

합성수지의 유전주파수 및 온도특성에 대한 고찰

논문
19~5~2

A Study for the Dielectric Properties Dependent on Frequency and Temperature in Polymerized Materials

김 봉 흡* 이 준 웅*
(Bong Heup Kim, Choon Woong Lee)

[ABSTRACT]

The characteristics of dielectric absorption and dispersion in polymerized materials produced in Korea was investigated in MHz band and at several sets of temperature. For this study the theoretical basis stood on the Cole-Cole's empirical formula and it has been extended to the form convenient to investigate the observation.

As the results, it has been confirmed that in most cases, two or much more sorts of dipole participate in dielectric properties of these polymers and the materials containing aromatic molecular structure have, in general, greater loss angle than those constructed chain type molecular structure.

1. 서 론

합성수지는 근간 열이나 화학적으로 안정된 새로운 종류가 개발되고 또한 補強材等을 사용한 G. R. P(Glass fibre Reinforced Plastic)등 기계적으로 강한 성질을 구비한 재료등이 나타남으로 인하여 각분야에서 급속히 중태의 構造材에 대체되어 가고 있으며 한편 근래 誘電電壓의 超高壓化的 傾向과 전자공업의 발전에 의한 超小型回路構成的의 요망은 합성수지의 우수한 전기적특성을 재인정하고 열연재료, 薄膜유전체로 등으로서 개발연구가 활발하며 이미 각방면에서 소기의 목적에 적합하도록 개선된 재료들이 부분적으로 실용화되고 있다.

2. 이론에 대한 검토

주지하는바와 같이 誘電分散에 대한 Debye의 식은 기체나 稀釋된 溶液에서와 같이 隣接雙極子間的 상호작용을 무시할 수 있는 경우에는 사실과 일치하나 濃縮溶液이나 고체에서와 같이 隣接分子의 영향이 (雙極子間的 상호작용 및 수소결합에 의한) 클 때에는 Debye의 식은 Cole-Cole⁽¹⁾에 의하면 실질적으로 다음과 같이 된다.

지금 複素誘電率을 $\epsilon^*(\omega) = \epsilon'(\omega) - j\epsilon''(\omega) = \epsilon'(\omega) - j\frac{\sigma(\omega)}{\omega}$ 라 하면

$$\epsilon''(\omega) = \epsilon_\infty + \frac{\epsilon_s - \epsilon_\infty}{1 + (j\omega\tau)^{1-\alpha}} \dots\dots\dots(1)$$

但 $0 \leq \alpha \leq 1$

여기서 ϵ_s 는 靜電誘電率,

$\epsilon_\infty = \lim_{\omega \rightarrow \infty} \epsilon'(\omega)$ 이며 실질적으로는 光學的屈折率의 自乘에 해당하는 양이고 τ 는 緩和시간이며 $\sigma(\omega)$ 는 도전율이다. 또 α 는 隣接分子의 영향의 多少를 표시하여 주는 한계표라 볼수 있으며 $\alpha=0$ 일 때는 Debye의 식이 된다. $\epsilon'(\omega)$ 및 $\epsilon''(\omega)$ 는 複素數平面에서 Debye의 식일 때는 $\epsilon_s - \epsilon_\infty$ 를 직경으로 하는 半圓이 되지만 이 때때문에 (1)은 $\epsilon_s - \epsilon_\infty$ 를 弦으로하는 弧의 일부가 되며 또는 曲線에 따라 skewed arc⁽⁵⁾가 되는 경우도 있다. 지금 (1)식을 實虛數로 분리하면 다음과 같이 된다.

$$\left. \begin{aligned} \epsilon'(\omega) &= \epsilon_\infty + \frac{\epsilon_s - \epsilon_\infty \left\{ 1 + (\omega\tau)^{1-\alpha} \sin \frac{\alpha\pi}{2} \right\}}{1 + 2(\omega\tau)^{1-\alpha} \sin \frac{\alpha\pi}{2} + (\omega\tau)^{2(1-\alpha)}} \\ \sigma(\omega) &= \frac{\omega(\epsilon_s - \epsilon_\infty)(\omega\tau)^{1-\alpha} \cos \frac{\alpha\pi}{2}}{1 + 2(\omega\tau)^{1-\alpha} \sin \frac{\alpha\pi}{2} + (\omega\tau)^{2(1-\alpha)}} \end{aligned} \right\} \dots\dots(2)$$

2-1 單一雙極子만이 分散에 參與하는 경우⁽²⁾

a) $(\omega\tau)^{1-\alpha} \ll 1$. 即 分散周波數 $f = \frac{1}{2\pi\tau}$ 보다 낮은 周波數帶에서

* 정의원 : 한양대학교 공과대학 전기공학과

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon'(\omega) &= \varepsilon_{\infty} \\ \sigma(\omega) &= B_1 f^{2-\alpha} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(3)$$

ω 가 점차 커짐에 따라 $(\omega\tau)^{2(1-\alpha)} \ll 1$ 정도인 경우
 $\varepsilon'(\omega) = \varepsilon_s - A_1 f^{1-\alpha} \dots\dots\dots(3)'$

만 여기서 $A_1(\varepsilon_s - \varepsilon_{\infty})(2\pi\tau)^{1-\alpha} \cdot \sin \frac{\alpha\pi}{2}$

$$B_1 = (2\pi)^{2-\alpha} \cdot \tau^{1-\alpha} \cdot (\varepsilon_s - \varepsilon_{\infty}) \cdot \cos \frac{\alpha\pi}{2},$$

