

# 디지털 트윈 기술을 활용한 농업 온실 탄소 배출 관리 시뮬레이터 개발 연구

이승호, 변성우, 노동희\*

한국전자기술연구원

2sh1112@keti.re.kr, swbyun@keti.re.kr, \*dhee.noh@keti.re.kr

## Development of a Simulator for Managing Agricultural Greenhouse Carbon Emissions Using Digital Twin Platform

Lee Seung Ho, Byun Sung-Wo, Noh dong Hee\*

Korea Electronics Technology Institute

### 요약

본 연구에서 개발된 시뮬레이터는 디지털 트윈 기술을 활용하여 일반 농가와 트윈 농가의 데이터를 정확히 구분하고 효과적으로 관리한다. 이 시뮬레이터는 재배 품종과 면적을 고려하여 탄소 배출량을 계산하는 티어 2 방식과, 보다 상세한 데이터를 활용하는 티어 3 방식을 적용한다. 트윈 농가에서는 설치된 센서를 통해 실시간으로 데이터를 수집하고 관리하며, 이 데이터는 AI 알고리즘을 통해 분석되어 각 농가에 맞는 탄소 배출 감소 전략을 수립하는 데 활용된다. 이 연구는 디지털 트윈 기술을 활용하여 지속 가능한 농업 실천을 촉진하고, 환경 보호를 강화하는 새로운 접근법을 제시한다. 또한, 이 기술의 향후 적용 가능성을 탐구하며, 결과적으로 농가 관리자에게 탄소 배출량 관리를 효과적으로 지원하는 실질적인 데이터를 제공할 것이다.

### I. 서론

지구 온난화와 관련된 환경 문제는 전 세계적으로 지속 가능한 농업 실천의 필요성을 촉진한다. 특히 농업 부문은 전체 온실가스 배출량의 상당 부분을 차지하며, 이 부문에서의 탄소 배출 관리 및 최적화는 절실한 과제로 부상한다. 디지털 트윈 기술은 이 문제에 효과적으로 대응할 수 있도록 실제 농업 온실의 운영을 정밀하게 모델링하고, 온실가스 배출을 효과적으로 모니터링 및 관리할 전략을 개발한다[1-2].

본 논문은 시뮬레이터를 통해 온실에서의 탄소 배출을 관리하고 최적화하는 방법을 개발하는 것을 목표로 한다. 이 시뮬레이터는 디지털 트윈 기술을 활용하여 일반 농가와 트윈 농가의 데이터를 효과적으로 구분하고 관리하며, 각 농가 유형의 데이터를 통해 실시간으로 탄소 배출량을 예측하고 조정할 수 있도록 설계된다.

이 기술은 농업 분야에서 지속 가능한 관리 전략을 구현하는 데 중요한 역할을 한다. 본 연구는 디지털 트윈 기술을 기반으로 한 시스템이 어떻게 농업 온실의 탄소 배출을 줄이는 데 기여할 수 있는지에 대한 실증적 사례를 제공함으로써, 농업과 환경 보호의 조화를 도모하고, 향후 지속 가능한 농업 발전에 대한 방향을 제시한다.

### II. 본론

본 연구는 시뮬레이터 개발을 통해 수행된다. 이 플랫폼 내에서 일반 농가와 트윈 농가의 데이터를 구분하여 관리하는 시스템이 구축된다. 일반 농가는 전국적으로 조사된 719개 온실 농가의 데이터를 기반으로 하고, 트윈 농가는 테스트 베드를 활용하여 센서 및 통신 모듈을 설치하고 지속적인 모니터링을 통해 수집된 데이터를 포함한다.

일반 농가에서의 데이터 수집은 위치, 재배 품종, 재배 면적, 비료 및 퇴비 사용량, 그리고 에너지 소비량(등유, 경유, 휘발유, 전기) 등을 포함하며, 이러한 다양한 정보는 탄소 배출량을 계산하는 데 필수적인 요소들이다. 이 수집된 데이터는 본 연구에서 개발된 시뮬레이터 내에서 사용되며,

