

<技術解説>

船體의 防蝕과 防汚의 動向*

田 大 熙**

The Tendency of the Corrosion Prevention and the Anti-fouling on Hulls

Dae Hi, Jeon

1. 船體의 防蝕·防汚와 그 重要性

1) 船體의 防蝕·防汚의 重要性

船體는 鋼材, 特殊鋼材, 銅合金, 輕合金등의 많은 種類의 金屬으로 組立된 構造物이고, 多鹽分·多濕한 大氣와 高電導性的 海水의 兩域을 高速으로 航行하기 때문에 腐蝕이 대단히 甚하고, 特히 船底外板의 腐蝕이 顯著하게 일어난다. 그러므로 이 腐蝕은 船體의 修理費를 過重하게 하고, 그 壽命을 짧게 할 뿐만 아니라, 船舶의 安全性을 甚히 浸害한다.

또 船體를 잘 防蝕한다고 하더라도 海水中の 藻貝類가 船底에 많이 附着하고 繁殖(Photo. 1 參照) 해서

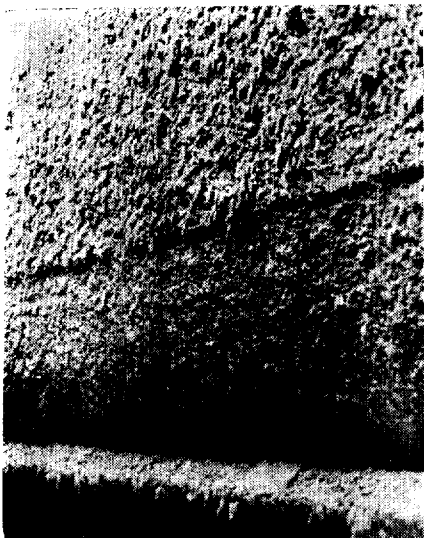


Photo. 1 某號船底의 汚損狀態와 非溶出 Zn板外觀

船體抵抗을 많이 增加시킨다. 그러므로 船速이 많이 低下되고, 燃料消費量이 많이 增加된다. 船底의 汚損에 의한 船體抵抗은 160%程度로 增加되는 境遇가 多히 있고, 200%(2倍) 程度로 增加되는 例도 稀少하지 않다고 한다¹⁾. 그러므로 船底가 깨끗할 때에 燃料消費量 10톤/日로서 16kt로 航行하던 船舶은 船體抵抗이 160%로 增加되었다면 一定出力(p)下라면 다음의 (1) 式에 의해서 船速(V)가 16 kt에서 10 kt로 떨어질 것이고, 이 때에 一定船速 16kt를 維持하러 한다면 燃料消費量(Q)가 10톤/日에서 16톤/日로 增加되어야 한다는 計算이 된다.

$$P_{NHP} = R \text{ kg} \times V \text{ kt} / 146 = nkQ \text{ 톤/日} \dots\dots(1)$$

이와 같이 船體의 防蝕과 防汚는 船舶管理의 經濟的 見地 뿐만 아니라, 保安上의 見地에서도 重大한 問題이므로 船體를 철저히 防蝕과 防汚를 하는 同時에 隨期에 入渠해서 補修하고 있다.

2) 船體의 防蝕·防汚의 方法

船底의 防蝕에는 一次的으로 塗裝防蝕하고, 二次的으로 電氣防蝕하는 철저히 二重防蝕이 常識化 되었다. 船底의 塗裝防蝕에 電氣防蝕을 併用할 때의 防蝕效果에 對해서는 Francis 등²⁾이 美驅逐艦 10隻에 對해서 調査한 Table 1의 貴重한 資料가 發表(1962年)되어 있다.

Table 1. 美驅逐艦體의 平均 年間 維持費(\$)
(10隻平均 1隻分)

修理部分	Rudder	Strut	Chest	Hull	計
無電氣防蝕	6,784	2,135	9,712	6,704	25,335
電氣防蝕併用	1,338	874	2,760	708	5,680
維持費差	5,446	1,261	6,952	5,996	19,635
節約率	80	59	72	89.5	77.5

*「1973年度 夏季 腐蝕 및 防蝕세미나」(蔚山)에서 發表

**韓國海洋大學 副敎授

다. 이에 의하면 塗裝防蝕만 하였을 때에 비해서 電氣防蝕을 併用할 때는 1隻當 平均年間修理費가 놀라게도 77.5%나 節減된다.

船體의 防蝕과 防汚의 方法은 Table 2와 같이 分類할 수 있다.

船底의 塗裝防蝕에는 油性系塗料가 使用되어 왔으나, 近年에 와서 効能이 좋고 값이 比較的 廉 合成樹脂系塗料가 많이 使用되고 있고, 熱可塑性을 利用한 厚膜

Table 2. 船體의 防蝕·防汚法의 分類

	—油性系 塗料에 의한 防蝕	
防蝕	—塗裝防蝕	—合成樹脂系 塗料 "
		—厚膜耐久性 塗料 "
防蝕	—電氣防蝕	—電氣陽極 防蝕
		—外部電源 防蝕
防汚	—無機毒物系塗料에 의한 防汚	
	—塗裝防汚	—有機毒物系 塗料에 "
	—電氣防汚	—研究中

의 耐久性塗料도 活用되고 있다. 塗裝防汚에는 從來까지 無機毒物系가 使用되었으나, 近年부터 汚染海水中에서도 有効한 有機毒物系가 開發되어 活用되고 있다. 電氣防蝕은 1820年頃 電氣化學者 Humphry Davy 卿의 提案에 의해서 英軍艦底에 protective zinc 를 붙인 것이 始初이고, 그 効果가 좋았기 때문에 오늘날까지 Zn 陽極이 使用되어 왔다. 그러나 近年까지 이 Zn板에 의해서 何等의 檢討가 없이 盲目的이고 因習的으로 使用되어 왔기 때문에 Zn板의 質과 取付法의 不良으로 그 効果가 없는 경우가 많았다⁹⁾. 이에 대해서 어떤이는 Zn 板自體의 効能을 疑心하였고, 어떤이는 Zn板이 溶出하지 않고, 長久間 原型 그대로 남는 것이 좋다고 믿는 이도 있었다. 이러한 中 二次大戰中에 美南部의 工業地帶의 地下埋設管에 Mg 陽極을 適用하여 큰 防蝕効果를 올렸다. 이것에 자극이 되어 새로운 電氣化學的 知識에 基礎를 둔 防蝕法이 研究되기 始作하였다. 이 反映으로 1950年頃부터 美·英·カナダ의 各海軍에서도 從來의 因習的인 防蝕法에서 脫皮하여, 科學的인 防蝕法을 研究하여, 流電陽極의 材質, 數量, 取付法의 基準이 만들어졌고, 復水器의 海水冷却系統에 使用하는 外部電源防蝕法(1912年, Cumberland)이 船底外板의 防蝕에 까지 擴張 適用하게 되었다. 또 船底의 電氣防汚에는 最近에 이르러 復數器의 海水冷却 系統의 防汚에 試用되기 始作한 海水電解防汚法을 船體外板에 適用하려는 研究가 進行되고 있다.

船體의 各部分에는 각각 그에 알맞는 防蝕法이 採用되고 있다. 本稿에서는 腐蝕이 甚하거나 腐蝕의 影響

이 큰 船底의 防蝕과 防汚, 推進器—推進器軸系와 海水바라스트탱크의 防蝕을 說明한다.

2. 塗裝에 의한 船底의 防蝕·防汚

1) 船底塗料의 種類

船體에는 그 内外面에 美觀裝飾의 뜻도 있으나, 防蝕, 防汚 등의, 目的으로 여러가지 種類의 塗料가 塗裝되고 있다. 그 使用量은 Table 3과 같이 10,000 噸級의 貨物船에도 무려 38톤이나 된다¹⁰⁾.

Table 3. 10,000噸級 貨物船用 塗料數量例

塗 料 種 類	數量(kg)
船底 1號(A/C)	2,150
船底 2號(A/F)	1,400
水線塗料(B/T)	335
防鏽塗料	8,650
一般塗料(調合塗料·에나멜등)	9,120
락카·바니쉬	930
기름·신나	1,335
비투미노우스 슬루우손	880
비투미노우스 에나멜	10,000
雜 塗 料	2,650
計	38,150

船底塗料로는 防鏽主目的의 1號塗料(anti-corrosion paint—A/C)와 防汚主目的인 2號塗料(anti-fouling paint—A/F)가 使用되고, 이와 別途로 水線塗料(boot top paint—B/T)도 使用된다. 近年에 이르러서는 下地處理劑와 船底下塗塗料가 出現하여 下塗塗料와 1號塗料가 거의 區別할 수 없게 되었다.

