

# GRU 기반의 농장 내 전력량 관리 및 이상탐지 자동화 시스템 설계

(Designing an GRU-based on-farm power management and anomaly detection automation system)

김현서\*, 이명훈\*\*

(Hyeon seo Kim, Meong Hun Lee)

## 요약

스마트팜의 전력 효율 관리는 기후 변화와의 연계로 중요성을 가지고 있다. 기후 변화가 농업에 부정적인 영향을 미치는 가운데, 미래의 농업은 스마트팜을 활용하여 기후 영향을 최소화할 것으로 예상되고 있으나 스마트팜의 전력 소비는 현재의 전기 생산 체제로 인해 기후 위기를 악화시킬 우려가 있다. 이에 따라 스마트팜의 전력 사용을 효율적으로 관리하고 최적화하는 것이 필수적이다. 본 연구에서는 스마트팜 장비의 전력 사용량을 실시간으로 모니터링하고, GRU를 활용하여 1시간 뒤의 전력 사용량을 예측하는 시스템을 제안한다. CT 센서를 설치하여 전력량을 수집하고, 이를 분석하여 이상 패턴을 탐지하고 예방한다. 또한 IoT 기술과 결합하여 전체 전력 사용량을 효율적으로 관리하고 모니터링한다. 이를 통해 전력 사용을 최적화하고, 에너지 효율성을 향상시켜 탄소 배출을 줄일 수 있다. 이 시스템은 스마트팜의 에너지 관리뿐만 아니라 전반적인 에너지 사용 효율성을 향상시킬 것으로 기대된다.

■ 중심어 : 전력 사용량 ; 이상 패턴 ; 제어 ; 에너지 ; 관리 ; 탄소 배출량

## Abstract

Power efficiency management in smart farms is important due to its link to climate change. As climate change negatively impacts agriculture, future agriculture is expected to utilize smart farms to minimize climate impacts, but smart farms' power consumption may exacerbate the climate crisis due to the current electricity production system. Therefore, it is essential to efficiently manage and optimize the power usage of smart farms. In this study, we propose a system that monitors the power usage of smart farm equipment in real time and predicts the power usage one hour later using GRU. CT sensors are installed to collect power usage data, which are analyzed to detect and prevent abnormal patterns, and combined with IoT technology to efficiently manage and monitor the overall power usage. This helps to optimize power usage, improve energy efficiency, and reduce carbon emissions. The system is expected to improve not only the energy management of smart farms, but also the overall efficiency of energy use.

■ keywords : power usage ; anomaly patterns ; control ; Energy ; management ; Carbon emissions

## I. 서론

IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change) 5차 보고서에는 작물과 내륙지역의 식량 생산에

있어서 기후변화가 긍정적인 영향보다는 부정적인 영향을 미치는 경우가 더 많다고 밝혔고, 기후변화는 수중 생물의 양과 분포에 영향을 미쳐서 열대 지역 개발도상국 취약계층의 식량안보 및 영양수준에 부정적인 영향을 주고 있다.[1] 미래의 농업은 기후의 영향을 최소화할

\* 학생회원, 순천대학교 정보통신공학과

\*\* 정회원, 순천대학교 스마트농업공학과

본 논문은 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 대학CT연구센터사업의 연구결과로 수행되었음 (RS-2024-00259703)

접수일자 : 2023년 12월 11일

게재확정일 : 2024년 01월 29일

수정일자 : 2023년 01월 26일

교신저자 : 이명훈 e-mail : leemh777@schnu.ac.kr

수 있는 스마트팜이 주를 이룰 것이고 특히 대한민국에서는 비닐하우스 위주의 농업이 많이 이루어지고 있는데 앞으로의 기후변화에 대비하여 스마트팜 기술 도입은 필수적인 요소가 될 것이다.[2]

