

부스바 접촉 상태 및 온도 감지 시스템 설계 및 구현

이영동^{1*} · 정성학²

A Design and Implementation of Busbar Joint and Temperature Measurement System

Young-dong Lee^{1*} · Sung-Hak Jeong²

^{1*}Department of Computer Software Engineering, Changshin University, Changwon 51352, Korea

²YJ SOLUTION Co., Ltd, Haman, 52061, Korea

요 약

일반적으로 배전반, 분전반, 전동기제어반(Motor Control Center; MCC)은 집단거주지역, 빌딩, 학교, 공장, 항만, 공항, 상하수 처리장, 변전소, 중공업 플랜트 등의 광범위한 전력 수용가에 설치되어 특고압의 전력을 해당 설비들에 요구되는 전압으로 변환하여 공급하는데 사용된다. 이와 같은 배전반, 분전반, MCC에 포함되는 전기설비의 사고는 부스바 접촉부의 열화에 의한 사고, 부스바의 접점 및 연결 부위에서의 접촉 불량에 의한 사고, 부스바 접촉부의 과열 현상에 의한 사고로 구분된다. 본 논문에서는 부스바 접촉부의 볼트 및 너트의 풀림상태, 접촉부 열화 측정이 가능하며, 정밀 가변저항을 이용하여 저항값의 변화에 따라 볼트 체결상태 감지 및 비접촉식 적외선 센서를 사용하여 부스바 접촉부 온도 감지 시스템을 설계하고 구현하였다. 부스바 접촉부 체결상태 감지를 위한 가변저항을 이용한 실험을 수행한 결과 볼트와 너트를 완전히 체결시키면 가변저항 값은 감소하였으며, 최대 오차범위는 0.1mm의 결과를 보였다. 또한, 부스바 접촉 저항값 변화에 따라 접촉부 온도가 27.3℃에서 69.3℃로 상승하는 결과를 확인하였다.

ABSTRACT

In general, distribution board, panel board and motor control center can be installed over a wide area such as residence of group, building, schools, factories, ports, airports, water service and sewerage, substation and heavy industries that are used to supply converts the voltages extra high voltage into optimal voltage. There are electrical accidents due to rise of contact temperature, loose contact between busbar, deterioration of the contact resistance, over temperature of the busbars. In this paper, we designed and implemented the busbar joint and temperature measurement system, which can measure the joint resistance of busbar and loose connection between busbar using potentiometer and non-contact infrared sensor. The experimental results show that tightening the bolt and nut is fully engaged, resistance was decreased and maximum error range was 0.1mm. Also, the experimental result showed that the temperature at the contact area is increased from 27.3℃ to 69.3℃ by the contact resistance.

키워드 : 부스바, 배전반, 분전반, 전동기제어반, 체결상태 모니터링

Key word : Busbar, distribution board, panel board, motor control center, busbar joint monitoring

Received 08 November 2016, Revised 11 November 2016, Accepted 23 December 2016

* Corresponding Author Young-Dong Lee(E-mail:ydlee@cs.ac.kr, Tel:+82-55-250-1312)

Department of Computer Software Engineering, Changshin University, Changwon 51352, Korea

Open Access <http://doi.org/10.6109/jkice.2017.21.2.379>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

©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.
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

I. 서 론

일반적으로 수배전반은 집단거주지역, 빌딩, 학교, 공장, 항만, 공항, 상하수 처리장, 변전소, 중공업 플랜트, 지하철, 화학단지, 제철소 등 광범위한 전력 수용가에 설치되어 고압의 전력을 해당 설비들에 요구되는 전압으로 변환하여 공급하는데 사용된다[1]. 수배전반 내의 부스바의 상호 연결시에는 수직, 수평을 맞추고 메인 부스바인 모선과 분기 부스바를 상호 체결하는 볼트 조임 작업을 진행한다. 이 과정에서 작업자의 부주의로 헐겁게 조여진 볼트, 너트가 외부진동으로 인해 풀어지는 경우 온도 상승 및 열화로 인해 화재사고가 발생할 수 있다[2]. 전기설비 사고의 대표적인 원인중 부스바 접속부의 열화에 의한 사고, 부스바의 접점 및 연결 부위에서의 접촉 불량에 의한 사고, 부스바 접속부의 과열 현상에 의한 사고는 매우 위험한 상황을 초래할 수 있고, 작업자나 검사자가 매우 중요하게 생각하는 요소이나 빈번하게 사고가 발생하고 있는 것이 현실이다. 수배전반의 전기사고는 전기 사용의 증가에 따라 인명 피해 및 재산 피해는 물론, 국가 경제에도 큰 피해를 줄 수 있는 화재의 주요 요인이 된다.

