

스마트팜의 전력 소비량 절감을 위한 통합제어 시스템 설계

임상민, 안장덕, 이명훈*

*국립순천대학교

sangmin9642@gmail.com, forgj@naver.com, *leemh777@scnu.ac.kr

Design of an integrated control system to reduce power consumption in smart farms

Lim Sang Min, Ahn Jang Duk, Lee Meong Hun*

*Sunchon National Univ.

요약

본 논문에서는 스마트팜에서 전력 소비를 효율적으로 관리하고 절감하기 위한 통합제어 시스템을 설계하였다. 기존의 스마트팜 전력 관리시스템은 주로 전력 소비를 모니터링하는 것에 그쳤으나, 제안된 시스템은 전력량 데이터와 환경 데이터를 수집·분석하여 최적화된 제어 전략을 실시간으로 실행하고 피드백 루프를 통해 지속적으로 개선한다. 시스템은 감속 운전, 기상 데이터 활용, 열 회수 시스템 등 다양한 전력 절감 수단을 통합하여 최적의 전력 소비를 실현하고자 하였다. 또한, 기계 학습 및 인공지능 분석을 통해 전력 소비 패턴을 파악하고 최적의 제어 전략을 도출하여 전력 소비량을 효과적으로 절감하였다. 본 시스템은 온실 재배, 식물 공장 등 전력 소비가 많은 농업 분야에서 에너지 절감과 효율적 운영에 기여할 것으로 기대된다.

I. 서론

현재 전 세계적으로 온실가스 감축을 목표로 에너지 소비가 중요한 문제로 대두되고 있다. 특히, 전력 소비를 줄이는 것은 운영 비용 절감과 환경 보호에 중요한 역할을 한다[1]. 그러나 기존의 스마트팜 전력 관리 시스템은 전력 소비를 단순히 모니터링할 뿐 실시간으로 분석하고 최적화하는 기능이 부족하고[2-4], 개별 장비 제어에 그쳐 전체 시스템의 효율성을 극대화하기 어렵다. 또한, 외부 기상 조건이나 온실 내부의 환경 데이터를 효과적으로 활용하는 데에 부족하다[5].

따라서, 스마트팜에서 전력 소비를 효율적으로 관리하고 절감할 수 있는 통합제어 시스템이 필요하다. 본 논문은 스마트팜에서 전력 소비를 효율적으로 관리하고 절감하기 위한 시스템에 관한 것으로, 특히 전력량 데이터와 환경 데이터를 수집, 분석하여 다양한 전력 절감 수단을 통합적으로 제어하는 시스템을 제안한다.

II. 본론

본 논문에서는 스마트팜의 전력 소비를 효율적으로 관리하고 절감하기 위한 통합제어 시스템을 설계하였다. 본 시스템은 둘 이상의 전력 절감 수단을 통합적으로 활용하여 전력 소비를 최적화하는 것을 목표로 한다. 본 시스템은 크게 수집부, 저장 및 분석부, 제어부, 피드백 루프로 구성된다. 수집부에서는 스마트팜 내 다양한 센서로부터 전력 소비 및 환경 데이터를 실시간으로 수집한다. 여기에는 CT(Current Transformer) 센서, 전압 센서, 전력계, 외부 기상 센서, 온실 내부 센서 등이 포함된다. CT 센서는 전류를 측정하여 전력 소비를 계산하며 전압 센서는 전압을 측정한다. 전력계는 전력, 전류, 전압, 주파수 등을 측정한다. 기상 센서는 온도, 습도, 일조량 등을 측정하여 외부 환경 데이터를 수집한다. 온실 내부 센서는 온실 내부의 온도, 습도, CO2 농도, 토양 수분 함량 등을 측정하여 내부 환경 데이터를 수집한다. 이렇게 수집부에서 계속하고 수집한 센서 데이터들은 저장 및 분석부의 데이터로거에 저장된다.

저장 및 분석부는 데이터로거 및 게이트웨이, 중앙서버 등이 포함된다. 중앙 서버는 데이터베이스 관리시스템을 통해 수집부로부터 전달받은 데이터를 저장하고 관리한다. 저장된 데이터는 전처리 과정을 거쳐 분석에 사용된다. 데이터 전처리 과정에서는 결측치 처리, 노이즈 제거 등의 작업을 포함하며 분석 과정으로는 분석 기초 통계 분석, 전력 소비 패턴 분석, 기계 학습 모델 학습 등을 수행한다. 이러한 과정을 통해 전력 소비 패턴을 파악하며, 최적의 제어 전략을 수립하여 제어 명령을 생성하고 제어부에 전달한다.

