

〈腐蝕講座〉

Ⅳ. 공정 시설에서 부식 측정

Measuring Corrosion in the Process Plant

부식시험방법이나 측정기술을 논하기 전에 부식시험이나 부식속도를 측정하는 이유를 분명하게 하는 것이 중요하다. 그렇게 함으로써 보다 최선의 방법을 강구하기가 쉽고, 실제로 시험을 할 필요가 없는 경우를 흔히 깨닫게 된다.

부식 측정의 주요 이유는 다음과 같다.

- 1) 공장시설에서 일어나는 부식탐지.
- 2) 재질에 대한 내식성 평가와 그 재질을 상차 사용할 때 환경 변화에 따르는 영향에 대한 평가.
- 3) 어떤 재료가 이미 나타난 거동을 참고로 하여 그 재료 성질의 평가.

(예 : 열처리가 바로 되었는가 아닌가?)

- 4) 부식 기구의 연구.

이런 목적을 만족시키는 부식시험은 다음과 같은 세 가지로 구분할 수 있다.

- 1) 실제공정의 유체나 자연 분위기내에서 작업시험 (service test)
- 2) 예상 용도의 조건에 가장 가까운 조건을 설정하여 행하는 유사작업시험 (simulated service test) 이 시험은 실험실에서 비이커 (beaker)를 사용하면서 시험하는 간단한 것도 있고 큰 시험공장 조작과 (test plant operation)과 같이 복잡한 것도 있다.
- 3) 시험에 사용되는 부식매질이 예상 작업 상태와 관계가 있던 없던 간에 행해지는 가속시험 (accelerated test)은 다음과 같이 세분될 수 있다.

㉠ 질 조절 시험 (quality control test) 대부분은 가속시험을 통하여 한다. 시험에 사용되는 매질은 재료의 예상작업 상태와 관계가 거의 없으나 앞으로 있을 수 시간 혹은 수일 내에 작업수행이 나쁜 것으로 간주되는 금속학적 조건 또는 표면조건을 검출할 수 있는 것이다.

㉡ 여과시험 (screening test) — 합금을 개발하거나 어떤 재료를 장차 작업시험 (service test)에 선택할 것인가 결정할 때 예상작업 환경과 비슷하나 완전히 같지 않은 분위기에서 재료의 우열을 정하는 것이 유용할 때가 많다. 예

를 들면 고습도 salt spray 분위기에서 자동차 트림 (trim)에 대한 후보재료를 시험하는 것이 보통이다. 마찬가지로 산화성이 심한 유체를 취급하는 공정에 사용될 재료는 질산과 같은 산화용액내에서 여과시험을 받는다.

㉢ 반응기구연구 여기에서 유사작업 상태의 가속화 (accelerated simulated service) — 시험조건은 예상하는 작업상태와 비슷하지만 실제로 작업할 때 일어나는 것과 같은 부식정도의 부식형태가 단시간 내에 일어나는 것과 같은 부식정도와 부식형태가 단시간 내에 일어나도록 할지 또는 그 이상의 변수를 변환시킨다. 예를 들면 부식형태를 변화시키지 않고 부식속도를 증가시키기 위해서 온도를 올릴 수 있다. 이러한 종류는 data를 해석하기에 아주 어려운 시험이다.

중량감소시험 (Weight-Loss Tests)

중량감소시험은 모든 부식시험 측정중에서 가장 보편적인 것이다. 깨끗한 질취시편의 중량을 측정하고 일정시간 동안 부식매질속에 노출시킨 뒤에 꺼내어 부식 생성물을 제거하고 다시 중량을 측정한다. 부식에 의해 일어난 금속의 손실 속도는 다음식으로 계산된다.

$$R = KW/ATD$$

여기서 R 은 부식속도, K 는 상수, T 는 정밀도가 수백분의 일시간 정도인 노출시간 hr, W 는 mg 정도 까지 정밀하게 측정된 무게 감량 g, (부식생성물을 제거할 때 동반될지 모르는 기타 무게 감량에 대한 보정이 필요하다), A 는 표면적 cm^2 , D 는 비중 g/cm^3 .

