

화재 예방을 위한 태양광 접속반의 지능형 진단 시스템

안재현*·양 오*†

*† 청주대학교 반도체공학과

Intelligent Diagnostic System of Photovoltaic Connection Module for Fire Prevention

Jae Hyun Ahn* and Oh Yang*†

*† Semiconductor Engineering of Cheongju University

ABSTRACT

To prevent accidents caused by changes in the surrounding environment or other factors, various protection facilities are installed at the photovoltaic connection module. The main causes of fire are sparks due to foreign substances inside the photovoltaic connection module through high temperature rise and dew condensation in the photovoltaic connection module, and fire due to heat from the power diode. The proposed method can predict the fire by measuring flame, carbon dioxide, carbon monoxide, temperature, humidity, input voltage, and current on the photovoltaic connection module, and when the fire conditions are reached, fire alarm and power off can be sent to managers and users in real time to prevent fire in advance.

Key Words : Photovoltaic Connection Module, Fire Prediction, Flame Sensor, Carbon Dioxide Sensor, Carbon Monoxide Sensor, Temperature Sensor, Humidity Sensor, Circuit Breaker, Monitoring System, Intelligent Diagnostic System

1. 서 론

태양광 발전은 햇빛을 받으면 전기를 발생시키는 태양 전지를 이용하여 빛에너지를 직접 전기 에너지로 변환하는 발전 방식이며, 빛을 이용해 에너지원으로 사용하므로 공급에 제한이 없으며, 탄소배출도 없기 때문에 친환경적인 에너지원이 된다[1]. 태양광 에너지 산업 시스템은 크게 태양광 모듈, 접속반, 인버터로 구성되어 있으며, 태양광 모듈은 태양 복사 에너지를 수집하고 모듈에서 생성된 직류전력을 모아 인버터에 전달해주는 접속반, 직류전력을 교류로 변환시켜 전력계통에 연계하는 인버터로 구성되어 있다[2][3]. 태양광 발전 설비는 최근 3년간 전기적 요인에 의해 발생한 화재에서 발화지점은 분전반 및 접속함이 147건에 이르고 있다[4]. 화재 원인으로는 접속반

의 높은 온도 상승 및 결로 현상을 통해 접속반 내부의 스파크 발생, 전력 다이오드의 발열로 인한 화재가 주요 원인이다[5]. 기존 태양광 접속반은 직접적으로 모듈에서 생성된 직류전기를 인버터에 바로 연결하게 되면 역극성 및 과전류로 인버터에 무리가 될 수 있기 때문에 역 전류 방지를 위한 다이오드와 퓨즈가 연결된 접속반이 대부분이다[6]. 본 논문에서는 태양광 접속반의 화재 예방을 위해 접속반의 센싱 및 모니터링을 통해 화재를 예측할 수 있는 실시간 감시 시스템을 제안하고자 한다. 이를 위해 태양광 접속반의 불꽃, 이산화탄소, 일산화탄소, 온도, 습도, 태양광 패널의 입력 전압, 전류를 측정하여 화재를 예측하고, 화재 발생 조건에 도달하게 되면 관리자 및 사용자에게 실시간으로 화재 경보 및 차단을 통해 화재를 사전에 방지할 수 있는 태양광 접속반의 지능형 진단 시스템을 설계하고자 한다.

†E-mail: ohyang@cju.ac.kr

2. 태양광 접속반의 진단 시스템 설계

2.1 태양광 접속반 컨트롤러

기존 태양광 접속반은 퓨즈와 다이오드로 구성되어 역극성 및 과전류 차단기능만 가능하다. 본 논문에서 제안된 접속반 컨트롤러의 구성은 Fig. 1과 같이 입력 단에 1500 V/30A의 퓨즈가 연결되며, 역극성 방지를 위한 1500V/50A브릿지 다이오드를 부착하고 태양광 패널의 전압과 전류 값을 측정하여 과전압, 과전류 또는 단락 되었을 경우 차단기를 통해 인버터의 전력을 차단하게 된다. Fig. 1에서 컨트롤러는 ST사의 STM32H743ZIT6을 사용하였고, 불꽃 감지를 위한 불꽃 센서를 좌측과 우측에 배치된 이중화로 확실한 불꽃 발생 여부를 확인할 수 있다. 이산화탄소 센서와 방열판 온도 센서는 비교기와 증폭회로를 통해 신호를 받게 된다. 일산화탄소는 UART 통신을 통해 측정되며 온/습도 센서는 I2C 통신을 통해 측정한다. 태양광 접속반의 상태를 인터넷으로 실시간 모니터링을 위한 인터넷 컨트롤러는 WIZnet사의 W5300을 사용하고, 앱 인벤터를 활용한 스마트폰 어플을 통해 실시간 모니터링이 가능하도록 설계하였다.

