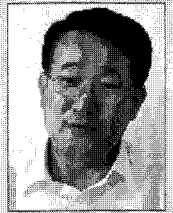


저압부문의 IGR 누전분석 (활선 절연저항 측정) 및 누전 차단기술 소개



글 _ 한 정 규 재신정보 대표

1. 현 누전분석 기술의 문제점 및 IGR 누전 분석 기술의 필요성

현재 일상적으로 사용되고 있는 누전차단기가 우리 인류 생활에 처음으로 적용되기 시작한 시점인 1950년대부터 고감도 누전차단기가 도입된 90년대 초반까지 국내 산업 환경은 아날로그 기기 중심 시대라고 볼 수 있는데, 이 때에는 전선로상에 지중 케이블의 대지간 정전포화 용량성 누설전류 성분이 대부분이었지만, 그 이후 급격하게 디지털 중심 시대로 오면서 많은 기기에 전원공급기(SMPS)가 장착되어 스위칭 소자와 콘덴서에 의해서 고조파가 발생되고, 콘덴서에 의한 누설전류 성분으로 인해 누전차단기를 작동 정지케 하는 결정적 역할을 하고 있다는 것을 알게 되었다. 더구나 누전차단기 오동작 원인을 파악하기 위해서 우선 누설전류계로 누설전류를 측정하면 과다한 누설전류로 인해 차단기가 오프된 것으로 일단 의심하여 과거부터 많이 사용한 절연저항 측정기(Megger)로 정전을 시킨 상태에서 절연저항을 측정하면 절연저항은 양호하게 나와서 전기엔지니어들을 매우 당혹스럽게 만들고 있는 것이 사실이다. 최근에 많이 보급되어 사용 중인 누설전류계(Clamp Leakage Meter)는 정전을 시키기 곤란한 장소에서 적용하지

만 절연저항을 직접 측정할 수가 없어 불편하고, 절연저항 측정기는 500V DC 이상의 고전압이 발생되므로, 고압에 손상되기 쉬운 모든 디지털 기기를 분리시킨 상태에서에서만 측정 가능하는 등 사용하기가 매우 불편하다.

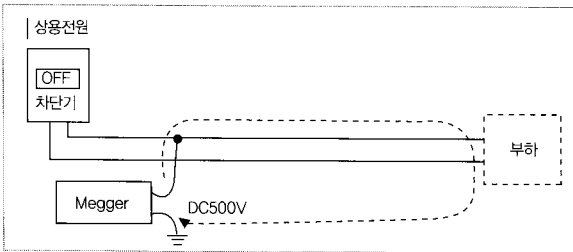
또한 일반 누설전류계의 측정항목은 유효성분 즉, 저항성 누설전류(Igr)와 무효성분 즉, 용량성 누설전류(Igc)의 벡터합(Io)을 측정 표시하므로, 실제 누전으로 인하여 감전사고와 화재발생의 위험이 있는 저항성 누설전류(Igr)만을 분리, 측정할 수 없는 불편함이 있는 측정기이다. 그래서 왜 누전차단기가 오동작하는 것인가에 대한 문제 해결을 위해서 누설전류의 성분에 대한 분석이 필요하게 되었으며, 또한 활선 상태에서도 곧바로 절연저항을 측정할 수 있는 기술이 필요하게 되었다. 더 나아가 이런 기술을 거꾸로 누전차단기에 응용하면 무효성분, 즉 용량성 누설전류에는 잘 작동하지 않고 유효성분, 즉 저항성 누설전류에는 잘 동작되어 누전차단기의 오동작을 없애고 현재보다 더 초고감도인 누전차단기를 만들면 인류에게 감전으로부터 안전하게 할 수 있으며, 전기누전 화재도 획기적으로 감소시킬 수 있게 되어 IGR 누전분석기(활선 절연 저항측정기)와 유효성분 동작형 IGR 누전차단기가 필요하게 되었다.

