

전력선 접지와 매설배관의 이격거리 실증실험 사례 조사

이현구, 하태현, 하윤철, 배정호, 김대경
한국전기연구원 지중시스템연구그룹

Investigation of the Experiment for Separation Distance between Powerline Earth and Pipelines

H.G. Lee, T.H. Ha, Y.C. Ha, J.H. Bae, D.K. Kim
Underground Systems Group KERI

Abstract - There are a number of reported instances of actual pipeline rupture during power line faults caused by melting of the pipe wall. This type of hazard was considered to be among the most serious of AC effects on pipelines in an international survey, comparable to the personnel safety hazard. Moreover, resistance coupling is not only a risk when the pipeline parallels a power line but also when they cross. One method of minimizing the effects of resistive coupling is by maintaining an appropriate separation distance between the pipeline and tower. This paper investigate the experiment for separation distance between the powerline earth and pipelines.

1. 서 론

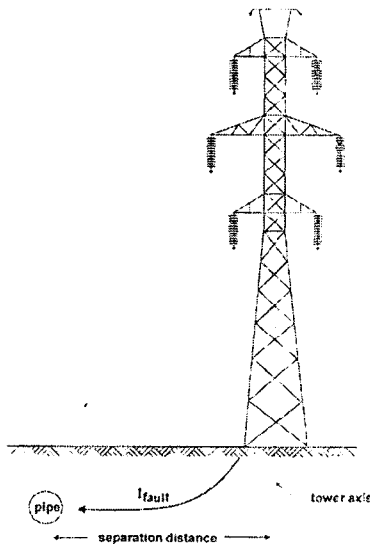
전력계통에서 지락고장은 전류가 흐르는 도체가 대지와 접촉할 때 발생하며, 고장전류는 가공지선과 대지를 통해 변전소 접지시스템으로 되돌아온다. 지락고장 발생지점이나 변전소 접지 인근에 매설된 배관은 지락전류가 대지로 흐르면서 형성시키는 전위구배의 영향을 받게 되고 고장전류가 흐르기 좋은 도전성 경로를 제공한다. 고장전류가 배관으로 유입된다면 집중된 지점에서의 아크 때문에 배관 표면에 심각한 손상을 일으킬 수 있다. 그 손상은 배관에 즉시 구멍을 낼 수 있거나 장기간의 안정성에 충분히 영향을 미칠 수 있다.

본 논문에서는 전력선 접지를 통해 대지로 유입된 고장전류에 의한 인근 매설배관의 아크용융 방지를 위하여 전력선 접지와 매설배관의 이격거리 실증실험 사례를 조사하였다.

2. 본 론

2.1 전력선 고장전류의 저항성 결합

전력선의 고장 발생 시 인근에 매설된 배관 벽의 용융에 의해서 실제 배관의 손상이 보고된 경우는 많이 있다. 이런 유형의 위험은 국제적인 조사에서 인체 안전위험과 필적하는 배관에 미치는 심각한 악영향임에도 불구하고, 교류완화설비를 설계할 때 그 심각성에 비례하는 관심을 기울이지 않고 있다. 더욱이 저항성 결합은 배관이 전력선과 병행할 때는 물론 교차할 때도 위험하게 작용한다. 저항성 결합의 효과를 최소화하기 위한 최상의 방법은 그림 1과 같이 배관과 절탑 접지 사이에 적당한 이격거리를 유지하는 것이다.