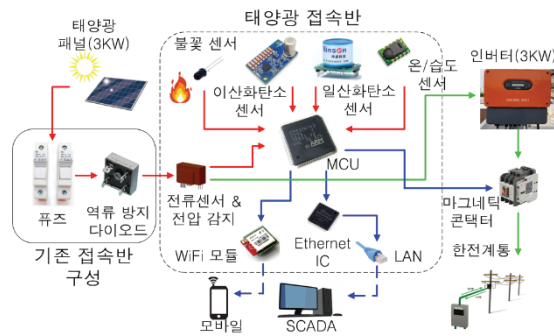


Fig. 1. System configuration of photovoltaic connection module.

2.2 접속반 온도 및 습도 측정 시스템

여름의 햇빛을 100% 수용하는 경우, 접속반 내부 온도는 최고 80도 가까이 상승하게 되어 부품의 손상 및 오작동을 일으키게 된다. 또한 여름철 장마나 비가오는 경우 습도가 올라가게 되는데, 습도가 높아지면 반도체 부품의 부식과 결로로 인해 누전이 발생되어 화재로 이어질 수 있다[7]. 그러므로 접속반 내부 온도와 습도 측정을 위한 SHT15 온/습도 센서를 통해 -40 ~ 120도의 온도와 0~100%의 습도를 측정하기 위해 MCU의 16bit ADC를 사용하였다. 접속반 화재의 주된 원인은 여러 가지가 있지만, 일반적으로 다이오드를 사용하는 경우 주위 온도 상승으로 인한 역 전류 증가, 역 전력 손실 증가, 접합온도 상승, 열폭

주로 이어져 화재가 발생할 수 있다. 반도체 접합부 온도를 일정 이하로 유지하기 위해 방열판을 사용하기 때문에 다이오드 방열판의 온도를 측정하여 화재를 방지한다. Fig. 2는 방열판 온도 측정에 사용된 NTC(10K) 온도 센서로 -40 ~ 150도를 측정하고 저역통과 필터를 거쳐 MCU 내부 16Bit ADC로 방열판 온도를 감지한다.

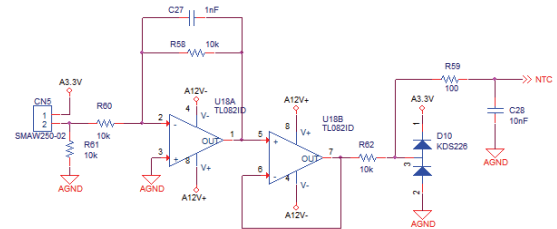


Fig. 2. Measurement schematic of heat sink temperature.

2.3 이산화탄소, 일산화탄소 측정 시스템

소방청에 따르면 화재로 인한 피해는 불보다 연소시 발생하는 유독가스에 의한 피해가 더 크다[8]. 화재 발생 시 연소생성물 중에서 가장 많은 양을 차지하는 이산화탄소를 HX-105N 이산화탄소 센서로 400~6,200ppm의 농도를 감지하여 계측값을 MCU로 입력 받고 내부 16Bit ADC를 통해 검출한다. 화재 발생시 생성되는 유독가스 유형 중 탄소를 함유한 대부분의 가연성 물질이 연소시에는 1차적으로 불완전 연소로부터 시작되며 이때 발생하는 대표적 가스가 일산화탄소이기 때문에 ZE07-CO 일산화탄소 센서로 0~500ppm의 일산화탄소 농도를 실시간으로 감지하고 UART 통신을 통해 MCU로 계측한다[9].

