

초음파적용 상온연무기의 분무특성에 관한 연구

송민근*, 이경렬*, 손승우*, 나우정**, 주은선***

A Study on the Spray Characteristics of the Cold-Fog Spray with Ultrasonic Forcing

Min-Geun Song*, Kyung-Youl Lee*, Sung-Woo Son*, Woo-Jung La** and Eun-Sun Ju***

Key Words : Cold-Fog Spray(상온연무기), Twin-Fluid Nozzle(2-유체 노즐), Ultrasonic(초음파), Spray Droplet(분무액적), Atomization(미립화)

Abstract

Characteristics of the twin fluid spray with ultrasonic forcing are examined in order to obtain the high efficiency of cold fog spray of the automatic pest control machine which has been widely used for the equipment cultivation recently.

An electrostrictive vibrator of PZT BLT and a magnetostrictive vibrator of π type with 28 kHz are applied as the ultrasonic transducer. All experiments are made and observed 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. In results, It was clarified that the ultrasonic effects the atomization of spray droplets and its efficiency is about 10 % and especially much more in the case of the combined use method.

1. 연구목적 및 배경

작물의 병충해 방제는 농산물의 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 제한 없이 사용할 수 있고 잎의 뒷면 및 무성한 작물의 속잎 등에도 연무에 의해 농약이 균일하게 부착되므로서 소량의 농약으로 방제효과를 극대화 할 수 있고, 따라서 농약의 손실과 토양 및 수질의 오염을 방지하는 친환경적이며 저 공해 농산물의 생산을 보장하는 것이다.

2-유체 노즐은 다른 종류의 노즐에 비해 더욱 미세한 분무를 얻을 수 있으며, 특히 연료와 농약액에 응용되는 경우에는 공기와 쉽게 혼합되므로 매우 유용하다. 이 노즐은 Mullinger, Bryce, Sargeant, Hurley, Jasuja 등에 의해 공기의 보조 및 충돌식 등으로 설계되고 연구 발전되어 왔다.^[1,2,3]

특히 2-유체 상온 연무노즐은 온실 내에 사용하기에 다른 방식보다 분무량 증가 등의 장점이 많아 널리 연구실용화되고 있다.^[4] 최근 시설재배는 더욱 광범위하게 발전하고 있으며 이에 상응하는 고효율 방제가 요구되고 있다. 그러나 2-유체 노즐 만으로는 상기의 고효율 연무를 위한 균일액적 미립화에는 기계적 한계가 있다. 이 한계를 극복하기 위해서 2-유체노즐에 초음파를 적용하는 연구가 시도되어 왔다. 근래에 초음파 장치의 실용적 발전은 2-유체 노즐에 초음파를 적용함으로써 온실내 방제를 위한 고효율 연무방제를 기대하게 한다. 초음파 노즐의 분무 속도는 미약하나 탁월한 미세균일 액적분무가 가능하며, 초음파

에 의해 액체의 미립화가 향상됨이 입증되고 있다. 전형적인 초음파 노즐은 Mochida 및 Berger 등에 의해 설계·실용화되면서 초음파노즐 및 초음파 응용은 산업전반에 걸쳐 확산되고 있다.^[5]

2. 실험방법 및 원리

2.1 이론적 배경

액체의 미립화는 공기중에서 이루어지는 것이 대부분이며 여기에는 액체와 기체의 충돌 및 혼합에 의한 교란현상이 일어난다. 교란에 의한 미립화의 이론적 기구식은 대단히 복잡하며, 실제 분무에서 미립화 기구는 더 많은 지배 변수 등 유체역학적 현상의 중첩에다가 증발 및 합착 등 물리적, 화학적 현상들이 복잡하게 작용하므로 아직까지도 확실한 규명은 어렵고, 각 노즐에 따른 연구자들의 실험 제안식들이 보고되고 있다.^[6]

평균 직경에 대한 일반식은

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

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

$$D_{30} = \left(\frac{\sum N_i D_i^3}{\sum N_i} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (2)$$

로 나타내어진다. 이는 체적제어에 응용되며, 예로서 수문학, 농용분무 등에 적용된다. SMD의 많은 실험 제안식 중에서 최초의 수정식을 예로들면 공기충돌식에서는

