

## 점근 해법에 의한 PVDF 필름의 열자격 전류의 수치 해석

Numerical Analysis of TSC of Polyvinylidene Flouride Film by Asymptotic Estimation

김기준\* 이준웅\*\*  
(Ki-Joon Kim, Joon-Ung Lee)

### 요 약

본 논문에서는 열자격 전류 기법을 이용하여 폴리비닐덴 후로라이드 필름에 대한 하전 입자의 거동 상황을 살펴보았는데, 결과로  $\beta_2, \beta_1, \alpha$ , 그리고  $\alpha'$ 의 4개의 피크가  $-35(^{\circ}\text{C})$ ,  $-10(^{\circ}\text{C})$ ,  $60(^{\circ}\text{C})$ , 그리고  $85(^{\circ}\text{C})$  부근의 온도에서 관측되었다. 처음  $\beta_2$  피크와  $\beta_1$  피크에서의 온도는 항상 일정 하였고  $\alpha$  피크와  $\alpha'$  피크는 형성온도에 의존 하였다.  $\beta_2$  피크와  $\beta_1$  피크의 기원은 쌍극자의 기여로,  $\alpha$  피크는 결정질 영역의 얇게 트랩된 하전 입자의 탈트랩으로, 그리고  $\alpha'$  피크는 형성온도에 따라 발생하는 Langmuirian Model과 Henry Model에 의하여 나타났다. 이러한 해석을 위해 분리된 단일 완화곡선에 점근해법에 의한 수치해석 기법을 적용함으로써 사용시료의 제정수에 대한 계산을 보다 정확하게 구할수 있으며, 특히 적분항에 대한 계산오차가 감소함을 확인하였다.

### Abstract

This paper presents the results of an investigation on the behavior of carriers for Polyvinylidene Flouride(PVDF) film using the Thermally Stimulated Current (TSC) technique. Four distinguishing peaks of  $\beta_2, \beta_1, \alpha$  and  $\alpha'$  were observed at temperature approximately  $-35(^{\circ}\text{C})$ ,  $-10(^{\circ}\text{C})$ ,  $60(^{\circ}\text{C})$ , and  $85(^{\circ}\text{C})$ . The temperature at which the first ( $\beta_2$ ) and second ( $\beta_1$ ) peaks appeared always constant and  $\alpha$  and  $\alpha'$  peaks depend on the forming field. The origins of  $\beta_2$  and  $\beta_1$  peaks are believed to show up by virtue of the dipole. The  $\alpha$  peak seems to turn up by detrapping of the charged particles which are trapped in the shallow traps in the crystal regions. Finally, the  $\alpha'$  peak dependent upon forming temperature can be explained by the Langmuirian and Henry model. As a result of applying the asymptotic numerical analysis to the divided single relaxation peak, we could calculate the physical factors of the specimen, more accurately.

\*한국원자력연구소 원격장치기술실

\*\*광운대학교 전기공학과 교수

1. 서론

불소계 수지인 Polyvinylidene Flouride (PVDF) 필름은 전기적 성질인 초전성과 압전성 및 기계적 특성이 우수하여 절연 재료, 콘덴서용 유전 재료 및 각종 센서 재료로 많이 이용되고 있다. 이 PVDF 필름의 유전 및 절연 특성에 관하여는 여러 연구자들에 의해 연구되어졌으나<sup>(1-6)</sup> 연구 결과는 서로 다르게 보고되고 있다. 특히 열자격 전류 방법에서는, 시료내의 하전 입자의 거동, 즉 활성화 에너지, 유전완화 시간, 그리고 호핑 거리 등을 규명하고 있다. 이때 대개의 경우 활성화 에너지는 열자격 전류 기본식의 적분항을 무시하고 제 1항만을 이용한 초기 상승법으로 계산하기 때문에 그 정확성이 결여될 수 있다<sup>(7-8)</sup> 따라서 본 연구에서는 PVDF 필름으로 부터 관측된 복합 TSC 피크를 Thermal Cleaning 법으로 분리된 단일 완화 피크에 점근 해법(Asymptotic Estimation Method)으로 수치 해석하여 사용 시료의 제정수를 정확하게 계산할 수 있게 시도하였는데 그 결과를 소개 한다.

