

전기방식 적용여부에 따른 관로 부식상태 비교 및 경제성 검토

고영환, 한호연, 정우진, 이은춘, 이인성
한국수자원공사

Corrosion Comparison in Pipeline applied to Cathodic Protection and Analysis of Economic Efficiency

Ko young hoan, Han ho yeon, Joung yoo jin, Lee en chun, Lee in sung
Korea Water Resources Cooperation

Abstract - 매설관로상의 전기방식에 대한 경제성을 비교하는 자료는 미국 루지애나주에서 실제로 방식/비방식관로를 구성하고 15년간의 데이터를 기준으로 분석한 내용이 있으나, 실제 우리나라의 대부분의 수도관은 도심지 지하에 가스관, 지중시설물 등 각종 설비와 함께 매설되어 메탈터치 및 간섭에 의한 집중부식구간이 우려되는 구간이 많을뿐 아니라 이중 관류에 의한 부식구간도 많아 외국의 데이터를 그대로 적용할수 없어 국내의 공신력있는 실험 데이터를 확보하여 구체적인 경제성을 검증하여 투자의 적정성을 확보하는데 이 연구의 목적이 있음

1. 서 론

한국수자원공사의 광역상수도 뿐 아니라 송유관, 가스관 등 국내의 주요한 매설 배관들은 의무적으로 전기방식을 수행하고 있는데, 전기방식의 효과를 전기방식 적용 관로와 비적용 관로를 대상으로 비교해보고, 본 결과와 문헌조사, 실험실적 분석을 종합하여 전기방식의 효과를 다차원적으로 검증하고자 하며, 아울러 전기방식의 경제성에 대해서도 전반적인 검토를 수행하고자 한다.

2. 본 론

매설관로에 대한 전기방식 효과를 검증하기 위하여 다음과 같은 방법을 사용하였다.

2.1 굴착을 통한 매설관 부식상태 검증

2.1.1 굴착지점 선정

굴착검사 위치는 표 1과 같이 총 12개소로 선정 하였다. 선정에 있어서는 다음과 같은 사항을 고려하였다.

- ① 방식 구간과 비 방식 구간의 배관 부식 상태의 비교
- ② 외부전원식 방식 구간과 희생양극식 방식 구간의 배관 부식 상태의 비교
- ③ 비방식 및 방식 구간 각각에서 비저항이 배관 부식에 주는 영향을 비교

여기서, 비저항 값이 10,000 이상인 높은 곳과 6,000 이하인 낮은 곳으로 구분하여 각각 굴착검사를 수행하였다

<표 1> 굴착검사 위치 선정

방식 유무/종류	관로 수도권	비저항값	지점 수
비방식 구간	1,2 단계	비저항이 높은 지역	2개소
		비저항이 낮은 지역	2개소
외부전원식 방식 구간	3,4 단계	비저항이 높은 지역	2개소
		비저항이 낮은 지역	2개소
희생양극식 방식 구간	5,6 단계	비저항이 높은 지역	2개소
		비저항이 낮은 지역	2개소

2.1.2 측정 절차

- 굴착 검사 시행시 작업 절차는 다음과 같다.
- ① 지하 배관의 위치 및 심도를 파이프 로케이터를 이용하여 정확하게 파악한다.
 - ② 굴삭기를 이용하여 굴착을 시작한다.
- 굴착시 배관의 지하매설물의 존재 유무를 자세히 살피며 주의하여 작업한다.
 - ③ 배관이 발견되면 인부를 이용하여 삽을 이용하여 배관 윗면의 흙을 조심스럽게 드러낸다.
 - ④ 배관의 피복의 손상 여부를 조사한다.
 - ⑤ 배관의 피복을 1m×1m 범위로 벗겨 낸다.
 - ⑥ 피복을 벗긴 부분의 윗 표면에 일정 간격의 격자(Grid)를 크레용을 이용하여 그린다.
 - ⑦ 각 격자별로 부식 상태 및 모든 측정 항목을 조사한다.
 - ⑧ 배관의 실제 심도를 측정한다.
 - ⑨ 조사가 끝나면 배관의 표면을 깨끗이 닦아내고 말린다음 피복을 입힌다.
 - ⑩ Cadweld를 하여 배관에 전선을 연결하고, 연결한 전선은 지표위까지 배선한다.
 - ⑪ 연결된 배선에 박막센서와 데이터 로거를 설치한다.
 - ⑫ 굴착한 토양을 굴삭기를 이용하여 다시 매운다.

