

海水中の 回轉體의 損傷과 그 防止에 關한 概括的 研究

田 大 熙

General Studies of Corrosion-Erosion and its Prevention for the Rotators in Sea-Water

Jeon Dachi

目 次	
I 緒 言	V 實驗結果
II 實驗裝置	VI 結 論
III 試驗片과 防蝕亞鉛	VII 考 察
IV 實驗條件	VIII 參考文獻

Abstract

The high-speed rotators, such as the screw propellers and the pump impellers, in sea-water are usually attacked by corrosion-erosion.

The corrosion-erosion was studied generally with the rotator (Dia-150mm, 2100rpm) that was attached with the copper test pieces in 3% salt-water, in order to investigate the tendencies of the attack and electrochemical protectivity, and the relation of distribution of hydraulic pressure and the attacked trace.

The results obtained were summarized as follows:

1. The approximate ratios of the attacking velocities and the protective electric current density for 100 hours:

Items	On the rotator of 2100 rpm		In 3% static salt water	
	Non-Protected Test Pieces	Protected Test Pieces	Non-Protected Blank Test Pieces	Protected Blank Test Pieces
Attacking Velocities	30	<1	<2	1
Protective Current Density	--	5	--	1

2. The protected test pieces on the rotator were coated with thick and coarse layer electrochemically, and those in static salt water were coated with thin and fine layer.
3. The attacked trace can be estimated qualitatively by the distribution of hydraulic pressure on the rotator.

I. 緒 言

海水中에서 高速으로 回轉하는 Screw Propeller나 Pump Impeller 등과 같은 回轉體는 그 表面의 一部分가 大端히 劣劣하게 損傷하는 境遇가 많다. 이것은 주로 Cavitation 및 Impingement

Attack에 依해서 그 表面의 一部分의 金屬組織이 破壞되는 한편 이로 因해서 露出된 表面은 電解腐蝕이 大端히 活潑하게 進行됨으로써 나타나는 所謂 Corrosion-Erosion에 依해서 損傷되는 結果*1 라 생각된다.

이 研究는 海水中の 이러한 高速回轉體의 損傷現象과 그 電氣的防止, 그리고 同表面의 損傷 무늬와 水壓分布狀態와의 關聯性을 檢討하러 한다. 그러나 이것은 複雜한 流水中の 現象이며, 그 研究範圍도 大端히 넓으므로 이번은 3% 食鹽水中에서 銅板을 使用하여 概括的으로 實驗하여 損傷되는 傾向과 그 電氣的防止의 可能性을 檢討코져 한다.

I. 實驗裝置

本試驗裝置는 回轉試驗裝置, 水壓分布測定裝置 및 中間試驗裝置의 3種의 裝置로 構成되어 있으며, 圖 1은 그 各 裝置의 要部이고, 圖 2는 回轉試驗裝置 및 中間試驗裝置를 表示한다.

回轉試驗器는 圖 1의 ①에 表示된 바와 같이 直徑 15cm의 透明 鹽化 비닐製의 圓板에 4個의 60° 切込部를 만들고, 그 切込部의 扇形面에 試驗片을 붙이도록 되어 있으며, 그 圓板 外周에는 1.0mm의 間隙을 두고, 伴流阻止用的 Baffle Casing을 設置했고, 回轉圓板은 그 軸을 桌上드릴 반으로 돌리도록 되어 있다.

水壓分布測定器는 圖 1의 ③과 같이 回轉圓板의 4分之1를 잘라내어 그 圓弧에 10×10mm²의 水路를 만들고 圖 8과 같이 合計 63本の 注射針을 꽂아서 鹽化비닐細管과 유리細管을 連結해서 即 Manometer를 만들어서 水柱로 水壓을 測定하도록 하였다.

中間試驗器는 圖 1의 ②와 같이 水壓測定器의 扇形部의 注射針 固定部에 該當하는 面에 試驗片을 붙이고 그 入口, 出口 및 扇形中央部의 3個所의 水壓을 注射針을 통해서 測定할 수 있도록 하였다. 그러므로 中間試驗器內를 通하는 流體의 質, 量 및 流動狀態(水壓分布부터 推定)를 水壓分布測定器內와 同一한 條件으로 해서 試驗할 수 있다.

