

## 초음파 가진을 이용한 2-유체 노즐의 효율 향상

# Improvement of the Efficiency of a Twin-fluid Nozzle using Ultrasonic Vibration

주은선      나우정      정진도      송민근      이경열  
정희원      정희원                정희원  
E. S. Ju      W. J. La      J. D. Chung      M. G. Song      K. Y. Lee

### ABSTRACT

Characteristics of a twin-fluid spray with ultrasonic vibration were examined in order to obtain a high efficiency of cold-fog spray of the automatic pest control machine which has been widely used in protected horticulture recently.

An electrostrictive vibrator of PZT BLT and a magnetostrictive  $\pi$ -type vibrator were used applied as the ultrasonic transducers with a frequency of 28 kHz. All experiments were conducted in 4 methods of spray ; a conventional spray method without ultrasonic forcing, an indirect vibration method with ultrasonic forcing, an improving-quality method by ultrasonic forced within liquid, and a combined-use method with both of the indirect vibration method and the improving quality method. It was found that the ultrasonic energy increased the atomization efficiency of spray droplets about 10% and especially much more in the case of the combined-use method.

**Keywords** : Twin-fluid Nozzle, Ultrasonic, Spray Droplet, Atomization.

### 1. 서      론

작물의 병충해 방제는 품질과 생산량에 직결된다. 특히 시설재배의 경우 밀폐된 온실공간은 고온 다습하여 각종 병충해의 번식에 유리하게 되므로 병충해 발생빈도가 무척 높아 방제의 중요성이 더욱 강조된다. 바람직한 방제는 농약을 제한없이 사용할 수 있고 잎의 뒷면 및 무성한 작물의 속잎 등에도 연무에 의해 농약이 균일하게 부착됨으로

써 소량의 농약으로 방제효과를 극대화할 수 있고, 따라서 농약의 손실과 토양 및 수질의 오염을 방지하는 친환경적이며 저 공해 농산물의 생산을 보장하는 것이다. 또한 농민을 방제작업의 중노동과 약해로부터 해방시키기 위해서는 방제의 자동화가 수반되어야 한다. 최근 시설재배는 더욱 광범위하게 발전되고 있으며 이에 상응하는 고효율 방제가 요구되고, 이를 위한 고효율 자동방제기의 개발에는 고효율 분무노즐 개발이 우선되어야 한

---

This Study was supported by Technology Development Program for Agriculture and Forestry, Ministry of Agriculture and Forestry. The article was submitted for publication in March 2002; reviewed and approved for publication by the editorial board of KSAM in June 2002. The authors are: E. S. Ju, Professor, School of Transport Vehicle Engineering & Research Center for Aircraft Parts Technology; W. J. La, Professor, School of Agri-Systems Engineering and Institute of Agriculture & Life Sciences, Gyeongsang National University, Jinju, Korea; J. D. Chung, Assistant Professor, Dept. of Environmental Engineering, Hoseo Univ., Asan, Chungnam; M. G. Song, Graduate student, School of Transport Vehicle Engng.; K. Y. Lee, School of Agri-systems Engng., Gyeongsang National University. The corresponding author is W. J. La, Professor, School of Agri-Systems Engineering and Institute of Agriculture & Life Sciences, Gyeongsang National University, Jinju, Gyeongsangnam-Do, 660-701, Korea. E-mail: <wojnla @nongae.gsnu.ac.kr>.

다(Kim, 1994).

2-유체 노즐은 다른 종류의 노즐에 비해 더욱 미세한 분무를 얻을 수 있으며, 특히 연료와 농약 액에 응용되는 경우에는 공기와 쉽게 혼합되므로 매우 유용하다(이상용, 1996). 이 노즐은 Mullinger (1974), Bryce(1978), Sargeant(1982), Hurley(1985), Jasuja(1979) 등에 의해 공기의 보조 및 충돌식 등으로 설계되고 연구 발전되어 왔다. 특히 2-유체 상온 연무노즐은 온실 내에 사용하기에 다른 방식보다 유용한 점이 많아 널리 연구·실용화되고 있다. 최근 시설재배는 더욱 광범위하게 발전하고 있으며 이에 상응하는 고효율 방제가 요구되고 있다. 그러나 2-유체 노즐만으로는 상기의 고효율 연무를 위한 균일액적 미립화에는 기계적 한계가 있다. 이 한계를 극복하기 위해서 2-유체노즐에 초음파를 적용하는 연구가 개질법 및 간접진동법 등을 통해서 시도되어 왔다. 근래에 초음파 장치의 실용적 발전은 2-유체 노즐에 초음파를 적용함으로써 온실 내 방제를 위한 고효율 연무방제를 기대하게 한다. 초음파 노즐의 분무속도는 미약하나 탁월한 미세균일 액적분무가 가능하며, 초음파에 의해 액체의 미립화가 향상됨이 입증되고 있다(藤森聰雄, 1980). 전형적인 초음파 노즐은 Mochida (1978) 및 Berger(1985) 등에 의해 설계·실용화되면서 초음파노즐 및 초음파 응용은 산업전반에 걸쳐 확산되고 있다. 국외에서는 Niemczewski(1980)의 액체 내에서 cavitation 현상, Droughton(1984)의 내연기관의 성능향상, T.葉 近(1972)의 액체 미립화에 관한 연구 등이 있고, 국내에서는 Ryu 등(1987)에 의한 엔진효율 향상, Ju 등(1998)에 의한 2-유체 분무에의 응용 등 다수의 연구가 있으나, 2-유체 상온 연무 노즐에 초음파를 적용한 연구는 아직 미미하다.

