

<논 문> SAE NO. 97370031

초음파연료공급장치를 이용한 EFI기관의 성능에 관한 연구(II)

— 연료 분사를 중심으로 —

A Study on the Performance of EFI Engine Used Ultrasonic Energy Adding Fuel system(II)

— Attaching Importance to the Fuel Spray —

윤 면 근*, 류 정 인**
M. K. Yoon, J. I. Ryu

ABSTRACT

This experiment was undertaken to investigate spray characteristics of the conventional injection system and the ultrasonic energy added injection system.

Sauter mean diameter was measured under the variation of injection pressure and the spray distance. To measure the droplet size, we used the Malvern system 2600C. The spray angle and mass distribution were analyzed to the CCD camera and the patternater.

After experiment, it was found that the ultrasonic energy added injection system had smaller Sauter mean diameter of droplet, wider mass distribution and wider spray angle than the conventional injection system had.

주요기술용어 : Fuel spray(연료분사), Atomization(무화), MPI(다점분사), SMD(사우트평균입경), Mass distribution(질량분포), Spray angle(분사각), Ultrasonic adding fuel injection (초음파 연료 분사)

1. 서 론

기관의 성능향상 및 배기유해가스를 줄이기 위한 노력으로 여러 가지 방법¹⁾이 사용되고 있으며 특히, 연료의 분무입경을 감소시켜 완전연소를 이루려는 연구²⁾가 많은 곳에서 진행되고 있다.

선형연구로써 가솔린에 초음파 에너지를 부가한 경우 유기분광학과 연료의 물리적 특성실험을 통하여 연료의 점성 및 증발성의 향상과 화학적 조성의 변화를 확인³⁾한바 있다.

따라서 선형연구를 근거로하여 EFI 가솔린 기관에 적용시킬 수 있는 초음파 에너지 부가 연료 공급장치를 제작하였다. 그리고 MPI 인젝터를 사용 연료의 분무 입경, 질량 분포, 사진에 의한 분무각 및 질량 분포 실험 장치에 의한 계산 분

* 정회원, 충남대학교대학원

** 정회원, 충남대학교

무각을 측정하여 초음파 에너지가 연료의 분무 입경에 미치는 영향에 대하여 조사하고, 기존의 경우와 상대 비교하여 초음파 에너지 부가 효과를 증명하는데 연구의 목적이 있다.

2. 이론적 고찰

2.1 공동현상

공동현상 발생시 공동이 극히 작은 경우의 온도 및 압력은 Noltingk⁹⁾에 의해 물의 경우 공기에 대하여 계산되었으며 이때 정수압을 p_1 , 액중 공기의 최초 압력을 p_0 , 최초 액의 온도를 T_1 이라 할 때 기포의 크기가 극소로 되는 때의 온도 T 와 압력 P 를 계산하였다.

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

$$P = P_1(\gamma - 1)^{\frac{\gamma}{\gamma - 1}} \left(\frac{P_0}{P_1} \right)^{-\frac{1}{\gamma - 1}} \quad (2)$$

이때 γ 는 정압비열과 정적비열의 비이다. 따라서 대기압 상온을 기준으로 할 때 기포내의 온도 및 압력은 수천 내지 수만 배⁹⁾가 되는 것으로 알려지고 있다.

초음파 에너지 부가시 가솔린의 특성 변화에 대한 연구¹⁰⁾를 통하여 공동현상이 가솔린에 미치는 영향에 대해 확인한 바에 의하면 가솔린에 초음파 에너지를 부가할 경우 연료의 점성이 낮아지고 증발성이 향상되며, 가솔린의 분자구조가 고리 모양에서 사슬모양의 구조로 변화된다는 것을 확인한 바 있다.

2.2 입경 및 질량 분포 측정

액적의 입경측정은 여러 가지 방법이 사용되고 있으며 Fig.1은 Franhofer 산란¹¹⁾을 이용한 광학적 측정 방법을 나타낸 것으로 원추 모양으로 산란 된 빛은 렌즈를 통과한 후 광축의 주위에 초점이 모인다. 이 때 광축에서 어긋나는 초점은 입자의 크기 함수로 나타낼 수 있다.

