

해저터널내 고전압 유도에 의한 가스배관의 교류전식 영향 사례 연구

배정호<sup>o</sup>, 하태현, 이현구, 김대경  
한국전기연구원

A Case Study on the AC Corrosion Effects of Gas Pipeline by High Voltage Induction in Submarine Tunnel

Jeong-Hyo Bae<sup>o</sup>, Tae-Hyun Ha, Hyun-Goo Lee, Dae-Kyeong Kim

**Abstract** - This paper analyze the interference problems, especially AC corrosion when the gas pipeline is buried with power cable in the same submarine tunnel. This paper present the results of the study about AC corrosion, limitation of safety voltage, modeling of power cables, gas pipeline and grounding systems, analysis of induction voltage according to various circumstance, soil resistivity, length of tunnel, and so on.

1. 서 론

최근 국가 기간 시설물의 증가로 부지남은 더욱 심각해지고 있다. 특히, 도심지역에는 전력선과 이웃하는 시설물(가스배관, 송유관, 상하수도관 등)들이 혼잡하게 시설되고 있는 실정이다. 이때 필연적으로 발생하는 문제가 각 시설물 사이의 간섭 문제이다.

간섭은 크게 직류간섭과 교류간섭의 2가지로 분류할 수 있다. 즉, 주로 지중으로 건설되는 가스 배관과 열 배관 또는 기타 배관 사이의 전기방식(電氣防蝕) 전류에 의한 직류간섭 혹은 지하철에 의한 직류간섭이 문제이지만, 가공 전력선 또는 지중 전력선과 기타 지중 배관 사이의 교류간섭이 배관 및 배관 작업자의 안전성 측면뿐만 아니라 최근에 문제가 되고 있는 교류부식의 관점에서 큰 문제로 부각되고 있다.

국내에서는 직류간섭에 비해 교류간섭이 미미하다는 이유로 교류간섭에 대한 연구와 대책마련에 대해 관심이 적었다. 그러나 외국의 경우, 1970년대 말부터 이와 관련된 연구가 활발히 수행되고 있으며, 현재 각각의 시설물에 대하여 상호 간섭을 고려한 설계와 시공이 이루어지고 있을 정도로 많은 연구와 기술의 현장적용이 이루어지고 있다.

본 논문에서는 그 동안의 교류간섭에 대한 연구결과를 바탕으로 최근 해저터널 내에 송·배전선로와 가스배관이 병행할 경우, 교류간섭의 문제점과 유도전압의 크기를 해석하였다. 또한 우리 나라 및 외국에서 적용하고 있는 교류간섭의 제한치를 알아보고, 여러 가지 조건(접지 상태, 토양 비저항, 터널 병행 길이 등)별로 가스배관에 유도되는 전압을 해석하였다.

2. 교류유도 전압 제한치

2.1 인·축의 안전

2.1.1 정상상태

일반적으로 교류에 의한 간섭은 인·축의 안전적인 측면과 시스템의 보안적인 측면이 함께 고려되어야 한다. 이때 시설물에 유도되는 전압이 각각의 제한치를 넘지 않아야 된다.

인·축의 안전측면에서 지하배관에 정상상태에서 상시로 유도되는 교류전압에 대한 규정으로써 NACE International (National Association of Corrosion

Engineers International)에서 발행한 RP0177-83 "Mitigation of Alternating Current and Lightning Effects on Metallic Structures and Corrosion Control Systems"이 널리 사용되고 있다. 이 규정에서는 지하배관에 유도되는 교류전압의 크기를 15[V] 이내로 제한하고 있다.

2.1.2 과도(고장)상태

인·축의 안전측면에서 지하배관에 고장전류 등의 과도 상태에서 순간적으로 유도되는 교류전압에 대한 규정은 보통 허용전압이 587[V], 접촉 허용전압이 422[V]로 되어 있다.

2.2 시스템의 보안

2.2.1 정상상태

정상상태에서 상시로 유도되는 교류전압에 대한 시스템의 보안문제는 교류부식의 관점에서 해석되어야 하며, 교류부식은 직류부식에 의한 것 보다 심각하지 않다고 보고하고 있지만, 토양 비저항이 100[Ω·m], 코팅 결합부 직경이 0.01[m], 전류밀도가 20[A/m<sup>2</sup>]인 조건에서 유도전압이 7.85[V] 이상이 되면 배관이 부식될 수 있는 것으로 검토되었다.

