

〈技術解説〉

電氣防蝕概要

(株)三工社 常務理事 朴 相 國*

序 言

現在 産業界의 모든 分野에서 鐵構造物이 없는 場所는 없으며 이에 따른 腐蝕問題도 深刻히 擡頭되고 있다. 그 原因이나 樣相은 實로 多種多樣한 것으로 腐蝕에 依한 損害도 莫大하다고 할 수 있겠다. 例로서 莫大한 費用으로 建設되고 있는 原子力 發電所의 冷却水 系統에서는 바늘구멍 程度의 被害가 있다하여도 그 結果는 至大한 것이 되며 船舶이나 車輛, 軌道, 橋梁等의 腐蝕이 人命에 주는 影響은 가려히 넘길 수 있는 問題가 아니다 特히 化學工場의 地上 設備, 地下配管等의 腐蝕은 火災및 큰 災害를 일으킬 수 있는 要因이 될 수 있다. 特히 近來에는 油類나 天然개스의 輸送等을 爲한 埠頭의 施設이 活發하여짐에 따라 從來의 水泥使用方法이 좋고 鐵材로 施設하는 傾向이 많게 되어 이에 對한 腐蝕防止對策도 時急하다 하겠다. 이와 같은 全般的인 施設物에서 損失되는 鐵의 量은 우리 나라만의 境遇에도 數十萬噸에 이른다고 볼 수 있겠다.

電氣防蝕方法이란 이와같이 諸般 施設物, 卽 海水중이나 地中과 같이 나타나지 않는 部分의 構造物 및 海水를 使用하는 熱交換器, 冷却器類, 船舶의 外部, Ballast tank의 內部等에 特

히 威力을 發揮할 수 있고 地中에서는 埋設, 개스가 水道管等이 效力을 發生할 수 있다.

投資의 比率로서 볼때는 全投資工事費의 2%~3%程度면 可能하나 現情勢로서는 施設擴張에 急急하고 認識의 缺乏으로서 活發치 못한 狀態이다. 外國 先進國의 境遇에는 오랜 過去에서 부터 이 分野를 專門으로 研究開發하여 오고 있으나 우리 韓國의 境遇에 아직 未洽한 狀態로서 앞으로 깊은 研究와 開發을 하여 새로운 經濟的인 防蝕方法을 利用 先進諸國에 競爭하여 나아가야 할 것이다. 이를 爲하여는 關係機關의 至大한 關心과 協調가 要請되는 바이다.

그러면 여기에 防蝕에 對한 基本理論 및 原理를 紹介하고 實際 適用할 수 있는 基準値를 列舉하고저 한다.

第一章 金屬의 腐蝕

1. 金屬腐蝕의 原理

가) 金屬의 腐蝕

腐蝕이란 金屬의 分子가 周圍環境과의 化學的 및 電氣化學的 反應의 依하여 破境되는 것이다. 卽金屬은 에너지의 觀點에서 더욱 安定된 化合物로 自然히 還元하면서 에너지를 放出한다. 그 에너지는 金屬이 形成되면서 받았던 에너지를 意味하게 된다. 熔解爐에서 粗鋼 1噸을 生産하

* 電氣技術士 (發送配電)

는 때는 約 $1.7 \times 10^6 \text{kcal}$ 이 所要된다.

註：1) 粗鋼 1噸이 腐蝕하면 $7 \times 10^6 \text{kcal}$ 이 放出된다.

2) 모든 物質은 에너지를 吸收하면 不安定하여진다.

3) 鐵은 에너지를 吸收한 狀態이기 때문에 酸化鐵(鐵의 腐蝕物)보다 不安定하다.

乾式：金屬의 周圍環境과 金屬의 反應樣相은 金屬에 對한 環境의 作用性質 및 反應生成物의 性質에 따라 多様하다. 이것은 鐵이나 鋼鐵에 對한 周圍環境과의 反應을 利用하여 說明할 수 있다. 比較的 低溫에서 鋼鐵을 加熱하면 酸化率이 增加되어 常溫에서 存在하는 肉眼으로 보이지 않는 酸化膜이 두꺼워지며, Interference color (녹이 쓰는 現象) 즉 酸化膜이 나타난다. 그러나 高溫에서는 加熱時間이 길어지면 鋼鐵이 消耗되어 磁鐵礦의 두꺼운 膜(Fe_3O_4)이 生成된다. 이러한 形態의 腐蝕을 乾式이라 한다.

濕式：바다물속이나 江물속 또는 땅속이나 濕氣찬 空氣속에서와 같은 自然狀態下에서는 腐蝕의 첫 段階는 金屬 陽 ion이 電氣적으로 帶電된 粒子로서 溶液에 吸收되는 것이다. 帶電된 粒子의 移動은 電流의 흐름을 意味하기 때문에 溶液으로 들어가는 陽 ion에 依한 物質의 移動은 同時에 金屬으로부터 電解質쪽으로의 電流의 흐름을 意味한다. 이러한 形態의 腐蝕을 濕式이라 한다. 自然狀態에서 金屬의 거의 모든 腐蝕이 濕式이며 이러한 形態의 腐蝕을 自然腐蝕이라 한다. 여기서는 主로 自然腐蝕에 對하여만 論하기로 한다.

浮動電流腐蝕(Stray Current Corrosion): 어떤 電流電源의 作用에 依하여 金屬으로부터 電解質로 電流가 흐를때 金屬은 電流가 漏出되는 地點에서 腐蝕이 생긴다. 이런 形態의 腐蝕이 Stray Current 腐蝕이다.

나) 異種金屬腐蝕

陽極(Anode) 및 陰極(Cathode): 다른 種類의 金屬들이 서로 電氣적으로 連結되어서 電解質속에 들어 있을때 相對적으로 低質金屬 (Less noble metal)은 腐蝕하고 相對적으로 貴金屬 (Woble metal)은 腐蝕으로부터 保護된다. 卽 防蝕된다. 그림 1은 鐵과 銅의 異種金屬 接觸에

依하여 惹起되는 異種金屬接觸腐蝕의 例이다. 鐵은 銅보다 低質金屬이므로 鐵의 陽 Ion은 電解質로 들어가고 鐵의 電子는 連結部를 通하여 銅으로 간다. 따라서 鐵은 腐蝕하게 된다. 이 境遇에 低質金屬은 陽極이 되고 貴金屬側이 陰極이 된다.

