

하남 IC 상수도관로 대지비저항 측정 및 분석에 따른 전기방식 시공방안 제시

신강욱\*, 이은춘, 홍성택  
한국수자원공사

A Proposal for Construction Plan of Electric Corrosion from Measurement and Analysis for Earth Resistivity of Ha-Nam IC Water Pipe Line

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

**Abstract** - Measurement used electrical sounding(MacOHM 2115, Japan) for grounding resistance of Jung-Bu highway Ha-Nam IC about 500m. To applied measurement method is fall of potential method and analysis earth resistivity used ESII(Electrical Sounding Interactive Interpretation) program. This result propose for construction plan of electric corrosion.

전기방식용 양극매설 위치는 일반적으로 관로에서 멀리 떨어질수록 좋으나, 부지확보의 어려움 등이 있기 때문에 통상 관로부지를 이용하고 있다. 따라서 하남 IC부근의 양극매설위치도 관로부지 위에 위치하는 것으로 하였고, 매설된 관로의 직상부를 기준으로 하였다.

또한 대지비저항의 정확한 측정을 위해서는 지표면이 형질변경 없이 본래의 토질이어야 하고 직선구간이 많을수록 좋으나 하남 IC부근의 경우 공사가 진행되는 관계로 표토층이 상당한 변화를 이루고 있었으며, 측정을 위한 직선길어도 쉽게 확보할 수 없었다. 그래서 최대한의 직선거리를 확보할 수 있는 관로 노선을 따라 그림 2.2와 같이 2개소를 선정하여 1개소는 100m, 나머지 1개소는 70m씩 양쪽으로 펼쳐서 측정하였다.

제 1 장 서 론

중부고속도로의 하남 IC 신설에 따른 수도권 상수도 관로의 이설구간이 약 500m 정도 발생함에 따라 이 구간에 대한 전기방식용 양극을 매설코자 매설 부지에 대하여 전기수직탐사기(MacOHM 2115, Japan)를 사용하여 대지비저항을 측정하였고, 다층 대지비저항 해석 프로그램인 ESII(Electrical Sounding Interactive Interpretation)을 사용하여 대지비저항을 분석하여, 적절한 전기방식의 시공방안을 제시하고자 한다.

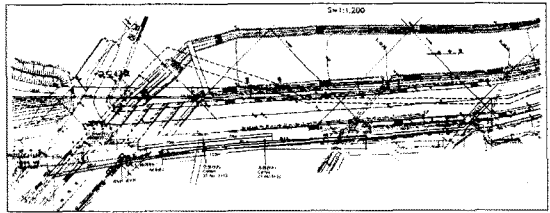


그림 2.2 측정선 포설 위치도

제 2 장 본 론

2.1 대지비저항 측정 및 해석

2.1.1 대지비저항 측정 개요

대지비저항 측정방법은 Winner 4전극법과 Schlumberger법의 혼합한 형태로 다층 대지구조의 비저항 해석을 위한 자료를 취득할 수 있다. 측정방법은 전류전극을 바깥쪽에 배열하고, 전위전극을 안쪽에 배열하여 전류의 흐르는 양을 검출, 전압강하를 측정기 자체에서 계산한다. 결국 오옴의 법칙에 의한 저항값을 표시하며, 이는 토양의 겉보기 저항값이다. 측정기기를 사용하여 대지비저항을 측정하는 방법은 그림 2.1과 같다.

대지비저항 측정에 사용된 장비는 지질탐사에 많이 이용되는 전기수직탐사기(MacOHM 2115, Japan)를 사용하였으며, 측정된 겉보기 저항값을 가지고 다층 대지비저항 해석 프로그램인 ESII(Electrical Sounding Interactive Interpretation)을 이용하여 해석하였다. 본 해석 프로그램은 Winner, Schlumberger 배열방식의 수직탐사 뿐만 아니라 임의의 전극 배열에 대해서도 충상 해석이 가능하다.

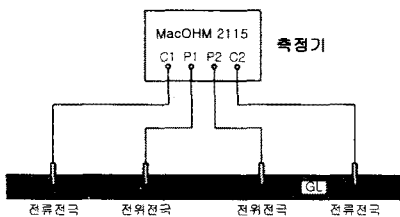


그림 2.1 대지비저항 측정 방법

2.1.2 대지비저항 측정선(#1) 측정결과

현장에서 측정된 겉보기 저항값을 대지비저항 해석 프로그램의 입력 자료로 활용하여 시뮬레이션한 출력의 결과는 그림 2.3과 같다.

