

## 폴리아닐린 나노섬유를 이용한 광경화형 전도성 투명필름의 제조 및 특성

김성현 · 송기국<sup>†</sup>

경희대학교 정보전자신소재공학과

(2012년 4월 6일 접수, 2012년 5월 7일 수정, 2012년 5월 8일 채택)

### Fabrication and Characterization of UV-curable Conductive Transparent Film with Polyaniline Nanofibers

Sung Hyun Kim and Kigook Song<sup>†</sup>

Department of Advanced Materials Engineering for Informantion & Electronics, Kyung Hee University,  
Youngin, Gyeonggi-do 446-701, Korea

(Received April 6, 2012; Revised May 7, 2012; Accepted May 8, 2012)

**초록:** 폴리아닐린(PANI) 나노섬유를 전도성 충전제로 사용하여 광경화형 전도성 투명필름을 제조하였다. 화학산화 중합(chemical oxidation polymerization)으로 나노섬유 구조의 산화형 폴리아닐린(ES-PANI)을 합성하였다. ES-PANI는 디도핑을 통해 환원형 폴리아닐린(EB-PANI)으로 유도하였다. 이것을 전도성 충전제의 전구체로 사용하여 도데실벤젠설포산(DBSA)이 포함되어 있는 광경화형 레진에 분산시키면 재도핑된 재산화형 폴리아닐린(rES-PANI)을 얻을 수 있었다. 이런 과정을 통해 나노섬유 형태가 유지되면서 높은 전도성과 분산안정성이 우수한 광경화형 전도성 레진용액을 제조할 수 있었다. 제조된 광경화형 전도성 레진용액은 상온에서 3달 정도 두어도 rES-PANI 충전제의 침전물이 생기지 않았다. 또한 이 용액을 폴리(메틸 메타크릴레이트)(PMMA) 기재 위에 스펀코팅 후 광경화하여 약 5  $\mu\text{m}$  두께의 전도성 투명필름을 제조하였다. rES-PANI 나노섬유 농도가 1.4 wt%일 때 표면저항  $6.5 \times 10^8 \Omega/\text{sq}$ , 550 nm 파장에서 91.1%의 투과도를 보였다. ES-PANI의 디도핑-재도핑(dedoping-redoping) 과정을 통해 광경화형 전도성 레진용액에 분산된 PANI는 농도에 따라 필름표면저항과 광학적 투명도를 조절할 수 있는 대전방지 보호필름을 제작하는 새로운 방법을 제시하였다.

**Abstract:** Conductive polyaniline (PANI) nanofibers in UV-curable resin were used for a transparent conductive film. The emeraldine-salt PANI (ES-PANI) nanofibers were prepared by chemical oxidation polymerization of aniline, which could be changed into emeraldine-base PANI by dedoping. EB-PANI nanofibers as a precursor for conductive fillers were thereby transformed into re-doped PANI (rES-PANI) by dodecylbenzenesulfonic acid in the UV-curable resin solution. rES-PANI nanofibers have high conductivity and long-term stability in the solution without a defect of nanostructure. The resulting conductive resin solution was proved to be highly stable where no precipitation of rES-PANI fillers was observed over a period of 3 months. The transparent film was spin-casted on a poly(methyl methacrylate) sheet of thickness ca. 5  $\mu\text{m}$ . A surface resistance of  $6.5 \times 10^8 \Omega/\text{sq}$  and transmittance at 550 nm of 91.1% were obtained for the film prepared with a concentration of 1.4 wt% rES-PANI nanofibers in the solution. This transformation process of rES-PANI from ES-PANI by dedoping-redoping can be an alternative method for the preparation of an antistatic protection film with controllable surface resistance and optical transparencies with the PANI concentration in UV-curable solution.

