

<技術解説>

地下埋設 鐵鋼體의 腐蝕과 陰極防蝕法*

田 大 熙
韓國海洋大學校

Corrosions and Cathodic Protection Methods of the
Undergrounded Steel Structures

Dae Hi Jeon

1. 序 說

鐵鋼은 腐蝕되기 위한 最大缺點이 있으나 強度가 높고 값이 싸므로 船體, 機關, 機械 등의 主材料로 뿐만 아니라 水道管, 石油送輸管 등으로도 널리 使用되고 있다. 또 近年부터는 比較的 腐蝕性이 강한 環境에 使用되는 土木建築關係의 基礎말뚝, 鋼鐵板 등의 地中埋設施에 까지도 많이 利用되고 있다.

地中에 埋設된 鐵鋼體는 電解腐蝕, 大電池腐蝕, 微生物腐蝕, 高溫腐蝕 등에 의해서 그 한 部分(陽極部)만이 他部分에 比해서 대단히 빨리 局部腐蝕되므로 短時日內에 그 全施設이 못쓰게 되는 경우가 생긴다. 그러므로 이들에 대해서는 다음과 같은 防蝕法이 單獨으로 혹은 두 方法이 併用的으로 利用되고 있다.

1.1 被覆法

(1) 塗裝法: 이것은 Zinc Rich系, Epoxy Tar系, Polyurethane系 등의 塗料로 腐蝕原因인 물과 酸素를 被防蝕體에 接하지 못하게 하는 防蝕法이다.

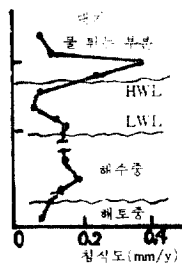


Fig. 1 海岸鋼말뚝 侵蝕度

이 方法은 塗膜缺陷이 생기면 그 곳이 集中腐蝕되므로 이 點에서는 Zinc Rich系가 가장 좋으며, 一般적으로 塗裝法에 電氣防蝕法을 併用하는 것이 經濟的이다. 또 塗膜의 密着과 缺陷에는 塗料種類, 下地處理, 塗裝法, 乾燥法 등의 영향이 크므로 이들을 適切히 選擇하여야 效果가 크다.

(2) 콘크리트 卷立法: 이것은 塗料 代身에 高抵抗인 콘크리트(10,000~40,000Ω-cm)를 6cm 以上の 두께로 被覆해서 防蝕하는 方法이며, 水面 가까이와 같이 他防蝕法으로는 防蝕시키기가 困難한 處에 適用하므로 他防蝕法과 併用하여야 한다.

콘크리트 卷立法은 施工後에 內面이 腐蝕되거나 20A/m² 以上の 電流가 加해지면 龜裂되기 쉬우므로 注意가 必要하다.

1.2 電氣化學的 防蝕法

이것은 金屬을 電氣化學的으로 그 安定域이나 不動態域으로 가져가서 防蝕하는 方法이며, 陰極防蝕法과 陽極防蝕法으로 나눌 수 있다.

地中の 鐵鋼體에 대해서는 陰極防蝕法(強制排流法)이 利用되고 있으며, 이는 流電陽極法과 外部電源法으로

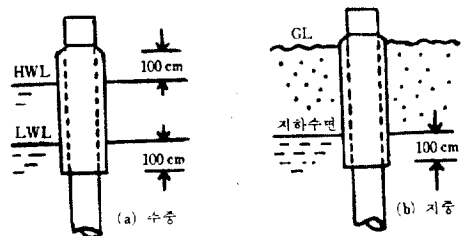


Fig. 2 콘크리트 卷立 要領

* 韓國腐蝕學會 1977年度 春季學術講演會(蔚山工大)에서 發表

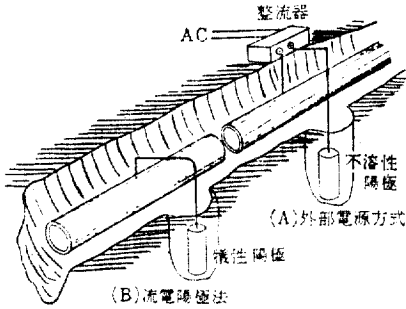


Fig. 3 陰極防蝕法

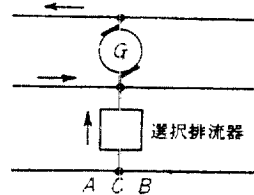


Fig. 4 選擇排流法

로 다시 나눌 수 있다. 또 特殊한 경우로서 干涉電流에 의해서 腐蝕되는 金屬에 대해서는 選擇排流法(Bonding Method)이 利用되고 있다.