2. 점근 해법에 의한 알고리즘<sup>(9-11)</sup>

열자격 전류 곡선이 하나의 독립된 단일 완화 특성으로 나타날 경우에 각각의 이론 및 알고리즘을 적용할 수 있지만 실제로는 대부분이 복합 완화 특성으로 나타나기 때문에 피크 온도값의 정확한 값이 중첩되는 경우가 많다. Thermal Cleaning 법은 TSC 피크가 복합 완화 특성을 독립된 단일 완화 형태로 분해하는 방법인데, 이 방법으로 분리된 단일 완화 특성의 열자격 전류값에 점근 해법을 적용함으로써 각각의 물리적 제정수를 보다 정확하게 구할 수 있다. Slow Retrapping 하에서 일정한 온도 상승 비율을 가진 TSC의 식은

$$I_m = I_0 \exp \left[ - \frac{E_a}{kT} - \frac{\nu}{\beta} \int_{T_0}^T \exp \left( - \frac{E_a}{kT'} \right) dT' \right] \quad (1)$$

된다. 여기서  $k$ 는 볼츠만 상수,  $\nu$ 는 이탈 주파수 인자,  $E_a$ 는 활성화 에너지, 그리고  $\beta$ 는 승온 속도이다.

지금 그림 1과 같이 단일 완화 곡선으로 분리된 열자격 전류 곡선에서 임의의 온도( $T_i$ )의 전류값인  $I(T_i)$ 와 피크 온도( $T_p$ )에서의 전류  $I(T_p)$ 의 비(Ratio<sub>i</sub>)는

$$\text{Ratio}_i = \frac{I_m}{I(T_i)} = \exp \left( - \frac{E_a}{k} \left( \frac{1}{T_i} - \frac{1}{T_p} \right) \right) + \exp \left( \frac{\nu}{\beta} \int_{T_i}^{T_p} \exp \left( - \frac{E_a}{kT} \right) dT \right) \quad (2)$$

되며, 양변에  $\ln$ 을 취하여 정리하면,

$$\ln(\text{Ratio}_i) = - \frac{E_a}{k} \left( \frac{1}{T_i} - \frac{1}{T_p} \right) + \frac{\nu}{\beta} \int_{T_i}^{T_p} \exp \left( - \frac{E_a}{kT} \right) dT \quad (3)$$

얻을 수 있다. 그런데 점근 해법을 적용하기 위하여  $x = E_a / (kT)$ 라 놓으면, 이와 같은 방법으로  $x_p = \{E_a / (kT_p)\}$ ,  $x_i = \{E_a / (kT_i)\}$ 로 나타낼 수 있으며, 여기서  $dx = -(E_a/k) (1/T)^2 dt$  및  $dT = -(k/E_a) T^2 dx$ 를 (3)식에 대입하면

$$\int_{T_i}^{T_p} \exp(-x) \left( - \frac{kT^2}{E_a} \right) dx = \left( - \frac{E_a}{k} \right) \int_{x_i}^{x_p} \exp(-x) \left( \frac{1}{x} \right) dx \quad (4)$$

되며, 이 식을 다시 부분 적분하여 정리하면

$$\left( \frac{E_a}{k} \right) \left[ \left( \frac{\exp(-x_p)}{x_p} - \frac{\exp(-x_i)}{x_i} \right) + \int_{x_i}^{x_p} \frac{\exp(-x)}{x} dx - \int_{x_p}^{\infty} \frac{\exp(-x)}{x} dx \right] \quad (5)$$

된다. 여기서  $x_i - x_p = D = E_a / k (1/T_i - 1/T_p)$ 라 놓고 (5)식을 정리하면 다음식과 같이 된다.

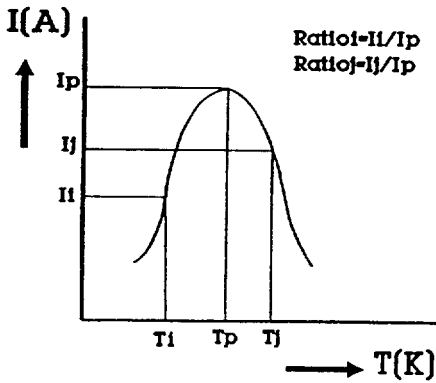


그림 1. 점근 해법을 위한 단일 완화 곡선  
Fig. 1 Single Relaxation peak for

Asymptotic Estimation

$$E_s = D \frac{kT_p I_i}{I_p - I_i} \text{ [eV]} \quad (9)$$

에 대입하여 보다 정확한 활성화 에너지를 구할 수 있다. 이와 같이 Ratio<sub>1</sub>는 TSC 피크의 시작점으로 부터 피크 온도 까지의 활성화 에너지를 측정할 수 있으며 (이 방법을 상승법이라 한다.), 피크온도로부터 곡선이 끝나는 부분까지의 활성화 에너지도 상승법과 같은 방법으로 구할 수 있다. (이 방법을 하강법이라 한다.) 이 수치 해석을 위한 점근 해법 알고리즘의 블록 선도는 그림 2와 같다.