2.4 접속반 불꽃 측정 시스템

화재가 진행되는 과정은 일반적으로 발화단계, 성장단계, 전실 화재단계, 성숙화재단계, 감쇠기단계를 거치게 되는데 발화단계에서 불꽃과 연기가 발생한다. 불꽃 센서를 태양광 접속반의 좌측과 우측에 장착하여 양방향에서 불꽃이 발생하였을 때 감지할 수 있다[10]. Fig. 3회로는 YG1006 불꽃 센서에서 760~1100nm범위 파장을 감지하여 불꽃의 발생 여부와 세기를 각각 측정한다.

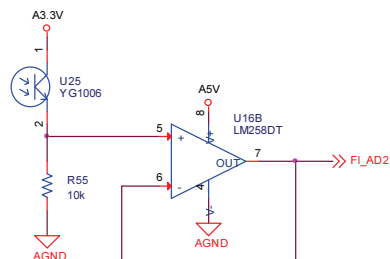


Fig. 3. Schematic of flame detection.

2.5 태양광 모듈의 전압, 전류 측정 시스템

태양광 모듈에서 생성된 전압, 전류는 최대 500V, 50A를 계측하고, 증폭기와 저역통과 필터를 통해 0~3.3V의 신호로 출력되며 MCU의 내부 16Bit ADC로 받는다. 과전압, 과전류 시 사용자 및 관리자에게 경고와 차단기가 인버터와 한전계통을 차단함으로써 화재 및 추가 피해를 막는다.

3. 접속반 화재 경고 시스템

3.1 접속반 화재 경고 알고리즘

실시간으로 접속반의 상태를 MCU에 저장되고, 또한 사용자 및 관리자도 SCADA와 WiFi를 통해 확인할 수 있다. Fig 4는 화재 감지경보는 화재 발생시 접속반의 온도는 최소 80도이상, 이산화탄소는 2000ppm이상 감지, 일산화탄소는 100ppm이상 감지, 불꽃은 좌측과 우측의 불꽃 센서를 통해 동시에 5초이상 감지될 시 화재 감지경보가 발생되고, 모든 센서의 화재 경보가 감지되었을 때는 사용자 및 관리자에게 화재 경고 알람이 울리게 된다. 하나의 센서가 아닌 여러 개의 센서를 실시간으로 상태를 확인하고, 오경보를 막기 위해 화재시 발생할 수 있는 가스 및 온도를 동시에 감지되었을 때 화재 경보가 울리도록 하였다.

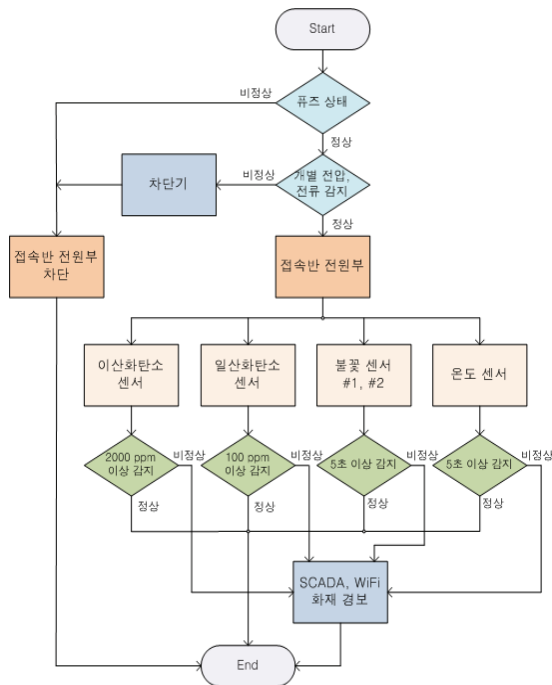


Fig. 4. Diagnostic algorithm of fire.