부식속도 R 을 나타내는 데는 여러가지 단위가 쓰인다. T, A, W, D 에서 앞서 말한 단위를 사용할 때 부식속도는 K 값이 다른 여러 가지 단위로 계산될 수 있다.

이들 세가지 단위로 부식속도를 계산할 때는 밀도가 필요치 않다. K 에 들어 있는 D 는 위의 부식속도 방정식에 들어 있는 D 와 상쇄된다.

Desired units	Dimensions	Constants, K
mpy.	mils/yr.	3.45×10^6
ipy.	in/yr	3.45×10^7
ipm	in/mo.	2.87×10^2
mm/yr	mm/yr	8.76×10^4
$\mu\text{m/yr}$	$\mu\text{m/yr}$	8.76×10^7
pm/sec	pm/sec	2.78×10^6
$\text{g}/(\text{m}^2)(\text{hr})$	$\text{g}/(\text{m}^2)(\text{hr})$	$1.00 \times 10^4 \text{ D}^*$
mdd	$\text{mg}/(\text{dm}^2)(\text{day})$	$2.40 \times 10^6 \text{ D}^*$
$\mu\text{g}/(\text{cm}^2)(\text{sec})$	$\mu\text{g}/(\text{m}^2)(\text{sec})$	$2.78 \times 10^6 \text{ D}^*$

만약 필요하다면 이 상수들은 어떤 단위의 부식속도를 다른 단위로 변화시키는데 사용될 수 있다. x 단위의 부식속도를 y 단위의 부식속도로 변환시키려면 ky/kr 를 곱하면 된다. 예를들면 $R=15\text{mpy}$ 일 때, pm/sec 단위로는

$$15 \left(\frac{2.78 \times 10^6}{3.45 \times 10^6} \right) = 12.1 \text{ pm}/\text{sec} \text{ 가 된다.}$$

미국에서는 부식속도를 보통 mils/yr 단위로 측정한다. mpy 를 다른 단위로 고치는데는 Table 1 를 참조하면 된다.

Table 1 Conversion of corrosion rates units.

Given units	Dimensions	Multiplier to convert to mpy mils/yr
ipy	in/yr	1,000
ipm	in/mo	12,000
mm/yr	mm/yr	339.4
$\mu\text{m}/\text{yr}$	$\mu\text{m}/\text{yr}$	0.037
pm/sec	pm/sec	1.24
$\text{g}/(\text{m}^2)(\text{hr})$	$\text{g}/(\text{m}^2)(\text{hr})$	$345/9^*$
mdd	$\text{mg}/(\text{dm}^2)(\text{dmy})$	1.44/9
$\mu\text{g}/(\text{m}^2)(\text{sec})$	$\mu\text{g}/(\text{m}^2)(\text{sec})$	1.24/9

시험 및 시험지지물(Test samples and Their supports)

부식시험시험에 대한 표준규격은 없다. 시험은 보통 10g 에서 50g 정도를 표면적대 질량의 비가 큰 것이 좋다. 가장 보편적으로 사용되는 시험은 원판(직경 3/2 in, 두께 1/8in)이나 이와 비슷한 크기의 정사각형 직사각형 시험이다.

시험목적에 따라 시험의 표면처리를 여러가지로 할 수 있지만 기계연마나 120grit 로 polishing 하는 것이 보통이다. 시험의 가장자리에는 잘른 흔적이 남아서는 안 되고 깨끗해야 하며(특히 시험하고자 하는 목적의 일부가 아니라면 열처리 등에 의한 scale 이 남아 있어서는 안된다) stamping 하여 각시험을 구별할 수 있어야 한다.

