

디스크형 노즐의 분무특성에 관한 실험적 연구[†]

An Experiment Study on Spraying Characteristics of Swirl Disc Type Nozzles

곽현환*	이중용*	김영주*	장금송*
정희원	정희원	정희원	정희원
H .H. Gwak	J. Y. Rhee	Y. J. Kim	J. S. Zhang

1. 서 론

약액의 분무입경, 분무각, 분무량은 방제의 효율성과 관련된 중요한 요소로서, 노즐의 형상 설계는 이러한 요소를 결정하는 것에 큰 영향을 준다. 특히 비교적 낮은 압력에서 분무가 되어야 하는 배부식 방제기에서 노즐의 역할은 더욱 커지는데, 노즐의 성능 향상은 분무를 원활하게 하여 농약 사용량을 줄이고, 또한 무화 압력을 낮추어 작업의 편리성을 도모하며, 에너지 절감 효과도 기대 할 수 있다.

본 연구는 낮은 압력에서도 분무성능이 좋은 디스크형 노즐의 개발을 위하여 노즐의 설계인자를 변화시키며 그 분무 성능을 분석하고 저압에서 무화가 이루어지는 디스크형 노즐을 개발하기 위하여 수행되었다.

2. 실험 방법 및 재료

2.1 분무각 측정

분무각은 보통 그림 1과 같이 액체 분무가 노즐에서 분출되는 지점에서의 액적이 이루는 최대각도($2\alpha_s$)를 의미한다. 그러나 미립화되기 이전에는 노즐 근처의 액막이 표면장력에 의해서 안쪽으로 수축되는 효과가 있으며, 미립화된 이후의 하류에서도 주위 기체의 반경방향 유입에 의해서 액적의 궤적이 안쪽으로 휘어들어오는 효과가 있기 때문에 실제 분무되는 범위는 줄어들게 된다. 따라서 적절한 측방향 위치에서 분무의 양측 외각 지점과 노즐 출구를 이은 두 직선 사이의 각도 α_c 를 분무각으로 정의 하였다. α 는 Hollow cone노즐과 같은 종류의 노즐에서 중요한 분무입자가 많은 곳을 기준으로 한 각도 이다. (이상용, 1996)

분무각 측정은 고화소 디지털 카메라를 이용하여 분사장면을 촬영하여 분석하였으며 야간에 등을 끄고 아래쪽에서 위쪽으로 조명하여 분무각이 잘 보이도록 하였다. 압력은 변화를 쉽게 알아보기 위해 1, 2, 3 kgf/cm²로 변화시켰다. 압력의 단위는 현재 방제기 산업에서 널리 사용되고 있는 kgf/cm²로 하였다. 1.0 kgf/cm² = 0.098MPa 이다.

[†]본 연구는 2001년도 농림기술관리센터의 연구비지원에 의하여 수행되었음

* 서울대학교 농업생명과학대학 농업기계공학과

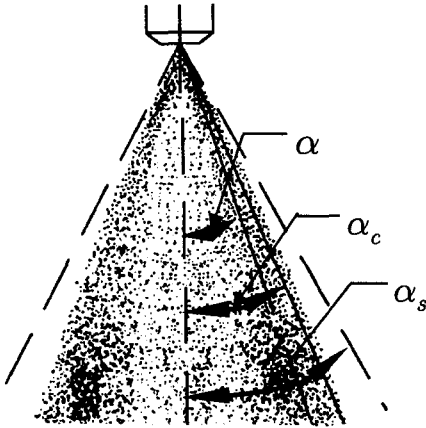


Fig. 1 Definition of spray angle, α_c

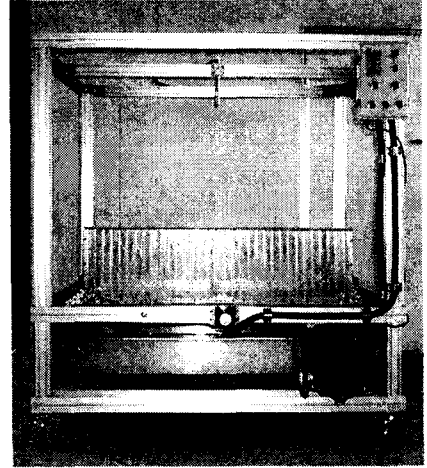


Fig. 2 View of the spray patternator.