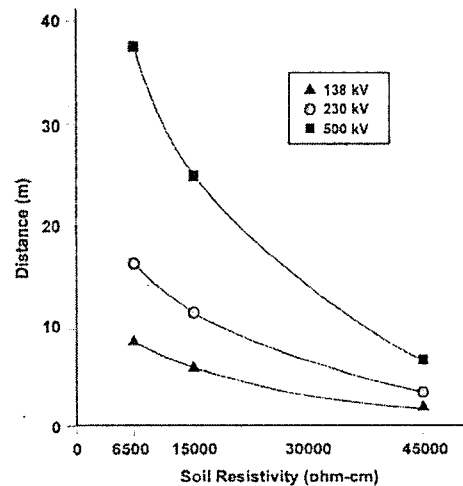
<그림 1> 송전 철탑에서 배관까지 AC 고장전류의 저항성 결합

2.2 전력선 접지와 매설배관의 이격거리 실증실험 사례

고장전류가 흐르는 전도성 경로는 토양에서 공극의 이온화에 의해서 만들어진다. 그리고 토양을 이온화하기 위해서는 최소 절연파괴 전압이 필요하며, 이때 이격거리는 전력선으로부터 배관에 섬락을 발생시키지 않는 전압까지 증가시켜야 한다.

캐나다 POWERTECH LABS INC.에서는 60[Hz] 교류전압 인가 시 토양의 종류에 따른 아크손상에 대하여 평가하였다. 실제 규모의 실험은 비용적인 면이나 기술적인 면에서 어려우므로 High Power Lab.의 가용전압 및 전류 범위에서 얻고, 외삽법을 사용하여 송전계통 전압에 대한 섬락 이격거리를 구하였다. 최소 이격거리는 그림 2에 나타난 것처럼 전력선 전압과 토양비저항에 따라 결정된다.[1]

그림 2에서 보여준 섬락거리는 섬락 후 지속된 아크가 유지되어질 수 있는 거리보다 작다. 그러므로 더 보수적인 안전 이격거리가 표 1과 같이 제시되었다.



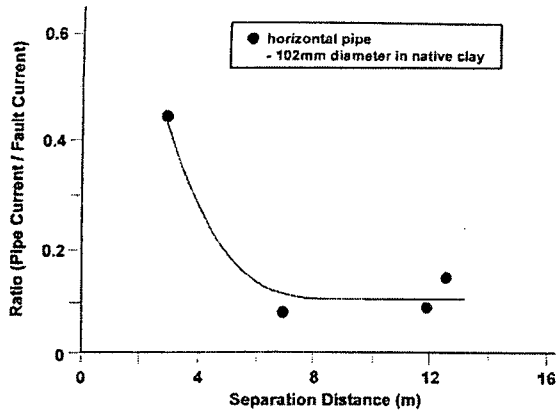
<그림 2> 송전선전압 별 토양비저항 대비 섬락거리

<표 1> 송전 철탑으로부터 예상되는 안전 이격거리

계통전압 [kV]	예측되는 최대 지속 아크 거리 [m]
138	11
230	18
500	41

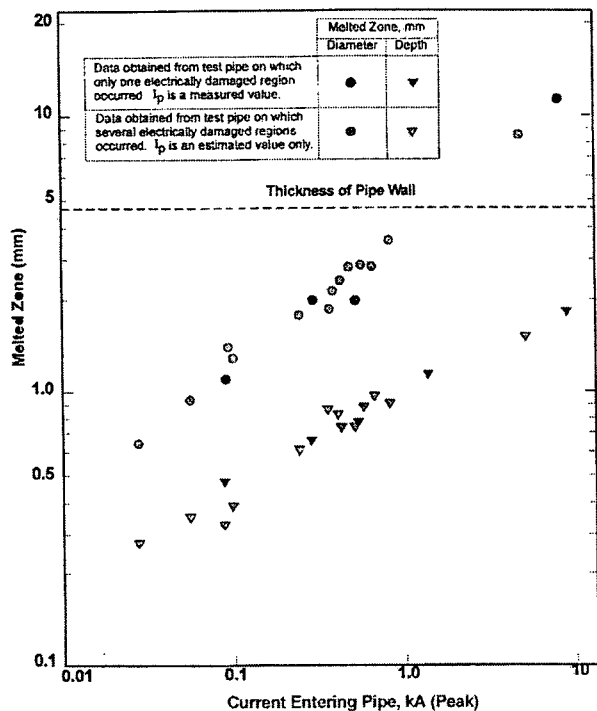
Cherney는 비록 모든 고장전류가 배관에 유입되어지는 것은 아니지만 특히 배관이 위험 이격거리 범위 안에 있을 때에는 최근의 송전계통에서 50~70[kA] 크기의 고장전류는 가능하다고 서술했다.[2] Akhtar와 Drakos는 총 고장전류에 대한 전류 유입의 비는 그림 3에 나타난 것처럼 이격거리의 함수임을 보였다.[3]

