

자료취득 보드를 이용한 금속의 부식율 자동 측정기술 개발

문전수*, 이재근
전력연구원 녹색성장연구소
(jsmoon@kepcoco.kr*)

Development of An On-line Corrosion Monitoring System Using A DAQ Board

Jeon Soo Moon*, Jae Kun Lee
KEPCO Research Institute
(jsmoon@kepcoco.kr*)

서론

산업체의 증기발생설비 및 냉각수 계통에서 금속의 부식 발생은 설비수명 단축과 안전운전에 지장을 초래하기 때문에 부식이 최소화되도록 화학약품 처리와 수질관리를 상시 수행하고 있다. 금속의 부식을 확인하는 방법으로는 설비 정지 후 금속표면 육안 관찰, 부식시편 질량 감소 측정, 수중 함유된 금속이온 농도 분석법 등 다양한 방법이 있으나 이러한 방법만으로는 결과 확인에 장시간이 소요되어 부식 발생시 바로 조치를 취할 수 없다는 문제점이 있었다. 단기간에 결과를 확인할 수 있는 온라인 측정방법으로는 금속선 또는 금속 박막의 전기 저항 변화 측정법과 전기화학 분극 저항 측정법이 있다. 전자는 안정적인 부식율 측정 값을 얻기 위해서는 하루 이상의 시험 시간이 필요하여 현재 거의 활용되지 않고 있고 후자는 짧은 시간에 부식율의 확인이 가능하지만 용수 전기전도도가 낮은 경우 용액 저항의 영향과 전극 표면에 부착된 반대 하전 이온의 영향으로 부식율 측정 값의 정확도가 낮다는 제약사항이 있었다. 본 논문에서는 저렴하고 주변에서 쉽게 구할 수 있는 자료취득 보드(DAQ Board)를 사용하여, 분극저항 부식율 측정 기술의 단점인 정확성 문제를 해결하기 위해 부식 전극간의 총 저항 측정단계에서 전기이중층에 의한 겉보기 부식전류 밀도 증가 원인인 노이즈 신호를 제거한 후 총 저항을 산출하고 용액 저항을 측정 후 총 저항에서 용액저항을 보정한 분극저항 값으로 부식율을 연산함으로써 측정값 신뢰도를 크게 향상시킨 연구결과에 대해 논하고자 한다.

본론

1. 이론

1938년에 Wagner와 Traud가 Mixed Potential 이론을 개발하였으며, 특히 수용액에 잠긴 두 전극 사이의 전위와 전류의 분극 곡선에서 기울기가 부식 속도와는 반비례 관계가 있다는 것을 밝혔다. 1951년에는 Bonhoeffer와 Jena가 “분극저항”이라는 용어를 $\Delta E/\Delta I$ 기울기 표현을 위해 사용하였다. Stearn과 Geary가 정량적인 분석을 위하여 상기 관찰 내용을 추가하여 부식 측정기술에 큰 진전이 있었는데, Mixed Potential 이론으로부터 다음의 Stearn-Geary 관계식¹⁾을 개발하였다.

$$\frac{(\Delta E)}{(\Delta I)} \Big|_{\Delta E \rightarrow 0} = \frac{b_a \times b_c}{2.3 i_{corr} (b_a + b_c)}$$

여기서, $\Delta E (= E - E_{corr})$ 는 부식 전위로부터 미소 전위 변화량이고 ΔI 는 전위 변화에 따른 외부 회로에 흐르는 전류이다. i_{corr} 는 부식전위(E_{corr})에서 흐르는 부식전류 밀도이며, b_a 및 b_c 는 양극과 음극 분극 곡선의 기울기로서 측정된 상수이다. 부식이 발생하지 않는 양극재료 조건하에서는 b_a 가 무한대가 되기 때문에 상기 식으로부터 다음의 상관식이

얻어진다.

$$\frac{(\Delta E)}{(\Delta I)} \Big|_{\Delta E \rightarrow 0} = \frac{b_c}{2.3 i_{corr}}$$