(1) 船底 1號 塗料 : 이 塗料에는 從來까지 油性防鏽塗料가 使用되었으나, 近年부터는 防鏽力이 강한 光明丹 푸라이마, 진크크로메이트 푸라이마, 지일버 푸라이마 등의 下塗塗料가 出現하여 油性 A/C와 바뀌지고 있다. 이들 塗料는 船底에서 耐水性和 速乾性이 要求되므로 거의 純油型은 없고, 合成樹脂바니쉬를 添加하여 vehicle를 改善한 合成樹脂系 油性塗料(oleoresinous paint)로 使用된다. 또 光明丹—진크크로메이트 푸라이마와 같이 2重以上の 防鏽顏料를 混合해서 効能을 높인 것도 使用되고, 最近에는 塗膜의 密着性和 防鏽力을 向下시켜 주는 워시푸라이마(wash primer-W/P)를 鹽化비닐系 防鏽塗料와 使用하는 船舶이 많아졌다.

(2) 船底 2號 塗料 : 이 塗料에는 生物의 附着과 繁殖을 防止하기 위해서 毒性顏料인 亞酸化銅(Cu₂O)을 25~35%, 酸化水銀(HgO)을 4~10% 添加한 塗料가

많이 사용되었다. 그러나 近年부터 無水銀型을 使用하는 傾向이 생겼고, 비닐系防汚塗料에는 Cu_2O 를 55~60% 添加하고, 비닐의 耐久性에 의해서 長久間 防汚力을 갖도록 하고 있다. B. H. Ketchum 에 의하면 船底塗料에서 銅이온이 $10\mu g/cm^2/day$ 以上²⁾ 溶出되어야 防汚效果를 나타낸다고 한다.

Cu_2O 나 HgO 를 含有한 防汚塗料은 汚染海水中の H_2S 에 의해서 1週日程度면 黃化銅, 黃化水銀으로 黑變³⁾하여 防汚效果를 나타내지 못할 뿐아니라, 黃化銅은 海水中的 銅보다 貴電位를 가지므로 塗膜이 不完全한 곳에 點蝕을 發生시킨다. 또 輕金屬船의 船底에는 이러한 重金屬이온의 溶出이 역시 點蝕을 發生시키는 原因으로 된다. 그러므로 最近에는 有機毒物系의 防汚塗料을 使用하는 船舶이 많아졌으며, 銅, 水銀, 鉛, 砒素등의 有機質毒物이 添加되어 있다.

그리고 防汚塗料에는 毒物의 溶出時에 매트릭스도 같이 溶解하는 型과 비닐系防汚塗料과 같이 매트릭스는 溶解하지 않고 毒物만 溶出하는 型이 있는데 前者의 型은 $100\mu g/cm^2/day$ 程度까지 毒物을 溶解시킬 수 있다고 한다.

(3) 水線塗料: 이 塗料로는 亞酸化銅을 約 5% 添加한것이 使用되어 왔으나, 近年부터는 耐候性을 重視하여 無毒物耐候型 B/T塗料(例: 비닐系水線塗料)를 많이 使用하고 있다.

(4) 新型船底塗料: 鹽化비닐系船底塗料은 塗膜의 不透過性이 대단히 크므로 良好한 絕緣防鏽塗膜을 形成하고, 長久間 塗膜이 劣化되지 않으며, 塗膜이 平滑하여 水中抵抗도 적으므로 水線部와 外舷部의 塗料로도 대단히 우수하다. 그러므로 美海軍에서는 비닐樹脂의 熱可塑性을 利用하여 hot spray 하여 두꺼운 塗膜을 形成시켜서 2年間 入渠하지 않고 就航시킬 수 있는 hot vinyl paint를 일찍부터 使用하고 있고, Cumaron-indene樹脂를 主로 한 plastic paint는 塗膜이 두껍고 絕緣性이 좋으므로 cold or hot plastic로 使用하기도 한다. 또 流電陽極이나 外部電源防蝕用의 電極周圍에는 bituminous solution을 下塗한 위에 瀝青質이나 珉塗料를 두껍게 칠하기도 하고, 에폭시-코울타인 塗料를 칠하기도 한다.

2) 塗裝標準回數와 塗膜두께, 前處理³⁾

船底部의 標準塗裝回數는 油性系塗料의 경우에 W/P 1回+A/C 3回+A/F(B/T) 2回이고, 鹽化비닐系塗料는 1回塗裝의 膜厚가 얇으므로 W/P 1回+비닐 A/C 4回+비닐 A/F (B/T) 2회가 標準이다. 그리고 이들 塗料를 1回 칠하였을 때에 얻어지는 平均塗膜의 두

께와 塗布量에는 Table 4의 一般仕樣이 있고, 美海軍의 塗膜두께仕樣은 Table 5와 같다.

Table 4. 1回塗裝當의 平均膜厚와 塗布量

塗料種類	標準塗裝回數	1回塗裝當의 塗布量		實用塗膜 膜厚/回
		新造船	修理船	
油性, A/C	3	kg/坪 0.45	kg/坪 0.55	mm 0.03
" A/F	2	0.55	0.65	0.035
" B/T	2	0.50	0.55	0.03
워슈푸라이마 (W/P)	1	0.36	0.433	0.007
비닐, A/C	4	0.39	0.49	0.01
" A/F	2	0.80	1.00	0.03
" B/T	2	0.58	0.68	0.03
폴드플라스틱 A/C	3	0.40	0.50	0.023
" A/F	2	0.75	0.85	0.04
" B/T	2	0.50	0.55	0.03

그리고 이들 塗料를 부라시로 標準回數만큼 칠하였을 때에 油性塗料는 0.14~0.17mm, 비닐塗料는 0.10~0.12mm, hot vinyl paint는 0.27mm 程度의 塗膜을 얻을 수 있다. 一般의으로 塗膜이 두꺼우면 絕緣性과 不透過性이 커지므로 防鏽力이 強해지나, 塗膜이 두꺼워도 塗裝回數가 작으면 pin hole 등의 塗膜缺陷이 많아 防鏽力이 弱하므로 最少 3回 以上の 塗裝으로 0.12mm 以上の 塗膜을 形成시켜야 한다.

Table 5. 1回塗裝當의 塗膜厚(美海軍仕樣)

塗料種類	膜厚(mil)	膜厚(μ)
磷酸鹽 前處理 被膜	0.5	10
푸라이마(진크크로메이트or 鉛丹 진크크로系)	1.0	25
비닐 A/C Hot Spray	1.5	38
" A/F "	2	50
Zinc Dust	2	50
Cold Plastic, A/F, B/T	4	100
Bituminous Emulsion	10	250
Hot Plastic	30	750

塗料는 被塗裝面을 sand brast나 shot brast 등에 의해서 깨끗히 淸靜한 後에 可及的 빨리 水蒸氣, 其他로 汚染되기 前에 下塗하여야 하고, 上塗는 下塗와의 密着性을 考慮해서 너무 乾燥하기 前에 칠하여야 한다. 그리고 塗裝下地로서 良好한 錨(Anchor)는 下地粗度가 塗膜두께의 1/4~1/3 程度이다. 被塗面의 淸靜去으로서 酸洗處理는 0.01~0.015mm, shot brast 處理는 0.03~0.05mm 程度의 表面粗度를 形成한다.

3. 流電陽極에 의한 船底의 防蝕

1) 許容防蝕電位와 所要防蝕電流密度⁷⁾

船底의 塗裝防蝕에 電氣防蝕을 併用할 때에 被防蝕體(陰極部)의 電位가 너무 낮으면 (1) 陰極部의 알카리화가甚해지므로 塗膜이 많이 軟化되고, (2) A/F塗料中の 亞酸化銅의 溶出이 減退된 뿐 아니라, (3) 塗膜內外의 電位差가 크기 때문에 그 滲透作用에 의해서 塗膜內에 吸藏되는 水分量이 增加되고, 陰極部에서 發生되는 水素가스량이 많아 塗膜에 blister가 생기기 쉽게 된다. 그러므로 陽極附近은 電氣絶緣性이 좋고, 耐알카리性이 강한 塗料를 칠하여 防蝕電流를 멀리까지 到達시켜 均等하게 分布시켜야 한다. 塗裝系에 對한 許容防蝕電位는 日本造船研究會에서 實驗檢討한 結果에 의하면 塗膜保全上의 限界值가 油性系에 -950 mV(SCE), 비닐系에 -1000 mV(SCE) 前後라 한다. 그리고 船底의 電氣防蝕에 必要한 防蝕電流密度는 塗裝의 良否, 船速, 推進器의 크기와 回轉數 등에 따라 달라지므로 그 값을 決定하기가 困難하다. Table 6은 英海軍值이며, 塗裝의 良否에 따라 顯著한 差가 있다. 詳

Table 6. 海水中的의 所要防蝕電流密度 (mA/m²-美海軍)*

材 質	塗 裝	靜水	流 水(20kt)
軟 鋼	無 塗 裝	30~50	80~100
	비닐塗裝(新裝)	1~10	2~20
	" (1年後)	10~20	20~40
銅과 銅合金	無 塗 裝	200	500~1000 ^(50~100ft/s)
	비닐塗裝(新裝)	4~40	10~100 "
	" (1年後)	40~80	100~200 "

- * 1. 200mV 電位를 낮추는데에 必要한 電流
- 2. 流水中の 것은 靜水中에서 分極된 것에 對한 값
- 3. 비닐塗裝은 美海軍規程에 의해서 塗裝된것.

