



가스배관과 철탑접지의 이격거리 관련 기준

†이현구 · 하태현 · 하윤철 · 배정효 · 김대경

한국전기연구원 전력연구단

(2006년 8월 2일 접수, 2007년 3월 20일 채택)

Standards of Distance between Gas Pipeline and Tower Ground

†H.G. Lee · T.H. Ha · Y.C. Ha · J.H. Bae · D.K. Kim

KERI, Electric Power Research Laboratory, 28-1, Sungju-dong, Changwon-si, South Korea

(Received 2 August 2006, Accepted 20 March 2007)

요 약

전력선에 지락고장이 발생할 경우 대지로 유입된 고장전류에 의하여 인접한 배관에 아크 용융이 발생하면 가스폭발이나 기름유출과 같은 대형사고를 발생시킬 수 있으며, 배관의 유지 및 보수를 담당하는 작업자의 안전에도 위협을 초래할 수 있다. 본 논문에서는 대지를 통한 철탑과 배관 사이의 아크 발생에 대하여 알아보고, 국내외에서 사용되고 있는 철탑 인근에 매설된 배관의 이격거리 기준을 조사하였다.

Abstract – The fault current through the earth originated from a power line ground fault might cause arcing through the soil to an adjacent pipeline, which might bring about not only a catastrophic accident such as gas explosion and oil leakage but also a hazard to the safety of workers responsible for the maintenance and repair of the pipeline. In this paper we investigated the arcing phenomena through soil between a power line tower and a pipeline and outlined the standards for the separation distance of a buried pipeline adjacent to the power line tower.

Key words : Pipeline, Tower ground, Arcing, Resistance coupling, Distance

I. 서 론

산업화, 도시화의 영향으로 전력과 가스 등의 에너지 수요가 기하급수적으로 증가하고 있으며 가스배관과 같은 지하에 매설된 금속구조물이 송전선로와 인접한 거리에서 병행 또는 교차하는 구간이 서울을 비롯한 도심지를 중심으로 점차 많아지고 있다.

전력선에 지락고장이 발생할 경우 토양으로 유입된 고장전류에 의하여 인접한 배관에 아크 용융이 발생하면 가스폭발이나 기름유출과 같은 대형사고를 발생시킬 수 있으며, 배관의 유지 및 보수를 담당하는 작업자의 안전에도 위협을 초래할 수 있다. 이러한 저항성유도의 효과를 최소화하기 위한 최상의 방법은 배관과 철탑 사이에 적당한 이격거리를 유지하는 것이다[1].

본 논문에서는 토양을 통한 철탑과 배관 사이의 저항성유도에 의한 아크 발생에 대하여 알아보고, 국내외

에서 사용되고 있는 철탑 인근에 매설된 배관의 안전 이격거리 기준을 조사하였다.

II. 배관과 철탑접지의 저항성유도

2.1. 저항성유도 개요

전력선에서 지락고장은 전류가 흐르는 도체가 대지와 접촉할 때 발생하며, 대지와 가공선로를 통해 변전소 접지시스템으로 고장전류가 되돌아온다. 지락고장은 절연체를 가로질러 도전경로를 제공하는 철탑구조물에 번개가 치거나 절연체 자체의 파손, 가공선로의 단선 또는 크레인 등이 가공선로와 접촉하는 것에 의해 발생할 수 있다.

번개는 가공선로에서 지락사고를 일으키는 가장 주된 원인 중의 하나이다. 송전철탑에 번개가 치면 상도체와 철탑구조물 사이의 절연체를 가로질러 도전경로를 만들 수 있으며, 이로 인해 상전류가 도체에서 섬락을 일으킨다[2].

†주저자:leehg@keri.re.kr

변전소, 발전소 및 철탑과 같은 전력설비에서 지락 고장이 발생할 경우 접지를 통해 흘러나온 고장전류는 전극과 주변 토양의 전위상승을 일으킨다. 배관이 철탑접지와 인접한 곳에 매설되어 있다면 대지전위상승(EPR)에 의해 배관의 코팅 양단에 큰 전압이 걸리게 된다.