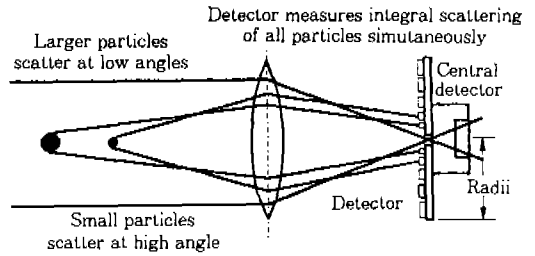


Fig.1 Properties of the scattered light

모아진 빛은 각각의 광다이오드에 의하여 측정된 산란광에 의하여 입자 크기 분포와 광검출기의 크기와 밴드폭에 의한 함수로 정의되어지며 이 데이터를 가지고 Rosin-Rammler 입경분포 함수로 모델링하여 사우터평균입경(SMD)¹²⁾로 나타낸다.

$$SMD = D_{32} = \frac{\sum D_i^3 \Delta N_i}{\sum D_i^2 \Delta N_i} \quad (3)$$

$$= \frac{\sum V_i^3 \Delta d_i^0}{\sum V_i^2 \Delta d_i^1}$$

여기서 ΔN_i 는 입자수, D_i 는 직경을 나타내고 V_i 는 i 번째 광다이오드의 band size에서의 체적을 나타내고 d_i 는 i 번째 광다이오드의 band size에서 평균직경(mean diameter)을 나타낸 것이다.

분무의 질량분포 측정은 Fig.2와 같으며 인젝터 선단으로부터 L만큼 떨어진 곳에서 분사되어진 연료를 각 포집관의 위치에서 연료 높이 Z_i 를 측정하여 구한다.

이때 측정되어진 Z_i 를 가지고 식 (4)와 (5)를 사용하여 계산하면 분사되어진 액체의 집중 정도를 각도(ϕ)로 나타낼 수 있다.

$$\phi^* = \tan^{-1} \left[\left(\frac{\sum X_{xi} \cdot Z_{xi} \cdot \Delta z \Delta x}{\sum Z_{xi} \cdot \Delta z} \right) / L \right] \quad (4)$$

$$\phi = \phi^* + \phi^- \quad (5)$$

이때 X 는 포집관의 위치를 나타내며, ϕ 를 ESA(equivalent spray angle)¹³⁾이라 정의한다.

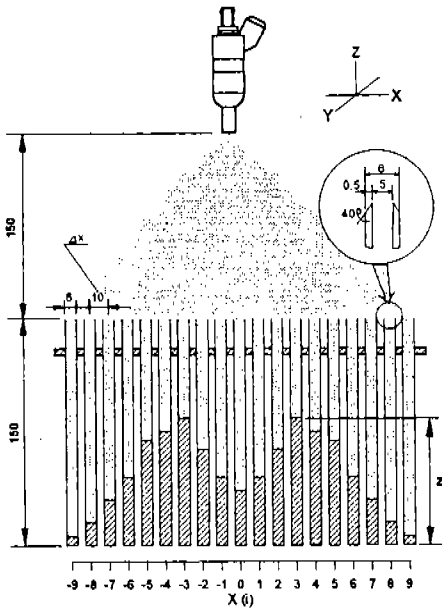


Fig.2 Schematic diagram of patternater for measuring distribution

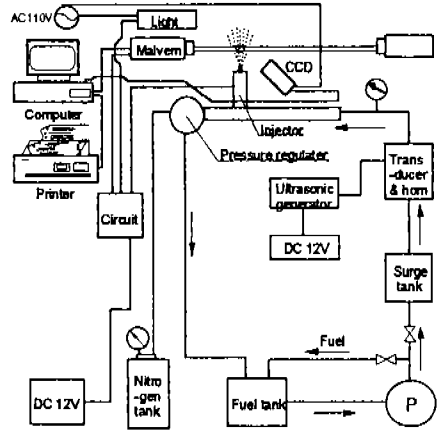


Fig.3 Schematic diagram of experimental apparatus

3. 실험장치 및 방법

3.1 연료 분사 장치

연료분사 실험장치는 Fig.3과 같으며 연료 공급장치, 인젝터 및 입경측정 제어장치, 초음파 에너지 부가 장치와 입경 측정장치로 구성되어 있으며 연료의 압력 조절은 연료 펌프에 의해 작동 될 경우 펌프에 의한 압력 변동 요소를 제거하기 위하여 서어지 탱크를 사용하였다. 입경측정장치는 Malvern 2600C¹⁰⁾를 사용하였고, 입경 분포함수는 Rosin-Rammler 분포함수로, 트리거는 외부 트리거를 사용하였다.