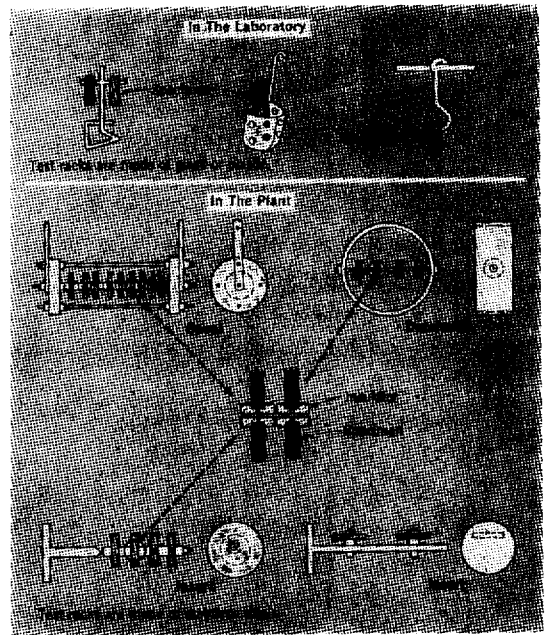


Fig. 1 Methods of supporting samples for corrosion tests show how coupons are isolated from each other and test holder.

시험중에 시험을 지지하는 몇가지 방법이 Fig. 1 에 나타나 있다. 공장에서 시험할 때는 시험대(test rack) 를 써서 시험은 견고하게 고정시키고 다른 시험과 시설물 자체로부터 분리시키는 것이 보통이다. 이와같이 시험대를 쓰면 금속선이나 프라스틱 테이프 등에 시험을 걸어 놓기에 좋다. 프라스틱테이프를 쓸 때 시험을 잃어 버리는 경우가 가끔 있어 시험 도중에 그 위치가 불확실하게 된다. 이렇게 되면 다른 시험의 결과나 앞서 얻은 자료등과의 비교가 어렵게 된다. 부식시험은 일반적으로 Fig. 1 에서 보는 바와 같이 부식매질속이 담겨 놓고 수행된다. 열전달 용도로 쓸 재료를 평가할 때 이러한 방법은 만족스럽지 못하다. 금속열전달체의 표면의 온도는 용액자체 내의 온도보다 훨씬 높다.

이러한 조건하에서는 일반적으로 열전달체로 작용하는 금속 부식속도가 같은 금속이 용액내에서 갖는 부식속도보다 높다. 열전달 상태하에서 부식시험에 유용한 방법이 따로 있는데 Fig. 2 에는 한 전형적인 장치의 나타나 있다.

중량감소 부식시험에 특히 몇부칠 점은 가능하면 언제나 시험을 관찰하라는 것이다. 부식생성물이 표면에 있는 상태에서 부식속도를 계산해서는 안된다. 시험을 시험전에 그리고 세척과정에도 주의 깊게 조사해야 한다. (속안으로 보는 동시에 10 배의 15 배로 확대해서

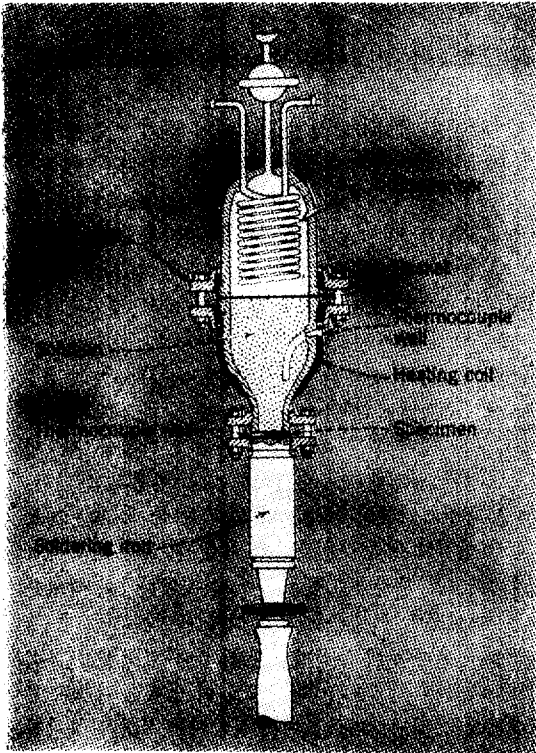


Fig. 2 Heat transfer corrosion testing.

