

# 국부부식의 종류와 발생원인

글/김영호 전무이사, <정우금속공업(주) 기술사>

## 목 차

1. 전식(電蝕)
2. 극간부식과 점식
3. 입계부식, 선택부식, 응력부식
4. 접촉부식

## 1. 전식(電蝕 · Stray Current Corrosion)

### (1) 원인과 실례(實例)

직류전기가 원인이 되어 발생하는 부식을 전식이라고 부른다. 즉 외부의 직류전원(直流電源)으로부터 흘러나온 전류(放電流, Stray Current)가 어떤 배관 계통이나 금속재 구조물에 유입되고, 다시 전원으로 되돌아 가는 전기적인 회로를 형성하므로써 전류가 흘러 나가는 쪽의 금속, 곧 양극이 되는 금속이 부식되는 현상이다.

직류 단가공선식(單架空線式)의 전철레일에서 누출된 전기에 의하여 지중에 매설된 상수도나 도시가스 배관 또는 철재말뚝 같은 금속구조물이 부분적으로 부식되는 현상이 전식의 대표적인 예에 속한다.

교류(交流) 전기는 +와 -가 교체되므로 전류 방향의 평균은 항상 0이다. 따라서 교류전기는 부식문

제에 관한 한 직류보다 안전하다.<sup>주1)</sup>

### (2) 방전류(放電流 · Stray Current)의 형태

동적(動的 · Dynamic) 방전류와 정적(靜的, Static) 방전류의 두 종류가 있다.

광산에서 광물을 실어 나르는 운반시스템(Tram-car)이나, 용접공장에서 많이 사용되는 직류기기가 있는 곳의 주변에 존재하는 전류가 동적 방전류이며, 음극보호장치(陰極保護裝置 · Cathodic Protection)<sup>주2)</sup>나 교압의 직류변압기 등이 설치되어 있는 곳의 주변에 존재하는 전류가 정적 방전류이다.

광산의 구조물이 쉽게 부식되는 현상, 공장의 변전실 주변에 세워진 철재웬스가 설치되지 얼마않되 심하게 부식되는 현상 등, 과거 당연한 일로, 어쩔 수 없는 일로 보아 왔던 많은 것들이 바로 전식인 것이며, 이러한 원인을 이해하므로써 조절방법 또한 이해가 가능해 진다.

주 1) 문헌 1. 2.

주 2) 다음호의 부식조절법에서 상세히 다룬다.

**(3) 전기작용에 의한 부식정도**

전기가 원인이 되어 발생하는 금속의 부식감량 즉 부식률은 직접적으로 양극금속의 표면에 남아 있는 전류의 양에 의하여 계산할 수 있다. 이 전류의 양은 양극과 음극 금속간의 전위차(電位差)와 전기적 폐회로 내 저항과의 항수이다. 즉 전압을 E(V, mV), 저항을 R(Ω)이라 하면 전류 I(A, mA)는 (식 1)과 같이 표시된다.

$$I = \frac{E}{R} \dots\dots\dots (식 1)$$

전류는 전압에 비례하고 저항에 반비례 한다. 이것이 옴(0 hm)의 법칙이다.

주어진 전류가 있을때 금속의 부식률은 파라데이 법칙(Faraday's Law)에 의하여 계산된다.

전기화학적으로 환산된 금속의 중량을 K, 전류를 I, 시간을 t라 하면, 금속의 부식감량 W는 (식 2)와 같이 표시된다.

$$W = KI t \dots\dots\dots (식 2)$$

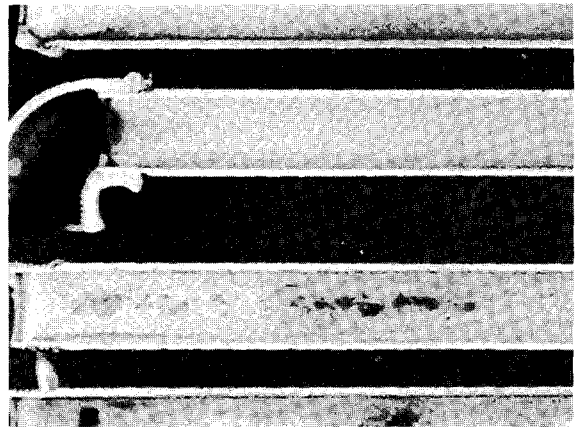
실무적으로는 대개 1년에 1암페어의 전류가 흐를 때 몇 Kg의 감량(Kg/Ampere. year)이 발생 하는가로 표시된다.

