

SAS법을 이용한 ITO 나노입자의 합성과 ITO 도포에 의한 도전필름의 제조

김문선*, 윤상호, 김병우

성균관대학교 화학공학과
440-746 경기도 수원시 장안구 천천동 300

(2007년 8월 29일 접수; 2007년 9월 15일 채택)

Synthesis of ITO Nano-Particles by a SAS Method and Preparation of Conductive Film by Coating Them

Moon-Sun Kim*, Sang-Ho Yun, and Byung-Woo Kim

Department of Chemical Engineering, Sungkyunkwan University
300 Cheoncheon, Jangan, Suwon 440-746, Republic of Korea.

(Received for review August 29, 2007; Revision accepted September 15, 2007)

요 약

도전성 PET 투명 필름을 제조하기 위해 PET필름을 기체로 사용하여 그 위에 습식 도포법으로 인듐주석 산화물(ITO) 필름을 제조하였다. 압력 15 MPa, 온도 50°C의 SAS 합성조건으로 ITO를 합성하였으며 ITO의 최적 조성비(In/Sn)는 65이며 이 조건에서 합성된 ITO의 평균입경은 15±2 nm, 표면저항 값은 4×10⁴ Ω·cm였다. ITO 도포액은 pH 10에서 제조하였으며 PET 필름 위에 0.1, 0.5, 1, 2 ITO wt%를 첨가한 도포액을 붓고 바코터(bar-coater)로 ITO 필름을 제조하였다. ITO 필름의 표면조도는 4, 10, 12, 16 nm였으며 표면저항 값은 3.7×10⁶, 2.4×10⁶, 8×10⁵, 2×10⁵ Ω·cm였다. ITO 필름의 빛투과율은 각각 89, 88, 86, 82%였으며 ITO 농도가 높아질수록 표면조도와 도전성은 높아졌으나 빛투과율은 낮아졌다.

주제어 : 인듐주석산화물, ITO, SAS법, 습식도포, 도전성 PET필름

Abstract – The indium tin oxide(ITO) film on PET was prepared by a wet coating method to obtain the transparent film with a high conductance. ITO nano-particles was synthesized by a SAS method at 15 MPa and 50°C, where optimized rate of In/Sn was 65. Average diameter and resistivity of ITO obtained from SAS are 15±2 nm and 4×10⁴ Ω·cm. Coating solution was prepared at pH 10. The ITO film was obtained by solution including 0.1, 0.5, 1, and 2 ITO wt% on PET. Roughness(Ra) of ITO film with 0.1, 0.5, 1, and 2 ITO wt% is 4, 10, 12, and 16 nm. Resistivity with an increasing ITO concentration is 3.7×10⁶, 2.4×10⁶, 8×10⁵, and 2×10⁵ Ω·cm. Transmissivity of ITO film decreased as 89, 88, 86, and 82% with an increasing ITO concentration as 0.1, 0.5, 1, and 2 wt%.

Key words : Indium tin oxide, ITO, SAS method, Wet coating, Conductive PET film

1. 서 론

전자부품의 소형화, 경량화, 박막화, 친환경화 경향이 뚜렷해지고 액정 디스플레이 (liquid crystal display, LCD), EL 백라이트, 터치 패널(touch panel), OA/FA 제어기기 시장이 성장하면서 투명 도전필름의 수요량이 현저히 증가되고 있다

[1]. 투명 도전 필름이 전자부품의 소재로 사용되기 위해서는 도전성, 투명성, 내열성, 내구성, 가공성 등이 우수해야 한다. 투명 도전필름은 스퍼터링(sputtering)법으로 제조된 카듐산화물 필름에서 시작되었으며 최근에는 ITO 필름이 주로 사용되고 있다[2-6].

투명 도전필름을 제조하는 방법에는 습식공정과 건식공정

* To whom correspondence should be addressed.
E-mail : moonsunkim@empal.com

이 있으며 초기에는 제조공정 기술이 단순하고 고가 제품이 용도의 주류를 이루면서 건식공정이 주로 채택되었으며 ITO를 타겟으로 이용하는 스퍼터링법이 사용되었다[7-9]. 스퍼터링법은 제조공정이 비교적 간단하고 도전성과 투명성이 우수한 ITO 필름을 쉽게 생산할 수 있다는 장점은 있으나[10-12] 생산설비가 고가이고 광폭 제품을 생산할 수 없으며 생산속도의 한계, 고열로 인한 필름의 변형, 이물에 의한 표면의 흠집 발생 등, 생산성이 떨어진다는 단점을 가지고 있다[13]. 최근 투명 도전필름의 수요가 증가함에도 불구하고 가격은 떨어지고 있으며 가격인하 경쟁이 치열해지면서 생산비용을 낮추기 위한 공정연구가 활발히 진행되고 있다. 특히 전자와 차폐필름, 열 차단 필름 등과 같이 기존 스퍼터링법에 의해 제조되는 ITO필름보다 투명성과 도전성 등의 물성이 다소 떨어지더라도 제조가격을 낮출 수 있는 제품을 요구하고 있다[14]. 이와 같은 시장 수요를 만족시키기 위해 습식도포(wet coating)법을 이용한 ITO 도전필름의 제조기술이 제안되었다[15]. ITO는 주로 졸-겔법[16]에 의해 합성되고 있으며[16] 최근에는 VOC 발생량이 적고 나노입자의 입경 조절이 용이한, 초임계유체를 이용한 SAS(supercritical anti-solvent precipitation)법이 ITO 합성 연구에 응용되고 있다[17,18]. SAS법은 이산화탄소를 고압조건에서 액화시켜 용매로 사용하였으며 이산화탄소에 대한 화합물질의 용해도가 낮다는 특성을 이용하여 나노무기입자를 합성하는 방법이다. 졸-겔법과 수열법에 비해 결정화 속도가 빠르고 입자제어가 용이하다는 장점을 가지고 있다.

