

# Laser-유기압력 Pulse법에 의한 가교폴리에틸렌 중의 공간전하에 관한 연구

(부제: 고분자 절연재료의 전기적 성질에 관한 연구)

## Study of Space Charge in Crosslinked Polyethylene by Laser-Induced Pressure Pulse Technique

한 상 옥\*  
(Sang-Ok Han)

### 요 약

본 논문은 가교폴리에틸렌(XLPE) 중의 공간전하 분포를 직접 측정이 가능한 Laser-誘起壓力波法에 의하여 조사하였다.

그 결과 XLPE는 폴리에틸렌보다 전자주입이 쉽게 됨을 알았으며 그때의 시료내의 공간전하 분포를 측정할 수 있었다.

### ABSTRACT

In this paper, we investigated the space charge behavior in crosslinked polyethylene (XLPE) using the Laser-Induced Pressure-Pulse (LIPP) technique.

From experiment result, it can be suggested that electrons are easily injected into XLPE more than pure low-density polyethylenes.

Electrons and holes are injected into XLPE from a carbon-loaded semiconducting layer.

---

\* 충남대학교 전기공학과

## 1. 서 론

高分子 絶緣材料의 대전현상, 방전현상, 절연과피현상 및 열화현상등은 고분자 재료 내부에 축적된 空間電荷에 의한 전계의 變遷이 밀접한 관계가 있음이 종래부터 지적되고 있다.<sup>1-3)</sup>

그렇지만 지금까지 고분자 재료중의 空間電荷, 電界分布는 직접 측정하지 못하고 간접적이고 定性的인 測定에 그치고 있기 때문에 空間電荷의 상세한 거동을 파악할 수 없다. 따라서 점점 고도화하는 絶緣材料의 요구에 應하기 위해서는 이 空間電荷를 직접적이고 定量的으로 측정하여 그것이 재료의 電氣傳導, 絶緣破壞, 絶緣劣化현상 등에 미치는 영향을 밝히는 것은 대단히 중요하다.

공간전하의 측정법으로서 지금까지 연구되어지고 있는 것으로는 熱刺激電流(TSC)법, Kerr效果를 이용하는 법, 熱pulse法(TPC)<sup>4)</sup>, pluse靜電應力法등의 간접적인 방법이 이용되고 있으나 최근에는 공간전하분포를 가장 정확하게 직접 측정할 수 있는 壓力波法이 제시되고 있다.<sup>5-7)</sup>

본 연구에서는 고분자 재료중의 공간전하, 전계분포를 定量的, 非破壞的으로 직접 검출하는 Laser-誘起 壓力 pulse法(LIPP)을 이용하여 가교 폴리에틸렌중의 공간전하에 관하여 검토하였다.

## 2. LIPP法の 理論

본 연구에서 이용한 LIPP法은 Laser장치에서 발생된 pulse상의 壓力波를 시료표면에 照射시켜 압축영역이 시료내를 이동할때

전극에 유기되는 전하가 변화한다.<sup>8,9)</sup> 이때 전하의 변화에 의한 전류를 측정함으로써 시료중의 공간전하 분포를 알 수 있다.

지금 pluse(크기 P, 폭  $\tau$ )가 위치 X, 두께  $\Delta X$ 의 전하층을 통과하기 직전과 직후에 있어서 통과직전전극(I)에 유기되는 電荷의 밀도는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

직전:

$$\sigma_1^- = -\frac{(S-X)/\epsilon}{(S-C\tau)/\epsilon + (C\tau)'/\epsilon'}\rho(X)\Delta X \quad \dots (1)$$

직후:

$$\sigma_1^+ = -\frac{(S-X-C\tau)/\epsilon + (C\tau)'/\epsilon'}{(S-C\tau)/\epsilon + (C\tau)'/\epsilon'}\rho(X)\Delta X \quad \dots (2)$$

여기서

S: 시료의 두께

$\epsilon$ : 압축되고 있지 않은 부분의 비유전율

$(C\tau)'$ : 압축층의 두께

$\epsilon'$ : 압축층의 비유전율

$\rho(X)$ : 전하밀도

C: 압축층의 전파속도

압축층의 위치 X에 있는 폭  $\Delta X$ 의 전하층을 통과할때 변화하는 電極上에 유기되는 전하( $\Delta\sigma_1$ )은

$$\begin{aligned} \Delta\sigma_1 &= \Delta\sigma_1^+ - \Delta\sigma_1^- \\ &= \frac{C\tau/\epsilon - (C\tau)'/\epsilon'}{S/\epsilon - \{C\tau/\epsilon - (C\tau)'/\epsilon'\}}\rho(X)\Delta X \quad \dots (3) \end{aligned}$$

가 되고 여기서  $C\tau/\epsilon - (C\tau)'/\epsilon' < S/\epsilon$ 으로부터

$$\Delta\sigma_1 \approx \frac{C\tau/\epsilon - (C\tau)'/\epsilon'}{S/\epsilon} \rho(X)\Delta X$$

가 된다.

