

# 고감도형 누전차단기 접점의 스위칭에 따른 아크 비산 특성 The Arc Dispersion Properties by Switching of High Sensitivity Type RCD Contacts

최충석<sup>†</sup> · 김동우 · 김영석 · 이기연

Chung-Seog Choi<sup>†</sup> · Dong-Woo Kim · Young-Seok Kim · Ki-Yeon Lee

전기안전연구원(한국전기안전공사 부설)  
Electrical Safety Research Institute, subsidiary of KESCO  
(2005. 3. 23. 접수/2005. 4. 22. 채택)

## 요 약

본 논문에서는 고감도형 누전차단기의 스위칭에 따른 접점의 아크 비산 특성을 해석하였다. 누전차단기(RCD)의 스위칭에 따른 접점의 비산과정 및 인접가연물로의 착화과정은 고속카메라(High Speed Imaging System)를 이용하여 촬영하였다. 부하는 전등부하 60 W와 전열부하 950 W를 병렬로 연결하였다. 정상상태의 RCD의 경우 아크의 생성부터 소멸까지의 시간은 약 2.3[ms]임을 알 수 있었으며, 아크가 비산될 때 주변에 인접가연물(탈지면)을 착화시키지 못했다. 염수에 의해 오염된 접점의 경우 아크의 비산범위가 훨씬 컸으며 지속시간도 3.3[ms]동안 더 지속되었다. 그리고 주위에 가연성 물질에 착화가 가능하였다. RCD에 의한 사고를 예방하기 위해서는 수분, 먼지 등의 환경적 요인에 주의해야 하며, RCD 소자는 난연성 재료를 사용해야 된다.

## ABSTRACT

In this study, the arc dispersion properties were analyzed according to switching of high sensitive type Residual Current Protective Device(RCD) contacts. Arc dispersion and ignition process was taken by high speed imaging system(HSIS). In this experiment, electric lamps(60 W) and heaters(950 W) were connected in parallel as loads. In case of normal RCD, it took about 2.3[ms] from the generation of arc to the extinction of arc. When arc was dispersed in normal RCD, it did not ignite cotton. Whereas, in case of RCD deteriorated by NaCl solution, the range of arc dispersion was wider and the arc lasted for 3.3[ms] more compared to normal RCD. And the arc ignited cotton. In order to prevent accidents caused by RCD, we should be careful of environmental factors, such as dust and humidity, and the parts of RCD should be used as incombustible materials.

**Keywords :** Arc dispersion properties, Contacts, RCD, HSIS

## 1. 서 론

전기설비의 대용량화와 전기제품이 다양화됨에 따라 전기재해에 의한 인명 및 재산피해도 증가하고 있다. 전체화재 중에서 약 30[%]가 전기화재로 가장 높은 비율을 차지하고 있다. 전기화재 발생원인의 경우 단락, 과부하, 누전, 접촉 불량 등 다양한 형태로 나타나고 있으며 원인 분석이나 이론적 정립은 미미한 실정이다.

다.<sup>1-3)</sup> 전기설비 내에는 전선과 전선의 접속이나 전선과 기기단자의 접속 등 다수의 전기적 접속부가 존재한다. 누전차단기나 배선용차단기 단자의 접속방식은 볼트를 사용한 기계적 압력방식이 주로 사용되고 있으나 접속부의 접속력이 저하되거나 환경적 요인에 의하여 열화되면 국부적인 발열이 발생하고 이로 인해 전기재해를 유발하게 된다. 또한, 차단기의 스위칭 접점 부분이 열화 되었을 경우 발생한 아크에 의해 주변의 가연물로 착화될 가능성이 높아진다.<sup>4-10)</sup>

본 연구에서는 고감도형 누전차단기의 스위칭에 따

<sup>†</sup> E-mail: ccseog@kesco.or.kr, enetek@naver.com

른 접점의 아크 비산 특성을 하이 스피드 이미지 시스템을 이용하여 촬영하여 화염이 어떤 패턴을 형성하며 열을 확산시키는지 규명하고자 한다.

