

논문 21-2-14

# PEG 함량변화가 염료감응형 태양전지의 효율에 미치는 영향

## Effect of Performance in Dye-sensitized Solar Cells by PEG Contents

백형렬<sup>1</sup>, 한정희<sup>1</sup>, 이 호<sup>1</sup>, 구할본<sup>1</sup>, 박경희<sup>1,a</sup>

(Hyoung-Youl Baek<sup>1</sup>, Zhen-Ji Han<sup>1</sup>, Hu Li<sup>1</sup>, Hal-Bon Gu<sup>1</sup>, and Kyung-Hee Park<sup>1,a</sup>)

### Abstract

A solar cell based on dye-sensitized photoelectric conversion was studied by investigating the effects of the amount of polyethylene glycol(PEG), added to the TiO<sub>2</sub> paste, on surface morphology of the TiO<sub>2</sub> films and on the solar cell performance. Energy conversion efficiency was found to increase with PEG addition up to 20 % by weight of TiO<sub>2</sub> and then decrease with further addition due to the aggregation of TiO<sub>2</sub> nano particles in the TiO<sub>2</sub> film. In this study, the best result of dye-sensitized solar cell was the short circuit current(I<sub>sc</sub>) of 22.6 mAcm<sup>-2</sup>, the open circuit voltage (V<sub>oc</sub>) of 0.73 V, the fill factor (ff) of 0.55 and the overall energy conversion efficiency (η) of 9.1 % under illumination with AM 1.5 simulated sunlight.

**Key Words** : Polyethylene glycol(PEG), Dye-sensitized solar cells, Binder

### 1. 서 론

염료감응형 태양전지는 1991년 스위스 그라첼 그룹에서 처음 보고[1]된 이래 에너지 변환효율을 높이고자 하는 다양한 연구가 진행되어 왔다. 다양한 태양전지 중 나노 결정의 다공성 TiO<sub>2</sub>를 기초로 하는 염료감응형 태양전지는 높은 에너지 변환 효율과 제조 비용이 낮고 투명성을 가져 응용범위가 넓다는 장점을 가지고 있다[2,3]. 염료감응형 태양전지를 구성하는 3가지 중요인자는 광전극, 상대전극, 요오드이온(Γ)과 삼요오드 이온(I<sub>3</sub><sup>-</sup>)의 레독스쌍의 전해질로 구성되어 있다. 그중 염료감응형 태양전지의 효율에 가장 큰 영향을 미치는 TiO<sub>2</sub> 광전극은 TiO<sub>2</sub> 광전극 페이스트를 제조하기 위해 다양한 바인더의 특성을 갖는 연구가 진행되고 있다[4,5]. 이때 사용되는 바인더는 폴리에틸렌글리콜(Polyethylene glycol, 이하 PEG)로 TiO<sub>2</sub> 콜로이드 용액에 첨가되어 TiO<sub>2</sub> 광전극을 제조하는데 사용

된다. TiO<sub>2</sub> 콜로이드 용액에 바인더의 첨가량에 따른 전극에서 전하의 이동에 영향을 미친다는 연구가 보고된 바 있다. 바인더의 종류의 변화, 바인더의 특성 분석 및 두께 조절을 위한 바인더의 함량 변화에 관한 연구가 진행되어지고 있다. 또한 고분자 겔 전해질에서 PEG의 분자량에 대한 연구에 따르면 PEG 분자량이 증가됨에 따라 이온전도도가 증가된다는 연구결과가 보고된 바 있다[6].

본 논문에서는 PEG 바인더가 첨가된 TiO<sub>2</sub> 광전극을 제조하는데 있어 PEG 바인더의 함량변화가 염료감응형 태양전지의 효율에 어떠한 영향을 미치는지에 대한 조사를 하고자 하였다. 또한 광전극 TiO<sub>2</sub> 콜로이드 용액에 적합한 최적의 바인더 함량은 어떻게 되는지에 대한 연구를 해보고자 하였다.

