

# 電氣設備用 polyethyleneterephthalate의 electret 특성연구

(Electret characteristics of polyethylene terephthalate for electric installation)

鞠相勳\* · 徐將守\*\*

(Sang-Hoon Kook · Jang-Soo Seo)

## 요 약

표면전위측정 수단을 이용하여 polyethylene terephthalate의 electret 機構를 해명하는 실험을 하였다. 시료에 전극을 증착하므로써 내부의 전하생성과 감쇠를 관측하였다.

electret의 기구에는 hetero charge와 homo charge가 공존하고 있으며 model로 2電荷理論을 기반으로 연구하였는데 hetero charge는 쌍극자와 내부의 이온 변위로 되고 homo charge를 형성하는 것은 외부에서 주입된 전하라고 생각된다.

## Abstract

This paper experience the mechanism for the electret of polyethyleneterephthalate(PET) by using surface potential measurement means. We investigated the internal charge production and becoming week by evaporating electrode in sample structure of electret coexist with hetero charge and homo charge, as the study based on two charge theory.

We expects that the hetero charge consists of the dipole and ion displacement of internality, the homo charge consists of injected charge of externality.

## 1. 序 論

금세기초 electret가 만들어진<sup>1)2)</sup> 이래 electret에 관한 연구가 여러가지로 이루어지고 있다. 특히

1948년 acrylic ethyle cellulose등의 고분자 재료를 electret로 만들어 이 연구가 활발하며 그 응용으로서 myler의 electret필름을 이용하여 콘덴서형의 마이크로폰을 만들었다.<sup>3)</sup> 또 헤드폰의 이용도 실현되어 그 응용범위를 확대하고 있으며<sup>4)</sup> 靜電位計, 放射線量計, 荷電beam偏向用 등이 고안되며 혈액의 응고방지를 위한 人工血管에 이용하는

\*正會員：朝鮮大學校 電氣工學 · 工博

\*\*正會員：松源專門大 電氣科 前任講師

接受日字：1996年 4月 27日

시료등 많은 응용이 기대되지만 electret의 機構는 불명확한점이 많으며 生成減衰機構 및 電荷를 오랫동안 갖는 機構는 확실하지 않는 현상이다.

electret에는 hetero charge와 homo charge가 공존하고 있는 모델을 고려한 2電荷理論에 기반한 연구가 많이 있다. homo charge로 형성하는 것은 雙極子내부의 이온변위가 있다고 한다.<sup>5)</sup> homo charge는 외부에서 electret로 되는 재료에 주입시킨 電荷가 고려된다.

본 연구에서는 polyethyleneterephthalate(PET)를 시료로하여 electret化시켜 表面電位를 측정하여 전하관정을 가능하였으며 시료온도를 상승시킬때 내부전하의 減衰에 의한 表面電位의 변화를 측정하였다. 그 결과 hetero charge가 어떤 온도에서 어떻게 감쇠하는가 또 homo charge가 어떤 온도에서 감쇠하는가를 조사할 수가 있었다. 최근 單結晶중의 trap 깊이나 carrier밀도의 측정수단으로 발달한<sup>6)</sup> 熱刺戟電流(Thermally Stimulated Current : TSC)를 이온결정의 雙極子 완화시간 측정에 이용하였다.<sup>7)</sup> 그리고 PET의 열자극전류<sup>8)</sup>를 측정하여 시료내의 荷電粒子的 거동을 알 수 있었고 감소가 일어나는 것은 같은 온도이기 때문에 electret의 표면전위를 온도변화시 측정결과와 열자극 측정결과가 대등함을 알았다.

## 2. 實驗

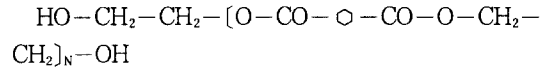
### 2.1 表面電位測定原理

본 연구에서 표면전위 측정은 shutter법을 이용하였다. 시료가 帶電되어 시료내의 전하분포와 量에 의하여 표면전위  $V_s$ 로 되었다 하고 그림 1과 같이 금속전극을 근접시키면 시료표면 전위  $V_s$ 와 시료표면과 금속전극의 거리에 따라 결정되는 電荷가 유기된다.<sup>5)</sup>

즉 시료표면에서 일정량의 電氣力線이 전극에 입사하거나 방사된다. 이 전기력선을 접지된 shutter로 진동시켜 단속적으로 차단시키면 전극에는 전기력선에 대응한 교류기전력이 생긴다. 그것을 증폭시켜 同期檢波하여  $V_s$ 를 측정한다.

### 2.2 試料

시료는 polyethylene terephthalate이고 terephthalic酸과 ethylene glycol의 polyester를 縱, 橫 방향으로 2軸延伸하여 필름으로 만든것이며 그 구조는 다음 식으로 표시된다.



