

지중선로 누전점 탐지를 위한 반주기 변조된 대지 펄스 측정

김재현^{1*}, 전정채¹, 유재근¹
¹한국전기안전공사 전기안전연구원

The measurement of the half period modulated pulse on earth for detection of a underground electric leakage point

Jae-Hyun Kim^{1*}, Jeong-Chay Jeon¹ and Jae-Geun Yoo¹

¹Electrical Safety Research Institute of KESCO

요 약 증가 추세인 지중 전력설비의 사고 예방과 유지 보수를 위한 기술 연구개발 요구가 증가하고 있다. 지중선로의 경우 누전 불량률의 점유율이 높고 보수도 어려워 정확한 누전점 위치의 탐지가 중요하다. 교류 송신파를 누전점을 가지는 지중선로에 인가하여 발생시킨 교류 대지전위를 측정하여 누전점의 위치를 찾는 방법은 송신파 특정 극성 반주기에 교류 대지전위를 동기화하여 비교·판단하여야 한다. 송신파의 특정 극성의 반주기와 동기화하는 기존 방법을 설명하고, 송신파 반주기 변조된 대지 전위 측정 방식을 제안하고 소개하였다. 실험을 통하여 제안한 방식이 구현 가능함을 확인하였다.

Abstract Research and development for the technology, that is about maintenance and accidents prevention of underground power distribution line, are demanding. The precise detection of leakage point of underground power line is very important, because it is difficult to detect the exact location of a fault in underground power line and to repair faults. When earth electric potential is measured to detect underground electric leakage point after transmitting AC electric pulse wave to underground power line, it must be measured in a specific half period of AC pulse wave because the distribution of the electric earth potential varies with the polarity of the transmitted wave. In this paper we proposed the measurement of half period modulated earth potential as a method to detect a underground leakage point. And We compared the proposed method with other methods. Through experiments we verified that the proposed method can be implemented and operated properly.

Key Words : Electric Leakage, Underground Power Line, Phase Inversion, Earth potential

1. 서론

부하 밀집 지역과 상습 자연재해(태풍, 폭설, 염해) 지역에서의 필요성과 도시 미관에 대한 요구로 전력설비의 지중화는 증가 추세이다[1]. 이런 전력 설비의 지중화 증가 추세에 따라 지중 전력설비의 사고 예방과 적절한 유지 보수를 위한 기술 연구·개발에 대한 요구 또한 증가하고 있다. 지중선로의 경우 특성상 누전 불량 점유율이 높고, 보수가 어려워 정확한 지중선로 누전점 탐지가 중요하다[2-3]. 한국전기안전공사의 일반용 전기설비 점검 결과를 보면 가로등, 신호등, 경관등, 공원등 등의 지중선

로를 이용하는 설비의 절연저항 부적합(누전) 점유율이 일반용 전기설비의 절연저항 부적합 점유율보다 월등히 높음을 알 수 있다.

지중선로 누전점 탐지 기술로는 머레이 루프법, 펄스 레이더법, 절연저항 측정법, 송신파 인가 후 대지전위 측정법 등이 있다. 이 기술들 중 송신파 인가 후 대지전위를 측정 하는 방법은 누전점의 위치를 정확하게 탐지할 수 있는 장점이 있다. 하지만 다른 장비에 비하여 측정 장비가 비교적 고가이고 대지 표면의 상태(높은 대지저항률)에 따라 측정이 어려운 경우가 발생하는 단점이 있다.

