

< 研究論文 >

海水中 Al-Zn-In 合金陽極의 分極特性에
미치는 Ca-Si 添加의 影響

徐 昌 濟*

Influence of Ca-Si Addition on Anodic Polarization
Characteristics of Al-Zn-In Anodes

C. C. Shur.

Synopsis

Many excellent Al-Zn-In anode have been developed up to the present. But for the purpose of the better performance of Al-Zn-In anodes in sea water the effect of calcium silicon addition on anodic polarization and current capacity of Al-Zn-In anodes was measured and analysed in sea water and artificial sea water.

The results and conclusions obtained are summarized as follows.

- 1) Being compared with Al-Zn-In anodes, Al-Zn-In anodes containing 0.05% calcium silicon had superior characteristics in both anodic polarization and current capacity.
- 2) Corrosion patterns of the anodes containing calcium silicon were much more uniform than those of Al-Zn-In anodes.
- 3) In this experiment the most useful anode was Al-4% Zn-0.03% In-0.05% (Ca-Si). It had a capacity of 2.60Amp-hr of current/g and a voltage of 1.13(SCE reference)at anodic current density 1,000 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$.

目 次	
1. 緒 論.....	3
2. 試料 및 實驗方法	4
1) 材料 및 試片의 準備.....	4
2) 實驗裝置 및 方法	5
3. 實驗結果 및 檢討	6
1) 分極特性 實驗	6
2) 陽極電流密度, 電流發生量 및 表面狀態	8
4. 結 論	9
參考文獻	10

1. 緒 論

流電陽極法에 의한 防蝕法은 1824年 Davy에 의해 Cu에 Zn이나 Fe를 接觸反應시켜서

防蝕시킬 수 있다는 보고에 그 起源을 두며 1940年代에서 1950年代 初에는 Mg 合金陽極에 의한 地下 및 海水中的 構造物에 對한 防蝕法이 開發되었고 1950年代에는 Zn 合金陽極에 의한 防蝕法이 開發되었다. 本 研究에 使用된 Al 合金陽極에 의한 防蝕法은 1960年代에 많은 進歩를 가져 왔으며 現在까지 가장 優秀한 合金陽極으로 알려져 있다.

Mg系 合金陽極은 高純度일 경우 陽極 電位가 -1.5V(SCE) [Saturated Calomel Electrode, 飽和甘汞電極. 이하 SCE로 略함] 로 一般의 陽極材料中 가장 低電位이지만 自己腐蝕이 甚하고 有效電位差가 커서 船體防蝕用인 경우 壽命이 極히 짧고 電流效率이 60%程度로 낮기 때문에 Zn 99.99%級의 優秀한 Zn 合金陽極이 出現한 후로는 거의 使用되지 않고 있으며, Zn 合金陽極은 高純度 Zn 合金陽極인 경우 陽極電位 -1.05V(SCE), 電流效率 90%程度를 나타내지만, 單位重量當의 電流發生量이 780Ah/kg으로 작기 때문에 Al 合金陽極으

* 成均館大學 理工大 金屬工學科 大學院

로 代替되고 있다. Al合金陽極은 Zn合金陽極보다 電位가 약간 더 낮은 $-1.1V(SCE)$ 를 나타내고 壽命도 길며 同一重量當 電流發生量이 Zn의 약 3.6倍인 $2,980Ah/kg$ 으로 優秀한 陽極이나 Gleason¹⁾의 보고와 같이 低溫海水中에서나 高抵抗淡水, 汚染海水 等에서는 効率が 크게 低下되는 欠點이 있어 아직 改善할 點이 많다.

Al合金陽極의 發達을 보면 1957年 前田²⁾에 의해 Al-Zn合金陽極이 開發되었으며 Zn添加量이 5%에서 陽極電位 $-0.95V(SCE)$ 이며 電流効率が 60%程度였다. 1962年에는 坂野³⁾ 등이 Al-Zn-In合金系(組成 Zn 0.5~5%, In 0.01~0.02%)의 陽極材料를 實驗한 結果 陽極電位는 $-1.1V(SCE)$, 電流効率 80%이었으며, Fe와 Si는 陽極電流効率에 좋은 效果를 나타냄을 發見했다. 1964年에는 Hirt⁴⁾ 等에 의해 Al-Sn 및 Al-Zn-Sn合金이 개발되었고, 竹島 等에 의해 Al-Zn-In合金陽極(組成 Zn 2.3%, In 0.022%)이 다른 合金陽極과 比較 實驗되었는데 특히 Al-Zn-In合金陽極은 다른 陽極用 材料에 比해 훨씬 優秀한 것으로 主張되어 왔다. 그 뒤 1966年 Dow Chemical Co.에서 開發한 Galvalum(1)이라는 Al-0.4% Zn-0.04% Hg合金陽極은 電位 $-1.02V(SCE)$, 單位 重量當 電流發生量 $2,820Ah/kg$, 電流効率 94%인 效率面에서 아주 優秀한 陽極材料이며, 1968年 Reding⁶⁾ 等에 의해 海水 및 高伝導度의 염욕에서의 實驗 結果는 우수하고 壽命도 5年 이상이었으나, Galvalum(1) 陽極은 Hg이 包含되었기 때문에 환경에 큰 오염을 초래할 수 있는 곳에서는 使用이 不可能하므로 現在는 研究對象에서 除外되었다.