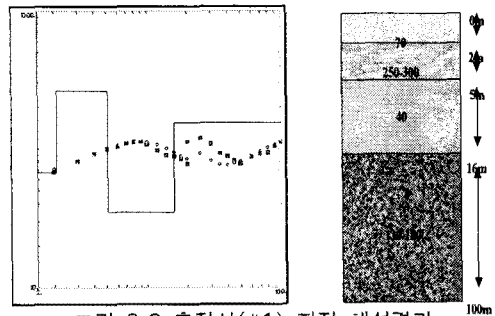


그림 2.3 측정선(#1) 지점 해석결과

그림 2.3의 해석결과에서 보는 것처럼 약 2m까지는 표토층으로 비저항이 낮고, 다음 5m까지는 비교적 비저항이 높은 자갈 섞인 모래층을 형성하고 있다. 다음 16m까지는 비저항이 아주 낮은 점토질을 형성하고 있으며, 그 이하부터 지하 100m까지는 자갈 섞인 점토질 및 암반지대를 형성하고 있는 것으로 해석되어진다.

심매법을 적용할 경우 지표면에서 약 15m 이하에 양극을 매설하므로 방식설비에 영향을 주는 비저항층은 40 Ω·m와 130~180 Ω·m부분이다.

해석그래프에서 보는 바와 같이 지표의 약 60m지점부터 비저항이 높아지는 것으로 보아 심매양극 매설 최대 깊이는 60m를 넘지 않는 것이 바람직하다.  
방식설계에서 등가대지비저항을 구하는 식은 다음과 같다.

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

여기서, d : 등가 깊이(m)  
 $\rho_i$  : i(m)까지의 비저항(ohm·m)  
 $h_i$  :  $\rho_i$ 층의 깊이(m)

양극 매설용 보링 총 깊이를 60m로 설정하고, 이중 무효깊이 15m를 제외한 유효깊이 45m를 등가깊이로 했을 때, 층별 비저항 값은 측정값의 중간 값을 식 (1)에 적용하여 계산하면 다음과 같다.

$$\rho_L = \frac{45}{\frac{1}{40} + \frac{44}{155}} = 145.7 (\Omega \cdot \text{m})$$

### 2.1.3 대지비저항 측정선(#2) 측정결과

현장에서 측정한 걸보기 저항값을 대지비저항 해석 프로그램의 입력 자료로 활용하여 시뮬레이션한 출력의 결과는 그림 2.4와 같다.

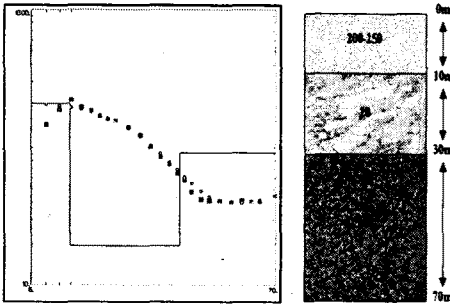


그림 2.4 측정선(#2) 지점 해석결과

측정선 #2지점의 경우 지표면에서 약 10m까지는 표토층으로 대지비저항이 높은 편이며, 지하 10m이하부터는 대지비저항이 비교적 낮게 나오고 있다.

양극 매설용 보링 총 깊이를 60m로 설정하고, 이중 무효깊이 15m를 제외한 유효깊이 45m를 등가깊이로 했을 때, 층별 비저항 값은 측정값을 직접 식(1)에 적용하여 계산하면 다음과 같다.

$$\rho_L = \frac{45}{\frac{15}{20} + \frac{30}{100}} = 42.8 (\Omega \cdot \text{m})$$

### 2.1.4 계절변동계수

측정 당시의 토양상태는 비가 많이 내린 후였고, 계절적으로도 풍수기에 해당되었으므로 1년중 대지비저항이 가장 낮게 나오는 시기이다. 그러므로 방식설계에 적용하는 대지비저항값은 반드시 계절변동계수를 적용하여야 한다.

