

고정밀 전류센서를 이용한 이중 차단용 전기화재 방재장치에 관한 연구

박동필, 곽동걸, 정도영, 김춘삼, 신호준
강원대학교

A Study on Electrical Fire Disaster Prevention Device used in Double Circuit Break by High Precision Current Sensor

Dong-Pil Park, Dong-Kurl Kwak, Do-Young Jung, Choon-Sam Kim, Ho-Joon Shin
Kangwon National University

Abstract - The major causes of electrical fire are classified to short circuit fault, overload fault, electric leakage and electric contact failure. The occurrence factor of the fire is electric arc or spark accompanied with electrical faults. Residual Current Protective Device(RCD) of high sensitivity type used at low voltage wiring cuts off earth leakage and overload, but the RCD can't cut off electric arc or spark to be a major factor of electrical fire. As the RCDs which are applied low voltage distribution panel are prescribed to rated breaking time about 30[ms](KS C 4613), the RCDs can't perceive to the periodic electric arc or spark of more short wavelength level. To be improved on such problem, this paper is proposed to a electrical fire disaster prevention device(EFDPD) for a RCD trip or a self circuit-breaking function on electric arc or spark due to electrical fire. Some experimental results of the proposed apparatus is confirmed to the validity of the analytical results.

1. 서 론

오늘날 전기제품들의 다양화와 전기설비의 대용량화에 따른 전기화재로 인한 인명 및 재산피해도 증가하고 있는 실정이다. 최근 5년간 발생한 화재를 기준하여, 연평균 3만2천여건 중 전기화재가 차지한 비중이 8천5백여건으로 27%를 차지하고 있다.¹⁾ 전기화재의 주된 원인은 단락 및 과부하 사고, 누전 및 접촉불량 사고로 크게 구분되며, 화재의 발생형태는 주위환경과 설비노후 등에 의해 매우 다양하게 나타난다. 전기화재의 원인별 비율을 분석해보면, 표 1과 같이 단락, 과부하, 누전, 접촉불량의 순으로 나타난다.¹⁾

〈표 1〉 전기화재 원인별 분석 (2007년 기준)

구분	단락	과부하	누전	접촉불량	기타	계
건 수	5,241	1,199	510	933	1,148	9,091
비율(%)	57.7	13.2	5.6	10.9	12.6	100

전기화재의 위험성은 이러한 1차적인 원인보다는 이들 사고에서 동반되는 아크(electric arc)나 스파크(spark)에 의한 주변 가연물질로 확대되는 2차적 영향에 의한 화재가 대다수이다.^{2,3)} 가정이나 산업현장 등의 저압배전계통에 있어, 단락사고와 누전사고를 방지하기 위해 배선용차단기 및 누전차단기를 사용하여 방지하도록 전기설비기술기준으로 정하고 있다. 최근에는 단락(과부하)보호를 겸한 고감도형 누전차단기(RCD)들이 개발되어 사용된다. RCD는 누전과 단락사고를 감지하여 차단하는 장점은 있으나, 직접적인 전기화재의 위험요소인 아크나 스파크 현상에 대한 차단 기능은 없는 것으로 분석된다. 이것은 분전반에 적용되는 누전차단기의 경우 정격차단시간이 30[ms](국내, KS C 4613)로 정해져 있어, 더욱 낮은 레벨로 주기적으로 발생하는 아크나 스파크를 감지하지 못하기 때문이다.⁴⁾

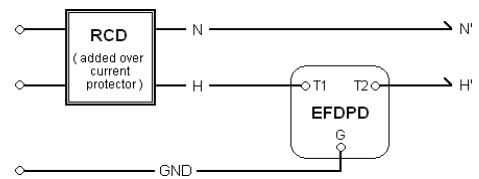
이러한 문제점을 개선하기위하여 본 논문에서는 전기화재에 기인하는 아크나 스파크에 대해 이중으로 차단되는 전기화재 방재장치(EFDPD)를 제안한다. 제안한 방재장치는 계통사고 시 누전차단기를 트립(trip)시키는 기능과 장치 내에 자체적으로 차단하는 기능을 가진다. 제안한 방재장치는 이론적 해석과 실험측정을 통해 그 타당성이 입증된다.

