

電氣防蝕法

(主로 鋼널말뚝 岸壁에 對하여)

Cathodic Protection

李 榮 世
Yong Se Lee

I. 序 論

鐵은 우리 日常生活 特히 文明의 利器로서 必要不可 欠 한것이며 科學이 發達되고 文化가 向上됨에 따라 더욱 重要한 位置를 찾이하게 된다. 따라서 鐵의 生産 量도 莫大한 것이며 全世界에서 生産되는 量이 年間 約 2億톤에 達하고 金屬 生産量의 97%에 該當하고 있 다고 한다.

이와 같이 鐵이 우리 人類에게 미치는 影響力은 至 大한 것이며 反面 鐵을 利用함에 있어 그 用途에 따라 우리는 鐵에 對한 性質을 確實히 把握하지 않으면 아 니될 것이다.

即 鐵의 表面은 녹(鏽)이 發生하기 쉽고 또 이 녹을 그냥 두면 점점 腐蝕하여 結局 鐵은 完全 腐蝕해 버린 다. 이 鐵의 腐蝕에 依한 損失은 莫大한 것으로 美國 에 있어서의 損失은 年間 60億弗을 超過하고 있으며 隣接國인 日本만도 腐蝕으로 因하여 施設機器 等 構造 體 金屬材料의 損失額이 年間 1,000億圓(即 構造物의 再改修 또는 施工後 壽命이 經過된 湖灣施設 等の 補 強 等)을 超過하고 있는 實情이며 韓國에서도 港灣施 設物을 爲始한 各種施設物의 腐蝕으로 因한 損失이 莫 大할 것이다. 壽命檢討를 해야 할 構造物이 許多하나 調査未備로 次期에 論하기로 한다. 鐵의 最大缺點인 腐蝕을 防止하는 方法은 옛날부터 大端히 重要視되었 고 여러 가지 防蝕方法이 研究進行되어 왔다.

現在 鐵의 防鏽, 防蝕은 다음 方法으로 實施하고 있 다.

가. 鐵의 表面에 金屬被覆을 하는 方法

- (1) 溶金浴法
- (2) 電氣鍍金法
- (3) Cementation 法
- (4) 溶射法

(5) 合板法

나. 鐵의 表面을 非金屬被覆으로 하는 方法

(1) 表面處理에 依하는 方法

- 가. 酸化物被覆法
- 나. 磷酸鹽被覆法

(2) 表面에 非金屬을 密着시키는 方法

- 가. 塗裝 珉탈의 被覆
- 나. 硬質고쿠의 被覆
- 다. 不乾性 油類의 塗布
- 라. Cement concrete의 被覆
- 마. 珉瑯(硝子質 에나멜)의 被覆

다. 電氣防蝕法

(1) 陽極防蝕法

(2) 流電陽極法

- 가. Magnesium 合金에 依한 法
- 나. 亞鉛合金에 依한 法
- 다. 알루미늄合金에 依한 法

(3) 外部電源法

- 가. 腐蝕陽極에 依한 方法
- 나. 半永久陽極에 依한 方法
- 다. 永久陽極에 依한 方法

鐵에 對하여 以上과 같은 많은 防鏽, 防蝕이 實施되 고 있으나, 여기서는 最近 特히 發達되고 있는 電氣防 蝕法에 對하여 鋼널말뚝防蝕法을 主로 하여 記述하고 자 함.

II. 電氣防蝕法

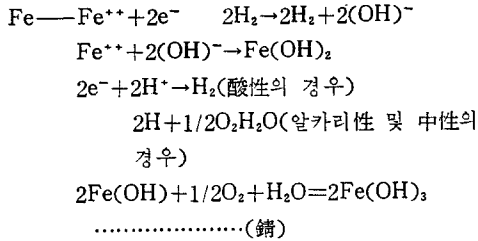
電氣防蝕法은 1824年 英國의 Davy 卿의 提唱에 依해 船體用의 防蝕法으로서 採用되어 發達래은 防蝕法이 나, 現在 美國을 爲始한 世界 各國에서는 熱心히 研究 施工하고 있다. 우리 나라에서는 海軍艦艇에 使用되고 있으며, 蔚山 石油公社의 부두에 一部 施工했으며, 其 他 岸壁에는 一部 計劃되고 있는 實情이다. 特히 最近

에 있어 港灣施設의 鋼널말뚝 또는 鋼말뚝이 많이 使用 또는 利用되고, 그의 效果가 크게 認定되고 있다.