이러한 전기설비 사고를 예방하기 위한 관련 연구는 분배전반의 모선을 절단하여 전기적 위험 요소를 제거한 블록형 부스바 설계를 제안하였다[3]. J. Gatherer는 부스바 볼트 접속부의 신뢰성을 실험을 통해 평가하고 이론적인 모델을 제시한 바 있다[4]. 또한, 부스바 이상 감지를 위한 연구로는 부스바의 볼트 체결부의 온도 변화를 통해 모터컨트롤센터의 노후화 및 진동에 대한 분석을 수행한 연구가 있다[5]. 이러한 연구들은 전기설비 사고를 예방하기 위한 다양한 연구결과를 보였지만, 부스바 접속부의 볼트 체결상태와 부스바 온도를 감지할 수 있는 시스템으로 적용하기에는 어려움이 있다.

본 논문에서는 부스바 접속부의 볼트 및 너트의 풀림 상태, 접촉부 열화 측정이 가능하며, 정밀 가변저항을 이용하여 저항값의 변화에 따라 볼트 체결상태 감지가 가능하도록 시스템을 설계하고 구현하고자 한다. 또한, 부스바 접속부 체결상태 감지 뿐만 아니라 부스바 접속부의 열화에 의한 사고를 예방하고자 비접촉식 적외선 센서를 활용하여 배전반, 분전반, 전동기제어반(Motor control center;MCC) 내 부스바의 접점 및 연결 부위에서의 접촉불량에 따른 온도 감지 시스템을 제안한다.

II. 시스템 구성 및 설계

부스바(Busbar)는 대용량의 전류(5000A이상)를 여러 개소에 배전하기 위하여 사용되는 핵심장치로서 볼트, 너트, 스프링와셔 등을 필수적으로 이용하여 그림 1과 같이 체결한다[6]. 이러한 부스바는 주로 동이나 알루미늄판을 이용해서 제작되며, 구조나 모양을 변경하기가 어려우므로 연결하고자 할 경우 볼트, 너트 등을 사용한다[7-9]. 부스바 연결을 위해 주로 사용되는 부품은 볼트, 너트, 평와셔, 스프링와셔를 사용한다. 배전반, 분전반, MCC를 포함하는 전기제어장치에 구비되는 부스바 #1과 부스바 #2 사이에는 볼트를 통과시켜 서로 체결할 수 있는 구조로 되어 있으며, 볼트를 체결하기 전 부스바 #1 상단에 스프링와셔를 위치시킨 후 부스바 #2 아래에 너트를 위치시켜 체결볼트와 체결너트를 조이는 동작 과정을 거친다.

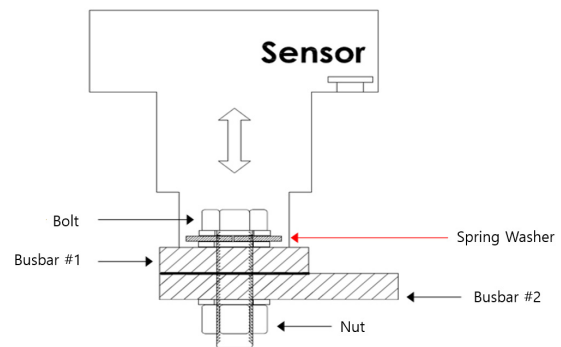


Fig. 1 Structure of a busbar assembly

부스바 체결상태 감지를 위한 시스템은 그림 2와 같이 크게 부스바 접촉상태 검출부, 부스바 온도검출부, 센서인터페이스부, 메인제어부, 부스바 모니터링부로 구성된다. 부스바 접촉상태 검출부에서는 스프링 와셔의 높이값 관련 정보를 상태검출모듈을 통해 부스바 접속부의 현재 상태를 검출한다. 부스바 온도검출부는 비접촉식 적외선 센서를 통해 부스바 접속부 온도 변화를 감지하고 획득한 데이터들은 부스바 센서인터페이스로 전달하게 된다. 부스바의 체결상태 및 부스바 온도 값은 정량적으로 검출되며 부스바 접속부의 체결상태에 대한 정상여부를 부스바 모니터링부에서 실시간으로 모니터링 할 수 있다.