*교신저자 : 김재현(azalea@kesco.or.kr)

접수일 11년 10월 31일

수정일 11년 11월 09일

게재확정일 11년 11월 10일

[표 1] 연도별 저압 지중선로 설비(가로등, 신호등,경관등, 공원등)와 일반용 전기설비의 절연저항 부적합(누전) 점유율

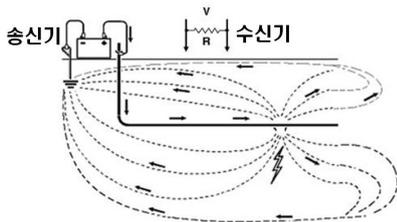
[Table 1] The portion of electric leakage in total faults(Underground equipment vs General electric equipment)

연 도	가로등, 신호등, 경관등, 공원등 (Underground)	일반용 전기설비 (General)	산출 방법
2007	48.40%	9.85%	절연저항 부적합 +총부적합
2008	54.16%	9.17%	
2009	74.71%	14.68%	
2010	95.59%	22.75%	

2. 본론

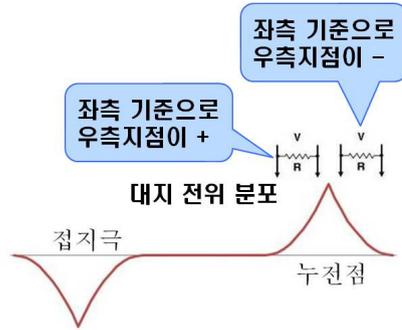
2.1 대지전위 측정을 통한 지중 누전점 탐지

누전점이 존재하는 지중선로에 송신기를 이용하여 특정 주파수의 교류 송신파를 활선(절연변압기로 중첩) 혹은 사선에서 인가하면 누전점에서 송신기 접지극으로 흐르는 누설 전류에 의하여 대지전위가 형성된다[4]. 이 대지전위를 측정하여 누전점의 정확한 위치를 확인한다.



[그림 1] 대지전위 측정을 통한 지중 누전점 탐지
[Fig. 1] The detection for a underground electric leakage point by measuring earth potential

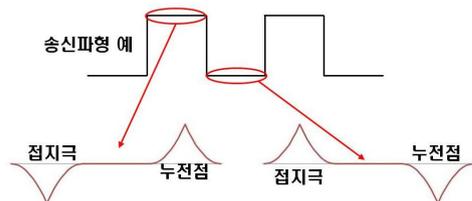
송신파가 누전점에서 누설되면 그림 2와 같은 대지전위 분포가 형성된다. 이때 통상 2극 혹은 3극의 탐지극으로 구성되는 수신기로 선로의 경로를 따라 대지전위를 측정하면 지중선로의 누전점 부근과 송신기 접지극 지점에서 대지전위 위상(극성)이 반전되는 것을 확인할 수 있다. 누전점의 위치에서 대지전위 피크가 발생하기 때문에 수신기 기준 탐지극을 기준으로 측정된 대지 전위는 누전점을 지나면서 극성이 반전되기 때문이다. 이 현상을 이용하여 대지전위가 반전되는 지점을 누전점으로 판별할 수 있다.



[그림 2] 대지전위 위상(극성) 반전을 이용한 지중 누전점 판별
[Fig. 2] The detection for a underground electric leakage point by measuring earth potential phase inversion

대지전위 형성용 송신파로는 교류 신호를 일반적으로 사용한다. 직류 신호를 인가할 경우는 송신기의 전력소모가 커서 배터리 용량이 커져야 하는 단점이 있다. 배터리 용량이 커지면 송신기의 중량과 가격의 측면에서 바람직하지 않다. 또한 직류 송신 신호를 이용하는 경우에는 접지극과 누전점 등의 대지 접촉 부분에서 부식이 발생하는 단점이 있다. 이런 문제점 때문에 대지전위 형성을 위한 신호로는 교류 신호를 대부분 사용한다. 교류 신호를 사용하면 주파수 필터링을 이용하여 상대적으로 노이즈가 작은 주파수 대역을 선택적으로 사용할 수 있는 장점이 있다.