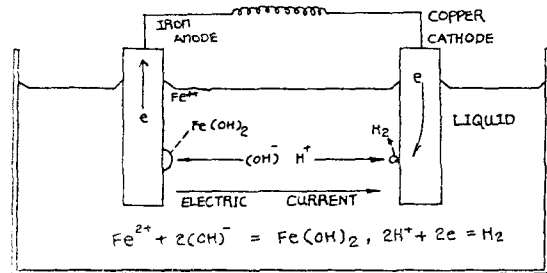
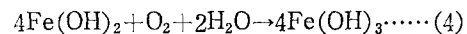
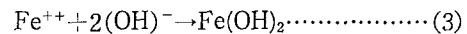
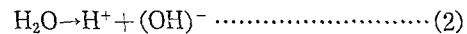
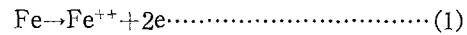


그림 1. 異種金屬의 接觸腐蝕

① 陽極反應

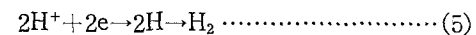


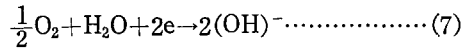
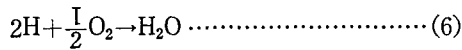
鐵의 結晶은 自由電子로 包圍된 鐵 Ion으로 되어 있다. 鐵이 좀더 貴金屬인 銅에 電氣적으로 連結되면 鐵 Ion과 自由電子는 分離된다. 이 關係를 나타낸 것이 (1)式이다. 물의 一部는 恒常 電氣적으로 解離되어 있다. 이 關係는 (2)式으로 表示된다. 鐵의 自由電子는 좀더 貴金屬인 銅에 依하여 끌려가고(電流는 電子의 흐름과 反對흐름)鐵의 陽 Ion은 溶液속으로 들어가서 水酸化 ion (OH^-)과 反應하여 (3)式에 表示된 바와 같이 水酸化 第1鐵 $\text{Fe}(\text{OH})_2$ 가 된다.

萬若 물속에 酸素가 溶解되어 있으면 (4)式에 表示된 反應이 일어나고 赤褐色의 赤녹인 水酸化 第2鐵 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 가 된다. 이 赤녹은 鐵表面에 단단히 密着되지 못하는 關係上 腐蝕을 抑制하는 힘은 없다. 그러나 陽極附近의 電解質속의 水素 ion 濃度는 漸次커지게 된다.

註： OH^- 가 Fe^{++} 와 反應하여 消耗되므로 Anode 周圍는 H^+ 가 集會되어 自然狀態보다 酸性이 됨.

② 陰極反應





물이 酸性이 되면 (5)식과 같은 反應이 주로 일어나고 陰極表面에 水素가 發生한다. 그러나 酸素가 물속에 溶解되어 있으면 (6)식과 같은 反應이 일어나서 陰極表面에는 水素가스가 發生하지 않는다.

中性 또는 알카리성에서는 (7)식과 같은 反應이 주로 일어나고 水酸化 ion이 生成된다. 陰極에 가까운 電解質은 反應結果 알카리성이 된다.

③ 分 極

電流가 陽極과 陰極 사이에 흐르게 되면 平衡電位가 變化하게 된다. 이 境遇分極되었다고 한다. 그림 2는 分極의 다이아그램이다.

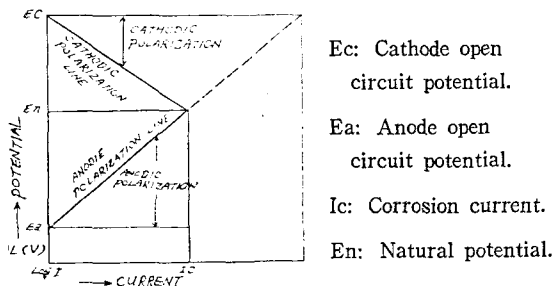


그림 2. 분극 다이아 그래프

Ea는 陽極平衡電位(開路電位)이고 Ec는 陰極平衡電位이다. Ea는 電流가 增加함에 따라 增加하며 (即 좀더 貴金屬側으로 讓移한다) 陽分極線과 陰分極線은 어떤 電流值 Ic에서 交叉한다. 이 地點이 腐蝕電流이다. 交叉點의 電位 En가 腐蝕電位(單一金屬일 境遇 自然電位가 된다)를 나타내게 되며 Ea와 Ec 두 分極線의 기울기에 依하여 影響을 받게 되고 여기서 陰極反應이 (5)식에 依하여 決定될 境遇 陰分極線의 傾斜는 크게 되며 腐蝕電流는 적어진다. 만약, 陰極反應이 (6)식 또는 (7)식에 依하여 決定되면 (酸素가 電解質속에 녹아있는 境遇) 分極線의 傾斜는 적어지며, 腐蝕 電流는 커진다. 酸素 또는 陰分極을 일으키는 異物質들은 必要因子中의 하나가 된다.

分極線의 傾斜는 여러 因子에 依하여 即 電極의 表面狀態, 電解質의 PH., 酸素 또는 다른 氣

體의 ion 濃度, 電解質의 溫度速度 등에 影響을 받는다. 物質(金屬)의 自然電位는 標準電位와 아주 다르며 그 腐蝕은 그 物質(金屬)의 自然電位에 따른다. 表1에 몇가지 物質 및 金屬의 自然電位를 表示하였다.

Metal	Potential (V)	Metal	Potential (V)
Magnesium	-1.6	Hydrogen	-0.24
Zinc	-1.07	Brass	-0.20
Aluminium	-0.78	Copper	-0.17
Cadmium	-0.78	Bronze	-0.14
Steel, Iron	-0.45 -0.65	Stainless steel	-0.08
Lead	-0.50	Silver	-0.05
Tin	-0.46	Gold	+0.18
Nickel	-0.24	Platinum	+0.33

表 1. 海水속에서의 金屬의 自然電位
S.C.E.(Saturated Calomel Electrode)에 對하여

다) 單一金屬의 腐蝕

① 局部腐蝕

單一金屬이 電解質속에 있을 境遇도 腐蝕은 일어난다. 單一金屬腐蝕의 主된 原因은 金屬表面의 微示的 및 巨示的 不均一性때문이다. 構成成分, 不純物, 結晶構造, 內部應力, 表面狀態 등에 있어 質의 不均一性이 存在하며 한편 電解質側에도 많은 不均一性 換言하여 ion의 濃度, 酸素, 含有된 다른 氣體의 濃度, 溫度 등의 要素가 存在하게 된다. 따라서 金屬이 電解質속에 있을 境遇 많은 微粒의 異種金屬接觸과 같은 現象이 되어 接觸腐蝕電池가 形成되며 腐蝕原理는 異種金屬接觸腐蝕과 같게 되어 金屬表面에 서로 連續되어 있는 無數한 陽極과 陰極이 構成되는 것이다.

② 通氣差電池 및 濃淡電池

大氣中에는 酸素가 存在하므로 大部分의 溶液들과 土壤은 多少間의 酸素를 含有하고 있어 階層을 이루게 되며 따라서 酸素의 濃度가 多少라도 있는 곳이면 甚한 腐蝕이 일어나게 된다. 通氣差電池는 甚한 局部腐蝕을 일으키는 重要한 原因中의 하나이며 金屬表面에 ion 濃度가 存在하는 곳이면 濃淡電池가 構成되고 局部腐蝕의 原因이 되는 것이다.

註: 여기서 말하는 系(System)란 어떤 金屬

과 용액이 동시에 존재하여 반응을 일으킬 수 있는 작은 환경을 의미하는 것이다.

라) Pourbaix Diagram (電位, PH, 平衡 Diagram) 最近 가장 顯著한 發展의 하나가 金屬腐蝕에 影響을 미치는 化學平衡과 PH 사이의 Diagram의 作成이다. 이 Diagram의 特性은 領域을 “無腐界帶,” “腐蝕帶” “浮動態帶”로 區分하고 있다. 이 Diagram은 M. Pourbaix가 研究發明한 것으로 그림 3에 鐵의 性質에 對한 Pourbaix Diagram을 表示한다.

