

November 2023

전기및비

The Electrical Works

김영신 혁신전공사 회장

 한국전기공사협회

절연저항이 양호한 전선로상에서 누전차단기가 트립되는 원인 및 대책



writer | 한정규 재산정보 대표

1. 누전차단기의 현재 문제점과 자동복구누전차단기 등장 배경

현재의 누전차단기는 1980년대 초에 규격이 제정되어 여러 해에 걸쳐서 규격이 개정되어 왔다. 이번 호에서는 절연저항이 양호한 선로에서 누전차단기가 왜 트립이 되는지 그 이유와 대책은 무엇인지에 대해서 알아보기로 한다. 그동안 이런 문제에 대응하기 위해서 자동복구 누전차단기가 도입되었다. 그런데 이 자동복구누전차단기를 만들 수 밖에 없었던 이유는 절연저항이 양호한 전선로상에서 누전차단기가 자주 불필요하게 동작하니까 이러한 불편을 해소하기 위해서 또 설비의 연속적인 운전을 위해서, 설비의 유지보수 출동횟수를 줄이기 위해서 만들어야 하는 충분한 이유가 있었기 때문에 개발하였던 것이다. 그런데 가끔씩 절연저항이 파괴되어 설비에 심각한 문제를 야기하고 있어서 정상적으로 누전차단기가 트립이 되었는데도 불구하고 자동복구 누전차단기가 강제로 자동복구하는 일들이 가끔씩 발생하게 되어 설비의 손상이 심각하게 된다든지 심지어 화재까지 발생하는 경우가 생기게 되었다. 그러면 과연 불필요한 동작 상태를 그냥 두고만 갈 것인가 아니면 그 원인을 찾아내어서 그러한 불필요한 누전에는 누전차단기가 가능한 트립이 되지 않도록 만들면 되지 않을까하는 것이 이번 기고에서 밝히고자 하는 기술이다. 또 분전반을 제작시 상, 하부 누전차단기로 운영할 경우에 현재는 상부가 먼저 트립이 되는 경우도 발생하고 있는데 어떻게 하면 보호협조를 하여 하부 누전차단기가 먼저 떨어지도록 할 것인가에 대해서도 알아보려고 한다.

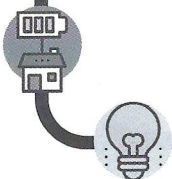
2. 누전분석 및 차단관련 누설전류 기술로드 맵 해석

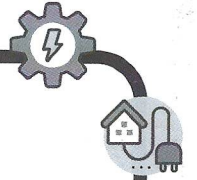
불필요한 누전에는 동작을 하지 않는 기술에 대한 설명을 하기 전에 먼저 누전분석 및 차단에 관련된 누설전류 분석 및 차단 기술 로드맵부터 설명을 할까 한다.

본 기술 로드맵을 잘 이해하면 누전에 관련된 모든 기술을 이해하는데 큰 도움이 될 것이다.

먼저 좌측면의 A. 누설전류의 발생 성분별로 분류에 대해서 설명을 한다.

1사분면은 옴의 법칙에서 나오는 절연저항이 파괴되면 저항을 통해서 전류가 흐르는 원리이기 때문에 이 이론에 근거하여 누전차단기가 만들어지고 규격을 제정하고 인정시험도 이 저항성 누전전류로 시험하고 있다. 이 저항성 누전으로 인해서 인체의 저항을 통하면 인체 감전이 되고, 저항체에 발열이 되면 누전화재가 되는 것은 자명한 것





이다. 이렇게 해서 누전차단기가 트립이 되면 자동 복구를 해서는 절대로 안 되는 것이다. 이런 저항성 누전전류를 측정하기 위해서 정전시에는 절연저항계를 사용하면 되고 활선상태에는 누전분석기, 저항성 누설전류계로 사용하면 바로 알아낼 수가 있는데 아직 3상 부문에는 확실한 계측기가 없는 실정이다.

