

과전류 및 단락사고 방지용 전기안전 제어장치에 관한 연구

조시환, 곽동걸, 정도영, 심재선, 김정숙
강원대학교

A Study on Electric Safety Control Device for Prevention of Over Current and Short Circuit Faults

Si-Hwan JO, Dong-Kurl Kwak, Do-Young Jung, Jae-Sun Shim, Jung-Sook Kim
Kangwon National University

Abstract - This paper is studied on a protective control system for electrical fire and electrical faults due to over current or electric short circuit faults by using electrical thermal characteristics of PTC (Positive Temperature Coefficient) thermistor and current response characteristics of high sensitive reed switch. The PTC thermistor has characteristic of positive resistivity temperature coefficient according to the temperature variation, which is construction of a regular square and cube demarcation with BaTiO₃ Ceramics of positive temperature coefficient. Also PTC thermistor shows the phenomenon which is rapidly increased in the resistivity if the temperature is increased over Curie temperature point, and reed switch, which is used for electrical fault current sensing devices, have a excellent characteristic of response velocity in degree of $\mu\text{s} \sim \text{ms}$ that sensing magnetic flux in proportion to dimension of line current. This paper is proposed on a protective control system use PTC thermistor and reed switch for sensor which is protected from electrical fire due to overload faults or electric short circuit faults. Some experimental results of the proposed electric safety control device are confirmed to the validity of the analytical results.

1. 서 론

최근 반도체소자들의 발전과 더불어 나노(nano) 세라믹스(ceramics) 응용재료에 관한 관심이 확대되고 있다. 그 중 티탄산바륨(BaTiO₃)계 세라믹스는 전기적 변화에 대한 온도특성이 우수하여 웰빙(wellbeing) 용 전기전자시스템 및 방재시스템 개발에 폭넓게 활용된다.

특히 BaTiO₃계 세라믹스의 정방정계-입방정계 구조를 갖는 PTC 서미스터는 온도변화에 따른 저항특성이 정(+)온도계수의 성질이 있으며, 상변이점인 큐리(Curie)온도 이상으로 온도가 증가하면 저항이 급격히 증가하는 특성을 가진다.¹⁾ 이러한 정저항 온도특성과 더불어 자체 발열현상이 수반되는 PTC 서미스터는 무접점 스위치, 전기전자기기의 과열방지, 정온 발열체, 온도보상용 장치, 모터의 기동장치, 전류제한소자 등 다양한 분야에 활용되고 있다. 또한 PTC 서미스터는 주변의 보조장치 없이 반영구적으로 사용이 가능하고 적은 비용으로 제조할 수 있어 잠재적 응용기술과 보급효과가 크다고 할 수 있다.²⁾

또한 현재 시판되고 있는 고장전류 검출센서용 리드스위치는 선로전류의 크기에 대한 자속을 검출하여 특정치 이상의 자속에 대해 접점을 동작시키는 구조이며, 스위치의 응답속도가 수[μs]~수[ms]로 매우 양호한 특성을 가지며 단락전류 등 임펄스성의 대전류 감지에 매우 우수한 동작특성을 가진다.

본 논문에서는 이러한 전기적 온도특성이 우수한 PTC 서미스터, 고감도 전류검출용 리드스위치 그리고 전력용 반도체 스위칭 소자들을 이용하여, 최근 전기화재의 주된 원인인 과전류 또는 단락전류 등의 전기사고를 예방하는 보호제어시스템에 대해 제안한다.

