

지중케이블 상별 거리차에 따른 VLF PD 위치 분석 방안

목영수*, 이재득**

한국전력공사 설비진단처 배전팀*

Analysis method of VLF PD location by length differences between phase of underground power cable

Young-Soo Mok*, Jae-Deuk Lee**
KEPCO Distribution Team*

Abstract - 지중전력케이블의 VLF PD 진단은 케이블의 절연체 공극이나 수투리가 진전되어 전기트리로 발전한 불량 부분에서 발생하는 부분방전량 및 발생 위치를 거리로 나타내 주는 방식이다. 케이블에 고전압을 인가하기 전 교정 작업을 시행하여 접속재의 위치, 공장, 전과정수 등, 진단 구간에 대한 제반 정수를 장비에 입력하는 과정을 거친다. 지중케이블은 일반적으로 3상이 모두 동일한 길이로 포설되어 1상에 대해서만 교정 작업을 시행하고 있다. 교정 작업 시 입력하는 공장 및 접속재 위치는 3상 케이블에 대해 동일한 위치로 입력되기 때문에 과거에 어떠한 사정으로 상별 공장이 상이 할 경우 PD 발생 위치가 다르게 나타날 수 있다. 이러한 오류를 범하지 않도록 하기 위하여 진단 중 발생하는 3상 케이블에 대한 단말 파형과 기타 위치를 알 수 있는 방법을 제시하여 PD 발생 위치를 수정함으로써 진단의 정확도를 높이는 방법이다.

1. 서 론

한국전력에서는 지중케이블의 열화 상태를 진단하기 위하여 사용중인 VLF 진단 장비는 케이블의 전체적인 열화 상태를 판정하는 $\tan\delta$ 진단과 극부적인 불량 개소를 검출하는 PD 진단으로 구분되어 있다. 2009년부터 본격적으로 VLF 장비를 사용하면서 지중케이블의 자연열화 고장은 급속도로 감소하였다. VLF 진단 초기에는 불량 발생률이 약 7%대를 육박 하였고 특히 고장과 직결되는 PD 발생개소도 약 2%정도를 점유 하였으며 부분방전 발생개소 중 맨홀 부분이 약 80%정도를 차지하였다. 실제 관로내 케이블에서 발생하는 경우는 전체 부분방전 발생 개소 중 약 0.4% 정도로 추정되고 있다. 부분방전 발생의 대부분은 맨홀 내 직선접속재이거나 수분 침투가 용이한 접속재 좌우 약 1m 지점의 케이블로 부분방전이 발생하는 위치는 대부분이 맨홀내로서 교체 비용이 저렴하다. 반면 관로내 케이블에서 PD가 발생하는 경우는 공사기간과 공사비가 상대적으로 증가하게 된다. 따라서 부분방전의 발생 위치를 정확히 검출하는 것이 신속한 보수와 예산 측면에서 중요 요소이다. 본 논문에서는 관로 내 케이블의 길이가 다를 경우 실제 접속재에서 발생하는 부분방전을 케이블에서 발생하는 것으로 오인 진단을 방지하기 위한 해결 방안을 제시한다.

2. 본 론

2.1 PD 발생 거리 계산

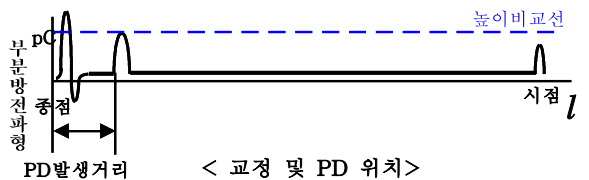
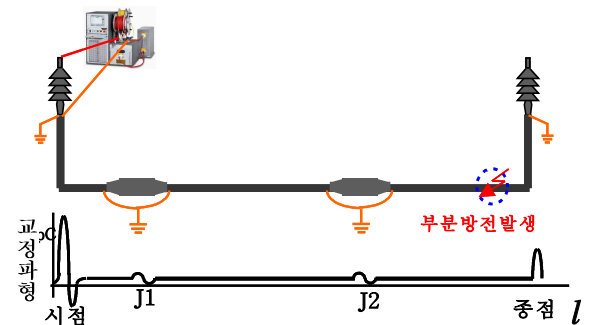
2.1.1 교정 거리와 PD 위치의 거리 계산 관계

PD 진단 전 시행하는 교정 작업은 진단 대상 케이블의 거리와 전과정수 그리고 접속재 위치를 PC에 입력하여 PD 발생 위치를 거리로 나타내기 위한 기초 작업이다. 입력된 케이블 공장을 기준으로 전과정수가 설정되고 단말에서 반사되는 시간을 산출하여 PD 발생 위치를 계산하게 되는데 이때 전과정수와 공장 또는 접속재의 위치가 잘못 입력되면 PD 발생 위치가 실제와 다르게 계산되어 정상인 부분의 케이블을 교체하는 결과를 초래하게 된다. 교정 작업에서 입력한 케이블의 공장과 전과정수는 PD가 발생했을 때 선로를 따라 진행되는 시간을 설정하는 기본 데이터로 다음과 같다.