2.1.3 측정항목¹⁾

- 1) 일반
 - ① 주변의 지리적인 정보 : 도로, 나무 등 → 사진
 - ② 굴착시 발견되는 돌덩이의 크기와 형태
 - ③ 노출된 배관의 정확한 상세
 - ④ 배관의 지반 형태 : eg. 콘크리트 층 존재
 - ⑤ 물 혹은 토양 오염물질 : 악취로 판단 가능(rotten egg : sulphate reducing bacteria)
- 2) 외부
 - ① 철물질(부식생성물층) 발견시 색, 대략적 두께, 제거의 용이성을 기록(굴착시 제거 유의)
 - ② 피복의 존재 유무, 형식(eg. bitumen, PE sleeve), 상태
 - ③ 피복 손상부의 크기, 비율을 기록. 피복의 박리부분 면적 기록 eg. Gc(Good condition), Da(Defect area)
 - ③ 부식 생성물을 제거하고, 부식 표면을 약어로써 상세히 기록 eg. Ac(As Cast), RBC(Roughened By Corrosion)
A1:50%Ac,50%RBC,2(pit 수),1(pit 깊이 mm)
시멘트 재질 → Am(As Manufactured), Cp(Carbonization Present)
 - ④ 손상 흔적의 존재(배관 설치시 크레인의 체인에 의해 손상 가능) eg. chain marks, casting/manufacture markings, defects
시멘트 재질 → 암갈색 피복이 설치시의 손상을 나타냄
 - ⑤ 피복과 제조 결합 사이의 상호관계와 관측가능한 부식을 기록
 - ⑥ graphitisation(흑연화)의 면적을 알기위해 금속배관을 tapping 한다. 물질의 색을 보고 속배관의 상태 정보 수집 가능.
- 3) Grid pattern의 marking
grid는 배관의 꼭대기의 선을 중심으로 나뉘어진다. 배관 길이 1m일 경우 세로측은 250mm 간격으로 4등분하고, 가로측은 2

시, 4시, 6시, 8시, 10시, 12시 간격으로 등분한다. 이 때, 배관의 직경에 따라 세로축의 간격은 달라질 수 있는데, 가능한한 정상각형이 되도록 한다. 짝수의 등분이 추천할 만한데, 그 이유는 대칭성을 볼 수 있기 때문이다.

예) 직경 : 457mm --> 둘레 : 1436mm --> 6등분 : 239mm
세로축 : 250mm

4) Pit depth 측정

depth gauge를 이용해서 pit depth를 측정한다.

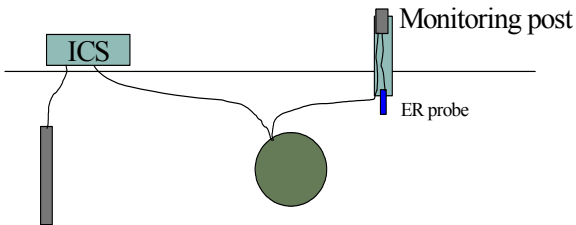
5) 초음파를 이용한 벽 두께의 결정

3개의 지점에서 측정한다.

