

이슬 결로점 기반 수배전반 결로 방지 장치 제작

System Implementation for Dew Condensation Prevention of Distributing Boards based on the Dew Point

김 태 명*, 지 석 근**, 김 영 완***

Tae-Myoung Kim*, Suk-Kun Jee**, Young-Wan Kim***

Abstract

IT-based automatic controller that control the temperature and humidity to prevent dew condensation of distributing board was designed and implemented in this paper. The dew condensation temperature was deduced from room temperature and humidity of distributing board. Based on the comparisons between the deduced dew condensation temperature and the temperature of surface condensation, the facilities that can prevent the condensation was implemented to be operated in due order. Also, the remote monitoring module to monitor operation status of controller was implemented using LoRa technique. The performances for controller operation and data transmission were validated from the transmission and operation test for dew condensation prevention. The controller can be put to good use at the facilities that requires the condensation prevention.

요 약

본 논문에서는 옥내·외에 설치 운영되는 수배전반의 결로 현상을 방지하는 IT 기반 자동 온습도 제어기를 설계하고 제작하였다. 이슬 결로점 온도가 실내공간의 습도와 온도로부터 산출되고, 이슬 결로점 온도와 결로 부위의 온도를 비교하여 수배전반의 결로 현상을 방지할 수 있는 시설이 순차적으로 제어 동작되도록 구현하였다. 아울러 원격지의 수배전반의 결로 기반 제어기 동작 상태를 모니터링 할 수 있는 원격 모니터링 장치를 LoRa 무선통신 방식을 사용하여 구현하였다. 제어기와 원격 모니터링 장치를 설치 운영하여 전송되는 데이터의 정확성과 결로 기반 제어기 동작상태의 안정성을 확인하였다. 본 제어 장치는 수배전반 이외에 결로가 발생하는 장비에 설치되어 결로를 방지할 수 있는 장치로 용이하게 활용될 수 있다.

Key words : Dew Condensation Prevention, Dew Point, Dew Condensation of Distributing Board, Controller for Dew Condensation Prevention, LoRa

* Entec Korea Co., Ltd.

** Dept. of IT Convergence Communication Engineering,
Kunsan National University

★ Corresponding author

E-mail : ywkim@kunsan.ac.kr, Tel : +82-63-469-4852

Manuscript received Sep. 3, 2018; revised Sep. 5, 2018;

Accepted Sep. 6, 2018

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution

Non-Commercial License

(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서론

수배전반은 부하설비에 소요 전기를 공급하기 위한 전기 배선을 분기하는 장치로서, 모든 건물에서 전기 배분을 위해 필요한 필수적인 장치이다. 수배전반은 시간의 경과에 따라 경년열화에 의하여 성능이 저하될 뿐만 아니라 습기로 인해 빈번하게 발생하는 고장 등으로 인하여 안정성 부분에서 크게 문제가 되고 있다[1]. 아울러 기존 수배전반 패널(panel)에 장착되어 있는 제어장치, 차단기와 연결되어 있는 전선 등은 내부 온도차이로 인한 온도상승 및 습기 발생으로 고장 현상이 자주 나타난다

[1]. 이러한 온·습도 변화에 따른 수배전반 고장현상을 해결하고, 수배전반의 기능적 안전성을 높여 줄 수 있는 자동 온·습도제어기가 필요하다[2][3]. 기존 수배전반에 취급되는 온도제어기 제품의 경우 패널 내부에 위치함으로써, 패널 내부 공간이 부족하여 타 제어기기 부착의 어려움이 있으며, 특히 제품 고장시 고압 및 저압의 패널을 열고 작업을 함으로서 위험성이 매우 높아 인명 피해 및 내부 타 기기의 손상을 주는 문제가 나타나고 있다 [3]. 아울러 옥내·외에 설치 운영되는 수배전반의 동작 및 정보를 원격 모니터링 하는 장치가 적용되고 있으나[4][5], 결로 방지 제어기 적용시 수배전반의 결로 및 결로 방지 제어 정보를 원격 모니터링 하는 모니터링 장치가 필요하다. 따라서 이러한 문제점을 해소하고, 수배전반 외부 부착형 온습도 제어기 요구 기능 및 요건을 충족할 수 있으며 타 기기에 간섭을 주지 않는 독립적인 기능과 성능을 수행할 수 있는 원격 모니터링 기능을 갖는 IT 기반 자동제어 기술 및 모니터링 장치 설계가 필요하다.

