

## 고점성 바이오油의 분무미립화를 위한 초음파 이용<sup>+</sup>

### Use of Ultrasonic to Atomizing a Highly Viscous Bio-oil

주 은 선\*    나 우 정\*\*    김 중 천\*\*\*  
정회원        정회원  
E. S. Ju        W. J. La        J. C. Kim

#### ABSTRACT

Ultrasonic energy was applied for atomizing rice-bran oil which is a highly viscous bio fuel. Six different nozzles, an injection simulator, and an ultrasonic generator system were designed and constructed for the experiment. An immersion liquid method was used for the measurement of injection droplet sizes. The characteristics of injection droplets was investigated with respect to the numbers of the droplets with diameters ranging from 5 $\mu$ m to 50 $\mu$ m and to the Sauter mean diameter. The results showed that the ultrasonic energy was effective for the improvement of the atomization of the injection droplets for all the factors such as type of nozzles, nozzle opening pressures, and collection distances.

**주요 용어(Key Words)** : 초음파 시스템(Ultrasonic System), 미강유(Rice-bran Oil), 바이오 오일(Bio-oil), 노즐(Nozzle), 액침법(Immersion Liquid Method), 연료(Fuel), 미립화(Atomization), 분사(Injection), 연소(Combustion)

#### 1. 서론

70년대에 대두된 석유 위기와 80년대에 부각된 환경오염 문제는 청정 대체에너지원 개발에 관심을 고조시켰다. 디젤 엔진은 에너지 절약 차원에서 장점은 있으나 그 배기가스는 대기 오염의 주요 원인이 되고 있다. 따라서 완전 연소에 의한 유해 배출 가스의 저감화 또는 유해 가스의 발생이 극소한 연료의 개발 등이 요구된다. 완전 연소를 위한 최적 연소에는 연료와 공기의 최적 혼합이 필수적이며 이는 노즐 등의 분무 기구와 연료 특성에 의해 결정된다. 불완전 연소에서 착

화 지연은 큰 요인으로 작용하며 물리적 착화 지연 기간이 화학적 착화지연 기간보다 2배 정도 긴 것으로 알려져 있다(Matín, 1949). 角田 등(1988)은 고온 고압하에서 액적의 착화 지연 측정 실험을 통해 물리적 착화 기간이 액적의 초기 직경에 좌우됨을 밝혔다. 이는 분무 액적의 미립화가 물리적 착화 지연을 개선하는 첩경임을 의미한다.

Azzopard 등(1978)은 균일 액적군의 화염 전파 측정 실험에서 액적 직경이 10 $\mu$ m 이하인 경우에는 액적들의 연소가 기체 연료와 비슷한 연소 특성을 가짐을 보였다. 연료 입자 크기가

+ 본 연구는 1994~1995년도 통상산업부 연구비 지원에 의하여 수행된 연구의 일부임

\* 경상대학교 기계설계학과

\*\* 경상대학교 농업기계공학과

\*\*\* 경상대학교 대학원 기계공학과

40 $\mu$ m 이상일 때는 개별적으로 연소하여 불완전 연소가 되기 쉬우며(Yoshiaki, 1982), Scott 등(1976)은 가장 적합한 연소 조건의 입자 크기가 25 $\mu$ m 이하임을 주장했다. 액체의 미립화는 완전 연소에 직결되는 연소 면적의 확대를 가져온다.

분무 액적의 미립화를 위해 초음파를 적용한 연구는 많다. Niemczewski(1980)는 액체에서 초음파에너지에 의한 공동현상을 밝혔고, Kazuyoshi 등(1989)은 S.I.엔진에 초음파 분무 장치를 적용했다. 류(1987), 최 등(1992)은 가솔린기관에 정(1991), 양 등(1993)은 디젤기관에 초음파를 적용해서 양호한 결과를 얻었다.

바이오유는 유황 성분이 극히 적어 청정에너지 원으로 기대되면서 선진국에서는 바이오 디젤油로서의 많은 연구가 이루어졌고, Goering 등(1982)은 11개 식물油에 대한 엔진 실험에서 대체 연료로서의 가능성을 입증했다. 현재로는 부분적으로 상업적 생산 단계에 까지 이르고 있다. 그러나 바이오유는 디젤유에 비해 점성이 10~20배나 되는 고점성 유체로서 디젤유에 가까운 성능을 내기 위해서는 분무 미립화 불량에 의한 불완전연소 및 판로 막힘 등의 문제점들이 선결되어야 한다. 이를 해결하기 위해 연료의 에스테르화 또는 미립화 등 여러 방법들이 강구되고 있다(櫻井芳人, 1976).