2. 고정밀 전류센서를 이용한 이중차단용 전기화재 방재장치

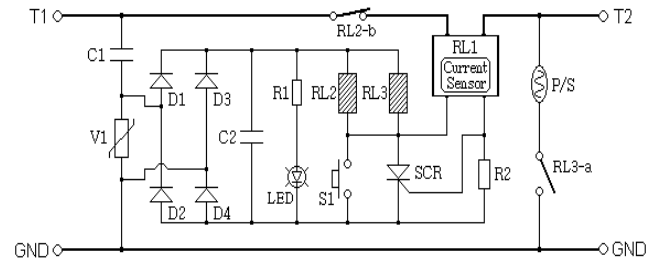
2.1 회로구성 및 동작원리

본 논문에서는 전기화재의 요인이 되는 아크나 스파크를 감지하여 누

전차단기를 트립 시키거나, 자체 내에 차단기능을 가진 이중 차단용 전기화재 방재장치를 개발하여 기존 누전차단기의 문제점을 개선하고자 한다. 단상 저압배전계통에 대한 제안한 이중 차단용 전기화재 방재장치를 그림 1에 나타낸다. 그림 1(a)는 누전차단기와 이중 차단용 방재장치의 결선도이고, 그림 1(b)는 이중 차단용 방재장치의 내부 회로도이다.



(a) 누전차단기와 제안한 방재장치의 결선도



(b) 제안한 방재장치 내부 회로도

〈그림 1〉 고정밀 전류센서를 이용한 이중 차단용 전기화재 방재장치

누전차단기와 3단자의 이중 차단용 전기화재 방재장치는 그림 1(a)와 같이 높은 전압선(H)과 접지(GND) 선간에 결선되며, 각종 전기사고 발생 시 이중 차단용 방재장치는 이상전류를 검출하고 접지를 통해 큰 전류를 흘려 보내 기설치된 누전차단기로 하여금 누전으로 인식시켜 차단기를 트립시키거나 또는 이상전류의 검출과 동시에 방재장치내의 차단회로를 동작시켜 전압선을 개폐시키는 이중 차단기능을 가진다.

제안한 전기화재 방재장치의 회로구성은 그림 1(b)와 같이 전원공급 단자 T1, 부하 출력단자 T2, 분압용 커패시터 C1, 써지(surge)보호용 배리스터(varistor) V1, 정류용 브릿지 다이오드 D1~D4, 평활용 커패시터 C2, 이상전류를 검출하는 고정밀 전류센서용 리드스위치(reed switch) RL1, 누전차단기를 동작시키기 위한 전력용 릴레이 RL3와 RL3-a, 자체 차단용 릴레이 RL2와 접점 RL2-b, 리셋스위치 S1, 반도체 스위칭소자 SCR, 릴레이 접점보호용 폴리머 스위치(Polymer Switch)로 구성된다.

이중 차단용 전기화재 방재장치의 동작원리는 다음과 같다. 초기상태로 브릿지 다이오드를 통하여 직류전원이 제어시스템에 공급되고 있으며 정상상태의 경우, 전로의 낮은 자속으로 인한 리드스위치가 오프되고 반도체 스위치 SCR도 오프된 상태로 릴레이 RL2의 접점 RL2-b를 통하여 입력전원이 부하단으로 공급되는 정상상태를 유지한다.

만약 순간단락사고 및 아크발생 등의 이상전류가 발생할 경우, 먼저 기준에 설치된 누전차단기를 트립시키는 원리를 살펴보면, 리드스위치 RL1의 코일에 자속이 발생하여 리드스위치 접점이 온(on)되고 전력용 릴레이 RL3가 여자(excitation)된다. 전력용 릴레이 RL3-a 접점의 턴-온으로 인한 전압선(H)과 접지(GND)간에 강제적인 단락회로를 형성시켜 누전차단기를 신속히 동작시키게 한다. 여기서 폴리머 스위치는 단락전류에 의한 릴레이 RL3-a의 접점을 보호하기 위해 사용된다.

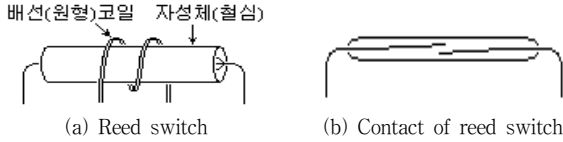
다음으로 자체차단용 전력용 릴레이 RL2가 동작하는 원리를 살펴보면, 순간단락사고 및 아크발생 등의 이상전류가 발생할 경우 리드스위치 RL1의 코일에 자속이 발생하여 리드스위치 접점이 온(on)되고 전력용

릴레이 RL2가 여자된다. 전력용 릴레이 RL2-b접점의 턴-오프(off)에 의해 전압선로와 부하단을 차단시키게 된다.

상기 서술한 동작원리와 같이 제안한 방재장치는 순간단락사고에 의한 이상전류 발생시, 기 설치된 누전차단기를 트립시키거나 자체 차단장치를 동작시키는 즉, 이중으로 계통을 보호하는 기능을 가진다.

