

## 형광체 첨가에 따른 염료감응형 태양전지의 효율 변화

정성훈 · 황경준 · 강성원\* · 정형근\* · 김선일 · 이재욱<sup>†</sup>

조선대학교 생명화학공학과, \*아크로솔(주)  
(2009년 3월 9일 접수, 2009년 3월 24일 채택)

### Efficiency Variation of Dye-Sensitized Solar Cell Influenced by Phosphor Additives

Sung-Hoon Jung, Kyung-Jun Hwang, Sung-Won Kang\*, Hyung-Gon Jeong\*, Sun-Il Kim, and Jae-Wook Lee<sup>†</sup>

Department of Chemical and Biochemical Engineering, Chosun University, Gwangju 501-759, Korea

\*Acrosol Co., Ltd, Gwangju 500-706, Korea

(Received March 9, 2009; accepted March 24, 2009)

최근 태양전지에 대한 관심이 급증하면서 염료감응형 태양전지(Dye-Sensitized Solar Cell, DSSC)에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 염료감응형 태양전지에 관한 연구는 크게 TiO<sub>2</sub> 나노 결정 소재, 염료, 전해질 및 전도성 기관 등 4가지 분야로 나눌 수 있다. 본 연구에서는 염료를 흡착할 수 있는 나노결정성 TiO<sub>2</sub>를 합성한 후, 이를 광전극용 페이스트(paste)에 다양한 형광물질(phosphor)의 종류 및 함량을 조절하여 첨가함으로써 염료감응형 태양전지의 효율에 미치는 영향을 조사하였다. 실험결과 400 nm 입자크기의 YAG계 형광체 0.5%가 첨가된 페이스트를 사용할 경우, 에너지 변환효율이 최대 8.31%에 도달함을 확인할 수 있었다.

Recently, dye-sensitized solar cell (DSSC), one of the solar cells, has been widely investigated. Studies on DSSCs can be classified into 4 fields such as TiO<sub>2</sub> nanocrystalline materials, dyes, electrolytes and conductive plate. In this work, TiO<sub>2</sub> nanoparticles for dye adsorption were synthesized, and added into the photo-electrode paste with different phosphor types and contents. Then, the influence of phosphor additives on the conversion efficiency of DSSCs was investigated. It was found that the maximum conversion efficiency was 8.81% when 0.5% of YAG phosphor having the particle size of 400 nm was used.

**Keywords:** dye-sensitized solar cells, TiO<sub>2</sub>, phosphor, conversion efficiency

### 1. 서 론

태양전지의 역사는 1839년 프랑스 물리학자 Edmond Becquerel가 금속과 전해질로 구성된 셀을 태양광에 노출시키면 전류가 발생한다는 광기전 효과(photovoltaic effect)를 발견하면서 시작되었다. 현재까지 개발된 여러 종류의 태양전지 중 실리콘을 이용하는 태양전지는 25%까지 도달하는 효율과 제조공정의 확보 등으로 가장 널리 사용되고 있지만, 대형 고가장비가 사용되고 원료 가격의 한계 때문에 발전 단가가 한계치에 도달하고 있다. 이에 따라 최근 저가로 제조할 수 있는 태양전지에 대한 관심이 급증하고 있고, 이중 나노입자를 이용하는 염료감응형 태양전지가 많은 주목을 받고 있다. 염료감응형 태양전지의 경우 1991년 O'Regan과 Grätzel에 의하여 고효율 염료감응형 태양전지가 제작되었다(Figure 1). 이후 이들은 염료감응형 태양전지가 기존의 실리콘 태양전지 제조 단가의 1/5밖에 되지 않는다고 발표하면서 염료감응형 태양전지가 새로운 화제를 일으키게 되었다. 이처럼 염료감응형 태양전지는 향후 가능한 실용 도달효율이 20%이고, 전지의 발전단가를 실리콘계의 1/5까지 낮출 수 있고, 20년의 수명이 보

장되고, 다양한 응용가능성이 있어, 세계적으로 많은 연구자와 기업들이 집중적인 연구가 행해지고 있다[1-4].

태양광은 자외선 6~8%, 가시광선 42%, 그리고 적외선 50%로 구성돼 있다. 태양전지는 이 중에서 주로 가시광선 영역을 이용한다. 그런데 유기염료가 다양한 색을 갖는 것은 가시광선과 관련이 있다. 즉 가시광선 중 특정한 파장의 빛을 잘 흡수함으로써 색을 갖는 것이다. 바로 이 점에서 유기염료는 태양빛을 받아 전자를 발생시키는 태양전지의 주재료가 될 수 있다. 하지만 지금까지 유기염료는 태양전지의 주재료로 활용되기에 어려운 점이 있었다. 원하는 만큼의 전기에너지를 생산하려면 많은 양의 유기염료를 갖고 있어야 한다. 하지만 유기물질은 수십~수백  $\mu\text{m}$  (마이크로미터,  $1 \mu\text{m}: 10^6 \text{ m}$ ) 두께를 만들 수 있는 실리콘과 같은 고체형 무기물질과는 달리 분자형태(분자의 크기는 대개 수 nm,  $1 \text{ nm}: 10^9 \text{ m}$ )를 갖기 때문에 분자를 차곡차곡 쌓아 두꺼운 필름을 만들기 어렵다. 때문에 유기물질로 구성된 태양전지의 효율이 매우 낮아 실제로 쓸모가 없었다[5]. 하지만 이를 보완한 유기염료의 효율을 극대화 시킨 나노기술이 등장하였다. 유기염료의 양을 극대화하기 위해 필름을 만드는 대신 다른 물질에 유기물질을 흡착시키는 간접적인 방법을 사용한다. 즉 두꺼운 필름이 가능한 무기물의 표면에 유기물을 흡착시킨다는 아이디어이다. 이때 무기