가. 電氣防蝕法의 原理

金屬의 腐蝕에는 濕蝕과 乾蝕이 있으나, 約 200°C 以下の 常溫에 있어서의 腐蝕은 一般的으로 濕蝕이므로 以下 濕蝕에 對하여 生覺키로 한다.

濕蝕은 水分의 存在가 必要하고 그 水分의 影響에 依하여 鐵은 다음 過程으로 腐蝕되어 가고 있다.



위에 表示한 바와 같이 鐵(Fe)은 ion 化하여 그가 가지고 있는 自由電子(e⁻)를 빼앗겨 防蝕되어 가고 있다. 따라서 自由電子(e⁻)를 除去하면 (Fe)의 ion 化는 活發해져서 腐蝕은 加速되고, 反對로 (Fe)에 自由電子를 供給하면 (Fe)의 ion 化가 抑制 됨으로 鐵의 腐蝕을 阻止하게 된다.

一般的으로 水溶液 또는 土壤은 電導性이므로 水溶液 또는 土壤中の 鐵의 表面에 電流를 흐르게 할 수 있다. 따라서 自由電子(e⁻)는 正電流와 反對方向으로 흐르는 負電流이므로, 水溶液 또는 土壤中の 鐵에 自由電子를 供給하여 鐵의 ion 化를 抑制 阻止할 수 있다. 이 鐵 ion 化를 抑制 阻止하는 電流를 防蝕電流라 하고, 防蝕電流를 適當한 方法으로 鐵의 表面에 보내어 鐵의 腐蝕을 抑制하는 方法을 電氣防蝕이라 稱한다.

나. 流電陽極法

金屬이 水分의 影響으로 ion 化하여 腐蝕되는 것이므로, 金屬의 濕蝕의 難易는 ion 化傾向의 大小와 一致한다. 即, ion 化傾向이 적은 金屬일수록 濕蝕의 進行이 적어지고, ion 化傾向이 큰 金屬일수록 濕蝕이 甚하다.

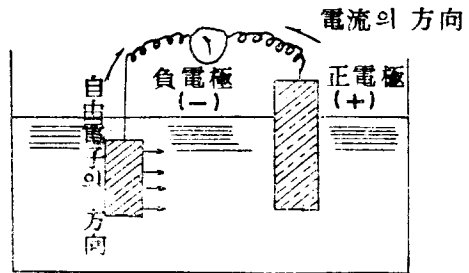
다음 第1圖에 表示한 바와 같이 ion 化傾向이 적은 金屬일수록 電位가 높으므로, 그림 2에 表示한바와 같이 水溶液中에 二種의 金屬을 導線으로 連結하면 電池가 構成되어 ion 化傾向이 적은 金屬(即, 電位가 높은 金屬)에서 ion 化傾向이 큰 金屬(即, 電位가 낮은 金屬)으로 電流는 導線을 通하여 흐르고, 自由電子는 反對로 ion 化傾向이 큰 金屬에서 ion 化傾向이 적은 金屬에 흘러간다. 따라서 ion 化傾向이 적은 金屬을 防蝕된다.

그림 1. 各種 金屬元素의 標準電位

白金(Pt)	+
金 (Au)	+1.38V

水 銀(2Hg)	+0.087V
銀 (Ag)	+0.7995V
銅 (Cu)	{ +0.525
	{ +0.3448
코 발 트(Co)	+0.278
니 켈(Ni)	+0.248
안 지 몽(Sb)	+0.2
水 素(H)	0
鐵 (Fe)	-0.0352
錫 (Sn)	{ -0.05
	{ -0.14
鉛 (Pb)	-0.1274
카 도 롬(Cd)	-0.3976
鐵 (Fe)	-0.4265
크롬(Cr)	{ -0.51
	{ -0.56
亞鉛(Zn)	-0.762
알루미늄(Al)	-1.55
마그네슘(Mg)	-1.69

Ion 化傾向
↑
↓
大



ion 化傾向이 큰 金屬 (低電位 金屬) (卑金屬) 陽極
ion 化傾向이 적은 金屬 (高電位 金屬) (貴金屬) 陰極

그림 2. 流電陽極法의 電池構成圖

이 原理에 依하여 鐵에 ion 化傾向이 큰 金屬인 Magnesium, 亞鉛, Aluminum 等を 接合시켜 兩者의 電位差를 利用하여 鐵에 防蝕電流를 흘리는 方法을 流電陽極法이라고 稱한다.

