

지하철 누설전류가 도시가스 배관에 미치는 영향 해석

\*이현구, 하태현, 하윤철, 배정호, 김대경  
한국전기연구원 지중시스템연구그룹

Analysis of DC Traction Stray Current Interference on Buried Pipelines

\*H.G. Lee, T.H. Ha, Y.C. Ha, J.H. Bae, D.K. Kim  
KERI Underground Systems Group

**Abstract** - When an underground pipeline runs parallel with DC traction systems, it suffers from DC traction interference. Because the train is fed by the substation through the overhead wire and return current back to the substation via the rails. If these return rails are poorly insulated from earth, DC current leak into the earth and can be picked up by nearby pipeline. It may bring about large-scale accidents even in cathodically protected systems. In this paper we analyze the cathodic protection systems of buried pipelines and DC traction stray current influence on it using the simulation software CatPro. We can discuss the problems and mitigation of DC traction interference for protected pipeline.

pH, 습도 및 비저항 등과 같은 조건의 변화에 따라 정해진다.

갈바닉(galvanic) 부식전지는 그림 1과 같다. 모든 금속은 각각의 고유한 전위를 갖고 있으며, 갈바닉 부식은 서로 다른 두 금속이 동일한 전해질 내에서 전기적으로 연결될 경우 낮은 전위를 갖는 금속이 급격히 부식되는 것이다. 이때 급격히 부식되는 금속을 양극(anode)이라고 한다. 그림 1에서는 전해질과 접해있는 철(Fe) 표면에서 부식이 발생한다. 즉 부식이 발생하기 위해서는 양극, 음극, 전류경로 및 전해질로 이루어진 부식전지가 구성되어야 한다.[5]

1. 서론

금속구조물의 부식은 금속 표면에서 토양이나 물과 같은 전해질로 전류가 흘러 나갈 때 발생한다. 이와 같은 부식전류를 발생시키는 금속과 전해질 사이의 전위차는 온도, pH, 습도 그리고 비저항 등의 다양한 원인에 의해서 발생한다.[1]

구조물의 관점에서 누설전류는 의도된 회로가 아닌 구조물로 흐르는 전류로써 정의된다. 누설전류는 다른 전기방식시설물, 접지시스템 및 용접봉 등에 의해 발생한다. 그러나 일반적으로 전철시스템이 가장 큰 누설전류원이다. 전철의 급전시스템은 레일을 부극선으로 사용하기 때문에 레일이 대지와 완벽하게 절연되어 있지 않다면 누설전류가 발생하게 되며, 전철이 운행될 때 대지로 누설되는 전류는 지중 금속구조물의 부식을 촉진하게 되어 대형사고의 원인이 될 수 있다.[2] 교통량이 많은 도심지를 중심으로 지하철과 경전철 등의 선로가 점차 증가함에 따라 지하에 매설된 배관이 전철과 근접한 거리에서 병행 혹은 교차하는 구간 또한 많아지게 되었다. 누설전류를 완화시키기 위한 방법으로 배류법과 같이 누설전류원과 연결하는 방법, 교차점에 희생양극을 설치하는 방법, 코팅 및 전기차폐 등이 사용되고 있다.[3]

본 논문에서는 경제요소만을 이용하여 지하에 매설된 배관의 전기방식시스템과 전철시스템 누설전류의 영향을 해석하였으며, 이에 대한 대책법을 소개하였다.

2. 이론적 배경

2.1 금속의 부식

부식이란 금속 또는 금속합금이 주위 환경과의 전기화학적 반응에 의하여 물질 자체가 변질되거나 또는 물질의 특성이 변질되는 것이다. 금속은 광물과 같은 화합물로 존재하며, 광물로부터 금속을 추출해 내기 위해서 필요했던 똑같은 양의 에너지가 부식을 일으키는 화학반응 중에 방출되어진다.[4] 즉 금속의 부식은 금속표면에서 토양이나 물과 같은 전해질로 전류가 흘러 나갈 때 발생하며, 금속과 전해질 사이의 전위차는 주위의 온도,

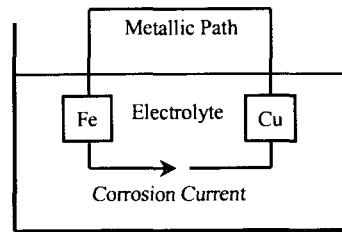


그림 1 갈바닉 부식전지

2.2 전기방식(Cathodic Protection)

금속의 부식을 방지하는 대표적인 방법으로 코팅과 전기방식을 들 수 있다. 코팅은 금속 표면 위에 전기적인 절연물질을 연속적으로 입히는 것이며, 전기방식은 금속 표면을 부식전지의 음극으로 만들어서 부식률을 감소시키는 방법이다.[3]