여기서  $(C\tau)' = C\tau(1 + \chi P)$ 를 사용하면

$\chi$ : 압축율

$$\begin{aligned} \Delta\sigma_1 &\equiv \frac{1/\epsilon - (1+\chi P)/\epsilon'}{S/\epsilon} \rho(X) \Delta X \\ &= \frac{C\tau\delta}{S/\epsilon} \rho(X) \Delta X \dots\dots\dots (4) \end{aligned}$$

여기서

$$\begin{aligned} \delta &= 1/\epsilon - (1+\chi P)/\epsilon' \\ \chi &= -\frac{(1+\mu)(1-2\mu)}{(1-\mu)r} \end{aligned}$$

단 r: 영률,  $\mu$ : 포아손비

로 한다.

전극상의 유기전하의 변화에 의하여 외부 회로에 흐르는 I(t)는

$$\begin{aligned} I(t) &= \frac{\Delta Q}{\Delta t} = A \frac{\Delta\sigma_1}{\Delta t} \quad (A \text{는 전극면적}) \\ &= \frac{AC\tau\delta}{S/\epsilon} \rho(X) \frac{\Delta X}{\Delta t} \\ &= \frac{AC^2\tau\delta}{S/\epsilon} \rho(X) \dots\dots\dots (5) \end{aligned}$$

가 된다.

따라서

$$\rho(X) = \frac{S/\epsilon}{AC^2\tau\delta} I(t)$$

전류파형이 그대로 전하분포에 비례함을 알 수 있다.

### 3. 실험방법 및 시료

#### 3-1. 실험장치

Pulse발생장치는 Laser(Quantel International製)를 사용하였으며 이때 Laser 光의 pulse 폭은 100ps이고 Energy는 150mJ를 사용하였다.

이때 얻어진 신호는 Amp(model 5812: picosecond pulse labs製)로 증폭하여 Oscil-

loscope(Tektronix製)에 입력하였다. 이 Oscilloscope상의 화면을 컴퓨터에 입력시켜 처리하였다.

장치의 개략도는 그림 1과 같다.

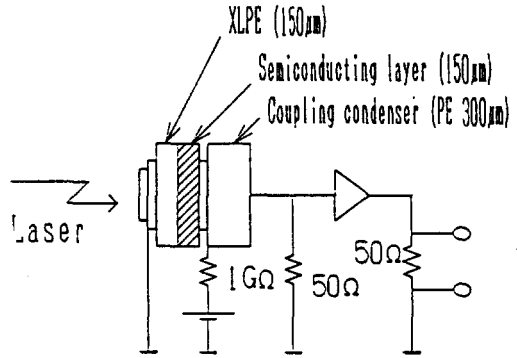


그림 1. 압력파 방법의 원리  
Fig.1. Principle of the Pressure pulse method.

표 1. 시 료

Table 1. Sample.

Sample	Thickness	Remark
1. XLPE	150µm	One Side is High-Resistance Semiconducting layer(150µm)
2. XLPE	150µm	One Side is Low-Resistance Semiconducting layer(150µm)