이것은 전기절연성, 耐熱, 耐寒성이 좋으며, 용점이 260[ $^{\circ}\text{C}$ ], 상시사용온도  $-70\sim 150$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]이고 浸水乾燥 상태에서 기계적 화학적특성, 伸縮性이 좋다. 시료는 알콜로 세정한 후 Al로 증착하여 전극으로 하였으며 시료두께는 주로 25( $\mu\text{m}$ )이며 16, 50, 100( $\mu\text{m}$ )등이다. Al片面 증착시료와 兩面 증착시료를 사용하였으며 전극면적은 38.4 [ $\text{cm}^2$ ]이다.

### 2.3 測定裝置

측정계를 그림 2에 표시하였다.

Al을 증착한 시료를 접지된 bell jar(진공도  $10^{-6}$ )

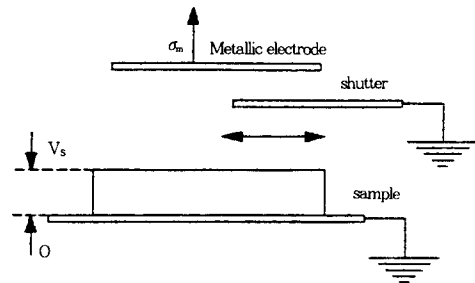


그림 1. 표면전위 측정원리  
Fig. 1. Measuring principle of surface potential

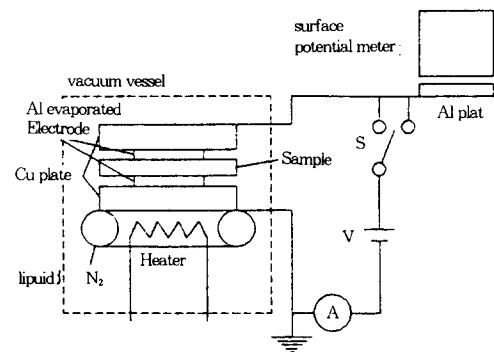


그림 2. 측정계  
Fig. 2. Measurement system

Torr정도)내에 장치하고 下部電極에 냉각액체질소용 파이프와 heater 및 온도측정용 銅-constantan (Cu-C)이 부착되어 있다.

Thermally stimulated surface potential(TSSP)측정은 표면전위계의 出力을 X-Y recorder의 X軸에 온도계 出力을 Y軸에 접속하였다.

### 2.4 Electret의 製作 및 測定

적당한 크기로 만든 aluminium판에 銀粉과 진공 grease를 혼합하여 바르고 표면전위 측정용으로 만든 시료를 Al가 증착된 면이 Al기판 면에 밀착되게 놓은 후에, 상부전극으로는 窒素에 Al을 증착시킨 전극을 놓은 구조(MIM)로 하였다. 이것을 일정바이어스온도Tb로 고정시키고  $t_b=30$  [sec] 동안 전압을 인가하고 그대로 냉각시켜 실온에서 단락시키면 electret化된다. 이것을 승온시키면서 표면전위를 측정하는데 298k될때를 初期値로 하고 표면전위가 零이 될때까지 측정한다.

## 3. 實驗結果와 考察

### 3.1 片面蒸着電極試料의 等溫表面電位

Electret化된 시료로 측정온도를 실온 및 364k에서 측정한 표면전위를 그림 3에 표시하였다.

그림3(a)의 A는 비교적 낮은 온도 Tb=364k와 Vb=540v이며 측정을 시작하여 3일정도는 homo 전위가 증가하고 있는데 이것은 시료에 homo charge와 hetero charge가 공존하고 있으며 먼저 hetero charge가 감쇠한 것이라 본다. 이때의 緩和時間을 구하면 약  $4 \times 10^7$ sec이었다. B는 A때보다 높은 전압을 인가하였다. 初期値는 hetero전위이고 A의 경우와 같은 감소가 있다. 이 경우도 hetero전위가 감소하며 그 후는 서서히 감쇠하였다. 이것의 완화시간은  $10^7$ sec정도이고 이 Hetero 전위의 변화는 2종류의 Hetero전하가 예상되며 Hetero전위의 급격한 감쇠는 그 감소에 소비된 기간이 같은 정도이므로 同種 전하의 감쇠라 생각된다. 그림3(b)는 Tb=364k때의 표면전위의 시간변화인데 그림 3(a)때 보다 빠르며 완화시간은  $10^6$ sec정도이다.

### 3.2 表面電位の 初期値

바이어스전압 Vb와 바이어스온도 Tb를 parameter로 할때 298k의 표면전위값을 초기치로하여 이값의 변화를 조사하였다. 그림 4는 Tb를 parameter로하여 초기치 Vb=0v에서 Vb에 따른 변화를 plot한 것이다.