본 논문에서는 옥내·외에 설치 운영되는 수배전반의 계절별 온습도 변화에 따라 발생하는 함내 결로 현상과 하절기 고온 현상을 방지하기 위한 이슬점 기반 자동 온습도 제어기를 설계 제작한다. 이슬 결로점을 적용하여 동절기 온도차 및 습도에 의해 발생하는 결로현상을 방지하기 위한 제어 동작을 수행하며, 하절기 고온 현상을 방지하기 위한 냉각장치를 구동할 수 있도록 한다. 수배전반의 원격 모니터링을 위한 Lora 기반 송수신 자가망을 구성하여 원격지에서 동작 상태를 모니터링 할 수 있는 무선망을 구성한다.

II. 본론

1. 이슬점 기반 결로 방지 및 온습도 제어

수배전반 결로 방지를 위한 온습도 자동제어 및 원격 모니터링 장치 구성은 그림 1과 같다. 수배전반의 결로점 온도 및 실내공간 온습도를 감지하여 이슬 결로점을 도출하고 제어할 수 있는 제어기와 온습도 센싱 데이터 및 제어 동작상태 정보를 원격으로 전송하는 LoRa(Long Range) 송수신기 그리고 원격 모니터링부로 구성된다.

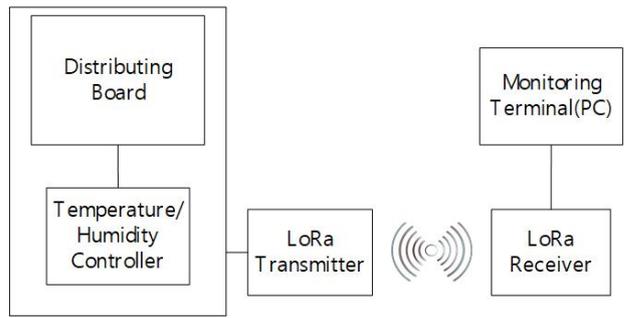


Fig. 1. System Layout of Dew Condensation Prevention of Distributing Board.

그림 1. 수배전반 결로 방지 장치 구성도

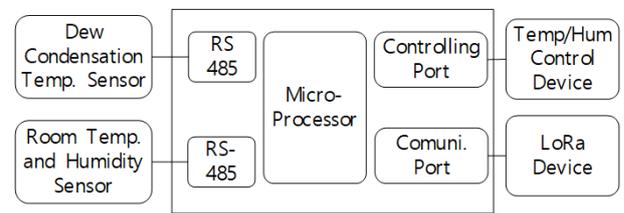


Fig. 2. Layout of Temperature and Humidity controller.

그림 2. 온습도 제어기 구성도

그림 2는 온습도 감지 및 Lora 통신부 그리고 제어부 등 제어기의 구성도를 나타내고 있다. 결로는 상대습도 및 결로 부위의 온도와 실내공간의 온도차에 의해 발생된다. 따라서 그림 2와 같이 결로 부위의 온도와 실내공간의 온습도를 감지하여, 이슬 결로점 온도(D_p)를 식 (1)과 같이 도출할 수 있다.

$$D_p = \frac{243.12 \cdot \left(\ln\left(\frac{Rh}{100}\right) + \frac{17.62 \cdot T}{243.12 + T} \right)}{17.62 - \left(\ln\left(\frac{Rh}{100}\right) + \frac{17.62 \cdot T}{243.12 + T} \right)} \quad (1)$$

여기서, D_p 는 결로점 온도이며, Rh와 T는 각각 실내공간의 습도 및 온도이다.

