

배부식 방제기를 위한 디스크형 노즐 개발

곽현환 김영주 이중용

Development of Swirl Disc Nozzles for Knapsack Sprayers

H. H. Gwak Y. J. Kim J. Y. Rhee

Abstract

This study was performed to evaluate some geometrical characteristics of disc type swirl nozzles and to develop nozzles having improved spraying performance for knapsack sprayers. Considered geometrical characteristics of the nozzles were disc thickness, orifice diameter, swirl chamber diameter and shape of the swirl chamber (nozzle chamber). 3 types of nozzle cores were compared.

Main results of this study were as follows.

1. Spraying angle (A) was increased with decreasing disc thickness (x), and with increasing orifice diameter (y) or spraying pressure (z). The equation was as a follow.

$$A = 3.95 \frac{1}{x} + 73.50 \sqrt{y} + 18.97 \sqrt{z} - 60.16$$

2. Spraying flow rate (F) was increased with decreasing disc thickness (x), and with increasing orifice diameter (y) or spraying pressure (z). The equation was as a follow.

$$F = -89.95x + 611.09y + 620.49 \sqrt{z} - 868.20$$

3. Mean spraying droplet size (V) was decreased with decreasing disc thickness (x), with increasing orifice diameter (y) in low spraying pressure, with decreasing orifice diameter (y) in high spraying pressure, and with increasing spraying pressure (z).

$$V = 148.77x^4 - 746.85x^3 + 1311.76x^2 - 917.31x$$

4. The spray pattern was compared using CV values. The CV value of the nozzle core type 1 was 26.7% in spraying pressure 3 kgf/cm², the CV value of the core type 2 was 23.6% in spraying pressure 2 kgf/cm², the CV value of the core type 3 was 20.6% in spraying pressure 1 kgf/cm².
5. Minimum spraying pressure was improved from 1.5 kgf/cm² to 1.0 kgf/cm² by changes of nozzle core shape.

Keywords : Disc type nozzle, Spraying characteristics, Shape of nozzle core, Knapsack sprayer

This study was conducted by the research fund supported by Agricultural R&D promotion center (ARPC). This article paper was submitted for publication in April 2006 reviewed and approved for publication by the editorial board of KSAM in June 2006. The authors are H. H. Gwak, Graduate Student, Y. J. Kim, KSAM member Graduate Student, J. Y. Rhee, KSAM member, Professor at the Seoul National University. The corresponding author is J. Y. Rhee, Professor, Department of Biosystems & Biomaterials Science and Engineering, Seoul National University, 151-921, Seoul Korea; E-mail : <jyr@snu.ac.kr>

1. 서론

방제작업은 작물에 발생하는 병해충을 예방하고 그 피해를 최소화하여 농산물의 품질을 향상시키고 생산성을 증대시키는 중요한 관리 작업이다. 따라서 현재 여러 종류의 방제기가 개발 이용되고 있지만, 그 가운데 배부식 방제기는 동력분무기나 분무방제기를 사용하기 곤란한 조건 즉, 재배면적이 작거나 작물사이에서 제초제를 살포하거나 경사가 심하여 기계사용이 곤란한 곳 등에서 널리 사용되는 특성이 있다. 특히 재배층 제초제 살포는 거의 100% 배부식 방제기에 의존하는 형편이다.

배부식 방제기는 다른 방제기에 비해 낮은 압력에서 원활한 미립화가 일어나야 하므로 노즐의 성능이 매우 중요하다. 그러나 현재 배부식 방제기의 개발 경향을 보면 노즐에 관한 연구보다는 펌프를 구동하는 방법을 개선하는 추세이다. 즉, 시중에 판매되고 있는 배부식 방제기 펌프가 수동펌프에서 배터리를 이용하거나 소형 가솔린 기관을 이용한 펌프로 바뀌고 있다. 높은 압력을 낼 수 있는 펌프를 이용하면 노즐을 정밀하게 제작하지 않아도 어느 정도 무화를 얻을 수 있다. 그러나 고압 분무 시스템은 분무 입자의 균일성을 떨어뜨리고 기기를 무겁게 하며, 특히 작동 에너지가 많이 요구되어 경제성이 떨어진다. 따라서 저압에서도 분무가 원활하게 되는 노즐을 개발한다면 배터리의 무게를 가볍게 하고 사용 시간을 늘리는 긍정적인 효과를 얻을 수 있다.

