國産 Al地金에 의한 Al-Zn-In系와 Al-Zn-In-Sn系의 Al合金陽極의 性能에 관한 硏究

金 基 俊

A Study of the Performance of Al Alloy Anodes of Al-Zn-In System and Al-Zn-In-Sn System which were made of the Korean-made Al Ingot

Kim Kijoon

〈目 次〉

1. 序 論
2. 實驗陽極, 實驗裝置 및 實驗方法
3. 實驗結果 및 考察
4. 結 論
參考 文獻

Abstract

This paper is an attempt to examine the characteristics of the galvanostatic anode which Aluminium alloy anodes made of Korean-made Aluminium ingot have. The Aluminium ingot used in this experiment is the second grade of KS D2304, and the test adopted the Al-Zn-In system and Al-Zn-In-Sn system.

The results of these performance tests are as follows:

1) If the effective elements of Zn, In and Sn are added to the Aluminium ingot, the performance of anodes is improved in a certain specific quantity of each element to be made.
2) The performance tests of Aluminium anodes should be a long-term test more than 50 days, for a short-term test such as 10-day test is not enough.
3) The surface polishing of Aluminium alloy anodes doesn't nearly affect its performance, but the heat treatment and the iron core casting-in improve the performance of anodes much.
4) Among the Al-Zn-In-Sn system alloy made of Korean-made Aluminium ingot, the anode, which is −1,100mV(SCE) and less in the electrode potential, which is more than 85% in the current efficiency and which is excellent in the corrosion pattern, is the Al-2Zn-0.03In-0.02Sn system alloy to be made by the heat treatment and the iron core casting-in.
5) The gas volume, which is generated from anodes when Aluminium alloy anodes are corroded, is nearly in inverse proportion to the current efficiency of its anodes.

1. 序 論

流電陽極은 ① 充分한 電流를 發生시킬 수 있도록 被防蝕體보다 상당히 낮은 電極電位를 가져야 하고, ② 均一하게 잘 溶解하고 單位重量當 많은 電氣量을 發生시켜야 하며, ③ 陽極의 값이 싸고 製作하기 쉬워야 한다는 등의 特性[1),2)]을 具備하여야 한다.

現在 活用되고 있는 流電陽極[3)]에는 Zn, Mg 및 Al의 3種의 合金陽極이 있으며, Mg 合金陽極은 主로 地下埋設物 등의 特殊環境에 利用되고, Zn와 Al의 合金陽極은 主로 海水中의 鐵鋼構造物의 防蝕에 利用되고 있다.

Zn과 Mg의 合金陽極은 使用來歷이 比較的 길므로 이미 工業規格化[4)]까지 이루어져 있으나, Al 合金陽極은 1960年代에 들어와서 硏究되기 始作[5)]하였으므로 아직 開發段階에 머물고 있다. 그러나 Al은 理論的 發生電氣量[6)]이 Mg의 1.35倍, Zn의 3.60倍이고, 比重[7)]은 Mg의 1.55倍이나 Zn의 0.38倍밖에 되지 않으므로 Al 合金陽極은 Zn 合金陽極의 3倍以上의 電氣量을 發生시킬 수 있다. 따라서 Al은 高性能의 陽極으로 開發이 可能할 뿐만 아니라 船體와 같이 重量制限을 받는 곳[8)]에서는 훨씬 더 有效하게 使用할 수가 있다.

Al 合金陽極은 1960年代부터 實用化되기 始作하였으며[9)], 最初로 1964年에 美國特許를 받은 Al-Sn 系(Alcan GB 80S)와 Al-Zn 系(Alcan GB 430)의 二元合金[10)]은 電流效率이 40~50% 밖에 되지 않을 뿐 아니라 表面의 溶解狀態도 좋지 않았고, 1965年 英國特許를 받은 Al-Zn-In 系(Alanode)의 三元合金[11),12)]은 電流效率이 最高로 90%까지 나왔다고 하나 原材와 製造方法에 따라 甚하게 변하였으며, 1967~8年에 特許를 받은 Al-Zn-Hg 系(Galvalum Ⅰ)의 三元合金[13),14)]은 平均 95%內外의 高電流效率과 좋은 表面溶解狀態를 나타내었다. 따라서 Al 合金陽極의 關心이 이 Hg 系에 集中되어 1968年에 英國特許를 받은 四元合金 Al-Zn-In-Mg 系[15)]는 큰 빛을 보지 못하였다. 그러나 1970年代에 들어오면서 부터는 Hg가 甚한 公害物質의 對象이 되기 때문에 이의 使用을 忌避하게 됨으로써 다시 Al 合金陽極의 開發은 非水銀系로 되돌아 오게 되었다. 이 새로운 傾向에 따라 1975年에 Al-Zn-In-Cd 系(HI-AMP)[16),17)]가, 1976年에 Al-Zn-In-Si 系(Galvalum Ⅲ)[18)]가 각각 開發되었다. 이와 거의 同時에 Al-Zn-In-Ca 系의 四元合金 뿐만 아니라 Al-Zn-In-Mg-Ti 系[19)], Al-Zn-In-Mg-Sn 系[20)], Al-Zn-Sn-Bi-Ga 系[21)] 등의 五元合金이 出現해서 非水銀系로서도 溶解狀態가 좋고, 電流效率이 85% 以上인 Al 合金陽極을 活用할 수 있게 되었다.

本 硏究는 國産 Al 地金을 利用하여 Al-Zn-In 系의 三元合金과 또 이에 少量의 Sn을 더 添加한 Al-Zn-In-Sn 系의 四元合金의 Al 合金陽極을 여러 種類로 만들어 性能을 比較함으로써 流電陽極으로서 어떠한 特性을 가지고 있는가를 알아 보고자 하였다.

dCollection

2. 實驗陽極, 實驗裝置 및 實驗方法

2·1 研究對象 陽極과 그 目標性能

Al合金陽極에는 電極電位가 −1.00 V(SCE)內外인 高電位陽極, −1.15 V(SCE)內外인 中電位陽極 및 −1.40 V(SCE)內外인 低電位陽極의 3種이 있으나, 이 중에서 가장 用途가 넓은 中電位 Al合金陽極을 研究對象으로 하였다.

이 研究對象의 Al合金陽極에는 國産 Al地金으로서는 純度가 比較的 높은 것을 利用한 Al-Zn-In系와 Al-Zn-In-Sn系를 採用함으로써 流電陽極의 目標性能을 첫째로 陽極의 表面溶解狀態가 좋고 均一하며, 둘째로 電流効率이 0.5 mA/cm² 의 電流密度下에서 85% 以上이며, 셋째로 陽極製作이 쉽고 性能의 再現性이 높은 것으로 定하였다.

2·2 試料 및 試驗片

國産 Al地金에 國産 Zn地金, 外國産 高純度 In 및 Sn을 原料로 해서 9種의 Al-Zn-In系合金과 18種의 Al-Zn-In-Sn系合金을 鑄造하였고, 이에 Al-Zn-In-Mg系 美國産 Al合金陽極을 1種 追加해서 總 28種의 試驗片을 製作하였다. Table 1은 그 成分組成을 보인 것이다.

Table 1. Alloying Rate of Manufactured Specimens and Chemical Composition of Al-Zn-In-Mg Anode

Kind of Anode	Zn(wt %)	In(wt %)	Sn(wt %)	Al(wt %)
A−1	2	0.01	—	Balance
2	〃	〃	0.02	〃
3	〃	〃	0.04	〃
4	〃	0.02	—	〃
5	〃	〃	0.02	〃
6	〃	〃	0.04	〃
7	〃	0.03	—	〃
8	〃	〃	0.02	〃
9	〃	〃	0.04	〃
B−1	3	0.01	—	〃
2	〃	〃	0.02	〃
3	〃	〃	0.04	〃
4	〃	0.02	—	〃
5	〃	〃	0.02	〃
6	〃	〃	0.04	〃
7	〃	0.03	—	〃
8	〃	〃	0.02	〃

dCollection

9	3	0.03	0.04	Balance
C－1	4	0.01	—	〃
2	〃	〃	0.02	〃
3	〃	〃	0.04	〃
4	〃	0.02	—	〃
5	〃	〃	0.02	〃
6	〃	〃	0.04	〃
7	〃	0.03	—	〃
8	〃	〃	0.02	〃
9	〃	〃	0.04	〃
AA	Zn : 3.67	In : 0.045	Mg : 0.65	Al : Balance

試驗片 製作에 使用된 國産 Al 地金의 成分分析 結果는 Table 2와 같으며, 이것은 KS D2304 第2種 Al 地金 相當品이다.

Table 2. Analysis of Korean-made Aluminium Ingot

Composition	Si	Fe	Cu	Ni	Pb	Al
Weight Percent	0.07	0.27	0.0020	0.074	0.07	Balance

또한 國産 Zn 地金은 鐵分이 65 ppm 程度의 KS D 2351 第3種 亞鉛地金級[23]을 使用했으며 In과 Sn은 試藥 1級品이었다.

各 試驗片은 Fig. 1과 같이 ϕ1.8 cm×5cm로 加工한 後에 ϕ2 mm의 비닐被覆銅線(單線)끝을 그 一端孔에 挿入하여 固定시키고 絶緣테이프와 에폭시樹脂로 陽極作用面 20 cm^2만을 남기고 完全被覆絶緣시켰다. 그리고 各 試驗片은 陽極性能試驗前에 陽極作用面을 Sand Paper 240番으로 硏磨하고 아세톤과 알코올로 脫脂한 後, 陽極重量을 計測하였다. 但, 3·3~3·4의 試驗片에는 表面加工을 하지 않은 것, 熱處理를 한 것 및 鐵心을 鑄込한 것을 使用하였다.

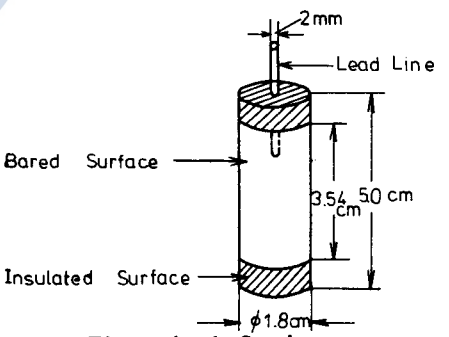


Fig. 1. Anode Specimen

2·3 實驗裝置

試驗片의 分極特性試驗裝置는 Fig. 2와 같이 內面이 陰極으로 作用하는 ϕ40cm×30cm의 鋼製탱크의 中央部에 試驗片을 固定하고, Table 3의 天然海水를 注入하여 電池를 形成시켰으며, 이들과 銅電量計, 回路抵抗器 및 電流計를 直列로 連結하였다.

dCollection

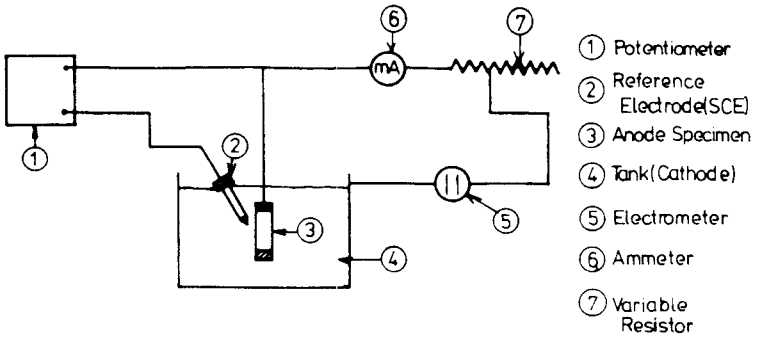


Fig. 2. Schematic Diagram for Experimental Apparatus of Galvanostatic Current Test

Table 3. Qualities of Sea Water used for the Experiment

Water Temperature (℃)	Specific Gravity	Specific Resistance (Ω-cm)	pH	Total Hardness (ppm $CaCO_3$)	Total Alkalinity (ppm $CaCO_3$)	Chloride (ppm Cl^-)
24	1.0231	21.5	7.2	3,555	115	18,567

Fig. 3. Experimental Apparatus of Test

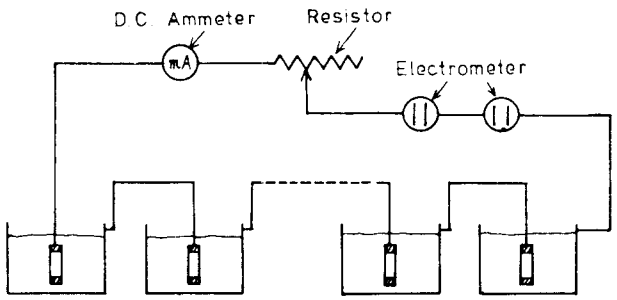


Fig. 4. Schematic Diagram of Series Circuit for Experimental Apparatus of Galvanostatic Current Test

dCollection

試驗片의 定電流試驗裝置는 위의 回路內에 Fig. 3과 Fig. 4와 같이 5個의 試驗槽를 直列로 追加連結하여 6個의 陽極試片을 同時에 試驗할 수 있도록 하였으며, 銅電量計는 2個를 設置하여 그 平均値을 求하였다. 그리고 電極電位는 比較電極과 電位差計를 利用해서 測定하였다.

銅電量計의 陰極과 陽極은 Fig. 5와 같이 5 cm×5 cm×2 mm의 脫酸銅(試料級—日本古川電工社製)을 Sand Paper 600番으로 硏磨한 다음 알코올로 脫脂한 後 重量을 計測하였고, 陰極은 그 兩面 合計面積 3 cm^2만을 남기고 비닐테이프로 被覆絶緣하였으며 試驗槽(Beaker)內에는 電解液을 注入하였다.

