

## 알루미늄 전해콘덴서 관련기술의 현황과 과제

한 성 호

한국기계연구소

### Recent Trend for Research in Aluminum Capacitor Technology

SEONG-HO HAN

Surface Engineering Laboratory Korea Institute of  
Machinery and Metals, Changwon, Kyung nam, Korea

“전자산업의 급속한 발전에 따라 전자부품 제조업체의 부품제조기술 수준이 선진국과 동등한 위치에 있는 경우도 있어 자랑스럽겠지만, 정밀화 소형화에 부응하는 고품질의 콘덴서 제조기술이 현장에 적용되면서도 대부분의 소재부품을 연구개발은 외면한채 고가의 금액을 지불하고 계속 일본등지에서 수입하고 있는 것은 연구종사자의 입장에서 지극히 유감스러운 일이다.”

#### 1. 서 론

전자산업에 있어서의 콘덴서의 중요성이나 콘덴서의 종류의 나열은 생략한다. 본고에서는 알루미늄박형 전해콘덴서에 관한 내용만을 언급하기로 하겠다.

전해콘덴서의 국내생산 시초는 1960년대 초반에 삼화콘덴서(주)가 시작한 후 삼영전자(주)(일, 케미콘합작), 대우전자부품(주), 삼성전기(주)의 4개회사가 국내생산에 성공하여 현재는 생산정착이 이루어진 상태로서, 고급품질의 콘덴서가 수요자에게 공급되어지고 있다.

일반적으로 전해콘덴서 제조기술공정은 크게 4분야, 즉 Al Foil 생산 및 열처리기술공정, Etching 기술공정, 화성처리공정 및 부품조립공정이다. Al Foil압연기술과 열처리기술은 현재 국내 Lotte(주), 삼아알미늄등에서 검토중에 있으며, 조만간 국산화를 시도할 전망이다. 이중 열처리기술은 Etching기술과 병행하여

상호 연관성이 크기때문에 Etching기술의 토착화 역시 시급히 요구되는 실정이다. Etching기술은 이미 저자가 1년이상연구를 한 상태이고, 삼성종합기술원에서는 금년부터 연구개발 사업을 시작할 전망이다. 국내 ALUKO(주)에서도 생산화line이 설치된 상태이지만, 기업체에서의 Al박의 Etching에대한 정밀한 연구는 거의 소속함으로 선진국 및 自社の Etching박의 기술평가조차 어려운 실정이다. 단순한 용량측정에 의한 평가는 Etching기술의 정확한 분석 및 개발에 도움을 줄 수 없다. “Etching기술은 전극용 Al박의 생산에 핵심되는 기술로서 제품성능을 결정하며, 또한 정제된 기술이 아니라 계속 발전시켜야 선진국과 보조를 맞출 수 있는 기술이므로, 중소기업적인 경영방식을 하는 회사로서는 이 기술을 선진화하는 것은 극히 힘들 것이다.”

이외에 화성처리 및 부품조립공정은 삼성전기(주)를 제외한 3사는 과거 일본과 기술 제휴 또는 합작을 한 회사들이므로 문제는 없는것으로 간주되며, 부가가치가 높은 기술분야에 속하지 않는다. 이와같이 현재 국내 전해콘덴서 생산업체에서 보유하고 있는 기술은 핵심기술이 아닌 후처리기술이 추가되고 있으며, 부가가치가 높은 전처리 및 핵심기술인 Etching기술은 일본등 선진국에서 기술이전을 회피하여, 기초소재에 대한 전적인 의존을 유도한 기술의 식민지화가 이루어지고 있는 실정이다.

본고에서는 이와같은 국내 콘덴서공업의 취약점을

중단 구제적으로 나열하고, 선진국에서 현재 개발되고 있는 과제들에 대한 연구동향을 제시하므로써 국내 관련업체 및 연구종사자들에게 조금 이나마 도움이 되었으면 한다.

## 2. 전해콘덴서 제조기술의 동향과 문제점

근년에들어와서 전자산업의 급속한 발전에따라 전자회로의 Digital 신호도와 함께 콘덴서의 사용량이 부분적으로 감소하는 경향도 있으나, 이와 반대로 IC의 주변회로에 사용량은 크게 증가되어 전반적으로 년20%이상의 수요증가 추세를 보이고있다. 전자기기의 종류와 생산량이 증가하므로써 회로의 소형화와 박형화에 따른 전해콘덴서의 소형화와 박형화의 요구가 급격히 증가하고있다. 이러한 요구에 부응하기 위하여 콘덴서 제조업체에서는 높이가 5mm Series, 7mm series, 20mm series 등의 높이의 규정이 엄격히 적용되는 제품들도 생산하고있다. 최근 선진국에서는 pocket type의 전자기기에 사용하기 위하여 콘덴서의 크기가  $\phi 2 \times 5.5$  정도로 작은것들도 만들어내고 있다.

앞으로 소형화 박형화의 추세는 계속 진전될 것이며, Al박의 Etching기술의 발달과 함께 표면적의 고배율화와 채적효율에 따른 구조설계 및 Al박의 고배율화에 따른 loss의 상충을 감소하는 저손실 전해액등의 개발이 필요하다. 이외에 최소화 제품 생산을 위한 기술로 전극들을 감는기술, lead의 전극과의 용접기술및 조립기술등의 생산기술 또한 중요한 연구부분이다. 초소형 콘덴서의 개발과 함께 연구되는것이 Al전해콘덴서 Chip으로 현재 시판되고있다. Al전해콘덴서 Chip은 크게 2종류로 나누는데 (a) Al case에 넣은 전극의 일부 혹은 전체를 수지 (polymer)로 도포하는 간이형 type과 (b) 전해액을 함침한 소자를 직접 수지로 molding하는 type이다. 앞으로 이러한 형태의 Chip콘덴서도 사용목적 및 용도의 제한에따라 다종류로 개발될 것으로 전망된다.

