

# 노지재배 스마트팜의 문제점을 해결하기 위한 LoRa 기술 분석

이재찬<sup>1</sup>, 전상현<sup>1</sup>, 이준영<sup>1</sup>, 경연웅<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>공주대학교 정보통신학과 학생, <sup>2</sup>공주대학교 정보통신공학과 교수

## Technical Analysis of LoRa for Problems on Outdoor Culture Smart Farm

Jaechan Lee<sup>1</sup>, Sanghyeon Jeon<sup>1</sup>, Junyoung Lee<sup>1</sup>, Yeunwoong Kyung<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Student, Division of Information & Communication Engineering, Kongju National University

<sup>2</sup>Professor, Division of Information & Communication Engineering, Kongju National University

**요약** 최근, 무선 통신 기술을 활용하여 스마트팜 환경을 개선하고자 하는 연구가 지속되고 있다. 본 논문에서는 노지 스마트팜 환경에서 발생하는 문제점에 대해 소개하고, 이들을 해결하기 위한 통신 기술적 고려사항을 다루고자 했다. 노지 스마트팜 환경에 적용하기 위한 후보 기술로 LoRa, Sigfox, NB-IoT, WiFi를 선정했고, 현재 사용되고 있는 국내 스마트팜 기술의 문제점 및 방향성을 기반으로 설치 비용, 통신 범위, 데이터 전송 속도, 배터리 수명, 가격 등을 고려하여 각각의 후보 기술을 분석하여, 최종적으로 LoRa 기술이 가장 적합한 것으로 판단했다. 자세한 기술적 분석을 위해 본 논문에서는 LoRa의 물리 계층과 Medium Access Control (MAC) 계층 기술, 그리고 보안에 대해 소개하였고, 특히 물리 계층의 변조기법, MAC 계층에서의 Class (Class A, B, C) 기반 프로토콜 동작 방법, 그리고 LoRa 버전별 보안 아키텍처에 대해 기술했다.

**주제어** : 스마트팜, LoRa, 물리계층, MAC 계층, 보안

**Abstract** Recently, there have been increasing interests in researches to apply wireless communication technologies for smart farm. This paper introduces the problems in the smart farm for the outdoor culture and technical considerations to solve the problems. As candidate technologies, this paper selects LoRa, Sigfox, NB-IoT, and Wi-Fi and then determines that LoRa is a suitable technology based on the CAPEX, coverage, transmission rate, battery, and the price. To provide technical analysis, this paper introduces technologies related to the physical and medium access control (MAC) layers as well as the security. Specifically, this paper includes the modulation technology in the physical layer, Class (Class A, B, and C) based protocol operations in MAC layer, and security architecture based on the LoRa version.

**Key Words** : Smart farm, LoRa, Physical layer, MAC layer, Security

### 1. 서론

2010년대부터 외국뿐만 아니라 한국도 스마트팜을 보급하기 위해 메트로팜, 비닐하우스와 같은 시설 위주

로 스마트팜이 적용되고 있다[1-3]. 하지만 현재 기술 부족과 투자 비용 등의 문제로 인해 일반적인 노지(곡물, 과수 작물 등 넓고 개방된 환경)에는 스마트팜이 널리 이용되지 못하고 있다[4-5].

\*This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea Government (MSIT) (No.2020R1G1A1100493)

\*Corresponding Author : Yeunwoong Kyung(ywkyung@kongju.ac.kr)

Received November 29, 2022

Revised February 2, 2023

Accepted March 21, 2023

Published March 30, 2023

스마트팜 도입 과정에서 겪는 가장 큰 어려움은 Table 1에서 나타낸 바와 같이 설치비용(자부담) 확보와 기반 구축의 어려움(인터넷 등) 등이 주된 원인으로 파악되고 있다 [6]. 이 같은 문제들이 나타나면서 노지들의 스마트팜 도입 추진이 빠르게 이루어지지 못하고 있는 것이 현실이다.

따라서, 본 논문은 현재 노지에서 필요로 하는 방향성은 무엇이며, 이를 기반으로 후보 통신 기술들을 비교하고 가장 최적화가 잘 되어있는 통신 기술이 무엇인지 분석했다.

