

P-09

## 고속 고신뢰성의 전기화재 안전제어장치에 관한 연구

곽동걸, 오한호, 박영직, 신미영, 정도영  
강원대학교 방재기술전문대학원

### A Study on Electrical Fire Safety Control Apparatus of High Speed and High Sensitivity

Dong-Kurl Kwak, Han-Ho Oh, Young-Jic Park,  
Mi-Young Shin,  
Do-Young Jung  
*Professional Graduate School of Disasters Prevention Technology,  
Kangwon University*

#### 1. 서 론

전기화재의 주된 원인은 단락 및 과부하 사고, 누전 및 접촉불량 사고로 크게 구분되며, 화재의 발생형태는 주위환경과 설비노후 등에 의해 매우 다양하게 나타난다.<sup>1)</sup> 전기화재의 원인별 비율을 분석해보면, Table 1과 같이 단락, 과부하, 누전, 접촉불량의 순으로 나타난다.<sup>2)</sup>

Table 1. Analysis results of electrical fire (2005년도 기준)

구분	단락	과부하	누전	접촉 불량	기타	계
건수	6,449	430	858	402	1,852	9,991
비율 (%)	64.6	4.3	8.6	4.0	18.5	100

전기화재의 위험성은 이러한 1차적인 원인보다는 이들 사고에서 동반되는 스파크(spark)나 아크(electric arc)에 의한 주변 가연물질로 확대되는 2차적 영향에 의한 화재가 대다수이다.<sup>3,4)</sup> 가정이나 산업현장 등의 저압배선계통에 있어, 단락사고와 누전사고를 방지하기 위해 배선용차단기 및 누전차단기를 사용하여 방지하도록 전기설비기술기준으로 정하고 있다. 최근에는 누전과 과부하(단락사고) 보호를 겸한 누전차단기(RCD, Residual Current Protective Device)들이 개발되어 사용된다. RCD는 누전과 단락사고를 감지하여 차단하는 장점은 있으나, 직접적인 전기화재의 위험요소인 아크나 스파크현상에 대한 차단 기능은 없는 것으로 분석된다.<sup>5)</sup> 이것은 분전반에 적용되는 누전차단기의 경우 정격차단시간이 30[ms](KS C 4613)로 정해져 있어, 더욱 낮은 레벨로 주기적

으로 발생되는 아크나 스파크를 감지하지 못하기 때문이다.

본 논문에서는 이러한 문제점을 개선하기위하여, 전기화재에 기인되는 아크나 스파크 그리고 순간단락사고에 대해 고속 고정밀로 차단동작하는 전기화재 안전제어장치를 제안하고 제안된 장치의 이론적 해석과 실험측정을 통해 그 타당성을 입증하고자 한다.

## 2. 아크 · 스파크의 재검토

먼저 전기화재에 주요소인 아크와 스파크의 발생과 온도특성을 살펴보면, 아크와 스파크의 발생은 전도도체가 단선(breaking of wire) 또는 순간단락(circuit short)될 경우나 절연된 두 전극사이의 상승된 전계로 인한 절연파괴의 경우 그리고 도체의 접속·접촉불량의 경우에 발생하는 불꽃방전(spark discharge) 현상으로써, 일반적으로 아크는 연속적인 불꽃방전에 대한 용어이며, 스파크는 일시적 또는 불연속적 불꽃방전을 의미한다. 아크나 스파크는 매우 짧은 시간에 매우 큰 값의 전기에너지를 가지고 있으며, 대부분 불꽃방전은 이 전기에너지를 열에너지로 소모되는 특징이 있다. 아크발생시 아크전류가 가지는 온도를 측정해보면, Fig. 1과 같은 온도특성을 보인다.<sup>3)</sup>

