

감전사고 방지를 위한 가로등 중성점 접지에 관한 연구

최영진*, 최종락*, 장봉환**, 박우현***, 이수원*, 문영현*
연세대학교*, 이화전기**, 나라기술단***

The study on the neutral point grounding of the street lamp for prevention of an electric shock

Young-Jin Choi*, Joong-Rock Choi*, Bong-Hwan Jang**, Woo-Hyun Park***, Su-Won Lee*,
Young-Hyun Moon*

Abstract - 최근 가로등에 의한 감전사고가 사회적 관심을 끌고 있다. 가로등은 감전사고의 위험성이 높은 도로 시설물로 철저한 감전사고 예방대책이 요구되지만 누전 차단기에 의존하는 기존의 대책으로는 사고예방에 한계가 있다.

본 연구에서는 기존의 중성점 접지 방식을 개선하고자 가로등 전용 변압기를 설치하여 침수 우려 시 중성점 접지를 개방하고 순간적인 접지스위칭을 실시함으로써 접지시스템과 비접지시스템의 장점을 모두 유지할 수 있게 함으로써 원활한 시스템운전을 보장하면서도 감전사고를 획기적으로 줄일 수 있는 방안을 제시하였다.

1. 서 론

최근 들어 가로등에 의한 감전사고가 매년 지속적으로 발생하여 많은 인명손실을 가져왔다. 특히 침수지역의 가로등 누전에 따른 감전사고가 그 주된 요인으로 작용하였다. 소방방재청 통계에 의하면 최근 5년간 7월과 8월에 발생한 감전사고가 가장 많았고 사망자가 37명이나 되는 만큼 인명피해가 매우 큰 안전사고라 할 수 있다. 가로등의 감전사고 예방은 매우 오래된 숙제로써 누전차단기 설치 외에는 특별한 방법이 연구된 바가 없다. 가로등 설치 누전차단기 역시 많은 성능개선이 이루어져 왔으나 불량률도 많고 또한 넓은 지역에 설치된 수많은 가로등의 적절한 관리가 어렵다.[1-6]

한편 최근의 잦은 기상이변으로 태풍 및 폭우가 잦고, 침수규모와 횟수가 크게 확대되고 있고, 강변 또는 천변의 공인 조성 면적이 크게 확대되고 있는 추세이다. 이에 따라 국내의 가로등 또는 조명등에 대한 감전사고 예방 대책이 시급한 실정이다.[4,6] 일본에서는 배전계통을 비접지방식으로 운영하고 있는데 그 이유 중 하나가 태풍 및 폭우가 많아 침수지역이 많이 발생하는 기후적 특성을 반영한 것으로 감전사고를 줄일 수 있기 때문이다.[7,8] 따라서 본 논문에서는 가로등의 감전사고 예방 대책으로 가로등 전용 변압기를 설치하여 침수 우려 시 중성점 접지를 개방함으로써 감전사고를 획기적으로 줄일 수 있는 방안을 제시하였다.

접지시스템에서 주요 장애는 사고 시 이상전압발생, 부하변동에 따른 전압불평형, 사고감지 및 고장전류 차단 시 스위칭서지 등이 되고 있다. 본 논문에서 제시한 시스템은 접지시스템과 비접지시스템을 혼용한 것으로 평상시에는 접지시스템으로 운전하다가 침수우려가 예상되면 비접지시스템으로 바꾸어 운전하는 방식이며 침수 우려 시에도 사고로 인한 전전상 전위상승을 방지하면 위험하므로 접지스위치를 일정시간에 한번씩 단시간(0.1초 정도) 투입·개방함으로써 고장전류검출에 의한 고장 회로 제거가 용이하게 하였다. 이에 따라 비접지 시스템의 단점을 극복하고 원활한 계통운전이 가능하다.

2. 접지 및 감전

2.1 계통의 접지 방식

계통의 접지방식에 따라 직접접지, 비접지, 저항접지로 나눌 수 있는데 현재 국내의 배전선로의 대부분이 여러 가지의 안정성을 이유로 직접접지 방식을 채택하고 있다.

