

# 단자이완 검출기술의 개발

임용배\*, 전정채\*, 박찬업\*, 배석명\*, 주남규\*\*  
\*한국전기안전공사 전기안전연구원  
\*\*(주)대륙  
e-mail:electrotree@gmail.com

## Development of Technique to Detect a Loose Terminal

Young-Bae Lim\*, Jeong-Chay Jeon\*, Chan-Eom Park\*, Seok-Myeong Bae\*,  
Nam-Kyu Ju\*\*  
\*Electrical Safety Research Institute, KESCO  
\*\*Daeryuk Co., Ltd.

### 요 약

Multiple people using places are being managed to prevent disasters by the special law for safety supervising of multiple people using spots. The KESCO is managing the places through intensification of inspection. Perfect safety is not insured by frequency inspections because disaster symptoms in electrical facilities include invisible faults. Especially, entertainment spots, such as entertainment bars and karaoke bars, are different from other multiple people using places, and active reaction to prevent electrical fires is impossible. Therefore, special protection plans to prevent electrical disasters are needed. In this paper, equipments of entertainment spots were researched, and their electrical characteristics were analyzed. The function for detecting a loose terminal, which is one of the main causes of electrical fires, was developed.

### 1. 서론

다중이용시설은 불특정 다수인이 이용하는 시설로서 재난 발생 시 일관된 지휘체계를 갖는 대응이 불가능하다.[1]

특히, 다중이용시설 중 유흥주점 및 단란주점과 같은 유흥시설은 이용자들 대부분이 음주에 의해 취중인 경우가 대부분이므로 재해 발생 시 적극적인 도피 및 재난 대응이 용이하지 않기 때문에 재해의 규모가 다른 다중이용시설보다 더욱 클 수밖에 없다.

따라서 소방방재청 및 한국전기안전공사는 이런 시설의 재해예방을 위해 특별 관리하고 있으나, 전기설비는 측정 당시의 상황으로 상태가 항상 유지되는 것이 아니고, 대부분 가시적으로 확인이 불가능한 비노출식이 많다. 노출된 전기설비라고 할지라도 고장이나 열화에 의해 발생하는 현상이 육안으로 확인하기 어렵고, 특히 전기적인 접속부위의 결함은 기존의 정기 점검방법으로 확인되지 않는다.

전기설비는 다양한 장치가 서로 유기적으로 접속되어 있다. 이러한 장치들에 의해 구성된 전기설비는 많은 전기적인 접속부를 갖는다. 특히 유흥시설의 경우

다양한 조명설비의 시설로 많은 전기적인 접속부로 포함하게 된다.

전기 접속부는 장기간 운전 시 사용 환경에 따라 접촉저항(contact resistance)의 증가로 발열되어 전기화재 등의 재해로 진전될 수 있다. 그러나 전기적인 접속부의 이완은 육안으로 확인할 수 없고, 법에 규정된 절차에 따라 행해지는 정기점검에 의해서도 확인할 수 없다.

따라서 불완전 접속에 의한 전기화재를 예방하기 위해, 접속부 자체의 온도를 직접 측정하거나, 온도상승에 따라 취기를 발생시키는 캡슐을 장착하여 그 취기를 센서로 감시, 또는 접촉전압의 변화를 검출하여 단자이완을 확인하는 방법 등의 다양한 기술들이 적용하고 있다.

그러나 기존의 기술들은 주위 환경에 의존하기 때문에 신뢰성 저하에 따른 적용에 어려움이 있었다.

본 논문에서 유흥시설의 전기화재 비율과 전체 전기화재에서 접속불량에 의한 전기화재의 비율을 분석한 결과에 따라, 전기화재의 주요 원인인 접속불량을 검출하는 기존의 단자이완 검출기술을 조사하여 문제점을 분석하고, 단자이완을 검출할 수 있는 새로운 기

술을 개발하고 내용을 제시한다.