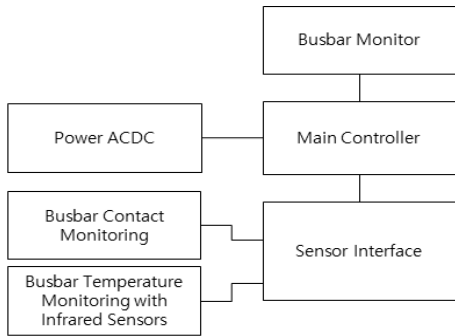


Fig. 2 Block diagram of busbar monitoring system

그림 3은 그림 2에서 구성한 부스바 접촉부 체결상태 모니터링 시스템의 전체 시스템 구성도를 보여준다. 센서부는 볼트 체결상태 및 온도센서로 구성되며, 각각의 센서부는 센서신호처리 및 제어를 위한 메인컨트롤러부로 데이터를 전달하고, 전달된 데이터들은 부스바 모니터링링부를 통해 관리자가 관리할 수 있도록 구성된다.

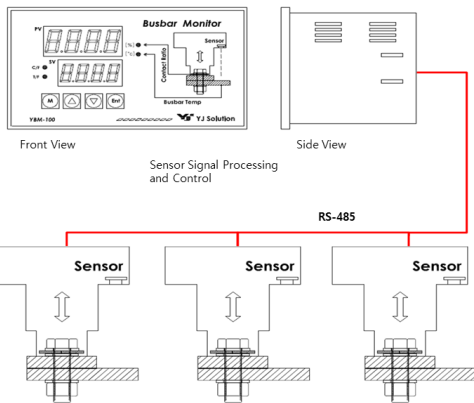


Fig. 3 System architecture of busbar joint monitoring system

2.1. 부스바 접촉부 체결상태 감지

그림 4는 부스바 체결에 사용되는 볼트, 너트 조임 감지 방법을 나타낸다. 12파이 볼트, 너트의 경우 조임시 450kgf.cm의 압력이 가해지면 그림 4와 같이 이완되어 있던 스프링 와셔가 압축되면서 L1: 6mm가 L2: 3mm로 바뀌게 된다. L1 값이 6mm인 상태를 부스바 접촉 불량 상태이며, 3mm인 상태가 부스바 상단에 스프링와셔를 정확히 위치시키고 볼트, 너트가 정상적으로 조인 상태인 것으로 감지하게 된다[4].

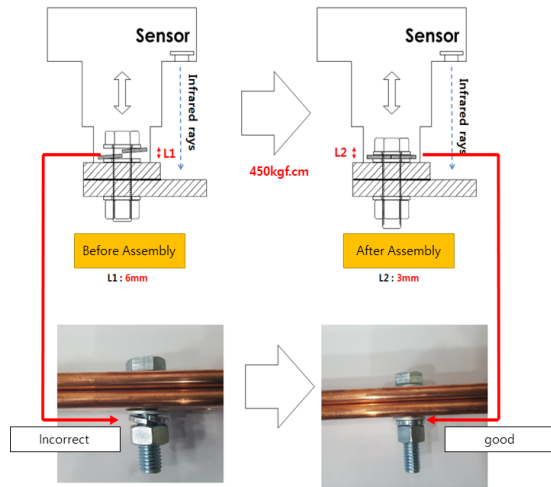


Fig. 4 Busbar joint sensing method

본 논문에서 제안하는 부스바 접촉부 체결감지를 위한 L1과 L2의 차이는 그림 5와 같이 선형저항을 이용하여 저항값이 움직임 감지하여 볼트, 너트 체결상태를 감지하도록 설계하였으며, 센서부 내 선형저항은 체결볼트의 조임동작시 체결볼트와 상호연결되어 저항값 변동유도 소자를 이동시켜 가변저항기의 저항값 변동을 통해 표 1과 같이 스프링와셔 높이에 따른 볼트체결 상태 감지가 가능하도록 구성하였다.

