

RESEARCH ARTICLE

논 콩 항공방제시 비행조건에 따른 비산저감노즐과 관행노즐의 방제 성능 분석

이춘구¹, 유승화^{1*}, 이지근², 강영호³

¹국립농업과학원 농업공학부, ²전북대학교 기계시스템공학부, ³전라북도 농업기술원

Effect of Flight Conditions on Spraying Performance using Unmanned Aerial Vehicle with air induction and conventional nozzle in soybean field

Chun gu Lee¹, Seung-Hwa Yu^{1*}, Jeekeun Lee², Youngho Kang³

¹National Institute of Agricultural Science, Rural Development Administration, Jeonju, Republic of Korea

²Division of Mechanical System Engineering, Jeonbuk National University, Jeonju, Republic of Korea

³Jeollabuk-do Agricultural Research & Extension Science, Iksan, Republic of Korea

*Corresponding author: llccgg@korea.kr

Abstract

The purpose of this study is to analyze the effects of nozzle types and flight conditions of Unmanned Aerial Vehicle on spraying performance in field condition. Octocopter with conventional nozzles and developed nozzle was tested in soybean field. The performance of nozzles were evaluated in terms of the coverage and penetration ratio according to three flight speed (2,3,4 m/s) and three flight altitude (2,3,4 m). Spray droplets were collected with water sensitive paper at upper and middle part of plant. As a result of the experiment, the coverage of the developed nozzle was higher than that of the conventional nozzle under all conditions. As the flight speed increased, the coverage of both nozzles decreased, with the conventional nozzle decreasing even more. As the flight altitude increased, the coverage decreased, but the difference was not significant. In the case of spray droplet penetration rate, developed nozzle was higher than conventional nozzle. As a result of analysis, it was found that the developed nozzle had better spraying performance than the conventional nozzle. And since an increase in flight speed has a large effect on the coverage, it seems that the effective application rate of the plant protection product should be identified.

Keywords: Air induction nozzle, Coverage, Soybean, Sprayer, UAV

Introduction

콩은 한국에서 식재료로 흔하게 이용되는 작물이나 수입 의존도가 높아 자급률이 2020년 기준 30.4% 수준에 불과하다(MAFRA, 2021). 콩의 낮은 생산성으로 인하여 재배 면적과 생산량이 점차



OPEN ACCESS

DOI: <https://doi.org/10.12972/jame.20220003>

Received: October 05, 2021

Revised: December 06, 2021

Accepted: December 06, 2021

Copyright: © 2022 Journal of Agricultural Machinery Engineering



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

감소하는 추세로 콩 자급률 향상을 위해서는 기계화를 통한 생산성 향상이 시급하다. 그러나 국내 콩 재배 농가의 경우 재배 면적 0.1 ha 미만의 소규모 농가가 많고 포장이 중·산간지에 위치한 경우가 많아 기계화 추진에 어려움이 존재한다(RDA, 2021)

최근 동아시아를 중심으로 점차 사용량이 증가하고 있는 드론을 이용한 무인항공방제의 경우 작업의 편의성 및 다양한 장점으로 인하여 밭의 규모나 형상, 위치에 관계없이 작업이 가능하여 콩의 생산성을 높여줄 것으로 기대된다(Xiongkui et al., 2017; Tsouros et al., 2019; Chen et al., 2021). 현재는 방제 작업에 한정되어 있지만 추후 다른 작업기의 개발을 통한 기계화 추진에 발판을 마련할 수 있을 것으로 보인다. 다만 무인항공방제의 경우 비산으로 인한 피해가 발생할 수 있다(Gilbert and Bell, 1988; Gil et al., 2018). 비산이란 바람 등에 의한 영향으로 분무 입자가 목표 지점 바깥으로 이탈하는 현상을 말한다(ISO, 2005). 비산을 저감하기 위하여 다양한 연구들이 진행되고 있으며 그 중 공기흡입형 노즐(AI, Air induction)노즐을 많이 사용한다(Derksen et al., 2007; Guler et al., 2007). 국내 연구팀이 비산 저감 효과를 가진 공기흡입형 노즐(AI, Air Induction)을 국산화하였다(Yu et al., 2020; Dafsari et al., 2021). AI 노즐은 공기 흡입을 통하여 관행 노즐(XR, DG)보다 큰 분무 입자를 갖는 노즐로 연구실에서의 분무 입자의 크기나 분사각도와 같은 기초적인 성능 평가는 수행 하였으나 현장 비행 조건에서의 성능 평가는 아직 부족한 상황이다.

