

溫度勾配熱刺戟測定法의 한 XLPE荷電粒子的 極性判定
 Polarity of Charged Particles in XLPE Measured by Temperature
 Gradient Thermally Stimulated Surface Potential

論 文
34~4~2

鞠 相 勳*
 (Sang-Hoon Kook)

Abstract

This paper temperature gradient thermally stimulated surface potential (TG-TSSP) in measurements are applied to the study of the polarity of trapped and ionic carriers in cross-linked polyethylene (XLPE) film.

In the thermally stimulated current in uniform temperature (TSC) of XLPE five peaks appear as indicated of the A B C D and E.

In this paper A (at about -120°C) D (at about 70°C) and E (at about 110°C) peaks are investigated. A peak is due to the biasing voltage and biasing temperature. Appear in to the glass transition temperature territory and caused in to the polarization of dipole. D peak is due to the depolarization of ionic space charge and E peak due to the detrapping of carriers injected from the electrodes.

TG-TSSP and TSSP are measured to study the polarity of ionic carrier (D peak). In the unsaturated region of ionic space charge polarization, TG-TSSP is lower than TSSP during the initial stage of heating.

Result of the experiment for E peak, TG-TSSP is higher than TSSP during the initial stage of heating and these results do not depend on the polarity of biasing voltage, and E peak is concerned with positive carriers (Holes).

1. 序 論

최근 전력수송의 超高電圧化 機能素子の 高集積化에 수반하여 고분자절연체가 전기절연재료로서의 중요성이 높아졌다.

架橋 Polyethylene Cable 은 장시간의 高電界印加에 의하여 외부물질로부터 전자 혹은 正孔이 주입 트랩되어 空間電荷를 형성하면 전기전도나 절연파괴에 많은 영향을 미친다고 알려져 있다.^{2),3)} 이것은 高電界印加로 誘電體내에 電子性電荷가 注入形成되어 空間電荷가 内部電界를 變歪하거나 내부에서 공간적 이동을 하므로써 원인이 된다고 생각된다. 따라서 誘電體의 熱刺戟電流 발생원인이 되는 트랩된 電荷(電子 혹은 正孔) 이온성의 캐리어들은 空間電荷電

界를 형성하며 절연재료의 절연성능과 밀접한 관련이 있으므로³⁾ 空間電荷分布를 이루는 荷電粒子的 極性を 파악하므로써 기기절연에 응용할 가치가 있다. 그러나 절연체에 있어서는 hall 効果등은 관측되지 않으므로 荷電粒子的 극성에 대해서는 판정이 어려운 현상이다. 따라서 필자는 試料內에 溫度勾配를 설정하여 승온 측정하는 熱刺戟法을 이용하면 균일승온 때 알 수 없는 여러가지 정보를 얻을 수가 있다⁴⁾ 고 보고하였다.⁵⁾

본 연구는 실제의 케이블을 0.28mm 두께로 원주 방향으로 切削한 것을 熱刺戟法으로 實驗研究하여 유전체중에 트랩된 캐리어의 극성을 판정하고 그 효과를 명확히 함과 동시에 이온空間電荷分極을 형성하는 可動이온의 극성판정을 하여 여기에 그 결과를 보고한다.

*正 會 員: 朝鮮大 工大 電氣工學科 教授·工博
 接受日字: 1984年 10月 25日

2. 實驗裝置 및 實驗方法

測定系는 그림 1 과 같으며 실용케이블인 架橋 Polyethylene (日本住友電線)을 대기중에서 80℃로 40시간 열처리하여 A, 로 양면을 진공도 10⁻⁶ torr 정도의 진공Bell Tar 내에서 약 8cm²의 면적으로 증착하여 電極으로 하였다.

그림 1에서 V_b V_c는 바이어스전압과 Collecting 전압이고 이장치는 미소전류계 A로 熱刺載電流(TSC)를 측정하였으며 表面電位計로 試料상부전극에 발생하는 熱刺載表面電位(TSSP)를 측정하였다. 그리고 溫度勾配測定을 하기 위하여 상부전극측에 250 W의 적외선集光燈프로 가열하였으며 하부전극측은 heater와 액체질소로 시료온도를 제어하였다. 이와 같은 온도제어에 의하여 고온영역에서 25℃의 온도차가 확인되었다.

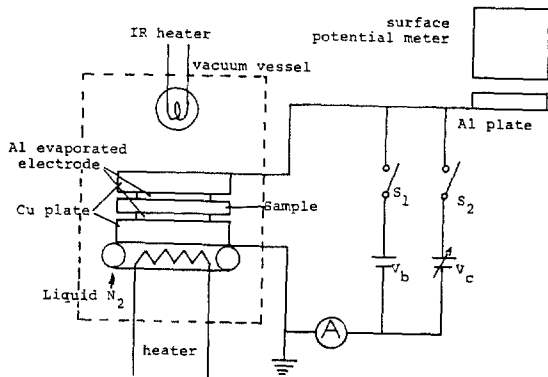


그림 1. 溫度勾配熱刺載測定의 略圖

Fig. 1. A Schematic diagram of the temperature gradient thermally stimulated measurement

3. 實驗結果 및 檢討

3.1 XLPE의 TSC와荷電粒子的 識別

XLPE 시료를 T_b = 85℃에서 t_b = 10분간 V_b = 5400V로 인가한 균등온도때의 TSC 스펙트럼을 그림 2에 표시하였다. 주요 Peak는 A(-120℃부근), B(-90℃부근), C(-20℃부근), D(70℃부근), E(110℃부근) Peak의 5개가 있는데 ADE peak를 대상으로 연구하였다.