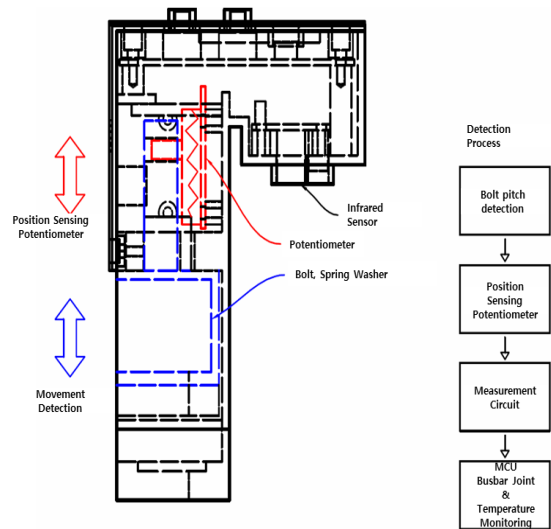


Fig. 5 Structure of busbar sensor part

볼트 체결시 가장 중요한 부분은 작업자가 50%~75% 체결하게 되며, 볼트체결을 전혀 하지 않은 경우는 육안으로 쉽게 구분할 수 있지만 작업특성상 적당히 체결하고 나중에 다시 체결하기 위해 작업을 미룬 후 재작업이 이루어지지 않은 경우는 체결여부의 구분이 어렵고 사고의 직접적인 원인이 된다[3]. 하지만, 본 논문에서 제안하는 부스바 접촉부 체결상태 감지 적용을 통해 초기제작 단계에서 부스바 접촉부 볼트, 너트 작업불량 감지가 가능하며, 작업완료 후 정상동작 상태에서 볼트, 너트 풀림 상시 감지가 가능하다. 또한, 길이 가변 데이터를 저항 변화값으로 변환 후 이를 압력값으로 변환하여 볼트체결이 완전하게 이루어졌는지 불완전하게 이루어졌는지를 감시가 가능하다.

Table. 1 variance of resistance in the 5 different height of spring washers

Height of Spring Washers	Resistance (kΩ)	Busbar Joint
6.0 mm	10~8	0%
5.0 mm	8~6	25%
4.0 mm	6~4	50%
3.5 mm	4~2	75%
3.0 mm	2~1	100%

2.2. 부스바 온도감지

본 논문에서는 부스바 접촉부 체결상태 감지뿐만 아니라 부스바 체결상태가 불량하여 발생할 수 있는 배전반, 분전반, MCC 내 부스바의 접점 및 연결 부위에서의 접촉 불량에 의한 사고, 부스바 접속부의 과열 현상으로 인해 발생할 수 있는 사고를 예방하고자 부스바 온도감지 시스템을 제안한다. 부스바 온도감지는 부스바 자체 접촉불량으로 발생할 수 있는 부스바 열화 현상과 배전반 내부 온도와 부스바 온도 차를 활용하여 이상상태 예측할 수 있는 방법으로 나눌 수 있으며, 본 논문에서는 볼트, 너트 풀림 발생시 접촉 불량으로 인해 온도상승 감지, 부하의 비정상적인 상황 발생에 의한 온도상승 감지를 위한 부스바 온도감지를 할 수 있는 시스템을 그림 6과 같이 구성하고 설계하였다.

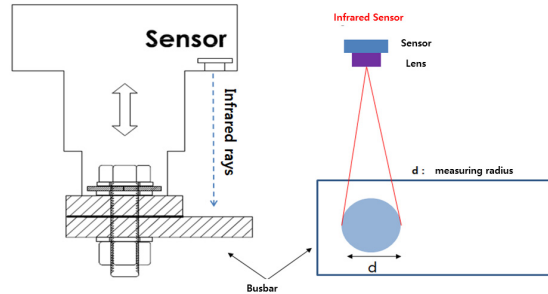


Fig. 6 Busbar temperature monitoring using non-contact infrared temperature sensors

부스바 온도 감지는 비접촉식 적외선 온도센서를 이용하여 2단계 부스바 온도감지를 할 수 있으며, 볼트, 너트 풀림 발생시 접촉 불량으로 인해 온도상승이 발생한다. 또한, 부하의 비정상적인 상황 발생시에도 온도상승이 발생할 수 있는 원리를 바탕으로 적외선 센서를 사용하여 이러한 온도 상승에 따른 부스바 온도감지가 가능하도록 하였다. 부스바 온도 감지를 통해 앞서 제안한 부스바 접촉부 체결상태 감지와 통합적인 부스바 접촉 상태 감지가 가능하다.

