

```

11      1(X)+X)*(1.-S+C)*(1.-S-C)/(1.-DCOS(X))/(295.*4.)
12      1 D(I)=(X+THETA(2))*6378.206/1.852
13      RETURN
      END

1      SUBROUTINE DRP(DRLTO,DRLNO,CO,SPD,TIME,DRLT,DRLN)
2      DOUBLE PRECISION DPLTO,DRLNO,CO,SPD,TIME,DRLT,DRLN,PAI
3      PAI=3.1415926
4      DRLT=DRLTO+DCOS(CO)*SPD/60.0/60.0*TIME*PAI/180.0
5      DRLN=DRLNO+DSIN(CO)*SPD/60.0/60.0*TIME/DCOS(DRLT)*PAI/180.0
6      RETURN
7      END

```

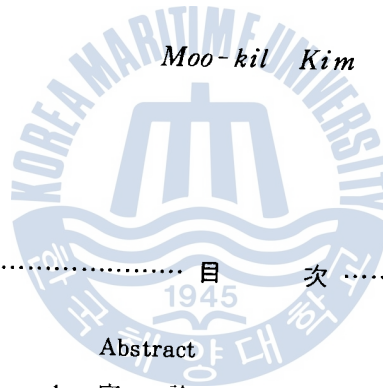


# Ca-Si合金을 添加한 Al, Al-Zn 및 Al-Zn-In系 合金의 流電陽極 特性에 관한 研究

金 武 吉

A Study on the Galvanic Anode Characteristics  
of Al, Al-Zn and Al-Zn-In Alloys Added  
Ca-Si Alloy

Moo-kil Kim



目 次

Abstract

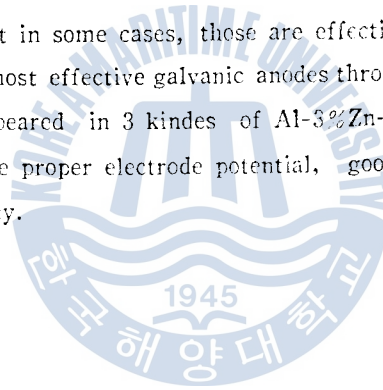
1. 序 論
  2. 試料陽極과 實驗方法
    - 2.1 試料 및 試驗片
    - 2.2 實驗裝置와 試驗方法
  3. 實驗結果와 考察
    - 3.1 10日間の 短期陽極性能
    - 3.2 55日間の 長期陽極性能
  3. 結 論
- 參考文獻

### Abstract

This study was carried out to investigate the characteristics of 51 kinds of Galvanic Anodes of Al, Al-Zn and Al-Zn-In alloys added by Ca-Si alloy through the ten days short period test and 55 days long period one in the sea water. The above Galvanic Anodes were made of low purity Al ingot.

The results gained are as follows;

1. It is insufficient to examine the performance of galvanic anodes through 10 days of a short-term test, if possible, it will be necessary to carry out test to extent over a long period.
2. In order to improve the performance of galvanic anodes in Al alloy anodes, it is effective to add the proper quantities of Zinc and Indium. The addition effects of Ca-Si alloy are not constant. But in some cases, those are effective.
3. The performance of the most effective galvanic anodes through a long-term experiments in Al alloy anodes are appeared in 3 kinds of Al-3%Zn-0.03%In-(0.01~0.03%)(Ca-Si) alloy. These have the proper electrode potential, good state in solubility and 86~88% of current efficiency.



## 1. 序 論

流電陽極은 港灣施設이나 海洋構造物의 電氣防蝕에 널리 使用되고 있다.<sup>1), 2), 3)</sup> 이 陽極에는 Zn系, Al系 및 Mg系의 3種이 있으며, 近年까지 主로 Zn系가 使用되었으나 지금은 그 大部分이 Al系로 代替되었다.<sup>4), 5), 6)</sup>

Zn系와 Mg系의 流電陽極은 使用來歷이 길고 많은 研究가 이루어져 있으므로 이미 工業規格化<sup>7)</sup> 되었으나 Al系의 流電陽極은 1960年代부터 實用化되기 시작하였으므로 지금도 새로운 新組成의 陽極이 많이 開發되고 있으며, 아직 工業規格化가 이루어지지 않고 있다.

Al合金陽極의 最初의 開發品은 1964년에 美國特許를 받은 Al-Sn系(Alcan GB 80S)와 Al-Zn系(Alcan GB 430)의 2元合金<sup>8)</sup>이며, 이들은 電流效率도 낮았고 表面溶解狀態도 좋지 않았다. 1965년에 英國特許를 받은 Al-Zn-In系(Alanode)<sup>9), 10)</sup>의 三元合金은 電流效率이 80%까지 到達하는 경우가 있으나 原材와 製法에 따라 그 性能이 달랐다. 1967년에서 1968년에 걸쳐서 特許를 받은 Al-Zn-Hg系(Galvalum I)<sup>6), 11)</sup>의 三元合金은 90%内外의 高電流效率이고 表面溶解狀態도 좋았으므로 Al合金陽極에 대한 關心은 全部 이 系에 集中하게 되었다. 그러나 Hg가 甚한 公害物質이기 때문에 1970年代부터는 다시 非水銀系로 눈을 돌리게 되었으며, 이 새로운 傾向에 따라 1975년에 Al-Zn-In-Cd系(HI-AMP)<sup>10), 11)</sup>가, 1976년에 Al-Zn-In-Si系(Galvalum II)<sup>12)</sup>가 各各 開發되었고, 그 後에 이어서 Al-Zn-In-Ca系,<sup>12), 13)</sup> Al-Zn-In-Mg-Ti系<sup>14)</sup>, Al-Zn-In-Mg-Sn系<sup>15)</sup>, Al-Zn-Sn-Bi-Ga系<sup>16)</sup> 등이 開發되어 非水銀系로서도 溶解狀態가 좋고, 電流效率이 85%以上의 것이 出現하게 되었다. 最近에는 電流效率이 95%以上인 Al-Zn-Mg-In-Ca系(Alanode III)<sup>17)</sup>와 Al-Zn-Mg-In-Sn-Si系<sup>18)</sup>의 流電陽極도 開發되었다.

