

전철 누설전류가 지하매설 배관에 미치는 영향 해석

이현구, 하태현, 배정효, 하운철, 김대경
한국전기연구원 지중시스템연구그룹

Analysis of DC Traction Stray Current Influences on Buried Pipelines

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

Abstract - Corrosion of metallic structures arises when an electric current flows from the metal into the electrolyte such as soil and water. The potential difference across the metal-electrolyte interface, the driving force for the corrosion current, can emerge due to a variety of temperature, pH, humidity etc.. In this paper we analyze P/S potential and axial current of the pipeline with CP systems using BEM and DC traction stray current influences on buried pipelines.

1. 서 론

교통량이 많은 도심지를 중심으로 지하철과 경전철 등의 선로가 점차 증가함에 따라 지하에 매설된 배관이 전철과 근접한 거리에서 병행 혹은 교차하는 구간 또한 많아지게 되었다. 일반적으로 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.

지하에 매설된 금속시설물은 부식을 방지하기 위하여 전기방식설비를 갖추고 있지만, 지하철 누설전류와 같이 외부에서 유입된 전원에 의해 시설물 유지관리에 많은 애로를 겪고 있다.

본 논문에서는 경제요소를 이용하여 지하에 매설된 배관의 전기방식시스템에 대하여 대지 대비 배관전위와 배관의 축방향 전류를 해석하였으며, 전철 운행 중에 발생하는 누설전류가 배관의 전기방식시스템에 미치는 영향을 해석하였다.

2. 이론적 배경

2.1 금속의 부식

금속이 주위 환경과 반응하여 물질 자체가 변질되거나 또는 물질의 특성이 변질되는 것을 부식이라고 한다. 금속은 광물과 같은 화합물로 존재하며, 광물로부터 금속을 추출해 내기 위해서 필요했던 똑같은 양의 에너지가 부식을 일으키는 화학반응 중에 방출되어진다. 즉 금속의 부식은 금속표면에서 전해질로 전류가 흘러 나갈 때 발생하며, 금속과 전해질 사이의 전위차는 주위의 온도, pH, 습도 등과 같은 조건의 변화에 따라 정해진다.[1]

모든 금속은 각각의 고유한 전위를 갖고 있으며, 갈바닉(galvanic) 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 하며, 갈바닉 부식의 개념도는 그림 1의 (a)와 같다. 즉 부식이 발생하기 위해서는 양극, 음극, 전류경로 및 전해질로 이루어진 부식전지가 구성되어야 한다.[2, 3]

2.2 전기방식

금속의 부식은 토양이나 물 등의 전해질 내에서 부식 전지의 양극반응과 음극반응에 의해서 일어나는 것이므로 첫째 금속 표면을 전해질과 차단하거나, 둘째 양극반응의 진행을 억제하거나, 셋째 양극과 음극을 분리하는 방법으로 부식을 방지할 수 있다.

첫 번째 방법의 대표적인 예로 코팅을 들 수 있지만, 완벽한 시공이 어려우며, 세 번째 방법의 경우 미시적 부식전지에 의한 부식에는 적용할 수 없다. 따라서 두 번째 방법이 코팅과 함께 가장 많이 사용되고 있으며 이를 전기방식이라고 일컫는다.

전기방식의 개념도는 그림 1의 (b)와 같으며, 방식전류를 흘려주는 방법에 따라 크게 희생양극법과 외부전원법으로 나뉘어진다.[4]

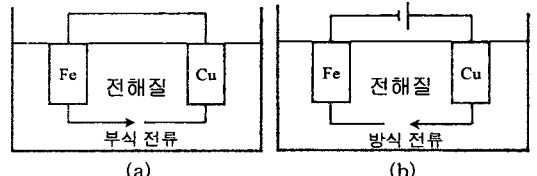


그림 1 갈바닉 부식 및 전기방식 개념도

2.3 누설전류의 영향

금속 구조물을 방식시키기 위하여 전해질을 통해 피방식구조물에 방식전류를 흘려주면 전해질의 전위분포에 변화가 생기게 되며, 인접한 다른 시설물 주변의 전위분포도 변화시키게 된다. 즉 어떤 시설물에 의한 전위분포가 다른 시설물의 전위분포에 영향을 미치는 것을 간섭(Interference)이라고 한다.

