

반사파를 이용한 지중케이블의 고장점 탐지연구

선종호, 강동식, 류희석
한국전기연구소*

Fault Location of Underground Cables Using Travelling Wave

J. H. Sun, D. S. Kang, H. S. Ryoo
KERI

Abstract -In this paper, we made an experiment on fault location of underground cables with travelling wave. The 5C2V coaxial cables of 100, 200m length, connected with discharge gap, are used for simplifying model cable lines of power cable. And 100KHz -2MHz CT and HV probe are installed at one side of the ends.

We made travelling pulse in discharge gab and then pulse travelled along the cable to the both ends. Therefore, it is detected in CT and HV probe. Measuring the time difference of the pulse start and arrival, we were able to obtain the distance of pulse travelling.

Consequently, our experimental results show the possibility to detect fault location of underground cables with travelling wave

1. 서 론

산업화된 현대 사회에서 전력의 수요는 질적으로나 양적으로 급격하게 확대, 고도화되고 있다. 이러한 전력의 공급을 위한 전력계통 중 송전선로는 대부분 가공선로(overhead transmission)로 구성되어 있는데 최근, 대도시 인구집중 및 산업시설의 집중현상에 따라 국부적인 대단위 수요지가 형성되므로써 도심 속에 대용량 송전선의 필요성이 날로 증가하고 있다. 하지만 가공송전의 여러 가지 문제점들로 인하여 대안인 지중 송전(underground transmission)설비가 검토되었다. 현재의 지중 전력케이블은 도심지역 및 공장 등의 부하밀집지역에 전력공급의 신뢰도 향상과 도시환경의 미화측면에서 가공선로 대신에 포설되고 있으며, 앞으로도 계속 확대 시공될 것으로 예상되고 있다.

이러한 전력케이블은 지중에 매설되어 있기 때문에 절연고장 등으로 전력 케이블에 이상이 발생하면 고장점 탐지 및 교체 등으로 인하여 복구에 장시간이 소요되기 때문에 복구지연에 의한 경제적인 손실을 수반하게 된다. 그러므로 고장이 발생한 경우 조기고장복구로 복구시간을 단축할 수 있는 정확한 고장점 탐지기술은 지중선로 유지 보수에서 중요한 역할을 담당한다.

본 연구에서는 방전갭을 이용하여 케이블 절연과파를 모의한 실시간 고장점 탐지법 실험을 실시하여 실제 케이블에서 절연과파가 발생하였을 때 계단파 전압같은 빠른 과도파형이 발생하는지 여부와 발생한다면 그러한 과도파형을 이용하여 고장점 거리의 측정이 가능한지를 검토하였다.

2. 반사파를 이용한 고장점 탐지의 기본원리

2.1 펄스반사의 원리

임의의 매질속에서 전기적인 펄스가 발생하게 되면 이 신호는 그 매질의 기하학적인 형상에 따라 전방면으로

진행을 하게 된다. 매질을 통하여 진행되어지는 펄스가 임피던스가 서로 다른 지점을 만나게 되면 다음의 식 1과 같은 매질의 임피던스에 따라 변하는 반사율에 의해 펄스의 반사가 일어나게 된다.

$$R = \frac{(Z_1 - Z)}{(Z_1 + Z)} \quad (1)$$

R=반사계수, Z1=고장점 임피던스, Z=선로 임피던스

이를 지중선로에 적용시켜보면 일반적으로 케이블에서 고장이 발생하면 고장점의 임피던스가 바뀌게 되고 여기서 발생된 펄스는 이 고장점에서 반사를 일으켜 원통형인 선로를 따라 양 끝쪽으로 진행을 하게 된다. 이렇게 진행되어온 펄스는 기준펄스와 비교하여 시간차를 구할수 있다.

