

태양광용 정선박스 실시간 고장상태 파악을 위한 LoRa 기반의 모니터링 시스템 개발

김민수
한화시스템 전원제어팀

Development of a PV Junction Box Monitoring System for Real-time Fault Condition Detection Based on LoRa

Min-Soo Kim
Power Control Team, Hanwha Systems

요약 태양광 발전 시스템의 주요 구성품인 태양광용 정선박스는 최근 그 중요성이 높아짐에 따라 RS-485, WIFI/IoT를 포함한 원격 모니터링 시스템이 적용되고 있다. 하지만, 기존 모니터링 시스템은 통신거리와 주변 환경에 따라 데이터 통신에 제한이 발생한다. 또한, 태양광용 정선박스 내부에서 전력흐름이 차단되는 고장상황을 늦게 인지할 경우 전력 생산량이 크게 감소하게 된다. 따라서 태양광용 정선박스의 고장상태를 빠르게 파악하고 대처할 수 있는 시스템이 요구된다. 본 논문에서는 LoRa 통신을 기반으로 한 태양광용 정선박스 고장상태 원격 모니터링 시스템을 제안한다. 부품별 고장상태와 태양광 발전량, 내부온도 등의 정보를 LoRa 통신을 통해 운영자에게 실시간 제공한다. Tx모듈에서는 태양광용 정선박스에서 수집된 여러 정보를 Rx모듈 측에 실시간 무선 전송하고 Rx모듈에서는 수신된 정보를 판단, 표시 및 저장하는 기능을 갖추었다. 또한, 사용자가 정보를 쉽게 파악할 수 있도록 모니터링 단말기를 통해 시인성을 높였다. 제작된 모니터링 시스템을 통해 성능시험을 진행하였으며 실내, 실외 조건 모두에서 WIFI 통신에 비해 안정적으로 동작함을 확인하였다. 비가시 환경에서도 반경 210 m 영역까지 원활한 통신이 이뤄졌고 RSSI는 -101 dBm 이상, PER은 3.1 % 이하임을 확인하였다. 또한, 최대 300 m까지 비가시 통신이 이뤄짐을 확인하였다. 또한, 실제 운용 중에 발생한 고장상태를 확인하고 이를 분석하였으며 문제점을 보완하였다.

Abstract As the PV junction box, a major component of the PV system, has gained importance in recent years, a remote monitoring system including wired and wireless is required. However, conventional monitoring systems often have limitations in data delivery depending on distance and surrounding environment. Therefore, a system capable of quickly identifying and coping with fault conditions of PV junction boxes is required. In this paper, a PV junction box fault condition monitoring system based on LoRa is proposed. It provides the user with various information. In the Tx module, various information collected from the PV junction box is transmitted to the Rx module side in real time, and the Rx module has functions to judge, display, and store the received information. The experiment was conducted with the manufactured prototype, and it was confirmed that it operated stably compared to WIFI in both indoor and outdoor environments. Even in an invisible environment, good connection was achieved up to a radius of 210 m, and it was confirmed that RSSI was over -101 dBm and PER was below 3.1 %. In addition, it was confirmed that minimal communication was achieved up to 300 m in NLOS environments.

Keywords : LoRa, PV Junction Box, Wireless Monitoring System, NLOS Environments, Renewable Energy

*Corresponding Author : Min-Soo Kim(Hanwha Systems)

email: mskim75@hanwha.com

Received August 31, 2023

Accepted November 3, 2023

Revised September 13, 2023

Published November 30, 2023

1. 서론

최근 세계적인 기후변화 속에서 높아지는 지구의 평균 온도와 온실가스 감축을 위해 정부는 2017년부터 '재생 에너지 3020' 정책을 진행하고 있다. 탄소배출이 낮은 재생에너지의 발전량 비중을 2030년까지 20 % 높이는 계획으로 이중 태양광 발전이 전체의 57 % (36.5 GW)를 차지한다[1]. 앞으로 다양한 형태로 태양광 발전 설비 공급이 늘어날 전망이며 현재 이러한 발전시설의 원활한 운영과 관리를 위해 시스템 별도의 원격 모니터링 시스템을 운영하고 있다[2].

