

# PoE 기반 IoT 인프라를 활용한 축사 환기팬 전력 데이터 기반 상대 온도 변화 예측 및 에너지 디지털 트윈 구현에 관한 연구

모귀환, \*노성동, \*\*정선오

(주)제이파워넷, \*한국폴리텍V대학, \*\*한국폴리텍V대학

flyflymo@gmail.com, \*sdno@kopo.ac.kr, \*\*etncso@kopo.ac.kr

## A Study on the Relative Temperature Change Prediction and Energy Digital Twin Implementation Based on Ventilation Fan Power Data Using a PoE-Based IoT Infrastructure in Livestock Barns

Mo Gwi Hwan, No Sung Dong\*, Chung Sun Oh\*\*

JGPowernet Co.,Ltd., \*Korea Polytechnics V Univ. \*\*Korea Polytechnics V Univ

### 요약

본 논문은 AI 기술을 접목한 농업용 스마트 에너지 트윈 서비스 구현을 목표로, 실제 축사 환경에서 환경 정보와 환기팬 설비 전력 데이터를 통합적으로 수집·분석하는 구조를 제안한다. 이를 위해 축사 내부 온·습도 센서와 외부 기상 센서를 설치하였고, 센서 노드 구간에는 PoE(Power over Ethernet) 기반 IoT 인프라를 적용하여 전원 공급과 데이터 통신을 동시에 수행할 수 있도록 구성하였다. 환기팬 설비에는 서브미터링 장치를 설치하여 설비 단위의 전력 데이터를 수집하였으며, 모든 데이터는 10분 단위 시계열로 서버에 저장된다. 수집된 데이터를 기반으로 본 연구에서는 절대 온도 값이 아닌 상대 온도 변화량( $\Delta T$ )을 예측 목표로 정의하고, 환기팬 전력 데이터와 환경 데이터를 입력으로 하는 AI 기반 시계열 예측 모델을 적용하였다. 또한 실측 데이터와 예측 결과를 통합하여 축사 에너지 디지털 트윈 기반 모니터링 서비스를 구현하였다.

### I. 서론

기후변화로 인한 이상 고온 및 한파의 증가로 축사 내 열환경 관리와 에너지 효율 확보의 중요성이 커지고 있다. 축사 환경은 외부 기상 조건 변화에 민감하게 반응하며, 이를 제어하기 위한 환기팬 설비의 운전은 전력 소비 증가로 직결된다. 특히 환기팬은 축사 내 온도 조절의 핵심 설비로, 운전 패턴에 따라 에너지 사용량 변동 폭이 크기 때문에 효율적인 운영 전략 수립이 요구된다 [1]. 스마트축산 분야에서는 IoT 센서를 활용한 다수의 기존 연구는 상태 모니터링이나 임계값 기반 제어에 집중되어 있어 에너지 소비와 연계된 환경 변화의 예측에는 한계를 가진다 [2]. 축사 환경은 외기 조건, 설비 운전, 시간대별 운영 특성이 복합적으로 작용하는 동적 시스템이므로, 환경 데이터와 설비 전력 데이터를 통합적으로 분석하는 접근이 필요하다. 이러한 요구에 따라 최근 농업 및 축산 분야에서는 디지털 트윈(Digital Twin) 기반의 데이터 분석 및 예측 기술이 주목받고 있다. [3]. 축사 환경에서는 제한된 센서 환경에서도 가상 센서 및 예측 모델을 통해 환경 변화를 추정할 수 있다는 장점이 보고되고 있다. 본 연구는 AI 기반 농업용 스마트 에너지 트윈 서비스 구현을 목표로, 실제 축사 환경에서 수집한 10분 단위 시계열 데이터를 활용하여 환기팬 전력 데이터 기반 상대 온도 변화량( $\Delta T$ ) 예측 문제를 정의하고 예측 모델을 제안한다. 절대 온도 값이 아닌 상대 온도 변화량을 예측 대상으로 설정함으로써 초기 조건 및 외기 환경 차이에 따른 영향을 완화하고, 실제 환기 제어 및 에너지 운영 관점에서 활용 가능한 정보를 제공하고자 한다. 제안하는 구조는 향후 축사 에너지 디지털 트윈 기반 예측·제어 서비스로 확장 가능하다 [4].

