

저압용 지중전선로 누전점 검출시스템

유재근<한국전기안전공사 전기안전연구원 책임연구원> · 한석우<국제대학교 철도전기와 교수>

1 서론

일반 수용가에 전력을 공급하기 위한 인입선로의 시공방법은 가공 및 지중으로 구분되며, 도시미관을 해치지 않기 위하여 지중 배전선로가 확산되고 있다.

저압 지중설비로는 PAD 변압기(Pad Mounted Transformer) 혹은 주상변압기에서 수용가로 연결되는 지중 인입 전선로, 지중 접속함, 가로등, 신호등, 경관등, 공원등이 있다. 지중 저압 케이블 길이가 긴 경우에는 전선의 접속과 분기를 위한 저압 지중 접속함의 사용이 증가되고 있으며, 전국에 걸쳐 약 2만개가 설치되어 있다. 또한 우리나라의 지중화율은 전국 평균 10%인데 비하여 런던, 파리, 싱가포르 등은 100%, 동경은 41%로 우리나라에 비해 월등히 높다[1].

케이블 접속부는 경년변화에 따른 절연열화, 외피 손상 등으로 인하여 지락사고의 가능성은 항상 존재하며, 지락이 발생할 경우 금속 재질인 맨홀 뚜껑에 전압이 유기될 수 있다. 또한 최근에는 기상이변에 의한 국지성 호우로 인해 도심지에서의 침수피해가 빈번히 발생하고 있기 때문에 도로나 보도에 시설된 지중 접속함이 누전될 경우에는 불특정 다수에 대한 위험이 항상 도사리고 있다.

2005년 지중 접속함 감전 사고에 대한 사후 대책으로 맨홀 뚜껑을 포함한 지중 접속함의 재질을 고강도 플라스틱(FRP)으로 교체, 케이블 접속부의 방수

처리, 방수 접속재 사용(전선 접속부), 절연판 사용(뚜껑과 전선 사이), 접지(지중 접속함 및 뚜껑) 등이 시공되었으며, 2001년 가로등, 신호등 감전사고에 대한 대책으로는 분전반의 설치 높이를 1m 이상, 안정기 설치 높이를 60cm 이상 및 방수형 누전차단기 설치 등이 시행되고 있다. 이와 같은 대책을 적용함으로써 감전 위험성이 많이 줄었지만 여전히 다음과 같은 문제를 지니고 있다. 첫째 지중 접속함이 완전 침수되어 인체의 일부가 물에 잠긴 상태에서 감전사고의 가능성이 존재하고, 둘째 지중 인입 전선로의 누전 여부 검출이 어렵고, 셋째 지중 전선로의 누전 위치를 정확하게 탐지하기 어려운 실정이다.

전선 열화와 손상이 발생하더라도 손상 부분이 대지와 접촉이 되지 않을 경우, 건전 상태에서는 누설 전류 경로가 존재하지 않기 때문에 절연 저항 측정 방식과 누설 전류 측정 방식으로 누전 고장 검출이 불가능하다. 이러한 경우 침수 상황에서만 누전이 되는 잠재 불량이 될 수 있다. 지중 전선로는 주위의 굴착 공사나 지반 침하 등에 의한 전선 손상과 지중의 습기로 인하여 누전 발생율이 다른 일반용 전기설비에 비하여 점유율이 매우 높다.

그리고 침수 후 지표면은 건조 상태가 되어도, 접속함 내부는 침수되어 있거나, 경년변화 등에 의해 누전이 발생하는 경우, 누전점 검출장치를 이용하여 누전 위치를 찾아내 보수를 하게 된다.

공공 안전을 위한 전기시설물인 가로등, 신호등용 지중 전선로의 누전 보수공사가 정확한 누전 위치 확인이 어려워 넓은 지역의 굴착 공사에 따른 시간과 비용 문제로 방치되는 경우가 있다. 따라서 정확한 누전 위치 확인을 통하여 빠른 보수공사와 비용 절감이 절실하게 필요하다[2-3]. 본 원고에서는 누전점 검출 방식과 관련 기술동향을 기술한다.