하지만 기후변화 측면에서는 스마트팜의 도입으로 인해 소비전력 부족과 발전량 증가에 따른 이산화탄소 배출량 증가로 이어지는 부정적인 효과가 발생할 수 있다. 대한민국의 원전과 화석연료 중심의 전기생산 체제임을 감안할 때 기후 위기의 반대되는 농업으로 간주 될 수 있다. 2005년을 기점으로 농사용 전력의 사용량 증가율은 연평균 7.4%로 전체 전력 소비 증가율(5.7%)을 크게 웃돌고 있으며, 증가율도 계속해서 증가하는 추세이다. 2018년 농사용 전력 사용량은 1만 8,504GWh로 전년 대비 7.3% 증가하였으며 이는 한국전력이 약 1조 원의 원가 대비 손실의 원인으로 파악되고 있다.[3]

스마트팜 기반에는 전기를 사용하는 다양한 구동기와 센서 등의 활용이 필요하다. 스마트팜에 사용되는 난방, 냉방, 기계 및 관개 시스템은 전원공급이 필요하며, 각 부분에서의 전력 사용량을 파악하고 모니터링하여 실시간으로 측정하고 분석할 수 있는 시스템을 통하여 스마트팜에서 전력 사용량을 파악할 필요가 있다.[4] 수집된 전력 사용량을 모니터링하는 궁극적인 목표는 전력 사용 방식을 관리하여 작물 재배에 소요되는 전체 에너지를 줄이는 것이다. IoT(Internet of Thing) 기술을 활용하여 스마트팜의 요소별 전력을 파악하여 스마트팜의 설비 구성 및 설계 경영비의 산정 및 에너지를 절약하는 스마트팜 경영 전략을 수립하는 등 다양한 목적을 위해 사용될 수 있다.

또한, 스마트팜을 안전하고 효율적으로 운영하기 위해서는 각각의 장비마다 안정적인 전원공급을 필요로하며 비효율적인 전력 소비는 스마트팜의 성능 저하를 야기할 수 있다. 따라서 스마트팜에서 비효율적인 소비전력을 파악하고 각 장치들의 과부하 및 고장 발생 가능성을 예방하는 것이 중요하다.[5]

그러나 현재까지 실시간 전력 사용량을 활용하여 전력 사용량을 줄이기 위한 인공 지능 기반의 시스템 적용은 아직 상용되지 못하고 있다. 그

이유로는 작물의 종류 및 품종에 따라 작기가 다르고, 생육에 중요하게 작용하는 요소가 다르며, 농장마다 도입한 스마트팜의 구조 및 크기, 필요한 설비 등이 다양하여 IoT 기술을 활용한 스마트팜의 운영 기술을 확립하기까지에는 많은 시간이 필요하다.[6]

본 논문은 테스트베드를 구축하여 스마트팜에 사용되는 전력량을 실시간으로 모니터링 및 분석하고 GRU 모델을 활용하여 각 장치마다의 소비 전력량을 파악하고 장비의 과부하를 사전에 예방할 수 있는 스마트팜 전력량 관리 및 이상 탐지 시스템을 설계하여 스마트팜에 과도한 전력 사용을 방지하고 전력량 이상 패턴을 탐지하여 에너지 사용 효율을 높이는 데 기여하고자 한다.[7]

## II. 관련 연구

### 1. 전류센서를 이용한 소비전력량 알림시스템 개발

동서대학교 정병수 외 2명이 연구한 해당 논문은 환경에 의한 전력을 과도하게 사용하는 것을 방지하기 위하여 전류센서를 이용한 전력량 측정기와 LED/LCD/서보모터를 활용한 사용자 알림 시스템을 개발하였다. 본 시스템을 통해 사용자가 사용한 소비 전력량과 함께 간단하게 확인할 수 있고, 누진 세법에 의거한 세액 산출 공식을 적용하여 실시간으로 사용한 요금을 보여줄 수 있도록 확장도 가능한 시스템을 진행하였다.[8]

### 2. DGA 도메인 탐지를 위한 LSTM과 GRU 모델 비교

강원대학교 김현중 외 2명이 연구한 해당 논문은 Command and Control(C&C) 서버를 통한 사이버 공격을 방지하기 위해 DGA 도메인을 탐지에 적합한 모델을 선정하기 위해 LSTM과 GRU 기반 탐지 모델을 평가하는 논문이다. RNN 계열 레이어와 상관없이 항목에서 96% 이상의 높은 탐지 성능을 보임을 알 수 있었지만, GRU는 LSTM보다 간단한 구조로 인해 계산 효율성이 높으며 학습이 빠르면서도, 시계열 데이터의 장기 의존성을 효과적으로 학습할 수 있고 유사한 성능을 보였다.[9] 그림 1과 그

