

# 폴리프로필렌 박막의 전기적 특성에 관한 연구

李 準 雄 · 金 旺 坤\* · 金 鳳 冶\*\*

光云大學 電氣工學科  
\*京畿工業開放大學 電氣工學科  
\*\*漢陽大學校 工科大学 電氣工學科  
(1986年 5月 23日 接受)

## A study on the Electrical Properties of Polypropylene Film

Joon-Ung Lee, Wang-kon Kim\*, and Bong-Heup Kim\*\*

*Department of Eletrical Engineering, Kwang Woon University*  
\* *Department of Electrical Engineering, Kong Gi National open University*  
\*\* *Department of Electrical Engineering College of Engineering, Han Yang University*

(Received May. 23, 1986)

### Abstract

Studies has been carried out on the characteristics of thermally stimulated current for polypropylene in the temperature range of 293〔K〕~403〔K〕.

The main peak observed at 366〔K〕, as may be  $\beta$  peak in conventional nomination, is believed to be depolarization current originated from the relaxation of "CO" group in monomer structure.

The activation energy for the observed peak has been concluded to be in the range of 0.6~0.7〔eV〕 at 360〔K〕 by the initial rise method.

Furthermore, the initial density of carriers were calculated about  $10^{22}/m^3$

## I. 緒 論

오늘날 合成化學技術의 급속한 發達로 대단히 많은 高分子를 생산할 수 있게 되었으며 고분자 물질은 주로 物質構成으로 부터 기대되는 우수한 誘電性和 電氣絶緣性이 양호하여 그 사용범위가 대단히 광범위하다.

電氣材料로서 高分子의 특이한 電氣物性, 예를들면 焦電性, 壓電性 및 半導電性 등을 이용한 고분자가 장래는 중요한 分野라고 할수 있으며 원래 고분자 재료의 帶電現象에 관하여 工業的 立場에서 帶電防止의 목적으로 연구가 주로 진행되었으나 최근에는 電子寫眞을 비롯한 많은 靜電氣帶電現象의 利用이 연구되고 있다. 즉, 미국의 항공우주국에서는 가벼운 플라스틱을 이용하여 플라스틱 로켓추진기용 高電壓源用으로 플라스틱일렉트 정전발전기를 개발한<sup>(1)</sup> 것과 또한 일본의 쓰니사에서서는 Electretmicrophone을 사용한 테이프코더를 발명한 것<sup>(2)</sup> 등은 그 좋은 예이다. 이와 같이 선진 각국에서는 공업의 각분야에 高分子材料의 우수성을 인정하여 고분자재료에 관한 연구가 각 방면에서 활발하게 진행되고 있다.

본연구에서는 폴리에틸렌보다 내열성이 우수한 폴리플로필렌필름의 電界, 온도 및 캐리어의 성질을 규명하여 일렉트렛로서의 物性的 기초 자료를 얻고 다른 고분자 물질의 기본물성과 비교 검토한다.

## II. 關係理論

### II - 1. 雙極子에 의한 熱刺激電流<sup>(3,4)</sup>

單一緩和雙極子 配向에한 單位面積當의 열자격 전류 J(T)는 쌍극자 완화시간  $\tau(T_f)$ 를

$$\tau(T_f) = \tau_0 \exp\left(\frac{H}{kT_f}\right) \dots\dots\dots(1)$$

라 하면

$$J(T_f) = \left(\frac{P_0}{\tau_0}\right) \exp\left\{-\frac{H}{kT_f} - \frac{1}{\tau_0 b} \int_{\tau_0}^{\tau_f} \exp\right.$$

$$\left. \left(\frac{H}{kT_f}\right) dT_f \right\} \dots\dots\dots(2)$$

로 표시된다.

여기서  $T_f$ 는 絶對溫度,  $\tau_0$ 는 정수

$H$ 는 활성화에너지,  $k$ 는 볼츠만상수

$P_0$ 는 形成溫度  $T_f$ 에서  $t_f$ 시간 동안 인가후 급냉하여 분극을 동결한 상태에서의 分極量

$$P_0 = N\mu_p \left(\coth \frac{\mu_p E_f}{kT_f} - \frac{kT_f}{\mu_p E_f}\right) = N\mu_p \cdot L\left(\frac{\mu_p E_f}{kT_f}\right) \\ \approx \frac{N\mu_p^2 E_f}{3kT_f} \dots\dots\dots(3)$$

로 된다.