#### 3-2 시 료

측정에 사용한 시료는 가교 폴리에틸렌(XLPE, 古河電工製)의 필름으로 두께는 150µm

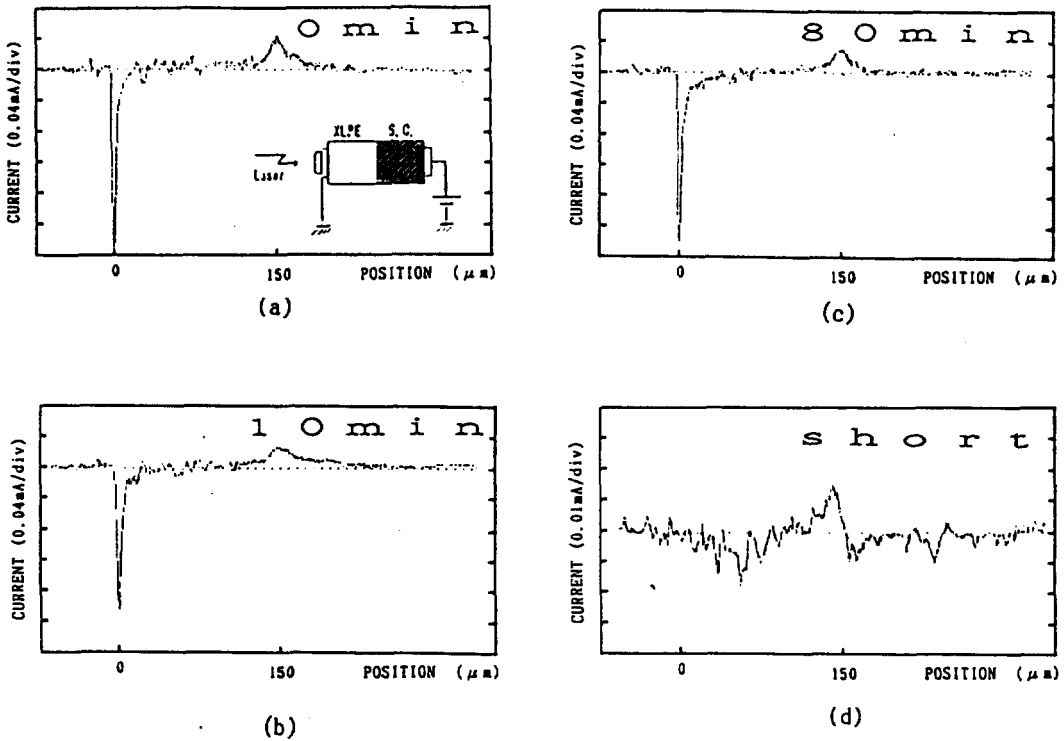


그림 2. 양극이 반도체층인 XLPE에서 LIPP 특성

Fig.2. LIPP responses from XLPE with a semiconducting layer as the anode (r.t. 0.8MV/cm).

- (a) Just after voltage application.
- (b) 10minutes later.
- (c) 80minutes later.
- (d) After shot-circuiting.

이다. 여기에 한면을 150 $\mu\text{m}$ 의 반도체층으로 형성시킨 총 두께 300 $\mu\text{m}$ 의 필름을 사용하였다. 표 1의 실험에 사용한 시료를 나타냈다.

전극은 XLPE면에 Au를 증착하고 그위에 Target용으로 Al을 증착하여 사용하였다.

실험은 실온과 60 $^{\circ}\text{C}$ 에서 인가전압과 극성을 변화시킬때 고분자 재료내부의 공간전

하 형상과 분포를 고찰하였다.

#### 4. 실험결과 및 검토

그림 2는 저저항 반도체층을 양극으로 하고 실온에서 0.8MV/cm의 전계를 인가했을 때를 나타낸 것이고 그림 3은 60 $^{\circ}\text{C}$ 에서 1.2MV/cm의 전계를 인가했을 때를 나타낸

