

한국부식학회지  
Journal of the Corrosion Science Society of Korea  
Vol. 13, No. 3, Sept. 1984.

〈研究論文〉

造船用 普通強度 鋼材의 熔接部位의 腐蝕疲労와  
電氣防蝕에 関한 研究

田大熙\*, 金垣寧\*, 金基俊\*, 李義鎬\*\*

\* 韓國海洋大學    \*\* 海軍士官學校

A Study on the Corrosion Fatigue and Cathodic Protection  
of the Welded Zone of General Strength Steel

D. H. Jeon, W. N. Kim, K. J. Kim, E. H. Yi

ABSTRACT

The plane bending corrosion fatigue was performed in the air and natural sea water with various conditions on the welded zone of general strength steel plate joined with submerged arc welding.

The main results obtained from the test are summarized as follows:

1. The welded zone of the steel plate has the highest hardness, the noblest electrode potential and the lowest impact strength.
2. The cathodic protection of the welded zone was also effective for the plane bending corrosion fatigue, and the optimum potential of it was -1000 mV SCE.
3. The corrosion fatigue strength under the various stress conditions of the steel plate could be estimated and the require safety factors on the design could be obtained from the plane bending fatigue limit diagram.

記号說明

$C_{eq}$  : 炭素当量 (Carbon Equivalent)  
 $PcM$  : 熔接龜裂感受性組成 (Composition of Weld Cracking Susceptibility)  
 $\alpha$  : 応力集中率, 形状係数 (Factor of stress Concentration)  
 $\beta$  : 破断係数 (Factor of Rupture) or 切欠係数 (Fatigue Notch Factor)  
 $\eta$  : 応力集中感度 (Notch Sensitivity)  
 $S_f$  : 安全率 =  $\sigma_{TS} / 2\sigma_n$  (Safety Factor)  
 $\sigma_{max}$  : 最大応力,  $kg/mm^2$  (Maximum Stress)

$\sigma_{min}$  : 最少応力,  $kg/mm^2$  (Minimum Stress)  
 $\sigma_m$  : 平均応力,  $kg/mm^2$  (Mean Stress)  
 $R$  : 応力比 =  $\sigma_{min} / \sigma_{max}$  (Ratio of Stress)  
 $\sigma_n$  : 応力振幅,  $kg/mm^2$  (Stress Amplitude)  
 $\sigma_{yo}$  : 降伏強度,  $kg/mm^2$  (Yield Strength)  
 $\sigma_{TS}$  : 引張強度,  $kg/mm^2$  (Tensile Strength)  
 $\sigma_s$  : 剪断応力,  $kg/mm^2$  (Shearing Stress)  
 $\rho$  : 노치 루우트 曲率半径, mm (Notch Root Radius)  
 $l$  : 노치 길이, mm (Notch Length)  
 BM : 母材部 (Base Metal)  
 HAZ : 熱影響部 (Heat Affected Zone)  
 WM : 熔着部 (Weld Metal)

- S : 反復平面 굽힘응력, kg/mm<sup>2</sup> (Repeated Plane Bending Stress)
- Nf : 破壊될 때까지의 Cycle数(Number of Cycles to Fracture)
- x : 試片固定部에서 노치까지의 거리, mm(Length from Fixing Point of Specimen to the Notch)
- ℓ : 試片固定部에서 応力附加点까지의 거리, mm(Length from Fixing Point of Specimen to the Stress Point)
- Z : 断面係數(Modulus of Section)
- E : 영률, kg/mm<sup>2</sup> (Young's Modulus)
- I : 断面2次 모멘트(Moment of Inertia of Area)
- WWNNA : Welded Notched Alternative Stress Specimen (in the Air)
- WWNPP : Welded Notched Pulsative Stress Specimen (in the Air)
- WWNNAOP : Welded Notched Alternative Stress No-Protected Specimen (in the sea water)
- WWNNPOP : Welded Notched Pulsative Stress No-Protected Specimen (in the sea water)
- WWNNACP : Welded Notched Alternative Stress Cathodic Protected Specimen (in the sea water)
- WWNNPCP : Welded Notched Pulsative Stress Cathodic Protected Specimen (in the sea water)
- WWNNPP : Welded Notched Partial Pulsative Stress Specimen (in the air)
- WWNNPPPOP : Welded Notched Partial Pulsative Stress No-Protected Specimen (in the sea water)
- WWNNPPCP : Welded Notched Partial Pulsative Stress Cathodic Protected Specimen (in the sea water)

## I. 序 論

近年부터 생긴 船舶의 大型化 趨勢에 따라 高張力鋼材가 造船용으로 많이 採用되는 새로운 傾向<sup>1,2)</sup>이 생겨났다. 그러나 中·小型船에는 經濟的 事情 등에 의해서 如前히 從來와 같은 普通強度鋼材를 使用하는 境遇가 많다.

普通強度 鋼材는 高張力鋼材에 比해서 機械의 強度가 弱하나 熔接性和 工作性이 좋고, 腐蝕疲勞나 水素脆化 등의 感受性이 낮으므로 船舶을 建造하기 쉽고, 運航管理하기도 容易하다. 그러므로 高張力鋼材는 여러가지 實用環境中の 몇몇 單的條件에서나 機械의 性質과 電氣化學的 特性<sup>3-11)</sup> 등이 調査되어 있으나, 普通強度鋼材를 採用한 境遇는 實用研究의 結果가 거의 發見되지 않는다.

實際 造船에 있어서 SM41鋼材를 採用할 境遇는 船体外板의 負荷條件에 거의 구애되지 않고, 只今까지의 經驗에 의해서 安全率을 4로 잡고, 設計強度를 10kg/mm<sup>2</sup>으로 計算하고 있다. 그러나 經濟的인 造船이 要求되는 現今에서 安全率 4는 適正한가, 또 船体の 全外板에 대해 이 安全率을 均一하게 適用되어야 하는가 등은 再檢討되어야 할 問題라고 생각된다.