流電陽極法에 있어서 陽極(ion 化傾向이 큰 金屬)으로는 一般으로 亞鉛, Magnesium, Aluminum 合金을 使用하고 있다.

流電陽極法은 港灣施設, 船舶 Boiler tank, Casing pipe, 水道管 等に 使用된다.

(1) Magnesium 合金에 依한 流電陽極法

이 方法은 美國에서 많이 使用되고 效果를 거두고 있다. Dow Chemical 社의 製品은 Al(6%), Z(3%), Mn(0.3%)를 含有하고 있는 不純分이 極히 적은 Magnesium 合金으로 效率이 좋은 陽極이다.

(2) 亞鉛에 依한 流電陽極法

流電陽極으로서 亞鉛을 使用하고 있는 것은 일찍부터 實施되어 왔고, Boiler zinc 또는 Zinc plate 로 알려져 있다. 그러나 이 Boiler zinc 로서 滿足할만한 防

蝕效果를 거두지는 못하고 있으나, 最近 研究發表에 의하면 그림 3에 表示됨과 같이 高純度の 亞鉛일수록 長期間에 이르고, 防蝕效果도 顯著함이 判明되었다.

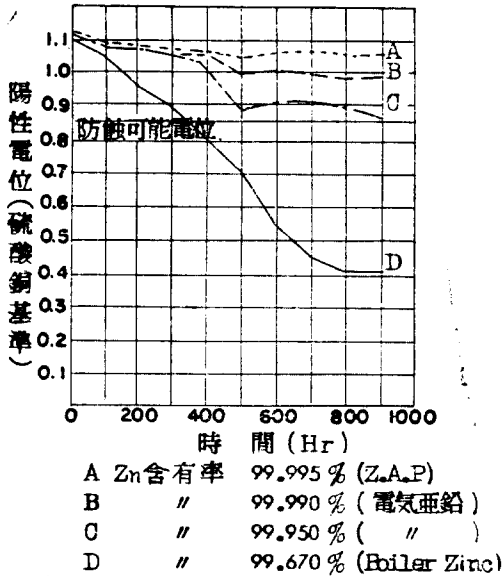


그림 3. 亞鉛陽極防蝕效果圖

그 결과 最近에 있어서 流電陽極으로서 高純度の 亞鉛을 使用하게 되었다. 그의 代表的인 流電陽極으로서 는 日本製로서 CPZ(三菱金屬製品) 및 ZAP(三井金屬製品)이 著名하며, 어느 것이나 亞鉛의 純도가 99.99% 以上이다.

(3) 알미늄의 有效發生電氣量이 他種의 陽極材에 比하여 2~3배이고, 比重이 가벼워 옛날부터 注目 되어온 陽極材이나, 表面에 被막이 생겨 繼續 電氣量을 發生할 수가 없는 것이 缺點이기 때문에 過去에는 거의 使用되지 않았지만, 最近 研究開發되어 缺點이 제거되었으므로 가장 有望하고 經濟的인 陽極으로 주목을 나타내게 되었다. 一般적으로 大施設에는 外部電源式이 經濟的이라는 기준까지의 通念을 뒤엎게 되었다.

(4) 各種 陽極의 比較

表 1. 各種 陽極의 特性比較

種 類	마구네 순금	亞鉛合金	Al合金
陽極 開路 電位(-V)	1.55	1.05	1.10
有效 電 壓(V)	0.65	0.2	0.25
理論發生電氣量(A·n/g)	2.21	0.82	2.88
電 流 効 率(%)	55	90	80
有效電氣量(A·n/g)	1.22	0.74	2.34
消耗 率(Kg/A·Yr)	7.2	11.8	3.8
比 重	1.84	7.2	2.8

流電陽極으로서 Mg, Zn, Al의 性能을 比較하면 表 1과 같다.

다. 外部電源式

電解液(海水, 淡水)中에 2個의 電極을 浸漬하고 그림 4와 같이 結線하여 外部에서 直流電流를 通하면 自由電子는 陽極에서 陰極(被防蝕物)으로 흘러가기 때문에 金屬은 防蝕된다.

이와 같이 外部의 電源에서 直流電流를 흘려서 陰極인 鐵을 防蝕하는 方法을 外部電源法이라고 稱한다.