본 논문은 신개발 노즐의 현장 적용성을 분석하기 위하여 관행 노즐 방제 성능과 신개발 노즐 방제 성능을 비교하여 평가하였다. 비교 평가는 논 콩 포장에서 실시하였으며 비행 조건에 따른 방제 성능을 비교하였다. 비행 속도와 비행 고도를 3단계로 조절하면서 분무 입자의 피복률을 측정하였고, 작물 내부로 전달되는 침투율에 대한 분석을 수행하였다. 이를 활용하여 AI 노즐의 현장 적용성을 검토하고 분무 성능을 향상시키기 위한 비행조건을 연구하고자 하였다.

Materials and Methods

실험 환경 및 작물 생육 정보

실험은 2021년 10월 5일에 전북 김제시 봉남면 일원의 4,000 m²의 논콩 포장에서 실시하였다(Fig. 1). 논콩의 시험품종은 대찬콩으로 5월 17일에 60×20 cm의 재식간격으로 1주 2분 휴립점파를 실시하였다. 콩의 시비량은 N-P₂O₅-K₂O를 각각 성분량으로 3-3-3.2 kg/10a를 사용하였으며, 전량 파종전 전층시비 및 경운·정지하였다. 경장은 38.6 cm이었고 분지수는 13개/주 마디수는 12개/주였다. 실험 당시 콩의 생육은 양호한 상태였다. 실험 중 온도와 풍속은 휴대용 기상측정 장치(Kestrel 5500 weather meter, KestrelMeters, USA)를 이용하여 측정하였다. 실험 당시 현장의 온도는 23.93±1.67°C이었고 풍속은 1.76±0.84 m/s 이었으며 날씨는 맑았다.



Fig. 1. View of experiment field.

분무 시스템과 수집 시스템

본 연구에서는 선행연구에서 개발한 신개발 비산 저감 노즐(AI)과 관행 노즐(XR110015, Teejet)을 이용하여 실험을 수행하였다. 신개발 노즐은 공기흡입형 노즐(Air Induction nozzle, AI nozzle)로 노즐내 흡입한 공기를 물과 혼합하여 내부에 공기 방울을 포함한 분무 입자를 생성하게 한다. 노즐에 대한 자세한 내용은 선행 연구에 기재하였다(Dafsari et al., 2021). 그 결과 관행 노즐에 비하여 분무 입자의 체적중위직경(Volume Median Diameter, VMD)가 커지게 되고 비산이 감소하는 장점을 가지게 된다. VMD는 분무입자들의 부피를 직경별로 나열한 후 누적 체적이 50%가 되는 지점의 직경을 의미하며 분무입자의 크기를 나타내는데 사용하는 대푯값 중 하나이다. 개발한 AI 노즐의 VMD는 384 μm 로 관행 노즐에서 분무된 입자보다 2배 컸다.

실험을 위하여 8개의 로터를 가진 멀티콥터(SG-10P, 한국삼공, 대한민국)을 이용하였다(Fig. 2). 멀티콥터에는 4개의 노즐이 장착되었으나 일반적인 농약 살포량인 1 ha당 8 L를 만족하기 위하여 전방의 2개만을 이용하여 실험을 수행하였다. 노즐들의 위치는 로터의 수직 아래였고 노즐간의 수평거리는 158 cm 였다. 실험 시 분무 장치의 설정은 ASABE와 ASTM의 기준을 참고하였다(Table 1) (ASABE,2009; ASTM, 2003).



