

전기방식용 양극 매설부지 대지 비저항 측정 및 분석

홍성택*, 신강욱, 이등근, 이은춘
한국수자원공사

The Specific Resistance Analysis and Measurement of the Ground at the site of the Anode Laying for the Electrolytic Protection for the Electrical Anticorrosive

Sung Taek Hong, Gang Wook Shin, Dong Keun Lee, Eun-Chun Lee
Korea Water Resources Corporation

Abstract - The electrolytic protection is classified according to the current supplied. And there are the Sacrificial Anode System, the Impressed Current System, the Polarized Drainage System, the Forced Drainage System.

This study is intended to design and analyze the electrolytic protection at water transmission pipes which is occurred the corrosion, and to show the methods protecting corrossions at water transmission pipes.

1. 서 론

전기방식 방법은 방식전류 공급방법에 따라 희생양극법, 외부전원법, 선택배류법, 강제배류법 등으로 구분할 수 있다.

전기적 방식법은 직류전철 등에 의한 누설전류의 영향이 없는 경우에는 외부전원법 또는 희생양극법을 선정하고, 직류 등에 의한 누설전류의 영향을 받는 곳에는 배류법을 적용되되, 방식효과가 충분하지 않을 경우 외부전원법 또는 희생양극법을 병용할 수 있다. 또한 매설물의 자연전위, 토양비저항 및 산성도, 누설전류의 영향, 소요방식의 전류량, 교류전원 인입의 용이성, 인접시설에 의한 간섭영향 등을 고려하여 가장 효과적인 방식설비를 구축하여야 한다.

따라서 본 연구에서는 여러 가지 부식에 대하여 송수관을 보호하는 전기방식용 양극을 비교, 분석하여 이것을 설비에 적용하며 그리고 여러 경로로 발생하는 부식으로부터 송수관을 보호하고자 하는 방안을 제시하고자 한다.

2. 전기방식(電氣防蝕)

2.1 희생양극법

전체 배관의 규모가 크지 않거나, 주위에 다른 배관이 인접 또는 복잡하여 간섭이 예상되는 곳에 적용한다.

희생양극법은 이종금속간의 전위차를 이용하여 방식전류를 얻는 방법으로 피 방식구조물보다 이온화 경향이 큰 금속을 전해질 내에서 전기적으로 연결하면, 이온화 경향이 큰 금속이 양극, 피 방식구조물이 음극이 되어 방식전류가 양극에서 전해질을 통해 음극으로 흐르게 된다.

이 방법은 전기작용에 의해서 방식전류를 얻기 때문에 방식전류의 제한이 있으므로 피 방식구조물이 대형인 경우에는 부적합하며, 전식의 영향이 있는 곳에서도 방식효과가 감소한다.

희생양극법의 양극재료로는 마그네슘, 알루미늄, 및 아연합금 등이 쓰이며, 접지저항이 높은 곳에서는 양극의 접지저항을 낮추어 발생전류를 많게 하기 위하여 양극을 Backfill재 속에 넣어 사용하기도 한다.

2.2 외부전원법

토양비저항이 고르지 않은 분포로 주위에 다른 배관에 대한 간섭우려가 없거나, 배관의 규모가 큰 장거리 배관의 경우에 적용하며, 그 종류는 천매(淺埋)전극법과 심매(深埋)전극법이 있다.

외부전원법은 직류전원장치의 (+)극을 전해질 내에 설치한 전극(Anode)에 접속하고 (-)극을 피 방식구조물에 접속한 후, 전압을 인가하여 방식전류를 얻는 방법으로써 직류전원장치, 양극, 부속배선으로 구성되어 있다. 이 방법은 전원을 외부에서 얻기 때문에, 큰 전류를 흘려줄 수 있어서 피 방식구조물이 대형인 경우에도 적합하나, 주위의 다른 매설물에 간섭으로 인한 부식을 일으킬 수 있으므로 배관망이 복잡하게 매설된 도심지역에서는 적용에 주의를 요한다.

2.2.1 천매전극법

관로에서 약 150m거리를 두고 여러 개의 전극을 설치하는 것으로서 전극은 지표면으로부터 2~4m정도 깊이로 얇게 묻고, 양극 상호간의 간격은 대략 6m가 되도록 하여야 함으로 부지확보가 용이할 때 적용이 가능하다.

2.2.2 심매전극법

관로에 인접하여 지표면으로부터 20~150m 정도까지 깊은 구멍을 뚫고 여러 개의 전극을 수직상태로 매설한다. 천매전극법보다 인접시설물에 대한 영향이 적기 때문에 도심지역과 같이 지하매설물이 밀집되어 있거나 부지확보가 어려운 장소에 적합하다.

