[Research Paper]

전동기 제어반 내 배선용 차단기와 전자접촉기의 무선 열화 감지 시스템 개발

연영모* · 김승희**†

*㈜메티스 연구소장, **한국기술교육대학교 IT융합SW공학과 교수

Development of Wireless Heat Variation Detection System between MCCBs and MCs within an MCC

Yeong-Mo Yeon* · Seung-Hee Kim**†

*Research Director, METIS,

**Professor, Dept. of IT Convergence Software Engineering Korea Univ. of Technolog & Education

(Received June 1, 2021; Revised June 16, 2021; Accepted June 21, 2021)

요 약

본 연구에서는 전동기 제어반(motor control center, MCC)의 배선용 차단기(molded case circuit breaker, MCCB)와 전자접촉기(magnetic contactor, MC) 간 발열 온도를 측정하고 데이터를 수집하고 MCC 접속부의 열화를 감지할 수 있는 무선 열화 감지 시스템을 개발하였다. 이를 위해 온도 컨트롤러를 제작하여 MCCB와 MC간은 Repeater와 온도 컨트롤러 간 bluetooth low energy (BLE) 기반의 무선 다중통신기법을 적용하고 측정된 온도데이터는 게이트웨이를 통해 클라우드 서버로 전송하도록 설계하였다. 개발된 무선 열화 감지 시스템의 기능과 성능을 검증하기 위하여 우선 MCC 서버와 통신을 위한 게이트웨이 1개를, Repeater 1번 구역에 온도 컨트롤러 4종 4세트를, Repeater 2번 구역에 온도 컨트롤러 4종 12세트를, Repeater 3번 구역에는 온도 컨트롤러 4종 6세트를 설치하였다. 그런 다음 이를 활용하여 MCCB, MC 단자 접속부 12개소의 발열 온도를 주기적으로 실시간 모니터링하는 실험을 수행하였다. 본 개발 장치는 MCC 뿐만 아니라 MCCB, MC를 사용하는 수배 전반에 적용이 가능하며, 이는 접촉 불량, 과전류, 이상 전류 등으로 발생할 수 있는 열화로 인한 전기화재 발화 사고 예방 및 관리에 기여할 것이다.

ABSTRACT

In this study, we developed a wireless heat variation detection system that can measure the temperature difference between the molded case circuit breaker (MCCB) and magnetic contactor (MC) of the motor control center (MCC), collect data, and monitor the heat variation of the MCC connection. Thus far, we have developed a temperature controller and applied a multi-communication technique based on Bluetooth Low Energy between the repeater and temperature controller between the MCCB and MC. Furthermore, we designed the measured temperature data to be transmitted to the cloud server via a gateway. To verify the functionality and performance of the developed wireless heat variation detection system, we initially installed 1 gateway for communication with the MCC server, 4 sets of 4 types of temperature controllers in Repeater 1, 12 sets of 4 types of temperature controllers in Repeater 2, and 6 sets of 4 types of temperature controllers in Repeater 3. Then, we conducted an experiment to periodically monitor the temperature at 12 locations of the MCCB and MC terminal connections in real-time. This developed device can be applied not only to the MCC but also to the power distribution system using the MCCB and MC. This will contribute to the prevention and management of electrical fire accidents caused by heat variation that can occur because of poor contact, overcurrent, and abnormal current.

Keywords : MCC, MCCB, Temperature analysis, Fire protection, Heat variation detection

† Corresponding Author, TEL: +82-41-640-8615, FAX: +82-41-640-8719, E-Mail: sh.kim@koreatech.ac.kr

© 2021 Korean Institute of Fire Science & Engineering. All right reserved.

1. 서 론

전동기 제어반(motor control center, MCC) 산업 설비, 발전소, 플랜트 등에서 많이 사용하는 모터를 운영함에 있어 전기실이나 설비실 내에서 전원을 집중적으로 제어하기 위한 목적으로 사용하는 시스템이다^(1,2).

이러한 MCC의 설비 사고를 방지하기 위해 전기 설비에 각종 센서의 부착을 통한 감시, 계측기를 이용한 점검들이 수행되고 있으며, 열화상 카메라를 도입하여 전력 설비 진단에 대한 기준을 마련하고, 산업분야에 적외선 열화상 장비를 활용한 진단 및 점검이 점점 늘어나는 추세이다. 그러나 고가의 열화상 카메라 장비를 이용한 점검은 단순 열화상만을 진단하므로 정확한 열화 원인 분석의 어렵다. 또한, 실시간 감시체계의 한계점과 내부에 상시 설치가 되어있지 않기 때문에 실시간으로 열화 상태를 감지 못하는 단점이 있다.

전기 설비에서의 화재 원인은 크게 단락, 과부하, 접촉 불량과 같은 전기적 용인과 분진, 수분, 온도와 같은 환경적 요인, 진동 등에 의한 접촉 불량에 의한 발열 등의 물리적 요인에 있다^(3,4).

Table 1은 소방청 국가화재정보 센터의 2016년에서 2020년도 사이의 화재현황 통계⁽⁵⁾이다. 이에 따르면 총 전기적 요인에 의한 화재건수는 47,484건으로, 이중 과부하/과전류, 단락 사고, 트래킹은 41,895건으로 전체의 88.2%에 해당된다. 절연 열화에 의한 단락이나 지락 등에 의해 아크가 병렬회로에서 발생하는 경우, 단락으로 귀결되면서 매우 큰 전류가 흐리기 때문에 배선용 차단기(molded case circuit breaker, MCCB) 또는 퓨즈에 의해 차단될 수 있다. 그러나 접촉 불량이나 반 단선 등에서 발생하는 직렬 회로에서의 아크에 의한 전류는 부하의 임피던스에 의해 제한되기 때문에 배선용 차단기 용량보다 낮은 전류 값일 경우에도 차단되지 않기 때문에 온도 변경 상황에 대한 관리가 필요하다^(4,6).