대지비저항은 토양의 심도, 습윤상태, 염분농도 등에 따라 표 2.1과 같이 계절적으로 변화하며, 그 변화정도는 최대 2배정도 나타난다고 보고되어 있다. 따라서 대지를 대상으로 접지설비 등을 설계할 때는 계절변동계수를 적용하여야 한다.

표 2.1 계절변동계수

구 분	2,3월	1,4월	5,12월	6,11월	7,10월	8,9월
변동계수	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5

### 2.1.5 등가대지비저항 산출결과

측정 #1, 2번 지점의 대지비저항을 등가적으로 환산한 결과와 계절변동계수를 적용한 값을 나타내면 표 2.2와 같다.

표 2.2 대지비저항 설계적용 값

측정지점	해석깊이(m)	대지비저항 변동범위(Ω·m)	설계적용값(Ω·m)
측정선 #1	60	145.7~291.4	218
측정선 #2	60	42.8~85.6	64

## 2.2 전기방식 대상관로

전기방식 대상관로는 표 2.3과 같다.

표 2.3 전기방식 대상관로

구 분	관종 및 크기	시공년도
A-Line (3단계)	기존	강관 Ø1200×2350m '88년
	신설	강관 Ø1200×450m '00년
B-Line (4단계)	기존	강관 Ø800×2350m '92년
	신설	강관 Ø800×450m '00년

## 2.3 전기방식 설계

### 2.3.1 방식면적

방식면적 S(m<sup>2</sup>)의 계산은 식 (2)와 같이 계산된다.

$$S = \pi \times D \times L \quad \text{식 (2)}$$

여기서, D : 관 외직경(m)  
 L : 관 길이(m)

표 2.4 방식면적 계산 값

구 분	기 존			신 설		
	D(m)	L(m)	S(m <sup>2</sup> )	D(m)	L(m)	S(m <sup>2</sup> )
A-Line	1.219	2350	9,000	1.219	450	1,723
B-Line	0.812	2350	5,995	0.812	450	1,148

따라서, 방식면적의 총 합계는 17,866m<sup>2</sup>이다.

### 2.3.2 소요전류 밀도

소요전류 밀도 i(mA/m<sup>2</sup>)는 식(3)에 의해서 계산되어진다.

$$\log(X) = 2.7 - 0.428 \log(\rho) \quad \text{식 (3)}$$

$$\text{소요전류밀도}(i) = X(\text{mA}/\text{m}^2)$$

따라서, 관로매설주변의 평균대지비저항을 10,000 Ω·cm로 할 경우

$$\log(X) = 2.7 - 0.428 \log(10,000)$$

$$= 2.7 - 0.428 \log 10^4$$

$$= 0.988$$

$$\therefore X = 10^{0.988}$$

$$= 9.72 \text{ mA}/\text{m}^2$$

따라서, 소요전류밀도는 9.72mA/m<sup>2</sup>를 적용한다.

### 2.3.3 방식 소요전류

방식 소요전류 I(A)는 식(4)에 의해서 계산되어 진다.

$$I = S \times i \times (1 - cf) \quad \text{식 (4)}$$

여기서, i : 소요전류밀도(mA/m<sup>2</sup>)  
cf : 코팅효율

표 2.5 방식 소요전류 계산 값

구 분	기 준			신 설		
	S(m <sup>2</sup> )	cf	I(A)	S(m <sup>2</sup> )	cf	I(A)
A-Line	9,000	0.85	13.1	1,723	0.95	5.83
B-Line	5,995	0.9	0.84	1,148	0.95	0.56

따라서, 방식전류의 총 합계는 20.33A이다.

### 2.3.4 양극 Hole 및 소요량

양극의 총 소요무게 W(Lb)는 식 (5)와 같이 계산된다.

$$W = \frac{Y \times S \times I_R}{F} \quad \text{식 (5)}$$

여기서, Y : 설계수명(40년)  
S : 양극소모율(0.75 Lb/A.Yr)  
I<sub>R</sub> : 소요전류(20.33A)  
F : 양극사용률 (50%)

$$W = \frac{40 \times 0.75 \times 20.33}{0.5} = 1,220 \text{Lb}$$

양극의 소요 개수 N(개)은 식 (6)과 같이 계산된다.

$$N = \frac{W}{W_1} \quad \text{식 (6)}$$

여기서, W<sub>1</sub> : 양극 1개의 무게(44Lb)

$$N = \frac{1220}{44} = 28 \text{(개)}$$

따라서 1개의 양극 Hole에 14개씩, 2개의 Hole을 시공하면 된다.