水中이나 地中の 金屬防蝕에 있어서 陰極防蝕法은 가장 確實하고 가장 經濟的인 防蝕法으로 定評받고 있다.

本稿에서는 地下 埋設 鐵鋼體의 典型的인 腐蝕例를 들고, 이들의 防蝕法의 主流를 이루고 있는 陰極防蝕法에 대해서 豫備調査法, 防蝕計劃法, 防蝕設計法 및 防蝕施設의 事後管理法의 大要를 說明한다.

2. 地中埋設 鐵鋼體의 典型的 腐蝕例

2.1. 電蝕(電解腐蝕)

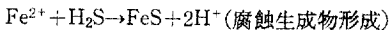
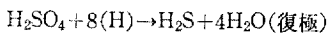
直流를 使用하는 電鐵 등에서 大地中에 漏入하는 迷走電流에 의한 腐蝕이며, 電鐵에 의한 電蝕(Fig. 5)과 干涉에 의한 電蝕(Fig. 6)으로 나눌 수 있다.

2.2 大電池腐蝕

材質이나 埋設環境 등의 部分的差에 의해서 形成되는 電池腐蝕이며, 酸素濃談電池腐蝕(通氣差 電池腐蝕)과 異種金屬 接觸腐蝕이 代表的이다.

2.3 微生物腐蝕

地中の 鐵鋼腐蝕에서 가장 問題가 되는 微生物은 嫌氣性的 黃酸鹽 還元박테리아이며, 通氣가 不良한 地中에서 다음의 復極作用을 하기 때문에 腐蝕을 促進한다.



이 박테리아는 河川, 湖, 海 등의 底土中 뿐만 아니라 一般自然土中에 널리 서식하고 있으며, 砂層이나 石岩層에는 거의 없다. 이 菌의 最適生活條件은 30~35°C, pH 6.5~7.2의 3% NaCl 溶液中이다.

2.4 高溫腐蝕

重油나 熱湯의 輸送管과 같은 高溫埋設管에 發生되는 異常高速腐蝕이며, 對地電位가 -400mV(SCE)程度

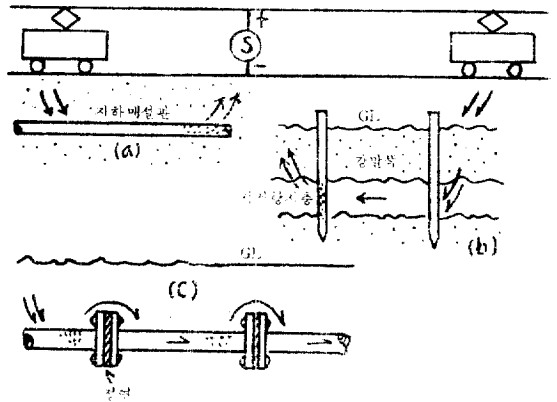


Fig. 5 電鐵에 의한 電蝕例

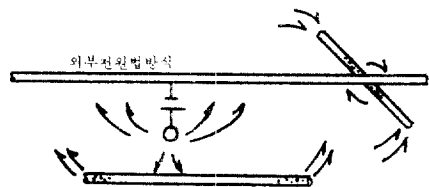


Fig. 6 干涉에 의한 電蝕

이다.

이 腐蝕은 ZRP를 10~15μ程度로 칠하고 電氣防蝕法으로 그 電位를 -900mV(SCE) 程度로 낮추어 주변 防止된다.

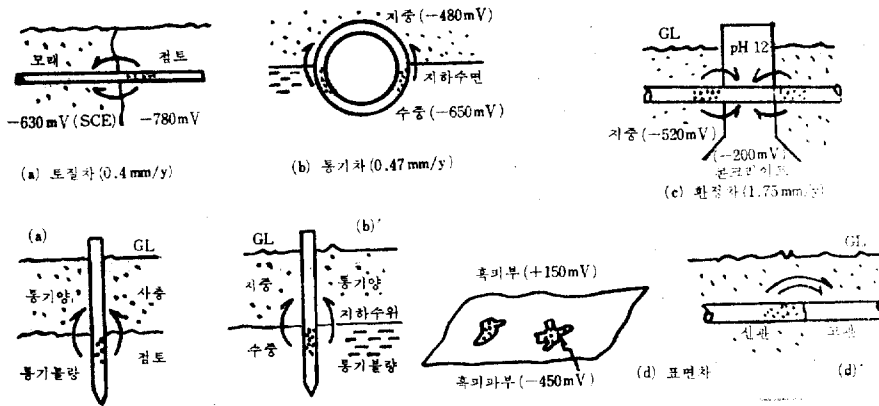


Fig. 7 大電池腐蝕例

3. 豫備調査法

地中に埋設된 鐵鋼體를 陰極防蝕하러 할때는 一般적으로 다음과 같은 項目의 豫備調査를 하여야 하며, 特히 工場排水등이 流入할 때는 그 變化와 影響까지도 調査하여야 한다.

