한국부식학회지
Journal of the Corrosion Science Society of Knrea
Vol. 11, No. 1, Mar 1982

<研究論文>

Al-Zn-In 系 流電陽極의 性能에 미치는 Cd, Ca 및 Ga 添加와 熱處理의 影響

林 炳 鎰*·田 重 錫**
*成均館大學校 金屬工學科
**韓國重工業株式會社 昌原工場

Effects of Heat Treatment and Addition of Cd, Ca and Ga on Performances of Al Alloy Anodes of Al-Zn-In System

B. I. Lim* · J. S. Jeon**
*Dep't of metallurgy, Sung Kyun Kwan University
**Korea Heavy Industry and Construction Co.

Abstract

This paper is an attempt to improve the performances of Al alloy anodes which were made of the second grade of KS D2304 aluminium ingot. The effect tests of adding Cd, Ca or Ga element and heat treatment of the Al anodes of Al-2.5Zn-0.02In system were made by measuring the anodic polarization potential, current efficiency and by observing the corrosion pattern of the anodes in the 3% NaCl solution for 10 days and 40 days.

The results of the performance tests are as follows:

1) The performance tests of Al alloy anode should be a long-term test, for a short-term test of 10 days is not enough.

2) The performances of Al alloy anodes containing 0.01% of Cd, Ca or Ga were better than those containing 0.02%.

3) The suitable annealing temperature of the Al alloy anode containing 0.01% Ca was 550°C, but the performances of other anodes were rather fine than when they were not annealed.

4) Al alloy anodes of the good performances, which had moderate anodic potential, were more than 85% in current efficiency and were excellent in corrosion pattern, were the Al-2.5Zn-0.02In-0.01Ca anodes which were annealed on 550°C or not annealed.

1. 序 論

流電陽極法은 現在 水中이나 地下의 金屬構造物, 化學裝置 등의 電氣防蝕에 널리 活用되고 있는 方法이며, 이에 使用되는 流電陽極으로서는 다음의 要件[1,2]이 具備되어야 한다.

(1) 被防蝕體보다 상당히 낮은 電極電位를 가지는 同時에 單位重量當의 理論的 發生電氣量이 많아야 한다.

(2) 腐蝕生成物이 附着되지 않고 陽極이 均一하게 잘 溶解하여야 하며 發生電流效率이 높아야 한다.

(3) 陽極材料의 價格이 싸고 調製가 쉬우며 再現性

이 좋아야 한다.

現在 活用되고 있는 流電陽極에는 Mg, Zn 및 Al의 3種의 合金陽極이 있으나 Mg와 Zn의 陽極은 이미 오래전부터 實用化되었고 規格化[3]까지 이루어져 있다. 그러나 Al 合金陽極은 1960年代부터 硏究[4~6]되기 始作해서 只今도 改質硏究가 한창이다.

Mg 合金陽極은 陽極電位가 −1.5V(SCE)의 低電位이므로 電解質의 比抵抗이 크고 大電流가 要求되는 곳에 適當하기 때문에 主로 地下埋設物 등의 防蝕에 利用되나 電流效率이 60%정도 밖에 안된다. Zn 合金陽極은 電極電位가 −1.05V(SEC)정도이고 電極效率이 95%정도로서 溶解狀態도 좋으므로 多方面에서 많이 活用되었으나 近年부터는 점차로 理論的 發生電氣量이 이보다 약 3.6倍이고 比重이 半以下인 Al合金陽極으로 代替되고 있다. 그러나 Al은 中性水溶液中에서 不溶性의 不動態皮膜을 形成하기 때문에 流電陽極으로서는 電位가 너무 높아질 뿐만 아니라 陽極表面의 溶解狀態가 不良하므로 Al은 單獨으로서 流電陽極으로 使用할 수 없고 반드시 不動態化를 防止할 수 있는 特殊元素를 微量 添加한 合金陽極으로 만들어야 한다.

Al 合金陽極은 現段階로서 陽極電位가 −1100mV(SCE)정도이고 電流效率이 85%정도이며 陽極表面의 溶解狀態가 比較的 좋은 것이 開發되어 있으며, 特히 高容量低比重이므로 船體와 같이 重量制限을 받는 곳에 有效하게 쓰이고 있다.

