

<논 문> SAE NO. 97370016

고점성 바이오 디젤유의 분무미립화에 관한 연구

A Study on the Atomization of a Highly Viscous Biodiesel Oil

주 은 선*, 정 석 용***, 강 대 운**, 김 종 천**
E. S. Ju, S. Y. Jeong, D. W. Kang, J. C. Kim

ABSTRACT

An experiment was conducted to figure out the atomization characteristics of a highly viscous biodiesel fuel with rice-bran oil applying and ultrasonic energy into it. A spray simulator for the droplet atomization, an ultrasonic system, and six different nozzels(3 pintle-type nozzles and 3 single hole-type nozzles) were made. To investigate effects of ultrasonic energy in a highly viscous liquid fuel, an immersion liquid method was used as a measurement method on droplet size distributions.

It was found that the ultrasonic energy was effective for the atomization improvement of the rice-bran oil as a highly viscous biodiesel fuel and the factors, such as the nozzle opening pressure, pin-edge angles, hole diameters, and collection distances affected the atomization of spray droplets.

주요기술용어 : Ultrasonic System(초음파시스템), Rice-Bran Oil(미강유), Biodiesel fuel(바이오 디젤 연료), Immersion Liquid Method(액침법), Nozzle(노즐)

1. 서 론

넓은 범위에서 저급 연료의 사용이 가능하면서

본 연구는 1993~1995년도 한국과학재단 연구비 지원에 의하여 수행된 연구의 일부임

* 경상대학교 기계설계학과

** 경상대학교 대학원 기계공학과

*** 한국중공업

열효율이 높은 디젤 엔진의 수요 증가는 화석연료의 고갈에 대비한 에너지 절약 및 대체에너지원 개발 차원에서는 바람직한 일이나 지구 환경 오염의 예방 차원에서는 유해 배출가스가 문제가 된다. 디젤유에 비해 유황성분이 극소한 바이오 디젤유(biodiesel oil)가 청정 대체에너지원으로 주목을 받게 되면서 Goering등¹⁾이 11개 식물유에 대한 엔진 실험에서 대체 연료로서의 가능성

을 입증하였다. 선진국에서는 많은 학자들이 바이오 디젤유에 대해 체계적으로 연구해 왔고, 현재 일부는 경제적인 양산 단계에까지 이르고 있다. 바이오 디젤유는 디젤유보다 훨씬 높은 고점성 유체로서 디젤유에 비해 열효율이 낮고, 분무미립화의 불량 및 연료계통의 막힘 등의 문제점이 있다.²⁾ 그러나 액적의 미립화에 의한 완전 연소에서의 접근은 상기 문제점들을 최소화 할 수 있다. 바이오디젤유 그 자체만의 저점도화 및 분무미립화에는 한계가 있다. 완전 연소를 위한 분무미립화에 기계적, 물리적 방안이 강구될 필요가 있다. 분무미립화 및 엔진 성능향상을 위한 초음파 에너지의 응용이 연구 되어지고 있다. Niemczewski³⁾는 액체에 초음파 에너지를 가하여 공동현상(cavitation)의 강도를 조사하였고, Kazuyoshi⁴⁾은 S. I.엔진에 초음파분무장치의 적용을 연구하였다. 千葉 近⁵⁾은 초음파에 의한 미립화를 연구하였고, 조 등⁶⁾은 가솔린의 기존 기화기 대신에 초음파에 의한 미립화장치를 사용하였다. 류 등⁷⁾은 초음파를 이용한 경우 연료 무화율이 동일한 공연비에서 25~40% 증가함을 보였다. 최 등⁸⁾은 초음파 연료 공급 장치를 이용하여 가솔린 기관의 출력 향상이 2~8%가 됨을 보고했고, 정,⁹⁾ 양¹⁰⁾ 등은 디젤기관에 초음파 에너지를 적용하여 좋은 결과를 얻었다. 최 등¹¹⁾은 디젤자동차의 성능 향상을 위한 초음파 분무장치의 사용에서 전 압력 범위에서 분무액적의 SMD가 감소함을 보였다. 이상의 모든 실험은 저급 디젤유 이상의 연료를 엔진에 직접 사용했을 경우이고 디젤유보다 점도가 10~20배의 고점성 유체인 바이오 디젤유에 대한 분무미립화의 연구는 미미한 상태이며, 특히 고점성 식물유의 분무미립화에 초음파 에너지를 적용한 연구에서는 본 연구가 첫 시도라고 본다. 미강유는 우리나라에서는 부존 자원이 가장 풍부하여 바이오디젤유로서의 대량생산이 가능한 식물유로서, 벼의 도정 시에 나오는 부산물인 쌀겨에서 추출된다.¹²⁾ 본 연구에서는 청정 대체 식물에너지원으로서 미강유를 선택하고, 28.5kHz BLT형 초음파 분사장치 및 모사 소형디젤엔진 분무장치를 만들어, 6가지 노즐을 이용한 실험에서 초음파에 의한 분

