

폴리아닐린-DBSA/폴리스타이렌 블렌드의 전하 이동 현상

論 文

53C-6-3

Charge Transport Phenomena of Polyaniline-DBSA/Polystyrene Blends

金元中*·金太永*·高政佑*·金潤相**·朴昶模**·徐光錫***

(Won-Jung Kim · Tae-Young Kim · Jung-Woo Ko · Yun-Sang Kim · Chang-Mo Park, Kwang S. Suh)

Abstract - Charge transport phenomena of polyaniline-DBSA/High Impact Polystyrene (PANI-DBSA/HIPS) blends have been studied through an examination of electrical conduction. HIPS used host polymer in the blends and PANI-DBSA obey a space charge limited conduction mechanism and a ohmic conduction mechanism respectively. However, PANI-DBSA/HIPS blends do not obey any classical conduction mechanism. Analysis of conduction mechanism revealed that the charging current of PANI-DBSA/HIPS blends increased with the increase of PANI-DBSA content. This result might be explained by the reduction in the distance between PANI-DBSA particles enabling the charge carriers to migrate from a chain to a neighboring chain via hopping or micro tunneling. It was also found that the charging current of PANI-DBSA/HIPS blends decreased as the temperature was elevated, which is of typical phenomena in metals. It is speculated that the charge transport in PANI-DBSA particle was somewhat constrained due to strong phonon scattering.

Key Words : 폴리아닐린, 폴리스타이렌, 블렌드, 전도 메커니즘

1. 서 론

폴리아닐린 등의 전도성 고분자는 최근 들어 전자파 차폐 및 정전기 방지, 2차 전지, 디스플레이에 사용가능한 투명전극, OLED의 transfer layer 등 많은 분야에 적용이 가능할 것으로 각광받고 있다 [1]. 그러나 폴리아닐린은 기계적 물성이나 가공성 등이 취약하여 폴리아닐린 자체로써는 실질적 응용 분야의 적용에 제약을 받고 있다 [1-3]. 1990년대 초부터 폴리아닐린의 취약한 물성을 보완하기 위해 폴리아닐린과 범용 고분자와의 블렌딩을 통해 복합체를 제조하거나, 주쇄 (backbone)에 많은 작용기를 연결하거나 [4], 폴리아닐린과 절연체와의 그래프트 [5] 등의 많은 연구가 이루어지고 있다. 그 중에서 절연성 고분자와 dodecylbenzene sulfonic acid (DBSA)나 camphor sulfonic acid (CSA) 등의 유기 양성자 산 (organic protonic acids)으로 도핑 (doping)된 폴리아닐린의 블렌딩은 기계적 물성이나 가공성이 우수한 것으로 알려져 있고 [4, 5] 일반 절연성 고분자에 전도성 고분자를 첨가하여 블렌딩하면 카본블랙이나 금속입자와 같은 전도성 물질과 비교하여 볼 때 매우 낮은 전도성 고분자의 함량에서 퍼콜레이션 (percolation) 전이가 나타나는 특징

을 가지고 있어 최근 많은 주목을 받고 있다 [6].

문헌을 보면 폴리아닐린은 Insulator-Metal Transition (IMT)구간이 존재하는데 이 온도 이하에서 전하는 절연체와 같이 호핑 (hopping)에 의해 이동하며 전기전도도는 온도가 증가함에 따라 증가하고, IMT 이상의 온도에서는 금속과 유사하게 격자진동에 의한 전하의 충돌 현상 (phonon scattering)에 의해 전하의 이동이 방해받게 되고 온도가 증가할 수록 전기전도도는 감소하게 된다고 알려져 있다 [6, 7]. 또한 절연성 고분자와 폴리아닐린의 블렌드에도 이러한 특성이 관찰되었는데 이는 polyethylene (PE) [8], poly(methyl methacrylate) (PMMA) [9], 그리고 polyethylene terephthalate (PETG) [10] 등과 같은 절연성 고분자와 dodecylbenzene sulfonic acid (DBSA)나 camphor sulfonic acid (CSA) 등의 유기 양성자 산 (organic protonic acids)으로 도핑된 폴리아닐린의 전도성 블렌드의 경우에서 확인되었다.

본 논문에서는 DBSA로 도핑된 폴리아닐린에 ZnO 계열의 가스제가 첨가되어 있는 폴리아닐린 콤플렉스와 강도가 높고 성형가공성이 우수한 폴리스타이렌을 용융 블렌딩하여 폴리아닐린이 폴리스타이렌에 소량 첨가되었을 때 전기전도도 실험을 통해서 전하 이동 현상을 관찰해 보았다. 폴리아닐린을 첨가한 폴리스타이렌 블렌드는 일정 온도에서 전기장이 증가하면 전류밀도는 증가하지만 금속과 유사하게 온도가 증가하면 일정 전기장 하에서의 전류밀도는 감소하는 특성이 관찰되었다. 이는 폴리아닐린의 전기전도 특성에 기인한 것으로서 이 블렌드의 전기전도도의 온도 의존성은 매우 강한 것으로 판단된다. 블렌딩 재료로 폴리스타이렌을 선택한 이유는 폴리아닐린의 도펀트 (dopant)가 극성이 작

* 正 會 員 : 高麗大學 材料學科 博士課程
* 正 會 員 : 高麗大學 材料學科 博士課程
* 正 會 員 : 高麗大學 材料學科 博士課程
** 學生會員 : 高麗大學 材料學科 碩士課程
** 學生會員 : 高麗大學 材料學科 碩士課程
*** 正 會 員 : 高麗大學 材料學科 教授·工博
接受日字 : 2004年 3月 2日
最終完了 : 2004年 4月 21日

은 긴 알킬 사슬과 방향족 고리를 포함한 DBSA임을 감안할 때 스타이렌 계 고분자와의 상용성이 우수할 것으로 예상되었기 때문이다 [8, 11].