본 논문에서는 전동기 배전반 인출 유닛 내 무선통신을 적용한 온도 컨트롤러를 통해 온도 데이터를 무선으로 클

라우드 서버에 업데이트하는 열화 상태를 모니터링 할 수 있는 시스템을 제안한다.

2. 이론적 배경

Jo 등⁽⁷⁾은 전기시설 내부의 온도를 열화상 FLIR Lepton 카메라 모듈을 사용하여 온도 데이터와 전력 측정 시스템에서 계측된 전류와 전압 데이터를 통합 수집하여 TCP/IP 유무선 통신으로 원격 관리할 수 있는 시스템을 개발하였다. 이를 활용하여 단계적인 전류 크기 변화에 따른 온도 변화를 선형화하여 모의실험을 수행하고 진단 온도를 검증하였다.

Jung 등⁽⁸⁾은 수배전반 열화진단을 위하여 FLIR Lepton LWIR 열화상 모듈과 Raspberry PI를 사용하여 수배전반 온도를 측정하였다. 실험에서 전력설비의 최고온도를 측정하기 위해서 관심 영역 region of interest (ROI)을 지정하여 열화가 많이 일어나는 부분을 집중적으로 감시함으로써 온도 변화에 따른 계측 진단 관리의 가능성을 확인하였다. 하지만 열화상 카메라 모듈을 사용하면 최고 온도만 측정이 되어 개별 접속부 온도 분석이 어렵고 열화상 모듈 설치 위치에 따라 화각과 초점이 다르게 나타나 배선용 차단기, 전자개폐기 내측 접속부 단자 온도 측정의 어려움이 발생한다.

Lee 등⁽⁹⁾은 사물인터넷 기반 수배전반 상태 모니터링 시스템에 대한 연구를 통해 수배전반 시스템 제어부를 통해서 전류, 전압, 전력, 역률, 주파수 등을 측정하고 IoT 기반 모니터링 서버로 RS-232 프로토콜을 통해 전송하는 방식을 설계하였다. 특징적인 것은, IoT 기반 모니터링 서버의 수배전반 정보가 WiFi 통신, bluetooth low energy (BLE) 통신, 3G/LTE 통신으로 송수신되며 각종 제어반에서 수집된 상태 정보를 IoT 기반 모니터링 서버로 수집한다. 하지만 BLE 통신은 관리자가 단말기를 통해 수배전반 상태를 모니터링을 하기 위해서 수배전반 관리 시스템과 일대일 근거리 통신으로 사용하고 있어 다중 온도 데이터 수집을 위

Table 1. National Fire Information Center Fire Status Statistics

Cause of accident	2020	2019	2018	2017	2016	Total
Overload / Overcurrent	744	779	1,075	870	928	4,396
Electric leakage and ground fault	340	321	389	317	329	1,696
Unidentified short circuit	2,664	2,512	2,551	2,455	2,091	12,273
Disconnection	212	200	223	184	173	992
Short circuit by press / Damage	463	558	646	582	571	2,820
Short circuit by insulation deterioration	1,969	2,238	2,617	2,362	2,334	11,520
Short circuit by loose connection	949	1,058	1,139	994	980	5,120
Layer short circuit	113	106	95	92	96	502
Short circuit by tracking	1,211	1,068	1,168	894	923	5,264
etc. (Electrical factors)	663	619	568	514	537	2,901
Total	9,328	9,459	10,471	9,264	8,962	47,484

한 BLE 다중 연결 방식과는 차이가 있다.

Kim 등⁽¹⁰⁾은 HEIMANN 사의 HTIA-D 센서를 사용하여 3구 형태의 독립형 적외선 온도 센서 모듈을 구현한 온도 측정 장치를 제작하였다. 온도 측정 장치의 전원은 배터리를 사용하여 5 min에 한 번씩 온도를 측정하였고 1 h에 한 번씩 데이터 수집 장치로 424 Mhz 소출력 통신으로 전송한다. 별도의 공사나 설치 없이 무선 통신을 이용하여 주위 전력기기의 영향을 주지 않은 간단한 시스템으로 개발하였다. 하지만 424 Mhz 소출력 무선 통신은 온도 데이터 동시 송출 시 무선 통신 간에 혼선이 있을 수 있고 배터리 시스템 적용으로 1 h에 한 번씩 데이터 수집 장치로 전송하게 되어 온도 데이터 분석에 한계점이 있다.

Yeon 등^(4,11)은 볼트 풀림에 의한 터미널 블록 접속부의 발열 위험성 분석 연구를 통해 MCCB 접속부 온도 상승 실험을 실시하여 발열 기준 온도를 산정하였으며, 이를 통해 부하량에 따른 온도 변화의 위험성을 확인하여 전기 제어반의 접속부 온도 모니터링 시스템의 필요성을 확인하였다.