<sup>†</sup> 교신저자 (e-mail: jwlee@chosun.ac.kr)

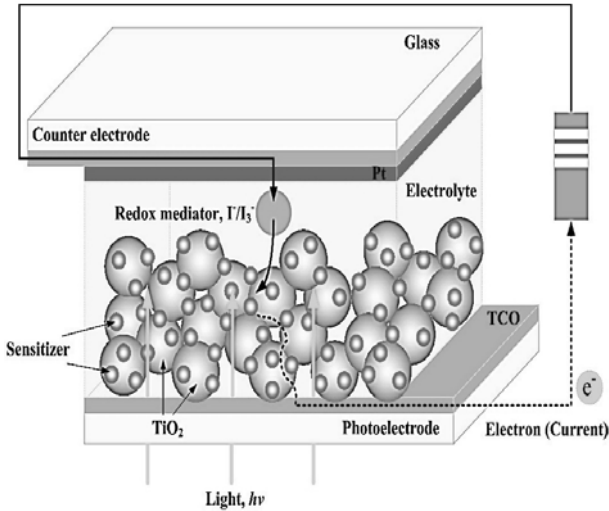


Figure 1. A schematic presentation of reaction pathway of a DSSC.

물의 표면적이 넓을수록 많은 양의 염료를 흡착시킬 수 있다[6,7].

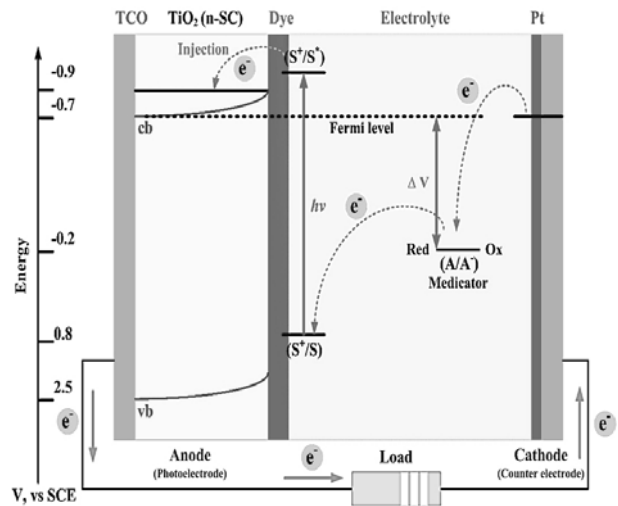
염료감응형 태양전지는 10~20 nm 크기의 산화물 나노입자 표면에 유기염료가 흡착해서 만들어진다. 즉 산화물 나노입자들을 전도성 유리기판 위에 매우 조밀하게 쌓아 수십  $\mu\text{m}$  필름을 만들고, 이 필름을 염료가 녹아있는 용액에 담으면 많은 양의 염료를 가진 전극을 만들 수 있다[8]. 염료감응 태양전지가 부각 받는 이유는 단지 실리콘 태양전지에 버금가는 에너지변환 효율과 저렴한 제조단가만이 아니다. 유기염료를 사용하기 때문에 환경에 무해할 뿐 아니라 이전에 없었던 새로운 응용가능성을 보여주고 있다. 우리나라보다 훨씬 연구를 일찍 시작한 선진국에서는 정부 주도의 연구가 활발히 진행되고 있다. 유기물을 사용해 얻어지는 투명성은 자동차 유리나 같은 곳에 태양전지의 활용영역을 넓혀준다. 투명한 태양전지는 건물의 유리창이나, 자동차 유리처럼 투명성을 요구하는 곳에 부착해 본래의 기능도 가지면서 부가적으로 전기를 만들어내는 기능까지 첨가할 수 있어 폭넓게 응용될 수 있는 것이다[9]. 따라서 유기물을 활용한 태양전지는 실리콘 태양전지 시장을 대체할 차세대 태양전지로 부각되고 있다.

최근에 염료감응형 태양전지의 효율 향상을 위해 다양한 연구가 진행되고 있다. 염료감응 태양전지는  $\text{TiO}_2$  나노 결정 소재, 염료, 전해질 및 전도성 기판 등 크게 4가지 분야로 나눌 수 있다. 본 연구에서는 여러 가지 염료감응형 태양전지에 관한 연구 중 염료를 흡착할 수 있는 전극 소재로서 띠 간격 에너지가 큰 나노결정(직경 10~20 nm) 산화물인  $\text{TiO}_2$ 를 합성한다. 이를 광전극용  $\text{TiO}_2$  페이스트(paste)에 형광물질(phosphor)과 함께 추가하여 광전극을 제작함으로써, 염료가 갖는 흡수파장과 형광체가 갖는 발광 파장 간의 연계특성으로 인하여 태양광에 의한 에너지 발생 광전자를 많이 발생함으로써 염료감응형 태양전지의 효율을 향상 시키고자 하였다.