이 경우 $\log\sigma(\omega)$ 와 $\log f$ 의 관계는 (以下對數 σ - f 특성이라 한다) 직선이 되고 그 傾角은 $\tan\theta = 2-\alpha$ 혹은 $*62^\circ > \theta > 45^\circ$ 의 범위내에 있어야 되고 誘電率은 分散周波數에 접근함에 따라 서서히 감소할것이다.

b) $(\omega\tau)^{1-\alpha} > 1$, 即 分散周波數보다 높은 周波數帶에서는

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon'(\omega) &= \varepsilon_{\infty} + \frac{C_1}{f^{1-\alpha}} \\ \sigma(\omega) &= D_1 f^{\alpha} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(4)$$

만 $C_1 = \frac{(\varepsilon_s - \varepsilon_{\infty}) \sin \frac{\alpha\pi}{2}}{(2\pi\tau)^{1-\alpha}}$

$$D_1 = \frac{(2\pi)^{\alpha} (\varepsilon_s - \varepsilon_{\infty}) \cos \frac{\alpha\pi}{2}}{\tau^{1-\alpha}}$$

對數 σ - f 특성은 직선이고 그 傾斜는 $\tan\theta = \alpha$, $45^\circ \leq \theta \leq 0^\circ$ 의 범위내에 있어야 한다.

2-2. 二系이상의 雙極子가 誘電分散에 參與하는 경우

二種의 有極性分子로된 液體의 混合溶液에 대하여는 Schallamach⁽³⁾, Denney⁽⁴⁾ 및 藤村氏⁽⁵⁾ 등의 보고가 있으며 이들의 보고를 종합하면 誘電分散周波數가 상당히 떨어져 있는 二種類의 溶液에 대하여 이들이 非會合性非會合性, 또는 會合性一會合性일 경우에는 단일유전분산만이 관측되며 非會合性會合性溶液의 경우에서 各各의 雙極子의 誘電分散에 對應하는 특성이 독립적으로 관측되어 있다. 이유로서는 前者의 경우에는 微視的으로 볼때 均일화된 혼합이 이루어져 있으나 後者의 경우에는 會合性인 同種雙極子끼리 集團을 만들어 非會合的인 溶液에 대하여 분리된 相을 형성하고 있기 때문이라 한다. 고체에 대한 混成分數에 대한 연구보고는 未聞이며 따라서 上述의 概念을 고체의 경우에도 적용하기로 한다. 이런 경우 樹脂成型과정에서 혼합되는 添加劑 充填劑 등이 微視的見地에서 均일하게 혼합되어 있으면 종합된 특성도 定性的으로 볼때 2-1의 경우와 같을 것이나 분리된 相을 형성하고 있을때의 종합특성은 各各의 成分비를 감안한 複素誘電率의 算術平均으로 대략할수 있을 것이다. 이때의 경우는 다음과 같이 나누어 고찰할수 있다. (단 간단히 살피기 위하여 성분비를 1로 假定한다)

a) $(\omega\tau_1)^{1-\alpha} \ll 1, (\omega\tau_2)^{1-\alpha} \ll 1$ 의 경우,
 $\varepsilon'(\omega) = \varepsilon_{s,1,2} - (A_1 f^{1-\alpha_1} + A_2 f^{1-\alpha_2})$
 $\sigma(\omega) = B_1 f^{2-\alpha_1} + B_2 f^{2-\alpha_2}$

$$= B_1 f^{2-\alpha_1} \left[1 + \left(\frac{B_2}{B_1} \right) f^{\alpha_1-\alpha_2} \right]$$

對數 σ - f 特性의 傾斜는

$$\tan\theta = (2-\alpha_1) + (\alpha_1-\alpha_2) \frac{1}{1 + \left(\frac{B_2}{B_1} \right) f^{\alpha_1-\alpha_2}}$$

(5)

지금 $\alpha_1 > \alpha_2$ 라 假定하면 (이하 다른 경우의 傾角에서도 같음) $\tan\theta$ 는 $(2-\alpha_1) \sim (2-\alpha_2)$ 즉 $45^\circ \leq \theta \leq 62^\circ$ 의 범위내에서 변동할 것이며 誘電率은 2-1, a의 경우보다 비교적 빨리 감소한다. 但 여기서 suffix 1,2는 各各의 雙極子에 관계된 양을 표시하며 $A_1 A_2, B_1 B_2$ 는 常數이고 이하 그 구체적 표현은 약하기로 한다.

b) $(\omega\tau_1)^{1-\alpha_1} > 1, (\omega\tau_2)^{1-\alpha_2} > 1$ 의 경우

$$\varepsilon'(\omega) = \varepsilon_{s,1,2} + \left(\frac{C_1}{f^{1-\alpha_1}} + \frac{C_2}{f^{1-\alpha_2}} \right)$$

$$\sigma(\omega) = D_1 f^{\alpha_1} + D_2 f^{\alpha_2} = D_1 f^{\alpha_1} \left(1 + \frac{D_2}{D_1} f^{\alpha_2-\alpha_1} \right)$$

對數 σ - f 特性의 傾斜는

$$\tan\theta = \alpha_1 - (\alpha_1 - \alpha_2) \frac{1}{1 + \left(\frac{D_2}{D_1} \right) f^{\alpha_2-\alpha_1}}$$

