

중성선 선로 전압강하를 이용한 단락사고 방지용 보호장치 개발

Development of Prevention Apparatus for Short-Circuit Faults Using the Line Voltage Drop of Neutral Wire

곽 동 결* · 김 진 환** · 이 봉 섭†

(Dong-Kurl Kwak · Jin-Hwan Kim · Bong-Seob Lee)

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 such electric faults, specially short circuit faults. Earth Leakage Circuit Breaker (ELB) and Molded Case Circuit Breaker (MCCB), that is, Residual Current Protective Devices (RCDs) used on low voltage distribution lines cut off earth leakage and overload, but the RCD can not cut off electric arc or spark to be a major factor of electrical fire. As the RCDs which are applied in low voltage distribution panel are prescribed to rated breaking time about 30ms(KS C 4613), the RCDs can't perceive to the periodic electric arc or spark of more short wavelength level. To improve such problem, this paper proposes a prevention apparatus using the line voltage drop of neutral wire and some semiconductor switching devices. Some experimental tests of the proposed apparatus confirm the validity of the analytical results.

Key Words : Neutral line voltage, RCDs, Electrical fire, Short circuit faults, Overload faults

1. 서 론

최근 전기사용의 증대와 더불어 국민들의 전기사고에 대한 안전불감증은 직접 전기재해를 접하기 전에는 그 심각성을 인식하지 못하는 실정이다. 특히 구내의 문어발식 전기 사용이나 노후 건물들의 옥내 및 건물외벽의 그물망식 내선 및 전기배선은 항상 전기사고의 위험에 무방비한 상태로써 전기기술자 또는 관계자들은 일각으로 그 위험성을 직시하여 이들에 대한 해결책이나 해결방안에 대한 시급성을 숙고하고 있는 상황이다.

행정안전부의 2011년도 화재통계 연보에 의하면 원인별 화재발생 상황 중 전기화재가 전체 화재의 25% 이상을 차지하고, 매년 재산피해액이 가장 높은 것으로 분석하였다. 그리고 2007년~2010년도 전기재해 통계분석에서 전기적 피해 내역을 살펴보면, 단락 31.5%, 절연열화 19.9%, 과부하·과전류 7.6%, 접촉불량 6.4%, 누전·지락 6.36%, 압착·손상 6.06%, 트래킹 3.7%, 반단선 1.64%, 층간 단락 0.85% 순으로 발생한 것으로 나타났다[1, 2]. 특히 전기화재의 위험성은 이러한 1차적인 원인보다는 이들 사고에서 동반되는 아크(electric arc)나 스파크(spark)에 의한 주변 가연물질로 확대되는 2차적 영향에 의한 화재가 대다수이다[3, 4]. 이러한 전기화재를 예방하여 전체 화재건수를 줄이는 것이 화재로부

터 국민을 보호하는 중요한 정책수단이 됨을 알 수 있다.

더욱이 국내 소방분야는 소방전기설비의 화재감지설비와 소방기계설비의 화재진압설비에만 중점적으로 다루고 있어 전기화재를 사전에 방지하기 위한 장치개발 등 근본적 대책 강구에는 크게 미흡한 실정이다. 가정, 산업현장 등의 저압 배전계통에 있어, 단락사고와 누전사고를 방지하기 위해 배선용차단기(MCCB) 및 누전차단기(ELB)를 사용하여 방지하도록 전기설비기술기준으로 정하고 있으며, 최근에 기준화된 “과부하검용 누전차단기(RCD)의 설치가 대중화되어 있다.

이들 RCDs는 누전과 과전류사고를 감지하여 차단하는 장점은 있으나, 직접적인 전기화재의 위험요소인 단락 및 과부하사고에 의한 아크나 스파크 현상에 대한 차단기능은 거의 없는 것으로 분석된다[5, 6]. 이것은 분전반에 적용되는 각종 차단기 및 RCD의 경우 정격차단시간이 30ms(국내, KS C 4613)로 정해져 있어, 더욱 짧은 폭의 레벨로 주기적으로 발생하는 아크나 스파크를 감지하지 못하기 때문이다. 또한 기존 차단기들의 동작 메커니즘이 과전류트립 전자(electromagnetic)방식이나 바이메탈(bimetal) 열동방식 구조에 의해 동작되어 동작속응성과 신뢰성에 문제점을 가진다.

