

전기방식설비가 적용된 지하금속매설물의 수명예측기법 개발

°하태현, 김대경, 배정호, 이현구, 최상봉, 정성환
한국전기연구소

Development of a Life Prediction Technology for Underground Metallic Structures Applied Cathodic Protection System

°Tae-Hyun Ha, Dae-Kyeong Kim, Jeong-Hyo Bae, Hyun-Goo Lee, Sang-Bong Choi, Seong-Hwan Jeong
KERI(Korea Electrotechnology Research Institute)

Abstract - It is necessary to collect and analyze the corrosion data to control the underground metallic structures systematically. It can be possible to predict the remaining life of underground metallic structures. In this paper we describe the life prediction technology of cathodic protection systems and underground metallic structures without a cathodic protection system.

1. 서 론

우리사회가 1970년대 이후 급격하게 산업화, 도시화되면서 대형화된 도시기반시설들을 가지고 있으며 해마다 급격하게 늘어나고 있다. 그리고 이들은 대부분 지하에 매설되어 있으며 대부분 금속으로 되어 있어 세심한 관리가 이루어지지 않으면 부식을 하게 된다. 이러한 지하금속매설물(가스관, 송유관, 상하수도관 등)의 부식에 의한 직·간접적인 손실은 연간 GNP의 4%(1997년 기준 16조원)에 달하고 있는 실정이므로, 체계적이고 과학적인 관리기법을 구축함으로써 인적·물적 손실을 미연에 방지할 필요성이 있다.

또한 지하금속매설물의 체계적인 관리를 위해서는 부식관련 측정정보를 D/B화하고 이 정보를 분석하여 시설물의 수명을 예측할 필요가 있다.

그래서 한국전기연구소에서는 전기방식설비의 적용여부, 운용 상태 및 부식센서에 의한 부식률 데이터를 이용하여 지하금속매설물의 수명을 예측하는 기법을 세계 최초로 개발하였다.

본 논문에서는 당면구소에서 개발한 지하금속매설물의 수명예측기법과 부식센서에 의한 부식감시방법에 대하여 기술하였다.

2. 시스템 개요

그림 1은 지하금속매설물의 수명예측기법을 설명하기 위하여 당면구소에서 개발한 실시간 원격 무선 부식감시 및 방식제어 시스템을 포함한 지하금속매설물의 부식수명 예측 시스템의 일례를 나타낸 것으로서, 부식감시 단말장치, 방식제어 단말장치, 방식용 정류기 및 부식예측과 간섭해석을 위한 중앙제어장치로 구성되어 있다.

부식감시 단말장치는 중앙제어장치로부터 부식관련 데이터의 수집명령이 입력됨에 따라 지중금속매설물(방식대상물)의 임의 개소의 측정단차함(T/B)에서 기준전극(Zn 혹은 Cu/CuSO4) 대비 각각의 아날로그 전위데이터와 부식센서로부터의 아날로그 부식데이터를 검출하여 TRS(주파수 공용 통신 시스템 :Trunked Radio System) 단말기를 포함한 무선통신을 통하여 중앙제어장치에 데이터를 전송하는 기능을 수행한다.

방식제어 단말장치는 부식감시 단말장치의 기능을 포함할 뿐만 아니라 중앙제어장치로부터 방식제어신호를

입력받아 방식용 정류기를 제어하기도 한다.

방식용 정류기는 방식제어 단말장치로부터 직렬통신을 이용하여 지령을 받아, 방식 대상물이 적정하게 방식이 유지되도록 방식 전류를 지중에 매설된 불용성 양극인 HSCI(High Silicon Cast Iron)통하여 방식 대상물에 흘려주며, 국제부식엔지니어 협회인 NACE (National Association of Corrosion Engineers International)에서 권장하는 방식기준인 황산동 기준전극대비 -850(mV) 이하가 되도록 전류를 자동 조정한다.

중앙제어장치는 운영자의 요청에 따라 임의 위치에 있는 부식감시 단말장치 및 방식제어 단말장치에 부식 및 방식관련 데이터 수집명령을 TRS 통신망을 통하여 전송하고, 부식감시 단말장치 및 방식제어 단말장치에서 TRS통신망을 통해서 전송되어 온 부식 및 방식관련 데이터를 데이터 베이스화 하여 저장한다. 이렇게 저장된 데이터들은 다양한 기능의 그래픽 및 수치형태로 화면 혹은 프린트를 통하여 출력한다.