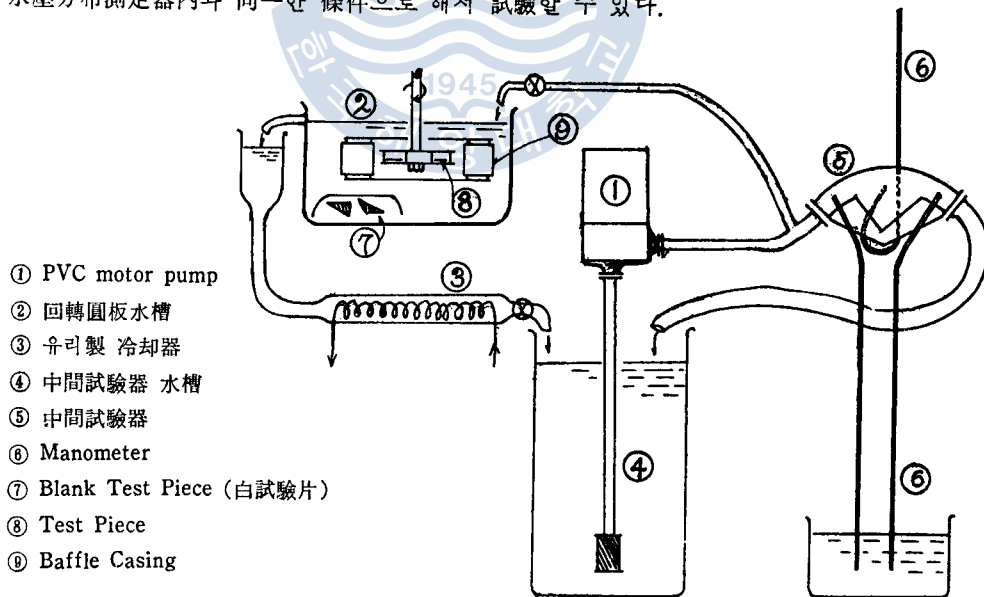
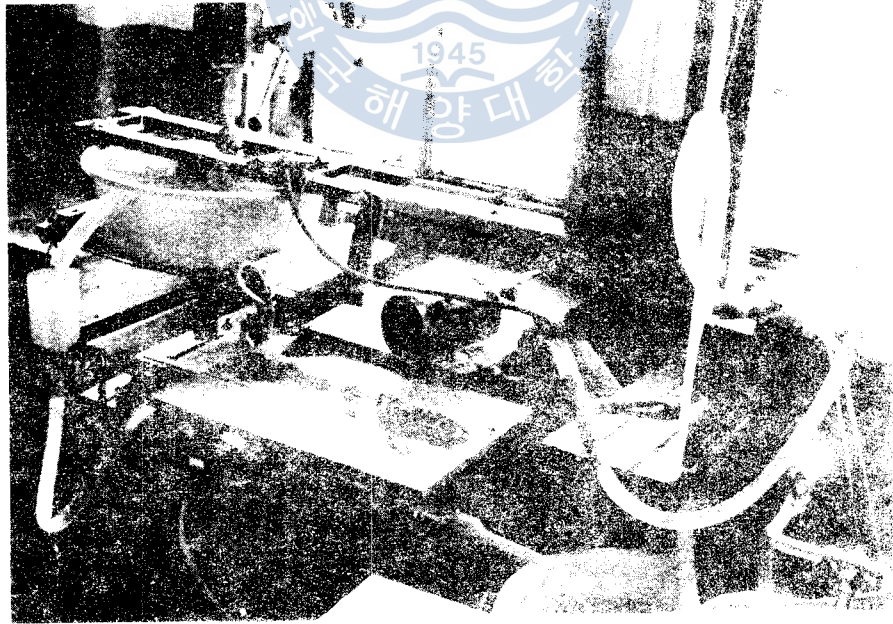
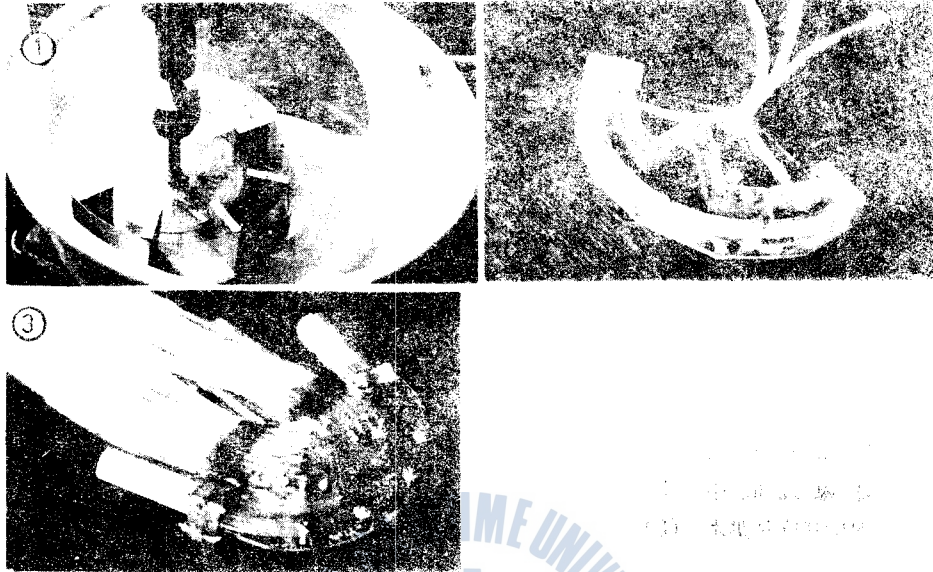


圖 3 回轉試驗裝置와 中間試驗裝置의 並行試驗系統 (第2圖 說明圖)

*1 機械的 作用인 浸蝕과 化學的作用인 腐蝕이 서로 일키어서 發生한다고 생각되므로 이를 一括해서 Corrosion-Erosion에 依한 損傷이라고 한다.



Ⅲ. 試驗片과 防蝕亞鉛

試驗片은 두께 0.5mm의 銅板(JIS 2種, Cu>99.5%)을 使用하여 圖 5의 ①~④型을 回轉圓板 用으로 4枚, 白試驗(Blank Test)用으로 2枚, 그리고 同圖⑤型을 中間試驗器用으로 1枚의 2種 合해서 7 枚를 만들었다.