수중에 산소가 포화된 중성용액 조건과 같은 음극에서 산소 환산이 율속인 조건에서는 b_c 가 무한대가 되고 다음과 같은 상관식이 얻어진다.

$$\frac{(\Delta E)}{(\Delta I)} \Big|_{\Delta E \rightarrow 0} = \frac{b_a}{2.3 i_{corr}}$$

ΔE 가 10 mV를 초과하지 않는 범위에서 Stearn-Geary 상관식이 적용된다. 부식전위 부근에서 분극 곡선의 기울기는 금속 부식전류밀도에 반비례한다.

$$\frac{(\Delta E)}{(\Delta I)} \Big|_{\Delta E \rightarrow 0} = \frac{1}{R_p} = \frac{B}{i_{corr}}$$

여기서, R_p 는 분극저항($\text{ohm}\cdot\text{m}^2$), B 는 분극저항 상수(Volts), 그리고 i_{corr} 는 측정된 부식 전류 밀도(amp/m^2)이다. Faraday's Law를 이용하면 부식전류밀도로부터 금속의 부식율(mpy)를 계산할 수 있다. 다수 응용목적으로 10~50 mV 범위(대표적으로 20 mV) 내에서 B 값을 취하면 정확도가 충분한 부식율 측정 값을 얻을 수 있다. B 값을 결정하기 위한 다양한 방법이 있는데 그중 대표적인 방법은 다음과 같다.

○ 시편 질량 감소로부터 B 값을 얻는 방법

시편 질량 감소 관찰은 부식율 측정의 보조적인 방법으로 사용할 수 있다. 또한 시편 질량 감소로부터 B 값 산출을 위하여 이용될 수 있다. 그러나, 정확한 질량감소 자료가 필요하며 부식율이 낮거나 시험 기간이 짧은 경우 신뢰성이 낮아진다. 시편 질량 감소는 i_{corr} 의 적분된 결과로써 이 방법으로 얻어진 B 값은 평균 값이다.

○ 전기화학 시험으로부터 B 값을 얻는 방법

B 값이 Tafel 기울기 b_a 와 b_c 의 함수이기 때문에 실험을 통해 결정할 수 있다. Tafel 기울기는 큰 과전압을 가하여 측정하며, 훨씬 작은 분극 전압에서도 적용할 수 있다고 가정한다. 낮은 분극 전압(0~20 mV)를 이용하여 Curve Fitting방법으로 B 값을 결정할 수 있다. 이러한 방법은 비록 지루한 시험과정이 요구되지만 유용한 B 값을 제공한다.

2. 실험장치 및 방법

가. 하드웨어 준비사항

○ PC 1대

운영환경(Operating System)이 Windows XP 이상 이면서 PCI 슬롯이 있는 PC

○ 자료취득 PCI 보드 1개

LabView 소프트웨어와 호환되는 자료취득 보드로써 다음 규격의 제품

- Analog 입력채널 : 1개 채널 이상, 입력범위 ± 1.0 V 이내,
정밀도 16bits, 샘플링 속도 300 kS/s 이상
- Analog 출력채널 : 1개 채널 이상, 출력범위 ± 1.0 V 이내,
정밀도 16bits, 샘플링 속도 300 kS/s 이상

○ 터미널 블록 1개

자료 취득 보드와 호환되는 BNC형의 터미널 블록 1개

○ 표준 부식율 7종

저항과 콘덴서를 조합하여 0.5~23 mpy까지 7종의 표준 부식센서 준비

○ 기타 신호 케이블 및 BNC 케이블 1식

나. 소프트웨어 준비

- 부식율 측정 LabView 프로그램 1본
분극저항에 의한 부식율 측정 프로그램으로써 용액 저항 보정과 부식전극 금속 종류(Faraday's Law)에 따른 보정이 가능할 것
- 부식율 측정 프로그램의 주요기능
분극저항에 의한 부식율을 자동으로 측정하고 부식율 변화 추이를 화면에 그래프로써 표시하고, 일정 측정 시간 주기로 부식율 측정료들이 엑셀 호환파일로써 PC에 자동 저장됨