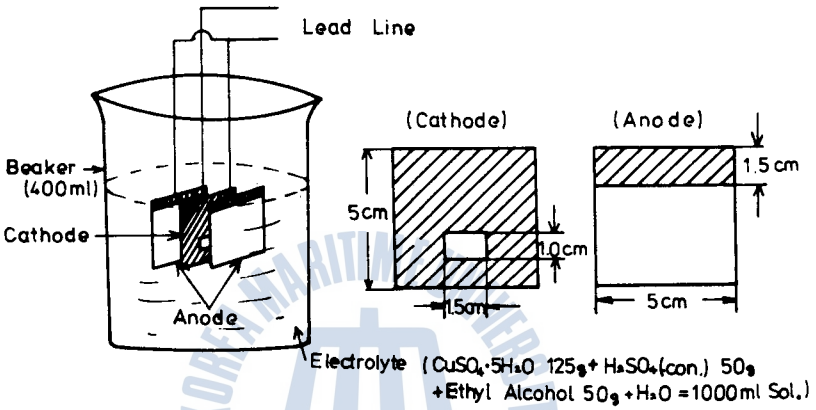


Fig. 5. Details of Copper Electrometer

回路抵抗調節器는 200 cm의 가는 니크롬線을 使用해서 回路抵抗을 適切히 精密調節할 수 있도록 하였다.

그리고 試驗에 使用된 測定計器는 다음과 같다.

- 電位差計 : High Resistance Voltmeter. $1.1\times10^{-7}\Omega$/V(Yokokawa Electric work)
- 比較電極 : Saturated Calomel Electrode(Shimadzu Co.)
- 直流電流計 : Multi-tester. TM-707(Taekwang Co.)

2·4 實驗方法

流電陽極의 性能檢査는 日本學術振興會에서 制定한 試驗法[24]에 準해서 實施하였다.

定電流試驗은 Fig. 4의 裝置에서 陽極電流密度를 0.5 mA/cm^2(全電流 10mA)로 調節하면서 第1段階試驗에서는 240時間(10日間), 第2段階試驗에서는 1,440時間(60日間) 實施하였으며, 이 試驗이 끝난 後 回路를 遮斷하고 電極電位(自然電位)를 測定하였다. 이에 이어서 陽極電流密度를 段階的으로 0→1.0 mA/cm^2로 變化시켜 가면서 分極特性試驗을 實施하였다.

以上의 實驗이 끝난 後에 流電陽極試驗片을 꺼내어 브라시로 水洗한 後 80℃의 4% 無水 크롬酸과 10% 燐酸溶液의 1:1 混合液中에서 1分間 浸漬하여 附着物을 除去한 다음 乾燥시켜 그 重量減少量을 計測하였다. 이와 同時에 銅電量計의 陰極과 陽極도 被覆物을 벗기고 알코올로 洗滌한 다음 重量 變化量을 計測해서 流電陽極試片의 電流效率을 計算하였다. 그리고 定電流試驗曲線과 分極特

性試驗曲線을 그려 比較하였으며 試驗片의 表面溶解狀態를 對照하였다.

第1段階實驗에서 流電陽極의 性能이 優秀한 4種의 陽極을 選擇해서 第2段階實驗을 實施하였으며, 第3段階實驗에서는 이들 陽極의 熱處理[7], 表面研磨, 鐵心鑄込[8] 및 氣泡發生[9] 등이 陽極 性能에 미치는 影響을 調査하였다.

Al 合金陽極의 電流效率은 다음과 같이 計算할 수 있다. Cu^{++}와 Al^{+++}의 電氣化學當量이 각각 1.185 g/Ah와 0.33557 g/Ah이므로 銅電量計로 求해지는 電氣量은 陰極板 銅附着量(g)/1.185(g/Ah)이고, Al 陽極의 理論的發生電氣量은 電氣化學當量의 逆數인 2.980 Ah/g이므로 電流效率은 다음과 같다.

$$\text{電流效率}(\%) = \frac{\text{銅電量計에 의한 電氣量(Ah)} \times 100}{\text{Al 合金陽極減少量(g)} \times \text{Al 理論的發生電氣量(Ah/g)}}$$

$$= 28.32 \times \text{銅電量計陰極增加量(g)/Al 合金陽極減少量(g)}$$

또한 陽極溶解狀態는 다음과 같이 6等級으로 分類하여 判定하였으며 Fig. 6은 이들의 溶解狀態를 보인 것이다.

A—95% 以上(均一溶解)　　B—85% 以上

C—70% 以上　　D—50% 以上(部分的 溶解)

E—50% 以下(點蝕과 黑變)　　F—30% 以下(一部 集中溶解)

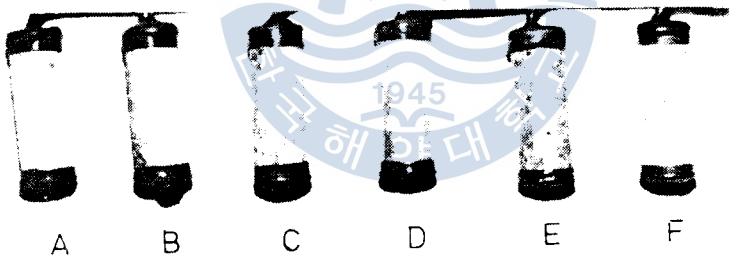


Fig. 6. Corrosion Pattern of Anode Specimens

3. 實驗結果 및 考察

3·1 Al 合金의 陽極性能에 미치는 添加元素 影響

現在 Al 地金으로 調製한 Al 合金陽極에 添加한 In, Zn, Sn의 有效元素가 陽極性能에 어떤 影響을 주는가를 定電流試驗時와 分極特性試驗時의 陽極의 電位變化, 分極量, 電流效率 및 溶解狀態의 面에서 살펴 보았다.

1) Al-Zn 系合金에 미치는 In의 添加影響

Al-2 Zn의 合金에 In을 각각 0.01%, 0.02% 및 0.03%씩 添加한 三元合金陽極에 대해서 陽極性能을 試驗한 結果는 다음과 같다.

Fig. 7a는 定電流試驗을 通해서 調査한 電位變化를 表示한다. In 添加量이 0.01%인 것에서는 陽極

의 分極電位가 −1,000 mV(SCE)以上이었으며 最低電位까지 到達하는데 約 5日이 所要되었으나, In 添加量이 0.02%와 0.03%인 것에서는 最低電位에 到達하는데 6~12時間程度 밖에 걸리지 않았고 陽極의 分極電位도 −1,100 mV 以下의 低電位를 나타냈다. 通電初期에 陽極의 分極電位가 急降下한 것은 陽極表面에 덮혀있던 酸化皮膜이 電流가 흐름에 따라 急速히 除去되기 때문이라고 推測된다. 이와 같은 現象은 Al-3 Zn 合金과 Al-4 Zn 合金에서도 같은 傾向을 보여 주었다.

Fig. 7b는 分極特性試驗을 通해서 調査한 電位變化를 보인 것이다. 定電流試驗에서와 같이 이 試

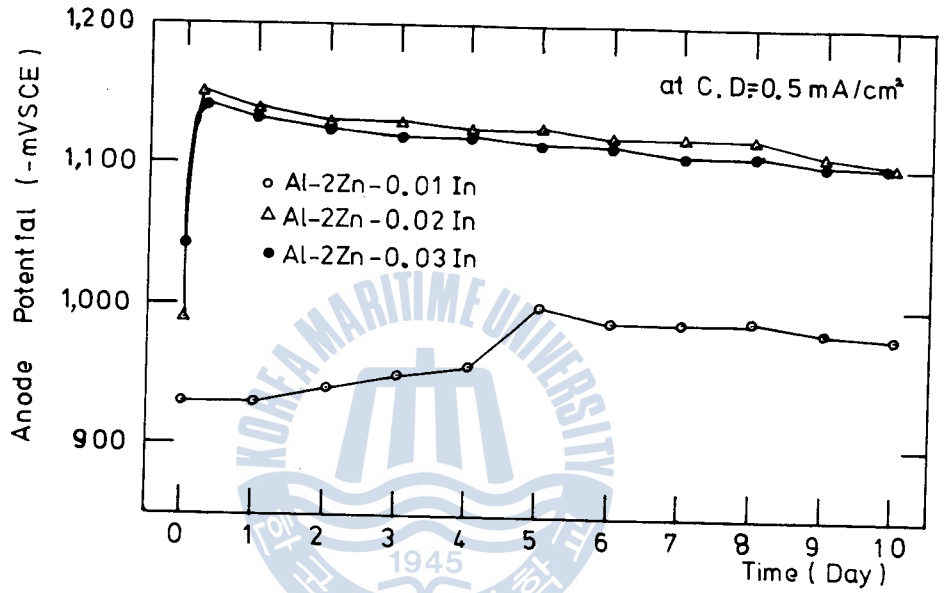


Fig. 7a. Effect of Indium on Anode Potential vs Time of Al-2Zn Alloys

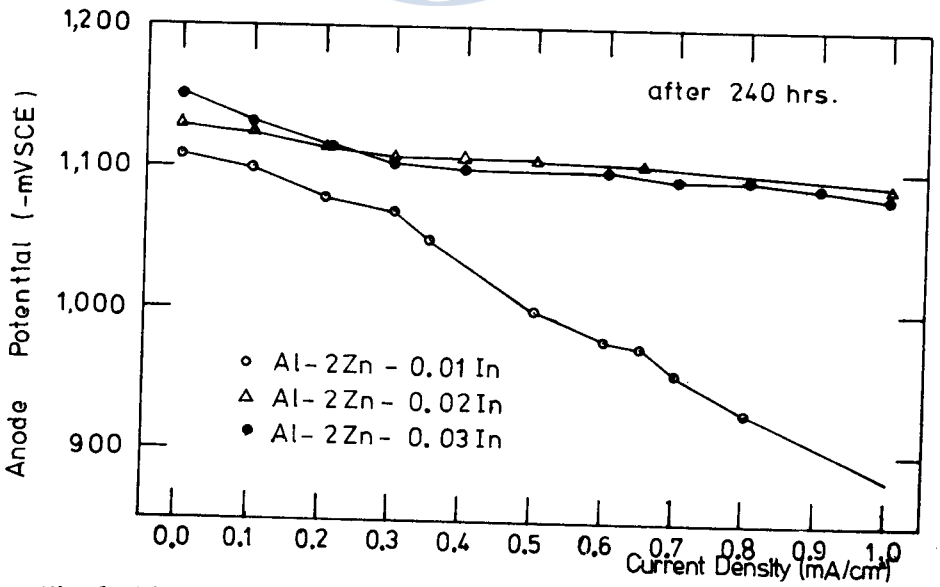


Fig. 7b. Effect of Indium on Anode Potential vs Current Density of Al-2Zn Alloys

dCollection

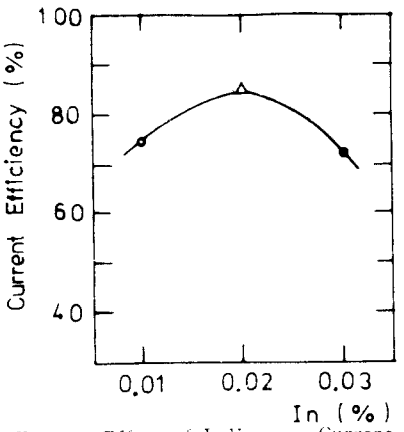


Fig. 7c. Effect of Indium on Current Efficiency of Al-2Zn Alloys at C. D. =0.5 mA/cm

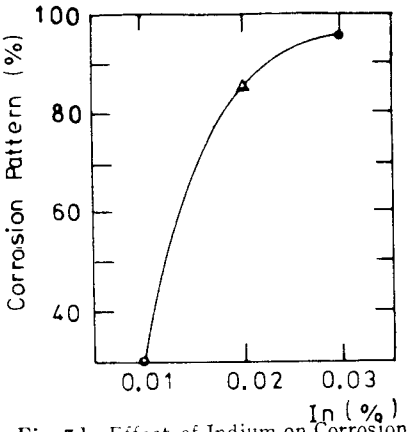


Fig. 7d. Effect of Indium on Corrosion Pattern of Al-2Zn Alloys at C. D. = 0.5mA/cm²

域에서도 0.01% In의 것에서는 陽極의 分極電位가 −1,100 mV 以上의 高電位였고 陽極電流密度 0 mA/cm 와 1.0 mA/cm 에서의 陽極電位差가 무려 200 mV 以上이나 되었으나, 0.02% In과 0.03% In의 陽極에서는 分極電位가 −1,100 mV 以下였고 0~1.0 mA/cm² 의 陽極電流密度區間의 電位差도 60 mV 에 不過했다.

Fig. 7c에서 電流効率은 0.02% In의 陽極에서 85%程度로 改善되고 있으며, Fig. 7d의 陽極溶解狀態는 0.02% In과 0.03% In의 것에서 85%以上의 좋은 狀態를 보인 반면에 0.01% In의 것에서는 甚한 一部 集中腐蝕으로 溶解狀態가 좋지 않았다.