(6)

이 경우 주파수의 증가와 더불어 $0 < \theta < 45^\circ$ 의 범위내에서 점점 증가하여 $\theta = \tan^{-1}\alpha_1$ 에 이르며 誘電率도 2-1, b의 경우보다 급히 감소한다.

c) $(\omega\tau_1)^{1-\alpha_1} \ll 1, (\omega\tau_2)^{1-\alpha_2} > 1$, 즉 두 물질의 分散周波數가 상당히 떨어져 있어 實驗周波數帶가 상술한 값의 중간에 들어 있을때

$$\varepsilon'(\omega) = \varepsilon_s + \varepsilon_{\infty} + \frac{C_2}{f^{1-\alpha_2}}$$

주파수의 증가에 따라

$$\varepsilon'(\omega) = \varepsilon_s + \varepsilon_{\infty} + \frac{C_2}{f^{1-\alpha_2}} - A_1 f^{1-\alpha_1}$$

$$\sigma(\omega) = B_1 f^{2-\alpha_1} + D_2 f^{\alpha_2}$$

(7)

$$= B_1 f^{2-\alpha_1} \left(1 + \frac{D_2}{B_1} f^{\alpha_1+\alpha_2-2} \right)$$

對數 σ - f 特性의 傾斜는

$$\tan\theta = (2-\alpha_1) - \{ (2-\alpha_1) - \alpha_2 \} \frac{1}{1 + \left(\frac{D_2}{B_1} \right) f^{(2-\alpha_1)-\alpha_2}}$$

이때 주파수의 증가와 더불어 $\tan\theta$ 는 $\alpha_2 \sim (2-\alpha_1)$ 의 범위 즉 θ 는 45° 이하에서부터 45° 를 넘어서 62° 까지의 범위내에서 변동하며 誘電率도 2-1의 경우에 비하여 급히 변함을 알수있다.

다음 온도변화가 특성에 미치는 영향은 통일적으로 상세하게 논하는 것은 α 에 대한 이론적인 근거가 명백하지 않은 현저로서는 불가능에 가까운 일이며 다만

* $\tan 2 = 62^\circ$

(1)식의 각 factor중 온도에 의존하는 것을 부분적으로 고찰하여 봄으로서 관측된 특성을 이해하여 보기 바란다. (1)에서 온도의 영향을 받는 양은緩和時間 τ , α 및 靜電誘電率 ϵ_s 이다. 緩和時間에 대하여는 Debye의 식 $\tau = \frac{4\pi a^3 \mu}{kT} T^{(6)}$ 로서 定性的考察의 목적을 달할수 있다. 단 여기서 a 는 雙極子半徑이며, k 는 Boltzmann의 常數, μ 는 溶媒의 粘性係數이다. 粘性係數의 온도변화는 실험적으로 $\mu a e^{\frac{C_{\text{vis}}}{RT}}$ (但 $\text{const} > 0$)에 따라 변화됨이 알려져 있으므로 이는 온도상승과 더불어 급격히 감소하며 따라서 緩和周波數 $\omega_s = \frac{1}{\tau}$ 도 온도상승과 더불어 급속히 더 높은 주파수로 이동한다. α 에 대하여는 Cole-Cole의 논문에서 트론된 바와같이 그 발생원적 근거를 아직까지 찾을수없다. 다만 單一緩和시간대신 분포된 緩和시간의 개념이 近似的인 설명을 가능하게 할 정도이다⁽¹⁾ 여기서만 다만 다음과같이 推定하므로써 본실험에 나타난 특성을 고찰하기에 족하다. 즉 α 는 近接分子사이의 상호작용을 나타내는 換指標로 볼수 있으므로 온도상승과 더불어 熱亂振이 왕성하여지면 상호작용도 결과적으로 약화되어 α 도 적어지게 될 것이다. 일례로서 얼음에 대한 측정결과를 보면⁽¹⁾ 다음과 같다.

온도(°C)	-6	-40	-60	-70
$\frac{\alpha\pi}{2}$	4°	15°	15°	20°

ϵ_s 에 대하여는 方位分極이 온도의 상승과 더불어 반비례하여 감소함을 고려하면 감소경향이 있음을 알수 있다. (界面分極까지 포함한다)

이 보고에서는 부분적 晶形 또는 거의 非晶形으로되어있는 합성수지에서는 緩和分極(relaxation polarization)이 가능함으로 高周波電界에서의 誘電特성을 살필에 있어 Cole-Cole의 丹弧則에 입각하였으며 또한 樹脂제조과정에 혼합되는 添加劑 및 充填劑들의 영향을 생각하여 二系 또는 그이상의 混成緩和分散이 가능하다고 상정하였다. 試料로서는 현재 우리나라에서 생산되어 시판되는 합성수지에서 택하였으며 관측된 특성에 대하여는 부분적으로 물성적해석을 시도하였고 또한 실험결과와의 관련에도 언급하였다.

3. 실험장치 및 측정방법

試料의 複素誘電率의 측정은 Q-meter법에 의거하였다. 計器는 Boonton製 260-A형을 사용하였으며 주파수는 50KHz~50MHz 사이에서 可變할수 있게되어 있다. 試料를 內藏하고 온도를 可變할수있는 熱浴槽는 當연구실에서 제작하였으며 이것의 漏洩抵抗과 漂游容

량은 각온도와 주파수별로 측정하여서 試料에 대한 측정치를 補正하는데 사용하였다.