다음 식 (2)는 펄스의 진행속도를 구하는 식이다. 이렇게 구해진 펄스의 진행속도와 시간차를 이용하여 이상이 발생한 지점까지의 거리를 계산할수 있다.

$$v = \frac{C}{\sqrt{\epsilon}} \quad (2)$$

v : 펄스의 진행속도 (m/s)

ε : 절연체의 유전율 (PE계에서 2.3)

C : 빛의 속도 (3×10⁸ m/s)

2.2 실시간 고장점 표정의 원리

위에서 언급된 펄스반사의 원리는 실시간 고장점 표정에 이용될 수 있다. 이전의 고장점 탐지방법은 임의의 펄스를 선로에 입력했을 때 반사되는 펄스의 특성을 이용하여 고장점거리를 계산하였다. 그러나 이 방법은 고장이 발생한 후에 고장점 표정이 가능하므로 실시간 고장점 표정은 불가능하다.

케이블 선로에 절연고장이 발생하면, 아크저항에 의하여 과도전압, 전류썩지가 발생하고 이러한 썩지는 케이블 선로가 개방되어 있는 개방점에 도달하게 된다. 만약 개방점에 고주파 고압 푸루브나 CT같은 과도전압 및 전류썩지를 검출할 수 있는 검출센서와 검출기가 설치되어 있다면 케이블 선로 고장시 실시간으로 고장점을 표정하는 것이 가능하다. 이와 같은 실시간 고장점 표정 원리에서도 펄스의 반사 특성 및 진행속도는 식 (1)과 식 (2)와 같으며 발생 썩지와 개방점에 도착한 썩지의 시간차를 측정하여 식 (3)을 이용하여 고장점 거리를 계산한다.

$$L = v \times t [m] \quad (3)$$

위 식에서 L은 검출센서로부터 고장점까지의 거리, v는 썩지의 진행속도, t는 썩지 발생시간과 도착시간과의 차를 의미한다.

3. 모의절연파괴에 의한 고장점 탐지실험방법

전력케이블의 고장점표정을 정확히 분석하기 위해서는 실제의 전력케이블을 사용하여 사용전압에서 절연고장을 발생시켜야 하나 실제의 실험상에 많은 어려움이 수반되므로 본 연구에서는 모의 선로로서 고장점 탐지를 실험하였다.

그림 1은 60Hz 상용주파수 아크 전압에 의한 고장점 측정을 위한 회로도이며 아크 전압 발생은 침-평판 전극을 사용하여 발생시켰으며, 그 구조는 그림 2와 같다. 시료로는 전력케이블 대신에 5C2V 동축케이블을 사용하고, 그 길이는 100, 200m 2종류로 하였다. 실험에서는 케이블의 절연파괴 대신에 케이블 한쪽 끝에 설치된 전극간 교락으로 절연파괴를 모의하였으며, 센서 및 측정은 반대쪽 normal open point에서 이루어졌다. 본 모의선로에서는 펄스전압과 전류를 모두 측정하였으며, 펄스전압은 케이블의 양단에서 입력임피던스가 1MΩ인 스킵프용 10대1프루브와 고전압 프로브를 사용하였으며, 전류는 측정주파수범위 120Hz에서 130MHz인 고주파CT를 사용하였으며, 100kHz - 2MHz의 특성을 가지는 필터를 연결하여 신호를 검출하였다. 그림 3은 과도전류측정부의 그림을 보여주고 있다.

