

電氣設備用 Sb_2O_3 充填 에폭시 硬化劑의 熱膨脹 및 電氣的 特性

The characteristics of thermal expansion and electricity on the epoxy hardening of Sb_2O_3 filler to use for electric installation

李輔鎭* · 朴東化** · 宋京和* · 黃明煥**

(Bo-Ho Lee · Dong-Wha Park · Kyung-Wha Song · Moungh-Wan Whang)

요 약

본 논문은 내열성 에폭시수지를 개발하기 위하여 에폭시수지에 Sb_2O_3 를 첨가한 試片의 熱膨脹, 誘電 및 導電特性을 측정하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) $155[^\circ C]$ 이하에서의 온도증가에 따른 熱膨脹 계수는 순수 에폭시수지가 8.19×10^{-5} 인데 비해 7 [%] 혼합한 경우에는 4.5×10^{-5} 이었다.

2) Sb_2O_3 의 혼합율에 따른 ϵ_f , ϵ_p 의 온도의존성은 $1[kHz]$ 에서 순수에폭시수지는 $155[^\circ C]$ 근방에서 피크점을 보이고 있으나 Sb_2O_3 의 혼합율이 증가함에 따라 피크점은 고온으로 옮겨간다.

3) 電氣傳導로는 유리轉移溫度근방에서 變曲되는 두개의 직선적인 특성을 나타내며 1[%] 혼합한 경우에는 순수에폭시 수지에 비해 매우 낮은 값을 나타낸다.

Abstract

This paper measured the characteristic of the thermal expansion, dielectric and conductivity to use Sb_2O_3 Filler in epoxy resin.

The results are summarized as follow :

1) In the $155[^\circ C]$, The coefficient of thermal expansion increasing temperature obtained 8.19×10^{-5} in the case of pure epoxy resin and 4.5×10^{-5} in the case of the mixing 7 [%].

*正會員：崇實大 工大 電氣工學科 教授 · 工博

**正會員：仁川大 工大 電氣工學科 教授 · 工博

*正會員：仁川大 助教

**正會員：仁川大 産業安全工學科 助教授

接受日字：1990年 7月 28日

2) The peak point of ϵ_1 , ϵ'' increasing Sb_2O_3 mixing ratio moved on the part of the high temperature.

3) The conductivity value increasing temperature shows the corner on the part of the T_g and it's Value became low the sample material with mixing 1[%] than in case of pure epoxy resin.

1. 序 論

오늘날 산업사회의 각종 요구조건에 따라 신소재 개발의 기초소재로 에폭시수지가 많이 이용되고 있다.

에폭시수지이용은 40여년의 역사를 가지고 있으며 그 성능도 매우 다양하다. 특히 전기적, 기계적특성이 일반적으로 우수하므로 전기응용면에서 대형트랜스, 애자류 및 기계분야의 적층판, 복합재, 도료재료로 그 활용도가 매우 크다.

그러나 이의 사용조건이 용도에 따라 매우 다르기 때문에 에폭시 硬化物의 여러 특성을 파악하는 것이 필요하다.

이의 한 요소로써 기계적 및 접착특성에서 硬化物의 유리 轉移溫度, 熱變形溫度, 熱膨脹率, 熱傳導率등의 열적특성이 변화됨에 따른 凝集破壞 또는 界面破壞의 영향은 매우 크다¹⁾

전기적인 특성에서도 傳導도와 온도의 관계에서 온도가 변함에 따라 硬化物의 自由體積에 의존한 이온의 이동현상이 변하게 되며, 서로 다른 두 종류의 脂肪族의 硬化反應에 따라 化學構造가 변하게 되므로 誘電特性이 크게 변화된다.^{2), 3), 4)}

石田에 의하면 폴리에틸렌에 界面活性劑를 첨가하는 경우, 分子構造에 極性基가 있으므로 誘電特性이나 絶緣特性에 큰 영향을 미친다고 보고했다⁵⁾

이와 같은 견지에서 에폭시수지의 경우에도 사용목적에 따라 각종 充填劑를 혼합하여 사용하는 경우가 많다. 이러한 充填劑중의 Sb의 혼합물은 센서출력의 온도계수를 상승시키므로 자기센서용 재료 및 자기저항소자로 사용되고 있다.⁶⁾

따라서 본 논문에서는 에폭시수지를 모재로 하고 充填劑로 Sb_2O_3 를 혼합하여 제작한 試片의 온도변화에 따른 熱膨脹特性 誘電特性 및 電氣傳導特性을 측정하여 순수에폭시 수지와 비교 검토하였다.

2. 理 論

에폭시수지의 특성은 架橋후의 硬化物의 物성과 밀접한 관계가 있다. 이러한 硬化物의 物성의인 해석방법으로는 硬化過程에 의한 해석, 流動特性에 의한 해석, 軟化點에 의한 해석, 動的 粘彈性에 의한 해석, 유리轉移溫度에 의한 해석, 誘電特性에 의한 해석, 超音波에 의한 해석등의 여러가지 방법이 있다. 이중에 전기적 특성의 해석으로 T_g 에 의한 해석법과 誘電特性에 의한 해석법이 많이 응용되고 있다.