### II. 본론

#### 1. 시스템 구성 및 데이터 수집 환경

본 연구에서는 축사 환경에서 신뢰성 있는 환경 및 전력 데이터를 수집하기 위해 PoE(Power over Ethernet) 기반 IoT 인프라를 구축하였다. 축사는 습도와 분진이 많은 환경으로 인해 배터리 기반 무선 센서의 유지보수가 어렵고, 통신 불안정으로 인한 데이터 손실 가능성이 높다. 이에 본 연구에서는 센서 노드 구간에 PoE 기술을 적용하여 전력 공급과 데이터 통신을 단일 이더넷 케이블로 통합함으로써, 설치 및 유지보수 효율을 향상시키고 장기간 안정적인 데이터 수집이 가능하도록 설계 및 설치하였다.



<그림.1 축사 내 POE 기술 기반 IOT 플랫폼 설계 및 구축>

축사 내부에는 온·습도 센서 노드를 설치, 축사 외부에는 기상 환경 센서를 설치하여 내부와 외부 온도 및 습도 데이터를 획득하였다. 각 센서 노드는 PoE 스위치를 통해 게이트웨이에 연결되며, 게이트웨이는 센서로부터 수집된 데이터를 10분 단위로 집계한 후 Wi-Fi 네트워크를 통해 공유기 및 중앙 서버로 전송하였고, 전력 데이터는 축사 내 환기팬 설비에 설치된 서브미터링 장치를 통해 수집되며, 환기팬의 실제 운전 상태와 전력 소비 특성을 정밀하게 반영할 수 있도록 구성하였다. 이를 통해 실내 환경 변화와 환기팬 전력 사용 간의 상관관계를 분석할 수 있는 기반 데이터를 확보하였다.

#### 2. AI 기반 상대 온도 변화량 예측

##### 2.1 예측 문제 정의 및 데이터 전처리

본 연구에서는 축사 내부 환경의 절대 온도 값이 아닌 상대 온도 변화량( $\Delta T$ )을 예측 대상으로 정의, 저장된 데이터를 기반으로 온도의 변화량과 전

력의 변화량을 10분 단위로 수집된 시계열 데이터를 사용하여 계산하였다. 절대 값은 외부 환경으로 오픈된 공간, 외부 기온, 이 외 환경 변수 등에 영향을 받을 수 있다. 이러한 이유에 있어 실측된 데이터는 아래와 같이 온도와 전력값의 변화량의 데이터를 비교함으로 예측이 가능할 것으로 판단되어, 전력 변화 대비 상대적 온도 변화의 예측 솔루션으로 구현하였다.

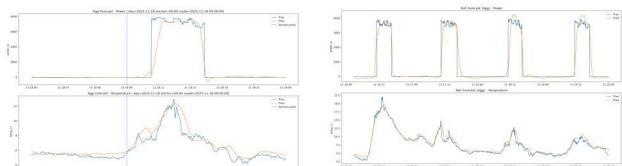


<그림.1 실내와 온도와 전력 데이터 비교 분석>

입력 변수로는 환기팬 설비의 전력 데이터와 실내 환경 데이터를 활용하였다. 특히 환기팬 전력 변화량은 축사 내부 공기 흐름 및 열 교환과 밀접한 관련이 있으므로, 상대 온도 변화 예측에 핵심적인 입력 변수로 설정하였다. 데이터 전처리 단계에서는 리샘플링 및 결합, 특징 생성, 필터링을 통해 시계열 분할 및 윈도우 생성을 통해 이상치 제거, 정규화 과정을 수행하여 모델 학습의 안정성을 확보하였다.

## 2.2 AI 기반 시계열 예측 모델 구성

상대 온도 변화량 예측을 위해 본 연구에서는 시계열 데이터의 시간적 의존성을 학습할 수 있는 AI 기반 예측 모델을 적용하였다. 입력 데이터는 일정 길이의 슬라이딩 윈도우 형태로 구성되며, 각 윈도우는 환기팬 전력 변화 패턴과 환경 변화 추이를 포함한다. 모델은 이러한 입력 시퀀스를 기반으로 다음 시점의  $\Delta T$ 를 예측하도록 학습된다.



<그림.1 전력의 변화량 기반으로 온도의 변화 예측>

예측 모델의 학습 과정에서는 학습 데이터와 검증 데이터를 분리하여 과적합을 방지하였으며, 예측 성능 평가는 평균 절대 오차(MAE) 및 평균 제곱근 오차(RMSE)와 같은 지표를 활용하였다.