2. Igr 누전분석 기술이란?

가. 과거의 방법 및 문제점

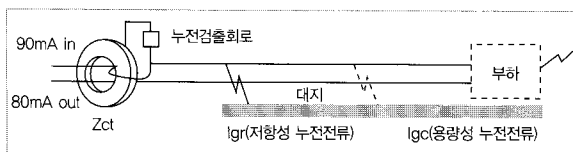
저압선로의 절연성능을 측정하는 방법으로 다음 2가지 방법이 있다. 첫 번째 방법인, 과거부터 많이 사용되어온 절연저항계(Megger)는 절연저항을 정확히 측정할 수 있지만 정전시킨 상태에서 측정하여야 하므로, 최근 24시간 운영되는 정보통신 장비 또는 자동화생산라인이 설치된 저압선로는 정전을 시키기 어려울 뿐만 아니라 고압에 손상되기 쉬운 디지털 전자부품이 많아 적용하기가 곤란하다. **【그림 1】**

절연저항 측정기(Megger)에서 공급된 DC500V 이상의 높은 전압을 저압선로와 부하에 인가하면 절연이 파괴된 개소를 통하여 통전전류가 대지로 흐르게 하고, 동시에 통전전류를 측정하여 절연저항을 산출한다. DC 500V를 인가하여 통전전류가 1mA로 측정되면 절연저항은 $(500V \div 1mA) 0.5M\Omega$ 이다.



【그림 1】

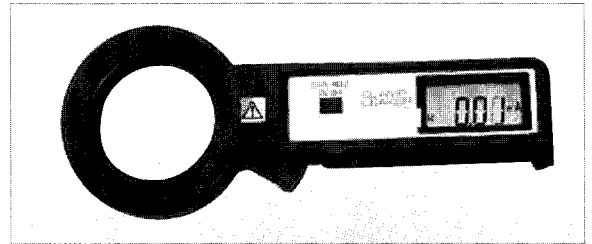
두 번째 방법인, 누설전류계(Clamp Leakage Meter)는 활선 상태에서 누설전류의 크기를 측정하는 방식으로, 저압선로에 별도의 특정 AC 또는 DC전압을 인가시키지 않고 측정하므로 부하에 영향을 미치지 않아 안전하고 편리하므로 최근 많이 사용하고 있는 방법이다. 그러나 누설전류계(Clamp Leakage Meter)는 저항성 누전전류(Igr)와 용량성 누설전류(Igc)의 벡터합(Io)이 측정되어 측정값에 대한 분석이 곤란하다. 따라서 1차로 누설전류계(Clamp Leakage Meter)로 측정하여 큰 값의 누설전류가 측정되면, 2차로 절연 확인을 위하여 정전시킨 상태에서 첫 번째 방식인 절연저항계(Megger)로 절연저항을 반복 측정하여야 하는 불편함이 있다.



【그림 2】

【그림 2】는 누설전류계(Clamp Leakage Meter) 측정방식에 대한 구성도이다. 누전전류의 동작원리는 영상변류기(Zct)의 내경에 전원의 라인(L)과 중성선(N)을 넣어 부하에 인가되는 입력전류와 출력전류의 차이를 측정하는 것이다. 예를 들어 입력전류가 90mA이고 출력전류가 80mA이면 10mA의 누설전류가 발생된 것으로 측정된다.

그러나 입력과 출력의 차이인 10mA ($90mA - 80mA$)가 모두 누전전류가 아니고, 저항성 누전전류(Igr)와 용량성 누설전류(Igc)가 함께 발생된 벡터합(Io) 누설전류값이다. 저항성 누전전류(Igr)는 실제 누전으로 인한 것이지만, 용량성 누설전류(Igc)는 선로와 대지 간에 캐패시턴스(Capacitance)의 임피던스 성분에 의한 누설전류와 상용주파수 보다 높은 주파수로 스위칭방식으로 전압을 제어하는 인버터 및 컴퓨터와 프린터 등 DC전원부로 사용되는 SMPS에서 발생하는 고주파 누설전류에 의한 것이다. (여기서는 용량성 누설전류와 고주파 누설전류의 합을 Igc라 한다.) **【그림 3】**누설전류계(Clamp Leakage Meter)의 외형도.