본 연구에서는 최근에 많이 실용화되고 있는 2-유체 상온 연무노즐에 상기의 시도된 두가지 초음파 응용법에 이들을 겸용한 초음파 응용법을 첨가·적용하여 초음파 영향에 의한 분무입경 특성을 규명함으로써 시설재배를 위한 초음파 적용 고 성능, 고효율 자동방제용 노즐 개발을 위한 기초자료를 얻고자 하였다.

## 2. 이 론

액체의 미립화는 공기중에서 이루어지는 것이 대부분이며 여기에는 액체와 기체의 충돌 및 혼합

에 의한 교란현상이 일어난다. 교란에 의한 미립화의 이론적 기구식은 대단히 복잡하며, 실제 분무에서 미립화 기구는 더 많은 지배 변수 등 유체 역학적 현상의 중첩에 증발 및 합착 등 물리적, 화학적 현상들이 복잡하게 작용하므로 아직까지도 확실한 규명은 어렵고, 각 노즐에 따른 실험 제안 식들이 보고되고 있다.

평균 직경에 대한 일반식은

$$(D_{ab})^{a-b} = \frac{\int_{D_0}^{D_m} D^a (dN/dD) dD}{\int_{D_0}^{D_m} D^b (dN/dD) dD} \dots\dots\dots (1)$$

이며 여기서  $a=3$ ,  $b=2$  즉 order 5일 때 Sauter Mean Diameter, 즉 SMD는

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

로 나타내어진다 (Lefebvre, 1989). 이는 질량전달과 반응 등에 응용된다.

또  $a=3$ ,  $b=0$  즉 order 3일 때 Volume Mean Diameter, 즉 VMD는

$$D_{30} = \left( \frac{\sum N_i D_i^3}{\sum N_i} \right)^{\frac{1}{3}} \dots\dots\dots (3)$$

로 나타내어진다. 이는 체적제어에 응용되며, 예로서 수문학, 농용분무 등에 적용된다.

SMD의 많은 실험 제안식 중에서 최초의 수정식을 예로 들면 공기충돌식에서는

$$\frac{SMD}{D_h} = \left(1 + \frac{W_L}{W_A}\right) \left[ 0.33 \left( \frac{\sigma}{\rho_A U_A^2 D_P} \right)^{0.6} \dots\dots\dots (4) \right. \\ \left. \left( \frac{\rho_L}{\rho_A} \right)^{0.1} + 0.068 \left( \frac{\mu_L^2}{\rho_L \sigma D_P} \right)^{0.5} \right]$$

등이며, 여기서  $D_h$ 는 기체 출구의 수력직경이다. 외부혼합형 노즐에서는

$$D_{32} = D_0 \times 10^{-6} Re^{0.39} We^{0.18} (W_L/W_A)^{0.29} \dots\dots\dots (5)$$

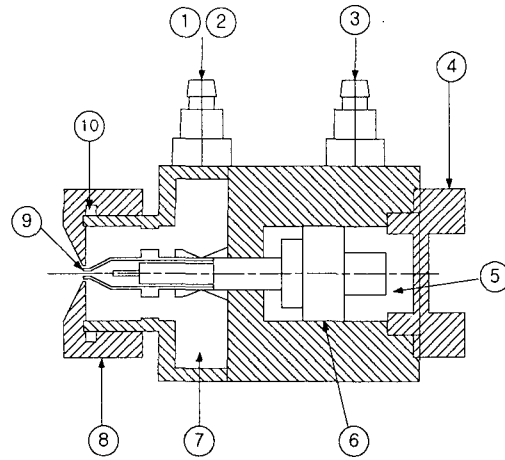
등도 있다 (이, 1996). 여기서는 SMD를 VMD로 환산하여 나타내었다.

### 3. 재료 및 방법

본 실험에 이용된 분무노즐은 온실내 방제용으로 최근에 가장 널리 실용화되고 있는 2-유체 분무노즐로서 그 개략도는 그림 1과 같다.

이는 분무출구를 분사축 방향으로 전진 또는 후퇴시킬 수 있게 제작되어 있어서 2-유체 분무의 2가지 방식인 외부혼합형과 내부 혼합형을 동시에 겸용할 수 있다. 따라서 분무출구를 노즐 출구면을 중심으로 후퇴 또는 전진함으로써 분무상태와 분무액적의 크기를 조절 할 수 있게 되어 있다. 또한 중앙에 바늘을 설치하여 약액으로 노즐구멍이 막히는 것을 방지하도록 되어 있다. 본 실험에서는 여러번의 예비실험을 통해 연무로서 최적한 상태를 선택하여 실험에 임하였다. 그림 3은 실험 장치의 개략도이다.