1) 유리 轉移溫度

硬化物의 물리적인 특성에서 내열성의 정도를 나타내는데 그 硬化物의 유리轉移溫度가 熱變形溫度로 쓰여지고 있다.

그러나 유리 轉移溫도의 측정방법은 매우 다양하다. 현재 많이 이용되는 방법은 DSC(Differential Scanning Calorimeter)法과 動的 粘彈性法이다.

표 1은 小池¹⁾의 에폭시수지 硬化物에 대한 몇가지 방법에 의한 유리 轉移溫도의 측정값이다.

표 1. 에폭시수지의 유리 轉移溫度

Table 1. T_g of epoxy resin

熱膨脹法	DSC法	動的粘彈性法
112[°C]	110 [°C]	134[°C]

표 1에 나타난 바와 같이 측정방법에 따라 큰 차이를 나타낸다.

따라서 최근에는 유리 轉移溫度를 硬化物의 화학적 구조로 해석하려는 방법이 연구되고 있다.

이러한 견지에서 표 2는 線狀 폴리머와 브리지狀 폴리머의 유리 轉移溫度를 기존의 예측식인 식(1)에 의해 계산한 유리 轉移溫度(Tg)이다.

$$\frac{1}{T_g} = \sum_i \frac{M_i}{T_{gi}} / \sum_i M_i \dots\dots\dots(1)$$

여기에서,

T_{gi}: 성분 i그룹의 유리 轉移溫度

M_i: 성분 i의 分子量

Lee⁷⁾에 의하면 각종 아민계 에폭시수지에 대하여 DSC法에 의해 측정한 유리 轉移溫度는 식(1)과 잘 일치된다고 보고하고 있다.

2) 유리 轉移溫度와 熱變形溫度의 관계

加門⁸⁾은 酸無水物 硬化에폭시수지에서 動的 粘彈性法에 의해 구해진 유리 轉移溫度와 熱變形溫度(HDT)의 관계를 식(2)와 같이 나타내고 있다.

$$HDT = 0.97T_g - (29 \pm 3.9)[^\circ C] \dots\dots\dots(2)$$

이 식은 小池⁹⁾도 비스페놀형 에폭시수지 硬化物에서 熱膨脹法에 의한 유리 轉移溫度와 熱變形溫度特性에서도 잘 일치되고 있다고 보고하고 있다.

3) 熱膨脹에 미치는 充塡劑의 영향

일반적으로 무충진 에폭시수지의 경우, 체적 팽창계수는 선팽창계수의 3승배정도이다.

표 2. 폴리머의 유리 轉移溫度

Table 2. Tg of polymer

성분	Tg[K]	
	線狀系	브리지狀系
-CH ₂ -	270	233
-P-C ₆ H ₄ -	463	549
-M-C ₆ H ₄ -	500	492
-C(CH ₃) ₂ -	226	384

이 선팽창계수에 미치는 인자로써는 主鎖骨 格의 구조, 수지의 硬化劑의 혼합비, 充塡劑의 종류 및 혼합비등이며, 硬化條件에도 큰 영향을 받게 된다.

硬化劑의 혼합량과 선팽창계수의 관계는 Gupta¹⁰⁾에 의해서도 보고되고 있으며 小池⁹⁾도 硬化劑의 종류에 따른 선팽창계수의 변화를 표 3과 같이 발표하고 있다.

표 3에 나타난 바와 같이 硬化物의 종류에 따라 선팽창계수가 유리 轉移溫度의 전, 후에 크게 변화되며 유리 轉移溫度의 값도 변한다.

표 4는 에폭시수지(에피코드 807)에 실리카를 혼합하여 혼합량에 따른 선팽창계수를 기계적 분석법에 의해 측정된 값이다.

充塡劑의 양이 증가함에 따라 선팽창계수는 감소하고 있으며 이 경우에 유리 轉移溫度의 값은 변화되지 않는다.

표 3. 에폭시수지 硬化物의 열팽창계수

Table 3. Coefficient of thermal expansion of epoxy resin for thermo setting

에폭시수지	경화제	열팽창계수[1/°C]		Tg[°C]
		Tg이전	Tg이후	
에피코드 828	TETA	6.2 × 10 ⁻⁵	1.7 × 10 ⁻⁴	92
	MXDA	6.3 × 10 ⁻⁵	1.7 × 10 ⁻⁴	106
	HN-2200	6.3 × 10 ⁻⁵	1.7 × 10 ⁻⁴	122
에피코드 807	TETA	6.2 × 10 ⁻⁵	1.7 × 10 ⁻⁴	88
	MXDA	6.3 × 10 ⁻⁵	1.7 × 10 ⁻⁴	94
	HN-2200	6.5 × 10 ⁻⁵	1.7 × 10 ⁻⁴	114
에피코드 154	TETA	6.3 × 10 ⁻⁵	1.3 × 10 ⁻⁴	106
	MXDA	6.2 × 10 ⁻⁵	1.4 × 10 ⁻⁴	118
	HN-2200	6.6 × 10 ⁻⁵	1.4 × 10 ⁻⁴	148