## 2. 실험방법

고감도형 누전차단기의 스위치가 ON/OFF될 때 접점의 아크 발생 및 화염확산 패턴 분석을 위해 Fig. 1과 같이 실험 장치를 구성하였다. 실험에 적용된 고감도형 누전차단기는 일반 주택 또는 사무실에 사용되는 것이다.

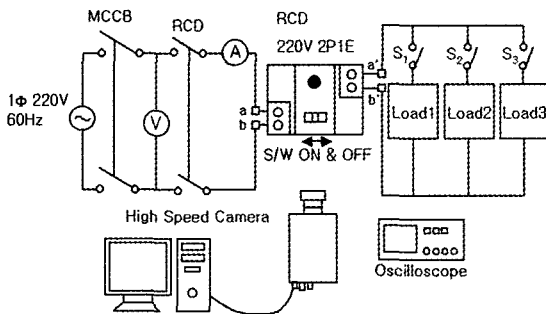
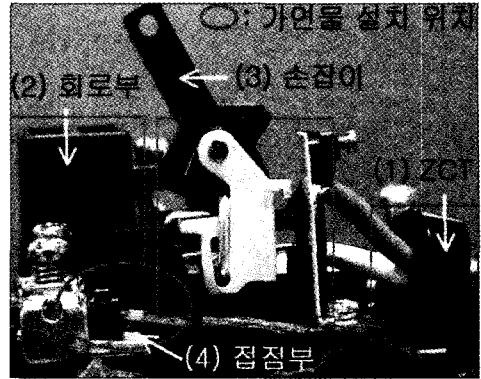


Fig. 1. Diagram of experimental set-up by switching arc.

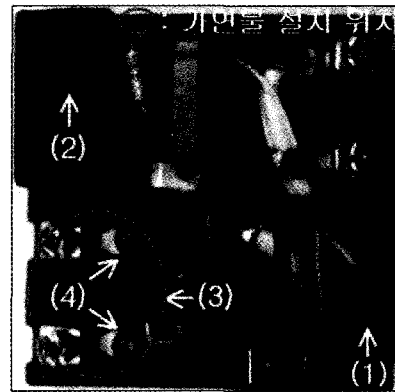
고감도형 누전차단기는 한국산업규격(KS C 4613)을 준수하여 제작되고 인증된 제품이다. 정격전압 110/220[V], 정격전류 30[A], 정격감도전류 30[mA], 단상 2선식의 누전·과부하 겸용이며, 1φ 220[V]의 60[Hz]의 전원을 사용하였다. 실험이 진행될 때 부하는 전동부하 1개(220V, 60W)와 전열부하 2개(220V, 950W)를 병렬로 연결하였다.

실험 중에 발생할 수 있는 아크(arc) 또는 역서지(inverse surge) 등으로부터 시스템을 보호하기 위해 전원 측에 절연변압기를 설치하였다.

누전차단기의 스위칭에 따른 아크의 비산과정 및 인접가연물로의 착화과정은 하이 스피드 이미지 시스템(HSIS; High Speed Imaging System, HG-100K, Redlake, USA)을 이용하였다. 이번 실험에 투입된 HSIS는 매초 십만 프레임(100,000[frames/sec])을 실시간으로 기록할 수 있는 것으로 준비단계(standby mode)에서 착화(ignition) 및 종결(final)의 전체 과정이 실시간으로 데이터 취득(DAQ)이 가능하다. 즉 기존의 연구에서 추정 또는 가설에 의한 화염의 비산과정을 제한적으로 보여준 것을 다양한 조건으로 해석 및 응용이 가능할 것으로 판단된다.



(a) side view



(b) plan view

Fig. 2. Inside of an RCD.

## 3. 실험결과 및 고찰

Fig. 2는 실험에 사용된 고감도형 누전차단기 내부의 측면사진이다. (a)와 (b)는 정상상태의 RCD 측면도와 평면도를 나타낸 것으로 작동손잡이, 회로부, 접점부, 전원 연결 단자, 기구부, 영상변류기(ZCT) 등으로 구성되어 있다.