(1)직접접지

직접접지 방식은 변압기의 중성점을 대지에 직접접지하기 때문에 1선 지락사고 시 건전상 전압상승이 가장 적어 전력기기의 절연을 현저히 줄일 수 있으며 지락전류 검출이 용이하여 지락사고 시 보호계전기가 신속하게 동작을 한다. 한편 지락전류가 크기 때문에 지락사고 시설비사고를 일으키는 경우가 많으며 통신선에 유도전압이 높아 장애를 일으킬 수가 있다. 따라서 계통은 충분한 절연설계를 하고 사고가 발생하면 선로에 유입되는 지락사고 전류의 지속시간을 최대한 단시간으로 하기 위해 고속도 선택차단이 가능한 기능의 보호 계전기 및 차단기를 설치하는 등의 대책이 필요하다.

(2)비접지

계통을 접지하지 않고 비접지 상태로 운전하는 방식으로 지락사고 시 고장전류는 충전전류와 GPT를 통한 유효전류이며, 수[A] 정도에 지나지 않는다. 반면 1선 지락 시 건전상의 전위는 $\sqrt{3}$ 배까지 상승된다. 만약 고장전류가 간헐적으로 생기거나 계속 흐르도록 방치하면 심각한 과도 이상전압이 대지 간에 생길 수 있으며 그 크기가 상전압의 6배 내지 8배에 이른다. 이것이 절연을 파괴시키고 동시다발의 전동기 소손사고를 일으키는 원인이 된다. 과도 이상전압은 계통 capacitance와 기기의 inductance간의 공진에 의하여 발생된다.

1선 지락사고는 고장점출이 어려워 고장상태로 방치될 가능성이 크며 두번째 지락사고 시에는 대전류가 흐르면서 배전선이 즉시 trip된다.

우리나라에서도 일부 3.3KV계통은 비접지 방식을 적용하고 있으며 선택 지락계전기로 지락보호를 하고 있다. 이 방식은 지락사고 시 수[A] 정도의 적은 전류가 흐르므로 계통에 미치는 영향이 적으며 중요한 부하는 지락사고 시에도 trip 시키지 않고도 운영할 수 있는 장점이 있다.

2.2 감전과 인체 저항

인체가 감전될 경우 그 현상은 단순 쇼크 정도의 것으로부터 근육의 강직, 질식에 의한 사망 혹은 출혈 등 여러 가지 증상을 일으키게 된다. 이것은 통전전류 때문에 생기는 것으로 감전의 위험요인은 통전전류의 크기, 통전경로, 통전전류의 종류, 통전시간, 전격 인가위상, 통전전류의 파형이 있다. 통전전류의 크기는 인체에 걸리는

접촉전압과 인체저항에 따라 결정된다.

어떤 큰 전류가 인체를 통하여 흐르게 되면 심장으로부터 발생하는 전기신호가 산란되어 정상적인 작동을 할 수 없게 된다. 심근의 제어 신호가 산란되어 심장의 규칙적인 동작이 이루어지지 못하고 미세한 진동을 일으키는 현상을 심실세동이라고 하며, 이러한 상태에서는 체내의 혈액공급이 중단된다. 일반적으로 감전에 의한 사망은 심실세동이 주요 원인으로 알려져 있다. 심실이 세동하기 시작하는 전류를 심실세동전류라고 한다.

감전의 위험도는 주로 인체에 흐르는 크기와 시간에 따라 결정된다. 또한 그 전류의 크기는 인체에 가해진 전압(접촉전압)과 인체의 전기저항에 따라 결정된다. 인체의 전기저항은 통전경로, 피부의 습한 정도, 전극의 접촉면적, 접촉압력 및 습도 등에 따라 변화하는 것 이외에 접촉전압과 통전시간에 따라라도 변화하므로 인체에 흐르는 전류와 접촉전압 사이에 옴의 법칙이 직선적으로 성립하지 않는다. 인체의 전기 저항치는 개인차가 대단히 크지만 감전사고분석에서 매우 중요하다. 통전경로가 손에서 발로 통한 경우 전류는 손의 피부→인체내부→발의 피부를 거쳐 흐르게 되므로 저항이 큰 역할을 하게 된다.