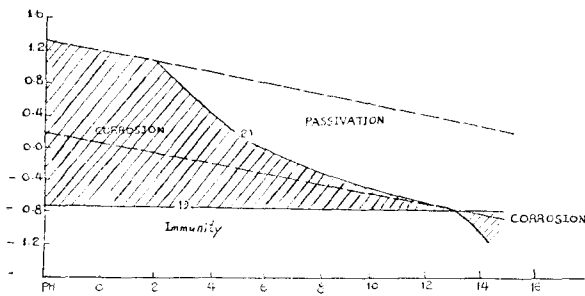
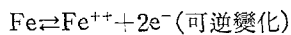


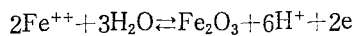
그림 3. 鐵의 Pourbaix Diagram

그림 3에서 水平線의 境遇 電子는 含有하고 있으나 H^+ 或은 $(OH)^-$ 를 含有하지 않은 反應의 平衡을 表示하고 垂直線은 電子를 含有하지 않으나 H^+ 或은 $(OH)^-$ 를 含有한 平衡을 나타내며 傾斜線은 H^+ 或은 $(OH)^-$ 와 電子를 含有한 平衡을 意味한다.

그림 3에서 (1)로 表示된 水平線은 正常보다 10^{-6} 倍의 第 1 鐵 ion의 活性(濃度와 거의 一致한) 狀態에서 電極의 電位가 平衡임을 나타낸다.



(2)로 表示된 傾斜線은 正常보다 10^{-6} 倍의 第 1 鐵 ion의 活性化에서 溶液속의 第 1 鐵 ion과 固體狀態의 第 2 鐵 사이의 平衡을 나타낸다.



水平線 (1) 以下에서 液體가 그 活性(10^{-6} 倍의 活性)에서 第 1 鐵 ion을 含有하고 있어도 腐蝕은 不可能하다는 것은 明白하다. 그러므로 水平線 以下의 域을 “無腐蝕帶”라 하고 이와 同一하게 水平線 上部의 前圍에서는 $Fe \rightarrow Fe^{++} + 2e^-$ (非可逆變化)의 變化를 가지게 되어 “腐蝕帶”로 나타나진다. 傾斜線 (2) 上部에서는 固體의 腐蝕

生成物이 생기고 自由에너지 概念에 立脚하여 $Fe \rightarrow Fe^{++} + 2e^-$ 가 可能하게 된다. 그러나 固體의 皮膜이 形成될 境遇 溶液속으로의 鐵의 通路는 거의 막히게 된다. 이런 境遇는 浮動態가 된다.

(마) Stray Current 腐蝕

萬一 Stray Current가 金屬으로 들어가서 어떤 點에서 流出된다면 漏泄地點은 腐蝕하게 되며 腐蝕率은 金屬에 流出되는 電流의 量에 比例하게 될 것이다.

2. 鐵의 腐蝕

裸體鐵(Bare Steel)의 自然腐蝕率은 環境條件에 依하여 變化하며 大體로 海水中에서 表 2와 같다. 特히 船舶의 境遇 Cargo Ballast Tank에서는 이 數值의 2倍程度를 나타내며 亦是流速(1.5M/sec 程度以上)이 있는 海水中の Steel-Pile의 境遇도 停滯되어 있는 境遇보다 2倍 程度의 腐蝕率을 보여준다.

Environment	Mean depth of corrosion (mm/yr)	Pitting factor (= maximum pit depth/mean depth of corrosion)
Mild steel— Atmosphere	0.25	2~10
Mild steel— Sea water	0.12	2~30(50) *
Cast iron— Sea water	0.10	2~15
Mild steel— Fresh water	0.05	2~5
Mild steel— Soil	0.01	2~25

Remarks: Data reported by Prof. Dr. Tagaya at 5th Conference of Corrosion and Prevention in Japan.

Atmosphere: Worse condition in industrial quarter
Test samples: Machine cut or polished but figure * is for steel with mill scale.

表 2. 鐵의 腐蝕率

土壤속의 Steel Pile도 腐蝕은 同一하게 일어나며 亦是 環境의 支配를 받고 特히 土壤의 比抵抗에 많이 左右된다. 自然狀態의 海水속에서 Bare Steel의 年平均 腐蝕率은 0.2mm/year 이나 Splash Zone의 境遇는 다른 部分보다 促進되어 約 4倍에 達하는 境遇도 있다.

第2章 一般的인 防蝕方法

金屬腐蝕의 主된 原因은 非金屬的인 電位, 電解質에서의 接觸電位의 差 및 酸素의 存在 등으로 萬一 이들 原因中 하나라도 除去시키면 金屬의 腐蝕은 거의 抑制된다. 따라서 防蝕의 方法이란 이런 諸要因中 몇가지 或은 하나만이라도 除去하는 것을 그 目的으로 하고 있다.

1. 金屬에서 低質金屬을 貴金屬이 되게 質을 바꾸는 法

貴金屬은 잘 腐蝕하지 않으므로 金屬에 다른 元素를 添加하여 좀더 貴金屬이 되게 하면 耐腐蝕性金屬으로 할 수 있다. 卽 鐵에 鎳과 크롬을 合金하면 스테인레스鋼이 되고 銅에 알미늄이나 鎳을 添加하면 耐蝕性의 알미늄 黃銅이나 白銅 或은 모넬(Monel)이 된다. 거의 모든 耐蝕性 金屬은 이러한 方法으로 製造되며 크롬산이나 인산을 使用化學處理하여 金屬表面을 浮動態化하는 方法도 있다. 그러나 單純히 表面만 處理할 方法에서 形成된 防蝕膜은 너무 얇아서 長期間 持續되지 않으므로 長期間의 防蝕이 必要할 境遇는 金屬을 塗裝處理하여야 한다. 스테인레스鋼이 酸에서 腐蝕할 境遇는 스테인레스鋼의 電位를 上昇시켜 防蝕할 수 있다. 스테인레스鋼의 境遇 電流가 陽極으로 流出하면 電位가 上昇되는 所謂 Anodic Protection을 하게 되는 것이다. 卽 스테인레스鋼을 Anode로 電極은 Cathode로 하는 것을 意味한다.

Anodizing이라는 다른 方法도 들수 있다. 例로서 알미늄은 一定時間 適當한 濃度의 酸內部中 陽極으로서 電流를 흘리면 알미늄表面에 永久 防蝕可能한 皮膜이 形成된다. 金屬을 좀더 貴金屬으로 만드는 方法으로서 塗金을 말하며 鐵에 鎳 塗金, 아연에 크롬 塗金하는 것 등은 表面만이라도 貴金屬化하는 方法이라 할 수 있겠다. 그러나 여기서 塗金된 金屬表面 一部에 구멍이나 缺陷이 있을 境遇 局部的인 集中腐蝕은 避할 수 없게 된다.

2. 물과의 接觸을 防止하는 方法

相對濕度를 낮춤으로 結露現象을 막는 것으로 例를 들면 油槽船에서 糞뚝 排出가스를 Ballast Water Tank로 보내는 것과 같이 熱로서 空氣를 乾燥시키는 方法 或은 空氣調節이나 乾燥劑를 쓰는 方法 등은 아주 效果的인 方法이다. 또 물과 直接的인 接觸을 막는 다른 方法은 金屬表面을 물이 通過할수 없는 Lining으로서 덮거나 塗裝 및 Seal Peel을 하는 것이다.