Fig.4는 초음파 에너지를 연료에 공급하는 장치로 진폭확대자(horn)는 종진동을 일으키므로 충격에너지를 보다 효과적으로 공급하게 하기 위하여 연료의 입구를 아래쪽에 출구를 위쪽에 설치하였으며 트랜스듀서의 진동수는 28kHz로 하였다. 그리고 초음파 발진 장치의 출력은 200W로 고정하였다.

Fig.5는 인젝터 구동신호 및 입경측정을 하기

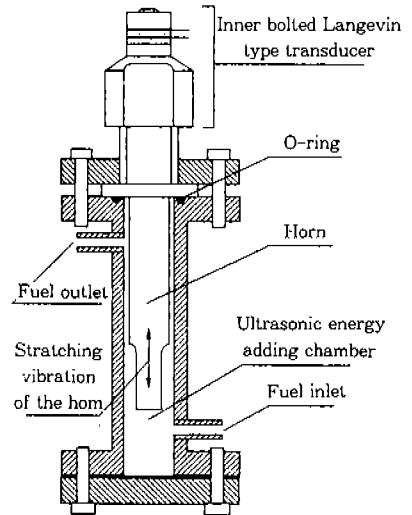


Fig.4 Schematic diagram of ultrasonic adding system(transducer, horn, adding chamber)

위한 지연신호를 만들어 내는 회로로써 간헐분사 및 측정을 위한 신호를 발생시키고 연료의 분사 시간과 기관회전수에 따른 시간조정이 가능하도록 설계하였다.

3.2 질량분포 실험장치

질량분포 실험장치는 Fig.2와 같이 제작하였으며 19개의 포집관을 x방향으로 설치하여 분사

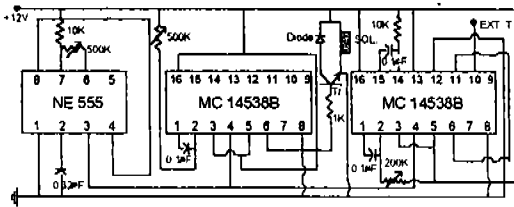


Fig.5 Schematic diagram of electronic control circuit

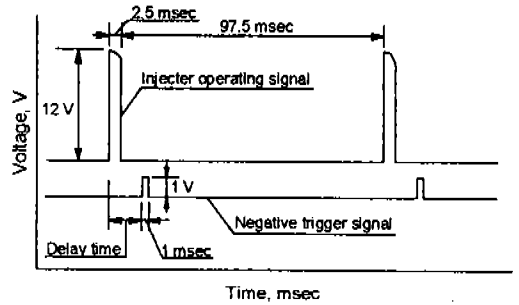


Fig.7 Injector operating and trigger signal

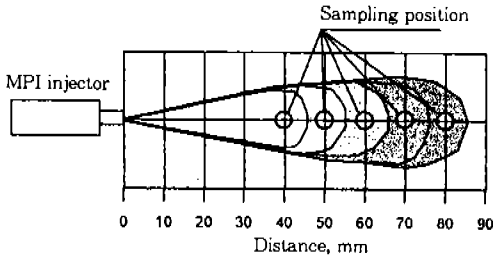


Fig.6 Measuring position of drop size

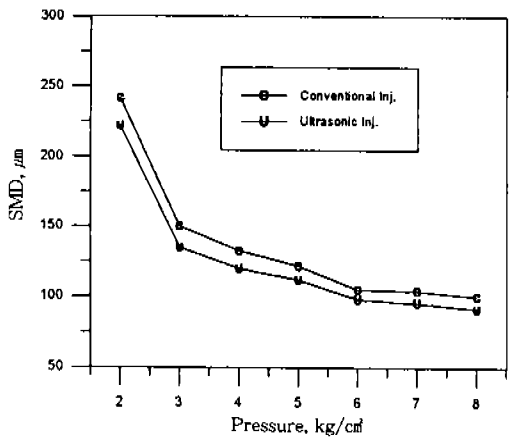


Fig.8 Relation of SMD and injection pressure

되는 연료의 양을 측정할 수 있게 하였고 y 방향으로 이동이 가능하게 하였다.

따라서 동일 시간을 측정할 경우 분사되어지는 연료의 전 단면에 걸쳐 질량의 분포를 측정할 수 있게 하였다.

포집관의 재질은 투명 우레탄 튜브를 사용하였고 내경 5mm, 외경 6mm, 길이 150mm의 관을 사용하였으며 관의 중심과 중심 사이의 거리는 10mm로 하였다.