따라서 Al-2 Zn 合金에는 0.02%의 In을 添加한 陽極이 分極電位가 −1,100 mV 以下이고 電流効

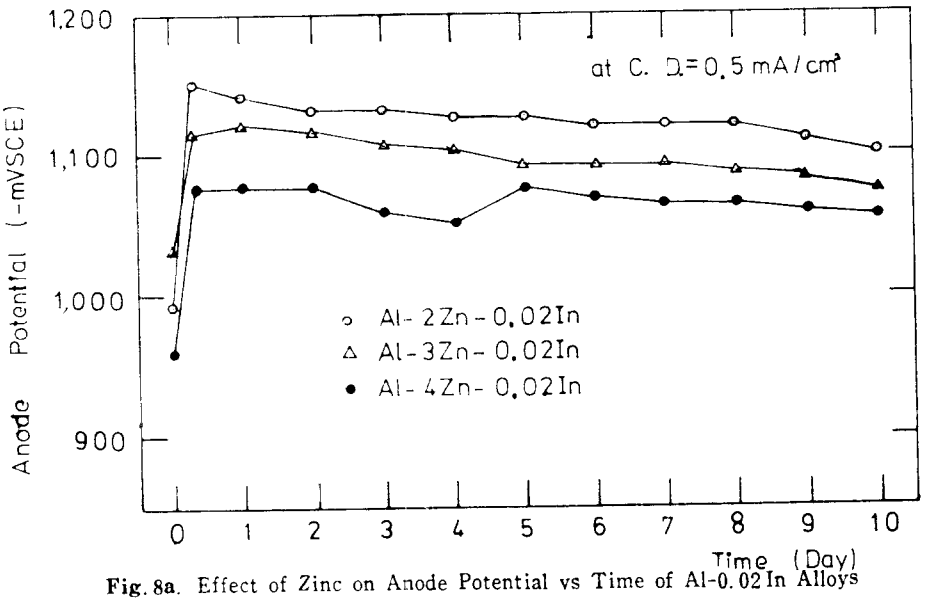


Fig. 8a. Effect of Zinc on Anode Potential vs Time of Al-0.02 In Alloys

dCollection

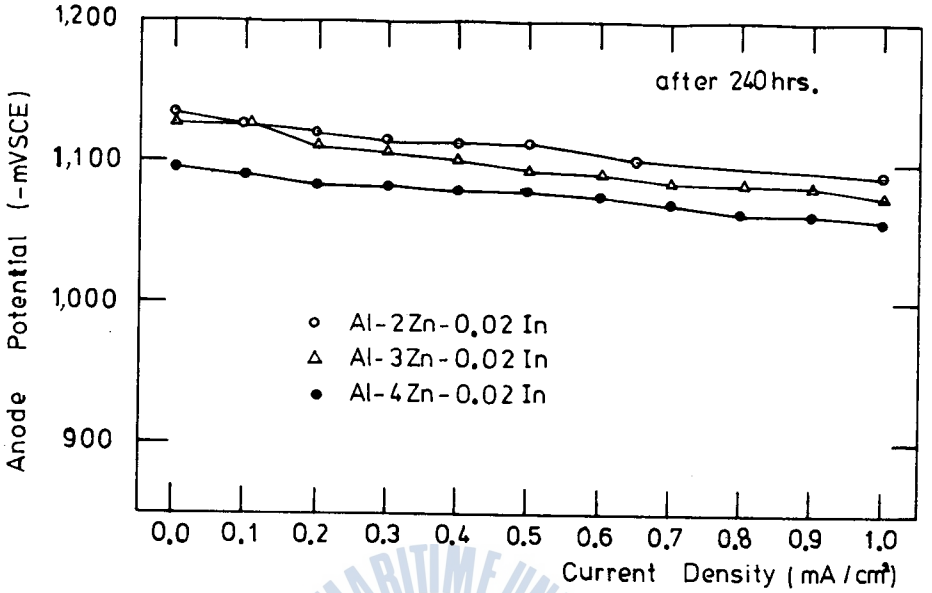


Fig. 8b. Effect of Zinc on Anode Potential vs Current Density of Al-0.02 In Alloys

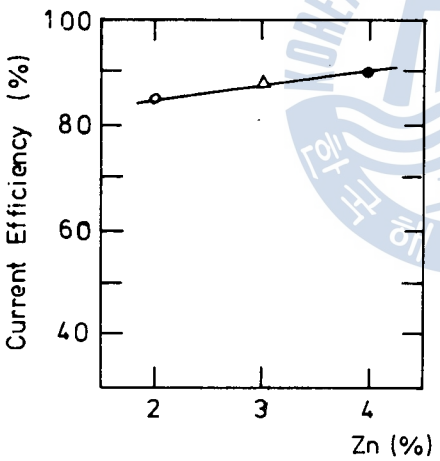


Fig. 8c. Effect of Zinc on Current Efficiency of Al-0.02 In Alloys at C.D. =0.5 mA/cm²

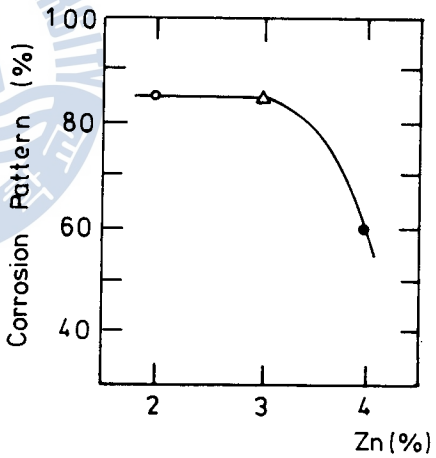


Fig. 8d. Effect of Zinc on Corrosion Pattern of Al-0.02 In Alloys at C.D. =0.5 mA/cm²

率이 85%程度이며 溶解狀態가 85%以上으로서 陽極性能이 優秀하다는 것을 알 수 있었다.

2) Al-In系合金에 미치는 Zn의 添加影響

Al-0.02 In 合金에 Zn을 각각 2%, 3% 및 4%씩 添加함에 따라 陽極性能이 어떻게 變하는가를 調査하였다.

Fig. 8a 와 Fig. 8b는 이 合金의 定電流試驗과 分極特性試驗의 結果이며, 어느 境遇나 Zn添加量이 2%일 때 分極電位가 −1,100 mV 以下로서 陽極電位가 가장 낮았고 3%, 4%順으로 점차 上昇하는 傾向을 보였다.

dCollection

Fig. 8c는 이 合金陽極의 電流效率을 表示하며 Zn 添加量이 많아질수록 그 效率이 若干씩 改善되고, 거의 85%以上의 效率을 보여주고 있다. 또 Fig. 8d는 同陽極의 溶解狀態를 表示한 것으로서 Zn 含有量이 2%와 3%의 範圍에 85%程度의 溶解狀態를 보이나 4%일 때는 70%以下로 溶解狀態가 나빴다.

따라서 Al-0.02 In 合金에 2%의 Zn을 添加한 陽極에서 陽極電位가 −1,100 mV 以下, 電流效率이 85%以上, 溶解狀態가 85%以上의 좋은 陽極性能을 보여주며, Zn 3%의 陽極도 比較的 良好한 狀態라는 것을 알 수 있었다.

3) Al-Zn-In 系合金에 미치는 Sn의 添加影響

Al-2 Zn-0.02 In 合金에 Sn을 添加하지 않은 三元合金과 0.02%와 0.04%씩을 添加한 四元合金의 陽極性能을 比較해 보면 다음과 같다.

Fig. 9a와 Fig. 9b는 이 合金의 定電流試驗과 分極特性試驗의 結果이며, Sn을 添加한 合金이나 添加하지 않은 合金이 모두 陽極電位가 거의 같은 程度를 나타내고 있다.

Fig. 9c와 Fig. 9d는 이 合金의 電流效率과 溶解狀態를 表示한 것으로서 Sn을 0.02% 添加한 合金이 電流效率이나 溶解狀態가 가장 좋고 Sn을 0.04% 添加한 것은 溶解狀態가 아주 不良하다.

따라서 Al-2 Zn-0.02 In 合金에 Sn의 添加는 그 電極電位에 거의 影響을 미치지 않으나 Sn을 0.02% 添加하면 電流效率이 87%, 溶解狀態가 95%以上으로서 陽極性能이 아주 좋아진다는 것을 알 수 있다.

以上의 結果를 綜合하면 陽極의 平均電位(分極電位와 分極量), 電流效率 및 溶解狀態의 三者의 見地에서 Al 合金陽極에는 In가 0.02%以上, Zn가 3%以下, Sn가 0.02%程度로 添加되어야 한다는 것을 알 수 있다.

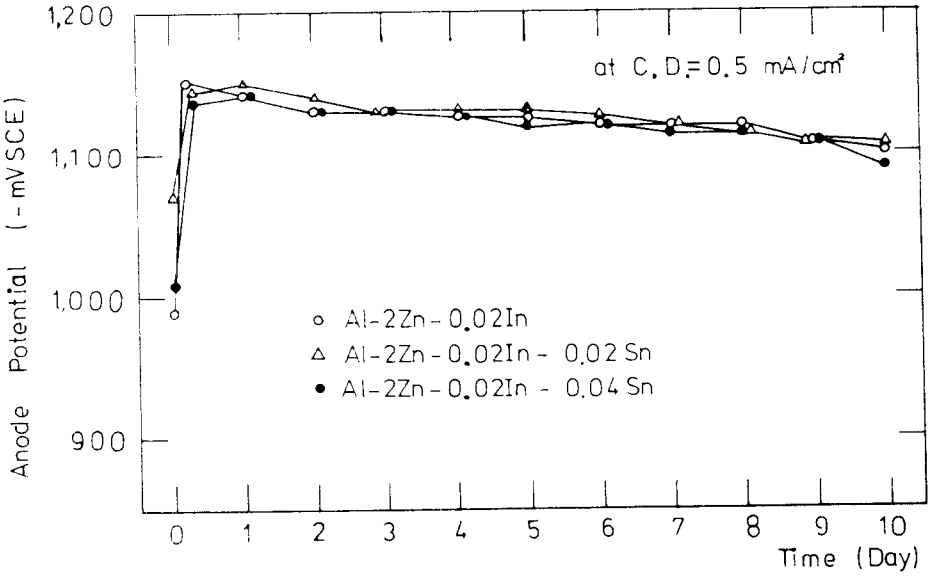


Fig. 9a. Effect of Tin on Anode Potential vs Time of Al-2Zn-0.02 In Alloys

dCollection

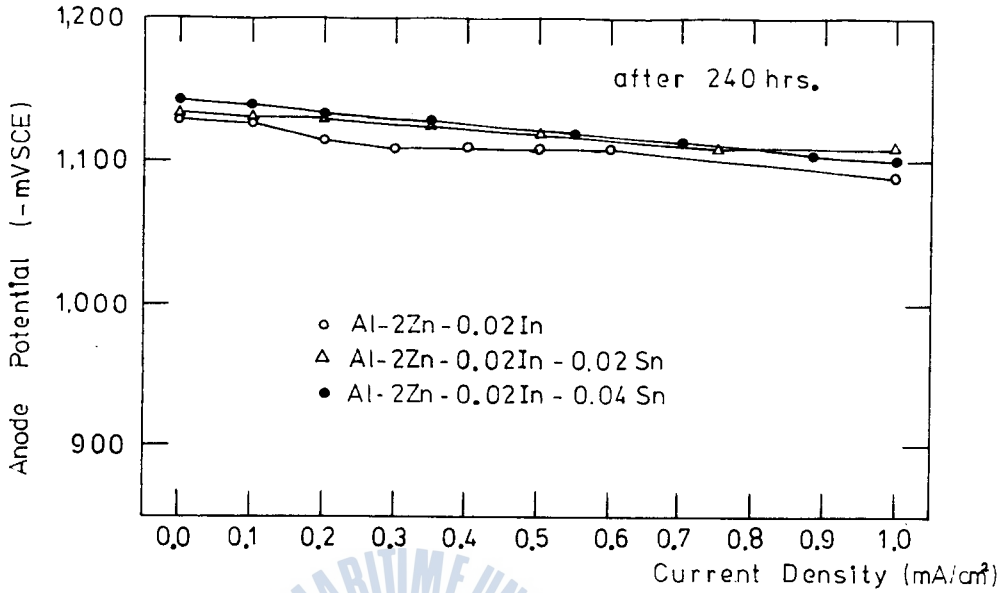


Fig. 9b. Effect of Tin on Anode Potential vs Current Density of Al-2 Zn-0.02 In Alloys

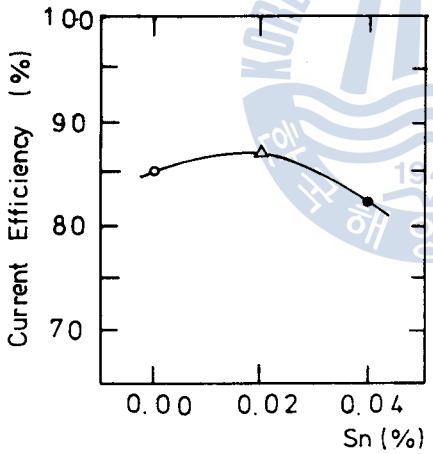


Fig. 9c. Effect of Tin on Current Efficiency of Al-2 Zn-0.02 In Alloys at C.D. =0.5 mA/cm²

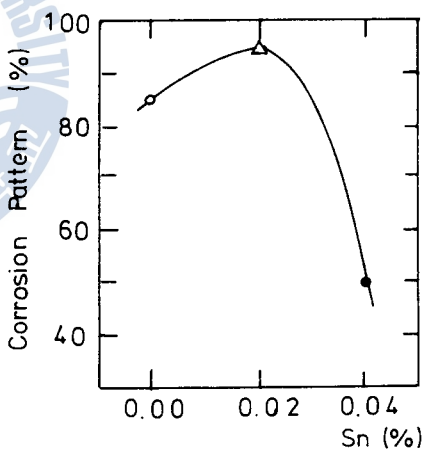


Fig. 9d. Effect of Tin on Corrosion Pattern of Al-2 Zn-0.02 In Alloys at C.D. =0.5 mA/cm²

3·2 Al 合金陽極의 性能比較

以上의 硏究結果에 의하면 Zn, In 및 Sn의 세 元素는 그 添加量에 따라 Al 合金陽極의 性能을 改善한다는 것을 알 수 있었다. 그러므로 國産 Al 地金에 이들의 세 元素를 微量씩 添加하여 Al-Zn-In 系 三元合金 9種과 Al-Zn-In-Sn 系 四元合金 18種을 만들고 이에 美國産 Al-Zn-In-Mg 系 四元合金 1種을 追加해서 이들의 全 流電陽極에 對해서 性能을 調査하였다. Table 4는 그 結果이다.

