

산화티탄 광전극 제작조건과 염료감응 태양전지 효율과의 상관관계 연구

김준*, 김진엽*, 송채윤*, 김진성*, 양승준*, 성열문**
 *부산일과학고, **경성대학교 전기전자공학부

Study on Relationship between a TiO₂ Photo-Electrode Fabrication Conditions and Efficiency of a Dye-sensitized Solar Cells

Junoh Kim*, Chaeyoon Song*, Jinyeop Kim*, Jinsung Kim*, Seungjoon Yang*, Youl Moon Sung**
 *Busanil Science High School, **Electrical Electronic Engineering, Kyungung University

Abstract - In this work, the effect of addition of acetylacetone on microstructure and quality of nanoporous TiO₂ photo-electrodes was studied in dye-sensitized solar cells (DSCs) and structure and electrical properties of fabricated cells were investigated. From the results, the DSCs fabricated with acetyl acetone showed highest photovoltaic performances. This behavior may be attributed to paste agglomeration decrease and interconnection and bonding improvement between TiO₂ particles. Furthermore, the most favorable dye absorption time results to be 10h: exceeding this time a decrease in efficiency is observed despite the increasing amount of dye absorption. The TiO₂ photo-electrode prepared under the conditions of acetylacetone ratio of 15% and dye absorption time of 10hr showed the better photovoltaic performance ($J_{sc}=12.48\text{mA}/\text{cm}^2$, $V_{oc}=0.69\text{V}$, $\eta=0.68$, $\eta_r=5.86\%$).

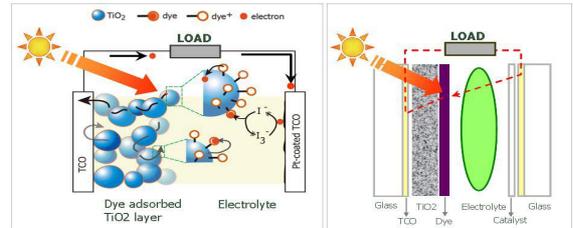
1. 서 론

현재 지구상에서 가장 많이 사용되고 있는 화석연료는 매장량의 한계가 있을 뿐만 아니라, 이들의 사용으로부터 발생하는 이산화탄소에 의한 온실효과는 지구 온난화의 원인이므로 탄소배출이 필요 없는 신재생 에너지 기술에 대한 연구가 많은 관심을 받고 있다[1]. 태양광 에너지 분야에서는 실리콘계 태양전지가 16~20%대의 높은 광전변환효율을 나타내어 가장 많이 보급되어 있다. 하지만 원료인 실리콘 수급의 불안정과 비싼 제조비용으로 인해 실리콘 태양전지를 대체할 수 있는 새로운 기술이 요구되고 있다. 이러한 배경 하에서 염료감응 태양전지(Dye-sensitized solar cells; DSCs)는 제조비용이 저렴하고 유리 기판을 플라스틱으로 전환하게 되면 유연성(flexibility)을 갖는 태양전지로 제작 가능하며, 염료에 따라 다양한 색채를 구현할 수 있으므로 인테리어 겸용 태양전지로도 활용가능하다[2]. 현재의 변환효율은 원천기술 보유자인 Gratzel 교수팀이 발표한 11%정도이며, 상용화를 위해서는 고효율(High efficiency), 장기 안정성(Long-term stability) 및 저가격화(Cost-effectiveness)를 달성해야 한다. 그동안 효율개선의 관점에서 다공질 TiO₂층을 형성하여 광전변환 효율을 향상시키는 연구가 진행되어 왔다[3]. 다공질 TiO₂층은 통상 수열법이나 졸겔(Sol-gel)법에 의해 제작된다. TiO₂ 나노입자의 크기가 균일하고(15-20nm) 고르게 분포할수록 태양전지 효율향상에 용이하지만, 입자 사이즈의 불균일성이나 입자간의 흡착 등으로 인해 기대에 미치지 못하는 사례도 종종 보고되고 있다[4].

