

## 〈技術報告〉

## 冷却수에 의한 Condenser tube 腐蝕의 防止

許 成 五\*

Condenser Tube Corrosion Prevention  
in Thermal Power Plant

S. O. Her

## Abstract

Condenser tube corrosion problems in thermal power plants using sea water as condenser cooling water are studied. To prepare the countermeasures of condenser tube corrosion, following three steps are investigated. 1) Corrosion mechanisms. 2) Actual conditions in thermal power plants. 3) Countermeasures by injecting ferrous sulfate into cooling water.

## 抄 錄

海水를 冷却수로 使用하는 火力發電所 condenser tube의 腐蝕原因을 調査, 分析하고 그 防止策을 수립하고자 하였으며 研究는 다음 3 단계로 검토되었다. 1) 腐蝕原因 調査, 2) 實態調査, 3) 防蝕策 수립(硫酸鐵注入에 의한 防蝕檢討)

## 1. 序 論

火力發電所 condenser tube는 특히 海水를 冷却수로 使用하는 境遇 海水의 汚染 및 各種 生物體의 棲息等 여러가지 原因에 依하여 tube가 부식되고 마모되어 海水가 leak되며 condensate water의 純度を 低下시켜 scale이 生成되고 이에 依한 여러가지 事故를 유발시키는 等 큰 支障을 招來하는 境遇가 많고 또 群山 power plant(發電所)의 例와 같이 壽命이 短縮되어 莫大한 損失을 가져오는 境遇도 있다. 이의 防止를 爲하여 名 發電所의 實態와 腐蝕原因을 調査하고 先進國에서 많이 適用하고 있으며 이미 當社 一部 發電所에서도 適用하기 始作한 硫酸鐵注入에 依한 防蝕法에 對하여 發電所別 效果與否와 注入法等에 對하여 檢討하였다.

試驗期間이 不足했고 試驗裝置立 여러가지 애로가 있어서 滿足할만한 試驗은 行하지 못하였으나 名發電所에서 防蝕效果가 있음을 立證하였다.

## 2. Condenser tube의 腐蝕原因

腐蝕의 原因으로는 電氣化學的인 現象海水의 汚染, 각종생물체의 棲息, 應力에 依한 材質의 安定性 低下, 冷却水の 흐름에 따른 충격과 또 冷却水の 흐름을 방해하는 여러가지 異物에 依하여 충격이 加速化되므로 生成되는 浸蝕, 其他 여러가지 原因이 있으나, 이들중 하나만의 原因에 依하여 부식되는 경우는 거의 없으며 여러가지 相對的이고 복잡된 原因과 現象에 依하여 부식이 進行되고 促進된다. 各 原因別로 略述하면 다음과 같다.

## 가. 電氣化學的 現象

Dealloying corrosion, fitting corrosion, galvanic

\* 韓國電力株式會社 技術開發研究所 第二研究室長 代理

corrosion 등 여러가지 現象으로 나타나고 있으며 이것은 異質金屬間이나 같은 金屬이라도 일부에 酸化皮膜이나 Scale이 形成되어 있을 境遇 또 表面이 不均一한 境遇에 서로 相異한 두 部分이 같은 電解液內에서 電氣적으로 連結되었을 때 電氣化學系列이나 galvanic 系列의 덜 noble한 面이 陽極이 되고 noble한 面이 陰極이 되어 陽極이 繼續 腐蝕을 받게 되고 陰極은 防蝕을 받게 된다. 腐蝕의 要因은 下記와 같이 여러가지가 있으나 金屬이 부식되는 단계는 결국 電氣化學的인 現象이 대부분을 차지한다. 즉 下記의 여러가지 요인은 電氣化學的인 부식의 條件을 조성하고 誘發하는 경우가 많다.

나. 冷却水의 汚染

海水에 工場 및 도시 폐수가 混入되어 有機物과 鎳酸 등을 많이 含有하게 되면 이 有機物들은 Bacteria에 依해 分解되어 ammonia gas와 H<sub>2</sub>S Gas 등을 生成한다. 또 海水中の 2,000~3,000 PPM 程度 含有된 硫酸鹽이 硫酸還元 bacteria에 依해 還元되어 H<sub>2</sub>S gas를 발생시키게 된다. 이와같이 生成된 H<sub>2</sub>S gas는 aluminum, brass나 Cupro-Nickel 등의 condenser tube에 致命的인 부식을 일으키게 하고 이 부식은 다른 부식요인과 복합되어 腐蝕을 加速化하게 된다.

다. 微生物等 生物體의 棲息

海水中에 棲息하는 生物體로서는 bacteria, slime, fungi, 이끼, 海藻類와 같은 미세적 有機體 (microscopic organism)와 貝類(barnacles) 연체生物類(molluscs)와 같은 海中 有機體(microscopic marine organism)들이 있다. 이들 生物體는 棲息하는 동안에 여러가지 甚한 化學成分의 變化를 일으켜 金屬表面에 腐蝕性 霧圈氣를 助成한다. 貝類나 연체 生物類와 같은 海中 生物體는 金屬表面을 直接 浸蝕하기도 하며 直接付着하거나 汚物付着作用을 甚하게 하여 冷却水의 흐름을 妨害하여 tube 內面이 浸蝕되게 作用한다.

라. 應 力

應力에 依한 부식은 부식성물질과 기계적인 抗張應力(tensile stress)의 相互作用에 依한 材料의 損傷을 말하며 實際的인 應力腐蝕에 影響을 주는 要素로는

- 1) 內部 및 外部應力
- 2) 腐蝕性 媒介物의 成分
- 3) 金屬의 組成 및 組織
- 4) 使用 溫度

등을 들 수 있으며 이와같은 應力の 存在는 應力을 받

는 部分의 energy를 增加시키는 結果가 되어 熱力學的인 安定度를 低下시켜 腐蝕이 進行된다.