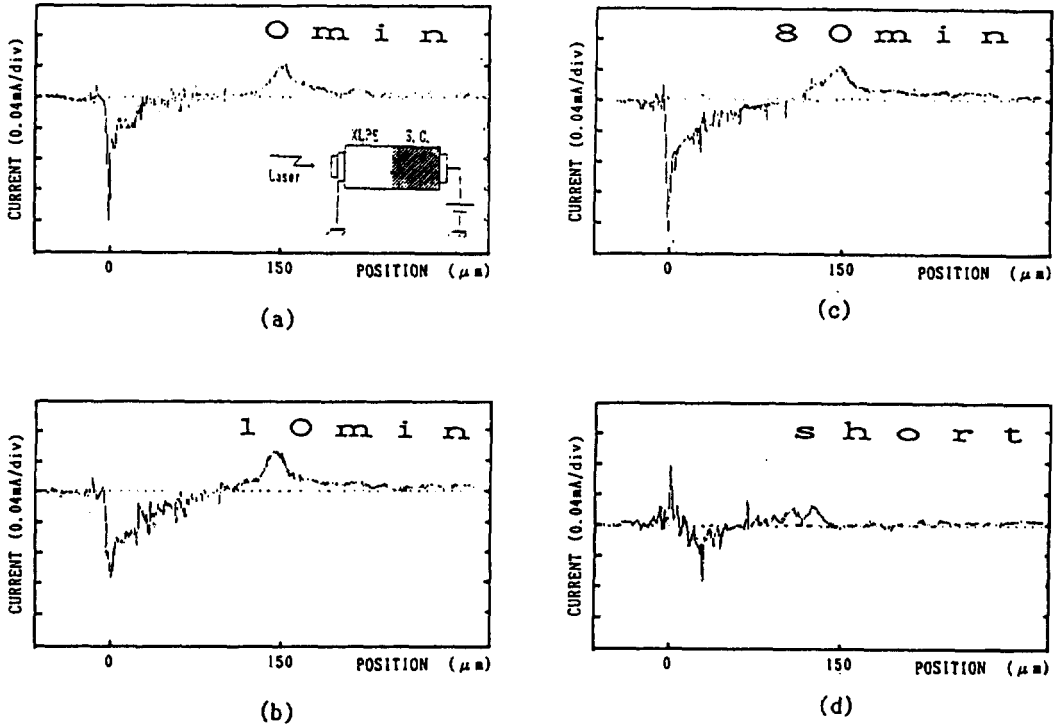


그림 3. 양극이 반도체층인 XLPE에서 LIPP 특성

Fig. 3. LIPP responses from XLPE with a semiconducting layer as the anode ( $60^\circ\text{C}$ ,  $1.2\text{ MV/cm}$ ).

- (a) Just after voltage application.
- (b) 10minutes later.
- (c) 80minutes later.
- (d) After shot-circuiting.

것이다.

전계인가 직후부터 양극부근에 공간전하가 관측되고 있다. 관측되는 공간전하량은 온도, 전계가 상승됨에 따라 증가되는 것을 알 수 있다. 이는 양극(반도체층)으로부터 hole의 주입이 잘되고 있으며 시간의 경과에 따라 벌크내부까지 확대하는 것을 알 수 있다.

반도체전층을 음극으로 한 경우도 같은 현상이 나타났으나, 전계인가 직후의 음극부근에 正의 헤테로 공간전하가 관측되었다. 이것은 전압인가 초기에 양극부근에 축적되어 있는 정 전하량이 음극으로부터의 전자의 주입보다 우세하기 때문이며 시간이 경과하면 음극에 공급되는 정전하가 감소하고 음극으로부터의 전자의 주입이 우세하게 된

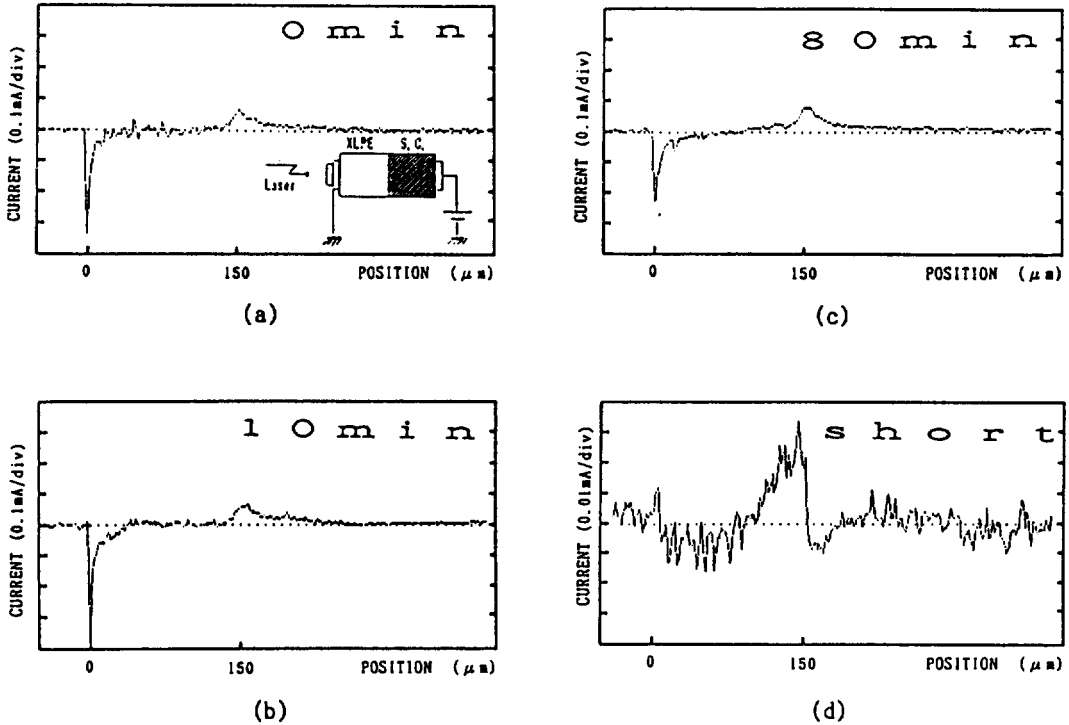


그림 4. 양극이 반도체층인 XLPE에서 LIPP 특성

Fig. 4. LIPP responses from XLPE with a semiconducting layer as the anode (r.t. 0.8MV/cm).