2.3 선택배류법

선택배류법은 전철의 누설전류에 의해 전식을 일으키는 피방식 구조물의 누설전류 유출부분과 전철레일을 전기적으로 연결하여, 누설전류가 전해질을 통하지 않고 전기적인 경로를 통해 유출함으로써, 부식을 방지하는 방법이다. 또한 전차부하의 변동, 변전소부하 분담의 변화 등으로 역전류가 흐르는 것을 방지하기 위하여 Diode를 설치한다.

이 방법은 전철의 누설전류를 방식전류로 이용하기 때문에, 낮은 비용으로 전식을 막을 수는 있으나, 피방식 구조물에 대해 레일의 전압이 높거나 전압이 없을 때(전철운행 정지시간)는 피방식 구조물이 무방식 상태가 되므로, 주로 외부전원법과 병용하여 사용된다.

2.4 강제 배류법

이 방법은 직류전원장치에 의해 레일에 강제적으로 배류하는 것으로서 선택배류법에 외부전원을 가미한 것과 같다. 선택배류법과 비교하여 항상 배류하기 때문에 피방식 구조물을 항상 방식할 수 있으며, 외부전원법과 비교하여 레일을 전극(양극)으로 이용하기 때문에 전극 설치 장소 및 매설비용이 들지 않는 장점이 있다. 그러나 배류점 부근이 과방식 되기 쉽고 인근 구조물에 영향을 미치기 쉬우므로 적용시 주의가 요망된다.

3. 대지비저항 측정, 해석

3.1 대지비저항 측정방법

송수관 부식방지 목적으로 설치되는 전기방식의 최적 설계를 위하여 그 지역의 대지비저항을 정확히 측정, 분석하여야 한다. 그렇게 하여야만 시공후 양극 접지저항이 설계 값에 근접할 수 있다. 따라서, 양극매설 후보지의 대지비저항을 알아보기 위하여 총 3개소를 지정하여 측정하였다.

대지비저항 측정방법은 Winner 4전극법과 Schlumberger법의 혼합한 형태를 이용하여 다층 대지구조 해석을 위한 자료를 취득하였으며, 측정방법은 전류전극을 바깥쪽에 배열하고 전위전극을 안쪽에 배열하여 전류의 흐르는 양을 검출하여 전압강하를 측정기 자체에서 계산한다. 결국 오옴의 법칙에 의한 저항 값을 표시하며, 이는 토양의 결보기 저항 값이다. 측정기기 설치도면은 그림 3.1과 같다.

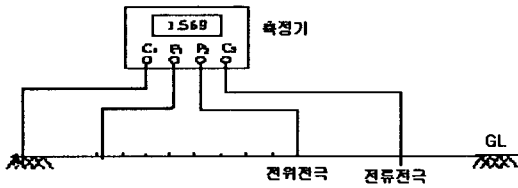


그림 3.1 대지비저항 측정회로

현장에서 측정된 결보기 저항 값을 가지고 다층적으로 대지비저항을 해석하고자 ESII(Electrical Sounding Interactive Interpretation) 프로그램을 이용하였다. 본 해석 프로그램은 Winner, Schlumberger 배열방식의 수직탐사 뿐만 아니라 임의의 전극 배열에 대해서도 층상 해석이 가능하다.

사천권에 사용된 장비는 지질탐사에 많이 이용되는 전기수직탐사기(Sting R1-IP, 미국제)를 사용하였다. 국내에서 대지비저항 측정에 일반적으로 사용되는 방법은 Winner의 4전극법을 주로 사용하고 있다. 본 방법은 지층을 다층적으로 해석하는데 한계가 있으며, 특히 토양의 깊이를 깊게 측정할 필요가 있을 경우에는 측정값이 외란의 영향을 받아 오차가 발생하는 사례가 있을 수 있다.

따라서, 사천권의 경우 양극의 매설방법이 심매법으로 설계되어 있어 토양을 깊이 측정할 필요가 있고, 다층적으로 해석하기 위하여 Schlumberger법을 이용하였다.

3.2 현장 측정

사천권의 남강댐 2단계 제5공구(진주계통) 약 4.6 km 구간에 대하여 총 3개소를 선정하여 측정하였다.

측정위치 선정은 심매법을 적용하는 것으로 가정하여 관로 주변을 선정하였으며, 관리단에서 사전조사를 실시한 3개소 후보지에 대하여 측정하였다.

3.2.1 제1측정지점 (ST No. 16부근)

정수장 기점 640m지점으로 관로포설 위치는 야산의 도로 옆이며, 측정선은 그림 3.2와 같이 관로방향과 일직선으로 하여 측정기를 중심으로 좌, 우 75m씩 양쪽으로 펼쳤다.