이러한 문제점들을 개선하기위해 본 논문에서는 배전선로 중성선의 고유저항에 의한 선로 전압과 속응성이 우수한 반도체 스위칭 소자들을 이용한 고속 고정밀의 단락사고 및 과부하사고 예방용 보호장치를 개발하고자 한다. 제안한 보호장치는 전기사고 발생 시 중성선과 접지간의 강제적인 단락회로를 형성하여, 기 설치된 RCD를 누전으로 인식시켜 신속히 RCD를 차단시키는 신개념의 제어방법이 적용된다. 또한 제안한 보호장치는 회로구성과 제어방식이 간단하여 소형·경량으로 설계제작이 가능하여 매입형 콘센트나 외부의 멀티 콘센트 내부 또는 각종 전기·전자기기 및 통신기

* Graduate School of Disaster Prevention, Kangwon Univ.
** Graduate School of Disaster Prevention, Kangwon Univ.
† Corresponding Author : Dept. of Control Instrumentation Eng., Kangwon University
E-mail : mirine@kangwon.ac.kr

Received : October 18, 2012, Accepted : November 14, 2012

기 등에 적용되어 각종 전기사고를 예방할 것으로 기대된다. 제안한 보호장치는 다양한 동작특성 분석을 통해 그 우수성과 정밀성이 입증되고, 기존 RCD의 빈번한 오동작과 비신뢰성, 저조한 응답특성으로 인한 각종 전기사고 및 전기화재를 방지하고자 한다.

2. 기존 RCD의 동작성능 분석

2.1 RCD의 주요 특성분석

가정이나 산업현장 등 교류 600V 이하의 저압 배전계통에는 과부하사고와 누전사고를 방지하기 위해 과부하겸용 누전차단기(RCD)를 설치하고 있다. RCD는 기존의 누전차단기에 과부하사고를 검출 차단하는 제어회로를 부가한 구조로써, 누전은 물론 배전계통의 과전류사고에 대해서도 보호기능을 가지게 된다. RCD의 내부구조는 지락검출장치, 트립장치, 개폐기구로 구성되어 있으며, 지락검출장치로 사용되는 영상변류기(ZCT, Zero Current Transformer)는 고정밀로 제작되어 누전 및 지락사고에 대해 그 신뢰성이 우수하며 표 1과 같이 정격감도전류가 15mA/30mA로 정해져 사용된다. 전기화재의 주요 요인이 되는 단락 및 과부하사고에 대한 기존 RCD의 특성곡선을 그림 1에 나타낸다[7].

표 1 RCD의 주요 사양

Table 1 Principal specification of RCD

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 · 과부하 겸용	취득규격	KS C 4613

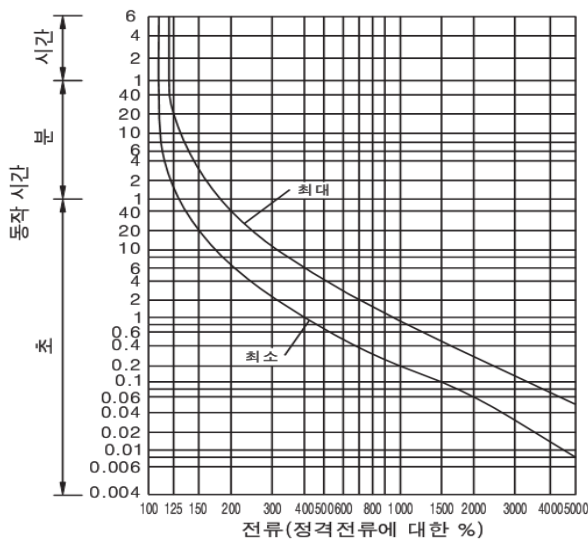


그림 1 RCD의 동작특성 곡선

Fig. 1 Operating characteristic curve of RCD

단락사고의 일례로써, 상승된 고장전류(정격전류의 약 200~500%)에 대한 차단동작속도가 평균 약 2초~15초로 매우 지연된 응답특성을 가진다. 이것은 단락사고나 과부하사고에 의한 아크 및 스파크 전류에 대해 차단 보호범위와 응답속도가 저조한 것으로 각종 전기화재의 원인으로 된다.