**Keywords:** polyaniline, antistatic, UV-curable, surface resistance, optical transparency.

## 서 론

최근 나노 크기로 전도성 고분자를 제조할 수 있게 됨에 따라, 새로운 물리적 화학적 성질을 부여할 수 있으며 조립적 구조에 의해 규칙적 배열을 가지게 하여 우수한 광학적, 전기

적 성능을 가지도록 할 수 있다. 또한 합성 및 중합방법을 제어함에 따라 나노입자, 핵/껍질 나노구조, 속이 비어있는 나노구형체, 나노섬유, 나노튜브, 나노복합체 등의 다양한 구조로 제조할 수 있으며 나노구조 및 크기에 따른 독특한 성질로 인해 많은 응용분야에 사용되어오고 있다. 최근에는 polypyrrole, polyaniline(PANI), polythiophene 등의 전도성 고분자 물질들이 뛰어난 전기적 성능으로 다양한 분야에서 관심을 끌고 있다. 그 중 PANI은 전도성 고분자 중에서도 우수한

<sup>†</sup>To whom correspondence should be addressed.  
E-mail: ksong@khu.ac.kr

환경 내구성, 낮은 원가에 의한 가격 경쟁력, 뛰어난 전도도, 제조 방법의 용이성으로 인해 응용이 뛰어난 전도성 소재로 각광받고 있다.<sup>14</sup> PANI은 두 종류의 전기적인 형태를 나타내는데, 산화상태에 따라 전기적으로 전도성을 띠는 산화 형태와 전기적으로 절연성을 띠는 환원 형태가 존재한다.<sup>5</sup> 산화 형태의 PANI은 유기산에 의한 양성자 첨가로 쉽게 도핑(doping)될 수 있고 결과적으로 우수한 전기 전도성을 나타낼 수 있다고 알려져 있다.

전도성 투명필름을 제조하기 위해서는 전도성 물질을 그 자체로 코팅이나 증착하는 방법과 전도성 물질을 충전제로 사용하여 투명 매트릭스와 블렌딩하는 방법이 있다. 이러한 방법들 중 광학적 투명성 및 전기적 전도성을 제어할 수 있고, 공정 및 제조 가격적 측면에서 장점이 있는 후자의 방법이 전도성 투명 필름제조에 많이 사용된다. 제조된 전도성 투명 필름은 전기적 저항에 따라 대전방지, 유해 전자파 차폐, 투명전극 등의 분야에 응용될 수 있다. 일반적으로 전도성 충전제를 사용하는 방법은 금속분말이나<sup>6</sup> 무기산화물을<sup>7,8</sup> 충전제로 사용하는 방법, 그리고 전도성 고분자를 충전제로 사용하는 방법이 있다.<sup>9</sup> 금속 첨가제를 충전제로 사용할 경우에는 금속 물질의 높은 가격, 광학 측면에서의 투과도 등 아직 해결해야 할 문제가 많이 남아있으며, 이러한 문제점을 극복하기 위해 전도성 고분자를 충전제로 사용하는 방법이 제안되었다. 전도성 고분자는 높은 전도도, 외부 환경에 대한 안정성, 가격 경쟁력이 우수하나 가공성의 문제로 제한적으로 이용되고 있다.<sup>10,11</sup> 이 중에서 상용용으로 사용 가능한 poly(3,4-ethylenedioxythiophene)/poly(4-stylenesulfonic acid)(PEDOT/PSS)를 광경화형 전도성 코팅제로 적용하는 연구가 보고되었다.<sup>12,13</sup> 그러나 PEDOT/PSS는 친수성 고분자 용액이므로 소수성 경화레진과 혼화성 문제로 경화형 전도성 투명박막필름의 제조에는 어려움이 있었다. 뿐만 아니라 PANI를 포함한 대부분의 전도성 고분자는 중합 후 유기용매에 분산성을 유지하는데 어려움이 있다.<sup>14,15</sup>

본 연구에서는 광경화형 전도성 투명필름을 제조하기 위해 전기전도성이 우수한 PANI 나노섬유를 전도성 충전제로 적용하고자 한다. 합성변수조절에 따른 화학산화중합으로 제조된 emeraldine-salt PANI(ES-PANI)는 나노섬유 구조를 가지고 있어 구형의 나노 구조보다 우수한 전도성을 띠지만 일반적인 전도성 고분자와 마찬가지로 유기용매와의 혼화성이 좋지 못해 광경화형 레진과 섞을 경우 침전물을 형성하였다. 따라서 ES-PANI를 디도핑(dedoping)-재도핑(redoping) 과정을 통해 제조한 redoped emeraldine-salt PANI(rES-PANI)는 나노섬유 구조가 유지되면서 광경화형 레진에 안정적으로 잘 분산되는 전도성 충전제로 제조하고자 한다. rES-PANI 나노섬유의 합성 및 ES-PANI의 디도핑-재도핑으로 rES-PANI로 전환되는 과정에서 광경화 레진에 포함되어 있는 유기산화제의 재도핑 효율을 FTIR과 UV 스펙트럼을 통해 확인하였다.

