2002년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집 2002.7.10-12

지락사고시 지중금속배관에 대한 아크이격거리에 관한 연구

°하태현, 배정효, 이현구, 김대경, 김석원
한국전기연구원

A Study on the Separation Distance to Protection of Buried Pipeline from Arc Strikes Caused by Power Line Ground Fault Current

°Tae-Hyun Ha, Jeong-Hyo Bae, Hyun-Goo Lee, Dae-Kyeong Kim, Suk-Won Kim
Korea Electrotechnology Research Institute

Abstract - The demand of the power and gas energy have been rapidly increasing with the industralization, therefore, the area where buried pipelines run parallel with the adjacent power lines and cross them increases in Seoul as well as other cities. These situation cause AC interference from the power lines. However, there aren't any standards to preserve the pipelines from AC interference in Korea.

This study introduces the separation distance to protection of buried pipeline from arc strikes caused by power line ground fault current. And this study examines and compares the arc distance through case study.

1. 서 론

산업화의 발달로 전력과 가스 등의 에너지 수요가 기하급수적으로 증가하게 됨에 따라, 지하에 매설된 가스배관이 송·배전선로와 근접한 거리에서 병행 혹은 교차하는 구간이 서울을 비롯한 도심지를 중심으로 점차 많아지게 되었다. 따라서, 전력선에 의한 교류간섭문제가 심각하게 대두되고 있지만, 국내의 경우 유도전압대책에 대한 표준화가 마련되어 있지 않다.

캐나다 전기협회에서는 현장시험과 실험실 시험을 통해 배관에서의 전력선 지락사고의 영향을 평가하였고, M.J. Frazier는 전력선 고장으로부터 배관손상의 예측에 관한 논문을 발표하였다.[1,2]

본 논문에서는 전력선의 지락사고 발생시 아크에 의한 배관손상 방지를 위한 안전이격거리에 대해 소개하고, 사례연구를 통해 비교·검토하였다.

2. 아크에 대한 안전이격거리

전력선의 지락사고 발생시 고장전류가 지중으로 유입되면, 철탑기초와 배관사이에는 토양의 이온화에 의해 전도성 통로가 형성되어 배관에 아크를 발생시킬 수 있다. 아크용융에 의한 배관 손상을 방지하기 위하여 제시된 안전이격거리는 다음과 같다

2.1 E. D. Sunde

E. D. Sunde가 제시한 아크이격거리는 대지에 뇌격전류가 유입되었을 때 토양비저항에 따라 식(1) 또는 식(2)를 적용하여 계산한다.[3]

$\rho \leq 100$ [Ω·m] 인 경우 :

$$r = 0.08\sqrt{I_{ac} \times \rho} \quad (1)$$

$\rho \geq 1{,}000$ [Ω·m] 인 경우 :

$$r = 0.047\sqrt{I_{ac} \times \rho} \quad (2)$$

여기서, r은 아크가 발생하는 거리[m], ρ는 토양비저항[Ω·m] 그리고 I_{ac}는 AC 고장전류[kA]이다.

2.2 M. J. Frazier

M. J. Frazier는 캐나다 전기협회(CEA) 연구보고서의 실험 데이터를 토대로 60[Hz] 교류전압 인가시 토양의 종류에 따른 배관의 아크손상에 대하여 평가하였다. 지표면토양에 대한 아크이격거리는 식(3)과 같다.[1]

$$Arc\ Distance[ft] = 0.447V - 7.58 \quad (3)$$

여기서, V는 배관과 철탑기초사이의 전압[kV]이다.

또한 송전선로 철탑이나 가공지선에 떨어진 낙뢰가 지락고장을 유발시키는 경우가 있다. 즉 낙뢰에 의해 유발된 Arc가 지락고장전류에 의하여 지속될 수 있다. 이때 원토양 및 지표면토양에 대한 지속 아크이격거리는 식(4)와 같다.

$$Sustainable\ Arc\ Distance[ft] = 0.469V - 2.68 \quad (4)$$

여기서, V는 가스배관과 철탑기초사이의 전압[kV]이다.

