

# 금속의 부식(腐蝕)과 방식(防蝕)

2006. 11.

한탑기술사사무소

## 머 리 말

문화가 발달하여 사회가 복잡하게 됨에 따라 많은 곳에서 절대적으로 쓰이고 있는 금속의 부식으로 인한 경제적 손실이 GNP의 3.5 ~ 4%에 이른다는 사실이 선진국들의 조사에 의해 나타나고 있습니다. 부식은 모든 생산 및 소비분야에서 일어나고 모든 공업에서 부식과 관계가 없는 것은 하나도 없으며 세계에서 생산되는 철의 약 10 ~ 20%는 부식에 의해 상실되어 간다는 보고도 있습니다.

우리의 일터인 건설현장에서도 철근을 비롯한 각종 배관, 기계장비류등 많은 금속재료의 부식으로 인해 눈으로 보이는 미관뿐 아니고 그 본래의 기능까지 상실하여 이를 복구하는데 많은 비용을 투입하고 있는 실정입니다.

이와 같이 막대한 경제적 손실을 극소화 하기위해서는 금속의 부식에 관한 정확한 이해가 필요며 방식에 대해서 오늘날 이미 알고 있는 지식을 활용하는 것만으로도 부식 손실액의 대부분은 방지할수 있을것으로 보입니다.

부식현상 그 자체는 자연현상이지만 그로 인한 막대한 경제적 손실을 막는 것은 우리의 몫입니다.

2006년 11월 일

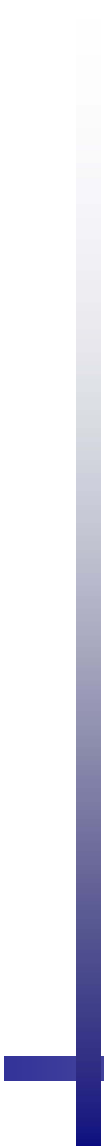
한탑기술사사무소

# 목 차

I. 부식의 의미	4
II. 금속재료의 부식 특성	13
III. 자연환경에서의 부식 특성	41
IV. 부식의 방지 대책	53
V. 부식의 발생 사례 및 FAQ	96

## I

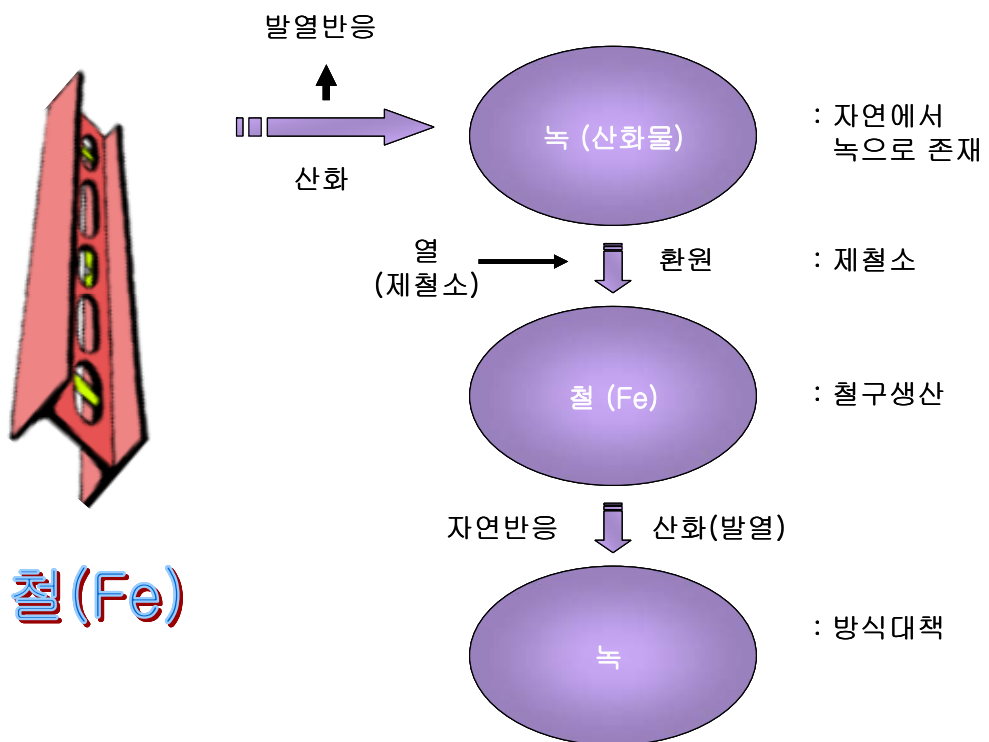
## 부식의 의미

- 
1. 부식이란?
  2. 부식의 원인
  3. 부식의 종류

1. 부식이란?

부식(corrosion)이란 금속이 그 주위환경의 여러가지 물질과 화학적 반응이나 전기 화학적 반응에 의해 발생하는 금속의 파괴 및 유효수명의 단축을 말한다.

즉, 금속의 대부분은 자연상태에 있는 광석에 많은 에너지를 가해 정련한 불안정한 물질이므로 금속의 부식에 의해 다시 안정한 자연상태로 되돌아 가려는 본능을 가지고 있으며 이러한 성질을 재반응(React) 하려는 성질이라고 한다.



대부분의 금속이 금속덩어리 자체로서 보다는 이온(+ 이온 또는 - 이온)으로서의 형태가 안정적이다. 따라서 혼합물로 되돌아 가려는 성질과 마찬가지로 금속은 조건만 갖추어진다면 이온화 하려는 경향이 있다.

그러므로 부식의 또 다른 과학적 표현으로 금속이 이온화하는 경향이라고 한다.

또한 모든 금속은 부식된다. 내식성 금속(백금, 금, 은, 구리, 스테인레스강)의 부식생성물(녹)은 피막이 치밀하여 공기나 물을 통과하지 못하게 함으로서 부식진행

을 차단한다. 즉 부동태 피막(passivation film)을 형성하는 금속은 마치 부식이 되지 않는 금속으로 오인 받는 경우가 많다.

사실상 부식은 금속이나 비금속에 공통적으로 발생하는 현상이나 비금속 물질은 공업의 용도로 사용되는 부분이 미미하므로 부식하면 우선 금속을 생각하게 되는 것이며 따라서 여기에서는 금속의 부식만을 다루는 것으로 한다.

## 2. 부식의 원인

금속의 자연적인 형태가 화합물이고 정련된 금속이 광석으로 되돌아 가려는 성질과 이온화 하려는 경향이 부식의 원인이기 때문에 금속재료는 공업적으로 이용할 수 있는 상태에서 사용하고 있더라도 그 환경속에서 가장 안정된 상태로 돌아가려는 성질을 가지고 있다. 예를 들면 우리가 일상 관찰하는 철의 녹은 물과 공기가 존재하는 환경하에서 가장 안정된 상태를 취한 결과라고 할 수 있다. 이처럼 금속이 부식되는 반응은 금속과 환경과의 조합에 의해 정해지기 때문에 진공속에 있는 철은 녹이 슬지 않는다.

금속이 부식하는 원리는 금속 이온의 용출에 의해 결정되며 금속 용출의 용이함 정도는 그 금속이 수용액 속에서 얼마나 이온이 되기 쉬우냐에 달려있다.

알루미늄과 같이 이온화 경향이 큰 금속은 동시에 전자를 많이 방출하므로 수소이온( $H^+$ )의 경우를 기준으로 해서 표준전극 전위는 마이너스 값으로 낮아져 저급으로 분류되며 백금과 같이 이온화 경향이 적은 금속은 전자의 방출도 적어지므로 표준전극전위는 높은 플러스 값을 나타내서 귀금속으로 분류된다.

금속을 용액속에 담그면 그 금속 고유의 전위를 나타낸다. 상대적으로 표준전극 전위가 낮은 금속과 높은 금속을 전해질 용액속에 담그고 외부에서 전기적으로 접속하면 두 금속의 전위가 다르므로 두 금속간의 전위차에 의해 전자의 흐름(전류)이 일어난다. 이때 전위가 낮은쪽에서는 금속이온의 용출( $M \rightarrow M^+ + e$ )현상이 일어나고 다른쪽에서는 방출된 전자를 받는 반응이 동시에 일어나 결국 전위가 낮은 금속쪽에서만 용해가 되게 된다. 이러한 현상은 동일 금속면에서도 존재한다. 동일 금속면에서도 원장의 배열, 입자의 크기, 불순물의 존재, 결함 존재등에 의해 국부적으로 전위차 발생이 가능하므로 국부전자가 형성되면 부식 반응이 일어나게 되는 것이다.

부식이 발생하기 위해서는 양극(Anode), 음극(Cathode), 전해질(Electrolyte), 전기적 회로(Return Circuit)등 4가지 요소를 갖추어야 한다.

일반적인 배관계(Piping System)에서 배관재는 양극이나 음극에 해당되며 관 내부에 흐르는 유체는 전해질에 해당되고, 배관이 연결되어 있으므로 결국 부식발생의 조건을 다 갖추었음을 알수 있다.

전기적으로 완전한 회로를 이루기 위해서는 전극반응을 이온의 이동이 수반되어야 한다. 양극은 전자가 나오는 부분, 화학적으로는 산화반응이 이루어지므로 부식이 되는 부분이다. 음극은 양극에서 나온 전자를 흡수하며 환원반응이 이루어지는 부분이므로 부식은 되지 않는다. 곧 부식은 전류가 양극의 금속을 떠나 전해질로 들어가는 곳에서 발생하며 양극을 떠난 전류는 음극으로 흘러가 소모되므로 음극에서는 어떠한 부식도 발생하지 않는다.

### 3. 부식의 종류



## 1) 건식(乾蝕) 과 습식(濕蝕)

금속의 부식을 크게 나누면 건식과 습식으로 나눌수 있다.

건식의 전형적인 형태는 연소로 내부에서 금속이 산소를 포함한 고온의 가스중에서 산소와 직접 반응하여 산화하는 것으로 습기가 존재하지 않는 환경중에 200℃ 이상 가열된 상태에서 발생하는 부식을 건식이라 한다. 200℃ 이하로 가열된 상태에서는 금속의 표면에 화합물층이 발생된다고 해도 부식두께가 성장한다거나 금속의 표면에 변화가 일어나지 않으므로 중량의 감소가 없다.

고온에서 금속이 산화되거나 황화 또는 히로젠화 되는등에 의한 금속의 중량 감소 현상은 건식의 전형적인 예이다. 건식의 범주에 들어가는 것으로 액체금속부식이 있다. 고온에서 용융하는 금속은 그것과 접하는 다른 금속을 용해하는 일이 있다. 예를 들면 공조기코일 U밴드의 납땀부에서 버너셋팅의 언밸런스로 과열되어 알루미늄,핀이 용융하면 그것과 접하는 동이 용해되어 응고할때에 알루미늄과 동으로 이루어진 취약한 결정이 생겨서 운전개시후 비교적 조기에 박리하여 누수를 일으키는 경우가 있다.

습식은 금속표면이 접하는 환경중에 습기의 작용에 의한 부식현상으로 상온의 공기중에서 철등이 녹스는 것을 대기부식이라 한다.

금속의 부식사례에서 건식의 특이한 사례가 드물게는 있지만 대부분의 부식은 액체의 수증 및 대기의 습기의 작용에 의해 발생하는 습식에 의한 것 이므로 일반적으로 부식이라 하면 습식을 말한다고 해도 무방할것이다.

## 2) 전면부식(全面腐蝕)과 국부부식(局部腐蝕)

### ① 전면부식(全面腐蝕)

전면부식이란 금속의 표면이 일정하게 녹으로 변해가며 금속의 두께가 어디든지 같은 속도로 소모되어 가는 경우를 말하나, 환경이 금속면의 어디서도 일정하거나 또 금속자체의 성질도 전면이 일정하지 않으므로 정확하게 전면부식은 일어나지 않게 된다. 대개의 부식면은 철, 산중에서의 많은 금속 혹은 고온산소등에서는 거의 전면이 균일하게 침식되므로, 근사적으로 이것들을 전면부식이라고 한다.

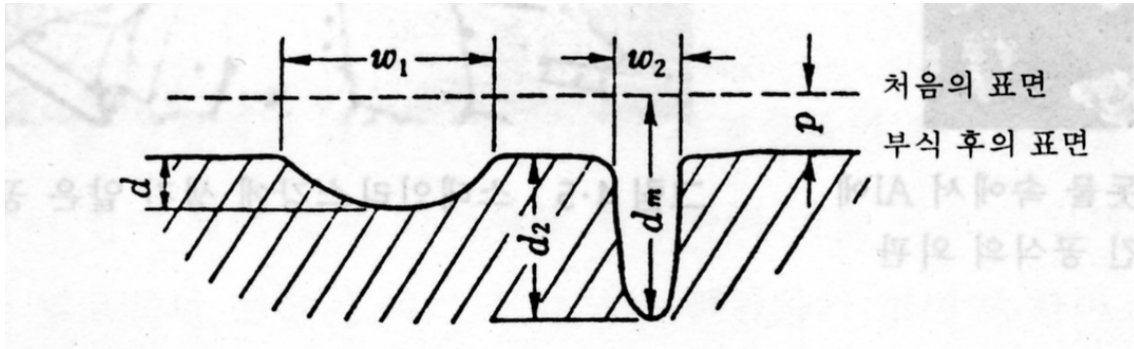
전면부식의 경우에 금속체의 형태는 부식전과 서로 같은 형태를 유지하므로 부식의 정도는 일정시간에 단위면적당 중량이 얼마만큼 줄었는가로 나타낼수가 있다.

그러나 금속에 따라서 밀도가 다르기 때문에 상술한 숫자에서는 직관적인 비교가 어려우므로, 그것을 다시 밀도로 나눠서 길이의 단위로 하여 전면이 일정하게 부식한것으로 하고 두께가 얼마만큼 감소했는가의 수치(침식도 penetration rate)로 나타내는 수도 있다. 예를 들면 해수속에서의 강의 부식은 거의  $25\text{mg}/\text{dm}^2/\text{day}$ 의 부식도 혹은  $0.12\text{mm}/\text{y}$ 의 침식도라고 하고 있다. 다만 여기서 주의할 것은 일반적으로 부식의 속도는 시간과 직선관계에 있다고 한정되어 있지는 않으므로 너무 짧은 기간의 시험에서 얻은 값을 단순히 계산만으로 1년간의 침식도에 대입하는 것은 맞지 않는다. 더욱이 국부부식의 경우에는 상술한 수치를 가지고 부식에 의한 금속체의 손상 정도를 나타낼 수는 없다.

## ② 국부부식(局部腐蝕)

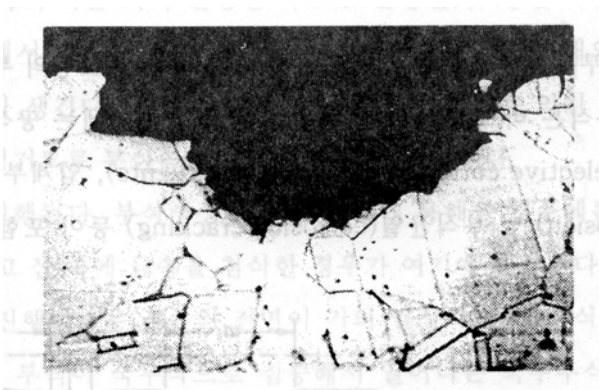
국부부식이란 부분적으로 구멍 모양 혹은 홈 모양의 부식에 의한凹부가 생기고 기타부분의 부식은 비교적 경미한 경우를 말하고 거기에는 공식(孔蝕pitting), 합금성분의 선택부식, 입계부식 및 부식균열등이 포함된다.

금속표면의 어떤 한정된 국부에서만 부식이 빨리 진행되어 파여진 구멍을 공식이라고 한다.

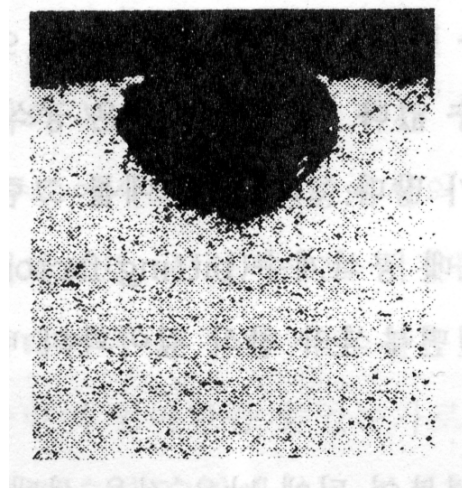


### 공식의 형태

공식은 일반적으로 위의 그림에 표시한 깊이 ( $d$ )가 입구의 크기 ( $w$ )와 같은 정도 혹은 보다 큰 것을 말한다.  $d < w$  의 것도 얇은 공식 혹은 접시모양 이라고 하는데 이것이 많이 있으면凹凸상 부식이라고 한다. 강에서는 얇은 공식이, 스테인레스강이나 알루미늄에서는 깊은 공식이 생기는 수가 많다. 공식의 정도를 나타내는데 공식계수(pitting factor)가 있다. 이것은 공식의 최대 깊이와 전면부식의 침식 깊이와의 비( $pm/d$ )로 침식의 국부집중율을 나타내고 있다.



스테인레스강에 생긴 얇은 공식(300배)



스테인레스강에 생긴 깊은 공식

합금중의 한 성분만이 특히 부식해서 상실되고 타 성분이 뒤에 남은 것을 선택부식

이라 부르고 황동속의 Zn, 금 속의 Cu 혹은 알루미늄청동 속의 Al 등의 부식이 여기에 해당 된다. 이와 같은 부식을 합금성분의 분금(parting) 이라고도 부르고, 부식되기 쉬운 성분의 %가 어떤 값을 넘으면 갑자기 일어나므로 그 한계의 %를 분금 한계(parting limit)라고 한다. 한 성분이 부식되어 없어진 합금은 외견상은 변화를 찾아보기 힘들지만, 강도 특히 연성이 상실되어서 파괴에 이르는 수가 있다.

그러나 Al 혹은 Cr을 포함한 강을 산화하면 그것들이 선택 산화되어서 밀착성이 좋은 산화피막을 만들고 그 후의 산화저항을 크게 하는등 좋은 결과를 가져오는 경우도 있다.

결정입면에 비하여 입계는 일반적으로 부식하기 쉬운 경향을 가지고 있으나 어떤 환경속에서는 입계만이 선택적으로 부식되는 수가 있고 이 때문에 금속체가 물러져서 손으로 만져도 부스러지게 까지도 된다. 이와 같은 입계부식은 부식하기 쉬운 금속조직의 다른 상이 입계에 나왔기 때문이며 스테인레스강이나 Al합금등에 부적당한 열처리를 했을때에 일어난다. 황동제품의 사용중에 일어나는 시즌균열(season cracking)도 입계부식이 원인이고 거기에 금속체내의 잔류응력이 작용해서 균열된 것이다. 이와 같은 부식작용의 결과로서 일어나는 균열은 응력부식 균열(stress corrosion cracking) 속에 포함되고 작용응력은 잔류응력속에서나 사용시의 응력에서도 변하는 일은 없이 균열의 원인이 된다. 응력부식균열은 스테인레스강 이외에도 탄소강, Cu합금, Al합금 및 Ni합금 등에도 일어난다.




1. 콘크리트에서의 철근

2. 아연도금 강관

3. 스테인레스 강관

4. 동관



1. 콘크리트에서의 철근

철근 콘크리트는 오늘날 토목, 건축분야에서 가장 중요한 요소로서 인간의 안전한 생활과 밀접한 관계를 가지고 있다.

콘크리트는 몰탈(시멘트+ 모래+ 물)에 자갈을 첨가하여 강도를 높인 것이다. 또 콘크리트에 철근을 넣어 사용할 때 철근 콘크리트(Reinforced Concrete, RC)라 하여 오늘날 대부분의 대형 건축물에서는 철근 콘크리트를 이용하고 있다. 그리고 강한 힘이 요구되는 파일(pile)용으로 개발된 PC콘크리트(Prestressed Concrete, PC)가 있다. 이는 고장력 강재 철근에 장력을 가한 상태에서 콘크리트를 투설 응고시킨 것으로 대형건물 지지용, 항만, 교량등의 교각용으로 널리 사용되고 있다.

그런데 몰탈이나 콘크리트는 시간이 경과할수록 비록 속도는 느리지만 자연열화에 의한 강도저하 또는 분해는 어쩔수 없는 자연현상이다. 그 속도는 주변 환경조건에 따라 크게 차이가 있지만 지금까지 발표된 자료에 의하면 그 예상 수명을 50-60년 정도로 보는것이 통례이다.

그리고 이 수치는 콘크리트 조제용 재료가 정상적인 비율로 배합된 콘크리트 또는 몰탈에 적용되는 값이란 것에 유의해야한다. 만약 철근 콘크리트 구조물에서도 재료 배합이 부적합하거나 재료 자체에 문제가 있을때는 상기 예상 수명은 얼마든지 달라질수있다.

예로서 모래에 염소이온이 일정량 이상 함유되어 있을 경우 철근 부식은 피할수없으며, 이로 인한 콘크리트의 파괴는 최근 큰 문제점으로 부각되고 있다.

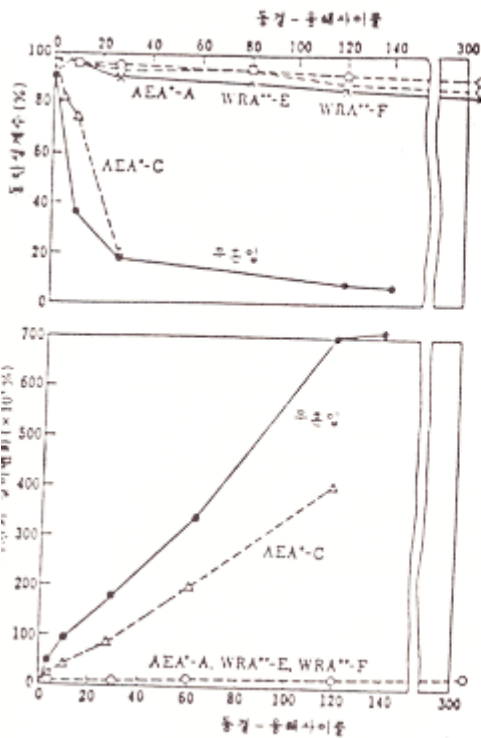
콘크리트 구조물에서의 철근 부식은 구조물의 강도를 떨어뜨리고 수명을 단축시키는 주 원인으로 이에 대한 연구는 오늘날 전 세계적으로 활발히 이루어지고 있으며 동시에 새로운 방식기술이 하나씩 개발되어 소개되고 있다.

#### 1) 콘크리트의 열화

철근 콘크리트의 열화에는 동결 융해 작용 (凍結融解作用), 중성화 (中性化), 염화물 작용 및 황산염의 ettringite 化가 대표적이며, 이들 작용에 수반되는 철근의 부식이 콘크리트의 균열을 야기시키며 또 균열은 산소 및 수분공급을 용이하게 하여 철근의 부식을 가속시킴으로써 결과적으로 구조물의 안전에 큰 영향을 미치게 된다.

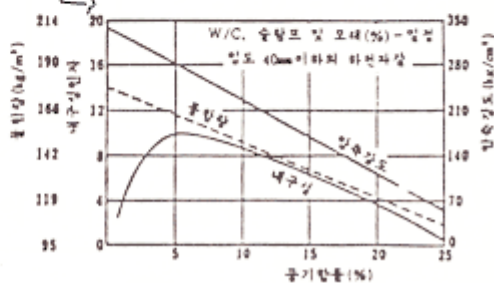
① 동결 융해 작용

온도가 빙점 이하로 강하하면 콘크리트내에 흡입된 수분이 얼게되며, 이때 체적 팽창으로 내부 수분에 압력을 가해 수분이 조직내부로 침투한다. 이러한 작용이 반복되면 콘크리트에 미세 균열을 만들고 균열된 틈으로 수분 침투가 용이해져 균열의 규모가 점차 커지게 됨으로써 문제가 된다. 이러한 영향을 감소시키는 인자는 콘크리트내에 있는 독립된 작은 공기포(空氣泡)이다.



-> 그림1. 각종 공기연행제와 감수제를 첨가한 콘크리트의 동결융해시험결과

그림2. 콘크리트의 동결융해 내구성, 압축강도 및 소요수량에 미치는 공기량 영향



동결 용해 작용을 억제해 주는 약품을 공기 연행 혼화제(AE 제)라 한다. 공기 연행제의 첨가시 동결 용해 작용은 다소 억제되나 콘크리트의 강도는 떨어진다.

그림 1 은 공기연행제 및 감수제의 영향, 그림 2 는 공기량이 콘크리트의 동결용해 내구성, 압축강도 및 소요수량에 미치는 영향을 나타낸다.

(일본 건축학회의 표준 사양서에서는 공기량의 표준값을 3-4%로 정하고있다)

## ② 중성화

콘크리트의 중성화는 철근 부식의 주요 요인이 된다.

일반적으로 콘크리트는 내부에서 pH 가 12 내외로 철근의 부식을 억제해 주고 있으나, 여러가지 이유로 pH 가 10 이하로 떨어지는수가 있다. 이를 콘크리트의 중성화(中性化, Nomalization)라 한다.

