

鋼製漁礁의 腐蝕特性和 그 防蝕에 관한 研究*

林 祐 助·李 鍾 樂

釜山水產大學校

(1992年 5月 20日 接受)

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

Uh-Joh LIM and Jong-Rark LEE

Dept. of Mechanical Eng., National Fisheries University of Pusan

(Received May 20, 1992)

The corrosion rate, behavior of corrosion fatigue and characteristic of cathodic protection for SB41 were investigated by corrosion and corrosion control tests in seawater at laboratory and coast.

The main results obtained are as the following :

1) The corrosion rate of base metal (BM) is about 28-37 mg/dm^2 day in seawater of coast.

2) The correlation between the stress intensity factor range ΔK and crack propagation rate da/dN for weldment follows Paris' rule in seawater :

$$da/dN = C (\Delta K)^m$$

where m is the slope of the correlation, and is 2.02 for BM and 1.75 for heat affected zone (HAZ) respectively.

3) The corrosion sensitivity of HAZ is more sensitive than that of BM under the low region of ΔK .

4) With increase of bared surace area of cathode, cathodic protection potential is increased sharply.

1. 序 論

크리트 漁礁를 沿岸에 投下하여 왔다.

그러나 國內의 人工漁礁 事業의 增大로 인

最近 沿岸漁族資源의 枯渴化에 따른 水產 資源增殖 방안의 하나로 人工漁礁인 철근콘

해 漁礁施設의 水深이 淺海에서 深海로 擴大 됨에 따라서 철근콘크리트 漁礁는 空間面積

* 이 논문은 1990년도 문교부 지원 학술진흥재단의 자유공모과제 학술연구조성비에 의하여 연구되었음

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 특징 때문에 P社에서 試驗製作한 4기의 鋼製漁礁를 1988년 11월 동해안에 投下하였다¹⁾.

鋼製漁礁의 特徵²⁾

1. 漁礁構造物의 空間에 비해 무게가 가볍고, 대규대화할 수 있다.
2. 加工性이 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 鋼製漁礁는 投下 3년 後의 조사에 의하면 성게와 멍게 등 附着性生物의 분포도가 다양해 졌으며, 돌돔, 도다리·게르치 등 고급어종의 서식이 크게 늘어났고 종류도 다양한 것으로 보고된 바 있다³⁾.

上記와 같은 特徵을 갖인 鋼製漁礁 部材는 一般 構造用壓延鋼材(SB41)가 主로 使用되며, 볼트와 너트에 의한 체결 또는 熔接에 의해 제작된다⁴⁾. 熔接에 의해 많이 제작되는 鋼材漁礁가 海中에 投下되었을 경우, 腐蝕의 影響은 水深, 溫度, 溶存酸素, 鹽分濃度, 磨耗 및 附着生物 等の 要因別로 解析될 수 있고^{5,6)}, 潮流의 흐름이나 波浪에 의해 反復的인 應力을 받게 됨으로써 腐蝕과 應力의 相互作用에 의해 熔接部位에서 腐蝕疲勞破壞가 일어날 수 있다⁷⁾.

이러한 鋼製漁礁의 腐蝕 및 腐蝕疲勞破壞가 일어난다면 고급어종의 서식이 크게 늘어나고, 어종의 종류가 다양하더라도 漁礁로서의 그 기능을 장기간 발휘할 수 없으므로써 水産資源은 枯渴될 것이고, 鋼製漁礁의 製作 및 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할 경우 投下 깊이에 따른 腐蝕정도를 調査하고, 波

浪과 潮流에 의한 外部應力에 따른 鋼材熔接部의 腐蝕疲勞破壞舉動을 究명한 後, 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 그 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 腐蝕速度, 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 無負荷下에서의 腐蝕, 腐蝕疲勞 그리고 防蝕試驗을 실시하였다. 이 實驗을 토대로 하여 季節 및 海水中 깊이에 따른 母材의 腐蝕速度를 구하고, 볼트와 너트部의 腐蝕樣相, 腐蝕疲勞에 의한 母材와 熔接熱影響部의 龜裂進展舉動을 究明하였다. 그리고 에폭시 도장(epoxy coating)에 의한 防蝕舉動을 考察하고, Al-合金犧牲陽極에 의한 陰極防蝕特性을 究明하므로써 鋼製漁礁의 설계, 제작의 기초자료로서 寄與하고자 한다.

2. 試驗片과 實驗方法

2.1 試驗材料

本 實驗에 使用된 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 腐蝕樣相 및 腐蝕疲勞舉動을 考察하기 위하여 두께 7.1 mm인 이 材料를 아크 용접에 의해 接合하였으며, 용접속도는 15 cm/min로 일정하게 하였다. 그리고 母材의 예열,

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

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
	90/2	Back	170	26	17.7
	4 mm		170	26	17.7

熔接棒의 건조는 90°C에서 2시간 실시하고, 熔接條件은 Table 2와 같다.

2.2 試驗片

2.2.1 無負荷, 無防蝕 및 볼트와 너트의 試驗片

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

2) 볼트 및 너트의 試驗片 : 鋼製漁礁를 볼트 및 너트에 의해 제작함에 있어서 腐蝕樣相을 조사하기 위하여 Fig.1의 試驗片에 볼트 및 너트를 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

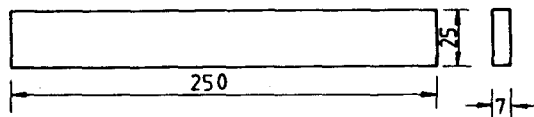


Fig. 1. Dimension of immersion test specimen (unit : mm).

