

電力設備用 polyethylene의 熱刺戟表面電位法에 의한 空間電荷 測定에 관한 研究

李 昶 燮
鞠 相 勳

東新工科大學
朝鮮大學校

ABSTRACT

Many characteristics of space charge in insulating materials which is the cause of insulation break down was measured quantitatively.

It was confirmed that injection charge of the electrode was trapped to form mainly space charge.

In the present paper, collecting potential was determined by TSSP and mean depths of space distribution was investigated by measuring variation quantity of space charge under the different bias voltage and temperature.

Experimental results was in good agreement with model analysis on a steady state.

1. 序 論

Trap 전자에 의한 空間電荷에 중점을 두어 熱刺戟 表面電位 測定法으로 연구하였는데 3部分으로 생각한다.

첫째는 트랩 전자에 의한 空間電荷를 구하는데 TSSP 측정법으로 특성선택팅 電位를 결정하고 바이어스 시간, 바이어스 전압, 바이어스 온도를 parameter로 해서 空間電荷量 變化를 측정하며 空間的 分布의 平均 깊이를 구하였다.

둘째는 TSSP 측정으로 얻어진 결과와 비교하기 위하여 吸收電流를 測定하는 부분이다. TSSP 측정에서는 트랩에서 電子가 해방될 때의 측정인데 吸收電流 測定에서는 반대로 電子를 注入하는 경우의 측정인데 대략적으로 보아 兩者의 결과가 대체적으로 잘 일치하였다.

셋째는 正常狀態에 대해서 空間電荷 制限電流를 기초로 하여 다소 변형된 모델 解析을 하여 실험 결과와 비교한 部分인데 실험결과와 설명에 어느 정도 유효한 것을 일었다.

2. 試料 및 測定方法

試料는 低密度 폴리에틸렌 (HD 6005) 40 μ m(試料 A)와 25 μ m(試料 B)를 사용하여 양면에 Al을 증착시켜 전극으로 했으며 上·下 전극면적은 2.0cm²와 6.28cm²로 하였다. TSSP 흡수전류는 10⁻⁷ torr의 Hell Jar내에서 측정하였으며 그림1은 측정회로 도이다.

3. 實驗結果 및 考察

3.1. TSSP 측정결과

그림2는 TSSP의 減衰現象인데 A곡선은 電極面電荷 減衰特性이며 B곡선은 注入電荷 減衰特性인데 온도적으로는 같은곳에서 감쇠하지만 형상은 다르다. 즉 減衰機構는 다르다.

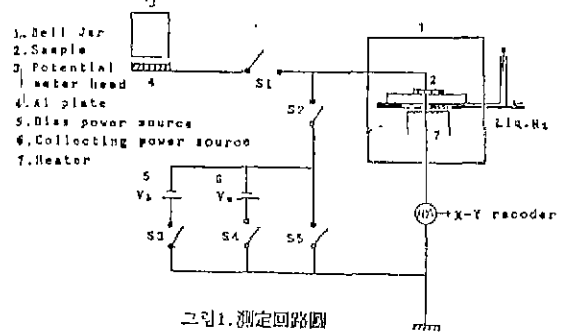


그림1. 測定回路圖

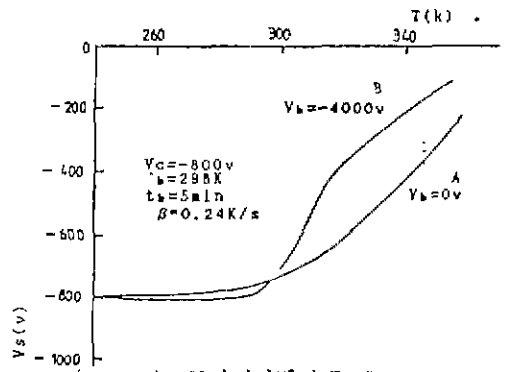


그림2. 폴리에틸렌의 TSSP

그림3는 Vs 특성인데 Vc가 커지면 Vs 간격이 적어진다. 각 곡선의 表面電位 Vs와 Vc 특성이 그림4인데 거의 같은 Vc에서 꺾이는 직선이 된다. 이것이 특성선택팅 전위 Vcs이다.

3.2. Vcs-tb, Yb, Tb 특성

특성선택팅 전위 Vcs와 바이어스 시간 tb 특성과 平均注入距離 X를 그림5에 표시하였는데, 이 결과에서 Qt와 平均注入距離 X를 구할 수 있다.