船舶의 實際 運航條件에서 船체가 가장 損傷되기 쉬운 部分은 熔接缺陷이 생기기 쉽고 또한 腐蝕疲勞가 일어나기 쉬운 熔接連結部이기 때문에, 本 研究는 前報의 研究<sup>12)</sup>에 이어서 造船用 普通強度鋼材의 熔接部位의 腐蝕疲勞와 電氣防蝕의 關係등에 대해서 研究했다.

## 2. 試驗片과 實驗方法

### 2.1. 供試鋼材와 試驗片

이 試驗에 使用된 供試鋼材는 두께 6mm의 40kg/mm<sup>2</sup>級 國產 熔接構造用 圧延鋼材이다. 이 材料는 化學的 組成과 機械的 性質이 Table 1 및 2와 같이 對比되므로, 이는 韓國工業規格(KS) SM41鋼(普通強度鋼)이나 韓國船級協會規格(KR) RD鋼<sup>13)</sup>의 相當品임을 알 수 있다.

疲勞試驗片은 그 길이 方向이 鋼材의 圧延方向과 同一하도록 供試鋼板에서 切取한 다음 서브머이지드 아크 熔接(Submerged Arc Welding)으로 맞대기 熔接을 兩面에서 하여, 다음의 規格試驗片을 만들었다. 여기에서 서브머이지드 아크 熔接法을 採択한 理由는 只今 各造船所에서 甲板이나 外板의 熔接에 이 熔接法이 많이 採用되고 있고, 또한 가장 確實하게 熔接되기 때문이다. 따라서 試驗片 熔接時에도 實際 造船所에서 實施하는 熔接條件에 맞추어 熔接하였다. Table 3은 이 試驗片의 熔接條件이다.

規格試驗片의 型과 치수는 熔接試驗片의 兩面을 各各 1mm씩 平削해서 4.00±0.01mm 두께로 만든 다음에 金屬平板의 平面굽힘 疲勞試驗法(JIS-2275-1978)의 1-30호 試驗片으로 加工하였다. 그리고, 試驗片의 試驗部

Table 1. Chemical Compositions of the Steel (%)

Kinds of Steel	C	Si	Mn	P	S	Ceq*	PcM**	Remarks
SM41 BASE	0.20	0.31	0.65	0.04	0.007	0.308	0.242	Speciman
KS SM 41	<0.22	<0.35	0.9 -1.40	<0.04	<0.04	<0.38	<0.26	
KR RD	<0.21	<0.35	0.6 -1.40	<0.050	<0.050	<0.37	<0.26	
Weld Metal	0.185	0.32	0.67	0.008	0.01	0.296	0.217	

\* Ceq (%) = C + Mn/6, \*\* PcM = C + Si/30 + Mn/20

Table 2. Mechanical Properties of the Steel (20°C)

Kinds of Steel	Yield Point (kg/mm <sup>2</sup> )	Tensile Strength (kg/mm <sup>2</sup> )	Elongation (%)	Impact* Strength (kg-m)	Remarks
SM41 BASE	34	46	27	4.45	Specimen
KS SM41	>25	41-52	>19	>4.8	
KR RD	>24	41-50	>22	>4.8	
Weld Metal	39.78	50.54		3.258	

\* Charpy Impact Test

Table 3. Welding Conditions (Submerged Arc Welding)

Welding Wire (φ: mm)	Face	Voltage (V)	Ampere (A)	Speed (cm/min)	Heat** Impact (KJ/cm)	Remarks
AWS-F 71-EH-14	Face	30	400	50	14.4	DAIDEN GI-B5
UL-36 (3.2)	Back	34	420	55	15.58	Submerged Arc Welding

\* 0.15C - 1.52Mn - 0.32Si - 0.13P - 0.015S

\*\* Heat Impact =  $\frac{60EI}{v}$  (J/cm) (v: Welding Speed, cm/min)

에는 다시 幅 0.25mm, 길이 2.00mm의 노치(Notch)를  
加工하였다. 또한 試驗片 表面을 샌드 페이퍼(Sand  
paper) 120番까지로 研磨하고 알콜 및 이세톤으로 脫  
脂한 다음에 試驗하였다.

Fig. 1은 同 試驗片의 形狀과 치수이다.

2.2. 疲勞試驗裝置

이 研究에 使用된 疲勞試驗裝置는 平面굽힘式으로서  
Fig. 2와 같이 偏心器에 의해 任意의 一定한 平面굽힘  
應力(Plane Bending Stress)을 反復해서 加할 수 있  
도록 되어 있을 뿐만 아니라, 變速이 可能하고, 4個  
의 試驗片에 대해 同時에 兩振, 片振 및 部分片·兩振

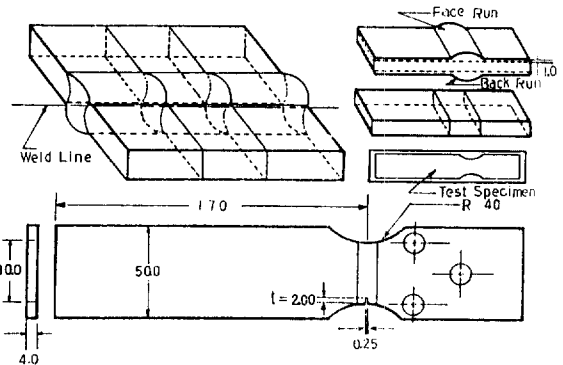


Fig. 1 Dimensions of Test Specimen (Unit: mm)