여기서  $N$ 는 단위체적當의 쌍극자수

$\mu_p$ 는 永久雙極子 moment

$L\left(\frac{\mu_p E_f}{kT_f}\right)$ 는 Langevin의 함수로

$$\frac{\mu_p E_f}{kT_f} \gg 1 \text{ 이다.}$$

### II - 2. Corona帶電에 의한 熱刺激電流<sup>(5)</sup>

코로나 또는 진공전자 대전된 高分子薄膜, 금속샌드위치형 고분자박막 등에서 電子注入이 있는 경우는 空間電荷 制限電流가 관측되는데 注入電子는 空間電荷制限形의 分布로 된다.

CRESWELL과 PERLMAN<sup>(5)</sup>은 코로나 대전된 두께  $d$ 인 試料內에 表面으로부터  $\delta$  ( $\gg d$ ) 인 깊이가 存在하는 均一하게 分布된 공간전하층을 가정하여 열자격전류이론식을 提示하였는데 이 電流密度  $J(T_f)$ 는

$$J(T) = \frac{\mu e^2 \delta^2 n_{t0}^2}{2\epsilon d} \frac{\tau}{\tau_0} \exp\left\{-\frac{E_a}{kT_f} - \frac{2}{\tau_0 b} \int_{\tau_0}^{\tau_f} \exp\left(-\frac{E_a}{kT_f}\right) dT_f\right\} \dots\dots\dots(4)$$

된다.

여기서  $\mu$ 는 電子移動度,  $e$ 는 電子의 電荷,  $\epsilon$ 는 誘電率,  $n_{t0}$ 는 trap된 初期電子密度,  $\tau$ 는 自由電子壽命,  $\frac{1}{\tau_0}$ 은 포획전자의 逸脫周波數,  $E_a$ 는 trap energy level이다. 측정된 열자격 전류의 저온측 부분에서 식(4)는 근사적으로

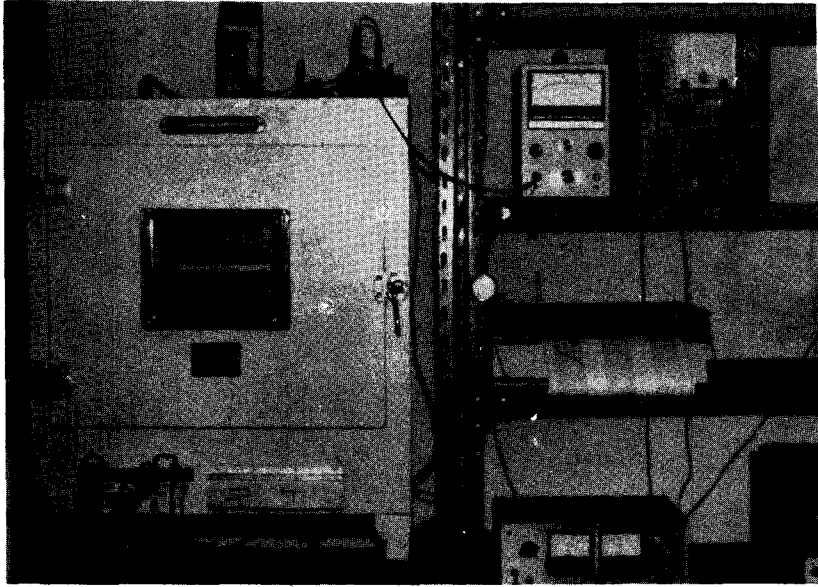


Photo 1. Experimental device

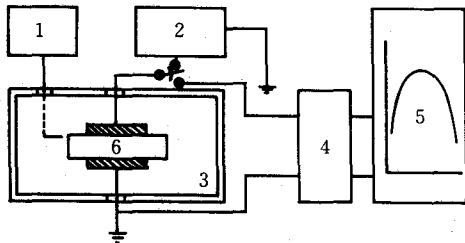


Fig 1. Block diagram

1. Temperature controller
2. Power supply
3. Oven
4. Electrometer
5. Recorder
6. Specimen

$$J(T_f) = \frac{\mu e^2 \delta^2 n_{w0}^2}{2\epsilon d} \frac{\tau}{\tau_0} \exp\left(-\frac{E_a}{kT_f}\right) \dots \dots \dots (5)$$

