

## TiO<sub>2</sub> 면적 및 염료 흡착 시간에 따른 염료 감응형 태양전지(DSCs)의 특성 연구

손영주\*, 이돈규\*\*  
 동의대학교\*, 동의대학교\*\*

### A study of characteristic in Dye-sensitized solar cells according to the TiO<sub>2</sub> area and dye adsorption time

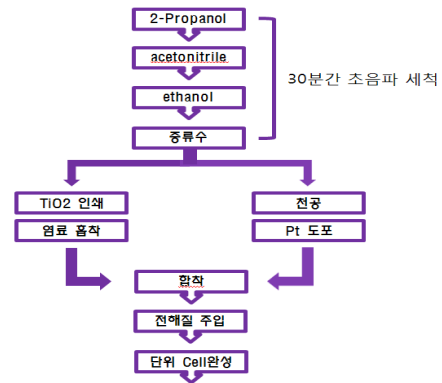
Young-Joo Son\*, Don-kyu Lee\*\*  
 Dong-Eui University\*, Dong-Eui University\*\*

**Abstract** - 염료 감응 태양전지(DSCs)는 최근 큰 발전을 이루고 있지만, 효율개선과 비용절감 등의 과제를 여전히 안고 있다. 염료 감응 태양전지(DSCs)의 효율 상승을 위해 염료, TiO<sub>2</sub> 산화물, 투명전극, 전해질 및 Pt 전극에 관한 연구가 활발히 진행 되고 있다. 본 연구에서는 염료 감응 태양전지(DSCs)의 특성 분석을 위해 TiO<sub>2</sub> 두께를 20 $\mu$ m로 지정하고 면적을 0.5 × 0.5 Cm<sup>2</sup>에서 1.5 × 1.5 Cm<sup>2</sup>까지 증가시켜 개방전압(V<sub>oc</sub>), 단락전류밀도(J<sub>sc</sub>), 충전률 FF(%), 광전변환효율( $\eta$ ) 등의 특성을 분석해 보았다. 또한 염료가 흡착되는 시간을 12시간과 24시간으로 변화시켜 최적의 특성을 가지는 DSCs를 연구 해보았다.

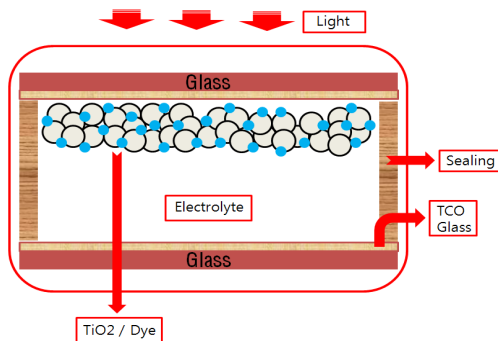
#### 1. 서 론

최근, 석유, 석탄, 천연가스 등의 화석 연료를 대체할 수 있는 친환경 신재생 에너지의 연구가 활발히 진행되고 있다. 신재생 에너지로는 태양광, 지열, 풍력, 조력, 수력에너지 등이 있는데 그 중 태양광에너지를 전기로 변환하는 방법이 가장 현실성 있게 대두 되고 있다.[1] 현재 반도체 pn접합의 광물성적 변환과정을 이용한 실리콘(Si)태양전지가 활발히 제작되고 있다. 그러나 실리콘 태양전지는 광전변환 효율이 높은 반면, 제조공정이 복잡하고, 제조비용이 높다.[2,3] 염료감응태양전지(DSCs)는 제조단가가 기존 실리콘 태양 전지의 5분의 1수준에 불과하여 그 경제성이 입증되었으며, 친환경적인 제조환경과 다양한 응용 가능성으로 상용화에 유리한 장점을 지니고 있기 때문에 많은 관심과 주목을 받고 있다.[4,5] 하지만 아직 대부분의 경우는 상용화가 어려운 낮은 효율을 보이고 있어 효율 상승을 위한 연구가 많이 진행되고 있다. DSCs 효율 상승을 위한 연구는 투명 전도막(TCO: Transparent Conductive Oxide)의 전극, 나노사이즈의 입자로 구성된 다공질 TiO<sub>2</sub>, 전자를 생성하는 염료 분자 층으로 구성된 광전극(photo-electrode)과 전자의 산화·환원을 용이하게 하는 촉매인 백금(Pt)막으로 구성된 상대전극(counter-electrode), 전자의 이동의 매개체인 전해질 등의 많은 연구가 활발히 진행되고 있다. 본 연구에서는 염료 감응 태양전지(DSCs)의 특성 분석을 위해 TiO<sub>2</sub> 면적과 흡착시간을 변화시켜 개방전압(V<sub>oc</sub>), 단락전류밀도(J<sub>sc</sub>), 충전률 FF(%), 광전 변환 효율( $\eta$ ) 등의 특성을 분석해 유효 면적과 증착 시간에 대한 최적의 특성 조건을 찾아보고 대면적화에 따른 DSCs 개발을 위한 여러 가지 문제점들을 분석해 보았다.