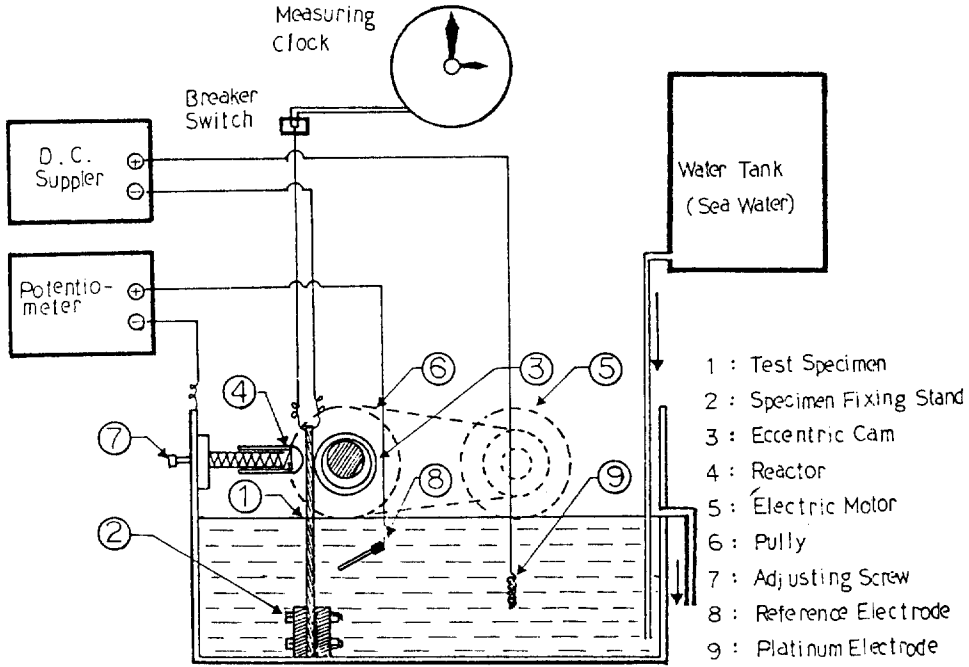


Fig. 2 Schematic Diagram of Plane Bending Tester

의 疲勞試驗도 할 수 있도록 自作한 것이다. 또한, 이 試驗機는 大氣中에서나 水中에서 疲勞試驗을 할 수 있고, 水中試驗의 경우는 各種 電位로 電氣防蝕을 하면서 도 疲勞試驗을 할 수 있도록 되어 있다. 이러한 裝置를 3 臺 製作하였으므로 同時에 12個의 試驗片을 試驗할 수 있다.

電氣防蝕에는 50V, D.C. 2A의 定電壓 裝置와 Pb-Ag系 不溶性 陽極을 使用하였으며, 電極電位의 測定에는 飽和칼로멜電極(SCE)과 高抵抗 電壓計(內部抵抗:

10<sup>7</sup> Ω /V)를 使用하였다. 試片의 疲勞破斷까지의 反復 應力回數는 電氣時計에 브레이크 스위치(Break Switch)를 附着해서 試片이 破斷되는 순간까지의 時間을 測定해서 計算하였다. 그리고, 이 試驗機의 試片固定部 및 水槽內部는 亜鉛프라이머(Zinc Primer)를 2回 塗裝한 後, 絶緣性 에폭시타일塗料를 2回 塗裝하고, 그 위에 水槽部는 다시 FRP로 2mm 두께로 라이닝(Lining) 하므로써 防蝕電流가 試驗片에 많이 集中하도록 하였다. Photo 1은 本 試驗裝置의 配置圖이다.

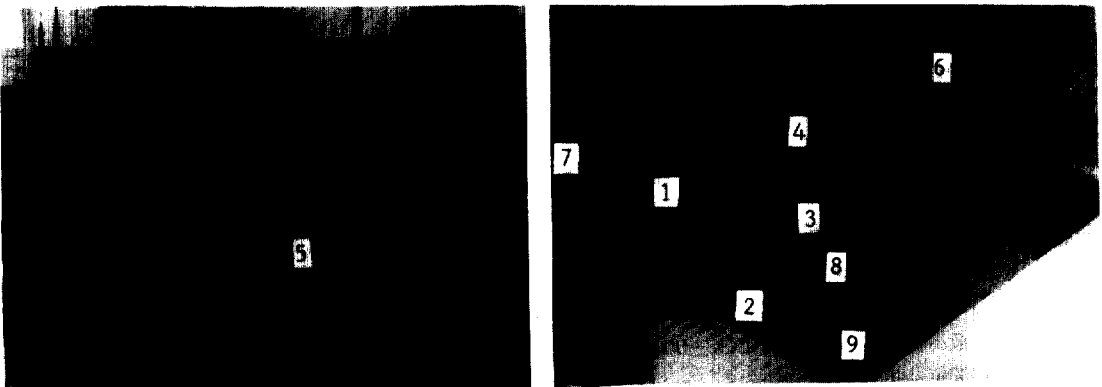


Photo 1. Experimental Equipment of Plane Bending Fatigue Test

### 2.3. 疲勞試驗條件

이 研究에서 試驗片의 굽힘應力疲勞試驗은 다음 條件에서 實施하였다.

(1) 實際 船舶의 船體는 파도 등에 의해서 每分當 6~12回(0.1~0.2Hz)의 片振反復 굽힘應力을 받고 있는 部分이 많고, 部分에 따라서는 兩振이나 部分片振 및 部分兩振의 應力을 받는 곳도 있다. 그러나 이 反復 굽힘 速度는 實驗하기에 너무 느린 速度이므로, 이 研究에서는 850 cpm (14.2Hz)으로 加速해서 疲勞試驗을 實施하였다. 따라서, 이러한 加速實驗에서 얻어진 疲勞限度(疲勞限界強度)는 實際 보다 약간 높을 것으로 予想된다.

(2) 船體鋼板을 熔接할 때는 그 熔着部에 熔接缺陷(微細龜裂 또는 未接合部 등)이 생기기 쉽고, 이 곳에 應力集中이 일어날 것으로 假想되므로 試驗片의 試驗部에 幅 0.25mm, 길이 2.00mm의 노치(Notch)를 加工해서 應力集中이 일어나는 條件에서 實驗하였다.