## 3. 디지털 트윈 기반 모니터링 서비스 구현

### 3.1 에너지 디지털 트윈 구조

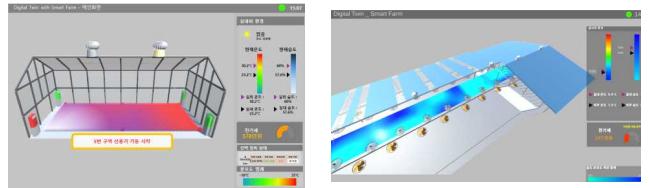
본 연구에서는 수집된 실측 데이터와 AI 예측 결과를 통합하여 축사에너지 디지털 트윈 구조를 구성하였다. 디지털 트윈은 데이터와 예측 데이터 기반으로 실시간 모니터링 화면으로 구성된 시계열 데이터를 기반으로 가상 모델을 연계하여 실시간 모니터링과 예측 정보를 동시에 제공하는 구조로 설계되었다.



<그림.2 DB와 서비스 IOT 플랫폼 구축>

## 3.2 모니터링 및 서비스 활용 시나리오

구현된 디지털 트윈 모니터링 시스템은 웹 기반 인터페이스를 통해 제공되며, 실내·외 환경 데이터, 환기팬 전력 사용량, 상대 온도 변화 예측 결과를直观적으로 확인할 수 있도록 구성하였다. 특히 상대 온도 변화량 예측 결과는 시간축 상에 시각화되어, 향후 온도 상승 또는 하강 추이를 한



<그림.2 DB 기반 디지털 트윈 개념 설계 및 구현>  
눈에 파악할 수 있다.

## III. 결론

본 논문에서는 AI 기반 농업용 스마트 에너지 트윈 서비스 구현을 목표로, 실제 축사 환경에서 환경 정보와 환기팬 설비 전력 데이터를 통합적으로 수집·분석하는 구조를 제안하였다. 이를 위해 PoE 기반 IoT 인프라를 구축하여 축사 내부 및 외부 환경 데이터를 안정적으로 수집하고, 환기팬 설비에 대한 서브미터링 전력 데이터를 확보하였다. PoE 기반 IoT 인프라 적용을 통해 축사와 같은 열악한 환경에서도 센서 전원 및 통신의 안정성을 확보할 수 있었으며, 환경 데이터와 전력 데이터를 시간 동기화된 형태로 수집할 수 있었다. 또한 본 연구에서는 절대 온도 값이 아닌 상대 온도 변화량( $\Delta T$ )을 예측 대상으로 정의하고, 10분 단위 시계열 데이터를 기반으로 환기팬 전력 변화량과 온도 변화 간의 관계를 분석하였다. 다만 본 연구에서는 내부 설비 중 환기팬 설비만을 대상으로 분석을 수행하였으며, 환기팬 운전에 따른 온도 변화 폭이 상대적으로 크지 않아 예측 정확도에 일정한 한계가 존재하였다. 이는 환기팬이 주로 공기 순환과 외기 유입을 담당하는 설비 특성에 기인한 것으로 판단된다. 향후 연구에서는 냉방기 및 난방기 설비의 전력 데이터를 함께 적용함으로써, 보다 명확한 열부하 변화가 반영된 환경에서 예측 성능을 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다. 또한 실측 데이터와 AI 예측 결과를 통합한 디지털 트윈 기반 모니터링 구조를 구현하여, 축사 환경의 현재 상태와 예측된 미래 상태를 동시에 제공하는 서비스를 제시하였다. 제안한 구조는 향후 다중 설비 전력 데이터 통합 및 예측 기반 제어와 연계를 통해 축사 에너지 디지털 트윈 기반 지능형 운영 서비스로 확장 가능하다.

## ACKNOWLEDGMENT

본 연구 2025년도 교육부 및 광주광역시의 재원으로 광주RISE센터의 지원을 받아 수행된 지역혁신중심대학지원체계(RISE)의 결과입니다  
(2025-RISE-05-015)

## 참 고 문 헌

- [1] J. A. C. Lamp et al., "Ventilation strategies and energy consumption in animal housing," Biosystems Engineering, 2019.
- [2] 김남호 외, "IoT 기반 축사 환경 모니터링 시스템," 한국통신학회 논문지, 2020.
- [3] C. Verdouw et al., "Digital twins in smart farming," Computers and Electronics in Agriculture, 2021.
- [4] M. Kim et al., "Energy consumption prediction for livestock ventilation systems using machine learning," Energies, 2024.