3.1 比抵抗 測定

比抵抗이 적은 土中이나 水中에는 鹽素이온, 金屬이온 등이 많으므로 그러한 環境은 鐵鋼에 대해서 一般적으로 腐蝕性이 强하다. Table 1은 美國과 蘇聯에서 調査한 鐵鋼의 侵蝕度와의 關係이다.

Table 1 土壤의 比抵抗과 鐵鋼의 侵蝕度 關係

腐蝕性 程度	侵蝕度 (mm/y)	土壤의 比抵抗 (Ω-cm)	
		美 國	蘇 聯
대단히 심함	>1.0	0~100	0~500
심 함	0.2~1.0	100~1000	500~2000
보 통	0.05~0.2	1000~6000	2000~10000
적 음	<0.05	>6000	>10000

比抵抗의 測定은 海水나 淡水에 대해서는 電導度計, 地表面 가까운 土壤에 대해서는 大地比抵抗測定計 (4極法), 地中の 상당히 깊은 곳의 土壤에 대해서는 Corrosion Sound 測定計 (Norway, Rosenqvist)로 測定한다.

3.2 pH 測定

鐵鋼에 接한 電解質液의 pH가 낮을수록 酸性이 强하므로 pH가 낮을수록 一般적으로 그에 接한 金屬의 腐

蝕은 심하다. 그러나 最大깊이의 孔蝕은 오히려 알카리 側에서 잘 생긴다.

pH는 pH紙와 pH meter로 測定한다. pH meter法은 그 土壤을 2.5배의 蒸溜水에 넣어서 攪拌하고 數時間 後의 그 上澄液에 대해서 測定하여야 한다. 그러므로 現場用으로는 pH紙法이 便利하다.

3.3 레독스電位 (Redox Potential) 測定

이것은 嫌氣性 박테리아가 生育할 수 있는 環境인가를 判斷하는 試驗이며, 이 電位가 낮을수록 一般적으로 微生物腐蝕이 심하다.

이 電位는 埋設된 土壤中에서 測定한 白金正極의 電位 E_p , mV(SCE)와 土壤의 pH를 測定해서 다음式으로 計算 (Roger E. McVey)하며, 腐蝕性과의 關係는 Table 2와 같다.

$$E_a = E_p + 247 + 59(\text{pH}-7) \\ \approx E_p + 250 + 60(\text{pH}-7), \text{ mV(NHE)}$$

3.4 分極試驗

이것은 주어진 環境에서의 防蝕電流密度를 測定하는 試驗이다. 이 試驗은 試驗片을 그 環境에 浸漬하여 電流密度를 0에서 서서히 上昇시켜서 그 電流密度에 대한 試驗片의 陰極分極電位의 關係를 Fig. 8과 같이 求

Table 2 레독스電位와 腐蝕性 關係

레독스電位 mV(NHE)	微生物 腐蝕性
<100	대단히 심함
100~200	中 程 度
200~400	輕 度
>400	無 腐 蝕

하고, 그 陰極分極電位가 급작히 下降되는 屈曲點*의 電流密度를 그 環境에서의 防蝕電流密度로 보는 것이다. 防蝕電位는 中性環境中の 鐵鋼에 대해서 -770mV (SCE), 黃酸鹽還元박테리아가 번식하고 있는 環境에서 -870mV (SCE)程度로 보고 있다.

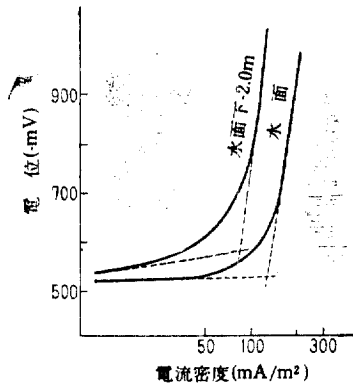


Fig. 8 分極曲線上的 防蝕電流 密度

3.5 通電試驗

이것은 分極試驗에서 얻은 防蝕電流密度의 妥當性을 確認하는 試驗이며, 防蝕하려는 環境中에 埋設한 2枚의 試驗片에 대해서 한 쪽은 分極試驗에서 얻은 防蝕電流를 通하고 다른 쪽은 無防蝕狀態로 두었다가 1週日 혹은 10日後에 侵蝕度와 防蝕率을 求한다.