1978年 Al-Zn-In에 Si를 添加한(組成 3.0% Zn, 0.015% In, 0.1% Si과 高純度 Al)合金陽極이 Smith⁷⁾ 等에 의해 開發되었다. 陽極電位 $-1.08(SCE)$, 電流効率 약 85%(電流發生量: $2,550Ah/kg$)이며, 時間의 경과에 따라 効率が 비교적 떨어지지 않는 良質의 Al合金陽極으로, 添加元素인 Si에 對해서는 電流効率增大에 크게 기여한다는 것을 確認했다.

本 研究에서도 現在까지 流電陽極으로 가장 우수한 Al-Zn-In系 合金에 보다 나은 材質 改善을 위해, 소련 및 독일特許(組成: 소련 7.55%Ca, 독일 Patent №1083619, 2.5%Zn, 1.0%Ca)에 對한 竹島⁵⁾ 等의 Ballask tank 및 實驗室에서의 測定을 고려하여 Ca-Si을 複合添加(以下 添加로 略함)하고, 坂野⁸⁾ 等의 1966年 發表論文도 參考로 했다.

특히 本 實驗에서는 海水中 Al合金陽極의 電位값이 開路電位 $-0.69V(SCE)$ 의 鋼板電位값보다 0.3~0.4V 낮은 電位값을 갖게 함으로 比較的 広範圍한 用途의 材料開發과 電流効率 84%($2,500Ah/kg$) 이상인 陽極材料의 開發에 主眼點을 두었다.

2. 試料 및 實驗方法

1) 材料 및 試片의 準備

本 實驗에 使用한 Al地金은 약 99.85%인 Al特種을 使用했으며, Ca-Si의 添加는 JIS №1規格品을 使用하였다. Table. 1에 Al分析值를 Table. 2에 Ca-Si №1의 組成을 表示했다.

TABLE.1 Analysis of Aluminum

Composition	Si	Fe	Cu	Al
Weight Percent	0.05	0.07	0.001	BAL-ANCE

TABLE.2 Chemical Composition of CaSi No.1

Composition	Ca	Si	C	P
Weight Percent	30Min	65Max	1.0 Max	0.05 Max

(Ca-Si의 融點은 $960^{\circ}C \sim 980^{\circ}C$)

素添加의 正確度를 기렸고 특히 Ca-Si 과의 母合金제조에는 흑연도가니에 알루미늄을 li-合金製造는 crucible furnace(Lindberg Hevi Duty Model №56622)를 使用했으며, Ca-Si 및 In은 Al과의 母合金을 製造하여 元 또한 Al 및 合金元素인 Zn In Ca Si의 性質은 Table. 3과 같다.

TABLE.3 Propertis of the Metals

	Melting Point °C	Boiling Point °C	Pauling's Eletron-ega tivity	Dansity g/cm ³	Electrical Conductance (microhms) ⁻¹	Current Capacity Ah/g
Al	660	2,450	1.5	2.70	0.382	2.98
Zn	419.5	906	1.6	7.14	0.167	0.78
In	156.3	2,000	1.7	7.31	0.111	0.70
Ca	838	1,440	1.0	1.55	0.218	1.33
Si	1,410	2,680	1.8	2.33	0.100	3.81

ning해서 合金中の SiC 化合物 生成을 防止하였다. 合金元素를 添加할 경우 全重量을 100% 이 되도록 했으며, Zn 添加인 경우는 氣化를 줄이기 爲해서 Al 박판에 싸서 添加하였고, 添加時 熔湯溫度는 850 °C 程度를 유지했다.