콘크리트가 알칼리성을 띠는 것은 시멘트가 물과 반응하여 약 30%가 Ca(OH)<sub>2</sub> 로, 그리고 일부가 Na(OH), K(OH)로 변하기 때문이다.



그러나 콘크리트가 장기간 공기에 노출되면 콘크리트중의 알칼리 성분이 공기중의 탄산가스와 반응하여 알칼리성이 약해진다.

이와 같이 콘크리트가 중화되어 철근에까지 영향이 미치면 그림 3 에서 보는바와 같이 철근이 부식하게 되며 이때 철의 체적 팽창은 콘크리트에 미세 균열을 발생시키게 된다.

일단 미세 균열이 발생하면 콘크리트의 중성화 속도와 철근의 부식속도는 가속화 되어 짧은 기간에 심한 균열을 일으키게된다.



그림 4 는 철근의 자연전위와 pH 와의 관계를 나타낸 것이다.

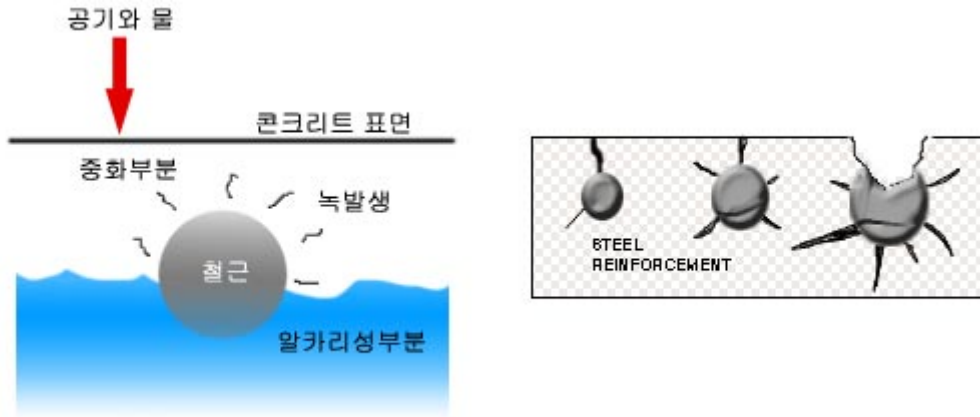


그림 3. 철근의 부식과 균열발생

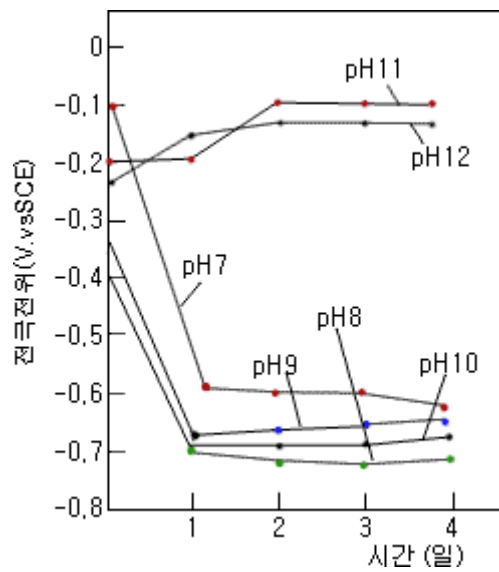


그림 4 철근의 자연전위와 pH 의 관계

표 2 는 콘크리트의 pH 와 철근의 부식량 관계를 나타낸 실험치이며, 그림 5 는 콘크리트 철근의 양극분극과 pH 와의 관계이다.

용액pH	3개월 침지후의 부식량 %W	
	밀 폐	개 방
10.0	0.74	2.46
10.5	0.81	2.20
11.0	0.30	2.00
11.5	0.10	1.80
12.0	0.02	0.02
12.5	0.02	0.01

표2. pH와 철근의 부식량

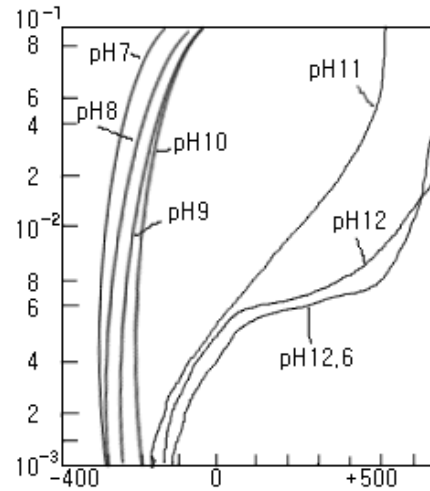


그림5. 양극분극과 pH의 관계

콘크리트 표면에서 내부로의 중성화 진행속도는 다음식을 기준한다.

(1) 물 : 시멘트의 비(w)가 60% 이상일 때

$$t = 0.3 (1.15 + 3w) x^2/R^2 (w-0.25)^2$$

(2) 물 : 시멘트의 비(w)가 60% 이하일 때

$$t = 7.2 x^2/R^2 (4.6w - 1.76)^2$$

w : 물, 시멘트 비, x : 중성화 깊이(cm), t : 경과년수, R : 중성화율 (표 3 참조)

시멘트 종류	세조골재 표면활성제			하천사, 하천자갈			하천사, 경량자갈			경량사, 경량자갈		
	평	AEA*	WRA*	평	AEA	WRA	평	AEA	WRA	평	AEA	WRA
보통 포틀랜드 시멘트	1.0	0.6	0.4	1.2	0.8	0.5	2.6	1.8	1.1			
초조강 포틀랜드 시멘트	0.6	0.4	0.2	0.7	0.4	0.3	1.8	1.0	0.7			
고로시멘트 (슬라그 30-40%)	1.4	0.8	0.6	1.7	1.0	0.7	4.1	2.4	1.6			
고로시멘트 (슬라그 30-60%)	2.2	1.3	0.9	2.6	1.6	1.1	6.4	3.8	2.6			
실리카 시멘트	1.7	1.0	0.7	2.0	1.2	0.8	4.9	3.0	2.0			
프라이 애슈 시멘트(20%)	1.9	1.1	0.8	2.3	1.4	0.9	5.5	3.3	2.2			

\* AEA : air-entraining admixture, WRA : water-reducing admixture

### 표3 콘크리트 인자

실제 콘크리트의 중성화 측정은 페놀프타렌의 1% 알코올 시약으로 측정한다. 시약을 콘크리트 단면에 칠했을 때, 알칼리성 부분에만 착색현상이 일어나고 중성화 부분에는 착색현상이 일어나지 않는다.

### ③ 염화물 작용

염화물에는 여러종류가 있으나 콘크리트와 관련하여 문제삼는 염화물은 NaCl과 CaCl<sub>2</sub>를 주로 말한다. 이러한 염화물이 일정량 이상 포함될 때 철근이 부식되어 구조물을 약화시킬 수 있다.

특히 PS(Prestressed concrete) 콘크리트는 단면적이 적어 약간의 부식도 강도에 큰 영향을 줄 수 있으므로 일반 콘크리트에 비해 염화물의 제한치를 엄격히 하고 있다.

현재 콘크리트용 모래의 염분(NaCl)함량은 일반 콘크리트 구조물에 대해서 0.1%이하, PS 콘크리트 구조물에 대해서는 0.04%로 규정하고 있다.

일반적으로 바다 모래는 염분이 약 0.3% 포함되어 있으므로 이를 세척하지 않고 콘크리트의 골재로 사용하는것은 금지되어 있다. 철근의 부식은 콘크리트의 수명을 좌우하므로 염분의 양은 가능한 낮게 유지하는 것이 바람직하다.

일본 건축학회에선 해수에 접하는 곳의 철근 콘크리트의 콘크리트 피복 깊이를 8cm이상 되도록 규정하고 있다.

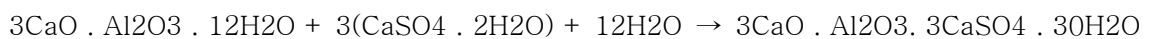
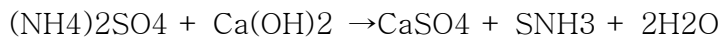
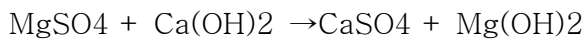
그리고 최근에 미국, 일본 등 외국에선 콘크리트내 철근에 대한 염화물의 영향을 고려하여 염화칼슘과 같은 염화물 동결방지제는 사용을 제한하는 추세에 있다.

즉, 교량이나 고속도로상에 뿌려진 염화칼슘(CaCl<sub>2</sub>) 동결방지제는 교량 상판의 철근을 부식시켜 바닥을 파손시키는 원인으로 보고있다.

#### ④ 황산염의 ettringite 化

토양이나 지하수에 존재하는 황산염이 콘크리트 구조물에 미치는 영향은 다음과 같다. 즉, 콘크리트 중의 수산화 칼슘과 반응하여 석고(石膏)를 만들고 이것이 다시 칼슘 알루미늄과 반응해서 용적이 큰 에트링가이트(ettringite,  $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 30\text{H}_2\text{O}$ )를 형성하므로 콘크리트가 파괴된다.

황산염중에는 대표적으로 마그네슘염과 암모늄염이 있다. 반응식은 다음과 같다.

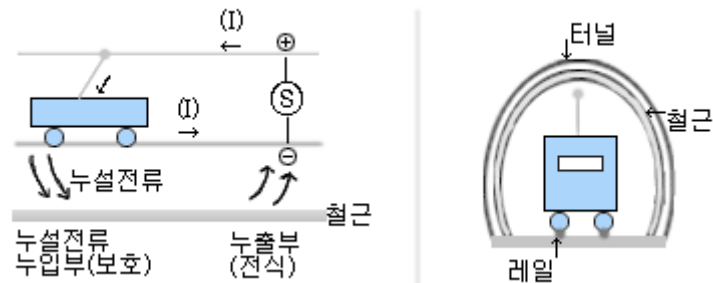


황산염의 Ettringite 化를 방지하기 위해 칼슘 알루미늄 (3CAO·Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)의 양이 적은 내황산 시멘트를 사용하던가 기타 혼화제가 연구되고 있다.

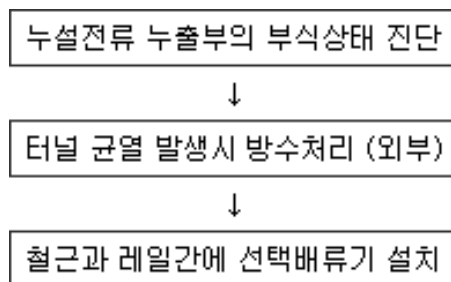
## 2) 전류에 의한 철근의 부식

지하철 터널은 고압을 받는 구조물로서 외부는 지하수로 둘러싸여 있어 철근의 부식문제는 구조물 안전에 직접적인 영향을 미친다.

국내 지하철의 구동원은 DC1500V 전원이므로 레일에서의 누설전류가 터널 내부 철근에 유입되면 변전소 부근에서 유입된 전류가 누출된다. 이때 유출부의 철근은 누출되는 전기량에 비례하여 철근이 부식되는데 그 속도가 크기 때문에 철근이 쉽게 절단될 수 있다.



이에 대한 대책으로 누설전류량과 누설전류 유입부, 누설전류 누출부의 위치를 찾아내어 아래와 같이 방식대책을 세우고 정기적으로 선택배류기의 기능을 체크한다.

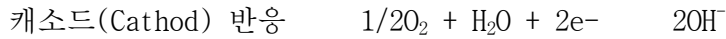
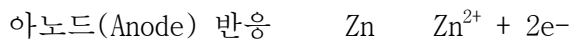


## 2. 아연도금 강관

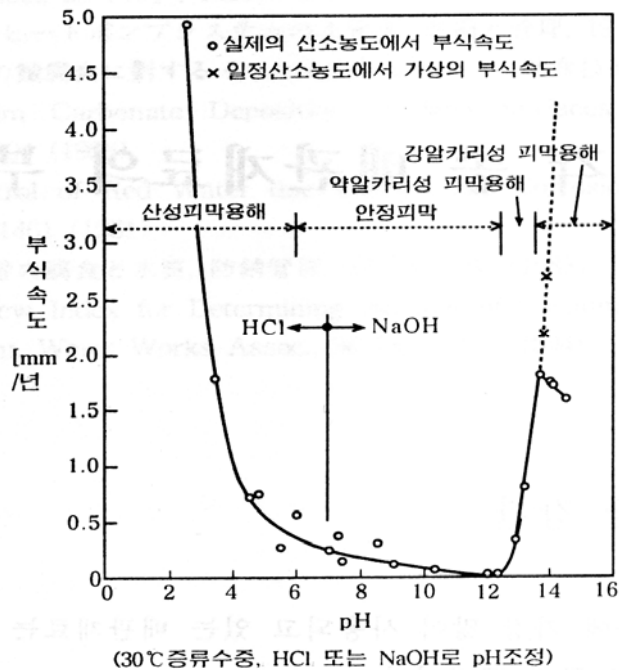
공조설비의 배관계통에 많이 사용되고 있는 배관재료로 일반배관용 탄소강관의 백관을 말한다.

### 1) 중성수중에서의 아연의 보호피막의 형성

산소를 용존하는 중성수중에서 아연은 먼저 다음과 같은 부식반응을 일으킨다.



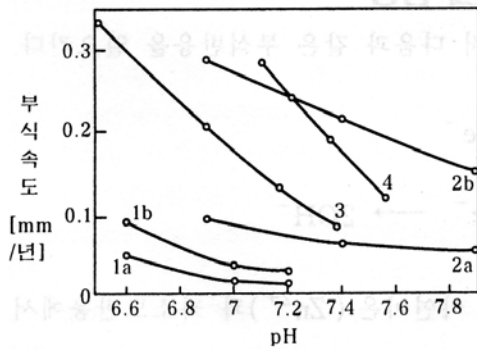
이 반응이 계속해서 아노드 반응에서 생긴 아연이온( $\text{Zn}^{2+}$ )과 캐소드 반응에서 생긴 수산화물이온( $\text{OH}^{-}$ )이 결합하여 물에 용해되지 않는 수산화아연( $\text{Zn}(\text{OH})_2$ )를 형성하며 치밀하고 밀착성 있는 박막으로서 금속아연표면에 부착한다. 이 수산화아연 피막은 pH 6~12의 범위에서 안정한 상태로 존재하며 산소의 확산에 대한 장벽역할을 하게 되어 아연의 부식을 억제한다.



### 아연 부식속도의 pH 의존성

실제의 담수환경에서는 수산화아연뿐만 아니라 용존하는 각종 이온의 작용에 따라 산화아연(ZnO), 염기성 탄소아연( $2ZnCO_3 \cdot 3Zn(OH)_2$ )등으로 구성되는 복잡한 표면피막이 형성된다. 증류수중에서 아연의 부식속도는 pH7에서 약 0.25mm/년 정도의 비교적 큰 값을 나타내고 있으나 실제의 담수 중에서 형성되는 표면피막은 아연의 부식속도를 더욱 더 낮은 수준으로 억제하는 보호피막의 역할을 한다.

이와 같이 아연의 부식속도가 충분히 낮아지는 양상을 각종 수중에서 실험하여 정리한 예들이 아래 그림에 나타나 있다.



No	보고자	물의종류	첨가제	유속[m/s]	시험기간
1	小玉ら	동경 수도수	CO <sub>2</sub> NaOH	a: 0.09 b: 0.16	106일
2	Rückert	베를린 수도수	CO <sub>2</sub> NaOH	0.3	a: 18개월 b: 2개월
3	Kruse		—	0.12	3개월
4	Wernerら		—	0.5	100일

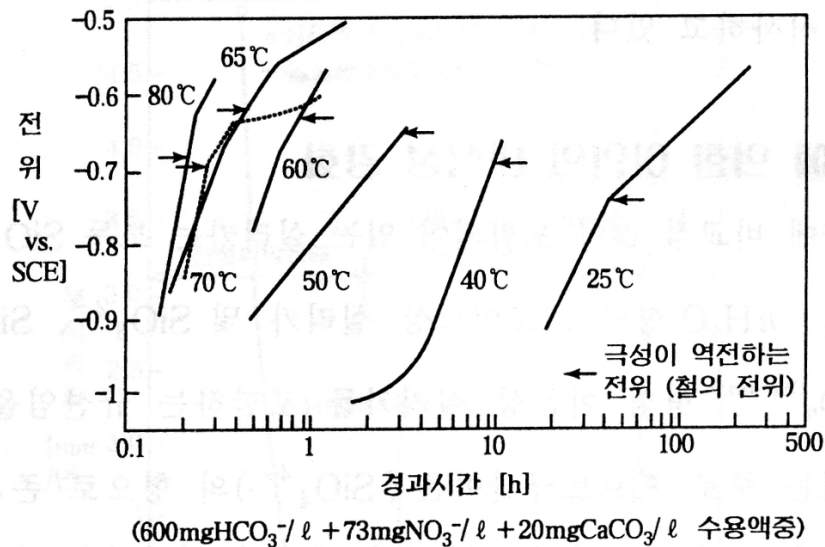
### 각종 중성수(실온)중에서 아연의 부식속도 pH 의존성

여기에서 2a와 2b를 비교해 보면 초기의 단기간보다도 장기간에 걸친 평균부식속도가 상당히 느리게 진행되고 있는것에 주의하기 바라며, 이것은 아연표면의 보호피막이 시간의 경과와 함께 강화되어 가고 있다는 것을 시사하고 있다.

## 2) 아연의 전위변화와 철에 대한 극성의 역전

아연자체는 철과 비교하여 비한 금속이지만 실제로 담수중에서의 전위(자연전위)는 그 표면상태에 의해서 영향을 받는다. 표면에 보호피막이 형성되어져 아연의 부식이 억제되어질 때 아연의 전위는 귀한 방향으로 변화(상승)한다.

아래 그림은 아연의 전위 상승을 돕는 용질이 포함된 수용액에서 각종 온도에서의 아연전위 경과를 보여준다.



### 각종 온도에서 아연전위

여기서 점선으로 표시된 것은 같은 온도에서 철의 전위를 나타낸다. 이 수용액중에서 시간 경과와 함께 아연의 전위는 상승해가지만 철의 전위는 점선의 위치에서 거의 변하지 않는다. 즉 아연의 전위는 점선의 시작점에서 철보다 비한 상태에서부터 귀한 상태로 전환(극성이 역전)하고 있는 것이 된다.

철에 대한 아연의 극성이 역전하는 것이 60°C 이상에서는 1시간내에 일어나는데 비해 상온의 25°C에서는 40시간 이상 요구되고 있다는 것이 실험되어진 25°C에서부터 80°C까지의 전 온도 구간에 나타나 있다. 온도에 따라 다른 점은 단지 그것을 빨리



하느냐 느리게 하느냐 일 뿐이고 철과 아연 극성의 역전은 어느 정도의 온도 이상이 아니면 일어나지 않는 것으로 볼수 있으며 수질에 따라서는 상온에서도 일어나는 것을 나타내고 있다. 즉, 표면보호피막의 형성에 필수적인 산소와 탄산수소이온( $\text{HCO}_3^-$ ), 초산이온( $\text{NO}_3^-$ )등이 아연의 전위상승을 조장하고 염화물 이온( $\text{Cl}^-$ ), 황산이온( $\text{SO}_4^{2-}$ )등이 전위상승을 억제하고 있다.

### 3) 산소부족에 따른 아연의 공식

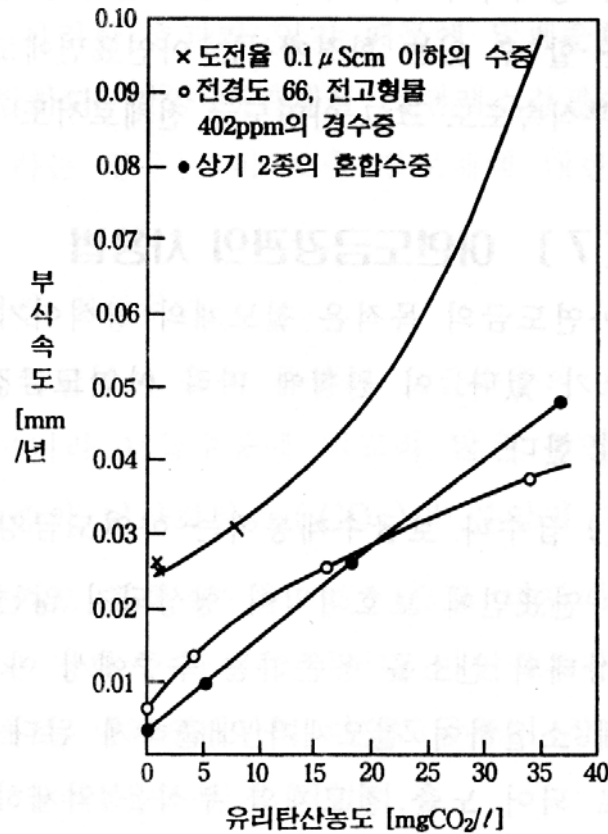
아연의 표면피막형성에 대한 산소의 움직임은 매우 중요한 요소이며, 피막을 유지하기 위해서는 아연표면에 산소의 충분한 공급이 필요하다. 만약 아연표면에 산소가 충분히 전달되지 않을 때에는 피막에 결함 개소가 생겨 거기에서 아연의 공식이 시작된다. 피막으로 덮여진 그 주변은 아연자체 보다도 높은 전위를 가지는 Cathode가 되는 것 뿐만 아니라 Anode에 비해서 면적을 극히 넓히게 되므로 피막의 결함부에서 노출한 아연의 Anode 용출을 재촉하여 결국에는 철 모재도 노출시킨다. 이때에 주위의 피막으로 덮여진 아연도금층은 철에 대해서 극성이 역전해서 높아져 있으므로 희생양극으로는 되지 않아 아연도금 표층의 귀한 전위가 노출 철모재의 부식을 촉진한다.

### 4) 유리탄산에 따른 아연의 부식

pH가 중성에서 산성으로 변함에 따라 아연의 부식속도가 증가한다. 이것은 아연표면의 보호피막을 구성하고 있는 산화아연, 수산화아연, 염기성 탄산아염 등의 염기성물질이 산성환경 중에서는 중화되어 소실하기 때문이다.

실제의 담수에서는 pH를 저하시키는 산성물질은 유리탄산뿐이라고 해도 좋다. 아연의 부식속도에 대한 유리탄산농도의 영향을 다음 그림에 나타낸다. 여기에서 경도성분을 포함한 수중에서 아연의 부식속도가 경도성분을 전혀 포함하지 않은 수중에

서보다도 작은것에 주의해야 한다. 이것은 경도성분을 포함하는 수중에서는 탄산칼슘을 주성분으로 하는 보호피막이 아연표면에 석출하기 쉽기 때문이다.



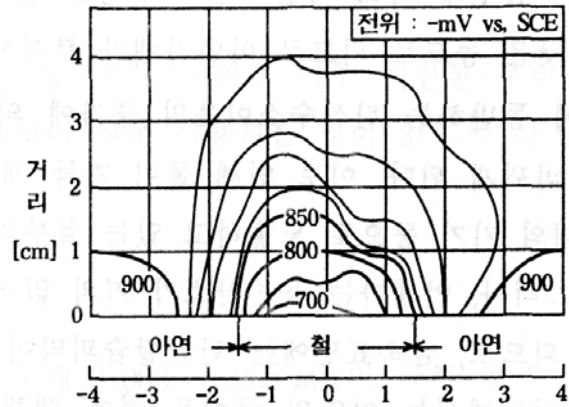
각종 수중에서 아연의 부식에 미치는 유리탄산농도의 영향

#### 5) 아연의 희생양극 작용

아연표면에 보호피막이 형성되지 않은 조건에서는 아연의 극성은 역전되지 않고 아연도금은 철 모재에 대해 희생양극으로서의 기능을 할수 있다. 그러나 아연이 용출해서 노출된 철 모재가 커지면 그 중심부에 대한 방식효과가 미치지 못하게 되며 특히 물의 전도율이 작아질수록 방식할수 있는 노출 철 모재의 크기가 작게 된다. 황산나트륨(Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)의 수용액중에서 노출 철 모재 중심의 전위를 철의 방식전위 이하로 유지할수 없게 되는 최대 직경과 이 경우 노출 철 모재의 경계부근에서 등전

위선이 밀접하여 있고 경계에 접하는 아연층의 말단이 선택적으로 용해되어져 있는 것을 의미하는 표와 그림이 다음과 같다.

Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> [wt %]	도전률 [μS/cm]	방식가능한 최대직경 [cm]
0	5	1.0
0.001	9.1	1.5
0.01	91	6.0
0.1	890	7.0



아연도금으로 방식가능한 노출 철 모재의 최대직경      아연도금중의 노출 철 부근의 전위분포

보호피막이 형성되지 않은 부식성 환경에서 아연도금은 어느 정도 크기의 노출 철 모재를 방식해서 철 모재의 부식 개시를 지연시키지만 노출부 주변의 아연층 말단이 선택적으로 용해하게 되므로 노출부 직경의 확대속도는 빠르게 되어 노출 철 모재의 중심이 방식할수 없는 상태까지 비교적 빠르게 도달하게 된다. 그 뿐만 아니라 아연이 희생양극으로서 기능을 할수 있는 환경에서는 아연표면에도 보호피막이 발달하지 않기 때문에 아연자재의 부식속도도 크고 아연도금 전체로서도 비교적 빠르게 소실한다.

