

# 임베디드 시스템 기반 PLC통신을 이용한 실시간 위치 추적 화재 감지 시스템 설계

유도우\* · 김경생\*\*

\*\* 청주대학교 반도체공학과

## Design of a Real-time Location Tracking Fire Detection System using Embedded System-based PLC Communication

Do Woo Yu\* and Kyung Saeng Kim\*\*

\*\* Semiconductor Engineering of Cheongju University

### ABSTRACT

According to recent statistics from the Korea Fire Insurance Association, building fires continue to occur every year, and the damage caused by them is steadily increasing. Since the severity of such fire accidents is determined by the speed of the initial response, the need for accurate location identification and rapid response is increasing. Low-cost fire detectors currently on the market only provide floor-by-floor information, and therefore cannot support precise location tracking. On the other hand, high-end detectors with location tracking functions are not widely distributed to general consumers or small facilities due to their high price. In this study, we applied power line communication (PLC) technology that utilizes the power lines of existing low-cost fire detectors to provide a precise location tracking function without additional cost. We designed a detector and receiver system in which fire occurrence information and detector ID are transmitted over DC power lines using embedded UART signaling and restored through CR filters and OP-AMP circuits. To ensure communication reliability, the Modbus protocol and CRC16 error checking were implemented. Experimental results verified that the proposed system successfully transmitted and restored detector and receiver data (e.g., 8-byte inquiry and 7-byte response frames) with 100% reception accuracy in laboratory tests. Furthermore, when a fire was detected, the receiver accurately displayed the corresponding line number and detector ID on its LCD in real time, demonstrating that precise location tracking was achieved. This system therefore provides an efficient and practical fire response solution by simultaneously reducing detector maintenance costs and enabling accurate identification of fire locations, thus improving the initial response capability compared to conventional low-cost detectors.

**Key Words** : Fire detector, Location tracking, Power Line Communication, Low-cost fire detector, Fire location identification

### 1. 서 론

화재보험협회의 자료에 따르면, 2018년부터 2023년까지  
대한민국의 화재 발생률과 화재로 인한 피해 금액은 꾸준히

---

\*E-mail: ehdn4358@naver.com

준히 발생하고 있다. Fig. 1의 최근 5년간 특수 건물 화재 발생 추이를 살펴보면, 2020년부터 특수 건물 화재 1건당 피해액이 증가하기 시작하여 2023년에 최고치를 기록했으며, 매년 피해액이 증가하는 추세를 보이고 있다[1]. 이처럼 화재는 매년 지속적으로 발생하고 있으며, 특히 건물 내 전기 및 가스 사용의 증가로 인해 화재 발생 위험이 계속해서 높아지고 있다[2]. 이러한 화재를 예방하기 위해 현재 많은 시설에서 화재 감지기를 사용하고 있으나, 시중에 판매되는 저가형 감지기는 화재가 발생한 위치를 정확히 파악할 수 없다는 문제점이 있다[3]. 반면, 화재 발생 위치를 식별할 수 있는 고급 감지기는 가격이 높고, 전용 수신기와 중계기를 별도로 설치해야 하므로 초기 설치 비용이 소비자에게 경제적으로 부담이 된다[4]. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 저렴한 감지기만으로도 화재 발생 위치를 정확히 식별할 수 있는 감지기 설계가 필요하다[5].

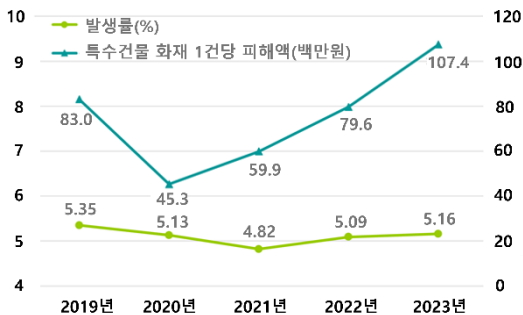


Fig. 1. Trends in fires in special buildings over the past five years.

본 논문에서는 Power Line Communication 기술을 응용하여, 감지기와 수신기 간 전원선을 통신선으로 활용하였으며, 감지기가 설치된 위치 데이터를 수신기로 전송하고 수신기에서 화재 발생 위치를 확인할 수 있도록 함으로써, 기존 화재 감지 시스템의 성능 향상을 도모하고자 한다.