탄소 배출량 계산을 위해 다양한 티어의 계산 방식을 적용한다. 티어 1의 계산 방식은 국제 기후 변화 위원회(IPCC)에서 제시한 배출 계수를 사용하여 간단하게 계산되는 방식이지만, 본 시뮬레이터에서는 사용되지 않는다. 대신, 티어 2에서는 재배 품종과 면적을 주요 계산 요소로 활용하여, 더 구체적이고 상황에 맞는 탄소 배출량을 계산한다. 이 계산 결과는 시각적으로 이해하기 쉽도록 그림 1에서 시뮬레이션 예시로 제시된다, 이를 통해 사용자는 각 농가별 탄소 배출량의 차이를 명확하게 볼 수 있다. 마지막으로, 티어 3에서는 일반 농가에서 수집된 보다 상세한 데이터를 활용한다. 이 데이터는 각 영농 활동별 사용량과 관련된 온실가스 배출 계수와

시뮬레이션 설정 정보					
시뮬레이션	일반농가 농장별 비교 - 전체농장 시뮬레이션				
작업농장					
분야	에너지				
작업 모델	EDC-Regression A-001				
농장 정보					
#	농장명	지역	전체 재배 규모	작업	작업 재배 규모
1	농장 1	서울특별시 강남구	4,950.00㎡	배	4,950.00㎡
2	농장 2	서울특별시 강남구	2,700.00㎡	준	2,700.00㎡
3	농장 3	서울특별시 강남구	9,900.00㎡	대추	9,900.00㎡
4	농장 4	서울특별시 강남구	9,900.00㎡	딸	9,900.00㎡
5	농장 5	서울특별시 강남구	4,950.00㎡	준	1,650.00㎡
SIMULATION RESULTS					
시뮬레이션 결과 테이블					
		EDC-Regression A-001			
지역/농장	재배량	전체농장 대비			
전체농장	9,944,304.60	100.00%			
농장 1	253.28	0.00%			
농장 2	232.83	0.00%			
농장 3	848.61	0.01%			
농장 4	387.09	0.00%			

그림 1 일반 농가 탄소 배출 시뮬레이션 결과

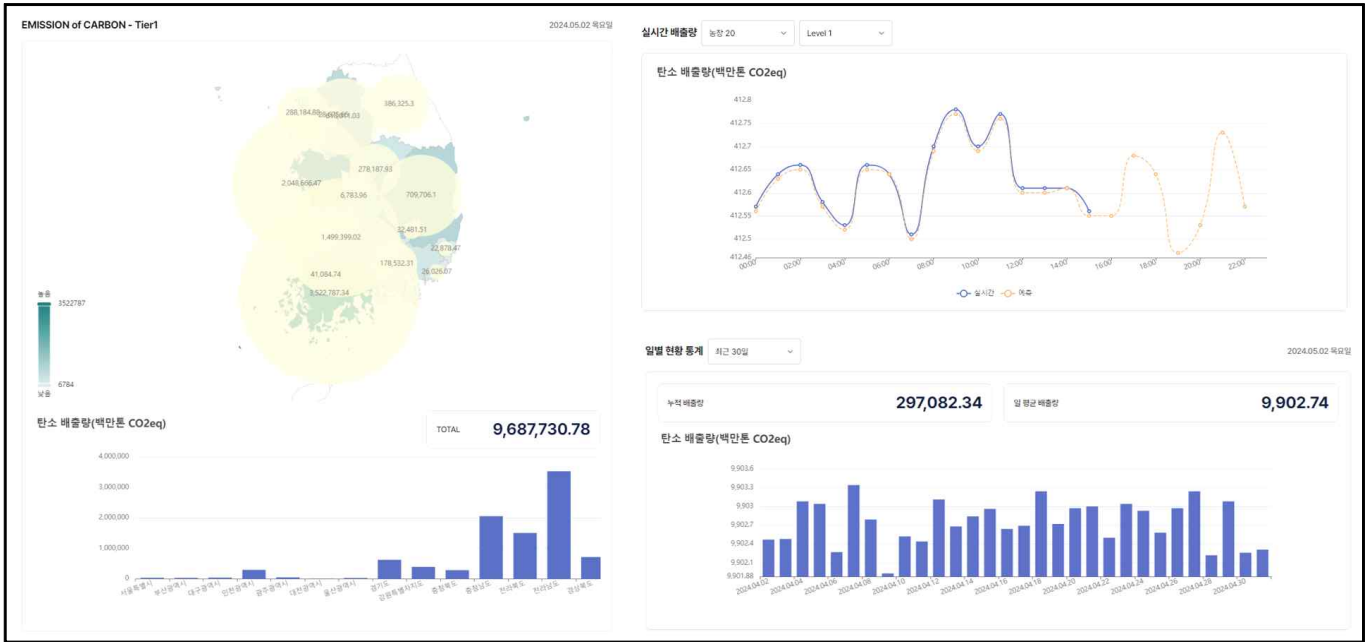


그림 2 전국 일반 농가의 온실가스 배출 통계를 보여주고 있는 시물레이션 화면

결합되어 총 온실가스 배출량을 계산하는 데 사용된다[3] :

$$\text{온실가스 배출량}(kgCO_2) = \sum (A_i \times EF_i) \quad (1)$$

여기서  $A_i$ 는 각 영농 활동의 데이터를,  $EF_i$ 는 해당 활동의 온실가스 배출 계수를 나타낸다.