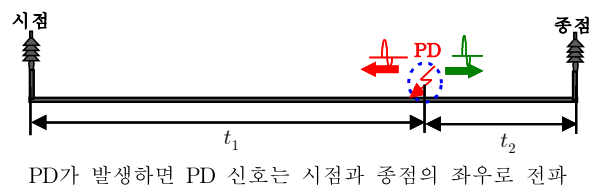
$$L = v \times t, \quad t = \frac{L}{v}$$

여기에서 진단 대상케이블의 반사 시간 t 가 결정된다. 예를 들어 교정거리가 150m이고 실제 거리가 120m라면 PD단말 파형은 120m로 나타나게 되어 교정시 입력한 공장과 상이하여 단선이나 단말 부근 PD로 오인하기 쉽다.

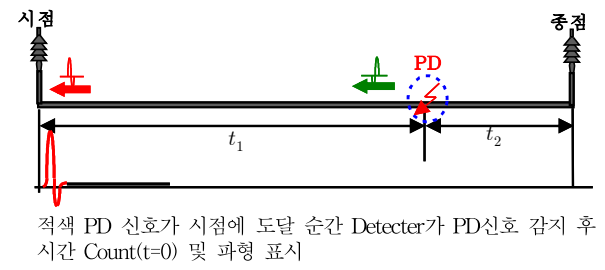
2.1.2 PD 발생 위치 계산



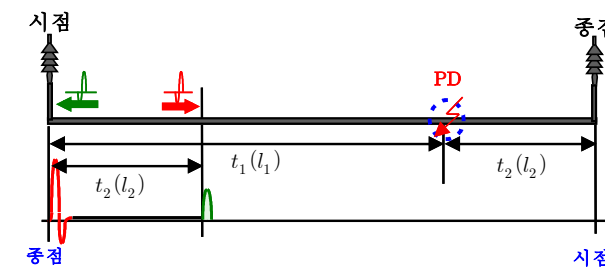
I. PD 발생



II. PD 신호 시점 도달

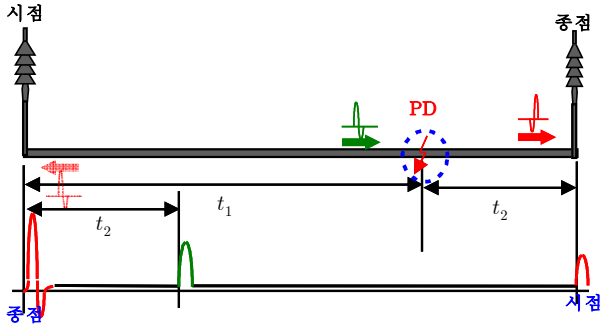


III. 종점 반사 PD 신호 시점 도달



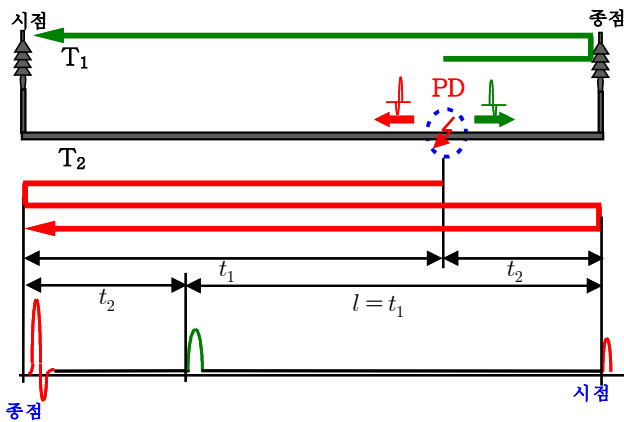
적색신호의 시단 도달 직후 Detector가 시간을 Count 하며 중단에서 되돌아온 시간 $t = 2(t_1 + t_2)$ 와 중단을 향한 녹색 신호가 중단에서 반사되어 시점에 도달할 때 시간 $t' = t_1 + 2t_2$ 를 비교 계산하여 PD 발생 위치를 녹색 파형으로 표시 한다..