로 되며  $\ln J(T_f) \sim \frac{1}{T_f}$ 을 프롯트하여 활성화에너지  $E_a$ 를 구할수 있는데 이방법은 GAR LICK과 GIBSON이 提示한 방법으로 初期上昇法이라 한다<sup>(6)</sup>

트랩에너지레벨을 구하는 방법은 이 방법을 주로 많이 쓰며 트랩된 캐리어의 初期密度  $n_{w0}$ 는

$$n_{w0} = \left(\frac{Q}{e} \frac{1}{\delta S}\right) \left(\frac{2d}{\delta}\right) \dots \dots \dots (6)$$

로 구할수 있다.

여기서 Q는 外部回路에 흐르는 全電荷量  
S는 시료의 電極面積

이론은 단일트랩된 경우에 많이 쓰이나 실제로는 수개의 열자격전류가 중첩된 경우가 대부분이다. 2개 이상의 전류 피크가 중첩된 경우에는 COWELL과 WOOD가 提示한 thermal cleaning方法<sup>(7)</sup>으로 분리하여 전류 spectrum을 해석한다.

### III. 實驗方法

두께 40( $\mu$ m)의 시료양면에 直徑42(mm)의 silver paste를 사용하여 試料를 2枚의 銅板을 스프링으로 압착한 후 항온조내에 고정하여 형성온도 60°C에서 형성전계 0.6(MV/m)~25(MV/m)를 1분동안 인가한후, 전계를 인가한 상태에서 상온까지 급냉하여 분극상태를 凍結한다. 다음에 高感度 電流計와 記錄計에 시료를 연결하여 승온속도 4.3(°C/min)로 승온하면서

전류를 기록계에 기록한다. 측정장치는 사진 1에, 브룩선도는 그림 1에 도시하였다.

#### IV. 實驗結果

##### IV - 1. 熱刺激電流 曲線의 再現性과 概觀

그림 2는 사용시료의 전류 재현성을 알아보기 위해 상온 이상의 온도영역에서 3.75 (MV/m)의 전계를 60 (Sec)간 인가하여 측정한 결과이다. 일반적으로 상온이상의 형성온도에서 형성된 폴리에틸렌 일렉트렛의 熱刺激電流는 그 再現性이 좋지 않다는 보고가 있으나 폴리플로필렌 필름은 그 電流의 再現性은 대단히 양호하였다. 이는 폴리플로필렌 필름은 폴리에틸렌 필름보다 耐熱性이 우수하기 때문으로 생각된다.

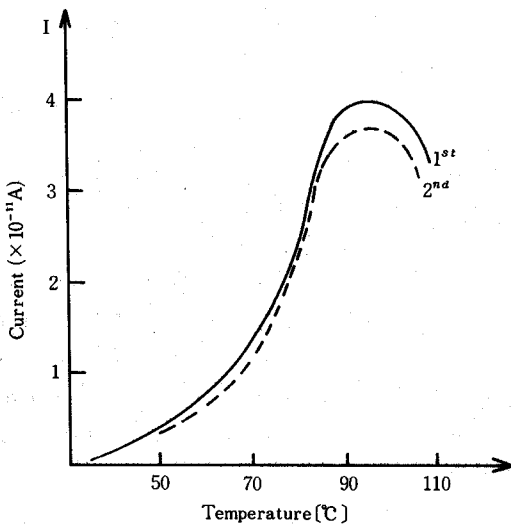


Fig 2. Reproducible TSC of Specimen  
( $T_f=60(^{\circ}\text{C})$ ,  $t_f=60(\text{sec})$ ,  $E_f=3.75(\text{MV}/\text{m})$ , electrode=silver paste, Sample dia=42 (mm),  $b=4.3(^{\circ}\text{C}/\text{min})$  Thickness of specimen  $d=40(\mu\text{m})$ )

