

비닐하우스 설치 작업을 위한 지능형 파이프 구멍 천공 장치 설계에 관한 연구

송제호*, 최은숙**, 박의준***, 김은찬***

*전북대학교 융합기술공학부

**어그로텍

***전북대학교 IT응용시스템공학과

e-mail:songjh@jbnu.ac.kr

A Study on the Design of an Intelligent Pipe Drilling Device for Greenhouse Installation Tasks

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

*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

국내 농업은 고령화와 노동력 부족 문제로 인해 자동화 기술의 도입이 절실한 상황이다. 특히 비닐하우스 설치 과정 중 하나인 파이프 구멍 천공 작업은 반복적이며 높은 물리적 노동을 요구하는 공정으로, 현재까지도 대부분 수작업에 의존하고 있어 작업의 정밀도와 효율성에 한계가 존재한다. 따라서, 본 논문에서는 비정형 노지 환경에서도 자율 주행이 가능하고, 다양한 파이프 간격 및 깊이에 따라 자동으로 천공할 수 있는 지능형 천공 장치를 제안한다. 제안된 시스템은 센서 기반 위치 보정 기술, 자율 주행 알고리즘, 유압식 가변 천공 기구, 원격 제어 통신 시스템 등을 통합하여 구성된다. 주행부는 트랙 기반의 이동 구조와 휠 인코더, 디지털 나침반, 레이저 센서를 이용하여 실시간으로 주행 거리와 방향을 보정한다. 천공부는 유압 실린더를 이용한 수직·수평 제어로 일정한 깊이의 정밀 천공을 가능하게 하며, LoRa 기반의 무선 통신을 통해 원격 제어와 상태 모니터링이 가능하다. 지능형 비닐하우스 파이프 천공 장치는 $\pm 1\text{cm}$ 이내의 천공 정밀도를 유지하며, 1인 작업으로도 전체 공정을 자동화할 수 있는 장점을 가지며 농촌 현장의 생산성 향상과 노동력 문제 해결에 크게 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

1. 서론

국내 농업은 지속적인 고령화와 인력 부족으로 인해 자동화 기술의 필요성이 점차 확대되고 있다. 특히 비닐하우스 설치 공정 중 하나인 파이프 구멍 천공 작업은 반복적이고 물리적으로 부담이 큰 작업으로, 농업인에게 많은 시간과 노동력을 요구한다. 현재 대부분의 천공 작업은 수작업 또는 단순한 반자동 장비에 의존하고 있으며, 이에 따라 작업 효율성과 정확도 면에서 큰 제약이 발생하고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해, 본 논문에서는 비정형 노지 환경에서도 자율주행이 가능하고, 다양한 간격과 깊이에 대응할 수 있는 지능형 파이프 천공 장치를 제안한다.

지능형 파이프 천공 장치는 센서 기반의 위치 보정 기술과 자율 주행 알고리즘, 유압 천공 기구, 원격 통합 제어 시스템을 통합하여, 기존 작업 방식 대비 정밀도와 효율성을 획기적으로 개선할 수 있는 것을 목표로 한다.[1] 특히 기존의 반복적 수작업을 대체하고, 작업자 1인이 운영 가능한 수준의 완전 자동화 시스템으로 구현함으로써 농업 현장의 노동력 문제를 해소하고, 농업 자동화의 발전을 도모하고자 한다.

2. 본론

파이프 천공 작업은 일정한 간격과 깊이로 반복적으로 수행되어야 하기 때문에 작업 정밀도와 효율성이 매우 중요하다. 하지만 현재 농촌 현장에서 사용되는 천공 방식은 대부분 사람이 직접 간격을 측정하고 구멍을 뚫는 형태로 진행되며, 이 과정에서 간격 오차가 $\pm 2\sim 3\text{cm}$ 이상 발생하고 전체 작업 시간도 길어질 수밖에 없다. 이에 본 연구에서는 정밀한 거리 측정과 제어가 가능한 자율주행 방식과, 천공 간격을 자동으로 계산하여 일정한 위치에서 정확히 멈추고 구멍을 뚫는 제어 알고리즘을 결합한 시스템을 제안한다.



[그림 1] 지능형 비닐하우스 파이프 구멍 천공 장치 3D 모델링

그림 1은 지능형 비닐하우스 파이프 구멍 천공 장치의 3D 모델링 모습이다. 제안된 시스템의 주요 구성 요소는 주행 유닛, 천공 유닛, 제어 유닛, 통신 유닛으로 나뉘며, 각각의 기능이 유기적으로 연결되어 작동한다. 주행 유닛은 트랙 기반의 이동 구조를 갖추고 있으며, 휠 인코더, 디지털 나침반, 레이저 센서를 통해 이동 거리와 방위각을 실시간으로 보정할 수 있도록 설계된다. 이 과정을 통해 주행 중 발생할 수 있는 노면의 불규칙성이나 미세한 방향 오차를 보정하여, 직선 주행에서의 누적 오차를 최소화할 수 있다. 그림 2는 레이저 센서를 이용한 주행 방향 자세 보정 모습을 나타내었으며, 그림 3은 자세 보정 센서 알고리즘을 나타내었다.