IV. 중단 파형 생성



적색 파형이 Detector에 최초 도달한 시간부터 중단에서 반사 되어 되돌아온 시간을 산출하여 단말을 표시한다.

V. PD 신호 전달 경로 및 거리 산출



거리계산

PD신호의 반사가 완료되는 시점으로 계산

$$PD \text{ 발생거리 } l = \frac{T_1 - T_2}{2} v$$

(T_1, T_2 시간 중 중복을 제외하면 $2t_1$)

$$T_1 = t_2 + t_2 + t_1 = 2t_2 + t_1$$

$$T_2 = t_1 + 2(t_1 + t_2) = 3t_1 + 2t_2$$

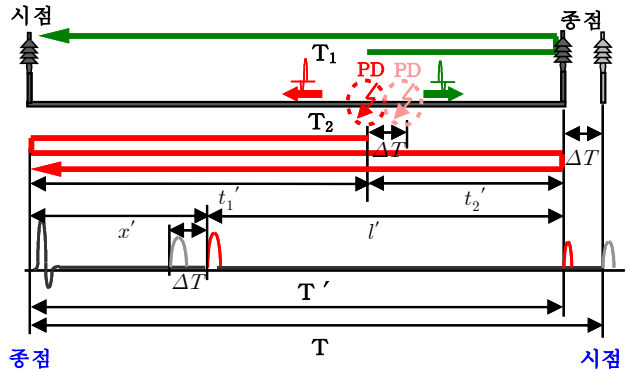
$$l = [(t_1 + 2t_2) - (3t_1 + 2t_2)]v/2 = -t_1 v$$

☞ 거리 l의 부호가 “-”로 시중점이 바뀌어 아래와 같이 분석 상단 화면에 표시된다.



2.2 상별 길이 상이에 의한 PD 발생 거리 오차 계산

2.2.1 공장 “L” 로 교정한 경우 길이 상이 구간의 PD 위치



2.2.2 변경된 거리계산

교정시행 시 입력한 접속제 위치 및 공장은 PD 분석화면 상에 표시되며 실제 PD가 발생 할 경우는 교정시 입력한 접속제 위치나 공장에 무관하게 양측 단말에서 반사되는 시간을 이용하여 단말을 표시함 즉 교정한 상의 단말 도달되는 시간이 $T(t_1 + t_2)$ 로 설정되어 있어 공장이 변동되면 접속제 및 단말의 위치가 변동된 길이 “ ΔT ”만큼 이동되어 표시 된다.

$$PD \text{ 발생거리 } l' = \frac{T_1 - T_2}{2} v$$

($T = (T_1 + T_2)/4$ 시간은 공장에 따라 변화)

$$t_1' = t_1 - \Delta T \Rightarrow t_1 = t_1' + \Delta T$$

$$t_2' = t_2 + \Delta T \Rightarrow t_2 = t_2' - \Delta T$$

(ΔT : 공장 상이에 따른 시간차)

$$T_1 = t_2 + t_2 + t_1 = 2t_2 + t_1 \Rightarrow 2(t_2' - \Delta T) + t_1' + \Delta T = 2t_2' + t_1' - \Delta T$$

$$T_2 = t_1 + 2(t_1 + t_2) = 3t_1 + 2t_2 \Rightarrow 3(t_1' + \Delta T) + 2(t_2' - \Delta T) = 3t_1' + 2t_2' + \Delta T$$

$$l' = (T_1 - T_2)v/2$$

$$= 2t_2' + t_1' - \Delta T - 3t_1' - 2t_2' - \Delta T$$

$$= -t_1' v$$

$$= -(t_1 - \Delta T)v$$

PD 발생거리 l' 는 교정 공장에서 발생한 l 보다 ΔT 만큼의 차이를 나타낸다.