〈표 1〉은 일정한 전류가 통했을 때의 주요 금속별 중량감소 정도를 보여주는 것이다. 또한 금속의 부식감량은 산도(酸度), 용존산소농도(溶存酸素濃度), 피막의 형성여부, 온도, 유속, 금속자체의 동

〈표 1〉 주요 금속의 부식감량

금 속	부식률 (Kg/Ampere · year)
철 · 강	9.07
납	33.56
동	20.41
아연	10.43
알루미늄	2.90
탄소	1.13

자료) 문헌 3. p.18-6.



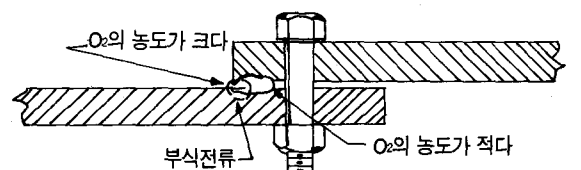
질성(同質性 · homogeneity) 및 전해(電解)의 정도 등에 따라 많은 영향을 받는다.

**2. 극간부식과 점식**

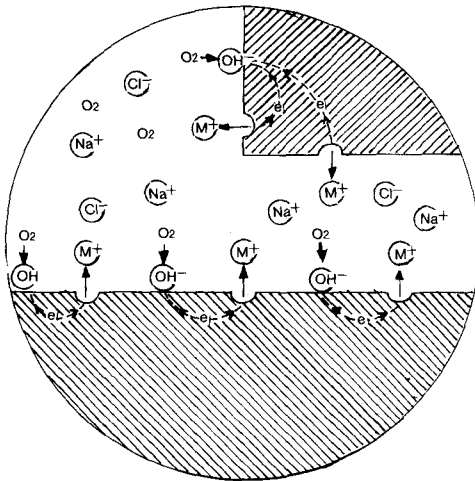
**(1) 극간부식(隙間腐蝕 · Crevice Corrosion)**

금속과 금속 또는 금속과 비금속이 미세한 틈을 두고 접촉되어 있을 경우나 흠집이 있는경우 여기에 전해질이 들어가면 부분적인 전지(電池 · Cell)가 형성되어 양극부가 급격히 부식되는데 이러한 현상을 극간부식이라고 한다.

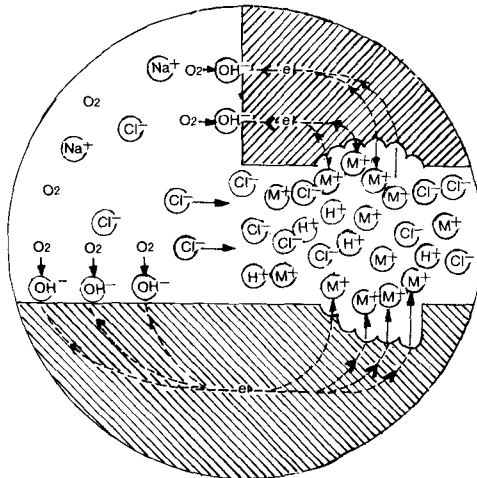
종전에는 극간부식은 틈새내부와 그 외부사이에 금속이온과 O<sub>2</sub>의 농도차이에만 기인한다고 생각했기 때문에 Crevice Corrosion이라는 용어를 사용했다. 최근에는 금속이온과 O<sub>2</sub>의 농도 차이도 물론 있지만 이것만이 주된 원인이라고는 보지 않는다. 그림 1에서와 같이 틈이 있는 금속이 수용액에 놓이게



〈그림 1〉 극간부식의 예



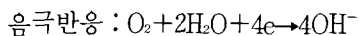
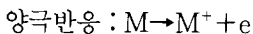
(a) 초기



(b) 시간 경과후

〈그림 2〉 그림 1 부식부위의 부식진행과정

되면, 다음과 같이 용해반응(양극반응)과 산소의 환원반응(음극반응)이 일어난다.