2. 본 론

2.1 지중전선로 누전점 검출

지중전선로의 누전 검출은 활선 또는 정전상태에서 이루어진다. 활선상태 장비는 누전점을 통해서 신호가 전송될 수 있도록 특정 신호를 CT를 이용하여 선로에 공급하는 방식이며, 누전점 근처에서 프레임을 이용하여 선로의 고장상태를 검출하는 방식이다. 정전상태 장비는 직접 선로에 특정 신호를 인가하여 활선상태와 동일하게 누전점 근처에서 프레임을 이용하여 선로에 인가한 신호의 특징에 의해 전·후 방향을 판별하는 지표측정방식과 절연저항계를 이용하여 분기선로 범위로 측정하는 방식, 특징의 신호를 선로에 인가한 후 반사파형을 분석하는 TDR(Time Domain Reflectometer) 등으로 구분된다. 각 방식별 특징은 표 2-1과 같다[6].

표 2-1. 누전점 검출 방법

구분	측정방법	탐지 순서	비고
활선 상태	클램프 사용	CT 클램프로 누전회로 탐지	측정이 간단, 누전분로 탐지
	분류 측정	분류기 이동, 반복측정, 누전점 탐지	누전점 방향 탐지 가능
정전 상태	지표 측정	탐지극 이동, 누전위치 탐지	누전분로 및 누전점 탐지
	TDR (활선 가능)	특정신호 인가후 반사파 분석	누전추정 분기회로에 인가 어려움

2.2 자기장 센서를 이용한 지중전선로 매설 위치 탐지

저압 지중선로의 매설위치를 탐지하는 방법은 지중선로에 특정 주파수의 전기적 신호를 인가하여 지중선로와 대지 사이의 정전용량에 의해 발생하는 자기장을 측정하는 방식이 주로 이용된다. 자기장 측정 시 사용되는 자기장센서는 코일형 센서와 홀 효과 센서가 있다. 코일형 자기장센서는 Dynamic Range가 넓은 장점이 있는 반면 홀 센서에 비해 크며, DC에 의한 자기장 검출이 불가능하다. 홀 효과 센서의 경우 DC에 의한 자기장 검출이 가능하고 소형 경량화의 장점이 있지만 Dynamic Range가 좁은 것이 단점이다.

그림 2-1과 같이 지중선로 주위에서 수직 자기장센서로 자기장을 측정하면 지중선로 상에서 수직자기장 세기가 “영”이 되는 점을 이용하여 위치를 추정할 수 있다. 그리고 그림 2-2와 같이 수평 자기장센서를 이용할 경우에는 반대로 지중선로 바로 위에 수평 자기장 세기가 가장 큰 점을 이용하여 위치를 추정한다. 수평 자기장센서를 수평을 유지하면서 회전시켜서 자기장 세

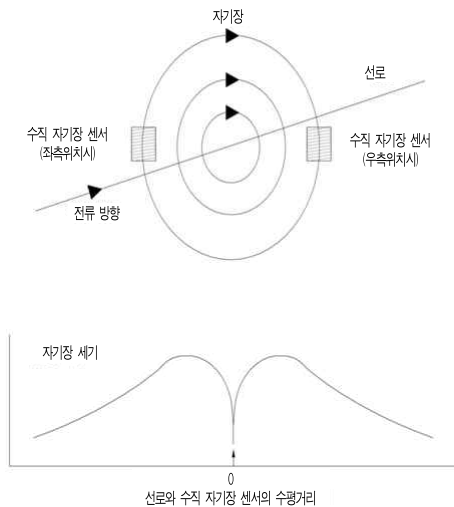


그림 2-1. 수직 자기장센서에 의한 지중선로 위치 탐지 방법

기가 가장 큰 방향을 측정하면 선로의 진행방향도 확인할 수 있으며, 반복 측정을 해야 하는 단점을 가진다.