그림 3은 形成溫度  $60(^{\circ}\text{C})$ 에서  $0.6(\text{MV}/\text{m})\sim 26.3(\text{MV}/\text{m})$ 의 電界를 60초간 인가하여 얻은 열자극 전류곡선들인데  $9(\text{MV}/\text{m})$ 이하의 電界領域에서 測定한 열자극 전류 스펙트럼(이하  $\beta$  피크라 칭한다)은  $T_m=93(^{\circ}\text{C})$ 로 형성전계에 의존하

지 않는데 이는 식(3)과 잘 일치한다. 그러나  $9(\text{MV}/\text{m})$  이상의 전계영역에서  $T_m$ 은 저온측으로 이동함을 알수 있는데 이는  $9(\text{MV}/\text{m})$  이하 전계영역과 그이상의 전계영역에서의 傳導機構는 다르다는 것을 암시하여 준다.

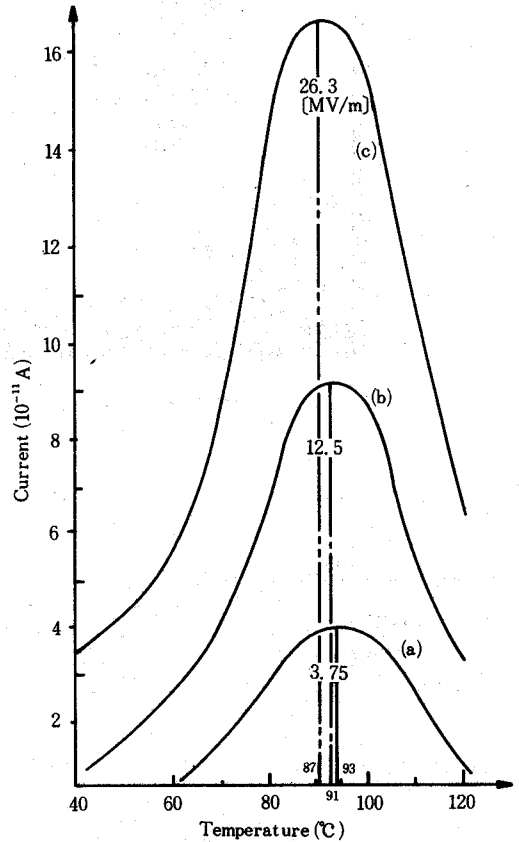


Fig 3. TSC Versus forming electric field  
( $T_f=60(^{\circ}\text{C})$   $t_f=60(\text{sec})$   $b=4.3(^{\circ}\text{C}/\text{min})$   
Sample dia=42 (mm))

그림 4는 폴리플로필렌 필름에 전계  $0.6\sim 25(\text{MV}/\text{m})$  사이에서 60초간 인가하여 얻은 열자극 전류 스펙트럼으로 부터 구한 電荷量을 전계의 函數로 플롯트한 것이다. 3개의 領域으로 區分되며 그림 4의 (b) 곡선은 폴리테트라 플루오르에틸렌 (PTFE) 두께  $82(\mu\text{m})$  필름의 전계의존성도 PP 필름과 비슷하나, 同一電界에서 electret에 축적된 電荷量은 PTFE 필름이 PP 필름보다 크다. 이 결과는 능동소자로는 PTFE film이 PP

Flim보다 우수하다는 것을 알 수 있다.

