기획특집

양극 산화

Anodic Oxidation

Anodizing processes is the conversion of the aluminum surface to aluminum oxide while the part is the anode in an electrolytic cell. The object of the anodizing was increased corrosion resistant, paint adhesion and was provided unique, decorative colors. Many electrolytes, under different conditions, have been used for the anodic oxidation of aluminum and its alloys. This paper deals with the procedures used in the anodic oxidation of aluminum and its alloys, the nature and properties of the oxide films, their uses and anodizing equipment and process control.

글 | 盧 海 龍
(Noh, Hae Yong)
금속재료기술사,
지인컨설팅 대표.
E-mail:hy-jiin@hanmail.net

목 차

1. 서론
2. 알루미늄 양극 산화의 기초
3. 황산욕 양극산화 피막의 처리조건
4. 맺음말

1. 서론

양극 산화 표면처리는 알루미늄에 대해서 이미 공업적으로 널리 이용 되어 현재까지 고도의 기술로 발전되어 왔다. 양극산화는 금속을 양극으로 하여 전해액 중에서 전기분해(이하는 전해)하는 것을 양극 처리라고 한다. 이러한 양극 처리는 금속이 양이온이 되어서 전해액에 용해하게 되고, 전해액 중의 OH^- 및 그 외에 이온이 방전하게 되며, 또한 양극 표면에 착이온 및 산화물을 생성하게 되는 특성을 가지므로 전해 부식, 전해 연마, 양극 산화, 산화물의 제조 등 많은 분야에서 이용되고 있다.

이들 중에서 양극 산화는 양극에 있어서 전기화학적 산화 반응의 총칭이지만 여기에서는 알루미늄, 티타늄, 마그네슘, 탄탈, 니오비움 등을 양극소재로 쓰는 전해에 의해서 생성되는 산소가 이들의 금속 표면에 산화물층(산화피막)을 인위적으로 형성시키는 것을 말한다. 금속 표면에 산화물층(산화 피막)을 인위적으로 형성시키는 주된 목적은 1) 내부식성의 향상, 2) 마모성의 향상, 그리고 3) 설계시 의장 및 장식효과를 좋게 할 수 있다는데 있다.

이들 금속 중에 알루미늄과 그의 합금은 가공성이 용이하다는 것 때문에 다른 금속들과 비교하여 볼 때 양극산화 처리재의 용도로 적합하여 압도적으로 널리 이용되고 있다. 또한 그 이용법도 널리 공지 되어 있기 때문에 양극산화 처리는 알루미늄의 표면처리 공업에 있어서 중요한 가공기술로 되어 있다. 알루미늄 이외의 금속에서 양극산화 처리가 실시되어 이용되고 있는 예로서는 티타늄과 마그네슘이 있지만 이에 대한 연구사례는 알루미늄에 비교하여 대단히 적다. 여기서는 알루미늄의 양극산화에 대해서 서술한다.

2. 알루미늄 양극 산화의 기초

2.1 전해질의 선택

알루미늄은 활성 금속이므로 대기 중에서도 산

소와 반응하여 20Å(옹스트롱)정도 두께로 자연 산화피막(Al_2O_3)이 생성된다. 이러한 자연 산화피막에서도 일시적인 내식성을 얻을 수 있다. 그러나 자연 산화막 보다 강하고 견고한 피막을 형성 시켜 오랜 기간 동안 내식성을 얻기 위해서는 사용 목적에 따른 전해액을 이용하여 알루미늄을 양극으로 하는 전기화학 반응 방법에 의해 양극산화 피막을 생성시키는 것이 필요하다.

전해액은 다음과 같은 성질을 구비한 것이 필요하다.

1) 전해질이 분해될 때에 얻어지는 anion이 OH^- 보다 방전하기 어려운 anion일 것.
2) 두꺼운 피막을 얻기위에서는 생성된 피막성분인 산화물이 적합하게 용해될 것. 이들을 만족하는 전해질의 대표적인 것을 〈표 1〉에 나타내었다.