더욱이 배전선로에 사용되는 RCD들은 옥내 전기공급 분전반 인입선에 설치되어 있어 복잡한 배전계통의 부하측 중 단과의 내선거리가 길다. 대부분의 단락이나 과부하로 인한 전기화재가 부하단에서 발생하는 것을 감안할 때, 차단장치와의 선로거리가 먼 경우 선로저항의 증가에 따른 차단기의 정확한 감지가 미미하여 오동작의 요인이 된다. 그리고 단락사고 및 과부하사고에 대한 이들 RCD들의 동작 메커니즘을 살펴보면, 과전류 트립 전자기방식이나 바이메탈 열동방식의 구조에 의해 동작되므로 배전선로가 길어질 경우 그 동작 속성과 신뢰성에 문제점을 가진다. 그 결과 기존 RCD들은 단락 및 과부하사고에 의한 많은 전기화재 및 전기화재의 피해사태들이 증대되고 있다[8,9].

상기의 분석검토들로부터, 기존 RCD들은 지락(접지)사고에 대해서는 매우 우수한 동작성능을 가지지만, 전기화재와 관련된 단락 및 과부하사고에서 수반되는 아크나 스파크 현상에 대해 빈번한 오동작과 비신뢰성, 저조한 응답특성을 가지는 것으로 분석된다.

2.2 RCD의 동작특성 및 검토

전기화재의 요인이 되는 단락사고나 과부하사고에 대해 기존 RCD의 동작성능을 분석하기 위하여 그림 2에 성능분석 블록도를 나타낸다.

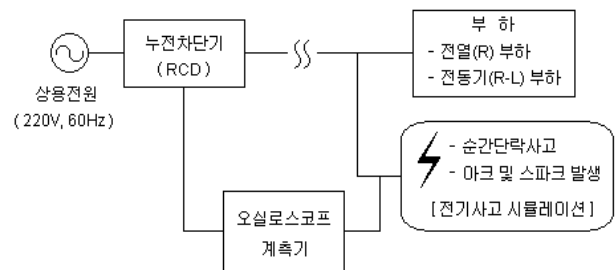


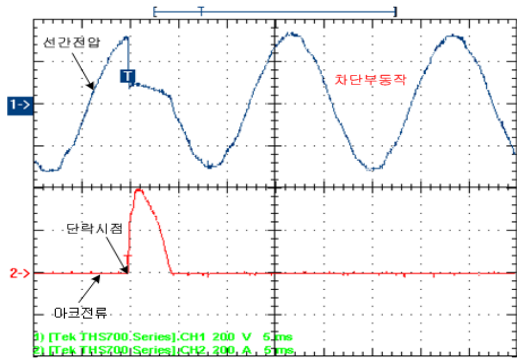
그림 2 RCD의 성능분석 블록도

Fig. 2 Block diagram for performance analysis of RCD

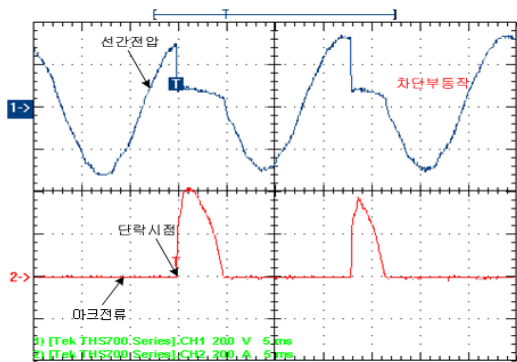
실측에 사용된 RCD는 한국산업규격(KS C 4613)에 준하여 제작된 인증제품으로, 단상 2선식 110/220V, 정격전류 30A, 정격감도전류 30mA, 정격동작시간 30ms의 과부하겸용 고감도형 누전차단기를 사용하였다.

그림 3(a), (b)는 단락사고에 의한 아크전류 발생에 대한 RCD의 동작유무를 확인하기 위한 분석과정으로써 인위적인 사고발생 시뮬레이터를 통해 측정된 결과이다. 본 실험을 위한 인위적인 아크발생 시뮬레이터는 AC 220V 선간에 탄소저항(색저항) 5.8kΩ/0.25W를 순간 단락시켜 저항체의 순간적인 파손에 의해 발생하는 불꽃방전으로 유도하였다.

그림 3(a)의 RCD의 성능분석결과에서 순간 아크전류(최대치 390A, 아크 폭 4ms)의 매우 큰 전류가 흘렀으나 RCD의 차단이 불가능하였다.