전기방식의 개념도는 그림 2와 같다. 갈바닉 부식전지와 전기방식 개념도의 차이점은 부식전류를 흘려주는 전압원이다. 갈바닉 부식전지에서의 전압은 금속간의 전위차에 의해 발생되며, 전기방식 개념도에서의 전압원은 레일이나 전기방식용 정류기와 같은 어떤 외부의 영향이다. 그림 2에서의 전압이 일정하거나 변화하든 전해질과 접해있는 구리(Cu) 표면에서 부식이 발생한다.[5]

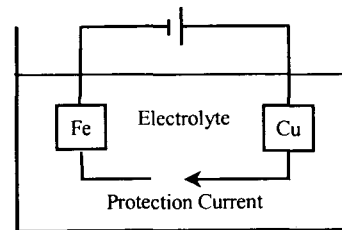


그림 2 전기방식 개념도

### 2.3 전철 누설전류의 영향

구조물의 관점에서 누설전류는 의도된 회로가 아닌 구조물로 흐르는 전류로써 정의된다. 누설전류의 결과로 발생하는 부식은 금속구조물과 전해질 사이의 전류흐름이 있어야만 한다. 누설전류는 다른 전기방식 시설물, 접지시스템 및 용접봉에 의해 발생하며, 이를 정적인 누설전류라 부른다. 그러나 일반적으로 전철시스템이 가장 큰 동적인 누설전류원이다.[6] 전철시스템 누설전류의 영향은 그림 3에 나타내었다. 전류는 변전소에서 급전선을 통해 전차에 공급되며 레일을 통해 돌아온다. 이때 레일이 대지와 완벽하게 절연되어 있지 않기 때문에 전류의 일부는 전차 인근에서 대지로 흘러 나와 주위의 금속배관으로 유입된다. 이 누설전류는 레일이나 변전소 부근선으로 돌아가기 위해 대지를 통해 배관에서 유출된다. 전류가 배관에서 유출되는 지점에서 부식이 발생되며 전류의 크기가 충분하다면 단기간에 대형사고를 유발할 수 있다.[7]

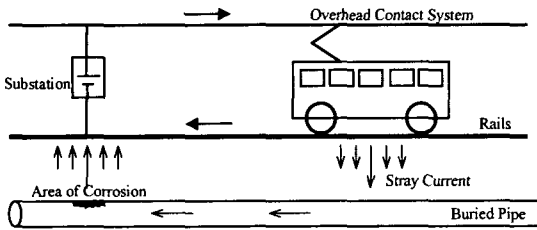


그림 3 전철 누설전류가 매설배관에 미치는 영향

### 3. 전철 누설전류의 영향 해석

전철 누설전류의 영향을 알아보기 위한 해석모델은 그림 4와 같다. CS1과 CS2로 표기된 외부전원법 양극군(Anode Bed)에 의해 전기방식되고 있는 59.35[km] 길이의 30" 가스배관을 전철선로가 병행 또는 교차하도록 하였고, 전차는 TR1에 위치하고 있다. 배관, 양극 및 전철시스템 등의 해석조건은 표 1과 같다. 배관의 매설깊이는 전구간에서 1.5[m]이며 토양비저항은 일반적으로 가장 많이 사용되고 있는 100[Ω·m]로 가정하였다. 두 개의 양극군은 20[m] 깊이에 배관으로부터 50[m] 떨어진 위치에 각각 설치되었다. PS1부터 PS4까지 나타낸 변전소는 약 15[km]의 간격으로 위치하고 있으며 공급전압은 직류 1,500[V]이다.