또한 광경화형 레진 내에서 ES-PANI와 rES-PANI 나노섬유의 분산안정성을 확인하고, rES-PANI 나노섬유의 첨가량에 따라 제조된 광경화형 전도성 투명필름의 전기저항 및 광학적 특성을 확인하였다.

## 실 험

본 연구에서 PANI 나노섬유를 이용한 광경화형 전도성 투명필름을 제조하기 위해 사용한 재료는 다음과 같다. Aldrich에서 아닐린 단량체, hydrochloric acid(25% HCl), ammonium persulfate(APS)를, 삼진화학에서 ammonium hydroxide(30% NH<sub>4</sub>OH)를 구입하여 정제 없이 사용하였다. 광경화형 레진의 반응성 희석제로 1,6-hexanedioldiacrylate(HDDA, SK-Cytec)와 trimethylolpropane triacrylate(TMPTA, Miwon Chemical)를, 올리고머로 aliphatic polyurethane diacrylate(U600C, Miwon Chemical)를 그리고 광개시제로 1-hydroxy-cyclohexyl-phenyl-ketone(Irgacure 184, BASF)을 사용하여 제조하였다. 유기 산화제는 dodecylbenzenesulfonic acid(DBSA, 30% in isopropyl)를 사용하였으며, 용매로는 tetrahydrofuran(THF)을 정제 없이 사용하였고, 코팅 기재는 0.64 mm 두께의 polymethylmethacrylate(PMMA) 필름을 사용하였다.

ES-PANI 나노섬유는 HCl이 포함된 2차 증류수에 산화 개시제로서 APS를 이용해 화학적 산화 중합에 의해 제조하였다. 아닐린 단량체 2.0 g을 3 °C에서 HCl 5.0 g, APS 2.8 g, 증류수 100 mL에 용해시켰다. 여기에서 HCl은 ES-PANI를 얻기 위한 산화제 역할을 한다. 이 용액을 7시간 동안 강하게 고속 교반한 후 증류수와 에탄올로 세척하였다. 그리고 진공 오븐에서 48시간 동안 건조시켜 어두운 초록색 파우더인 ES-PANI 나노섬유를 얻었다. ES-PANI에 1 M의 암모늄 수용액을 첨가한 후 씻어준 후 진공오븐에서 48시간 동안 건조시켜 어두운 보라색 파우더인 emeraldine-base PANI(EB-PANI) 나노섬유를 얻었다.

광경화형 레진은 프리폴리머인 U600C 30 wt%, 반응성 희석제 HDDA 40 wt%, TMPTA 30 wt%와 개시제 Irgacure 184를 2 wt% 혼합하여 제조하였다. 여기에 전기적 특성을 구현하기 위해 DBSA와 EB-PANI를 0.5, 1.0, 1.5 몰비(DBSA/EB-PANI)로 THF 10 mL에 섞어 rES-PANI를 제조하였다. 제조된 광경화형 전도성 용액은 0.5 μm의 syringe 필터를 이용해 불순물을 제거하였고, 이를 PMMA 기재 위에 스핀 코팅한 후 70 °C 진공오븐에서 2분 동안 두어 용매를 제거하였다. 그 후 UV경화기(800 W, high pressure mercury lamp, Oriel)로 40 mW/cm<sup>2</sup>의 광량으로 10초 동안 경화시켜 5 μm 두께의 필름을 얻었다. 필름 두께는 surface profiler(Kosaka Lab.)를 이용해 측정하였다. 또한 rES-PANI 첨가량을 0.2부터 2.2 wt%까지 변화시켜 광경화형 전도성 투명필름 표면의 전기저항의 변화를 관찰하였다. 투과전자현미경(transmission

electron microscopy; TEM, JEOL EM-200)을 이용해 제조된 PANI 나노섬유의 형태를 관찰하였으며, PANI 산화형태에 따른 특성피크는 FTIR(Bomem MB 100)과 UV/Vis spectrometer(Perkin-Elmer Lambda-20)를 통해 확인하였다. 제조된 광경화형 전도성 필름의 표면저항은 4-탐침법(4-point probe measurement)으로 측정하였다.