2.2 분무량 측정

분무량 측정에는 초시계와 물받이 용기, 정밀 저울을 이용하여 압력을 달리 하면서 30초 동안 살포된 양을 분당 분무량으로 환산하였다.

2.3 살포형 측정

노즐의 수평 살포시의 살포형을 측정하기 위하여 그림 2와 같은 살포형 측정 장치를 제작하였다. 분무입자를 수집하기 위한 물받이 셀은 가로와 세로 각각 3cm, 높이가 30cm인 직육면체 통으로서 아크릴로 제작되었다. 각 셀에 분무된 양은 메스실린더를 이용하여 각 셀에 표시한 눈금을 이용하여 구하였다.

이 물받이 셀은 전기 모터에 의해 앞, 뒤 방향으로, 일정 속도로 움직이면서 분무입자를 수집하는 것으로서 모터의 속도와 진행방향 제어가 가능하다.

물 받이 셀의 움직이는 속도는 약 1cm/s로 하여 분무량이 측정 가능할 때 까지 수회 왕복하였고, 압력은 0.7 ~ 5kgf/cm²로 하였다.

살포형의 균일도는 변이계수 CV(Coefficient of Variation)으로 비교하였다. 분무균일도 산정 기준으로 사용된 변이계수(CV)는 각 셀에 수집되어진 유체의 부피의 표준편차를 평균으로 나눈 값으로 다음과 같이 나타낸다.

$$CV(\%) = \frac{S}{\bar{Y}} \times 100$$

여기서, S : 측정값의 표준편차 \bar{Y} : 측정값의 평균

사용 유체는 15°C의 수도물 이었다.

2.4 분무입경 측정

노즐의 분무입경 측정은 그림 3에 나타난 바와 같은 입자분석기(Droplet And Particle Sizer Series 2600c, MALVERN)를 이용하였다.

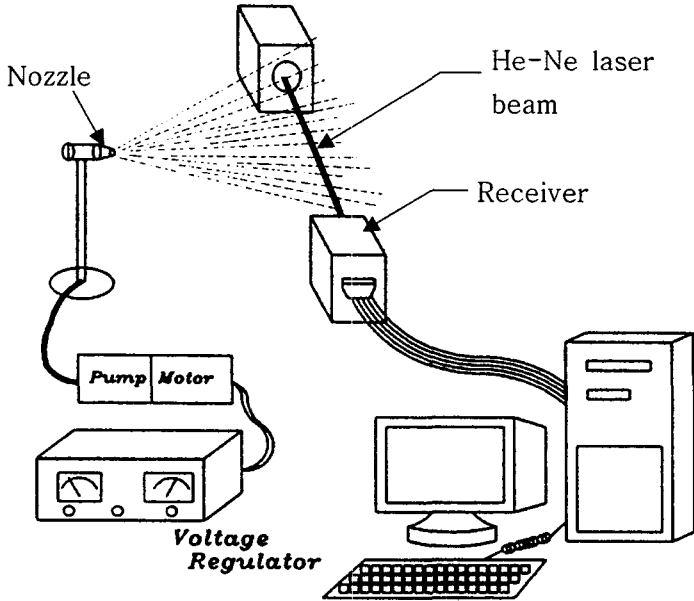


Fig. 3 Schematic view of droplet size measurement system.

이 측정기는 레이저 광선을 이용해, 빛의 회절원리를 이용한 빛의 강도분사에 의해 분사입자의 체적중간지름(volume median diameter, VMD)을 비접촉식으로 측정하는 장치로서 0.5~1880 μ m의 범위를 3단계로 구분하고 32개의 그룹으로 입경의 도수분포를 나타낸다. 측정기에서 사용하는 광선은 2mW의 He-Ne 레이저로서 633nm의 Wavelength를 가지며 측정부의 지름은 9mm이다. 체적중간지름(VMD)은 입자를 크기 순으로 나열할 때 체적을 양분하는 입자 크기의 지름을 말하는 것으로 방제기계에서 널리 사용하는 대표적인 평균 입도이다.