3.6 電流分布狀態 測定

이것은 地中埋設物에 대해서 迷走電流의 有無와 그 流出入의 關係를 確認하는 試驗이다.

中性環境中の 鐵鋼의 自然電位는 $-450\sim-650\text{mV}$ (SCE)이나 直流電流의 流出入이 있으면 그 電流에 의해서 分極되므로 電流가 流入하는 部分은 陰分極에 의

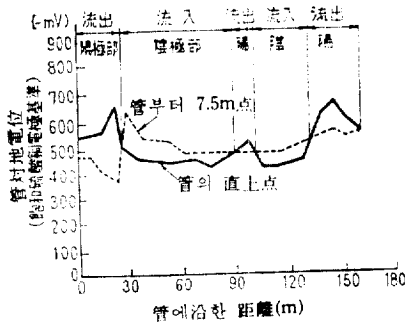


Fig. 9 埋設管의 對地電位 分布

해서 電位가 負側으로, 電流가 流出하는 곳은 陽分極에 의해서 電位가 正側으로 變한다. 그러므로 埋設物의 1點의 對地電位를 埋設物의 直上點과 그 點에서 一定거리(보통 7.5m) 떨어진 他點에서 測定하면 電流가 地中을 通할때 土壤抵抗에 의해서 電位降下가 생기므로 電流의 流出部(陽極部)에서는 Fig. 9와 같이 直上點이 他點보다 負電位로 되고 流入部(陰極部)는 그 反對로 된다.

4. 防蝕計劃法

4.1 被防蝕面積과 防蝕電流密度의 決定

被防蝕面積은 比抵抗이 다른 部分에 연해서 埋設되었다면 그 部分別로 나누어서, 例를 들면 海岸의 鋼架는 海水에 닿는 部分과 海土中에 닿는 部分으로 나누어서 計算하여야 하고, 콘크리트 卷立部와 鋼管内面(海水에 接하지 않을 때)은 被防蝕面積에 算入하지 않는 것이 普通이다.

防蝕電流密度는 比抵抗이 다른 各部分마다 實測하여야 하나, 實測하지 않았다면 Table 6과 같은 經驗値를 利用한다.

4.2 防蝕法の 選定

이것은 被防蝕施設의 規模, 構造, 環境, 他埋設體와 의 關係 등을 檢討하고 初期施設費, 維持費, 保守管理 등을 考慮해서 實用可能하고 經濟的인 防蝕法을 選定하는 것이다.

例를 들면 地中에 많은 다른 埋設物이 있는 곳에는 기타의 條件이 잘 具備되어도 外部電源法을 使用할 수 가 없기 때문에 流電陽極法이나 選擇排流法을 採用하여야 한다. 그러나 他埋設物에 대한 影響이 거의 없는 곳이라면 大電流가 必要한 施設이고 電源도 쉽게 求할 수 있을 때는 外部電源法을 採擇하는 것이 가장 좋다. 또 外部電源法을 採用할 때도 比較的 小規模의 施設이라면 電力이 좀 많이 드나 防蝕施設이 簡單한 單式變壓法을 採擇하고, 大規模의 施設에는 複式變壓法을 採用하는 것이 좋다. 또 腐蝕되고 있는 施設이 이에 干渉하는 다른 施設보다 高電位일 때는 選擇排流法을 採用하는 것이 簡便하고 效果도 좋다. 그러나 埋設體가 電鐵을 橫斷하는 경우는 選擇排流法을 採用하면 迷走電流가 오히려 增加되므로 排流點의 遠方地點에 過防蝕의 障害가 생기므로 이러한 경우에는 電鐵橫斷地點의 對地電位에 따라 그 大地와 埋設體間에 電壓을 加해서 大地電位를 낮추어주는 所謂 加壓消去法을 採用하는 것이 좋다고 한다.

그러므로 都心地나 工場地帶와 같이 많은 埋設體가 共存하는 곳에는 다른 埋設體에 대한 被害와 經濟性을

* 屈曲點은 酸素消耗型 腐蝕일 때에 明確하고 水素發生型 腐蝕이나 通氣가 나쁜 곳의 腐蝕에서는 明確하지 않다. 後者の 경우는 直線部分을 延長해서 交點을 求한다.