이는 분무시스템, 초음파시스템, 측정시스템으로 구성되어 있다. 분무시스템에는 분무노즐과 공기 압축기, 초음파시스템에는 초음파 발전기, 진동자, 측정시스템에는 PDA와 5W Argon-Ion Laser 등이 갖추어져 있다. PDA는 Dantec 사의 2D Fiber Flow 시스템, Multi PDA Signal Processor, Data Management, Velocity Extension Kit 등을 구비하고 있다. 그 사양은 표 1과 같다.



1. Air Inlet
2. Liquid Inlet
3. Compressed Air Inlet
4. End Cap
5. Air Cylinder (nozzle cleaning)
6. Piston (nozzle cleaning)
7. Swirl Chamber
8. Nozzle Cap
9. Nozzle
10. O-ring

Fig. 1 Experimental Nozzle.

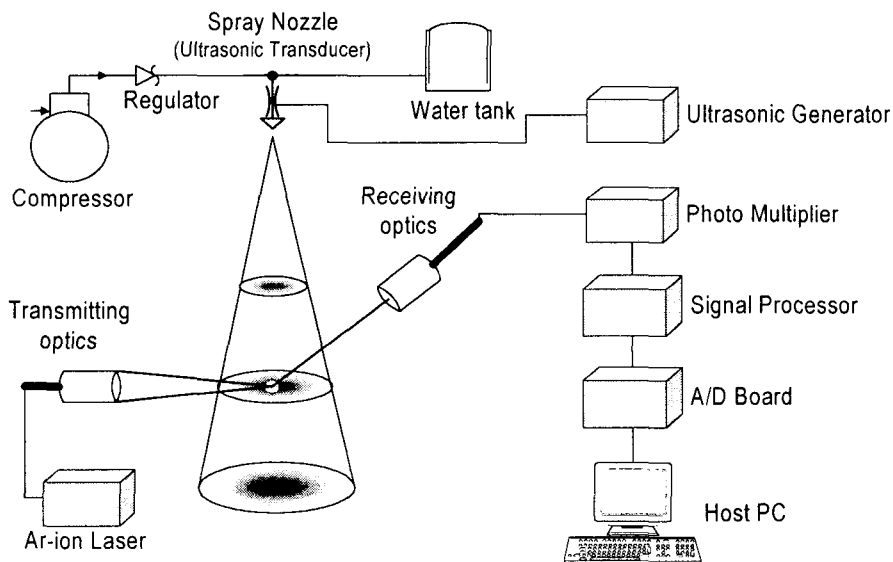


Fig. 2 Schematic diagram of the experimental apparatus for the vicinity region.

Table 1 Specification of PDA system

Measurement instrument		2-D Fiber PDA(DANTEC. Inc.)
Light source		Ar-ion Laser (Laser-Spectra model Stabilite 2017) (output : max 5W, used 2W)
Shift frequency		40 MHz
Transmitting optics	Laser wavelength	Beam(mm) : Green(514.5), Blue(488)
	Beam separation	38mm
	Lens focal length	400 mm
Receiving optics	Mximum diameter	173.445 $\mu$ m (Aperture ID : A)
	Scattering angle	30 deree
	Lens focal length	400 mm
High voltage		U1(1000V), U2(1344V) U3(1400V), U4(1000V)
Band width		4 - 12 MHz
Signal processor		DANTEC model 58N50
3D Traverse		DANTEC model 41T50 (Lifting capacity 30 kg)
Traverse controller		DANTEC model 41T70

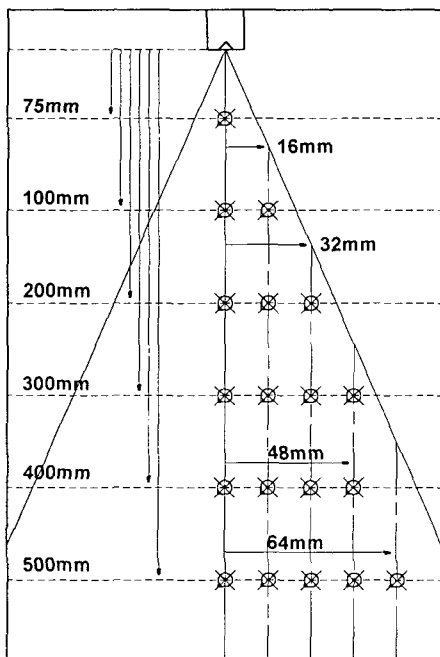


Fig. 3 Measuring point of the spray.

2-유체 분무의 특성상 풀콘 형상의 분무단면을 측정하였다. 그림 4는 그 측정영역을 보이고 있다.

