

초음파에너지 조사 W/O type 유화연료의 제반특성에 관한 연구 (I) - 안정성 및 분무특성을 중심으로 -

A Study on the Various Characteristics of Ultrasonic-Energy-Added W/O Type Emulsified Fuel (I)

- attaching importance to stability and spray characteristics -

김용철*, 송용식**, 류정인***

Yongcheol Kim, Yongsik Song, Jeongin Ryu

Abstract

This study is concerned about the characteristics of ultrasonic-energy-added W/O type emulsified fuel. The distilled water was mixed with diesel oil by using ultrasonic energy fuel feeding system and then the SMD of sprayed droplets was measured to find out atomization characteristics of emulsified fuel by using the Malvern 2600 system. The capacitance value was measured to verify stability of the same specimen by using the digital LCR meter, EDC1630 additionally.

The main results are as follows; 1) The more measuring distance increases between one hole nozzle tip and analyser beam, the more SMD increases. 2) The more water content increases, the more capacitance value increases depending on the time. Main Parameters of the study are the amount of water content, 0~30% by 5% in emulsified fuel, and the measurement distance, 20~140mm by 10mm or 20mm, between nozzle tip and analyser beam.

주요기술용어 : SMD(Sauter 평균입경), Emulsified fuel(유화연료), W/O type(유중수적형), Capacitance value(정전용량), Ultrasonic energy fuel feeding system(초음파 연료공급장치),

1. 서론

유해배기가스 발생을 억제하기 위해 여러 방법의 연구가 이루어지고 있다. 특히 저질의 액체연료를 사용하는 열기관에서는 NOx 및 soot의 발생이 대기오염의 큰 비중을 차지하기 때문에 그 발생량을 억제하

는 방법의 하나로 물의 잠열을 이용, 연소온도를 저하시키고, 물의 수산화 반응을 이용하는 라디칼 형성을 극대화시켜 완전연소를 이룩함으로써 열기관의 효율성을 극대화 시키는 한편 유해 배기가스의 배출을 저감시키는 등의 많은 연구들이 수행되어져 왔다.⁽¹⁾⁽³⁾

유화연료(emulsified fuel)는 경유에 물을 첨가한 연료로서 연소시 연료의 기화를 촉진시켜 효율적인 연소진행을 도와주므로 기관의 성능을 향상시키고 엔

* 회원, (사)한국선급

** 회원, 제천기대 카일렉트로닉스과

*** 회원, 충남대학교 기계공학부

진내의 온도를 낮추어 thermal NOx를 저하시키고 soot의 형성을 억제하는 장점을 가지고 있다.⁽⁴⁾

연료분사시 함유된 물은 연료의 물리적 특성값을 변화시키고 분무액적의 크기에 영향을 주며, 연소시 화염의 유지 및 화염형성에도 영향을 미치게 된다. 또한, 연소시 미소폭발과 수산화 반응 등에 의하여 배기가스의 생성과 열효율에 지대한 영향을 미치게 된다.⁽¹⁾⁽³⁾

본 실험에서는 초음파에너지를 이용하여 유화연료를 제조하였으며, 열기관에 적용하기 전의 선행연구로서 연속형 단공노즐을 사용하여 함수율에 따른 분무실험을 수행하였고 분무거리에 따른 액적의 크기변화를 관찰하였으며, 정전용량을 측정하여 유화연료의 안정성을 확인하였다.