## 2. 실험

### 2.1. 최적화된 형광체 선정 및 염료감응형 태양전지의 제조

$\text{TiO}_2$  광전극막 coating을 위해 실험에 사용한  $\text{TiO}_2$  나노 분말은 직접 졸-겔 법으로 합성하여 얻은  $\text{TiO}_2$  졸을 이용하여 광전극 코팅용 페이스트를 제조하였다. Figure 2 방법으로 제작된  $\text{TiO}_2$ 의 입자 크기는 평균 15~20 nm를 가진 아나타제 결정이므로 높은 비표면적을 가졌



다. 이러한  $\text{TiO}_2$  (18 wt%)에 계면활성제인 아세틸 아세톤(Aldrich, 10%)과 증점제로 hydropropyl cellulose (Aldrich, Mw. 80000)를 사용하여 높은 점도를 가진 페이스트를 제조할 수 있었다. 이러한 Paste에 마이크로 입자  $\text{YAG:Ce}^{3+}$  형광체(i.e., Y1)와 Green 계열  $\text{LaPO}_4:\text{Ce}^{3+},\text{Tb}^{3+}$  형광체(i.e., G3) 및 나노 입자  $\text{YAG:Ce}^{3+}$  형광체(i.e., Y2)를 중량비로 0.5~5 % 범위 내에서 첨가하였다(Table 1). 이렇게 혼합된 paste를 볼밀을 이용하여 일정시간 혼합 후 아세톤과 에탄올을 이용하여 세척된 fluorine-doped tin dioxide (FTO, Asahi Glass,  $13 \Omega/\text{cm}^2$ ) 기판 위에 제조된 paste를 떨어뜨린 후 squeeze coating을 하였다. 제조된 광전극 막의 두께는 약 5~7  $\mu\text{m}$ 이고 광전극의 유효면적은 0.25  $\text{cm}^2$ 로 제작하였다. 합성된  $\text{TiO}_2$ 의 표면적을 BET분석기(ASAP 2010, Micromeritics)를 이용하여 분석하였고 세공크기 분포는 BJH (Barrett, Joyner & Halenda) 방법을 사용하였다. 제조된 광전극을 분당 5  $^\circ\text{C}$ 로 승온하여 500  $^\circ\text{C}$ 에서 1 h 동안 열처리 하였다. 열처리 후 광전극은 주사전자현미경 field-emission scanning electron microscope (FE-SEM, HITACHI S-4700)을 이용하여 코팅 막의 미세 구조를 관찰하고 X선 회절장치 X-ray diffraction (XRD; Rigaku, D/MAX-1200)로 회절분석을 통하여 광전극의 구성 성분의 결정성을 확인하였다. 투과전자현미경 high-resolution transmission electron microscopy (HR-TEM; F20, TECHAD)을 이용하여  $\text{TiO}_2$  입자의 크기 및 아나타제상의 결정성을 확인하였다. 형광체가 첨가된  $\text{TiO}_2$  광전극에 에탄올을 용매로 한 5 mM로 제조된 루테튬(Ruthenium 535-bis TBA, Solaronix) 염료에 24 h 침지시켜 염료가 흡착된  $\text{TiO}_2$  광전극을 준비하였다. 상대 전극은 FTO (fluorine-Doped Tin Dioxide, Asahi Glass,  $13 \Omega/\text{cm}^2$ ) 기판 위에 Pt-sol (Pt catalyst/SP, Solaronix)를 이용하여 광전극과 동일하게 열처리하여 제작 한 후 사용하였다. 이렇게 제조된 두 전극은 hot-melt sealing (SX1170-60, Solaronix)을 이용하여 샌드위치 형으로 조합하고 완전히 접착한 후 두 기판 사이에 요오드 이온(0.3 M 1,2-dimethyl-3-propylimidazolium iodide (Solaronix), 0.5 M LiI (Aldrich), 0.05 M  $\text{I}_2$  (Aldrich), and 0.5 M 4-tert-butylpyridine (Aldrich) in 3-methoxypropionitrile (Fluka))을 함유하는 전해질을 넣은 후 주입 부위를 amosil 4로 막아 전해액이 누수 되지 않게 단위 셀 염료감응형 태양전지를 만들었다.

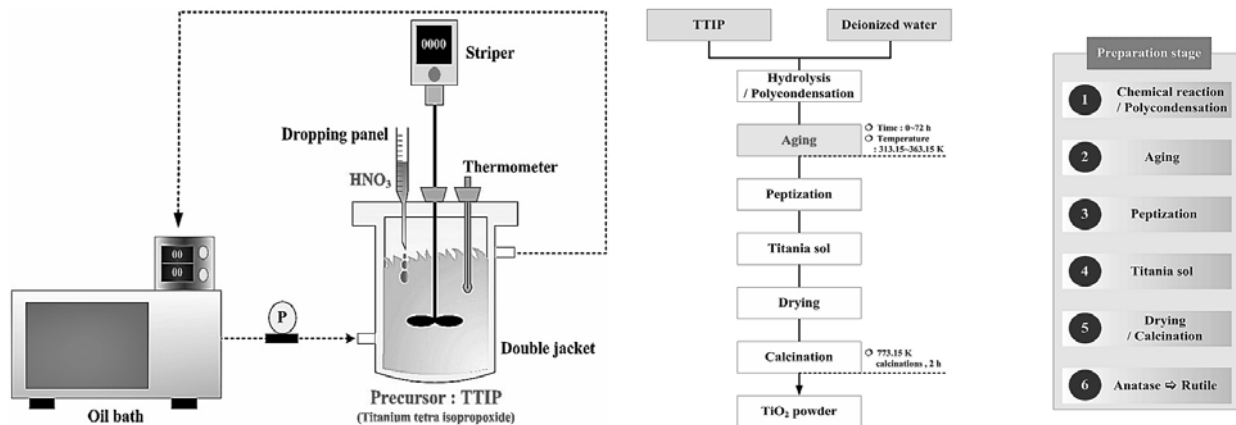


Figure 2. Experimental apparatus and synthesis procedure.

