

〈研究論文〉

熱交換器의 海水冷却細管의 腐蝕과 防蝕(3)

—外部電流에 의한 海水冷却細管 内面の 直接的 防蝕裝置를 갖춘
熱交換器의 設計要領과 特性—

田 大 熙**

On the Corrosion and its Prevention of Sea Water
Cooling Tubes of Heat Exchangers (3)

On the Design Points and the Features of Heat Exchangers equipped with
the Direct Protective Device by the External Current for the Inner Surface
of Sea Water Cooling Tubes. —

Dae Hie, Jeon

Abstract

A heat exchanger is designed to be used for a long period without repair and cleaning. In this heat exchanger, the twisted tapes, to both faces of which the insoluble linear auxiliary anodes fixed, are inserted into its cooling tubes, and the sea water pipe line has an anti-biofouling device by sea water electrolysis. Therefore, the inner surface of those tubes are protected against corrosion and biofouling by the external current.

The heat exchanger is designed on the following conditions:

1. The cooling tubes made of a metal which is more heat-conductive but less anti-corrosive are used in the heat exchanger, for the tubes are protected against completely and economically. The tube whose inside diameter is more than 20 mm must be used for the reduction of the sectional area of cooling tube by inserting the twisted tape into it, the wall of the tube must be more thick than 2.0 mm and the thickness of the tube sheet must be nearly equal to the cooling tube diameter to be fixed the tube to the sheet tightly for a long period. The tube pitch must be from 1.5 to 1.8 times as the diameter of the cooling tube and the tubes must be arranged with equilateral triangles because of the electric line net for protection.
2. The twisted tapes (twist pitch/tube inside diameter=6~8) must be wide enough and its edge side must be coated thicker not to be shaken in the cooling tube, the internal electric lines of the heat exchanger must be arranged with double line system not to be broken, and the tapes must be protected against corrosion by the stray current.

*同 防蝕裝置에 對해서 特許出願中: 出願番號1574

**韓國海洋大學 副教授

3. The rubber plate for the electric line net, the rubber plate for packing and the metal plate for pressing rubber plates must be fixed with 4-6 stopper bolts and many cover flange bolts, and the water passage holes of the plates must be enlarged from 20° to 30°

4. The electrodes whose potentials are stabilized in sea water for long period must be fixed on the center part of the 3 typical tubes to be able to measure the potentials of the inner surface of cooling tubes, for the protective current density must be controlled by the potential of the inner surface of a cooling tube. (2 electrodes are for spares)

5. The heat exchanger must be equipped with an anti-biofouling device by sea water electrolysis and a strainer on the sea water pipe line to be used continuously for a long period without cleaning.

6. The capacity of the external D. C. source is calculated by the current density estimated by the operating conditions.

The heat exchanger is more complex in structure and more expensive in manufacturing cost, but has better effects on corrosion prevention and heat transfer, and it needs less current consumption than the heat exchanger equipped with an anti-corrosive device by iron electrolysis and an anti-biofouling by sea water electrolysis.

抄 錄

熱交換器를 長久間에 걸쳐서 無修理·無掃除로 使用할 수 있도록 設計했다. 그 熱交換器에는 海水冷却管 内部에 兩面의 線狀 補助陽極線을 取付한 Twisted Tape(傳熱促進裝置)를 插入하고, 그 海水管系에 海水電解式 防汚裝置를 取付했다. 그러므로 그 海水冷却管 內面은 外部電流에 의해서 防蝕과 蝕汚가 이루어진다.

이 熱交換器는 다음 條件으로 設計했다.

