

高分子電氣材料의 電氣傳導機構

尹文洙

(韓國電氣研究所 電氣材料研究室長)

■ 차

례 ■

- 1. 머릿말
- 2. 電氣傳導機構
- 2.1 電子性傳導
- 2.2 이온성 전도
- 2.3 移動度의 測定

- 2.4 光電導
- 2.5 傳導機構에 미치는 Doping 效果
- 3. 맷는말
- 참고문헌

① 머릿말

有機高分子는 전기적, 화학적 특성이 좋아 다방면에 걸쳐 다양하게 사용되며, 수요도 증가하고 있고 전기재료로서는 주로 절연분야에 사용되어 왔다. 최근 전력수송의 초초고압화, 대용량화와 더불어 전자, 전기기기의 소형, 경량화 및 고효율, 고신뢰도화 추세에 따라 절연설계는 더욱 가혹한 조건을 요구하게 되었고, 산업발전에 따른 사용환경의 확대로 인해 절연재가 구비해야 될 조건도 더욱 엄하게 되었다. 이러한 상황하에서의 절연설계는 종래의 경험적인 검토만으로는 불충분하고 전기물성론적인 수법으로 미시적 입장에서 절연재료가 갖는 기초적 성질을 충분히 이해한 뒤 그 성질을 제어함으로 절연능력의 향상, 사용목적에 맞는 재료의 개발이 바람직하다.

지금까지 고분자전기절연재에 있어서 전기전도기구, 절연열화기구등에 대해서는 많은 연구가 행해졌으며^{1)~5)} 측정기술 및 물성론의 발전에 의해 기본적 성질이 점차 밝혀지고 있으나 아직 미해결점이 많이 남아 있다. 그 이유는 절

연물이 사용되어 지는 환경과 생산공정등의 外的 원인에 의해서 이들의 현상이 틀리지만 본질적인 문제는 고분자 자신이 갖는 内因的 성질(고분자는 결정질, 비정질등이 混在하여 있고 첨가제등의 영향이 큼)과 측정치가 미소량으로 잡음등의 영향을 받기 쉽다는 측정상의 어려움이 있기 때문이다.

본 기술해설에서는 고분자 전기재료의 전기전도기구에 대한 개관을 설명하고자 한다.

② 電氣傳導機構

高分子 절연재료에 직류전압을 인가하면 시간 경과에 따라 $I(t) = I_0 t^{-n}$ ($n \leq 1$) 형의 감소하는 전류가 관측된다.⁶⁾ 이 전류는 시간, 압력, 온도 그리고 분위기등의 外因的 요소 이외에 고분자 자체가 갖는 분자구조, 高次構造, 결함, 불순물, 첨가제등의 内因的 요소에도 크게 영향을 받는다.

일반적으로 임의의 시작 t 에서 관측되는 단위 면적당의 전류밀도 J 는 다음의 식으로 나타낸다.

$$J(t) = \sum q_i n_i(x, t) \mu_i(E) E(x, t) - q_i D_i \\ \frac{\partial n_i(x, t)}{\partial x} + \frac{\partial \epsilon_0 \epsilon_r(x, t) E(x, t)}{\partial t} \quad (1)$$

여기서 q 는 carrier의 전하, n 은 可動carrier의 밀도, μ 는 carrier의 이동도, E 는 전계, ϵ_0 는 전공의 유전율, ϵ_r 은 비유전율, x 는 거리 그리고 첨자 i 는 carrier의 종류이다. (1)식에서 제1항이 drift전류, 제2항이 확산전류 그리고 제3항이 변위전류이다. 제1, 2항이 전도전류이고 전도전류의 경우 확산전류항을 일반적으로 무시 한다. 앞에서 설명한 바와 같이 전류는 시간경과에 따라 감소하므로 어느 시점의 값을 취하느냐에 따라 전도 전류의 값이 틀리나, 전압 인가후 1분뒤의 값을 취하는 것이 상례이다.⁷⁾

(1)식에서 알 수 있는 바와 같이 전도기구를 이해하는 데는 1. carrier종류의 문제, 2. carrier밀도, 생성과정의 문제, 3. carrier의 이동과정의 문제를 명확히 하지 않으면 안된다.