누전분석 및 누전차단에 관한 기술 로드맵 - 최신정보 제작	
A. 누설전류 발생 성분별 분류	B. 누설전류 발생 형태별 분류
I. 저항성(RESISTIVE) 누설전류 <ul style="list-style-type: none"> - 절연저항 파괴로 누전화재 및 인체감전 직접적인 원인 - 모든 누전차단기 동작에 직접 관여 - 차단 후 자동복구시 심각한 문제 발생 	II. 상시적인 정적(STATIC) 누설전류 <ul style="list-style-type: none"> - 일반 누설전류계로 합성 누설전류만 측정 가능 - 누전분석기로 발생성분 분석가능 - 저항성, 용량성 누설전류 혼재
III. 용량성(CAPACITIVE) 누설전류 <ul style="list-style-type: none"> - 절연저항은 양호하며 누전화재와 인체감전에는 위험성 적음 - 전통적 누전차단기 동작에 직접 관여 - IGR 누전차단기는 잘 동작하지 않음 	IV. 순시적인 동적(DYNAMIC) 누설전류 <ul style="list-style-type: none"> - 누전분석기, 일반 누설전류계로 분석, 측정 불가능 - 전원품질분석기로 순시 발생 누설전류 측정가능 - 용량성누설전류(절연저항 양호)로 누전차단기 동작에 관여 - 자동복구형 누전차단기로 복구 가능 - IGR, IOP 누전차단기는 트립되지 않고 정상 운영 - GPT, OVGR, EOGR 동작에 관여

Copyright©2023 JAE SHIN INFORMATION Co., Ltd. All rights reserved

다음은 3사분면을 설명해 본다. 이 부분은 디지털 시대가 되면서 확실하게 발생한 현상이라고 볼 수 있다. 디지털 시대에는 전원공급기가 SMPS라고 하는 것이 개발되어 자연적으로 캐패시터를 많이 사용하게 되면서 접지측으로 캐패시터를 통해서 교류 전류가 자연적으로 발생하는 부분이다. 또 케이블을 장구간 포설했을 경우에 대지와 케이블간에 형성되는 간격이 작을수록 케이블의 길이가 길수록 용량성 누설전류의 양도 커지게 된다. 이 용량성 누설전류도 누전차단기 동작에는 관련을 하게 된다. 그래서 LED 조명등을 전류 용량에 맞게 누전차단기의 정격 용량을 선정하였다고 하더라도 이 용량성 누설전류값이 30mA를 넘어가게 되면 정격 허용전류에 관계없이 누전차단기는 트립하게 된다. 이러한 문제를 알고 용량성 누설전류에는 둔감하게 작동하도록 개발한 것이 IGR누전차단기였는데 IEC와 한국의 국가기술표준원에 의해서 판매가 중지되어 안타깝기 그지없다. 이 IGR누전차단기 기술을 이용하면 각 가정에 10mA 이하의 누전차단기를 설치하고도 현재 방식의 누전차단기보다 훨씬 안전하게 안정적으로 가정 생활을 할 수가 있을 것이다. 용량성 누설전류를 측정하기 위해서는 누전분석기, 저항성 누설전류계로 측정할 수가 있다.

다음으로는 우측면의 B. 누설전류 발생형태별로 설명을 하고자 한다.

발생형태별로 구별하고자 하는 것은 누설전류에도 발생시 동작시간 개념이 있다. 즉 지속적으로 누설전류가 발생하고 있는가, 아니면 순시적으로 발생하고 사라지는 것인가에 대해서 알아보고자 한다, 이 부분이 그동안 전기공학을 하는 모든 분들이 잘 모르고 지나간 분야일 것이다. 현 시대에는 디지털 시대가 되면서 전원공급 장치들에서 순간적인 스위칭이 많이 발생하고 낙뢰의 크기도 증가하는 추세이다.

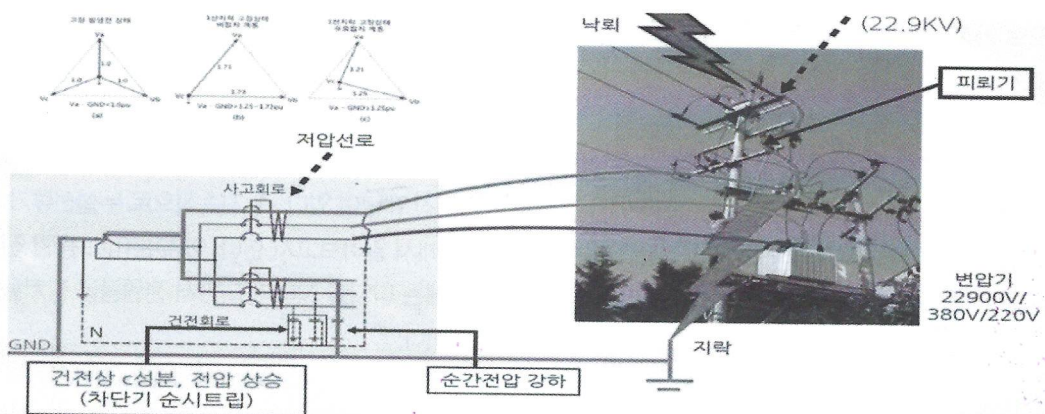
2사분면을 보면, 저항성이든지 용량성 누전이든지 일단 발생하면 연속적으로 계속 발생하게 되는 것이다. 그래서

