

B-06

배선계통의 스파크 및 단락사고에 대한 누전차단기의 고속작동을 위한 보조장치 개발에 관한 연구

신미영, 최신형, 정도영, 곽동걸*, 김풍래**

삼척대학교 한중대학교*, 동화정밀**

A Study on Auxiliary Apparatus Development for High Speed Operation of Earth Leakage Breaker for Spark and Short Circuit Faults in Wiring System

Mi-Young Shin, Shin-Hyeong Choi, Do-Young Jung, Dong-Kurl Kwak*, Pung-Rai Kim**

Samcheok National University, Hanzhong University*, Donghwa Precision**

1. 서 론

오늘날 전기제품들의 다양화와 전기설비의 대용량화에 따른 전기재해로 인한 인명 및 재산피해도 증가하고 있는 실정이다. 최근 5년간 발생한 화재를 기준하여, 연평균 36,000여건 중 전기화재가 차지한 비중이 11,000여건으로 30%를 차지하고 있다.¹⁾ 전기화재의 주된 원인은 단락 및 과부하 사고, 누전 및 접촉불량 사고로 크게 구분되며, 화재의 발생 형태는 주위환경과 설비노후 등에 의해 매우 다양하게 나타난다.²⁾ 전기화재의 원인별 비율을 분석해보면, 표 1과 같이 단락, 과부하, 누전, 접촉불량의 순으로 나타난다.³⁾

표 1. 전기화재 원인별 비율 분석

(2003년도 기준)

| 구분 | 단락 | 과부하 | 누전 | 접촉불량 | 기타 | 계 |
|-----|-------|-----|-----|------|-------|--------|
| 건 수 | 6,994 | 952 | 633 | 369 | 1,722 | 10,670 |
| 비 율 | 65.6 | 8.9 | 5.9 | 3.5 | 16.1 | 100 |

전기화재의 위험성은 이러한 1차적인 원인보다는 이들 사고에서 동반되는 아크(electric arc)나 스파크(spark)에 의한 주변 가열물질로 확대되는 2차적 영향으로 인한 화재가 대다수이다.^{4,5)}

가정이나 산업현장 등의 저압 배선계통에 있어, 단락사고와 누전사고를 방지하기 위해 배선용차단기(MCB: Molded_case Circuit Breaker) 및 누전차단기(ELB: Earth Leakage Breaker)를 사용하여 방지함을 전기기술기준으로 정하고 있다.

최근에는 단락(과부하)보호 겸용 누전차단기(ELBO: ELB with Overload) 제품들이 개발

되어 사용되고 있다. ELBO는 누전뿐만아니라 단락 및 과부하를 검출하여 차단하는 장점은 있으나, 직접적인 전기화재의 위험요소인 아크나 스파크 현상에 대한 차단 기능은 없는 것으로 분석된다. 이것은 분전반에 적용되는 누전차단기의 경우 정격차단시간이 30[ms] (국내의 경우)로 정해져 있어, 더욱 낮은 레벨로 주기적으로 발생하는 아크나 스파크를 감지하지 못하기 때문이다.

본 논문에서는 상기 차단기의 문제점을 개선하기위하여, 아크나 스파크 발생에서 누전 차단기를 동작시키고 단락사고에 대해 더욱 빠른 차단동작시간을 가지게 하는 누전차단기의 보조장치를 제안하고, 제안된 제어시스템의 이론적 해석과 실험측정을 통해 그 타당성을 입증한다.

2. 누전차단기의 특성분석

저압 배전계통에 사용되는 누전차단기의 내부구조는 지락검출장치, 트립장치, 개폐기구로 구성되어 있으며, 지락검출장치로 사용되는 영상변류기(ZCT: Zero_Current Transformer)는 고정밀로 제작되어 그 신뢰성이 우수하여 저압 배전계통에서 정격감도전류가 15[mA] 또는 30[mA]로 정해져 사용된다.

