



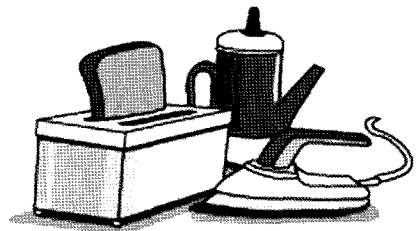
전기설비 오동작을 획기적으로 예방할 수 있는 충전전류 상쇄형 누전차단기(Igc Free ELB)



최 중 석
전주대학교 소방안전공학과 교수

1. 서론

누전차단기는 누전에 의한 감전재해 및 전기 화재, 아크 지락에 의한 전기설비 사고 방지 등을 목적으로 사용하는 차단기로서 1928년 서독에서 “충전부에 접촉된 인체에 흐르는 전류를 영상변류기로 검출하여 피해 발생 전에 고속차단으로 보호하는 방법”으로 최초 발표되었다. 초기에는 인체 통전전류의 한계치를 $50\text{mA} \cdot \text{sec}$ 로 설정하고 10배의 안전율을 고려하여 정격동작전류 50mA 인 누전차단기가 0.1sec 이내에



차단이 완료되면 인체보호는 물론 누전화재까지 예방할 수 있는 것으로 알려졌다. 1939년 영국에서는 전압 동작형 누전차단방식이 연구 발표되었으며, 미국에서는 1962년 감도전류 5mA 의 차단방식이 발표되었다. Biegelmeier의 연구 결과로 안전 한계 범위는 더욱 구체화되어 1969년 이후에는 IEC TC-64를 새롭게 보완하게 되었다

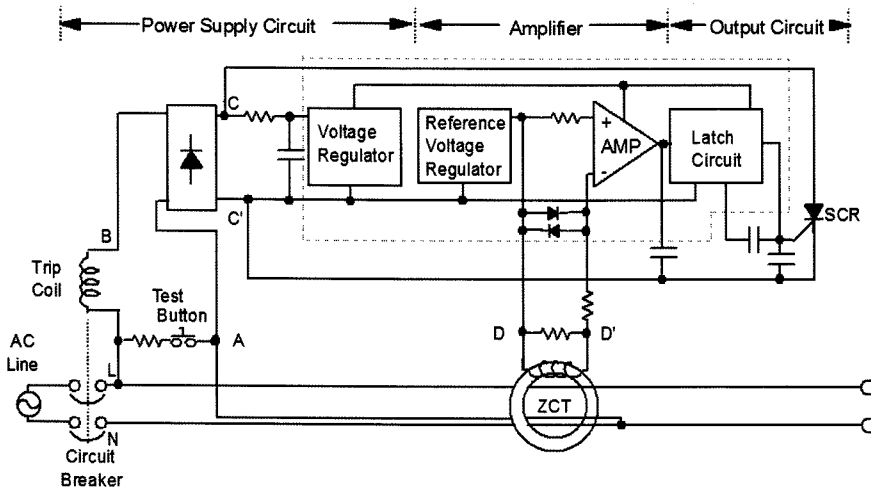
누전차단기가 작동하기 위해서는 정확한 누설전류를 검지하는 것이 전기재해 예방의 가장 중요한 인자이다. 회로에 이상이 발생하여 흐르는 전체 누설전류는 저항성 누설전류, 충전전류, 유도성 누설전류의 벡터합으로 표현된다. 그런데 전기화재 발생의 실질적 요소는 저항성 누설전류이며, 충전전류는 회로 및 시스템의 오동작을 유발시키는 성분으로 작용하여 기기나 장치의 신뢰성 저하는 물론 생산성 향상에도 장애요인이 된다. 그리고 회로에 포함되어 있는 유도성 누설전류는 선로에서 무시 가능할 정도로 적은 값이다.

