

침수 상태인 저압 지중접속함(핸드홀)의 누전감시시스템 개발

김재현*, 전정채*
한국전기안전공사*

The development of a electric leakage monitoring system in a flooded handhole

Jae-Hyun Kim*, Jeong-Chay Jeon*
KESCO*

Abstract - 전력 설비의 지중화 증가로 인하여 지중 설비에서의 사고 위험성도 증가하고 있다. 본 논문에서는 누전 고장점이 있는 저압 지중 접속함(핸드홀)이 침수시 고장점에서 유출되는 누설 전류에 의한 수중 전위를 검출하여 위험을 경보하는 장치를 제작하고, 실제 환경과 유사한 실험장에서 실험하였다. 실험을 통하여 제작한 핸드홀 누전감시장치가 정상 동작함을 확인하였다. 또한 고장점이 존재하지 않거나 전원 공급이 없는 핸드홀의 경우에도 침수시 수중에서 상용주파수 노이즈 전위가 측정됨을 확인하였고, 이런 노이즈 제거 기술에 대한 연구가 추가적으로 필요함을 확인하였다. 침수시 누전 고장점은 평상시에 검출하기 어렵기 때문에 핸드홀 누전 감시 장치의 개발은 사고를 예방함과 동시에 사고를 검출하여 지중선로의 사후 유지 보수에 도움이 될 수 있을 것으로 예상된다.

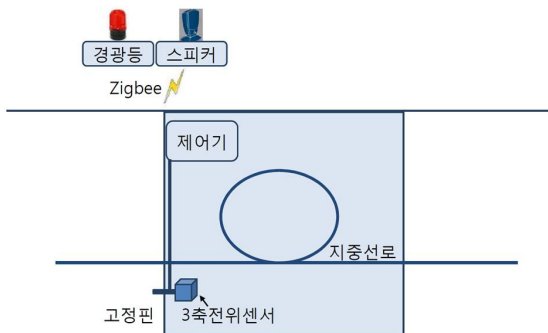
1. 서 론

최근 도심지의 미관을 위하여 전력설비의 지중화가 활발히 추진되고 있다. 점차 늘어가고 있는 지중 전력설비에서 고장이 발생할 경우 보수 공사가 가공 전력설비에 비해 어려울 뿐만 아니라 집중 호우에 의해 지중 전력설비의 침수시 인체 감전사고 등의 치명적인 재해가 발생할 가능성이 높다. 특히 지중 케이블의 외피가 일부 손상된 상태에서 손상 부분이 대지나 기타 구조물과 접촉되어 있지 않으면 누설전류 경로가 존재하지 않아 메거절연저항계로는 검출이 되지 않다가 집중 호우 등에 의해 침수가 되면 누전점이 되어 주위의 행인들이 감전될 수 있다. 이런 지중 선로의 고장은 사고가 발생하기 전에는 발견하기가 매우 어렵다. 실제 부산과 인천에서는 2005년 집중호우시에 지중 접속함이 침수되어 케이블 손상 부분의 누전에 의한 감전사망 사고가 발생하였다. 이런 치명적인 사고 예방을 위하여 제도적, 기술적 연구들이 많이 이루어지고 있다. 본 논문에서는 저압 지중 접속함(핸드홀) 안의 전선이 손상된 상태에서 침수될 때 수중에서의 전위를 감지하여 위험을 경보하는 장치를 개발하고 실제 핸드홀 실험장에서 정상적으로 동작함을 확인하였다.

2. 본 론

2.1 핸드홀 누전 감시 장치 개념도 및 블록도

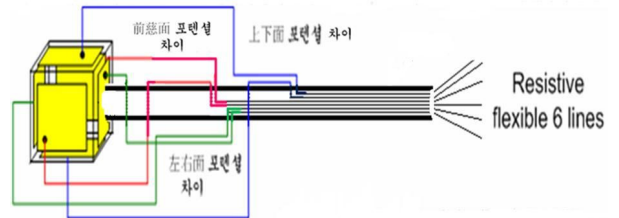
본 연구에서 제안한 핸드홀 누전 감시 장치는 수중에서 전위를 측정할 수 있는 센서를 핸드홀 안에 설치하고, 침수된 핸드홀 안 전선로 고장점으로부터 유기되는 전압을 감지하여 위험 상황을 판단하는 장치이다. 수중 전위 센서에서 측정된 전위는 그림 1과 같이 제어기에서 인식·판단하여 지그비 통신을 이용하여 주위에 위치하는 경보 장치를 동작시킨다.