또한 단자대에 정격전류 통전 시 1회의 볼트 풀림 지속 시간에 따른 단자대 온도상승 정도를 분석하여 개발된 기술의 검출레벨을 설정한다.

개발된 단자이완 검출기술은 선형부하 및 비선형부하에서 설정된 검출 레벨에 대한 검출특성을 분석하고, 부하전류 크기에 따른 검출특성도 분석하여 신뢰성을 검증한다.

## 2. 본론

### 2.1. 접촉불량에 의한 전기화재

전기설비는 다양한 장치가 전기적으로 접속되며, 이들 접속부는 장기간 운전시 접촉저항의 증가에 따라 발열되어 전기화재 등의 재해로 확산될 수 있다.

전로에 통전 시 발생하는 열량  $H$ 는 식 1과 같이 전류  $I$ 의 2승과 도체의 저항  $R$ 의 곱에 비례한다. 이때 발생하는 열을 줄열이라고 한다.

$$H = I^2 R t \quad (1)$$

여기서  $t$ 는 통전시간이다.

또한 저항은 식 2에서 보여진 것과 같이 도체의 길이에 비례하고, 단면적  $A$ 에 반비례하므로 동종의 도체라 할지라도 길이  $l$ 이 길고, 단면적이 적으면 저항이 상승하여 발열이 증가하게 된다.

$$R = \rho \frac{l}{A} \quad (2)$$

여기서  $\rho$ 는 도체의 고유저항이다. 접촉불량이 발생되면 도전로의 단면적이 감소되어 많은 줄열이 많이 발생하게 된다.

도체 접속부 과열의 원인이 되고 있는 접촉저항은 집중저항(constriction resistance), 경계저항(film resistance)으로 대별된다. 집중저항은 도체의 면과 면 접촉에서 전류가 흐를 수 있는 면적이 적어 저항이 커지게 되는 것이고, 경계저항은 금속이 공기에 노출되어 표면에 산화막의 형성에 의해 생성되는 것으로, 접촉불량에 의해 발생할 수 있다.

일반적으로 전기설비의 전로에 쓰이는 도체의 고유저항은 대단히 작기 때문에 보통의 사용조건에서는 전로로부터의 발열량이 적고 온도가 극도로 상승되지는 않는다.

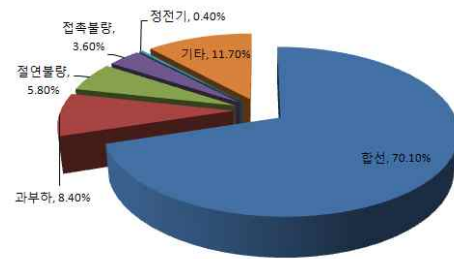
그러나 전선의 허용전류보다 큰 전류의 통전이나, 발생한 줄열의 축열, 배선접속부 접촉저항의 증가, 전선의 단락, 전원의 중성선이 단선 등과 같은 경우 줄열에 의한 온도 상승이 현저하게 되어 출화 요인이 될 수 있다.

또한 원래의 전로 이외의 경로를 전류가 흘러 그 경로의 금속접합부 및 유기절연체에 형성된 탄화된 전로에서 발생하는 열도 줄열이라 하고 이것 역시 출화 요인이 된다.

‘전기설비가 접속되어 있다’함은 반대로 하나의 장치가 다른 장치로부터 전기적으로 분리될 수 있다는 것을 의미하며, 단자대나 콘센트, 플러그 등과 같은 접속기구류를 통해 가능해진다.

그러나 전기적으로 분리되지 않아야 될 시기에 압착단자가 이완되거나 볼트의 조임상태가 불완전하게 되면, 접촉불량에 의해 그 부위에서 접촉저항이 상승된다.

접촉저항의 상승에 의해 전압강하가 발생하면 발열과 축열이 연속되고 일부는 열전도도가 높은 동선을 따라 열이 전도되기도 한다.



[그림 1] 1998-2007년 10년간 전기화재 발생 원인[2]

접촉저항이 지속적으로 높게 형성되면 접속부에서 산화동이 증식되고 산화동이 증식되면 열 발생에 의해 주변의 가연성 물질을 발화온도 이상으로 상승시켜 화재로 전이된다.