저압배전계통에서 단락사고나 과부하사고에 대해 계통을 보호하기 위한 많은 차단장치(누전차단기, 배선용차단기)와 보호기기(과전압·과전류릴레이)들이 보급되고 있지만, 빈번한 오동작과 비신뢰성, 저조한 응답특성 등으로 인해 많은 피해사례들이 보고된다.³⁾ 또한 이들 보호장치들은 일반적으로 옥내 전기공급의 전단 인입선에 설치되어 있어 복잡한 배전계통의 중단부에서의 전기사고에 대해서는 정확한 감지가 되지 않아 피해를 증대시키는 문제점이 있다. 이들 보호장치들의 동작 메카니즘을 살펴보면, 과전류 트립 전자(electromagnetic)방식이나 바이메탈(bimetal) 열동방식의 구조에 의해 동작되므로, 그 동작 속응성과 신뢰성에 문제점을 가지게 된다. 본 논문에서 제안하는 PTC 서미스터와 리드스위치를 이용한 전기안전 제어장치는 고속 고정밀의 반도체소자들을 이용하여 각종 전기사고에서 수반되는 배전선로의 온도상승과 단락전류를 정밀 감지하여 선로를 차단시키는 제어장치로써, 소형경량으로 제작이 가능하고 자체 차단기능을 가지고 있어 저압배전계통 및

매입형 콘센트나 외부의 멀티콘센트 또는 각종 전기전자기기 및 통신기기 등에 내장되어 각종 전기사고에 대해 신속하고 정확히 전기회로를 차단시켜 전기화재 및 전기제해로부터 보호하게 된다.

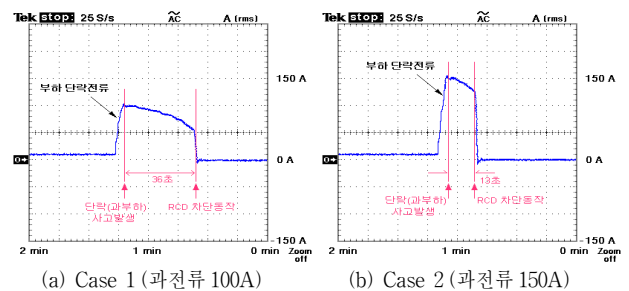
2. 기존 차단기의 동작성능 분석

오늘날 전기제품들의 다양화와 전기설비의 대용량화에 따른 전기제해로 인한 인명 및 재산피해도 증가하고 있는 실정이다. 최근 5년간 발생한 화재를 기준하여, 연평균 3만 5천여건 중 전기화재가 차지한 비중이 9천 6백여건으로 약 27%를 차지하고 있다.⁴⁾ 전기화재의 주된 원인은 단락 및 과부하 사고, 누전 및 접촉불량 사고로 크게 구분되며 그 중 단락사고와 과부하사고가 거의 대다수 전기화재의 요인으로 집계된다. 가정이나 산업현장 등의 저압배전계통에 있어, 단락사고와 누전사고를 방지하기위해 배선용차단기 및 누전차단기를 사용하여 방지하도록 전기설비기술기준으로 정하고 있다. 최근에는 단락(과부하)를 겸한 누전차단기(RCDs, Residual Current protective Devices)들이 개발되어 사용된다. 표 1은 기존의 주택 분전반용 저압배전선로에 주로 사용되는 RCDs의 주요 사양을 나타낸다.

<표 1> 기존의 RCDs의 주요 사양

정격전압 [V]	110 / 220	정격차단전류[kA]	1.5 / 2.5
정격전류 [A]	15 / 30	정격감도전류[mA]	15 / 30
동작시간 [sec]	0.03	Trip 방식	전자식/열동식
보호기능	누전·단락검용	취득규격	KS C 4613