3. 電位差를 없애는 方法

이 方法은 Cathode와 Anode間的 電位差를 없애는 것으로서 電解質에서 金屬表面으로 電流가 流入할 境遇 電流值의 增加에 따라 Anode側 電位와 平衡을 이루기 爲하여 電位가 漸次 낮아져 結局 電位差가 없어진다. 이것은 Pourbaix의 Diagram에서 金屬을 “無腐蝕帶”에 두는 原理로서 陰極防蝕 或은 電氣防蝕이라고 하는 것이다. Anode와 Cathode의 사이에 電位差를 줄이는 또 하나의 다른 方法은 Annealing으로서 金屬의 內部應力을 줄이는 것이거나 思慮깊은 設計를 하여 異種金屬間的 接觸을 막는 것이다.

4. 回路抵抗을 增加시키는 方法

局部的 或은 어떤 方法에 依하여 Anode로부터 Cathode로 電流가 흐르는 것이 腐蝕의 原因이므로 此 Anode 및 Cathode間的 通路의 抑制 卽 抵抗力을 크게하면 腐蝕電流는 줄어들 것이다. 接觸腐蝕의 境遇에는 Anode와 Cathode의 形象은 明確하므로 이 사이에 絶緣物을 押込할 수 있다. 그러나 單一金屬이 電解質 內部에서 腐蝕할 境遇 Anode와 Cathode의 位置는 알수 없으므로 絶緣物의 挿込이란 困難하여진다. 따라서 이런 境遇에는 回路의 抵抗을 增加시키는 方法으로서 良質의 絶緣物을 選擇하여 Lining이나 塗裝 등을 하여 金屬表面全部를 電解質로부터 遮斷하는 것이다. 換言하면 電解質의 比抵抗이 相當히 높으면 抵抗이 커져 腐蝕은 抑制되는 것이다.

5. 分極線의 傾斜를 크게하는 方法

Pourbaix의 Diagram에서 보여주는 바와 같

이 分極線의 傾斜가 커지면 腐蝕率은 떨어짐으로 分極線의 기울기를 크게하는 方法을 考慮할 수 있다. 그 方法으로서는 酸이나 酸素의 濃度를 줄이는 方法, 最終表面處理를 잘하는 方法물의 溫度나 流速을 줄이는 方法, 金屬表面에 Lining 이나 塗裝을 잘하는 方法, 電解質內的 腐蝕抑制劑를 添加하는 方法等을 들수 있다. 보일러의 腐蝕을 減少시키기 爲하여 給水時 脫氣하는 것은 좋은 例이면서 잘 알려진 方法이다.

6. 選擇排流法

電蝕을 줄이기 爲한 다른 方法으로 選擇排流法을 쓴다. 電鐵의 境遇 Stray Current 는 走行하는 地點에서 鐵路外部로 流出하여 周圍에 있는 Pipe Line 이나 Cable 로 流入한後 變電所를 通하여 다시 Cable 이나 Pipe Line 外部로 流出되어 鐵路에 歸還 回路를 形成하게 된다. 이런 漏泄電流는 集中漏泄되는 地點에서 甚한 腐蝕을 惹起시킨다. 이런 境遇는 Pipe Line 이나 Cable 을 그 漏泄點에서 鐵路에 電氣적으로 連結 卽 通路를 直接 通過시킴으로서 腐蝕을 막을 수 있다. 그러나 Stray Current 의 方向은 周圍條件에 依하여 變化하기 때문에 排流의 方法도 慎重히 檢討하여 選擇 排流器를 使用 調節을 必要로 한다.

第3章 電氣防蝕의 原理

1. 電氣防蝕의 一般的 概念

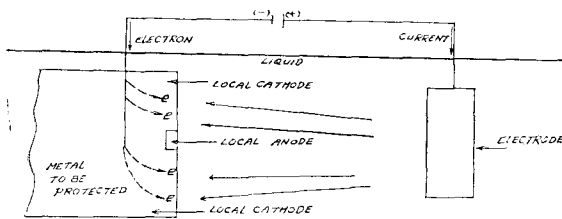


그림 4. 電氣防蝕(陰極防蝕)의 原理

그림 4는 外部電源式 電氣防蝕 (陰極防蝕) 方法의 原理를 그림으로 나타낸 것으로서 被防蝕 金屬은 直流電源의 (-) 極에 連結하고 陽極은 (+) 極에 連結한다. 被防蝕 金屬은 無數한 局部

陽極 및 局部陰極으로 構成되어 있으나 便利를 爲하여 그림 4에서는 1개의 局部陽極과 2개의 局部陰極으로 表示하기로 한다. 局部陰極의 電位는 局部陽極의 電位보다 높으므로 電子는 電線을 通하여 陰極部로 가게 된다. (電位가 높은 側으로 電子가 간다고 본다) 卽 電流가 電解質을 通하여 陰極部로 流入하는 것과 같으며 電流의 흐름에 依하여 陰極의 電位는 陽極의 電位와 平衡을 維持할 수 있는 電位까지 낮아질 것이다 換言하면 陰極과 陽極의 電位가 同電位가 되고 腐蝕은 停止하게 되는 것이다. 더 나아가 電流를 增加시키면 金屬電位의 減少現象이 일어나게 되나 이것은 腐蝕抑制에는 아무 도움을 주지 못한다. 여기서 局部陽極과 同電位가 되는 局部陰極의 電位를 “防蝕電位”라 하고 防蝕電位에 到達하기 爲하여 必要한 電流를 “防蝕電流”라 稱한다. 또 “防蝕電流密度”란 實際陰極防蝕에 必要한 單位面積當 電流의 量을 말하게 된다.

2. 防蝕電位

防蝕電位는 金屬의 最低 陽極電位와 一致하고 周圍環境 卽 電解質의 種類가 定하여지면 數式的으로 計算이 可能하다 Pourbaix Diagram 에서 “腐蝕帶”와 “無腐蝕帶” 間的 水平線이 防蝕電位이고 陰極防蝕이 可能한 金屬은 無腐蝕帶에 있게 되며 防蝕電位는 實驗 或은 經驗에 依하여 알 수 있다. 腐蝕率을 金屬의 電位에 依하여 測定할 境遇 腐蝕率은 金屬電位가 減少함에 따라 減少할 것이며 結局 어떠한 電位에서는 腐蝕率은 零이 되고 만다. 이 電位를 防蝕電位라 하게 되며 다음에 몇가지 金屬에 對한 防蝕電位(飽和甘汞基準電極에 對하여)를 例로서 表示한다.

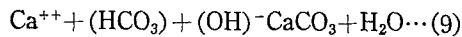
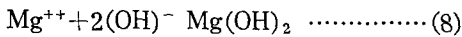
철강 또는 스테인레스강	-0.77V
납	-0.63V
알루미늄 합금	-0.84V
동 및 금 합금	-0.4 -0.5V

金屬의 防蝕電位를 모를 境遇에는 그 金屬의 自然電位에서 0.2~0.3V 降下시키면 防蝕이 되며 防蝕效率을 金屬의 電位測定으로 곧 알수 있는 防蝕法이 陰極防蝕인 것이다. 다른 防蝕方法을 利用할 境遇에는 結果를 아는데 相當한 時間을

必要로 한다.