대지전위상승에 의해 배관 코팅 양단에 걸린 전압이 배관 코팅의 절연내력을 초과할 경우 문제가 발생된다. 즉 배관이 철탑 접지와 매우 인접할 경우 배관이 용융될 수도 있으며, 배관을 통해 원격지까지 전달된 전위는 절연플랜지와 전기방식 설비 등을 파손시킬 수 있다. 또한 접촉전압과 보폭전압을 증가시켜 배관을 접촉하는 작업자의 안전을 위협할 수 있다[3].

2.2. 토양을 통한 철탑에서 배관으로의 아킹

토양에서의 방전에 대한 정보는 지하에 매설된 두 전극 사이의 아킹(Arcing)을 방지하기 위한 이격거리를 결정할 때 필요하다. 토양을 통한 철탑에서 배관으로의 아킹 발생의 예를 Fig. 1에 나타내었다. 여기서 배관은 철탑과 인접한 거리에 위치하고 있다.

철탑에 낙뢰가 칠 경우 철탑 기초에서의 큰 전류밀도는 반경 “A” 구간의 토양을 이온화시킬 것이다. 반경 “A”는 토양 이온화 변위(E_b)에 의해 결정되며, 철탑 접지저항 “R”을 결정한다. 그리고 “R”과 낙뢰전류 크기의 곱은 대지전위상승(EPR)을 결정한다. 여기서 E_b 는 3 kV/cm의 값이 사용되고 있다[4].

배관은 원격 접지의 전위로써 나타낼 수 있으므로 EPR이 Fig. 1의 이격거리(X-A) 양단에 전위차로써 나타난다. 만약 양단의 평균 전위차가 어떤 한계전압(E_b)을 초과할 경우에 배관에서 아킹이 발생하게 된다. 이것은 심각한 인명피해와 엄청난 재산손실을 가져오는 가스폭발과 기름유출을 일으킬 수 있다[5].

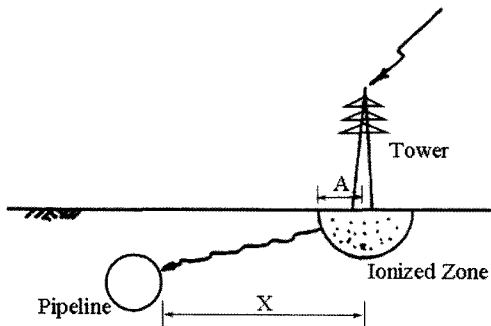


Fig. 1. Arcing from a tower to a pipeline through the soil.

III. 가스배관과 철탑의 이격거리 기준

3.1. 국외

미국 전력연구소(EPR)에서는 1976년부터 미국가스협회(A.G.A.)와 공동으로 고압전력선의 간섭대책에 대한 연구를 시작하였으며, 캐나다 전기협회(CEA)에서는 현장 및 실험실 실험을 통하여 60[Hz] 교류전압 인가 시 토양의 종류에 따른 배관의 아크 손상에 대하여 평가하였다. 그 결과를 활용하여 전력선로와 인근 금속구조물 사이의 간섭해석용 상용 프로그램도 개발하여 사용하고 있으며, 다양한 방법의 보호대책이 제시되고 있다. 또한, 독일 등의 선진국에서는 전력선과 배관이 병행하거나 교차할 경우 배관과 철탑 사이의 최소 이격거리를 규정하고 있다.

