

電氣防蝕 적용구간의 전위 미달 원인 분석

\*이은춘\*, \*류경만, \*윤한봉, \*신강욱, \*홍성택, \*\*이은웅  
\*한국수자원공사, \*\*충남대학교

An analysis on the Causes of the Under-Potential in the Electric Anti-corrosion Section

\*Eun-Chun Lee,\*Keong-Man Ryu,\*Han-Bong Yoon,\*Gang-wook Shin,\*Sung-Taek Hong,\*\*Eun-Woong Lee  
\*Korea Water Resources Corporation, \*\*ChungNam National University

**Abstract** - Along with the development of the industrial society, as the transportation of water which is the indirect capital of society and petroleum, gas, etc used as energy sources is rapidly increased, the underground material is being expanded. Like this, the pipes laid under the ground not only bring the corrosion to the land circumstances to reduce the life of the pipes, but also raise the social problem of leakage accidents and the economic loss by Pin Hole.

By reason of this, for the purpose of protecting the corrosion of the underground material, we are constructing and operating the electrolytic protection facilities. In case of a region of which specific resistance is high, however, we are not keeping proper protection potential(that is -850mV) to get protection effects.

In this study, for the water pipes that under-voltage phenomena occur in the protection potential, we made a spot survey on the under-voltage section and normal-voltage section, compared, analyzed each of the contents and examined the under-voltage causes of the protection potential.

1. 서 론

산업사회의 발전과 더불어 사회간접자본인 물과 에너지로 사용하는 석유, 가스 등의 수송량이 급증함에 따라 지하 매설물이 늘어나고 있다. 이와 같이 지중에 매설된 배관은 토양환경에서 부식을 일으켜 배관류의 수명을 단축시킬 뿐만 아니라 부식에 의한 핀홀(Pin Hole) 등에 의하여 누출사고를 일으키고 전세계 GNP의 2% 경제적 손실까지 유발한다.[1] 따라서 지중매설물의 부식방지를 위하여 전기방식설비를 구축, 운영 중에 있으나, 토양비저항이 높은 일부지역에서는 적정방식전위 -850mV 이하를 유지하지 못한다.[2][3]

본 연구에서는 방식전위 부족현상이 발생하는 광역상수도관을 대상으로 부족전위 구간과 정상구간의 현장조사를 실시하였고, 조사결과를 비교 분석하여 방식전위의 부족원인을 규명하였다.

2. 매설상수도관 방식설비 운영현황 조사

2.1 전기방식 적용

광역상수도관에 사용되는 전기방식 방법은 희생양극법, 외부전원법 및 배류법이 있는데, 주로 사용되는 것은 외부전원법이다.

외부전원법은 그림 2.1과 같이 정류기의 양(+)극은 토양에 묻고, 음(-)극은 피방식체인 배관에 접속하고 전원을 강제적으로 공급하는 방식으로서 방식법위가 넓고 출력전압을 쉽게 조정할 수 있어 장거리 대형관을 사용하는 광역상수도관에 많이 사용한다. 외부전원법은 양극의 매설깊이가 지표면에서 약 3m이내인 천매법(Shallow Bed)과 착정기(Boring Machine)를 이용하여 수십m 깊이로 구멍을 뚫어 양극을 매설하는 심매법(Deep Well)으로 분류되며, 최근에는 도지수용 등의 어려움이 있어

심매법을 많이 이용한다.

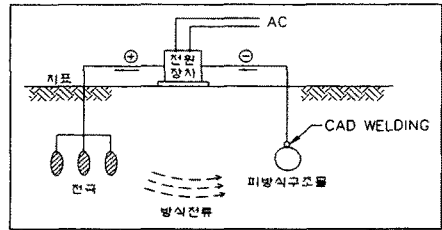


그림 2.1 외부전원법 동작원리

2.2 현장조사

(1) 조사대상

조사대상은 전주권광역상수도관로, 방식 주요설비는 다음과 같고 매설배관현황은 표 2.1과 같다.

- 방식방법 : 외부전원공급식(ICS)
- 준공년도 : 1997년
- 설계수명 : 30년(양극수명)
- 사용양극 : 고규소철(HSCI), Φ2"×L60", 44 Lbs/개
- 정 류 기 : 16개소(DC 60V, 30A)

표 2.1 광역상수도 매설배관 현황

구 분	관경(mm)	길이(m)	관종류	방식설비
도수관로	2,400	3,595	폴타르에나멜 도복장강관	외부전원식 2개소
	1,800	130		
	소 계	3,725		
송수관로	2,300	9,154	폴타르에나멜 도복장강관	외부전원식 14개소
	2,000	4,503		
	1800이하	20,807		
소 계	34,464			
총 계		38,189		16개소

(2) 방식설비 운영현황

금강광역상수도에 외부전원법의 16개 정류기를 적용한 곳은 표 2.2의 관로이고 심매법으로 양극을 매설하였다. 도수관로 시점 R01부터 송수관로 종점 R16까지 설치한 정류기의 출력현황은 표 2.2와 같고 방식전위현황은 그림 2.2와 같다.