림 2는 LSTM 모델과 GRU 모델의 기본 구조를 나타낸 그림이다. LSTM은 입력 게이트, 삭제 게이트, 출력 게이트로 구성된 것과 달리 GRU는 업데이트 게이트와 리셋 게이트를 가지고 업데이트 게이트는 현재 입력값과 이전 상태 값의 정보의 조합을 통해서 새로운 상태 값을 계산하는 역할을 하고, 리셋 게이트는 이전 상태의 정보값을 얼마나 유지할지 결정하는 역할을 수행한다.

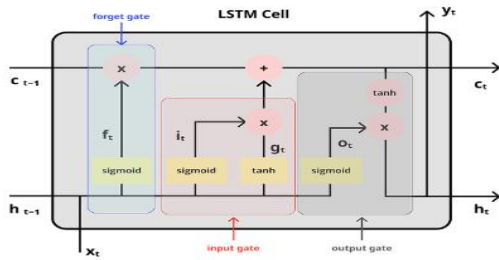


그림 1. LSTM 모델의 기본 구조

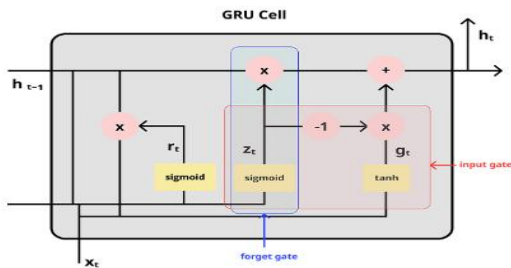


그림 2. GRU 모델의 기본 구조

기준에 연구되어왔던 스마트팜 관련 에너지 활용에 대한 연구들은 주로 친환경 비료나, 냉난방 장치, 건물 등에 초점이 맞추어져 있으며, 구동기나 개폐기 등의 개별적인 전력량을 파악하여 관리 시스템이 연구되지 않았고, 이로 인해 본 연구에서는 GRU 모델을 활용하여 스마트팜 전력량 관리 및 이상 탐지 시스템을 설계하고자 한다.

### 3. 전력선통신 시스템을 위한 딥 러닝 기반 전력량 예측 기법

이동구 외 6명이 연구한 해당 논문은 전력선 통신 시스템의 전력 소비량 예측을 위한 딥러닝 접근 방식에 대해 설명하며, 장단기 메모리 (LSTM) 모델을 활용한다. 이 연구는 예측 정확도를 개선하여 전력 예비력 관리를 최적화 하는 것을 목표로, 21.37%의 오차율을 보였다.[10]

본 논문은 스마트팜 전체적인 전력량 패턴을 간략화하여, 데이터를 생성하였다. 생성한 데이터를 통해 GRU 모델을 사용하여, 모델의 구조와 여러 파라미터를 실험한 결과 최적의 값을 도출하였다. 이로 인해 예측된 값과 실제 값을 비교하였을 때 14.25%의 오차율을 보이며 예측 정확도면에서 우수한 성능을 보였다. 특히, 학습 데이터와 검증 데이터의 분할, 그리고 효과적인 파라미터 조정을 통해 모델의 정확도를 높일 수 있었다. 이러한 접근을 통해 스마트팜에서 전력 사용량을 보다 효율적으로 관리하는 전력량 관리 및 이상 탐지 시스템을 설계하고자 한다.

