

SCR과 적층형 PTC 서미스터의 전기적 특성을 이용한 전기화재 보호제어시스템에 관한 연구

곽 동 걸

한중대학교 전기전자공학과

A Study on Protective Control System for Electrical Fire using Characteristics of SCR and Multilayer-Type PTC Thermistor

Dong-Kurl Kwak

Dept. of Electrical & Electronic Engineering, Hanzhong University

초 록: 본 논문에서는 전력용 반도체 스위칭 소자인 SCR(Silicon Controlled Rectifier)과 적층형 PTC 서미스터의 전기적 특성을 이용하여 각종 전기화재 및 전기사고를 예방 보호하는 제어시스템에 대해 연구된다. PTC(Positive Temperature Coefficient) 서미스터는 온도변화에 따른 저항특성이 정(+)온도계수를 갖는 특징이 있다. 이 PTC는 정온도계수를 갖는 BaTiO₃계 세라믹스의 정방정계-입방정계 구조를 가지고 상변이점인 큐리(Curie)온도 이상으로 온도가 증가하면 저항이 급격히 증가하는 현상을 보인다. 본 논문에서는 이러한 정저항 온도특성과 자체 발열특성을 갖는 적층형 PTC 서미스터를 전기단락사고나 과부하사고 등의 전기사고의 감지센서로 이용하여 전기화재사고로부터 보호하는 제어시스템에 대해 제안한다. 또한 제안된 보호제어시스템의 다양한 실험결과를 통해 이론적 해석의 타당성을 입증시킨다.

Abstract – This paper is studied on a protective control system for electrical fire used electrical characteristics of SCR and multilayer-type PTC thermistor. 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 shows the phenomenon which is rapidly increased in the resistivity if the temperature is increased over Curie temperature point. This paper is proposed on a protective control system used multilayer-type PTC which is protected from electrical fire due to electric short circuit faults or overload faults. Some experimental results of the proposed apparatus is confirmed to the validity of the analytical results.

Keywords: SCR, Multilayer-type PTC, Electrical fire, Electric short circuit faults, Overload faults

1. 서 론

온도변화에 따른 저항특성이 정(+)온도계수를 갖는 PTC(Positive Temperature Coefficient) 서미스터는 BaTiO₃계 세라믹스의 정방정계-입방정계 구조를 가지고 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 이용되고 있다.^{2,3)} 또한

*Corresponding author
E-mail: dkkwak@hanzhong.ac.kr

PTC 서미스터는 주변의 장치 없이 반영구적으로 사용이 가능하고 적은 비용으로 제조할 수 있어 잠재적 응용기술과 보급효과가 크다고 할 수 있다.⁴⁾

본 논문에서는 이러한 PTC 서미스터의 전기적 특성과 전력용 반도체 스위칭 소자의 대표적 소자인 SCR(Silicon Controlled Rectifier)을 이용하여 최근 전기화재의 주된 원인인 단락사고 또는 과부하 사고 등의 전기사고를 예방하는 보호제어시스템에 대해 제안한다.

저압배전계통에서 단락사고나 과부하 사고에 대해 계통을 보호하기 위한 많은 차단장치(누전차단기, 배선용차단기)와 보호기기(과전압·과전류 릴레이)들이 보급되고 있지만, 빈번한 오동작과 비신뢰성, 저조한 응답특성 등으로 인해 많은 피해사례들이 보고된다.^{5,6)} 또한 이들 보호장치들은 일반적으로 옥내 전기공급의 전단 인입선에 설치되어 있어 복잡한 배전계통의 종단부에서의 전기사고에 대해서는 정확한 감지가 되지 않아 피해를 증대시키는 문제점이 있다. 이들 보호장치들의 동작 메커니즘을 살펴보면, 과전류 트립(trip) 방식이나 바이메탈 열동방식의 구조에 의해 동작되므로, 그 동작 속응성과 신뢰성에 문제점을 가지게 된다.

본 논문에서 제안되는 PTC 서미스터를 이용한 보호제어시스템은 각종 전기사고에서 수반되는 배선의 온도상승을 정밀 감지하여 선로를 차단시키는 제어장치로써, 소형경량으로 제작이 가능하고 자체 차단기능을 가지고 있어 매입형 콘센터나 외부의 멀티콘센터 또는 각종 전기전자기기 및 통신기기 등에 내장되어 각종 전기사고에 대해 신속하고 정확히 전기회로를 차단시켜 전기화재 및 전기재해로부터 보호하게 된다.

2. 적층형 PTC 서미스터를 이용한 보호제어시스템

2.1 적층형 PTC 서미스터의 구조와 특성

적층형 PTC 서미스터는 단층형 구조에 비해 더욱 낮은 저항을 가지며 두 전극사이의 거리는 짧고 전극의 면적이 넓어 써지(surge)나 과도전류에 대해 내구성이 뛰어난 특징이 있다.

