

2유체 분무에 가해진 초음파 영향에 관한 연구

A Study on the Effects of Ultrasonic forced to a Twin-Fluid Spray

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

1. 서론

작물의 병충해 방제는 품질과 생산량에 직결된다. 특히 시설재배의 경우 밀폐된 온실공간은 고온다습하여 각종 병충해의 번식에 유리하게 되므로 병충해 발생빈도가 무척 높아 방제의 중요성이 더욱 고조된다. 최근 시설재배는 더욱 광범위하게 발전되고 있으며 이에 상응하는 고효율 방제가 요구되고, 이를 위한 고효율 자동방제기의 개발에는 고효율 분무노즐 개발이 우선되어야 한다(Kim, 1994).

2-유체 노즐은 다른 종류의 노즐에 비해 더욱 미세한 분무를 얻을 수 있으며, 특히 연료와 농약액에 응용되는 경우에는 공기와 쉽게 혼합되므로 매우 유용하다(Mullinger *et al.*, 1974). 특히 2-유체 상온 연무노즐은 온실 내에 사용하기에 다른 방식보다 유용한 점이 많아 널리 연구, 실용화되고 있다. 그러나 2-유체 노즐만으로는 상기의 고효율 연무를 위한 균일액적 미립화에는 기계적 한계가 있다. 이 한계를 극복하기 위해서 2-유체노즐에 초음파를 적용하는 연구가 시도되어 왔다(주 등, 1998). 근래에 초음파 장치의 실용적 발전은 2-유체 노즐에 초음파를 적용함으로써 온실내 방제를 위한 고효율 연무방제를 기대하게 한다. 초음파 노즐의 분무속도는 미약하나 탁월한 미세균일 액적분무가 가능하며, 초음파에 의해 액체의 미립화가 향상됨이 입증되고 있다(Berger, 1985; Mochida, 1978; 千葉, 1972; 이, 1996; 류, 1987). 초음파 분무에 대한 연구는 많으나 2-유체 상온 연무 노즐에 초음파를 적용한 연구는 아직 미미하다.

본 연구에서는 최근에 많이 실용화되고 있는 2-유체 상온 연무노즐에 초음파를 적용하여 초음파 영향에 의한 분무 특성을 규명함으로써 시설재배를 위한 초음파 적용 고성능, 고효율 자동방제기용 노즐 개발을 위한 기초자료를 얻고자 하였다.

* 경상대학교 농과대학 농업기계공학과 **** 경상대학교 대학원 기계설계학과
** 경상대학교 공과대학 수송기계공학과 ***** 경상대학교 대학원 농업기계공학과
*** 호서대학교 환경공학과

2. 재료 및 방법

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

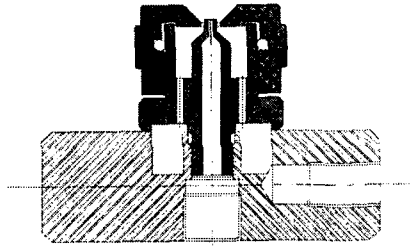


Fig. 1 Experimental nozzle.

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 전진하므로써 분무상태와 분무액적의 크기를 조절할 수 있게 되어 있다. 또한 중앙에 바늘을 설치하여 약액이 노즐구멍에서 막힘을 방지하도록 되어 있다. 본 실험에서는 여러번의 예비실험을 통해 연무로서 최적한 상태를 선택하여 실험에 임하였다. 그림 2는 실험장치의 개략도이다.