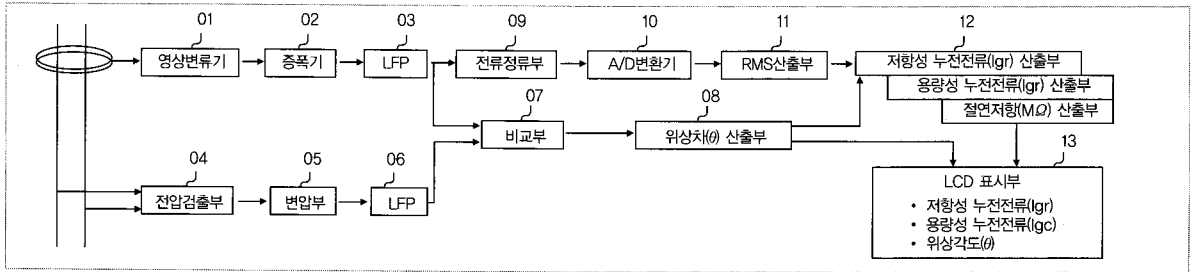


【그림 3】 일반 누설전류계

나. 최근 Igr 누전분석 기술 소개

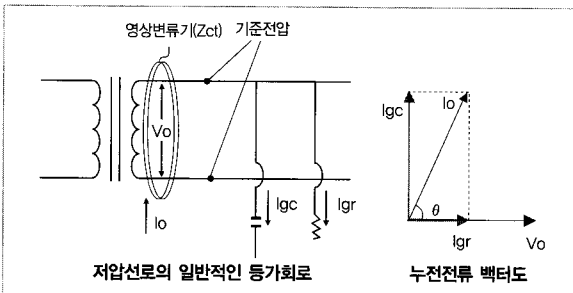
본 발명 기술은 누설전류 측정과 누전차단에 관한 것으로, 전원을 차단하지 않은 상태에서 측정된 누설전류를 이용하여 저항성 누전전류(Igr), 용량성 누설전류(Igc)를 각각 분리하여 측정하므로 사고의 위험이 되는 누전전류(Igr)의 정도를 쉽게 알 수 있는 누설전류 측정기에 적용할 뿐만 아니라, 누전차단기(leakage current circuit breaker)에도 이 방식을 적용하므로 전선과 대지간에 분포되어 흐르는 무효전류(Igc)를 배제한, 전선의 열화로 인해 발생하는 인체에 극히 위험한 저항성 누설전류에 의해 차단되도록 하여 비합리적인 무효전류에 의한 차단기의 전원차단을 사전에 예방하고 화재와 누전 사고를 미연에 예방하는 실용적인 효과를 얻을 수 있는 장점이 있다.

이 기술은 상시 운전되는 정보통신 장비 또는 자동화 생산라



【그림 4】 기술 동작 블록도

인이 설치된 저압선로에 전원을 차단하지 않고, 실제 누전으로 인하여 감전사고와 화재발생의 위험이 있는 저항성 누전전류(Igr)를 한번에 정확히 측정하여 해당 장치의 이상 여부를 간편하게 판별하는 위상각 산출에 의한 누설전류 측정 및 누전차단 방법 기술이며, 또한, 전원을 차단하지 않은 상태에서 선간전압과 영상변류기(ZCT)로 측정된 누설전류를 이용하여, 저항성 누전전류(Igr), 용량성 누설전류(Igc), 절연저항(MQ), 위상각(θ) 등의 측정정보를 분석 표시하므로 누전으로 인한 감전사고와 화재사고를 예방할 수 있게 하거나, 또는 용량성 누설전류에는 내성이 있고 저항성 누전전류에만 민감하게 동작하도록 누전차단기의 제어회로를 이용하여 차단 방법을 제공하는 기술이다.



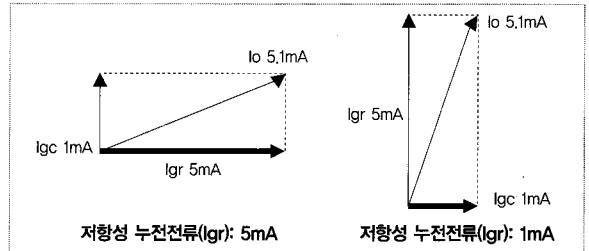
【그림 5】 용량성 누설전류(Igc)와 저항성 누전전류(Igr)의 회로 개요도

【그림 5】는 용량성 누설전류(Igc)와 저항성 누전전류(Igr)의 회로 개요도를 나타내며,

저항성 누전전류(Igr)는 선로의 노후화 또는 손상으로 실제 누전이 발생하는 것이지만, 용량성 누설전류(Igc)는 선로와 대지 간에 존재하는 캐패시턴스(Capacitance)의 임피던스 성분에 의한 누설전류와 상용주파수 보다 높은 주파수에서 스위칭 방식으로 전압을 제어하는 인버터, UPS 및 컴퓨터와 프린터 등 DC 전원부로 사용되는 SMPS(switching mode power

supply)에서 발생하는 고조파 누설전류에 의한 것이므로, 정확한 저항성 누전전류(Igr)의 측정값이 전선로의 건전성을 확인할 수 있는 측정값에 해당한다. 여기서는 용량성 누설전류와 고조파 누설전류의 합을 Igc라 한다. 저항성 누전전류(Igr)와 용량성 누설전류(Igc)는 누설전류 벡터합(Io)과 위상각 θ를 이용하여 아래의 수식으로부터 간단히 계산한다.

