

〈腐蝕講座〉

I. 腐蝕의 기초

Fundamentals of Corrosion

**What is Corrosion?**

¶ Why is corrosion important? ¶ The many forms of corrosion. ¶ Beware of localized corrosion.

**Understanding Corrosion**

¶ Electrochemical theory. ¶ Calculation of corrosion rates from polarization curves. ¶ Passivity. ¶ The potentiostat. ¶ Applications of electrochemical theory.

**Measuring Corrosion**

¶ Reasons for measuring. ¶ Types of test. ¶ Weight loss. ¶ Localized corrosion. ¶ Electrical resistance. ¶ Linear polarization. ¶ Stress corrosion, ¶ Welds, ¶ Oxidation. ¶ Testing checklist. ¶ Using data.

**Control by Environment and Design**

·PROCESS CONTROL: ¶ Concentration, ¶ Impurities, ¶ Temperature, ¶ pH, ¶ Aeration, ¶ Velocity, ¶ Inhibitors, ¶ Startup and shutdown procedures.

·DESIGN: ¶ Crevice corrosion. ¶ Galvanic corrosion. ¶ Erosion corrosion. ¶ Stress corrosion cracking. ¶ Welding practices. ¶ End-grain corrosion.

**Control by Protection**

¶ Coatings (metallic and nonmetallic). ¶ Bimetals. ¶ Cladding. ¶ Galvanic protection. ¶ Cathodic protection. ¶ Anodic protection.

**Control by Materials Selection**

¶ Ferrous metals, ¶ Steel, ¶ Stainless steel, ¶ Higher alloys.

**Control by Materials Selection**

¶ Nonferrous metals. ¶ Copper base. ¶ Nickel base. ¶ Titanium. ¶ Aluminum. ¶ Other metals.

**Help for the Asking**

¶ Failure analysis. ¶ Active corrosion committees. ¶ Corrosion meetings. ¶ Corrosion publications. ¶ University activities. ¶ Future trends in corrosion control

이래 Chemical Engineering誌에 연재하여 오고 있는 腐蝕特講을 번역하여 소개하는 것이다.

원 저자는 일반 기술자들을 위한 입문강좌로 열어 왔는데 철저한 기초 이론의 이해 및 실제로 부식현장에서 응용할 수 있도록 한 충실한 강좌내용은 현장 기술자는 물론 전문 연구자들에게도 큰 도움을 주는 강좌가 되겠다.

앞으로 본 연재에서 취급할 내용을 원문으로 요약한 것이 원편에 나타나 있다. 가장 기초적인 사실로부터 하나씩 살펴나가면서 부식기사가 부식문제를 해결하는데 도움이 될 수 있는 실제적 방법을 요약해 나가고 있다. 이것을 보면 부식의 중요성, 부식의 형태, 부식에서 사용되는 기본용어의 정의 등등 부식의 기초가 되는 전기화학적 이론이 비교적 상세히 설명되어 있고 실제 현장에서 이용할 수 있는 일반 부식시험, 응력부식시험등 각종 부식시험방법, 특히 전기화학적 방법에 의한 신속한 부식평가가방법이 다루어져 있다. 또한 부식 억제법으로는 농도, 온도, pH등의 실제 조업과정을 조절하는 방법, 틈 부식, 전기부식, 마식, 응력균열등을 제어하기 위한 설계상의 주의방법, 금속상에 금속 및 비금속 피복방법, 음극 및 양극방식법 및 내식성재료 선택에 의한 부식제어법이 다루어져 있다. 본 연재에서는 특히 방식대책에 관하여 지난 10년동안에 발달된 것과 현재의 경향에 대하여도 특별한 주의를 기울여 고찰되고 있다.

— 편 집 부 —

부식은 모든 화학공장의 공통적인 문제점이 되고 있다. 부식문제를 어떻게 해결하는가에 따라 정상가동을 할 수 있는지 또는 경제적 손실이 큰 비가동시간을 갖게 되는지가 결정된다. 이와 같은 현실에도 불구하고 부식문제를 이해하려하지 않는 사람들에게는 부식문제는 영원히 미지수로 남게 될 것이다.