現在 活用되고 있는 Al 合金陽極은 非水銀系로서 1975年에 Al-Zn-In-Cd 系(HI-AMP)[7,8]가, 1976年에 Al-Zn-In-Si 系(Galvalum Ⅲ)[9]등이 각각 開發되었으며, 이와 同時에 Al-Zn-In-Mg-Ti 系[10], Al-Zn-In-Mg-Sn 系[11], Al-Zn-Sn-Bi-Ga 系[12]등의 五元合金도 出現하였다. 이들의 合金陽極은 모두 高純度 Al 地金에 의해서 開發되었고 그 陽極性能이 實用化段階에까지 와있으나 低純度의 Al 地金을 利用해서 開發한 Al 合金陽極에는 田등[13]의 Al-Zn-In-Sn 系 밖에 찾아볼 수 없다. 따라서 筆者들은 比較的低純度인 國産 Al 地金을 利用한 Al-Zn-In 合金에 Cd, Ca 및 Ga을 微量 添加해서 流電陽極을 만들고 그 組成과 熱處理溫度에 따라서 그 陽極性能이 어느程度까지 改善되는가를 調査硏究하여 보았다.

2. 實驗方法

2.1 試料 및 試驗片

이 硏究에 使用된 試料는 Table 1과 같은 KS D2304 第2種 相當의 國産 Al 地金과 試藥級의 Zn, In, Cd, Ca 및 Ga이다.

Table. 1. Analysis of Aluminium Ingot.

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

Table. 2. Alloying Elements and Annealing Temperature of Manufactured Specimens.

Kind of Anode	Common Alloy	Addition Element	Annealing Temperature for 1 hour (°C)
A-1	A-2.5%Zn-0.02%In	0.01%Cd	NO
2	〃	〃	300
3	〃	〃	350
4	〃	〃	400
5	〃	〃	450
6	〃	〃	500
7	〃	〃	550
B-1	〃	0.015%Cd	NO
2	〃	〃	300
3	〃	〃	350
4	〃	〃	400
5	〃	〃	450
6	〃	〃	500
7	〃	〃	550
C-1	〃	0.02%Cd	NO
2	〃	〃	300
3	〃	〃	350
4	〃	〃	400
5	〃	〃	450
6	〃	〃	500
7	〃	〃	550
D-1	〃	0.01%Ca	NO
2	〃	〃	300
3	〃	〃	350
4	〃	〃	400
5	〃	〃	450
6	〃	〃	500
7	〃	〃	550
E-1	〃	0.02%Ca	NO
2	〃	〃	300
3	〃	〃	350
4	〃	〃	400
5	〃	〃	450
6	〃	〃	500
7	〃	〃	550
F-1	〃	0.01%Ga	NO

2	〃	〃	300
3	〃	〃	350
4	〃	〃	400
5	〃	〃	450
6	〃	〃	500
7	〃	〃	550
G-1	〃	0.02%Ga	NO
2	〃	〃	300
3	〃	〃	350
4	〃	〃	400
5	〃	〃	450
6	〃	〃	500
7	〃	〃	550

試驗片은 이들 試料를 使用해서 Table 2와 같이 Al-Zn-In-Cd 系, Al-Zn-In-Ca 系 및 Al-Zn-In-Ga 系의 Al 合金陽極으로 鑄造하고 300~550°C의 特定溫度下에서 60分間 풀림處理을 한 것과 熱處理를 하지 않은 것을 合해서 總49種을 만들었다. 여기에서 母金으로서 Al-2.5Zn-0.02In 를 採用한 것은 田[13]등에 의하면 低純度 Al 地金을 使用할 때는 이 程度의 組成合金에서 流電陽極의 特性이 가장 좋기 때문이다. 또 이 合金의 熱處理는 Sakano[7], Doda[14]등에 의하면 500~550°C로 熱處理하면 Al 合金陽極의 特性이 改善된다고 指適되었기 때문이다.

또 各 試驗片은 Fig. 1과 같이 ϕ1.8cm×5cm로 加工한 後에 ϕ2mm의 비닐피복동선을 挿入固定하고 絶緣테이프와 에폭시樹脂로서 陽極作用面 20cm² 만을 남기고 完全히 被覆絶緣하였다. 그리고 試驗하기 前에 陽極作用面을 砂布240번으로 硏磨하고 아세톤과 알코올로서 脫脂한 後에 重量을 計測하였다.

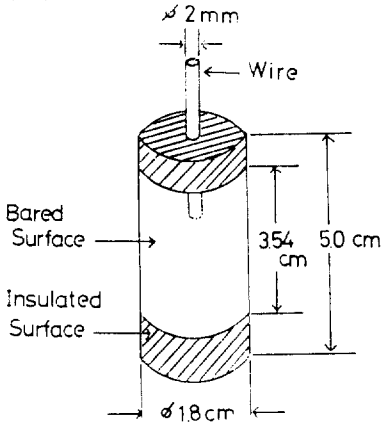

Fig. 1 Anode Specimen.