Table 4에서 平均電位는 定電流試驗에서 1日 1回씩 240時間 測定한 陽極電位의 平均値이고, 分

dCollection

Table 4. Performance Data on Al-Zn-In, Al-Zn-In-Sn and Al-Zn-In-Mg Anodes

Kind of Anode	Galvanostatic * Current Test		Polarization Characteristic Test		Natural Potential (-mV SCE)	Current * Efficiency (%)	Corrosion * Pattern
	Average Potential (mV SCE)	Differential Potential (mV)	Average Potential (mV SCE)	Differential Potential (mV)			
A—1	971	—	1,026	—	1,110	75.3	F
2	934	—	939	—	965	63.0	E
3	936	—	945	—	985	66.2	E
4	1,122	40	1,111	40	1,130	85.4	B
5	1,126	45	1,121	35	1,135	87.3	A
6	1,120	50	1,124	45	1,145	81.7	D
7	1,117	30	1,107	60	1,150	70.8	A
8	1,118	25	1,102	55	1,130	76.5	A
9	1,118	25	1,112	45	1,140	79.2	A
B—1	1,014	—	1,056	—	1,140	75.3	E
2	949	—	958	—	995	74.0	E
3	950	—	958	—	1,000	76.9	E
4	1,095	50	1,099	60	1,135	88.1	B
5	1,097	45	1,096	50	1,125	86.3	B
6	1,100	50	1,102	50	1,130	90.8	C
7	1,090	45	1,094	10	1,100	88.4	C
8	1,095	50	1,097	15	1,105	83.4	B
9	1,097	55	1,095	10	1,100	86.1	C
C—1	956	—	954	—	965	80.9	E
2	939	—	961	—	975	82.6	E
3	941	—	946	—	955	81.7	E
4	1,065	20	1,077	35	1,095	90.4	D
5	1,081	30	1,091	15	1,100	80.1	C
6	1,078	40	1,091	15	1,100	86.5	C
7	1,095	50	1,080	20	1,090	81.3	B
8	1,097	20	1,092	15	1,100	76.0	A
9	1,088	60	1,088	15	1,095	79.0	A
AA	1,101	45	1,098	70	1,145	81.0	A

* at C.D. =0.5 mA/cm² for 240 hrs. (10 Days)

KOREA MARITIME UNIVERSITY 1945 한국해양대학교

分極試驗에서는 電流密度를 0 mA/cm²에서부터 1.0 mA/cm² 까지 0.1 mA/cm² 間隔으로 變化시켜 가면서 각 電流密度에서 測定한 陽極電位를 平均한 값이다. 이 平均電位는 In을 0.01% 含有한 陽

dCollection

極을 除外하고는 모두 −1,065 mV(SCE) 以下이며 Al合金陽極電位로서 適當하다. 또 電位差는 分極特性試驗의 境遇는 0 mA/cm² 에서와 1.0 mA/cm² 에서의 陽極電位差를 表示하며, 自然電位는 10日間의 定電流試驗後 回路를 遮斷하여 無通電狀態에서 測定한 陽極電位를 나타내고 있다. 定電流試驗과 分極特性試驗에서의 電位變化量은 In을 0.01% 含有한 陽極을 除外하고는 60 mV 以下였으나 In을 0.01% 含有한 陽極만은 定電流試驗에서 最低電位까지 到達하는데 5日以上이나 걸렸고, 그 電位의 變化도 不規則하였으며 分極特性試驗에서는 電位差가 100 mV 以上이나 되었다. 이 電位變化量은 적을수록 陽極의 分極特性이 良好함을 나타낸다.

또 陽極의 電流效率과 溶解狀態는 0.01%의 In을 含有한 陽極을 除外하고는 大體로 In의 含量이

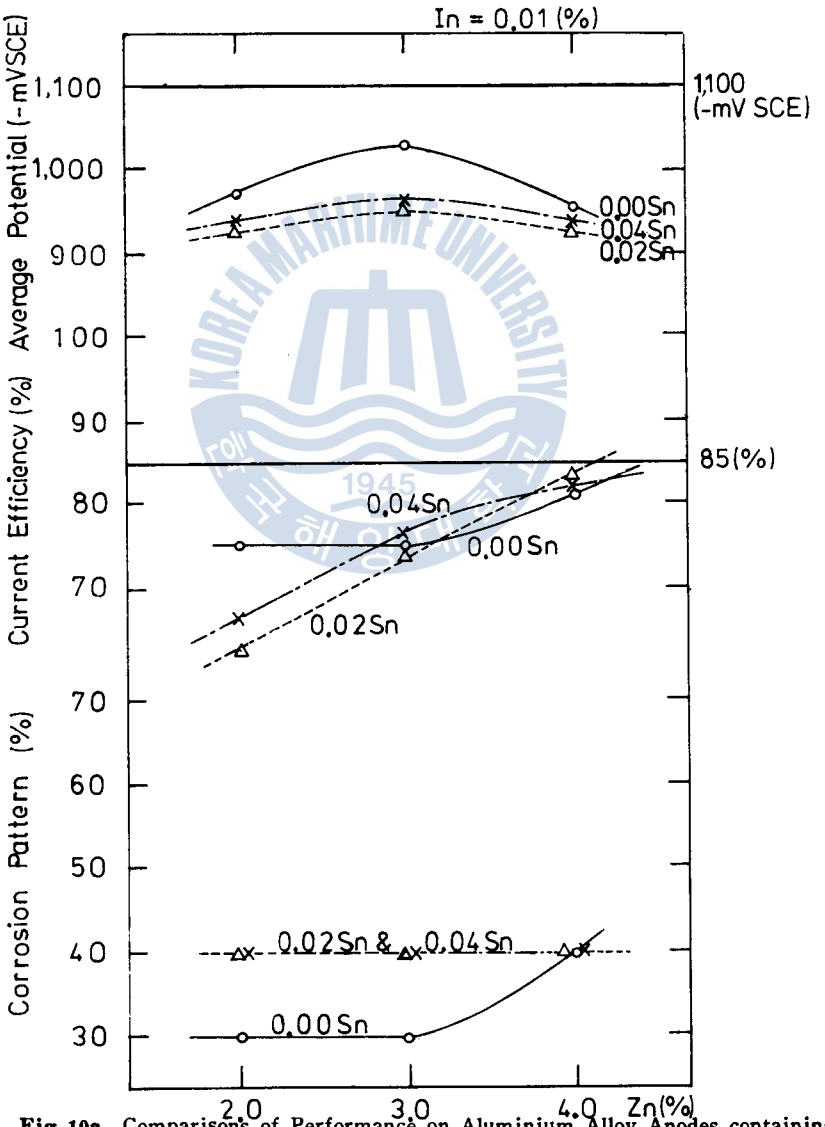


Fig. 10a. Comparisons of Performance on Aluminium Alloy Anodes containing 0.01% In at C.D. =0.5 mA/cm²

0.02%에서 0.03%로 많아질수록 溶解狀態가 좋아지나 電流效率이 反對로 낮아지는 傾向을 가지고 있다. 이 現象은 In가 高電位成分이므로 3·5의 說明과 같이 Al와 局部電池를 形成해서 溶解狀態를 向上시켜주는 反面에 電流效率을 낮추는 것으로 생각된다.

Fig. 10a, b, c는 Al 合金陽極의 性能과 價格 兩面에서 가장 큰 影響을 미치는 有效元素인 In의 添加量을 基準으로 하여 陽極의 平均電位(電位와 分極量), 電流效率 및 溶解狀態의 三者에 의해 Table 4의 陽極性能을 具體的으로 比較한 것이며, 그 結果는 다음과 같다.

1) 0.01% In을 含有한 合金陽極의 境遇

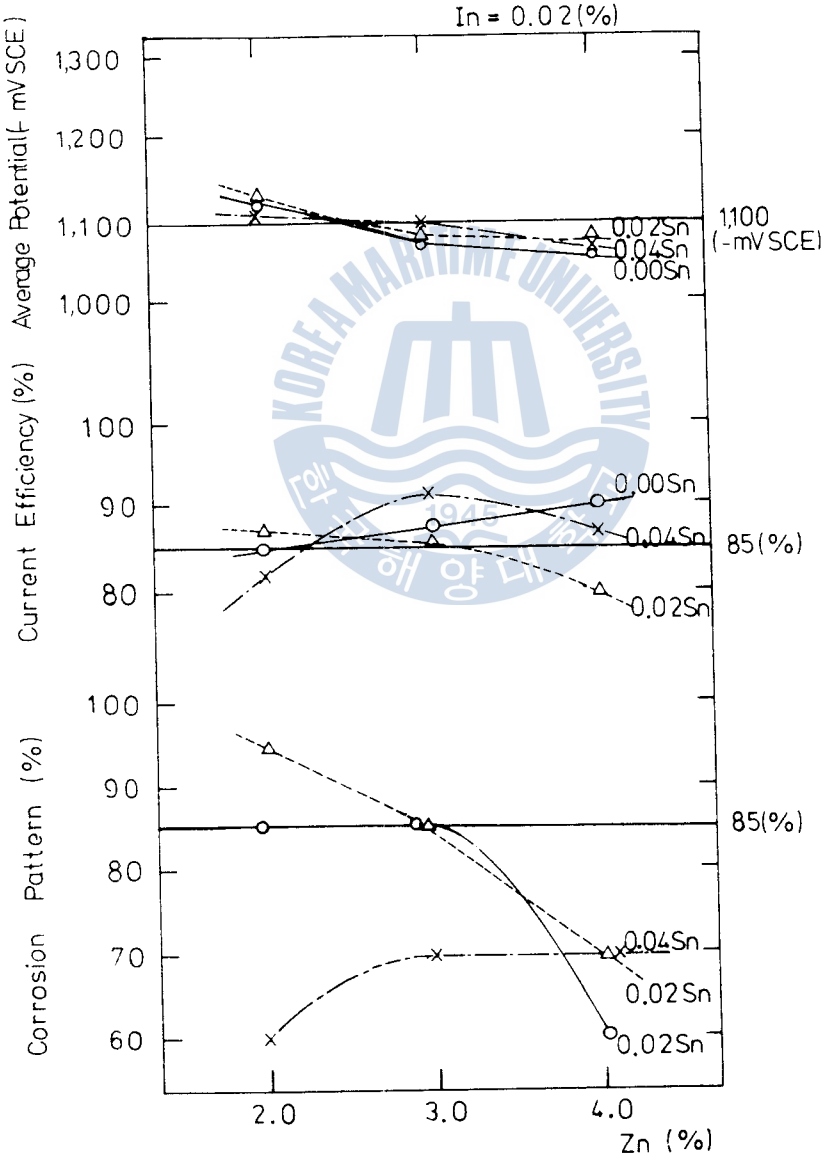


Fig. 10b. Comparisons of Performance on Aluminium Alloy Anodes containing 0.02% In at C.D. =0.5mA/cm²

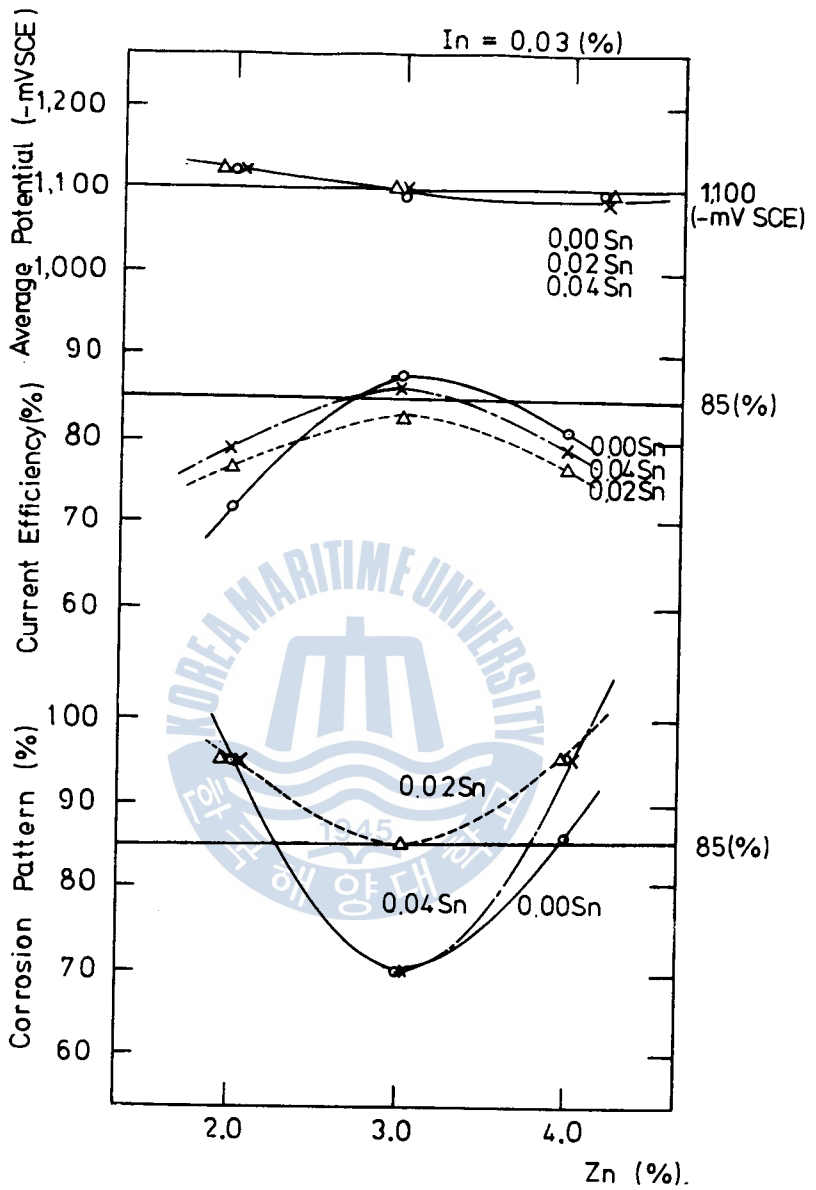


Fig. 10c. Comparisons of Performance on Aluminium Alloy Anodes containing 0.03% In at C.D. =0.5 mA/cm²

In 含量이 0.01%인 Al 合金에 Zn과 Sn의 含量을 變化시킬 때 그 平均電位, 電流效率 및 溶解狀態를 圖示하면 Fig. 10a 와 같이 된다. 平均電位는 3% Zn의 것에서 −1,000 mV(SCE)以下이고 그 外의 것은 모두 −1,000 mV 以上의 高電位를 나타내고 있으며, 電流效率도 Zn 量이 많아짐에 따라 改善되나 모두 85%以下였고, 溶解狀態도 50%以下로 甚한 點蝕과 一部 集中溶解가 發生하였다.