上述한 Al合金陽極은 모두 高價인 高純度級의 Al地金を 使用하고 있으나 田 等은 低純度인 國產 Al地金を 使用해서 良質의 Al合金陽極을 만드는 方法을 開發하고 있다. 이들이 開發한 Al-2Zn-0.03In-0.02Sn合金<sup>19)</sup>과 Al-(2~3)Zn-0.02In-1.0Mg合金<sup>20)</sup>은 모두 陽極電位의 經時變化가 적고 陽極表面의 溶解狀態가 좋으며, 電流效率도 85%以上이다. 筆者는 이 一連의 研究로서 國產 Al地金에 Ca-Si合金을 添加한 Al, Al-Zn 및 Al-Zn-In系의 많은 試料陽極을 만들고, 이 中에서 流電陽極으로서 優秀한 性能을 가진 것을 長短期性能試驗을 通해서 選別하여 보았다.

## 2. 試料陽極과 實驗方法

## 2.1 試料 및 試驗片

本 實驗에 使用한 試料는 Table 1과 같은 KSD 2304의 第2種 相當의 國產 알루미늄地金과 試藥級의 Zn, In 및 Ca-Si合金(Ca 30%이상, Si 65%이상, C 1.0%이하, P 0.05%이하)으로 51種을 製成 하였으며, 그 組成은 Table 2와 같다.

Table 1. Chemical Compositions of Al Ingot

Composition	Fe	Cu	Si	Mn	Al
Weight Percent	0.172	0.002	0.07	0.012	Balance

Table 2. Chemical Compositions of Manufactured Specimens (Wt. %)

Kind of Specimens	Common Alloy	Addition Element (Ca-Si)	Kind of Specimens	Common Alloy	Addition Element (Ca-Si)	Kind of Specimens	Common Alloy	Addition Element (Ca-Si)
001	Al	0.01%	002	Al	0.02%	003	Al	0.03%
200	Al-2%Zn	—	500	Al-2.5%Zn	—	300	Al-3%Zn	—
201	"	0.01%	501	"	0.01%	301	"	0.01%
202	"	0.02%	502	"	0.02%	302	"	0.02%
203	"	0.03%	503	"	0.03%	303	"	0.03%
210	Al-2%Zn-0.01%In	—	510	Al-2.5%Zn-0.01%In	—	310	Al-3%Zn-0.01%In	—
211	"	0.01%	511	"	0.01%	311	"	0.01%
212	"	0.02%	512	"	0.02%	312	"	0.02%
213	"	0.03%	513	"	0.03%	313	"	0.03%
220	Al-2%Zn-0.02%In	—	520	Al-2.5%Zn-0.02%In	—	320	Al-3%Zn-0.02%In	—
221	"	0.01%	521	"	0.01%	321	"	0.01%
222	"	0.02%	522	"	0.02%	322	"	0.02%
223	"	0.03%	523	"	0.03%	323	"	0.03%
230	Al-2%Zn-0.03%In	—	530	Al-2.5%Zn-0.03%In	—	330	Al-3%Zn-0.03%In	—
231	"	0.01%	531	"	0.01%	331	"	0.01%
232	"	0.02%	532	"	0.02%	332	"	0.02%
233	"	0.03%	533	"	0.03%	333	"	0.03%

이들의 合金陽極中에서 Al合金陽極으로서 適當한 性能을 가진 것을 選別하도록 計劃하고 그 陽極의 目標性能을 田의 提案<sup>10)</sup>에 準해서 첫째로 電極電位가 適當(-1,100mV SCE)하고 經時變化量이 적고, 둘째로 陽極의 表面溶解狀態가 良好하고(B級 以上) 均一하며, 셋째로 陽極의 電流效率이 0.5mA/cm<sup>2</sup>의 電流密度下에서 長期間 85%以上인 것으로 定하였다.

Table 2 組成의 各 試驗片은 黑鉛도가니 속에서 所要成分을 溶解시켜 母合金을 먼저 製造한 後, 適量의(Ca-Si) 合金을 添加해서 混合하고 全 重量이 160g 以上이 되도록 만든 金型에 鑄込하여  $\phi 20 \times 160\text{mm}$ 의 丸棒試驗片으로 만들어 鑄放狀態에서 性能試驗을 하였다.

여기에서 Zn와 In의 添加量을 Table 2와 같이 採用한 것은 田等<sup>19), 20)</sup>에 의해 報告된 바와 같이 이 組成合金에서 流電陽極의 性能이 特히 優秀하였기 때문이다.

各 試驗片은 Fig. 1과 같이  $\phi 2\text{mm}$ 의 비닐 被覆 銅線을 드릴(Drill) 加工한 試驗片에 挿入固定 後 水洗하고 아세톤 脫脂한 後에 陽極作用面積이  $20\text{cm}^2$  되게 남기고 비닐테이프와 에폭시(Epoxy) 樹脂로서 被覆絶緣해서 重量을 計測하였다.

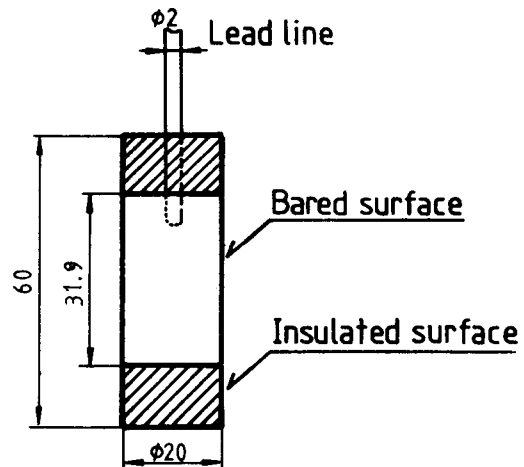


Fig. 1. Anode Specimen

## 2.2 實驗裝置와 試驗方法

流電陽極의 性能試驗은 日本學術振興會 第97委員會 電氣防蝕 第12分科會가 制定한 流電陽極 試驗法<sup>7)</sup>에 의해서 實施하였다.

定電流試驗은 同時에 多數의 試驗片을 試驗할 수 있는 Fig. 2와 같은 試驗裝置를 이용하여 陽極電流密度를  $0.5\text{mA}/\text{cm}^2$ 의 一定值로 維持하면서 10日間의 短期試驗과 55日間의 長期試驗을 實施하였다.