3. 사용 시료 및 실험 방법

3-1. 사용 시료

측정에 사용된 시료는 KUREHA Chemical사 제인 두께 50(μm)인 2축 연신된 PVDF 필름으로서 그 단량체는 -(CH<sub>2</sub>-CF<sub>2</sub>)<sub>n</sub>-이며, 일반적인 물성은 표 1과 같다. PVDF는 결정성이 매우 높은 중합물로서 기계적 성질이 우수하고 불소수지 특유의 물리 화학적 특성을 가지고 있다. 일반적으로 PVDF의 결정구조는 그림 3에서와 같이 α형과 β형인 두가지 구조로 알려져 있는데<sup>10)</sup>, α형 결정 구조는 단사 정계로 분자쇄는 TGTT<sup>-</sup>의 형태를 하고 있으며 단위 세포당 분자쇄의 쌍극자 모멘트가 서

$$\ln(1/\text{Ratio}_1) + D = \frac{\nu E_s}{\beta k} \left[ \left\{ \frac{\exp(-x_p)}{x_p} - \frac{\exp(-x_i)}{x_i} \right\} + \exp(-x_i) \right]$$

$$\left( \frac{1}{x_i} - \frac{1}{x_i^2} + \frac{2}{x_i^3} - \frac{6}{x_i^4} \right) - \exp(-x_p) \left( \frac{1}{x_p} - \frac{1}{x_p^2} + \frac{2}{x_p^3} - \frac{6}{x_p^4} \right) \quad (6)$$

(4) 식의 적분항에서  $\nu/\beta E_s / (kx_p^2) \exp(-x_p)$ 의 최대값은 점근 해법에 의하여 1이 되기 때문에  $\nu/\beta E_s / k = x_p^2 \exp(-x_p)$ 로 되므로 이것을 (6) 식에 대입하면

$$\ln(1/\text{Ratio}_1) + D = \left\{ 1 - \left( \frac{x_p}{x_i} \right)^2 \exp(-x_i + x_p) \right\} - 2 / (x_i - x_p)$$

$$\left\{ \frac{(x_i - x_p)}{x_p} - \frac{(x_i - x_p)}{x_i} - \left( \frac{x_p}{x_i} \right)^2 \exp(-x_i + x_p) \right\} + \frac{6}{(x_i - x_p)^2}$$

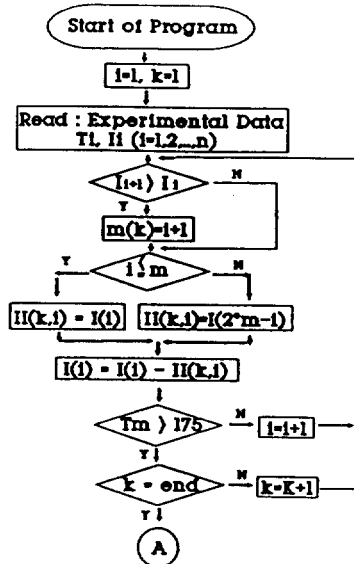
$$\left\{ \frac{(x_i - x_p)^2}{x_p^2} - \frac{(x_i - x_p)^2}{x_i^2} \left( \frac{x_p}{x_i} \right)^2 \exp(-x_i + x_p) \right\} \quad (7)$$

된다. 결국 이 식으로부터 계수 D는

$$D = -\ln \left( \frac{1}{\text{Ratio}_1} \right) + \left\{ 1 - \left( \frac{T_i}{T_p} \right)^2 \exp(-D) \right\} - \frac{2}{D} \left( \frac{T_p - T_i}{T_i} \right)$$

$$\left\{ 1 - \left( \frac{T_i}{T_p} \right)^2 \exp(-D) \right\} + \frac{6}{D^2} \left( \frac{T_p - T_i}{T_i} \right)^2 \left\{ 1 - \left( \frac{T_i}{T_p} \right)^4 \exp(-D) \right\} \quad (8)$$

로 되며, 상식의 D<sub>i</sub> 값을 임의로 설정하여 양변의 D<sub>i</sub> 값의 상대 오차가 10<sup>-5</sup>보다 작은 값이 나올때 까지 반복하여 값을 수정 하므로서 한 D 값을



점근 해법에 의한 PVDF 필름의 열자격 전류의 수치해석

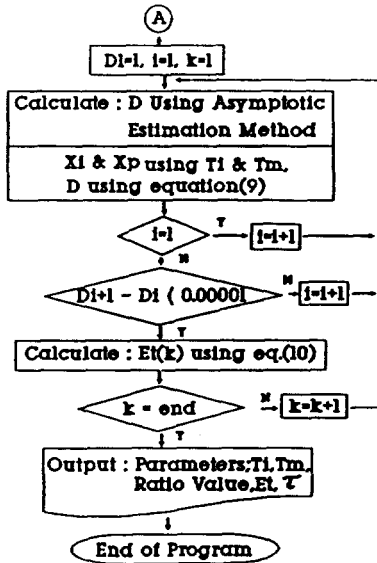
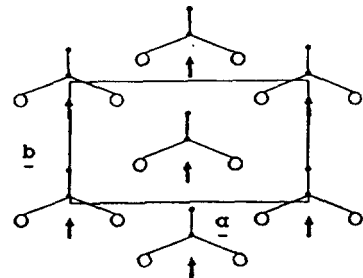
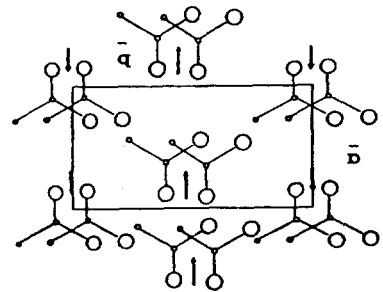


