

과수원 내 다목적 살포에 적합한 이류체 노즐 개발에 관한 연구

A Study on the Development of Two-phase Nozzle Suitable for Multi-purpose Spraying in Orchards

한광호¹ · 강태경² · 이동인¹ · 이철희^{1,3*}

Kwang Ho Han¹, Tae Gyoung Kang², Dong In Lee¹ and Chul-Hee Lee^{1,3*}

Received: 03 Sept. 2020, Revised: 23 Sept. 2020, Accepted: 25 Sept. 2020

Key Words : CFD(전산유체역학), Orchard(과수원), Spray(분무), Two-phase Nozzle(이류체 노즐)

Abstract: In orchard or crop-growing environments, pesticides are sprayed using various nozzles to prevent pests and improve productivity. Nozzles currently in use are restricted for use in multi-purpose environments, thus, it is necessary to develop new nozzles. In this study, new two-phase nozzles are proposed to improve the performance of the nozzle (flow rate, spray angle, spray particle size). The performance of the two-phase nozzles are predicted through the CFD analysis and the performance of the nozzles is compared with the experiment. The experimental results showed that the proposed two-phase nozzles are available at relatively low operating pressure condition and are capable of extensive spray particle size control. Thus, the proposed nozzles are expected to be available in various orchard environments.

1. Introduction

노즐을 사용하여 관수 및 방제하는 방법은 농업분야에서 다양하게 쓰이고 있다. 최근, 농업 경영주 고령화로 노동력 절감형 과원 생산 체계 구축 필요성이 증가하였다¹⁻²⁾. 또한, 경영수지 악화 및 고령 농업인 은퇴로 노지 과수(사과, 포도) 경영규모가 늘어날 것으로 전망하고 있다. 과수원 농약 살포에 동력분무기 또는 스피드 스프레이어(Speed Sprayer)기를 사용³⁾하고 있으나, 재배양식 및 수관 용적 등을 고려한 적정 살포방법 제시⁴⁻⁵⁾가 미흡한 실정이다.

국내 과수원의 약 90%는 스피드 스프레이어를 통

한 농약 살포가 주를 이루고 있다. 대풍량 팬의 송풍구에 다수의 노즐을 배치하여 농약을 살포하는 기기이며 강한 바람의 힘으로 미세한 약액입자를 날리기 때문에 수관 밀도가 높은 과수의 내부까지 약액 입자의 침투율을 높일 수 있는 장점이 있다. 하지만 수관 내부에 부착되지 않은 입자들은 강한 바람에 의해 멀리 비산될 수 있는 단점이 있으며 살포한 약액의 약 65%는 지면으로, 약 15%이상은 과수원 외부로 비산되어 유출되는 경우⁶⁾가 있다.

이류체 노즐을 적절하게 배치할 경우 농약 사용량을 최소화하며 살포가 가능할 것으로 예상된다. 사과 등의 경우 농약 무살포 시 병해충에 의한 감수율이 높고 상품성에 의한 가격 차이가 크게 발생하므로 합리적인 농약 사용에 의한 병해충 방제⁷⁾가 필수적이다. 이류체 노즐은 일반 일류체 노즐보다 분무 입경을 더 미세하게 분무할 수 있으며, 소량의 농약으로도 방제효과를 극대화할 수 있어 농약의 손실을 줄이고 토양 및 수질의 오염을 방지⁸⁻⁹⁾하는 저공해 농산물의 생산을 보장할 수 있다. 또한, 농민을 방제작업의 중노동과 위험한 약해¹⁰⁾로부터 해방시키기 위해서는 방제의 자동화가 수반되어야 한다.

* Corresponding author: chulhee@inha.ac.kr

1 Department of Construction Machinery Engineering, Inha University, Incheon 22212, Korea

2 Department of Agricultural Engineering, National Institute of Agricultural Science, Jeonju 54875, Korea

3 Department of Mechanical Engineering, Inha University, Incheon 22212, Korea

Copyright © 2020, KSFC

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

본 연구에서는 분무 거리, 분무 각도, 넓은 입경 범위를 가질 수 있는 노즐을 제안하고 전산유체해석 및 실험을 통해 제안된 노즐의 성능을 비교 검증하였다.