그림6(a)는 Vcs-Vb 특성인데 試料A는 Vb에 따라 Vcs가 커진다. 즉 Qt도 커지며

그림7은 $V_{cs}-t_b$ 특성인데 온도가 높아짐에 따라 Q_{tr} 가 커지며 그 분포는 注入電極側에 치우쳐 가는 것을 알수 있다.

3.3. 吸收電流와 TSSP의 t_b, V_b 특성

吸收電流 측정으로 구한 空間電荷量과 TSSP에서 구한 空間電荷量의 t_b 특성곡선을 그림8에 표시 하였다.

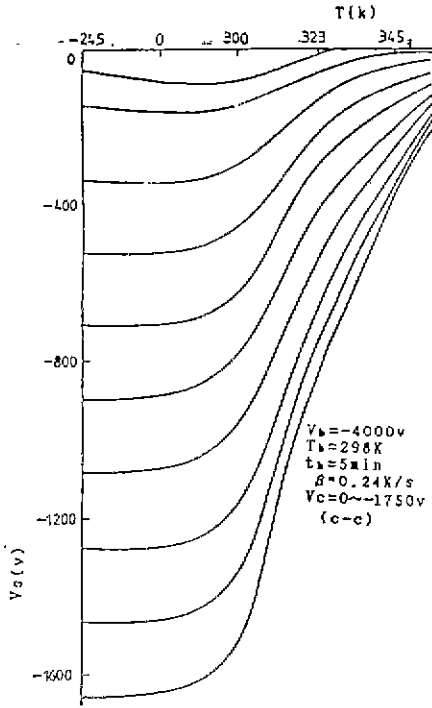


그림3. V_{cs} 에 의한 TSSP 특성

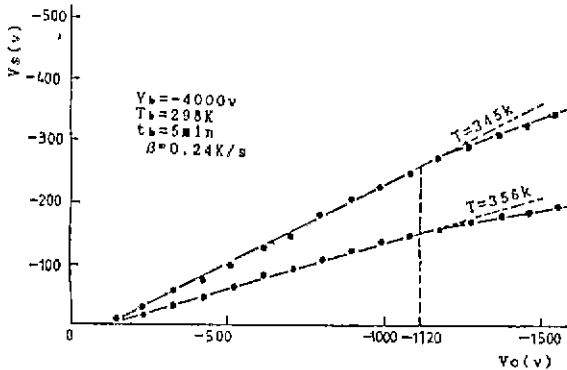
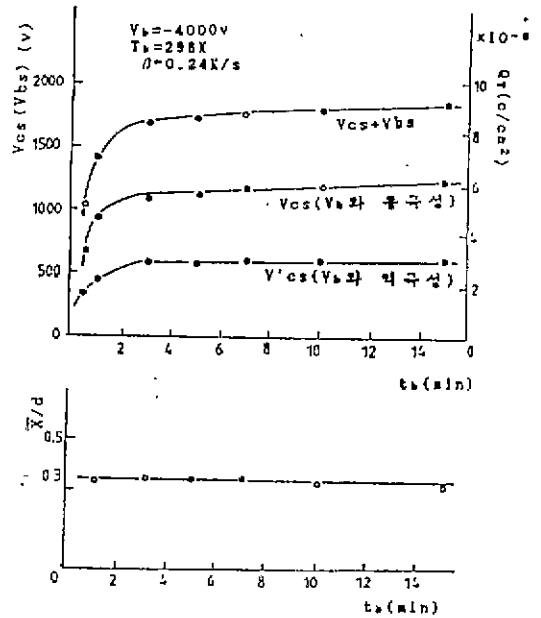
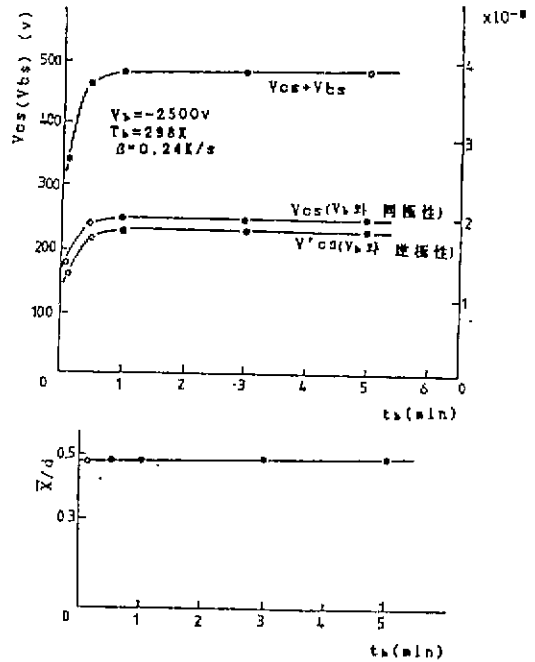