제1측정지점의 대지비저항 해석 결과는 그림 3.3과 같다. 제1지점에 대하여 대지비저항 측한 결과 지표면에서 3m까지는 50 Ω·m로 낮게 나타났으며, 다음 15m까지는 다소 높은 250 Ω·m이고, 나머지 구간은 200 Ω·m로 나타났다.

심매법으로 양극을 매설할 경우 상부 15m를 절연하고 나머지 부분에 양극을 매설하므로 실제 양극이 매설되는 구간의 대지비저항은 200 Ω·m로 해석되어 진다.

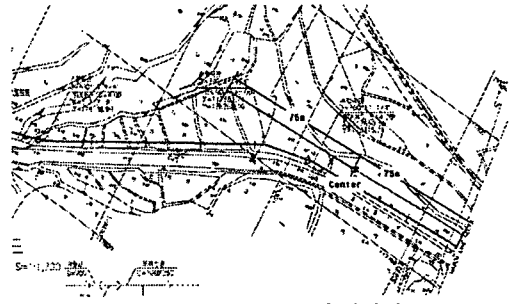


그림 3.2 대지비저항 측정위치

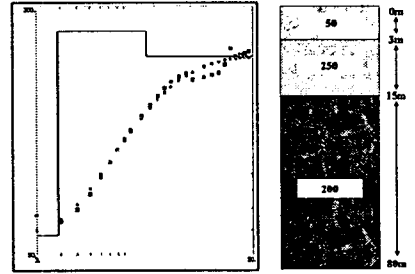


그림 3.3 제1측정지점 대지비저항 해석결과

3.2.2 제2측정지점 (ST No. 44부근)

정수장 기점 1.76km지점으로 관로포설 위치는 야산 밑의 도로 옆이며, 측정선은 그림 3.4와 같이 관로방향과 일직선으로 하여 측정기를 중심으로 좌, 우 80m씩 양쪽으로 펼쳤다. 제2측정지점의 대지비저항 해석 결과는 그림 3.5와 같다.

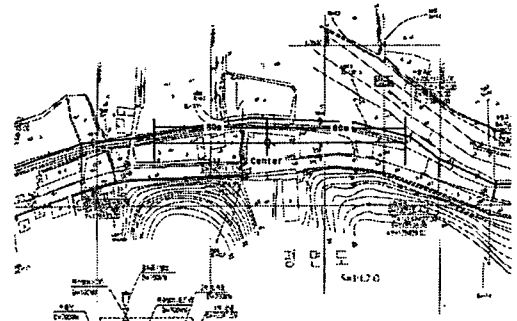


그림 3.4 제2측정지점 대지비저항 측정위치

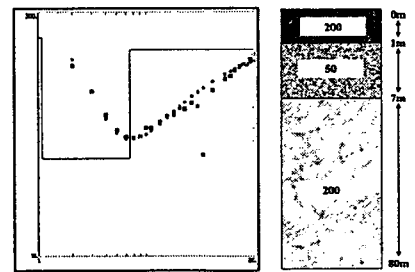


그림 3.5 제2측정지점 대지비저항 해석결과

제2측정지점의 대지비저항은 건토층 1m는 무시하고, 나머지 7m까지는 복토층으로 점토질을 형성하여 낮은 저항 층을 유지하며, 나머지 원래 토양부분부터 80m까지는 200 Ω·m로 다소 높게 측정되었다.

3.2.3 제3측정지점 (ST No. 73부근)

정수장 기점 2.92 km지점으로 관로포설 위치는 논 가운데 도로 옆이며, 측정선은 그림 3.6과 같이 관로방향과 일직선으로 하여 측정기를 중심으로 좌, 우 90m씩 양쪽으로 펼쳤다. 제3측정지점의 대지비저항 해석 결과는 그림 3.7과 같다.

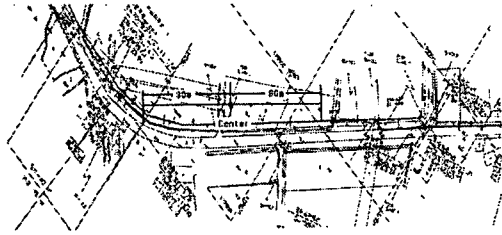


그림 3.6 제3측정지점 대지비저항 측정위치

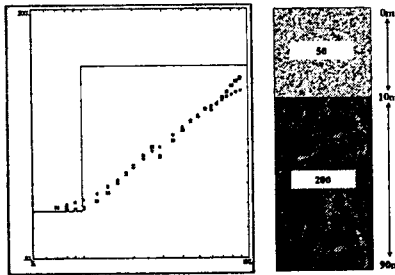


그림 3.7 제3측정지점 대지비저항 해석결과

3.3 측정해석 및 등가 대지비저항 산출

심매법의 경우 지표면을 기준으로 15m까지는 절연하고 나머지 부분부터 양극을 매설하므로, 다층적으로 해석된 비저항을 등가적으로 환산 할 때는 실제 양극이 묻히는 깊이만 적용코자 한다. 수직구조체 접지설계에 일반적으로 사용되는 등가대지비저항을 산정하는 수식은 다음과 같다.