1998년부터 2007년까지 10년동안 발생한 전기화재의 원인을 분석한 결과, 그림 1과 같이 합선, 과부하, 절연불량과 함께 전기화재의 주요 원인이었다.

배전반이나 분전반 등의 옥내 전기설비에도 많은 전기적인 접속부가 존재한다. 이러한 접속부에는 차단기, 개폐기 및 터미널 등의 압착가공 또는 나사, 볼트 등에 의해 체결접속된 단자와 전선의 접속부 등이 존재한다. 특히 볼트 등을 사용해 체결한 접속은 체결불량이나 시공 후 여러 환경적 요인에 의해 이완됨으로써 접촉불량이 발생된다. 이 결과 접촉저항이 증가되

어 줄열에 의해 발열하므로 장기간 통전 시 고온 상태가 되고, 이로 인해 접촉 저항은 더욱 증가함으로써 전선 피복과 같은 절연 재료를 착화시킬 수 있다.

현재의 저압 전기설비에 대한 보호체계는 배선용차단기와 누전차단기가 주축을 이루고 있으며, 합선 및 과부하, 절연불량에 의한 전기재해를 예방하기 위한 것이다.

그러나 단자이완과 같은 위해 요소를 검출하여 전원에서부터 회로를 분리하지 못한다. 이들 차단기는 전류를 기준으로 동작하므로, 접촉불량의 경우 정상적인 부하전류에서 재해가 발생할 수 있다.

현재의 보호체계에는 이런 접촉불량에 대한 신뢰성 있는 예방대책이 없는 실정이다. 특히 취약한 환경을 갖는 유흥시설의 전기설비 재해예방 시스템은 부하사용 조건에 따라 수시로 변화하는 상황에 대응 가능한 상시감시 기능의 접촉불량에 대한 보호체계를 포함시킬 필요가 있다.

## 2.2. 기존의 단자이완 검출기술

### 2.2.1 열검출방식

단자의 접속이 불완전하여 발생하는 화재를 예방하기 위해, 전기적 접촉부를 열전대 등의 온도 센서를 이용하여 감시하는 방식을 많이 활용하고 있다. 이 경우에는 열전대 등의 물리적인 접촉이 요구되기 때문에 충전부와 절연 등의 문제가 있으며, 복잡한 배선이 따른다.

온도에 따른 색상변화를 활용하는 Thermo-label을 이용하여 열을 시각화하는 기술을 적용하기도 하나 온라인화가 어렵고 수명이 짧기 때문에 적용에 한계가 있다.

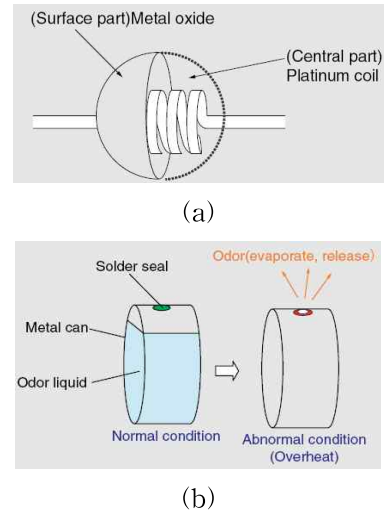
대상체로부터 방사되는 적외선을 검출하여 온도를 영상화 하여 온도를 검출하는 열화상 측정법이 있으나 장비가 고가여서 온라인화 하기가 용이하지 않다.

### 2.2.2 가스센서방식

New Cosmos Electric이 개발한 기술로서, 취기센서를 사용한다. 검출기의 센싱부는 백금 코일과 산화금속으로 그림 2(a)와 같이 구성된 반도체 방식이다. 센싱부가 400℃로 가열되었을 때 특정 분자가 센싱부에 접촉되면, 그 분자가 산화되어 센싱부의 전기저항 값을 감소시키는 원리를 이용한다. 전기저항의 변화는 브리지 회로에 의해 검출할 수 있다[3].

