

송전계통 고장에 의한 Gaspipeline의 유도전압 분석

강중구, 김현수, 이상봉, 김철환
성균관대학교

Analysis of an Induced Voltage of Gaspipeline Due to Faults in Transmission Systems

Joong-Koo Kang, Hyoun-Su Kim, Sang-Bong Rhee, Chul-Hwan Kim
Sungkyunkwan University

Abstract - Gaspipeline buried close to power lines can be subjected to hazardous induction effects, especially during single line to ground faults. Accordingly, it is necessary to take into consideration for analysis of induced voltage on a gaspipeline in transmission lines. This paper analyses the induced voltage on the gaspipeline due to single line to ground faults of the transmission lines using EMTP (Electro-Magnetic Transients Program).

1. 서 론

산업화와 도시화가 활발히 진행됨에 따라 에너지 수급체계가 배관망(Pipeline)을 빼고 생각할 수 없을 정도로 배관망은 에너지 산업에서 중요한 역할을 차지하고 있다. 이것은 배관에 의한 에너지 수송이 가장 경제적이기 때문이다. US 1\$의 비용으로 1톤의 석유제품을 트럭으로는 19 miles, 철도로는 45miles, 선박으로는 200miles, 배관으로는 238miles의 거리를 운송할 수 있다. 현재 세계에는 약 1,600,000km의 배관이 운용되고 있으며 매년 약 70,000km가 건설되고 있다. 특히 현재 건설 중이거나 계획 중인 주요 배관망은 여러 국가에 걸친 대형 프로젝트가 대부분으로서 주로 천연가스 수송을 위한 배관망이다. 이것은 21세기의 화두라고 할 수 있는 환경문제와 관련하여 정책을 추진하고 있기 때문이다. 우리나라의 경우에도 러시아, 중국, 북한을 걸친 배관을 통하여 천연가스를 도입하는 방안이 추진되고 있는 상황이다[1]. 그러나 국토가 좁은 우리나라에서는 송배전선로와 지하에 매설된 가스배관이 인접하여 병행하는 구간에서는 송배전선에서 발생하는 자속으로 인해 주변 통신선이나 금속배관에 유도전압이 발생한다.

유도전압은 특히 전력선의 1선 지락고장시 가장 높게 발생한다. 가스배관에 유도된 전압에 의해 전류가 흐르게 되며 이 전류는 배관의 코팅 결합부를 통해 전류가 유출된다. 이렇게 유출된 전류로 인한 배관 손상은 가스폭발 등 대형 사고를 발생시킬 수 있다. 또한 유지 및 보수 작업자의 안전성 측면뿐만 아니라 최근에 문제가 되고 있는 교류 부식의 관점에서 큰 문제로 부각되고 있다. 따라서 이러한 사고를 사전에 예방하기 위하여 이에 대한 현상을 예측 및 해석하여 그에 대한 대응책을 마련해야 한다. 본 논문은 EMTP를 이용하여 가공송전선로에서 가장 빈번히 발생하는 1선 지락고장 발생시 가스배관의 유도전압을 모의하였다.

2. 유도전압

2.1 유도 전압 계산식

정상상태에서의 유도전압은 일반적으로 평형부하를 가지기 때문에 $I_a + I_b + I_c = 0$ 이 되어 유도전압이 거의 발생하지 않는다. 그러나 1선 지락사고가 발생하면 고장전류($I_g = 3I_0$)가 흐르게 되며 이러한 고장전류의 발생으로 인해 주위의 통신선과 가스배관 등에 전자 유도 장애를 일으키게 된다. 전력선에 유도되는 유도전압 E_m 은 다음 식과 같다[2].

$$E_m = -j2\pi f \times l \times M(I_a + I_b + I_c) \quad (1)$$

$$= -j2\pi f \times l \times M(3I_0)$$

여기서, $3I_0 = I_a + I_b + I_c$

식 (1)에서 l 은 병행거리이고 M 은 상호 인덕턴스이다. 상호 인덕턴스 계산은 Carson-Pollaczek방법으로 계산하며 식 (2)와 같다.

$$M = (4.61 \log \frac{2}{kD} - j \frac{\pi}{2}) 10^{-4} \text{ [H/km]} \quad (2)$$

여기서, $k = 2\pi \sqrt{2f\sigma 10^{-7}}$

σ : 대지의 도전율 [Ω/m]
 D : 유도축과 피유도축 간의 이격거리 [m]

2.2 가스배관의 유도전압 제한치

미국 AGA(America Gas Association) 부식분과위의 파이프 라인회사의 실태조사에 따르면, 27개사 중 7개사가 유도전압에 의한 피해사태가 있는 것으로 전해졌으며 독일과 스위스도 전기 부식에 의한 피해사태가 있는 것으로 알려졌다. 일반적으로 교류에 의한 간섭은 인축의 안정적인 측면과 시스템의 보안적인 측면이 함께 고려되어야 한다. 이때 시설물에 유도되는 전압이 제한치를 넘지 않아야 된다.