습식도포법을 이용한 ITO 필름제조에 대한 연구가 다양하게 진행되고 있다. Takahashi 등[19]은 딥코팅(dip coating)법을 이용하여 ITO 필름을 제조하여 $4 \times 10^4 \Omega \cdot \text{cm}$ 의 표면저항 값을 갖는 도전성을 얻었으며 Bisht 등[20]은 스프레이코팅법을 이용하여 $3 \times 10^4 \Omega \cdot \text{cm}$ 의 도전성을 갖는 ITO 필름을 제조하였다. 그러나 딥코팅법이나 스프레이코팅법은 실험실 규모에서는 적용이 가능하나 pilot나 공장규모의 제품생산에는 적용이 어렵기 때문에 도포속도가 빠르고 박막도포가 가능한 바(bar)코팅법의 적용이 바람직하다[14].

본 연구에서는 도전성과 투명성이 우수한 유연성(flexible)있는 필름을 제조하기 위해 폴리에틸렌테레프탈레이트 (polyethylene terephthalate, PET) 필름을 기재로 사용하였으며 SAS법으로 합성한 ITO 입자를 습식 도포하여 ITO 도전성 필름을 제조하였다.

2. 실험

전자부품의 소재로 사용되는 투명 도전필름은 유연성, 투명성과 함께 두께 균일성과 내구성이 우수해야 하기 때문에 주로 PET필름을 기재로 사용하고 있으며[9, 21], 본 실험에서는 광학용 PET필름(SH30, 100 μm , SKC, 대한민국)을 선택하였다. ITO 나노입자는 $\text{In}(\text{NO}_3)_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ 과 $\text{SnCl} \cdot \text{H}_2\text{O}$ (Sigma-Aldrich, Co., U.S.A.)를 사용하여 SAS법에 의해 Figure 1 [일신오토클레이브(주), 대한민국]과 같은 구조를 갖는 시스템에서 진행하며 초임계이산화탄소를 용매로 사용하였다.

저장조의 이산화탄소를 냉각조에서 $-5 \text{ }^\circ\text{C}$ 이하로 냉각시킨 다음 고압펌프를 통해 초임계유체 상태로 반응기로 공급하였다. 본 설비는 20 MPa, 200 $^\circ\text{C}$ 까지 조절이 가능하나[22] 본 실험에서는 예비실험 결과로부터 결정된 15 MPa, 50 $^\circ\text{C}$ 의 최적조건에서 10 ml/min의 유속으로 노즐을 거쳐 반응기에 공급하였다. 반응기 내의 조건을 정상조건으로 유지하기 위해 초기 5분 동안 초임계이산화탄소만 공급하였으며 그 다음 20 ethanol vol%의 초임계유체를 5분 동안 반응기에 공급하였다. $\text{In}(\text{NO}_3)_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ 과 $\text{SnCl} \cdot \text{H}_2\text{O}$ 를 알코올에 용해한 다음, 초임계유체와 교반시켜 반응기에 공급하였다. 시약과 알코올과의 교반조건은 ITO 입경 제어에 매우 중요하며 합성된 ITO 입자는 세척과 건조공정을 거쳐 도전체로서 도포공정에 사용되었다. 필름에 대한 결합력을 개선하기 위해 도포액을 제조하는데 우레탄계수지 용액(DFM-2500, 동진세미켐)을 첨가하였다. DFM-2500은 4 wt%의 우레탄계 수지 고형물과 이소프로필알코올(IPA), 에탄올, 물 등의 용매로 구성되어 있다.

PET 필름에 대한 ITO 액의 도포는 Figure 2와 같은 습식

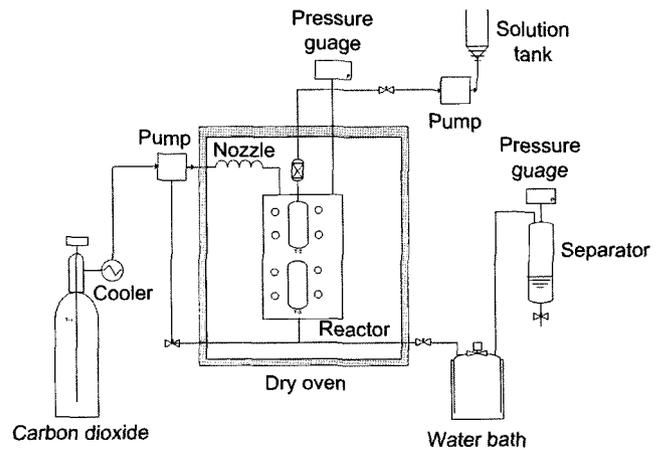


Figure 1. Schematic diagram of the system for ITO synthesis by SAS method.

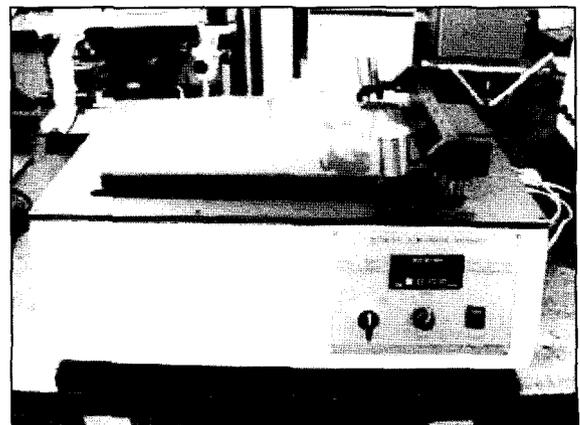


Figure 2. Bar-coater for ITO film.