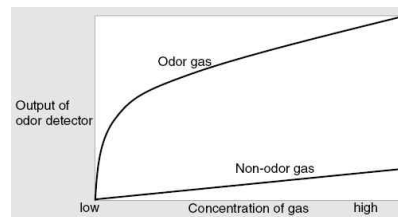
취기가스(odor gas)는 캡슐에 그림 2(b)와 같이 봉입하며, 일정온도 이상 상승될 경우 봉입부위가 개방

됨으로써 가스가 방출된다. 이렇게 방출된 가스를 센서를 통해 검출함으로써 단자대와 같은 전기설비의 온도 감시가 가능하다.



[그림 2] 취기센서의 출력특성(a) 센서의 구조 (b) 취기캡슐[3]

가스 농도와 검출기 출력 사이의 관계는 지수함수로 그림 3과 같이 표현된다. 농도가 낮은 영역에서 센서의 출력은 크게 변화하고, 농도가 높은 영역에서는 출력이 작게 변한다. phenol과 같은 취기가스에는 그림과 같이 민감하게 반응하지만 수소와 같은 무취가스(non-odor gas)는 둔하게 반응하기 때문에 감시가 가능하다[3].



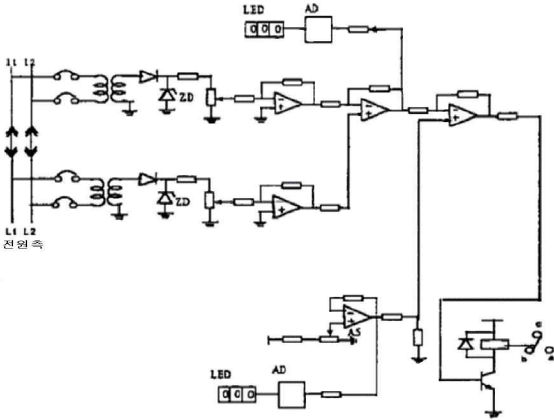
[그림 3] 취기센서의 출력특성[3]

그러나 캡슐과 검출기 사이의 거리에 대한 제약이 크고 주위 환경에 따라 설치가 불가능한 경우도 있으며, 센서과 캡슐의 수명이 제한적이기 때문에 신뢰성에 한계가 있다.

### 2.2.3 전압검출방식

금속 도체에 전류가 흐를 때 발생하는 줄열에 의한 온도상승과 더불어 저항이 증가된 상태의 도전 경로에 전류가 흐르면 전류와 저항의 곱에 상응하는 전압강하가 저항 발생부분의 양단에 발생된다. 이 기술은 이렇게 발생하는 전압강하를 그림 4와 같이 검출하는

방식이다.



[그림 4] 기존의 전압강하 검출에 의한 단자이완 확인기술[4]

이 기술은 서로 다른 상에 대하여 전위를 검출하고, 1차측과 2차측의 전위차를 확인하기 때문에 검출의 신뢰도가 낮고, 적용 환경에 의존되는 기술이다.

### 2.3. 단자이완 검출기술의 개발

#### 2.3.1 단자이완에 의한 온도상승의 제한

전기 접속부의 발열특성은 금속재료의 특성과 접촉 저항 등 접속부의 물리적 접촉관계에 의존한다.

[표 1] 접속방식에 따른 최대 허용온도(@주위온도 40℃)[5]

접속방식	구성물	최대허용 온도상승
스프링 접속 (구리 및 구리합금)	○ 도금 없음	35K
	- 공기 중	65K
	- SF <sub>6</sub> 가스 중	40K
	- 절연유 중	50K
볼트 접속 (구리, 알루미늄, 구리합금)	○ 은 또는 니켈도금	65K
	- 공기, SF <sub>6</sub> 가스 중	50K
	- 절연유 중	65K
	○ 은 또는 니켈도금	75K
터미널(스크루 또는 볼트로 접속)	○ 도금 없음	50K
	○ 주석, 은 또는 니켈 도금	65K