2.5 실험 재료

2.5.1 디스크(Disc)

아래 Fig. 16은 본 연구에 사용된 디스크의 정면도와 평면도를 나타낸 것으로 디스크 두께(Td)와 오리피스 직경(Do)의 영향을 평가하기 위해 표2와 같이 각각의 크기에 변화를 주어 실험을 실시하였다.

Table. 1 Dimension of orifice diameter and disc thickness of the tested disc plate.

Td(mm)	0.6	0.8	1.0	1.2	1.5	2.0	0.5	0.5	0.5	0.5
Do(mm)	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.0	1.5	2.0	2.5

2.5.2 중자(Core)

본 연구에서는 기존의 중자 외에 3가지 유형의 중자 형상을 설계하여 실험하였다. 중자 유형 1번은 양 쪽에서 들어오는 유체가 만날 때 같은 방향으로 향하면서 만나도록 설계한 것으로 그림 4와 같다. 유입구의 직경은 1.5mm이고, 와류실의 깊이도 1.5mm이다.

중자 유형 1번의 형상으로 와류실 직경(Dc)의 변화가 분무 특성에 끼치는 영향을 고찰하기 위해 와류실 직경을 3mm ~ 6mm 까지 0.5mm씩 증가시켜 7수준으로 제작하였다.

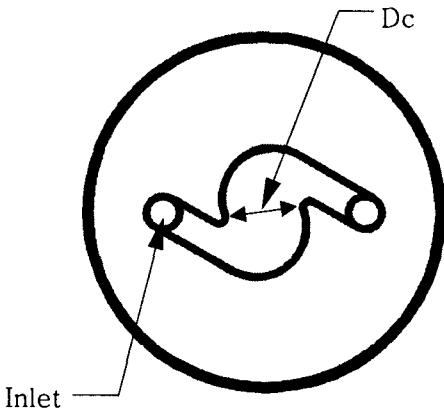


Fig. 4 Bottom view of experimental nozzle core. -type 1-

현재 디스크 형 노즐은 유체가 파이프에서 노즐 중자를 지나 디스크에 수직으로 충돌하여서 노즐 중자의 유입로를 따라 와류실 내로 들어가므로 유체의 방향이 수직으로 바뀐다. 따라서 이 유입방향을 비스듬하게 한다면, 파이프에서 노즐 Body로 흘러들어오는 유체의 속도를 보존하면서 와류실 내로 유입되어 유체의 속도 손실을 훨씬 줄여서, 무화 압력을 강하시키는데 도움이 되리라 생각된다.

이러한 점을 감안하여 그림 5와 같은 노즐 중자를 설계, 제작하였다.