화학공정장치에 사용되고 있는 금속은 결국에 가서는 공정의 화학적 성질 때문에 재질의 저하, 즉 부식을 초래한다. 부식문제를 완전히 제거하는 것은 실현불가능하므로 부식을 미연에 방지하는 것 보다는 오히려 부식정도를 억제하는 것이 효과적인 처리방안이 된다

본 강좌는 미국 Carpenter 技術工團의 腐蝕研究責任者로 있는 Michael Henthorne 博士가 1971년 5월

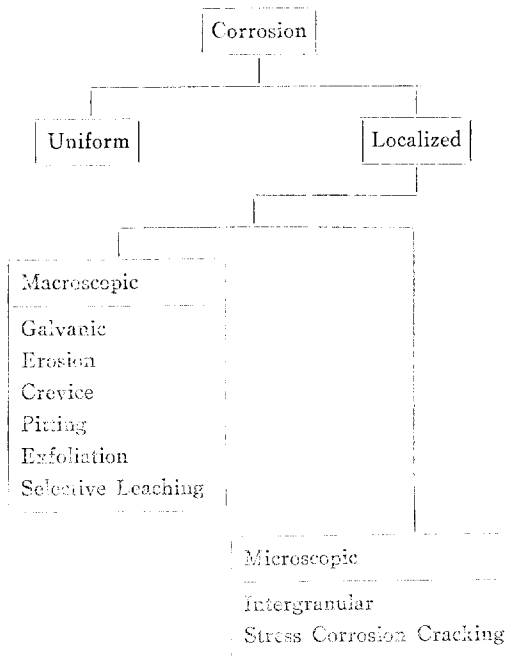
즉, 되도록이면 공정의 설계단계에서 이 문제의 해결 방안이 모색되어야 하니 부식문제에 공장이 세워져서 가동하고 있는 중에 일어나는 것이 보통이기 때문이다.

부식을 억제하는 일은 부식기지에 달려 있다. 부식 기지는 부식이 어디에서 시작되는가를 알아야만 하며 다음과 같은 여러가지 사실에 대한 기초 지식을 갖고 있어야만 한다. 즉 부식의 원인, 부식의 확인 방법, 부식의 원인, 부식 정도의 측정 방법, 소거하고 있는 기기의 利用度, 검사 기구, 부식에 영향을 끼치는 설계상의 요소, 재료선택, 부식 정도를 해독하고 적용하는 방법 및 어디서 도움을 얻을 수 있는 것인가를 알아야 하는 것이다.

모든 금속과 합금들은 부식을 받는다. 어떠한 부식 조건에서도 내식성을 갖는 재료는 하나도 없다. 예를들어, 대기중에서 부식에 대한 저항성이 우수하다고 알려진 금속 모성으로부터 수온과 접촉할 때 부식당한다 한편 철은 수온 속에서 부식되지 않으나 대기중에서는 쉽게 녹는다.

다행히 어떤 주어진 부식환경에서 내식성이 좋은 금속은 몇가지 있다. 또한 부식문제를 최소화 할 수 있는 부식억제책이 있다. 본 강좌의 인제 후반에서는 부식 억제와 방식을 위한 적절한 설비재료의 선택방법에 대하여 논의할 것이다.

Table 1. The different forms of Corrosion



부식의 정의 (What is corrosion?)

부식이란 금속이 주위환경과 접촉하였을 때 그 금속

이 악화되는 것을 말한다. 이러한 부식현상은 여러가지 형태로 나타난다.

부식때문에 공장이 운휴될 가능성이 있고 또 실제로 운휴되기도 한다. 아래에 열거하는 것은 부식의 직접, 또는 간접적 결과의 하나이다. 부식의 결과로 인하여 우리가 받는 경제적 손실은 다음과 같은 것이 되겠다.

- (1) 부식된 설비의 교체
  - (2) 부식에 대비하기 위한 필요 이상의 설계
  - (3) 페인팅과 같은 방지책
  - (4) 부식파손에 의한 장비의 손실
  - (5) 부식생성물에 의한 제품의 오염
  - (6) 과대한 설계때문에 또는 부식생성물이 열교환기에서 일정한 속도를 감소시키는 것과 같은 효율의지하
  - (7) 부식으로 파괴된 용기내에 있던 고가제품의 손실
  - (8) 부식문제만 없다면 바람직한 재료이지만 부식문제 때문에 사용불능의 경우 다른 재료를 사용해야만 하는 필요성
  - (9) 부식파손이 일어난 설비에 인접한 설비의 손상
- 또한 사회적 문제가 되는 것은 다음과 같은 것이 있겠다.

- (1) 안전문제; 화재, 폭발, 중독성 물질의 배출, 구조물의 붕괴와 같은 것의 원인이되는 갑작스러운 파손
- (2) 건강문제; 부식된 시설물에서 나오는 유독성 반응물이나 또는 부식생성물 자체에 기인하는 오염
- (3) 천연자원의 소모; 장치를 새로 만들때 사용하는 금속이나 연료의 무의미한 손실
- (4) 미관문제; 부식된 재료가 보는 사람에게 주는 불쾌감

물론 이상 열거한 사회적 손실의 각항목도 경제적인 실이 따르고 있다. 위와같이 부식을 방지해야만 되는 많은 이유가 있는 것이다.

