

해저터널 내 고전압 전력케이블에 의한 가스배관의 안전성 검토 연구

배 정 효 · 하태현 · 이현구 · 김 대 경

한국전기연구원

A Study on the System Integrity of Gas Pipeline by High Voltage Power Line in Submarine Tunnel

KERI, 28-1, Seongju-Dong, Changwon 641-120, Republic of Korea

1. 서론

도심지역에 필요한 에너지의 대부분은 주로 전기, 가스 및 온수 등의 형태로 공급되고 있다. 이러한 에너지를 제한된 공간 내에서 공급할 때 필수적으로 수반되는 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 직류간섭도 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.

시설물 사이에 어느 정도의 상호 이격거리가 확보 가능했던 과거에는 이격거리를 충분하게 정하여 엄격히 준수하는 것이 일반적이었으나, 최근에는 활용 가능한 공간이 점점 줄어들어 따라 어쩔 수 없이 최소한의 이격거리를 규정하고 있다. 이마저도 양 당사자간의 합의에 따라 적절한 보호 조치와 함께 이격거리를 점점 더 줄여가고 있는 실정이지만, 국내에서는 이에 대한 연구와 대책마련이 미비한 실정이다. 외국의 경우 1970년대 말부터 이와 관련된 연구가 활발히 수행되고 있으며, 현재 각각의 시설물에 대하여 상호 간섭을 고려한 설계와 시공이 이루어지고 있다.

한편, 국내에서는 해저터널 내에 가스배관과 전력선이 병행할 경우, 교류간섭의 종류, 우리 나라 및 외국에서 적용하고 있는 교류간섭의 제한치, 유도전압을 최소로 하는 전력선의 상(相) 배치 등에 대한 연구를 한 바 있다. 이 결과를 통하여 현장에서 시공되어 활용되고 있는 상태이다.

본 논문에서는 이 결과를 바탕으로 해저터널 내 고전압 전력케이블에 의한 가스배관의 교류부식, 가스배관의 코팅과 용융, 절연 플랜지, 전기방식용 정류기 등의 전기방식설비의 안정성에 대하여 검토연구를 하였다.

2. 연구 내용

2.1 유도전압 제한치

본 논문에서는 가스배관의 안정성을 검토하기 위해 고전압 전력케이블로부터 가스배관에 유도되는 전압 크기의 제한치를 국·내외 규격 및 기술자료의 조사·분석을 통하여 <표 1>과 같이 선정하였다. 이 제한치는 향후의 안전과 여유를 고려하여 가장 가혹한 값으로 선정한 것이다. 특히, 보통 가스배관의 코팅 두께가 3[mm]정도 인 점을 감안할 때 코팅이 견딜 수 있는 내전압은 90[kV] 이상 일 것이므로 3[kV]의 제한치는 상당히 안전을 고려한 값이라 할 수 있다. 결국, 가스배관이 안전하기 위해서는 유도된 전압이 이 제한치를 넘지 않아야 한다.

<표 1> 유도전압 제한치

| 구분 | 대상 | 유도 지속시간 | 규정치 | 비고 |
|-----------------|------------------|-----------------|----------------------------|--|
| 간섭 | Human Safety | Steady State | 15[V] | NACE |
| | | Transient State | 587[V] | IEEE Std 80, Step Voltage |
| | 422[V] | | IEEE Std 80, Touch Voltage | |
| | System Integrity | Steady State | 7.85~39.25[V] | 도양비저항 : 100[$\Omega \cdot m$] 전류 : 20[A/m ²] 코팅손상크기: 1[cm ²] |
| Transient State | | 3~5[kV] | EPRI | |

2.2 해석 프로그램

일반적으로 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.

본 논문에서는 수치해석법의 경우 전력케이블과 배관 사이의 병행거리가 길어질 경우 컴퓨터 성능, 시간에 많은 제약이 따르며 정확한 해석이 어려운 점을 감안하여 절점망 해석법을 사용하였다. 절점망 해석법은 π 형 집중 등가회로 임피던스 행렬을 이용하는 방법으로써 적은 시간으로 보다 정확한 결과를 얻을 수 있기 때문에 송·배전 선로에 의해 배관에 유도되는 전압을 계산하는데 많이 활용되고 있다.