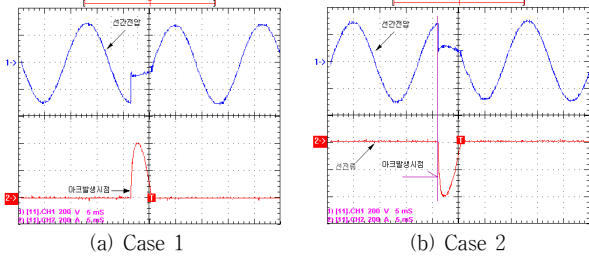
RCDs의 내부구조는 지락검출장치, 트립장치, 개폐기구로 구성되어 있으며, 지락검출장치로 사용되는 영상변류기(ZCT)는 고정밀로 제작되어 그 신뢰성이 우수하여 표 1과 같이 정격감도전류가 15mA/30mA로 정해져 사용된다. 또한 이들 RCDs는 누전과 순간단락사고(차단전류 1.5kA 이상)를 감지하여 차단하는 장점은 있으나, 단락이나 과부하사고로 인한 상승된 고장전류(정격전류의 약 200~500%)에 대해서는 차단 동작속도가 평균 2초~30초로 매우 지연된 응답특성을 가진다. 이것은 전기화재의 주요 요인이 되는 단락사고나 과부하사고에 대해 차단 보호범위와 응답속도가 저조한 것으로 각종 전기제해의 원인으로 된다.



<그림 1> 과부하 사고에 대한 기존 RCD의 동작성능 실측파형

그림 1은 과부하 사고에 대한 기존 RCD의 실측 분석파형이다. 과부하 전류는 대전류발생시험기에 의해 전류레벨을 10A에서 100A와 10A에서 150A로 상승시켜 구현하였다. 실측에 사용된 차단기는 한국산업규격(KS C 4613)에 준하여 제작된 인증제품으로, 단상 2선식 110/220V, 정격전류 30A, 정격감도전류 30mA, 정격동작시간 30ms의 단락(과부하)보호겸용 고감도형 누전차단기를 사용하였다. 그리고 차단기에서 과전류 발생시까지의 선로는 30A용 구리(Cu) 단선 2.6mm, 전장 5m로 하여 측정하였다. 그림 1(a)의 모의 단락사고에 대한 RCD의 성능분석에

서 과전류가 100A(정격전류의 약 300%)로 상승된 후 약 36초가 경과된 후 차단기가 트립되었다. 이 때 사용된 단선 5m 선로의 피복은 거의 소손된 상태로 되어 폐기하였다. 그림 1(b)는 과전류를 150A(정격전류의 500%)로 상승시킨 경우로 과부하사고 발생 후 약 13초가 경과된 후 차단기가 트립되었다. 상기 기존 차단기에 대한 분석파형에서 같이 기존 차단기는 전기화재의 요인이 되는 과전류사고에 대해 저조한 응답특성과 비신뢰성을 보였다.

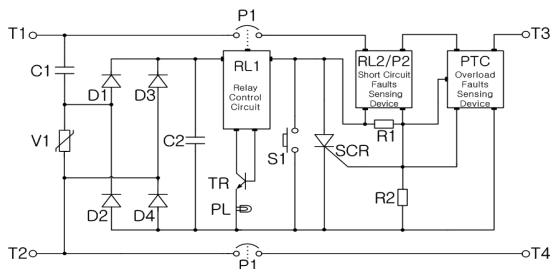


〈그림 2〉 순간단락 사고에 대한 기존 RCD의 동작특성 실측파형

그림 2는 인위적인 순간단락사고 시뮬레이터를 통한 아크전류에 대한 RCD의 동작유무를 확인하기 위한 실측파형이다. 최대치 270~400A, 주기 5.0~10.5ms의 단락 아크전류에 대해 기존 RCD는 차단이 불가능하였다. 이것은 RCD의 차단동작시간(30ms)보다 더욱 짧은 주기의 아크전류에 대해서 RCD는 차단기능을 감지하지 못한 결과이다. 또한 전기사고에 대한 고장전류들을 분석해보면, 고장전류의 순시최대치는 크나 그 실효치가 적으며, 생성 주기가 매우 짧아 차단기의 차단기능이 상실되는 결과를 가져온다. 또한 주위 환경이 취약한 실제 현장의 경우는 상기의 실험조건보다 열악하고 현장의 복잡한 배전선로 계통을 고려해 볼 때 더욱 전기사고의 위험성이 클 것으로 분석된다.