전자회로의 소형화 박형화의 추세와는 별개로 switching전원용 Al전해콘덴서의 경우 그 추구하는 방향은 약간다르므로 앞으로의 연구동향 역시 검토되어야 할것이다.

특히 주목할 것은 입출력의 평활용 콘덴서에 있다. 입력용은 주로 상용주파수 성분의 평활을 위한 Ripple Resistance성능이며, 출력평활용은 고주파 특성이 고려되어야 한다. 이와같은 전원용으로 쓰이는 전해콘덴서는 회로의 수명을 결정하는 중요한 인자가 되기때문에 최근의 회로의 소형화 및 전원의 Package화에 부응하기 위하여, 열설계 (Heat Evaluating Design)을 포함한 신뢰성 설계가 중요하게 취급되고 있다. 현재 범용전원으로 50~100KHz의 switching 주파수가 일반화되고 있지만, 앞으로 고주파쪽의 경향이 증가할 것으로 판단되고있다. 가격면에서 볼때 전해콘덴서 이외의 전자부품이 고주파 특성을 개선시키기 위한 가격보다 현재상태로 50~100KHz 기준으로 watt당 가격이 낮은것으로 판단되기 때문이다.

Switching전원용 콘덴서의 성능은 주로 ESR (등가 직렬저항) 과 ESL (등가직렬인덕턴스) 값에의해 결정되며, 이항목에 대해 간략히 소개하고자 한다. Al박의 표면은 미세하고 균일한 Etching 조적을 가지고 있으며, 그 확대된 표면적을 유효하게 이용하기위해 양극사이에 이온전도성이 있는 유기계통의 전해액을 사용한다. 이 전해액의 비저항은 통상  $100 \Omega \cdot \text{cm} \sim 1K \Omega \cdot \text{cm}$  정도이며 전압범위에 따라 그 종류도 차이가 난다. 전해액을 함침한 전해paper는 두께가 20~100  $\mu\text{m}$  정도이며, 밀도 및 두께가 큰경우 저항성분도 커진다. 이외에 저항성분은 Al전극 Foil의 저항, lead의 저항, lead와 박의 접속저항이 존재하며, 이것들은 주파수에따라 일정한 값을 갖고 있다. 이외에 주파수에 의존성이 있는 산화Alumina의 유전체손실이 존재한다. 이러한 성분들을 합한 값이 ESR이다.

일반적으로 콘덴서의 수명에 영향을 주는것은 온도에의한 Stress와 Ripple에 의한 stress이다. Ripple에 의한 발열성과 열평형의 관계는 아래식과 같다.

$$W = I_R \cdot R + V_{LC} \approx I_R \cdot R \quad (\because I_R \cdot R \gg V_{LC})$$

여기서  $I_R$  : Ripple 전류  $R$  : 내부저항 (ESR)

$V$  : 인가전압  $I_{LC}$  : 누설전류

표면적과 소비전력의 관계는  $\Delta T = 10^\circ\text{C}$ 을 Parameter로 할때에 발열량은 표면적의 log함수로 증가하는 경

향을 나타내게 된다. 일반적으로 85°C 내지 105°C 에서 1,000시간 보증하는 것이 대부분이지만, 온도를 낮게 하는 것은 허용 Ripple 전류를 크게 하게 된다. 즉, 105°C 일 때 Ripple에 의한 발열이 5°C로 1,000시간 보증하는 콘덴서를 이용하여 주변온도와 Ripple 발열에 의한 온도 상승과의 관계를 Life Test를 하여 실험하면, 주변온도가 40°C 일 경우 Ripple 발열에 의한 온도 상승은 30°C 가까이 증가한다.

정전용량, 정전용량에 의해서 변하는 함수는  $Z = 1/\omega C$ 로 나타내는 경우는 일반적으로 1~3KHz 이하의 주파수 영역 일때이며,  $Z = \omega L$ 을 사용하는 경우는 100~500KHz 이상의 구역 일때이다. 이 중간의 영역에서는 ESR이 지배적인 영역이라 할 수 있다. 출력평활용으로 상품화된 것은 ESR을 작게 하고, 고주파 Impedance도 Spec.화 하고 있다. 일반적으로 Al 전해 콘덴서의 경우 허용 Ripple 전류와 주파수 계수와의 정전용량이 낮을수록 변화폭이 크며, 정전용량이 1,000  $\mu F$  이상일 때는 변화폭이 아주 작다.

### 3. 콘덴서 제조기술의 방향

#### (1) 고주파화로의 대응책

고주파화에 대한 상이한 점이 없이 병행하여 사용하는 등에서의 대응가능한 주파수는 수백KHz 까지도이다. 그러나, MHz 영역에 접근하면 L 영역에 들어있는 콘덴서로는 사용할 수가 없게 된다. 따라서, MHz 영역에서 사용하기 위해 콘덴서의 Chip화가 추진됨과 동시에 전해액의 교체화도 추진될 것이다

#### (2) 소형화로의 대응책

고주파화에 의해 출력측의 콘덴서는 필연적으로 소형화되나 입력측은 소형화가 될 수 없다. 전원의 소형화에 따라 입력용 콘덴서도 소형화하고 있는 추세이다. 과거 약 3년간격으로 20~30% 정도씩 소형화하고 금후로 다소 소형화로의 속도는 감소하겠지만 이러한 경향은 계속될 것으로 보인다. 구체적인 예를 들면, 220V, 470  $\mu F$ 의 콘덴서의 경우, 1978년에는 크기가  $\phi 31.5 \times 63$ 인 것이 1981년에는  $\phi 22 \times 50$ ,  $\phi 30 \times 30$ 로 되고 1983년에는  $\phi 22 \times 45$ 로 되었다. 이러한 소형화 추세에 대응

하기 위해 Al박의 Etching 배율을 향상시키고, 거기에 따른 표면적을 확대하고 있으나, 이것이 전극간의 대향면적을 작게 하고 전해질 부분의 유효길이가 길게 되면  $\tan \delta$ 을 악화함과 동시에 Ripple 발열을 크게 하게 된다. Specification에 대한 실제값의 Margin은 점차적으로 작게 되는 경향이 되므로, 공간율 및 방열효과를 포함한 종합적인 기술력을 필요로 한다.

