

# 초음파 적용 상온연무기의 분무특성

## Spray Characteristics of the Cold-Fog Machine with Ultrasonic Forcing

주은선*	나우정**	송민근***	이경열****	정병섭****	강도훈***
정회원	정회원		정회원	정회원	
E.S.Ju	W.J.La	M.G.Song	K.Y.Lee	B.S.Jung	D.H.Kang

### 1. 서론

2-유체 노즐은 연료와 농약액에 응용되는 경우에는 공기와 쉽게 혼합되고 미세한 분무입자를 얻을 수 있어서 매우 유용하다(이상용, 1996). 특히 2-유체 상온 연무노즐은 온실 내에 사용하기에 다른 방식보다 유용한 점이 많아 널리 보급되어 있다. 최근 국내에서는 시설재배가 계속 확대 보급되고 있는 바 이에 상응하는 고효율 방제를 위한 고효율 분무노즐 개발은 필수적이다(Kim, 1994). 2-유체노즐은 Bryce (1978), Mullinger(1974), Hurley(1985) 등 많은 연구자에 의해 공기의 보조 및 충돌식 등으로 설계되고 개량되어 왔다.

그러나 2-유체 노즐만으로는 상기의 고효율 연무를 위한 균일액적 미립화에는 기계적 한계가 있는 바 이에 대한 해결책으로 2-유체노즐에 초음파를 추가하는 방법을 생각해 볼 수 있다.

본 연구에서는 최근에 널리 보급되어 있는 2-유체 상온 연무기의 노즐을 초음파 진동자의 horn으로 일체화시켜 설계제작 하는 등 노즐 형태 및 초음파 적용에 있어서 5가지 분무 방식의 nozzle을 제작하고 각 노즐에 대한 초음파 가진 유무에 따른 분무 실험을 함으로써 시설 재배를 위한 초음파 적용 고성능·고효율 자동 방제기용 노즐 개발을 위한 분무특성을 조사하였다.

### 2. 재료 및 방법

#### 가. 초음파 적용 노즐

일반 상용 상온 2-유체 연무 노즐을 초음파 진동자의 horn에 조합 설계한 2-유체 초음파 노즐을 고안·설계 제작하고 초음파 영향을 주기 위한 5가지 방식으로 실험을 수행하였다. 첫째 방식(M<sub>1</sub>)은 일반 상용 상온 노즐을 그대로 사용하고 유입 전의 액체에 초음파를 주

† 본 연구는 농림부 농림기술개발사업의 연구비지원에 의해 수행되었음.

\*경상대학교 기계항공공학부, 항공기부품기술연구센터, 공학원

\*\*경상대학교 농과대학 생물산업기계공학과 및 농업생명과학연구원

\*\*\*경상대학교 대학원 기계설계학과

\*\*\*\*경상대학교 대학원 농업기계공학과

어 액체의 구성구조가 미립화하기 쉽도록 하는 방법 즉 개질법이다. 둘째 방식(M<sub>2</sub>)은 상기 노즐 위에 50 W 초음파 진동자를 부착하여 분무하는 방식이다. 셋째 방식(M<sub>3</sub>)은 200 W 초음파 진동자horn을 2-유체 노즐로 조합 설계한 2-유체 초음파 노즐을 제작하고, 전재료는 듀랄루민으로 된 노즐에 의한 분무 방식이다. 넷째 방식(M<sub>4</sub>)은 상기 M<sub>3</sub>방식 노즐에서 노즐출구부분의 재질을 황동으로 한 노즐에 의한 분무방식이다. 다섯째 방식(M<sub>5</sub>)은 M<sub>3</sub> 방식의 2-유체 초음파 노즐의 horn 부분을 초음파 노즐설계 조건에 맞추어가며 설계 제작하므로 유입액체가 초음파를 받는 면적을 크게 한 2-유체 초음파 노즐에 의한 분무방식이다.