(3) 海水中에서 船體는 電氣防蝕하는 것이 通例이므로 試驗片은 自然電位(無防蝕) 및 -800mV, -1,000mV,

-1,200mV, -1,400mV(SCE)의 各 電位로 分極시켜 電氣防蝕한 狀態下에서 疲勞限度를 測定 比較하였고. 大氣中の 疲勞試驗結果와도 比較하였다.

(4) 腐蝕液은 Table 4와 같은 天然海水를 使用하였으며, 試驗中 물의 蒸發 및 監素가스의 發生 등을 考慮하여 一定한 速度로 海水를 계속 供給하는 한편, 同量의 海水를 排出시키는 方法을 使用하였다. 그리고 試驗中 水温은 10~15℃의 範圍였다.

(5) 疲勞試驗은 連 186時間 以上の 期間을 通해서 10<sup>7</sup> 회까지 反復應力을 계속 加해서 굽힘疲勞시커도 破斷되지 않는 上限值의 疲勞強度를 測定해서 試驗片이 그 負荷에서 破斷되지 않는 所謂 疲勞限度強度로 看做하는 高사이클疲勞限度를 採択하였다. 實驗中の 試驗中斷은 停電 등의 不得已한 事由가 있을 때에 限하고, 그 連中斷時間이 2時間(10<sup>7</sup> 회 時間의 約 1%)을 超過할 때에는 再試驗하였다.

(6) 疲勞試驗에서 굽힘應力  $\sigma_0$ 는 다음과 같이 求하였다. 即 굽힘 變形量  $\delta = P\ell^3/3EI$ 에서 荷重  $P = 3EI/\ell^3$  이고 軟鋼의 영率  $E$ 는  $2.10 \times 10^4$  kg/mm<sup>2</sup> 程度이므로

$$\sigma_0 = 1.5 E \delta t(\ell - x) / \ell,$$

Table 4. Qualities of Sea Water for the Experiment

Hardness (ppm, CaCO <sub>3</sub> )	M-Alkalinity (ppm, CaCO <sub>3</sub> )	Cloride (ppm, Cl <sup>-</sup> )	Specific Resistance ( $\Omega$ - cm)	Specific Weight	Temp. when Water Test
4,500	85	16,800	26.7	1,025	18

## 3. 測定結果와 考察

### 3.1. 熔接部位의 機械的 및 組織的 特性变化

Fig. 3(A)는 試驗片의 熔接部位에 따라 샤르피(Charpy)衝擊試驗을 한 結果이고, Fig. 3(B)는 同部位에 대해서 硬度分布와 電極電位分布(5% HNO<sub>3</sub> + 1% FeCl<sub>3</sub> 混液을 滴下해서 飽和칼로멜 電極으로 測定)을 測定한 結果이다. 또 Photo. 2는 同 試驗片의 各 熔接部位에 대해서 5% 나이탈로 腐蝕시킨 後의 200 倍의 顯微鏡組織寫眞이다.

이들의 結果를 綜合하면 熔着部가 最低의 衝擊強度를 나타내고 있고, 母材部가 가장 높으며, 熱影部는 그 中間의 強度를 나타낸다. 이에 反해서 硬度分布와 電位分布는 熔着部가 最高值, 母材部가 最低值를 나타내며, 熱影部가 그 中間值이다.

이와 같은 特性变化는 熔接時의 熱影響에 의해서 P-

hoto. 2에서 보는 바와 같이 熔着部는 Dendrite 組織이 發達되고, 熱影響部는 熔接時의 熱사이클에 의해 組織이 粗大化되어 있으며, 또한 多量의 마르텐사이트(Martensite) 組織이 나타나 있는 것에 起因된다. 그리고 熔着部의 電位가 가장 貴한 것은 熔接棒의 電位가 母材보다 貴한 材料를 使用한 結果이며, 이는 防蝕의 面에서 바람직한 것이다.

### 3.2. 疲勞電裂의 伝播와 破壞舉動

Photo. 3(A)는 試驗片의 노치部에서 龜裂이 發生해서 疲勞破壞된 表面을, 同圖(B)는 그 斷面을 보이고 있다. 大氣中の 경우와 海水中에서 電氣防蝕한 경우는 同圖 ①②③과 같이 破斷線이 單順한 線狀이나, 海水中에서 無防蝕의 경우는 同圖 ④⑤와 같이 툽니와 같은 날카로운 非線狀이다. 이것은 無防蝕試驗片의 破斷線 兩側表面에 작은 蝕孔이 많이 생긴 點으로 보아서

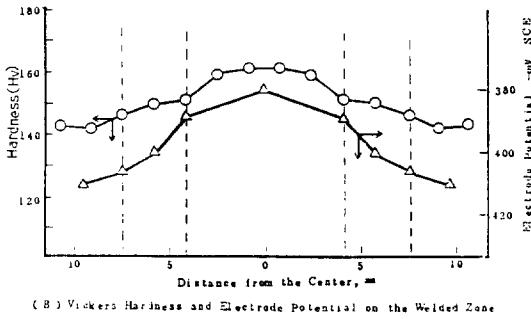
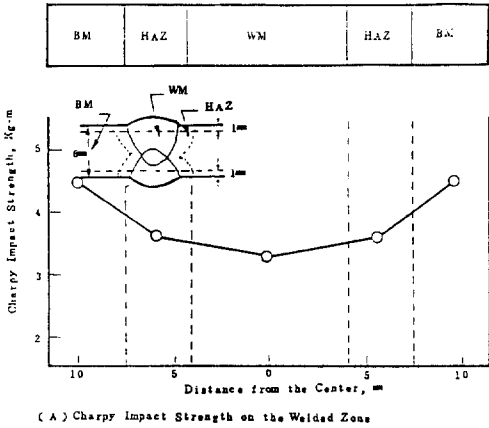


Fig. 3 Mechanical Properties and Electrode Potential on the Welded Zone of SM41 Steel

①②③의 경우는 純 機械的인 疲勞破壞이나 ④⑤의 경우는 疲勞와 腐蝕의 兩者가 相乘作用함으로써 尙 긴 現象으로 보여진다.