Table 1. Properties of (a) Yellow Phosphor and (b) Green Phosphor

(a)				
No	Composition	$\lambda_{ex}$ (nm)	$\lambda_{em}$ (nm)	Size
Y1	$\mu$ -YAG : $Ce^{3+}$	460	565	$\approx 8.0 \mu m$
Y2	n-YAG : $Ce^{3+}$	460	565	$\approx 400 nm$
Y3	$Sr_2SiO_4$ : $Eu^{2+}$	460	565	$>20 \mu m$
(b)				
No	Composition	$\lambda_{ex}$ (nm)	$\lambda_{em}$ (nm)	Size
G3	$LaPO_4$ : $Ce^{3+}, Tb^{3+}$	254	543	$\approx 4.3 nm$
G5	$SrAl_2O_4$ : $Eu^{2+}$	370 (310)	513 (525)	$\approx 25 \mu m$
G6	$Sr_2SiO_4$ : $Eu^{2+}$	370 (310)	YG533 (-)	$>10 \mu m$
G7	$(Ba \cdot Sr)_2SiO_4$ : $Eu^{2+}$	370 (310)	513 (514)	$>10 \mu m$
G8	$(Ca \cdot Sr)Al_2O_4$ : $Eu^{2+}$	370 (310)	YG526 (526)	$>10 \mu m$

2.2. 제조된 염료감응태양전지의 특성측정

제작되어진 셀을 solar simulation system (AM1.5, 1000 W Xenon lamp, Thermo-orient)을 이용하여 에너지 변환 효율을 조사하였다. 셀의 효율 조사방법은 solar simulation system에 셀을 장착하여 전류-전압 곡선(I-V curves)을 얻은 후, 에너지 변환 효율은 수식 (1)과 같이 입사된 빛에너지( $P_{in}$ )에 대한 발생된 전기에너지( $P_{out}$ )의 값으로부터 구하였다.

$$\eta_{eff}(\%) = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 = \frac{V_{max} I_{max}}{P_{in}} \times 100 = \frac{V_{oc} I_{sc} FF}{P_{in}} \times 100 \quad (1)$$

여기서, FF는 Fill factor로서 사각형에 가까울수록 효율이 증가한다 [10,11].

3. 결과 및 고찰

Figure 3은 합성  $TiO_2$ 의 BET (Brunauer, Emmett & Teller) 결과와 X-ray diffraction (XRD; Rigaku, D/MAX-1200) 결정 분석 결과이다. 합성된  $TiO_2$ 의 BET 비표면적 결과는  $180 m^2/g$ 이었고, BJH 방법으로 계산되어진 평균 세공의 크기는  $3.2 nm$  정도로  $0.1 \sim 1 nm$  정도의 입자 크기를 가지고 있는 N719 (cis-bi(isothiocyanato)bis(2,2'-bipyridyl-

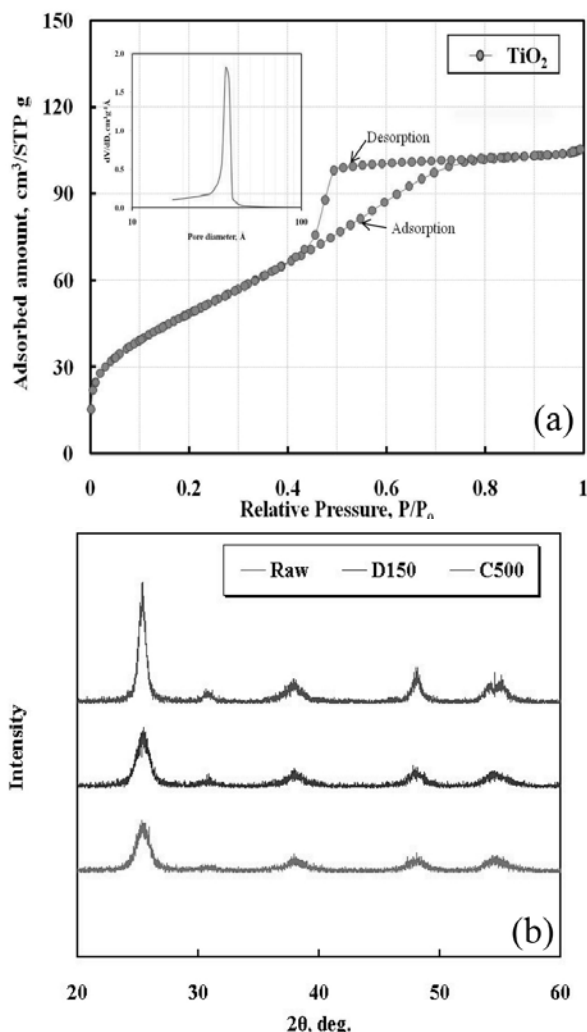


Figure 3.  $N_2$  adsorption and desorption isotherm (a) and XRD (X-ray diffraction) pattern (b) of  $TiO_2$  particle.