2.2 實驗裝置

試驗片의 分極特性試驗裝置는 Fig. 2와 같이 內面이

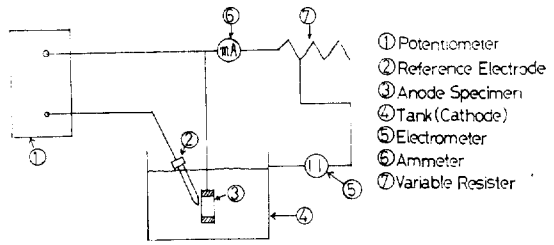

Fig. 2 Schematic Diagram of Experimental Apparatus for Galvanostatic Current Test.

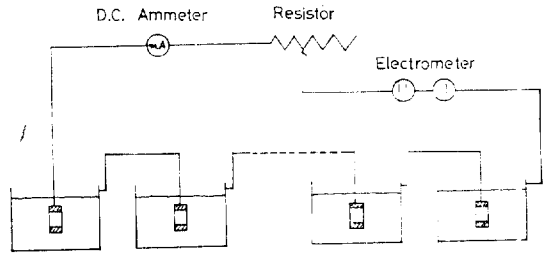

Fig. 3 Schematic Diagramof Series Circuit for Experimental Apparatus of Galvanostatic Current Test

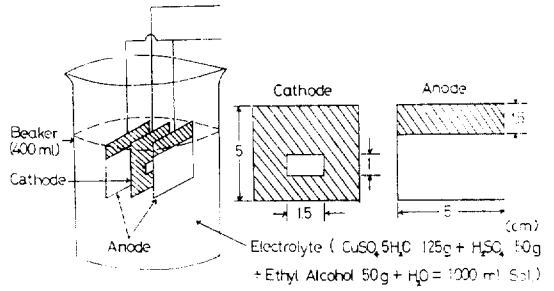

Fig. 4. Details of Copper Electrometer

陰極으로 作用하는 40cm×40cm×40cm의 鐵製탱크의 中央部에 試驗陽極을 固定하고 3% NaCl 溶液을 注入해서 電池를 形成시켰으며, 이것과 銅電量計, 回路抵抗器및 電流計를 直列로 連結하고 이回路와 電位差計를 並列로 結線해서 飽和카로멜電極(SCE)基準으로 試片의 分極電位를 測定할 수 있도록 하였다.

試驗片의 定電流分極試驗裝置는 Fig. 3과 같이 鐵製試驗槽를 直列로 連結하여 여러개의 陽極試片을 同時에 試驗할 수 있도록 하였으며, 銅電量計는 2개 設置해서 通電量의 平均値를 求할 수 있도록 하였다.

銅電量計의 陰極과 陽極은 Fig. 4와 같이 5cm×5cm×0.2mm의 脫酸銅(試料級)을 砂布 600번으로 硏磨한 다음에 알코올로 脫脂하고 重量을 計測하였으며, 陰極은 그 兩面의 合計面積이 3cm² 되게 남기고 비닐테이프

로 피복결연 하였으며, 이 試驗槽內에는 電解液을(Cu $SO_4 \cdot 5H_2O$ 125g+H_2SO_4 50g+Ethyl Alcohol 50g+H_2O=1000m*l* Sol.) 注入하였다.

2.3 實驗方法

流電陽極의 性能試驗은 日本學術振興會에서 制定한 方法[15]에 의해서 實施하였다.

定電流分極試驗은 Fig. 3의 裝置에서 陽極電流密度를 0.5mA/cm^2로 維持해서 10日間의 短期試驗을 實施하였고, 이 試驗에서 陽極性能이 우수한 것만을 선발해서 다시 試驗片을 만들어서 同一要領으로 40日間의 長期試驗을 實施하였다. 이들의 試驗이 끝난 後에는 각각 Fig. 2의 裝置에서 陽極電流密度를 段階的으로 0 mA/cm^2에서 1.0mA/cm^2로 上昇시켜가면서 分極特性試驗을 實施하였다.

分極特性試驗이 끝난 後에는 陽極試驗片을 水洗하고 80°C의 4% 無水크롬酸과 10% 燐酸의 1 : 1混液中에 1分間 浸漬해서 表面附着物을 除去한 後에 水洗하고乾燥해서 重量減量를 計測하였다. 이와 同時에 銅電量計의 陰極과 陽極의 被覆物을 除去하고 알코올로 세척한 後에 乾燥시켜서 重量變化量을 計測해서 陽極試驗片의 電流效率을 求하였다.

그리고 定電流分極曲線과 分極特性曲線을 圖示해서 分極電位의 變化量을 求하는 한편 陽極試驗片의 表面溶解狀態를 다음과 같이 溶解面積과 溶解狀態에 따라 分類해서 比較하였다.