본 실험에서는 접점부 근처에 인접가연물(탈지면)을 설치함으로써 스위칭 동작이 있을 때 착화 가능성 및 화염의 확산패턴을 정상상태와 비교분석하였다.

Fig. 3은 정상상태의 고감도형 누전차단기의 스위치를 ON, OFF 하였을 때 측정점(Fig. 1의 a-a', a'-b')에 따른 전압파형을 나타낸 그림이다. (a)와 (b)는 스위치 ON, OFF시 차단기 부하측(Fig. 1의 a'-b')의 전압파형이고, (c)와 (d)는 차단기 전원측과 부하측 사이(a-a')의 전압파형이다. (a), (b)와 비교하였을 때, (c), (d)는 파형이 불안정하였으며, 차단시점에서 리플이 관측되었다.

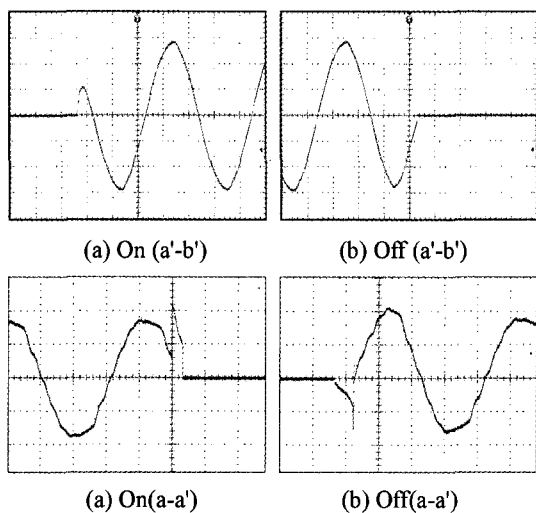


Fig. 3. Voltage waveforms of switching according to measurement points of Fig. 1 (100[V/div], 4[ms/div]).

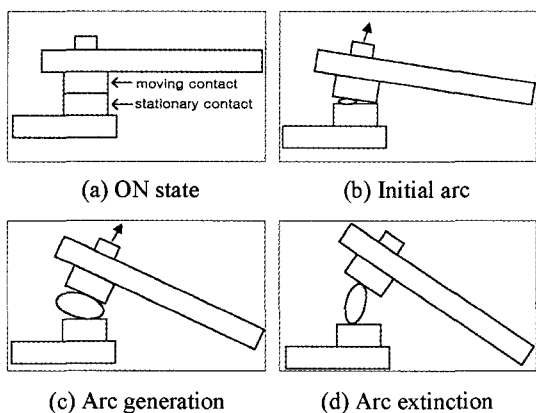


Fig. 4. Arcing process of RCD contacts (ON to OFF).

Fig. 4는 Fig. 2(a)(접점부(4))가 차단될 때의 아크 진행과정을 나타낸 것이다. (a)는 ON상태를 나타내고 있으며, (b)는 OFF로 하였을 때의 초기 단계로써 아크가 발생하기 시작하고 있다. (c)는 아크가 최대로 발생한 시점을 나타내고 있으며, (d)는 접점사이의 거리가 멀어짐에 따라 아크가 점차 소멸되어 가고 있음을 나타내고 있다.

Fig. 5는 정상상태인 고감도형 누전차단기의 스위치가 ON에서 OFF로 작동했을 때 아크의 생성 및 소멸과정을 HSIS로 촬영한 사진이다(Fig. 2(a)의 (4)접점부). (a)는 스위치를 OFF한 후 아크가 발생하기 시작했을 때의 사진이며, (b)~(e)는 각각 0.4[ms]의 간격으로 전극 사이 접점이 떨어짐에 따른 아크 특성을 나타

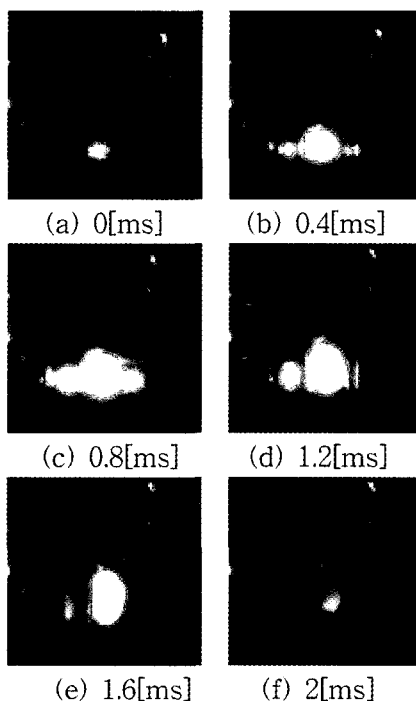


Fig. 5. Arc characteristics of normal RCD during switching off.