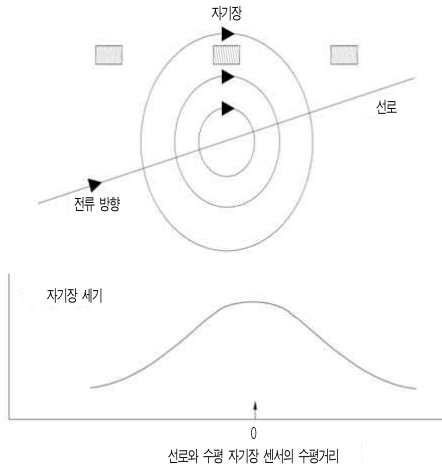


그림 2-2 수평 자기장센서에 의한 지중선로 위치 탐지 방법

2.3 대지전위 측정으로 누전점 검출

누전이 발생된 지중선로에 송신기로 특정 주파수의 교류신호를 활선 또는 사선 상태에서 인가하면 그림 2-3과 같이 누전점에서 송신기 접지극으로 흐르는 누설 전류에 의하여 대지전위가 형성된다[4]. 이 대지전위를 측정하여 누전점의 위치를 파악할 수 있다.

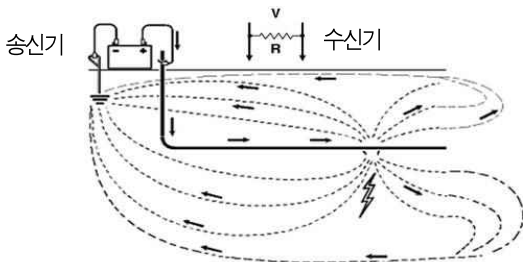


그림 2-3 대지전위 측정으로 누전점 검출

특정 주파수의 교류신호가 누전점에서 누설되면 그림 2-4와 같이 접지극과 누전점 사이에 대지전위 분

포가 형성된다. 이때 통상 2극 또는 3극의 탐지극으로 구성되는 수신기로 선로의 경로를 따라 대지전위를 반복적으로 측정하면 지중선로의 누전점 부근과 송신기 접지극 지점에서 대지전위 위상이 반전되는 것을 알 수 있다.



그림 2-4. 대지전위 위상 반전

표 2-2. 대지전위 생성용 신호 비교

신호종류	특징
교류	- 전력소모와 부식 문제 해결로 안정적인 대지전위를 형성할 수 있다. - 주파수 필터링을 이용하여 상대적으로 노이즈가 적은 주파수 대역을 선택적으로 사용할 수 있다.
직류	- 송신기의 전력 소모가 커서 배터리 용량이 커야 된다. - 배터리 용량이 커지면 중량과 가격이 상승된다. - 접지극과 누전점의 대지 접촉부위에서 부식 발생이 우려된다.

누전점의 중앙 부위에서 대지전위 피크가 발생하기 때문에 수신기의 기준 탐지극을 기준으로 측정한 대지 전위는 누전점을 지나면서 극성이 반전되는 현상을 이용하여 누전점을 검출할 수 있다.

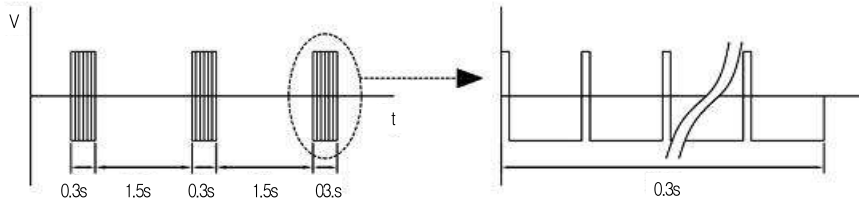
누전점에서 접지극으로 대지 전위를 생성시키기 위한 신호로는 직류신호 사용이 간편하지만 표 2-2와 같은 특징 때문에 구형파 교류신호가 일반적으로 사용된다.