두금속의 접촉초기에는 그림 2에서와 같이 틈의 내·외부에서 두 반응이 균일하게 진행되지만 시간

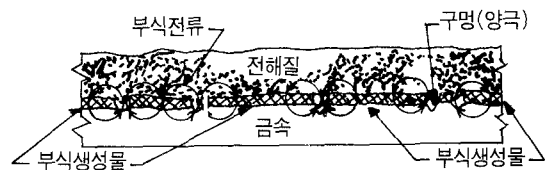
이 경과하면 틈의 내부로 용액의 이동이 어려워져 틈의 내부에는 음극반응에 의해 산소가 고갈된다.

따라서 틈의 내부에서는 산소의 환원반응이 중지되지만 전체적인 부식거동에는 영향을 주지 않는다. 내부의 면적은 외부의 면적에 비해 매우 적어, 전체 산소환원 반응속도는 일정하기 때문이다.

배관계의 플랜지 접합부, 리벳트 조인트 부분등에서 흔히 발견되는 현상이다.

## (2) 점식(點蝕 · Pitting Corrosion or Impingement Attack)

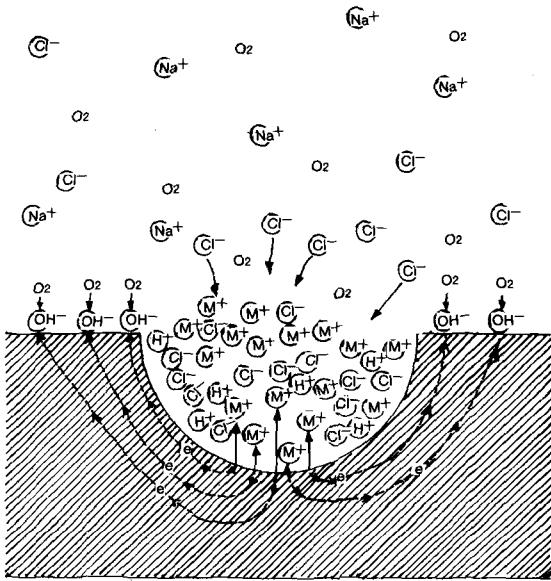
그림 3에서와 같이 보호막이나 코팅된 부분이 부분적으로 벗겨지거나, 파괴된 부분과 스투트지(Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)가 퇴적된 부분 등에서의 국부전지 작용에 의하여 발생하는 부식현상으로 보호막이나 코팅이 깨어진 곳에 양극부(Anodic Area)가 형성되고 막이 존재하는 곳이 음극부(Cathodic Area)가 되므로써 배터리의 원리에 의하여 부식이 이루어진다. 그러므로 깊은 구멍이 형성된 부분에는 부식이 집중된다.



〈그림 3〉 점식의 예

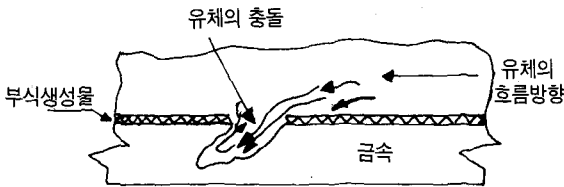
그림 3에서 구멍이 뚫린부분의 작용과정을 그림 4에서 설명하였다. 구멍은 일반적으로 직경이 매우 작고 부식생성물로 덮여있어 잘 발견되지 않으므로 실험적으로도 예측이 어렵다.