2. 관련이론

2.1 초음파

초음파는 구형파와 비교하여 볼 때 일정방향으로 강하게 방사되는 성질(directivity)을 가지는데, 지향성에 의하여 크기가 같은 구형파보다 훨씬 큰 방사압을 가지게 되므로, 초음파를 초점에 집중하면 매우 큰 음압강도를 만들 수 있게 된다. 또한, 이 방사압이 매우 크므로 음압의 큰 소밀파를 발생시켜 음압차에 의하여 기포가 집합, 성장, 압괴되는 초음파 공동현상(ultrasonic cavitation)이 발생하게 된다. 기포가 압괴되는 순간에 매우 큰 순간압력의 충격파가 발생하여 액체 내에 격렬한 잡음이 발생하며 액체가 충돌하여 합쳐지고 파괴되고 다시 합쳐지면서 방사압이나 직진류도 가해져 액면이 발달하여 솟아오르며 유괴도 생기면서 주파수 고유의 가느다란 분무가 발생된다.⁽⁵⁾⁽⁸⁾ 또한 진동자에 의한 충격에너지와 국부적 온도상승 및 압력상승 효과가 연료의 계면에 작용하여 연료의 표면장력 및 점도를 저하시킴으로써, 결국 분무 미립화 특성에 영향을 미치게 된다. 현재 이러한 초음파 특성은 초음파 세척장치 등에 응용되어지고 있다.⁽⁸⁾ 초음파 에너지 조사에 의한 미립화 측면에서, 동일한 분사조건하에서 초음파 에너지를 조사한 액체 연료는 초음파에너지를 조사하지 않은 액체연료보다 미립화 효과가 우수함으로 연료의 분사압력을 낮춤으로써 분사효율의 향상에 의해 종합적인 효율의 향상에 일조할 수 있다.

2.2 유화연료

유화연료란 물과 기름이 유화상태에 있는 연료를 말하며, 물과 기름의 함량에 따라서 크게 물이 분산질인 경우의 유중수적형(W/O type)과 반대 경우의 수중유적형(O/W type)으로 구분되는데, 연료로서는 유중수적형이 많이 사용된다. 유화연료를 생성하는 방법은 크게 기계적인 장치를 이용하는 것과 초음파 에너지를 이용하는 것이 있는데, 기계적인 장치는 부피와 중량이 커서 차량 등에 탑재가 어려우며, 저장시 유화연료의 상분리 문제가 발생한다.⁽¹⁾⁽³⁾ 이를 극복하기 위한 기술로서, 후자는 앞서 언급한 초음파 에너지를 어떤 액체에 조사하여 미세한 액적을 만드는 동시에 다른 액체 내에 균일하게 분산시켜서 유화연료를 제조한다. 연료가 상분리되면 안정성 부족으로 분무가 불균일해지므로, 이러한 문제를 극복하기 위하여 연료 분사 펌프 직전에 유화연료 제조 장치를 부착하여 유화연료의 제조와 동시에 곧바로 분무시키게 되면 유화연료 공급을 위한 별도의 장치가 필요하지 않다.⁽³⁾⁽⁵⁾ 즉, 초음파 에너지는 물과 경유의 계면을 약화시키는 순간적 유화제의 역할을 대신 수행함으로써 액체간의 용합을 촉진하는 주역할을 하며, 이에 따른 계면활성제의 사용으로 인한 경제적, 유해 배기 배출을 사전에 방지하며, 부수적으로 초음파 에너지에 의한 미립화 효과까지 동시에 얻을 수 있다.

3. 실험장치 및 방법

3.1 초음파 유화연료 제조장치

초음파에너지를 이용하는 장치는 고주파 전원으로 구동되는 초음파 진동자 부분과 진동을 확대하는 진폭확대자 부분으로 나눌 수 있다. 연료와 접촉하는 면상에 초음파 영역의 진동을 발생시켜 접촉면상에 순간적인 진공의 생성과 소멸을 일으키게 된다. 이때 공동이 형성되고 성장과 파괴로 인하여 연료에 큰 충격에너지를 가하게 되는데 이와 같은 현상을 공동현상(cavitation)이라 한다.

유화연료의 제조에 있어, 가장 중요한 문제는 유화연료의 안정성이다. 안정성에는 연료의 종류, 온도, 물 첨가율, 계면활성제의 종류와 첨가율, 유화연료 제

조장치의 원리와 조건, 용기의 성질과 크기 등이 크게 영향을 미친다. 유화연료가 안정되지 못하면, 분무가 불균일해지고 재현성이 떨어져 제어하기가 어려운 점이 있다. 초음파 공급장치는 기계적 교반기보다 미립화 효과가 뛰어나 적은 유화제 또는 유화제 없이 유화연료를 제조할 수 있다.

본 실험에서는 초음파에너지를 이용하여 유화제를 첨가하지 않고 유화연료를 제조하였다.