外部電源法의 陽極으로서는 消耗性인 古鐵(파이프, 鐵板, 레일, 鑄鐵)과 比較的 消耗性이 적은 黑鉛, 硅素鑄鐵, 硫性酸化鐵 및 鉛銀合金電極 등이 있으며, 永久電極으로는 白金合金電極이 使用되고 있다. 白金電極은 아직은 高價이므로 選擇에 신중을 기하여야 할 것이며, 一般적으로 經濟的인 面을 考慮하여 鉛銀合金電極을 많이 使用하고 있다.

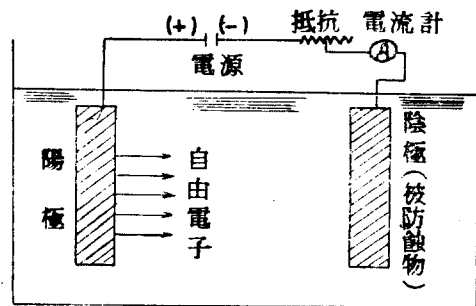


그림 4 外部電源式의 結線圖

不溶性의 陽性을 使用할 境遇는 陽極의 消耗가 大端히 적으나, 外部電流의 電壓을 크게 할 必要가 있다.

一般적으로 外部電源法은 陽極의 消耗率이 적고 또한 廉價인 陽極을 使用할 수 있기 때문에 流電陽極法과 比較하면 大施設에 對해서는 大端히 經濟的으로 電氣防蝕을 施工할 수 있는 境遇가 많다.

外部電源法은 港灣施設의 鋼넬말뚝의 防蝕에 많이 利用되며 大端한 成果를 올리고 있다.

Ⅲ. 鋼넬말뚝工法의 長短點

가. 鋼넬말뚝工法의 利點

鋼넬말뚝은 一時的으로 反覆使用의 用途에도 使用하나, 海水中 또는 土壤中의 恒久施設의 用途에도 많이 使用되고 있다. 一時的으로 反覆使用하는 境遇는 使用回數 및 耐用年數가 他材料에 比하여 大端히 크고 또한 強度도 大端히 強하고 水密性이 良好한 것이 特徵이다. 또 恒久施設에 鋼넬말뚝을 使用하는 鋼넬말뚝工法은 다음과 같이 大端히 有利한 特徵이 있다.

- (1) 建設費가 廉價임
- (2) 工期가 短縮된다.
- (3) 施工이 確實하고 合理的임
- (4) 建設場所의 制限이 없음
- (5) 地盤土質의 制限이 없음

恒久施設에 鋼널말뚝工法을 採用함으로써 上記와 같은 大端히 有利한 點이 있으므로, 岸壁, 護岸의 港灣施設에는 널리 鋼널말뚝工法이 採用되고 있다. 또 新製品인 直線型 鋼널말뚝을 港灣施設의 恒久施設에 많이 使用하고 있다.

이 直線型 鋼널말뚝을 歐美諸國에 있어서 發達하고 있는 圓型圈堰工法에는 가장 適合한 鋼널말뚝으로서 水深이 깊은 岸型 및 土質이 나쁜 場所에도 廉價로 또한 確實한 施工을 할 수 있다. 또 錯錠板, 錯錠釘等の 工事は 全然 必要치 않은 것이 特徵이다.

우리 나라에서도 이 直線型 鋼널말뚝을 使用한 Coffer Dam 및 永久構造物의 一部와 施工 또는 設計되어 進行中이므로 建設技術에 있어서도 歐美諸國과는 같은 水準으로 보기는 困難하지만 앞으로 遜色없는 施工이 期待된다.

2) 鋼널말뚝의 腐蝕에 對하여(短點)

鋼널말뚝은 一般的으로 海中 또는 土壤中에 세워서 使用하고 있는 까닭으로 腐蝕의 좋은 條件下에 있다.

鋼널말뚝을 一時的으로 反覆使用할 境遇 또는 恒久的 施設에 使用할 境遇이나, 腐蝕은 鋼널말뚝의 強度를 漸次低下시켜 耐用年度가 短縮된다. 特히 恒久的 施設에 對한 鋼널말뚝의 腐蝕이 大端한 缺點이고 鋼널말뚝으로서의 最大의 缺點이 되어 있다.

海水中에 있는 鋼널말뚝의 腐蝕이 가장 많이 調査研究되어 있으나, 一般的으로 腐蝕量은 腐蝕率로서 表現되어 測定되고 있다. 海水中의 自然의 狀態下에 있어서의 腐蝕率은 普通 0.0008~0.005 in/year(0.02~0.13 mm/year) 程度임. 그러나 實際狀態에 있어서는 鋼널말뚝의 表面에 異物의 附着 및 表面의 粗雜 등으로 局部的 腐蝕이 생겨 所謂 孔蝕(pitting) 現象을 일으켜

鋼널말뚝의 一部分이 甚히 浸蝕되는 일이 있다.