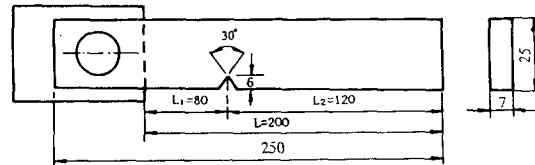


Fig. 2. Dimension of fatigue test specimen (unit : mm).

Affected Zone, HAZ)에 각각 노치의 위치가 오도록 하여 Fig.2와 같은 별개의 試驗片으로 제작하였다.

試驗片 形狀의 노치先端에 있어서 應力擴大係數範圍(stress intensity factor range) ΔK 값은 다음 式에 의하여 計算하였다⁹⁾.

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

여기서,

Δσ : 급힘 應力振幅 (kgf/mm²)

a : 表面龜裂길이 (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 제외한 試驗片의 全表面을 투명한 실리콘수지로 被覆 絶緣시켰다.

2.2.3 腐蝕 試驗片

1) 에폭시 도장에 의한 腐蝕 試驗片

에폭시 도장에 의한 防蝕試驗片은 Fig.1의 試驗片을 사포 400번으로 연마한 後 에폭시 로 1회 도장한 試驗片의 도장두께는 약 170 μm 이고, 3회 도장한 試驗片의 도장두께는 약 280 μm 였다.

2) 陰極防蝕試驗片

a) 陰極防蝕에 의한 腐蝕樣相 試驗片

被防蝕體(陰極)의 試驗片은 Table 1과 같은 化學的 成分과 機械的 特性을 갖는 판재로 부터 절취하여 제작한 陰極試驗片의 형상은 Fig.3과 같으며, 陰極試驗片의 지름이 각각 30, 45, 60 및 90 cm 의 크기로 하고, 이 陰極試驗片에 2 mm 의 비닐피복 동선을 A 및 B점에 삽입 고정하였다. 여기서 B점에서 나온 配線은 Al-合金犧牲陽極과 연결하고, A점에 나온 配線은 測定用 단선으로 사용하였다. 陰極試驗片의 背面은 ZRP (Zinc rich primer)로 1회 칠한 後 에폭시 樹脂로 3회 塗裝하여 絶緣하고, 전면은 露出시켜 陰極有效作用面積으로 하여 사포 800-1200번 까지 연마한 후 아세톤으로 脫脂하였다.

그리고 Table 2와 같은 化學的 組成을 갖는 Al-合金犧牲陽極으로 부터 절취하여 가공한 陽極試驗片의 형상은 Fig.4와 같으며, 2 mm 의 비닐피복동선을 삽입하여 고정한 後 被防蝕體인 陰極試驗片의 B점에서 나온 配線

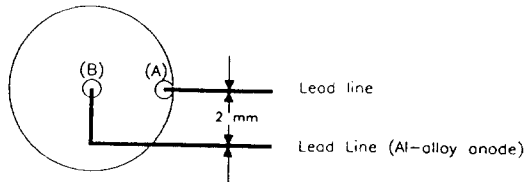


Fig. 3. Cathodic specimen.

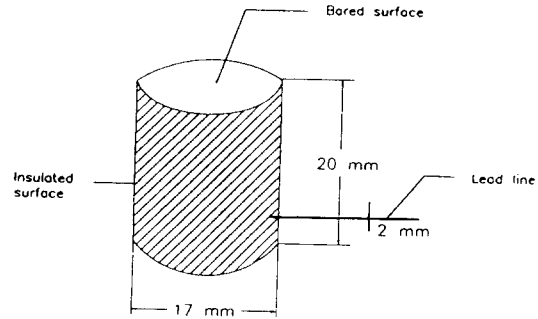


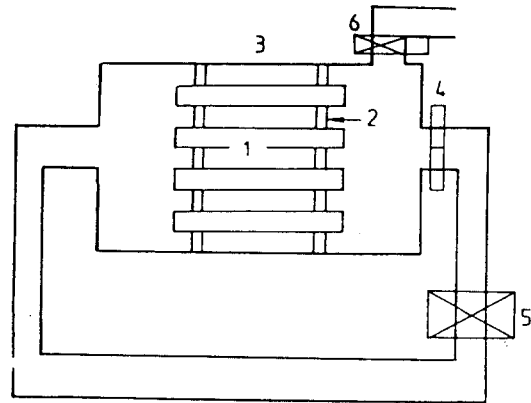
Fig. 4. Anodic specimen.

과 연결하였고, 에폭시 수지와 絶緣테이프로 陽極試驗片의 露出面積 $Aa=2.3 \text{ cm}^2$ 만을 남기고 絶緣하였다.

2.3 實驗裝置

2.3.1 循環水中에서의 浸漬實驗裝置

循環海水中에서 無負荷, 無防蝕 및 볼트와 너트에 의한 結合部의 腐蝕樣相 그리고 에폭



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

Fig. 5. Schematic diagram of test apparatus under circulating water.