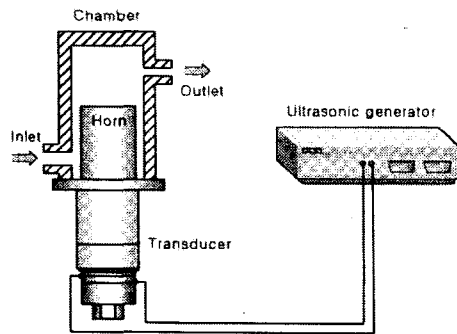


Fig. 1 Ultrasonic emulsified fuel manufacturing system

초음파 유화연료제조장치는 Fig. 1에 나타낸 것과 같이 진동자를 구동하는 초음파 발전장치, 진동자, 진동을 증폭시키는 진폭확대자, 유화실로 구성되어 있다. 초음파 발전장치에서 사용한 진동자의 공진주파수는 15kHz, 최대전력 2.4kW를 공급할 수 있도록 설계된 것으로 Langevin 진동자를 이용하였다. 유화실은 유화연료의 제조과정을 확인할 수 있도록 아크릴로 설계 제작하였다.

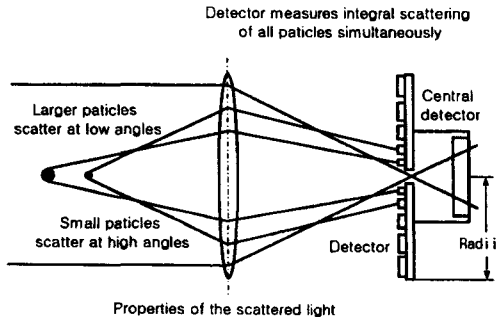


Fig. 2 Principle of particle size analyzer

3.2 분무입경 측정장치

분무입경을 측정하기 위하여 Fraunhofer 회절원리를 이용한 Malvern system 2600을 이용하였으며, Fig. 2에 그 원리를 나타내었다.

Fraunhofer 회절이란 광원과 상이 나타나는 스크린이 회절을 일으키는 좁은 슬릿과 무한한 거리로 떨어져 있을 때 생기는 회절을 말하는 것으로, 광원과 슬릿 사이의 거리가 멀때 슬릿과 스크린에 도달하는 빛은 평면파가 되는 것이다. 이때 광로상에 액적에 의하여 회절된 산란각은 액적의 크기에 반비례하며, 산란된 빛은 굴절각도에 따라 동심의 반원 모양 수광부에 모이게 된다. 또한 입자의 크기가 같으면 그 위치에 관계없이 같은 초점을 갖게 된다. 이러한 원리로서 반원 수광부에서는 검출되는 산란된 빛의 양을 동시에 측정하여 컴퓨터에 내장된 해석기로 분무입경의 분포와 SMD를 구할 수 있는 구조로 되어 있다.

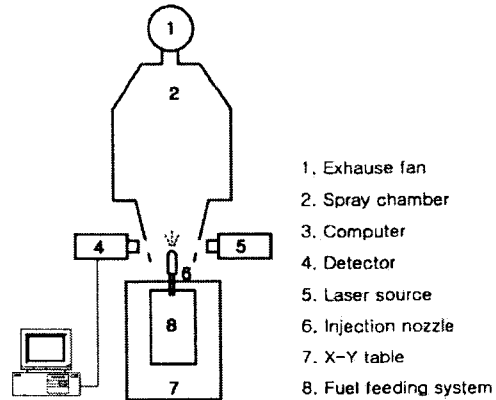


Fig. 3 Schematic diagram of experimental apparatus

Fig. 3은 분무입경 측정에 사용된 전체적인 시스템의 구성도로서 구성은 크게 연료공급 장치부와 분무입경 측정 장치부로 나눌 수 있으며, Fig. 4에서는 연료공급 장치부를 나타내었다.