마. 冷却水의 충격

冷却水의 흐름과 충격에 依하여 tube 內面의 保護皮膜이 파괴되거나 剝리되면 表面이 不均一하게 되고 電氣化學的인 부식이 進行되어 이에 의한 損傷은 加速化된다. 이 現象은 流速과 turbulent flow의 程度, 冷却水中의 各種異物等 固形物의 狀態에 따라 크게 影響을 받는다. 그리고 皮膜형성의 難易와 速度, 皮膜의 성질 및 冷却水의 性狀에도 影響을 받는다. 異物의 影響에 對하여 좀 詳細히 說明하면 다음과 같다.

1) 異物이 tube 內에 停滯된 경우

냉각수에 의하여 tube에 온반되어 온 貝類, 石, 木片, 海藻, vinyl 등의 異物이 tube 內에 停滯되면 그 部分과 주위에 急激한 浸蝕과 부식이 일어나는 경우이며 (가) 冷却水의 흐름이 異物의 障室에 依하여 局部的으로 과잉流速이 되고 亂流(turbulent flow)와 渦流(vortex flow)를 유발하여 일어나는 것과.

(나) 異物이 水流에 의하여 진동하거나 tube에 충격적인 마찰을 계속하여 일어나는 것 등이 있으며 그 對策으로는 screen을 補強하거나 化學的인 方法으로는 chlorination 등이 있다.

2) 異物이 tube 內를 通過하는 境遇

Aluminum brass는 海水中에서 self healing protection film을 形成하므로 내식성이 좋은 것으로 되어 있으나 異物이 tube 內面을 스쳐나가면서 保護皮膜을 剝리시키거나 흠집을 만들어 損傷部가 電氣化學的인 現象에 依하여 부식이 加速되게 된다. 이들 흠집은 異物이 지나간 軌跡에 가까운 溝狀이나 連點狀으로 나타나는 것이 많다.

바. sand의 流入

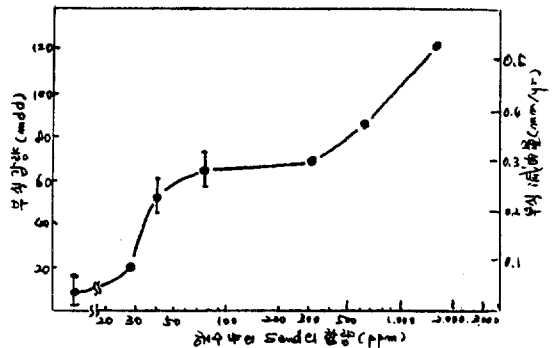


Fig. 1 Sand 含量別 부식감량(火力發電誌에서)

冷却水中에 浮遊되어있는 sand 가 流入되던 tube를 損傷시키고 마모와 부식이 진행된다. 外洋에 接하여 있는 發電所에서 많이 일어나고 sand의 含量別 영향은 다음과 같다. sand 含量別 부식감량 (火力發電誌에서)

1) Sand의 含量이 30ppm까지는 영향이 거의 없으며  
 2) Sand의 含量이 30~25,000ppm에서는 sand에 의한 浸蝕이 일어나서 보호피막이 파괴되고 전기화학적 부식을 촉진시킨다. 이 境遇는 電氣化學的인 防蝕法으로 어느 정도는 역제가 可能하다.

3) Sand의 含量이 50,000ppm 이상인 境遇는 純機械的인 마모現象이 甚하게 일어나며 위험하다.

### 3. Condenser Tube의 防蝕法

Tube의 부식을 抑制하고 保護하는데는 여러가지 方法이 있으나, 生物體의 棲息과 異物의 流入에 對한 것은 省略하고 參考로 電氣化學的 防蝕法을 간단히 說明하고 本研究의 主目的인 硫酸鐵 注入에 對하여 外國의 文獻調査 內容을 記述코자 한다.

#### 가. 電氣化學的 防蝕

金屬의 電位差에서 생기는 電氣化學的 부식에 對한 防蝕方法으로서 Galvanic Action에 對한 陰極防蝕과 外部電源에 依한 陰極防蝕이 있다.

##### 1) Cathodic Protection by Galvanic Action.

이미 오래전부터 利用되어온 防蝕法으로 uniform protection을 위하여 다음 사항의 考慮가 必要하다.

(가) 犧牲金屬에서 먼 地域은 가까운 地域보다 덜 防蝕된다.

(나) 犧牲金屬은 자주 관찰하여 必要하면 교체하여야 한다.

##### 2) Cathodic protection by an external source of electric current.

희생금속을 사용하는 대신 직류전류를 防蝕할 金屬에 (陰極으로 하여) 보냄으로서 防蝕하는 方法으로 外部電源은 6~10 Volts의 직류를 사용하고 elcotrodes는 carbon, graphite, mild steel, aluminum, magnesium, titanium, stainless steel, 등이 使用된다.

電流量은 溶存酸素와 流速에 따라 조정한다.

#### 나. 硫酸鐵注入에 依한 防蝕

金屬材料의 耐蝕性을 지배하는 인자는 여러가지가 있으나 金屬表面에 保護皮膜을 形成하여 耐蝕性을 向上시키는 것이 많이 利用되고 있다. 최근 condenser tube의 材料로 많이 使用되는 aluminum brass의 海

水中 保護皮膜은  $FeO \cdot OH$ 에 依存하는 傾向이 強하졌으며 이 皮膜은 鐵이온으로서  $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ 를 使用하여 0.5~1ppm ( $Fe^{++}$ 로)을 1일내지 주일간에 1時間 程度 注入하여 얻고 있다.

이에 依하여 美國 및 日本 等에서는 큰 效果를 얻고 있다하며, 當社에서는 一部發電所에서 使用하기 始作하였으나 아직 確실한 效果는 確인되지 않았다.

美國에서 이 效果에 對하여 檢討한 一例과 최근 日本에서 效果의인 注入方法에 對하여 研究 檢討한 內容은 다음과 같다.

##### 1) 美國에서 試驗檢討한 例

美國 Jackson Vill city의 발전소에서 直接 現場使用 試驗을 한 內容은 다음과 같다.