먼저 carrier가 이온성인가 전자성 인가에 따라 크게 전자성전도와 이온성전도로 나눈다. 이 2개의 전도기구에는 표1에⁸⁾ 표시한 바와 같이 차이가 있으므로 분리해서 각각의 전도 기구의 특성을 살펴 보기로 한다.

표 1. 導電機構의 판정법

現 象	電子傳導	이온傳導
物 質 輸 送	無	有
結 晶 化	增	減
架 橋	增(?)	減
glass 転 移	鈍感	敏感
压 力	增	減
加 塑 化	減(?)	增

2.1 電子性 傳導

2.1.1 Energy band 구조

고분자에는 C-C간이 σ band로 결합한 것과 C-C간의 결합에 π 전자를 가지고 있는 것이 있으며, 분자간에는 약한 Van der Waals力으로 결합해 고체를 이루고 있다. 이 때문에 분자내에서의 전기전도에 대해서는 band전도의 적용도

가능하나 분자간에는 band전도의 적용이 문제점이 있다. σ 결합을 하고 있는 고분자의 價電子帶에는 탄소 1개당 2개의 전자가 있으므로 총 만대가 되어 금지대(Eg)가 넓은 절연체 구조를 취한다. 그러나 C-C간의 결합이 π 전자를 갖는 고분자에는 π 전자가 몇개인가에 따라 band 구조가 달라진다. 다시 말하면 1원자당 2개의 π 전자가 있으면 이것은 총만대(filled band)가 되어 절연체 band구조로 된다. 그러나 1원자당 1개의 π 전자가 있으면 이것은 半滿帶(half filled band)로 되어 원리적으로는 금속과 같은 구조를 取하지만 실제는 Peiers전이가 일어나 절연체 내지는 반도체 band구조로 된다. 또 실제의 고분자에는 結晶領域과 非結晶領域이 混在하고 있기 때문에 傳導帶下端과 價電子帶의 上端에 band tail로서 非結晶質部分에 상당하는 局在準位가 존재한다.

고분자의 band구조에 대해서는 이론, 실험의 양면에서 연구가 되어 보고자에 따라 E_g 가 7~19eV의 여러가지 값이 보고되어 있으나 최근 真空紫外線領域^{9)~11)}에서의 光電導실험에서 C-C간이 σ band로 되어 있는 고분자의 E_g 값이 대개 8.5eV 전후임이 밝혀졌다. 표 2에^{5), 9)~11)} 몇가지 고분자의 E_g 값을 표시하였다.

표 2. 고분자 E_g 값

Molecular Structure	Carrier	Band Gap Energy	
$\begin{array}{c} \text{H} & \text{H} \\ & \\ -\text{C}-\text{C}- & \\ & \\ \text{H} & \text{H} \end{array}_n$	Polyethylene	+, -	8.5eV
$\begin{array}{c} \text{F} & \text{F} \\ & \\ -\text{C}-\text{C}- & \\ & \\ \text{F} & \text{F} \end{array}_n$	Polytetra-fluoroethylene	+	8.4eV
$\begin{array}{c} \text{F} & \text{CF}_3 \\ & \\ -\text{C}-\text{C}- & \\ & \\ \text{F} & \text{F} \end{array}_n$	Polyhexa-fluoropropylene	+	8.1eV
$\begin{array}{c} \text{F} & \text{F} \\ & \\ -\text{C}-\text{C}- & \\ & \\ \text{Cl} & \text{F} \end{array}_n$	Polychloro-tri-fluoroethylene	+	8.6eV
$\begin{array}{c} \text{H} & \text{H} \\ & \\ -\text{C}-\text{C}- & \\ & \\ \text{H} & \text{O} \end{array}_n$	Polystyrene	+, -	7.2eV
$\begin{array}{c} \text{CH}_2-\text{CH}_2 \\ \\ \text{CH}_2-\text{CH}(\text{CH}_3)_2 \end{array}_n$	Polymethyl pentene	+	8.5eV
$\begin{array}{c} \text{H} & \text{F} \\ & \\ -\text{C}-\text{C}- & \\ & \\ \text{H} & \text{F} \end{array}_n$	Polyvinylidene fluoride		