4,4'-dicarboxy-lato)-ruthenium(II)bis-tetrabutylammoniumdye) 염료를 흡착하기에 유리한 높은 비표면적과 메조세공을 가지고 있음을 확인할 수 있었다. 또한 온도에 따른 XRD분석(Raw: 상온, D150:  $150 \text{ }^\circ C$

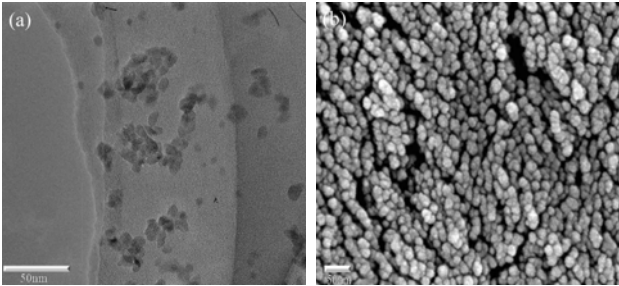


Figure 4. HR-TEM image (a) and FE-SEM image (b) of TiO<sub>2</sub> particle.

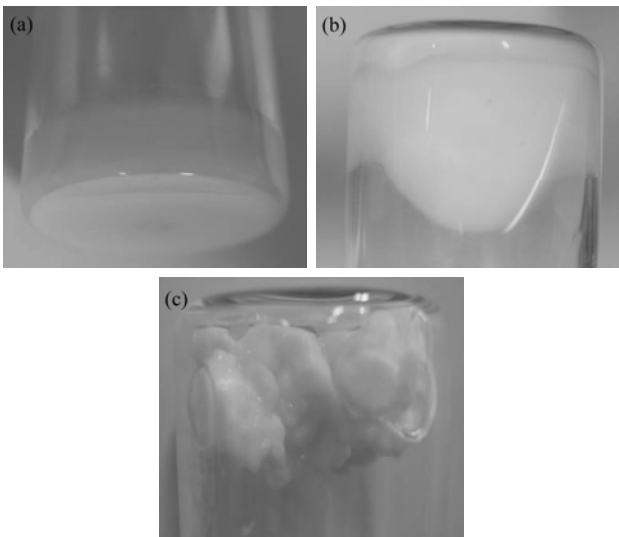


Figure 5. Problem of Phosphor additives in TiO<sub>2</sub> paste.

열처리, C500: 500 °C 소성)결과, 실제로 광전극의 제작시 소성 온도 500 °C에서 실시할 경우 아나타제(anatase) 주 피크에 해당하는 25 θ 부근에서의 결정상이 온도가 증가함에 따라 성장함을 확인할 수 있었다. 나머지 부근에서도 아나타제 결정에 해당하는 피크들이 성장함을 확인하였다. 본 논문에서는 제시하지 않았지만 550 °C 이상의 온도에서는 점점 루타일(rutile)상으로 변함을 확인하였다. 아나타제 결정의 경우 루타일에 비해 에너지 밴드갭이 3.2 eV로 높은 광활성을 가지고 있어 전자재료와 광촉매 용도로 많이 사용되어진다. 염료감응형 태양 전지에서도 입자 크기가 작고 높은 비표면적과 높은 광활성을 가진 아나타제 상 TiO<sub>2</sub>가 높은 효율을 보인다는 것은 이미 여러 문헌상에서 보고되고 있다[3,4].

Figure 4는 합성 TiO<sub>2</sub>의 입자에 관한 투과전자현미경 HR-TEM과 이러한 입자를 광전극으로 제작하여 만든 박막의 주사전자현미경 FE-SEM 사진이다. Figure 4(a)는 소성된 TiO<sub>2</sub> 입자를 에탄올에 분산시켜 조사한 투과전자현미경 사진이다. 그림에서 알 수 있듯이 응집되지 않는 입자의 크기는 10~20 nm 정도였고, TiO<sub>2</sub> 입자끼리 완전히 단분산 되어 있지 않고 넥킹(necking)하여 벌크(bulk)화 하여 포도송이 형태로 네트워크를 형성함을 알 수 있었다. TiO<sub>2</sub>를 광전극으로 소성하여 표면을 찍은 FE-SEM 사진을 Figure 4(b)에 나타내었다. 입자의 크기는 HR-TEM 사진과 비교할 경우 유사함을 알 수 있었고, 광전극 박막에 입자끼리 뭉쳐서 들어선 형태는 실제로 염료를 흡착 시 비표면적을 크게 하여 흡착량을 증가 시켜주는 역할을 한다. Figure 4에

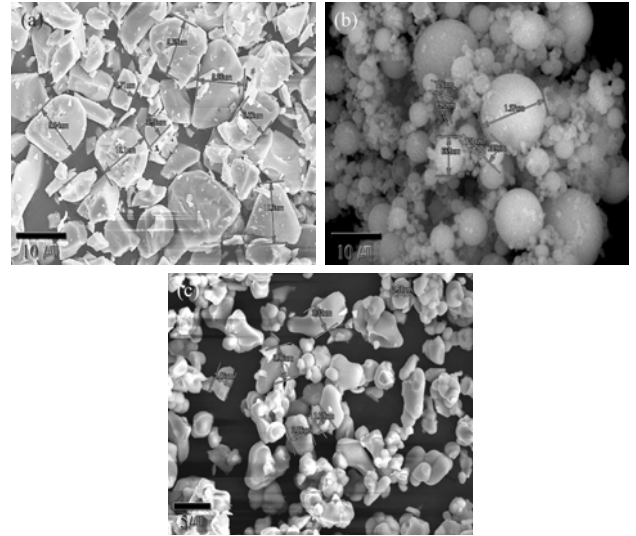


Figure 6. FE-SEM images of Y1 (a), Y2 (b) and G3 (c) phosphor.