부식의 여러가지 형태 (The many form of corrosion)

부식은 여러가지 형태로 발생한다. 부식은 다음 세가지 요인에 의해서 분류된다.

- (1) 부식용매의 성질에 따라——  
습식부식과 건식부식으로 분류되는데 습식부식은 액체 혹은 습기에 의해서 부식되며 건식부식은 고온가스와 의 반응에 의하여 부식된다.
- (2) 부식기구에 따라——  
전기화학적 반응에 의한 부식과 직접적인 화학반응에 의한 부식으로 분류된다.

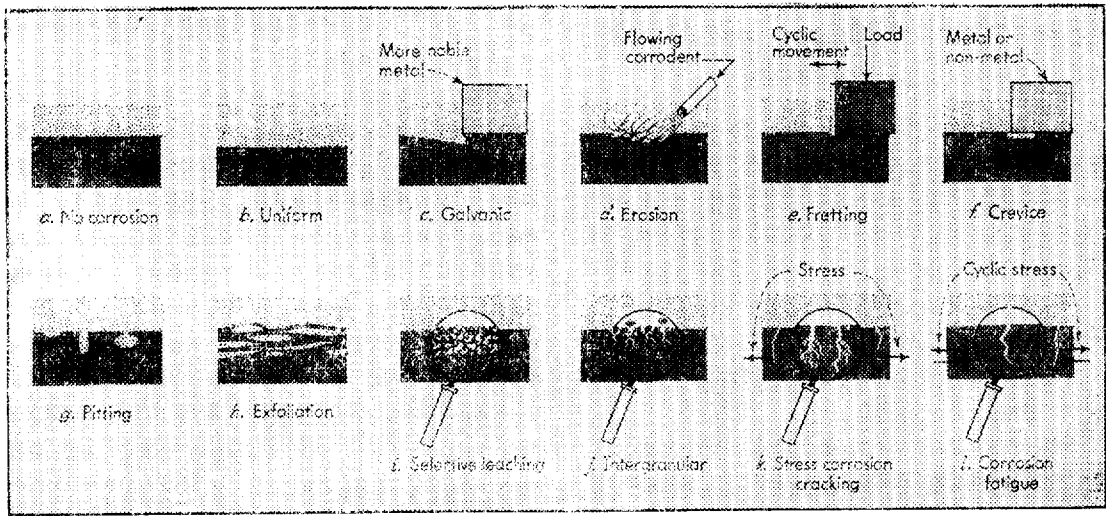


Fig. 1 Corrosion of metals and metallic alloys occurs in many different forms.

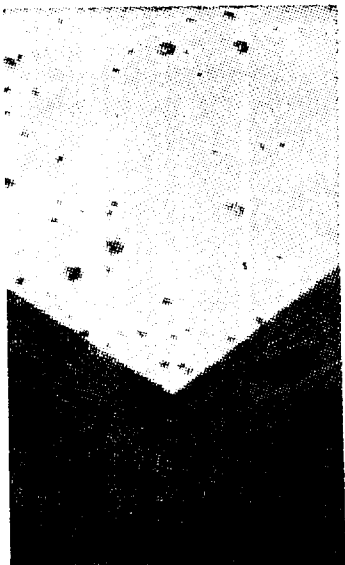
(3) 부식된 금속의 외양에 따라 —

금속의 전 표면에 균일하게 부식되는 균일부식과 금속의 일 부분만 부식되는 국부부식으로 분류된다.

부식된 금속의 외양에 따르는 분류를 처음에 자세히 다루어 보는 것이 가장 유익하다. 이것을 더욱 명백히 구분하면 거시적 국부부식 (macroscopically localized corrosion) 과 미시적 국부부식 (microscopic local attack) 으로 나눌 수 있다. 미시적 국부부식에서는 부식된 금속의 양이 미소하며, 육안으로 볼 수 있게 되기 전에 상당한 파손이 일어날 수 있다. 또 미시적 국부부식은 결정구조상 부식에 약한 부분에서 일어나나 널리 퍼져

는 일은 거의 없다. 이에 반하여 핏팅 (pitting) 같은 거시적 부식들은 구조적 결함에서 부식이 시작되는 것은 같으나 결함이 없는 부분까지 부식상태가 퍼져서 미시적 국부부식과 구별할 수 있다. 여러가지 형태의 부식이 Table 1에 나타나 있으며 Fig. 1에 圖示되었다. 몇 가지 형태에 대하여는 실제 적당한 시편의 현미경사진도 실었다.

