

분무량과 분무입경의 독립적 제어를 위한 이류체노즐 제어시스템 개발

Spray Control System Development of Two-Flow Nozzle to Control Spraying Rate and Droplet Size Independently

안형철*	이중용*	정창주*	이종인*
	정회원	정회원	
H.C. Ahn	J.Y. Rhee	C.J. Chung	J.I. Lee

1. 서론

최근 정밀농업기술의 중요성이 인식되면서 점살포, 직접살포, 또는 방제목표물의 크기에 따른 분무량 조절 등의 기술이 개발되고 있으나 모든 기술이 분무량 조절에만 치중되어 있다.

일반적인 수압식 노즐의 경우에 분무압을 이용하여 분무량을 제어하면 분무입자의 크기가 적정 이외의 크기로 살포되어 효율적인 방제효과를 얻기가 어렵다. 하나의 제어인자 즉 분무압만을 이용하여 두 가지의 특성 즉 분무량과 분무입자의 크기를 조절하는 것은 이론적으로 불가능하다. 정밀방제에 있어 분무입경과 분무량을 독립적으로 조절할 수 있으려면 두 가지 제어인자를 가진 노즐을 이용해야만 가능하며 이러한 범주에 속하는 노즐로는 원심노즐과 이류체노즐, 정전화노즐 등이 있다.

본 연구는 정밀방제에 있어 분무량과 분무입경을 독립적으로 제어하는 분무특성 제어시스템의 개발을 목적으로 수행된 것으로 목적을 구체적으로 기술하면 우선 이류체노즐의 제어인자로서 분무압과 공기압을 택하여 분무량과 분무입경을 독립적으로 제어할 수 있는 가능성을 확인하고, 연구의 목적을 구현할 수 있는 이류체노즐의 분무제어 시스템을 개발하여 그 성능을 평가하는 것이다.

2. 재료 및 방법

가. 이류체노즐(two-flow nozzle)의 구조 및 특성

이류체노즐은 기체(공기)와 액체를 혼합하여 분사함으로써 공기가 분무입자의 미립화률도와 분무입경이 타 노즐에 비해 미세한 노즐로서 공기의 분무압(Pa)과 액체의 분무압(Ps)의 조합을 통해 다양한 분무량과 분무입경을 얻을 수 있다.

이류체노즐은 기체와 액체의 혼합방식에 따라 기체와 액체가 노즐내부의 혼합실(Mixing Chamber)내에서 미리 혼합되어 분무되는 내부혼합방식(Internal Mixing Type)과 분사된 후

* 서울대학교 농업생명과학대학 생물자원공학부 농업기계전공

기체용 캡의 오리피스에서 분사된 기체(공기)에 의해 캡 외부에서 분쇄되는 외부혼합방식(External Mixing Type)으로 분류된다.

Fig. 1.은 실험에 사용된 이류체노즐의 단면도로서 외부혼합방식과 내부혼합방식의 구조를 보여 준다. 그림에서 보듯이 내부혼합식 이류체노즐은 혼합실에서 공기와 액체가 혼합되므로 분무량이 분무압과 공기압의 영향을 모두 받으나 외부혼합식에서는 이미 액체가 분무공을 나온 상태에서 공기와 만나므로 분무량은 분무압에만 영향을 받는 특성이 있다.