Fig. 2. Unmanned Aerial Spray System (SG-10P).

Table 1. Spraying System setting value

Nozzle	Pressure	VMD	Flow rate (per nozzle)	Spray angle
XR	280 kPa	189 μm	780 LPM	110°
AI	280 kPa	384 μm	775 LPM	110°

방제 성능을 측정하기 위하여 실험 현장에 감수지를 설치하여 분무 입자를 수집하였다. 감수지는 표면에 직경 50 μm 이상의 물방울이 접촉되는 경우 색상이 변화하여 분무 입자의 거동을 파악할 수 있어 방제 시험에 널리 사용하는 재료이다 (Wallace and Yoshida, 1978; Salyani et al., 2013). 일반적으로 사용하는 76 mm \times 52 mm 크기의 감수지를 이용하였다. 각도조절라벨을 이용하여 콩의 상부와 하부에 감수지를 설치하였다. 감수지는 비행 중심선을 기준으로 센터와 좌우 2 m 지점에 설치하여 3개를 1세트로 제작하였으며 진행 방향으로 3세트를 설치하여 3반복 데이터를 수집하여 평균값을 이용하여 분석을 수행하였다. 실험 후 수집된 감수지를 영상분석장치를 이용하여 분석하였다. 영상분석장치의 카메라(mvBlueFOX3, MatrixVision, Germany)를 이용하여 감수지의 영상을 취득하였다 (Table 2). 취득한 영상은 Python을 이용하여 자체 제작한 프로그램을 이용하여 분석하였다. HSV 색 공간을 이용하여 수집기와 분무 입자가 부착되어 색상이 변한 부분을 인식하여 수집기 전체 면적 대비 색상이 변한 부분의 면적인 피복률(coverage)을 계산하였다(Equation 1).

$$\text{Coverage} = \frac{\text{The gross area of water eposited}}{\text{The gross area of collector}} \tag{1}$$

Table 2. Specification of image sensor

Image Sensor	Sony IMX540, CMOS
Resolution	5,328 × 4,608 pixels
Sensor size	3.048cm
Sensor type	Mono
Frame rate	15.4 fps
Pixel Size	2.74 μm × 2.74 μm

노즐 종류와 비행 조건이 피복률과 침투율에 미치는 영향

비행조건이 방제 성능에 미치는 영향을 분석하기 위하여 드론의 비행 고도를 3단계(2,3,4 m)로 변화시키고 비행 속도도 3단계(2,3,4 m/s)로 변화시키면서 실험을 수행하였다. 이 때 부착량은 상부의 결과만을 이용하여 분석하였다. 또, UAV에서 분무된 입자가 작물에 전달될 때, 작물의 상부에 비해 작물의 하부에 전달되는 분무 입자의 양이 적다. 항공방제의 경우 고농도의 약액을 사용하여 단위면적당 방제량이 적기 때문에 작물 내부에 병해충이 발생하는 경우 방제 효과가 떨어질 수 있다. 실제 작물 내부에 전달되는 약액의 비율을 분석하기 위하여 상부와 하부의 감수지에 부착된 분무 입자를 이용하여 침투율(penetration ratio)을 측정하였다(Equation 2).

$$\text{Penetration ratio} = \frac{\text{Coverage}_{\text{lower collector}}}{\text{Coverage}_{\text{upper collector}}} \tag{2}$$

Results and Discussion

노즐 종류와 비행 조건이 피복률에 미치는 영향

비행 속도에 의한 피복률의 변화를 분석한 결과 피복률은 비행 속도가 증가할수록 감소하였다(Fig. 3). 비행 속도가 증가하는 경우 로터의 추력과 기체의 pitch값이 증가하여 분무 입자의 비산이 증가하게 된다. 이에 따라 감수지들의 피복률이 감소하였다. 피복률이 감소하면 물방울 입자의 측정이 어렵고 수집기 간의 차이를 식별하기 어렵게 되므로 항공 방제시 비행 속도에 대한 제한이 필요하다고 판단된다. 노즐별 감소율은 관행 노즐(73%)이 AI 노즐(53%)에 비하여 높았다. XR 노즐의 VMD가 작아 바람에 의한 영향을 더 많이 받았기 때문으로 보인다.