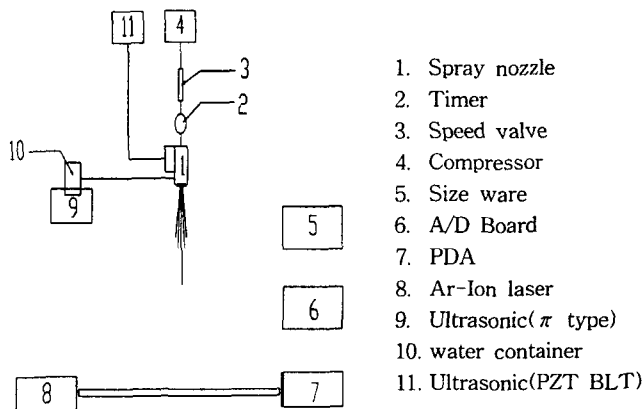


Fig. 2 Schematic diagram of the experimental apparatus for the vicinity region.

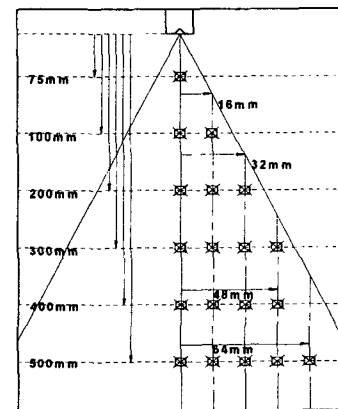


Fig. 3 Measuring point of the spray.

이는 분무시스템, 초음파시스템, 측정시스템으로 구성되어 있다. 2-유체 분무의 특성상 풀콘 형상의 분무단면을 측정하였다. 그림 3은 그 측정영역을 보이고 있다. 분무단면을 정확히 측정하기 위하여 공기의 분무압이 없는 상태에서 액체를 중력가속도 중심 방향으로 떨어지게 하여 PDA의 이송장치를 이용해서 분무의 중심을 설정하였다. 노즐 분무의 기본특성을 파악하기 위해 분무공 나사를 이용하여 노즐 끝과 분무입구와의 거리를 미세하게 좁혀가며

실험하였다. 축방향의 측정지점은 노즐 끝에서 분무 축 방향으로 75, 100, 200, 300, 400, 500 mm 간격으로 정하고 반경 방향의 측정지점은 축방향 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 4 지점으로 정하였다.

초음파 transducer로는 28 kHz PZT BLT 전외식과 28 kHz π 형 자외식을 사용하였다. 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 줌으로써 얻어지는 액체의 미립화 친화성 향상법(이하 개질법) 등 4가지 등으로 대별할 수 있는데, 본 연구에서는 초음파 비가진시 상용 분무, 초음파 가진시의 간접진동분무, 개질분무, 간접진동분무와 개질분무를 동시에 가하는 겸용분무법 등 4가지 분무방법에 대해서 실험하여 초음파의 영향에 의한 분무특성을 비교·검토하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 4는 노즐팁에서 분무축방향에 따른 4가지 경우 즉 상용분무, 개질분무, 간접진동분무, 개질 및 간접진동의 겸용분무에서의 Sauter's Mean Diameter(SMD)를 비교하고 있다. 4가지 경우 모두에서 노즐에서 거리가 멀어질수록 SMD가 커지고 있다. 전거리 영역에 걸쳐서 상용분무 때가 SMD가 가장 크게 나타나고, 초음파 겸용 분무 때의 SMD가 가장 작게 나타나고 있다. 이는 초음파가 분무액적의 미세화에 친화적 영향을 끼침을 의미한다.

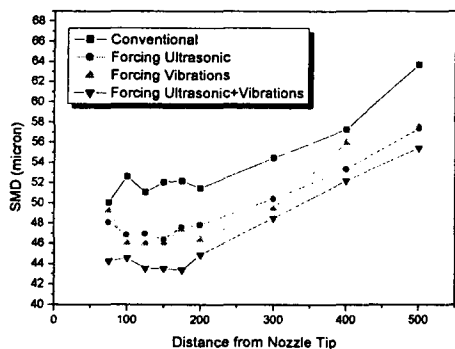


Fig. 4 Comparison of the SMD according to the axial distance from the nozzle tip.