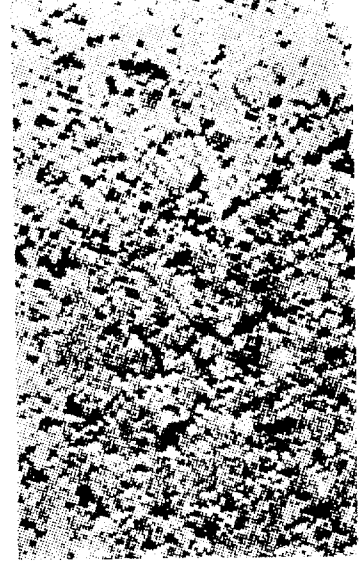
Table 1에 나타난 각 형태의 부식과 이에대한 방지 대책을 이제 요약해서 다루어 보고자 한다. 좀 더 자세한 부식기구 및 측정방법, 방지방법등은 앞으로 계속 연재될 강좌에서 하나씩 다룰 예정이다.



Pitting of metal



Exfoliation in substrate



Intergranular corrosion

### 균일부식 및 전지부식 (Uniform and galvanic corrosion)

가장 일반적인 부식의 형태는 Fig. 1b에서와 같이 금속표면 대부분에 걸쳐 부식이 균일하게 발생하는 경우이다. 이와같은 균일부식은 습식이나 건식 또는 부식기구상 전기화학적이나 혹은 화학적이 될 수 있다. 이미 이에 대한 내식성이 좋다고 알려진 재료의 선택이나 또는 페인팅 같은 부식방지책이 균일부식을 막는데 사용된다. 균일부식은 가장 측정하기 쉬운 부식형태이며 규칙적인 조사를 하므로서 예상밖의 파괴를 미연에 방지할 수 있다.

두 개의 다른 금속이 서로 접촉되어 (또는 전기도체로 연결되어) 전해질 용액속에 존재할 때 전지부식이 일어난다. 이질 금속간에는 전위차가 발생하고 이때문에 용액을 통하여 전류가 흐를 수 있도록 하는 원동력이 생긴다. 이와같은 전류의 흐름은 두개의 금속 중의 하나를 부식시킨다.

두 금속간의 전위차가 크면 클수록 전지부식이 일어난 가능성은 더욱 증가한다. 여기에서 주목할 것은 금속쌍중 하나만이 더욱 부식을 당한다는 것이다. 금속쌍으로 부식용매내에 존재할 때에 홀로 있을 때 보다 더욱 부식을 당하는 금속을 'active'한 금속이라 하고 차가 혼자 있을 때 보다 덜 부식되는 금속을 'noble'하다고 한다.

두 금속의 면적비도 또한 중요하다. noble 란 금속의 면적이 크면 클수록 active 한 금속의 부식은 촉진되며 역도 또한 그렇다.

전지부식은 두 금속의 접촉면에 가까운 곳이 부식정도가 증가하는 것을 보면 알 수 있다 (Fig. 1c). 접촉면 사이에 절연체를 삽입하든지 또는 주어진 부식용매내에서 전위차가 큰 두 금속의 접촉을 제한하므로써 전지부식의 가능성을 피할수 있다. 우리가 흔히 사용하는 용액내에서 여러가지 금속 및 합금이 나타내는 전극전위를 표로 묶아 놓은 기전력계열 (Galvanic series)을 참고로 사용할 수 있으며 전지부식을 적게 할 수 있는 다른 방법은 noble 금속과 active 금속의 면적비를 작게하는 것이다.

### 磨蝕 (Erosion corrosion)

금속표면위로 부식용매가 이동할 때 기계적 마모가 동반되어 부식율이 증가하는 것을 마식이라 한다. 마식의 중요성은 평가하기 어려운 때가 많고 경우에 따

라 큰 차이가 있다. 보통 마식현상으로 공기중에서 형성된 보호산화막이나 표면에 밀착된 부식 생성물과 같은 보호 피막이 제거된다.