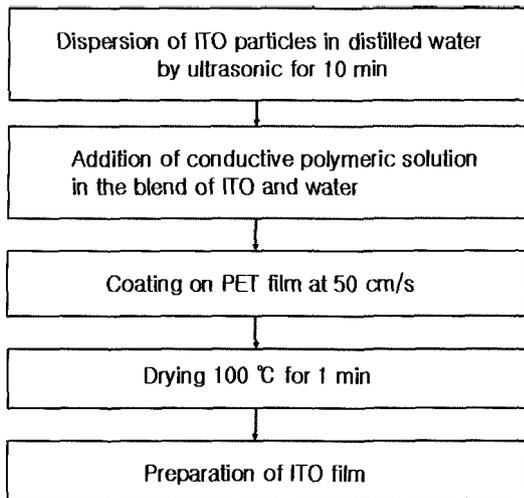


Figure 3. Wet-coating process for the preparation of ITO film.

도포장치(KPM-300, 기백무역, 대한민국)를 이용하여 Figure 3, 4와 같은 방법으로 실시하며 ITO 도포액을 도포, 건조시켜 ITO 필름을 제조하였다. Figure 4에는 습식도포법에 의하여 도전성 PET를 제조하는 과정을 나타냈는데, (a)는 ITO 입자를 정량하는 단계로, pH을 조절한 증류수에 정량한 나노입자를 넣고 입자의 분산을 최적화시켰다(b)[15]. 혼합액은 초음파 교반기(Sonifier 450, Branson Co.)를 사용하여 10 분 동안 충분히 교반시킨 다음(c) 우레탄계 도전성 고분자수지 용

액을 1:1로 첨가하여 도포액을 제조하였다. #6 도포 바(건조 후 평균 도포두께: 13.7 μm)를 이용하여 50 cm/s의 속도로 도포하고(d) 100 °C의 조건에서 1분 동안 건조시켜 도전막을 제조하였다(e). 건조조건은 예비실험을 통해 도전성과 투명성이 가장 양호하도록 결정되었다. 이와 같은 단계를 거쳐 도전성 필름(f)을 제조하였다. SAS법에 의해 합성된 ITO의 입경과 제타포텐셜은 입도분석기(ELS-Z2, Otsuka Electronics. Co.)를 사용하여 측정하였다. 도포막의 도전성은 저항측정기(3454-11, Hioki Co.)를, 표면조도는 표면조도기(TR-240, Time-Group Co.)를, 빛투과율은 헤이즈미터(SEP-H, Seimicz Kogagu Co.)를 사용하여 각각 측정하였다.

3. 결과 및 검토

3.1. ITO의 합성

Figure 1과 같은 반응기를 압력 15 MPa, 온도 50 °C의 조건으로 유지하면서 초임계이산화탄소에 인듐산화물과 주석산화물의 농도비를 변화시키면서 혼합시킨 다음 1.0 ml/min의 유속으로 투입하면서 Figure 5와 같이 ITO를 합성하였다. 합성된 ITO의 결정구조는 Figure 6과 같으며 전형적인 입방정계 ITO의 결정 특성을 가지고 있었다. 전형적인 ITO는 Figure 6과 같이 30, 35, 50, 60 degree에서 주요 피크를 가지며 각각 (222), (400), (440), (622)의 결정면을 가지고 있다 [15]. 이와 같은 결정구조를 갖기 위해서 졸-겔법으로 ITO를 합성한 경우에 1,400 °C에서 1 시간 정도의 소결과정이 필요하며 수열법으로 합성한 경우에는 600 °C에서 1 시간 정도의

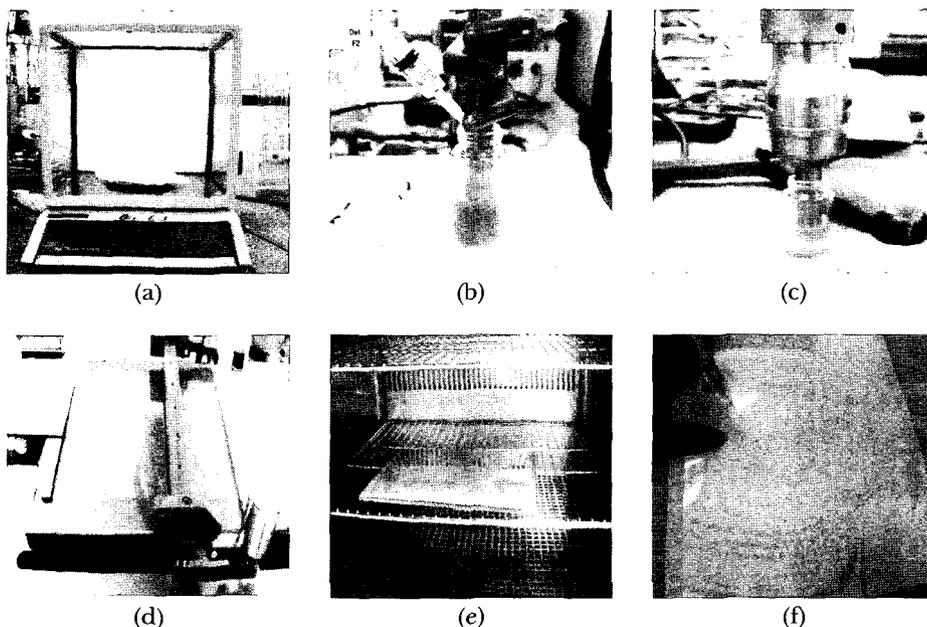


Figure 4. Preparation steps for conductive PET film by a wet coating: (a) weighing the chemicals and ITO, (b) mixing the distilled water with ITO at a controlled pH, (c) agitating the blend for coating, (d) coating the PET film with solution by a bar-coater, (e) drying the coated film, and (f) getting the final conductive PET film.