강관을 관통하기 위해 요구되는 전류의 양은 Webster 등이 실시한 실험에서 증명되었듯이 전류의 지속시간, 코팅의 종류와 두께, 결합부의 크기 그리고 배관 벽의 두께에 달려있다. 일반적으로 6사이클 지속되는 고장전류에 대하여 5.6[mm]와 9.54[mm] 사이의 두께를 가진 강관은 15.1[kA]에서 44[kA] 정도의 고장전류를 흘렸을 때 관통되었다. 비교해서 고장지속이 120 사이클(즉, 2초)일 때 사출성형한 폴리에틸렌(PE) 코팅된 4.88[mm] 두께의 벽을 관통하기 위해서는 0.33[kA] 만큼의 작은 값이 필요하다. 비록 관통은 상대적으로 자주 일어나지 않지만 관련된 열 영향부에서 유한 깊이까지 배관 벽의 용융과 코팅손상은 일반적으로 발생한다. 아크 발생 후에 용융부의 급속한 냉각은 강한 강도를 가진 구역을 만들기 때문에 균열 성장과 수소 취화에 민감하다.[1]



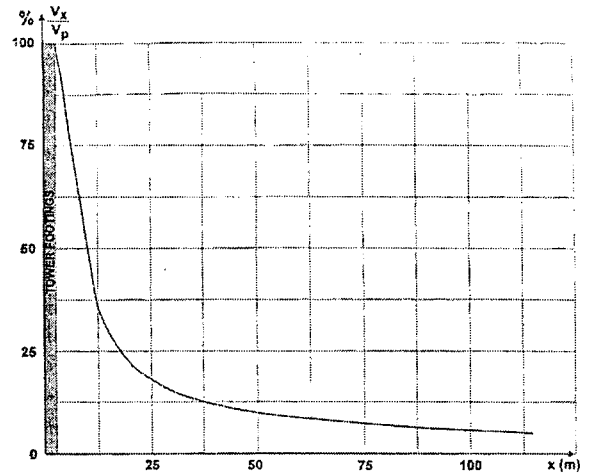
〈그림 3〉 5.8~9.9[kA]의 고장전류 범위에 대한 이격거리의 함수로써 배관에 유입되는 고장전류의 비율

Drakos는 10,000[Ω·cm] 진흙에서 최대 실험전류가 7.8[kA]인 230kV 선로에 가까이 위치한 35[mm] 직경의 코팅된 배관에 대하여 고장실험을 수행하였다. 이 실험에서 그림 4와 같이 고장전류와 용융부의 직경과 깊이 사이의 선형적인 관계를 발견하였다.[4]