2.2 고정밀 전류센서용 리드스위치의 특성

본 제안회로의 고정밀 전류센서로 사용된 리드스위치의 구조를 그림 2에 나타낸다. 리드스witch는 선로전류의 크기에 대한 자속을 검출하여 특정치 이상의 자속에 대해 접점을 동작시키는 구조이며, 스위치의 응답속도가 수[μs]~수[ms]로 매우 양호한 특성을 가진다.



〈그림 2〉 리드스위치의 구성

리드스위치의 내부자속은 배선코일의 권선수, 전류, 철심의 크기와 투자율에 의해 정해진다. 자속의 세기는 식 (1)의 비오-사바르(Biot-Savart) 법칙을 이용하여 구할 수 있다.

$$dH = \frac{I dl \sin\theta}{4\pi r^2} [AT/m] \quad (1)$$

여기서, dH 는 자계의 세기, I 는 선로의 전류, dl 은 도체의 미소길이, r 는 임의의 한점과의 거리, θ 는 전류의 방향과 임의의 한점과 이루는 각도이다. 위 식을 이용하여 리드스위치의 자계의 세기는 다음 식으로 구해진다.

$$H = \int_0^{2\pi a} \frac{NI dl \sin\theta}{4\pi a^2} = \frac{NI}{4\pi a^2} \int_0^{2\pi a} dl = \frac{NI}{2a} [AT/m] \quad (2)$$

여기서, N 는 권선수이고 a 는 원형코일의 반경이다. 또한 리드스위치의 자속밀도 B 는 다음으로 주어진다.

$$B = \mu H = \frac{\mu NI}{2a} [Wb/m^2] \quad (3)$$

여기서, μ 는 투자율(permeability)이다. 만약 자성체 내부의 매질이 공기인 경우 공기의 투자율 $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} [H/m]$ 로 주어진다. 위 식들을 이용하여 이상전류의 크기에 따른 리드스위치의 선전과 감도전류 설정 및 배선코일의 권선수를 결정할 수 있다.

3. 제안한 이중차단용 전기화재 방재장치의 실험 특성분석

제안한 이중차단용 전기화재 방재장치에 사용된 소자들의 회로정수들 표 2에 주어진다. 또한 실험에 사용된 고감도형 누전차단기는 저압배전계통에 일반적으로 사용되는 단락(과부하)보호 겸용(단상 220V, 정격전류 30A, 정격감도전류 30mA, 동작시간 30ms, 정격차단용량 1.5kA)을 사용하였다.

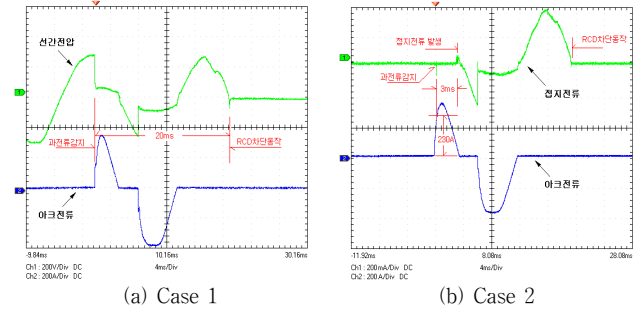
〈표 2〉 이중 차단용 전기화재 방재장치 회로정수

공급전압	AC220V, 60Hz	커패시터 C_2	47μF/25V,
커패시터 C_1	470nF/AC250V	리드스위치 (RL1)	12V, 12W
배리스터 V1	33V, 30W	전력용 릴레이 (RL2, RL3)	AC240V, 40A
브릿지 다이오드	$V_{rr}=600V, 50W$	폴리머 스위치	1kΩ/220V

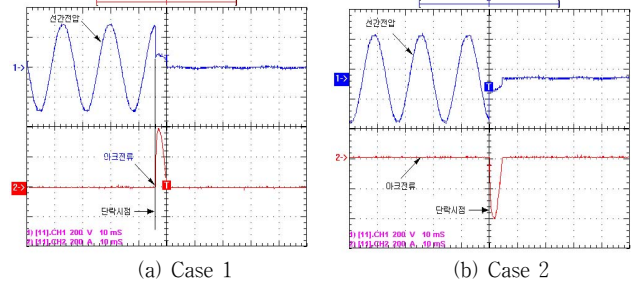
리드스witch는 외부 자계의 간섭을 없애기 위해 원통형 PVC 자성체를 적용시켰고, 리드스switch 감도전류 설정값은 이상전류의 크기를 감안하여 약 250AT을 기준하고 1[turn]으로 설계하였다. 그리고 화재의 위험성이 저조한 유도성 부하의 개폐시나 뇌인펄싱 서어지(충격파) 등 주기가 2ms이하의 고속성 전기신호에 대해서 누전차단기의 오동작을 방지하기 위해 전력용 릴레이의 동작시간이 3ms~5ms인 소자로 선정하였다.