### 1.1 방향성

표 1에서 볼 수 있듯이 농가 입장에서 노지재배 스마트팜 적용의 어려움으로 인터넷이 가능한 기반시설의 부재와 설치 비용을 대표적인 예로 들 수 있다[6]. 또한 기술적으로 넓은 농지를 위한 통신 범위, 농지에서 다수의 센서들을 연결하기 위한 확장성, 유지관리에 적합한 적은 전력 소모, 그리고 최소한 데이터 전송 속도를 보장하는 것이 요구된다. 이 때, 수집 및 전송을 위한 노지재배 스마트팜의 데이터는 온도과 습도의 값, 드론과 시설(스프링클러 등)을 제어하기 위한 데이터로 가정했다.

Table 1. The biggest difficulties in introducing smart farms

	Securing installation costs (self-paying)	Difficult to build additional foundations(such as the Internet)	Poor understanding of smart farm technology and equipment
Facilities Horticulture	38.3	6.5	28.8
an open-air fruit	11.9	23.0	30.0
an open-air station	-	4.1	47.8
animal husbandry	38.7	7.2	27.8

### 1.2 스마트팜을 위한 통신 규격 비교

현재 스마트팜 시장에 널리 사용 중인 통신규격은 대표적으로 LoRa, Narrow Band Internet of Things (NB-IoT), Wi-Fi, Sigfox 4가지를 예로 들 수 있으며 Table 2에서와 같이 통신 범위(Coverage), 전송속도(Data rate), 배터리 지속 시간(Battery life) 지표를 통해 비교할 수 있다.

Table 2. Comparison of IoT communication standards

	LoRa	Sigfox	NB-IoT	Wi-Fi
Coverage	~15Km	~15Km	~25Km	~100M
Data rate	~50Kpbs	~100bps	~200Kbps	~54Mbps
Battery life	~10 Years	~10 Years	~10 Years	<200mW
module cost	5\$	5\$	10\$	2\$

Table 2에서의 비교 항목들을 기반으로 스마트팜에 활용하기에 적절한지 여부를 다음과 같이 분석했다. 먼저 통신 범위(Coverage) 측면에서 살펴보면 노지재배의 경우 넓은 범위가 요구되기 때문에 최소 5km 이상의 범위를 가지는 Sigfox, LoRa, NB-IoT가 유효할 것으로 판단된다. 그리고 전송속도(Data rate) 측면에서는 최근 스마트팜 운영에 방제 및 생육 조사용 드론이 사용되고 있기 때문에 드론 운용에 요구되는 수십 kbps 정도의 최소 전송속도를 보장할 수 있어야 하는데, Sigfox는 이 기준을 만족시키지 못하는 것을 확인할 수 있었다. 그리고 비용(Cost)을 고려했을 때 기지국 설치 비용이 요구되고, 모듈 가격이 상대적으로 높은 NB-IoT를 최종 선정 기술에서 제외했다. 또한 Wi-Fi는 통신 범위와 배터리 소모 측면에서 상대적으로 성능이 가장 떨어지는 것을 확인할 수 있었다. 그러므로 이러한 비교 분석을 통해 스마트팜을 위한 통신 기술로 LoRa가 적절하다고 판단하였고, LoRa에 대한 구체적인 기술 분석을 시행하고자 한다.

## 2. LoRa 기술 분석

LoRa는 LoRa Alliance에서 표준화한 저전력 장거리 통신기술로 Fig. 1. 에서 알 수 있듯이 물리계층인 LoRa Modulation 위에 MAC계층인 LoRaWan이 올려진 형태이다.

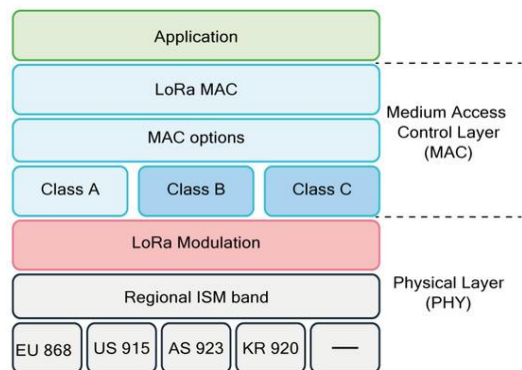


Fig. 1. LoRa PHY and MAC protocol stack [7]

### 2.1 LoRa 물리계층

LoRa는 저전력 장거리 통신을 위해 IEEE802.15.4a의 CSS (Chirp Spread Spectrum) 기술에서 파생된

무선 변조 기술을 채택한 물리 계층이다. LoRa PHY를 사용하여 end-device 간의 통신이 가능하고 또한 인터넷의 gateway 역할을 할 수 있다. CSS는 사용 가능한 전체 스펙트럼을 사용한다[8].