Table 7. 代表的 防蝕Zn合金의 配合(%)

種 類	Pb	Fe	Cd	Cu	Al	Si	Zn
美軍規格(舊)	<0.006	<0.0014	<0.06	<0.005	0.1~0.3	—	殘
美軍規格(新)	<0.006	<0.005	0.025~0.15	<0.005	0.1~0.5	<0.125	"
英(MAPEL)	<0.006	<0.0014	<0.05	<0	0.1	<0.006	"
獨(AMPAK)	—	<0.0014	<0.004	<0.002	Hg 0.06	<0.004	"
J 第 1 種	<0.003	<0.0014	<0.002	<0.001	—	Sn<0.001	>99.99%
I 第 2 種	<0.3	<0.02	<0.2	<0.01	0.1~0.7	—	殘
S 第 3 種	<0.2	<0.0014	0.05~0.2	<0.001	<0.2	—	"

* 50°C以下的 環境에 限함

言하면 비닐系塗料를 새로 칠하였을 때는 1~10mA/m² 이므로 約 10倍의 範圍이고, 航走할 때는 다시 碇泊時의 2倍, 塗裝한 後에 1年이 經過했으면 다시 2倍의 電流가 必要하므로 最小值와 最大值間에는 約 20倍의 差가 있다.

船底防蝕에 所要되는 防蝕電流密度는 船底와 推進器에 對해서 각각 計算할 수 있으나, 實船의 경우는 區別해서 다루기가 困難하므로 그 平均值가 많이 使用된다. 이 값은 많은 實驗結果에 의하면 塗裝이 良好한 大型船에 6~10 mA/m² 程度, 塗裝이 良好하지 않은 小型船에 10~20 mA/m² 이다. 最近에는 良質의 塗料를 使用하게 됨에 따라 그 電流密度를 5 mA/m² 程度까지로 낮출 수 있으나, 保守가 나쁜 塗裝에 對해서는 30~40 mA/m² 程度까지 必要할 때도 있다고 한다.

2) Zn 陽極의 材質⁸⁾

從來에 因習의으로 使用해 오던 防蝕亞鉛陽極은 不純物의 含量(Fe=0.45% 含有된 것(ZD-67)도 使用되었음⁹⁾)이 많았기 때문에 그 表面에 不溶性의 腐蝕生成物이 生成되어 거의 防蝕效果를 發揮하지 못하였다. 그러나 1950年頃부터 比較的 廉값으로 99.99%級의 亞鉛地금이 市場에 出現하였고, 이어서 優秀한 特殊 Zn 合金陽極이 開發되어 防蝕效果가 顯著히 向上되었다. 卽, 99.99%級의 電流發生效率는 約 90%이고, 特殊 Zn 合金陽極은 98%前後의 實驗值를 나타내는 것도 있다.

防蝕亞鉛陽極에서 가장 나쁜 不純物은 Fe이고, 이로 因해서 陽極表面의 被膜抵抗이 增加되기 때문에 Zn의 溶出이 妨害되므로 그 電位가 높아진다. 그러나 Al를 0.2~0.5%程度로 添加하면 Fe 등의 不純物의 影響이 完全히 除去되어 溶解性이 均一한 高性能의 陽極으로 된다.

防蝕亞鉛陽極에는 Al 以外에 Cd, In, Hg, Si 등의 添加도 有效하다는 것이 判明되었다. 그러므로 各國에

서는 Table 7과 같이 高純度の Zn에 이들의 有効成分을 添加한 것을 獨立的으로 만들고 있으며, 어느것이 나 電位の 安定性和 電流의 高効率이 大差없이 維持된다.

防蝕Zn板의 發生電氣量은 그 質에 따라 740~780Ah/kg 程度이다. 이 電氣量은 99.995%級에서 780Ah/kg 이나, 그 質이 나쁘면 顯著히 低減해서 99.98%級은 99.995%級의 約 半밖에 안된다고 한다.

그리고 亞鉛板의 表面積當의 發生電氣量은 Table 8과 같이 (1)亞鉛板數가 過少할 때는 過多할 때보다,

(2) 船尾側은 船舷側에서 보다, (3) Zn板의 取付間隙이 넓은 곳은 좁은 곳보다, (4) 高電位物이 가까운 곳은 먼 곳보다 많고, 이 外에 船速, 배의 크기, 海流, 水質 등에 따라서도 變한다. 그러므로 船尾側은 船舷側의 2倍의 電流가 發生될 수도 있고, 高速船은 低速船의 2~3倍의 電流를 發生시키는 경우가 있다. 그러나 普通은 大型船에서 船尾部는 0.5~0.7mA/cm², 船舷部는 0.2~0.3mA/cm² 程度이고, 平均해서 0.4~0.6 mA/cm²로 보고 있다¹⁰⁾.

Table 8. 亞鉛板의 發生電氣量

船種	小 型 船(成船)		大 型 船(小型高速船)	
	過 少	過 多	過 少	過 多
取 付 數				
發 生 電 氣 量(mA/cm ²)	0.3~0.8	0.2~0.4	0.6~1.2	0.4~0.8
ZHS 9 1個當(A) (300×150×30)	0.2~0.5	0.12~0.25	0.35~0.7	0.25~0.5

3) 防蝕Zn板의 크기와 取付¹¹⁾

防蝕Zn板은 世界的으로 300mm×150mm×30mm의 크기가 널리 使用되고 있으나, 小型船에는 200mm×100mm×20mm의 것이 使用되기도 하고, 流體抵抗이 적고, 取付費用이 節約되는 50mm×75mm×800mm의 細長型을 使用하기도 한다. 또 Zn板의 두께는 經濟的

인 見地에서 20mm의 것이 使用되기도 하나, 배의 入渠期間이 길어지기 쉬우므로 30mm의 것이 많이 使用되고, 두께 25mm의 것은 거의 使用되지 않고 있다. 그리고 Zn板의 取付形式은 心鐵溶着式(strap type)과 볼트固着式(bolt type)이 使用되며, Table 9는 船用Zn板의 치수예이다.

Table 9. 船用 亞鉛板의 치수와 特性

標準品記號(型名)	치 수(mm) 두께×폭×길이	表面積 (cm ²)	重 量 (kg)	出 力 比	壽命(年) 概 略 值	發生電流*(A)	JIS記號	
心鐵溶着式	3FS	20×100×200	320	2.9	0.7	0.7	0.40	ZHS 3
	4FS	30×100×200	380	4.3	0.7	0.8	0.43	ZHS 4
	6FS	20×150×300	630	6.5	1.0	1.0	0.55	ZHS 6
	10FS	30×150×300	720	9.9	1.0	1.5	0.58	ZHS 9
	18HS	50×75×800	1249	18.4	2.0	1.5	0.91	ZHS18
볼트固着式	3F	20×100×200	312	2.6	0.7	0.9	0.39	ZHB 3
	4F	30×100×200	372	3.7	0.7	1.0	0.42	ZHB 4
	6F	20×150×300	624	5.9	1.0	1.0	0.55	ZHB 6
	8F	30×150×300	714	8.7	1.0	1.2	0.58	ZHB 9

* 發生電流는 有効電位差 0.20V, 液比抵抗 23Ωcm의 경우 實用의 경우 流速과 水質에 따라 若干修正要함.