그러므로 In 含有量이 0.01%인 Al 合金은 流電陽極으로서의 性能이 顯著하게 낮음을 알 수 있었다.

2) 0.02% In 을 含有한 合金陽極의 境遇

In 含量이 0.02%인 Al 合金의 陽極特性은 Fig. 10b와 같이 된다. 平均電位는 Zn 含量의 增加함에 따라 若干 上昇하는 傾向을 보였으나 이들은 모두 −1,080 mV 以下로 中電位系 犧牲陽極으로서는 좋은 狀態였다. 또한 電流效率도 2% Zn와 0.04% Sn 나 4% Zn와 0.02% Sn을 含有한 것을 除外하고는 모두 85%以上이었다. 그러나 溶解狀態가 85%以上인 것은 Al-2 Zn-0.02 In(A-4), Al-2 Zn-0.02 In-0.02 Sn(A-5), Al-3 Zn-0.02 In(B-4) 및 Al-3 Zn-0.02 In-0.02 Sn(B-5)의 4種 뿐이었다. 특히 90%以上의 높은 電流效率을 보인 Al-3 Zn-0.02 In-0.04 Sn(B-6)와 Al-4 Zn-0.02 In(C-4)의 두 陽極은 溶解狀態가 70%程度 밖에 되지 않았다.

그러므로 0.02% In을 含有한 Al 合金은 電極電位와 電流效率의 面에서는 좋으나 溶解狀態가 Zn과 Sn의 含量에 큰 影響을 받는다는 것을 알 수 있고, 陽極性能이 比較的 優秀한 것은 上記 4種 뿐이라는 것을 알 수 있다.

3) 0.03% In을 含有한 合金陽極의 境遇

Fig. 10c에서 平均電位는 0.02% In의 境遇와 같이 Zn 含量에 따라 若干 上昇하는 傾向을 보였으며, 모두 −1,100 mV(SCE)內外의 低電位를 나타냈다. 電流效率은 Zn 含量이 3%의 것에서 最高로 되나 85%以上의 效率을 갖는 陽極은 Al-3 Zn-0.03 In(B-7)과 Al-3 Zn-0.03 In-0.02 Sn(B-8) 뿐이었다. 또 溶解狀態는 電流效率과 正反對로 Zn 含量이 3%인 것에서 最低가 되었으며, 電流效率이 85%以上인 B-7과 B-8의 Al 合金도 溶解狀態가 70%程度 밖에 되지 않았다.

그러므로 In 含有量이 0.03%인 Al 合金은 電極電位는 充分하나, 電流效率과 溶解狀態가 相反關係에 있으므로 陽極의 제 性能을 同時에 滿足시키는 것이 없다.

以上의 結果를 綜合하면 流電陽極의 基本性能인 陽極의 平均電位(分極電位와 그 分極量), 電流效率 및 溶解狀態의 三者의 見地에서 Al-2 Zn-0.02 In(A-4)와 Al-2 Zn-0.02 In-0.02 Sn(A-5) 및 Al-3 Zn-0.02 In(B-4)와 Al-3 Zn-0.02 In-0.02 Sn(B-5)의 4種의 合金이 가장 高性能을 나타냈으며, 研究目標値 以上이었다.

3·3 Al 合金陽極의 60日間 長期性能試驗

以上의 實驗結果에 의하면 陽極의 平均電位가 −1,080 mV 以下이고 電流效率이 85%以上이며 溶解狀態가 85%(B級)以上인 陽極은 Al-2 Zn-0.02 In(A-4), Al-2 Zn-0.02 In-0.02 Sn(A-5), Al-3 Zn-0.02 In(B-4) 및 Al-3 Zn-0.02 In-0.02 Sn(B-5)의 4種 뿐이다. 그러므로 이들의 陽極特性의 再現性과 長期間의 特性維持를 確認하기 위해서 試驗片을 다시 調製하여 60日間의 長期性能試驗을 實施하였다.

Fig. 11a와 Fig. 11b 및 Table 5는 그 結果를 보인 것이다. 60日間의 定電流試驗에 의한 陽極의 平均電位는 4種의 陽極 모두 −1,100 mV 內外로 低電位를 나타냈으며 1日後와 60日後의 電極電位差도 60 mV 以下였다. 分極特性試驗의 平均電位도 거의 −1,080 mV 內外였으며 그 電位差는 70~85 mV로 240時間의 短期試驗때보다 若干 增加하였다. 自然電位는 거의 變化가 없었고 電流效率은 A-4가 85%以下로 떨어진 反面에 B-4와 B-5는 90%以上의 高效率을 나타냈다. 또 陽極의 溶解狀態는 240

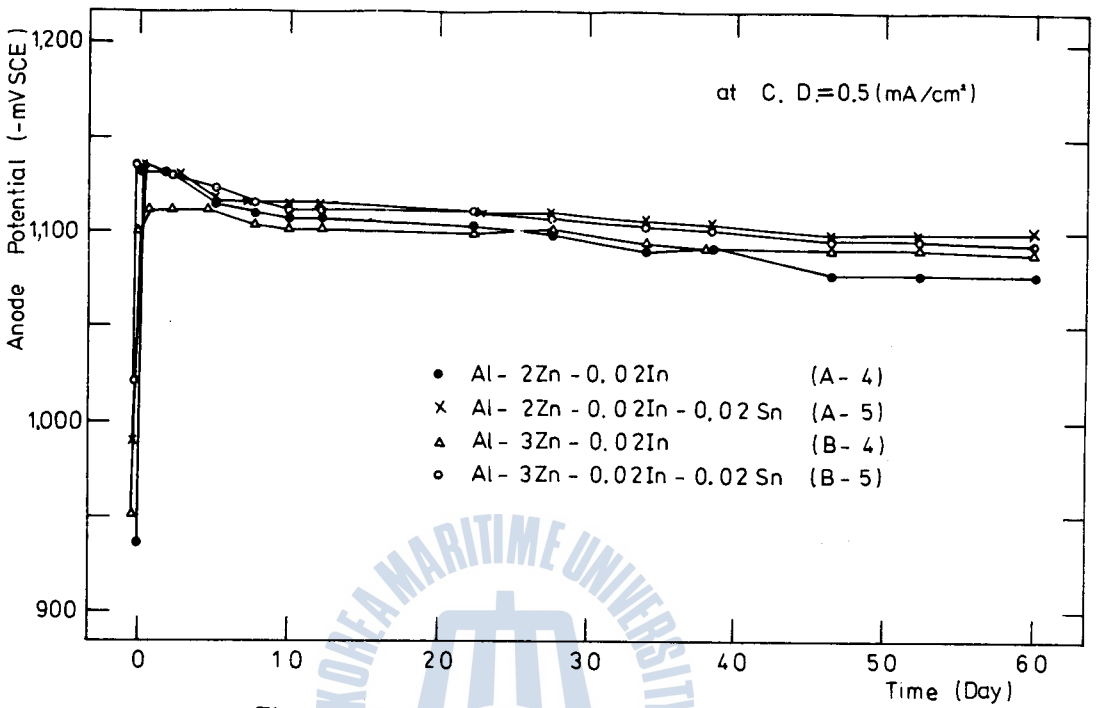


Fig. 11a. Variations of Polarization Potential of Aluminium Alloy Anodes for 1, 440 hrs. (60 Days)

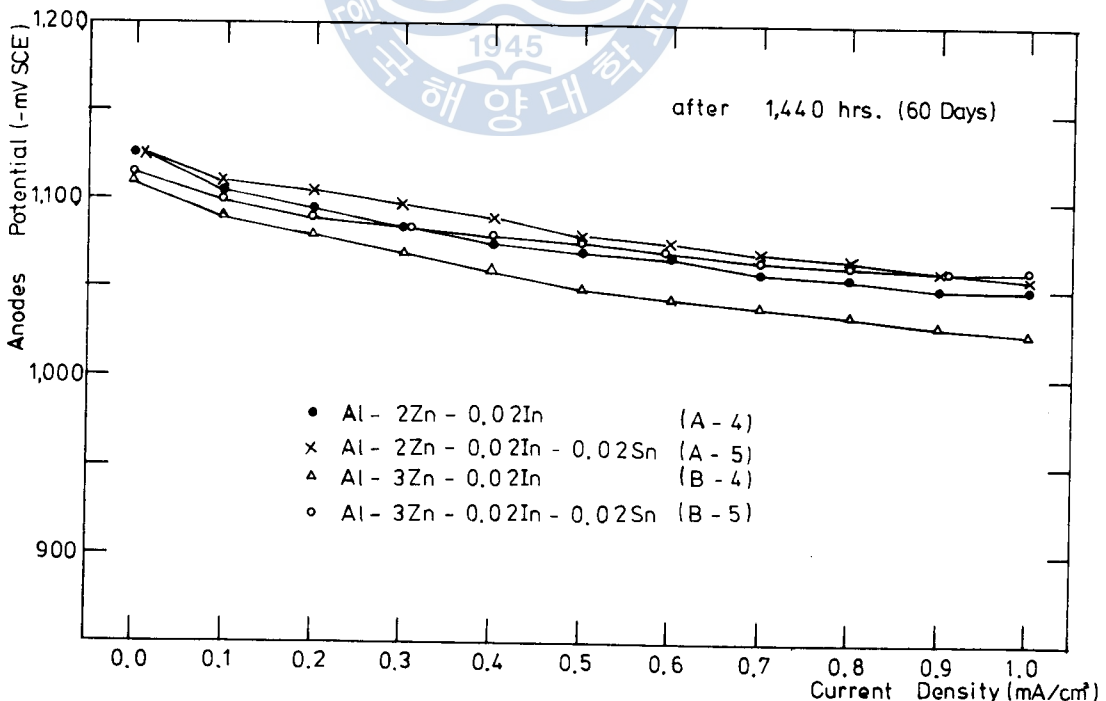


Fig. 11b. Variations of Anode Potential vs Current Density of Aluminium Alloy Anodes for 1, 440 hrs. (60 Days)

KOREA MARITIME UNIVERSITY 1945 한국해양대학교

dCollection

時間의 短期試驗에서 모두 85%以上이었으나 長期試驗에서는 모두 C(70%)級으로 떨어졌으며, 甚한 孔蝕狀으로 溶解하였다. Fig. 12는 이들의 溶解狀態를 보인 것이다.

Table 5. Performance Data on Al-2~3 Zn-0.02 In-0~0.02 Sn Anodes

Kind of Anode	Galvanostatic * Current Test		Polarization Characteristic Test		Natural Potential (-mV SCE)	Current * Efficiency (%)	Corrosion * Pattern
	Average Potential (mV SCE)	Differential Potential (mV)	Average Potential (mV SCE)	Differential Potential (mV)			
A-4	1,096	50	1,075	75	1,125	80.0	C
5	1,110	30	1,085	70	1,130	86.5	C
B-4	1,096	20	1,058	85	1,125	90.6	C
5	1,106	40	1,078	75	1,125	91.4	C

* at C.D. = 0.5 mA/cm² for 1,440 hrs. (60 Days)

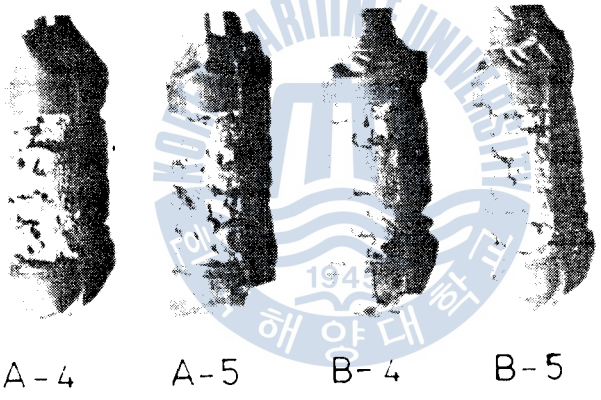


Fig. 12. Corrosion Patterns of Al-2~3 Zn-0.02 In-0~0.02 Sn Anodes after 1,440 hrs. (60 Days)

以上의 結果를 綜合하면 240時間의 短期試驗에서 陽極性能이 優秀하였던 前記 4種의 Al 合金의 陽極性能은 長期間에 걸쳐서 電極電位가 充分히 낮고 電極電位의 變化가 적으며 電流效率도 A-4를 除外하고는 良好하나 이들 Al 合金의 溶解狀態가 C級으로 孔蝕된다는 것을 알 수 있다. 그러므로 不純物이 比較的 많이 含有된 國産 Al 地金으로 Al 合金陽極을 調製하는데는 어떻게 하여야 陽極의 溶解狀態가 均一하게 改善되는가를 계속 究明하여야 하겠다.

