

다중 레이저 센서를 이용한 비닐하우스 천공 장비의 주행 방향 자세 보정 알고리즘 설계에 관한 연구

송제호*, 최은숙**, 박의준***

*전북대학교 융합기술공학부

**어그로텍

***전북대학교 IT응용시스템공학과

e-mail:songjh@jbnu.ac.kr

A Study on the Design of a Traveling Direction Attitude Correction Algorithm for a Greenhouse Drilling Machine using Multiple Laser Sensors

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

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

Jeonbuk National University

**AGRO TEC

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

요약

본 논문에서는 노지 환경에서 수행되는 비닐하우스 설치용 기반 파이프 천공 작업의 위치 정밀도와 작업 효율을 향상시키기 위하여 직선 주행 및 반복 간격 제어 기능에 집중한 제어 기술을 제안하였다. 제안된 시스템은 다중 레이저 거리 센서를 이용하여 장비의 횡방향 위치 편차와 진행 방향 오차를 실시간으로 계산하고, 이를 기반으로 좌우 구동부를 제어함으로써 안정적인 직선 주행을 유지하도록 설계하였다. 또한 휠 엔코더를 이용한 이동 거리 계측 방식을 적용하여 반복 천공 작업 시 일정한 간격을 자동으로 유지할 수 있도록 하였다. 이러한 제어 구조는 복잡한 위치 추정 알고리즘 없이도 비교적 단순한 계산 방식으로 직선 주행 안정성과 반복 위치 재현성을 확보할 수 있다는 특징을 가진다. 본 연구를 통해 제안된 직선 주행 및 이동 거리 기반 제어 기술은 노지 환경에서 수행되는 비닐하우스 설치 작업의 자동화와 정밀도 향상에 효과적으로 적용될 수 있음을 확인하였다.

1. 서론

최근 농업 분야에서는 노동력 부족과 고령화 문제로 인해 반복적이고 노동 집약적인 시공 공정의 자동화 필요성이 지속적으로 증가하고 있다. 특히 비닐하우스 설치 과정에서 수행되는 파이프 삽입용 기반 천공 작업은 일정한 간격과 위치를 반복적으로 유지해야 하는 대표적인 정밀 작업으로, 대부분 전기 드릴을 이용한 수작업 방식에 의존하고 있어 작업 효율성과 품질의 균일성을 확보하는 데 어려움이 있다.

기존 수작업 방식은 작업자의 숙련도와 작업 환경에 따라 천공 위치와 간격에 편차가 발생하며, 반복 작업에 따른 피로도 증가와 작업 안전성 저하 문제를 유발한다. 특히 비닐하우스 설치 작업은 대부분 노지 환경에서 수행되므로 지면 상태가 일정하지 않고 작업 구간이 길어 장비가 직선 방향을 안정적으로 유지하면서 일정 간격으로 천공을 수행하는 것이 중요한 기술적 과제로 대두되고 있다.

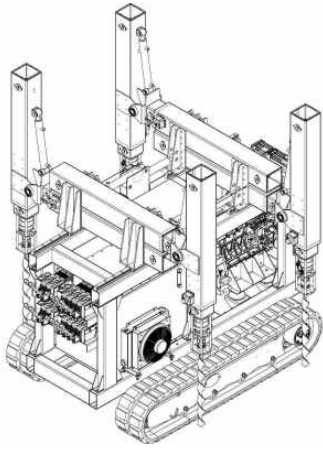
이에 따라 본 연구에서는 노지 기반 비닐하우스 설치 공정에서 반복적으로 수행되는 파이프 천공 작업의 위치 정밀도를 향상시

키기 위하여 직선 주행 및 위치 보정 알고리즘을 제안한다. 제안된 알고리즘은 다중 거리 센서와 이동 거리 계측 센서를 이용하여 장비의 주행 중심과 진행 방향 오차를 실시간으로 계산하고, 이를 기반으로 구동부를 제어함으로써 일정 간격을 유지한 반복 천공 작업이 가능하도록 설계되었다.[1]

이를 통해 본 연구는 노지 환경에서 수행되는 비닐하우스 설치 작업의 자동화와 정밀화를 동시에 달성할 수 있는 실용적인 제어 기술을 제시하고, 향후 농업 자동화 장비의 현장 적용성을 높이는 데 기여하고자 한다.

2. 본론

비닐하우스 설치를 위한 기반 파이프 천공 작업은 노지 환경에서 일정 간격으로 반복 수행되는 작업으로, 장비의 직선 주행 안정성과 위치 정밀도가 작업 품질을 결정하는 핵심 요소이다. 그림 1은 파이프 천공 장비의 전체 시스템 구성을 나타낸 것이다.

