

“이 논문은 1990년도 문교부 지원 학술진흥재단의 자유공모과제 학술연구조성비에 의하여 연구되었음”

鋼製漁礁의 腐蝕特性和 防蝕에 관한 研究

林 祐 助

釜山水産大學校

Study on the Corrosion Characteristics and Corrosion Protection of Steel Fishing Banks

U. J. Lim

National Fisheries University of Pusan

The corrosion rate, accelerative factor by corrosion fatigue, stress corrosion cracking behavior and characteristic of corrosion protection for weldment of SB41 used for steel fishing bank in seawater were investigated at both laboratory and coast.

The main results obtained are as the following :

- 1) The penetration rate of base metal(BM) and heat affected zone(HAZ) is about 0.36-0.55mm/y in seawater of coast.
- 2) The accelerative factor α of BM and HAZ by the corrosion fatigue in seawater is about 1.6-2.5 and α of HAZ is more susceptible than that of BM under the low region of stress intensity factor range(ΔK).
- 3) The stress corrosion cracking of weldment in seawater can be controlled by the Al-alloy sacrificial anode(protection potential : -1100mV/SCE).

1. 序 論

우리나라는 3면이 바다로 둘러싸여 있는 水海 洋國家로서 沿岸魚族資源의 枯渴化에 따른 水産 資源增殖 방안의 하나로 人工漁礁인 鋳근콘크리트 漁礁를 沿岸에 投下하여 왔었다. 그러나 國內의

人工漁礁 事業의 增大로 인해 漁礁施設의 水深이 淺海에서 深海로 擴大됨에 따라서 鋳근콘크리트 漁礁는 空間面積에 비해 重量이 너무 무겁기 때문에 運搬, 投下時와 投下後 많은 問題點이 있으므로 다음과 같은 特性 때문에 P社에서 試驗製作한 4기의 鋼製漁礁를 1988년 11월 동해안에 投下하

었다.^{1, 2)}

鋼製漁礁의 特性: 1) 漁礁構造物의 空間에 비해 무게가 가볍고, 대규모화할 수 있다, 2) 加工성이 좋고 設計 自由度가 크다, 3) 運搬, 投下作業이 容易하고 工期도 짧다.

이와 같은 特性을 가지는 鋼製漁礁는 投下 3년 후의 조사에 의하면 성게와 멧게 등 附着性 生物의 분포도가 다양해 졌으며, 돌돔, 도다리, 게르치 등 고급어종의 서식이 크게 늘어났고 종류도 다양한 것으로 보고된 바 있다.³⁾

한편, 鋼製漁礁 部材는 一般 構造用壓延鋼材(SB 41)가 주로 사용되며, bolt & nut에 의한 제작보다는 熔接에 의해 더 많이 제작된다.⁴⁾ 특히 熔接에 의해 제작되는 鋼材漁礁가 海中에 投下되었을 경우, 鋼製漁礁에 腐蝕이 미치는 影響은 水深, 溫度, 溶存酸素, 鹽分濃度, 磨耗 및 附着生物 等の 要人別로 解析될 수 있고^{5, 6)} 또 水壓, 潮流의 흐름, 波浪에 의해 靜的 및 反復的인 應力을 받게됨으로써 腐蝕과 應力의 上昇作用에 의해 熔接部位에서 應力腐蝕과 腐蝕疲勞破壞도 일어날 수 있다.⁷⁾ 이와같은 鋼製漁礁의 腐蝕破損이 일어난다면 고급어종의 서식이 크게 늘어나고, 어종의 종류가 다양하더라도 漁礁로서의 그 기능을 장기간 발휘할 수 없으므로 水産資源은 枯渴될 것이고, 漁礁의 製作, 海洋中에 投下하는데 소요된 費用을 감안한다면 經濟的 損失은 莫大하게 될 것이다.

그러므로 鋼製漁礁를 海中에 投下했을 경우 投下 깊이에 따른 腐蝕정도를 調査하고, 또 水壓, 波浪과 潮流에 의한 外部應力에 따른 鋼材熔接部의 應力腐蝕과 腐蝕疲勞破壞舉動을 究명한 후, 防蝕實驗을 통해서 鋼製漁礁에 적합한 防蝕設計를 행하여 壽命을 연장해야 한다. 특히 우리나라에 鋼製漁礁를 試驗製作하여 投下한 것은 아직 初期段階에 있으므로 鋼製漁礁의 腐蝕特性和 防蝕에 관한 研究가 요구되고 있다.

따라서 本 研究에서는 鋼製漁礁用 一般 構造用壓延鋼材(SB41)의 熔接部에 대한 海水中에서의 腐蝕率, 腐蝕疲勞特性 및 防蝕特性에 관한 研究를

하기 위해 沿岸海中과 實驗室의 海水中에서 無負荷 腐蝕, 應力腐蝕, 腐蝕疲勞 및 防蝕試驗을 실시하였다. 이 實驗을 토대로 하여 季節 및 海水中 깊이에 따른 腐蝕率과 海水中에서 腐蝕疲勞에 의한 熔接部位의 加速係數를 求하고, Al-合金犧牲陽極에 의한 熔接部의 應力腐蝕龜裂 抑制를 위한 陰極 防蝕特性을 究明함으로써 鋼製漁礁의 設計, 製作의 基礎資料에 寄與하고자 한다.

2. 試驗片과 實驗方法

2.1 試驗材料

本 實驗에 사용된 試驗材料는 市販의 一般 構造用壓延鋼材(SB41)로 그 化學的 成分과 機械的 特性은 Table 1과 같다. 이와 같은 板材를 母材로 하여, 熔接部의 腐蝕, 應力腐蝕 및 腐蝕疲勞舉動을 高찰하고자 두께 7.1mm인 이 材料를 arc welding에 의해 接合하였으며, 母材의 預열, 熔接棒의 건조 및 熔接條件은 Table 2와 같다.