표 4. 열팽창계수에 미치는 充塡劑의 영향

Table 4. Effect of filler of a coefficient of thermal expansion

실리카배합량 [phr]	열팽창계수[1/°C]		Tg[°C]
	Tg이전	Tg이후	
0	6.3 × 10 ⁻⁵	1.7 × 10 ⁻⁴	114
200	3.3 × 10 ⁻⁵	1.1 × 10 ⁻⁴	114
250	3.0 × 10 ⁻⁵	9.9 × 10 ⁻⁴	114
300	2.9 × 10 ⁻⁵	9.0 × 10 ⁻⁴	114

4) 유리 轉移溫度와 誘電特性¹⁾

에폭시수지 硬化物은 硬化反應이 進전됨에 따라 架橋密度가 높아지므로 T_g가 상승하게 된다. 따라서 分子鎖의 運動모드와 關係되는 誘電特性은 周波數와 溫도의 影響을 받게 된다.

그림 1은 에폭시수지의 비유전율(ϵ_f)과 유전정점($\tan\delta$)의 온도의존성을 나타낸 것이다.

ϵ_f 는 100[°C]정도부터 온도가 증가함에 따라 상승하다가 160[°C]근방에서 α 피크인 α 완화를 이루게 되며, 硬化된 網目鎖의 Segment가 마이크로 브라운운동을 개시함에 따른 것으로 유리轉移溫도와 대응하는 경우가 많다.

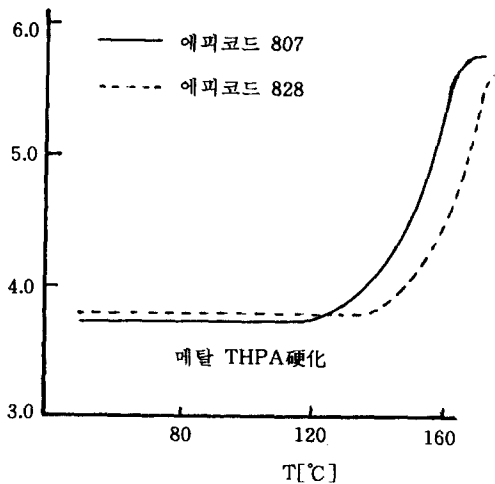
5) 電氣傳導特性

에폭시수지는 硬化過程의 分子鎖의 성장에 따라 電氣傳導性이 變化된다.

宮本³⁾은 高分子材料의 傳導機構에서 低電界領域의 경우, 이온을 운반시키는 이온傳導가 지배적이므로 이동현상을 기초로 함이 가능해졌다고 보고했다.

이 보고서에서 이온을 이동시킬 수 있는 이온농도(n_i)를 다음 식으로 나타내고 있다.

$$n_i = n_o \exp\left(-\frac{W}{2\epsilon kT}\right) \dots\dots\dots (3)$$



- 여기에서, n_o : 상수
- W : 이온의 解離에너지
- ϵ : 誘電率
- k : Boltzmann상수
- T : 절대온도

이온傳導가 이온을 수용할 경우에 이온의 임계체적(V_i)이 클때의 空孔이 發生할 확률(P_n)은

$$P_n = \exp(rV_i V_i) \dots\dots\dots (4)$$

여기에서 r : 자유체적의 정도를 나타내는 파라메타,

V_i : 자유체적,

로 나타내며 이온이 에너지 장벽(E_j)을 뛰어넘어 안정위치에 점프할 확률(P_j)

$$P_j = \exp(-E_j/kT) \dots\dots\dots (5)$$

에 지배될 것으로 생각되므로 電氣傳導度(δ)는 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$\delta = \delta_o \exp\left(-\frac{rV_i}{V_i} + \frac{E_j + W/2E}{kT}\right) \dots\dots\dots (6)$$

3. 실험

3.1 시편제작

본 실험에 사용한 시료는 에폭시수지(에피코드 828)이며, 硬化劑, 促進劑의 比는 100 : 80

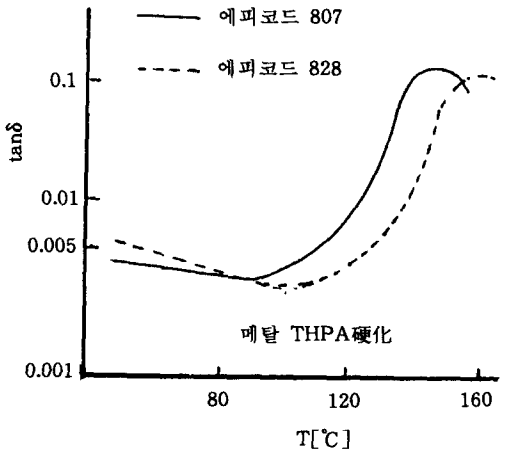


그림 1. 에폭시수지의 ϵ_f , $\tan\delta$ 의 온도의존성[1(kHz)]

Fig. 1. Temperature dependency of ϵ_f , $\tan\delta$ in epoxy resin[1(kHz)]

: 4이다.

