

## Design of a Tiered Data Processing System for Heterogeneous Equipment Integration in the Field

Ko Kyeong Il, Lee Meong Hun\*

\*Sunchon National Univ.

## 요약

본 연구는 노지 스마트농업 환경에서 통신방식, 포맷, 단위가 상이한 이기종 장비 간 데이터 호환성 문제를 해결하기 위해 4계층 기반의 통합 시스템을 설계하였다. 제안된 구조는 게이트웨이를 중심으로 데이터 수집, 정규화, 저장 및 송신이 유기적으로 연결되며, 국제 표준 및 국내 가이드라인을 준용하여 공통 데이터 모델을 구성하였다. 이를 통해 노지에서도 안정적 데이터 통합과 실시간 활용이 가능함을 보였으며, 향후 생육 예측 및 제어 모델 개발에 활용될 수 있다.

## I. 서론

과거 국내 스마트농업 기술개발은 주로 시설원에 및 축산 분야에 집중되어 왔다. 시설원에 및 축산의 폐쇄형 환경은 센서, 자동화 장비, 통합 제어 시스템 등의 기술이 빠르게 상용화되며, 고정밀 제어 및 데이터 기반 의사결정 기술이 진보해왔다. 반면, 노지농업 분야는 기상 조건, 지형 특성, 장비 간 이질성 등의 요인으로 인해 기술 적용이 더디게 진행되고 있으며, 다양한 장비 간 데이터 호환성 확보 역시 중요한 과제로 남아 있다[1].

정부에서도 기존의 시설 중심 스마트농업에서 벗어나, 노지농업을 포함한 전반적인 농업 분야의 디지털 전환을 주요 전략 목표로 설정하고 노지의 기후·환경 특성을 반영한 스마트 기술 개발, 데이터 표준화, 통신 인프라 구축, 장비 간 연계 기술의 확보가 중점 과제로 제시되는 다양한 정책을 진행하고 있다. 특히, 농림축산식품부의 「제1차 스마트농업 육성 기본계획(2022~2026)」에서는 노지 분야의 디지털화 추진과 공통 데이터 모델 개발을 핵심 과제로 포함하고 있으며, 이기종 장비 통합 기술의 필요성이 정책적으로도 강조되고 있다[2].

노지농업에서 사용되는 통신방식은 크게 유선(RS-232, RS-485 등)과 무선(LoRa, NB-IoT, LTE-M, BLE 등)으로 구분되며, 각 방식은 거리, 전력 소비, 설치 편의성, 장애물 회피 능력 등에서 서로 다른 특성을 가진다. 그러나 실제 현장에서는 단일 방식의 적용이 어렵고, 서로 다른 통신 기술을 사용하는 장비들이 동시에 존재하기 때문에, 통신 호환성 문제가 빈번하게 발생한다[3]. 이에 따라 장비 간 데이터를 중계·변환해주는 브리지 노드나 게이트웨이 기술, 또는 프로토콜 통합 프레임워크에 대한 연구가 시도되고 있으나, 여전히 노지 특화형 통신 구조의 표준은 부재한 상태다[4].

해외에서는 유럽의 FIWARE 기반 농업 플랫폼, 미국의 AgGateway, 일본의 WAGRI 플랫폼 등을 통해 이기종 장비 간 데이터 연계를 위한 공통 데이터 모델과 API 기반 통신 체계가 연구되고 있다[5]. 하지만 국내에서는 주로 시설농업을 대상으로 한 사례가 많고, 노지농업에 특화된 국내 실증 기반 연구는 상대적으로 부족하다. 또한 노지 환경은 무선 통신 품질이 시간과 장소에 따라 급변하며, 전원공급 인프라가 부족한 경우도 많아 기존 통신 기술의 적용 한계가 존재한다[6].

본 논문은 이러한 배경을 바탕으로, 노지 환경 이기종 장비 간 데이터 통합을 위한 게이트웨이의 요구사항을 정의하고 이기종 간 데이터 통합을

위한 계층형 데이터 처리 시스템을 설계하였다.

## II. 본론

노지 스마트농업 환경에서는 다양한 제조사, 통신방식, 센서 종류, 데이터 포맷을 기반으로 동작하는 이기종 장비들이 함께 운영되고 있다. 이러한 이기종 장비는 각기 다른 하드웨어 규격 및 통신 프로토콜을 사용하며, 생성하는 데이터의 단위와 전송 주기 또한 상이하다. 따라서 이를 통합적으로 수집, 처리, 활용하기 위해서는 통신 수단의 다변화, 데이터 포맷 변환, 단위 정규화, 시간 동기화 및 공통 인터페이스 체계의 구축이 필수적이다.