본 연구는 배부식 방제기에서 널리 사용되는 디스크형 노즐의 분무 성능을 개선하기 위한 연구로서 Swirl disc type 노즐의 성능에 관한 문헌 조사를 통하여 주요 설계 인자를 찾고 선정된 노즐의 주요 설계 인자를 변화시키며 분무 특성을 조사하여 노즐의 성능에 영향을 미치는 중요도를 평가 하는 것과 노즐 내부 형상의 설계인자들이 미립화에 끼치는 영향을 이해함으로써 각종 노즐이 적용되는 기기 설계 및 고성능 노즐의 개발을 위한 기초 자료를 제시 하는 것을 그 목적으로 한다.

2. 연구사

옹장우(1973, 1975)는 근거리용 노즐은 구경이 1.4~3.0 mm로 변화됨에 따라 평균입경은 139~200 μm 범위에 있다고 하였고, 중거리용 노즐에 대해서는 압력(15~35 kgf/cm^2)과 구경(1.4~3.0 mm)의 변화에 따라 평균입경은 250 μm 이하라고 보고 하였다. 최규홍(1975)등은 중자가 없는 도달형 노즐의 유량계수는 0.82~0.86 범위에 있으며 노즐의 구경과 압력이 증가함에 따라 유량은 많아지며, 특히 압력의 제공에 비례한

다고 하였고, 이상우(1988)는 이론 분석(2)에서는 공동(cavity)의 면적과 분구경, 외류실경, 중자구조경 및 중자구조각에 관계를 식으로 표현하고, 중자 구조각이 공동현상에 큰 영향을 미친다고 보고하였다. Carlisles(1956)는 스월챔버직경/오리피스직경비와 스월챔버길이/스월챔버직경비가 유출계수에 미치는 영향을 규명하고 마찰손실을 줄이기 위해서는 스월챔버 직경/오리피스직경비를 5이상 초과해서는 안되며, 직경비를 작게 유지해야 한다고 발표 했다. 이상 연구에서 주요 노즐 설계인자로 사용한 것을 바탕으로 중자 형상, 오리피스 직경, 외류실 직경, 디스크 두께 등을 본 연구의 설계 인자로 선정 하였다.

3. 재료 및 방법

가. 실험 재료

1) 디스크 (Disc)

디스크 두께(T_d)와 오리피스 직경(D_o)의 크기의 따른 영향을 평가하기 위해 표 1과 같이 각각의 크기에 변화를 주어 실험을 실시하였다.

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 1과 같다. 유입구의 직경은 1.5 mm이고, 외류실의 깊이도 1.5 mm이다.

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

$T_d(\text{mm})$	0.6	0.8	1.0	1.2	1.5	2.0	0.5	0.5	0.5	0.5
$D_o(\text{mm})$	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.0	1.5	2.0	2.5