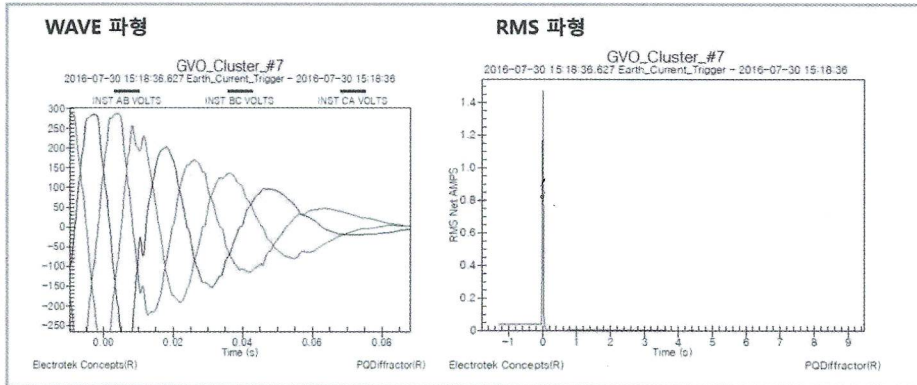
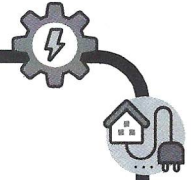
여기에서는 누전화재도 발생하고 인체감전도 발생할 수 있기 때문에 누전차단기에 동작시간을 두어서 0.03초, 0.1 초 등으로 규격을 제한해서 운영하고 있다. 그런데 여기에서 문제가 발생하고 있는 분야는 바로 누설경보기 운영부 분이다. 공장등에서는 3상 누전차단기를 사용해야 할 장소에 누전차단기가 자꾸 불필요 동작을 하니 누설경보기 설치를 허용해 주고 있다. 여기에서 문제가 발생할 소지가 있는데, 누설경보기는 용량성 누설전류에도 동일하게 경 보가 울리게 되다 보니 양치기 소년이 되는 경우가 허다하다. 처음에 발생할 경우에는 경보기를 리셋하다가 자꾸 유사한 경우가 생긴다보면 정말 저항성 누전이 발생하여 긴급하게 조치를 하여야 함에도 평시 습성대로 그냥 방치 하게 되는 경우가 발생하는데 이때 공장에는 큰 사고가 발생하는 문제를 항상 가지고 운영하는 것이 문제가 된다. 이 부분을 해결해야 공장의 건전성을 유지할 수가 있을 것이다. 이런 상시적인 정적인 누설전류를 측정하기 위해서 오래 전부터 사용하고 있는 것이 일반 누설전류계인데 용량성과 저항성 누설전류의 합성성분을 측정할 수 있고, 최근 에 개발하여 사용하고 있는 누전분석기, 저항성 누설전류계로는 용량성과 저항성분을 각각 분리해서 측정할 수가 있기 때문에 누설전류 성분을 분석하는데 매우 도움이 되고 있다.

마지막으로 4사분면은 그동안 전기공학도들도 잘 몰랐던 분야일 것이다. 물론 측정할 수 있는 계측기가 없었던 것 이 가장 큰 이유였을 것이고 전기공학 교과서에도 언급이 없었기 때문일 것이다. 그러면 순시성 누설전류의 성분은 과연 무엇이며, 언제 발생하느냐가 관건일 것이다. 먼저 성분은 용량성 성분으로 나타난다. 저항성분으로는 순시성 으로 나타날 수 있는 확률은 거의 제로에 가깝다. 그러면 언제 이러한 순시성 용량성 누설전류가 발생할까에 대해 서 자세하게 알아볼 필요가 있을 것이다.

첫째, 낙뢰, 지락현상이 배전선에 발생했을 때이다. 다음의 그림을 보자

배전선의 어느 1상에서 낙뢰로 인해서 지락이 생기게 되면 해당되는 선로에는 순간전압강하가 발생하게 되고 건전 한 상에서는 순시성 용량성 누설전류가 발생하게 된다. 이때 건전상에 연결되어 있는 대부분 누전차단기는 불필요 하게 트립이 될 확률을 가지고 있다고 본다. 즉 절연저항이 아주 양호한 선로에서도 이러한 현상이 발생하고 있다.