〈그림 4〉 용융부의 직경과 깊이 대 AC 전류

Akhtar와 Hunter에 의해서 고 임피던스 고장으로써 언급된 길게 지속되는 고장은 3상 25kV 배전시스템에 설치된 250[A] 차단기가 동작되지 않는 지역에서 가스공급 배관의 누설을 발생시켰다. 100[mm] 직경의 폴리에틸렌 코팅된 주 가스 공급관에서 가스누설이 발생하는 지역에는 다수의 용융과 균열이 있는 것을 알 수 있었다. 배관손상은 고장전류가 지속된다면 배전계통(< 69kV)에서 상대적으로 작은 고장전류에 의해서도 발생할 수 있다.[5] 고장전류의 크기는 일반적으로 고장전류 경로의 저항과 유효 고장전압에 대한 오옴의 법칙에 의해 결정된다. Favez와 Gougeuil는 15[kV]에서 5[mm] 벽 두께를 가진 200[mm] 직경의 코팅된 배관이 관통되는 것을 관찰했고, 10[kV]에서는 배관이 손상을 입고, 그리고 5[kV]에서는 손상이 없는 것을 관찰했다. 5[kV]일 때 2,000[Ω·cm] 토양에서 고장전류는 50[A]로 측정되었다.[6] 그러므로 그들은 “지중 배관의 금속과 주위 대지 사이에 발생하는 최대 허용전압으로 5[kV]가 적절하며 일반적으로 배관의 관통 위험성은 거의 없다”고 결론지었다. 고장전류에 의한 관대지 AC전압은 중성선이 없는 고장발생 225kV 선로에 대하여 그림 5에서 보여주는 것과 같이 배관과 철타의 이격거리에 따른 철타전압의 비율이다.



〈그림 5〉 철타로부터의 이격거리에 따른 고장전압 변화

이 곡선은 아래의 계산식을 이용해서 균일한 토양에 대하여 계산된다.

$$V_x = V_p \frac{a}{x} \quad (1)$$

여기서 V_x = 'x' 지점에서의 토양 전압
 V_p = 철타에서의 전압
 x = 철타 중심으로부터의 거리
 a = 4개의 철타 각각과 같은 접지저항인 반구전극의 반경

만약 토양 표면이 지하의 토양보다 낮은 비저항을 가지고 있다면 그때 거리에 따른 전압은 커질 것이다. 반대로 만약 지하의 토양이 표면토양보다 낮은 비저항이라면, 이때 'x' 지점에서의 전압은 작아질 것이다. 최대 철타 전위상승은 철타 접지저항, 가장 가까운 발전소로부터 고장지점까지의 거리, 변전소 접지저항 그리고 전력 회로의 전압등급의 함수이다. 그러므로 이 전압의 계산은 매우 복잡하다. Cherney에 따르면 비록 15[kV]의 철타상승전압이 계산 되어질 수 있을지라도 “철타전위상승은 다소 더 낮아져서 일반적으로는 7,500[V] 정도이다.”

3. 결 론

전력선의 고장 발생 시 인근에 매설된 배관 벽의 용융에 의해서 실제 배관의 손상이 많이 보고되고 있다. 전력선 접지를 통해 대지로 유입된 고장전류에 의한 인근 매설배관의 아크용융 방지를 위하여 전력선 고장전류의 저항성 결합 개요를 알아보고 전력선 접지와 매설배관의 이격거리 실증실험 사례를 조사하였다.

향후에는 국내 실정에 맞도록 이격거리에 따른 토양의 절연과피 전압 실험을 수행하고, 전력회사와 배관사업자가 함께 사용될 수 있는 기준을 마련하고자 한다.

[참 고 문 헌]

- [1] C. Webster et al., "Powerline Ground Fault Effects on Pipelines", CEA Report No. 239T817, Dec. 1994
- [2] E.A. Cherney, "Pipeline Voltage Hazards on High Voltage AC Transmission Line Rights-of-Way", MP, March 1975, p.29
- [3] A. Akhtar and J.E. Drakos, "Problems Associated with Pipelines Occupying Joint-Use Corridors with AC Transmission Lines", BC Hydro Research and Development Report 81-D-72, 1981, p.96-97
- [4] J.E. Drakos, "Study of Problems Associated with Pipelines Occupying Joint-Use Corridors with AC Transmission Lines", CEA Research Report No 75-02, Vol. No.1, Jan. 1979, p.96-97
- [5] A. Akhtar and M. Hunter, "Damage of a Gas Pipeline Resulting from a High Impedance Fault on a 25kV-AC Distribution Power Line", MP, Aug. 1995, p.21-24
- [6] B. Favez and J-C. Gougeuil, "Contribution to Studies on Problems Resulting from the Proximity of Overhead Lines with Underground Metal Pipe Lines", CIGRE Proceedings, 336, 1966, p.6