유화연료는 초음파의 진폭이 최대인 진폭확대자의 선단부분에서 경유와 물의 진동에 의해 생성되고 펌프를 지나 노즐에 분사된다. 유화연료공급장치 부분에서는 경유와 물의 공급은 각각의 저장탱크에 질소가스로서 정압을 유지하고 유량제어밸브를 이용하여 교반기에 공급하였으며, 초음파 유화연료 제조장치에 일정한 비율로 유입되게 하기 위하여 기계적으로 교

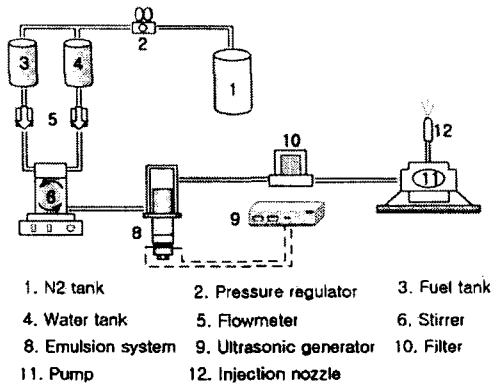


Fig. 4 Emulsified fuel feeding system

반하였다. 또한 펌프에 공기 및 가스가 유입되지 않도록 유화연료제조장치 전후에 배출장치를 하였다. 연료분사펌프는 전자펌프로서 유량과 압력은 시간당 0.0023 M³ 및 0.83 MPa인 것을 사용하였으며, 연료 분사노즐은 압력식 단공노즐로서 기준 분무각은 60° 이고 분무는 hollow-cone 형태인 상용노즐을 사용하였다.

분사노즐의 거리에 따른 액적의 크기를 측정하기 위하여 초음파 연료공급장치를 X-Y 테이블위에 고정시켜, X-Y 테이블을 이동시키면서 거리별로 액적의 크기를 측정하였다. 분사노즐을 통하여 분사된 연료는 분무실로 분무되도록 하였으며, 분무실의 후방에는 배기팬이 설치되어 기 분무된 미세액적들을 제거함으로써 액적의 크기측정에 정확성을 도모하였다.

3.3 정전용량 측정장치

Fig. 5에 안정성 평가를 위한 정전용량 측정 실험 장치를 나타내었다. 초음파에너지를 조사하여 제조한 유화연료를 정전용량 센서의 측정부에 넣은 후 Digital LCR meter를 이용하여 정전용량 값을 측정하였다. 본 실험에 사용한 Digital LCR meter는 EDC-1630을 사용하였고 공급전원은 1Volt, 주파수는 10kHz로 초당 30번 측정해서 평균값을 나타내었다. 정전용량을 LCR meter를 이용하여 시간추이에 따라 측정하므로써 유화연료의 상분리 상태를 정량적으로 알 수가 있으므로 연료로서의 타당성 검증이 가능하다.

이러한 연료로 정전용량센서의 검출부에서 측정되는 정전용량 값으로 유화연료의 상 분리

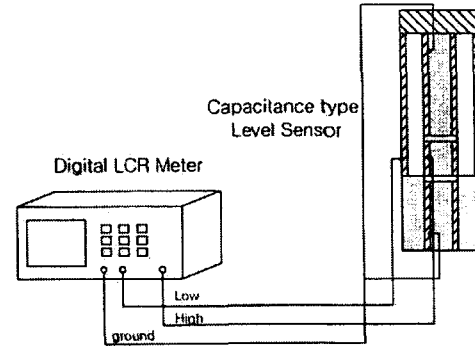


Fig. 5 Measuring system of capacitance value

시점을 미리 예측해서 상 분리 시점과 그에 따른 유화연료의 재 혼합과 같은 조치를 취할 수 있다고 판단된다.

3.4 분무입경 측정 실험조건

실험은 281K, 대기압 상태에서 시행하였으며 유화연료는 연료공급 장치로 제조하였다. 이때 경유에 물을 0~30%까지 5% 간격의 질량비로 계량하였고 분무입경의 측정은 초음파 유화연료 분사장치의 노즐 선단부의 위치가 beam source상에 있을 때를 기준으로 하여 20~60mm까지는 10mm 간격으로 60~140mm까지는 20mm씩 X-Y 테이블을 이동시키면서 측정하였다.