미강油는 벼의 도정시에 나오는 부산물인 쌀겨에서 추출되는 것으로 우리나라에서는 다른 어느 바이오유원에 비해 부존자원이 풍부하다(경제기획원, 1995).

본 연구에서는 바이오유로서 미강유를 택하고 완전 연소여로의 접근을 위해 초음파 적용에 의한 분무 미립화 방법으로 여러 형식의 노즐을 만들어 분사 실험을 함으로써, 초음파에 의한 고점성 바이오유의 분무 미립화 개선의 특성에 대한 기초 자료를 얻고자 했다.

## 2. 재료 및 방법

### 가. 재료

실험용 바이오유로는 미강유를 사용하였는데, 미강은 현미를 쌀로 도정할 때 나오는 부산물로서 보통 현미의 6~8% 정도로 생산되며, 약 18~20%의 유지 성분이 포함되어 있다. 미강유에는 디젤유에 없는 산소가 포함되어 있고, 유황 성분이 거의 없는 것이 특징이다. 비중은 디젤유가 0.855인데 비하여 미강유는 0.9205로 약 9% 정도 크고, 미강유의 인화점은 328°로 디젤유가 67°인 것 보다 높아 이는 식물유의 비휘발성 원인으로서 디젤유보다 취급이 안전하다. 미강유의 동점도( $\nu$ )는 76 cSt(21°)로 디젤유보다 약 17배 높다(조, 1985).

### 나. 실험 장치

본 연구에서는 핀형(pin type)인 3종의 핀틀형(pintle type) 노즐과 홀형(hole type)인 단공노즐 3종류 등 도합 6개의 노즐을 제작하여 실험하였다. 핀틀형 노즐은 핀끝각이 5°, 10°, 15°의 3가지, 홀형 노즐은 홀의 직경이 0.31mm, 0.34mm, 0.37mm의 3가지였다.

분사계는 구동 모터(1 PS), 무단 변속기(1000~3500 rpm), 분사 펌프 및 인젝터로 구성되었다. 분사 펌프는 (주)두원 정공의 제품인 보슈(Bosch) A형으로 일체형이다.

초음파 발진 장치는 28.5 kHz의 주파수를 발진하는 발진부, 진동자를 구동 시킬 수 있도록 증폭해 주는 증폭부, 증폭된 구형파를 28.5 kHz 사인파로 바꾸어 임피던스를 정합하여 전왜 진동자에 가해 주는 정합부로 구성되어 있다. 전왜 진동자의 재료로는 쿼리점이 350°인 지르콘산티탄산염(PZT)을 사용하였다. 초음파 공급장치에 사용되는 진동자는 고온, 고압과 진동에 견디며 부착이 용이하고 내구성이 있어야 하므로 28.5 kHz형의 진동 특성을 갖는 볼트 체결형 랑지방진동자(Bolted Langevin Vibration Transducer, BLT)를 택했다.

진동자 혼(horn)은 진동자 단면의 진폭을 확대하여 진동자의 기계적 에너지를 효과적으로

전달할 목적으로 사용하며 여기서는 진폭 확대율이 가장 큰 형태의 혼인 스텝형(step type) 혼을 선정하였다. 혼 재료로서는 가벼우면서 질겨서 진동 용력을 잘 전달하고 내부의 큰 압력을 견딜 수 있는 듀랄루민을 사용하였다. 초음파 진동 장치는 분사펌프 진입 전의 연료 통로에 장치하였는 바, 액체 연료 자체의 구성에 초음파를 부가해줌으로써 공급되는 연료 특성을 변화시켜, 즉 저점도화, 공동현상, 분자간의 분산 현상등을 유발시켜 분사 시 미립화가 양호한 상태로 만들어 주는 효과를 얻도록 했다. 공급되는 연료가 진동자 혼의 진동 에너지를 잘 흡수하기 위해 연료를 밑에서 위의 방향으로, 즉 진동자 혼을 마주 보는 방향으로 흐르게 설계했다.