분무단면을 정확히 측정하기 위하여 공기의 분무압이 없는 상태에서 액체를 중력가속도 중심 방향으로 떨어지게 하여 PDA의 이송장치를 이용해서 분무의 중심을 설정한다. 노즐 분무의 기본특성을 파악하기 위해 분무공 나사를 이용하여 노즐 끝과 분무입구와의 거리를 미세하게 좁혀가며 실험하였다. 측방향의 측정지점은 노즐 끝에서 분무 축 방향으로 75, 100, 200, 300, 400, 500 mm 간격으로 정하고 반경 방향의 측정지점은 측방향 거리 200 mm 지점에서 반경방향으로 0, 16, 32 mm의 3지점을, 300 및 400 mm 지점에서는 반경 방향으로 0, 16, 32, 48 mm의 4지점을, 500 mm 지점에서는 반경방향으로 0, 16, 32, 48, 64 mm의 5 지점으로 정하였다.

초음파 transducer로는 28 kHz PZT BLT 전왜식과 28 kHz  $\pi$ 형 자왜식을 사용하였다. 그 사양은 표 2와 같다.

Table 2 Specification of 28 kHz PZT BLT

Frequency (kHz)	Admittance (mΩ)	Thermal quality (QM)	Capacity (pF)	Maximum velocity (cm/s)	Maximum Altitude (μm)	Dia & Thickness (mm)	Parts (ea)
28	35±7	1.000	3.000±15%	60	9.6	∅29 5.5	2

초음파 적용에는 초음파 노즐 진동면에서의 분무(이하 직진법), 2유체 분무노즐에 초음파 진동을 가하는 분무(이하 간접진동법), 액체 중에서 액면 밖으로 초음파가 나오면서 이루어지는 무화분무(이하 무화법) 및 초음파를 액체에 직접 증으로써 얻어지는 액체의 미립화 친화성 향상법(이하 개질법) 등 4가지 등으로 대별할 수 있는데, 본 연구에서는 초음파 비가진시 상용분무, 초음파 가진시의 간접진동분무, 개질분무, 간접진동분무와 개질분무를 동시에 가하는 겸용분무법 등 4가지 분무 방법에 대해서 실험하여 초음파의 영향에 의한 분무특성을 비교·검토하였다.

#### 4. 결과 및 고찰

그림 4는 노즐팁에서 분무축방향에 따른 4가지 경우 즉 상용분무, 개질분무, 간접진동분무, 개질 및 간접진동의 겸용분무에서의 Volume Mean Diameter(VMD)를 비교하고 있다.

4가지 경우 모두에서 노즐에서 거리가 멀어질수록 VMD가 커지고 있다. 전거리 영역에 걸쳐서 상용분무 때가 VMD가 가장 크게 나타나고, 초음파 겸용 분무 때의 VMD가 가장 작게 나타나고 있다. 이는 초음파가 분무액적의 미세화에 친화적 영향을 끼침을 의미한다.

그림 5는 상기와 같은 조건에서 4가지 경우에서의 평균직경을 비교하고 있다. 4가지 경우 모두 축방향으로의 거리가 멀어질수록 평균직경이 커짐을 볼 수 있고 그림 4의 VMD 경우와 같이 초음파 비가진인 상용분무액적이 가장 크게, 초음파의 개질 및 간접진동 겸용법에서 가장 작게 나타나고 있음을 볼 수 있다.

그림 4와 그림 5는 다 같이 초음파가진시가 비가진시보다 액체미세화의 친화성을 뚜렷이 보이고 있다. 또한 노즐팁에서 축방향으로 거리가 멀어질수록 액적의 크기가 조금 증가함을 보이고 있다. 이는 출구경의 40배 거리에서 미립화가 완전히 발

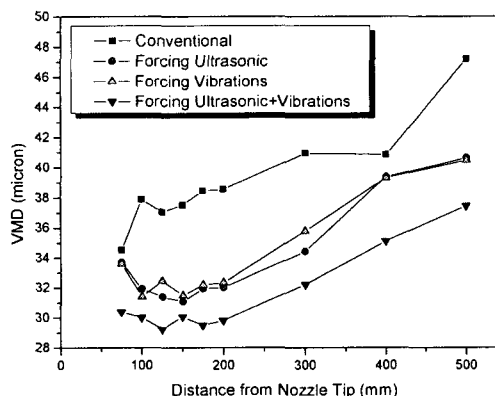


Fig. 4 Comparison of the VMD according to the axial distance from the nozzle tip.

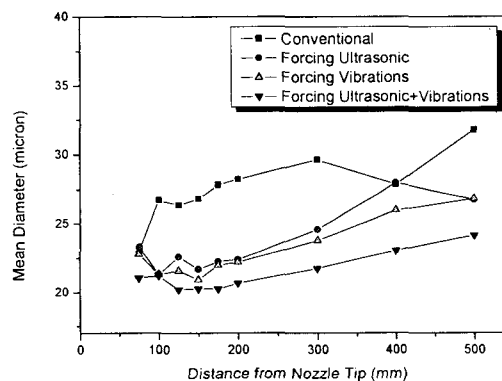


Fig. 5 Comparison of the mean diameter according to the axial distance from the nozzle tip.

