

低密度 폴리에틸렌 일렉트렉트에 있어서 캐리어의 性質과 Trap 깊이 해석에 대한 研究

論 文
29-8-1

A Study on the Analysis of Carrier Properties and Trap Energy Depth in the Low-Density Polyethylene Electrets

李 準 雄*
(Joon - Ung Lee)

Abstract

The thermostimulated discharge currents of low-density polyethylene electrets were measured versus the principal experimental variables. Several electrode types were used for the charging and discharging procedures. The results led to know the experimental conditions for the heterocharge and homocharge accumulating and decreasing. The electronic structure parameters of polyethylene such as trap level, density of traps, hopping length, mobility, trap time constants were deduced. A method for evaluating the local electric field inside the electret is proposed.

I. 緒 論

電力系統에서부터 電子素자에 이르기까지 高分子 材料의 利用은 날이 갈 수록 더해가며 특히 最近에 高分子 材料가 일렉트렉트(Electrets)의 材料로 많이 使用되고 있다⁽¹⁾⁻⁽⁴⁾.

그러나, 高分子 材料中 가장 基本이 되는 폴리에틸렌(Polyethylene, 이하 PE라 한다)에 대한 電氣的인 物性에 대하여도 아직까지 不明한 점이 너무나 많으며 앞으로 이들 材料의 研究가 絶실히 要망된다.

高分子의 電氣傳導에 대해서는 캐리어의 포획(Trap)이 電荷의 輸送過程이나 空間電荷의 形成에 중요한 역할을 하는 것으로 알려져 있으며, 최근에 熱刺戟發光(Thermoluminescence 또는 TL)이나 熱刺戟電流(Thermally Stimulated Current 또는 TSC)方法을 利用하여 高分子의 電氣傳導에 대한 研究가 活潑히 進行되고 있다.⁽⁵⁾⁻⁽¹⁰⁾

본 보고에서는 低密度 PE으로 熱일렉트렉트(Thermal Electret)를 제작하여 電極, 電界, 形成時間등을 變化시키면서 일렉트렉트에 저장된 電荷의 性質, 포획 깊이, 移動度등의 여러가지 정보를 얻었다.

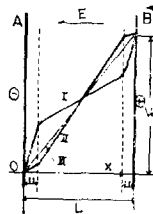


그림 1. 시료내의 전위분포

Fig. 1. Potential distributions in sample (I; heterocharge, II; homocharge, U; thickness of the space charge)

II. 關係理論

1. 接觸面 電界

그림 1과 같이 두께가 매우 얇은 공간전하($L \gg u$)가 電極가 사이에 形成되었다면 포아손의 法則에 의하여

$$\frac{d^2 V}{dx^2} = -\frac{q\rho}{\epsilon} \quad (1)$$

이 成立된다.

여기서 $\rho\left(\frac{c}{m^3}\right)$ 는 일정하다고 한다.

윗식을 적분하면

$$E = \frac{dV}{dx} = -\frac{q\rho}{\epsilon} x + k \quad (2)$$

* 正會員: 光云工大 電氣工學科 副教授 · 工博
接受日字: 1980年 6月 7日

되고 $x=u$ 에서 k 를 구하면

$$K = E + \frac{qpu}{\epsilon} \quad (3)$$

된다. 여기서 E 는 $x=u$ 때 $E = \frac{V}{L}$ (V/m)이다.

따라서, 接觸面($x=0$)에서의 電界는

$$E(0) = \frac{V}{L} + \frac{qpu}{\epsilon} \quad (4)$$

된다. 만일, Q_c 를 全體空間電荷라 하면

$$Q_c = qpuS \quad (5)$$

되며, 따라서 (4)식은

$$E(0) = \frac{V}{L} + \frac{Q_c}{\epsilon S} \quad (6)$$

로 表示할 수 있다.

만일, 試料에 저장된 전하가 헤테로전하(Heterocharges)라면 $Q_c > 0$, 호모전하(Homocharges)일때는 $Q_c < 0$ 이 된다.

2. 熱刺載 電流 理論

電極에서 試料에 주입된 캐리어가 포획되어 空間電荷를 形成하며 이들 공간전하는 直流送電을 하는 경우 直流 Cable의 絕緣耐力를 저하시켜 이것이 큰문제로 되고 있으나^{(1) (11)}, 電子分野에서는 이들 캐리어의 포획을 이용하여 여러가지 電子 Element를 만들어 이용하고 있다.⁽²⁾⁻⁽⁴⁾

한편 지금까지 測定한 熱刺載 電流는 雙極子 分極⁽¹⁰⁾과 공간전하^{(12), (13)}에 의한 理論으로 해석하였다.