좋다) 핏팅, 입계부식, 응력부식균열(시편을 구별하기 위하여 stamping 한 주위에서 흔히 발견 된다). 같은 국부부식의 존재여부를 살펴야 한다.

국부부식이 존재하면 균일부식 속도를 계산하기가 곤란하므로 다른 시험방법이 모색되어야 한다. 시편을 검사하면 검사할수록 여러가지 국부부식이 서로 혼합하여 존재하는 것을 발견할 기회가 많아 지고 따라서 부정확하게 계산된 부식속도를 확인할 기회가 많아 진다.

국부부식(Localized Corrosion)

국부부식을 측정하는 것은 쉽다. 여기서 우리는 입계부식, 핏팅, 틈부식 및 전기부식을 연구하는데 사용하는 몇가지 방법을 논하고자 한다.

입계부식을 조사하는데 사용되는 기술은 침식의 정도에 따라 달라진다. 입계부식이 없는 것을 확인하기 위하여 금속현미경으로 준비 연마된 단면이 필요하다. 육안으로는 보이지 않으나 상당한 입계침식이 존재할 지도 모르기 때문이다. 연마된 시편의 표면에서 입계가 완전히 침식당하였을 때는 grain 들은 서로 떨어져 나가게 된다. 이런 상황은 지배율(10~20X) 현미경조차도 볼 수 있으며 입도가 크면 육안으로 볼 수 있다.

심하게 침식된 시편은 표면의 grain 들이 느슨하게 떨어져 있어서 마치 실탕을 만지는 것 같이 느껴질 것이다. 중량감소 측정이 입계부식을 검사하는데 사용될 수 있지만 입계에서 용해된 금속량이 깊은 침식을 당했을 때도 미소량이므로 만족스런 방법은 되지 못한다. 입계부식으로 다수의 grain 들이 시편에서 완전 고립되어 떨어져 나갈 때에 중량감소 측정방법이 의의 있게 된다. 전기 저항의 측정도 입계부식을 연구하는데 사용될 수 있다.

핏팅부식시험은 일반적으로 완전히 정량적이 아니고 육안 또는 기껏해야 배율 15X정도로 핏트의 위치, 모양, 수, 크기를 알아 보는 것이다. 중량변화측정 역시 자주 이용된다.

핏트는 지배율로 표된점사를 할 때 눈에 띄이지 않을 때가 있으므로 중량변화에 의하여 핏팅부식을 예측한다는 것은 표면으로 부터 심하게 밀으므로 핏팅이 타들어 갈 때가 있으니 중량감소측정으로 이를 알게되고 검사가 필요함을 나타내 준다.