3. 防蝕電流密度

被防蝕體가 腐蝕이 큰 環境에서는 많은 防蝕電流密度를 必要로 하며 防蝕電流의 量은 腐蝕電流의 約 1.2倍程度이다. 防蝕電流密度는 金屬表面狀態 卽 塗裝狀態等 條件에 依하여 左右된다. 萬一海水中에서 金屬表面에 繼續電流를 供給하면 陰極周邊의 PH는 커지고 (알카리 性) 다음과 같은 反應이 일어나게 된다.



$\text{Mg}(\text{OH})_2$ 와 CaCO_3 는 물에 難溶性이므로 金屬表面에 附着할 境遇 얇은 膜으로서 그 表面을 保護하게 된다. 卽 이런 現象을 “ELECTRO COATING”이라 한다. 이런 現象에 依하여 長時間의 電流를 供給할 境遇 ELECTRO COATING은 初期의 電流密度보다 激減하게 되어 (約 50%까지 減少) 所要電流를 작게 하는 것이다. 例로서 $0.5\text{A}/\text{M}^2$ 程度의 電流密度로 遮蔽된 곳에서 約一週日, 開放된 곳에서는 約二週日 程度 供給하면 效果인 Electro Coating Film을 얻을 수 있다. 防蝕電流密度는 많은 要因의 作用에 依하여 달라지므로 防蝕電流密度를 決定하기 爲하여는 깊은 研究와 豐富한 經驗을 必要로 한다. 그림 5에 防蝕電流密度에 依한 效率의 一例를 表示한다.

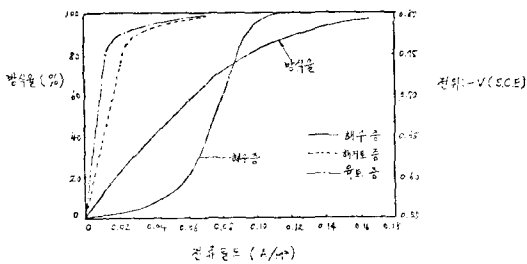


그림 5. 防蝕電流密度와 防蝕效率

4. 外部電源式 電氣防蝕法

그림 4에서 外部電源防蝕法의 原理를 보인바와 같이 電源은 반드시 直流로서 供給源은 Rectifier나 直流發電機等이다. 一般의으로 세 렌이

나 실리콘 정류기가 이용되며 陽極의 材質은 鐵이나 알루미늄같은 消耗性電極도 있다. 몇가지 電極의 年間腐蝕率은 아래와 같다.

鐵 或은 鋼	約 9kg/A·Yr
알 미 늑	// 3kg/A·Yr
高珪素鐵	// 0.2~0.8kg/A·Yr
黑 鉛	// 0.4kg/A·Yr
磁 鐵 鑛	// 0.1kg/A·Yr

5. 犧牲陽極式 電氣防蝕法

被防蝕金屬이 그보다 低質金屬에 連結되면 防蝕이 된다. 그림 1에 보인바와 같이 銅은 鐵에 依하여 防蝕이 이루어지며 鐵은 鐵보다 低質金屬 卽 亞鉛이나 알루미늄에 連結되면 防蝕이 可能하여 진다. 恒常 低質金屬側이 貴金屬側을 保護하게 되며 그림 6에 圖示하였다.

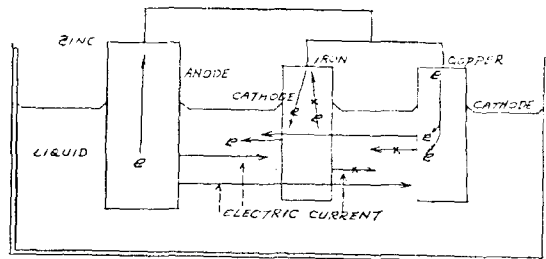


그림 6. 金屬의 接觸腐蝕

犧牲陽極(流電陽極이라고도 함) 材로서 널리 使用되는 材質은 高純度 마그네슘, 마그네슘合金, 高純度亞鉛, 亞鉛合金 및 알루미늄 등이 있다. 犧牲陽極으로서 必要한 性質은 被防蝕體보다 恒常 低質金屬的인 電位를 維持하여야 하며 低質金屬陽極表面에는 腐蝕으로 生成된 固體性 接着 附着物이 생겨 長時間 經過後 陽極電位는 貴金屬의 材質이 되어 結局 低質의 陽極은 不溶性이 된다.

6. 外部電源法과 犧牲陽極法의 比較

(1) 外部電源法

特 徵

- ① 電壓, 電流의 大幅調節이 可能
- ② 高抵抗의 環境과 最惡의 腐蝕條件에 適用
- ③ 不溶性陽極 使用으로 長期的 防蝕設計可能

- ④ 最初施設費外에 電力費와 維持費가 必要함.
- ⑤ 接近하여 있는 他 施設物에 影響을 주므로 注意를 要함.

用 途

- ① 大電流를 必要로 하는 大規模施設과 高抵抗의 環境

(2) 犧牲陽極法

特 徵

- ① 施工이 比較的簡單하고 管理의 必要가 거의 없음.
- ② 적은 防蝕電流를 必要로 할 境遇
- ③ 塗裝된 對象物과 多數로 分散된 對象物에 適合.
- ④ 抵抗이 높은 土壤 및 水中에는 適合치 않음.
- ⑤ 接近하여 있는 他施設物에 影響이 거의 없음.

用 途

- ① 塗裝이 잘된 施設物 或은 分散된 對象物等 小電流로도 充分한 境遇.

第四章 電氣防蝕의 應用

1. 港灣施設

港灣의 建設을 爲하여는 Steel Pile, Sheet Pile, 鐵板C形鋼, ㄱ形鋼, 丸棒等 無限量의 鐵鋼이 쓰이며 이들은 海水, 土壤中 或은 濕氣가 많은 空氣等 강한 腐蝕性 環境에 놓이게 된다. 따라서 鐵의 腐蝕率은 相當히 크게 되며 海水나 土壤中에 있는 鐵構造物 防蝕用 塗裝은 急激히 劣化되므로 塗裝한가지 方法에 依하여서만 防蝕은 期待할 수 없게 된다. 따라서 電氣防蝕은 이들 構造物에 適用시켜 防蝕을 長期的으로 施行하게 된다. 最近來에 까지 港灣施設 構造物에는 콘크리트構造物을 많이 利用하여 왔으나 鐵構造物에 電氣防蝕을 適用할 수 있게 된 後로는 建設 期間도 짧고 低廉한 鐵構造物을 많이 利用하게 되었다. 電氣防蝕技術의 發達로 鐵構造物이 콘크리트 施設物과 比肩할 수 있게 된 近代에는 港灣施設의 大部分이 鐵構造物로 하고 있는 實情이다. 大氣中에 露出되는 鐵構造物은 通常 콘크리트-트라이닝, 塗裝 或은 防蝕用 테이프를 利

用하고 있다. Splash Zone에 놓인 鐵構造物 塗裝의 良好한 方法은 Zine Rich Paint (아연페인트, 보통광명단, 테라스톤등으로 부름)로서 下部 塗裝을 하고 Epoxy Coal Tar로서 上部塗裝을 하는 것이 普通이다.

가) 外部電源式 電氣防蝕

外部電源式을 利用할 境遇는 아래와 같다.

