

# 海洋構造物用 알루미늄合金의 應力腐蝕龜裂에 의한 破壞研究( I )

金 貴 植

## The Fracture Study of Stress Corrosion Cracking of Al-Alloy for Marine Structures( I )

Gui-sig Kim

### Summary

The test specimen, designated the precantilever beam, was employed for a fracture mechanics study of stress corrosion cracking(SCC) of type 5052 Al-alloy in seawater.

The effects of crack velocity and corrosion potential upon the stress intensity were investigated.

The results are as follows ;

The stress intensity( $K_{Isc}$ ) below which crack velocity became immeasurably was about  $58 \text{ kg}/\text{mm}^{3/2}$ . Above this value, region I and II behavior was observed. The greater fatigue by corrosion circumstance and lower static stress than proof stress is, the larger becomes crack velocity. And corrosion potential is varied 0.061 volt according to the stress intensity.

### 緒 言

機械部品이나 構造物의 破損은 材料內에 存在하고 있는 crack에 起因한다고 볼 수 있다. crack이 없는 理想的인 材料라 할지라도 環境과 應力에 의하여 crack이 發生하고 그 成長速度가 加速된다. 이것이 應力腐蝕龜裂(SCC)이다. 그리고 材料를 完全彈性體로 간주하여 先在 crack을 전계로 한 crack先端의 應力場을 應力擴大係數( $K_I$ )라는 하나의 파라메타로 나타내어 材料나 構造物의 強度上의 安定性을 評價하는 공학적수법이 線型破壞力學이며 SCC研究에 이를 적용함으로써 環境의 影響을 고려한 材料나 構造物에 허용되는 직접적인 設計의 기준치를 구할 수 있기 때문에 高強度鋼과 스테인레스鋼 및 高力輕合金 등에 많은 研究가 되고 있다.

本研究에서는 輕量化, 耐蝕性이 良好, 低溫特性이 좋아서 海洋構造物 및 LNG운반선 등의 海洋環境材

料로서 최근 需要가 급증하는(內藤 1982) 高力 耐蝕性 알루미늄 合金(Al-Mg系)에 대하여 海水中 靜負荷時 先在crack의 길이변화에 따른 應力擴大係數와 crack成長速度의 變化 및 腐蝕電位와의 關係를 調査 檢討하였다.

따라서 本研究은 海洋構造物의 設計 및 保存의 기초자료로서 기여된다고 생각한다.

### 記 號 說 明(Nomenclature)

$K_I$  : Stress Intensity Factor,  $\text{kg}/\text{mm}^{3/2}$ .

$K_{Isc}$  : A  $K_I$  value below which subcritical crack propagation does not occur,  $\text{kg}/\text{mm}^{3/2}$ .

$V$  : Velocity of crack growth,  $m/\text{sec}$ .

$a$  : Crack Length, mm

$W$  : Width of test specimen, mm

$B$  : Thickness of test specimen, mm

$L$  : Length from load frame to crack, mm

P : Load, kg

E<sub>corr</sub> : Corrosion potential, -mV SCE.

材 料 및 方 法

試 驗 片

本實驗에 使用된 材料는 5052 알루미늄合金(Al-Mg

系)으로서 그 化學成分과 機械的 性質은 Table 1에 表示하였다.

試驗片은 Precantilever Beam Specimen으로 그 길이 方向과 原材의 壓延方向이 동일하도록 절취하여 Fig.1과 같이 제작하였고, 荷重支持部에서 120mm되는 곳에 두께 0.5mm, 길이가 각각 9, 12, 15mm인 先在 crack을 만들었다.

Table 1. Chemical composition & Mechanical properties of test specimen

| Chemical Composition(%) |      |      |      |      |      |      | Mechanical Properties     |                           |
|-------------------------|------|------|------|------|------|------|---------------------------|---------------------------|
| Si                      | Fe   | Cu   | Mn   | Mg   | Cr   | Zn   | T.S.(kg/mm <sup>2</sup> ) | P.S.(kg/mm <sup>2</sup> ) |
| 0.25                    | 0.40 | 0.10 | 0.10 | 2.50 | 0.20 | 0.10 | 25.0                      | 7.0                       |

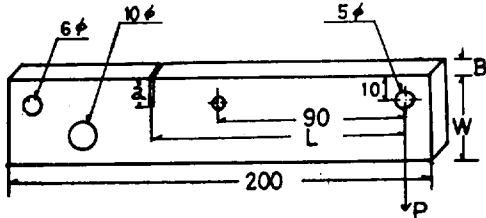


Fig.1. Geometry & dimensions of test specimen. P=load, a=crack, B=6mm, W=30mm, L=120mm.