또한, 중앙제어장치는 지리정보시스템(GIS)이나 유선 또는 무선망 등을 통해 지중에 매설된 금속 구조물의 위치, 크기, 재질을 포함하는 3차원적 속성 정보와 부식감시 단말장치, 방식제어 단말장치, 방식용 정류기를 포함하는 방식설비의 각종 속성 정보와 토양의 3차원적 비저항 정보를 데이터베이스화하여 저장하고, 이 데이터베이스에 구축된 정보에 근거하여 방식대상물 또는 방식설비의 수명을 예측하고, 근접된 타 시설물로부터의 매설된 금속구조물에 대한 간섭유무를 해석하고 간섭종류를 분석하여 그 결과에 따라 예측된 수명을 보정한다.

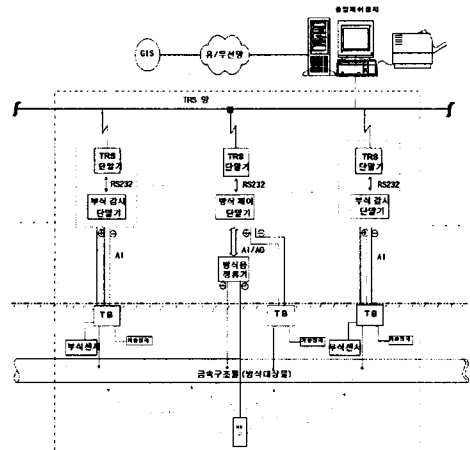


그림 1 부식수명예측시스템 구성도

3. 부식예측 알고리즘

지하매설물의 부식예측은 크게 전기방식설비 및 방식

대상물의 수명예측으로 나눌 수 있으며 타 시설물과의 간섭유무 해석이 고려되어야 한다. 전체적인 부식예측의 알고리즘은 그림 2와 같다.[1]

본 논문에서는 전기방식설비의 적용 여부와 운용 상태에 따른 지하금속매설물의 수명예측기법에 대하여 기술하고자 한다.

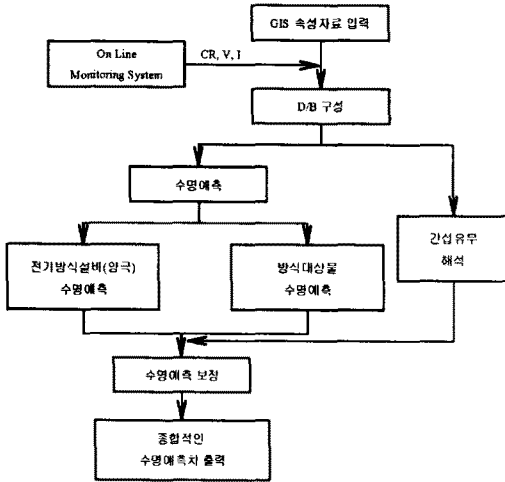


그림 2 부식예측 전체 흐름선도

3.1 수명예측기법

그림 2에서 보는바와 같이 수명예측에는 전기방식설비(양극)의 수명예측과 방식대상물(지하금속매설물)의 수명예측으로 나눌 수 있다. 그 이유는 방식대상물에 전기방식설비가 있고 그 설비가 정상적으로 동작하여 방식대상물의 전위가 방식상태(-850[mV]/CSE 이하)를 유지한다면 방식설비(희생 양극이나 외부전원용 양극)의 수명예측이 필요하며, 방식대상물에 전기방식설비가 없거나 전기방식설비가 있더라도 방식대상물의 전위가 미방식상태(-850[mV]/CSE 초과)에 있거나 방식용 정류기가 고장상태라고 판단되면 방식대상물의 수명예측이 필요하기 때문이다.

3.1.1 방식설비의 수명예측

지하매설배관의 부식방지를 위한 전기방식법에는 크게 희생양극법과 외부전원법이 있다. 전기방식설비가 희생양극법인 경우, 희생양극의 수명은 (식 1)과 같다.

$$Y = \frac{C_a \times W_i \times f}{I_i} \quad (\text{식 1})$$

여기서, Y 는 양극의 수명[y], C_a 는 양극의 전류용량[$A \cdot y/kg$], W_i 는 양극의 무게[kg], f 는 이용률(Mg의 경우 0.85), I_i 는 양극의 출력전류[A]이다.