그림 3(a)(b)에 온도 20℃와 -80℃에서 5분간 여러가지 바이어스전압 V_b를 인가하였을때 A peak

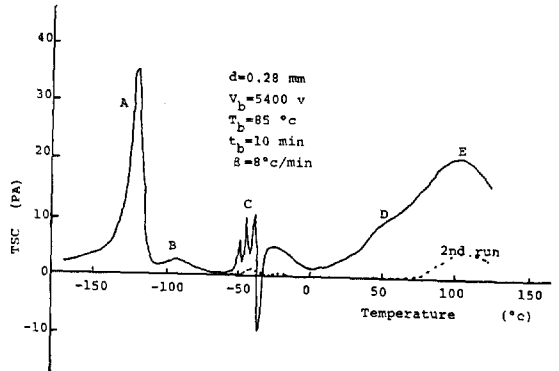
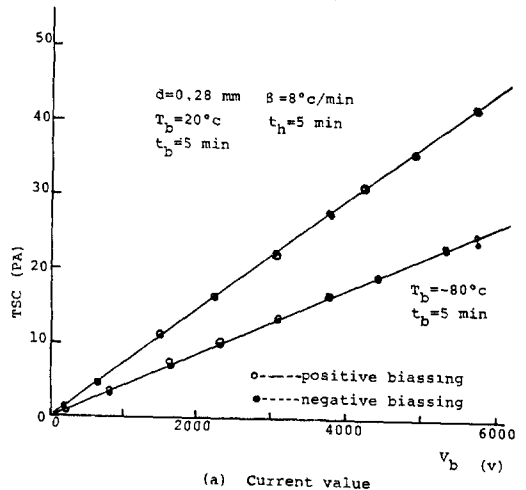
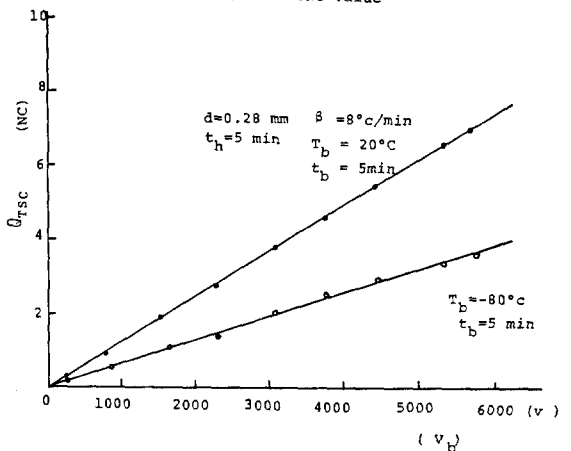


그림 2. XLPE의 熱刺載電流

Fig. 2. TSC Peaks of XLPE



(a) Current value



(b) Charge quantity

그림 3. TSC 最大値 및 電荷量의 Bias 電圧特性 (A peak)

Fig. 3. Biasing voltage characteristics of TSC maximum value and charge quantity (A Peak)

의 TSC 최대치가 바이어스전압에 의존하는 특성을 표시하였다.⁴⁾ A peak의 TSC는 Standing UP이 예민한 변화를 하지만 그 peak 전류치는 바이어스전압에 의존하여 직선적으로 변화하며 負極性 바이어스전압일때도 대칭적이었고 電荷量도 전압의존성을 가지며 직선적이었다. 또 여러가지 바이어스온도 T_b 에서 20분간 短絡상태로 방치한 후 1450 V의 바이어스전압을 60초간 인가하여 측정 한 TSC peak치의 바이어스온도 의존성을 그림 4에 표시하였는데 $-40^{\circ}\text{C} \sim -90^{\circ}\text{C}$ 에서 급격히 peak가 감소하였으며 peak 온도도 변화되었다.

이상의 결과에서 A peak의 TSC 스펙트럼이 변화하는 온도영역은 polyethylene의 2개의 glass 轉移點⁶⁾ ($-120^{\circ}\text{C}, 30^{\circ}\text{C}$)간에 있는 영역에 해당하며 바이어스 조건에 따라 TSC 스펙트럼이 현저하게 변화하는 특이한 현상이 관찰되었다. 이것은 A peak가 -120°C 부근에 있고 이 온도는 XLPE 내 非晶相에서의 分子鎖의 熱運動에 歸屬하는 glass 轉移溫도와 일치하므로 이들 기구와 관련이 있다고 본다.⁷⁾ 따라서 A peak는 단일의 活性化 에너지를 갖지 않는 분포로 되어있으며 雙極子에 起因하는 것이라고 생각된다.⁸⁾

상온이상에서 나타나는 DE peak의 원인을 조사하기 위해서 TSC에 의한 캐리어 식별법에 의하여 시료에 바이어스전압을 인가한 후 극성이 다른 正負의 Collecting 전압을 인가하면서 TSC를 측정하였다.

그림 5에서 低電界에서는 Ohmic 특성을 나타내고

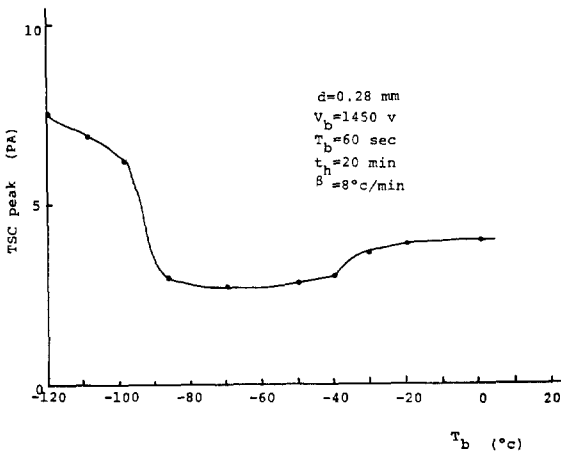


그림 4. TSC 最大値의 Bias 溫度特性(A peak)
 Fig. 4. Biasing temperature characteristics of TSC maximum Value (A peak)

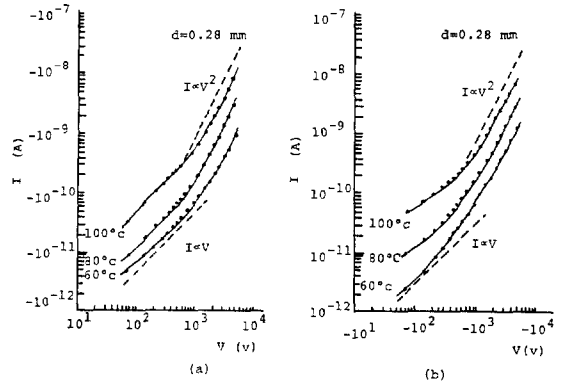


그림 5. XLPE의 漏洩電流特性

Fig. 5. Leak current characteristics of XLPE

이온性傳導가 지배적이며 高電界에서는 $I \propto V^2$ 으로 이행되어 電子性傳導가 지배적으로 되어 캐리어 注入이 이루어졌다고 본다.