1. 이 熱交換器의 冷却管은 充分히 防蝕시킬 수 있으므로 그 冷却管은 耐蝕성이 다소 낮으나 熱傳導성이 좋은 材料로 만든 것을 使用하고, 冷却管 內徑은 Twisted Tape의 插入으로 冷却水流路의 減少率을 考慮해서 20mmφ 以上の 것을 使用하여 冷却管과 管板의 두께는 長久間 서로 密着할 수 있도록 20mm 以上 두께의 冷却管과 冷却管 直徑에 對等한 두께의 管板을 使用하고, Tube Pitch는 配線關係로 冷却管直徑의 1.5~1.8倍 程度로 해서 冷却管은 正三角形으로 配列했다.
2. Twisted Tape는 海水의 流動으로 冷却管內에서 搖動하지 않도록 Tape幅을 充分히 크게 하고 Tape線을 Tape가 冷却管內에 強入되게 充分히 두껍게 被覆하였고, 熱交換器의 内部電氣配線은 切斷되기 쉬우므로 完全 二重配線 하였고, Tape가 防蝕電流의 軌走電流로 腐蝕되지 않게 考慮하였다.
3. 管板 바깥쪽의 配線고무板·無配線고무板 및 고무板 壓着板은 이들을 取付해도 海水의 流出入에 別支障이 없도록 이들을 管端에서 20~30度 程度로 擴孔되게 만들었다.
그리고 이들을 管板에 取付할 때에 움직이지 않도록 4~6個의 Stopper Bolt를 設置하였고 Flange付 Setting Bolt를 使用해서 이들이 다시 管板과 Cover Flange間에 確實하게 固定되도록 하였다.
4. 海水冷却細管 內面의 防蝕電流密度를 그 內面電位에 의해서 調節하기 위해서 同管内部를 流動하는 海水를 攪亂시키지 않고 그 內面電位를 測定할 수 있도록 그 代表的인 3個의 冷却管의 中央部에 海水中에서 電位가 長久間에 걸쳐서 安定한 電極을 設置하였다.
5. 이 熱交換器는 長久間 無掃除로 계속 使用할 수 있도록 同海水系統에 海水電解式 防汚裝置의 細目の 海水濾過器를 附設시키도록 하였다.
6. 外部電源裝置의 容量은 運轉條件에 의해서 推定되는 電流密度에 의해서 計算하였다.

以上の 要領에 의해서 만들어진 熱交換器는 鐵電解式 防蝕裝置와 海水電解式 防汚裝置를 갖춘 熱交換器에 比해서 構造가 더 複雜하고 初投資가 거의 對等한 것이다, 防蝕初果面, 防蝕電流面 및 傳熱效果面에서 더 優秀하다.

1. 序 論

臨海工業團地가 많아짐에 따라 海水를 冷却水로 使用하는 熱交換器의 數가 急作히 많아졌다. 이러한 熱交換器는 熱負荷의 過重, 管系의 라이닝發達¹⁾, 用水의 汚染등으로 그 冷却細管의 腐蝕事故가 아주 短時日에 일어나고, 아주 자주 일어나기 때문에 이로 因해서 直間接的으로 生産에 莫大한 被害를 입히는 경우가 많다²⁾³⁾.

이러한 熱交換器의 腐蝕事故는 主로 그 傳熱效果를 犧牲시키더라도 耐蝕性이 강한 材料의 冷却管^{4)~6)}을 採用해서 解決하고 있다. 또 이에 附加되는 消極的方法에는 防蝕效能이 不充分하지만 Fe²⁺를 冷却海水中에 一定量씩 添加하거나 或은 發生시켜서 冷却管內面에 銅-鐵系의 保護性 複合酸化물을 形成시킴으로써 그 防蝕性을 增加⁷⁾시키고 있다.

拙者는 熱交換器의 海水冷却 細管內面에 傳熱促進裝置인 Twisted Tape⁸⁾를 插入하고, 그 Tape의 兩面에 線狀 Pb-Ag合金電極을 設置하여 外部電流에 의해서 그 管 內面을 直接 電氣防蝕하는 積極的이고 革新的인 方法을 創案하고, 模型 熱交換器의 實驗⁹⁾을 通해서 그 實用 防蝕裝置를 設計하였다. 이 防蝕法은 “海水中에서 防蝕效果가 아주 좋고, 經濟的인 方法”이란 定評^{10)~12)} 있는 外部電流에 의한 直接的인 防蝕法을 採用하고 있으므로 耐蝕性보다는 熱交換器에서 가장 重要한 熱傳導性이 좋은 材料를 採用할 수 있게 하고, 長久間 無修理로 稼働케 하며, 附隨的으로 傳熱促進裝置가 設置

되므로 熱效率도 높게 된다.

그러므로 이 防蝕裝置는 無線事故가 없게 安全設計하고, 長久間 防汚시킬수 있는 海水電解式 防汚裝置¹³⁾ 등을 附設시키면 長久間에 걸쳐서 修理와 掃除가 必要 없는 經濟的인 熱交換器로 만들수 있게 한다.

2. 海水冷却管 內面의 直接的 電氣防蝕裝置를 갖춘 熱交換器의 設計要領

이 熱交換器는 獨特한 配線코루板, Twisted Tape 등을 使用하고 있으므로 그 容量은 可能的 몇段의 冷却 管量과 길이의 變化로 調節하는 規格品의 製作을 原則으로 하고, 構造上으로 解水를 還流시키지 않음을 原則으로 한다.