試驗片을 環境과 應力에 따라 分類하여 耐力(proof stress)의 90%인 50kg負荷 30日間 海水浸漬試驗片(LST30)과 無負荷 20日間 海水浸漬試驗片(ST20)로 하고 이것을 先在 crack의 길이에 따라 9mm의 LST 30試驗片(9 LST 30)과 ST20 시험편(9 ST 20), 12mm의 12 LST 30과 12 ST 20, 15mm의 15 ST 20의 5種으로 나누었다.

crack成長길이를 測定하기 위하여 先在crack端에서 그 길이方向으로 15~21mm의 reference scale을 height gauge로 作成하고 電位測定用 端線을 부착한 후 2차 crack의 發生防止를 위하여 crack部를 제외한 全部分을 투명테커로 3회 칠하여 절연시켰다.

實驗裝置 및 實驗方法

本實驗裝置는 靜負荷時 crack成長길이, 材料破壞強

度 및 腐蝕電位를 測定할 수 있도록 自作한 것으로 Photo. 1과 같다.

水槽는 아크릴板(3mm)으로 140L×100W×100Hmm 되도록 製作하여 약 600ml 容量의 天然海水를 채웠으며 試驗片上의 水位가 crack先端에서 10mm 위에 있도록 하였다. 이 때 使用된 海水의 pH는 8.25~8.27의 범 위였다. crack成長速度는 crack成長길이의 時間에 대한 變化率로서 그 crack成長길이를 試驗片의 Reference Scale과 先在crack의 入口端에서 Dial gauge로 동시에 測定하였고, 腐蝕電位는 crack先端에서 1mm 떨어진 곳에 Luggin Capillary를 設置하여 Salt Bridge 에 의해 포화칼로멜電極에 연결하여 電位差計(Digital Multimeter DL.703, TRIO-KENWOOD)로서 測定하였다.

應力擴大係數(K<sub>1</sub>)은 Precantilever Beam Specimen 일때 ASTM 410(Brown 1966)에 의해서 다음과 같이 計算된다.

$$K_1 = \frac{6PL\sqrt{a}}{BW^2} [A_0 + A_1\left(\frac{a}{W}\right) + A_2\left(\frac{a}{W}\right)^2 + A_3\left(\frac{a}{W}\right)^3 + A_4\left(\frac{a}{W}\right)^4] \dots (1)$$

여기에서 A<sub>0</sub>= +1.99, A<sub>1</sub>=-2.47, A<sub>2</sub>=+12.97, A<sub>3</sub>= -23.70, A<sub>4</sub>= +24.80이며 오차범위는 0 <  $\frac{a}{W}$  < 0.6에서 0.2%이하이다. 試驗片의 치수가

$B=6\text{mm}$ ,  $W=5B=30\text{mm}$ ,  $L=4H=120\text{mm}$ 이고  
 $\frac{a}{W}=0.3, 0.4, 0.5$ 이므로 (1)식에 代入하면  
 $\frac{a}{W}$ 의 各 경우에 대한  $K_I$ 가 계산된다.

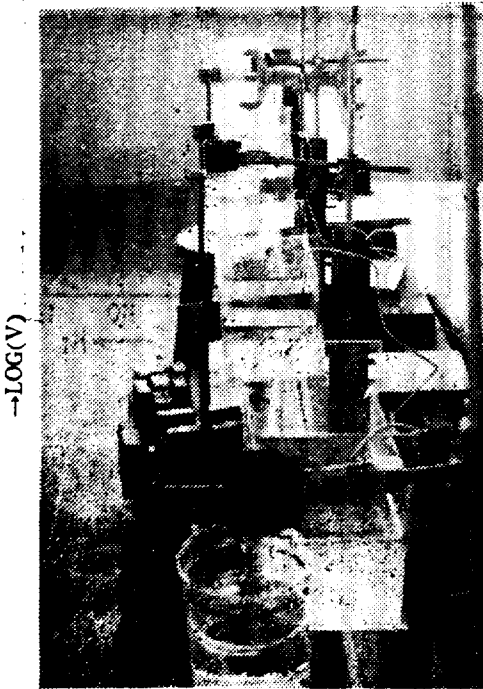


Photo.1. General view of the experimental equipment.