본 연구에서는 이기종 장비로부터 생성된 데이터를 효과적으로 통합하기 위하여, 그림 1에 제시한 바와 같이 4계층 기반의 시스템 구조를 설계하였다. 제안된 구조는 Device Layer, Communication/Acquisition Layer, Translation/Normalization Layer, Storage/Application Layer로 구성되며, 각 계층은 수직적으로 연계되어 전체 시스템의 실시간 데이터 수집과 활용을 지원한다.

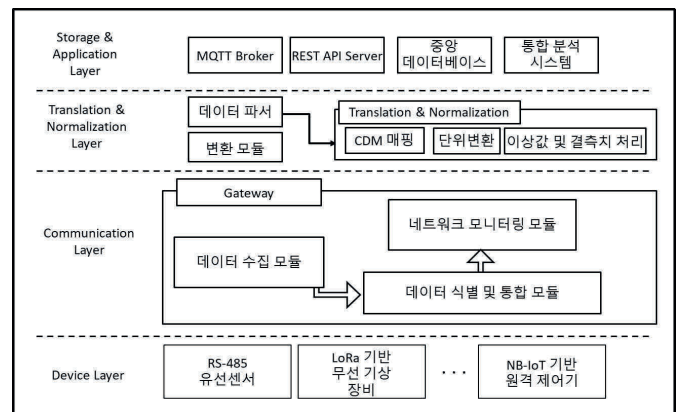


그림 1. 노지 스마트팜 이기종간 데이터 통합 시스템 구조도

Fig 1. Nogie Smart Farm Heterogeneous Data Integration System Structural Chart

첫 번째 계층인 Sensor/Device Layer는 데이터를 최초로 생성하는 계층으로서, 노지 환경에 설치된 다양한 유선(RS-485 기반) 및

## 2025년도 한국통신학회 하계종합학술발표회

무선(LoRa, NB-IoT 기반) 센서 및 제어 장치가 이에 해당한다. 현실적으로 노지 환경에서 사용되는 장비들의 통신 규격을 일괄적으로 통일하는 것은 어렵기 때문에, 두 번째 계층인 Communication/Acquisition Layer에서는 로컬 게이트웨이를 중심으로 데이터 통합 구조를 설계하는 것이 필요하다.

이에 본 연구에서는 게이트웨이가 다양한 통신 방식을 수용하고, 기초적인 포맷 해석과 데이터 전처리를 지원할 수 있도록 Intermediate Node의 역할을 수행하는 구조로 설계하였다. 구체적으로, 게이트웨이는 RS-485 to USB 변환기, LoRa USB 모듈, Wi-Fi 모듈을 병렬로 탑재하여 다중 통신을 동시에 수용할 수 있도록 구성하였다.

Communication/Acquisition Layer에서는 수신된 원시 데이터를 포맷별로 해석하기 위하여 Modbus RTU, JSON, CSV, 바이너리 데이터 등 다양한 포맷을 처리할 수 있는 파서 모듈을 게이트웨이 내부에 구축하였다. 이 파서 모듈은 장비별로 사전에 등록된 프로파일에 따라 자동으로 선택되어 동작하며, 일관된 구조로 변환하는 과정을 거친다. 변환된 데이터는 공통 데이터 모델(Common Data Model, CDM) 형태로 매핑되어 다음 단계로 전달된다.

세 번째 계층인 Translation/Normalization Layer는 이러한 하드웨어 기반 설계를 토대로 데이터의 정규화를 수행하는 단계이다. 본 연구에서는 OGC SensorThings API 및 ISO/IEC 30141 국제 표준을 준용하고, 농림축산식품부의 '스마트농업 공통데이터 구조 가이드라인'을 참고하여 장비별로 상이한 데이터 포맷과 단위를 일관된 공통 데이터 모델로 변환하였다. 공통 데이터 모델은 장비 고유 식별자(Device ID), 센서 종류(Sensor Type), 측정값(Value), 단위(Unit), 측정 시각(Timestamp), 위치정보(Location) 등을 필수 필드로 정의한다.

데이터 변환 과정에서는 °F 단위를 °C로 변환하거나, 지역시간을 UTC 시간으로 변환하는 표준화 작업을 수행하였다. 또한, 수집된 데이터 중 이상값이나 결측값이 발견될 경우, 사전 정의된 규칙에 따라 필터링하거나 보정 처리하여 데이터의 신뢰성과 분석 가능성을 높였다.

마지막 네 번째 계층인 Storage/Application Layer에서는 정규화된 데이터를 상위 분석 플랫폼으로 실시간 송신할 수 있도록 그림 2와 같이 시스템을 구성하였다. 데이터 전송은 MQTT(Message Queuing Telemetry Transport) 프로토콜과 HTTP REST API 방식을 병행하여 지원하였다.