3. 과전류 및 단락사고 방지용 전기안전 제어장치

전기화재의 주요 요인인 과부하사고 및 단락사고는 고장전류의 상승과 더불어 빠른 배전선로의 온도변화와 자속세기의 변화를 가지게 된다. 이들 사고에 대해 온도변화에 우수한 전기적 특성을 가지는 PTC 서미스터와 자속에 고감도로 동작하는 리드스위치를 적용시킨 제어장치를 설계하여 각종 전기사고를 예방하는 전기안전 제어장치에 대해 제안한다. 그림 3은 상기에서 서술한 정저항 온도특성과 자체 발열특성이 우수한 PTC 서미스터의 특성을 이용하여 과전류를 보호하는 기능과 선로의 특정치 이상의 자속에 대해 빠른 응답속도로 접점을 동작시키는 리드스위치의 특성을 이용하여 단락사고를 방지하는 기능을 가진 전기안전 제어장치의 회로도를 보인다.



〈그림 3〉 제안한 과전류 및 단락사고 방지용 전기안전 제어장치

제안한 전기안전 제어장치의 회로구성은 전원공급단자 T1과 T2, 부하단 출력단자 T3과 T4, 분압용 커패시터 C1, 써지(surge)보호용 배리스터(varistor) V1, 정류용 브릿지 다이오드 D1~D4, 평활용 커패시터 C2, 릴레이 RL1과 접점 P1, 리셋스위치 S1, 반도체 스위칭소자 SCR과 TR, 그리고 과전류를 검출하는 PTC 서미스터와 단락사고 검출센서용 리드스위치(RL2/P2)로 구성된다.

제안된 전기안전장치의 동작원리를 살펴보면, 초기상태로 브릿지 다이오드를 통하여 직류전원이 제어시스템에 공급되고 있으며, 먼저 정상상태의 경우, 배전선로의 정상전류로 PTC 서미스터는 매우 낮은 저항값을 가지고, 또한 선로의 낮은 자속으로 리드스위치가 오프(off)되므로 반도체 스위치 SCR은 오프(off)된 상태이고 TR은 온(on)으로 되어 릴레이 RL1과 접점 P1(normal open contactor)이 동작하여 입력전원이 부하단으로 공급되는 정상상태를 유지한다.

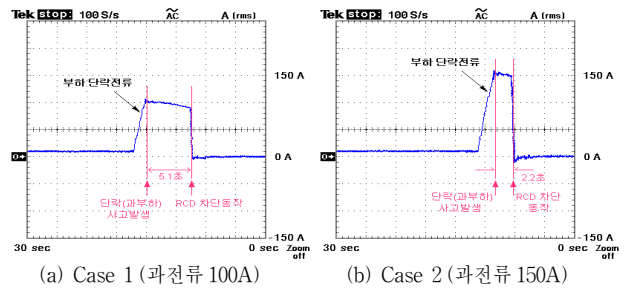
부하단에서 과부하 사고가 발생한 경우, 전기사고에 의해 대전류가 발생하여 배전선로의 신속한 온도상승을 초래한다. 이 때 우수한 정저항 온도특성을 갖는 PTC 서미스터가 이를 감지하여 빠르게 큰 저항값에 도달한다. 그 결과 반도체스위치 SCR을 턴-온(turn-on)시키고 이에

의해 TR이 오프(off)하게 된다. TR의 오프로 인해 릴레이 RL1이 자기 소제되고, 접점 P1이 선로를 차단시켜 부하단 전원공급이 차단된다.

다음으로, 부하단에서 단락사고가 발생한 경우, 순간적인 단락전류에 의해 전류센서인 리드스위치 RL2의 코일에 매우 큰 자속이 발생하여 리드스위치 접점 P2가 온(on)된다. 그 결과 반도체스위치 SCR을 턴-온(turn-on)시키고 이에 의해 TR이 오프(off)하게 된다. TR의 오프로 인해 릴레이 RL1이 자기 소제되고, 접점 P1이 선로를 차단시켜 부하단 전원공급이 차단된다. 그 결과, 제안한 전기안전 제어장치는 과전류 및 단락사고로 인한 전기화재 및 전기화해를 예방하는 일련의 동작원리를 가진다.