점식의 발생원인은 금속표면의 상처나 표면의 엇갈림과 같은 표면의 불균일, 부동태의 국부적인 파괴 등과 같이 국부적으로 양극부가 형성되므로써 일어나며, 통상적으로 중력방향으로 진행되는 특징을 갖는다.



(그림 4) 구멍이 생긴부분에서의 부식작용

그림 5는 금속의 보호막을 파괴시키는 높은 속도의 과류(過流) 또는 유체와 금속표면의 충돌에 의하여 국부적으로 부식이 발생하는 예를 보여주는 것이다.



(그림 5) 유체의 충돌에 의한 부식에

이상과 같은 극간부식이나 점식은 동일한 국부전지의 생성에 의한 결과이며, 코팅된 배관재나 금속 구조물에서 발생하기 쉬운 부식현상으로, 철계금속 배관재의 엘보나 유로의 방향이 변경되는 부분, 펌프의 임펠러 및 흡입케이싱 등에서 흔히 볼 수 있다.

### 3. 입계부식 · 선택부식 · 응력부식

#### (1) 입계부식(粒界腐蝕 · Intergrenular Corrosion)

금속을 이루고 있는 결정(結晶)간의 경계가 선택적으로 부식하여 점차 내부로 진입하는 형태의 부식이다. 입계(Grain Boundary)는 구조적 결함이므로 그 부분은 입내(粒內)에 비해 에너지가 높은 부분이다. 즉 한 결정(結晶) 입계가 다른 결정보다 활성이 커서 쉽게 부식이 발생하게 된다. 결정 자체가 내식성을 가지지만 결정과 결정간이 부식하기 쉬운 알루미늄합금(Duralumin), 18-8스테인리스강 및 황동 등에서 일어나기 쉽다.

전형적인 예로 예민화된 스테인리스강(오스테 나이트계)의 입계부식을 들 수 있다. 용체와 처리공정이 나뉘거나 용접 또는 열영향을 받은 부위에는 550°C 이상에서 결정입계에  $Cr_{23}C_6$ 인 화합물(탄화물)의 석출에 의해 입계부근에 Cr원자가 고갈된다. 이를 스테인리스강의 예민화(Sensitization) 현상이라 한다. 일반적으로 스테인리스강(오스테 나이트계)이 부식에 저항성을 갖기 위해서는 Cr 농도가 10% 이상이 되어야 한다. 따라서 입계부근에서 Cr의 고갈로 Cr농도가 10% 이하가 되면 입계부식이 일어나게 된다.

입계부식이 알려지기 이전에는 Weld Decay란 용어를 사용하였는데 이는 시간이 지남에 따라 용접부에 부식이 일어나는 현상을 가리키는 것이다. 이것도 용접시 용접부가 예민화되어 입계부식이 일어나는 현상이다.

#### (2) 선택부식(選擇腐蝕 · Selective Corrosion or Selective Attack)

합금의 성분중 한 부분이 용해(熔解)하고, 용해 즉 부식하기 어려운 성분만 남아 강도가 약해지는 부식현상이다.

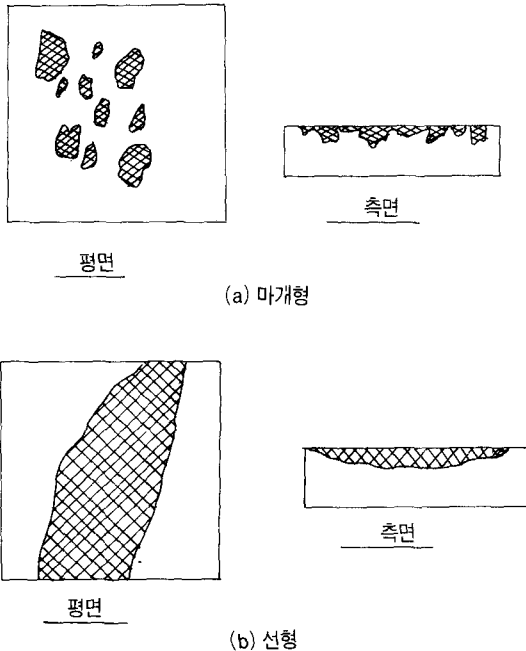
황동(黃銅)의 주성분인 동(銅)과 아연중 아연이 선택적으로 부식하는 탈아연부식(脫亞鉛腐蝕 · De-

zincitication)이나 해안매립지(海岸埋立地)와 같이 고유저항(固有抵抗)이 적은 산성토양 중에서 주철 조직중 흑연이 음극, 철이 양극이 되어 철의 부분만이 선택부식 되는 주철에서의 흑연화부식(黑鉛化腐蝕·Graphitization)등은 이의 대표적인 예이다.