토양의 전위분포에 영향을 미치는 간섭원으로는 전철 급전시스템, 용접 및 전기방식 시스템 등을 들 수 있다. 이 중에서 전철시스템의 레일이 접지식이거나 절연저항이 작을 경우 많은 누설전류가 토양으로 유입되어 인근에 매설된 금속구조물에 영향을 미치게 된다. 전철 누설전류가 매설된 배관에 미치는 영향을 나타내는 개념도는 그림 2와 같으며, 누설지점 인근의 배관에 유입된 누설전류가 배관을 통해 변전소 접지로 유출되는 지점에서 부식이 발생하게 된다.[5]

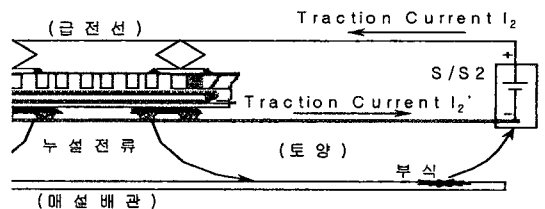


그림 2 전철 누설전류가 매설배관에 미치는 영향

3. 전철 누설전류의 영향 해석

대지 누설전류원 중 가장 대표적인 전철은 급전선을 통해 변전소에서 전류를 공급받으며 레일을 통해 변전소로 되돌아간다. 이때 레일이 대지와 완벽하게 절연되어 있지 않다면 많은 직류 전류가 대지로 흘러 들어가서 전기방식되고 있는 배관과 같은 금속구조물에 유입될 수 있다.

이와 같은 전철 누설전류의 영향을 알아보기 위하여 그림 3과 같은 모델을 가정하였다. 외부전원법 양극군(Anode Bed) CS1과 CS2에 의해 전기방식되고 있는 약 60[km] 길이의 배관을 전철선로가 병행 또는 교차하도록 하였고, PS1부터 PS4까지 나타낸 변전소는 약 15[km]의 간격으로 위치하고 있으며 전차의 위치는 TR1과 TR2 두 곳을 가정하였다. 해석에 사용된 배관, 전기방식 및 전철시스템의 조건은 표 1과 같다.