무미립화 개선현상의 기초자료를 얻고자 하였다.

2. 실험장치 및 실험방법

2.1 실험장치

고점성 연료인 미강유의 초음파 에너지에 의한 분무 특성을 고찰하기 위해서 액침법의 측정장치를 구성하였다.

Fig.1은 액침법에 사용된 실험장치의 개략도이다. 주요 구성은 초음파시스템, 1마력의 구동모터, 분사펌프, 노즐을 장착할 수 있는 인젝터, 액적의 채집을 위한 채집탱크 및 슬라이드 베플(slide baffle)을 구동시키기 위하여 공압실린더에 압력을 가해주는 콤프레셔등으로 되어있다.

노즐 시험에서 다각적인 관찰에 의한 기초자료를 얻기위해 핀끝의 각도가 각각 5°, 10°, 15°인 핀틀형 노즐과 홀의 직경이 0.31mm, 0.34mm, 0.37mm인 홀형 단공 노즐등 모두 6개의 노즐을 제작하여 사용하였다. 분사펌프는 D정공의 보슈(Bosch) A형으로 1개의 플런저를 가지고 있고, 캠 리프터에 의해 구동되어지는 일체형을 사용하였다.

초음파 발진장치는 발진부(oscillation part), 증폭부(amplifier), 정합부(matching part)로 구성되며 진동자에 의해 초음파를 발생하게 한다. 발진부에서는 28.5kHz의 주파수를 발진하며, 증폭부에서는 진동자를 구동시킬 수 있는 전력으로 증폭해 준다. 정합부는 증폭된 구형파를 28.5kHz의 사인파로 바꾸어 임피던스를 정합하여 진동자에 가해준다.

진동자의 재료로서 지르콘산티탄산염(PZT)을

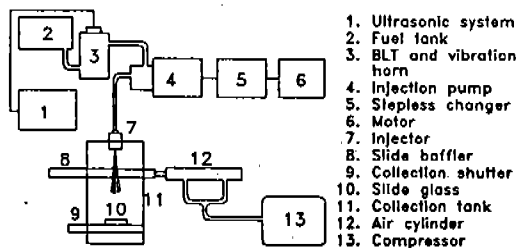


Fig.1 Apparatus of immersion liquid method

채택하였는데, 이것은 퀴리점이 350°C 이상으로 진동자의 재료로서 적합한 성질을 가지고 있다. 진동자는 28.5kHz 의 진동특성을 갖는 볼티드 랑지방 트랜스듀서(Bolted Langevin transducer)를 채택하였으며, 이는 전기 음향 변화효율이 높고 진동 속도가 빠르면서 발열이 적고 성능과 내구성이 우수하다.