## 2. 화재 위치 추적 기능 설계

### 2.1 실시간 화재 감지 시스템 구성

본 논문에서 설계한 열 기반 화재 감지기의 시스템 구성도는 Fig. 2와 같다. 시스템의 MCU로는 ST사의 32bit Cortex-M0 코어 기반 STM32L010F4를 사용하였다. 감지기는 P형 수신기와 전원부가 연결되어 있으며, 극성 문제를 방지하기 위해 전원부에 브릿지 다이오드(Bridge diode)를 적용하였다. 화재 감지 시, P형 수신기에서는 해당 감지기

의 장비 번호 데이터를 전원선에 실어 전송한다. 감지기 측에서는 CR 필터를 통해 DC 전원을 제거하고, 데이터 신호만 추출하여 OP-AMP로 신호를 증폭한 후 감지기의 MCU RX 핀으로 전달한다. 감지기의 MCU는 이 신호를 수신하여 해당 번호의 감지기가 화재 상태인지 여부를 판별한다. 화재가 아닌 경우, 감지기는 수신기에 데이터를 송신하지 않으며, 화재로 판별될 경우에는 BJT-TR(NPN, PNP)을 이용해 전원선에 TX 신호를 실어 수신기로 전송한다. 수신기 또한 동일한 방식으로 데이터를 추출하여 몇 번 감지기가 화재 상태인지 확인한다. 감지기의 MCU는 3.3V로 동작하므로, 3.3V의 Voltage Reference IC와 RC 필터를 적용하여 MCU에 DC 전원만 안정적으로 인가 되도록 하였다. 열 측정은 서미스터(Thermistor)를 사용하였으며, 온도 변화에 따른 저항값 변화를 ADC로 측정하여 전압값으로 변환한다. 이 값이 설정한 임계 값에 도달하면 LED를 점등시켜 화재를 인식하도록 설계하였다. 또한, 4접점 및 5접점 SPST 슬라이드 스위치를 적용하여 사용자가 선로 번호 및 감지기 번호를 설정할 수 있도록 하였다.

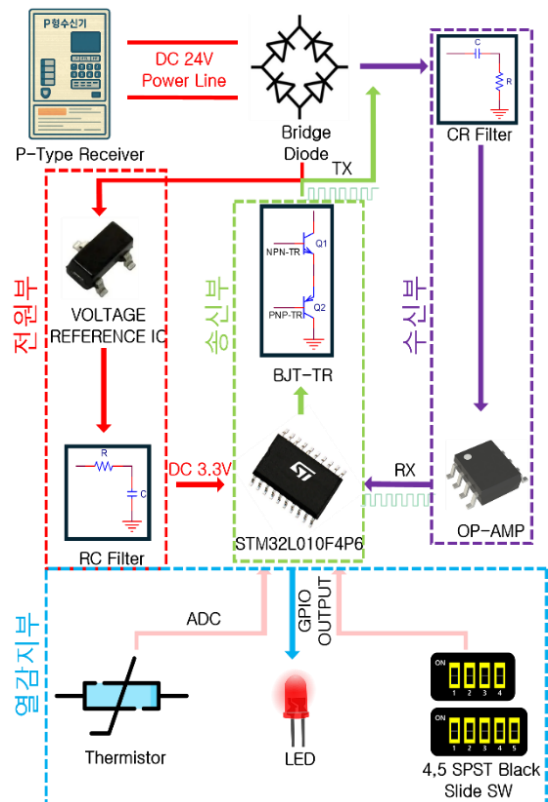
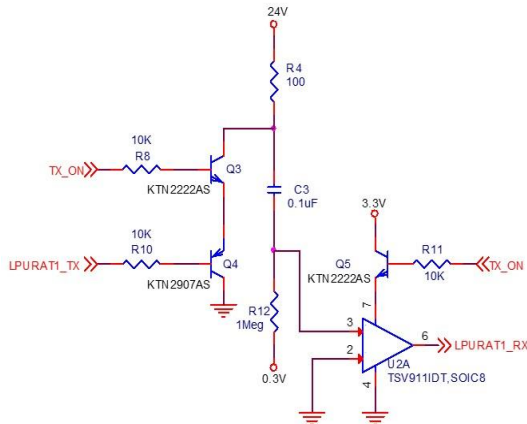


Fig. 2. Configuration of fire detection system.