표 2.2 정류기 출력현황

정류기	출력	정류기	출력	
도수관로 R 01	56V, 0.8A	송수관로 (A-Line)	R 09	18V, 1A
R 02	60V, 1A		R 10	14V, 1A
R 03	63V, 1A		R 11	12V, 2.5A
R 04	45V, 1.5A	송수관로 (B-Line)	R 12	18V, 6A
R 05	43V, 1A		R 13	60V, 1A
R 06	20V, 1.5A		R 14	58V, 2A
R 07	60V, 1.5A	송수관로 (C-Line)	R 15	56V, 6A
R 08	60V, 1A		R 16	16V, 5A

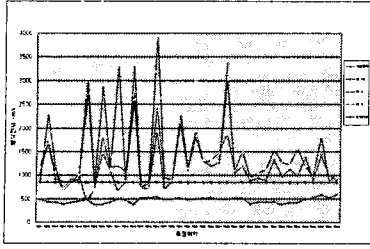


그림 22 도·송수관 방식전위 측정결과

표 2.2에서 정류기의 출력전압이 최대인 60V 탭(Tap)에서 출력전류는 1A의 낮은 방식전류가 흐름을 알 수 있다. 이런 현상 때문에 도수관로 R1~R2와 송수관로 R3~R8구간의 방식전위 분포는 그림 2.2와 같이 정류기의 배류점 부근은 최대 -4,000mV까지 상승하여 과방식이 되고, 배류점에서 멀어질수록 방식전위가 낮아진다. 이와 반대로 송수관로(R9~R12) 구간의 경우 출력전압이 낮은 상태에서 상대적으로 높은 출력전류를 송출하므로 배류점을 포함한 방식전위가 비교적 안정적임을 알 수 있다.

(3) 양극매설부지 대지비저항 측정, 비교

그림 2.2에서 도수관로 R1은 방식전위가 불안정하였고 송수관로 R12의 방식전위는 양호하였다. 이 두 지역의 양극매설부지를 대상으로 대지비저항을 측정하여 전기적 특성을 비교하였다.

① 도수관로 R1 부분

그림 2.3은 도수관로 R1부분의 대지비저항 측정결과로서 관로가 매설된 부분은 대지비저항이 2000~3000 ( $\Omega \cdot m$ )로 대단히 높게 나타났고, 양극이 매설된 부분은 200~300 ( $\Omega \cdot m$ )정도로 비정상적이었다.

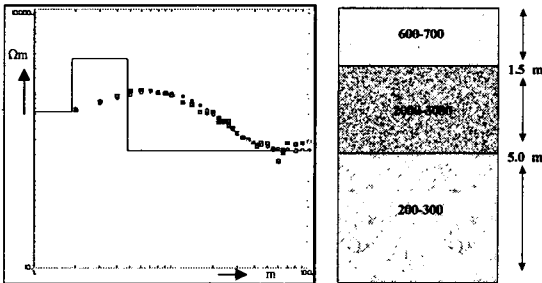


그림 23 도수관로 부분의 대지비저항 해석결과

② 송수관로 R12 부분

그림 2.4는 송수관로 R12의 만경강 부분의 대지비저항 측정결과로서 관로가 매설된 부분은 대지비저항이 20~50 ( $\Omega \cdot m$ )로 아주 낮게 측정되었으며, 양극이 매설된 부분도 비교적 낮은 80~120 ( $\Omega \cdot m$ )로 정상적이었다.

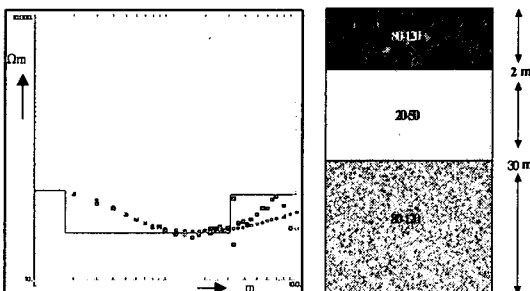


그림 24 송수관로 부분의 대지비저항 해석결과

(4) 양극의 접지저항 측정, 비교

외전원법의 심매식으로 매설된 양극의 접지저항을 측정하여 토양중에 매설된 양극이 대지와 어느 정도 접촉저항을 유지하는지 조사하였다. 측정개소는 대지비저항과 마찬가지로 불량구간 R1과 정상구간 R12의 2개소를 측정하였다.