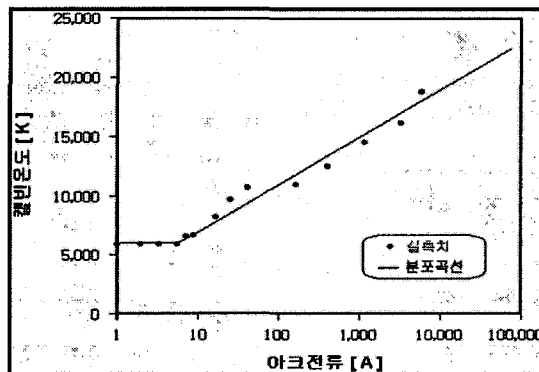


Fig. 1. Temperature of an electric arc

도체로써 많이 사용되는 동(copper)의 용융온도가 1085℃이며 알루미늄이 660℃인 점을 고려하면, 아크나 스파크 발생시 도체의 높은 열의 발생으로 인한 피복이나 주위의 발화물질로의 화재사고의 위험성은 클 것으로 예측된다.

## 3. 아크와 스파크에 대한 기존의 RCD 동작성능 분석

저압배전계통에서 단락사고나 과부하 사고에 대해 계통을 보호하기위한 많은 차단장치(누전차단기, 배선용차단기)와 보호기기(과전압·과전류릴레이)들이 보급되고 있지만, 빈번한 오동작과 비신뢰성, 저조한 응답특성 등으로 인해 많은 피해사태들이 보고된다.<sup>6)</sup> 또한 이들 보호장치들은 일반적으로 옥내 전기공급의 전단 인입선에 설치되어 있어 복잡한 배전계통의 중단부에서의 전기사고에 대해서는 정확한 감지가 되지 않아 피해를 증대시키는 문제점이 있다. 누전차단기의 내부구조는 지락검출장치, 트립장치, 개폐기구로 구성되어 있으며, 지락검출장치로 사용되는 영상변류기(ZCT)는 고정밀로 제작되어 그 신뢰성이 우수하여 저압배전계통에서 정격감도전류가 15[mA] 또는 30[mA]

로 정해져 사용된다. 최근에는 단락(과부하)보호를 겸한 누전차단기(RCD)가 보편적으로 사용되고 있으며, 구조적으로는 기존의 누전차단기에 단락(과부하)사고를 검출 차단하는 제어회로를 부가한 구조로써, 배선계통의 단락사고에 대해서도 보호기능을 가지게 된다. 그러나 전기화재의 위험요소인 아크나 스파크 현상에 대해서는 그 발생주기(파장)가 매우 짧아 30[ms]의 차단동작시간으로 규정된 상용의 누전차단기로는 차단기능을 발휘하지 못하는 문제점이 있다.

Fig. 2는 인위적인 단락사고 시뮬레이터를 통한 아크전류에 대한 누전차단기의 동작유무를 확인하기 위한 측정파형이다. 실측에 사용된 누전차단기(RCD)는 한국산업규격(KS C 4613)을 준하여 제작된 인증제품으로, 단상2선식 110/220[V], 정격전류 30[A], 정격감도전류 30[mA], 정격동작시간 30[ms]의 단락(과부하)보호겸용 고감도형 누전차단기를 사용하였다.