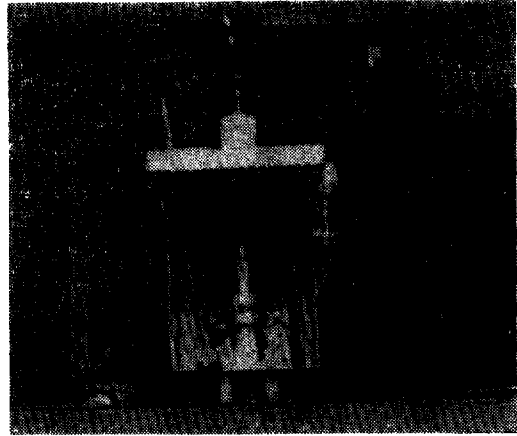


그림 1. 항온조 전면도
Fig 1. Front view of constant heat box attached temperature regulator.

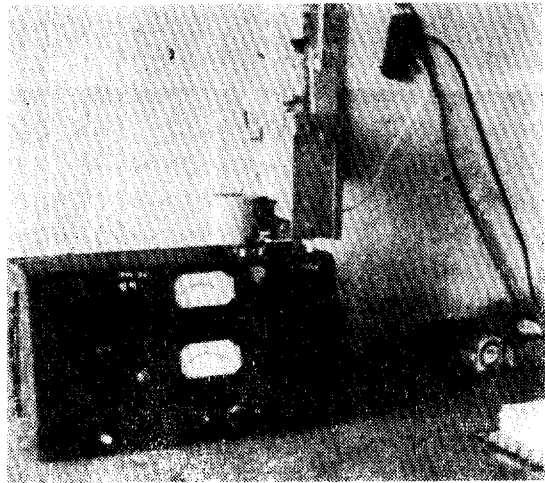


그림 2. 260-A형 Q-meter
Fig 2. Front view of Q-meter used for experiment Type 260-A.

4. 실험결과의 검토

4-1. Polyethylene

포리에치렌의 주파수특성은 그림 3에 나타낸 바와같이 사용할 주파수 영역에서는 주파수의 증가와 더불어

함을 보이고 있으며 方位分極이 들어있지 않음을 잘 암시하는 것으로 보인다.

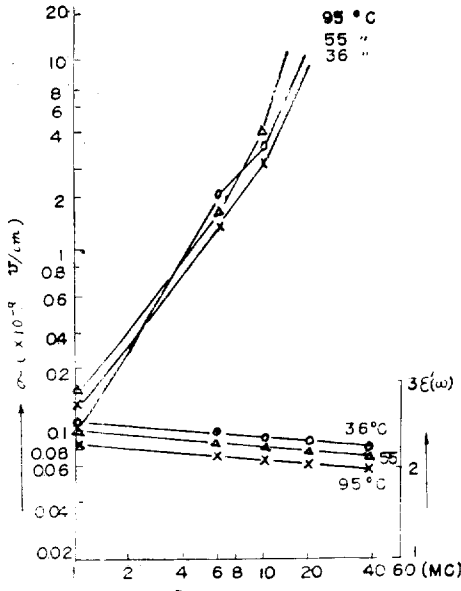


그림 3. 폴리에치렌의 도전율과 유전율의 주파수 특성 (두께 2.0mm)

Fig 3. Conductivity and specific dielectric constant vs. frequency for head polyethylene. (thickness 2.0mm)

誘電率は 대체로 일정하나 直線狀으로 서서히 감소하고 있으며 誘電率도 55°의 경사각으로 直線狀으로 변화하다가 다만 20(MHz) 부근에서부터 그 傾斜가 줄어드는 경향이 있다. 이상과 같은 특성의 변화는 單一雙極子만이 존재하고있는 2-1, a의 경우 즉 (3)'식에 해당한다고 생각되며 10(MHz) 부근에서 이 試料의 誘電分散이 시작되는 것으로 보인다. 1(MHz)에서 $\tan\delta$ 는 0.1×10^{-4} 정도이며 다른 試料에 비하여 그 값이 대단히 작으며 분자구조에 永久雙極子が 들어있지 않는 것을 생각하면 수급이 간다.

導電率의 傾斜角에서 구하면 α 는 0.6 정도이다. 일반적으로 합성수지 誘電加熱에 있어 필요한 전력밀도를 얻기 위하여는 $0.1 \times 10^{-6} (\text{O/cm})$ 정도의 導電率이 필요한데 사용한 주파수 범위에서는 導電率의 값이 $10^{-9} (\text{O/cm})$ 정도이나 폴리에치렌의 誘電加熱은 이런 주파수 내에서 시행하기 곤란함을 알수 있다. 그림 4, 5는 각 주파수에서 온도의 변화에 따르는 誘電率, 導電率의 변화하는 모양이며 두 특성이 모두 온도의 영향이 약

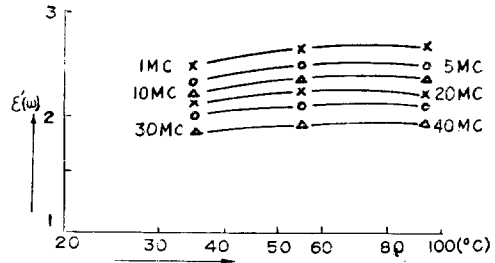


그림 4. 폴리에치렌의 유전율에 대한 온도 특성. (두께 2.0mm)