그림 1은 초음파 노즐 horn을 2-유체 분무 노즐로 설계한 2-유체 초음파 노즐의 한 예인 M<sub>3</sub>방식의 노즐설계도이다.

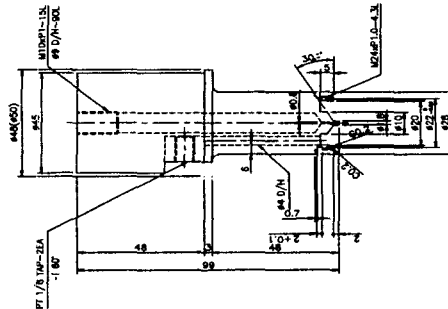


Fig. 1 Schematic diagram of the twin-fluid ultrasonic nozzle(type M<sub>3</sub>).

#### 나. 측정장치 및 방법

상기 노즐에 28 kHz, 50 W 및 200 W PZT BLT를 부착하고, 입경변화를 측정하기 위한 Malvern 2600C를 이용하여 초음파 효과에 따른 입경측정 실험을 위한 장치는 2-유체 노즐의 분사를 위한 공기압축기, 에어필터, 레귤레이터와 초음파 구동을 위한 초음파 발전기와 이송장치에 부착된 초음파 노즐로 구성되었다. 실제 온실에서 사용될 경우의 실험을 위해 축류팬을 설치하였으며, 팬의 유량 조절을 위해 inverter를 설치하였다. 연속적인 분무 시 상대습도 증가를 줄이기 위해 제습기를 설치하여 상대습도변화에 따른 입경측정 오차를 줄게 하였다. 상기 노즐의 최적 분사압을 196~245 kPa으로하고, 최고 392 kPa까지 측정하였다. 초음파 진동자의 진동수는 28 kHz 이고, transducer로는 PZT BLT를, 출력은 50 W와 200 W의 두 종류로 하였다.

입경 측정을 위해 사용된 상기의 Malvern 2600C는 2 mW의 He-Ne 레이저, 빔확장기, 푸리에 렌즈, 링다이오드, 신호분석기, PC, 데이터로거로 구성되어 있다. 분무입경 측정에 사용된 광원은 He-Ne 레이저 (2mW,  $\lambda=633\text{ nm}$ )를 사용하였고, 빔 확장기는 9 mm이다. 푸리에 변환 렌즈의 초점 거리는 300 mm이고, 렌즈와 분무노즐 중심까지의 거리를 350 mm로 하였으며, 사용렌즈의 분무입경 측정범위는 1.2~188  $\mu\text{m}$ 로 하였다. 분무입경의 측정값은 한번 측정에 있어서 2000data를 sampling하고 5회 측정하여 평균한 SMD값이다.

### 3. 결과 및 고찰

Fig. 2는 상기 5가지 방식에서 사용한 5종류의 노즐의 분무압과 분무입경과의 관계를 나타내고 있다. 전체적으로 분무압이 커짐에 따라 분무액적의 입경이 작아지고 있음은 그 원리에 부합되고 있다. M<sub>1</sub> 분무방식의 분무입경이 분무압에 따라 가장 크게, M<sub>3</sub>와 M<sub>4</sub> 방식의 분무입경이 가장 작게 나타나고 있다.

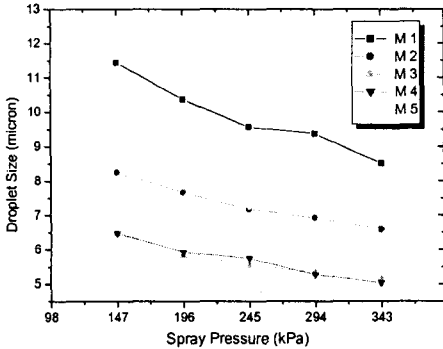


Fig. 2 Comparison of droplet size according to the spray pressure for different spray mode.