그림 1은 실험 장치의 구성도이다.

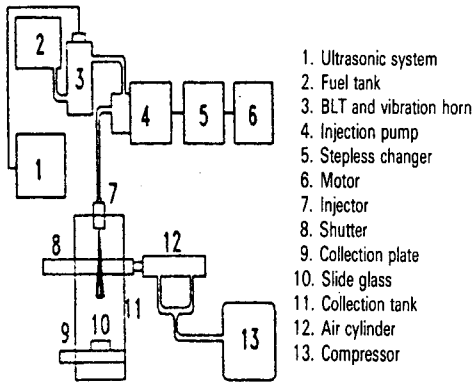


Fig. 1. Schematic diagram of the experimental apparatus for the immersion liquid method.

분사 입자의 포집 장치는 분사 펌프에 의해 연료가 인젝터에서 용기에 분사될 때 분사 액적을 포집하는 장치로서, 포집액이 도포된 슬라이드 글라스(slide glass)가 들어갈 수 있는 포집부와 포집부 상부에서 움직이는 셔터 및 셔터를 일정 속도로 움직이게 하는 공압 실린더장치와 공기 압축기 등으로 구성되어 있다.

#### 다. 실험 방법

상기한 분사장치를 사용하여 상용 분사와 초음파 분사 실험을 하여 초음파에 의한 미립화 개선율을 비교·검토하였다. 노즐 열림압력은 핀틀형 노즐에서 10 MPa, 13 MPa, 16 MPa로 잡고 홀형 노즐에서는 16 MPa, 20 MPa, 24 MPa로 잡았다.

분무 미립 액적을 포집하기 위해 액침법을 사용하였다. 액침법은 비교적 간단하고 경제적이므로 현재에도 쓰이고 있다. 액적 포집 방법은 실리콘 오일(silicon oil)을 도포한 슬라이드 글라스에 노즐로부터 분사되는 액적을 순간적으로 채취하는데, 분무 방향에 수직, 즉 수평 방향으로 일정한 속도로 왕복하는 셔터의 구멍과 고정된 셔터밀 받침대에 있는 구멍이 겹칠 때에 분사된 연료 액적이 그 구멍을 통해 실리콘을 도포한 수준높이의 유리판 위에 받아지며, 이를 즉시 현미경에 부착된 카메라를 사용하여 배율 100배의 사진을 촬영하여 실측하였다. 한 조건에서 수회 반복한 것을 평균한 것으로 결과 분석하여 사용하였다. 일정한 유량을 유지하기 위해 분사펌프의 회전속도를 일정하게(1400 rpm) 하였다. 평균 직경은 일반적으로 사용하는 Sauter mean diameter(SMD)로 구했다. 초음파 분사에 의한 미립화의 상용 분사의 경우에 대한 개선율을 구하여 비교 검토하였다. 액침법에 사용한 포집액은 실리콘 오일이었다. 분무 선단에서의 분무 거리는 300mm, 400mm, 500mm의 3단계로 했으며 연료 온도는 21°C로, 주변 압력은 대기압력 상태로 했다.

### 3. 결과 및 고찰

그림 2는 핀틀형 노즐에서 핀끝각이 5°이고 노즐열림압력이 13 MPa이며 포집 거리가 400 mm일 때에 액적 크기에 대한 분무액적수(N)들을 보이고 있다. 액적 직경(D)이 20 $\mu$ m 이하인 경우에서 초음파 분사에 의한 미립자가 많아졌음을 보이고 있다.

표 1은 상기 조건에서 3가지 포집 거리별로 나타난 액적수, SMD 및 개선율을 보이고 있다.

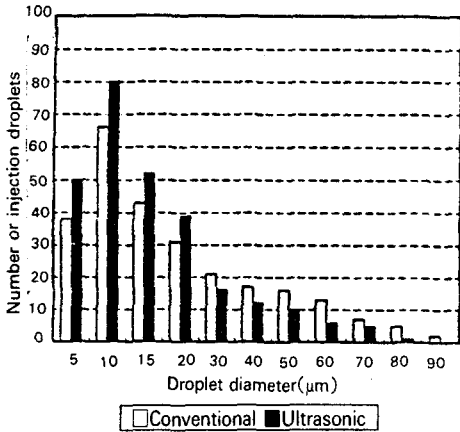


Fig. 2 Size distribution diagram of rice-bran oil droplets (5°, 13MPa, 400mm, pintle-type nozzle).