#### 7) 아연도금강관의 사용법

아연도금의 목적은 철 모재의 방식이지만 이 경우 아연자재도 용출되지 않도록 할 필요가 있다. 이 원칙에 따라 아연도금강관의 사용법은 다음과 같은 기준을 적용하여야 한다.

① 급수나 보급수계통에는 아연도금강관은 적합하지 않다.

아연표면에 보호피막이 형성되지 않는 조건, 즉 유리탄산이 많아서 포화지수가 부(-)상태의 산소를 용존하는 수중에서 아연의 부식속도는 크고 아연도금은 비교적 빠르게 소실하여 철 모재가 노출하게 된다. 노출 철 모재가 작을 때에는 아연이 희생양극으로 되어 노출 철 모재의 부식을 억제하나 그 후부터 노출 철 모재의 확대속도는 빨라서 결국 아연의 방식작용이 미치지 못하게 되어 철 모재의 부식이 시작된다. 급수나 보급수는 이러한 조건들을 갖추고 있으므로 이들 계통에는 아연도금강관은 적합하지 않다.

② 밀폐순환계통에는 아연도금강관이 적합하다.

밀폐순환계에서는 물의 교체등에 따른 계 내부로의 산소의 반입을 최대한 줄일 필요가 있다. 그 전제를 충족할수 있다면 유리탄소가 많고 포화지수가 부(-)인 상태의 산소를 용존하는 보급수로 가득 채워도 우선 산소에 의해 아연표면에 형성된 염기성 수산화아연이 유리탄소를 중화해서 극히 낮은 농도로 되므로 아연자체가 부식하지 않게 된다. 또한 유리탄소의 감소와 그것에 동반하는 탄산수소이온의 증가에 의해 pH가 상승하고 포화지수가 정(+)으로 바뀌게 된다. 이로 인해 물이 가득 채워진 후 잠시 용존산소농도가 높아질때에도 계내의 기기등으로 노출하고 있는 철부위도 방식이 된다. 그러나 언젠가는 용존산소가 거의 없어져 산소에 따른 Cathod반응이 일어나지 않게 되므로 금속표면에는 탄산칼슘피막이 석출하지 않게 된다. 또 포화지수가 플러스 상태에서 아연의 극성은 철에 대해서 역전하여 귀하게 된다.

그 때문에 계내에 조금씩 반입되어지는 산소에 의한 부식은 아연표면의 결함부에 집중하여 하지의 철까지도 관통하는 공식이 된다. 어쨌든 밀폐순환수중에는 용존산소와 유리탄소가 함께 소멸하여 극히 낮은 농도로 되어 계내의 금속은 부식하지 않게 된다. 이러한 효과가 있기 때문에 밀폐순환수계통의 배관재로서 아연도금강관이 적합하다.

③ 개방 냉각수계통에는 아연도금강관이 가장 적합하다.

개방 냉각수에서는 뒷장에서 기재하듯이 냉각탑에서 물이 증발해 보급수중의 경도 성분과 알칼리도성분이 농축되고, 그 뿐만 아니라 보급수중에 비교적 많은 편인 유리탄소가 냉각탑에서 대기로 방산되어, 대기중의 이산화탄소의 분압과 평형을 이루는 저농도로 감소하여 pH를 상승시키고 포화지수를 정(+)으로 바뀌게 한다.

그 결과 아연도금 표면보호피막의 형성과 강화가 확실히 일어나 아연자체가 부식하지 않고 철 모재도 부식하지 않는다. 실제로 냉각수배관의 아연도금층이 장기 사용 후에도 아주 건전하다는 것을 조금이나마 알아볼수 있게 되었다.

한편, 스테인레스강관에서는 용접부에 열산화 스케일이 조금 남아있는 경우는 물론이고 열산화물이 산 세정에 의해 제거되어져 있어도 냉각수 특유의 부유 현탁물의 부착을 기점으로 하여 부동태형 금속 특유의 극간부식이 시작되는 공식이 일어나기 쉽다. 이상과 같이 개방 냉각수계통의 배관에는 아연도금강관이 가장 적합하고 아연의 특성이 가장 잘 살려지는 용도이다.

### 3. 스테인레스 강관

#### 1) 스테인레스강이란?

일반 철에 크롬을 조금씩 첨가하며 같은 현상을 관찰해 보면 크롬량이 약 12% 이상이 되면서 현저하게 부식속도가 떨어지는 것을 발견하게 되는데 이것이 크롬에 의해 형성된 부동태 피막의 효과에 의한 것으로 이 현상을 이용한 제품이 바로 스테인레스강이며 그 범위는 다음과 같은 몇 가지로 정의할수 있다.

첫째, 합금성분으로서 크롬을 함유하고 있으며 그 함유량이 스테인레스의 내식성을 유지하여 주는 부동태피막을 만들수 있는 12% 이상일것.

둘째, 그 합금을 공업재료로서 사용할수 있기 하기 위해서 이것을 저해하는 범위 이상의 크롬을 포함하지 말 것.(32%의 경우는 단순 합금강으로 분류)

셋째, 스테인레스강은 강이므로 철 이외의 합금원소가 50% 이하일것 등이다.

스테인레스강은 절대로 부식되지 않는것으로 오해를 하는 경우가 있으나 사용환경의 변화와 관리의 소홀로 인하여 이 피막이 손상되었을 경우는 내식성이 상실되어 부식이 진행될수 있으므로 올바른 이해와 대책이 필요하다 하겠다.

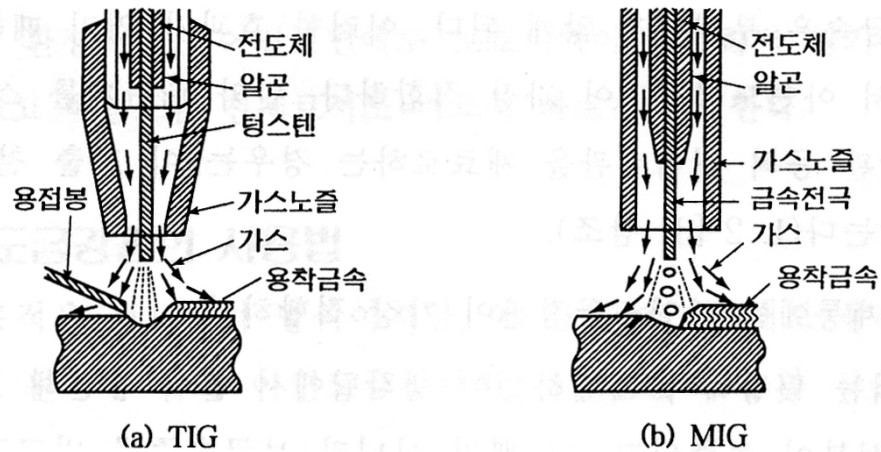
#### 2) 스테인레스강의 부동태화

Stainless Steel은 [녹이 슬지 않는 철강]을 의미하며 일반 탄소강과 비교할 때 아주 뛰어난 내식성을 보유하고 있어 많은 용도에 광범위하게 이용되고 있다. 그러나 스테인레스강도 특정한 환경, 사용 조건에서는 부식이 발생한다. 스테인레스강의 내식성은 강관의 표면에 형성된 두께 0.003~0.005 $\mu$ m의 극히 얇은 크롬산화 피막(부동태피막)의 작용에 의하여 유지되는 것이다. 따라서 스테인레스강은 사용전 표면의 유지나 오염물을 깨끗하게 제거하여 사용환경중 전면에 균일하게 부동태피막이 형성되도록 해야 한다. 만약 세정이 안되어 표면이 전면에 오염된 채로 사용되면

스테인레스강의 내식성능은 충분히 발휘 될수 없다.

스테인레스강을 공기 중에서 용접하는 경우 산화성 분위기에서 가열되었을때에 생기는 착색된 열산화물피막(산화스케일)은 상당한 두께(0.030.05 $\mu$ m)를 갖게 되며 그 구조는 취약하여 부동태피막과는 달리 내식성을 발휘하지 못한다.

따라서 스테인레스강을 용접할때에는 산화스케일이 생기지 않도록 TIG 용접법이나 MIG 용접법에 의해 알곤등의 불활성 가스중에서 공기와 차폐시켜 용접을 해야 한다.



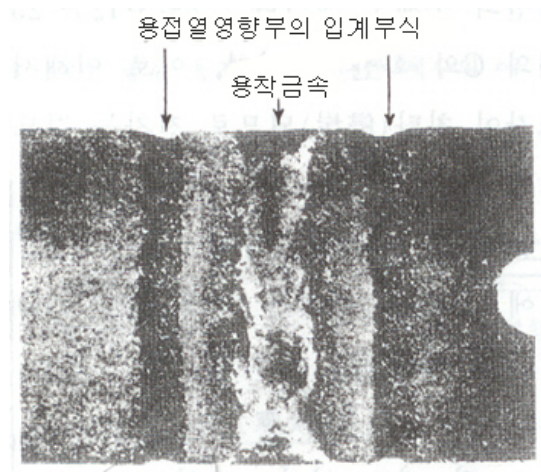
이 때에 피 접합체의 내측도 공기로부터 차폐하기 위해 배관의 용접에서는 파이프 내에도 알곤가스를 흘려서 백실파를 하면서 용접을 한다. 그러나 불활성 가스중에도 주위공기가 혼입되어 미량의 산소가 포함되고 용접토치의이동과 함께 여열을 받은 표면이 직접공기에 접촉되므로서 황색 또는 청색으로 착색된 얇은 산화스케일이 형성되어진다. 이 산화스케일은 완전히 제거해야 하며 두꺼운 산화스케일이라면 먼저 샌드블라스트를 한후 산세정으로 제거한다. 산세정의 경우에 염산이나 황산은 모재에 공식을 발생시킬 우려가 있기 때문에 초산수용액을 이용한다. 이렇게 스케일을 제거한 후에 산화성 산인 초산수용액으로 부동태처리를 하는 것이 바람직하고 그것에 의해서 스테인레스강에 최고의 내식성을 부여하는 것이 가능하게 되었다.

### 3) 스테인레스강의 부식 유형

#### ① 입계 부식

입계 부식이란 부식이 결정 입계에 따라 집행하는 형태의 국부부식으로 이 부식은 내부로 깊게 진행되면서 결정입자가 떨어지게 된다. 용접 가공시 열저항부, 부적절한 열처리 과정, 고온에서의 노출시 주로 발생된다.

크롬(Cr)은 탄소와 결합하기 쉬운 성질을 가지고 있으며 고온으로 가열되면 쉽게 결합하여 크롬탄화물을 형성하고 이 물질은 전부 결정입계에 석출하게 되는데 크롬탄화물이 석출된 주변에는 크롬을 빼앗겨 크롬 고갈층이 존재하게 되고 이것이 진행된다면 결정입계에 따라 부동태화 한계인 크롬 함유율 12%를 하향하는 부분이 생기게 된다. 이렇게 해서 스테인레스강의 결정입계에 크롬 결핍층이 형성되는 것을 예민화(sensitizing)이라고 한다. 이런 예민화는 약 550~800℃ 온도 구간에서 유지되거나 더 고온에서 유지후 이 온도 구간 서서히 통과할 때 발생된다.



STS304(Cr18%, Ni8%)로 대표되는 오스테나이트 스테인레스강에서도 약 3mm 이하의 얇은 박강의 경우는 용접후의 냉각속도가 빠르고 예민화 온도 유지시간이 짧기 때문에 예민화는 일어나기 힘들다. 그러나 잘 용접되지 않은채로 고온상태가 점차 이

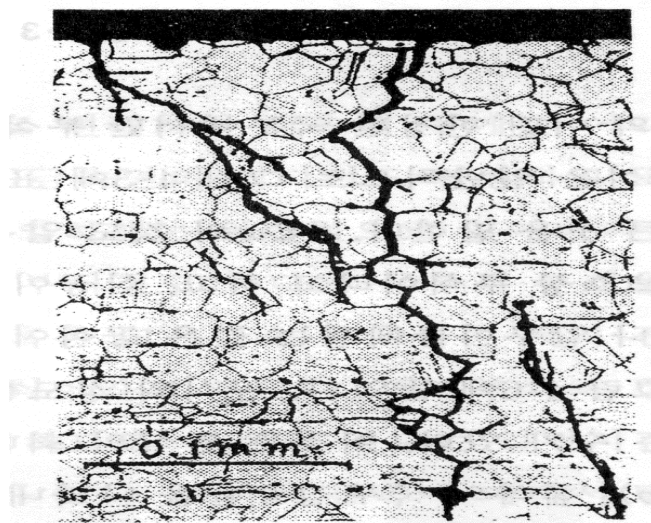


어지면 가벼운 정도의 예민화를 생성해서 용접후의 산화스케일 제거를 위한 산 세정시에 입계부식을 받을수도 있다.

두꺼운 강의 오스테나이트계 스테인레스강을 용접할 경우는 1050~1150℃에서 고용화 열처리를 실시하면 용접손상을 막을수 있다. 그러나 현장에서 용접후 이런 열처리를 행하는 것은 가능하지 않기 때문에 강중에 탄소농도 자체가 작은 STS304L, 316L 또는 티타늄(Ti), 니오브와 탄타르(Nb)등을 첨가하여 탄소를 안정화 시킨 STS321, 347등을 선택하면 좋으며, 용접후에는 가능한 급냉각을 행하는 것이 좋다. 또한 용접후에는 용접부를 잘 연마해주고 질산연 처리를 해주면 좋다.

## ② 응력부식균열(stress corrosion cracking : SCC)

SCC는 금속표면이 응력을 받고 있는 상태에서 염화물 등의 할로겐 이온을 포함한 환경속에 있을때에 육안으로는 녹과 부식이 확인되지 않으나 일정 시간을 초과한 후에 표면에 미세한 조짐이 생기는 현상이다.



스테인레스강의 응력부식균열

정도의 차이는 있지만 각각 특이한 환경중 대부분의 금속에서 SCC를 생성할 잠재적 가능성이 있지만 실용상 빈번하게 생겨서 문제가 되는 대표적 금속은 오스테나이트계 스테인레스강이다. 본 부식은 균열의 전파속도가 매우 빨라 부품의 파괴가 2~3일 혹은 수시간내에 일어날수도 있으며 중량의 구조물들을 오스테나이트계 wire등으로 지지해 놓은 환경하에서 염소 농도가 미친다면 매우 위험하다.

SCC의 발생에 영향을 미치는 환경인자는 온도 및 염화물이온( $Cl^-$ )의 농도이다. 또 내적요인이 되는 표면 인장응력은 가공 및 용접에 따른 잔류응력일 경우가 대부분이며, 이들이 실제로 생기는 SCC의 반 이상을 차지하고 있고 또 하나의 인장응력으로서 열응력이 있다. 한편 사용할때의 압력등의 역학적 외력에 따른 인장응력은 작고 그에 따른 SCC의 발생은 드물다. 또 pH 2.8 ~ 10.5의 범위내에서는 pH의 영향을 거의 받지 않는다. 오스테나이트계 스테인레스강에서는 보통강과 페라이트계 스테인레스강에 비해 열팽창계수가 50%정도 크며, 또는 가공 경화성이 크다는 2가지 점에 의해 용접시 잔류응력이 크게 되는 경향이 있다. 특히 가공 경화성이 큰 것은 소성가공에 의해 항복점이 상승하는 것을 의미하고 이것은 가공후의 용접잔류응력의 상한치를 높이는 원인이 된다. 이 때문에 비 용접부에서는 SCC를 생성하지 않는 온화한 환경에서도 용접부에 SCC를 생성하기 쉽다. 더구나 용접부의 SCC에는 모재부에만 균열을 생성해 용착 금속부는 깨지지 않는 경우가 많다. 이것은 용착금속중에 수 %정도 생겨있는 페라이트상이 SCC의 전파를 방해하기 때문인데 이것을 키효과(keying effect)라고 한다. 또한 합금중에 질소가 포함되어 있으면 내 SCC성이 악화한다. TIG용접과 MIG용접에 있어서 공기와 차폐시켜 용접하는것도 표면의 산화를 방지할 뿐만 아니라 용융금속이 공기중의 질소를 흡수하지 않도록 하는 것을 목적으로 하고 있다. 오스테나이트계 스테인레스강의 SCC는 60~70 °C 이상의 고온에서 생기기 쉽고 60°C이하에서의 SCC는 드물다. 따라서 60°C 이상의 사용조건에 대해서는 다음과 같은 SCC 대책을 세울 필요가 있다.

첫째, 가공 및 용접에 의한 잔류응력을 제거하기 위해 응력제거 열처리를 한다.

STS304와 STS316에 대해서는 예민화를 방지하기 위한 고용화 열처리에 있어서 응력 제거 열처리를 겸할수 있다. 저탄소인 STS304L와 STS316L, 혹은 안정화 스테인레스강인 STS321와 STS347의 경우는 850~900℃에 가열후 서냉하는 열처리로도 된다.

둘째, 탄소를 공존하는 중성환경에서는 Cathod 방식법(전기방식법)이 SCC 방지에 가장 효과가 있다. STS304강은 약 -0.4V, STS316강은 약 -0.35V 보다도 비하게 하면 SCC가 발생하지 않게 된다. 이 Cathod 방식법에 의해서 스테인레스강 하나의 약 점인 공식 발생도 아울러서 효과적으로 방지할수 있다. Cathod 방식법은 스테인레스강제 저장조에 이용하고 있다.

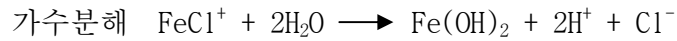
셋째, 염화물등의 할로겐화물을 환경으로부터 제거한다. 이것은 특히 보온재를 선정할 때 충분히 주의해야 한다. 특히 탄소 마그네시아의  $Cl^-$  함유량 및 온수중에 침전한 우레탄폼에서 용출한  $Cl^-$  함유량이 많으므로 고온의 기기 배관에 이용되는 보온재는  $Cl^-$  함유량이 적은 규산칼슘, 펄라이트, 글라스울등을 적용한다.

넷째, 탄소를 포함하는 중성환경에서 Cathod 방식법등의 유효한 SCC 방지책을 실시할수 없는 경우는 사용재료를 검토할 필요가 있다. 오스테나이트계 스테인레스강에서는 니켈 함유율이 높을수록 내 SCC성이 좋아진다. STS310S와 Carpenter20등이 그것이다. 또한 규소의 첨가도 내 SCC성을 높이는데 4% 전후의 규소를 첨가한 STSXM15J는 우수한 내 SCC성을 가진다.

### ③ 공식(Pitting Corrosion)

공식은 부동태 피막을 파괴 시킬수 있는 높은 염소이온 농도가 존재하는 분위기 하에서 스테인레스강이 놓일 때 부동태 피막이 국부적으로 파괴되어 그 부분이 우선적으로 용해 되므로서 발생한다. 이 국부용해에 의해 생긴 공동내에 축적된 착이온

은 가수분해를 일으켜서 공동내의 pH를 낮추고 금속의 부식용해를 활성화시킨다.



이 공동내의 Anode 반응은 처음에는 유동하는 물로부터 금속면을 차폐하는 침전물 등의 하부에서 극간 부식으로 생기고 동시에 차폐물의 부동태화한 넓은 표면에서 진행되는 Cathod 반응에 의해 가속되어 극히 단기간에 공식이 발달하고 조기에 관통에 이르게 된다.

염화물에 의한 스테인레스강의 공식은 실제로는 구조적인 혹은 부착물 하부의 극간 부식이 선행하고 그것이 공식으로 발전하는 것이 보통이다. 따라서 스테인레스강 배관에서는 물속의 부유 현탁물의 부착을 방지하기 위해 유속을 가능한 한 높이는 것이 중요하다. 또한 물의 유동은 부동태 피막에 흡착하는 염화물 이온이 편재화하는 것을 방지하고 공식의 초기 단계에서 공동내의 수소이온을 세정하고 공동내에 산소를 보충함에 따라 재부동태화를 촉진하여 공식의 발생과 성장을 억제할수 있다. 그러므로 부유 현탁물이 많고 용질의 농축에 의해서 염화물 이온의 농도도 높아지는 개방계통의 냉각수배관에는 스테인레스 배관이 적합하지 않다.

#### ④ 오스테나이트계 스테인레스강에서의 아연에 의한 균열

금속재료가 다른 액체 금속중에서 통상의 인장강보다 낮은 응력에서 취화균열을 일으키는 현상을 금속취하라고 하는데 오스테나이트계 스테인레스강에서는 용융아연에 의해 심한 액체 금속취하를 일으킨다. 아연도금강과의 단순한 접촉, 아연도금강의 용접 접합부 마감에 의해 비산한 아연분말의 부착등에 의해 오스테나이트계 스테인레스강에 아연이 부착할 가능성이 있다. 그 경우 750℃이상의 온도영역에서 인

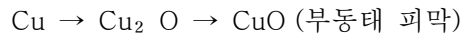
장응력이 가해지면 니켈과의 금속간 화합물을 생성하면서 결정입계에 아연이 급속히 침입하여 수초만에 입계균열이 발생한다. 입계균열은  $0.01\sim 0.1\text{mg}/\text{cm}^2$  정도의 극히 미량의 아연부착량에서도 발생하는것으로 알려져 있다.

용접을 하려고 하는 장소에 아연부착의 의심이 되는 경우는 아연 검출액으로 검사하여 아연이 검출되는 경우 10% 초산액으로 산세정하여 제거한다. 단, 아연페인트가 부착된 경우는 단순하게 와이어브러시나 샌드 마감으로는 아연을 확실히 제거할 수 없고 용접후에 균열이 생길 가능성을 남기기 때문에 샌드 브라스트를 한후에 산세정을 할 필요가 있다.

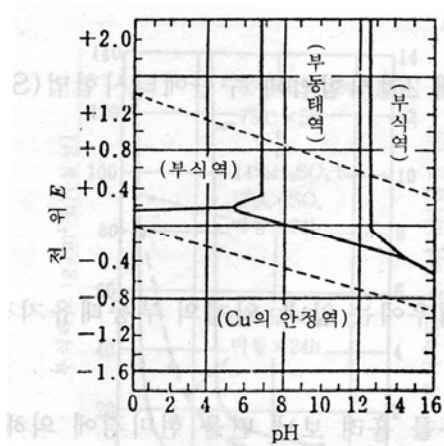
## 4. 동관

### 1) 동관의 부식 특성

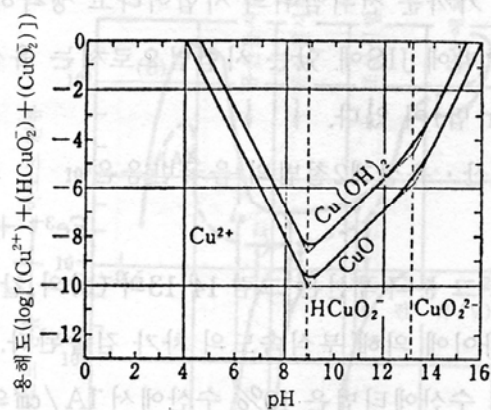
동은  $\text{Cu}_2\text{O}$ ,  $\text{CuO}$  또는  $\text{Cu}(\text{OH})_2$  등의 얇은 표면 피막의 형성에 의해서 양호한 내식성을 갖게 되며 산화반응은 다음과 같으며  $\text{CuO}$ 는 pH6.7~12.7에서 이것들의 표면 피막에 의해 동은 부동태화 한다.



동합금의 내식성도 이것들을 주체로 하고 그 외에 합금성분인 산화물등을 포함하는 표면 피막에 의한 것은 마찬가지이다. 따라서 이들 피막이 형성되지 않거나 손상을 입는 환경에서는 동이나 동합금 모두 부식이 진행된다.



Cu의 부식도



CuO 및 Cu(OH)₂ 용해도의 pH에 의한 변화

## 2) 동관의 부식 환경

동 및 동합금의 표면 보호 피막의 형성이 손상되어 부식이 진행되는 일반적인 환경 조건 및 부식현상을 간단하게 기술하면 다음과 같다.

① 산소를 용존하는 수중에서 유리탄산이 많으면 동은 탄산수소염으로 되어 수중에 용출한다. 이것이 급수계 동배관에 있어 동용출의 원인이다.

② 산소를 용존하는 수중에 동과 착이온을 형성하는  $\text{NH}_4^+$ 이 있으면 동은 이것과 착이온( $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ )을 형성하고 용출한다. 증기 보일러계에서 증기, 복수계 부식 억제제로서 암모니아나 몰페린 등의 탄산중화형 아민이 주입되어 있으면 다량의  $\text{NH}_4^+$ 가 존재한다. 증기보일러계는 일반적으로 탈산소상태로 되어 있기 때문에 증기나 복수의 산소농도는 낮으나 산소농도가 높으면 동관 및 동합금체에 부식을 일으킬수 있다.

③ 냉온수 배관계등 일반 담수중에  $\text{NH}_4^+$ 가 존재하는 경우는 보통은 없으나 아초산염계 방식제가 투입되어 있는 수중에서 방식제 성분인 아초산이온( $\text{NO}_2^-$ )과 평형해서 미량이지만  $\text{NH}_4^+$ 가 존재하는 경우에는 황동계의 동합금체에 응력부식균열을 일으키기도 한다.