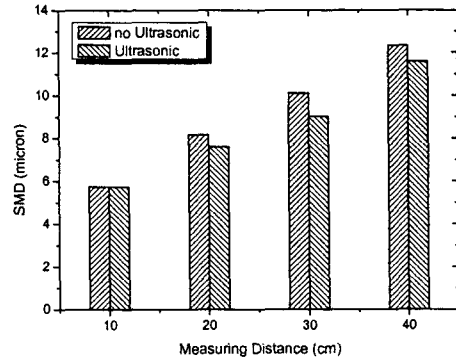


Fig. 4 Comparison of SMD between no ultra and ultra according to the measuring distance.

Fig. 3은 상기 M<sub>1</sub>에서 분무거리 20cm 일 때 초음파 가진여부에 따른 분무액적의 분포도를 비교하고 있다. (a)는 초음파 비가진 용액의 분무경우이고 (b)는 분무전 액체에 초음파가 가해지는 개질법에 의한 분무액적크기의 분포도이다. 초음파가 가해진 경우의 분포도가 비가진시보다 분포도가 좁게 나타나고 있다. 이는 초음파가 가진된 액체 분사시가 비가진액체 분사시보다 입자가 다소 균일 미립화가 되었음을 말해준다.

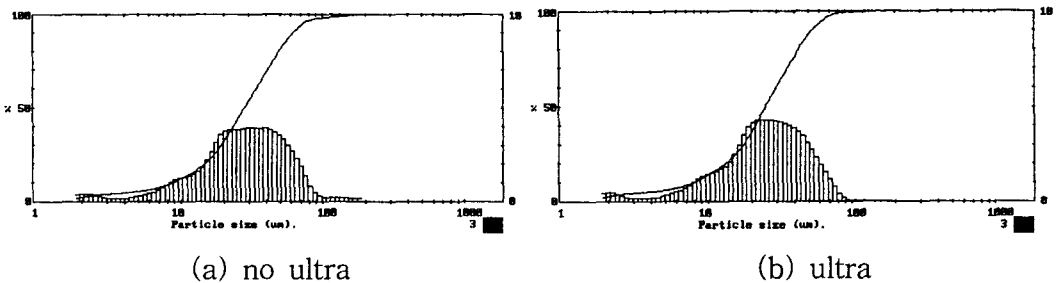


Fig. 3 Comparison of spray droplet size distributions between no ultra and ultra. (S.D. : 20 cm)

Fig. 4는 상기 경우에서 측정거리에 따른 초음파 비가진 및 가진시의 분무액적의 SMD를 비교하고 있다. 두 경우 모두 분무거리가 커질수록 입자가 커지고 있다. 거리 10 cm 일 때 초음파 가진 경우의 입자가 비가진시보다 조금 컸으나 멀리감에 따라 초음파 가진시의 SMD가 비가진시보다 다소 작아지고 있다. 이는 액적미립화에 초음파가 영향을 끼침을 보이고 있다.

Fig. 5는 상기의 M<sub>3</sub>의 분무거리 20 cm에서 초음파가진 여부에 따른 분무액적의 분포도를 비교하고 있다. 초음파 가진시(b)가 비가진시(a)보다 분포도가 좁게 모임을 볼 수 있다. 이 때 초음파 비가진시의 SMD는 8.29 μm, D[V, 0.5]는 17.78로, 초음파 가진시는 각기 7.7 μm, 16.53 μm로 나타나고 있다. 이는 초음파가 분무입자의 미립화에 친화적임을 말해준다.