3.1.1. E. D. Sunde

E. D. Sunde가 제시한 아크 이격거리는 대지에 뇌격 전류가 유입되었을 때 각각의 토양비저항에 따라 식 (1) 또는 식 (2)를 적용하여 계산한다[6].

$$\rho \leq 100 [\Omega \cdot m] \text{인 경우:}$$

$$r = 0.08 \sqrt{I_{ac} \times \rho} \tag{1}$$

$$\rho \geq 1,000 [\Omega \cdot m] \text{인 경우:}$$

$$r = 0.047 \sqrt{I_{ac} \times \rho} \tag{2}$$

여기서 r : 아크가 발생하는 거리[m]

ρ : 토양비저항[$\Omega \cdot m$]

I_{ac} : AC 고장전류[kA]

3.1.2. 캐나다 전기협회(CEA)

캐나다 POWERTECH LABS Inc.에서는 현장 및 실험실 실험을 통하여 60[Hz] 교류전압 인가 시 토양의 종류에 따른 배관의 아크 손상에 대하여 평가하였다. 실제 규모의 실험은 비용적인 면이나 기술적인 면에서 어려우므로 토양에서의 아크에 대한 실험 데이터는 High Power Lab.의 가용 전압 및 전류 범위에서 얻고, 외삽법을 사용하여 송전계통 전압에 대한 섬락(Flashover) 이격거리를 구하였다.

지표면토양에 대한 섬락 이격거리는 식 (3)과 같으며, 지속 Arc 이격거리는 식 (4)와 같다[7].

$$\text{섬락거리[m]} = 0.1383V - 2.60 \tag{3}$$

$$\text{지속아크거리[m]} = 0.1058V - 0.0137 \tag{4}$$

여기서 V 는 계통 상전압[kV]이다. 그러나, 배관과 철탑

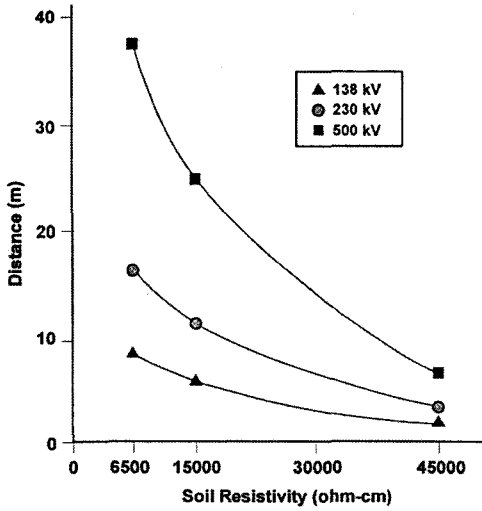


Fig. 2. Flashover distances vs soil resistivity for different T/L voltages.

접지 사이의 전위차를 적용하는 것이 타당하다고 사료된다.

실증실험과 외삽법을 사용하여 전력선 전압과 토양 비저항에 따라 결정된 이격거리는 Fig. 2에 나타내었다.

3.1.3. 캐나다 표준협회(CSA)

캐나다 표준협회(CSA)에서는 배관과 전력회사 사이의 상호 합의가 있는 경우를 제외하고는 배관은 전력선 첩탑으로부터 10[m] 이상의 이격거리를 두고 설치할 것을 추천하고 있다[8].

3.1.4. 독일 가스·상수도협회 부식연구회

독일의 가스·상수도협회 부식연구회(AfK)에서는 전력선 인근에 배관이 교차할 경우 배관과 첩탑 사이에 다음과 같이 최소 이격거리를 지켜야 한다고 규정하고 있다[9].

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

이격거리를 더 감소시킬 필요가 있는 경우는 기술적인 합의가 있어야 한다. 첩탑접지와 배관 사이에는 최소 2[m]의 이격거리를 두도록 노력한다. 또한 첩탑접지가 존재하지 않는 경우에는 첩탑기초나 탑각으로부터 최소 0.5[m] 이상 이격시켜야 한다.

배관과 고압케이블이 교차할 경우에는 케이블과 배관 사이의 접촉을 방지하기 위하여 최소 0.2[m]의 거리만큼 이격시켜야 하며, 배관과 고압케이블이 병행할 경

우에는 적절한 작업공간을 확보하기 위하여 최소한 0.4[m] 이격시켜야만 한다[3].