### 結果 및 考察

#### $K_I$ 와 $V$ 의 관계

一般的으로  $V$ 를  $K_I$ 의 함수로 表示하면 Fig.2와 같다.

Fig.2에 의하면  $V$ 가 거의 변화하지 않는 위치의  $K_I$ 가  $K_{I,SCC}$ 이며 그 위에서  $V$ 가  $K_I$ 에 종속되는 區間(Region I)과  $V$ 가  $K_I$ 에 독립인 區間(Region II) 및  $V$ 가  $K_I$ 에 다시 종속되는 區間(Region III)로 나뉘어진다.

本研究의  $K_I$ 와  $V$ 의 관계는 Fig.3과 같다.

Fig.3에 의하면 LST30과 ST20의  $V$ 는 동일한  $K_I$ 에서 LST30이 ST20보다 빠르며  $\frac{n}{W}$ 가 큰 것

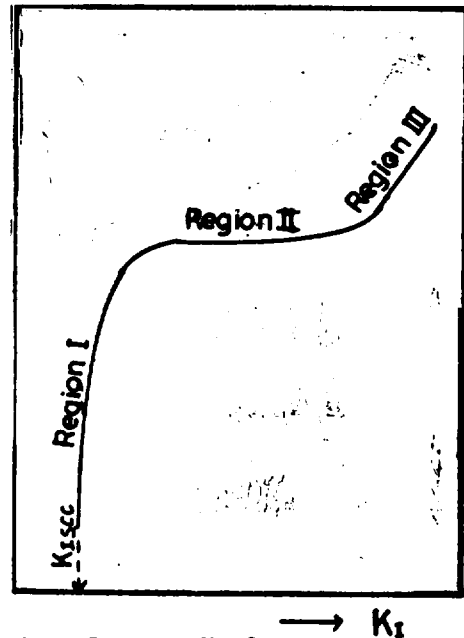


Fig.2. Schematic  $K_I$  -Log V behavior.

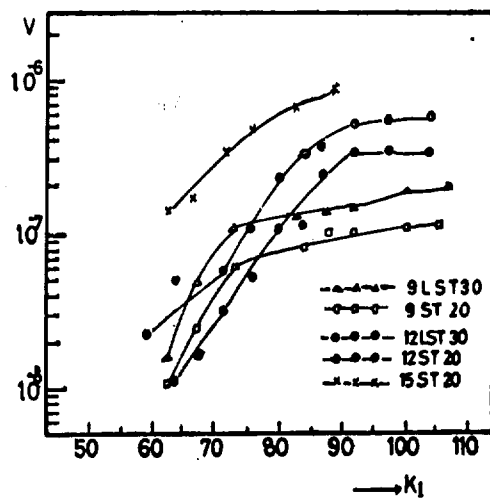


Fig.3. General K -V behavior for SCC.

이 빠르다. 이는 耐力이하의 應力에서도 環境과 組合되면  $V$ 에 영향을 미치는 것으로 보인다. 또  $K_I$ - $V$ 의 거동은  $\frac{a}{W}$ 가 0.3, 0.4인 때는 Region I과 II가 나타나고 Region III은 나타나지 않았는데 이는 他高力알

미늄합금의 경우(Speidel 1973, 圓城1978, 增田1982)와 유사하다. 오오스데나이트 스테인레스鋼도 Region III은 현재까지 나타나지 않은 것으로 발표되고 있고(Russell 1979, 中1981) 高强度鋼은 Region I, II, III이 모두 나타나는 것으로 발표되고 있다

(Novak 1973, 遠藤1981). 그리고  $\frac{a}{W} = 0.5$ 에서는 Region I 만이 나타났는데 이것은 W에 대한 a의 치수가 크기 때문인 것으로 생각된다.

Speidel(1975)의 Al합금(7079)에 대한  $K_{I,sc}$ 은 V가  $10^{-10} \sim 10^{-11}m/s$  이하에서 추정된다고 하였지만 本實驗에서는  $10^{-8}m/s$ 이하의 crack成長은 나타나지 않았다. 그러므로 5052 Al합금의  $K_{I,sc}$ 은  $\sim 58kg/mm^{3/2}$ 으로 추정된다.