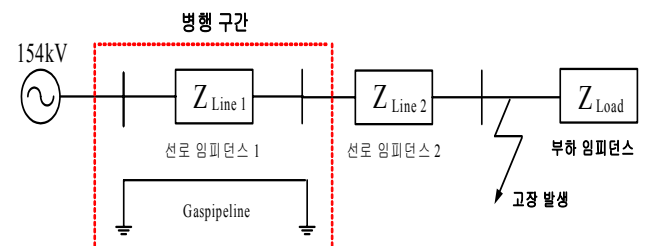
NACE International에서 발행한 RP0177-83 "Mitigation of Alternating Current and lightning Effects on Metallic Structures and Corrosion Control Systems"에 따르면 인축의 안전측면에서 지하배관에 유도되는 교류전압은 정상상태시 15[V] 이내로 제한하고 있다. IEEE Std 80-1986의 규정에 의하면 고장전류 등의 과도상태에서 순간적으로 유도되는 교류전압에 대한 규정은 보폭 허용전압이 587[V], 접촉 허용전압이 422[V]로 되어 있다. 정상 상태에서 상시로 유도되는 교류전압에 대한 시스템의 해석은 토양비저항이 $100[\Omega \cdot m]$, 전류밀도 $20[A/m^2]$, 코팅손상직경 1cm인 조건에서 유도전압이 7.85[V] 이상이 되면 배관이 부식될 수 있는 것으로 검토 되고 있으며, 과도상태는 NACE에서 인용한 미국 전력연구소 보고서에서 3~5[kV]로 규정하고 있으며 용융 결합 에폭시(Fusion Bonded Epoxy)인 경우에는 이 값보다 상당히 높다고 보고 되고 있다. 상기 내용을 종합하면 표1과 같이 정리할 수 있다[3].

<표 1> 유도전압 제한치

구분	대상	유도 지속시간	규정치	비고
간섭	인축의 안전	정상상태	15 [V]	NACE
		과도/고장상태	587 [V] 422 [V]	IEEE Std 80, Step Voltage IEEE Std 80, Touch Voltage
	시스템 보안	정상상태	7.85 ~ 39.25 [V]	토양비저항: $100 [\Omega \cdot m]$ 전류: $20 [A/m^2]$ 코팅손상직경: $1 [cm]$
	과도/고장상태	3~5 [kV]		EPRI

3. 사례연구

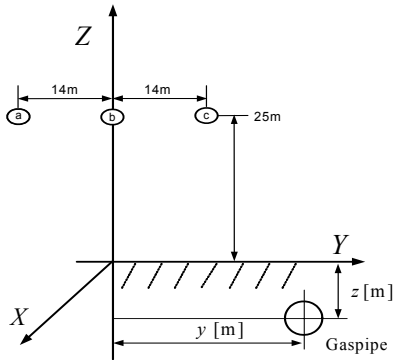
송전선로 1선 지락고장시 매설된 가스배관의 유도전압을 모의하기 위한 모의계통도는 그림 1과 같다. 그림 1에서 병행하는 구간과 병행하지 않은 구간의 나누었으며, 총 선로의 길이는 20km로 구성하였고, 각 상의 정상전류의 크기는 200A로 적용하였다.



<그림 1> 모의 계통도

고장지점은 선로 말단지점으로 하였고 본 논문에서는 송전선로에서 1상 지락고장시만 모의하였으며, 지락고장 발생시 병행하는 가스배관의 유도전압을 대지 저항율, 이격 거리, 병행 거리에 따른 변화에 따라 모의하여 분석하였다.

그림 2는 사례연구에 적용한 송전선로의 기하학적 위치이고, EMTP 소자 중 LCC(Line & Cable Constants)를 이용하였다. 여기서 X축은 병행 거리, Y축은 이격 거리, Z축은 대지로부터 높이를 나타낸다. 본 논문에서는 가공지선의 유도장해의 차폐효과와 송전선로의 회선 간 간섭을 배제하고 지락고장시 전력선의 영향을 분석하기 위해 1회선만 모의하였다[4].

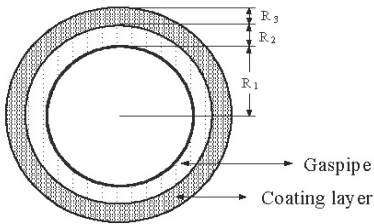


〈그림 2〉 송전선로의 기하학적 배치도

선로의 제원은 표 2이고 가스배관의 제원은 표 3이며, 주파수는 60[Hz]를 적용하였다.