2. Nozzle Design

2.1 기존 이류체 노즐 사양 분석

새로운 형태의 노즐을 설계하기 위해 기존에 사용되고 있는 이류체 노즐 사양을 분석하였다. 노즐 A와 B는 내부혼합 방식으로 출구에 캡을 씌워 기체와 액체가 캡 내부에서 섞인 후 출구로 분무가 된다. 노즐 C는 외부혼합 방식으로 기체 출구와 액체 출구가 분리되어 있다. 노즐 A는 노즐 B보다 캡 내부에 공기 통로가 하나 더 있어 액체를 잘 미립화하여 입경이 작게 분무된다. 노즐 C는 외부혼합 방식이기 때문에 기체 압력이 액체를 끌어들이는 효과가 있어 낮은 수압에도 분무 유량이 높다. 노즐의 사양 및 형태를 Table 1과 Fig. 1에 나타내었다. 노즐 A와 B는 외부혼합 방식인 노즐 C에 비해 분무 유량 및 입경이 작다. 노즐 C보다 분무 각도와 입경을 보다 크게 하기 위해 새로운 이류체 노즐을 개발하고자 하였다.

Table 1 Comparison results of nozzle specifications

Type	Flow rate (ml/min)	Spray angle (°)	Droplet size (μm)
Nozzle A	230	16.79	33.95
Nozzle B	86	13.27	47.19
Nozzle C	570	16.74	68.07

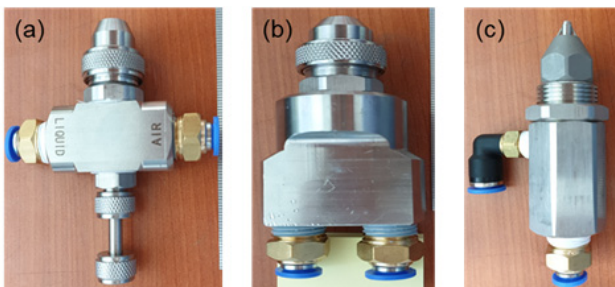


Fig. 1 Conventional Nozzles (a)Nozzle A (b)Nozzle B (c)Nozzle C

2.2 이류체 노즐 모델링

노즐의 성능(분무 유량, 각도, 입경 등)을 향상시키

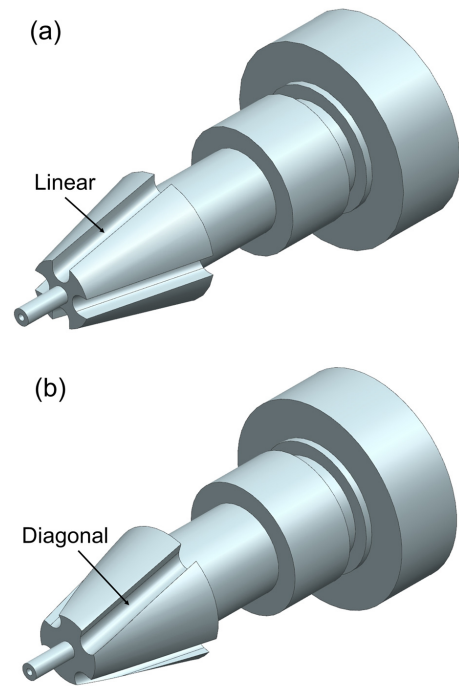


Fig. 2 Proposed nozzle design (a)Linear type (b) Diagonal type

기 위하여 두 가지 노즐 모델링을 진행하였고, 공기 흐름에 대해 선형 및 사선형태가 가능하도록 고려하였다. 외관으로는 기존 이류체 노즐과 유사한 직경 30 mm, 높이 60 mm의 원기둥 형태로 설계하였고, 내부에 공기가 흐르는 통로를 선형 타입과 사선 타입으로 모델링을 수행하였다. 두 종류로 설계한 이유는 공기가 직선 또는 나선으로 거동할 때의 차이점을 보고자 하였고, 그에 따른 내부 형상은 Fig. 2에 나타나있다.