Table 1. Chemical compositions and mechanical properties of used material

Chemical composition (Wt %)	C	Si	Mn	P	S
	0.11	0.29	0.59	0.01	0.01
Mechanical properties	Tensile strength (kgf/mm ²)		Yield strength (kgf/mm ²)		Elongation (%)
	42.4		25.8		32

2.2 試驗片

2.2.1 無負荷, 無防蝕 및 bolt & nut의 試驗片

1) 無負荷, 無防蝕 試驗片: Table 1의 母材 및 熔接部位의 腐蝕率 및 腐蝕樣相을 試驗하기 위해 Table 2의 熔接條件에서 熔接된 鋼板으로 부터 採取하여, Fig. 1의 形狀과 같이 製作한 후 연삭·加工하였다.

2) bolt 및 nut의 試驗片: 鋼製漁礁를 bolt 및

Table 2. Welding condition

Pre-Heat of BM(°C)	Electrode °C/h, Dia	Side	Amp. (A)	Volt (V)	Heat input (kJ/cm)
120	KSE4301	Face	140	25	14
		Back	170	26	17.7
	90/2, 4mm	170	26	17.7	

nut에 의해 제작함에 있어서 腐蝕樣相을 조사하기 위하여 Fig. 1의 試驗片에 bolt 및 nut를 고정하였다.

2.2.2 腐蝕疲勞 試驗片

腐蝕疲勞 試驗片은 Fig. 1의 試驗片을 母材(Base Metal, BM) 및 熔接熱影響部(Heat affected Zone, HAZ)에 각각 노치의 위치가 오도록하여 Fig. 2와 같은 별개의 試驗片으로 제작하였다. 그리고 試驗片 形狀의 노치先端에 있어서 應力擴大係數範圍(stress intensity factor range) ΔK값은 다음 式으로 計算하였다.⁹⁾

$$\Delta K = 1/2\Delta\sigma\sqrt{\pi a} \dots\dots\dots (1)$$

여기서, Δσ : 굽힘 應力振幅(kgf/mm²)

a : 表面龜裂길이(mm)

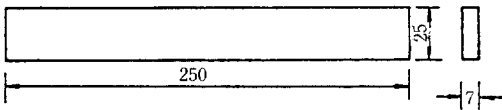


Fig. 1. Dimension of immersion test specimen(unit : mm)

한편 試驗片의 表面은 사포 600-2000번까지로 研磨한 後 아세톤으로 脫脂하고, 試驗片 表面의 電氣化學的인 影響을 除去하기 위해 노치先端을 除外한 試驗片의 全表面을 透明한 실리콘수지(Shin-Etsu社)로 被服 絶緣시켰다.

2.2.3 防式試驗片

1) Epoxy coating에 의한 防蝕試驗片

epoxy coating에 의한 防蝕試驗片은 Fig. 1의 試驗片을 사포 400번으로 연마한 後 epoxy(Aekyugn社)로 1회 도장하였으며, 1회 도장한 coating층의 두께는 약 170μm이다. 여기서 epoxy coating은 漁礁의 생명인 먹이生物들이 부착하여 成長하는데 많은 時間이 소요될 수 있기 때문에 1회 도장으로 제한하였다.

2) 陰極防蝕에 의한 無負荷 試驗片

無負荷 試驗片의 腐蝕을 방지하기 위해 陰極防蝕에 사용한 Al-合金犧牲陽極(H社)의 化學的組成은 Table 3과 같고, 이 陽極의 크기는 직경 15mm×길이 20mm로 가공하여, Fig. 1과 같은 試驗片(陰極)에 직경 15mm의 원공을 뚫어 陽極을 삽입 고정하였으며, 陰極防蝕電位를 측정하기 위해 陰極試驗片에 0.7mm의 비닐피복 동선을 삽입 고정하였다.

3) 應力腐蝕龜裂抑制을 위한 陰極防蝕 試驗片

應力腐蝕 및 應力腐蝕抑制을 위해 Al-合金犧牲陽極에 의한 陰極防蝕試驗에 이용되어질 U-bend 試驗片은 Table 2의 熔接條件下에서 熔接한 後 Fig. 1과 같은 試驗片을 밀링에 의해 두께 6mm

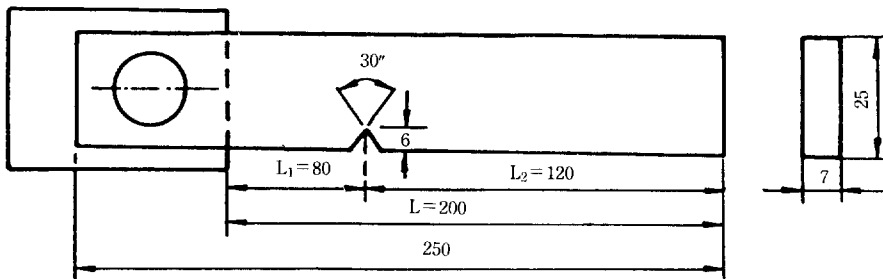


Fig. 2. Dimension of fatigue test specimen(unit : mm)

Table 3. Chemical composition of Al-Alloy Anode(wt %)

Composition	Zn	In	Fe	Si	Cu	Al
Weight percent	4.2	0.027	0.053	0.072	0.005	Balance

Table 4. Dimensions of U-bend specimen

Width (g)	Thickness (mm)	Bending Radius (mm)	Strain Level (%)
25	6	30	10

연삭하였다. 이 試驗片을 압힘試驗機에 의해 熔接部를 중심으로 bending하여 일정한 strain을 유지되도록 하였으며, 이 U-bend 試驗片의 치수는 Table 4와 같다.