지금까지 태양광 발전 시스템의 구성 중 전력변환장치에 대해서는 지속적인 모니터링이 이뤄지고 있지만 태양광 모듈 출력과 역류방지 다이오드 및 퓨즈로 이루어진 태양광용 정선박스에 대해서는 별도의 모니터링이 이뤄지지 않고 있다. 하지만, 태양광용 정선박스 내부의 지속적인 서지 전압과 돌입 전류에 의한 스트레스 그리고 지속적인 전류에 의한 발열 때문에 퓨즈 용단, 역류방지 다이오드 소자의 파괴가 종종 발생한다. 이러한 이유로 태양광용 정선박스에 대해서도 고장상태 파악을 위한 지속적인 모니터링이 요구된다.

특히 가정용 태양광 발전 시스템의 경우 이러한 시스템이 주로 옥상과 외벽에 설치되어 있어 발전 여부 및 정보를 직접 확인하는데 어려움이 따른다[3]. 이러한 문제는 별도의 운영 인력과 공간이 필요로 하지 않는 소형 모니터링 단말기를 활용하여 해결하고 있다.

일반적으로 태양광 모니터링 단말기는 실시간 발전 정보와 기간별 누적정보를 유선 또는 무선(원격) 통신으로 제공한다[4,5]. 유선 전송의 경우에는 RS-485 시리얼 통신을 사용하였을 때 1 km 내외의 통신 거리를 가지지만 유선 설치 작업으로 인해 불편함이 따르고 설치 위치 변경에 어려움이 있다. 이러한 이유로 최근에는 WIFI/IoT 통신과 같은 무선 통신을 주로 활용하며 간단한 설치와 연결만으로 태양광 발전 정보를 인터넷이 가능한 전세계 어느 곳에서도 수신할 수 있다[6]. 다만, WIFI/IoT 통신 환경이 갖춰지지 않은 경우 해당 서비스를 이용하기 어려우며 WIFI/IoT 통신 유지를 위한 비용이 지속적으로 발생하게 된다[7].

LoRa(Long Range) 통신은 저전력 장거리 통신의 대표적인 기술로써 낮은 전력으로 매우 넓은 통신 반경을 제공한다[8]. 개방된 장소에서는 10 km까지 통신이 가능하고 전력 소비량은 약 10 mW이며 최대 10 kbps의 데이터 전송 속도를 가진다[9].

타 기술에 비해 데이터 전송 속도가 높지 않기 때문에 영상과 사진 데이터를 실시간 전송하기에는 어려움이 따르지만 문자 데이터만을 전송하는 것에는 제약이 없다. 국내에서 LoRa 통신의 주파수 대역은 915 MHz이며 비면허 대역이다[10]. 이 때문에 광역 IoT 서비스와 같은 상업적 용도로 사용되고 있으며 일반 사업자들도 사업이 가능하다[11].

이로써 추가적인 비용이 발생하지 않고 장거리 저전력 무선 전송이 가능하다. 이러한 기술을 바탕으로 본 논문에서는 태양광 정선박스 고장상태 모니터링을 위한 LoRa 기반의 모니터링 시스템을 제안한다. 본론 2.1에는 기존 태양광용 정선박스 설계에 대해 설명하고 2.2에는 개선된 태양광용 정선박스 모니터링 시스템을 보여준다. 2.3에서는 Tx/Rx 모듈 제작과정, 2.4에는 제작된 모니터링 시스템의 실험 환경, 2.5에서는 시험 결과를 순차적으로 보여준다. 마지막 결론에서는 논문의 주요내용을 요약하여 기술하였다.

2. 본론

2.1 기존 태양광용 정선박스 설계

가정용 태양광 발전 시스템에서 태양광 모듈은 다수의 병렬형태로 구성된다. 구름 또는 구조물에 의해 발생하는 부분 음영은 각 태양광 모듈 간의 전압불균형을 야기하여 순환전류를 발생시키고 이로 인해 전력 손실이 발생한다. 또한, 인버터 고장 시 유도되는 과전압의 경우 각 태양광 모듈 전체를 손상시킬 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 일반적으로 태양광용 정선박스에는 역류 방지 다이오드가 적용된다. 또한, 과전류에 의한 인버터 및 태양광용 어레이를 보호하기 위해 입력퓨즈를 역류 방지 다이오드 앞단에 적용한다. Fig. 1은 일반적인 태양광 발전 시스템에 적용된 태양광용 정선박스의 구성을 나타낸다.