본 연구에서는 TiO₂ 광전극의 형성조건이 태양전지의 성능에 미치는 영향을 조사하기 위해 먼저 TiO₂ 페이스트에 아세틸렌아세톤(Acetylacetone)을 첨가하여 TiO₂입자 주위로 부(-)의 수소이온을 형성시켜 TiO₂입자 간에 정전기적 반발력을 유도하여 입자들이 서로 흡착하지 않고 균일하게 분포하도록 하였다. 그리고 염료용액에서의 흡착시간을 변화시켜 각각의 조건에서 얻어진 TiO₂ 광 전극을 기반으로 염료감응 태양전지를 제작하여 광전변환 특성을 비교 검토하였다.

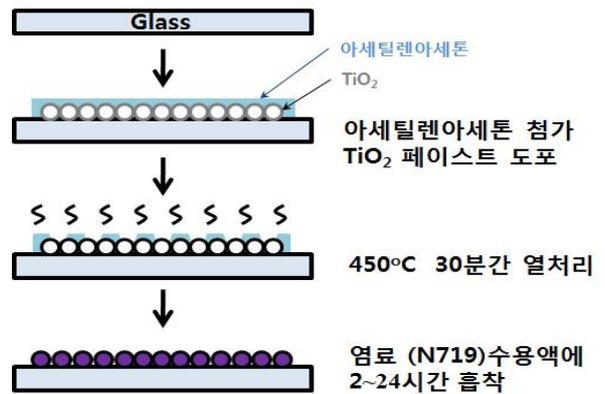
2. 실험방법

그림 1에 염료감응 태양전지의 동작 원리와 구조를 나타내었다. 염료감응 태양전지의 구성요소는 투명전도성 산화물(Transparent Conductive Oxide, TCO)유리, 다공질 TiO₂, 염료, 전해질, 백금촉매를 도포한 상대전극이다. 동작원리는 빛이 염료 분자에 흡수되면, 염료는 여기상태가 되어 전자를 n형 반도체인 TiO₂의 전도대로 이동하고, 전자는 TCO전극으로 이동하여 외부에 전류로서 전기 에너지를 전달하고 상대전극으로 이동한다. 염료는 다시 전해질로부터 전자를 공급받아 바닥상태로 돌아감으로써 전 과정이 완성된다[4].



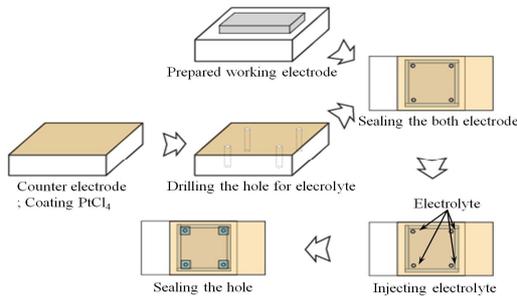
〈그림 1〉 염료감응 태양전지 구동원리(좌) 및 구조(우)
 〈Fig. 1〉 Concept(left) and structure(right) of DSCs

그림 2는 염료감응 태양전지의 TiO₂ 동작전극을 제작하는 과정을 나타낸다. 상용 FTO glass(Pilkington사)를 2×1cm² 크기로 절단하고, 아세톤에서 30분, 알콜에서 30분간 초음파 세척을 하였다. 세척한 FTO glass 위에 약 5μm 두께의 TiO₂ paste(Solaronix, D-paste)를 도포하고, 450°C에서 30분 열처리하였다. 여기서 TiO₂ 페이스트는 아세틸렌아세톤(Acetylacetone)을 0, 5, 10, 15 및 20%씩 첨가한 시료를 각각 준비하였다. 그 후 제작된 전극을 N719 염료에 담그고 2~24시간 변화시켜 각각의 조건에서 광 전극을 제작하였다.



〈그림 2〉 염료감응 태양전지의 TiO₂ 동작전극의 제작 과정
 〈Fig. 2〉 Fabrication process of TiO₂ photo-anode of DSCs.

