

드론을 이용한 등검은말벌집용 약제 분무시스템 시작기 제작

이춘구, 유승화*
국립농업과학원

Development of Prototype of Pesticide Spraying System for *Vespa velutina nigrithorax* Hive Using Agricultural Drone

Chun Gu Lee, Seung-Hwa Yu*
National Institute of Agricultural Sciences

요약 2003년부터 국내에 확산한 등검은말벌로 인한 양봉 농가들의 피해가 심각하다. 등검은말벌을 방제하기 위하여 다양한 방법들을 사용하고 있으나 말벌집이 나무 위에 위치하여 접근이 어렵다. 농업용 드론은 비행할 수 있고 필요한 기능에 따라 다양한 작업기의 부착이 가능하므로 등검은말벌집을 제거하기에 적합할 것으로 판단된다. 이에 따라 본 연구에서는 등검은말벌집용 약제 분무 시스템의 시작기를 제작하고 평가하였다. 약제 분무 시스템은 원거리에서 방제용 약액 분사를 위한 분사대가 장착된 분무 시스템, 탄환을 발사하여 말벌집에 구멍을 뚫어 직간접적인 방제 효과를 노리는 타공장치, 작업자의 드론 조정 및 분무 시스템의 조준을 위한 모니터링 장치, 장치들을 제어하고 분무 시스템 및 타공장치의 각도를 조절하는 원격 통신 장치로 구성되었다. 실내에서 약제 분무 시스템의 원격제어 성능 테스트를 진행한 결과 20m까지 정상적으로 작동하였다. 타공장치와 분무 시스템의 정확도를 측정한 결과 5m까지는 탄환과 분무액이 정확하게 도달하고 정밀도도 높게 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 타공장치를 이용하여 5m 거리에서 말벌집에 구멍을 뚫은 결과 구멍이 생성되는 것을 확인하였다. 따라서 본 약제 분무 시스템을 이용하여 말벌집 방제를 수행하는 경우 말벌집으로부터 5m 이내까지 근접할 필요가 있겠다. 개발한 시작기를 이용하여 현장에 발생한 등검은말벌집에 방제를 수행한 결과 원거리에서 효과적으로 말벌집 방제를 수행하였다. 향후 보안을 통하여 비행시간을 증가시키고 작업 거리를 증가시키는 등의 개선을 수행하여 최종 시제품을 제작하면 국내 등검은말벌의 개체 수를 줄이는 데 일조할 수 있을 것으로 기대된다.

Abstract The damage to beekeepers due to the Asian hornet is serious. Various methods are used to control the Asian hornet. A hornet hive is difficult to remove because of its location. Agricultural drones are suitable for removing the hive because they can fly, and various working devices can be attached. Accordingly, a prototype of a pesticide spraying system for Asian hornet hives was manufactured and tested. The prototype consisted of a spraying system, a perforation device, a monitoring system, and a remote control system. The remote control performance of the prototype was tested, and it operated normally. The accuracy of the perforation device and the spraying system was good, up to 5m, with reasonable precision. Holes were made due to the use of a perforation device in 5m. Therefore, it is necessary to approach the hive within 5m with the operator control using this spraying system. The developed prototype was effective in controlling the Asian hornet hive in the field. This prototype is expected to help reduce the number of Asian hornet populations by making final prototypes by performing improvements.

Keywords : Drone, Pest Control, Remote Control, Spray System, *V. Velutina*

본 연구는 농촌진흥청 농업과학기술 연구개발사업(과제번호:PJ01497003)의 지원에 의해 이루어진 것임.

*Corresponding Author : Seung-Hwa Yu(National Institute of Agricultural Sciences)

email: llccgg@korea.kr

Received September 19, 2022

Revised November 1, 2022

Accepted November 4, 2022

Published November 30, 2022

1. 서론

말벌속(Genus *Vespa*)은 분류학적으로 벌목(Order Hymenoptera), 말벌과(Family Vespidae)에 속한다[1]. 말벌은 일반 벌에 비하여 크기가 크며 식물들의 수분을 돕거나 해충을 방제하는 유익한 임무를 수행하나 사람들을 공격하거나 양봉농가들의 꿀벌을 잡아먹는 문제도 일으킨다. 말벌의 독은 인간의 생명을 위협할 수 있고 소수의 말벌만으로도 꿀벌 수만 마리가 죽을 수 있어서 정부나 양봉 업계에서는 말벌로 인한 피해를 방지하기 위해 노력하고 있다.