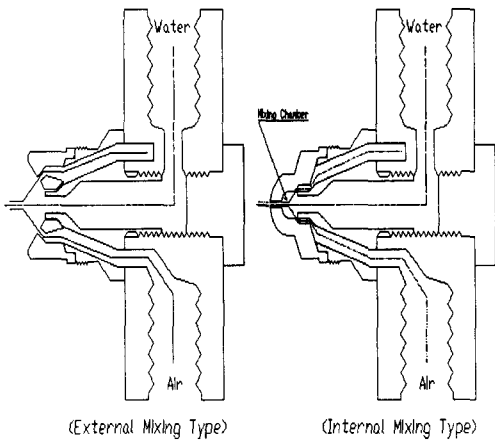


Fig. 1. Structure of two-phase-flow nozzle

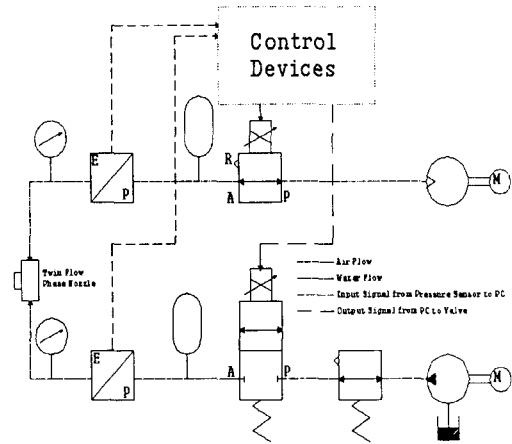


Fig. 2. Spray control system

나. 실험장치구성

공시노즐로는 Szpraying System Co.,Korea의 이류체노즐중 내부혼합식 3종으로 분사형태가 원형인 setup no.22와 setup no.42, 분사형태가 부채꼴형인 setup no.43 그리고 외부혼합식중 분사형태가 부채꼴형인 setup no.E45A를 선정하였으며 분무압력은 일반적인 공기압축기에서 배출 가능한 공기압을 고려하여 5 kgf/cm² 이내로 설정하였다. 분무입자의 측정은 MALVERN Particle sizer 2600C를 이용하였으며 본 논문에서의 평균입경은 체적중간지름(Volume Median Diameter)으로 나타내었다.

분무특성 제어시스템은 Fig. 2.와 같이 공기압과 분무압을 개별적으로 조절하는 전동밸브와 공압선, 분무호스, 펌프, 공기압축기, 이류체노즐 및 제어부(PC에서 공기압과 분무압을 설정하여 각각을 전압으로 나타내어 전동밸브에 전달함)로 구성하였다. 각 전동밸브를 이류체노즐에 직접 연결한 결과 공기압과 분무압의 조절시 심한 압력변동이 나타났다. 이 원인은 전동밸브의 제어방식에 전후의 압력차를 피드백하는 단계에서 일종의 진동이 발생하는 것으로 판단되어 전동밸브 이후에 댐퍼로서 공기실을 설치한 결과 압력의 진동을 방지할 수 있었다.

다. 분무량과 분무입경의 측정

분무특성 제어시스템을 통한 내부혼합식 이류체노즐과 외부혼합식 이류체노즐의 공기압(Pa)과 분무압(Ps)에 대한 분무량과 분무입경을 측정하였다. 분무량과 분무입경은 각각 3회씩 측정하였다.

분무특성 제어시스템에서 setup no.42와 setup no.43 그리고 setup no.E45A의 경우 일부 압력범위에서 분무가 이루어지지 않았으나 setup no.22는 전 압력범위에서 분무가 잘 이루어 졌다.

3. 결과 및 고찰

가. 분무량과 분무입경의 모델링

분무량과 분무입경을 종속변수(Dependent variable)로, 분무압(Ps)과 공기압(Pa)을 독립변수(Independent variable)로 하여 각 독립변수의 차수를 1~3차까지 증가시키며 중회귀분석을 한 결과 setup no.22의 경우 각 독립변수가 3차일 때 분무량과 분무입경의 회귀함수의 R²값이 0.998과 0.995였으며 이때의 회귀함수는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \text{Size} = & 129.92 - 3.63 Pa^3 + 19.42 Pa^2 + 4.37 Pa^2 Ps - 47.96 Pa \\ & - 16.90 PaPs - 1.42 PaPs^2 + 12.95 Ps + 5.00 Ps^2 - 0.04 Ps^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Rate} = & 166.37 + 12.75 Pa^3 - 79.00 Pa^2 - 7.63 Pa^2 Ps - 312.61 Pa \\ & + 156.55 PaPs - 11.67 PaPs^2 + 568.84 Ps - 125.70 Ps^2 + 11.59 Pa^3 \end{aligned}$$

Size : Droplet size (μm)

Rate : Spraying rate (g/30 sec)

Pa : Air pressure (kgf/cm^2)

Ps : Spraying pressure (kgf/cm^2)

Fig. 3.은 분무량이 600, 1200, 1800, 2400 g/min 인 곡선만을 공기압과 분무압의 좌표, 그리고 공기압과 분무입경의 좌표에 함께 나타낸 것으로 1200_SP란 분무량이 1200 g/min 인 곡선을 공기압과 분무압(Spraying Pressure)의 좌표에 나타낸 것을 의미하며, 1200_DS란 분무량이 1200 g/min 인 곡선을 공기압과 분무입경(Droplet Size)의 좌표에 나타낸 것을 의미한다.