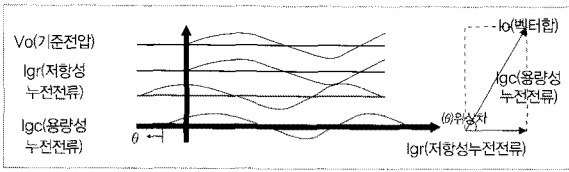
- 저항성 누전전류(Igr) = 누설전류 벡터합(Io) * Cosθ
- 용량성 누설전류(Igc) = 누설전류 벡터합(Io) * Sinθ



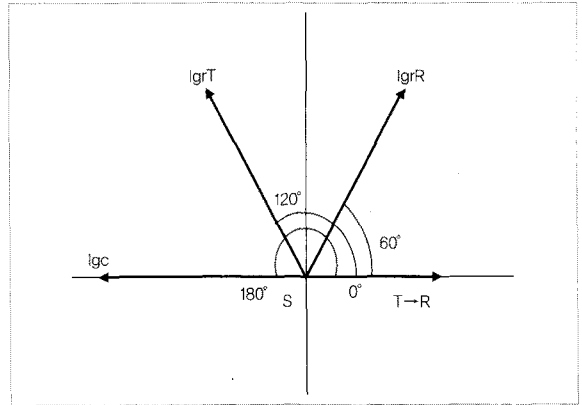
【그림 6】

【그림 6】은 벡터합(Io)은 같지만 저항성 누전전류와 용량성 누설전류의 크기가 다른 경우를 표시한 도면이다. 누설전류 벡터합(Io)은 모두 5.1mA로 같으나 저항성 누전전류(Igr)와 용량성 누설전류(Igc)의 크기는 같지 않다. 저항성 누전전류(Igr)의 크기에서 좌측은 5mA이지만 우측은 1mA이고, 용량성 누설전류(Igc)의 크기에서 좌측은 1mA, 우측은 5mA로서 특성이 다르지만, 양쪽 모두 누설전류 벡터합(Io)이 5.1mA로 동일하게 표시된다.

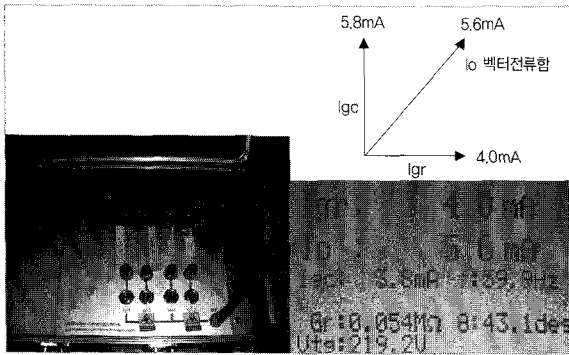
상기 등가 벡터 도면을 Sinewave 로 표시하면 아래 【그림 7】과 같다.



【그림 7】

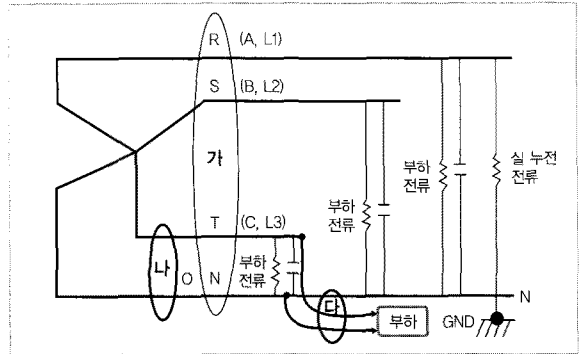


【그림 10】



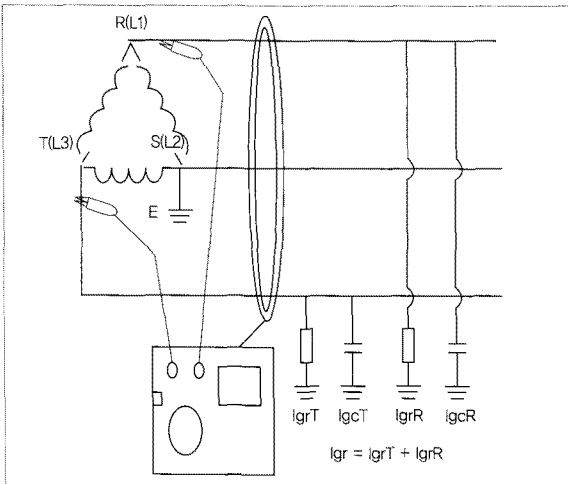
【그림 8】

【그림 8】은 세라믹 저항과 콘덴서를 이용하여 누전 발생기를 제작한 후 실제적인 누전전류의 분석을 해석한 벡터도와 누전분석기를 이용하여 측정된 화면에 표시된 값을 볼 수가 있다.