* 경상대학교 대학원, s_friend@gshp.gsnu.ac.kr

** 경상대학교 농업시스템공학부

*** 경상대학교 기계항공공학부

$$\frac{SMD}{D_h} = \left(1 + \frac{W_L}{W_A}\right) \left[0.33 \left(\frac{\sigma}{\rho_A U_A^2 D_P} \right)^{0.6} \left(\frac{\rho_L}{\rho_A} \right)^{0.1} + 0.068 \left(\frac{\mu_L^2}{\rho_L \sigma D_P} \right)^{0.5} \right] \quad (3)$$

등이며, 여기서 D_h 는 기체 출구의 수력직경이다. 외부혼합형 노즐에서는

$$D_{32} = D_{30} \times 10^{-6} Re^{0.39} We^{0.18} (W_L/W_A)^{0.29} \quad (4)$$

등도 있다. 여기서는 SMD를 VMD로 환산하여 나타내었다.

2.2 PDA 실험

분무노즐의 분무입경과 속도를 측정하기 위해 PDA를 이용하였 측정하였다. 본 실험에 이용된 분무노즐은 온실내 방제용으로 최근에 가장 널리 실용화되어 있는 2-유체 분무노즐로서 그 개략도는 Fig. 1과 같다. 수화제의 사용이나 노즐이 막혔을 경우를 위해 사용되는 액공 청소용 공압구조를 삽입하였으며, 외부혼합형인 분무형태로 설계되었고, 분무입경의 조절이 용이하도록 노즐캡이 고안되었다.

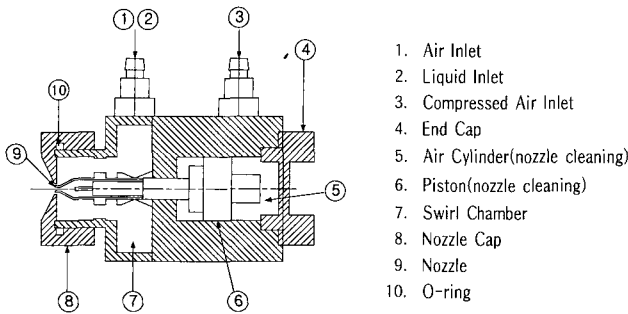


Fig. 1 Schematic diagram of twin-fluid nozzle

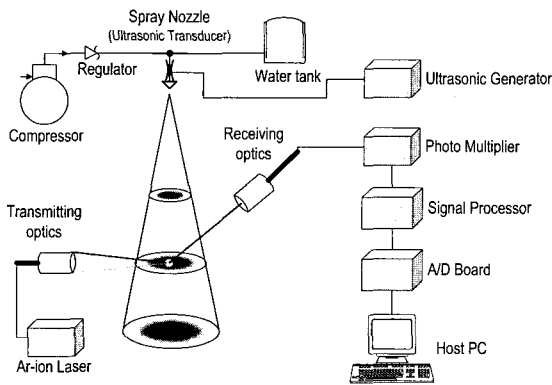


Fig. 2 Schematic diagram of the experimental apparatus for the vicinity region (PDA)

Fig. 2는 PDA를 사용한 실험장치의 개략도이다. 이는 분무시스템, 초음파시스템, 측정시스템으로 구성되어 있다. 분무시스템에는 분무노즐과 공기압축기, 초음파시스템에는 초음파 발진기, 진동자, 측정시스템에는 PDA와 5 W Argon-Ion Laser 등이 갖추어져 있다. PDA는 Dantec사의 2D Fiber Flow 시스템, Multi PDA Signal Processor, Data Management, Velocity Extension Kit 등을 구비하고 있다. 2-유체 분무의 특성상 풀콘 형태의 분무단

면을 측정하였다. Fig. 3은 그 측정지점을 도식화하였다.

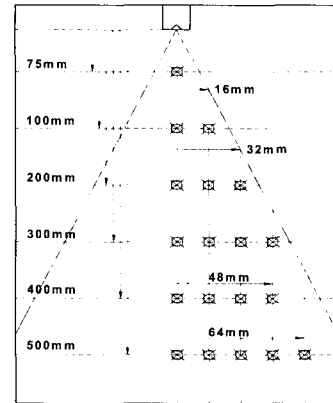


Fig. 3 Measuring point of the spray

초음파 진동자는 28 kHz PZT BLT 전외식과 28 kHz π 형 자외식을 사용하였다. 초음파 적용 방법에는 초음파 노즐 진동면에서의 분무, 2유체 분무노즐에 초음파 진동을 가하는 분무, 액체 중에서 액면 밖으로 초음파가 나오면서 이루어지는 무화분무 및 초음파를 액체에 직접 줌으로써 얻어지는 액체의 미립화 친화성 향상법 등 4가지 등으로 대별할 수 있으며, 본 연구에서는 4가지 분무방법에 대해서 실험하여 초음파의 영향에 의한 분무특성을 비교검토하였다.