Tb에 관계없이 대체로 550k 부근에서 homo 전위가 급격히 증가하고 있다. 이 homo전위는 시료에 따라 다소차이가 있으며 외부에서 homo charge의 주입이 원인이 된다고 생각된다. Vb가 550k이하 범위에서는 hetero 전위가 측정되었으며 이전위는 450v이하 범위에서는 Vb가 증가됨에 따라 증가하지만 Tb에 따라 크게 달라졌다. 그림 5는 표면전위 초기값의 Tb-Vb특성이다.

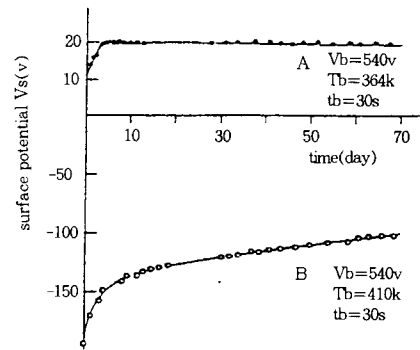


그림 3(a). 실온에서 표면전위의 온도특성  
Fig. 3(a). Temperature characteristics of surface potential in room temperature

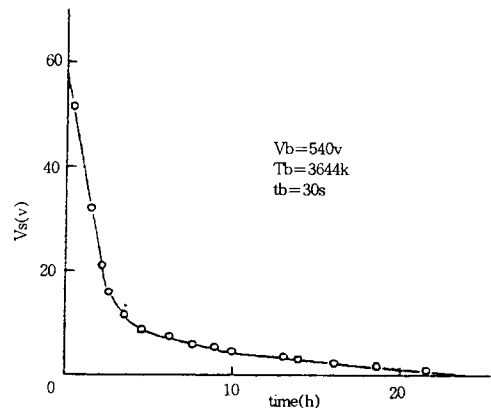


그림 3(b). 표면전위 온도특성  
Fig. 3(b). Temperature characteristics of surface potential

$V_b=196v, 294v, 319v$  때는  $T_b=400k$  부근에서 hetero 전위가 급격히 증가하였다.

또  $V_b=490v$  때는 hetero 전위는 급격한 증가는 보이지 않았다.

이것은 homo charge의 영향이 나오기 시작하기 때문이며  $V_b$ 가 작을 때 hetero 전위의 급격한 증가는 서로 다른 2종류의 hetero 전하가 있기 때문이라 예상된다.

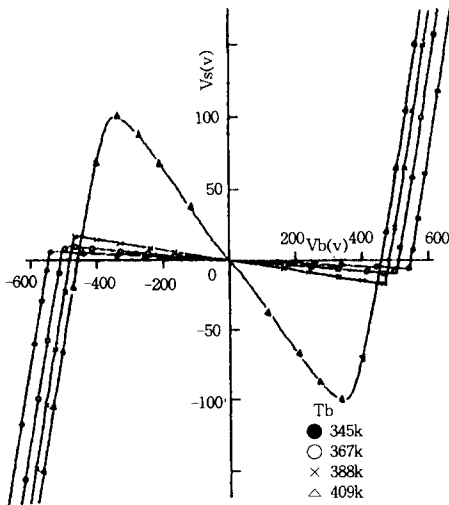


그림 4. 표면전위초기치의 바이어스 전압특성  
Fig. 4. Bias Voltage characteristics of surface potential initial value

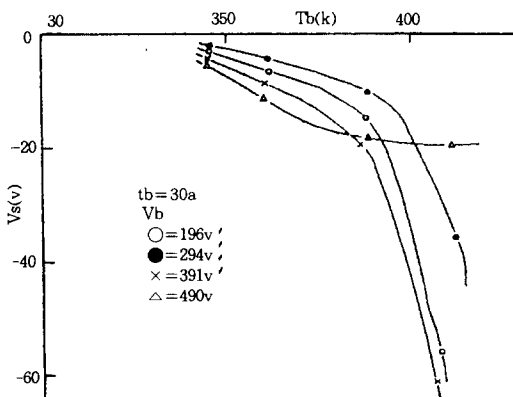


그림 5. 표면전위초기치의 바이어스 전압특성  
Fig. 5. Bias temperature characteristics of surface potential initial value

### 3.3 熱刺戟表面電位(Thermally Stimulated Surface Potential : TSSP)

온도를 일정속도로 변화 시켰을 때 표면전위 변화를 熱刺戟電位라 한다. 시료내에 hetero charge와 homo charge를 형성하고 있는 荷電粒子에는 반드시 완화시간이 있어 이것에 대응하는 活性化 energy가 있다. TSSP에는 몇가지 대표적인 패턴이 있는데 그림 6에 몇가지 표시하였다.

electret 제작 때의 단락온도는 약 300k이고, 승온속도  $\beta$ 는 약 0.15K/s로 하였으며 5点附近에 의해서 부분적으로 2차식에 近似하여 computer로 경사를 구하였다. 그 결과는 그림 7이다.