充填劑는 용점 [656(°C)]이 높고 高純度[99 (%)]인 Sb_2O_3 (分子量이 291.50인 Mayashi(株) 제품)이다.

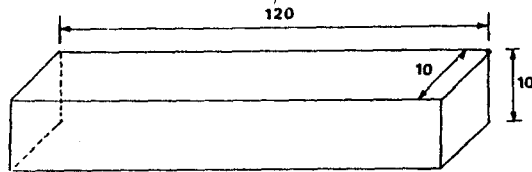
에폭시硬化劑의 比重(1.11~1.40)에 비해 Sb_2O_3 의 比重(5.19~5.79)이 매우 크므로 Sb_2O_3 를 300mesh에 통과시킨 固狀의 粒子를 液狀의 에폭시硬化劑에 0[%], 1[%], 5[%], 7[%]의 重量比로 혼합하여 125[°C]의 항온조에서 3시간 동안 1차 硬化시킨 후 25[°C]까지 서냉시켰으며 다시 160[°C]에서 4시간동안 2차 硬化시켰다.

그림2(A)는 熱膨脹率을 측정하기 위한 시편의 外形 및 치수이며, 그림2(B)는 誘電特性 측정용 시편의 앞, 뒤면의 形狀 및 치수이다.

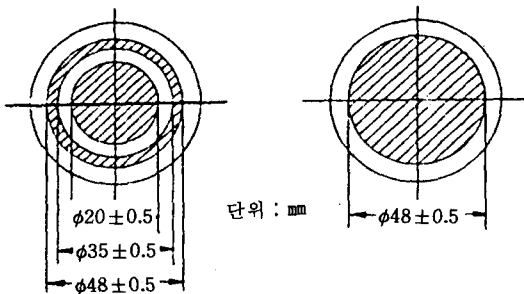
3.2 실험방법

3.2.1 熱膨脹率의 측정

그림2(A)와 같이 제작한 試片은 25[°C]에서 길이(L_0)를 현미경(40배 비율에서 0.01[mm]까지 측정)으로 측정하였으며, 소정의 온도(80[°C], 110[°C], 140[°C], 170[°C], 200[



A) 열팽창 측정용시편



B) 유전 특성 및 전기전도도 측정용 시편의 양면

그림 2. 시편의 외형 및 크기

Fig. 2. The shape and size of Sample

°C])에서 1시간 유지시킨 후 각각의 길이를 측정하여 L_0 에 대한 팽창율을 구하였다.

3.2.2 誘電特性的 측정

ϵ' , 誘電損率, ϵ'' , $\tan\delta$ 의 측정은 Dielectric Loss Measuring set[ANDO-10T]를 사용하여 온도범위 40~180[°C], 주파수범위 110[Hz]~100[kHz]까지 측정하였다. 각 온도에서의 시편의 온도안정성을 위해 30분간 유지시켰으며 각 주파수에서 1분이 경과된 후의 값을 5회이상 측정하여 산술평균을 내었다.

3.2.3 電氣傳導度の 측정

각 온도에서 30분간 유지시킨 후 Electrometer(Keilhley Model 619)를 이용하여 체적고유저항을 측정하였다.

4. 結果 및 考察

1) 열팽창 특성

그림 3은 Sb_2O_3 의 혼합율과 온도변화에 따른 열팽창율의 변화이다.

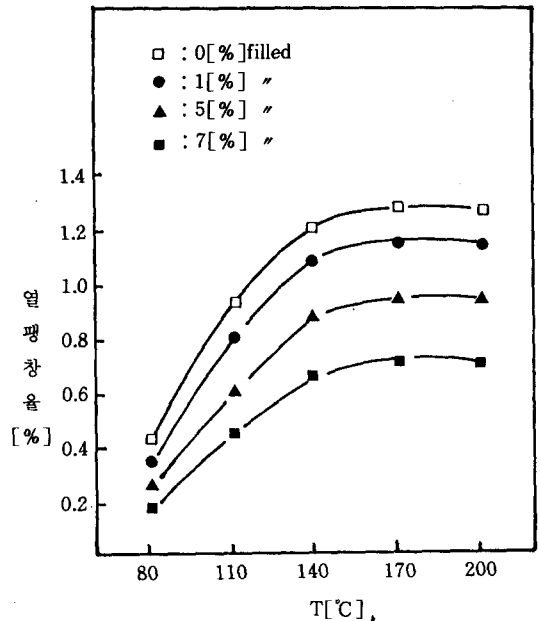


그림 3. Sb_2O_3 의 혼합율에 따른 열팽창율의 온도의존성

Fig. 3. Temperature dependency of a proportion of thermal expansion due to mixing ratio in Sb_2O_3

순수 에폭시의 경우, 온도가 상승함에 따라 열팽창율은 증가하여 155[°C]정도에서 피크값에 이른다.