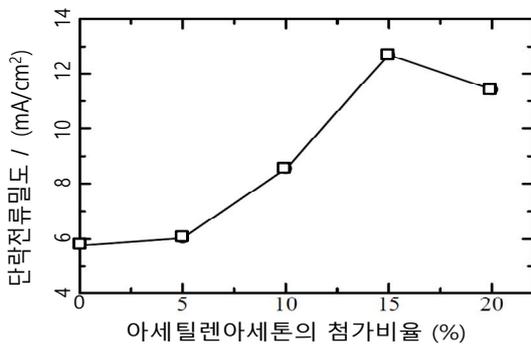
그림 3은 염료감응 태양전지의 제작과정을 나타낸다. 상대전극 제작을 위해 상용 FTO 유리를 2×1 cm² 크기로 절단하고, 아세톤에서 30분, 알콜에서 30분간 초음파 세척을 하였다. 스펀코터(Spin coater)를 사용하여 준비된 기판 위에 5 mM의 PtCl₄ 용액을 도포하였다. 그 후, 450°C에서 30분간 열처리하고, 전해질 (0.1 M LiI, 0.1 M I₂, 0.5 M 1,2-dimethyl-3-propylimidazolium iodine and 0.5 M tert-butylpyridine(TBP)) 주입을 위한 홀을 제작함으로써 실험에 사용할 상대전극을 완성하였다. 준비된 동작전극과 상대전극은 60μm 두께의 Surlyns film(Dupont)으로 봉합하였다. 상대전극에 제작되어진 홀을 통해 전해질을 주입하고, Surlyns film을 사용하여 전해질 주입을 위한 홀을 봉합하였다. 제작한 셀에 대해서는 Solar simulator (XES-301S+EL-100; San-Ei Electric)를 사용하여 광전변환 효율을 측정하였다.



<그림 3> 염료감응 태양전지의 제작 과정
<Fig. 3> Fabrication process of DSCs

3. 실험결과 및 고찰

TiO₂ 페이스트에 아세틸렌아세톤(Acetylacetone)을 0~20% 첨가하여 TiO₂입자 주위로 부(-)의 이온을 형성시켜 입자 간에 정전기적 반발력에 의해 서로 균일하게 분포하도록 하여 제작된 셀의 광전변환 특성을 측정된 결과를 그림 4에 나타내었다. 아세틸렌아세톤의 첨가비율 15%에서 셀의 단락전류가 최대로 됨을 알 수 있었다.



<그림 2> 아세틸렌아세톤 첨가비율에 따른 염료감응 태양전지의 단락전류특성
<Fig. 2> Short circuit current versus acetylacetone ratio of DSCs

표 1은 염료용액의 흡착시간을 2~24시간 달리하여 얻어진 TiO₂ 광전극을 사용하여 제작한 염료감응 태양전지의 광전변환 특성을 측정된 결과를 나타낸다. 염료용액에 10시간 담근 TiO₂ 광전극을 사용한 셀에서 최대 광전변환 효율 5.86%를 얻었다. 흡착시간을 그 이상 증가시키면 셀 효율은 다시 저하하였다. 흡착시간이 너무 길어지면 염료입자 위에 다시 염료입자가 흡착하게 되며, TiO₂와 직접 접촉하지 않은 염료는 빛을 받아 여기되어도 전자를 TiO₂ 층에 전달할 수 없게 되어 광전변환에 기여할 수 없기 때문이다. 이상의 결과로부터 아세틸렌아세톤의 첨가비율 15%, 염료용액의 흡착시간 12시간에서 얻어진 TiO₂ 광전극을 사용한 셀에서 최대 광전변환효율 5.86%를 얻을 수 있었다.

<표 1> 염료흡착시간에 따른 태양전지의 광전변환 효율 특성
<Table 1> Photovoltaic characteristics of the DSCs as a parameter of dye absorption time.

Absorption time	J _{sc} (mA/cm ²)	V _{oc} (V)	ff	η (%)
6 hrs	6.97	0.62	0.56	2.42
10 hrs	12.48	0.69	0.68	5.86
12 hrs	10.03	0.65	0.64	4.17
24 hrs	9.81	0.63	0.63	3.89

[참 고 문 헌]

[1] M. Gratzel, Research and Applications 8, p.171, 2000.
 [2] Y. Sung et al., Thin Solid Films 515, p.4996, 2007.
 [3] J. Heo et al., IEEE Trans. Plasma Sci. 37, p.1586, 2009.
 [8] D. Kwak et al., Current Applied Physics 10, p.S282 2010.