마식은 일반적으로 Fig. 1d에서 나타낸 바와 같이 밀이 등글고 깊게 파인 pits의 외관을 가지고 있으며, 부식용매가 금속표면에서 어떤 방향으로 움직이는가에 따라 그 침식방향이 나타난다. 마식은 부식용매가 소용돌이 (turbulence) 치거나 제철에 충돌하는 때와 같이 고속상태에 있을 때 더욱 촉진되는데 pump의 impellers, 교반기, pipe의 굽은곳이나 elbow에서 자주 볼 수 있다. 견고한 고체입자를 포함하는 slurry가 빨리 움직일때도 마식문제가 대두되기 쉽다. 위와 같은 문제들은 절계변동이나 보다 저항성이 좋은 재료를 선택함으로써 피할 수 있다. 여기서 쓰이는 재료는 항상 그런 것은 아니지만 보통 부식용매가 정제된 조건에 있을 때에도 내식성이 우수하고 또 보다 견고한 것 들이다.

胴空腐蝕 (cavitation corrosion) 과 접촉진동부식 (fretting corrosion)은 둘 다 마식의 특수형태이다. 동공부식은 금속표면에서 기포의 형성 및 와해로 인하여 생기며 이때 발생하는 교압이 그 밑에 접촉된 금속을 박형시키거나 보호피막을 파괴할 수 있다. 접촉진동부식은 振動의 결과 금속이 서로 미끄러질 때에 일어나며 이로 인해서 어느 한 쪽 또는 양쪽의 금속에 기계적 손상을 일으키게 한다 (Fig. 1e). 접촉진동부식이 일어날 때는 아래 두 가지 경우 중 어느 하나가 일어난다고 믿어지고 있다. 즉 마찰에 의한 열이 금속을 산화시키고 이 산화물이 마멸되거나, 또는 보호산화막이나 부식 생성물의 기계적 제거로서 부식이 활발히 계속 되도록 새로운 금속표면을 계속 노출되게 한다. 접촉진동부식은 보다 견고한 재료를 사용하거나 마찰이 최소가 되도록 (윤활유를 사용) 설계하거나 또는 마찰을 증기시켜서 접촉금속판의 이동이 더 이상 없는 상태로 만들면 최소화 될 수 있다.

### 틈 부식 (Crevice corrosion)

어떤 틈에서의 환경조건은 시간이 감에 따라 그 옆 깨끗한 노출표면부분과 아주 다를 수 있는데 보다 부식성이 강한 환경이 틈에서 생겨날 때 국부적인 부식의 원인이 된다 (Fig. 1f). 틈들은 보통 gaskets, lap joint, bolts, rivets 등에서 볼 수 있으며 또는 오물 부착물, 부식생성물, paint 막의 scratches 등에 의해서도 생성된다.

틈 부식은 보통 다음 중 하나 또는 둘 이상 때문에 일어난다.

- a) 틈에서의 酸性度の 변화
- b) 틈에서의 산소의 부족
- c) 틈에서 부식성이 강한 이온이 축적될 때
- d) 틈에서 부식억제제가 결핍될 때

다른 모든 국부부식과 마찬가지로 틈부식도 모든 금속—부식용매에 걸쳐서 일어나는 것은 아니다. 어떤 재료들은 다른 재료에 비해서 틈부식에 보다 민감한데 공기중에서 형성되는 산화막의 상태에 따라 부식의 저항성을 얻게되고 Stainless steel이나 Titanium과 같은 재료가 그 예가 된다. 이런 재료들은 내식성을 향상시키기 위해서 합금으로 만들 수 있는데 이러한 방법은 틈이 최소가 되도록 설계하고 표면을 청결하게 하는 것을 병행함으로써 틈부식 문제해결에 대처하게 된다.

### 핏팅형 부식 (Pitting corrosion)

핏팅형 부식이란 이와같은 부식형태가 없으면 비교적 부식당하지 않는 표면에 구멍 (hole)의 형성을 말하는 것이며 이들은 Fig. 1g에 나타난 바와 같이 여러 가지 형태를 가질 수 있다. 핏트 (pit)의 형태는 흔히 핏트의 성장 과정과 관계가 있으며 이미 언급된 틈부식에서 설명한 이유와 마찬가지로이다. 핏트는 사실상 self-formed crevice라 말할 수 있다.

핏팅형 부식을 최소로 하기 위해서는 깨끗하고 균일한 표면이 바람직하다. 예를들면 고도로 열처리 표면을 가진 순수하고 균일한 금속은 내부에 불순물, 물리적 결함이 많거나 거친 표면을 가진 금속 보다 일반적으로 큰 부식 저항을 갖는다.

핏팅은 일반적으로 느리게 일어나는 과정이나(눈에 보이기에는 수개월 내지 수년이 걸림) 돌발적인 파손을 일으키는 원인이 될 수도 있다. 핏트가 형성되는 초기 단계에서는 핏트의 크기도 작을 뿐 아니라, 용해되는 금속의 양도 검출하기에는 적어서 핏트의 형성을 관측하기는 매우 어렵다. 표면을 깨끗이 하는 것과 주어진 환경에서 핏팅에 대한 저항성이 있다고 알려진 재료의 선택이 일반적으로 핏팅 문제를 해결하는데 가장 안정한 방법이다.