이들 試驗片은 鋸(File)로 整形한 後에 電氣爐에서 300~350°C로 3時間 加熱해서 應力을 除去 하고, 常溫까지 爐內 冷却하였다. 이어 表 1의 酸液으로 녹을 벗기고, 清水 및 끓는 물로 씻고 乾燥시킨 後에 金屬磨劑 Pikalu로 整面하고, 石油 Benzine과 Acetone으로 脫脂하였다. 그리고 Desiccator에 넣어 1日間 乾燥시켜 透明塗料(鹽化비닐樹脂)로 作用面 以外는 칠하여서 絶緣하였다. 이 試驗片은 붙이기 直前까지 Desiccator 內에 넣어 두었다.

表 1 銅系 Scale Cleaner

成	分	量	成	分	量
濃	黃	酸	1.2	ℓ	
濃	空	酸	0.4	ℓ	
濃	鹽	酸	19	mℓ	
			크	롬	酸
				물	226g
					2.3ℓ

防蝕亞鉛은 日本 三井金屬會社製의 流電陽極用亞鉛板 ZAP-A [Four nine級亞鉛(Zn>99.99% V)에 Al≒0.5%添加]에서 잘라 내어 10×10mm²의 作用面 以外는 透明塗料로 絶緣하고, 나사 못(Piece)으로 試驗片에 붙여 亞鉛板과 試驗片을 導電시켰다. (圖 5 ② d, ④ a 參照)

Ⅳ. 實驗條件

回轉試驗裝置의 回轉圓板은 亞鉛防蝕한 試驗片 2枚와 無防蝕의 試驗片 2枚를 그 周圍에 交互 붙이고, 卓上드릴반으로 3% 食鹽水*² 中에서 2100rpm*³으로 100時間 回轉시키는 同時에 回轉圓板水槽에 亞鉛防蝕한 白試驗片 1枚와 無防蝕白驗片 1枚를 담그서 같은 時間 試驗하였다. 그리고 中間試驗器에도 無防蝕의 試驗片 1枚을 붙여서 같은 물을 流動시켜 같은 時間 並列로 試驗하였다.

回轉試驗器와 中間試驗裝置에 使用한 3% 食鹽水는 鹽化비닐製 펌프(全配管은 非金屬)로 前者에 1.0ℓ/11sec, 後者에 10ℓ/13.5sec*⁴의 流速으로 並列流動시켰다. 그리고 回轉 圓板水槽에서 나오는 물은 유리製 冷却器를 써서 水道水로 冷却하여 試驗中 거의 一定水溫이 維持되도록 하였다. 그 外의 實驗條件은 圖 4(P.47參照)와 같다.

水溫은 起動初期의 數時間을 빼면 거의 一定하며, 中間試驗器水槽에서 12.0~13.0°C, 回轉圓板水槽에서 14.0~16.0°C이었다. 그리고 試驗中의 食鹽水의 比重도 1.022~1.025의 範圍內에 있었다.

그리고 100時間의 試驗中 10時間의 停電(豫告有)이 있었으나 그 停電時間 中은 試驗片을 純水로 씻고 純水에 담그어 두었다. 但 回轉圓板水槽에 담그어 두었던 白試驗片은 처음 試驗을 始作할 때 4時間 늦게 담그었으므로 停電後 4時間 뒤에 꺼내어서 同一한 處理를 하였다. 위試

*2 水道水에 食鹽을 溶解시킨 것이며, 海水와 거의 같은 比重을 갖었음.

*3 直徑 1m의 Pump Impeller가 300rpm으로 或은 直徑 3m의 Screw Propeller가 100rpm으로 回轉할 때의 周速과 같음.

*4 10×10mm² 斷面에서 平均水速 7.5m/sec이며, 直徑 15cm의 圓板이 2100rpm로 돌 때의 周速의 約 半에 該當함. 이것은 試驗器의 水密維持가 困難하였으므로 制限되었음.

驗이 끝난 後 中間試驗器와 같은 條件下에서 水壓分布測定器에 食鹽水를 流動시켜 水壓分布를 測定하였다.

V. 試驗結果

試驗 後의 試驗片 全表面의 寫眞 및 試驗 前後의 表面의 局部 擴大寫眞은 圖 5, 圖 6, 圖 7 에 表示하였으며 그 寫眞說明은 다음과 같다. 그리고 試驗片上에 形成된 電解析出物은 圖 5에 表示된 바와 같이 回轉圓板上的 防蝕試驗片(②, ⑥~⑧ 參照)의 것이 素材와의 密着性이 弱하고 脆弱한 粗雜厚膜인데 反해서, 靜水中의 防蝕白試驗片(④, ⑤ 參照)의 것은 酸洗하여도 잘 떨어지지 않을 程度의 倒密薄膜을 形成하고 있다.