그림 7(a)의 TSSP는 초기치가 hetero, homo 전위에 관계없이 hetero 전위가 감소하며 homo 전위감소는 고온도에서 생겼으며 hetero 전위는  $V_b$ 가 커짐에 따라 커졌으나 일정값 이상으로 되면 급격하게 homo 전위가 커지며 결과적으로는 초기치는 homo 전위로 표시된다.

그림 6에서는 한 종류의 hetero 전하밖에 생각되지 않는다.

전절의 초기치 측정결과는 어떤 바이어스 온도 이상에서 hetero 전위가 급격히 증가한다. 그림 7(a)(b)는  $T_b=388k$ 이고  $V_b$ 는 homo 전위가 나타나기 시작하는 부근의 TSSP와 그 경사이다.

그림 7(a)의 TSSP는  $V_b$ 가 적기 때문에 homo 전위는 생기지 않고 hetero 전위의 감소만 나타나고 그 경사는 hetero 전하의 감소에 2개 peak가 있는 것을 알았다. 처음의 hetero 전하 감소는 그림 6과 같은 것이며 어떤 바이어스 온도 이상에서 hetero 전위의 급격한 증가는 한층 높은 온도에서 나타

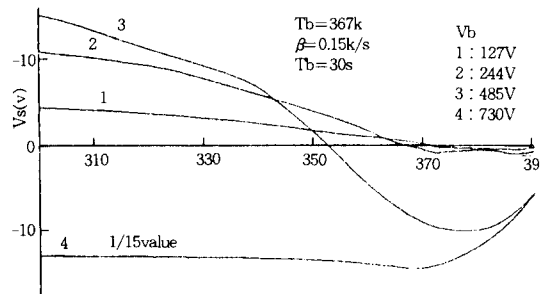


그림 6. 바이어스 전압에 의한 TSSP 특성  
Fig. 6. TSSP characteristics by bias voltage

나는 peak때문이라 생각된다. 이상에서 hetero전하는 2종류가 있으며 peak 온도는 370k, 400k 부근이다. 그림 7(b)는 homo전위가 크게 생겼으며 TSSP경사는 homo전하의 peak가 (a)의 고온측 hetero전하 peak와 거의 동온도에 있고 hetero전하에 의한 peak는 homo전하의 peak 때문에 도중에서 없어진다.

이상에서 PET시료의 electro내부에는 homo전하와 hetero전하가 있고 hetero전하에는 2종류가 있으며 homo전하는 외부에서 주입된 것이고 PET의 熱刺戟電流와 熱刺戟表面電位는 잘 대응하며<sup>9)10)</sup> hetero전하의 저온 peak는 쌍극자에 의해서 고온 peak는 이온변위에 의한 것을 알았다.

#### 4. 試料두께에 의한 表面電位

그림 8(a)(b)는 시료두께 16, 25, 50, 100[ $\mu\text{m}$ ]의

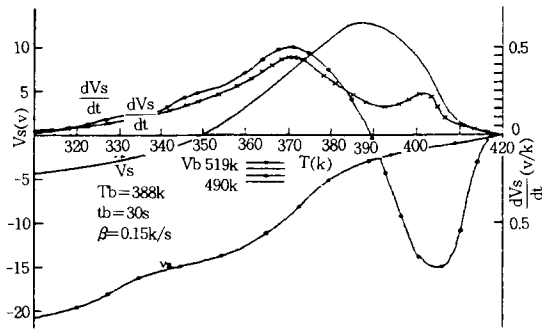


그림 7(a). TSSP와 검사  
Fig. 7(a). TSSP and Sloping

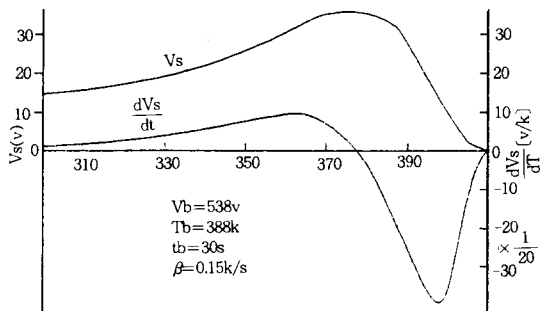


그림 7(b). TSSP와 검사  
Fig. 7(b). TSSP and sloping

표면전위인데  $V_b$ 의 正負에 관계없이 거의 대칭적이었다. 여기서는 正의 경우만 표시하였다. 먼저 homo전하로 보이는  $V_b$ 에 대해서 조사하려고 초기치가 homo전위로 되는 최소  $V_b$ 값을 그림 9에 plot하였다. 이  $V_b$ 의 최소치는 두께가 증가할수록 증가하였는데 두꺼운 시료일수록 동일전압에서 전계가 작아지며 전계가 내부에서 균일하면 두께에 반비례할 것이다.