연료의 흐름에 초음파 에너지를 잘 전달하기 위해서는 연료의 특성에 맞는 진동자 혼의 제작이 필요하다. 진동자 혼(horn)의 재료는 듀랄루민을 사용했으며, 이 재료는 가벼우면서도 질겨서 진동응력을 잘 전달하고 내부의 큰 압력도 견딜 수 있다. 공급되는 연료가 진동자 혼의 진동 에너지를 잘 흡수하기 위해 연료를 밑에서 위의 방향으로, 즉 진동자 혼을 마주보는 방향으로 흐를 수 있도록 설계했다.

Fig.2는 진동자 혼의 구성을 나타내고 있다.

2.2 실험방법

미강유의 동점성계수와 비중을 측정하기 위하여 비이커에 21°C , 1l 의 미강유를 채워 초음파 에너지를 일정시간 간격으로 가하면서 동점성계수와 비중의 변화를 측정하였다. 이 때 주의할 점은 초음파 에너지를 가한 직후 온도는 초음파 에너지를 가하기 전의 온도와 일치할 때까지 기다려야 한다. 비중의 측정은 소수점 세 자리까지 측정 가능한 비중계로서 측정하였고, 동점성계수는 일본의 RION사에서 제작한 직류 6V로 구동되는 스피들 회전식 점도계를 사용하였다.

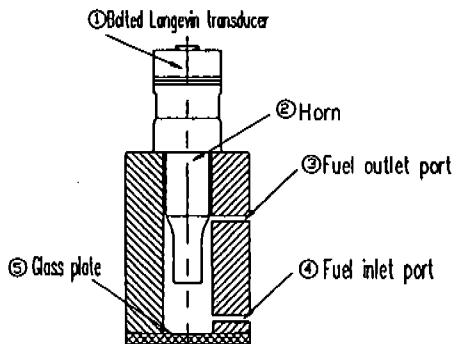


Fig.2 Oscillation horn

노즐 열림압력의 측정은 노즐테스터를 이용하였는데, 잭키를 눌러 노즐에서 연료가 분사될 때 압력계이지의 눈금을 읽어 노즐 열림압력으로 계산했다. 각 노즐의 열림압력은 핀틀형 노즐이 현재 상용중인 13MPa 을 기준으로 하여 10MPa , 13MPa , 16MPa , 홀형 단공노즐에서는 상용중인 20MPa 을 기준으로 16MPa , 20MPa 로 설정하여 각각의 노즐열림압력의 기준압력에서 분무특성을 실험하였다.

초음파 시스템은 분사펌프 진입전의 연료통로에 장치하였으며, 여기에서는 초음파 진동에너지의 직접적인 전달은 어려우나 액체연료 자체의 구성에 초음파에너지를 가해 줌으로써, 공급되는 연료특성을 변화시켜, 즉 저점도화, 공동현상, 분자간의 분산현상 등을 유발시켜 분산시 미립화가 양호한 상태로 만들어 주는 효과를 얻을 수 있다.

액침법은 비교적 간단하고 경제적이면서 무난한 결과를 얻을 수 있기 때문에 현재에도 사용되고 있다. 본 연구에서는 채집액으로서 특성을 고루 갖춘 비중이 0.92 인 실리콘오일(silicon oil; ν : $1000\text{ cSt at } 20^{\circ}\text{C}$)을 채집액으로 사용하였다.

액침법에서 미강유의 온도는 21°C , 분위압력은 대기압력, 채집거리는 대기압력을 고려하여 300mm , 400mm , 500mm 로 설정했다. 액적 채취 방법은 슬라이드 글래스(slide glass)위에 실리콘오일을 도포하고 채집장치를 이용하여 노즐로부터 분사되는 액적을 채취하였다. 슬라이드베를 통과하는 액적의 양을 균일하게 하기 위하여 콤프레셔의 압력을 이용하여 공압실린더로 구동시켰다. 채취된 액적은 즉시 배율 100 배의 현미경에 부착된 카메라를 사용하여 촬영하고, 이를 현상한 후 분석하여 분무 평균입경인 SMD(Sauter's mean diameter)를 계산하였다.