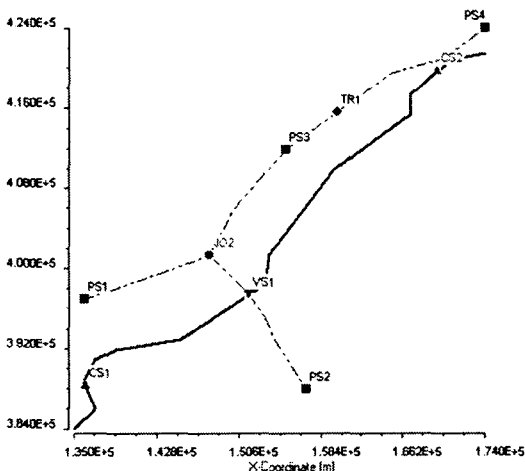


그림 4. 전철 누설전류가 배관에 미치는 영향 해석모델

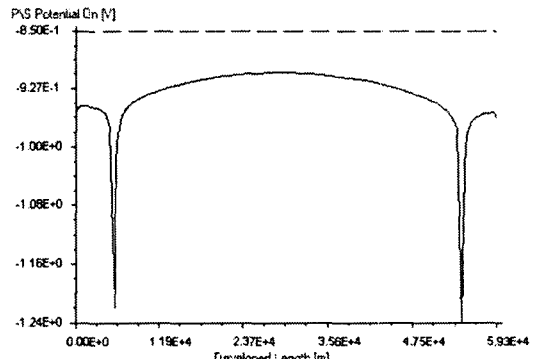
표 1. 전철 누설전류가 배관에 미치는 영향 해석조건

항 목		내 용
배관	총길이	59.350[km]
	외경	76.2[cm]
	두께	9.5[cm]
	축방향 저항률	$10^{-7}[\Omega \cdot m]$
	코팅	PE
양극	외경	1[m]
	출력	CS1 1.43[A] CS2 1.75[A]
전철	총길이	64.580[km]
	급전계통	DC 1,500[V]
	변전소간 거리	약 15[km]
	축방향 저항률	$1.6 \times 10^{-7}[\Omega \cdot m]$
토양비저항		100[Ω·m]

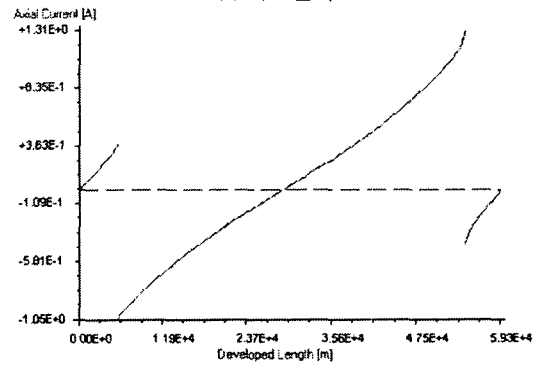
### 3.1 전기방식 시스템 해석

전철 누설전류의 영향이 없는 상태에서 배관의 전기방식시스템이 두 개의 양극군 CS1과 CS2에서 각각 1.43과 1.75[A]의 출력으로 운영될 경우 대지 대비 배관전위(P/S 전위)와 배관의 축방향 전류를 해석한 결과는 그림 4와 같다. 여기서 축방향 전류는 그림 5의 배관을 따라 좌측하단에서 우측상단 방향으로 향하는 것을 양의 값으로 정의하였다.

그림 5의 (a) P/S 전위에 점선으로 나타낸 황산동기 준전극 대비 -0.85[V] 이하의 방식기준을 적용할 경우 모든 구간이 방식되고 있음을 알 수 있다.[8]



(a) P/S 전위



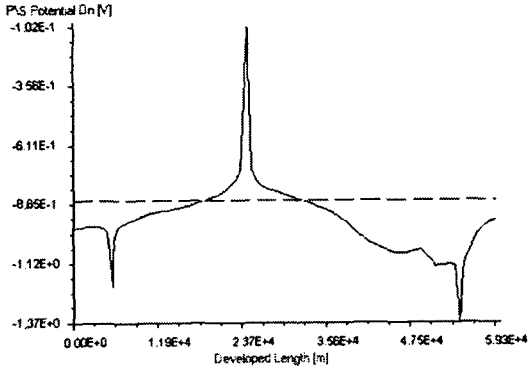
(b) 배관의 축방향 전류

그림 5. 전기방식 시스템 해석 결과

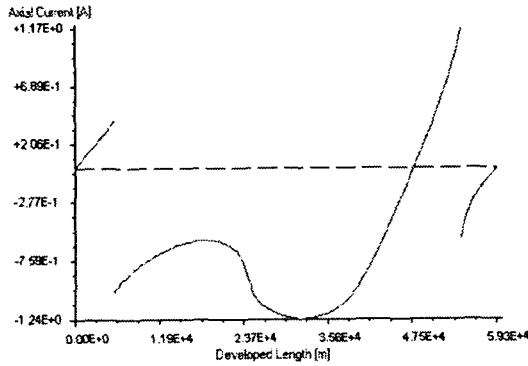
### 3.2 전철 누설전류의 영향 해석

전차가 TR1의 위치에 있을 때 급전선으로부터 1,220[A]의 전류가 공급된다. 이 전류는 주로 변전소 PS3과 PS4에서 857A와 299A가 공급되었으며 대부분 레일을 경유하여 변전소로 돌아간다. 앞 절과 같은 전기방식 운영 조건에서 전철 TR1이 운행될 때 P/S 전위와 배관의 축방향 전류를 해석한 결과는 그림 6과 같다.