〈표 1〉 양극산화 피막 생성용 전해질

전해질의 pH	전 해 질
산 성	황산, 옥살산, 크롬산, 인산 등
중 성	붕산 나트륨, 주석산 나트륨 등
알칼리성	수산화나트륨, 수산화 리튬, 탄산나트륨, 인산나트륨, 불화나트륨, 수산화 암모늄

2.2 양극산화 피막 생성 이론

적합한 전해액 중에서 알루미늄이 양극으로 전해될 때 알루미늄 표면에서의 양극 반응은 다음 5가지 반응으로 나타나고, 이들 반응은 파라데이 법칙에 따라 동시에 진행된다.

양극 반응

1) 알루미늄의 전기화학적 용해(이온 전류)

$Al \rightarrow Al^{3+} + 3e$

2) 산소 가스의 발생(전자 전류)

$2OH^- \rightarrow H_2O + O^{2-}$, $O^{2-} \rightarrow 1/2O_2 + 2e$,

$OH^- \rightarrow O^{2-} + H^+$

3) 알루미늄 산화물의 생성 (이온전류)

피막 가운데는 이온이 이동된다. 이렇게 이동되는 이온의 종류로는 H^+, Al^{3+}, OH^- , O^{2-} 및 전해질 음이온(예를 들면 황산욕의 경우는 SO_4^{2-})이다.

4) 전해질로부터 녹아 나오는 금속이온의 산화

예를 들면 Al - Mn계 합금의 경우는 녹아 나오는 Mn^{2+}가 산화되어 MnO^{4-}로 되어 피막은 엷은 복숭아색으로 된다.

5) 산화 피막의 전기화학적 용해(이온 전류)

전기장의 영향에 의해서 산화 피막이 전해액으로 녹아 나오게 된다.

특히, 3)과 5)의 반응이 동시에 진행되어 산화피막이 성장된다. 일반적으로 상기 5 개의 반응을 종합하여 알루미늄의 양극산화를 반응식으로 나타내면 $2Al + 3H_2O \rightarrow Al_2O_3 + 6H^+ + 6e$으로 된다. 그러나 사용되는 전해액 또는 전해 조건에 따라 파라데이 법칙에 맞지 않는 경우도 있다. 당연한 것이지만 Al_2O_3의 화학적 용해는 파라데이 법칙에는 일치하지 않는다.

이와 같은 반응기구로 이온이 이동되면 전류가 흐르고, 흘려진 전류에 대하여 파라데이 법칙에 의해 산화물이 형성되며, 피막은 시간과 함께 두껍게 된다. 이제 산화물의 분자량을 M, 산화물 형성 반응에 필요한 전하수를 Z, 산화물의 밀도를 ρ, 전류를 I, 전해 시간을 t라 하면 생성되는 산화물 층의 두께 D는 다음 식으로 나타난다.

$$D = \int^t (M/ZF\rho)\, I\, dt \quad \cdots\cdots(1)$$

특히 일정한 전류 조건 하에서 양극산화를 수행하면 (1)식은 다음과 같이 간단하다.

$$D = (M/ZF\rho)\, I * t \quad \cdots\cdots(2)$$

여기서 M / (ZF ρ)는 금속의 종류에 의해 정

해지는 정수이다. ρ는 산화 조건에 따라 다소 다르다. 또한 이 식에서는 생성된 산화물이 그 금속 등의 순수한 산화물로 가정하고 있다. 만약, 산화물 중에 매질의 물 등이 함유되어 있으면 이들은 상수로 보정을 해야한다.

〈표 2〉는 각종 금속에 대해서 계산된 산화물 성장에 이르는 상수이다.

만약에 산화물이 형성되는 동시에 그 표면으로부터 일부가 균일하게 용액중에서 녹을 경우 산화물의 두께는 (3)식과 같이 용해반응에 대응하는 전류 I_d를 고려해야 한다.

$$D = \int^t (M/ZF\rho)(I - I_d)\,dt \quad \cdots\cdots(3)$$

I_d 는 일반적으로 대단히 적어 무시할 수 있지만 알루미늄 산화물과 같은 산 및 알칼리에도 녹는 것은 양극산화 반응시 전극 표면에 국부적인 pH의 변화에 의해 꽤 용해되는 것도 있기 때문이다. 〈표 2〉에 나타낸 것과 같이 금속의 종류에 관계 없이 피막의 성장속도는 약 5Å/Amp · sec인 것을 알 수 있다.