$I \propto V$ 와 $I \propto V^2$ 의 한계가 확실하지는 않으나 1000 V (10^5 V/cm) 정도 이상에서는 注入이 확실하며 勾配昇溫測定을 하므로서 어느정도의 吸收電流 등의 영향을 받는다고 본다.

그림 6에서는 확실히 DE peak가 있으며 110°C 부근에서 곡선이 peak 같이 보이는 것은 XLPE의 結晶融解點의 영향이라고 생각된다. D peak는 바이어스전압 300V 부근까지 저하시켜도 나타나는데 E peak는 600V이하에서는 소멸하여 없어진다. 이와 같이 D peak는 바이어스전압이 낮아도 발생하는 점으로 보아서 注入트랩캐리어에 의한 것이 아님을 示唆한다. 또 E peak는 注入트랩電荷에 의하여 바이어스온도가 높아지면 트랩되기 쉽게 된다. 그리고 이 특성은 직선적이라고 볼 수 없으며 低電壓에서는 peak가 나타나지 않으며 고전압에서 어느 정도 포화에 가까워진다.

그림 7(a)는 고전계에서의 E peak에 대한 TSC 최대치의 바이어스시간특성인데 40분의 긴 시간에도 포화되지 않는다. 또 그림 7(b)는 바이어스전압 600 V의 저전압에서 바이어스시간특성을 나타낸 것이다. 즉 E peak의 영향을 제거하기 위하여 저전계로 실험한 D peak의 TSC 최대치에 대한 바이어스시간특성인데 30분의 긴 시간에도 완전포화 되지 않는다. 이것은 시료내에 캐리어 注入이 되지 않으므로 E peak의 TSC는 나타나지 않는 것이라고 생각된다. 만약 雙極子緩和라면 완화시간도 짧아질 것이다.

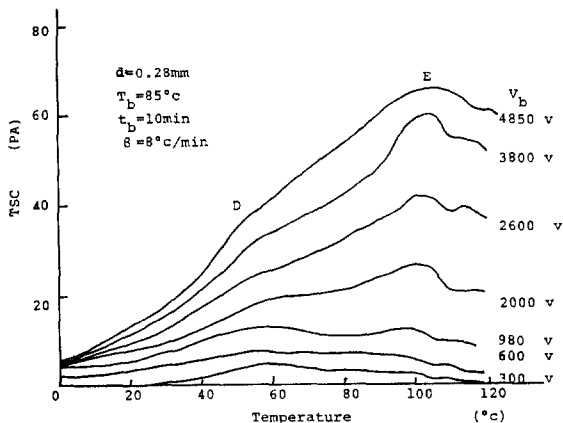


그림 6. D, E peak의 Bias 電壓特性
 Fig. 6. Biasing Voltage characteristics of D and E peak

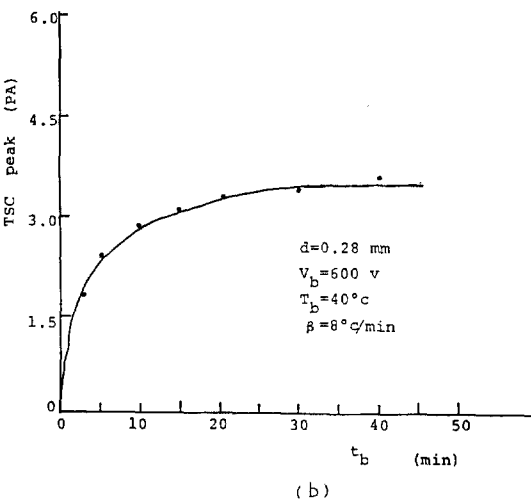
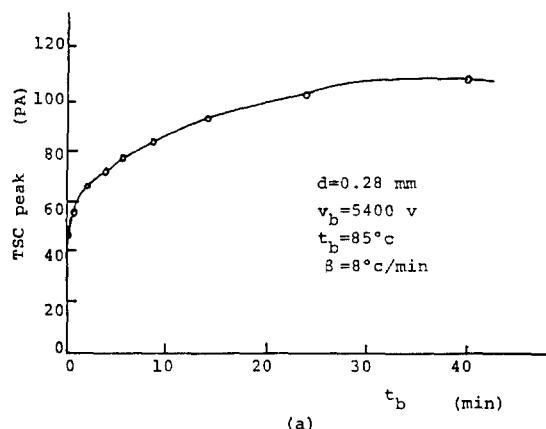


그림 7. E Peak의 Bias 時間特性
 Fig. 7. Biasing time characteristics of E peak

그림 8은 바이어스온도 특성인데 40°C이하에서는 E peak의 TSC는 나타나지 않으며 바이어스온도가 높아지면 E peak는 커진다.

그림 9는 50°C부근에서 나타나는 D peak와 100°C부근에서 나타나는 E peak의 TSC와 V_c/V_b 에 대해서 plot한 것인데 D peak는 反轉하지 않고 비직선적으로 변화하는데 E peak는 反轉한다. 만약 E peak가 分極現象이라면, 이와 같은 반전현상은 보이지 않을 것이다.⁹⁾ 즉 E peak는 트랩캐리어에 기인한 것이며 D peak는 트랩캐리어 이외의 원인으로 생기는 것을 알 수 있다.¹⁰⁾

또 D peak는 반전하지 않으므로 分極現象에 의한 것이고 만약 雙極子라면 $I(\tau) \sim V_c/V_b$ 가 직선으로 될 것이지만 직선은 아니다.¹¹⁾ 따라서 D peak는 공간전하분극을 형성한 이온성 캐리어라고 볼 수 있다.