#### (3) 수명의 증가로의 대응책

전원의 소형화에 따라 콘덴서내의 온도상승도 급격하게 증가되었다. 때문에 단지 소형화만을 추구하는 것 만으로는 콘덴서의 수명이 극단적으로 짧게 된다. 그러므로, 전극박, 전해액, 밀폐성등을 종합적으로 개량하고 내열화 함과 동시에 소형화 하므로써 105°C, 1,000시간 내지 5,000시간을 보증하는 series가 개발되었다. 앞으로 표준품으로서는 종래의 범용품과 동일수준으로 사용될 것으로 사료된다. 거기다가 Long Life 고 신뢰성을 요구하는 콘덴서에는 130°C의 내열성을 가진 series의 사용량이 증가될 것이다.

#### (4) Al 교체 전해콘덴서

Ta고체콘덴서의 안정성과 Al박형 건식전해 콘덴서의 경제성을 구비한 것이 개발되었고, 일본에서 최초로 실용화되었다. Al박형고체전해의 성능향상에 의해 사용범위가 차례로 넓어지고 있으며 현재에는 0.1~2.2  $\mu F$ 의 용량범위에 있어 실용화되고 있다. 특성변화를 억제하고 가격이 저렴하면서 소형화되고 훨씬 긴 수명을 가지는 장점때문에 앞으로의 시장성은 좋을 것으로 판단된다.

#### (5) 교류 전원용 Al박형 전해콘덴서

이종류의 콘덴서의 안전성은 극히 가혹한 시험조건에도 견디는 과잉품질설계에 의해 유지하나, 절연파괴에 있어서는 안전장치에 의해 안정성이 확보되어지는 것이 일반적이다. 앞으로는 콘덴서 자체에 보호장치를 내장하고 있는 것, 보호작용이 있는 재료등의 개발이 요구되어 지고 있다. 또한 외장 유전체재료의 난연성 물질로의 대체에 의한 고품질화를 유도하고 있다. 앞으로, 전자기기의 장치보호 및 Noise 방지에 관한 콘덴서의 연구개발이 전자기기의 고급화에 편승하여, 그 필요성 및 안전성의 추구와 함께 크게 증가 될 것으로

로 생각한다.

#### 4. 소재부품의 연구 동향

앞절에서 콘덴서의 성능상의 문제에 관하여 주로 언급하였으나, 현재 국내 콘덴서업체의 풀어야 할 과제는 소재부품의 자급자족이다. 특히, Etched Al Foil, 전해콘덴서용 Paper, 고무 Packing제, 전해액에대한수입량이 생산량의 증가와 고성능화에 발맞추어 계속적으로 늘어나고 있는 추세이기 때문이다. 따라서, 본절에서는 앞에서 언급된 4종류의 소재부품에 대해서 기술적 문제와 연구동향을 소개하고자 한다.

##### (1) Etched Al Foil 전극

전해콘덴서 제조용으로 국내에서 월간 약60~70 만 m<sup>2</sup>를 사용하며, 특히 단가비중이 60%이상이나되는본재료는 기초기술 및 연구의 부족으로 거의 전량을수입에 의존하고 있으며, 그 수입비중은 일본 74%, 서독 12%, 프랑스 85%, 이탈리아 5.5%의 비율로 되어있다.

Al전해콘덴서는 Etching된 Al박의 양극을 양극산화하여 산화피막( $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)을 유전체로 하는 구조로 되어있으므로 콘덴서의 소형화에 따라 단위면적당

의 정전용량을 증가시키기 위해서는 고배율의 Etching 기술이 필요한 분야이다. 일반적으로, Al박 전해콘덴서에 사용되는 양극 및 음극박의 원재료의 조성은 표1과 같다.

알루미늄 전해콘덴서의 구조는 표면에 산화피막이 생성되어있는 양극 Al박과 전해액을 함침한중이를 사이에 두고 화성처리를 하지않은 음극 Al박이 위치한다. 양극의 산화피막처리는 봉산암모늄 혹은 아디핀산암모늄의 수용액 중에서 양극산화처리를 하여 적정전압의 유전체인  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>를 생성시키는 공정으로 화성처리라 하기도 한다. 이와같은 화성처리와 처리된 Al박의 절단 및 조립공정은 현재 국산화되어있는 상태이나, 원박제조 및 Etching기술은 선진국의 기술이전 회피로 현재 아주 낙후되어 있는실정이다. Al박의 표면적을 극대화 시키기 위한 Etching기술은 주로 염소이온을 함유한 수용액 중에서 전기화학적인 직류 Etching, Pulse Etching, 및 화학 Etching등이 이용되고 있으며, 콘덴서의 사용전압, 형상과 용도에따라 Etching방법이 선택되어진다. 표면적 확대율이 최고로 얻어질 수 있는 Etching조건을 설정하고, 거기에따른 Etching박의 제조설계 및 생산부분에대한 System 관리는 연구종사자의 과제이며 Al박의 화학조성, 내부

표1. 콘덴서용 Al 박의 용도별 화학성분, 박두께 및 재질

| 용도             | 화 학 성 분 (wt %) |       |       |    | Foil 두께 (μm) | 재 질   |
|----------------|----------------|-------|-------|----|--------------|-------|
|                | Fe             | Si    | Cu    | 기타 |              |       |
| 양극박            |                |       |       |    |              |       |
| 고 압 용          | 0.001          | 0.001 | 0.005 | —  | 80~110       | 연 질   |
| 저 압 용          | 0.002          | 0.002 | 0.005 | —  | 60~ 80       | 경질·연질 |
| 범 용            | 0.002          | 0.002 | 0.005 | —  | 80~100       | 경질·연질 |
| 음극박            |                |       |       |    |              |       |
| Pulse Etching용 | 0.07           | 0.05  | 0.002 | —  | 15~ 60       | 경질·연질 |
| 직류 Etching용    | 0.30           | 0.12  | 0.03  | —  | 20~ 50       | 경질·연질 |
| 화학 Etching용    | 0.30           | 0.12  | 0.03  | —  | 30~ 50       | 연 질   |
| 종이콘덴서용박        | 0.45           | 0.15  | 0.02  | —  | 5 ~ 12       | 연 질   |

조직 및 표면 산화피막의 구조분석연구가 현재 활발히 행하여지고 있다.