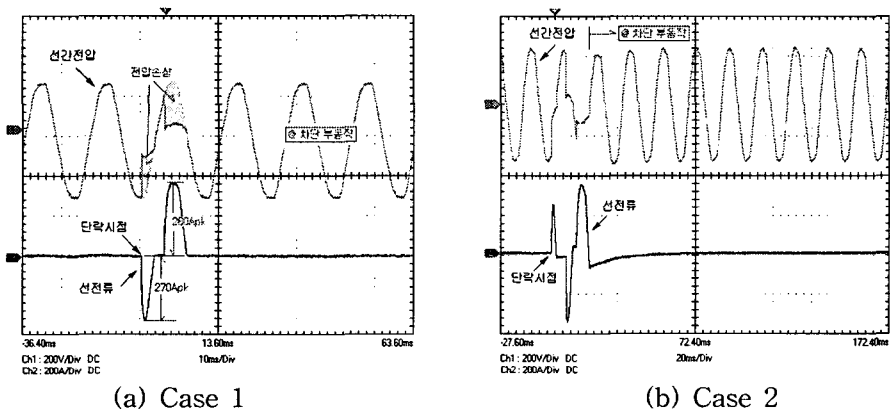


Fig. 2. Operation waveforms for momentary short circuit of RCD

Fig. 2의 아크발생에 대한 누전차단기의 성능분석결과에서 두 경우 모두 약 10.5[ms] 동안 아크전류 최대치 265[A]의 매우 큰 전류가 흘렀으나 RCD의 차단이 불가능하였다. 이것은 RCD의 차단동작시간(30ms)보다 더욱 짧은 주기의 아크전류에 대해서 RCD는 차단기능을 감지하지 못한 결과이다. 또한 전기사고에 대한 이상전류(고장전류)들을 분석해보면, 고장전류의 순시최대치는 크나 그 실효치가 적으며, 생성 주기가 매우 짧아 차단기의 차단기능이 상실되는 결과를 가져온다. 저압배전계통에 사용되는 차단기들은 제어방식이 열동식 또는 전자식 구조로 설계되어 열동식의 경우 이상전류의 실효치가 적으면 발열량( $H = 0.24 I^2 R t$ )이 적어 차단동작이 실패되고, 전자식의 경우 이상전류의 주기가 짧으면 트립코일의 여자가 불가능하여 차단기능이 상실되는 문제점이 발생된다.

#### 4. 제안된 전기화재 안전제어장치의 회로구성 및 특성분석

##### 4.1 회로구성 및 동작원리

본 논문에서 제안한 고속 고신뢰성의 전기화재 안전제어장치의 회로도를 Fig. 3에 나타낸다. 보호제어시스템의 회로구성은 전원공급단자 T1과 T2, 부하단 출력단자 T3과

T4, 다이오드 정류회로부, 평활용 커패시터 C1, 릴레이 RL1과 접점 P1, 리셋스위치 S1, 반도체스위치 SCR(Silicon Controlled Rectifier)과 TR, 그리고 고장전류를 검출하는 전류센서부 RL2로 구성된다. 릴레이 RL1은 50A SSR타입이 이용되었으며 전류센서는 고정밀급 리드스위치(reed switch)를 사용하였다.

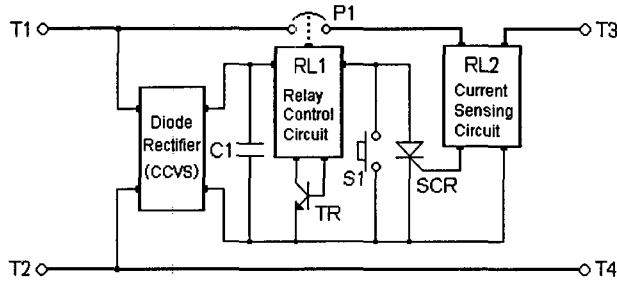


Fig. 3. The proposed electrical fire safety control apparatus

제어시스템의 동작원리를 살펴보면, 초기상태로 브릿지 다이오드를 통하여 직류전원이 제어시스템에 공급되고 있으며, 평상시 정상상태의 경우, 반도체 스위치 SCR은 오프(off)된 상태이고 TR은 온(on)으로 되어 릴레이 RL1과 접점 P1이 동작하여 입력전원이 부하단으로 공급되는 정상상태를 유지한다. 그리고 부하단에서 전기사고(단락사고, 과부하사고 등)가 발생한 경우, 전기사고에 의해 임펄스성의 과전류가 발생하여 전류센서인 리드스위치 RL2의 코일에 자속이 발생하여 리드스위치 접점이 온(on)되고 SCR을 턴-온시킨다. SCR의 온동작에 의해 릴레이 RL1의 제어스위치로 사용된 TR이 오프(off)상태로 된다. TR의 오프에 의해 릴레이 RL1이 자기 소세되고 접점 P1이 턴-오프되어 회로를 차단시켜 부하단의 전원공급이 차단되어 전기화재 및 전기재해를 예방하게 되는 일련의 동작원리를 가진다. 또한 고장수리 및 제어회로의 동작유무를 확인하기 위한 시스템 초기화는 리셋스위치의 동작에 의해 반도체 스위치 SCR의 강제적 소호에 의해 초기화 된다.