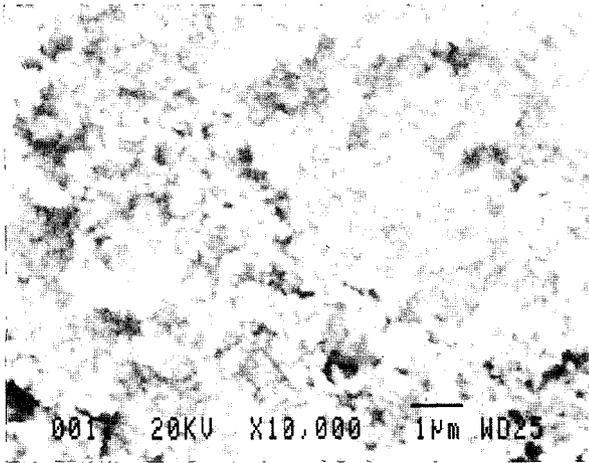


Figure 5. SEM image of ITO synthesized by SAS at 15 MPa and 50 °C (magnification: x10,000).

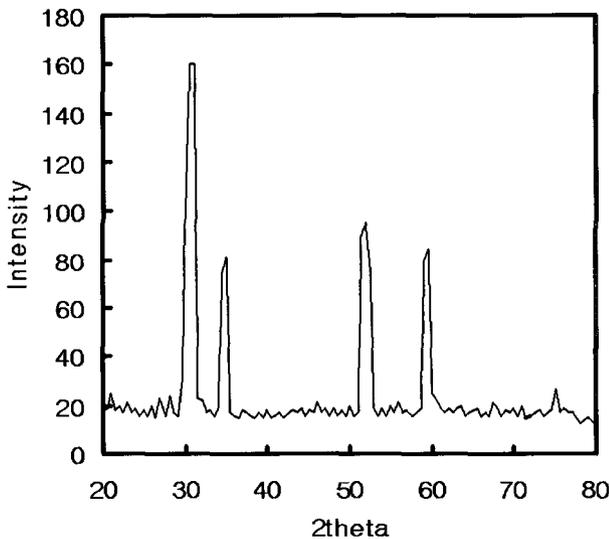


Figure 6. Crystal structure of ITO particles analyzed by XRD.

소결과정이 필요하다[23]. 그러나 SAS법으로 합성한 ITO는 별도의 소결 없이 100~200 °C의 온도에서 1 시간 정도의 건조가 필요하다. 졸-겔법이나 수열법에서 합성한 ITO는 소결 온도를 지나치게 높이는 경우 ITO 입자 간의 응집현상이 발생되었다. 인듐과 주석의 조성비(In/Sn)를 변화시키면서 합성한 ITO의 평균입경과 도전성은 Table 1과 같다. In/Sn의 비가 90이 되는 경우 평균입경은 7±2 nm이며 분체표면의 저항값은 2×10³ Ω·cm였다. 합성된 ITO 평균입경의 편차가 큰 것은 초임계유체에서 원료의 응집발생이 원인이며 편차개선을 위해 혼합물의 분산조건을 강화하였다. 인듐의 조성비가 낮아지면 ITO 입경은 커지면서 도전성은 떨어지는 경향이 관찰되었다. In/Sn의 비가 10이 되면 ITO 입자의 평균입경은 40±5 nm로 커졌으며 도전성은 측정기로 측정할 수 없을

Table 1. Properties of synthesized ITO particles with a varying ratio of In/Sn (○: good, △: normal, ×: bad)

Properties	In/Sn	90	75	65	45	10
Resistivity (Ω·cm)		2×10 ³	8×10 ³	4×10 ⁴	3×10 ⁶	∞
Average diameter (nm)		7±2	10±3	15±2	25±3	40±5
Dispersion property		×	△	○	○	○

정도로 떨어졌다. In/Sn의 비가 10 이하가 되면 본 연구에 사용된 SAS법으로는 ITO를 합성할 수 없었다. ITO 필름의 도전성과 투명성을 높이기 위해서는 인듐 성분의 농도를 높이는 것이 바람직하다. 그러나 원료로 사용되는 인듐산화물이 주석산화물보다 고가일 뿐 아니라 인듐 농도가 지나치게 높을 경우 합성된 ITO 입자의 분산성이 불량해질 우려가 있어 원료의 사용량과 물성을 동시에 만족할 수 있는 합성의 최적조건을 설정하였다. In/Sn가 65인 경우 합성된 ITO의 평균입경은 15±2 nm, 저항값은 4×10⁴ Ω·cm 였으며 도포 액 상태에서도 분산성이 양호하였다. 상품화된 ITO 입자의 인듐/주석의 농도비는 20~30 수준이다.

SAS법에 의해 합성된 ITO 입자는 합성과정에서 이미 입방정계의 구조를 갖기 때문에 조건에 따라 농도의 차이는 다소 있었지만 푸른색 계통을 나타내었다. 졸-겔법에 의해 합성된 ITO의 경우 1,000°C까지는 노란색을 띄었으나 1,600°C 부근에서 입방정계 구조로 안정화되면서 푸른색으로 변화하였다. 소결온도에 따라 결정구조가 변하는 졸-겔법에 의해 합성된 ITO와는 달리 SAS법에 의해 합성된 ITO는 이미 합성 과정에서 결정이 이루어졌기 때문에 소결온도 조건은 결정구조에 큰 영향을 미치는 않았다[24].

