

대화형 챗봇 기반 스마트온실 능동 제어 시스템 설계에 관한 연구

송기웅, 여현*

*국립순천대학교

sibyk2@naver.com, *yhyun@scnu.ac.kr

Research on the design of an interactive chatbot-based smart greenhouse active control system

Song Ki Woung, Yoe Hyun*

*Suncheon National Univ.

요약

본 논문은 농업 현장의 고령화, 기후변화, 인건비 상승 등의 문제를 해결하기 위한 방안으로, 대화형 챗봇 기반 스마트온실 제어 시스템을 제안한다. 시스템은 온실 환경 데이터를 실시간 수집하고, 음성 인식 및 자연어 처리 기술을 통해 사용자 질의에 기반한 직관적 제어가 가능하도록 구성되었다. 또한, 농촌진흥청·기상청의 공공 API를 연계하여 외부 기상 정보와 병해충 정보를 반영하고, LSTM 기반 예측 알고리즘을 통해 정밀한 환경 제어를 구현하였다. 본 시스템은 예측 - 알림 - 제어 - 피드백의 순환 구조를 바탕으로, 농업인의 접근성과 자동화 효율을 동시에 향상시키는 것을 목표로 한다.

I. 서론

최근 농업 현장은 고령화, 기후변화, 인건비 상승 등 복합적 문제에 직면하고 있으며, 이에 따라 생산성과 효율성을 동시에 확보할 수 있는 기술적 대안에 대한 수요가 증가하고 있다. 특히 시설원에 분야에서는 연중 안정적인 생산과 품질 관리를 위해 정밀 제어가 가능한 스마트온실의 도입이 확대되고 있다.[1]

농촌진흥청에 따르면, 2023년 기준 ICT 기반 스마트온실은 전체 시설원에 면적의 약 14%에 보급되었으며, 2027년까지 이를 30%까지 확대하는 것을 목표로 하고 있다[2]. 스마트온실은 기후 변화 대응, 생산성 향상, 노동력 절감 등의 효과를 통해 시설원에 분야의 지속가능한 경쟁력 확보를 위한 핵심 수단으로 부각되고 있으며, 정부의 스마트농업 확산 전략에서도 중심축 역할을 수행하고 있다.

스마트온실 시스템은 센서를 통해 수집된 데이터를 기반으로 작물 생육 환경을 자동 제어하지만, 도입과 운용에는 높은 기술 이해가 요구되며, 중장년 농가의 수용도는 낮은 수준이다[3]. 컨설턴트를 통한 지원은 비용과 접근성 측면에서 한계가 있다.

한편, 다양한 산업 분야에서는 대화형 인공지능 챗봇이 확산되며 사용자 지원 도구로 자리 잡고 있다. 챗봇은 실시간 질의응답과 정보 기반 판단 지원, 작업 자동화를 통해 사용자 편의성과 시스템 효율을 동시에 높이고 있으며[4], 고령 사용자에게도 직관적 접근성을 제공하는 장점이 있다. 이에 본 연구는 챗봇 기술을 농업 환경에 접목하여, 음성 명령과 간단한 질의를 통해 온실 상태를 확인하고 제어할 수 있는 대화형 스마트온실 제어 시스템을 설계하는 데 목적이 있다. 본 시스템은 농업 데이터, 기상 정보, 예측 모델, 제어 알고리즘을 통합하여, 기존의 자동화 수준을 넘어서는 상호작용 기반 농업 관리 시스템으로서의 가능성을 제시한다.

II. 본론

본 논문에서는 농업인이 직관적으로 활용할 수 있는 대화형 챗봇 기반 스마트온실 제어 시스템을 개발하는 것을 목적으로 한다. 이를 위해 온실 환경 데이터 수집, 음성 기반 인터페이스, 외부 정보 연계,

AI 기반 자동제어, 사용자 중심 대화형 설계의 다섯 가지 요소를 중심으로 전체 시스템을 구성하였다.

시스템은 온실 내부의 온도, 습도, 조도, 이산화탄소 농도, 토양 수분 등 작물 생육에 중요한 환경 데이터를 실시간으로 수집하고, 이를 기반으로 실시간 모니터링 및 시계열 기반 트렌드 분석 기능을 제공한다. 챗봇이 농가 데이터를 활용할 수 있도록 MQTT, RESTful API 등의 데이터