#### 4.2 제안된 시스템의 동작특성 분석

Fig. 4는 제안된 전기화재 안전제어장치의 실제 외형도를 나타내며, 회로구성이 간단하여 소형·경량으로 제작이 가능한 장점이 있다. 또한 제안된 제어시스템은 제어원리가 간단하고 고속의 반도체소자와 리드스위치의 고정밀 응답특성을 이용한 구조로 설계되어 그 신뢰성이 증대된다.

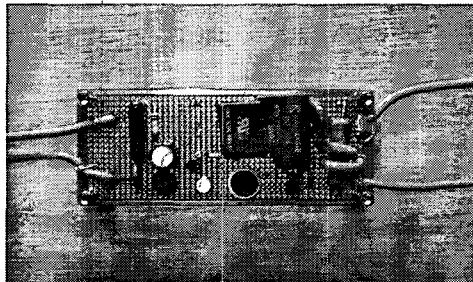


Fig. 4. Photograph of the proposed electrical fire safety control apparatus

또한 제안된 장치는 자체 차단기능을 가지고 있어 매입형 콘센트나 외부의 멀티콘센트 또는 각종 전기전자기기 및 통신기기 등에 내장되어 각종 전기사고에 대해 신속하고 정확히 전기회로를 차단시켜 전기화재 및 전기재해를 예방하는 특징이 주어진다.

리드스위치는 외부 자계의 간섭을 없애기 위해 원통형 PVC 자성체를 적용시켰고, 리드스위치 감도전류 설정값은 이상전류의 크기를 감안하여 약 250AT을 기준하고 1[turn]으로 설계하였다. 그리고 화재의 위험성이 저조한 유도성부하의 개폐시나 뇌임펄성 서어지(충격파) 등, 주기가 2[ms]이하의 속류성 전기신호에 대해서 누전차단기의 오동작을 방지하기 위해, 릴레이 RL1의 동작시간이 3[ms]~5[ms]인 소자로 선정하였다. Fig. 5는 순간단락사고의 아크전류에 대한 제안된 제어시스템의 동작성능을 확인하기 위한 분석파형으로써 인위적인 사고발생 시뮬레이터를 통해 측정된 결과이다.

본 실험을 위한 인위적인 아크발생 시뮬레이터는 AC 220V 선간에 탄소저항(색저항) 6.8[kΩ]/0.25[W]를 순간단락시켜 저항체의 순간적인 폭파에 의해 발생하는 불꽃방전으로 유도하였다.