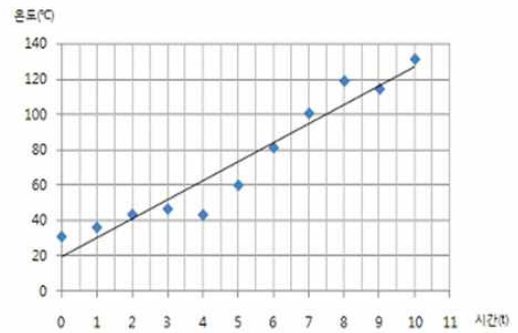
따라서 단자이완을 검출하기 위해서는 절연재료의 발화특성을 고려하여 스프링 접속, 볼트 접속 등 접속부의 접촉종류에 따른 발열 특성과 금속재료의 특성에 따라 적정한 기준을 설정할 필요가 있다.

표 1은 접속방식에 따른 최대 허용온도를 분류한 것

으로 구리 또는 구리합금이 스프링에 의해 기중에서 접속되어 있을 때가 가장 낮은 35K를 허용하고 있다. 따라서 온도 상승을 35K미만으로 제한할 경우 접속부에서의 전기재해를 예방할 수 있을 것이다.

#### 2.3.2 단자이완에 의한 온도상승의 제한

단자대의 온도상승을 35K로 제한하기 위해서는 볼트 풀림이 어느 정도 발생하였을 때 검출하여야 하는지 확인하기 위해, 정격전류가 30A인 단자대에 정격전류를 통전시키고 볼트를 1턴 푼 후의 온도변화를 측정하여 그림 5와 같은 결과를 얻었다.

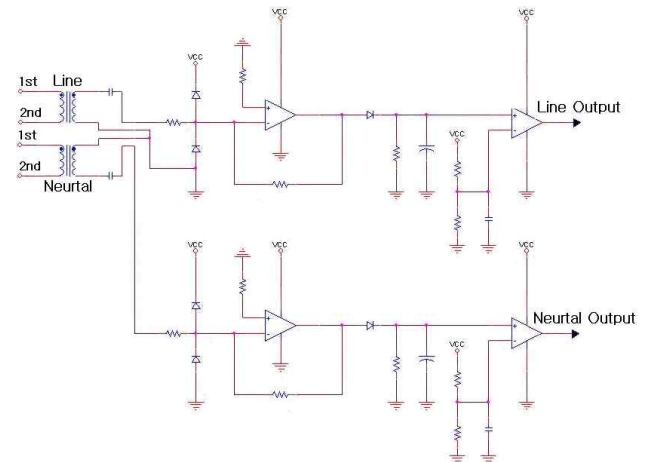


[그림 5] 볼트 1턴 풀림에 의한 단자대 온도상승 (@주위온도 20℃)

주위온도 20℃를 제외한 온도상승분을 고려할 경우 1턴 풀렸을 때 3시간 이내에 검출하면 정상상태를 유지할 수 있음을 알 수 있다.

#### 2.3.3 검출기술의 개발 및 개발 결과

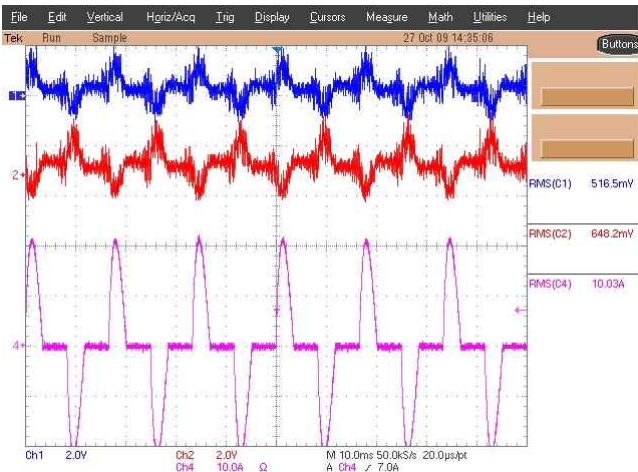
기존의 접촉전압 검출기술은 선간전압을 활용하였기 때문에 검출전압 레벨이 높아 접촉저항 상승에 의해 변화되는 전압을 검출하기 어려웠다.