2.2.2 과도(고장)상태

정상상태에서 순간적으로 유도되는 교류전압은 코팅을 파괴시킬 수 있으므로 이에 대한 규정을 살펴보면, NACE에서 인용한 미국 전력연구소(EPRI: Electric Power Research Institute) 보고서에서 3~5[kV]로 규정하고 있으며 용융 결합 에폭시(Fusion Bonded Epoxy)인 경우에는 이 값보다 상당히 높다고 보고되고 있다.

상기 내용을 종합하면 교류 유도 전압 제한치는 표 1과 같이 정리할 수 있다.

표 1. 교류 유도전압 제한치

구분	대상	유도지속시간	규정치	비 고
간섭	인축의 안전	정상상태	15[V]	NACE
		과도/고장 상태	587[V]	IEEE Std 80, Step Voltage
	422[V]		IEEE Std 80, Touch Voltage	
	시스템 보안	정상상태	7.85 ~ 39.25[V]	토양비저항:100[Ω·m] 전 류: 20[A/m <sup>2</sup> ] 코팅손상직경: 1[cm]
과도/고장 상태		3~5[kV]	EPRI	

### 3. 유도전압 해석과 상정조건

#### 3.1 개요

전력케이블을 통해 흐르는 전류에 의해 지하에 매설된 배관에 유도되는 전압을 해석하는 방법에는 유한요소법(Finite Element Method)과 경계요소법(Boundary Element Method) 등과 같은 수치해석법을 이용하는 방법과 절점망 해석법(Nodal Network Analysis)이 있다.

수치해석법의 경우, 전력케이블과 배관 사이의 병행거리가 길어질 경우 컴퓨터 성능, 시간에 많은 제약이 따르며 정확한 해석이 어렵다. 이에 반해  $\pi$ 형 집중 등가회로 임피던스 행렬을 이용하는 절점망 해석법은 적은 시간으로 보다 정확한 결과를 얻을 수 있기 때문에 송·배전 선로에 의해 배관에 유도되는 전압을 계산하는데 많이 활용되고 있다. 따라서, 본 논문에서는 절점망 해석법을 이용하여 전력계통에 의한 교류간섭을 해석하는 프로그램인 TACLINK®, CONINDTM라는 상용 프로그램을 이용하여 유도전압을 해석하였다.

#### 3.2 해석 상정조건

##### 3.2.1 해석모델

본 연구는 총연장 200[m] 길이의 해저터널 구간에서 가스배관과 송·배전선로가 병행할 경우를 모의하였다. 해저터널의 제원은 표 2와 같으며, 가스배관에 유도되는 전압을 해석하기 위하여 그림 1과 같이 100[m] 간격으로 나누어 각각의 절점에서  $\pi$ 형 집중등가회로 임피던스 행렬을 계산하였다. 즉 터널 내부에서 병행하는 154[kV] 지중T/L 2회선(6개 도체, 6개 Sheath), 22.9[kV] 지중D/L 4회선(12개 도체, 12개 Sheath)과 지하배관 등 총 37개 도체에 대하여 각각의 절점에서 임피던스를 계산하였다. 154[kV] 지중 T/L의 케이블 임피던스는 200[MW] 용량에 역률 0.9일 경우에, 22.9[kV] 지중 D/L의 케이블 임피던스는 10[MW] 용량에 역률 0.9일 경우에 계산한 값을 사용하였다. 고장전류는 50(kA)로 상정하여 해석하였다.

표 2. 해저터널 제원

항 목	제 원
병행길이	200(m)
송배전선로	154kV T/L 2회선 22.9kV D/L 4회선
가스배관	PE코팅된 30[inch] 직경의 고압강관
PVC Duct	$\phi$ 200[mm] 7[hole] $\phi$ 175[mm] 7[hole]
비 고	관보호용 Air Mortar 충전