도를 나타낸 것이다. 광 전극을 제작하기 위해서 상대전극과 동작 전극은 2-Propanol, Acetonitrile, Ethanol, 증류수 순서로 각각 30분씩 조금파 세척을 통해 ITO glass가 준비되었다. 본 연구에서 FTO가 아닌 ITO를 사용한 이유는 열적 특성이 낮아 저온에서만 소결하여야 하는 단점이 있으나 FTO에 비해 가격이 저렴하고 매우 우수한 투명성 및 전기전도성을 가지고 있다. TiO<sub>2</sub> 산화물은 일반적으로 상용화 되어있는 TiO<sub>2</sub> Paste (S.A Ht/SP, Solaronix)를 사용 하였으며, 이는 Doctor Blade Method를 이용하여 도포하였다. 유효면적은 0.25cm<sup>2</sup>에서부터 2.25cm<sup>2</sup>까지 변화시켰으며 두께는 약 20 $\mu$ m 정도이다. 도포된 TiO<sub>2</sub>는 450°C의 온도에서 30분간 소성하여 염료(N719) 용액에 12시간과 24시간 동안 침지하여 염료를 착색시켰다. 위와 같이 준비된 상대전극과 동작 전극을 60 $\mu$ m 두께의 hot-melt sealing sheet(SX 1170-60)를 사용해 접합시킨 후 전해질(0.5M LiI, 0.05M I<sub>2</sub>, 0.5M 4-tertbutylpyridine in Acetonitrile)을 주입시켜 DSCs를 완성 하였다. 그림 3의 (a), (b), (c)는 실제 제작한 단위 Cell의 사진이다. (a)는 TiO<sub>2</sub>의 면적이 0.5×0.5cm<sup>2</sup>이고 (b), (c)는 각각 1×1cm<sup>2</sup>와 1.5×1.5cm<sup>2</sup> 이다.



<그림 2> TCO 염료 태양전지(DSCs)의 제작 개략도

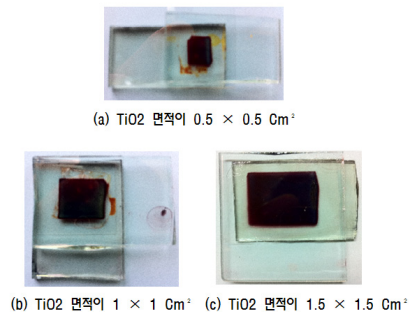


<그림 1> 염료 감응 태양전지(DSCs)의 기본 구조

#### 2. 본 론

##### 2.1 전극 제작 방법

그림 2는 TCO glass를 사용하여 염료 태양전지의 제작 개략



<그림 3> 실제 제작한 단위 Cell 이미지 (a)TiO<sub>2</sub> 면적이 0.5 × 0.5Cm, (b)TiO<sub>2</sub> 면적이 1 × 1Cm, (c)TiO<sub>2</sub> 면적이 1.5 × 1.5Cm

##### 2.2 I-V 특성 곡선 측정 방법

완성된 DSCs는 Xe램프와 디지털 소스미터(Keithley Instruments Inc, Model 2400)를, 이용하여 air mass(AM) 1.5 조건(100mW/cm<sup>2</sup>)에서 그 특성을 분석하였다. 에너지 변환효율( $\eta$ )

은 입사된 빛에너지( $P_{in}$ )에 대한 발생된 전기에너지( $P_{out}$ )의 비 값으로, 다음 식(1)과 같이 표현된다. 여기서  $V_{max}$  [V]와  $J_{max}$  [mA/cm<sup>2</sup>]는 J-V curve에서 최대 출력에서의 voltage와 current density를 나타낸다.  $V_{oc}$  [V]와  $J_{sc}$  [mA/cm<sup>2</sup>]는 open circuit voltage와 short circuit density를 나타내며  $P_{intensity}$ 는 light intensity를 나타내고, 본 실험에서의  $P_{intensity}$ 는 100 [mW/cm<sup>2</sup>]이다.[6] 식 (2)에서의 FF는 fill factor로서 내부 저항 성분과 관련이 있는데 DSCs의 내부 저항 성분이 크면 FF 값이 줄어들고 반대로 내부 저항 성분이 작으면 FF 값이 증가하는 반비례 관계가 있다. 직렬저항의 감소와 개방전압(open circuit voltage)의 상승으로 FF를 향상시키면 태양전지의 효율 향상에 도움이 된다.