鑄造用 mould로는 內徑 21 mm, 길이 21 mm 의 알루미늄 pot를 使用하였고 deep hole의 防止를 爲해 ingot 하단으로부터 約 8 mm 部分을 절단하여 平均的인 試片의 條件을 均等하게 하였다. pot는 充分히 冷却시켜 실온과 일치시켰으며, 測定用 試片의 固定裝置는 Fig. 1 과 같은 노출內徑 1.42 cm인 Teflon 試片固定器를 使用하였고 溶液과의 接觸面積이 1.58cm²이므로 陽極電流密度는 必要電流密度의 1.58 倍로 測定했다.

- C : Cover
- G : Gasket
- H : Holder
- I : Insulator
- R : Copper rod
- S : Sample

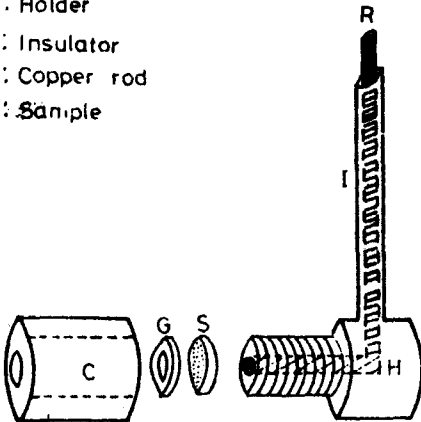


Fig1. Teflon anode assembly.

Table.4는 添加元素의 組成범위를 표시한 것이다. In의 添加量을 0.01%~0.05% 로 제한한 것은 0.01% 이하에서는 活性이 크게 일어 나기 때문이며 0.06% 이상인 경우는 自己腐蝕이 增大되어 電流效率이 크게 低下되기 때문이다.

Table. 4 Composition of Aluminum Alloys

Comoposition	Zn	In	Ca-Si	Al
Weight Percent	2.4	0.01~0.05	0.01~0.5	BAL-ANCE

本 實驗에서는 Al 合金陽極에 對한 Cu-Si 添加元素의 影響을 調査하기 爲해서 Al-Zn-In系와 Al-Zn-In-(Cu-Si)系의 合金陽極을 前者는 30個, 後者는 80個를 各各 제조하여 測定하였다.

2) 實驗裝置 및 方法

1)에서 準備된 試片은 240 mesh emeny paper로 용액 接觸面을 粗연마하여 陽極으로 하였다. 分極特性 測定用은 백금음극을 電流發生量 測定用에는 탄소음극을 使用하였다. 兩者 모두 회로는 Fig.2와 같이 連結했으며 分極特性 測定用인 경우만 10 l 用의 용기를 使用하여 농도분극 및 PH의 變化를 감소시켰다. 나머지 是 1 l 用 비이커에서 測定했다.

分極測定時 Fig. 2와 같이 連結시켜 開路電位 狀態를 1 hr間 유지하여 (다만, 이 期間 동안은 battery는 차단시키고 회로를 연결한다) 陽極의 活性이 있도록 한 후 그때의 開路電位 및 陽極電流密度를 10⁴ A/cm² 에서 10,000⁴ A/cm²

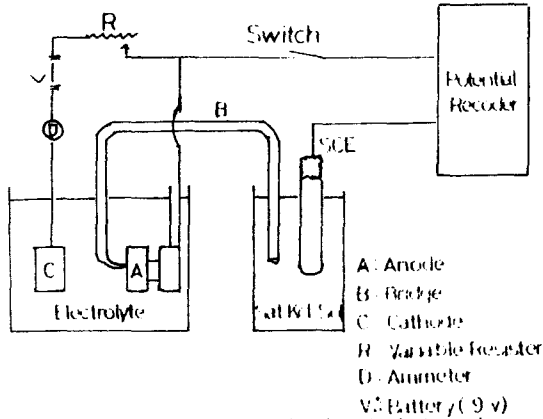


Fig.2 Schematic Diagram for Anodic Polarization Measurement.

0.1까지測定하여分極特性을測定하였으며各測定電流密度에서10分間 유지시킨 후電位變化가 없을 때測定했다.

電流發生量測定時는 Fig.2의 경우와接地抵抗을최소한으로 연결시켰을 때의 實船實驗인 경우를 가정하여海水를 1ℓ用 비이커에 약 800 ml를 채우고陽極材料를 도선으로鋼板에 직접 연결하여電流發生量 및電流密度의變化를測定하였으며海水는 24 hr 및 72 hr 마다 2/3씩 갈아 넣었다.

전해액으로는 仁川만의海水 및 人工海水 ASTM(D-1141-52)을 사용했으며兩者 모두 PH 8.2를 나타냈다. 實驗溫度는 20℃~25℃였고 必要에 따라 0.1 N NaOH溶液으로 PH를 調査했다.