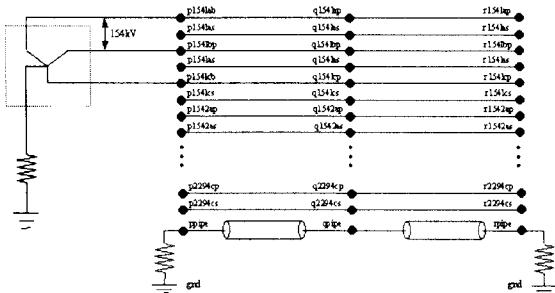


그림 1. 해석 모델링의 개념도

#### 3.2.2 해석에 사용된 파라미터

배관의 등가회로 계산에 사용된 파라미터를 요약하면 표 3과 같다. 여기서, 토양비저항 값은 국내에서 일반적으로 사용되고 있는 100( $\Omega \cdot m$ )를 입력하였으며, 배관 금속의 상대투자율과 비저항은 각각 300과 0.17( $\mu\Omega \cdot m$ )로 하였다. 그리고 코팅저항은 배관의 사용기간에 따라 1부터 1,000까지의 값을 가지며, 본 해석에서는 100( $k\Omega \cdot ft^2$ )로 하였다. 기타 GMR(Geometric Mean Radius)과 Rac 등의 전력케이블 도체 파라미터들은 EPRI에서 발간한 "Transmission Line Reference Book"의 데이터를 사용하였다.

표 3. 가스배관 등가회로 계산에 사용된 파라미터

파라미터	기 호	입력값
토양비저항		100 [ $\Omega \cdot m$ ]
가스배관 금속 투자율	mu	300
가스배관 비저항		0.17 [ $\mu\Omega \cdot m$ ]
코팅 저항	R <sub>coat</sub>	100 [ $k\Omega \cdot ft^2$ ]
코팅 투자율	coat_perm	2.4

### 4. 해석결과

#### 4.1 정상운전시 유도전압

##### 4.1.1 접지저항에 따른 유도전압

송전선로와 배전선로의 접지저항 값을 1에서 100( $\Omega$ )까지 변화시키며 유도전압의 크기를 비교한 결과 접지저항이 낮을수록 유도전압이 커짐을 알 수 있었다. 여기서 배관은 터널 양 말단에 CI가 설치되어 있으며, 토양 비저항은 100( $\Omega \cdot m$ )이고 병행거리는 200(m)인 것으로 가정하였다. 그림 2는 각각의 접지저항에 대한 유도전압 계산 결과를 나타낸 것이다. 송·배전선로의 접지저항이 커짐에 따라 배관에 유도되는 전압이 작아 짐을 알 수 있다. 따라서 송전선로 접지저항이 1( $\Omega$ )과 배전선로 접지저항이 1( $\Omega$ )일 때 유도전압이 가장 큰 값인 1.79(V)로 계산되었다.

##### 4.1.2 토양 비저항에 따른 유도전압

송전선로의 접지저항은 10( $\Omega$ ), 배전선로의 접지저항은 25( $\Omega$ )이며 배관은 터널 양 말단에 CI가 설치되어 있고 병행거리는 200(m)인 것으로 가정하고 터널 내부의 비저항 변화에 따른 배관의 유도전압을 계산하였다. 그 결과는 그림 3과 같으며, 비저항 값이 가장 클 때 유도전압도 가장 큰 값인 0.88(V)로 계산되었다. 즉 비저항이 커질수록 유도전압의 크기도 커짐을 알 수 있었다.

##### 4.1.3 터널 병행거리에 따른 유도전압

송전선로의 접지저항은 10( $\Omega$ ), 배전선로의 접지저항은 25( $\Omega$ )이며 배관은 터널 양 말단에 CI가 설치되어 있으며 토양 비저항은 100( $\Omega \cdot m$ )인 것으로 가정하고 터널 내부의 병행거리에 따른 유도전압을 계산하였다. 그 결과를 그림 4에 나타내었으며, 병행거리를 50(m)에서 2,000(m)까지 변화시키면서 해석한 결과 병행거리가 가장 긴 경우, 유도전압도 큰 값인 5.45(V)로 계산되었다.