3. CFD Analysis

3.1 해석 조건

설계한 이류체 노즐 모델링을 바탕으로 경향을 알아보고자 CFD 해석을 수행하였다¹⁾. ANSYS Fluent 2019 R2에서 다상(MultiPhase VOF) 모델과 k- ω SST 난류 모델을 사용하였다. k- ω SST 모델은 k- ω 모델과 k-e 모델의 장점을 가지고 있고, 서로 상호 교체하며 영역에 적용한다. 단점으로는 재부착의 유동 복원 문제에서는 결과 정확도가 상대적으로 떨어지지만, 본 연구에서는 무관하기 때문에 k- ω SST 난류모델을 사용하였다. 유체 물성 조건은 공기와 물(액체)의 물성치를 설정했고, 경계조건으로 공기 입구 압력(Air Inlet Pressure) 0.1MPa, 물 입구 압력(Water Inlet

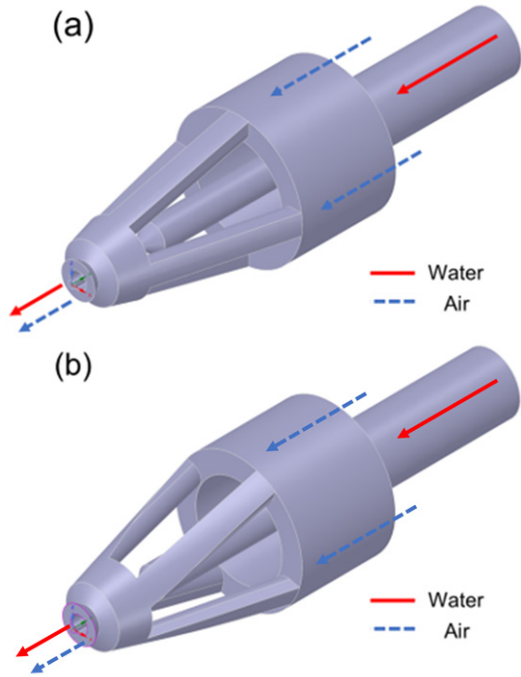


Fig. 3 Boundary Condition (a)Linear (b)Diagonal

Pressure) 0.025MPa, 출구 압력(Outlet) 대기압으로 설정하였다. 공기 및 물 입구 위치는 Fig. 3에 표시되어 있다.

또한, 액체 출구 직경의 변화로 인해 분무 속도가 달라지고 분무 거리가 달라지고, 과수원 내에 이류체 노즐을 설치하였을 때 분무 거리가 길수록 방제시스템 설치비용이 저렴해진다. 따라서 출구에서 100 mm 지점의 분무 속도를 분석하여 가장 멀리 분무할 수 있도록 액체 출구 직경 최적화를 수행하였다.

3.2 해석 결과

Fig. 4에 나타난 바와 같이 액체 출구 직경 최적화를 수행하여 가장 멀리 분무할 수 있는 최적의 액체 출구 직경인 1 mm로 선택하였다. 두 가지 노즐에 대한 다상유동 해석 결과는 Fig. 5에서 확인할 수 있다. 3차원 모델에 대한 해석 진행 후 중앙부 단면에서의 속도 변화를 나타낸다. 해석 결과를 확인했을 때 선형 형태(New-Linear)가 사선(New-Diagonal) 형태보다 분무 각도 및 속도에서 더 나은 값을 나타내었다. 사선 형태는 공기와 벽면의 마찰로 인해 속도는 느려졌지만 사선의 형태로 회전력을 가져 분무 각도는 더 커진 것으로 예상된다.

시뮬레이션한 결과를 Table 2에 나타내었고 기존 노즐 제품과 비교하여 분무 각도가 향상된 것을 확인할 수 있다.