3. 實驗結果 및 檢討

1) 分極特性 實驗

i) 二元合金 Al-Zn系에 對한 Ca-Si 添加의 影響

Al-Zn系 合金에 Cu-Si를 0.05%, 0.1%, 0.2%, 0.5%씩을 添加했을 때의 測定값을 Fig.3에 나타냈다. Fig.3에서와 같이 Al-4%Zn일 때가 Al-2%Zn일 때 보다 Ca-Si%가 0.05%인 경우가 25 mV 程度가 陽極電位面에서 改善될 수 있음을 나타내고 있다.

ii) 三元合金 Al-Zn-In系에 對한 Ca-Si 添加의 影響

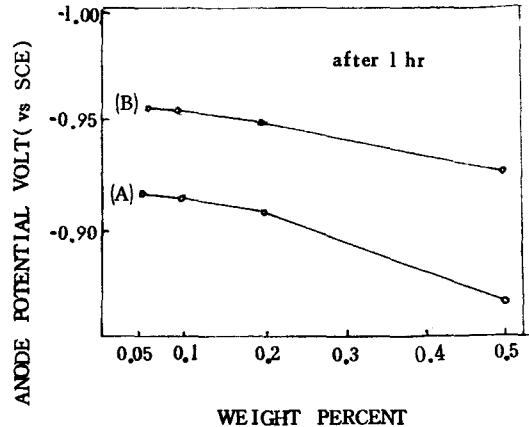


Fig.3. Variations of Anode Potential With Ca-Si Content on Al-2Zn(A) and Al-4Zn(B)

Al-2% Zn-0.02% In에 0.01%, 0.02%, 0.05% 및 0.1%의 Ca-Si를 添加했을 때의 分極現狀은 Fig.4와 같고 이때의 特性曲線에서 Ca-Si 添加의 有無에 따른 變化를 觀察해 보면 0.02% Ca-Si를 添加하면 10 μA/cm²의 陽極電流密度에서 陽極電位로 比較하면, 0.02% (Ca-Si)이 添加된 것이 添加되지 않은 것 보다 약 30 mV의 陽極電位를 低下시키고 있는 것을 알 수 있었고, 또 陽極電流密度 1,000 μA/cm²의 實用電流密度(海水中 鋼板과 接地抵抗을 最少로 하여 連結했을 경우의 電流密度)이하에서는 分極이 200 mV 이내로

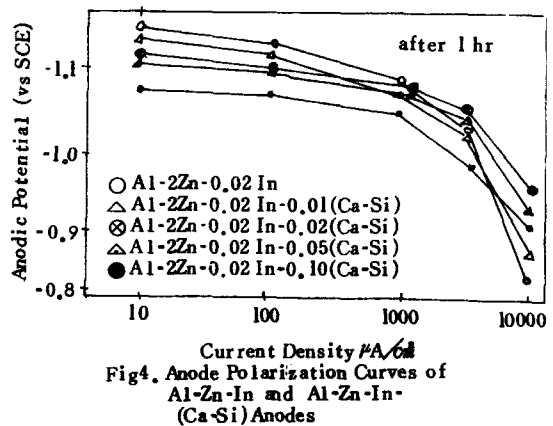


Fig.4. Anode Polarization Curves of Al-Zn-In and Al-Zn-In-(Ca-Si) Anodes

줄어 드는 것을 알 수 있었다. Fig.5는 活性의 變化를 알기 爲해서 時間에 따른 陽極電位의 값을 測定한 것이며 測定電流密度는 1,000 μA/cm²이다.

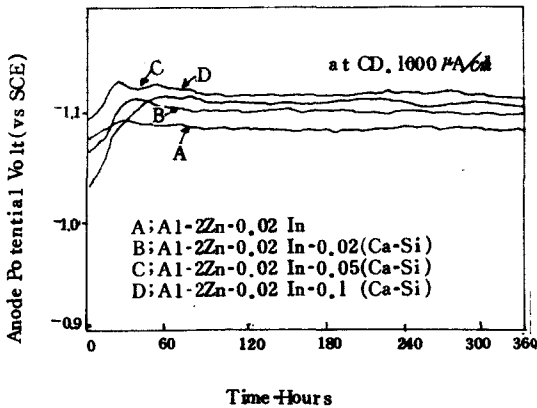


Fig. 5. Anode Potential VS Time on Al-Zn-In and Al-Zn-In-(Ca-Si) Anodes.