Fig. 1은 적층형 PTC 서미스터의 내부구조도이다. 내부 전극은 4 mm × 3.5 mm 사각형으로 이루어져 있으며 은(Ag)전극으로 도포된 양쪽이 외부

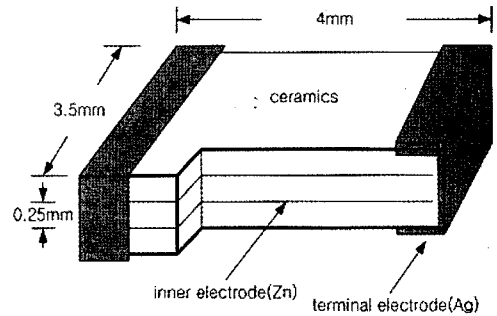


Fig. 1. Schematic configuration of multilayer PTC thermistor.

전극과 연결된다.⁷⁾

Fig. 2는 적층형 PTC 서미스터의 온도에 따른 비저항특성을 나타낸다. 실온저항과 최대저항값은 적층수의 증가에 따라 크게 감소하고 있으며, 특히 고온영역에서 피크값의 변화폭이 크게 나타난다. 이는 적층수의 증가가 병렬접속을 강화시키는 효과가 있기 때문이다. 결과적으로 적층형 PTC는 실온저항이 낮은 저저항 서미스터를 구현하는데 매우 효과적임을 알 수 있다.

2.2 제안된 전기화재 보호제어시스템

전기화재의 주된 원인인 단락사고 또는 과부하

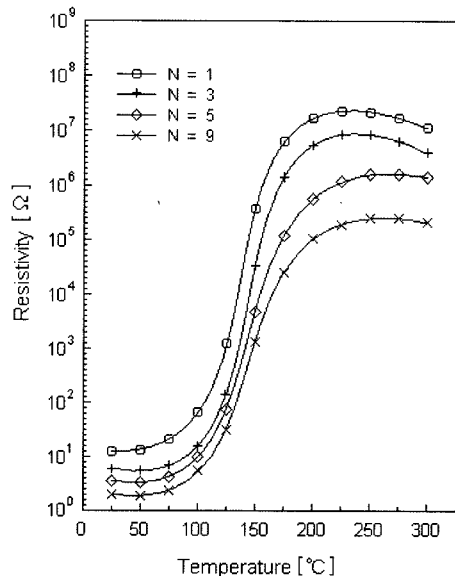


Fig. 2. Temperature dependence of the electrical resistivity.

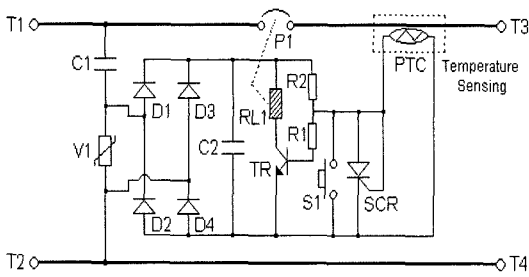


Fig. 3. A protective control system using SCR and PTC thermistor.

사고는 고장전류의 상승과 더불어 빠른 배전선로의 온도변화를 가지게 된다. 이들 사고에 대해, 온도변화에 우수한 특성을 가지는 적층형 PTC 서미스터를 적용시킨 보호제어장치를 설계하여 각종 전기사고를 예방하는 시스템에 대해 제안한다. Fig. 3은 적층형 PTC 서미스터를 적용한 전기화재 보호제어시스템의 회로도를 나타낸다.

보호제어시스템의 회로구성은 전원공급단자 T1과 T2, 부하단 출력단자 T3과 T4, 분압용 커패시터 C1, 써지(surge)보호용 배리스터(varistor) V1, 브릿지 다이오드 D1~D4, 평활용 커패시터 C2, 릴레이 RL1과 접점 P1, 리셋스위치 S1, 반도체스위치 SCR(Silicon Controlled Rectifier)과 TR, 그리고 고장전류를 검출하는 PTC(적층형 서미스터), 그 외 저항소자들로 구성된다.

제어시스템의 동작원리를 살펴보면, 초기상태로 브릿지 다이오드를 통하여 직류전원이 제어시스템에 공급되고 있으며, 먼저 정상상태의 경우, PTC 서미스터는 매우 낮은 저항값을 가지므로 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.

