

에너지 효율 향상을 위한 작물 근권부 냉난방 시스템 설계

박시은, 장경민, 여 현*

*순천대학교

tldms8883@gmail.com, jangkm0625@scnu.ac.kr, *yhyun@sunchon.ac.kr

Designing Crop Root Cooling and Heating Systems for Energy Efficiency

Park Si Eun, Jang Kyeong Min, Yoe Hyun*

*Suncheon National Univ.

요약

본 논문에서는 에너지 효율 극대화를 목표로 하는 작물 근권부 냉난방 시스템을 설계한다. 기후 변화에 대응하여 지속 가능한 농업 관행에 대한 필요성이 증가함에 따라 뿌리 온도 제어와 같은 혁신적인 솔루션이 중요해지고 있다. 본 연구에서는 이러한 시스템의 성능과 에너지 효율성을 향상시키기 위한 작물 근권부 냉난방 시스템을 제시한다. 실험 설정, 시뮬레이션 및 에너지 모델링을 통해 이 연구는 작물 건강과 생산성을 유지하면서 에너지 소비를 줄이는 시스템을 설계한다. Random Forest 알고리즘을 이용하여 주변 온도 측정을 기반으로 작물 뿌리 냉각에 사용되는 물의 온도를 최적화하는 방법을 제시한다. 온도 데이터 수집을 지능형 제어 시스템과 통합함으로써 이 연구는 농작물 건강을 개선하고 농업 운영에서 에너지 소비를 줄이는 것을 목표로 한다. 연구의 핵심 구성 요소는 뿌리 온도 제어 유무에 따른 에너지 및 전력 사용량을 비교하는 것으로, 향상된 에너지 효율성을 통해 상당한 탄소 배출 감소 가능성이 있다.

I. 서론

2050년까지 전 세계 인구가 97억 명이 이를 것으로 예상됨에 따라 에너지 수요는 증가할 것이며, 특히 농업 부문에서는 증가하는 인구를 부양하기 위해 생산량을 크게 늘려야 한다[1]. 환경에 미치는 영향을 악화시키지 않고 미래의 에너지 수요를 충족하려면 에너지 효율성을 개선하는 것이 필수적이다. 환경 문제에 대한 우려가 커지면서 에너지 소비 및 배출에 대해 많은 논의와 규제를 시행하고 있다. 1990년대 중반부터 시작된 기후 변화에 대한 논의는 2010년 칸쿤 협약과 2015년 파리협약으로 정점을 이루었으며, 산업화 이전 수준에 비해 지구 온도 상승을 2°C 미만, 이상적으로는 1.5°C 미만으로 유지하려는 목표를 설정했다[2]. 기후 변화에 관한 정부간 패널(IPCC)에 따르면 기온 상승을 1.5°C로 제한하면 2°C 제한에 비해 기후 변화의 위험과 영향이 크게 줄어든다[3]. 이를 달성하려면 2050년까지 탄소 배출 제로(net-zero)를 달성해야 한다. 이러한 환경 문제는 지속 가능한 농업의 필요성으로 인해 에너지 소비와 탄소 배출을 줄이는 기술 개발이 요구되고 있다[4]. 에너지 효율성을 개선함으로써 동일한 작업을 수행하는 데 필요한 에너지가 줄어들고 에너지 생산의 필요성이 줄어들면 환경에 미치는 영향이 줄어든다. 또한, 에너지 비용은 농업에서 운영 비용의 중요한 부분을 차지하므로, 에너지 효율을 높이면 에너지 소비량을 줄여 상당한 비용 절감 효과를 얻을 수 있다.

본 논문에서는 냉난방에 사용되는 에너지를 줄이기 위해 작물의 근권부에 직접적인 냉난방하는 기술을 활용하여 에너지 효율을 향상한다. Random Forest 알고리즘을 이용하여 작물 근권부에 사용되는 물의 온도를 최적화하는 방법을 제시한다. 연구의 핵심은 작물의 근권부 온도 제어 유무에 따른 에너지 및 전력 사용량을 비교하는 것이다. 서론에서는 에너지 효율 향상의 필요성을 제기하고, 본문에서는 작물의 근권부 냉난방 시스템에 대해 설명한다. 결론에서는 실제 에너지 효율 향상에 관한 결과를 설명한다.