2.3 상별 공장 상이에 의한 PD 발생 위치 변화 예

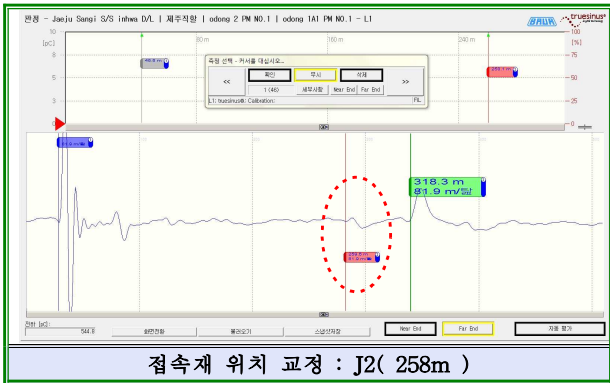
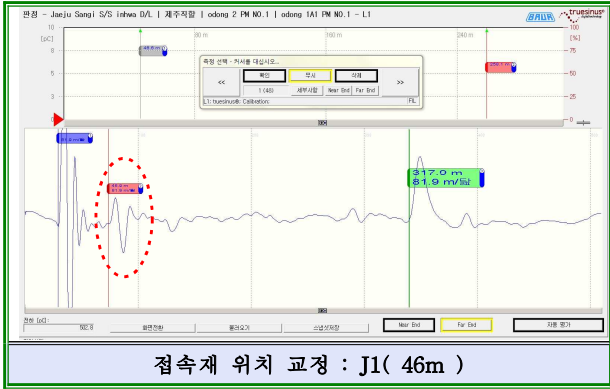
2.3.1 A상을 기준으로 교정한 PD 위치

1) 공장 교정



공장 교정 (공장 : 318m) ⇒ 시단과 중단 간 반사 시간 설정

2) 접속제 교정



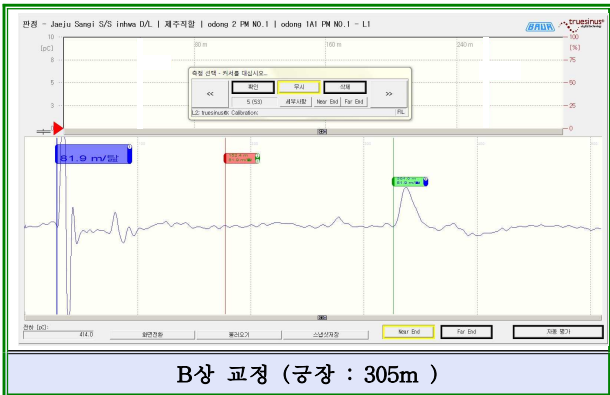
PD 분석 화면에 접속제 위치 표시(극장 : 318m, J1 : 46m, J2 : 258m)