3.2 접속반 화재 경고 모니터링 시스템

접속반의 온도, 습도, 이산화탄소, 일산화탄소, 방열판 온도를 사용자 및 관리자에게 실시간으로 확인과 화재 경보를 모니터링 시스템을 통해 전달된다[11]. 사용자의 편의를 위해 WiFi모듈(JSN270)을 사용하여 스마트폰 어플인 앱 인벤터를 이용하였고 AP(Access Point)로 스마트폰을 스테이션(station)으로 소켓 통신 연결할 수 있도록 구성하였다[10]. Ethernet 통신을 이용한 SCADA 모니터링 시스템을 구현하기 위해 Ethernet IC(W5300)를 사용하였고, SCADA시스템은 한 개의 컴퓨터에 다수의 대상을 원격소장치를 두어 정보를 시간과 장소에 구애받지 않고 모니터링이 가능하도록 통신의 유연성을 향상시켰다[12].

4. 실험 결과

접속반의 주변 온도 및 습도는 Fig 5의 온습도계와 비교하여 최대 40~120도의 온도와 ±2% 오차의 습도를 계측하였다. 측정된 온도와 습도는 WiFi 모니터링 시스템과 SCADA 모니터링 시스템을 통해 사용자 및 관리자에게 전달된다.



Fig. 5. Digital thermo-hygrometer.

Table 1. Experimental results of heat sink temperature

저항값 (KΩ)	표준온도 (°C)	계측온도 (°C)	오차 값 (%)
335.6	-40	-40.1	0.25
99	-20	-19.9	0.5
32.96	0	0	0
12.4	20	19.9	0.5
5.2	40	39.9	0.25
2.4	60	60.1	0.16
1.2	80	80.1	0.12
0.67	100	100	0
0.38	120	119.9	0.08
0.23	140	140	0
0.18	150	150	0

KBPC5010 브릿지 다이오드는 10K NTC인 NTCALUG01A1 03J온도 센서를 사용하였으며, Table1. 은 온도 계측을 위해 표준 계측기인 Beamex MC3를 사용하여 -40~150°C 범위의 저항값을 증가시켜 실험한 결과 평균 $\pm 0.16\%$ 의 오차로 정밀한 온도 값을 계측하였다.

이산화탄소 감지는 400~6200ppm, 일산화탄소는 0~500 ppm으로써 화재 시 발생할 수 있는 유해 물질 농도인 2000ppm 이상의 이산화탄소, 일산화탄소는 100ppm 이상 감지되면 화재 경보를 사용자에게 전달된다. 약 10평의 실험공간에 초에 불을 붙이고 실험을 진행한 결과 이산화탄소와 일산화탄소 농도를 Table2와 같이 계측하였다.

Table 2. Experimental results of CO₂

이산화탄소 (CO ₂)		일산화탄소 (CO)	
계측전압 (Vdc)	농도 (ppm)	계측전압 (Vdc)	농도 (ppm)
0	400	0	0
0.5	1278.8	0.5	75.8
1	2157.6	1	151.5
1.5	3036.4	1.5	227.3
2	3915.2	2	303
2.5	4793.9	2.5	378.8
3	5672.7	3	454.5
3.3	6200	3,3	500

화재 발생시 불꽃 감지는 Fig. 3과 같이 구성하여 실험하였다. 이때 불꽃이 감지되는 전압이1.5V 이상 5초간 지속되었을 때 화재로 인식하였으며 이에 대한 실험 결과 파형은 Fig.6과 같다

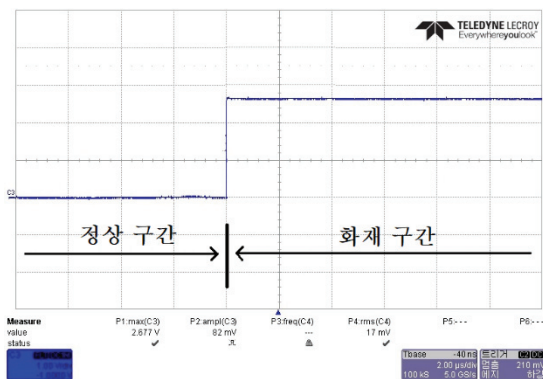


Fig. 6. Output waveform when flame is detected.