본 보고에서는 兩面에 金屬蒸着電極(또는 테프론電極)을 使用하여 平行板 試料內에 포획된 電子(또는 正孔)에 의해서 나타나는 熱刺載 電流의 式을 誘導하여 各 條件에서 測定한 熱刺載 電流를 해석하였다.

지금 試料에 포획된 캐리어가 해방될때까지의 壽命을 τ 라 하면

$$\tau = \tau_0 \exp\left(-\frac{E_T}{KT}\right) \quad (7)$$

로 된다.

여기서 $\tau_0 = (S_{ih} V_{ih} N_c)^{-1}$ 로 S_{ih} ; 유효포획 단면적, V_{ih} ; 熱速度, N_c ; 전도대에서 自由電子密度 등을 나타낸다.

試料內에 포획된 캐리어에 의해 나타나는 全體電荷를 Q 라 하면 이 Q 는 시간에 따라 放電된다. 이때 放電은

$$\frac{dQ}{dt} + \frac{Q}{\tau} = 0, \text{ 고로 } Q = \exp\left(-\int_t \frac{dt}{\tau}\right) \quad (8)$$

로 쓸 수 있다.

지금 試料를 $\alpha = \frac{dT}{dt}$ 의 昇溫速度로 昇溫할 때 熱刺

載電流 $I(T)$ 는

$$I(T) = -\frac{dQ}{dt} = \frac{1}{\tau_0} \exp\left(-\frac{E_T}{KT}\right) \exp\left(-\int_{T_1}^{T_2} \frac{\exp\left(-\frac{E_T}{KT}\right)}{\alpha \tau_0}\right) dT \quad (9)$$

로 된다. 이 전류는

$$\frac{dI(T)}{dT} = 0 \quad (10)$$

에서 최대가 되며 이 條件은

$$\alpha \tau = \frac{KT^2}{E_T} \quad (11)$$

이 된다. 따라서 최대전류 I_M 은

$$I_M = \frac{Q_R}{\tau} = \frac{\alpha Q_R E_T}{KT_M^2} \quad (12)$$

이 된다.

여기서 Q_R 는 최대전류 I_M 까지 측정된 電荷이다(그림 2참조)

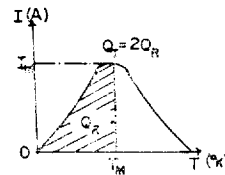


그림 2. 온도변화에 대한 임의의 방전 전류

Fig. 2. The arbitrary current spectrum for a specimen.

만일 Q_R 가 측정된 全體電荷 Q_T 의 $\frac{1}{2}$ 배라 하면

$$I_M = \frac{\alpha E_T}{2KT_M^2} Q_T \quad (13)$$

이 되며 따라서

$$\tau = \frac{Q_T}{2I_M} \quad (14)$$

가 成立되어 서로 다른 條件에서 測定한 各 電류곡선을 위의 간단한 이론을 적용하여 해석할 수 있다. 위의 방법으로 포획 깊이 E_T 를 구하는 方法을 全體電荷方法이라 이름 붙였다.

III. 實驗裝置와 測定方法

1. 實驗裝置

그림 3은 열일렉트릭의 실험장치이다. 사용된 恒溫槽는 加熱速度가 프로그램된 Herus(佛)社製이다. 電流는 電位計(Keithley 610C, 美)를 使用하여 測定하였으며 記錄計는 Philips社製이다.

2. 測定方法

恒溫槽內에 내장된 試料를 常溫以上の 溫度(70°C < T < 90°C)까지 昇溫하여 形成時間 t_f (1Mn < t_f < 200 Mn) 동안 電界(1MV/m < E_f < 40MV/m)를 印加한후 試料를 환풍기로 常溫까지 急冷하여 試料內에 포획된 캐리어를 凍結한다.

그후, 印加電界를 끊고 電極을 短絡시켜 恒溫槽內의 溫度를 一定한 加熱速度 α (약 1°C/Mn)로 昇溫하면서 熱刺戟電流를 測定하였다. 이와같이 測定된 熱刺戟電流로부터 試料의 여러가지 情報(포획깊이, 移動度等)를 얻었다.

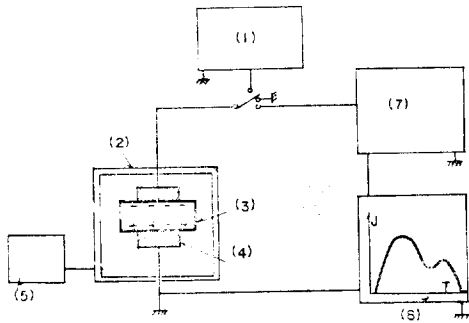


그림 3. 열자극전류 측정 장치
Fig. 3. The schematic diagram for measuring thermally stimulated current. (1) Generator (0~6kV); (2) oven (3) specimen. (4) electrode (5) control system for temperature (6) X-Y recorder (7) electrometer.

