

발작물용 드론 기반 정밀 시비 및 방제 모듈 시스템 설계

최현오, 이명훈*

*국립순천대학교

wishind@scnu.ac.kr, *leemh777@scnu.ac.kr

Design of a drone-based precision fertilization and pest control module system for field crops

Choe Hyeon O, Lee Meong Hun*

*Sunchon National Univ.

요 약

본 논문은 발작물 재배 환경에 특화된 드론 기반 정밀 시비 및 방제 시스템을 설계하고, 외부 환경 정보와 생육 데이터를 활용한 가변 제어 알고리즘을 제안한다. 제안된 시스템은 NDVI 영상과 공간정보를 기반으로 작물 생육 구역을 분할하고, 기상 정보와 작물별 기준값에 따라 시비량과 비행 경로를 실시간으로 최적화하는 하이브리드 알고리즘을 적용한다. 시스템은 드론 플랫폼, 제어 모듈, 외부 데이터 연계 계층, 통합 관리 솔루션으로 구성되며, 이를 통해 정밀 농작업 수행이 가능하다. 제안된 시스템은 고령화·인력 부족 문제 해결뿐만 아니라, 작물 균일 생육, 환경오염 저감, 디지털 농장관리 고도화 등 실질적 농업 혁신 효과를 기대할 수 있다. 향후 연구를 본 논문의 시스템을 구현화 하여 제안 시스템이 발작물뿐 아니라 다양한 노지작물로 확장되어, 실질적 농가의 생산성과 지속가능성 향상에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

I. 서론

국내 농업 현장에서 발작물은 전체 경작지의 약 57%를 차지하며, 특히 고랭지나 경사지와 같은 지형적 특성으로 인해 기계화가 어렵고 인력 의존도가 높다. 통계청과 농림축산식품부의 자료에 따르면, 발작물은 타 작물에 비해 기계화율이 60% 이하로 낮고, 생산성과 노동 효율이 낮은 편이다. 특히 최근 5년간 농가 인구는 지속해서 감소하고 있으며, 2023년 기준 전체 농가 중 65세 이상 고령 농업인은 49%에 달한다. 발작물 재배에 투입되는 노동력은 전체 농업노동의 68% 이상을 차지하고 있으며, 시비 및 방제 작업의 경우 평균 1ha당 연간 18~22시간의 노동시간이 요구되고 있다[1,2].

이러한 구조는 고령화된 농업 인력 구조상 큰 부담이 되며, 기계화 미흡으로 인해 인력 부족 문제가 더 심화되고 있다. 또한, 발작물은 작형 다양성과 지형 복잡성으로 인해 정밀한 시비 및 방제가 어려워 과잉 시비나 농약 사용의 문제가 지속해서 발생하고 있으며, 이는 토양과 수질의 환경오염 문제로 직결되고 있다[3].

기존의 수동 방식은 농작자 사용의 정밀도가 낮고, 기상 변화나 생육 차이에 따른 가변 대응이 어렵다는 문제를 안고 있다. 또한 작업자의 경험에 따라 작업의 질이 달라질 수 있으며, 대면적 발작물 농장에서는 시비량과 방제량 및 중복 방제 등으로 인해 비효율이 발생한다. 이러한 한계를 극복하기 위해 최근 스마트 노지 농업 기술이 도입되고 있으며, 그중 드론 기반 시비·방제 시스템은 넓은 작업 범위와 정밀한 투입 제어 기능을 통해 약 25~30%의 농작자 절감 효과가 기대되고 있다.

본 논문에서는 발작물 환경에 특화된 드론 기반 정밀 시비 및 방제 모듈 시스템을 설계하고자 한다. 특히, 외부 기상 정보와 작물 생육 상태,

지형 데이터를 통합하여 경로를 자동 설정하고, 구역별 생육 정보를 기반으로 시비량을 자동 조절하는 알고리즘을 구현하고자 한다. 본 논문은 다음과 같은 순서로 구성된다. 2장에서는 관련 연구와 기술 동향을 분석하고, 3장에서는 제안 시스템의 구조와 핵심 기능을 설명한다. 마지막 4장에서 결론 및 향후 연구 방향을 제시한다.