2. 실험

2.1 시편의 제조

폴리스타이렌에 폴리아닐린을 첨가한 블렌드는 폴리스타이렌을 기저고분자로 하고 폴리아닐린을 1~5 phr (part per hundred resin)를 첨가하여 제작하였다. 본 실험에 사용된 폴리아닐린은 Panipol사의 panipol CX (이하 PANI-DBSA)를 사용하였는데, 이는 DBSA로 도핑된 폴리아닐린이 25% 함유되어 있고 상용성을 높이기 위하여 75%의 ZnO 계열의 분산제가 첨가되어 있는 펠렛 (pellet) 형태로 존재하는 그래이드이다. 기저고분자로 사용된 폴리스타이렌은 스타이렌 모노머와 폴리부타다이엔을 공중합시켜 만든 높은 충격강도를 가지는 High Impact Polystyrene (이하 HIPS)으로써 금속 석유화학의 그래이드를 사용하였다. 실험에 사용된 시편은 batch type kneader를 사용하여 190 °C에서 20분간 혼합하여 폴리아닐린/폴리스타이렌 블렌드 (이하 PANI-DBSA/HIPS 블렌드)를 제조한 후, 시트 (sheet) 형태의 시편을 만들기 위해서 hot press (Carver lab. Corp.)를 사용하여 180 °C에서 압축 성형하였다.

제작된 시편의 표면저항은 표면저항 측정기 (SRM 100-A)로 측정한 결과 PANI-DBSA가 기저고분자에 1 ~ 4 phr까지 첨가된 시편은 상온에서 절연영역에 있었고, PANI-DBSA가 5 phr 첨가되면서부터 비로소 약 10¹⁰ ohms/sq. 정도의 표면저항을 나타내었다. 그리고 블렌딩하지 않은 PANI-DBSA는 약 10⁵ ohms/sq.의 낮은 표면저항을 가지는 것으로 확인되었다.

2.2 측정 방법

전기전도도 측정을 위한 실험장비는 그림 1에 나타내었다. 본 논문에서 전기전도도 측정은 두 가지 직류 전기전도도 시스템을 사용하여 측정하였는데, 하나는 그림 1 (a)에 나타낸 2-point probe method로써 주로 절연체나 표면 저항이 약 10¹⁰⁻¹¹ ohms/sq. 정도의 고분자 재료를 측정할 수 있는 장비이다. 측정은 직류 고전압 발생장치 (Keithley 248)를 통해 50 ~ 1600 V의 직류전압을 가하면 지수적으로 감소하는 전류가 관찰되는데 30분이 지난 후의 전류 값을 정상 상태 전도전류 (steady state conduction current)로 가정하여 마지막 20개의 측정치를 평균하였다. 이 평균값을 일정 온도와 일정 전압에서의 전도전류로 택하였다. 다른 하나는 그림 2 (b)에서 보는 바와 같이 4-point probe method를 이용한 시스템인데, 이 장비는 표면저항이 낮은 전도성 고분자나 금속의 전기전도도를 측정할 수 있다. 시편의 두께를 t 라고 하고 시료의 폭과 길이를 각각 w 와 l 이라 하면 아래의 식 (1)을 이용하여 전기전도도를 구할 수 있다.

$$\sigma = \frac{1}{\rho} = \frac{1}{R} \frac{l}{tw} \quad (1)$$

실험장치는 source meter (Keithley 2400), thermo meter (Keithley 321), 그리고 온도조절을 위해 Cryogenics Model refrigerator를 사용하였고 진공도를 얻은 상태에서 액체질소 가스를 주입하여 100 K ~ 340 K 온도 구간에서 블렌딩하지 않은 순수한 PANI-DBSA의 전기전도도를 측정하여 온도 의존성을 살펴보았다.

Dielectric Thermal Analyzer (DETA : Broadband Dielectric Analyzer, Novocontrol GmbH) 실험은 2.0×10⁻³ mb의 N₂ 분위기 하에 10 Hz와 100 Hz의 주파수에서 -100 °C ~ 130 °C의 온도 범위에서 5 °C/min의 승온 속도로 측정하였다.

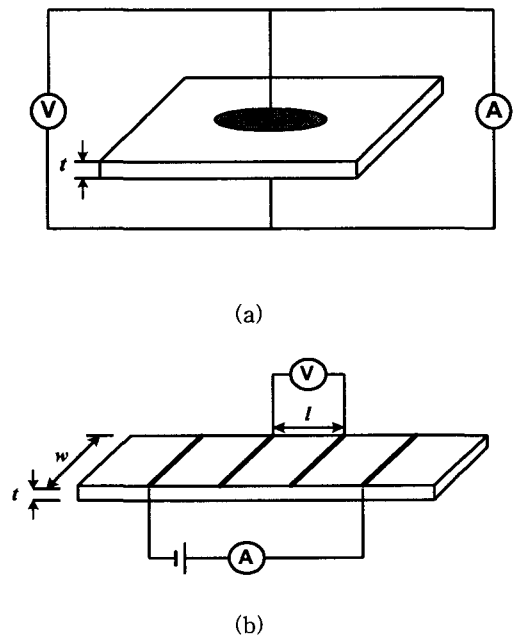


그림 1 전기전도 실험장비의 개략도

Fig. 1 Schematic diagram of measuring of electrical conduction

((a) 2-point probe method, (b) 4-point probe method))