서 확인할 수 있듯이 TiO<sub>2</sub>로 제작된 광전극의 평균 두께는 6~8 μm 정도의 구형입자이었다. 염료감응형 태양전지의 경우 기존 연구결과에 따르면 가급적 입자끼리 서로 원활한 네트워크를 형성하여 광전자가 빠른 속도로 이동을 하여야 하고, 입자 크기가 10 nm 이내로 너무 작으면 염료의 흡착량은 증가하지만 상대전극을 통하여 환원되어 나온 전극을 여기 시킨 염료의 빈 공간에 다시 전자를 채워줄 때 장애가 발생하므로 입자크기가 너무 작아도 좋지 않다고 보고되어 있다[12]. 또한 소성과정에 있어 큰 응집현상을 통해 입자끼리 일어나는 과도한 응집은 광전극의 두께를 증가시킬 경우 균열(crack)을 쉽게 발생시킨다. TiO<sub>2</sub>의 경우 입자의 성장은 단결정 형태로 커지는 것이 아니라 다결정(polycrystalline)형태로 증가되기 때문에 낮은 광활성을 보이는 단점이 있다. 따라서 염료감응형 태양전지에서 최적 효율을 보이는 입자의 크기는 10~20 nm의 아나타제 결정을 가지는 TiO<sub>2</sub>로 보고되어 있으며, 광전극으로 제작 시 10 nm 이하의 작은 메조세공(mesopore)과 TiO<sub>2</sub> 비가 50 : 50 일 때 최고의 효율을 보인다고 알려져 있다[12].

본 연구에 사용한 8종류의 형광체의 특성을 Table 1에 나타내었다. 형광체를 사용하여 페이스트를 제조하였으나 Figure 5에서 알 수 있듯이 침전이나 과도한 점도의 증가로 인해 고화되는 현상을 볼 수 있었다. 따라서 본 연구에서는 노랑색 발광체로 입자크기가 마이크로 입자인 Y1과 나노입자인 Y2형광체와 그리고 그린 발광체인 G3와 G8이 첨가된 페이스트만을 실험에 사용 하였다.

Figure 6은 TiO<sub>2</sub> 광전극 페이스트 내에 첨가 되어진 3종류의 형광체 FE-SEM사진이다. 고상 법으로 제조된 Y1 형광체의 경우 입자 크기가 평균 8 μm인 불규칙적인 형상을 볼 수 있다. G3 형광체의 경우 평균 입자 크기는 4.3 μm 이었다. 이에 반해 졸-겔 법으로 합성한 구형의 Y2 형광체의 경우 입자 크기가 평균 400 nm이고 입자 크기 분포가 불규칙함을 알 수 있었다.

Figure 7은 마이크로 입자를 가지는 Y1 노랑 형광체의 함량이 0.5%~2.5%를 첨가하여 제조된 페이스트를 이용한 광전극의 사진이다. 이 그림에서 알 수 있듯이 기존 대조군인 합성 TiO<sub>2</sub>로만 제조된 광전극에 비해 큰 입자를 가지는 형광체가 표면 중간마다 일부는 노출됨을 알 수 있다. 또한 형광체 함량이 증가할수록 균열이 생겨 효율이 감소할 것으로 사료된다. 형광체 함량이 증가할수록 균열이 일어난 결과

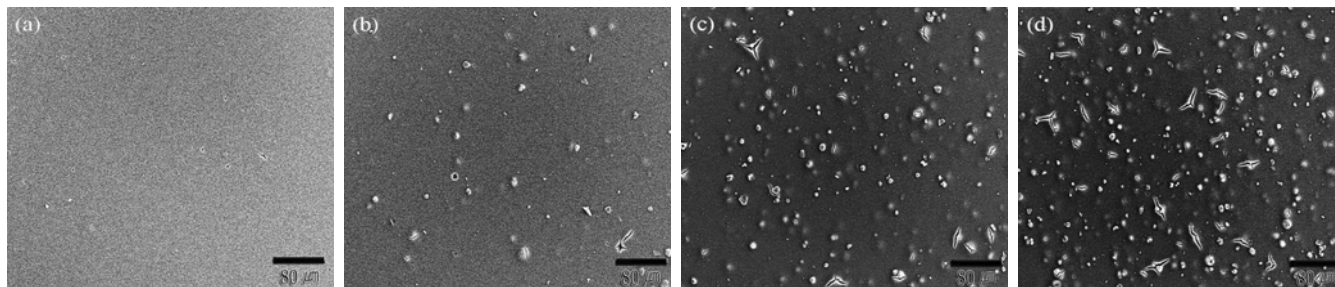


Figure 7. FE-SEM images of Y1 0.5% (b), 1.5% (c) and 2.5% (d) Additives in TiO<sub>2</sub> photoelectrode (only TiO<sub>2</sub> particle (a)).