이 試驗이 끝난 後에는 各 試驗片마다 Fig. 3의 裝置에 의해서 陽極電流密度를  $0 \sim 1.0\text{mA}/\text{cm}^2$ 로 段階的으로 높아가면서 分極特性試驗을 實施하였다.

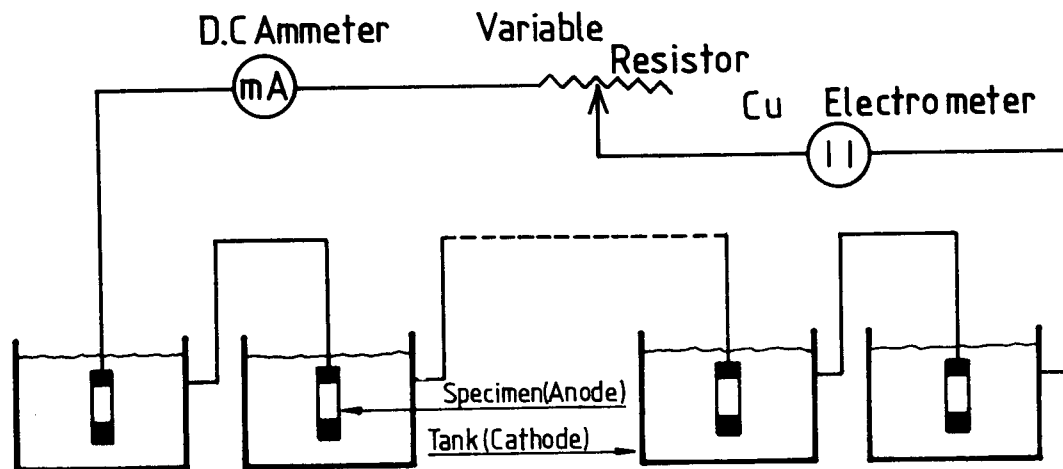


Fig. 2. Experimental Apparatus for the Galvanostatic Current Test

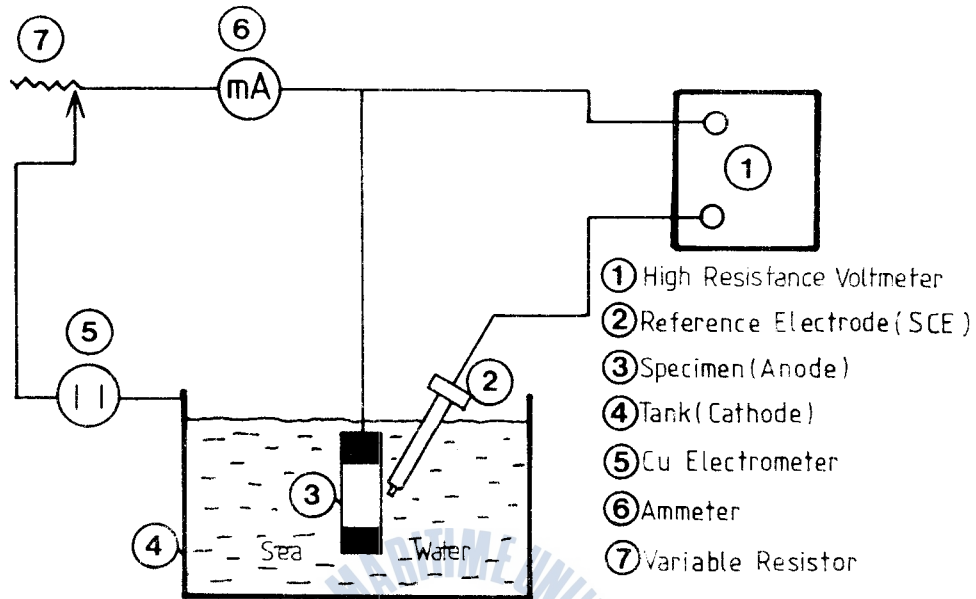


Fig. 3. Experimental Apparatus for Galvanostatic Current Test

試驗用水는 Table 3과 같은 天然海水이고, 同用水는 試驗期間中 交換하지 않았으나 蒸發量은 蒸溜水로 補充하였다. 또 이 두 試驗에서 陽極電位の 計測은 飽和카로멜電極(SCE)과 高入力抵抗電壓計( $10^7\Omega/V$ )를使用하였고, 陽極의 電流效率은 Fig. 4의 銅電量計에 의해서 計測하였다. 이 銅電量計

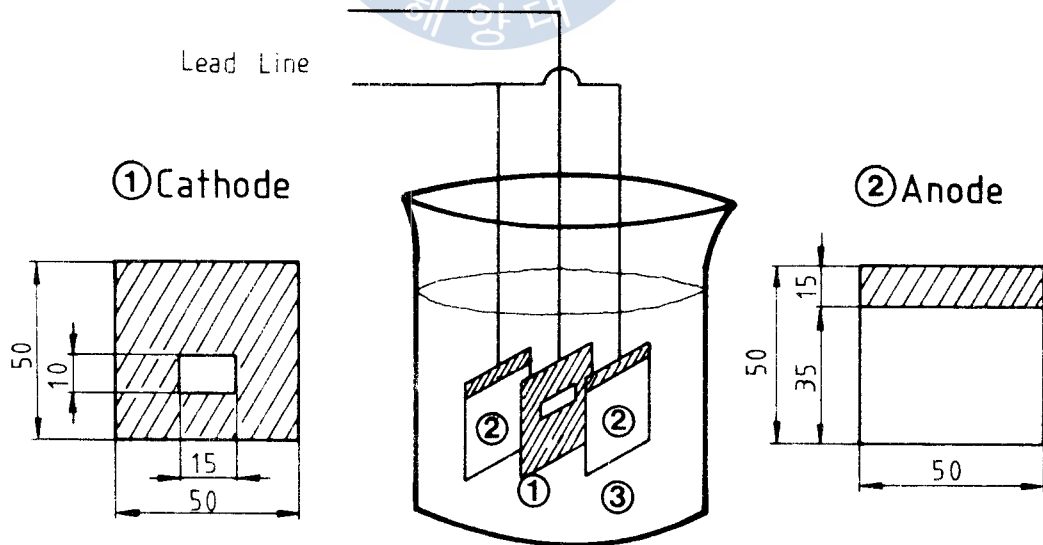


Fig. 4. Details of the Copper Electrometer

Table 3. Qualities of Sea Water used for the Experiment

Water Temp. (°C)	Specific Gravity	Specific Resistance (Ω-cm)	pH	Total Hardness (ppm CaCO <sub>3</sub> )	Total Alkalinity (ppm CaCO <sub>3</sub> )	Chloride (ppm Cl <sup>-</sup> )
21	1.0231	21.5	7.2	3,555	115	18,567