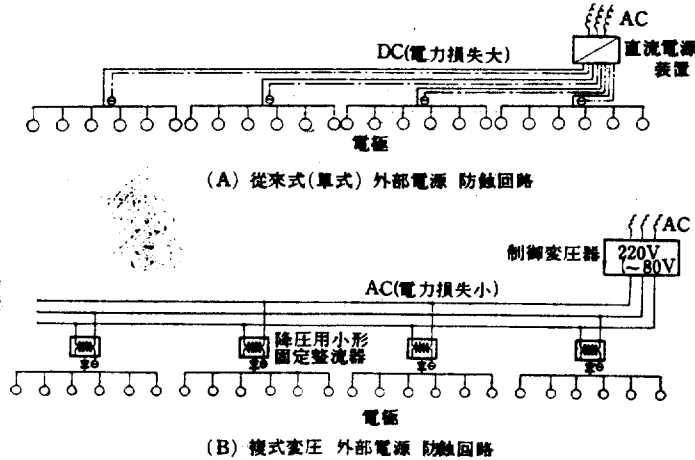


Fig. 10 單式變壓法과 複式變壓法의 比較

考慮해서 各施設主가 共同防蝕委員會를 組織해서 協同해서 防蝕하는 것이 바람직 하다.

4.3 電極의 種類와 크기 決定

流電陽極法을 使用할 때는 比抵抗이 2,000Ω-cm 以下の 곳이라면 Al合金陽極이나 Zn合金陽極(汚染海水中 以外에는 Al合金陽極보다 不利)을, 그 以上の 比抵抗의 곳에는 Mg合金陽極을 使用하여야 하고, 그 크기는 計劃期間中の 效能을 充分히 發揮할 수 있는 것을 選定하여야 한다.

不溶性陽極을 使用하려 할 때는 海水中이라면 鉛銀合金電極이나 白金鍍金Ti電極을 使用하고 土中이라면 磁性酸化鐵電極이나 硅素鑄鐵電極을 使用하는 것이 一般의이며, 그 크기는 計劃期間中에 계속해서 所要防蝕

電流을 流出시킬 수 있어야 한다.

Table 3 Al合金 流電陽極 치수와 性能(例)

치 수(mm)	重 量 (kg)	有效電氣 量(A·yr)	發生電 流(A)*	壽命 (yr)
90×(75+95)×1000	20	5.3	1.0	5
160×(140+180)×500	36.3	9.2	0.9	10
12×(110+130)×1250	49.6	12.0	1.3	10
120×(90+130)×2000	69.6	18.3	1.8	10
235×(210+270)×500	78.2	20.4	1.0	20
190×(170+210)×1000	96.2	25.3	1.2	20

* 有效電位差 0.25V, 比抵抗 30Ω-cm의 경우

Table 4 不溶性 陽極의 치수와 發生電流(例)

電 極	치 수 mm (型名)	最小發生電流(A)	最大發生電流(A)
鉛銀合金陽極(海水中)	25φ×250l(Pb-A9)	5.0*	10.0
	25φ×400l(Pb-A12)	8.0*	12.5
	25φ×550l(Pb-A15)	10.0*	16.0
磁性酸化鐵陽極	58φ×820l(약 15dm ²)	土中 2A	海中 50A

* 通電初 PbO₂의 化成에 必要한 電流, 土中には 이 電極이 不適

또 埋設環境의 比抵抗이 높을 때는 電極을 Backfill로 싸서 陽極의 接地抵抗을 減少하여 發生電流을 增加시켜야 한다. 流電陽極用 Backfill은 Bentonite, 石膏(CaSO₄), 芒硝(Na₂SO₄)을 配合(75:20:5)한 것이고 比抵抗이 50Ω-cm 程度이며, 不溶性陽極用은 코우크스粒에 消石灰을 添加(土質에 따라 食鹽이나 알카리도 添加)한 것이고 比抵抗은 10Ω-cm 以下이다.

細長한 埋設物에 대한 電極의 施設間隔과 被防蝕體와의 距離는 全被防蝕體에 대해서 防蝕電位 以下の

Table 5 Backfill 치수 (Mg合金陽極 例)

電極 크기	Backfill 크기
3''×3''×8''	5.25''φ×11.25''
5''×5''×20.5''	8.5''φ×28''
7''×7''×16''	10''φ×24''