3. MCC 무선 열화 감지 시스템

본 연구에서 제시하는 MCC 무선 열화 감지 시스템은 전동기 제어반 설치가 용이하도록 무선통신을 적용한 4종류의 온도 컨트롤러, Repeater와 게이트웨이를 통해서 온도 데이터를 저장하기 위한 클라우드 서버로 구성된다. 전동기 배전반 인출 유닛 내 MCCB의 Line측과 Load측 R, S, T 상 단자 접속부 6개소, 전자접촉기 Line 측과 Load 측 R, S, T 상 단자 접속부 6개소의 온도 측정이 가능하다. Figure 1은 IoT에 기반한 LV-MCC 모니터링 시스템의 설계이다. MCC 무선 열화 감지 시스템의 인출 유닛 내 온도 컨트롤러는 BLE⁽¹²⁾ 무선 통신을 이용하여 Repeater로 온도 데이터를 전송한다. Repeater에서는 최대 19개의 BLE 슬레이브와 통신이 가능하고 수집된 데이터는 WiFi (station mode)⁽¹³⁾ 통신으로 게이트웨이에게 전송을 한다. 게이트웨이에서는 최대 3개의 Repeater가 연결이 되고 수집된 데이터는 서버로 전송하게 되어 사용자는 클라우드 서버를 통해서 MCC 내 온도 모니터링이 가능하다.

3.1 전동기 제어반 외함의 구성

MCC 외함은 Figure 2(a)와 같이 ① 수평 모선 격실, ② 수직 모선 격실, ③ 유닛 격실, ④ 케이블 격실로 구성되어 있다. 이 중 무선 열화 감지의 대상인 유닛 격실은 Figure 2(b)와 같이 인출 유닛을 인입 및 인출이 가능하도록 주 회로, 부하 회로 및 제어회로가 자동적으로 분리 및 결선되는 구조로 되어 있다⁽¹⁴⁾.

인출 유닛의 주요 구성은 MCCB⁽¹⁵⁾, 전자접촉기(magnetic contactor, MC)⁽¹⁶⁾, 전자식 과전류 계전기(electronic over current relay, EOCR)⁽¹⁷⁾, current transformer (CT), V-meter, A-meter, 표시램프, 릴레이, 조작 S/W 등으로 구성되어 있다.

Figure 1. Design of LV-MCC monitoring system based on IoT.

Figure 2. Component of MCC and withdrawable unit device.

MCCB는 단락 사고와 이상 전류 차단을 위해서 배선 계통 인입단에 사용, 전자접촉기는 가동 접점을 기계적으로 동작 시켜 모터와 같은 부하를 제어, 전자식 과전류 계전기는 변류기에서 과전류 최고치를 검출하여 내장된 릴레이를 작동시켜 모터를 보호하는 역할을 한다.

MCC의 인출 유닛은 전기 화재 예방을 위해서 MCCB, MC의 접속 단자 발열 측정이 필요하다. 또한 측정된 온도 데이터 수집을 위한 인출 유닛의 착탈 시 배선상의 간섭이 없고 기존 MCC 개조 작업이 용이하기 위해서 무선 통신이 필요하다. BLE 5.0 장치는 기본적으로 Advertise⁽¹⁸⁾ 방식을 지원하며 Broadcaster 모드, Observer 모드, Central 모드와 Peripheral 모드⁽¹⁹⁾로 구분되며, 이중 Central 모드와 Peripheral 모드는 BLE 다중 연결 방식이 지원되어 최대 19개까지 다중 접속이 가능하다.

온도 데이터 모니터링을 위하여 온도 데이터를 클라우드 서버로 업로드하기 위해서 MCC 측정 온도를 message queueing telemetry transport (MQTT)⁽²⁰⁾ 프로토콜을 사용하여 데이터 서버인 MQTT Broker가 관련 토픽(Topic)으로 메시지를 전송한다.

Figure 3. MCCB, MC thermometer board component.

Figure 4. Image for MCCB thermometer design within withdrawable unit.

3.2 무선 열화 감지 시스템의 온도컨트롤러 구성

전동기 제어반 인출 유닛 내 배선용 차단기, 전자접촉기의 온도를 측정하기 위하여 Figure 3(a)와 같이 MCCB Load 측에 ① MCCB Lower 온도계, Line 측에 ② MCCB Upper 온도계를 설치하고 MC Load 측에 ③ MC Lower 온도계, Line 측에 ④ MC Upper 온도계 4종을 설치하고 온도 수집을 위해서 Figure 3(b)와 같이 RS-485통신으로 연결하여 MCCB Lower 온도계를 RS-485 MASTER로 설정한다.

3.3 MCCB 접속부 온도 수집

배선용 차단기의 Line 측, Load 측 접속부 6개소의 온도를 측정하기 위해서 Figure 4와 같이 (a) MCCB Upper 온도계(②), MCCB Lower 온도계(①) 2종이 존재한다. 온도 측정은 Figure 5와 같이 NTC Thermistor 센서⁽²¹⁾로 제작된 센서 라인을 이용하여 MCCB 단자 접속부 6개소 온도를 측정한다. Figure 4의 ② MCCB Upper 온도계는 RS-485 통신, Node ID 설정을 위한 로터리스위치, 온도 측정을 위해서 전압 분배 회로⁽²¹⁾를 반영하여 NTC Thermistor의 온도를 측정한다. 배선용 차단기 Line 측 R, S, T 상의 온도를 NTC Thermistor를 통해서 읽고 RS-485 통신을 이용하여 MCCB Lower 온도계로 온도 데이터를 전송한다. ① MCCB Lower 온도계는 Node ID 설정을 위한 로터리스위치, 온도 측정을 위해서 전압 분배 회로를 반영하여 NTC Thermistor의 온도를 측정하고 MCCB Upper 온도계, MC Upper 온도계, MC

Figure 5. Image for MCCB temperature measurement within withdrawable unit.

Figure 6. RS-485 process sequence diagram.

Figure 7. MC thermometer real image.

Lower 온도계의 온도를 읽기 위한 RS-485 통신, Repeater로 온도 데이터를 전송하기 위한 nRF52832 (NORDIC) 칩을 사용한 BLE 모듈을 회로에 구성한다.