여기서, 試驗片에 負荷되는 Strain(ε)은 다음식에 의해 구하였다.⁸⁾

$$\epsilon = t/2R \dots \dots \dots (2)$$

여기서, R=Bending radius

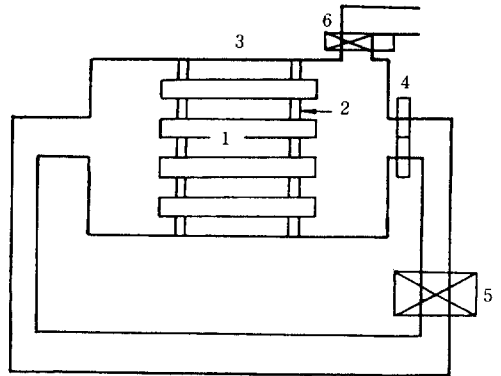
t=Specimen thickness

熔接部位의 應力腐蝕抑制을 위하여 陰極防蝕에 사용한 Al-合金犧牲陽極(H社)의 化學的 組成은 Table 3과 같고, U-bend 試驗片(陰極)에 陽極과 비닐피복 동선의 삽입 고정방법은 "2) 陰極防蝕에 의한 無負荷 試驗片"에서와 같다.

2.3 實驗裝置

2.3.1 浸漬腐蝕 및 防蝕 實驗裝置

循環海水中에서 無負荷인 試驗片, bolt & nut에 의한 結合部, 應力腐蝕, epoxy coating 및 Al-合金犧牲陽極을 부착한 試驗片의 腐蝕試驗에 이용될 實驗裝置의 全體系統圖는 Fig. 3과 같으며, 腐蝕環境槽는 특수유리, 플라스틱 펌프, 플라스틱 配管, 絶緣性 필터를 사용하였다. 그리고 腐蝕溶液의 濃度 變化를 방지하고, 유속에 의한 腐蝕의 影響을 주기 위해 300ℓ/h로 循環시키고, air pump를 사용하여 空氣를 주입시킴으로써 수질의 變化를



- 1. Specimen
- 2. Fixed plastic
- 3. Environment water chamber
- 4. Filter
- 5. Water pump
- 6. Air pump

Fig. 3. Schematic diagram of test apparatus under circulating water

방지하고자 하였다.

2.3.2 腐蝕疲勞 實驗裝置

本 試驗에 使用한 偏心輪式 定變位 平面압힘 腐蝕疲勞試驗機의 全體系統圖는 Fig. 4와 같다. 이 腐蝕疲勞試驗機에 板狀 試驗片의 一端은 釘개로 되어 볼트로 고정하고 自由端은 偏心輪의 回轉에 의하여 平面압힘反復應力을 받게 하였다. 그리고 Fig. 2와 Fig. 4에 나타난 偏心輪의 偏心量, 固定端과 荷重點과의 길이(L) 및 固定端과 노치외의 길이(L₁)를 變化시킴으로서 應力을 微細하게 調節할 수 있도록 하였으며, 이때 反復荷重의 速度는 모두 600 rpm(f=10Hz)로 維持하고, 應力比 R=0으로 一定하게 하였다.

2.4 實驗方法

2.4.1 沿岸 및 實驗室에서의 腐蝕率 및 腐蝕 舉動 實驗方法

無負荷에서의 腐蝕樣相 및 腐蝕率을 구하기 위한 試驗은 Fig. 1과 같은 試驗片 表面의 불순물을 사포 1000번까지로 研磨한 後 아세톤으로 脫脂하였으며, 腐蝕速度, 侵蝕度를 求하기 위해 試驗前 試驗片의 重量과 두께를 測定하고, 試驗이 끝난 후 물로

세척하고 60%의 농질산 용액에 2분간 침지하여 表面의 부착물을 제거 다시 물로 세조한 후 건조시켜 중량과 두께감량을 計測하였다.

1) 沿岸海中에서 腐蝕實驗

海岸의 滿潮時 海面으로 부터 약 1, 9, 17 및 25m의 각 깊이에 따라 Fig. 1과 같은 無負荷, 無防蝕의 試驗片을 投下하고, 또 이 試驗片을 약 0.3m의 海土中에 고정하였으며, 腐蝕試驗後 다음과 같이 腐蝕率을 구하였다.

a) 季節에 따른 腐蝕速度: 9m 깊이에 각 季節마다 母材 試驗片을 투하 3개월 후 수거하여, 3개월간의 腐蝕量은 너무 적어 두께감소량 측정은 오차가 있을 수 있으므로 試驗片의 무게감량을 측정한 후 腐蝕速度(mg/dm²day)를 계산하였다.

b) 海岸海水中 깊이에 따른 侵蝕度: 母材와 熔接部位의 試驗片을 투하 1년이 경과한 다음 수거하여, 試驗片의 平均 두께감량을 측정한 후 侵蝕度(mm/Y)를 구하였다.

2) 實驗室에서 浸漬 腐蝕試驗

實驗室에서 浸漬 腐蝕試驗은 長時間 實驗에 따른 天然海水의 變質을 고려하여 人工海水(ASTM D 1141)를 사용하고, 實驗中の 水溫은 室內溫度로 維持하였다.

a) 季節에 따른 腐蝕速度: Fig. 3과 같은 循環試驗裝置中에 각 季節마다 無負荷, 無防蝕의 母材

試驗片을 침지 3개월 후 수거하여 試驗片의 무게감량을 측정한 후 腐蝕速度(mg/dm²day)를 계산하였다.

b) 熔接部位와 bolt & nut에 의한 結合部의 腐蝕樣相: 熔接部와 bolt & nut에 의한 結合部의 試驗片을 Fig. 3과 같은 循環試驗裝置中에 2000時間 침지 후 수거하여, 각 部位의 腐蝕樣相을 조사하였다.