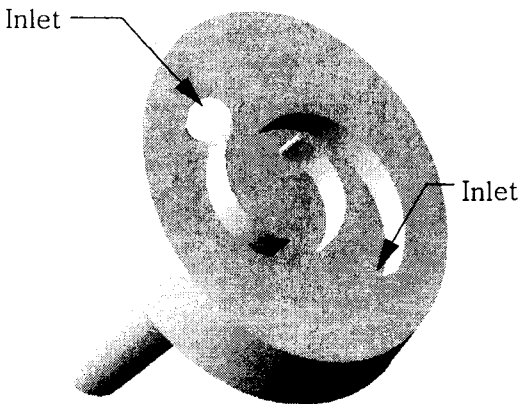


Fig. 5 View of experimental nozzle core. -type 2-

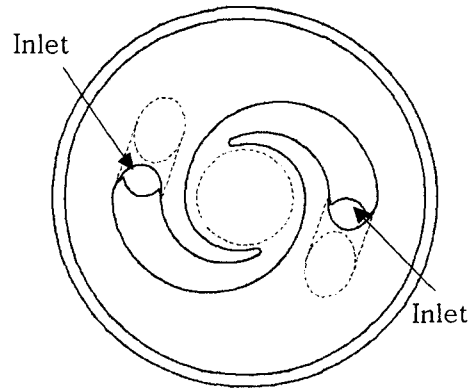


Fig. 6 Bottom view of experimental nozzle core. - type 2 -

그림 6은 중자 유형 2번의 와류실 형상이다. 먼저 유입구를 45° 경사를 주었고, 유입구 직경은 2mm에서 유체가 챔버에 들어가기 까지 입구 면적이 서서히 줄어들게 하여 와류실에 들어 갈 때에는 가로 길이가 1mm로 하여 유체의 속도를 증가 시켰다. 또한 양쪽에서 들어오는 유체가 만날 때 서로를 방해하지 않는 각도에서 만나도록 최대한 원의 접선 방향으로 유입되도록 하였다. 와류실 지름은 4mm로 하였다.

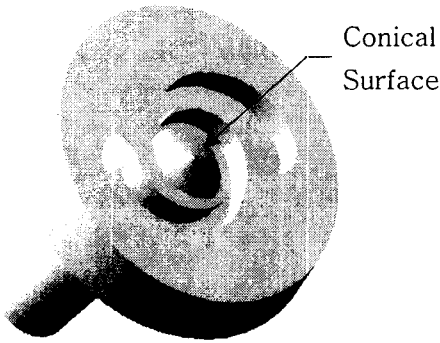


Fig. 7 View of experimental nozzle core. -type 3-

유체가 좁은 유로를 지나 비교적 넓은 공간인 와류실 내로 들어갈 때, 갑자기 넓은 공간으로 유체가 나올 때 발생하는 유속 감소를 막고, 점점 좁아지는 유로 면적으로 인한 유체의 속도를 증가시키기 위해 그림 7과 같은 와류실 가운데 원뿔이 있는 중자 유형 3번을 설계, 제작하였다. 중자의 형상은 유형 2번과 같고 와류실 내에 원뿔이 존재하는 형태이다.

원뿔의 밑 원의 지름은 와류실 직경과 같은 4mm로 하였고 뿔의 높이는 10mm로 하였다.

3. 결과 및 고찰

설계 인자 중 디스크 두께(x)와 오리피스 직경(y), 압력(z)의 변화가 분무각에 끼치는 영향을 살펴볼 때, 통계프로그램 SAS 8.0을 이용하여 관계식을 나타내면 식3-1과 같다.

$$A = 3.94549 \frac{1}{x} + 73.50148\sqrt{y} + 18.96935\sqrt{z} - 60.15561 \quad (\text{식3-1})$$

$$R^2=0.9419, \text{ 최대오차 : } 8.2062^\circ$$

- 여기서 A = 분무각(deg)
- x = 디스크 두께(mm)
- y = 오리피스 직경(mm)
- z = 분무 압력(kgf/cm²)

이다. 식에서와 같이 분무각은, 디스크 두께가 증가함에 따라 감소하여 디스크 두께와 역수 관계이고, 오리피스 직경의 제곱근에 비례하여 증가하며, 압력의 제곱근에 비례하여 증가한다. Fig. 37은 관계식 3-1을 이용하여 산출한 분무각 값과 실험 분무각 값을 비교한 것이다.

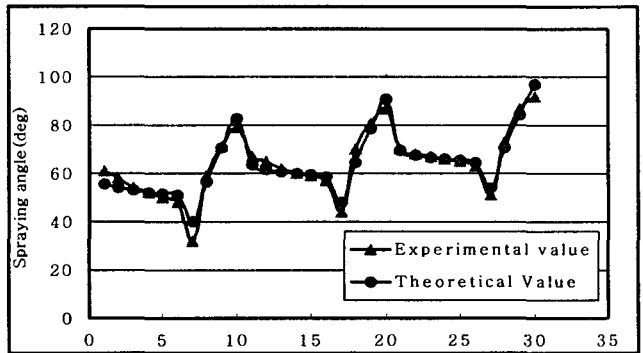


Fig. 8 Spraying angle comparison of experimental value with theoretical value.