〈표 2〉 송전선로의 도체의 제원

구 분	선 종	반 경	직류저항
전력선	ACSR 240 [mm ²]	22.4 [mm]	0.12 [Ω /km]



〈그림 3〉 가스배관의 단면도

〈표 3〉 가스배관의 제원

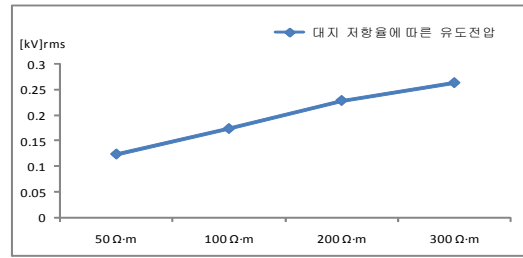
구 분	제 원	단 위
가스배관	반경(R ₁)	191.3 [mm]
	두께(R ₂)	11.9 [mm]
	저항률	0.5 [$\mu\Omega \cdot m$]
	상대투자율	280
가스배관 PE 코팅	매설깊이	2.0 [m]
	두께(R ₃)	3.2 [mm]
	상대 유전체 상수	2.3

4. 사례연구 결과

표 4와 그림 4는 대지 저항율에 따른 고장시 유도전압 결과이다. 이격 거리와 병행 거리는 0.5km를 적용하였다. 그림 4에서 볼 수 있듯이 대지 저항율이 커짐에 따라 가스배관의 유도전압도 커짐을 알 수 있다.

〈표 4〉 대지 저항율에 따른 사례연구 결과

대지 저항율 [$\Omega \cdot m$]	50	100	200	300
유도전압 [kV]rms	0.124	0.174	0.229	0.264



〈그림 4〉 대지 저항율에 따른 사례연구 결과

표 5는 이격 거리에 따른 유도전압 사례연구 결과이다. 여기서 대지 저항율은 100[$\Omega \cdot m$], 병행 거리는 0.5km를 적용하였다.

〈표 5〉 이격 거리에 따른 사례연구 결과

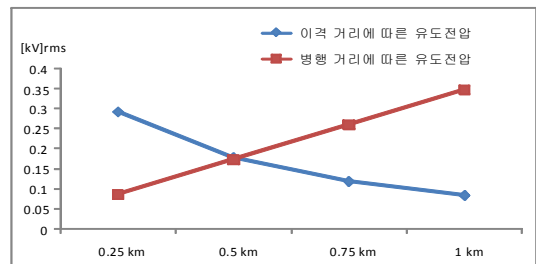
이격 거리 [km]	0.25	0.5	0.75	1
이격 거리에 따른 유도전압 [kV]rms	0.293	0.178	0.119	0.084

표 6는 병행 거리에 따른 유도전압 사례연구 결과이다. 여기서 대지 저항율은 100[$\Omega \cdot m$], 이격 거리는 0.5km를 적용하였다.

〈표 6〉 병행 거리에 따른 사례연구 결과

병행 거리 [km]	0.25	0.5	0.75	1
병행 거리에 따른 유도전압 [kV]rms	0.087	0.174	0.261	0.348

그림 5는 이격 거리와 병행 거리에 따른 유도전압 사례연구 비교이다. 그림 5에서 볼 수 있듯이 전력선과 가스배관 선로 간의 이격 거리가 멀어질수록 유도전압은 작아짐을 알 수 있고, 반대로 병행 거리가 길어질수록 커짐을 알 수 있다. 이는 전력선과 가스배관 선로의 병행시 이격 거리는 멀리하고 병행구간을 짧게 해야 유도전압을 줄일 수 있음을 알 수 있다.



〈그림 5〉 이격거리와 병행거리에 따른 사례연구 비교

5. 결 론

본 논문은 EMTP를 이용하여 송전선로와 가스배관 선로의 병행시 1상 지락고장에 의한 가스배관의 유도전압을 모의하였다. 선로의 대지 저항율, 이격 거리, 병행 거리에 따른 모의결과로 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다. 유도측 선로(송전선로)에 설치되는 대지 저항율이 클수록 가스배관의 유도전압의 크기는 커진다. 따라서 대지 저항율로 인한 규정치 이상의 유도전압 발생시 사전에 경과지를 변경하여 설치하도록 한다. 그리고 이격 거리가 멀어질수록 유도전압은 작아짐을 알 수 있고, 병행 거리가 길어질수록 유도전압이 커짐을 확인할 수 있다. 따라서 충분한 이격거리와 짧은 병행 거리가 유도장해의 영향을 최소화할 수 있을 것으로 사료된다.

[참 고 문 헌]

- [1] 김우식, "가스배관 재료의 기술 현황", 유체기계공업학회, 제6권, 제2호, pp.99-103, 2003.
- [2] 최백구, 고광철, "EMTP를 이용한 가공송전선로에 의한 통신선의 유도전압 해석", 대한전기학회 추계학술대회 논문집, pp.112-114, 2007.
- [3] 배종효 김대경, 김기준, "전력케이블과 가스배관의 병행구간에 대한 교류부식 영향", 대한전기학회 논문지, 제49권, 제10호, pp.577-581, 2000.
- [4] "Alternative Transients Program ATP Rule Book", EEUG, Canadian/American EMTP User Group.