2.2 부식속도 측정용 박막센서 제작 및 현장 매설을 통한 부식효과 검증

2.2.1 박막 센서 설치

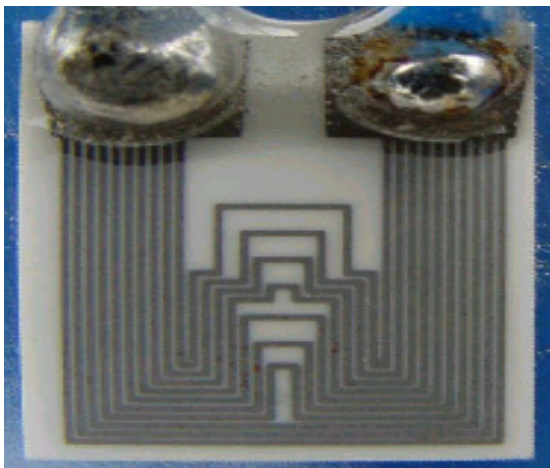
굴착검사 지점 중 9개소에는 각각 2개의 박막센서를 설치하였고 나머지 3개소에는 각각 3개의 박막센서를 설치하여 총 27개의 박막 센서를 설치하였다. 설치 방법은 그림 1과 같다.



<그림 1> 박막전기저항 센서 설치례

2.2.2 박막센서의 원리

이 방법은 금속의 부식속도를 정량적으로 측정할 때 가장 많이 사용하는 방법중의 하나인 전기저항법을 응용한 방법으로, 유사한 상용 전기저항 센서가 bulk 형태이어서 pitting 같은 국부 부식을 측정하기가 거의 불가능한데 비해 이번에 현장에 적용한 박막 센서의 경우는 그림 2와 같이 박막 라인형 센서가 병렬로 배열되어 있어 미세한 국부부식이 발생하여도 전기저항값의 변화가 조래할 수 있도록 개발된 것이다.



<그림 2> 박막형 전기저항 센서

2.3 전기화학 실험을 통한 부식/방식 효과 검증

2.3.1 전기화학실험 장치 제작

전기방식의 적용 유무에 따른 배관의 부식속도 차이 및 전기방식의 효율을 평가하기 위한 수단으로서 실험실 규모의 모사시험을 실시할 계획이다.

그림 3과 같은 시험조를 제작한 후 시험조 내에 피복손상부류 가진 배관과 양극(방식을 할 경우에 적용, 희생양극 또는 외부전원식 방식용 고구소주철양극)을 설치한 후 토양의 부식성을 모사할 수 있는 비저항을 가진 시험용액 조건하에서 부식성과 전기방식 효율을 평가할 예정이다.



<그림 3> 전기방식 효율평가용 시험조

2.3.2 시험내용

전기방식 효율 평가를 위한 모사비교시험 조건은 표 2와 같다.

<표 2> 전기방식 효율 평가 모사시험 조건

방식상태별 시험조건	
미방식 조건:	토양비저항에 따른 3종
희생양극식 방식:	토양비저항별 3종
외부전원식 방식:	토양비저항별 3종 (-1000mV 조건)
시험중 측정 항목	
배관의 부식상태(육안관찰 및 부식깊이 측정)	
ER형 박막센서를 이용한 부식속도 측정 (미방식/방식조건, 박막센서 두께별 3종)	

모사시험은 우선 미방식상태, 희생양극식 방식, 외부전원식 방식 조건에 따른 부식속도를 평가하는 것을 우선으로 한다. 각각의 조건마다 토양의 부식성을 대표하는 적도인 비저항의 차이에 따라 각각 3종씩 총 9세트의 시험이 진행될 것이다.

토양환경에서 자주 측정되는 비저항 조건인 500-1000, 1000-2000, 2000-10000Ω·cm의 세 조건의 비저항을 가진 모사용액을 제조하여 시험을 수행할 것이다.

이 시험을 통해서 전기방식의 효과에 대한 정성적/정량적 비교가 가능할 것이다. 희생양극식과 외부전원식의 효율에 대한 비교도 이루어질 것으로 판단된다.