〈표 2〉 각종 금속산화물 성장의 전기화학적 인자

산화물	분자량(M)	밀도(ρ)	전하(Z)	M/ZFρ(cm)
TiO_2	79.90	3.84	4	5.37×10^{-5}
Ta_2O_5	411.96	8.74	10	5.23×10^{-5}
ZrO_2	123.23	5.59	4	5.81×10^{-5}
Al_2O_3	101.94	3.40	6	5.20×10^{-5}
Nb_2O_5	265.82	4.47	10	5.14×10^{-5}
HfO_2	210.60	9.68	4	5.61×10^{-5}
GeO_2	104.60	4.70	4	5.73×10^{-5}

또한 피막 생성물에 관한 일종의 재료수율로서 피막의 생성효율(Coating ratio, CR)을 구하여 피막의 용해성을 추정할 수 있다.

CR=(산화 피막의 중량)/(반응된 알루미늄의 중량)

전류효율과 혼동하기 쉬우므로 주의할 필요가 있다. 피막이 용해되지 않고 반응된 알루미늄의 전체 중량이 피막형성에 기여 했다고 가정하면 CR값은 1.89($Al_2O_3/2Al$)로 된다. 이러한 경우 피막 중에 함유되어 있는 음이온을 고려하여도 일반적으로 피막의 용해가 있으므로 1.89보다 적은 값을 나타낸다. 그러나 농도가 짙은 전해액을 이용하면 피막중에 침입되는 음이온의 양이 많기 때문에 CR값은 1.89보다 큰 값을 나타낸다.

2.3 양극산화 피막의 구조

알루미늄 및 그 합금의 양극산화 처리에서 얻어진 양극산화 피막의 구조는 사용되는 전해액에 따라 장벽형과 다공질형의 2종류로 분류하고 있다.

1) 장벽형 양극산화 피막

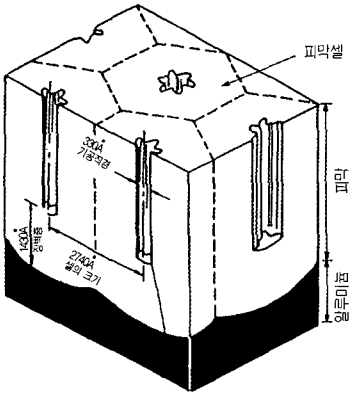
장벽형 양극산화 피막은 전해액으로서 중성에 가까운 붕산, 주석산 염, 구연산염 등을 이용하여 양극산화 함으로써 얻을 수 있다.

장벽형 피막으로는 치밀하여 기공이 없는 절연성 양극산화 피막의 것을 말한다. 이러한 장벽형 피막은 전해욕의 온도 및 전해시간에 영향을 주지 않는 것이 특징이지만, 피막은 주어진 전압의 함수로서 성장된다. 그러나 500~700V를 넘으면 피막 파괴를 일으키기 때문에 피막의 두께는 700~1000Å 정도가 한계라고 할 수 있다.

2) 다공질형 양극산화 피막

황산, 옥살산, 크롬산, 인산 등의 산성 전해액 중에서 양극산화하면 〈그림 1〉에 도시한 바와 같은 다공질 양극산화 피막이 생성된다. 또한, 수산화 나트륨, 수산화 리튬, 탄산 나트륨 등의 알칼리성 전해액 및 주석산, 구연산 등의 유기산 전해액 중에서도 동일한 다공질형 양극산화 피막이 생성된다.

〈그림 1〉의 다공질 피막은 알루미늄의 금속에 수직으로 미세한 기공을 갖는 세포의 집합체이고, 미세기공의 아래쪽에는 아래쪽의 금속과 밀착된



〈그림 1〉 Keller의 피막 단면 모형(4%H_3PO_4,120V)

반원구 형태의 장벽층이 존재하고 있다.