그림 10은 D peak의 저전압에서의 collecting 전압특성인데 可動이온에 의한 공간전하분극에서는 분극P가 $P \propto \sinh(a V_b/d)$ (a는 V_b 에 의하지 않음)인 특성을 갖는다는 것이 TSC 측정에서 알려져있고¹²⁾ Collecting 전압 印加의 TSC는 $\sinh\{a V_b(1 - V_c/V_b/d)\}$ 에 개략 비례한다고 생각되는데 그림 10의 특성은 위의 특성에 따르지 않으므로 약간의 주입캐리어 등의 영향을 받는다고 생각된다.

그림 11은 Partial heating법에 의한 TSC를 Arrhenius Plot한 것인데 이 직선의 기울기에서 평가되는 활성화에너지를 加熱때 최고온도에 대하여

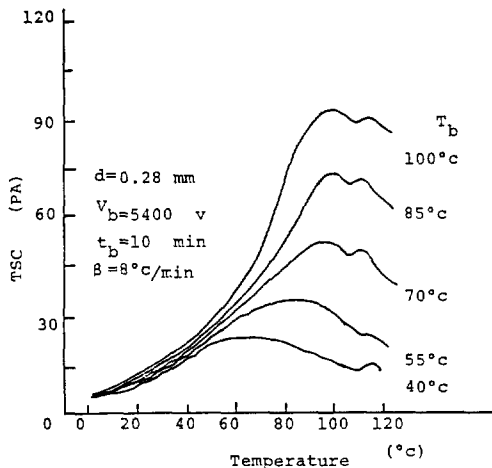


그림 8. E peak의 Bias 溫度特性
 Fig. 8. Biasing temperature characteristics of E peak

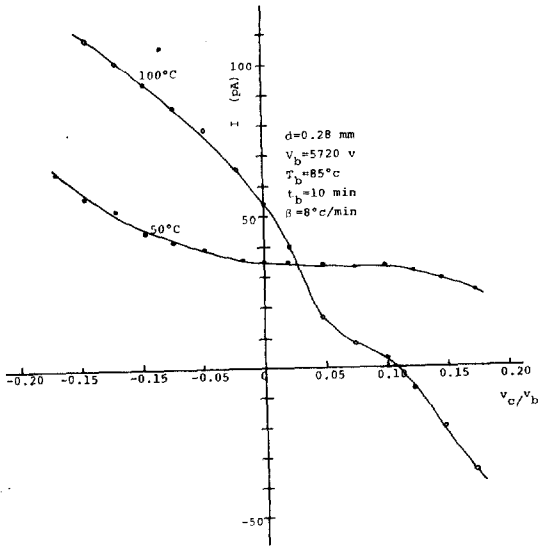


그림 9. D, E peak collecting 電圧特性(高電界)
Fig. 9. Collecting voltage characteristics of and E peak (high electric field)

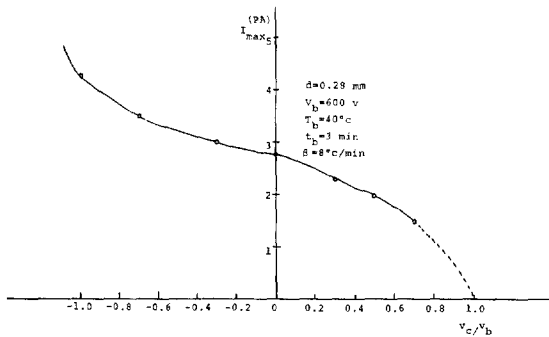


그림 10. D. peak 의 collecting 電圧特性
Fig. 10. Collecting voltage characteristics of D peak

Plot 하면 그림 12와 같은 관계가 얻어진다. 이 경우 D peak와 E peak에 나타나는 온도영역의 경계가 확실하다. 여기서 D peak에 상당하는 활성화에너지는 0.61eV 정도이고 E peak는 1.2eV 정도이다. 이 값으로 D peak에 대하여 바이어스온도 40°C 때의 緩和時間을 계산하면 120초이다. 따라서 그림 7에서 飽和時間이 긴 특성은 쌍극자분극으로 설명이 되지 않는다. 즉 D peak는 이온공간전하분극에 기인한 것이라고 본다. 또 누설전류특성은 누설전류가 1000 V 부근에서 전압의 2승에 비례하는 것을

볼때 시료에 대한 전하주입이 1000 V 이상에서 생기기 때문에 그림 6과 같이 600 V 이하에서는 나타나지 않는 E peak가 주입트랩전하라고 하는 결론을 지지하는 것이다. A peak는 쌍극자분극, D peak는 이온공간전하분극, E peak는 주입트랩캐리어로 이루어진 것이 확실하다.