### 剝離와 선택적 浸出

#### (Exfoliation and selective leaching)

剝離 (exfoliation)는 깨끗한 표면에서 시작되어 그야말로 진행되는 표면부식을 말한다. 剝離가 핏팅과 다른 점은 침식면이 넓은층 모양의 외관을 갖는 것이다.

재료의 침식층은 Fig. 1h처럼 부식되어진다. 일반적으로 부식형태가 판상이나, 때때로 물집 (水泡)과 같은 표면을 가진것으로 보아 剝離인 것을 알 수 있다. 부식된 시료의 끝부분은 여러장의 카드가 달아 없어진 카드뮴치와 같은 외관을 갖는다. 剝離부식 현상은 Al 합금에서 잘 알려져 있으며 열처리나 합금원소의 첨가로써 막을 수 있다.

선택적 침출 (때때로 parting이라고도 한다)이라는 것은 합금에서 한 원소가 제거 되는것을 말한다. 가장 일반적인 예로서는 Cu—Zn 합금에서 아연의 제거를 들 수 있다 (탈 아연 반응). 이러한 부식은 Fig. 1i처럼 多孔性 금속을 형성하고, 기계적 성질을 나쁘게 하므로 아주 해롭다. 이와 같은 부식의 방지책은 합금을 만들어서 사용하는 것이다.

### 입계부식 (Intergranular corrosion)

먼저 금속학에 관한 기본적인 몇가지 사항을 고찰해야만 한다. 용융금속을 주조할 때 응고현상은 아주 불규칙 하게 분포된 핵에서부터 시작된다. 이핵들은 규칙적인 원자배열로 성장해서 결정립을 형성한다. 주어진 금속의 모든 결정립 내에서는 원자배열과 원자층간의 거리는 모두 같다. 그러나 핵성장 방향이 불규칙하기 때문에 이웃하는 결정립 사이에서 결정립들은 서로 어긋나며 불연속적이 된다. 이와같이 하여 결정립 사이에 생긴 면적을 입계 (grain boundary)라 부른다. 만약 합금 표면에 1inch 길이의 선을 그으면 그 선은 대략 1,000개의 입계를 지난다.

입계는 때때로 부식용매에 의해서 우선적으로 침식당한다. 이 침식은 보통, 입계에 특정한 원소가 석출, 혹은 화합물의 형성에 관계가 있다 (원자간의 mismatch 때문에 석출이나 침전이 일어나기가 용이하다). 부식은 일반적으로 부식용매가 粒界相을 우선적으로 침식하기 때문에 일어나거나, 또는 내식 (耐蝕)에 적합한 원소를 잃어버린 입계에 인접한 부분을 침식하기 때문에 일어난다.

입계부식이 심하게 일어난 경우에는 온전한 결정립들이 그들 입계의 완전한 파괴로 인해서 Fig. 1j처럼 떨어져 나가고 이러한 경우에는 표면은 육안으로 보기에 도 거칠게 나타나며 결정립이 서로 느슨하게 붙어 있기 때문에 손으로 만지면 거칠게 느껴진다.

입계에서 입계부식을 일으키는 현상은 열에 대단히 민감하다.

일반적으로 용접 (welding) 응력제거 작업 (stress relieving operation) 등과 같은 열 처리를 하면 입계 부

식의 민감도가 생기는데 이와 같은 현상은 또 다른 적절한 열처리 (오온에서 소인)를 하거나 합금원소의 첨가로 억제할 수 있다.

**응력 부식 균열 (Stress corrosion cracking)**

인장응력과 부식용액이 같이 존재하여 작용할 때 합금에 균열이 발생하는 경우가 종종 나타난다. 대부분의 합금은 이와 같은 응력부식균열에 민감하다.

응력부식을 일으킬때 합금과 부식용액 사이에는 특수성이 있어서 어떤 합금과 어떤 부식용액이 같이 존재할 때만 응력 부식을 일으키게 된다.

이와 같은 합금-부식용액 쌍의 수는 다량히도 그렇게 많지 않지만 응력부식균열은 오늘날까지 아직도 해결책을 발견하지 못한 가장 심각한 금속분야의 한 문제로 남아 있다.

응력부식균열을 일으키는 응력은 방간자공이나 응집 및 열처리로 발생하는 합금 내부의 잔류응력을 들 수 있고 또는 사용기간 중 외부에서 합금에 가해진 수도 있다.