국내에서 보고된 말벌은 약 9종이었다가 2006년 등검은말벌(*V. velutina*)이 추가되어 총 10(아)종이 되었다[2]. 등검은말벌은 2003년 부산에서 채취된 표본을 통하여 첫 보고가 이루어졌으며[3], 2005년을 기점으로 부산 전역의 양봉농가에 피해가 발생하였고 2008년에는 부산 인근으로 확대되며 점차 전국으로 확산하고 있다. 말벌 개체의 위력은 장수말벌이 더 강하지만 등검은말벌이 속도가 빠르고 개체 수가 많아 가장 문제가 되고 있다. 2019년부터 환경부에서 생태계 교란 생물로 지정하였다. 등검은말벌로 인한 피해액의 경우 방제 비용과 피해액을 합산하면 약 1,750억 원 이상의 경제적 손실을 일으킬 것으로 추정하고 있다[4]. 이에 따라 등검은말벌에 대한 방제 방법을 마련하는 것이 필요하다.

등검은말벌은 대부분 10m 이상의 큰 나무 상단에 집을 짓기 때문에 지상에서 직접적으로 제거하기 어렵다. 그래서 현재는 등검은말벌 방제를 위하여 착농약송환법, 포획법과 같은 방법들을 주로 사용하고 있다[5]. 그러나 확실한 방제 효과를 위해서는 말벌집을 탐색하여 그 안에 서식하는 여왕벌을 제거하는 방법이 필요하다.

최근 농업 분야에서, 많은 관심을 받는 농업용 드론은 비행할 수 있고 목적에 따른 작업기의 부착이 가능하다는 장점으로 인하여 다양한 농작업에서 활용되고 있다[6]. 이런 농업용 드론을 활용하는 경우 높은 곳에 있는 말벌집에 약액을 분사하는 작업이 가능할 것으로 판단된다. 해외에서도 드론을 활용하여 말벌을 탐색하는 연구는 진행되고 있으나 방제 방법에 관한 연구는 부족한 상황이다[7]. 기존의 방제용 드론과는 달리 수평 방향으로 직분사를 해야 하므로 분무 시스템의 수정이 필요하며, 말벌집의 구조상 외부에서 분사하는 약액이 말벌집 내부까지 전달되지 않으므로 이를 보완하기 위한 장치가 필요하다. 또 원거리에서 작업하기 위한 장치들도 필요하다.

본 연구에서는 등검은말벌집 방제를 위하여 드론에 탑재할 수 있는 분무 시스템을 설계하여 제작하고자 하였다. 말벌집 내부에 약액을 전달하기 위하여 약액 분무 장치와 타공장치를 설계하였다. 말벌집이 높은 곳에 있는 만큼 원격 제어 장치와 모니터링 장치도 설계하였다. 이를 활용하여 성능 테스트를 수행하여 등검은말벌 방제를 위하여 사용하기에 적합한지 평가하였다.

2. 시작기 설계 및 제작

2.1 시스템 개요

시스템을 위한 요인 분석은 선행 연구를 통해서 수행하였다[8]. 등검은말벌 방제용 약제 분무 시스템의 구성도를 Fig. 1로 나타내었다. Fig. 1에서 보는 것과 같이 등검은말벌 방제용 약제 분무 시스템은 분무 시스템, 타공시스템, 모니터링시스템, 원격 통신 시스템으로 구성된다. 드론 분무 시스템을 컨트롤박스에 설치하고 이를 드론 하부에 설치하였다. 약제 분무 시스템을 위한 드론은 hex코터를 자체 제작하여 사용하였으며, 장축의 길이(모터에서 모터까지 길이)가 1,640mm였으며, 높이는 720mm이고 FC는 K++(JIYI, China)를 사용하였다.