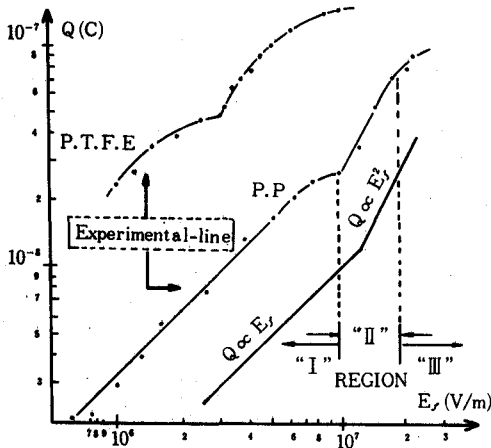


Fig 4. Stocked charged (Q) versus forming electric field  
 (a) CURVE;  $T_f=60(^{\circ}\text{C})$ ,  $t_f=60(\text{sec})$ ,  
 Sample dia=42 (mm),  $d=40(\mu\text{m})$   
 (b) CURVE;  $T_f=80(^{\circ}\text{C})$ ,  $t_f=300(\text{Sec})$ ,  
 Sample dia=42 (mm),  $d=82(\mu\text{m})$

## V. 實驗結果檢討

### V-1. 熱刺激電流 spectrum의 性質

KRAMER와 HELF는 온도범위  $-50(^{\circ}\text{C}) \sim 150(^{\circ}\text{C})$ , 周皮數 150 (Hz)  $\sim 300$  (KHz) 사이에서 폴리플로필렌의 誘電損失을 測定하였는데,  $70(^{\circ}\text{C})$ 에서  $\beta$ 緩和와  $120(^{\circ}\text{C})$  부근에서  $\alpha$ 緩和를 각각 얻었는데,  $\beta$ 피크는 非晶質領域에서 나타나고  $\alpha$ 피크는 정질영역에서 나타나며  $\beta$ 피크와  $\alpha$ 피크의 活性化에너지는 각각 1.2 (eV)와 6.52 (eV)라고 보고 했다.<sup>(9)</sup>

PP film으로부터 얻은 TSC spectrum의 主 피크는 9 (MV/m) 이하의 電界 일때  $T_m=93(^{\circ}\text{C})$ 에서 1개의 피크를 얻었는데 PP는 원래 無極性으로 알려져 있으나 酸化로 "OH" 또는 "CO" 極性基가  $90(^{\circ}\text{C})$  근방에서 配向하기 때문에 TSC spectrum이 생기는 것 같다.

그림 3에서 3.7 (MV/m) 이하의 電界에서는 最大溫度 ( $T_m$ )는 形成電界에 依存하지 않는데 이

는 식(3)과 잘 일치하며 그림 4에서 보면 10 (MV/m) 이하의 電界領域에서 電荷量 (Q)는 形成電界에 比例하여 增加하는데, 이 사실은 雙極子 配向分極에 의한 열자격전류는 형성전계에 比例하여 증가하고  $T_m$ 은 형성전계에 의존하지 않는다는 說과 잘 一致한다.<sup>(9)(10)</sup> 그러나 9 (MV/m) 이상의 電界영역에서  $T_m$ 은 형성전계에 의존하는데 이는 다음절에서 검토한다.

### V-2. 形成電界의 영향

使用試料의 電界依存性은 그림 4의 (a) 인데 3개의 영역으로 구분된다. 즉 그 영역에서 Q는 형성전계에 比例하여 증가하다가 곧 포화하는데 이는 試料內에 존재하는 쌍극자가 저전계에서 서서히 배향하기 시작하여 7 (MV/m)에서는 배향이 완료되어 포화되는데 이 영역에서는 쌍극자배향에 의해  $\beta$ 피크가 나타나는 것 같다. 이 영역은 JONSCHER가 提案한 Hopping 과정으로 그 mechanism을 설명할 수 있는데  $N_0=10^{22}/\text{m}^3$ 일때 컴퓨터에 의해 계산된 carrier의 호핑거리  $2a$ 는 그림 5의 (a)에서 약 80 (Å), 포획된 전체 캐리어수  $N_T$ 는  $2 \times 10^{22}/\text{m}^3$ 를 얻었다. 이 수치는 여러 연구자들이 얻은 수치와 같다.<sup>(9)(11)</sup> 10 (MV/m) ( $E_r < 20$  (MV/m) 사이의 제 2 영역에서 電荷는 전계의 2승에 비례하므로 Poole-Frenkel effect보다는 Child 법칙이 성립하는 영역으로 생각되며 20 (MV/m) 전계까지는 Child 법칙에 의한 공간저하제한 전류가 흐르는 것 같다. Child 법칙이 성립한 다음 제 3 영역에서 전하의 기울기가 제 2 영역보다 감소하는 것은 쇼트키효과에 의해 電子注入이 생김을 암시하여 준다. 이 같이 새로 주입된 Homo 電荷는 시로내 Hetero 電荷와 再結合하므로 전하는 감소하는 것으로 사료된다. 일반적으로 일렉트렛트내는 Hetero 전하와 Homo 전하가 존재하는데 헤테로 전하는 (1) 誘電體에 포함된 자유이온이 移動하여 전극 주위에 集積되어 공간저하가 형성되는 경우와 (2) 永久雙極子の 配向에 의한 경우 및 (3) 이온이 微視적으로 變化하여 트랩된 경우 등으로 생성되며 호모전하는 (i) 誘電體 表面과 電極의 공간에서 코로나 방전에 의한 경우 (ii) 電極에서

