

분전함에서 이상발열 감지를 위한 광온도센서의 동작특성 분석

(Operating Characteristic Analysis of Optic Temperature Sensor for Overheat Detection in Panel Board)

문현욱* · 김동우 · 길형준 · 김동욱 · 이기연 · 김향곤

(Hyun-Wook Moon · Dong-Woo Kim · Hyung-Jun Gil · Dong-Ook Kim · Ki-Yeon Lee · Hyang-Kon Kim)

요 약

본 논문에서는 전기설비의 전기적 접속부 또는 전기배선 등에서 발생하는 이상발열을 감지하는 방법에 대해 알아보고, 분전함에서의 발열상태를 실시간으로 모니터링하는 전력설비 진단시스템에 사용되고 있는 광온도센서에 대하여 동작특성을 실험, 분석하였다. 광온도센서의 동작특성 실험을 위한 열원으로는 Black Body와 Hot Plate를 사용하였으며 각각에서의 열원의 온도변화에 따른 광온도센서 출력전압값을 측정, 분석하였다. 그리고 분전함내 차단기 단자에서의 체결불량으로 인한 이상발열 감지 실험을 기존의 발열 감지방법인 열전대와 적외선 열화상장치를 이용하여 실시하였고, 광온도센서를 이용해 실시하여 결과를 비교 분석하였다. 실험결과, 광온도센서의 이상발열 감지능력이 유사함을 확인할 수 있었다. 이러한 분석 결과는 향후 RFID형 광온도센서를 이용한 전력설비 진단시스템의 현장 적용에 있어 기본 자료가 될 것으로 기대된다.

Abstract

In this study, methods of overheat detection at the coupling or wire in electrical facility are investigated, operating characteristic about the optic temperature sensor for continuous on-line temperature monitoring in diagnostics system of electrical facility is analyzed. Heating sources in the experiment for operating characteristics of optic temperature sensor use black body and hot plate, output voltage of optic temperature sensor in accordance with temperature variation is analyzed. Overheat generation due to poor contact at the circuit breaker in panel board detects using a thermocouple, infrared thermal camera and optic temperature sensor, and experiment results are analyzed. The effect of optic temperature sensor is the same that of other methods. These results expect to use basic research material for adjusting field of electrical diagnostics system using RFID type optic temperature sensor in the near future.

Key Words : Optic Temperature Sensor, Overheat Detection, Panel Board

* 주저자 : 전기안전연구원 재해예방센터 연구원

Tel : 031-580-3038, Fax : 031-580-3045

E-mail : hwmoon@kesco.or.kr

접수일자 : 2009년 8월 11일

1차심사 : 2009년 8월 12일

심사완료 : 2009년 8월 21일

1. 서 론

전기에너지는 우리의 일상생활에서 없어서는 안 될 중요한 에너지원이지만 전기화재, 감전, 설비사고

등을 일으키는 원인으로 작용하기도 한다[1]. 전기에너지를 사용하는데 필요한 전기설비는 전기산업의 핵심을 이루며 발전설비, 수송설비 및 수용설비로 구성된다. 수용설비에서 수전 받은 전기를 분배하는 역할을 하는 전력설비 분전함에서 발생하는 이상발열에 의한 전기재해를 예방 방안으로 설정값 이상의 열이 발생하였을 때 이를 알려주는 시스템이 개발되고 있으며 일부는 현장에서 활용되고 있다[2-5].

본 논문에서는 전기설비의 전기적 접속부 또는 전기배선 등에서 발생하는 발열을 감지하는 방법에 대해 알아보고, RFID형 광온도센서를 사용하여 실시간으로 발열상태를 모니터링하는 전력설비 진단시스템에서 광온도센서에 대한 동작특성을 실험, 분석하였다.

본 연구결과는 향후 전력설비 진단시스템을 이용한 상시 감시시스템에의 안전성과 신뢰성을 확보하는데 도움이 될 것으로 판단된다.