내고 있다. (f)는 아크가 점차 소멸되어가고 있음을 나타내고 있다. 아크가 최초 형성이 되어 완전히 소멸되기까지 총 2.3[ms]가 소요됨을 확인하였다.

Fig. 6은 정상 누전차단기의 스위치 OFF시 주변에 인접가연물(탈지면)이 있을 경우 아크특성을 나타낸 것이다. 스위치 OFF후 착화에너지를 감소로 탈지면에 화염이 착화되지 못하고 아크가 점차 소멸되었다.

Fig. 7은 누전차단기의 열화조건을 나타내고 있다. 열화조건은 누전차단기 상부에 염수를 3시간 동안 주입(방울 크기: 20[mm<sup>3</sup>], 주입간격: 9[times/min])를 유지시켜 가속열화 시켰다. 이와 같이 가속 열화된 접점과 나사의 실체사진을 나타낸 것이 Fig. 8이다. 접점부는 매끄럽지 못하고 일부 손상된 형태를 보이며, 나사부분도 하단부가 불규칙하게 오염되고 부식된 특성을 보이고 있다.

Fig. 9는 Fig. 7의 조건에 의해 열화된 누전차단기의 스위치 OFF시 아크의 생성과 소멸과정을 촬영한 사진이다. (a)는 스위칭 OFF후 아크발생 시작점의 사진이며, (b)~(l)은 각각 0.4[ms]의 간격으로 전극간 접점이 떨어짐에 따른 아크의 특성을 나타내고 있다. 아크가 최초 형성이 되어 완전히 소멸될 때까지 총 5.6[ms]가 소요되었다. Fig. 5에 나타난 정상 누전차단기의 아크

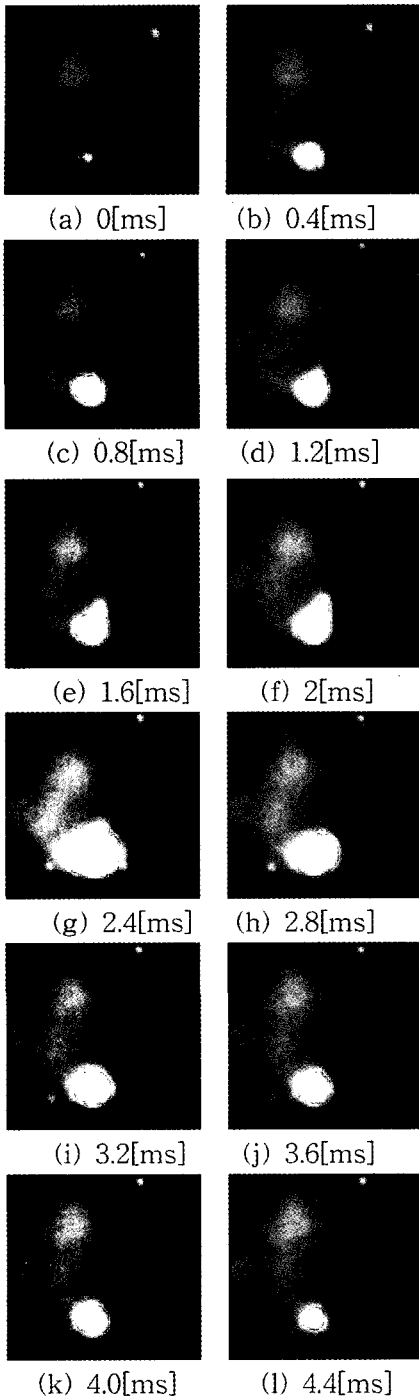


Fig. 6. Arc characteristics of normal RCD during switching off(combustible: cotton).