이 熱交換器의 海水冷却管은 거의 完全히 防蝕시킬 수 있으므로 耐蝕性이 多少낮으나 熱傳導性이 좋은 Admiralty metal Alumi-brass 등을 使用하고, 그 內徑(Di)은 Twisted Tape의 插入으로 因하여 流路가 減少됨을 考慮해서 20mm 以上の 것을 使用하며, Tube sheet 上的 Tube Pitch(S)와 配列은 普通 (1.3~1.5) Di의 Tube Pitch를 採用¹⁴⁾하고 있으나, 配線關係로 (1.5~1.8) Di 程度로 正三角形 配列을 하여 錯型配列로 使用한다.

그리고 Tube를 Tube Sheet에 多年間 水密로 維持하여야 하므로 Tube 두께는 2mm 以上, Tube Sheet 두께는 tube 內徑과 對等한 것을 使用한다.

Table 1은 이 仕樣에 의해서 만들어지는 規格熱交換器의 寸數例이다.

Table 1 The Size of Heat Exchangers.

Number of Tube Layers (n)	3	4	5	6	7	8	9	10 ...	Formula
Number of Tubes (N)	19	37	61	90	127	169	217	270 ...	$N=1+3(n-1)n^*$
Inside Dia of Shell (cm)	22.5	31.5	40.5	49.5	58.5	69.5	76.5	85.5...	$dn=(2n-1) S/10$
Inside Area of Tubes (m ²)	1.9	3.7	6.1	9.0	12.7	16.9	21.7	27.0...	$M=2DiLN/10^6$
Area of water Passage(cm ²)	57	111	183	270	381	507	651	810 ...	$A= \frac{N}{10^2} \left(\frac{\pi Di^2}{4} - 2Di \right)$

Tube Length (L):150cm Tube Inside Dia (Di) 21mm Tube thick:2mm

Tube Pitch(s):1.8 do(Tube Outside Dia)

* $N=1+6(1+2+\dots+(n-1))=1+3(n-1)n$ (See Fig. 2)

이 熱交換器의 設計에 있어서 一般熱交換器와 同 한 事에 對해서는 說明을 略하고, 이 熱交換器의 獨特한 點만을 說明한다.

1 Twisted Tape(傳熱促進裝置)

(i) 冷却管의 內徑보다 幅이 1.0mm 程度작고, 두께가 1mm 程度되는 鋼帶를 Twist Pitch/Tube Dia (H/E)가 6~8 程度되게 Twist 하여 그 長이를 冷却管 徑이 보다 10mm 程度가 짧게 切斷한다.

(ii) Twisted Tape의 한端에 直徑 2.5mm, 길이 80mm

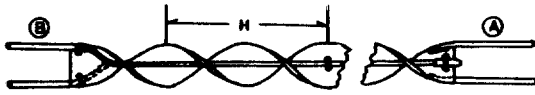


Fig. 1 Twisted Tape.

(A); Fixing Steel Wire, (B); Pb-Ag Electrode
(H); Twist Pitch

- 内外의 Tape 固定用 鋼線 2 本을 溶接한다.
(iii) Tape 端에서 約 15cm 間隔으로 防蝕用 電極線을 取付할 直徑 1mm 程度의 小孔 2 個씩을 그 Tape 中央部에 나가면서 나란히 뚫는다.
(iv) Twisted Tape 全體의 耐海水性의 絶緣物(Neoprene 등)을 0.5mm 程度의 두께로 Coating 한다. 但 Tape 緣은 冷却管에 힘들게 들어갈 程度까지 Coating 한다.