2.4.2 腐蝕疲勞試驗方法

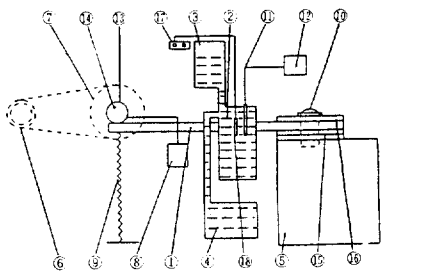
腐蝕環境水槽는 플라스틱으로 製作하였으며, 腐蝕溶液으로는 比抵抗값이 25Ω cm인 天然海水로 하고, 實驗中の 水溫은 室內溫度로 維持하였다. 이때 實驗中の 腐蝕溶液은 Cl 이온의 濃度 및 傳導度의 變化를 방지하기 위하여 4ℓ/h의 量으로 계속하여 循環시켰으며, 腐蝕生成物에 의한 電氣化學的인 影響을 除去하기 위하여 循環回路 配管에 絶緣性 필터를 사용하였다.

2.4.3 防蝕試驗方法

1) Epoxy coating에 의한 防蝕試驗: 1회 epoxy coating한 試驗片을 循環試驗裝置中에 2000時間 침지 후 수거하여, coating 層의 樣相을 조사하였다.

2) 無負荷 試驗片의 陰極防蝕試驗: 無負荷 試驗片의 腐蝕과 腐蝕抑制를 위한 陰極防蝕試驗의 試驗片을 각각 별개로 제작하여, 각 試驗片을 循環試驗裝置中에 2000時間(夏季節) 침지후 수거하여, 試驗片에 부착되었던 Al-合金犧牲陽極을 제거한 다음 증류수로 세척하여 건조한 試驗片의 무게감량을 측정한 후 腐蝕速度(mg/dm²day)를 계산하여 비교하였다.

3) 應力腐蝕抑制를 위한 陰極防蝕試驗: U-bend 試驗片 表面의 불순물을 사포 1000번까지로 研磨한後 아세톤으로 脫脂하였으며, 熔接熱사이클과 Bending에 의한 熔接部位의 龜裂發生을 미리 관찰하여 實驗後의 結果分析에 고려하고자 배율 20×의 확대경에 의해 試驗片 表面의 龜裂發生 유무를 관찰하였다. 應力腐蝕과 應力腐蝕抑制를 위한



- 1. Specimen
- 2. Corrosion cell
- 3. Feed water tank
- 4. Drain water tank
- 5. Bed
- 6. Motor
- 7. Pulley
- 8. Counter meter
- 9. Spring
- 10. Adjusting nut
- 11. Electrode
- 12. Conductivity meter
- 13. Eccentric cam
- 14. Shaft
- 15. Liner
- 16. Cover plate
- 17. Potentiometer
- 18. Reference electrode

Fig. 4. Schematic diagram of corrosion fatigue test apparatus

陰極防蝕特性 試驗片을 각각 벌개로 제작하여, 각 試驗片을 Fig. 3과 같은 循環試驗裝置中에 2000 時間(夏季節) 침지후 수거하여, 腐蝕과 陰極防蝕 試驗片의 龜裂舉動을 비교·조사하였다.

3. 結果 및 考察

3.1 無負荷 試驗片의 腐蝕特性

3.1.1 腐蝕速度에 미치는 季節의 影響

Fig. 5는 沿岸의 海面으로 부터 9m 깊이 및 實驗室의 人工海水中에서 각 季節(3개월)의 변화에 따른 無負荷, 無防蝕인 母材의 腐蝕速度 C (mg/dm²day)를 나타낸 것이다. 實驗室의 人工海水中과 沿岸의 天然海水中에서 腐蝕速度는 1, 2, 3월에 가장 작고, 7, 8, 9월에 이들 腐蝕速度는 가장 높게 나타났다. 그리고 實驗室의 人工海水中에서 보다 沿岸海水中에서 季節에 따른 腐蝕速度의 변화 폭이 더 크게 나타나고, 實驗室보다 沿岸海水中의 季節에 따른 腐蝕速度의 변화 폭이 더 큰 理由는 實驗室에서의 暖房, 大氣와의 遮斷 등으로 인해 溫度의 변화가 다소 적으나, 沿岸海水中에서는 季節에 따른 溫度의 변화를 직접적으로 받게 되는 원인과 7, 8, 9월에 海中生物의 附着이나 生長이 다른 季節보다 활발함으로써 酸素濃淡電池의 起電力에 의해 季節에 따른 腐蝕速度의 변

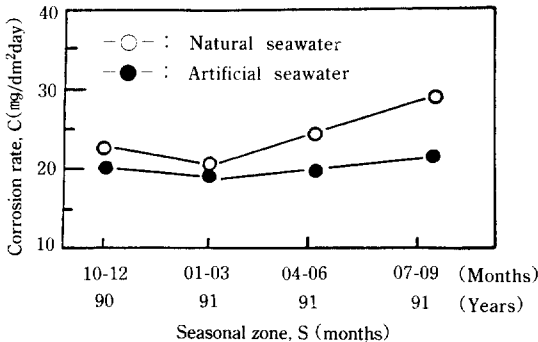


Fig. 5. Effect of seasonal zone on corrosion rate of base metal (Depth of seawater : 9m)

화가 더 큰 폭으로 나타나는 것으로 생각된다.¹⁰⁾
¹¹⁾

3.1.2 熔接部位의 侵蝕度에 미치는 海中깊이의 影響

Fig. 6은 沿岸의 海面으로 부터 깊이의 변화에 따른 無負荷, 無防蝕인 母材와 熔接熱影響部에 대한 1년간 實驗한 侵蝕度 P(mm/y)를 나타낸 것이다. 沿岸의 海面으로 부터 1m 깊이에서 熔接熱影響部의 侵蝕度는 약 0.55mm/y로 가장 높게 나타나고, 9, 17m 海中 깊이에서 熔接熱影響部의 侵蝕도가 약 0.36~0.38mm/y로 거의 유사하게 나타나지만 海中깊이 25m(海底로부터 약 1m)에서 侵蝕度는 增加함을 보이고 있으며, 海土中 약 0.3m에서 侵蝕도가 약 0.10mm/y로 가장 작게 나타나고 있다. 海面으로 부터 1m 깊이에서 侵蝕도가 가장 높은 理由는 干滿의 差가 일어남으로써 大氣中の 空氣 혼입에 의한 것으로 생각되며, 海中 깊이 9 및 17m에서 보다 海中 깊이 25m에서 侵蝕도가 약간 增加하는 것은 海土 등이 潮流에 의해 試驗片을 마모시키는 것으로 思料된다.