Fig 4. Dielectric constant vs. temperature characteristics for hard polyethylene (thickness 2.0mm)

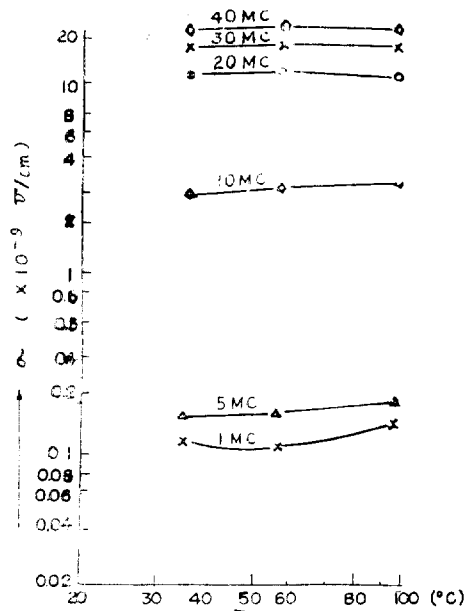


그림 5. 폴리에치렌의 도전율에 대한 온도특성 (두께 2.0mm)

Fig 5. Conductivity vs. temperature characteristics for hard polyethylene (thickness 2.0mm)

4-2. Phenol resin plate

石炭酸樹脂積層板의 導電率 주파수 특성은 그림 6에 보인 바와같이 95°C의 경우 경사각은 약 43°C부근

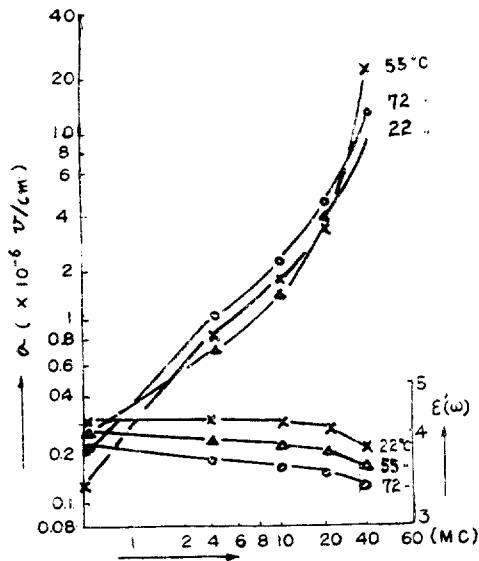


그림 6. 석탄산 수지·적층판의 도전율과 유전율의 주파수 특성. (두께 9mm)
Fig 6. Dielectric Constant and conductivity vs. frequency characteristics for phenol resin plate (thickness 9.0mm)

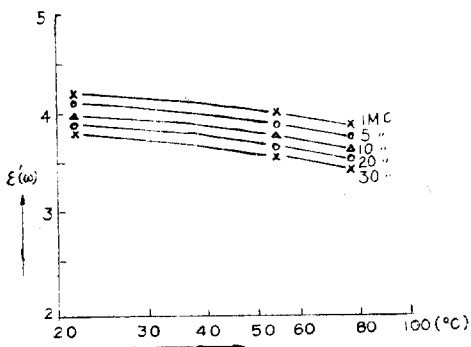


그림 7. 석탄산수지 적층판의 유전율에 대한 온도특성 (두께 9.0mm)
Fig 7. Dielectric constant vs. temperature characteristics for phenol resin plate. (thickness 9.0mm)

에서 시작하여 주파수의 증가와 더불어 60°부근으로 이동하고 있으며 誘電率은 8(MHz)부근에서부터 급격한 감소를 보이고있어 二系의 雙極子가 誘電分散에 참여하고 있으며 사용주파수가 각각의 분산주파수의 中間帶에 들어있는 경우 즉 2-2, b의 (7)식의 경우가 아닌가 생각된다. 1(MHz)에서의 $\tan\delta$ 의 값은 6.2×10^{-2} 정도이어서 유전체손은 큰편이며 원래 resite는 분자 구조에 極性基를 갖이고 있어 유전체손이 클것이 예상된다.

따라서 고주파 절연체로서는 부적당하며 誘電加熱의 適正주파수에 대하여는 그림 8의 도전율의 온도특성을 참조하여볼때 필요한 導電率의 값을 가지며 또한 온도에 따라 특성의 변화가 적은 범위 즉 10~30(MHz) 부근이 적당하다고 생각된다.