Fig.5에서 0.1%Ca-Si를添加시켰을 경우 陽極電位の 最大값을 약 50 hr 후가 되며 0.05%Ca-Si添加인 경우는 약 20 hr 후에서 最大값을 갖게 되며 0.05%의 Ca-Si添加인 경우는 약 20 hr 후에서 最大값을 갖게 되며 0.05%의 Ca-Si添加時 陽極活性도 비교적 커져서 添加하지 않은 Al-2%Zn-0.02%In보다 40 mV程度的 陽極電位값이 低下된 것을 알 수 있었다.

Fig.4와 Fig.5에서 充分히 活性을 갖게되어 거의 一定한 陽極電位값을 가질 때 陽極電流密度 1,200 μA/cm² 이하에서의 分極特性은 Fig.6과 같이 나타났으며, Al-2%Zn-0.02%In에 Ca-Si를 添加하면 本來의 三元系合金보다 實用電流密度下에서 50 mV程度的 陽極電位가 改善된 것으로 나타났다.

Al에 4%Zn를 In은 0.01%, 0.03%, 0.05%를 添加했을 때의 0.05% Ca-Si添

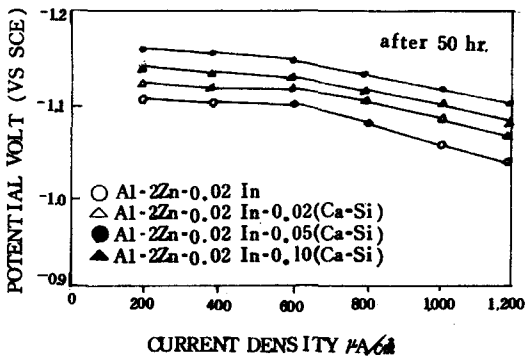


Fig. 6. Anode Potential vs Anodic Current Density on Al-Zn-In and Al-Zn-In-(Ca-Si) Anodes

加的 영향은 Fig.7로 나타났으며, 0.05% Ca-Si를 添加했을 경우는 (測定條件은 開路電位狀態에서 1 hr 유지한 후 battery를 연결했다.)

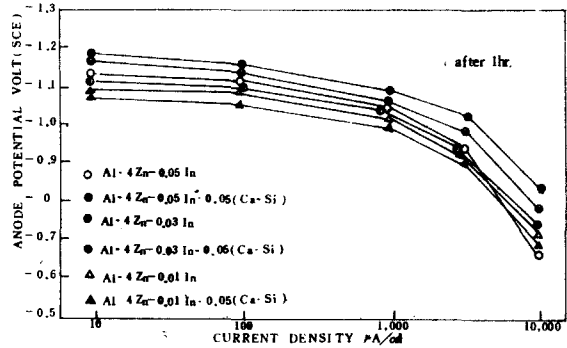


FIG. 7. Comparison of Aluminum Anode Containing Ca-Si with Al-Zn-In Anode.

Fig.7에서 特히 高電流密度인 10,000 μA/cm²에서의 陽極電位低下에 기여하는 바가 크며 Zn %, In 0.01%일 때는 거의 改善되지 않은 것으로 나타났다.

그 理由⁸⁾는 0.01%의 比較的 작은 In에서는 Ca-Si中의 Si가 In의 活性을 감소시키기 때문인 것으로 알려져 있다. Al-4%Zn-In 0.03%-0.05(Ca-Si)는 活性이 약 10 hr 후에야 얻어 지는데 그 때의 값은 Fig.7의 Al-4%Zn-0.03In-0.05%(Ca-Si) 陽極의 電位보다 약 20 mV 低下된 電位값을 갖고 있었다.

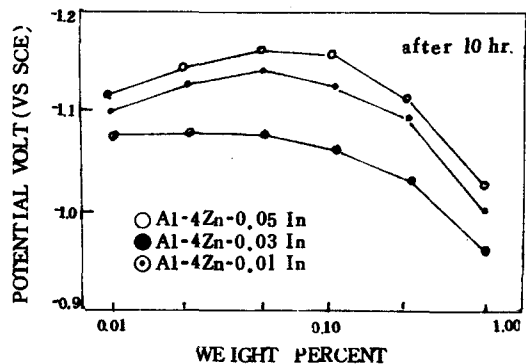


Fig. 8. Anode Potential vs Ca-Si Content on Al-Zn-In Anode System

Fig.8은 Al-4%Zn에 0.01%Zn, 0.01%Zn, 0.03%In 및 0.05%의 Zn을 Ca-Si를 0.01%에서 0.5%까지를 添加했을 경우의 陽極電位の 變化를 나타내고 測定條件은 開路

