

1. 給水管의 腐蝕과 防蝕

本稿는 建物配管中 給水管의 腐蝕에 關連되는 Trouble 에 關連하여 그 現狀, 事例, 對策等에 對해 서술한 것이다. 給水管의 配管材料로는 亞鉛鍍金銅管이 王座의 地位를 오랜 기간 동안 차지하여 왔다. 최근에는 유기물에 의한 라이닝 腐蝕이나 플라스틱관이 많이 사용되고 있으며 스테인리스 鋼管의 사용도 시도되고 있다. 이러한 새로운 재료는 아직 역사가 일천하여 구체적인 Trouble이 일반적인 형태로 나타난 것이 없다. 그래서 本稿에서는 역사적인 재료인 아연 도금 鋼管을 중심으로 기술하기로 한다.

1. 白濁

아연 도금 鋼管에서 아연이 물속에 溶出함으로써 생기는 白濁 또는 白水란 現象은 保健衛生的인 見地에서 문제일 뿐만 아니라 亞鉛의 損耗로 인한 鋼管의 腐蝕이나 이로 인한 赤水로 연결되는 문제이기도 하다. 일본의 水質基準에서는 亞鉛은 水中에 1mg/l 이하이어야 하는데 白濁이 생겼을 때의 亞鉛의 分析値는 數 mg/l 혹은 경우에 따라서는 이보다 훨씬 높아진다.

白濁의 發生에 대해서는 간혹 水質이 문제가 된다. 亞鉛의 溶解 PH 依存性은 그림 1 (註1)에 나타낸 Roetheli 의 데이터가 유명하며 PH 12 부근을 最安定點으로 하고 이보다 PH가 내려감에 따라 溶出量은 커진다. 수도물의 PH를 정하는 것은 일반적으로 중탄산이온 (HCO_3^-) 과 유리탄산 (CO_2) 의 비이며 후자의 비율이 클수록 PH는 낮다. 이 관계를 그림 2에 표시하였다. 그림의 횡축은 CaCO_3 로 換算한 중탄산이온 (≒M 알칼리度) 과 遊離炭酸의 비를 취한 것이다.

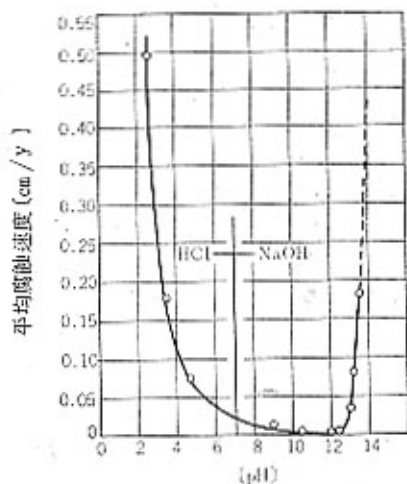


그림 1. 亞鉛의 腐蝕速度와 PH의 關係

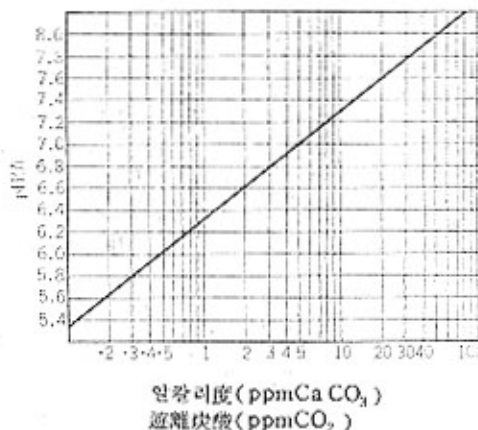


그림 2. 重炭酸이온과 遊離炭酸을 含有한 물의 PH

PH가 수도물의 制限範圍인 5.8~8.6의 範圍에서 더욱 상세하게 아연의 용해에 미치는 PH의 영향을 나타낸 데이터로서, 그림3(註2) 및 그림4(註3)를 예로 들었다. PH가 7 이하가 되면 아연의 溶出量은 매우 커진다.

몇 가지 事例에서 白濁이 생긴 수도물의 분석치를 表1에 나타내었다.