그림 2. 점근 해법의 적용을 위한 블록 선도  
Fig. 2 Block Diagram for the application of Asymptotic Estimation



b) β형

그림 3. PVDF의 결정 구조  
Fig. 3 Crystal structure of PVDF

표 1. PVDF의 주요 물성  
Table 1. Physical properties of PVDF film.

Properties	Value	Unit
Melting Point	175	°C
Density	1.78	g/cm <sup>3</sup>
Elongation	100-450	%
Crystalline	51-70	%
Glass Transition Temp.	-35	°C

로 역평형한 상태로 되어 있는 무극성 결정이다. β형은 사방 정계로 분자쇄는 지그재그형인 TTTT의 형태를 하고 있으며, 분자쇄의 쌍극자 모멘트가 b축으로 평형하게 동일 방향을 하고 있는 극성 결정이다. 이들 두 결정에 따라 전기적 성질은 매우 다르기 때문에 결정형태를 파악하기 위해서 적외선 흡수를 조사하여 본 결과 그림 4와 같이 파수 530 [cm<sup>-1</sup>]에서 흡수 스펙트럼이 나타났는데, 이로부터 α형 결정 구조로 되어 있음을 확인하였다.

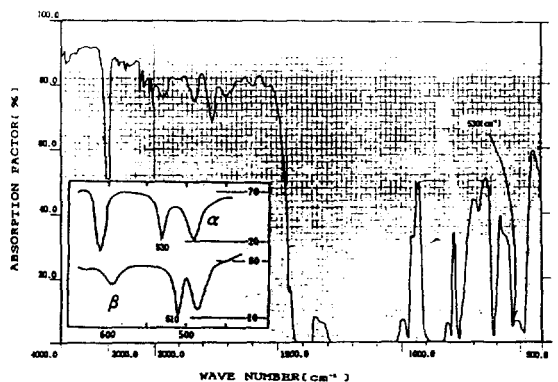


그림 4. PVDF 필름의 적외선 흡수 스펙트럼  
Fig. 4 I.R. Spectrum of PVDF film

3.2 실험 방법

본 실험에 사용된 실험 장치는 항온조 (Toyo Seiki사) 온도 조절 장치 (Toyo Seiki사, UTPP-137-340) 및 직류 전압 발생 장치 (Peschel Instrument Model H50, USA)였으며,

이들을 그림 5와 같이 연결하여 측정하였다. TSC장치를 이용하여 형성 온도 40[°C]에서 145[°C]까지 일정하게 유지하면서 형성 전계 1(MV/m)~10(MV/m)를 1분에서 480분동안 변화시켜 인가하면서-100[°C]까지 급냉한 일렉트렛트로부터 5[°C/min]로 승온시키면서 열자격 전류를 측정하였다.

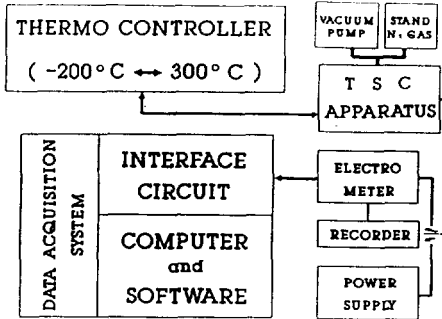


그림 5. TSC 실험 장치  
Fig. 5 TSC Apparatus

#### 4. 실험 결과 및 검토

##### 4.1 형성 전계 의존성

그림 6은 PVDF필름을 형성온도 60[°C]에서 형성전계 1x10<sup>6</sup>-1x10<sup>7</sup>[V/m]로 변화시켜 형성한 일렉트렛트를 승온속도 5[°C/min]로 승온시켜 얻은 형성 전계 의존 열자격 전류 스펙트럼이다. 여기서 얻은 열자격 전류 곡선은 -35[°C]에서 β<sub>2</sub> 피크와 -10[°C]근처에서 β<sub>1</sub> 피크를 각각 얻었으며, 전계 2x10<sup>6</sup>(V/m) 이하의 영역에서는 60[°C]와 85[°C]근처에서 α 피크와 α' 피크를, 4x10<sup>6</sup>(V/m) 이상의 영역에서는 67[°C]와 70[°C]사이에서 α 피크를 각각 얻었다. 또한 α 피크는 2x10<sup>6</sup>(V/m) 이하의 전계에서는 60[°C]로 일정함을 알 수 있으나, 그 이상의 전계 영역에서 최대온도(T<sub>m</sub>)는 67[°C]에서 70[°C]로 형성 전계에 따라 고온측으로 이동함을 알 수 있다.