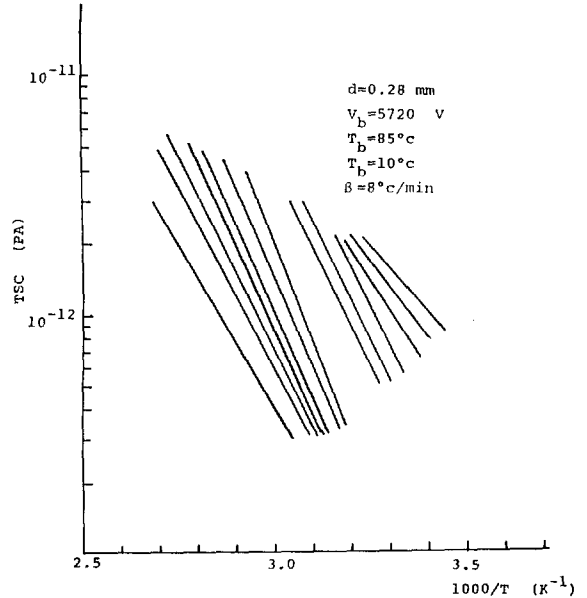


그림 11. XLPE의 partial heating 法에 의한 Arrhenius plot (高温領域)

Fig. 11. Arrhenius plot by partial heating method of XLPE (high temperature area)

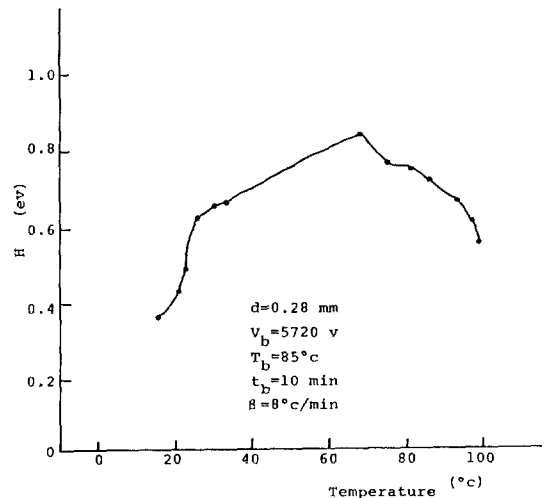


그림 12. 活性化 energy 의 溫度特性

Fig. 12. Temperature characteristics of activation energy

3.2 雙極子 分極의 溫度勾配熱刺戟測定

바이어스전압 ±1450 V ±5400 V 바이어스온도 20 °C로 하고 바이어스시간 1분으로 하여 측정할 TSC를 그림 13에 표시하였다. 破線은 溫度勾配 實線은 보통의 경우이다. 이 온도구배TSC 측정때의 상부전극과 하부전극간의 온도차(ΔT=T₁-T₂)는 A peak 온도영역에서 약 15 °C이었다. 勾配昇溫의 경우 상부전극온도T₁이 높기때문에 균등승온의 경우에 비해 peak의 위치가 저온측에 이동하며 바이어스전압이 극성에 대하여 온도구배TSC는 대칭적인 특성을 나타냈다. 이와 같은 특성을 나타낸 것은 A peak가 雙極子分極에 의한 것이라고 생각된다. 따라서 이것은 시료내에 '균일하게 존재하므로 평균온도가 높은 분만큼 빨리 脫分極을 시작한다.

雙極子分극에서는 荷電粒子는 시료내를 미시적으로 변위하여 생기며 그 分極은 시료내에서 균일하다고 볼 수 있다 균일승온의 TSC I는 그 Standing UP 초기에 분극완화는 적으며 다음의 근사식으로 된다.

$$I \approx P_0 \tau_0^{-1} \exp\left(-\frac{H}{KT_2}\right) \quad (1)$$

P₀: 초기분극량, τ₀: 완화시간, H:활성화에너지 K:Boltzmann 정수, T₂:하부전극온도

한편 구배승온TSC I'는 그 Standing UP 초기에는 상부와 하부의 전극온도 T₁ T₂의 온도차를 ΔT로하면 다음식과 같이 된다.

$$I' \approx P_0 \tau_0^{-1} \exp\left\{-\frac{H}{K(T_2-\theta_0\Delta T)}\right\} \quad (2)$$

단 0 < θ < 1

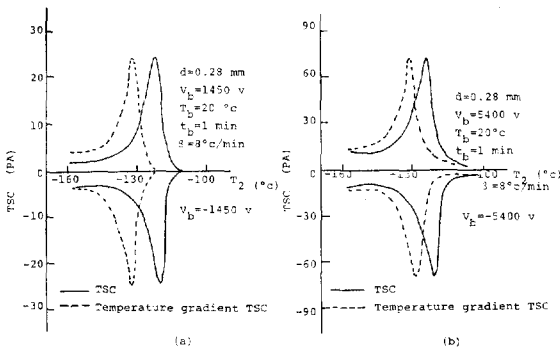


그림 13. A peak에 대한 試料內에 溫度勾配가 있는 경우와 없는 경우의 TSC

Fig. 13. TSC curves for A peak temperature gradient there is and there is no in the specimen

(1)식과 (2)식을 비교하면 온도구배TSC에서는 균등온도 TSC에 대하여 온도측에 따라서 -θ₀ΔT만큼 평행이동하는 것으로 볼 수 있다. 즉 그림 13에서 구배온도TSC는 균등온도TSC에 비하여 그 Standing UP부분에서 온도측에 대하여 상부와 하부의 전극간 온도차 ΔT=15 °C보다 적은 10 °C 평행이동한 특성을 나타내고 있으며 이 특성은 앞 절에서 A peak의 쌍극자분극특성을 지지 하는 것이다.

3.3 Ion Carrier極性判定

고전계에서 고온부의 E peak는 트랩캐리어 영향이 있기 때문에 이온에 의한 D peak의 특성과 겹쳐 있어 DE peak의 한계가 확실하지 않고 E peak는 바이어스전압이 낮은 경우는 발생하지 않으므로 XLP E내에 캐리어가 주입되지 않게 하기위하여 그림 14(a)(b)와 같이 V_b=±300V V_b=±600V로서 10 °C에서 단락되고 D peak만의 TSSP 측정을 하였으며 T_b를 40 °C로 하여 高溫部の E peak의 영향을 억제하였다.