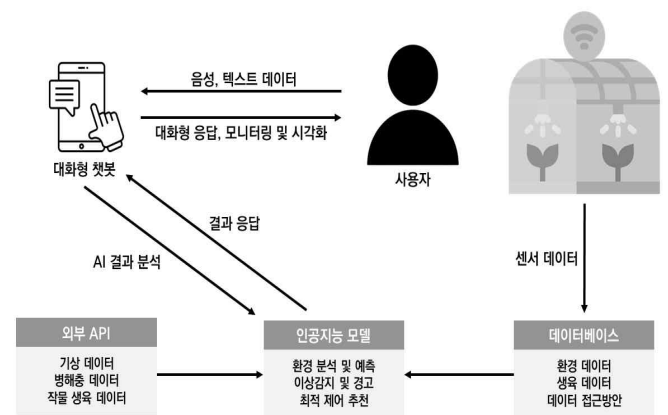


그림 1 대화형 챗봇 기반 스마트온실 능동 제어 시스템 구조도

Fig 1. Interactive Chatbot-based Smart Greenhouse Active Control System Structure diagram

접근 방식을 활용하여 농가에 데이터 접근 권한을 할당받고 이를 통해 챗봇이 API 호출로 최신 데이터를 조회하여 사용자 질의에 즉각적으로 응답할 수 있도록 설계하였다[5]. 단순히 데이터 조회 기능만 제공하는 것이 아니라, 사용자가 데이터를 쉽게 이해할 수 있도록 시각화 및 분석 기능을 제공할 수 있도록 실시간 모니터링 기능을 추가하여 접근성 면에서의 문턱을 낮출 수 있게 하였다. 또한, 과거 데이터를 활용한 환경 변화 분석과 이상 감지 기능을 통해 온실 내 이상 징후를 조기에 탐지하고 사용자에게 경고하고 적절한 조치를 제안할 수 있게 구상하였다. 이용자 접근성을 높이기 위한 핵심 설계 요소로는 음성 인식 기반의 질의응답 시스템을 도입하였다. 이는 농업인의 상당수가 중장년층 이

상으로 구성되어 있어, 키보드 입력이나 복잡한 조작에 익숙하지 않다는 점을 반영한 것이다. 시스템에서 사용자의 음성 데이터를 활용하기 위해서 Mozilla DeepSpeech, OpenAI Whisper, Facebook Wav2Vec2 등 최신 ASR(Automatic Speech Recognition) 모델을 비교 평가하여 잡음, 억양, 발음 차이 등의 음성환경 영향을 최소화하는 최적 모델을 구축하고 사용자의 음성을 해당 모델을 통해 텍스트로 변환하는 과정을 거친다. 이후 자연어 처리(NLP) 모듈을 통해 의도(Intent)를 분류하고, 주요 키워드 및 명령어를 추출한다. 해당 과정에서 발생하는 정확도 문제를 해결하기 위해 한국어 특성을 고려한 NLP 기반 오류 보정 기법을 적용 음성 인식 정확도를 향상시키는 작업이 필요하다. 농업 관련 전문용어 및 고유명사에 대한 사용자 정의 사전을 구축하고 형태소 분석기(KoNLPy, McCab) 및 한국어 토큰라이저(BERT Tokenizer, SentencePiece)를 적용하여 음성 데이터를 정제하는 등의 사전 작업을 거쳐 사용자의 음성을 보다 정확하게 챗봇이 이해할 수 있게 하였다. 이러한 과정을 통해 강화된 모델은 사용자의 음성 데이터를 정보 조회, 상태 확인, 환경 제어 요청 등으로 자동 분류되며, 시스템은 그에 따라 적절한 응답 또는 구동 명령을 수행하게 된다. 외부 정보 연계 측면에서는 농촌진흥청 및 기상청의 공공 API와 연동하여 사용자가 등록한 농장 주소(GPS 좌표)를 활용하여 해당 지역의 실시간 기상 예보, 병해충 정보, 작물 생육 데이터 등을 자동 반영한다. 사용자의 자연어 질의는 K-Means 기반 군집화 기법을 통해 해당 질의가 속한 의미 범주를 분류하고, 그에 따라 가장 적절한 외부 API를 호출하여 정보를 수집 및 제공한다. 이러한 연계 구조는 사용자의 질의와 외부 정보 간 정확한 연결을 가능케 하며, 의사결정에 필요한 정보를 신속하고 정확하게 제공하는 기반이 된다.