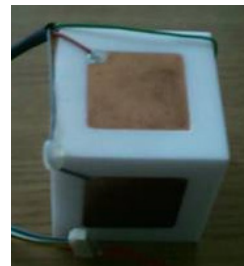
〈그림 1〉 핸드홀 누전 감시 장치 개념도

2.2 개발한 수중 전위센서 및 핸드홀 누전감시 장치

전선로의 고장점이 있는 핸드홀 침수시 수중 전위 방향과 크기는 전선로 고장점의 위치, 거리 그리고 핸드홀의 접지 경로 상태에 따라 변하기 때문에 수중 전위 측정을 위한 센서는 직각 좌표계 3축 방향의 전위를 모두 측정할 수 있도록 하였다. 절연 재질인 테프론으로 정육면체를 제작하고 금속판을 각 면에 부착하였다. 각 금속판에 리드선을 연결하여 마주보는 3쌍의 금속판 전극에서 측정되는 전위를 핸드홀 누전 감시 장치의 제어기로 전달할 수 있게 하였다. 센서의 크기는 가로, 세로, 높이가 5cm이다.



〈그림 2〉 수중 전위 센서 구조



〈그림 3〉 개발한 수중 전위 센서

개발한 핸드홀 누전감시 장치는 핸드홀 안에 설치되는 전위센서와 제어기를 포함한 송신기, 경보 기능을 가지는 수신기로 구성되며, 핸드홀 침수시 고장점에 의한 전위를 수중에서 감지하여 누전을 판단하고, 송신기에서 지그비 통신으로 수신기에 정보를 전달하여 경보한다. 송신기와 수신기는 리튬-이온 배터리를 내장하여 약 6개월 간 외부 전원 공급없이 동작 가능하며 사용 전원으로 충전 가능하다.



〈그림 4〉 개발한 핸드홀 누전감시 장치

2.3 실험장 조건

개발한 핸드홀 누전감시장치의 실험을 위해서 핸드홀과 지중전선로를 포함하는 실험장을 구축하였다. 설치한 핸드홀은 원형 콘크리트 맨홀과 사각형 FRP 맨홀이고, 배선은 3상과 단상을 모두 적용할 수 있도록 공사하였다. 전원 공급은 절연변압기(3상[15kVA]와 단상[5kVA])와 일반 배전함에서 선택 가능하도록 하였다. 핸드홀의 누전점을 만들기 위해 두 개의 선로에 전선 피복을 직경 약 2~3mm를 커터로 벗겼다. 두 개의 누전점 중 하나는 핸드홀 구조물에 접촉시키지 않았고, 나머지 하나는 핸드홀 내벽에 접촉시켰다. 접촉이 되지 않은 선로의 절연저항은 측정할 절연저항계의 최대 Range인 999MΩ로 측정되었고, 내벽에 누전점이 접촉된 선로의 절연저항은 10MΩ이다. 하지만 핸드홀 침수시에는 두 누전선로의 절연저항은 0.01MΩ 이하이다. 이로써 선로에 누전이 가능한 손상이 있더라도 침수 상황에서만 부적합 상태일 수 있음을 알 수 있다. 즉, 침수가 되지 않는 이상 메거 절연저항계로 불량을 검출할 수 없는 경우가 존재할 수 있음을 알 수 있다.(절연저항 적합 기준치: 0.2MΩ 이상)



〈그림 5〉 핸드홀 누전감시 장치 실험장

2.4 현장 실험 방법

실험을 위해 핸드홀에 물을 가득 채운 후 수중전위센서를 핸드홀 내벽에 수중 깊이 10cm에 고정시켰다. 제어기를 포함한 송신기를 같이 수중에 넣은 후 누전 고장점을 가지는 선로에 전원을 공급하고, 수신기에서 경보 기능이 동작하는지를 확인하였다. 또한 송신기를 핸드홀 밖에 두고 수중전위센서만을 수중의 여러 위치에 두어 센서로부터 감지되는 전압의 크기를 오실로스코프와 디지털멀티미터로 측정하였다.



〈그림 6〉 실험 사진

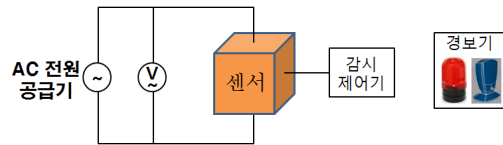
2.5 실험 결과

침수된 실험장 핸드홀에 수중전위센서를 넣은 후 선로에 전원을 인가하지 않아도 센서에서는 최대 약 100mV의 전압이 검출되었다. 대지에 상용주파수 노이즈 성분에 의한 것으로 추정되었고, 주위의 전기설비의 가동과 중지를 통하여 노이즈 성분이 변화되는 것을 확인하였다. 상황에 따라 큰 노이즈 성분이 있을 경우 누전에 의한 신호인지 노이즈 신호인지를 구분하는 방법에 대한 연구가 더 필요함을 확인하였다. 실험장 핸드홀 고장 선로에 전원을 인가한 후 수중전위센서의 위치를 변경하면서 센싱 전압을 확인한 결과 160~4,500mV의 전압 범위가 측정되었다. 이 결과를 바탕으로 누전 감지전압 기준치를 150mV로 설정하였다. 제어기와 센서를 침수된 핸드홀에 넣고 고장선로에 전원 투입하여 누전이 발생할 때만 수신기에서 경보가 발생함을 확인하였다.