선진국의 양극박의 Etching에 의한 표면적 확대율의 연도별 경향을 Fig.1에 나타내었다. Fig.1의 경우 70.μm의 두께를 가진 고순도 Al박을 원재료로 하여 Etching을 하고, 특정한 전압으로 화성처리를 한 후의 표면적 확대율을 나타낸 것이다. 이론적으로 검토할때 10V의 화성처리를 하는 저압박의 경우 거의 1,000배까지 표면적이 증가될 수 있으나 (물론 강도를 유지하면서이다), 1973년 경우를 보면 표면적확대율이 70배 정도밖에 되지 않으며, 1983년의 경우 약 200배 정도로 되어 거의 3배의 증가가 10년사이에 이루어진 것을 알 수 있다.

이에 반하여 고압박의 경우는 400V로 화성처리한 경우 이론치는 25배 정도가 최고치인데 1983년의 경우 거의 20배로서 이미 극한값에 도달하여 있

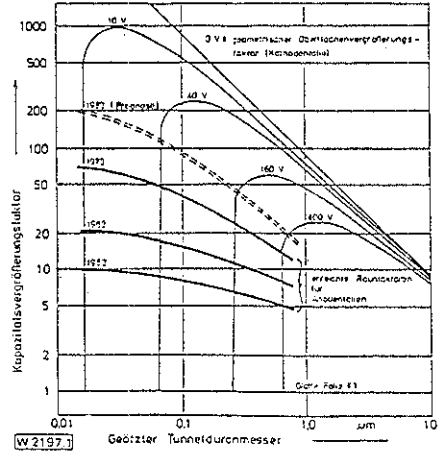


Fig. 1. Calculated surface and capacitance gain (roughness factor) of foils at different forming voltage as a function of the diameter of the etched tunnels (foil thickness 70 μm; weight loss through etching and forming 55%)

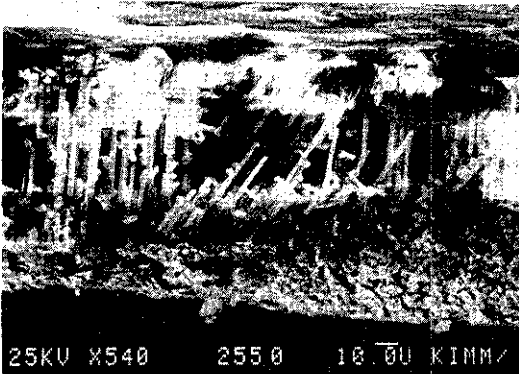
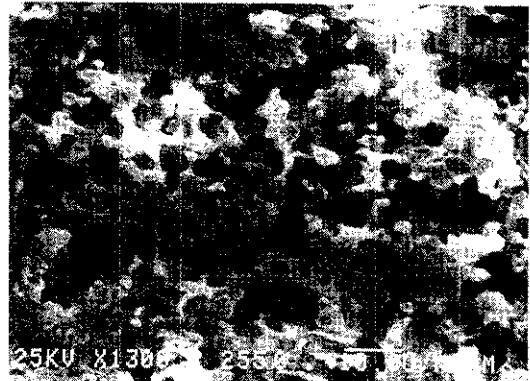


Fig 2. Scanning electron micrograph of high voltage anode foil (European product)

다는것을 알 수 있다. 이와같은 결과로서 알 수 있는바와 같이 앞으로 저압박의 Etching에 대한 연구가 계속 추진될 것이며, 또한 이 분야는 기술의 정체성이 아니라 지속적인 발달이 예측되기 때문에 기술도입에 관한 문제는 현단계에서 고려되어야 할 것이다.

#### (1) 고압용 Al양극박

통상 200 Vf 이상의 전압에 사용하는 고압용 양극 Al박의 Pit의 형상에 대한 대표적인 SEM (주사전자 현미경) 사진을 Fig.2에 나타내었다. Fig.2에 나타낸 상단의 사진은 표면조직을 본 것이며, 하단의 사진은 단면을 특수처리로 Al소재를 용해한 후 촬영한 것이다. Fig.에서 나타난 것같이 고압용 양극박에 형성된 Pit는 통상  $1\mu\text{m}$  정도의 직경을 가지며 박의 표면으로부터 수직으로 성장된 Tunnel 상의 Pit가 주된 것이라는 것을 알 수 있다. 이러한 Pit는 결정방위에 의존하며 입방체(FCC)의 (100) 방향으로 성장하였다는 것을 또한 알 수 있다. 효율적인 표면적 극대화를 위하여 미량의 첨가원소 효과를 검토하거나, 제조공정 중의 압연, 중간소둔(Annealing), 최종소둔등의 최적조건을 얻기위한 연구가 진행되고 있다.