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

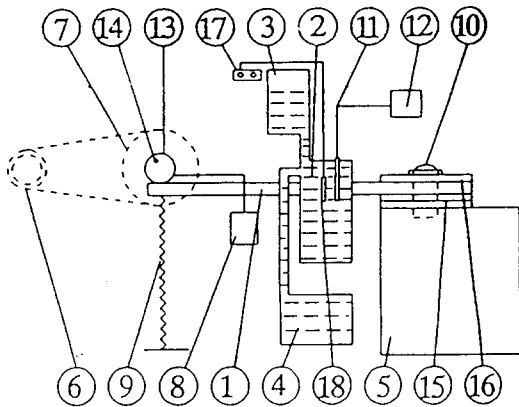
시 도장에 의한 防蝕實驗에 이용될 實驗裝置의 全體系統圖는 Fig. 5와 같으며, 이 部材의 特性은 다음과 같다.

1) 腐蝕環境槽는 특수유리, 循環水 펌프는 플라스틱 펌프, 配管도 플라스틱 配管으로 製作하였으며, 循環回路 配管에 絶線性 필터를 사용하였다.

2) 腐蝕溶液의 濃度 변화를 방지하기 위해 300 l/h로 循環시키고, 공기 펌프를 사용하여 空氣를 주입시킴으로써 酸素가 공급되어 수질의 변화를 방지하였다.

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굽힘 腐蝕疲勞試驗機의 全體系統圖는 Fig. 6과 같으며, 이 腐蝕疲勞試驗機에 板狀 試驗片의 一端은 덮개로 덮어 볼트로 고정하고 自由端은 偏心輪의 回轉에 의하여 平面굽힘反復應力을 받게 하였다. 그리고 Fig. 2와 Fig. 6에



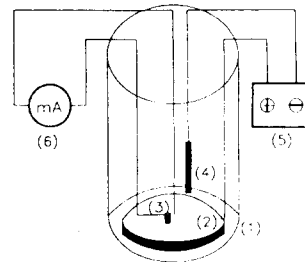
- | | |
|---------------------|-------------------------|
| 1. Specimen | 10. Adjusting nut |
| 2. Corrosion cell | 11. Electrode |
| 3. Feed water tank | 12. Conductivity meter |
| 4. Drain water tank | 13. Eccentric cam |
| 5. Bed | 14. Shaft |
| 6. Motor | 15. Liner |
| 7. Pulley | 16. Cover plate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

Fig. 6. Schematic diagram of corrosion fatigue test apparatus.

나타낸 偏心輪의 偏心量, 固定端과 荷重點과 의 길이(L) 및 固定端과 노치와의 길이(L₁)를 變化시킴으로써 應力을 微細하게 調節할 수 있도록 하였다. 이때 反復荷重의 速度는 모두 600rpm (f=10 Hz)으로 維持하고, 應力比 R=0으로 一定하게 하였다.

2.3.3 陰極防蝕特性 實驗裝置

Al-合金犧牲陽極에 의한 陰極防蝕特性 實驗裝置의 全體系統圖는 Fig. 7과 같으며, 試驗水槽는 각 陰極試驗片의 크기에 따라 絶線體인 플라스틱 탱크를 사용하였으며, 試驗溶液의 수위는 陽極試驗片의 위치 보다 500 mm 이상 높게 주입하였다. 陰極防蝕電位와 防蝕電流를 測定하기 위하여 Fig. 7과 같이 配線하였다.



- (1) Water tank (2) Cathodic specimen
 (3) Anodic specimen (4) Reference electrode
 (5) potentiometer (6) Ammeter

Fig. 7. Schematic diagram of cathodic protection test apparatus.

2.4 實驗方法

2.4.1 無負荷의 腐蝕 및 防蝕實驗方法

沿海岸中에서 腐蝕實驗: 沿岸(경북 영일군 흥해읍)의 滿潮時 海面으로 부터 약 1, 9, 17 및 25 m의 각 깊이에 Fig. 1과 같은 無負荷, 無防蝕의 試驗片을 投下하고, 이 無負荷, 無防蝕의 試驗片을 약 0.3m의 海土中에 고정하였다. 4季節에 따른 腐蝕速度 C (mg/dm² day)는 9m 깊이에 각 季節마다 투하 3 개월 후 수거하여 試驗片의 무게감량을 측정

하였으며, 沿岸海水中 깊이에 따른 腐蝕速度 C ($mg/dm^2/day$)는 試驗片 투하 후 1년이 경과한 다음 수거하여 試驗片의 무게감량을 측정하였다. 腐蝕速度를 조사하기 위해 試驗前 試驗片의 중량을 測定하고, 試驗이 끝난 후 試驗片을 수거하여 물로 세척하고 60%의 농 질산溶液에 3분간 침지하여 表面의 부착물을 제거시키고 다시 물로 세척한 후 건조 시켜서 무게감량을 측정하였다.

2) 循環水中에서의 浸漬 腐蝕 및 防蝕實驗: 循環海水中에서 無負荷 및 無防蝕의 熔接部 및 볼트와 너트에 의해 結合部의 腐蝕樣相 그리고 에폭시 도장에 의한 防蝕樣相試驗은 Fig. 5와 같은 循環試驗裝置中에 2000時間 침지후 수거하여, 腐蝕樣相을 조사하였다. 또 腐蝕溶液은 長時間 試驗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.

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 $25\Omega \cdot cm$ 인 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 $C1$ 이온의 濃度 및 傳導度의 變化를 방지하기 위하여 $4l/h$ 의 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.

그리고 龜裂成長길이는 一定하게 反復荷重을 부가한 後 20배의 移動式 顯微鏡으로 疲勞 및 腐蝕疲勞 龜裂初期段階 ($a_1=0.5mm$ 를 龜裂初期段階로 假定하고, 이하 龜裂初期段階라 함)로 부터 破斷까지 연속적으로 測定하였다.