합성된 ITO는 공기 중의 수분과의 표면반응에 의해 도전성이 떨어질 우려가 있으므로 합성된 ITO를 질소로 세척한 다음 200°C 온도조건에서 건조시켜 폴리프로필렌 시약통에 보관하였다. 이렇게 보관된 ITO는 도포액으로 제조하기 전에 30분 동안 분쇄시켜 평균입경 15~20 nm로 만들었다. 입자 크기는 FE-SEM과 입도측정기를 이용하였으며 국제공인기관 기준에 따라 측정하였다.

3.2. ITO 미립자의 분산성 평가

PET필름 표면에 대한 도전체 미립자의 결합력을 높이기 위해 도전성 고분자수지 용액을 첨가하여 도포용액을 제조하였다. ITO는 알코올류를 용매로 사용하는 경우 분산성이 불량해질 우려가 있어 본 실험에서는 증류수를 사용하여 도포액을 제조하였다. 고분자수지는 수용성으로 도전성이 우수한 특성을 가지고 있다.

ITO의 분산성을 평가하기 위해 0.1 wt% 조건에서 pH 별 제타포텐셜을 측정하였으며 그 결과는 Figure 7과 같다. ITO의 제타 포텐셜은 pH 3에서 40 mV이며 pH가 증가함에 따라

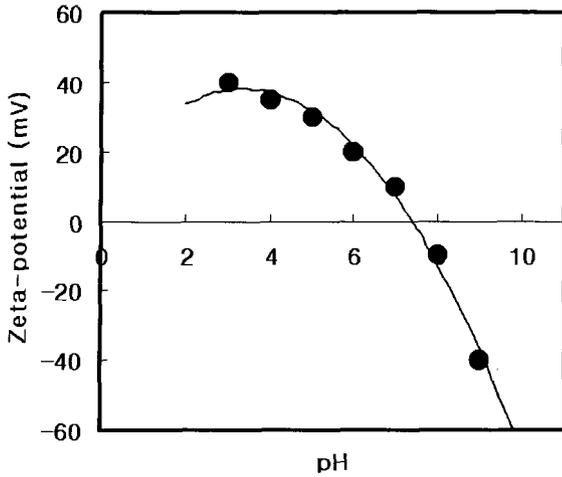


Figure 7. Zeta-potential energy of ITO nano-particles versus pH.

라 감소하여 pH 9에서는 -40 mV를 나타낸다. ITO의 등전점은 7.2이며 제타 포텐셜의 절대값이 20 이상일 때 분산성이 양호하다고 판단할 수 있으므로[25] pH 5이하의 산성 범위, 또는 pH 9 이상의 염기성 범위에서 혼합하는 것이 바람직하다. 결합력을 높이기 위해 혼합되는 도전성 고분자 용액의 pH는 8±0.3이며 ITO는 pH 8의 조건에서는 분산성이 떨어지므로 도전성 고분자 수지의 응집현상이 일어나지 않는 범위로 pH를 조절한 다음 ITO를 혼합하여 도포액을 제조하였다.

pH에 따른 ITO와 도전성 고분자 수지 간의 혼합 상태는 Figure 8과 같다. 혼합용액을 pH 7로 변화시키면 Figure 8(a)와 같이 층분리가 발생하였는데, 전도성 고분자수지를 구성하고 있는 우레탄계 수지의 응집에 의한 결과로 보인다. 이와 같은 층분리가 발생한 도포액을 필름 위에 도포하면 도전성이 거의 없었다. 혼합액을 (b)와 같이 pH 8로 변화시키면 층분리 현상을 발견할 수 없었으나 혼합액 상층부에 기포층이 형성되었으며, 이런 도포액을 필름 위에 도포하는 경우 건조 후 필름표면에 미도포 부위가 발생했으며 부위별 도전성 편차가 크게 나타났다. 기포는 용해 호환성이 떨어지는 두 물질을

교반과 같은 기계적 힘에 의해 섞을 때 발생하며 (b)와 같은 기포는 나노입자 간의 균일한 분산을 방해하는 역할을 한다. Figure 8(c)는 pH 10에서 교반된 ITO와 고분자 수지의 혼합 용액으로 균일성이 양호하고 경시변화가 거의 관찰되지 않았다. 이와 같은 분산성이 우수한 도포액을 이용하여 필름 위에 도포하는 경우 균일한 표면과 물성을 갖는 도전막을 얻을 수 있었다.

3.3. ITO 도포 필름의 특성

PET 필름 위에 ITO 농도를 0.1 wt%, 0.5 wt%, 1 wt%, 2 wt%로 변화시키면서 ITO 필름을 제조하였다. Figure 9는 ITO의 농도를 0.1, 0.5, 1, 2 wt% 별로 도포된 ITO필름의 SEM 표면사진이다. ITO를 0.1 wt%를 도포한 Figure 9(a)의 경우 1,000 배의 배율 조건에서는 ITO의 입자를 거의 확인할 수 없었다. ITO가 0.5 wt%가 도포된 (b)에서는 ITO의 응집된 형상이 부분적으로 관찰되었다. ITO가 각각 1.0 wt%와 5.0 wt% 도포된 (c)와 (d)의 표면사진에서는 농도가 높아짐에 따라 발견되는 ITO의 응집 형태의 빈도도 높아졌다. 이러한 ITO 입자의 응집형태와 존재하는 빈도는 ITO 필름의 투명성과 도전성에 영향을 주었다.