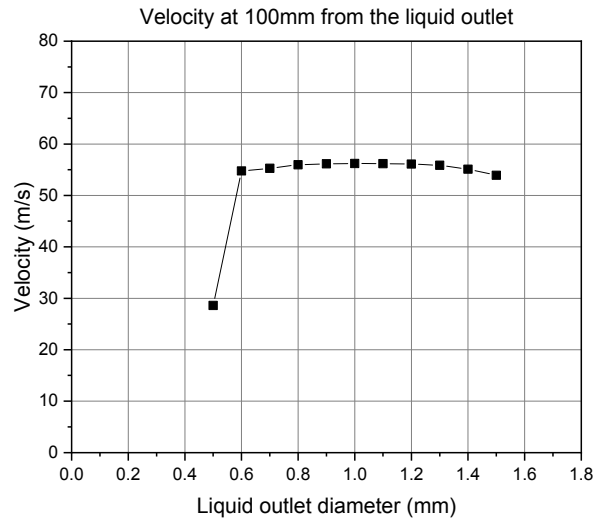


Fig. 4 Analysis of optimal liquid outlet diameter

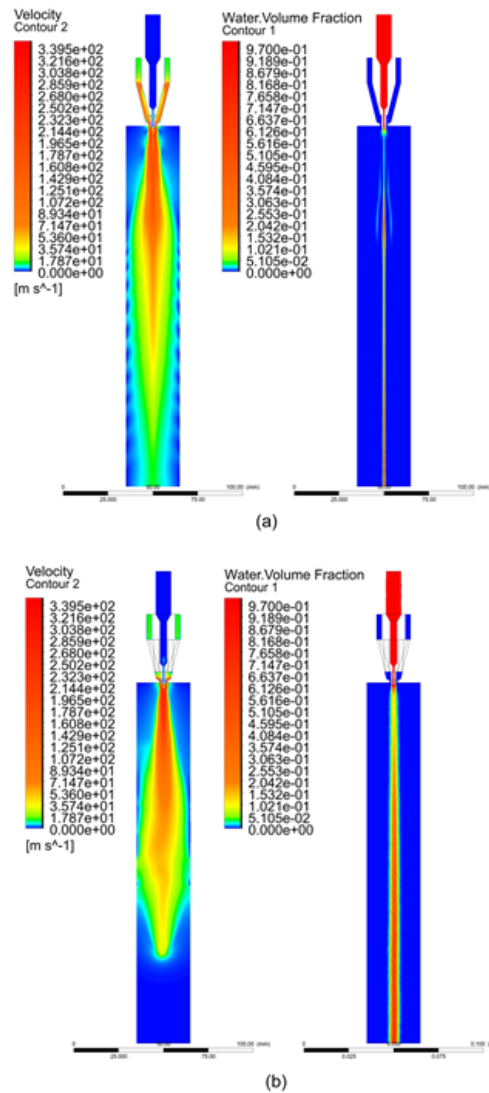


Fig. 5 Multiphase flow analysis results of mixture velocity and water volume fraction (a) Linear Type (b) Diagonal Type

Table 2 Multiphase flow analysis result

	New-Linear	New-Diagonal
Air inlet pressure	0.1 MPa	
Water inlet pressure	0.025 MPa	
Spray angle	19.30°	20.19°

4. Experimental results

4.1 실험 방법

개선된 이류체 노즐의 성능을 검증하기 위해 황동으로 가공하여 시제품을 준비하였고 기존 이류체 노즐과 함께 성능 평가를 수행하였다. 모든 실험은 3회 반복하여 평균값을 사용하였다. 노즐의 유량, 분무 각도, 분무 입자크기를 측정하기 위한 실험 구성은 Fig. 6(a)에서 확인할 수 있다. 노즐 작동을 위해 공기 압축기와 유체펌프를 사용하였고 노즐에서 분무가 진행되는 과정을 카메라로 녹화하여 분무 각도를 측정하였다. 또한, 입경 측정 장비(Malvern Panalytical Ltd, Malvern, UK)를 활용하여 분무 시 평균 입경 크기를 측정하였다. 분무 유량은 10초 동안 눈금실린더에서 줄어든 액체의 양을 측정하였고, 분무 각도는 분무 형상을 잘 보이도록 검은색 배경지를 노즐 반대편에 위치시키고, 사진을 촬영하여 사진 상에서 직선을 그어 분무 각도를 측정하였다. 분무 각도 및 분무 입경 측정에 대한 대표 사진은 Fig. 6(b)와 (c)에 나타나있다. 분무 입경의 경우 측정된 입자의 체적으로부터 평균 직경을 계산하였다.