둘째는, 전기기계가 운전 중일 때 전류가 순간적으로 파형이 변형될 때, 특히 3상 전원일 경우에 3상에서 동시에 전류 파형이 왜곡이 될 경우에는 바로 순시성 용량성 누설전류가 발생하게 되어 누전차단기를 불필요하게 동작하게 한다. 이 분야가 전기공학에서 가장 해석하기 어려운 분야라고 본다. 최근에 이러한 디지털 전원장치, 인버터 장치, IGBT에 의한 스위칭 기기 부품들이 증가할수록 이러한 순시성 누설전류가 발생할 확률이 증가하고 있는 추세이다. 또 LED조명등이 여럿 설치되어 운영 중에 조명등 스위치를 오픈하는 순간에 누전차단기도 동시에 트립되는 현상도 이러한 스위칭시에 전류 위상이 변형되기 때문에 나타나는 현상이다.

상기 그림에서 절연저항이 양호한 3상 전선로에서 좌측의 그림에서 전류 위상이 동시에 변형하게 되면 우측그림에서 보드시피 순시성 누설전류가 발생하게 되어 누전차단기를 트립시키게 되는 원리가 있다.

이 순시성 누설전류는 용량성분으로서 일반 누설전류계, 누전분석기등 어떠한 계측기로도 측정할 수가 없지만, 전문적인 전기품질분석기로 누설전류 이벤트를 발생시키면 파형값을 측정을 할 수가 있다.

3. 누전차단기의 정격 용량과 동작시간에 대한 규격과 KEC 규격 해설

대표적인 KS4613 누전차단기 규격에 있는 관련된 일부분을 발췌해 보면 다음과 같다.

적용 범위	교류 600V 이하, 주파수 60Hz, 정격전류 600A이하, 전류 동작형	
정격전압(V)	110, 220, 110/220, 220/380, 380, 460, 600	
정격전류(A)	15, 20, 30, 40, 50, 60, 75, 100, 125, 150, 175, 200, 225, 250, 300, 400, 500, 600, 800 등	
정격감도전류 (mA)	고감도형 : 5, 10, 15, 30	중감도형 : 50, 100, 200, 500, 1000 2,500
정격동작시간 (sec)	감전보호형	0.03초 이내
	고속형	0.1초 이내
	시연형	0.1초 초과 2초 이내

4. 기술로드 맵에 해당되는 단상, 3상 누전차단기 기술

A. 누설전류 발생 성분별 분류	B. 누설전류 발생형태별 분류
I. 저항성(Resistive) 누설전류 - 일반적인 단상, 3상 누전차단기 - 단상 IGR 누전차단기 - 단상, 3상 지연동작 IOP누전차단기	II. 상시적인 정적(Static) 누설전류 - 일반적인 단상, 3상 누전차단기 - 단상 IGR 누전차단기 - 단상, 3상 지연동작 IOP누전차단기
III. 용량성(Capacitive) 누설전류 - 단상 IGR누전차단기	IV. 순시적인 동작(Danamic) 누설전류 - 단상,3상 지연동작형 IOP누전차단기 - 자동복구형 누전차단기

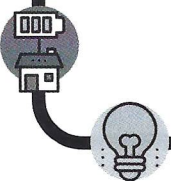
상기 누전차단기 규격은 절연저항이 양호한 선로에서 일반적인 저항성 누설전류의 정격감도 전류 이내 및 정격 동작시간 이내에서 운영할 경우에 보편적으로 사용할 수 있다고 본다. 하지만 절연저항은 아주 양호한 선로 상태에서 도 누전차단기가 트립이 될 경우에는 특별하게 상기 표에서 언급한 누전차단기를 사용하면 된다.

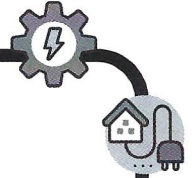
5. 누전차단기의 동작시간에 대한 규격과 올바른 적용 방향

누전차단기의 규격에서 보면 동작시간을 정의해 두고 있는데, 국내에서는 단상과 3상 모두 0.03초 이내와 0.1초 이내 규격으로 제조, 판매하고 있다. 여기서 고려할 사항은 0.03초 이내의 의미를 잘 살펴봐야 한다. 0.03초, 0.1초 이내라고 할 때 가능한 빠른 시간내에 떨어지도록 만든 것이 가장 좋은 누전차단기일까를 고민해 봐야한다.