이와 같은 현상은 Rush¹¹⁾의 硬化過程의 해석에서 硬化物의 Tg의 값과 대응하는 것으로 설명하고 있으며, 온도가 증가됨에 따라 硬化物의 架橋密度가 높아지므로 Tg근방에서 선팽창계수가 낮아지기 때문이다. 또한 Tg이상에서는 Gupta의 보고내용과 마찬가지로 선팽창계수의 증가율이 극소를 나타내고 있다.

표 5. 열팽창계수에 미치는 Sb_2O_3 의 영향
Tble 5. Effect of Sb_2O_3 of a coefficient thermal expansion

Sb_2O_3 혼합율 [$D/owt.$]	열팽창계수[$1/°C$]		예상Tg[°C]
	Tg이전	Tg이후	
0	8.19×10^{-5}	—	155
1	7.42×10^{-5}	—	155
5	6.0×10^{-5}	0.5×10^{-5}	155
7	4.5×10^{-5}	0.22×10^{-5}	155

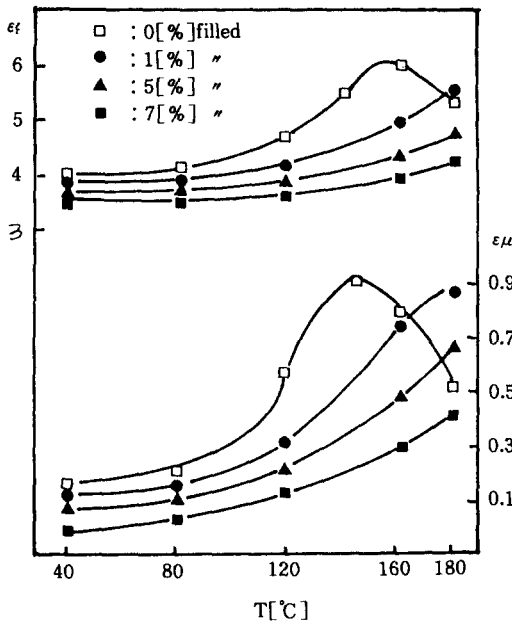


그림 4. Sb_2O_3 의 혼합율에 따른 ϵ_f , ϵ_f' 의 온도의존성[1(kHz)]

Fig. 4. Temperature dependency of ϵ_f , ϵ_f' due to mixing ratio in Sb_2O_3 [1(kHz)]

充填劑의 혼합량이 증가함에 따라 155[°C] 이하에서의 열 팽창율의 증가율은 점차 감소하고 그 변화율은 표 5와 같다.

充填劑를 혼합한 경우, 155[°C]이상에서도 열팽창율은 완만한 포화상태를 나타내고 있는 것은 充填劑(Sb_2O_3)를 혼합하면 Tg가 고온측으로 변화하고 있음을 알 수 있다.

이와 같이 充填劑의 종류에 따라 Tg의 값이 변함은 여러 학자들에 의해 보고되고 있지만 그 명확한 원인은 아직 많은 연구대상이 되고 있다. 그러나 充填劑의 종류에 따른 에폭시수지와 硬化反應에서 分子間의 分子鎖가 증가하는 硬化物일 수록 Tg가 변화되는 경우가 많은 것으로 여러 실험결과에서 나타나고 있다.

이와 같은 특성을 이용한 潛在性 硬化劑의 개발에 관한 관심은 GE社와 旭電化工業(株)에서 크게 고조되어 가고 있다.

2) 誘電特性

그림 4, 5는 Sb_2O_3 의 혼합율과 온도변화에 따

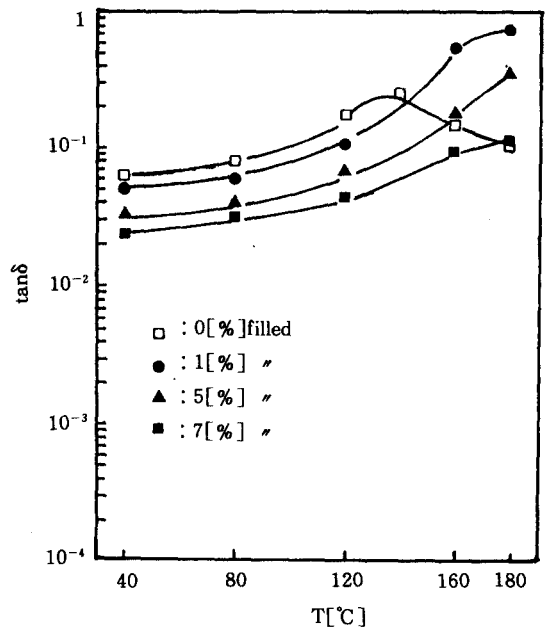


그림 5. Sb_2O_3 의 혼합율에 따른 $\tan\delta$ 의 온도의존성 [1(kHz)]

Fig. 5. Temperature dependency of $\tan\delta$ due to mixing ratio in Sb_2O_3 [1(kHz)]

른 ϵ_f , ϵ'' , $\tan\delta$ 의 변화이다.