## III. 본론

### 1. 스마트팜 전력량 관리 및 이상 탐지 시스템 구성

그림 3은 스마트팜 전력량 관리 및 이상 탐지 시스템의 전체적인 구성도이다. 각 구동기 및 센서에서 사용되는 전기의 양을 측정하여 GRU 예측값 분석 모델을 통해 향후에 사용될 전력량을 미리 파악하고, 전력량의 이상 패턴을 탐지하여 장비의 과부하를 예방할 수 있는 시스템이다. 스마트팜 환경정보와 전체 전력 사용량을 측정할 각 센서 및 구동기, 제어장치에서 CT(전류 변환기) 센서를 설치하여 실시간으로 전력량을 데이터 로거에 의해 수집하고 기록한다. 수집된 전기 사용량과 환경정보를 상관 분석하여 전체 전력 사용량을 효율적으로 관리하고 모니터링할 수 있다. GRU 모델을 활용하여 1시간 후의 전력 사용량을 예측하여 예측된 전력 사용량과 실제 사용량을 비교하여 이상 패턴을 감지한다. 이상 패턴이 탐지되면 통합제어기에 제어신호를 보내 구동기 및 환경 장비들을 제어하여 전력 사용량을 최적화하고 장비의 과부하 및 고장여부를 사용자에게 알릴 수 있는 시스템이다.

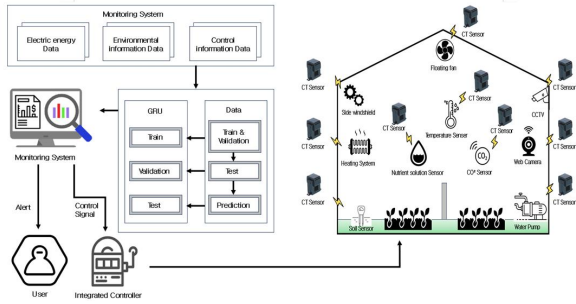


그림 3. 스마트팜 에너지 관리 및 이상 감지 시스템 구성도

## 2. 데이터 수집 및 처리 방법

본 연구에서는 스마트팜에서 사용되는 온도, 습도, CO2 등 센서 장비와 축 천창 개폐기, 관수 펌프, 순환 팬 등 구동기에서 사용되는 소비전력을 대상으로 데이터를 수집하였다. 장치별로의 계측을 위해 AC CT 센서를 이용하였고 각 CT 센서는 eGauge EG4115와 연결되어 분기 회로별 전력량측정 및 전체전력량을 측정하여 데이터베이스에 전송한다. EG4115는 최대 15개 회선까지 개별 또는 전체의 전력량 계측이 가능하다. 데이터베이스는 리눅스기반의 싱글 보드 컴퓨터를 사용하였다. 그림 4는 스마트팜 전력량 관리 및 이상 탐지 시스템의 데이터 수집부를 나타낸다.

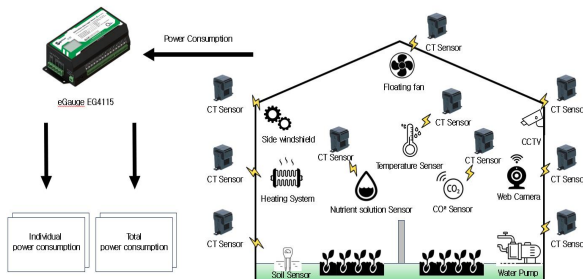


그림 4. 전력 소비 이상 패턴 감지 및 전력 소비 예측 시스템의 데이터 수집 장치

전력량 데이터는 단상 전력 시스템에서는 1개의 CT 센서를 사용하고 3상 전력 시스템의 경우 3개의 CT 센서를 사용한다. 이를 통해 각각의 전력 시스템에 적합한 정밀한 전력량을 측정하여 로거에 기록하였다. 수집된 전력량 데이터는 로거를 통해 저장되며, 이후 이더넷을 사용하여 서버로 실시간으로 전송하게 하였다. 이 과정을 통해 데이터의 신속한 처리와 분석이 가능해지며, 실시간 데이터 모니터링 및 관리를 용이하게 한다. 전력량 데이터는 1시간 주기로 수집하였고

MariaDB 11.0.1을 사용하여 데이터베이스에 저장하였다. 이렇게 짧은 주기로 데이터를 수집함으로써 전력 사용량의 변화를 보다 정확하고 신속하게 파악할 수 있도록 하였다. 수집된 데이터의 정확성을 높이고, 이상 탐지의 정밀도를 개선하는데 중요성을 두기 위하여 Null 값은 데이터의 무결성을 위해 제거하고, Outlier 값들은 이상 탐지를 위해 사용하였다. 수집된 데이터는 시간별 전력 데이터 및 전체 전력 데이터의 분포를 나타내는 그래프 형태로 시각화하여 전력 사용량의 패턴과 추세를 쉽게 파악하고 분석할 수 있도록 나타내었다. 그림 4는 수집한 전체 장비의 시간별 전력 데이터를 나타내고, 그림 5는 전체 전력 데이터의 분포를 확인한 그래프이다.