3. 실험결과 및 고찰

미강유는 고점성 연료로서 디젤유에 비해 점성이 대단히 높으므로 미강유의 물리적 성질중 비중과 점도를 개선하기 위해 미강유에 초음파 에너지를 가하였으며, 초음파를 가하기 전·후의 비

중과 점도의 변화를 측정하였다.

Fig.3은 미강유에 초음파 에너지를 가한 시간에 따라 비중과 동점성계수의 변화를 측정할 결과이다. 60초 동안의 동점성계수의 변화는 76 cSt에서 62cSt로 평균 22%의 감소를 보였으며 30초 이상이 지났을 때 비교적 급격하게 저감하였다. 연료의 점도가 작으면 분무의 입경이 감소하며 이는 실제엔진에서 압축착화시 착화지연을 짧아지게하므로 불완전 연소를 감소시키는데 도움이 된다.

바이오 디젤유로서 고점성 식물유인 미강유를 디젤유에 가까운 성능을 갖도록 하기 위해서는 양호한 미립화가 요구되며, 이를 위해 초음파 에너지를 적용하였고, 여러노즐에 의한 다각적인 분무현상이 다음과 같이 관찰되었다.

Fig.4는 핀틀형(pintle type) 노즐의 핀 끝 각도가 5°이고 노즐열림압력이 10MPa, 채집거리가 300mm일 때 상용분사와 초음파 분사의 분무 액적들의 입자크기에 대한 액적수의 분포도로서, 액적 크기가 40 μ m를 기점으로 상용분무에서는 액적 직경이 40 μ m보다 큰 입자들의 수가 많고

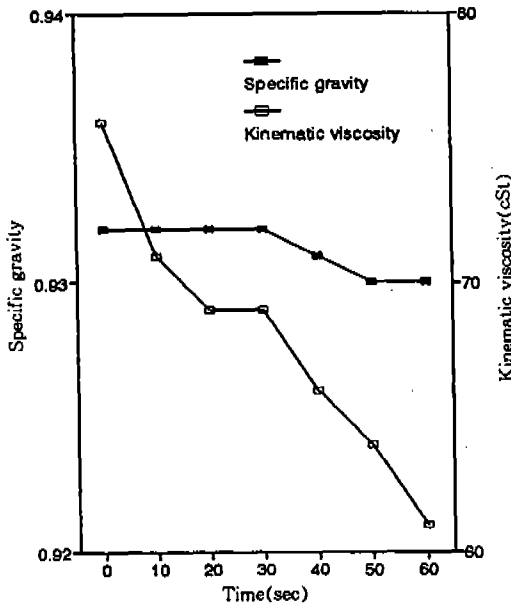


Fig.3 Comparison of kinematic viscosity and specific gravity

초음파 분사에서는 액적직경이 40 μ m보다 작은 액적들의 수가 많이 나타남을 볼 수 있다. 분포도도 역시 전반적으로 초음파 분사의 분포도가 상용분사의 분포도보다 분무 입경이 작은쪽으로 집중되고 있음을 볼 수 있다. 이는 초음파 분사 액적들이 상용분사 액적보다 미립화 현상이 양호함을 보여준다.

Table 1은 노즐열림압력 13MPa, 채집거리 400mm일 때 핀끝 각도에 따른, 초음파 에너지 작용에 의한 액적의 SMD변화 및 미립화 개선율을 비교 검토한 것으로 핀끝의 각도가 클수록 SMD가 약간 씩 작아짐을 볼 수 있는데, 이는 상용분사와 초음파분사 모두에서 분무액이 핀끝 각도의 증가에 따른 주위 공기와의 충돌이 증가함으로서 액사의 깨어짐이 크게 나타나는 결과로 해석된다. 상용분사의 초음파 분사에 의한 SMD의 미립화 개선율은 약 10~12% 범위로 나타나