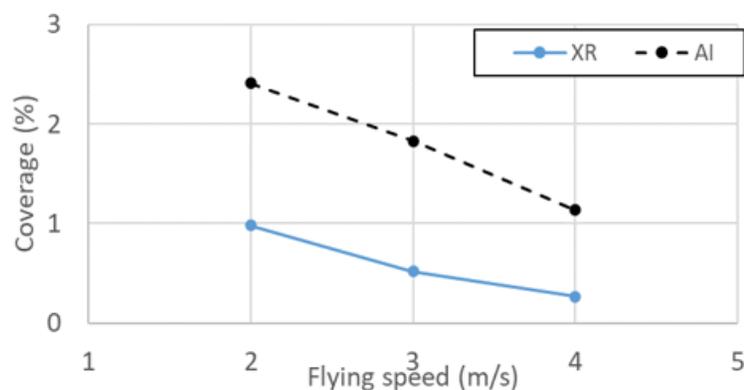


Fig. 3. Effect of flying speed on coverage

비행 고도에 의한 피복률의 변화를 분석한 결과 피복률은 비행 고도가 증가할수록 감소하였다(Fig. 4). 비행 고도가 증가하는 경우 낙하하는 거리가 증가하여 단위 면적당 떨어지는 분무 입자의 양이 감소하게 된다. 또 측면풍에 의한 영향을 더 많이 받게 되어 비산도 증가하게 된다. 이에 따라 감수지들의 피복률이 감소하였다고 판단된다. 비행 속도와 같은 이유로 항공 방제시 비행 고도에 대한 제한도 필요하다고 판단된다. 노즐별 감소율을 비교해보면 XR 노즐(50%)이 AI노즐(9%)에 비하여 더 많이 감소하였다. 이 경우도 VMD에 의한 영향으로 판단된다. 다만 AI 노즐의 경우 2m와 3m 고도 조건에서 실험하였을 때 두 조건 간의 피복률의 차이가 없었는데, 이는 실험 당시 기상 환경 등에 의한 영향으로 2m 조건의 실험 데이터 3세트 중 한 개 세트의 데이터가 다른 두 세트의 데이터의 절반 정도의 피복률이 측정되어 발생한 것으로 보인다.

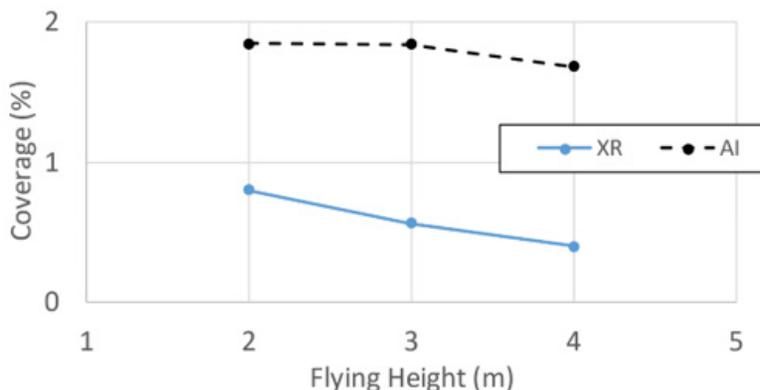


Fig. 4. Effect of flying height on coverage

노즐 종류와 비행 조건이 침투율에 미치는 영향

비행 속도에 따른 침투율을 분석한 결과 XR 노즐에서는 비행 속도가 증가할수록 침투율이 감소하였으나 AI 노즐에서는 일정한 경향성을 나타내지 않았다(Fig. 5). XR 노즐을 사용하여 방제를 수행하는 경우 작물의 비행 속도에 대한 제한이 필요할 것으로 보인다.