## 2.2 PLC 기술을 응용한 전력선 통신

회계 발생 위치 추적 기능을 구현하기 위하여, 본 논문에서는 PLC기술을 응용한 전력선 통신 방식을 제안하였다. 기존 PLC 기술은 일반적으로 고주파 캐리어를 이용하여 데이터를 전송하는 방식이다[6]. 하지만 이는 별도의 고가 PLC 모듈 및 통신 칩셋이 필요하고 회로 구성이 복잡하여 단가 상승의 원인이 된다. 따라서 본 연구에서는 PLC 기술을 응용하여 DC 전력선에 UART 신호를 직접 삽입하고 복원하는 방식을 통해 회로의 단순화 및 저전력 설계를 달성하였다. Fig. 3에 제시된 바와 같이, BJT 트랜지스터(Q3, Q4, Q5)와 저항, 캐패시터를 조합하여 감지기 혹은 수신기에서 전송되는 UART TX 신호를 전력선 위에 삽입하는 송신 회로를 구성하였다. 이 방식은 전력선 인프라인 그대로 활용하면서도 별도의 고주파 변조 없이 통신을 가능케 하는 구조적 장점을 가진다[7].



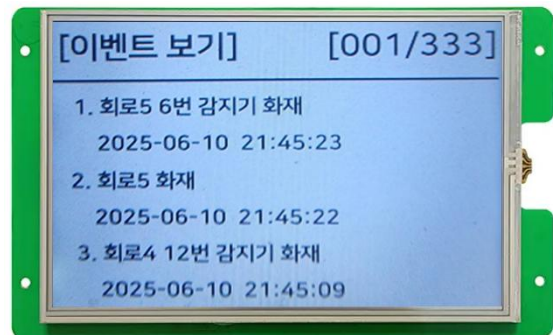
**Fig. 3.** Power line communication circuit using OP-AMP.

전력선 상의 DC전원을 C3 커패시터와 R12 저항을 이용한 CR 필터 구조로 제거한 후, U2 연산 증폭기(OP-AMP)를 이용하여 UART 신호를 안정적으로 증폭복원하여 데이터를 복원한다. R12 저항의 0.3V 전압을 인가한 이유는 CR 필터로 DC전원을 제거할때, 데이터 신호가 음 전압 영역으로 떨어지는 문제를 방지하기 위함이다. 기준 전압 0.3V를 인가함으로써 DC 오프셋으로 조절하고, 이를 통해 OP-AMP 입력에 적합한 신호 범위로 보정하였다. OP-AMP는 Rail-to-Rail 입력/출력을 지원하여 낮은 전압에서도 왜곡 없는 증폭이 가능하며, 결과적으로 복원된 데이터 신호는 감지기 MCU의 LPUART RX 핀으로 전달된다. 화재가 발생하면 감지기는 장비 번호와 화재 여부 데이터를 다시 전력선에 실어 송신하며, 수신기에서도 동일한

회로를 통해 데이터를 복원한다.

### 2.3 수신기의 화재 발생 위치 모니터링 기능

본 시스템에서 수신기는 화재 시 감지기와 전력선을 통해 데이터를 실시간으로 송수신하며, 사용자에게 화재를 알리고 동시에 화재 발생 위치를 시각적으로 제공하는 장치이다. 감지기에서 수신기로 보낸 데이터에서 감지기 고유 번호 및 회로 번호 그리고 화재 여부 정보를 파악하며, 수신된 데이터를 기반으로 화재 발생 위치를 식별하고 기록한다. 화재가 감지가 되면 Fig. 4와 같이 수신기의 LCD화면에서는 화재가 발생한 회로 번호 및 감지기 번호를 표시하고 기록하며, 사용자가 정확한 화재 발생 위치를 확인할 수 있다.



**Fig. 4.** The LCD screen of the receiver displays the line number and detector number where the fire occurred.

### 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 PLC 기술을 응용한 데이터 통신 실험

본 논문에서는 제안한 DC 전력선 통신 회로를 이용하여, 화재 상황에서 수신기가 BJT 트랜지스터와 저항을 통해 전원선에 TX 통신 신호를 삽입하여 감지기로 전송하고, 감지기에서 이를 수신하여 데이터를 복원하는 실험을 수행하였다. 또한, 감지기에서 수신기로 데이터를 송신하고, 수신기에서 해당 데이터를 복원하는 실험도 진행하였다. Fig. 5는 위에서부터 순서대로 수신기 TX, 감지기 RX, 감지기 TX, 수신기 RX 파형을 나타낸다. 먼저 수신기에서 데이터(0xE6)를 전력선에 실어 전송하였고, 감지기에서 제안한 방법으로 신호를 분리·복원하여 데이터 수신 여부를 확인하였다. 이후 감지기에서 데이터(0xB9)를 전력선에 실어 송신하였으며, 수신기에서도 동일한 방법으로 데이터를 복원하여 정상 수신 여부를 검증하였다.