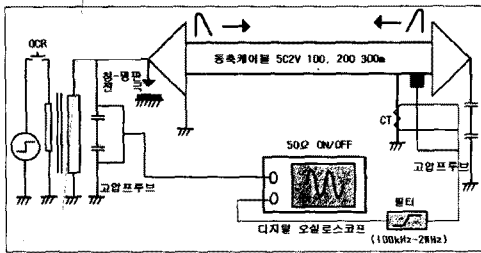


그림 1 상용 주파수 고장점 측정 회로

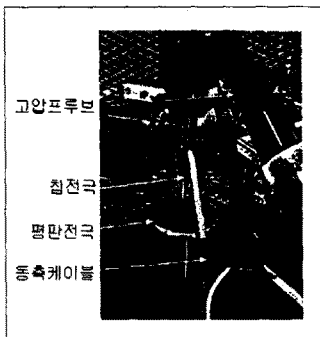


그림 2 침-평판 전극

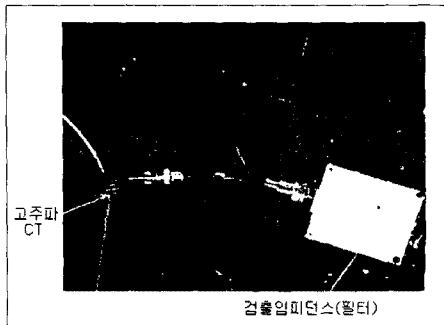


그림 3 전류 측정부

4. 실험결과

그림 4는 침대 평판전극에서 발생하여 케이블을 통과한 과도 썬지 전압과 전류를 측정된 결과이다. ch1이 전압파형이고 ch2가 전류파형이다. 그림에서와 같이 모의 방전원과 모의 선로를 이용하여 방전 시험을 해본 결과 급준한 전류 전압파형이 발생하고 있음을 알 수 있었다.

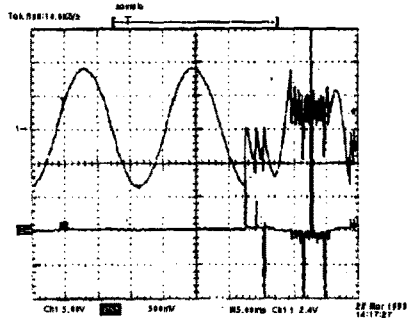


그림 4 케이블 썬지 현상

그림 5와 그림 6은 입력단과 출력단에서 측정된 과도 전압파형으로 입력과 출력의 시간차이를 거리별로 보여주고 있다. 각 그림에서 입력단과 출력단의 시간차는 100m에서 0.5us, 200m에서 1.0us로 측정이 되었으며 이는 본 측정법이 실시간으로 고장점을 측정할 수 있음을 보여주고 있다.

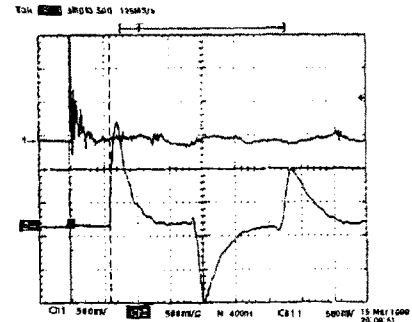


그림 5 과도 전압 시간차 (100m)

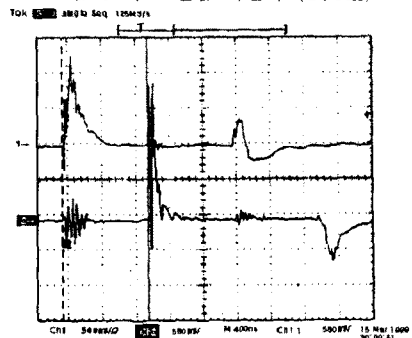


그림 6 과도 전압 시간차 (200m)

다음 표1은 계산된 입사단과 개방단에서의 시간차와 그림 5, 6의 전압펄스의 입력단과 반대쪽의 개방단에서 측정된 전압펄스 시작점의 시간차를 요약 비교하여 정리하였다. 표 1의 결과에서 알 수 있듯이 실험치가 계산치와 거의 일치하고 있어 본 연구의 목적인 실시간 고장점 탐지법으로 충분히 가능성이 있음을 보여주고 있다.

표 1 시간차의 비교결과

케이블 길이(m)	계산치(us)	실측치(us)	편차(%)
100	0.505	0.500	-0.01
200	1.010	1.000	-0.01

한편 고압선에 바로 접촉하는 고압프루브로 실제 고장점을 측정하기에는 고압을 취급해야하는 위험 때문에 불가능하다. 이에 전류 측정으로 고장점 측정의 가능성을 검토하여 보았다. 전류를 측정하기 위하여 CT를 사용하였으며, 필터의 효율성을 알기 위해서 고주파 CT에 필터를 설치했을 경우와 설치하지 않았을 경우에 대해 각각 100m와 200m에 대해 과도 전류를 측정하였다. 다음 그림 7에서 그림 10은 필터의 유무시 전류 파형을 나타낸 것이다.

