

염료감응형 태양전지의 TiO₂ 입자 크기에 따른 광분산 효과 연구

*손 민규¹⁾, 서 현웅²⁾, 이 경준³⁾, 장 진주⁴⁾, 홍 지태⁵⁾, **김 희제⁶⁾

A study of the light scattering effect depending on TiO₂ particle size to a dye-sensitized solar cell

*Min-Kyu Son, Hyunwoong Seo, Kyoung-Jun Lee, Jin-Ju Jang, Ji-Tae Hong, **Hee-Je Kim

Key words : Dye-Sensitized Solar Cell(염료감응형 태양전지), TiO₂ Particle Size(TiO₂ 입자 크기),
Light Scattering Effect(광분산 효과)

Abstract : One of methods to increase the efficiency of a dye-sensitized solar cell(DSC) is the effective usage of the incident light. It can be controlled by using a light scattering layer. The light scattering effect makes that the optical path length of incident light to DSC increases. And then, the photocurrent and the efficiency is increased because of the increase of dye adsorption and the abundant amount of the light. In this study, we apply the light scattering layer to DSC by using two TiO₂ pastes that have different particle sizes. As a result, the photocurrent increases and the total efficiency is also increases in the case of using large-sized TiO₂ particle as the light scattering layer.

1. 서 론

1991년 Michael Gratzel 교수팀이 개발한 새로운 형태의 태양전지인 염료감응형 태양전지(Dye-Sensitized Solar Cell : DSC)⁽¹⁾는 낮은 제조 단가, 다양한 응용성 등의 장점을 바탕으로 원재료인 실리콘 잉곳의 부족과 높은 제조 단가의 문제를 보이고 있는 기존의 실리콘 태양전지의 대안으로써 각광을 받고 있다. 하지만 아직은 낮은 효율로 인해 상용화가 늦어지고 있어 현재 많은 연구팀들에 의해 효율 상승을 위한 연구가 진행되고 있는 실정이다.

DSC의 효율 향상을 위한 방법에는 여러 가지가 있으며 그 중 하나가 DSC에 도달되는 빛의 사용률을 높이는 것이다. DSC는 빛이 산화물 반도체 상의 염료 분자에 도달하여 전자가 여기되어 산화물 반도체를 거쳐 외부로 전달됨으로써 동작하게 된다. 따라서 염료 분자가 있는 산화물 반도체인 산화 티타늄(TiO₂) 층에 도달하는 빛의 활용도를 높일 경우 전자의 생성을 도와 줄 수 있어 효율을 올릴 수 있게 된다.

이렇게 TiO₂ 층의 빛의 흡수율을 증가시켜 주는 효율적인 방법으로 제안된 것이 광분산(Light Scattering) 효과의 도입이다⁽²⁾. 광분산 층을 도

입함으로써 염료에 도달하는 빛의 양을 효과적으로 증가시킴으로써 효율을 증가시킬 수 있는 것이다. 이러한 광분산 효과는 광분산 층의 입자의 크기, 반사 계수, 입자의 위치 등 여러 가지 파라미터에 영향을 받는다⁽³⁾.

따라서 본 연구에서는 TiO₂ 입자의 크기를 조절하여 광분산 효과를 다루었으며 이것이 DSC 특

-
- 1) 부산대학교 전자전기공학과
E-mail : smk82@pusan.ac.kr
Tel : (051)510-2770 Fax : (051)513-0212
 - 2) 부산대학교 전자전기공학과
E-mail : woong_1980@pusan.ac.kr
Tel : (051)510-2770 Fax : (051)513-0212
 - 3) 부산대학교 전자전기공학과
E-mail : kyoungjun@pusan.ac.kr
Tel : (051)510-2770 Fax : (051)513-0212
 - 4) 부산대학교 전자전기공학과
E-mail : jinjuj83@pusan.ac.kr
Tel : (051)510-2770 Fax : (051)513-0212
 - 5) 부산대학교 전자전기공학과
E-mail : hjt611@yahoo.co.kr
Tel : (051)510-2770 Fax : (051)513-0212
 - 6) 부산대학교 전자전기공학과
E-mail : heeje@pusan.ac.kr
Tel : (051)510-2364 Fax : (051)513-0212

성에 어떤 영향을 미치는지에 대해 초점을 맞추었다. 이를 위해 서로 다른 입자 크기를 가지는 TiO₂가 DSC 효율에 어떤 영향을 미치는지 파악한 뒤 이것을 사용하여 광분산층을 만들어 광분산 효과가 DSC 특성 및 효율에 미치는 영향에 대해 연구하였다.