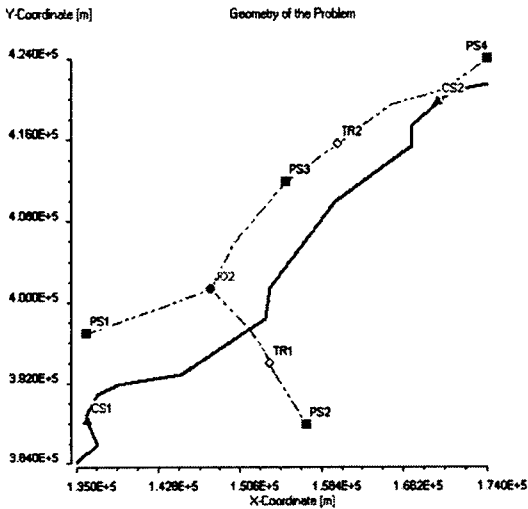


그림 3. 전철 누설전류가 배관에 미치는 영향 해석모델

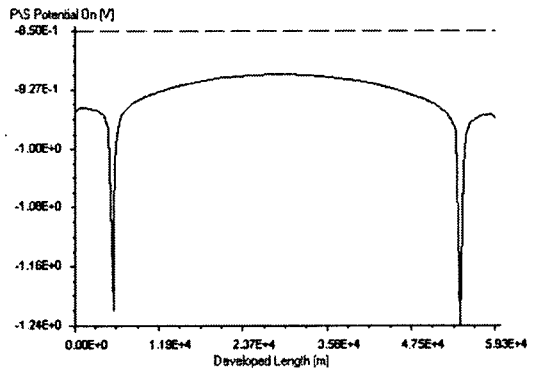
표 1. 전철 누설전류가 배관에 미치는 영향 해석조건

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	Bare
양극	외경	1[m]
	출력	CS1 1.43[A] CS2 1.75[A]
전철	총길이	64.580[km]
	급전전통	DC 1,500[V]
	변전소간 거리	약 15[km]
	축방향 저항률	$1.6 \times 10^{-7}[\Omega \cdot m]$
	레일과 대지간 저항 변화율	$10^4[1/\Omega \cdot m^2]$
토양비저항		100[$\Omega \cdot m$]

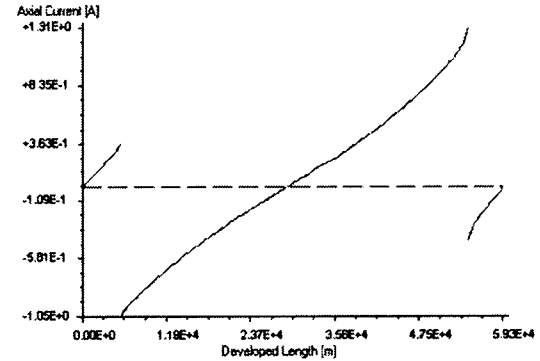
3.1 전기방식 시스템 해석

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 3의 배관을 따라 좌측하단에서 우측상단 방향으로 향하는 것을 양의 값으로 정의하였다.

그림 4의 (a) P/S 전위에 점선으로 나타낸 황산동기 준전극 대비 $-0.85[V]$ 이하의 방식기준을 적용할 경우 모든 구간이 방식되고 있음을 알 수 있다.



(a) P/S 전위



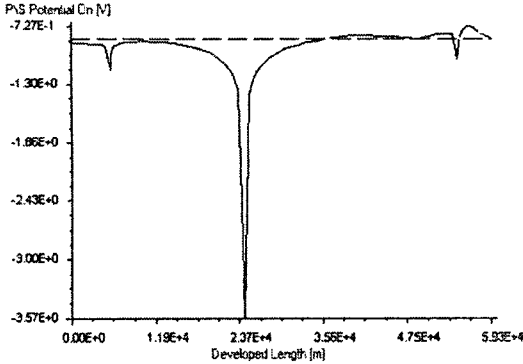
(b) 배관의 축방향 전류

그림 4. 전기방식 시스템 해석 결과

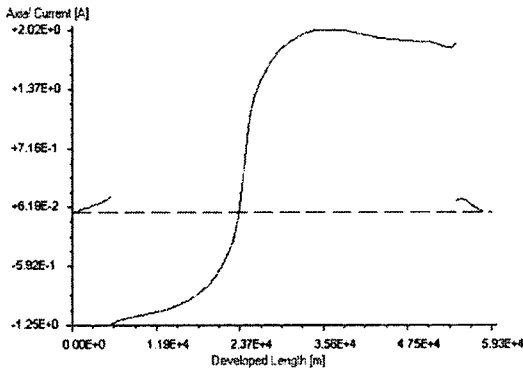
3.2 TR1의 영향 해석

전차가 TR1의 위치에 있을 때 급전선으로부터 1,210[A]의 전류가 공급된다. 이 전류는 주로 변전소 PS1(178A), PS2(780A)와 PS3(212A)에서 공급되었으며 대부분 레일을 경유하여 변전소로 돌아간다. 앞 절과 같은 전기방식 운영 조건에서 TR1이 운행될 때 P/S 전위와 배관의 축방향 전류를 해석한 결과는 그림 5와 같다.