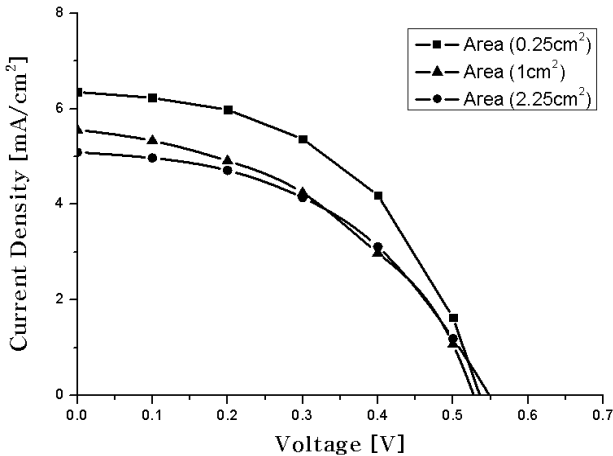
$$\eta(\%) = \frac{V_{max} \cdot J_{max}}{P_{intensity}} \times 100 = \frac{V_{oc} \cdot J_{sc} \cdot FF}{P_s} \times 100 \quad (1)$$

$$FF = \frac{V_{max} \times J_{max}}{V_{oc} \times J_{sc}} \quad (2)$$

FF : Fill Factor  $P_{intensity}$  : Input Power  
 $V_{oc}$  : Open Circuit Voltage  $J_{sc}$  : Short Circuit Current

### 2.3 측정 결과

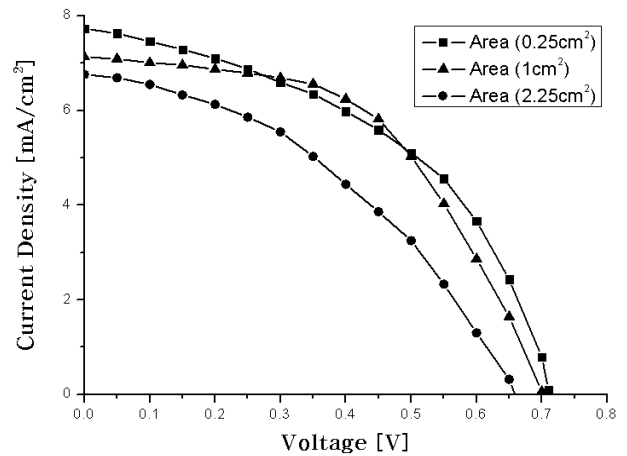
그림 4의 (a)와 (b)는 염료 흡착시간을 12시간과 24시간의 변화에 따른 DSCs의 I-V 특성곡선을 나타낸 그래프이고, 표 1과 표 2는 흡착 시간의 변화와 TiO<sub>2</sub>면적에 따른 개방전압( $V_{oc}$ ), 단락전류밀도( $J_{sc}$ ), 충전률(Fill Factor, FF), 효율( $\eta$ )을 나타낸 것이다. 흡착 시간이 12시간에서 24시간까지 변화시켰을 때  $V_{oc}$ 의 경우 면적에 따라 비슷한 결과 값을 나타내었다. 하지만  $J_{sc}$ 의 경우 흡착시간과 면적이 증가할수록 약 0.6 [mA/cm<sup>2</sup>]정도 감소하였고, FF 또한 0.1정도로 감소를 하였다. 특히 Eff는 대면적화 일수록 약 2배정도의 결과 값을 나타내었다. 이는 면적이 증가되면서 다공성이 부족으로 인해 염료, TiO<sub>2</sub> 사이의 전자이동이 원활하지 않고, 전해질 주입의 어려움이 있어 모든 특성들이 감소하는 것이다. 염료의 흡착시간이 12시간에서 24시간으로 변화되면서 염료 감응형 태양전지의 효율이 많은 차이를 보이는 이유는 빛을 흡수한 염료는 여기 되어 전자를 방출하고 이렇게 발생된 전자는 TiO<sub>2</sub> 전도대로 주입되어 확산에 의해 ITO glass에 전달되어 전류가 흐르게 되는 DSCs의 원리에서 TiO<sub>2</sub> 입자에 흡착된 염료의 수가 증가하면 동일한 입사광에 대해 더 많은 염료가 여기 되고, 따라서 더 많은 전자를 내놓기 때문이다.