A級——95%以上 均一溶解
B級—85%以上
C級—75%以上
D級—65%以上
E級 65%未滿 集中 溶解

Al 合金陽極의 電流效率은 다음式에 의해서 求할 수 있다. 單 Cu^{+2}와 Al^{3+}의 電氣化學當量이 각각 1.185g/A·h와 0.33557g/A·h이고, 銅電量計를 通한 全電氣量은 陰極板銅附着量(g)/1.185(g/A·h)이며, Al陽極의 理論的發生電氣量은 電氣化學當量의 逆數인 2.98A·h/g이므로

$$\text{電流效率}(\%) = \frac{\text{銅電量計의 全通電氣量(A·h)} \times 100}{\text{Al 合金陽極減量(g)} \times \text{Al 의 理論的發生電氣量(A·h/g)}} = \frac{28.32 \times \text{銅電量計陰極增加量(g)}}{\text{Al合金陽極減少量(g)}}$$

3. 實驗結果 및 考察

3.1 10日間의 短期性能試驗

國産의 低純度 Al 地金으로 調製한 Al-Zn-In 系 合金陽極에 微量으로 添加한 Cd, Ca및 Ga 의 元素와 풀림熱處理가 그 流電陽極의 性能에 어떠한 影響을 미치는가를 定電流試驗時및 分極特性試驗時의 分極電位變化와 그 陽極의 電流效率과 陽極表面의 溶解狀態의 三面에서 比較檢討하였다.

10日間의 短期試驗에서의 陽極性能目標[13]는 Fig. 5, 6 및 7에서와 같이 첫째로 0.5mA/cm^2의 陽極電流密度下에서 10日間 通電한 後의 陽分極電位가 −1,100mV (SCE)以下이고, 둘째로 이동안의 陽極電流效率이 85% 以上이며, 셋째로 그 陽極表面의 溶解狀態가 B級以上일 것으로 定하였다.

Fig. 5는 Al-2.5Zn-0.02In의 母合金에 Cd을 0.01%, 0.015% 및 0.02% 添加해서 流電陽極을 만들고 300~550°C로 풀림處理한 것과 안한 것에 대해서 流電陽極으로서의 特性을 調査比較한 것이다. 이들 合金中에서 目標性能을 滿足한 것은 熱處理하지 않은 A-1, B-1및 C-1 뿐이며, 熱處理한 것은 어느 것이나 모두 目標性能에 未達되었다. 그러나 熱處理한 것中에서는 350~400°C로 熱處理한 것이 分極電位와 溶解狀態의 面에서 가장 좋았고 電流效率面에서 가장 나빴다.

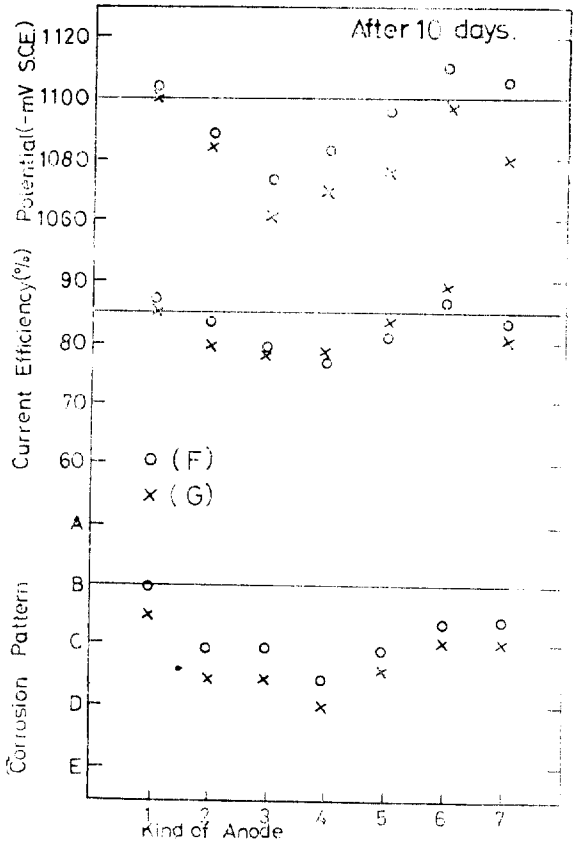

Fig. 5. Effects of Variation of Cd Contents and Heat Treatment Temperature on Anode Ability