이때 접지저항 측정방법은 국제규격[4] (IEEE std-80)에서 제시하는 전압강하법을 적용하였으며, 전류귀로전극(C2)은 양극 매설깊이 50m의 5배 이상을 유지하기 위하여 250m 이격하였다. 양극매설은 그림 2.5와 같이 정류기 1대에 양극 2홀(Hole)을 병렬 연결하여 운영되고 있었다. 그러므로 각각의 양극 홀(Hole)을 측정하고 최종적으로는 2홀을 합성하여 측정하였다.

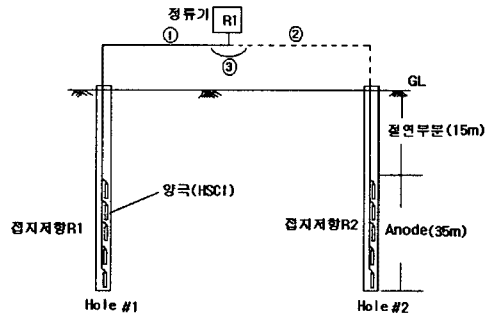


그림 2.5 양극매설현황 및 접지저항 측정방법

① 도수관로 R1 부분

도수관로 R1에 연결된 양극의 접지저항을 측정한 결과를 표 2.3에 나타냈다. 당초 설계값은 1.42 $\Omega$ 인데 실측값은 22 $\Omega$ 으로 측정되었다. 이와 같이 설계값보다 실측값이 높은 것이 방식전류를 적게 흐르게 하는 요인으로 작용되었다.

표 2.3 도수관로 R1에 연결된 양극의 접지저항 측정결과

구 분	당초설계값( $\Omega$ )	실측접지저항( $\Omega$ )
1번 양극 hole	-	49
2번 양극 hole	-	35
1 + 2번 hole	1.42	22

② 송수관로 R12 부분

송수관로 R12 부분의 접지저항을 측정하여 설계값과 비교한 표 2.4에서 접지저항은 도수관로에 비하여 낮지만 설계값보다는 높다.

표 2.4 송수관로 R12에 연결된 양극의 접지저항 측정결과

구 분	당초설계값( $\Omega$ )	접지저항( $\Omega$ )
1번 양극 hole	-	5.0
2번 양극 hole	-	3.6
1 + 2번 hole	1.42	2.4

(5) 양극 개별접지저항 측정

양극이 매설된 각 홀(hole)에서 양극 개개의 인출선은 그림 2.6과 같이 분기함(Shunt Box)으로 모아져 공통모선에 접속한 후 정류기의 (+)단자에 연결되어 있다. 따라서 지하에 매설된 양극끼리 접촉저항을 측정하여 양극과 양극사이의 도전성 충전재(Coke Breeze) 다짐상태를 알아보았다.

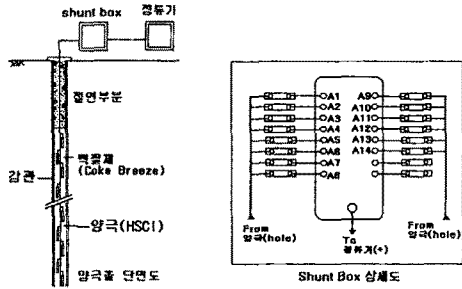


그림 2.6 양극홀 단면도 및 분기함 내부 접속도

방식전류가 작게 흐르는 도수관로 R1 부분과 낮은 전압에서도 큰 방식전류가 흐르는 송수관로 R12 부분의 분기함을 분해하여 양극과 양극사이의 접촉저항을 측정 한 결과는 표 2.6과 같다. 양극사이의 접촉저항이 낮을수록 방식전류가 잘 흘러 나가며, 넓게 분포될 수 있어 유리하지만 도수관로 R1 부분의 불량개소는 양극과 양극사이의 접촉저항이 거의 무한대를 나타내고 있다. 실제 양극 9개중에 대지와 높은 저항으로 접촉되어 있는 것은 약 3개 정도에 불과함을 알 수 있었다.

이와 반대로 방식효과가 비교적 양호한 송수관로 R12 부분의 양극사이 접촉저항은 아주 낮은 저항으로 연결되어 있었다.

표 2.6 양극사이의 접촉저항 측정값

측정단자	양극간 저항 측정값( $\Omega$ )		비고
	정상개소(12번)	불량개소(1번)	
A1~A2	1.7	5,000,000( $\infty$ )	
A2~A3	1.5	5,300,000( $\infty$ )	
A3~A4	0.8	387,000( $\infty$ )	
A4~A5	2.0	109	
A5~A6	8.5	40	
A6~A7	2.1	150	
A7~A8	2.0	4,680,000( $\infty$ )	
A8~A9	1.5	5,700,000( $\infty$ )	

이와 같이 정상개소와 불량개소의 시공방법이 동일한 데도 접지저항 차이가 발생하는 이유는 양극보호용 강관 내부에서의 충전재 채움(Back Fill)의 문제와 양극홀 내부의 지하수맥이 흘러 충전재가 유실되었을 가능성이 높은 것으로 추측된다.