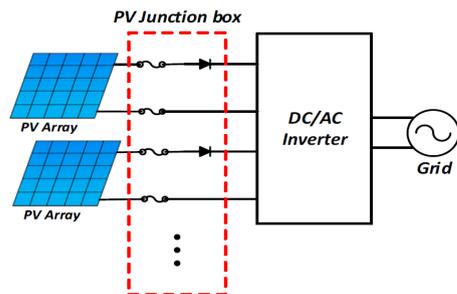


Fig. 1. The typical PV junction box configuration in a PV system

태양광용 정선박스는 태양광 모듈에서 생성된 전력을 인버터로 전달하는 역할을 한다. 태양광 모듈에서 생성된 높은 전류가 태양광용 정선박스에 유입되면 역류방지 다이오드의 온도는 크게 상승하게 된다. 따라서, 높은 전류에 대응하기 위해 허용 전류가 크거나 Forward 전압이 낮은 다이오드를 선택하게 된다. 여기에 다이오드의 온도상승을 억제하기 위한 방열판이 장착되는 것이 일반적이다. 그럼에도 태양광용 정선박스 내부 온도는 크게 상승하게 되며 이 상태가 오래 지속되는 경우 역류방지 다이오드의 고장을 야기할 가능성이 높다.

역류방지 다이오드의 고장상태에 따라서 입, 출력 단 절연상태가 되어 태양광 모듈에서 생성된 전력이 인버터로 전달될 수 없게 된다. 지속적인 과전류에 의해 퓨즈가 용단된 경우도 마찬가지이다. 이 상태가 오래 지속되면 사용자 입장에서 전력손실과 함께 금전적 손해가 발생한다. 이러한 문제를 신속하게 파악하고 고장 원인을 추정하여 빠른 대처가 가능하도록 하기위해 태양광용 정선박스의 고장상태를 실시간으로 감시할 수 있는 시스템이 요구된다.

2.2 제안하는 태양광용 정선박스 모니터링 시스템

2.2.1 Tx모듈 구성

Tx모듈의 주요 구성은 Fig. 2와 같다. 고장상태를 실시간 모니터링하기 위한 전압, 전류센서 및 온, 습도 센서가 적용되어 있고 데이터 처리를 위한 ESP32 칩, 그리고 무선통신을 위한 LoRa32 모듈로 구성되어 있다.

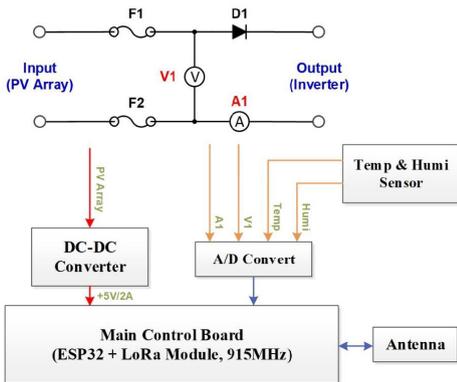


Fig. 2. The configuration of the Tx module in proposed PV junction monitoring system

주요 소자를 동작시키기 위한 전원은 태양광 모듈로부터 공급받으며 DC-DC 컨버터를 통해 5 Vdc로 변환 후

각 소자에 공급된다. 이러한 과정을 통해 태양광 발전 시스템 가동 시간을 계산할 수 있다. 온, 습도 센서는 태양광용 정선박스 내부의 온, 습도를 모니터링하고 40 °C 이상이 되면 냉각팬을 동작시키도록 설계하였다. Tx모듈을 통해 수집되는 정보는 다음과 같다.

- 태양광 모듈 전압 및 전류
- 태양광 모듈 전력 및 발전량
- 태양광용 정선박스 내부 온도 및 습도
- 태양광 인버터 가동시간
- 퓨즈와 역류방지용 다이오드 동작 상태

위 정도를 바탕으로 고장상태 유무를 판단하고 LoRa 모듈에서는 정수화된 정보를 LoRa 통신 전용 패킷으로 변환하여 0.5 sec 간격으로 Rx모듈로 송신하게 되며 868/915 MHz 주파수를 선택적으로 이용할 수 있다. 국내의 경우 915 MHz 대역을 표준 LoRa 통신 규격으로 활용하고 있으며 868 MHz 대역은 타 통신대역과 주파수 혼신 가능성이 있어 사용이 제한된다. Tx/Rx에 적용된 LoRa 안테나는 시스템의 크기와 통신거리를 감안하여 소형 모노폴 안테나를 공통으로 적용하였다.