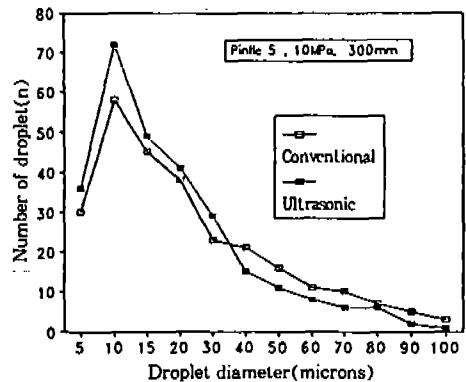


Fig.4 Distribution diagram of the droplet number to the droplet diameter in the conventional and ultrasonic sprays(Pinle-type nozzle)

Table 1 SMD and improvement rate by pin-edge angles(13MPa, 400mm)

핀끝각도	5°	10°	15°
액적크기	(SMD)	(SMD)	(SMD)
상용 분사	35.5	35.0	31.3
초음파 분사	31.7	30.86	28.1
개선율	10.7	11.8	10.2

고 있다.

Fig.5는 홀형(hole type) 노즐의 홀직경이 0.34 mm, 노즐열림압력 20MPa, 채집거리 400mm일 때 상용분사와 초음파 분사의 분무액적들의 입자크기에 대한 액적수의 분포도로서 초음파 분사의 분포도가 상용 분사 분포도보다도 왼쪽(수직축 쪽)으로, 즉 액적의 크기가 작은 영역으로 분포되고 있음을 볼 수 있다. 이는 상기한 핀틀형의 경우와 같이 초음파분사가 상용분사보다 액적의 분무미립화가 양호했음을 나타내고 있다.

Table 2는 노즐열림압력 20MPa, 채집거리 400mm일 때 홀직경에 따른 SMD 및 미립화 개선율을 나타내고 있다. 상용분사와 초음파 분사 모두에서 홀직경이 클수록 SMD가 조금씩 증가하고 있음은 홀직경의 크기가 분사액적 크기에 직접적 영향을 주는 일반 원리를 보여주고 있다.

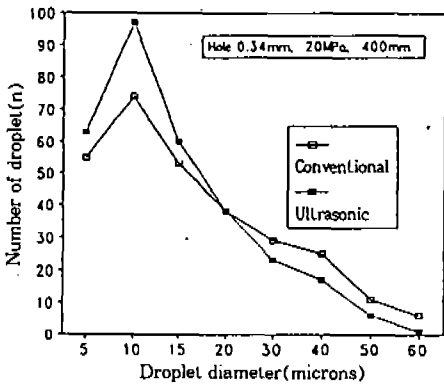


Fig.5 Distribution diagram of the droplet number to the droplet diameter in the conventional and ultrasonic sprays (Hole-type nozzle)

Table 2 SMD and improvement rate by nozzle diameters(20 MPa, 400mm)

Hole 직경(mm)	0.31	0.34	0.37
액적크기	(SMD)	(SMD)	(SMD)
상용 분사	30.4	31.5	32.6
초음파 분사	26.7	29.8	30.9
개선율 (%)	12.17	5.4	5.2

초음파에 의한 상용분사의 분무액적의 미립화 개선율은 약 5~12% 범위로 나타나고 있다.

Fig.6은 노즐열림압력 13MPa, 채집거리 400 mm일 때 핀틀형 노즐의 핀끝 각도에 따른 액적 크기에 대한 액적수의 분포도이다. 전 핀 끝 각도에 걸쳐서 상용분사때보다도 초음파 분사때의 액적분포도가 액적크기가 작은 영역으로 분포되면서 액적수는 많이 나타나고 있다. 이는 초음파 에너지가 분무미립화 개선에 전 핀끝 각도에 걸쳐서 유효함을 보여주는 것이다. 또한 핀끝 각이 클수록 분포선이 좌표상에서 조금씩 아래에 위치함은 큰 핀끝각이 액적 미립화에 유효함을 의미하는데 이는 상기한 바와같이 분사류의 편향을 크게하므로써 주위기체와의 충돌을 많이 일으켜서 얻어지는 교란작용의 심화 또는 일정 유량에서 분사 체적의 확대에 의한 액적 기리의 합체 현상이 감소한 결과로 생각된다.