Zn板의 發生電流는 船體와 亞鉛板間의 回路抵抗의 逆數에 比例하고, 이 回路抵抗은 Zn板의 取付抵抗과 陽極表面부터 被防蝕體까지의 抵抗의 合이다. 亞鉛板은 以前에 Photo. 2와 같이 四코에 구멍을 뚫어 볼트로 固定하였으므로 볼트에 接한 部分의 Zn이 먼저 消

耗해서 곧 電流回路가 斷切되기 때문에 效果를 發生하지 못하고, 때로는 脫落하였다. 그러므로 지금 Fig. 1과 같이 Zn板안에 心鐵을 鑄込해서 그 鐵心을 船底에 溶着 或은 볼트로써 確實하게 固定해서 取付抵抗을 거의 零(0.05Ω 以下¹²⁾)되게 한다. 또 後者의 抵抗은

被防蝕體의 狀態, 海水의 比抵抗, Zn板의 形狀 등에 따라 變하므로 Zn板下側에 고무板을 깔고, Zn板周圍에 絶緣塗料를 칠하여 防蝕電流가 멀리까지 到達하도록 하는 것이 좋다. 特히 防蝕電流를 均一하게 分布시키기 위해서는 可能한 限 小型의 Zn板을 많이 使用해서 分散配置하는 것이 좋으나, 經濟的 見地에서 標準型의 Zn板을 採用하고, 그 全數量의 1/2을 船尾部와 rudder 部에 取付하고, 各 1/4을 bilge keel 과 船首部에 取付하는 것이 普通이다.¹²⁾

4) 防蝕亞鉛板의 所要數

船船이 航行할 때는 碇泊中보다 Zn板의 發生電氣量이 많아지나, 船體電位도 높아진다. Seo(瀨尾)¹³⁾에 의하면 많은 船船의 航走中의 船體電位를 測定한 結果 大部分의 船船은航走해도, 그 電位가 30~50mV 밖

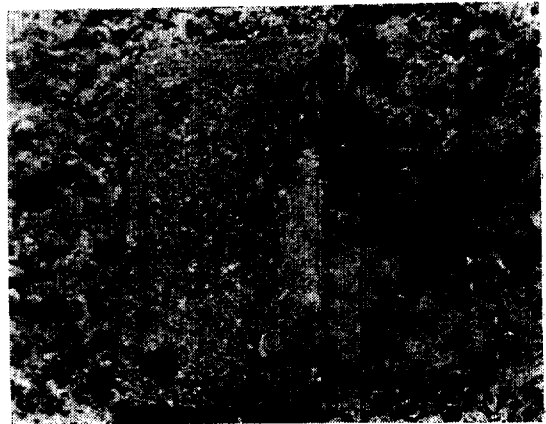
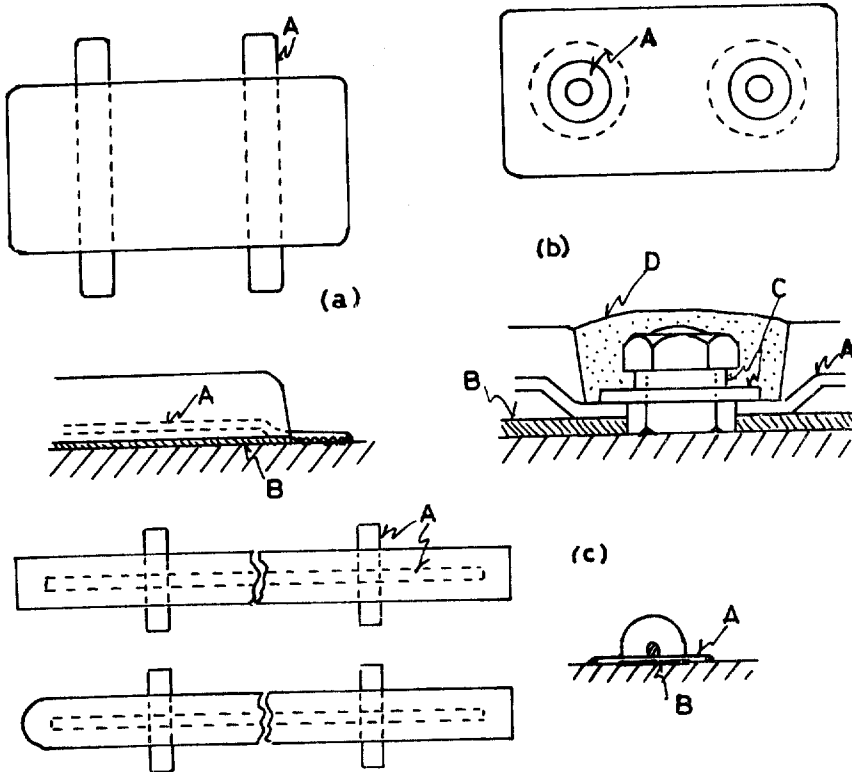


Photo. 2 質과 取付法이 不良한 某號船底Zn板. (DZ-66, 取付後 1年經過).



A:心鐵 B:고무板 C:Washer D:Putty

Fig. 1 防蝕 Zn板의 形狀과 取付.

높아지지 않으나, 小數의 船舶은 航走에 의해서 電位가 約 300mV 까지 높아지는 境遇도 있다. 이 電位變化는 Zn 板의 性能變化, 水質과 塗裝狀態등의 變化에도 影響을 받으나, 가장 影響이 큰 것은 船體와 推進器軸系의 接觸狀態이다.

推進器軸系는 碇泊中에 自重에 의해서 船體와 電氣接觸되어 있으나, 航行中은 거의 大部分의 船舶에서 그 電氣接觸이 斷切되고 新造船이나 修理船등의 一部船舶만이 航走時에 電氣接觸을 維持한다. 그러므로 航走中에 船體와 軸系가 電氣적으로 斷切되어 있는 船舶에서는 電位變動이 30~50mV 程度로 되고, 船體는 航走해도 碇泊中과 大差없이 防蝕되나, 推進器軸系는 防蝕電流가 流入하지 않으므로 推進器와 同軸系가 腐蝕되기 쉽게 된다. 이에 對해서 航走中에도 船體와 軸系가 電氣接觸을 維持하고 있는 船舶에서는 航走에 따라 船體와 推進器의 所要防蝕電流密度가 增加되므로 船體電位가 顯著히 上昇되어 船體는 腐蝕되기 쉽고, 推進器는 防蝕狀態에 놓이게 된다. 그러므로 防蝕Zn板의 所要數量은 碇泊中에 防蝕電流를 일으킬 수 있는 數量으로 하는 것이 普通이나, 特히 推進器 및 同軸系의 防蝕까지 考慮하여야 한다면 船尾 Zn板數를 1.5倍程度로 增加시켜 주어야 한다. 그리고 亞鉛板의 크기는 300×150×30mm를 標準으로 하고, 그 重量은 9kg, 發生電氣量은 750Ah/kg, 防蝕中의 有效亞鉛板面積은 500cm²으로 計算하는 것이 普通이다.

다음은 船底와 推進器를 防蝕하는 데에 所要되는 Zn板數의 計算基準의 例이다.

(1) 美海軍基準

1956—MIL—A—18001B 에 의하면 所要Zn板數의 計算은 Table 10의 基準(미터單位로 換算)에 의하도록 되어 있다¹⁴⁾.

Table 10. Zn 板 表面積 1m²에 의해서 防蝕되는 面積(m²)

被防蝕體種類	비닐塗料를 칠한後 1年이지 않는 鐵板	비닐塗料를 칠한後 1年이지 않는 鐵板	裸鐵板	Al合金板	銅 및 銅合金板
海水狀態					
靜止 海水中	800	400	250	250	100
20kt의 海水中	400	200	100	100	15

또 1958—MIL—A—18001E 에 의하면 다음식이 주어 져 있다¹⁵⁾.

$$n = A/20 + B \dots \dots \dots (2)$$

但, n:—300×150×30mm의 亞鉛板數

A:—船底浸水面積(m²)

B:—推進器등의 非鐵合金의 浸水面積(m²)

1958年 基準을 1956年基準으로 풀이하면 船體는 비닐塗裝한 1年後의 狀態이고, 靜水中이며, 推進器는 裸銅合金製이고, 20kt의 流水中이란 假定下와 거의 같다(n=A/20 + B/0.75)

(2) Hukudani(福谷)基準¹⁶⁾

防蝕狀態가 良好한 많은 實船에 對해서 塗膜狀態, 船底의 浸水面積 및 推進器의 表面積에 對해서 調査하여 1960年 다음의 基準을 提案하였다. 이들 값은 入渠期間 1年基準이므로 入渠期間이 2年이면 다시 1.5倍를 하여야 한다.