2.2.2 Rx모듈 구성

Rx모듈은 Tx모듈로부터 송신된 태양광용 정선박스 정보를 수신 및 처리하고 LCD 화면을 통해 사용자에게 태양광용 정선박스 고장유무와 태양광 발전 정보를 제공하며 저장매체를 통해 수신 정보를 저장하는 역할을 한다. Fig. 3은 제안된 태양광용 정선박스 모니터링을 위한 Rx모듈 구성을 나타낸다. 필요 시 WIFI를 통한 네트워크 접속으로 태양광용 정선박스 정보를 원격으로 모니터링 할 수 있다. Rx모듈은 고정형으로 사용 시 외부케이블을 통해 전력을 공급받고 이동형으로 사용될 경우 내부 리튬폴리머배터리를 통해 전력을 공급받기 때문에 장시간 운용이 가능하다.

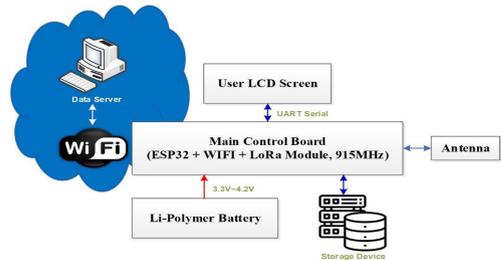


Fig. 3. The configuration of the Rx module in proposed PV junction monitoring system

2.2.3 고장상태 판단 알고리즘

태양광용 정선박스 내부 전압, 전류 센서의 위치에 따라 전력퓨즈 및 역류방지 다이오드 각각의 고장상태를 판단할 수 있다. 전압센서가 전력퓨즈와 다이오드 사이에 위치한 경우에는 다수의 전압, 전류센서 없이 각각의 고장상태를 파악할 수 있다. 만약 퓨즈 단독 고장일 경우 전압과 전류값이 0 V, 0 A로 나타나고 반면 다이오드 단독 고장일 경우 전압은 태양광 모듈 전압값이 출력되고 전류는 0 A로 나타난다. 태양광 발전 출력이 낮은 흐린 날에도 인버터 소모전류는 0.1 A 이상을 유지하므로 전류 센서를 통해 고장 또는 운용 여부를 판별할 수 있다. 또한 전원 인가 후 초기 오동작을 방지하기 위하여 위 상태가 3초 이상 지속될 때만 고장판단을 하도록 설계하였다.

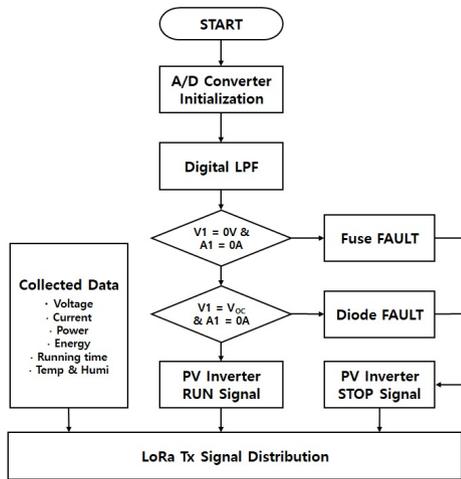


Fig. 4. The flowchart of the fault detection algorithm in PV junction box monitoring system

전압 및 전류센서로부터 얻은 아날로그 신호는 높은 고주파 노이즈가 실려있어 고장상태 판단에 오류를 야기한다. A/D 변환기 앞 부분에 아날로그 회로를 구성하여 고주파 노이즈를 차단하는 것보다 컨트롤러 내부의 디지털 저역통과필터를 이용하여 고주파 노이즈를 차단하는 것이 비용 및 사이즈 측면에서 효과적이다. 샘플링 주파수는 2 kHz, 차단 주파수는 60 Hz로 설정하였다. 고주파노이즈 차단을 위한 디지털 저역통과필터 수식은 Eq. (1)에 나타내었다.

$$y_n = \frac{f_s}{f_s + 2\pi f_c} y_{n-1} + \frac{2\pi f_c}{f_s + 2\pi f_c} x_n \quad (1)$$

여기서 f_s 는 샘플링 주파수, f_c 는 차단 주파수를 나타낸다.

2.3 Tx/Rx모듈 제작

설계된 Tx모듈을 구현하기 위해서는 다양한 I/O 포트와 디지털 신호 처리기능을 가진 마이크로프로세서가 필요하며 추가로 LoRa 프로토콜 및 WIFI 기술을 구현할 수 있어야 한다. 개별 칩이 통합된 TTGO LoRa32 V2.0 모듈은 ESP32, SX1276 모듈을 포함하여 위 기능을 구현할 수 있으며 오픈 소스 하드웨어로 모듈간의 인터페이스가 용이한 장점이 있다. Table 1은 TTGO LoRa32 V2.0 모듈의 사양을 보여준다.