전철 레일과 교차하는 지점에서 배관으로 많은 누설전류가 유입되었으며 변전소 PS1과 PS2로 레일을 경유하여 되돌아간다. 이 누설전류는 배관의 일부 구간을 따라 전류밀도를 감소시키며, 양극군 CS1 주변에서 방식상태를 악화시킨다. 특히 PS3와 PS4 사이의 레일과 병행하는 배관의 대부분 구간에서 방식기준을 만족하지 못했으며, 양극군 CS2 지점에서 누설전류의 영향이 감소되었다.

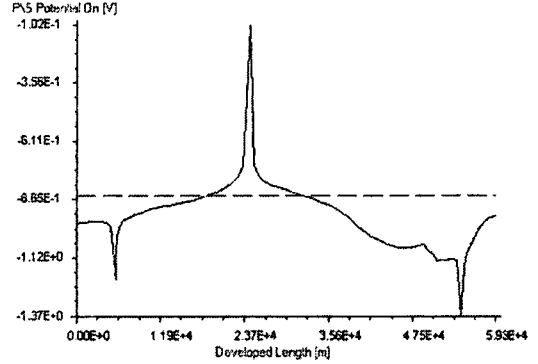


(a) P/S 전위

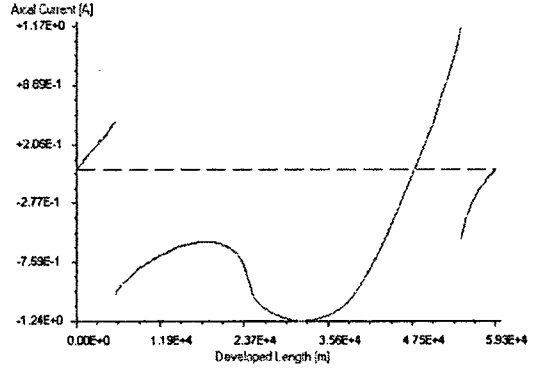


(b) 배관의 전류

그림 5. TR1의 영향 해석 결과



(a) P/S 전위



(b) 배관의 전류

그림 6. TR2의 영향 해석 결과

[참 고 문 헌]

3.3 TR2의 영향 해석

전차가 TR2의 위치에 있을 때 급전선으로부터 1.220[A]의 전류가 공급된다. 이 전류는 주로 변전소 PS3(857A)와 PS4(299A)에서 공급되었으며 대부분 레일을 경유하여 변전소로 돌아간다. 앞 절과 같은 전기방식 운영 조건에서 TR1은 운행 안되고 TR2가 운행될 때 P/S 전위와 배관의 축방향 전류를 해석한 결과는 그림 6과 같다.

레일과 배관 사이의 거리가 작은 양극군 CS2 주변의 배관으로 흘러 들어온 누설 전류는 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 TR2에 의해 거의 영향을 받지 않는다.

4. 결 론

지하에 매설된 금속시설물은 부식을 방지하기 위하여 전해질을 통해 금속구조물에 방식전류를 흘려주는 전기방식설비를 갖추고 있다. 그러나 전철급전시스템, 용접 및 타 전기방식 시스템 등과의 간섭으로 인해 시설물 유지관리에 많은 애로를 겪고 있다.

본 논문에서는 경계요소법을 이용하여 지하에 매설된 배관의 전기방식시스템에 대하여 대지 대비 배관전위와 배관의 축방향 전류를 해석하였으며, 전철 운행 중에 발생하는 누설전류가 배관의 전기방식시스템에 미치는 영향을 해석하였다. 여기서 얻어진 결과는 전철 영향구간의 배관에 대한 전기방식 설계에 활용할 수 있다.

[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] D.A. Jones, "Principles and Prevention of Corrosion", Prentice Hall International, Inc., 1997
 [4] A.W. Peabody, "Control of Pipeline Corrosion", NACE International, 2001
 [5] ELSYCA, "CatPro V1.4 User Manual", 2002