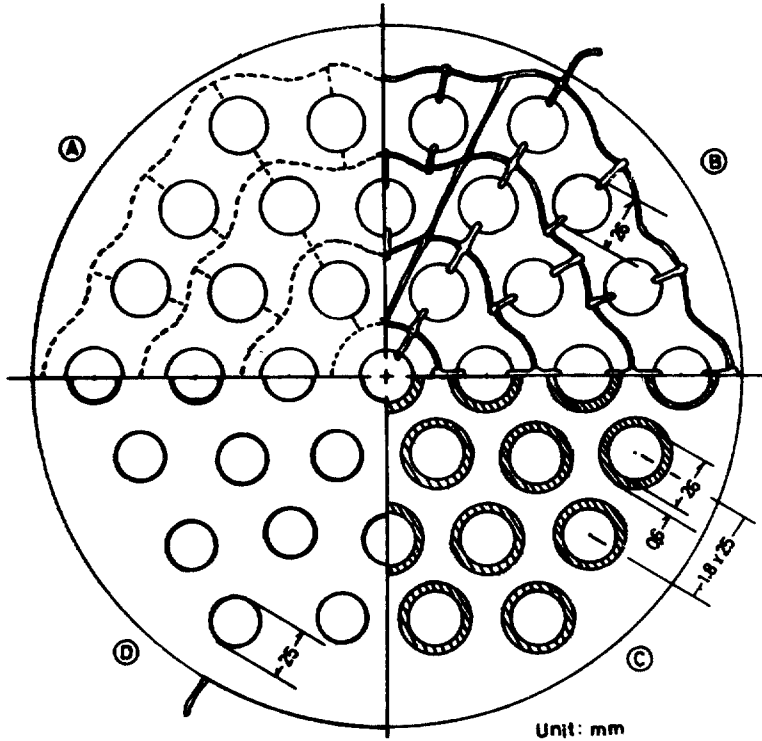


Fig. 2 Rubber Plates.

(A) for Electric wire Net (C) for Packing
(B) Rubber Plate with Electric Wire
(D) Tube Sheet with Tubes

- (v) 2.5mm ϕ 程度의 Pb-Ag 合金 陽極線을 Twisted Tape 길이 2 倍+約 20mm 程度로 끊고, 그 中央部에 30mm 程度, 그 兩끝에서 115mm 程度의 耐海水性 絶緣物을 被覆한다.
(vi) 이 Tape 固定用 鋼線側에서 Tape 兩面의 電極線을 나이론실 등으로 安全 確實하게 固定한다.

2 Twisted Tape의 固定과 電極線의 連結

Tube Sheet 에 冷却管을 取付完了한 狀態의 冷却管 內에 Twisted Tape 를 挿入(앞에서 당기고 뒤에서 댄다)한다. 그리고 Fig. 2 (A)部와 같이 만든 6mm 두께

의 配線고무板(使用溫度가 높으면 耐熱性 材料 使用)을 Tube Sheet 上에 接劑着를 칠해서 붙이고, 그 고무板의 配線 Slot(斷面이 橢圓形이고 위가 開口됨)에 長徑 3mm, 短徑 2mm 程度의 橢圓形 斷面의 銅電線(適形으로 만들어서 壓縮함)을 配線한다. 그리고 Twisted Tape의 固定用 鋼線端을 먼저 海水入口側의 配線網에 結線하고, Tape 上의 防蝕電極線端을 나중에 海水出口側의 配線網에 結線한다. 但, 配線고무板, 無配線고무板(Rubber Plate for Packing) 및 고무板壓着板(Tube Sheet 두께의 1/3 程度두께)의 海水 通路는 冷却管端에서 20~30°程度로 擴孔되게 만들어서 海水의 流出口

이 잘되게 한다.

다음은 防蝕電極線의 具體인 結線 固定法이다. 그 固定鋼線도 이와 同一要領으로 結線固定한다.

- (i) 配線고무판을 Tube Sheet에 接着劑를 칠해서 附着시킨 後에 6個의 Stopper Bolt로 固定하여 乾燥시킨다.
- (ii) 그 고무板的 配線 Slot에 橢圓斷面의 成型銅線을 配線하고 Twisted Tape端에 붙어있는 防蝕電極線을

熱膨脹의 餘有가 있게 若干 Loop를 形成시켜서 (固定鋼線은 Tight 하게) 配電銅線網에 結線한다. 그리고 그 Slot의 틈에 絶緣物을 채운다.

- (iii) Fig. 2 (C)部分과 같은 두께 2.5mm 程度(冷却管 周圍部分外는 1.5mm)의 無配緒고무판을 고무板 壓着板에 接着劑를 칠하여 붙이고 이것을 配線고무板 위에 덮어서 다시 Stopper Bolt로 단단히 縮付한다.