인체의 피부는 반절연성체와 작은 도전성조직으로 되어 있으며, 피부의 저항은 피부의 습한 정도, 습도 이외에 이미 언급한 접촉전압, 통전시간 등에 따라 변화한다. 일반적으로 습한 경우의 피부저항은 건조한 경우의 1/10 이하이며, 접촉전압이 높게 되면 피부저항은 감소하고, 더욱 높으면 피부가 파괴되어 그 저항은 무시할 수 있다.

2.3 수중에서의 감전 현상

육상에서의 감전현상은 인체의 일부가 노출된 충전부 또는 누전 등의 원인으로 비충전 금속부가 충전된 상태에서 접촉에 의해 발생한다. 그러나 수중에서의 감전현상은 인체와 충전부 사이에 도전성액체, 예를 들어 해수로 인해 항상 접촉하고 있기 때문에 충전부에 접촉하지 않아도 감전되는 것으로 추정하고 있다. 침수된 가로등의 자동절멸기함 주위를 사람이 걸을 때 누전으로 인해 발생 가능한 감전사고의 형태는 다음과 같다.

(1) 수중 누설전류에 의한 감전

수중 전등의 유리가 파손되어 수중으로 누설된 전류 또는 수중 조명설비의 고장으로 전기로 충전된 금속부분이 노출되어 있을 때, 금속부분에서 물을 통하여 대지로 흐르는 누설전류가 발생하며 이 전류는 주위에 전계를 형성하는데 이 전계 중에 인체가 놓이면 감전현상이 발생한다. 이 때 통전전류의 크기는 수중에서의 전계의 크기와 전계 중의 인체의 자세와 관계가 있다.

(2) 수중에서 인체가 전위차가 있는 물체에 접촉한 경우
절연체로 되어 있는 풀장에서 수중 조명설비가 고장나서 물이 대지보다 전위가 높을 때 풀장에서 나오려고 설치체에 접촉하여도 감전현상이 발생한다.

2.4 국내의 가로등 시설 현황 및 문제점

가로등 설비에 대한 시설기준은 가로등주의 하단에는 안정기를 취부할 수 있는 취부구를 만들고 안정기 취부구 내에는 안정기걸이용 고리, 기타 배선기구를 부착할 수 있도록 철관을 부착하여야 하며 가로등주 및 절멸기 외함에는 개별 제 3종 접지공사를 하여야 한다.

가로등의 접지는 [그림1]와 같이 각 1본마다 외함과 대지를 접지를 시켜주는 개별접지방식을 취하고 있으며 이러한 접지 시공방식은 3종 접지에 해당하며 기술 기준상 100% 이하로 정해놓고 있다.

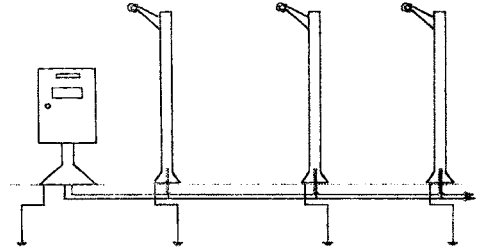


그림1. 가로등 접지

(1) 가로등 접지 시설 현황

가로등의 외함의 3종 접지가 외부로 노출되어 부식 및 탈락의 우려가 있으므로 보호 접지선은 가로등 내부에 시설하며 전기 화학적 작용에 의한 부식이 없도록 하여야 함에도 불구하고 그렇지 않은 경우가 상당하다. 또한 접지선의 외함과 접속부가 견고히 압착되지 않아 탈락되어 있는 경우도 빈번한 것으로 조사되었다.