3.1.5. H. J. Sowade

고압 전력선의 고장에 의해 첩탑에서 배관으로 직접적인 방전이 발생하는 것을 방지하기 위해서는 배관과 첩탑의 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 아킹이 발생하지 않는다고 증명하고 있다[10].

3.1.6. CIGRE

프랑스 CIGRE에서는 배관과 송전첩탑이 인접할 경우에 저항성유도 저감대책으로 배관 주위의 대지전위 상승 억제와 배관코팅의 절연내력 증가를 제시하고 있으며, 어떠한 경우이든 토양비저항에 따라 1[m]에서 수미터까지의 최소 이격거리를 두도록 적극 권장하고 있다[11].

금속 배관과 고전압설비 사이의 간섭 관련 규정에 대한 국제적인 조사가 CIGRE Study Committee 36에 의해 수행되었다. CIGRE 회원국을 대상으로 실시된 조사 결과 질문서에 답변한 국가는 19개국이었으며, 12개 국가에서 공식적인 규정이나 관례 규정을 적용하고 있었다. 배관과 가공선로간 저항성유도 관련 기준을

Table 1. Standards of resistance coupling between pipeline and overhead power line.

내용	국가	기준치
배관 전위상승	호주	1,500 [V]
	덴마크	300 [V]
	남아프리카공화국	430 [V]
접지 전위상승	벨기에	5,000 [V]
	프랑스	5,000 [V]
	프랑스	5,000 [V]
첩탑-배관간 거리	남아프리카공화국	1 [m]
	벨기에	1 [m]
	덴마크	2 or 10 [m]
	프랑스	2 [m]
	이탈리아	20~40 [m]
	일본	2 or 10 [m]
	독일	2 [m]
스위스	10 [m]	
절연코팅에 인가되는 전위차	호주	5,000 [V]

Table 1에 정리하였다. 일반적으로 두 가지의 기준이 사용되고 있었다. 첫째는 최대 접지전위 상승 기준이며 기준이 있다면 제한치는 5,000[V]이었다. 둘째는 배관과 철탑 접지와와의 이격거리 기준으로 국가에 따라 1에서 40[m]의 최소 이격거리를 요구하고 있었다[11].

3.2. 국내

전기설비기술기준에 특별고압 지중선로와 배관과의 이격거리가 규정되어 있을 뿐 철탑 인근에 매설된 배관에 대한 안전 이격거리와 보호대책과 관련하여 기준이 마련되어 있지 않다. 따라서 철탑과 배관 인접구간에서 공사가 실시될 경우 후발 공사자가 선시공자의 요구에 따른 대책비용을 부담하면서 대책기준의 객관성과 이에 따른 공사비의 적정성에 대하여 논란을 일으키고 있으며 일부 구간에서는 보호조치 없이 일정 기간 동안 방치되는 경우도 발생되고 있다.

3.2.1. 전기설비기술기준

전기설비기술기준 제156조 2항에 “특별고압 지중전선이 가연성이나 유독성의 유체를 내포하는 관과 접근하거나 교차하는 경우에 상호간의 이격거리가 1[m] 이하인 때에는 지중 전선과 관사이에 견고한 내화성의 격벽을 시설하는 경우 이외에는 지중 전선을 견고한 불연성 또는 난연성의 관에 넣어 그 관이 가연성이나 유독성의 유체를 내포하는 관과 직접 접촉하지 아니하도록 시설하여야 한다.”고 규정하고 있지만, 송전철탑으로부터의 이격거리 기준은 규정되어 있지 않다[12].

3.2.2. 한국가스공사 보호공사기준

고압 송전철탑의 가스배관망 근접 설치에 따른 지락 전류 및 낙뢰로부터 가스배관을 보호하기 위하여 “고압송전철탑 근접 배관의 보호공사기준”을 마련하여 사용하고 있다. 굴착공사 및 관로관리(KOGAS-TQEI-0972)의 규정에 따라 지락전류에 의한 토양전위 상승에의 노출한도를 5,000 V로 제한하고 있으며, 이 값 이상의 전위상승이 예상되는 지점에는 보호철판을 시공

Table 2. Countermeasure against proximity of pipeline with overhead transmission line.