2.4.3 陰極防蝕特性 試驗方法

腐蝕溶液으로는 比抵抗 $\rho=25\Omega \cdot cm$ 인 天然

海水를 사용하고, 實驗中の 水溫은 室內溫度로 유지하였다.

Al-合金犧牲陽極의 有效作用面積이 $2.3cm^2$ 으로 일정하게 하였으나 被防蝕體(陰極)인 炭素鋼의 有效作用露出面積 A_c 는 0.07, 0.16, 0.33 및 $0.64m^2$ 으로 變化시켰다. 이들 陰極防蝕電位는 陰極의 有效作用面이 거의 安定상태로 유지되는 5일 後에 測定하였다.

3. 結果 및 考察

3.1 無負荷, 無防蝕 試驗片의 腐蝕特性

3.1.1 腐蝕速度에 미치는 季節의 影響

Fig. 8은 4季節의 變化에 따른 沿岸의 海面으로부터 9m 깊이에서 無負荷, 無防蝕인 母材의 腐蝕速度 C ($mg/dm^2/day$)를 나타낸 것이다.

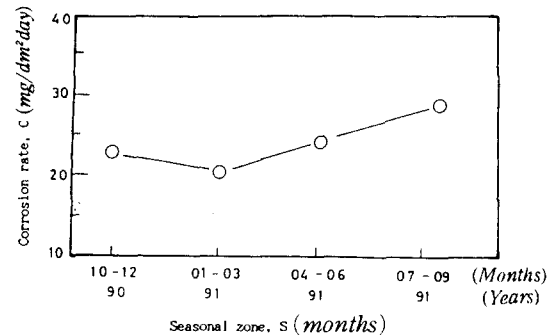


Fig. 8. Effect of seasonal zone on corrosion rate of base metal (Depth of seawater: 9 m).

이에 의하면 腐蝕速度는 1, 2 및 3월에 가장 작고, 7, 8 및 9월에 이들 腐蝕速度는 가장 높게 나타났다. 이와 같이 7, 8 및 9월의 腐蝕速度가 가장 높은 理由는 이 기간에 海水의 溫度가 상승하는 原因과 海中生物의 附着이나 生長이 다른 季節보다 활발하기 때문에 酸素濃淡電池가 형성되는 것으로 생각된다^{10,11)}.

3.1.2 腐蝕度에 미치는 海水깊이의 影響

Fig.9는 沿岸의 海面으로 부터 깊이 변화 및 海土中에서 無負荷, 無防蝕인 母材의 腐蝕速度 $C(mg/dm^2 day)$ 를 나타낸 것이다.

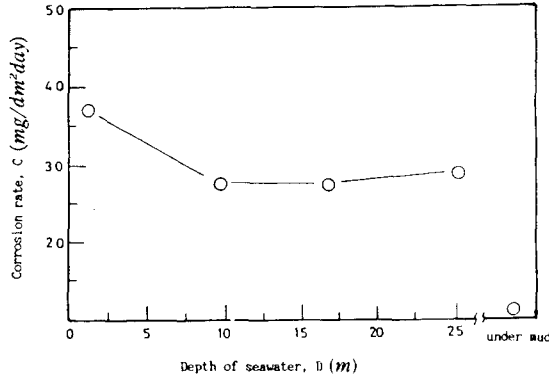


Fig. 9. Effect of depth of seawater on corrosion rate of base metal.

沿岸 海水中에서 母材의 腐蝕速度는 약 $28-37 mg/dm^2 day$ 이며, 海面으로 부터 1m 깊이에서 腐蝕度는 가장 높게 나타나고, 9, 17 m 海中 깊이에서 腐蝕速度는 거의 유사하게 나타나지만 海中깊이 25m(海底로 부터 약 1 m)에서 腐蝕速度는 약간 增加함을 보이고 있으며, 海土中에서 腐蝕速度가 가장 적었다. 1m 깊이에서 腐蝕速度가 가장 높은 理由는 干滿의 差가 일어남으로써 주로 酸素濃度의 차이에 의한 것으로 생각되며, 깊이 9 및 17m에서 보다 25m 깊이에서 腐蝕速度가 약간 增加하는 것은 海土 등이 潮流에 의해 試驗片을 마모시키는 것으로 思料된다.

3.1.3 熔接部位 및 볼트의 腐蝕樣相

實驗室의 人工海水中에 2000時間 침지한 후, 熔接部位의 腐蝕樣相을 Photo.1에 나타내었다. 母材에 비해 熔接熱影響部에 孔蝕이 심하게 발생되어 있음을 알 수 있다.

Photo.2는 볼트와 너트로 結合한 Fig.1의 試驗片을 人工海水中에 2000時間 침지하였을

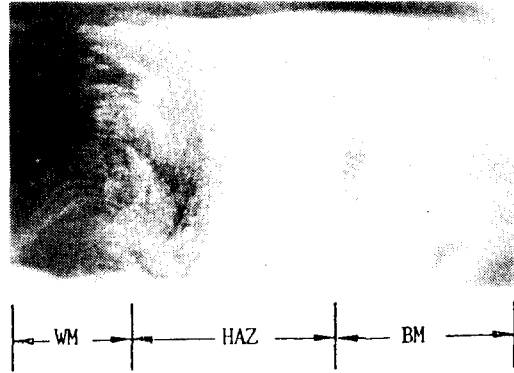


Photo. 1. Corrosion appearance of weldment under circulating artificial seawater after 2000 hours ($\times 2.5$).

