

경유-병커C유 혼합연료의 분무 특성에 관한 연구

A Study on the Characteristics of the Mixed Light-BC Oil Sprays

윤 먼 근*, 조 성 철*, 최 영 구*, 류 정 인**
M. K. Yoon*, S. C. Cho*, Y. G. Choi*, J. I. Ryu**

ABSTRACT

This experiment was undertaken to investigate the spray characteristics of the conventional injection system and the ultrasonic energy added injection system. Test fuels include light oil and mixed light-BC oil. The mixed light-BC oil was injected at the normal temperature(20°C) and the high temperature(95±2°C) and injection pressure was 120kg/cm².

Sauter mean diameter was measured under the variation of the spray distance. To measure the droplet size, we used the Malvern system 2600C. Droplet size distribution was analyzed from the result data of Malvern system.

It is also found that the condition of the ultrasonic energy added injection and high temperature injection generates the smaller droplets than that of the conventional injection.

주요 기술 용어 : Mixed fuel(혼합연료), Fuel spray(연료분사), Atomization(무화), SMD(사우트평균입경), Ultrasonic fuel injection (초음파 연료 분사)

1. 서론

현재 국내에서 사용 중인 유류 발전소는 외연기관을 이용한 발전소가 주류를 이루을 위한 내연기관은 디젤기관이 사용되며, 특히 선박용으로 사용되는 기관을 사용한다.

내연기관 발전소는 제주도에서 가장 많이 사용되고 있으며, 고가의 경유 사용과 낮은 기관의 효율로 인하여 운용비의 부담이 심각한 상황이다. 그리고 대기오염의 차원에서 공해 물질의 배출 또한 심각한 상태이므로 이를 해결하기 위한 방안이 강구되어야 하는 실정이다.

발전용 내연기관에 사용되는 연료는 경유와 병커C유가 주된 연료로 사용되고 있다. 발전용 기관은

시동 및 저 부하(1/2부하 이하에서의 작동)시에 경유를 사용하고 고부하 시에는 95°C ± 2°C로 가열된 병커C유로 대체한 후 기관을 작동시키게 된다.

따라서 내연기관 발전소의 성능 향상과 운용비 절감을 목적으로 순수 경유 및 경유-병커C유 혼합 연료를 사용하여 연료의 분무 입경을 측정하고 초음파 에너지 부가의 경우와 그렇지 않은 경우의 분무 입경 및 입경 분포를 측정, 추후 내연기관 발전소에 적용하기 위한 사전 자료로써 이용하고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험 장치

(1) 입경 측정 장치

입자 및 액적의 측정에는 여러 가지 방법⁽¹⁾이 사용되고 있으며 Fig.1은 레이저 산란을 이용한 입경 측정

* 정희원, 충남대학교 기계공학과 대학원

**정희원, 충남대학교 공과대학 기계공학과

장치의 원리^(2,3)를 나타낸 것이다. 측정 원리는 레이저 산란광을 이용한 것으로 원추 모양으로 산란 되어진 빛은 렌즈를 통과한 후 광축 주위에 초점이 모인다. 이때 광축 주위에서 어긋나는 초점은 입자의 크기 함수로 나타낼 수 있다.

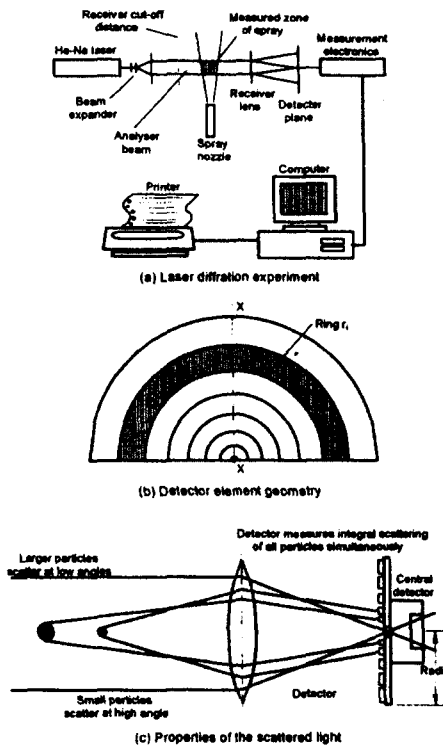


Fig.1 principle of particle size analyzer

광 검출기에 의한 측정 결과는 각 검출기의 파라미터와 입자의 크기와 관계되어지므로 그 관계식은 아래와 같다.

$$D_j = U_{i,j} V_i \quad (1)$$

이때 측정된 데이터가 D_j 이고 V_i 는 크기분포를 $U_{i,j}$ 는 i 번째 광 검출기에서 밴드 크기가 j 일 때 산란광의 행렬이다. 이렇게 측정된 데이터는 체적 분포 모델에 의하여 계산이 되어진다.