2.1.2 電子性傳導電流

1에서 설명한 것과 같이 전도대(가전자대)에 전자(정공)가 없는 사실과 E_g 의 값이 크기 때문에 이상적인 고분자 결정에서는 전자성전도는 일어나지 않는다. 그러나 실제의 고분자에서는 光, 방사선등의 照射에 의해 가전자대에서 전도대에 전자가 직접 천이할 수 있고, 不純物準位의 전자, 정공이 각각 전도대 가전자대로 천이 한다. 또 전극에서 전자 또는 정공이 주입된다. 이와 같은 이유로 실제의 고분자에는 전자성전도를 나타낸다. 이 전자성전도는 인가전압이 낮을 경우에는 고분자 내에 열적으로 여기된 전자가 주체가 되어 ohm적인 전류가 관측 되지만, 전계가 높을 경우에는 Shottky효과, Poole-Frenkel 효과, Tunnel효과 등에 의해 전도 carrier의 수가 증가하여 전류는 전압에 대해 비직선적인 증가를 나타낸다. 표 3에 고전계에서의 전자성전도전류의 model을 표시하였다.

표 3. 전자성 전도기구

(1) 電極制限形 電界放出電流 (Tunnel效果) Schottky放出電流	$J = AE^* \exp(-B/E)$ (1.2) $J = CT^* \exp(\beta_0 E + \phi/kT)$ (1.3)
(2) Bulk制限形 Poole-Frenkel 放出電流	$J = CT^* \exp(\beta_{PF} E + \phi/kT)$ (1.4)
空間電荷制限電流 Hopping 傳導電流 電子散逸電流	$J = \frac{e}{d} \exp(E^*/d)$ (1.5) $J = D_s \sinh(eE\lambda/2kT)$ (1.6) $J = J_0 e^{-\alpha t}$ (1.7)

A, B, C, D, J₀: 定數

$$E : \text{電界} \quad \beta_0 = \left(\frac{e^2}{4\pi\varepsilon} \right)^{1/2} \quad \beta_{PF} = \left(\frac{e^2}{\pi\varepsilon} \right)^{1/2}$$

$$e : \text{電子의電荷} \quad \alpha : \text{電離度数}$$

$$T : \text{絶対温度} \quad t : \text{距 離}$$

$$k : \text{Boltzmann定數} \quad \varepsilon : \text{誘電率}$$

$$d : \text{試料의 두께} \quad \lambda : \text{Hopping距離}$$

$$\mu : \text{移動度} \quad \phi : \text{電極物質의 誘電体에 对한 実効值 函数}$$

2.1.3 전자성carrier의 이동과정

전자성carrier의 이동과정에서는 여러가지 model이 제안되어 있다. 그림 1에 이동과정, 표 4에^{5), 12)} 제안된 model을 나타내었다. 이동도의 값은 전자성carrier의 energy값에 따라 여러가지 값을 나타내고, carrier의 energy가 적어짐에 따라 $\mu_1 \rightarrow \mu_2 \rightarrow \mu_3 \rightarrow \mu_4$ 로 감소한다.