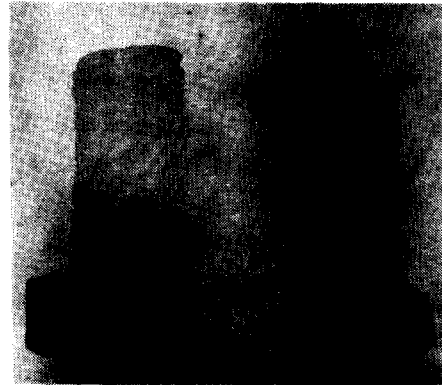


Photo. 2. Corrosion appearance of bolt under circulating artificial seawater after 2000 hours.

경우, 腐蝕이 가장 심한 볼트 部의 腐蝕樣相을 나타낸 것이다.

볼트部位의 나사산은 腐蝕에 의해 거의 형상이 없어짐으로써 볼트의 기능을 보유할 수 없기 때문에 潮流 및 波浪에 의해 鋼製漁礁는 분해될 것으로 생각한다. 이와같이 볼트部位가 腐蝕이 심한 이유는 隙間腐蝕에 의한 것으로 생각되며, 볼트와 너트에 의해 鋼製漁礁를 제작할 경우는 볼트와 너트로 結合한 部位를 海水가 침입할 수 없도록 철저히 密封해야할 것으로 思料된다.

3.2 熔接部位의 腐蝕疲勞特性

3.2.1 表面龜裂進展速度 da/dN 와 應力擴大係數範圍 ΔK 와의 關係

Fig. 10은 空氣中과 比抵抗 $\rho = 25\Omega cm$ 인 天然海水中에서 母材와 熔接熱影響部의 表面龜裂進展速度 da/dN 에 대한 應力擴大係數範圍 ΔK 값과의 關係를 정리하여 나타낸 것이다.

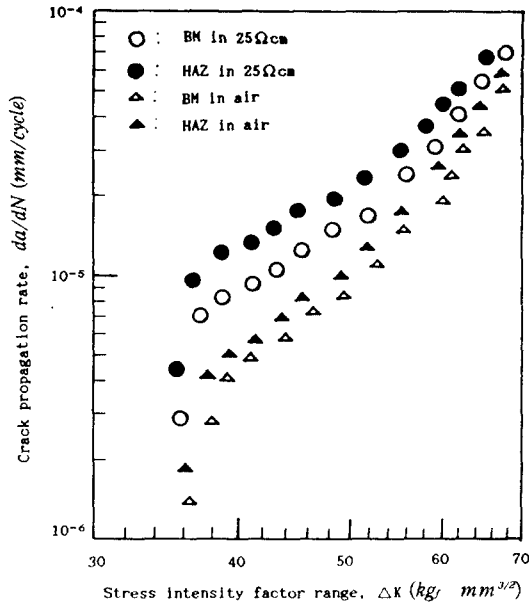


Fig. 10. Relation between crack propagation rate and stress intensity factor.

海水中에서 腐蝕疲勞에 의한 熔接熱影響部의 da/dN 가 가장 빠르고, 空氣中에서 疲勞에 의한 母材의 da/dN 가 가장 크게 遲延되었다. 龜裂初期의 ΔK 값에 있어서 擬下限界應力擴大係數範圍(Quasi-threshold stress intensity factor range) ΔK_{th} 와 같은 樣相은 本 實驗의 試驗片에 疲勞노치로부터 反復荷重을 附加하여 實驗한 것이 아니고, V노치를 加工하여 實驗함으로써 노치先端에 疲勞 및 腐蝕疲勞에 의한 龜裂이 發生하기 까지의 潛伏期間 때문이라 思料된다.

또한 ΔK 값이 급격히 커지는 領域III에서는

環境條件과 熔接部, 즉 材料에 따른 da/dN 에 미치는 影響은 작지만, ΔK 값이 작아지는 領域일 수록 環境條件과 熔接部位에 따른 da/dN 에 미치는 影響이 크게 나타나고 있으며, 이러한 理由는 ΔK 값이 작아지는 領域일 수록 da/dN 에 미치는 環境條件인 腐蝕 및 熔接部位인 材料에 따른 影響이 機械的인 應力の 影響보다 더 크게 나타남을 알 수 있다. 그리고 ΔK 값이 領域III에서 보다 더 작은 領域II에 있어서 da/dN 는 ΔK 값이 커짐에 따라서 직선적으로 빨라지고 있는 傾向을 나타내고 있으므로 다음과 같은 Paris' rule을 적용할 수 있다^{12,13}.

$$da/dN = C (\Delta K)^m \dots \dots \dots (2)$$

Table 4는 Fig. 7에서 領域II의 實驗値를 (2)式의 Paris' rule에 의해 電算化한 實驗常數 C 와 m 값을 정리하여 보인 것이다. 여기서 a)는 母材, b)는 熔接熱影響部の 實驗常數이다.

Table 4에 의하면 空氣中에서 보다 海水中에서 母材와 熔接熱影響部の 實驗常數 C 값은 커지고 있는데 비해 기울기를 나타내는 實驗

Table 4. The experimental constants C and m of Paris' rule [$da/dN = C(\Delta K)^m$] under BM and HAZ

a) Base metal

Experimental constant	C	m
Environment		
in seawater (25 Ωcm)	5.15×10^{-9}	2.02
in air	9.39×10^{-12}	3.48

b) Heat affected zone

Experimental constant	C	m
Environment		
seawater (25 Ωcm)	1.02×10^{-8}	1.75
air	1.16×10^{-11}	3.32

常數 m 값은 작아지고 있는 樣相을 나타내고 있으며, 空氣中이나 海水中에서 母材보다 熔接熱影響部의 實驗常數 C 값은 커지고 있는데 비해 기울기를 나타내는 指數 m 값은 작아지고 있는 傾向을 알 수 있다.