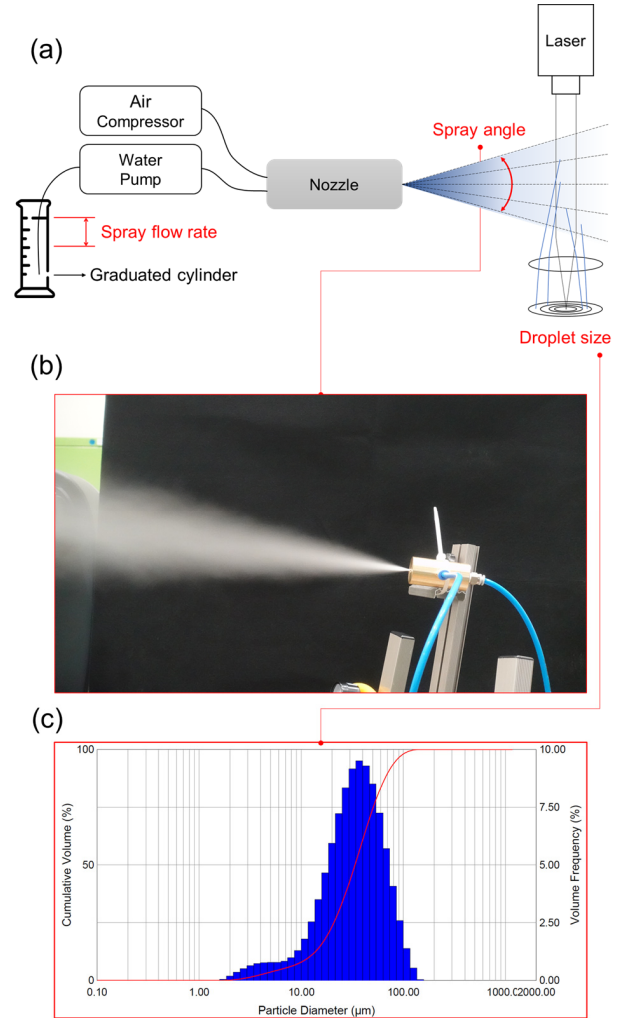


Fig. 6 Apparatus of test setup for measurement (a)schematic of test setup (b)spray angle measurement (c)droplet size measurement

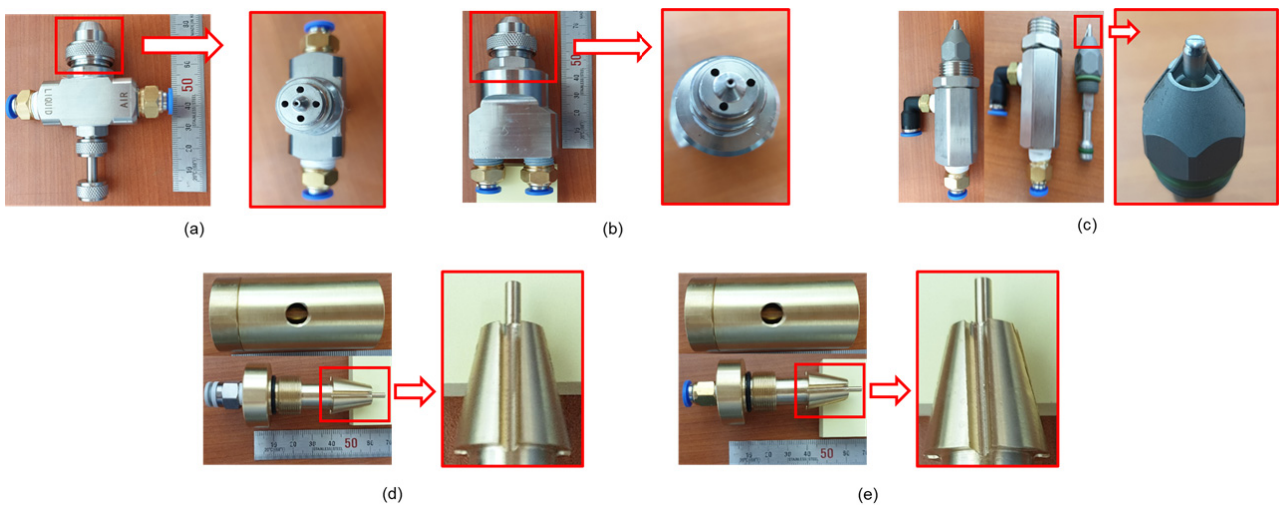


Fig. 7 Nozzles used for performance evaluation (a)Nozzle A (b)Nozzle B (c)Nozzle C (d)New-Linear (e)New-Diagonal

Table 3 The operating conditions of each nozzle

Type	Inlet pressure	
	Air (MPa)	Water (MPa)
Nozzle A	0.34	0.30
Nozzle B	0.10	0.07
Nozzle C	0.35	0.06
New-Linear	0.10	0.025
New-Diagonal	0.10	0.025

성능 평가에 사용된 이류체 노즐은 총 5종류이며 노즐 사진은 Fig. 7에서 확인할 수 있다. 또한 각 노즐의 사용 압력 조건은 Table 3에서 확인할 수 있으며 사용 압력의 80%, 100%, 120% 3가지 조건에서 하나의 노즐에 대해 총 9번 실험을 진행하였다.