### 2. 실험

#### 2.1 시약

실험에 사용된 모든 시약은 특급시약으로 LiI, I<sub>2</sub>, 폴리에틸렌 글리콜 (Polyethyleneglycol, PEG #20,000), 3-methoxypropionitrile은 Aldrich 제품을 사용하였으며, 1,2-이미다졸리움 아이오다이드, Pt

1. 전남대학교 전기공학과

(광주시 북구 용봉동 300)

a. Corresponding Author : see0936@chonnam.ac.kr

접수일자 : 2007. 10. 15

1차 심사 : 2008. 1. 9

심사완료 : 2008. 1. 21

catalyst 결과 N719[bis(isothiocyanato)bis(2,2'-bipyridyl-4,4'-dicarboxylato)-ruthenium(II)-bis-tetrabutyl amonium]은 솔라로닉스 사에서 구입하여 정제 없이 사용하였다.

### 2.2 TiO<sub>2</sub> paste의 제조

실험에 사용한 TiO<sub>2</sub>(P-25)는 Degussa 제품으로 아나타제와 루타일상이 7:3으로 구성된 구형 분말이다. TiO<sub>2</sub> 나노분말 10 g을 250 ml의 묽은 질산 수용액에 80 °C에서 5시간 열증탕하고 100 °C에서 10시간 건조하여 준비하였다. 건조된 TiO<sub>2</sub> 분말은 막자사발에 갈아서 분말형태로 만든 후 이렇게 만들어진 TiO<sub>2</sub> 2g에 아세틸아세톤 5 ml, 에탄올 5 ml, 계면활성제 트리톤엑스-100을 0.5 ml, 증류수 7 ml를 넣고 바인더로 PEG를 TiO<sub>2</sub> 중량 %당 0 - 30 중량%까지 변화시켜 첨가한 후 각각 10시간 동안 불밀링하여 PEG 함량에 따른 페이스트를 제조하였다.

### 2.3 TiO<sub>2</sub> 광전극과 염료감응형 태양전지 제조

TiO<sub>2</sub> paste는 세척된 전도성 FTO(SnO<sub>2</sub>:F, 8 Ωcm<sup>-2</sup>) 기판 위에 스쿼즈 프린팅 방식으로 약 7 μm 두께로 코팅하였다. 코팅후 분당 5 °C로, 450 °C에서 30분간 열처리 하였으며 열처리후 TiO<sub>2</sub> 박막은 field emission scanning electron microscope (FE-SEM)을 통해 미세구조를 관찰하였다.

나노 다공성 TiO<sub>2</sub> 전극은 에탄올에 0.5 mM로 용해된 N719 염료에 24시간 담귀 염료를 흡착시켰다. 상대전극은 FTO 기판위에 솔라로닉스 사에서 구입한 백금 catalyst sol를 스쿼즈 방식으로 코팅하여 450 °C에서 30분간 열처리하여 제조하였다. 광전극과 백금 상대전극은 샌드위치 방식으로 조합하고 25 μm 두께의 고분자 필름인 surlyn을 120 °C에서 열전사기로 붙인 후 I/I<sub>3</sub><sup>-</sup>의 전해질 용액을 주입하고 접착제로 밀봉하여 0.5 × 0.5 cm<sup>-2</sup> 단위 셀 염료감응형 태양전지를 제작하였다. 단위셀의 광변환특성은 Air Mass 1.5, 100 mWcm<sup>-2</sup> 광조사하에 Thermo-Oreal(USA) solar simulation system 하에서 개방전압(Voc), 광전류(Isc), 필팩터(ff), 에너지변환효율(η)를 구하였다.