#### (2) 저압용 Al 양극박

100 Vf 이하의 전압에 사용하는 저압용 콘덴서의 양극박은 대개가 Pulse 를 이용하여 Etching 을 하므로서 효과적인 표면적 확대율을 얻고있다. 이러한 양극박에 형성된 Etched Pit의 대표적인 SEM 사진을 Fig.3에 나타내었다. Fig.3에서 알 수 있듯이 Pulse Etching 에 의하여 얻어진 Etched 박의 표면은 미세한 요철을 가진 Pit가 무수히 생성되어 복잡한 형상을 가지는 것을 알 수 있을 것이다. 표면적 확대효율은 특히 Etching 조건(액조성, 농도, 온도, 주파수 및 통전량등)에 따라 영향을 받으며, 동시에 고순도 Al박의 화학조성, Cu, Mg, Zn 등의 함유원소의 미량첨가 등에 의하여서도 영향을 받는다. 저자가 연구한 구체적인 실험결과나 내용은 지면상 생략하기로하고 중압박의 경우에 대한 항목도 생략한다. 단지 부언할 것은 본인의 실험결과 선진국의 고압박과 거의 같은 수준의 정전용량을 내는

Etched Pit의 생성에 성공하였다.

앞에서 언급한 바와같이 고압용, 중압용 및 저압용 Al박은 고순도 박을 그 주원료로 하기 때문에 현재 국내에서 원자재가 원활히 공급될 수 있는 시기인 1991년대 초반에는 Etching에 대한 선진국과의 경쟁이 시작될 것으로 생각된다. 이외에 음극용 Al박의 경우 원자재 조달이 국내에서 가능하지만 정밀한 Etching Pit는 SEM 조직검사결과 형상이 선진국제품에 비하여 형상이 미세하지 못하기때문에, 앞으로 지속적인 연구개발이 필요하다고 생각된다.

저자는 영국 Manchester 공대의 세계적으로 유명한 화성처리공정인 Anodizing 연구 Group(Prof. G. C. Wood와 Dr. G. E. Thompson)에서 4년간 학위 및 Post. Doc. 과정을 이수하고, 당소에서 1년

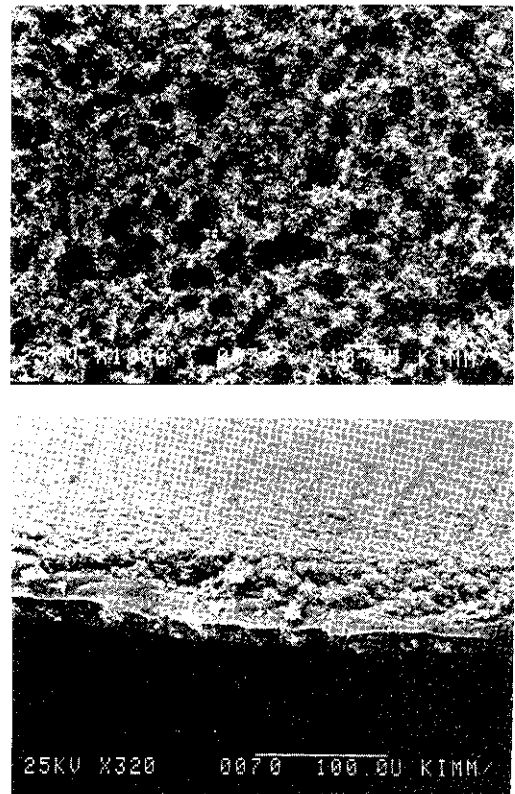


Fig. 3. Scanning electron micrograph of low voltage anode foil

이상 전해콘덴서용 Al Foil의 첨단 Etching 기술개발에 대한 연구를 하고있다. 특히, 난이도가 높은 양극 고압 및 저압박에 대한 Etching 기술을 주로 하여, 섬세하고 균일한 표면 및 단면 Etching 조직 생성에 대한 연구를 하고있다.

Etching 기술은 생산단가의 저렴화에 따른 공정의 간소화 역시, 표면조도 극대화 기술과 함께 신중히 검토되어 연구하여야 하는 과제이기 때문에, 적은양의 전기소모로 최대의 표면조도를 얻을 수 있어야하며, Etched Pit의 직경역시 자유자재로 Control 할 수 있는 기술이 필요하다. 이러한 목적하에 실험을 하였으며, 계속 연구하여 공업화에 주력하여 나갈 것임을 다짐한다. 특히, 특히, 본 기술은 기술상의knowhow가 많으며, 특허에 까지도 중요공정을 누락하여 기술보호를 하는 분야이기 때문에, 이분야에 대한 깊은 지식과 이해가 없이는 연구 수행에 많은 어려움이 있을 것으로 사료된다. 또한, 본기술은 단순한 전해 콘덴서용 Etched Al막 생산에 그치는 기술이 아니고, 고 부가가치성 전자, 자기 재료 및 특수용도의 기능성 박막재료 개발을 위한 기초기술이기 때문에 그 응용분야는 무한히 크다고 하겠다. 고 부가가치성 기능성 박막제통에대한 자세한 내용은 본 과제와 거리가있는 내용이므로 생략한다.

결론적으로 Etching기술은 공정의 난이도가 높은 기술은 아니나, 처리공정상의 섬세한 공정조절 기능과 특정한 Al Foil의 표면처리 연구개발능력의 확보가 절실히 요구되는 분야이며, 첨단 고부가 가치성 재료개발에 기초가 되는 파급효과가 큰 소재이기 때문에, 기술개발에 대한 업체의 의지(즉,과감한 투자, 인적자원확보, 연구장비 확보등)만 있으면 국산화도 가까운 장래에 이루어져, 세계최고의 Etched Al막이 생산될것으로 확신한다.

## (2) 전해콘덴서용 Paper

전해콘덴서용 Paper의 기능은 전해콘덴서의 양극과 음극의 접촉을 방지하고 전해액을 장시간 균일하게 유지할 수 있는 격리막으로 이용된다. 이러한 재료로서 천연의 식물섬유가 호평을 받고 사용

되고 있으며, 특히, 침엽수, 광엽수등의 목재섬유를원료로하는 Kraft Pulp, Manila섬유로부터 조제한Manila Hemp Pulp 등과 Benares Hemp, 목면등이 소량 사용되고 있다. 전해콘덴서용 Paper는 Pulp를 수중에 분산하여 균일한 용액으로부터 금망(Gold Mesh)위에 받아서 수분을 제거한 후 열을 가하여 건조한 것으로 원리적으로는 2,000년전 채운이 발명한 당시 기술과 다를바가 없다.