圖 5 試驗 後의 試片(×2/3) 及 同電析物(×60)

- ① 3% 食鹽水中에서 2100rpm의 回轉圓板에 붙어 100時間 無防蝕 試驗片.
- ② 3% 食鹽水中에서 2100rpm의 回轉圓板에 붙어 100時間 亞鉛防蝕片.
- ③ 3% 食鹽水中에 담구어 100時間 無防蝕 Blank Test片 (a—綠褐色部는 炭酸鹽核이라 推定됨)
- ④ 3% 食鹽水中에 담구어 100時間 亞鉛防蝕 Blank Test片 (a—防蝕亞鉛을 붙인 狀態)
- ⑤ 中間試驗器에 3% 食鹽水를 流速 7.5m/s로 流動시켜 100時間 無防蝕試驗片.
(b部의 縱線부위는 銅板의 壓延方向과 水流方向이 서로 直交함으로써 나타난 損傷부위라 생각된다. 圖 5의 ㉠ 參照)
- ⑥ ②의 a의 眞黑部의 60倍 擴大寫眞
- ⑦ ②의 b의 中間地帶의 60倍 擴大寫眞
- ⑧ ②의 c의 氣泡停滯區와의 境界部의 60倍 擴大寫眞
- ⑨ ⑥의 眞黑部를 벗긴 뒤의 狀態의 60倍 擴大寫眞
- ⑩ ④의 中央部를 60倍 擴大寫眞

圖 6 試驗 後의 試片의 要部 擴大寫眞(×60)

- ① 圖 5의 ①의 b部(逆)의 40倍 擴大寫眞
- ② 圖 5의 ①의 a部(逆)의 40倍 擴大寫眞
- ③ 圖 5의 ①의 c部(逆)의 40倍 擴大寫眞
- ④ 圖 5의 ⑤의 a部(逆)의 40倍 擴大寫眞
- ⑤ 圖 5의 ⑤의 b部(逆)의 40倍 擴大寫眞

圖 7 試驗 前後의 試驗片 局部寫眞(×40)

- ① 圖 5의 ①의 ×部의 試驗前 40倍 擴大寫眞
- ② 圖 5의 ①의 ×部의 試驗後 40倍 擴大寫眞
- ③ 圖 5의 ③의 ×部의 試驗前 40倍 擴大寫眞
- ④ 圖 5의 ③의 ×部의 試驗後 40倍 擴大寫眞
- ⑤ 圖 5의 ③의 ×部의 試驗前 40倍 擴大寫眞
- ⑥ 圖 5의 ③의 ×部의 試驗後 40倍 擴大寫眞
- ⑦ 圖 5의 ④의 ×部의 試驗前 40倍 擴大寫眞
- ⑧ 圖 5의 ④의 ×部의 試驗後 40倍 擴大寫眞
- ⑨ 圖 5의 ④의 ×部의 試驗前 40倍 擴大寫眞
- ⑩ 圖 5의 ④의 ×部의 試驗後 40倍 擴大寫眞
- ⑪ 圖 5의 ⑤의 ×部의 試驗前 40倍 擴大寫眞
- ⑫ 圖 5의 ⑤의 ×部의 試驗後 40倍 擴大寫眞

(6)