④ 염화물이온( $\text{Cl}^-$ )이 많은 수중에서는 황동이 탈아연 부식을 일으키기도 한다. 탈아연 부식은 아연의 양이 20% 이상인 황동에서 아연 함유율이 높을수록 일어나기 쉽다. 탈아연 부식은 물이 정체하고 있는 곳에서는 볼수 있으나 유동하는 수중에서는 볼수 없다.

⑤ 산소를 용존하는 고속 내지 격심한 난류 상태의 유동수중에서는 보호피막이 기계적 파괴작용에 의해 손상을 입고 금속본체가 움푹 패이는 침식을 입는다. 이것을 충격부식(impingement attack) 또는 침식-부식(erosion corrosion)이라고 하고 동에서 특히 일어나기 쉽고 단순 황동에서도 일어나는 수가 있다. 수중에 기포가 있

거나  $Cl^-$  농도가 높거나 pH가 저하하면 더욱 더 심해지며 급탕용 동배관에서 자주 발생한다. 급탕용 동배관의 침식-부식은 0.8m/s 이상의 평균유속에서 생길 가능성이 있으며 0.8m/s 이하에서는 일반적으로 발생하지 않는다. 또 대략적으로 낮은 위치에 저탕조가 있는 것은 좋지 않으며 일반적으로 가늘게 되어 있는 리버스 리턴관의 반송관이나 펌프의 토출구에 가까운 곳이 위험하다. 용존가스는 수두압이 약 20m 이하인 곳에서 기포로 분리되기 때문에 이와 같은 장소 즉 순환계의 가능한 한 높은 위치에 공기빼기 장치나 그에 준하는 것을 설치해야 한다

⑥ 산소가 용존하는 수중에서는 금속표면으로의 산소의 확산도달속도가 낮은곳에서 금속이 용출하여 국부부식이 진행된다. 이것은 산소농담 전지작용에 의한 것으로서 구조적인 극간 내부나 오염물, 녹등의 수중 부유물이 부착하는 부위에서 주로 발생하고 일반적으로 극간부식이라고 하며 특히 부착물 하부에 생기는 것을 Deposit attack 이라 한다. 냉각수계에서는 냉동기 콘덴서에서 Deposit attack이 생기는 경우가 있다.

⑦ 기계적인 변형이나 뒤틀림에 의해 보호 피막이 손상을 받는 수가 있다. 동표면의 피막이 두껍게 발달해 있을때에 모재금속의 진동 등에 의해 생기는 것으로 그 결과 산소가 용존하고 있는 수중에서는 피막의 손상부 주변에서 금속면에 도달하는 산소량이 변화하므로 산소농담전지에 의한 미세한 공식을 생기게 하는 수가 있다. 또한 이 공식이 기점이 되어 피로파괴에 이르는 일도 있다. 급탕용 열교환기 튜브의 곡관부에서 드물게 발생하는 현상이다.

결론적으로, 동관의 우수한 내식성을 충분히 이용하기 위해서는 산화성산 및 산화제를 포함한 비산화성산, 강알칼리 및 착이온을 만드는 알칼리, 강한 산화제 또는 산화성염을 포함한 환경,  $H_2S$  같은 유화물, 용존산소가 있는 고속유수 등의 환경을 피하는 주의가 필요하다.



### III

## 자연환경에서의 부식 특성

1. 대기 부식
2. 지중 부식
3. 해수부식
4. 미생물 부식

# 1. 대기부식

연마된 Fe를 대기속에 두면 결국 그 표면은 빛을 잃고 흐리기 시작하여 결국 녹이 슬게 된다. 이것을 대기부식(atmospheric corrosion)이라고 부른다.

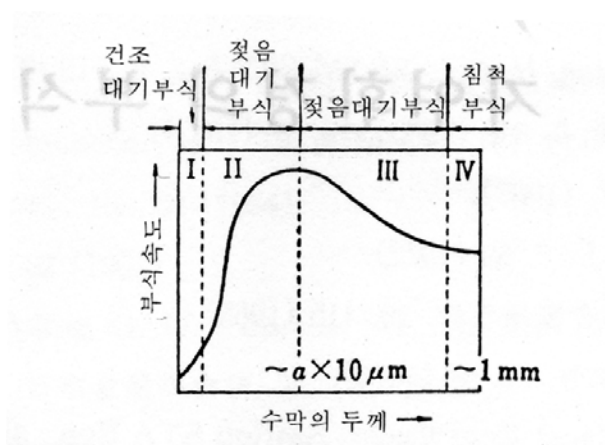
교량, 도로, 건축물, 항만시설, 교통기관등에서 대기부식은 특히 중요한 문제이고 이것을 옥외대기부식(outdoor atmospheric corrosion) 이라고 구별하기도 한다.

## 1) 대기부식의 특징

금속면에 액체의 물이 부착하지 않을때의 대기에 의한 금속의 부식은 산화피막의 형성인데 그 두께는 10 ~ 40Å 정도에서 멈춰버리므로 육안으로는 분별할수 없다. 이것을 마른 대기부식(dry atmospheric corrosion) 이라고 부른다.

금속면에 대기속의 수증기가 응결해서 수막을 만들면 부식이 시작되고 이것은 습한 대기부식(moist atmospheric corrosion)라 한다.

부착수가 증가해서 물방울이 되고 전면이 더욱 젖어서 수막을 육안으로도 확인하게 되었을 때를 젖은 대기부식(wet atmospheric corrosion) 이라고 부르며, 그 이상 물이 많아지면 침적상태에서의 부식이 된다.



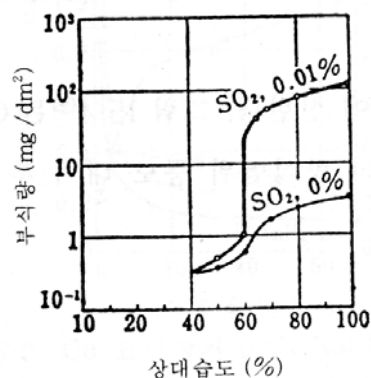
금속면상의 수막두께와 부식속도와의 관계

대기부식은 수막의 두께에 의해서 부식속도가 영향을 받으며 시간의 경과와 함께 보호적인 녹층이 형성되기 쉬워 부식속도는 감소한다. 따라서 대기침식에 대해서는 강에 소량의 합금성분을 첨가하여 보호적인 녹을 만들게 하면 내식성은 향상한다. 그림에서 I의 영역은 주로 산소에 의한 산화막의 형성만으로 물은 부착한다고 해도 물리흡착의 정도이고, 전해질로서는 작용하지 않아 약간의 부식만이 발생하고 II의 영역이 되면 점차로 전해질로서 작용하게 되어 습식이 일어나기 시작하여 두께가 증가함과 함께 부식속도는 증가한다. 더욱 수막의 두께가 증가하여 수십  $\mu\text{m}$ 를 초과하면 산소확산이 느려져서 III 영역과 같이 부식속도는 저하하기 시작하고 수막이 1mm 이상이 되는 영역 IV에서는 침적부식과 같은 상태가 된다.

## 2) 대기부식에 영향을 미치는 요인

### ① 상대습도

대기중의 습분이 금속면에서 응축해서 물이 되면 부식은 일어나며 특히 옥내의 대기부식은 응결수만에 의해서 발생한다. 수분의 응축은 상대습도가 100%가 되지 않으면 일어나지 않지만 약 60% 이상이 되면 갑자기 부식속도가 증가한다.



### 대기의 상대습도와 Fe의 대기부식량

이처럼 부식이 급증하기 시작하는 상대습도를 임계습도(critical humidity)라고 부르며 임계습도는 Fe, Cu, Ni 및 Zn 등에 대해서 50~70% 로 알려져 있다.

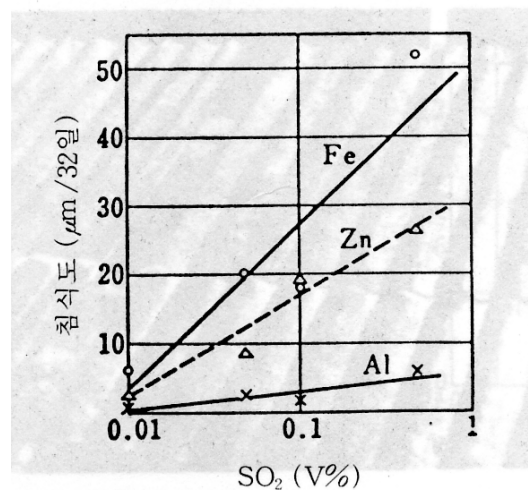
## ② 강 우

우수는 금속면을 적셔서 부식을 촉진하며 대기폭로된 금속판의 뒤쪽은 표면보다도 부식량이 많다. 30% 경사지게 매단 강은 앞쪽의 약 40~60배이며 대기오염이 있을 때에는 특히 결로에 의한 부식이 격심하다. 그러므로, 대기부식의 상관은 강우시간보다는 결로시간이나 젖는 횟수쪽이 크다.

2장 겹친 양철판의 이음매에 붙은 응축수는 잘 마르지 않으므로 뒤쪽에서 격심하게 부식하여 겹침부분이 천공된다.

## ③ 대기 오염

대기에는 N, O 및 드문가스, 수증기 이외에도 여러가지 것이 혼재하여 있다. 가스로서 유황화합물인 SO<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub> 등과 질소화합물인 NO, NO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub> 등이 있고 산화물인 O<sub>3</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, 과산화물 등이 있으며 고체로서 대표적인 NaCl 이 있다. 이들의 오염물질 중에서 대기부식에 가장 영향을 미치는 연소가스는 SO<sub>2</sub>이며 SO<sub>2</sub>의 양에 비례해서 대기부식 속도는 증가하고 또 임계습도도 저하한다.



### SO<sub>2</sub>가 Fe, Zn, Al의 대기부식에 미치는 영향

또한 부식에 영향을 미치는 NaCl은 해수의 과도에 의해서 대기속에 혼합하는 것으로 그 대부분은 재차 해면에 침강하지만 일부는 바람에 의해 내륙에 보내져서 금속

면에서 부착하여 부식을 가속하며 해안에서의 거리가 증가함에 따라 부식도는 감소하지만 주풍 방향이 바다에서 내륙으로 불어지는 해풍인 경우에는 해안에서의 거리가 먼데도 불구하고 침식도는 크다.

#### ④ 대기온도

대기온도는 오염오인에 다음 가는 큰 요인의 하나이다. 장소의 연 평균 기온이 높을수록 부식속도는 증가한다. 그러나 결로의 유무에서 보면 기온의 시간적 변화가 격심한 곳도 좋지 못하다.

#### ⑤ 일사량

일사 그 자체는 금속의 부식에 영향을 미치지 않으나 일사는 강우후의 건조시간을 짧게 하는데, 한편 맑은 날이 많으면 야간에 식어서 결로에 이르는 기회가 많은 것과 같은 점에서 간접적으로 대기부식에 영향을 미친다. 또 일사중의 자외선은 유기도막의 열화를 일으키므로 도장한 재료의 부식에는 중요한 영향요인의 하나가 된다.

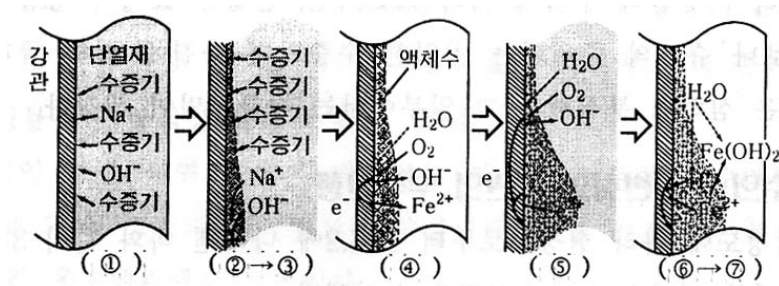
### 3) 단열재 하부에서의 대기부식

단열재로 덮인 배관의 외면에서 발생하는 부식은 결로한 냉수배관에서 명백한 누수에 의한 것 외에 그것과 대기부식의 중간상태, 또는 그것의 복합형태가 냉수배관뿐만 아니라 온수배관에도 보여지고 있다. 단열재가 물을 보유하기 쉽고 단열층 표피가 물과 수증기를 포용하기 쉽기 때문에 옥외배관뿐만 아니라 실내배관에서도 단열층의 공기가 높은 습도가 되므로 녹이 발생하고 이것이 물의 보유능력을 한층 높이기 되어 부식이 가속되는 일이 발생한다.

#### ① 단열재 하부 냉수배관의 부식

냉수배관의 표면으로 수증기 공급을 차단하는 중요한 역할을 하고 있는 것이 단열층 표피의 방습층이다. 저온배관의 외면은 단열 피복되어 있어도 결로가 되는 경우

가 있으나 적절한 방식이 실시되어 운전 시간율이 높지 않으면 결로량이 적어 배관 외면의 부식량은 문제가 되지 않으나 단열처리가 밀실하지 않아 집중적인 결로가 되풀이 되는 경우 결로수의 수질이 변해서 가혹한 부식환경으로 변한다. 실제로 배관의 직관부보다는 단열층의 처리가 불완전하기 쉬운 엘보나 슈의 주위에는 침입한 수증기의 응결에 의해 심하게 부식하여 관통하는 사례가 발생하고 있으며 특히 유리섬보온재는 흡습율이 뛰어나 시간이 경과할수록 단열재로서의 역할을 기대하기가 어려운 것이 사실이다.



단열재 하부에서 결로수에 의한 강관의 부식진행 과정

일반적으로 냉수, 냉온수등의 배관 및 고온다습지역의 냉방설비등과 같이 24시간 연속 운전하는 저온 계통에서는 결로수에 의한 배관 외면의 부식을 억제하기 위하여 다음과 같은 조치를 강구해야 한다.

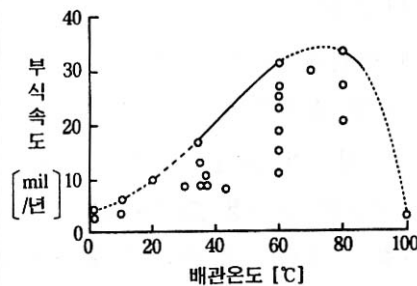
- 단열층으로의 수증기 침입방지, 즉 방식은 극히 중요하므로 밸브, 엘보, 슈등의 시공하기 어려운 장소에도 방식층을 완전하게 시공해야 한다.
- 배관 외면의 강 표면에는 고품질의 방청처리를 해야 할 필요가 있다. 이를 위해 아연도금이 매우 유효하며 결로수에 의한 부식을 잘 억제해준다.
- 결로수에 의한 피해가 발생하지 않는 곳에 방청처리가 어려운 부분이 있다면 부식방지를 위해 단열처리를 하지 않는것도 유효하다.

## ② 단열재 하부 온수배관의 부식

난방시에는 온도 성층이 일어나기 때문에 따뜻해진 천정 내부의 공기온도를 30℃, 상대습도를 80%로 양쪽 모두 높게 가정하면 수증기분압은 25.5mmHg, 노점은 26.2℃

가 된다. 천정 내부에 설치되는 난방용 온수배관이 이 공기에 둘러 쌓여 있어 관 본체의 표면온도가 38.5℃ 이상이면 관에 접촉하는 공기의 상대습도는 50% 이하가 되어 관 표면이 철의 대기부식이 진행되는 임계상대습도에 도달하지 않는다. 그러나 보온재에 쌓인 온수배관에서 관 본체 표면에 접촉하는 공기는 보온층의 외측 공기와는 반드시 같지 않고 보다 고습도 상태로 되어 관 외면을 부식 시키는 경우가 있다. 결로와 그 증발로 생기는 수증기의 공급이 계속되면 보온통내 공기의 수증기 분압과 노점이 상승해 가고 외기의 전달로 인해 냉각되어 상대적으로 저온이 된 장소의 보온통 표피 내면에 수증기가 응축한다. 이렇게 해서 배관의 곳곳에서 보온통 표피내면에 응축수층이 발달하고 곧이어 관 본체 표면에까지 도달하여 관을 적시게 되므로 가혹한 부식 환경이 조성하게 된다.

젖어 있는 보온재 중에 있는 강관의 부식은 일반적인 중성수 중에서도 마찬가지로 온도 및 산소의 공급에 지배를 받으며 부식속도는 배관온도의 상승과 함께 증가하고 60~80℃에서 최대가 된다 그 이상의 온도에서는 용존산소농도가 저하하고 0이 되는 100℃로 가면서 부식속도는 급격히 저하된다.



동일온도에서 부식속도에 차이가 나는 것은 물의 침입정도, 관 외면의 방청처리 정도나 오염정도등에 의한다. 결과적으로 60~80℃의 난방용 보온 온수배관이 젖으면 가장 심한 부식을 일으킬 가능성을 가지고 있다.

## 2. 지중부식(地中腐蝕)

### 1) 지중부식의 특징

흙은 흙 입자, 물방울 및 공기의 혼합물이므로 지중부식은 습식의 일종으로 얇은 수막에 의한 부식이라는 점이 대기부식과 비슷하나, 산소공급이 보다 적다는 점과 전습반복이 잘 일어나지 않는 것이 다르다.

가스, 수도, 하수 및 통신 케이블등 흙 속에 매설된 금속체는 많지만 최근에 천연 가스, 석유 및 석유화학제품 등을 보내기 위하여 장거리의 관로가 사용되게 되어서 지중부식의 공업적 중요성이 증가되고 있다.

지중에서의 수분은 여러가지 성분을 용존하고 있어서 장소에 따라 성질이 다르며 부식에 영향을 미치는 요인으로서 특히 중요한 것은 금속면의 산소환산량이고, 이것은 흙의 다공성, 함수량등에 의해서 변한다. 산소량이 많을수록 부식은 가속되지만 흙 속과 같이 산소가 들어가기 어려운 경우는 부분적인 산소농담이 생기기 쉽고 그 때문에 전지작용도 중요한 요인이다.

### 2) 지중부식에 영향을 미치는 요인

지중부식에 영향을 미치는 흙의 성질로서는 다공성, 함수량, 전기 전도도, 함유염 농도 및 pH 등이 있다. 흙 입자가 금속면에 밀착하면 물 및 산소의 접촉을 방해하기 때문에 부식은 감소하므로 흙의 다공성이 작은 편이 부식은 적다. 그러나 부분적으로 다공성이 다르면 다공성이 작은 부분은 산소가 도달하기 어려우므로 산소농담전지의 양극이 되어서 부식이 촉진된다. 같은 이유로 지표보다 깊은쪽이, 또 1개의 관에서는 위쪽보다 아래쪽이 부식된다. 이와 같은 비교적 떨어진 부분 사이에 생긴 전지작용부식도 지중부식의 하나의 특색으로서 이것을 장거리 전지작용이라고



부른다. 흠의 다공성이 크면 함수량이 크므로 비저항이 감소하는 것도 부식촉진의 한 요인이 된다.

지중에서 산소의 확산은 함수량이 많으면 방해되고 함수량이 적어서 금속면에 얇은 수막이 존재하는 정도라면 산소확산은 쉽게 일어난다.

### 3) 미주 전류 부식(stray current corrosion)

전위경사가 있는 전해질 수용액 내에 금속이 놓이면 고전위단에서 전류가 흘러들어 오고 저전위단에서 전류가 유출해서 부식이 일어난다. 이와 같은 원인으로 생긴 부식을 미주전류부식 혹은 줄여서 전식이라고 부른다.

전식은 수중에서도, 지중에서도 일어나며 자연적으로도 생기지만 그 값은 작으므로 부식이 문제가 되는 것은 인공적인 전식에 따르는 것이다.

가장 현저한 예는 전철궤도에 따라서 매설된 관로에 생기는 부식이다. 전철은 전기 회로의 일부에 레일을 사용하고 있으므로 만약 여기에 생기는 전장내에 금속체가 있으면 그 가장 저전위의 끝에 국부 부식을 일으킨다.

### 4) 지중부식의 방지

토질이 특히 부식성일 때에는 관로의 주위만 적당한 약제를 사용하여 부식성을 붙들어 둔다거나, 부식성이 적은 흙과 교체한다거나, 혹은 배수에 의해서 주위를 내린다거나 하면 되지만 이것들은 비용이 든다.

비교적 염가이고 확실한 방법으로서 현재 가장 널리 사용되고 있는 것은 콜탈게 도장과 음극방식과의 병용으로 지중매설관의 방식은 Cathod 방식중에서도 가장 많은 것중의 하나이다.

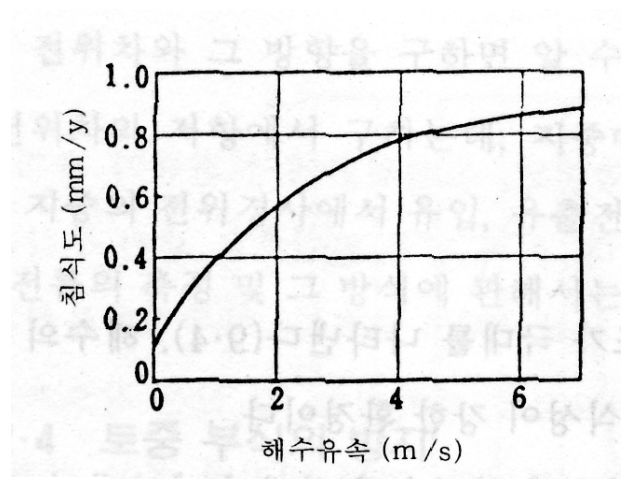
### 3. 해수부식

#### 1) 해수부식의 특성

물에 식염을 첨가하면 약 1~5%에서 부식속도가 극대를 나타낸다. 해수의 식염농도는 약 3% 이므로 해수는 자연환경 속에서도 부식성이 강한 환경이다.

천연해수의 성분은 극히 복잡해서 그 부식은 단순한 식염수에 의해서 나타낼수 없는점도 적지 않다. 해수의 성분은 장소에 의해 차가 있으나 그 부식성은 생물의 영향을 제외하고는 어디서도 거의 유사한 것이라고 하고 있다. 다만, 도시 가까이의 해수는 오염이 격심하고  $H_2S$ 를 포함하여 이것이 금속의 부식에 현저한 영향을 미치고 있으나 오염은 장소에 따라 크게 다르다.

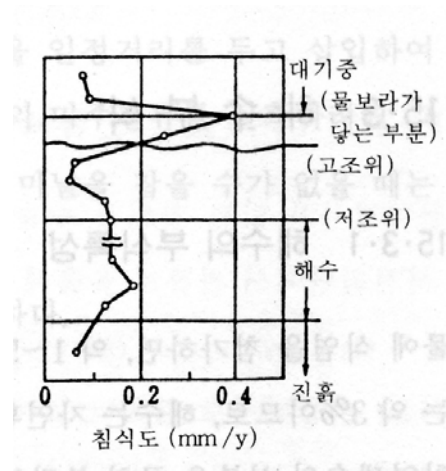
해수 속의 부식속도는 물 유속의 증가와 함께 증가하는 것으로 나타나고 있다.



해수의 유속과 연강관의 침식도

## 2) 해중 침적깊이의 영향

강의 부식속도는 해면에서의 거리에 의해서 현저한 영향을 받는다. 한 장의 시트파일을 해중에 접촉하면 항상 해수의 파도가 닿는 부분(splash zone)은 가장 부식이 격심하지만 수면아래 근처는 산소농담전지의 음극이 되기 때문에 가장 부식이 적다. 더욱 하부에 항상 해수속에 있는 부분은 음극이 되므로 아래쪽으로 감에 따라서 부식이 많고 해저 가까이 에서 극대를 나타낸다.



### 해수면에서의 거리에 의한 강의 부식속도의 차이

바다의 깊이가 800m 정도까지 용존산소량은 직선적으로 저하한다. 그러나 그 이상의 심해라면 온도나 염분의 저하와 함께 용존산소는 재차 증가하여 1000m 이하에서는 해면에서의 포화치 혹은 그 이상이 된다. 따라서 심해계선용의 색의 중간심도부분이 부식되었다는 보고는 있으나 약 1200m의 심해에서 부식은 별다른 것이 보고되어 있지 않다.

### 3) 미생물 부식

미생물의 대사작용에 의한 생성물이 간접적 원인으로 되어서 일어나는 부식을 미생물 부식(microbiological corrosion)이라고 부른다. 미생물이 직접 금속체를 영양원으로서 침식하는 것은 아니고 대사 생성물이 양극반응 혹은 음극반응을 촉진하는 것이 부식의 원인인데 미생물의 번식에 의한 균체 그 자체가 산소 혹은 이온농도전지를 내세워 부식의 원인이 되는 수도 있다.

부식의 원인이 되는 미생물은 주로 박테리아류인데 곰팡이 일수도 있다. 박테리아 부식으로서 철 박테리아에 의한 강의 부식 및 유산염환원 박테리아에 의한 강 및 동물의 부식이 알려져 있고 또 항공연료 속의 박테리아 및 곰팡이에 의한 Al합금의 부식이 보고되고 있다.

## IV

## 부식의 방지 대책

1. 철근콘크리트에서의 철근 방식
2. 내식재료 사용법
3. 환경처리에 의한 방식법
4. 전기화학적 방식법
5. 피복 방식법
6. Remodeling 에서의 방식

## 1. 철근콘크리트에서의 철근 방식

철근 콘크리트의 철근은 콘크리트 자체에 의해서 방식이 가능하다.