3.2.2 海水中에서 母材와 熔接熱影響部의 腐蝕感受性

Fig. 11은 海水中에서 母材 및 熔接熱影響部의 腐蝕感受性(S)에 대한 應力擴大係數範圍 ΔK 값과의 關係를 나타낸 것이고, 腐蝕感受性은 Fig. 10의 實驗值에 의해 海水中에서 $(da/dN)_{cor}$ 에 대한 空氣中에서 $(da/dN)_{air}$ 의 比로 計算한 것이다(但, 空氣中에서 $(da/dN)_{air}$ 는 腐蝕의 影響을 받지 않는 것으로 간주함).

ΔK 값이 작은 領域일수록 母材보다 熔接熱影響部의 腐蝕感受성이 母材보다 더 敏感하며, ΔK 값이 크게 되는 領域일수록 母材 및 熔接熱影響部의 腐蝕感受성은 유사하게 나타

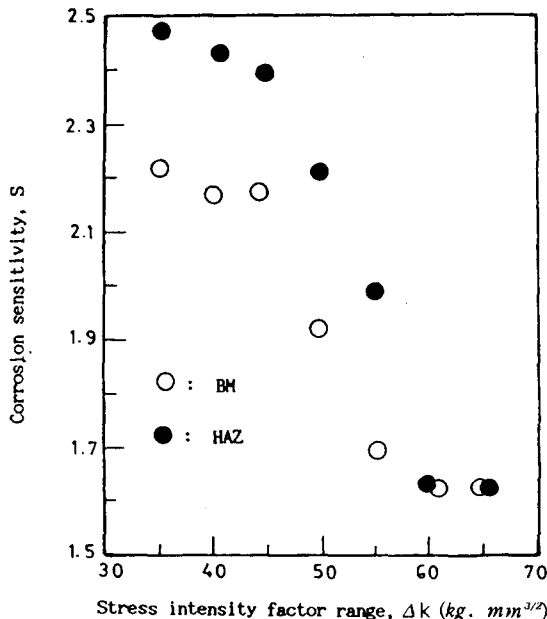


Fig. 11. Corrosion sensitivity versus Stress intensity factor range for BM and HAZ.

나는 傾向이다. 이와 같이 ΔK 값이 작은 領域에서 腐蝕感受성이 母材보다 熔接熱影響部에서 더 높게 나타나는 理由는 ΔK 값이 작은 領域, 즉 龜裂初期段階에서는 反復應力에 비해 腐蝕의 影響이 더 敏感하지만, 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 커지기 때문인 것으로 생각된다.

3.3 熔接部の 電氣化學的 및 機械的 特性的 變化

Fig. 10-11 및 Photo. 1에 의하면 腐蝕疲勞에 의한 表面龜裂進展速度 da/dN 및 腐蝕感受성에 대한 考察結果는 母材보다 熔接熱影響部의 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의 電氣化學的 特性인 자연전위 및 機械的 特性인 경도분포를 조사하여 그 結果를 Fig. 12 및 Fig. 13에 보인다.

Fig. 12는 比抵抗 $25 \Omega cm$ 인 天然海水中에서 포화카로멜전극으로 측정된 母材 및 熔接熱影響部의 自然電位(電極電位) E 를 나타낸 것이다.

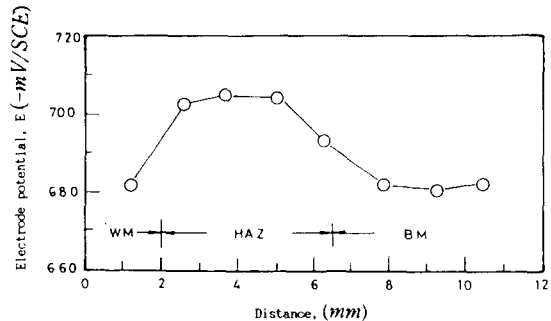


Fig. 12. Electrode potential on the weld zone ($\rho = 25 \Omega \cdot cm$).

母材부의 自然電位 E 보다 熔接熱影響部の 전위가 더 낮게(卑電位化) 나타나는 樣相이며, 熔接熱影響部の 自然電位가 卑電位化로 되는 이유는 熔接熱사이클에 의한 組織의 불연속, 결함 및 殘留應力에 의한 것으로 생각되고, 熔着金屬部는 원래 貴電位인 金屬으로

보인다. 이와 같이 母材의 自然전위보다 熔接熱影響部の 전위가 더 卑電位化됨으로써 腐蝕疲勞에 의한 熔接熱影響部の 龜裂先端은 母材의 龜裂先端 보다 더 陽極活性化에 의한 腐蝕이 促進됨으로써 熔接熱影響部の 腐蝕感受性 S는 母材의 그것보다 더 敏感하게 나타나는 것으로 思料된다¹⁴⁾.

Fig. 13은 母材 및 熔接熱影響部の 硬度분포를 나타낸 것이다. 熔接熱影響部の 硬度는 母材의 硬度보다 약 20Hv 정도 높게 나타나는 樣相이다.