2. 이상발열 감지 기법

전기설비의 전기적 접속부나 전기배선 등에 접촉 불량 등의 원인에 의해서 이상발열이 발생하였을 경우 이를 감지하는 방법으로는 접촉식으로는 열전대를 사용하는 방법, 비접촉식으로는 적외선 열화상장치 등을 사용하는 방법 등이 있다. 그러나 접속부위에 상시 설치하고 감시하기에는 비용, 공간 등 한계가 있어서 터미널 서모캡, 서모라벨 등과 같은 좀더 간편하고 저렴한 방식의 발열 감지 방식이 개발되어 왔다[6].

2.1 기존의 발열 감지 기법

열전대, 적외선 열화상 장치, 터미널 서모캡, 서모라벨과 같은 방법들은 전기적 접속부에서의 발열 감지를 통해 화재예방에 활용되어 왔으며 이러한 발열 감지 기법들에 대해 좀 더 알아보자.

열전대를 이용한 발열 감지방식은 측정부위에 직접 접촉을 하여 측정을 하는 접촉식 방식으로 열전대를 전류가 흐르는 도전체에 사용하는 경우에는 측정부위와 열전대가 절연되도록 접속해야 하고 유선

이므로 설치 및 사용에 어려움도 있다.

적외선 열화상장치는 비접촉 상태에서 온도계측을 할 수 있어 활선상태에서 기기 전체의 온도상황을 파악할 수 있으며, 발열지점의 온도를 수치로 측정할 수 있는 장점이 있다. 그러나 접속부위에 상시 설치하여 감시하기에는 비용, 공간 등의 제약이 있다.

터미널 서모캡은 접속부분의 발열 상태를 비접촉식으로 점검하는 것으로 연결한 단자부분에 발열이 발생하면 서모캡이 변색이 되며, 단자부분이 정상상태로 복귀되면 서모캡의 색도 원래의 색으로 복귀한다.

서모라벨은 서모캡과 마찬가지로 접속부의 발열 상태에 따라 변색이 되어 육안으로 확인할 수 있는 비접촉식 방법이다.

2.2 RFID형 광온도센서를 이용한 발열 감지 기법

전기적 접속부의 발열상태를 감지하기 위한 기법 중 열전대는 유선이므로 이용에 제약이 많이 따르고, 적외선 열화상장치는 고가장비이며, 터미널 서모캡과 서모라벨은 발열후의 상태를 파악할 수 있는 육안 감지기법이다. 따라서 이러한 단점들을 극복하고 전력설비의 신뢰성 및 안정성을 향상시키기 위하여 저가의 RFID형 온도센서를 개발하여 실시간으로 전력설비의 감시 및 자가진단 시스템에 사용하고자 한다[7].

일반적으로 전기 단자와 온도센서가 접촉식으로 전기신호에 의한 외부 노이즈에 취약할 수 있으므로 비접촉식의 RFID형 광온도센서를 개발하여 이용하여야 한다. RFID형 광온도센서를 이용한 전력설비 분전함의 진단시스템의 전체 구성은 그림 1과 같다.

각각의 분전함이 다수 존재하고, 이들 분전함 외부에는 광온도센서와 RFID모듈이 부착되어 있는 상태이다. Receiver 또는 Interrogator가 일정 거리에 위치하여 위의 다수의 분전함에서 실시간으로 전송한 온도 데이터를 받아 연결된 PC에 전달한다. 이렇게 PC에 저장된 데이터는 분전함의 감시 및 진단에 중요한 파라미터가 된다.