(가) Condenser type 및 주입方法.

Two pass surface condenser aluminum brass tube.

1일 1ppm  $Fe^{++}$  1時間注入.

(나) 冷却水

冷却水는 St John's River Water를 使用하였으며 分析値는 Table. 1과 같다.

Table. 1 St. John's River Water 分析結果

	1955. 1	1955. 6	1955. 8
PH	7.4	7.5	7.2
P-Alkalinity (ppm as $CaCO_3$ )	0	0	0
M-Alkalinity (ppm as $CaCO_3$ )	80	70	68
Chloride (ppm as NaCl)	10,890	16,400	14,750
Sulfate (ppm as $SO_4^{-2}$ )	295	1,480	1,628
Total Harddeness (ppm as $CaCO_3$ )	2,400	11,800	10,200
Conductivity (umho/cm)	10,000	10,000	--
Chlorine Demand	4.8	4.75	4.75

(다) 注入 硫酸鐵의 成分은 다음 분석결과와 같다.

Table 2. 硫酸鐵 分析結果

成 分	(%)
$FeSO_4$	50.00
Free Acid ( $H_2SO_4$ )	Less Than 0.04
$Fe_2O_3$	0.05
MnO	0.07
$TiO_2$	0.20
Cu (Copper)	Trace
As (Arsenic)	2ppm
Pb (Lead)	10ppm

使用한 硫酸鐵( $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ )의 分析結果는 Table. 2와 같다.

(라) 硫酸鐵注入後의 事故狀況

硫酸鐵注入 前과 後의 Tube 事故狀況은 Table. 2와 같은데 注入前에는 Tube 事故가 대단히 많았으나 1958년에 水壓試驗時 이미 注入前에 남아있던 Tube 가 leak 된 것을 除外하고는 거의 事故가 없었다.

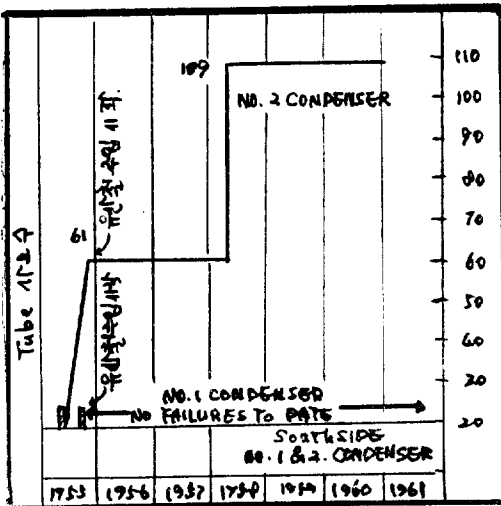
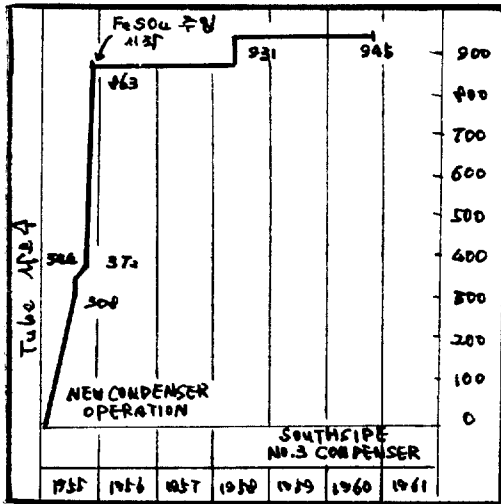


Fig. 2 Condenser Tube 事故狀況

(마) 5年間の 現場試驗에서 얻은 것.

- (1) 모든 plant 는  $\text{FeSO}_4$  注入後 事故가 거의 없어 졌다.
- (2)  $\text{FeSO}_4$  注入時 皮膜形에 依한 熱傳導低下는 chlorination 을 병행하던 거의 影響을 주지 않았다.
- (3)  $\text{FeSO}_4$  注入後 일단 皮膜이 形成되던 注入回數를 감소하여도 反對現象은 나타나지 않았다.

(4) Tube 교체전에 새 tube 를  $\text{FeSO}_4$  溶液에 48時間以上 强하게 circulating 시켜 前處理하였을 때 防蝕皮膜形成이 매우 좋았다.

(5) 陰極防蝕用 Mg Metal 은  $\text{FeSO}_4$  注入時 消耗量이 50%로 減少했다.

(6)  $\text{FeSO}_4$  注入은 1日 1時間式 1ppm as  $\text{Fe}^{++}$  가 經濟的이고 效果的이었다.

2) 일본에서 試驗檢討한 例

다음 最近 日本에서 硫酸鐵注入效果와 效果의이고 經濟的인 注入方法 및 初期皮膜形成의 重要性에 對하여 檢討한 內容이다.

(가) 注入方法別 效果 試驗結果

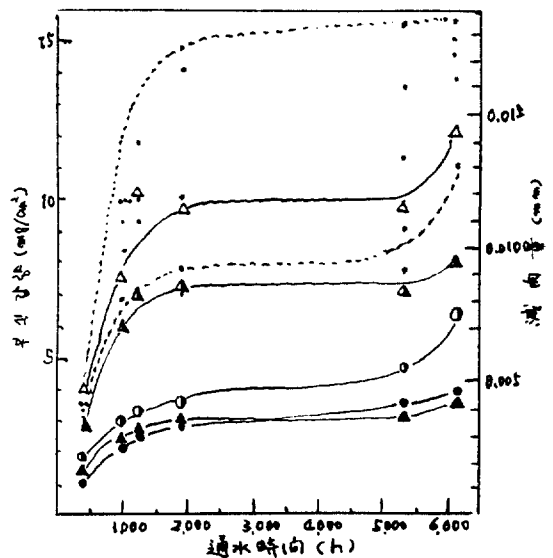
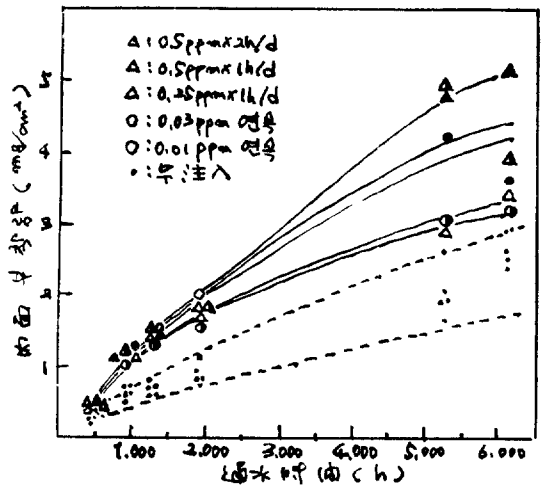