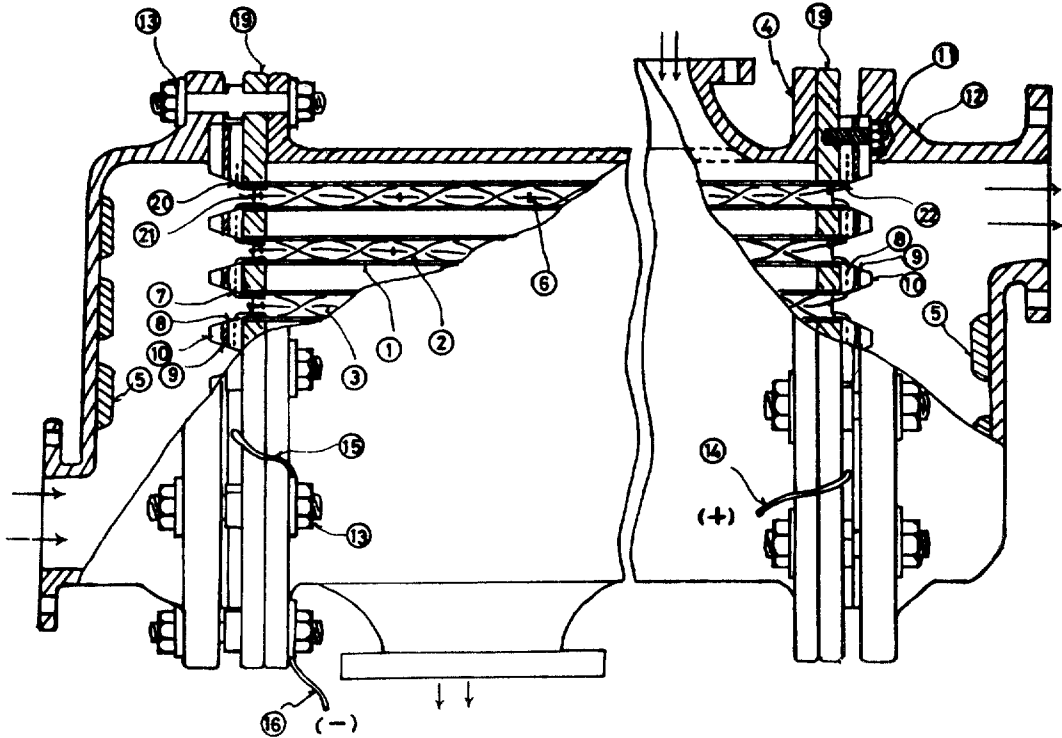


Fig. 3 A Section View of the Heat Exchanger equipped with the Direct Protective Device for Inner Surface of Cooling Tubes.

- (1) Cooling (2) Twisted tape (3) Pb-Ag electrode (4) Shell of heat exchanger
- (5) Zn anode (6) 2 small holes (7) Electric wire net (8) Rubber plate for electric wire net
- (9) Rubber plate for packing (10) Pressing plate for rubber plates (11) Stopper bolt
- (12) Water chest cover (13) Fixing bolt with flange (14) Electric wire from positive pole of D.C. source
- (15) Electric wire for stray current (16) Electric wire to negative pole of D.C. source (17) Tube sheet
- (18) End part of fixing steel wire (19) middle part of Pb-Ag electrode (20) End part of Pb-Ag electrode

(iv) 防蝕電極의 配線網부터의 두 電線끝을 하나로 모아서 電源裝置의 正極에 取付할수 있도록하고, Tape 固定鋼線端의 配線網부터 나온 두 電線끝은 각각 熱交換器의 胴體의 Flange Bolt에 連結한다. (防蝕電流의 逃走電流에 의한 Tape의 腐蝕을 防止함). 그 다음에 熱交換器의 水室카버를 Tube Sheet에 固定

縮付한다.

3 Tube Sheet 및 고무板 壓着板의 固定

配線고무板, 無配線고무板 및 고무板 壓着板은 Tube Sheet에 4~6個의 Stopper Bolt로 固定 縮付하고, 熱交換器胴體에 Tube Sheet와 水室 Cover는 特殊

Flange 付 Bolt 로 固定締付한다.

그러므로 胴體 Flange와 Tube Sheet 를 固定 締付한 後에 冷却管을 取付하고, Twisted Tape 를 冷却管에 挿入한 後에 고무板의 配線에 Tape 固定鋼線과 防蝕 電極線을 結線하며, 고무板 壓着板을 덮어서 固定한 後에 水室카바를 固定締付한다.

4 기타 關聯事項

冷却管內面の 電位測定用 電極은 代表的인 3個의 冷却管을 選定해서 그 中間附近(電位가 가장 높음)에 小孔 한個씩을 뚫고, 그 孔에 小型-耐破型-天然海水型 鹽化銀電極¹⁵⁾의 끝을 挿入해서 取付하며, 管內面電位는 高抵抗電壓計(100,000Ω/V 以上)를 使用하는 것이 簡便하다.