3. 결과 및 고찰

PANI-DBSA/HIPS 블렌드는 2-point probe method를 이용하여 전기전도도 실험을 하였는데 두께 약 70 ~ 80 μm의 시편을 제작하여 30, 50, 90 °C의 온도 구간에서 진행하였다. 그림 2는 PANI-DBSA/HIPS 블렌드의 전류밀도-전기장 (J-E)특성 곡선을 이중로그 그래프로 나타낸 결과이다. 먼저 순수한 HIPS (그림 2 (a))를 보면 각 온도에서 전류밀도는 전기장이 증가함에 따라 증가하며 일정 전기장 하에서는 측정 온도가 높을수록 전류밀도가 증가하는 일반적인 절연체의 특성을 볼 수 있다. 이는 일반적인 절연체의 경우 온도가 상승하면 주 사슬의 움직임이 증가하여 호핑에 의한 전하의 이동이 더욱 증가하게 되고 이에 따라 전기전도도가 증가하기 때문이다. 절연체의 전기전도 매커니즘은 크게 ohmic 전도, SCLC (Space Charge Limited Conduction) 전도, Schottky 이론, Poole-Frenkel 이론, tunneling 이론, 그리고 hopping 이론 등으로 구분할 수 있으며, J-E 관계가

직선적 관계를 보이면 ohmic 전도나 SCLC 전도를 따르고 비직선적 관계를 보이면 Schottky나 Poole-Frenkel 전도를 따른다고 할 수 있다 [12, 13]. 그러나 그림 2 (a)에서 J-E 관계가 직선인지 아닌지를 정확히 판단할 수 없으므로 먼저 비직선 관계라고 가정하고 Schottky 이론에 부합하는지 확인하였다. Schottky 현상을 나타내는 관계식은 다음과 같다.

$$J = AT^2 \exp\{(\beta_S E^{1/2} - \Phi)/kT\} \quad (2)$$

$$\text{slope} = \beta_S/kT \quad (3)$$

$$\beta_S = (e^3/4\pi\epsilon)^{1/2} \quad (4)$$

여기서 A 는 Richardson 상수, Φ 는 유효일함수, k 는 볼츠만 상수, 그리고 β_S 는 Schottky 상수를 나타낸다. 이러한 관계식에 따라 그림 3의 $\log J$ vs. $\log E^{1/2}$ 의 관계는 직선관계를 가져야 한다. 그림 3에서 기울기는 측정 가능한 값이므로 기울기를 알면 식 (3)으로부터 간단하게 β_S 를 구할 수 있다. 또한 여기서 얻어진 β_S 를 또 다른 식 (4)에 대입하면 그 물질의 유전상수 ϵ (dielectric constant)를 계산적으로 얻을 수 있는데, 식 (3)과 (4)를 통해 확인한 결과, HIPS는 30 °C에서의 곡선에서 얻어진 유전상수 값이 7.28로써 문헌상 값인 2.5와는 큰 차이가 있는 것으로 확인되었다. 따라서 HIPS는 Schottky 전도이론을 따르지 않는 것으로 볼 수 있다.