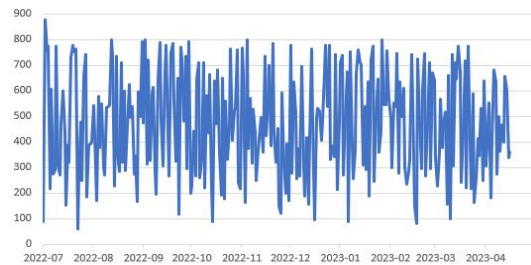


그림 5. 수집된 시간별 스마트팜 내의 전체 장비의 전력 데이터

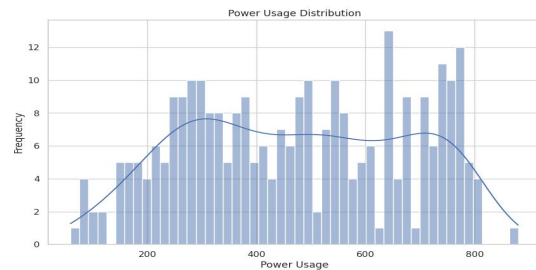


그림 6. 수집된 시간별 스마트팜 내의 전체 장비 전력 데이터 분포

## 3. 데이터 분석 및 GRU 예측값 도출

사용 전력량 이상 패턴 분석을 위해 전체 전력 소비량을 날짜별로 그래프 화하였고, 주중과 주말 전력 사용 분석 및 peak time 분석을 위해 요일별로 그래프화하여 분포를 살펴보고, 주중과 주말의 Upper Bound와 Lower Bound를 계산하여 이상 패턴을 탐지하였다. 식(1) Upper Bound와 Lower Bound를 구할 때 사용하는 식으로  $\sum X$ 는 데이터 값들의 합,  $N$ 은 데이터 포인트 개수,  $\sigma$ 표준 편차를 의미한다.

$$UpperBound, LowerBound = (\sum X/N + 2\sigma)$$

(1)

스마트팜 운영 시 전력 소비가 Upper Bound보다 높거나 Lower Bound보다 낮을 경우 이상 패턴으로 판단하여 ICT 장비 및 구동기, 센서 등에 문제가 생겼을 가능성이 있다. 이를 이상 탐지의 지표로 활용하여 시스템의 과부하를 방지할 수 있다. 그림 7은 주중과 주말의 전력 사용량 비교를 위한 분포도이다.