특성과 비교해 볼 때 열화된 누전차단기는 아크의 비산범위가 훨씬 컸으며 아크의 지속시간도 3.3[ms]동안

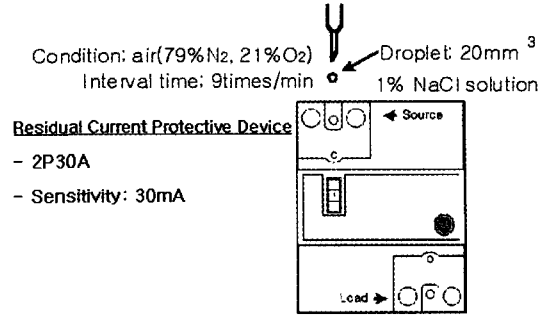


Fig. 7. Deterioration conditions of RCD.

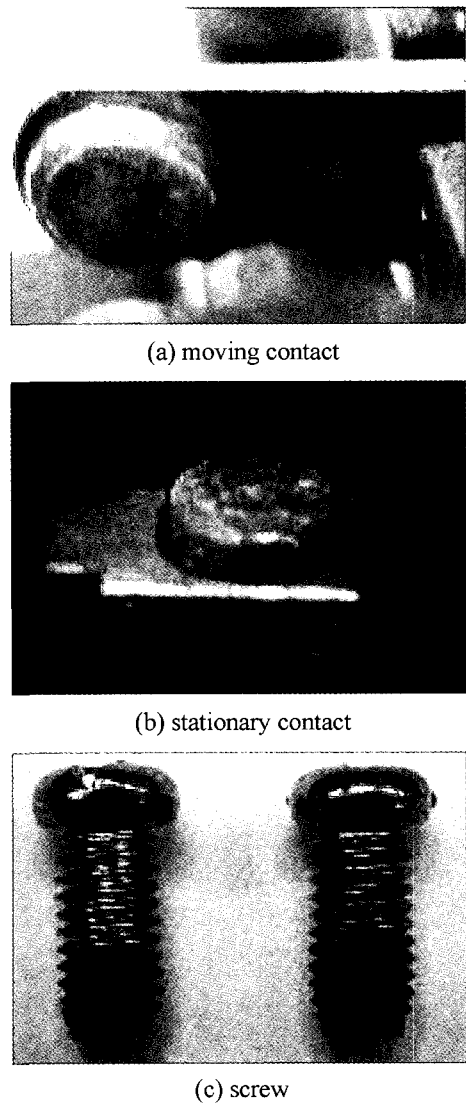


Fig. 8. RCD contacts and screws deteriorated by NaCl solution.