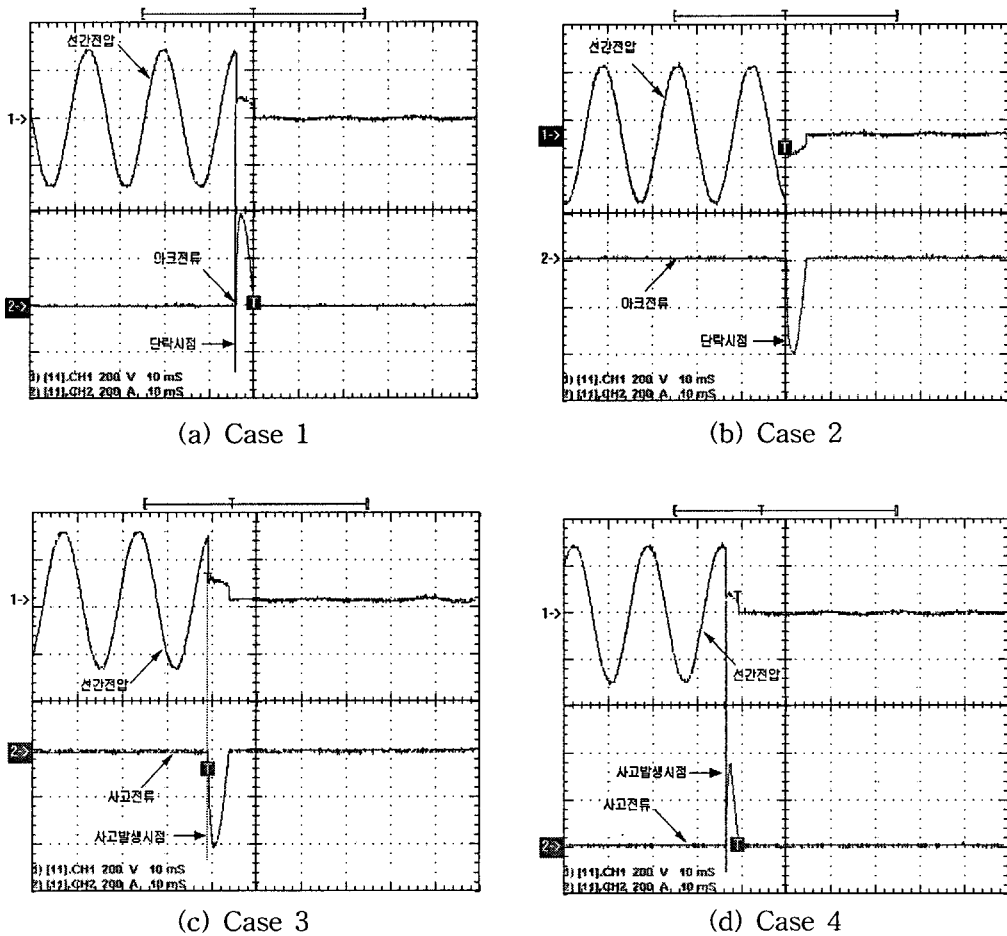


Fig. 5. Operation waveforms of proposed system

Fig. 5는 순간전압과 아크전류에 대한 동작파형을 나타낸다. 각각의 경우 순간단락전류 최대치 약 360~400[A], 주기 5~8[ms]의 임펄스성 아크전류에 대한 분석파형으로 네 경우 모두 제안된 제어장치의 고속, 고정밀로 계통을 차단시키는 우수한 동작특성을 보였다.

## 5. 결론

본 논문에서는 제어원리가 간단하고 고속의 반도체소자들과 리드스위치의 고정밀 응답특성을 이용한 고속 고신뢰성의 전기화재 안전제어장치에 대해 연구되었다. 제안된 전기안전제어장치는 전기화재의 주요원인이 되는 순간단락사고, 선로노후 및 접속·접촉 불량에 의한 아크 및 스파크발생에 대해 기존의 차단기로는 차단이 불가능한 문제점들을 개선하는 특징이 주어졌다. 제안된 시스템의 고장전류 검출 센서로 응답특성과 내구력이 우수한 리드스위치를 사용하여 그 신뢰성을 증가시켰다. 또한 제안된 제어시스템은 차단동작시간이 5[ms]~10[ms]로 기존의 RCD보다 매우 빠른 동작시간을 가졌으며, 사고발생 시물레이터에 의한 실측 특성분석을 통해 그 실용성이 입증되었다. 또한 제어장치의 구조와 제어방식이 간단하여 소형경량으로 설계제작이 가능하였고 자체 차단기능을 가지고 있어 매입형 콘센트나 외부의 멀티콘센트 또는 각종 전기전자기기 및 통신기기 등에 내장되어 각종 전기사고에 대해 신속하고 정확히 전기회로를 차단시켜 전기화재 및 전기재해를 예방할 것으로 기대된다.

## 참고문헌

1. 한국전기안전공사, “전기재해 통계분석”, (2006).
2. 행정자치부, “2003년도 화재통계연보”, (2006).
3. R. N. Anderson, “What Came First? The Arc Bead or the Fire?”, EC&M 100, pp.20-21, (2001).
4. V. Babrauskas, “Fire due to Electric Arcing: Can ‘Cause’ Beads Be Distinguished from ‘Victim’ Beads by Physical or Chemical Testing?”, Fire and Materials 2003, Interscience Communications Ltd., pp.189-201, (2003).
5. 광동걸, 신미영, 정도영, “아크 및 스파크 재해에 대한 누전차단기 트립을 위한 보조 제어 전기안전장치에 관한 연구”, 한국화재소방학회 논문지, Vol. 20, No. 1, pp.71-76, (2006).
6. J. H. Lee, and S. H. Cho, “The Role of Grain Boundary Modifier in BaTiO<sub>3</sub> System for PTCR Divece”, Kor. J. Mat. Res., No. 5, pp. 553, (1993).