이장에서는 LoRa에서 사용되는 CSS변조에 대하여 알아보겠다. LoRa에서 사용되는 CSS 변조는 각각의 데이터 기호를 Chirp으로 변환하는데, 이는 시간이 지남에 따라 주파수가 선형적으로 증가하거나 감소하는 신호이다. Chirp는 sweep 신호라고도 하며 하나의 CSS 기호가 BW를 한 번 sweep한다.

CSS 신호의 순간 주파수가 가장 높은 주파수에 도달할 때, 그것은 wrap over되고 가장 낮은 주파수에서 시작될 것이다. SF는 CSS 시스템의 가장 중요한 매개 변수이다. CSS 변조 순서는  $M = 2SF$ 로 정의된다. 이는 각 CSS 기호가 SF 비트를 전달한다는 것을 의미한다. baseband에서 각 CSS 기호는 M개의 복잡한 샘플을 포함하며, 신호의 BW와 동일한 속도로 전송된다. 따라서 CSS 기호 지속 시간은  $T_{sym} = (M/BW)$  (초)로 주어진다. 그러면 chirp 속도, 즉 시간이 지남에 따라 CSS 신호 주파수의 변환 속도는 다음과 같이 정의될 수 있다.

$$\mu = \frac{BW}{T_{sym}} = \frac{BW^2}{M} (Hz/s). \quad (1)$$

CSS 변조는 기본적인 Chirp를 기반으로 다양한 Chirp를 생성한다. 기본적인 Chirp는 가장 낮은 주파수, 즉  $-BW/2$ 에서 시작하여 전체 BW를 sweep한 다음 가장 높은 주파수, 즉  $BW/2$ 에서 정지하는 Chirp이다. 이처럼 baseband의 기본적인 Chirp는 zero 주파수에서 중심이 되며 다음과 같은 연속 시간 파형으로 정의한다.

$$x_0(t) = \exp\left\{j2\pi\left(\frac{\mu t}{2} - \frac{BW}{2}\right)t\right\} \quad (2)$$

$$, 0 \leq t \leq T_{sym}$$

$$, j2\pi\left(\frac{\mu t}{2} - \frac{BW}{2}\right)t = \phi_0(t)$$

여기서  $\phi_0(t)$ 은 기본적인 Chirp의 위상 함수이다. 시간 t에서의 신호의 순간 주파수는 그 순간 신호의 위상 기울기다. 이 기울기는 시간이 지남에 따라 위상 함수의 도함수를 취함으로써 얻을 수 있다.

$$\frac{\partial \phi_0(t)}{\partial t} = 2\pi\left(\mu t - \frac{BW}{2}\right) (radians/s) \quad (3)$$

아래 식의 주파수에 해당하는 것이다.

$$f(t) = \left(\mu t - \frac{BW}{2}\right) (Hz). \quad (4)$$

수식 (1)~(4)를 이용하여  $T_{sym}$  기간 동안 신호의 주파수가 전체 BW를 sweep하는 것과 중심 주파수가 0Hz, 즉 신호가 기저 대역임을 알 수 있다.

기본적인 chirp를 기호 0으로 표시한다. 그 후, 다음의 기호, 즉 기호 1은, 기호 0을  $1/BW$ 의 양만큼 주기적으로 시간 이동시켜 얻을 수 있다. 전체적으로, 다음과 같이 집합적으로 정의되는 M개의 다른 기호들이 있다.

$$x_m(t) = x_0\left(\left(t - m \frac{T_{sym}}{M}\right) \bmod T_{sym}\right) \quad (5)$$

$$, t \in [0, T_{sym}].$$

각 baseband Chirp는  $BW/2$ 로 대역 제한되므로 정보 손실 없이 샘플링 속도  $F_{samp} = BW$ 로 샘플링 할 수 있다. 이처럼, 각각의 연속 시간 기저 대역 기호  $x_m(t)$ 는 다음과 같은 M 값으로 완전히 표현할 수 있다.