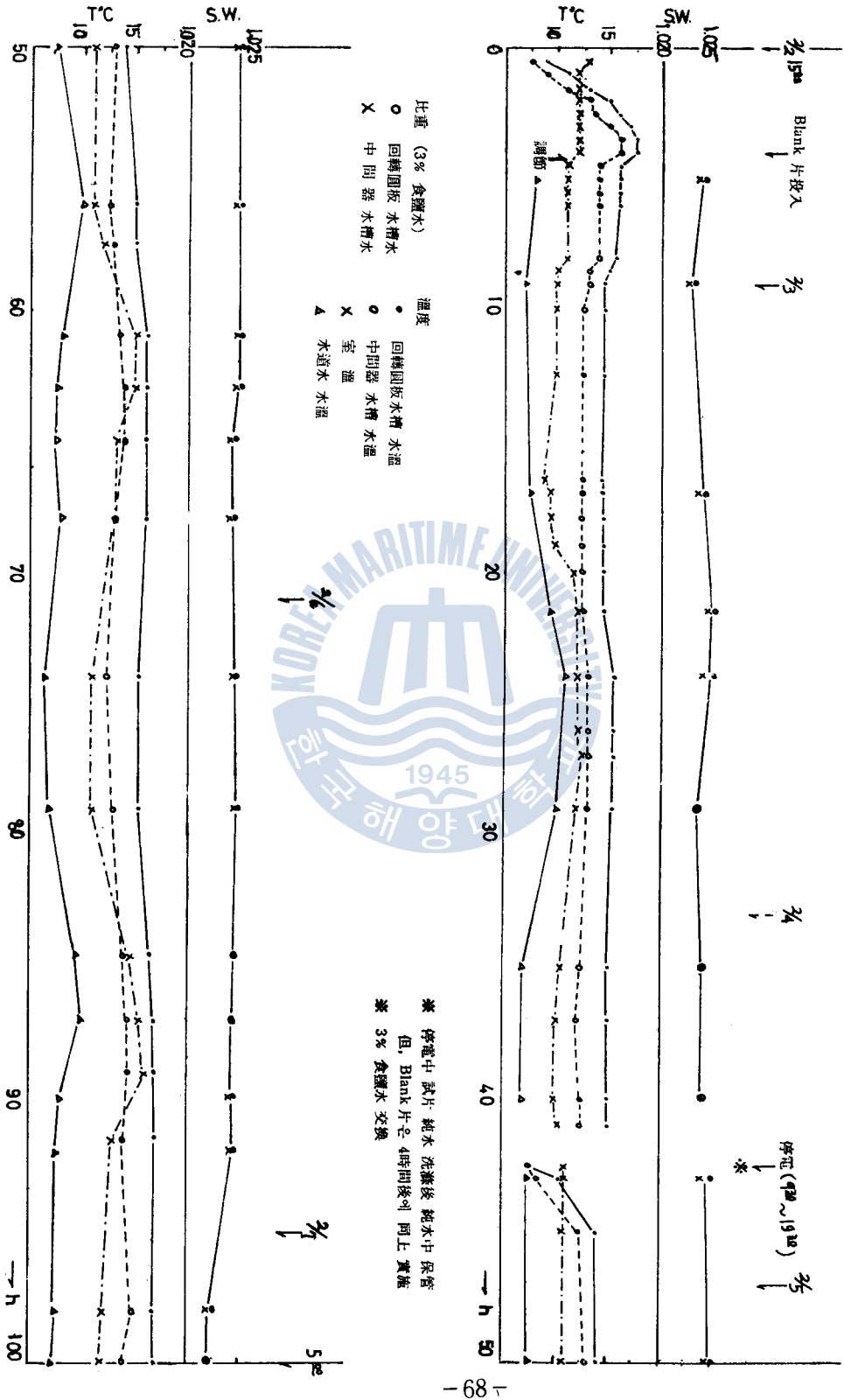


圖 4 實驗 結果

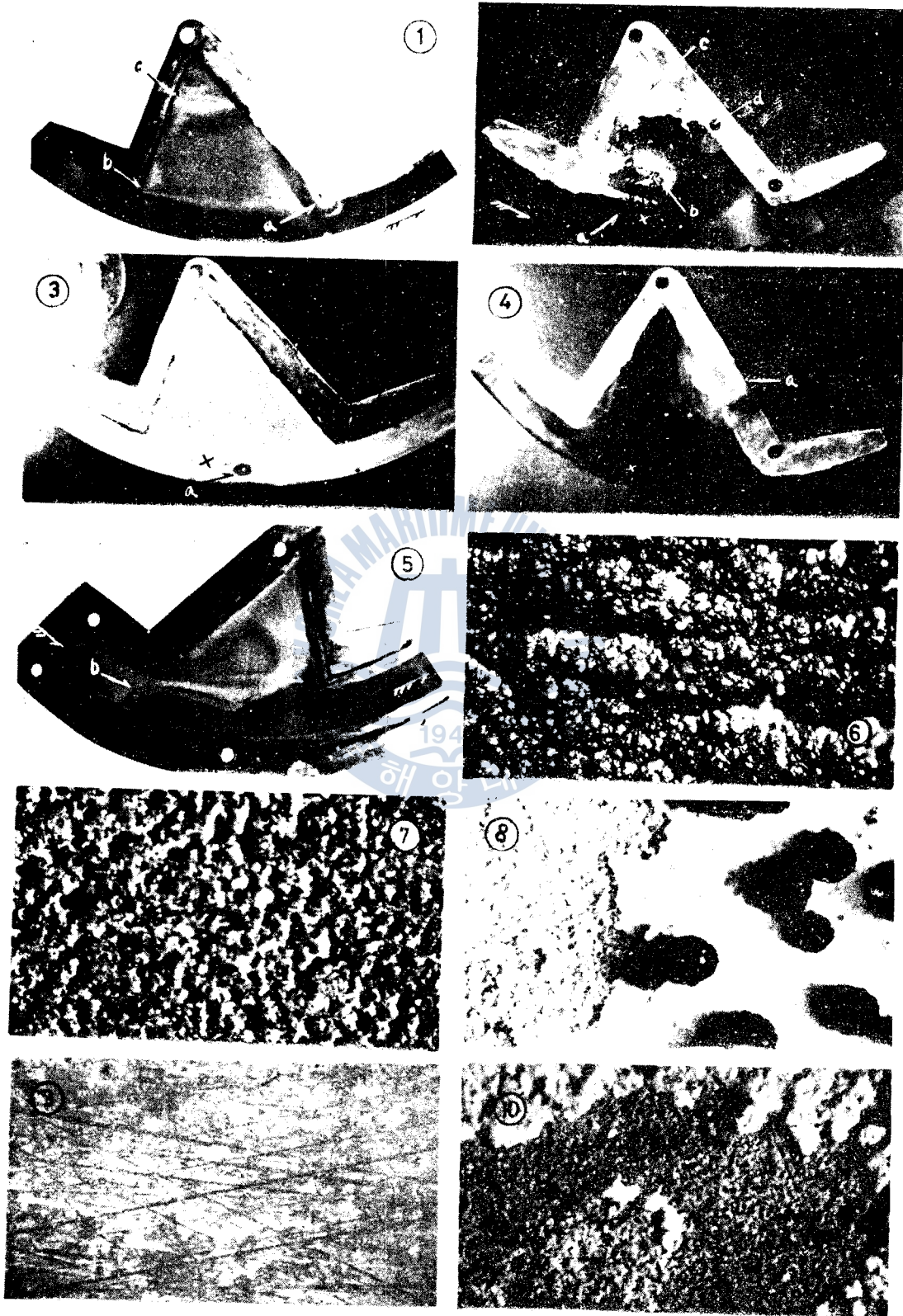


圖 5 試驗後之 試片(×1)及同出解物(×60)