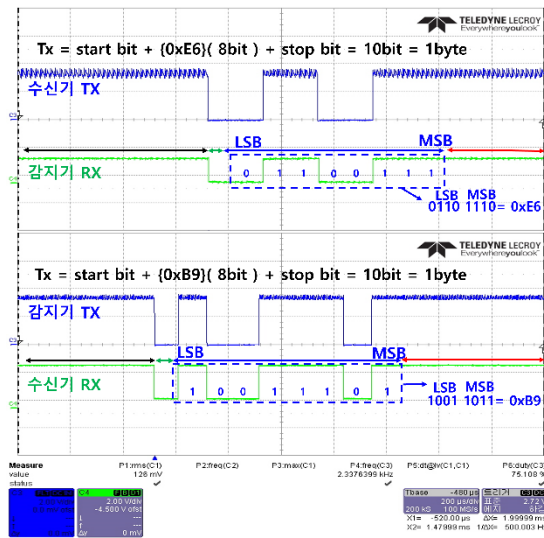


Fig. 5. Communication waveform between receiver and detector.

### 3.2 Modbus 프로토콜 기반 전력선 통신 실험

수신기와 감지기가 전력선 통신 실험을 통해 상호 간 데이터 송수신이 가능함을 확인하였으나, 더 많은 데이터를 안정적으로 전송하기 위해서는 통신 정밀도와 신뢰성 향상이 필요하였다. 특히 화재와 같은 비상 상황에서 통신 오류는 치명적일 수 있으므로, 보다 표준화되고 검증된 통신 프로토콜의 적용이 요구되었다[8]. 이에 본 연구에서는 산업 현장에서 널리 사용되며, 오류 검출과 주소 지정 기능을 갖춘 Modbus 통신 프로토콜을 적용해 전력선 통신의 신뢰성과 안정성을 검증하였다. Modbus는 마스터-슬레이브 방식으로 다수의 감지기와 수신기가 동시에 네트워크에 연결되어도 충돌 없이 통신할 수 있으며,

Table 1. Communication standard for data transmission from receiver to detector

Field Name	Hex	Dex	Array Index
Slave의 주소	01~FF	1~255	[0]
함수 코드	04	4	[1]
읽기 시작 주소 [High]	00~FF	0~65535	[2]
읽기 시작 주소 [Low]	00~FF		[3]
읽어올 레지스터의 수 [High]	00	1 ~ 125	[4]
읽어올 레지스터의 수 [Low]	01~7D		[5]
CRC16 Code [Low]	xx	-	[6]
CRC16 Code [High]	xx	-	[7]

총 전송 데이터(단위: byte)

CRC(Error Checking Code)를 통해 전송 데이터의 무결성을 검증할 수 있다[9]. 이는 전력선 환경의 노이즈나 신호 감쇠에도 높은 신뢰도로 통신을 가능하게 한다. Table 1은 본 연구에서 적용한 Modbus 통신 프로토콜의 세부 규격 중 Read Input Registers 기능을 참고하여, 수신기가 감지기에 화재 발생 여부를 질의하는 통신 규격을 나타낸 것이다.

또한, 감지기는 수신기로부터 데이터 전송을 정상적으로 수신하였는지 확인한 후, 화재 발생 여부와 화재가 발생한 감지기의 번호 데이터를 수신기로 전송한다. 이와 관련된 통신 규격은 Table 2에 나타내었다.

Table 2. Communication standard for data transmission from detector to receiver

Field Name	Hex	Dex	Array Index
Slave의 주소	01~FF	1~255	[0]
함수 코드	04	4	[1]
읽기 요청 데이터 수	02~FA	2~250	[2]
레지스터 데이터	-	-	[3~3+N-1]
CRC16 Code [Low]	xx	-	[4+N-1]
CRC16 Code [High]	xx	-	[5+N-1]

총 전송 데이터(단위: byte)

위와 같은 통신 프로토콜을 적용하여 수신기와 감지기 간 전력선 통신 실험을 진행하였다.