### 결과 및 토론

화학산화중합으로 유도된 나노섬유 구조의 ES-PANI는 전기 전도성을 띠지만 일반 유기 용매에 녹지 않는 특성이 있는 반면 전기 전도성이 없는 염기성 물질로 환원된 EB-PANI는 상용 유기 용매에는 매우 잘 녹는 것으로 알려져 있다.<sup>16</sup> 본 실험에서는 ES-PANI를 디도핑-재도핑을 통해 환원-재산화 형태로 변화시켜 나노섬유 구조를 유지하면서 유기용매에 잘 분산된 광경화형 전도성 레진용액을 제조하였다. Figure 1에 전도성 PANI를 포함하는 광경화형 레진용액 제조 공정을 도식화하였다. 나노섬유 구조의 PANI를 얻기 위하여 MacDiarmid 그룹에서 보고한 바와 같이 아닐린 단량체를 증류수에 HCl과 개시제를 이용한 화학산화 중합방법을 이용하였다.<sup>17</sup> 중합과정 후 침전된 ES-PANI는 암모늄 수용액으로 벤젠링에 붙어있는 양성자를 제거하여 EB-PANI를 제조하였다. 이때 제조된 PANI는 산화상태일 때 초록색을 띠며 환원상태일 때 보라색을 띠었다.<sup>18</sup> EB-PANI는 광경화형 전도성 레진용액의 전도성 충전제의 전구체로 사용되며, 이 전구체는 광경화형 아크릴레이트 레진에 잘 분산되었다. 여기에 극성그룹과 비극성 사슬로 구성된 DBSA는 유기산화제 및 분산제 역할로 EB-PANI를 재도핑시키면 전도성을 띠는 rES-PANI 형태로 변화하게 되고, 아크릴레이트 레진용액에 잘 분산되었

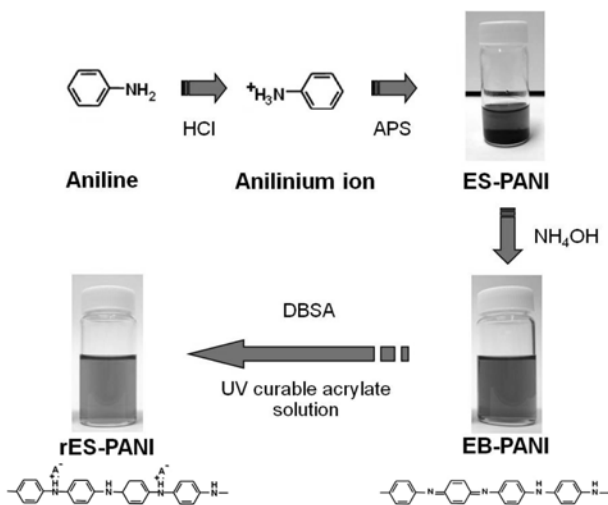


Figure 1. Schematic illustration of UV-curable conductive solution preparation using PANI nanofibers.

다. 따라서 ES-PANI를 디도핑-재도핑으로 아크릴레이트 레진용액에 rES-PANI를 포함하는 광경화형 전도성 레진용액을 제조할 수 있었다.

Figure 2(a)에 화학산화중합으로 얻어진 rES-PANI 나노섬유의 투과전자현미경 이미지를 나타내었다. PANI 나노섬유의 길이는 수 백 나노미터이며, 두께는 평균 20 nm로 관찰되었다. 이러한 특징은 합성된 PANI의 형태에 따라 전기 전도도 측면에서 구형의 나노입자 형태보다 나노섬유 형태가 우수한 것으로 알려져 있어,<sup>18,19</sup> 대전방지제로 적용 시 우수한 전기 전도성을 나타낼 것으로 판단된다. 또한 PANI 나노섬유는 도핑-디도핑 공정에 상관없이 같은 나노섬유 구조의 물리적 형태를 나타내었다. 나노섬유 PANI의 중합 메커니즘은 아닐린 단량체가 HCl에 의해 산화되어 anilinium ion을 형성하고 형성된 anilinium ion이 계면활성제처럼 나노구조를 형성하는 템플레이트(template) 역할을 하게 된다. Anilinium ion과 APS의 농도에 따라 구형, 실린더형 등 다양한 형태의 나노구조를 형성할 수 있고 반응용액 내의 HCl은 Figure 2(a)와 같이 자기조립 과정에서 서로 연결된 네트워크 형태의 나노섬유를 형성하는데 도움을 준다.<sup>20</sup>