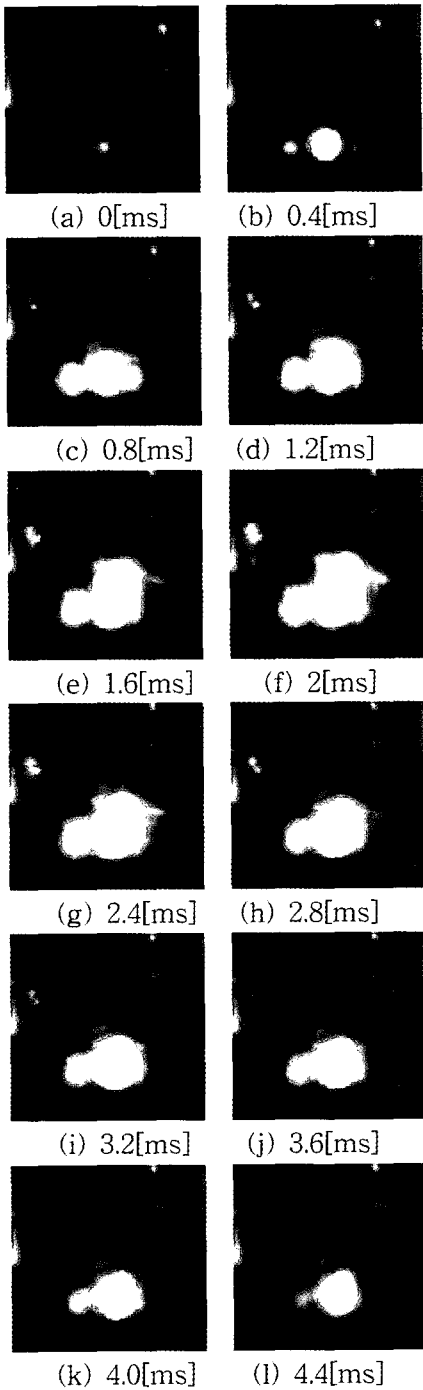


Fig. 9. Arc characteristics of deteriorated RCD during switching off.

더 지속되었다.

Fig. 10은 염수에 의해 열화된 누전차단기의 스위치

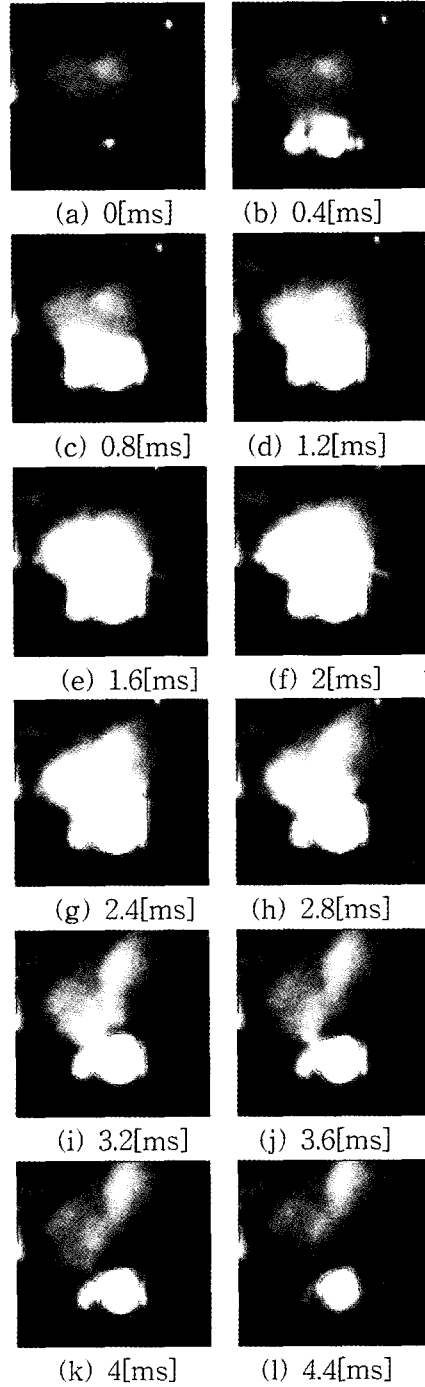


Fig. 10. Arc characteristics of deteriorated RCD during switching off (combustible : cotton).

OFF시 주변에 인접가연물(탈지면)이 있을 경우 아크특성을 나타낸 것이다. 정상누전차단기(Fig. 6)는 스위치

OFF후 착화에너지의 감소로 탈지면에 착화되지 못하였으나, 열화된 누전차단기는 Fig. 10에 나타난 바와 같이 탈지면에 착화되었다. 이는 누전차단기의 접점이 수분이나 먼지가 많이 쌓인 곳에 노출되었을 경우 열화가 가속되어 스위칭 아크로 인해 화재로 확산될 가능성이 있음을 나타내고 있다. 또한 차단기 내부부품 중 손잡이, 전자 회로부, 전선피복 등은 불에 잘타는 재질로 되어 있어 스위칭 아크 등에 의한 2차 화재로 확산될 수 있기 때문에 이들 부품들에 대한 난연화가 필요한 실정이다.

#### 4. 결 론

이상과 같이 누전차단기 접점의 스위칭에 따른 아크 비산 특성 및 화재확산 패턴 분석결과 다음과 같다.