상태에서의 陽極設置 후 10 hr 후로 電流密度 $1,000 \mu A/cm^2$ 이다. Ca-Si의 最適添加量을 陽極電位 低下의 観点에서 Al-4% Zn-0.05% In인 경우는 0.05% Ca-Si添加가 가장 낮은 電位를 갖는 것을 알 수 있다. 또 Al-4% Zn-0.01% In에서는 0.01 및 0.02% (Ca-Si)가 最適이지만 Fig.7에서와 같이 본래의 Al-4% Zn-0.01% In에 대해 陽極電位面에서 별다른 차이가 없는 것으로 나타났다.

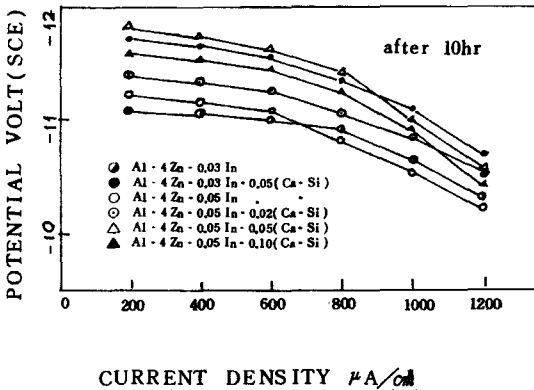


FIG 9. Anodic Polarization Curves of Al-Zn-In and Al-Zn-In(Ca-Si) Anodes.

Fig.9는 Al-4% Zn에 0.03% In 및 0.05% In을 함유한 합금에 Fig.8에서의 有效組成範圍 0.02%, 0.05%, 0.1% Ca-Si의 添加영향을 開路電位 상태에서 陽極設置 후 10 hr에서의 分極特性을 나타내고 있으며 陽極電流密度인 $1,200 \mu A/cm^2$ 이하에서 測定했다.

Fig.9에서와 같이 $200 \mu A/cm^2 \sim 1,200 \mu A/cm^2$ 의 全 實用電流密度下에서 Ca-Si를 0.05% 添加한 Al-4% Zn-0.05% In합금은 0.02%나 0.1% Ca-Si를 添加한 合金보다 훨씬 陽極電位가 低下된 것으로 測定되었다.

이상의 實驗에서 同 電流密度에서의 陽極電位 低下 즉, 分極減少의 観点에서 Al-4% Zn-0.05% In에 Ca-Si 0.05%를 添加한 것이 가장 우수한 것으로 나타났다.

2) 陽極電流密度, 電流發生量 및 表面狀態

陽極電流密度의 變化는 本 實驗中에서 陽極電位面에서 가장 우수한 Al-4% Zn-0.05% In合金陽極에 Ca-Si를 添加했을 때의 電流密度變化이며 Fig.10에 나타났다. 測定期間은 1 hr~240 hr 였다. 海水의 供給條件은 前述한 實驗裝置 및 方法에 基準을 두고 72 hr 마다

0.1N NaOH溶液으로 PH 8로 調整했다. 단 이 때 陽極露出面積 $1.58 cm^2$ 가, 各 試片에 同一하게 露出된 狀態에서 陽極溶解의 形狀 및 그에 따른 總面積 變化는 無視했을 때이다.

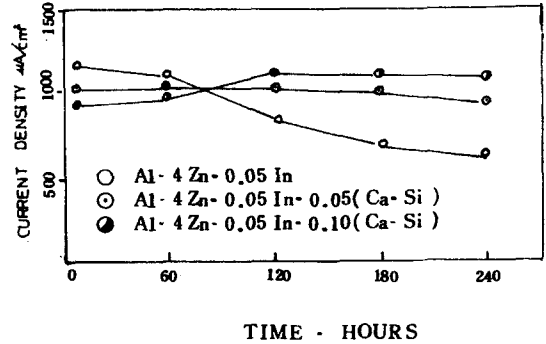


FIG 10. Anode Current Density vs Time on Al-Zn-In and Al-Zn-In(Ca-Si) Anodes

Fig.10에서와 같이 0.05% (Ca-Si) 添加보다는 0.1% (Ca-Si)가 活性이 生成된 후에는 電流發生面에서 더 큰 것으로 나타났고 兩者 모두 Ca-Si를 添加하지 않은 경우보다는 훨씬 많은 電流를 放出함을 알 수 있었다.