달한다는 이론을 적용해 보면, 실험용 출구경이 2.5 mm로 40배 하면 100 mm의 거리가 계산되며, 상기 그림 5에서의 최초 측정거리가 75 mm 정도 임으로 충분히 미립화된 액적이 출구경의 40배 이상의 거리로 이동하면서 합착현상이 일어난 것으

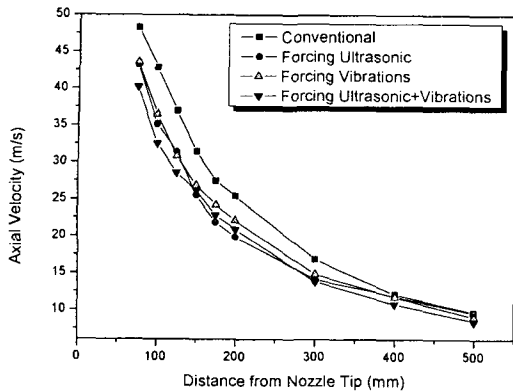


Fig. 6 Comparison of axial velocity according to the axial distance from the nozzle tip.

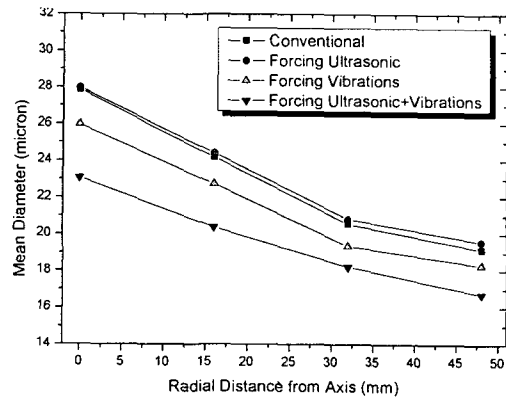


Fig. 8 Comparison of the mean diameters according to the radial distance at 400 mm from the nozzle tip.

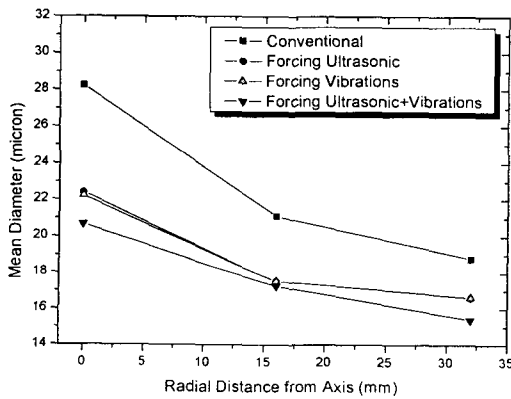


Fig. 7 Comparison of the mean diameters according to the radial distance at 200 mm from the nozzle tip.

로 사료된다.

그림 6은 노즐팁에서 분무축방향의 거리에 따른 4가지 경우의 축방향 속도를 비교하고 있다. 거리 100 m에서는 500 m까지 전반에 걸쳐서 초음파 비가진인 상용분무에서의 액적속도가 초음파 가진 3 경우보다 조금씩 우세하게 나타났다. 이는 상기에 서와 같이 큰 입자의 경우 가속도에 의한 속도의 증가가 더 커진 것으로 사료된다.

100 mm에서 150 mm까지의 영역에서는 초음파 겸용법 경우가 가장 작은 속도를 보였는데 이는 작은 입자일 경우 작은 가속도에 의한 속도증가의 영향이 적어진 것으로 해석된다.

그림 7은 노즐팁에서 축방향 거리 200 mm에서 반경방향 거리에 따른 액적의 평균직경을 나타낸 것이다. 상용분무, 개질분무, 간접진동분무, 개질 및 간접진동의 겸용분무의 4 경우 모두에서 축에서 반경방향으로 거리가 멀어질수록 액적의 평균 직경이 작아짐을 나타내고 있다. 이는 분무이론에 부합되고 있다. 상기 4가지 경우에서 액적 평균 직경 크기는 초음파가 가진되지 않은 상용의 경우에서 가장 크게 나타났고, 개질법과 간접진동법은 거의 비슷하게, 개질법과 간접진동법을 동시에 적용한 겸용분무의 경우에는 반경방향 전반에 걸쳐 액적의 평균크기가 작게 나타나고 있다. 이는 초음파가 분무액적 미세화에 영향을 끼침을 의미한다.

그림 8은 노즐팁에서 분무방향으로 거리 400 mm일 때 반경방향 거리에 따른 분무 액적 평균입경을 상기 4가지 경우에서 비교하고 있다. 상용 분무와 개질법에서는 비슷한 분포를 보였고 간접진동, 개질 및 간접진동 겸용의 경우에는 입경 미세화가 뚜렷이 나타나고 있음을 볼 수 있다.