즉, 콘크리트내의 pH가 약13정도로 유지되는 동안에는 철근의 표면이 부동태화 되어 부식이 되지 않으나 여러가지 이유로 인하여 중성화 되던지 또는 염화물이 포함되어 부동태 피막을 파괴할 때는 철근은 반드시 부식되며 이때 체적 팽창으로 콘크리트에 미세 균열을 일으키게 된다.

교량이나 도로등과 같이 진동을 계속적으로 받는 구조물은 점차 미세균열이 전파되어 일단 균열이 표면까지 진전하게 되면 철근의 부식 속도는 가속화되어 그림3에서 보는바와 같이 심각한 콘크리트 균열 내지 철근의 파단으로까지 이르게 되어 구조물의 안전을 위협하게 된다. 따라서 가혹한 환경에 접하는 철근 콘크리트는 철근의 방식으로 구조물의 안전은 물론이고 수명을 연장시켜야 할것이다.

지금까지 개발된 철근 방식법에는 다음이 있다.

### A. 철근 자체 처리법

- ① 아연 도금법      ② 도장법

### B. 콘크리트 표면층에서 부식 환경을 차단하는 방법

- ① 왁시 콘크리트 사용법
- ② 콘크리트에 폴리머 함침법

### C. 콘크리트 표면에서 부식환경을 차단하는 방법

- ① 방수성 도료 도장법
- ② 몰탈 피복법
- ③ 시트 피복법

### D. 철근의 전기방식법

- ① 유전양극법      ② 외부전원법

### E. 부식억제제 사용법

## 1) 철근 도금법 및 철근콘크리트의 시공법

미국, 일본등에서는 염소이온이 다량 함유된 해사(海砂)를 사용하던가, 해상의 콘크리트 구조물용 철근에는 도장된 철근을 사용하는 것이 이미 일반화 되어 있다고 본다.

철근 도장에는 용융 도금한 철근이나 에폭시 수지 분체 도장된 철근을 오래전부터 사용되어 왔으며, 이에 대한 각종 지침도 발표되어 있다.

예로서 1970 년 국제연.아연연구회(國際鉛.亞鉛研究會)에서는 [콘크리트용 철근의 용융아연도금]이란 지침을 건축가, 구조기술자 및 사양 작성자용으로 발표하였고 1977 년 일본 건설성 주택국에서는 [콘크리트에 사용하는 세골재중에 염분이 함유되어 있는 경우의 취급에 대해서]라는 행정 통지문도 발표하고 있다. 그리고 1977 년 일본의 건축학회와 토목학회에서는 [아연도금 철근을 사용한 철근 콘크리트의 설계. 시공지침(안)]을 발표하고 있음을 볼때 콘크리트의 철근 부식이 구조물에 미치는 영향이 얼마나 큰가를 짐작하게 해 준다.

다음은 국제연.아연 연구회가 발표한 철근 콘크리트 구조물에서 아연도금 철근의 설계와 시공지침을 요약한 것이며, 괄호속은 일본 규정을 나타냈다.

### ① 용융 아연 도금용 철근

ASTM A-615-68(JIS G3112)의 규정에 적합한 열간 압연 철근.

만일 A-616-68, A-617-68 (JIS G 3117, 재생강봉)의 규정에 적합한 것을 사용하려할 때는 Concrete Reinforcing Steel Institute 의 굽힘시험의 각 항목을 만족하는 철근을 사용.

② 용접강망 (鎔接鋼網 : JIS G3501)

냉간 압연강선을 정방형의 격자상으로 조립하고 모든 교점은 용접으로 접착하여야 하며 용융아연도금시 표면이 고르고 ASTM 의 환강(丸鋼 : A-82, A-185)이이형철근(異形鐵筋 : A-496, A-497)의 기준에 적합한것을 사용.

③ 용융아연도금법

철근의 아연도금은 보통 용융도금법으로 도금하나, 전기도금도 가능하다. 그러나 도막의 두께가 충분히 두꺼워야 하므로 전기도금은 경제성이 용융도금에 비해 불리하다. 용융도금에선 SSTM A-123 (JIS H9124, H8641)을 따르도록 하고있다. ASTM A-123에선 아연도금량을 철근 표면적당아연 피막층의 중량으로 표시토록 하고있으며 그 양은 다음과 같다.

- 철근의 직경이 1/4 인치 (6.35 mm)이하 : 2.0 OZ/ft<sup>2</sup>(600g/m<sup>2</sup>)이상
- 철근의 직경이 1/4 인치 (6.35 mm)이상 : 2.3 OZ/ft<sup>2</sup>(690g/m<sup>2</sup>)이상

(단 용접강망에는 적용하지 않음)

④ 아연도금 철근의 가공과 배근

아연도금 철근을 굽힘 가공시 다음의 사양에 의해 응력시효취화(應力時效脆化)가 일어나지 않게 해야한다. 냉간 굽힘 가공은 미국 Concrete Reinforcing Steel Institute 의 시방서를 따라야 한다. 여기서 굽힘 부분에 대해서는 철근 직경에 따라 표 4 에 따르나 최소 직경 이상으로 평활하게 가공해야 한다.

표 4 에서 철근 번호 NO.3 은 직경 기준 3/8 인치(9.5cm)를 뜻하고 등급 40 은 강재의 항복점이 40,000psi 를 의미한다. 따라서 철근번호 NO.8 은 직경이 8/8 인치(25.4cm)등급 60 은 항복강도가 60,000psi 가 된다.



표 4. 환봉 90°C 곡절가공 직경(d)

철근번호	강재등급		
	40	60	75
# 3~5	*d=3t	d=4t	
# 6~7	=4t	=5t	
# 8	=4t	=5t	
# 9	=5t	=6t	
# 10	=5t	=6t	
# 11	=5t	=6t	d=8t

\* d-시료 철근을 굽힌 부분의 직경  
t-시료의 직경

아연도금 철근의 굽힘 가공은 도금전에 하는 것이 바람직하나, 굽힌 철근의 취급과 도금이 어려워 통상도금후 가공하는 것이 일반적이다. 이때는 반드시 미국 정부의 General Service Administration의 굽힘시험에 적합하여야 한다.

아연 도금한 철근의 배근(配筋)은 일반 철근의 기준과 사양에 따르면 되나 철근 고정에 사용하는 선재(線材)는 반드시 아연도금된 것을 사용하여야 한다. 또한 아연도금한 철근은 비도금 철근 또는 이종 금속과의 접촉을 피해야 한다.

그리고 작업중 아연피막의 파손시에는 징크리치 도료로 도장하는 것이 이상적이다.

아연 도금 철근의 용접은 다음 규정에 의한다.

{American Welding Society의 Recommended Practices for Welding Reinforcing Steel, Metal Inserts, and Connections in Reinforced Concrete Construction, 1961의 AWS D12, 1-16 및 Standard Specifications for Highway Bridges, Sec, 1, 5E(C)}

아연도금 철근의 용접에는 퓨움(FUME)의 발생과 용접부의 도금 피막 파괴가 문제되기 쉬우므로 환기를 적절히 시켜주고 피막 손상부는 징크리치 도료로 도장하는것이 바람직하다. (예로서 폴리스틸렌계 아연말 도료는 건조시간이 10분정도이고, 건조피막중에 아연농도는 약 94%정도이다.)

### ⑤ 콘크리트의 조합 (調合)

포틀랜드 시멘트는 ASTM C-150의 포틀랜드 시멘트 표준사양서에 적합한 것이 좋고, 가능하면 type II 중용열 시멘트를 사용하는것이 바람직하다. Type I 보통 포틀랜드 시멘트를 사용했을때도 좋은 성적이 나왔으나 type III 조강 시멘트와 기타 시멘트를 사용한 기록은 없다.

아연 도금 철근을 이용한 콘크리트의 조합은 가능하면 콘크리트가 밀실되도록 물.시멘트 비를 작게 하는것이 좋으며, 콘크리트의 소요강도, 수축특성, 피복두께 및 혼화제 등을 충분히 고려해서 결정하여야 한다.

물, 시멘트 비율은 부식성이 큰 환경에 직접 접하는 콘크리트의 경우, 시멘트 1포대당 물을 최대 16.7ℓ로 하여야 하고, 부식성이 그리 크지 않을 경우에는 시멘트 1포대당 물을 20.5ℓ이하로 하는것이 좋다.

이때 사용하는 물은 깨끗하게 유지하여 산, 알카리, 염류, 유기물, 염화물 등의 유해 물질이 포함되어서는 안된다. 콘크리트의 혼화제도 3산화크롬을 첨가시 이는 방식효과 뿐 아니라 콘크리트가 강제 형면(型面)에 부착하는 것을 방지하는 효과가 있다. 그리고 동결방지제로 사용하는 염화칼슘은 철근의 부식을 증가시키므로 어떤 조성의 철근 콘크리트에도 첨가하는 않는 것이 바람직하다.

또한 공기연행제(空氣連行劑)는 콘크리트의 시공성을 좋게하고 동결용해의 노후화(老朽化)에 대한 저항력을 증가하며 방수성도 좋게 하므로 추천할만 하다.

### ⑥ 콘크리트의 투설과 양생

콘크리트의 피복 두께는 설계에서 아주 중요한 요소이다.

두께의 결정은 콘크리트의 투수성(透水性), 투설(投設)방법, 양생(養生)방법 및 환경의 부식성등을 고려하여 결정하여야 한다. 콘크리트 타설시 피복두께는 균일하게 하여야 하며 나무, 흙등과 같은 다공질 재료가 철근에 접촉해서는 안되며

철근 결속선이 바깥으로 돌출하지 않게 하여야 한다.

또한 콘크리트에 충분한 진동을 주어 피복층이 균일하고 밀실하게 하여야 한다.

콘크리트 투설이 끝나면 충분히 습윤 양생시켜 수화반응에 의해서 투수성이 적어지도록 하여야 한다.

## 2) 중방식 도료도장 철근과 콘크리트 시공법

철근에 방식도장으로 지금까지는 에폭시 수지계 도료가 많이 이용되었으나, 최근에는 징크리치 도료계의 신제품으로 징크실리케이트 도료 및 징크 세라믹계 도료가 개발되어 있다. 여기서는 이미 규격화된 에폭시 수지계 도료를 중심으로 다루고 있다.

에폭시 수지계 도장 철근은 공장 생산품(工場生産品)으로 다음과 같이 특수 도장한 철근이다. 먼저 철근의 표면처리를 철저히 하여 표면조도(表面粗度)를 갖게 하고 예열한 다음 에폭시 수지의 분체도료(粉體塗料)를 도장한 다음 약 200℃의 온도로 일정 시간 유지하여 표면에 연속 도막을 입힌것이다. 표면처리는 보통 숏브라스트나 샌드브라스팅으로 처리한다. 방식도료에는 비닐, 폴리에스텔, 폴리우레탄, 콜탈에폭시 등 우수한 도료가 많으나 철근 콘크리트용으로는 분체 에폭시계 도료가 특히 콘크리트 내에서 내식성이 우수하고 도막의 철근과 콘크리트의 부착성이 상대적으로 우수하며 철근 가공시 도막의 손상이 적은 특성이 있어 많이 사용되고 있다.

그리고 분체 도장법에는 정전 도장법, 유동침지법, 정전연동전착법등이 있으나 정전분체도장, 스프레이법이 결함이 적고 얇고 균일한 피막을 얻기 쉬우며, 연속생산 공정이 가능하여 유리하다. 표 5는 수지 도장 철근의 품질 규격이다.

여기서 도막 두께는 두꺼울수록 내식성은 향상되나 내충격성, 굽힘가공성 및 콘크리트와의 부착성 등이 떨어지므로 이들 내식성과 역학적 제 성능의 양자를 고려하여 결정하여야 한다.

표 5. 수지도장철근 규격

지정항목	규격항목	FHWA 규격 1970)	10WA주 규격 (1979)	Canada규격 (Montreal주) (1978)	건설성토목 연구소규격 (안)(1978)
(1) 도료의 종류 지정		에폭시분체 수지에 한정 지정	FHWA규격과 같음	에폭시분체 수지에 한정	지정함
(2) 도장 방법지정	① 수지조정 ② 도장방법	화이트메탈 혹은 니이 화이트 메탈 제조사에 일임	화이트메탈 혹은 니이 화이트메탈 제조사에 일임 (a) 수지적외 스펙들 (b) 수지데이터 시트 (c) 보수용도료 (d) 도장시 데이 타 첨부 의무화	화이트메탈 제조자의 일임	화이트 메탈  제조사에 도장법 지정 제조자는 다음 데이터 요제출 (a) 수지성분과 양 (b) 도장시 데이터
(3) 도장철근의 품질관리	① 막후검사 ② 핀홀검사	검사함(삼푸링 법을 지정함)	검사함(삼푸링 법을 지정함)	검사함 검사함	검사함 검사함
(4) 검사항목 시험항목 (성능기준)	① 화학저항성 ② 내전압성 ③ 염분침투성 ④ 굽힘가공성 ⑤ 부착성(인발) ⑥ 내마멸성 ⑦ 내충격성 ⑧ 경 도 ⑨ 부식속진 열화시험 ⑩ 피로강도 시험	검사함 " " " " " "	검사함	검사함 " " " " "	검사함 검사함 " " " " 검사함 "
(5) 시공상의 지정			지정함	지정함	지정함
(6) 보관상의 지정			지정함	지정함	지정함

① 철근의 표면처리

흑피 철근은 그 표면에 취약한 밀 스케일(mill scale)이 있어 그위에 도장하게 되면 어떤 도료도 쉽게 탈락되기 쉽다.

따라서 철근에 수지계 도료 도장시에는 반드시 표면을 샌드브라스팅 등으로 소지 표면을 조정한 다음 도장하여야 한다.

② 도장 방법

철근 도장에는 앞서 언급한 정전 분체 도장법을 이용하는것이 좋다.

이것은 철근의 표면을 처리한 다음, 예열하고 정전 도장건(GUN)으로 수지 분체를 부착시키고 난 다음 가열해서 연속 도막으로 경화시키는 방법이다.

이때 충분히 경화시키지 않으면 도막이 약해 손상되기 쉽다. 그리고 도장시 핀홀(pin hole)이 생기지 않도록 주의해야한다. 도장후에는 철저한 품질검사를 하여야 한다. 다음은 에폭시 수지 도장 철근의 품질 규격이다.

표 6. 에폭시수지 도장철근의 품질규격

종 류	도장철근은 굽힘가공의 가능온도범위에 따라서 1종과 2종으로 나눔			
	종 류	가공한계온도	표 시	도 장 색
종 류	1 종	5℃ 이하	바람직한 가공온도범위를 표시함	청색계
	2 종	15℃ 이하	"	청색 및 수(銹)색계 외
품 질	(1) 도장철근은 품질관리가 가능한 도장공장에서 제조된 것이어야 한다. (2) 도장철근 제조용 철근은 철근 콘크리트용 봉강의 품질을 만족하는 미형봉강(異形棒鋼)이며, 도장에 적합한 표면상태를 가져야 한다. (3) 도장철근은 에폭시수지 또는 동등의 품질을 갖는 재료를 주체로 한 분체도료를 사용한것이어야 한다. (4) 도장철근의 제조에는 소지조정한 철근의 정전도장 공정을 포함한 것이어야 한다. (5) 도장철근은 장기간에 걸쳐서 내식성을 가져야 하고, 구조물의 사용조건을 만족시키기 위해서 하표의 규정을 만족한 것이어야 한다. (6) 도장철근은 입회시험 및 공적기관의 시험을 통해서 품질이 확인된 것이어야 한다.			
	항 목	품 질		
품 질	도막의 외관	도막은 균일하고 균열, 박리, 흠이 없어야 한다.		
	도막 두께	도막두께는 180±50㎍을 표준으로 한다.		
	핀 홀	철근길이 1M당 5개 이하라야 하날.		
	도막경도	경도F의 연필(鉛筆)로서 도막표면이 손상되지 않아야 하날.		
	내알카리성	내알카리성 시험에서 부풀어 오름이나 박리가 생기지 않아야 한다.		
	내식성	부식촉진 시험에서 녹이 생기지 않아야 한다.		
	콘크리트와의 부착성	도장철근의 최대부착응력도가 비도장철근의 최대부착응력도의 80% 이상이어야 한다.		
	내충격성	시험에 의해서 도막이 균열되거나 박리되어서는 안된다.		
굽힘가공성	시험에 의해서 도막이 균열되거나 박리되어서는 안된다.			
도막경화도	시험에 의해서 도막이 점착화해서는 안된다.			

### ③ 설계와 시공

에폭시 수지 도장 철근은 콘크리트와의 부착성이 떨어지고(일반철근의약 80%)그 허용부착응력도 15~20% 이므로 철근의 구조 설계시에는 그 분만큼 계수 길이나 부착 길이를 길게 해서 부착성을 보장하여야 한다.

또한 이 철근은 하역이나 시공시 도막이 벗겨지지 않도록 취급에 조심하여야 한다.

시공중에 손상된 도막은 후막형 탈 에폭시 수지 도료나 자기 용착형 부틸 고무테이프등으로 도막 손상부를 보수하는것이 바람직하다.

그리고 수지 도장 철근은 충분한 내후성(耐候性)을 갖고 있지 않으므로 야외에 방치해서 장시간 태양광선에 노출시켜서는 안된다. 최근의 배근은 지침서의 규정을 따라야 한다.

### 3) 왁시 콘크리트 사용법

왁시 콘크리트란 시멘트에 파라핀과 왁스의 혼합물을 넣어 투설(投設) 양생(養生)하여 콘크리트가 경화되면 표면에서 가열하여 그 중 파라핀과 왁스를 용해시켜 콘크리트와 일체화 시킨것으로 미국에서 개발한것이다.

이 콘크리트는 콘크리트 내부의 빈 공간이 값싼 방수제로 충전(充填)됨으로 염수(鹽水)등 부식성 인자의 침입을 방지하여 철근을 보호한다. 이 콘크리트의 시공 순서는 아래 그림 5 와 같다. 즉, 차수재(遮水材)인 첨가제는 파라핀 75%, 왁스 25%의 혼합물이며, 첨가 농도는 콘크리트의 질량비로서 3% 정도이다. 그리고 일단 양생후에는 전기담요등을 이용해서 80℃ 내외로 가열한다.

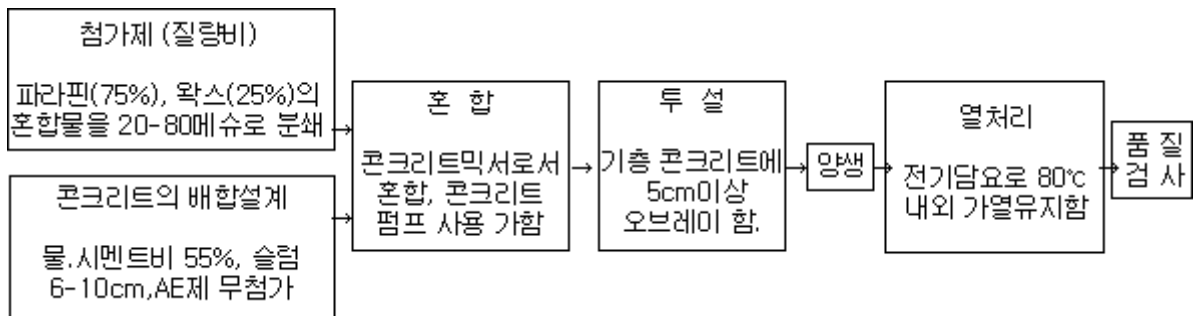


표 7. 왁시 콘크리트의 시공순서

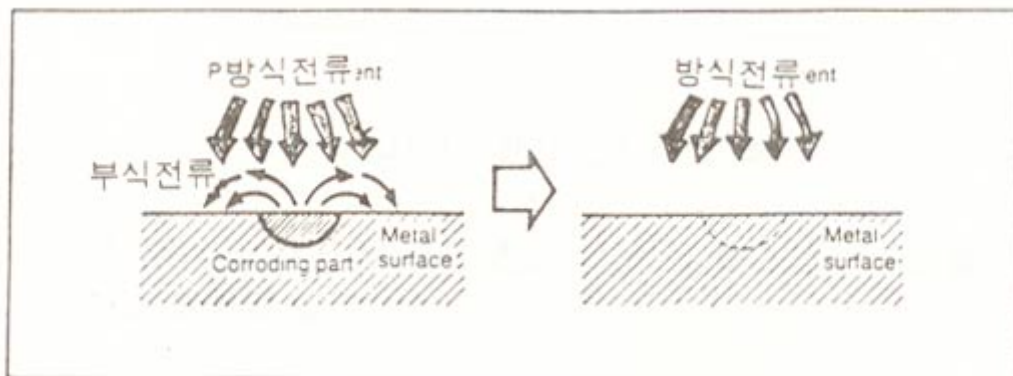


#### 4) 철근에 대한 전기방식법

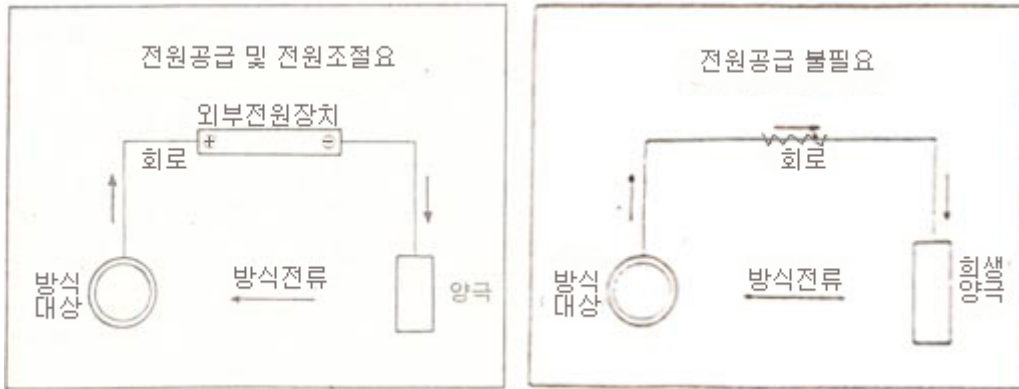
전기방식이란 방식전류(防蝕電流)에 의해 철의 부식을 방지하는 것으로서 희생양극법과 외부전원법이 널리 이용되고 있다.

그러나 최근까지 전기방식법이란 해중의 노출된 철 구조물 그리고 상수도관 및 가스관과 같이 지하에 매설된 배관 및 선박등에서만 적용하는 방식법으로 알려져 왔으나 최근 염분이 영향을 미치는 교량, 도로 및 해양 콘크리트 구조물에서 콘크리트 손상 원인의 주 요소가 내부 철근의 부식이란 것이 판명되면서 이상에서 언급한 각종 철근 방식법이 추가하여 전기 방식법이 개발되어 이미 미국, 일본등지에선 주요 항만시설, 교량의 교각 및 상판등에 이 방식이 적용되고 있는 것으로 알려져 있다.

방식이론은 현재 각종 해중 시설물, 선박 및 지하 매설 배관에 적용하는 전기 방식법과 동일하다. 즉, 그림 6 에서 보는바와 같이 피방식체에 방식 전류를 공급하여 방식체 표면을 분극(分極, polarization)시켜 전위를 안정역이내로 음극화 함으로써 완전한 방식효과를 얻는 것이다.

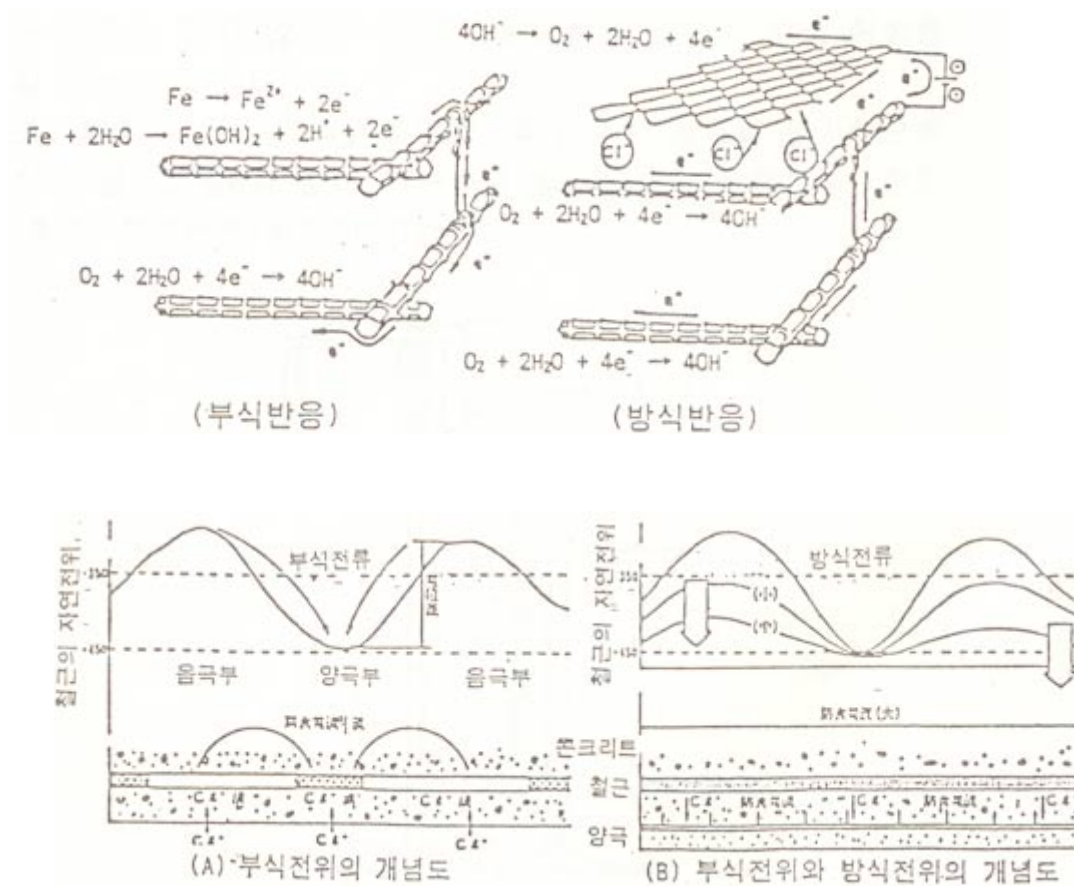


전기방식의 원리



### 외부 전원법

콘크리트의 철근에 대한 전기방식법의 대표적인 기술을 소개하면 다음과 같다.