에서 陰極과 陽極은 高純度銅板으로 50×50×2mm되게 만들고, 研摩布 600番까지로 研摩한 다음에 脫脂하고 乾燥시켜서 重量을 計測하였으며, 陰極板은 兩面의 露出面積이 300mm<sup>2</sup>되게 남기고 殘部는 被覆絶緣하였다. 이 電量計의 電解液은 CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O 125g, 濃 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 50g, 에칠알콜 50g, 나머지 純水로써 1,000ml로 되게하였고, 試藥은 特級을 使用하였다.

分極特性試驗이 끝난 後에는 陽極試驗片의 腐蝕樣相을 觀察하고 水洗한 後, 80°C로 加熱한 Al腐蝕生成物 除去劑液(4% CrO<sub>3</sub> 및 10% H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>의 1:1 混合液) 中에 30秒 내지 1分間 浸漬해서 表面의 附着物을 除去하였다. 그 후 다시 水洗한 後에 乾燥시켜서 試驗片의 表面溶解狀態를 觀察하고 그 重量減量을 計測하였다. 그리고 銅電量計의 陰極板과 陽極板은 被覆物을 붓으로 除去하고 알콜로 洗滌한 다음에 乾燥시켜서 重量變化量을 計測해서 다음과 같이 이들 試驗片의 電流效率을 求하였다. 即 銅電量計의 全流通電氣量(A·hr)은 陰極板上에 電着한 銅附着量(g)을 Cu<sup>2+</sup>의 電氣化學當量인 1.185로 나눈 값이고, Al陽極의 理論的 發生電氣量은 그 電氣化學當量(0.33557g/A·hr)의 逆數인 2.98이므로 Al合金陽極의 電流效率은 다음 式에 의해서 求할 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{電流效率(\%)} &= \frac{\text{銅電量計의 全流通電氣量(A·hr)} \times 100}{\text{Al合金陽極減量(g)} \times \text{Al의 理論的 發生電氣量(A·hr/g)}} \\ &= \frac{28.3182 \times \text{銅電量計 陰極增加量(g)}}{\text{Al合金陽極減少量(g)}} \end{aligned}$$

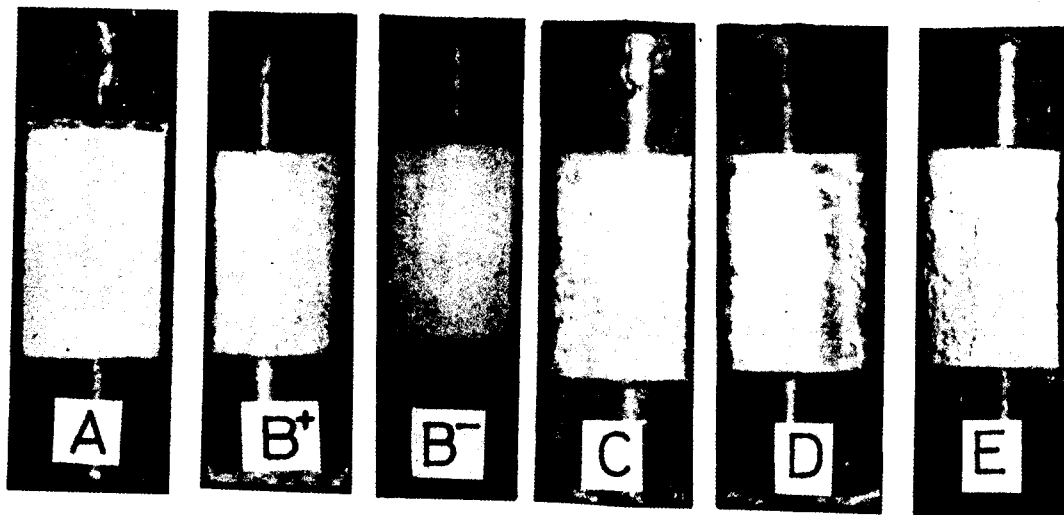


Photo 1. Corrosion Pattern of Anode Specimens



그리고 定電流 試驗曲線과 分極特性 試驗曲線을 圖示하고, 이들에서 陽極電位의 平均値와 그 變化幅을 求하였으며, 陽極試驗片의 溶解狀態는 그 溶解面積과 溶解部 分布에 따라서 다음과 같이 分類해서 比較하였다. Photo. 1은 그 溶解狀態이다.

- A 級 : 95%以上 均一溶解
- B+級 : 90%以上 均一溶解
- B-級 : 85%以上 均一溶解
- C 級 : 75%以上 均一溶解
- D 級 : 65%以上 均一溶解
- E 級 : 65%未滿 集中溶解

### 3. 實驗結果와 考察

#### 3.1. 10日間の 短期陽極性能

Fig. 5는 Table 2에 表示된 51種의 組成이 異なる Al合金試驗片에 대해서 10日間の 短期陽極性能을 調査한 것이다.

이들에 의하면 Al地金에 (Ca-Si)合金을 0.01~0.03% 添加한 000系의 試驗片은 電流效率가 75% 内外로 이나 電極電位가 低수 故로 溶解狀態가 劣한 事에 對하여 그 性能이 (Ca-Si)合金의 添加量에 影響을 받지 않는다.

Al地金에 Zn을 2~3% 添加한 200, 500 및 300系의 試驗片은 Zn添加量이 增加함에 따라 電流效率가 增加하여 溶解狀態는 300系의 傾向에 對하여 向上이었으며, 電極電位는 000系의 傾向에 對하여 Zn添加量의 增加에 隨하여 減少한 事을 認할 수 있다. (Ca-Si)合金의 添加量 多少가 電極電位와 溶解狀態에 對하여 電極電位는 溶解狀態는 多少의 影響을 받지 않는다. 組成이 異なる 試驗片에 對하여 試驗片의 溶解狀態는 電極電位와 電流效率에 隨하여 變性雖도 未達 不爲다.