각 그림에서 ch1은 고압프루브로서 측정한 파형이고 ch2는 CT로서 측정한 것이다. CT가 없는 전류파형은 회로정수에 의해서 지배를 받기 때문에 전체파형중에서 과도파형을 분별하기 어려운 반면에 필터를 사용한 경우에서 알 수 있듯이 저주파파형이 제거되어 고주파파형이 측정되므로써 도착파형을 구분하기가 비교적 용이하였다.

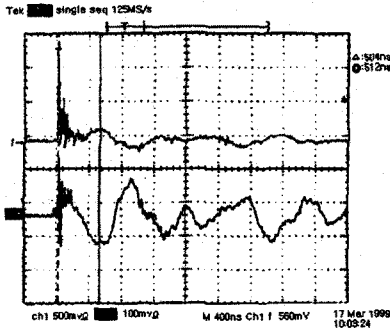


그림 7 과도 전류 파형(100m)(필터가 없을 경우)

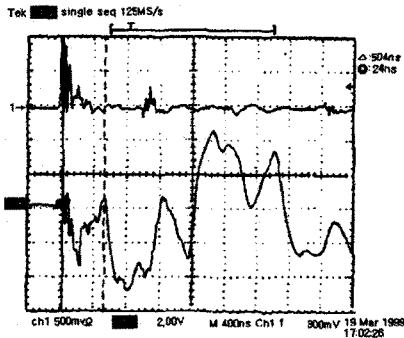


그림 8 과도 전류 파형(100m)(필터가 있을 경우)

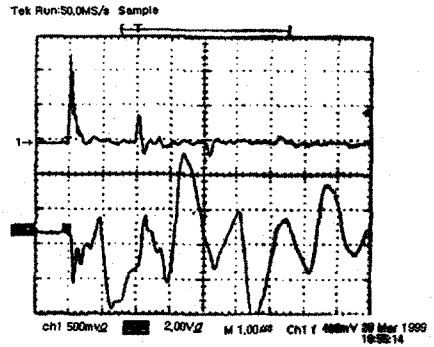


그림 9 과도 전류 파형(200m)(필터가 없을 경우)

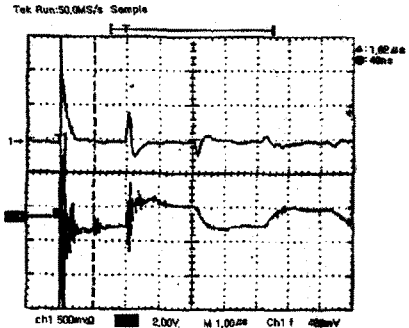


그림 10 과도 전류 파형(200m)(필터가 있을 경우)

5. 결 론

이상과 같은 모의 방전원과 모의 선로를 이용한 실시간 고장점 연구를 통하여 아래와 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 모의방전실험결과에서 케이블이 절연과파 될 때 급준한 과도전압, 과도전류 진행파가 발생함을 알 수 있었다.
2. 모의 실험된 전압필스의 입력단과 반대쪽의 개방단에서 측정된 전압펄스 시작점의 시간차와 계산된 값을 비교하여본 결과 거의 일치하였다.
3. CT를 이용한 과도전류 측정을 이용하여 실시간 고장점 측정이 가능함을 확인하였으며, 적절한 필터를 사용하면 응답 파형에서 반사지점을 더욱 명확히 알 수 있었다.

(참 고 문 헌)

- [1] 手銃文夫의, "電力ケーブルの瞬時故障点標定法", 住友電氣, 제 105호, Oct., 1971
- [2] K. K. Kuan, K. Warwick, "Real time expert system for fault location on high voltage underground distribution cables", IEE Proceedings-C, Vol. 139, No. 3, May 1992
- [3] J. C. Maun, "Power system modelling for the design of advanced fault locators and line protections, IEEE/KTH Power Tech. Conf., June 18-22, 1995
- [4] 선중호 외, "지중케이블의 실시간 고장점 탐지연구(I)", 대한전기학회 방전고전압연구회 춘계학술연구발표회 논문집, pp 235-239, 1999