事例1은 철근 4층 건물의 주택배관의 경우로 준공 완료 후 9월 이내에 白濁이 문제가 되었다. 1年後에 管을 採取하여 조사해 보니 亞鉛의 附着量은 使用前의 1/2~2/3 정도로 감소하였다. 검출된 亞鉛은 5~8mg/l이다.

事例2는 어느 고등학교에서 發生한 例로서 使用後 약2년에 문제가 되었다. 이들 事例에서 水質分析値는 全酸度가 약간 높다는 것외에는 특히 다른 점은 없다. 덧붙여서 수도물의 全酸度는 일반적으로 15mg/l 이하이다.

表1의 分析値에서는 PH는 전반적으로 더욱 높은 값으로 되어 있다. 分析하기까지 탄산가스가 흩어져 버렸다 든가, 白濁으로 탄산분이 소미되었는지를 고찰하면 원래는 훨씬 낮았을 가능성도 크다. 그러나 表1에서 알칼리도와 全酸度가 모두 탄산물질에 의한 것으로 생각하면 PH는 事例1에서 約7, 事例2에서 約 6.6이어야 하며 PH의 實測値와 맞지 않는다. 이 이유에 대해서는 더욱 검토할 필요가 있다.

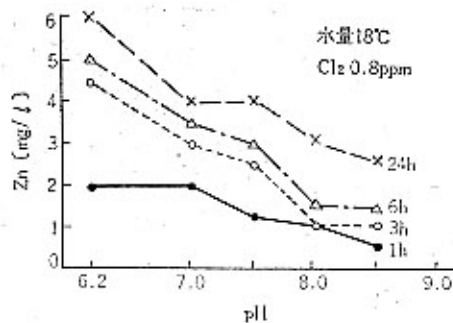


그림 3. 亞鉛의 溶出에 대한 PH의 影響

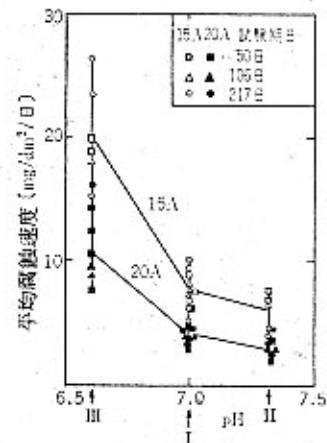


그림 4. 白管의 平均腐蝕速度

PH의 實測値를 약간 낮추어 생각해 보아도 그림3이나 그림4를 보면 PH가 7 이상에서도 使用條件에 따라서는 白濁이 생긴 可能性도 있다. 이 처럼 白濁이 생긴 물의 分析値에서는 그다지 정확한 것은 알 수 없다. 그러나 어느 것이나 PH가 높은 편이 白濁이 생기기 어려우므로 全酸度가 큰 물을 石灰로 처리하여 CO₂를 소비시키든가 가성소다를 가하여 (水質基準에서 PH가 8.6 이상으로 되어서는 안된다.) PH를 높이는 등의 水質調整을 하는 것이 白濁에 대한 對策이 된다. 실제로 이런 方法으로 効果는 높아진다.

한편 白濁이 문제가 되기 쉬운 水質, 특히 우물물 등인 경우 內面塗裝鋼管의 使用을 新規配管時에 計劃하는 것도 水處理의 수고를 덜어주는 有利한 方法이다.

2 赤水

亞鉛鍍金鋼管은 장기간 사용한 후에는 鍍金層이 消耗되어 鋼管이 노출되므로 어느 정도의 赤水를 생기게 할 수 있는데 이것이 대단히 짧은 기간에 發生하는 경우가 있다. 事例에 의하면 어느 병원

表 1.