입경측정에 사용한 모델은 연료분사시 가장 많이 사용하는 Rosin - Rammler model을 사용하였다. Rosin - Rammler model은 식(2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$R = \exp - \left[\frac{d}{X} \right]^n \quad (2)$$

이때 R 은 노말라이즈된 체적율, d 는 입경 크기를, n 은 광 검출기의 폭에 의한 값을, X 는 체적 진동수 분포의 파라미터 값을 나타낸다.

입경 측정의 결과는 앞에서 언급한 식(1)과 식(2) 그리고 사용 렌즈의 초점거리 등을 이용하여 평균 입경을 계산하게 된다. 식(3)는 사우터 평균 입경을 나타내는 식이다.

$$D(m, n) = \left[\frac{\sum V_i d_i^{m-3}}{\sum V_i d_i^{n-3}} \right]^{\frac{1}{m-n}} \quad (3)$$

이때 n 은 2 이고 m 은 3이다.

입경 측정 장치의 제원은 He-Ne 레이저(2mW)를 광원으로 광폭은 9mm이다. 푸리에 변환 렌즈는 초점거리가 300mm로 입경 측정 범위가 0.5~564 μ m 이고 cut-off 거리는 400mm이다.

(2)분무 발생 장치 및 실험 장치

Fig.2는 실험 장치의 개략도와 초음파 에너지 공급 장치울 나타낸 것이다. 연료 분사 노즐은 핀틀의 의경에서 -10° 기울어진 드로플 타입의 분사 노즐을 사용하였다.

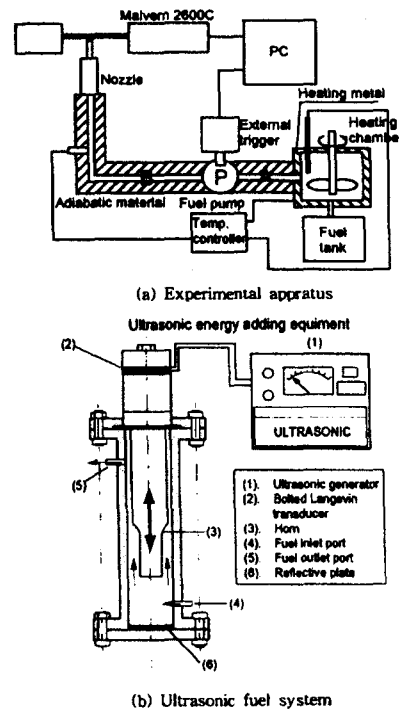


Fig.2 Schematic diagram of experimental apparatus

초음파 에너지 부가 위치는 그림에서 보는 바와 같이 연료분사펌프전(Fig.2(a)에서 A위치) 및 연료분사펌프후(Fig.2(a)에서 B위치)에 설치 할 수 있게 하였다. 병커C유 혼합연료를 가열하기 위하여 히터 및 온도 조절기를 사용하였다. 가열된 병커C유의 냉각을 방지하기 위하여 분사 노즐까지 열선을 설치하고 온도 조절기를 설치하였다.

2.2 분무 입경 측정 위치

입경 측정은 분사 노즐로부터 10mm~100mm까지 10mm 단위로 입경의 변화를 측정하였다. Fig.3은 분무 입경의 측정 위치와 컨트롤 볼륨을 나타낸 것이다. 컨트롤 볼륨의 크기는 D=9mm, L=25mm의 원통이 된다.

입경 측정 시 스윙 넘버는 2000으로 하였고, 10회 반복 측정한 후 평균하여 입경을 측정하였다.

바중은 경유의 경우 0.82, 병커C유는 0.88이므로 함량에 따라 평균하여 사용 하였다.