전해콘덴서용 Paper로서의 요구되는 특성은 일반적으로 다음과 같다.

- (a) 불순물을 함유하지 말아야 한다. 특히 전해액중의 약품에 용해되어 전극을 부식시키는 이온성 물질을 함유하지 말아야하고 도전성있는 금속미립자도 없어야 한다.
- (b) 두께, 밀도등이 균일하고 기공이 막혀있지 않아야한다.
- (c) 전해콘덴서의 제조과정 및 사용중에 충분한 기계적 전기적 강도를 유지하여야 한다.
- (d) 전해액을 함침한 후 그 상태를 유지할 수 있어야 한다.
- (e) 전해액과의 복합체로서 저온으로부터 고온의 범위까지 낮은 전기저항을 가져야한다.

현재 사용되는 중요한 전해콘덴서용 Paper의 특성을 표 2에 나타내었다.

전해콘덴서가 그 적용범위를 전원의 정류회로부터 고주파영역까지 확장시키고 있기때문에 낮은 Impedance의 전해콘덴서용 Paper의 요구도가 높아지고 있으며, 이러한 경향으로 콘덴서업체는 점차 Kraft Paper로 부터 Manila Paper로 변화되어 가고 있다. 그 이유는 섬유의 형상 및 조직이 함침상태에 유리한 Manila Paper가 고주파특성이 우수하기 때문이다. 최근 세계 각지로부터 생산되는 각종의 섬유에 대한 연구결과, Africa산 에스바루도 섬유의 특성이 우수하여 Manila 섬유와 섞어서 각각의 섬유의 특징을 가지는 새로운 낮은 Impedance 낮은 Short울 및 저렴한 가격의 Paper를 생산하게 되었다. 앞으로의 연구방향은 밀도를 낮추고 Impedance 특성을 좋게하면서 전해액의 함침시간을 단축시키는 용도의 Paper의 개발과 전해콘덴서용 Paper에

표2. 중요한 전해 콘덴서용 Paper의 특성

| 분 류              | 종 품         |             | 밀 도<br>(g/cm <sup>2</sup><br>BD) | 흡 수 도<br>(mm/<br>10min) | 인장강도<br>(kg/15mm) | ESR<br>at 40°C<br>(Ω/1KHz) |      |      |
|------------------|-------------|-------------|----------------------------------|-------------------------|-------------------|----------------------------|------|------|
|                  | 기호          | 두께<br>(mm)  |                                  |                         |                   |                            |      |      |
| Kraft            | 一<br>重<br>紙 | PE1         | 60                               | 0.40                    | 40                | 1.0                        | 17.2 |      |
|                  |             | PE2         | 30                               | 0.50                    | 7                 | 1.0                        | 11.4 |      |
|                  |             |             | 40                               |                         | 15                | 1.5                        | 15.2 |      |
|                  |             |             | 60                               |                         | 25                | 2.0                        | 22.8 |      |
|                  |             | PE3H2       | 40                               | 0.575                   | 8                 | 2.5                        | 18.9 |      |
|                  |             | RE4         | 15                               | 0.75                    | —                 | 1.0                        | 14.5 |      |
|                  | 20          |             | —                                |                         | 1.5               | 19.4                       |      |      |
|                  | 二<br>重<br>紙 | PED         | 45                               | 0.65                    | 25                | 3.5                        | 31.5 |      |
|                  |             |             | 50                               |                         | 25                | 4.0                        | 34.1 |      |
|                  |             |             | 60                               | 0.60                    | 30                | 4.5                        | 44.6 |      |
|                  |             |             | 70                               |                         | 30                | 5.0                        | 60.3 |      |
|                  |             |             | 90                               |                         | 40                | 6.0                        | 73.4 |      |
|                  | Manila      | 一<br>重<br>紙 | ME0                              | 60                      | 0.35              | 70                         | 2.0  | 7.6  |
|                  |             |             | ME1                              | 60                      | 0.40              | 70                         | 2.5  | 10.4 |
| ME2              |             |             | 50                               | 0.50                    | 50                | 3.0                        | 11.5 |      |
|                  |             |             | 60                               |                         | 60                | 3.5                        | 13.8 |      |
| ME2.5            |             |             | 50                               | 0.55                    | 40                | 3.5                        | 13.4 |      |
| Manila<br>+에스바루도 | 一<br>重<br>紙 | MER1.5      | 50                               | 0.45                    | 30                | 2.0                        | 8.1  |      |
|                  |             | MER2        | 50                               | 0.50                    | 30                | 2.5                        | 9.3  |      |
| Manila<br>+Kraft | 一<br>重<br>紙 | MEK2        | 40                               | 0.50                    | 25                | 2.0                        | 11.7 |      |
|                  |             |             | 60                               |                         | 40                | 2.0                        | 15.2 |      |

Ceramic조미분을 함유하여 특성개선을 하는 연구가 진행될 것이다.

### (3) 고무 Packing 재료

고무 Packing은 일반적으로 Packing의 역할만을 하는것이 아니라, 콘덴서 소자를 직접 접하여 고정하고 있기때문에, 콘덴서 소자의 성능에 영향을 주는 불순물인 염소분, 유산분 및 금속성분등의 불순물 혼입방지가 철저히 필요하다.

일반적인 고무 적층판으로 이용되는 고무Sheet는 SBR계 합성고무가 주체이며, 내부식성 및 전기절연성이 양호하고 내열노화성도 안정하기때문에 밀봉재료로서는 표준품이며, 현재 국내에서 약간의 재

조상의 문제는 있으나 국산화되어있는 실정이다. 최근에 와서 전해콘덴서의 사용온도가 상승하므로써 콘덴서의 수명향상을 요구하는 사용자의 구매에 대처하기 위하여, 전기절연성이 좋고, 내약품성이 SBR계 고무보다 우수한 EPT계 고무 사용량이 증가하고있다.