Fig. 4는 片振과 兩振에서 疲勞破斷의 進行機構를 나타내고 있다.

3.3. 疲勞限度에 미치는 陰極防蝕의 影響

Fig. 5~7은 供試鋼의 熔接試驗片에 대해서 空氣中 및 海水中的 無防蝕과 陰極防蝕의 여러가지 條件下에서 各各 兩振, 片振 및 部分片振으로 疲勞시험을 時 測定한 S-Nf 線圖를 表示한다. Fig. 8은 Fig. 5 및 6의 資料에 의해서 腐蝕疲勞限度에 미치는 陰極防蝕의 影響을 表示한 것이다.

이들의 實測 結果에 의하면, 海水中的의 試驗片에 대해서 陰極防蝕하면 兩振, 片振 및 部分片振의 어느 경우나 疲勞限度強度가 많이 增加되나, 陰極 防蝕電位가 낮아질수록 S-Nf 直線의 기울기가 작아지므로 高負荷의 応力下에서는 時間強度가 比較的 낮은。 또 Fig. 8에 의하면 試驗片을 陰極防蝕하면 -800mV SCE程度로 防蝕해도 兩振이나 片振의 어느 경우도 大氣中の 疲勞限度強度와 同等한 程度로 높아지고, -1000mV SCE로 防蝕하면 그 強度가 더욱 높아지며, -1400mV SCE로 防蝕해도 強度는 거의 變化하지 않는다. 이 普通強度 鋼材의 疲勞限度가 前報의 高張力鋼材와 같이 -1400