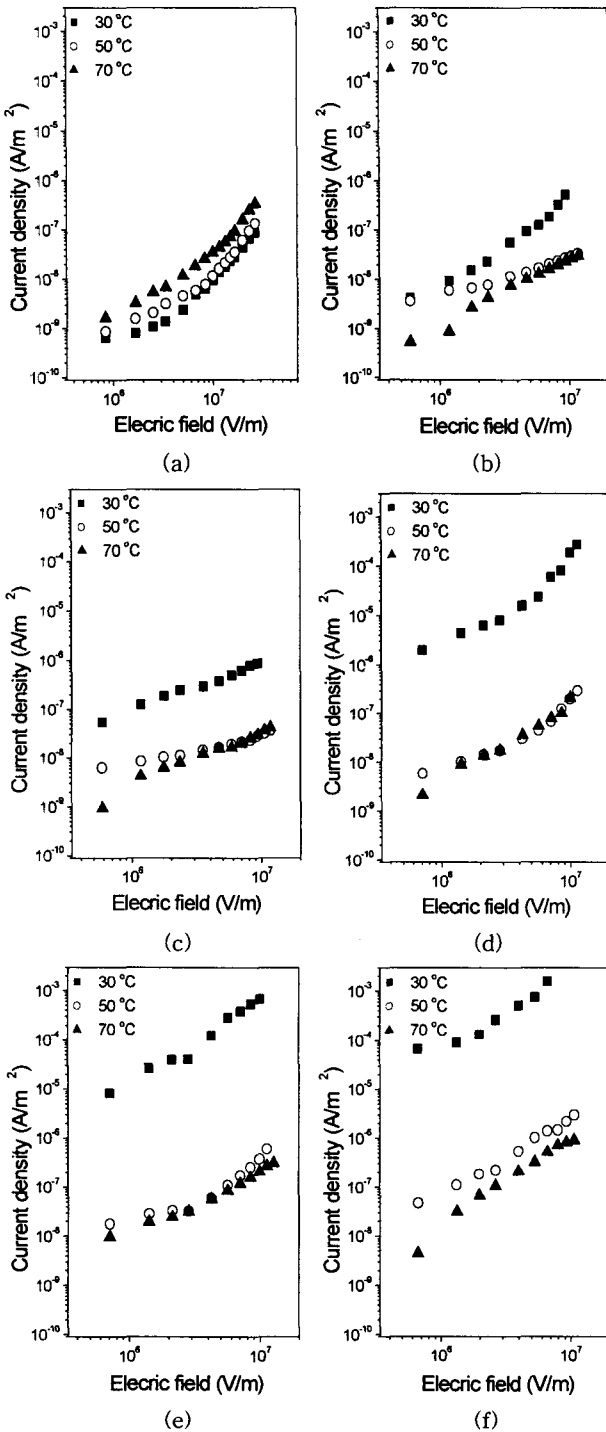


그림 2 PANI-DBSA/HIPS 블렌드의 J-E 곡선
Fig. 2 J-E curves of PANI-HIPS/DBSA blends

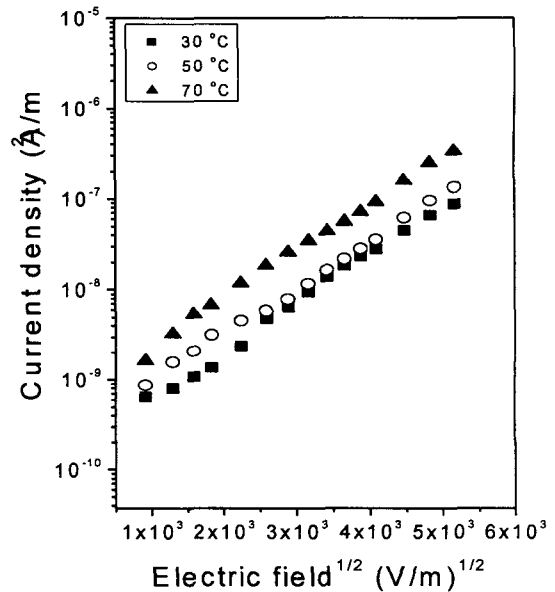


그림 3 HIPS의 Schottky 분석 곡선
Fig. 3 The Schottky plot ($J-E^{1/2}$) of HIPS

Poole-Frenkel 이론의 분석방법은 Schottky 분석 방법과 거의 일치하지만, β_{PF} (Poole-Frenkel 상수) = $2\beta_S$ 의 관계를 따른다는 점이 다르다. 따라서 자동적으로 HIPS는 Poole-Frenkel 이론도 따르지 않는 것을 확인할 수 있었다. 이외 다른 자세한 분석 방법은 여러 논문에서 많이 언급되었으므로 [12, 13] 여기서는 생략하였다.

그림 2 (a)에서 계산된 기울기는 모든 측정 온도 구간에서 모두 약 2정도의 값을 가지는데, 일반적으로 고분자 재료가 SCLC 전도이론을 따르는 경우 J-E 관계곡선의 기울기는 2 ~ 6 정도의 값을 가지므로 [13] HIPS는 SCLC 전도이론을 따를 가능성이 높다. SCLC 전도를 따르는 경우에는 전류밀도와 시편의 두께 의존성을 확인하여야 하는데 그림 4에 이를 나타내었다. 시편은 40, 60, 80, 100 μm 의 두께로

제작하여 두께에 따른 전류밀도의 변화를 관찰한 결과 기울기는 측정된 모든 온도 구간에서 약 -3으로 계산되었고 결국 HIPS는 trap-free SCLC 전도이론을 따르는 것으로 판명되었다. 그러나 PANI-DBSA/HIPS 블렌드의 경우에는 PANI-DBSA가 HIPS에 5 phr 첨가된 시편을 제외하고 여전히 절연체 임에도 불구하고 위에서 열거한 전도 메커니즘

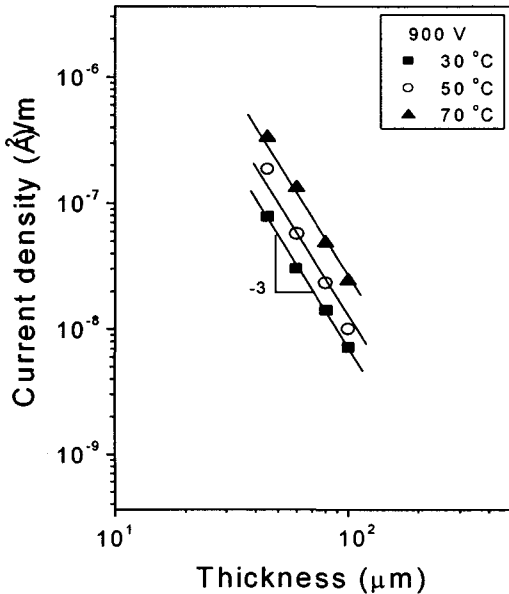


그림 4 시편 두께에 따른 전류밀도의 변화
Fig. 4 The sample thickness dependence of current density

중 어느 이론도 만족하지 않았으며 일정 온도에서 전기장이 증가하면 전류밀도는 증가하지만 금속과 유사하게 온도가 증가하면 일정 전기장 하에서의 전류밀도는 감소하는 특성이 관찰되었다. 고분자 재료에서 전자는 호핑에 의해 이동하지만 PANI-DBSA/HIPS 블렌드와 같이 금속의 특성을 보이는 것을 대개 'metallic behavior'라 한다 [14]. 따라서 이런 현상의 원인을 파악하기 위해 PANI-DBSA 자체에 대한 전기전도도 실험을 진행하였다. PANI-DBSA는 상온에서 약 10^5 ohms/sq. 정도의 표면저항을 가지므로 4-point probe method 시스템을 이용하여 J-E 관계를 관찰하였다.