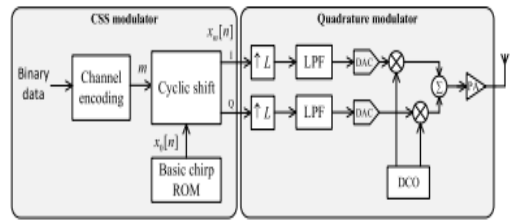


Fig. 2. Block diagram of an LUT-based CSS transmitter [7]

기호 지속 시간 동안  $F_{samp} = BW$  속도로 채취한  $x_m(t)$  샘플. 특히, 기본 chirp의 baseband 시간(디지털) 샘플은 다음과 같이 주어진다.

$$\begin{aligned}
 &= \exp \left\{ j2\pi \left( \frac{\mu n T_{samp}}{2} - \frac{BW}{2} \right) n T_{samp} \right\} \quad (6) \\
 &= \exp \left\{ j2\pi \left( \frac{n^2}{2M} - \frac{n}{2} \right) \right\}; n = 0, 1, \dots, M-1.
 \end{aligned}$$

m번째 chirp의 디지털 샘플은 m개의 디지털 기본 chirp 샘플을 주기적으로 이동시킴으로써 얻을 수 있음을 보여줄 수 있다.

또한 디지털 기본 Chirp는 모든 M 샘플, 즉  $x_0[n + M] = x_0[n]$ ,  $\forall n$  이후에 반복됩니다. 따라서 기저 대역에서의 m번째 디지털 Chirp는 수학적으로  $x_m[n] = x_0[n + m]$ 으로 쓸 수 있다.

디지털 Chirp의 위의 특성은 CSS 신호의 변조 및 복조를 구현하는 데 유용하다.

송신기의 가장 중요한 구성요소는 (6)에 설명된 기본적인 Chirp의 M개 샘플을 저장하는 ROM이다. CSS 변조기는 이진 데이터를 stream of SF-bit symbols으로 변환하는 채널 인코딩 블록으로 시작한다. 그런 다음 symbol mapping은 symbol 값에 해당하는 양만큼 기본적인 Chirp를 주기적으로 이동하여 해당 디지털 baseband CSS symbol을 생성함으로써 수행된다. 각 디지털 baseband 기호는 아날로그 baseband 신호로 변환되기 전에 up-sampling된다. up-sampling으로 인한 spectral aliases를 제거하기 위한 한 쌍의 LPF(Low-Pass Filter)가 있다.

아날로그 기저 대역에서 원하는 반송파 주파수로 신호를 변환하는 것은 반송파 주파수의 위상 및 직교 성분을 제공하는 디지털 제어 발진기(DCO)와 신호를 혼합함으로써 이루어진다.

up-conversion 필터의 필요성을 제거하기 위해 사전 변환된 기본적인 Chirp를 저장할 수 있지만 ROM 크기를 늘리는 비용이 든다는 단점이 있다[9].

## 2.2 LoRa MAC계층

LoRa의 MAC계층(LoRaWAN)에서는 네트워크의 구성, architecture, Device classes, 보안 프로토콜에 대하여 구분하여 분석했다.

LoRaWAN의 네트워크 통신구조는 Fig. 3과 같이 작동한다. End device에서 전송되는 데이터는 LoRa RF(Radio Frequency)로 Gateway에 전송된다. 이러

한 방식으로 인하여 인터넷 인프라가 없는 노지에서도 Gateway만 설치하면 LoRa통신이 가능하다. 또한 Gateway를 3G/Ethernet에 연결하면 LoRa RF를 IP로 변환하여 인터넷 연결이 가능하다[10].

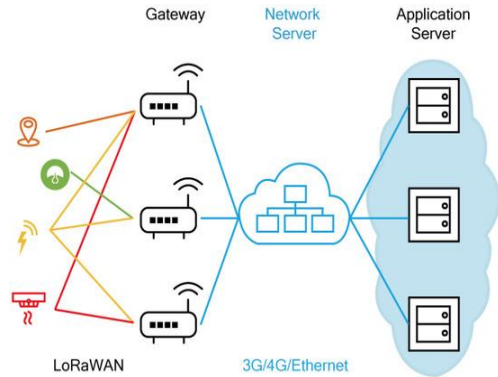


Fig. 3. Network topology of LoRaWAN [11]

기존의 많은 네트워크는 통신 범위와 셀 크기를 늘리기 위하여 mesh network architecture를 사용한다. 이는 노드끼리 통신을 하며 서로의 데이터를 Gateway에게 전달함으로써 범위를 늘릴 수 있었지만, 노드와 노드끼리의 통신으로 인하여 복잡성이 추가되고 네트워크 용량이 증가한다. 이는 통신 모듈의 가격이 비싸지고 유지관리 비용이 늘어나는 문제점이 생긴다. 이를 해결하기 위하여 노드와 Gateway간의 통신에 다른 노드를 거치지 않고 직접통신이라는 방식인 Long range star architecture를 사용한다. Long range star architecture를 실현하기 위해서 Gateway는 다중 모드 송수신기를 사용하여 여러 채널에서 동시에 메시지를 수신할 수 있도록 해야 한다.