그림 14에 그 결과를 표시하였는데 바이어스전압의 극성만을 변화시켰을때 어느경우도 온도구배 TSS

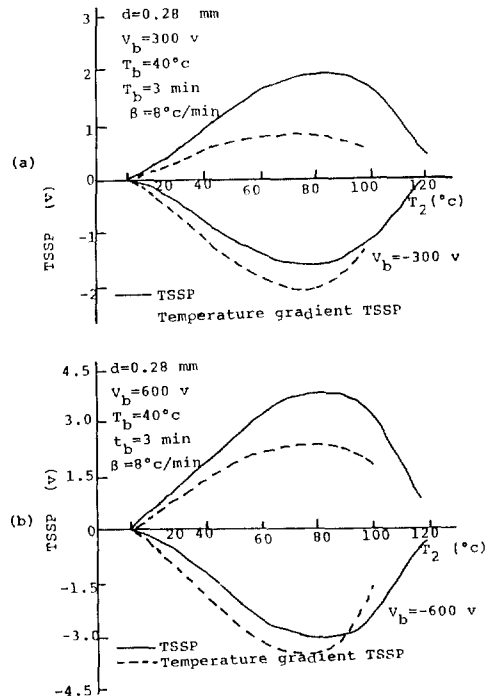


그림 14. D peak에 대한 試料內에 溫度勾配가 있는 경우와 없는경우의 TSSP

Fig. 14. TSSP curves for D peak temperature gradient there is and there is no in the specimen

P가 균등온도 TSSP 보다 단락 직후에는 負의 전위方向에 변화하였다. 이의 같은 특성은 D peak의 원인인 가동이온극성에 의한 것이라고 생각된다.

이온공간전하분극에 대한 캐리어극성판정의 해석을 하기 위하여 다음과 같은 가정을 한다.

- (1) 이전하model 즉 절연체중에 정부 같은 량의 이온만이 이동한다.
- (2) 전극은 이온캐리어에 대하여 blocking 이다.

그림 15(a) (b)는 전극 1 2 간에 V_b 를 인가하여 이온공간전하분극을 형성시키고 냉각시켜 분극을 동결시킨 다음에 단락시킨 직후의 전하분포 및 전위분포를 표시하고 위 (1),(2) 조건의 절연체중에서 이온의 발생 또는 소멸이 없는 경우의 TSSP 를 생각한다. 단락직 후에는 시료내의 이온공간전하분극때문에 양전극에는 $\pm Q$ 의 전하가 남아있다. 따라서 TSSP 측정에서는 시료내의 이온공간전하분극이 脫分極할 때의 전위변화 및 전극면의 전하가 시료내에 주입되어서 감쇠할때의 전위변화가 관찰된다. 그러나 단락직 후에는 (b)도와 같이 x_1^* 과 x_2^* 의 Zero field Plane 이 2개있게 되므로 電極面電荷가 시료내에 주입되었다고 하여도 電荷는 x_1^* x_2^* 의 위치를 넘어서 $x_1^* \sim x_2^*$ 내에 이동하는 일이 없다고 보며 주입전하는 전극근처에 머무르게된다. 따라서 TSSP V_s 의 초기에는 전극면전하의 감쇠는 적고 $V_c = 0$ 를 인가한 직후의 전위변화는 시료내에 형성된 이온공간전하분극에 의한 脫分極때문인 것으로 보고 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\frac{dV_s}{dt} = \frac{1}{C} \frac{dP}{dt} \quad (3)$$

P : 이온공간전하분극량, C : 절연체의 용량

여기서 $P = \int_0^d x \{ \rho_+(x, t) + \rho_-(x, t) \} dx \quad (4)$

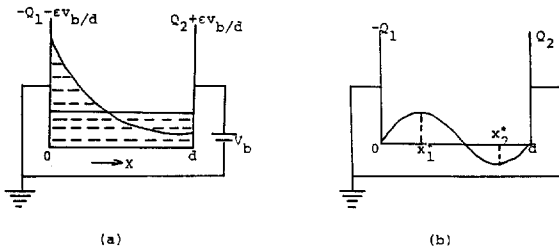


그림 15. V_b 印加에 대하여 試料內에 形成된 ion 空間分布(a)와 $V_c = 0$ 印加때의 電位分布(b)

Fig. 15. (a) Ionic space charge distribution, (b) potential distribution

$\rho_-(x, t)$ 를 일정하다하고 $\rho_+(x, t)$ 가 위치 x 와 시간 t 의 함수인 경우이다.

식(3)과 식(4)에서 다음식이 성립한다.

$$\frac{dV_s}{dt} = \frac{1}{C} \int_0^d x \frac{d\rho_+(x, t)}{dt} dx \quad (5)$$

이상에서 $V_c = 0$ 를 인가한 직후의 TSSP 변화는 正(負)의 가동이온에 의해서 표시되며 이 가동이온은 확산과 drift 를 함유하므로 그 취급이 복잡하다. 따라서 여기서는 확산과 drift 를 고려한 hopping model^{1,3)}을 이용하여 해석하면 식(3)은 다음과 같이 된다.

$$\frac{dV_s}{dt} \approx \frac{v \ell^{n-1}}{cd} \sum_{j=1}^{n-1} \{ \exp(-\frac{\phi_j^{0+}}{kT^n}) qN_j^0 - \exp(-\frac{\phi_j^{0-}}{kT^n}) qN_{j+1}^0 \} \quad (6)$$

v : 이온진동수, ℓ : hopping 거리, d : 절연체의 두께 ϕ_j^{0+} , ϕ_j^{0-} : 이온캐리어에 대한 장벽의 높이, W 와 초기전하분포 N_j^0 에 의하여 정해지는 공간전하전계에 의해서 전위 ϕ_j^0 에서 정해지는 정수 $\phi_j^{0+} = W + q\Delta\phi_j$ $\phi_j^{0-} = W - q\Delta\phi_j$ N_j^0 : hopping model의 전극 1에서 j 번째의 Potential Well의 전하수 q : 이온의 전하 n : hopping model에서 Potential Well 수이다.