그림 3과 그림 4는 단락 아크전류에 대한 제안한 이중 차단용 전기화재 방재장치의 동작성능을 확인하기 위한 분석파형으로써 인위적인 사고 발생 시뮬레이터를 통해 측정된 결과이다.

본 실험을 위한 인위적인 아크발생 시뮬레이터는 AC 220V 선간에 단 소저항(색저항) 6.8[kΩ]/0.25[W]를 순간 단락시켜 저항체의 순간적인 파손에 의해 발생되는 불꽃방전으로 유도하였다



〈그림 3〉 제안한 방재장치의 동작파형 I (누전차단기 동작시 특성파형)



〈그림 4〉 제안한 방재장치의 동작파형 II (자체 차단기 동작시 특성파형)

그림 3은 사고발생시 기설치된 누전차단기를 동작시키는 경우의 선간전압과 아크전류 및 접지전류에 대한 동작파형으로써, 최대치 360[A], 주기 11[ms]의 아크전류에 대한 분석파형이다. 제안한 방재장치는 아크전류를 감지하고 접지를 통해 큰 전류를 흘려 누전차단기를 누전으로 인식시켜 약 20[ms]에서 차단기를 트립시켰다. 특성파형에서 이상전류를 감지하여 누전차단기 트립용 릴레이 RL3의 동작까지 소요된 시간은 약 3[ms]로 매우 우수한 특성을 보였다.

그림 4는 사고발생시 방재장치 자체차단기가 동작하는 경우의 선간전압과 아크전류에 대한 동작파형을 나타낸다. 순간단락에 의한 최대치 약 380~400[A], 주기 5~8[ms]의 임펄스성 아크전류에 대해 제안한 방재장치의 자체차단기는 약 4~6[ms]에서 차단동작을 보였다.

상기 특성파형들에서 제안한 방재장치의 리드스switch는 감도전류 설정값인 250[A]내외에서 동작됨을 보이며, 두 경우 모두 전기화재 방재장치의 고속, 고정밀의 동작에 의해 우수한 차단동작을 보였다.

4. 결론

본 논문에서는 저압배전계통의 전기화재의 주요원인이 되는 순간단락 사고, 선로노후 및 접속·접촉 불량에 의한 아크 및 스파크발생에 대해 기존의 차단기로는 차단이 불가능한 문제점을 해결하기위한 이중차단용 전기화재 방재장치를 개발하여 제안하였다.

제안한 이중 차단용 전기화재 방재장치는 배선선로에 전기사고가 발생할 경우 이상전류를 검출하고 접지를 통해 단락전류를 흘려 보내어 기존의 누전차단기로 하여금 누전으로 인식시켜 차단기를 트립시키는 구조와 방재장치 내의 전력용 릴레이의 동작에 의한 자체차단기능을 가지는 구조로 설계되었다. 이상전류의 검출에는 응답특성과 내구력이 우수한 리드스switch를 사용하여 방재장치의 신뢰성을 증가시켰다. 또한 제안한 이중 차단용 전기화재 방재장치는 사고발생 시뮬레이터에 의한 실측 특성분석을 통해 그 실용성이 입증되었으며, 제어장치의 구조와 제어방식이 간단하여 소형경량으로 설계제작이 가능하였고 이에 따른 제작비용의 감소와 설치의 용이한 장점이 부여되었다. 향후 제안한 이중 차단용 전기화재 방재장치가 각종 전기사고를 예방하여 인명 및 재산피해를 최소화할 것으로 기대된다.

〈참고 문헌〉

- [1] 행정자치부. "2007년도 화재통계연보", 2007
- [2] R. N. Anderson, "What Came First? The Arc Bead or the Fire?", EC&M 100, pp. 20-21, 2001
- [3] V. Babrauskas, "Fire due to Electric Arcing: Can 'Cause' Be Distinguished from 'Victim' Beads by Physical or Chemical Testing?", Fire and Materials 2003, Interscience Communications Ltd., pp. 189-201, 2003
- [4] 광동걸, 정도영, "저압 배전선로의 누전 및 배선용 차단기의 오동작 방지를 위한 고속형 전기안전 보호장치", 전기학회논문지, Vol. 56, No. 11, pp. 1925-1929, 2007