MCCB Lower 온도계는 배선용 차단기 Load 측 R, S, T 상의 온도를 NTC Thermistor를 통해서 읽고 Figure 6과 같이 RS-485 통신을 통해서 ID:1, ID:2, ID:3 순서로 0.5 s마다 온도 데이터를 요청한다. 슬레이브는 요청 ID가 동일한 경우에만 온도 데이터를 응답한다. BLE Peripheral 모드로 동작하는 MCCB Lower 온도계는 BLE Central과 다중 연결 방식을 통해 BLE Central 요청에 따라서 온도 데이터를 리피터를 통해 무선 송신하게 된다.

3.4 MC 차단기 접속부 온도 수집

전자접촉기의 Line 측, Load 측 접속부 6개소의 온도를 측정하기 위해서 Figure 7과 같이 ④ MC Upper 온도계, ③ MC Lower 온도계 2종이 존재한다. 온도 측정은 Figure 8과

Figure 8. MC temperature measurement real image.

같이 NTC Thermistor 센서로 제작된 센서선을 이용하여 MC 단자 접속부 6개소 온도를 측정한다. Figure 7의 ④ MC Upper 온도계는 RS-485 통신, Node ID 설정을 위한 로터리스위치, 온도 측정을 위해서 전압 분배 회로를 반영하여 NTC Thermistor의 온도를 측정한다. 전자접촉기 Line 측 R, S, T 상의 온도를 NTC Thermistor를 통해서 읽고 RS-485 통신을 이용하여 ① MCCB Lower 온도계로 온도 데이터를 전송한다.

Figure 7의 ③ MC Lower 온도계는 RS-485 통신, Node ID 설정을 위한 로터리스위치, 온도 측정을 위해서 전압 분배 회로를 반영하여 NTC Thermistor의 온도를 측정하고 전자식 과전류 계전기(삼화社 Model : DSP-CTM)의 전류 측정을 위한 ADC (4-20mA) 검출 회로를 추가로 구성한다. 전자접촉기 Load 측 R, S, T 상의 온도를 NTC Thermistor를 통해서 읽고 RS-485 통신을 이용하여 ① MCCB Lower 온도계로 온도 데이터를 전송한다.

3.5 무선 데이터 전송 장치 Repeater 구현

Repeater는 Figure 9와 같이 3개의 통신 모듈을 사용한다. ① nRF52840 모듈은 Slave BLE 센서 통신, ② nRF52832 모듈은 Repeater 파라미터 설정, ③ WizFi360-CON 모듈은 Gateway와 통신을 수행한다. BLE Chip (nRF2840)은 데이터 Scan과 장치 연결이 가능한 Central 모드, MCCB Lower 온도계에 사용하는 BLE Chip (nRF52832)은 Advertising을 하면서 연결을 기다리는 Peripheral 모드로 동작하도록 설정한다.

MCCB Lower 온도계는 Slave BLE로써 Advertising 메시지의 Manufacturer Data에 Group ID와 UUID를 포함하여 Advertising 메시지를 전송한다. Central 모드인 Master BLE Repeater는 Scan을 통하여 Slave Advertising 메시지의 Group ID와 UUID를 확인하고 Central의 Group ID와 UUID가 동일한 경우에만 정상적으로 BLE 연결이 이뤄지도록 한다. Figure 10과 같이 Repeater는 BLE Peripheral 모드인 MCCB Lower 온도계에게 온도 데이터를 요청을 하면 MCCB Lower 온도계는 0.5 s 간격으로 Node ID 순서로 온도 데이터를 4회 전송을 한다. Repeater는 MCCB, MC 온도 데이터를 요청하기 위해서 Table 2와 같이 전송을 한다.

Start Code는 'M', 'E' 2 Byte, Length는 0x08, BLE ID는

Figure 9. Repeater PCB.

Figure 10. BLE communication sequence diagram.

Table 2. BLE Communication Request Protocol

No	Parameter name	Byte
1	Start code	2
2	Length	1
3	Reserved 1	1
4	Reserved 2	1
5	BLE ID	1
6	Reserved 3	1
7	Check sum	1

MCCB Lower 온도계 BLE ID이며 마지막으로 Check Sum은 1 Byte로 구성되어 있다.

MCCB Lower 온도계는 Repeater의 데이터 요청이 오면 Table 3의 응답 프로토콜과 같이 전송을 한다. Start Code는 'M', 'E' 2 Byte, Length는 0x14, Device의 경우 MCCB 온도는 'M', MC 온도는 'm'으로 구분, BLE ID는 MCCB Lower 온도계의 BLE ID, Node ID는 로터리 스위치 번호, R, S, T 상이 온도를 넣고 마지막으로 Check Sum 데이터를 넣어 Node ID 순서로 4번 송신한다.

Repeater는 게이트웨이와 통신을 위해서 WizFi360⁽²²⁾ 모듈을 사용한다. WizFi360의 DHCP 설정을 Station 모드로 설정하고 게이트웨이 Soft AP의 SSID와 PW를 설정하면 자동

Table 3. BLE Communication Response Protocol

No	Protocol name	Byte
1	Start code	2
2	Length	1
3	Device	1
4	Reserved 1	1
5	BLE ID	1
6	Node ID	1
5	Temp R	2
6	Temp S	2
7	Temp T	2
8	Reserved 2	6
9	Check sum	1

Table 4. WiFi Communication Protocol

No	Protocol name	Byte
1	Start code	2
2	Length	1
3	Repeater ID	1
4	BLE ID	1
5	Node ID	1
6	Temp R	2
5	Temp S	2
6	Temp T	2
7	Reserved	1
9	Check sum	1

으로 게이트웨이와 연결하게 되고 TCP/IP 통신으로 Table 4와 같이 0.5 s 간격으로 저장된 온도 데이터를 송신하게 된다. Start Code는 'M', 'E' 2 Byte, Length는 0x0E, Repeater ID는 Repeater 자신의 번호, BLE ID는 MCCB Lower 온도계의 BLE ID, Node ID는 로터리 스위치 번호, R, S, T 상이 온도를 넣고 마지막으로 Check Sum 데이터를 넣어 Node ID 순서로 4번 송신한다.