誘電體表面으로 直接電子가 주입되거나 유전체에서 전극으로 전자가 튀어나가 正孔이 유전체 표면에 남아 이곳에 전자가 트랩 되는 경우 등으로 생성되는 것으로 생각할 수 있는데 有極性誘電體에서는 均一分極으로 헤테로 전하 (2)(3)의 경우가 주로 생기고 無極性物質에서는 Hetero 전하인 (3)의 경우가 주로 생기는 것으로 생각된다. 그런데 그림 4의 (b)곡선은 PTTE film의 電界依存性を 나타내는데 (a)곡선과 같은 경향이 나타난다. 즉 3 (MV/m) 以下에서는 Jonscher가 제안한 mechanism인 제일영역과, 3~4.5 (MV/m) 사이에서 Child 법칙이 성립하는 제이 영역 그리고 4.5 (MV/m) 이상의 전계에서 쇼트키 법칙이 성립하는 제삼영역으로 구분되는데 제일영역에서 계산된 캐리어의 호핑거리 2a는 약 300 (Å)으로 일반 고분자 물질에서 보고된<sup>(12)</sup>-<sup>(14)</sup> 호핑거리와 비슷하다.

여기서 PTFE film과 PP film의 electret 형성온도는 각각 80 (°C)와 60 (°C)인데 형성온도는 각 영역의 경계전계를 결정짓는 중요한 요소가 됨을 알수 있으며 同一電界에서의 電荷량은 PTFE 일렉트렛트가 PP 일렉트렛트보다 대단히 큰데 이는 마이크로폰에 사용되는 능동소자 재료로는 弗素系樹脂가 우수함을 암시하여 준다. 그림 5는 호핑거리 2a를 계산키 위한 것이며 프로그램리스트는 부록에 첨부한다.

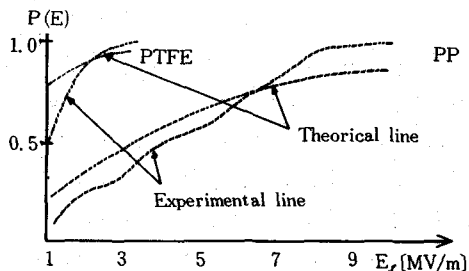


Fig 5. Hopping model by two site type

V - 3. 활성화에너지와 초기 트랩된 캐리어수

열자격전류 스펙트럼이 중첩되어 있을때는 PERLMAN등<sup>(5)</sup>이 제시한 部分加熱 (thermal cleaning) 法으로 각 피크를 분리시켜 각 피크에