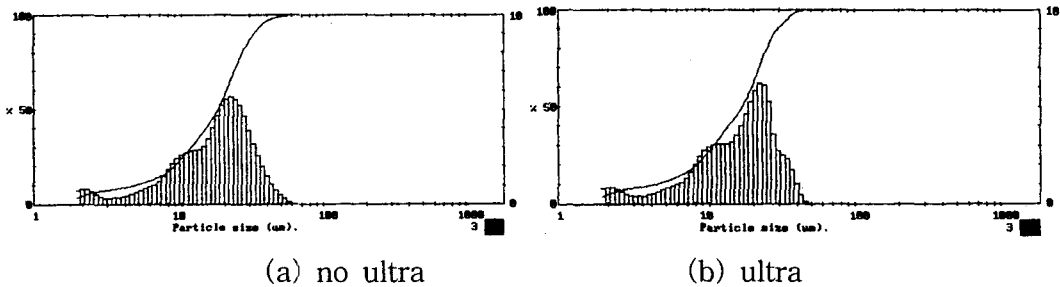


Fig. 5 Comparison of the spray droplet size distribution between no ultra and ultra.

Fig. 6은 상기경우에서 측정거리에 따른 초음파 가진 유무시의 분무액적의 SMD를 비교하고 있다. 두 경우 모두가 분무거리가 커질수록 입자가 커짐은 상기와 같다. 거리가 10 cm인 두 경우의 입자크기가 비슷하게 나타났으나, 분무거리가 멀어질수록 초음파가진시의 SMD가 작아짐은 상기와 같다. 이 역시 초음파의 미립화 친화성을 입증해 주고 있다.

Fig. 7은 상기 M<sub>5</sub>양식의 노즐에서 분무거리 10 cm일 때 초음파 가진 여부 두경우에서 측정거리에 따른 분무액적의 분포도를 비교하고 있다. 초음파 가진시(b)의 분포도가 초음파 비가진시(a)보다 분무입경이 작은 쪽으로 다소 좁게 나타났음을 볼 수 있다. 여기서 초음파 비가진시와 가진시의 SMD와 D[V, 0.5]의 값은 각기 7.19 μm, 17.25 μm 및 6.73 μm, 15.99 μm로 나타났으며, 이는 초음파 가진시 분무액적의 크기가 작아짐을 정량적으로 보여준다.

Fig. 8은 상기 경우에서 측정거리에 따른 초음파 가진유무시의 분무액적의 SMD를 비교하고 있다. 초음파 가진유무에 관계없이 분무거리가 멀수록 분무액적입경이 커짐은 상기와 같다. 또한 초음파 가진시가 비가진시보다 분무액이 미립화됨을 볼 수 있다. 이는 초음파가 분무액적의 균일 미립화에 친화적임을 말해 준다. Table 1은 상온 연무기의 fan가동시 분무압변화에 따른 SMD를 초음파 가진여부간에 비교한 표이다.

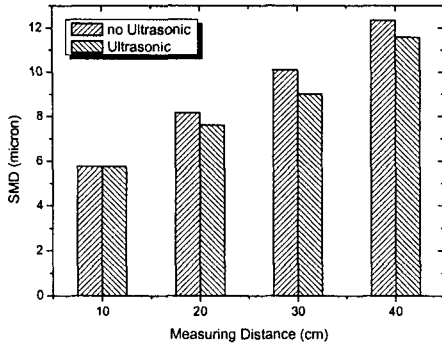


Fig. 6 Comparison of SMD between no ultra and ultra according to the measuring distance.

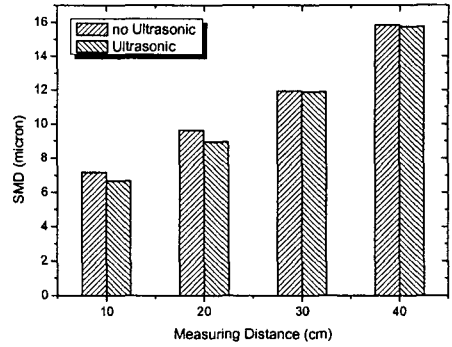


Fig. 8 Comparison of SMD between no ultra and ultra according to the measuring distance.