그림4. V_s-V_c 특성

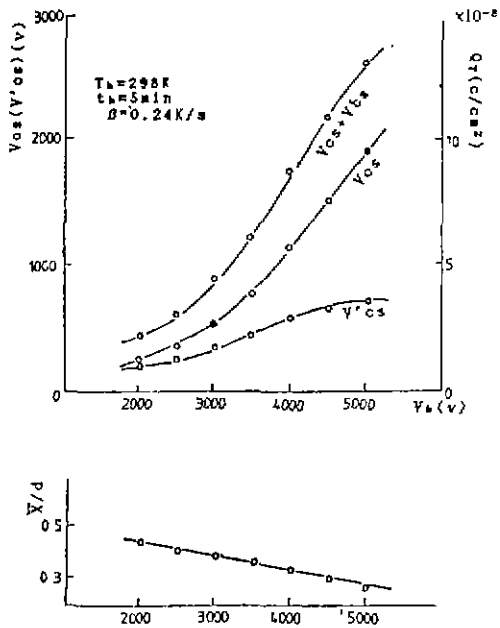


(a) 試料 A (sample A)

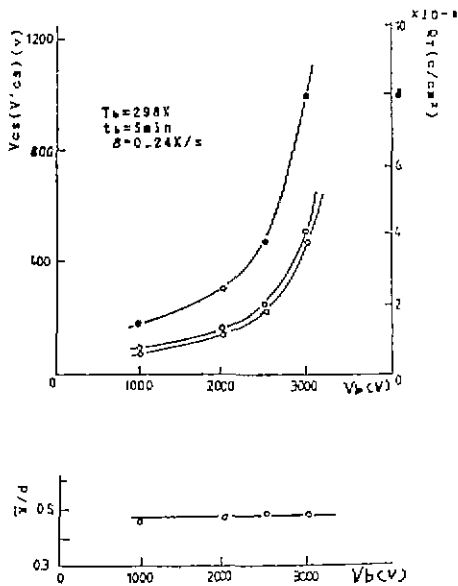


(b) 試料 B (sample B)

그림5. $V_{cs}(V'_{cs})-t_b$ 특성



(a) 試料 A (sample A) V_b (v)



(b) 試料 B (sample B)

그림 6. $V_{cs}(V'_{cs}) - V_b$ 특성

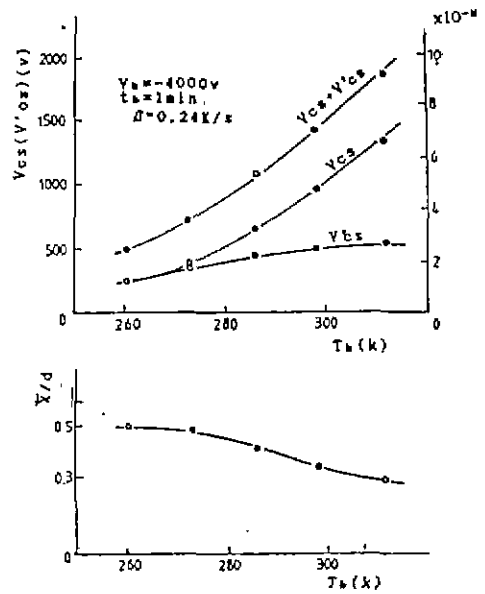
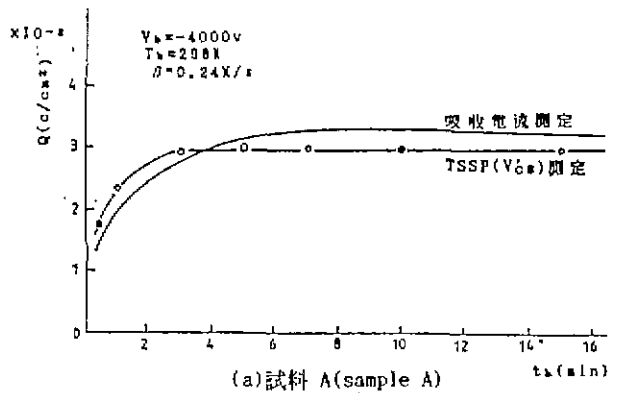
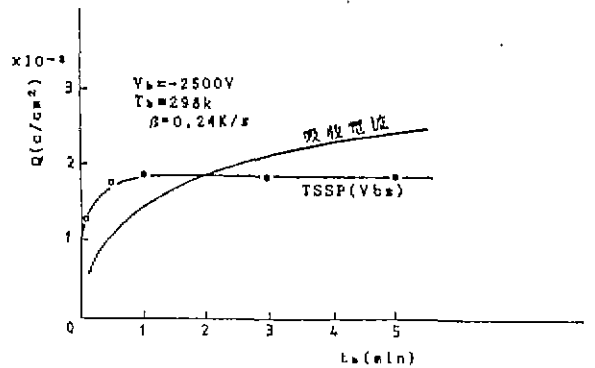