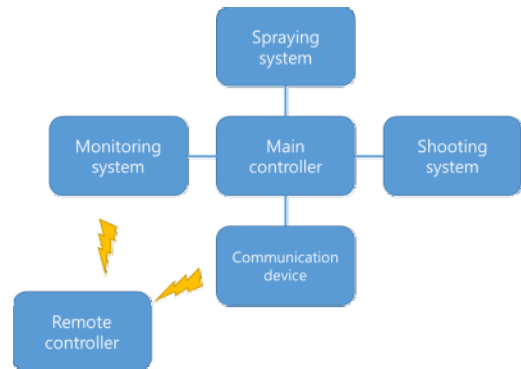


Fig. 1. Block diagram of pesticide spraying system for *Vespa velutina nigrithorax* hive using agricultural drone

분무 시스템은 말벌 퇴치용 약액을 싣고 다니다가 말벌집 발견 시 약액을 분사하는 장치이고, 타공 시스템은 말벌집 내부까지 약액이 전달될 수 있도록 말벌집 외벽에 구멍을 내는 장치이다. 방제 작업 시 드론이 말벌집에서 3~5m 정도 거리에 위치하게 되고 말벌집이 일정 수준의 강도를 가지기 때문에 탄환을 발사하여 구멍을 뚫

도록 구성하였다. 모니터링 시스템은 방제 때 작업자의 시야가 제한되기 때문에 드론의 위치 선정 및 분무 시스템과 타공 시스템의 조준점을 확인하기 위한 장치이다. 원격 통신 시스템은 분무 시스템 및 타공시스템을 원격으로 제어하기 위한 부분이다. 각 장치의 시동 및 제어를 담당하고 분사대의 각도를 조절할 수 있는 장치이다.



Fig. 2. 3D modeling of pesticide spraying system for *Vespa velutina nigrithorax* hive using agricultural drone

2.2 시스템 설계 및 제작

분무 시스템의 경우 약액이 말벌집 내부에 침투할 수 있도록 소형 워터펌프(COMBO-PUMP-5L- brushless-10A-14S-V1, Hobbywing, China)와 직분사 노즐을 이용하여 구성하였다. 압력계를 설치하여 펌프의 압력을 측정하고 결과 0.35MPa였다. 말벌집 바로 앞까지 드론이 접근하기 어려운 문제를 해결하기 위하여 원거리 분사용 분사대(카본 ϕ 10mm \times 1m)를 설계하였다 분사대 끝단에 약액 분사용 노즐을 장착하였으며, 분사대 내부로 약액을 이송할 수 있는 유관을 설치하여 결합하였다(Fig. 3).

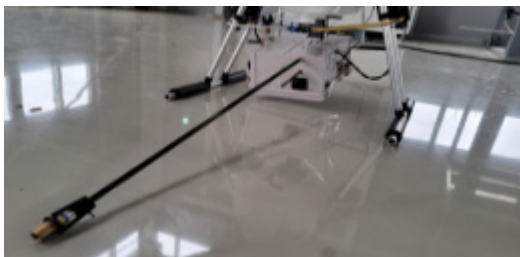


Fig. 3. View of spraying system

Table 1. Specification of water pump

Maximum power	150W
Opening flow	5L/min
Working Pressure	0.35Mpa
Protection level	!P67

타공 장치는 플라스틱 탄환을 발사하여 말벌집 외벽에 구멍을 내고자 하였다. 이를 위하여 소형의 전기식 공기 압축 실린더와 탄환이 발사될 수 있는 탄환 발사대를 구매하여 조립하였다. 금속파이프를 이용하여 총열도 설치하였다. 탄환은 분당 300발까지 연속 발사가 가능하도록 설정하였다.