3. 實驗條件

試料는 130 μ 의 필립을 ϕ 30~40mm디스크(DISC)形으로 만들었다. 먼저 電極의 影響을 관찰하기 위하여 銀電極과 알미늄전극에 두께 30 μ 의 테프론을 蒸着한 電極(이하 테프론 전극이라 부른다)을 사용 熱刺戟 전류를 측정하였다.

테프론 전극을 사용할 때는 테프론의 分極現象을 없애기 위하여 試料를 充電과 放電시킬때의 電極을 별도로 區分하여 사용하였다.

그리고, 電流計에 나타난 電流가 그림 4(a)에서 (II) 방향과 같을 때 헤테로전류(Heterocurrents), (I) 방향과 같을 때 호모전류(Homocurrents)라 한다.

IV. 實驗結果와 檢討

熱에릭트릭트에 依해 얻어진 結果를 다음에 說明한다.

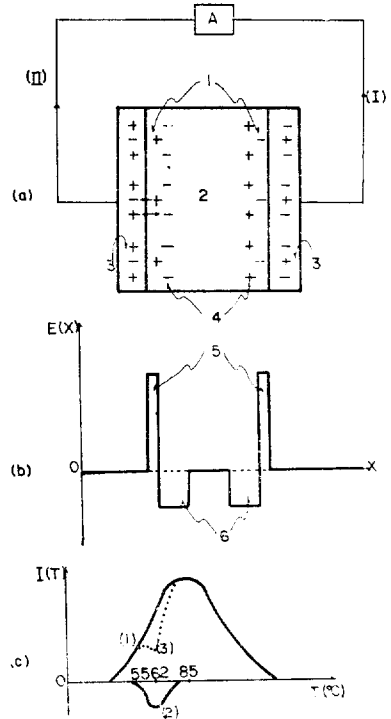


그림 4. 시료와 금속전극 접촉면의 전기적 현상
Fig. 4. The electrical phenomena in the interface of polymer and metal electrode (1; homocharges, 2; specimen, 3; silver paste, 4; heterocharges, 5, 6; electric field for the homocharges and heterocharges, respectively.)

1. 電界의 影響

그림 5는 테프론 電極을 사용하여 1MV/m에서 40 MV/m사이의 電界를 形成溫度 70°C에서 形成時間 3분동안 印加하여 測定한 電荷의 變化모양을 나타낸 曲線이다.

3개의 領域으로 區分되며 各領域을 아래에서 檢討한다.

領域 I : 電界 E_f 의 增加에 따라 電荷 Q_T 는 처음에는 比例하여 增加하다가 다음에 포화한다. 이 領域을 Jonscher氏에 의하여 提案된 두 사이트形(2 sites model)에 依한 호핑(Hopping)過程으로 說明할 수 있다.⁽¹⁵⁾

即

$$Q_T = 2qN_0S_a \int_0^1 x \, th\left(\frac{qaZ}{KT} E_f\right) dx \quad (15)$$

여기서 $N_0 \cong 10^{22}/m^3$ 일 때⁽¹⁶⁾ 컴퓨터에 의해 계산된

캐리어의 호핑(hopping)거리, $2a$ 는 660\AA , 포획된 캐리어의 전체수 N_T 는 $N_T=2N_0=2 \cdot 10^{22}/\text{m}^3$ 을 얻었다.

領域II : 이 영역에서는 形成電界 E_f 의 증가에 따라 電荷 Q_T 는 급격히 增加한다. 일반적으로 電界가 增加할때 포획된 캐리어의 해방확율은 POOLE-FRENKEL 효과에 의해 增加하며 깊게 포획된 캐리어도 解방된다고 생각된다.

따라서 解방된 캐리어들은 헤테로(Hetero)공간전하로 되어 점점 전극의 가까이에 모이며 이로 因하여 電極 가까이에는 高電界가 形成된다.

試料와 電極사이의 接觸電界 E_c 는 (6)式으로 表示하였다.

예를 들면 $V/L=8\text{MV}/\text{m}$, $Q_T=3 \cdot 10^{-7}(\text{c})$, $Q_c=1.5 \times 10^{-7}(\text{c})$ 에서 $\epsilon=2.5\epsilon_0$ 라 하면 접촉 전계 E_c 는 $18\text{MV}/\text{m}$ 이다. POOLE-FRENKEL 효과에 의해 나타나는 이 電界는 印加電界 $8\text{MV}/\text{m}$ 의 약 2.5배이며 電極 가까이에서 局部的으로 나타나는 것이 명백하다.