무화, 관통 조건을 만족하는 최적 액적 직경(D)이 10~25μm 임을 감안하여 여기서는 액적 직경의 크기가 5<D≤30mm, 5<D≤50μm 범위에

Table 1 Droplet number, SMD, and improvement rate corresponding to the collection distances(5°, 13 MPa)

collection distance (mm)	droplet diameter range (μm)	droplet number(N) or SMD		improvement rate (%)
		conventional spray	ultrasonic spray	
300	N(5<D≤30)	196	234	19.4
	N(5<D≤50)	230	254	10.4
	SMD(D≤50)	35.1	33.4	4.8
400	N(5<D≤30)	199	237	19.1
	N(5<D≤50)	232	259	11.6
	SMD(D≤50)	35.0	31.7	9.4
500	N(5<D≤30)	213	245	15.0
	N(5<D≤50)	245	264	7.8
	SMD(D≤50)	34.4	30.0	12.8

드는 액적수 및 SMD를 기준으로 개선율을 구하여 초음파에 의한 미립화 특성을 비교 검토하였다. 포집 거리 300mm, 400mm, 500mm 전반에

걸쳐서 액적 직경이 5<D≤30μm 인 범위에서는 초음파를 적용한 경우의 상용 분사의 경우에 대한 개선율이 15~19%, 5<D≤50μm 범위에서는 7~11%로 나타났고, SMD로는 4~12%의 개선율을 보이고 있다.

분무 액적 직경 30μm 이하일 때의 개선율이 50μm 이하일 때 개선율보다 훨씬 높게 나타나고 있는데 이는 초음파의 적용이 분무 입자의 미립화에 보다 미세하게 미립화하는 작용이 있는 것으로 해석된다.

Table 2 Droplet number, SMD, and improvement rate corresponding to the nozzle opening pressures (10°, collection distance : 300mm)

nozzle opening pressure (MPa)	droplet diameter range (μm)	droplet number(N) or SMD		improvement rate (%)
		conventional spray	ultrasonic spray	
10	N(5<D≤30)	194	242	24.7
	N(5<D≤50)	232	269	15.9
	SMD(D≤50)	35.3	32.1	9.1
13	N(5<D≤30)	208	249	19.7
	N(5<D≤50)	237	278	17.3
	SMD(D≤50)	33.4	31.6	5.4
16	N(5<D≤30)	229	254	10.9
	N(5<D≤50)	256	280	9.4
	SMD(D≤50)	32.7	30.4	7.0

표 2는 핀틀형 노즐에서 핀 끝각이 10°, 포집 거리 300mm에서 노즐열림압력이 10 MPa, 13 MPa, 16 MPa일 때의 상기와 같은 액적의 크기 범위에서 액적수 및 SMD에 관하여 초음파 분사의 경우의 상용 분사의 경우에 대한 액적 분무의 미립화 개선율을 보이고 있다. 3수준의 노즐 열림압력 전반에 걸쳐서 5<D≤30μm 직경의 범위 내에서 초음파 분사의 경우의 상용 분사의 경우에 대한 액적 미립화 개선율은 10~24%, 5<D≤50μm 범위에서는 5~17%, SMD로서는 5~9%

의 개선율을 보이고 있다.  $D \leq 50\mu\text{m}$  범위에서의 미립화 개선율이  $D \leq 50\mu\text{m}$  범위에서의 미립화 개선율보다 크게 나타난 것은 상기의 경향과 같다.

그림 3은 핀 끝각도  $10^\circ$ , 노즐 열림압력 13 MPa, 포집거리 300mm일 때의 액적 크기에 대한 분포 백분비를 나타내는 원 그래프이다. (a)는 상용 분사, (b)는 초음파 분사인 경우이다. 미립화 액적 직경이  $20\mu\text{m}$  이하인 경우 상용 분사 시는 액적크기 분포백분비가 68%임에 비해 초음파 분사시는 76.9%로서 초음파 분사 때가 약 9%의 증가율을 보이고 있다.