그림 2. Storage/Application Layer 데이터 전송 프로세스  
Fig 2. Storage/Application Layer Data Transfer Process

MQTT 방식은 경량 메시징 프로토콜로서 게이트웨이와 서버 간 실시간 데이터 송신을 위해 채택되었으며, 게이트웨이는 장비별 고유 주제(topic)를 구성하여 데이터를 발행하는 구조를 적용하였다. 또한, 보안 강화를 위해 MQTT 연결 시 TLS 기반 암호화 통신 및 장비별 인증(Authentication) 기능을 적용하여 데이터 변조 및 무단 접근을 방지하였다.

MQTT 방식 이외에도, 게이트웨이는 HTTP 기반의 RESTful API 방식을 병행하여 데이터를 송신할 수 있도록 설계하였다. 이 방식은 주로 배치(batch) 데이터 전송이나 대용량 데이터 업로드, 또는 별도의 인증 및 관리 체계가 필요한 경우 활용된다.

게이트웨이는 MQTT 방식과 병행하여 HTTP 기반 RESTful API 방식으로 데이터 송신할 수 있도록 설계하였다. 이 방식은 주로 대용량 데이터 업로드나 서버 간 연계가 필요한 경우에 활용되며, 전송

시에는 JSON 포맷으로 변환된 데이터 본문과 함께 API Key 또는 OAuth2 인증 토큰을 요청 헤더에 포함하여 송신자의 신원을 검증하였다. HTTP 방식은 응답 코드(200, 400, 500 등)를 통해 전송 성공 여부를 명확히 판단할 수 있어, 송신 결과의 추적 및 에러 핸들링이 용이하다.

모든 전송 작업은 성공 및 실패 여부를 로깅하도록 구성하였으며, 전송 실패 시에는 로컬 저장소(SQLite 기반 캐시 DB)에 데이터가 재등록되어 추후 재전송 과정을 통해 복구된다. 이를 통해 노지 환경에서도 데이터 송수신의 신뢰성과 시스템 복원력을 확보할 수 있도록 하였다.

## III. 결론

본 연구는 노지 스마트농업 환경에서 운영되는 이기종 장비 간 데이터 호환성 문제를 해결하기 위해 4계층 기반의 통합 시스템 구조를 설계하였다. 제안된 구조는 Sensor/Device Layer, Communication/Acquisition Layer, Translation/Normalization Layer, Storage/Application Layer로 구성되며, 게이트웨이를 중심으로 다양한 통신방식과 데이터 포맷을 수용하고 정규화할 수 있도록 하였다.

통신/수집 계층에서는 RS-485, LoRa, NB-IoT 등 다양한 장비로부터 데이터를 수신하고, 포맷 해석 및 장비 식별을 수행하였다. 정규화 계층에서는 공통 데이터 모델(CDM)을 적용하고, OGC SensorThings API, ISO/IEC 30141 및 국내 스마트농업 데이터 가이드라인을 준용하여 데이터의 구조, 단위, 시간 기준을 통일하였다. 저장/활용 계층에서는 MQTT 및 HTTP 기반 송신 구조와 보안·캐시 기능을 통해 데이터 신뢰성과 복원력을 확보하였다.

이 시스템을 통해 노지 환경에서도 이기종 데이터를 통합·활용할 수 있는 기반을 마련하였으며, 향후에는 실제 현장에 시스템을 적용하여 운용 안정성을 검증하고, 수집 데이터를 활용한 생육 예측 및 자동 제어 모델 개발을 병행할 계획이다.

## ACKNOWLEDGMENT

"본 연구는 농촌진흥청의 농자재관리 및 평가 사업의 연구결과로 수행되었음" (RS-2025-00512764)

## 참 고 문 헌

- [1] 김지혜 외, "스마트농업 기술 동향 및 발전 방향," 농촌진흥청 보고서, 2021.
- [2] 농림축산식품부, 제1차 스마트농업 육성 기본계획(2022~2026), 세종: 농림축산식품부, 2021.
- [3] 이현철 외, "스마트팜 통신 기술의 발전 방향 및 적용 사례," 정보통신 정책연구원 보고서, 2020.
- [4] 장성훈 외, "노지 스마트농업을 위한 데이터 수집 및 통합 기술 개발," 한국정보통신학회논문지, vol. 28, no. 10, pp. 1231-1238, Oct. 2023.
- [5] European Commission, "FIWARE for Smart Agri-Food," [Online]. Available: <https://www.fiware.org/>
- [6] K. Kawasaki et al., "WAGRI: An open agricultural data platform in Japan," Computers and Electronics in Agriculture, vol. 154, pp. 362 - 370, 2018.