Fig.7은 홀형 노즐에서 노즐열림압력 24MPa, 채집거리 500mm일 때 홀직경에 따른 액적크기에 대한 액적수의 분포도이다. 직경이 다른 전 노즐에 걸쳐서 초음파 분사 분포선들이 상용 분사 분포선들 보다 좌표상에서 아래에 위치함은 초음파 분사때가 상용분사때에 비해 분무미립화가 양호

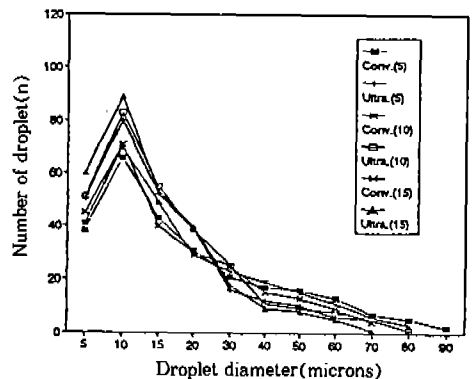


Fig.6 Comparisons of the distribution diagram of the droplet number to the droplet size by changes of pin-edge angle(Pintle-type nozzle, 13 MPa, 400 mm)

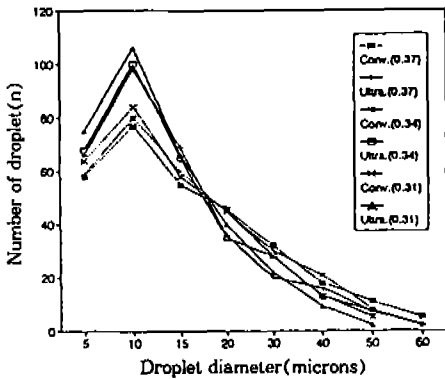


Fig.7 Comparisons of the distribution diagram of the droplet number to the droplet size by changes of nozzle diameters(Hole-type nozzle, 24 MPa, 500 mm)

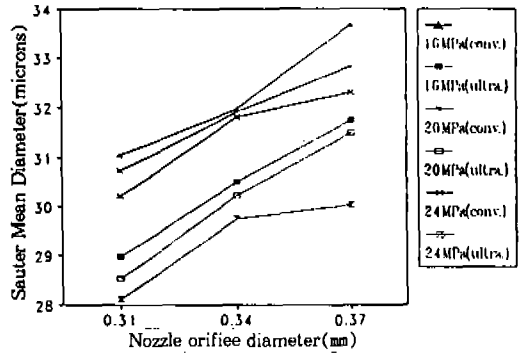


Fig.9 Comparisons of the distribution diagram of the SMD to the nozzle diameter by changes of the spray pressures (Hole-type nozzle, 300mm)

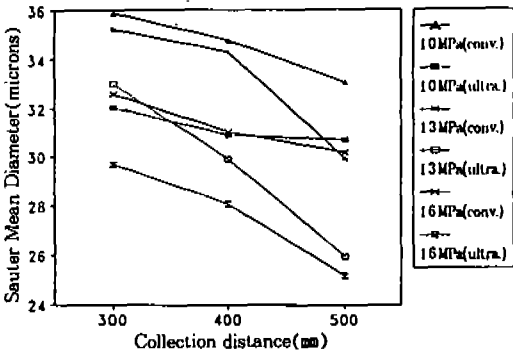


Fig.8 Comparisons of the distribution diagram of the SMD to the collection distance by changes of the spray pressures(Pintle-type nozzle, 15°)

함을 보여주는 것이다. 또한 노즐직경이 작을수록 분포선들이 약간씩 아래에 위치함은 작은 노즐 직경이 액적의 미립화에 보다 효과적임을 의미한다.