① 連結

모든 鐵構造物은 直流電源의 (-) 配線端子에 連結하게 되며 連結材로서는 通常 鐵丸棒을 利用하고 Steel Pile이나 Sheet Pile에 熔接하게 된다. (-) 配線 端子는 適當한 地點의 配流點에서 Pile에 熔接하게 되며 電位測定用 端子는 適當한 位置에서 Pile에 熔接하면 된다. (-) 配線端子와 測定用 端子는 共用하여서는 안된다 그 理由는 萬一 (-) 端子에서 陰極電位를 測定하면 (-) 配線中の IR Drop ($V=IR$)에 依한 電壓降下가 包含되어 誤差를 誘發하기 때문이다.

② 防蝕電位密度

海水中에 設置된 鐵構造物의 適當한 防蝕電流密度는 $80\sim 120\text{mA}/\text{M}^2$ 로 하고 있으며 河口의 境遇는 더 높은 電流密度를 所有하고 있다. ($120\text{mA}/\text{M}^2$ 以上) 그 理由는 河口의 腐蝕性은 通氣 差電池나 ION 濃度差電池 現象關係로 單純 海水中的 腐蝕性보다 크기 때문이다. 防蝕面積이 $10,000\text{M}^2$ 보다 큰 鐵構造物에 對하여는 $80\sim 90\text{mA}/\text{M}^2$ 程度의 電流密度면 充分하고 普通 海水中에서는 $100\text{mA}/\text{M}^2$ 를 基準으로 하고 있다. 海底上에 對하여는 通常 $15\sim 20\text{mA}/\text{M}^2$ 로서 $20\text{mA}/\text{M}^2$ 를 基準으로 하고 土壤中에 存在하는 港灣用鐵構造物의 防蝕電流密度는 $5\sim 15\text{mA}/\text{M}^2$ 基準으로 $10\text{mA}/\text{M}^2$ 를 擇하고 있다. 이 電流值의 半은 海水側電極(陽極)으로 供給可能하고 殘餘分은 土壤測電極에서 供給된다. 塗裝된 鐵構造物에 對하여는 裸體鐵構造物의 境遇보다, 30%~50%로 하는 것이 普通이다.

③ 電極(陽極)

外部電源式 陽極의 材料로서는 磁鐵鐵, 鉛銀合金, 高珪素鐵 및 白金티타늄 등이 使用되며 一般的으로 電極의 設置方法으로는 懸垂 方法이 採擇되고 있다. 때때로 電極을 海底土에 設置하

기도 하나 電極이나 連結電線이 浚渫時破損되므로 格別한 注意를 必要로 한다.

④ 配線 및 配管

海水中에 使用되는 電線은 Hmpe Cable (高分子量 포리에치렌케이블)을 擇하고 있으며 모든 連結部는 連結函 (Splicing Kit)을 使用內部에서

接續하여야 하고 萬一 連結이 不完全할 境遇는 此部分에 甚한 腐蝕을 發生하게 되므로 可能한 限接續個所를 적게하여야 하며 또 電線의 保護를 爲하여 配管이나 特殊케-이블을 使用하기도 한다. 그림 7은 電氣防蝕用 配線의 一例이다.

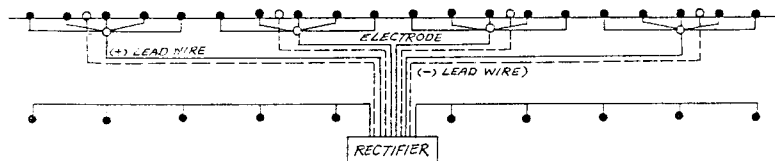


그림 7. 電氣防蝕電線配線圖

⑤ 潮水地域에서의 防蝕

潮水地域 (Tidal Zone)에서는 汗滿의 差에 依하여 鐵構造物은 電氣防蝕으로서 完全한 效果를 거둘 수 없으며 特히 平均 潮位以下에서의 防蝕效率는 繼續水中에 存在하는 鐵構造物에 比하여 그 效率는 70~90%程度에 不過하다. 또 平均潮位以上의 部分에 對하여는 良質의 라이닝이나 塗裝으로 保護하는 것이 通例이다.

⑥ 危險地域에서의 電氣防蝕

石油나 引火質物을 取扱하는 埠頭에서는 스파크나 火氣가 있으면 火災의 危險이나 爆發事故에 對備하여야 함으로 이런 境遇의 모든 設備는 防爆形으로 하여야 한다. 一般적으로 鐵에 對한 防蝕電位는 0.3(V)이므로 防蝕되고 있는 鐵構造物에 對하여 防蝕되지 않는 鐵構造物인 船舶이나 他施設物이 接觸할 境遇에는 電位差가 있으므로 電流가 흐르게 된다. 이런 境遇의 電流 흐름이 스파크를 發生시켜 危險을 超來하므로 防爆形 스위치를 中間에 둔 Bonding Cable, 철 밧줄 등으로 連結하여 電氣的 接續은 防爆스위치 內部에서 이루어도록 하며 또한 Bonding Cable의 回路遮斷은 보랑, 밧줄이나 호스등이 船舶에서 멀리 떨어진 後 이루어져야 한다.

나) 犧牲陽極式 電氣防蝕

犧牲陽極式의 境遇에도 防蝕對象物이 所要電流密度는 外部電源式과 同一하나 通常 犧牲陽極各 1個當 防蝕對象面積은 外部電源式에 比하면

相當히 적다. 發生電流 및 壽命에 따라 個數를 計算에 依하여 調整하여야 하며 經濟性도 考慮하여야 한다. 大體로 海水中에서 流電陽極으로는 亞鉛, 亞鉛合金, 알미늄合金 등이 많이 使用된다. 流電陽極防蝕의 一例를 그림 8에 보인다.

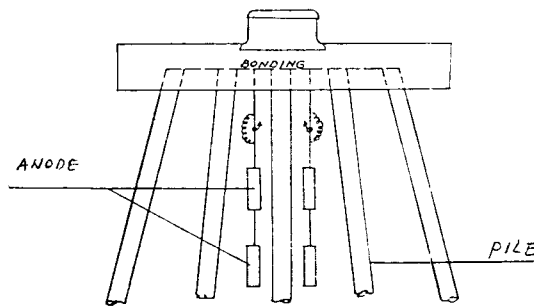


그림 8. 犧牲陽極式 電氣防蝕方法

2. 地下埋設管 및 水中配管

地下埋設管이나 水中管의 防蝕은 主로 塗裝이나 Wrapping으로 하여 塗裝材料로는 普通 Coal Tar 이나 Asphalt 이고 Wrapping 材로는 항마, 유리布, 비닐布 등이 使用된다. 管의 埋設前 塗裝의 缺陷을 Holiday Detector (Pipe Line의 塗裝不良個所를 찾아내는 器具의 一種) 등으로 點檢하여 不良個所를 補完後 埋設하나 모든 缺陷이 全部 完全히 除去되지 않는다. 萬一 이런 個所가 남아있을 境遇는 이런 部位가 陽極으로서 作用하여 甚한 局部腐蝕을 이르게 된다. 이런 配管이 上水道 或은 下水道等 若干의 漏出

이 있다하여도 큰 危險이 없는 境遇는 無妨하나 石油, 개스 式은 危險化學物質을 輸送하는 配管 일 境遇는 구멍이 생길時 莫大할 被害를 생각할 수 있으므로 Coating 이나 Wrapping 에 電氣防蝕을 加하여 二重으로 防蝕하는 것이 通常이다.