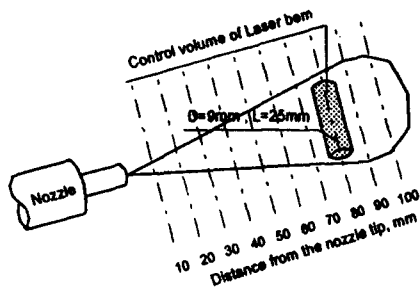


Fig.3 Schematic diagram of the test position

2.3 측정 연료

측정 연료는 Table.1에서 보는 바와 같이 병커C유와 경유의 혼합 비율, 초음파 에너지 부가 및 위치 그리고 가열 여부에 따라 총 9가지 시료에 대하여 연료 분무 입경을 측정 상대 비교 하였다. 따라서 이하의 측정연료명칭은 Table.1에서 보는 바와 같이 No 1, No 2,.....로 통일하여 사용하겠다.

병커C유 혼합연료는 초음파 에너지 부가 위치를 연료 펌프 전(A위치)에서만 실시하였다. 그 이유는 입경 측정 결과 디젤 연료의 분사에서 연료 분사펌프 후의 분무는 고압의 상태에서 초음파 에너지를 부과하게 됨으로 진폭 확대자의 진동에 의해 분사가 불균

일하게 나타났기 때문이다.

Table.1 Samples of test fuels

Sample	% of BC oil	Ultrasonic Energy	Heating 95±2℃
No 1	0%	no	no
No 2	0%	yes(A)	no
No 3	0%	yes(B)	no
No 4	25%	no	no
No 5	25%	yes(A)	no
No 6	25%	no	yes
No 7	25%	yes(A)	yes
No 8	50%	no	yes
No 9	50%	yes(A)	yes

* A : Before the fuel pumping

** B : After the fuel pumping

2.4 초음파에 의한 공동현상, 방사압과 직진류

초음파 에너지를 액체에 추가하는 경우 공동현상이 발생하게 된다. 발생된 공동이 극히 작은 경우 공동의 온도 및 압력은 Noltingk⁽⁴⁾에 의해 계산되었다. 온도 및 압력의 관계식은 다음과 같다.

$$T = T_1 (r-1) \left(\frac{P_0}{P_1} \right)^{-\frac{1}{\gamma}} \quad (4)$$

$$P = P_1 (r-1)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} \left(\frac{P_0}{P_1} \right)^{-\frac{\gamma}{\gamma-1}}$$

이때 정수압을 P₁, 액 중 공기의 최초 압력을 P₀, 최초 액의 온도를 T₁이라 할 때 기포의 크기가 극소로 되는 때의 온도와 압력을 계산하였다. γ는 정압비열과 정적비열의 비이다. 따라서 대기압 상온을 기준으로 할 때 기포 내의 온도 및 압력은 수천 내지 수만 배⁽⁵⁾가 되는 것으로 알려지고 있다. 대기압 및 상온을 기준으로 할 때 공동의 크기가 극히 작을 경우에는 공동의 압력 및 온도는 수백에서 수천 배가 된다고 Noltingk는 말하고 있다.

따라서 이와 같은 공동현상에 의한 국부적인 압력 상승 및 온도 상승이 연료의 물성치(점도 및 표면장력)를 변화시킴^(6,7)으로써 연료 분사 특성에 영향을 미치게 될 것으로 사료된다.

방사압과 직진류는 초음파 에너지 부가시 발생하는 것으로 초음파에 의하여 생기는 음압을 방사압이라 하고 음파가 초음파에 해당하는 진동수가 되면 방사압에 의하여 유체의 흐름이 발생하게 되는데 이 흐름을 직진류라 한다. 방사압 및 직진류의 발생은 유화, 분무, 세척과 같은 작용을 촉진시키게 된다.

초음파 에너지 부가시 경유의 증발을 이미지화하여 나타내면 Photo.1과 같다. 진동 확대자가 경유에 초음파 에너지를 부가하면 사진과 같이 유면 아래에 공동 현상이 발생하고 유면 위에는 경유 액적이 비산하게 된다.



Photo.1 Cavitation in the light oil

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 입경 측정

Fig.4는 측정시료 및 조건 No 1, No 2, No 3의 사우터평균입경을 나타낸 것으로 전체적인 경향은 입경이 감소 후 다시 증가하는 일반적인 경향을 띠고 있으며 초음파 에너지 부가 위치가 A위치인 경우, 즉 No 2가 더 작은 입경을 나타내고 있다. B위치의 경우, 즉 No3는 가압된 연료 상태에서 초음파 에너지가 부가되어지기 때문에 초음파 진동자의 진동 영향

에 의하여 분무가 불규칙적으로 나타났으며 이때 10회 측정된 사우터평균입경의 편차는 측정 위치에 따라 약간의 차이가 있으나 실험치의 편차가 20~25%로 나타나는 것을 확인 할 수 있었다.