Fig.8은 핀틀형 노즐에서 핀끝 각도가 15° 일 때 노즐열림압력에 따른 채집거리에 대한 SMD 분포도이다. 채집거리가 멀수록 액적의 SMD가 조금 작아지고 있다. 3가지 노즐 열림 압력의 모든 경우에서 초음파 분사의 분포선들이 상용분사

의 분포선들보다 좌표상에서 아래에 위치하고 있음을 볼 수 있다. 이는 초음파 에너지가 분무미립화 개선을 가져 왔음을 의미한다. 또한 노즐 열림압력이 커질수록 분포선들이 역시 아래에 위치하고 있는데 이는 노즐열림압력의 증가가 분무미립화에 좋은 영향을 끼침을 보여주는 것이다.

Fig.9는 홀형 노즐에서 분사액적의 채집거리가 300mm일 때 노즐열림압력의 변화에 따른 홀직경에 대한 SMD분포도이다. 3가지 노즐열림압력 모두에서 초음파 분사 분포선들이 상용분사 분포선들보다 뚜렷이 좌표상에서 아래에 위치함을 볼 수 있다. 이는 초음파 분사 액적의 SMD가 상용분사액적의 SMD보다 작게 나타나고 있음을 보이는 것이며, 홀직경이 클수록 SMD가 조금 증가함을 볼 수 있다.

Fig.10은 핀틀형 노즐에서 분사액적의 채집거리가 400mm일 때 핀끝 각도에 다른 노즐열림압력에 대한 SMD관계 분포도로서 세가지 핀끝 각도 모두에서 초음파 분사 분포선들이 상용분사 분포선들보다 상기한 바와 같이 좌표상에서 아래에 위치함을 볼 수 있으며 초음파 분사액적의 SMD가 상용분사액적의 SMD보다 약 11%정도 더 미립화가 개선됨을 보이고 있다. 노즐열림압력이 증가할수록 역시 미립화가 조금 양호해짐을 보이고 있다.

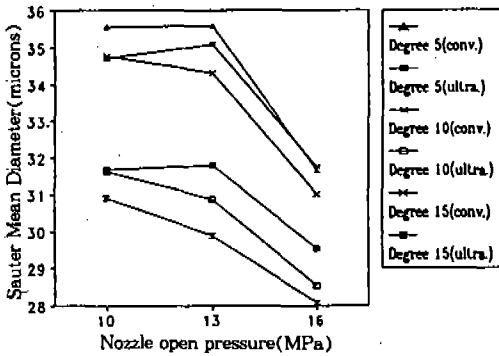


Fig.10 Comparisons of the distribution diagram of the SMD to the nozzle opening pressure by changes of the pin-edge angle(Pintle-type nozzle, 400mm)

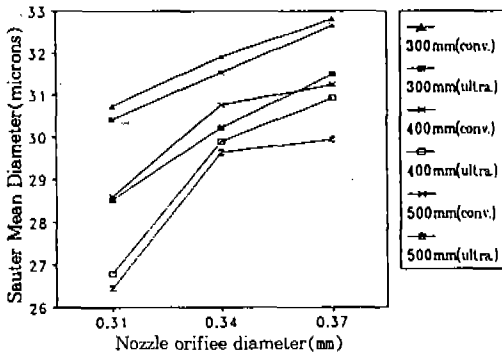


Fig.11 Comparisons of the distribution diagram of the SMD to the hole diameter by changes of the collection distance(Hole-type nozzle, 20 MPa)

Fig.11은 홀형 노즐에서 노즐열림압력이 20 MPa일 때 채집거리에 따른 노즐직경에 대한 SMD분포도를 보이고 있다. 세가지 채집거리 모두에서 초음파 분무액적의 SMD가 상용분사 액적의 SMD보다 작아짐은 상기한 바와 같다. 노즐 직경이 증가할수록 SMD가 증가함을 볼 수 있다.

4. 결 론

청정대체에너지원으로 기대는 되나 디젤유에

비해 점도가 대단히 큰 바이오 디젤유중 우리나라에서 부존자원이 풍부하여 바이오 디젤유로 대량생산의 가능성이 큰 미강유에 초음파 에너지를 적용하고, 여러노즐에 의한 분무미립화 실험을 함으로서 얻어진 결론은 다음과 같다.