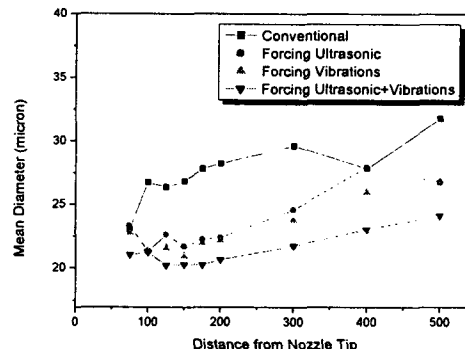


Fig. 5 Comparison of the mean diameter according to the axial distance from the nozzle tip.

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

그림 4와 그림 5는 다 같이 초음파가진 시가 비가진 시보다 액체미세화의 친화성을 뚜렷이 보이고 있다. 또한 노즐팁에서 축방향으로 거리가 멀어질수록 액적의 크기가 조금 증가함을 보이고 있다. 이는 출구경의 40배 거리에서 미립화가 완전히 발달한다는 이론을 적용해 보면, 실험용 출구경이 2.5 mm로 40배 하면 100 mm의 거리가 계산되며, 상기 그림 5에서의 최초 측정거리가 100 mm정도임으로 충분히 미립화된 액적이 더 이상의 거리로 이동하면서 합착현상이 일어난 것으로 사료된다.

그림 6은 노즐 팁에서 축방향 거리 200 mm에서 반경방향 거리에 따른 액적의 평균직경을 보이고 있다. 상용분무, 개질분무, 간접진동분무, 개질 및 간접진동의 겸용분무의 4 경우 모두에서 축에서 반경방향으로 거리가 멀어질수록 액적의 평균직경이 작아짐을 나타내고 있다. 이는 분무이론에 부합되고 있다. 상기 4가지 경우에서 액적 평균직경 크기는 초음파가 가진되지 않은 상용의 경우에서 가장 크게 나타났고, 개질법과 간접진동법은 거의 비슷하게, 개질법과 간접진동법을 동시에 적용한 겸용분무의 경우에서 반경방향 전반에 걸쳐 액적의 평균크기가 작게 나타나고 있다. 이는 초음파가 분무액적 미세화에 영향을 끼침을 의미한다.

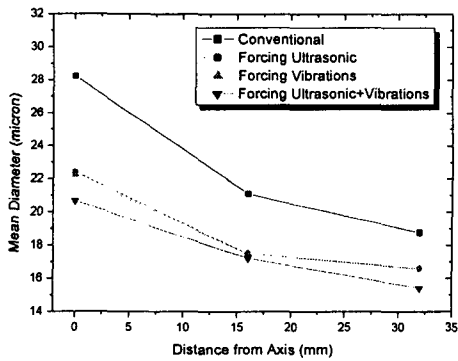


Fig. 6 Comparison of the mean diameters according to the radial distance at 200 mm from the nozzle tip.

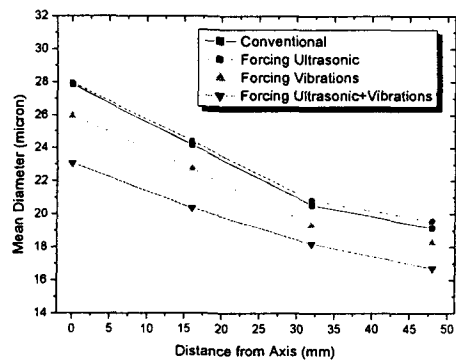


Fig. 7 Comparison of the mean diameters according to the radial distance at 400 mm from the nozzle tip.