【그림 11】

【그림 11】은 3상 4선식의 와이/스타 결선회로로서 본 결선방식에서는 현재 세계적 기술로는 3상이 완전 평형이 되었을 경우에만 활선 절연저항을 측정할 수 있기 때문에 현실적으로 3상4선식을 측정할 수 있는 대상은 거의 없는 것으로 판단된다. 즉, 불평형 전류를 어떻게 알아내어서 전체 누전전류에서 불평형 전류를 제외하고 난 다음 진짜 저항성 누전전류를 분리해 낼 수 있는지에 대한 명확한 이론적 배경이 없는 한 올바른 기술로 평가받을 수는 없다. 상기 그림에서 “가”와 “나”에서는 누전분석이 불가능하다. 이유는 그 해당지점에서는 폐회로가 구성이 되지 않기 때문이다. 즉 부하전류와 변압기를 통해서 전류가 흐르기 때문이다. 하지만 “다” 지점에서는 단상 회로로서 부하에 폐회로가 구성되어 누전분석이 가능하여, 절연저항을 산출해 낼 수 있다. 따라서 3상4선식에서 메인 선로에서 전체적인 저항성 누전전류는 현재 기술로는 측정이 불가능하여 활선상태에서는 절연저항을 산출할 수 없다. 하지만 언젠가는 이것 또한 해석할 날이 곧 오리라 기대해 본다.



【그림 9】

【그림 9】는 델타 결선 회로로서 S상 접지의 평형회로를 구성하고 있어 한 번의 누설전류계로 누전분석이 가능하다. 누전전류 성분 측정을 위해서 기준 전압 위상은 R 상과 T 상을 기준으로 하며, 벡터 해석도는 【그림 10】이 된다.

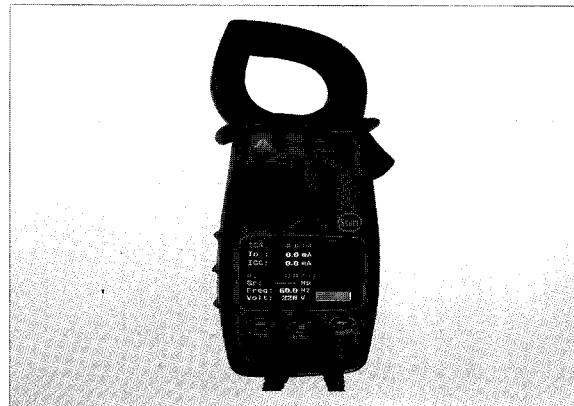
다. IGR 누전분석기 종류



【그림 12】 저항성 누전전류와 용량성 누설전류에 대한 위상각을 그래프로 칼라 LCD 화면에 표시한 칼라 디스플레이형 누전분석기



【그림 13】 저항성 누전전류와 용량성 누설전류에 대한 측정값을 흑백 LCD 화면에 표시한 일반형 누전분석기로 선로를 측정하고 있는 사진



【그림 14】 클램프 일체형 누전분석기로서 저가 보급형 기기

3. IGR 누전차단 기술 및 IGR 누전차단기 소개

가. 현 기술의 문제점 및 필요성

전기가 발명되고 1950년대부터 누전차단기가 미국등 선진국에서 처음으로 개발, 사용되어 우리나라에서는 1979년부터 KSC 4613 규격으로 제정되어 사용되어 오다가 1988년부터 고감도 누전차단기의 규격이 제정되어 본격적으로 사용되기 시작하였다.