제조된 rES-PANI 나노섬유의 FTIR 스펙트럼을 Figure 2(b)에 나타내었다. FTIR 스펙트럼에서 rES-PANI 나노섬유의 합성을 확인할 수 있는데, 1572 cm<sup>-1</sup> 피크는 C=C quinoid ring의 신축운동 피크를, 1487 cm<sup>-1</sup> 피크는 C=C benzenoid

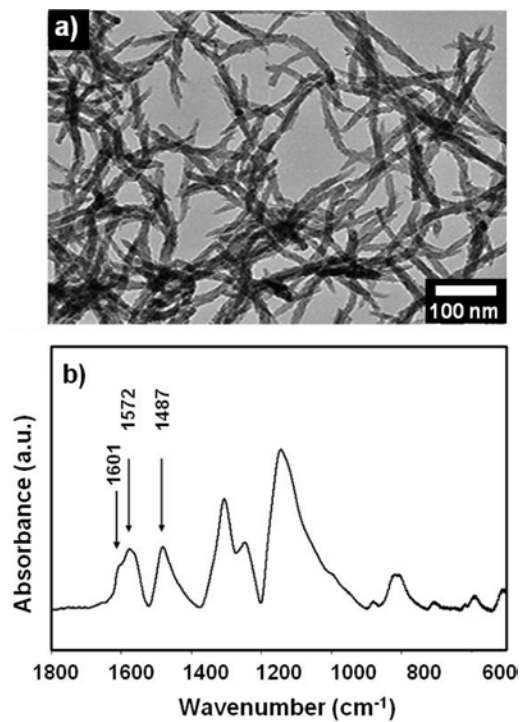
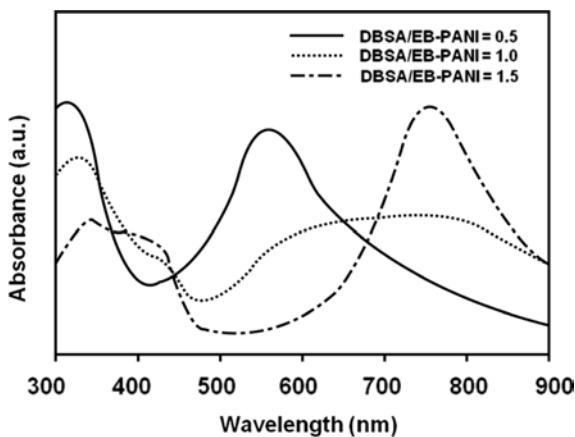


Figure 2. (a) Transmission electron microscopy image; (b) FTIR spectrum of rES-PANI.

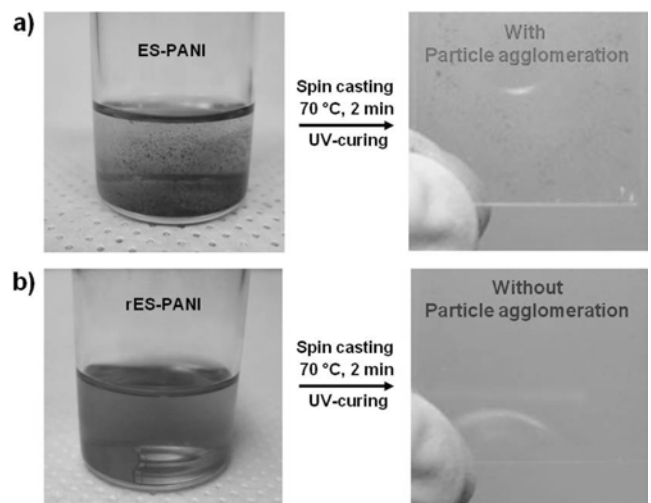
ring의 신축운동 피크를 나타낸다.<sup>21</sup> rES-PANI 나노섬유의 스펙트럼에서 quinoid ring과 benzenoid ring의 상대적인 흡수피크의 세기는 비슷하고, 이러한 경향은 PANI가 산화상태임을 보여주는 것이다.<sup>22</sup> 한편, rES-PANI에서는 EB-PANI 스펙트럼에서는 보이지 않았던 1601 cm<sup>-1</sup> shoulder 피크가 나타나는 것을 확인할 수 있는데, 이러한 결과는 PANI의 양성자 첨가에 따른 C=C quinoid ring 피크가 나타나는 것으로 판단된다.<sup>22,23</sup>