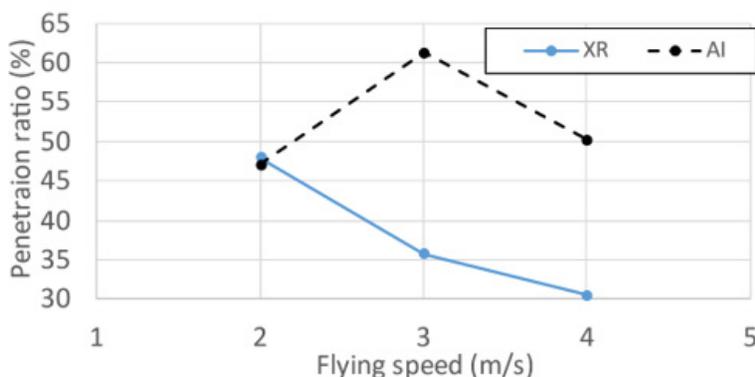


Fig. 5. Effect of flying speed on penetration ratio

비행 고도에 따른 침투율을 분석한 결과 AI 노즐에서는 비행 고도가 증가할수록 침투율이 증가하였고, XR 노즐에서는 비행 고도가 증가할수록 침투율이 감소하였다 (Fig. 6). XR 노즐의 경우 고도에 따라 피복률이 감소한 영향에 의한 것으로 보이고 AI 노즐의 경우 4m 고도 비행에서 일부 수집기에서 하부의 수집기가 더 높게 측정되어서 발생한 문제로 보인다.

대부분의 경우 AI 노즐을 사용하였을 경우의 침투율이 더 높은 것으로 나타나 AI 노즐이 방제용으로 사용하기에 더 적합한 것으로 판단된다.

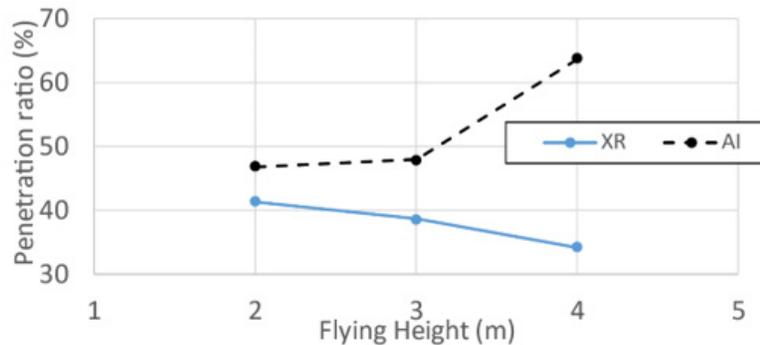


Fig. 6. Effect of flying height on penetration ratio

Conclusion

선행 연구를 통하여 개발한 AI 노즐의 방제 성능을 확인하기 위하여 다양한 비행 조건에서 실제 방제를 수행하면서 피복률과 침투율을 측정하고 관행노즐과의 비교를 수행하였다.

실험은 2021년 가을 전복 김제의 논콩 포장에서 수행하였으며 옥타콥터를 이용하여 방제를 수행하였다. 노즐은 AI노즐과 관행 노즐을 이용하였고 VMD는 각각 384 μm , 189 μm 였다. 비행조건은 속도(2,3,4 m/s)와 고도(2,3,4 m)를 조절하였다. 감수지를 사용하여 피복률을 측정하였고 상부와 하부의 피복률의 비를 이용하여 침투율을 분석하였다.

실험 결과, 비행 속도와 비행 고도가 증가하는 경우 분무 입자의 피복률이 감소하였다. 분무 입자의 부착량이 적어지면 방제 효과가 감소하기 때문에 항공 방제시 비행 속도와 비행 고도를 제한하는 것이 필요하겠다. 침투율의 경우 관행 노즐은 비행 고도와 속도가 증가할수록 감소하였고 AI 노즐은 특별한 경향이 없는 것으로 나타났다.