2.4 양극 산화 처리법의 종류

양극 산화는 전해액에 대한 많은 논문과 문헌 및 특허가 있고, 전해액의 종류에 따라 양극산화 처리법을 분류하는 것이 일반적이다. 전해액의 종류를 크게 분류하면 무기산과 유기산 및 이들의 염류, 그리고 알칼리 등으로 알려져 있지만 양극산화로서 특히 유효한 것은 1가 또는 2가의 음이온을 갖는 화합물이라는 것이다. 그러나 공업적으로 의미를 갖는 것은 한정 되어 있으며, 그들을 양극산화 조건과 함께 〈표 3〉에 도시했다. 이외에 양극산화 처리로서는 알루미늄 주조용으로서 고농도(13mole)의 황산법 등이 있다. 또한 전해시의 전기를 통전하는 방법에는 일반적으로 직류 전기분해 및 교류 전기 분해 외에 전류 회복법 및 펄스 전해법 등이 사용되고 있다.

〈표 3〉 양극 산화법

종 류	계	방법	전해액조성 (%)	전류밀도 (A/dm^2)	전압(V)	온도 (℃)	처리시간 (분)	색상	막두께 (μm)	응용
산성욕	황산	Alumilite 황산알루마이트, 독일, Eloxal GS	H_2SO_4 10~20	D•C1~2	10~20	20~30	10~30	투명	5~30	경질, 내식 피막 염색용
	옥살산	Alumite	$(COOH)_2$-$2H_2O$ 2~4	AC1~2, D•C 0.5~1	80~120, 25~30	20~29	20~60	황갈색 반투명	3이상	내식, 내마모성 크고 장식품
		영국, 미국법	$(COOH)_2$5~10	D•C 1~1.5	50~65	30	10~30	반투명	15	내부식용 장식용
		독일, Eloxal GXh	$(COOH)_2$3~5	D•C 1~2	40~60	18~20	40~60	노란색	10~62	
	크롬산	Bengough-stuart법	CrO_3 2.5~3.0	D•C 0.1~0.5	0→40 40 40→50 50	40	10 20 5 5 } 40	불투명회색	2.5~15	보호용, 장식용 5%이상의 중금속을 포함한 합금에는 부적합
		촉진크롬산법	CrO_3 .5~10	D•C 0.15~0.3	40	35	30	불투명회색	2~3	밀봉하지않음
	붕산	콘덴서법	H_3BO_3 9~15	D•C	50~500	90~95			2.5~7.5	콘덴서용 유전체박막
			Borax 0~0.25	D•C	230~250					
알칼리성	암모니아 - 불화물법		NH_4OH 15, NH_4F 1	D•C 2		220	20	투명	10	고온에서 전해가능한 내식, 염색성 양호
	알칼리 - 과산화물		NaOH H_2O_3	D•C 2		20	30	투명	6	복합체양극산화용
	인산나트륨법		Na_3PO_4 25	D•C 3		20	30	투명,유백색	7	염색성 양호
유기산욕	Kalcolor		$C_6H_3(OH)(COOH)SO_3H$산15, 황산0.5	D•C 2~3	45~85	20~35		황색브론즈	20~30	내식, 내마모성에 우수함.
	Duranodic300		$C_6H_3(COOH)_2SO_3H$산10, 황산0.5	D•C 2.5	30~70	20		다갈색, 브론즈	30~60	
	Veroxal		$C_6H_3(OH)(COOH)SO_3H10$,$(CHCOOH)_2$산	D•C	30~80	20		암갈색	20~35	
경질피막	황산계		황산법에의한 후막용 10~20	D•C 2~4.5	23~120	0±2	60이상	회색	30분15,60분 34,90분 50,120분 150	내마모 부분에 사용. Hv=450~550
	옥살산		경질후막용3~5	A•C 1~20 D•C 1~20	80~200, 40~60	3~5	60이상	황갈색	약20이상	황산이상의 두께로 할 수 있다. 경질내마모성이매우높음.
	Sanford법		경질후막용 황산 122-aminoethyl sulfuric acid 0.02~0.05mole						60전후	내마모부분에 사용

3. 황산욕 양극산화 피막의 처리조건

경금속이 공업화 되어있는 알루미늄의 양극 산화 처리법 중에서 황산을 전해액으로 하는 양극산화 처리법이 95%이상을 차지하고 있기 때문에 여기서는 황산욕 양극산화 처리법에 대한 처리조건을 다루기로 한다.