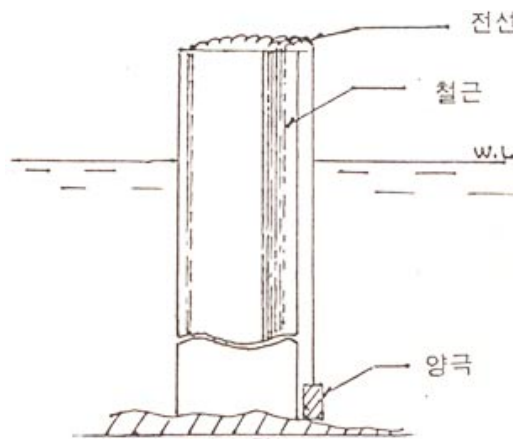
### 철근 콘크리트의 전기방식

철근에 적용하는 전기방식 기술의 적용은 1973 년 미국 캘리포니아주 스카이 공원 교량에 처음 적용한 이후 미국에선 주요 콘크리트 교량, 도로등에 적용되고 있으며 1982 년 미국 연방 도로국에서는 염해를 받는 콘크리트 교량 상판의 보수 대책으로 전기방식이 가장 효과적인 방법으로 공식 발표하고 있다. 콘크리트의 철근을 전기방식 할때 유의하여야할 점은 방식 전위를 적절히 유지하는 것이다.

통상 콘크리트 전기 방식에선 5-30mA/m<sup>2</sup> 정도의 전류 밀도를 유지하여야 하나 만약 과방식일 경우에는 양극체 주변에 염소이온이 모여 물과의 반응으로 치아염소산을 형성하므로 콘크리트 내에 존재하는 Na<sup>+</sup> 와 K<sup>+</sup> 등의 양이온을 철근 주위에 모여 철근과 콘크리트간의 부착력을 저하시킨다.

그리고 과방식시에는 철근에서 수소가 발생하며, 이는 RC 구조물에서는 문제가 되지 않으나 PC 구조물에서는 강제가 수소 취화를 일으킬 가능성이 있다.

그리고 항만 시설물중 PC 파일은 파일내의 철근을 전기적으로 연결한 다음, 아래그림과 같이 외부에서 희생양극을 이용하여 전기방식 할때 효과적인 방식이 가능하다.



**PC 파일 철근의 전기방식**

## 5) 부식억제제 사용법

부식분위기를 조정하여 철강의 부식을 차단하던가 억제하는 물질을 부식억제제(腐蝕抑制劑)라 한다. 일반적으로 부식 억제제라 하면 대기중 또는 수중의 철강 표면에 대한 부식 억제제를 말한다.

그리고 부식 억제제는 패시베이터(passivator)와 인히비터(inhibitor)로 구분한다.

패시베이터는 금속표면에 화학변화를 일으켜 표면을 부동태화 하는 것이며,

인히비터는 금속표면에 어떤 변화를 주는 것이 아니라 인히비터 자체가 금속 표면에 치밀한 막을 형성하여 금속면을 방호하는 것이다.

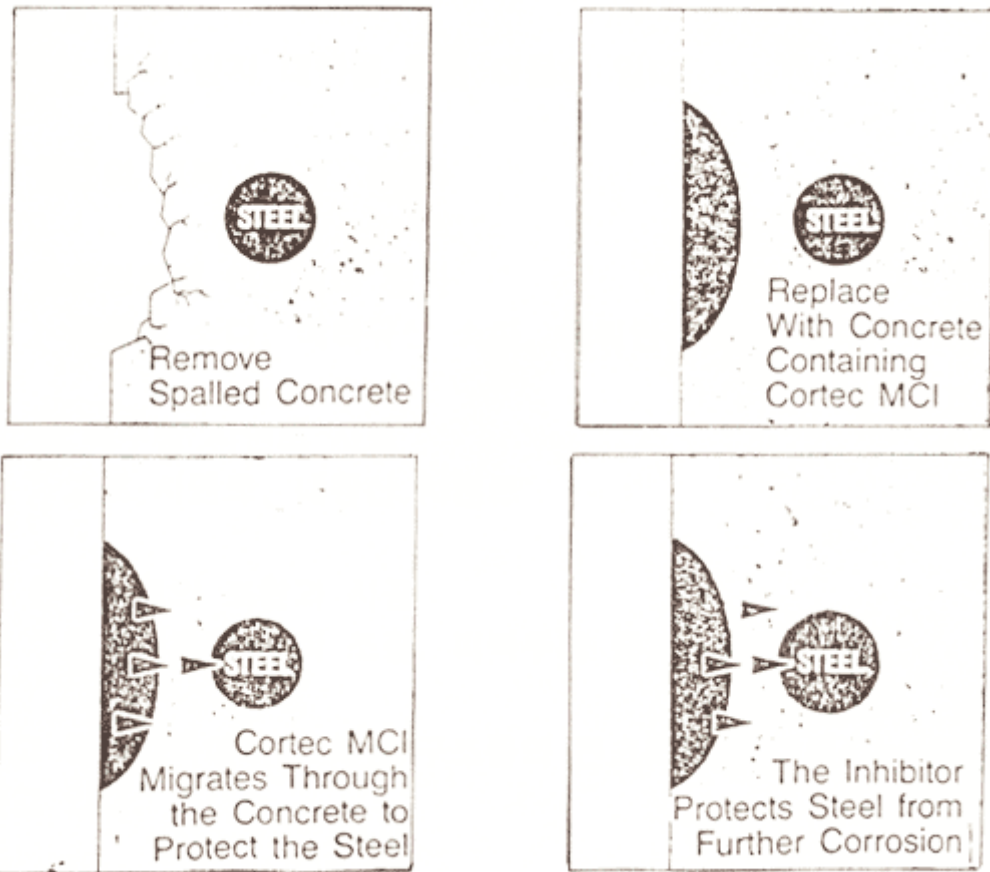
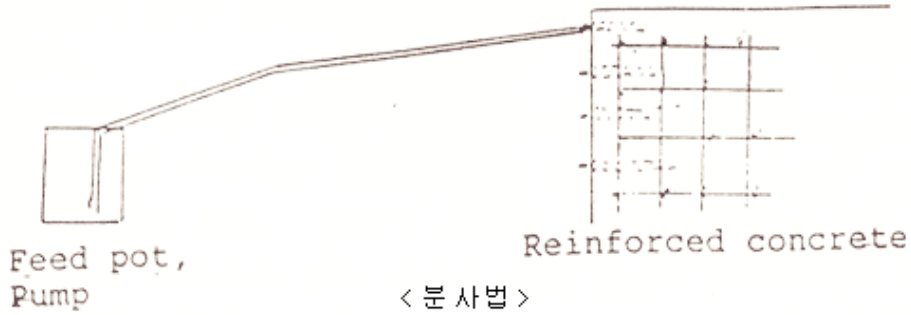
### ① 환경 처리법

- 제습제 (際濕劑)
- 용해요소의 제거제 (溶解要素의 際去劑)
- 유해성분 제거제 (有害成分의 際去劑)

### ② 부식 억제제

- 무기(無機) 인히비터 : 크롬산염, 아초산염, 폴리인산염, 인산염, 중탄산염, 혼합 인히비터
- 유기(有機) 인히비터 : 알코올-물 혼합제, 에틸렌 클리콜용액, 윤활제, 페인트, 유기계 염소화 용매 (디클로로 에탄, 클로로포름)벤젠 용액(염화 알루미늄 용해) 등이 있으나, 콘크리트 내부 철근을 보호하는 인히비터 개발은 제대로 이루어지지 못하였다. 그러나 최근 미국 CORTEC CORP 에서 이동성 부식 억제제(Migrating Corrosion Inhibitors, MCI)를 개발하여 전세계적으로 적용을 넓혀 가고 있다. 이 제품을 철근 콘크리트 표면에 분사함으로써 액의 성분이 콘크리트 내로 확산하여 내부 철근의 부식을 방지하는 인히비터이다.

또한 콘크리트와 혼합하여 투설 또는 보수시 내부 철근을 보호한 MCI 의 적용예를 보면 아래 그림과 같다.



< 혼합법 >

콘크리트 철근 부식억제제 적용

## 6) 해수에 대한 철근콘크리트의 열화 대책

해양 콘크리트는 콘크리트 구조물중에서 가장 가혹한 부식 조건에 있다고 보아야 한다. 앞에서 설명된 모든 방식대책이 유효하겠으나 특별히 다루는 것은 많은 국가들이 항만 콘크리트 구조물에 대한 특별한 기준을 두고 있기 때문이다.

바닷 모래나 해수를 혼화한 철근 콘크리트나 해수중과 해상에 건설된 철근 콘크리트 구조물은 표 10 과 같은 이유로 상대적으로 빠른 속도로 열화(劣化)하게 된다. 따라서 이러한 구조물은 안전과 충분한 수명확보를 위해 여러가지 방식 대책이 나와있다.

이들중 아연 도금한 철근을 사용하는 것과 콘크리트에 크롬산 염을 첨가하며 동시에 철근을 콘크리트로 두껍게 피복시공하는 것은 일반화된 방법이다. 대표적인 열화 방지 대책을 들면 다음이 있다.

A - 철근의 피복 : 도금, 도장

B - 콘크리트에 인히비터 첨가 : 크롬산 소다, 메타규산 소다, 폴리인산 소다

C - 내 해수성 시멘트 사용 : 고로 시멘트, 내황산 시멘트

D.- 콘크리트의 조합과 시공 : 콘크리트의 혼화 조절, 피복두께 증가

항 목		종 류	원 인	콘크리트와 철근에 미치는 열화
콘크리트 자신의 열화	화학적 작용	수산화칼슘 용출 황산염에 의한 침식	접하는 해수에 용해, 모관수에 용해 해수중의 황산염작용	콘크리트 표층부터 다공질화, pH저하 시멘트바지투스형성 결정체 내부 팽창
	물리 작용	동결융해작용 마모손상작용	기상작용 표사, 유수, 유목	-
철근부식 관 계 열 화	콘크리트 중 부식	탄산화 염분작용	수산화칼슘과 탄산가스의 반응 해사, 혼화제, 해수	콘크리트의 pH저하 염소이온의 해교작용 으로 부동태 파괴
	균열단면에서의 부식		하중, 외력-건조, 수축 에 의한	염분, 습기의 침투와 철근부식

### 해수환경중의 철근 콘크리트의 열화

여기서 품질은 특수한 재료를 사용토록 규정하기 보다는 기본적으로 충분한 강도를 갖는 동시에 균질의 밀실한 콘크리트를 만들도록 규정화 하고 있다.

### ① 재 료

시멘트는 포틀랜드 시멘트 4 종 (보통, 중용열, 조강 및 내황산염 시멘트)를 비롯해서 고로 시멘트, 프라이 애슈 시멘트를 사용해야한다.

ACI 및 FIP 에서는 시멘트의 C3A 함량을 각각 12%이하, 4-10%로 규정한다.

그리고 골재는 견실한 양질의 것을 사용토록 하며 해사의 사용을 금하고 있다.

물은 해수의 사용을 금하고 있으나, DNV 에선 해수 사용시  $Cl^-$  및  $SO_4^{2-}$ 의 함량을 규제하고 있다.

### ② 배 합

설계기준 강도는 일률적으로  $350kg/cm^2$ 와  $300kg/cm^2$ (프레텐법)  $350kg/cm^2$ (포스텐법) 이상으로 규정하고 있다.

최대 물-시멘트 비는 40~45%이나 일본에선 조건별로 다르고 55%가 표준이다.

### ③ 피복두께

피복두께는 공기중, 비말대 그리고 수중으로 구분하고 있으나 평균적으로 공기중은 45 mm, 비말대는 65 mm 그리고 수중은 55 mm정도로 정하고 있으나, 일본의 경우에는 해수나 바람의 영향을 크게 받는 곳에 대해서는 70 mm로 정하고 있다. 또 케이슨 격벽은 50 mm로 규정한다.

그리고 PC 의 경우, 피복두께는 공기중은 85 mm, 비말대 100 mm, 수중 85 mm로 되어있으나 일본에서는 규정화 하지 않고있다.

④ 허용 균열폭

FIP 에서는 RC 에 대해 0.3 mm, PC 에 대해서 0.2 mm로 정하고 있으며 ACI 와 DNV 는 최소 철근량으로 간접적인 규제를 하고있다. 일본에서는 해수나 바람의 영향을 직접 받는 곳에서는 최대 0.15 mm, 그 외에는 0.2 mm로 정하고 있다.



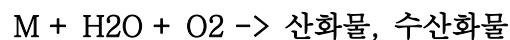
## 2. 내식재료 사용법

재료의 선정에 있어서 우선적인 것은 사용조건을 자세히 아는 일이다. 환경측으로서는 함유성분의 종류와 농도, 상용온도와 압력, 부식매개의 유속, 응력조건과 그 시간적 변화상황, 더욱이 환경 속의 미량성분, 불순물 혹은 고형물의 혼입유무, 국부적인 조건의 차이, 또 재료측으로서는 가공법, 장치형태 혹은 타종재료의 사용상황등 가급적 구체적인 조건을 알 필요가 있다. 목적하는 장치와 유사한 것이 있으면 그 경험은 가장 도움이 되겠으나 유사한 것이 없더라도 어떤 요인만으로도 목적하는 조건과 같은 것에 대해서 조사를 한다.

재료는 내식성만 좋으면 되는 것은 아니다. 강도, 가공성, 열팽창, 열전도 및 가격 등 모두가 사용조건에 맞아야만 하며 그들 중 어느 조건이 중시되느냐에 따라서 선택이 틀러질수 있다.

### 1) 수환경(水環境)

통상 수중에는 용존산소(溶存酸素)가 있는데 이러한 수중에서 금속은 대체로 다음 반응을 한다.



이상의 반응에서 자유에너지 변화( $\Delta G$ )가 있게 마련인데 금속에 따라서 에너지 변화가 없는 것도 있다. 그 대표적인것이 통상 부식되지 않는 금속으로 취급되고 있는 금, 백금등인데, 이러한 금속을 수중에서 있는 금속으로 분류된다.

이러한 일부 금속을 제외한 대부분의 금속은 ( $\Delta G$ )가 부(負)를 나타내며 다양한 부식속도로 부식된다. 부식문제는 상대적 부식속도에 의해 내식성 금속을 평가하므로 여기서는 사용목표에 따라 선택하면 경제성을 향상시킬수있다.

① 스테인레스강(stainless steel)

탄소강에 내식성을 향상시키는 크롬을 12%이상 합금시킨것으로, 수중에서 강한 내식성을 갖는다.(피막두께:1~3nm 의 투명막)

② 동(銅, copper)

수중에서 산화동(酸化銅,  $cu_2o + cuo$ )의 얇고 치밀한 막이 부식생성물로 표면에 형성하는데, 이것이 용존산소의 확산장벽으로 작용하여 부식속도를 0.01mm/Y 이하로 낮춘다.

③ 아연

수중에서 수산화아연  $Zn(OH)_2$  이 생성되어 표면을 보호한다.

보호피막의 두께는 약  $0.5 \mu m(5 \times 10^{-4} mm)$ 정도이다.

④ 기타

납, 크롬, 주석등도 내식성의 산화물 피막을 형성한다.

이상과 같이 사용금속의 수중에서의 부식 특성이 각각 다른데 통상 부식문제도 강재에서의 부식문제가 주로 거론됨으로서 강을 중심으로 방식설계가 이루어지는게 일반적이다.

강은 여러가지 장점을 가진 가장 유용한 금속이나, 상대적으로 부식이 잘 되는 단점을 가지고 있기 때문에 이를 보완하는 것을 방식법이라 해도 과언이 아니다.

내식성 재료 선택은 강재와의 경제성 비교를 통해서 결정하며, 이상의 내식성 금속을 강재에 피복하여 철의 내식성을 향상시키는것도 방식대책의 재료선택에 포함될 수 있다.

## 2) 산성환경 (酸性環境)

산의 종류에 따른 금속의 부식특성이 다양한것과 같이 농도, 온도 변화에 따라서도 특성이 변할수가 있다.

따라서 방식 목적으로서의 내식성 재료 선택은 통계적인 시험자료에 의하는것이 바람직하다.

① 산화성산 환경에서 부동태 피막을 형성하는 금속 = 스테인레스 강, 티타늄, 크롬, 알루미늄, 철

② 비산화성 산 환경에서는 부동태 피막이나 보호성 피막이 대부분 용해 하므로 내식성을 상실한다. 그러나 산의 농도에 따라서는 다양한 내식성이 나타나므로 실용 시험자료에 의거하여 재료를 선택한다.

③ 금이나 백금을 제외한 대부분의 금속은 비 산화성 산이나 산성용액 중에서 수소 발생형 부식을 일으킨다.

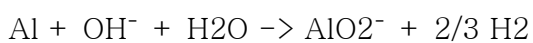
④ 동은 비산화성 산에서 열역학적으로 인정한 상태를 나타낸다

(이유:동의 이온화경향이 수소보다 작기때문)

⑤ 납은 황산, 인산, 크롬산과 반응하여 불용성의 납화합물 피막을 형성하여 내식성을 나타낸다. 염산에서는 부식된다.

## 3) 알카리성 환경

알카리성 환경으로서는 수산화 나트륨이나 수산화칼륨 수용액을 표준으로 하는데 이들성분의 OH<sup>-</sup>와 반응해 가용성염을 형성하는 금속 즉, Al, Zn, Pb 등은 내식성이 없다.



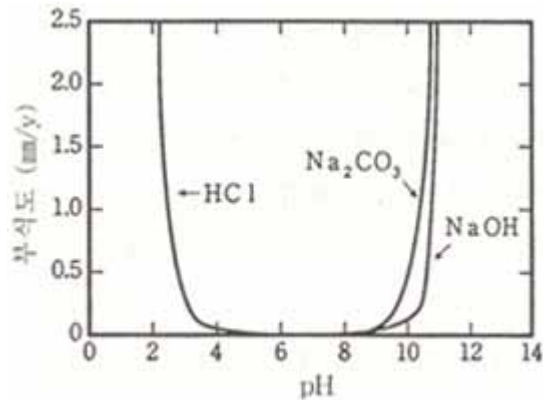


그림2. 알루미늄 부식에서 pH의 영향

중성수중에서 부동태 피막을 형성하는 금속 즉 스테인레스강, 티타늄, 크롬등은 알칼리성 환경에서 부동태 피막을 유지한다. 철은 pH10 이상에서 부동태 피막을 형성하지만 pH14에선  $FeO_2^-$ ,  $FeO_4^{2-}$ 을 형성하며 부식한다. (알카리 부식) 동은 통상 알칼리성 환경에서 내식성을 나타내지만 용존산소를 포함한 암모니아 수용액에서는 용해성의  $Cu(NH_3)_4^{2+}$ 를 형성하며 부식된다. 이들 자료를 종합하면 표 1 과 같다.

표1. 금속의 환경별 내식성

금속	농황산 농질산	염산 회황산 (탈기)	산성용액 (pH3~5)	담수, 중성용액 (염소이온 없음)	해수	알칼리성 용액 (강알카리, 암모니아제외)
알루미늄	부동태	부식	부식	부동태	부동태 (공식)	부식
티탄	부동태	부식	부동태	부동태	부동태	부동태
아연	부식	부식	부식	보호피막	보호피막	부식 (pH > 13)
철	부동태	부식	부식	부식	부식	부동태
크롬	부동태	부식	부동태	부동태	부동태	부동태
납	부식	부식 (황산제거)	보호피막	보호피막	보호피막	부식
스테인레스강	부동태	부식	부동태	부동태	부동태 (공식)	부동태
동	부식	열역학적 으로 안정	보호피막	보호피막	보호피막	보호피막
금	열역학적 으로 안정	열역학적 으로 안정	열역학적 으로 안정	열역학적 으로 안정	열역학적 으로 안정	열역학적 으로 안정

#### 4) 내식재료

##### ① 내후성 강(耐候性 鋼)

내후성 강 이란 탄소강에 내식성분인 구리(Cu), 크롬(Cr), 니켈(Ni), 망간(Mn) 등을 소량 합금한 것으로서 이들강은 대기환경에서 건습(乾濕)이 반복될때 보호성의 피막을 형성하여 부식을 방지하는 성질이 있어 교량, 철탑등에 사용하고, 도장을 하지 않기 때문에 일명 무도장 내후성 강이라 부르기도 한다. (국내에선 용담대교등 12 개의 교량에 적용 실적이 있다)

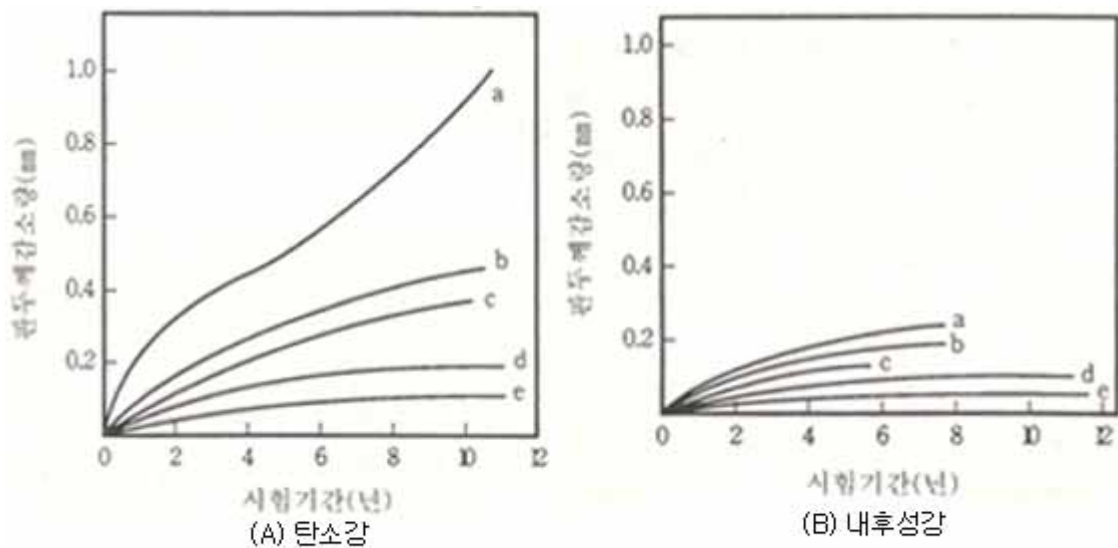


그림3. 탄소강과 내후성강의 대기폭로 시험결과

- a) 부식이 상당히 심한 임해공업지대 및 해안지대
- b) 부식이 심한 임해공업지대
- c) 비교적 부식이 심한 임해공업지대 및 해안지대
- d) 비교적 부식이 심한 임해공업지대대 및 해안지대
- e) 부식이 상당히 작은 내륙도시 및 전원지대

※ 이 데이터는 1955~65 년대의 것으로 현재는 대기오염의 경감으로 대부분의 지역에서 부식은 이 데이터보다 상당히 작다.

그리고 내후성 강도 염화물이 많은 해안 지방에서는 사용이 제한되고 있다.

(염화물이 보호성 피막 형성을 방해한다.)

## ② 내해수 강(耐海水 鋼)

해수중에는 부식성인 염화물이 다량포함되어 있어 대기중이나 일반 수중에 비해 부식문제가 크다. 따라서 선박이나 항만 구조용으로 사용되는 강재는 일부 비금속을 합금시켜 내식성을 향상시킨 강재를 사용한다. 내해수강에는 Cr+Al 계, Cu-Cr-Al 계등이 있다. 이들강의 내식성도 내후성 강과 같이 생성된 녹층이 용존산소의 확산장벽으로 작용하기 때문이다.

## ③ 내구상부식전접강관(耐溝狀腐蝕電接鋼管)

전기저항용접강관에서 용접부가 모재에 대해 상대적 양극으로 작용할때 소양극-대음극 전지구조가 되어 용접부에서 집중적으로 국부부식되어 도랑형태로 손상되는 것을 구상부식(溝狀腐蝕, Grooving corrosion) 이라한다.