분무유량과 각 인자 사이의 관계식은 아래 식3-2와 같다.

$$F = -89.94685x + 611.0889y + 620.49465\sqrt{z} - 868.2049 \quad (\text{식3-2})$$

$$R^2 = 0.9588 \text{ 최대오차 : } 179.009\text{g/min}$$

- 여기서 F = 분무유량(g/min)
- x = 디스크 두께(mm)
- y = 오리피스 직경(mm)
- z = 분무 압력(kgf/cm²) 이다.

식에서와 같이 분무량은 디스크 두께가 증가함에 비례하여 감소하고, 오리피스 직경이 증

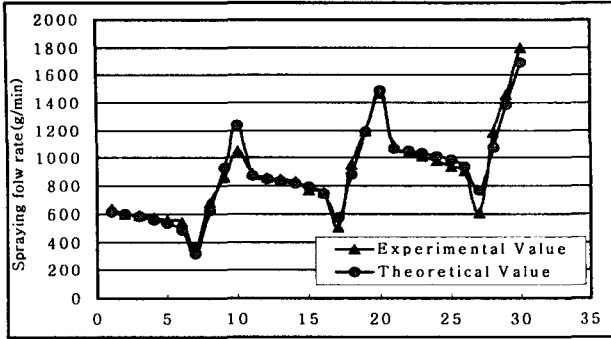


Fig. 9 Spraying rate comparison of experimental value with theoretical value.

분무입경과 각 인자 사이의 관계식은 아래 식4-3과 같다.

$$V = 148.77163x^4 - 746.845985x^3 + 1311.7609x^2 - 917.31308x + 16.61323y^3 - 75.1601y^2 + 99.66269y + 237.18116/\sqrt{z} + 197.69732 \quad (\text{식3-3})$$

$$R^2 = 0.9524 \quad \text{최대오차} : 37.162\mu\text{m}$$

여기서 V = 분무입경-VMD(μm)
 x = 디스크 두께(mm)
 y = 오리피스 직경(mm)
 z = 분무 압력(kgf/cm²) 이다.

식 3-3에서와 같이 분무입경은 디스크 두께의 4차식에 비례하여 증가하고, 오리피스 직경의 3차식에 비례하여 압력이 비교적 낮을 때는 오리피스 직경이 증가할수록 분무 입경은 작아지고, 압력이 비교적 높을 때는 오리피스 직경이 증가할수록 분무 입경이 커진다. 또한 분무입경은 압력의 제곱근과 역수관계로 압력이 증가함에 따라 분무입경은 작아진다. 그림 10은 관계식 3-3을 이용하여 산출한 분무입경 값과 실험 분무입경 값을 비교한 것이다.

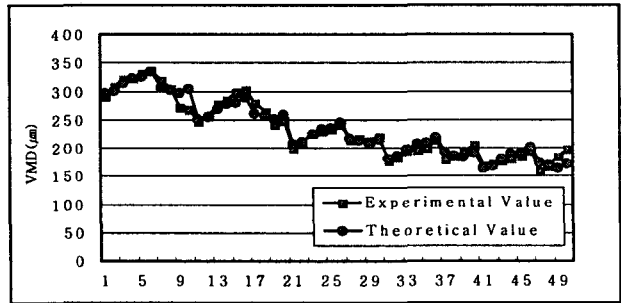


Fig. 10 VMD comparison of experimental value with theoretical value.

Table. 2는 각 유형의 CV 값을 나타낸 것이다. 분무유효량이 아닌 양 끝의 약 30%가량의 분무량은 제외 시켰다. 유형 3이 20% 정도의 CV 값을 나타내어 가장 좋은 살포형을 보여주고 있다.

Table. 2 Coefficient of variation value of every spraying type.