레일과 배관 사이의 거리가 작은 양극군 CS2 주변의 배관으로 흘러 들어온 누설전류는 전철 레일과 교차하는 배관 쪽으로 유출되었으며 변전소 PS3로 레일을 경유하여 되돌아간다. 이로 인해 레일과 교차하는 배관 주위는 양극화되어 심각하게 부식이 발생하며, 양극군 CS2의 방식효과는 증가되어진다. 그리고 양극군 CS1 주변 지역은 전철 TR1에 의해 거의 영향을 받지 않는다.



(a) P/S 전위

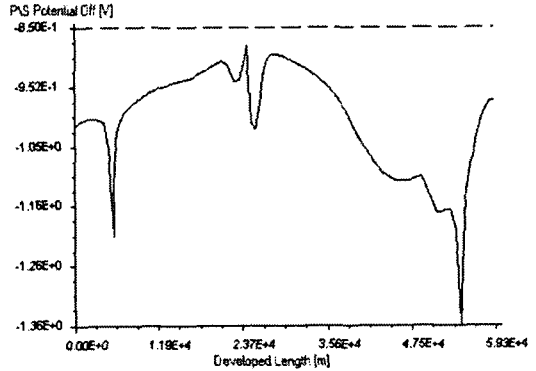


(b) 배관의 전류

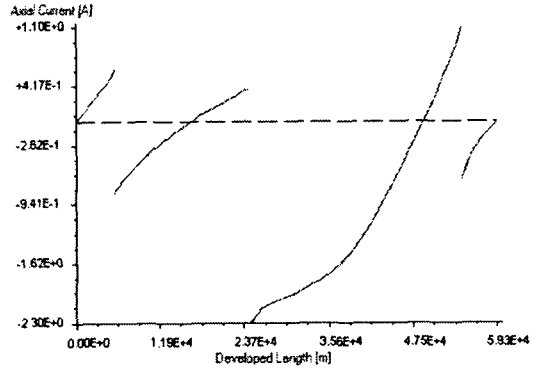
그림 6. 전철의 영향 해석 결과

### 3.3 철근을 이용한 대책법 해석

레일과 교차하는 배관 주위의 부식을 방지하기 위해 4[km] 길이의 1" 철근을 배관에 연결하였다. 철근은 배관과 병행하도록 설치되었으며 전류가 배관에서 대지로만 흐르도록 다이오드를 연결하였다. 철근을 이용한 전철 누설전류 대책법의 효과를 그림 7에 나타내었다. 배관에 유입된 누설전류는 변전소로 돌아가기 위해 대지로 직접 유출되지 않고 이 경로를 통해 철근에서 대지로 유출될 것이다. 제안된 대책법으로 모든 구간이 방식되고 있음을 알 수 있다.



(a) P/S 전위



(b) 배관의 전류

그림 7. 철근을 이용한 대책법

### 4. 결 론

지하에 매설된 금속시설물은 부식을 방지하기 위하여 전해질을 통해 금속구조물에 방식전류를 흘려주는 전기방식설비를 갖추고 있다. 그러나 전철급전시스템 등에 의해 발생하는 누설전류는 전기방식 시스템에 간섭을 일으켜 시설물 유지관리에 많은 애로를 겪고 있다.

본 논문에서는 경제요소법을 이용하여 지하에 매설된 배관의 전기방식 시스템을 해석하였다. 그리고 지하 매설 금속배관이 전철시스템과 가까운 거리에서 병행하거나 교차할 때 전철 누설전류의 영향과 철근을 이용한 대책법을 해석하였다.

### [참 고 문 헌]

- [1] F. Brichau, J. Deconinck, T. Driesens, "Modeling of Underground Cathodic Protection Stray Currents", Corrosion, 52, 480~488, 1996
- [2] W. von Baeckmann, "Handbook of Cathodic Corrosion Protection", Gulf Publishing Co., 1997
- [3] A.W. Peabody, "Control of Pipeline Corrosion", NACE International, 2001
- [4] D.A. Jones, "Principles and Prevention of Corrosion", Prentice Hall International, Inc., 1997
- [5] "Short Course on Corrosion and Cathodic Protection Testing", M.C. Miller Co., 1993
- [6] ELSYCA, "CatPro V1.4 User Manual", 2002
- [7] S. Case, "DC Traction Stray Current Control", IEE, Savoy Place, London WC2R 0BL, UK, 1999
- [8] NACE Reference Standards, "Control of External Corrosion on Underground or Submerged Metallic Piping Systems", RP-01-69, 1996