따라서 Fig. 3.을 통한 내부혼합식 이류체노즐중 setup no.22의 공기압(Pa)과 분무압(Ps)에 의한 분무량과 분무입경의 독립적 제어방법은 다음과 같이 설명된다.

(가) ㉠→㉢ : 분무입경을 100 μm 로 유지하면서 분무량을 1800 g/min에서 2400 g/min으

로 증가시키는 방법

- ① Fig. 3.에서 ㉑점의 공기압(Pa)은 ㉑점에서 수직으로 내린 선과 x축의 교점 값으로 1.7 kgf/cm² 정도이고 분무압은 공기압이 1.7 kgf/cm² 일 때 1800_SP의 좌측 좌표값으로 약 2.95 kgf/cm²이다.
 - ② 또한 ㉒점의 공기압(Pa)은 ㉒점에서 수직으로 내린 선과 x축의 교점 값으로 2.3 kgf/cm² 정도이고 분무압은 공기압이 2.3 kgf/cm² 일 때 2400_SP의 좌측 좌표값으로 약 4.8 kgf/cm²이다.
- ∴ 따라서 공기압(Pa)은 1.7 kgf/cm²에서 2.3 kgf/cm²으로, 분무압은 2.95 kgf/cm²에서 4.8 kgf/cm²로 증가시키면 분무입경을 100 μm로 유지하면서 분무량을 1800 g/min에서 2400 g/min으로 증가시킬 수 있다.