그림 5에 상온에서의 PANI-DBSA의 J-E 관계 곡선을 나타내었는데, 그림 5에서 알 수 있듯이 J-E의 관계는 직선적인 관계를 보이며 이때의 기울기는 1에 가까운 것으로 보아, PANI-DBSA는 측정된 전기장 영역에서는 ohmic 전도를 따르는 것으로 확인되었다.

그림 6은 PANI-DBSA의 전기전도도의 온도 의존성을 확인하기 위하여 전도성 고분자에 많이 적용되는 A quasi-1D variable range hopping (VRH) model에 따라 나타낸 결과이다. 전기전도도 (σ)는 다음과 같은 식 (5) 및 (6)으로 표현된다.

$$\sigma = \sigma_0 \exp[-(T_0/T)^{1/2}] \quad (5)$$

$$T_0 = 16/[K_B N(E_F) L_{\parallel} L_{\perp}^2] \quad (6)$$

여기서 K_B 는 볼츠만 상수, $N(E_F)$ 는 Fermi level에서의 상태 밀도, L_{\parallel} 는 고분자 사슬에서 평행방향의 localization length, 그리고 L_{\perp} 는 수직방향의 localization length를 의미한다. 그림 6을 보면 온도가 298 K일 때 전기전도도는 16.6 S/cm로 가장 높은 값을 나타내며 이 온도에서 IMT가 존재하는 것을 알 수 있다. 문헌에 따르면 IMT구간에서는

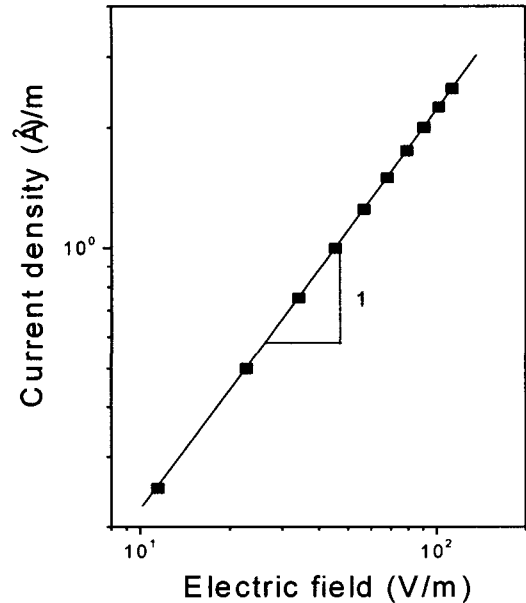


그림 5 상온에서의 PANI-DBSA J-E 곡선
Fig. 5 J-E curve of PANI-DBSA at 298 K

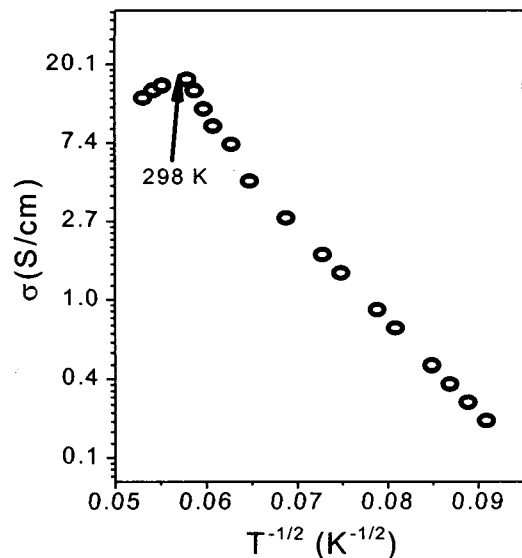


그림 6 PANI-DBSA의 전기전도도의 온도 의존성 (온도범위 100 K-340 K)
Fig 6 Temperature dependence of electrical conductivity of PANI-DBSA (at a temperature ranging from 100 K to 340 K)

전도성 고분자의 구조적인 변화가 발생한다고 한다 [6]. PANI-DBSA는 상온 이하의 온도에서는 온도가 증가하면 전기전도도는 선형적으로 증가를 하고 1-D VRH 모델을 잘 따르는 것으로 확인되었다. 따라서 PANI-DBSA의 전기전도도는 온도 의존성이 매우 강한 것으로 해석할 수 있다. 그런데 상온 이상의 온도에서는 전기전도도가 오히려 감소하는 것을 확인할 수 있는데 이는 기타 논문에서 polyacetylene과 PANI-CSA 등에서 보여주는 결과와 유사함을 알 수 있다 [16, 17]. 상온 이상에서 온도의 증가에 따른 전기전도도의 감소는 크게 두 가지 가정을 들 수 있는데, 하나는 도펀트의 탈도핑 (dedoping)에 의한 것이고 다른 하나는 전하의 충돌 현상에 따른 전기전도도의 감소이다 [4, 18].

온도 증가에 따른 PANI-DBSA의 전기적 완화 현상을 관찰하기 위하여 DETA를 측정 한 결과, 상온 근처에서부터 PANI-DBSA의 사슬의 움직임이 크게 증가하는 것이 관찰되었다. 이를 그림 7에 나타내었는데 이것이 도펀트의 탈도핑에 의한 것인지 이 실험만으로는 정확히 구별할 수 없었다. 문헌을 보면 폴리아닐린은 부분적으로 결정질 영역과 비정질 영역을 가지고 있어서 결정질 영역에서 전하는 쉽게 이동할 수 있다고 알려져 있다 [15, 18, 19].