다. 시험방법

- 신호 케이블 연결
표준 부식 센서와 터미널 블록 사이에 신호 케이블을 연결한다. 케이블은 아날로그 출력 1채널 및 아날로그 입력 1채널의 신호를 전송할 수 있어야 한다.
- 자료취득 보드 및 부식 측정 프로그램 설치
PC 내부의 PCI 슬롯에 자료취득 보드를 삽입하고 신호 전송 케이블을 자료 취득 보드와 터미널 블록사이에 연결 한다. PC를 기동하여 부식 측정 프로그램을 바탕 화면에 복사 한다.

라. 프로그램 기동 및 부식율 측정 수행

- 부식 측정 프로그램 화면을 열고 다음을 입력하고 나서 부식율 측정을 수행한다.
- 시험명 입력, 자료 저장 위치 설정
 - 시험조건 및 측정주기 입력
 - 용액저항 보정 여부 선택
 - 부식율 측정 시작 버튼 클릭

※ 부식율 측정 주요 연산 단계 (그림 1 및 그림 2 참조)

1. 불균일(Imbalance) 전류 밀도 측정
⇒ 부식전극 사이의 미소 전류 측정 및 전극 면적으로 나누어 산출
2. 전극간 총저항 및 용액 저항 측정
⇒ 20 mV 직류 전원으로 총저항을 측정하고, 5 kHz 교류 전원으로 용액 저항 측정
3. 분극저항, 부식전류밀도 및 부식율 연산
⇒ Stear-Geary 관계식과 Faraday's Law를 이용하여 부식율 연산
4. 점식 발생 지수(Pitting Index) 연산
⇒ 부식전류 밀도에 대한 불균일 전류밀도의 비로서 점식 발생 지수 연산

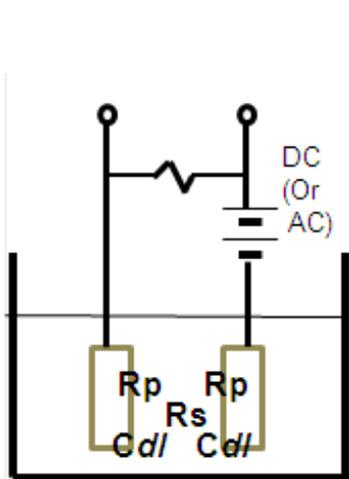


그림 1. 수용액중의 부식측정 전극 모형

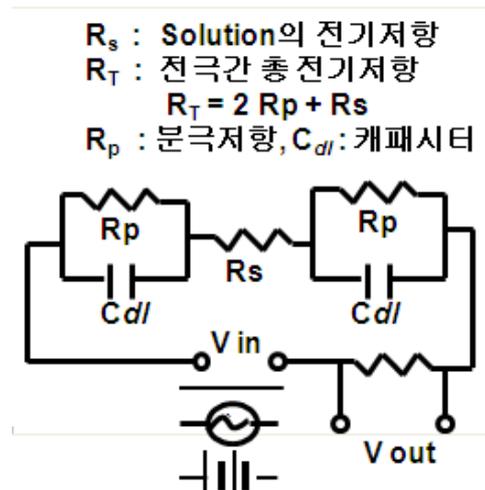


그림 2. 부식율 측정 회로 모델링

3. 결과

그림 3은 본 연구에서 개발한 부식율 측정 과정을 나타낸 것이고, 그림 4는 LabVIEW 프로그램(National Instrument Systems사)으로 개발한 부식율 측정 감시 화면을 나타낸 것이다. 분극저항에 의한 부식율 측정 방법의 오차원인을 제거하기 위하여 용액 저항을 측정하여 보정된 분극저항을 사용하였고 전극간 총저항 측정단계에서의 노이즈 신호를 제거하였다. 총저항 측정 초기 일정시간 동안의 노이즈 신호를 버리고 나머지 시간에 취득한 신호를 이용하여 부식율을 산출함으로써 그림 5와 그림 6에 보인바와 같이 표준 부식율(5.0 mpy)에 대해서 5.0 ± 0.02 mpy의 측정값을 얻어 정확도와 정밀도가 크게 개선됨을 확인할 수 있었다.