## 3. 결과 및 고찰

TiO<sub>2</sub> 페이스트 제조시 바인더로 사용한 PEG의 함량에 따라 염료감응형 태양전지의 효율에 미치

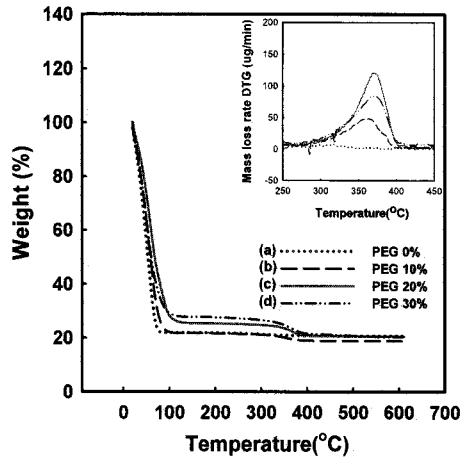


그림 1. PEG 첨가량에 따라 제작된 TiO<sub>2</sub> 페이스트가 사용된 염료감응형 태양전지의 TG 곡선과 DTG 곡선.

Fig. 1. TG and DTG curves of dye-sensitized solar cells using TiO<sub>2</sub> paste prepared by adding (a) 0, (b) 10, (c) 20 and (d) 30 wt.% of PEG.

는 영향을 조사하고자 하였다. 그림 1에는 TiO<sub>2</sub> 페이스트 제조시 PEG 함량변화에 따른 열적특성을 조사하기 위해 TG 곡선을 나타내었다. PEG첨가된 모든 경우에서 100 °C이하에서 에탄올, 아세틸아세톤, 물과 같은 용매가 휘발되어 무게 중량이 감소되고 또한 350 °C부근에서 PEG 바인더의 탄화수소의 중량감소가 나타나는 특성을 보였다. 그림 1의 내부에 TG곡선을 미분한 값을 나타내었으며 350 °C 부근에서 PEG 0 %에서 PEG 20 중량%로 갈수록 점차 중량감소가 크게 나타나며 오히려 PEG 30 중량%일 때는 오히려 감소되어 나타났다. 이것은 TiO<sub>2</sub> 광전극의 열처리 과정 중 PEG 20 중량%일 때 최적의 바인더로 존재하다가 소실되며 PEG 30 중량%일 때는 과량의 바인더 첨가로 인해 소량의 PEG가 광전극 내부에 남아있는 것으로 판단된다.

그림 2는 PEG 함량 변화에 따라 제작된 TiO<sub>2</sub> 광전극 표면에 대한 미세조직의 변화를 관찰하기 위한 FE-SEM 사진이다. PEG 바인더의 함량이 0에서 20 중량%로 증가함에 따라 입자 사이의 분산정도가 증가되는 것을 볼 수 있으며 30 중량%일 때 입자들은 응집현상이 벌어지는 것을 관찰할 수 있다. 여기에서 TiO<sub>2</sub> 박막의 표면 형상은 염

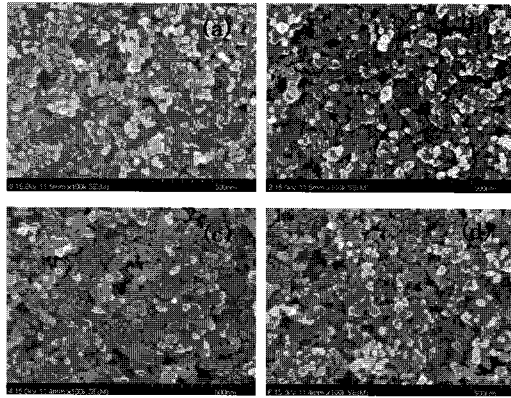


그림 2. PEG 첨가량에 따라 제작된 TiO<sub>2</sub> 박막의 FE-SEM 표면사진.

Fig. 2. FE-SEM surface images of TiO<sub>2</sub> thin film using the TiO<sub>2</sub> paste prepared by adding (a) 0, (b) 10, (c) 20 and (d) 30 wt.% of PEG.

료의 흡착량을 결정하는데 중요한 인자로 TiO<sub>2</sub> 나노입자 사이의 분산 정도가 클수록 많은 양의 염료를 흡착할 수 있어 염료감응형 태양전지로 제작 시 에너지 변환효율이 가장 클 것으로 예상할 수 있다.