ITO 필름의 특성을 비교하기 위해 ITO 농도를 변화시키면서 표면조도, 도전성(표면저항성), 빛투과율의 변화를 Figure 10, 11, 12와 같이 나타냈다. 표면조도는 식(1)과 같이 0.25 mm cut-off 조건에서 측정한 Ra(center line average roughness) 값으로 비교하였는데[24], Ra는 산(peak)과 골(valley)들의 평균높이를 구한 것으로 조도곡선에서 중심선을 기준으로 중심선 밑의 곡선부분을 중심선 위로 올려 구한 값이다.

$$Ra = \frac{1}{L} \int_{x=0}^{x=L} |f(x)| dx \tag{1}$$

PET 필름 위에 ITO 도포액을 0.1, 0.5, 1, 2 wt% 도포하였을 때 표면조도는 각각 4, 10, 12, 16 nm로 나타났다. Figure 10에서 나타난 ITO 농도와 필름 거칠기(Ra)와의 관

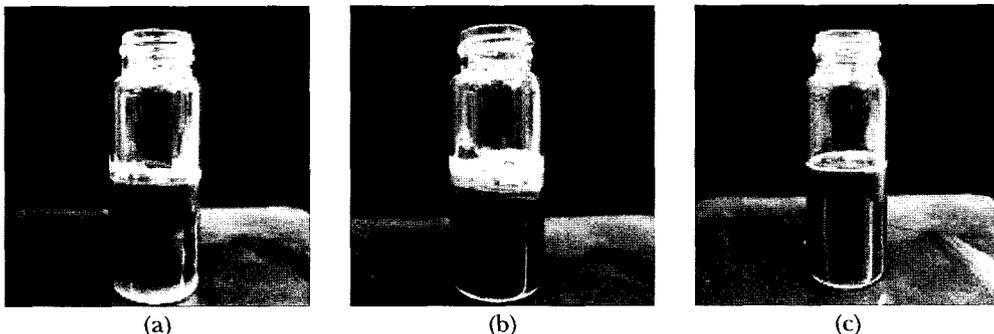


Figure 8. Dispersion property of the blended solution containing ITO particles and conductive polymer at pH 7 (a), pH 8 (b), and pH 10 (c) after 12 h.

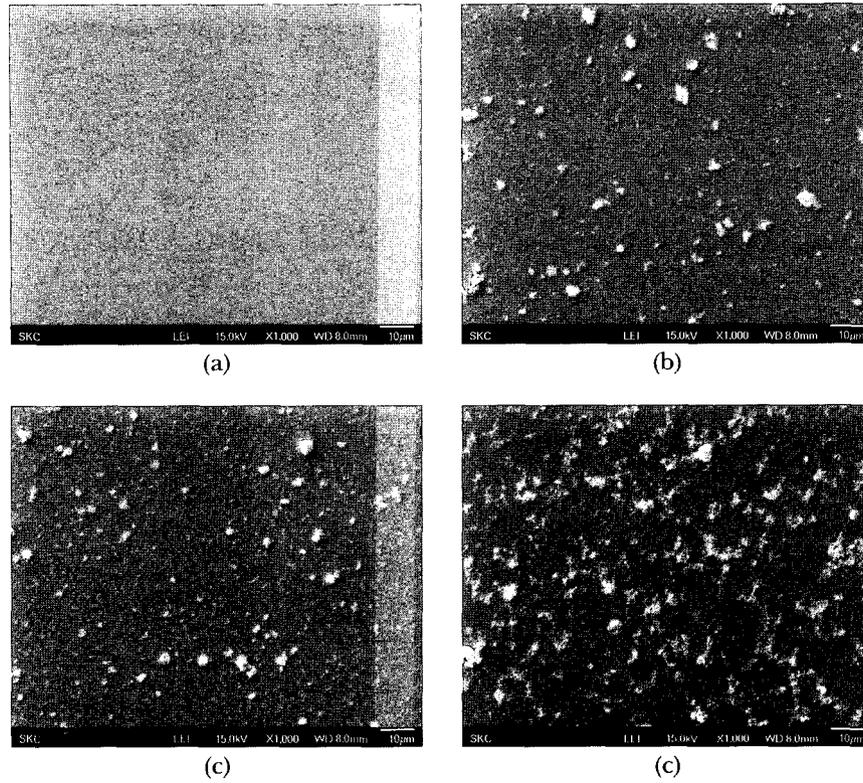


Figure 9. SEM images of the PET film surfaces coated with solutions of ITO concentration of 0.1 wt% (a), 0.5 wt% (b), 1.0 wt% (c), and 2.0 wt% (d) (magnification: x1,000).

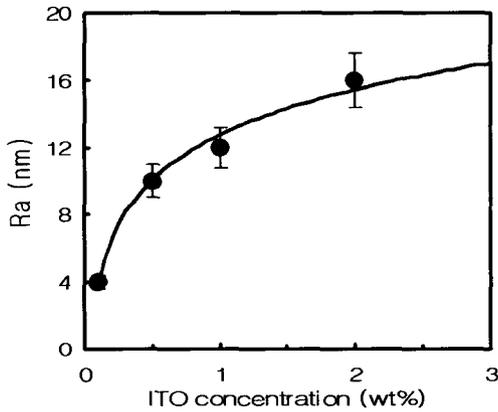


Figure 10. Effect of ITO concentration on roughness of ITO film.