(a) 천공 위치 및 방향 정렬 전 (b) 천공 위치 및 방향 정렬 후
그림 2. 레이저 센서를 이용한 주행 방향 자세 보정

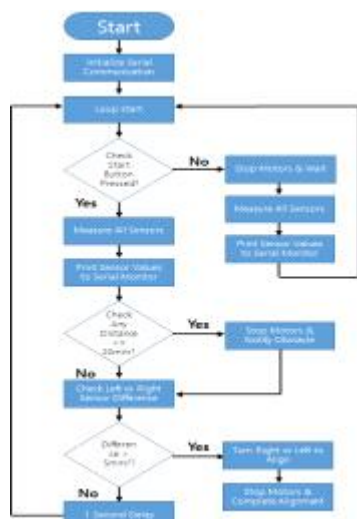


그림 3. 주행 방향 자세 보정 센서 알고리즘

천공 유닛은 유압 구동 방식의 가변 실린더 구조로 설계된다. 유압 실린더를 통해 수직 및 수평 이동을 정밀하게 제어할 수 있으며, 천공 깊이 역시 유압 압력과 회전 속도 조절을 통해 일관된 품질로 유지된다. 파이프 간격이 다른 다양한 하우스 구조에 대응하기 위해 실린더의 작동 범위는 유연하게 조정될 수 있도록 하였으며, 반복 작업 중에도 정확한 위치에서 구멍을 뚫을 수 있도록 정밀도 중심으로 설계하였다.

제어 유닛은 STM32 계열의 MCU를 기반으로 하며, 전체 시스템을 통합적으로 제어한다. 이동 거리 측정, 방향 보정, 천공 동작 제어 등 모든 기능은 실시간 센서 데이터에 기반한 제어 알고리즘을 통해 실행되며, PID 제어 알고리즘을 활용하여 주행 안정성과 정밀성을 확보한다.[2,3] 통신 유닛은 LoRa 기반의 무선 통신 모듈을 사용하여 장비와 원격 제어 시스템 간 통신을 수행한다. 이를 통해 작업자는 장비에 직접 접근하지 않고도 원격에서 명령을 송신하거나 작업 상태를 확인할 수 있으며, 복수 장비를 동시에 관리할 수 있도록 시스템 확장을 용이하게 한다.

사용자는 시작 위치에서 천공 간격, 깊이, 전체 구멍 수 등 기본 작업 파라미터를 입력하고, 시스템은 초기 위치를 기준으로 주행을 시작한다. 일정 간격마다 자동 정지하여 천공을 수행하고, 천공이 완료되면 자동으로 다음 위치로 이동하여 작업을 반복하게 된다. 모든 과정은 센서와 제어기 간의 통신을 통해 실시간으로 피드백되며, 작업 완료 후에는 전체 작업 로그가 서버에 저장된다.

이러한 시스템을 도입할 경우, 기존 방식 대비 작업 시간이 현저히 단축될 수 있으며, 정밀도 또한 $\pm 1\text{cm}$ 이내로 유지될 수 있다. 작업 인력은 기존 2명 이상이 필요했던 방식에서 1명으로 줄일 수 있으며, 실시간 데이터 확인 및 로그 저장을 통해 작업의 이력 관리도 가능해진다. 본 시스템은 향후 관수 시스템 설치, 지지대 조립, 토양 센서 매립 등의 다양한 농작업에도 확장 적용이 가능하다는 점에서 높은 기술 파급력을 기대할 수 있다.

3. 결론

본 논문에서는 비닐하우스 설치 공정 중 반복성과 고강도가 요구되는 파이프 천공 작업의 자동화를 위한 지능형 장치의 개발을 제안하였다. 제안된 시스템은 자율주행 기술, 유압시스템 기반 천공 기구, 실시간 제어 알고리즘, 원격 통신 시스템 등을 통합하여, 농업 작업의 정밀도 향상과 노동력 절감을 동시에 달성할 수 있는 방안을 제시한다.

특히 본 천공 장치는 비정형 노지 환경에 적합하도록 설계되어 농업 작업의 자동화 및 무인화에 실질적으로 기여가 가능하며, 향후 다양한 설치 작업이나 농작업 전반에 응용 가능성이 높을 것으로 기대된다. 제안된 시스템은 농업 현장의 생산성 향상과 인력 문제 해소 등 농촌 사회가 직면한 문제 해결에 크게 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] 김상진, 송병근, 오세준, “최신 자동제어”, 북스힐, 2012
- [3] Norman S. Nise, “제어시스템공학”, 홍릉과학출판사, 2015

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