4.2 실험 결과

기존 이류체 노즐과 개선된 이류체 노즐의 사용 압력 조건에서 실험한 결과를 Table 4에 나타내었다. 사용 압력에서는 분무 유량이 노즐 C가 가장 높았고 분무 각도 및 입경은 New-Diagonal이 큼을 알 수 있었다.

총 다섯 종류의 노즐에 대해 공압 및 수압 조건에 따라 유량, 분무 각도, 분무 입경 변화 결과는 Fig. 8에 나타나 있다. 노즐 A는 공압 100%, 수압 80%의 경우와 공압 120%, 수압 80%, 100%의 경우에서 분무가 되지 않았으며, 공압이 증가할수록 분무 유량 및 입경이 감소하지만 분무 각도는 큰 변화가 없는 것을 확인할 수 있다. 노즐 B는 노즐 A와 동일하게 공압이 증가할수록 노즐 분무 유량 및 입경이 감소

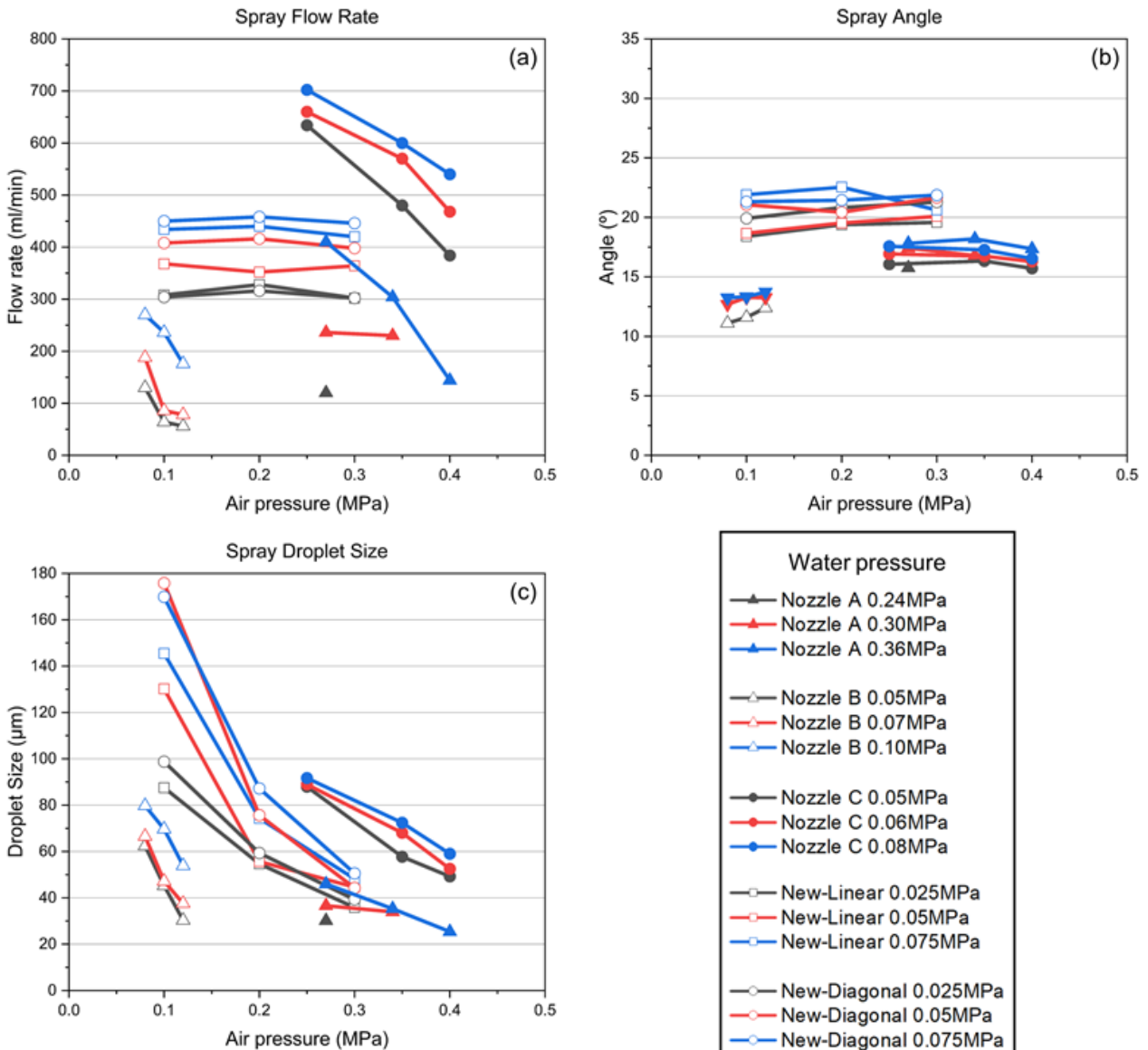


Fig. 8 Performance evaluation result (a)spray flow (b)spray angle (c)spray droplet size

Table 4 Performance for each nozzle

Type	Flow rate (ml/min)	Spray angle (°)	Droplet size (μm)
Nozzle A	230	16.79	33.95
Nozzle B	86	13.27	47.19
Nozzle C	570	16.74	68.07
New-Linear	308	18.49	87.55
New-Diagonal	304	19.92	98.78

하는 경향을 보이지만, 분무 각도는 미세하게 증가하는 경향을 나타낸다. 노즐 C는 공압이 증가할수록 분무 유량, 분무 각도, 입경이 모두 감소하는 경향을 나타내는 것을 확인할 수 있다. 공압 변화 조건에서 최대 유량 변화량은 노즐 A가 64.8%, 노즐 B가 58.5%, 노즐 C가 39.4%로 나타나는 것을 확인하였다. 