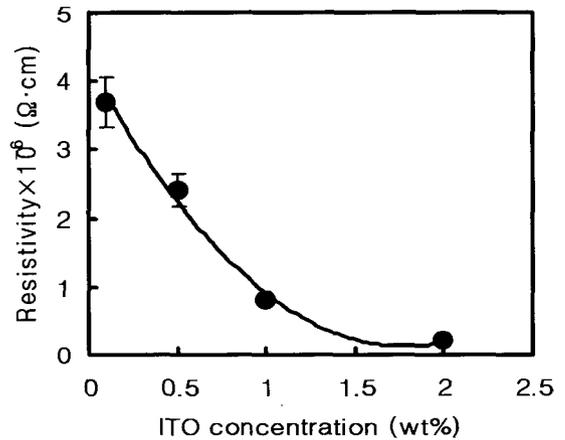


Figure 11. Effect of ITO concentration on resistivity of ITO film.

계는 식(2)와 같다.

$$Roughness(Ra) = 3.9 \ln(Added\ ITO\ wt\%) + 12.7 \quad (2)$$

PET 필름 위에 ITO를 0.1, 0.5, 1, 2 wt% 도포액으로 ITO 필름을 제조하였을 때 필름의 표면저항 값은 3.7×10^6 , 2.4×10^6 , 8×10^5 , $2 \times 10^5 \Omega \cdot cm$ 였다. Figure 11에서 ITO 농도와 필름 표면 저항 값과의 관계는 식(3)과 같이 2차식으로 나

타낼 수 있다.

$$Resistivity \times 10^{-6} = 1.3(Added\ ITO\ wt\%)^2 - 4.6(Added\ ITO\ wt\%) + 4.2 \quad (3)$$

PET 필름의 빛투과율은 92%였으나 그 위에 ITO를 0.1, 0.5, 1, 2 wt%로 농도를 변화시키면서 도포하여 ITO 필름을

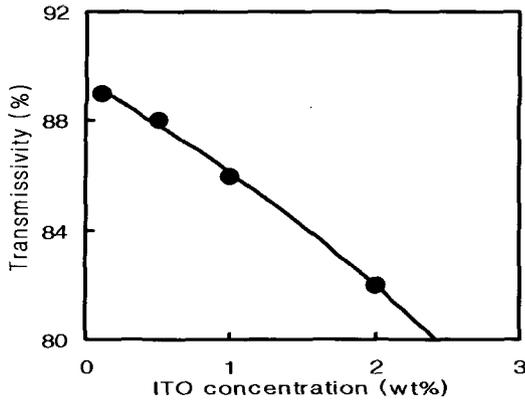


Figure 12. Effect of ITO concentration on transmissivity of ITO film.

제조하면 필름의 빛투과율은 89, 88, 86, 82 %로 낮아졌다. Figure 12에서 ITO 농도와 필름의 빛투과율의 관계를 2차식으로 나타내면 식(4)와 같다.

$$Transmissivity = -0.4(Added\ ITO\ wt\%)^2 - 2.8(Added\ ITO\ wt\%) + 89 \quad (4)$$

4. 결 론

전자부품, 전자파 차폐 필름, 열 차단 필름 등에 사용되는 도전 투명필름을 제조하기 위해 PET 필름을 기재로 습식도포법을 이용하여 ITO 필름을 제조하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 압력 15 MPa, 온도 50℃의 SAS 합성조건으로 ITO를 합성하였으며 100~200℃의 온도에서 1 시간 정도 건조시키면 전형적인 입방정계의 ITO를 얻을 수 있었다. 최적화된 ITO의 조성비(In/Sn)는 65이며, 이 조건에서 합성된 ITO의 평균입경은 15±2 nm, 표면저항 값은 4×10⁴ Ω·cm였다.
- 2) 수용액을 응집현상이 일어나지 않는 범위인 pH 10으로 조절한 후, ITO를 혼합하였다. pH 10에서 교반된 ITO와 고분자 수지의 혼합용액은 균일성이 양호하고 경시변화가 거의 관찰되지 않았다.
- 3) 표면조도가 3 nm 인 PET 필름 위에 ITO 도포액을 0.1, 0.5, 1, 2 wt% 도포하면서 제조한 ITO 필름의 표면조도는 평균 4, 10, 12, 16 nm였다
- 4) 0.1, 0.5, 1, 2 ITO wt% 도포액으로 ITO 막을 제조하였을 때 표면저항 값은 3.7×10⁶, 2.4×10⁶, 8×10⁵, 2×10⁵ Ω·cm였다.
- 5) PET 필름의 빛투과율은 92%였으며, 그 위에 ITO를 0.1, 0.5, 1, 2 wt%로 증가시키면서 도포하여 제조한 필름의 빛투과율은 89, 88, 86, 82 %로 낮아졌다.