2.4 비대칭 교류 펄스파를 이용한 누전점 검출

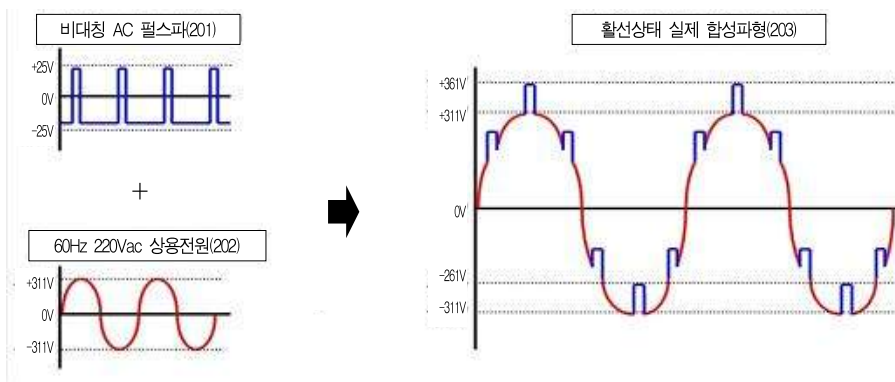
(주)김포전력에서 개발한 “가로등 전선로 누전점 탐지를 위한 중첩 맥류 신호 발생 장치와 감지 신호 출력 장치”는 그림 2-5와 같이 비대칭 구조의 저압 AC 펄스를 발생시키는 송신기와 이를 극성으로 판별

할 수 있는 수신기를 이용하여 누전점과 접지극 사이의 대지 귀환 전류에 의한 대지전위를 측정하여 활선 상태에서 누전점을 검출하는 방식이다.

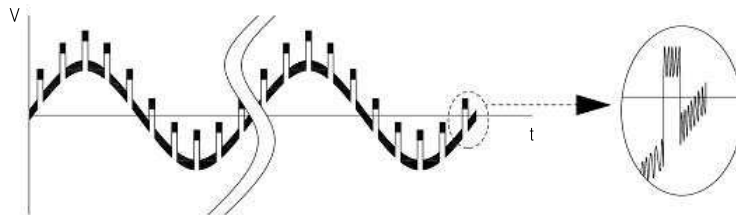
그림 2-5 (d)와 같이 누전점을 중심으로 송신기 방향에서 측정된 대지전위 펄스 듀티가 원 송신파 신호와 같고 송신기 반대 방향에서는 펄스 듀티가 반전



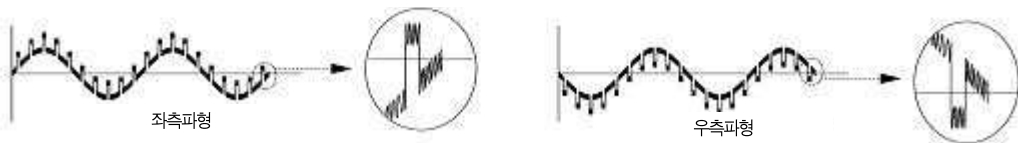
(a) 비대칭 구조의 AC 펄스 파형



(b) 누전점에서의 합성파형(비대칭 AC 펄스파 + 정현파)



(c) 노이즈가 포함된 대지검출신호



(d) 누전점 좌, 우측에서 대지신호 검출파형

그림 2-5. 비대칭 교류 펄스파를 이용한 누전점 검출

된다. 이 현상을 이용하여 누전점을 찾아낸다[5].

이 방식은 자기장을 측정하지 않고 대지전위만을 측정하여 검출하므로 자기장 센서가 필요 없게 된다.

2.5 관련기술 동향[6]

미국의 경우 그림 2-6과 같이 누전에 의한 전자계를 간접방법으로 측정하는 전자계센서를 차량에 장착하여 사용하는 SLV2000이 개발되어 있으며, 일본의 경우 활선 및 정전 상태에서 누전을 확인하고 누전점을 탐지할 수 있는 제품이 TOGAMI 등에서 판매되고 있다.

메가파워테크사의 Model 501은 그림 2-7과 같이 지중 혹은 벽속케이블 위치와 깊이를 탐지하는 장치로 송신기와 수신기로 구성된다. 송신 방법은 직접법, 커플러법, 유도 안테나법을 이용하고, 최대 탐색가능 거리는 2km, 최대 탐색 깊이는 4m이다. 사용자가 발신음과 메타표시를 직독하는 방법을 사용하며, 케이블의 단선개소도 검출할 수 있다.