1) 정상상태 누전차단기의 스위칭 ON, OFF시 전압 파형의 패턴은 측정점에 따라 상이하였다. 차단기 전 원측과 부하측 사이의 전압파형을 측정할 경우 차단기 접점에서 리플이 관측되었다.

2) 누전차단기의 OFF에서 ON으로의 스위칭에 따른 아크는 거의 관측되지 않았으나, ON에서 OFF로 스위칭하였을 때 아크는 뚜렷이 관측되었다. 정상누전차단기의 경우 ON에서 OFF로 스위칭시 아크는 약 2.3[ms]간 관측되었다.

3) 염수에 의해 열화된 누전차단기의 경우 OFF에서 ON으로 스위칭시 아크는 약 5.6[ms]간 관측되어, 정상 누전차단기보다 3.3[ms]간 아크가 더 지속되었으며, 아크의 방사면적이 정상 누전차단기의 경우보다 더 컸다.

4) 정상누전차단기와 열화된 누전차단기의 스위칭 동작 반복 후 접점부분에 대한 분석결과 열화된 누전차단기에서 아크로 손상된 흔적이 더 많았다.

5) 재현실험 결과, 열화된 누전차단기의 경우 인접가연물(탈지면)이 있을 때 아크에 의해 착화되었으나, 정상 누전차단기의 경우 아크에 의해 인접가연물이 착화되지 않았다.

6) 차단기 내부부품들은 불에 잘 타는 재질로 가혹한 조건하에서 차단기가 열화되었을 때 아크에 의한 화재 확산 가능성이 있으므로 이들 부품들에 대한 난연화가 요구된다.

누전차단기 접속부의 스위칭에 따른 아크의 크기, 지속시간 및 인접가연물로의 화재확산 특성을 분석하였으며, 향후 본 연구결과와 더불어 차단기가 정상인 경

우 스위칭시 전기적 파형과 차단기가 열화된 경우 스위칭시 전기적 파형을 아크 크기 및 지속시간과의 상관관계를 해석하여 전기재해를 방지하는 보호 장치 개발에 적용이 가능할 것으로 기대된다.

#### 감사의 글

본 연구는 산업자원부 전력산업기반 기금의 지원으로 수행되었습니다.

#### 참고문헌

1. 최충석 외 5, “전기화재공학”, 동화기술, pp.189-198 (2004).
2. 한국전기안전공사, “전기재해 통계분석”, pp.7-12 (2003).
3. C. S. Choi *et al.*, “The Analysis of Dendrite Structure of Electric Wire Melted by Fusing Current”, 2003 J-K Symp. on ED and HVE, pp.145-148 (2003).
4. Ming Sun, *et al.*, “Lifetime Resistance Model of Bare Metal Electrical Contacts”, IEEE Trans. on Advanced Packaging, Vol. 22, No. 1, Feb., pp.60-67(1999).
5. J. H. Dymond, Nick Stranges and Karim Younsi and John E. Hayward, “Stator Winding Failures: Contamination, Surface Discharge, Tracking”, IEEE Tran. Industry Applications, Vol. 38, No. 2, pp. 577-583, March/April(2002).
6. H. Nakano, “Consideration of Fire Cause from Electrical Wiring”, Japan Association for Fire Sci. & Eng., Vol. 46, No. 2, pp.1-5(1996).
7. Roland S. Timsit, “A Possible Degeneration Mechanism in Stationary Electrical Contacts”, IEEE Trans. on Components, Hybrids, and Manufacturing Technology, Vol. 13, No. 1, March, pp.65-68(1990).
8. 최충석 외 4, “저압용 누전차단기 접속부의 발열 및 금속조직 분석에 관한 연구”, 한국화재소방학회지, Vol. 18, No. 4, pp.57-63(2004).
9. Guo-Ping Lue, Jian-Gue Lu, and Ji-Gao Zhang, “Failure Analysis on Bolt-type Power Connector's Application”, IEEE, pp.77-86(1999).
10. Nouredine ben Jemaa, *et al.*, “Erosion and Contact Resistance Performance of Materials for Sliding Contacts under Arcing”, IEEE Trans., Comp., Packag., Manufact. Technol. Vol. 24, No. 3(2001).