II. 관련 연구

기존 연구들은 주로 논 작물이나 단일작물 중심으로 드론 시비를 적용하였으며, 평지와 균일한 생육 환경을 바탕으로 활용되었다. 예를 들어, 이재운 외(2021)는 논에 특화된 드론 시비 경로 최적화 연구를 통해 균일 분포를 목표로 하는 정적 알고리즘을 제안하였으며, 김태호 외(2020)는 NDVI 기반 가변 시비 기술을 논 중심으로 적용하였다. 반면 발작물은 다양한 토양환경과 여러 생육 조건으로 인해 동적 비행 경로 및 정밀 살포 제어가 필요하며, 지형·생육 차이로 인한 정밀 시비의 복잡성이 크다[4,5].

정밀농업 관련 연구에서는 NDVI, GPS, 공간 정보 기반 시스템을 활용하여 의사결정을 지원하고 있지만, 많은 상용 시스템은 실시간 외부 데이터를 연계하지 못하거나 농장별 맞춤 설계가 미흡하여 정밀도에 한계가 있다. 본 연구는 이러한 한계를 극복하고자 발작물 환경에 특화된 통합인 드론 제어 시스템을 설계하고, 실시간 환경 정보와 생육 데이터를 통합하여 가변 시비를 자동 수행하는 정밀 농업 솔루션을 제안한다.

III. 시스템 설계

그림 1은 본 논문에서 제안하는 드론 기반 시비 및 방제 시스템의 통합 구조를 시각적으로 나타낸 것이다. 본 시스템은 크게 시비기와 방제기를

탐제한 드론, 비행 경로와 살포 명령을 관리하는 제어 모듈, 다양한 외부 데이터를 수집 및 분석하는 외부 정보 계층, 그리고 각종 결과를 저장 및 제공하는 데이터베이스로 구성된다. 특히 상단은 시비 모듈, 하단은 방제 모듈로 구성된 이중 구조를 갖추고 있으며, 이는 하나의 플랫폼에서 다양한 작업이 통합적으로 수행될 수 있도록 한다.

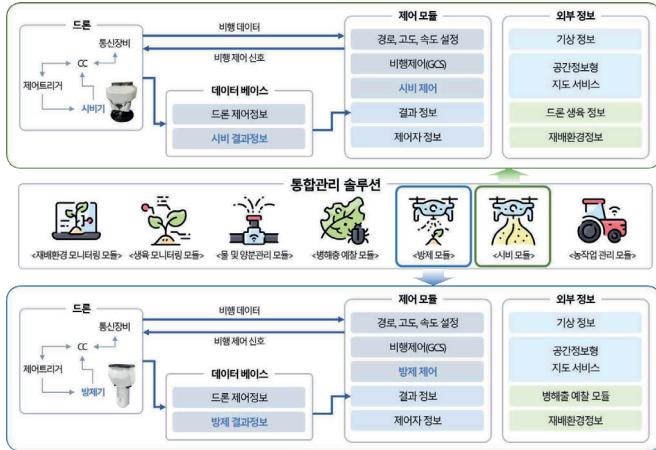


그림 1 밭 작물 재배 정밀 시비 및 방제 모듈 시스템 구성도

Fig 1. Precision fertilization and control module system configuration for field crop cultivation

두 모듈을 관리하는 통합관리 솔루션이 있으며, 이는 재배환경 모니터링, 생육 모니터링, 병해충 예측, 농작업 관리 등을 포함하는 다기능 모듈 구조로 설계되어 있다. 통합관리 솔루션은 기상, 공간지도, 생육 데이터 등과 제어 모듈을 연동시켜 실시간으로 드론의 작업을 조정한다. 시비 및 방제 결과는 별도의 데이터베이스에 저장되어 농장 이력 관리 및 후속 분석에 활용된다. 이러한 계층적이고 모듈화된 구조는 시스템의 확장성과 재사용성을 높여 다양한 밭작물 환경에 유연하게 적용 가능하도록 설계되었다.

드론 모듈 시스템은 실제 시비 및 방제 작업을 수행하는 하드웨어로, 가변 살포기와 RGB/NDVI 센서, GPS, 통신 모듈이 탑재된다. 제어 모듈은 비행 경로 설정과 살포 명령을 생성하는 역할을 하며, 지상 관제 시스템을 통해 실시간으로 드론을 제어한다. 외부 정보 연계 계층은 기상 API, 공간정보시스템, 생육 분석 데이터를 실시간으로 수집하고, 이를 기반으로 드론의 비행 및 살포 전략을 동적으로 조정한다. 마지막으로 데이터베이스는 시비·방제 작업 이력, 작물 상태 정보, 비행 기록 등을 저장하여 후속 분석 및 농장 관리에 활용된다. 이처럼 시스템은 입력 정보(기상, 생육, 지형)를 수집하고 이를 실시간 분석하여 드론을 정밀하게 제어하는 데이터 기반 정밀 노지 농업 구조를 갖추고 있다.