白濁事例에 있어서의 水質分析

	PH	電導度 ($\mu\Omega/cm$)	M알칼리도 (mg/l)	Ca硬度 (mg/l)	全硬度 (mg/l)	全酸度 (mg/l)	全溶解固形 分(mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	SO ₄ ²⁻ (mg/l)
事例 1 高架水槽	7.6	268.5	50.0	70.8	85.2	8.9	170	17.0	31.3
물탱크	7.6	266.5	49.5	71.2	83.2	7.8	168	19.3	27.3
4층	7.6	267.0	50.5	67.6	83.6	9.6	206	14.8	32.1
1층	7.8	271.0	51.0	72.4	84.4	10.5	220	18.2	30.0
事例 2 淨水場	7.4	217	47	51.6	70.0	25	130	11.8	25.0
수도꼭지	7.5	231	44	53.2	66.0	24	220	17.1	28.0
수도꼭지	7.8	190	39	42.8	52.4	26	210	12.8	23.9

의 예에서는 約 1 年에 赤水가 생긴다. 管의 內面을 調査하니 그림 5와 같이 全面이 黴狀 녹으로 덮여 亞鉛鍍金層은 이미 없어져 버렸다. 管外面의 鍍金은 600g/m²이므로 亞鉛鍍金에 문제가 있었다고 생각하기 어렵다.

작은 녹이 생겼고 밑에는 그림 6에 나타난 것처럼 두께 0.5mm以內의 孔蝕이 보였다. 녹의 分析結果에 의하면 Fe 55.1%, Cl⁻ 00.5%, SO₄²⁻ 0.88%로 鐵은 α 및 γ 의 FeOOH이다. SO₄²⁻가 약

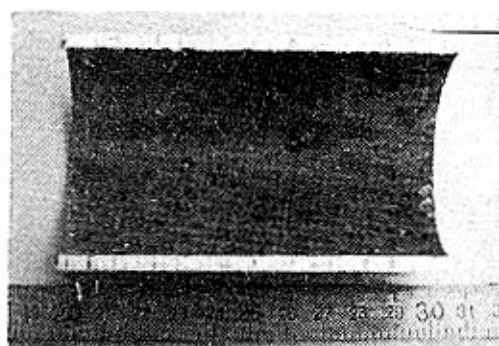


그림 5. 赤水가 생긴 亞鉛鍍金鋼管의 內面

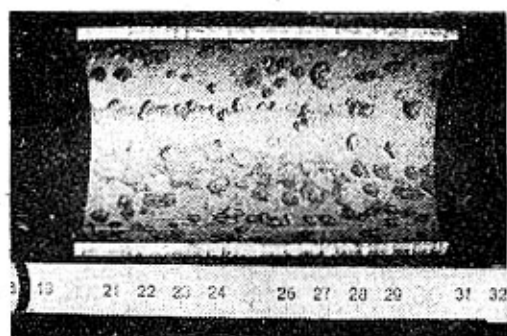


그림 6. 그림 5의 試料에서 녹을 除去한 表面



그림 7. 亞鉛鍍金鋼管에 생긴 녹.

간 높다는것 이외는 이렇다 할 특징은 없다. 다른 例에서는 住宅園地에서 使用 25年에 赤水가 생

기고 있는데 역시 鍍金屬은 거의 消失되었고 녹은 수반하여 全面에서 녹을 볼 수 있었다. 이 예에서는 使用한 물은 우물물로서 遊離炭酸이 많고 亞鉛의 消耗가 빨라지는 條件을 갖추고 있었다. 銅은 바탕이 노출되어도 녹이 부풀어 오르지 않고, 密着한 녹이 全面을 덮으면 赤水의 문제는 별문제가 안 된다. 녹이 부풀어 오르면 그 밑에 해당하는 바탕이 활발하게 부식되기 때문에 赤水가 되기 쉽다.

赤水 防止에는 藥品의 添加가 유효한데 음로수의 화학 처리에 사용하는 약품은 값싸고 無害하며 첨가량이 적어야 한다. 가령 2ppm이라는 低濃度の 폴리인산소다는 鐵鹽으로 인한 赤水の 色을 除去하는데 도움이 된다. 폴리인산소다는 원래 防蝕劑인데 이같은 低濃度에서는 커다란 防蝕作用을 期待할 수 없다. 물이 流動하고 있으면 그래도 어느 정도의 防蝕作用을 나타내는데 停滯되어 있는 期間에는 거의 效果가 없다. 따라서 現在 赤水の 對策으로 흔히 採用되는 低濃度の 폴리인산염의 添加는 물이 빨강게 되는 것을 抑制하지만 腐蝕을 停止시킬 수는 없다. 어느 병원의 예에서는 完成後 4~5년에 赤水가 생기기 시작하였으며 폴리인산염을 主體로 하는 市販 防蝕劑를 使用하니 赤水を 防止할 수 있었지만 使用 9年째에 工事部에서 孔蝕이 판독하여 누수가 發生하였다. 이와 같은 예는 많은 것 같다.