2.3 캐나다 전기협회(CEA)

POWERTECH LABS INC.에서 현장 및 실험실 시험을 통하여 60[Hz] 교류전압 인가시 토양의 종류에 따른 배관의 아크 손상에 대하여 평가하였다. 지표면토양에 대한 섬락(Flashover) 이격거리는 식(5)와 같으며, 지속 아크이격거리는 식(6)과 같다.[2]

$$Flashover\ Distance[m] = 0.1383V - 2.60 \quad (5)$$

$$Sustainable\ Arc\ Length[m] = 0.1058V - 0.0137 \quad (6)$$

여기서, V는 계통전압(상전압)[kV]이다.

2.4 캐나다 표준협회(CSA)

캐나다의 CSA에서는 배관과 전력회사 사이의 상호합의가 있는 경우를 제외하고는 배관은 전력선 철탑으로부터 10[m] 이상의 이격거리를 두고 설치할 것을 추천하고 있다.[4]

2.5 독일 가스/상수도협회 부식연구회(AfK)

독일의 AfK에서는 전력선 인근에 배관이 교차할 경우 배관과 철탑 사이에 다음과 같이 최소간격을 지켜야 한다고 규정하고 있다.[5]

- 정격전압 110kV 이상의 전력선일 경우 : 10[m]
- 전격전압 110kV 미만의 전력선일 경우 : 3[m]

더 좁은 간격이 필요한 경우는 기술적인 합의가 있어야 한다. 철탑접지와 배관 사이에는 최소 2[m]의 이격거리를 두도록 노력한다. 또한 철탑접지가 존재하지 않는 경우에는 철탑기초나 탑각으로부터 최소이격거리는

0.5[m]이상이 되어야 한다.

2.6 H. J. Sowade

전력선의 고장에 의해 철탑에서 배관으로 직접적인 방전을 피하기 위해서는 배관과 철탑의 탑각 혹은 접지 사이의 거리가 가능한 한 2[m]보다 커야만 한다. 이때 배관과 전력회사 양측의 합의 하에 0.5[m]까지 이격거리를 감소시킬 수 있다. 접지와 PE코팅된 배관 사이의 거리가 0.5[m] 이상이면 전력선에 고장이 발생했을 때 Arcing이 발생하지 않음이 증명되었다.[6]

3. 사례연구

3.1 해석 모델

345kV 4회선 송전선로에 1선 지락사고가 발생하였을 때, 아크용융에 의한 배관손상을 방지하기 위한 안전이격거리를 사례연구를 통해 검토하였다.

유도전압해석에 사용한 모델의 단면도는 그림 1과 같으며, 철탑 기초는 편의상 배관으로부터 가장 가까운 한 개만 나타내었다.

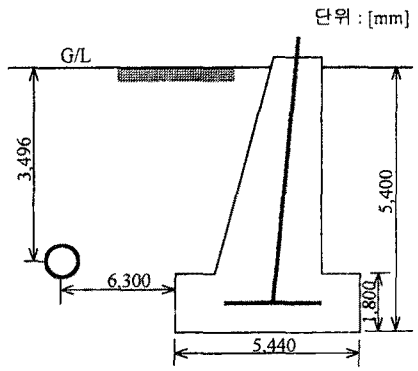

그림 1 해석모델 단면도

배관은 직경이 508[mm]이며 지표면으로부터 3.496[m] 깊이에 매설되어 있으며, 토양은 2층 구조의 대지를 모델링하였을 때 토양비저항값 ρ_1은 150.83[Ω·m], ρ_2는 67.169[Ω·m] 그리고 ρ_1의 깊이는 2.951[m]이다. 배관으로부터 최고 근접거리가 6.3 [m]인 철탑기초에 있어서 매설지선을 시공하지 않을 경우에 대해 철탑기초의 접지저항, 철탑기초로의 유입전류 그리고 철탑기초의 전위상승치를 계산한 결과는 표 1과 같다.