[그림 6] 개발된 단자이완 검출 기술

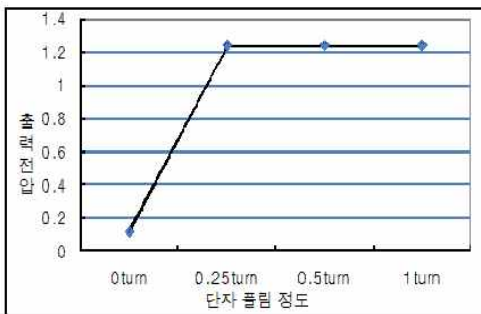
본 논문에서 제안하는 기술은 그림 6과 같이 단자대의 1차측과 2차측 사이의 같은 각 상에 대한 전위를 측정한다. 이 결과 정상상태의 전위가 낮아져서 검출의 신뢰도를 높일 수 있었다.

그림 7은 10A의 비선형 부하전류가 통전되었을 때, line측 센서와 neutral측 센서의 1/4턴 볼트 폴림에 대한 센서출력 파형이다.

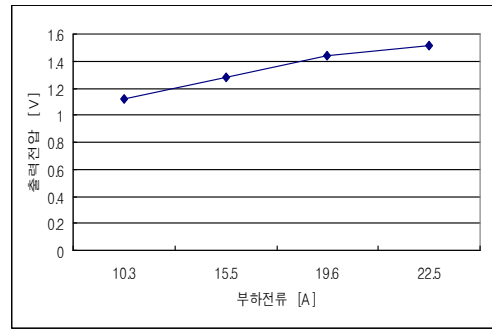


[그림 7] 단자이완 검출 센서출력비교; Ch.1:Line측 센서 출력파형, Ch.2:Neutral측 센서 출력파형, Ch.3:부하전류 파형

그림 8(a)는 볼트 폴림의 정도에 따라 출력전압을 측정한 것으로서, 1/4턴의 폴림까지도 검출이 안정적으로 이루어짐을 확인할 수 있다. 그리고 (b)는 부하전류 변화에 따른 검출특성 시험 결과로서 전류의 크기에 큰 영향없이 정상적인 동작범위에 있는 것을 알 수 있다.