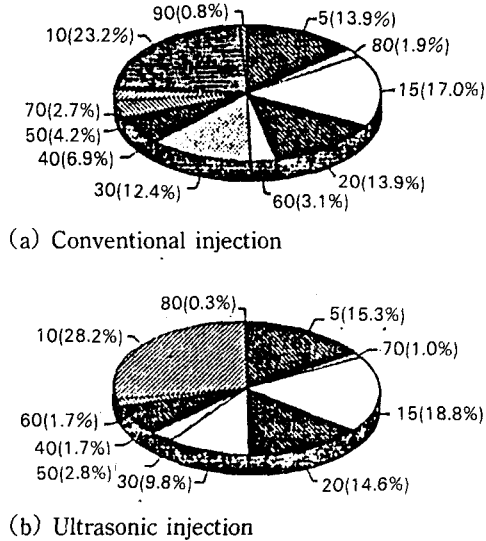


Fig. 3 Distribution percentage of droplet size ( $\mu\text{m}$ (%);  $10^\circ$ , 13MPa, 300mm).

표 3은 상기와 같은 핀 끝각도 및 포집거리에서 3수준의 노즐 열림압력에 대한  $20\mu\text{m}$  이하의 분포백분비를 보인다. 노즐열림압력이 커짐에 따라 액적의 분포백분비가 조금씩 증가하고 있다. 상용 분사 때보다 초음파 분사 때가 3수준의 노즐열림압력 모두에 걸쳐 평균 9.4%의 분포백분비의 증가를 보이고 있다.

Table 3 Distribution percentage of droplet size in the case of  $D \leq 20\mu\text{m}$  ( $10^\circ$ , collection distance : 300mm)

nozzle opening pressure(MPa)		10	13	16
distribution percentage(%)	conventional spray	64.1	68	73.9
	ultrasonic spray	74.5	76.9	82.8

그림 4는 홀직경이  $0.34\text{mm}$ 인 홀형 노즐을 사용하여 노즐 열림압력 20 MPa, 포집거리 400 mm일 때에 분무 액적들의 크기에 대한 액적수를 나타내고 있는 바 초음파 분사 때의 분포도가 상용 분사 때의 분포도에 비해 액적 직경이 작은 쪽으로 크게 나타나고 있음을 볼 수 있다. 이는 초음파 분사 때가 미립화가 잘 되었음을 뜻한다.

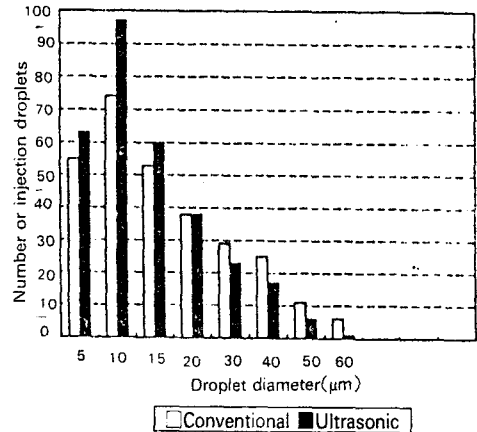


Fig. 4 Size distribution diagram of droplets ( $\phi 0.34$ , 20 MPa collection distance : 400mm, hole-type nozzle).

표 4는 상기 그림 4의 홀 직경 및 노즐열림압력과 같은 조건에서 3수준의 거리별로 액적수 및 SMD를 기준으로 초음파 적용에 의한 분무 미립화의 개선율을 보이고 있다. 3수준의 포집 거리 전반에 걸쳐서 액적 직경이  $5 \leq D \leq 30\mu\text{m}$ 일 때 액적 미립화개선율이 12~17%,  $5 \leq D \leq 50\mu\text{m}$ 일 때 액적 미립화 개선율이 6~12%, SMD로는 약 10%의 평균 개선율을 보이고 있다. 여기에서도 역시 초음파가 액적의 미립화에 있어서 가장 적합한 연소 조건의 입자 크기인  $10 \sim 20\mu\text{m}$  크기의 미세 입자로 만드는데 좋은 영향을 끼치고 있음을 볼 수 있다.