領域III : 이 영역에서 電荷는 점점 감쇄하고 Q_T 의 부호는 變化한다. 이는 電界의 增加로 試料內에 電荷의 注入이 생기기 때문이라 생각된다.

이같이 注入된 새로운 호모전하(Homocharges)들은

헤테로전하(Heterocharges)와 再結合 하고 印加電界가 매우 높을 때 ($E_f > 20\text{MV}/\text{m}$), Q_T 는 점점 감쇄하여 영(zero)을 지나 급격히 감쇄한다. 결국 이 영역에서는 電極에서 注入된 호모전하가 熱刺戟電流에 主된 역할을 하는 것으로 생각된다.

2. 電極의 영향

그림 6은 電極의 영향을 관찰하기 위하여 여러 電極을 使用하여 測定한 結果이다 : 低電界($E_f < 3\text{MV}/\text{m}$)에서 銀蒸着電極과 테프론電極을 使用하여 充電하고 放電時에 테프론 전극으로 測定한 結果, 헤테로 전류만을 관찰하였다.

그러나 그림 7에 나타낸 바와 같이 $4\text{MV}/\text{m}$ 이상의 電界에서 테프론 電極을 使用하여 측정한 결과 진폭이 매우 큰 피크(Peak)(금속증착전극의 약 30배)를 검출하였으나 銀증착전극을 使用하여 測定한 電流는 진폭이

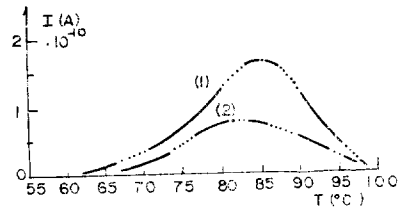


그림 6. 열 자극 방전 전류

Fig. 6. Thermostimulated discharge current spectra. $T_f=70^\circ\text{C}$; $t_f=3\text{Mn}$; $E_f=3\text{MV}/\text{m}$; $\alpha=100^\circ\text{C}/\text{h}$; sample diameter; 30mm
(1) electrodes: teflon sheathed aluminium
(2) charging electrodes: silver paste; discharging electrodes: teflon sheathed aluminium

비교적 적은 2개의 피크(Peak)가 포함된 電流 Ppectrum을 관찰하였다. 실제로 금속증착전극(銀 또는 炭素)을 使用할때에는 電界가 $4\text{MV}/\text{m}$ 에서부터 試料內로 電荷가 注入되기 시작한다.

따라서 2개의 放電電流의 중첩 即 헤테로 전류와 매우 적은 호모 전류의 중첩으로 2개의 피크(Peak)가 관찰되는 것으로 생각된다. [그림 4 (b)(c)참조]

그러나 이들 두 電流의 방향은 서로 다르다. (17) [그림 4 (a)]

3. 形成時間의 영향

그림 8은 電界 $E_f < 4\text{MV}/\text{m}$ 을, 形成時間 $t_f=1\sim 200$ Minutes 동안 印加하여 測定한 結果이다. 최대 온도 T_M 는 變化하지 않고 一定하다.

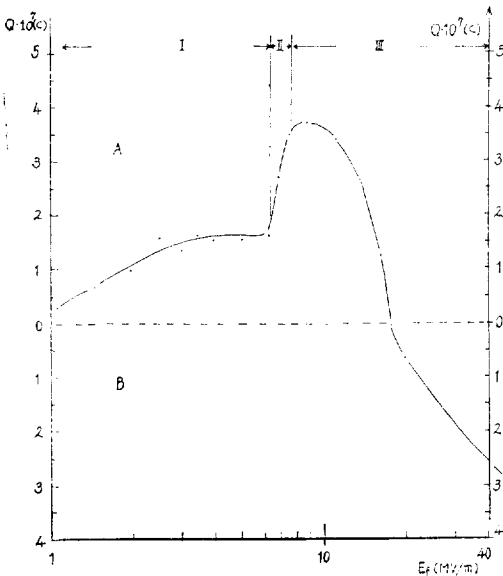


그림 5. 형성전계에 대한 저장된 전하 Q_s
Fig. 5. Stocked charged Q_s versus forming electric field E_f ($T_f=70^\circ\text{C}$; $t_f=3\text{Mn}$; electrodes=teflon sheathed aluminium; sample diameter=30mm, A=heterocharges; B=homocharges)