또한 양극 1본의 간격만큼 이격하여 1개의 Hole에 14개를 삽입 할 수 있는 깊이를 산정하면 다음과 같다.

- 양극 1본 길이 : 1.52m
- 양극설치개수 : 14개
- 유효깊이산출 : 1.52 × 14 × 2 + 1.52 = 44m
- 무효 깊이 : 15m
- Hole 총 깊이 : 59(≒60m)

따라서, 양극 매설용 Hole의 총 깊이는 60m로 하고 양극매설 유효깊이는 약 45m로 하면 된다.

### 2.3.5 양극회로 총 저항

양극회로의 총 저항은 식 (7)과 같이 계산된다.

$$R_a = \frac{\rho}{2\pi L} \ln \frac{8L}{d} - 1 (\Omega) \quad \text{식 (7)}$$

$$= \frac{64}{2\pi \times 45} (\ln \frac{8 \times 45}{0.2} - 1) (\Omega)$$

$$= 1.47 \Omega$$

양극 Hole이 2개소이므로 양극 총 접지저항은 1.47/2 = 0.74Ω이다. 따라서 직류회로 저항은 전선 등의 기타

저항 0.5Ω을 합하면 총 1.24Ω이 된다.

### 2.3.6 정류기 용량 검토

정류기의 용량은 입력을 교류 단상 220V로 했을 때

$$R_c = I \times 1.5$$

$$= 20.33 \times 1.5$$

$$= 30.49 \text{ A}$$

$$R_v = R_c \times R_t$$

$$= 30.49 \times 1.24$$

$$= 37.8 \text{ V}$$

따라서 정류기의 용량은 DC 60V, 40A이면 된다.

## 제 3 장 결 론

하남 IC부근의 수도권 상수도 관로 약 2.8km구간에 대한 전기방식 설계를 위하여 대지비저항을 측정 분석한 결과는 다음과 같다.

계절변동 계수를 적용하여 등가대지비저항을 계산한 결과 측정선 #1의 대지비저항값은 218Ω·m이고, 측정선 #2의 대지비저항값은 64Ω·m로 측정선 #2가 대지비저항이 낮은 것으로 해석되었다. 따라서 양극매설위치는 측정선 #1번보다도 #2번 위치가 효과적이며, 낮은 접지저항을 얻을 수 있을 것으로 분석되었다.

또한 외부전원공급식 Deep Well Type의 방식 설계결과는 표 3.1 및 그림 3.1과 같다.

표 3.1 전기방식 설계결과

항 목	설 계 결 과
1. 양극매설부지 대지비저항	64.0Ω·m
2. 방식대상 총면적	17,866m <sup>2</sup>
3. 소요전류밀도	9.7mA/m <sup>2</sup>
4. 방식소요전류	20.33A
5. 양극 Hole	∅0.2×60 2개소
6. 양극 개수 (H.S.C.I. ∅2"×64"L)	14×2개소=28개
7. 양극회로 총 저항	1.24Ω
8. 정류기 정격	DC 60V, 40A
9. 사용 케이블	HMW PE 8~22mm <sup>2</sup>

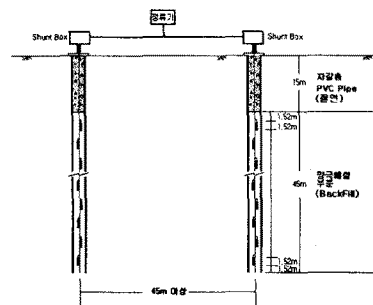


그림 3.1 심매양극 시공도면

### (참 고 문 헌)

- [1] 김성모, 이형수, "접지설계입문", 동일출판사, 1995.
- [2] "접지의 최적설계 및 최신 시공기술", 한국산업기술원, 96.
- [3] 김형수, 이기화, "대화식 방법을 이용한 Schlumberger 전기탐사 및 Magnetotelluric 탐사자료의 1차원적 해석", 대한지질학회지, 29권, 5호, pp. 493-506, 1993.
- [4] IEEE, "IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding", 1986.
- [5] IEEE Recommended Practice for Grounding of Industrial and Commercial Power Systems", IEEE, 1982.