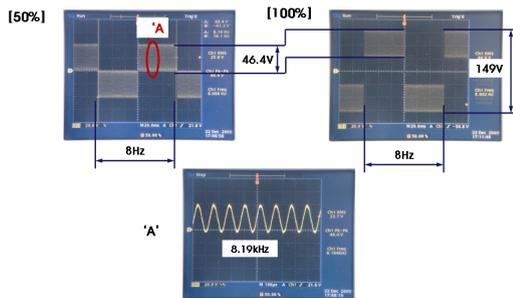
대지전위 형성용 교류 송신파로는 주로 구형파를 많이 사용한다. 이는 앞서 살펴본 교류의 장점을 취할 수 있는 동시에 반주기 동안에는 직류의 성질이 있으므로 대지전위 위상 반전을 이용한 누전점 탐지에 용이하기 때문이다. 하지만 구형파도 교류 신호이기 때문에 그림 3과 같이 대지전위의 주기적 극성 변화가 발생한다. 이렇게 대지 전위가 교번하면 측정 시기의 송신파 극성에 따라 측정 결과가 달라져 오측정이 발생한다. 그러므로, 교류 송신파를 이용할 경우 송신파의 특정 극성에 의한 대지전위만을 동기화 하여 측정해야 한다.



[그림 3] 교류 송신파형 극성에 따른 대지전위의 주기적 극성 반전
[Fig. 3] Periodic inversion of earth electric potential owing to AC transmitting waves

2.2 RD4000 장비의 누전점 탐지용 송신파와 동기화 방법 추정

영국 RadioDetection社의 RD4000 장비는 지중 금속 케이블, 금속 파이프의 정확한 매설 위치와 깊이를 탐지하는 장비이다. 또한 케이블 누전점의 위치도 탐지 가능하다. 주요 구성품은 송신기, 수신기 그리고 A-Frame 등이다. 송신기는 송신파형을 탐지 대상물에 인가하는 역할을 하고, 수신기는 송신파형에 의한 자기장과 대지전위를 탐지하여 선로 위치나 누전점의 위치를 검출한다. A-Frame은 수신기에 부착되는 대지전위 측정을 위한 2극 탐지극이다.



[그림 4] RD4000의 누전점 탐지용 송신파형
[Fig. 4] The transmitting waves in fault find mode of RD4000

RD4000의 경우 누전점탐지 모드를 Fault-Find라고 칭하며, 그 때의 송신파형은 그림 4와 같다. 송신파 출력 Level은 50%와 100% 두 개의 Level이 있으며, 파형은 8Hz 구형파와 8.192kHz 정현파를 합성한 파형이다. 그림 4의 파형은 RD4000T3 모델의 출력파형을 측정된 것이다.

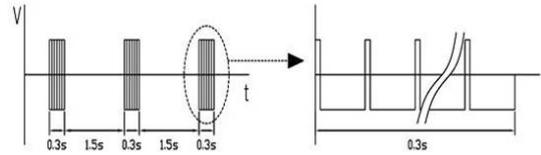
RD4000의 송신 파형이 비대칭성이 없고 8Hz 구형파에 8.192kHz 정현파가 합성된 것을 볼 때 송신파에 의한 8.192kHz 주파수의 자기장을 자기장센서로 검출한 뒤 AM 복조방식으로 8Hz 구형파 원 신호를 복원하고, 복원된 신호를 기준으로 동기화하여 대지전위를 비교·판단하는 것으로 판단된다.

AM 변·복조 방식을 응용하여 송신파를 복원하는 방법은 미세 자기장을 측정할 수 있는 자기장센서가 필수적이기 때문에 가격이 상대적으로 고가가 될 수 있다.

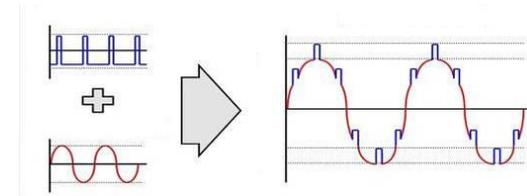
2.3 MELT 장비의 누전점 탐지용 비대칭 교류 펄스 송신파와 특정 반주기 판단

MELT 장비는 (주)김포전력에서 개발한 지중 선로 누전점 탐지 장비이다. 이 장비는 절연변압기를 이용하여 활성 상태에서 지중 선로에 송신파를 인가할 수 있는 장

점이 있다. MELT 장비도 대지전위를 측정하여 누전점의 위치를 판단한다.