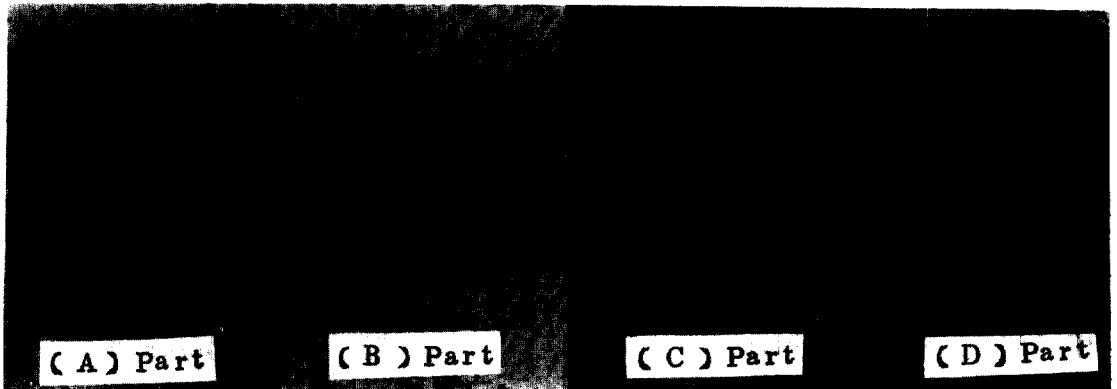


Photo 2. Microstructures on the Welded Zone of SM41 Steel

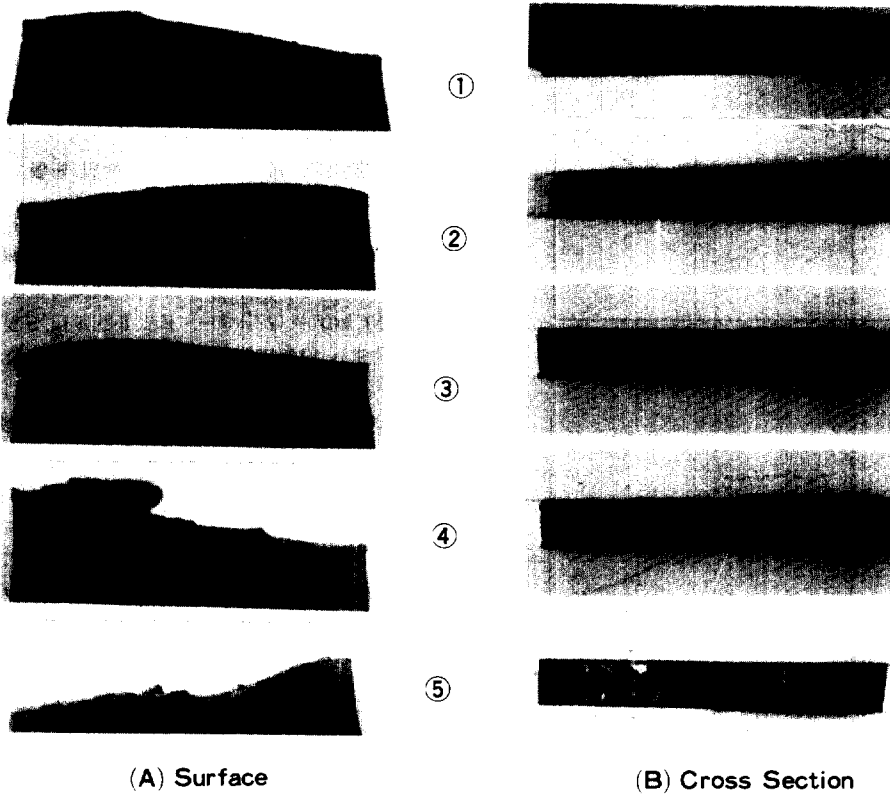


Photo 3. Surface & Cross Section of Cracked and Fractured Specimen

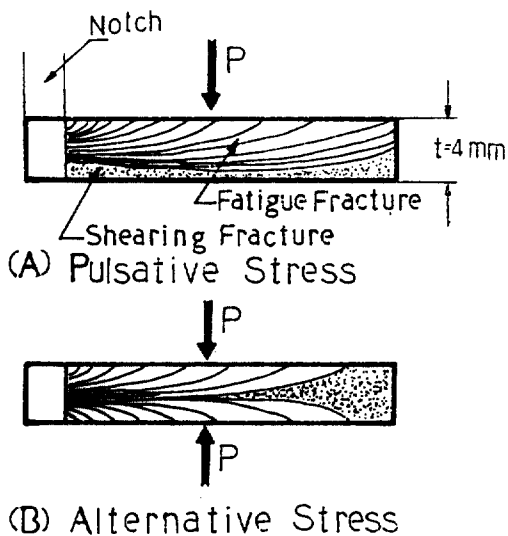


Fig. 4 Macrographs of Crack Development in Side Direction

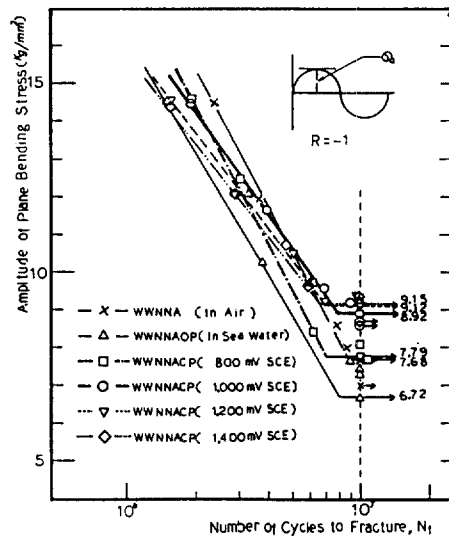


Fig. 5 Comparison of S-Nf Diagram of Alternative Stress Fatigue Test

mV SCE의 低防蝕 電位에서 낮아지지 않는 理由는 이 鋼이 高張力鋼에 比해서 水素脆性 등에 대해서 더 鈍感하기 때문이라고 생각된다.

實際 海水中에서 船體의 陰極防蝕은 - 850 ~ - 950

mV SCE의 電位를 維持하고 있으므로 船體電位를 - 800 ~ - 1,000mV SCE로 維持한다는 것은 船體의 腐蝕防止 뿐만 아니라 腐蝕疲勞防止를 爲해서도 適用하여야 할 電位라고 생각된다.

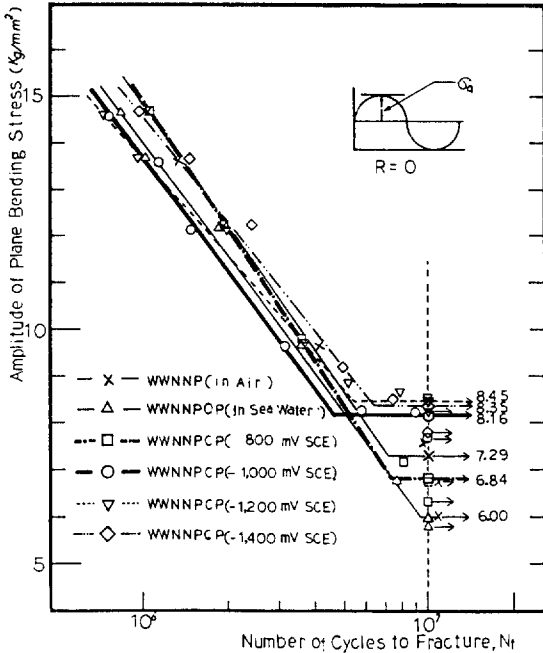


Fig. 6 Comparison of S-Nf Diagram of Pulsative Stress Fatigue Test

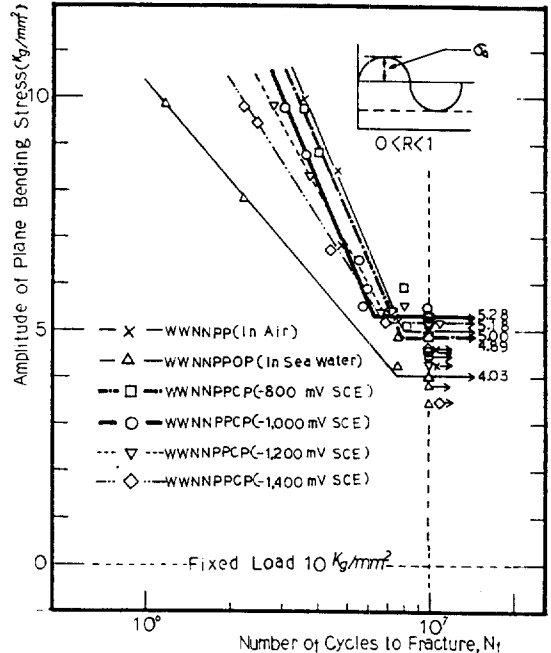


Fig. 7 Comparison of S-Nf Diagram of Partial Pulsative Stress Fatigue Test

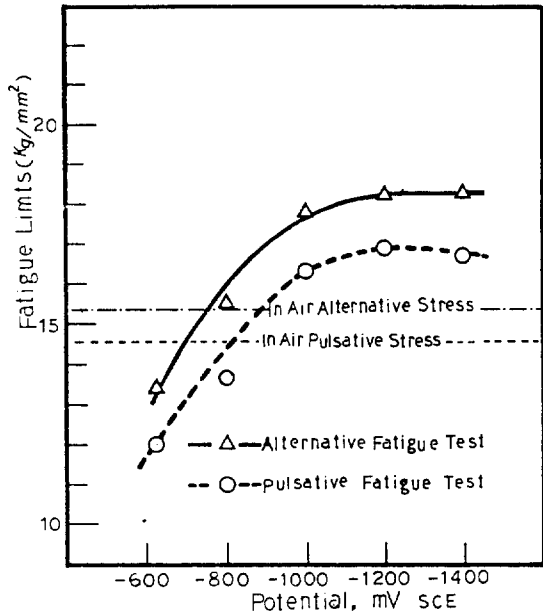


Fig. 8 Comparison of Fatigue Limit Strength in each Cathodic Protection Condition

### 3.4. 腐蝕疲勞限度線圖와 安全率

Fig. 9는 本 熔接試驗片에 대해서 여러가지 條件에서 實測한 Fig. 5~7의 疲勞限度強度에 의해서 作成한 腐蝕疲勞限度線圖이다. 이 線圖는 縱軸에 応力振幅( $\sigma_a$ )을, 橫軸에 平均応力( $\sigma_m$ )을 잡고 있으며, 作圖要領은 다음과 같다.