순수 에폭시에서 ϵ_f 는 分子鎖의 운동모드에 관계되므로 온도가 증가함에 따라 155[°C]까지 증가하여 고온측의 α 완화인 피크점을 이룬다. 이에 대응하여 온도가 증가함에 따라 ϵ'' 도 증가하여 150[°C]근방에서 피크인 α 완화를 이루는데 이 현상은 硬化된 網目鎖의 Segment가 마이크로 브라운운동을 개시하는 것에 의하여 Tg와 대응하고 있다.

充填劑의 혼합량이 증가함에 따라 ϵ_f 는 감소하고 있으며 온도가 증가함에 따른 ϵ_f 의 증가율은 순수 에폭시에 비해 완만한 증가를 보이고 있으며 180[°C]에서도 Tg에 대응하는 피크점은 나타나지 않는다. ϵ'' , $\tan\delta$ 에서도 온도의 존성은 ϵ_f 와 유사한 특성을 나타내고 있다.

新保¹³⁾등은 에폭시수지에 실리카를 充填劑로 사용한 연구에서 充填량이 증가함에 따라 유리狀 領域은 감소된다고 보고하고 있으나 Sb₂O₃를 充填劑로 사용시에는 이와 상반되는 현상이

나타나고 있다. 그림 5에서 Sb₂O₃를 7[%]혼합한 경우, 180[°C]에서 1[%], 5[%] 일때와 같이 변화가 크지 않다.

이와 같은 현상은 充填劑인 Sb₂O₃의 粒子接觸이 온도변화에 대하여 7[%]의 경우에도 매우 안정되고 있음을 알 수 있다.

그림 6.7은 40[°C]에서는 Sb₂O₃의 혼합율과 주파수의 변화에 따른 ϵ_f , ϵ'' , $\tan\delta$ 의 변화이다.

주파수가 증가함에 따라 ϵ_f 는 감소율이 작다 充填劑의 혼합율이 증가할 수록 ϵ_f 는 감소하고 있으며 그 감소특성은 순수 에폭시의 경우와 유사하다.

이와 같은 현상은 서로 다른 誘電率과 導電率을 갖는 두 물질을 혼합시 分子間의 内部應力이 낮아지기 때문에 저온영역에서 이온傳導가 용이해 지기 때문인 것으로 생각된다.

ϵ'' 는 주파수가 증가함에 따라 그 증가율은 높아진다. 순수 에폭시에 비해 充填劑를 혼합

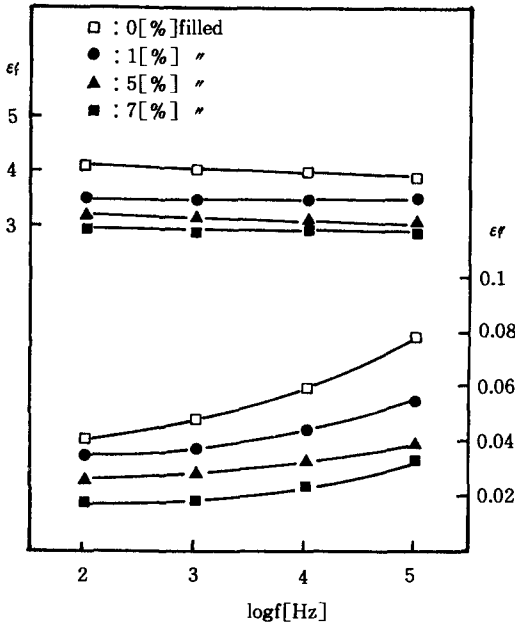


그림 6. Sb₂O₃의 혼합율에 따른 ϵ_f , ϵ'' 의 주파수의 존성[40(°C)]

Fig. 6. Frequency dependency of ϵ_f , ϵ'' due to mixing ratio in Sb₂O₃ [40(°C)]

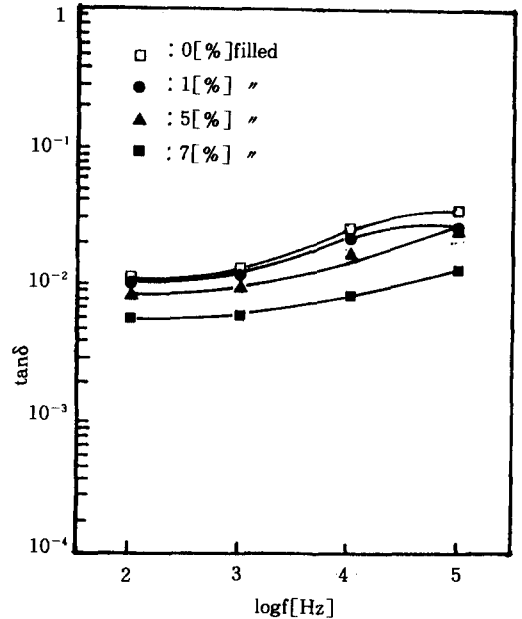


그림 7. Sb₂O₃혼합율에 따른 tanδ의 주파수의존성 [40(°C)]