(a) Case 1 (아크전류 최대치 390A, 아크 폭 4ms)



(b) Case 2 (아크전류 최대치 410A, 아크 폭 5ms)

그림 3 기존 RCD의 동작능능 분석파형

Fig. 3 Operation performance waveforms of conventional RCD

또한 그림 3(b)에서도 순간 아크전류(최대치 410A, 아크 폭 5ms)의 사고전류가 흘렀으나 RCD는 동작되지 않았다. 이것은 RCD의 차단동작시간(30ms)보다 더욱 짧은 폭의 아크전류에 대해 차단이 불가능한 것을 알 수 있다. 또한 전기사고에 대한 이상(고장)전류를 분석해보면, 이상전류의 순시최대치는 크나 그 실효치가 적으며, 생성 주기가 매우 짧아 RCD의 차단기능이 상실되는 결과를 가져온다. 이는 저압 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 트립 코일의 여자가 불가능하여 차단기능이 상실된다.

3. 중성선 선로 전압강하를 이용한 단락사고 보호장치

3.1 보호장치의 회로구성 및 동작원리

본 논문에서는 전기화재의 요인이 되는 단락 및 과부하사고에 의한 아크나 스파크를 감지하여 기존의 RCD를 트립시키는 전기사고 보호장치를 개발하여 기존 RCD의 문제점을 개선하고자 한다. 단상 저압 배전계통에 대한 제안한 전기사고 보호장치를 그림 4에 나타낸다. 그림 5는 기존의 RCD와 제안한 보호장치의 설치 결선도를 나타낸다. 제안한 전

기사고 보호장치는 속응성이 우수한 반도체 스위칭 소자들을 이용한 고속 고정밀의 단락사고 및 과부하사고 예방용 보호장치로써, 전기사고 발생 시 배전선로 중성선(N)의 고유저항에 의한 중성선 선로 전압의 상승을 감지하여 중성선과 접지 간에 강제적인 단락회로를 형성하여, 기 설치된 RCD를 누전으로 인식시켜 신속히 RCD를 차단시키는 새로운 개념의 제어기법을 가진다.

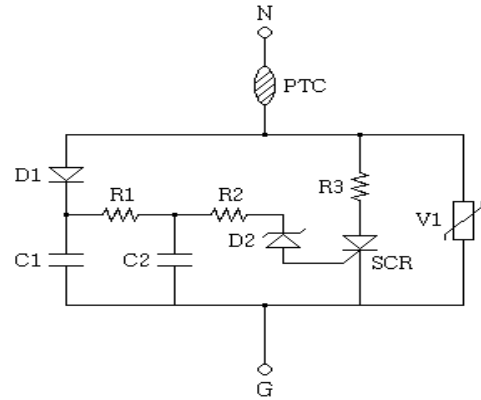


그림 4 제안한 전기사고 보호장치 회로도

Fig. 4 Circuit diagram of proposed prevention apparatus for electrical faults

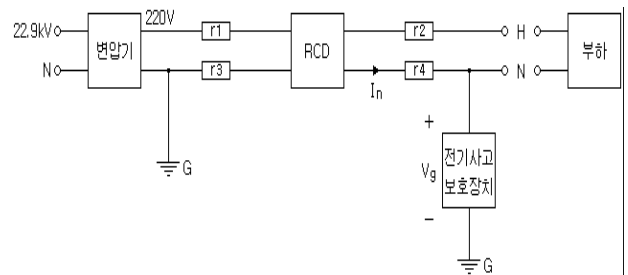


그림 5 제안한 보호장치 설치 결선도

Fig. 5 Installation wiring connection diagram of proposed prevention apparatus

제안한 전기사고 보호장치는 중성선(N)과 접지(G) 간에 설치되고, 사고 발생 시 단락회로에 의한 과열방지를 위한 PTC 서미스터(thermistor), 서지(surge)전류 흡수용 바리스터(varistor) V1, 사고전압 감지용 제너다이오드 D2, 누설 접지전류 발생을 위한 단락용 스위칭 소자 SCR 그리고 스위칭 제어용 소자 등으로 구성된다. R1과 C2는 적분기 회로로써 적분된 출력전압을 제어용 소자들에 공급하는 목적이 있으며, 이는 화재의 위험성이 저조한 유도성 부하의 개폐시나 뇌임펄스성 서지(충격파) 등 주기가 2ms이하의 속류성 전기신호에 대해서 보호장치의 동작을 방지하기 위해 사용된다. 또한 다이오드 D1은 통상 절연층정기(메가)를 사용할 경우 설치된 보호장치로 인한 절연층정기의 오동작을 방지하기 위해 접속된다.