여기서 TSSP의 Standing UP 초기에는 이온공간전하분포는 거의 변화하지 않는다고 볼 수 있으므로 시료내의 Potential 변화는 없다고 본다. 또 온도구배 TSSP V_s' 의 온도변화는 발생초기에도 같은 해석을 할 수 있으므로 다음의 관계식이 얻어진다.

$$\frac{dV_s'}{dt} \approx \frac{v \ell^{n-1}}{cd} \sum_{j=1}^{n-1} \{ \exp(-\frac{\phi_j^+}{kT^j}) qN_j^0 - \exp(-\frac{\phi_{j+1}^-}{kT^{j+1}}) qN_{j+1}^0 \} \quad (7)$$

J^j : j 번째의 Hopping Well에서의 온도

그림 14는 바이어스시간 t_b 가 3분이고 그림 7(b)에서도 알 수 있는 바와 같이 이온공간전하분극이 未飽和의 경우에 상당하므로 이때 전하의 치우침이 적다고 보며 이경우 시료내에 형성되는 전위는 작으므로 식(6)과 식(7)에서 다음의 근사식이 얻어진다.

$$\frac{dV_s'}{dt} - \frac{dV_s}{dt} \approx \frac{v \ell}{cd} \{ \exp(-\frac{\phi_j^{0-}}{kT^1}) -$$

$$\exp\left(-\frac{\Phi_0^-}{kT^n}\right) qN_0^n \quad (8)$$

$T^1 T^n$: 전극1의 온도(T_1)와 전극2의 온도(T_2)이다.
여기서 $T^n (= T_2) < T^1 (= T_1)$ 의 실험조건을 고려하면

$$\left. \begin{aligned} \text{정이온 } q > 0 \text{일때 } \frac{dV_s'}{dt} - \frac{dV_s}{dt} < 0 \\ \text{負이온 } q < 0 \text{일때 } \frac{dV_s'}{dt} - \frac{dV_s}{dt} > 0 \end{aligned} \right\} (9)$$

로 된다.

따라서 본 실험의 그림 14에서 온도구배 TSSP는 보통의 TSSP에 비해서 그 전위변화는 바이어스전압의 극성에 따르지않고 어느경우도 負의 電位方向으로 변화한다. 즉 $\frac{dV_s'}{dt} - \frac{dV_s}{dt} < 0$ 의 식을 만족하고있다. 이것은 전하의 치우침이 적을때 정이온의 경우에 상당한다.

3.4 Trap Carrier의 極性判定

그림 14와 같이 단락시켜 표면전위를 측정하면 D peak 특성이 포함되어 E peak 트랩 캐리어 특성을 얻을 수 없으므로 고전계 바이어스전압을 인가하여 D peak가 Cleaning 되는 온도에서 단락시켜 표면전위를 측정하였다.

그림 16과 같이 바이어스전압이 크므로 D peak의 분극도 동시에 생긴다. 이 영향을 제거하기 위하여 D peak에 의해서 脱分極이 거의 완료되는 60°C까지 단락승온시켜 開回路로 만들어 측정하였다.

전위변화는 그림 14와 逆으로 온도구배 TSSP가 보통 TSSP에 비해서 바이어스전압의 극성에 의하지 않고 정의 방향으로 변화한다. 따라서 正極性的 트랩 캐리어 즉 正孔에 의한 것이라고 설명할 수 있다. 여기서 트랩 전하의 극성에 대하여 定性的 검토를 한다.

바이어스전압을 인가하여 절연체에 전하를 주입시켜 저온에서 하전입자를 동결하고 양 전극을 단락시키고 그테로 승온시켜 TSSP 측정을 개시하는 60°C가 되었을때 이온에 의한 脱分極이 완료되었다고 보여지며 트랩된 正孔 또는 전자에 의한 전위는 그림 17과 같이 시료내에 형성될 것이다.¹⁴⁾

그림 16의 TSSP 측정은 TSSP가 Zero 상태에서 측정을 시작하여 승온초기에는 트랩에서 해방된 캐리어가 시료내에는 많지않다고 생각되므로 해방된 캐리어의 수송은 트랩 전하가 형성된 전계에 연해서 이루어진다고 보여지며 Zero field plane x^*

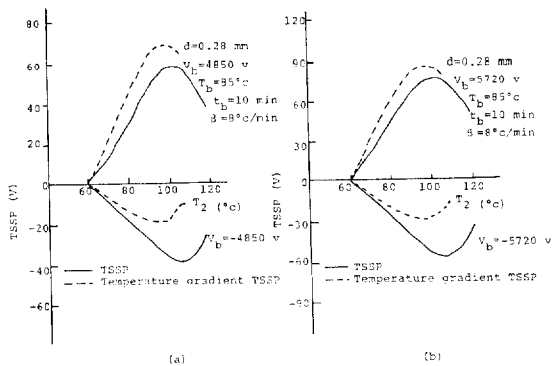


그림 16. E peak에 대한 試料內에 溫度勾配가 있는 경우와 없는 경우의 TSSP

Fig. 16. TSSP curves for E peak temperature gradient there is and there is no in the specimen

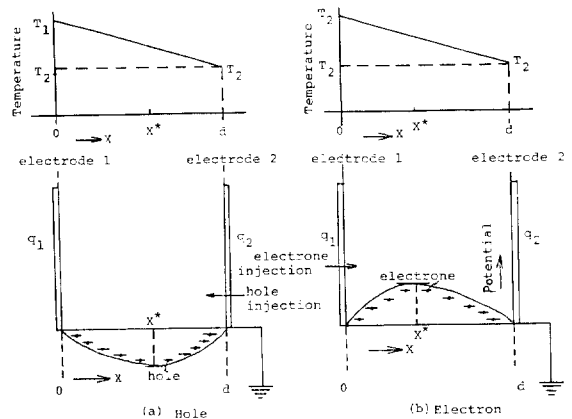


그림 17. Trap Carrier의 model과 試料內의 溫度勾配

Fig. 17. A model of trapped carriers and temperature gradient in the specimen

가 캐리어 수송에 큰 역할을하며¹⁴⁾ 이것을 경계로 하여 역방향으로 된다.