Fig. 7. Frequency dependency of $\tan\delta$ due to mixing ratio in Sb₂O₃ [40(°C)]

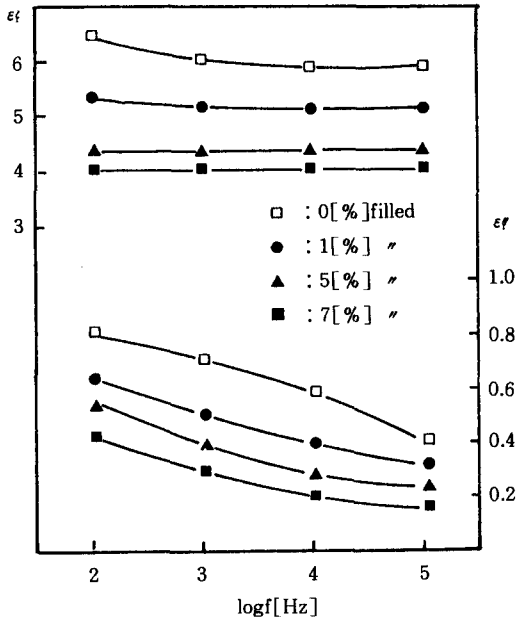


그림 8. Sb_2O_3 의 혼합율에 따른 ϵ_f , ϵ_p 의 주파수 의존성[160(°C)]

Fig. 8. Frequency dependency of ϵ_f , ϵ_p due to mixing ratio in Sb_2O_3 [160(°C)]

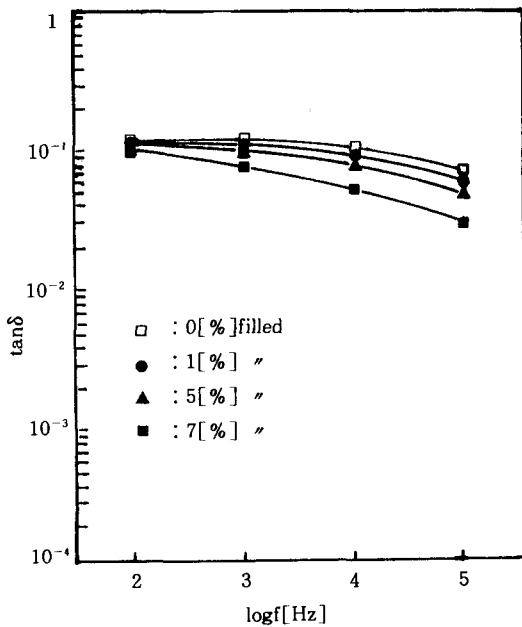


그림 9. Sb_2O_3 혼합율에 따른 $\tan\delta$ 의 주파수 의존성 [160(°C)]

Fig. 9. Frequency dependency of $\tan\delta$ due to mixing ratio in Sb_2O_3 [160(°C)]

시 ϵ_p 는 점차 감소되고 있다. $\tan\delta$ 의 값도 주파수가 증가함에 따라 증가되고 있다.

이와 같은 현상은 Debye의 이론식과(6)식으로 설명될 수 있다.

그림 8, 9는 160[°C]에서의 Sb_2O_3 의 혼합율과 주파수의 변화에 따른 ϵ_f , ϵ_p , $\tan\delta$ 의 변화이다.

이 온도에서의 ϵ_f 는 充填劑의 혼합율이 5[%]이상에서의 주파수의존성은 매우 미소한 변화를 나타내고 있다.

3) 電氣傳導度特性

그림 10은 Sb_2O_3 의 혼합율과 온도변화에 따른 電氣傳導度の 변화이다.

일반적으로 Tg에 이르기까지 온도가 증가하여도 電氣傳導度の 증가율은 매우 완만하다. 그러나 Tg를 초과하게 되면 급상승하게 된다. 이와 같은 현상은 앞에서 설명한 宮本의 식 3~식 6으로 설명된다. 또한 充填劑의 혼합율이