그림 3에는 PEG 함량에 따른 TiO<sub>2</sub> 페이스트의 점도의 변화를 나타낸 것으로 PEG의 함량이 0%에서 20 중량%로 증가함에 따라 점도는 증가하고, PEG 함량이 20 중량%일 때 1200 cp로 가장 큰 값을 나타냈다. PEG 함량이 30 중량%일 때는 20 중량%일 때 비교하여 점도의 변화는 유사한 값을 보였다. 이것은 전도성 기판위에 TiO<sub>2</sub> 스쿠즈 코팅 시 TiO<sub>2</sub> 박막 표면상태에 적합한 점도가 PEG 함량이 20 중량%일 때 가장 적합한 점도를 나타내는 것을 확인할 수 있다.

PEG 바인더 함량 변화에 따른 에너지 변환효율을 구하기 위하여 전압-전류곡선을 그림 4에 나타내었다. 바인더의 함량이 0에서 20 중량%로 증가함에 따라 광전류밀도가 증가하다가 PEG의 함량이 30%일 때는 오히려 전류밀도가 감소함을 볼 수 있다. 이것은 바인더의 함량이 과도하게 증가함에 따라 TiO<sub>2</sub> 입자들 사이에 응집이 발생되어 염료의 흡착량이 오히려 감소되고 그로 인해 전류밀도의 감소되는 경향을 볼 수 있다. 따라서 개방전압(Voc)의 값은 PEG 함량의 무관하게 나타났으며 필팩터는 0.54 - 0.59의 유사한 값을 보였다. TiO<sub>2</sub> 페이스트의 제조시 바인더인 PEG 함량이 20% 일

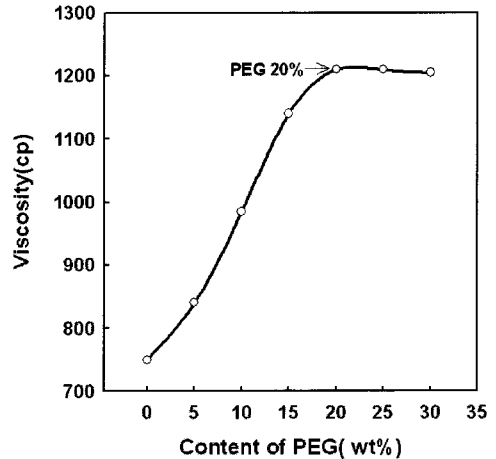


그림 3. PEG 함량에 따른 점도의 변화.

Fig. 3. The variation of the viscosity on the content of PEG.

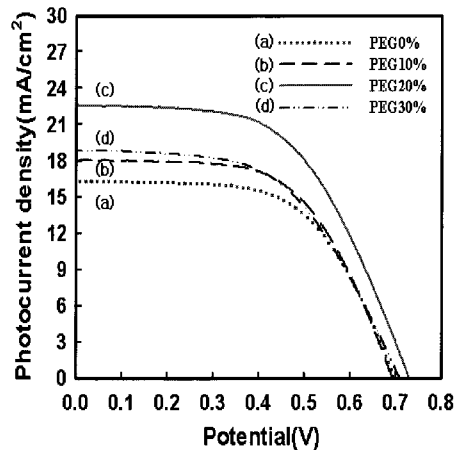


그림 4. PEG의 첨가량에 따라 제작된 TiO<sub>2</sub> 페이스트를 이용한 염료감응형 태양전지의 광전류-전압곡선.

Fig. 4. Photocurrent-voltage curve of dye-sensitized solar cells using TiO<sub>2</sub> paste prepared by adding (a) 0, (b) 10, (c) 20 and (d) 30 wt.% of PEG.

때 에너지 변환효율은 9.1%로 PEG가 전혀 첨가되지 않은 경우에 비해 150% 향상된 값을 보였다. 따라서 최적의 바인더의 함량은 PEG 20중량%일 때임을 확인할 수 있었다. 그림 4의 값들을 종합하여 표 1에 나타내었다.