따라서 100( $\mu\text{m}$ )는 16 $\mu\text{m}$ 에 비하여 대단히 작은 전계이고 초기치가 homo 전위가 된다.

그림 8에서  $T_b=409\text{k}$ 때 hetero전위가 homo전하

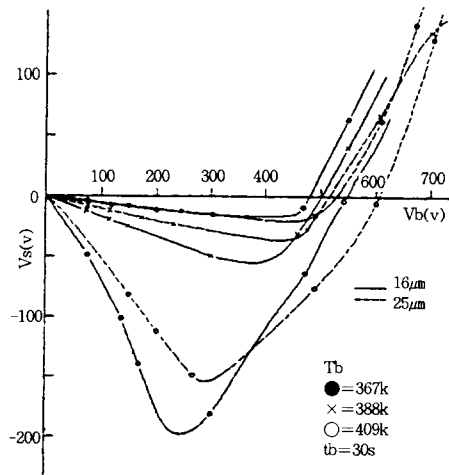


그림 8(a). 시료의 초기치  
Fig. 8(a). Initial value of sample

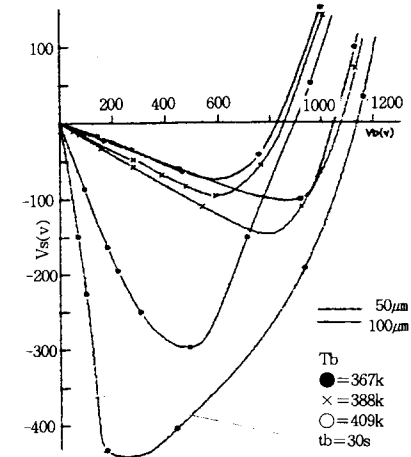


그림 8(b). 시료의 초기치  
Fig. 8(b). Initial value of sample

에 의해서 감소되는  $V_b$ 는 거의 200~400[V] 사이에 分散하고 있다.

위 사실에서 전하주입은 바이어스 전계에 의해서가 아니고  $V_b$ 에 많이 의존하고 있다고 생각된다.

그림 9에 내부전계가 균일분포라고 가정할때 바이어스 전계  $E_b=20\text{kv/cm}$ 에서 초기치의 두께 의존성이  $T_b$ 를 parameter로 하여 표시하였다.

$E_b=20\text{kv/cm}$ 때  $100(\mu\text{m})$  시료는 200[V]의 작은 전압이므로 homo전하는 거의 주입하지 않는다고 생각되며, 따라서 hetero전하만 있다고 생각되며 이 전하는 바이어스 전계에 크게 의존하고 있는 것을 알았다.

### 5. 兩面蒸着電極試料의 表面電位

Electret化 된 시료를 저온에서 단락시키고 표면전위를 측정하였다. 측정개시 시점에서는 표면전위는 零이지만 내부에서 전위가 이동하면 전위가 생긴다. 또 저온에서 단락시키지 않고 상부증착전극에서  $V_b$ 에 상응하여 충전된 전하를 그대로 두고 TSSP를 측정할 수 있다. 초기 상태에서 단락한 경우 처음에는 표면전위가 零이지만 그때 상부증착전극에는 내부전하에 응해서 전하가 있게 된다. 그 전극내의 전하는 내부의 전하가 없어지지 않는 한 표면전위로 측정되는 전계가 형성되지 않는다. 역으로 말하면 내부전하가 감소되면 그것에 따른 전극내 전하량이 개방되어 표면전위로 측정되는 전계가 형성될 것이라 본다.