3.6 데이터 전송 장치 Gateway

게이트웨이는 Repeater와 클라우드 서버와 동시에 통신하기 위해서 WizFi360 모듈을 사용한다. WizFi360의 DHCP 모드를 SoftAP, Station 두 가지 모드로 설정하고 SoftAP 모드는 Repeater와 통신을 위해서 사용하고 Station 모드는 클라우드 서버와 통신을 위해서 사용한다.

Repeater와 통신을 위한 SoftAP는 Repeater가 접속하도록 ID (SSID), 패스워드(PW), DHCP 서버의 IP 대역과 SoftAP의 고정 IP를 설정하고 클라우드 서버와 통신을 위한 DHCP 모드의 Station 모드에서는 무선 공유기(AP)의 ID (SSID)와 패스워드(PW)를 설정하여 MQTT 프로토콜 방식으로 전송한다.

Figure 11. Repeater to gateway WiFi communication flowchart. **Figure 12.** Gateway to cloud server WiFi communication sequence diagram.

전동기 제어반의 게이트웨이는 Repeater와 연결된 배선용 차단기, 전자접촉기의 19세트(MCCB 1, Load 측, MC 1, Load 측 4중 온도계), Figure 11과 같이 0.5 s에 한 번씩 76개 온도계의 온도 데이터를 수신한다.

그리고 게이트웨이는 Figure 12와 같이 ① Repeater 1번 으로부터 받은 온도 데이터를 ② BLE ID 별로 Node ID : 0~3번 온도 데이터를 순차적으로 ③ 1 s 간격으로 전송을 하면 ④ BLE ID가 최대 19번인 경우 76개의 센서 데이터를 전송하게 된다. Repeater가 3개이면 총 228개 온도 센서를 통해 배선용 차단기, 전자접촉기 발열 온도를 게이트웨이는 최대 3 min 48 s 주기로 MQTT 프로토콜을 사용하여

```

{"GATEWAY":1,"REPETER":2,"MASTER":1,"SLAVE":0,"DATA":2630257026500000}
{"GATEWAY":1,"REPETER":2,"MASTER":2,"SLAVE":0,"DATA":2580255026400000}
{"GATEWAY":1,"REPETER":2,"MASTER":3,"SLAVE":0,"DATA":2660264026400000}
{"GATEWAY":1,"REPETER":2,"MASTER":4,"SLAVE":0,"DATA":2480270025600000}
{"GATEWAY":1,"REPETER":2,"MASTER":5,"SLAVE":0,"DATA":2540257026700000}

```

Figure 13. Publish packet protocol.

Figure 14. MQTT system configuration diagram.

데이터 서버인 MQTT Broker가 관련 Topic으로 메시지를 전송한다.

MQTT 토픽은 Publisher와 Subscriber가 메시지를 발행/구독하는 과정에 채널 단위로 발생하는 것으로 게이트웨이는 토픽 명을 고유 ID인 WiFi Mac 주소를 토픽 명으로 사용하여 Figure 13과 같이 Repeater ID (REPETER), BLE 슬레이브 ID (MASTER), Node ID (SLAVE), 온도 데이터 순서로 데이터를 전송한다.

3.7 클라우드 웹서버

웹서버는 Figure 14와 같이 클라우드 컴퓨팅 서비스인 AWS의 EC2를 사용하여 구성한다. 리눅스 기반으로 PHP 7.2, MariaDB, Apache를 설치하여 기본 웹서버 구동을 위한 준비를 하였다. 제품의 데이터 송수신을 위한 메시지 송수신을 위해 MQTT의 broker인 Mosquitto를 설치하였고 MQTT를 통해 수신한 온도 데이터의 처리를 위해 Python 3.2로 수신 데이터를 가공하여 데이터베이스에 저장하는 프로세스를 구성한다.

제품 등록은 Figure 15와 같이 ① 제품 ID, ② 제품 정보 및 MQTT로 수신할 ③ 토픽을 지정하고, 지정된 토픽으로 데이터를 수신하면 해당 제품군에 온도 데이터를 저장한다. 게이트웨이 교체 시 중간에 토픽이 변경될 경우 관리자 페이지에서 변경할 수 있도록 하였다. 그리고 ④ 알람 온도 설정이 가능하여 게이트웨이 Topic에 따라서 관리자가 지정한 온도보다 높은 온도 데이터가 수신되면 해당 설비 담당자로 등록된 휴대폰 번호로 SMS가 발송되며, 사용자 페이지에서도 표시되어, 사용자가 빠르게 인지할 수 있게 설계한다.