참고문헌

1. Chopra, K. L., Major, S., and Pandya, D. K., "Transparent Conductors-A Status Review", *Thin Solid Films*, **102**, 1-46 (1983).
2. Kim, Y. H., Kang, Y. S., and Beong, G. J., "Preparation and Characterization of Ag-TiO₂ Core-Shell- Type Nanoparticles", *J. Ind. Eng. Chem.*, **10**, 739-744 (2004).
3. Ryu, M. Y., Choi, J. H., and Kim, H. T., "Formation of the Indium Tin Oxide Powder Using Homogeneous Precipitation Method", *J. Korean Ind. Eng. Chem.*, **12**, 249-254 (2001).
4. Minami, T., Sonohara, H., Kakumu, T., and Takata, S., "Physics of Very Thin ITO Conducting Films with High Transparency Prepared by DC Magnetron Sputtering", *Thin Solid Films*, **270**, 37-42 (1995).
5. Song, W. C., "Electrical and Optical Properties of ITO Thin Films Prepared on the PET Substrate", *J. KIEEME*, **17**, 1277-1282 (2004).
6. Murty, N. S. and Jawalekar, S. R., "Characterization of Antimony-Doped Tin Oxide Films for Solar Cell Applications", *Thin Solid Films*, **108**, 277-283 (1983).
7. Lii, D. F., Huang, J. L., Jen, I. J., Lin, S. S., and Sajalik, P., "Effects of Annealing on the Properties of Indium-Tin Oxide Films Prepared by Ion Beam Sputtering", *Surf. Coat. Tech.*, **192**, 106-111 (2005).
8. Baia, I., Fernandes, B., Nunes, P., Quintela, M., and Martins, R., "Influence of the Process Parameters on Structural and Electrical Properties of R. F. Magnetron Sputtering ITO Films", *Thin Solid Films*, **383**, 244-247 (2001).
9. Boehme, M. and Charton, C., "Properties of ITO on PET Film in Dependence on the Coating Conditions and Thermal Processing", *Surf. Coat. Tech.*, **200**, 932-935 (2005).
10. Lintymer, J. Gavaille, J., Martin, N., and Takadom, J., "Glancing Angle Deposition to Modify Microstructure and Properties of Sputter Deposited Chromium Thin Films", *Surf. Coat. Tech.*, **174**, 316-323 (2003).
11. Meng, L. J. and Placido, F., "Annealing Effect on ITO Thin Films Prepared by Microwave-Enhanced DC Reactive Magnetron Sputtering for Telecommunication Applications", *Surf. Coat. Tech.*, **166**, 44-50 (2003).
12. Sun, J., Velamakanni, B. V., Gerberich, W. W., and Francis, L. F., "Aqueous Latex/Ceramic Nanoparticle Dispersions: Colloidal Stability and Coating Properties", *J. Colloid Interf. Sci.*, **280**, 387-299 (2004).
13. Chiou, R. F. and Hsieh, S. T., "R, F, Magnetron-Sputtered Indium Tin on a Reactively Ion-Etched Acrylic Substrate", *Thin Solid Films.*, **229**, 146-155 (1993).
14. Kim, M. S., Lee, H. D., and Kim, C. K., "Effect of pH on Dispersion Stability of ITO Nanoparticles in Solution and Its

- Application for Conductive PET Film", *J. Ind. Eng. Chem.*, **12**, 430-437 (2006).
15. Goebbert, C., Nonninger, R., Aegertera, M. A., and Schmidt, H. "Wet Chemical Deposition of ATO and ITO Coatings Using Crystalline Nanoparticles Redispersable in Solutions", *Thin Solid Films*, **351**, 79-84 (1999).
 16. Biswas, P. K., De, A., Ortner, K., and Korder, S., "Study of Sol-Gel Derived High Tin Content Indium Tin Oxide (ITO) Films on Silica-Coated Soda Lime Silica Glass", *Mater. Lett.*, **58**, 1540-1545 (2004).
 17. Reverchon, E., De Marco, I., and Della Porta, G., "Tailoring of Nano- and Micro- Particles of Some Superconductor Precursors by Supercritical Antisolvent Precipitation", *J. Supercrit. Fluids*, **23**, 81-87 (2002).
 18. Reverchon, E., De Marco, I., Caputo, G., and Della Porta, G., "Pilot Scale Micronization of Amoxicillin by Supercritical Antisolvent Precipitation", *J. Supercrit. Fluids*, **26**, 1-7 (2003).
 19. Takahashi, Y. Okada, S., Tahar, R. B. H., Nakano, K., Ban, T., and Ohya, Y., "Dip-Coating of ITO Films", *J. Non-Cryst. Solids*, **218**, 129-134 (1997).
 20. Bisht, H., Eun, H. T., Mehrtens, A., and Aegerter, M. A., "Comparison of Spray Pyrolyzed FTO, ATO and ITO Coatings for Flat and Bent Glass Substrate", *Thin Solid Films.*, **351**, 109-114 (1999).
 21. Yang, C. S. Kim, J. S., Choi, J. W., Kwon, M. H., Kim, Y. J., Choi, J. G., and Kim, G. T. "XPS Study of Aluminum Oxide Deposited on PET Thin Film", *J. Ind. Eng. Chem.*, **6**, 149-156 (2000).
 22. Kim, M. S., Hong, K. M., Lee, Y. C., Kim, N. K., and Kim, C. K., "Development of Nickel Plating Technology and Reduction Effect of Wastewater with Supercritical Nano-Plating System", *Korean J. EHS Assessment*, **1**, 35-51 (2003).
 23. Jeon, H. J., Jeon, M. K., Kang, M., Lee, S. G., Lee, Y. L., Hong, Y. K., and Choi, B. H., "Synthesis and Characterization of Antimony-Doped Tin Oxide (ATO) with Nanometer-Sized Particles and Their Conductivities", *Materials Letters*, **59**, 180-1810 (2005).
 24. Udawatte, C. P. and Yanagisawa, K., "Sintering of Additive Free Hydrothermally Derived Indium Tin Oxide Powders in Air", *J. Solid State Chem.*, **154**, 444-450 (2000).
 25. Sun, J., Velamakanni, B. V., Gerberich, W. W., and Francis, L. F., "Aqueous Latex/Ceramic Nanoparticles Dispersions: Colloidal Stability and Coating Properties", *J. Colloid Interf. Sci.*, **280**, 387-399 (2004).