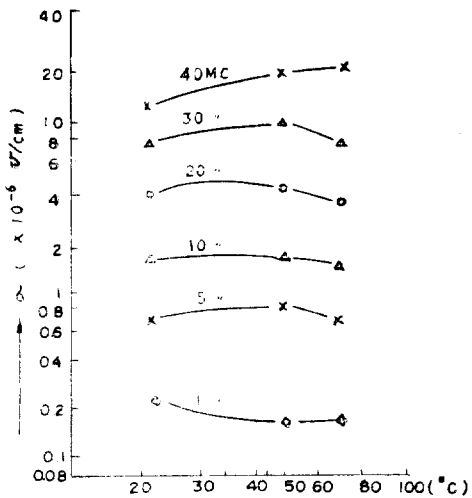


그림 8. 석탄산수지적층판의 도전율에 대한 온도특성 (두께 9.0mm)
Fig 8. Conductivity vs. temperature characteristics for phenol resin plate (thickness 9.0mm)

4-3. Polyester

그림 9에 표시된 polyester의 유전주파수특성은 2-2, a의 (6)식에서 논한바와 같은 전형적인 형태를 나타내고있으며 誘電率도 直線狀에 가깝고 비교적 급한 감소를 나타내고 있다. 導電率도 10(MHz)부근에서 제 2의 雙極子 영향이 나타나고 있다. 95°C의 경우 10(MHz) 이상에서 第二雙極子의 영향이 나타나지 않는것은 2계식 절연체와 같이 분산주파수가 더높은 주파수帶로

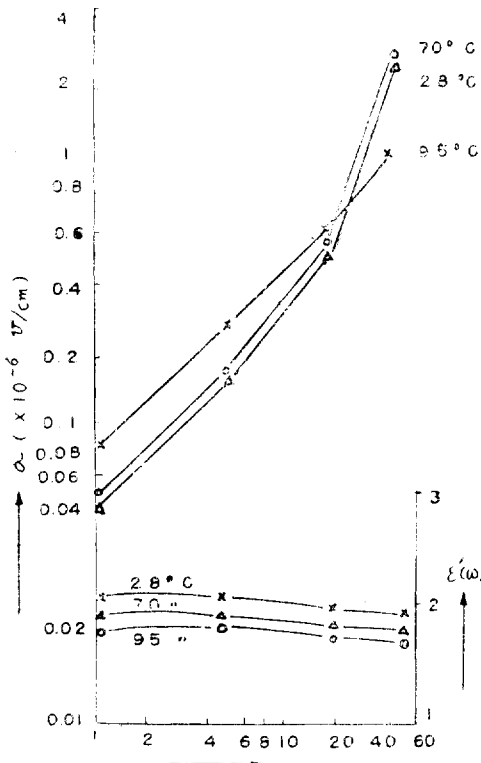


그림 9. 폴리에스타의 유전율과 도전율에 대한 주파수 특성(두께 3.0mm)

Fig 9. Specific dielectric and conductivity vs. frequency characteristics for polyester. (thickness 3.0mm)

이동한 까닭이며 이경우의 경사가 더 적어진 이유로서는 (9)식의 $\tan\delta$ 에서 알수있는바와 같이 온도의 상승과 더불어 α_1 보다 α_2 의 감소하는 정도가 커서 결과적으로 $\alpha_1 - \alpha_2$ 가 줄어들었기 때문이라고 생각하면 수긍할 수 있다. 誘電損失角 $\tan\delta$ 는 28°C, 1[MHz]에서 2.4×10^{-2} 정도의 대단히 큰 값이며 이유로서는 분자구조식에서 볼수있는 바와 같이 ester基의 永久雙極子를 포함하고 있기 때문이라 생각되며 따라서 polyester는 고주파 절연재료로서는 적합하지 않음을 짐작할수있다 유전가열주파수는 Fig 11의 온도특성을 고려하여 5~10(MHz)사이가 적당하다고 생각된다. 同特性에서 20~40(MHz), 80°이상에서 도전율이 급격한 감소현상이 나타나고 있는데 Fig. 9를 참조하면 알수있는바와 같이 誘電時차이 온도상승에 따라 감소하는데 誘因하고 있다.

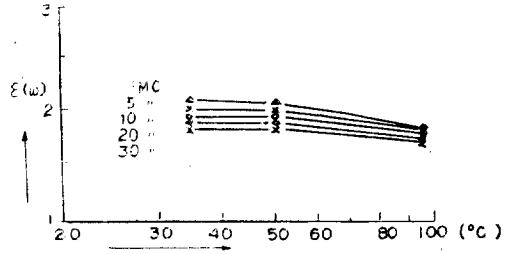


그림 10. 폴리에스타의 유전율에 대한 온도특성(두께 3.0mm)

Fig 10. Dielectric constant vs. temperature characteristics for polyester (thickness 3.0mm)

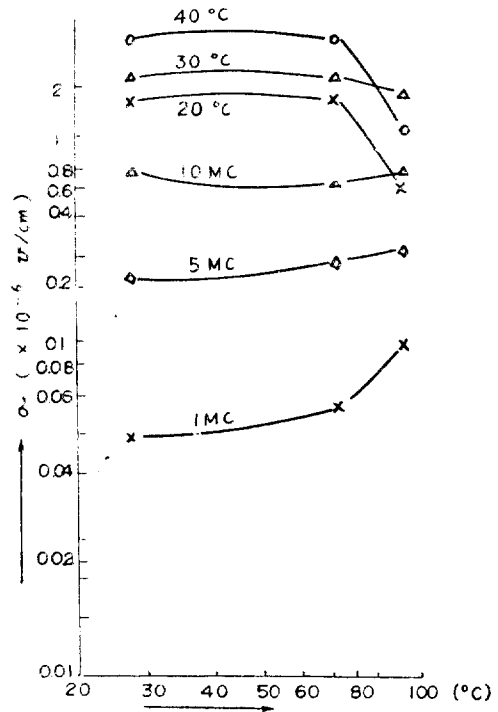


그림 11. 폴리에스타의 도전율에 대한 온도특성(두께 1.0mm)