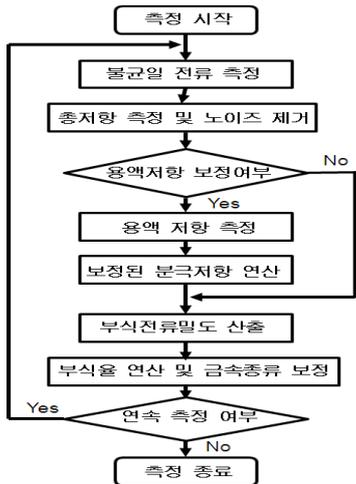


그림 3. 부식율 측정 연산과정

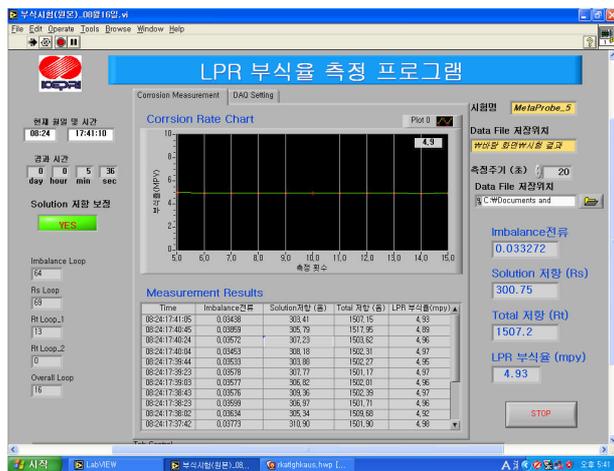


그림 4. 부식율 측정 감시프로그램 화면

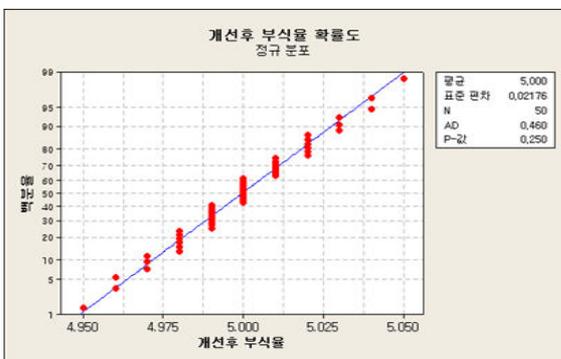


그림 5. 부식율 측정값의 정규성 검증결과

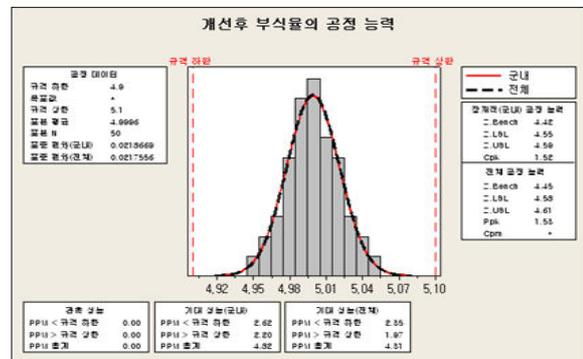


그림 6. 개발기술의 공정능력 분석결과

결론

본 연구에서 수행한 분극저항에 의한 부식율 측정기술 개발 결과를 요약하면 다음과 같다. 범용 자료취득 보드(DAQ Board)를 사용하여 부식율 측정이 가능함을 확인하였으며, 용액저항 측정 후 분극저항을 보정하고 총 저항 측정시 초기의 전기이중층에 의한 겉보기 부식 전류밀도 증가로 인한 오차 원인을 제거하기 위해 초기 노이즈 신호를 제거하여 부식율을 산출함으로써 부식율 측정값 정확도가 크게 개선됨을 확인할 수 있었다.

참고문헌

1. N.G. Thompson, J.H. Payer, "DC Electrochemical Test Methods", NACE International, p64-72 (1998).