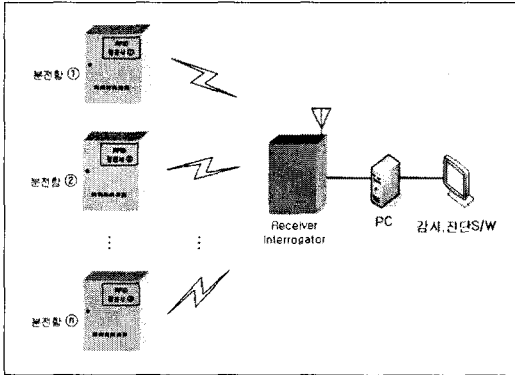


그림 1. RFID형 광온도센서를 이용한 진단시스템의 구성도
 Fig. 1. Block diagram of diagnostic system using RFID type optic temperature sensor

3. 광온도센서의 동작특성

전력설비 분전함에서의 화재발생을 사전에 예방하고 방지하기 위한 전력설비 진단시스템에서 개발한 광온도센서의 안전성과 신뢰성을 평가하기 위하여 실험장치를 제작, 구성하였다. 이 실험장치를 이용하여 광온도센서의 열원에 따른 각각의 동작특성과 출력전압값을 분석하고, 실제 전력설비 분전함내 차단기에서의 체결 불량으로 인한 발열에 따른 광온도센서의 동작특성도 분석하였다. 실험에서 열원으로는 Black Body와 Hot Plate를 이용하였고 각각 열원에 대한 광온도센서의 동작 특성을 측정하였다.

3.1 Black Body를 이용한 광온도센서의 동작특성 분석

개발한 광온도센서는 측정하고자 하는 물체의 온도에 따라 발생하는 전압이 다르게 출력된다. 이러한 광온도센서의 동작 특성을 분석하기 위하여 실험 온도에 따른 동작 전압을 측정하였다. 온도에 따른 광온도센서의 출력전압 특성을 실험하기 위해 Black Body(Mikron Instrument, M315-HT)와 광온도센서를 이용하여 실험장치를 그림 2와 같이 구성하여 실험, 분석하였다.

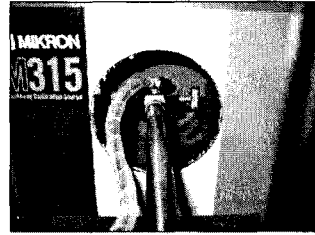
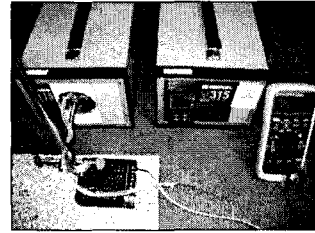


그림 2. Black Body를 이용한 실험
 Fig. 2. Experiment using Black Body

Black Body의 온도를 실온에서 95[°C]까지 설정하였으며 Black Body는 정확한 온도값을 알 수 있으므로 각각 설정온도에 따라 출력되는 광온도센서의 전압값을 실시간으로 측정, 기록하여 온도에 따른 전압값을 분석하였다. 이때 열원 표면에서 광온도센서까지의 거리는 분전함 내 보호커버와 차단기 단자나사와의 거리를 감안하여 2[cm]로 하였다. 그림 3은 이상과 같은 실험 조건에서 10[°C]~90[°C]까지의 출력전압 데이터를 나타낸 것이다. 그림 3에서 보면 광온도센서는 열원의 설정온도에 따라 거의 선형적으로 전압이 상승함을 알 수 있었고, 이는 선형적으로 상승하는 온도에 비례하여 광온도센서가 동작함을 알 수 있었다.

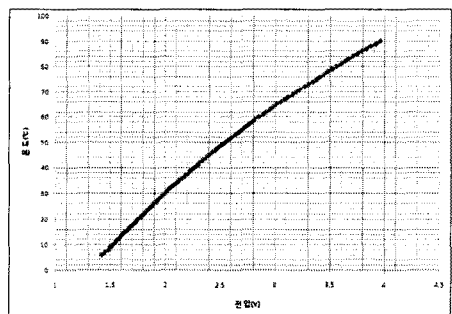


그림 3. Black Body를 이용한 광온도센서의 동작특성
 Fig. 3. Operating characteristic of optic temperature sensor using Black Body

3.2 Hot Plate를 이용한 광온도센서의 동작특성 분석

그림 4는 Hot Plate(Corning, PC-400)를 이용하여 광온도센서의 온도에 따른 출력값을 측정하기 위한 실험장치를 나타낸 것이다. Hot plate의 온도 측정에는 K-type의 열전대를 사용하여 Hot plate의 표면에 접촉하여 측정하였고, Hot Plate의 표면온도와 온도에 따른 출력전압은 DAQ시스템(National Instrument, PXI-1042, SCXI-1112)을 이용하여 측정하였다.