핏트의 개수와 중량감소를 함께 측정하면 핏팅 감소율을 계산할 수 있을 것이다. 이것은 핏트가 모두 기

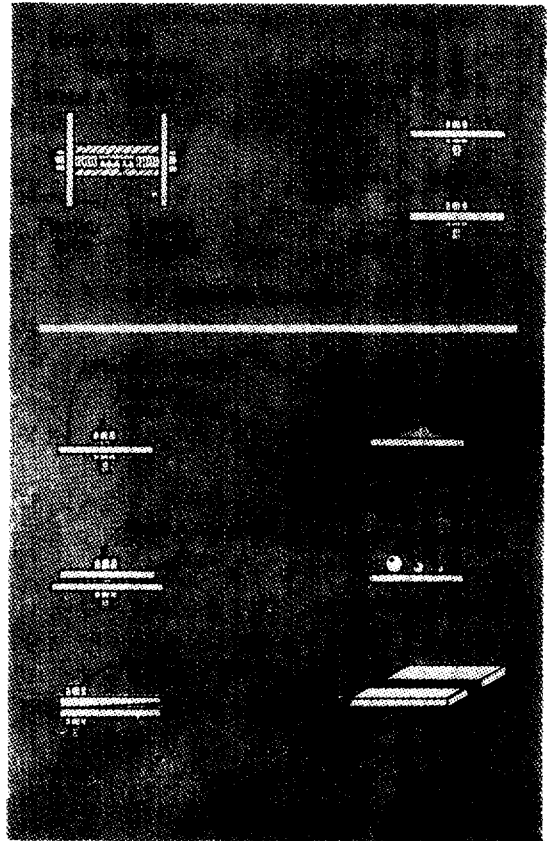


Fig. 3 Techniques to evaluate corrosion.

의 같은 크기일 때 아주 의의가 있다. 실제적 면에서 볼 때 핏팅깊이의 측정은 주요하다. 핏팅에 대한 저항성을 평가하는데 이용되는 전기화학적 방법은 이전에 논했던 것처럼 합금개발과 합금을 비교하는데 유용하다. 분강좌의 뒤에 선형분극에 대하여 논한 것을 참조하기 바란다.

틈부식과 전기부식은 둘 다 Fig. 3에서 몇가지 보인 것처럼 특수한 시험시편의 제작이 필요하다. 이에 대한 부식시험 결과에 대한 평가는 일반적으로 정성적이지만 증량감소측정을 행할 수 있다.

전기저항에 의한 부식시험기술 (Electrical-Resistance Technique)

만약 부식시험표본이 가는 선이나 얇은 판상이면 부식때문에 단면적이 감소함에 따라 전기저항이 증가할 것이다. 그러므로 시편의 양끝의 전기 저항을 주기적 또는 지속적으로 측정하면 부식의 탐지에 이용될 수 있다. 전기저항의 측정은 부식반응의 전기화학과는 아무런 관계가 없고 단지 시편의 단면적 감소에 관계하는 성질은 이용하여 측정하는 것이다. 이 방법은 뒤에 논하게 되는 분극저항(polarization-resistance) 방법과 혼동해서는 않된다.

전기저항 측정기술의 이점은 아래와 같다.

- 1) 부식측정은 시편을 관찰하거나 제거하지 않고 행할 수 있다.
- 2) 부식측정을 수분내에 제빨리 또는 지속적으로 행할 수 있다.
- 3) 부식속도가 갑자기 증가하는 것을 탐지할 수 있다. 그때는 때때로 부식속도를 감소시키는 과정으로 변경시킬 수 있다. 부식속도가 반응 단계에 의존할 때는 반응이 완결되는 과정을 추적할 수 있다.
- 4) 부식매질이 전해질 용액일 필요가 없다. (사실 액체일 필요가 없다).
- 5) 증량감소법으로서는 오랜 시간이 걸릴지도 모르는 낮은 부식속도를 탐지할 수 있다.
- 6) 시판되는 측정기기를 구할 수 있다.

전기저항법을 사용할 때 제한점들은 아래와 같다.

- 1) 일반적으로 균일부식측정에만 사용이 한정되어 있다. 입체부식 측정에서 성공적으로 사용된 예가 있기는 하지만 국부부식측정에는 만족스럽지 못하다.
- 2) 보통부식시험시편보다 시편을 만들기 훨씬 어렵고 기성품을 구입하지 않으면 않된다.
- 3) 시편 위에 전도성 부식생성물이 형성될 때 틀

린 결과를 나타낼 수 있다.

전기화학적 부식시험 (Electrochemical Tests)

전기화학적 시험방법은 실험실에서 특히 반응기구연구와 합금개발연구를 행할 때 매우 유용하다. 이들은 앞서 부식강좌(부식학회 제 2권, 제 3호 p123~129)에서 논했으며 이 부식강좌 연재를 전기화학적 분극에 대하여 논하게 될 때는 항상 이 강좌를 참조로 할 것이다. 이들은 앞으로 기술하는 바와 같이 공장에서의 부식측정에서 역시 유용하다.