식 (1)로부터 산출된 이슬 결로점 온도는 결로가 발생하는 즉, 이슬이 발생하는 온도로 결로 부위의 온도가 결로점 온도로 낮아지면 결로가 발생된다. 따라서 결로 부위의 온도와 이슬 결로점 온도를 비교하여 결로현상을 방지하기 위하여 그림 2와 같은 온습도 제어장치를 구동한다. 이러한 이슬 결로점 기반 결로 방지를 위한 제어 흐름은 그림 3과 같다. 식 (1)로부터 산출된 이슬 결로점 온도와 결로 부위의 감지 온도(T_o)를 기준으로 한 결로 발생 가능성 기준점(T_o-a)과 결로 발생 경계점(T_o-b)을 설

정하여 비교하여 결로 발생을 방지할 수 있는 열전 소자(Out 1)와 환풍기(Out 2)를 순차적으로 제어 동작하도록 한다.

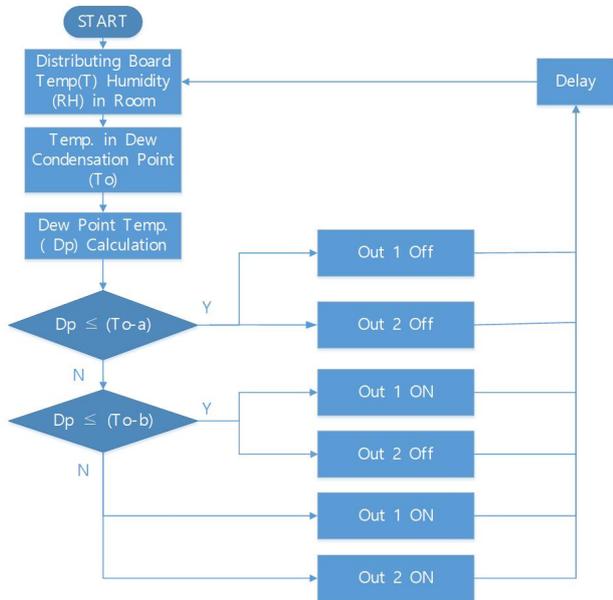


Fig. 3. Controlling Flow Chart of Dew Condensation Prevention of Distributing Board.

그림 3. 수배전반 결로 방지 제어 흐름도

2. LoRa 무선통신 및 원격 모니터링

LoRa는 저전력 장거리 무선통신기술인 LoRa WAN의 물리적 통신 기술이다[6]. 알로하 프로토콜을 사용하며 통신거리는 최대 20 km로서 옥내·외에 설치 운영되는 수배전반의 원격 모니터링을 위한 통신방식으로 안정된 통신 환경을 제공할 수 있다 [7][8]. 그림 4는 수배전반 결로 현상을 원격 모니터링하기 위한 LoRa 무선통신망을 보여주고 있으며, LoRa 송신기와 LoRa 수신기 기능을 갖는 자가 LoRa(Self- LoRa) 망으로 구성된다.

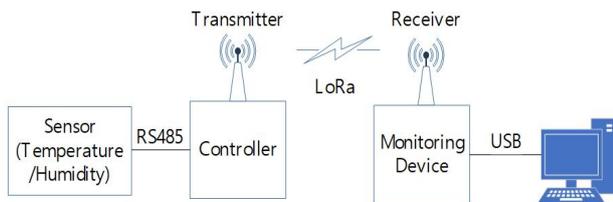


Fig. 4. Self-LoRa Network Layout for Dew Condensation Monitoring of Distributing Board.

그림 4. 수배전반 결로 모니터링을 위한 LoRa 자가망 구성도

LoRa 송수신기를 구성하기 위하여 LOM 202A LoRa 모듈을 사용하였으며, 국내에 적용되는 ISM 대역 주파수와 지정된 채널 주파수를 구현하였다. 다음 표 1은 LOM 202A LoRa 모듈을 사용한 수배전반 결로 모니터링 LoRa 송수신기 파라미터의 설정 값이다.

Table 1. Parameter Values for LoRa Transceiver using LOM 202A.

표 1. LOM 202A를 사용한 LoRa 송수신기 파라미터 값

Parameters	Value
Frequency	ISM Band (917 MHz)
Channel	2~32 (20 Ch.)
Bandwidth	125 kHz
Output Power	10 dBm
Sensitivity	-136 dBm
Mode	Sleep/Wake-up
Data Rate	230 byte
Device ID	1 byte
Antenna	Helical Antenna

3. 수배전반 온습도제어기 설계 구현

수배전반 결로 현상 방지를 위한 온습도 제어기의 구현을 위하여 STM 32 CPU를 사용하여 제어 알고리즘을 구현하였으며, LoRa 통신 모듈로는 LOM 202A를 사용하였다.