그림 7은 그림 6에서 얻은 형성전계와 최대 전류값에 대한 상관 곡선으로 β<sub>2</sub>, β<sub>1</sub> 피크는 전계의 증가와 더불어 피크 전류가 직선적으로 증가하고 있는데 이와 같은 현상은 쌍극자에 의한 기여로 생각할 수 있으며, 이 사실은 쌍극자에 의해 나타나는 TSC는 형성 전계에 비례하는 다음식과 잘 일치하고 있다.

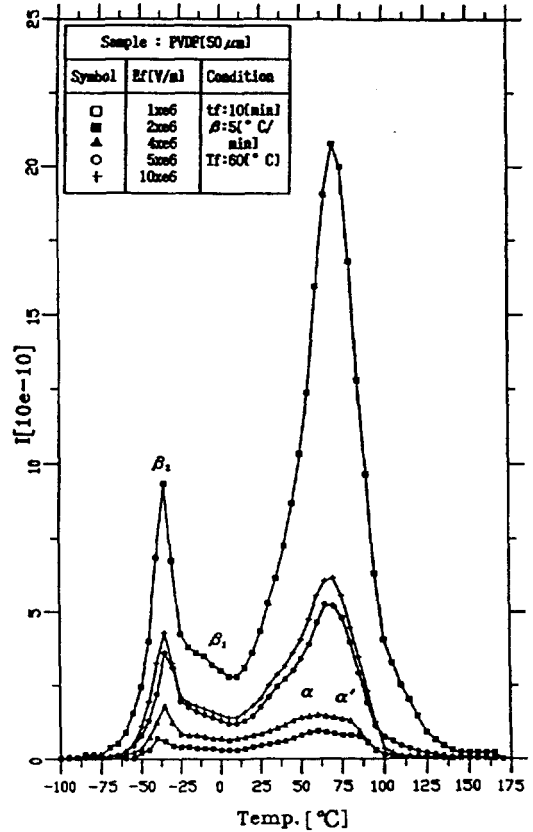


그림 6. 형성 전계에 따른 TSC 곡선  
Fig. 6 TSC Spectra due to forming field

$$TSC \propto Nd \mu_s^2 E_f / 3kT_s \propto E_f \quad (10)$$

한편 α 피크는 그림 6에서 볼 수 있는 바와같이 쌍극자에 의한 기여로 볼 수 없는데 현상은 온도 의존성에서 고찰하기로 한다. 하전 입자의 거동을 규명하기 위하여 여러가지 기법을 적용할 수 있으나, 여기서 표2는 점근해법을 이용하여 각 피크에서의 최대 온도와 전류비의 값, 활성화 에너지, 그리고 유전 완화 시간의 값을 나타냈는데, 초기 상승법에 의한 활성화 에너지와 비교하여 보면 β<sub>2</sub> 피크와 β<sub>1</sub> 피크에서는 최대 오차가 각각 15% 정도이었고, α 피크에서는 최대 13%의 오차가 있음을 확인 하였다. 이유는 초기 상승법은 적분항을 0으로 가정하여 활성화에너지만을 계산한 것이고 점근해법에 의한 활성화에너지 계산은 적분항도 포함하여 계산 함으로서 임의의 온도에서 부터 피크 온도 까지