Rx모듈의 핵심은 수신된 정보를 실시간으로 화면에 나타내고 데이터를 저장하며 고장상태를 판단하는 기능을 가진다.

Table 1. The specification of Tx module

Parameter	Value	Unit
Operation voltage	5	Vdc
Maximum Current	14	mA
Frequency band	915	MHz
Tx power	20	dBm
Rx sensitivity	-139	dBm
I/O ports	18	pin
Operation temperature	-40 ~ +85	°C

Fig. 5는 제안된 태양광용 정선박스 모니터링 시스템의 구성도를 나타낸다. Tx모듈에 적용된 전압센서는 저항을 이용한 전압분배기로 설계되었으며 최대 300 Vdc 까지 측정이 가능하다.

ACS758LCB-050U 전류센서는 홀 효과를 이용한 직접 접촉방식으로 최대 DC 50 A까지 측정할 수 있다. 태양광용 정선박스 내부 온도를 측정하기 위해 SHT31 센서를 사용하였고 -40 ~ +120 °C까지 측정 가능하다. 태양광용 정선박스 내부 온도변화를 모니터링하여 고장여부를 판단하고 고장원인을 추정하는 목적으로 활용된다.

Rx모듈에는 수신용 TTGO LoRa32 V2.0 모듈이 적용되어 있으며 데이터 표시를 위한 LCD 모니터, 이동형 모니터링 단말기를 위한 리튬폴리머배터리(Li-Pol, 3.7 V/3000 mAh)가 탑재되어 있다. LCD 모니터에는 날짜, 태양광 모듈전압, 전류, 전력, 발전량, 가동시간, 수신감도, 온도 및 습도 정보 등이 표시된다. Fig. 6(a)는 제작된 태양광용 정선박스 내부의 Tx모듈을 나타내며 Fig. 6(b)는 제작 및 소프트웨어 디버깅이 완료된 Rx모듈의 모습을 보여준다.

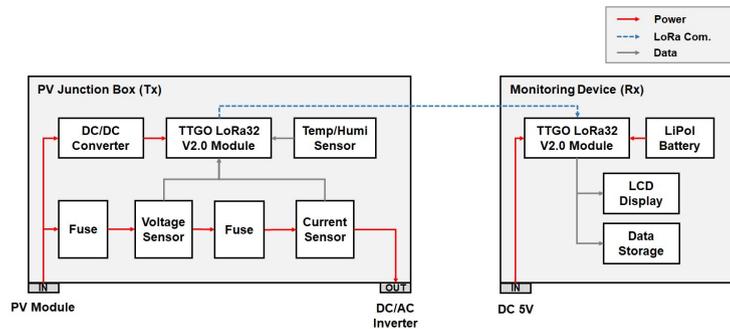


Fig. 5. The entire schematic diagram of the proposed PV junction box monitoring system

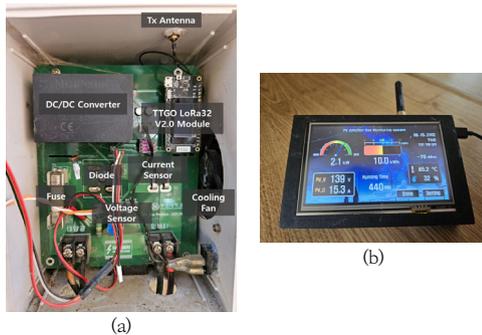


Fig. 6. Assembled Tx/Rx module of PV junction box monitoring system
(a) Tx module (b) Rx module

2.4 시험 환경

제작된 태양광용 정션박스 모니터링 시스템은 실제 운용 중인 3 kW 태양광 발전 시스템에 설치하여 동작시험을 진행하였다. Fig. 7(a)는 태양광용 정션박스의 시험 환경을 보여준다. 태양광용 정션박스 내부의 고장상황은 부하단락 및 부분 절체를 통해 구현하였다. 고장 발생 시 모니터링 단말기를 통해 태양광용 정션박스 상태를 실시간으로 파악하고 즉시 고장부품을 교체가능 하도록 하였다. 추가로 일반적으로 대다수의 가정용 태양광용 정션박스와 모니터링 단말기의 거리는 100 m 이내로 짧다. 하지만 대규모 태양광 발전시설의 경우 태양광용 정션박스와 모니터링 단말기 사이 거리는 수 백 m가 되기도 하며 또한 도심지와 산간지방의 경우 건물과 장애물로 차폐가 되어 가시성이 확보되지 않기도 한다. 이에 따라 본 시험에서는 비가시 환경 (None Line of Sight, NLOS) 에서 최대 통신가능한 거리와 건물차폐 상태에서 통신상태를 확인하는데 중점을 두었다.



