

매설배관 간섭 대응 기술

김영근, 송홍석, 이선엽, 정성원, 이성민*
한국가스공사 연구개발원 배관연구센터

Techniques to Mitigate Interference in Buried Pipelines

YoungGeun Kim, HongSeog Song, SunYeop Li, SungWon Jung, SungMin Lee
Kogas R&D Pipeline Research Center

1. 서론

지하에 매설하여 전기방식을 실시하고 있는 매설배관은 지상 및 지하의 각종 시설물들에 의한 영향을 받아 의도하는 안정적인 방식상태에 위협이 되는 요소들과 직면하고 있다. 지하철에 의한 간섭전위나 타 배관의 전기방식시스템에 의한 직류 간섭은 잘 알려진 사례이며, 최근에는 교류 송배전 선로와 배관의 간섭에 대한 관심이 점차 증대되어 가고 있다. 이러한 간섭에 대한 대응은 경험적으로 이루어져 왔으나, 최근 각종 시뮬레이션 소프트웨어의 발달로 점차 정량적인 해석을 토대로 간섭의 해소방안을 설계하는 기술이 자리를 잡아가고 있다.

본 발표에서는 간섭의 실례와 이에 대응한 완화방안의 설계에 있어 수치해석적인 접근법을 적용한 케이스를 살펴보고자 하였다. 이러한 기법을 통하여 경험적으로 적용되어온 방안의 장단점을 분석적으로 해석할 수 있으며, 설계의 최적화를 통하여 최저의 비용으로 대처가 가능하다.

2. 직류 간섭 문제

직류 간섭문제의 해석은 배관의 표면과 토양의 계면에서 발생하는 전기화학적 분극과 토양중에서 전류의 흐름에 의하여 발생하는 저항분극을 수치적으로 모델링 함으로서 가능하다. 전기화학적 분극은 다시 활성화 분극과 농도분극으로 나누어 볼 수 있는데, 토양중에서의 전류 분포계산에서는 전기화학적 분극이 차지하는 부분이 비교적 작으므로 전기화학적 분극은 간혹 생략되기도 하며, 고려되

더라도, 활성화 분극만을 고려하는 경우가 많다. 매설배관의 경우로 한정하여 본다면, 농도에 의한 분극보다는 피복을 적절히 고려하여 주는 것이 오히려 중요하다고 하겠다. 전류밀도 분포의 수치해석은 위의 분극 인자중 고려되는 변수의 범주에 따라 1차(primary), 2차(secondary), 3차(tertiary)로 나뉜다. 1차의 경우에는 전기장의 영향(ir drop)만을 고려하며, 활성화 분극저항과 용액 중의 농도구배는 무시하게 된다. 대부분의 전기방식 문제는 전해질의 저항이 가장 큰 인자가 되므로, 이 정도의 계산으로 충분하게 모델링이 가능하다. 2차 전류분포는 계면의 활성화 분극저항을 고려한다. 2차의 경우에도 농도구배는 무시된다. 전기도금의 경우와 같이 전극의 과전압이 비교적 크고, 전해질의 저항은 상대적으로 작은 경우에 적용이 가능하다. 3차 전류 분포는 전기장의 영향, 전극의 활성화 분극, 농도구배를 모두 고려하는 계산이다. 실용적으로 어떤 형태의 모델링이 필요한 지에 대해서는 다음의 식으로 적용되는 wagner number를 비교하여 결정하게 된다. 실제의 경우 물질 전달이 잘 정의된 계가 아닌 일반적인 경우에는 3차 전류분포의 해석이 불가능하며, wagner number가 클 경우에는 2차 전류분포를, wagner number가 작을 때는 1차 전류 분포를 계산하게 된다.

방식범위 등을 추정하는데 필요한 계산은 수학적으로 전기화학적 계면특성을 갖는 시스템에서의 전위분포 계산이다. 다시 말하면, 계면의 특성이 전기화학적 반응이 발생하는 특성이 있을 뿐 전해질 내부에서는 전도체의 전위구배를 결정짓는 Poisson 식에 의한 전위분포가 존재한다.

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} = b$$

$$\text{or } \nabla^2 u = b$$

u: potential

b: effect of internal sources and sink

* Laplace 식: internal source나 sink가 없는 경우 (b=0)

이러한 전위분포를 계산하는 방법은 여러 가지 방법이 있을 수 있으나, 가장 널리 활용되는 방법은 경계요소법(BEM)이다. 경계요소법은 유한요소법(FEM)과 마찬가지로 수치해석 대상인 계(system)를 요소로 분할하여 계산하는 방법이다. 비교적 널리 쓰이는 유한요소법과는 달리 경계요소법은 이름과 같이 경계만을 요소로 분할하여 계산하게 된다. 따라서 element의 수가 훨씬 작게 되고, 이 차이는 계가 복잡해질수록 더욱 커진다.