塗裝優良(例: 비닐塗料) $n = \sqrt{A+B} \dots \dots \dots (3)$

塗裝良好(油性塗料, 大型船) $n = 1.5\sqrt{A+B} \dots \dots \dots (4)$

塗裝可(油性塗料, 小型船) $n = 2.0\sqrt{A+B} \dots \dots \dots (5)$

그리고 船體와 推進器의 浸水面積은

$$A = 1.7LH + V/H \dots \dots \dots (6)$$

$$B = 0.8D^2(\text{商船}) = 1.25D^2(\text{軍艦}) \dots \dots \dots (7)$$

但 L:—船底의 浸水表面積(m²), H:吃水(m)

V:—排水容積(m³),

D:—推進器尖端直徑(m)

(3) Seo(瀬尾) 基準

所要防蝕電流密度는 船體와 推進器에 對해서 각각을 求할 수 있으나, 實驗値는 總合値가 나오고, 推進器와 船體의 接合問題가 있으므로 防蝕電流密度에는 推進器까지 包含해서 船體로 생각할 수 있다. Seo는 이點에 着眼해서 1958年 各船의 實情에 맞는 船體와 推進器의 平均防蝕電流에 의해서 所要亞鉛板數를 다음과 같이 求하도록 提案하였다¹⁷⁾.

$$n = \frac{Ch \times Sh}{Cz \times Sz} = \frac{Ch \times Sh}{Ct} \dots \dots \dots (8)$$

但, Ch:—所要 平均防蝕電流密度(mA/m²)—table

Cz:—防蝕Zn板의 發生電流密度(mA/cm²)

—table 8

Sz:—防蝕Zn板의 表面積(cm²)

Sh:—船體와 推進器의 全浸水面積(m²)

Ct:—防蝕Zn板의 發生電氣量(mA/個)

그리고 同氏는 1960年 注意의 條件에서도 所要亞鉛板數를 求할 수 있는 圖表를 作成하였다.

以上の 基準을 比較하면 美海軍基準은 Hukudani 基準에 比해서 大型船에서 所要Zn板數가 特히 많아지고, 美海軍基準은 大型商船에 適用시키기는 問題가 되고, Seo 基準은 各船의 實情에 따라 適正値를 選定하여야 하므로 많은 資料가 必要할 뿐 아니라 誤算하기

쉬운 欠點이 있다.

5) 알루미늄합금 陽極¹⁹⁾

Al은 不動態化하므로 그대로 陽極으로 쓸 수 없다. 그러므로 Al에 Zn, In, Hg 등을 添加해서 活性化하여 陽極으로 使用된다. 初期의 Al 陽極은 電流發生率이 55%程度, 電位가 -0.97V(SCE)程度인 Al-5Zn 合金 陽極(Alcoa-B605등)이 使用되었으나, 지금은 電流發生率이 80%程度이고, 電位가 -1.05~1.08V 程度인 Al-2.5Zn-0.015In 合金(Alanode), Al-0.45Zn-0.045Hg 合金(Galvalum), Al-3Zn-1.8Mg-0.02In-0.01Sn 合金 등이 開發되어 많이 使用되고 있다.

Table 11. 船舶用 Al 合金 陽極例

記 號	寸 수(mm) 두께×폭×길이	有 効 面 積 (cm ²)	全 重 量 (kg)	發 生 電 流 mA(海水中)	壽 命 (年)
AS-3	30×100×200	290	1.8	390	1.0
"-7	30×150×300	580	3.9	430	2.0
"-8	30×100×500	680	4.2	480	2.0
AB-3	30×100×200	250	1.5	340	1.0
"-7	30×150×300	550	3.4	400	2.0
"-8	30×100×500	640	3.7	440	2.0

6) 마그네슘陽極¹⁹⁾

2次大戰을 前後하여 美國의 Daw Chemical Co.가 地中埋設 pipeline의 防蝕目的으로 研究하여 高純度Mg의 Galvoline, 高電流效率의 AZ 63合金, 特別低電位の Galvomag(Mg-Mn 合金) 등을 開發하였다.

高純度 Mg은 陽極電位가 -1.5V(SCE)程度의 가장 低電位の 材料이나, 自己腐蝕이 甚하므로 Fe, Ni 등의 重金屬含量을 極力 減少하고, 이들 不純物의 作用을

이들 Al 合金陽極은 同--크기의 Zn 陽極에 比해서 出力이 더 크고, 重量이 半以下이고, 壽命이 더 길며, 아직 改善의 餘地가 있고, 電位가 Zn 陽極보다 若干 더 낮고, 防蝕費도 若干 더 싸게 된다. 또 同--重量的의 Zn 陽極에 比해서 發生電氣量이 約 3倍이고, Zn 陽極과 같이 過大電流를 發生시키지 않는 自己調節作用이 있으므로 流電陽極中에서 가장 經濟的인 陽極이다. 그러므로 Zn 陽極이 使用되던 곳에 Al 合金陽極이 漸次로 代置되고 있다. 그러나 Zn陽極은 高溫淡水中을 除外하면 汚染海水中 등 여러가지 環境에서 有效하나, Al 合金陽極은 汚染海水中이나 高抵抗의 土中에서 效率이 低下되는 欠點이 있다.

抑制하는 Mn을 添加해서 使用한다. 또 Mg-6Al-3Zn의 AZ63 合金은 純Mg나 Mg-Mn 合金보다 電位가 0.1V 程度 높고, 不純物의 影響이 적으며, 電流效率이 60%程度된다.

Mg 陽極은 初期에 美海軍과 캐나다海軍에 의해서 船體防蝕用으로 研究되었으나, 有效電位差가 너무커서 陽極附近의 塗膜이 損傷되고, 壽命이 짧고, 電流效率이 낮을 뿐 아니라, 比重이 낮으므로 大容積의 陽極이 必要하기 때문에 優秀한 Zn 陽極이 開發된 以後는 使

Table 12. 流電陽極의 性能比較

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 有效電位 (V)		0.20	0.75	0.65	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 効 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 効 率 (%)	65	40	50	65*
	發 生 電 氣 量 (Ah/g)	0.53	0.88	1.11	1.86*

* 組成에 따라 變動함.

用하지 않는다. 그러나 有効電位가 크므로 淡水中이나 地中과 같이 比抵抗이 큰 곳에 有効히 使用할 수 있고, 海水中에서 短時間 大電流을 낼 수 있으므로 boost anode 로 使用되기도 한다. Table 12 는 流電陽極의 性能을 比較한 것이다.

4. 外部電源에 의한 船底의 防蝕防汚

1) 船底의 外部電源防蝕

船底는 前述한 바와 같이 塗裝과 流電陽極의 併用으로 完全防蝕이 可能하다. 그러나 完全防蝕을 위해서는 많은 數의 陽極이 必要하고, 1~2年마다 入渠해서 陽極을 바꿔 붙여야 한다. 萬若에 4年程度의 壽命의 流電陽極을 取付한다면 陽極의 두께가 40~50mm 나 되므로 流體抵抗이 問題로 된다. 또 歐美諸國에는 流水와 流雪이 있는 河川과 大洋을 航行하는 船舶이 많고, 이러한 船舶은 船底塗膜과 流電陽極이 損傷되기 쉬울 뿐 아니라, 河川과 大洋에서 물의 比抵抗이 많이 變하므로 流電陽極으로는 充分히 防蝕시키지 못한다.

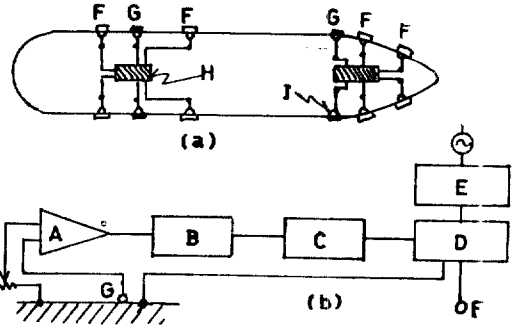
그리고 近年에 와서 外部電源防蝕用의 電極으로서 長壽命의 小型 白金渡金Ti電極이 開發되었고, 最近에는 海水中에서 훌륭한 性能을 發揮하는 含銀鉛電極이 開發되었으며, 7만톤級의 船舶의 防蝕電流가 不過 10~20kw 밖에 所要되지 않으므로 主發電機의 容量範圍內에서 防蝕電流를 얻을 수 있다. 그러므로 船舶은 良質의 耐久性塗料와 外部電源防蝕에 의해서 長久間의 完全한 防蝕이 可能하게 된다.

그러나 大型船의 外部電源防蝕에 施設費가 約6萬弗이나 必要한데 比해서 流電陽極防蝕은 年 2000\$로 防蝕問題가 解決되므로 現在로는 河川과 大洋을 運航하는 船舶등의 特殊船以外에는 普及되지 못하고 있다.

(1) 外部電源 防蝕裝置²⁰⁾

船舶에 採用되고 있는 外部電源防蝕裝置는 Fig. 2와 같이 基準電極과 被防蝕體의 電位差를 檢出增幅해서 定電壓裝置에 入力하여 適當한 電流를 發生시키는 自動制御方式이 採用되고 있다.

이 電源裝置에는 船體電位 自動制御回路를 가진 세렌 或은 矽리온整流器가 使用되고, 그 電位自動制御回路에는 可飽和리액티브으로 出力電位를 制御하는 것파 슬리드 스위치 다이오드와 같은 트랜지스터를 使用한 SCR回路式이 있다. 그리고 基準電極과 船體間의 檢出電位의 增幅裝置에는 트랜지스터 또는 真空管의 回路가 使用된다.