그림 5에서 r1과 r3은 주상변압기 또는 수전반 변압기의 접지에서 건축물 내 분전반에 설치된 RCD까지의 배전선로 고유저항이고, r2와 r4는 RCD에서 부하단 접지까지의 선로 고유저항을 나타낸다. 또한 중성선 선로전압 V_g 는 다음 식

으로 주어진다.

$$V_g = I_n \times (r_3 + r_4) \quad (1)$$

여기서, I_n 은 중성선 전류이다.

그림 4의 제안한 보호장치의 동작원리를 살펴보면, 정상 상태에서는 중성선의 선로 고유저항(r_3+r_4)에 의한 선로전압 값(약 30V 이하)이 낮으므로 제안한 보호장치는 아무런 동작없이 계통에는 정상상태가 유지된다. 그러나 과부하 및 단락사고가 발생하여 중성선의 선로전압이 제너다이오드의 제너전압(30V 이상) 이상이 되면 제너다이오드의 도통에 의한 스위칭 소자 SCR이 턴-온된다. 그 결과 중성선과 접지 간에는 단락회로가 강제적으로 형성되어 큰 값의 접지전류가 흐르게 되고, 기 설치된 RCD를 차단 동작시켜 계통을 보호하는 일련의 동작원리를 가진다. 즉, 전기재해 발생 시 누설 접지전류를 인위적으로 발생시켜, 누전에 대해 동작 신뢰성이 우수한 RCD로 하여금 누전으로 인식하도록 하여 차단동작을 수행하는 알고리즘을 가지는 것이다. 여기서 PTC 서미스터는 지속적인 누설전류 발생으로 인한 보호장치의 소손을 방지하기 위한 목적으로 사용된다.

그림 5에서 r_2 와 r_4 는 건축물의 구조에 따라 다소 차이는 있지만, 부하 종단까지의 배선의 길이가 약 100m 내지 300m에 달하는 경우가 대부분이다. 특히 노후 건물 외벽의 문어발식 배선 또는 창고, 농가의 축사, 원예시설, 지하터널 및 통신구 등의 경우 그 값은 매우 클 것으로 고려된다. 그리고 안전을 무시한 사용자에게 의해 임의 증설이나 임시 배선이 수시로 발생하고 있으며, 지하 통신구의 경우 환풍기 및 조명배선이 500m에서 1000m가 넘는 경우도 많다.

이는 국제 표준 연동선의 고유저항이 1m당 1.724×10^{-2} [$\Omega \cdot \text{mm}^2$]인 점을 고려할 때, 저압 배전선로의 내선공사에 일반적으로 사용하는 단면적 2.0mm²인 연동선 200m에서 발생하는 저항은 약 1.7 Ω 으로 산정된다. 이것은 그림 5에서 부하 용량 1kW(220V, 4.5A)인 경우, 선로 r_2 또는 r_4 에서 발생하는 선로전압은 약 7.7V(=4.5A×1.7 Ω)로 계산된다. 더욱이 전기설비기준에서 규정하는 가정용 정격 부하용량 3kW인 경우는 상기의 계산법에 따라 선로전압이 약 23V로 추정된다.

이러한 요소들과 주위환경 등을 고려하여, 제안한 보호장치의 전압제어 소자인 제너다이오드의 제너전압을 선정할 수 있다.

3.2 제안한 보호장치의 동작특성 분석

제안한 전기사고 보호장치에 사용된 소자들의 소자규격을 표 2에 주어진다. 또한 실측 분석에 사용된 RCD는 저압 배전계통에 일반적으로 사용되는 KS C 4613에 준하여 제작된 단상 2선식 110/220V, 정격전류 30A, 정격감도전류 30mA, 정격동작시간 30ms, 정격차단용량 1.5kA의 과부하겸용 고감도형 누전차단기를 사용하였다. 실험에 사용된 배전선로는 일반적인 건축물의 인입선에서 부하 종단까지를 고려하여, 단면적 2.0mm²인 연동선 200m를 사용하였다.