다음으로, 부하단에 접지 전기사고(단락사고, 과부하사고 등)가 발생한 경우, 전기사고에 의해 대전류가 발생하여 배전선로의 신속한 온도상승을 초래하게 된다. 이 때 우수한 정저항 온도특성과 자체 발열특성을 갖는 적층형 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 회로를 차

단시켜 부하단 전원공급을 차단하여 전기화재 및 전기재해를 예방하게 되는 일련의 동작원리를 가진다. 또한 고장수리에 의한 시스템 초기화는 리셋스위치의 동작에 의해 반도체 스위치 SCR의 소호에 의해 초기화 된다.

3. 실험 및 고찰

3.1 기존의 보호장치 오동작 검증실험

저압배전계통에 사용되는 보호장치로 누전차단기가 사용되고 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 누전차단기가 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. 4는 인위적인 단락사고 시뮬레이터를 통한 아크전류에 대한 누전차단기의 동작유무를 확인하기 위한 측정과형이다. 실측에 사용된 누전차단기(RCD)는 한국산업규격(KS C 4613)을 준하여 제작된 인증제품으로, 단상 2선식 110/220[V], 정격전류 30[A], 정격감도전류 30[mA], 정격동작시간 30[ms]의 단락(과부하)보호겸용 고감도형 누전차단기를 사용하였다.

Fig. 4의 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. 저압

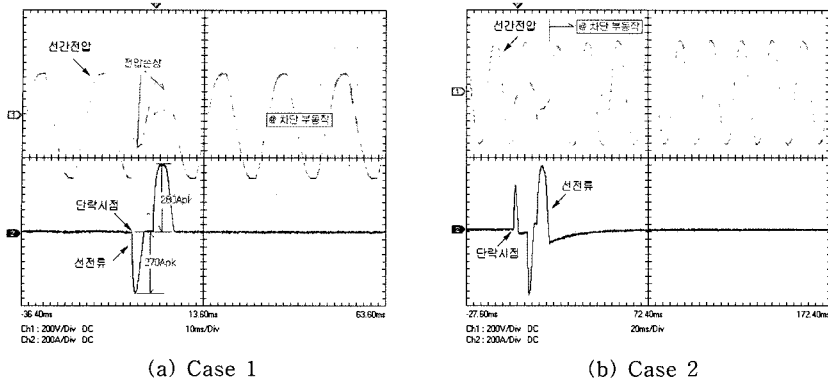


Fig. 4. Operation waveforms for short circuit of RCD.

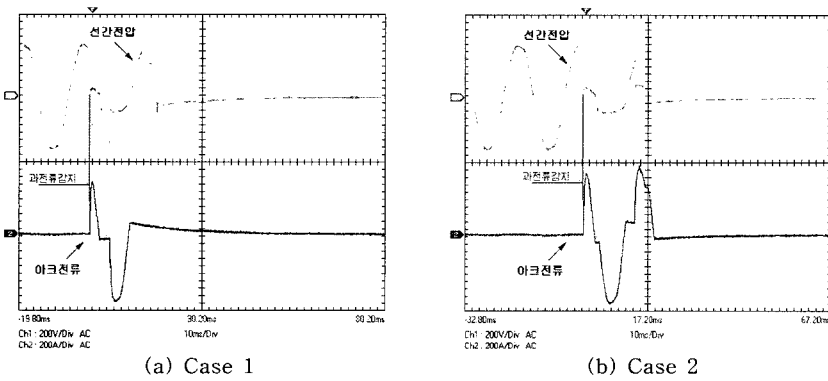


Fig. 5. Operation waveforms of proposed apparatus.

배전계통에 사용되는 차단기들은 제어방식이 열동식 또는 전자식 구조로 설계되어 열동식의 경우 이상전류의 실효치가 적으면 발열량($H=0.24I^2Rt$)이 적어 차단동작이 실패되고, 전자식의 경우 이상전류의 주기가 짧으면 트립코일의 여자가 불가능하여 차단기능이 상실되는 문제점이 발생된다.⁸⁾

3.2 제안된 보호제어시스템의 특성분석

제안된 보호제어시스템에 사용된 소자들의 회로정수를 Table 1에 주어진다. 또한 실험에 사용된 고감도형 누전차단기는 저압배전계통에 일반적인

로 사용되는 단락(과부하)보호 겸용(단상 220V, 정격전류 30A, 정격감도전류 30mA, 동작시간 30ms, 정격차단용량 1.5kA)을 사용하였다.

PTC 서미스터는 외부 간섭을 없애기 위해 절연테이프로 배전선로와 밀착 봉하였으며, 정격 순시 온도감도치를 200°C~230°C로 설정하였다.