하지만 기존의 누전차단기도 첨단 디지털시대가 도래하면서 문제가 발생되기 시작하였다. 즉, 누전차단기의 부하 전류로 과다로 인해 누전차단기가 떨어지는 것이 아니라 아날로그 시대에서는 예상하지 못했던 컴퓨터등 디지털 회로 공급용 전원 공급기를 캐패시터 등으로 구성된 SMPS를 사용하면서 전원 공급기의 크기, 가격 등에서는 혁신적인 발전을 가져왔지만 반대로 그로인해 부하에서 고조파가 발생할 경우에는 캐패시터 성분(무효성분)에 의한 누설 전류로 인해서 현재 방식의 누전차단기가 자주 떨어지는 문제로 초고감도 누전차단기(10mA 이하급)를 만들 엄두도 내지 못할 뿐만 아니라 현재의 고감도 누전차단기(15~30mA급)도 자주 오동작하는 문제가 발생되어 공장, 통신 기지국등에서는 중감도 누전차단기(50mA급이상)를 사용함으로 인해 사람에게 위험을 초래할 뿐만 아니라 전기 누전 화재에도 노출되는 문제를 안게 되었다.

그렇다면 사람에게는 초고감도(10mA급이하)로 작동하고 전기장치에는 아무런 문제를 야기하지 않는 누전차단기를 만들 수 없을까하는 것이 현재 인류에게 당면한 문제인데, 이 문제를 해결할 수 있는 기술이 바로 IGR 누전차단 기술이며, 이 기술로 만든 차단기가 바로 IGR누전차단기, 다시 말하면 유효성분 동작형 누전차단기인 것이다.

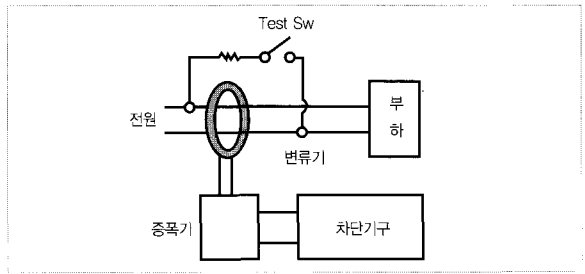
나. 전기 누전이 사람과 화재에 미치는 영향

전기누전으로 인해서 사람이 어떤 영향을 받을 수 있는지에 대해서는 1969년 미국의 달지엘(Dalziel)의 연구한 결과를 보면 99.5% 안전한 누전전류의 크기(최저 이탈전류:기수전류)는 어린이(4.5mA), 여자(6mA), 남자(9mA)로 확인하였다【그림 15참조】. 그래서 현재 미국에서의 누전차단기인 GFCI형의 UL943 CLASS A급에서는 누전 차단전류가 6mA±1mA로 되어 있다. 물론 이때의 누전전류는 【그림 16】에서 보다시피 모두 인체접촉에 의한 저항성분 즉, X축으로 되어있는 유효성분을 의미한다고 볼 수 있으며, 반면에 Y축은 저항성분에 위상이

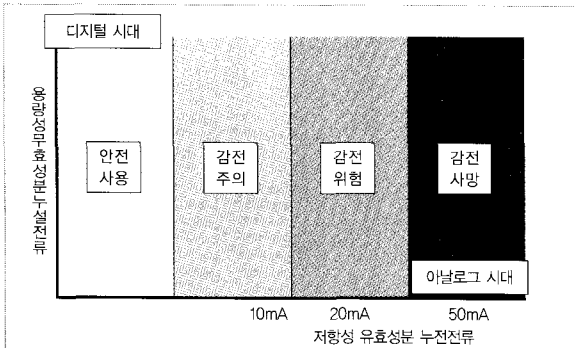
90도 앞서는 캐패시터 성분, 무효성분으로 되어 있으며, 인체 감전 누전전류와는 관계가 없다.

통과전류의 크기	1mA	5mA	10mA	15mA	50~100mA
증상	약간 느낌 정도	경련을 일으킨다	불쾌해진다	강박한 경련을 일으킨다	치사

【그림 15】



【그림 17】



【그림 16】

전기누전으로 인한 화재는 순수저항 성분에 의해서 1점 지점에서 발화하는 조건은 20mA 누전 시에는 수 시간 이내, 100mA 누전 시에는 수 분후 발화하는 것으로 실험실에서 충분히 시험해 볼 수 있다.