절대 그렇지 않다고 본다. 인체 감전을 방지하기 위해서 만든 규격이 0.03초 라고 하는데, 감전 보호만을 생각한다면 맞을 수도 있겠지만 이렇게 빨리 즉, 0.01초로 만들어서 규격을 만족하게 되었다고 하는데 이렇게 만든 차단기는 현장에 설치하게 되면 순시적인 동적 누설전류에도 쉽게 동작하는 문제가 발생하게 된다. 그래서 자동복구누전차단기를 설치해야하는 빌미를 제공하게 되었다. 그렇다면 불필요한 동작을 방지하기 위한 가장 유익한 누전차단기는 어떤 형태로 만들어야 할까를 고민하여야 한다.

즉, 0.03초 이내라고 할 때 0.03초 부근에서 동작하도록 누전차단기를 만들면 될 것이다. 누전차단 동작시간을 지연을 시키면 될 것이다. 낙뢰, 지락시에는 측정된 값을 보면 대부분 1사이클 이내의 시간 즉 17msec 이내에서 발생하고 있기 때문에 10msec에서 트립이 되도록 만든 누전차단기는 대부분 동작이 되어서 불필요한 트립이 발생하게 된다. 0.1초 이내는 대부분 3상 누전차단기에 적용하고 있는데, 최단시간에 동작하는 것보다는 0.1초 부근에 가서 동작이 되도록 한다면 불필요한 동작을 상당한 부분을 방지하면서 안정적으로 누전차단기를 운영할 수가 있을 것이다. 그렇게 된다면 다음에서 언급할 누전차단기의 보호협조라고 분야가 완성될 수가 있을 것이다.





6. 상, 하부 누전차단기의 보호협조에 관한 올바른 적용 방향

현재 누전차단기에서 보호협조가 되고 있지 않다고 하는 현장의 불만의 소리가 많이 있다. 왜, 상단에 있는 누전차단기가 먼저 트립이 되어서 1회로 정전이 아닌 전체가 정전이 되도록 하느냐가 현장의 불만의 소리다. 현재 이러한 문제가 심각하게 발생하고 있는 장소가 가로등 제어분전함과 개별 가로등간에 발생하고 있는데, 가로등 정전은 현재 대부분 구역 정전이 발생하고 있는 상황이다. 즉, 가로등 제어함체 내부의 누전차단기가 현재 가장 먼저 트립이 되는 형태로 운영되고 있는데, 서서히 개선되어 가고 있다. 또한 산업현장, 재래시장에 설치되어 있는 분전반 내부에 장착되어 있는 3상 누전차단기와 하단 단상 누전차단기간에도 이러한 보호협조가 절실하게 필요한 분야이다. 전기기술자들이 의도하지 않게 상단 3상 누전차단기가 트립이 되어 구역정전을 유발시키는 일들은 이제부터는 없어야 한다고 본다.

○ 누전차단기 상, 하 연속 설치시 보호협조 기능구현을 위한 규격 선정 방법

상단 누전차단기 규격	하단 누전차단기 규격
3상 누전차단기 지연동작형 0.1초	3상 누전차단기 0.1초 순시트립형 단상 누전차단기 0.03초 순시트립형 단상 누전차단기 0.03초 지연동작형 단상 누전차단기 0.1초 지연동작형
단상 누전차단기 지연동작형 0.1초	단상 누전차단기 0.03초 순시트립형 단상 누전차단기 0.03초 지연동작형
단상 누전차단기 지연동작형 0.03초	단상 누전차단기 0.03초 순시트립형

3상 누전차단기도 이러한 동작 시간을 잘 지연시킨다면 얼마든지 모터가 장착된 냉장고, 냉동고, 소형 펌프모터, 침수 무터, 인버터등에도 충분히 설치하여 운영할 수가 있다. 특히 최근에는 전기자동차 충전기의 용량이 커지고 초고속 충전회로가 장착되면서 고조파, 노이즈 문제와 동시에 누전차단기가 수시로 트립이 되는 이유도 스위칭 회로와 관련이 있는데 이때도 지연동작형 누전차단기를 사용한다면 충분히 안정적으로 전기자동차 충전기를 운영할 수가 있다. 그렇다면 누설경보기에 의존해서 누전을 경보로 감시하는 것보다 훨씬 적극적인 누전차단 대책이 될 것이며, 누전화재 예방에도 크게 기여할 것이다. 추가로 3상에는 아크차단기가 개발되어 나오지 않는 현 시점에서 3상 동작지연형 IOP누전차단기는 효과적인 누전화재 예방 대책이 될 수 있다고 본다. **e**