일반적으로 벤젠링에 연결된 아민의 전하상태가 유기산화제에 의해 비편재화(delocalization)된 ES-PANI만 전기 전도도를 띠는 것으로 알려져 있다.<sup>24</sup> 광경화형 레진용액 내에 EB-PANI의 재도핑 효율과 전기적 특성과의 상관관계를 조사하기 위해 DBSA에 대한 EB-PANI의 몰비를 0.5, 1.0, 1.5로 변화시키면서 광경화형 전도성 레진용액의 UV의 흡광도에 따른 전도성을 확인하였다. Figure 3에 DBSA/EB-PANI의 몰비에 따른 UV 스펙트럼을 나타내었다. DBSA/EB-PANI의 몰비가 1.5일 때 DBSA에 의한 EB-PANI의 재도핑으로 rES-PANI의 특성피크인  $\pi-\pi^*$  transition의 330 nm 흡수피크가 나타나며, 430와 800 nm에서는 각각  $\pi-p$  polaron band와 polaron  $p-\pi^*$  band의 피크를 볼 수 있다.<sup>25</sup> 하지만 DBSA/EB-PANI의 몰비가 0.5일 때는 580 nm에서 흡수피크가 나타나는데, 이는 quinoid ring과 인접한 imine-phenyl-amine 그룹 사이의 국부적인 전하이동으로 EB-PANI의 특성을 나타내는 것이다.<sup>25</sup> DBSA/EB-PANI의 몰비가 0.5에서 1.5로 증가하면서 780와 430 nm에서의 흡수피크의 세기는 증가하고, 580와 330 nm 피크 세기는 감소하는 경향을 보여주는데, 이는 EB-PANI에서 rES-PANI으로 재도핑된 것을 보여주는 것이다.<sup>26</sup> 그러므로 EB-PANI가 rES-PANI로 재도핑되기 위해서는 DBSA의 몰수가 EB-PANI에 비해 1.5 배 이상 필요함을 알 수 있었고, 이와 같은 결과는 EB-PANI를 유기산화제인 DBSA로 재도핑하여 형성된 rES-PANI는 전기 전도성을 띠는 분자구조를 가지고 있음을 보여준다.



**Figure 3.** UV/Visible absorption spectra of PANI solutions with different molar ratios of DBSA/EB-PANI.

Figure 2의 도식화된 제조과정에서 보듯이 광경화형 전도성 레진용액의 전도성 및 분산성을 확보하기 위해 EB-PANI를 광경화형 레진용액에 유기산화제와 같이 분산시켰다. 이때 EB-PANI는 유기산화제의 도움으로 rES-PANI으로 전환하게 되면 분산성을 유지하면서 전도성을 부여할 수 있었다. 따라서 본 연구에서는 광경화형 레진과 상용성이 우수한 THF용매 내에 환원상태인 PANI를 전도성 충전제의 전구체로 사용하고, 이를 유기산화제가 녹아 있는 광경화형 레진용액에 첨가하여 전기 전도성을 띠면서 분산성이 우수한 광경화형 전도성 레진용액을 얻을 수 있었다. 이렇게 제조된 광경화형 전도성 레진용액의 안정성을 비교하기 위해 화학산화중합으로 얻어진 ES-PANI 나노섬유를 같은 조성의 광경화형 레진에 분산시켜 두 용액의 분산성을 비교하였다. Figure 4(a)에서는 광경화형 레진용액 내에 ES-PANI 나노섬유를 분산시킨 용액과 필름을 보였으며, Figure 4(b)에서는 ES-PANI 나노섬유를 디도핑-재도핑에 의해 형성된 rES-PANI를 광경화형 레진용액에 분산시킨 것과 필름을 나타내었다. 이때 광경화형 레진용액에 포함된 PANI 나노섬유의 농도 및 광경화형 레진의 조성은 동일하게 하였으며, 광경화형 전도성 레진용액을 이용한 전도성 박막 투명필름은 PMMA 기재 위에 스프인코팅으로 약 5  $\mu\text{m}$  두께로 얻었다. Figure 4(a)에서 보듯이 ES-PANI 나노섬유와 광경화형 레진용액을 섞은 경우는 혼화성이 좋지 못하여 침전물이 형성되었으며 그 필름 또한 coffee-stain 효과 때문에 PMMA 기재 가장자리에 입자가 묻쳐있는 부분을 확인할 수 있었다. 반면에, ES-PANI를 디도핑-재도핑 과정을 통해 제조된 rES-PANI를 포함하는 광경화형 전도성 레진용액의 경우, 침전물 없이 투명한 용액상태를 유지하였으며 PMMA 기재 위에서도 입자의 묻침없이 투명한 전도성 필름을 얻을 수 있었다. 이와 같은 전도성 레진용액은 상온에서