3·4 Al 合金陽極의 性能에 미치는 熱處理, 表面研磨 및 鐵心鑄込의 影響

1) 240時間의 短期性能試驗

表面研磨, 非熱處理 및 鐵心非鑄込의 Al 合金陽極에 대한 60日間의 長期性能試驗에서 陽極의 溶解狀態만이 特히 不良하였으므로 그 중에서 比較的 좋았던 Al-3 Zn-0.02 In-0.02 Sn(B-5)와 3·2의 240時間의 短期性能試驗에서 電流效率이 目標値以下였으나 溶解狀態가 좋았던 Al-2 Zn-0.03 In-0.02 Sn(A-8)의 2種의 Al 合金에 대해서 熱處理, 表面研磨 및 鐵心鑄込이 陽極性能에 어떠한 影響을 주

dCollection

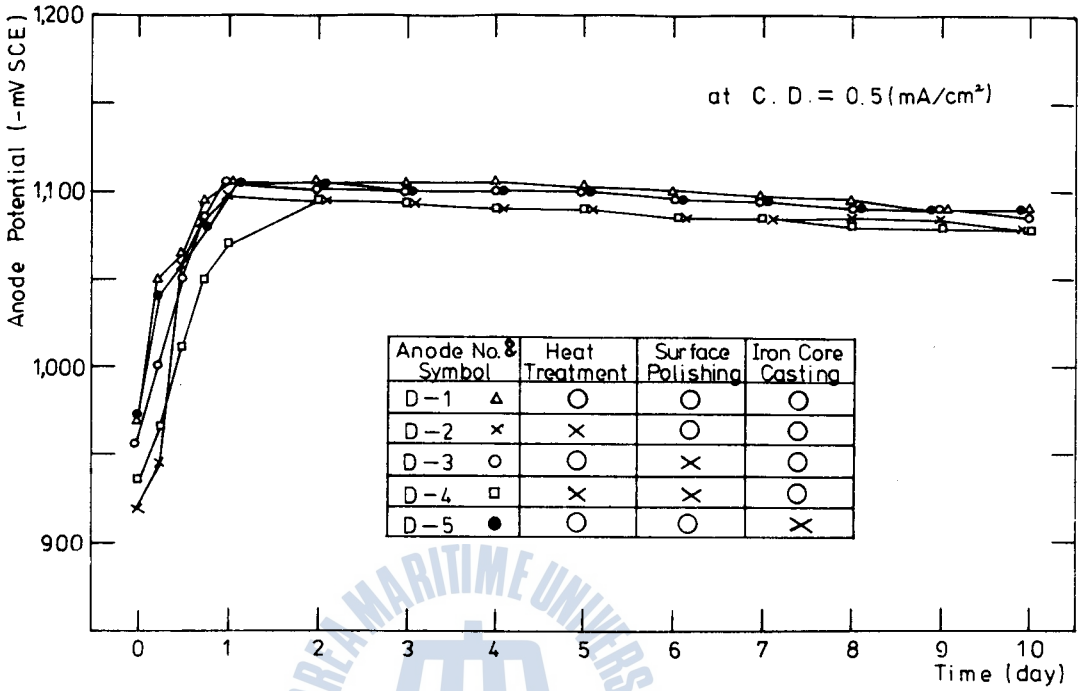


Fig. 13a. Variations of Anode Potential vs Time on Al-3 Zn-0.02 In-0.02 Sn(B-5) Anode by Heat Treatment, Surface Polishing and Iron Core Casting-in

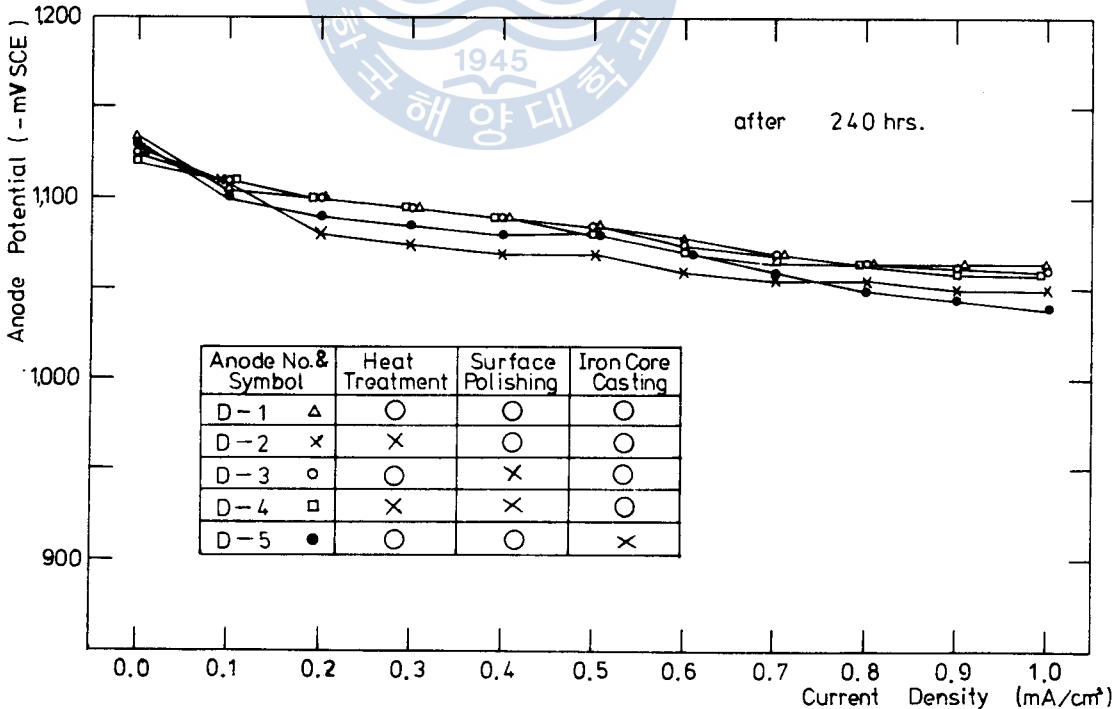


Fig. 13b. Variations of Anode Potential vs Current Density on Al-3 Zn-0.02 In-0.02 Sn(B-5) Anode by Heat Treatment, Surface Polishing and Iron Core Casting-in

Collection

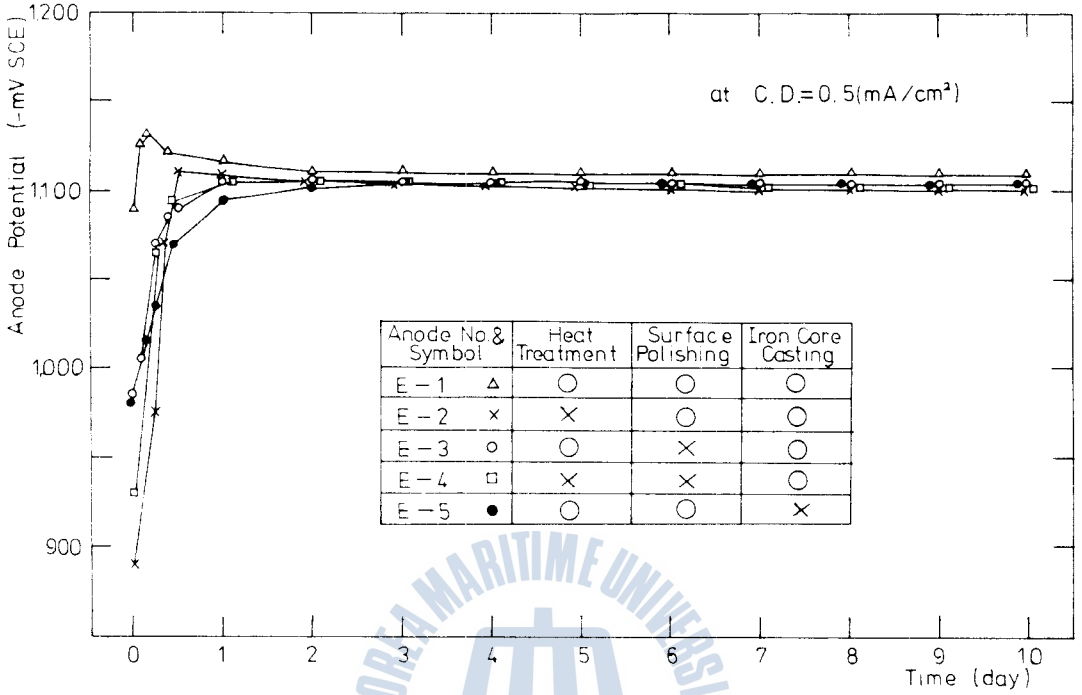
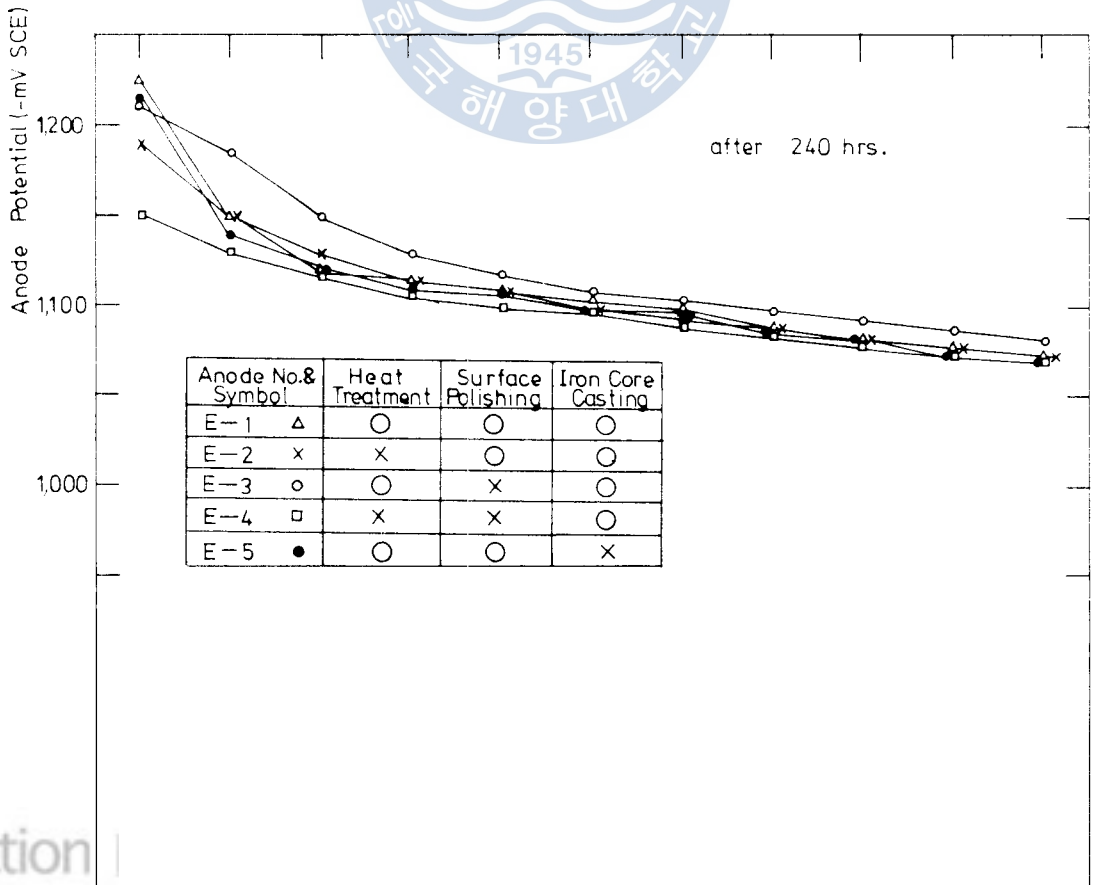


Fig. 14a. Variations of Anode Potential vs Time on Al-2 Zn-0.03 In-0.02 Sn(A-8) Anode by Heat Treatment, Surface Polishing and Iron Core Casting-in



dCollection

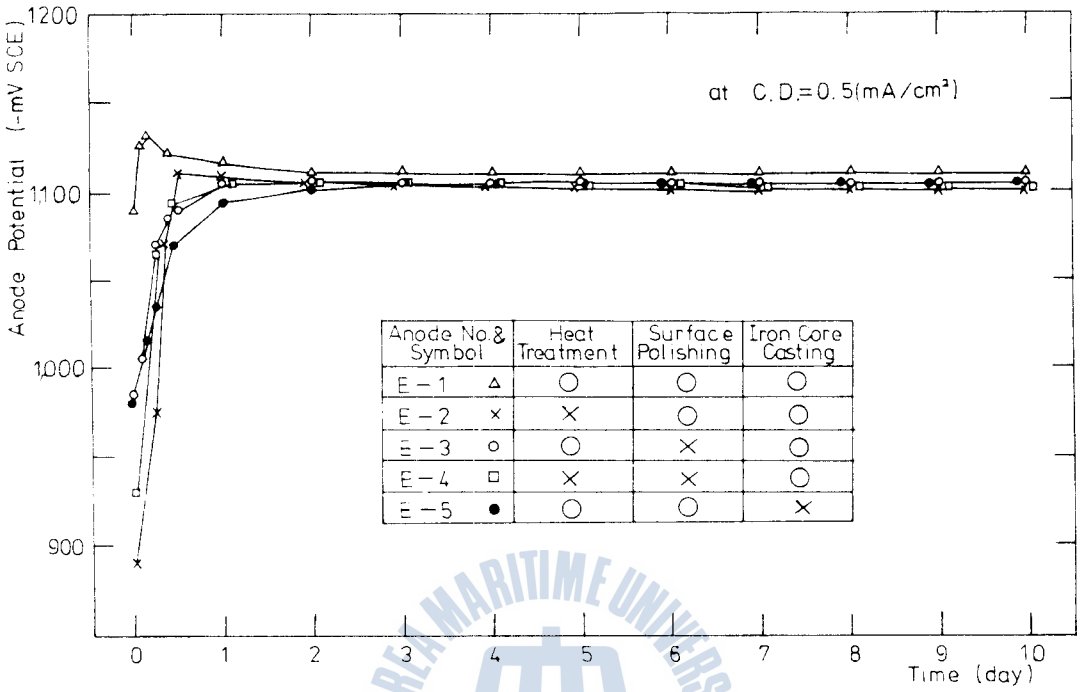


Fig. 14a. Variations of Anode Potential vs Time on Al-2 Zn-0.03 In-0.02 Sn(A-8) Anode by Heat Treatment, Surface Polishing and Iron Core Casting-in