Fig. 3 은 위의 海水冷却管 內面の 直接的 電氣防蝕 裝置를 갖춘 熱交換器의 切開圖이다.

海水電解式 防汚裝置는 全海水系統을 防汚시키기 위해서 同海水系統의 側路管內에 設置하고 發生된 濃鹽素海水를 小型 Pump를 利用해서 海水吸入濾過器內에서 吸入海水와 攪 混合하게 한다. 但, 濃鹽素海水系統內는 고무라이닝을 하여야 한다. 또 海水系統에는 土, 砂 등의 異物이 들어오지 않도록 細目의 海水濾過器를 同管系에 追加 設置하는 것이 좋다.

電源裝置는 防蝕用과 防汚用에 2回路 獨立調節式의 定電壓裝置를 採用하는 것이 좋고, 防蝕電流의 調節은 自動制御裝置를 採用해서 冷却管內面電位에 의해서 電源裝置의 電壓을 調節하는 것이 理想的이나 手動調節으로도 充分하다.

3. 電源裝置의 容量과 防汚用合金電極의 壽命 (推定)

1. 電源裝置(定電壓裝置)의 容量

熱交換器의 防蝕用과 防汚用의 電流는 그 適用初期가 最大이므로 그 初期所要電流를 推定함으로써 그 電源裝置의 所要容量을 決定할수 있다.

(1) 外部電源에 의한 直接的 防蝕電流

이 電流는 熱交換器의 負荷, 冷却用 海水의 溫度上算 등을 考慮해서 初期의 最高管內面電位를 -850mV (SW-Ag/AgCl)로 維持하는 電流로 求한다. 이것은 拙者의 測定結果¹⁶⁾에서 推定하면 例로서 防蝕面積 9m² (25mmφ×150cm×90tubes)의 熱交換器의 海水가 26°C 1.2m/s로 流動할 때에 所要되는 初期 防蝕電流密度는 0.82A/m² 程度이다. 그러므로 冷却管의 防蝕用이 電源容量은

$$0.82A/m^2 \times 9m^2 = 7.38A$$

熱交換器 水室의 防蝕用電流는 常用 300mA/m¹⁷⁾에 對해서 二倍인 0.6A/m²으로 잡고, 그 防蝕面積은 管板面積의 3倍(兩쪽 水室에 對해서 6倍)로 잡으면

$$0.6A/m^2 \times 3.6m^2 = 2.16A$$

(2) 防汚用電流

熱交換器의 防汚에는 實船의 試用結果¹⁸⁾에 의하면 계속 添加할 때에 殘留有效鹽素濃度(排出時)가 0.02ppm Cl₂가 必要하고, 이를 위해서는 一般的으로 0.2ppm a. Cl₂의 注入이 必要하며, 有效發生率의 70%程度이므로 이 例의 熱交換器를 防汚하는데에 必要한 有效鹽素량과 必要電流는

$$\frac{0.2mg/l \times 3cm^2/tube \times 90tube \times 120cm/S}{0.7 \times 1000cm^3/l} = 9.3mg/S$$

Cl₂의 發生量은 Faraday 法則에 의해서 0.367mg/A. S (1,3238/A. h)¹⁹⁾이므로

$$\frac{9.3mg/S}{0.367mg/A. S} = 25.34A$$

그러므로 全電源容量은 35A (7.38+2.16+25.34=34.88A) 程度가 必要하게 된다. 이 電流中에서 防汚用電流는 계속 防汚를 해도 거의 變動되지 않으나 防蝕用電流는 계속 防蝕함으로써 冷却管內面에 電解皮膜이 생기기 때문에 相當히 많이 減少된다. 管外 冷却水 流動式 熱交換器를 Pb-Ag合金電極을 통해서 外部電流를 防蝕한 例²⁰⁾를 보면 冷却管의 電位가 防蝕電位 -770mV (SCE)에 到達하는 데에 防蝕電流密度를 200 mA/m²으로 하면 2日後에 150mA/m²으로 하면 4日後에 到達되고, 120mA/m²으로 하면 10日後에, 100 mA/m²으로 하면 約 30日後에 到達된다. 그러므로 위 例의 熱交換器의 全防蝕電流는 初期에 約 10A (7.38+2.16)가 必要하나, 常用 防蝕電流는 이것보다 相當히 낮은 約 半程度로 推定이 된다.