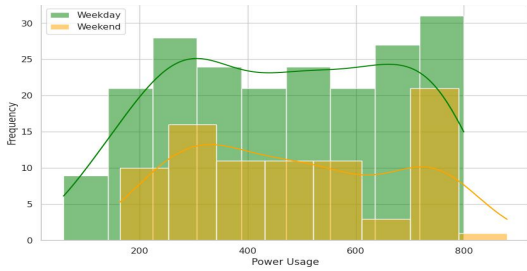


그림 7. 주중과 주말의 전력 사용량 비교

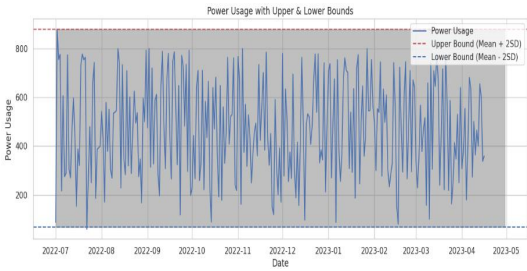


그림 8. Upper Bound & Lower Bound 시각화

그림 8은 스마트팜 전력 사용량의 일정 기간에 대한 데이터를 Upper Bound와 Lower Bound를 시각화한 그림이다. 시간별 전력 사용 데이터를 통해 데이터를 정규화하고, 시퀀스 형태로 재구성하여 전처리를 한다. 이 범위는 전력 사용량의 정상적인 변동을 나타내며, 이를 벗어난 사용량은 이상 패턴으로 간주한다. 예를 들어, 전력 사용량이 Upper Bound를 초과한다면 과도한 전력 사용이나 장비 고장 등을 의미하며, Lower Bound 아래로 떨어진다면 시스템의 오작동이나 전력 사용량 감소의 원인을 조사해야 한다. 이상 패턴을 감지하였을 경우, 사용자에게 알림을 전송하고 통합제어기에 제어신호를 보내 각 스마트팜 장치들을 제어할 수 있도록 구성하였다. 기존의 전력관리장치는 고가의 비용과 서비스 확장성의 부재 등의 문제로 본 논문에서는 저가의 하드웨어인 AMD Ryzen 5 5600X 6-CORE와 그래픽 카드인

AMD Radeon RX 6600M/6600XT를 활용하여, 학습시간 예측 기능을 가진 전력량 관리시스템을 제안한다. 또한 GRU 모델을 사용하여 학습할 데이터를 학습데이터와 검증데이터, 테스트데이터로 분할하였고, 학습데이터는 2개월, 검증데이터는 1개월, 테스트데이터는 7일로 분할하였다. 모델의 파라미터는 배치 크기 32, 노드 수 64, 드롭아웃 0.25, 레이어 3개, 입출력 데이터의 길이를 동일하게 한 개로 실험을 진행했으며, 드롭아웃을 사용하여 특정 변수에 과대 적합이 되는 문제를 방지하였다. 최종적으로는 표 1와 같이 모델 파라미터를 설정하였다.

표 1. 모델 파라미터

Parameter	Value
Optimizer	RMSprop
Activation Function	Tanh
Node	64
Layers	3
Dropout	0.25
Epoch	100
Early Stopping	20
Batch Size	32
Sequence Length	1

GRU 모델로 100에 포크를 학습시키는 데 걸린 시간은 2분 23초가 걸렸고 예측정확도는 0.23 MAE, 7.086 RMSE를 가졌다. 오차를 계산을 위해 각 데이터 포인트의 오차를 계산하고 평균값을 찾고, 평균 실제 값을 계산하여 오차율을 계산하였을 때 14.25%의 오차값을 갖는다. 그림 9는 예측된 값과 실제 값을 시각화한 그림이다.

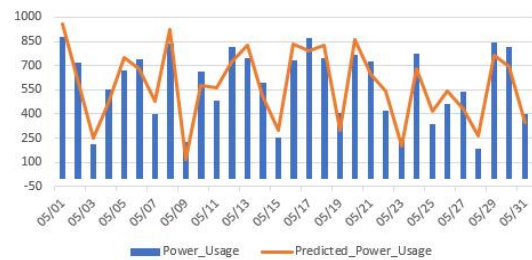


그림 9. 예측된 값과 실제 값 시각화

구현된 모델로 각 장비에서 발생하는 전력량의 예측값을 구한 후 Grafana를 사용해 대시보드를 구성하고, 예측 전력량이 평균 전력량 이상으로 증가할 때 제어 신호를 통합제어기에 보내는 동시에 사용자에게 알림을 주도록 구성하였다. 모니터링 시스템에서 제어 신호를 받은