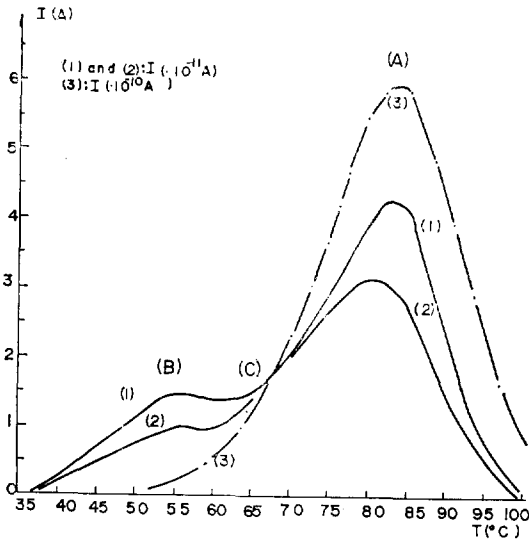


그림 7. 열자극 방전전류

Fig. 7. Thermostimulated discharge current spectra. $T_f=70^\circ\text{C}$; $t_f=3\text{Mn}$; $\alpha=100^\circ\text{C/h}$
 (1) electrodes: silver paste; sample diameter; 35mm; $E_f=6.15\text{MV/m}$
 (2) electrodes: colloidal graphite; sample diameter; 35mm; $E_f=6.15\text{MV/m}$
 (3) electrodes: teflon sheathed aluminium; sample diameter: 30mm; $E_f=4\text{MV/m}$

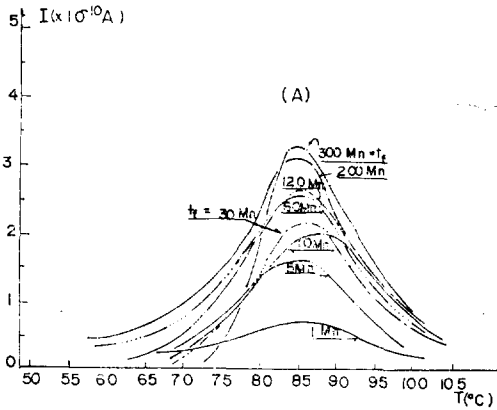


그림 8. 형성시간에 대한 열자극 방전전류

Fig. 8. Thermostimulated discharge current versus forming time. $T_f=70^\circ\text{C}$; $E_f=1.5\text{MV/m}$; $\alpha=100^\circ\text{C/h}$; electrodes; teflon sheathed aluminium; sample diameter; 30mm

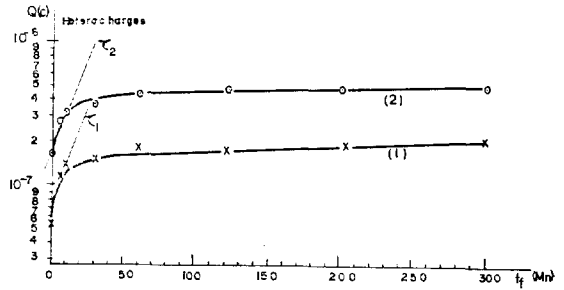


그림 9. 형성시간에 대한 저장된 전하 Q_f

Fig. 9. Stocked charge Q_f versus forming time. $T_f=70^\circ\text{C}$; electrodes: teflon sheathed aluminium; sample diameter: 30mm (1) $E_f=1.5\text{MV/m}$ (2) $E_f=7.0\text{MV/m}$

그림 9는 形成時間 t_f 의 함수로 나타낸 Q_f 의 變化인데 서로 다른 電界에서 求한 時定數 τ_1 과 τ_2 는 70°C 에서 똑같이 1700sec이다 : 이는 포획깊이가 電界에는 큰 영향을 받지 않는다고 생각할 수 있다.

포획된 캐리어의 해방시간은 (7)式으로 표시할 수 있으며, 이 경우 熱刺戟電流는 (11)式에서 최대가 된다.

따라서 그림 10에서 보는 바와 같이 α_1 과 α_2 의 서로 다른 2개의 가열 속도로 포획깊이 E_T 를 구할 수 있다. 즉 (11)式에서

$$\left. \begin{aligned} \alpha_1 \tau_1(T_{M1}) &= \frac{K T_{M1}^2}{E_T} \\ \alpha_2 \tau_2(T_{M2}) &= \frac{K T_{M2}^2}{E_T} \end{aligned} \right\} \text{로 부터}$$

$$E_T = \frac{K \cdot T_{M1} \cdot T_{M2} \cdot \log \left(\frac{T_{M1}}{T_{M2}} \cdot \frac{\alpha_2}{\alpha_1} \right)}{T_{M2} - T_{M1}} \quad (16)$$

지금 그림 10은 $\alpha_1=50^\circ\text{C/h}$, $\alpha_2=100^\circ\text{C/h}$ 일때 똑같이 1.5MV/m를 印加하여 측정한 결과인데 각각 $T_{M1}=353.5^\circ\text{K}$, $T_{M2}=360^\circ\text{K}$ 에서 최대가 된다.

따라서 (16)式으로부터 포획깊이 E_T 는 1.1eV를 얻었다.