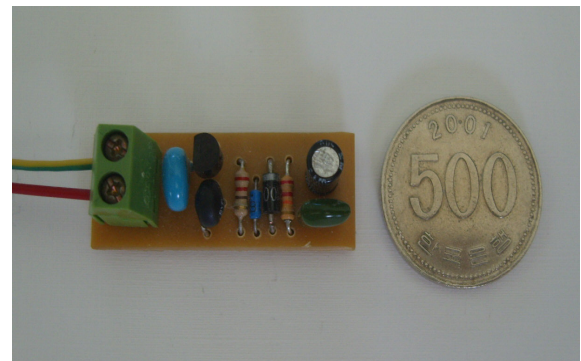
그림 6(a)는 제작한 전기사고 보호장치 회로도의 외형도를 나타낸다. 회로구성이 간단하여 소형·경량으로 제작되고 설치의 용이한 장점이 있어, 그림 6(b)와 같이 멀티 콘센트 내부 또는 매입형 콘센트나 각종 전기·전자기기 및 통

신기기 등에 적용되어 각종 전기사고를 예방할 것으로 기대된다. 또한 제안한 보호장치는 기술적 제어원리가 간단하며 반도체 제어소자들의 고속 고정밀 응답특성을 이용한 구조로 설계되어 신뢰성이 증대된다.

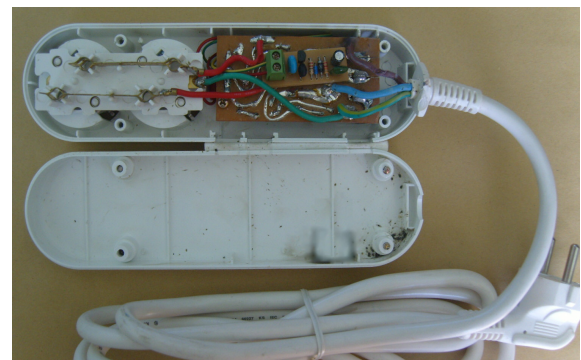
표 2 제안한 보호장치 소자규격

Table 2 Devices spec. of proposed prevention apparatus

공급전압	AC 220V / 60Hz	커패시터 C2	4.7nF, 마일터
PTC 서미스터	1.0k Ω , 10W	제너다이오드	32V, 0.5A
바리스터 V1	470V, 60W	반도체 스위치 SCR	60V, 1A
다이오드 D1	V _{rr} =600V, 50W	R1	10k Ω , 0.5W
커패시터 C1	1 μ F / 50V, 전해질	R2, R3	220 Ω , 0.5W



(a) 제안한 보호장치 회로도 외형



(b) 멀티 콘센트 내부에 내장한 보호장치

그림 6 제작한 보호장치의 외형도

Fig. 6 Photograph of the manufactured prevention apparatus

그림 7은 제안한 전기사고 보호장치의 동작성능을 분석하기 위한 실험장치를 나타낸다. 그림 8과 그림 9는 단락 및 과부하사고에 대한 제안한 보호장치의 동작성능을 확인하기 위한 분석과형으로써 인위적인 사고발생 시뮬레이터를 통해 측정된 결과이다. 본 실험을 위한 인위적인 단락 및 과부하사고에 의한 아크발생 시뮬레이터는 상기 기존 RCD 성능분석에서 사용된 것과 같이 AC 220V 선간에 탄소저항(색저항) 5.8k Ω /0.25W를 순간 단락시켜 저항체의 순간적인 파손

에 의해 발생하는 불꽃방전으로 유도하였다.

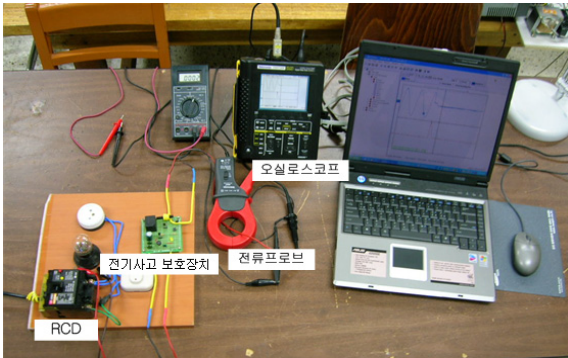
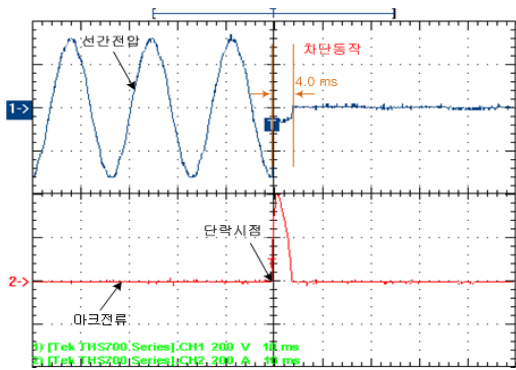
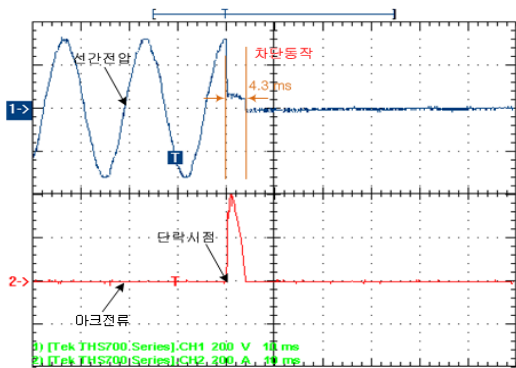