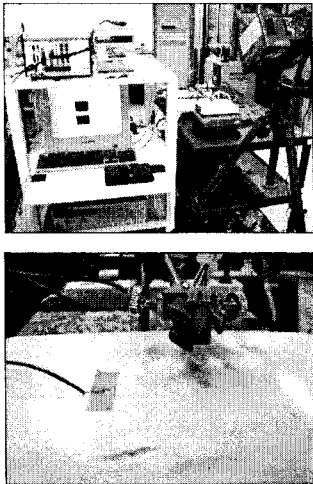
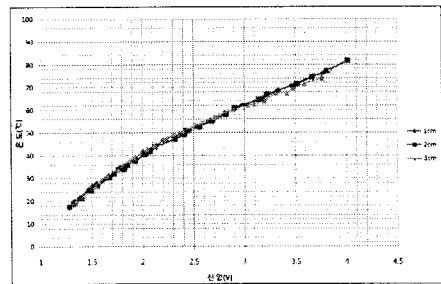


그림 4. Hot Plate를 이용한 실험
Fig. 4. Experiment using Hot Plate

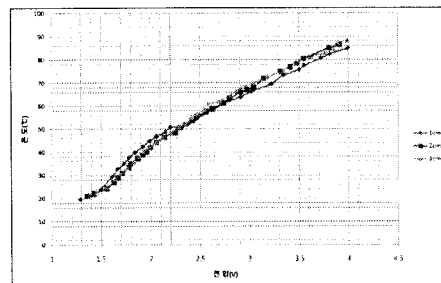
그림 4와 같이 Hot Plate를 이용한 실험장치 구성에서는 광온도센서가 사용될 분전함내에서 빛의 유무에 따른 영향도 알아보기 위해 주위에 조명이 있는 상태와 없는 상태로 나누어 실험하였다. 그리고 열원과의 거리도 각각 1[cm], 2[cm], 3[cm]로 설정하여 광온도센서의 출력 데이터 값을 비교 분석하였다. 이와 같이 주위 조명의 유무에 따른 센서의 출력데이터를 비교, 분석하여 실제 환경에서의 최적의 온도와 출력전압의 표준값을 설정하는데 활용 가능하다.

그림 5 (a)는 외부 조명이 있는 상태에서 열원과의 거리에 따른 출력 데이터값을 비교한 그래프이다.

그림 5 (a)에서 볼 수 있듯이 1[cm], 2[cm], 3[cm]에서 유사한 값을 나타냄을 볼 수 있다. 그림 5 (b)는 주위에 조명이 없는 상태에서 광온도센서의 출력 데이터를 비교한 것으로 조명이 있는 조건에서보다 온도에 대한 출력 값이 다소 작음을 알 수 있었다. 그림 5의 Hot Plate를 이용한 그래프와 그림 3의 Black Body를 이용한 그래프를 비교하면 광온도센서의 동작특성에서 약간의 차이가 발생하지만 이것은 Black Body와 실제 일반 환경에서 사용한 Hot Plate와의 오차라 볼 수 있다.



(a) 주위 조명이 있는 상태



(b) 주위 조명이 없는 상태

그림 5. Hot Plate를 이용한 광온도센서의 동작특성
Fig. 5. Operating characteristic of optic temperature sensor using Hot Plate

3.3 분전함 차단기에서의 체결 불량으로 인한 발열에 따른 광온도센서의 동작특성 분석

전력설비 진단시스템에 사용될 광온도센서가 실제 분전함에서 발생하는 발열온도에 제대로 동작하는지 동작특성을 분석하기 위해 체결 불량에 의한 발열상태를 열전대를 이용한 측정과 광온도센서를

분전함에서 이상발열 감지를 위한 광온도센서의 동작특성 분석

이용한 측정을 하여 비교 분석하였다.