즉 구배승온의 경우는 캐리어의 勵起는 고온에서 빠르고 전극 1과 x^* 간의 트랩 캐리어가 빨리 勵起되어 전극 1쪽으로 수송된다. 따라서 트랩 캐리어가 正이면 균등승온때보다 높게될 것이고 負이면 逆으로 낮아질 것이므로 그림 16은 트랩 캐리어가 正孔性이라고 본다. 이와 같은 현상을 수식적으로 해석하기 위하여 다음 조건을 가정한다.

- (1) 트랩 캐리어는 熱勵起로 수송되며 勵起된 캐리어는 빨리 전계에 따라 전극에 이른다.^{14), 16)}

- (2) 트랩깊이는 시료내에서 균일하고 트랩캐리어의 勵起速度는 모두 같다.
 - (3) TSSP 발생초기를 고려하므로 트랩전하의 初期分布는 처음 그대로 변화하지 않는다.
- TSSP의 초기변화속도는 다음과 같다.

$$\frac{dV_s}{dt} \simeq \frac{1}{\epsilon} \left\{ \int_0^{x^*} \rho_o(x) dx - \int_{x^*}^d (d-x) \rho_o(x) dx \right\} \tau_o^{-1} \exp\left(-\frac{H_t}{kT_2}\right) \quad (10)$$

x^* : Zero-field plane의 위치, d : 시료두께
 $\rho_o(x)$: 初期電荷分布, H_t : 트랩깊이,
 또 온도구배 TSSP V_s' 는 다음과 같이 된다.

$$\begin{aligned} \frac{dV_s'}{dt} &\simeq \frac{1}{\epsilon} \int_0^{x^*} \rho_o(x) \tau_o^{-1} \exp\left\{-\frac{H_t}{kT_2}(1-\alpha(x))\right\} dx \\ &- \frac{1}{\epsilon} \int_{x^*}^d \rho_o(x) \tau_o^{-1} \exp\left\{-\frac{H_t}{kT_2}(1-\alpha(x))\right\} dx \end{aligned}$$

단 $\alpha(x) = \frac{d-x}{d} \frac{\Delta T}{T_2}$ ($\Delta T = T_1 - T_2$) (11)

本實驗에서 $\frac{dV_s}{dt}$ 는 Zero가 아니므로 구배승온의 $\frac{dV_s'}{dt}$ 는 $\frac{dV_s}{dt}$ 보다 벗어난다. 따라서 식(10), 식(11)에서 다음 관계가 얻어진다.^{4), 5)}

$$\left. \begin{aligned} \text{正孔 } \rho_o(x) > 0 \text{ 일때 } \frac{dV_s'}{dt} - \frac{dV_s}{dt} > 0 \\ \text{電子 } \rho_o(x) < 0 \text{ 일때 } \frac{dV_s'}{dt} - \frac{dV_s}{dt} < 0 \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

따라서 E peak의 원인인 트랩캐리어가 정공성인 것을 나타내고 있다. 즉 그림 17에서의 정성적 설명과 잘 일치한다.

4. 結 論

本 論文에서는 시료내에 一定溫度勾配를 이루는 온도분포를 설치하여 溫度勾配熱刺戟測定法에 의해서 架橋 Polyethylene 중의 절연성능에 영향을 주는 하전입자 즉 절연체중에 공간전하전계를 만드는 주입트랩전하와 가동이온의 극성관정을 하였다.

- 1) 架橋 polyethylene의 TSC에는 -120°C 부근에 A peak -90°C 부근에 B peak -20°C 부근에 C peak 70°C 부근에 D peak 110°C 부근에

E peak의 5개 peak가 관측되었다.

- 2) A peak는 쌍극자인 특성이었으며 바이어스 조건에 의해서 TSC스펙트럼이 현저하게 변화하는 특이한 현상이 관측되었다.
 - 3) 熱刺戟電流에 나타나는 가동이온성의 D peak는 공간전하분극을 형성한 이온에 기인하며 그 이온극성은 정이었다.
 - 4) 트랩성의 E peak는 주입트랩전하에 기인하며 그 트랩캐리어의 극성은 정극성이라는 것이 명백하였다.
- 이상과 같이 절연체중의 트랩전하나 이온캐리어의 극성관정이 가능하여졌으며 실용기기인 전력케이블의 공간전하에 대한 내용을 알 수 있게 되었으므로 이용가치가 높다고 생각된다.

參 考 文 獻

- 1) 犬石 中島 川邊 家田: 「誘電體現象論」 電氣學會 (昭 48)
- 2) 日本電氣學會雜誌: 「最近の 絶緣材料」 95 425 (昭 50)
- 3) A Bradwell, R Cooper and B Varlow: Proc. I E E 118 247 (1971)
- 4) 岩本 小林 日野: 日本電氣學會論文誌 A-104 193 (昭 59)
- 5) 岩本 加藤 鞠相 日野: 日本電氣學會 絶緣材料 研究会 EI M 84-78 ~ 87 2 P1 (1984)
- 6) 高分子學會: 「高分子科學の基礎」 東京化學同人 P 161 (1978)
- 7) P Berticat, C Lacabanne et al: Macromol chem 177 1583 (1976)
- 8) C Bucci, R Fieshi and G Gudi: Phys, ReV, 148 816 (1966)
- 9) 日野: 應用物理 48 1186 (昭 54)
- 10) 日野: 山下 金子: 静電氣學會誌 45 252 (1980)
- 11) 日野: 應用物理 43 720 (昭 49)
- 12) 山下 日野: 日本電氣學會論文誌 97-A 537 (昭 52)
- 13) 岩本 日野: 日本電氣學會論文誌 103-A 395 (昭 58)
- 14) 日野 山下 金子: 日本電氣學會論文誌 96-A 143 (昭 51)
- 15) J Lindmayer: J Appl. phys. 36 196 (1965)
- 16) 山下 金子 日野: 第 8 回電氣絶緣材料 シンポジウム子橋集 P 109 (1975)