선형분극(혹은 분극저항) 기술을 사용하면 단시간동안에 예비측정없이 부식속도를 알 수 있다. 1950년 중반기에 발견되어 과거 5년동안 눈부신 발전을 한 이 방법은 현재 공장에서 부식탐지에 널리 이용되고 있다. 상업용 측정기들이 개발되어 있고 이들 중 몇가지는 mils/yr 단위로 직접 부식속도를 읽을 수 있다. 원한다면 만 연속적으로 부식속도를 기록할 수도 있다. 이 방법은 부식이 전기화학적 성질을 갖고 있다는 것에 기초를 두고 있으며 원리는 이 부식강좌 part 3에 실렸다. (부식학회지 제 2권 제 3호 p123~129) 이 방법은 다음과 같이 요약될 수 있다. 자유로이 부식당하는 시편의 부식전위를 mV(보통 10mV) 변화시키는데 필요한 부하전류의 양을 측정한다. 이 전류는 시편의 부식전류 즉 부식속도와 관계가 있다. 만약 금속의 부식속도가 빠르면 부

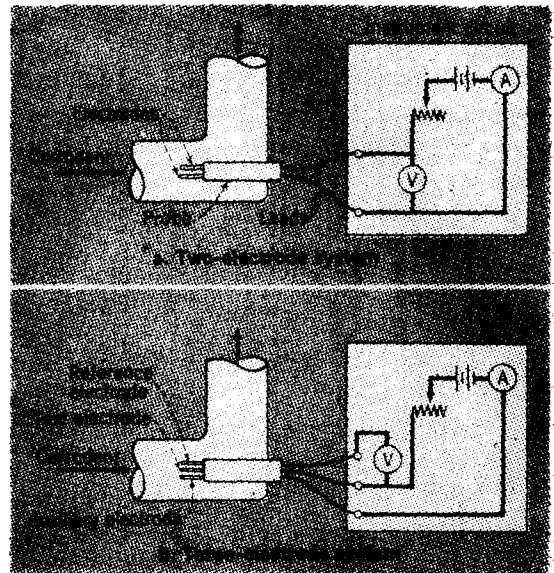


Fig. 4 Systems use linear-polarization technique to measure corrosion rates in actual process streams.

식 전위를 변화시키는데 큰 외부 전류가 필요하고 그역도 또한 그러하다. 이제 시판되고 있는 여러가지 측정 기구와 그 응용, 이점, 제한점 등을 논하겠다.

측정장치는 Fig. 4에 도시한 바와같이 네가지 기본 요소로 구성되고 있다.

- 1) 전극, 시험전극과 표준전극(reference electrode) 또 어떤 경우는 보조전극(auxiliary electrode)
- 2) 프로그(probe) 시설물 내부에 있는 부식 물질 내에 담겨 있는 전극과 리드 전선(electrical lead)을 연결한다.
- 3) 리드 전선프로그와 전원 및 기구관을 연결한다. 길이는 경우에 따라 2~3 피트 또는 수 마일이 될 수 있다.
- 4) 제어계(control system) 전원(전지), 전류계, 전압계, 기구관 등, 시판측정 기구에는 물 내지는 세계의 전극이 있다. 또 세계의 전극계 가운데도 여러 형이 있다. 기구의 응용과 사용상 제한점은 이들 전극계(electrode system)에 크게 관계가 있다. 이제 이에 대하여 좀 더 상세하게 설명한다.

2 전극계(Two-Electrode System)

2 전극계의 경우 (Fig. 4a) 약 20mV 정도의 작은 전위차가 두 전극 사이에 부과된다. 이때 한 전극에는 약간 양극반응이 증가되고 다른 전극에는 다소 음극반응이 일어난다. 두 전극사이의 전위차 때문에 용액을 통하여 미소전류가 흐르게 되고 이 전류가 측정된다. 이 전류는 자유로 부식당하고 있는 계의 부식전류(그리고 부식율)에 비례한다. 우리가 이 전류를 부식속도에 이용할 때 산출되는 부식속도는 다음 2가지 주요 원인 때문에 부정확할지도 모른다.