A: 增幅器, B: 슈미트 트리거, C: 다이오드, D: 電流스위치, E: 直流電源, F: 不溶性 陽極, G: 基準電極, H: 自動制御付電源裝置, I: 水密箱子

Fig. 2 外部電源 防蝕裝置의 構成

(2) 電極과 電流

外部電源防蝕用의 電極에는 白金渡金Ti電極과 含銀鉛電極이 使用되고 있고, 特히 前者가 많이 採用되고 있다. 白金渡金 Ti電極에는 0.0025~0.005mm 두께로 白金이 渡金되어 있으나, 溶出量이 6mg/A. Yr 이므로 10~15年間 使用할 수 있으며, 電流密度 15A/dm²以下, 浴電壓 14V 以下에서 使用할 수 있다. 이 電極은 Photo. 3과 같이 圓板狀이나 帶狀의 電極으로 만들어 미리 鋼板에 絶緣해서 取付한 것을 船底에 突出되지 않게 熔接해서 取付한다.



Photo. 3. 船體外板防蝕用 Pb-Ti電極(圓板狀)

電極의 配置는 電極의 出力電流와 電極數에 따라 다르나, 小數일 때는 船尾附近의 兩舷에 1~2組, 많을 때는 船首附近과 船體中央의 兩舷에도 配置하고, 電極의 리이드線을 미리 水密로 電極에 붙였다가 船內로 引込해서 電源裝置에 配線한다.

防蝕電流는 塗裝의 種類와 良否, 船速, 배의 크기, 航行區域 등에 따라 다르나, 外部電源法은 數個所에 配置된 電極에서 大電流를 流出시키므로 電流分布가 不均等하게 되고, 塗裝이 損傷 或은 劣化되면 大電流가 必

要하게 되므로 流電陽極法에서 보다 大電流인 10~80 mA/m² 程度로 計劃하고 있다. 이와 같이 한 電極에서 大電流를 流出하면 電極周圍에 電流가 密集되기 쉬우므로 그 部分의 塗膜이 劣化되기 쉽다.

一般的으로 船底塗料는 船體電位 -1000mV(SCE)까지는 電流에 의한 塗膜의 劣化가 적으므로 船體電位가 이 程度로 되는 電極周圍의 範圍까지에 絶緣性 塗料를 塗하여야 한다.

Morgan에 의하면 比抵抗 25Ω-cm의 海水中에서 25A를 發生시키는 電極周圍에는 直徑 2m內가 1V 以上の 電位로 되고, 50A를 發生시키는 電極周圍에는 直徑4m까지가 1V 以上の 電位로 된다고 한다. 그러므로 圓板狀電極에서 發生電流가 많으면 絶緣할 範圍가 圓狀으로 커지고, 絶緣塗膜의 維持도 困難해지므로 圓板狀陽極 1個當 發生電流를 30~40A로 制限하고 있다. 이에 對해서 帶狀陽極을 使用하면 電流의 增大에 따라 電極의 長이를 길게 하면 되므로 絶緣部分의 長이는 增加되나 絶緣幅에는 變動이 없으므로 絶緣塗膜의 維持가 容易하다.

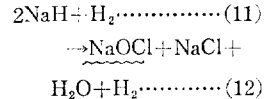
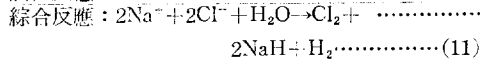
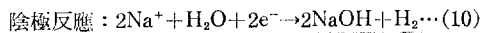
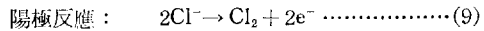
電極周圍의 絶緣區域에는 유리纖維로 強化한 에폭시樹脂의 라이닝이 가장 좋고, 그外周에는 에폭시타알塗料를 塗하는 것이 좋다.

2) 船底의 電氣防汚의 그 展望

船底의 防汚에는 前述한 바와 같이 有機毒物이나 無機毒物을 添加한 所謂 A/F塗料가 活用되고 있다. 그러나 이들의 A/F塗料를 두껍게 塗하여도 그 壽命이 1~2年밖에 안되고, 最近의 大型船에는 長期間 無入渠航續이 要望되고 있으므로 이에 알맞는 防汚對策이 要求되고 있다.

船底의 電氣防蝕에 의한 防汚效果에 對해서는 Marine Chemist 號에 60mA/m²로 Mg陽極防蝕하여 船底에 全혀 海水中의 生物이 附着되지 않았다는 Schrieber (1958)의 報告²¹⁾가 있다. 그러나 普通의 防蝕電流인 10mA/m²程度로는 全혀 防汚效果를 期待할 수 없다.

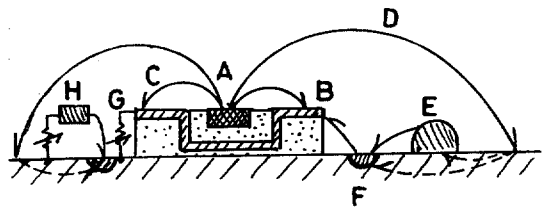
海水中의 生物에 의한 防汚에 Cl₂가스의 利用은 陸上發電所의 復水器海水系統에 對해서 오래전 부터 使用되어 왔고, 海水의 電解에 의해서 次亞鹽素酸이온을 發生시켜 防汚하는 方法은 實船의 復水器冷却系統에 試用되고 있다.^{22), 23)} 이 次亞鹽素酸이온 發生裝置는 陽極에 白金渡金 Ti陽極, 陰極에 軟銅板材를 使用해서 8.0V, DC로 海水를 電解하여 다음 式의 反應으로 發生시키며, 初濃度0.2~0.3ppm as Cl₂, 排出時의 殘留鹽素濃度 0.02~0.06ppm로 海水中의 生物이 全혀 附着하지 않는다고 한다.



이와같이 海水를 電解하여 얻은 次亞鹽素酸이온을 船底의 防汚에 利用하려는 研究은 이미 吉岡 등²⁴⁾에 의해서 進行되고 있고, 建造中인 26,000톤級 船底의 兩舷에 36m의 Pb-Ag陽極을 設置해서 靜水中에서 實驗한 結果가 發表되어 있다.

이와같이 外部電源에 의해서 船底를 防汚한다면 必然的으로 迷走電流에 의한 腐蝕問題가 생기나, 이에 對해서는 Fig. 3과 같이 流電陽極을 取付하거나, 船底間에 排流回路를 設置해서 防止할 수 있다.

이 船底防汚法이 實用化된다면 外部電源防蝕用的 裝置와 一部分이 共用으로 쓰일 수 있으므로 施設費가 많이 輕減될 수 있기 때문에 長久間 入渠하지 않고 航續시키는 데에 大型船에는 經濟的으로도 普及이 可能할 것으로 보고 있다.



A: 陽極 B: 陰極 C: 電解電流 D: 迷走電流

E: 流電陽極 F: 電蝕 G: 排流抵抗 H: 外部電源

Fig. 3 電氣防汚時의 迷走電流에 의한 腐蝕과 防蝕

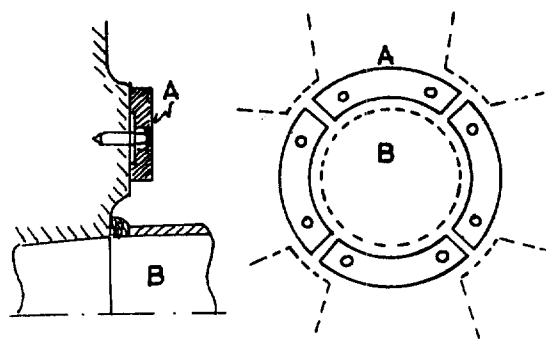
5. 推進器와 同軸務의 防蝕^{25)~27)}

推進器는 船舶에서 가장 重要한 部分이고 가장 損傷되기 쉬운 部分이므로 耐蝕性과 機械的強度가 큰 단강靑銅製가 많이 使用되었고, 最近에는 알미靑銅製를 使用하는 船舶이 많아졌다. 그리고 推進器軸도 高強度와 耐蝕性이 要求되므로 銅材軸表面에 靑銅sleeve를 끼워서 使用한다.

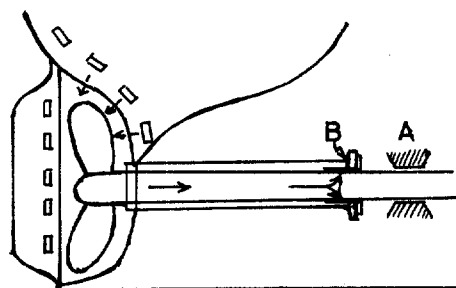
이러한 推進器나 推進器軸의 銅合金은 船體보다 電位가 높으므로 이들에 의해서 船體가 腐蝕되기 쉽기 때문에 옛부터 船尾附近에 防蝕亞鉛板을 붙여왔다. 그러나 船舶의 運航中은 各 베어링面에 두꺼운 油膜이 形成되어 船體와 推進器軸系間에 電氣的으로 絶緣에

가까운 狀態에 놓이게 되므로 船體의 防蝕亞鉛板에 의해서 船體와 推進軸間에 오�히려 電位差가 커지고, 그 迷走電流에 의해서 Stern Gland의 推進器軸 sleeve가 電解腐蝕되기 쉽다.