- (a) Just after voltage application.
- (b) 10minutes later.
- (c) 80minutes later.
- (d) After shot-circuiting.

다고 생각된다.

그림 4는 고저항 반도체층 전극을 양극으로 한 경우 실온에서 0.8MV/cm의 전계를 가했을 때 XLPE중의 공간 전하 분포이며 그림 5는 60°C에서 1.2MV/cm의 전계를 인가했을 때의 공간 전하 분포이다. 음극 전극 부근에 負의 호모 공간 전하가 관측되었다. 이것은 XLPE가 未酸化에서도 음극으로

부터 전자의 주입이 잘 일어나고 있음을 시사하고 있다.

특히 60°C 1.2MV/cm의 경우를 보면 시간의 경과에 따라 음극으로부터의 전자의 주입이 증가하고 양극으로부터의 hole의 주입이 증가하고 있음을 알 수 있다.

Short직후에도 역시 공간 전하가 존재함을 확인할 수 있었으며 이러한 결과들은 금

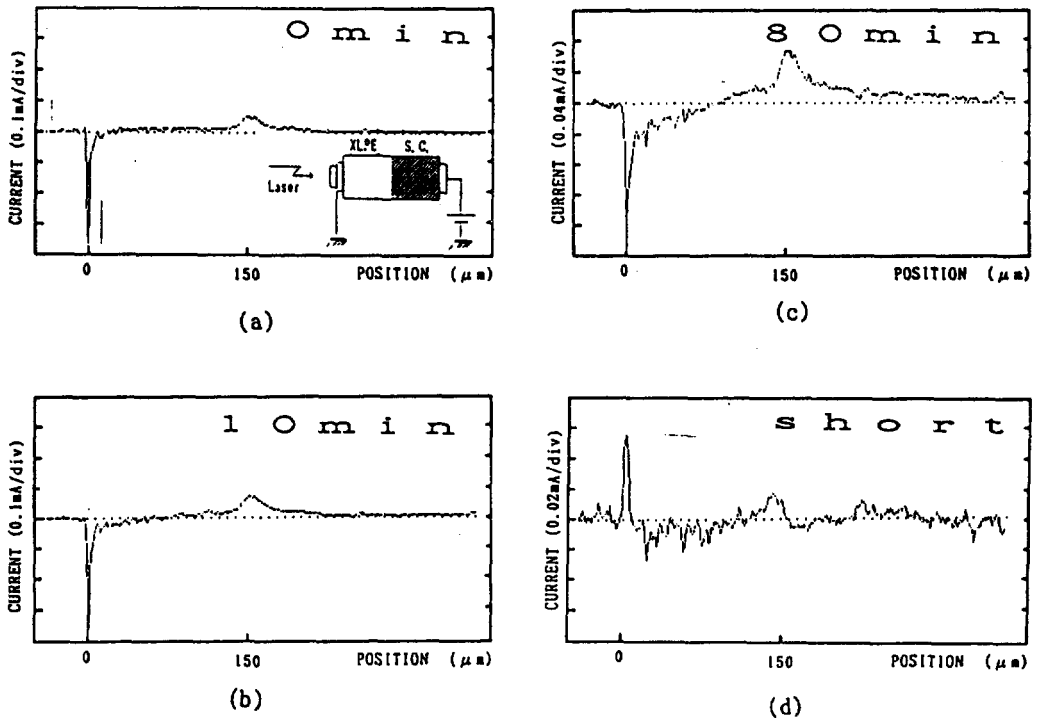


그림 5. 양극이 반도체층인 XLPE에서 LIPP 특성

Fig. 5. LIPP responses from XLPE with a semiconducting layer as the anode (60°C, 1.2 MV/cm).

- (a) Just after voltage application.
- (b) 10minutes later.
- (c) 80minutes later.
- (d) After shot-circuiting.