또한 전기방식설비가 외부전원법인 경우, 불용성양극(High Silicon Cast Iron :HSCI)의 수명은 (식 2)와 같다.

$$Y = \frac{W \times f}{I_i \times C_r} \quad (\text{식 2})$$

여기서, Y 는 양극의 수명[y], W 는 양극의 무게[kg], f 는 이용률(HSCI의 경우 0.5), I_i 는 양극 발생전류[A], C_r 는 양극 소모율[kg/ $A \cdot y$]이다.

3.1.2 방식대상물의 수명예측

방식대상물의 수명예측은 방식대상물과 동일 재질의

부식센서를 동일 환경에 설치하여 주기적으로 측정된 부식률 데이터를 이용한다.

방식대상물의 부식률은 토양 환경 하에서 단위시간당 발생 부식의 양을 나타내며, 부식률 측정장치로부터 얻어진 측정 데이터들은 여러 가지 요인에 의해 오차를 포함하고 있으므로 통계적 해석에 의하여 상관관계를 분석할 필요가 있다. 본 시스템에서는 그림 3과 같이 적절한 방법으로 부식률을 예측하고, 배관의 부식여유두께를 이용하여 방식대상물의 수명을 예측하도록 하였다.[2]

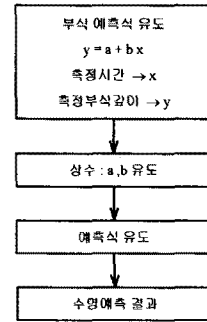


그림 3 방식대상물 수명예측 알고리즘

3.2 부식센서에 의한 부식감시방법

부식감시방법에는 전기 저항법(ER : Electrical Resistance), 선형 분극 저항법(LPR : Linear Polarization Resistance), 전기화학적 스펙트럼 분광법(EIS : Electrochemical Impedance Spectroscopy), 고조파 해석법(Harmonic Analysis), 전기화학적 잡음 측정법(EN : Electrochemical Noise), 전자기 신호 측정법(FSM : Field Signature Method), 쿠폰을 이용한 방법(Coupon), 초음파를 이용한 방법 등이 있다.

본 논문에서는 이미 상용화되어 널리 사용되고 있는 전기 저항법과 선형 분극 저항법에 대하여 고찰하였다.[3]

3.2.1 전기저항법(ER: Electrical Resistance)

전기저항법은 액체(Oil), 가스분위기에서 부식 억제제(Inhibitor) 제어에 주로 광범위하게 사용하고 있는 방법으로써, 부식으로 인한 양단저항의 변화를 측정하고 저항의 변화값을 누적 측정하여 부식률로 환산하는 방법이다. 이 방법은 시간에 따른 저항값의 기울기로부터 부식경향을 알 수 있으나, 온도변화가 심한 곳은 측정이 불가능하며 한번 사용한 센서는 재 사용할 수 없다. 또한 이 센서는 측정오차가 커서 개략적인 부식률 측정에 많이 사용된다.

이 센서의 측정 원리는 다음과 같다.

일반적으로 도체의 전기저항은 (식 3)과 같다.

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (\text{식 3})$$

여기서 ρ 는 도체의 고유 전기저항(비저항), L 는 도체의 길이, A 는 도체의 단면적이다.

(식 3)에서 도체의 전기저항은 도체의 비저항값이 도체의 합금 등의 상태에 따라 고유하게 결정되어 있으므로 도체의 길이 혹은 단면적에 따라 변한다. 따라서 저항의 변화분은 도체의 단면적의 변화에 따른 무게 감량으로 환산할 수 있다. 이 무게감량을 시간에 따라 측정하고 이를 도시하면 그림 4와 같으며 그림에서 기울기

가 부식률이 된다.

부식률을 측정하기 위한 센서는 온도에 따라 전기저항이 변하므로 이를 보상하기 위해 그림 5와 같이 기준저항을 취부하여 측정·분석한다. 즉, 전류원에서 전류를 가하고 외부에 노출된 B,C 양단전압을 측정하고, 같은 온도에서 내부에 설치된 C,D 양단의 전압을 측정하여 보상하면 온도변화에 대해 (식 4)는 일정하게 된다.

$$\frac{R_{measure}}{R_{ref}} = \frac{V_{measure}}{V_{ref}} \quad (\text{식 4})$$

따라서 (식 4)의 저항 변화분을 이용하여 무게감량, 즉 부식량으로 환산하면 온도에 무관하게 된다.