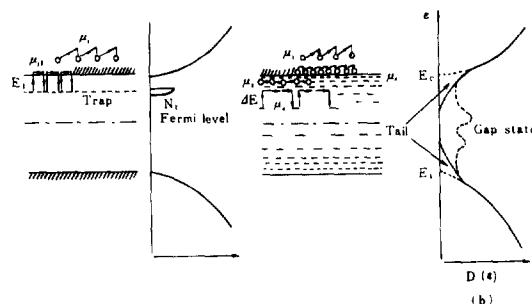


그림 1. Carrier 이동 model 및 energy band 구조

표 4. 전자성carrier의 이동기구

移動過程	式	移動度の値 (cm ² /V.s)
band移動度 μ_1	$\mu_1 = \tau \cdot e/m \cdot e \cdot l / V_m$	$\mu_1 \gtrsim 10-100$
Brown運動移動度 μ_2	$\mu_2 = D \cdot e/kT - \sigma' v \cdot e/kT$	$10^{-3} < \mu_2 < 1$
Tunnel Hopping移動度 μ_3	$\mu_3 = (e/kT) R' v_p e^{-\phi}$	$10^{-3} < \mu_3 < 10^{-1}$
熱動起Hopping移動度 μ_4	$\mu_4 = \mu_1 \exp(-\Delta U/kT)$	$10^{-3} < \mu_4 < 10^{-1}$
Trap制限band移動度 μ_5	$\mu_5 = \mu_1 N_c / N_v \exp(-U_t/kT)$	$10^{-3} < \mu_5 < 10^{-1}$
Trap制限Hopping	$\mu_6 = \mu_1 N_c / N_v \exp(-U_t/kT)$	
移動度 μ_7	$\mu_7 = 2 \lambda v/E \exp(-U_t/kT) \cdot E \sinh(2eE/2kT)$	
反応速度論的Hopping	$\mu_8 = e^2/kTh (\pi/2W_k T) + J' \exp(-W_k/2kT)$	
移動度 μ_9	$\mu_9 = e^2/kTh (\pi/2W_k T) + J' \exp(-W_k/2kT)$	
Hopping Polaron移動度 μ_{10}		

m : 电子有効質量 τ : 衝突時間 l : 平均自由行程

V_m : 电压

D : 扩散系数 σ' : 空间距离 v : Jump频率

R' : Tunnel频率 v_p : Phonon频率

ΔU : 激起エネルギー

N_c : 전도대 유효상태밀도

N_v : trap 밀도

U_t : trap 깊이

λ : 国際準位 간의 거리

2.2 이온성전도

고분자재료에는 고분자 자체의 热解離 이온이 외에 重合時의 触媒殘渣, 수분, 添加劑등의 이온 不純物이 많이 포함되어 이러한 것들이 이온 공급원이 되어 이온전도를 나타낸다. 이 이온전도는 표 1에서 설명하였지만 전자성 전도와는 다른 전도 특성을 나타내므로 그 특성에 대해 간략하게 설명한다.

2.2.1 이온성전도의 특성

① Faraday 법칙에 따르는 물질이동이 있다. 그러나 고분자의 암전류가 적기 때문에 물질이동이 직접 검출된 예는 드물다.

② 고분자내의 원자배열의 틈이 클 수록 전도도가 크다.

- ③ 결정화도의 증가는 이온전도를 감소 시킨다.
 ④ 첨가물, 잔류불순물의 영향이 크다.
 ⑤ 이온의 이동도는 점도 η 에 역비례하고 $\eta^m \times \mu_i =$ 일정 (2)의 법칙이 성립한다. ($m=0$), $m=1$ 인 경우에는 Walden式이 된다.

2.2.2 이온의 이동과정

고분자 내에 존재하는 이온의 이동과정은 한 안정위치에서 전위장벽을 넘어 다음의 안정위치로 이동하는 hopping model과, 자유체적 (free volume)이 집적해서 생긴 공극간을 움직이는 자유체적 model이 있다. hopping model에 의한 전류는 式(3)으로 표시된다.

$$J = 2qna\nu \exp(-U_0/kT) \sinh(qaE/2kT) \quad (3)$$

여기서 a 는 인접안정위치간의 거리, n 은 고분자 내에 동결된 유리이온밀도, ν 는 이온진동수이다.

(3)式은 저전계, 고전계에서는 각각 式(4), (5)로 표시된다.