Fig. 7. Experiments set-up
(a) 3 kW PV system included proposed PV junction box (b) Test course of Rx module for mobile reception performance

2.5 시험 결과

Fig. 8은 태양광용 정션박스 고장시험에서 고장감지 이벤트에 대한 결과를 나타낸다. 주요 이벤트는 두 차례 발생하였다. 퓨즈 고장이 발생했을 때 태양광 전압과 전류가 0 V, 0 A로 각각 떨어지고 DC/AC 인버터의 동작이 정지되는 것을 확인할 수 있다. 이후 퓨즈를 교체하고 300 초 동안 대기 후 DC/AC 인버터가 정상 동작하는 것이 확인되었다. 역류방지 다이오드의 고장이 발생했을 때는 태양광 전압이 개방전압으로 상승하고 전류는 0 A로 떨어지는 것을 볼 수 있다. 이후 정상 다이오드로 교체하고 300 초 동안 대기 후 DC/AC 인버터가 정상 동작하는 것으로 나타났다. DC/AC 인버터가 동작하지 않을 때는 태양광용 정션박스 내부 온도가 일시적으로 감소하는 것이 확인된다.

Fig. 9는 운용 중에 발생한 다이오드 및 퓨즈 소손 상황에서 태양광용 정션박스 내부를 보여준다. 초기 정상 동작 중인 태양광용 정션박스에서 온도와 돌입전류에 대한 스트레스가 역류방지 다이오드에 지속되어 특정 시점에 소손이 발생하였다. 이 때 퓨즈는 고장나지 않은 것으로 확인되었다. 그리고 내부 온도가 주기적으로 상승 및

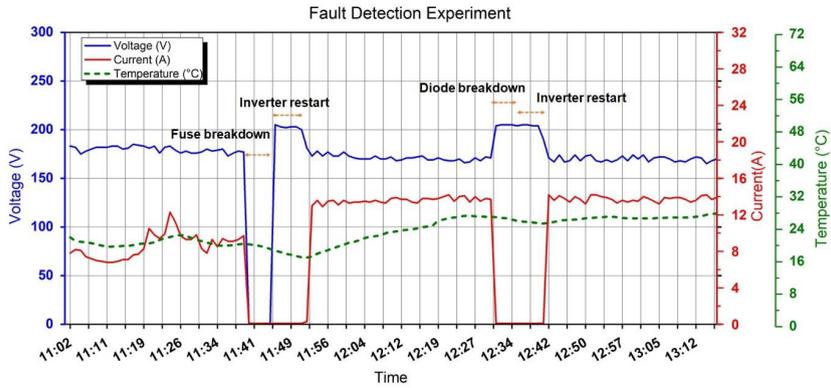


Fig. 8. The result of fault detection test from Rx module

하강함에 따라 태양광 모듈 입력측 커넥터 체결류의 풀림 현상이 발생하였다. 이로 인해 접점이 과열되어 커넥터가 녹으면서 그을음이 발생하였다. 모니터링 장치를 통한 고장상태 파악 후 재제작을 수행하였다. 그 과정에서 커넥터 체결을 강화하였으며 내부 온도 조절을 위한 공기순환용 배기구와 냉각팬을 추가하였다. 그 결과 내부 온도가 최대 50 ℃이하로 유지되는 것을 확인하였다.



Fig. 9. Burnout of a diode and fuse in the PV junction box during operation

Fig. 10은 비가시 환경에서 거리에 따른 LoRa 통신 RSSI (Received Signal Strength Indicator)와 PER (Packet Error Rate)을 나타낸다. RSSI와 PER 측정은 태양광용 정선박스로부터 10 m거리마다 수행하였다. 200 m떨어진 거리에서 RSSI는 -97 dBm, PER은 2.5 %로 나타난다. 거리가 멀어질수록 RSSI는 지속적으로 감소하고 PER은 급격하게 증가하다 300 m 거리에서 더 이상 정상적인 데이터를 수신할 수 없는 상태가 되었다. 주변 지형과 날씨에 따라 RSSI와 PER이 다르게 나타날 수 있지만 비가시 환경에서는 대체적으로 비슷한 결과값을 보이는 것으로 확인하였다.