일반적으로 사용되는 단락(과부하)보호 겸용 누전차단기(ELBO)는 누전차단기 구조에 단락(과부하)사고를 검출 차단하는 제어회로를 부가한 구조로써, 배전계통의 단락사고에 대해서도 보호기능을 가지게 된다. 그러나 전기화재의 위험요소인 순간단락사고 또는 아크나 스파크 현상에 대해서는 그 발생 주기(시간)가 매우 짧아 30[ms]의 차단동작시간으로 규정된 기존의 ELB, MCB, ELBO로는 차단기능을 발휘하지 못하는 문제점이 있다. 이에 대한 성능을 분석하기위하여 Fig. 1에 성능분석 블록도를 나타낸다.

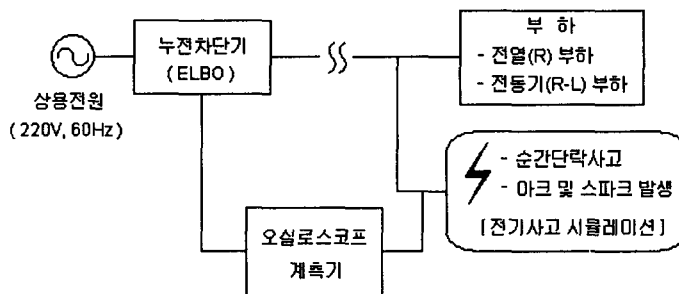


Fig. 1. Block diagram for performance analysis of ELBO.

Fig. 2는 순간단락사고에 의한 ELBO의 동작유무를 확인하기위한 분석과형으로써 인위적인 단락사고 시뮬레이션을 통해 측정된 결과이다.

순간단락사고 시 ELBO의 분석결과, 약 11[ms]동안 단락전류 최대치 280[A]의 매우 큰 전류가 흘렀으나 ELBO의 차단이 불가능하였다. 이것은 ELBO의 차단동작시간(30ms)보다 더욱 짧은 주기의 사고전류에 대해서 ELBO는 차단기능을 감지하지 못한 결과이다.

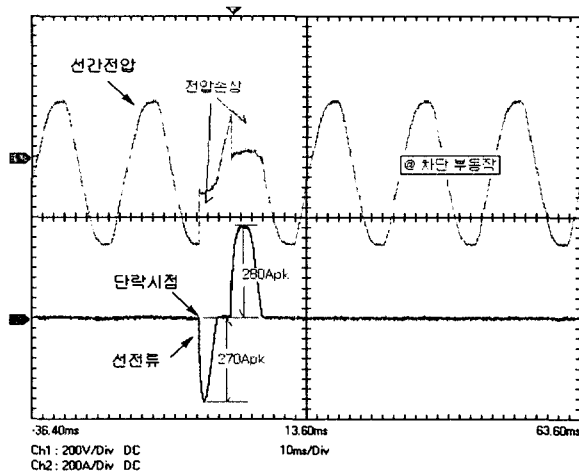


Fig. 2. Operation waveforms for momentary short circuit of ELBO.

또한 전기사고에 대한 이상전류(고장전류)들을 분석해보면, 고장전류의 순시최대치는 크나 그 실효치가 적으며, 생성 주기가 매우 짧아 차단기의 차단기능이 상실되는 결과를 가져온다. 저압 배전계통에 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 상실된다.⁵⁾

3. 누전차단기의 보조 제어장치

3.1 회로구성 및 동작원리

본 논문에서는 순간단락사고와 아크 및 스파크 사고를 감지하여 누전차단기를 동작시키게 하는 보조 제어장치를 개발하여 기존 누전차단기의 문제점을 개선하고자 한다. 단상 저압 배전계통에 대한 제안된 누전차단기 보조 제어장치를 Fig. 3에 나타낸다. Fig. 3(a)는 누전차단기와 보조 제어장치의 결선도를 나타내며, Fig. 3(b)는 보조 제어장치의 회로도를 나타낸다.

누전차단기와 3단자의 보조 제어장치는 Fig. 3(a)와 같이 상전압선(hot wire)과 접지(ground) 선간에 결선되며, 각종 전기사고 발생시에 보조 제어장치는 이상전류를 검출하고 접지를 통해 큰 전류를 흘려 보내 누전차단기로 하여금 누전으로 인식시켜 차단기를 트립(trip)시키게 된다.