LoRaWAN은 Gateway와 ED(End Device)로 구성되어 있다. ED는 3가지 종류가 있으며 각각 Class A, B, C로 정의된다. 각각의 방식은 기본적으로 Aloha기법으로 작동을 한다[12].

### 2.2.1. Class A

기본으로 작동되는 Class로 B or C Class가 Class A로부터 파생되어 개발되었다. 세 가지 Class중 가장 전력 소모가 작은 방식이지만 대부분의 시간을 대기상태로 유지하고 ED가 uplink를 송신하고 일정 시간 동안만 수신 윈도우(RX)를 열기 때문에 Gateway가 ED

에게 downlink를 제때 보내지 못한다는 단점이 있다.

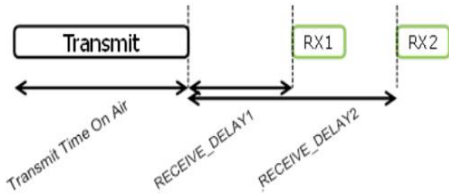


Fig. 4. Class A receive slot timing [13]

2.2.2. Class B

Class A가 uplink를 보내야지 downlink를 받을 수 있는 단점을 해결하기 위해 나온 규격이다. 이정한 시간을 간격으로 RX를 열어 uplink가 없는 상황에서도 downlink를 할 수 있다는 장점이 있지만 downlink 요청에 즉각적인 반응을 할 수 없다는 단점이 있다.

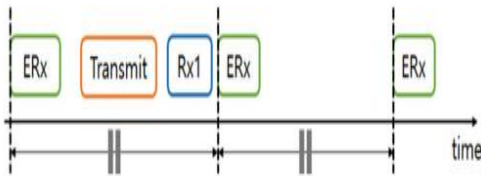


Fig. 5. Class B receive slot timing [11]

2.2.3. Class C

상시로 Rx를 열고 있어 downlink에 즉각적인 반응을 할 수 있는 모드이다. uplink상태를 제외하고 항상 수신 대기 상태를 유지하고 있으므로, 가장 많은 전력을 소비한다. 따라서 드론과 같은 실시간 통신이 필요하고 충분한 전력이 공급될 수 있는 환경에 적합하다.

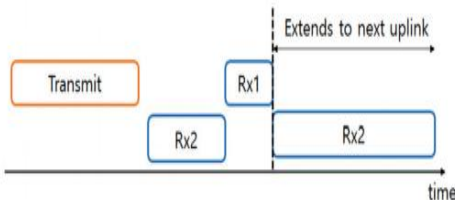


Fig. 6. Class C receive slot timing [11]

2.3 LoRa의 보안

LoRaWAN은 비면허 대역을 사용하기 때문에 모든 사람이 이용할 수 있다. LoRa는 AES-128 암호화만을 제공하기 때문에 보안 기술의 다양성이 낮고 보안성능이 높지 않다[14]. 이를 극복하기 위하여 LoRaWAN에서는 단계적으로 보안 취약점을 고려하여 이를 해결해 나가고 있다.

보안에서 LoRa는 두 가지로 나뉜다. 네트워크 부분의 MIC 검증과 애플리케이션 부분에 대한 AES 암호화이다. MIC은 네트워크의 기본적인 통신에 들어가는 헤더들에 대한 무결성 검증을 위한 것으로 사용된다. 키는 노드가 가지고 있는 여러 정보를 조합하여 NwkSKey라는 네트워크용 키를 만들어 낸다. AES는 AES-128을 표준으로 하고 있으며, 암호화에 필요한 키는 AppSKey로서 네트워크에 사용되는 MIC과 마찬가지로 노드에 들어있는 정보들을 조합하여 만들어 낸다[14].