孔蝕의 腐蝕率은 種種의 條件에 따라 相違하나, 一般的으로 0.01~0.03 in/year(0.254~0.762 mm/year) 程度임.

孔蝕은 局部的 또는 短時日에 大端한 影響을 주나 長期間에 亙하여 큰 孔蝕의 腐蝕率로서 腐蝕되어가지는 않는다고 生覺된다. 長期間의 鋼널말뚝의 腐蝕率은 孔蝕을 考慮해서 0.005 in/year(0.13 mm/year)에 가까운 數值로 生覺하면 妥當하다.

IV. 鋼널말뚝의 電氣防蝕에 對하여

가. 鋼널말뚝의 防蝕에 對하여

鋼널말뚝을 恒久的 施設로 使用하려 할 境遇에는 前記와 같이 有利한 長點이 있으나 또한 短點도 있다. 鋼널말뚝工法의 最大의 短點은 鋼널말뚝이 腐蝕되어 耐久年數가 다른 Concrete 工法에 比較해서 짧다.

恒久施設에 使用하고 있는 鋼널말뚝의 腐蝕을 防止 또는 輕減할 수 있다면 鋼널말뚝工法의 唯一한 缺點이 除去되어서 長點인 工事費低廉, 工期短縮, 施工의 確實 等の 優秀性을 점점 發揮하게 됨으로 鋼널말뚝工法은 점점 發展하게 될 것으로 생각된다.

鋼널말뚝의 防蝕에 대해서는 各分野別로 研究되고 있다. 現在 鋼널말뚝은 優秀한 鹽基性 平爐鋼에서 製造되어 銅의 包有量이 높고 含銅鋼으로서 一般鋼材보다 防蝕性이 良好하다.

그러나 含銅鋼으로서의 防蝕效果에는 限度가 있고 完全한 防蝕은 기대되지 않고 腐蝕을 輕減할 效果에 지나지 않는다. 또 鋼널말뚝 表面에 塗料로서 칠하는 것도 一時的의 防蝕效果에 지나지 않으며, 完全 防蝕은 期待키 困難하다.

따라서 恒久施設의 鋼널말뚝을 完全防蝕하는 方法은 徒來에는 그리 考慮되지 않았다. 最近에 있어서 電氣防蝕法이 急速히 發展하여 港灣施設에 鋼널말뚝을 많이 使用하게 됨으로 鋼널말뚝의 完全防蝕이 論議되고 또 可能하게 되었다.

表 2. 外部電源法과 流電陽極法과의 比較表

外 部 電 源 法	流 電 陽 極 法
電氣를 얻기 쉬운 場所 大規模 施設에 有利	電氣를 얻기 곤란한 場所에도 有利 小規模 施設에 有利
腐蝕이 심하고 大電流가 必要한 場所 土壤水中의 比抵抗이 높은 곳 設備費가 약간 높다. 維持費가 大端히 적다. 維持管理가 必要	(AI 陽極의 發達로 大施設에도 經濟的으로 有利한 경우가 있음) 比較的 小電氣로서 足한 場所 比抵抗이 比較的 낮은 곳 設備費가 廉價임 電極의 소모가 크므로 維持費가 高價임 維持管理가 不必要

나. 鋼널말둑과 電氣防蝕과의 關連性

最近에 있어서 電氣防蝕은 港灣施設의 鋼널말둑을 施工하여 大端히 良好한 防蝕效果를 올리고 있다. 따라서 많은 長點을 가지고 있는 鋼널말둑工法에 電氣防蝕法을 併用하게 됨으로서 鋼널말둑工法의 最大의 缺陷인 鋼널말둑의 腐蝕을 除去하게끔 되었으므로 港灣施設 等의 恒久的 施設에는 점점 많이 鋼널말둑工法이 採用하게 될 것으로 크게 期待된다. 將來 鋼널말둑工法과 電氣防蝕法과의 併用은 점점 많아지고 그 關連性도 깊어질 것으로 생각된다.

鋼널말둑의 電氣防蝕法에는 外部電源法과 流電陽極法의 두 가지가 있음은 이미 說明한 바와 같으며, 이 兩方法을 比較하면 表 2와 같으며, 被防蝕體 및 防蝕條件 等의 狀況에 의해 有利한 方法이 採用되어야 할 것이다.