에이제이월드사의 3M Dynatel™ 2250M은 그림 2-8과 같이 케이블 위치 및 마커 탐지용이고 송신

기와 수신기로 구성된다. 송신기에서 접지저항을 측정할 수 있고 직접법, 커플러법, 유도 안테나법을 이용하여 측정하는 방식이다. 송신기를 사용하지 않고 외부 전력 주파수와 CATV 주파수 이용이 가능하고, 그래픽과 문자로 케이블의 위치와 깊이, 마커의 정보 등의 결과를 보여 준다.



그림 2-6. 간접식 이동형 누전탐지장치

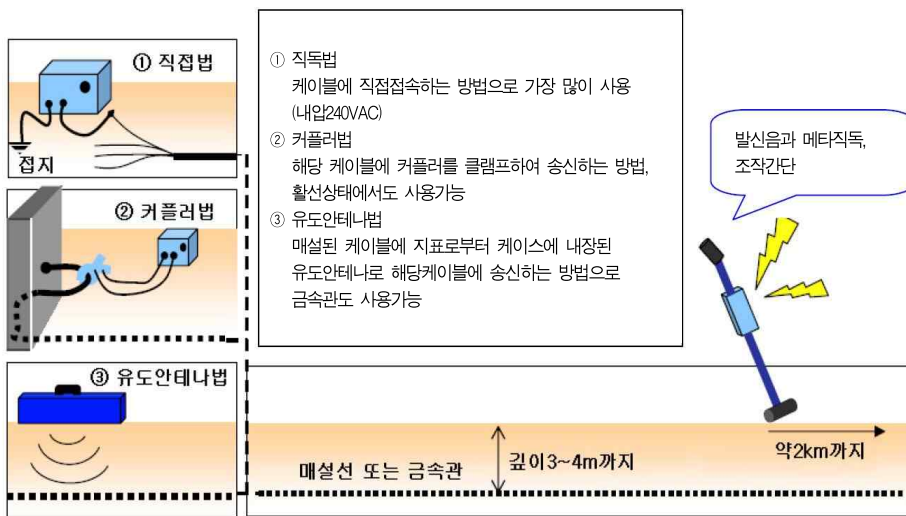
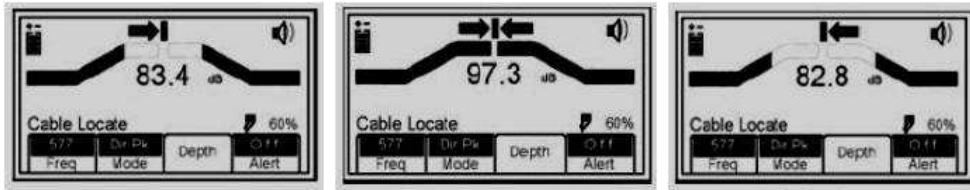