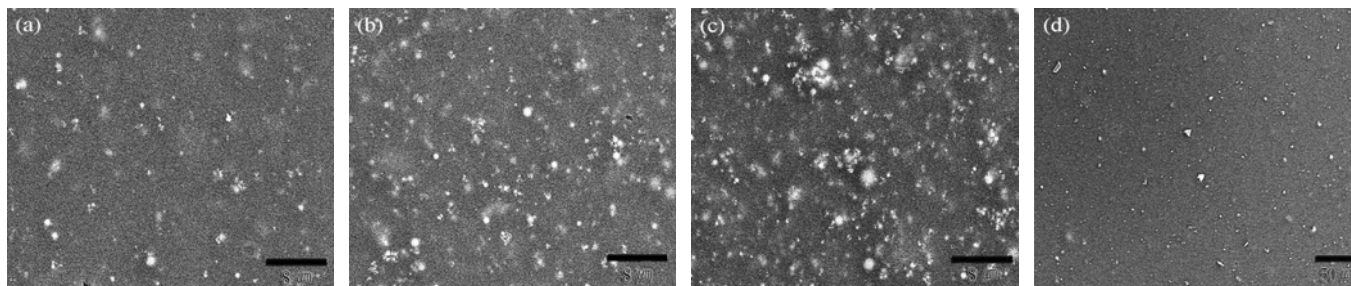


Figure 8. FE-SEM images of Y2 0.5% (a), 1.5% (b), 2.5% (c) and G3 0.5% (d) additives in TiO<sub>2</sub> photoelectrode.

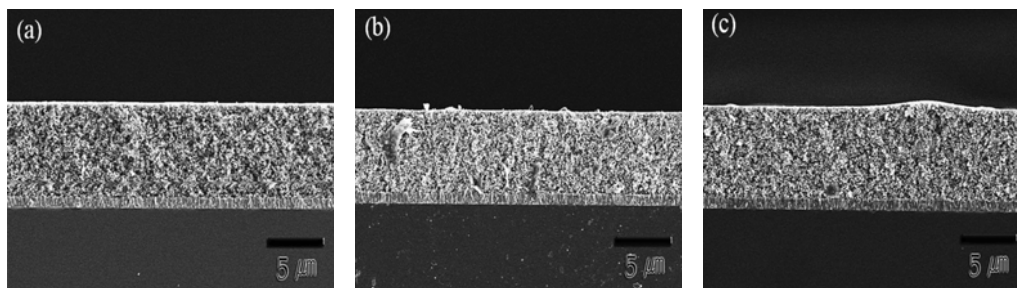


Figure 9. FE-SEM image of Y1 0.5% (b), Y2 0.5% (c) and Additives in TiO<sub>2</sub> photoelectrode ((a) is only TiO<sub>2</sub>).

는, 마이크로 입자를 가지는 Y1 형광체의 불규칙한 입자 형태가 균열의 양을 증가시킨 것으로 생각된다.

Figure 8은 나노 입자를 가지는 Y2 노랑 형광체의 형광체 함량 0.5~2.5%를 첨가하여 제조된 페이스트를 이용한 광전극 사진이다. 합성 TiO<sub>2</sub> (Figure 7(a))로만 이루어진 광전극의 표면에 비해 구형의 형광체 첨가로 인한 언덕 형태로 TiO<sub>2</sub>가 감싸고 있음을 확인할 수 있다. 불규칙하고 큰 입자를 가진 마이크로 Y1 입자에 비해 구형의 Y2 형광체의 경우 광전극 표면에서 균열은 발생하지 않았다. 그린 발광체 G3가 0.5% 첨가된 페이스트를 이용하여 광전극을 제작한 표면에서는 일부 노출된 형광체를 제외하고는 전반적으로 표면의 형상은 양호했다.

Figure 9는 노랑색 형광체 Y2 함량이 0.5%이었을 경우 최적의 표면 형상을 보인 광전극의 단면 사진이다. 합성 TiO<sub>2</sub>로 제조된 광전극의 단면처럼 약 7 μm 정도의 두께를 보였고 Y1의 경우 0.5%의 첨가 시 적절하게 분포되어 균열의 발생 빈도가 감소함을 확인할 수 있었다.

Figure 10은 형광체가 첨가된 광전극의 염료감응형 태양전지의 효율을 평가한 전류-전압곡선과 전류 밀도의 변화를 나타낸 결과이다. Y2가 효율이 좋은 이유는 Y1 형광체와는 달리 페이스트 제조 시 분산성이 좋고 입자 모양 또한 구형으로 일정한 형상을 지니고 있어 광

전극의 제조 시 상당히 좋은 표면의 형상을 제공하기 때문에 Y1 형광체에 비해서 안정적인 태양전지로 동작이 될 것이라 사료된다. 또한 형광체 첨가 함량이 0.5%일 경우, 전류 밀도의 향상으로 가장 높은 에너지 변환 효율인 8.3%는 기존 대조군 대비 10% 정도의 효율의 향상을 가져올 수 있었다. 적당한 양의 형광체를 첨가하여 전류 밀도 값의 향상을 가져온 것은 형광 효과 혹은 산란 효과로 인해 동일한 광전극의 면적에서 태양광의 흡수량을 증가시켜 광전자의 발생 양을 증가 시켰다고 생각된다. 또한 생성된 광전자를 모두 TiO<sub>2</sub> 반도체 층으로 주입이 되지 않고 광전극의 특성에 상응하는 양 만큼만 전달하였다고 사료된다. 형광체의 첨가량이 증가할수록 입자 크기가 크고 염료의 리간드(COO-)와 흡착 환경 변화로 합성 TiO<sub>2</sub> 광전극에 비해 비표면적과 흡착량이 감소하는 것은 당연하다. 따라서 본 연구에서 수행한 연구결과를 바탕으로 형광체의 형광효과(또는 산란효과), TiO<sub>2</sub>의 표면적 그리고 염료의 흡착량을 최적화 할 경우, 형광체 첨가로 인한 염료감응형 태양전지의 효율 향상을 크게 기대할 수 있다고 판단된다.