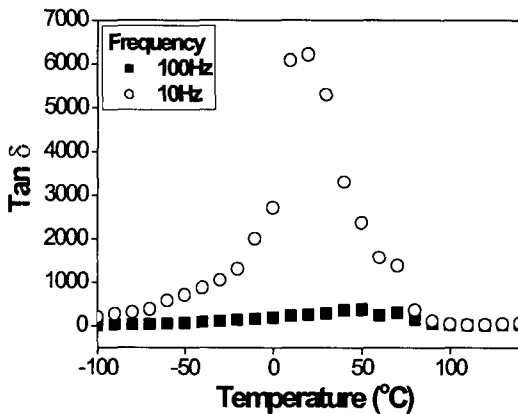


그림 7 PANI-DBSA의 DETA 결과
Fig. 7 DETA spectra of PANI-DBSA

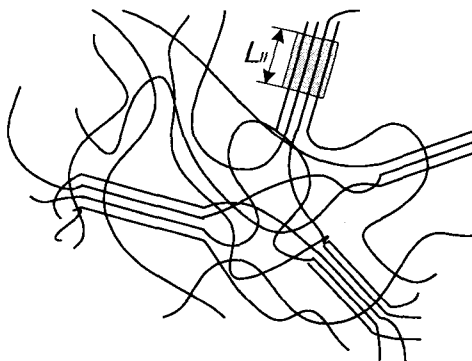


그림 8 PANI-DBSA의 구조
Fig. 8 Schematic view on the structure of PANI-DBSA

그림 8에 PANI-DBSA의 구조에 대한 개념적 그림을 나타내었는데 [18], 여기에서 보는 바와 같이 PANI-DBSA는 결정질 영역 사이에 비정질 영역이 존재를 하는데 이 부분에서 전하는 호핑에 의해서 이동을 하게 된다. 상온 이하에서는 온도가 증가함에 따라 PANI-DBSA는 전하의 호핑이 쉬워져서 전기전도도가 증가를 하고, 상온 이상에서는 온도가 증가할 수록 전하의 호핑은 더욱 쉬워지지만 그림 7에서 확인된 것처럼 PANI-DBSA의 사슬의 움직임이 크게 증가하면서 전하의 충돌 현상이 일어나 오히려 전하의 이동을 방해하게 되고 이에 따라 전기전도도가 감소하는 것으로 생각된다. 결국 이러한 PANI-DBSA의 특성에 기인하여 절연체인 HIPS에 전도성 고분자인 PANI-DBSA가 소량 첨가 되면 전도성 고분자의 특성에 따라 상온 이상의 온도에서 온도가 증가하면 전기전도도가 감소할 것으로 생각된다.

그림 9는 전기장이 2×10^6 V/m일 때 측정 온도에 따른 PANI-DBSA/HIPS 블렌드의 전류밀도 변화를 나타낸 결과이다. 본 논문에서는 PANI-DBSA/HIPS 블렌드의 전도 메커니즘을 규명할 수 없었기 때문에 정확한 전기전도도를 구할 수 없었지만 그림 9에서 보는바와 같이 PANI-DBSA가 첨가된 모든 블렌드에서는 온도가 증가하면 전류밀도 값이 감소하는 것을 관찰할 수 있었다. 전류밀도가 감소한다는 것은 블렌드 내에서 전하의 이동이 감소한다는 것을 의미하므로 이는 결국 전기전도도가 감소한다고 볼 수 있다.

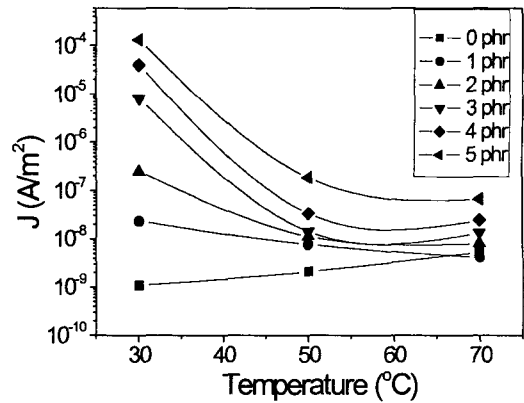


그림 9 온도변화에 따른 PANI-DBSA/HIPS 블렌드의 전류밀도 변화 (전기장은 2×10^6 V/m로 고정)
Fig. 9 Variation of current density with temperature for different content of PANI-DBSA ($E=2 \times 10^6$ V/m)

그림 2에서 비록 온도가 증가하면 일정 전기장 하에서의 전류밀도는 감소하지만 그림 2의 (a)부터 (f)까지를 비교해보면 PANI-DBSA/HIPS 블렌드에서 PANI-DBSA의 함량이 높은 블렌드가 모든 측정 온도 구간에서 낮은 함량의 블렌드보다 높은 전류밀도 값을 갖는다는 것을 관찰할 수 있다. 이것은 전도성 고분자인 PANI-DBSA의 함량이 늘어날 수록 기저고분자 안에 존재하는 PANI-DBSA의 입자의 거리가 가까워짐에 따라 호핑이나 micro tunneling 등에 의해서 이웃하는 체인으로 전하가 이동할 수 있는 통로가 늘어나기 때문이라 생각된다. 일반 절연 고분자에 전도성 물질

을 첨가하여 블렌딩할 경우 그 블렌드가 전기전도도를 띄기 시작하는 퍼콜레이션 전이가 나타나는데, 카본 블랙이나 금속 입자와 같은 전도성 입자의 경우에 비해 전도성 고분자는 비교적 낮은 함량에서 퍼콜레이션 전이가 나타나는 특징을 가지고 있다 [6]. 그림 10은 30 °C에서 전기장이 2×10⁶ V/m일때 전류밀도 값을 HIPS에 첨가된 PANI-DBSA의 함량에 따라 나타낸 그래프이다. 온도가 증가하면서 측정된 전류밀도 값은 PANI-DBSA의 함량이 3 phr일때 증가하는 것을 미루어볼 때 이 함량에서 퍼콜레이션 전이가 나타난 것으로 보이지만 이는 전도도를 측정할 값이 아니므로 정확한 확인이 필요할 것으로 판단된다.