분전함에서 체결 불량에 의한 발열특성을 알아보기 위해 실험장치를 그림 6과 같이 구성하여 차단기 부하측 단자 접속부의 체결나사를 푼 후, 토크 드라이버(FDS2-S, Tonichi, Japan)를 이용하여 0[N·m]로 체결토크를 설정하여 실험, 분석하였다. 온도 측정은 열전대를 이용한 DAQ시스템을 이용하여 토크가 0[N·m]인 차단기와 전선의 접속부를 실시간으로 측정하였다.

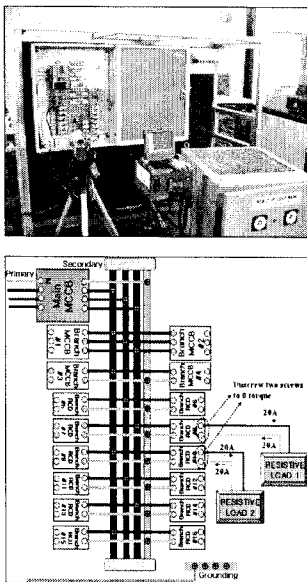


그림 6. 조임토크에 따른 실험
Fig. 6. Experiment as tightening torque

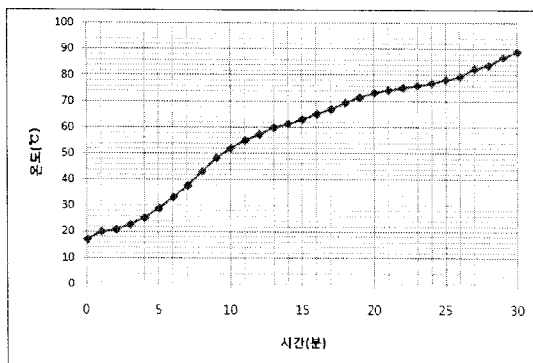
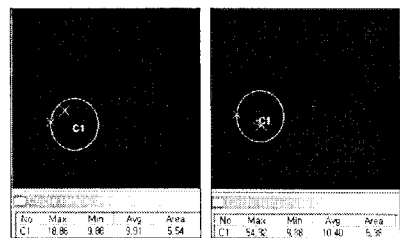


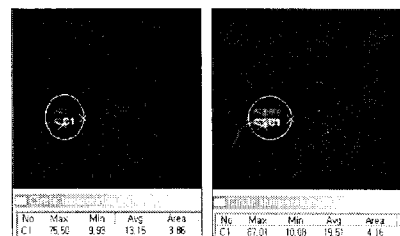
그림 7. 차단기에서의 온도변화
Fig. 7. Temperature change on circuit breaker

그림 7은 체결 불량시의 온도측정 그래프로 접속부에서의 접촉불량으로 온도가 차츰 상승하다가 30분에 80[℃]이상이 되었다. 온도가 약 60[℃]이상이 되면 절연피복 등 주변 절연물의 열화에 영향을 줄 수 있다.

그림 8은 그림 6에서 0[N·m]의 조임으로 체결된 차단기와 전선에서의 발열상태를 적외선 열화상 장치(TVS-8500, AVIO, Japan)를 이용하여 촬영한 열화상 이미지로서 시간이 경과함에 따라 차단기와 전선의 접속부를 중심으로 발열이 증가함을 알 수 있다. 그림 8 (a)의 실험 초기의 온도는 18[℃]이고 그림 8 (b)의 실험 시작 10분이 지난 온도는 54[℃], 그림 8 (c)에서는 75[℃], 그림 8 (d)는 87[℃]로 그림에서 보듯이 차단기와 전선의 접속부 사이에서 발열이 많이 발생하는 것을 알 수 있으며, 이는 DAQ시스템을 이용하여 측정한 그림 7과 비슷한 온도변화를 보인다. 이러한 접속부에서 접속단자의 급격한 온도상승은 화재로 이어질 수 있으므로 발열로 인한 화재를 방지하기 위해서는 단자나사가 체결불량이 아닌지 확인할 필요가 있다. 또한 진동 등에 의해 나사의 조임이 느슨해질 우려가 있는 곳에는 접속부 부근에 이를 감시하고 감지할 시스템의 설치가 필요하다.