가) 地下配管 防蝕時 豫備調査

어떤 地下配管에 對하여 防蝕을 하고 저 할때는 基礎調査를 하여야 하며 이 目的으로 調査하여야 할 事項은 土壤의 比抵抗 및 土壤內部에 있는 Stray Current 의 變化, 防蝕하려는 Pipe Line 과 他 Pipe Line 이 交叉하거나 平行하는 有無, 隣近個所에 直流鐵路의 變流器의 位置 및 容量, 他電線 Cable 의 狀況, 塗裝狀態 및 Wrapping 의 種類等を 들 수 있다.

나) 防蝕方法의 採擇

調査結果 Stray Current 에 依한 損傷의 危險이 있으면 選擇配流法을 써서 保護하여야 하나 모든 Pipe Line 이 全部 選擇配流法만으로 防蝕이 되는 것은 아니다. 直流電鐵線路에서 멀리 떨어져 있는 Pipe Line 은 이 方法만으로는 防蝕되지 않으며 外部電源方式이나 流電陽極方式을 採擇 保護하여야 한다. 一般적으로 山이나 들에 埋設된 長距離 Pipe Line 은 外部電源式으로 하고 都心이나 人家와 接近된 他鐵構造物이 있는 複雜한 地域에서는 流電陽極方式이 經濟的이라 할 수 있다. 그 理由는 都心の 複雜한 地域에서 外部電源式으로 할 境遇 他 Pipe Line 或은 Cable 에 被害를 惹起시킬지 모르기 때문이다.

다) 電流의 分布

電流의 分布는 Pipe Coating 과 土壤의 比抵抗에 依하여 左右되고 Pipe Coating 이 良好한 境遇는 Coating 材質의 電氣傳導度에 依하여 달라지며 防蝕電流密度는 時間의 經過에 따른 Pipe Coating 의 劣化에 依하여 그림 9에 表示된 바와 같이 變化하기 때문에 Pipe Coating 이 時間에 따른 劣化後 安定된 狀態에서 必要로 하는 電流密度를 考慮하여야 한다. 그림 9에서 Pipe Line Coating 의 劣化는 Pipe Line 의 埋設後 約一年이 經過하여야 安定된다는 것을 알 수 있으며 其他 Pipe Coating 에 對한 所要 電流密度를 表 3에 表示하였다. 表 2에 表示된 電流密度는 塗

裝이 良好한 狀態의 Pipe Line 을 流電陽極式으로 防蝕할 境遇 電流의 分布가 均一한 狀態의 數值이다.

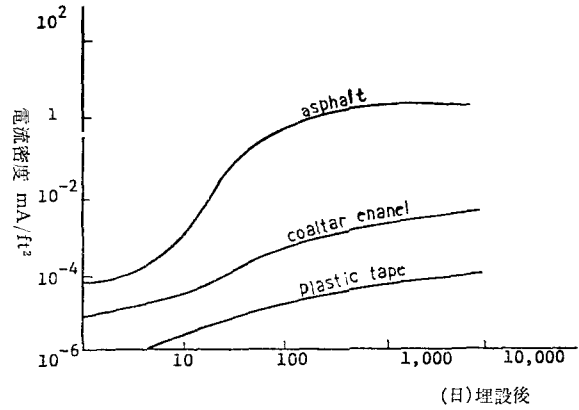


그림 9. 塗裝의 劣化狀態

Coating	Specific resistivity (ohm-cm)	Current density (mA/m²)
Bare Steel	300	30~50
	300~1,000	20~30
	1,000~5,000	10~20
	5,000~	5~10
Asphalt		5~15
Coal tar Enamel, Glass Mat		0.1~0.3
Asphalt Mastic		0.05~0.15

表 3. 配管塗裝狀態에 對한 電流密度

外部電源式의 境遇에는 配流點 사이의 距離가 大端히 먼 關係上, 電流의 分布와 Pipe Line 의 電位가 均一함을 보여주지 않는다. Pipe Line 이 Pipe Line 을 따라서 놓여 있는 몇개의 Anode Bed (電極郡)로 防蝕되고 있다면 各 Anode Bed 는 가까운 區間의 電位分布에 影響을 미치게 되고 그 電位分布는 그림 10과 같이 된다. 電位는 配流點의 最高值로 부터 最小防蝕電位值로 떨어지게 되고 그 地點에서 다음 Anode Bed 에서 流出되는 電流와 마주치게 된다. 이런 것이 反復되어 電位는 다시 다음 Anode Bed 의 配出點에서 最高值에 達할때 까지 漸進的으로 上昇하게 된다.

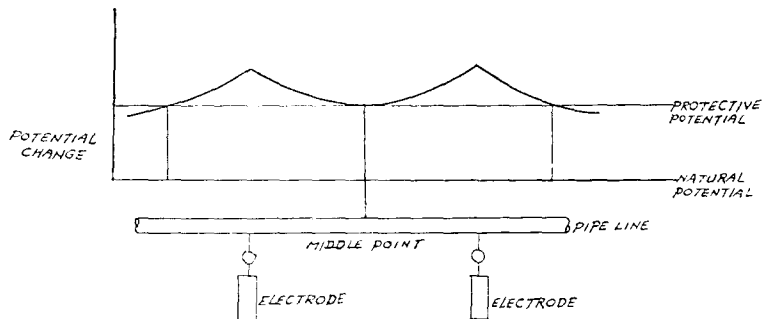


그림 10. 電位 分 布 圖

라) 電氣防蝕設備例

外部電源式 電氣防蝕의 例를 그림 11에 例示한다.

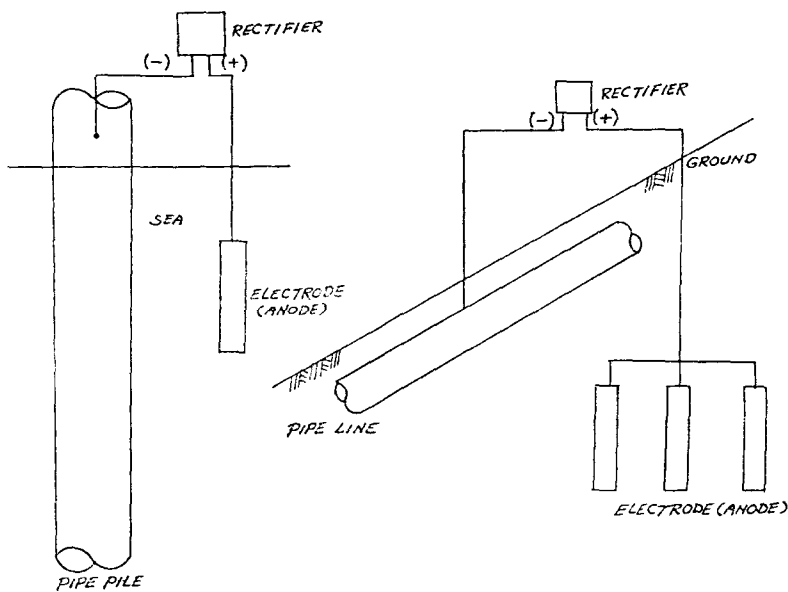


그림 11. Pipe Line의 外部電源式 電氣防蝕例

配流點사이 距離는 通常 5~15KM 程度로 하고 있으며 이 間隔은 主로 Coating, 質에 依하여 左右된다. 電極으로서는 高珪素鐵電極 (High Silicon Cast Iron Anode)에 Cokes Breeze로 Backfill 하여 使用한다. Ground Bed의 位置選定은 한 區間에 있어서도 土壤의 比抵抗이 가장

낮은 地點을 擇하여야 하고 一定距離以上을 離隔시켜야 한다. 그림 12에는 流電陽極防蝕의 한 例이다.