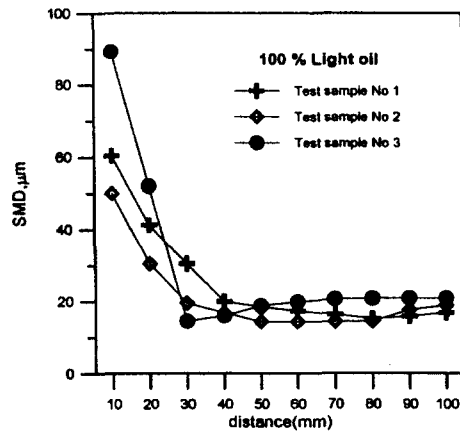


Fig.4 Relation of the SMD and the distance for test sample No 1, 2 & 3

상용의 경우 No 1과 초음파 에너지 부가의 경우 No 2를 비교하면 입경이 평균15%정도 감소되어지는 것을 알 수 있으며, 이는 식(4)에서 설명한 바와 같이 연료에 초음파 에너지를 부가 함으로써 국부적인 온도 상승 및 압력 상승에 의하여 연료의 점도 및 표면장력이 감소되기 때문으로 사료된다.

Fig.5는 가열하지 않은 상태인 No4, No5의 연료평균입경을 측정된 것과 95±2℃로 가열한 상태인 No 6, No 7의 연료평균입경을 나타낸 것이다. 두 경우 모두 초음파 에너지를 부가한 경우가 미세한 분무 입경을 얻을 수 있었다.

특히 가열의 경우가 온도에 의한 입경의 감소 효과로 인하여 가열하지 않은 경우에 보다 더 미세한 입경을 얻을 수 있고 더 짧은 거리에서 분무가 충분히 발달하는 것을 알 수 있다. 그리고 가열의 경우에서 일정 거리 이후에는 입경의 변화가 없는 것을 확인할 수 있는데 이는 가열된 디젤 연료가 먼저 증발되므로 노즐 선단에서 멀어 질수록 증발이 되지 않는 병커C유만 남게 되고, 주위 공기에 의하여 냉각된 후에는 증발이 일어나지 않게 되므로 입경 크기의 변화는 일어나지 않게 된다.

초음파에 의한 효과는 가열하지 않은 경우는 약

20%, 가열한 경우는 약 7%의 입경 감소 효과가 있으며, 이는 초음파 부가시 표면장력 감소 효과는 점성이 클 경우에 더 크게 나타나는 일반적인 경향이라 할 수 있다.

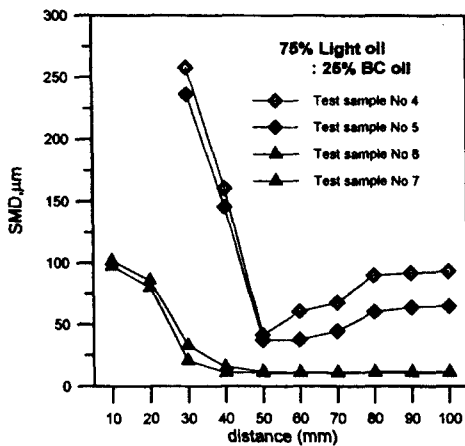


Fig.5 Relation of the SMD and the distance for test sample No 4, 5, 6 & 7

Fig.6의 경우는 No 8, No 9의 연료평균입경을 측정 한 것이다. 이 경우는 가열하지 않은 상태에선 점도 및 표면장력이 큰 관계로 연료 분사가 되지 않기 때문에 가열한 상태에서만 입경을 측정하였다. 초음파 에너지 부가시 25%의 입경 감소 효과가 나타나고 있으며, 그 이유는 Fig.5에서 설명한 바와 같다.

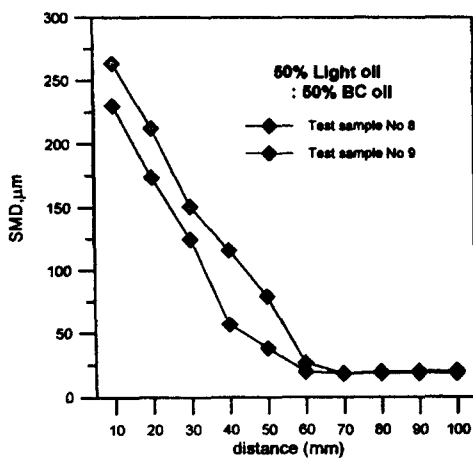


Fig.6 Relation of the SMD and the distance for test sample No 8 & 9

병커C유를 50% 혼합하였기 때문에 입경 크기는 25% 혼합시보다 크게 나타나고 최소 입경을 나타내는 곳은 노즐로부터 70mm 떨어진 곳에서 나타나고 있다. 초음파 에너지 부가 효과는 분사 노즐로부터 70mm 이하에서 현저한 효과가 있는 것을 확인 할 수 있었다.