3.5 정전용량 측정 실험조건

안정성 평가를 위한 정전용량 측정실험에 사용한 시료는 분무입경 측정에 사용한 시료와 동일한 것으로서 측정에 이용한 센서는 표준시료의 이론값과 실제 측정된 값을 비교하여 정확도가 ±2%이내의 검증된 것을 이용하였다.⁽⁹⁾

4. 결과 및 고찰

4.1 분무입경

SMD는 분사된 액체가 주위 기체와 표면을 통해 접촉하기 위한 미립화 정도를 보여주는 유용한 척도가 되며 연소시스템에서 연소 반응과 효율에 관계가 있다.⁽¹⁰⁾ 그림의 범례에 사용한 W%는 물의 함량을 나타내며 U는 초음파에너지 조사를 의미한다.

Fig. 6은 유화 연료내의 함수율의 변화에 따른 거리별 SMD 분포를 나타낸 것으로 분무선단으로부터 거리가 증가될수록 분무입경이 증가되는 일반적인 경향을 보였으며 순수경유일 경우에 측정위치가 20~140mm까지 변화함에 따라 분무입경은 22.5 μm 에서 38.8 μm 로 증가하였다. 또한 초음파를 조사한 경유의 경우에는 분무입경이 18.0 μm 에서 34.9 μm 로서 초음파를 조사하지 않은 순수경유에 비하여 평균 7%정도 평균입경이 작아지는 경향을 보였다.

Fig. 7은 거리에 따른 함수율별 분무입경을 나타낸 것으로 전체적으로는 분무선단으로부터 거리가 증

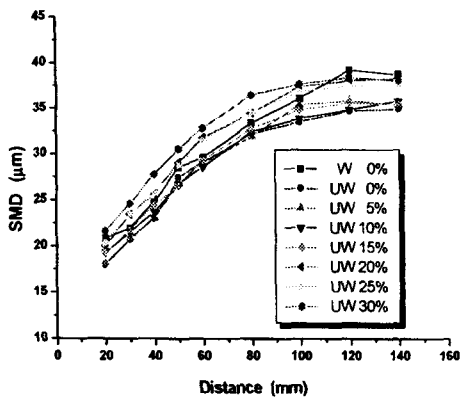


Fig. 6 SMD vs. the distance from water content in emulsified fuel

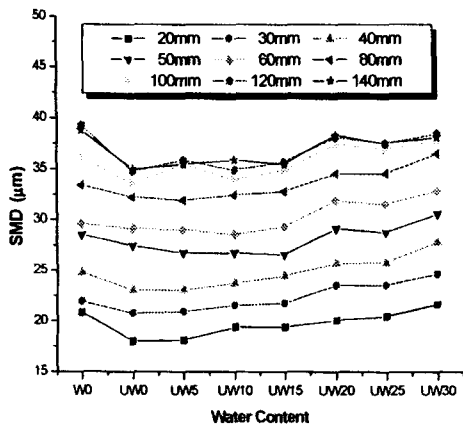


Fig. 7 SMD vs. water content from distance of analyzer beam

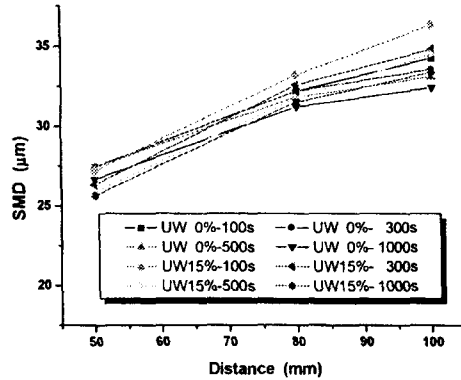


Fig. 8 SMD vs. the distance from adding energy in ordinary fuel and emulsified fuel