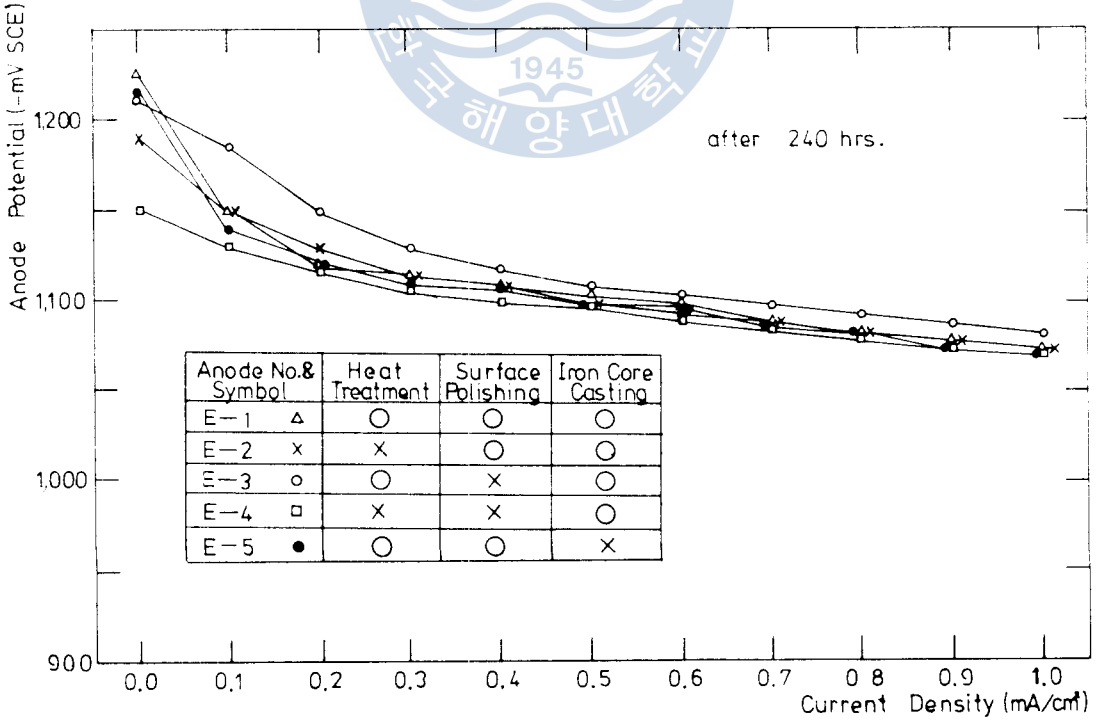


Fig. 14b. Variations of Anode Potential vs Current Density on Al-2 Zn-0.03 In-0.02 Sn(A-8) Anode by Heat Treatment, Surface Polishing and Iron Core Casting-in

dCollection

Table 6. Effects on Anode Characteristics by Heat Treatment, Surface Polishing and Iron Core Casting-in

Symbol No.		HT	SP	IC *	Galvanostatic ** Current Test: Average Potential (-mV SCE)	Galvanostatic ** Current Test: Differential Potential (mV)	Polarization Characteristic Test.: Average Potential (-mV SCE)	Polarization Characteristic Test.: Differential Potential (mV)	Natural Potential (-mV SCE)	Current ** Efficiency (%)	Corrosion ** Pattern
Al-3 Zn-0.02 In-0.02 Sn (B-5)	D—1	○	○	○	1,100	15	1,087	70	1,135	91.1	D
	D—②	×	○	○	1,087	20	1,072	75	1,125	86.4	C
	D—3	○	×	○	1,096	20	1,085	65	1,125	87.3	E
	D—④	×	×	○	1,086	18	1,083	60	1,120	92.1	C
	D—5	○	○	×	1,097	15	1,075	90	1,130	89.1	E
	D—6	×	○	×	1,088	20	1,074	75	1,120	85.5	D
Al-2Zn-0.03 In-0.02 Sn (A-8)	E—①	○	○	○	1,111	5	1,114	147	1,125	91.1	A
	E—②	×	○	○	1,102	10	1,111	115	1,190	91.1	C
	E—③	○	×	○	1,105	0	1,126	125	1,210	86.7	C
	E—④	×	×	○	1,103	4	1,100	78	1,115	74.0	B
	E—5	○	○	×	1,104	0	1,109	143	1,215	85.7	D
	E—6	×	○	×	1,106	5	1,107	97	1,175	83.7	C

* HT: Heat Treatment, SP: Surface Polishing, IC: Iron Core Casting-in
** at C.D. = 0.5 mA/cm² for 240 hrs. (10 Days)

는가를 240時間동안 調査하였다.

Al合金試片의 熱處理는 試片을 直徑 20mm로 鑄造한 後에 500~550℃[29]로 維持된 加熱爐內에 60分間 放置하였다가 空冷하였으며, 表面硏磨는 外徑이 18mm되게 切削하였다. 또 鐵心鑄込은 亞鉛鍍金된 φ2mm의 鐵糸를 試片鑄造時에 鑄込하였고 非鑄込試片은 鑄造後에 한쪽끝에 구멍을 뚫어 同鐵糸를 挿入하고 打壓해서 密着시켰다.

Fig. 13a, b, Fig. 14a, b 및 Table 6은 이 두種의 Al合金에 대한 陽極性能試驗의 結果이다. 이들에 의하면 定電流試驗時나 分極特性試驗時의 平均分極電位와 分極量 및 自然電位에 陽極의 熱處理, 表面硏磨 및 鐵心鑄込의 影響은 거의 나타나지 않으나 陽極의 電流効率과 溶解狀態에는 상당히 큰 影響이 나타나는 것을 알 수 있었다. 鐵心鑄込의 影響은 非鑄込한 것이 鑄込한 것에 比해서 電流効率과 溶解狀態의 兩面에서 不良하였으므로 이것은 Al合金陽極의 鑄造上 有利하다고 생각된다. 또 Lennox[30] 등에 의하면 Al合金陽極에 鐵心을 鑄込하면 이 兩者間에 過度한 電氣抵抗이 생긴다고 하나 本硏究의 境遇에는 그 抵抗이 어느쪽의 試片에서도 거의 零이었다. 그리고 陽極의 表面硏磨와 熱處理의 各 影響은 상당히 크나 試片에 따라 相反된 結果가 나타나므로 계속 究明하여야 할 問題로 남아 있다.

2) 50日間의 長期性能試驗

위의 試驗에서 Al合金陽極은 鐵心을 鑄込하는 것이 좋다는 것을 알았으나 熱處理와 表面硏磨의

dCollection

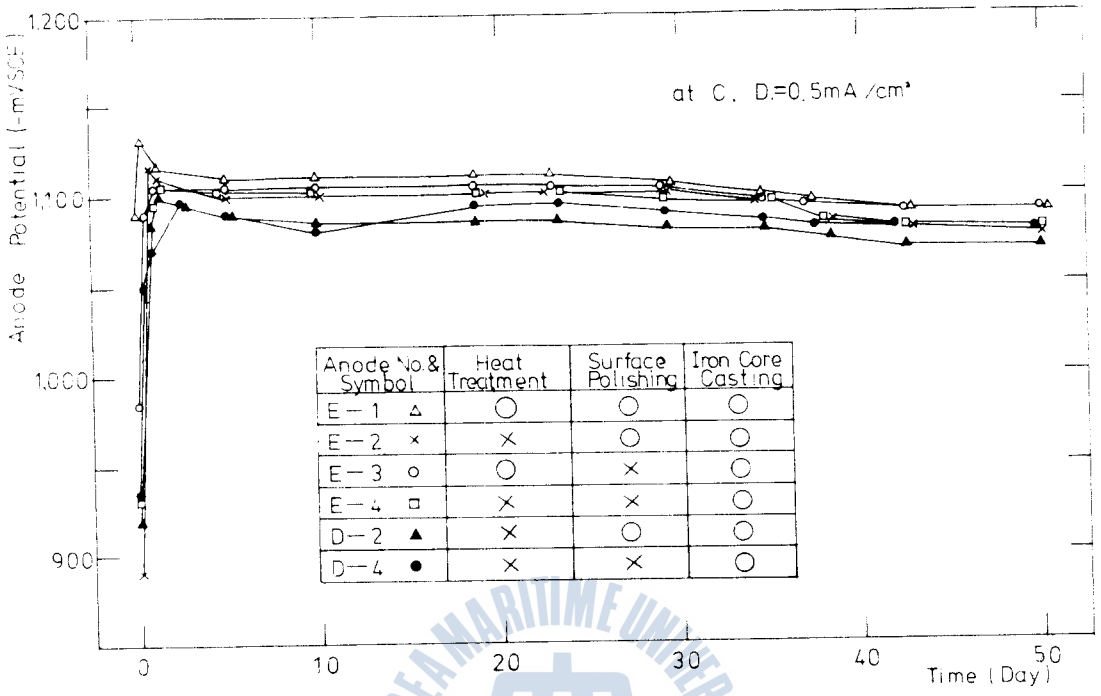


Fig. 15a. Variations of Anode Potential vs Time of Al-2 Zn-0.03 In-0.02 Sn(A-8) and Al-3 Zn-0.02 In-0.02 Sn(B-5) for 1,200 hrs. (50 days)

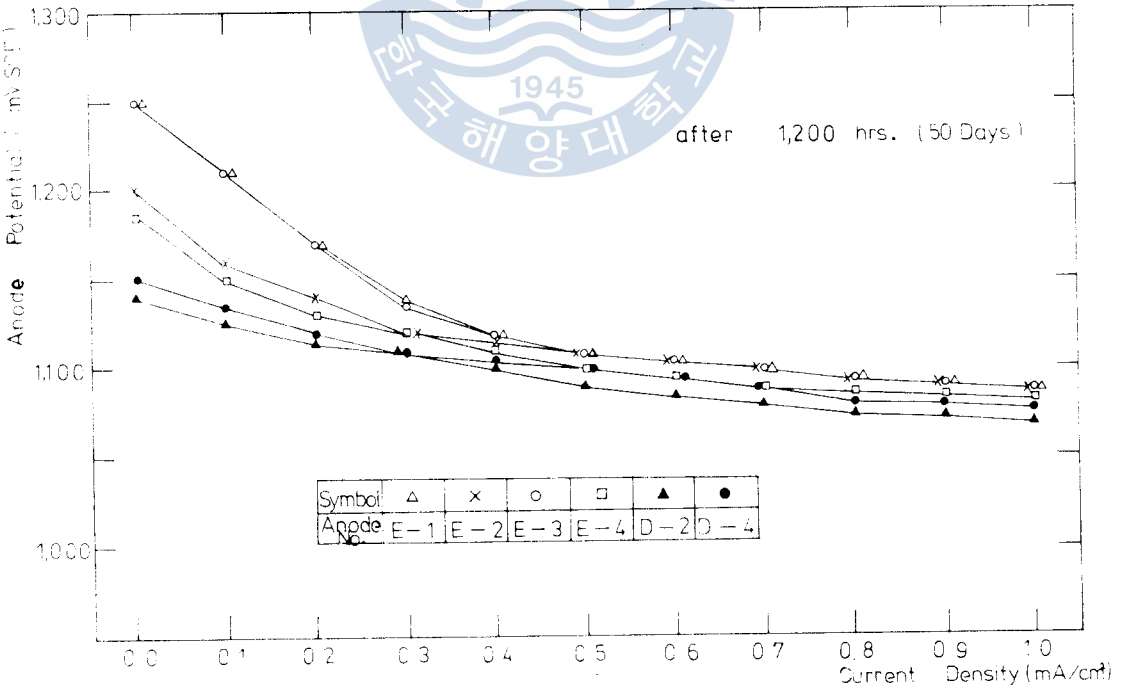


Fig. 15b. Variations of anode Potential vs Current Density of Al-2 Zn-0.03 In-0.02 Sn(A-8) and Al-3 Zn-0.02 In-0.02 Sn(B-5) for 1,200 hrs. (50 Days)

dCollection

Table 7. Effects on Anode Characteristics by Heat Treatment, Surface Polishing and Iron Core Casting-in

Symbol No.		Galvanostatic * Current Test		Polarization Characteristic Test		Natural Potential (-mV SCE)	Current * Efficiency (%)	Corrosion * Pattern
		Average Potential (-mV SCE)	Differential Potential (mV)	Average Potential (-mV SCE)	Differential Potential (mV)			
Al-2 Zn-0.03 In-0.02 Sn(A-8)	E—1	1,104	25	1,135	160	1,250	88.5	A
	E—2	1,095	32	1,120	80	1,200	82.5	B
	E—3	1,100	15	1,134	160	1,250	89.9	A-**
	E—4	1,094	25	1,112	103	1,185	79.7	B
Al-3 Zn-0.02 In-0.02 Sn(B-5)	D—2	1,082	30	1,096	44	1,140	91.1	B-**
	D—4	1,088	18	1,104	46	1,150	90.6	B-**

* at C.D. = 0.5 mA/cm² for 1,200 hrs. (50 Days)
** A-&B- are not up to A&B in Corrosion Pattern.