Fig.11에서는 陽極電流發生量을 표시했다. Fig.11에 의하면 Zn은 2% Zn보다 4% Zn가 In은 0.05% In보다 0.02% In이 Ca-Si 添加는 0.05%에서 單位重당 가장 많은 電流를 放出하는 것으로 나타났으며 최대값은 약 $2.66 Ah/g$ 이었다.

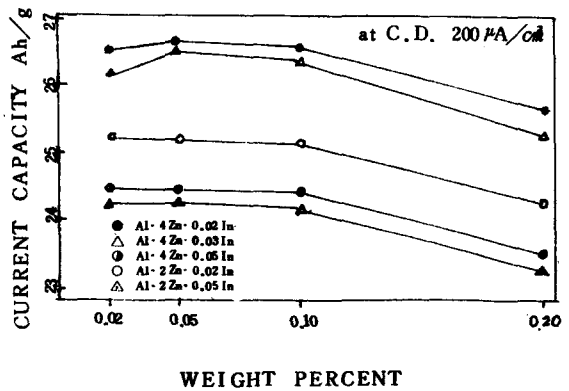


FIG 11. Effect of Ca-Si Content on Current Capacity.

測定은 陽極電流密度 $2,000 \mu A/cm^2$, 測定期間은 160 hr 및 240hr 으로 했으며 PH에 따라 電流發生量에 큰 차이가 나므로 25hr마다 海水를 2/3 씩 갈아 넣었다.

끝으로 表面狀態에 대한 것은 Fig.12에 나타냈으며, 試片 1,4,7,10은 Al-4% Zn-0.03% In에 0.1% Ca-Si를 添加한 것이며 試片 3,6,9,12는 Al-4% Zn-0.03% In-0.05%(Ca-Si)인 合金이다. 또한 測定條件에 따라 区分하면 試片 1,2,3은 陽極電流密度 $1,000 \mu A/cm^2$ 에서 5hr 후이며, 試片 4,5,6은 陽極電流密度 $10,000 \mu A/cm^2$ 에서 5hr 후이다. 또 試片 7,8,9는 $1,000 \mu A/cm^2$ 에서 240hr 후이며, 試片 10,11,12는 $1,000 \mu A$

$/cm^2$ 에서 360hr 후이다. Fig.12에서와 같이 試片 4,5,6에서 Ca-Si를 添加하지 않은 試片 5인 경우 거칠게 나타났으나 Ca-Si를 添加시킨 試片 4 및 6은 거의 均一한 溶出狀態를 나타내고 있었다. 試片 1,2,3中에서는 孔蝕크기로 나열하면 2→3→1순으로 나타났으며, 240hr 이상인 7,8,9,10,11,12試片에서는 5hr 후인 1,2,3試片과는 달리 孔蝕狀態에 있어 0.05% Ca-Si이 添加된 試片 9 및 12가 0.1% Ca-Si이 添加된 試片 7,10보다 均一한 溶出狀態를 나타내고 있으며 Ca-Si이 添加되지 않은 試片 8,11보다는 Ca-Si이 添加된 7,10 및 9,12 試片이 훨씬 均一한 溶出表面을 갖는 것을 알 수 있다.