표 3은 축방향거리에 따른 반경방향 거리에서의 입자의 평균직경을 비교하고 있다. 축방향거리 300 mm와 500 mm 모두에서 반경거리가 커질수록, 상용에서 초음파의 겸용분무법으로 갈수록 입경이 대체적으로 작아지는 경향을 보이고 있고, 축방향거리가 큰 500 mm 경우에는 축방향거리가 작은 300 mm 경우에 비해 전반적으로 입경이 작

Table 3 Comparison of mean diameters according to the radial distance at the axial distances of 500 mm and 300 mm

(단위 :  $\mu\text{m}$ )

Axial Distance	Radial Distance	Conventional	Forcing Ultrasonic	Forcing Vibration	Forcing Ultrasonic & Vibrations
300 mm	0	29.62	24.59	23.77	21.75
	16	22.76	22.92	20.85	19.73
	32	19.12	18.24	18.36	17.34
	48	18.58	17.7	18.21	16.01
500 mm	0	31.77	26.76	26.84	24.16
	16	25.81	25.58	26.14	22.21
	32	21.8	21.2	21.77	21.99
	48	19.89	18.83	20.32	19.36
	64	18.93	19.61	18.68	17.42

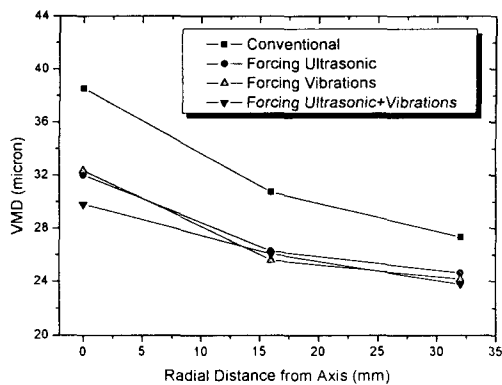


Fig. 9 Comparison of the VMD according to the radial distance at 200 mm from the nozzle tip.

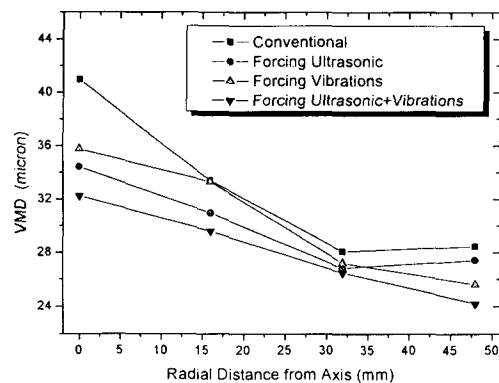


Fig. 10 Comparison of VMD according to the radial distance at 300 mm from the nozzle tip.

아짐을 볼 수 있다. 이는 축방향 거리가 커질수록 입자들의 합착현상이 많이 일어난 것을 의미한다.

그림 9는 노즐팁에서 분무방향의 거리가 200 mm일 때에 반경방향에 따른 4가지 경우에 대한 VMD를 비교하고 있다. 그림 7의 평균직경인 경우에 비해서 큰 차이는 없으나 가진시의 경우가 비가진시인 상용분무에 비해 반경방향에 걸쳐 전반적으로 액적의 입경이 작게 나타나고 있다. 이

는 초음파가 미립화에 영향을 끼쳤음을 의미한다.

그림 10은 노즐팁에서 분무방향으로 거리가 300 mm일 때에 축에서 반경방향 거리에 따른 분무액적의 VMD를 비교하고 있다. 4가지 경우에서 차이는 작으나 상용분무일 때의 액적이 초음파 가진시에 비해 전반적으로 약간 크게 나타나고 있음을 볼 수 있다.

그림 11은 노즐팁에서 분무방향으로의 거리가

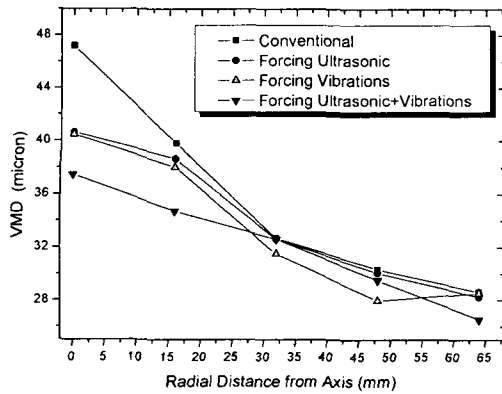


Fig. 11 Comparison of VMD according to the increasing or the radial distance at 500 mm from the nozzle tip.

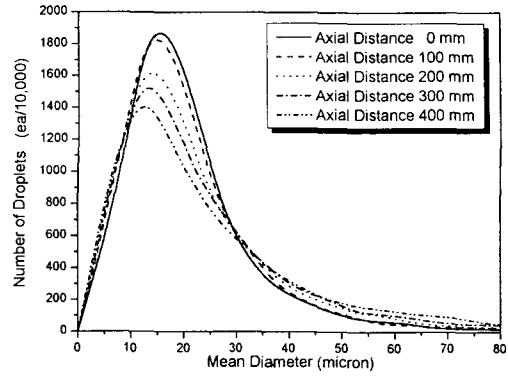


Fig. 13 Comparison of the droplet size distributions according to the axial distance from the nozzle tip.