가. 제어 장치(controller) 구현

원격 온습도 센서들의 정보를 수신하고, 그림 3과 같은 결로 방지 알고리즘 연산을 구현하여 결로 방지 장치들을 구동하고 LoRa 통신 모듈을 통하여 원격으로 정보를 전송하기 위한 제어 장치를 구현하였다. 제어 장치의 동작 흐름도는 그림 5와 같다. 원격(결로 부위)에 설치되는 온도 데이터 수신을 위하여 RS485 통신방식을 구현하였으며, 근거리 통신을 위한 실내공간의 온습도 데이터는 시리얼 통신(I2C)방식으로 구현하였다. 일정한 속도(5초)로 결로 부위의 온도를 수신하여 그림 3과 같은 이슬 결로점 온도를 산출하여 제어 동작을 할 수 있도록 구현하였다.

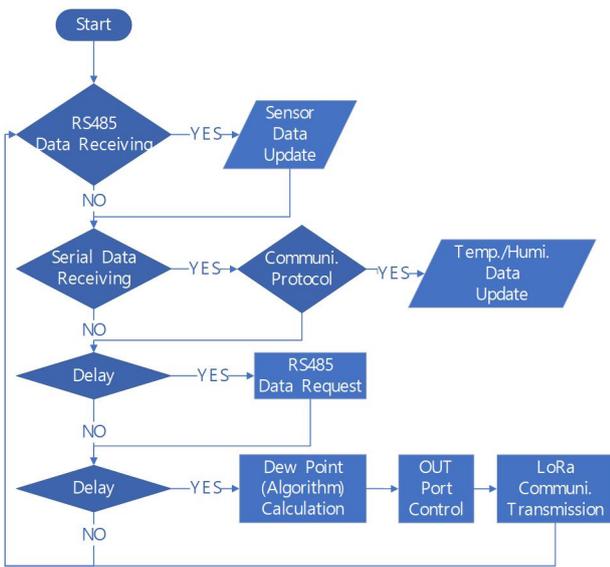


Fig. 5. Flow Chart of Controller.
그림 5. 제어기의 동작 흐름도

그림 6은 수배전반 결로 방지를 위한 자동 온습도 제어기의 제작된 모습을 보여주고 있다.



Fig. 6. Implementation of Controller for Dew Condensation Prevention of Distributing Board.
그림 6. 수배전반의 결로 방지를 위해 제작된 제어기

제어기는 그림 6과 같이 입출력 단자(1)와 RS485 통신부(2), 그림 4의 동작 알고리즘이 구현된 CPU 부분(3), 그리고 LoRa 통신 모듈(4)과 전원 변환부(5)로 설계 제작되었다. 안테나는 900 MHz 대역 헬리컬 타입의 외부 장착형 안테나를 적용하여 통신거리(1 km 이내)를 확보하였다.

나. 센서부(Sensor) 구현

원격 결로 부위의 온도 감지를 위한 센서부는 일정한 거리의 통신 성능을 보장할 수 있는 RS485

방식으로 구현하였으며, 실내공간의 온습도 감지를 위해서는 제어기내 부착이 가능한 I²C 통신방식을 적용하여 구현하였다. 그림 7은 센서부의 동작 흐름도를 보여주고 있으며, 그림 8은 그림 7과 같은 동작을 위해 설계 제작된 센서부를 나타내고 있다.

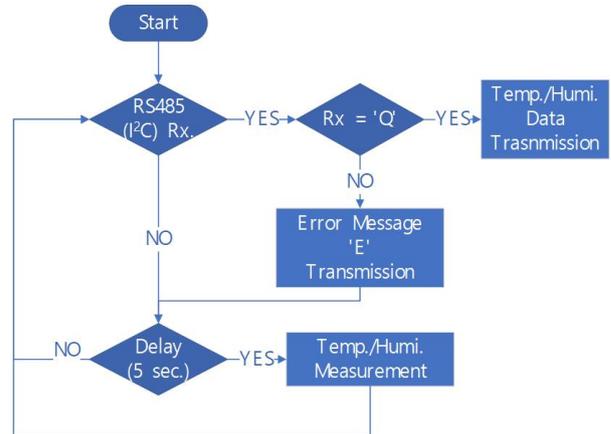


Fig. 7. Flow Chart of Sensor (Temp./Humi.) Part.
그림 7. 센서 (온도/습도)부의 동작 흐름도



Fig. 8. Implementation of Sensor part for Dew Condensation Prevention of Distributing Board.
그림 8. 수배전반의 결로 방지를 위해 제작된 센서부