전기용접부의 전위가 모재(母材)에 비해 낮아지는 이유는 용접부가 국부적으로 가열되었다가 급냉될때 강(鋼)중의 비금속 개재물의 하나인 황화망간(MnS)이 불안정해져서 전위를 낮추는것으로 알려져 있다.

강중에 S 성분이 약 0.01~0.03% 포함되어 있는데 이것을 0.005%(50ppm)이하로 낮추면 MnS 생성이 감소되어 구상부식이 어느정도 억제되기 때문에 강관재의 S 함량을 50ppm 이하로 유지하도록 권장하고있다.

구상부식을 방지하기 위해 구리(Cu)를 0.1~0.3%를 첨가하면 S 가 구리와 반응하여 Cu<sub>2</sub>S 를 형성하여 보호성 피막을 형성하여 구상부식을 억제한다.

통상 구상부식을 방지하기 위하여 Cu 외에 Ti, Ni, Ca 등을 첨가하는데 이중 Ti 이 가장 유효한것에 대해서는 아직도 명확히 밝혀지지 않고있다.

#### ④ 내황산 노점 부식강관

연소장치의 배기계통에는 연료중의 황(S)성분이 연소시 SO<sub>3</sub> 발생하는데 응결수와 반응하여 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 가 됨으로 산 부식이 일어난다. 이러한 산에 의한 부식을 방지하기 위해 강에 Cu 를 0.1~0.3% 첨가하면 황화물과 반응하여 Cu<sub>2</sub>S 를 생성, 이것이 강표면에 보호성 피막으로 작용한다. 이뎨 강중의 S 성분은 0.01%이상일때 효과적이다. 구리 이외에 Sb, Se, As 도 유효한원소로서 시중에는 Cu-Cr-Ni 계, Cu-Cr 계는 고온용으로, 그리고 Cu-Sb, Cu-Sb-Sn 계는 저온용으로 개발되어있다.

#### ⑤ 스테인레스 강

스테인레스 강은 금속조직과 합금성분에 따라 다양한 성질을 나타낸다. 그중 금속조직에 따른 부식 특성과 내식성 개선방법은 다음 표와 같다.

표4. 스테인레스강의 조직에 따른 부식특성

종 류	일반적인 강종	내용력부식균열성	내공식성	내입계부식성
오스테나이트계	SUS 304	X	X	X
페라이트계	SUS 430	◎	X	X
2 상 계	SUS 329 J 1	○	○	X

◎: 감수성이 거의 없음. ○: 상당한 저항성 X: 감수성이 큼.

표5. 스테인레스 강 종류별 내식성 개선방법

종 류	내용력부식균열성	내 공 식 성	내입계부식성
오스테나이트계	Ni량의 증가	Cr, Mo의 증가 N의 첨가 지표 $Cr+3.3Mo+6N$	C의 저하 (L등급) Ti, Nb의 첨가 (SUS 321, 347)
페라이트계		C, N의 저하 Cr, Mo 증가	C, N의 초미량화 (C+N <100~150ppm)
2 상 계		Cr의 고배율 배합 Mo의 증가	C의 저하 (L등급)

⑥ 동(銅)및 동합금(銅合金)

동은 중성환경에선 표면 부식시 보호성 피막을 형성하므로써 해수,담수 그리고 대기중에서 양호한 내식성을 나타낸다. 그러나 표면에 부착물이 있을때 산소농담전지에 의한 부식및 부착물에 의한 난류가 있을시 충격부식을 일으킬 수 있다. 그리고 동은 산화성산, 공기를 포함한 비산화성산, 공기를 포함한 부식되기 쉽다. 이러한 동의 부식특성은 합금으로 만들때 조정할수있다.

- 에드미랄티 황동(admiralty brass)

70% Cr + 30% Zn 을 지금으로 하여 1% Sn 과 0.04% As 를 합금한것으로 열교환기 튜브에 적용.

- 알루미늄 황동 (aluminium brass)

78% Cu + 20% Zn 을 지금으로 하여 2% Al 합금하고 다시 0.04% As, 0.2% Si 를 첨가한 것으로, 해수열교환기에 적용, 내충격부식성이 우수.

- 네이발 황동(naval brass)

60% Cu + 40% Zn 을 지금으로 하여 Sn 을 1%합금한것으로 열교환기 관판(管板)으로 사용.



- . 큐프로니켈

10~30% Ni - Cu 합금으로 내해수성이 우수하여 열교환기 튜브로 많이 적용.

⑦ 알루미늄 및 알루미늄 합금

알루미늄과 알루미늄 합금중에서 내식성이 가장 우수한 것은 순(純)알루미늄이다.

즉, Fe 나 Cu 등과 같은 불순물이 적을수록 내식성이 우수하다.

알루미늄은 pH4~8.5 인 수중에서 내식성이 우수하나 Cl-가 많을경우 공식이나 틈부식이 발생하기 쉽다. 그리고 알루미늄의 특징에는 양성금속으로서 알칼리성 수용액 중에서  $AlO_2^-$ 를 생성하여 부식한다. 따라서 pH 의 상한치(상온에서 pH8.5)를 두어 사용한다. 해수중에서는 내식성을 향상시키는 금속을 합금한 내식성 합금을 사용한다. 즉, Al-Mn-Mg 계, Al-Mg 계 그리고 Al-Mg-Si 계 합금이 해양분위기에서 널리 사용된다.

⑧ 니켈 및 니켈합금

니켈은 중성수용액에서 부동태화 하나 해수중에서 공식(孔蝕)이 일어나기 쉽다.

또한 용존산소를 포함한 암모니아에 약하다.

니켈은 주로 합금으로 사용되는데 그 대표적인것은 다음과 같다.

- . 모넬(monel)

70% Ni - 30% Cu 합금으로 해수중에서 내 공식성이 우수하며 비 산화성 산에 대한 내식성도 우수하다. 산화성산 C 에  $HNO_3$ ,  $FeCl_3$ ,  $H_2CrO_4$ 에는 약하다.

- . 인코넬(Inconel)

76% Ni - 16% Cr - 7% Fe 합금으로 산화성 환경에서 내식성을 나타낸다.

그러나 Cl-에 의한 공식이 발생할수있다.

### 3. 환경처리에 의한 방식법

환경의 부식성을 경감하는 데는 환경 속의 부식성 성분을 제거하는 방법과 환경속에 부식억제의 작용을 하는 성분을 첨가하는 방법의 2가지가 있다. 전자에는 옥내 대기부식방지를 위한 습기제거, 수중부식방지를 위한 탈산소등이 있으며, 후자에는 부식억제제(inhibitor)의 첨가에 의한 방식이 있다.

#### 1) 상대습도의 저하에 의한 방식

##### ① 습기제거에 의한 방식

온도가 저하해도 습기를 제거하여 항상 노점 이상이 되게 하면 옥내에서의 대기부식은 일어나지 않는다.

제습장치에는 냉동에 의한 방법과 흡착 또는 흡수제를 사용하는 방법이 있다.

냉동법에서는 공기의 온도를 식혀서 노점 이하로 하고 습분을 응결시켜서 분리한다. 빙점 이하로 냉각하면 분리가 어렵게 되므로 노점이 0℃ 이하까지 제습할 수는 없다. 여기에 비해 건조제를 사용하는 방법은 건조제의 사용온도에서 평형 수증기압까지 제습할 수가 있으므로 냉동법보다도 노점을 내릴수가 있지만 건조제 재생 등의 수고가 따른다.

냉동법에 의해 제습한 공기의 상대습도는 거의 100% 이므로 안전을 위해서는 가열할 필요가 있고, 건조제법의 경우는 제습에 의해 발열하므로 반대로 기온이 올라가 냉각을 필요로 하는 수도 있다.

##### ② 가열에 의한 방식

대기 속의 상대습도를 내리기 위해서는 온도를 높이면 된다. 금속의 표면이 항상 대기의 노점보다 높으면 옥내에서의 부식은 일어나지 않는다. 그러므로 목적하는

것을 적당한 방법으로 가열하여 실온보다 높게 유지하면 막을 수가 있다. 유지해야 할 온도는 각 상대습도에서의 노점을 구하면 알 수 있다.

## 2) 용존산소 제거에 의한 방식

중성부근의 물에 의한 부식의 방지에는 용존산소를 제거하는 것이 가장 효과가 있다. 용존산소의 제거법으로서는 기계적인 탈기법(deaeration)과 화학적인 탈산소법(deactivation)이 있다. 탈기법에서 대부분의 용존산소는 제거되지만 처음의 몇 %는 잔류한다. 탈산소법은 약제의 소모와 반응생성물이 물속에 남는 결점이 있지만 충분한 반응시간이 주어지면 완전히 탈산할 수가 있다. 그러므로 대량의 물을 처리하는데는 기계적 방법으로 대부분의 산소를 제거하고 더욱더 산소를 낮게 할 필요가 있을 때만 화학적 방법을 사용한다.

### ① 기계적 탈기법

산소의 용해도는 온도와 함께 감소하여 보통 압력에서는 100℃에서 거의 0이 된다. 또 정온에서는 산소분압에 비례해서 감소한다. 그러므로 물을 가열하여 감압하면 탈산소할 수가 있다. 탈산소의 능률을 올리려면 물의 표면적을 크게 하고 유속을 주어서 기포의 분리를 좋게 하는 것 등이 필요하며 이 때문에 처리수를 분무시키거나 분산하여 아래로 흘러 보내는 탈기장치가 사용되고 있다.

### ② 화학적 탈산소법

산소와 반응하는 물질로서 가장 간단한 것은 Fe 부스러기이다. Fe 부스러기에 산소를 포함한 물을 저축시켜서 Fe가  $Fe(OH)_2$ 가 되면, Fe 1g당 산소 0.28kgf를 고정할 수 있을 것이다. 이것은 25℃에서 공기포화한 물 350t을 탈산할 수 있는 것이 된다. 그러나 실제로는 반응속도의 촉진이나 부식생성물의 제거 등이

어려우므로 온도를 70℃ 정도로 올리고 또 물을 흘려보내기에 여러가지로 연구해도 그다지 능률이 좋은 장치는 얻어지지 않지만, 간단하다는 장점이 있다.

### 3) 부식억제제를 사용하는 방식

부식억제제란 금속의 부식을 감퇴시키는 물질 전반을 넓게 말하는 수도 있으나 실용적으로 비교적 소량을 부식액에 첨가함으로써 부식속도를 현저하게 감소시킬수 있는 물질을 말한다.

부식속도를 억제하는 데는 양극반응 혹은 음극반응의 어느것 혹은 양쪽의 속도를 감소시키면 된다. 양극속도의 제어법으로서 가장 유효한 것은 부동태화의 촉진을 일으키는 일이다. 부동태화를 일어나기 쉽게 하는 부동태화제는 양극의 활성을 저하시키므로 양극 억제제라고도 한다. 이에 대해서 주로 음극반응을 억제함으로써 부식을 감소시키는 것을 음극 억제제라고 부르나 더욱이 금속표면에 일정하게 흡착해서 반응의 장벽을 만들어서 부식을 억제하는 다른 물질도 알려져 있다.

## 4. 전기화학적 방식법

부식도에 따라 Fe의 부식을 막으려면 음극분극에 의해서 Fe의 안정역에 들어가는 음극 방식법(cathodic protection)과 양극분극에 의해서 부동태역으로 들어가는 양극 방식법(anodic protection)이 있으며 이 2가지의 방식법을 총칭해서 전기화학적 방식법이라고 한다.

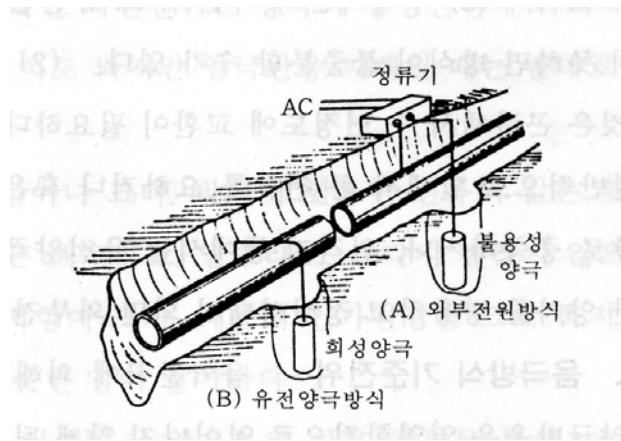
### 1) 음극 방식법

#### ① 음극방식의 적용방식

목적물을 음극분극 하기위한 전원을 외부의 직류전원에서 구하느냐 혹은 보다 저전원인 타 금속과의 조합에 의한 전지에 구하느냐에 의해서 음극방식은 2가지의 방식으로 나뉘어 진다. 전자를 외부전원방식 혹은 통전방식, 후자를 유전양극방식 또는 희생양극방식이라 한다.

#### a. 외부전원방식

직류전원으로서의 교류를 정류한 것을 사용하고 배선은 다음그림의 (A)와 같이 된다. 양극으로서 불용성인 흑연, 자성산화철 등이 사용되지만 이들은 취약하므로 선체, 화학장치 등에는 Pb, Ti, Ag, Pt 등이 사용된다. 이 방식의 장점은 첫째 전압 혹은 전류를 자유롭게 조절할 수가 있고 따라서 부식조건에 변화에 대응되며, 둘째 양극의 불용성이 충분하다면 반 영구적인 시공이 되고 따라서 유지관리비가 적게 든다는 점이다. 단점으로는 조절의 시간이 길고 양극의 불용성 혹은 강도가 충분하지 못하면 통전하지 못하는 수가 있다는 것이다. 일반적으로 큰 전류를 요하거나 혹은 영구적 시설에서 사용된다.



### 지하 매설관의 음극 방식

#### b. 유전양극방식

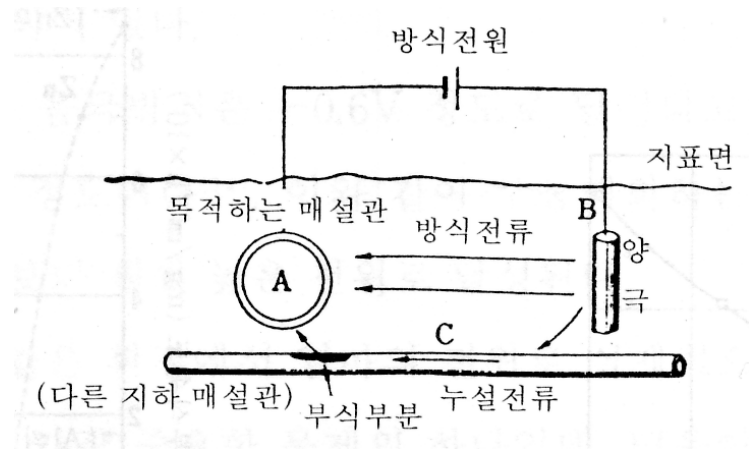
목적하는 환경 속에서 보호해야 할 금속보다 낮은 전위이고 또 방식에 필요한 만큼의 분극을 줄 수가 있는 금속으로는 Fe에 대하여 Mg, Zn, Al 이 사용되고 Cu에 대해서는 Fe, 또 Al에 대해서는 Zn이 사용된다. 그것들과 방식해야 할 금속을 그림의 (B)와 같이 연결하면 된다.

양극으로서는 그 보호성이 충분히 장기간 일정하게 유지되는 것이 필요하며 이 때문에 특별한 양극용 합금이 만들어지고 있다.

예를 들면 Fe에 대해서는 Mg-Al-Zn 합금, Al-Zn 합금(In, Sn등의 소량첨가), Zn-Al 합금(Cd, Hg, in등의 소량첨가) 또는 고순도 Zn등이 있다. MG 합금은 Fe와의 전위차가 크므로 지층이나 담수중의 회로저항이 높을 때 좋으나 자기부식량이 많으므로 오래가지 않는다. 그러므로 해수 속에는 Zn 또는 Al쪽이 적합하다.

이 방식의 장점은 시공이 간단해서 어느 기간 관리가 불필요하며 전원이 얻어지지 못하는 장소나 소형인 것 등에 적용해서 경제적이다. 단점으로는 환경과 양극배치가 적정하지 못하면 방식이 불충분할 수가 있고 충분히 장기간 방식작용을 일정하게 유지하는 것은 곤란해서 수년 정도에 교환이 필요하다. 소전류로 충족하거나 원격지 등에서 사용한다.

음극방식법 사용시 목적물을 음극분극 시키기 위하여 전장을 주면 인접하는 금속체에 전식이 생기는 문제점이 있다. 그림과 같이 목적물 A를 방식하기 위하여 B에 양극을 설치하면 C의 금속체는 전류의 통로가 되어서 전류 유출부가 부식된다.



음극부식의 누설전류에 의한 인접매설물의 피해

이것을 음극방식에서의 간섭이라고 한다. 간섭은 전류가 금속체를 지나는 강의 저항이 적은 경우에 일어나는 것이므로 해수 속보다는 흙속과 같은 비저항이 높은 환경일때에 문제가 된다.

2) 양극 방식법

양극분극에 의해 부동태를 달성시켜서 방식하는 양극 방식법은 부동태화 전위가 낮고 더구나 부동태 유지전류의 비교적 작은 스테인레스강 산 속에서의 방식에서 우선 채용했는데 그 후 그 응용은 Ti, Ni 합금에서 강에 이르고 있다. 양극부식의 적용에 있어서 문제가 되는 것은 소요최대전류, 부동태 전위범위 및 부동태 유지전류값의 세가지이다.

① 소요최대전류

활성상태의 금속을 부동태화 하기 위하여 넘어야 할 전류의 산이 너무 높으면

초기부터 전류용량이 큰 전원을 필요로 하게 되어서 비 경제적이다. 다행이도 부동태화를 빨리 일으키려면 큰 전류가 필요하다더라도 천천히 부동태화를 하는 것이 좋다면 소요최대전류값은 직선적으로 작아진다.

## ② 부동태 전위범위

부동태 전위범위가 너무 좁으면 양극방식의 적용은 곤란해져서 활성화 혹은 과부동태역으로 이탈하는 확률이 커지므로 최저 50mV 이상은 필요하다.

## ③ 부동태 유지전류

부동태를 유지하기 위해서는 어떤 크기의 전류가 필요하다. 이 값이 크다는 것은 부동태 상태에서 부식속도가 크다는 것을 의미하고 또 경제적으로도 전력비가 높다는 것이 된다. 부동태 유지전류는 온도의 상승, 환경의 부식성의 증가와 함께 일반적으로 증가한다.



## 5. 피복 방식법

### 1) 금속 피복

금속의 표면을 그것보다 내식성이 좋은 다른 금속이나 합금으로 피복하는 방식법에는 도금, 용사, 확산침투 및 합금법등이 있다.

#### ① 전기도금

전기도금은 강에 실시되는 일이 가장 많다. 도금은 얇으면 완전히 바탕을 덮기는 어려우므로 어느 정도 이상의 두께가 필요하며 또 강과의 전위관계가 문제가 된다. Ni 도금이 바탕으로서 사용되는 것이 대부분이며 강 이외에도 황동, 아연합금 등에도 사용되지만 철강에 사용되는 일이 가장 많다. Ni 도금은 광택전기도금을 하게 되는데 광택 Ni 도금은 도금층에 변형이 있고, 공식을 일으키기 쉽기 때문에 무광택 Ni 도금에 광택 Ni 도금을 겹치는 방법 혹은 광택도금위에 0.5 $\mu$ m 정도의 Cr 도금을 겹치는 방법이 사용되고 있다.

이 밖에 Zn 도금 혹은 Sn 도금도 실시되는데, 이것은 주로 종래 용융도금이 실시되고 있던 합석의 도금량을 절약하기 위하여 실시되는 것으로 각기 전기, Zn 도금으로 불러서 구별하고 있다.

#### ② 화학도금

외부로부터 전기에너지를 공급받지 않고 금속염 수용액중의 금속이온을 환원제의 힘에 의해 자기 촉매적으로 환원시켜 피 처리물의 표면위에 금속을 석출시키는 방법으로 무전해도금 또는 자기촉매도금이라고도 한다.

수용액내의 포름알데히드나 하이드리진 같은 환원제가 금속이온이 금속분자로 환원되도록 전자를 공급하는데, 이 반응은 촉매표면에서 일어난다. 가장 상용화된 도금제는 Cu, Ni-P 합금이 있다. Ni-P 합금의 화학도금은 Pb, Sn 등의 합금이외의 많은 금속 및 비금속에도 실시할 수가 있으며, 부착성이 좋고 다공성이 적은 것이

특징이다.

### ③ 용융도금

저 용점의 금속을 용융하고 그 속에 피복해야 할 금속을 침적시켜서 표면에 합금층을 만들게 해서 피복하는 방법을 용융도금법이라고 부르며 Zn 철판(합석판) 및 Sn 도금강판(양철판)이 그 대표적인 것이다.

#### a. 용융 Zn 도금

Zn은 대기 및 담수 속에서 내식성이 양호하며 또 철강에 대해서 양극으로 작용하는데 용융 Zn 도금법은 철강의 방식법으로서 가장 중요한 방법이고 현재는 철강의 대기부식 방지에 Zn 피복을 하고 다시 도장을 하는 것이 경제적으로 오래 쓰는 최선의 방법이라고 하고 있다.

Zn은 대기속의 CO<sub>2</sub> 및 H<sub>2</sub>O와 반응해서 염기성탄산(ZnCO<sub>3</sub> · Zn(OH)<sub>2</sub>)의 피막을 만들고 이것은 밀착성이 좋고 또 치밀해서 좋은 내식피막이 된다. Zn 도금의 내식성은 결함이 없는 한 그 두께에 의해서 정해지고 바탕의 강이 녹슬기 시작할때까지 피복의 수명은 지역에 따라 다르며 특히 공업지대와 부식생성물피막의 성장 고착하기 힘든 환경 즉 항상 젖어있는 그늘진 곳 또는 터널내 등에서는 수명이 짧다.

#### b. 용융 Sn 도금

저탄소강에 Sn 도금한 것은 양철(tin plate)이고 가공성, 납염성 및 외관 등이 우수하므로 넓은 용도에 사용되고 특히 통조림용으로서 가장 많이 사용된다. 용존산소가 있는 수중에서 Sn은 Fe에 대해서 음극이지만 통조리안과 같은 산소가 없는 유기약산용액 속에서는 Sn은 석이온을 만들기 때문에 전위가 저하하여 Fe에 대해서 양극이 된다.

#### c. 용융 Al 도금

Al은 Zn 이나 Sn에 비하여 용점이 높으므로 용융도금은 하기 어렵다. 그러나

적당한 용제 또는 환원성 분위기 가스등을 사용함으로써 용융도금을 할 수가 있다. Al 도금은 합금층이 무르므로 도금온도가 높을수도 있어서 합금층은 발달하기 쉽지만 그 두께가 10 $\mu$ m 이하가 아니면 사후의 가공을 할 수 없다. Al 도금피복의 내식성은 거의 순 Al과 마찬가지로 강에 비하면 훨씬 우수하고 특히 내산화성이 좋은 것이 특징이다.

## 2) 비금속 피복

비금속은 본질적으로 금속보다 내식성이 좋다. 그러므로 비금속물질을 금속표면에 피복하는 것은 유력한 방식법이 된다. 금속의 표면을 부식생성물을 만들어서 그것으로 표면을 덮는 방법과 바탕과는 관계가 없는 물질로 표면을 덮는 방법의 2가지가 있다. 전자는 일반적으로 밀착성은 좋지만 두껍게 할 수는 없고 후자는 반대로 두껍게는 되지만 밀착성에 문제가 있다.

### ① 화성피복

금속의 표면에 화학반응을 일으키고 물에 불용의 화합물을 형성시켜서 피복하는 것을 화성(chemical conversion)이라고 부른다. 인산염피복은 Zn, Al, Mg 등에도 실시되지만 특히 철강에 대한 처리는 parkerizing으로 실용되는데 방식법이라기 보다는 도장바탕이다. Mn 또는 Zn의 산성정 인산염 수용액 속에서 끓여서 강의 표면에 Fe 및 Mn, Zn의 인산염을 묻힌 것이 이것이다.

Fe 표면에 산화물을 만들어서 방식하는 방법에는 공기속에서 400 $^{\circ}$ C 부근에 가열하는 청소법(blueing) 및 알칼리수용액 속에서 끓이는 흑염법(blackening)등이 있는데 모두 옥내의 대기부식에 대해서는 효과가 있다.

### ② 도료에 의한 방식

방식을 목적으로 하는 도료에는 안료(pigment)로서 금속분말 진크크로미트, 연단, 염기성크롬산염, 시아마미드염 등을 포함한 것이다. 진크크로미터는 물에 가용이며

크롬산이온이 Fe를 부동태화하는 작용이 있다. 또 염단, 염기성 탄산염, 시아나미드염 등은 염기성이므로 금속비누를 만들어서 억제효과 및 불침투성의 피막을 만들기 위한 부식억제 작용등을 하고있다.

도막의 방식성은 그 안료에 의한 부식억제작용과 도막이 이온확산의 장벽이 되기 때문이다. 안료로서 Zn분이 다량으로 포함된 도료는 진크리치도료(zinc-rich paint)라고 부른다. 이 도료가 강면의 부식억제작용을 하기 위해서는 도막 속의 Zn이 강면과 전기적으로 접촉하고 있어야만 한다.