공업적인 황산욕 양극산화 피막(이후에는 황산피막이라 약술함)의 방법에 대해서 〈표 4〉에 예를 도시한다.

〈표 4〉 일반적인 황산욕에서의 알루미늄 양극산화 처리 조건

항 목	조 건
유리황산 농도	150 ± 20g/l
용존Al농도	25g/l 이상
욕조온도	20 ± 2°C
전류밀도	130A/m²
전기분해시간	필요로하는 산화피막 두께와 전류밀도와의 관계를 설정함.
욕조 전압	재질, 전류밀도, 전해욕 조성, 욕조온도등의 관계를 정함.

또한, 〈표 5〉에는 용도별 처리조건 예를 도시했고, 〈표 6〉에는 사용되는 알루미늄 및 그 합금의 대표적인 재료의 종류와 황산욕에서 양극 산화할 때에 얻어지는 황산 피막의 색상을 도시했으며, 〈표 7〉에는 처리조건 및 욕조건을 변화시킬 때에 얻어지는 피막질의 영향을 도시했다.

〈표 5〉 황산욕에서 생성된 피막의 용도와 처리 조건

항 목	전류농도 (Wt.%)	욕조온도 (°C)	전류밀도 (A/dm²)	표준전압 (V)	한계막두께 (㎛)
광휘처리재	18~20	22~24	1.1~1.2	14~15	20~25
건축재료	15~18	18~22	1.5~2	17~19	35~40
경질피막	15~16	0~5	2.2~3.3	25~50	50이상

3.1 양극 산화처리 설비

기본적인 설비로서는 다음과 같다.

3.1.1 양극 산화 욕조

처리면적에 대응하여 충분한 전해액의 용량을 구비한 플라스틱, 합성 고무, 납으로서 라이닝된 철강 욕조 등의 내식성 재료로서 만들어져야 한다.

〈표 6〉 황산욕에서 생성된 피막의 색상

(전류밀도: 1A/ dm², 욕조온도: 20°C)

합금	색상	합금	색상
1070	투명무색	5052	투명무색
1100	투명무색	5005	투명무색
3003	엷은 황색	6061	유황회색
3004	투명무색	6063	엷은 황색
4043	회 색	7072	투명무색

〈표 7〉 처리조건 및 욕조 조건과 피막질과의 관계

조건의 변화	한계 피막두께	경 도	접착 및 흡착력	내식성	Al의 용해성	다공성	전압
욕조온도의 상승	↓	↓	↑	→	↑	↑	↓
전류밀도의 증가	↑	↑	↓	→	↓	↓	↑
시간의 단축	→	↑	↓	↓	↓	↓	↑
황산농도의 감소	↑	↑	↓	→	↓	↓	↑
AC의 사용	↓	↓	↑	↓	↑	↑	↓
합금조성의 균일화	↑	↑	↓	↓	↓	↓	↑
중성전해욕사용 (붕산나트륨등)	↑	↑	↓	→	↓	↓	↑

↑ = 증가, → = 최대값을 통과, ↓ = 감소

3.1.2 음극

일반적으로 알루미늄, 납, 탄소 등을 이용한다. 유효면적이 피처리 물체의 면적에 1/2 이상을 갖도록 해야한다.

3.1.3 교반 장치

피처리물체 근방의 전해액을 충분히 또는 균일하게 혼합 시켜주어야 한다.

3.1.4 온도 제어 장치

전해액의 온도 변화를 결정하는 관리 한계 내에서 유지시키기 위한 필요한 장치로는 냉각, 가열 및 제어 기구로 구성되며, 각각의 처리량, 환경 온도의 변화에 대처할 능력을 구비해야 한다.

3.1.5 전해액 여과 장치

전해액 중에 부유되어 있는 용해성 물질을 효율적

으로 여과할 수 있도록 필요에 따라 설치 해야 한다.