그림 7 제안한 전기사고 보호장치의 실험장치 구성도
 Fig. 7 Experiment set of proposed prevention apparatus for electrical faults



(a) 선간전압과 아크전류 (case 1)



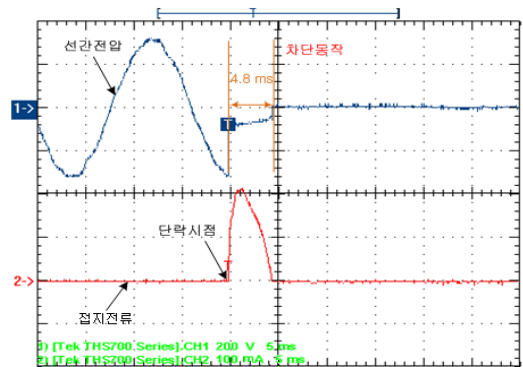
(b) 선간전압과 아크전류 (case 2)

그림 8 제안한 보호장치의 동작성능 분석파형 (I)
 Fig. 8 Operation performance waveforms of proposed prevention apparatus (I)

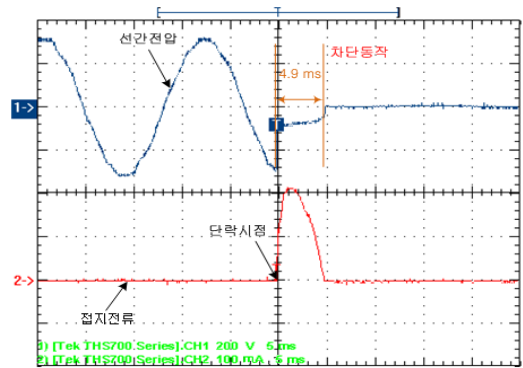
그림 8은 선간전압과 아크전류에 대한 분석파형으로, 그림 8(a)는 순간단락에 의한 최대치 약 390A, 아크 폭 3.8ms의 아크전류에 대한 분석파형이고, 그림 8(b)는 최대치 약 400A, 아크 폭 3.5ms의 아크전류에 대한 분석파형이다. 두 경우 모두 단락사고에 의한 임펄스성 아크전류에 대해 제안

한 보호장치는 약 4.3ms의 차단동작시간으로 기존의 RCD를 차단시키는 양호한 동작을 보였다.

그림 9는 선간전압과 접지전류에 대한 동작파형으로, 단락사고 시뮬레이터에 의해 이상전류가 검출되어 반도체 스위칭 소자 SCR에 의한 강제적인 단락 접지전류를 발생시키는 경우로써, 그림 9(a)는 약 210mA의 접지전류가 발생한 경우이고 그림 9(b)는 220mA의 접지전류를 발생한 경우이다. 두 경우 모두 제안한 보호장치는 기존 RCD의 동작감도 전류 30mA보다 더욱 큰 접지전류를 흘려 보내어 차단기를 트립시키는 양호한 차단동작을 보였으며, 제안한 보호장치의 고속, 고정밀의 동작에 의해 약 4.9ms의 차단동작시간으로 기존 RCD를 차단시켰다.