Model	Pressure (kgf/cm ²)	CV (%)	Model	Pressure(kgf/cm ²)	CV (%)	Model	Pressure(kgf/cm ²)	CV (%)
Type 1	1	50.7	Type 2	1	46.5	Type 3	1	20.6
	2	31.4		2	23.6		2	20.2
	3	26.7		3	21.6		3	21.5

4. 요약 및 결론

본 연구는 비교적 낮은 압력에서도 무화가 원활한 디스크형 노즐을 개발하고 나아가 노즐의 기하학적 특성이 분무 성능에 미치는 영향을 규명하여 앞으로의 노즐 개발에 중요한 자료를 제시하는 것을 목표로 수행 되었다. 주요 결과는 다음과 같다.

1. 분무각(A)은 디스크 두께(x)가 증가함에 따라 감소하고, 오리피스 직경(y)이 증가함에 따라 증가하며, 압력(z)이 증가함에 따라 증가한다. 그 관계식은 다음과 같다.

$$A = 3.94549\frac{1}{x} + 73.50148\sqrt{y} + 18.96935\sqrt{z} - 60.15561$$

또한 노즐 중자의 형상은 회전을 잘 일으키게 하는 것일수록 분무각이 증가한다. 분무각에 큰 영향을 주는 것은 오리피스 직경과 노즐 중자의 형상이다.

2. 분무량(F)은 디스크 두께(x)가 증가함에 따라 감소하고, 오리피스 직경(y)이 증가함에 따라 증가하며, 압력(z)이 증가함에 따라 증가한다. 그 관계식은 다음과 같다.

$$F = -89.94685x + 611.0889y + 620.49465\sqrt{z} - 868.2049$$

중자 형상은 회전을 잘 일으키는 것일수록 분무유량이 감소한다. 분무량에 큰 영향을 미치는 것은 오리피스 직경과 중자 형상이다.

3. 분무입경(V)은 액체의 유속에 큰 영향을 받는데, 회전 속도와 분출 속도가 클 때, 분무입경은 작아진다. 따라서 디스크 두께(x)가 증가함에 따라 증가하고, 오리피스 직경(y)은 압력이 비교적 낮을 때는 오리피스 직경이 증가함에 따라 분무 입경은 작아지고, 압력이 비교적 높을 때는 오리피스 직경이 증가함에 따라 분무 입경이 커진다. 이는 높은 압력의 유체가 압력이 낮은 대기로 좁은 오리피스를 통해 갑자기 분출되어 나오면서 발생하는 확산에 의한 미립화의 영향 때문이다. 압력(z)이 증가함에 따라 분무입경은 작아진다. 인자들과의 관계식은 다음과 같다.

$$V = 148.77163x^4 - 746.845985x^3 + 1311.7609x^2 - 917.31308x + 16.61323y^3 + 16.61323y^3 - 75.1601y^2 + 99.66269y + 237.18116/\sqrt{z} + 197.69732$$

중자 형상은 회전을 잘 일으키는 것일수록 분무입경이 작아진다.

4. 살포형은 CV값을 비교 한 결과 중자 유형 1번은 3kgf/cm²에서 26.7%, 중자 유형 2번은 2kgf/cm²에서 23.6%, 중자 유형 3번은 1kgf/cm²에서 20.6%로 중자 형상이 유체가 회전이 잘 되는 형상일수록, 압력이 비교적 낮을 때에도 좋은 유형을 얻을 수 있다.
5. 와류실 형상의 변화로 기존 노즐이 1.5kgf/cm² 이상에서의 나타나는 최소분무 압력을 1.0kgf/cm²으로 낮춘 디스크형 노즐을 개발하였다. 이 노즐은 압력 변화에 상관없이 비교적 균등한 살포형을 보였다.

5. 참고문헌

- 1) 정창주 외 4인. 1995. 분방제기의 살포장치의 설계요인 규명을 위한 실험적 연구(I) -노즐의 살포형- 한국농업기계학회지, vol.20-3 p217~225
- 2) 액체의 미립화 / 이상용 지음. 민음사
- 3) 식보기계학 / 왕영 지음. 기계공업 출판사 -중국문헌-