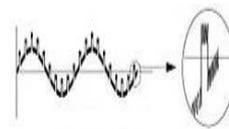


[그림 5] MELT 장비의 누전점 탐지용 비대칭 AC 펄스파
[Fig. 5] The transmitting asymmetric AC pulse of MELT

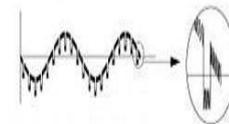


[그림 6] MELT 장비의 상용전원에 비대칭 AC 펄스파 중첩
[Fig. 6] The superposition of transmitting asymmetric AC pulse and live power source

그림 5는 MELT의 누전점 탐지용 비대칭 AC 펄스 파형이고, 그림 6은 활성 상태의 상용 전원에 중첩된 파형이다. 비대칭 AC 펄스는 Duty를 비대칭으로 구성한다. 이렇게 비대칭으로 펄스의 Duty를 구성하면, 누전점을 중심으로 송신기 방향의 위치에서는 측정된 대지 전위 펄스 Duty가 원 송신파와 같고, 송신기 반대 방향의 위치에서는 펄스 Duty 구성이 반전된다. 이 현상을 이용하여 누전점의 위치를 판별한다[5].



(a) 누전점에서 송신기 방향의 대지 전위



(b) 누전점에서 송신기 반대 방향의 대지 전위

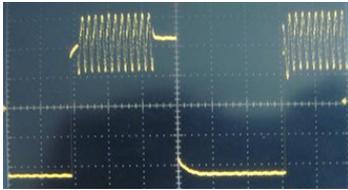
[그림 7] MELT 장비의 누전점 위치 방향 탐지를 위한 대지 전위 비대칭 부분 반전 확인

[Fig. 7] The duty inversion of asymmetric earth potential pulse for determining the underground electric leakage point

MELT의 경우에는 자기장을 측정하지 않고 대지전위만을 측정하여 지중선로의 누전점 탐지가 가능하여 자기장센서의 추가가 필요 없는 장점도 있다.

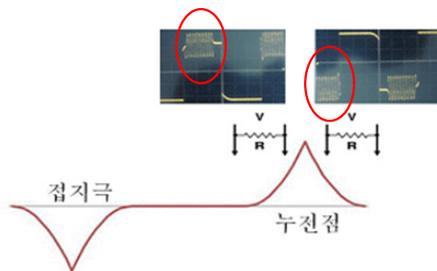
2.4 제안한 반주기 변조된 송신파형에 의한 대지 전위 측정

본 논문에서 제안한 방식은 구형파의 반주기에 정현파를 합성한(변조) 송신파를 지중선로에 인가하고 누전점에 의한 대지 전위를 측정하는 방식이다.



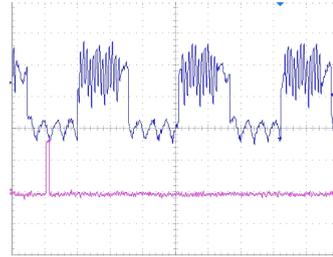
[그림 8] 제안한 방식에서의 송신파형
[Fig. 8] The transmitting wave of the proposed method

구형파의 반주기에만 정현파를 합성하면 누전점을 중심으로 송신기 접지구 방향(그림 9에서 누전점을 기준으로 좌측 방향)에서는 수신기 기준(좌측) 탐지구 대비 대지전위 파형이 변조된 형태 그대로 측정되고, 반대 위치에서는 변조된 부분이 반전되어 대지전위가 측정된다. 수신기 기준 탐지구를 기준으로 본 대지전위가 반전되기 때문이다. 이를 이용하여 누전점의 위치를 판별할 수 있다.