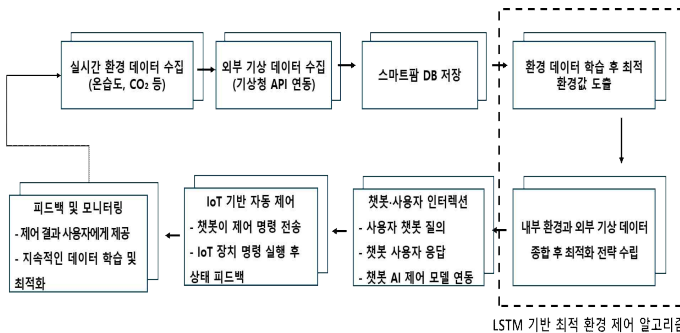


그림 2 LSTM 기반 최적 환경 제어 알고리즘

Fig 2. LSTM-Based Optimal Environmental Control Algorithm

정밀한 환경 제어를 위해 본 시스템은 시계열 예측에 특화된 LSTM(Long Short-Term Memory) 기반 알고리즘을 적용하였다. 이 알고리즘은 온실 내부의 환경 변화와 외부 기상 요소 간의 상관관계를 학습하여, 단기적인 온도, 습도, 조도 등의 변화를 사전에 예측한다. 시스템은 예측 결과가 생육 최적 범위를 벗어날 것으로 판단될 경우, 사용자에게 해당 상황을 알리고 제어 실행 여부를 질의한다. 사용자가 이를 승인하면, 환기창 개방, 냉방, 관수 등의 구체적 제어 명령이 자동 실행되며, 제어 결과는 다시 사용자에게 피드백되는 예측 - 알림 - 제어 - 피드백의 순환 구조를 따른다.

마지막으로, 시스템은 사용자의 질의 이력, 상호작용 패턴, 사용 시간대 등의 데이터를 기반으로 응답 품질을 지속적으로 향상시킬 수 있는 구조로 설계되었다. 자주 사용되는 질의 유형에 대해서는 응답 속도를 높이기 위한 캐시 기능이 제공되며, 사용자의 행동 데이터를 축적하여 챗봇 응답의 정확도와 효율성을 개선하는 방향으로 학습이

이루어질 수 있도록 설계되어 있다. 향후에는 사용자의 디지털 문해도에 따라 응답의 복잡도나 정보 전달 방식이 조정될 수 있도록 확장 가능성을 열어두었다.

III. 결론

본 논문에서는 농업인의 사용 편의성과 실시간 데이터 기반 의사결정을 동시에 충족시킬 수 있는 대화형 챗봇 기반 스마트온실 제어 시스템의 구조를 설계하였다. 고령화된 농업 현장의 현실을 고려하여, 음성 기반 질의 응답 이해 기능을 탑재하였고, 농업 환경 데이터와 외부 기상 정보를 통합적으로 활용하여 능동적인 환경 제어가 가능하도록 전체 시스템을 설계하였다.

특히, 챗봇이 수집된 데이터를 바탕으로 실시간 분석, 이상 감지, 의사결정 지원을 수행하고, 사용자의 간단한 응답만으로 구동기 작동을 유도할 수 있는 구조를 제안함으로써, 농업 현장의 자동화 수준을 실질적으로 끌어올릴 수 있는 기술 기반을 마련하였다. 또한, 농촌진흥청과 기상청 공공 데이터와의 연동을 구조화함으로써, 단일 온실 내 정보에 국한되지 않고 외부 환경 변화에 능동적으로 대응할 수 있는 확장성을 확보하였다.

제안된 시스템은 다양한 현장 실증 및 후속 개발을 위한 기초자료로 활용될 수 있으며, 향후 사용자 피드백 기반 인터페이스 개선, 인공지능 모델 성능 검증, 작물별 적용 방식의 최적화를 통한 시스템 구축을 추진할 계획이다.

결론적으로, 본 연구는 농업 현장의 현실과 기술 수용성을 반영한 구조적 대안을 제시하였으며, 이는 스마트온실의 미래 발전 방향에 있어 실질적인 기획 모델로서 의미를 가진다. 향후 실증 실험을 통해 설계 기반의 구조가 현장에서 얼마나 효과적으로 작동하는지 검증하는 것이 다음 단계의 핵심이 될 것이다.

ACKNOWLEDGMENT

“본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 지역지능화혁신인재양성 (Grand ICT연구센터) 사업의 연구결과로 수행되었음” IITP-2025-2020-0-01489

참 고 문 헌

- [1] 김연중, 박지연, and 박영구, "스마트 팜 실체 및 성공요인 분석," 한국 농촌경제연구원 기타연구보고, pp. 1-74, 2016
- [2] 농림축산식품부, "스마트농산업 발전방안", 2024, (https://www.mafra.go.kr/sn3hcv_v2023/skin/doc.html?fn=80D0ED86-4F65-FC76-1BAC-3BA12CC40F29.pdf&rs=/sn3hcv_v2023/atcmmf/bbs/202505/)
- [3] 허정희 외 2인, "스마트농업 확산에 대응한 농업인 역량 강화 방안", 한국농촌경제연구원 연구보고, pp. 4-7, November, 2023.
- [4] Avyay Casheekar, et al. "A contemporary review on chatbots, AI-powered virtual conversational agents, ChatGPT: Applications, open challenges and future research directions", Computer Science Review, pp. 15-18. April, 2024
- [5] Eduard Nemlaha, et al. "ASuitability of MQTT and REST Communication Protocols for AIoT or IIoT Devices Based on ESP32 S3", Springer, january, 2023.