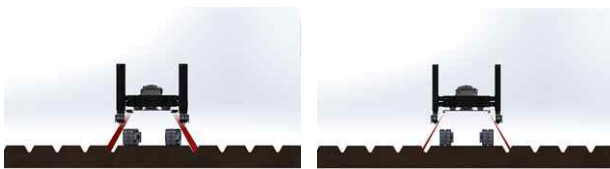


[그림 1] 비닐하우스 파이프 천공 장비 시스템 구성도

천공 장비는 주행부, 천공부, 센서부 및 제어부로 구성되며, 레이저 거리 센서와 관성 센서, 휠 엔코더 등을 이용하여 장비의 위치와 이동 거리를 실시간으로 측정하도록 설계하였다. 특히 파이프 삽입 위치는 일정한 간격으로 유지되어야 하며, 장비가 주행 중 좌우 방향으로 편차가 발생할 경우 천공 위치 오차가 누적되어 구조물 설치 품질 저하로 이어질 수 있다.

기존 수작업 방식에서는 작업자의 숙련도에 따라 천공 간격과 위치 편차가 발생하는 문제가 있었으며, 노지 환경에서는 지면 상태 변화, 장비 진동, 미끄러짐 등 다양한 외란이 발생하기 때문에 안정적인 직선 주행을 유지하는 것이 기술적으로 중요한 과제로 제시된다. 따라서 본 연구에서는 노지 환경에서 반복 천공 작업의 위치 정밀도를 확보하기 위해 직선 주행 유지와 위치 편차 보정을 동시에 수행할 수 있는 제어 기술을 적용하였다.

본 연구에서는 장비의 직선 주행 상태를 판단하기 위해 다중 거리 센서를 이용한 위치 편차 계산 방법을 적용하였다. 장비 좌측과 우측에는 각각 전방, 중앙, 후방 위치에 거리 센서를 배치하여 주행 중 장비의 횡방향 위치 상태를 실시간으로 측정할 수 있도록 구성하였다.[2.3] 그림 2는 장비 좌우에 배치된 다중 거리 센서를 이용하여 장비의 횡방향 위치 편차를 판단하는 개념을 나타낸 것이다. 좌측과 우측 센서에서 측정된 거리 값을 비교함으로써 장비가 기준 중심선에서 벗어난 방향과 편차 크기를 계산할 수 있으며, 이러한 방식은 장비의 진행 방향이 기울어진 경우에도 효과적으로 위치 상태를 판단할 수 있는 장점을 가진다.



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

좌측 센서와 우측 센서의 대응 거리 값을 비교함으로써 장비가

기준 중심선에서 어느 방향으로 얼마나 벗어났는지를 판단할 수 있으며, 이러한 방식은 단순한 위치 편차뿐 아니라 장비의 진행 방향이 기울어진 경우에도 효과적으로 판단할 수 있는 장점이 있다. 특히 다중 센서를 활용하여 거리 값을 평균화함으로써 노지 환경에서 발생할 수 있는 센서 노이즈와 지면 불균일성에 따른 영향을 최소화하도록 설계하였다.

실제 시스템에서는 좌우 거리 차이를 기반으로 장비의 횡방향 편차를 계산하고, 이를 제어 알고리즘의 입력 변수로 사용하여 직선 주행 상태를 유지하도록 구성하였다. 이러한 방식은 복잡한 위치 추정 알고리즘 없이도 비교적 단순한 계산 구조로 안정적인 직선 주행 성능을 확보할 수 있다는 특징을 가진다.

장비의 직선 주행 안정성을 확보하기 위해 본 연구에서는 횡방향 위치 편차와 진행 방향 오차를 동시에 고려한 비례 제어 기반 위치 보정 방법을 적용하였다. 제어 알고리즘은 장비가 기준 중심선에서 벗어난 정도와 진행 방향이 틀어진 정도를 각각 계산한 후, 이를 통합하여 최종 보정량을 산출하도록 구성하였다.