그림 7. $V_{cs}(V'_{cs}) - T_b$ 특성 (試料 A)



(a) 試料 A (sample A)



(b) 試料 B (sample B)

그림 8. $Q - t_b$ 특성

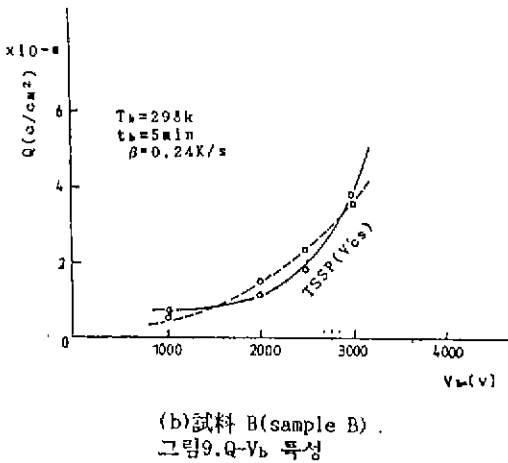
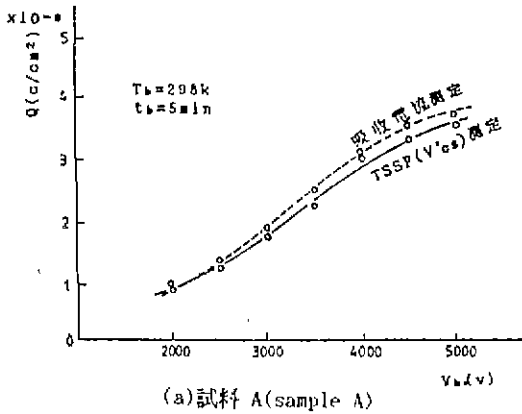


그림 9은 V_b를 parameter로 하여 측정한 것인데 試料 A와 試料 B가 비교적 近似함을 알 수 있다.

4. 檢討

4.1. 正常狀態의 간단한 모델 解析

폴리에틸렌의 高電界 電氣傳導는 吸收電流 測定 結果를 보면 空間電荷 制限電流가 지배적인 것을 알 수가 있는데 여기서 간단한 모델 解析을 하여 본다. 일반적으로 시료에 직류전압 V를 인가했을 때 흐르는 전류는

$$i(t) = e n_t(x) \mu E(x, t) + \epsilon \frac{\partial E(x, t)}{\partial t} \quad (1)$$

로 된다.

n_t(x): 자유전자밀도, μ: 이동도 (const. 라 가정)

그런데 正常狀態에서 準 熱平衡 狀態가 성립한다고 가정하면

$$\frac{\partial E(x, t)}{\partial t} = 0$$

$$\frac{\mu E(x)}{\tau_i} = \theta = \frac{\tau}{\tau_i} \quad (2)$$

n_t(x): 트랩 電子密度

τ_i: 트랩 電子의 緩和時間

따라서 식(1)은

$$i = e \mu \theta n_t(x) E(x) \quad (3)$$

poisson 전계가 트랩전자에 의해서 형성된다면 식(3)은 다음과 같이 변환된다.

$$i = a E(x) \frac{dE(x)}{dx} \quad (4)$$

식(4)는 變數分離形의 微分方程式이고 境界條件 X=0에서 E(x)=E₀, X=d에서 E(x)=E_d를 대입하면,

$$i = \frac{a}{2d} (E_d^2 - E_0^2) \text{ 이고}$$

$$\alpha 1d = E_d^2 - E_0^2 \quad (5)$$

로 된다. 단 α=2/εμθ로 온도 정수이다.