3) PD 발생 위치 및 파형
- A상 PD 위치

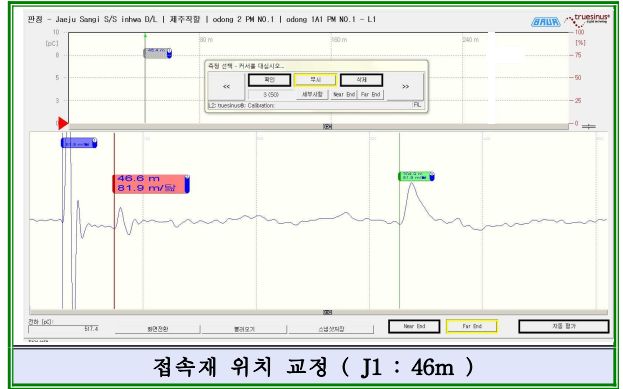


2.3.2 B상 PD 위치

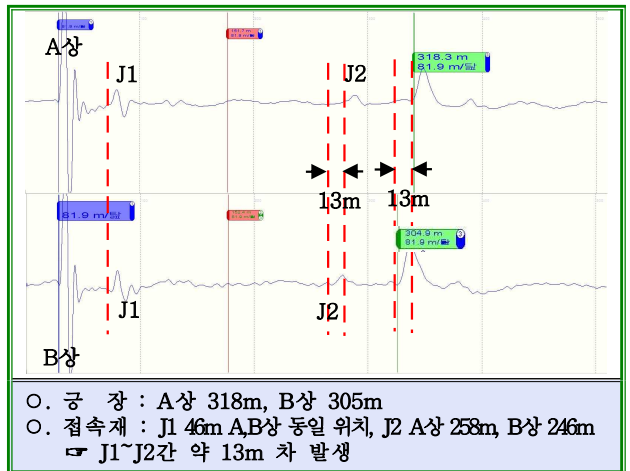
1) 극장 교정



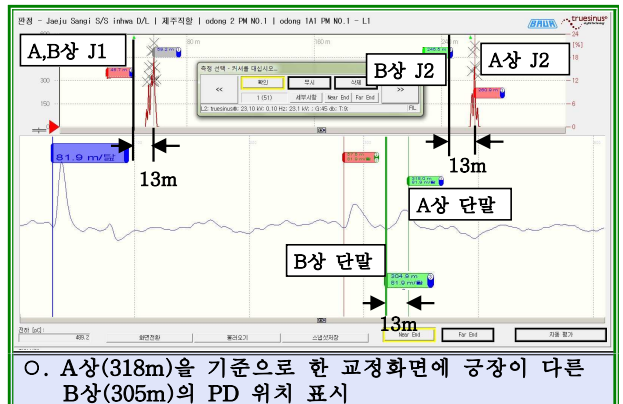
2) 접속제 교정



2.3.3 A,B상 교정 파형 비교

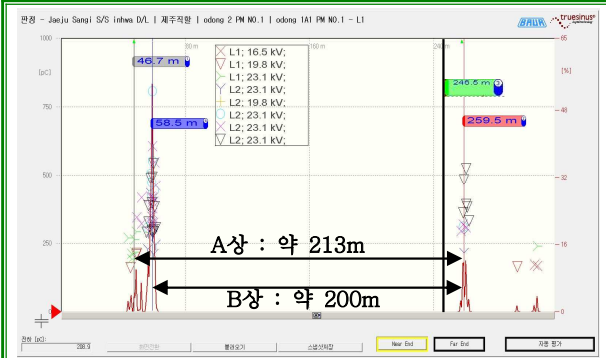


2.3.4 B상 PD 발생(2개소)



- . J1은 13m 차가 발생하나 J2는 접속재에 PD가 표시되는 이유
 - 1) 상기 화면은 A상(318m)을 기준으로 교정 시행된 화면임(A상 접속점표시)
 - 2) 접속점 J1은 A상과 동일하여 약13m 차가 발생하나 J2는 A상이 13m 정도 길어 A상 접속점 J2에 PD 표시(실제 B상 J2에 발생)

2.3.5 PD 위치 종합



- . PD 발생
 - A상 : J1(46m)에만 발생
 - B상 : J1(46m), J(246m) 2개소 발생
- . 위치 보정
 - A,C상과 B상 공장 차 : 약 13m(A,C상 318m, B상 305m)
 - J1~J2간 거리 : A상 213m, B상 200m로 이부분에서 공장 차이가 나며 현장조사 결과 특이점 미발견
 - B상 PD 위치 : 실제 B상 접속재 위치는 46m와 246m로 13m 만큼 좌측으로 이동하면 접속재 PD로 나타남

2.4. PD 위치 착오 판정 방지 방안

2.4.1 단말 PD 파형 위치비교

진단 케이블 양측 단말에서 발생하는 단말 파형이 교정 시 설정된 단말 위치의 일치여부를 확인한다. 그러나 단말 파형에 인접하여 단말 파형보다 높은 파형이 앞 쪽에 나타날때는 단말에 인접한 부분에서 PD가 발생하는 것이므로 주의 하여야 한다. 공장 상이로 단말 파형이 나타나는 경우는 단말 인접한 부분에 어떠한 파형의 형태가 없어야 한다.

2.4.2 접속재 파형 위치비교

단말 파형이 나타나는 경우 접속재의 파형도 나타나는 경우가 많으므로 접속재 위치를 다른 상과 비교한다. 특히 외방전이 발생 할 경우 교정 시 나타나는 파형과 거의 동일한 파형이 형성되므로 파형 비교가 쉬워 질수 있다.

2.4.3 PD 발생 위치와 단말 PD 발생 위치 비교

다른 상에서도 비슷한 위치(특히 접속재)에서 PD가 발생된다면 상별 단말 파형 위치차를 비교한 후 PD 발생 위치와 일치 여부를 확인한다.

2.4.4 상별 교정 재시행

상기와 같이 상별 거리가 상이 하다고 판정 될 경우 상별로 교정을 재시행하여 정확한 공장과 접속재 위치가 PD 분석 화면에 표시 되도록 하여 상간 길이 상이에 따른 진단 오차를 줄인다.

3. 결 론

VLF를 이용한 지중케이블 부분방전 진단의 정확성 향상을 향상 시켜 불량개소에 대한 보수기간의 단축으로 전력공급 신뢰도를 높임은 물론 보수비용도 절감 할 수 있다. 그러나 사선 상태의 부분 방전도 주변 노이즈 및 장거리 진단의 경우는 교정 파형의 판독이 어려워 많은 경험과 Know-how가 요구된다. 이러한 측면에서 본 내용은 실제 현장에서 자주 발생하는 경우는 아니지만 이상 파형에 대한 분석능력을 향상하는데 많은 도움을 줄것으로 기대된다.