보조 제어장치의 회로구성은 Fig. 3(b)와 같이 이상전류를 검출하는 전류형 리드스위치(reed switch) RL1, 누전차단기를 동작시키기 위한 릴레이 RL2, 릴레이 점점보호용 저항 PTC_서미스터, 제어회로 정전압 공급회로 C1, D1, D2 그리고 릴레이의 전원 및 자기유지

용 커패시터 C2로 구성된다.

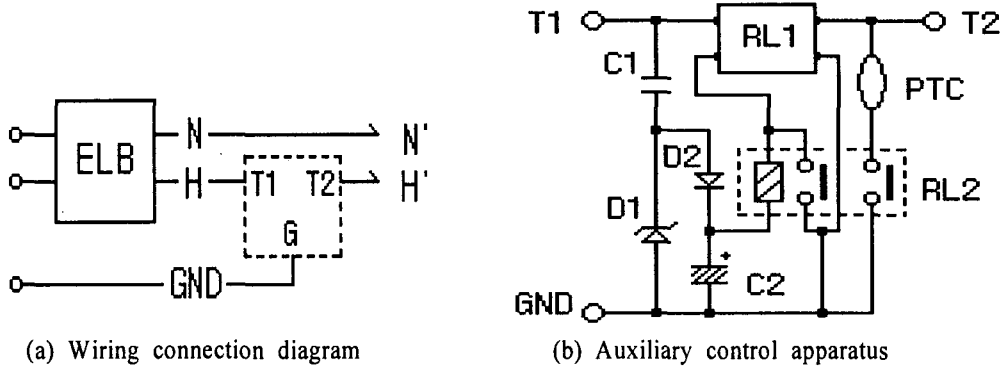


Fig. 3. Auxiliary control apparatus of ELBO.

보조 제어장치의 동작원리를 살펴보면, 순간단락사고 및 스파크 발생 등의 이상전류가 발생하면 리드스위치 RL1의 코일에 자속이 발생하여 리드스위치 접점이 온(on)되고 릴레이 RL2가 여자(excitation)된다. 릴레이 RL2 접점의 턴-온에 의해 상전압 선로(H)와 접지(GND)간에 강제적인 단락회로를 형성시켜 누전차단기를 신속히 동작시키게 한다.

여기서 정저항 특성을 가지는 PTC(Positive Temperature Coefficient) 서미스터(thermistor)는 단락전류에 의한 릴레이 RL2의 접점을 보호하기 위해 사용된다. 또한 커패시터 C2는 매우 짧은 주기를 가진 이상전류로 인해 RL1과 RL2 접점의 자동복귀에 따른 누전차단기의 부동작을 방지하기 위한 목적으로 릴레이의 자기유지를 지속시키기 위해 사용되는 소자이다.

본 제안회로의 주요 소자로 사용된 리드스위치의 구조를 Fig. 4에 나타낸다.

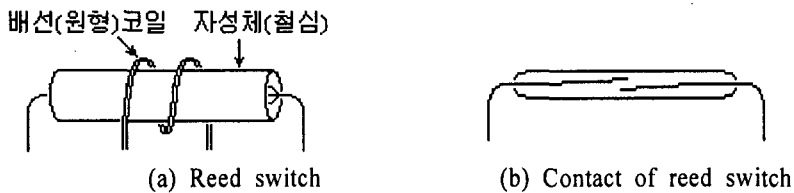


Fig. 4. Construction figure of reed switch.

리드스위치는 선로전류의 크기에 대한 자속을 검출하여 특정치 이상의 자속에 대해 접점을 동작시키는 구조이며, 스위치의 응답속도가 수[μ s]~수[ms]로 매우 양호한 특성을 가진다.

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

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

여기서, dH 는 자계의 세기, I 는 전류의 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 선정과 배선코일의 권선수를 결정할 수 있다.