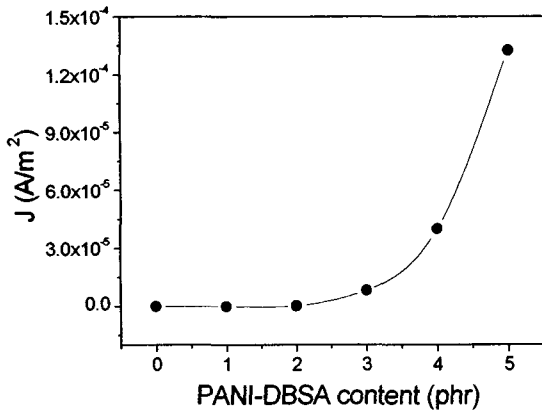


그림 10 PANI-DBSA 함량에 따른 전류밀도의 변화 (온도는 30 °C, 전기장은 2×10⁶ V/m로 고정)

Fig. 10 Current density J vs. PANI-DBSA content in HIPS (at T=30 °C, E=2×10⁶ V/m)

4. 결 론

DBSA로 도핑된 폴리아닐린과 ZnO계열의 분산체가 첨가되어 있는 폴리아닐린 마스터 배치인 PANI-DBSA를 기저 고분자로 사용한 HIPS에 1-5 phr 까지 첨가하여 batch type kneader를 통해 용융 블렌딩을 하여 제작된 PANI-DBSA/HIPS 블렌드의 전하 이동 현상을 살펴보았다.

기저고분자인 HIPS의 경우, 각 온도에서 전류밀도는 전기장이 증가함에 따라 증가하며 일정 전기장 하에서는 측정 온도가 높을수록 전류밀도가 증가하는 일반적인 절연체의 특성을 확인하였고, HIPS는 SCLC 전도 이론을 따르는 것으로 판명되었다. 그러나 PANI-DBSA가 기저고분자에 첨가되면 고전적인 절연체의 전도 메커니즘을 따르지 않았고, 전기전도 특성은 전기장이 증가함에 따라 전류밀도는 증가하지만 상온 이상에서 온도가 증가하면 일정 전기장 하에서의 전류밀도는 감소하는 금속과 유사한 특성을 보였다.

PANI-DBSA의 전기적 완화 현상과 전기전도도를 관찰한 결과, 상온 근처에서부터 사슬의 움직임이 크게 증가하는 것이 관찰되었는데 상온 이하에서는 온도가 증가함에 따라 PANI-DBSA는 전하의 호핑이 쉬워져서 전기전도도가 증가를 하고, 상온 이상에서는 온도가 증가할 수록 전하의 호핑은 더욱 쉬워지지만 PANI-DBSA의 사슬의 움직임이 크게

증가하면서 전하의 충돌 현상이 일어나 오히려 전하의 이동을 방해하여 이에 따라 전기전도도가 감소를 하는 것으로 생각된다. 결국 이러한 PANI-DBSA의 특성에 기인하여 절연체인 HIPS에 PANI-DBSA가 소량 첨가되면 전도성 고분자의 특성을 따라 상온 이상의 온도에서 온도가 증가하면 전기전도도가 감소할 것으로 생각된다. 또한 HIPS 내에 PANI-DBSA의 함량이 늘어날 수록 측정 온도 구간에서 낮은 함량의 블렌드보다 높은 전류밀도 값을 갖는다는 것을 관찰할 수 있었는데 이것은 전도성 고분자인 PANI-DBSA의 함량이 늘어날수록 호핑이나 micro tunneling 등에 의해서 이웃하는 체인으로 전자가 이동할 수 있는 통로가 늘어나기 때문이라 생각된다.