LoRaWAN은 초기 표준으로 CSS(Chirp Spread Spectrum) 기술에서 파생되어 LPWAN 프로토콜로 도입되었다. 초기에는 상위 네트워킹 계층의 정의가 부족하였다. 그리하여 MAC(Medium Access Control) 계층 프로토콜인 LoRaWAN이 네트워크 계층(라우팅) 프로토콜 및 네트워크의 시스템 아키텍처로서 도입되어 LPWAN 게이트웨이와 최종 장치 간의 통신, 통신 주파수, 필요한 전원/자원 및 데이터 속도를 관리한다. 또한 LoRaWAN의 보안적인 측면과 성능적인 측면을 지속적으로 향상시키기 위해 다양한 버전이 출시되었다[15].

2.3.1 LoRaWAN version 1.0.1

LoRaWAN version 1.0.1은 2016년 2월에 도입되었다. 안전한 양방향 통신이 보장되며 모바일 네트워크 사업자와 IoT 도메인 간의 협력이 보장되었다. 이전 버전에서는 명확하지 않은 몇 가지 사항을 명확히 하고, 일부 주파수 계획을 추가하였다. 그러나 LoRaWAN version 1.0.1에서도 아직 각종 공격에 대해서 굉장히 취약하다는 단점이 있다.

2.3.2 LoRaWAN version 1.0.2

LoRaWAN version 1.0.2은 2016년 7월 도입되었다. LoRaWAN version 1.0.2는 네트워크 키 NwkSKey와 애플리케이션 키 AppSKey, 각각 단일 루트 키에서 파생된 두 개의 개별 키를 사용한다. 네트

워크키는 무결성 검사를 수행하는 데 사용되고 AppSKey는 응용 프로그램 서버 까지 페이로드를 암호화하는 데 사용된다. 그러나 LoRaWAN version 1.0.2 또한 다양한 취약성(예: frame counter) 및 공격(예: 도청, ACK spoofing, DoS 등)에 취약하다.

### 2.3.3 LoRaWAN version 1.1

LoRaWAN version 1.1을 LoRaWAN v1.1 아키텍처라고 한다. LoRaWAN version 1.1은 LoRaWAN version 1.0.2의 주요 보안 취약점(취약한 키 관리, 취약한 암호화, 취약한 인증 등)과 여전히 잠복하고 있는 보안 공격(도청, relay, ACK spoofing, 패킷 수정 등)을 해결하기 위해 도입(2017년 10월)되었다. 조인 서버(JS)라는 새 서버를 추가하여 새로운 아키텍처를 제시했다. 이전 LoRaWAN 버전(즉, v1.0.1 및 1.0.2)에서. 따라서 핸드오버 로밍을 지원하고 배터리 전원 및 리소스 제약이 있는 IoT 최종 장치에 대한 보안을 강화했다[15].

## 3. 결론

본 논문에서는 노지 재배 스마트팜의 기술적 문제점 및 방향성을 기반으로 설치 비용, 통신 범위, 데이터 전송 속도, 배터리 수명, 가격 등을 고려하여 적용 가능한 후보 통신 기술을 분석하였으며 이를 통해 현재 스마트팜 요구사항을 만족시키기 위한 최적의 통신규격으로 LoRa를 선정하였다. 또한 LoRa의 물리 계층과 Medium Access Control (MAC) 계층 기술, 그리고 보안에 대해 소개하였고, 특히 물리 계층의 변조기법, MAC 계층에서의 Class (Class A, B, C) 기반 프로토콜 동작 방법, 그리고 LoRa 버전별 보안 아키텍처에 대해 기술했다. 추후 실제 상용 스마트팜 시장에서 LoRa를 적용할 수 있는 기술 가이드에 대한 연구를 진행할 예정이다.