III. 실험 결과 및 분석

제안한 시스템의 검증을 위해 부스바 접촉부 체결상태 감지 및 온도 감지를 위한 실험을 수행하였다. 부스바 접촉부 체결상태 모니터링 시스템은 그림 7과 같이 부스바 접촉상태 검출부, 센서인터페이스부, 메인제어부, 부스바 모니터링부로 각각에 따른 하드웨어 모듈을 구현하였다.

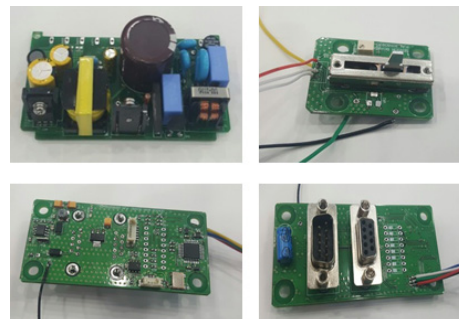


Fig. 7 Implementation of busbar joint monitoring system

부스바 접촉상태에 대한 상태 값을 모니터링 할 수 있는 부스바 모니터링부에 대한 PCB 레이아웃 결과는 그림 8과 같이 설계하였다.

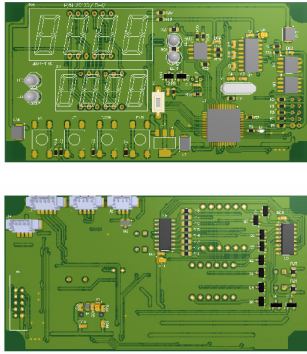


Fig. 8 3D PCB layout of busbar monitor

구현한 하드웨어 모듈은 3D 프린팅 작업을 통해 제작한 구조물에 삽입하여 부스바 내에 장착할 수 있도록 그림 9와 같이 제작하였다.

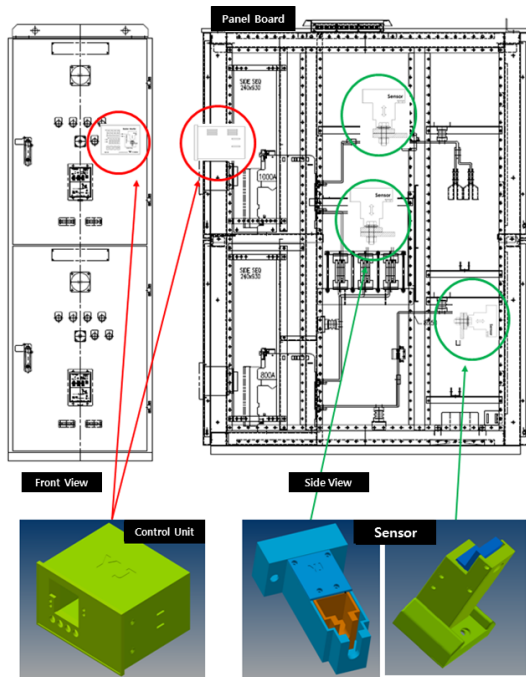


Fig. 9 Layout of busbar monitoring system in distribution board

3.1. 부스바 접촉부 체결상태 감지 실험

그림 10은 부스바 접촉부 체결상태 감지를 위한 볼트, 너트 체결상태를 감지할 수 있도록 가변저항기의 저항값 변동에 대한 실험을 수행한 실제 모습을 나타낸다.

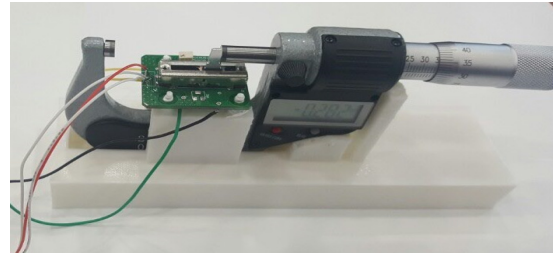


Fig. 10 Test setup of joint resistance

나사의 피치는 JIS 나사 치수표 규격을 기준으로 12m/m 규격의 보통나사는 피치는 1.75mm이며, 부스바 접촉부 체결상태 모니터링 시스템을 이용하면 0.1mm 오차범위 내에서 측정이 가능하였다. 즉, 12m/m 나사의 한바퀴를 17등분하여 풀림 감지가 가능하였으며, 10m/m의 경우는 나사산 피치가 1.5mm이므로 15등분한 값으로 볼트 감지가 가능하였다. 볼트체결상태 감지 실험은 11개의 구간으로 시험시편을 나누어 실험을 진행하였으며, 각 시험시편에 따른 측정값은 표 2와 같은 결과 값을 얻었으며, 최대 오차범위는 0.1로 나타났다. 이러한 실험 결과를 통해 지진등과 같은 외부 떨림에 의해 볼트풀림이 발생시 실시간 감지를 통해서 이상상태를 즉시 관리자에게 통보 가능하다.