그림10(a)에  $V_b$ 를 일정히 하고  $T_b$ 를 parameter

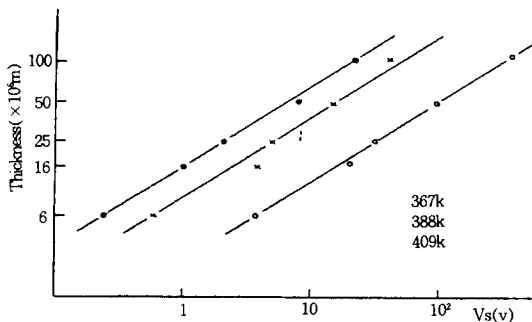


그림 9. 초기치의 두께 특성  
Fig. 9. Thickness characteristics of initial value

로 한 TSSP를 표시하였는데  $T_b$ 의 변화에 불구하고 TSSP가 같은 방향으로 증가한다. 이것은 hetero전하의 감소를 나타내며  $T_b$ 가 낮은 (345k) 때는 평탄한 구간이 있는데 이때는 hetero전하는 완전 소멸되었다고 생각되며 그 후는 감소하여 결국 소멸되어 표면전위는 零으로 된다. 이 원인은 homo전하의 완화를 들 수 있지만 전술의  $V_b$ 로 많은 homo전하가 있다고는 볼 수 없으며 homo 전하의 완화로 표면전위가 반드시 零이 된다고는 생각하기 어렵다. 따라서 이것은 상부전극내의 전하가 소멸했기 때문이라 생각된다.  $V_b$ 를 변화시켜도  $T_b$ 를 변화시키지 않으면 TSSP의 형상은 그다지 차이가 없었다. 이 사실은 片面증착시료는  $V_b$ 를 크게 했을때 큰 homo전위가 측정된것과는 큰 차이가 있다. 다음절에서 설명하겠다. 그림 10(a)중의 형상 변화가 있는 1, 2, 3의 TSSP경사를 그림 10(b)에 표시하였는데 1은 het-

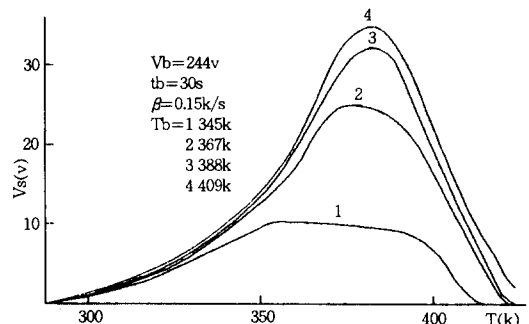


그림 10(a).  $T_b$ 에 의한 TSSP 특성  
Fig. 10(a). TSSP characteristics by  $T_b$

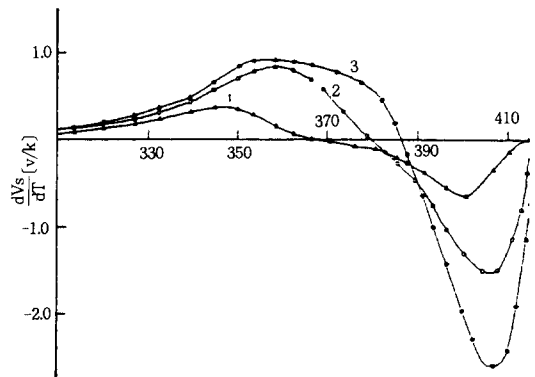


그림 10(b). 그림 10(a)의 TSSP 특성  
Fig. 10(b). TSSP sloping of Fig. 10(a)

ero전하의 감쇠peak와 전극내의 전하감쇠 peak가 분리되어 있다.

또  $T_b$ 가 높을때는 hetero전위의 감쇠 peak가 최대치로 되기전에 전극내의 전하감소가 생각되는 peak에 의해서 없어졌다. 따라서  $T_b$ 를 높이면 hetero전하를 증가시킬 수 있다.

## 6. 兩面과 片面電極의 TSSP

그림 11(a)는 兩面電極試料를  $T_b=345k$ 로 고정

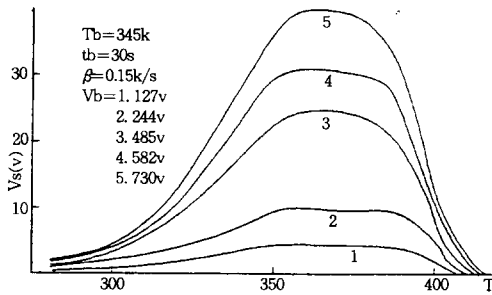


그림 11(a). 양면 전극 시료의 TSSP 특성  
Fig. 11(a). TSSP characteristics of double sided electrode sample