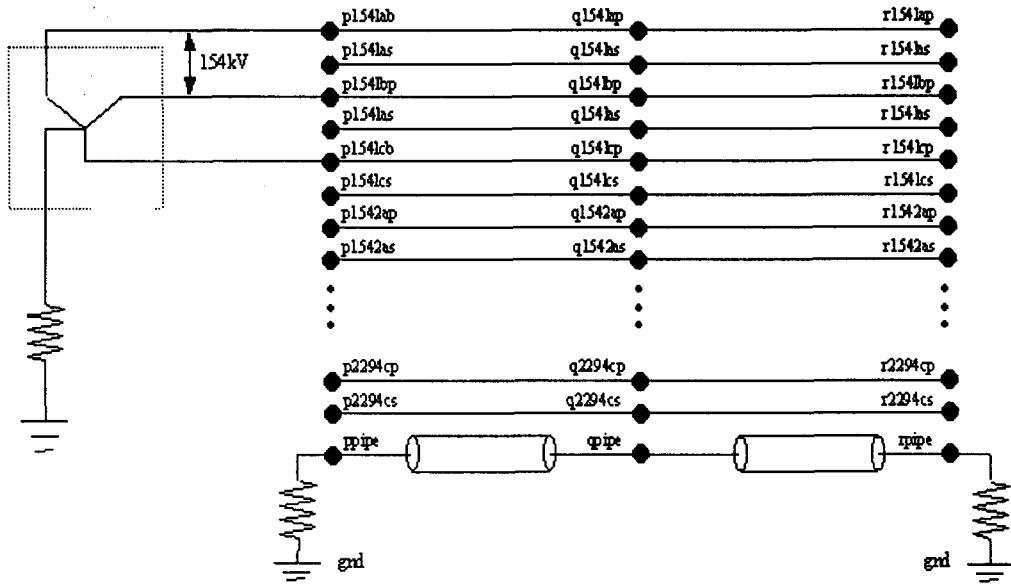
따라서, 본 논문에서는 절점망 해석법을 이용하여 전력계통에 의한 교류간섭을 해석하는 프로그램인 TACLINK[®], CONIND[™]라는 상용 프로그램을 이용하여 유도전압을 해석하였다.

2.3 해석 상정 조건

본 논문에서는 아래와 같은 조건으로 유도전압을 해석하였다.

- 해저터널 구간을 병행하는 154[kV] 송전선로 2회선의 상배열을 달리하여 가스배관에 유도되는 전압이 가장 작은 상배치를 결정하였으며, 유도전압이 최소인 상배치에 대하여 해저터널 병행구간의 송·배전선로 접지 유무에 따른 정상상태 및 고장상태를 해석하였다.
- 고장상태는 해저터널 양말단과 중앙에서 1선지락을 모의하여 고장전류가 흐를 때를 해석하였다.
- 또한 해저터널 구간 양단에서 가스배관을 절연했을 경우와 절연하지 않았을 경우를 비교하였다.
- 가스배관 등가회로 계산에 사용된 파라미터를 <표 2>에 요약하였다. 여기서, 토양비저항 값은 국내에서 일반적으로 사용되고 있는 $100[\Omega \cdot m]$ 를 입력하였으며, 가스배관 강의 상대투자율과 비저항은 각각 300과 $0.17[\mu\Omega \cdot m]$ 로 하였다. 그리고 코팅저항은 배관의 사용기간에 따라 1부터 1,000까지의 값을 가지며, 본 논문에서는 $100[k\Omega \cdot ft^2]$ 로 하였다. 기타 GMR(Geometric Mean Radius)과 Rac 등의 전력케이블 도체 파라미터들은 EPRI에서 발간한 "Transmission Line Reference Book"의 데이터를 사용하였다.

본 논문에서 유도전압을 해석하기 위한 해저터널 구간의 모델링에 대한 개념도는 (그림 1)과 같다. 그림에서 병행하는 154kV 지중T/L 2회선(6개 도체, 6개 Sheath), 22.9kV 지중D/L 4회선(12개 도체, 12개 Sheath)과 가스배관 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. 여기서 T/L은 송전선로, D/L은 배전선로를 의미한다.