새롭게 제작한 두 가지 노즐의 경우 공압 및 수압 변화에 따라 분무 유량은 일정하게 유지되는 것을 확인할 수 있다. 개선된 노즐의 분무 유량 평가 결과는 Fig. 8(a)에 도시된 바와 같이 New-Linear 및 New-Diagonal 가 노즐 A, B보다 많은 유량을 분무할 수 있고, 노즐 C보다 적은 유량이지만 공급 압력이 낮다는 점을 확인하였다. 또한, 공급 압력 변화에도 일정한 유량을 분무할 수 있는 장점이 있다.

분무 각도 평가의 결과는 Fig. 8(b)에서 확인할 수 있다. 모든 노즐의 경우 공압 및 수압 변화에 따라 분무 각도 변화에는 큰 변화가 없고 거의 일정하게 유지되는 것을 확인할 수 있다. 하지만 제안된 두 가지 노즐의 경우 다른 노즐에 비해 절대적으로 분무 각도가 증가하였고 이를 통해 더 넓은 범위에 분무가 가능할 것으로 예상된다.

Fig. 8(c)의 입경 측정 결과에서는 모든 노즐이 수압이 증가할수록 입경이 커지고 공압이 증가할수록 입경이 작아지는 경향을 나타낸다. 입경 변화량은 순서대로 44.74%, 51.40%, 44.01%, 66.87%, 74.84%로 확인할 수 있으며 개발된 노즐이 상대적으로 더 넓은 입경 변화를 나타내는 것을 확인할 수 있다. 개발된 노즐은 타 노즐보다 공급 압력 변동에 따른 입경 변화의 범위가 매우 넓어 사용 환경이나 필요에 따

라 입경을 달리해야 할 때 공급 압력을 조절하여 손쉽게 분무 입경을 조절할 수 있으며, 다양한 분야에도 적용할 수 있는 장점이 있다. 개선된 이류체 노즐의 또 다른 개선점으로는 기존 노즐 대비 사용 가능한 최소 압력이 낮아서, 이는 노즐에 압력을 제공하는 펌프 및 공기 압축기의 요구 성능을 낮출 수 있어 비용 절감의 효과가 있다.