2.3. Malvern 실험

Fig. 4는 상기 Fig. 1, 5, 6의 형상을 가진 노즐에 28 kHz 200 W PZT BLT를 부착하여 초음파 효과에 따른 입경변화를 측정하기 위한 Malvern 2600C를 이용하여 입경측정 실험을 위한 장비의 개략도이다. 2유체 노즐의 분사를 위한 공기압축기, 에어필터, 레귤레이터와 초음파 구동을 위한 초음파 발진기와 초음파 노즐이 이송장치에 부착되어 있다. 실제 온실에서 사용될 경우의 실험을 위해 축류팬을 설치하였으며 팬의 유량 조절을 위해 inverter를 설치하였다. 입경 측정을 위해 Malvern 2600C를 사용하였으며, 이는 2 mW의 He-Ne 레이저, 빔확장기, 퓨리에 렌즈, 링 다이오드, 신호분석기, PC, 데이터 로거로 구성되었다.

연속적인 분무시 상대습도 증가를 줄이기 위해 제습기를 설치하여 상대습도변화에 따른 입경측정 오차를 줄이고자 하였다.

상기 노즐의 최적 분사압인 $2.0 \sim 2.5 \text{ kg/cm}^2$ 일 경우의 입경 측정을 하였다. $1.9 \sim 188 \mu\text{m}$ 의 측정범위를 가진 100 mm focal length의 렌즈를 사용하였으며 이 때 Cut-off distance는 133 mm 였다.

최적화된 초음파 부가노즐을 위해 시설원예에서 범용으로 쓰이는 상온 연무기용 2-유체노즐에 초음파 진동자 및 horn을 조합하여 설계함으로써 초음파 작용에 의한 균질 미립화의 특성과, 초음파 출력조절과 분무압 변화에 따른 분무입경의 균일 및 미립화의 조절 가능 여부도 타진하고자 하였다.

상기의 분무량과 분무입경을 분무압과 초음파의 출력에 의해 동시에 조절할 수 있는 정밀 방제 기술의 개발은 최근 절실히 요구되어지고 있다. 상기 목적의 실험을 위해 설계 제작한 초음파 2-유체 부가 노즐의 설계도는 다음의 Fig. 5, 6과 같다.

Fig. 5는 Berger의 초음파 노즐 형상에 2-유체 노즐의 집목으로 설계되어진 초음파 노즐이다. 노즐 끝단의 파대한 초음파 출력으로 인한 내구성을 고려하여 노즐팁을 기존 몸체와 같은 Al 7075-T6으로 제작한 Type 1과 노즐팁만을 신주로 제작한

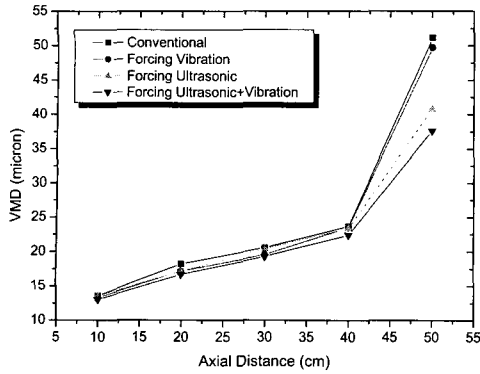


Fig. 10 Comparison of VMD according to increasing of the axial distance from the nozzle tip (2.5 kg/cm^2 , type 1)

Fig. 11은 Fig. 5, type 2 노즐에 초음파를 적용하였을 경우 입경변화 특성을 나타내었다. 축방향 거리가 증가할수록 초음파 영향에 의한 입경감소가 두드러졌다. 이는 초음파가 분무입자 상호간의 합착을 방지하는 효과가 우세함이 예측된다.