2) Pb-Ag 合金電極의 壽命(推定)

防蝕用 Pb-Ag合金電極의 壽命을 2.5mmφ 線狀電極에서 2.0mmφ 線狀으로 消耗하는 期間으로 잡으면, 이 消耗可能量은

$$V = 3.14 [(2.5^2 - 2.0^2) / 4] 1500 \times 2 \times 90 \\ = 1.77 \times 270,000 = 476.9cm^3$$

$$W = 11.3g/cm^3 \times 476.9cm^3 = 5,389g$$

그리고 이 電極의 作用面積을 平均해서 2.0mmφ 線狀일 때로 잡고 初期 電流密度를 求하면

$$7380mA / [3.14 \times 2.0mm \times 270,000mm] = 0.435mA/cm^2$$

Pb-Ag合金電極의 消耗率은 中川²¹⁾에 의하면 10~30 mA/cm² 일때에 32g/A. Y 以下이나, 最惡의 條件을 생각해서 이 條件으로 初期 防蝕電流에 의해서 計算하면

$$5, 389g / [32g/A \cdot Y \times 7.38A] = 22.7(\text{年})$$

그러므로 이 電極은 最惡의 條件을 생략해도 계속 20年以上의 使用이 可能하다고 하겠다.

防汚用 Pb-Ag合金電極의 壽命은 그 裝置를 海水管系의 側路에 設置하면 그 크기를 任意로 할수 있고 冷却水 送水中에도 電極을 修理할 수 있으므로 別問題가 되지 않는다.

4. 鐵電解式 防蝕法の 防蝕電流와 防蝕法の 比較

熱交換器의 冷却用 海水에 Fe^{2+} 를 0.01 ppm 濃度로 繼續維持함으로써 防蝕效果가 急增하였다는 中川²³⁾ 등의 實船防蝕資料에 의해서 그 防蝕電流를 求한다.

海水中에 0.01ppm Fe^{2+} 를 發生시켜서 維持하려면 電流效率과 途中損失을 考慨해서 0.01ppm as Fe^{2+23} 를 發生시키는 電流가 必要하다. 또 Fe^{2+} 는 1Ah의 電氣量으로 Faraday의 法則에 의하면 1.042g(0.289mg/A·S)가 發生된다. 그러므로 實例의 熱交換器(防蝕面積 9m² 流速 1.2m/S)에 必要한 防蝕電流는

$$\frac{0.05mg/l \times 3cm^2/\text{個} \times 90\text{個} \times 120cm/S}{1000cm^3/l} \div 0.289mg/A \cdot S = 5.6A$$

이 電流는 長久間 계속 防蝕하여 冷却管 內面을 全被防蝕面에 充分한 電解皮膜이 形成된 後에 그 皮膜을 維持하는 데에 必要한 常用電流이므로 初期 防蝕電流는 最小限 그 二倍 以上으로 豫想되고 그 電源容量도 二倍인 11.2 A以上이 必要하게 된다.

海水로 冷却하는 熱交換器에 있어서 鐵電解에 의한 間接的인 防蝕法과 外部電源에 의한 直接的인 防蝕法은 어느것이나 長久間 無掃除, 無修理로 稼動하려면 海水의 電解에 의한 防汚와 水室의 防蝕은 共通問題이고, 그 實用面에서도 大差가 認定되지 않기 때문에 이 두 防蝕法은 冷却管의 防蝕面에서 比較할 수 있다.

鐵電解에 의한 間接的인 防蝕法은 Al-brass나 Cupronickel 등에 相當히 有效하나, Al-Bronze에 거의 效果가 없고, Intake Attack의 防止에 物力하며, 汚染海水(溶存酸素稀薄)의 경우는 次亞鹽素酸 등의 酸化力을 빌려서 그 效果를 發揮하는 등 一般의 防蝕效能이 不充分하므로 如前히 耐蝕性資料를 使用하여야 한다. 그러나 外部電流에 의한 直接的인 防蝕法은 長久間의 使用時에 內部電氣配線이 斷線될 念慮가 있으나, 이것은 二重配線과 細目的 海水濾過器를 附設시키는 安全設計를 통해서 解決할 수 있고, 冷却管材나 冷却解水質에 거의 關係없이 防蝕效果가 아주 좋으므로 耐蝕性은 多少 낮으나 熱傳導性이 좋은 材料를 使用할 수 있고, 附隨的으로 傳熱促進裝置가 設置되므로 熱效率이 높으며, 防蝕電流도 鐵電解에 의한 間接的인 防蝕法에 比

해서 적다.