5. Conclusion

본 논문에서는 과수원 내 다목적 살포에 적합한 이류체 노즐을 제안하고 전산유체해석 및 실험을 통해 성능을 비교 검증하였다. 연구의 결론은 아래와 같이 정리할 수 있다.

- 1) 유량, 분무 각도, 입경 변화량을 제어하기 위해 공기 흐름을 고려한 두 가지 이류체 노즐을 제안하였다.
- 2) 전산유체해석을 통해 제안된 두 가지 노즐의 분무 특성을 예측하였고 공기 흐름이 사선으로 적용되는 경우 분무 각도가 더 넓어지지만 분무 속도가 낮아 분무 거리는 짧을 것으로 예측하였다.
- 3) 다양한 노즐에 대해 유량, 분무 각도, 분무 입경 측정 실험을 진행하고 공압 및 수압 변화에 따른 특성을 확인하였다.
- 4) 개선된 이류체 노즐은 기존 노즐 대비 최소 사용 압력이 낮아졌으며 낮은 압력 조건에서도 높은 유량을 확보할 수 있고 입경 변화량을 크게 조절할 수 있다.
- 5) 최종적으로 노즐에 압력을 제공하는 펌프 및 공기 압축기의 요구 성능을 낮출 수 있으며 비용절감의 효과를 기대할 수 있고, 분무 각도는 기존 이류체 노즐보다 더 넓은 범위를 도포가 가능하여 다양한 분야에 적용이 가능할 것으로 예상된다.

후 기

본 성과물은 농촌진흥청 연구사업(세부과제번호: PJ014723012019)의 지원에 의해 이루어진 것임.

이해관계(CONFLICT OF INTEREST)

저자는 이 논문과 관련하여 이해관계 충돌의 여지가 없음을 명시합니다.

References

- 1) S. M. Yang and S. H. So, "Analysis of Longitudinal Change on Population in Rural and Farm Household", Proceedings of the Korean Society of Community Living Science Spring Conference, p.93, 2019.
- 2) B. K. Lee et al., "System Design for Developing the Remote Controlled Sprayer of Pear Trees", Protected Horticulture and Plant Factory, Vol.22, No.4, pp.303-308, 2013.
- 3) S.-W. Hong and R.-W. Kim, "CFD Modeling of Pesticide Flow and Drift from an Orchard Sprayer", Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers, Vol.60, No.3, pp.27-36, 2018.
- 4) H. Kwon et al., "Survey of Planting System and Pesticide Spray Method on Apple Orchards in Korea", Korean Journal of Pesticide Science, Vol.21, No.1, pp.9-16, 2017.
- 5) S. W. Lee et al., "A Report on Current Management of Major Apple Pests Based on Census Data from Farmers", Korean Journal of Horticultural Science and Technology, Vol.25, No.3, pp.196-203, 2007.
- 6) D. H. Lee et al., "Development of Electrostatic Sprayer System for Orchard", Research Report of National Institute of Agricultural Engineering, p.4, 2002.
- 7) J. Kim, J. Seol and H. I. Son, "Preliminary Experimental Results of a Deep Learning-Based Intelligent Spraying System for Pear Orchard", Journal of Institute of Control, Robotics and Systems, Vol.26, No.1, pp.23-28, 2020.
- 8) K.-A. Son et al., "Effect of Pesticide Residues on Perilla Leaf by Nozzle Types of Knapsack Sprayers", Korean Journal of Pesticide Science, Vol.16, No.4, pp.282-287, 2012.
- 9) H.-N. Hyun et al., "Evaluation of Groundwater Contamination Potential of Pesticides Using Groundwater Ubiquity Score in Jeju Island Soils", Korean Society Of Pesticide Science, Vol.11, No.3, pp.144-153, 2007.
- 10) J. Y. Lee et al., "Exposure Assessment of Apple Orchard Workers to the Insecticide Imidacloprid Using Whole Body Dosimetry During Mixing/Loading and Application", Korean Journal of Pesticide Science, Vol.20, No.3, pp.271-279, 2016.
- 11) J.-M. Jin et al., "Effects of Sheath Flow Nozzle Shape on the Focusing Efficiency of Aerosol Particles", KSFM Journal of Fluid Machinery, Vol.22, No.4, pp.13-18, 2019.