4. 무선 열화 감지 시스템의 성능 실험 방법

4.1 실험 내용 및 절차

무선 열화 감지 시스템의 성능을 실험하기 위하여 전동기 제어반의 배선용 차단기, 전자접속기의 단자 접속부 12

The form is titled 'ADMINISTRATOR' and '제품 생성' (Product Creation). It contains several sections:

- 제품 기본 설정** (Product Basic Settings):
 - ① 제품 ID: 210512 (Text input, note: 영문자, 숫자, _ 만 가능 (중복없이 20자 이내))
 - 제품 그룹: MCCB GROUP (Dropdown menu)
 - ② 제품 명: TEST_장비 (Text input)
- 제품 권한 설정** (Product Authority Settings):
 - 제품 관리자: YVM (Text input)
 - 제품 세부 설정: GWPU210512 (Text input)
- ③ 토픽명** (Topic Name): GWPU210512 (Text input)
- 알림 코 설정** (Alarm Code Setting):
 - ④ 알람 온도 설정: 60 (Text input)

Figure 15. Web page configuration.

(a) Area A

(b) Area B

(c) Area C

Figure 16. Thermometer layout drawing.

개소의 BLE 무선통신을 이용한 온도 모니터링 시스템을 구축하여 Web page를 통해 온도 데이터 모니터링을 수행한다. 이를 위한 실험 절차는 크게 4단계로 구분 후 다음과 같이 단계별로 진행한다.

Step 1 : 전동기 제어반 내 Repeater와 온도센서는 BLE 통신 거리를 고려하여 Figure 16과 같이 A, B, C 구역으로 구분 설치한다. A 구역은 게이트웨이 1개, Repeater 1개와 4

Figure 17. Installing the motor control center thermometer.

Figure 18. Web page screen sample.

세트 온도센서 설치, B 구역은 B 구역 Repeater, C 구역 Repeater 각 1개, 12세트 온도센서 설치, C 구역은 6세트 온도센서를 Figure 17과 같이 설치한다.

Step 2 : 전동기 제어반의 접속부 온도 모니터링을 위하여 클라우드 서버로 데이터 전송 위한 인터넷망 구축을 위해 AP와 LTE Router를 설치 한다.

Step 3 : 전동기 제어반 내 인출 유닛의 온도를 MCCB Lower 온도계는 RS-485 통신으로 인출 유닛 내 12개소의 접속부 온도를 수집하고 Repeater는 1 s에 한 번씩 순차적으로 MCCB Load 측 온도, MCCB Line 측 온도, MC Load 측 온도, MC Line 측 온도를 MCCB Lower 온도계를 통해서 수집하고 게이트웨이로 0.5 s 간격으로 전송한다.

Step 4 : 게이트웨이는 WiFi 통신으로 수집된 데이터를 Repeater [No.1], Repeater [No.2], Repeater [No.3] 순서로 순차적으로 1 s 간격으로 클라우드 서버로 전송하여 클라우드 서버에서 Figure 18과 같이 Repeater 번호, BLE ID, Node ID, 온도 데이터를 수신할 하게 되어 Web 페이지에서 확인한다.

5. 실험 결과

단계별로 성능시험을 진행하여 다음과 같은 결과를 도출하였다.

첫째, BLE 무선 통신을 통해 Figure 16(b) 도면과 같이 2

Figure 19. Repeater No.2 web page screen sample.

* 상세 데이터

NO	MASTER	MCCB						MC						DATE
		1차측			2차측			1차측			2차측			
		R	S	T	R	S	T	R	S	T	R	S	T	
1	1	36.9	37.7	36.6	37.3	36.2	37.3	42.3	44.4	42.8	42.9	42.3	42.8	2021-05-28 15:32:47
2	2	32.4	32.6	32.3	31.7	32.2	32.2	32.9	33.9	33.4	33.3	33.8	33.5	2021-05-28 15:32:51
3	3	34.8	35.2	34.9	34.4	35.0	34.6	35.9	36.8	36.1	36.3	37.1	37.0	2021-05-28 15:32:55
4	4	37.7	38.9	38.5	36.7	36.6	37.1	33.6	34.2	33.2	34.6	35.0	35.1	2021-05-28 15:32:59
5	5	32.3	32.9	32.6	32.6	32.5	32.6	34.3	34.7	34.3	35.4	35.5	34.4	2021-05-28 15:33:03
6	6	31.1	31.2	31.3	30.6	31.0	31.5	32.2	32.9	32.0	33.3	34.3	33.3	2021-05-28 15:32:41
7	7	35.5	36.9	37.0	33.3	32.1	33.0	36.2	36.6	36.6	37.3	38.4	37.6	2021-05-28 15:31:54
8	8	36.0	36.6	36.3	34.2	35.8	35.3	41.3	41.8	40.5	38.7	41.2	39.3	2021-05-28 15:31:58
9	9	36.4	37.1	36.7	37.2	36.3	36.9	37.8	32.9	32.6	33.0	33.7	32.9	2021-05-28 15:32:02
10	10	34.1	34.2	34.1	33.4	34.0	33.1	35.6	36.0	34.9	35.1	35.0	34.9	2021-05-28 15:32:06
11	11	36.7	36.7	36.1	36.7	37.0	36.8	42.0	42.6	40.7	39.0	40.8	39.7	2021-05-28 15:32:10
12	12	35.7	37.4	36.9	36.6	37.1	37.2	37.9	32.9	31.5	32.4	33.3	32.0	2021-05-28 15:32:14

Figure 20. Repeater No.2 web page screen sample.

번 Repeater에서 최대 거리 BLE Peripheral 슬레이브 12번이 설치된 좌측 5번째 제어반에서 BLE 무선 통신 신호가 확인되어 Figure 19와 같이 정상적으로 데이터가 올라오는 것을 확인하였다.

둘째, Figure 20과 같이 전동기 제어반 내 데이터 통신을

무선으로 구축하여 BLE Central Repeater 1개당 최대 19개 BLE Peripheral 슬레이브 연결이 가능하고 전동기 제어반 내에서 실험을 통해 BLE Peripheral 슬레이브 12개를 설치하여 BLE 다중 연결 통신에 문제가 없음을 확인하였다.