$$\rho_L = \frac{d}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{\rho_i}} \quad (\text{ohm} \cdot \text{m})$$

여기서, d : 등가 깊이(m)

ρ_i : i(m)까지의 비저항(ohm·m)

h_i : ρ_i 층의 깊이(m)

위 수식을 이용하여 등가대지비저항을 산출하지만, 사전권 3개소의 측정값을 볼 때 지표면에서 15m 이하는 모두 200 $\Omega \cdot \text{m}$ 로 일정하므로 등가대지비저항도 200 $\Omega \cdot \text{m}$ 로 결정된다. 따라서 3개소 모두 대지비저항은 200 $\Omega \cdot \text{m}$ 로 해석하여 전기방식을 설계함이 바람직하다고 판단된다.

4. 양극의 접지저항 분석

양극의 설계기준에 심매법의 총 깊이를 60m, 이하로 규정하고 있고, 본 공사에서 50m로 설계되어 있으므로 상부 15m 절연깊이를 제외하고 양극의 유효 깊이는 35m로 된다. 따라서 측정된 대지비저항과 Hole 깊이를 감안하여 양극의 접지저항을 계산하면 다음과 같다.

$$R_a = \frac{\rho}{2\pi L} \ln \frac{8L}{d} - 1 (\Omega)$$

여기서, ρ : 대지비저항(200 $\Omega \cdot \text{m}$)

L : 양극매설길이(m)

d : 백필 직경(0.2m)

$$\begin{aligned} R_a &= \frac{\rho}{2\pi L} \ln \frac{8L}{d} - 1 (\Omega) \\ &= \frac{200}{2\pi \times 35} \ln \frac{8 \times 35}{0.2} - 1 (\Omega) \\ &= 6.6 \Omega \end{aligned}$$

양극 1 Hole당 접지저항을 개략적으로 계산한 결과 접지저항은 6.6 Ω 으로 나타났다. 본 계산 값은 케이싱이 대지면에 완전 접촉된, 즉 접지효율 100%로 보았을 때의 값이며, 실제의 경우 백필충진상태, 암벽부분 비접촉 등을 감안하면 접지효율이 약 60~80%정도이다.

따라서 접지저항은 11 Ω 까지 상승 할 수 있으며, 이때 정류기 출력전압 60V에서 최대출력 전류는 약 6A정도에 그칠 수 있다. 이와 같은 현상으로 당초 예상했던 방식구간의 끝 부분에 부족전위가 나타날 수 있으며, 끝부분의 방식전위를 올리기 위하여 배류점 부근은 과방식 상태가 되는 악영향이 일어날 수 있다.

5. 결 론

사전권관리단 남강댐 2단계 광역상수도 5공구(4.6km)의 관로 부식방지를 위한 전기방식 양극매설부지에 대한 대지비저항 해석결과와 시공상의 특기사항을 다음과 같이 제시하였다.

- (1) 방식 설계에서 중요한 요소로 작용하는 대지비저항을 전기수직탐사를 통하여 정확하게 측정, 해석하였다. 해석결과 양극 매설 예정지는 200 $\Omega \cdot \text{m}$ 정도로 나타났다.
- (2) 외부전원공급식 심매법을 적용함에 있어 대지비저항 200 $\Omega \cdot \text{m}$ 를 적용하여 양극 1 Hole의 접지저항을 계산한 결과 약 6.6 Ω 으로 나타났다. 그러나 접지효율을 고려할 때 접지저항은 10 Ω 이상으로 나타날 것으로 예상된다.
- (3) 외부전원공급식 심매법에 대한 시공방법을 제시하였고, 향후 유지관리의 효율성을 높이기 위하여 양극 매설 안내판, 양극매설지(케이בל) 경고테이프 및 경계표식 설치 등이 필요하다.

[참 고 문 헌]

- [1] 文康贊, "노이즈 종합대책", 성안당, 1996.
- [2] 한국전기연구소, "EMI 기초연구", 1987.
- [3] 정용기, "전기설비 핵심 기초기술", 도서출판 의제, 1996.
- [4] 최홍규, "전력사용시설물 설비 및 설계", 성안당, 1999.
- [5] 유상봉, "고조파 및 noise 방지대책", 2001.
- [6] IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electric Power System, IEEE std-519, 1992.