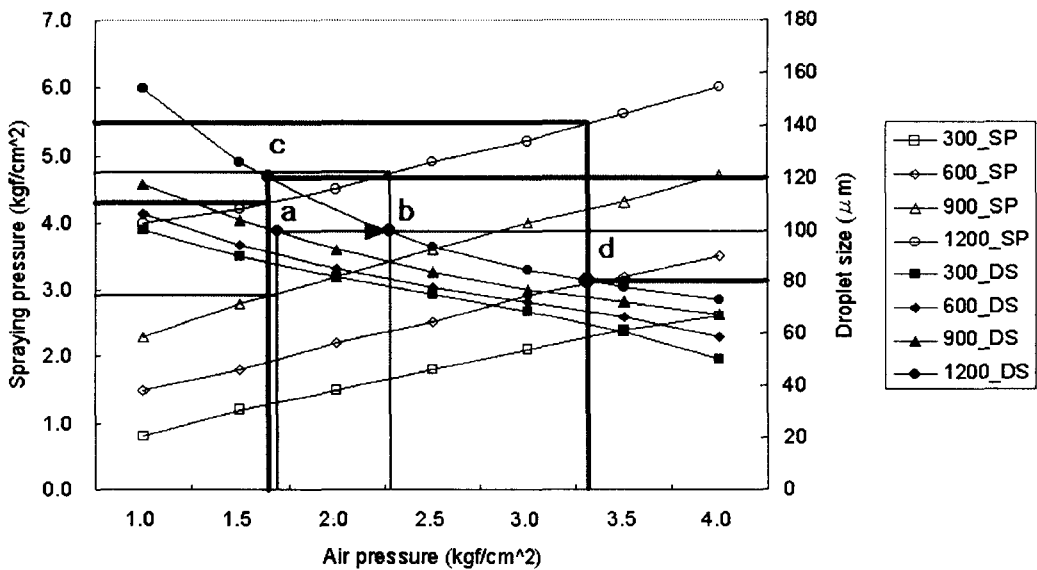


Fig. 3. Independent control method of spraying rate & droplet size

(나) ㉑→㉒ : 분무량을 2400g/min으로 유지하면서 분무입경을 120 μm에서 80 μm로 감소시키는 방법

- ① Fig. 3.에서 ㉑점의 공기압(Pa)은 ㉑점에서 수직으로 내린 선과 x축의 교점 값으로 1.6 kgf/cm² 정도이고 분무압은 공기압이 1.6 kgf/cm² 일 때 2400_SP의 좌측 좌표값으로 약 4.3 kgf/cm²이다.
- ② 또한 ㉒점의 공기압(Pa)은 ㉒점에서 수직으로 내린 선과 x축의 교점 값으로 3.3 kgf/cm² 정도이고 분무압은 공기압이 3.3 kgf/cm² 일 때 2400_SP의 좌측 좌표값으로 약 5.5 kgf/cm²이다.

∴ 따라서 공기압(Pa)은 1.6 kgf/cm²에서 3.3 kgf/cm²으로, 분무압은 4.3 kgf/cm²에서 5.5 kgf/cm²로 증가시키면 분무량을 2400 g/min으로 유지하면서 분무입경을 120 μm에서 80 μm로 감소시킬 수 있다.

다. 분무특성 제어시스템의 성능검증

분무특성 제어시스템의 분무량과 분무입경의 독립적 제어의 성능검증을 위한 실험을 수행한 결과, 분무량의 경우 예상치와 실제측정치간의 차이가 평균 4%이하였으며 분무입경의 경우에는 9%이하의 차이를 보였다.

Fig. 4와 Fig. 5는 분무량을 1800 g/min, 2000 g/min으로 유지하면서 분무입경의 변화를 측정된 결과로 예상분무량(Rate_P)과 실제 측정된 분무량(Rate_M) 그리고 예상분무입경(Size_P)과 실제 측정된 분무입경(Size_M)의 변화를 그렸다.

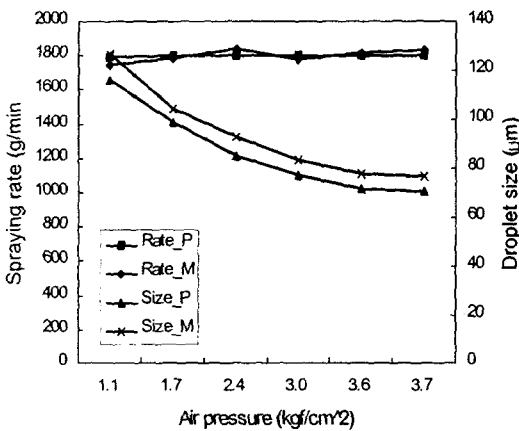


Fig. 4. The change of droplet size at spraying rate(1800g/min)

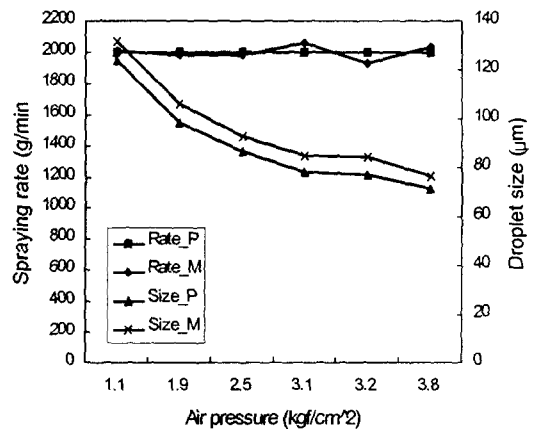


Fig. 5. The change of droplet size at spraying rate(2000g/min)