그림 2-7. 메가파워테크사의 Model 501

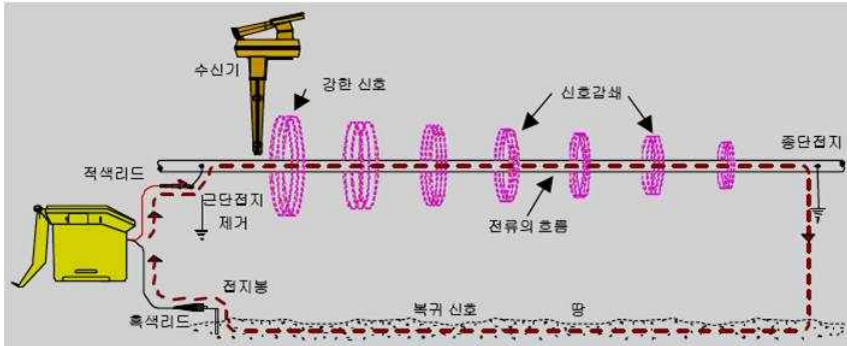


케이블의 왼쪽

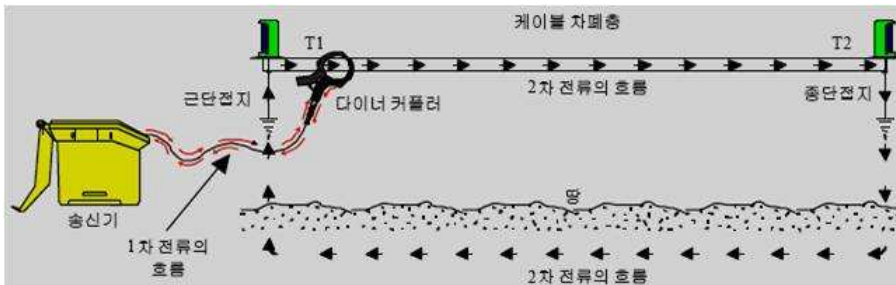
케이블의 중심

케이블의 오른쪽

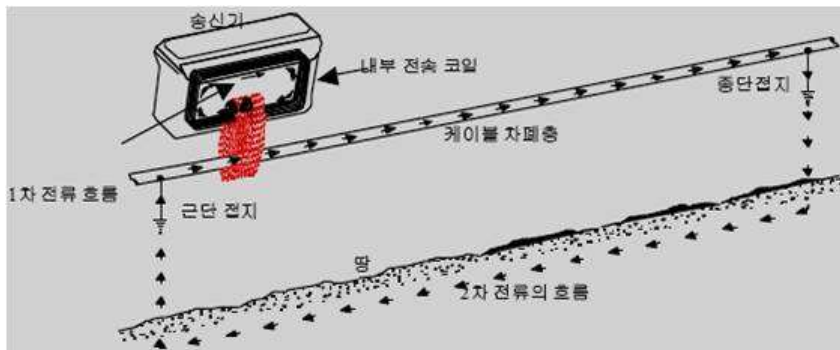
(a) 3M DynatelTM 2250M Display



(b) 3M DynatelTM 2250M 직접법



(c) 3M DynatelTM 2250M 커플러법

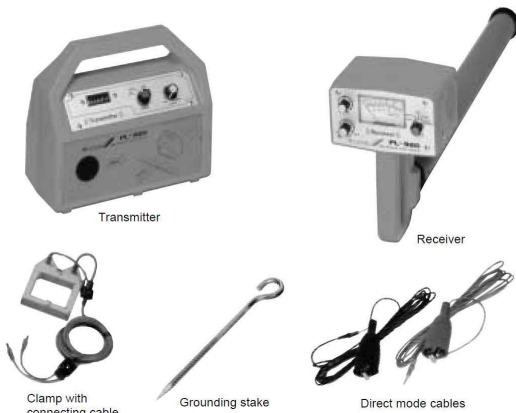


(d) 3M DynatelTM 2250M 유도안테나법

그림 2-8. 에이제이월드사의 3M DynatelTM 2250M

마커는 케이블 및 맨홀 등 지하저장물의 정보를 입력시켜 관리하는 장치로 송신기능을 갖추고 있다. 내부전원이 필요 없으며 완전 방수재질로 지중의 온도, 화학작용 및 광물 투입 등에 전혀 영향을 받지 않아 수 십년이 지나도, 초보자가 쉽게 지하 저장 시설물을 신속·정확하게 찾을 수 있도록 하는 장치이다.

FUJI사의 PL-920은 그림 2-9와 같이 송신기와 수신기로 구성되고, 송신기에서 지중선로에 직접법, 커플러법, 유도안테나법 등으로 송신 신호를 발신한다. 송신기를 사용하지 않고 전력 주파수와 CATV 주파수를 이용하여 측정이 가능하며, 아날로그 방식인 지시침의 움직임으로 지중선로의 위치와 깊이를 보여 준다.



FUJI社 PL-920 부품 구성

그림 2-9. FUJI사의 PL-920



그림 2-10. Metrttech사의 480

Metrttech사의 480 장비는 그림 2-10과 같이 송신기와 수신기로 이루어지고 지중선로의 위치와 깊이를 사용자에게 아날로그 지시침과 음향으로 측정결과를 제공하는 방식으로 구현되어 있다.