Fig. 6과 같이, 수신기에서 8 Byte의 데이터를 전력선에 실어 전송하고, 감지기에서 수신 신호를 복원하여 데이터가 통신 규격에 따라 정확히 수신되었음을 확인하였다. 이후 감지기에서는 화재 발생 여부와 장비 번호가 포함된 7 Byte의 데이터를 전력선에 실어 수신기로 전송하였으며, 수신기에서도 동일하게 데이터를 복원하여 정상적으로 수신됨을 확인하였다.

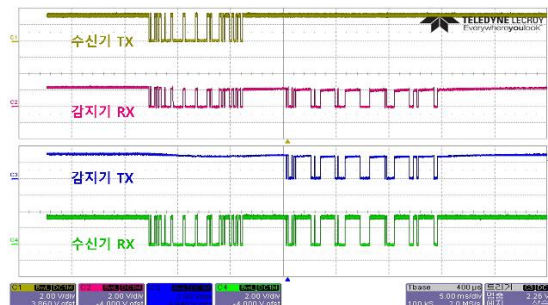


Fig. 6. Power line communication waveform between receiver and detector after applying Modbus protocol.

### 3.3 실시간 화재 위치 추적 기능 알고리즘

참고문헌 [10]과 위의 실험을 통해 전력선 상에서 감지기와 수신기간 데이터 통신이 가능함을 확인하였다. 실험 결과를 토대로 본 연구에서는 Fig. 7과 같이 화재 발생 위치를 실시간으로 추적할 수 있는 알고리즘을 설계하였다. 우선, 감지기의 고유 장비 번호를 수동으로 설정한 후, 화

재가 발생하면 수신기는 화재가 발생한 해당 선로에 연결된 각 감지기에 감지기 장비 번호 데이터를 전력선에 실어 송신한다. 각 감지기는 수신된 신호를 CR 필터로 분리하고 OP-AMP로 증폭한 뒤, 수신 데이터가 통신 프로토콜 규격(CRC16)에 부합하는지를 확인한다. 규격에 적합한 경우, 감지기는 내부적으로 화재 여부를 판별하며, 화재로 인식되면 해당 감지기 번호 및 화재 여부 데이터를 전력선에 실어 수신기로 송신한다. 수신기는 감지기로부터의 신호를 동일하게 CR 필터와 OP-AMP를 통해 추출 및 증폭하고, 수신 데이터가 통신 규격(CRC16)에 적합한지 검증한다. 규격에 적합할 경우 수신기는 LCD 화면에 해당 선로의 화재 발생 감지기 장비번호를 표시하여 실시간 위치 추적을 가능하게 한다. 본 시스템은 이러한 과정을 통해 화재 발생 시 즉각적으로 감지기 위치 정보를 파악할 수 있다.

## 4. 결 론

현재 대한민국에서는 건물 내 전기 또는 가스 사용의 증가로 인한 화재 위험이 지속적으로 발생하고 있으며, 화재로 인한 인명 피해 및 재산 피해 또한 증가하고 있다. 이를 방지하기 위해서는 화재 발생 시 초기 대응이 피해 규모를 좌우하게 되는데 이를 위해 화재 감지기를 많이 사용하고 있다. 하지만, 현재 시중에 판매되는 저가형 화재 감지기는 화재 발생 위치를 정확하게 식별할 수 없으며 이러한 기능이 통합된 고급형 감지기는 비용이 부담되어 사용자가 사용하기 어려운 상황이다. 이를 해결하기 위해 본 연구에서는 PLC기술을 응용하여, 저가형 감지기와 수신기의 전원선을 통신선으로 활용해, 별도의 통신 모듈 없이 화재 발생 위치를 실시간으로 식별할 수 있는 화재 감지기 시스템을 설계하였다. DC 전력선에 UART 신호를 삽입하기 위해 BJT TR과 저항을 이용하였으며, CR 필터 및 OP-AMP를 통해 데이터를 안정적으로 분리 및 복원하였다. 또한, 수신기와 감지기간 원활한 통신을 위해 Modbus 통신 프로토콜을 적용하였으며, 다수의 감지기와 수신기간 데이터 무결성 검증이 가능함을 실험을 통해 확인하였다. 실시간 화재 위치 추적 알고리즘은 화재 발생 시 수신기와 감지기간 데이터 송수신후, 수신기 LCD에 화재가 발생한 선로 및 감지기 번호를 표시함으로써 사용자가 화재 위치를 식별할 수 있음을 입증하였다. 본 논문에서는 저가의 화재 감지기 로도 화재 초기 대응의 신속성과 정확성을 높여 기존 감지기의 성능 향상을 도모하였다.