참 고 문 헌

- [1] Kahol PK, "Magnetic Susceptibility and Electron Spin Resonance Investigations of Polyaniline and Polyaniline Poly(methylmethacrylate) blend" *Soilid State Commun.*, Vol. 117, pp. 37-39, 2001.
- [2] J. E. Frommer and R. R. Chance, *Encyclopedia of Polymer Science and Engineering*, Vol. 5, Wiley N.Y., 1988.
- [3] T. A. Skotheim, R. L. Elsenbaumer, and J. R.Reynolds, *Handbook of Conducting Polymers*, Vol. 1and 2, Marcel Dekker, 1998.
- [4] L. H. Dao, M. Leclerc, J. Guay, J. W. Chevalier, "Synthesis and Characterization of Substitute Poly(anilines)", *Synth Met.*, Vol. 29, pp. 377-382, 1989.
- [5] Woo Jin Bae, Won Ho Jo, Yun Heum Park, "Preparation of Polystyrene/Polyaniline blends by in Situ Polymerization Technique and Their Morphology and Electrical Property", *Synth Met.*, Vol. 132, pp. 239-244, 2003.
- [6] P. Dutta, S. Biswas, M. Ghosh, S. K. De, S. Chatterjee, "The DC and AC Conductivity of Polyaniline-Polyvinyl alcohol Blends", *Synth Met.*, Vol. 122, pp. 455-461, 2001.
- [7] D. Djurado, M. Bee, M. Gonzalez, C. Mondelli, B. Dufour, P. Rannou, A. Pron, J. P. Travers, "Molecular Dynamics in Plastic Conducting Compounds of Polyaniline", *Chem. Phys.*, vol. 292, pp. 355-361, 2003.
- [8] M. Chipara, D. Hui, P. V. Notingher, M. D. Chipara, K. T. Lau, J. Sankar, D. Panaitescu, "On Polyethylene-Polyaniline composites", *Composites B: engineering*, pp. 637-645, 2003.
- [9] C. O. Yoon, M. Reghu, D. Moses, A. J. Heeger, Y. Cao, "Electrical Transport in Conductive Blends of Polyaniline in Poly(methyl methacrylate)", *Synth Met.*, Vol. 63, pp. 47-52, 1994.
- [10] R. Pelster, G. Nimitz, "Fully Protonated Polyaniline: Hopping Transport on a Mesoscopic Scale", *Phys. Rev. B*, Vol. 49, pp. 718-723, 1994.
- [11] M. Zilberman, G. I. Titelman, A. Siegmann, Y. Haba, M. Norkis, and D. Alperstein, "Conductive Blends with Thermoplastic Polymers", *J. Appl. Polym. Sci.*, Vol. 66, pp. 243-253, 1997.
- [12] K. S. Suh, C. R. Lee, M. K. Lee, "Electrode Contacts and Electrical Conduction in Low Density Polyethylene",

Polymer (Korea), Vol. 15, pp. 735-741, 1991.

- [13] Kwang. S. Suh, Jong Eun Kim, Woo Jung Oh, Ho Gyu Yoon, T. Takada, "Charge Distribution and Conduction Characteristics of 2-vinylpyridine-grafted Polyethylenes" *J. Appl. Phys.* Vol. 87, pp. 7333-7377, 2000.
- [14] S. Kivelson, A. J. Heeger, "Intrinsic Conductivity of Conducting Polymers", *Synth Met.*, Vol. 22,
- [15] A. N. Aleshin, Kwanghee Lee, J. Y. Lee, D. Y. Kim, C. Y. Kim, "Comparison of electronic transport properties of soluble polypyrrole and soluble polyaniline doped with dodecylbenzenesulfonic acid", *Synth Met.*, Vol. 99, pp. 27-33, 1998.
- [16] J. Joo, J. K. Lee, J. S. Baeck, K. H. Kim, E. J. Oh, J. Epstein, "Electrical, Magnetic, and Structural Properties of Chemically and Electrochemically Synthesized Polypyrroles", *Synth Met.*, Vol. 117, pp. 45-51, 2001.
- [17] V. N. Prigodin, A. J. Epstein, "Nature of Insulator-metal transition and novel mechanism of charge transport in the metallic state of highly doped electronic polymers", *Synth Met.*, Vol. 125, pp. 43-53, 2002.
- [18] V. N. Prigodin, A. J. Epstein, "Quantum Hopping in Metallic Polymers", *Physica B*, Vol. 338, pp. 310-317, 2003.
- [19] Vandna Luthra, Ramadhar Singh, S. K. Gupta, A. Mansingh, "Mechanism of DC Conduction in Polyaniline doped with sukfuric acid", *Current Appl Phys.*, Vol 3, pp. 219-222, 2003.

저 자 소 개



김원중 (金元中)

1977년 11월 17일생. 2002년 인하대 섬유공학과 졸업. 2004년 고려대 재료공학과 졸업(공학). 2004년~현재 동 대학원 재료공학과 박사과정
 Tel : 02-927-4546, Fax : 02-929-4408
 E-mail : xg1977@korea.ac.kr



김태영 (金太永)

1975년 11월 6일생. 1998년 고려대 재료공학과 졸업. 2000년 동 대학원 재료공학과 졸업(공학). 2000년~현재 동 대학원 재료공학과 박사과정
 Tel : 02-3290-3711, Fax : 02-929-4408
 E-mail : thomas75@korea.ac.kr



고정우 (高政佑)

1973년 5월 9일생. 1997년 고려대 재료공학과 졸업. 1999년 동 대학원 재료공학과 졸업(공학). 1999년~현재 동 대학원 재료공학과 박사과정
 Tel : 02-3290-3711, Fax : 02-929-4408
 E-mail : paul0509@korea.ac.kr



김윤상 (金潤相)

1977년 9월 18일생. 2003년 고려대 재료공학과 졸업. 2003년~현재 동 대학원 재료공학과 석사과정
 Tel : 02-927-4546, Fax : 02-929-4408
 E-mail : gvbrunch@empal.com



박창모 (朴昶模)

1977년 4월 5일생. 2003년 고려대 재료공학과 졸업. 2003년~현재 동 대학원 재료공학과 석사과정
 Tel : 02-3290-3711, Fax : 02-929-4408
 E-mail : yourq2@korea.ac.kr



서광석 (徐光錫)

1954년 3월 6일생. 1980년 고려대 재료공학과 졸업. 1982년 동 대학원 재료공학과 졸업(공학). 1987년 미국 코네티컷 주립대학 고분자공학과 졸업(공학). 1989~현재 고려대학교 재료공학부 교수
 Tel : 02-3290-3273, Fax : 02-929-4408
 E-mail : suhkwang@korea.ac.kr