### ③ 기타의 피복

기타 유기물에서는 고무 또는 플라스틱의 시트 붙이기, 분말용착, 도장과 흘려넣기가 되는 피복, 또는 그라스라이닝, 범랑코팅 등이 화학장치등에 사용된다.

수도관, 가스관, 석유정관 및 해수유송관등에는 강관의 내면에 몰탈 또는 콘크리트를 내장한 것이 사용된다.

## 6. Remodeling 에서의 방식

리모델링이란 장기간에 걸쳐 풍화작용이나 부식 등에 의해 노후화된 건물을 완전히 철거한 후 다시 재 건축하는 대신에 기본 골격과 주요 시설물 가운데 보강 하거나 보수 하여 계속 사용할 때 경제성이 있다고 판단되는 것은 그대로 남겨둔 채 나머지 부분을 철거하여 건물 내부 공간 사용의 효율성을 높이고 또 시대 변화에 따른 유행까지 만족 하는 구조로 개조하는 건설의 한 형태로 정의 되는 것으로서 전 세계적으로 건설에 못지 않게 점차 활성화 되어 가고 있는 추세이다.

지금 우리나라는 좁은 국토가 온통 도로와 대형 건축물로 포화상태에 이르다 보니 건설 관계자나 사회 지도자들 가운데 건설 관련 대화나 연설문에서 유지 관리의 중요성을 강조하는 경우가 부쩍 많아 지고 있는데, 이들이 강조하는 유지 관리에서 부식을 방지 하는 방식기술이 차지하는 비중은 가히 절대적이라 할 수 있다.

그런데 건물의 철근, 철골, 배관, 전선 기타 냉·난방 시설물들이 모두 썩지 않고 초기 상태로 계속 유지 된다면 유지 관리나 리모델링 이란 말들은 큰 뜻이 없게 될 것이다. 왜냐하면 리모델링 이나 유지관리 등이 모두 경제성을 추구하는 가운데 나타날 수 있는 사회적 현상이기 때문이다. 여기서 리모델링과 방식 기술 간에는 뿔래야 뿔 수 없는 관계에 대해서는 다음의 몇 가지 예가 잘 설명해 줄 것이다.

1) 리모델링의 의사 결정에선 정밀 부식 진단 결과가 필수적 고려 사항 이다

중·대형 건축물의 기본 골격은 철골이나 철근 콘크리트 구조물인데 이러한 구조물의 강도 예측은 철골과 철근의 부식 정도와 부식율 측정에 의해 판단이 가능하다. 또한 냉·난방 시설을 비롯해 각종 배관, 탱크, 그리고 전선들 모두가 금속재로서 예외 없이 부식 문제가 있게 마련인데 이들 시설물의 이를 시설물의 재 사용과 관련해 경제성 판단에서도 앞에서 언급한 구조물들과 같이 정밀 부식 진단 결과가 큰 비중

을 차지하기 때문이다.

2) 리모델링의 경제성 판단에서 건설비용 비교, 안전 수명 계산, 유지 관리비 절감 효과는 적용하는 방식 기술에 의해 크게 영향을 받는다.

① 철골과 철근은 1회 처방으로 목표 수명을 달성 할 수 있게 방식 처리 함이 바람직 하다.

a. 철골 방식 처리시 전체 면적의 약 5% 내외에 해당하는 부식 취약 부는 별도로 중방식 처리 하고 나머지는 일반적인 도장 방식 처리 기술로서 조치

b. 콘크리트의 부식 취약 부에는 부식 억제제 처방 후 방수 처리

② 배관 및 탱크는 내부 부식을 방지 하여 스케일 생성과 미생물 서식을 차단한다.

a. 내식성 재료 설계

b. 수 처리 기술 적용

c. 부식 취약 부에 대해 중방식 처리

③ 냉·난방 시스템은 pipe 와 tube 내부의 부식 및 스케일 형성 차단시 시스템의 수명 연장과 열 전달 효율 향상으로 경제적 운영이 가능 하다.

a. 시스템 내부 녹·스케일 방지 기술 적용

b. 부식 취약 부 중방식 처리 기술

c. 내식성 재료 설계

3) 리모델링 과정에서 관계자(건물주, 설계, 시공, 감리 및 유지 관리자)가 부식·방식에 대한 기본적인 상식을 갖출 때는 리모델링이 추구하는 궁극적인 목표 달성에 크게 영향을 미친다.

이상과 같이 리모델링 에서 방식 기술은 기획에서 유지 관리 전 단계에 걸쳐 반드시 적용되어야 하는 필수 기술인데도 지금까지 국내 건설계 는 선진국과는 달리 방식 분야 만은 전문 기술자 양성은 물론이고 기술 교육과 개발까지 등한히 해 오므로서 기존 건축물들은 예외 없이 부식 문제가 큰 경제적 손실의 주범이 되고 있는 실정이다.

그 대표적인 것이 안전 수명 단축에 따른 안전 사고 발생, 조기 재 건축에 따른 갖가지 사회문제 발생 그리고 배관의 부식과 스케일 발생에 의한 천문학 적인 에너지 손실과 국민 건강 위협 등인데, 이들 보다 더 큰 문제는 아직 까지도 방식 전문 기술 인력의 부족과 부식에 대한 사회적 인식 부족 현상이 원인이 되어 설계 단계 에서부터 경제적인 방식 기술이 제대로 적용되지 못하고 있다는 것이다.

즉 가장 효과적인 방식 효과는 설계 단계 에서 적절한 방식 기술 적용시 기대할 수 있는데 국내 건설계는 이러한 기회를 많이 놓치고 있다는 것이다.

노후 건물 소유주, 리모델링 업체 기술자 모두가 부식· 방식에 대한 인식을 새롭게 할 때 국내 Remodeling 사업은 기술적으로 세계 정상 궤도에 쉽게 도달 할수있고, 또 이러한 축적된 기술이 수출 상품으로 포장 될 땐 국익에 크게 이바지 하는 역할도 할 것이다.

## V

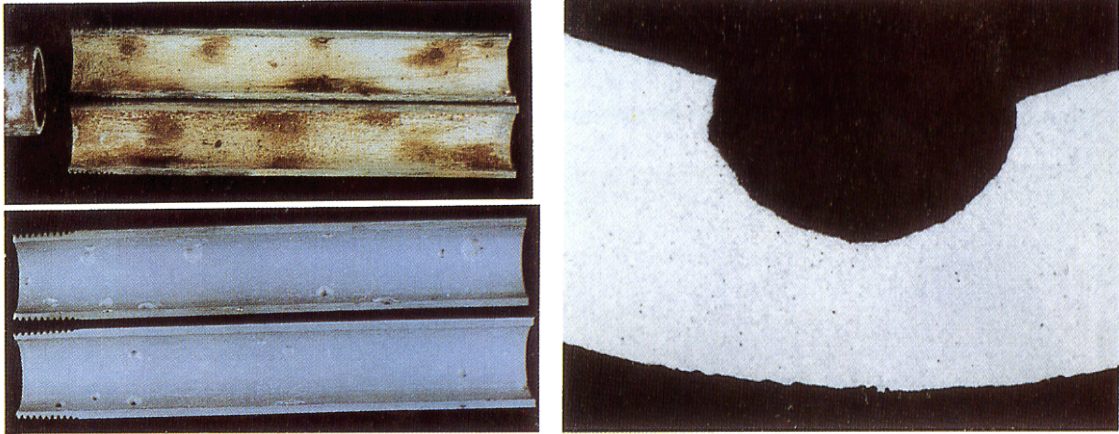
## 부식의 발생 사례 및 FAQ

1. 부식의 발생 사례
2. 부식의 FAQ

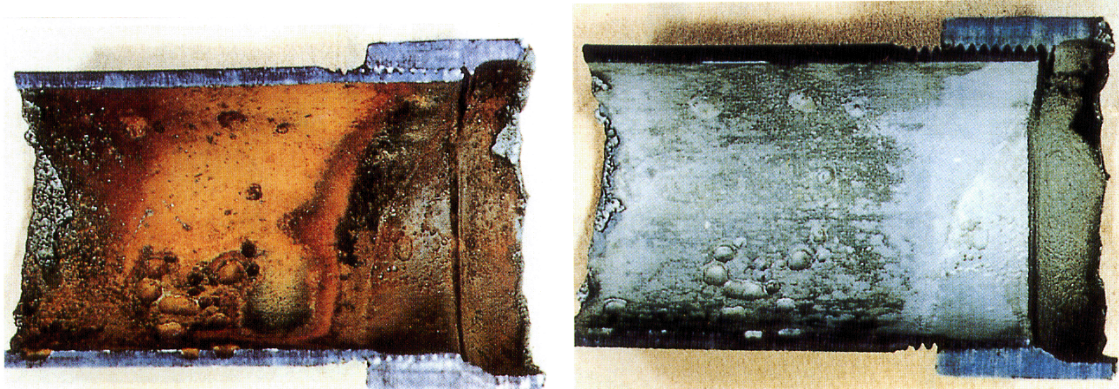


# 1. 부식의 발생 사례

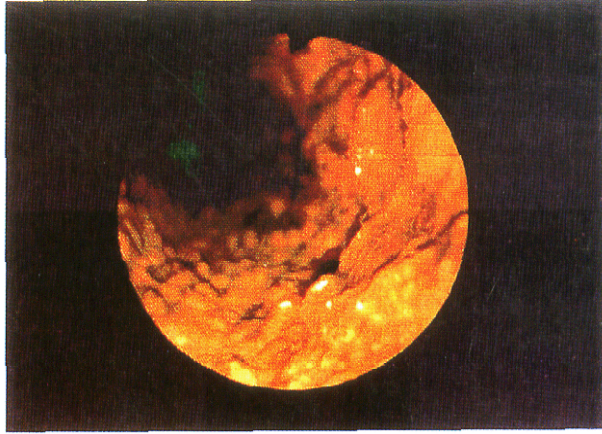
## 1) 강관



냉각수계 백강관 공식 (관 내부 및 단면)



탄산과 산소에 의한 증기관(흑관) 부식



난방배관(백관) 내부에 축적된 녹



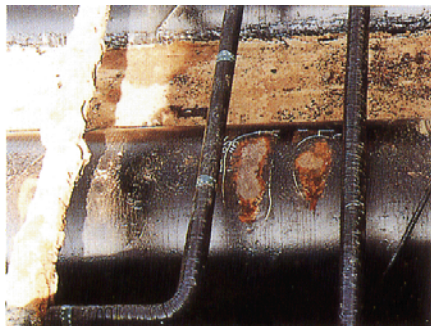
냉각수배관(백관)의 스케일



세대 난방배관(강관) 부식으로 인한 누수



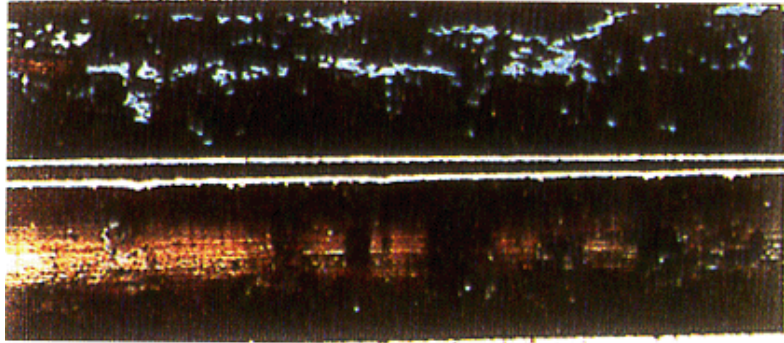
곰팡이 제거제에 의한 아연도강 부식



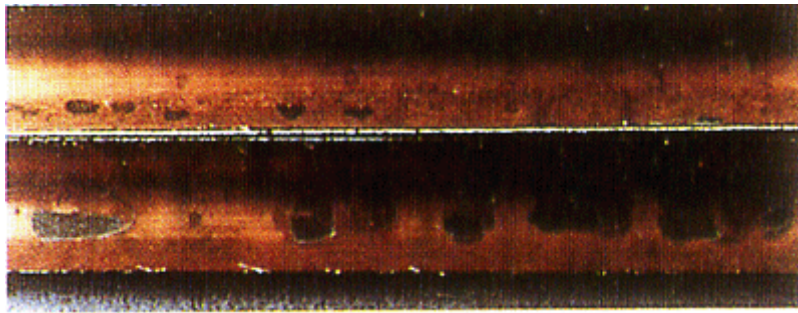
매설배관 외면의 전류 유출부에서의 부식



2) 동관



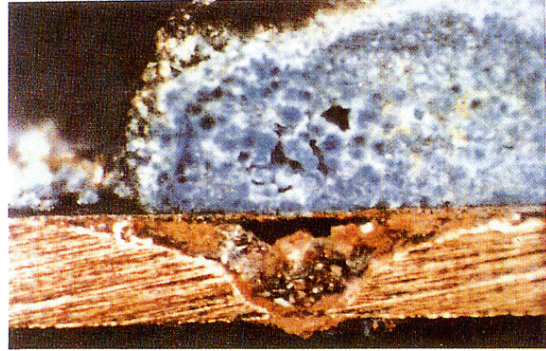
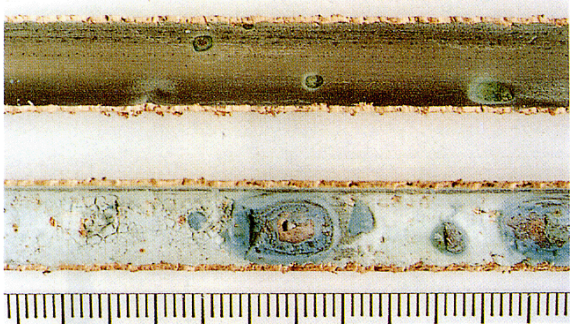
공조기 코일(동관) 내부의 산화물 피막(산화구리)



공조기 코일(동관) 내부의 산화물 피막 (아산화동)



냉동기 콘덴서(동관) 공식



F.C.U 동관의 공식



철 녹의 부착에 따른 동관의 극간 부식



세대 난방배관 공식





세대 급수관 공식



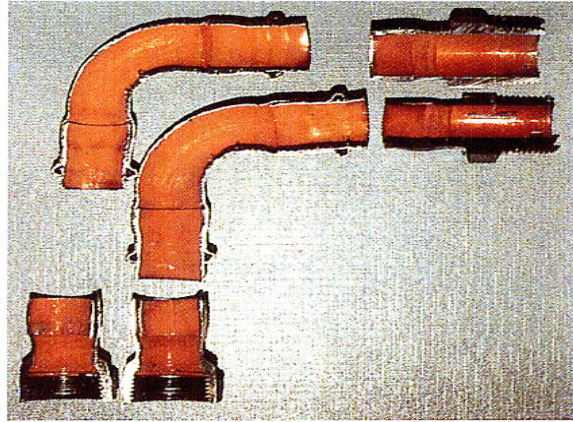
세대 급수관 벤딩부위에서의 공식



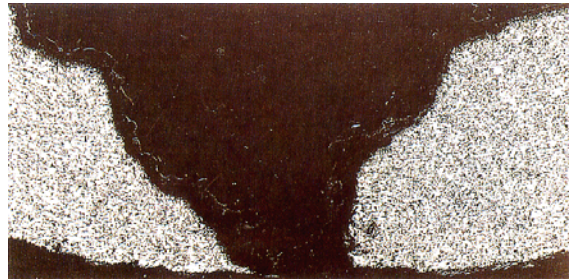
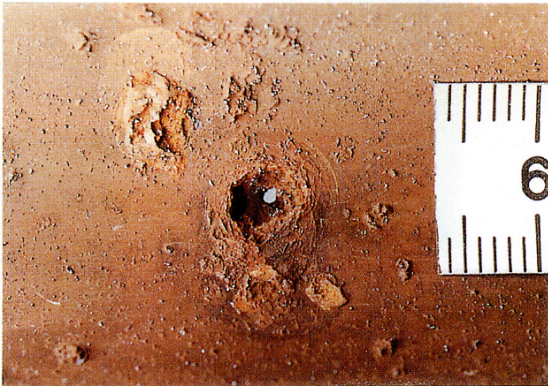
급수관 내부에서의 청녹 발생

곰팡이 제거제 접촉에 의한 부식

3) STS관



급수,급탕관 내부의 부착 녹



보일러 튜브 외면에서 발생한 공식



저수조 내부 염소이온에 의한 부식



## 2. 부식의 FAQ

문) 이중금속간 용접 또는 연결 시공시의 문제점은?

답) 이 경우에 각 금속간의 전위차에 의한 갈바닉 부식을 피할수 없다. 예를 들어 일반 STEEL제의 우수 물받이와 STS 드레인을 용접시키면 우수물받이는 양극이 되고 드레인은 음극이 되어 물받이의 부식이 불가피하며 특히 그 크기가 물받이 보다 드레인이 더 크면 부식 속도는 가속되게 된다.

이를 방지하기 위해서는 가장 먼저 동일한 재질을 사용하여 연결해야 하고 불가피시 전기방식도 있으나 현장에서 간단하게 할수 있는 방법으로 음극이 되는 재질 즉 드레인을 피복 도장 또는 절연재를 사용하여 최대한 이온의 이동을 억제해야 한다.

문) 아연도강관이 음용수 배관에 사용되지 못하는 이유는?

답) 아연도금강관이 사용되는 가장 큰 이유는 통상의 수 환경에서 아연의 부식속도가 탄소강의 1/10 이하이기 때문이다. 그러나 아연의 희생양극작용은 사용초기에는 확실히 관찰되지만 그 방식능력이 반드시 크다고는 할수 없다. 장기간 사용된 관에 있어서는 도금층이 남아 있음에도 불구하고 공식이 심하게 발생하는 현상이 자주 관찰된다. 시간의 경과에 따라 아연표면에 보호성피막 및 합금층이 형성되어 도금층보다 귀하게 되어 결국에는 탄소강 보다 전위가 높아지고 탄소강의 부식을 촉진한다. 이것은 온수환경에서 극성의 역전이라 알려진 현상으로 보통 약 60℃ 이상에서 그 발생경향이 현저하다고 알려져 있다. 중앙난방식에서 공용부위의 재질을 아연강관대신 흑강관으로 쓰는것도 이런 이유에 의한것이다. 이 현상은 찬물에서도 나타나 실온에서의 역전현상도 보고되어 있다.

문) 탄소강관의 용접부위에서 부식발생 이유는?

답) 우리나라에서는 대부분 전기저항 용접법에 의하여 강관을 제작하고 있으며 이 경우 강관에 함유되어있는 황의 함량이 큰 영향을 미치게 되며 그 외에도 미세조직, 부식을 일으키는 환경, 온도, 유속, 도금조건등 많은 인자들이 부식속도에 영향을 주고 있는 것으로 보고 되고있다. 용접부는 용접시 급열 급냉 되므로 조직이 다른 부위와 다르고 편석등이 일어나 전지화학적 전위가 약 50mV정동 anodic하게 되어 용접부와 비용접부 사이의 전위차가 galvanic 부식을 일으켜 용접부만 빠른속도로 부식을 일으킨다.

문) 강관과 동관 및 STS관의 이음시 강관이 부식되는 이유는?

답) 두 이종금속(dissimilar metal)이 용액 속에 담구어지게 되면 전위차가 존재하게 되고 따라서 이들 사이에 전자의 이동이 일어난다. 그리하여 귀전위를 가진 금속의 부식속도는 감소되고 활성전위를 가진 금속의 부식속도는 촉진된다. 즉 전자는 음극이 되고 후자는 양극이 된다. 이러한 형태의 부식을 갈바닉 부식 또는 이종금속접촉부식이라 한다. 갈바닉 부식에 영향을 미치는 하나의 중요한 인자는 양극과 음극의 면적비이다. 갈바닉 부식에 있어서 가장 위험한 조건은 소양극-대음극이다. 양극 면적에서의 전류밀도가 높을수록 부식속도는 커지게 된다. 반대로 소음극-대양극은 갈바닉 부식을 줄일 수 있는 좋은 조건이 된다.

문) STS관의 부식발생 조건은?

답) STS관의 부식사례 또한 다양하게 발생하고 있으나 현장에서 가장 흔하게 발생하는 것은 용접부위에서의 부식과 관 표면에서의 부식이 있다. 용접부위에서의



부식은 입계부식으로 용접 가공시 열영향부에서 발생하는 것이며 이를 방지하기 위해서 탄소농도 자체가 적은 강종(STS 304L, 316L)과 저탄소 용접봉을 사용하고 용접후 급냉각을 행하며 용접 후에는 용접부를 잘 연마해주고 세척작업(질산염 처리)를 해주면 좋다. STS관 표면에서의 부식은 주로 탄소강관의 절단작업에서 발생하는 분진(철성분의 입자)이 STS관 표면에 묻거나 주위에서 강관의 아크 용접시 용접불뚝이 비산하여 STS관 표면에 묻게되면 공식이 발생하게 되므로 아크용접시 STS재질의 금속은 철저히 격리시켜 영향을 미치지 않도록 해야 한다. 또한 관 표면에 형성되어있는 크롬산화피막으로 인해 부식에 강한것이므로 표면이 훼손되지 않도록 보관 및 설치시 보양을 철저히 하고 백강관을 비롯한 아연 및 아연도금제품과 격리 시키는등 주의를 기울여야 하고 절단기등의 공구는 전용으로 사용하여 철 가루가 묻지 않도록 해야 한다.

문) STS304 재질의 물탱크 내부에서 부식이 발생하는 이유는?

답) 염소가스는 물과 만나지 않는 한 부식은 거의 무시할 수 있다. 그러나 물의 증발에 의해 탱크 내벽면에 물방울이 맺히게 되면 이 부위의 Chloride농도는 초기에는 물에 용해된 평균치와 비슷하나 점점 증발되면서 그 농도는 크게 높아질 수 있습니다. 이럴 경우 이 부위의 부식은 Water Level 아래쪽 보다 심하게 되며 그 형상은 Pitting이 주가 될 것이다. 이 경우는 탱크 크기에 비해 Vent 노즐이 작은 경우나 이슬이 잘 맺히는 경우에 발생할 수 있다.

문) 이종금속 접촉시 부식을 발생시키는 각 금속별 전극 전위 순서는

답) 이종금속이 접촉을 하면 각 금속마다 가지고 있는 전극 전위 값에 따라 전위 값이 낮은 금속이 양극이 되고 높은 금속이 음극이 되어 전지를 형성해 양극이 되는 금속이 부식을 한다. 금속별 자연 전위 순서는 아래 표와 같다.

높음		+ 0.33V
		+ 0.18
	백금	-0.04
	금	-0.06
	스테인리스강(18Cr-8ni-3Mo)	-0.08
	은	-0.10
	스테인리스강)18Cr-8Ni)	-0.13
	청동(Sn 6~10[%])	-0.14
	황동(85Cu-15Zn)	-0.15
	동	-0.17
	황동	-0.20
	(표준수소전극)H <sub>2</sub> /H	-0.24
	니켈	-0.24
	황동(60Cu-40Zn)	-0.27
	주석	-0.28
	납	-0.46
	강, 주철	-0.50
주철민	-0.45~-0.65	
카드뮴	-0.61	
알루미늄	-0.78	
아연	-0.78	
낮음	마그네슘	-1.07
		01.60

문) 보온재 하부 배관에서 발생하는 부식의 대책은?

답) 주로 냉수배관 주변의 공기가 전반적으로 온도, 습도가 높고 단열재 시공이 밀실하지 못할때에 배관 외면에 집중적으로 결로가 발생하여 결로수의 수질이 변해서 강관배관의 외면을 부식시키는 경우가 발생한다. 이에 대한 대책은

첫째, 단열재 내부로의 수증기 침입을 철저히 방지해야 한다. 특히 엘보, 밸브류, 기기류 부위의 단열이 부족하여 발생하는 경우가 많다.

둘째, 배관 외면의 강 표면에 고품질의 방청처리를 해야 한다. 아연도금은 매우 유효하며 탈에폭시 수지는 2회 이상 도장할 필요가 있다.

셋째, 유리섬보온재는 흡습율이 매우 높으므로 시간이 경과하면서 단열재로서의 기능을 기대하기 힘들므로 흡습율이 낮고 단열층 포피가 방습되는 제품을 사용하면 좋다.

문) 지하수로 배관의 수압시험을 하여도 되는지?

답) 지하수로 수압시험을 하기 위해서는 먼저 수질검사가 선행되어야 할 것이다. 염소이온, 수소이온, pH의 상태를 확인하여 corrosion inhibitor(부식방지제)를 사용할 것인지의 여부를 판단해야 하고 가장 중요한 것은 수압시험후 지하수가 관 내부에 잔존하지 않도록 배수처리와 건조작업이 이루어 져야 한다.

\* 참고문헌 및 기술자문

① 참고문헌

- 부식과 방식 (양학회외 3인, 원창출판사)
- 공조설비의 부식과 방식 (임우조, 정기철, 태훈출판사)
- 냉동공조기술 (냉동공조협회)
- 월간 설비 (한국설비기술협회)
- 월간 배관기술

② 기술자문

- 한국부식학회
- 한국건설 방식기술 연구소
- 이의호 방식기술 컨설팅
- 포스코