두 노즐을 비교한 결과 AI 노즐이 대부분의 실험 조건에서 피복률과 침투율이 높게 나타나서 관행 노즐을 대체하여 무인 항공방제용으로 사용하기에 적합한 것으로 판단된다. 다만 신규로 개발된 제품인 관계로 제품 가격이 높은 문제점이 있다. 추후 국내에 보급량이 증가하면 경제적인 문제는 해결될 것으로 기대된다.

Acknowledgements

본 연구는 농촌진흥청 농업과학기술 연구개발사업(과제번호: PJ01557501)의 지원에 의해 이루어진 것임.

References

- ASABE. 2009. Spray nozzle classification by droplet spectra. In ANSI/ASABE. S572.3:2009.
- ASTM, 2003. Standard practice for determining data criteria and processing for liquid drop size analysis. In ASTM E799-03:2003

- Chen H, Lan Y, Fritz BK, Hoffmann WC, and Liu S. 2021. Review of agricultural spraying technologies for plant protection using unmanned aerial vehicle (UAV). *Int J Agric & Biol Eng* 14(1):38-49.
- Dafsari RA, Khaleghi M, Yu SH, Choi Y, and Lee JK. 2021. Design and Performance Evaluation of Air Induction (AI) Nozzles to Reduce Drift Potential for Agricultural Unmanned Aerial Vehicles (UAVs). *Journal of Biosystems Engineering* 46(4):462-473.
- Derksen RC, Zhu H, Fox RD, Brazee RD, and Krause CR. 2007. Coverage and Drift Produced by Air Induction and Conventional Hydraulic Nozzles Used for Orchard Applications. *Transactions of the ASABE* 50(5):1493-1501.
- Gil E, Llorens J, Gallart M, Gil-Ribes J, and Miranda-Fuentes A. 2018. First attempts to obtain a reference drift curve for traditional olive grove's plantations following ISO 22866. *Sci Total Environ* 627:349-360.
- Gilbert A, and Bell G. 1988. Evaluation of the drift hazards arising from pesticide spray application.
- Guler H, Zhu H, E. Ozkan H, C. Derksen R, Yu Y, and R. Krause C. 2007. Spray Characteristics and Drift Reduction Potential with Air Induction and Conventional Flat-Fan Nozzles. *Transactions of the ASABE* 50(3):745-754.
- ISO.2005.22866: Equipment for crop protection — Methods for field measurement of spray drift. ISO.
- MAFRA. 2021. 2021 Major Statistics on Agriculture, Food and Rural Affairs. MAFRA, Sejong, Korea. [in Korean]
- RDA. 2021. Bean. Farming skill guide No. 116 RDA, Jeonju, Korea. [in Korean]
- Salyani M, Zhu H, Sweeb RD, and Pai N. 2013. Assessment of spray distribution with water-sensitive paper. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal* 15(2):101-111.
- Tsouros DC, Bibi S, and Sarigiannidis PG. 2019. A Review on UAV-Based Applications for Precision Agriculture. *Information* 10(11).
- Wallace K, and Yoshida K. 1978. Determination of dynamic spread factor of water droplets impacting on water-sensitive paper surfaces. *Journal of Colloid and Interface Science* 63(1):164-165.
- Xiongkui H, Bonds J, Herbst A, and Langenakens J. 2017. Recent development of unmanned aerial vehicle for plant protection in East Asia. *Int J Agric & Biol Eng* 10(3):18-30.
- Yu SH, Kim YK, Jun HJ, Choi IS, Woo JK, Kim YH, Yun YT, Choi Y, Alidoost R, and Lee J. 2020. Evaluation of Spray Characteristics of Pesticide Injection System in Agricultural Drones. *Journal of Biosystems Engineering* 45(4):272-280.