송전전압 [kV]	철탑과 배관간의 이격거리	
	금지구간	보호구간
77	-	5 [m] 이하
154	2 [m] 이하	2~6 [m]
275 또는 345	10 [m] 이하	10~50 [m]

하도록 하고 있다.

한국가스공사에서 사용하는 보호공사기준은 일본의 오사카가스엔지니어링에서 사용하는 기준을 채택한 것으로 송전철탑과 가스배관과의 안전 이격거리와 함께 보호범위를 산정하는 기준은 Table 2와 같다[13].

IV. 결 론

전력설비와 인근 배관 사이의 저항성유도와 토양을 통한 철탑에서 배관으로의 아킹에 대한 개요를 설명하였으며, 국내외에서 사용되고 있는 가스배관과 철탑의 이격거리 관련 기준을 조사하였다.

국외의 경우 북미와 유럽 선진국을 중심으로 전력선과 배관이 병행하거나 교차할 경우 배관과 철탑 사이의 최소 이격거리를 규정하고 있었으며, 국내의 경우 철탑 인근에 매설된 배관에 대한 안전 이격거리와 보호대책과 관련하여 기준이 마련되어 있지 않았다. 따라서 국토의 대부분이 산악지형이며, 전력선과 매설배관 사이의 밀도가 높은 우리나라 현실에 맞도록 관련 기준이 제정되어야 한다.

향후에는 국내 토양에 대한 절연파괴 실험을 수행하여 토양비저항에 따른 단락 이격거리와 전력선 인근에 매설된 배관의 전위상승 억제를 위한 보호대책을 제시할 예정이다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부 전력산업 인프라우축지원사업의 지원으로 수행되었으며 지원에 감사드립니다.

참고문헌

- [1] Gummow, R.A., “Cathodic Protection Considerations for Pipelines with AC Mitigation Facilities”, *PRC International*, (1999)
- [2] McEachron, K.B. and J.H. Hagenguth, “Effect of Lightning on Thin Metal Surfaces”, *IEEE Transactions*, **61**, August (1942)
- [3] von Baeckmann, W., W. Schwenk and W. Prinz, “Handbook of Cathodic Corrosion Protection”, Third Edition, Gulf Publishing Company, (1997)
- [4] Liew, A.C. and M. Darveniza, “Dynamic Model of Impulse Characteristics of Concentrated Earth”, *Proc. IEE*, **121**(2), 123-135, (1974)
- [5] Abdul M. Mousa, “Breakdown Gradient of the Soil under Lightning Discharge Conditions”, *International*

- Aerospace and Ground Conference on Lightning and Static Electricity*, pp.67-1, (1992)
- [6] E.D. Sunde, "Earth Conduction Effects in Transmission Systems", D. van Nostrand Co. Inc., (1949)
- [7] CEA Report 239T817, "Powerline Ground Fault Effects on Pipelines", Prepared by Powertech Labs Inc., (1994)
- [8] CAN/CSA-C22.3 No. 6-M91, "Principles and Practices of Electrical Coordination Between Pipelines and Electric Supply Lines", The Canadian Standards Association, (1991)
- [9] AfK-Empfehlung Nr. 3, ZfGW-Verlag, Frankfurt 1982; Techn. Empfng. Nr. 7, VWEW-Verlag, Frankfurt 19.
- [10] Sowade, H. J., *Electricity Economy* **75**, 603, (1976)
- [11] CIGRE Working Group 36.02, "Guide on the Influence of High Voltage AC Power Systems on Metallic Pipelines", (1995)
- [12] 전기설비기술기준, 산업자원부 고시 제2003-24호, 개정 2003. 2. 28
- [13] 한국가스공사, 고압송전철탑 근접 배관의 보호공사 기준, (2001)