다. 鋼널말둑의 電氣防蝕의 經濟性과 利點

恒久施設의 鋼널말둑은 電氣防蝕을 施工함으로써 인하여 鋼널말둑의 耐久年數가 顯著히 增加된다.

鋼널말둑의 腐蝕率은 普通 0.13 mm/year 程度이나 電氣防蝕을 施工하면 顯著히 腐蝕率이 떨어져 0.002 mm/year~0.02 mm/year 程度가 된다. 設令 腐蝕率을 0.02 mm/year 라고 해도 電氣防蝕에 의한 防蝕效果는 約 8倍의 耐用年數를 增加하게 된다. 또 年平均值의 0.01 mm/year의 腐蝕率의 境遇에는 約 16倍의 耐用年數가 增加하게 된다.

一般적으로 恒久施設의 鋼널말둑의 耐用年數는 30~50年이나, 電氣防蝕을 施工함으로써 인하여 前記의 計算보다 250年 以上の 耐用年數가 된다. 比較的 條件이 좋은 場所에 正確한 防蝕設計, 施工을 하였을 경우에는 2,500年 程度의 耐用年數를 가질 수 있는데, 電氣防蝕의 施工에 의해 鋼널말둑의 腐蝕은 이미 考慮할 必要性이 없게 되었다.

外部電源法의 電氣防蝕을 施工한 某棧橋의 例를 들면 電氣防蝕의 設備費는 岸壁建設費의 約 10% 程度이고 電氣防蝕의 維持管理費는 1年間에 있어 電氣防蝕設備費의 10% 程度이다.

表 3 電氣防蝕의 經過年數에 대한 防蝕費

經過年數	電氣防蝕經費 (岸壁建設費에 대한 比率)	非防蝕의 경우 建設費	備 考
10 年	14 %	100 %	1. 電氣防蝕經費에는 防蝕設備費, 電力費, 管理費 및 設備의 보수, 更新 等의 一切 經費를 包含함. 2. 岸壁建設費를 100%로 한 비교이며, 電氣防蝕時의 200年後의 總費用은 150%이고, 非防蝕時는 700%가 所要됨.
20 年	17 %	100 %	
30 年	20 %	200 %	
50 年	26 %	200 %	
100 年	36 %	400 %	
150 年	43 %	500 %	
200 年	50 %	700 %	

따라서 電氣防蝕施工分의 經過年數에 對한 防蝕費는 表 3과 같이 되므로 電氣防蝕施工法은 大端히 經濟的으로 有利하다.

또 一般으로 恒久的 施設의 鋼널말둑은 電氣防蝕으로 施工하면 다음과 같은 利點이 있다.

- (1) 新設 및 既設의 鋼널말둑의 腐蝕을 防止하고 耐用年限이 大幅 增大된다.
- (2) 新設의 境遇에는 使用鋼널말둑의 型을 變更할 수 있으므로 重量이 輕減된다.
- (3) 施工이 比較的 簡易하고 또 低廉하다.
- (4) 防蝕施設의 管理가 容易하다.
- (5) 防蝕施設의 耐用年數가 길다.
- (6) 防蝕電流가 적고 또 低電位이기 때문에 消費電力이 僅少하고 또한 安全하다.
- (7) 全面的으로 防蝕效果가 있고 또 防蝕效果는 經過時間과 같이 점점 完全하다.

(8) 塗裝을 併用하면 優秀한 效果를 가질 수 있다.

라. 鋼널말둑의 電氣防蝕의 實例

歐美各國에서는 거의 防蝕施設을 함으로 實例를 들을 必要조차 없어 省略함.

電氣防蝕法은 比較的 옛날부터 實施하여져 온 防蝕法이나, 初期에 있어서는 流電陽極에 使用된 Zn의 品質이 不適當하였기 때문에 防蝕效果가 顯著치 않고 많은 批判이 되고 發達 및 普及이 늦어졌다.

V. 結 論

最近은 Zn의 純度の 向上, Mg, Al 合金의 使用 및 外部電源法의 發達에 의해 電氣防蝕法의 防蝕效果가 大端히 向上해졌고, 또 施工法이 改良 進步하였으므로 經濟的으로도 大端히 有利하게 되어 電氣防蝕法은 急速히 發展普及되게 되었다. 특히 恒久施設의 鋼널말둑의 電氣防蝕의 效果는 顯著하며, 또한 施工이 比較的

(67페이지에 계속)