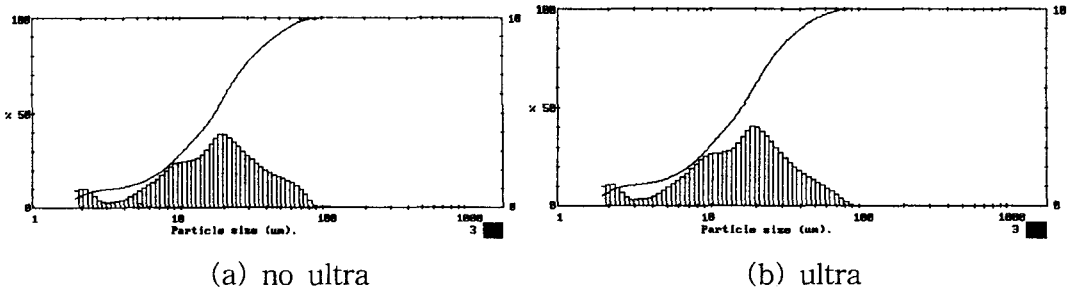


Fig. 7 Comparison of the spray droplet size distribution between no ultra and ultra.

Table 1 Comparison of droplet size between no ultra and ultra according to changes of spray pressure ( $\mu\text{m}$ )

Pressure (kPa)	196	294	392	490
Treatment				
no ultra	12.33	12.39	12.55	12.25
ultra	11.83	11.925	11.96	12.03

초음파와 가진유무에 관계없이 분무 nozzle에서의 분무거리에 대한 측정결과와는 대조적으로 분무압에 대한 분무액적 크기비가 많이 작아짐을 볼수 있다. 이는 분무노즐에 의한 분무입자를 fan의 힘으로 비산시키는 복잡한 미립화 mechanism에 의한 미립화의 평균화 현상으로 사료된다. 그럼에도 불구하고 전 분무압에 걸쳐서 초음파와 가진시가 비가진시보

다 분무액적이 다소 작게 나타났다. 이는 2-유체 초음파 분무노즐과 fan을 조합한 초음파 적용 fan부착 상온연무기의 경우에서도 초음파가 분무액적 미립화에 영향을 끼침을 말해 준다. 따라서 초음파 진동자 horn에 기존 상온 연무기의 2-유체 노즐 시스템을 설계·조합·제작한 초음파 진동자 horn 2-유체노즐의 개발은 시설 재배를 위한 자동 방제기용 상온 연무기의 분무 노즐의 고효율 향상을 기대케 한다.

#### 4. 요약 및 결론

상온 연무기의 노즐에 초음파 가진 및 초음파 진동자 horn에 2-유체 분무 시스템의 적용에 의한 5가지 분무방식과 fan 가동시의 분무특성을 Malvern system 에 의해 실험분석한 결론은 다음과 같다.

- 가. 5가지 분무방식 모두에서 분사압이 클수록 입자 크기가 작아졌고 분무거리가 멀수록 입자가 커지는 분포 특성을 보였다.
- 나. 5가지 분무방식 모두에서 초음파 가진이 초음파의 개질법과 간접 및 직접진동법등을 통해서 초음파 비가진시보다 미립화가 이루어졌다.
- 다. fan에 의한 분무의 확산 실험에서도 초음파 가진의 경우가 비가진시보다 분무미립화가 더 이루어졌다. 이는 기존 상온 연무기의 2-유체 노즐을 초음파 진동자 horn에 설계·정합한 초음파 2-유체 노즐이 시설 재배를 위한 고효율 자동방제기용 고효율 분무노즐로서의 개발에 연구대상이 될 수 있음을 기대케 한다.

#### 5. 참고 문헌

1. 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.
2. 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. IA/3/1-IA/3/13.
3. 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.
4. Kim, M. K. 1994. A Fundamental study on the development of cold-fog machine. Ph. D. thesis, Gyeongsang Nat'l Univ., Korea.
5. 이상용. 1996. 액체의 미립화. (주) 민음사. pp. 209-220.