그리고 70°C 에서 $\tau=1700\text{sec}$ 이었으므로 (7)式으로부터 $\tau_0=1.2 \times 10^{-13}(\text{sec})$ 된다. 그리고 100°C/h 에서 측정된 熱刺戟電流의 最大點이 85°C 이므로 이때 구한 τ 는 350(sec), 0°C 일때는 300일(日)이 됨을 알 수 있다. 그리고 최대전류 I_M 는 (13)式과 같다.

한편 $4\text{MV/m} < E_f < 10\text{MV/m}$ 사이의 高電界를 印加할 경우 最大溫度 T_M 가 低溫度쪽으로 移動됨을 관찰하였다 : 이 現象은 폴 후렌켈(POOLE-FRENKEL)효

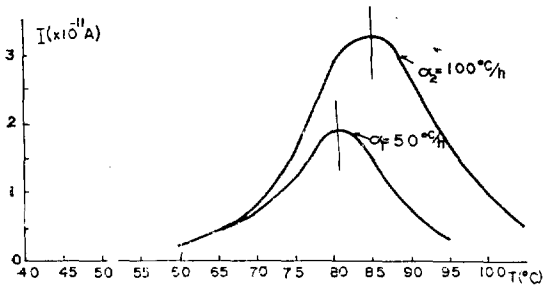


그림 10. 가열속도에 대한 열자극 방전전류
 Fig. 10. Thermostimulated discharge current versus heating rate. $T_f=70^\circ\text{C}$; $E_f=1.5\text{MV/m}$; sample diameter; 30mm; electrodes; teflon sheathed aluminium. (1) $\alpha_1=50^\circ\text{C/h}$ (2) $\alpha_2=100^\circ\text{C/h}$

과⁽²²⁾에 의해 포획깊이 E_T 가 ΔE_T 로 低下하기 때문이라 사료되며 이때 ΔE_T 는

$$\Delta E_T = \frac{q^{3/2}}{(\pi\epsilon)^{1/2}} \frac{1}{R} \quad (17)$$

로 계산할 수 있으며 또 試料内部의 殘留電界도 계산할 수 있다.

그림 11은 $E_f > 20\text{MV/m}$ 의 高電界를 印加할때 형성 시간 t_f (1~200Minutes)를 變化시키면서 測定한 結果이며 電極에서 注入된 캐리어에 依해 나타난 호모 전류(Homocurrents)의 진폭을 形成時間 t_f 의 함수에 대한 電荷 Q_f 의 變化모양을 그림 12에 표시하였다. 70°C 에서 호모전하(Homocharges)의 再結合 時定數 $\tau_R=50\text{Minutes}$ 을 얻었다.

따라서 heterocharges가 체적내에 존재할때 호모전하(Homocharges)는 電極의 가까이에 존재하기 때문에 시료를 通過하기 爲하여 平均的으로 2번의 포획을 한다고 생각할 수 있다.

만일 이 해석이 정확하다면 평균자유행정 l 은 $d/2=65 \times 10^{-6}$ 로 계산할 수 있으며 전도대에서 이동도 μ_0 의 크기⁽⁶⁾는

$$\mu_0 = \frac{q}{M} \cdot \frac{l}{V_{th}} = \frac{q}{M} \cdot \frac{d}{2V_{th}} \quad (18)$$

70°C 에서 계산된 μ_0 는 약 $100\text{m}^2/\text{VS}$ 이다.

따라서 이동도 μ 는

$$\mu = \mu_0 \exp\left(-\frac{E_T}{KT}\right) \quad (19)$$

로 表示되므로 $E_T=1.1\text{eV}$, $T=343^\circ\text{K}$ 때 이동도 $\mu=7 \times 10^{-15}\text{m}^2/\text{VS}$ 를 얻었다. 이 數値는 여러 사람에 의해 얻어진 결과와 잘 一致한다.⁽¹⁸⁾⁻⁽²¹⁾

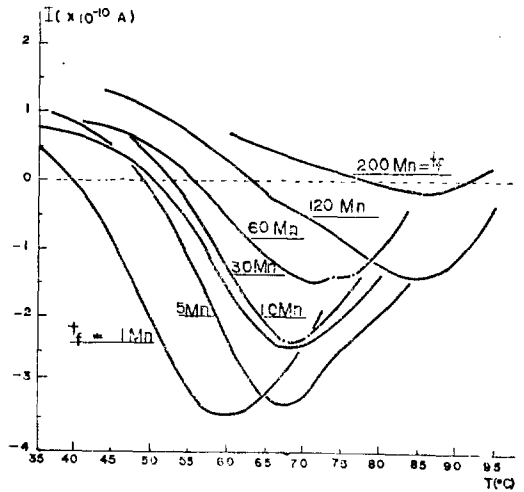


그림 11. 형성시간에 대한 열자극 방전전류
 Fig. 11. Thermostimulated discharge current versus forming time. $T_f=70^\circ\text{C}$; $E_f=19.5\text{MV/m}$; $\alpha=100^\circ\text{C/h}$; electrode; teflon sheathed aluminium; sample diameter; 30mm