2.4 전기방식 사례조사 및 경제성 평가

이론적이고 학문적인 관점 및 실험실 평가 결과를 보면 전기방식을 통해서 부식을 억제할 수 있다는 것은 매우 자명한 결과일 것이다. 따라서 안전성의 측면에서는 당연히 전기방식을 적용하는 것이 타당하다. 그러나 엔지니어링적인 관점에서 고려하자면 매설배관 관리의 경제성 문제를 검토하지 않을 수가 없을 것이다. 따라서 전기방식을 포함한 방식조치를 취하고자 할 때에는 반드시 경제적인 이점에 대한 사례들을 조사하여 언급하였다.

제 3 장 연구 결과 및 검토

3.1 굴착을 통한 매설관 부식상태 검증

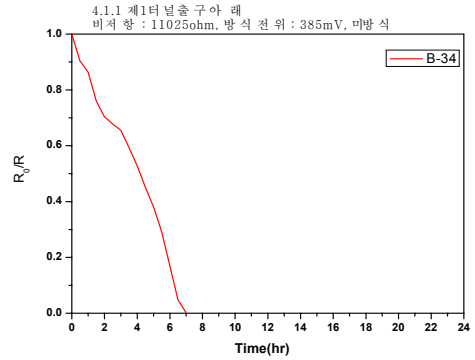
표 3에 굴착 검사 결과를 요약하였다. 전기방식 여부에 따른 배관의 부식 상태는 완전한 차이가 있음이 다시한번 검증되었다.

<표 1> 굴착검사 결과 요약

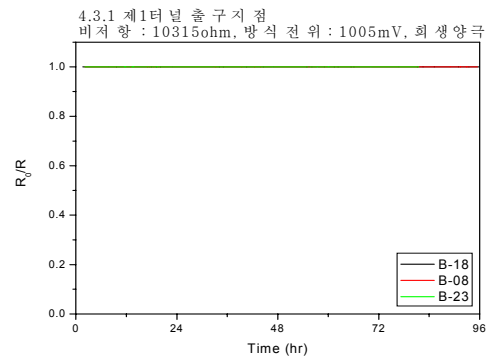
구분	검사 결과 비저항/심도/배관전위	특이점
비방식	11025/2.8m/-385mV	배관부식없음
	5377/2.8m/-492mV	배관부식없음
	16296/3.5m/-508mV	배관부식:30%,깊이:0.05mm
	5176/1.85m/-459mV	배관부식:10%,깊이:0.05mm
외부 전원	15965/1.8m/-1,050mV	배관부식없음
	3842/3.5m/-1,513mV	배관부식없음
	5404/2.5m/-1,315mV	배관부식없음
	12353/1m/-1,264mV	배관부식없음
희생 양극	10315/2.9m/-1,005mV	배관부식없음
	10059/2.5m/-1,495mV	배관부식없음
	5930/3.8m/-1,390mV	배관부식없음
	3831/3.8m/-1,268mV	배관부식없음

3.2 부식속도 측정용 박막센서 제작 및 현장 매설을 통한 부식효과 검증

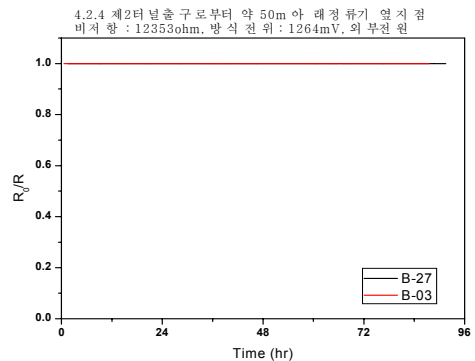
그림 4는 현장에 배관과 전기적으로 연결하여 매설된 박막센서의 응답을 나타낸 그림이다. 응답거동의 비교를 위해서 비저항이 거의 비슷한 조건에서 미방식, 희생양극을 이용한 방식, 외부전원식 방식이 이루어지는 세 가지 조건의 응답을 동시에 나타내었다.