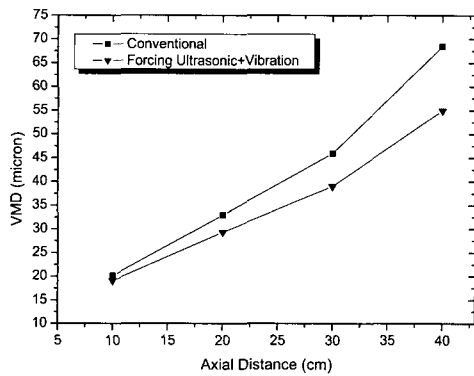


Fig. 11 Comparison of VMD according to increasing of the axial distance from the nozzle tip (2.5 kg/cm^2 , type 2)

Fig. 12는 Fig. 6형태의 노즐에 초음파를 적용하였을 경우의 입경변화 특성을 나타낸다. 축방향 거리가 증가할수록 초음파 영향에 의한 입경감소가 우세함을 보여준다. 이는 초음파의 영향으로 분무입자들 간의 합착이 감소함을 의미한다.

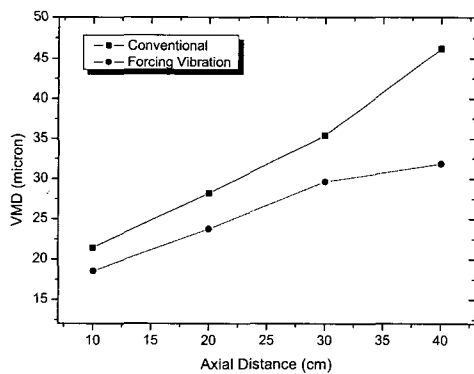


Fig. 12 Comparison of VMD according to increasing of the axial distance from the nozzle tip (2.5 kg/cm^2)

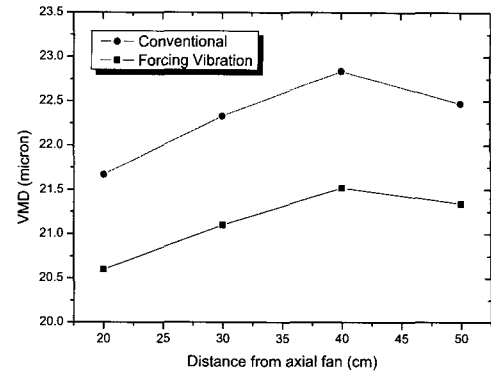


Fig. 13 Comparison of VMD according to increasing of the axial distance from the nozzle tip (with axial fan, 2.5 kg/cm^2 , type 2)

Fig. 13은 Fig. 5노즐에 분무 입자의 원거리 이송을 위한 축류 팬의 유동특성에 따른 초음파 노즐의 부착위치가 입경변화에 미치는 영향 유무를 조사하기 위한 실험결과이다. 팬으로부터 40 cm 떨어진 거리까지는 입경이 증가하다가 40 cm 이후에는 감소하는 경향을 보였다. 상기의 결과로부터 노즐 부착위치가 팬으로부터 거리가 가까울수록 입자 상호간의 합착의 감소가 예상된다.

4. 결론

PDA, Malvern 등의 입경측정장치를 이용하여 3가지의 방법으로 상온연무기 2-유체 노즐에 초음파를 적용하여 분무특성을 파악한 결과는 다음과 같다.

1. 초음파 적용방법에 따라 미소한 편차를 보이거나 초음파가 상온연무기용 2-유체 노즐의 입경미립화에 친화적임을 관측되었다.
2. 초음파가 적용된 상온연무기의 축방향 분무특성에서 입자 상호간의 합착이 줄어드는 경향을 보였다. 이는 초음파의 부가적인 효과로서 상온연무기의 성능향상에 일조할 것으로 기대된다.
3. 앞으로 상온연무기에 초음파가 적용될 경우에는 초음파에 의한 농약의 변성분석을 선행하여야 된다고 사료되어진다.

5. 참고 문헌

- [1] Mullinger, P.J. and Chigier, N.A., "The Design and Performance of Internal Mixing Multijet Twin Fluid Atomizers", J. Inst. of Fuel, (1974), pp. 251-261.
- [2] Bryce, W. B., Cox, N. W. and Joyce, W. I., "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), (1978), pp. 259-263.
- [3] Sargeant, M. "Blast Atomizer Developments in the Central Electricity Generating Board. Proc", 2nd International Conference on Liquid Atomization and Spray Systems(ICLASS-82), (1982), pp. 131-136.
- [4] Kim, M. K., "A Fundamental Study on the Development of Cold Fog Machine", Ph. D. thesis, Gyeongsang Nat'l Univ., (1994).
- [5] Mochida, T. "Ultrasonic Atomization of Liquids", Proc. 1st International Conference on Liquid Atomization and Sprays (ICLAS-78), (1978), pp. 193-200.
- [6] 이상용, "액체의 미립화", (주) 민음사, (1996).