응력부식균열은 입계나 입내행로를 따라 일어날 수 있으며 Fig. 1k에서와 같이 처음 발생한 균열이 가지를 뿜는 경향이 있다. 그리고 응력부식균열의 특징들이 몇가지 Table 2에 나타나 있다. 응력부식균열을 막는 방법들은 응력제거나 심한 부식을 일으키게

하는 부식환경 내의 인자들의 제거 및 더 좋은 내식성 재질을 선택하는 것이다.

수소취성 (hydrogen embrittlement)이라는 말이 때때로 응력부식균열과 혼동되는 경우가 있다. 이러한 혼동을 야기시키는 이유는 응력부식균열을 일으키는 몇몇 예에서 수소 발생이 균열의 발생 및 전파에 어떤 역할을 하기 때문이다. 어떤것이 응력부식균열이고 어떤것이 아니다 하는 의견은 구구한데 지자는 아래와 같이 구별하고자 한다.

1. 금속이 부식당하지 않으면서 (즉 cathodic charging 때\*) 수소 발생에 의하여 균열이 생기는 것은 응력 부식균열이 아니다.
2. 균열한 부식이 일어나는 속도가 높을 때 (즉, pickling 경우) 수소발생 때문에 균열이 생기는 것은 보통 응력부식균열이 아니다. 이것은 수소가스가 발생되는 동안에는 금속에 응력이 존재할 필요가 거의 없기 때문이다. 부식반응과 수소발생이 일어난 후에 응력이 부과될 때 균열이 발생할 수 있다. 그러나 이것은 수소가스가 발생됨에 따라 응력이 존재하여 나타나게 되는 균열과는 다른 것이다.
3. 응력을 받고있는 금속에서 균열과 pit 부분의 국

\* Cathodic charging은 환경이 강한 금속과 직접 연결시키거나 또는 외부전원으로부터 전류를 부과하므로써 금속을 더 noble하게 만드는 것이다. 이러한 상태에서는 금속은 부식되지 않으나 수소가스가 그 금속표면에 모여서 금속내부로 흡수될 수 있다.

**Table 2.** Characteristics of stress-corrosion cracking

- , 응력부식은 인장응력을 필요로 하며 발단응력 (threshold stress) 이하의 응력하에서는 균열은 일어나지 않는다.
- , 응력부식균열로 생기는 균열은 일반적으로 brittle하게 나타나지만 부식용액이 없을때 같은 합금에 생긴 기계적 균열은 ductile하다.
- , 응력부식은 합금의 금속학적 상태에 따라 민감하다.
- , 몇가지 특정된 부식분위기에서 어떤 합금이 응력부식균열을 일으키지만 같은 분위기일지라도 다른 합금에서는 균열이 일어나지 않는때가 많다.
- , 어떤합금에 대해서 응력부식균열은 일으키지 않는다면 부식성이 없다고 생각될지 모르는 부식환경에서, 즉 균열한 부식용은 적은 부식환경에서도 응력부식균열이 일어날 수도 있다.
- , 균열을 볼 수 있게 되기까지는 오랜기간 (보통 수년동안)이 걸릴지도 모르나 균열이 눈에 띄게 된 후부터는 매우 빨리 진행시켜 예측하지 못한 파괴를 초래한다.
- , 응력부식은 대부분의 경우 아직도 선경으로 이해되지 못하고 있지만 부식기술들이 응력부식 문제를 피하는데 도움이 될만한 data는 많이 있다.



부부식에 의하여 수소가 발생되어 균열의 전파를 일으킬때는 응력부식균열이라고 생각한다. (이러한 경우에 응력부식균열의 기구는 수소가스와 관계가 있다.)

부식피로는 응력부식균열의 특수한 형태이다. 일반적인 피로파괴현상은 부식용액이 없어도 발생되며 반복하여 주기적으로 가해진 응력에 의해 생긴다. 이와 같은 파괴는 연속된 진동을 받는 구조물에서 흔히 나타난다. 부식용액이 共存하여 피로파괴의 가능성이 증가할 때 생기는 파손현상이 부식피로 현상이다.

부식용액이 존재할때는 보통 진조공기중에서 피로파괴현상을 일으키는데 變하는 응력의 절반정도에서도 피로 파괴가 일어난다.

부식피로에 의해 파괴된 금속은 보통 그 파괴면에서 부식생성물을 볼 수 있다.