Fig. 3 注入方法別 試驗結果

間歇의 高濃度와 연속적 低濃度注入에 對하여 比較試驗한 結果는 Fig. 3과 같으며 皮膜 附着量은 間歇의 高濃度때가 많았으며 防蝕效果도 間歇의 高濃度 때가 좋았으나 0.03ppm 연속 注入時에서는 高농도時와 間歇時가 거의 같았다.

이 結果로 보아 低濃度연속注入方法이 熱傳導性問題나 海水의 着色等 公害問題를 考慮할 때 보다 效果의 이고 經濟的이라 할 수 있다.

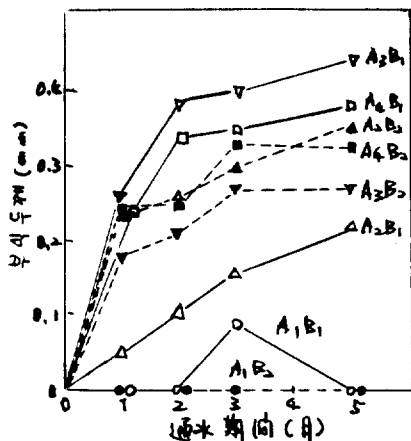
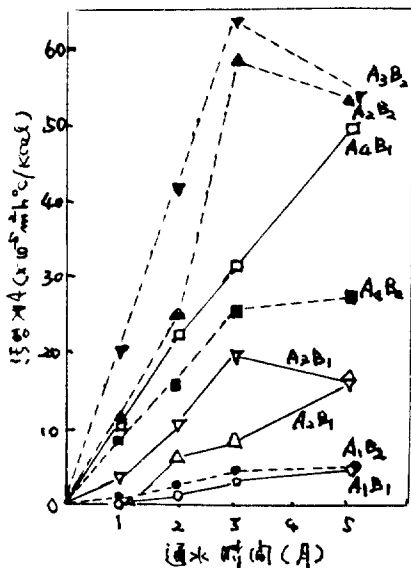


Fig. 4 Tube의 初期皮膜形成效果試驗

(나) 初期皮膜의 影響의 試驗結果

Tube를 前處理하여 使用初期부터 皮膜을 形成시켜 使用하는 境遇와 그대로 使用하여 初期에는 皮膜이 없 이 使用하는 境遇의 效果를 比較하기 위하여 다음 (1) 頂의 各 條件의 Tube 試新 (2) 頂의 各 條件別로 試驗한 結果는 Fig. 4와 같다.

(1) Tube 試料의 前處理 條件

A1: Fe<sup>++</sup> 0.03ppm을 보유한 淸淨한 海水로 1個月 間 2m/sec의 流速으로 豫備處理한 狀態

A<sub>2</sub>: 淸淨한 海水로만 1個月間 2m/sec로 豫備處理 한 狀態

A<sub>3</sub>: 工場出荷 그대로의 狀態

A<sub>4</sub>: 酸洗淨 實施한 後의 表面狀態

(2) 海水 및 硫酸鐵注入如否條件

B<sub>1</sub>: S<sup>-2</sup>를 0.1ppm 보유한 海水

B<sub>2</sub>: B<sub>1</sub> 狀態의 海水에 Fe<sup>++</sup> 0.03ppm을 보유한 海水 (FeSO<sub>4</sub> 注入하여)

이상과 같이하여 試驗한 結果를 보면 Tube를 使用 하기 前에 前處理하여 처음부터 保護皮膜을 形成시켜 주면 Tube에 汚染도 안되고 防蝕效果도 大端히 른 것 을 알 수 있다.

특히 H<sub>2</sub>S Gas等 부식성 汚染源에 對한 防蝕에는 初期皮膜 形成이 重要하고 必要하다.

4. 當社 發電所에서 硫酸鐵 注入效果試驗

海水를 冷却水로 使用하는 모든 發電所에서 여러가 지 여건으로 實施하지 못하고, 仁川, 群山, 嶺東 嶺南 發電所를 選擇하여 다음과 같은 試驗結果를 얻었다.

가. 試驗方法

實使用中인 Condenser를 利用하여 實際 使用狀態에서 試驗하는 것이 가장 理想的인 方法이나 試驗期間과 其他 여러가지 與件上 不可能하였으며 또 이와 같은 조건으로 하기 爲한 試驗裝置를 만든다는 것도 亦是 어려운 일이므로 豫備試驗等 여러가지로 檢討하여 다음과 같이 하였다.

다음 1) 頂의 tube 試片을 넣은 두개의 PVC管을 Condenser Water Intake 쪽의 冷却水內에 넣고 한쪽의 PVC管에만 硫酸鐵을 注入하고 約 1個月間 效果를 比較試驗하였다. (群山發電所에서 discharge에서 1週 間別途로 하였음)

1) Tube 試片과 PVC管

Fig. 1과 같이 tube 試片은 tube를 잘라 길이 150 m/m, 3m/m 두가지로 하여 tube內面을 酸洗淨한 後 3×50cm의 PVC板에 固定시킨 다음 PVC管內에 固定 시키도록 하였으며 PVC管은 硫酸鐵의 均一한 混合을 爲하여 두箇를 길게 연결하였으 (約 2m) 좁은쪽이 flow의 앞으로 오게 하였다. 그리고 硫酸鐵 注入管은 flow의 앞쪽에 연결하고 tube 試片은 작은 管의 끝 部分에 오도록 하였다.