그러므로 外部電流에 의한 冷却管內面의 直接的인 電氣防蝕法은 安全設計를 통해서 實用化할 수 있고 間接的인 鐵電解式 防蝕法에 比해서 優秀한 防蝕法이며, 熱交換器를 惡條件에서도 無掃除, 無修理로 長久間 계속해서 稼動시킬 수 있는 方法이다.

또 一般 熱交換器에 比하면 修理費, 掃除費, 防蝕費 등의 維持費가 長久間에 걸쳐서 아주 적고, 修理와 掃除로 인한 生産損失이 적으므로 建造費와 附帶施設費 등의 初投資가 좀 많고, 構造가 좀 複雜하나, 使用條件이 苛酷한 곳에서 經濟的인 熱交換器로 된다.

5. 結 論

外部電流에 의한 海水冷却管 內面의 直接的인 電氣防蝕裝置를 갖춘 熱交換器는 比較的 高熱傳導性의 冷却管을 採用하고, 그 防蝕裝置를 安全設計해서 淸淨海水나 汚染海水에서도 有效하고, 海水中에서 가장 經濟的으로 長久間 防蝕이 可能하다고 定評된 電氣防蝕法을 適用한다. 그러므로 이 防蝕裝置에 長久間의 防汚가 可能한 海水電解式 防汚裝置와 細目的 海水濾過器를 附設해서 長久間에 걸쳐서 修理와 掃除가 必要없는 高效率의 熱交換器로 만들 수 있다.

이 電氣防蝕裝置를 갖춘 熱交換器는 一般 熱交換器에 比해서 建造費와 附帶施設費 등의 初投資가 좀 많고, 構造가 좀 複雜하나, 鐵電解式 防蝕裝置와 海水電解式 防汚裝置를 갖춘 熱交換器에 比하면 初投資面에서 對等하고 防蝕面과 熱效率面에서 훨씬 有利하다. 또 一般 熱交換器에 比하면 維持費가 長久間에 걸쳐서 아주 적고, 修理와 掃除로 인한 生産損失이 적으므로 이 둘까지 考慮하면 使用條件이 苛酷한 곳에는 가장 經濟的인 熱交換器로 될 것이다.

參 考 文 獻

1. 田部善一; 防蝕技術, 19, 2, 94 (1970)
2. 大律武通; 防蝕技術, 16, 8/9, 335~346(1967)
3. 兪재장, 홍성국; 韓國腐蝕學會誌, 1, 1, 11~18 (1972)
4. 伊藤倍郎; 腐蝕科學と 防蝕技術, 375~377, 日本腐蝕學會社, 東京(1970)
5. A. H. Tuthill; 防蝕技術 17, 6/7, 311(1968)
6. 夏村·平井·千葉; 日本船用機關學會誌, 6, 12, 955 (1971)
7. C. Pearson; 防蝕技術, 22, 4, 173 (1973)

8. 松下・赤川；日本船用機關學會誌, 5, 11, 836 (1970)
9. 田大熙；外部電流에 의한 熱交換器의 海水冷却管內面の 直接的 電氣防蝕, 大韓化學會73年度 秋季學會에서 講演發表 抄錄集 p. 21-10. 26
10. 瀬尾正雄；船舶의 電氣防食 9, 船舶技術協會 東京 (1963)
11. G. L. Daly；防蝕技術, 15, 8, 372 (1966)
12. H. H. Uhlig；Corrosion and its control, p. 195 John wiley & sons (1965)
13. 乾文雄；日本船用機關學會誌, 8, 6, 174~177 (1973)
14. 落合毎太郎；熱交換器, P. 115, 日刊工業新聞社, 東京(1970)
15. 田大熙；韓國腐蝕學會誌, 2, 2, 43 (1973)
16. 前掲書 (9)
17. 中川雅央；電氣防食法の實際, p. 203, 地人書館, 東京 (1967)
18. 前掲書(11), 374~377 (1973)
19. 田中正三郎；應用電氣化學, p. 7, 內田老鶴圃, 東京 (1957)
20. 前掲書(17), 211 (1967)
21. 前掲書(17), 28 (1967)
22. 中川, 浜崎, 谷川, 植田；防蝕技術, 22, 5, 191 (1973)
23. 前掲書 (22), 183(1973)