센서부는 그림 7과 같이 RS485 또는 I²C 통신방식을 사용하여 제어기에서 온습도 데이터 요청 수신 여부에 따라 데이터를 전송하거나 에러 처리하고, 5 초 간격으로 온습도 데이터를 계속 측정하여 제어기로 전송한다. 이러한 동작을 갖는 센서부는 그림 8과 같이 설계 제작되었다. 센서부는 RS485 통신부(1), 데이터 처리 CPU 부분(2), 그리고 원격 결로 부위 온도 센서 부분(3, TMP112)과 실내공간 온습도 센서 부분(4, SI7021)으로 구성되어 제작되었다.

다. 모니터링 수신부 구현 및 동작 실험

원격 모니터링부로 센서부 데이터 및 제어기 동작 상태 정보를 전송하기 위한 수신 모듈은 LoRa 수신기로 설계 제작되었다. 수신모듈에서 PC 모니터로

데이터 접속을 위한 시리얼(serial)-USB 데이터 인터페이스를 구현하였다. 그림 9는 LOM 202A LoRa를 사용한 모니터링 수신부 구현을 보여주고 있다.



Fig. 9. Implementation of Monitoring Receiver for Dew Condensation Prevention of Distributing Board.

그림 9. 수배전반의 결로 방지를 위해 제작된 모니터링 수신부

그림 4와 같이 제어기의 기능 및 성능 그리고 제어기와 원격 모니터링간 전송 성능을 측정하기 위하여 수배전반이 설치된 배전반에 제어기를 설치하고 운영자실(250m 이내) PC에 LoRa 수신기를 연결하여 제어기의 온습도 데이터 및 동작 상태를 측정하였다. 제어기의 기능과 전송 성능을 측정하기 위한 조건은 표 2와 같다. 그림 10은 제어기로부터 전송된 센서 데이터와 제어기 동작 상태를 PC 모니터 수신기로 원격 전송한 모니터링 화면을 보여주고 있다. 그림 10으로부터 수배전반 내부의 온습도와 결로 부위의 온도 데이터가 제어기와 LoRa 수신단간에 4.2% 이내로 정확하게 전송되어 모니터링 되고 있으며, 식 (1)을 사용한 이슬 결로점 온도가 산출되어 표시 되고 있음을 알 수 있다. 그리고 그림 5의 제어 및 동작 흐름에 따라 결로 부위 온도와 이슬 결로점 온도의 비교에 따라 결로 현상이 발생되고 있음을 알 수 있으며, 이러한 결로 현상을 제거하기 위하여 결로 방지 장치(습도: 열전소자)가 동작하고 있음을 알 수 있다.

Table 2. Test Parameters for Measurement of Controller Performance.

표 2. 제어기 성능을 측정하기 위한 측정 조건

Parameters	Value
Distance	250 m
Room Temp./Humidity	20°C, 45 %
Condensation Surface Temp.	10°C
a value in Fig. 3	3
b value in Fig. 3	1

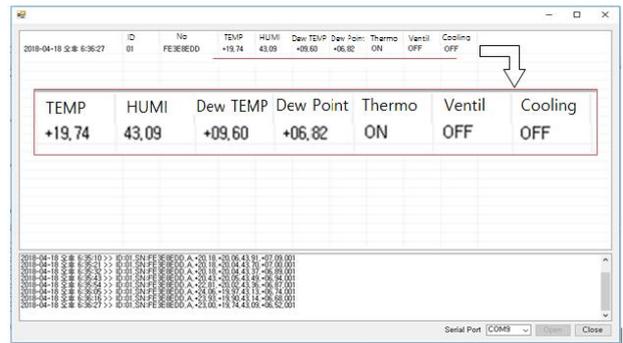


Fig. 10. Monitoring Performance and Remote Transmission between Controller and Receiver.