○ 저전계 ($qaE \ll kT$)의 경우

$$J \cong (q^2 a^2 n \nu / kT) E \exp(-U_0/kT) \quad (4)$$

○ 고전계 ($qaE \gg kT$)의 경우

$$J \cong qna\nu \exp(-U_0/kT) \exp(qaE/2kT) \quad (5)$$

한편 자유체적 model에 의한 전도도는

$$\sigma = (2n_\infty q \nu \alpha / E) \{ \sinh(qaE/2kT) \} \exp\left\{ -\left(\frac{\gamma V_i^*}{V_s} + \frac{U_0 + W_0/2\varepsilon}{kT} \right) \right\} \quad (6)$$

로 된다.

α : 상관인자 ($0 < \alpha < 1$), γ : 보정인자, V_s : 자유체적, V_i^* : 이온이동에 필요한 임계체적, W_0 : 공기중에서의 이온解離 energy

2.3 移動度의 测定

(1), (2) 절에서 carrier종류에 따르는 전도특성과 carrier의 이동과정에 대해서 설명하였다. 본 절에서는 지금까지 고분자재료에 있어서 이동도의 측정에 사용된 이동도 평가방법에 대해 설명하고자 한다. 고분자에는 carrier의 밀도가 작

고 전도도도 낮기 때문에 반도체에 사용되는 hall효과, 자기저항의 측정등의 방법으로는 전도도가 큰 고분자재료를 제외하고 이동도 측정이 불가능 하므로 생략하기로 한다.

2.3.1 表面電荷減衰法

Corona 대전 또는 접촉대전등의 방법으로 고분자 표면에 전하를 축적시켜 놓고, 표면전하의 감쇄를 표면전위의 시간적 변화로 측정해 이동도를 평가하는 방법이다. 이동도는 다음의 (7)式으로 구한다.

$$V = V_0 - (\mu V_0^2 / 2d^2) t \quad (t \leq 2d^2/V_0) \quad (7)$$

단 V_0 는 시간 $t=0$ 에서의 표면전위, d 는 시료의 두께이다.

2.3.2 極性反轉法

전압을印加하여 한쪽 전극 근방에 carrier를 모아놓고, 순간적으로 전압의 極性을 反轉시키면 모아졌던 carrier가 對向電極으로 이동하고, 對向電極에 도달될 때 전류 peak가 나타난다. 이 전류의 peak까지의 시간을 측정해서 이동도를 구하는 방법이다.

2.3.3 電壓pulse法

이 방법은 원리적으로는 국성반전법과 같다. 한쪽 전극 근방에 carrier가 偏在하고 있을 때, 전극으로부터 carrier注入이 충분한 경우, pulse 전압을 인가하면 공간전하제한전류가 흐르므로 시각 t 에서 전류의 peak가 나타난다. 인가pulse 전압을 V , 시료의 두께를 d 라 하면,

$$\mu = 0.786 d^2 / t \cdot V \quad (8)$$

(8)式의 관계식으로 부터 이동도를 구하는 방법이다.

2.3.4 拡散係數에서 구하는 方法

Einstein의 관계식으로부터 이동도를 평가하는 방법이며, 이동도는

$$\mu = eD/kT \quad (9)$$

에서 구한다.

2.3.5 光hall 法

고분자는 앞에서 설명한 바와 같이 전도도가 낮으므로 hall 효과로는 이동도의 측정이 어려워나, 光照射等에 의해서 전도도를 올려 hall 효과로 이동도를 측정하는 방법이다.

2.3.6 Carrier走行時間法 (Time of flight method)^{13)~15)}

두께 d 인 시료의 양쪽에 전극을 붙여 한쪽 전극근방에 두께 δ 의 carrier층 ($\delta \ll d$)을 생성시켜, 이 carrier층이 인가전압에 의해 對向電極에 도달하는 시간(carrier의 走行時間) T_r 을 측정해서 carrier의 drift속도의 식에서 이동도를 평가하는 방법이다. 이때 carrier의 생성시간 T_g 는 carrier의 走行時間 T_r 에 비해 $T_g \ll T_r$ 의 관계가 성립해야 한다. 따라서 carrier의 생성은 pulse 幅이 짧은 電子線, laser光, 放射線등이 사용된다.