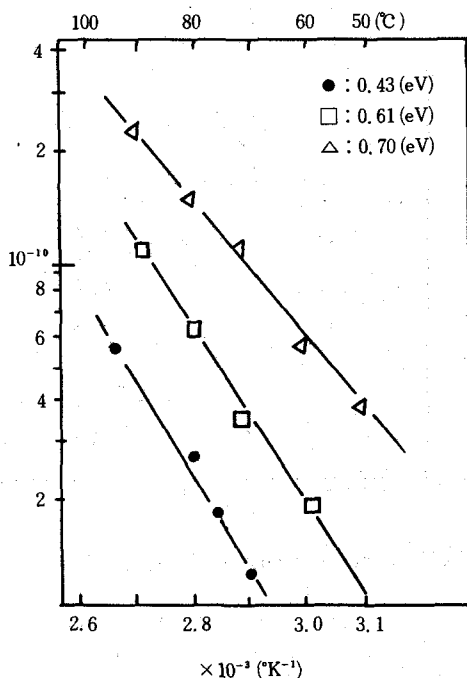


Fig 6. Arrhenius plot obtained by initial rise method  
(T<sub>r</sub>=60 (°C) t<sub>r</sub>=60 (sec) b=4.3 (°C/min)  
d=40 (μm)

대한 T<sub>m</sub>, Q, n<sub>tr</sub> 및 활성화에너지를 구할수 있다. 그러나 그림 4의 각영역에서 샘플링한 열자격전류는 그림 3과 같이 T<sub>m</sub>=90 (°C) 부근에서 피크를 갖는 1개의 열자격 전류 스펙트럼이 나타나는데, 그림 3의 (a) (b) (c) 스펙트럼중에서 활성화에너지, T<sub>m</sub>, Q 및 初期에 트랩된 캐리어의 수 n<sub>tr</sub>를 구하여 표 1에 수록하였다. 제 1 영역에서는 비교적 낮은 電位障壁界面에 있는

Table 1, Summary of results obtained TSC spectrums

TSC SPECTRUMS (fig 3)	a	b	c
T <sub>m</sub> (°C)	93	91	87
E (eV)	0.43	0.6	0.7
Q (C) × 10 <sup>-8</sup>	1.293	3.469	8.197
n <sub>tr</sub> (m <sup>-3</sup> ) × 10 <sup>21</sup>	5	12.5	29.67

캐리어들이 인가 전계방향으로 이동하는 것 같으나 10 (MV/m) 이상의 전계에서는 깊게 포획된 캐리어들이 폴프렌켈효과에 의해 서서히 이동하여 전주가 가까이 놓여 결국 17 (MV/m) 이상의 전계에서는 쇼트키 효과에 의한 음극에서 시로내로 전자가 주입되어 음극가 가까이 호모 전하가 형성되는 것으로 생각되는데 이때 포획전자들의 시로내 평균침투 깊이는 약 1 ( $\mu\text{m}$ ) 이 되는 것으로 사료된다. 초기에 트랩된 캐리어 수  $n_{t0}$ 는 식(6)에 의해 구했는데 일반 고분자 물질에서 나타나는  $n_{t0}$ 와 비슷하다.<sup>(5)(12)</sup>

### 結 論

본 연구에서는 폴리플로필렌 필름으로 부터 열자격전류를 측정된 결과는 다음과 같다.

- (1) 93 (°C)에서 1개의  $\beta$  피크를 얻었는데 9 (MV/m) 이하의 저전계에서는 "CO극성기"의 기여로  $\beta$  피크가 생기는 것 같으나 전계가 높아지면 공간전하제한 전류나 주입전자가  $\beta$  피크에 기여하는 것으로 추정된다.
- (2)  $\beta$  피크의 활성화에너지는 3.75 (MV/m) 이하의 저전계에서 0.4 (eV) 이나 10 (MV/m) 이상의 고전계에서는 0.6~0.7 (eV) 였다.
- (3) 초기 트랩된 캐리어 수는  $1 \times 10^{22}/\text{m}^3$  정도이었다.
- (4) 공간 전하의 침투 깊이는 약 1 ( $\mu\text{m}$ ) 이었다.
- (5) 능동소자재료는 불소계 수지가 우수함을 확인하였다.