또한 海中에서 金屬의 腐蝕速度와 經年변화에 대한 보고에 의하면 海中의 金屬構造物의 腐蝕速度는 장기간이 되면 經年에 의해 腐蝕速度가 점차 감소하여, 經年에 따른 腐蝕速度는 5년 경과와 1년의 약 1/2, 30년 경과와 1년의 약 1/10로 감소하는 것으로 발표되고 있다.¹²⁾ 따라서

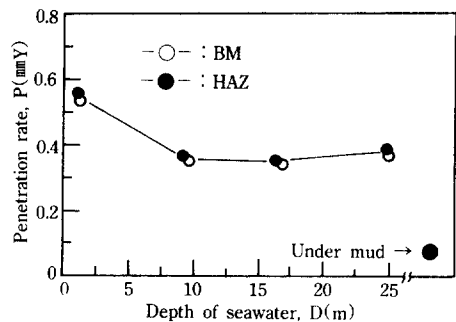


Fig. 6. Effect of depth of seawater on penetration rate of weldment

本 研究에서 SB41의 熔接部位에서 1년간 實驗한 侵蝕度가 약 0.36~0.55mm/y 정도임으로 鋼製漁礁의 使用壽命을 20~30년으로 보면, 沿岸海水中에서 無負荷 및 無防蝕下의 SB41鋼 熔接部 대한 30년간의 侵蝕度는 약 0.036~0.055mm/y로 推定할 수 있다.

3.1.3 熔接部位 및 bolt & nut 結合部の 腐蝕 特性

Fig. 6에서 母材에 비해 熔接熱影響部の 侵蝕度는 약간 높게 나타나고 있으며, 이러한 熔接部位를 實驗室의 人工海水中에 2000時間 침지한 후 腐蝕樣相을 Photo. 1에 나타내었다. 母材와 용착 금속에 비해 熔接熱影響部에 全面腐蝕과 孔蝕이 심하게 발생되어 있는 樣相을 볼 수 있으며, 이러한 樣相은 熔接熱싸이클에 의한 微細組織의 변화와 殘留應力에 起因하는 것으로 생각된다.

Photo 2는 bolt & nut로 結合部를 人工海水中에 2000時間 침지하였을 경우, 腐蝕이 가장 심한 bolt 部の 腐蝕樣相을 나타낸 것이다. bolt 部位의 나사산은 腐蝕에 의해 그 형상이 거의 없어짐으로써 bolt의 기능을 保有할 수 없기 때문에 潮流 및 波浪에 의해 鋼製漁礁는 분해될 수 있을 것이다. 이와같이 bolt 部位가 腐蝕이 심한 이유는 隙間腐蝕에 의한 것으로 생각되며, bolt & nut에 의해 鋼製漁礁를 제작하고자 할 경우, bolt & nut로

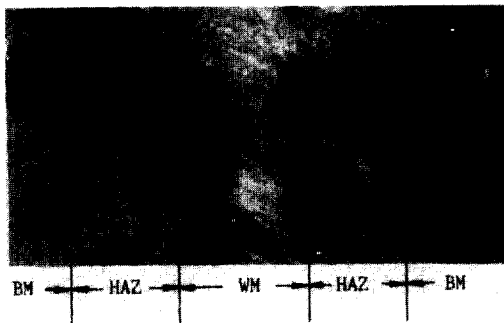


Photo. 1. Corrosion appearance of weldment under circulating artificial seawater after 2000 hours(x2.5)

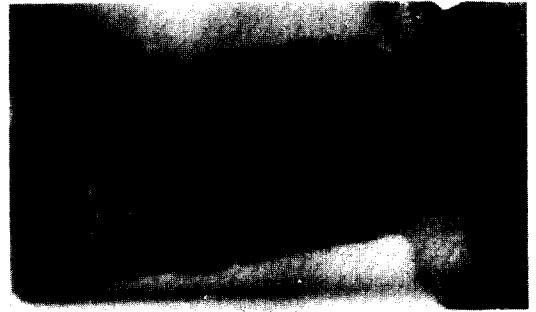


Photo. 2. Corrosion appearance of bolt under circulating artificial seawater after 2000 hours(x2.5)

結合한 部位를 海水가 침입할 수 없도록 철저히 密封해야할 것으로 思料된다.

3.2 熔接部の 腐蝕疲勞特性

Fig. 7은 比抵抗 $\rho=25\Omega\text{cm}$ 인 海水中에서 熔接部位의 腐蝕疲勞特性을 考察하고자, 母材 및 熔接熱影響部の 加速係數에 대한 應力擴大係數範圍(ΔK)와의 關係를 나타낸 것이다. 加速係數 α 는 疲勞 및 腐蝕疲勞에 의한 實驗値로 計算된 海水