알칼리를 첨가하여 PH를 8以上으로 유지하여 赤水を 경감한 예도 있다. 이것은 PH의 上昇으로 腐蝕 自體의 低下를 목표로 한 것이다. 이 정도로 PH를 上昇시켜도 腐蝕을 완전히 없앨 수 있다고는 생각하기 어려운데 실제로 보아 상당한 效果가 있는 듯 하다.

3. 內面의 腐蝕

給水로 인한 鋼管內面의 腐蝕은 鍍金의 防蝕作用이 없더라도 全表面에 대해 균일하게 되도록 하면 0.1 mm/Y (Y :年) 이하로 그렇게 큰 것은 아닌데 일반적으로 부식은 不均一化하는 경향이 있기 때문에 孔蝕의 進行이 문제가 된다. 給水管인 경우 孔蝕은 녹의 아래에서 進行되는 일이 많다. 典型的인 녹은 그림 7에 나타내었다. 現在의 所見으로는 어떠한 條件下에서 녹이 生成하는지는 아무도 모른다. 水質, 흐름의 狀態, 경우에 따라서는 박테리아의 作用이 關係하고 있는 것으로 생각 된다.

여러 가지 사례에 대해 孔蝕의 깊이를 調査한 結果를 表2에 표시하였다. 孔蝕은 훨씬 심한 경우에 0.3 mm/Y 정도이고 (단 깊이를 기간으로 나눈 값이고 아연鍍金이 存在한 期間을 無視한다)

表 2. 給水管 (亞鉛鍍金鋼管) 의 孔蝕事例

No	사 이 즈 (A)	두께 (mm)	侵蝕 깊이 (mm)	使用年數 (年)	孔蝕度 (mm/Y)
B 451	25	3.2	3	13	0.23
B 452	25	3.2	1	5	0.20
5049 A	25	3.2	1.5	10	0.15
5049 B	32	3.5	0.8	10	0.08
507 A	25	3.2	貫 通	14	0.23
507 B	32	3.5	0.8	14	0.06
507 C	32	3.5	1.2	14	0.09
507 D	50	3.8	0.8	14	0.06

No	사 이 즈 (A)	두께 (mm)	侵蝕 깊이 (mm)	使用年數 (年)	孔蝕度 (mm / Y)
507 E	25	3.2	1.4	14	0.10
507 F	40	3.5	1.3	14	0.09
5261	125	4.5	2	16	0.13
4919	100	4.5	貫通	15	0.30
4939	25	3.2	貫通	10	0.32
47162	150	5.0	貫通	-	-

0.1 ~ 0.3 mm/y 인 경우가 많다.

0.3 mm/y 라는 최대치는 경험적인 숫자인데 필자가 녹의 Model 에 대해서 電位差나 흐를 수 있는 電流의 크기에서 계산으로 구한 결과도 수 1000 ohm-cm 의 水中에서 0.3 mm/y 정도의 侵蝕도가 되었다. [註5]

실사 0.3mm/y로 腐蝕이 진행되어도 가는 管에서도 10년 정도에 관통되지 않는다. 실제로는 0.3

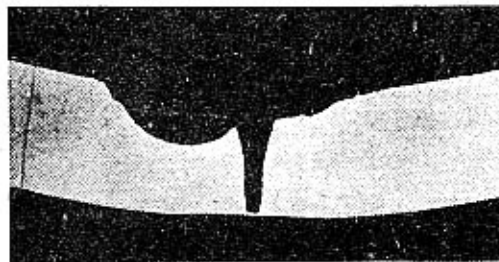


그림 8. 電縫鋼管에 생긴 개천 모양의 腐蝕(孔蝕이 생긴 부분이 電縫部에서 특히 侵蝕되고 있다.)