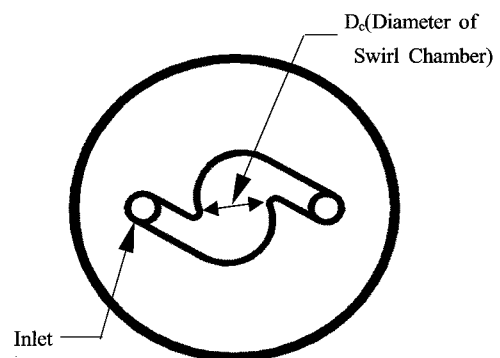


Fig. 1 Bottom view of experimental nozzle core. -type 1-

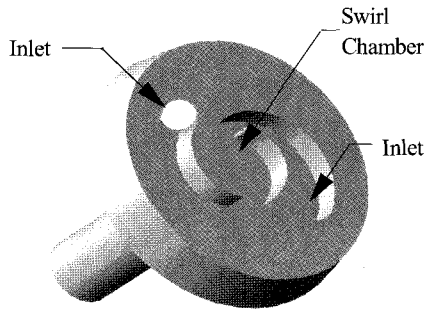


Fig. 2 View of experimental nozzle core. -type 2-

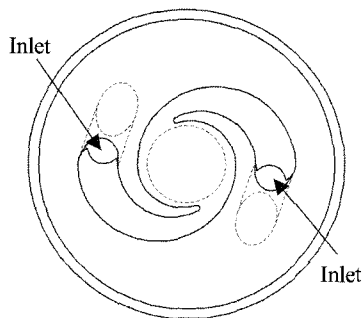


Fig. 3 Bottom view of experimental nozzle core. - type 2 -

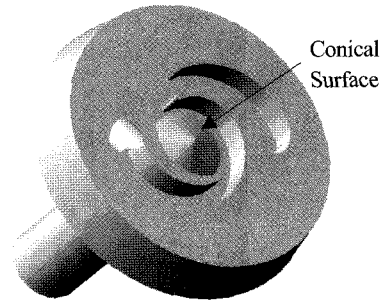


Fig. 4 View of experimental nozzle core. -type 3-

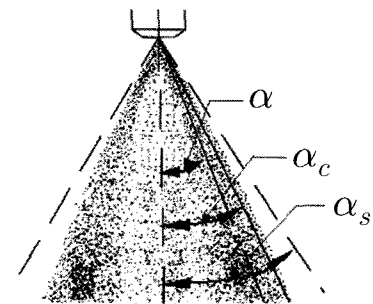


Fig. 5 Definition of spray angle, α_c .

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

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 노즐로 흘러들어오는 유체의 속도를 보존하면서 와류실 내로 유입되어 유체의 속도 손실을 훨씬 줄여서, 무화 압력을 강하시키는 데 도움이 되리라 생각된다.

이러한 점을 감안하여 그림 2와 같은 노즐 중자를 설계, 제작하였다.

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 4와 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 4 mm로 하였고 원뿔의 높이는 10 mm로 하였다.

나. 실험 방법

1) 분무각 측정

분무각은 보통 그림 5와 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 축방향 위치에서 분무의 양측 외각 지점과 노즐 출구를 이은 두 직선 사이의 각도 α_c 를 분무각으로 정의하였다. α 는 Hollow cone노즐과 같은 종류의 노즐에서 중요한 분무입자가 많은 곳을 기준으로 한 각도 이다(이상용, 1996).

분무각 측정은 고화소 디지털 카메라(SDC-33 삼성)를 이용하여 분사장면을 촬영하여 분석하였으며 압력은 변화를 쉽게 알아보기 위해 1, 2, 3 kgf/cm^2 로 변화시켰다. 압력의 단위는 현재 방제기 산업에서 널리 사용되고 있는 kgf/cm^2 로 하였다. $1.0 \text{ kgf/cm}^2 = 0.098 \text{ MPa}$ 이다.

2) 분무량 측정

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

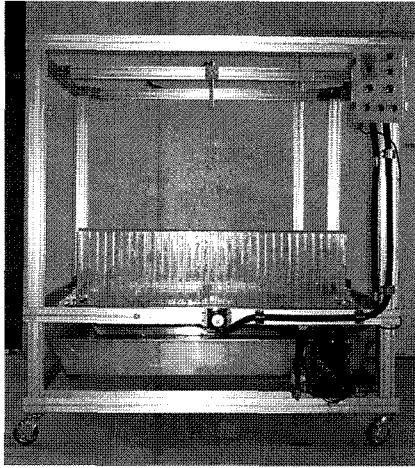


Fig. 6 View of the spray patternator.

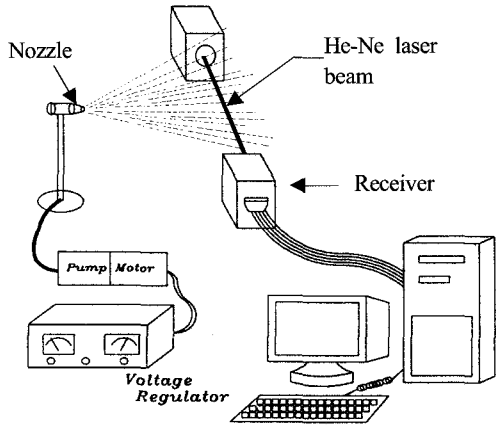


Fig. 7 Schematic view of droplet size measurement system.