Al-Zn合金에 In을 0.01~0.03% 添加한 200系의 試驗片은 (Ca-Si)合金을 0.01~0.03% 添加한 220 및 300系의 試驗片은 In의 添加量이 增加함에 따라 流電陽極性能으로서의 改善性能이 多少의 程度에 向上되어 (Ca-Si)合金의 添加量의 影響을 받지 않는다. 組成이 異なる 試驗片에 對하여 230系의 傾向이 示하였다. 試驗片 번호가 222, Al-Zn-0.03In-0.03(Ca-Si)의 233, Al-2Zn-0.03In-0.03(Ca-Si)의 Al合金 含量極大인 234의 溶解狀態 極劣하다.

Al-3Zn合金에 In을 0.01~0.03% 添加한 200系의 試驗片은 (Ca-Si)合金을 0.01~0.03% 添加한 510, 520 및 300系의 試驗片은 陽極性能으로서의 改善性能이 多少의 程度에 向上한 傾向이 示하였다. In의 添加量이 增加함에 따라 流電陽極性能으로서의 改善性能이 多少의 程度에 向上한 事을 認할 수 있다. 試驗片 번호가 522, 523, 530, 531, 532 및 533合金은 In의 添加量이 多少의 程度에 向上한 傾向이 示하였다.