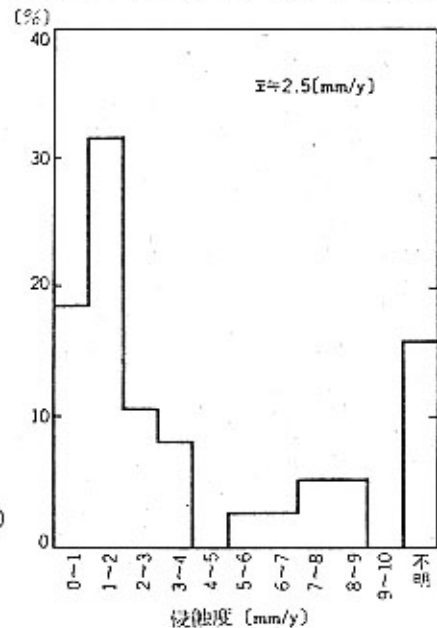


그림 9. 개천 모양의 腐蝕事例에서 發見된 侵蝕速度

mm/y 가 되는 일은 적으므로 母材部에서 孔蝕으로 인한 漏水가 일어나는 일은 드물다. 그러나 나사이음 부분은 나사의 홈에 의해 두께가 얇아져서 孔蝕이 심하면 數年 程度로 貫通孔이 되는 일이 간혹 있다.

일반적으로 녹의 生成은 腐蝕으로 인한 損傷 自體보다도 通水量의 低下나 赤水 等の 문제가 前面에 나오는 일이 많다. 녹을 防止하는 데는 腐蝕 그 自體를 抑制하여야 하며 여기에는 비교적 高濃度의 防蝕劑를 必要로 하므로 음로수로는 사실상 어렵다. 定期的으로 녹을 除去하면 좋은데 工場配管 等에서는 可能해도 建物配管에서는 여러 制約이 있기때문에 그다지 행해지지 못한다. 제트洗淨이나 酸洗가 原理的 方法인데 벗겨진 녹을 配管系에서 除去하는 것은 末端의 가는 管에서는 어렵

다. 給水管에서 內面클리닝을 實施한 例는 대단히 적다. 配管에 電鍍鋼管을 사용했을 경우 亞鉛鍍金이 消失된 후 電鍍部가 깊은 개천 모양의 侵蝕을 받는 일이 있다. 이것은 電鍍部의 金屬組織이 母材部의 그것과 다르므로 양자간에 電池를 發生시켜 전자가 선천적으로 부식한다는 것이 일반적인 Me - mechanism 이다. 일반적으로는 電鍍部에 一直線의 깊은 개천모양이 생긴다. 그러나 給水管에서는 녹이

表 3. 電鍍鋼管에 개천모양의 腐蝕이 생긴 事例에 있어서의 環境의 種類 (註 6)

環境의 種類	(%)	環境의 種類	(%)
循環 冷却 水	26.3	기 타 의 물	8.0
工 業 用 水	23.7	土 壤	5.3
上 水	13.2	保 溫 材, 保 冷 材	2.6
우 물 물	2.6	不 明	10.4
海 水	2.6		

電鍍部를 포함하여 영역상에서 만들어짐으로써 孔蝕이 進行될 때 電鍍部만이 특히 깊이 侵蝕되는 경우가 많다. 그림 8에 이러한 例를 表示하였다.

경험에 의한 事例에서는 개천 모양의 부식은 순환 냉각수 등 물의 오염이 심한 경우에 더욱 빈번히 일어나는데 (表 3. 註 6) 給水管에 생기는 것도 있다. 개천 모양의 부식의 進行速度는 매우 커질 수 있다. 事例 (淡水一般)에 대해 侵蝕速度를 그림 9에 표시하였는데 더욱 큰 例에서는 84 mm/y 平均 2~3 mm/y 로 되어있다. (註 6)

개천 모양의 부식의 발생도 水質이나 흐름의 狀態에 左右되는데 이것을 事前에 豫想하는 것은 현재로는 쉽지 않으며 중요한 部分에는 鍛煉鋼管이나 內面을 라이닝 또는 塗裝한 鋼管이 使用되고 있다. 또 電鍍鋼管의 電鍍部와 母材部간의 組織差를 解消 또는 軽減하기 위해 언저리를 하는 경우도 있다.