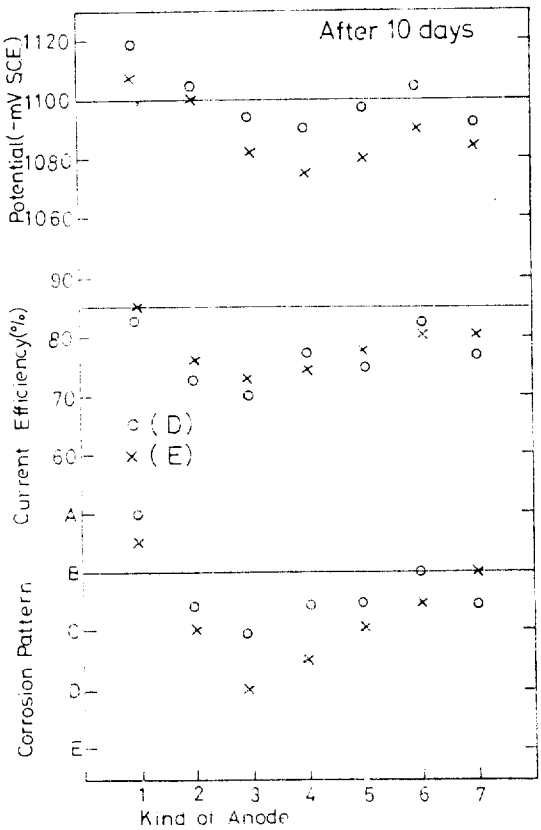

Fig. 6. Effectssof Variation of Ca Contents and Heat Treatment Temperature on Anode Ability

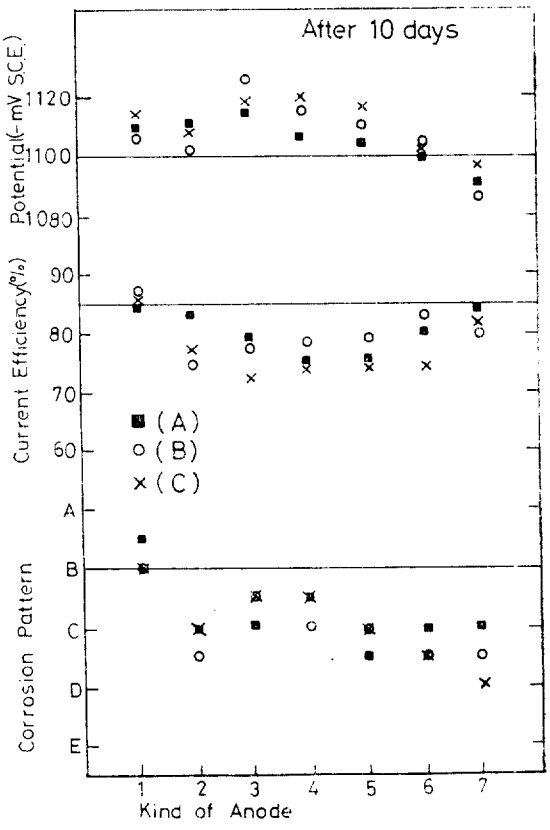

Fig. 7. Effects of Variation of Ga Contents and Heat Treatment Temperature on Anode Ability.

Fig. 6 은 同一한 母合金에 Ca 을 0.01% 와 0.02% 添加해서 陽極을 만들고 熱處理한 것과 안한 것에 대하여 流電陽極으로서의 特性을 比較한 것이다. 이들 合金中에서 目標性能을 滿足하는 것은 熱處理을 하지 않은 D-1 뿐이며, 熱處理를 안한 E-1 과 500°C 로 熱處理한 D-6 도大體로 良好한 性能을 發揮하였다. 그러나 이 合金陽極을 350~400°C 로 熱處理한 때는 그 陽極性能이 最低로 되었다.

Fig. 7 은 同母合金에 Ga 을 0.01% 와 0.02% 添加한 경우에 陽極性能을 調査한 것이다. 이들 合金中에서도 目標性能을 滿足하는 것은 熱處理를 하지 않은 F-1 뿐이며, 熱處理을 하지 않은 G-1 과 500°C 로 熱處理한 F-6 와 G-6 도 目標値에 가까운 性能을 發揮하였다. 그리고 이들 合金의 熱處理 影響은 Ca添加 合金陽極인 D 및 F와 類似한 傾向을 보였다.

以上의 結果를 綜合하면 低純度의 Al 地金으로 만든 Al-2.5Zn-0.02In 의 母合金에 Cd, Ca 및 Ga 를 각각 0.01% 添加한 것은 그 以上으로 添加한 것보다 一般的으로 陽極性能이 良好하였고, 이 모든 合金陽極에서 熱處理을 안한 것은 大體로 熱處理한 것보다 陽極性能이 良好하였으며, 熱處理을 한것中에서는 500°C 로 풀림處理한 Ca 添加와 Ga 添加의 合金陽極이 비교적 良好하였다.