Fig 11. Conductivity vs. temperature characteristics for polyester (thickness 3.0mm)

4-4. Urea resin

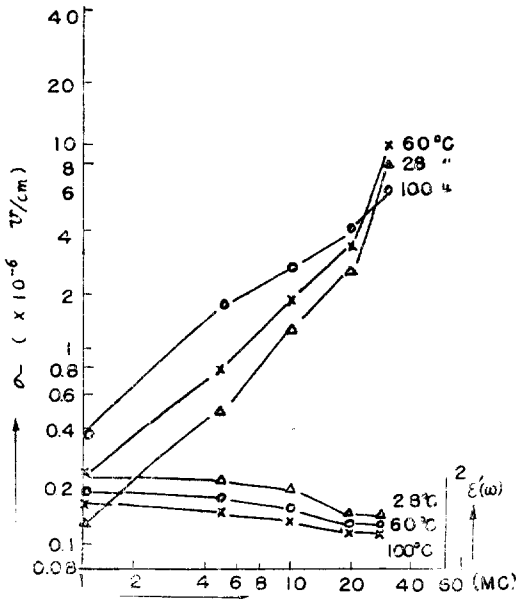


그림 12. 요소수지의 유전율과 도전율의 주파수 특성(두께 3.0mm)

Fig 12. Electrical properties vs. frequency Characteristics for hard Urea resin (thickness 3.0mm)

Urea樹脂의 주파수특성은 Fig 12에 보이바와같이 polyester의 경우와 동일하며 이것 또한 2-2, c에 속

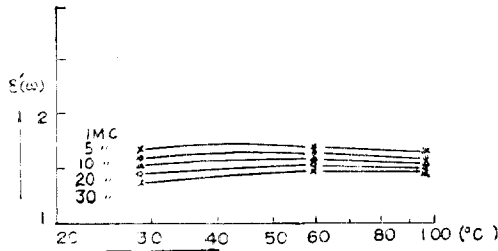


그림 13. 요소수지의 유전율에 대한 온도특성 (두께 3.0mm)

Fig 13. Specific dielectric constant vs. temperature characteristics for hard Urea resin. (thickness 3.0mm)

한다. 화학구조물보면 極性基 keton이 들어있어 誘電損失角 $\tan \delta$ 가 대단히 클것이 짐작되며 고주파절연재료로서는 적합하지 않음을 알수있다. 28°C, 1[MHz] 때 $\tan \delta$ 를 구하여 보면 1.9×10^{-1} 이 된다. Fig 12에서 보면 20[MHz]에서 二系이상의 혼성분산이 일어나고 있는데 誘電가열주파수는 온도특성을 고려하여 5~20 [MHz]정도가 적당하다고 생각된다.

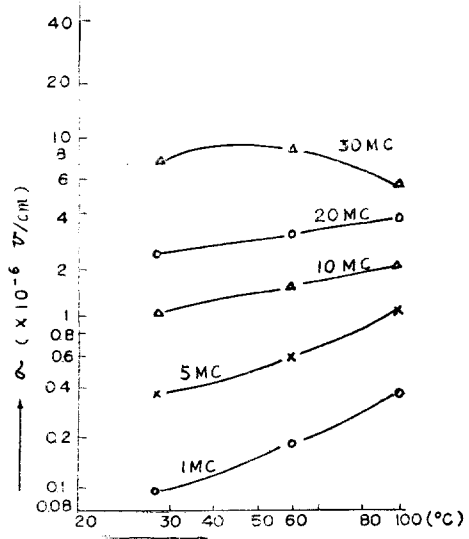


그림 14. 요소수지의 도전율에 대한 온도특성 (두께 3.0mm)

Fig 14. Conductivity vs. temperature characteristics for hard Urea resin (thickness 3.0mm)

4-5. Polyvinyl chloride

p. v. c의 유전주파수특성은 Fig 15에 표시하였다. 30°C에서는 도전율이나 유전율의 변화는 單一雙極子가 분산주파수 이상에서 참여하는 전형적인 특성과 비슷하나 온도의 상승과 더불어 동일주파수에 있어서 유전율을 증가하고 있다. 도전율은 100°C의 경우 10[MHz] 이상에서 도리어 감소하는 특이한 현상을 나타내고 있다. 이와같은 특성은 다음과 같이 시료중에 들어있는 ion에 의한 도전현상이라 생각하면 이해할수 있다.

즉 p. v. c에서는 제조과정에서 加熱混練時 脫鹽酸反應으로 인하여 상당량의 H^+ , Cl^- ion이 들어있으나 물리싸고 있는 ion분위기로 인하여 상대적으로 낮은 주파수에서는 ion들이 도전에의 참여가 방해를 받아 있다.

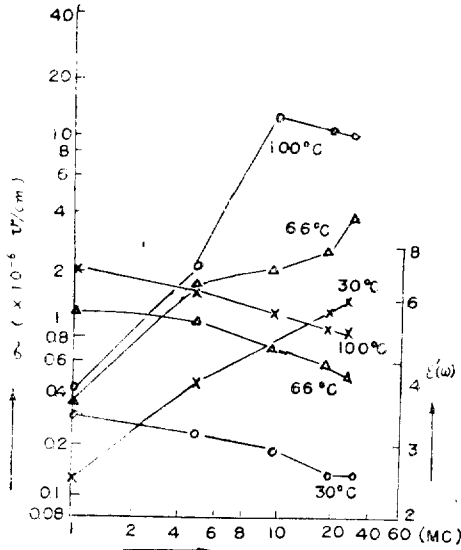


그림 15. P. V. C의 유전율과 도전율의 주파수특성 (두께 1.0mm)

Fig 15. Dielectric and conductivity vs. frequency characteristics for P.V.C (thickness 1.0mm. DOP50 parts, stabilizer 2 parts. degree of polymerization 1,000)

주파수가 상승함에 따라 ion분위기의 弛緩현상이 주파수의 변동에 따르지 못하게 되면 ion은 도전에 적극 참여할 수 있게 될 것이다.