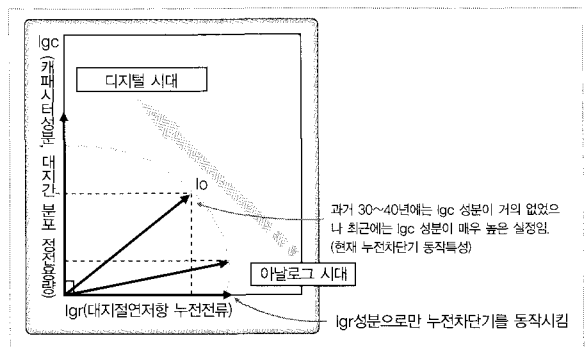
다. 현재 누전차단기의 동작원리 및 동작조건

현재 널리 사용하고 있는 전류 동작형 누전차단기의 동작원리는 【그림 17】과 같이 영상 변류기, 증폭기 및 차단기구로 구성되어 있다. 정상상태에서는 왕로와 귀로의 전선에 흐르는 전류의 크기가 같아서 전류에 의한 자속은 서로 상쇄되어 영상 변류기에 전압이 유기되지 않으나, 누전으로 인해서 변류기를 통과하는 전류의 크기가 달라지면 변류기에 전압이 유기되고 전류가 흐르므로 이를 검출하여 차단 기구를 동작시키는 구조로 되어 있다.

이러한 누전차단기의 기본적인 전류시험은 예전부터 모두 인체를 저항체(성인은 약1,000오옴 정도)라 생각하고 모든 시험을 진행해 왔으며, 시험결과도 저항성분에 기초하여 누전전류의 크기를 발표하여 온 것이 사실이다.

하지만 시험실에서 저항성분으로만 시험한 그 누전차단기가 현장에 설치된 뒤에는 대지간 절연저항 파괴에서 나오는 유효

성분인 저항성분(X축의 Igr)에 의한 누전전류만으로 동작하는 것이 아니라 무효성분인 캐패시터(Y축의 Igc)에 의한 누설 전류에 의해서도 영향을 받는다는 사실을 알게 되었다. 정확히 말하면 저항성분의 누전전류(Igr)와 캐패시터 성분의 무효 성분(Igc)에 의한 벡터합성 성분(Io)에 의해서 작동한다는 것이다. 즉, 실험실에서 시험한 결과와 현장에서 동작하는 동작 조건이 서로 다르다는 것을 알게 된 것이다. 【그림 18】에서 보면 아날로그 시대에서 주로 발생되었던 Igr 성분에 의해서 누전차단기가 차단되다가 현재 디지털 시대에서는 Igc 성분이 합성되어 Io에 의해서 누전차단기가 차단되는 것을 그림으로 보여주고 있으며, 서서히 Igc 쪽으로 Io 성분이 이동하고 있음을 보여준다.



【그림 18】

이러한 기술에 의해서 개발된 누전차단기가 한국을 비롯한 전 세계에서 사용하고 있는 것이 현실이다. 이러한 동작기준으로 작성된 규격이 정격감도전류가 고감도형은 5,10,15,30mA이며, 중감도형은 50, 100, 200, 500, 1,000mA이며, 저감도형은 3,000, 5,000, 10,000, 20,000mA형이 KS 규격으로 제정되어 사용되고 있다. 현재 가장 보편적으로 사용하는 고감도형 누전차단기는 30mA, 0.03초급이며, 습기가 많은 지역에서는