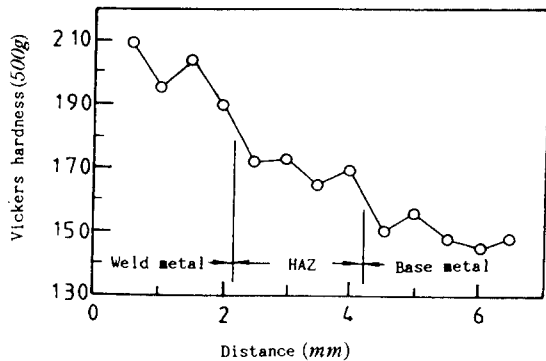


Fig. 13. Vickers hardness on the welded zone.

이러한 樣相과 같이 母材보다 熔接熱影響部の 硬度가 높기 때문에 空氣中에서 疲勞荷重에 의한 熔接熱影響部보다 母材의 龜裂先端에 塑性變形이 더 크게 일어남으로써 機械的인 龜裂閉口現象에 의해 母材의 da/dN 는 熔接熱影響部の da/dN 보다 더 遲延되는 것으로 생각된다¹⁵⁾. 그리고 龜裂先端的 塑性變形에 의한 龜裂閉口現象에 의해 모재는 熔接熱影響部보다 海水中에서 龜裂先端的 腐蝕抑制 및 安定狀態에 따라 腐蝕에 鈍感해짐으로써 da/dN 에 미치는 腐蝕感受性は 熔接熱影響部보다 母材에서 더 낮아지는 것으로 생각된다.

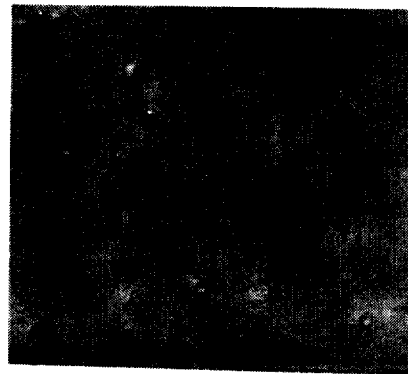
3.4 防蝕特性

3.4.1 에폭시 도장에 의한 防蝕特性

Photo. 3은 1회 및 3회의 에폭시 도장한 試驗片을 人工海水中에 2000時間 浸漬한 후의 外觀을 巨視的으로 나타낸 것이다. 여기서 Photo. 3(a)는 1회 도장, Photo. 3(b)는 3회 도장한 것이다.



a) 1 cycle



b) 3 cycle

Photo. 3. Macro-graph of epoxy coating after 2000 hours immersion test in artificial seawater ($\times 2.5$).

1회 도장한 에폭시 도장의 表面에는 상당수의 블리스터링 (blistering)이 發生됨과 동시에 도장층이 일부 剝離되어 있는 樣相이고, 3회 도장한 에폭시 도장의 表面에는 블리스

터링 發生이 1회 도장한 表面에서 보다 더 적게 나타나며, 도장층의 剝離는 보이지 않았다.

3.4.2 Al-合金犧牲陽極에 의한 陰極防蝕 特性

Photo. 3과 같이 도장층에 블리스터링이 發生됨으로써 時間이 경과하면서 도장층이 剝離될 수 있으며, 또 에폭시 도장으로 인해 漁礁의 생명인 먹이 生物들이 부착하여 成長하는데 더 많은 時間이 소요될 것으로 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 評價되거나 있는 陰極防蝕法中 海水에서 鐵鋼構造物의 防蝕에 이용되고 있는 Al-合金犧牲陽極法을 도입하여¹⁶⁾, Al-合金犧牲陽極에 의한 陰極防蝕特性을 考察하고자 한다.

Fig. 14는 環境의 比抵抗 $\rho = 25 \Omega \cdot cm$ 인 海水中에서 Al-合金犧牲陽極의 露出面積 $A_a = 2.3 cm^2$ 으로 일정히 한 후 陰極의 露出面積을 變化시킴에 따른 陰極防蝕電位 E_c 를 정리하여 나타낸 것이다.

陰極의 露出面積이 增加함에 따라 陰極防蝕電位는 급격히 높아지는 傾向을 나타내고 있다. 일정한 Al-合金犧牲陽極의 露出面積에 대해 陰極의 露出面積이 增加함에 따라 陰極防蝕電位가 더 높아지는 경향은 陰極의 露出面積이 증가할 수록 일정한 陽極의 露出面에서 發生되는 電流密度가 증가된 陰極의 露出面을 分極시키기 어렵게 되기 때문인 것으로 생각된다.

Fig. 15는 比抵抗 $\rho = 25 \Omega \cdot cm$ 腐蝕環境中에서 Al-合金犧牲陽極의 露出面積 $A_a = 2.3 cm^2$ 으로 일정히 한 후 被防蝕體인 陰極의 露出面積의 變化에 따른 陰極防蝕電流密度를 정리하여 나타낸 것이다.

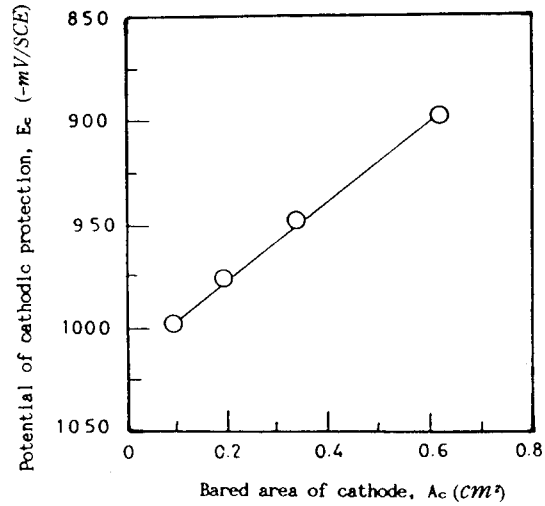


Fig. 14. Potential of cathodic protection versus bared area of cathode.