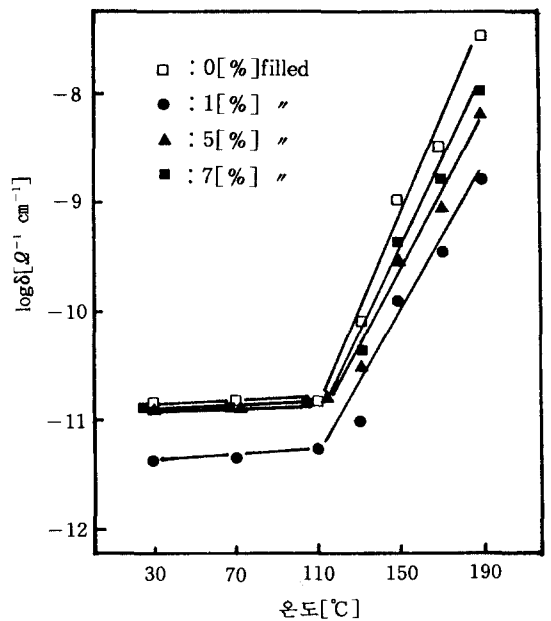


그림 10. Sb_2O_3 의 혼합율에 따른 전기전도도의 온도 의존성

Fig. 10. Temperature dependency of coefficient of conductivity due to mixing ratio in Sb_2O_3

증가함에 따라 電氣傳導度는 증가하고 있다.

이것은 앞 절에서도 설명한 바와 같이 充塡劑의 종류 및 혼합율에 따라 에폭시수지의 內部應力의 영향으로 이온의 이동현상이 변하기 때문에 新保는 설명하고 있다.

따라서 순수에폭시의 경우, Tg이하에서 온도 증가에 비례하여 內部應力이 감소되므로 Tg를 높이기 위한 여러가지 방법이 연구되고 있다.

이의 결과 新保¹¹⁾, 宮本³⁾은 低充塡領域에서 充塡量이 증가함에 따른 內部應力의 저하와 高充塡領域에서의 逆急上昇으로 인하여 變曲點에서 2개의 직선특성을 나타내게 된다고 설명하고 있다.

그림 10에서 Sb₂O₃를 1[%]혼합시의 電氣傳導度는 30[°C]에서 $7.2 \times 10^{-12} [\Omega^{-1} \text{cm}^{-1}]$ 로써 순수에폭시($15.3 \times 10^{-12} [\Omega^{-1} \text{cm}^{-1}]$)에 비해 매우 낮다. 또한 190[°C]에서도 매우 큰 차이를 나타내고 있어 저항소자로서의 우수한 조건을 구비한 것으로 고려된다.

5. 結 論

에폭시수지에 Sb₂O₃를 充塡劑로 사용한 시편의 열팽창율, 유전특성, 전도율을 측정하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 155[°C]이하에서의 온도증가에 따른 열팽창계수는 순수에폭시수지가 8.19×10^{-5} 인데 비해 7[%]혼합의 경우에는 4.5×10^{-5} 이었다.

2) Sb₂O₃의 혼합율에 따른 ϵ_f , ϵ_p 의 온도의존성은 1[KHz]에서 순수에폭시수지는 155[°C]근방에서 피크점을 보이나 Sb₂O₃의 혼합율이 증가함에 따라 피크점은 고온측으로 옮겨간다.

3) 40[°C]에서의 ϵ_p , $\tan\delta$ 는 주파수가 증가함에 따라 증가하고 있으나 160[°C]에서는 감소하고 있다.

4) 온도가 증가함에 따라 電氣傳導度는 Tg 근방에서 變曲되는 2개의 직선적인 특성을 나타내며, 1[%]혼합의 경우 순수에폭시에 비해 매우 낮은 값을 나타내고 있다.

參 考 文 獻

- 1) 小池, “プラスチックスエー, Vol. 30, No. 5, p. 158, 1984.
- 2) 堀内, 新エポキシ樹脂, 日本(株)昭晃堂, 1985, p.58.
- 3) 宮本, 柴山, 日本高分子學會論文集, No. 29, p463, 1972.
- 4) S.R.Kurtz and R.A.Anderson, “Properties of the metal-polymer interface observed with space-charge mapping technique”, J. Appl. phys. Vol. 60, No.2. p682, 1986.
- 5) 石田, 岡本, “添加劑によるポリエチレン絶緣體の高次構造の改質”, 日本電氣學會絶緣材料研究會 89-53, p67, 1989.
- 6) 中島, “耐熱性樹脂の電氣電子機器への適用”, 日本電氣學會絶緣材料研究會 89-28, p3, 1989.
- 7) G. Lee and B. Hartmann’ J. Appl. polym. Sci. No. 28, p823, 1983.
- 8) 加門 隆 外 3人, 日本高分子學會論文集 No. 31, p665, 1974.
- 9) 小池, 岡山, 高分子學會豫稿集, No. 9, p2260, 1981.
- 10) V. B. Gupta 外 3人, polym. Eng. Sci. No. 25, p812, 1985.
- 11) 新保 外 3人, エポキシ樹脂ハンドブック, 日本日刊工業新聞社, 1988, pp333~335.
- 12) 石田, 穂積, 岡本, “CVケーブル絶緣體中への添加劑擴散による交流破壊強度の向上”, 日本電力中央研究所 研究報告, No. W87025, 19
- 13) M. Shimbo 外 3人, 日本高分子學會論文集, No. 41, p589, 1984.
- 14) 高分子學會 高分子實驗學 編集委員會, 力學的 性質II, 日本共立出版株式會社, p4, 1985.