시험장치 및 실시요령

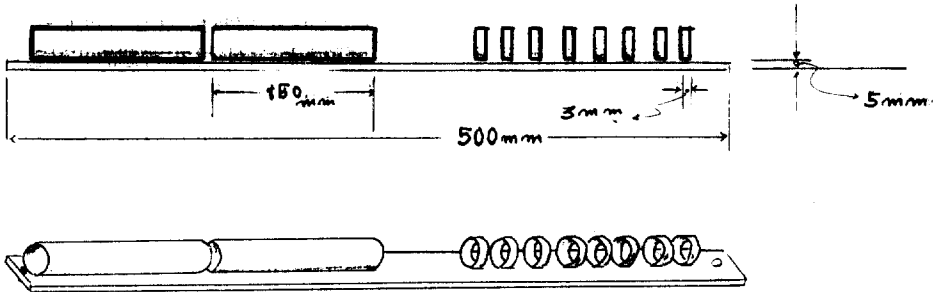
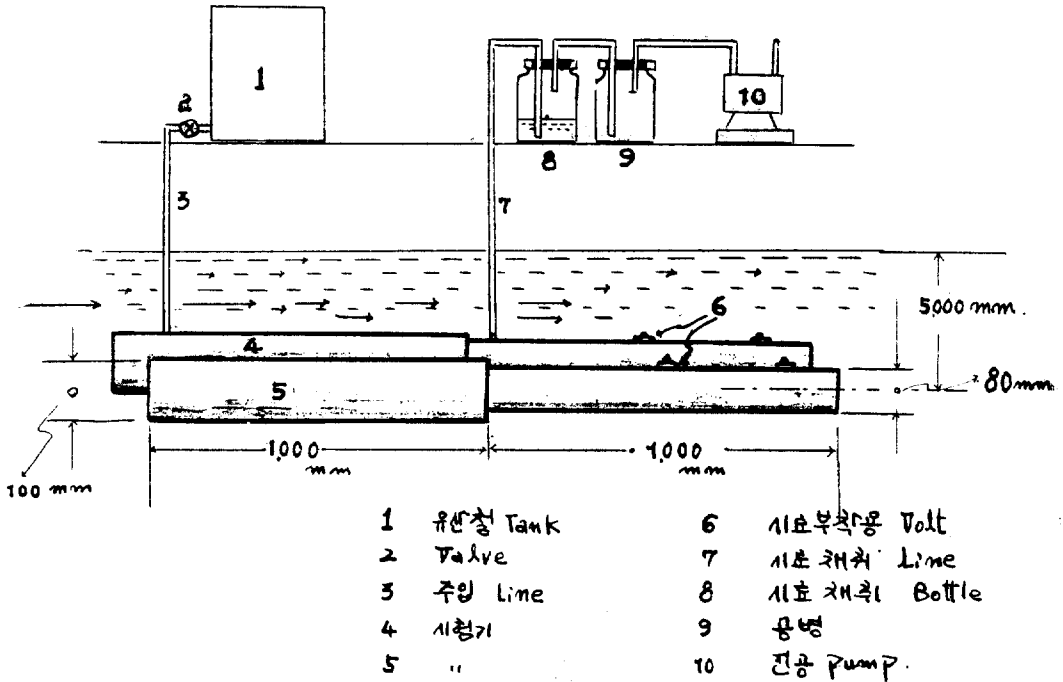


Fig. 5 실험장치 및 실시요령

2) 硫酸鐵 注入方法

注入用 tank 에 10%  $FeSO_4 \cdot 7H_2O$  용액을 準備하고 自然流下시켜 PVC 管内에서 희석되어  $Fe^{++}$  濃도가 1 ppm 되도록 調整하여 1日 1時間式 注入하였다. 試驗에 使用한 유산철의 成分分析 結果는 다음 table 3과 같다.

나. 試驗結果

上記 試驗方法에 依하여 試驗한 結果를 綜合하면

Table. 3 硫酸鐵 成分分析 結果

	결 과%	비 고
$FeSO_4$	48.31%	
Free Acid( $H_2SO_4$ )	0.18%	
$Fe_2O_3$	0.33%	
$MnO_4$	0.08%	
$TiO_2$	0.34%	
Cu	trace	

Table. 4 硫酸鐵 注入 試驗結果(1ppm Fe/1日 1時間)

發電所名	試驗期間 (月, 日)	海水 통과 속도 m/sec	使用 tube 試片材質	試驗結果(중량감소 mg/cm <sup>2</sup> )		
				非注入	注入	注入 非注入
Y	5.14~6.13	0.8	Al-Brass (Jis BSTF 3-0)	4.78	0.71	1/6.7
I	7.19~8.18	0.4	Al-Brass (Jis BSTF 3-0)	2.36	0.38	1/6.2
N	8.28~9.27	0.7	Al-Brass (SOMS 76 F40)	4.51	0.67	1/6.7
K	9.10~10.10	0.3~0.5	Al-Brass (ASTM-B-111-Btype)	6.47	1.59	1/4.1
			70~30 Cu~Ni	1.83	0.65	1/2.8
	10.30~11.5 (1 주일)	2.5~4	Al-Brass (ASTM-B-111-Btype)	4.91	2.69	1/1.8
			70~30 Cu~Ni	2.53	0.77	1/3.3

Table 4. 와 같다.

다 試驗結果에 對한 考察

1) 實際 condenser tube 는 길이가 길고 (約 10m) 流速이 約 2m/sec 程度로 빠른데 比하여 試驗用 tube 試片은 길이가 짧으나 流速이 0.3~0.8m/sec 程度이므로 試驗結果의 腐蝕量은 實地 實使用時보다 많지 않을 것으로 豫想된다.