3) 살포형 측정

노즐의 수평 살포시의 살포형을 측정하기 위하여 그림 6과 같은 살포형 측정 장치를 제작하였다. 분무입자를 수집하기 위한 물받이 셀은 가로와 세로 각각 3 cm, 높이가 30 cm인 직육면체 통으로서 아크릴로 제작되었다. 이 물받이 셀은 전기 모터에 의해 앞, 뒤 방향으로, 일정 속도로 움직이면서 분무입자를 수집하는 것으로서 모터의 속도와 진행방향 제어가 가능하다.

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

살포형의 균일도는 변이계수 CV(Coefficient of Variation)로 비교하였다. 식은 다음과 같다.

$$CV(\%) = \frac{S}{\bar{Y}} \times 100 \quad (1)$$

S : 측정값의 표준편차, \bar{Y} : 측정값의 평균

4) 분무입경 측정

노즐의 분무입경 측정은 그림 7에 나타난 바와 같은 입자 분석기(Droplet And Particle Sizer Series 2600c, MALVERN)를 이용하였다.

이 측정기는 레이저 광선을 이용해, 빛의 회절원리를 이용한 빛의 강도분사에 의해 분사입자의 체적중간지름(Volume Median Diameter, VMD)을 비접촉식으로 측정하는 장치로써 0.5~1880 μm의 입경 범위를 3단계로 구분하고 32개의 그룹으로 입경의 도수분포를 나타낸다. 측정기에서 사용하는 광선은 2 mW의 He-Ne 레이저로서 633 nm의 파장을 가지며 측정부의 지름은 9 mm이다. 체적중간지름(VMD)은 입자를 크기순으로 나열할 때 체적을 양분하는 입자 크기의 지름을 말하는 것으로 방제기계에서 널리 사용하는 대표적인 평균 입도이다.

4. 결과 및 고찰

가. 노즐 성능에 영향을 미치는 인자에 대한 평가

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 식 (2)와 같다.

$$A = 3.95 \frac{1}{x} + 73.50 \sqrt{y} + 18.97 \sqrt{z} - 60.16 \quad (2)$$

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

여기서

$$\begin{aligned} A &= \text{분무각(deg)} & x &= \text{디스크 두께(mm)} \\ y &= \text{오리피스 직경(mm)} & z &= \text{분무 압력(kgf/cm}^2\text{)} \end{aligned}$$

이다. 식 (2)에서와 같이 분무각은, 디스크 두께가 증가함에 따라 감소하여 디스크 두께와 역수 관계이고, 오리피스 직경의 제곱근에 비례하여 증가하며, 압력의 제곱근에 비례하여 증가한다. 그림 8은 디스크 두께를 0.6, 0.8, 1.0, 1.2, 1.5, 2.0 mm로 변화시키고 오리피스 직경을 1.0~2.5 mm로 0.5 mm 씩 증가시키고 분무압력은 1, 2, 3 kgf/cm²의 30가지 조합으로 식 (2)를 이용하여 계산한 이론 분무각과 실험을 통하여 얻은 분무각을 비교하여 나타낸 것이다.

분무유량과 각 인자 사이의 관계식은 아래 식 (3)과 같다.

$$F = -89.95x + 611.09y + 620.50 \sqrt{z} - 868.20 \quad (3)$$

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

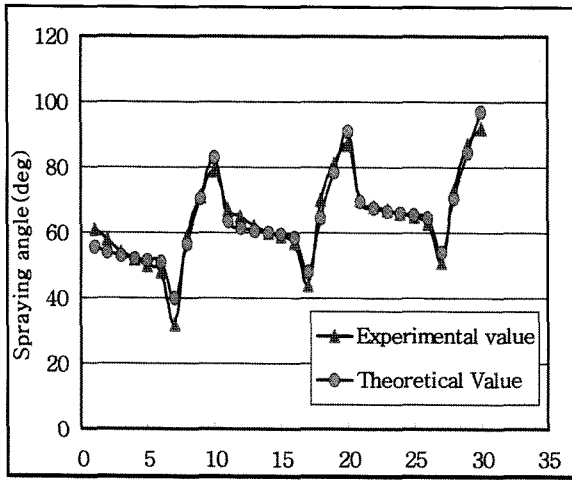


Fig. 8 Spraying angle comparison of experimental value with theoretical value.