3.2 입경 분포

Fig.7은 노즐로부터 거리에 따른 입경의 분포를 나타낸 것이다. 초음파 에너지 부가 위치는 연료 분사 펌프 전의 것만을 고려하였고, 혼합연료는 $95 \pm 2^\circ\text{C}$ 로 가열한 상태만을 나타내었다.

Fig.7(a)의 경우는 No 1, No 2에 대한 거리별 입경 분포를 나타낸 것으로 입경 분포 경향은 초음파 에너지 부가의 경우와 상용의 경우 거의 유사한 경향을 보이고 있으며 초음파 에너지 부가의 경우가 약간 넓은 분포를 가지고 있다.

Fig.7(b)의 경우는 가열된 상태인 No 6, No 7의 입경 분포를 나타낸 것이다. 초음파 에너지 부가의 경우가 그렇지 않은 경우에 비하여 더 넓은 분포를 가지고 있으며, 그림에서 보는 바와 같이 초음파 에너지 부가의 경우가 급격한 변화없이 단계적으로 잘 발달되어지고 있는 것을 확인할 수 있다.

Fig.7(b)에서 ①은 입경 분포가 발달되는 과정에 해당되고, ②는 냉각에 의해 안정화된 구간을 나타내고 있다. 구간①의 경우를 비교하면 초음파 에너지 부가의 경우가 크게 나타나고 있고, 구간②의 경우는 초음파 에너지 부가의 경우가 적게 나타나고 있다. 이는 초음파 에너지를 부가 함으로써 두 연료를 더 잘 혼합시키게 되고, 분사된 연료의 증발을 촉진하는 효과에 의한 것으로 사료된다.

이와 같은 경향은 Fig.7(c), 즉 No 8, No 9의 경우에서도 동일하게 나타나고 있다. Fig.7(b)와 비교할 때 분포면적이 적게 나타나고 있으며, 이는 병커C유의 함량 증가로 인하여 분무 조건이 악화 되었기 때문이다.