普通 마그네슘 陽極은 Bentonite, Gypsum 이나 Sodium Sulphite의 混合物로서 Backfill 하여 使用한다.

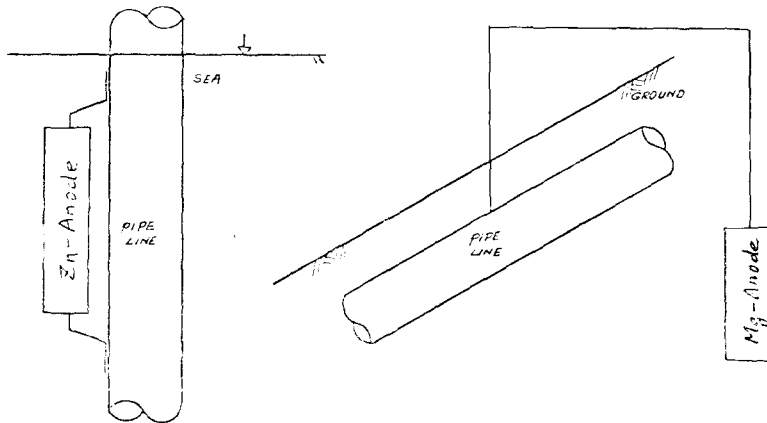


그림 12. Pipe Line 의 流電陽極式 電氣防蝕

3. 熱交換器

熱交換器는 가장 腐蝕性이 큰 條件下에 놓인 設備라 할 수 있으며 異種金屬의 接觸, 높은 溫度 甚한 流體等 諸要因을 具備하고 있다. 傳熱表面은 熱傳導性이 良好하여야 함으로 裸表面狀態로 使用하는 것이 普通이다. 此 熱交換器의 形態는 多種多樣함과 如히 그 防蝕方法도 多種多樣하다.

가) 防蝕方法

凝縮器, 大型等 Gas Cooler 등과 같이 大型의 熱交換器에는 普通 外部電源方式이 쓰이며 小型의 冷却器等에는 流電陽極方式이 使用된다.

나) 防蝕面積

Water Chamber 의 全表面積, Cover, Tube Plate 등을 防蝕對象面積으로 하고 管의 部分에 對하여는 管의 深部까지 電流가 浸透하지 못하

Internal Diameter (mm)	Condenser	Cooler
16	255	305
19	275	335
22	300	350
52	315	375
55		1,045
68		1,190
76		1,255
100		1,400

表 4. 電氣防蝕으로서 可能한 管의 길이
(海水에서 管 한 便으로 부터의 길이)

므로 防蝕이 可能한 部分의 長이를 表 4에 表示 하였으며 熱交換이 이루어지는 外部 卽 冷却水와 接觸되는 管은 全部 防蝕對象面積으로서 看做한다.

다) 所要防蝕電流密度

適切한 所要防蝕電流密度는 閉鎖形冷却器에서 150mA/M², 開放形冷却器에서는 200mA/M²로 하는 것이 通例이며, 防蝕面積이 20M²未滿인 小型冷却器에 對하여는 아래 表 5에 表示한다.

Protective area (M ²)	5	5~10	10~15	15~20
Current density (mA/M ²)	400	300	250	200

表 5. 小型冷却器의 所要電流密度

라) 長管中間部分防蝕

긴 管의 內深部는 電流의 到達이 困難하여 電氣防蝕으로서는 目的을 達成 할 수 없으나 多幸히 管內深部の 腐蝕은 管入出口의 部分보다는 매우 적다. 그 理由는 管의 末端은 擴張器로서 Tube Plate 에 알맞게 擴張하므로써 이 部分에 높은 內部應力이 남아 있게 될뿐만 아니라 實際 海水의 入出時에도 亂流現象이 甚하기 때문이다 따라서 管의 末端部分만이라도 防蝕을 한다면 全體管의 壽命은 몇배로 延長시킬 수 있으며 銅合金等을 使用하였을 境遇에는 內部腐蝕이 極度로 甚하다면 硫化鐵 (FeSO₄)을 冷却水에 1日 30分間 1 PPM 添加하여 流入시키면 腐蝕을 效果

的으로 抑制시킬 수 있다.

마) 設 備

그림 13에 TUBE 防蝕의 例를 보였다.

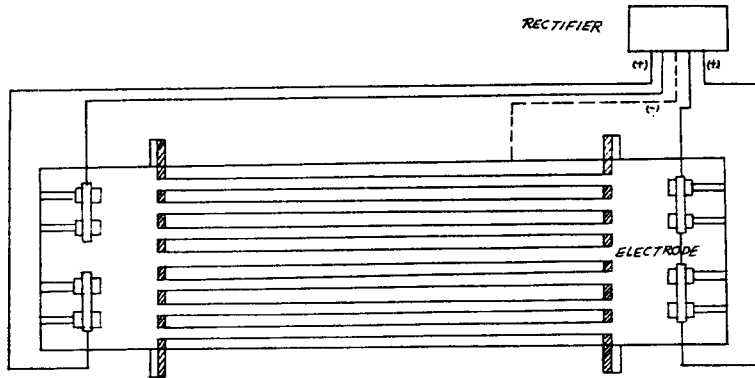


그림 13. 冷却器의 電氣防蝕

4. 其他施設物

가) 스크린 (Screen)

發電所等に 使用되는 取水用 스크린에는 두가지 型式이 있다. 하나는 Bar Screen 이고 다른 하나는 움직이는 Travelling Screen 이다. 防蝕 電流密度는 Bar Screen 에 100mA/M², Travelling Screen 에는 120~150mA/M² 를 適用하고 있으며 Bar Screen 은 外部電源式 或은 犧牲陽極式으로 하고 Travelling Screen 에서는 接觸이 不確實할 境遇 流電陽極式을 擇하는 것이 大部分이다.

나) 水 門

水門은 大部分 海水와 淡水의 分離를 爲하여 設置하고 있으므로 比抵抗이 各各 差異가 있어 防蝕도 두가지로 하는 것이 通例이다. 塗裝을

하고 流電陽極式으로 하며 海水側은 알루미늄合金 陽極, 淡水側은 마그네슘 陽極으로 附着시킨다. 所要電流密度는 30~50mA/M² 이다.

다) 부이 (Buoy)

부이는 塗裝과 亞鉛陽極等으로 防蝕하며 塗裝된 部分의 防蝕電流密度는 30mA/M² 程度로 하고 Bare Chain Part 는 約 100mA/M² 로 한다.

라) 펌프 (Pump)

펌프의 境遇 腐蝕率은 船舶의 프로펠러와 같이 取扱할 수 있고 防蝕方法으로는 外部電源式 및 流電陽極式 어느 方法으로나 行할 수 있다. 防蝕電流密度는 아래와 같다.

Impeller: 0.5~0.8A/M²

Guide vane: 0.3~0.5A/M²

Casing: 0.15~0.25A/M² — 끝 —