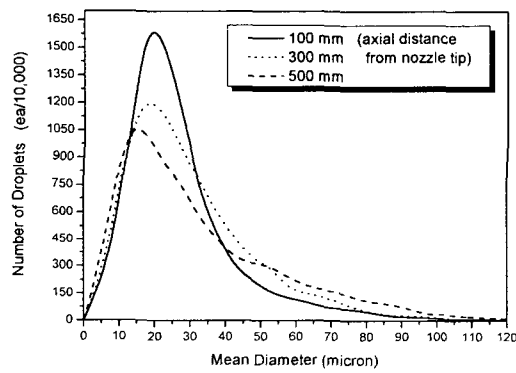


Fig. 12 Comparison of the distributions of droplet size according to the axial distance from the nozzle tip.

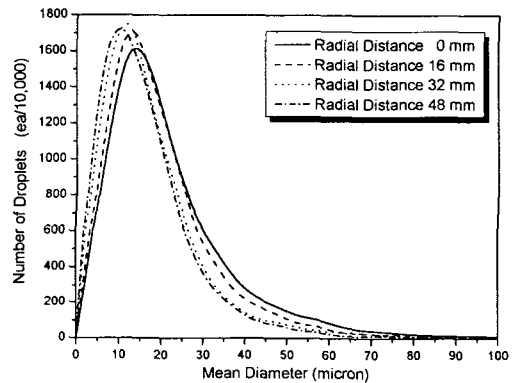


Fig. 14 Comparison of droplet size distributions according to the radial distance at 300 mm from the nozzle tip.

500 mm일 때 반경방향거리에 따른 VMD의 비교를 보이고 있다. 4가지 경우 모두에서 반경방향으로 갈수록 VMD가 작아지고 있는 경향은 앞에서 실핀 모든 경우와 같게 나타나고 있으며 이는 일반 분무의 이론에 부합된다. 전반적으로 초음파비가진시인 상용분무의 액적이 반경방향 거리 전반적으로 크게 나타나고 있다. 단, 거리가 30 mm에서 50 mm 지점까지는 간접진동분무가 가장 작게 나타나다가 65 mm 지점에서는 경용분무보다 더 커짐을 볼 수 있는데 여기에는 더 상세한 검토가 요구된다.

그림 12는 초음파비가진인 상용분무에서 축방향 거리에 따른 입자크기의 분포이다. 축방향에서 거

리가 멀어질수록 분포가 완만하게 보이며, 이는 입자크기가 큰 액적이 많아짐을 보인다. 그 이유는 상기한 바와 같이 노즐팁에서 분무출구직경의 40배인 100 mm까지는 분무가 충분히 발달된 상태이며 여기서 멀어질수록 입자간의 합착 현상이 일어났기 때문이라고 생각된다.

그림 13은 초음파가 가진되었을 때 즉 개질법과 간접진동법을 동시에 분무에 주었을 때 즉 경용분무일 때 노즐팁으로부터 분무 축방향 거리에 따른 분무액적 크기의 분포를 비교하고 있다. 그림 12의 상용분무시와 마찬가지로 분포도가 완만해짐을 보이고 있는 점은 같은 양상이나 미세 액적의 분포가 비가진시보다 우세하게 보이고 있음은 상기



한 바와 같이 초음파가 축방향 거리의 전반에 걸쳐서 분무액적의 미세화에 친화적임을 나타낸다.

그림 14는 상기와 같은 초음파 가진시 축방향 거리 300 mm에서 반경방향에 따른 분무액적 크기의 분포를 비교하고 있다. 그림 12와 마찬가지로 분무중심축에서 반경방향으로 갈수록 분포도가 액적크기가 작은 쪽으로 이동하고 있음을 볼 수 있다. 이는 축에서 멀어질수록 분무액적의 미세화가 우세함을 말해주며, 분포도가 입자가 작은 쪽에 집중적으로 모여 분포높이가 높고 뾰족한 양상을 보이고 있는데, 이는 초음파 가진시의 분무액적 미세화가 비가진시에 비해 반경방향 전반에 걸쳐 많이 우세함을 말해준다.

## 5. 요약 및 결론

상온연무기의 연무입자의 미립화에 대한 초음파 에너지의 효과를 규명하기 위하여 상온연무기용 2-유체 노즐에 초음파 비가진시인 상용분무, 초음파 가진시의 간접진동분무, 개질분무, 간접진동분무와 개질분무를 동시에 가하는 겸용분무법 등 4가지 분무방법에 대해서 실험하고 초음파의 영향에 의한 분무특성을 비교·검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 초음파 비가진시인 상용분무와 초음파 가진시인 개질분무, 간접진동분무, 간접진동 및 개질의 겸용분무의 네가지 경우 모두에서 분무액적의 평균직경 및 VMD가 전 영역에 걸쳐서 노즐 끝에서 분무방향으로 멀어질수록 조금씩 증가했으며, 또한 초음파 비 가진시인 상용분무의 경우가 초음파를 가진한 세경우에 비해 크게 나타났다. 초음파를 가진한 세가지 경우에는 간접진동 및 개질을 겸용한 경우에서 분무액적의 미세화가 가장 우세하게 나타났다. 이는 초음파가 분무 축방향 전영역에 걸쳐서 분무액적의 미세화에 친화적임을 입증한다. 분무 축방향의 분무평균 속도는 4가지 경우 모두에서 분무축 방향으로의 거리가 멀수록 감소했으며, 상용분무인 경우가 전거리 영역에 걸쳐 조금 우세함을 보이며, 400~500 mm에서는 큰 폭의 차이는 없었다.