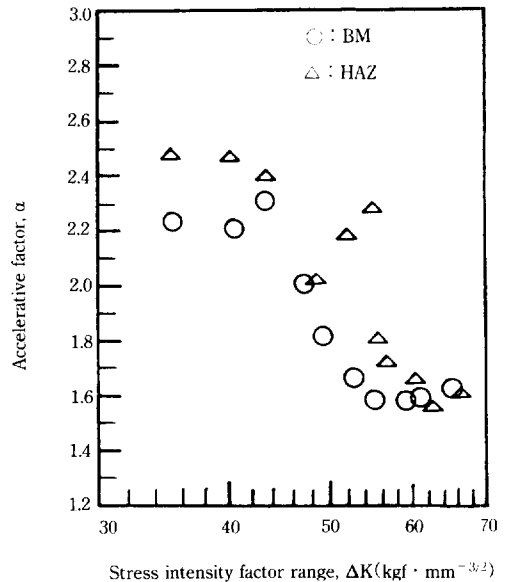


Fig. 7. Relation between accelerative factor and stress intensity factor range for BM and HAZ

에서 腐蝕疲勞에 의한 龜裂進展速度 $(da/dN)_{cor}$ 에 대한 大氣(腐蝕에 없다고 가정함)에서 疲勞에 의한 龜裂進展速度 $(da/dN)_{air}$ 의 比를 나타낸 것이며, 式 (3)과 같다.¹³⁾

$$\alpha = [(da/dN)_{cor}] / [(da/dN)_{air}] \dots\dots\dots (3)$$

이 結果에 의하면 熔接部位의 加速係數 α 값은 약 1.6~2.5로 나타나고, ΔK 값이 작은 領域일 수록 熔接熱影響部の α 값이 母材에서 보다 더 敏感하고, ΔK 값이 크게 되는 領域일수록 母材 및 熔接熱影響部の α 값은 유사하게 나타나는 傾向이다. 이와 같이 ΔK 값이 작은 領域에서 α 값이 母材보다 熔接熱影響部에서 더 敏感하게 나타나는 理由는 ΔK 값이 작은 領域, 즉 龜裂初期段階에 있어서는 腐蝕疲勞龜裂進展速度에 미치는 영향은 反復應力에 비해 腐蝕의 영향이 더 크게 작용하고, 또 ΔK 값이 크게 되는 領域, 즉 腐蝕疲勞破壞段階에서는 腐蝕보다 反復應力の 影響이 더 크게 미치기 때문인 것으로 생각된다.

3.3 熔接部位의 組織의 및 機械的 特性變化

Fig. 6-7 및 Photo. 1에 의하며 海水中에서 熔接部位의 侵蝕度, 腐蝕樣相 및 加速係數 값 α 에 대한 考察結果는 母材보다 熔接熱影響部の 腐蝕이 더 敏感한 傾向으로 나타났다. 이와 같은 傾向의 原因을 分析하기 위해 母材와 熔接熱影響部の 組織的 및 機械的 特性을 조사하여 그 結果를 Photo. 3 및 Fig. 8에 보인다.

Photo. 3은 母材 및 熔接熱影響部の 微細組織을 나타낸 것이다. 熔接熱影響部の 微細組織은 熔接熱사이클에 의해 母材의 微細組織에 비해 結晶粒子的 크기가 더 크게 再結晶되면서 炭化物의 석출현상을 보이고 있다. 이러한 현상은 熔接熱사이클에 의한 熔接熱影響部가 殘留應力 및 不安定狀態로 됨으로써 Fig. 6-7, Photo. 1에서 熔接熱影響部の 腐蝕性이 母材보다 더 敏感하게 된 원인으로 생각된다.¹⁴⁾

Fig. 8은 母材 및 熔接熱影響部の 硬도를 나타낸

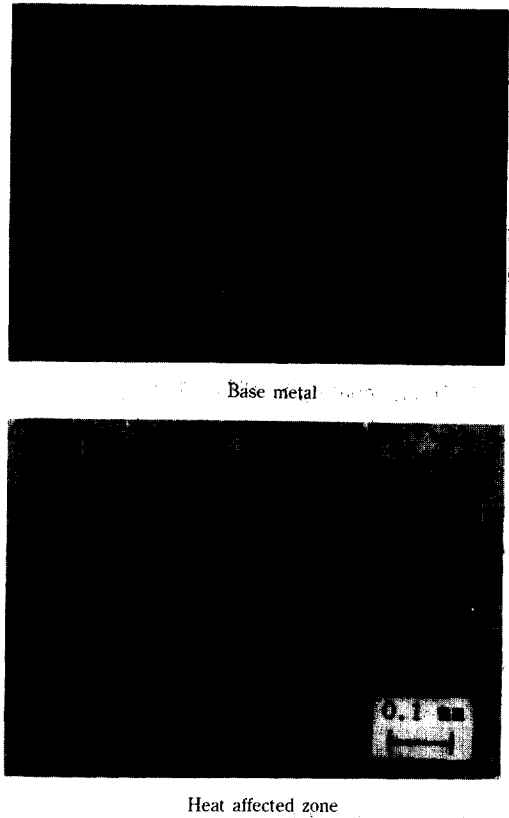


Photo. 3. Microstructure of base metal and heat affected zone

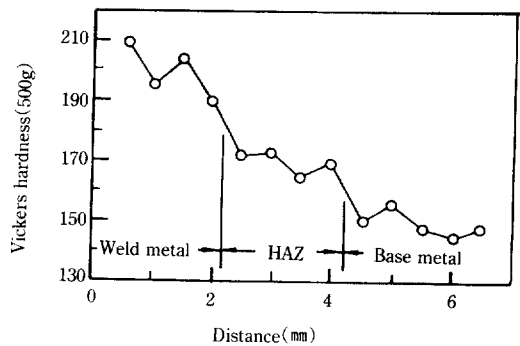


Fig. 8. Vickers hardness on the welded zone

것이다. 熔接熱影響部の 硬도는 母材의 硬도에 비교해서 더 높게 나타나는 樣相이다. 이러한 樣相과 같이 母材보다 熔接熱影響部の 硬도가 높게 됨으로써 熔接熱影響部보다 母材의 龜裂先端에

塑性變形이 더 크게 일어나게 되고, 이 塑性變形은 機械的인 龜裂閉口現像을 惹起시킴으로써 母材는 熔接熱影響部보다 海水中에서 龜裂先端의 腐蝕이 더 抑制될 수 있다. 따라서 母材가 熔接熱影響部보다 腐蝕에 鈍感해짐으로 인해 Fig. 7에서 보인 바와 같이 熔接熱影響部の 加速係數 α 는 母材에서 보다 더 敏感해지는 것으로 생각된다.¹⁵⁾

3.4 防蝕特性

3.4.1 Epoxy coating에 의한 防蝕特性

Photo. 4는 1회 epoxy coating한 試驗片(도막의 두께: 약 170μ)을 人工海水中에 2000 時間 浸漬한 후의 外觀을 巨視的으로 나타낸 것이다.