(2) 누전차단기 시설현황

누전차단기의 시설현황으로 분전 및 수분의 영향으로 부식이 많이 진행되어 누전 시 미작동할 우려가 있는 기기들이 많이 존재한다. 또한 상태가 양호할지라도 누전차단기 1차측 전선에서 누전이 발생하게 되면 누전차단기는 동작하지 않는다. 따라서 가로등과 같은 외부 노출설비에 대해서는 누전차단기의 시험동작여부를 정기적으로 확인할 필요가 있다. 오동작 등의 잦은 누전차단기 동작이 일어나는 경우도 많으며 이때는 관리자가 편법을 사용하는 등 관리상의 문제가 드러나기도 한다. 더구나 가로등부하 분기차단기가 누전차단기 기능이 없어 가로등주에 설치된 누전차단기의 1차측에서 누전될 경우 분전반에서도 누전검출이 불가능하여 방치되고 있는 실정이다.

3. 감전사고 예방을 위한 가로등용 접지시스템

이상에서 고찰한 바와 같은 접지계통의 특성을 감안하여 가로등용 전력공급시스템에 대한 접지시스템을 제안한다. 접지시스템은 비접지로 운영할 경우 부하 불평형에 따른 전압변동이 문제가 되므로 가로등부하 제어가 일반 수용가에 미치는 영향을 차단할 수 있도록 가로등 전력공급시스템은 종래와는 달리 별도의 변압기를 써서 일반수용가 회로와는 분리된 회로가 되도록 설계하였다.

3.1 접지시스템의 구성

가로등 전력공급은 3상, 단상 방식이 모두 가능하다. 먼저 3상 시스템으로 공급하는 경우를 생각해 보자. 아래 그림은 제안된 3상 접지시스템을 보여 주고 있다.

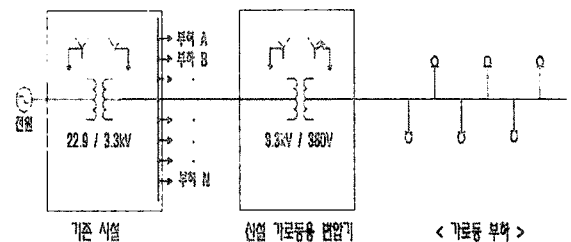


그림2. 제안된 접지시스템 구성도

위 그림에서 특기할 것은 신설 가로등용 변압기는 2차측이 Y결선으로 평상시에는 접지상태 운전하도록 하면서 침수 우려 시에만 중성점지선을 개방하도록 한다는 점이다. 이러한 방식을 취하면 침수시 가로등 하나에 누전사고가 발생하더라도 단상 접지에 해당하는 사고로서 중성점 비접지 시스템에서는 누전전류가 흐를 수 없으므로 누전에 의한 감전사고를 막을 수 있다.

구조

- 별도의 변압기를 설치한다.
- 변압기 1차 측은 직접접지하고 2차측은 Grounding SW를 통하여 접지시킨다.
- 접지스위치의 조작을 간편하게 할 수 있도록 원격 제어 시스템을 갖춘다.

운전방법

- 평상시에는 접지상태로 운전되며 일반 접지계통과 동일하게 운전한다.
- 침수 우려 시에는 접지상태를 개방하여 운전하며 지락사고의 검출이 될 수 있도록 일정시간에 한번씩 단시간(0.05~0.1s) 투입·개방을 반복적으로 시행한다.
- 접지스위치 조작은 지역별로 관할기관에서 일괄 조작한다.
(비침수 지역을 침수지역과 같이 운전해도 별문제 없음)
- 스위치조작의 신뢰성이 대단히 중요하므로 침수지역에 대한 접지스위치 개방 여부를 직원이 순시하며 확인한다.

제안된 시스템의 특징

- 신설 가로등용 변압기의 추가적인 설치만으로도 기존 전력계통 시스템의 변경 없이도 감전사고 예방이 가능하다.
- 접지 시스템의 장점(지락사고 검출 용이)과 비접지 시스템의 장점(감전사고 예방)을 함께 갖춘 시스템으로써 원활한 시스템 운영을 보장하면서도 감전사고를 획기적으로 줄일 수 있다.
- 지락사고 검출이 용이하므로 지락사고 방지 시 우려되는 이상전압의 피해는 염려하지 않아도 된다.
- 접지접촉이 반복적으로 일어날 경우 과도전압의 피해는 거의 염려하지 않아도 된다. 그러나 매우 드물게는 비접지 운행 중 정기 접지사고 접점 사이에 사고가 일어나 반복접촉이 일어날 경우 약간의 문제는 남아 있다