4. 埋設部의 外面腐蝕

전선 주위나 건물과 건물 사이의 급수관은 땅속에 매설되는데 이 부분의 鋼管 (亞鉛鍍金鋼管)은 土壤側에서의 부식을 받기 쉽다. 부식은 일반적으로 孔蝕의 形態를 나타내고 數年以內에 貫通孔이 생기는 일도 있기 때문에 內面의 물로부터의 부식에 비해 급속한 부식이다. 이러한 孔蝕이 생긴 事

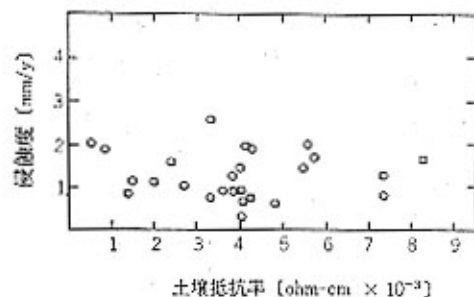
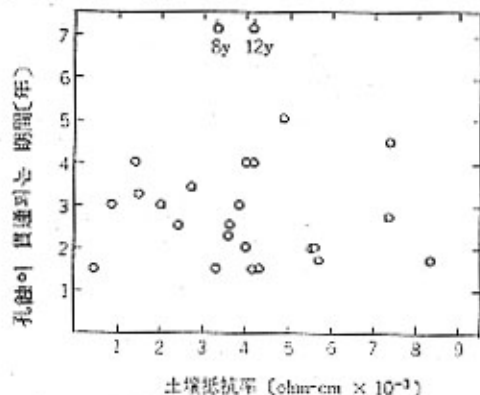
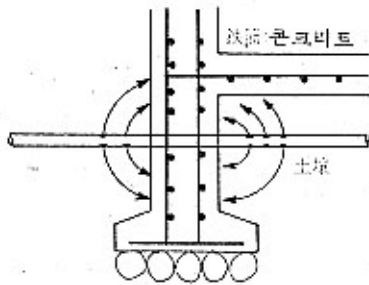


그림 10. 埋設한 亞鉛鍍金鋼管에 孔蝕이 貫通하는데 걸리는 期間 (事例 註 7)

그림 11. 埋設한 亞鉛鍍金鋼管의 孔蝕進行速度 (事例 註 7)



配管은 벽 판중부에서 철근과 접촉하고 있다. 그결과 화살표 처럼 전류가 흘러 配管이 부식한다.

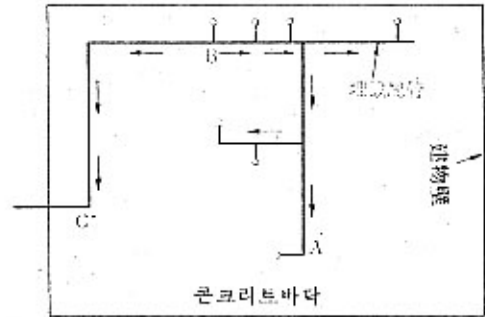


그림 12. 配管이 건물 기초와 接觸되어 있을때의 腐蝕. 그림 13. 管内電流의 測定例 (화살표는 電流의 方向을 表示)

예에 대해貫通되기까지의 기간을 나타낸 것이 그림 10이다. (註 7)

또한 管의 두께를貫通孔이 생기기까지의 기간으로 나누어 구한 年間의 침식도를 그림 11에 표시하였다. 代表的으로는 $0.5 \sim 2 \text{ mm/y}$ 로 되어 있다. 이 숫자는 심하게 孔蝕이 생겼을 때의 것으로 물론 이러한 孔蝕이 언제나 일어나는 것은 아니다. 孔蝕이 생기면 그 原因은 土壤에서 구하여 土壤이 부식성이 있는 것으로 되어있는데 실제로는 土壤自體의 부식성이 수년 이내에 孔蝕을貫通시킬 만큼 큰것은 거의 없다. 美國에서 30cm 정도로 자른 試驗管을 數 10 個所의 代表的인 土壤中에 12年 間 埋設하여 부식 狀況을 조사한 결과에 의하면 孔蝕의 進行速度는 最大의 경우라도 0.5 mm/y 이하이며 대부분이 $0.1 \sim 0.2 \text{ mm/y}$ 였다 (註 8). 實際의 配管에서 前述한 것처럼 孔蝕이 빠르게 진행되는 것은 配管은 一般的으로 길고 장소에 따라 性質이 다른 土壤에 접하거나 다른 구조물과 전기적으로 接觸하기 때문이다. 이런 상태에 배관의 놓여 있으면 配管이 서로 다른 장소 사이나 접촉되어 있는 이외의 구조물과 配管 사이에 電池 (간혹 마르르셀이라 부른다)가 形成된다.