3.2 40日間의 長期性能試驗

10日間의 短期試驗에서 流電陽極의 目標性能을 滿足한 것과 거의 滿足한 것은 熱處理를 하지 않은 A-1, B-1, C-1, D-1, E-1, F-1 및 G-1 의 7種과 500°C로 풀림處理한 D-6, F-6 및 G-6 의 3種이였다. 이10種의 Al 合金陽極에 대해서 그 陽極特性의 再現性과 長期間의 性能維持를 確認하기 위해서 同一한 條件으로 다시 試驗片을 만들어서 40日間의 長期性能試驗을 實施하였다. 이 陽極試驗의 目標性能은 前記 短期試驗의 目標性能에서 分極電位만을 −1,060mV(SCE)以下로 變更하였다.

Fig. 8, 10 및 12 는 短期性能試驗에서 性能이 좋았던 10種의 Al 合金陽極에 대해서 0.5mA/cm² 의 陽極電流密度下에서 40日間 定電流分極試驗을 實施한 結果이고, Fig. 9, 11 및 13은 이 試驗이 끝난 후에 陽極電流

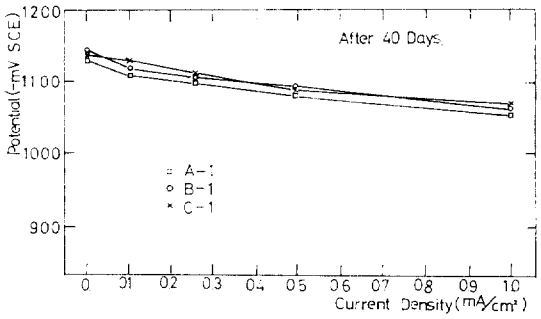

Fig. 8. Variations of Polarization Potential VS. Time of Aluminium Alloy Anodes

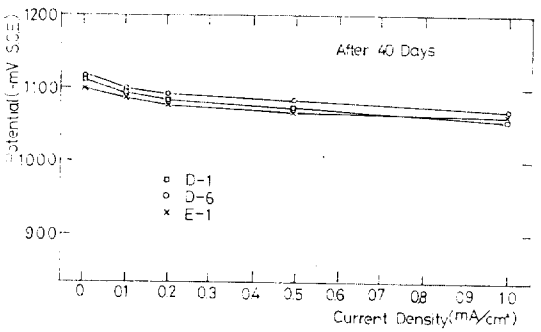

Fig. 11. Variations of Anode Potential vs. Current Density of Aluminium Alloy Anodes.

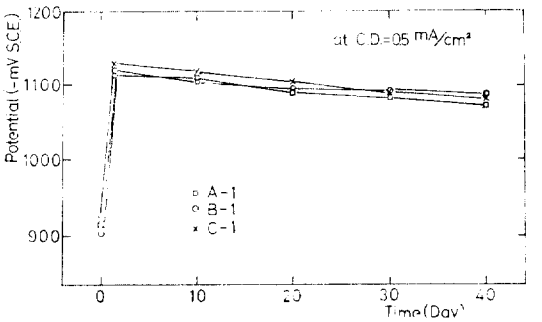

Fig. 9. Variations of Anode Potential vs. Current Density of Aluminium Alloy Anodes.

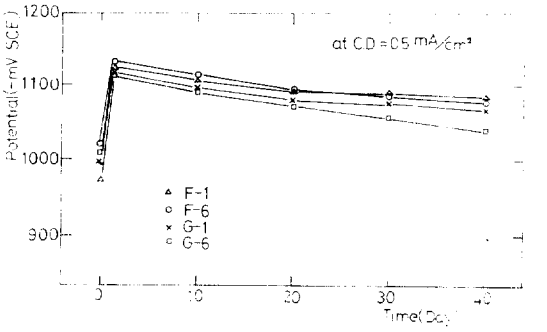

Fig. 12. Variations of Polarization Potential vs. Time of Aluminium Alloy Anodes

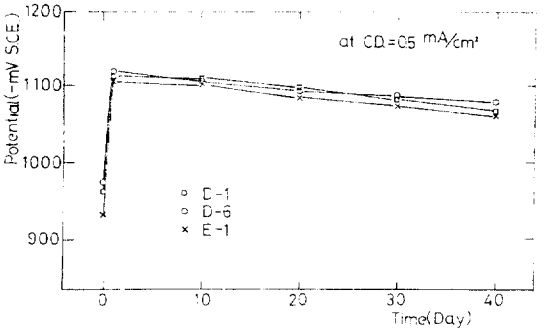

Fig. 10. Variations of Polarization Potential vs. Time of Aluminium Alloy Anodes

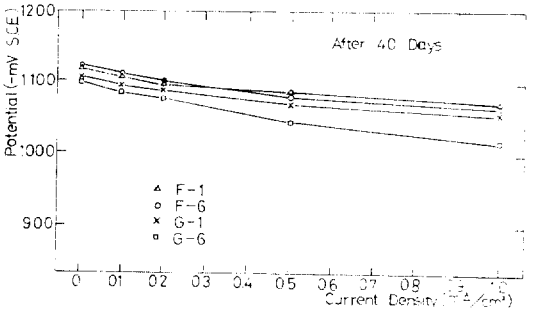

Fig. 13 Variations of Anode Potential vs. Current Density of Aluminium Alloy Anodes.