이상의 해석에서도 알 수 있듯이 오동작 요소로 작용하는 충전전류는 상쇄시키고 전기화재의 주범인 저항성 전류만을 정확히 감지하여 차단기가 작동한다면 전기화재 예방은 물론 시스템 오동작을 근원적으로 예방할 수 있을 것이다. 오동작을 유발시키는 충전전류는 컴퓨터, 냉장고, 세탁기, 가로등, 인버터, 형광등, 전동기, 용접기 등의 기기에서 필연적으로 발생하므로 회로에 특별한 이상이 없는데도 불구하고 누전차단기가 빈번히 꺼짐(OFF)으로 전환되는 일이 발생하는 경우 사용자는 누전차단기를 제거하거나 직결하여 사용하다가 화재로 인명과 재산의 손실이 발생하는 것이다.

따라서 본 논고에서는 전기설비의 오동작을 획기적으로 예방할 수 있는 충전전류 상쇄형 누전차단기(Igc Free ELB, 진홍전기, syhahn@snu.ac.kr)의 특성을 제시하여 산업현장 적용의 객관적 근거를 제시하고 전기시스템의 오동작으로 발생하는 피해를 줄이고자 한다.

2. 기존 누전차단기의 회로 구성

기존의 누전차단기는 <그림 1>과 같이 누설전류를 검출하는 영상변류기와 검출된 출력신호를 증폭하는 증폭부, 증폭기의 바이어스 전압을 공급하는 전원부 및 설정된 누설전류를 초과하면 출력전압을 크게 하여 동작전류를 발생하는 출력부로 구성되어 있다. 정상상태에서는 영상변류기의 유입 및 유출전류가 같기 때문에 영상변류기의 코어에서 발생하는 자속의 벡터합이 "0" 이지만 누전 사고가 발생하면 누설전류가 흐르게 되고 코어 내의 자속의 벡터합의 차이가 존재하므로 이로 인해 변류기의 2차측에 유도 전압이 발생한다. 이 전압은 증폭되어 트립 코일에 교류전원이 공급되므로 트립 코일의 가동부가 차단기를 트립(trip)시키게 된다. 그리고 누전차단기의 동작 상태를 확인하기 위해 시험용 버튼이 설치되어 있으며, 고감도형 누전차단기의 경우 누전을 감지하고 차단되는 시간은 0.03초 이내에 이루어지도록 규정되어 있다.