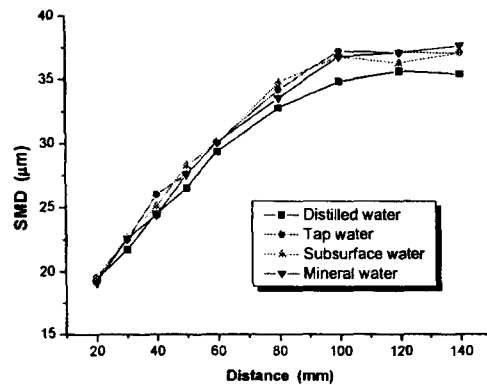


Fig. 9 SMD vs. the distance from different water in emulsified fuel

가함에 따라서 분무입경은 증가하는 경향을 보이고 있다. 액적의 크기가 함수율이 5~15%인 경우 순수 경유에 비하여 물에 의한 영향은 비교적 적은 반면 초음파에 의한 미립화 현상이 두드러진 것으로 여겨진다. 또한 전반적으로 함수율과 무관하게 분무액적이 작은 것은 초음파에너지가 물과 경유, 그리고 경유와 경유 사이의 결합을 끊어줌으로써 점도의 저하를 일으켰기 때문이라고 사료된다. 그리고 거리가 증가함에 따라 분무입경이 증가하는 경향을 보이고 있는데 이것은 분무액적이 합체되거나 공기와의 마찰에 의해 작은 입자가 증발되는 것으로 추정된다.

Fig. 8은 초음파 조사시간에 따른 거리에 대한 분무입경을 나타낸 것으로 초음파 조사에너지가 많을수

록 상대적으로 분무입경이 적어지는 것으로 나타났다. 이것은 초음파 에너지량이 입자간 결합을 끊어주는 중요한 인자임을 알 수 있다.

Fig.9는 시료에 사용한 물의 종류에 따른 분무입경을 나타낸 것으로 증류수가 전반적으로 수돗물, 지하수, 생수에 비하여 미립화가 잘되는 것으로 나타났다. 순수증류수는 불순물에 의하여 누설되는 에너지가 상대적으로 적기 때문에 사료된다.

4.2 정전용량 측정

Fig. 10은 순수경유에 물을 질량비로 0~25%를 5%간격으로 증가시켜 초음파 유화연료에 대한 안정성을 5분 동안의 시간에 따른 변화를 정전용량을 측정하는 것이다. 물을 25%첨가하였을 경우 초기에 정전용량값의 증가폭이 매우 크며, 상대적으로 물의 첨가량이 5%, 10%인 경우에는 시간이 경과에 따라 낮은 정전용량 값을 나타내고 있다.

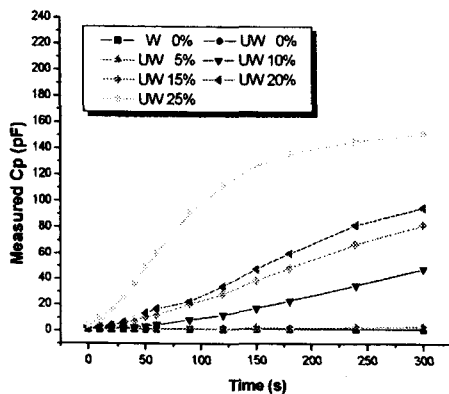


Fig. 10 Capacitance value from water content in emulsified fuel

이것은 물의 첨가량이 많을수록 시간이 경과함에 따라 유화연료가 합일 현상에 의하여 수적의 크기가 커지면서 정전용량의 센서부의 하부로 침전현상이 발생하고 또한 침전속도도 빨라져서 큰 정전용량 값을 나타내는 것으로 판단된다. 일반적으로 육안에 의한 유화연료의 상태를 확인하는 경우보다 센서를 이용하면 정전용량 값을 정량적으로 측정할 수 있기 때문에 유화 연료의 안정성을 확인할 수가 있게 된다.

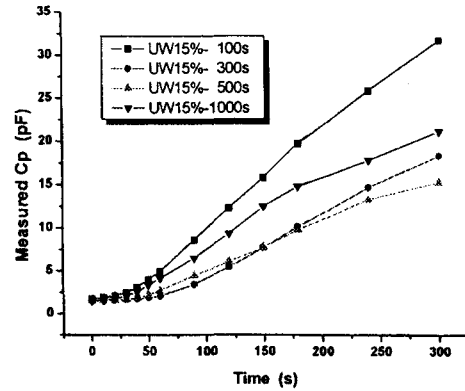


Fig. 11 Capacitance value from adding ultrasonic energy in emulsified fuel

Fig. 11은 초음파에너지 조사시간에 따른 정전용량 값을 나타낸 것으로, 유화연료 안정성 측면에서는 적절한 초음파에너지 조사량이 필요로 함을 알 수 있다. 초음파 에너지량이 지나치게 많게 되면, 분산된 수적들이 잉여에너지에 의해 오히려 합일이 촉진되는 것으로 사료된다.