포집관의 내경이 일정하므로 포집관에 포집되어진 가솔린의 부피 및 질량은 높이에 비례하게 되므로 중앙에서 직경방향(y가 0번째)에서 측정된 높이의 총합을 기준으로 하여 비율로 계산하여 나타냈으며 이 때의 비율은 곧 질량비가 되게 된다.

3.3 입경측정 위치 및 분사조건

Fig.6은 연료의 분무입경 측정위치를 나타낸 것으로 분사압력에 따른 변화는 인젝터 선단으로 50mm되는 위치에서 측정하였다. 인젝터 선단으로부터 거리에 따른 입경측정은 상용의 경우 분사압력이 2.5~3.5kg/cm² 정도이므로 분사압력이 3kg/cm²의 경우만을 측정하였다.

모든 측정은 간헐분사로 sweep number는 2000으로 측정시까지 분무를 반복하여 측정하였다.

본 실험에서 인젝터의 구동조건은 Fig.8과 같으며 2.5msec동안 분사하고 97.5msec동안 쉬는 간헐분사로 지연신호는 분사신호 초기를 기준으로 하여 지연시간을 두고, 1msec폭의 외부트리거 방식으로 하였다.

4. 결과 및 고찰

4.1 평균입경

Fig.8 초음파와 에너지 부가의 경우와 그렇지 않은 경우의 연료평균입경을 분무 선단이 50mm 위치에서 분사 압력을 1kg/cm² 간격으로 증가시켜 입경을 측정 한 결과이다.

초음파 에너지 부가시 연료의 평균 입경은 약 14%의 입경 감소 효과가 나타나는 것을 알 수 있었으며, 이는 초음파 에너지 부가에 따른 연료의 점도 및 표면장력의 감소로 인한 것이다. 두 가지 경우 모두가 낮은 분사압력에선 입경 감소가 크게 나타나고, 높은 분사압력에선 입경의 감소 폭이 적게 나타나는 것을 알 수 있다. 이는 압력식 노즐의 일반적인 특성으로 분사압력이 증가 할수록 분사량의 변화가 일정하지 않는 등의 원인에 의한 것으로 사료된다.

Fig.9는 연료 분사 압력이 3kg/cm²의 경우 분무 선단이 도달거리에 따른 평균 입경의 상대 비교를 나타낸 것이다.

초음파 에너지 부가의 경우가 거리에 따라서도 평균 13% 정도의 입경 감소를 보이고 있으며 인젝터 선단으로부터 60mm에서 입경이 최대로 감소 한 후 더 먼거리로 갈수록 입경이 다시 증가 되어지는 경향을 보이고 있다. 이는 입경 측정에 있어 외부 제어방식으로 한번 분사시 1msec 동안 측정하고 반복 분사를 하기 때문에 분무 선단 부가 측정되고, 작은 입경들은 주변 공기와 마찰로 인해 소실되어지고, 작은 액적들은 큰액적에 비하여 관통속도가 떨어져 서로 결합하는 것으로 사료된다.

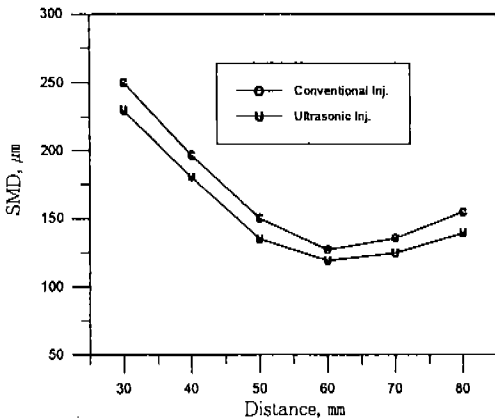


Fig.9 Relation of SMD and axial distance (injection pressure 3kg/cm²)

4.2 분무각 및 분포

Fig.10은 분사된 연료량을 식 (4)와 (5)를 이용하여 계산한 결과로 5분간 분사 후 측정된 것으로 직경 방향으로 포집관에 포집된 연료의 높이를 측정하여 초음파 에너지 부가의 경우를 분사압력의 변화에 따라 상대 비교한 것이다.