2. 실험

2.1 DSC 상대전극 제조

본 연구에 사용된 투명전극은 단위 면적당 13 Ω의 면저항을 가지는 F-doped SnO₂ (SnO₂:F, Fluorine doped Tin Oxide : FTO)가 사용되었다. 준비된 FTO를 초음파 세척을 한 뒤 불활성원소인 아르곤(Ar)을 매개로 주입하고 2.8×10⁻³ Torr의 조건에서 90초 동안 RF sputtering 방법을 적용하여 백금을 증착시켜 상대전극을 완성하였다.

2.2 DSC 광전극 제조

광분산 효과를 알아보기 위해 본 연구에서 사용된 TiO₂ paste는 anatase 타입의 9nm의 입자 크기를 가지는 Ti-Nanoxide HT/SP(Solaronix)와 20nm의 입자 크기를 가지는 Ti-Nanoxide T20/SP(Solaronix)이다. 입자 크기에 따른 효과를 보기 위하여 9nm의 입자 크기의 TiO₂만을 사용한 것과 20nm의 입자 크기의 TiO₂만을 사용하여 광전극을 제조하여 비교하였다. 그리고 광분산 효과를 측정하기 위해 9nm의 상대적으로 작은 크기의 입자를 광전극에 먼저 도포하고 20nm의 큰 크기의 입자를 광분산층으로 나중에 도포하여 광전극을 제조하였다. 그림 1은 본 연구에서 만들어진 광분산층 도입 DSC의 개념도이다. TiO₂ paste는 Doctor Blade 방법을 사용하여 도포하였다. 450℃에서 소성 후 Ruthenium 계열의 N719 염료를 24시간 상온에서 흡착 시켰다.

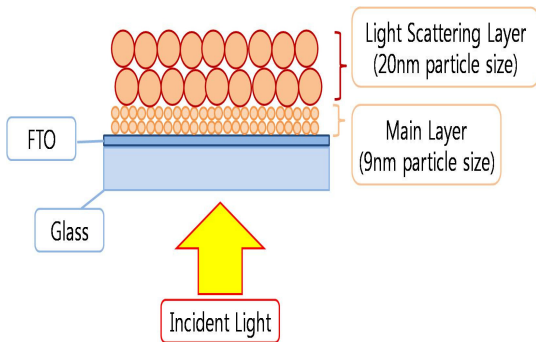


Fig. 1 Schematic of DSC that has a light scattering layer

2.3 DSC 완성 및 측정

위와 같이 제작된 광전극과 상대전극을 hot-melting 실링지(SX 1170-60)를 사용하여 샌드위치 형태의 DSC를 접합하였다. 그런 후 Iodolyte AN-50의 전해질을 sand-blast를 이용해

형성된 구멍을 통해 주입하고 Soldering 처리를 함으로써 DSC를 완성하였다.

이렇게 완성된 DSC는 Air Mass 1.5의 조건(100mW/cm²)의 광원에서 Keithley 2400 source meter를 이용해 단락 전류(Isc), 개방 전압(Voc)를 측정함으로써 DSC의 성능을 판단하였다.

3. 결과 및 토의

그림 2와 3은 본 연구에서 사용된 TiO₂에 대한 SEM(Scanning Electron Microscope, 주사 전자 현미경)촬영 이미지이다. 그림에서 본 연구에서 사용된 TiO₂는 염료가 흡착될 수 있는 표면적이 넓은 둥근 형태의 아나타제 타입⁽⁴⁾입을 확인할 수 있다. 또한 그림 2는 작은 입자 크기를 가진 Ti-Nanoxide HT/SP이며 그림 3은 큰 입자 크기를 가진 Ti-Nanoxide T20/SP이며 두 입자의 크기 차이는 광분산 효과를 확인할 수 있는 정도임을 알 수 있다.