또한 적용범위를 넓히기 위하여, 내후성, 내열성, 가밀성등이 우수한 IIR계 고무가 고려되고 있으나, 전해콘덴서에의 내부식성 문제가 검토중에 있다.

고무Sheet의 적층판으로 이용되는 Phenol Paper Sheet는 밀봉재료로서 사용하기 위하여 Cold Punching 또는 Hot Punching을 하여 조건에 적합한 상태로 만들거나, Cold Punching 또는 Hot Punching 에



표3. 콘덴서 밀봉용 Rubber sheet의 특성

| 항 목       |         | 단위                 | Rubber sheet | S B R                                  | E P T                                  | Modified S B R                         | Modified E P T                         |
|-----------|---------|--------------------|--------------|--|--|--|--|
|           |         |                    | 처리조건         |  |  |  |  |
| 경 도       | 정 상     | H. S               | A            |  |  |  |  |
|           | 노화후     |                    | E-96/100     | 70~85                                  | 60~70                                  | 65~80                                  | 60~70                                  |
| 인장강도      | 정 상     | kg/cm <sup>2</sup> | A            | 60 ≦                                   | 60 ≦                                   | 80 ≦                                   | 80 ≦                                   |
|           | 노화후     |                    | E-96/100     | 50 ≦                                   | 60 ≦                                   | 60 ≦                                   | 60 ≦                                   |
| 연 신 율     | 정 상     | kg/cm <sup>2</sup> | A            | 450 ≦                                  | 500 ≦                                  | 450 ≦                                  | 500 ≦                                  |
|           | 노화후     |                    | E-96/100     | 200 ≦                                  | 400 ≦                                  | 300 ≦                                  | 400 ≦                                  |
| 표면저항      | 정 상     | Ω                  | C-24/20/65   | 5×10 <sup>11</sup> ~10 <sup>12</sup>   | 5×10 <sup>11</sup> ~10 <sup>12</sup>   | 5×10 <sup>11</sup> ~10 <sup>12</sup>   | 5×10 <sup>11</sup> ~10 <sup>12</sup>   |
|           | 흡 습     |                    | G-24/20/65   | 10 <sup>12</sup> ~10 <sup>13</sup>     | 10 <sup>12</sup> ~10 <sup>13</sup>     | 10 <sup>12</sup> ~10 <sup>13</sup>     | 10 <sup>12</sup> ~10 <sup>13</sup>     |
|           | 처리후     |                    | +C-24/40/90  |  |  |  |  |
| 체 적 저 항 율 | 정 상     | Ω·cm               | C-24/20/65   | 5×10 <sup>11</sup> ~5×10 <sup>12</sup> | 5×10 <sup>11</sup> ~5×10 <sup>12</sup> | 5×10 <sup>11</sup> ~5×10 <sup>12</sup> | 5×10 <sup>11</sup> ~5×10 <sup>12</sup> |
|           | 흡 습     |                    | C-24/20/65   | 5×10 <sup>11</sup> ~5×10 <sup>12</sup> | 5×10 <sup>11</sup> ~5×10 <sup>12</sup> | 5×10 <sup>11</sup> ~5×10 <sup>12</sup> | 5×10 <sup>11</sup> ~5×10 <sup>12</sup> |
|           | 처리후     |                    | +C-24/40/90  | 5×10 <sup>11</sup> ~5×10 <sup>12</sup> | 5×10 <sup>11</sup> ~5×10 <sup>12</sup> | 5×10 <sup>11</sup> ~5×10 <sup>12</sup> | 5×10 <sup>11</sup> ~5×10 <sup>12</sup> |
| 내 유 성     | 중 량 변 화 | %                  | E-2/100      | 150 ≧                                  | 170 ≧                                  | 100 ≧                                  | 100 ≧                                  |
|           |         |                    | +O-24/100    |  |  |  |  |
| 내 변 형 성   | 중 량 변 화 | %                  | E-2/100      | 30 ≧                                   | 80 ≧                                   | 15 ≧                                   | 30 ≧                                   |
|           |         |                    | +W-24/100    |  |  |  |  |
| 압축변형율     |         | %                  | E-22/100     | 80 ≧                                   | 70 ≧                                   | 70 ≧                                   | 70 ≧                                   |
| 흡 수 율     |         | %                  | E-24/50      | 2 ≧                                    | 2 ≧                                    | 2 ≧                                    | 2 ≧                                    |
|           |         |                    | +D-24/23     |  |  |  |  |
| 염 소 분     |         | ppm                | —            | 8 ≧                                    | 8 ≧                                    | 8 ≧                                    | 8 ≧                                    |
| E. G      | 초기치     | mA                 | —            | 25 ≧                                   | 25 ≧                                   | —                                      | —                                      |
|           | 20분후    |                    | —            | 25 ≧                                   | 25 ≧                                   | —                                      | —                                      |

의한 단점보완을 위해 후가열로 가공영향을 극소화하는 기술도 고려되고 있다. 또한 전해액에 의한 Al lead wire의 내부식성을 증가시키기 위하여, Phenol Paper Sheet의 표면에 폴리프로필렌을 용착하는 특수한고무 부착 적층판의 사용도 점차 증가할 것이다.

현재 사용되고있는 고무Sheet의 특성에 대해 표 3에 나타내었다. 제조방법 및 고무-Phenol적층판에 대한 구체적인 내용은 생략하기로 한다.

(4) 전해액(Paste)

전해콘덴서를 구성하는 중요한 재료로서 양극과 음극사이에 극간을 연결하는 안정한 화학물질로서,

전장(Electric Field) 하에서 전기저항이 비교적 낮은 액상의 물질을 전해액(Paste)이라 하고, 주로 콘덴서용 Paper에 함침시켜서 사용한다. 이러한 콘덴서 함침용 전해액은 콘덴서가 작동하는 온도범위 즉 -70~150℃ 사이에서 안전해야하고, 사용수명이 20년정도로 장기간동안 액성질이 변화가 없어야 하므로, 일반적으로 무수(Unhydrous State)상태 이어서 화성처리에 이용하는 전해액과는 다르다. 현재 국내에서 사용하는 대부분의 전해액(Paste)은 거의 전량 수입하고 있으며 요구되는 품질수준은 엄격한 편이다.