가정용 태양광 발전 시스템의 경우 대부분 모니터링 장치는 건물 외부가 아닌 내부 공간에서 운영되고 있다. 건물에 의한 차폐가 이뤄진 상태에서 제한된 모니터링 시스템의 수신성능을 WIFI 신호와 비교한 결과를 Fig. 11에 나타내었다. 실험의 신뢰성을 높이기 위해 태양광용 정선박스를 건물 내부에 WIFI 단말기와 동일한 곳에 위치시키고 거리에 따른 RSSI를 측정하였다.

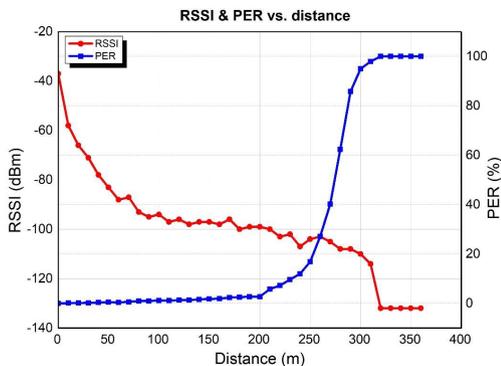


Fig. 10. The RSSI and PER result of Rx module as distance in the NLOS environment

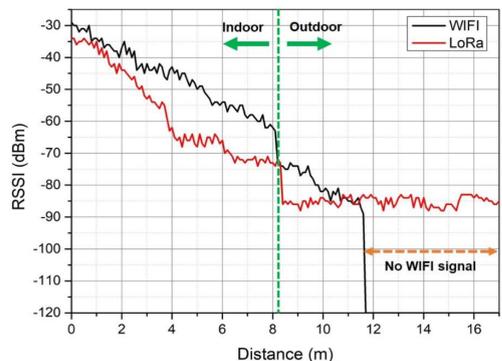


Fig. 11. Comparison of RSSI according to distance for WIFI and LoRa

Tx모듈과 Rx모듈의 거리가 비교적 가까운 경우 WIFI, LoRa 통신 모두 높은 RSSI가 측정되는 것을 볼 수 있다. 건물에 의한 차폐가 발생하는 경우 두 시스템 모두 -15 dBm 이상 감소하게 되고 WIFI의 경우 거리가 11.7 m가 되는 지점에서 더 이상 통신이 불가능한 상태가 되었다. 반면 LoRa 통신의 경우 건물 차폐에 의한 RSSI가 감소하기는 하지만 Tx모듈과 거리가 멀어지더라도 충분히 통신이 가능한 상태를 유지하는 것을 확인하였다.

3. 결론

본 논문에서는 가정용 태양광용 정선박스의 고장상태 모니터링을 위해 LoRa 통신을 기반으로 한 Tx/Rx 모듈을 설계 및 제작하여 이를 검증하였다. 기존 태양광용 정선박스의 경우 고장발생 시 큰 전력손실이 발생하고 모니터링이 어려워 태양광용 정선박스 상태를 실시간으로 파악할 수 없다. 또한, 기존의 WIFI와 RS-232 통신의 경우 주변환경에 따라 이용이 불가능한 상태가 존재한다. 따라서, 기존 태양광용 정선박스 내 전압, 전류센서를 이용하여 고장지점 파악이 가능한 설계 및 알고리즘을 제안하였다. 실험을 통해 태양광용 정선박스 고장발생 시 모니터링 단말기를 통해 고장점 파악이 가능함을 검증하였고 부품 교체 후 정상 동작함을 확인하였다.

비가시 환경에서 제안된 태양광용 정선박스 모니터링 시스템의 수신 동작범위를 확인한 시험에서는 최대 300 m까지 통신이 가능하였다. 또한, 원활한 통신을 위해서는 210 m 이내에서 운용해야 하며 해당 지점에서 RSSI는 -101 dBm 이상, PER은 3.1 % 이하가 됨을 확인하였다. 제안된 모니터링 시스템을 설치한 후 2년 간의 운영기간 중 1회 고장상황이 발생하여 확인 후 다이오드 교체 및 점검을 진행하였다.