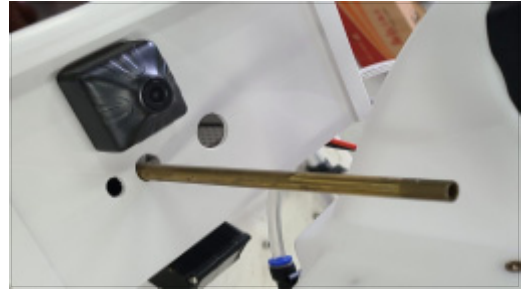


Fig. 4. View of perforation system

모니터링 장치는 드론이 공중에서 비행하는 동안 작업자가 말벌집을 원격으로 확인하기 위한 장치로 촬영을 위한 무선 영상 송출 시스템(HM30 30KM HD Wireless System, SIYI, China)으로 구성하였다. 최대 30Km까지 영상 전송이 가능한 시스템으로 작업자의 무선 컨트롤러에서 영상을 수신하여 말벌집의 위치와 약액 분무 상태를 확인할 수 있도록 하였다. 또 초기 살포시 분무 시스템과 타공시스템의 조준을 위하여 레이저 포인트를 설치하였다.

원격 통신 장치는 드론 조종과는 별도로 타공장치와 분무 시스템의 시동을 제어하고 분사 각도와 타공장치 발사 속도를 제어할 수 있도록 하였다. 또 분무 시스템과 타공시스템의 조준을 위한 분사 각도를 제어하기 위하여 컨트롤박스의 각도를 조절할 수 있도록 설계하였다.

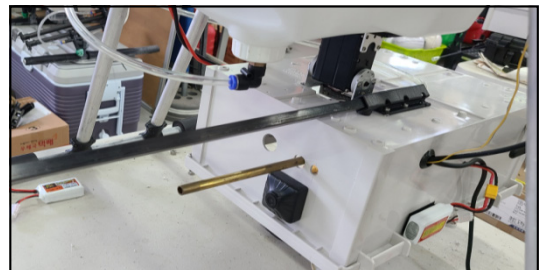


Fig. 5. Assembly of Pesticide Spraying System

3. 성능평가

3.1 실내 테스트

등검은말벌집 약제 분무 시스템의 시작기의 작동성을 파악하기 위해 기본 성능 테스트를 수행하였다. 알루미늄 프로파일을 이용하여 거치대를 제작한 후 실내에서 등검은말벌집 방제용 약제 분무 시스템을 거치대에 장착하여 실험을 수행하였다. 현장에서 채취한 말벌집을 표적으로 설치하고 약제 분무 시스템의 제어 상태를 확인하고, 타공 성능과 분무 장치 정확도 등을 확인하였다 (Fig. 6).

원격제어기와 드론 약제 분무 시스템 사이의 거리를 5, 10, 20m까지 증가시키면서 약제 분무 시스템을 가동한 결과 개별 장치들이 정상적으로 가동하는 것을 확인하였다. 모니터링 시스템의 영상 촬영 및 전송도 정상적으로 작동하였고 타공장치, 분무 장치도 정상적으로 작동하는 것을 확인하였다. 분사 및 타공장치의 각도는 상향 45도, 하향 15도 범위에서 조절할 수 있었다. 다만 분사 및 타공 각도 조절의 경우 5초 정도의 지연이 발생하는 것을 발견하였다. 또 거리가 멀어지는 경우 각도 조절 중 신호 전달이 끊기는 경우가 있었다. 이에 따라 통신시스템에 대한 보완을 수행하였다.

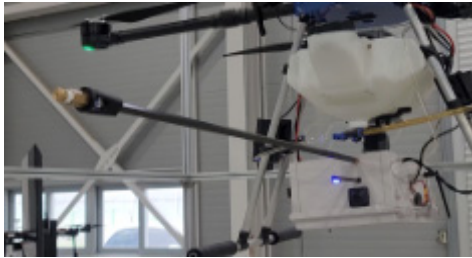


Fig. 6. Indoor experiment of pesticide spray system

타공장치와 분무 시스템의 분사 거리에 따른 정확도를 측정하기 위한 실험을 수행하였다. 과녁과 분무 시스템 사이의 거리를 증가시키면서 레이저 포인터를 이용한 조준점과 탄환 또는 분사액 사이의 거리를 측정하였다. 그 결과 타공장치의 경우 7m 거리에서도 조준점과 탄환의 타격점이 일치하였으나 분사액의 경우 거리가 5m를 초과하는 경우 물줄기가 중력에 의하여 낙하하여 조준점과의 거리가 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 분무 약제 분무 시스템을 이용하여 말벌집 방제를 수행하는 경우 말벌집으로부터 5m 이내까지 근접할 필요가 있겠

다. 5m 지점에서 타공장치의 정밀도를 측정한 결과 지름 2cm 이내에 탄환이 모두 적중하여 정밀도는 높은 것으로 나타났다(Fig. 7).