2) 분무 방향 축에서 반경 방향으로 갈수록 분무 액적의 평균 직경과 VMD는 감소하였으며, 반경방향 전 영역에 걸쳐서 상용 분무시의 액적이 가장 크게, 초음파가진 겸용법의 경우에서 가장 작게 나타나고 있다. 이는 초음파가 분무 내부 전

영역에 걸쳐 액적의 미세화에 친화적임을 증명한 다. 속도 분포는 액적 크기보다 큰 차이는 없으나 전 영역에 걸쳐 상용 분무인 경우가 좀 우세하게 나타났다. 이는 상용 분무의 액적의 크기가 초음파 가진시의 액적 크기보다 조금 우세함을 의미한다. 즉, 초음파가 분무미립화에 친화적임을 말한다.

3) 분무액적의 크기에 따른 분무 분포도 비교에서 네가지 경우 모두에서 축 방향 거리가 멀수록 분무액적의 크기가 다소 증가함을 보였고, 축에서 반경 방향으로서는 분무액적의 크기가 다소 감소함을 보이고 있다. 상용 분무와 초음파 분무의 비교에서 초음파가진 겸용법의 경우에는 상용 분무 때보다 분무 영역 전반에 걸쳐서 미세화가 뚜렷이 우세함을 보였다. 전반적으로 볼 때 2-유체 상온연무노즐에 초음파를 적용시 10% 전후의 효율향상이 기대된다.

## 참 고 문 헌

- Berger, H. L. 1985. Characterization of a class of widely applicable ultrasonic nozzles. Proc. 3rd International Conference on Liquid Atomization and Spray Systems (ICLASS-85). pp. 1A/2/1-1A/2/13.
- Bryce, W. B., N. W. Cox and W. I. Joyce. 1978. Oil droplet production and measurement from a twin-fluid atomizer using real fluids. Proc. 1st International Conference on Liquid Atomization and Spray Systems (ICLASS-78). pp. 259-263.
- Druoughton, J. V. 1984. The effect of ultrasonic mixing of fuel and air on the performance of an internal combustion engine. SAE 840238.
- Hurley, J. F. and B. W. Doyle. 1985. Design of two-phase atomizers for use in combustion furnaces. Proc. 3rd. International Conference on Liquid Atomization and Spray Systems (ICLASS-85). pp. 1A/3/1-1A/3/13.
- Jasuja, A. K. 1979. Atomization of crude and residual fuel oils. Trans. ASME, J. Eng. for Power 101:250-258.
- Ju, E. S., J. D. Chung and M. G. Song. 1998. A study on ultrasonic effects for the atomization in a twin-fluid spray. Journal of ILASS-Korea

- 3(4):50-57. (In Korean)
7. Kim, M. K. 1994. A fundamental study on the development of cold fog machine. Ph. D. thesis, Gyeongsang Nat'l Univ., Korea. (In Korean)
  8. Lefebvre. H. 1989. Atomization and Spray. Hemisphere Publishing Corporation. pp. 90-91.
  9. Mochida. T. 1978. Ultrasonic atomization of liquids. Proc. 1st International Conference on Liquid Atomization and Sprays(ICLAS-78). pp. 193-200.
  10. Mullinger, P. J. and N. A. Chigier. 1974. The design and performance of internal mixing multijet twin-fluid atomizers. J. Inst. of Fuel. pp. 251-261.
  11. Niemczewski. B. 1980. A comparison of ultrasonic cavitation intensity in liquids. Ultrasonics. May. pp. 107-110.
  12. Ryu. J. I. 1987. A study on the atomization performance of suction fuel using ultrasonic vibration. Reports of the Research Institute of Industrial Technology, Chungnam National University 2(1):46-54(In Korean).
  13. Sargeant, M. 1982. Blast atomizer developments in the Central Electricity Generating Board. Proc. 2nd International Conference on Liquid Atomization and Spray Systems (ICLASS-82). pp. 131-136.
  14. 藤森聰雄. 1980. やさしい超音波の應用. 東京大學. 生産技術研究所. 産報出版. pp. 22-23.
  15. 이상용. 1996. 액체의 미립화. (주)민음사. pp. 209-220.
  16. 千葉 近. 1972. 超音波にのる液體の微粒化の研究. 内燃機關. 11(2):11-22.