제안된 보조 제어장치는 회로구성과 제어방식이 간단하고 리드스위치의 고속, 고정밀 응답특성을 이용한 구조로 설계되어 소형·경량, 고신뢰성으로 제작되는 장점이 주어진다.

3.2 누전차단기 보조장치의 특성분석 및 검토

제안된 누전차단기 보조 제어장치에 사용된 소자들의 회로정수를 표 2에 주어진다. 또한 실험에 사용된 누전차단기는 저압 배전계통에 일반적으로 사용되는 단락(과부하)보호 겸용(단상 220V, 정격전류 30A, 정격감도전류 30mA, 동작시간 30ms, 정격차단용량 1.5kA)을 사용하였다.

표 2. 회로정수

| | | | |
|-----------|---------------|----------|---------------------|
| 공급전압 | AC220V, 60Hz | 커패시터 C2 | 47 μ F/18V, 전해질 |
| 커패시터 C1 | 10nF/AC250V | RL1 | 200~500AT |
| 제너다이오드 D1 | 18V, 0.5W | RL2 | 12V, 12W, 2a |
| 다이오드 D2 | Vrr=600V, 20W | PCT 서미스터 | 1.5k Ω |

리드스위치는 외부 자계의 간섭을 없애기 위해 원통형 PVC 자성체를 적용시켰고 이상전류의 크기를 감안하여 약 250AT을 기준하고 1[turn]으로 설계하였다.

또한, 커패시터 C2와 릴레이 RL2는 누전차단기를 동작시키는 목적으로 방전 시정수를 30[ms]이상 200[ms]이하로 설정하였다. 그리고 화재의 위험성이 저조한 유도성부하의 개폐시나 뇌임펄스 서어지(충격파) 등, 주기가 2[ms]이하의 속류성 전기신호에 대해서 누전차단기의 오동작을 방지하기위해, 릴레이 RL2의 동작시간이 3[ms]~5[ms]인 소자로 선정하였다.

Fig. 5는 순간단락사고에 대한 제안된 보조 제어장치의 동작유무를 확인하기위한 분석과형으로써 두 번의 인위적인 사고발생 시뮬레이션을 통해 측정된 결과이다.

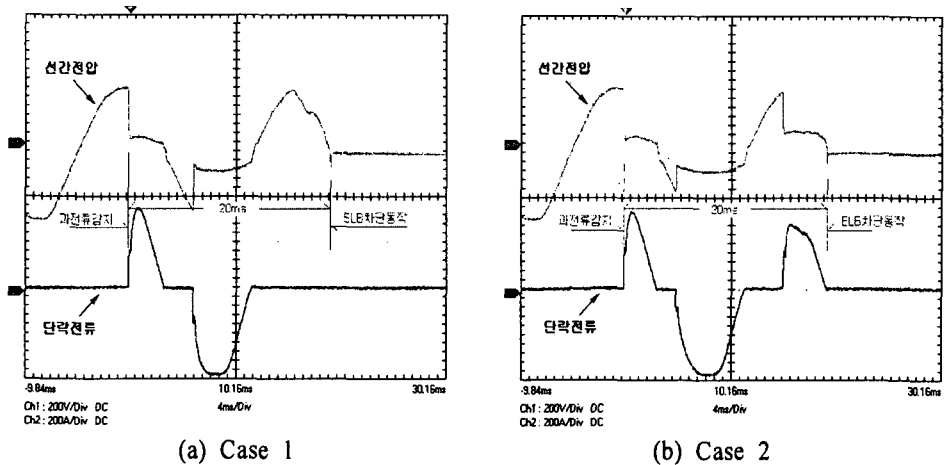


Fig. 5. Waveforms for momentary short circuit of proposed apparatus.