탈아연부식의 이론은 다음의 3단계로 구성된다.

- ① 황동(Brass)의 용해단계  
 $Cu \rightarrow Cu^{++}, Zn \rightarrow Zn^{++}$
- ② 수용액중 아연이온( $Zn^{++}$ )의 체류
- ③ 동(Copper)의 환원( $Cu^{++} + e \rightarrow Cu$ )

그림 6은 탈아연 부식의 형태를 보여주는 것이다. 선택부식은 특정한 금속에서만 일어나는 현상으로 황동, 주철중 회주철과 알루미늄청동, 실리콘청동, 모넬메탈 등에서 나타나는 현상이다.



〈그림 6〉 탈아연 부식의 형태

### (3) 응력부식(應力腐蝕·Stress Corrosion or Stress Corrosion Cracking)

금속재료는 가공이나 생산과정에서 여러형태로의 응력을 받게되고, 이 응력이 어느 부분에 남아 있으

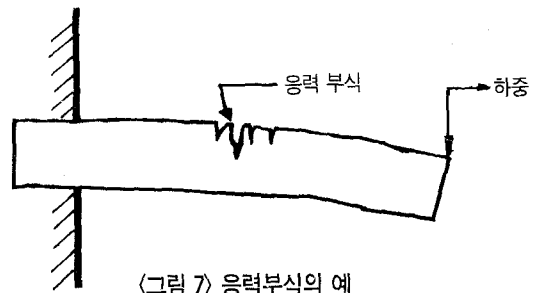
므로 인하여 발생하는 부식으로 스테인리스강에서 흔히 나타나는 현상이다.

스테인리스강의 경우 황산, 질산, 순수한 물등에서는 응력부식이 일어나지 않으나 염소이온이 함유된 용액에서는 이런 현상이 발생한다.

금속재료가 어떤 상황 하에서는 부식속도가 매우 높지만 응력을 가진 경우에는 급격히 부식되거나 부식터짐이 발생한다.

응력부식에 영향을 주는 인자는 온도, 용액의 조성, 금속의 조성, 응력 및 금속의 조직 등이다.

응력에는 재료를 용접하거나, 냉간가공(冷間加工), 절단, 열처리(熱處理) 등의 과정을 통하여 발생하는 잔류응력(殘留應力)과 열팽창, 진동, 열사이클 등에 의한 사용시의 외부응력(外部應力)이 있다. 이러한 두가지가 합쳐진 응력이 부식의 원인이 되는 것이다. 그림 7은 계속 하중이 작용하는 구조물에서의 응력부식의 예를 보여주는 것이다.



〈그림 7〉 응력부식의 예

응력부식의 특징은 ① 처음으로 크랙이 발생하는 부위에 부식의 흔적이 나타나며, 적용응력과 수직 한 방향으로 많은 가지를 형성하면서 진행된다. ② 이러한 현상이 발생하기 위해서는 인장응력이 작용되어야 한다. ③ 특정한 분위기에서 잘 일어난다. ④ 응력부식에 의한 파단면은 잘 부서러 진다.(Brittle 하다) ⑤ 응력부식이 일어나기 위해서는 임계응력이나 임계응력 확대계수 보다 큰 응력을 받아야 한다. ⑥ 부식저항을 갖는 재료에서 응력부식이 많이 발생한다. ⑦ 응력부식은 균열생성단계와 전파 단계로 구성된다는 등이다. 다음호에 계속