시비 알고리즘 설계에는 Rule-Based 방식과 머신러닝 기반 의사결정 방식을 융합한 하이브리드 접근을 적용하였다. Rule-Based 방식은 농업 전문가의 경험과 작물별 시비 기준 정보를 기반으로 구역별 시비량을 산정하는 방식으로, 시스템의 초기 안정성과 해석 가능성을 제공한다. 예를 들어, 특정 NDVI 값 이하일 경우 질소량을 일정 수준 증가시키는 등의 규칙 기반 제어가 이에 해당한다. 반면, 머신러닝 기반 방식은 작물 생육 패턴, 과거 시비 결과, 기상 변화 등의 다양한 입력 데이터를 학습하여 최적의 시비량과 경로를 예측한다. 본 시스템에서는 Gradient Boosting과 선형 회귀를 적용하여 구역별 생육 조건에 따른 정밀 투입량을 자동 산출한다.

이 두 방식을 결합함으로써, 초기에는 Rule-Based로 안정적인 제어를 수행하고, 데이터 축적 이후 머신러닝 기반 모델로 점차 전환하거나 병행 운용할 수 있도록 설계하였다. 이러한 구조는 실현 가능성과 확장성을 동시에 확보할 수 있으며, 다양한 밭작물 환경에서도 유연하게 적용될 수 있다.

표 1. 정밀 시비 및 방제 알고리즘 모델 구성 요소 표

Table1. Precision fertilization and control algorithm model component table

구성 모듈	기능설명
영역 세분화 모듈	NDVI 및 지형 데이터를 기반으로 밭을 생육 구역별로 분할하여 가변 시비 가능하게 함
생육 평가 및 시비량 예측 모듈	작물 생육 데이터를 분석하여 작물별 기준과 비교, 선형 회귀 또는 Gradient Boosting으로 시비량 산정
경로 계획 모듈	비행 속도, 고도, 시비 압력 등 드론 제어 변수 실시간 산출 또는 RRT 기반 알고리즘을 활용하여 장애물 회피를 고려한 최적 경로 생성
제어 명령 생성기	각 구역의 시비량, 비행 속도, 노즐 압력 등을 연산하여 드론 제어 명령으로 전환함

IV. 결론

본 연구는 밭작물 재배 환경에 특화된 드론 기반 정밀 시비 및 방제 시스템을 설계하고, Rule-Based 방식과 머신러닝 기반 의사결정 방식을 결합한 하이브리드 모델을 적용 드론 제어 알고리즘을 구현하였다. 본 시스템은 밭작물 재배에 있어 정밀한 생육 구역별 시비 및 방제를 통해 작물 생육 균일도 향상할 수 있으며, 과잉 농약과 비료 사용 감소로 인한 환경 오염 저감 가져온다. 또한 고령화 농업인의 노동 부담 완화 및 안전성 향상시키고, 작업 이력 데이터 축적을 통한 디지털 기반 농장관리 체계 확립할 수 있었다.

향후 연구를 본 논문의 시스템을 구현화 하여 제안 시스템이 밭작물뿐 아니라 다양한 노지작물로 확장되어, 실질적 농가의 생산성과 지속가능성 향상에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

ACKNOWLEDGMENT

"본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 대학ICT연구센터사업의 연구결과로 수행되었음" (RS-2025-00259703)

참 고 문 헌

- [1] 농림축산식품부, "2023년 농업·농촌 주요 통계," 2023.
- [2] 통계청, "2023 농림어업총조사," 2023.
- [3] 농촌진흥청, "농업용 드론 활용 비료 살포 시 적정 고도," 2022.
- [4] 김태호 외, "농업용 방제드론의 방제면적 산출 알고리즘에 관한 연구," 한국농업기계학회 논문집, 제43권, 제4호, 2021, pp. 289-296.
- [5] 이재운 외, "ICT 기술을 적용한 다목적 정밀농업용 자율비행 드론 플랫폼 연구," 한국농업기계학회 논문집, 제44권, 제1호, 2022, pp. 45-52.