Fig. 4는 그 迷走電流의 回路想像圖이고, Fig. 5는 某大型탱커의 推進器軸 sleeve에 發生된 腐蝕例이다. 이러한 腐蝕은 新造或은 修理直後의 船舶에는 一般의 으로 發生되지 않는다. 그리고 推進器는 回轉周速의 差異로 推進器中心部가 陰極, 그 先端部가 陽極이 되어 腐蝕되고, 大型船에서는 推進器가 低速回轉해도 推進器翼端部의 周速이 대단히 빠르므로 캐비테이션에 의해서 損傷되기 쉽다. 또 推進器翼의 基部는 甚한 應力을 받으므로 應力腐蝕이 發生되기 쉽다. 이와같은 諸腐蝕은 大型船에서 特히 甚하다.



A: 流電陽極 B: 推進器軸
Fig. 6 推進器 boss에 Zn板을 붙인 概略圖.



A: Bearing B: Stern Gland
Fig. 4 軸電流의 回路想像圖

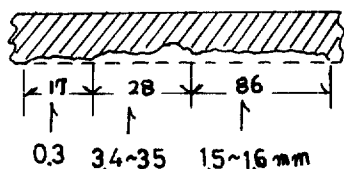
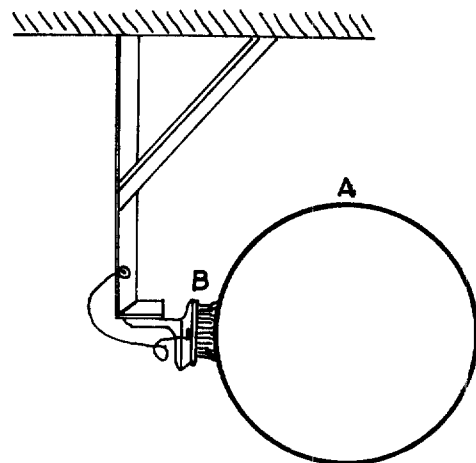


Fig. 5 Stern Gland部 軸 sleeve 電解腐蝕例.

推進器와 周軸의 sleeve의 防蝕은 推進器의 boss나 그 締付 nut部에 流電陽極을 取付하는 것이 가장 效果的이다. 그러나 推進器에 充分한 量의 流電陽極을 붙인다는 것은 取付場所關係로 制限되기 때문에 船體에 붙인 陽極이나 船體에 絶緣해서 붙인 陽極에 의해서 防蝕되도록 리이드라인 或은 slip ring-brush로서 推進器軸에 接續시킬 수 있다.

賀田 등은 推進器 boss에 電流密度를 300mA/m²로 計劃하였으나, 場所關係로 180mA/m²로 Fig. 6과 같이 亞鉛板을 붙이고, Fig. 7과 같이 slip ring-brush로서 船體와 推進器軸系를 連結해서 防蝕하였다.



A: Coupling部, B: Metal-carbon brush
Fig. 7 船體와 軸系의 導電裝置.

Table 13은 推進器 boss에 推進器表面積의 約1/50의 面積의 Zn板을 붙인 前後의 推進器軸의 電位實測值이고, Table 14는 某船의 船體와 推進器軸間에 導電回路를 만든 前後의 船體와 推進器軸의 電位를 實測한 값이다. 卽 導電回路를 만들므로써 船體를 電氣防蝕하지 않았을 때와 對等한 값까지 電位差를 낮출 수 있다²⁸⁾.

Table 13. 軸電位(SCE).

軸電位(-mV)	測定時間
250~300	亞鉛板 取付前
300~350	亞鉛板 取付直後
350~400	亞鉛板 取付數個月後

Table 14. 船體와 推進器軸의 電位

電位 - mV (SCE)			狀 態
船 體	推進軸	兩 者 電 位 差	
600~650	250~300	300~350	電氣防蝕 안했을 때
750~850	300~350	450~500	電氣防蝕하고 導電 안했을 때
750~850	400~500	300~350	電氣防蝕하고 導電 했을 때

6. 海水바라스트 탱크의 防蝕

油槽船, 鑛石運搬船 등의 專用船의 탱크는 空船일 때에 安全航海를 위해서 海水를 漲水해서 바라스트 탱크로 使用하고, 荷積時는 海水를 排除해서 空탱크 또는 기름탱크(荷油前의 일마간은 空탱크)로 使用하므로 腐蝕이 대단히 甚하고, 防蝕하기도 困難하다. 이 탱크는 大部分이 船體外板으로 構成되어 있고, 船體의 大部分을 占有하고 있으므로 그 腐蝕은 船體의 強度를 弱화해서 船體의 壽命과 船舶의 安全性에 重大한 影響을 미친다.

이 탱크의 防蝕에는 流電陽極法, 塗裝法 및 腐蝕抑制劑 添加法이 利用되고 있다.

1) 流電陽極法²⁹⁾

流電陽極으로는 Zn合金陽極과 Al合金陽極이 많이 使用되고 있다. Mg合金陽極은 初期에 油槽船탱크에 많이 使用되었으나, 防蝕費가 甚할 뿐 아니라, 爆發事故가 몇件 일어났고, 美 코스트과아드에 의해서 空탱크에 Mg陽極의 落下는 그 衝擊 spark로 爆發事故의 原

인이 될 수 있다는 것이 確認됨에 따라 各國의 船級協會에서 油槽船탱크에 Mg陽極의 使用를 禁止하였다. Al合金陽極은 Zn合金陽極보다 防蝕費가 싸게 되므로 많이 使用하는 추세에 있으나, Zn合金陽極보다 電位가 若干 더 낮으므로 油槽에는 27.65kg·m 以下の 곳에 取付하도록 制限되어 있고, 汚染海水中에서 効能이 低下되는 缺點이 있다.

바라스트탱크의 流電陽極防蝕法은 空탱크일때도 CaCO₃, Mg(OH)₂ 등의 電折物에 의해서 防蝕效果가 어느 程度까지 維持되나, 主로 바라스트海水를 漲水했을 동안에 防蝕效果를 發揮하므로 防蝕率은 바라스트率에 따라 決定되고, 그 防蝕經濟性은 Table 15와 같이 된다. 이 防蝕率은 바라스트率 30~40%일 때에 60%程度이다.

이 탱크의 防蝕電流密度는 黑油를 싣고 butterworth 하지 않는 탱크는 油膜이 많이 남으므로 白油를 싣는

Table 15. 바라스트率과 電氣防蝕經濟性

바라스트率(%)	15	20	25	>35
經濟性	不經濟	限界點	有利	대단히有利

탱크에 比해서 0.8倍로 充分하고, 바라스트率이 40%를 넘으면 防蝕率이 높으므로 바라스트率 30~40%일 때의 0.9倍, 反對로 바라스트率이 20~30%일 때는 反對로 防蝕率이 낮으므로 1.1倍로 하여야 하고, 바라스트率이 20%以下일 때는 電氣防蝕率이 顯著히 낮으므로 塗裝防蝕하는 것이 經濟的이다. 그러므로 이러한 條件을 考慮하면 所要防蝕電流密度는 Table 16과 같이 된다.

Table 16. 바라스트 탱크의 所要防蝕電流密度(mA/m²)

바라스트率(%)	25~40				>40			
	<5	6~9	10~14	>15	<5	6~9	10~14	>15
바라스트繼續日數								
Top Side Tank	190	155	130	110	180	145	120	100
Clean B. W. T	160	130	110	90	150	120	100	80
Dirty B. W. T	120	95	80	65	105	85	70	60

탱크 防蝕用 陽極의 規格品에는 Table 17, 18과 같은 것이 있으나, Lloyd 船級協會基準에 의하면 陽極壽命이 4年 以上되는 것을 取付하여야 하고, 그 最少斷面積은 28cm²(4in²) 以上이래야 한다.

탱크에 流電陽極의 取付는 탱크底部에 海水가 恒時 殘存하기 쉬우므로 底面에 重點을 두어서 被防蝕面積에 따라 比例配分해서 底部縱骨材, 水平隔壁補強材 등의 表面에 取付한다. 取付 要領은 Fig. 8과 같이 取

付部에 取付用具를 미리 溶着한 後에 陽極心鐵을 U볼트로 確實히 固定하거나, 그 心鐵을 取付部에 直接 溶接해서 붙일 수 있다. Photo. 4는 탱크內에 流電陽極을 取付한 狀態이다.