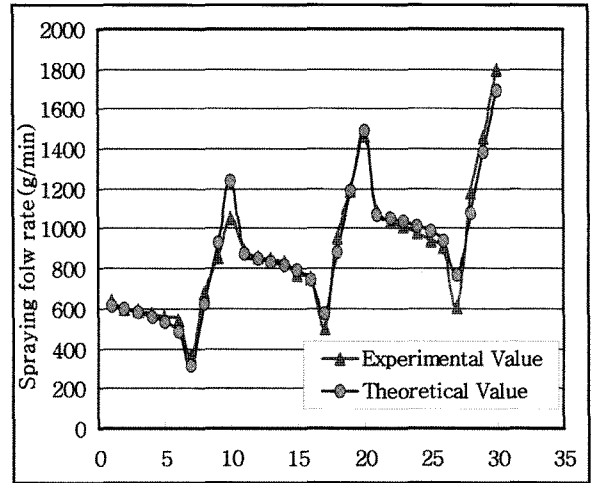


Fig. 9 Spraying rate comparison of experimental value with theoretical value.

여기서,

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

이다. 식 (3)에서와 같이 분무량은 디스크 두께에 비례하여 감소하고, 오리피스 직경에 비례하여 증가하며, 압력의 제곱근에 비례하여 증가한다. 그림 9는 위에서와 같이 디스크 두께와 오리피스 직경, 분무압력을 변화시킨 30가지 조합을 식 (3)을 이용하여 계산한 이론 분무유량과 실험을 통하여 얻은 분무유량을 비교하여 나타낸 것이다.

분무입경과 각 인자 사이의 관계식은 식 (4)와 같다.

$$V = 148.77x^4 - 746.85x^3 + 1311.76x^2 - 917.31x + 16.61y^3 - 75.16y^2 + 99.66y + 237.18/\sqrt{z} + 197.70 \quad (4)$$

$R^2 = 0.9524$ 최대오차 : 37.162 μm

여기서,

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

이다. 식 (4)에서와 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 제곱근

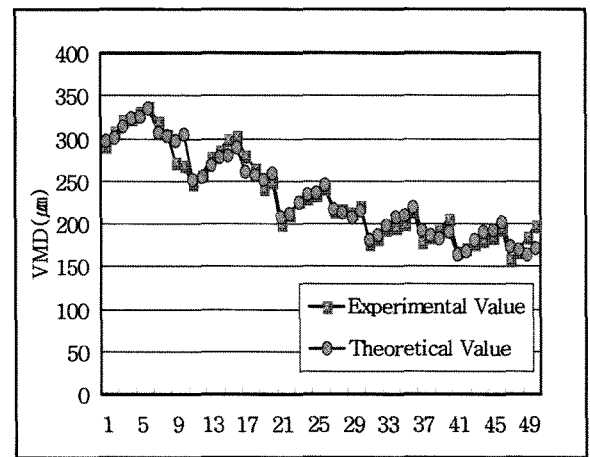


Fig. 10 VMD comparison of experimental value with theoretical value.

과 역수관계로 압력이 증가함에 따라 분무입경은 작아진다. 그림 10은 위에서와 같이 디스크 두께와 오리피스 직경, 분무 압력을 변화시킨 50가지 조합을 식 (4)를 이용하여 계산한 이론 분무입경과 실험을 통하여 얻은 분무입경을 비교하여 나타낸 것이다.

나. 노즐 중자 형상이 노즐 성능에 미치는 영향 분석

그림 11은 실험 노즐 유형 1번의 중자 내 유체의 흐름을 나타낸 것으로 양쪽 유입구에서 들어오는 유체가 처음에는 같은 방향으로 만나는 듯 하나 와류실이 좁으면 곡면이 시작하는 부분에 가서 역시 수직으로 만나게 된다. 그러나 그림 12와 같이 와류실이 크면 서로의 흐름 방향을 조금 덜 방해하며, 방해 받더라도 공간이 있어서 회전하기에 더 좋다.