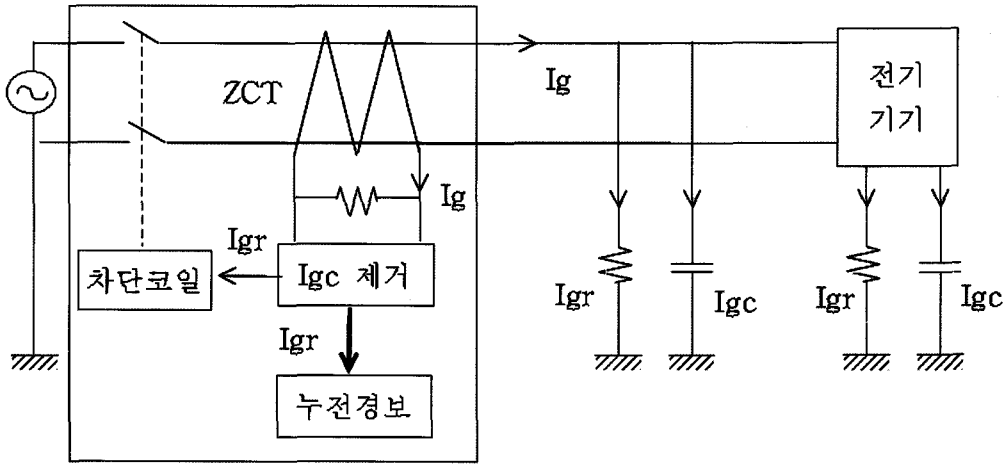


<그림 1> 기존 누전차단기의 회로



3 기존 누전차단기의 오동작 원인

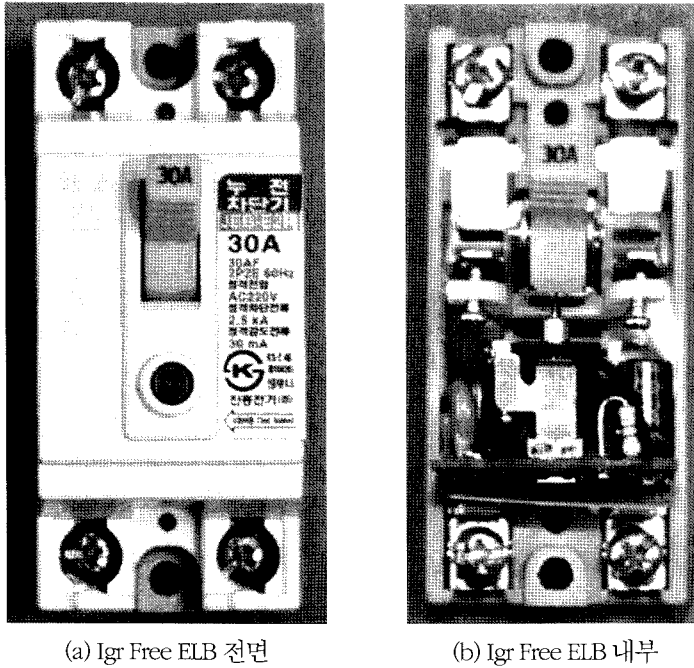
기존의 누전차단기 및 누전경보기에서는 영상변류기(ZCT)를 이용하여 누설전류를 검출하고 있는데 이것은 저항성 누설전류만(I_{gr})을 검출할 수 없고 전체 누설전류(I_g)를 검출한다. 따라서 기존의 누전차단기 및 누전경보기는 누설전류(I_g) 값이 기준치 이상이 되면 작동한다. 즉 $I_g = I_{gr} + I_{gc}$ 이므로 인체감전과 누전화재와 관계가 없는 충전전류(I_{gc})가 큰 전선로에서는 저항성 누설전류 값이 작아도 누전차단기 및 누전경보기가 동작하게 된다. 이와 같은 결점을 보완하기 위하여 <그림 2>와 같이 ZCT로 검출한 I_g 중에서 충전전류를 소거하고 저항성 누설전류(I_{gr})만 추출하여 이 저항성 누설전류 값에 따라 누전차단기 또는 누전경보기가 작동하게 하는 기술이 개발되었다. 이와 같은 기술로 제작된 누전차단기 또는 누전경보기를 충전전류 상쇄형 누전차단기(I_{gc} Free ELB) 또는 누전경보기라고 하며, <그림 2>는 기본 개략도를 나타낸 것이다.



<그림 2> 누설전류의 종류와 충전전류 상쇄형(I_{gc} Free ELB)시스템 개략도

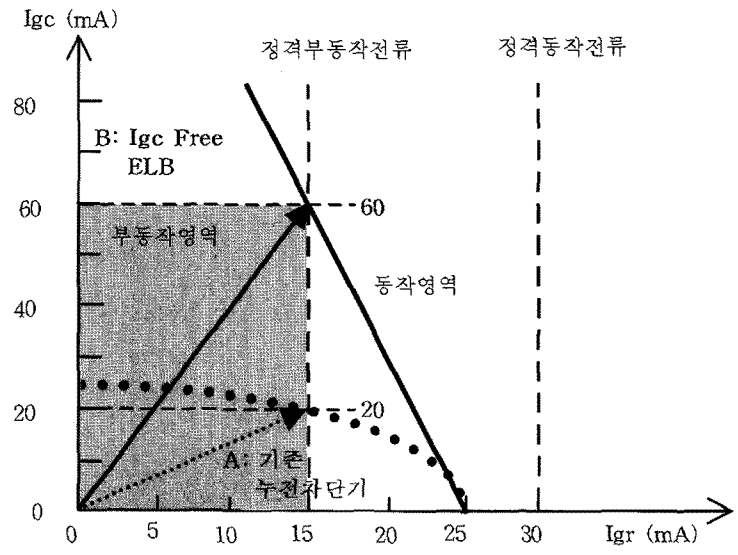
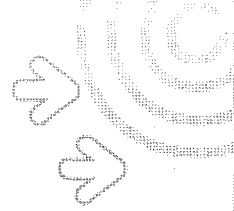
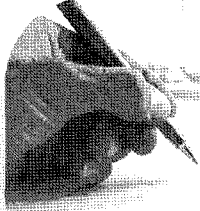
4. 충전전류 상쇄형 누전차단기(I_{gc} Free ELB)의 특성