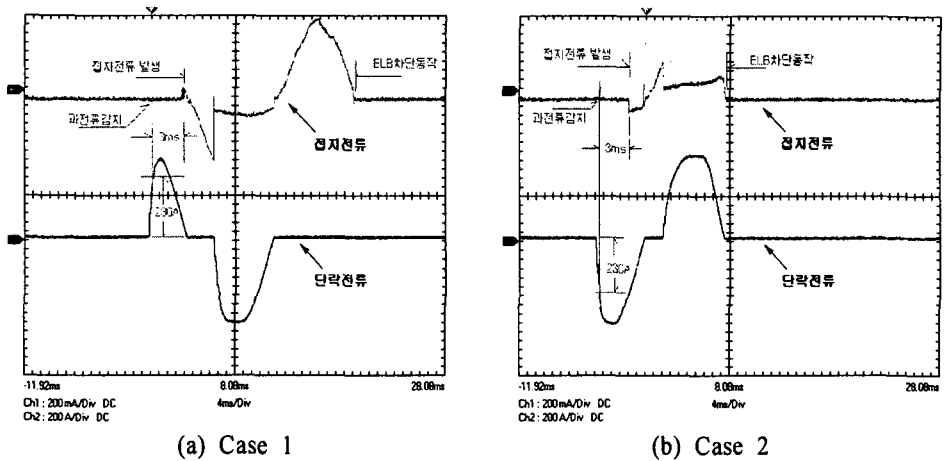


Fig. 6. Waveforms for spark fault of proposed apparatus.

Fig. 5(a)는 단락전류 최대치 360[A], 주기 11[ms]의 순간단락에 대한 분석과형이고 Fig. 5(b)는 단락전류 최대치 380[A], 주기 12[ms]의 단락사고에 대한 분석과형으로써, 두 경우 모두 보조 제어장치의 고속, 고정밀의 동작에 의해 누전차단기의 양호한 차단동작을 보였다.

Fig. 6은 스파크 사고에 대한 제안된 보조장치의 동작특성을 분석하기 위해 두 번의 인위적인 스파크 발생에 대한 분석파형을 나타낸다. 본 실험을 위한 인위적인 스파크 발생은 AC 220V 선간에 탄소저항 6.8[k Ω]/0.25[W]을 연결하여 저항체의 순간적의 파손에 의해 발생하는 불꽃방전으로 유도하였다.

Fig. 6(a)는 아크전류 최대치 360[A], 주기 10[ms]의 경우이고, Fig. 6(b)는 아크전류 최대치 400[A], 주기 12[ms] 경우에 대한 측정결과이다. 두 경우에 대해 제안된 보조 제어장치는 양호하게 동작되었다.

4. 결 론

본 논문에서는 교류저압 배선계통의 전기화재의 주 요인이 되는 순간단락사고, 선로노후 및 접속·접촉 불량에 의한 아크 및 스파크 사고 등에 대해서, 기존의 배선용차단기 또는 누전차단기로는 차단이 불가능한 문제점을 해결하기위한 보조 제어장치를 개발하여 제안하였다.

제안된 보조 제어장치는 배선선로에 발생된 이상전류를 검출하고 접지를 통해 단락전류를 흘려 보내어 기존의 누전차단기로 하여금 누전으로 인식시켜 차단기를 트립시키는 구조로 설계되었다. 이상전류의 검출에는 응답특성과 내구력이 우수한 리드스위치를 사용하여 보조장치의 신뢰성을 증가시켰다.

제안된 보조 제어장치는 각종 전기사고 시뮬레이션에 의한 실측 특성분석을 통해 실용성이 입증되었으며, 제어장치의 구조와 제어방식이 간단하여 소형경량으로 설계제작이 가능하였고 이에 따른 제작비용의 감소와 설치의 용이한 장점이 부여되었다. 향후 제안된 보조 제어장치가 각종 전기사고를 예방하여 인명 및 재산피해를 최소화할 것으로 기대된다.

참고문헌

1. 한국전기안전공사, “전기재해 통계분석”, 2002
2. R. N. Anderson, "What Came First? The Arc Bead or the Fire?", EC&M 100, pp. 20-21, 2001
3. 행정자치부, “2003년도 화재통계연보”. 2003
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. 새턴정보통신 부설연구소, “부하별 아크, 스파크 사고 데이터 및 분석 보고서”, 2002