

고정밀 자동 주행과 자세 보정 기능을 갖춘 비닐하우스 파이프 천공 시스템 설계에 관한 연구

송제호*, 최은숙**, 박의준***, 김은찬***

*전북대학교 융합기술공학부

**어그로텍

***전북대학교 IT응용시스템공학과

e-mail:songjh@jbnu.ac.kr

A Study on the Design of a Greenhouse Pipe Drilling System with High-Precision Autonomous Navigation and Attitude Correction Functions

Je-Ho Song*, Eun-Sook Choi**, Eui-Jun Park***, Eun-Chan Kim***

*Dept. of Convergence Technology Engineering(IT Applied System Engineering),

Chonbuk National University

**AGRO TEC

***Dept. of IT Applied System Engineering, Chonbuk National University

요 약

본 논문에서는 비닐하우스 설치 과정에서 반복적이고 노동 집약적인 파이프 구멍 천공 작업의 비효율성을 해결하기 위하여, 센서 융합 기반의 지능형 자동화 시스템을 제안한다. 제안된 시스템은 IMU, 레이저 거리 센서, 휠 엔코더, 와이어 로프 센서 등을 통합하여 장비의 위치 인식과 자세 보정을 정밀하게 수행하며, 드릴 깊이와 간격을 균일하게 유지할 수 있도록 설계되었다. 또한 레도형 플랫폼과 경로 보정 알고리즘을 적용하여 협소한 비닐하우스 내부와 불규칙한 노지 환경에서도 안정적인 주행을 보장하고, 천공 과정 중 발생하는 진동과 부하를 실시간으로 감지하여 시스템과 파이프의 손상을 예방하고자 하였다. 이를 통해 기존의 작업 방식에서 발생하는 품질 편차와 작업 지연 문제를 효과적으로 해소할 수 있으며, 농업 현장의 노동력 부족 문제 해결을 통해 생산성 향상 등에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

1. 서론

국내 농업은 고령화와 노동력 감소로 인해 노동 집약적 작업의 자동화 필요성이 꾸준히 대두되고 있다. 특히 비닐하우스 설치 과정에서 수행되는 파이프 구멍 천공 작업은 단순 반복적이면서도 많은 체력과 시간이 요구되는 공정으로, 농업인의 노동 부담을 가중시키는 대표적인 사례이다.

기존의 수동 방식, 혹은 반자동 방식의 장비 사용은 작업 효율성과 정밀성 측면에서 한계가 있으며, 작업자의 숙련도와 환경 조건에 따라 품질 편차가 발생하는 문제가 지적되고 있다. 이러한 한계는 비닐하우스 설치 공정의 지연과 생산성 저하로 이어져 농가의 경영 안정성에도 부정적인 영향을 미치게 된다.

이를 해결하기 위해 본 논문에서는 지능형 파이프 구멍 천공 시스템을 제안한다. 제안하는 시스템은 센서 융합 기반의 정밀 제어와 자동화 알고리즘을 결합하여, 다양한 환경 조건에서도 일정한 품질과 높은 효율성을 확보할 수 있도록 구성된다.[1] IMU(Inertial Measurement Unit) 센서를 활용한 자세 보정과 전·후·좌·우에 배치된 레이저 거리 측정 센서를 통한 위치 인식, 휠 엔코더 기반의 이동거리 계산, 와이어 로프 센서를 통한 좌우

간격 및 드릴 천공 깊이 측정을 통합하여 정밀한 주행과 천공 작업 제어를 수행한다. 이러한 시스템 구성 요소는 장비의 위치 오차를 최소화하고, 파이프 간격과 깊이를 균일하게 유지할 수 있게 하여 기존의 수작업이나 장비를 통한 작업의 불안정성을 해소한다.

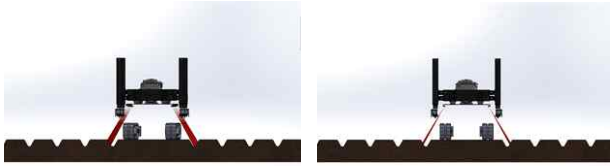
따라서, 본 연구는 기존 수작업 방식의 한계를 극복하고, 센서 융합과 알고리즘 기반 제어 방식의 지능형 파이프 천공 시스템을 제안함으로써 농업 현장의 작업 효율화와 품질 표준화를 동시에 달성하고자 한다.