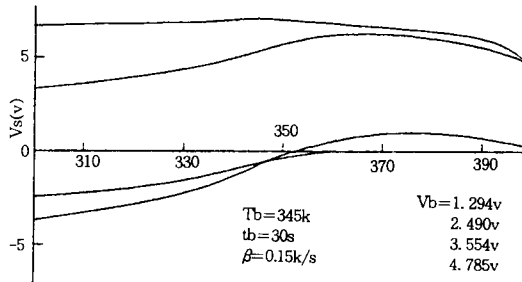


그림 11(b). 편면 전극 시료의 TSSP 특성  
Fig. 11(b). TSSP characteristics of single

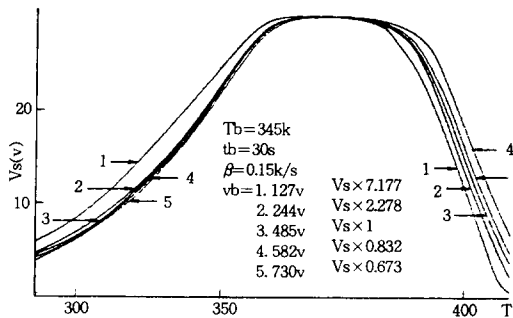


그림 11(c). 규격화한 TSSP 특성  
Fig. 11(c). Normalized TSSP characteristics

시키고  $V_b$ 를 parameter로 한 TSSP이고 그림 11(b)는 片面전극시료의 TSSP이다. 그림 11(a)는 300~350k에서 hetero전하가 감소하며 그림 11(b)는  $T_b=345k$ 에서 어떤값 이상이 되면 homo전하가 관찰되고  $V_b$ 가 비교적 높아지면 homo전하주입으로 homo전위가 관찰된다.

이상에서 兩面중착전극시료는 주입 homo전하에 의한 homo전위는 측정되지 않는다고 생각되며 그림 11(a)의 TSSP에서 초기의 hetero전하감쇠는  $T_b=345k$ 때는 그림 11(b)의 경우도 이온변위에 의한 hetero전하가 없는 것이나, 규격화도 그림 11(c)에서 각 TSSP의 최대값온도가 일정한 것으로 보아서 쌍극자의 배향에 의한것을 알 수 있다.

이 사실을 확인하기 위하여 다음 실험결과를 표시하였다.

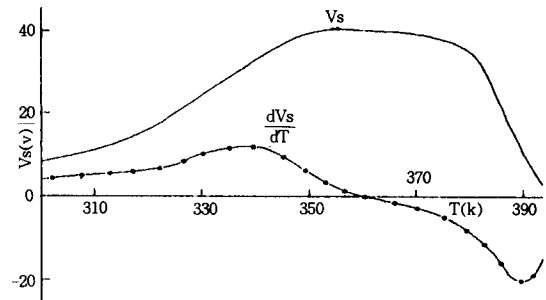


그림 12(a). 양면 전극 시료의 TSSP와 경사  
Fig. 12(a). TSSP and sloping of double sided electrode sample

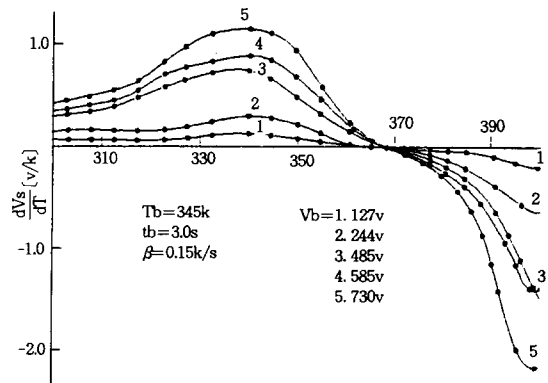


그림 12(b). 양면 전극 시료의 VS-TSSP 경사  
Fig. 12(b). VS-TSSP sloping of double sided electrode sample

그림 12(a)는 양면전극시료의 TSSP와 그 경사의 한 예이고 그림 12(b)는 Vs에 따른 경사이다.

그림 12(b)에서 1~5조건의 저온측 peak가 모두 같은 전하이며 쌍극자에 의한 것임을 알 수 있다. 또 peak의 leading edge만을 확대하여 plot 한 것이 그림 13이고 경사는 Vb를 parameter로 하여도 거의 같으며 이것은 각각 활성화에너지가 거의 같은 것을 의미하며 同一 전하이고 이 값은 약 0.26ev이었다.

그림 14는 양면시료의 TSSP최대값 Vb-Tb 특성인데 바이어스 전압이 커져도 homo전위에 의한 영향은 없고 homo전위가 측정되지 않았다.

또 편면전극시료는 큰 homo전위가 측정되었으며 두 시료의 TSSP경사를 그림 15에 표시하였는데 양면 전극시료는 주입에 의한 homo전위가 측정되지 않았다.