이 방법은 carrier의 極性判別이 가능하고 가장 확실한 방법으로 알려져 고분자의 이동도 측정에 가장 많이 사용되어지고 있다. 그러므로 이 방법에 대해서는 좀 더 상세하게 설명하기로 한다. δ 의 두께로 생성된 carrier의 대부분은 初期再結合해버리고, 初期再結合하지 않는 것만이 carrier로 되어 인가전계하에서 trap, detrap과정을 반복하면서 電極間을 走行한다. 이때 印加電壓의 極性과 반대의 極性을 갖는 carrier는 生成領域에서 곧 電極에 흡수되어버리고, 印加電壓과 同極性的 carrier만이 試料中을 움직이며 外部回路에 電流 ($RC \ll T_r$) 또는 電荷波形 ($RC \gg T_r$)으로 유기되어 관측된다. 誘起된 전류 및 전하파형을 模式図로 그림 2에 표시하였다.

Schweg w 가 $w \gg d$ 의 경우 그림 2의 (i)과 같이 誘起電荷波形에 확실한 굴곡점이 나타난다. 이 굴곡점까지의 시간이 carrier의 전극간 주행 시간이 된다. 그러나 고분자재료에 있어서 carrier의 수명은 짧고, 많은 trap이 존재하므로, carrier가 trap, detrap과정을 반복하면서 움직이고 있기 때문에 그림 2의 (iv)와 같이 굴곡점이 전혀 나타나지 않은 경우가 대부분이다. 이와 같이 굴곡점이 명확하지 않은 誘起電流 및 電荷波

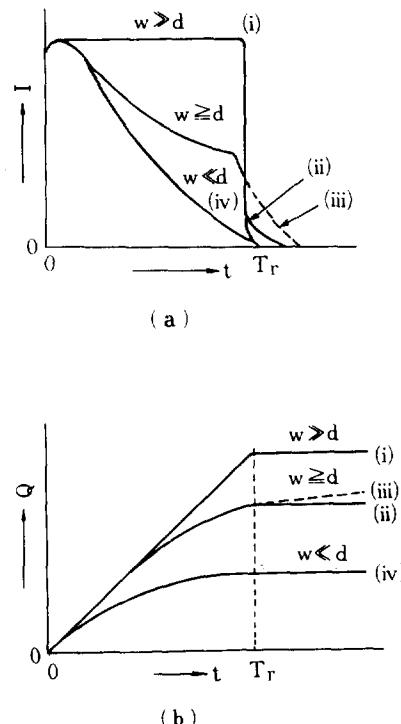


그림 2. 誘起電流 및 誘起電荷模式図

形을 分析하는 방법으로서 Scher氏^{16), 17)} 等은 C TRW (Continuous Time Random Walk) 이론을 이용하여 非結晶質物質에서 random하게 분포하고 있는 局在準位間의 carrier 이동과정을 hopping model로써 설명하였다. 다시 말하면 Scher氏 등은 誘起電荷 및 電流波形에 명료한 굴곡점이 없는 경우에 電流 I 와 시간 t 와의 兩對數 plot, 즉 $\log I$ 대 $\log t$ 를 plot (Scher-Montroll plot) 하면 어느 시각 T_r 에서 굴곡점이 나타나고, 이 굴곡점 까지의 시간 T_r 이 carrier 앞부분이 對向電極에 도달하는 시간이다. Scher-Montroll Plot를 이용해서 T_r 을 측정하여 이동도를 평가한 예는 다수 있다.