**$K_I - E_{corr}$ 의 관계**

海水中の Al합금의  $E_{corr}$ 은 合金成分에 따라 多少 차이는 있으나 약  $-750mV$  SCE이고, 防蝕電位는  $-900mV$  SCE이다.

本實驗에서 crack成長 前의  $E_{corr}$ 은  $-840 \sim -838mV$  SCE의 범위였다. crack成長時 室溫에서 測定한  $K_I$ 에 따른  $E_{corr}$ 의 관계는 Fig.4에서  $E_{corr}$ 은  $\frac{a}{W}$ 에 관계없이 일정  $K_I$ 下에서는 거의 비슷한 電位였으며  $K_I$ 의 증가에 따른  $E_{corr}$ 의 변화는  $0.061V$ 였다.

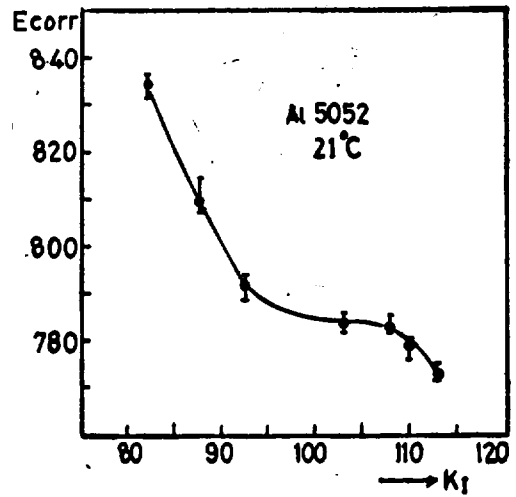


Fig.4. Effect of  $K_I$  upon  $E_{corr}$ .

**摘 要**

高力 耐蝕性 알루미늄합금(5052)의 應力腐蝕龜裂에 의한 파괴거동을 研究 檢討한 結果를 要約하면 다음과 같다.

1.  $K_I - V$ 거동에서 5052Al합금은 他 高力Al합금과 같이 Region I 과 II만이 調査되었다.
2. 耐力이하의 靜荷重일지라도 環境과 組合하여 材料의 波勞를 가져오면 crack成長速度는 동일한  $K_I$ 하에서 훨씬 크다.
3. crack成長速度가  $10^{-8}m/s$ 일 때  $K_{I,sc}$ 은  $\sim 58kg/mm^{3/2}$ 이다.
4.  $K_I$ 의 증가에 따라 破壞時까지 부식전위의 변화는  $0.061V$ 였다.

**引 用 文 獻**

Brown, W. F. and J. E. Srawley 1966, Plane Strain Crack Toughness Testing of High Strength Metallic Materials, ASTM STP 410.  
 內藤 1982, 船舶におけるアルミ材 利用の現状, M. E. S. J., 7(2), 68~75.  
 圓城・黒田・篠永 1978, 5083アルミニウム合金の應

力腐食れに及ぼす不溶性化合物及びβ相の影響, 輕金屬溶接, 16(2), 553~560 .  
 遠藤・松田1981, 高强度鋼の繰返し應力腐食割れ特性に及ぼす應力比の影響, 日本機械學會論文集 A, 47(415), 257~263.  
 幡中・清水1981, SUS 301 스테인레스鋼의 低應力域疲勞強度と停留き裂について, 日本機械學會論文

- 集 A, 48(428), 405-413.
- 増田・田中・西島1982, アルミニウム合金チタン合金における疲労き裂伝ば特性と破壊機構との関連, 日本機械學會論文集 A, 48(429), 548-555.
- Novak S. R. 1973, Effect of Prior Uniform Plastic strain on the  $K_{Isc}$  of High strength steel in seawater, Engineering Fracture Mechanics, 5, 727-763.
- Russell J. and Desmond Tromans 1979, Fracture Mechanics study of Type 316 Austenitic Steel, Metallurgical Trans. A, 10A, Septem., 1229-1238.
- Speidel O. 1975, Stress Corrosion Cracking of Aluminum Alloys, Metallurgical Trans., 6A, April, 631-651.