密度를 0~1.0mA/cm² 範圍에서 점차로 上昇시켜서 陽極分極特性을 調査한 것이다. 이들 圖面에 의하면 G-6 以外의 陽極은 分極狀態가 正常이고, Fig. 8, 10 및 12에서 通電初期의 分極電位 急降下는 陽極表面의 酸化皮膜이 通電에 의해서 急速히 除去되기 때문이라고 생각된다. 그리고 이 두 試驗에서 가장 重要한 것은 特定期間의 通電後의 分極電位와 그 동안의 分極電位變化量이므로 이들 값을 調査해서 Table 3의 前半部에 表示하였다.

Photo. 1은 이 40日間의 長期分極試驗이 끝난 後에 調査한 陽極表面의 溶解狀態이다. 이들 陽極의 溶解狀態 等級과 그들의 電流效率을 調査해서 Table 3의 後半部에 表示하였다.

Table 3에 의하면 Ca 添加陽極인 D-1, D-6 및 E-1은 短期試驗에서보다 長期試驗의 경우에 溶解狀態와 電流效率이 모두 더 좋아졌으나 Cd 添加陽極인 A-1,

Table. 3. Comparisons of Performance Data. *

Kind of Anode	Galvanostatic Current Test		Polarization Characteristic Test		Current Efficiency(%)		Corrosion pattern	
	Potential (−mV)		Differential Potential (mV)					
	10(day)	40(day)	10	40	10	40	10	40
A-1	1110	1072	56	88	84	80	B^+	C
B-1	1108	1091	45	82	88	81	B	C
C-1	1115	1078	40	60	86	79	B	C
D-1	1118	1064	52	66	85	86	A	A
D-6	1105	1081	51	55	84	87	B	A
E-1	1109	1057	34	42	83	84	B^+	A
F-1	1105	1082	32	40	87	84	B	B
F-6	1112	1077	43	61	86	79	C^+	B
G-1	1101	1067	45	52	85	84	C^+	B^-
G-6	1098	1041	67	82	89	80	C	B

*at C.D. $=0.5mA/cm^2$ for 10 days and 40 days.

B-1 및 C-1은 溶解狀態와 電流效率 모두가 長期試驗에서 悪化하였고, Ga 添加陽極인 F-1, F-6, G-1 및 G-6는 長期試驗에서 溶解狀態가 向上되었는 反面 電流效率이 떨어진 傾向을 보이고 있다. 換言하면 短期試驗에서 陽極性能이 좋았던 것이 長期試驗에서 반드시 그 性能이 좋지 않았으므로 特히 低純度 Al 地金으로 만든 流電陽極의 特性은 可能하면 長期間의 試驗結果로 判斷하여야 하겠다. 또 Cd, Ca 및 Ga의 添加量은 0.02% 보다 0.01%를 添加한 것이 陽極性能이 더 좋아지는 傾向이 있고, 陽極性能을 改善하는 적당한 熱處理溫度는 0.01% Ca 添加陽極에서 500°C 부근이나 다른 組成의 陽極에는 熱處理하지 않은 것이 더 좋은 性能을 나타내는 傾向이 있다.

以上의 結果를 綜合하면 10日間의 短期試驗에서 大體로 良好한 陽極特性을 나타낸 10種의 Al 合金陽極中에서 40日間의 長期試驗에서 目標性能을 滿足하는 것은 D-1과 D-6의 2種뿐이고 目標値를 거의 滿足하는 것은 E-1, F-1 및 G-1 일을 알 수 있다. 詳言하면 本試料中에서 流電陽極으로서 性能이 가장 좋은 것은 Al-2.5Zn-0.02In-0.01Ca 合金을 500°C로 풀림處理한 것과 안한 것의 2種이고, 比較的 陽極性能이 좋은 것은 熱處理을 하지 않은 Al-2.5Zn-0.02In-0.02Ca 合金과 Al-2.5Zn-0.02In-(0.01~0.02) Ga 合金이다.