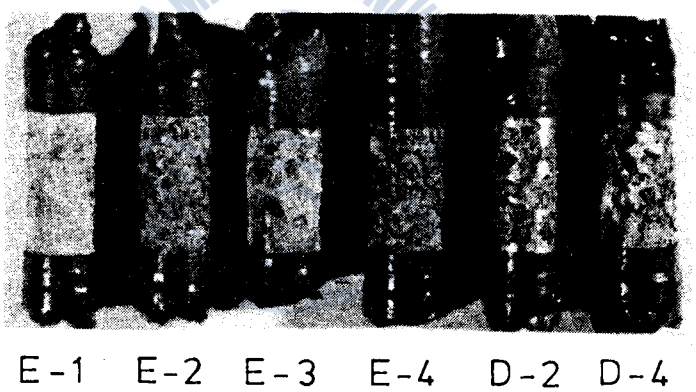


Fig. 16. Corrosion Patterns of Al-2~3 Zn-0.02 In-0~0.02 Sn Anodes after 1,200 hrs. (50 Days)

影響은 알지 못하였으므로 위의 鐵心鑄込試片中에서 D-2, D-4, E-1~E-4를 選定하여 다시 40日을 延長한 50日間의 長期性能試驗을 하였다.

Fig. 15a, b 및 Table 7은 이 試驗의 結果이고, Fig. 16은 이들 試驗片의 溶解狀態寫眞이다. 陽極中에서 熱處理한 것은 하지 않은 것에 比해서 自然電位가 더 낮고 溶解狀態가 더 좋으나 陽極의 分極狀態와 電流效率의 面에서는 一定한 傾向이 없다.

國産 Al 地金으로 만든 Al-Zn-In-Sn 系의 Al 合金陽極에 대한 以上의 長短期試驗結果를 綜合하면 다음과 같은 事實을 알 수 있다.

(1) 熱處理, 表面硏磨 및 鐵心鑄込의 與否에 關係없이 240時間의 短期試驗에서 陽極性能이 좋았던 것이 반드시 50~60日間의 長期試驗에서도 좋은 性能을 보이지는 않았다. 이것은 이들의 陽極性能을 判斷하는 데는 240時間의 短期試驗으로는 不充分하며, 可能하면 長期間의 試驗結果로 判斷하여

야 한다는 것을 알 수 있다.

(2) Al 合金陽極의 表面研磨는 그 性能에 別다른 影響을 미치지 않으나 熱處理와 鐵心鑄込은 그 性能에 큰 影響을 주며, 前者는 陽極의 溶解狀態와 自然電位를 改善하고 後者는 電流效率과 溶解狀態를 向上시켜 준다.

(3) 短期間의 性能試驗에서 本 研究目標를 滿足했던 Al-3 Zn-0.02 In-0.02 Sn(B-5)系合金과 同試驗에서 電流效率이 낮았으나 溶解狀態가 좋았던 Al-2 Zn-0.03 In-0.02 Sn(A-8)系合金의 熱處理, 表面研磨 및 鐵心鑄込을 한 것 中에서 本 研究目標를 滿足한 合金은 E-1 과 E-3 뿐이었다.

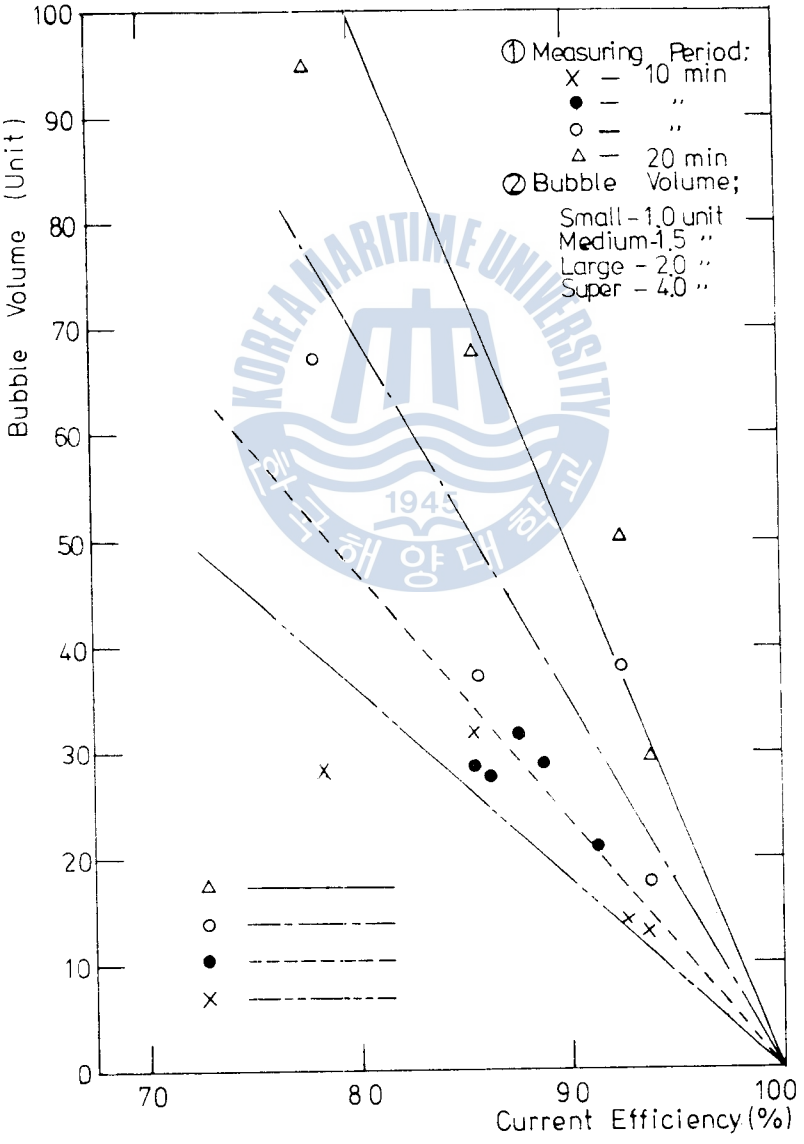


Fig. 17. Relations of Bubble Volume and Anode Current Efficiency on Al-2~3 Zn-0.02 In-0~0.02 Sn

dCollection

3·5 Al 合金陽極의 發生氣泡量과 電流効率의 關係

Al 合金陽極을 0.5mA/cm² 의 電流密度로 海水中에서 定電流試驗할 때 發生되는 氣泡의 量과 同陽極의 電流効率間에는 Fig. 17 의 關係가 있으며, 電流効率이 氣泡의 發生量에 거의 反比例함을 보여주고 있다.

이 試驗中 陽極에서 發生되는 氣泡는 Al 合金中의 高電位金屬成分인 Fe, Ni, Cu, In 등이 Al 과 局部電池를 形成해서 自己腐蝕할 때 陰極으로 作用하기 때문에 發生되는 水素가스라고 생각되며, 이것이 많이 發生할수록 Al 合金陽極의 電流効率이 낮아지는 것은 當然한 것으로 생각된다.

따라서 Al 合金陽極의 電流効率을 增加시키기 위해서는 그 陽極의 溶解狀態를 좋게하는 量 以上의 In을 添加하지 않는 同時에 不必要한 Fe, Ni, Cu 등의 高電位不純物이 可能한 限 적은 Al 地金을 使用해서 陽極을 만들어야 한다는 것을 알 수 있다.

4. 結　　論

國産 Al 地金으로 調製한 Al-Zn-In 系와 Al-Zn-In-Sn 系合金의 陽極特性 硏究에서 다음의 結論을 얻었다.

1) 國産 Al 地金에 Zn, In 및 Sn 의 有効元素를 添加하면 各 添加元素의 어떤 特定量에서 陽極性能이 좋아진다.

2) Al 陽極의 性能試驗은 10日間의 短期試驗으로는 不充分하고 50日以上의 長期試驗이 必要하다.

3) Al 合金陽極의 表面硏磨는 그 性能에 影響을 거의 미치지 않으나 熱處理와 鐵心鑄込은 陽極性能을 많이 向上시킨다.

4) 國産 Al 地金으로 調製한 Al-2 Zn-0.03 In-0.02 Sn 系合金中 長期試驗에서 電極電位가 −1,100 mV 以下이고 電流効率이 85% 以上이며 溶解狀態가 좋은 것은 鐵心鑄込과 熱處理를 한 陽極이다.

5) Al 合金陽極이 溶解할 때 陽極에서 發生되는 가스量은 그 陽極의 電流効率에 거의 反比例한다.

參 考 文 獻

1) R. A. Hine & M. W. Wei: How effective are Aluminium Anodes in Sea water, Materials Pretection, Vol. 3, No. 11, p. 49(1964).

2) J. T. Reding & J. J. Newport: The Influence of Alloying Elements on Aluminum Anodes in Sea Water, Materials Protection, Vol. 5, No. 12, p. 15(1966).

3) 田大熙：腐蝕과 防蝕의 管理, p. 286, p. 366~374, 太和出版社(1979).

4) 福谷英二：金屬の防蝕規程, 防蝕基準ならびに關連規格について, 防食技術, 28, p. 503~511(1979).

5) S. N. Smith, J. T. Reding, and R. L. Riley, JR: Development of a Broad Application Saline Water Aluminum Anode—"Galvalum Ⅲ", Materials Performance, Vol. 3, No. 11, p. 32(1978).

6) 前揭書(2) p. 15.

7) 日本金屬學會：金屬データブック, p. 9, 丸善出版社(1974).

dCollection

8) T. J. Lennox, Jr., M. H. Peterson, and R. E. Groover: A Study of Electrochemical Efficiencies of Aluminum Galvanic Anodes in Sea Water, Materials Protection, Vol. 7, No. 2, p. 33(1968).
9) 日本學術振興會, 金屬防蝕技術便覽, p. 748, 日刊工業新聞社(1972).
10) 前揭書(1) p. 52.
11) 前揭書(8) p. 33~37.
12) L. L. Shreir: Corrosion, Vol. 2, Corrosion Control, p. 11~21, NEWNES-BUTTERWORTHS(1976).
13) 前揭書(12) p. 11~21.
14) 前揭書(2) p. 15~18.
15) 前揭書(12) p. 11~21.
16) T. Sakano, K. Toda & M. Hanada: Tests on the Effects of Indium for High Performance Aluminum Anodes, Materials Protection, Vol. 5, No. 12, p. 45(1966).
17) E. G. Haney, G. W. Kurr: Sea Water Efficiency Tests on Aluminum Alloy Anodes Containing Zinc, Indium and Cadmium, Materials Performance, Vol. 15, No. 5, p. 27(1976).
18) 前揭書(5) p. 32~36.
19) Wilson Walton Co. BA-777.
20) 電氣學會：新版電食土壤腐食ハントブック, p. 220, コロナ社(1977).
21) 村井恵助, 三浦周敏, 田村祐一：アルミニウム流電陽極の研究(第1報), 防食技術, Vol. 23, p. 191(1974).
22) 前揭書(1) p. 50~54.
23) 田大熙·李義鎬：國産 合金亞鉛陽極의 改質과 그 品質判定基準의 定立에 關한 硏究, 韓國海洋大學論文集(自然科學篇), Vol. 14, p. 221(1979).
24) 田大熙：流電陽極 試驗法과 同解說, 韓國腐蝕學會, Vol. 7, No. 2, p. 8~17(1978).
25) T. J. Lennox, Jr.·R. E. Groover·M. H. Peterson: Electrochemical Characteristics of Six Aluminum Galvanic Anode Alloys in Sea Water, Materials Perfomance, p. 39~44(1971).
26) 前揭書(16) p. 48.
27) 前揭書(8) p. 34.
28) 前揭書(8) p. 35~36.
29) 前揭書(16) p. 48.
30) 前揭書(8) p. 34.

dCollection

三連모먼트定理의 매트릭스算法에 의한 船用推進軸系 配置計算에 관한 硏究

文 德 弘

A Study on the Propulsion Shaft Alignment Calculation by the Matrix Method of Three-Moment Theory

Moon Dukhong

Abstract

The alignment of propulsion shaft systems by the fair curve method has been developed over the past twenty years and in recent years its basic problems have been almost solved. At the present time, studies on introducing actual conditions are being undertaken.

In a fair curve alignment, its aim is to achieve a stable shaft system which will be relatively insensitive to misalignment or the influence of external factors such as thermal variations due to the sunshine, speed change, etc. The key point of fair curve alignment is the calculations of reactions in the straight support and reaction influence numbers. The present author has developed those calculating method by the matrix method of the three-moment theorem.

The fair curve alignment is based on the analysis of propulsion shaft system which is assumed as a continuous beam on multiple support points. The propeller shaft is divided into several elements. For each element, the nodal point equation is derived by the three-moment theorem.

Reaction of supporting points of straight shaft and reaction influence numbers are calculated by the matrix calculation of each nodal point equation.

It has been found that results of calculation for the model shaft agreed well with those of experiment which had been measured by the strain gauge method. Results of calculation for the actual propulsion shafting of the steam turbine had been compared also with those of Det norske Veritas.

記 號 說 明

S_a : 스팬의 左側의 剪斷力
S_b : 스팬의 右側의 剪斷力
S_{0a} : 作用荷重에 의한 左側의 剪斷力
S_{0b} : 作用荷重에 의한 右側의 剪斷力
θ_a : 스팬의 左側의 처짐角
θ_b : 스팬의 右側의 처짐角
θ_{0a} : 作用荷重에 의한 左側의 처짐角
θ_{0b} : 作用荷重에 의한 右側의 처짐角
l_i : i번 스팬의 길이
M_i : i번 節點에서의 모먼트
E_i : i번 스팬의 縱彈性係數
V_i : i번 節點에서의 처짐
I_i : i번 스팬의 斷面2次 모먼트
P : 作用外力

dCollection