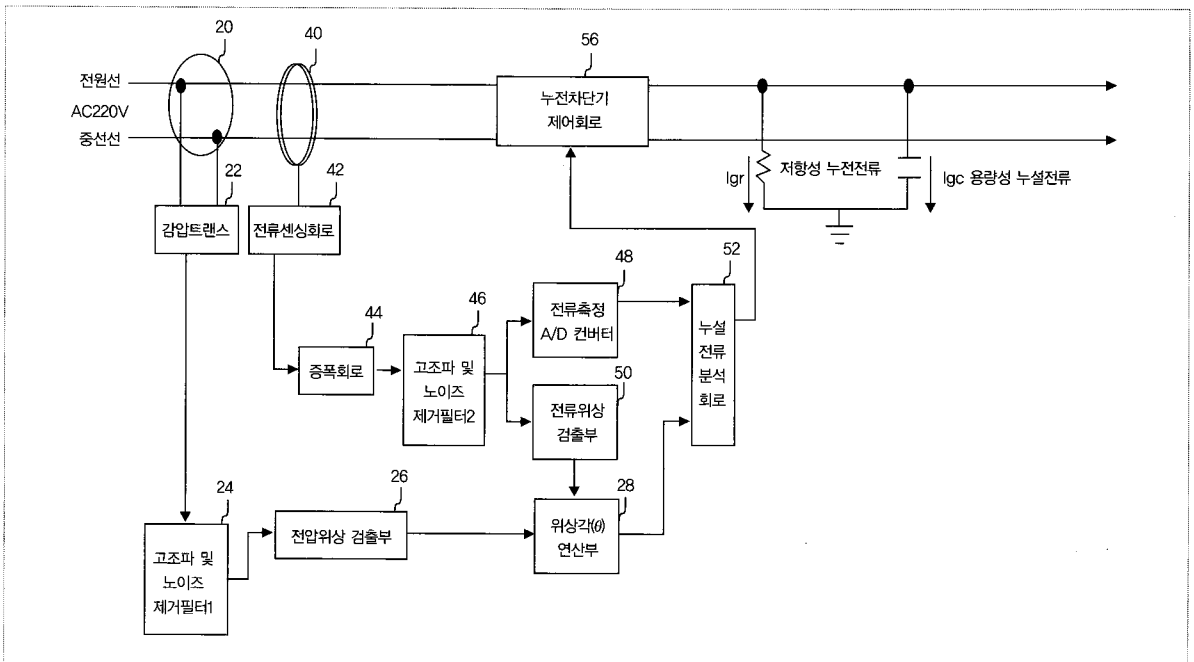
15mA, 0.03초급 사용을 의무화하여 가정에서는 목욕탕 등에서 사용하고 있지만 이것도 달지엘의 연구에서 보면, 순수 저항성 누설전류에 사람이 감전된다고 가정하면 절대적으로 안전한 차단기라고 볼 수는 없다. 현재 30mA급을 대부분 사용하고 있는 일반 가정에서 어린이들이 콘센트에 젓가락을 꽂음으로 인한 전기누전으로 큰 사고를 당하는 이유가 여기에 있는 것이다. 따라서 인류에게 가장 안전한 것은 5, 10mA급이지만 현재의 기술로는 너무 예민하게 동작하기 때문에 일반 가정에서 보편적으로 사용할 수 없는 이유가 바로 상기에서 언급한 이유 때문이다.

하지만 앞으로 인류가 사용하여야 할 차단기는 바로 5, 10mA급이 되어야 하며, 인류에게 안전한 삶, 행복한 가정을 지켜주는 것이기에 반드시 발명되어 인류에게 제공되어야 할 것이다. 향후 인류에게 제공될 초고감도형 누전차단기는 현재의 기술로는 현실화할 수 없으며, 현재 기술과는 완전히 다른 기술, 즉 사고의 전환을 통해서 가능하며, 또한 초소형 컴퓨터 기술을 활용하여야만 가능한 기술 즉, 이것이 바로 Igr 누전차단 기술이며, Igr 누전차단기, 유효성분 동작형 누전차단기인 것이다. 바로 이 기술이 인류에게 전기로부터 안전한 삶을 제공하고, 가정의 불행을 방지하는데 크게 기여할 것이다.

라. Igr 누전차단 기술 및 제품 소개

Igr 누전차단기는 이러한 디지털 시대에 직면하여 있는 누전 차단기의 근본적인 문제를 해결하고자 발명한 누전차단기이다. 인체감전과 전기누전 화재에 직접적인 영향을 주고 있는 유효성분 누설전류(Igr) 성분에 의해서 주로 차단되지 못하고 전선선로와 디지털 전원공급장치(SMPS)등에 상시 존재하는 인체와 화재의 위험에 직접적인 영향이 없는 무효성분 누설전류(Igc)까지 합산(Io)되어 차단하는 기존 기술과는 다른 새로운 방식으로 누전차단기 내부의 연산회로에서 누설전류에 대한 유효성분(Igr)을 무효성분(Igc) 누설전류와 분리해 내어 유효성분으로 주로 동작하게 하는 세계에서 처음으로 상용화된 Igr 누전차단 기술이다.

본 기술의 위상각 산출에 의한 누전차단 방법은, 전원선과 중성선 양단에 연결되어 선간 전압값과 전압 위상을 검출하는 과정과, 전원선과 중성선의 외부에 연결되어 누설전류 백터합 값(Io)과 전류위상을 검출하는 과정과, 선간 전압값과 전압위상, 상기 누설전류 백터합 값(Io)과 전류위상을 이용하여, 위상각(θ)을 계산해 내는 것이 핵심기술이며, 이 위상각을 이용하여 저항성 누설전류(Igr), 용량성 누설전류(Igc)를 계산하고, 각각의 누설전류의 크기를 판단하여 누설전류 분석회로에서 누전차단기 전원 차단용 구동 코일을 작동시키는 것으로 되어있다. [그림 19 참조]



[그림 19]

다음호에 계속 ▶▶