식(5)은 兩電極 電界 E₀, E_d가 결정되면 전류 i가 결정된다. 일반적으로 空間電荷 制限電流 解釋에서는 注入電極側의 전계는 E₀=0로 취급하지만 본 실험에서는 이와 같은 가정은 성립되지 않는다. 이 점이 본 연구의 해석의 차이이다.

E(x)와 n_t(x)는 兩電極 電界 E₀, E_d의 함수로 표시되므로

$$E(x) = \sqrt{(E_d^2 - E_0^2) \frac{d}{x} + E_0^2}$$

$$n_t(x) = \frac{c}{2ed} \frac{E_d^2 - E_0^2}{\sqrt{(E_d^2 - E_0^2) \frac{d}{x} + E_0^2}} \quad (6)$$

로 된다. 즉 E(x)는 위치 X에 대해서 X^{1/2}로 되고 n_t(x)는 1/√x

로 된다. 또 X는

$$\frac{\int_0^d x n_t(x) dx}{\int_0^d n_t(x) dx} = \frac{1}{3} \cdot \frac{E_d + 2E_0 d}{E_d + E_0}$$

$$= \frac{1}{3} \cdot \frac{m+2}{m+1} d \quad (7)$$

$$\text{단, } m = \frac{E_d}{E_0}$$

로 표시되어 X는 d/2에서 d/3까지만 변화하게 된다. 또 인가전압 V는

$$V = \int_0^d E(x) dx = \frac{2}{3} \cdot \frac{E_d^2 + E_d E_0 + E_0^2}{E_d + E_0} d \quad (8)$$

이다.

4.2. E₀, E_d와 V_b 依存性

注入電極面 電界 E₀와 對向 電極面 電界 E_d는 규격화하면

$$[E_0] = \frac{3}{2} \frac{(m+1)}{m^2+m+1}$$

$$[E_d] = \frac{3}{2} \frac{m(m+1)}{m^2+m+1}$$

로 된다. 이 이론식을 그래프로 표시하면 그림 10의 실선과 같이 된다.

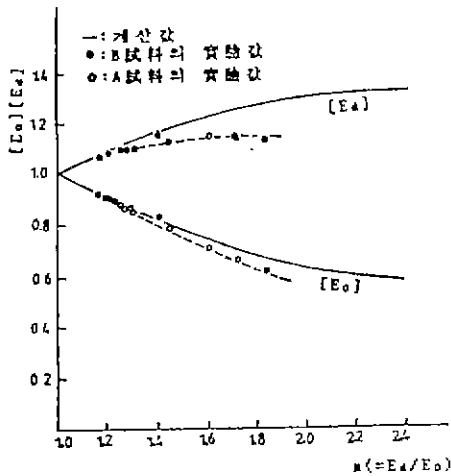


그림10. E₀, E_a에 대한 실험값과 계산값

4.3. 정상상태에서 $\mu\tau$ 값

식(5)에서 E₀, E_a 및 τ 를 알면 α 가 계산되고 $\alpha = 2\tau v / \epsilon_j \mu\tau$ 에서 $\mu\tau$ 값이 구해진다.

$$\mu\tau = 2\tau v / \epsilon\alpha$$

τ 는 100초 정도이고 TSSP 측정에 의한 兩電極電界 E₀, E_a의 吸收電流 測定에 의한 15분값 漏泄電流로 α 및 $\mu\tau$ 를 계산하면 시료 A는 V_b=2,000 (v)와 5,000(v)에서 1.88와 3.23x10⁻¹⁰ (cm²/v) 이고, 시료B는 V_b=1,000(v)와 3,000(v)에서 2.31과 4.63x10⁻¹⁰(cm²/v)이며, 이 값은 文獻에 비교해도 타당치라고 생각되며 空間電荷가 형성된 正常狀態때의 平均値이고 試料A에 V_b=4000(v)를 가했을때 電子가 트랩에서 해방되어 다음 트랩이 될때까지 走行 平均距離는 2~3(μ m) 정도인 것을 알 수 있다.