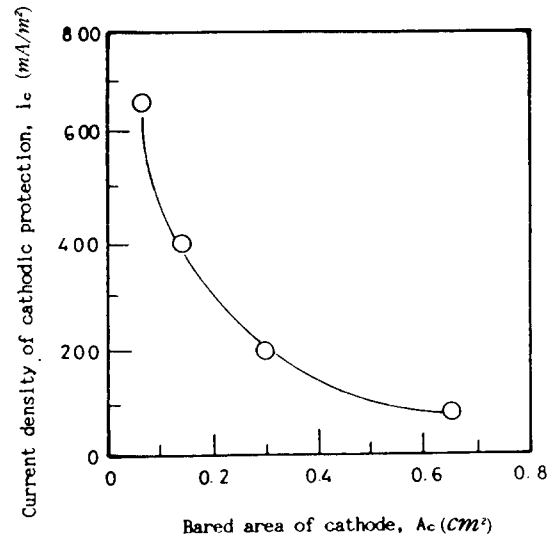


Fig. 15. Current density of cathodic protection versus bared area of cathode.

일정한 Al-合金犧牲陽極의 露出面積에 대해 被防蝕體인 陰極의 露出面積이 增加함에 따라 防蝕電流密度는 급격히 減少되고 있음을 알 수 있다. 이와 같이 일정한 Al-合金犧牲陽極의 露出面積에 대해 陰極의 露出面積이 增加한다면 陰極防蝕電流密度가 작아지기

때문에 被防蝕體를 防蝕시킬 수 있는 開路電位까지 陰極分極시키는데 防蝕電流密度가 불충분할 것으로 思料된다.

4. 結 論

本 研究에서는 鋼製漁礁用 SB41의 熔接部에 대해 沿岸 및 實驗室의 海水中에서 無負荷下의 腐蝕, 腐蝕疲勞 및 防蝕試驗을 행하여, 海中에서 腐蝕速度, 腐蝕疲勞龜裂學動, 腐蝕抑制를 위한 防蝕特性에 관한 研究를 한 結果를 다음과 같은 結論을 얻었다.

- 1) 沿岸의 海水中에서 母材의 腐蝕速度는 약 $28-37mg/dm^2day$ 이었다.
- 2) 海水中에서 熔接部에 대한 應力擴大係數範圍 ΔK 와 表面龜裂進展速度 da/dN 의 관계는 Paris' rule [$da/dN = C(\Delta K)^m$]에 따르고, 기울기인 指數 m 값은 母材에서 2.02, 熔接熱影響部에서 1.75이었다.
- 3) 應力擴大係數範圍 ΔK 값이 작은 領域下에서 熔接熱影響部の 腐蝕感受性は 母材보다 더 敏感하였다.
- 4) Al-犧牲陽極防蝕에 의한 陰極의 露出面積이 增加함에 따라 陰極防蝕電位는 높아진다.

參 考 文 獻

- 1) 포항신문(1991) : 1991년 11월 25일자 신문 가)면.
- 2) 日本鋼材俱樂部(1986) : “鋼製漁礁用組材標準仕様”. 8.
- 3) 동아일보(1992) : 1992년 1월 4일자 신문 (20)면.
- 4) 日本沿岸漁業振興開發協會(1985) : 沿岸漁場整備開發事業構造物設計指針. 117-119.
- 5) 伊藤伍郎(1982) : 機械工學全書 6(府食と防食). 311-312.
- 6) 前掲書(2), 28.
- 7) 鈴木揚之助(1983) : 海水中における軟鋼の疲勞き裂傳播. 防食技術, Vol. 32, No. 6, 318-323.
- 8) ASTM (1978) : Making and using U-bend stress corrosion test specimen. Part 10, G-30.
- 9) 川原正言, 栗原正好(1975) : 表面き裂の疲勞による傳播成長過程に關する豫備的考察. 日本造船學會 論文集, 137, 297-306.
- 10) 榮 幸雄(1970) : 海洋構造物の防食技術. 金屬材料, 10(9, 15).
- 11) 前掲書(5), 312.
- 12) J.P.Gallagher and R.P.Wei (1971) : Corrosion fatigue crack propagation behavior in steels. Corrosion fatigue NACE-2, 409-410.
- 13) W.W.Gerberish, R.H.Van stone and A. W.Gunderson (1982) : Fatigue Properties of carbon alloy steel, application of fracture mechanics for selection of Metallic structural materials. ASTM, Metals park, Ohio, 65-67.
- 14) 前掲書(5). 128, 187.
- 15) 林祐助, 金秀柄, 李鎮烈(1989) : 船舶用 알루미늄 合金材의 腐蝕疲勞龜裂進展特性和 그 抑制에 관한 研究. 韓國漁業技術學會誌, 25(2), 97-98.
- 16) Tooru Tusuru, Shiro Haruyama (1987) : Optimum Cathodic Protection Potential and its Monitoring for Steel Structures Buried in Soil and Outside of Tank Bottom. Boshoku gijusu, 36, 2, 67-73.