(8)

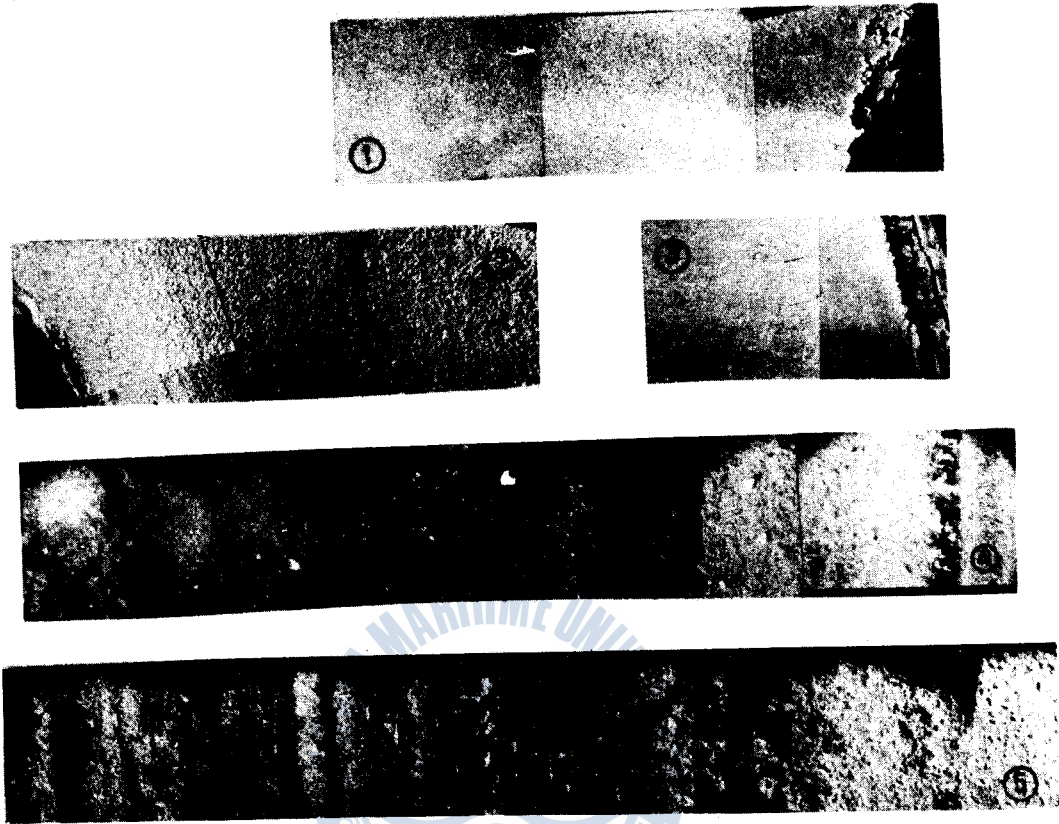


圖 6 試驗後의 試片 要部 擴大寫眞(×40)

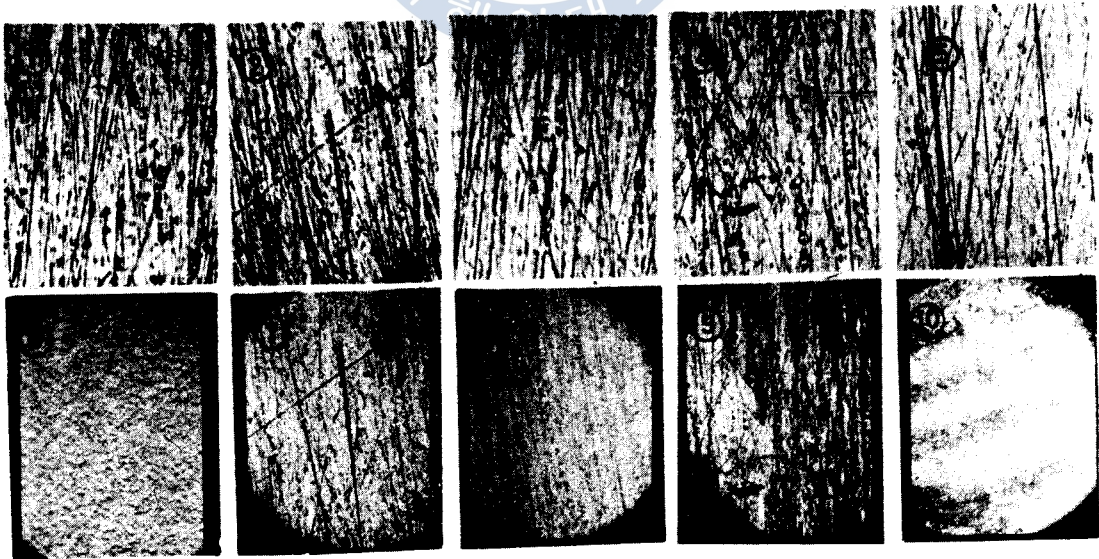


圖 7 試驗前後의 試片 局部 擴大寫眞(×40)



또 試驗前後의 試片과 防蝕亞鉛板의 重量 및 減量은 表 2와 같았다.