### 5. 결 론

본 연구에서는 해저터널 병행구간에서 정상 운전시에 송·배전선로에 의해 배관에 유도되는 전압을 송·배전선로의 접지저항, 토양 비저항, 터널 병행길이에 따라 해석하였다. 그 결과 접지저항에 따른 최대치가 1.79(V), 토양 비저항에 따른 최대치가 0.88(V), 그리고 터널 병행거리에 따른 최대치가 5.45(V)로 계산되

었다. 따라서 일반적으로 해저터널의 길이가 2[km] 이내로 건설되는 점을 감안할 때 유도 전압 제한치인 7.85[V]보다 낮은 값이 유도됨을 알 수 있었다. 이 결과로 볼 때 향후, 해저터널이 2[km]이내로 건설될 경우에는 별도의 유도전압 대책이 없어도 문제가 발생되지 않을 것이다. 따라서 이 결과를 바탕으로 해저터널 내에 전력선과 가스배관을 동시에 건설할 수 있어, 국토를 효율적으로 활용이 가능하며, 건설비가 획기적으로 절감될 수 있을 것이라 사료된다.

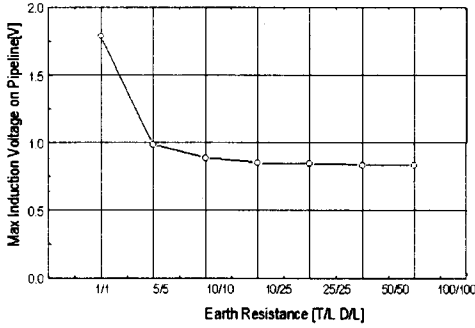


그림 2. 송·배전선로의 접지저항에 따른 유도전압(정상운전시)

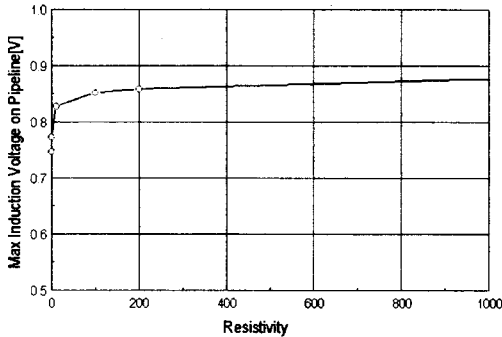


그림 3. 토양 비저항에 따른 유도전압(정상운전시)

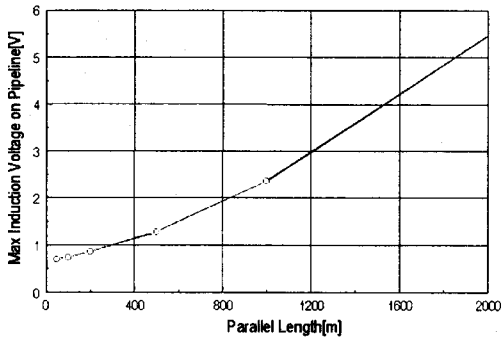


그림 4. 터널 병행길이에 따른 유도전압(정상운전시)

### [참 고 문 헌]

[1] 한국전기연구소 "음극방식시스템의 전압, 전류분포 연구" 한국가스공사 연구개발원, 1995.

[2] Fuchs, W., Steinwath, H., and Ternes, H., "Corrosion of Iron by Alternating Current with Relation to Current Density and Frequency", *Das Gas-Und Wasserfach*, Vol.99, Jan. 1958, pp.78-81

[3] DIN 30676: Planung und Anwendung des Kathodischen Korrosionsschutzes fur den Aubenschutz, Ausg. Okt. 1985.

[4] Stalder, F., "Pipeline Failures, Materials Science Forum", Vol. 247 (1997) pp. 139-146.

[5] Ragault, I., "AC Corrosion Induced by VHV Electrical Lines on Polyethylene Coated Steel Gas Pipelines", NACE International, Corrosion '98, Paper No. 557, 1998.

[6] IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding, ANSI/IEEE Std 80-1986

[7] "Principles and Practices of Electrical Coordination Between Pipelines and Electric Supply Lines", CAN/CSA-C22.3 No. 6-M91

[8] "TACLINK®, CONINDTM Reference Manual", Ground-it.com Consulting Ltd., 2000

[9] EPRI, "Transmission Line Reference Book", Second Edition, Revised, 1987

[10] "Cathodic Protection considerations for Pipelines with AC Mitigation Facilities" PRC International Corrosion Supervisory Committee, Jan. 1999.

[11] Wakelin, R.G., Gummow, R.A.I. and Segfall, S.M., "AC Corrosion-Case Histories, Test Procedures, and Mitigation", NACE International, Corrosion '98, Paper No. 565, 1998.