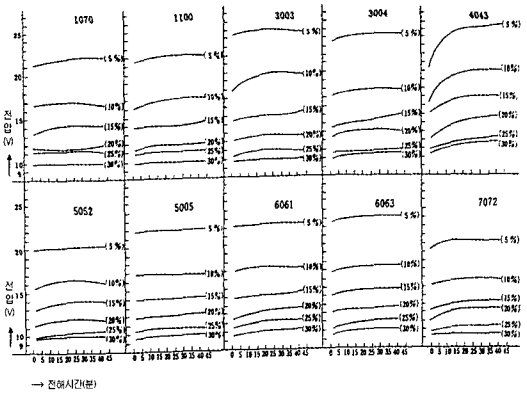
3.1.6 양극 산화용 전원

정해진 처리 조건과 처리량에 적합한 용량의 것이어야 한다. 일반적으로는 실리콘, 셀렌 등의 반도체를 이용한 정류기가 이용되지만 전해액의 종류 또는 처리 조건에 의해서는 교류를 중첩시키는 전원, 펄스파를 추가시킨 정류기를 사용하는 것이 좋다. 정전압, 정전류 기구가 구비된 정류기의 설치는 품질관리상 유효하다.

3.2 황산욕 양극산화처리 조건과 피막 성능에 대해서

3.2.1 황산 농도의 영향

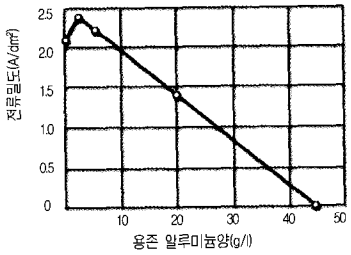
황산농도가 변화함으로써 전해 전압도 변화하고, 결과적으로 피막성능에도 영향을 준다. 〈그림 2〉는 정전류 밀도 전해시의 전해 전압과 전해 시간과의 관계에 미치는 황산 농도의 영향을 재료의 종류별로 조사한 결과이다. 황산농도가 높으면 전해 전압이 낮게되는 것을 알았다. 이것은 황산 농도가 높으면 피막의 용해 작용이 크게 되어 피막 표면 및 미세한 기공의 하부에 있는 장벽층이 얇게 되기 때문이다.



〈그림 2〉 전해중의 욕조 전압 곡선(합금별)

3.2.2 용존 알루미늄의 영향

황산 전해액 중에서 알루미늄이 양극으로서 전해될 때 알루미늄으로부터 녹아나오는 Al^{3+}는 피막의 생성에 기여하는 양 이외에 용존 알루미늄으로 전해액 중에 존재하고, 황산과 반응하여 황산알루미늄을 형성함으로서 전해액의 농도를 감소시킨다. 이러한 이유로 용존 알루미늄양이 증가하면 전해액의 저항이 증가하고, 일정한 전압전해에서는 전류밀도의 감소가 일어나는 것을 〈그림 3〉에 도시했다. 상기와 같은 이유로 통상의 전해액 관리는 알루미늄이온과 결합되지 않는 유리 황산농도를 관리하고 있다.

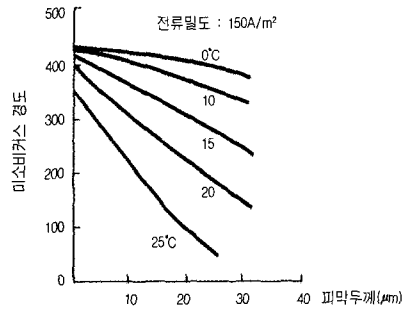


〈그림 3〉 용존 알루미늄과 전류밀도의 관계(황산:15wt.%, 전압: 15V, 욕조온도: 18~21°C)

3.2.3 전해액 온도의 영향

전해액의 온도가 일정함에 따라 전류밀도에 큰 영향을 준다. 전류 밀도를 높이면 전해 전압도 높게 되어 전력 소비에 의한 주울열의 발생이 크게 되고, 또한 산화반응열도 추가되어 전해액의 온도가 상승하게 된다. 전해액의 온도가 상승되면 전해액의 화학적 용해력이 강하게 되기 때문에 생성된 피막이 용해되고, 피막 성능을 감소 시킨다. 이에 대한 대책으로 냉각 설비 및 전해중의 알루미늄 표면의 발생열을 제거하기 위해 교반 설비가 필요하게 된다.

일반적으로 전류밀도가 100~200A/m²에서 생성되는 피막의 내식성을 가질 경우에는 전해액의 온도가 20℃, 내마모성을 가질 경우에는 10℃에서 관리하는 것이 바람직하다. 전해액의 온도와 피막 경도의 관계를 〈그림 4〉에 도시 하였다.