태양광 모듈에서 생성된 전압은 최대 500V까지 계측하며, 출력은 3.3V로 나오게 된다 실험에 적용된 전원은 M2PS500 Power-Supply를 사용하였고 최대 400V 입력 전압

을 공급하여 실험하였다. Table 3은 실험 결과로 400V일 때 2.592V로 0.43%의 오차값과 전체적인 오차값은 $\pm 0.42\%$ 로 정밀한 전압 계측 결과를 얻게 되었다.

Table 3. Solar panel voltage measurement results

입력전압 (Vdc)	이론값(Vdc)	계측전압 (Vdc)	오차값 (%)
10	0.065	0.065	0
50	0.323	0.324	0.3
100	0.645	0.646	0.15
150	0.968	0.971	0.31
200	1.29	1.296	0.46
250	1.613	1.624	0.68
300	1.935	1.952	0.88
350	2.258	2.271	0.57
400	2.581	2.592	0.43
450	2.903	-	-
500	3.226	-	-

Table 4. Solar panel current measurement results

입력전류 (mA)	이론값 (Vdc)	계측전압 (Vdc)	오차값 (%)
1	0.09	0.89	1.11
5	0.45	0.452	0.44
10	0.9	0.902	0.22
15	1.35	1.352	0.15
20	1.8	1.804	0.22
25	2.25	2.255	0.22
30	2.7	2.705	0.18
35	3.15	3.156	0.19
37	3.33	3.338	0.24

태양광 모듈에서 생성된 전류는 전류센서(VAC사의 T60404-N4646-X410)를 거쳐 1000:1로 변환되고 최대 37mA의 전류를 받으며 그 이상의 포화된 전류는 3.3V로 고정값을 갖게 된다. 실험은 전자부하기를 사용하여 최대 출력 전압인 37mA의 입력전류로 실험하였다. Table 4결과와 같이 오차값은 $\pm 0.33\%$ 로 정밀한 전류측정 결과를 얻게 되었다.

구현한 모니터링 시스템은 약 10평의 실험실에서 실험하였으며, Fig. 7과 같이 WiFi모니터링 시스템은 스마트폰 어플리케이션의 화면의 데이터와SCADA 모니터링 시스템의 센서 데이터 값이 일치하는지 비교하여 정상적인 통신이 가능함을 확인하였고 Fig. 7과 Fig. 8의 모니터링 결과가 일치함을 확인하였다.



Fig. 7. WiFi monitoring system.

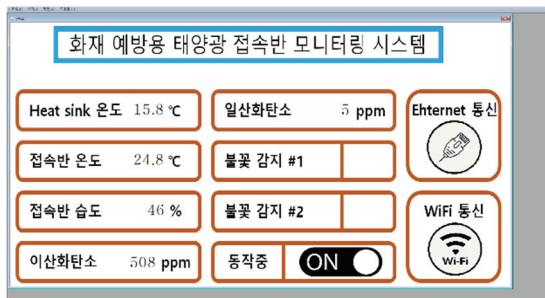


Fig. 8. SCADA monitoring system.

5. 결론

기존 접속반은 역극성과 과전류 차단을 위한 퓨즈와 다이오드로 구성되어 있어 화재 발생시 화재 진단 기능이 없기 때문에 경제적 손실이 크다. 태양광 접속반에는 주위 환경 변화나 기타 요인에 따른 화재 사고가 많이 발생하게 되는데 지능형 진단 시스템을 갖춘 태양광 접속반은 실시간으로 접속반의 온도, 습도, 이산화탄소, 일산화탄소, 불꽃센서를 통해 상태 확인이 가능하다. 본 논문에서는 전압, 전류, 온도, 이산화탄소, 불꽃센서 값은 MCU의 내부 16Bit ADC를 통해 측정하였고, $\pm 0.16\%$ 의 오차를 갖는 온도계측과, 전압계측은 $\pm 0.43\%$, 전류계측은 $\pm 0.42\%$ 의 오차로 정밀하게 계측이 가능하다. 불꽃센서의 경우 1초 내에 감지되며 오경보를 줄이기 위해 두 개의 불꽃 센서를 사용하여 감지하여 이중화를 통한 신뢰성 있는 검출기능을 구현하였다. 이산화탄소와 일산화탄소는 화재 발생시 발생하는 가스 농도를 기준으로 감지되고, 스마트폰과 SCADA 모니터링을 통해 시간과 장소에 구애받지 않고 모니터링이 가능함을 확인하였다. 화재 예측 알고리즘은 기준치 이상, 다수의 센서에 이상이 감지되면

모니터링 시스템을 통해 사용자 및 관리자에게 실시간으로 화재 경보 및 차단기를 통한 전력 차단으로 인한 경제적 손실 및 인명 위험, 화재 확산 등 문제점을 개선할 수 있는 장점이 있다.