지금 金子氏의 濃縮電解溶液에 대한 複素誘電率의 이론을 篠原氏(2)가 정리한 결과에 의하면 ion분위기의 弛緩현상이 없어지는 높은 주파수에서는 도전율 $\sigma(\omega) = \sum n_i c^2 z_i^2 \nu_i$ 로 표시되는 일정치에 도달한다.

단 n_i : i ion의 평균밀도

z_i : i ion의 ion價

e : 전자의 電荷

ν_i : i ion의 이동에 대한 마찰계수의 역수

그러나 이보다 더 높은 주파수영역에서는 마찰계수는 증가할것임으로 ν_i 는 줄어들어서 ion도전율은 주파수와 더불어 감소하는 결과가 될것이다. 도전율 특성에서 100°C의 경우 10[MHz] 이상에서 $\sigma(\omega)$ 가 감소된 것은 이로 인한 것으로 해석된다. 유전가열주파수는 도전율의 온도특성을 고려하여 5[MHz]부근이 적당하고 30°C 1[MHz]에서 $\tan\delta$ 는 1.6×10^{-1} 이며 고주파열연재료로서는 적합하지 않다.

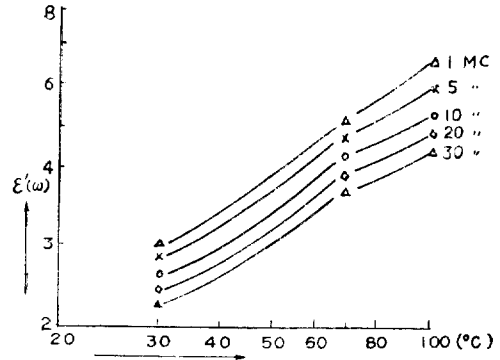


그림 16. P. V. C의 유전율에 대한 온도특성(두께 1.0mm)

Fig 16. Specific dielectric constant vs. temperature characteristics for polyvinyl chloride. (thickness 1.0mm D. O. P. 50parts, stabilizer 2parts degree of polymerization 1,000)

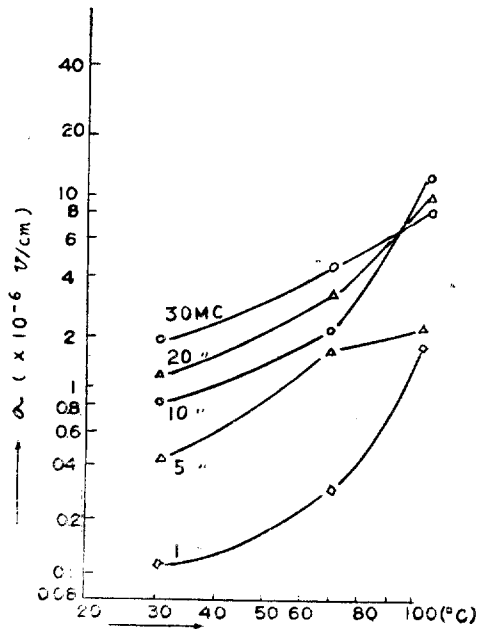


그림 17. P. V. C의 도전율에 대한 온도특성(두께 1.0mm)

Fig 17. Conductivity vs. temperature characteristics for polyvinyl chloride (thickness 1.0mm, D. O. P. 50 parts, stabilizer 2parts, degree of polymerization 1,000)

5. 결 론

(1) Cole-Cole圓弧則에 입각하여 유도한 주파수특성 식으로 각종합성수지의 유전특성을 비교적 잘 설명할 수 있었으며 관찰결과 單一雙極子만이 참여하는 경우는 적고 대개는 둘 또는 그 이상의 雙極子の 혼성분산이 나타난다고 생각된다.

(2) “벤젠”핵이 들어있는 고분자합성수지는 대체로 $\tan\delta$ 가 크며 脂肪族 고분자합성수지는 비교적 $\tan\delta$ 가 적은 경향이 있다.

(3) 供試재료등에 대한 유전가열에 적합한 周波數帶는 5~30[MHz]의 범위인데 이는 현 우리나라에서 사용하는 원거리송신용 周波數帶와 중복된다.

참고문헌

(1) K. S. Cole & R. H Cole: J. chem phys. p. 341 (1941. 4)
 (2) 篠原卯吉, 大鳥重威: 전기학회잡지 p 51.59(1961)
 (3) Schallamach:Trans. Faraday Soc., 42(1946) 180
 (4) Denney:J,chem. phys., 30(1959) 1019.
 (5) 藤村: 동북대학“과학계측연구소보고” 제10권 제 3호 p. 159. 165. 170. 173 (1962)
 (6) Fröblich: 유전체론 p. 97 (1965)