제어부는 분석된 데이터를 바탕으로 전력 절감 목표를 설정하고, 다양한 전력 절감 수단을 통합적으로 제어한다. 자동화 제어 시스템은 각 장비(팬, 펌프, 냉난방기 등)의 작동을 최적화하며, 타이머와 센서를 활용하여 장비의 작동 시간을 최적화한다. 적어도 하나 이상의 전력 절감 수단을 가지며 전력 절감 수단으로는 감속 운전, 기상 데이터 활용, 열 회수 시스템 등이 있다. 감속 운전은 팬, 펌프, 냉난방기 등의 작동 속도를 조절하여 불필요한 전력 소비를 줄이고, 기상 데이터 활용은 외부 기상 조건을 실시간으로 분석하여 난방, 냉방, 조명 등의 사용을 최적화한다. 열 회수 시스템은 온실 내 발생하는 열을 회수하여 난방 등에 재사용한다. 그림 1은 시스템의 전체적인 구성을 나타낸다.

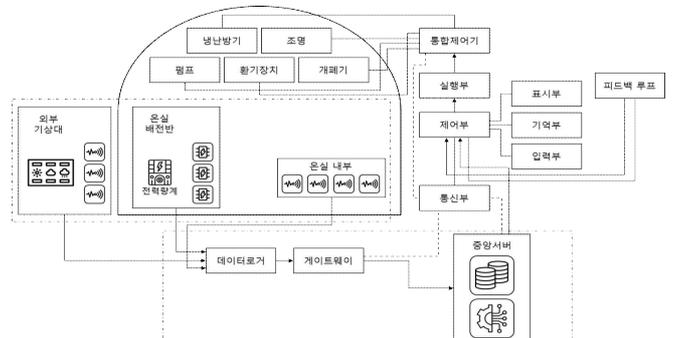


그림 1. 시스템의 개략 구성도

Fig 1. Schematic diagram of the system

그림 2는 중앙서버에서의 처리 과정과 피드백 루프 과정을 나타낸다. 수집부에서 수집한 소비 전력 데이터, 외부 기상 데이터, 센서 수집 데이터를 수신한다. 이렇게 수신한 데이터는 결측치와 노이즈 존재 여부를 파악하여 존재한다면 결측치 제거, 노이즈 제거 과정을 진행한다. 결측치 처리 방법으로는 보간법 및 평균값 대체 방법 등을 사용하며 노이즈 제거 과정으로는 이상값 탐지 및 필터링 기법 등을 사용한다. 그 이후 수신된 데이터를 분석에 적합한 형태로 변환한다. 변환 과정의 세부 수행 내용은 포맷 변환, 타임스탬프 동기화, 단위 변환 등을 포함한다. 또한, 실시간 모니터링에 맞는 데이터 셋으로 변환하여 통신부를 통해서 표시부에 모니터링 현황을 표시한다. 데이터 전처리 과정에서 정규화를 통해 데이터 범위를 조정한다.

데이터 분석 과정에서는 기초 통계 분석, 시계열 분석, 상관 분석, 기계 학습 모델 학습과 같은 분석 과정을 포함한다. 이러한 분석 과정을 통해 전력 소비 패턴과 환경 조건의 기본 특성을 파악하거나 시간에 따른 변화를 분석하여 일일, 주간, 월간 패턴을 인식하거나 비정상적인 데이터 패턴을 식별하여 잠재적인 문제를 발견하고, 사용자가 입력한 목표 절감량을 기반으로 최적화 알고리즘을 사용하여 설정된 목표를 달성하기 위한 최적의 제어 전략을 도출한다.

이렇게 도출된 제어 명령을 제어부로 전달하고 실행부와 통합제어기를 통해서 전력 절감 대상 장비들의 운동 상태를 제어하며 장비 작동 상태 데이터를 다시 중앙 서버로 전송한다. 최초의 최적화 알고리즘을 실행한 후부터 중앙 서버는 실시간 피드백 루프를 실행한다.

실시간 피드백 수집 과정에서는 장비의 작동 상태와 환경 데이터를 실시간으로 수집하여 저장한다. 피드백 데이터 분석 과정에서 목표 달성 여부를 판단하고, 여기에는 전력 소비량의 변화와 환경 조건의 변화를 포함한 다양한 성과지표를 포함한다. 목표 달성 여부는 목표 절감률과 실제 절감률의 차이값이 0 이상인지 아닌지 판단하고, 만약 목표가 달성되지 않았다면 에너지 절감 효과를 분석하고 데이터를 분석하여 문제 원인을 분석하고 식별하여 해결한 후 다시 최적화 알고리즘을 실행하며 루프를 반복하게 된다. 목표 절감률과 실제 절감률의 차이가 0이면 최종적으로 시스템 점검 후 데이터베이스에 저장 및 백업을 한 후, 처리 과정을 종료한다. 이와 같은 피드백 루프를 통해 스마트팜 전력 관리 시스템의 목표를 지속적으로 달성하고 최적의 운영상태를 유지할 수 있다.