초음파 에너지 부가의 경우와 그렇지 않은 경우 모두 분사압력의 증가에 따라 선형적으로 증가하는 일반적인 경향을 보이고 있으며 초음파 에너지를 부가한 경우가 그렇지 않은 경우에 비하여 평균 5.5% 정도 분무폭이 넓어지는 것을 확인 할 수 있었다. 이는 앞에서 설명한 바와 같이 초음파 에너지 부가 시 입경이 감소되기 때문이다.

Fig.11은 CCD 카메라를 이용하여 분사압력에 따른 분무각을 측정된 것으로 측정위치는 인젝터 구동신호의 시작으로부터 4.5msec 후에서 촬영된 영상을 기준으로 하였다.

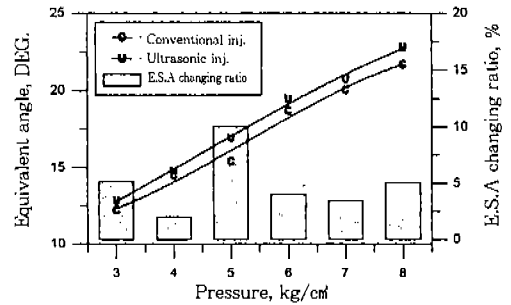


Fig.10 Relation of Equivalent spray angle of injection pressure

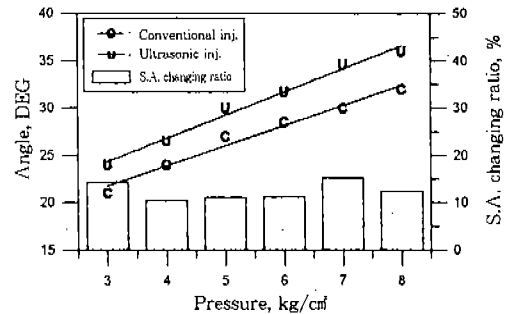


Fig.11 Relation of spray angle of injection pressure

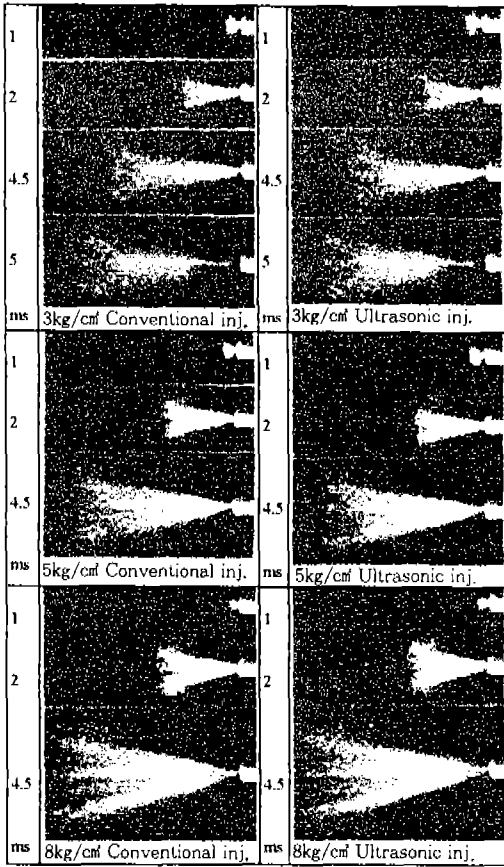


Fig.12 Photographs of spray between two system

화상에 의한 분사각은 초음파 에너지 부가의 경우가 상용의 경우에 비하여 평균 12.5% 증가 되는 것을 확인 할 수 있었고 질량분포측정에 의한 경우보다 2배 이상 분사각이 크게 나타나며 초음파 에너지 부가 시 분무각의 증가 이유는 Fig.8에서 설명한 바와 같다.

Fig.12는 분사압력 3, 5, 8kg/cm²의 경우의 분무 사진으로 초음파 부가의 경우가 그렇지 않은 경우에 비하여 큰 분무각을 가지고 있는 것을 확인할 수 있으며 분사압력이 증가할 수록 분사각이 커지고, 분무초기의 분무 형상이 작게 나타나는 이유는 분사압력이 증가할 수록 슬레노이드 코일의 지연으로 사료된다.