Al-3Zn合金에 In을 0.01~0.03% 添加한 母合金에 (Ca-Si)合金을 0.01~0.03% 添加한 310, 320

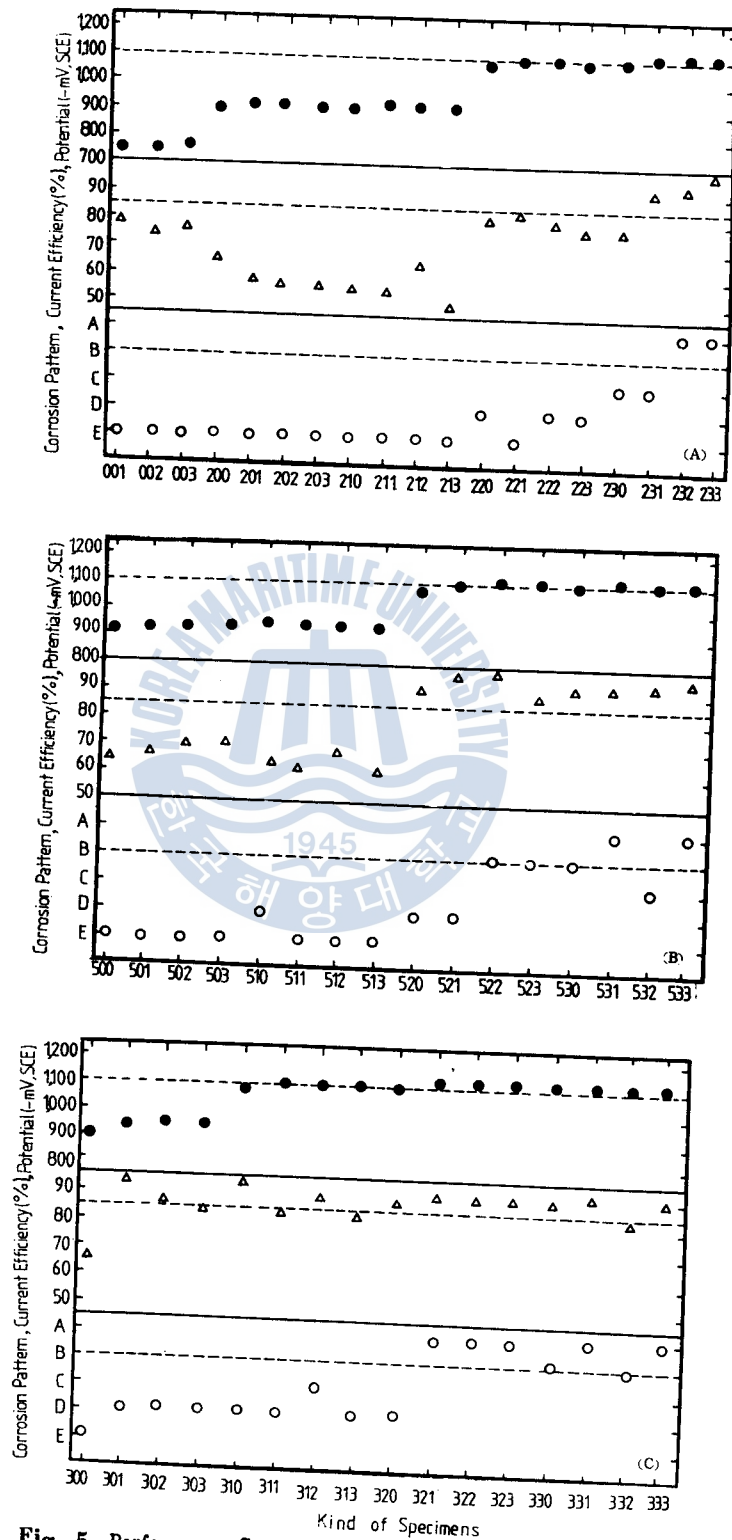


Fig. 5. Performance Comparisons of Trial Al Alloy Specimens

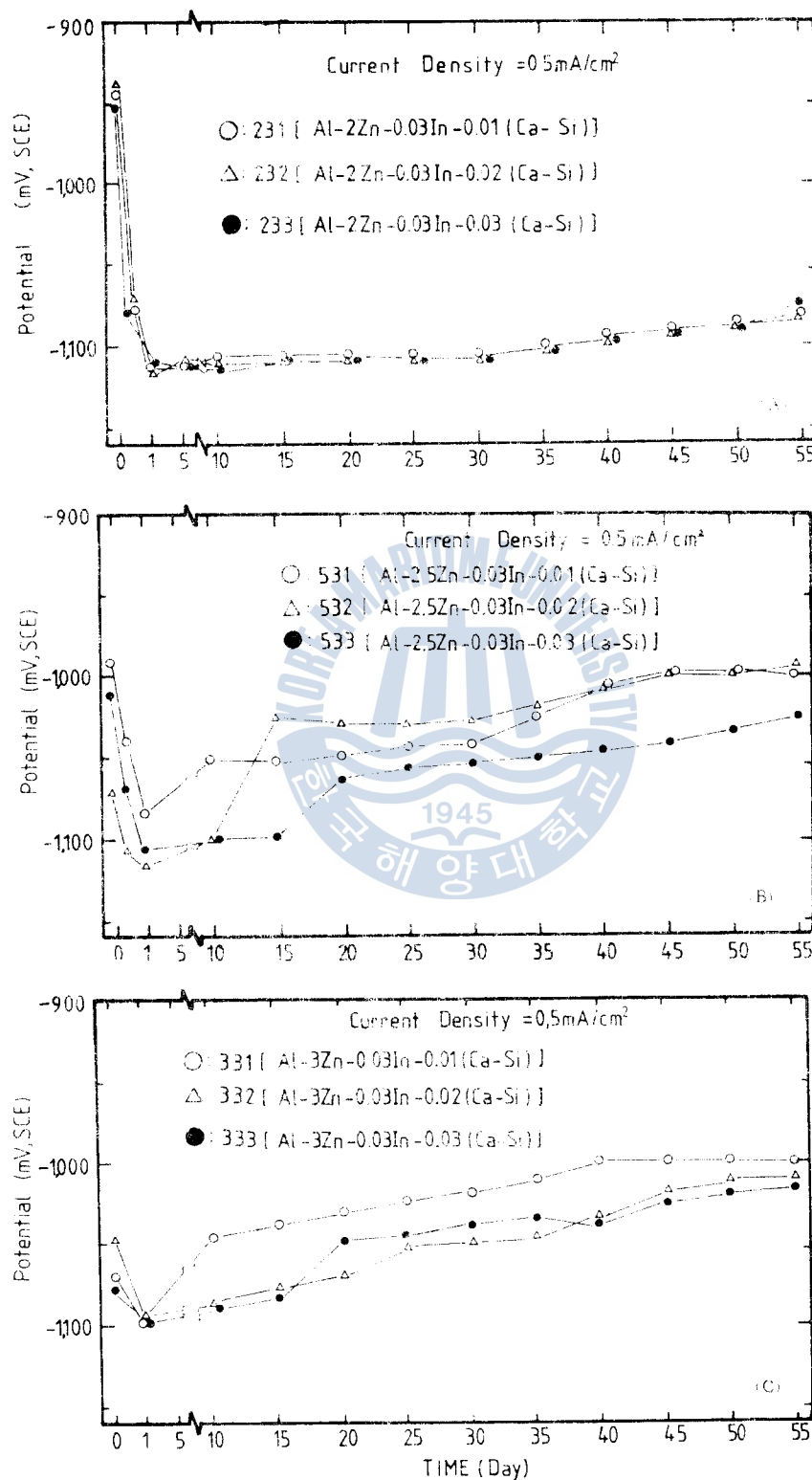


Fig. 6. Variations of Polarization Potential Vs Time of Al Alloy Specimens

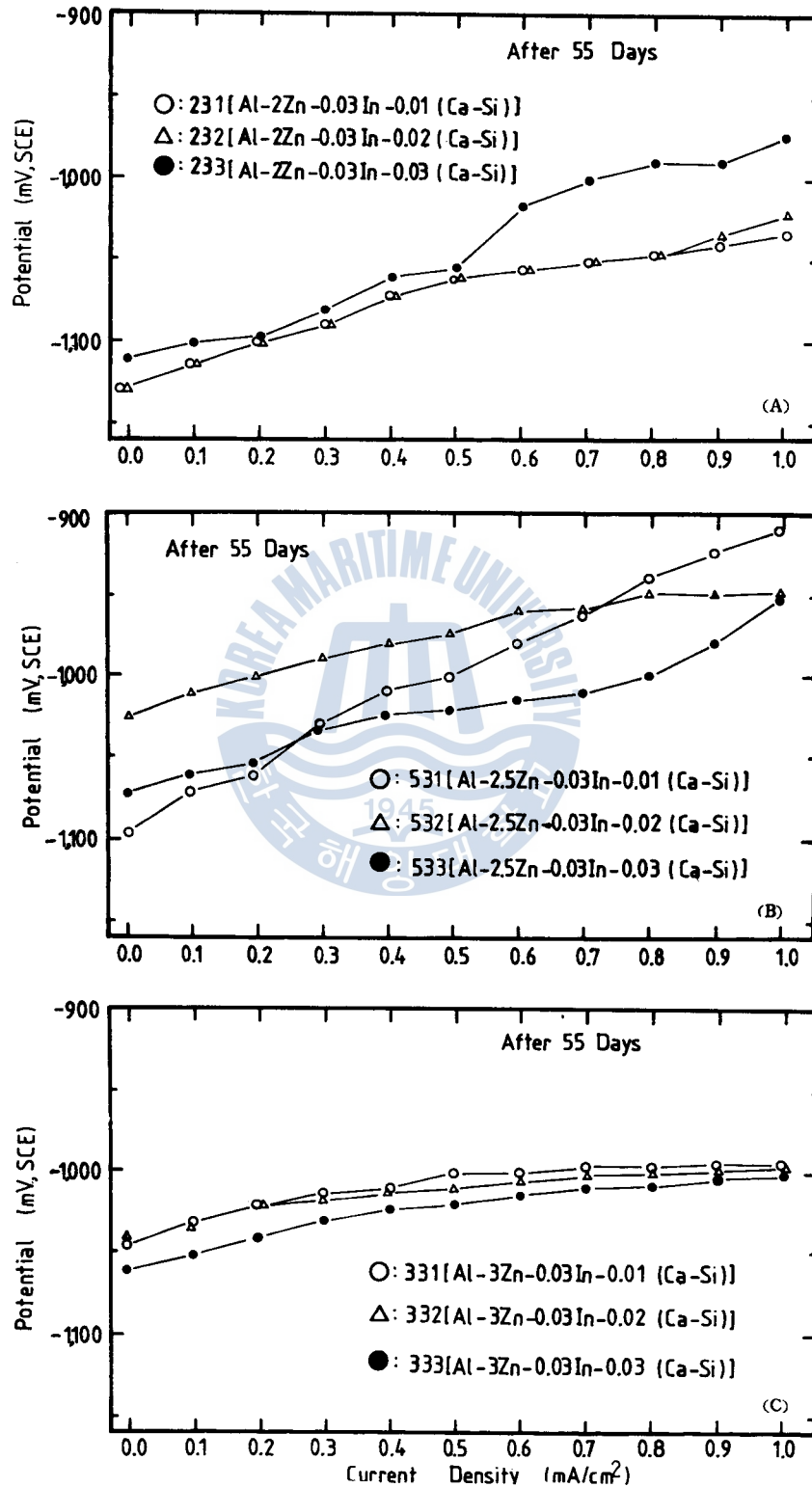


Fig. 7. Variations of Anode Potential Vs Current Density of Al Alloy Specimens

및 330系の 試驗片은 In添加量이 0.02%以上인 것이 모두 Al合金陽極의 目標性能을 充分히 滿足하고 있었고, (Ca-Si)合金의 添加量의 多少의 影響은 陽極의 溶解特性과 電極電位에 若干 나타나나 電流效率에는 明確하지 않았다.

以上과 같은 10日間の 短期性能試驗結果를 要約하면 Al-Zn-In-(Ca-Si)系 合金이 流電陽極으로서 좋은 性能을 갖추기 위해서는 Zn을 2.5~3%, In을 0.02~0.03% 添加하여야 하고, (Ca-Si)合金은 母合金의 組成에 따라 適量添加하여야 한다는 것을 알 수 있다.

### 3.2. 55日間の 長期陽極性能

10日間の 短期陽極性能試驗에서 Al合金陽極으로서의 目標性能을 滿足하는 15種의 試驗用 陽極에 대해서는 55日間の 長期性能試驗을 實施하였다.

Fig. 6의(A), (B) 및 (C)는 陽極電流密度를  $0.5\text{mA}/\text{cm}^2$ 의 一定值로 維持하면서 55日間 定電流試驗을 했을때의 電極電位の 經時變化를 表示한 것이다. 이들에 의하면 어느 陽極에서나 電極電位는 1日後에 最低值로 되고 그 以後부터 徐徐히 上昇된다. 또 電極電位の 經時變化는 230系에서는 같은 樣相으로 徐徐히 變하나 530系와 330系는 變化樣相이 試驗片의 種類에 따라 多少 다르고 더 急激히 變한다. 그러나 이들 陽極의 電位變化特性은 大體로 모두 良好하다.

Fig. 7의 (A), (B) 및 (C)는 55日間の 定電流分極試驗이 끝난 後에 陽極電流密度를  $0\sim 1.0\text{mA}/\text{cm}^2$ 의 範圍에서  $0.1\text{mA}/\text{cm}^2$ 씩 增加해 가면서 分極特性을 調査한 것이다. 이들에 의하면 分極特性은 330系の 3種의 陽極이 가장 좋고, 230系の 231과 232도 比較的 좋으나 530系와 233은 電位變化幅이 過大하다.

Table 4는 Fig. 5~7의 10日間과 55日間の 定電流試驗에서 電極電位가 最初에서 最後까지 얼마나

Table 4. Comparisons of Performance Data

Kind of Specimens	Galvanostatic Current Test		Polarization Characteristic Test		Current Efficiency(%)		Corrosion Pattern	