$$u = K_1 e_{lateral} + K_2 e_{yaw}$$

여기서,

$e_{lateral}$ 는 장비의 횡방향 위치 편차

e_{yaw} 는 장비의 진행 방향 오차

K_1, K_2 는 비례 제어 계수

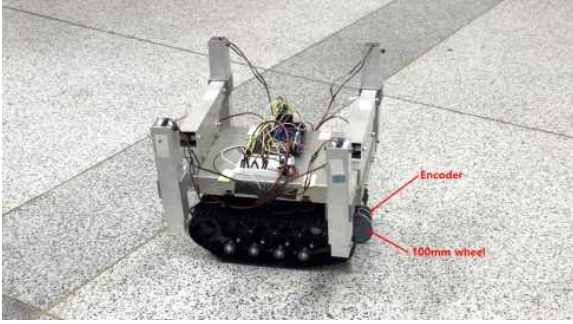
u 는 좌우 구동부 속도 보정을 위한 제어 입력값

산출된 제어 입력값은 좌우 구동 모터의 속도 차이를 생성하는데 사용되며, 장비가 중심에서 벗어난 경우에는 중심 방향으로 복원되도록 하고, 진행 방향이 기울어진 경우에는 방향을 바로잡도록 설계하였다. 또한 제어 안정성을 확보하기 위해 최소 보정값과 최대 보정값을 설정하여 장비의 급격한 선회나 미세 진동을 방지하도록 하였다.

이와 같은 제어 구조는 단순한 중심 복원 기능과 방향 안정화 기능을 동시에 수행할 수 있도록 설계된 것이 특징이며, 노지 환경에서 발생하는 다양한 외란에도 안정적인 직선 주행 성능을 유지할 수 있도록 한다.

본 장비에서는 반복 천공 작업의 간격 정밀도를 확보하기 위해 이동 거리 기반 제어 방법을 적용하였다. 장비의 이동 거리는 휠 엔코더를 이용하여 측정되며, 바퀴 회전 수를 기반으로 현재 이동 거리를 계산하도록 구성하였다.

설정된 목표 간격에 도달하면 장비는 자동으로 정지하도록 설계되어 있으며, 이를 통해 작업자가 직접 위치를 측정하거나 수동으로 장비를 정지시키지 않아도 일정한 간격으로 반복 천공 작업을 수행할 수 있다.



[그림 3] 휠 엔코더 기반 이동 거리 계산 및 반복 천공 간격 제어 시험

그림 3은 휠 엔코더의 회전 카운트를 이용하여 장비의 이동 거리를 계산하고, 설정된 목표 간격에 도달했을 때 자동으로 장비를 정지시키는 이동 거리 제어 시험 결과를 나타낸 것이다. 엔코더 기반 거리 측정 방식은 반복 천공 작업에서 일정한 간격을 유지하는 데 중요한 역할을 하며, 작업자의 개입 없이도 동일한 위치 간격을 안정적으로 재현할 수 있도록 한다.

이러한 구조는 반복 작업 과정에서 발생할 수 있는 작업 시간 증가와 위치 오차 문제를 동시에 줄일 수 있는 효과를 가진다.

또한 이동 거리 제어 과정에서 발생할 수 있는 누적 오차를 최소화하기 위해 일정 간격마다 기준 위치를 재설정하도록 구성하였으며, 이를 통해 장시간 작업에서도 안정적인 위치 재현성을 유지할 수 있도록 설계하였다.

3. 결론

본 연구에서는 노지 환경에서 수행되는 비닐하우스 설치용 기반 파이프 천공 작업의 위치 정밀도와 작업 효율을 향상시키기 위하여, 다중 거리 센서 기반 위치 편차 판단 방법과 이동 거리 기반 반복 간격 제어 방법을 적용한 직선 주행 제어 기술을 제안하였다. 제안된 시스템은 장비 좌우에 배치된 다중 거리 센서를 이용하여 주행 중 발생하는 횡방향 위치 편차와 진행 방향 오차를 실시간으로 계산하고, 이를 기반으로 좌우 구동부를 제어함으로써 안정적인 직선 주행을 유지할 수 있도록 설계하였다.

또한 휠 엔코더를 이용한 이동 거리 측정 방식을 적용하여 반복 천공 작업 시 일정한 간격을 자동으로 유지할 수 있도록 하였으며, 목표 위치에 도달하면 장비가 자동으로 정지하도록 구성함으로써 작업자의 개입 없이도 동일한 간격의 천공 작업이 가능하도록 하였다. 이러한 구조는 반복 작업 과정에서 발생할 수 있는 위치 오차 누적과 작업 시간 증가 문제를 동시에 줄일 수 있는 효과를 가진다.

제안된 제어 방식은 복잡한 위치 추정 알고리즘을 사용하지 않고도 비교적 단순한 계산 구조를 기반으로 안정적인 직선 주행 성능과 반복 위치 재현성을 확보할 수 있다는 특징을 가지며, 노지 환경과 같이 지면 조건이 일정하지 않은 작업 환경에서도 실용적으로 적용 가능한 제어 기술임을 확인하였다. 특히 본 연구

에서 제안한 직선 주행 및 이동 거리 기반 제어 구조는 비닐하우스 설치 공정뿐만 아니라 일정 간격 반복 작업이 요구되는 다양한 농업 자동화 장비에 확장 적용될 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, Saike, 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]