표 1 철탑기초의 유도해석 결과

구 분	유도해석치
접지저항[Ω]	1.0536
철탑기초로의 유입전류[kA]	9.4598
철탑기초의 전위상승치[kV]	9.9670

3.2 안전이격거리 계산 결과

표 1의 유도해석 결과치를 이용하여 아크용융에 의한 배관손상을 방지하기 위한 안전이격거리 계산치 및 기타 제한치를 종합하여 나타내면 표 2와 같다. 여기서 캐나다 표준협회(CSA), 독일 가스/상수도협회 부식연구회(AfK) 및 H. J. Sowade가 제시한 안전이격거리에 있어서, 전력선에 의한 배관의 유도전압 해석 등의 기술적인 검토를 할 수 없을 때에는 안전이격거리인 10[m] 또는 2[m]를 적용할 수 있으나, 해당기관에서 제공된 자료를 이용하여 유도전압 해석을 수행함으로써 철탑으로의 고장전류 또는 배관과 철탑간 전압의 크기를 계산할 수 있을 때에는 계산된 안전이격거리의 최대치를 적용해야 한다고 사료된다.

그리고 캐나다 전기협회의 경우에 있어서, 345kV 송전선로의 상전압인 199[kV]를 적용하면 안전이격거리는 24.95[m]가 된다. 이것은 고장지점의 철탑기초에 전체봉전압이 인가된다는 가정 하에서 계산된 값이다. 그러나 실제에 있어서 송전선로는 다중접지의 가공지선이 있어서 고장전류의 분류에 의해 철탑기초의 유도전압을 감소시키므로 더 상세한 조사가 필요하다. 따라서 캐나다 전기협회에서 제안한 안전이격거리도 표 1의 유도해석 결과치를 이용하여 계산한 값인 1.05[m]를 적용해야한다고 판단된다.

표 2 아크용융에 의한 배관손상 방지를 위한 안전이격거리 계산 결과

구 분	안전이격거리[m]
E. D. Sunde	2.02
M. J. Frazier	0.61
캐나다 전기협회 (CEA)	1.05
캐나다 표준협회 (CSA)	10 상호합의시는 예외
독일 가스/상수도 협회 부식연구회 (AfK)	10 상호합의시는 0.5
H. J. Sowade	2 상호합의시는 0.5

아크용융에 의한 배관손상을 방지하기 위한 안전이격거리 계산치를 검토한 결과, 최대치는 E. D. Sunde가 제시한 계산식에서 2.02[m]이었다. 따라서 본 해석모델에서의 안전이격거리는 충분하다고 판단된다.

4. 결 론

아크용융에 의한 배관손상을 방지하기 위해 제시된 해외의 안전이격거리와 관련하여 다수의 해외 문헌을 검토하고 사례연구를 통해 비교·검토한 결과, 어떤 값을 적용해야할지 결정하기는 상당히 어려운 문제이다.

따라서 본 연구에서는 유도전압 해석 유무에 따라 안전이격거리를 결정하는 방법을 제시하였다.

또한 국내의 경우, 아크이격거리와 관련하여 표준화가 필요하며, 이를 위해서는 관련연구의 수행이 필수적이라고 사료된다.

[참 고 문 헌]

[1] M.J. Frazier, "Predicting Pipeline Damage from Powerline Faults", NACE CORROSION 2001, Paper No. 1595, 2001

[2] CEA Report 239 T 817, "Powerline Ground Fault Effects on Pipelines", Prepared by POWERTECH LABS INC. 1994

[3] E.D. Sunde, "Earth Conduction Effects in Transmission Systems", D. van Nostrand Co. Inc, 1949

[4] CAN/CSA-C22.3 No. 6-M91, "Principles and Practices of Electrical Coordination Between Pipelines and Electric Supply Lines", The Canadian Standards Association, 1991

[5] German Standards AfK Recommendation No. 3, "Measures Relating to the Construction and Operation of Pipelines Within Range of Interference from High-Voltage Lines", British Gas, Central Index of Translations, Translation No. T4932/BG/ERS/79

[6] H.J. Sowade, Electricity Economy 75, 603, 1976