	Average/Differential Potential(mV)		Differential Potential(mV)					
	10(Day)	55(Day)	10(Day)	55(Day)	10(Day)	55(Day)	10(Day)	55(Day)
231	-1106/ 5	-1095/ 60	101	95	92	85	C	C
232	-1118/ 8	-1095/ 65	90	95	93	84	A	D
233	-1112/ 7	-1082/ 65	96	144	98	86	A	D
522	-1108/ 5	-1070/115	10	120	85	85	B	D
530	-1109/ 8	-1090/ 90	90	90	93	82	B	E
531	-1120/ 2	-1025/ 85	92	180	92	82	A	B <sup>-</sup>
532	-1108/20	-1056/145	20	60	94	85	B	B <sup>-</sup>
533	-1115/15	-1088/ 80	12	100	92	86	A	B
321	-1108/ 5	-1060/100	130	85	92	90	A	B
322	-1107/ 8	-1050/100	120	95	92	88	A	B <sup>-</sup>
323	-1115/10	-1070/ 60	70	70	91	90	A	B <sup>-</sup>
330	-1117/ 5	-1050/100	67	16	83	80	A	E
331	-1116/ 5	-1063/ 70	45	34	95	88	A	B <sup>+</sup>
332	-1118/ 5	-1065/ 90	70	33	85	89	B	B <sup>+</sup>
333	-1120/ 2	-1063/ 80	80	60	95	86	A	B <sup>+</sup>

Current Density =  $0.5\text{mA}/\text{cm}^2$  for 10days and 55Days.

變化하고 그 電位の 平均値는 얼마인가를 表示하였고, 分極特性試驗에서 陽極電流密度가 0~1.0 mA/cm<sup>2</sup>의 範圍에서 變할 때 電極電位の 變化가 얼마인가를 表示하였으며, 그 外에 10日間과 55日間의 定電流試驗 동안의 陽極의 電流效率과 陽極의 表面溶解狀態도 表示하였다. 이들 陽極中에서 (Ca-Si)합금을 添加하지 않은 530과 330합금은 短期試驗性能이 좋았어도 長期試驗性能이 좋지 않았으며, 10日間の 短期性能試驗과 55日間の 長期性能試驗의 두 試驗에서 Al合金陽極으로서 Al合金陽極으로서 目標性能을 다 滿足하는 것은 330系인 Al-3Zn-0.03In-(0.01~0.03)[Ca-Si]合金, 533 [Al-2.5Zn-0.03In-0.03(Ca-Si)]合金 및 321[Al-3Zn-0.02In-0.01(Ca-Si)]合金의 5種이고, 330系の 3種의 合金의 性能이 特히 優秀함을 알 수 있다. 이들 結果에 의하면 10日間の 短期試驗에서 性能이 좋았던 것이 모두 55日間の 長期性能試驗에서 반드시 좋지 않았으며 이 點이 바로 流電陽極性能 調查에서 長期試驗이 必要한 까닭이라고 생각된다.