(a) 염료 흡착시간(12H)에 따른 I-V 특성곡선

<표 1> 염료 흡착시간(12H)에 따른 DSCs의 I-V 특성

	0.5×0.5cm	1×1cm	1.5×1.5cm
$V_{oc}$ [V]	0.539	0.523	0.548
$J_{sc}$ [mA/cm <sup>2</sup> ]	6.35	5.56	5.09
FF	0.487	0.414	0.402
Eff [%]	1.66	1.20	1.12
$E_r$ [mW/cm <sup>2</sup> ]	100	100	100



(b) 염료 흡착시간(24H)에 따른 I-V 특성곡선

<그림 4> 염료감응 태양전지의 광전변환 특성

<표 2> 염료 흡착시간(24H)에 따른 DSCs의 I-V 특성

	0.5×0.5cm	1×1cm	1.5×1.5cm
$V_{oc}$ [V]	0.711	0.682	0.661
$J_{sc}$ [mA/cm <sup>2</sup> ]	7.732	7.113	6.765
FF	0.504	0.473	0.455
Eff [%]	2.77	2.29	2.03
$E_r$ [mW/cm <sup>2</sup> ]	100	100	100

### 3. 결론

본 연구에서는 실리콘 태양전지에 비해 제조 단가가 낮고 제조 공정이 단순한 DSCs의 효율상승의 특성 분석을 위해 투명 전도막 ITO를 사용해 TiO<sub>2</sub>의 면적과 염료 흡착시간의 변화에 따른 단위 Cell을 제작하여 개방전압( $V_{oc}$ ), 단락전류밀도( $J_{sc}$ ), 충전률(Fill Factor, FF), 효율( $\eta$ )을 나타내 보았다. 연구에서 제작된 단위 Cell의 구조는 유리 기판 / 염료를 흡착한 TiO<sub>2</sub> / 전해질 / 상대전극 / 유리 기판으로 구성하였다. TiO<sub>2</sub>의 두께는 약 20 $\mu$ m 정도로 지정하고 면적의 크기를 0.25cm<sup>2</sup> ~ 2.25cm<sup>2</sup>와 염료 흡착 시간을 12시간에서 24시간으로 변화시켜 각각의 I-V특성을 분석해 보았다. 염료의 흡착시간이 24시간 일때 와 면적의 크기가 0.25cm<sup>2</sup>일때  $V_{oc}$ 는 0.711 [V],  $J_{sc}$ 는 7.732 [mA/cm<sup>2</sup>], FF는 0.504, 광전 변환 효율은 2.77 [%]로 가장 좋게 나왔다. 하지만 흡착시간과 면적이 증가되면서 점차적으로 감소하는 결과 값을 나타내고 있는데 그 이유는 염료와 TiO<sub>2</sub>의 전자의 이동이 원활하지 않고, 전해질 주입의 어려움이 있어 낮은 값을 보이는 것이다. 흡착시간을 24시간으로 고정하고 대면적화 시켰을 때의 효율 개선을 위해 전해질의 주입의 용이함과 염료에서 TiO<sub>2</sub>의 전자 이동 및 특성 개선 메카니즘에 미치는 영향들의 연구가 활발히 진행 된다면 향후 염료 감응형 태양전지(DSCs)의 상업화 및 대면적화 제작에 유리 할 것으로 예상된다.

### [참고 문헌]

- [1] S. H. jung, K. J. Hwang, S. W. Kamg, H. G. Jeong, S. I. Jeong, and J. W. Lee, J. Korea Ind. Eng. Chem, 20, 227 (2009).
- [2] B. O'Regan, M. Gra'tzel, "A low cost, high-efficiency solar cell based on dye-sensitized colloidal TiO<sub>2</sub> films", Nature, Vol.353, pp.737-740, 1991.
- [3] M. Gra'tzel, "Photoelectrochemical cells", Nature, Vol.414, pp.338-344, 2001.
- [4] 서현용, 손민규, 이경준, 김정훈, 홍지태, 김희재, "레이저 식각 및 그리드 전극을 적용한 염료 감응형 태양전지의 효율 향상 연구" Trans. KIEE, Vol.57, No. 10, OCT, 2008.
- [5] 황경준, 유승준, 노성희, 김선일, 이계욱, "TiO<sub>2</sub> 전극의 구조 특성이 염료감응형 태양전지의 효율에 미치는 영향", Applied Chemistry, Vol. 11, No. 2, November, 2007.
- [6] G. P. Kalaignan, M. S. Kang, and Y. S. Kang, Solid State Ionics, 177, 1091 (2006).