Table. 2 Test result for bolted joint

Test Specimen (mm)	Pitch (mm)	Error Range (mm)
1	1.03	0.03
2	2.02	0.02
3	2.97	-0.03
4	4.04	0.04
5	4.97	-0.03
6	6.05	0.05
7	6.95	-0.05
8	8	0
9	9.1	0.1
10	10.1	0.1
11	10.9	-0.1

3.2. 부스바 온도 감지 실험

부스바 온도 감지를 위한 실험 환경은 표 3과 같으며, 본 실험은 30mm×2mm의 메인 부스바인 모선과 분기 부스바를 상호 체결하여 접촉부에서 발생하는 온도 값을 측정하도록 하였다.

Table. 3 Experimental parameters

Characteristic	Specifications
Temp. near the bars(°C)	11.5°C
Cross-section	30×2
Current(A)	60~180

부스바 온도 감지를 위한 실험을 수행하기 위해 그림 11과 같이 부스바 온도를 측정할 수 있는 비접촉식 적외선 센서를 장착한 모듈을 부스바 볼트체결부에 부착하여 실험을 실시하였다. 메인 부스바 R, S, T 3상에 380V 전원을 인가한 후 부하에 따른 온도 값의 변화를 데이터획득장치를 통해 전송하여 그림 12와 같이 온도 변화를 모니터링하였다. 부스바 온도 실험 결과에서 부스바 내 허용전류 범위 내에서는 온도 변화가 크게 나타나지 않았으나, 허용전류 범위를 초과하는 즉, 부스바 접촉부 볼트 체결이 불량한 경우에는 부스바 접촉부 온도가 상승하는 것으로 나타났다.

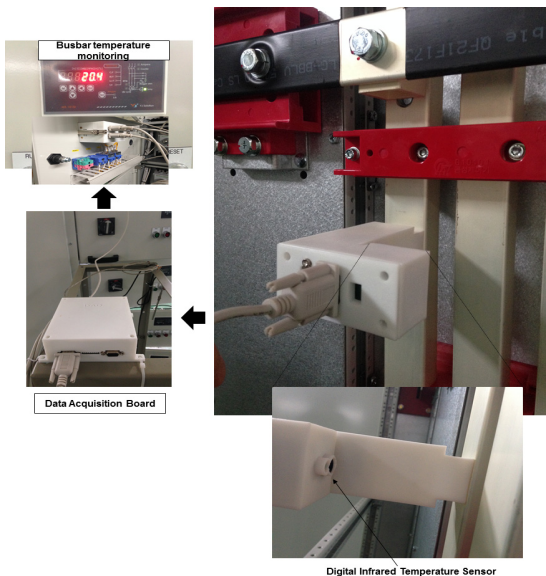


Fig. 11 Experimental of Busbar temperature monitoring



Fig. 12 Display busbar temperature on busbar monitor

그림 13은 표 2에서 제시한 실험 환경에서의 부스바 접촉부 온도를 측정된 실험 결과이다. 상온 11.5°C 일때의 30mm×2mm 크기를 가지는 부스바에서의 전류 변화에 따른 부스바 접촉부 온도가 변화하는 것을 확인할 수 있었다. 부스바에 흐르는 전류값이 60A에서 180A까지의 부스바 접촉부 온도는 27.3°C에서 69.3°C로 상승하는 것으로 나타났으며, 허용전류를 초과할 때 부스바 온도는 급격히 상승하는 것을 알 수 있다.