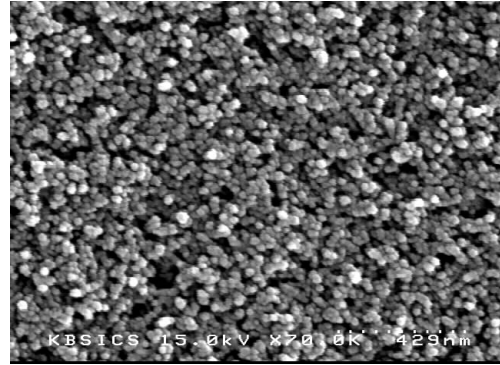


Fig. 2 The SEM image of small particle sized TiO₂

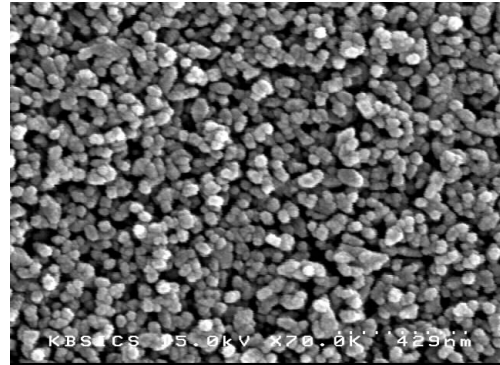


Fig. 3 The SEM image of large particle sized TiO₂

표 1은 본 연구에서 제작된 유효 면적 0.2cm²인 DSC의 Isc, Voc, 그리고 충전율(Fill Factor, FF)와 효율을 나타낸 것이다. 광분산층이 사용되지 않은 두 경우(9nm 입자 단일층, 20nm 입자 단일층)는 작은 크기의 입자보다는 큰 크기의 입자가 사용되어 광전극이 제작된 경우가 광전류가 1.66mA에서 1.81mA로 약 9.04% 증가되었음을 확인할 수 있으며 이로 인해 효율이 4.53%에서 5.03%로 11.04% 증가되었음을 알 수 있다.

Table 1 I-V Characteristics of each DSCs

	Voc (V)	Isc (mA)	FF	Eff (%)
9nm TiO ₂	0.78	1.66	0.70	4.53
20nm TiO ₂	0.80	1.81	0.70	5.03
Light Scattering (9nm+20nm)	0.78	1.99	0.71	5.48

이는 TiO₂ 입자 크기가 변함으로써 달라진 염료 분자의 흡착 정도에 기인한다. 입자 크기가 커짐에 따라 염료가 흡착 될 수 있는 접촉 부위가 넓어져 염료 흡착시 염료 분자 접근이 용이해지게 된다⁽⁵⁾. 따라서 염료가 더 많이 흡착되어 전자의 생성이 증가되게 된다. 따라서 광전류가 증가하게 되고 광전류 증가에 따라 효율이 증가하게 된다.

또한 광분산 층이 추가된 경우 단일층의 TiO₂로 이루어진 DSC 보다 광전류 및 효율이 증가했음을 확인할 수 있다. 광전류는 작은 입자(9nm)의 경우보다 19.88%로 증가했음을 알 수 있으며 큰 입자(20nm)의 경우 보다 9.94%로 증가했음을 알 수 있다. 이로 인해 전체적 효율이 전자의 경우 20.97%, 후자의 경우 8.95% 정도 상승했음을 확인할 수 있다. 그림 4는 각각의 DSC의 특성을 나타낸 I-V 커브로써 이러한 경향성을 한 눈으로 확인할 수 있다.