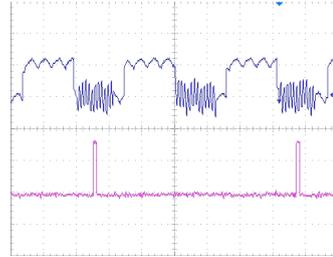


[그림 9] 제안한 방식의 누전점 부근에서의 대지전위 반전
[Fig. 9] The inversion of transmitting wave in the proposed method

그림 10는 제안한 방식으로 누전점이 존재하는 지중선로에서 측정한 대지 전위 파형이다. 그림 10의 청색 파형은 대지 전위 실험 결과 파형이고 분홍색 파형은 대지전위가 부극성일 때를 동기화한 펄스 파형이다. 대지전위가 부극성일 때 주파수 분석한 후 합성된 정현파의 존재 유무로서 누전점의 상대 위치를 판별할 수 있었다.



(a) 누전점에서 송신기 방향의 대지 전위



(a) 누전점에서 송신기 방향의 대지 전위

[그림 10] 제안한 방식을 이용한 시스템에서 대지 전위 측정 파형

[Fig. 10] The experimental earth pulse wave in the proposed method

2.5 제안한 방식의 장점

AM 변·복조를 이용하여 복원한 송신파와 수신기 탐지구로 측정된 대지 전위를 비교하여 측정하는 방식은 특허가 만료되어 사용의 제한이 없지만 자기장센서를 반드시 사용해야 한다[6~7]. 미세한 파워의 송신파를 측정하기 위한 충분한 성능의 자기장센서의 가격이 비교적 고가이기 때문에 자기장센서 없이 대지전위 측정만을 통한 방식이 경제적인 면에서 장점이 있다. MELT와 제안한 방식의 경우는 자기장센서 없이 지중선로 누전점 측정이 가능하기 때문에 가격적인 측면에서 장점이 있다.

3. 결론

AC 송신파를 인가하고 대지전위를 측정하여 지중선로의 누전점을 판별하는 방식은 송신파의 특정 반주기에 동기화하여 판별하여야 한다. 본 논문에서는 이를 위한 기존 방식인 AM 변·복조 방식으로 원 송신파를 복원하여 비교하는 방식과 Duty를 조정된 비대칭 AC 펄스파를 이용한 방식(MELT)을 설명하였다. 그리고, 구형파 반주기에 정현파로 합성한 송신파를 인가하여 형성된 대지전위를 측정하는 방식을 제안하고, 실험으로 구현 가능성을 확인하였다.

References

[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] Thomas Virgil Lathrop, Jamestown, N.C., "Method and apparatus for detecting faults in buried insulated conductors", US Patent 3991363, Bell Telephone Laboratories, 1975.

[7] Jae-Hyun Kim, et al., "The Realization of Magnetic Field Sensor for Underground Cables Locating Systems", Proceedings of KIEE Autumn Annual Conference, pp.127~129, 2010.

전 정 채(Jeong-Chay Jeon) [정회원]



- 1997년 2월 : 원광대학교 전기공학과 (공학사)
- 1999년 2월 : 원광대학교 전기공학과 (공학석사)
- 2000년 3월 ~ 현재 : 한국전기안전공사 전기안전연구원 선임연구원

<관심분야>
전기안전, 전력품질, 전력IT

유 재 근(Jae-Geun Yoo) [정회원]



- 1990년 2월 : 건국대학교 전기공학과 (공학사)
- 1992년 2월 : 건국대학교 전기공학과 (공학석사)
- 1997년 2월 : 건국대학교 전기공학과 (공학박사)
- 1992년 1월 ~ 1996년 3월 : 대우전자 연구소 근무
- 1996년 3월 ~ 현재 : 한국전기안전공사 전기안전연구원 책임연구원

<관심분야>
전력품질, DSP응용, 전력IT

김 재 현(Jae-Hyun Kim) [정회원]



- 1999년 2월 : 경북대학교 전자전기공학부 제어계측 (공학사)
- 2001년 2월 : 경북대학교 전자공학과 (공학석사)
- 2001년 2월 ~ 2005년 3월 : LG.Philips LCD 주임연구원
- 2006년 10월 ~ 현재 : 한국전기안전공사 전기안전연구원 주임연구원

<관심분야>
전기안전, 고장위치검출, 누설전류측정