良好한 電位分布가 되게 配置하여야 한다. 이 觀點에서 小容量의 多數의 電極을 使用해서 좁은 間隔과

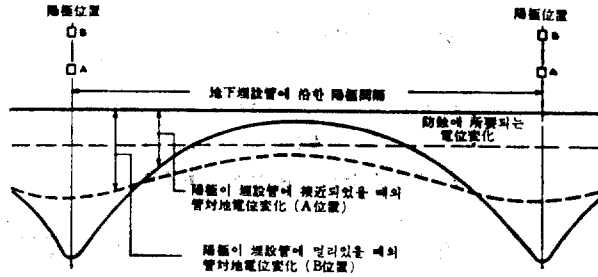


Fig. 11 埋設體에 대한 陽極의 位置와 電位分布 關係

거리로 配置하는 것이 좋으나 施設費의 見地에서 그렇게 할 수가 없으므로 그 周圍環境에 따라 適當한 容量의 電極을 採用해서 經濟的인 位置에 設置하여야 한다 그러나 이 問題에 관해서는 아직 理論的 解釋이 不足하다.

4.4 기타 計劃

(1) 鋼鐵板이나 鋼말뚝 등의 被防蝕體는 電氣的으로 一體가 되도록 13~16mmφ의 鋼棒으로 서로 鎔接 連結해서 bonding하여야 하며, 必要에 따라서는 熱膨脹의 여유로서 U bonding을 混用한다.

(2) 流電陽極法에서의 排流線과 外部電源法에서의 負端子線은 22~25mmφ의 中鋼棒을 被防蝕體의 電位測定用 端子線에는 13~16mmφ의 鋼棒을 鎔接에 의해서 確實하게 連結한다.

(3) 電氣防蝕에 利用되는 電極리이드線에는 1.6mmφ 以上, 기타配線에는 2mmφ 以上の 2重被覆線(600V 비닐絶緣線에 클로로프렌, 비닐, 혹은 폴리에틸렌으로 外裝한 것)을 使用하여야 하고, 配線의 接續部에는 에폭시樹脂로 水密되게 하여야 한다.

(4) 被防蝕體의 防蝕程度를 確認하기 위해서 防蝕·無防蝕의 2種의 試驗片을 被防蝕體와 같이 埋設하였다가 定時日後에 調査하여 보는 것이 좋다.

5. 電氣防蝕의 設計要領

5.1 流電陽極法

(1) 所要防蝕電流(I, A)

$$I = iM \dots \dots \dots (1)$$

但, i : 所要防蝕電流密(A/m²)

M : 被防蝕體(陰極)表面積(m²)

(2) 陽極(流電)의 發生電流(I_p, A)

$$I_p = \Delta E / (R_p + R_c + R_w) \approx \Delta E / R_p \dots \dots \dots (2)$$

但, R_p, R_c, R_w : 陽極과 陰極(被防蝕體)의 接地抵抗(Ω) 및 回路導線의 抵抗(Ω)

ΔE : 被防蝕體에 대한 流電陽極의 有效電位差(V)

流電陽極을 垂直으로 設置하였을 경우는 R. Pope式에서

$$R_p = \frac{\rho}{2\pi L} (2.3 \log \frac{8L}{d} - 1) \dots \dots \dots (3)$$

또 Back-fill에 쌓서 垂直으로 埋設하였을 경우는

$$R_p = \frac{2.3}{2\pi L} \rho' \log \frac{d'}{d} + \frac{\rho}{2\pi L} (2.3 \log \frac{8L}{d} - 1) \dots (4)$$

但, R_p : 比抵抗 ρ Ω-cm의 곳에서의 流電陽極의 接地抵抗(Ω)

ρ, ρ' : 土壤(물)과 Back-fill의 比抵抗(Ω-cm)

Table 6 所要防蝕電流密度*

被防蝕體	環 境	比抵抗(Ω-cm)	塗 裝 程 度	防蝕電流密度(mA/m ²)
鋼鐵板 및 鋼말뚝	海 水 中 海 土 中 陸 土 中		裡 面	80~120(100)
			"	12~ 25 (20)
			"	5~ 15 (10)
埋 施 管	土 中	<300 300~1000 1000~5000 5000~10000	裡 面	30~ 50
			"	20~ 30
			"	10~ 20
			"	5~ 10
			아스팔트	5~ 15
			타알에나멜, 그라스클로스 아스팔트마스틱	0.1~0.3 0.05~0.15

* 流電陽極 使用時의 값, 外部電源法의 경우는 電流密度分布 不均一으로 이보다 크게 됨.

