < 0.2$ 인 경우에, 소음감소 정도가 상대적으로 크다. 이것은 유화연료를 사용할 때, 착화지연이 길어지고 예혼합 연소부분이 커져 최고압력 상승율이 높아지므로써 기관소음이 증가할 것이라는 예상과는 정반대의 현상이므로 이에 대한 검토가 필요하다.

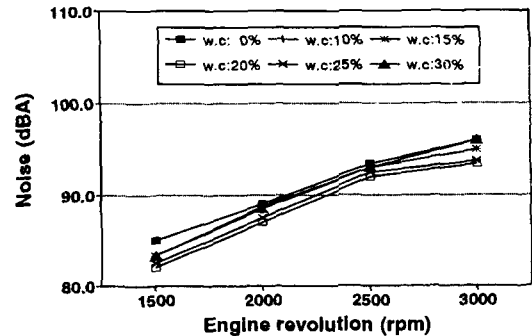


Fig. 15. Effect of light diesel-water emulsified fuel on the engine noise.

#### 4. 결 론

인젝션펌프 직전에서 경유-물 유화연료를 만들어 즉시 엔진내로 공급하는 동시공급형 유화연료 제조장치를 만들어 단기통 소형 디젤엔진에 적용하여 본 결과, 연료 소비율과 배기배출물(특히 매연) 측면에서 모두 상당히 플러스적인 결과를 얻었다. 이와같은 현상은 유화연료의 동점성계수가 커져 대기중의 분무특성이 상대적으로 나빠짐에도 불구하고, 유화연료만이 가지는 독특한 미소폭발현상으로 인해 유화연료의 미립화가 촉진되고 연소가 개선되며 연소온도의 저하에 따른 영향 때문인 것으로 판단된다. 앞으로 유화연료사용 엔진의 제 운전조건 등을 최적화하는 경우, HC를 포함하여 전체적으로 보다 양호한 결과를 얻을 수 있으리라 기대된다.

#### 참고문헌

1. 水谷幸夫, 多木昭雄: "물유화연료분무의 연소·배출 특성과 연소기구(제 1보, 에멀전의 성질과 연소·배출특성)", 일본기계학회논문집(B편), **47**, **424**, 2379-2385 (1981).
2. Norihiro Sawa and Shuichi Kajitani: "Physical properties of emulsion fuel (water/oil type) and its effect on engine performance under transient operation", SAE paper 920198 (1992).
3. Minoru Tsukahara and Yasufumi Yoshimoto: "Reduction of NOx, smoke, BSFC, and maximum combustion pressure by low compression ratios in a diesel engine fuelled by emulsified fuel", SAE paper 920464 (1992).
4. 吉本康文, 塚原實: "유화연료구동 디젤기관의 성능에 미치는 분사특성의 영향-제 1보, 유화 연료의 분무특성", 일본기계학회논문집(B편), **54**, **503**, 1866-1871 (1988).
5. 和栗 外 3人: 일본기계학회논문집(B편), **25**, **156**, 820 (1959).
6. 田畑: 일본기계학회논문집(B편), **51**, **470**, 3263 (1986).
7. 塚原 實 外 3人: "디젤기관에 물 에멀전 연소법을 적용한 경우 연소촉진효과에 미치는 연소실 형상의 영향", 일본기계학회논문집(B편), **48**, **426**, 381-388 (1982).
8. 梶谷修一 外 3人: "압축점화 복합유화연료기관에 관한 연구(경유·물·알콜 복합 연료공급시의 기관성능 및 배기성능)", 일본기계학회논문집(B편), **56**, **526**, 1818-1824 (1990).
9. M. Tsukahara and Y. Yoshimoto: "A Study on the evaporation of an emulsified fuel droplet in a closed vessel", Proceeding 1st KSME-JSME/Thermal and Fluids Engineering Conference, 1 (1988).
10. Tadashi Murayama, *et al*: "Experimental reduction of NOx, smoke, and BSFC in a diesel engine using uniquely produced water(0-80%) to fuel emulsion", SAE 780224 (1978).
11. 村山 外 3人: 내연기관합동심포지움 강연논문집, **79**, 8 (1983).
12. 塚原, 常本: 내연기관, **19**(236), 80 (1985).