電池에는 陽極(乾電池에서는 亞鉛 케이스)와 陰極(乾電池에서는 炭素棒)이 있고 이것이 短絡되어 있으면 電流는 陰極에서 金屬을 따라 陽極으로 들어가고 陽極에서 電解質(乾電池에서는 속에 채워져 있는 黑色 物質)을 거쳐 陰極으로 되돌아 간다.

부식은 양극 즉 전류가 금속에서 전해질로 流出되는 부분에서 생긴다. 配管에서는 다른 性質의 土壤에 접촉되어 있는 部分間에 양극과 음극이 생긴다. 또한 配管이 다른 構造物과 接觸되어 있으면 가끔 前者가 양극, 後者가 음극이 된다. 어느 것이나 양극 부분 즉 配管에서 土壤으로 電流가 流出하는 部分에서 부식된다. 전류가 流出되는 것은 양극 부분 중에서도 비교적 한정된 場所이므로 孔蝕 형태로 부식이 진행되어 그 速度도 커질 수 있다.

事例을 보면 압도적으로 다른 構造物 즉 건물과 배관사이에 전지가 형성된 것이 많다. 이것을 개념적으로 나타내면 그림 12와 같다. 배관과 건물과의 접촉점은 건물내에 들어가는 壁貫通部라고 할 수 없다. 어느 事例에서는 그림 13과 같이 건물 내의 콘크리트 바닥면에 配管되어 있던 급수관이 발단부에서 漏水되었는데 (A 點), 管内電流를 測定하니 전데치는 어쨌든 화살표 方向으로 흐르고 있었다. 전류의 方向이 변하는 B 點이 콘크리트 바닥면에서 이런 음극이 될 수 있는 구조물에 접해 있었던 것으로 판단된다. 현재의 배관시공법에서는 극히 일부의 예외적 케이스를 제외하면 급수관과 건물을 전기적으로 절연하도록 되어 있지 않다. 이런 부식은 비교적 빈번히 일어나는데 그 防止를

위해서는 절연이음새의 利用으로 배관을 주변의 구조물에서 정기적으로 고립시킬 필요가 있다. 전 물과의 접촉을 그대로 두고 부식부에 피복을 해도 부식 전류는 어딘가에서 流出하려고 하므로 부식이 다른 부분에 생기는 결과가 된다. 또한 塗覆裝銅管의 使用은 배관이 건물에서 전기적으로 고립되어 있는 한 유효하며 접촉을 그대로 해 두면 부식전류는 塗覆裝에 생긴 홈 등 극히 한정된 곳에서 집중적으로 流出하기 때문에 역효과가 나므로 주의해야 한다.

(註)

- (1) B. Roetheli, G. Cox, W. Littreal : Metals and Alloys, 3, 73 (1932)
- (2) 長谷川 : 第19回 全國水道研究發表會資料 (1968)
- (3) 藏井, 小玉, 馬場 : 腐蝕防蝕協會, 79 春期學術講演大會 ; B - 205, (1979)
- (4) 松島 : 腐蝕防蝕協會, 第 25 回腐蝕防蝕討論會 p28 (1978)
- (5) 正村, 松島 : 腐蝕防蝕協會, 第23 會腐蝕防蝕協會討論會 (1976)
- (6) 正村, 松島 : 防蝕技術投稿中 (1976年)
- (7) 松島 : 防蝕技術 ; 25, 563 (1976)
- (8) Romanoff : NBS Circular 579 (1957)

79年 9月號 pp 31 - 36 日本「設備와 管理」에서