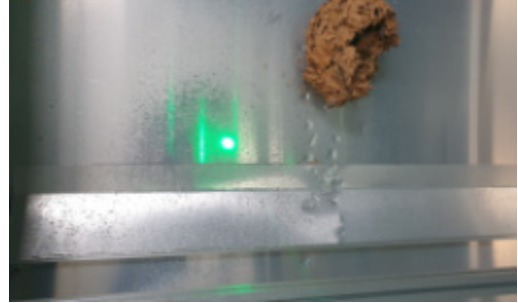


Fig. 7. Performance test of spray and perforation device

3.2 현장 테스트

개발한 말벌 방제용 약제 분무 시스템을 이용하여 현장에 발생한 등검은말벌집에 방제를 수행하였다. 촬영용 드론을 이용하여 말벌집의 위치를 확인한 후 시야가 확보되는 장소로 이동하여 방제용 드론을 가동하였다. 수평거리로 약 10m 지점에서 이륙하여 말벌집 높이까지 고도를 상승한 후 모니터링 시스템과 촬영용 드론의 보조를 받아 등검은말벌집에 접근하였다. 분사 가능 거리 내로 접근한 후 주변의 나뭇가지들을 피하여 타공 장치를 구동하고 약액 분무를 시행한 결과 말벌집 파괴에 성공할 수 있었다.



Fig. 8. Outdoor experiment of pesticide spray system

4. 결론

2003년 해외에서 유입되어 국내에 확산한 후 2019년 국내 생태계란 생물로 지정된 등검은말벌로 인하여 국내

양봉 농가들의 피해가 심각하다. 등검은말벌 방제를 위하여 다양한 방법들을 동원하고 있으나 말벌집이 나무 위 높은 곳에 존재하여 직접적인 방제 및 제거가 어려운 상황이다. 농업용 드론의 경우 비행을 통하여 말벌집에 접근이 쉽고 필요한 기능에 따라 다양한 작업기의 부착이 가능하므로 등검은말벌집을 제거하기에 적합한 것으로 판단하여 등검은말벌집용 약제 분무 시스템을 설계하고 제작하여 성능평가를 수행하였다. 연구의 결과는 다음과 같이 정리할 수 있다.

첫째, 등검은말벌집용 드론 약제 분무 시스템은 분무 시스템, 타공장치, 모니터링 장치, 장치들을 제어하기 위한 원격 통신 장치로 구성되었다. 구성된 시스템은 자체적으로 개발한 hexacopter에 장착하였다.

둘째, 분무 시스템은 원거리 분사를 위한 시스템으로 구성하였고, 타공 장치는 탄환 발사를 위한 장치들로 구성하였다. 모니터링 시스템의 경우 방제 작업자가 말벌집의 위치를 확인하기 위한 장비들로 구성하였고, 원격 통신 장치의 경우 다른 장치들을 제어하고 분무 및 타공 장치의 각도를 조절하는 장치로 구성하였다.

셋째, 개발한 시스템을 이용하여 원격 제어 성능 테스트를 진행한 결과 20m 이내에서는 정상적으로 작동하였다.

넷째, 타공장치와 분무 시스템의 정확도를 측정한 결과 과녁까지의 거리가 5m일 때까지는 탄환과 분무 살포액이 정확하게 도달하고 정밀도도 높게 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 본 약제 분무 시스템을 이용하여 말벌집 방제를 수행하는 경우 말벌집으로부터 5m 이내까지 근접할 필요가 있겠다. 다만 본 실험의 경우 스위치 접촉 시간 조절을 통하여 탄환을 단발 또는 2연발로 발사하였는데 연사로 사용하는 경우 정밀도가 조금 낮아지는 것을 확인할 수 있었다. 때에 따라 탄환이 한 점에 집중되는 것보다 넓은 면적에 구멍을 내는 것이 약액을 전달하는데 유리할 수 있을 것으로 예상되어 향후 추가적인 연구가 필요할 것으로 보인다.