2. 본론

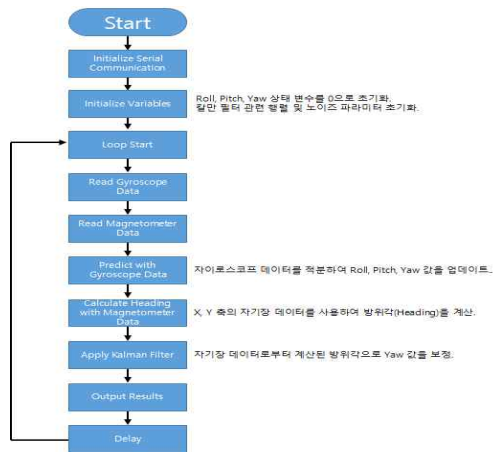
본 논문에서 제안하는 지능형 파이프 구멍 천공 시스템은 센서 융합 기반의 정밀 인식 모듈, 자율 주행 모듈, 천공부 제어 모듈, 통합 제어 알고리즘으로 구성된다. 각각의 구성 요소는 상호 연동되어 자동화된 파이프 천공 공정을 구현한다.

인식 및 자세 보정 단계에서는 IMU 센서와 다중 레이저 거리 측정 센서를 활용하여 장비의 위치와 기울기를 실시간으로 확인한다. 비닐하우스 내부는 지면의 경사나 작업 중 발생하는 미세

한 흔들림으로 인해 장비의 주행 안전성이 쉽게 저하될 수 있다. IMU는 이러한 오차를 신속하게 검출하여 보정 신호를 제공하고, 전·후·좌·우에 배치된 레이저 센서는 장비가 파이프나 경계선에 대해 얼마나 정확하게 정렬되어 있는지를 판단한다.



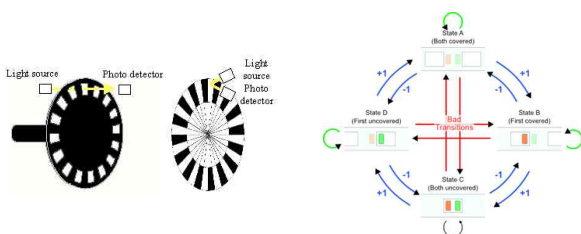
(a) 천공 위치 및 방향 정렬 전 (b) 천공 위치 및 방향 정렬 후
[그림 1] 레이저 센서를 이용한 주행 방향 자세 보정 과정



[그림 2] 직선 주행 알고리즘

그림 1은 레이저 센서를 이용한 주행 방향 자세 보정 과정을 나타내었고, 그림 2는 직선 주행 알고리즘을 나타내었다. 이와 같은 다중 센서 융합 방식은 협소한 비닐하우스 환경과 노지에서도 정밀한 위치 제어를 가능하게 하여 천공 정확도를 높이는 핵심 기술로 작용한다.[2.3]

주행 단계에서는 휠 엔코더와 로프 센서의 결합을 통해 이동 거리를 정밀하게 측정하고, 고랑 경계와의 상대적 위치를 인식하여 목표 지점에 도달하도록 한다. 그림 3은 휠 엔코더를 이용한 이동거리 및 속도 제어 예시를 나타내었다.



[그림 3] 휠 엔코더 이동거리 및 속도 제어

기존 수동 작업의 경우 일정한 간격 유지가 어려워 작업자의 숙련도에 따라 품질 편차가 발생하는 문제가 있었다. 그러나 본

시스템은 주행 센서와 경로 보정 알고리즘을 통해 반복적인 천공 과정에서도 일정하게 동일한 간격을 유지할 수 있다. 특히 궤도형 플랫폼을 적용함으로써 바닥 상태에 따라 발생할 수 있는 미끄러짐이나 진동 문제를 최소화하여 안정적인 주행 성능을 확보하였다.