2) 海水 使用時 tube 의 부식이 위流速下에서도 1 個月間에 2~6mg/cm<sup>2</sup> 程度나 되며, 이런 부식 환경 속에서도 硫酸鐵 注入으로 腐蝕減量을 約 1/6 로 減少시킬수 있었다.

3) 各發電所別 부식량의 差異는 海水의 부식환경, tube 의 材質 및 其他 條件의 相異에 依한 것이다 思料되며 Cupro-Nikel 이 Al-Brass 보다 耐蝕性이 좋았다.

4) 流速이 2.5~4m/sec 程度로 빠른 群山發電所의 境遇, 한 쪽 discharge line 의 man hole 에서 參考로 別途試驗을 試圖하였으나 流速이 빠른 關係인지 부식 量이 상당히 많은 편이다.

5) 이번 에 試驗을 實施하지 못한 發電所에서도 부식 量의 差異는 있을 것이나 이와 類似的한 結果가 나올 것으로 豫想된다.

5. 發電所別 實態와 對策

plug 된 condenser tube 數와 實施하고 있는 防蝕法 및 海水分析 結果等은 全 發電所의 現況을 한 Table 5. 綜合하고 이 以外의 內容은 各發電所別로 說明하던 다음과 같다.

가 各發電所別 防蝕法 및 Plug 된 tube 數

各發電所別 實態는 Table. 5 와 같다.

나 海水分析 結果

淸淨한 海水일지라도 淡水보다는 金屬의 부식성이 대단히 强하며 特히 都市나 工場에 接한 海水는 부패성 下水와 有機物 및 부식성 酸素 등이 流入되고 微生物等 各種生物體가 많이 棲息하여 부식에 對한 影響이 크므로 生物學的 調查와 부식성 成分에 對한 보다 高次的이고 細密한 調查를 하려 하였으나 어려운 점이 많아 Table. 6 의 分析結果 範圍에서 끝났다.

試驗結果를 보면 C.O.D 및 NH<sub>3</sub> 등 부식성 成分이 一般的으로 많은 便이고 群山發電所는 錦江下流에 接하여서 江水와 海水의 영향으로 水質의 變化가 크며 silt 로 turbidity 가 가장 많고 C.O.D 도 많아 水質이 가장 나쁘며 다음이 仁川 이었다.

앞으로는 주기적으로 海水分析 및 調查를 實施하여

Table. 5 各 발전소別 Plug 된 tube 數 및 防蝕法

발전소명	UNIT	준공일	Tube 재질	實施 防蝕法	Tube plug數	비 고
N	# 1	73.5	JIS BSTF <sub>2</sub> -4	Zinc Bar 설치	0	모래, 해조류, 異物流入현저
I	# 1	70.5	JIS BSTF-3	외부전원전기방식	7	
K		68	ASTM 70-30 Cu-Ni		0	73.5월 정기 보수시 전량
	# 1	73.2	ASTM 90-10 Cu-Ni		71	말근개등 異物流入현저
D	# 2	70.12	DIN SOMS 76F40	Zinc plate 설치	20	"
	# 1	70.12	DIN SOMS 76	외부전원전기방식	100	"
"	# 2	71.3	"	"	150	"
"	# 3	73.8	"	"	15	"
B	# 1	64.8	ASTM B-111	Zinc plate 설치	200	"
"	# 2	"	"	"	131	"
"	# 3	69.6	DIN SOMS76	외부전원전기방식	103	"
"	# 4	"	"	"	174	"

海水의 汚染 및 變化를 파악하는 것이 必要하다고 생각한다.

Table. 6 各 發電所 海水分析 結果

	B	N	D	Y	K	I
pH	8.3	8.0	8.2	8.0	7.0~7.3	8.2
P-Alkalinity(ppm as CaCO <sub>3</sub> )	0	0	0	0	0	0
M-Alk(ppm as Ca CO <sub>3</sub> )	110	112	114	124	115~130	120
Chloride (ppm as Cl)	22,500	16,000	18,900	18,000	12,300~5,100	17,100
Suefate (ppm as So <sub>4</sub> )	2,750	2,780	2,800	3,500	900~1800	1,920
Total Hardness	5,300	5,500	5,800	6,200	1,500~3,700	5,000
Conductivity(μV/cm)	30,000	29,500	36,000	41,000	11,600~33,500	21,000
C. O. D	3.0	5.0	9.2	2.1	11.0~6.4	17.0
Total Fe(ppm as Fe)	0.068	0.045	0.039	0.030	0.065~0.070	0.040
Turbidity(ppmas SiO <sub>2</sub> )	1.5	5.0	6.9	3.0	200~500	27.0
NH <sub>3</sub>	2.8	4.3	4.0	0.5	1.9~3.4	0.6

※ K의 경우 간단한 차가 심하여 앞숫자는 간조시, 뒷 숫자는 만조시임.

다 K 火力發電所

1) 實態

建設當時 tube의 材質이 Al-Brass였으며 가동후 數個月後부터 tube leak事故가 急増하여 不得已 1-B部分은 72년도에 全量 耐蝕法이 좋은 70~30 Cu~Ni로 代替하였다. 그 후 1973年 5月 1-A部分도 70~30 Cu~Ni로 全量 代替하여 아직까지 leak事故는 없었다.

그러나 約 1年間 운전한 상태에서 事故를 誘發할 程度로 甚하지는 않지만 tube 內面에 약간의 Scale이

附着되었고 全般的으로 輕微하게 浸蝕되어있다.

2) 原因

腐蝕原因은 air cavitation에 依한 erosion이 海水中에 200~500ppm 含有된 silt에 依하여 强하게 作用되고 各種 有機物의 부패로 生成된 부식성 H<sub>2</sub>S NH<sub>3</sub> 등의 영향으로 思料된다.

3) 對策

腐蝕에 對한 環境이 大端히 不利하나 Cu~Ni의 耐蝕活이 Al-Brass보다 試驗結果에서도 證明된 바와 같이 優秀하고(약 3배) Cu~Ni로 代替한 후 아직 事故가 없으며 tube의 浸蝕狀態도 甚하지 않으므로 硫酸鐵注



入 必要性 如否는 앞으로 狀態를 더 檢討하여 決定할 問題이다.