통합제어기는 해당하는 장치의 전원을 차단하거나, 다른 제어장치의 전력 사용량을 낮출 수 있도록 설계하였다. 예를 들어 기온이 증가함에 따라 축창 개폐기가 작동할 때 개폐기 작동 1시간 전에 미리 난방기 전원을 차단하도록 하였다. 인터페이스 레이아웃을 자신이 원하는 인터페이스 레이아웃으로 적용하여 사용할 수 있는 시스템 개발을 진행하였다. 언제, 어디서든지 네트워크를 통해 사용자가 원하는 인터페이스 레이아웃을 적용할 수 있기 때문에, 스마트 모바일을 사용하는 데 있어 최적의 환경을 만들어 준다. 또한, 장애인, 노인, 어린이와 같이 특정 계층에게 맞는 인터페이스 레이아웃을 제공할 수 있기 때문에, 보다 스마트 모바일을 사용하는 데 있어 불편함을 많이 줄여줄 것이다. 인터페이스 레이아웃의 버튼은 사용자가 원하는 만큼 크기를 늘리고 줄일 수 있다.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 교류전류 측정 센서와 환경정보 센서, 구동기 등의 전력 사용량 데이터를 가지고 GRU를 이용하여 1시간 뒤의 전력 사용량을 예측하고 이상 전력을 자동으로 탐지하여 이상치를 가지고 각 장치들을 자동으로 제어할 수 있는 시스템을 구성하였다. 이를 통해 스마트팜 내 전기 에너지 사용 효율을 높이고 탄소 배출 저감에 기여하리라 판단한다.

#### REFERENCES

[1] 임영아, 정학균, 이혜진, “ 제8장 기후스마트농업의 동향과 전망,” *한국농촌경제연구원*, 2쪽, 2017년 1월

[2] Y.J Kim, J.H Roh, “Research trends in dental hygiene based on topic modeling and semantic network analysis,” *Korean Journal of Dental Hygiene*, Vol. 22, No. 6, 2022.

[3] Are smart farms really sustainable and ESG - c ompliant agriculture?(2023). <https://www.impacto n.net/news/articleView.html?idxno=5895>, (accessed Jul., 09, 2023).

[4] D.M Chetan, R.R. Ganesh, S. Jagannathan, R. Priyatharshini, “Smart farming system using sensors for agricultural task automaation,” *IEEE Technol Innov ICT Agric Rural Dev*, pp. 49-53, 2015.

[5] H.M Jawad, R. Nordin, S.K. Gharghan, A.M. Jawad, M, “Energy-efficient wireless sensor networks for precision agriculture: A review,” *Sensors*, 2017.

[6] 이혜림, “시설채소 스마트팜 빅데이터 수집 및 생산성 향상 모델 연구,” *농촌진흥청*, 25-26쪽, 2019년 3월

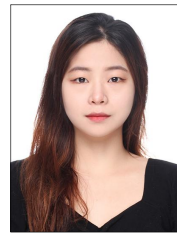
[7] 윤영욱, 한인찬, “IMU 센서와 CNN-GRU 신경망을 활용한 사람 동작 예측 연구,” *한국통신학회*, 1049-1050쪽, 2023년 6월

[8] 전인성, 김정호, 안재훈, 김영환, “데이터 센터의 전력량 예측을 위한 적대적 생성 신경망(GAN) 기반 데이터 확장 성능 비교,” *한국정보과학회*, 946-947쪽, 2021년 6월

[9] 김현중, 길명선, 문양세, “ DGA 도메인 탐지를 위한 LSTM과 GRU 모델 비교,” *한국정보과학회*, 122-124쪽, 2021년 6월

[10] 이동구, 김수현, 정호철, 선영규, 심이삭, “전력선 통신 시스템을 위한 딥 러닝 기반 전력량 예측 기법,” *한국전기전자학회*, 822-828쪽, 2018년 9월

#### 저 자 소 개



**김현서(준회원)**  
 2022년 순천대학교 정보통신공학과 학사 졸업  
 2023년 ~ 현재 : 순천대학교 정보통신공학과 석사 재학  
 <주관심분야 : 스마트팜, 사물인터넷, 클라우드>



**이명훈(정회원)**  
 2006년 순천대학교 정보통신공학과 석사 졸업  
 2011년 순천대학교 정보통신공학과 박사 졸업  
 2010년 ~ 2013년 한국전자통신연구원 선임연구원  
 2017년 ~ 2021년 국립농업과학원 연구사  
 2021년 ~ 현재 : 국립순천대학교 스마트농업전공 교수

<주관심분야 : 모바일 및 무선 네트워크(모바일 와이맥스, 무선랜, 지그비), ICT 융합(농업, 산업, 보안), 표준(통신 표준 개발 추진을 통한 산업 지구연 확대)>