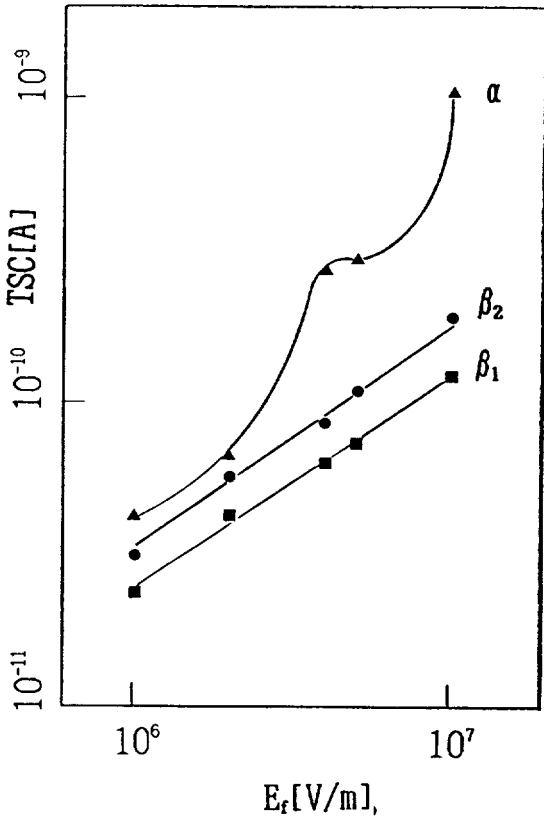


그림 7. 형성 전계에 대한 최대 전류값  
Fig. 7 Maximum Current of forming field

의 변화율과 계수 D값의 상대 오차가  $10^{-5}$ 이 될때 까지 반복하여 계산하므로써 오차가 현저히 줄어들음을 알 수 있었다. 표 2의 각 피크에 대한 활성화 에너지를 얻기위한 D의 값은 식 (9)로부터 0.867을 얻었다.

표 2. 형성 전계에 대한 각피크에서의 활성화 에너지와 유전 완화 시간

피크	형성전계 (kV/m)	T <sub>i</sub> (K)	T <sub>p</sub> (K)	i <sub>i</sub> /I <sub>m</sub>	점진적비 E (eV)	τ [sec]	에너지상승비 E (eV)
β'	1	228.5	237.5	0.4167	0.366	159	0.390
	2	230.5	238.1	0.6213	0.355	165	0.400
	4	230.5	238	0.4234	0.293	199	0.331
	5	230.5	238	0.6745	0.365	164	0.410
	10	230.5	238	0.5735	0.350	167	0.392
β <sub>1</sub>	1	253	274.1	0.8333	0.210	367	0.240
	2	250.1	273	0.5593	0.193	399	0.221
	4	262.9	273.2	0.3887	0.225	343	0.248
	5	254.5	273	0.4067	0.262	294	0.290
	10	265.4	274	0.3913	0.289	269	0.250
α	1	307.5	333	0.6667	0.665	172	0.640
	2	305.5	333.1	0.5892	0.734	156	0.719
	4	320.5	338	0.4356	0.730	162	0.690
	5	312.8	338	0.5012	0.787	150	0.760
	10	324	343	0.6051	1.140	107	0.960

#### 4.2 형성 온도 의존성

그림 8은  $1 \times 10^6$  (V/m)의 전계를 10분동안 인가하여 형성한 엘렉트레트를 형성 온도 40(°C)에서 145(°C)로 변화시켜 얻은 열자극 스펙트럼으로서, β<sub>2</sub>와 β<sub>1</sub> 피크의 최대값은 형성 온도에 관계없이 거의 일정하며, 이러한 β피크는 T<sub>g</sub>이하에서 동결되었던 쌍극자가 형성 온도의 상승으로 인하여 활성화되어 β 피크에 기여하고 있는 것으로 판단된다. 또한 G. T. Davis<sup>(12)</sup> 등의 이론에 의하면 PVDF 시료에 형성조건의 변화에 의하여 결정구조의 변화가 일어난다고 보고하고 있는데 이에 따라 β<sub>2</sub>피크는 CF<sub>2</sub>기의 쌍극자에 의하여 나타나는 것으로 생각되고 이 경우 수치 해석에 의해 얻어진 쌍극자 모멘트는 1.76(debye)로 보고된 CF기의 쌍극자 모멘트와 잘 일치한다<sup>(13)</sup>. 또한, 형성 온도의 증가로 인하여 제작 과정에서 첨가되는 각종 불순물에 의한 이온이 β<sub>1</sub>피크에 기여하는 것으로 사료된다. 한편 80(°C)이하에서 나타나는 α피크와 α' 피크는 형성 온도에 크게 의존하고 있음을 알 수 있으며, 형성 온도의 증가에 따라 최대 전류값은 120(°C)까지는 증가하나 그 이상의 온도에서는 다시 감소하고 피크 온도는 증가함을 알 수 있다. 형성 온도 40(°C)이하에서는 α피크만이 관측되었는데 이는 비정질 영역에 얽게 트랩된 하전 입자들의 탈트랩으로 인하여 나타나는 것으로 사료된다. 형성 온도 60(°C)이상에서는 두개의 피크가 관측되었는데 이 경우 처음에 나타나는 α피크는 40(°C)이하에서 나타나는 α피크와 같이 생각 할 수 있다. 고온측에서 나타나는 두번째 피크인 α' 피크는 Langmuir Model<sup>(14)</sup>에 따른 시료내에 결정질 영역에 얽게 트랩된 하전 입자와 보이드내에 포함된 소량의 습기 영향이 복합되어 비교적 낮은 온도인 60(°C)나 80(°C)부근에서 α' 피크가 나타나는 것으로 사료된다. 또 형성 온도 120(°C)이상인 경우에는 두개의 피크가 관측되었는데, 첫번째 피크는 40(°C)이하에서 관측된 α 피크와 같은 원인으로 나타나는 것으로 생각되나 비교적 고온에서 나타나는 두번째 피크는 Henry Model에<sup>(14)</sup> 따른 결정질 부분의 용융으로 인하여 깊게 트랩된 하전 입자의 탈트랩과 내부로 침투된 습기의 영향이 복합되어 온도 상승으로 인하여 α' 피크가 나타나는 것으로 생각된다.