#### 4) 其他問題

tube 를 Cu~Ni 로 交替한 후 熱低下되었는데 밀물과 썰물에 따라 cooling water 의 排出 위치를 바꾸는 水門이 故障으로 作用을 못하는 것이 原因中 큰 比重을 차지하는 것으로 思料 되므로 상세한 검토와 修理가 必要함.

### 라. I 火力發電所

#### 1) 實態

1973年 12月 現在 tube leak 事故는 極少하였으며 甚한 inlet failure 나 腐蝕狀態도 發見하지 못했다.

그러나 두겹고 푸석푸석한 slime (一種의 海中 有機體) 등의 生物體와 scale 이 附着되어 있었으며 water box 內에 약간의 海中 生物體가 棲息하고 있었다.

#### 2) 原因

tube 材質이 Al-Brass 이고 海水 및 其他 부식 環境이 他發電所에 比하여 有利하지 않은데 tube 의 事故나 損傷이 적은 理由는 異物의 流入이 적고 電氣化學的 防蝕이 잘되며 같은 Al-Brass 이하므로 耐蝕성이 他發電所 것에 比하여 좋은 것 등으로 추측되나 確實한 것은 알수 없었다.

#### 3) 對策

現狀態에서는 기존방식법(陰極防蝕) 以外에 必要하지 않을 것으로 思料하나 앞으로 계속적인 狀態調査가 必要하다.

### 마. N 火力發電所

#### 1) 實態

#1 unit 가 그에 比하여 稼動期間도 적고 tube 材質이 90~10 Cu~Ni 임에도 tube 事故는 더 많다.

#1 은 陰極防蝕 장치가 없이 처음부터 硫酸鐵 注入에 依한 防蝕法단이 採操되어 있으며 稼動後 硫酸鐵 注入으로 事故는 當분간 減少되었으나 取水口에 棲息중이던 musseles 이 冷却水를 따라 condenser 內에 流入되면서 事故가 급격히 增加하고있다.

#### 2) 原因

事故란 tube 를 얻지 못하여 tube 에 依한 原因調査는 하지 못하였으나

가) musseles 에 依한 障害가 主要原因이고

나) 울산 시내의 부식성 下水와 工場의 有害廢水의 流入에 영향이 있을 것으로 思料됨.

#### 3) 對策

現在 系統에 있는 musseles 을 完全除去하고 앞으로 musseles 의 棲息과 流入을 防止하기 爲하여 chlorination 범위를 확대하며 (防汚塗料가 있으나 chlorination

보다 效果가 적음) 硫酸鐵 注入을 實施하여야 效果를 見할 수 있다.

그리고 #1에는 電氣化學的인 防蝕法도 추가함이 必要하다고 思料됨.

### 바. D 火力發電所

#### 1) 實態 및 原因

嶺南火力과 類似한 立地의 條件으로 事故가 많다. 亦是 musseles 의 棲息과 流入이 많으며 事故 tube 를 調査하여 본 結果 다음과 같다.

가) 異物이 tube 內에 停滯하여 turbulent 및 vortex flow 에 依한 事故로 보이는 것이 있었으며

나) intercrystalline corrosion 과 biological fouling corrosion 으로 보이는 것이 있었으나 tube 를 손상시킬 정도로 甚하지는 않았다.

#### 2) 對策

嶺南과 같음

### 사. B 火力發電所

#### 1) 實態

musseles 의 大量流入에 依하여 補修를 要할程度로 (73年 7月實施) musseles 의 障害가 甚하며 73年 11月 부터 #3, 4 號機에 硫酸鐵을 注入하고 있으나 鐵分이 擴散되지 않아 海水의 着色으로 問題點으로 되어있다.

#### 2) 原因

事故 tube 를 얻지 못하여 tube 內面調査에 依한 原因檢討는 못하였으나 流入이고 이 以外에 冷却水·取水口가 하나의 灣을 形成하고 있어서 腐蝕性 汚染成分이 擴散되지 않고 누적되는 것도 생각할 수 있다.

#### 3) 對策

Chlorination 을 實施하여 musseles 의 防止를 並行하면서 硫酸鐵注入을 하여야 하며 海水의 着色을 防止하기 爲하여서는 硫酸鐵 注入 方法을 低濃度 繼續 注入法을 試圖하여 봄이 必要하다.

海水의 汚染成分濃度 增加를 防止하기 爲하여서는 于先 發電所 自體의 廢水處理에 特別히 留意하고 海水의 週期的인 分析과 계속적인 감시가 必要하다.

### 아. Y 火力發電所

#### 1) 實態 및 原因

아직 tube 事故는 없었고 tube sampling 을 못하여 tube 의 부식상태가 어느 정도인지 알수없다.

비교적 淸淨한 海水를 使用하므로 別 問題가 없을 것으로 예상 하였으나 1972年 6月 發電所 앞바다에 큰 해일로 取水口에 많은 모래가 밀려와 condenser 에

모래가 계속 流入되고 있다. 이의 對策이 없이 계속된 다면 tube 의 많은 損傷이 예상된다.

1973年 6月 現場調查結果는 다음과 같다.

(가) 冷却水의 取水口와 水路에 모래가 많이 쌓여 있었으며 condenser tube 內에도 약간의 모래가 깔려 있었다.

(나) Tube inlet 쪽에 작은돌 木片, 유리조각, 海中有機體等 異物들이 군데 군데 停滯되어 있었다. (全 Condenser tube 中에서 約 5%의 tube 에)

(다) Condenser water box 內의 by-pass valve 가 부식이甚하며

(라) Cooling water pump 및 ash sluicing pump 의 Impella 가 甚한 磨耗와 浸蝕을 입었다.

2) 對策

現在狀態에서는 tube 를 保護하기 爲하여 硫酸鐵 注入이 必要하나 이에 對한 根本對策으로 모래와 其他異物의 流入을 防止 시킬수 있는 施設補強이 必要하며 이로 因하여 除去效果가 좋으면 硫酸鐵 注入을 하지 않아도 될 것으로 思料함.