**Figure 4.** PANI solutions and UV-cured films prepared with (a) ES-PANI; (b) rES-PANI.

**Table 1. Surface Resistance and Transmittance of UV-cured Conductive Films with Different rES-PANI Concentrations**

Samples	rES-PANI concentration (wt%)	Surface resistance ( $\Omega/\text{sq}$ )	Transmittance (at 550 nm) (%)
1	0.2	$2.3 \times 10^{11}$	98.4
2	0.6	$2.3 \times 10^{11}$	97.4
3	1.0	$2.3 \times 10^{11}$	93.2
4	1.4	$6.5 \times 10^8$	91.1
5	1.8	$6.5 \times 10^8$	83.4
6	2.2	$8.1 \times 10^7$	81.6

3달 이상 안정된 용액 분산성을 나타내었다.

도핑-디도핑-재도핑 방법에 의해 제조된 rES-PANI의 첨가량을 0.2부터 2.2 wt%까지 변화시켜가면서 광경화형 전도성 레진용액 및 투명필름을 제조하였다. Table 1에 rES-PANI의 첨가량에 따라 필름의 전기 저항과 투과도를 나타내었다. 광경화형 레진용액에 rES-PANI의 첨가량이 증가할수록 경화된 필름의 표면저항은  $2.3 \times 10^{11}$ 에서  $8.1 \times 10^7 \Omega/\text{sq}$ 까지 감소하였고, 투과도는 98.4에서 81.6%까지 감소하였다. 즉, rES-PANI 첨가량이 증가할수록 전기 전도성은 향상되나 투과도는 떨어져 투명필름이 고유의 PANI 녹색색상으로 불투명하게 되었다. 광경화형 전도성 투명필름의 응용분야로서 디스플레이용 대전방지 보호필름으로 고려할 때 전기저항은  $10^6 \sim 10^9 \Omega/\text{sq}$  및 90% 이상의 투과도를 나타내야 한다. 따라서 rES-PANI 첨가량이 1.4 wt%일 때 표면저항이  $6.5 \times 10^8 \Omega/\text{sq}$ 이고, 91.1%의 투과도를 나타내어 대전방지 필름으로 적합하면서 투명한 광경화형 전도성 필름을 제조할 수 있었다.

## 결 론

본 연구에서는 ES-PANI를 디도핑-재도핑을 통해 rES-PANI 유도하여 나노섬유 구조를 유지하면서 광경화형 레진용액 내에서 전도성 첨가제로 사용되어 분산안정성 및 전도성 가지는 광경화 전도성 레진용액 및 전도성 투명필름을 제조할 수 있는 방법을 제안하였다. 이를 확인하기 위해 화학산화 중합에 의해 생성된 ES-PANI를 광경화형 레진용액에 분산시킨 경우와 ES-PANI를 디도핑-재도핑 과정을 통해 rES-PANI를 제조하여 같은 조성의 광경화형 레진용액에 분산시킨 것을 비교하여 용액의 분산성 및 전기적 특성을 확인하였다.