〈그림 4〉 전해액의 온도와 피막 경도의 관계

3.2.4 전류밀도와 전해시간의 영향

전류 밀도와 전해 시간의 관계는 피막의 생성 속도에 영향을 주고 구하는 피막 두께를 결정하는 중요한 항목이다. 피막 두께는 다음 식에 의해서 계산 된다.

피막 두께(μm) = K × 전류 밀도(A/m²) × 전해시간(분) / 100 이다.

여기서 K는 계수이고, 피막질 성분으로 몇몇의 연구가 된바 있으며 현재에는 0.264~0.364값의 범위이다. 그러나 이 계산식은 전해 시간이 길게 되면 성립되지 않는다. 이것은 피막의 생성 속도와 용해 속도의 균형이 이루어지지 않기 때문이다. 특히, Al-Cu-Mg(2000계열)합금 및 AL-Zn-Mg(7000계열)합금은 그 경향이 강하다. 그리고 〈표 8, 9〉는 양극 산화 피막의 성능에 미치는 인자와 물리적 성질을 나타내었다.

〈표 8〉 양극산화 피막의 성질에 미치는 인자

성 질	인 자				
	재료	전해액	전해 조건	막 두께	후처리
내식성	순Al,Al-Mg,Al-Mg-Si계가 양호	옥살산, 유기산이 양호. 크롬산은 특히 내 알칼리성에 좋다.	특별히 큰 영향 없음.	피막이 두꺼운 것이 양호	봉공처리 조건이 현저하게 영향을 미침.
내마모성	순Al,Al-Mg,Al-Mg-Si계가 양호	옥살산, 유기산이 양호. (황산-저온 전해)	전해액의 온도가 낮은 것이 경도가 높다.	피막이 두꺼운 것이 양호	특별히 큰 영향 없음.
착색성 (염색착색)	특별히 큰 영향 없음.	황산이 양호	전해액의 온도가 높은 것이 좋다. AC 전해가 좋다	피막이 두꺼운 것이 양호	
광휘성	고순도 Al, 5N01, 등의 광휘 알루미늄 합금이 양호	황산이 양호	특별히 큰 영향 없음.	피막이 얇은 것이 양호	

〈표 9〉 양극 산화 피막의 물리적 성질

성 질	조 건	수 치
밀도 (g/cm³)	20°C	2.5 ~ 3.0
경도(모호스) (비커스)	-	7 ~ 8 300 ~600
탄성율(kg/mm²)	-	7,300~ 9,300
융 점(°C)	-	2100
비 열	20~100°C	0.200
선팽창 계수	20~100°C	5 × 10^{-6}
열전도도(C.G.S)	-	0.05 ~ 0.015
전기저항(Ωcm²/cm)	20°C(50μm), 100°C(50μm)	4 × 10^{15}, 8 × 10^{14}
파괴전압(V)	5~30μm	막두께(μm)×20~40

4. 맺음말

현재 알루미늄 제품은 다양하고, 고품질화 및 기능성 등을 구비한 제품들이 판매되고 있다. 이러한 제품이 되기까지 양극산화는 물론 양극산화하기 전과 처리한 후의 표면처리 기술들이 지속적으로 연구 및 개발되어 온 결과라 하겠다. 또한, 향후에 금속 표면 개선을 위한 표면처리 기술 연구분야에 있어서 양극산화 기술은 가장 바탕이 되는 필요한 기술이라 하겠다. 본 원고에서는 미흡하나마 알루미늄의 양극 산화에 대한 기본 기술과 설비 등에 대해 기술하였다.

(원고 접수일 2000. 11. 10)

참고문헌

1. 馬場宣良 : 전해법에 의한 산화 피막, 진서점(1996)
2. 輕金屬協會編 : 알루미늄 핸드북, 輕金屬協會(1985)
3. C. Th. Speiser : Aluminium, 42, 422(1966)
4. 馬場宣良 : 輕金屬, 34, 205(1984)
5. A. W. Brace & P. G. Shesby : The Technology of anodizing aluminium, p127, (1978)
6. 坂下嘉宏 : 色材, 68, 6, p369(1995)