① 兩振은 平均応力이 零이고 応力比(R)가 -1인 振動이므로 各 條件下에서 實測한 兩振腐蝕疲勞限度의 応力振幅을 縱軸上(平均応力이 零)에 잡는다.

② 片振은 平均応力과 振幅이 同一하고 応力比가 零인 振動이므로 各 條件下에서 實測된 片振腐蝕疲勞限度의 応力振幅을 座標原點에서 橫軸에 對해서 45° 度 기울은 直線에 잡는다.

③ 部分片振은 一定한 負荷를 받고 있는 狀態에서 片振시키는 것이다. 本 試驗에서는 固定負荷로 10kg/mm<sup>2</sup>을 取하였으므로 이 條件에서 實測한 部分片振腐蝕疲勞限度의 応力振幅을 平均応力이 10kg/mm<sup>2</sup>이고 応力振幅이 零인 點에서 橫軸에 對해서 45° 度 기울은 直線에 잡는다.



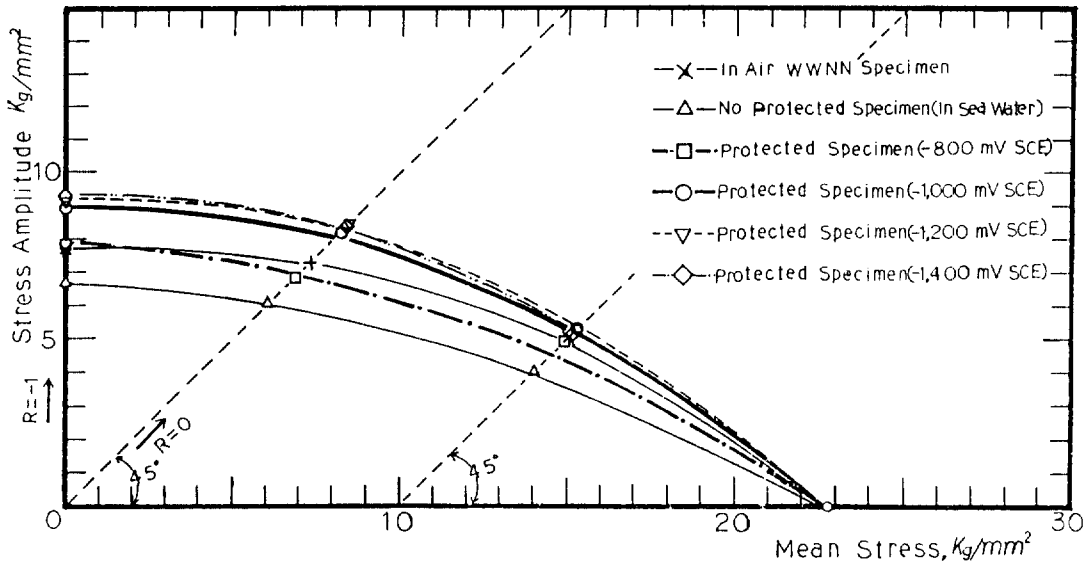


Fig. 9 Plane Bending Fatigue Limit Diagram of Welded Zone SM41 Steel

④ 平均応力を 나타내는 横軸上에 剪断応力( $\sigma_s$ )를 잡는다. 이 剪断強度는 最大剪断에너지理論<sup>21)</sup>에 의해서  $\sigma_s = 0.577 \sigma_{yp}$ 로 計算되며, 試驗片의 試驗部(熔着部)의 降伏強度  $\sigma_{yp}$ 가  $39.78 \text{ kg/mm}^2$ 으로 実測되었으므로 剪断強度는  $22.95 \text{ kg/mm}^2$ 으로 計算된다.

⑤ 以上の 4 단계에서 잡은 各 実測點을 各 腐蝕·防

蝕條件別로 連結한다. 이 各 連結線의 下側이 各 各의 腐蝕·防蝕條件下에서 試驗片이 腐蝕疲労하지 않는 安全區域이다.

이 腐蝕疲労限度線圖가 表示하는 限界強度로 設計한다면 이 試驗片의 実測引張強度가  $46.0 \text{ kg/mm}^2$ 이므로 그 安全率은 Table 5와 같이 된다.

Table 5. Safety Factors ( $S_f = \sigma_{TS} / 2\sigma_a$ ) of Welded Zone

Protection Potential (mV SCE)	Alternative Stress (Fatigue Limit, $\text{kg/mm}^2$ )	Pulsative Stress (Fatigue Limit, $\text{kg/mm}^2$ )	Partial Pulsative Stress at Fixed Load, $10 \text{ kg/mm}^2$ (Fatigue Limit, $\text{kg/mm}^2$ )
625 (No Protection)	3.423 (13.44)	3.83 (12.0)	5.707 (8.06)
800	2.950 (15.59)	3.352 (13.723)	4.607 (9.984)
1,000	2.536 (18.14)	2.819 (16.32)	4.356 (10.56)

실제 鋼船의 外板을 設計할 때 鋼材의 設計強度는 S M41鋼에 대해서 均一하게  $10 \text{ kg/mm}^2$ 을 採用하고 있고, 그 때 安全率은 約 4가 된다. 이 安全率을 Table 5와 对照해서 볼 때 이 外板의 設計強度는 無防蝕 片振 腐蝕疲労時의 값을 採用하고 있다는 것을 알 수 있다. 그러나, 船體는  $-800 \sim -1,000 \text{ mV SCE}$ 로 電氣防蝕하는 것이 通例이므로 SM41鋼級의 普通強度鋼材로 造船하는 境遇의 安全率은 本 測定值가 加速試驗의 結果라 하더라도 各 部位의 負荷條件에 따라 3~3.5를 攄해도 充分하다고 생각된다.