Paste의 선정은 사용할 콘덴서의 요구되는 성능,

사용할 전극의 성능 및 사용온도에 따라 신중히 검토되어야 한다. 예를들면 고압용일 경우는 높은 점도(Viscosity), 높은 저항의 것을, 저압용의 경우 낮은 점도, 낮은 저항의 것을 사용해야 한다. 이외에 양극막의 경우 화성처리의 전해액의 성질 및 화성 조건에 따라 산화피막의 물성이 다르고, 음극막의 경우 표면의 성질과 Etching의 후처리 방법에 따라 표면의 안전성 문제가 다르므로 거기에 따른 전해액의 적용이 고려되어야 좋은 제품이 될 수 있다.

최근에 와서 콘덴서의 사용온도 범위가 넓어짐에 따라 150°C 까지도 안전한 전해액의 요구도가 증가되고 있어 여기에 대한 연구개발이 계속되고 있는 실정이다. 전해액은 일반적으로 3 가지 성분, 즉, 용제, 전해질 및 특성향상용 안정화 첨가제의 화합물이 섞여서 이루어진다. 용제로는 Alcohol류, Ether류, Amide류 및 유기용제들이며, 전해질 물질은 무기산, Heteropoly산, Phenol성수산화기를 가진 유기산, 술폰산기를 가진 유기산, Chain type monocarboxylic 산, 방향족 mono카본산, Chain type dicarboxylic 산 등이며, 안정화 첨가제로는 인산계 화합물, 규산화합물 등이 많이 쓰인다. 자세한 배합비에 따른 처리액의 특성은 생략하기로 하고, 전해액의 선정에 따라, 온도특성, 주파수특성 및 수명에 크게 영향을 주므로 신중히 적용되어야 할 것이다.

## 5. 결 론

앞으로의 전해콘덴서의 연구동향은 다음의 2 가지 방향에 있을 것이다.

(1) 사용하는 기기의 소형화에 따른 전해콘덴서의 소형화에 대한 연구.

(2) 종래의 수명이 85°C 에서 2000시간 보 증하던 것이 105°C 에서 2000시간을 거쳐서, 최근에는 105°C 에서 5000시간부터 10000시간을 보증하기를 요구하고 있는 실정이다. 이에따른 고온에서의 수명의 연장에 따른 제반문제가 연구과제이다.

위와같은 동향에 부응하기 위하여, 전해콘덴서에서 사용되는 전해액 중의 용제도 에칠렌 글리콜을 대신 DMF (Amide류) 등의 환성화가 높은 용제가 사

용될 것이며 전해질도 종래의 붕산으로부터 아디핀산, 안식향산등이 사용되어져야 한다. 전해콘덴서용 밀봉용 고무적응판도 내열 내약품성 향상에 대한 요구도가 증가될 것이므로 고무 Sheet도 종래의 SBR 계로 부터 내열 내약품성이 좋은 EPT계 및 Butyl 계 사용품이 증가경향에 있으며, Phenol Paper Sheet도 열을 받은 상태에서의 강도상승에 대한 연구도 되어질 것이다.

이상과 같이 전해콘덴서의 연구동향은 앞으로 선진국에서도 더욱더 기초소재분야에 집중할 것으로 예상되므로, 후발국인 국내의 콘덴서 업계는 이 분야에 대한 연구개발 및 연구인력의 고급화에 최선을 다해야 선진국의 대열에 발맞추어 나갈 수 있을 것으로 생각하며, 곧 그 시기가 오리라 확신한다.

## 참 고 문 헌

1. S. H. Han: Ph. D Thesis, UMIST, March, 1986.
2. L. I. Shreir: Corrosion, Vol. 1, Newnes-Butterworths, (1979) 131-175.
3. T. Sato, T. Namikata, S. Hiyama: Fujitso Scientific a. Technical Journal, 9, (1970) 91.
4. C. G. Dunn, R. B. Bolon, A. S. Alwan, A. W. Stirling: J. Electrochem. Soc., 118, (1971) 381.
5. R. Bakish, E. Z. Borders, R. Kornhaas: J. Electrochem. Soc., 109, (1961) 791.
6. N. F. Jackson: Electrocomp. Science a. Technology, 2, (1975) 33.
7. H. Fickelscher: Interner Siemens-Entwicklungsbericht, 1964,
8. H. Fickelscher: Interner Siemens-Entwicklungsbericht, 1966.
9. H. Kaeshe: Zeitschr. Phys. Chemie N. Folge, 34, (1962) 87.
10. H. Ginsberg, W. Huppertz: Metall, 26, (1971) 565.
11. A. Broli, H. Holtan: Corrosion Science, 13, (1973) 237.
12. Z. A. F. oroulis, M. J. Thubrikar: Werkstoffe u. Korrosion, 26, (1975) 350.

13. G. Masing, D. Altenpohl: Zeitschr. f. Metallk. 43, (1952) 404.
14. B. M. Tareev, M. M. Lerner: Ehlektrichestvo, 6, (1959) 71.
15. R. S. Alwitt: J. Electrochem. Soc. , 114 (8) (1967) 843.
16. R. C. Plumb: J. Electrochem. Soc. , 105 (9) (1958) 498.
17. J. E. Lewis, R. C. Plumb: J. Electrochem. Soc. , 105 (9) (1958) 496.
18. W. J. Bernard: J. Electrochem. Soc. , 109 (11) (1962) 1082.
19. P. Robinson, J. Burnham: Trans. Electrochem. Soc. , 83, (1943) 125