트윈 농가에서는 설치된 센서들로부터 실시간으로 데이터를 수집하고 이를 관리한다. 센서의 작동 상태는 정기적으로 확인되며, 통신 불안정, 전원 공급 중단 등의 기술적 문제를 감지하고 즉각적인 조치를 취한다. 센서가 기록하지 못한 데이터는 인공지능 알고리즘을 통해 예측하고, 특이값이 발견될 경우에는 데이터를 필터링하여 보정한다[4-5]. 실시간으로 수집되는 데이터는 시물레이터의 대시보드를 통해 모니터링되며, 이상 현상 발견 시 관리자에게 알람을 통해 신속하게 보고된다. 또한, 일반 농가와 트윈 농가의 데이터를 비교 분석하여, 트윈 농가의 에너지 및 비에너지 사용량과 평균값과의 차이를 평가한다. 이러한 분석 결과는 그림 2에서 상세히 나타나며, 전국적인 일반 농가의 온실가스 배출 통계를 보여준다. 이 분석을 바탕으로 관리자는 트윈 농가에 대한 탄소 배출 최적화 전략을 제공한다. 본 연구를 통해 구축된 시스템은 효율적인 데이터 관리와 함께 탄소 배출량의 최적화를 가능하게 하며, 지속 가능한 농업 활동을 위한 실질적인 기여를 한다.

### III. 결론

본 연구를 통해 개발된 시물레이터는 디지털 트윈 기술을 활용하여 농업 온실의 탄소 배출을 효과적으로 관리하고 최적화한다. 이 시스템은 일반 농가와 트윈 농가의 데이터를 구분하여 관리하는 효율적인 방법을 제공하며, 실시간 데이터 분석을 통해 각 농가의 탄소 배출량을 예측하고 조정한다.

일반 농가에서의 탄소 배출량 계산은 티어 2와 티어 3의 계산 방식을 적용하여 수행된다. 이 계산 방식은 재배 품종과 면적을 고려한 티어 2 계산과, 보다 상세한 데이터를 사용하는 티어 3 계산을 포함한다. 이를 통해 각 농가의 특성에 맞는 보다 정밀한 데이터 분석과 탄소 배출량 계산이 가능하게 되어, 농가별 맞춤형 관리 방안을 제공한다.

이 연구는 농업 온실가스 관리에 있어서 디지털 트윈 기술의 중요성을

강조하며, 기술의 적용이 농업 온실의 탄소 배출 감소에 직접적인 영향을 미친다. 본 연구를 통해 구축된 시스템은 효율적인 데이터 관리와 탄소 배출량의 최적화를 가능하게 하며, 지속 가능한 농업 활동을 위한 실질적인 기여를 한다. 이 시스템은 농업 환경의 지속 가능한 관리를 지원하는 데 유용한 도구를 제공한다.

### ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2023년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임 (No.RS-2022-0-00567, 농축산시설 탄소 배출량 통합관리를 위한 디지털 트윈 플랫폼 기술 개발)

### 참고 문헌

- [1] Purcell, Warren, and Thomas Neubauer. "Digital Twins in Agriculture: A State-of-the-art review." Smart Agricultural Technology 3 (2023): 100094.
- [2] Cesco, Stefano, et al. "Smart agriculture and digital twins: Applications and challenges in a vision of sustainability." European Journal of Agronomy 146 (2023): 126809.
- [3] 김충실, and 이현근. "농업부문 에너지 소비의 CO2 배출량 분석." 농촌경제 32.1 (2009): 41-61.
- [4] Pang, Guansong, et al. "Deep learning for anomaly detection: A review." ACM computing surveys (CSUR) 54.2 (2021): 1-38.
- [5] Ma, Xiaoxiao, et al. "A comprehensive survey on graph anomaly detection with deep learning." IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering (2021).