핸드홀 누전감시장치의 최소감지전압, 최대감지전압을 측정하기 위하여 실험실에서 AC전원공급기로 상용주파수의 전압을 센서에 서서히 증가시키면서 인가한 후 수신기에서 경보 발생여부를 확인하는 실험을 하였다. 송신기가 물리적으로 감지 가능한 최소 전압은 약 10mV이지만 제어기의 동작은 150mV 이상이면 누전으로 판단하도록 프로그래밍 하였다. 누전으로 판단하는 전압은 마이크로프로세서 프로그램으로 변경가능하다. 센서에 입력되는 전압이 너무 크면 시스템이 파손되거나 정상동작이 되지 않을 수 있다. 테스트 결과 제작한 핸드홀 누전감시장치의 최소감지전압은 142mV였고, 정상동작하는 최대 동작 전압은 6.02V였다.

핸드홀 누전감시장치 송신기와 수신기 사이의 지그비 통신 가능거리를 야외에서 측정한 결과 52m의 성능을 보였으며, 송신기가 핸드홀 안

에 있는 실제 환경에서는 약 5m 정도의 거리 내에서 통신이 가능하였다.



〈그림 7〉 최소최대 감지전압 측정 방법

〈표 1〉 맨홀 누전감시장치 기타 제원

항목	내용	결과
최소 감지 전압	수중 전위 센서의 각 축에 상용주파수의 전원을 서서히 증가하며 인가한 후 경보가 발생하는 최소 전압	142mV
최대 동작 전압	수중 전위 센서의 각 축에 상용주파수의 전원을 서서히 증가하며 인가한 후 정상적으로 경보가 발생하는 최대 전압	6.02V
지그비 통신 능력	맨홀 누전 탐지 송신기와 수신기 사이의 최대 통신 가능 거리	52m

3. 결 론

침수 상황의 핸드홀에서 누전이 발생할 경우 수중에서 전위를 측정하여 누전여부를 판단하는 장치를 제작하여 실제 환경과 유사한 실험장에서 실험하여 누전여부를 판단 및 경보할 수 있음을 확인하였다. 구축한 핸드홀 실험장에서는 지중 선로에 전원을 공급하지 않는 상황에서도 상용주파수 노이즈가 최대 약 100mV가 존재하였다. 외부 전기설비의 가동에 따라 노이즈 성분의 크기가 변화하였으며 이 결과를 통하여 외부 노이즈 성분을 제거할 수 있는 방법이 필요함을 알 수 있었다. 앞으로 유기되는 외부 노이즈의 영향을 제거하여 실제 다양한 환경의 핸드홀에서 정상 동작이 가능한 핸드홀 누전감시장치의 연구를 향후 진행할 예정이다.

[참 고 문 헌]

- [1] 김한상, 김선구, 방선배, 송길목, 정종욱, 김종민, 한운기, 김영석, 정진수, 김경철, 심건보, 최형범, 김유준, “도로에 설치된 저압 지중함 안정성 평가 및 대책 연구”, 2007
- [2] 김윤명, “침수된 전력 장치 주변의 물속에 존재하는 누설 전류 검출장치”, 특허, 출원번호 10-2009-0044592, 2009
- [3] 이복희, 최중혁, 배성배, “반구형 전극계에서 물의 저항률을 이용한 접지시스템의 등가회로 구성”, 조명·전기설비학회논문지, 제22권 제8호, pp.109~115, 2008
- [4] 김재현, 전정재, “저압 지중함(핸드홀) 침수시 선로의 고장점에 의한 수중 전계 Levle”, 2011 대한전기학회 전기설비부문화 춘계학술대회 논문집, pp.83~84, 2011
- [5] 최충석, 김향곤, 송길목, 김형준, 김동욱, 한운기, 김동우, 김영석, 이기연, 이복영, 박찬호, 박상태, 양우진, 홍성호, 박희로, 노영수, 정연하, 장태준, 김용택, 이승환, 권시현, “도로 전기시설물 및 임시전력설비 전기안전 조사연구”, 2005