표 1. PEG 첨가량에 따라 제작된 TiO<sub>2</sub> 페이스트를 사용한 염료감응형 태양전지의 광전류-전압 데이터.

Table 1. Photocurrent-voltage data of dye-sensitized solar cells using TiO<sub>2</sub> paste prepared by adding (a) 0, (b) 10, (c) 20 and (d) 30 wt.% of PEG.

Contents of PEG	V <sub>oc</sub> [V]	I <sub>sc</sub> [mA/cm <sup>2</sup> ]	FF	η [%]	T [μm]
PEG 0 %	0.70	16.3	0.59	6.8	5.3
PEG 10 %	0.69	18.1	0.59	7.3	5.4
PEG 20 %	0.73	22.6	0.55	9.1	6.5
PEG 30 %	0.71	18.9	0.54	7.2	5.0

#### 4. 결론

TiO<sub>2</sub> 페이스트의 제조시 PEG 바인더의 함량 변화에 따라 염료감응형 태양전지의 에너지 변환 효율에 미치는 영향을 조사해 보고자 하였다. 이때 사용된 TiO<sub>2</sub> 바인더는 분자량 20000의 폴리에틸렌 글리콜로 TiO<sub>2</sub> 페이스트 중량당 0에서 30 중량% 까지 함량을 변화시켜 TiO<sub>2</sub> 박막을 제조하였다. TiO<sub>2</sub> 박막의 표면의 미세구조는 20 중량%일 때 TiO<sub>2</sub> 입자간의 분산 특성이 우수하고 에너지 변환 효율은 20 중량%일 때 9.1 %로 가장 우수한 특성을 보였다. 이것은 PEG 바인더의 함량이 TiO<sub>2</sub> 페이스트의 제작시 최적의 점도를 보이며 코팅상태가 우수하고 입자간의 분산특성이 우수하여 에너지 변환효율이 높은 것으로 판단된다.

#### 감사의 글

이 연구에 참여한 연구자의 일부는 2단계 BK21 사업의 지원비를 받았으며 이에 감사드립니다.

#### 참고 문헌

- [1] B. O'Regan and M. Gratzel, "A low-cost, high-efficiency solar cell based on dye-sensitized colloidal TiO<sub>2</sub> films", *Nature*, Vol. 353, p. 737, 1991.
- [2] S. Ito, T. Kitamura, Y. Wada, and S. Yanagida, "Facile fabrication of mesoporous TiO<sub>2</sub> electrodes for dye solar cells: chemical modification and repetitive coating", *Sol. Energy Mat. Solar Cells*, Vol. 76, p. 3, 2003.
- [3] D. Zhang, T. Yoshida, K. Furuta, and H. Minoura, "Hydrothermal preparation of porous nano-crystalline TiO<sub>2</sub> electrodes for flexible solar cells", *J. Photochem. Photobiol. A: Chem.*, Vol. 164, p. 159, 2004.
- [4] K. Srikanth, M. M. Rahman, H. Tanaka, K. M. Krishna, T. Soga, M. K. Mishra, T. Jimbo, and M. Umeno, "Investigation of the effect of sol processing parameters on the photoelectrical properties of dye-sensitized TiO<sub>2</sub> solar cells", *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, Vol. 65, p. 171, 2001.
- [5] 구보근, 이동윤, 이원재, 김현주, 송재성, "스핀 코팅법에 의해 제조되어진 나노다공질 TiO<sub>2</sub> 전극막을 이용한 염료감응형 태양전지", *전기전자재료학회논문지*, 17권, 9호, p. 1001, 2004.
- [6] Z. Lan, J. Wu, J. Lin, M. Huang, S. Yin, and T. Sato, "Influence of molecular weight of PEG on the property of polymer gel electrolyte and performance of quasi-solid-state dye-sensitized solar cells", *Electrochimica Acta*, Vol. 52, p. 6673, 2007.