表 2 試驗前後의 試片과 防蝕亞鉛의 重量

試片 (亞鉛) 番號	試 驗 片 (純 銅)				防 蝕 亞 鉛				表 面 狀 態
	前重量 g	後重量 ※1 g	損 傷 量		前重量 g	後重量 g	電 解 量 g/15.22cm ² 100h	防蝕電流密 度 ※2	
			g/100h	g/dm ² 100h					
# 1 ※ 3	11.1232	10.9385	0.1847 g/15.22cm ²	1.2137	無防蝕	—	—	—	圖5의 ①
2 (B)	11.1468	11.1457	0.0011	0.0072	2.5740	0.8282	1.7458	0.86mA/cm ²	圖5의 ②
3	11.0113	10.8305	0.1808	1.1813	無防蝕	—	—	—	# 1과 同程度
4 (A)	10.9920	10.9884	0.0036	0.0236	2.6324	0.9071	1.7253	0.85	# 2와 同程度
5	11.1045	11.0963	0.0081	0.0539	無防蝕	—	—	—	圖5의 ③
6 (C)	10.9233	10.9181	0.0052	0.0342	4.1456	3.8207	0.3249	0.16	圖5의 ④
7	20.9455	20.8019	0.1436 g/18.39cm ²	0.7808	無防蝕	—	—	—	圖5의 ⑤

※ 1. 試片 #2와 #4는 電解附着物(各 約 1.5g)을 剝離 酸洗後의 重量, 試片 #6은 酸洗後의 重量

※ 2. 亞鉛의 電氣量을 750mAh/g라 計算

※ 3. # 1. 2. 3. 4는 回轉圓板上의 試驗片 # 5. 6은 Blank Test片, # 7은 中間試驗器의 試驗片

또 水壓分布測定器를 中間 試驗器와 같은 條件으로 하여 水壓을 測定한 結果는 圖 8에 表示한다. 그리고 同圖 ①上的 點線은 中間試驗器에 붙었던 無防蝕試驗片(圖 5의 ⑤ 參照)上的 損傷무늬이고, 同圖 ②上的 點線은 回轉圓板上의 無防蝕試驗片(圖 5의 ① 參照)上的 損傷무늬를 表示한다. 이 두 그림에서 水壓分布狀態와 損傷무늬가 類似^{*5}하다는 것을 알 수 있다.

VI. 結 論

3% 食鹽水中에서 2100rpm으로 回轉하는 回轉圓板에 붙어 100時間試驗한 亞鉛防蝕試驗片과 無防蝕試驗片, 그리고 同水中에서 同時間 靜止狀態로 담그어서 試驗한 亞鉛防蝕白試驗片의 損傷量 및 防蝕電流密度的 相互關係는 表2에서 다음과 같은 傾向을 알 수 있다.

- (1) 回轉圓板上의 無防蝕試驗片은 靜水中의 無防蝕白試驗片에 比해서 損傷量이 거의 20배나 되었다.
- (2) 그러나 充分히 防蝕(防蝕亞鉛板의 表面積을 被防蝕面積의 約 1/15로 하였음)하였을 때는 回轉圓板上의 試驗片이 오히려 靜水中의 白試驗片보다 損傷量이 적었다.
- (3) 이 때(2項의 境遇) 回轉圓板上의 防蝕試驗片의 平均 防蝕電流密度는 靜止中の 白試驗片의 平均防蝕電流密度的 約 5倍인 0.86mA/cm²에 達하였다.
- (4) 그리고 回轉圓板上의 無防蝕試驗片과 同防蝕試驗片의 損傷量은 前者가 後者の 約 50倍에 達하였으나,
- (5) 靜水中의 無防蝕白試驗片과 同防蝕白試驗片의 損傷量은 前者가 後者の 2倍에도 未達되었다.

그러므로 靜水中의 防蝕白試片을 基準으로 해서 損傷量 및 防蝕電流密度的 近似的比로 表示하면 다음 表와 같은 傾向이 있다.

*5 中間試驗器의 製作錯誤로 試驗片을 붙어 面이 反對로 되었음. 또 同圖 ②의 損傷무늬는 ①의 損傷무늬보다 周速이 約 2倍下의 것임

表 3 試驗片의 損傷量과 防蝕電流密度의 近似的比

項 目	回 轉 圓 板 上 靜 水 中			
	無 防 蝕 試 片	防 蝕 試 片	無 防 蝕 白 試 片	防 蝕 白 試 片
損 傷 量 比	(20)		(1)	
	30	<1	<2	1
	(50)	(1)		
防蝕電流密度	—	5	—	1

(6) 그리고 回轉圓板의 防蝕試驗片上의 電解析出物은 粗雜厚膜을 形成하였는데 對해서 靜水中의 防蝕白試驗片上에는 緻密薄膜을 形成하였다. 또 前者는 試驗片에 對한 密着性이 아주 적고 脆弱한데 反해서 後者는 酸洗하여도 脫離되지 않을 程度로 密着性이 좋았다.

回轉圓板上의 試驗片위의 水壓分布狀態는 水壓分布測定器에 依해서 定性的으로 測定할 수 있었고, 同試驗片上의 損傷무늬는 測定한 水壓分布狀態와 類似的한 傾向을 나타냈었다.