5. 결론

본 연구는 미립화 및 안정성 측면에서 유화제를 사용하지 않은 유화연료를 연료로서의 타당성을 밝히고자 초음파에너지 조사에 의해 제조된 유화연료를 연속형 단공노즐을 이용하여 함수율에 따른 분무입경을 측정하였고 동일한 시료에 대하여 정전용량을 측정하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 분무입경 측정결과 함수율이 증가할수록 분무입경이 증가하는 일반적인 경향을 보였으며, 초음파에너지를 조사한 경우는 초음파 에너지를 조사하지 않은 순수경유에 비하여 분무입경이 평균 7% 감소하여 확인한 초음파 조사효과를 확인할 수 있었다.
- (2) 분무입경은 함수율이 5~15%인 경우 순수경유에 비하여 물에 의한 영향은 비교적 적은 반면 초음파에너지 조사에 의한 미립화 현상이 두드러지게 나타남을 알 수 있었다.
- (3) 증류수와 같이 불순물이 적은 순수물질에

서 초음파 에너지 조사효과가 우수함을 알 수 있었다.

(4) 정전용량 값으로 유화연료의 상분리 현상에 대한 안정성을 확인할 수 있었고 유화연료로써 최적의 안정성을 유지하는 초음파에어지 조사량을 밝히므로써 초음파 유화연료를 이용하는 분사계의 설계타당성을 제시할 수 있었다.

분무실험 결과는 대부분 순수경유보다 유화연료의 분무액적이 작아지며 연소시에도 유화연료내의 물에 의한 미소폭발현상이 발생하여 유화연료를 2차적으로 미립화를 하기 때문에 실기관에 적용시 우수한 연소특성이 기대된다.

참고문헌

1. Minoru Tsukahara and Yasufumi Yoshimoto, "Influence of Emulsified Fuel Properties on the Reduction of BSFC in a Diesel Engine", SAE No. 891841, 1989.
2. Shuichi Kajitani and Sawa Norihiro, "A study on Gasoil-water(W/O Type) Emulsified Fuel (The Effects of Lapse of Time on the Spray Characteristics)", 日本機械學會論文集(B編), 56卷, 531號, 1990-11
3. 권철홍, 김종필, 고창조, 이영재, 김봉석, 권오석, 박선, 유영진, "압축점화기관용 유화연료 이용기술 개발연구(II)", 한국에너지기술연구보고서 KIER-941104, 1994
4. 이영재, 박선, 김종필, 고창조, 권오석, 김봉석, 김강출, "압축점화기관용 복합연료 기술 개발 연구(IV)", 한국에너지기술연구보고서 KIER-961104, 1996
5. 류정인, "액체연료의 미립화 기술(I)", 한국자동차공학회지, Vol.5, No.4, pp.59~68, 1993
6. 조성철, 이승진, 윤면근, 류정인, "디젤자동차의 저공해형 연료공급장치 개발 I", 한국자동차공학회 학술대회 논문집 No. 97380053, 1997
7. B. E. Noltingk & E. A. Neppiras, "Cavitation Produced by ultrasonic: theoretical conditions for the onset of cavitation", Proc.phys. Soc., 64B1032, 1951
8. しるす, "超音波 噴霧", 山海堂, 1990.12
9. 조성철, "유화단일액적의 Microexplosion 현상에 관한 실험연구", 충남대학교 기계공학과 박사학위논문, pp.2~5, 2003
10. 진승범, 조대진, 윤석주, "회전컵 무화기의 미립화 특성에 관한 실험적 연구", 한국액체미립화학회지, Vol.6, No.4, pp.14~21, 2001
11. 이상용, "액체의 미립화", 민음사, 1997