流電陽極을 取付한 後의 防蝕狀態는 所要마다 鹽化銀電極등을 取付하고, 그 導線을 甲板上까지 꺼내서 定期的으로 그 電位를 測定하는 등으로 把握할 수 있다. 또 定期的으로 或은 入渠中에는 탱크內의 陽極의

Table 17. 탱크防蝕用 Al合金陽極仕樣例.

바라스트트率 (%)	壽命 (年)	型	치 수 (mm) H×L, (A+B)	等價直徑 d (cm)	正味重量 (kg)	發生電流 (A)		
						△E		計劃
						0.25V	0.2V	
30	1	S-6	30×1000, (22+30)	3.58	1.91	1.68	1.34	1.5
	2	S-13	47×1000, (33+47)	5.55	4.90	1.90	1.52	1.9
	4	S-29	72×1000, (51+72)	8.35	11.8	2.20	1.76	2.3
45	1	S-10	41×1000, (29+41)	4.85	3.68	1.89	1.52	1.9
	2	S-19	60×1000, (40+60)	7.00	7.95	2.08	1.66	2.1
	4	S-40	80×1000, (75+86)	10.3	17.0	2.35	1.88	2.3
50	1	S-10	"	"	"	1.89	1.52	1.8
	2	S-19	"	"	"	2.08	1.66	1.9
	4	S-40	"	"	"	2.35	1.88	2.1
30	1	L-12	30×2000, (22+30)	3.58	3.84	2.85	2.28	2.6
	2	L-20	41×2000, (29+41)	4.85	7.40	3.15	2.52	2.9
	4	L-41	60×2000, (40+60)	7.00	15.7	3.45	2.76	3.1
45	1	L-15	35×2000, (25+35)	4.13	5.29	3.00	2.40	2.8
	2	L-30	53×2000, (37+53)	6.25	12.2	3.20	2.56	3.2
	4	L-65	75×2000, (61+75)	9.10	27.0	3.80	3.04	3.6
50	1	L-15	"	"	"	3.00	2.40	2.6
	2	L-30	"	"	"	3.20	2.56	3.0
	4	L-65	"	"	"	3.80	3.04	3.3

Table 18. 탱크防蝕用 Zn合金陽極仕樣例.

型	치 수 (mm)	正味重量 (kg)	全重量 (kg)	發生電流 (A)	壽命 (D)	備考
R-8	35×35×1000	6.8	7.7	1.47	128	30% 1年
R-11	35×35×1200	10.2	11.6	1.72	164	45 1年
R-16	50×50×1000	14.8	15.7	1.63	250	30 2年
R-22	50×50×1200	21.6	23.0	1.85	323	45 2年
R-18	75×75×500	17.2	17.8	0.91	518	35 4年
R-32	100×100×500	30.3	30.9	1.16	725	50 4年

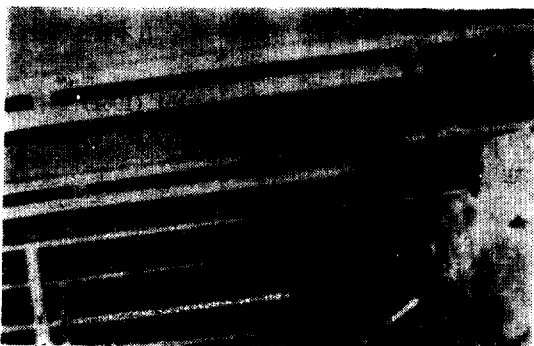


Photo. 4 탱크內的 Al陽極.

消耗狀態를 調査해서 많이 消耗한 것은 補充하고, 陽極表面의 腐蝕物을 깨끗히 scrapping해 주어야 한다.

2) 浮遊性腐蝕抑制劑³⁰⁾

非水溶性의 浮遊性防蝕劑를 탱크內的 海水에 添加하면 水面上部の 壁面과 天井面에 防蝕被膜을 形成해서 防蝕하고, 排水後에도 壁面에 被膜의 一部分이 殘存하기 때문에 防蝕效果가 어느程度 繼續된다. 그러므로 PDC와 같은 腐蝕抑制劑를 0.3~0.5kg/m² 程度로 添加하면 實驗탱크에서 90~95% 程度의 防蝕率을 나타낸다. 그러나 實船의 경우는 역시 바라스트트率에 따라 防蝕率과

經濟성이 많이 變할 것 같다.

3) 塗裝裝防蝕

바라스트탱크의 內部는 構造가 複雜하므로 塗裝과 修理가 困難하기 때문에 防蝕效果가 적고, 耐油·耐海水·耐熱性的 塗料은 값이 비싸므로 지금까지 活用이 적었다. 그러나 最近에는 性能이 좋은 폴리우레탄塗料, 에폭시타알塗料 등이 比較的 값싸게 供給되고 있으므로 電氣防蝕과 많이 併用될 것 같다.

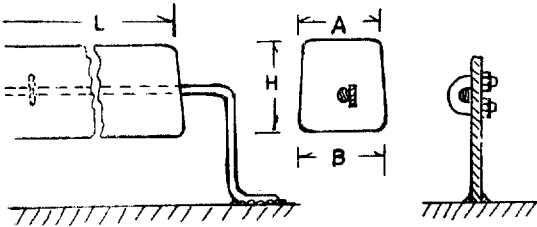


Fig. 8 탱크內的 陽極取付 要領.

7. 船體의 防蝕·防汚 展望

漸次 大型船이 많아지고 入渠할 船渠은 적으므로 入渠費가 비싸질 뿐 아니라, 入渠待機등의 缺航의 損失이 莫大하고, 物資의 稀貴로 船價가 高騰하기 때문에 經濟的 見地에서 船舶의 入渠期間을 2~4年으로 延長하는 同時에 그 壽命을 더 延長시키지 않을 수 없다. 그러므로 船體의 防蝕과 防汚의 重要性이 앞으로 더욱 高潮되지 않을 수 없고, 이들의 技術이 더욱 發展되지 않을 수 없다.

이 때에 中小型船은 每2年의 入渠目標로 良質의 防蝕塗料과 厚膜의 防汚塗料를 칠하고, 充分한 量의 流電陽極을 併用하지 않을 수 없으며 大型船은 每4年의 入渠目標로 良質의 防蝕塗料과 防汚塗料를 두껍게 칠하는 한편, 外部電源에 의한 防蝕과 防汚의 方法이 많이 普及되고, 採用되지 않을 수 없다. 그리고 海水바라스트탱크에는 船體外板에 對等할 程度로 塗裝防蝕과 電氣防蝕의 併用이 盛行하게 될 것 같다.

參 考 文 獻

1. 細野 正己, 機關科提要(中卷), 318, 海文堂, 神戶,

(1961)
 2. 中川 雅夫, 電氣防蝕法の實際, 297, 地人書館, 東京(1967)
 3. 伊藤·上田, 金屬の防蝕技術と表面處理 317, 地人書館(1970)
 4. 日本學術振興會, 金屬防蝕技術便覽, 623, 日刊工業新聞社, 東京(1965)
 5. 塗料便覽編集委員會, 塗料便覽, 754~755, 日刊工業新聞社(1965)
 6. 前掲書(4), 622~627
 7. 日本學術振興會, 金屬防蝕便覽, 新版, 日本 725, 日刊工業新聞社(1972)
 8. 前掲書(3), 321
 9. 田大熙, 韓國海洋大學論文集 3, 6 (1969)
 10. 瀬尾正雄, 船舶의 電氣防蝕, 44, 船舶技術協會, 東京(1958)
 11. 前掲書(2), 203
 12. 運航技術研究會, 練習船 靑雲丸, 162, 成山堂書局(1969)
 13. 瀬尾正雄, 船舶의 電氣防蝕, 改訂版, 船舶技術協會(1963)
 14. 前掲書(13), 57.
 15. 前掲書(3), 320
 16. 福谷英二, 防蝕技術 9, 10 446 (1962)
 17. 前掲書(10), 45
 18. 前掲書 (13), 56
 19. 前掲書 (7) 588~590
 20. 前掲書(2) 256~260
 21. 前掲書(2) 251
 22. 乾 文雄, 日本船舶機關學會誌 8, 6, 374 (1973)
 23. 酒井·溝田, 日本船舶機關學會第14回學術講演集, 105, (1972)
 24. 吉井·植田·防蝕技術, 21, 11, 523 (1972)
 25. 富田·賀田·宮嶋, 防蝕技術 12, 12 557 (1963)
 26. 前掲書(12), 233~234
 27. 宮嶋時三, 船舶通報 資料E-15, 日本船主協會(1961)
 28. 賀田·宮嶋, 防蝕技術 10, 4, 151 (1961)
 29. 前掲書(2), 260~271
 30. 前掲書(7), 726