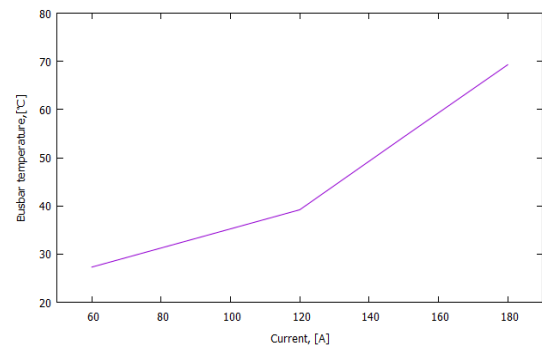


Fig. 13 Experimental result of measured busbar temperature

IV. 결론

본 논문에서는 부스바 접촉부 체결감지를 위해 정밀가변저항을 이용하여 저항의 움직임을 감지하여 볼트, 너트 체결상태를 감지할 수 있는 부스바 접촉 상태 감지를 설계, 구현하였으며, 부스바 접촉부 체결상태 감지 뿐만 아니라 부스바 체결상태가 불량하여 발생할 수 있는 배전반, 분전반, MCC 내 부스바의 접점 및 연

결 부위에서의 접촉 불량에 의한 사고, 부스바 접속부의 과열 현상으로 인해 발생할 수 있는 사고를 예방하고자 부스바 온도감지 시스템을 설계하고 구현하였다. 부스바 접촉부 체결상태 실험과 온도감지 실험을 수행하였고, 부스바 접촉부 체결상태 감지를 위한 가변저항을 이용한 실험을 수행한 결과 나사 치수에 따른 부스바 볼트 체결 및 풀림 감지가 가능하였으며, 최대 오차범위는 0.1의 결과를 보였다. 부스바 온도감지 실험에서는 부스바에 흐르는 전류값이 높아짐에 따라 접촉부 온도가 27.3℃에서 69.3℃로 상승하는 결과를 확인하였다.

본 논문에서 제안한 부스바 접촉부 체결상태 및 온도 감지 시스템은 전기설비 사고의 주원인인 부스바 접촉부의 볼트 체결상태와 부스바 접촉부의 열화에 의한 사고를 예방할 수 있는 시스템으로 적용할 수 있을 것으로 사료된다.

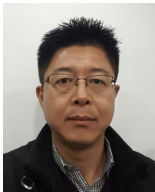
REFERENCES

- [1] G. G. Seip, *Electrical Installations Handbook*, 3rd ed. Erlangen and Munich, John Wiley and Sons, 2000.
- [2] X. Zhou, T. Schoepf, "Characteristics of overheated electrical joints due to loose connection," in *2011 IEEE 57th Holm Conference on Electrical Contacts (Holm)*, pp. 1-7, 2011.
- [3] Y. M. Kwon, C. Y. Hwang, K. H. Kim, H. Han, "The Structural Design of the Bus-bar block type of electrical switch boards," *Journal of the Korea Academia-Industrial*, vol. 17, no. 2, pp. 378-38, Feb. 2016.
- [4] J. Gatherer, "A Study of the Effect of Various Material Combinations on the Bolted Contacts of Busbars," Ph. D. dissertation, Auburn University, 2013.
- [5] 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, Dec. 2011.
- [6] S. H. Jeong, Y. D. Lee, "Design of Busbar Joint Condition Monitoring System," in *Proceedings of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, Korea, 2016.
- [7] J. Gatherer, "A Study of the Effect of Various Material Combinations on the Bolted Contacts of Busbars," Master Thesis, Auburn University, Auburn, Alabama, 2013.
- [8] M. Braunovic, "Effect of connection design on the contact resistance of high power overlapping bolted joints," *IEEE transactions on components and packaging technologies*, vol. 25, no. 4, pp. 642-650, Dec. 2002.
- [9] S. Schoft, "Joint resistance depending on joint force of high current aluminum joints," in *Proceedings of the 50th IEEE Holm Conference on Electrical Contacts and the 22nd International Conference on Electrical Contacts*, pp. 502-510, 2004.



이영동(Young-Dong Lee)

2004년 동서대학교 정보통신공학과(공학사)
 2006년 동서대학교 컴퓨터네트워크학과(공학석사)
 2009년 동서대학교 유비쿼터스IT학과(공학박사)
 2010년 핀란드 University of Oulu 전기정보공학과(공학박사)
 2009년 ~ 2012년 동서대학교 BK21 u-헬스케어사업팀 연구교수
 2012년 ~ 현재 창신대학교 컴퓨터소프트웨어공학과 조교수
 ※관심분야 : IoT, 무선센서네트워크, 임베디드시스템, 무선통신



정성학(Sung-Hak Jeong)

1997년 동서대학교 전자공학과(공학사)
 2010년 동서대학교 전자공학과(공학석사)
 2006년 ~ 2015년 YJ SOLUTION 대표
 2015년 ~ 현재 주와이제이솔루션 대표이사
 ※관심분야 : 전기설비, 원격제어, 고장감지