그림 4는 과부하 사고에 대한 제안한 전기안전 제어장치의 동작성능을 확인하기 위한 실측파형이고 그림 5는 순간단락사고에 의한 아크전류에 대한 제어장치의 특성파형으로써 여러 차례의 인위적인 사고발생 시 시뮬레이터를 통해 측정된 결과들이다.

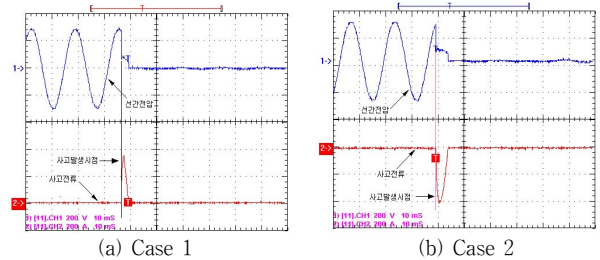
과전류사고 방지용 PTC 서미스터는 외부 간섭을 없애기 위해 절연 압축튜브로 배전선로와 밀착 봉하였으며, 정격 순시온도 감도치를 200°C~230°C로 설정하였다. 또한 단락사고 방지용 리드스위치는 외부 자계의 간섭을 없애기 위해 원통형 PVC 자성체를 적용시켰고, 리드스위치 감도전류 설정은 고장전류의 크기를 감안하여 약 100AT을 기준해서 2turn으로 설계하였다.



(a) Case 1 (과전류 100A)

(b) Case 2 (과전류 150A)

〈그림 4〉 과부하 사고에 대한 제안한 제어장치의 동작 특성파형



(a) Case 1

(b) Case 2

〈그림 5〉 순간단락 사고에 대한 제안한 제어장치의 동작 특성파형

그림 4의 성능분석결과에서 과전류가 100A로 상승된 후 약 5.1초 경과 후 제어장치의 릴레이 RL1이 트립되었고 과전류 150A에서는 약 2.2초 경과 후 트립되었다. 또한 그림 5의 특성파형에서 최대치 380~400A, 주기 5~8 ms의 임펄스성 아크전류에 대해 제안된 제어장치는 각 경우 모두 고속, 고정밀로 회로를 차단시키는 우수한 동작특성을 보였다.

4. 결 론

본 논문에서는 전기적 온도특성이 우수한 PTC 서미스터, 고감도 리드스위치 그리고 전력용 반도체 스위칭소자들을 이용하여, 최근 전기화재의 주된 원인인 단락사고 또는 과부하사고 등의 전기사고를 예방하는 전기안전장치에 대해 제안하였다.

제안한 전기안전 제어장치는 각종 전기사고에서 수반되는 과전류에 의한 배전선로의 온도상승과 단락전류 정밀 감지하여 선로를 신속히 차단시키는 고정밀 고속응성의 제어 동작원리를 가졌다. 또한 다양한 동작특성분석을 통해 기존의 차단기와 비교하여 차단동작 응답속도와 신뢰성이 우수하였으며 그 실용성이 입증되었다.

〔참 고 문 헌〕

- [1] J. H. Lee and S. H. Cho, "The Role of Grain Boundary Modifier in BaTiO₃ System for PTC Device", Kor. J. Mat. Res., No. 5, pp. 553
- [2] 박동길, 정도영, "PTC 서미스터의 온도특성을 이용한 전기안전 제어장치 개발에 관한 연구", 화재소방학회논문지, Vol. 21, No. 4, pp. 65-71, 2007
- [3] V. Babrauskas, "Fire due to Electric Arcing: Can 'Cause' Be Distinguished from 'Victim' by Physical or Chemical Testing?", Fire and Materials 2003, I/Cs Ltd., pp. 189-201, 2003
- [4] 행정자치부, "2007년도 화재통계연보", 2007