일반적인 피로파괴현상으로 파손된 파괴면에서도 파괴원인이 조사되기전에 간혹 부식되는 경우가 있어서 부식피로로 잘못 인식되는 예가 있다. 부식피로는 응력부식균열에서 나타나는 crack-branching 현상보다 (Fig. 4) 훨씬 적은 crack-branching 현상을 나타내는 것이 보통이다. 부식피로에 대해서 알려진 것은 그렇게 많지 않다. 한번 균열이 진전하기 시작하면 균열을 막기는 어렵기 때문에 부식피로를 피하는 방법을 처음부터 생각해두는, 방지대책 등을 세워 피로균열을 막아야 한다.

### 局部腐蝕에 對한 注意

局部腐蝕은 現場에서 흔히 문제가 되는 것으로, 여기서는 그 内部에 부식성 용액이 흐르는 연강류프를 예로 하여 설명 하겠다. 연강 류프는 2년간 사용중 그 内面의 1/3이 75% 정도로 균일하게 감소되었다. 스테레스강을 사용하면 부식율이 연강에 1/10 정도 될 것으로 同一한 부식환경에서 20년간은 충분히 지탱할 수 있다고 생각되어 재질을 바꾸기로 결정하였다. 그러나 1년 후 스테레스강 류프는 핏팅으로 막이 완전히 끊어져서 사용할 수 없게 되었다. 결과적으로 훨씬 비싼 재질을 사용하여 연강의 만경도 수명 밖에는 쓸 수 없었고, 더욱 나쁜것은 갑작스러운 파손으로 용액의 누출까지도 초래한 것이다 이러한 원인을 조사하여 본 결과 수평류프内는 용액이 매우 천천히 흘러서 (ft/sec 以下) 바닥에 고체 침전물이 가라앉아 있었고 용액중에는 수백 ppm의 염소이온이 함유되어 있어서, 이 고체침전물 밑의 산소결핍과 더불어 틈부식을 생기게 하고 핏팅을 유발시켰기 때문이었다. 그러면 이러한 원인은 어떻게 해소시킬 수 있을까? 먼

저 부식은 여러 형태로 발생된다는 것을 염두에 두어야 한다. 균일부식율이 적다고 해서 문제가 해결되는 것은 아니며, 어떤 재질에서 특정 부식이 발생하지 않는다고 해서 다른 재질에서도 그렇다는 것은 아니기 때문이다. 부식문제에 관여하려면 사용하고 있는 재질의 성질을 보다 잘 파악해야 한다. 예를들어 연강대신 스테레스강을 사용할 때, 용액의 정체, 고체침전물 및 염화물이 큰 문제가 된다는 것은 잘 알려진 사실이다.

이상과 같은 점을 감안하면, 부식용액을 걸러 고체침전물을 제거하거나, 용액의 유속증가에 따른 고체침전의 감소 및 기계적 세척을 하여 고체침전물이 축적되는 것을 방지하거나 화학적 방법으로 침전물을 규칙적으로 제거하는 것이 위와 같은 국부부식 문제를 해결할 수 있는 효과적인 방법이 될 수 있다. 또한 염소이온에 의한 핏팅에 저항성이 강한 스테레스강의 사용을 생각해 볼 수도 있다. 실제로 스테레스강은 조업피징만 조금 변경시키면 가장 훌륭한 재질이 될 수 있다. 이상을 요약하면 국부부식의 가능성 (응력부식이나 핏팅)은 재질을 선택할 때 마다 항상 고려되어야 하며 특히 균일부식율이 적은 재질에서는 훨씬 더 잘 일어난 가능성이 있다. 어떤 형태의 부식문제 때문에 재질을 변경할 때는 그 문제만을 염두에 두는 것은 충분하지 않다. 위에서 말한마와 같이 스테레스강이 연강보다도 더욱 나쁜 결과를 초래한 것이 좋은 예가 된다. 또한 어떤 한 환경만이 문제가 되어 빈화물 일으켰다고 생각하는 것도 충분치 못하다. 위에서 설명한 류프에서 밖에 있는 용액은 연강이나 스테레스강 양쪽에 모두 작용하지는 않았지만 반드시 그렇지 않았을지도 모른다. 즉, 이 용액이 연강에서는 문제가 되지 않았지만 스테레스강에 있어서는 응력부식균열을 일으켰을지도 모르기 때문이다.

### References

- Fontana, M. G. and Greene, N. E., "Corrosion Engineering," McGraw Hill, New York, 1967  
 Uhlig, H. H., "Corrosion and Corrosion Control," Wiley, New York, 1963  
 Guy, A. G., "Elements of Physical Metallurgy," 2nd ed., Addison-Wesley, Reading, Mass., 1967