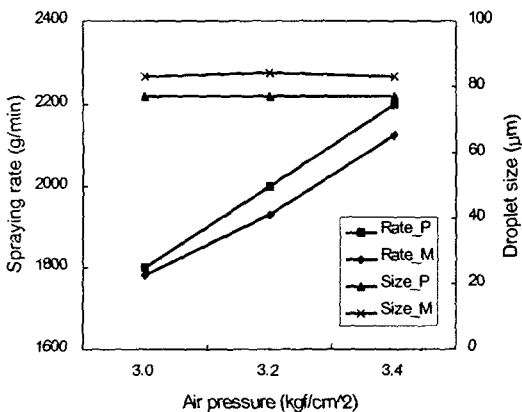


Fig. 6. The change of spraying rate at constant droplet size I

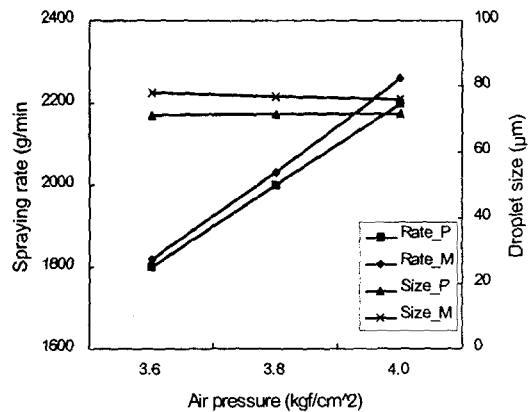


Fig. 7. The change of spraying rate at constant droplet size II

Fig. 6.과 Fig. 7.은 예상분무입경(Size_P)이 77.4 μm , 71.7 μm 일때 분무량의 변화를 측정 한 결과로 예상분무량(Rate_P)과 실제 측정된 분무량(Rate_M)그리고 예상분무입경(Size_P) 과 실제 측정된 분무입경(Size_M)의 변화를 그렸다. 분무량의 경우 예상치와 실제측정치간 의 차이가 평균 3%이하였으며 분무입경의 경우에는 9%이하의 차이를 보였다.

따라서 분무특성 제어시스템의 공기압(Pa)과 분무압(Ps)의 조절을 통한 분무량과 분무입 경의 독립적 제어가 실제 가능함을 알 수 있었다.

4. 요약 및 결론

본 연구의 결과는 다음과 같다.

1. 내부혼합식3종, 외부혼합식1종의 이류체노즐에 대한 분무량과 분무입경의 3회 반복측정 결과 변이계수(CV)값이 3%이하였다. 따라서 특정한 분무압(Ps)과 공기압(Pa)에서는 분무량과 분무입경이 일정함을 알 수 있다.
2. 분무압(Ps)과 공기압(Pa)의 변화에 대한 분무량과 분무입경의 측정자료를 토대로 중회 귀분석을 수행하여 R^2 값이 0.99이상의 중회귀함수를 구하였다.
3. 중회귀함수를 이용하여 공기압(Pa)과 분무압(Ps)에 대한 분무량곡선과 공기압과 분무 입경에 대한 분무량곡선을 그렸으며 두 종류의 분무량곡선을 이용하여 공기압과 분무 압에 의한 분무량과 분무입경의 독립적 제어방법을 설명하였다.
4. 공기압(Pa)과 분무압(Ps)에 의한 분무량과 분무입경의 독립적 제어를 구현할 수 있는 분무특성 제어시스템을 구성하였다.
6. 분무특성 제어시스템의 성능검증을 위한 실험의 수행결과, 공기압과 분무압에 의한 분 무량과 분무입경의 독립적 제어가 가능함을 검증하였다.

5. 참고문헌

1. 김원희. 1998. 유공압공학. 성안당
2. SMC. 1997. Best Pneumatics2판. SMC KOREA
3. SSCK. 1997. Industrial Spray Products Catalog K9501. Spray Systems Co., Korea
4. 조성인 外3人. 1996. 분방제기의 균일량 살포를 위한 제어시스템 개발. 한국농업기계학 회지 21-2 pp : 406~413
5. 구영모. 1996. 주입식 총 유량 자동제어방식 분관 방제기의 개발. 한국농업기계학회지 21-2 pp : 155~166
6. 정창주 外4人. 1995. 분방제기의 살포장치의 설계요인 규명을 위한 실험적 연구(I)-노즐 의 분무유형-. 한국농업기계학회지 20-3 pp : 217~225
7. L.F.Bouse. 1994. Effect of nozzle type and operation on spray droplet size. ASAE 37(5) pp : 1389~1400.