Table 7 流電陽極의 特性 比較

特 性		純Zn, Zn合金	純Mg, Mg-Mn	Mg-6Al-3Zn	Al-Zn-In
比 重		7.14	1.74	1.77	2.83
開路電位 (V-SCE)		1.03	1.56	1.48	1.08
鐵에 대한 有効電位(V)		0.20	0.75	0.63	0.25
發生電氣量 理論值(Ah/g)		0.82	2.20	2.21	2.87
海水中 3mA/cm ²	電流效率(%)	95	50	55	80
	發生電氣量(Ah/g)	0.78	1.10	1.22	2.30
	消耗量(kg/A·Yr)	11.8	8.0	7.2	3.8
地 中 0.03mA/cm ²	電流效率(%)	65	40	50	65*
	發生電氣量(Ah/g)	0.53	0.88	1.11	1.86*

* 組成에 따라 變換.

d, d' : 流電陽極과 Back-fill의 直徑(cm)

L : 陽極 길이(cm)

地表面에서 $hcm(h > 10d)$ 깊은 곳에 水平으로 陽極을 設置한 경우는

$$R_p = \frac{\rho}{2\pi L} \left(2.3 \log \frac{4L}{d} + 2.3 \log \frac{L}{h} - 2 + \frac{2h}{L} \right) \dots\dots\dots(3')$$

또 Back-fill에 쌓여 地表面부터 $hcm(h = 10d')$ 의 곳에 水平으로 埋設한 경우는

$$R_p = \frac{2.3}{2\pi L} \rho' \log \frac{d'}{d} + \frac{\rho}{2\pi L} \left(2.3 \log \frac{4L}{d} + 2.3 \log \frac{L}{h} - 2 + \frac{2h}{L} \right) \dots\dots\dots(4')$$

海水中の 美海軍의 實驗結果에서

$$R_p = R_{36} \cdot \rho / 36 = 4\rho A^{-0.727} / 36 \dots\dots\dots(5)$$

但, R_{36} : 比抵抗 36Ω-cm 的 陽極의 接水抵抗
 A : 陽極의 表面積 (cm²)

或은 $I_p = I_{25} \times 25\rho \dots\dots\dots(6)$

$$\log I_{25} = \log(\Delta E) + 0.75 \log L + 0.28 \log d - 0.28 \dots\dots\dots(7)$$

但, I_p, I_{25} : 比抵抗 $\rho \Omega\text{-cm}$ 와 25Ω-cm 的 發生電流(A)

(3) 陽極의 所要個數(n) : 並列陽極의 경우 :

$$n = I / (I_p / k) \dots\dots\dots(8)$$

但, k : n 個의 並列陽極을 使用할 때의 相互干涉修正係數

直列陽極의 경우 : 그 全長의 한 個의 陽極으로 取扱

(4) 陽極의 豫想壽命(T_{yr})

$$T = 0.85 Q W / 8760 (I_p / k) = 0.85 W / (\omega I_p / k) \dots\dots(9)$$

但, Q, W, ω : 陽極 1個當의 發生電氣量(Ah/kg), 그 重量(kg) 및 그 消耗率(kg/Ag)

8760, 0.85 : 年間時間數 및 陽極有效利用率

5.2 外部電源法

(1) 所要防蝕電流 : 流電陽極法에서 보다 그 電流密度를 若干倍에 잡는다.

(2) 電源裝置의 所要電壓(E, V) : 이 電壓은 다음의 式에 의해서 求할 수 있다. 그러나 石油탱크의 防蝕에는 出力電壓을 60V 以下로 制限하고 있으므로 이 境遇에는 電源裝置의 個數를 調節할 必要가 있을때도 있다.

$$E = IR_{pn} + 2 \dots\dots\dots(10)$$

$$R_{pn} = \frac{\rho}{2\pi Ln} \left(2.3 \log \frac{8L}{d} - 1 + \frac{2L}{S} \times 2.3 \log 0.656n \right) \dots\dots\dots(11)$$

但, R_{pn} : 比抵抗 $\rho \Omega\text{-cm}$ 의 地中에 n 個의 並列陽極이 埋設되어 있을 때의 全陽極接地抵抗(Ω)

L, d : 陽極의 길이(cm)와 直徑(cm) 혹은 Back-fill 設置時는 그 길이와 直徑(cm)

S : 陽極間의 間隔(cm), 2 : 물의 分解電壓(V)