이에 의하면 epoxy coating의 表面에 상당수의 blistering이 發生됨과 동시에 coating層이 일부 剝離되어 있는 樣相을 보이고 있다. 이와 같이 coating層에 剝離된 작은 부분이 發生함으로써 剝離된 작은 부분을 기점으로 하여 時間이 경과 하면서 腐蝕은 점차 활성화될 것으로 생각된다.

3.4.2 Al-合金犧牲陽極에 의한 陰極防蝕特性

epoxy coating層의 剝離樣相을 抑制하기 위해서는 epoxy로 여러번 반복해서 도장한다면 coating層에 blistering이나 剝離되는 것을 어떤 기간 동안 抑制될 수도 있지만, epoxy로 여러번 반복해서 도장한다면 漁礁의 생명인 먹이 生物들이 부착하여 成長하는데 더 많은 時間이 소요될 것



Photo. 4. Macro-graph of cycle epoxy coating after 2000 hours immersion test in artificial seawater(X2.5)

으로 思料된다.

따라서 水中이나 地中の 金屬構造物에 대하여 適用시킬 수 있는 防蝕法中에서 가장 확실하고 가장 經濟的인 防蝕法으로 정평이 나 있는 陰極防蝕法中 海水에서 鐵鋼構造物의 防蝕에 이용되고 있는 Al-合金犧牲陽極에 의한 陰極防蝕法을 도입하여,^{16, 17)} 無負荷 試驗片의 腐蝕防止 및 應力腐蝕龜裂抑制를 위한 陰極防蝕을 실시한 결과를 Fig. 9 및 Photo. 5에 보인다.

Fig. 9는 人工海水中에 2000時間 동안 침지한 無防蝕(open circuit potential) 및 Al-合金犧牲陽極에 의한 陰極防蝕(防蝕電位: -1100mV/SCE)의 無負荷 母材 試驗片의 腐蝕速度 $C(\text{mg}/\text{dm}^2\text{day})$ 를 나타낸 것이다. 無防蝕, 無負荷 試驗片의 腐蝕速度는 약 $20.4\text{mg}/\text{dm}^2\text{day}$ 로 나타나지만 Al-合金犧牲陽極에 의한 陰極防蝕을 실시한 無負荷 試驗片의 腐蝕速度는 거의 나타나지 않고 있음을 알 수 있다. 本 研究에서 試驗片(陰極)의 크기가 작아 약 -1100mV/SCE 로 유지되었지만, 鋼製漁礁과 같은 큰 海洋構造物에서는 陰極의 防蝕面積이 증가함에 따라 일반 鐵鋼의 陰極防蝕電位인 -770mV/SCE 로 유지되도록 Al-合金犧牲陽極의 크기와 數를 計算하여, 陰極인 海洋構造物에 Al-合金犧牲陽極을 부착해야 할 것으로 생각된다.¹⁸⁾

Photo. 5는 熔接部位에 대한 應力腐蝕과 應力腐蝕龜裂抑制를 위한 陰極防蝕特性을 비교·考察

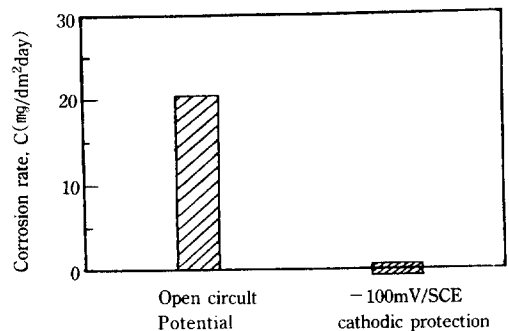


Fig. 9. Corrosion rate by open circuit potential and cathodic Protection (-1100mV/SCE) under circulating artificial seawater ($t=2000$ hours)

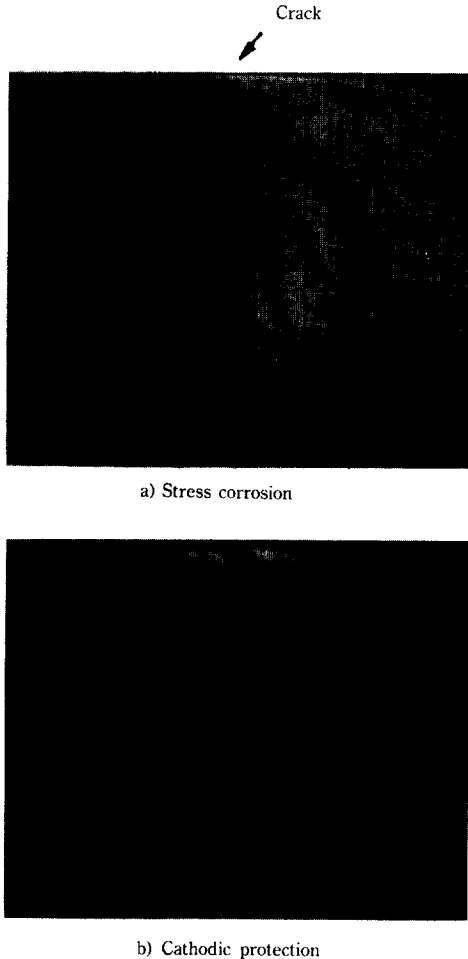


Photo. 5. Macro-graph of stress corrosion cracking and cathodic Protection by U-bend test in artificial seawater(X2.5)

하기 위하여, 循環人工海水中에 2,000 時間 동안 浸漬한 無防蝕試驗片의 應力腐蝕龜裂樣相과 Al-合金犧牲陽極에 의해 陰極防蝕한 試驗片의 巨視的인 樣相을 나타낸 것이다. 여기서 Photo. 5(a)는 無防蝕 試驗片으로 表面의 腐蝕生成物을 제거하여 나타낸 것이고, Photo. 5(b)는 Al-合金犧牲陽極에 의해 陰極防蝕한 試驗片이다.