(a) 초기값 (b) 10분 경과



(c) 20분 경과 (d) 30분 경과

그림 8. 적외선 열화상 카메라 화상
Fig. 8. Image of IR thermal camera

그림 9는 광온도센서를 이용하여 분전함에서의 발열특성을 측정한 실험으로, 체결 불량에 의한 발열 특성 분석을 위해 앞의 실험과 마찬가지로 체결토크를 0[N·m]로 설정하여 차단기 단자 접속부의 체결 나사의 온도를 광온도센서를 통해 측정, 발열특성을 분석하였다. 체결나사와 광온도센서까지의 거리는 분전함의 보호커버와 차단기 단자나사와의 거리를 감안하여 2[cm]로 하였다.

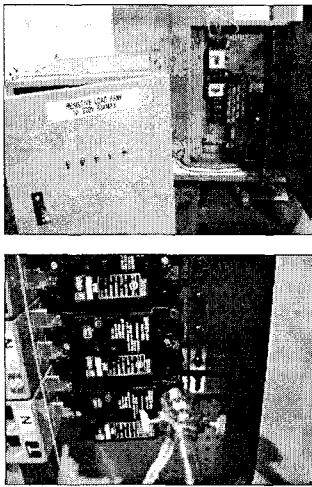


그림 9. 차단기에서의 광온도센서를 이용한 실험
Fig. 9. Experiment using optic temperature sensor on circuit breaker

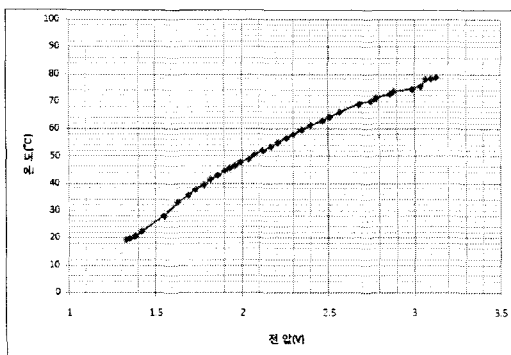


그림 10. 차단기에서의 광온도센서의 동작특성
Fig. 10. Operating characteristic of optic temperature sensor on circuit breaker

그림 10에서 알 수 있듯이 광온도센서로부터의 출력 데이터 값을 보면 앞서 실험한 그림 6의 분전함의

체결불량에 따른 발열을 DAQ시스템을 이용하여 측정 한 그림 7과 적외선 열화상 장치를 이용하여 측정 한 그림 8과 유사한 발열특성을 잘 나타내는 것을 알 수 있었다. 이러한 결과는 누전차단기의 단자는 50 [°C], 배선용차단기의 단자는 60[°C]로 온도상승값을 설정한 규정에 따라 기준 설정값에 따른 차단기 각 부의 발열상태를 모니터링하는 전력설비 진단시스템에 그림 10과 같은 동작특성을 보이는 광온도센서를 사용할 수 있으리라 본대[8-9].