Table 4 Droplet number, SMD, and improvement rate corresponding to the collection distances( $\phi$  0.34, 20 MPa)

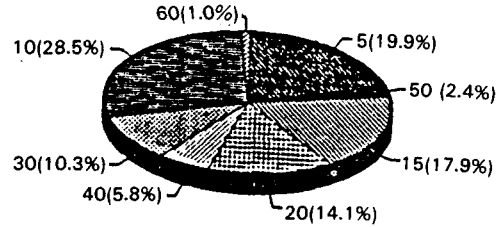
collection distance (mm)	droplet diameter ( $\mu$ m) range	droplet number(N) or SMD		improvement rate (%)
		conventional spray	ultrasonic spray	
300	$N(5 \leq D \leq 30)$	235	275	17.0
	$N(5 \leq D \leq 50)$	269	302	12.2
	SMD( $D \leq 50$ )	34.4	30.8	10.5
400	$N(5 \leq D \leq 30)$	249	280	12.4
	$N(5 \leq D \leq 50)$	285	303	6.3
	SMD( $D \leq 50$ )	33.5	29.9	10.4
500	$N(5 \leq D \leq 30)$	253	291	15.0
	$N(5 \leq D \leq 50)$	287	312	8.7
	SMD( $D \leq 50$ )	32.9	29.6	10.5

Table 5 Droplet number, SMD, and improvement rate corresponding to the nozzle opening pressures ( $\phi$  0.31 ; collection distance : 300mm)

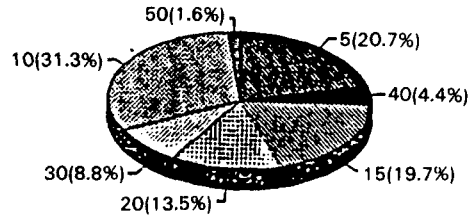
nozzle opening pressure (MPa)	droplet diameter range ( $\mu$ m)	droplet number(N) or SMD		improvement rate (%)
		conventional spray	ultrasonic spray	
16	$N(5 \leq D \leq 30)$	243	286	17.7
	$N(5 \leq D \leq 50)$	264	307	16.3
	SMD( $D \leq 50$ )	31.0	29.0	6.5
20	$N(5 \leq D \leq 30)$	268	300	11.9
	$N(5 \leq D \leq 50)$	296	319	7.8
	SMD( $D \leq 50$ )	31.7	28.5	10.1
24	$N(5 \leq D \leq 30)$	277	310	11.9
	$N(5 \leq D \leq 50)$	306	328	7.2
	SMD( $D \leq 50$ )	31.7	28.1	11.4

표 5는 홀 직경이 0.31mm, 포집거리 300mm일 때 3수준의 열림압력에 대한 액적수와 SMD를 기준으로 초음파 분사의 상용 분사에 대한 분무 액적의 미립화 개선율을 보이고 있다. 3수준의 전 열림압을 통해서 30 $\mu$ m 이하의 액적 크기의

개선율은 11~17%, 50 $\mu$ m이하의 개선율은 7~16%, SMD로는 6~11%의 개선율을 보이고 있다.



(a) Conventional injection



(b) Ultrasonic injection

Fig. 5 Distribution percentage of droplet size ( $\mu$ m (%);  $\phi$ 0.31mm, 20 MPa; collection distance : 300mm).

그림 5는 홀 직경이 0.31mm인 노즐을 사용하여 노즐 열림압 20 MPa, 포집 거리 300mm 일 때 분사 액적 직경에 대한 분포 백분비를 나타내고 있다. 미립화 액적 직경이 20 $\mu$ m 이하인 경우 상용 분사에서는 80.4%, 초음파 분사에서는 85%의 백분비를 보이고 있다.

표 6은 상기 그림 5와 같은 조건에서 3수준의 노즐 열림압력 변화에 따른 액적 직경이 20 $\mu$ m 이하인 액적 크기의 분포 백분비를 보이고 있다. 3수준의 노즐 열림압력 모두에서 상용 분사 때에 비해 초음파 분사 때의 분포 백분비가 증가했음은 초음파가 액적 미립화의 개선에 유효했음을 나타내고 있다.