3.2 접지시스템 운영 시 고려사항

그림2의 개요도에서 가로등용 변압기의 2차측 결선이 Y 비접지로 운전될 경우 1차측에 영상 전류가 흐를 수 없는 것이 약간의 문제를 일으킬 소지가 있다.(부하 불평형이 크지 않은 경우에는 별문제가 되지 않을 것으로 예상되며 이러한 경우가 대부분의 경우일 것으로 생각됨). 그러나 특수한 경우 이것이 문제가 된다면 2차측 접지 개방 시에도 1차측에 영상전류가 흐를 수 있도록 3권 변압기(Γ/△/Γ)를 도입하는 것으로 간단히 해결할 수가 있다. (일부 권선을 Δ권선에 할애하면 되므로 적은 비용으로 해결 가능함)

또한 가로등용 변압기를 아예 비접지 방식으로 하는 것도 하나의 방안이 될 수 있으며, 이때는 변압기 결선을 Γ/△ 방식을 사용하는 것이 좋다. 이 경우는 지락고장검출을 위한 세심한 배려가 필요하다.

비접지운행시 접지사고 검출을 위한 정기 접지투입간격은 스위칭 시스템의 신뢰성이 높으면 자주 투입하는 것이 좋다. 실제 적용에 있어서는 하루에 한두번 투입하는 정도로 운행하며 운행통계가 쌓이면 그에 따라 스

위치 간격을 시스템의 신뢰성을 평가한 후 투입간격을 적절히 조정하는 것이 바람직하다.

4. 결 론

지금까지 침수 시 감전사고 방지를 위한 가로등 중성점 접지에 대한 새로운 접지시스템에 대하여 제안 및 검토를 해보았다. 중성점 접지를 실시하는 기존의 우리나라 접지 시스템 성격상 침수 시에는 가로등 주변에서 감전사고가 발생할 수 있는 취약점을 가지고 있다.

그러나 본 연구에서처럼 신설 가로등용 변압기를 추가적으로 설치하여 변압기 2차측이 Y결선으로 평상시에는 접지상태 운전하도록 하면서 침수 우려 시에만 중성점지선을 개방하도록 한다면 기존 계통 시스템의 변경 없이도 감전사고를 방지할 수 있다.

특히 침수 우려 시에만 접지상태를 개방하여 운전하며 지락사고의 검출이 될 수 있도록 일정시간에 한 번씩 단시간(0.05~0.1s) 투입·개방을 반복적으로 시행한다면 중성점 접지의 장점(지락사고 검출용이)과 비접지의 장점(감전사고 예방)을 함께 갖춘 새로운 접지 시스템이 된다. 이러한 방식을 취하면 평상시에는 원활한 시스템 운영을 하다가 침수 시에는 가로등 하나에 누전사고가 발생하더라도 중성점 비접지 시스템에서는 누전전류가 흐를 수 없으므로 누전에 의한 감전사고를 막을 수 있다.

[참 고 문 헌]

- [1] 유재익, "감전예방을 위한 접지계통 개선방안에 관한 연구"; 서울산업대학원, 2004
- [2] 김중훈, "수중에서의 인체감전에 관한 연구", 서울산업대학원, 2004
- [3] 류석구, "저압계통에서의 감전사고 및 방지대책", 대한전기학회, 1986
- [4] 김두현, 강동규, "침수된 전기설비의 누전으로 인한 수중에서의 감전특성에 관한 연구", 한국산업안전학회, 2002
- [5] 신동호 외, "3가지 접지방식에 대한 접지특성비교", 대한전기학회, 2000
- [6] 김기현외, "침수지역에서 수,변전설비 침수방지시설에 관한 현장설계 조사 및 분석", 한국조명전기설비학회, 2005
- [7] 타카하시 타케히코, "접지의 목적", 전설기술, 2004
- [8] 타카하시 타케히코, "일본과 IEC 규격의 접지 차이에 대해서", 생산과 전기, 2004