결과적으로 기존의 전력변환장치 모니터링 시스템에서 확인할 수 없는 태양광용 정선박스에 대한 모니터링을 수행함으로써 고장원인을 신속하게 파악할 수 있는 방안을 제시하고 운용의 편리성과 관리의 효율화에 기여할 수 있도록 하였다. 추가로 해당 방식은 가정용 태양광용 정선박스에 국한된 것이 아니며 대규모 태양광용 정선박스 설비에서 적용하여 그 효율성을 증대시킬 수 있다. 지금까지는 태양광용 정선박스 모니터링 시스템 단독 운영상태만을 확인하였지만 향후에는 다수 모니터링 시스템 간의 통신 간섭과 타 장치에 미치는 영향에 대한 연구가 수행될 예정이다.

References

- [1] S. H. Lee, D. Choi and J. -W. Park, "Power-Sensitivities-Based Indirect Voltage Control of Renewable Energy Generators With Power Constraints", in *IEEE Access*, Vol.9, pp.101655-101664, July. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3097350>
- [2] M. Marzband, S. S. Ghazimirsaeid, H. Uppal, T. Fernand, "A real-time evaluation of energy management systems for smart hybrid home Microgrids", *Electric Power Systems Research*, Vol.143, pp.624-633, February. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2016.10.054>
- [3] T. S. Ustun, Y. Nakamura, J. Hashimoto., K. Otani, "Performance analysis of PV panels based on different technologies after two years of outdoor exposure in Fukushima, Japan", *Renewable Energy*, Vol.136, pp.159-178, June. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.12.100>
- [4] A. Chouder, S. Silvestre, B. Taghezouit, E. Karatepe, "Monitoring, modelling and simulation of PV systems using LabVIEW", *Solar Energy*, Vol.91, pp.337-349, May. 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2012.09.016>
- [5] F. Shariff, N. A. Rahim, W. P. Hew, "Zigbee-based data acquisition system for online monitoring of grid-connected photovoltaic system", *Expert Systems with Applications*, Vol.42, pp.1730-1742, February. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2014.10.007>
- [6] M. Rokonzaman, M. K. Minshu, N. Amin, M. Nadarajah, R. B. Roy, K. S. Rahman, A. M. Buhari, S. Binzaid, M. Shakeri, J. Pasupuleti, "Self-sustained autonomous wireless sensor network with integrated solar photovoltaic system for internet of smart home-building (IoSHB) applications", *Micromachines*, Vol.12, No.6, pp.653-667, June. 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/mi12060653>
- [7] P. Sukic, G. Stumberger, "Intra-Minute Cloud Passing Forecasting Based on a Low Cost IoT Sensor—A Solution for Smoothing the Output Power of PV Power Plants", *Sensors*, Vol.17, No.5, pp.1116, May. 2017. DOI: <https://doi.org/10.3390/s17051116>
- [8] M. Rizzi, P. Ferrari, A. Flammini and E. Sisinni, "Evaluation of the IoT LoRaWAN Solution for Distributed Measurement Applications", in *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, Vol.66, No.12, pp.3340-3349, December. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1109/TIM.2017.2746378>
- [9] L. Li, J. Ren and Q. Zhu, "On the application of LoRa LPWAN technology in Sailing Monitoring System", *2017 13th Annual Conference on Wireless On-demand Network Systems and Services (WONS)*, Jackson, WY, USA, 2017, pp.77-80. DOI: <https://doi.org/10.1109/WONS.2017.7888762>

- [10] J. Penã Queralta, T.N. Gia, Z. Zou, H. Tenhunen, T. Westerlund, "Comparative Study of LPWAN Technologies on Unlicensed Bands for M2M Communication in the IoT: beyond LoRa and LoRaWAN", *Procedia Computer Science*, Vol.155, pp.343-350, August. 2019.
DOI: <https://doi.org/10.1016/i.procs.2019.08.049>
- [11] F. Adelantado, X. Vilajosana, P. Tuset-Peiro, B. Martinez, J. Melia-Segui and T. Watteyne, "Understanding the Limits of LoRaWAN", in *IEEE Communications Magazine*, Vol.55, No.9, pp.34-40, September. 2017.
DOI: <https://doi.org/10.1109/MCOM.2017.1600613>
-

김민수(Min-Soo Kim)

[정회원]



- 2019년 2월 : 부산대학교 전기공학
학과 (공학석사)
- 2022년 8월 : 부산대학교 전기공학
학과 (공학박사)
- 2022년 11월 ~ 현재 : 한화시스템
전원제어팀 선임연구원

<관심분야>

전력전자, 에너지저장장치