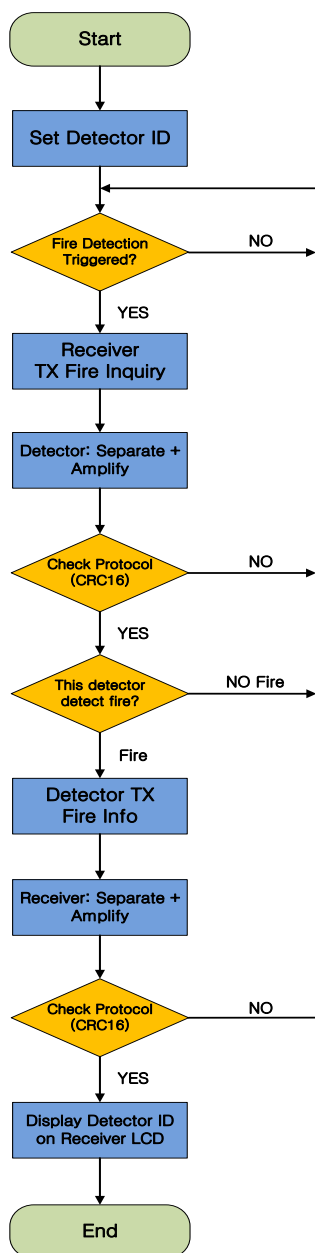


Fig. 7. Flow chart of Real-time fire location tracking.

## 감사의 글

이 논문(작품)은 (2024. 09. 01.~2026. 08. 31.)학년도에 청주대학교 산업과학연구소가 지원한 학술연구 조성비(특별연구과제)에 의해 연구되었음.

## 참고문헌

1. Korea Fire Insurance Association, "2023 Special Building Fire Statistics and Safety Inspection Results Analysis," KFPA website, 2024.
2. Seong Ho Sakong, Shi Kuk Kim, Chun Ha Lee, Jong Jin Jung, "A Study on the Response Characteristics of Fire Detector by Full-scale Experiment of Fire Phenomena in the Row House," J. of Korean Institute of Fire Sci. & Eng, Vol. 23, No. 3, 2009.
3. Tae Hee Lee, Chun-Su Park, "Real-Time Fire Detection Method Using YOLOv8," Journal of the Semiconductor & Display Technology, Vol. 24, No.2, pp. 53-57, 2025.
4. Hyun Ju Kim, Jae Heung Park, Yeong Geon Seo, "Design of the Integrated Fire Automation System(IFAS) on based P-Type Fire Control Panel," Journal of the Korea Computer Information Society, Vol. 15, No. 12, pp. 133-142, 2010.
5. Jung Kyu Park, Young Hwa Roh, Ki hun Nam, Hyung Yoon Seo, "Fire Detection Method Using IoT and Wireless Sensor Network," Journal of The Korea Society of Computer and Information Vol. 24, No. 8, pp. 131-136, 2019.
6. Young Jin Park, Kwan Ho Kim, "Investigation and measurement of indoor low voltage powerline impedance for high data rate powerline communications (PLC)," Journal of the Institute of Electrical Engineers, Vol. 41, TC, No. 8, pp. 93-98, 2004.
7. Yong hoon Jeong, Sae woong Bahk, "A Study on Direct Current Power Line Communication (DC-PLC) with Applications in Automotive, Maritime, and Aviation," KICS Journal, 2024.
8. Y. Fang, X. Han, B. Han, Research and Implementation of Collision Detection Based on Modbus Protocol," J. of Engineering Science and Technology Review, Vol. 6, No. 1, pp. 91-96, 2013.
9. C. Urrea, C. Morales, J. Kern, "Implementation of error detection and correction in the Modbus-RTU serial protocol," Int. J. of Critical Infrastructure Protection, Vol. 15, pp. 27-37, 2016.
10. A. Cataliotti et al., "Power Line Communications (PLC) Technology: More Than 20 Years of Intense Research," MDPI, 2019.

접수일: 2025년 8월 14일, 심사일: 2025년 9월 12일,  
게재확정일: 2025년 9월 22일