Fig.13은 인젝터로부터 분사되어지는 연료의

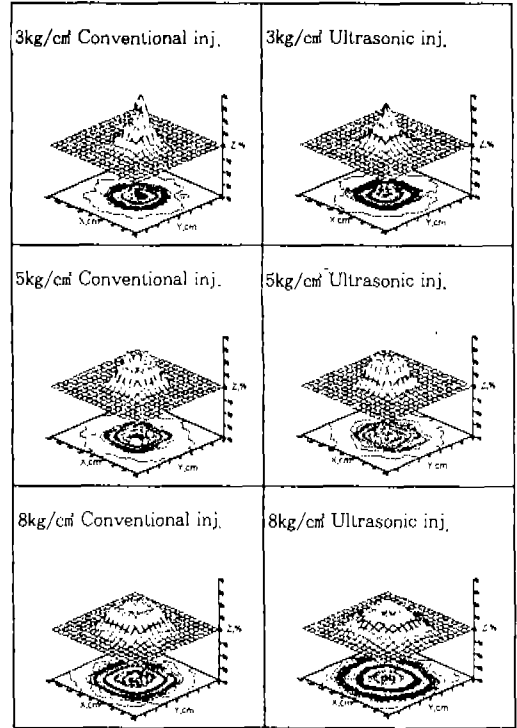


Fig.13 Mass distribution on the x-y plane about injection pressure between two system

질량분포를 측정 한 것으로 포집관을 수평방향으로 이동하여 측정 한 결과로 각 위치에서 5분간 측정 한 후 중앙에서 포집된 양을 100으로 하여 나타낸 것이다.

측정결과 연료의 분사압력이 증가 할수록 질량 분포가 커지고 할로몬 형상으로 발달하는 것을 확인 할 수 있었으며 이는 핀틀형 인젝터의 일반적 특성이라 할 수 있다. 초음파 에너지 부가의 경우가 그렇지 않은 경우에 비하여 질량 분포가 넓어지며 중앙으로 집중되는 현상이 적게 나타나며 이는 Fig.8에서 설명한 원인에 기인한다.

5. 결 론

본 연구는 EFI 기관의 성능 향상 및 유해 배기가스 성분을 줄이기 위한 목적으로 초음파 에

너지부가 연료공급장치를 제작하고, 상용 핀틀형 MPI 인젝터를 사용하여 연료 분사실험을 행하였다.

기존의 분사방식과 초음파 에너지부가 연료분사방식으로 가솔린을 분사하여 분사압력 및 거리에 따른 입경을 측정하고 분사되어진 가솔린의 질량분포 및 사진촬영을 통하여 두 시스템을 상대비교한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 분사압력의 변화에 따른 입경측정의 경우 분사압력이 증가함에 따라 연료의 평균입경은 감소하였고, 초음파에너지 부가의 경우가 14% 정도의 입경감소효과가 있었다.
- 2) EFI 기관의 일반적인 분사압력 3kg/cm일 때 분사거리에 따른 입경측정 결과 초음파 에너지 부가의 경우가 13% 정도의 입경 감소효과가 나타났다.
- 3) 분무각 측정에 있어 초음파에너지 부가의 경우가 질량분포 실험장치에 의한 분무각은 5.5%, 화상에 의한 분무각은 12.5%의 증가효과가 나타났다.
- 4) 질량분포 측정 및 사진촬영 결과 분사압력이 증가함에 따라 분무형상은 할로콘 형상으로 발달하고 초음파 에너지부가의 경우가 더 넓게 분포되어진다.

참 고 문 헌

1. A. K. Oppenheim, "The future of combustion in engines", International Con. IMechE, London, C448/022, 1992.
2. 류정인, "액체연료의 미립화기술(1)", 자동차공학회지 Vol.15, No.4, pp. 59~68, 1993
3. 윤면근 외 3인, "EFI기관에서 초음파에너지 부가연료의 무화특성에 관한 연구(I)" 한국자동차공학회 추계학술대회논문집, Vol.1, pp. 292~297, 1994
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. 윤면근 외 3인, "EFI 기관에서 초음파에너지 부가연료의 무화특성에 관한 연구(II)-연료의 분자구조 및 물리적 특성분석" 한국자동차공학회 춘계학술대회논문집, Vol. 1, pp. 305~310, 1995
7. Bayvel & Z. Orzechowski, "Liquid atomization", Taylor & Francis, pp. 424~431, 1993.
8. Alan williams, "Combution of Liquid Fuel sprays", Butterworth & Co., pp. 45~46, 1990
9. Arthur H. Lefebvre, "Atomization and Sprays" Hemisphere Publishing Co., pp. 277~279, 1989
10. "System 2600 Instruction Manual", Malvern Instruments Ltd.

1. A. K. Oppenheim, "The future of combustion in engines", International Con.