(a) 미방식 배관



(b) 희생양극식 방식배관

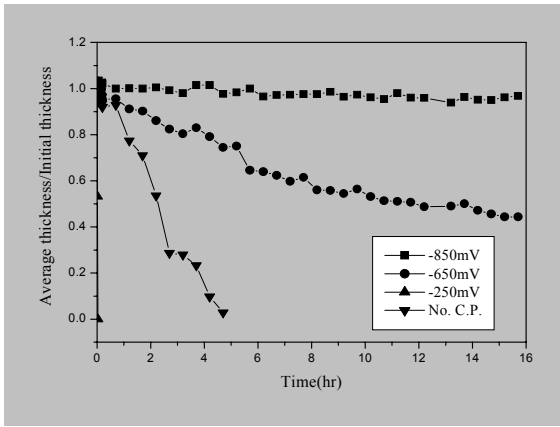


(c) 외부전원식 방식배관

<그림 4> 박막센서로 검증한 전기방식 효과

3.3 전기화학 실험을 통한 부식/방식 효과 검증

이 시험과 동시에 시험조에 배관과 함께 전기저항형 박막센서를 수용액 환경중에 노출시킴으로써 시간에 따른 부식속도의 변화값을 정량적으로 얻어낼 수 있게 된다. 아래의 그림 5는 방식 조건에 따른 박막센서의 거동에 대한 기초실험자료이다.



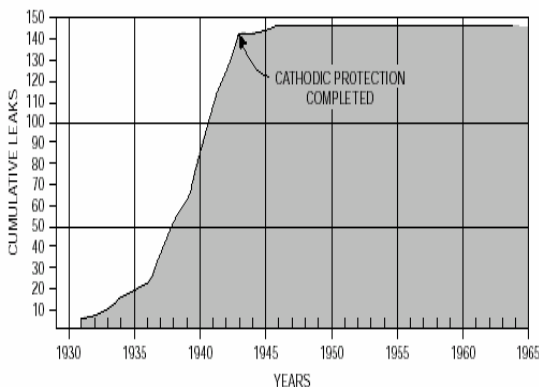
<그림 5> 박막센서를 이용한 방식전위에 따른 부식속도 측정 기초실험 결과

이 실험은 3.5% NaCl 용액 중에서 박막센서만을 노출시킨 상태에서 얻은 값이다. 그림과 같이 미방식/방식여부 및 방식전위에 따라서 박막센서의 거동이 확연하게 차이가 나는 것을 알 수 있다. 또한, 시간에 따른 평균두께의 감소곡선의 기울기로부터 평균부식속도를 구할 수가 있다. 따라서 박막센서를 이용한 시험을 통해서 배관의 부식속도에 대한 정량적인 정보습득과 잔여수명의 예측이 가능하다.

마지막으로는 세 종류의 박막센서, 즉, 두께가 다른 세 종류의 센서를 적용하여 부식속도를 측정하여 센서의 두께인자가 부식속도 측정값에 어떠한 영향을 미치는지 평가한 후 측정된 부식속도값의 보정작업을 수행, 측정된 부식속도값의 신뢰성을 높인 최종 결과를 도출할 예정이다.

3.4 전기방식 사례조사 및 경제성 평가

그림 6은 전기방식의 적용에 따른 배관 누설율의 감소를 나타내는 사례이다.²⁾



<그림8> 전기방식 적용에 따른 배관 누설 빈도의 변화

그림에서 보듯이 전기방식의 적용과 동시에 배관의 누설빈도는 약 20년 이상 거의 증가가 없는 것을 확인할 수 있다. 따라서 기술적인 면에서 전기방식의 우월성은 자명하다.

다만 이러한 경우 경제성의 측면에서는 전기방식 설치/유지보수 비용과 누설로 인한 배관 보수비용을 비교하여 경제적으로 어느 쪽이 더 유리한가를 평가해야만 할 것이다.

참고문헌

1. M Randall-Smith and so on, "Guidance manual for the structural condition assessment of trunk mains", WRC plc (1992)
2. A.W. Peabody, "Peabody's Control of Pipeline Corrosion," 2en ed. (2002)