이에 의하면 Photo. 5(a)의 無防蝕 試驗片은 熔接熱影響部에 全面腐蝕, 孔蝕 및 微細龜裂이 成長되어 있으나, Photo. 5(b)의 Al-合金犧牲陽極

으로 陰極防蝕한 試驗片은 熔接部位에 腐蝕이 거의 發生되지 않았다. 특히 일반 鐵鋼의 陰極防蝕電位는 -770mV/SCE 으로 이 陰極防蝕電位만 유지된다면 일반 鐵鋼材를 충분히 防蝕시킬 수 있지만 本 研究의 Al-合金犧牲陽極에 의한 陰極防蝕電位는 일반 鐵鋼의 陰極防蝕電位보다 더욱 낮은 약 -1100mV/SCE 로 유지되었으나 過防蝕에 의한 熔接部位의 應力腐蝕龜裂은 發生되지 않았다.¹⁹⁾ 그러므로 犧牲陽極防蝕의 設計에 따라 海洋構造物의 防蝕에 이용된 陽極壽命이 10-30년이란 보고²⁰⁾가 있으므로 本 研究의 Al-合金犧牲陽極에 의한 陰極防蝕은 SB41鋼으로 熔接製作된 鋼製漁礁의 壽命을 연장시킬 수 있을 것으로 생각된다.

4. 結 論

本 研究에서는 鋼製漁礁用 SB41鋼의 熔接部에 대해 沿岸 및 實驗室의 海水中에서 無負荷 腐蝕, 應力腐蝕, 腐蝕疲勞 및 防蝕試驗을 행하여, 熔接部の 腐蝕率, 應力腐蝕과 腐蝕疲勞學動 및 防蝕特性에 관한 研究를 한 結果 다음과 같은 結論을 얻었다.

- 1) 沿岸의 海水中에서 母材 및 熔接熱影響部の 侵蝕度는 약 $0.36\sim 0.55\text{mm/y}$ 이다.
- 2) 腐蝕疲勞에 의한 母材와 熔接熱影響部の 加速係數는 海水中에서 약 $1.6\sim 2.5$ 이고, 應力擴大係數範圍 ΔK 값이 작은 領域일 수록 熔接熱影響部の 加速係數는 母材에서 보다 더 敏感하다.
- 3) 海水中에서 Al-合金犧牲陽極防蝕(陰極防蝕電位 약 -1100mV/SCE)에 의해 熔接部の 應力腐蝕龜裂은 抑制되었다.

參 考 文 獻

1. 포항신문, 1991년 11월 25일자 신문 가) 면.
2. 日本鋼材俱樂部, “鋼製漁礁用組材標準仕樣”, p. 8(1986).
3. 동아일보, 1992년 1월 4일자 신문 (20)면.

4. 日本沿岸漁業振興開發協會, 沿岸漁場整備開發事業構造物設計指針”.
5. 伊藤伍郎, 機械工學全書 6(府食と防食), p. 311-312(1982).
6. 前掲書(2), p. 28.
7. 鈴木揚之助, 海水中における軟鋼の疲勞き裂傳播, 防食技術, Vol. 32, No. 6, p. 318-323(1983).
8. ASTM, “Making and using U-bend stress corrosion test specimen”, Part 10, G-30(1978).
9. 川原正言, 栗原正好, 表面き裂の疲勞による傳播成長課程に關する豫備的考察, 日本造船學會論文集, 137, p. 297-306(1975).
10. 榮幸雄, 海洋構造物の防食技術, 金屬材料, Vol. 10, No. 9, p. 15(1970).
11. 前掲書(5), p. 312.
12. 前掲書(2), p. 47.
13. 鄭世喜, 金台永, 羅義均, 海水環境에서 鋼熔接部の 環境強度評價에 關한 研究(~), 大韓熔接學會誌, Vol. 6, No. 2, p. 58(1988).
14. 前掲書(5), p. 128, 187.
15. 林祐助, 金秀柄, 李鎮烈, 船舶用 알루미늄 合金材의 腐蝕疲勞龜裂 進展特性과 그 抑制에 關한 研究, 韓國漁業技術學會誌, Vol. 25, No. 2, p. 97-98(1989).
16. Tooru Tusuru, Shiro Haruyama, “Optimum Cathodic Protection Pote-nial and its Monitoring for Steel Structures Buried in Soil and Outside of Tank Bottom”, Boshoku gijusu, 36, 2, p. 67-73(1987).
17. 田大熙, “腐蝕과 防蝕의 管理”, 太和出版社, p. 286, 366-374(1985).
18. 이연호, 임우조, 이종락, 조영현, 이상열, 해양환경중에서 Al-合金犧牲陽極에 의한 陰極防蝕특성, 한국어업기술학회지, Vol. 28, No. 1, P. 53-60(1992).
19. 山本洋一, さびを防ぐ事典, 産業調査會, p. 222(1985).
20. 中野準太, 長期防食技術の展開, 金屬材料, Vol. 10, No. 9, p. 22(1970).