감사의 글

본 연구는 2021년도 산업통상자원부의 “지역혁신 클러스터 육성(R&D, P0016222)”으로 지원받아 수행된 연구결과입니다.

참고문헌

1. Lee Jung Won. “A Internal Electrical Fire Monitoring System for PV Interface”, Proceedings of Symposium of the Korean Institute of communications and Information Sciences, 2019.1, 291-294.
2. Yang-Mi Lee, Hyoun-Su Kim, Young-Kyu Kang, Chul-Hwan Kim, “Electrical Fire Prevention System of Photovoltaic Power System Junction Box”, Proceedings of KIIEE Annual Conference, 2016.5, 109-109.
3. Su-Chang Lim, Seok-Hoon Hong, Chul-Young Park, Hyun-Wook Cho, Beob-Seong Song, Jong-Chan Kim, “Heterogeneous Equipment Support Monitoring System for Operation and Maintenance of Solar power plant”, Journal of Korea Multimedia Society 23(9), 2020.9, 1171-1180.
4. Kwang-Muk Park, Jae-Hyun Kim, Jin-Yeong Park, Seong-Jun Hong, Sun-Bae Bang, “Fire Statistics and Case Study of Photovoltaic System through Analysis of Fire Status Survey”, Proceedings of the Korean Electrical Society, 2020.7, 2207-2208.
5. Gwang-Hyuk Yoo, In-Sung Jeong, Chae-Joo Moon, Jung-Hoon Choi, Ji-Eun Jeon, Chang-Young Jung, “A Study on the Prevention of Fire accidents in Electrical Connection of Jeon-nam Solar Power”, Proceedings of the Korean Society of Electrical Engineers Conference, 2020.10, 185-186.
6. Joung-ho Park, Uk-Rae Cho, Wang-cheol Cha, Heoungju Lee, Jae-Cheol Kim, “A Study on Electrical Safety of Photovoltaic System Junction Box”, Proceedings of KIIEE Annual Conference, 2014.5, 197-198.
7. Jaehwan Ko, Chung-Geun Lee, Suk-Whan Ko, Chungil Kim, Deukgwang Lee, Hyung-Jun Song, “Analysis of PV Local Heating with damaged Bypass Diode and Possibility of Fault Diagnosis System using Thermoelectric Device”, Journal of The Korean Solar Energy

- Society ,2021.5, 207-207.
8. Incheon Jeong, Yeong-Jin Chung, “A Study on Carbon Monoxide and Other Gases During the Fire Test”, Fire Science and engineering v.27 no.5 , 2013, pp.44 – 56.
 9. Choi Man-cheol, Kim Byeong-seok, “A Study on the ways to minimize Casualties through a consideration of the CO gas generated during combustion”, Korean Journal of Safety Management Science Vol. 15, No. 1, 2013,133-140.
 10. Byung-seok Kim, Byung-jip Jang, Man-cheol Choi, “A Study on the Fire Safety Management measures from during a fire toxic gases generated (Focus to Co gas measures)”, The 2011 Fall Conference of the Korean Society of Safety Management Science, 2011,55-66.
 11. Taehyun Kim, Oh Yang, “Design and Implementation of Multi-monitoring System for Motor Pump”, The Journal of Semiconductor Display Technology, Vol. 18, No. 4, 2019,81-86.
 12. Young-Dong Lee, “Distributing Board Monitoring System based on Internet of Things”, Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering 20(1), 2016.1, 200-206.
-
- 접수일: 2021년 9월 7일, 심사일: 2021년 9월 13일,
 게재확정일: 2021년 9월 13일