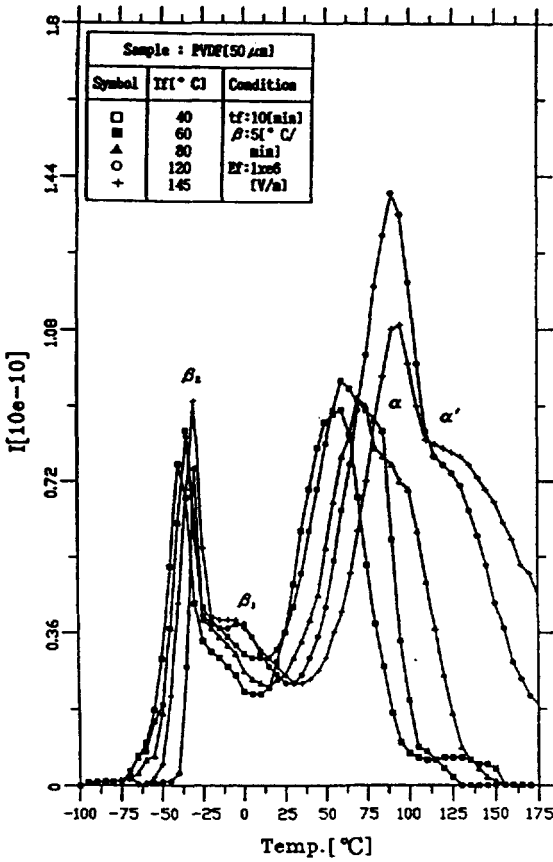


그림 8. 형성 온도에 따른 TSC  
Fig. 8 TSC Spectra due to forming temperature

### 4.3 형성 시간 의존성

그림 9는 형성 전계  $1 \times 10^6$  (V/m), 형성 온도  $60^\circ\text{C}$ 에서 형성 시간 10(min)-480(min) 동안 인가하여 관측한 열자격 스펙트럼이다.  $\beta_2$  피크와  $\beta_1$  피크의 최대 온도와 열자격 전류의 값은 거의 일정하나  $\alpha$  및  $\alpha'$  피크는 시간에 크게 의존하고 있으며, 형성시간을 30분 이하로 인가하면 피크 온도는 고온측으로 이동하지만 전하량은 거의 비슷하며 형성시간을 30(min)-240(min) 인가하면 피크 온도는 형성시간에 의존하지 않고 거의 일정함을 알 수 있다. 또 열자격 전류값은 형성 시간에 비례하여 증가하고 형성 시간을 480(min)으로 더욱 크게하면 열자격 전류값은 줄어들지만 최대 온도는 고온측으로 이동하는데 이 현상은 형성 시간 240분 이상이 되면 전극으로부터

터 시료내로 전하 주입이 이루어지기 때문에 사라진다.