<그림 3>은 충전전류 상쇄형 누전차단기(I_{gc} Free ELB, 진흥전기, syhahn@snu.ac.kr)의 실제 사진을 나타낸 것이다. 기존 누전차단기와 동일한 크기 및 외형을 갖고 있어서 기존 시스템에 쉽게 착탈이 가능하도록 제작되었다. 기존 차단기와 같은 기구부, 전원부, 출력부, 작동부 등이 있고 단지 검출부의 회로에 오동작을 유발시키는 충전전류를 상쇄시키는 시스템이 내장되어 있다. 크기는 32mm×70mm×50mm로 설치할 때 공간 활용이 우수하도록 제작하였다. 용량은 전격전류 30A, 정격전압 220V, 정격차단전류 2.5kA, 정격감도전류 30mA, 정격부동작전류 15mA, 동작시간 0.03sec 이내, 2P 60Hz이다. 또한, 동일한 기술을 이용하여 정격감도전류를 5mA 이하까지 설계가 가능하므로 가로등, 컴퓨터실, 냉동기기, 전동기기 부하 등이 설치되어 있는 시스템에 적용할 경우 전기재해 예방에 혁신적인 기능을 발휘할 것으로 판단된다.



(그림 3) 충전전류 상쇄형 누전차단기(Igc Free ELB)의 실제 사진

충전전류 상쇄형 누전차단기(Igc Free ELB, 진흥전기, syhahn@snu.ac.kr)는 기존의 누전차단기에 충전전류 상쇄 회로를 도입하여 ZCT로 검출한 전체 누설전류(I_L) 중에서 충전전류를 제거하고 저항성 누설전류만 추출하여 저항성 누설전류에 의하여 누전차단기를 동작시키는 것이다. 기존의 누전차단기에는 충전전류 상쇄 회로가 없어 누전차단기가 저항성 누설전류와 충전전류가 합쳐진 I_L 에 의하여 동작한다. 따라서 충전전류 상쇄형 누전차단기는 충전전류에 의한 누전차단기의 오동작이 현격하게 감소된다. 기존 누전차단기(곡선 A)와 충전전류 상쇄형 누전차단기(곡선 B)의 차단특성을 비교하면 (그림 4)와 같다. 두 누전차단기의 정격동작전류는 30mA(감도전류는 25mA)이고, 정격부동작전류는 15mA이다. 누전차단기는 모두 충전전류 값에 관계없이 저항성 누설전류가 30mA를 초과하면 차단기가 동작하여 모두 정격동작전류특성을 만족한다. 부동작전류 특성은 기존 누전차단기(곡선 A)가 충전전류 20mA까지는 정격부동작전류 15mA가 만족되나 충전전류가 20mA 이상이 되면 누전차단기가 저항성 누설전류가 15mA 이하에서 동작하여 정격부동작전류 특성을 만족하지 못한다. 극단의 경우 충전전류가 25mA 이상이 되면 저항성 누설전류가 흐르지 않아도 차단기가 작동한다. 충전전류 상쇄형 누전차단기(곡선 B)의 경우는 충전전류가 60mA까지도 정격부동작전류 15mA가 만족된다. 차단특성을 비교한 결과 충전전류 상쇄형 누전차단기는 기존 누전차단기에 비하여 정격부동작전류를 만족하는 충전전류가 3배나 더 크다. 따라서 충전전류에 의한 오동작을 획기적으로 감소시킬 수 있다.