- (1) 전류는 두 전극사이에 용액의 저항을 극복하며 흐려야 한다. 만약 이 저항이 높다면 흐르는 전류는 감소되고 따라서 실제보다 낮은 부식속도를 나타낸다. 만약 우리가 부식매질의 저항의 근사치를 만나면 기구에 부착된 보정표(calibration chart)를 써서 보정할 수 있다.
- (2) 두 전극이 모두 자유스럽게 부식당하고 있을 때 두 전극사이에 전위차는 존재하지 않는다고 가정되고 있다. 실제로는 반드시 그렇게 되지 않을지도 모르므로 이 문제를 극복하기 위하여는 부과전기의 극성을 바꾸어 전류를 다시 측정한다. 두 전류의 평균치가 표로부터 부식속도를 구하는데 이용된다.

3 전극계(Three-electrode System)

3 전극계 (Fig. 4b)에서는 2 전극계에서 전류 때문에 야기 되는 첫번째 부정확성이 최소화 된다. 전류는 보조회로를 통하여 시편과 표준전극 사이에 전위차가 10mV 가 되도록 흐른다. 이때 자유로이 부식당하고 있는 표준전극은 시편전극과 같은 재료이고 똑같은 표면처리를 받은 것이다. 이 전극계로 부정확성을 극복하지 못하고 표준전극과 시편전극이 자유로이 부식당하고 있을 때에 두 전극 사이에 전위차에 대한 보정을 위하여 극성을 바꾸는 일이 필요하다.

3 전극계를 더욱 개량하면 위의 두번째 부정확성은 피할 수 있다. 전위회로에 0점 조절장치를 설치하면 표준전극과 시편전극 사이의 어떤 전위차도 측정점에 제거할 수 있다. 그리하여 10mV의 변화를 주도록 전류를 부과하면 시편전극의 전위변화는 꼭 10mV가 된다. 원한다면 두 전극사이의 어떤 전위차라도 측정할 수 있다. (다음의 pitting 계산을 보라) 이 3 전극계 측정기로 역시 mils/yr 단위의 부식속도를 알려 준다. (원하면 기록도 가능하다) 기구관은 탄소강에 대하여 보정되어 있다.

다른 재료를 시험할 때도 전기화학적 성질이 다른 것에 (예를 들어 Tafel 기울기) 대한 보정을 하여 주기 위하여 크기가 다른 시편을 반드시 사용하여야 한다.

응 용(Application)

전형분극측정은 실험실이나 현장에서 부식검사에 이용되고 후자의 경우에 더욱 관심이 집중되고 있다. 측정이 행하여 지기 전에 부식반응이 평형에 도달되도록 하는 것이 반드시 필요하다. 이것은 수분 내지 수시간 걸린다. 평형에 도달된 뒤 분극측정은 간격을 두고 행해지며 일반적으로 각각의 측정에서 수분동안 전류를 부과하여야 한다.

이 측정기술의 공장에서의 응용은 petroleum water floods, 냉각수처리, pickling, oil-well acidifying, 화학제척과정 등에서이다.

이 방법은 특히 부식억제제 연구에 유용하다. (즉 부식억제제의 선택, 첨가량, 첨가시기, 첨가방법, 첨가장소 등을 결정하는데) 측정기술의 민감도에 대한 한 가지 예를 Fig. 5에 실었다.