### 7. 結 論

본 연구에서는 PET의 荷電粒子和 그 electret에 대해서 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 표면전위의 측정에서 hetero charge와 homo

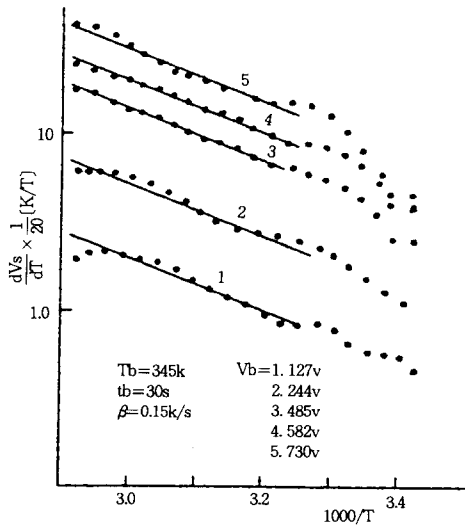


그림 13. 편면 전극 시료의 피크 상승  
Fig. 13. Peak stand up of single sided electrode sample

charge의 두가지 종류가 있음을 알았고 온도를 일정속도로 승온시켰을때의 특성이다.

2. hetero charge의 저온측 peak는 쌍극자에 의한 것이며 고온측 peak는 이온 변위에 의한 것을 알았다.

3. 편면전극시료는 쌍극자이온변위에 의한 hetero charge와 주입에 의한 homo charge가 측정되었으며 양면전극시료는 주입에 의한 homo charge는 측정되지 않았다.

4. charge의 감쇠하는 온도가 하전입자의 완화

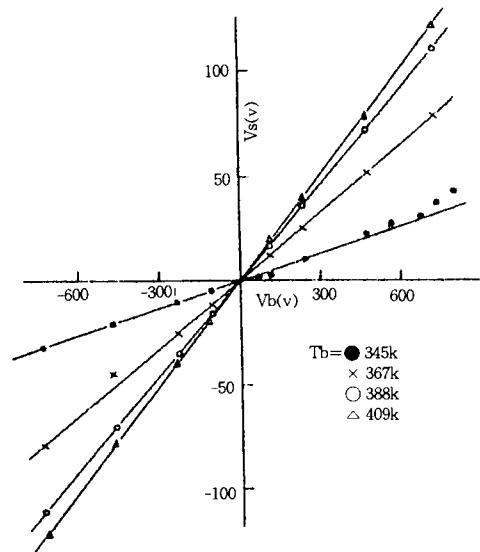


그림 14. TSSP 최대값의 Vb-Tb 특성  
Fig. 14. Vb-Tb characteristics of TSSP maximum value

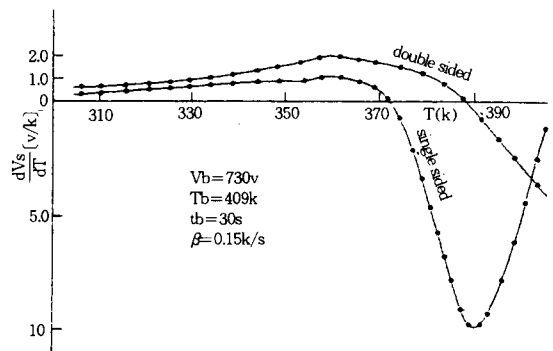


그림 15. 양 편면 전극 시료의 TSSP 경사  
Fig. 15. TSSP sloping of single and double electrode sample



와 잘 맞는 것으로 보아 hetero charge층 72시간 정도의 시간에서 감쇠하는 것은 분포된 쌍극자에 의한 것으로 생각된다.

參 考 文 獻

- 1) M. Eguchi : pnoc. phys. math. soc. japan ser. 3, 326 (1919)
- 2) M. Eguchi : phil. mag. 49, 178 (1925)
- 3) G. M. Sessler and J. E. West : J. Awust Soci. Amer 40, 1433 (1966)
- 4) G. M. Sessler and J. E. West : J. Awust Soci. Amer 53, 1687(1973)
- 5) H. J. Wintle : J. Awust. Soci. Amer. 53,1578 (1973)
- 6) R. H. Bube : J. Chem. Phys. 23,15 (1955)
- 7) C. Bucci, R. Feschi & G. Guid : Phys. Rev. 148, 816 (1966)
- 8) A. C. Lilly, Jk. L. L. Stewart & R. R. Honderson : J. Appl. Phys. 41,2007 (1970)
- 9) 廣野義曠 : 研究實用化報告 22,151 (1973)
- 10) 岩本, 加藤, 鞠, 日野 : 電氣學會論文誌 105-A, 255 (1985)

◇ 著 者 紹 介 ◇



국 상 훈(鞠相勳)

1928년 3월 16일생. 1956년 조선대학교 공대 전기공학과 졸업. 1982년 동 대학원 전기공학과(공박). 1983년 일본 동경공업대학 객원 연구원.

조선대학교 공대 전기공학과 교수. 현재 동 대학 전기공학과 명예교수.



서 장 수(徐將守)

1951년 7월 19일생. 1982년 조선대학교 공대 전기공학과 졸업. 1995년 동 대학원 전기공학과(공박). 1992년 동경 공업대학 객원 연구원. 현재 송원 전문대학 전기과 전임강사.