Fig. 5와 Fig. 6은 단락사고에 의한 순간아크전류 발생에 대한 제안된 보호제어시스템의 동작성능을 확인하기위한 분석파형으로써 여러 차례의 인위적인 사고발생 시뮬레이터를 통해 측정한 결과들이다. 본 실험에 사용된 인위적인 아크발생 시

Table 1. Circuit parameters

공급전압	AC220V, 60Hz	커패시터 C2	47 μF/25V, 전해질
커패시터 C1	470nF/AC250V	RL1	25V, 50A
배리스터 V1	AC250V	TR	12V, 5W
다이오드 D1~D4	V _{rr} =600V, 20W	PTC 서미스터	1.5kΩ(5층_정방향)

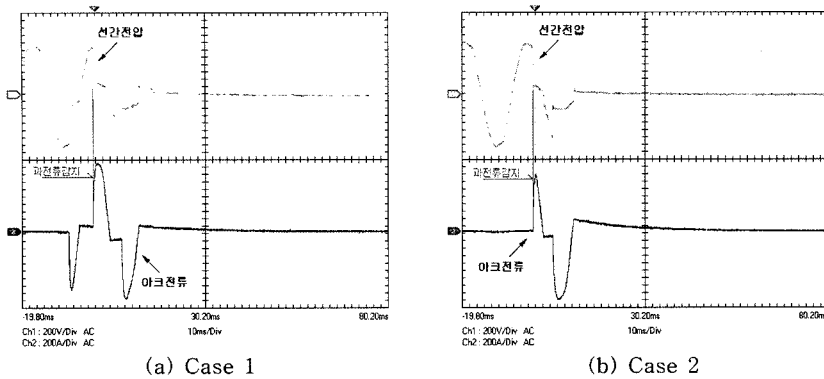


Fig. 6. Operation waveforms of proposed apparatus.

물레이터는 AC 220V 선간에 탄소저항 10[k Ω]/0.25[W]를 단락시켜 저장체의 순간적인 파손에 의해 발생하는 불꽃방전으로 유도하였다.

Fig. 5와 Fig. 6의 선간전압과 아크전류에 대한 동작파형을 살펴보면, Fig. 5의 경우, 고장발생시 선로 순시온도가 205 $^{\circ}$ C, 최대치 330[A], 주기 10.7 [ms]의 아크전류에 대한 분석파형이고 Fig. 6은 선로 순시온도가 220 $^{\circ}$ C, 최대치 370[A], 주기 12.5 [ms]의 아크전류에 대한 분석파형을 시간축을 확대하여 나타내었다. 상기의 두 경우 모두 보호제어시스템의 고속, 고정밀의 동작으로 인해 안전한 차단동작의 특성을 가졌다.

4. 결 론

본 논문에서는 SCR과 적층형 PTC 서미스터의 전기적 특성을 이용하여 전기화재 및 전기사고를 예방 보호하는 제어시스템에 대해 연구되었다. 기존의 누전차단기 방식으로는 차단이 불가능한 문제들을 제안된 보호제어시스템에서는 PTC 서미스터의 우수한 정저항 특성을 적용시켜 해결하였다. 제안된 시스템은 배전선로에 발생한 고장전류를 PTC 서미스터가 신속히 감지하여 선로를 차단시켜 전력계통을 보호하였으며 응답특성과 내구력이 우수한 특징을 가졌다. 또한 제안된 보호제

어시스템은 사고발생 시물레이터에 의한 실측 특성분석을 통해 그 실용성이 입증되었으며, 제어장치의 구조와 제어방식이 간단하여 소형경량으로 설계제작이 가능하였고 이에 따른 제작비용의 감소와 설치의 용이한 장점이 주어졌다.

참고문헌

1. B. C. H. Steele, "Electronic Ceramics", Elsevier Applied Science, 29, 1991.
2. K. Dodtert, "Application of Self-heated PTC-thermistor to Flow and Quantity of Heat Measurements", Sensor and Actuators, Vol. 3, 159, 1983.
3. J. H. Lee, and S. H. Cho, "The Role of Grain Boundary Modifier in BaTiO₃ System for PTCR Device", Kor. J. Mat. Res., No. 5, 553, 1993.
4. H. M. Al-Allak, G. J. Russell and J. Woods, "Effect of Annealing on the Characteristics of Semiconducting BaTiO₃ Positive Temperature Coefficient of Resistance Devices", J. Phys. D., No. 12, 1645, 1987.
5. 한국전기안전공사, "전기화재 통계분석", 2002.
6. R. N. Anderson, "What Came First? The Arc Bead or the Fire?", EC&M 100, 20-21, 2001.
7. 추순남, 백동현, "화재감지센서 활용을 위한 적층형 PTC 서미스터의 특성에 관한 연구", 한국화재소방학회 논문지, Vol. 19, No. 2, 75-80, 2005.
8. 새턴정보통신 부설연구소, "부하별 아크, 스파크 사고 데이터 및 분석 보고서", 2002.