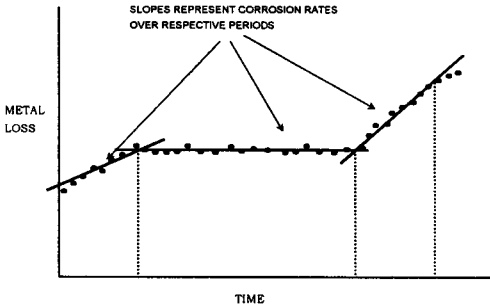
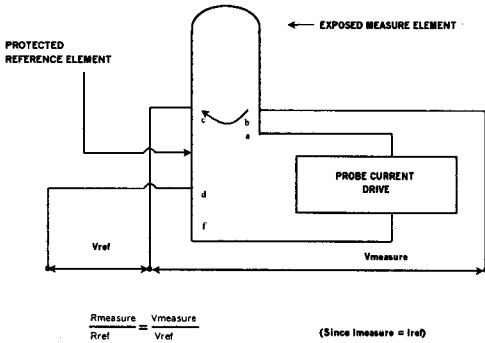


그림 4 시간에 따른 무게감량(부식량) 그래프



$$\frac{R_{measure}}{R_{ref}} = \frac{V_{measure}}{V_{ref}} \quad (\text{Since } I_{measure} = I_{ref})$$

그림 5 온도 보상용 ER 센서 개념도

상용 ER Probe의 실 예를 그림 6에 나타내었다.



그림 6 지중 매설용 ER Probe

3.2.2 선형 분극 저항법(LPR : Linear Polarization Resistance)

선형 분극 저항법은 1960년대 이후 현재까지 논문이 가장 많이 발표되고 있고, 실험실이나 현장에서 On-Line 부식 감시에 가장 많이 사용되고 있는 방법으로써, 분극곡선을 해석하여야 하므로 DC 제어기술이 핵심 기술이라 할 수 있다.

현재 상용 Probe도 많이 개발되어 있는데 처음에는 산업현장에 2-전극 Probe가 널리 이용되었으나, 최근에는 3-전극 Probe의 이용이 더 증가하고 있다.

2 전극 및 3 전극 Probe를 이용한 선형 분극 저항 측정 개념도는 그림 7과 같다.

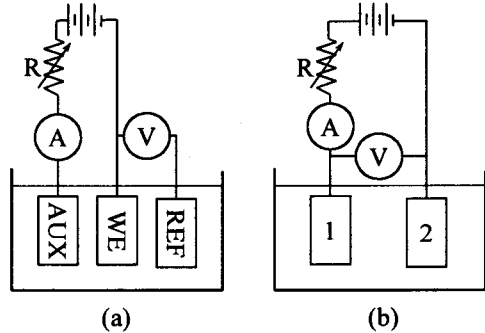


그림 7 부식측정을 위한 3-전극과 2-전극 Probe

상용 LPR Probe의 실 예를 그림 8에 나타내었다.



그림 8 2-전극 LPR Probe

4. 결 론

본 논문에서는 당연구소에서 개발한 지하금속매설물에 있어서의 전기방식설비 적용 여부, 운용 상태 및 부식센서에 의한 부식률 데이터를 이용한 수명예측기법을 제시하였으며, 아울러 이미 상용화되어 널리 사용되고 있는 부식센서에 의한 부식감시방법에 대해서도 간략히 기술하였다. 향후 현장적용을 통해 수명예측결과에 대한 신뢰성을 향상시켜 나갈 계획이다.

지하금속매설물의 수명예측기법 개발로 인하여 부식에 의한 연간 수 천억 원의 경제적 손실 감소와 지하매설물의 안전하고 효율적인 관리에 상당히 기여할 것으로 기대된다.

(참 고 문 헌)

- (1) John Morgan, "Cathodic Protection", NACE, January 1993.
- (2) "Standard Guide for Applying Statistics to Analysis of Corrosion Data", ASTM G 16-93.
- (3) "Corrosion Management Solutions", CORRDATA PLUS Manual, RCS, 1998.