이 기술은 주로 균일부식에 대한 조사에 관련되어 있지만 피팅과 같은 국부부식에 대한 민감도를 평가하는데도 사용되어 왔다. 이와 같은 평가가 가능하다는

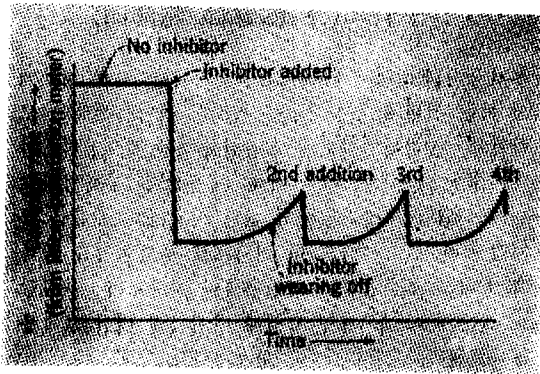


Fig. 5 Chart shows monitoring by linear-polarization probe of the effects of inhibitors in plant streams.

것은 양극면적과 음극면적이 불균일하게 분포를 보일 때 핏팅이 일어난다는 사실에 근거를 두고 있다. (핏팅(pitting)은 고립된 양극이다). 두개의 자유로운 부식당하는 전극이 동일상태에서 전위차를 가지면 양극면적과 음극면적의 분포가 있다는 것을 나타내며 핏팅(pitting)이 일어나고 있음을지도 모른다는 것을 알려 주고 있다.

이 전위차는 여기에서 기술된 모든 전극계로 측정 가능하다. 일정한 두 개의 동일한 전극이 부식당하고 있을 때 두 전극사이에 전위차가 크면 황수속 이들 전극에 핏팅이 발생하고 있을 가능성은 더욱 크다. 선형분극측정을 핏팅(pitting) 연구에 이용하여 성공적이었다고 주장하는 데가 몇가지 있지만 실명성이나 응용범위를 확정하는 데는 좀더 경험이 필요하다.

선형분극측정은 Table 2에서 보는 바와 같이 정점과 단점이 있다. 정점이 단점을 분명히 증가하고 있어서 최근에 이 기술은 대단히 환영을 받고 있다. 이것은 이 방법이 간단하다거나 번사능통이라는 것은 아니다. 프로그(probe)를 어디에 어떻게 놓는가의 지식과 결과를 어떻게 설명해야 하는가가 최종의 사용을 위해서는 필요불가분하다.

시판되고 있는 기기의 개선, 좀더 직독(direct-reading) 할 수 있는 기기, 보다 간단하고 편리므로 사용될 수 있는 프로그(probe) 그리고 국부부식을 예측하는데 보다 나은 실험정을 기할 수 있는 기기등이 앞으로 기대된다.

이 부식장치의 다음 장에서는 응력부식 균열에 대하여 시험방법과 시험 data 해석을 포함하는 상세한 해설을 실겠다. 또 용접부위에서의 국부부식, 고온 산화, 비파괴시험, 부식 data 를 사용하는 것에 대하여

설명하겠다.

Table 2 The measurement of corrosion rate by linear polarization

Advantage

1. Corrosion rate can be measured instantaneously at any time once equilibrium conductions are reached
2. Test specimen does not have to be seen or removed to make the measurement The instrument and control panel can be remote from the specimen.
3. Process changes can be followed and the process changed accordingly because rate is measured instantly and at any time
4. Low corrosion rate (<1mpy> or high (1.000mpy or more) can be measured
5. Direct reading and recording is possible
6. Commercial instruments are available

Limitations and Cautions

1. Corrodent must be a liquid electrolyte method is no good in grass or low conductivity liquids such as hydrocarbons, Three electrode systems need a resistivity less than about 10⁶ ohm-cm wheareds the two electrode units require a resistivity less than about 10⁵ ohm-cm
2. Corrosion rate R, is calculated from

$$R=KI$$

K is built the system or calibration charts are used K can vary with time in a corrodent, and result in errors since K also varies with the material being used the method is restricted unless calibration charts or different sized specimes are used for different material

3. uniform corrosion is usually indicated although some progress has been made in predicting pitting
4. short-circuiting of electrodes with corrosion produce, Solids in process stream etc, must be avoided
5. Probe positioning must be done with care e. g. in a flowing corrodent, avoid shadowing of the electrode by another make sure electrodes are completely submerged in the liquid be wary of using probe data from one portion of a system to assess condition in another portion