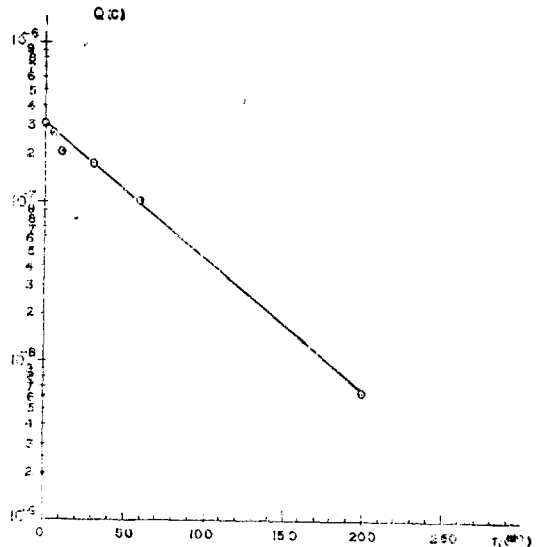


그림 12. 형성시간에 대한 호모전하 Q_f
 Fig. 12. Homocharge Q_f versus forming time. $T_f=70^\circ\text{C}$; $E_f=19.5\text{MV/m}$; electrodes=teflon sheathed aluminium; sample diameter=30mm

V. 結 論

1. 지금까지 캐리어의 포획깊이를 구하기 위하여 초기입상方法⁽¹³⁾과 部分加熱方法⁽¹⁴⁾이 利用되었다.

그러나 그림 13에서 보는 바와 같이 熱慣性때문에 試料內 溫度가 一定하지 않아(60°C 以下) 이들 方法들이 합리적인 方法이 못되는 것 같다.

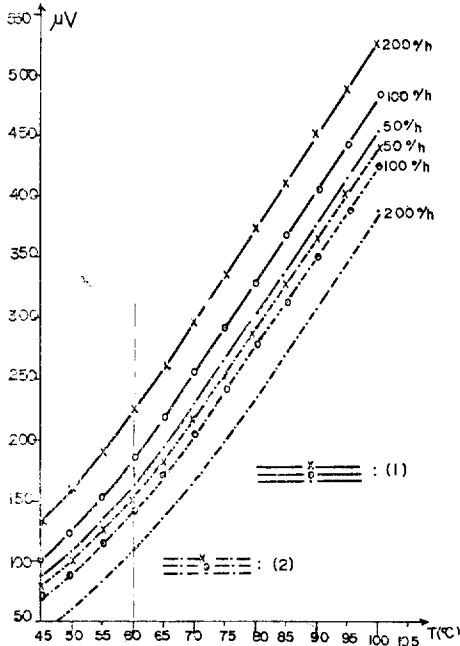


그림 13. 시료의 측정 온도
Fig. 13. Measuring temperature. [(1) temperature in the oven (2) temperature in the specimen]

따라서 본 연구에서는 試料의 熱慣性的 영향을 가능한 한 받지 않게 하기 위하여 100°C/hour 以下로 하여 熱刺戟電流를 測定하였다.

2. 본 연구에서는 全電荷方法에 의한 두 가열속도 α_1, α_2 를 이용하여 포획깊이 E_T 를 결정하였다. 그리고 POOLE-FRENKEL 효과를 이용하여 일렉트릭트內的 殘留電界를 계산할 수 있는 방법을 제시하였다.

3. 試料와 電極사이의 再結合을 방지하기 위하여 테프론電極을 사용하여 진폭이 매우 큰 열자극전류를 얻었다.

4. 테프론전극을 사용한 결과 헤테로전하와 호모전하를 정확히 파악할 수 있었다.

5. 헤테로전하로 형성된 일렉트릭트는 접촉면에 모인 공간전하에 의해 제한되는 것 같으면 表面電荷密度

는 약 μ (coulomb/m²)이다. 그리고 호모전하로 형성된 일렉트릭트의 표면전하밀도는 10⁻³(coulomb/m²)이상이다.