Table 6 Distribution percentage of droplet size

in the case of  $D \leq 20\mu\text{m}$   
( $\phi 0.31$  ; collection distance : 300mm)

nozzle opening pressure(MPa)		16	20	24
distribution percentage(%)	conventional injection	78.8	80.4	82
	ultrasonic injection	84.4	85	83.8

#### 4. 결론

청정 대체 에너지 원으로 기대되는 고점성 유체인 바이오유로서 선택된 미강유의 초음파에 의한 분무미립화를 실험한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 핀틀형 노즐 3종(핀끝각 :  $5^\circ$ ,  $10^\circ$ ,  $15^\circ$ .)과 홀형 노즐 3종(홀직경 : 0.31mm, 0.34mm, 0.37 mm) 등 도합 6개의 노즐과 5단계의 노즐 열림 압력(10MPa, 13MPa, 16MPa, 20MPa, 24MPa) 및 3단계 포 집거리(300mm, 400mm, 500mm) 등 전반에 걸쳐서 초음파에 의하여 분무미립화가 개선됨이 확인되었다.

2. 분사액적직경이  $5 \sim 50\mu\text{m}$  범위에서 3 수준의 포집거리 전반에 걸쳐서 미립화 개선율이 핀틀형 노즐인 경우에는  $7 \sim 10\%$ , 홀형 노즐인 경우에는  $6 \sim 12\%$ , SMD로는  $4 \sim 12\%$ 로 나타났다.

3. 분무 액적 직경이  $20\mu\text{m}$  이하인 액적 들의 분포백분비에서 핀틀형 노즐 때 가 홀형 노즐 때보다 분포백분비가 높게 나타났다.

#### 참고 문헌

1. 경제기획원. 1995. 한국 통계 연감 제42호. p. 126. 경제기획원. 서울.
2. 류정인. 1987. 초음파를 이용한 흡입 연료의 미립화 성능에 관한 연구, 충남대 산업 기술 연구소 논문집 2(1) : 46~54.
3. 양정규, 최두석, 윤진한, 류정인. 1993. 초음파 연료 공급장치를 이용한 디젤 기관의 성능 향상에 관한 연구 (II), 한국자동차 공학회

- 1993년도 춘계학술 대회 논문집 8-4 : 583~588.
4. 정명진, 조규상, 류정인. 1991. 초음파진동을 이용한 디젤기관의 성능향상에 관한 연구, 한국 자동차공학회지 13(6) : 44~49.
5. 조남홍. 1985. 대체 연료로서 미강유를 사용한 소형 디젤 기관의 성능에 관한 연구, 송전대학교 산업대학원 기계공학과, 석사논문
6. 최두석, 류정인, 양옥룡. 1992. 초음파연료 공급 장치용 가솔린자동차의 성능 향상에 관한 연구(I), 충남대 산업 기술연구소 논문집 7(2) : 79~86.
7. 角田敏一, 大田康夫, 角田 長三多. 1988. 氣流中における炭化水素液適例の蒸發.(日本)機械學會 論文集 54(503) : 1843~1947.
8. 櫻井芳人, 齊藤道雄, 東秀雄. 1976. 綜合食料工學. p.239~262. 恒省社 厚生閣. 東京.
9. Azzopard, B. J. 1978. Measurement of Drop Size. Int. J. Heat & Mass Transfer 22 : 1245~1279.
10. Goering, C. E., A. W. Schwab, M. J. Daugherty, E. H. Pryde, A. J. Heakin. 1982. Fuel Properties of Eleven Vegetable oils. Transactions of the ASAE 25(6) : 1472~1477.
11. Kazuyoshi Namiyama, Hiromi Nakamura, Kakuro Kokubo, Daijiro Hosogari. 1989. Development of Ultrasonic Atomizer and Its Application to S.I. Engines. SAE 890430 : 1~11.
12. Matin, A. Elliott. 1949. Combustion of Diesel Engine. SAE Paper : 490~511.
13. Niemczewski, B. 1980. A Comparison of Ultrasonic Cavitation Intensity in Liquids. Ultrasonic. May : 107~110.
14. Scott, W. M. and M. I. Mech. 1976. Diesel Engine Combustion Chamber Design. S.B.I. A. Brussels, Dp 20896.
15. Yoshiaki Onuma. 1982. Combustion of Fuel Sprays. 內燃機關 21(260).