그러나 와류실 형상이 서로의 흐름을 방해하지 않는다고

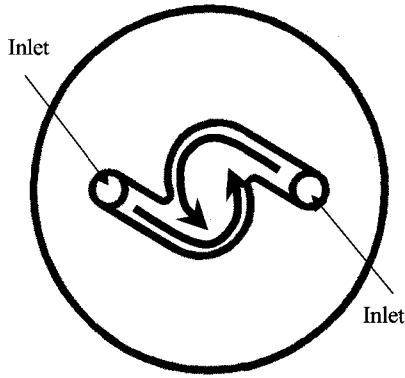


Fig. 11 The flow of fluid in type 1 nozzle core. (Dc 3.0 mm)

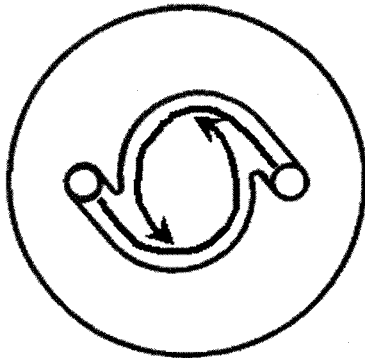


Fig. 12 The flow of fluid in type 1 nozzle core. (Dc 5.5 mm)

가정 할 때 와류실이 크면 와류실의 반지름이 커지고 유체의 속도가 느려진다. 게다가 와류실이 크면 마찰 면적도 커지게 되어 유체의 속도는 더욱 감소하게 된다. 따라서 와류실의 크기가 작을수록 회전 속도를 증가시켜서 분무입경을 작게 할 수 있다. 기존의 배부식 방제기의 노즐들이 크기를 작게 해서 여러 개를 부착해서 쓰는 한 이유가 된다.

그러나 와류실을 너무 작게 만들면 오리피스의 크기도 작게 되어 유량이 작게 되고, 유체의 흐름이 급격하게 바뀌는 현상이 있을 수 있으며, 유체의 회전이 원활하게 되지 않을 수 있고, 가공 상의 어려움으로 인해 가공이 매끄럽지 못하게 될 단점이 있다.

그림 13은 노즐 중자 유형 3번을 유입구를 기준으로 자른 단면을 나타낸 것으로 유체가(유입구 가로길이 1.0 mm) × (챔버 높이 1.5 mm) = 1.5 mm²의 면적으로 유입되어 와류실 내에서 회전을 일으킨다. 그림 14는 그림 13을 검은 선 부분으로 자른 단면이다.

그림 14는 유체가 유입구를 지나 반대쪽의 유입구 쪽으로 향할 때 그 중간 부분, 즉 45° 지점이다. 이 지점에서 원뿔로 인해 유로의 면적이 좁아짐으로 유체의 회전 속도가 빨라질 것으로 기대된다. 유체의 속도가 와류실로 들어올 때의 속도

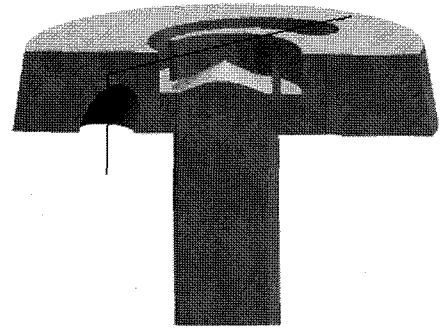


Fig. 13 Cross section of type 3 nozzle core.

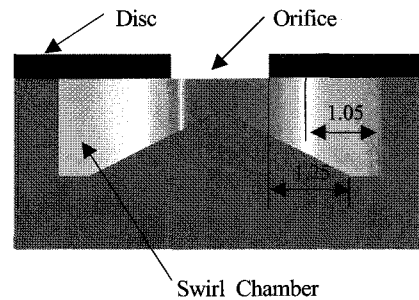


Fig. 14 Cross section of chamber of type 3 nozzle core.

와 같다면 띠 모양 유체는 가로 길이는 1.05 mm가 된다. 와류실 내에 원뿔 형태가 없을 때는 유체의 가로 길이가 1 mm 씩 점점 가운데 방향으로 띠 모양으로 회전하며 들어가겠지만 와류실 가운데에 원뿔 형태의 면이 있음으로 인해 유체의 가로 길이가, 반대 쪽 유입구의 부근에서는 약 1.27 mm 정도로 돌아 들어가기 때문에 반대 쪽 유입구에서 들어오는 유체와 만날 때에는 이미 오리피스로 유체가 분출되어 나간다. 유체가 보다 빨리 오리피스로 빠져 나가므로 회전에 의한 마찰 손실을 줄일 것으로 기대된다. 따라서 원뿔 형태의 면이 와류실 내에 있음으로 인해 유로가 좁아지고 마찰 손실을 줄일 수 있어서 유체의 속도를 증가시키는 것으로 판단된다.