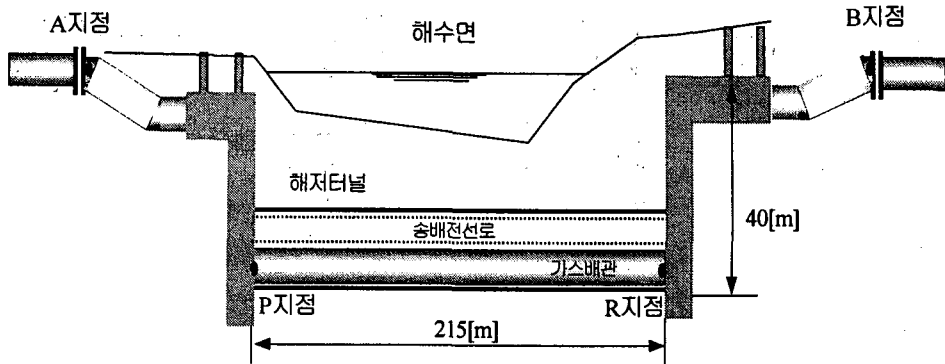


(그림 1) 해저터널 구간에 대한 모델링의 개념도

가스배관과 관련된 여러 가지 특성은 <표 2>와 같으며, 가혹한 환경을 상정하기 위하여 매설깊이는 1.2[m]로 하였으며, 토양비저항 값은 국내에서 대표치로 사용되고 있는 100 [$\Omega \cdot m$]를 사용하였다.

<표 2> 가스배관 등가회로 계산에 사용된 파라미터

| 파라미터 | 기 호 | 입력값 | 비 고 |
|-------------|------------|------------------------------|-----|
| 토양비저항 | | 100 [$\Omega \cdot m$] | |
| 가스배관 금속 투자율 | mu | 300 | |
| 가스배관 비저항 | | 0.17 [$\mu\Omega \cdot m$] | |
| 코팅 저항 | R_{coat} | 100 [$k\Omega \cdot ft^2$] | |
| 코팅 투자율 | coat_perm | 2.4 | |



● : 점검지점

(그림 2) 해저터널의 단면도

3. 결과 요약

본 논문의 해저터널 내 고전압 전력케이블에 의한 가스배관의 안전성 검토 연구 결과를 요약하면 아래와 같다.

- (1) 정상상태 시 유도전압 해석결과, 유도전압 최대치가 0.973[V]로 해석되었다. 따라서, 이 값은 가스배관의 교류부식측면에서의 제한치인 7.85[V]보다 충분히 낮으므로 가스배관은 안전하다.
- (2) 고장상태 시 유도전압 해석결과, 유도전압 최대치가 386[V]로 해석되었다. 따라서 이 값은 가스배관의 코팅 내전압인 3[kV]보다 충분히 낮으므로 가스배관은 안전하다.
- (3) 가스배관 용융 측면에서 살펴보면, 유도전압 해석결과가 배관말단에 접지를 연결한 경우에 약 30[A]정도의 전류가 흐른다. 따라서 154kV T/L의 1선 지락이 발생하여 토양으로 유입되는 전류의 크기는 가혹한 조건을 감안하더라도 640[A]를 넘지 않을 것이므로 가스배관은 안전하다.
- (4) 절연 플랜지 측면에서 살펴보면, 유도전압 해석결과에서 고장전류가 386[V]가 유기되므로 절연 플랜지의 내전압인 5,000[Vac]보다 충분히 낮으므로 가스배관은 안전하다.
- (5) 전기방식용 정류기 출력단의 써어지 보호회로의 콘덴서 정격은 여유를 고려하여 630[Vdc]로 선정하여야 한다. 그리고 써어지 보호소자(Varistor)의 사양은 정류기의 출력이 60[V] 일 때 안전을 고려하여 114[Vpk]이상의 것을 선정하여야 한다.
- (6) 뇌 써어지로부터 가스배관을 보호하기 위해 설치된 CI(Cathodic Isolator)의 써어지 정격전압은 800[Vpk]로 선정하는 것이 좋다.

본 논문의 연구 결과는 향후 유사한 현장 시공에 중요한 기초자료로 활용 될 것이다.

4. 참고문헌

- [1] DIN 30676: Planung und Anwendung des Kathodischen Korrosionsschutzes für den Außenenschutz. Ausg. Okt. 1985.
- [2] Stalder, F., "Pipeline Failures, Materials Science Forum", Vol. 247 (1997) pp. 139-146.
- [3] Ragault, I., "AC Corrosion Induced by VHV Electrical Lines on Polyethylene Coated Steel Gas Pipelines", NACE International, Corrosion '98, Paper No. 557, 1998.
- [4] IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding, ANSI/IEEE Std 80-1986
- [5] "Principles and Practices of Electrical Coordination Between Pipelines and Electric Supply Lines", CAN/CSA-C22.3 No. 6-M91
- [6] "TACLINK®, CONIND™ Reference Manual", Ground-it.com Consulting Ltd., 2000
- [7] EPRI, "Transmission Line Reference Book", Second Edition, Revised, 1987
- [8] "Cathodic Protection considerations for Pipelines with AC Mitigation Facilities" PRC International Corrosion Supervisory Committee, Jan. 1999.
- [9] 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.