(3) 陽極의 크기 : 이것은 使用豫定期間中에 계속해

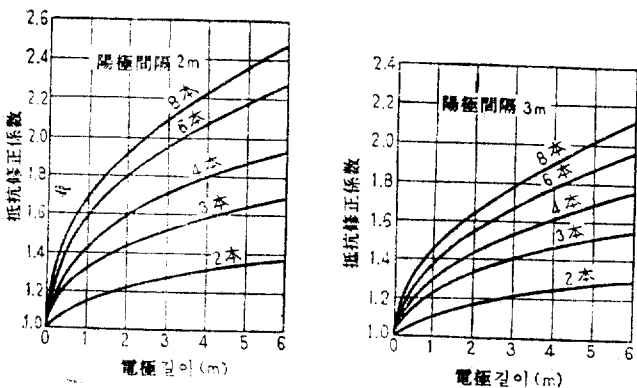


Fig. 12 並列陽極의 相互干涉修正係數

- 31, No. 9, p. 320(1975)
- 7) N. Pessal and J.I. Nurminer, Corrosion, vol. 30, No. 11, p. 381(1974)
- 8) E.H. Phelps, R.T. Jones and H.P. Leckie, J. Electrochem. Soc., vol. 116, No. 6, p. 213C(1969)
- 9) J.M. Turnbull, Corrosion, vol. 16, p. 11(1960)
- 10) A.H. Tayler and F.H. Cocks, J. British Corrosion, vol. 4, p. 287(1969)
- 11) G. Butler and J.G. Baynon, Corrosion Science, vol. 7, p. 385(1967)
- 12) G. Butler and E.G. Stroud, J. British Corrosion, vol. 1 p. 110(1965)
- 13) E.B. Sandel, "Colorimetric Determination of Traces of Metals." 2nd ed. Interscience Publishers Inc., New York, 1950, p. 362
- 14) J. O'M. Bockris and A.K.N. Reddy, "Modern Electrochemistry," Plenum Press, New York, 1970, p. 1082
- 15) M. Stern, J. Electrochem. Soc., vol. 102, p. 609 (1955)
- 16) Ref. 14 p. 1007
- 17) M. Stern, J. Electrochem. Soc., vol. 104, No. 11, p. 645 (1957)
- 18) C. Wagner and W. Traud, Z. Elektrochem., vol. 44, p. 391(1938)
- 19) W.M. Latimer, "Oxidation Potentials." Prentice-Hall Inc., 1952, p. 32.
- 20) J. O'M. Bockris, D. Drazic and A.R. Despic, Electrochimica Acta, vol. 4, p. 323(1961)
- 21) R.J. Biernat and R.G. Robbins, Electrochimica Acta, vol. 17, p. 1261(1972)
- 22) C.M. Criss and J.W. Cobble, J. Am. Chem. Soc., vol. 86, p. 5390 (1964)
- 23) D.W. Townsend, M.S. Thesis, Dept. of Met., M.I.T. (1966)
- 24) A.C. Makrides, J. Electrochem. Soc., vol. 107, p. 869(1960)
- 25) Ref. 14 p. 1242

- 管系の 外面腐蝕の 制御, 防蝕技術 **19**, 8(1970)
16. 岸谷孝一: 鐵筋コンクリート構造物の 腐蝕について, 防蝕技術, **24**, 3(1975)
17. R. C. Robinson: 腐蝕性環境に 使用する 鐵筋コンクリート構造物の設計, 防蝕技術, **22**, 2(1973)
18. 三浦・石川・阿久津: 種及の汚染海水域における沿岸鐵鋼構造物の 防蝕電流密度について, 防蝕技術, **25**, 2(1976)
19. F. W. Hewes: 埋設構造物の 陰極防蝕と 腐蝕度に影響する 四の現象, 防蝕技術, **21**, 5 (1972)
20. 寛・大内・遊佐: 國內各地 港灣における鋼材の 腐蝕および陰極防蝕効果について, 防蝕技術, **31**, 3(1972)
21. 善一章: 港灣における鋼材腐蝕の 研究, 防蝕技術, **15**. 1(1966), **18**, 5(1969), **29**, 5/6(1970), **20**, 9(1971), **20**, 10(1971), **21**, 10(1972), **22**, 2(1973), **22**, 10/11,
22. F. W. Hewes: 22,000miles의 塗裝鋼管の 陰極防蝕, 防蝕技術, **16**, 1(1967)
23. 善・山口: 海岸における工型鋼抗に對する塗料の防蝕効果, 防蝕技術, **23**, 5(1974)
24. 白水・海野・武藤: 軟鋼の 腐蝕舉動とカソード防蝕におよぼす硫酸鹽還元菌の影響, 防蝕技術, **23**, 8(1974)
25. 米山・市野・山村・後藤: 外部電源法の 陽極効果による 電蝕防止, 防蝕技術, **23**, 7(1974)
26. 文獻(25)에 對한 質問과 答辯, 防蝕技術, **24**, 2(1975)