(a) 선간전압과 접지전류 (case 1)



(b) 선간전압과 접지전류 (case 2)

그림 9 제안한 보호장치의 동작성능 분석파형 (II)
 Fig. 9 Operation performance waveforms of proposed prevention apparatus (II)

동일조건에서 측정된 상기 기존의 RCD와 제안한 전기사고 보호장치의 동작특성 분석결과들을 검토하면, 기존 RCD의 경우 전기화재의 요인이 되는 단락 및 과부하사고에 의한 아크 및 스파크성 전류에 대해 동작불능과 비신뢰성을 보였으나, 제안한 보호장치는 사고 발생을 감지한 후 약 5ms 이내에서 계통을 차단시키는 동작성능을 보였다. 또한 제안한 보호장치는 여러 차례의 사고 시뮬레이터를 실행한 결과 모두 양호한 차단동작과 높은 신뢰성을 가졌다.

4. 결 론

본 논문에서는 저압 배전계통의 전기화재의 주요원인이 되는 단락 및 과부하사고에 의한 아크 및 스파크발생에 대해 기존의 차단기로는 차단이 불가능한 문제점을 해결하기 위해, 중성선 선로 전압강하와 속응성이 우수한 반도체 스위칭 소자들을 이용한 고속 고정밀의 단락사고 및 과부하사고 예방용 보호장치를 개발하였다. 제안한 보호장치는 각종 전기가사고가 발생할 경우 이상전류에 의한 상승된 중성선 선로 전압을 검출하고 중성선과 접지 간에 강제적인 단락회로를 형성시키고 누설 접지전류를 흘려 보내어 기존의 RCD로 하여금 누전으로 인식시켜 RCD를 트립시키는 신개념의 제어 기법으로 설계되었다. 또한 제안한 보호장치는 회로구성과 제어방식이 간단하여 소형·경량으로 설계제작이 가능하며, 매입형 콘센트나 외부의 멀티 콘센트 내부 또는 각종 전기·전자기기 및 통신기기 등에 적용되어 각종 전기사고를 예방할 것으로 기대된다. 제안한 보호장치는 다양한 사고발생 시뮬레이터에 의한 동작특성 분석을 통해 그 우수성과 실용성이 입증되었으며, 기존 RCD의 빈번한 오동작과 비신뢰성, 저조한 응답특성으로 인한 각종 전기사고 및 전기화재를 방지할 것으로 기대된다.

References

- [1] NEMA, "National Fire Statistics Analyses", 2011.
- [2] KESCO, "Electric Disaster Statistics Analyses", 2011.
- [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] C. S. Choi, D. W. Kim, Y. S. Kim, and K. Y. Lee, "The Arc Dispersion Properties by Switching of High Sensitivity Type RCD Contacts", Journal of KIFSE, Vol. 19, No. 2, pp. 63-68, 2005.
- [6] S. I. Lee, J. G. Yoo, J. C. Park, and G. H. Choe, "Design and Development of Distorted Source Device for Circuit Breakers Failure Analysis", Trans. of KIPE, Vol. 11, No. 5, pp. 480-488, 2006.
- [7] LSIS co., and Cheil Electric co., "Technical Data of ELB and MCCB", 2010.
- [8] D. K. Kwak, "Development of RCD Auxiliary Trip Device by using High Precision Current Sensor", Trans. of KIEE, Vol. 58, No. 8, pp. 1532-1537, 2009.
- [9] S. H. Choi, D. K. Kwak, and J. H. Kim, "A Study on Device Development for Electrical Fire Protection on Open Phase of Three-Phase Motor", Journal of KIFSE, Vol. 26, No. 1, pp. 61-67, 2012.

저 자 소 개



곽 동걸 (郭東杰)

1964년 11월 11일생. 1990년 경남대 전기공학과 졸업. 1993년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1997년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 1991년 한국전기연구소 기술원. 1998~2007년 한중대 전기전자공학과 조교수. 2007~현재 강원대 방재전문대학원 부교수.

Tel : 033-570-6823

E-mail : dkkwak@kangwon.ac.kr



김진환 (金鎭煥)

1962 11월 3일생. 1996년 서울과학기술대 대학원 졸업(석사). 2009~현재 강원대 방재전문대학원(박사과정). 2008년 국토해양부 중앙기술심의위원. 2012년 신재생에너지위원(전기공사협회). 2003~현재 (주)성지이앤씨 대표이사.

Tel : 02-2201-5601

E-mail : sjenc2002@korea.com



이봉섭 (李奉燮)

1965년 9월 19일생. 1991년 영남대 전기공학과 졸업. 1993년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 1996~현재 강원대 제어계측공학과 교수.

Tel : 033-570-6385

E-mail : mirine@kangwon.ac.kr