셋째 전동기 제어반 총 57개인 경우 인출 유닛의 배선용 차단기, 전자접촉기 발열 온도를 게이트웨이는 1 s에 1개씩 클라우드 서버로 전송하면 최대 3 min 48 s 주기적으로 업데이트 가능함을 확인하였다.

6. 시사점

전동기 제어반의 배선용 차단기, 전자접촉기의 단자 접속부 12개소의 BLE 무선통신을 이용한 온도 모니터링 시스템을 구축하여 온도 데이터를 모니터링 결과 다음과 같은 시사점을 도출하였다.

첫째 전동기 제어반이 통전, 모터 운전 상태에서도 BLE 다중 연결 구현의 가능성을 확인하였다. 그리고 기설치된 전동기 제어반과 전동기 제어반 유지 보수, 교체 작업 시 통신 배선이 없는 BLE 무선통신으로 배선 작업의 번거로움 없이 신규 설치, 교체 설치, 추가 설치가 가능하여 전동기 제어반의 유지 보수가 용이할 것이다.

둘째 전동기 제어반에 흐르는 전류에 따라서 배선용 차단기와 전자접촉기의 1차 측, 2차 측 R, S, T 상의 온도가 다르게 측정됨을 확인하였고 각 상마다 온도 변화를 모니터링 하였다. 이를 통해 부하 전류와 함께 분석을 한다면 R, S, T 상의 발열 온도의 정상 유무를 판단할 수 있다.

셋째 전동기 제어반 총 57개 인출 유닛의 발열 온도를 최대 3 min 48 s 주기적인 업데이트 통해서 접속부 온도 변화를 모니터링이 가능하고 임계온도 설정을 통해 관리자에게 통보함으로써 전동기 제어반의 전기 안전 신뢰성 향상과 전기 화재 등 전기 사고 예방에 도움이 될 수 있다고 생각된다.

한편 본 연구에서 개발한 열화감지 시스템은 기존 선행 연구와 두 가지 큰 차이점이 있다.

첫째 전동기 배선반 내 배선용 차단기, 전자 개폐기의 Line 측, Load 측 R, S, T 상 온도를 측정하기 위해서 열화상 카메라 모듈이 아닌 온도센서를 사용하여 접속부 12개소를 개별적으로 측정하였다. 열화상 카메라 모듈을 사용하면 최고 온도만 측정이 되어 단자 접속부 12개소의 온도 분석이 어렵고, 열화상 모듈 설치 위치에 따라 화각과 초점이 다르게 나타나 배선용 차단기, 전자 개폐기 내측 접속부 단자 온도 측정의 어려움이 발생한다.

둘째 센서부 통신을 유선으로 적용할 경우 전동기 제어반 유닛 격실 내 인출 유닛 착탈 시 통신 배선의 탈거로 인한 불편함이 있으며 기존 전동기 제어반에 설치 시 추가 통신선 작업의 어려움이 발생을 한다. 그래서 전동기 제어반 설치 및 유지 보수가 쉽도록 BLE 다중 연결 방식을 적용하여 실시간 온도 데이터를 전송하였다.

7. 결 론

본 연구는 전동기 제어반의 전기 화재 사고를 방지하기 위해 배선용 차단기, 전자 접촉기의 단자 접속부의 단자 접속부의 발열 온도 측정을 위한 온도계 2종을 설계하여 BLE 다중 접속방식으로 온도 데이터를 수집하여 클라우드 서버로 전송하여 실시간 모니터링 시스템을 구축하였다.

실험 결과 전동기 제어반 접속부 발열 온도 측정 및 BLE 통신을 통해 BLE Central Repeater와 BLE Peripheral 슬레이브 최대 19개까지 통신이 가능하고 전동기 제어반 좌/우 5개 내에서 무선 통신이 가능하고 최대 3 min 48 s 주기로 클라우드 서버로 업데이트 가능하여 발열 온도 모니터링을 통해 전기 화재 예방이 가능함을 확인하였다.

결론적으로 전동기 제어반의 배선용 차단기, 전자접촉기의 접속부 발열 온도를 측정하여 임계온도 설정을 통해서 접촉 불량, 과전류, 이상 전류로 인한 발열 온도 확인이 가능하고 이에 따른 위험 정보를 관리자에게 통보함으로써 전기 화재 예방이 및 일상 점검의 부하를 줄일 수 있어 전기 안전사고 예방에 도움이 기여할 수 있는 것으로 사료된다.

그러나 BLE 다중 연결 방식은 BLE Central 모드에서 BLE Peripheral 슬레이브가 최대 19개만 연결이 가능하여 슬레이브 증가 시 BLE Central Repeater와 게이트웨이 추가가 필요로 하는 한계점을 가지고 있다. 이에 따라 1개의 BLE Central 모드에서 Group ID를 다수로 변경하여 다수의 BLE Peripheral 슬레이브 연결용 모듈의 추가 개발이 필요하다.

향후에는 부하 전류도 함께 측정하여 접속부 정상 발열 온도를 판단을 위해 부하 전류와 최고 발열 온도를 관계를 분석함으로써 전기 화재 예방을 위한 사전 예측 서비스에 대한 연구를 추가로 진행하고자 한다.