그림 7은 노즐팁에서 분무방향으로 거리 400 mm일 때 반경방향 거리에 따른 분무 액적 평균입경을 상기 4가지 경우에서 비교하고 있다. 상용분무와 개질법에서는 비슷한 분포를 보였고 간접진동, 개질 및 간접진동 겸용의 경우에는 입경미세화가 뚜렷이 나타나고 있음을 볼 수 있다. 그림 8은 노즐팁에서 분무방향의 거리가 200 mm일 때에 반경방향에 따른 4가지 경우에 대한 SMD를 비교하고 있다. 그림 6의 평균직경인 경우에 비해서 큰 차이는 없으나 가진 시의 경우가 비가진 시인 상용분무에 비해 반경방향에 걸쳐 전반적으로 액적의 입경이 작게 나타나고 있다. 이는 초음파가 미립화에 영향을 끼쳤음을 의미한다.

그림 9는 노즐팁에서 분무방향으로의 거리가 400 mm 일 때 반경방향거리에 따른 SMD의 비교를 보인다. 상용분무시의 액적이 가장 크게, 간접진동 및 개질법의 2가지 초음파 겸용의

경우가 가장 작은 액적의 SMD를 보이고 있다.

그림 10은 초음파비가진인 상용분무에서 축방향 거리에 따른 입자크기의 분포이다. 축방향에서 거리가 멀어질수록 분포가 완만하게 보이며 이는 입자크기가 큰 액적이 많아짐을 보인다. 그 이유로는 노즐팁에서 분무출구직경의 40배인 100 mm까지는 분무가 충분히 발달된 상태이며 여기서 멀어질수록 입자간의 합착 현상이 일어났으므로 사료된다.

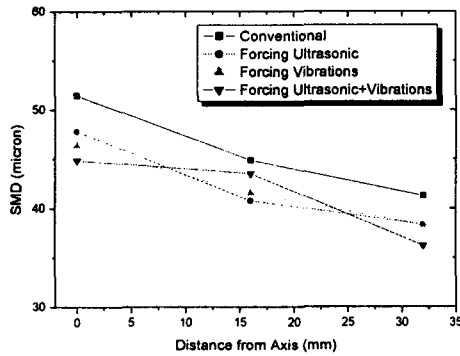


Fig. 8 Comparison of the SMD according to the radial distance at 200 mm from the nozzle tip.

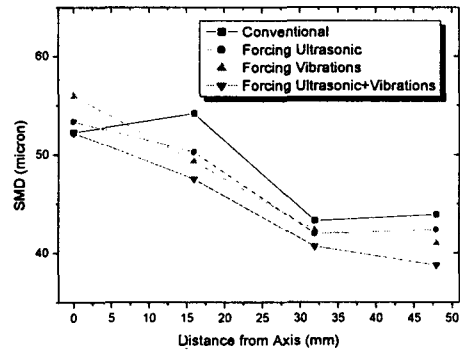


Fig. 9 Comparison of the SMD according to the radial distance at 400 mm from the nozzle tip.

그림 11은 초음파가 가진되었을 때 즉 개질법과 간접진동법을 동시에 분무에 주었을 때 노즐팁으로부터 분무 축방향 거리에 따른 분무액적 크기의 분포를 비교하고 있다. 그림 10의 상용분무시와 마찬가지로 분포도가 완만해짐을 보이고 있는 점은 같은 양상이나 미세 액적의 분포가 비가진 시보다 우세하게 보이고 있음은 상기한 바와 같이 초음파가 축방향 거리의 전반에 걸쳐서 분무액적의 미세화에 친화적임을 나타낸다.

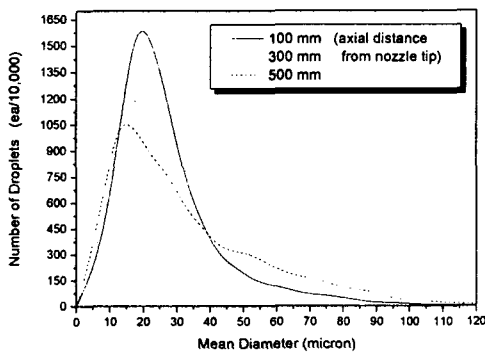


Fig. 10 Comparison of the distributions of droplet size according to the axial distance from the nozzle tip.