속전극으로부터는 전자의 주입이 일어나고 반도체층으로부터 XLPE중에는 전자와 hole이 용이하게 주입되고 있다는 사실을 알 수 있었다.

그림 6은 반도체층을 음극으로 한 XLPE (150μm)의 음극부근의 공간 전하량의 시간에 대한 변화이다. 이때 조건은 60°C에서 0.8MV/cm의 전계를 인가했으며 계산치는

모두 각각의 파형으로부터 같은 온도의 전압인가 직후의 파형을 뺀 파형을 가지고 컴퓨터로 계산하였다.

결과를 보면 음극의 호모공간의 전하는 시간에 따라 증가하고 있다. 그림 7은 공간 전하의 중심위치를 나타낸 것으로 음극으로부터 대략 50μm정도가 되는 것을 알 수 있었다. 이 또한 음극(반도체층)으로부터의

전자의 주입이 강하게 일어나기 때문이라고 생각되어진다.

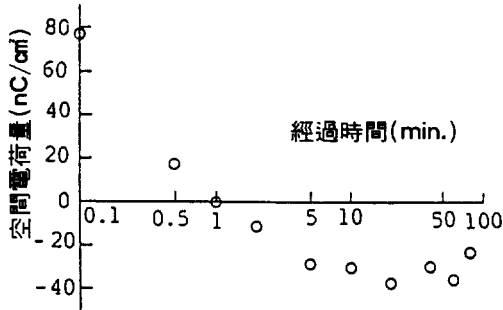


그림 6. 공간전하의 양  
Fig.6. The amount of the space charge.

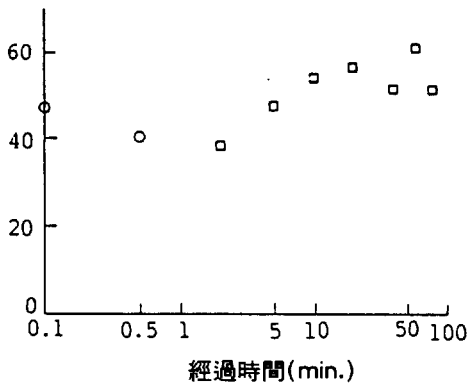


그림 7. 공간전하의 위치  
Fig.7. Aposition of the space charge.  
陰極으로부터의 距離

## 5. 결 론

LIPP 법을 이용하여 XLPE 중의 전하의 형성 및 분포에 미치는 반도체층의 영향을 조사해본 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수

있었다.

- 1) 반도체층을 양극으로 한 경우는 양극(반도체층)부근에서 정전하가 형성되고 음극부근에 부전하가 형성되고 있다. 반도체층을 음극으로 한 경우는 음극(반도체층)부근에 부전하가 형성되었다.
- 2) 금속 전극으로부터 XLPE 중에 전자가 주입되고 반도체층으로부터는 전자와 hole이 주입되었다.
- 3) 고온, 고전계에서 공간 전하량이 증가하지 않는 것은 캐리어의 이동과 공간전하가 동시에 증가하고 있을 가능성 때문이다.

본 논문은 고분자 재료의 전기적 성질에 관한 연구를 名古屋大學 水谷研究室에서 공동 연구한 결과이다. 이 연구에 협조를 아끼지 않으신 水谷照吉 교수님께 감사드립니다.

## 참 고 문 헌

- 1) A. Bradwell et.al.: *Proc. IEEE*, **118**, 247, (1987).
- 2) M. Nawata et.al.: *IEEE. Trans. Electr. Insul.*, **12**, 19, (1987).
- 3) Y. Suzucki et.al.: *J. A. P.*, **20**, 1053, (1987).
- 4) M. Ieda, T. Mizutani, Y. Suzucki and Yokoda; *IEEE*, **25**, (3), 507~514, (1990).
- 5) G. M. Dessler, J. E. West and R. Gerhard: *polym, bull*, **6**, 109~111, (1981).
- 6) Gerhard. M. Sessler, James. E. West, Reimund. Gerhard-Multhaupt; *IEEE*, **NS-29**, (6), 1644~1649, (1982).
- 7) C. Alquie, J. Lewiner and Dreytus; *J. P-*

- hys. Letters.* 44, L171~L178,(1983).
- 8) 韓相玉, 水谷照吉 等, 第23回電氣絶緣材料シンポジウム豫稿集, 109,(1990).
- 9) 韓相玉 等, 電氣學會東海支部連合大會論文集, 215,(1990).
- (1990년 10월20일 접수)