4.4. 平均 注入距離(\bar{x})와 V_b 특성

正常狀態의 모델 解析에 의하면 平均 注入距離와 두께 d의 비 \bar{x}/d 는 V_b에 대해서 최대로 변화

해도 0.333에서 0.500까지만 변화한다. 그러나 실제 試料A는 0.270~0.444까지 변화한다. V_b=4000 (v)때의 실험값과 이론값을 비교하면 실험에서는 $\bar{x}/d=0.343$ 에서 $m=E_a/E_0=1.610$ 인데 이론에서는 $\bar{x}/d=0.461$ 의 값으로 실제의 電荷分布가 이론보다 注入電極側에 집중 분포되어 있는 것을 알 수 있다. 이와 같이 차이가 있는 것은 이론에서는 poole-frenkel 效果를 고려하지 않았기 때문이다.

4.5. 平均 注入距離와 t_b 특성

실험결과를 試料 A, B의 平均 注入距離가 모두 t_b에 의존하지 않았으며 平均電界는 10⁸(v/cm)이고 注入電極에서의 실거리는 X=13(μ m)와 X=12 (μ m)로 양시료가 거의 같은 값이다.

平均 注入距離가 t_b에 의존하지 않는다는 것은 어느 장소(x)에서 t_b와 더불어 같은 率로 注入

電荷量이 증가하는 것이며 전극에서 주입된 電子가 서서히 내부에 침투해 가는 것을 알 수 있다. 이 사실은 $\mu\tau$ 값이 正常狀態에서의 값이고 空間電荷가 확립되어 있지 않는 非正常狀態에서는 $\mu\tau$ 값이 달라지는 것은 충분히 알 수 있다.

5. 結論

低密度 폴리에틸렌 필름을 사용하여 熱刺戟 表面電位를 측정하여 트랩電荷가 형성되는 空間電荷量을 구하는 방법을 고찰하고 바이어스 시간특성, 전압특성, 온도특성을 조사하여 얻은 결과의 妥當性을 확인하기 위하여 吸收電流를 측정하였다. 그결과 TSSP 측정법의 眞意性을 확인하였고 본 연구에서 얻어진 결과를 다음과 같이 요약하였다.

- (1) TSSP 측정에 의해서 電極界의 電界 E₀, E_a를 알 수 있었다.
- (2) TSC 측정으로 空間電荷量을 구할 수 있었지만 漏泄電流가 커지면 측정이 불가능한데 TSSP 측정에서는 그렇지 않았다.
- (3) 平均 注入距離는 바이어스 시간에 의존되지 않으며 바이어스 시간이 커질수록 空間電荷量도 증가하는데 그 分布는 注入電極側에 치우쳐 있다.
- (4) 空間電荷量은 바이어스 溫度에 강하게 의존하였다.
- (5) 吸收電流 測定에 의해서도 對向電極面 電界를 近似的으로 구할 수 있었다.

參考 文獻

- 1) S. Nakamura, G. Sawa and M. Ieda: "Electrical conduction of Nylon6 at High temperature", Ja. J. Appl. Phys., 20, 47(1981)
- 2) 金子, 日野: "可動イオンの中性化と再イオン化による直流通常傳導とその特性"(日)電氣學會誌, 101-A 117(1982)
- 3) 岩本, 日野: "溫度そう配熱刺戟測定法とトラップキャリア의 極性"(日)電氣學會誌, 106-A 193(1986)
- 4) 小林, 山下, 日野: "溫度分布表面電位による絶緣體內空間電荷電界의 測定法"第15回 電氣絶緣材料シンポジウム豫稿集, II-7, p79-82(1982)
- 5) 金子, 日野: (日)電氣學會誌, 97-A 339(1977)
- 6) H. A. Mar and J. G. Simmons: Phys. Rev. 13-11 775(1975)
- 7) R. A. Creswell & M. M. Perlman: J. Appl. Phys. 41, 2365(1970)
- 8) 福澤, 岩本: "TSSP法を用いた針-平板電極系における LDPE의 注入電荷特性의 解析"(日)電氣學會誌, 110-A 2, 135(1990)