이상 설명한 바와 같이 고분자에서 이동도를 평가하는 방법은 여러가지 제안되어 있으나 이동도의 값은 측정방법에 따라 같은 물질에 있어서도 상당한 차이를 나타낸다. 예를 들면 表面電荷減衰法으로 측정한 이동도의 값은 carrier의 走行時間法으로 구한 값보다 수 order 정도 작다. 이것은 carrier走行時間法을 이용했을 경우

는 carrier의 앞부분의 이동도를 평가하는 경우가 대부분이고, 표면전하감쇄법일 경우는 늦은 carrier와 또 표면에서 시료内部에 주입될 때의 시간도 포함되어 있기 때문이다. 아직 이동도의 평가는 전계의존성, 온도의존성등에 대해서도 확립되어 있지 않다. 앞으로 이 이동도의 평가에 대해서는 많은 연구가 이루어져야 한다.

2.4 光電導

고분자재료에 光, 放射線等을 照射하면 전극으로부터 carrier의 주입, 시료내부에서의 band 간 천이, 局在準位에서의 여기등에 의해서 발생된 carrier에 의해 誘起電氣傳導의 연구는 高分子의 電氣傳導機構解明의 유효한 한 방법으로서 많이 이용되어 왔다. 실용적인 면에서도 高線量의 放射線의 被爆이 예상되어지는 原子力用機器의 절연설계등의 문제점 해결을 위해서도 상당한 연구가 진행되고 있다.

그러나 光電導는 전자energy, 전극-시료의 계면현상등의 문제점을 해결하는데 유효한 방법이지만, 이 연구의 주된 과제의 하나는 carrier의 생성문제이다. carrier의 생성은 앞에서도 언급한 바와 같이 전극에서의 주입과 시료내부에서의 생성의 2 가지로 크게 나눈다. 전극에서의 주입에 대해서는 Holroyd와 Smejtek의 光注入이론이 있지만, carrier생성에 가장 많이 이용되고 있는 것은 Onsager의 초기재결합의 이론이다. 여기서는 Onsager의 이론에 대해서 설명한다.

고분자재료의 ion化 energy는 10 eV 정도로 생 각되지만 실제의 고분자에 있어서 1 carrier를 생성하기 위해서는 $10^2 \sim 10^4\text{ eV}$ 의 흡수 energy가 필요하다고 보고되어 있다. 이 값은 ion化 energy에 비해 $10 \sim 10^3$ 배 정도 큰 값이다. 1 carrier를 만들기 위해서 ion化 energy의 값보다 $10 \sim 10^3$ 배 큰 흡수에너지가 필요한 機構에 대해서는 초기재결합의 이론(전리에 의해서 만들어진 전자가 親이온의 coulomb力에서 탈출하지 못하고 親이온과 결합하기 때문에 carrier가 되지 못한다는 이론)으로 설명되어진다. 光照射할 때의 carrier생성과정이 初期再結合에 의해 지배될 경

우 carrier생성을 $g(E)$ 는 전계의존성을 나타내고, (10)式으로 표시한다.

$$g(E) = g_0 p_e(E) \quad (10)$$

g_0 는 초기재결합하기 전에 光照射에 의한 初期電子一親이온의 生成率이고, $p_e(E)$ 는 初期再結合으로부터 이탈할 확률이다. 고분자의 光電導실험에서 Onsager의 이론과 잘 일치하는 경우가 보고되어 있다. 그러나 지금까지의 光電導는 주로 可視光, 紫外領域에서 연구되었고, 최근 高分子의 E_g 에相當하는 真空紫外領域에서의研究가 행해지고 있다. 앞으로는 고분자의 光電導機構, 電子性傳導機構解明을 위해서는 真空紫外領域에서의 光電導 연구가 바람직하다.