4. 結 論

KS D2304 第2種 相當의 低純度 Al 地金으로 만든 Al-2.5Zn-0.02In의 Cd, Ca 및 Ga의 각각을 添加해서 流電陽極을 만들고 이들을 300~550°C로 풀림處理한 것과 안한 것에 대하여 3% 食鹽水中에서 10日間과 40日間의 分極特性試驗을 實施하였으며 이들 陽極의 電

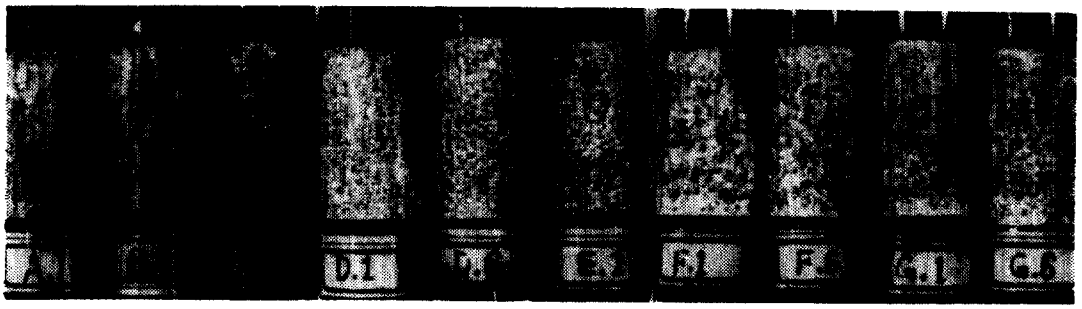

Photo. 1 Corrosien Patterns of Anodes Specimens after 40 Days.

流效率과 表面溶解狀態를 調査하였다. 이 硏究에서 다음의 結論을 얻었다.

(1) 10日間의 短期試驗에서 陽極性能이 좋았던 것이 40日間의 長期試驗에서 반드시 性能이 좋지는 않았다. 그러므로 陽極性能을 判斷하는 데는 可能하면 長期試驗을 實施하여야 한다.

(2) Cd, Ca 및 Ga의 添加量은 0.02%보다 0.01%를 添加한 合金에서 陽極性能이 더 良好한 傾向이 있었다.

(3) 0.01%를 添加한 合金에서 陽極性能이 改善되는 적당한 熱處理溫度는 500°C 부근이었으나 其他合金은 熱處理하지 않은 것이 오히려 性能이 良好하였다.

(4) 10日間과 40日間의 陽分極特性과 그 間의 電流效率 및 表面溶解狀態로 보아서 陽極性能이 가장 좋았던 것은 Al-2.5Zn-0.02In-0.01Ca 合金을 500°C로 풀림處理한 것과 안한 것의 2種이었다.

參 考 文 獻

1. R.A. Hine & M.W. Wei; How effective are Aluminium Anodes in Sea Water, Materials Protection, Vol. 3, No. 11. p. 49(1964).
2. J.T. Reding & J.J. Newport; The Influence of Alloying Elements on Aluminium Anodes in Sea Water, Materials Protection, Vol. 5 No, 12, p. 15 (1966)
3. 田大熙; 金屬의 防蝕規程, 防蝕基準및 그 關聯規格에 대해서, 韓国腐蝕学会誌 第7卷 第2号 p. 22~23(1980)
4. 日本学術振興会; 金属防蝕技術便覧, 日刊工業新聞社 p. 748, (1972)
5. T.J. Lennox, Jr. M.H. Peterson and R.E. Groover; A Study of Electrochemical Efficiencies of Aluminium Galvanic Anodes in Sea Water, Materials Protection, Vol. 7, N. 2, p. 33~37, (1968)
6. L.L Shreir; Corrosion, Vol. 2, Corrosion Control, p. 11~21, Newnes-Butterworths (1976)
7. T. Sakano, K. Toda & M. Hanada; Test on the Effects of Indium for High Performance Aluminium Anodes, Materials Protection, Vol. 5, No. 12, p. 45 (1966).
8. E.G. Haney & G.W. Kurr; Sea Water Efficiency Tests on Aluminium Alloy Anodes Containing Zinc, Indium and Cadmium, Materials Performance, Vol. 15, No. 5, p. 27, (1976).
9. S.N. Smith, J.T. Reding and R.L. Riley Jr.; Development of a Broad Application Saline Water Aluminium Anode-Galvalum Ⅲ, Materials Performance, Vol. 3, No. 11, p. 32 (1978).
10. Wilson Walton Co. BA-777
11. 電気学会; 新版電食土壌腐食ハンドブック, p. 220, コロナ社 (1977)
12. 村井東助・三浦国敏・田村祐一; アルミニウム流電陽極の研究, 防食技術, Vol. 23, p. 191(1974)
13. 田大熙・金基俊: 国産 Al 地金에 의한 Al-Zn-In 系와 Al-Zn-In-Sn 系의 Al 合金陽極의 性能, 韓国海洋大学論文集, 第16輯, p. 141~167 (1981)
14. 戸田一夫: 流電陽極用アルミニウム合金の熱処理法, 日本特許公報 35165—昭54
15. 田大熙: 流電陽極 試驗法과 同解說, 韓國腐蝕學會誌, 第7卷 2号 p. 8~17, (1980).