### References

1. R. E. Matthew; *Electrical Engi.*, **81**, 850 (1960)
2. G. M. Sessler; *J. Acoust. Soc. Amer.*, **35**, 1354 (1963)
3. J. T. Randall, et al; *Proc. Roy. Soc. A.* **184**, 347, 366, 390 (1945)
4. C. BUCCI et al; *phys Rev.*, **148**, 816 (1966)
5. R. A. Cresweuland M. M. Perman; *J. Appl Phys.*, **41**, 2365 (1960)
6. G. F. J. Garlick and A. F. Gibson; *Proc. Phys. Soc.*, **60**, 574 (1948)
7. T. A. T. Cowell and J. Woods; *Brit. J. Appl Phys.*, **18**, 1045 (1967)
8. N. G. MoCrum, B. E. Read and G. Williams; *Anelastic and Dielectric Effects in Polymeric Solid*, pp 377~387, John Wiley & Son, London (1967)
9. C. Bucci et al; *Phys. Rev.*, **148**, 816 (1966)
10. T. Hino; *J. Appl Phys., Jap.* **12**, 651 (1973)
11. L. Badian et al; *Compt. Rend.*, **261**, 2181 (1965)
12. 이준웅: 대한전기학회지, **29**, 511 (1980)
13. 이준웅의: 대한전기학회지, **31**, 61 (1982)
14. 이준웅의: 대한전기학회지, **32**, 239 (1983)

### 부 록

#### Program List

#### LIST

- ```

10 DIM EF (10), Q (10)
20 READ N
25 DATA 7
30 FOR I=1 TO N : READ EF (I) : NEXT I
    
```

```

35 DATA 1, 1.2, 1.5, 1.83, 2.13, 2.44, 2.99
40 FOR I=1 TO N:READ Q(I):NEXT I
45 DATA 2.4, 2.85, 3.49, 4, 4.5, 4.827, 5
50 AX=500:AM=120:ND=500
60 FOR I=1 TO N:Q(I)=Q(I)/Q(I):NEXT I
70 KZ=1.602/(1.38*(80+273))
80 A=AM:Z=1/ND
90 SX=280/(EF(N)*1.1-0.8):SY=160/(Q(N)*1.2)
100 HGR:HCOLOR=7
110 HPLOT 5, 5 TO 5,157
120 HPLOT 3,155 TO 273,155 8
122 FOR I=1 TO 2:YY=155-.5*SY*I:HPLOT 3, YY TO 6, YY:NEXT I
125 FOR I=1 TO 3:XX=(I-.8)*SX/5:HPLOT XX, 154 TO XX, 157:NEXT I
128 HCOLOR=1
130 X1=(EF(1)-.8)*SX+5:Y1=155-Q(1)*SY
140 FOR I=2 TO N:X2=(EF(I)-.8)*SX+5:Y2=155-Q(I)*SY
150 HPLOT X1, Y1 TO X2, Y2
160 X1=X2:Y1=Y2:NENT I
170 SG=0:DV=0:A1=A
180 FOR I=1 TO N:SI=0:F1=0      0 0 0 0 0
190 FOR J=1 TO ND
200 X=KZ*A*EF(I)*Z*J
210 EX=EXP(X):EM=1/EX
220 F2=Z*J*(1-2*EM/(EX+EM))
230 SI=SI+(F1+F2)*Z*.5
240 F1=F2
250 NEXT J
260 SI=2*SI
270 IF I<2 THEN X1=(EF(I)-.8)*SX+5:Y1=155-SI*SY:GOTO 320
280 HCOLOR=1
290 X2=(EF(I)-.8)*SX+5:Y2=155-SI*SY
300 HPLOT X1, Y1 TO X2, Y2
310 X1=X2:Y1=Y2
320 SG=SG+SI-Q(I):DV=DV+(Q(I)-SI) 2
330 NEXT I
340 IF SG=0 THEN STOP
350 IF SG<0 THEN AM=A:A=A+(AX-A)*.5:GOTO 370
360 AX=A:A=A-(A-AM)*.5
370 PRINT "DEV="; SG;" E 2="; DV;" A="; A
380 GOTO 170
400 DATA 7, 1, 1.2, 1.5, 1.83, 2.13, 2.44, 2.9, 2.18, 2.76, 3.49, 3.91, 4.64, 4.827, 5.2

```