그림 15, 그림 16, 그림 17은 각 중자 유형의 살포형을 압력 별로 나타낸 것이다. 세 가지 유형 모두 오른 쪽이 더 유량이 많은 것 같은데 그것은 오리피스 가공이 매끄러운 완전한 원이 아니고 약간의 흠집이 있는 원이어서 유체가 회전하며 분출 할 때 조금 걸려서 한 쪽으로 쏠리는 듯한 영향이 관찰되었기 때문이다.

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

그림 15-17에서와 같이 유형 1번은 압력이 3 kgf/cm²정도 일 때부터 어느 정도 균등한 살포형이 나오고, 유형 2번은 2 kgf/cm²

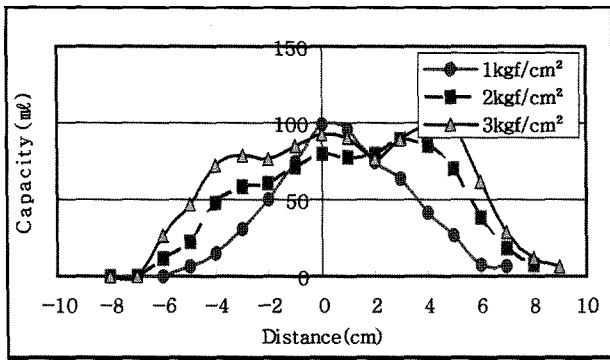


Fig. 15 Spraying type for the core type 1.

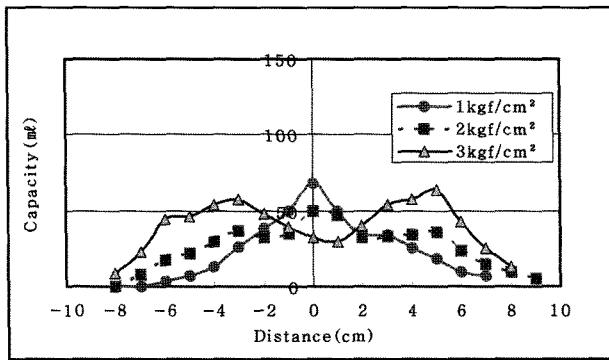


Fig. 16 Spraying type for the core type 2.

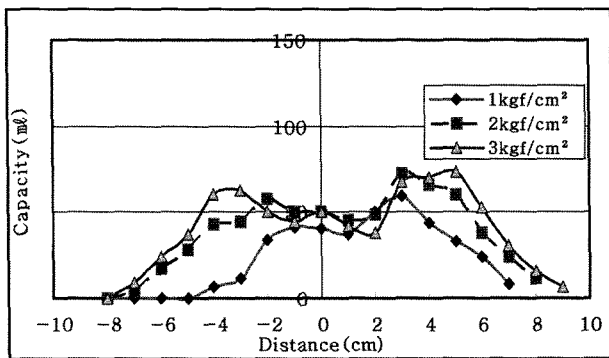


Fig. 17 Spraying type for the core type 3.

Table 2 Coefficient of variation for three nozzle models and three pressures

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

일 때부터 어느 정도 균등한 모양이 나오기 시작하며, 유형 3 번은 1 kgf/cm² 일 때부터 균등한 모양이 나오기 시작한다. 따라서 3번 유형이 분무 압력에 따른 살포형의 변화가 가장 적으므로 배부식 방제기처럼 압력의 변화가 예상되는 경우에 분무 성능이 가장 좋은 것으로 판단되었다.

5. 요약 및 결론

본 연구는 낮은 압력에서도 분무성능이 좋은 디스크형 노즐의 개발을 위한 목적으로 노즐의 설계 인자가 그 분무 성능에 미치는 영향을 분석하고 최저 분무압력을 더 낮춘 디스크형 노즐을 개발하고자 수행되었다. 노즐 설계 인자로는 디스크 두께, 오리피스 직경, 와류실 직경, 와류실 형상이었으며 3가지 형태의 와류실을 비교하였다.

- (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.

$$A = 3.95 \frac{1}{x} + 73.50 \sqrt{y} + 18.97 \sqrt{z} - 60.16$$

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

$$F = -89.95x + 611.09y + 620.50 \sqrt{z} - 868.20$$

증자 형상은 회전을 잘 일으키는 것일수록 분무유량이 감소한다. 분무량에 큰 영향을 끼치는 것은 오리피스 직경과 증자 형상이다.