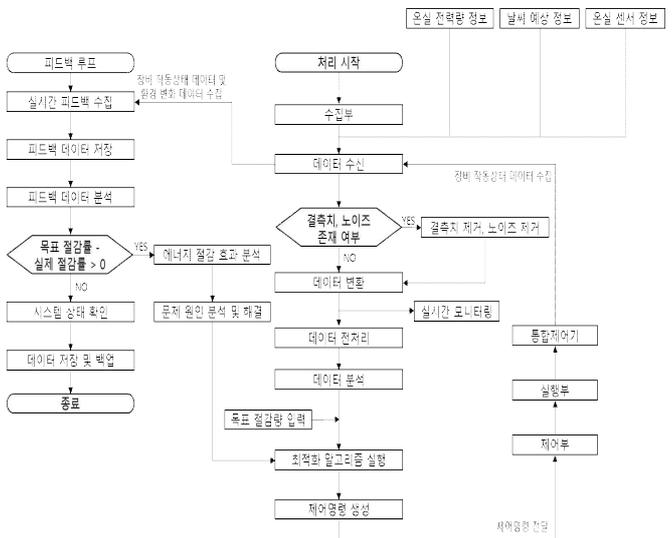


그림 2. 중앙서버에서의 처리 과정과 피드백 루프 과정
Fig 2. Processing process and feedback loop process on the central server

III. 결론

본 논문에서는 스마트팜의 전력 소비를 효율적으로 관리하고 절감하기 위한 통합제어 시스템을 설계하였다. 해당 시스템은 외부기상대의 데이터와 전력량 데이터, 온실 내부 환경 데이터 등을 활용하여 감속 운전, 기상 데이터 활용, 열 회수 시스템 등 다양한 전력 절감 수단을 통합하고 제어할 수 있게 설계하여 최적의 전력 소비를 실현하고자 하였다.

또한, 실시간 모니터링 및 피드백 루프를 통해 지속적으로 시스템 성능을 평가하고 개선할 수 있도록 하였다. 시스템 성능을 평가하고 개선하는데 있어서 기계 학습 및 AI 분석을 토대로 전력 소비 패턴을 분석하고 최적의 제어전략을 도출하여 도출된 제어 전략을 통해서 전력 소비량을 효과적으로 절감하고자 하였다.

본 시스템은 농업 분야에서의 에너지 절감 및 효율적 운영을 위해 널리 활용될 수 있다. 특히, 전력 소비가 많은 온실 재배, 식물 공장 등에서 큰 효과를 발휘할 수 있으며, 재생 에너지 활용 및 지속 가능한 농업 구현에 기여할 수 있다. 이 시스템은 에너지 비용 절감, 환경 보호, 생산성 향상 등의 이점을 제공하여 스마트팜 운영자, 농업 기술 업체, 에너지 관리 기업 등 다양한 시장에서의 수요가 예상된다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원-대학ICT연구센터(ITRC)의 지원을 받아 수행된 연구임 (IITP-2024-RS-2023-00259703, 100%)

참고 문헌

- [1] 허태혁, 안재훈, and 김영환, "인공지능 기반 전력 소비 절감을 위한 차세대 지능형 BMC 설계", 한국통신학회 학술대회논문집, pp. 907-908, 2022
- [2] 이무열, 심소정, 김은정, and 한영수, "스마트팜 전기 사용에 대한 웹 기반 실시간 모니터링 시스템 운영 및 전력사용량 분석", 생물환경조절학회지, vol. 31, no. 4, pp. 366-375, 2022.
- [3] KIEE, "전기의 세계", vol. 71, no. 4, pp. 2-3, 2022.
- [4] 최인혜, 안세미, 조영소, 정승철, and 최홍훈, "스마트팜 환경에서 전력 소비 감소를 위한 실내의 온도차 기반의 자동화 운용 알고리즘", 대한전기학회 학술대회 논문집, pp. 186-188, 2019.
- [5] 안형태, 안수용, 김재영, and 이철원, "온실형 스마트팜에서 환경 데이터 분석을 활용한 습도 센서 예측 모델", 한국통신학회 학술대회논문집, pp. 159-160, 2021.