II. 본론

작물 근권부 냉난방 시스템은 작물의 근권부 온도를 직접적으로 제어하는 시스템이다. 먼저 작물의 생육환경 데이터를 수집한다. 수집된 데이터는 작물에 근권부의 온도를 내리거나 낮추기 위한 최적의 수온을 결정하는데 사용된다.

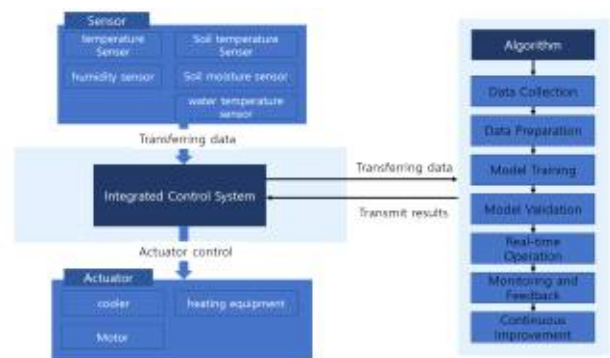


그림 1. 작물 근권부 냉난방 시스템 프로세스 흐름도
fig 1. Process Flowchart for Crop Root Cooling and Heating Systems

그림 1은 작물 근권부 냉난방 시스템의 전체적인 구성도이다. 센서가 토양의 온도를 측정하고 DB에 저장한다. 저장된 데이터는 랜덤포레스트 기반 알고리즘이 토양의 온도를 제어할 수 있는 수온을 계산한다. 계산된 값은 통합 제어기에 전송되고 제어기는 구동기에 신호를 보내 해당 수온에 도달하도록 물을 가열하거나 냉각하게 된다. 작물의 근권부에는 파이프가 있고, 구동기가 수온을 최적의 온도로 맞췄을 때 파이프에 물을 흘려보낸다. 파이프에서 순환하는 수온의 온도로 토양의 온도가 적정온도가

되었을 때 파이프의 물은 관수할 때 사용되게 된다.

최적의 작물 성장을 위해 근권부 온도를 조절하는 데 필요한 물의 온도를 결정하는 데 필요한 물의 온도는 작물의 종류, 현재 토양 온도, 토양 유형 및 환경을 포함한 다양한 요인에 따라 달라질 수 있으므로 보편적인 공식은 없으나, 토양의 비열 용량, 원하는 토양 온도, 초기 토양 온도를 고려하여 열전달 및 열역학의 기본 원리를 사용하여 수온을 추정할 수 있다. 원하는 토양 온도에 도달하는데 필요한 수온을 구하기 위한 기본 개념 공식은 다음과 같다.

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T \quad (1)$$

Q는 필요한 열에너지이며, m은 온도를 변경하려는 토양의 질량이다. c는 토양의 비열 용량이고, ΔT 는 온도 변화이다[5]. 이를 활용하여 필요한 최적 수온을 찾기 위한 수식은 다음과 같다.

$$T_{water} = T_{soil\ initial} + \frac{Q}{m_{water} \cdot c_{water}} \quad (2)$$

T_{water} 는 근권부의 온도를 조절하기 위한 수온이며, $T_{soil\ initial}$ 은 토양의 현재 온도이다. Q는 토양의 온도를 초기 상태에서 원하는 온도로 변화시키는데 필요한 총 열에너지량이며, m_{water} 와 c_{water} 는 각각 토양의 온도를 조절하는데 사용되는 물의 질량과 물의 비열 용량이다. $m_{water} \cdot c_{water}$ 항은 열량에 따라 필요한 수온의 변화를 계산하는 항이며, 토양의 온도를 초기 상태에서 원하는 온도로 변화시키는데 필요한 총 열에너지량에서 $m_{water} \cdot c_{water}$ 를 나눠 토양의 현재온도를 더해 작물의 근권부 온도를 조절하기 위한 최적의 수온을 구한다.

작물 근권부 냉난방 시스템에서 토양 온도를 제어하기 위해 랜덤 포레스트 기반 알고리즘을 사용한다. 알고리즘은 주로 토양 온도를 원하는 수준으로 조정하는데 필요한 수온을 예측하는 방법을 학습한다.