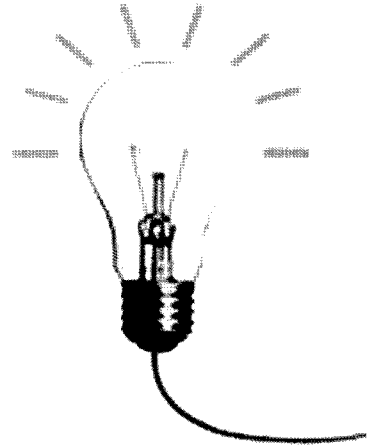
〈그림 4〉 기존 누전차단기(A)와 충전전류 상쇄형 누전차단기(B)의 특성 비교

5. 충전전류 상쇄형 누전차단기(Igc Free ELB)의 적용 분야

충전전류 상쇄형 누전차단기는 전기설비의 오동작을 혁신적으로 예방할 수 있고 다음과 같은 특성이 있다. 즉 충전전류가 큰 전선로에서도 오동작 없이 작동한다. 현재 누전차단기의 동작전류는 30mA인데 이것을 15mA에서 5mA 수준까지 낮출 수 있다. 따라서 전기재해를 현재보다 현격하게 감소시킬 수 있다. 저항성 누설전류가 검출 되므로 누설전류를 항상 감시할 수 있다. 따라서 누전차단기가 동작되기 전에 미리 누전의 원인을 탐지하여 누전의 원인을 제거함으로써 전기재해를 예방할 수 있다.

- (1) 충전전류(I_{gc})가 큰 선로
 - ㄱ. 가로등, 유도등, 교통신호등
 - ㄴ. 산업용기기(전동기, 용접기, 등) 전선로
 - ㄷ. 지중 케이블 등
- (2) 고조파 또는 고주파 누설전류가 큰 선로
 - ㄱ. 전자식 형광등 선로
 - ㄴ. 인버터로 구동되는 전기기기 선로
 - ㄷ. 통신기기용 전원공급 선로 등
- (3) 고감도(15, 10, 5mA급) 누전차단기의 사용이 권장되는 기기 또는 선로
 - ㄱ. 습기가 많은 곳(부엌, 화장실, 등)을 공급하는 분기선로

- 나. 비데, 세탁기, 냉장고 등의 기기에 사용하는 누전차단기
- 다. 의료용 전기기기
- 르. 전자식 약기
- 미. 소아용 전기기기
- 스. 컴퓨터가 많이 설치된 곳 등



4. 결론

본 논고에서는 전기설비에서 필연적으로 발생하는 충전전류를 혁신적으로 상쇄시켜 시스템의 오동작을 예방하고 신뢰성을 높인 충전전류 상쇄형 누전차단기(Igc Free ELB)의 특성을 분석하였으며 그 내용을 정리하면 다음과 같다.

- 1) 충전전류 상쇄형 누전차단기(Igc Free ELB)는 기존 누전차단기와 동일한 크기 및 외형을 갖고 있어서 기존 시스템에 쉽게 착탈이 가능하도록 제작되었으며, 단지 검출부의 회로에 오동작 요소인 충전전류를 상쇄시키는 시스템이 내장되어 있다.
- 2) 기존 및 충전전류 상쇄형 누전차단기의 정격동작전류는 30mA(감도전류는 25mA)이고, 정격부동작전류는 15mA이다. 또한, 누전차단기 모두는 충전전류값에 관계없이 저항성전류(I_{gr})가 30mA를 초과하면 차단기가 동작하여 모두 정격동작전류특성을 만족한다.
- 3) 기존 누전차단기는 부동작전류 특성 분석에서 충전전류가 20mA까지는 정격부동작전류 15mA가 만족되나 충전전류가 20mA 이상이 되면 누전차단기의 저항성전류가 15mA 이하에서 동작하여 정격부동작전류 특성을 만족하지 못한다. 극단의 경우 충전전류가 25mA 이상이 되면 저항성전류가 흐르지 않아도 차단기가 오작동하였다.
- 4) 그러나 충전전류 상쇄형 누전차단기(Igc Free ELB)는 충전전류가 60mA까지도 정격부동작전류 15mA를 만족한다. 또한, 차단특성을 비교한 결과에서 충전전류 상쇄형 누전차단기(Igc Free ELB, 진흥전기, syhahn@snu.ac.kr)는 기존 누전차단기에 비하여 정격부동작전류를 만족하는 충전전류가 3배나 더 크다. 따라서 전기설비에 필연적으로 존재하는 충전전류에 의한 오동작을 획기적으로 예방될 수 있음이 증명되었다.