자. 其他 發電所

研究期間의 不足과 其他與件上 調査가 不充分하였으며 調査를 全然 實施하지 못한곳도 있는데 이에 對하여서는 앞으로 現場에서 調査檢討하고 當所와 協助하여 原因究明과 對策이 요망된다.

6. 硫酸鐵 注入方法

가. 高濃度 間歇注入

이 方法은 從來에서 부터 現在까지 主로 使用하여 온方法으로 다음과 같다.

1) Tube 의 新設이나 brush 掃除等으로 保護皮膜이 形成되어 있지 않을 때나 汚損된 初期의 約3個月은 Fe<sup>++</sup> 濃度로 1 ppm 으로 1日 1時間 或은 0.5ppm 으로 1日 2時間씩 注入한다.

2) 皮膜이 잘 形成된 後부터는 狀況에 따라 注入 頻度を 2일~7일에 1回로 調節한다.

3) Sand, turbidity (silt 등), musselles, 其他 異物의 注入이 많을 때는 注入 頻度を 높이고 貝類의 生態 번식기 및 孝節等을 考懸하여 미리 注入 頻度を 調整하는 것도 必要하다.

나. 低濃度 繼續注入

이 方法은 上記 3. 나 의 2)項에서 詳述한 바와같이 低濃度로 계속 注入하면 (0.03ppm 때가 좋았음) 內面

附着物量이 적고 防蝕效果도 좋으며 經濟的이라는 것이 最近 日本에서 研究發表된 結果로 아직 實用이 많지 않은 것 같고 今般 研究 期間 不足으로 檢討를 못하였다.

다. Tube 의 前處理

上記 3. 나. 2)項에서 詳述한 바와같이 tube 를 使用하기 前에 硫酸鐵 용액으로 처리하여 皮膜을 形成시킨 후 使用하면 보다 效果의이므로 이의 實施가 難困하기는 하나 可能한 實施함이 좋다.

라. 硫酸鐵의 取扱

硫酸鐵은 大氣中에 露出되면 Fe<sup>++</sup>이온이 酸化되어 皮膜形成이 안되는 Fe<sup>+3</sup> 이온으로 變化하기 쉬우므로 取扱에 注意가 必要하다. 特히 注入을 爲하여 溶液으로 (5~10%)하였을 때 酸化되기 쉬우므로 한번에 數日分씩 많은 溶液을 準備하지 말고 可及的 每日 하루 分씩 準備하여 注入함이 效果의이다.

마. 注入方法의 選擇

低濃度 繼續注入方法이 效果의이라는 것이 最近 外國의 研究結果에서 나타났지만 아직 實用化되지 않았고 當所에서도 檢討를 못하였으므로 앞으로 검토하여 確證을 얻을 때까지는 가) 項의 高濃度 間歇注入 方法을 適用하는 것이 좋을 것으로 思慮되며 釜山과 같이 特別한 事情이 있는 곳은 低濃度 繼續注入方法의 兼用을 試圖하여 必이 必要하다.

7. 經濟性 檢討

經濟性的의 正確한 算出은 困難하나 20 만 kw 발전소의 境遇 年間 約 180 만원의 硫酸鐵注入 費用으로 condenser tube 의 壽命延長等 다음과 같은 效果를 얻을수 있다.

가. 硫酸鐵 注入 費用

注入裝置費가 僅少하고 其他費用도 無視할 程度이므로 所要硫酸鐵 값단을 便宜上 Fe<sup>++</sup> 로 1 ppm 을 1日 1時間씩 계속 1年間 注入하는 境遇로 計算하면 다음과 같다.

- 1) 冷却水量: 24,000 噸/時間
- 2) 1日所要硫酸鐵: 24kg×5=120kg/日
- 3) 年間所要硫酸鐵: 120kg×365=43,800kg
- 4) 年間所要費用: 43,800kg×40원/kg = 1,752,000원/년

### 나. 硫酸鐵 注入에 의한 效果

1) 高價인 condenser tube의 壽命을 發電所 壽命때 까지 延長할 수 있다.

※ Condenser tube의 값

: 約 2 單本×約 1 單원/○=約 2 億원

2) 海水가 boiler에 流入되어 scale生成에 의한 boiler 效率低下, boiler tube 破裂事故 및 boiler 酸洗 淨時期의 短縮等を 減少시킬 수 있다.

3) condenser tube leak의 test를 爲한 減發, 發電 效率低下 및 發電中止等에 의한 損失을 減少시킬 수 있다.

4) tube 事故時 condensate water의 純度低下에 의한 用水處理藥品의 增加를 減少시킬 수 있다.

## 8. 結 論

가) I, K, N 및 Y 發電所 등에서 硫酸鐵注入에 依

한 condenser tube의 防蝕效果를 試驗檢討한 結果 發電所別 差異는 있으나 모두 效果的이였으며 이것으로 미루어보아 其他 海水使用 發電所에서도 效果가 있을 것으로 思料된다.

나) 硫酸鐵 注入이 condenser tube의 腐蝕과 磨耗에 萬能은 아니고 모래 및 其他 異物의 流入이 많을 때는 이를 防止할 수 있는 施設補強과 釜山 및 嶺南과 같이 musseles이 많을 境遇는 chlorination 범위擴張 等を 實施하여야 效果를 거둘 수 있다.

다) 今般實態調査를 實施한 發電所中에서 B, N, D 및 Y 發電所等은 硫酸鐵 注入이 必要하고, I 및 K 發電所는 앞으로 더 調査檢討하여 狀況에 따라 注入 必要如否를 決定하여야 한다고 思料된다.

라) 低濃度 繼續注入法의 試驗檢討가 必要하였지만 試驗期間이 많이 所要되어 檢討하지 못하였다. 그러나 高濃度 間歇式보다 效果的이므로 發電所 實情에 따라 施行하는 것도 좋을 것이다.