그림 10.제어기와 수신기간 원격 데이터 전송 및 모니터링 성능

III. 결론

본 논문에서는 옥내·외에 설치 운영되는 수배전반의 설치 환경에 따라 발생하는 결로 현상을 방지하는 자동 온습도 제어기를 설계하고 제작하였다. 실내공간의 습도, 그리고 실내공간의 온도와 결로 부위의 온도차로부터 발생하는 결로 현상을 해석하여 이슬 결로점 온도를 산출하고, 결로 부위의 온도와 비교하여 결로를 방지할 수 있는 제어 동작을 설계하고 구현하였다. 아울러 원격지에 설치 운영되는 수배전반의 동작 상태를 원격 모니터링 할 수 있는 LoRa 통신 기반 자가 무선통신망을 구성하여 원격 모니터링 하는 장치를 구현하였다. 수배전반에 설치된 제어기와 원격 LoRa 수신 모니터링 부간 통신 성능 및 제어기의 동작 상태가 정확하게 전송되고 수신되어 모니터링 되고 있음을 확인하였다. 본 결로 방지 온습도 제어기는 수배전반 이외에 옥외 및 환경 조건이 좋지 않은 곳에 설치 운영되는 전기전자 장비의 결로 현상을 방지할 수 있는 장치로 운영 할 수 있다.

References

[1] S. B. Kim, "The method to design and manufacture panel board in regard to the improvement of occurrence of panel board condensation in buildings for business use and problems about remote-metering," Master thesis, Seoul National University of Science and Technology, 2012.

- [2] J. H. Youn and K. S. Oh, "Anti-condensation System for Switchboard using the ATmega128" in *Proc. of the 2010 Fall Congress of Korea Academia-Industrial cooperation Society*, 2010, pp.329-331.
- [3] J. D. Kim and K. S. Oh, "A Study of Dew Condensation Characteristics to Switchboard due to Environmental Conditions" in *Proc. of the 2011 Fall Congress of Korea Academia-Industrial cooperation Society*, 2011, pp.540-542.
- [4] Y. D. Lee, "Distributing Board Monitoring System based on Internet of Things," *Journal of Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol.20, no.1, pp.200-206, Jan. 2016. DOI : 10.6109/jkiice.2016.20.1.200
- [5] J. M. Jeong, S. S. Son, Y. S. Lee and J. H. Kim, "Development of Deterioration Monitoring System in Switchgear Panel using Infrared Thermal Imaging Module," in *Proc. of the 2016 Summer Congress of Korea Institute of Electrical Engineers*, 2016, pp.1665-1666.
- [6] S. Y. Shin, "Development of RF communication module using LoRa technology," Master thesis, University of Seoul, 2017.
- [7] R. K. Kodali, "Radio data infrastructure for remote monitoring system using lora technology," in *Proc. of 2017 International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics (ICACCI)*, 2017, pp.467-4726. DOI:10.1109/ICACCI.2017.8125884
- [8] L. Lingling, R. Jiuchun and Z. Qian, "On the application of LoRa LPWAN technology in Sailing Monitoring System," in *Proc. of 2017 13th Annual Conference on Wireless On-demand Network Systems and Services*, 2017, pp.77-80. DOI:10.1109/WONS.2017.7888762

BIOGRAPHY

Tae-Myoung Kim (Member)

2009 : MS degree in Information and Radio Engineering, Kunsan National University.
 2018~ : PhD Course in Information and Radio Engineering, Kunsan National University.
 2007~Present : CEO in Entec Korea Co., Ltd.

Suk-Kun Jee (Member)

1985 : BS degree in Electronic Engineering, Pukyong National University.
 1990 : MS degree in Electronic Engineering, Pukyong National University.
 1997 : PhD degree in Electronic Engineering, Pukyong National University.
 1990~Present : Prof. in Dept. of IT Convergence Comm. Engineering, Kunsan National University.

Young-Wan Kim (Member)

1983 : BS degree in Electrical Engineering, Kyungpook National University.
 1985 : MS degree in Electrical Engineering, Kyungpook National University.
 2003 : PhD degree in Electrical Engineering, Chungnam National University.
 2004~Present : Prof. in Dept. of IT Convergence Comm. Engineering, Kunsan National University.