記 號

- $L=d$: 시료의 두께(m)
- u : 공간전하의 두께(m)
- τ : 완화 시간(sec)
- τ_0 : $KT \gg E_T$ 일때 완화 시간(sec)
- τ_R : 호모전하의 재결합 시정수(sec)
- E_T : 캐리어의 포획깊이(eV)
- V_{th} : 캐리어의 열속도(m/sec)
- S_{th} : 포획된 유효면적(m²)
- N_c : 전도대의 자유전자수(수/m³)
- Q_R : 최대전류 I_M 까지 측정된 전하량(C)(그림 2 참조)
- Q_T : 전 전하량(C)(그림 2 참조)
- M_n : Minutes
- $Z = \cos\theta$: θ 는 전계와 두위치를 연결한 직선과 이루는 각
- $2a$: 캐리어 한쌍의 두위치 사이의 거리(m)
- N_0 : 캐리어 Hopping sites雙의全體數
- ξ_R : 시료內的 공간 전하에 의해 나타나는 잔유전계(V/m)
- l : 평균 자유 행정(m)
- N_T : 캐리어의 포획밀도(수/m³)

References

1. J. Perret, R. Jocteur et B. Fallu; "Étude des Charges d'espace dans le Polyéthylène pour Câbles à Haute Tension", Rev. Gén. Electr., 81, 757 (1972) (France).
2. G.M. Sessler et J.E. West; "Self-Biased Condenser Microphone with High Capacitance", J. Acoust. Soc. Amer., 34, 1787 (1962)
3. G.M. Sessler; "Electrostatic Microphone with Electret Foil", J. Acoust. Soc. Amer., 35, 1354 (1963)
4. G.M. Sessler, J.E. WEST; "Foil-Electret Microphones", J. Acoust. Soc. Amer., 40, 1433(1966)
5. J. Van Turnhout; "Thermally Stimulated Discharges of Polymer Electrets", Ph. D. Thesis (ELSEVIER, AMSTERDAM, 1975)
6. A. Tourelle; "High-Field Conduction and Oscillations in Polymers", J. Appl. Phys.,

- 47, 2961 (1976)
7. T. Tanaka, S. Irabayashi et K. Shibayama; "Thermal Depolarization Current Study of Polypyromellitimide", *J. Appl. Phys.*, 49, 784 (1978)
 8. T. Mizutani, Y. Uzuokl et M. Idea; "Thermally Stimulated Currents in Polyethylene and Ethylene-Vinyl-Acetate Copolymers", *J. Appl. phys.*, 48, 2408 (1977)
 9. T. Hino, K. Yamayshita et F. Kaneko; "Thermally Stimulated Current due to Trapped Electrons in Insulators and its Rate-Determining Process", *Trans. IEE.*, 96, 143 (1976) (Japan).
 10. C. Bucci, R. Fieschi, G. Guidi; "Ionic Thermocurrents in Dielectrics", *phys. Rev.*, 148, 816 (1966)
 11. P. Fischer, P. Röhl; "Relaxation Time Spectrum of Dipolar Reorientation in Low Density Polyethylene", *J. Polym. Sci.*, 14, 543 (1976)
 12. R.R. Haering, E.N. Adams; "Theory and Application of Thermally Stimulated Currents in Photoconductors", *Phys. Rev.*, 117, 451 (1960)
 13. J.T. Randall, M.H.F. Wilkins; "Phosphorescence and Electron Trap", *Pro. Roy. Soc.*, 184, 366 (1945)
 14. R.A. Creswell, M.M. Perlman; "Thermal Currents from Corona Charged Mylar", *J. Appl. Phys.*, 41, 2365 (1970)
 15. A. Servi, A.K. Jonscher; "Electrical Conduction in Evaporated Silicon Oxide Films", *Thin. Soli. films.* 3, 341 (1969)
 16. A. Toureille; "Sur les Phenomenes de Conduction à Champ Electrique Élevé dans les Hauts Polymeres" (France), Ph.D. Thesis (Montpellier, 1974)
 17. Lee, Joon-Ung; Contribution à l'étude des Courants Thermostimules d'electrets de Polyethylene", (France), Ph. D. Thesis (Montpellier, 1979)
 18. A. Toureille, J.P. Reboul; High-Field Conduction Phenomena in Polymers", *Ann. Soc. Sci.*, Bruxelles. 89, 190 (1975)
 19. L. Brehmer, M. Pinnow; "Estimation of the Charge Carrier Mobility in Low Density Polyethylene by means of Current Oscillations", *Phys. Stat. Sol.*, (a) 50, K239 (1978)
 20. E.H. Martin, J. Hirsch; "Electron-Induced Conduction in Plastic. I. Determination of Carrier Mobility", *J. Appl. Phys.*, 43, 1001 (1972)
 21. D.K. Davies; "The Generation and Dissipation of Static Charge on Dielectric in a Vacuum", *J. phys.*, D5, 162 (1972)
 22. H. Carchano; Elaboration, Caracterisation et Applications de Couches mines Obtenues par Decharge dans la Vapeur de Styrene", Ph. D. Thesis (Toulouse, France 1973).