Ⅶ. 考 察

3% 食鹽水中에서 2100rpm으로 回轉하는 回轉圓板에 붙어 100時間 試驗한 試驗片과 同水中에서 同時間 靜止狀態로 담고어섯 試驗한 試驗片의 損傷量 및 防蝕電流密度의 相互關係에서

(1) 回轉圓板上의 無防蝕試驗片이 靜水中의 無防蝕試驗片에 比해서 거의 20배나 損傷되었는 것은 後者에 發生되지 않는 Cavitation 및 Impingement Attack가 前者에 甚히 發生하고, 또 이로 因해서 露出된 金屬表面이 大端히 汚蝕하게 電解腐蝕되기 때문이라고 생각된다.

(2) 그러나 充分히 電氣防蝕하면 回轉圓板上의 試驗片이 오히려 靜止狀態로 담고어섯 白試驗한 試驗片보다 損傷量이 적은 것은 前者가 短時間의 急激한 電解로 粗雜厚膜을 形成(渡金時에 흔히 當面하는 現象임)하였는데 對해서 後者는 比較的 長時間의 緩慢한 電解로 緻密薄膜을 形成하였으므로 100時間 程度의 比較的 짧은 時日에는 後者의 損傷量이 오히려 많았지 않았는가 생각된다.

(3) 위 (2)項의 境遇에서 回轉圓板上의 試驗片의 防蝕電流密度(平均)가 靜水中의 試驗片의 그것에 比해서 5배나 所要된 것은 前者가 高速으로 振動(回轉)하고 그 附着物은 密着性도 적으므로 그 一部分가 繼續 떨어져 나오는 한편 다시 電解로 補膜을 繼續하기 때문에 防蝕電流密度가 높게 되지 않았는가 생각된다.

(4) 또 回轉圓板上의 無防蝕試驗片과 同防蝕試驗片의 損傷量이 約 50對 1이나 되는 것은 前者가 Erosion 및 電解腐蝕에 依해서 甚히 損傷되었는데 對해서 後者는 電解作用으로 急激히 厚膜을 形成해서 試驗片을 露出시키지 않았으므로 試驗片에는 機械的作用 및 電解作用이 거의 미치지 못했기 때문이라 생각된다.

(5) 그러나 靜水中의 無防蝕白試驗片의 損傷量이 同 防蝕白試驗片의 損傷量의 2배에 未達되었는 것은 後者가 防蝕皮膜을 形成하는데 相當한 時間이 要하였으려, 靜水中이기 때문에 前者의 腐蝕速度도 相當히 느린 까닭이라 생각된다. 그러므로 (4)와 (5)項을 比較하면 특히 海水中的의 高速回轉體에 對한 防蝕이 왜 必要한가를 理解할 수 있다.

(6) 또 回轉圓板의 防蝕試驗片上의 電解析出物은 素材와의 密着性이 弱하고 脆弱한 粗雜厚

(12)

膜을 形成하고, 靜水中의 防蝕白試驗片上的 電解析出物은 酸洗하여도 잘 떨어지지 않을 程度의 緻密薄膜을 形成하는 理由로는 電解速度의 差異 以外에 다음 것도 생각할 수 있다. 即 靜水中의 白試驗片은 回轉圓板의 試驗片보다 4時間 늦게 試驗을 始作하였으므로 白試驗片上的 緻密薄膜은 食鹽水中의 Ca^{2+} 및 Mg^{2+} 등의 密着性を 害치는 物質이 大部分 析出된 後에 形成되었기 때문이 아닌가 생각된다. 換言하면 電析物의 密着性은 電析速度뿐만 아니라 同電解液中の 不純物의 影響이 컸지 않았는가 생각된다.

위 (1)~(6)項은 單順한 考察이므로 具體적인 것은 水壓分布狀態와 損傷무늬間의 定量的 關係와 같이 今後에 究明하여야 할 問題들이라 생각한다.

끝으로 이 研究를 指導해 주신 本學의 金相輪 教授와 東京商船大學의 賀田 教授에게 深心の 謝意를 表한다.

Ⅷ. 參考文獻

1. 賀田, 宮嶋, 等 海水中の回轉體의 腐食防止에 關する 研究 (第1報) P. 107~112 #14(1963年 東京商船大學 研究報告)
2. 日本 學術振興會 腐蝕防止 第97委員會, 金屬防蝕技術便覽 P. 179~180 (1961)
3. 日本 學術振興會 腐蝕防止 第97委員會, 防蝕技術의 進歩 P. 89~99 (1963)
4. H. H Uhlig, Corrosion and Corrosion Control P. 95~98 (1965)
5. N. D. Tomashov, Theory of Corrosion and Protection of Metal P. 454~479 (1966)
6. F. A. Champion, Corrosion Testing Procedures, P. 128~132 (1964)
7. Butler & Ison, Corrosion and its Prevention in Water, P. 127~1931 (1966)
8. 山本洋一, 金屬의 腐蝕 及 防蝕 (上卷) P. 416 (1943)
9. 瀨尾正雄, 船舶의 電氣防食 P. 27~30 (1950)
10. 大谷南海男, 金屬表面工學 P. 108, 186 (1962)