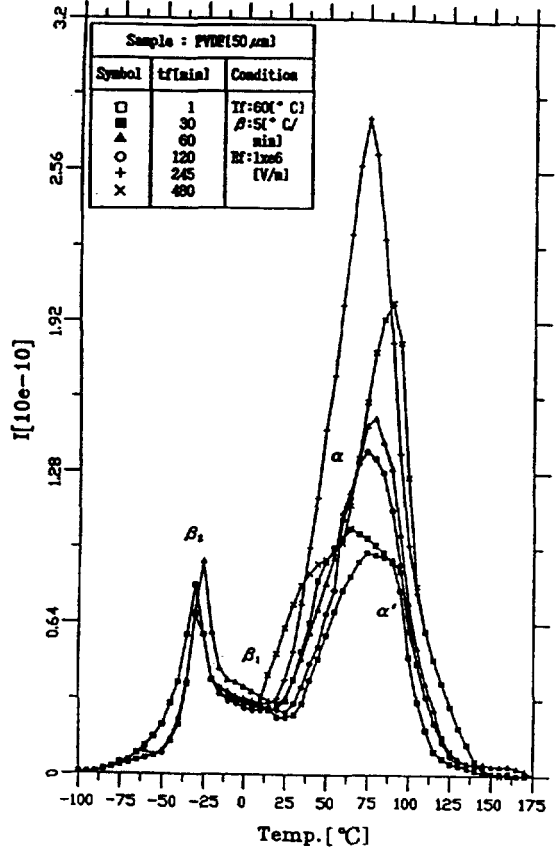


그림 9. 형성 시간에 따른 TSC  
Fig. 9 TSC Spectra due to forming time

### 5. 결 론

Thermal Cleaning 기법과 점근 해법을 이용한 수치 해석적 방법으로 PVDF 필름의 열자격 전류 특성을 해석하였는데

- 1) 수치 해석에 의해 얻어진 활성화 에너지는 초기 상승법에 비하여  $\beta_2$  피크와  $\beta_1$  피크에서는 각각 15(%), 그리고  $\alpha$  피크에서는 최대 13(%의 적분항 계산에 대한 오차를 줄일 수 있었다.
- 2)  $\beta_2$  피크와  $\beta_1$  피크는 쌍극자의 기여로 나타

나는것으로 사료되며 활성화 에너지와 유전  
완화 시간은 각각 0.3~0.36(eV)와 160~190  
[sec] 및 0.2~0.28(eV) 와 270~390[sec] 를  
얻었다.

- 3) 형성 온도에 무관한  $\alpha$  피크는 결정질 영역  
의 얇게 트랩된 하전 입자의 탈트랩으로 나  
타나며 활성화 에너지는 0.55~1.14(eV) 이었  
다.
- 4) 형성 온도 [60°C] 이하에서 나타나는  $\alpha'$  피크  
는 Langmuir Model에 의한 시료 자체의 결  
합에 포함된 수분의 영향으로, 형성 온도  
80(°C) 이상에서 나타나는  $\alpha'$  피크는 Henry  
Model에 의한 고온에서의 자유 체적 증가로  
인한 수분의 영향으로 나타나는 데 이들 피  
크의 활성화 에너지는 0.5~0.58(eV) 이었다.

#### 참고 문헌

1. J. Mort and G. Pfister, "Electronic  
Properties of Polymers", John Wiley and  
Sons, New York (1984)
2. T.A.T. Cowell and J. Woods, "The Eva-  
luation of Thermally Stimulated Current  
Curves", Brit. J. Appl. Phys., Vol. 18,  
pp.1045-1051(1967)
3. R.Chen and Y. Kirsh, "Analysis of Ther-  
mally Stimulated Processes", Pergamon  
Press(New York) ,Ch.3 and Ch.6(1981)
4. C. Bucci and R. Fieschi, "Ionic Thermo-  
current in Dielectrics", Phys. Rev. 148,  
p. 816-823(1966)
5. R.A. Creswell and M.M Perlman, "Thermal  
Currents from Corona Charged Mylar", J.  
Appl. Phys., Vol. 41. No. 6, pp.2365-  
2375(1970)
6. L.I. Grossweiner, "A Note on The Analsis  
of First Order Glow Curve", J. Appl. Phys.  
, Vol. 24, No. 10, pp.1306-1307(1953)
7. J.U. Lee, K.J. Kim, S.H. Park, and J.U  
Hong, "TSC of the PVDF Film using Data  
Acquisition under Room Temperature", 대한  
전기학회 창립 40주년 기념 학술 대회 논문집,  
pp.480-483(1987)
8. B.H. Kim and K.S. Ryu, " Numerical An-  
alysis of TSC Peaks by the Optimal Cur-  
ve Fitting in Polyvilidene Fluride", Pol-  
ymer(Korea), Vol. 11, pp.268-277(1987)
9. N.S. Mohan and R. Chen, " Numerical C-  
urve Fitting for Calculation Glow Param-  
eters", J. Phys. D:Appl. Physics., Vol.  
3, pp.243-247 (1970)
10. S. Maeta and K. Sakaguchi, "A new Met-  
hod for determining the Trap Depth from  
Thermally Stimulated Current", Jap.  
Journal of Appl.Phys., Vol.19, No.4, pp.  
597-606(1980)
11. S. Maeta and K. Sakaguchi, "On the D-  
etermining of Trap Depth from Thermally  
Stimulated Current", Jap. J. of Appl.  
Phys., Vol. 19, No. 3, pp.519-526(1980)
12. G.T. Davis, J.E. Mckinney, M.G. Broadhu-  
rst, and S.C. Roth, "Electric-field-induc-  
ed phase changes in poly(vinylidene flu-  
oride)", J. Appl.Phys., Vol. 49, No. 10,  
pp.4998-5002(1978)
13. N.G. McCrum, B.E. Read, and G.  
Williams, "Anelastic and Dielectric Effe-  
cts in Polymeric Solids", John Wil-  
ley & Sons, pp.448-450(1967)
14. V.B. Gupta and L.T. Drzal, "The Physical  
Basis of Moisture Transport in a Cured  
Epoxy Resin System", J. of Appl. Poly.  
Sci., Vol 30, pp.4467-4493(1985)

(1992년 1월 28일 접수)