FTIR로 rES-PANI 나노섬유의 특성피크를 확인하였으며, UV 스펙트럼을 통해 DBSA/EB-PANI의 물비에 따른 EB-PANI 나노섬유의 재도핑 효율을 확인할 수 있었다. 제조된 광경화형 전도성 레진용액은 상온에서 3달 이상 두어도 침전물이 생기지 않았으며, 이를 광경화하여 전도성 투명필름을 제작할 수 있었다. 광경화형 레진용액 내에 rES-PANI의 농도

가 1.4 wt%일 때 표면저항이  $6.5 \times 10^8 \Omega/\text{sq}$ 이고, 550 nm에서 91.1%의 투과도를 나타냈다. PANI 나노섬유의 농도에 따라 전도성 필름의 전기저항 및 투과도의 조절이 가능한 광경화형 대전방지 투명필름을 제조할 수 있었다.

**감사의 글:** 본 연구는 2011년 경희대학교 지원(KHU-20110245)에 의해 수행되었습니다.

## 참 고 문 헌

1. J. Keum, C. S. Ha, and Y. Kim, *Macromol. Res.*, **14**, 401 (2006).
2. D. Chaudhuri, A. Kumar, I. Rudra, and D. D. sarma, *Adv. Mater.*, **13**, 1548 (2001)
3. Q. Pei, G. Yu, C. Zhang, Y. Yang, and A. J. Heeger, *Science*, **269**, 1086 (1995).
4. D. Lee, K. Char, H.-W Rhee, and J. Kim, *Polymer(Korea)*, **24**, 29 (2000).
5. Y. Cao, A. Andereatta, A. J. Heeger, and P. Smith, *Polymer*, **30**, 2305 (1989).
6. S. Jin, T. H. Tiefel, R. Wolfe, R. C. Sherwood, and J. J. Mottine, Jr., *Science*, **255**, 446 (1992).
7. M. A. Aegerter, N. Al-Dahoudi, A. Solieman, H. Kavak, and P. Oliveira, *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, **417**, 105 (2004).
8. Y. C. Wang and C. Anderson, *Macromolecules*, **32**, 6172 (1999).
9. V. G. Kulkarni, "Transparent conductive coatings", in *Handbook of Conducting Polymers*, Marcel Dekker, New York, Vol. **2**, p 1059 (1998).
10. C. R. Martins and M. A. D. Paoli, *Eur. Polym. J.*, **41**, 2867 (2005).
11. M. Annala and B. Lofgren, *Macromol. Mater. Eng.*, **291**, 848 (2006).
12. M. E. L. Wonuters, D. P. Wolfs, M. C. Linde, J. H. P. Hovens, and A. H. A. Tinnemans, *Prog. Org. Coat.*, **51**, 312 (2004).
13. C. R. Graham, P. J. Kinlen, and T. D. Flaim, U.S. Patent 7749603 B2 (2010).
14. G. Greczynski, T. Kugler, and W. R. Salaneek, *Thin Solid Films*, **354**, 129 (1999).
15. S. Ghosh, J. Rasmusson, and O. Inganas, *Adv. Mater.*, **10**, 1097 (1998).
16. B. Wessling, *Synth. Met.*, **102**, 1396 (1999).
17. W. S. Huang, B. D. Humphrey, and A. G. MacDiarmid, *J. Chem. Soc., Faraday Trans. 1*, **82**, 2385 (1986).
18. J. Huang and R. B. Kaner, *Chem. Commun.*, **4**, 367 (2006).
19. J. Huang and R. B. Kaner, *J. Am. Chem. Soc.*, **126**, 851 (2004).
20. S. Chen and J. P. Rothstein, *J. Non-Newtonian Fluid Mech.*, **116**, 205 (2004).
21. J. Jang, *Adv. Polym. Sci.*, **199**, 189 (2006).
22. J. Tang, X. Jing, B. Wang, and F. Wang, *Synth. Met.*, **24**, 231 (1998).
23. Y. Cao, S. Li, Z. Xue, and D. Guo, *Synth. Met.*, **16**, 305 (1986).
24. Y. Long, Z. Chen, N. Wang, J. Li, and M. Wan, *Physica B*, **344**, 82 (2004).
25. W. S. Huang and A. G. MacDiarmid, *Polymer*, **34**, 1833 (1993).
26. N.-R. Chiou, L. J. Lee, and A. J. Epstein, *Chem. Mater.*, **19**, 3589 (2007).