개발한 등검은말벌집용 약제 분무 시스템을 이용하여 현장에 발생한 등검은말벌집에 방제를 수행한 결과 효과적으로 말벌집 방제를 수행하였다. 향후 보안을 통하여 비행시간을 증가시키고 작업 거리를 증가시키는 등의 개선을 수행하여 최종 시제품을 제작하면 국내 등검은말벌의 개체 수를 줄이는 데 일조할 수 있을 것으로 기대된다.

References

- [1] M.B. Choi, J.K. Kim, J.W. Lee, "Checklist and Distribution of Korean Vespidae Revisited", *Korean J. Appl. Entomol.*, Vol.52, No.2, pp.85-91, 2013.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5656/KSAE.2013.02.1.072>
- [2] C. Jung, D. Kim, H.S.Lee, H. Baek, "Some biological characteristics of a new honeybee pest, *Vespa velutina nigrithorax* Buysson, 1905 (Hymenoptera: Vespidae)", *Korean J. Apiculture*, Vol. 24, No.1, pp.61-65, 2008.
- [3] J.K. Kim., M.B. Choi, T. Y. Moon. "Occurrence of *Vespa velutina* Lepeletier from Korea, and a revised key for Korean *Vespa* species (Hymenoptera: Vespidae)", *Entomological Research*, Vol.36, pp.112-115, 2006.
DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1748-5967.2006.00018.x>
- [4] C. Jung, "Initial stage risk assessment of an invasive hornet, *Vespa velutina nigrithorax* Buysson (Hymenoptera: Vespidae) in Korea. *Korean J. Apiculture*, Vol.27, No.2, pp.95-104, 2012.
- [5] J.G. Kim, Y.S. Choi, E.J. Kang, S.B. Kim, K. Kim, B.S. Park, D. Kim, "Evaluation of control efficiency against *Vespa* spp.(Family:Vespidae) using method of release after applying pesticide to the *Vespa* body", *Korean J. Apiculture*, Vol.36, No.3, pp.105-110, 2021.
DOI: <https://doi.org/10.17519/apiculture.2021.09.36.3.105>
- [6] H. Xiongkui, J. Bonds, A. Herbst, J. Langenakens, "Recent development of unmanned aerial vehicle for plant protection in East Asia", *Int J Agric & Biol Eng.* Vol.10, No.3, pp.18-30, 2017.
DOI: <https://doi.org/10.3965/j.iitabe.20171003.3248>
- [7] T. Shams and P. Desbarats, "Detection of asian hornet's nest on drone acquired FLIR and color images using deep learning methods", *2020 Tenth International Conference on Image Processing Theory, Tools and Applications (IPTA)*, IEEE, Paris, France, pp. 1-6, Nov. 2020.
DOI: <https://doi.org/10.1109/IPTA50016.2020.9286693>
- [8] S.H. Yu, D.K. Choi, Y.H. Kim, I.S. Choi, J.K. Woo, Y. Choi, D. Kim, K. Kim, Y.T. Yun, "Analysis of spraying-system requirements for pesticide spraying of *Vespa-velutina* nest using agricultural drones", *Proceedings of the KSAM & ARCS 2020 Autumn Congerence*, KSAM, Jeonju, Korea, pp.103, Oct. 2020.

이 춘 구(Chun Gu Lee)

[정회원]



- 2009년 2월 : 서울대학교 농업생명과학대학 바이오시스템공학과 (공학학사)
- 2022년 2월 : 서울대학교 농업생명과학대학원 바이오시스템공학과 (공학박사)
- 2022년 3월 ~ 현재 : 국립농업과학원 전문연구원

<관심분야>

농작업 기계 · 자동화, 농업용드론

유 승 화(Seung-Hwa Yu)

[정회원]



- 2010년 2월 : 전남대학교 농업생명과학대학원 지역바이오시스템공학과 (공학석사)
- 2017년 2월 : 전남대학교 농업생명과학대학원 지역바이오시스템공학과 (공학박사)
- 2016년 7월 ~ 현재 : 국립농업과학원 농업연구사

<관심분야>

농작업 기계 · 자동화, 농업용드론