따라서 Fig. 9의 腐蝕疲労限度線圖는 造船鋼材로 SM41鋼을 使用하는 境遇에 負荷條件에 따라서 採擇하게 된 設計強度는 얼마로 하고, 그 때 安全率은 얼마이며, 또 適正防蝕電位는 얼마로 할 것인가 등을 決定하는데 實用指標로 利用될 수 있겠다.

#### 4. 結 論

서브머지드 아아크熔接을 한 SM41鋼級의 普通強度 鋼材의 熔着部에 대하여 空氣中 및 天然海水中的의 여

러가지 條件下에서 平面굽힘疲労試驗을 實施해서 다음  
의 結論을 얻었다.

(1) 이 鋼材의 熔接部位에서 熔着部가 가장 높은 硬도를 나타내나, 衝擊強度는 가장 낮으며, 電極電位는 가장 貴하다.

(2) 天然海水中에서 熔接部位를 陰極防蝕하면 無防蝕時 보다 腐蝕疲労限度가 많이 높아진다. 그 強度는 -800mV SCE程度로 防蝕할 때 大氣中에서의 疲労限度까지 上昇하고, 防蝕電位를 -1,000mV SCE까지 낮추면 腐蝕疲労限度가 더욱 커지나 그 以下로 낮추어도別變化가 없다.

(3) 이 腐蝕疲労限度線圖는 SM41 鋼材를 造船用으로 使用할 때 負荷條件과 防蝕條件에 따라서 設計強度를 얼마로 할 것인가를 決定하는데 實用指標로 利用될 수 있겠다.

〈謝 禮〉

本 研究에 研究費를 支援하여 주신 韓國科學材團, 材料試驗을 協助하여 주신 韓國重工業 中央試驗所 및 試驗片 熔接에 勞苦가 많았던 大鮮造船所의 여러분에게 深甚한 謝意를 表한다.

參 考 文 獻

- 1) 木山 稔: 高張力化, 耐環境化を指向する厚板, 金屬, 45, 1, p. 35, 39~42(1975)
- 2) 韓國船級協會: 船級 및 鋼船規則, 第 301條, 船体用圧延鋼材, p. 50~55(1981)
- 3) I. Geld. M. A. Acampora: A Factor in Hydrogen Embrittlement of Cathodically Protected Steel in Sea Water, Mater. Prot., 7, 11, p. 31~34 (1968)
- 4) P. E. Hudson, et al: Absorption of Hydrogen by Cathodically Protected Steel, Corrosion, 24, 7, p. 187~196 (1968)
- 5) 酒井利一: 高張力鋼熔接部에 於ける 応力腐蝕龜裂とその輕減策, 防蝕技術, 16, 7, p. 303~308(1968)
- 6) NACE Standard TM-01-77: Testing of Metal for Resistance to Sulfide Stress Crack-

ing at Ambient Temperature, Metal Performance, 16, 9 (1977)

- 7) 松島 岩: 硫化物応力 腐蝕割れの電氣化学, 防蝕技術, 18, 4, p. 139~146 (1968)
- 8) 永井鉄一: 高張力鋼の熔接部, 熱影響部の腐蝕疲労強度に對して, 日本溶接學會誌, 40, 1, p. 68~70 (1970)
- 9) 益本 功: 鋼材及び熔接継手の 3% NaCl水溶液腐蝕疲労に對する研究 (I), 日本溶接學會誌, 44, 3, p. 60~64(1975)
- 10) 平川, 北浦: 溶接継手の低速度腐蝕疲労強度, 日本溶接學會誌 77年 講演集 S. 756.
- 11) 中野・青木・金尾: SERTによる高張力鋼の水素脆性感受性の評價, 日本溶接學會 79年講演集 S. 918
- 12) 角田・丸山・内山: 各種高張力鋼の海水中での腐蝕疲労き裂伝播舉動, 鉄と鋼, 第12号, p. 77~86 (1980)
- 13) 田 大熙・金 鎮京: 海洋構造物用 HT 50 高張力鋼의 熔接部位의 環境에 따른 크랙伝播特性에 關한 研究, 韓國海洋大學論文集, 第2輯, p. 137~153 (1983)
- 14) 南・高田: 軟鋼の腐蝕疲労と陰極防蝕, 防蝕技術, 7, 6, p. 26~27 (1958)
- 15) Hooper Hartt: The Influence of Cathodic Polarization upon Fatigue of Notched Structural in Sea Water, Corrosion, 34, 9, p. 320~323 (1978)
- 16) 中野・青木・金屬: 電氣防蝕された高張力鋼の破壊の様相, 日本溶接學會 79年講演集 S. 919.
- 17) 遠藤吉郎: 腐蝕疲労, 防蝕技術, 26, 10, p. 583~592 (1977)
- 18) 駒井諱治郎: 腐蝕疲労に關する最近の諸問題, 防蝕技術, 26, 10 p. 594~605 (1977)
- 19) D. H. Jeon, W. N. Kim, K. J. Kim, E. H. Yi: A Study on the High Tensile Strength Steel used for the Shipbuilding, Journal of the Corrosion Science Society of Korea, 11, 2, p. 9~16, June, (1982)
- 20) 前掲書(2)p. 53
- 21) 西田正孝: 応力集中, p. 184, 森北書房(1973)