References

1. S. D. Kim, "A study on sensing for abnormality of BUS BAR in motor control center", Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society, Vol. 12, No. 12, pp. 5838-5842 (2011). <https://doi.org/10.5762/KAIS.2011.12.12.5838>
2. C. H. Woo, S. J. Kang, D. G. Lee, Y. M. Koo, H. B. Kim and S. H. Lee, "Design and Implementation of Digital Motor Control Center Including Load Control Function", Institute of Control, Robotics and Systems, Journal of Institute of Control, Robotics and Systems, Vol. 5, No. 7, pp. 868-875 (1999). <https://doi.org/10.1109/IECON.2001.975878>
3. H. K. Kim, H. W. Moon, K. Y. Lee, D. W. Kim and H. S. Choi, "Analysis of Thermal Characteristics by Poor Contacts at the Connection Parts of DC Power Appliances", Proceedings of 2009 Summer Annual Conference, The

- Korean Institute of Electrical Engineers, pp. 2158-2159 (2009).
4. Y. M. Yeon and S. H. Kim, "Diagnosis of Abnormal Heat Generation in the Connection Part in Low Voltage MCCBs for Fire Risk Prediction", *Fire Science and Engineering*, Vol. 34, No. 5, pp. 42-49 (2020). <https://doi.org/10.7731/KIFSE.2073bb81>
 5. National Fire Data System, <https://www.nfds.go.kr> (2021).
 6. D. W. Kim, H. W. Moon, H. K. Kim, H. J. Gil, D. O. Kim and K. Y. Lee, "Analysis of Heat Characteristics and Fire Risks of Circuit Breakers in Panel Board according to the Variations of Tightness Torques", *Proceedings of 2009 Fall Annual Conference, The Korean Institute of Electrical Engineers*, pp. 128-129 (2009).
 7. K. Y. Jo, S. H. Kim, S. T. Kang, M. S. Jang, E. S. Hong, C. Y. Park, J. H. Gim and S. S. Son, "Development of Remote Monitoring System of Deterioration Diagnostic For a Switchboard", *Proceedings of 2018 Summer Annual Conference, The Korean Institute of Electrical Engineers*, pp. 1307-1308 (2018).
 8. J. M. Jung, S. S. Son, Y. S. Lee and J. H. Gim, "Development of Deterioration Monitoring System in Switchgear Panel using Infrared Thermal Imaging Module", *Proceedings of 2016 Summer Annual Conference, The Korean Institute of Electrical Engineers*, pp. 1665-1666 (2016).
 9. Y. D. Lee, "Distributing board monitoring system based on internet of things", *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, Vol. 20, No. 1, pp. 200-206 (2016). <https://doi.org/10.6109/jkiice.2016.20.1.200>
 10. J. H. Kim, S. W. Kim and Y. S. Kang, "A Development of Wireless Monitoring System for Temperature Monitoring by using IR Sensor", *Journal of the Institute of Electronics and Information Engineers*, Vol. 50, No. 1, pp. 239-245 (2013). <https://doi.org/10.5573/ieek.2013.50.1.239>
 11. Y. M. Yeon and S. H. Kim, "Analysis of the Risk of Heat Generation due to Bolt Loosening in Terminal Block Connector Parts", *Fire Science and Engineering*, Vol. 34, No. 3, pp. 67-75 (2020). <https://doi.org/10.7731/KIFSE.1b692d79>
 12. S. Y. Lee, M. E. Kim, J. K. Son, J. H. Jeon and K. B. Lee, "Implementation of BLE Multi-Link for Group Communication between Unmanned Vehicles", *The Journal of Korean Institute of Communication and Information Sciences*, Vol. 45, No. 2, pp. 311-320 (2020).
 13. S. Y. Heo, S. Y. Lee and W. J. Lee, "Design and Implementation of Multi-Access BLE/Wi-Fi Gateway using Arduino", *Journal of Knowledge Information Technology and Systems*, Vol. 11, No. 6, pp. 703-712 (2016).
 14. Hyundai Electric Co., "H8PU Low Voltage Switchboard & Motor Control Center" (2018).
 15. S. K. Park, J. C. Lee and Y. J. Kim, "Effects of Contact Resistance on temperature Rise in a MCCB", *Journal of Energy Engineering*, Vol. 13, No. 1, pp. 12-19 (2004).
 16. D. k. Shin, J. S. Kang, K. J. Kwon and B. S. Baek, "Analysis of electromagnetic and thermal characteristics of an actuator for a magnetic contactor", *Proceedings of 2013 Spring Annual Conference, The Korean Institute of Electrical Engineers*, pp. 29-31 (2013).
 17. J. H. Kang, K. C. Jung, J. S. Choi, S. Y. Oh and J. H. Kim, "A Study of Electronic Type DC Over Current Relay Characteristic", *Proceedings of 2017 Spring Annual Conference, The Korean Institute of Electrical Engineers*, pp. 232-233 (2017).
 18. P. S. Jeong and Y. H. Cho, "Smart Factory Safety Management System using Bluetooth", *Journal of the Korea Convergence Society*, Vol. 10, No. 11, pp. 47-53 (2019). <https://doi.org/10.15207/JKCS.2019.10.11.047>
 19. Nordic Co., "Bluetooth Core Specification", v5.2 (2019).
 20. H. K. Park, "Development of IoT Gateway System for Indoor Air Quality Monitoring Using MQTT and NodeMCU", *The Society of Convergence Knowledge Transactions*, Vol. 8, No. 4, pp. 89-97 (2020). <https://doi.org/10.22716/sckt.2020.8.4.039>
 21. J. H. Ku, J. D. Kim, Y. S. Kim, C. Y. Park, W. Y. Lee and H. J. Song, "Determination of divider resistance in voltage divider circuits used NTC thermistor", *Proceedings of 2010 Spring the Korean Information Science Society Conference, The Korean Institute of Information Scientists and Engineers*, pp. 221-225 (2010).
 22. Wiznet Co., "WizFi360 AT Instruction Set", v1.0.7.2 (2019).