(a) 폴림변화에 따른 2진 출력

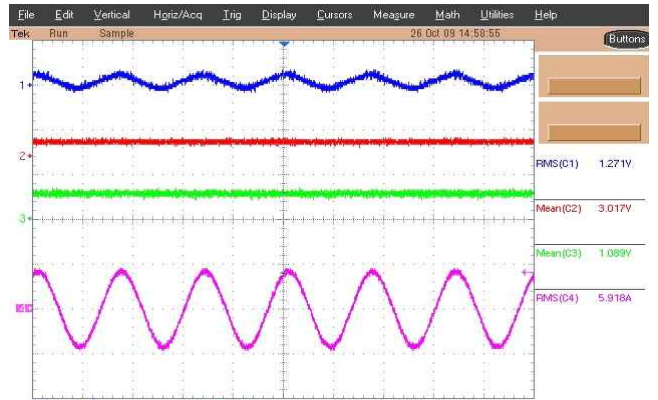


(b) 부하전류 변화에 따른 2진 출력

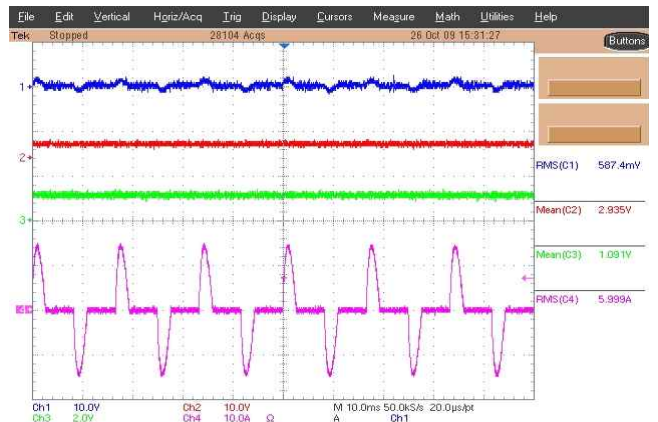
[그림 8] 1/4턴 볼트 폴림에 대한 검출 특성

그림 9는 6A의 선형 부하전류 및 비선형 부하전류에 대한 장치의 검출 특성을 비교한 것으로, (a)는 선형부하에서의 검출 특성이고, (b)는 비선형부하에 대한 검출 특성이다.

센서로부터의 출력은 비선형부하가 1/2정도로 낮게 출력되었으나, 비교기를 통해 출력된 결과는 동일하다. 따라서 설정치에 대한 장치의 출력특성은 부하종류에 대하여 독립적임을 알 수 있다.



(a)선형부하



(b)비선형부하

[그림 9] 부하종별 검출특성 비교; Ch.1:센서출력, Ch.2:비교기출력, Ch.3:2진출력

모의실험 결과 개발된 기술에 대하여 1/4턴의 볼트 풀림도 부하종류 및 전류의 크기와 독립적으로 순시로 정확하게 검출할 수 있었다. 따라서 검토된 기준인 1턴 풀림의 3시간에 비해 우수한 검출능력으로 적용의 신뢰성을 확인하였다.

### 3. 결론

접속불량은 전기화재의 주요 원인 중 하나이다. 그러나 기존의 검출기술들은 검출 특성이 주위 환경에 의존하거나 고가의 장비를 요하는 등의 적용상 어려움이 있었다.

따라서 본 논문에서는 저가의 신뢰성 높은 단자이완 검출기술을 개발하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1) 단자대에 정격전류 통전 시 볼트 풀림 지속 시간에 따른 단자대 온도상승 정도를 분석하여, 개발된 기술의 최소 검출레벨을 1턴에서 3시간 이내로 설정하였다.

2) 단자대의 접촉전압을 각 상별로 검출하는 기술을 개발하여, 기존의 신뢰성 저하의 문제점을 개선함으로써 설정된 검출레벨보다 현저히 낮은 1/4턴의 순시 검출을 실현하였다.

3) 1/4턴의 볼트 풀림에 대하여 부하전류 크기에 따른 검출특성을 분석하여 신뢰성을 확인하였다.

4) 1/4턴의 볼트 풀림에 대하여 선형부하 및 비선형부하에 대한 검출특성을 분석하여 신뢰성을 확인하였다.

Tomiya Abe, Hiroshi Kasugai, Hiroshi Kamoshida, Yasuhiro Ikeda, "Overheat Sensing System using an Odor Detector and Capsules "CAN-NETSU-KUN"", HITACHI CABLE REVIEW, No.22, pp. 66-69, 2003

- [4] 전병희, "차단기 및 단자 접속부 이완발열감시장치", 대한민국특허청, 공개실용신안실1998-043621, 1998
- [5] 한국전기안전공사, "저압용 전기설비 접속부의 화재위험성 평가기법 및 화재예방 대책기술 개발", 산업자원부, pp. 31-40, 2007

### 감사의 글

본 연구는 지식경제부 전력산업기반기금에 의해 수행되었습니다.

### 참고문헌

- [1] 임용배, 전정채, 박찬업, 배석명, "유형시설용 저압 전기설비 재해예방 시스템 개발", 2009 대한전기학회 전기설비전문위원회 추계학술대회 논문집, pp. 158-161, 2009
- [2] 한국전기안전공사, "전기재해통계분석", 제17호, pp. 7-21, 2008
- [3] Takayuki Yamashita, Noriaki Murofushi,