- (3) 분무입경(V)은 액체의 유속에 큰 영향을 받는데, 회전 속도와 분출 속도가 클 때, 분무 입경은 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.

$$V=148.77x^4 - 746.85x^3 + 1311.76x^2 - 917.31x + 16.61y^3 - 75.16y^2 + 99.66y + 237.18/\sqrt{z} + 197.70$$

중자 형상은 회전을 잘 일으키는 것일수록 분무입경이 작아진다.

- (4) 살포형은 CV값을 비교 한 결과 중자 유형 1번은 3 kgf/cm²에서 26.7%, 중자 유형 2번은 2 kgf/cm²에서 23.6%, 중자 유형 3번은 1 kgf/cm²에서 20.6%로 중자 형상이 유체가 회전이 잘 되는 형상일수록 압력이 비교적 낮을 때에도 좋은 유형을 얻을 수 있다.
- (5) 중자 형상의 변화로 기존 노즐이 1.5 kgf/cm² 이상에서의 나타나는 분무 특성을 1.0 kgf/cm²에서 나타나도록 하여 분무성능을 향상시켰다.

향후 연구는 본 연구에서 수행된 노즐의 설계 인자들의 변화에 의한 분무특성에 관하여 이론적 접근과 수치적 해석을 통해 노즐 내부 유동과 외부의 유동을 분석하여 인자들의 영향을 보다 깊이 분석하고, 이들 토대로 분무특성을 예측할 수 있는 모델을 제시하여야 할 것이다.

참고문헌

- Sangwoo Lee, Jun Sakai and Tokumi Fujiki, 1988. Theoretical Analysis on the Swirl Type Nozzle (I) - About the structure of the Nozzle, J. of the Korean society for Agricultural Machinery 13(3):1-10.
- Sangwoo Lee and Jungsun Pan, Theoretical Analysis on the Swirl Type Nozzle (III) -Effects of Forces on the Droplet Formation, J. of the Korean society for Agricultural Machinery 14(3):196-206.
- C.J.Jung, Y.S.Choi, J.S.Choi, S.I.Cho and H.J.Kim, 1995. Research Paper : Design Factors of Boom Sprayer (I) - Spray Patterns of Nozzles -, J. of the Korean society for Agricultural Machinery 20-3 pp.217-225.
- C.J.Jung, Y.S.Choi, J.S.Choi, S.I.Cho and H.J.Kim, 1995. Research Paper : Design Factors of Boom Sprayer (II) - Spray Droplet Size and Coverage Characteristics on Rice Plants - J. of the Korean society for Agricultural Machinery 20-4 pp.313-322.
- Daejin Cho. 1999. A Study on the Analysis of Internal flow of Pressure Swirl Atomizer. Junbuk National Univ. Mechanical engineering doctoral dissertation.
- Hyungchul An. 1999. Spray Control System Development to Control Spraying Rate and Droplet Size Independently - Seoul National University Agri. Mechanical engineering a master's thesis.
- Giffen, E. and Muraszew, A. "Atomization of Liquid fuels", Chapman & Hall, London, 1953.
- Carlisle, D. R., "Communication on the performance of a Type of swirl Atomizer", proc. Inst. Mech. Eng, Vol. 169, pp. 101, 1956.
- Tipler. W., and Wilson, A. W., Combustion in Gas Turbines, Paper B9, Proceedings of the Congress International des Machines a Combustion(CIMAC), Paris, pp.897-927, 1959.
- Franz, E. 1993. Machine Vision Using Image Gradients for Spray-Deposit Analysis: Software Development. Trans. of the ASAE 36(6):pp.1955-1965.
- Dombroski, N. and Johns, W. R., "The Aerodynamic Instability and Disintegration of Viscous Liquid Sheets", Chem. Eng. Sci., Vol. 18, pp. 203 ~ 214, 1963.
- Ranganadha Babu, K, Narasimhan, M. V., and Naraynaswamy, k., "Correlation of The Characteristics of sprays produced by Swirl Atomizers", ILASS-82.
- L.F.Bouse. 1994. Effect of Nozzle type and operation on spray droplet size. ASAE 37(5) pp.1389-1400.