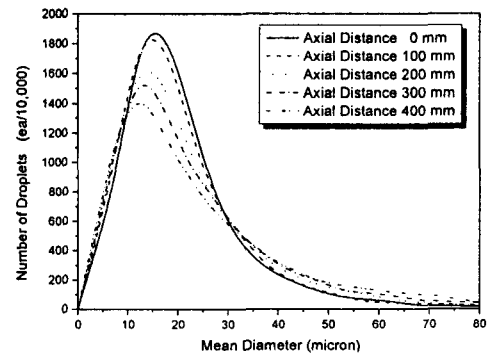


Fig. 11 Comparison of the droplet size distributions according to the axial distance from the nozzle tip.

4. 요약 및 결론

- 가. 초음파 비가진 시인 상용분무와 초음파가진 시인 개질분무, 간접진동분무, 간접진동 및 개질의 겸용분무의 네가지 경우 모두에서 분무액적의 평균직경 및 SMD가 전 영역에 걸쳐서 노즐 끝에서 분무방향으로 멀어질수록 조금씩 증가했으며, 또한 초음파 비가진 시인 상용분무 경우가 초음파 가진 세경우에 비해 크게 나타났다. 초음파 가진 세가지 경우에서는 간접진동 및 개질법 겸용의 경우에서 분무액적의 미세화가 가장 우세하게 나타났다. 이는 초음파가 분무 축방향 전영역에 걸쳐서 분무액적의 미세화에 친화적임을 입증한다.
- 나. 분무 방향 축에서 반경 방향으로 갈수록 분무 액적의 평균 직경과 SMD는 감소하고 있으며, 반경방향 전 영역에 걸쳐서 상용 분무시의 액적이 가장 크게, 초음파겸용 경우에서 가장 작게 나타나고 있다. 이는 초음파가 분무 내부 전 영역에 걸쳐 액적의 미세화에 친화적임을 증명한다.
- 다. 분무액적의 크기에 따른 분무 분포도 비교에서 네가지 경우 모두에서 축 방향 거리가 멀수록 분무액적의 크기가 다소 증가함을 보였고, 축에서 반경 방향으로로는 분무액적의 크기가 다소 감소함을 보이고 있다. 상용 분무와 초음파 분무의 비교에서 초음파 겸용 가진 시는 상용 분무 때 보다 분무 영역 전반에 걸쳐서 미세화가 뚜렷이 우세함을 보였다.

5. 참고 문헌

1. Bayvel, L. and Orzechowski, Z. 1993. Liquid Atomization. pp. 45-50. Taylor & Francis.
2. Berger, H. L. 1985. Characterization of a Class of Widely Applicable Ultrasonic Nozzles. Proc. 3rd International Conference on Liquid Atomization and Spray System (ICLASS-85). pp. 1A/2/1-1A/2/13.
3. Kim, M. K. 1994. A Fundamental Study on the Development of Cold Fog Machine. Ph. D. thesis, Gyeongsang Nat'l Univ., Korea.
4. Mochida, T. 1978. Ultrasonic Atomization of Liquids. Proc. 1st International Conference on Liquid Atomization and Sprays (ICLAS-78). pp. 193-200.
5. Mullinger, P.J. and Chigier, N.A. 1974. The Design and Performance of Internal Mixing Multijet Twin Fluid Atomizers. J. Inst. of Fuel. pp. 251-261.
6. 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.
7. 주은선, 정진도, 송민근. 1998. 2-유체 분무에서 액체미립화에 대한 초음파의 영향에 관한 연구. 한국액체 미립화 학회지. 3(4): 50-57.
8. 이상용. 1996. 액체의 미립화. (주) 민음사.
9. 류정인. 1987. 초음파를 이용한 흡인 연료의 미립화 성능에 관한 연구. 충남대 산업기술연구소 논문집 2(1): 46-54.