알고리즘의 주요 목적은 작물 성장에 최적인 목표 온도로 토양의 온도를 목표 온도로 맞추는데 적절한 수온을 예측하는 것이다. 현재 토양 온도와 목표 토양 온도, 생육환경 데이터, 목표온도에 도달하기까지 소요된 시간등의 데이터 셋에서 학습한다. 알고리즘은 의사결정 트리를 구성하고 수온과 소요시간을 예측한다. 알고리즘은 이러한 학습 과정을 통해 정확도를 높인다.

III. 결론

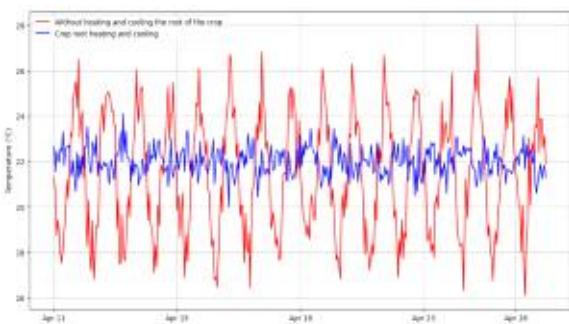


그림 2. 근권 냉난방 처리 유무에 따른 근권온도 비교
fig 2. Comparison of Crop Root Temperature with or without Crop Root Heating and Cooling Treatment

위 그래프는 작물의 근권부에 냉난방을 진행했을 때와 하지 않았을 때

의 근권온도를 비교한 그래프이다. 근권 냉난방을 진행하였을 때 근권의 온도 차가 평균 4도 이내인 반면, 근권 냉난방을 진행하지 않았을 때 큰 온도 차를 보인다. 근권온도를 최적으로 유지할 시 지상부 환경온도를 생육적온까지 맞추지 않아도 된다. 근권온도만 생육적으로 유지할 시 지상부 환경온도는 줄기와 잎, 열매가 피해를 보지 않는 평균 온도만 유지하면 되기 때문에 온실 전체의 냉난방 전력을 감소할 수 있다. 따라서 작물의 근권부 냉난방 시스템을 사용할 시 온실 전체를 생육적으로 유지하는 것보다 에너지 소비를 줄일 수 있다.

작물 근권부 냉난방 시스템은 에너지 절약 및 작물 수확량 증가 측면에서 에너지 효율적인 뿌리 온도 제어 시스템 구현의 경제적 이점, 에너지 효율적인 뿌리 냉각 시스템 구현을 통해 달성된 탄소 배출 감소 등의 효과를 기대할 수 있다. 스마트 기술을 농업 관행에 통합하면 탄소 배출량을 크게 줄이고 지속 가능성을 향상시킬 수 있다.

결론적으로, 향상된 에너지 효율성을 통해 상당한 탄소 배출 감소 가능성이 있다. 연구 기간 동안 발견된 결과와 관찰된 격차를 바탕으로 향후 연구 방향으로는 시스템 정확성과 효율성을 향상시킬 수 있는 추가 예측 모델과 에너지 효율성 검증 테스트에 대한 추가 연구를 진행할 예정이다.

ACKNOWLEDGMENT

“본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 대학ICT연구센터사업의 연구결과로 수행되었음” (RS-2024-00259703)“

참고 문헌

- [1] 이상희. "미래 환경: OECD 환경전망 2030 과 2050 비교." 한국공업화학회 연구논문 초록집 2019.1 (2019): 124-124.
- [2] 윤익준. "과리협정의 주요 쟁점 및 전망." 한양법학 28.2 (2017): 113-144.
- [3] 이동규, et al. "IPCC 6 차 평가 보고서에 따른 에너지 시스템에 대한 기후 변화의 영향." 한국태양에너지학회 학술대회논문집 (2021): 271-271.
- [4] 윤순진. "기후위기와 탄소중립의 위험과 평화." 인간과 평화 3.2 (2022): 107-154.
- [5] Bergman, T. L., Incropera, F. P., DeWitt, D. P. & Lavine, A. S. "Fundamentals of heat and mass transfer" p.1072, John Wiley & Sons, 2011, pp1072