- 1) 바이오 디젤유로서 미강유가 초음파 에너지 전달 장치를 통과하면서 초음파 에너지를 받는 최소한의 시간은 30초정도로 나타났다.
- 2) 핀틀형 노즐에서 초음파 분사에 의한 상용분사의 SMD개선율은 세가지 핀끝 각도 전반에 걸쳐서 약 10~12% 범위로 나타났다으며, 핀끝각이 클수록 SMD가 작게 나타났다.
- 3) 홀형 노즐에서 초음파 분사에 의한 상용분사의 SMD개선율은 세가지 홀직경 전반에 걸쳐서 약 5~10% 범위로 나타났다으며 홀직경이 작을수록 개선율이 큰 것으로 나타났다.
- 4) 노즐 열림압력이 클수록 분무미립화가 약간 양호하게 나타났으며 채집거리가 멀때 분사체적의 확대 영역내에서 미립화가 양호함을 볼 수 있다.
- 5) 핀끝 각도, 홀직경, 노즐열림압력, 채집거리 등 변화인자 전반에 걸쳐서 초음파 분사의 분포도가 상용분사의 분포도보다 액적의 입경이 작은쪽으로 분포되고 있다. 이는 초음파 에너지가 액체 연료에 가해짐으로 액체 연료에 공동현상 및 분자간의 분산 현상 등이 유발되어 액적의 분무 미립화 개선이 이루어 졌음을 의미한다.

참 고 문 헌

1. Goering, C. E., et al., "Fuel properties of eleven Vegetable oils", Transactions of the ASAE, 25(6) pp. 1472~1483, 1982.
2. 정명진, 조규상, 류정인, "디젤 기관에 있어서 저질유 연소를 위한 기초연구(2)", 한국자동차공학회 춘계학술대회 논문, 2-7, 149~153, 1992.

3. Niemczewski, B., "A comparison of ultra-sonic cavitation intensity in liquids", *Ultrasonics*, May, pp. 107~110, 1980.
4. Kazuyoshi Namiyama, Hiromi Nakamura, Kakuro Kokubo, Daijiro Hosogari, "Development of ultrasonic Atomizer and its Application to S. I. engines", SAE 890430, pp. 1~11, 1987.
5. 千葉 近, "超音波による液體の微粒化の研究", *内燃機關*, 11卷2號, pp. 11~22, 1972.
6. 조규상, 이성래, 최두석, 류정인, "가솔린 기관용 초음파 미립화장치의 타당성에 관한 연구(1)", *한국자동차공학회지*, Vol. 9, No.4, pp. 41~49, 1987.
7. 류정인, "초음파를 이용한 흡입연료의 미립화 성능에 관한 연구", *충남대, 산업기술연구소 논문집 제2권 제1호*, pp. 46~54, 1987.
8. 최두석, 류정인, 양옥룡, "초음파 연료 공급장치용 가솔린 자동차의 성능향상에 관한 연구(1)", *충남대, 산업기술연구소 논문집 제7권 제2호*, pp. 79~86, 1992.
9. 정명진, 조규상, 류정인, "초음파 진동을 이용한 디젤기관의 성능향상에 관한 연구", *한국자동차공학회지*, Vol. 13, NO.6, pp. 44~49, 1991.
10. 양정규, 최두석, 윤진한, 류정인 "초음파 연료공급장치를 이용한 디젤기관의 성능향상에 관한 연구(II)", *한국자동차공학회 1993년도 춘계학술대회 논문 8-4*, pp. 583~588, 1993.
11. 최두석, 설진호, 류정인, "초음파 연료공급장치용 디젤 자동차의 성능향상에 관한 연구", *한국자동차공학회 논문집, 제2권, 제1호*, pp. 1~8, 1994.
12. 경제기획원, *한국통계연감 제32호*, 경제기획원, 서울, pp. 117, 1985.