이와 같은 長期性能試驗의 結果를 보면 低純度の Al地金에 의해서 Al合金陽極을 만들려고 할 때는 Zn는 3%程度, In는 0.03%程度로 添加하여야 한다는 것을 알 수 있고, 또 (Ca-Si)합금은 그 母合金의 組成에 따라 適量添加하는 것이 陽極의 性能向上에 좋다는 것을 알 수 있다. 이것은 低純度の Al地金에 의해서 만들어진 Al-Zn-In-Sn系<sup>19)</sup>나 Al-Zn-In-Mg系<sup>20)</sup>의 Al合金陽極의 要求와 거의 같은 傾向이다.

#### 4. 結 論

低純度 國產 알루미늄地金에 (Ca-Si)합금을 添加한 Al, Al-Zn 및 Al-Zn-In系の 51種의 合金에 대해서 流電陽極으로서의 特性을 10日間の 短期試驗과 55日間の 長期試驗을 通해서 調查하였으며, 이 研究에서 얻은 主結果는 다음과 같다.

1. 이 Al合金陽極의 性能調查에는 10日間으로는 不充分하고 可能하면 長期間의 試驗이 必要하다.
2. 이 Al合金陽極에서 流電陽極의 性能向上에는 適量の Zn과 In의 添加가 特히 效果的이고 (Ca-Si)合金의 添加影響은 一定하지 않으나 效果的일 때가 많다.
3. 이 Al合金陽極中에서 流電陽極性能이 長期間에 걸쳐서 가장 좋은 것은 Al-3Zn-0.03In-(0.01~0.03)(Ca-Si)의 3種이며, 이들은 電極電位가 適當하고, 溶解狀態가 좋으며, 電流效率도 86~88%程度이다.

## 參 考 文 獻

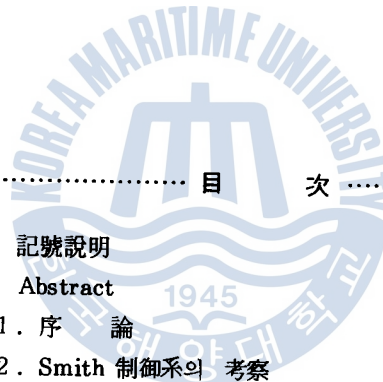
1. 腐蝕防蝕協會編：新版 金屬防蝕技術便覽. 機電研究社, p.587-589. (1972).
2. 村井東助, 田村祐一：流電陽極用 Al合金, 日本特許公報, 1380 (1981).
3. 田大熙：腐蝕의 防蝕의 管理, p.364~374. 大和出版社 (1979).
4. 重野準太：アルミニウム陽極について, アルミニウム, No.496, p.21-23 (1974).
5. R. A. Hine & M. W. Wei: How Effective are Aluminum Anodes in Sea Water?, Materials Protection, Vol.3, No.11, p.49-55 (1964).
6. J. T. Reding & J. J. Newport: The Influence of Alloying Elements on Aluminum Anodes in Sea Water, Materials Protection, Vol.5, No.12, p.15-18 (1966).
7. 田大熙：流電陽極試驗法의 同解説, 韓國腐蝕學會, Vol.7, No.2, p.8-17 (1978).
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.5, No.2, p.33-37 (1968).
9. L. L. Shreir: Sacrificial Anode, Corrosion, Vol.2, p.11-21 (1976).
10. T. Sakano, K. Teda & M. Hanada: Tests on the Effects of Indium for High Performance Aluminum Anodes, Materials Protection, Vol.3, No.12, p.45-48 (1966).
11. 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).
12. 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.32-36 (1978).
13. 村井東助, 田村祐一：流電陽極用 Al合金, 日本特許公報, 100115 (1978).
14. 内山郁雄, 佐藤榮一：熱交換器の理, 及び Al-1100と 流電陽極用 Al-Zn系合金の腐食 防食技術, Vol.25, No.1, p.11-17 (1976).
15. 電氣學會：新版電食土壤腐食ハンドブック, p.221. 丸善社 (1977).
16. 村井東助, 三浦國政, 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.13, No.4, p.194-195 (1974).
17. 小林豊治, 田村祐一：新 Al陽極の流電陽極特性, '84春期學術講演大會 講演豫稿集, 日本腐食防食協會, p.198-201 (1984).
18. 山本郁雄, 篠田吉夫：高性能 アルミニウム系 陽極材の開発, '84春期學術講演大會 講演豫稿集, 日本腐食防食協會, p.194-197 (1984).
19. 田大熙, 金基俊：國産 Al地金의 銜 Al-Zn-In系와 Al-Zn-In-Sn系의 Al合金陽極의 性能, 韓國海洋大學 論文集, Vol.11, No.1 (1982).
20. 金垣寧, 金榮大：低純度 Al地金을 使用한 Al-Zn-In-Mg系 Al合金流電陽極의 特性에 관한 研究, 韓國海洋大學, 學位請求論文 (1984).

# Smith制御系の安定도에 관한 研究

金 仁 泰

(A Study on the Stability of Smith Control System)

*In-tae Kim*



目 次

記號說明

Abstract

- 1. 序 論
  - 2. Smith 制御系の 考察
    - 2. 1) 理想 Smith 制御系
    - 2. 2) 實際 Smith 制御系
  - 3. 制御要素의 設定
    - 3. 1) 制御對象의 傳達函數
    - 3. 2) 制御裝置의 傳達函數
  - 4. 理想 Smith 系の 安定度
    - 4. 1) 原形系の 安定度
    - 4. 2) 等價系の 安定度
    - 4. 3) 理想 Smith 系の 安定度比較
  - 5. 實際 Smith 系の 安定度
    - 5. 1) 遲延時間差에 依한 安定度
    - 5. 2) 動特性相異에 依한 安定度
    - 5. 3) 遲延時間差 및 動特性相異에 依한 安定度
  - 6. 結 論
- 參考文獻