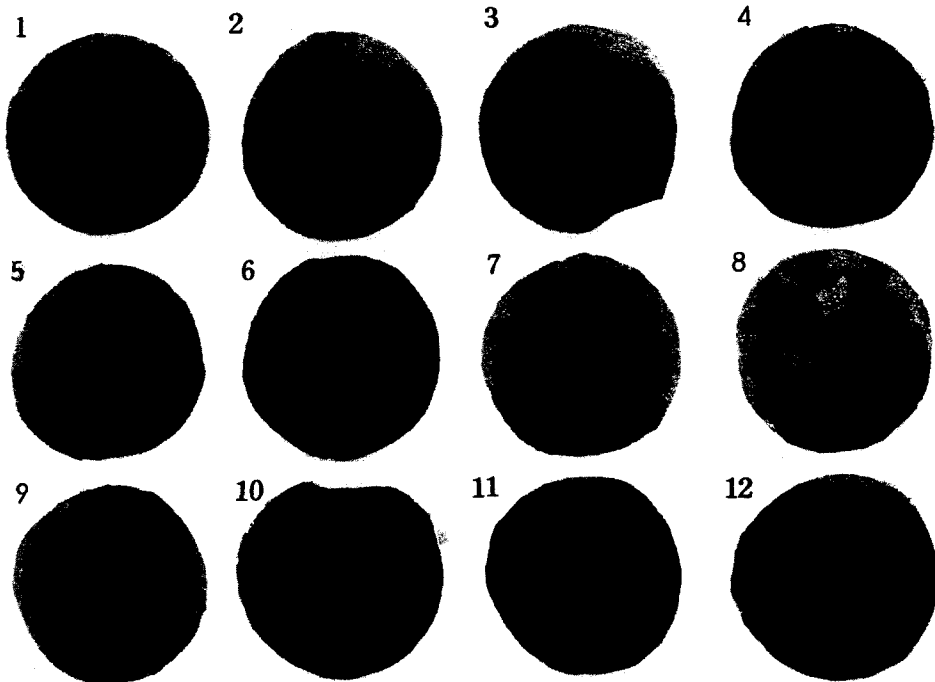


Fig 12. Corrosion Patterns of Anode Specimens

4. 結 論

流電陽極法에 의한 Al合金陽極材料의 Ca-Si를 利用한 Al合金陽極의 分極特性 및 電流效率面에서의 單位重量當의 電流發生量에 대한 影響을 綜合해 보면 다음과 같다.

(1) 分極特性에 미치는 Ca-Si添加의 影響은 Zn含量이 2%일때는 0.05% Ca-Si를 添加

한 合金이 50 hr 후에는 約 40 mV의 陽極電位의 改善을 초래했으며, Ca-Si 0.05%를 4% Zn 및 0.05% In의 Al合金에 添加시키면 陽極電位가 本 實驗中 最大로 改善되어 陽極電流密度 $1,200 \mu A/cm^2$ 에서 $-1.16V(SCE)$ 가 되므로, 同電流密度下에서 $-1.08V(SCE)$ 의 Al-4% Zn-0.05% In 合金보다 우수한 合金이었다.

(2) 单位重量当의 電流發生量을 보면 Zn을 4%, In을 0.02% 含有한 경우에 Ca-Si를 0.05% 添加시키면 發生量은 2.66 Ah/g 으로 電流效率 89%程度로 最大값을 나타냈고, 单位面積当 電氣發生量도 變化하지 않고 비교적 큰 값을 갖게 되므로 陽極面積의 50배 이상의 鐵鋼板을 充分히 防蝕시킬 수가 있다.

(3) 實用현에 있어서 本 實驗에서 가장 우수한 陽極合金材料는 Al-4% Zn-0.03% In-0.05% (Ca-Si) [陽極電流密度 1,000 μA/cm²에서 陽極電位 -1.13 V (SCE), 单位重量当 電流發生量 2.60 Ah/g (電流效率 약 87%) 이다]인 合金材料이었다.

參 考 文 獻

- 1) James D. Gleason; Impressed Current Cathodic Protection for Large Off Shore Platforms. *Materials Performance* 7 (2), 9 (1978)
- 2). 前 田 正 雄; Al-Zn合金의 流電陽極特性에 關する - 考察 6 (30), 157 (1957) 防蝕技術 關する - 考察 6 (30), 57 (1957) 防蝕技術
- 3). 坂 野 武, 戶田一夫; 電氣防蝕用 Al-Zn-In合金陽極の研究 防蝕技術 11(11), 486 (1957)
- 4). R. A. Hine and M. W. Wei; How effective are Aluminum Anodes in sea water? *Materials Protection* 3 (11), 49 (1964)
- 5). 竹 島 一, 太田元久, 玉利昭一; Al電流陽極による 電氣防蝕, 13, 208 p. (1964) 防蝕技術
- 6). J. T. Reding and S. A. Trojcek; Aluminum Anodes Protect Heater Treaters, *Oil and Gas. J.* 66(34), 71 (1968)
- 7). S. N. Smith, J. T. Reding, and Riley, JR.; Development of a Broad Application Saline Water Aluminum Anode - "Galvalum" II. *Materials Performance* 17(3), 32 (1978)
- 8). 坂野 武 (Takeshi Sakano), Kajuo Toda, Masaaki Hanada; Tests on the Effects of Indium for High Performance Aluminum Anodes, 5(12), 45 (1966) *Materials Protection*.
- 9). J. J. Lennox, Jr., M. H. Peterson and R. E. Groover; A Study of Electro-Chemical Efficiencies of Aluminum Galvanic Anode in sea Water. *Materials Protection* 7(2), 33 (1968)
- 10). 李承珥; "化學冶金實驗" 螢雪出版社 p. 158, p. 186 (1977)
- 11). 田大熙; 腐蝕과 防蝕, 海洋大學校 海事出版部, p. 54 (1975)
- 12). R. H. Hausler; Economics of Corrosion Control 17(6), 9 (1978), *Materials Performance*.