4. 결론

상온, 대기압 상태에서 핀틀형 디젤분사노즐을 이

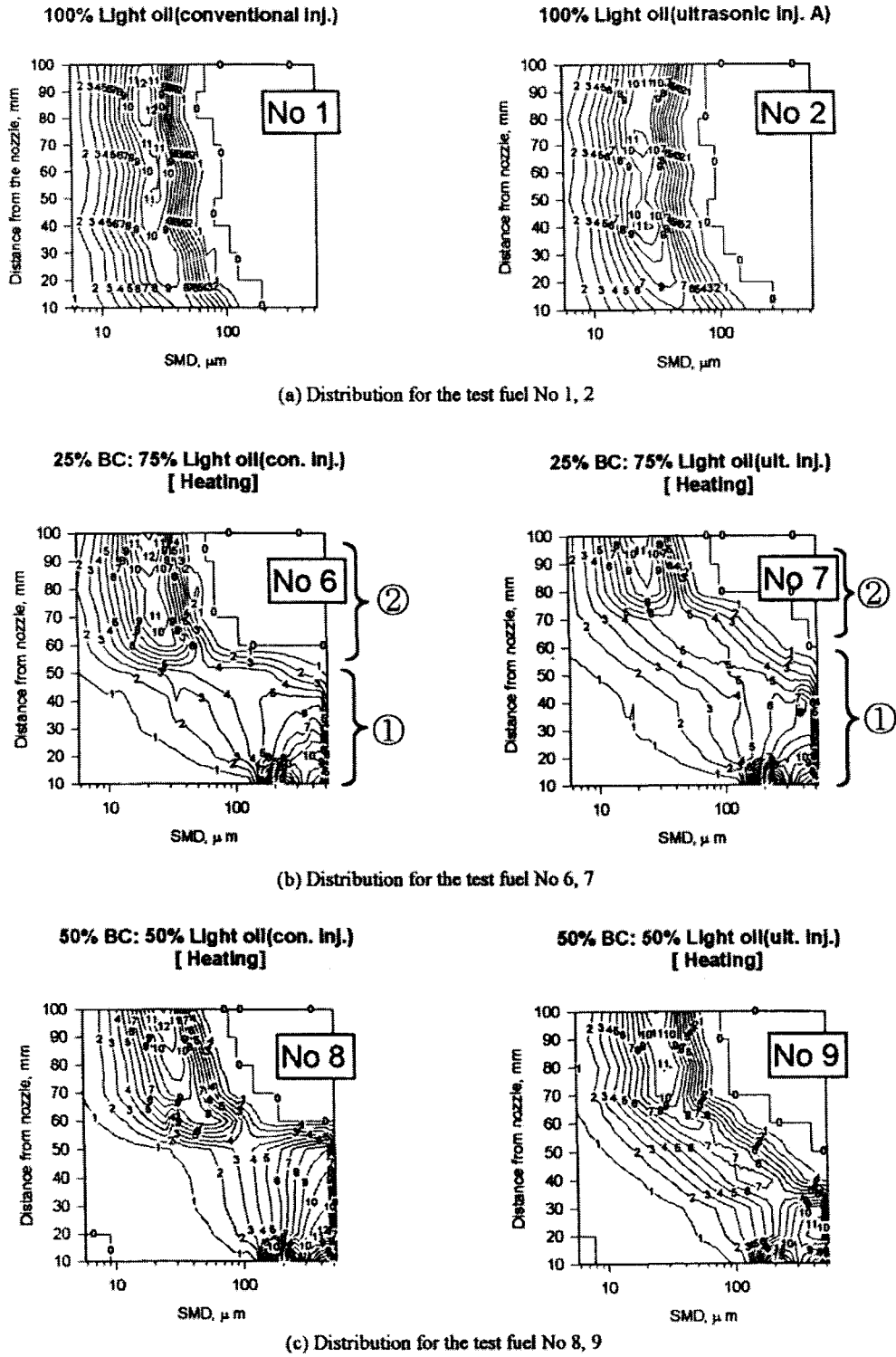


Fig.7 Droplet size distribution for the distance from nozzle tip

용하여 순수 경유와 경유-벵커C유 혼합연료를 간헐 분사한 경우 초음파 에너지 부가 여부 및 가열 여부에 따른 평균연료입경과 입경 분포를 측정된 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 100% 경유에 대해서 연료 분사 펌프 전에 초음파 에너지를 부가한 경우가 평균15%의 입경 감소 효과가 나타남을 알았다.
- 2) 경유75%-벵커C유 25% 혼합연료의 경우 초음파 에너지 부가 효과는 가열하지 않은 경우가 평균20%, 가열의 경우가 평균7%의 입경 감소를 보였다.
- 3) 경유50%-벵커C유50% 혼합연료의 경우 초음파 에너지의 효과는 평균25% 정도의 입경 감소를 보였다.
- 4) 입경 분포의 경우 초음파 에너지 부가시 더 넓은 분포를 얻을 수 있었고, 특히 노즐로부터 가까운 거리에서 미립화 효과가 뛰어난 것을 알 수 있었다.

앞의 결론을 종합하면 초음파 에너지 부가 효과는 고점성의 경우가 더 크게 나타난다는 것을 알 수 있다.

참고문헌

1. Arthur H. Lefebvre, "Atomization and Sprays" Hemisphere Publishing Co., pp. 277-279, 1989
2. L. Bayvel & Z. Orzechowski, "Liquid atomization", Taylor & Francis, pp. 424-431, 1993
3. "System 2600 Instruction Manual", Malvern Instruments Ltd.
4. B. E. Noltingk & E. A. Neppiras, "Cavitation produced by ultrasonics : theoretical conditions for the onset of cavitation", Proc. Phys. Soc., 64B 1032, 1951
5. 島川正憲, "超音波工學" 工業助詞會, pp. 20-21, 1975
6. 최두석, 윤면근, 류정인, "초음파 에너지 부가 디젤 연료의 화학적, 물리적 특성에 관한 연구", 자동차 공학회논문집 제4권 제3호, pp. 147-155, 1996
7. 박종규, 윤면근, 최두석, 김관태, 류정인, "EFI기관에서 초음파 에너지 부가 연료의 무화 특성에 관한 연구(II)", 한국자동차공학회 춘계 학술대회논문집, Vol.1, pp. 305-310, 1995