## REFERENCES

- [1] M. Gupta, M. Abdelsalam, S. Khorsandroo & S. Mittal. (2020). Security and Privacy in Smart Farming: Challenges and Opportunities. *IEEE Access*, 8, 34564-34584. DOI : 10.1109/ACCESS.2020.2975142.
- [2] D. Glaroudis, A. Iossifides & P. Chatzimisios. (2020). Survey, Comparison and Research Challenges of IoT Application Protocols for Smart Farming. *Computer Networks*, 168(26), 107037. DOI : 10.1016/j.comnet.2019.107037.
- [3] Z. Unal. (2020). Smart Farming Becomes Even Smarter With Deep Learning—A Bibliographical Analysis. *IEEE Access*, 8, 105587-105609. DOI : 10.1109/ACCESS.2020.3000175.
- [4] I. Charania & X. Li. (2020). Smart Farming: Agriculture's Shift from a Labor Intensive to Technology Native Industry. *Internet of Things*, 9, 100142. DOI : 10.1016/j.iot.2019.100142.
- [5] M. Mahbub. (2020). A smart farming concept based on smart embedded electronics, internet of things and wireless sensor network. *Internet of Things*, 9, 100161. DOI : 10.1016/j.iot.2019.100161.
- [6] EPIS Report, (2022). A Study on the Current Status of Smart Farms and Analysis of Performance. Korea Agency of education, promotion and information service in food, agriculture, forestry and fishery.
- [7] W. Cho. (2019). LoRa for LPWA Network: Overview and its Performance Enhancement Technologies. *Journal of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, 14(2), 283-288. DOI : 10.22156/JKCS.2018.7.1.001
- [8] K. Hill, K. K. Gagneja & N. Singh. (2019). LoRa PHY Range Tests and Software Decoding - Physical Layer Security. 2019 6th International Conference on Signal Processing and Integrated Networks (SPIN), India, 805-810. DOI : 10.1109/SPIN.2019.8711682.
- [9] T. T. Nguyen, H. H. Nguyen, R. Barton & P. Grossetete. (2019). Efficient Design of Chirp Spread Spectrum Modulation for Low-Power Wide-Area Networks. *IEEE Internet of Things Journal*, 6(6), 9503-9515. DOI : 10.1109/JIOT.2019.2929496.
- [10] D. Kim, E. Lee & J. Kim. (2019). Experiencing LoRa Network Establishment on a Smart Energy Campus Testbed. *Sustainability*, 11(7), 1917. DOI : 10.3390/su11071917
- [11] LoRa Alliance (2017). LoRaWAN 1.1 Specification. [https://lora-alliance.org/resource\\_hub/lorawan-specification-v1-1/](https://lora-alliance.org/resource_hub/lorawan-specification-v1-1/)
- [12] J. Haxhibeqiri, F. V. den Abeele, I. Moerman, & J. Hoebeke. (2017) LoRa Scalability: A simulation

model based on interference measurements. *Sensors*, 17(6), 1193.  
DOI : 10.3390/s17061193

- [13] S. Lim. (2020). A Study on the Implementation of LoRa-based IoT Smart Livestock Barn System. *Magazine of the Korean Society of Agricultural Engineers*, 59(2), 38-45.
- [14] H. Noura, T. Hatoum, O. Salman, J. Waacoub & A. Chehab. (2020). LoRaWAN security survey: Issues, threats and possible mitigation techniques. *Internet of Things*, 12, 100303.  
DOI : 10.1016/j.iot.2020.100303
- [15] N. Lee. (2017). Selective encryption technique according to class classification in LoRa environment. Master's degree dissertation. Konkuk University. Seoul.

**경 연 웅(Yeunwoong Kyung)**

[정회원]



- 2011년 2월 : 고려대학교 전기전자 전파공학과(공학사)
- 2016년 8월 : 고려대학교 전기전자 전파공학과(공학박사)
- 2016년 8월 ~ 2020년 2월 : 삼성 전자 무선사업부

- 2020년 3월 ~ 2022년 8월 : 한신대학교 컴퓨터공학부 조 교수
- 2022년 9월 ~ 현재 : 국립공주대학교 정보통신공학과 조 교수
- 관심분야 : 5G/6G, IoT, 이동성 관리, 모바일 서비스
- E-Mail : ywkyung@kongju.ac.kr

**이 재 찬(Jaechan Lee)**

[학생회원]



- 2017년 3월 : 공주대학교 정보통신 공학부(입학)
- 2024년 2월 : 공주대학교 정보통신 공학과(졸업예정)
- 관심분야 : IoT, 스마트팜,
- E-Mail : dlwocks999@naver.com

**전 상 현(Sanghyeon Jeon)**

[학생회원]



- 2018년 3월 : 공주대학교 정보통신 공학부(입학)
- 2024년 2월 : 공주대학교 정보통신 공학과(졸업예정)
- 관심분야 : 이동통신/위성통신, 하드웨어
- E-Mail : jsh56560@naver.com

**이 준 영(Junyoung Lee)**

[학생회원]



- 2018년 3월 : 공주대학교 정보통신 공학부(입학)
- 2024년 2월 : 공주대학교 정보통신 공학과(졸업예정)
- 관심분야 : 하드웨어, 회로
- E-Mail : ksagitr@naver.com