경계 요소법에 의하여 전류분포의 해석에 사용되는 상용 프로그램으로는 Computational Mechanics사의 BEASY, ELSYCA사의 Catpro 등이 있으며, 매설배관의 경우에는 Catpro사 제품이 간략화된 interface로 사용상의 편리성이 높다.

3. 교류 간섭 문제

교류간섭의 해석은 크게 i) 토양 비저항의 측정 및 분석, ii) 자기유도 간섭 해석, iii) 저항성 유도 해석의 3단계로 나누어 볼 수 있으며, 각각의 단계는 다음과 같이 세부적인 단계로 나누어 볼 수 있다.

1단계: 토양 비저항의 측정과 이의 해석 - 토양비저항 측정을 전체 관로와 송전선로 부근의 대표적인 지점에 대하여 수행한다. 토양비저항의 측정 이후에는 전기적으로 등가인 토양 모델을 구성하게 된다. 수치해석 모델에서는 균일 토양, 2층 토양, 다층토양, 지수적인 분포 등 다양한 균일, 불균일 토양에 대한 해석이 가능하다. 접촉전압, 보폭전압, 피복 인가 전압 등은 전체 토양의 평균적인 저항치 뿐만 아니라 각 위치별 세부적인 토양층별 저항 분포 등에 의하여도 크게 영향받게 되므로 매우 중요한 단계의 조사라고 할 수 있다.

2단계: 자기유도 간섭 - 자계에 의한 유도간섭을 정확하게 평가하기 위해서는 관심이 있는 경유지 인근의 모든 도체에 대한 모델링이 이루어져야 한다. 도체의 범주에는 전력선 뿐만 아니라 연속적인 conterpoise, static wire(또는 중성선) 등 전력 시스템에 속한 것 뿐만 아니라, 매설된 배관류, 수도관과 같이 피복되지 않은 도관류 등을 모두 포함한다. 이러한 도체의 경로가 변경될 때나 전력선의 상배치가 변경(transposition)되는 경우에 전압의 최대치가 발생하므로 상세히 기술되어야 한다.

먼저, 송전선로의 각종 인자가 계산되어야 한다. 전력선의 self inductive, capacitive impedance와 mutual impedance가 계산되어야 한다. 이러한 인자들로 부터 관심대상인 right-of-way의 등가 회로 네트워크가 구성된다. 이 모델에는 모든 접지 도체와 더불어 접지물에 대한 저항성 또는 capacitive 접속 저항이 포함된다. 이러한 네트워크를 분석하여 다음의 값들을 계산하게 된다.

- o 배관 유도전압 및 피복 인가 전압, 접촉전압, 노출 영역 밖의 지점에 전달되는 전위
- o 고장 송전구조물과 인접 시설물의 GPR, 전체 고장전류의 분포

3단계: 전도성 유도 간섭 - 부하상태에서 피복된 배관의 P/S(potential of

pipe to local soil) 전위는 자기유도 에서 계산된 결과에 전도성 유도를 더한 것과 같게 된다. 고장 발생시 전류/전위분포는 앞의 2단계에서 결정된 전체적인 분포 특성을 토대로 전도성 간섭의 영향을 계산하게 된다.

이상의 단계를 통하여 계산된 유도 전압/전류치가 규정된 안전기준을 초과한다면, 이를 완화하는 조치(mitigation)이 필요하다. 이러한 조치가 설치되어 있을 때는 이를 모델에 포함시켜 2단계부터 다시 시행하여 완화된 유도전압/전류를 측정하게 된다.

유도와 관련된 해석 프로그램은 여러 제품이 있으나, SES사에서 개발된 CDEGS 및 Right-of-Way 패키지가 가장 널리 활용되고 있다.

4. 맺음말

본 발표에서는 매설 배관에서 발생하는 각종 간섭문제에 대한 해석을 수치적으로 수행한 결과를 케이스를 중심으로 제시하고자 하였다. 다양한 간섭문제를 수치적인 방법으로 해석하여 최적의 해결방안을 도출함으로써 대응방안의 결과에 대한 확실성을 확보할 수 있을 뿐만 아니라 최적화에 의한 시공 비용의 절감이 크리라 여겨진다.