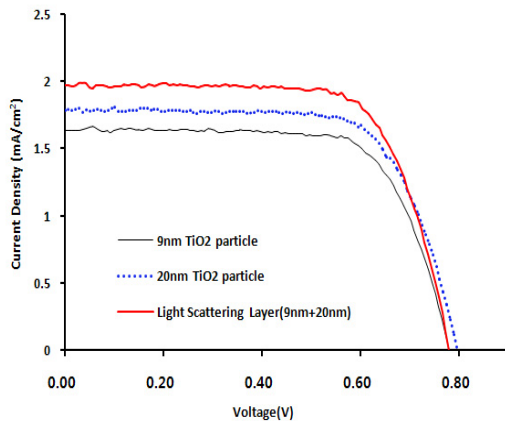


Fig. 4 I-V characteristic curves

광분산 층을 구성하고 있는 큰 크기의 TiO₂ 입자에 입사하는 빛이 부딪혀 주변으로 퍼짐으로써 빛의 활용도가 증가하게 된다. 이는 다공성의 TiO₂ 반도체 화합물 내에서의 광의 이동 경로를 증가시킴으로써 빛의 활용도를 증가시키는 원리에 입각한다⁽⁶⁾. 따라서 늘어난 빛으로 인해 여기된 전자의 수를 증가하게 되고 이로 인해 광전류가 증가하는 현상이 발생하게 된다. 따라서 광분산 층을 적용할 경우 효율적으로 입사되는 빛을 사용할 수 있기 때문에 DSC의 효율을 증가시킬 수 있다.

4. 결론

요즘 차세대 태양전지로 각광을 받고 있는 DSC의 효율을 높이기 위한 많은 연구가 진행되고 있다. 그 중 한 가지 방법으로 DSC에 도달하는 빛을 효율적으로 사용하여 광전류를 증가시키는 방법이 있는데 이를 해결할 수 있는 하나의 방안이 광분산 층 도입이다. 광전극에 사용되는 TiO₂의 입자가 크면 클수록 염료 흡착시 염료 분자 접근이 용이해지게 되어 많은 염료 분자가 흡착될 수 있어 광전류가 증가되게 된다. 이런 특징을 가진 큰 입자의 TiO₂를 광분산 층으로 사용할 경우 흡착된 염료 분자 수의 증가는 물론 광 이동 경로의 증가의 효과를 가져 올 수 있으며 광전류 증가와 더불어 효율이 상승하는 것을 확인할 수 있었다.

후기

본 연구는 기초연구지원기초과학-단독연구(과제번호 : D00283) 염료감응형 태양전지 연구의 일환으로 수행되었습니다.

References

- [1] Brian O'Regan, Michael Grätzel, 1991, "A low-cost, high-efficiency solar cell based on dye-sensitized colloidal TiO₂ films", Nature, Vol. 353, pp.737-740
- [2] Akira Usami, 1997, "Theoretical study of application of multiple scattering of light to a dye-sensitized nanocrystalline photo-electrochemical cell," Chemical Physics Letters, Vol. 277, pp. 105-108
- [3] Hyung-Jun Koo, Jihee Park, Beomjin Yoo, Kicheon Yoo, Kyoungkon Kim, Nam-Gyu Park, 2008, "Size-dependent scattering efficiency in dye-sensitized solar cell", Inorganica Chimica Acta, Vol. 361, pp. 677-683
- [4] N.G. Park, J. van de Lagemaat, and A.J. Frank, 2000, "Comparison of dye-sensitized rutile and anatase based TiO₂ solar cells", Journal of Physical Chemistry B, Vol. 104, pp. 8989-8994
- [5] Tammy P. Chou, Qifeng Zhang, Bryan Russo, Glen E. Fryxell, and Guozhong Cao, 2007, "Titania particle size effect on the overall performance of dye-sensitized solar cells", Journal of Physics Chemistry C, Vol. 111, pp. 6296-6302
- [6] Hironori Arakawa, Takeshi Yamaguchi, Akihito Takeuchi and Shinya Agatsuma, 2006, "Efficiency improvement of dye-sensitized solar cell by light confined effect", Photovoltaic Energy Conversion, Conference record of the 2006 IEEE 4th World Conference, Vol.1, pp.36-39