2.5 傳導機構에 미치는 Doping 効果

고분자는 원래상태로는 절연체 내지는 반도체이며, 사용용도도 주로 절연분야였다. 그러나 최근, 분자설계, Doping방법에 의해 고분자의 전도도를 향상시켜, 장래 금속에 대체할 수 있는 도전재료로서의 이용에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 예를 들면 (SN)_x는 유기고분자는 아니지만 전기전도성이 좋고 ($2 \times 10^3 \text{ S/cm}$), 4.2K까지 금속적성질을 나타내며, 고분자로서는 처음으로 초전도성이 있음을 알았다. 이 사실은 비금속적 물질에서는 최초의 획기적인 발견이고, 이 발견에 자극을 받아, 유기고분자에도 高導電性이 기대되어 doping에 의해 高傳導度를 갖는 고분자가 다수 보고되었다. 이 전도성 고분자의 傳導機構나 doping에 의한 電導度의 增加機構에 대해서는 아직 미해결의 점이 많이 남아있고, 전기적 성질이외의 면과 응용에 대한 연구도 아직 초보단계이다. doping에 의해 電導度를 增加시키기 위해서는 carrier종류, 생성 및 이동와 機構를 정확히 해명해야만 한다.

③ 맷는말

이상 고분자의 전도기구에 대해서 주로 carrier의 종류에 따르는 전도특성과 carrier의 이동도 측정방법, carrier의 생성등에 대해서 간략하

게 설명하였다. 아직 전도기구에는 미해결점이 많이 남아있다. 고분자도 절연재료뿐만 아니고 여러 가지 기능을 갖는 기능성 재료로서의 이용가치가 충분히 있다고 생각되므로, 무엇보다도 먼저 전도기구의 정확한 해명이 필요하다. 앞으로 model 물질등을 이용하여 분자구조, 고차구조등과 관련지워 새로운 실험수법과 보다 정밀한 정량적이고 물성론적 수법으로 연구를 진행할 필요성이 있음을 강조하고 싶다.

참 고 문 헌

- 1) J. J. O'Dwyer, Electrical Conduction and Breakdown in Solid Dielectrics, Oxford University Press. 1973.
- 2) Murray A. Lampert and Peter Mark, Current Injection in Solids, Academie Press Inc. 1970
- 3) 宮田, 西川. 有機超薄膜의 構造와 機能, 表面, 22, 474(1984).
- 4) K. Yoshino, M.S. Yun. Electrical Transport and Breakdown of Poly-p-Phenylenesulfide, Jpn. J. Appl. Phys., 22, 1510(1983).
- 5) 尹文洙. 高分子電氣傳導와 電荷輸送過程에 関한 研究. 大阪大學, 1985.
- 6) J. Lowel, Surface conduction and absorption current in Polymers, J. Phys D: Appl. Phys., 15, 109(1981).
- 7) 犬石. 誘電体现象論.
- 8) 雀部博之, 導電性高分子材料 CMC, 1983.
- 9) K. J. Less and E. G. Wilson, Intrinsic Photoconduction and Photoemission in Polyethylene, J. Phys. C: Solid State Phys., 6, 3110 (1973).
- 10) M. S. Yun and K. Yoshino, Photoconduction in Polytetrafluoroethylene Induced by Vacuum-Ultraviolet Light, Jpn. J. Appl. Phys., 21, 1952 (1982).
- 11) M. S. Yun and K. Yoshino, Electrical conductivity and Photoconductivity in Polymethylpentene, Jpn. J. Appl. Phys., 22, 1810(1983).
- 12) 伊藤, 高分子 電氣材料의 高電界電氣傳導와 電子 trap에 관한 研究. 學位論文. 大阪大學1988.
- 13) J. Mort and D. M. Pai, Photoconductivity and Related Phenomena, Elsevier Scientific Publishing Co. 1976.
- 14) K. Yoshino, M.S. Yun, and Y. Inuishi, Carrier mobility in Poly-p-Phenylenesulfide Jpn. J. Appl. Phys., 23, L55(1984).
- 15) M. S. Yun and K. Yoshino, Doping Effect on Carrier mobility in Poly-p-Phenylenesulfide, J. Appl. Phys., 58, 1950. (1985)
- 16) G. Pfister, Hopping Transport in a Molecularly Doped Organic Polymer, Phys. Rev. B16, 3676(1977).
- 17) G. Pfister and H. Scher, Dispersive(non-Gaussian) Transient Transport in Disordered Solids, Advances in Phys., 27, 747(1978).