### 3 현장 조사결과 종합분석

이상과 같이 전기방식의 정상개소와 불량개소를 선정하여 토양의 비저항, 접지저항 및 양극의 전류 등을 비교 분석하여 나타내면 표 2.7과 같고, 양극매설 단면도는 그림 3.1과 같다.

표 2.7 현장조사결과 종합분석

항목	정상개소 (R12번 기준)	불량개소 (R1번 기준)
대지비저항	낮다	높다
강관 접촉면적	점토질이므로 많다	암반지대로 틈새가 발생하여 적다
지하수맥 유무	점토층은 수맥이 적다	암반층에 수맥형성이 많다[1]
충진재 채움상태	유실위험이 적다	유실위험이 많다.
시일경과 효율	경과년수에 따라 안정적	시일이 경과할수록 출력전류 감소
양극접지저항	낮다(2~3 $\Omega$ )	높다(수십 $\Omega$ )
출력전류	크다(수십A)	작다(1A정도)

(1) 정상개소(R12)의 경우, 양극매설부분이 점토질이므로 대지비저항이 낮고, 지하수맥이 적어 충전재의 유실 현상이 적다. 따라서, 양극의 종합접지저항이 상대적으로 낮아 정류기의 출력전류가 원활히 흐른다.

(2) 불량개소 R1의 경우, 양극매설부분이 암반지대로 대지비저항이 높고, 강관과 대지와 접촉저항이 상대적으로 높다. 또한 지하수맥이 있을 경우 백필의 유실로 인하여 양극 사이에 공극이 발생함으로 접지저항이 높아진다. 따라서 정류기 출력전류가 원활히 흐를 수 없다.

(3) 이상의 내용을 종합해 볼 때, 외부전원법의 전기방식 적용현장에서, 출력전류를 원활히 방출하지 못하여 발생하는 방식전위 부족현상은, 양극의 접지저항이 높아서 일어나는 것으로 분석된다. 따라서 방식효율을 극대화하기 위하여, 양극 매설부지와 배관 매설부지의 낮은 대지비저항이 요구된다.

(4) 또한, 양극과 충전재를 보호하기 위하여 설치하는 강관(Steel Casing)과 양극의 접촉저항을 최대한 낮추기 위해 충전재를 삽입 할 때 주의할 요하며, 수맥에 의해 충전재가 유실되지 않도록 해야한다. 그리고 그림 3.1(c)과 같이 강관 내부공간이 협소하여 충전재 채움이 용이하지 않으므로, 매설 양극수량이 많은 경우는 착정 구멍(Boring Hole)의 직경을 크게 할 필요가 있다.

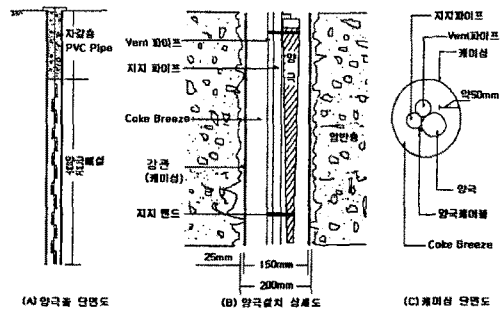


그림 3.1 강관내 양극매설 단면모형(예)

### 4. 결 론

국내 토양환경을 고려할 때 배관의 평균 매설깊이를 5m 이내라고 하면, 대부분 부식성 토양환경에 놓이게 되므로 방식설비가 필요하다. 따라서 토양의 전기적 성질을 잘 분석하여 전기방식 설계에 적용하여 양극의 접지저항을 낮추어야만 방식전류를 원활히 흘릴 수 있다.

앞으로 방식대상물이 계속적으로 늘어나고 이에 따라 전기방식설비도 늘어날 것이다. 따라서 다른 전기방식 상호간의 간섭문제와 심대법에서의 낮은 접지저항 획득 기술 등 해결해야 할 과제가 많아질 것이므로 국가에서는 이러한 현안문제를 해결할 수 있는 정책적 지원이 있어야 하겠다.

#### [참고 문헌]

- [1] 수자원연구소, "전기방식 기술지원보고서", 2000.
- [2] 한국전기연구소, "음극방식시스템", 1997.
- [3] NACE, "Control Of Pipeline Corrosion", 1967.
- [4] IEEE std-80