천공 과정에서는 드릴 유닛이 구동되며, 와이어 로프 센서를 통해 드릴 깊이를 실시간으로 계측한다. 지정된 깊이에 도달하면 자동으로 동작이 정지되도록 설계되어 작업자의 개입 없이도 균일한 결과를 얻을 수 있다. 드릴링 중 발생하는 진동이나 부하 값은 계측되어 제어 모듈로 전달되고, 이 값이 허용치를 초과하는 경우에는 즉각적으로 제동이 걸려 장비와 파이프의 손상을 예방한다. 이는 천공 작업의 신뢰성을 높이고, 장비의 수명을 연장할 수 있으며 과부하 상황에서도 작업 안정성을 유지할 수 있다.

전체 시스템의 동작은 통합 제어 알고리즘에 의해 제어된다. 통합 제어 알고리즘은 초기 위치 설정부터 주행, 자세 보정, 천공 수행, 다음 위치로의 이동까지 전 과정을 하나의 흐름으로 제어한다. 실시간으로 수집되는 센서 데이터는 알고리즘에 의해 지속적으로 피드백되며, 위치 오차나 깊이 편차가 감지될 경우 즉시 보정 명령을 내린다. 이를 통해 반복 루프 기반의 자동화 작업이 가능해지며, 장시간 작업에서도 높은 정밀도를 유지할 수 있다.

또한 제어 알고리즘은 예외 상황에 대한 대응 로직을 포함하고 있어, 장애물 감지나 센서 이상 신호가 발생하면 즉시 정지하거나 알림을 발생시켜 시스템 안정성을 유지한다.

이처럼 제안된 파이프 구멍 천공 시스템은 단순 반복 작업의 자동화에 그치지 않고, 다양한 센서 데이터와 제어 기술을 융합하여 스마트 농업의 핵심 장치로 발전 가능성을 가진다. 현장에서의 반복 실험과 데이터 축적을 통해 점차 정교화된 알고리즘을 적용할 수 있으며, 나아가 인공지능 기반 최적화 기법이 도입된다면 다양한 시설 환경에 적용 가능한 범용 플랫폼으로 확장될 수 있다.

3. 결론

본 논문에서는 비닐하우스 설치 과정에서 반복적이고 노동 집약적인 파이프 구멍 천공 작업의 비효율성을 해결하기 위해, 센서 융합 기반의 지능형 파이프 구멍 천공 시스템을 제안하였다.

제안된 시스템은 IMU 센서, 레이저 거리 센서, 휠 엔코더, 와이어 로프 센서 등 다양한 계측 센서를 통합하여 위치 인식과 자세 보정을 정밀하게 수행하고, 천공 과정에서의 깊이와 간격을 균일하게 유지할 수 있도록 설계되었다. 이를 통해 기존 수동 방식에서 발생하던 품질 편차와 작업 지연 문제를 효과적으로 해소할 수 있을 것으로 기대된다.

또한, 궤도형 플랫폼과 경로 보정 알고리즘을 적용하여 협소한 비닐하우스 내부나, 불규칙한 노지 작업 환경에서도 안정적인 주

행을 보장하였으며, 천공 과정에서 발생하는 진동과 부하를 실시간으로 감지하여 즉각적으로 대응함으로써 장비와 파이프의 손상을 예방하였다. 이러한 기능은 현장 작업의 신뢰성과 안전성을 크게 향상시키며, 장비의 수명 연장과 유지보수의 효율성 향상에 도 기여할 수 있다. 이를 통해 농업 현장의 노동력 문제 해결과 생산성 향상, 그리고 스마트 농업의 지속 가능한 발전에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

- [1] 김병철, “스마트 농업을 위한 ICT 융합형 농업 자동화 기계 설계”, *Journal of Digital Convergence*, 제 14권 2호, pp. 141–148, 2016
- [2] Jiang, Saïke, et al. "Autonomous navigation system of greenhouse mobile robot based on 3D Lidar and 2D Lidar SLAM." *Frontiers in plant science* 13 (2022): 815218.
- [3] Cheng, Bo, et al. "Research on positioning and navigation system of greenhouse mobile robot based on multi-sensor fusion." *Sensors* 24.15 (2024): 4998.

본 연구는 중소벤처기업부의 2024년도 창업성장기술개발사업 지원에 의한 연구수행 결과물임을 밝힙니다. [과제번호 : RS-2024-00510979]