4. 결 론

본 연구에서는 전기설비의 전기적 접속부 또는 전기배선 등에서 발생하는 발열상태를 감지하여 화재를 예방하는 기법들에 대해 알아보았고, 광온도센서와 RFID 모듈을 이용하여 실시간으로 발열상태를 모니터링하는 전력설비 진단시스템에서의 중요한 소자인 광온도센서에 대한 동작 실험, 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 광온도센서의 동작특성을 분석하기 위해 Black Body를 열원으로 이용한 경우, 선형적으로 상승하는 열원의 설정온도에 따라 광온도센서의 출력전압값도 거의 선형적으로 상승하였다.
- 2) Hot Plate를 이용한 실험에서의 광온도센서의 동작특성은 조명의 유무에 따라 변화가 조금 있으나 Black Body와 마찬가지로 전체적으로 선형적으로 상승하였다.
- 3) 전력설비 분전함내 차단기에 설치한 광온도센서의 출력값은 체결 불량으로 인한 발열에 따라 기존 발열감지 기법을 이용한 실험과 유사한 동작특성을 나타내었다.

향후에는 개발한 광온도센서에 RFID모듈을 장착하여 실시간으로 발열상태를 감시하여 무선으로 그 상태를 전송함으로써 기존의 발열감지 기법의 단점을 보완하는 전력설비 진단시스템으로의 접목이 필요하다.

본 연구는 지식경제부에서 시행하는 전력산업연구개발 사업의 지원으로 수행되었습니다.

References

- [1] 최충석 외 5, “전기화재공학”, 동화기술, pp.189-198, 2004.
- [2] KS C 8326, 주택용 분전반, 2007.
- [3] KS C IEC 60439-3, 저전압 개폐 장치 및 제어 장치-제 3부 : 일반인이 사용 가능한 배전반 내의부속품 개별 요구 사항, 2003.
- [4] National Electrical Code, 2005.
- [5] UL 67, UL Standard for Safety Panelboards, 2004.
- [6] 김동우, 이기연, 문현욱, 김향곤, 최충석, “MCCB 단자 접속부의 접촉불량에 의한 과열사고 방지기법에 관한 연구”, 한국화재소방학회지, 제22권 제4호, pp.54-60, 2008.
- [7] Albert Livshitz, Dr. Bella H. Chudnovsky, Boris Bukengolts, “On-Line Condition Monitoring and Diagnostics of Power Distribution Equipment”, Proceedings of the 2004 IEEE/PES Power systems conference and exposition, vol. 2, pp.646-653, 10-13 Oct, 2004.
- [8] KS C 4613, 누전 차단기, 2002.
- [9] KS C 8321, 배선용 차단기, 2002.

◇ 저자소개 ◇

문현욱 (文鉉旭)

1975년 2월 14일생. 2000년 8월 경북대 공대 전자전기공학부 졸업. 2004년 University of Florida, Electrical & Computer Engineering 졸업(석사). 현재 전기안전연구원 재해예방센터 연구원.
Tel : (031)580-3038
E-mail : hwmooon@kesco.or.kr

김동우 (金東佑)

1972년 3월 20일생. 1996년 인하대 전기공학과 졸업. 1998년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 전기안전연구원 재해예방센터 주임연구원.
Tel : (031)580-3036
E-mail : kdwtk98@naver.com

길형준 (吉亨准)

1969년 8월 27일생. 1997년 2월 인하대 전기공학과 졸업. 1999년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2006년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 전기안전연구원 재해예방센터 선임연구원.
Tel : (031)580-3034
E-mail : fa523@paran.com

김동욱 (金桐郁)

1971년 1월 6일생. 1998년 2월 인대대학교 전기공학과 졸업. 2000년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현 전기안전연구원 재해예방센터 주임연구원.
Tel : (031)580-3035
E-mail : dokim@kesco.or.kr

이기연 (李璣燕)

1975년 5월 12일생. 2002년 2월 인천대 전기공학과 졸업. 2004년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현 전기안전연구원 재해예방센터 주임연구원.
Tel : (031)580-3039
E-mail : lkycj@kesco.or.kr

김향곤 (金珣坤)

1970년 12월 14일생. 1996년 조선대학교 전기공학과 졸업. 2000년 동 산업대학원 전기공학과 졸업(석사). 현 전기안전연구원 재해예방센터 책임연구원.
Tel : (031)580-3035
E-mail : kon0704@kesco.or.kr