3. 결 론

일반 수용가에 전력을 공급하기 위한 인입선로는 도시미관을 해치지 않기 위하여 지중 배전선로가 확산되고 있다.

지중전선로의 열화와 손상이 발생하더라도 손상 부분이 대지와 접촉이 되지 않을 경우 건전 상태에서는 누설 전류 경로가 존재하지 않기 때문에 절연 저항 측정 방식과 누설 전류 측정 방식으로 누전 고장 검출이 불가능하다. 또한 공공 안전을 위한 전기시설물인 가로등, 신호등용 지중 전선로의 누전 보수공사가 정확한 누전 위치 확인이 어려워 넓은 지역의 굴착 공사에 따른 시간과 비용 문제로 방치되는 경우가 있다. 따라서 정확한 누전점을 찾아내어 빠른 보수공사와 더불어 비용 절감이 필요시 된다.

누전이 발생된 지중선로에 송신기로 특정 주파수의 교류신호를 활선 또는 사선 상태에서 인가하여 누전점에서 송신기 접지극으로 흐르는 누설 전류에 의하여 대지전위가 형성된다. 이 대지전위를 측정하여 누전점의 위치를 파악하며, 누전점에서 접지극으로 대지전위를 생성시키기 위한 신호로는 직류신호 사용이 간편하지만 일반적으로 구형과 교류신호가 사용된다.

(주)김포전력에서 개발한 비대칭 구조의 저압 AC 펄스 중첩시켜 누전점과 접지극 사이의 대지 귀환 전류를 발생시켜 대지전위를 측정하여 활선상태에서 누전점을 검출하는 방식이다. 이 방식은 자기장을 측정하지 않고 대지전위만을 측정하여 검출하므로 자기장 센서가 필요 없게 된다.

향후에도 사용하기 간편하고 효율적인 검출 장치 개발이 지속적으로 요구된다.

감사의 글

본 기술해설은 2009년도 지식경제부의 재원으로 한국 에너지 기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구과제의 일부입니다.(No. 2009T100100544) 지식경제부에 감사드립니다.

참고문헌

- [1] Joong-Ho Lee, "Current Status and Future Prospects for the prevalence of underground distribution lines", Journal of The Electric Word, Vol.376, pp. 22~25, 2008.
- [2] Han-Sang Kim, et al., "A Study on the safety assesment and countermeasure on the low-voltage handhole installed in the road", pp. 86~106, The Ministry of Knowledge Economy, 2007.
- [3] Choong-Suk Choi, et al., "A Study on the Electrical Safety Investigation in the Electrical Facilities on the Road and Temporary Power Installation", pp. 15~21, The Ministry of Commerce, Industry and Energy, 2005.
- [4] Hyoung-Jun Gil, et al., "Effect for Ground Impedance Measurement of Counterpoise by Position of Auxiliary Probe and Frequency", Proceedings of KIEE Spring Annual Conference, pp.158~160, 2010.
- [5] Jae-Hee Jung, et al., "Development of the Electric Leakage for Street Lights underground cables", Proceedings of the Korean Institute of Industrial Safety Conference , pp. 305~311, April, 2004.
- [6] 지식경제부, "침수시 지중접속함의 누전의 누전감지 및 누설전류 발생원 탐지시스템 개발", 2011. 06.

◇ 저자 소개 ◇



유재근(兪在根)

1965년 12월 6일생. 1990년 건국대학교 전기공학과 졸업. 1992년 동대학원 전기공학과 졸업(석사). 2007년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1992~1996년 대우전자 연구소 근무. 1996년~현재 한국전기안전공사 전기안전연구원 신기술개발팀장.



한석우(韓錫愚)

1964년 3월 1일생. 1989년 호서대학교 전기공학과 졸업. 1991년 건국대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2001년 동 대학원 전기공학과 박사과정 졸업(박사). 1992~1998년 한국전력공사 근무. 1998~현재 국제대학교 철도전기과 교수. 건축전기설비기술사. 전기 응용기술사.