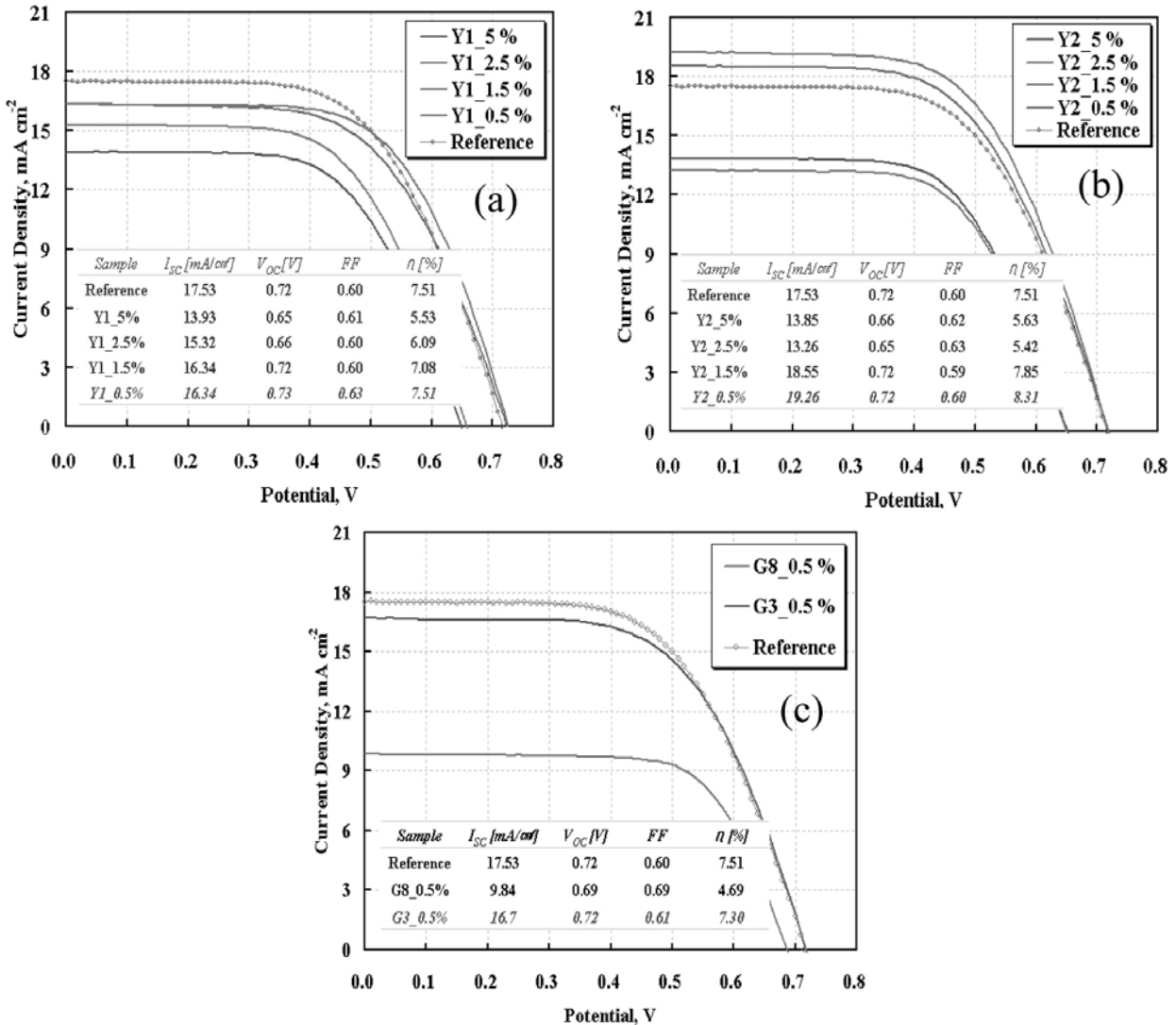


Figure 10. I-V curves of additive phosphore Y1 (a), Y2 (b) and G3,8 (c).

### 4. 결 론

다양한 형광체의 종류 및 양이 조절된 광전극용 페이스트를 이용하여 TiO<sub>2</sub> 광전극을 제작한 후, 염료감응형 태양전지의 효율에 미치는 영향을 조사함으로써 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 합성된 TiO<sub>2</sub>의 BET 분석 결과 비표면적은 180 m<sup>2</sup>/g이었고, BJH 방법으로 계산한 평균 세공의 크기는 3.2 nm 임을 확인할 수 있었다.
- 2) XRD 분석 결과 500 °C에서 소성 샘플의 경우 아타나제(anatase) 주 피크에 해당하는 25  $\theta$  부근에서의 결정상이 온도가 증가함에 따라 성장하였다. 반면, 550 °C 이상의 온도에서 소성할 경우 차츰 루타일(rutile)상으로 변함을 확인하였다.
- 3) 합성된 TiO<sub>2</sub>의 HR-TEM 및 FE-SEM 분석 결과 입자의 크기는 10~20 nm 정도로 TiO<sub>2</sub> 입자끼리 서로 완전히 단 분산 되지 않고 넥킹(necking)하여 벌크(bulk)화 된 포도송이 형태로 네트워크를 형성함을 알 수 있었다.
- 4) 형광체가 첨가된 광전극의 염료감응형 태양전지의 효율을 평가한 전류-전압곡선과 전류 밀도의 변화를 나타낸 결과 Y2 형광체가 첨

가된 페이스트 제조의 경우 분산성이 좋고 입자 모양이 구형으로서 일정한 형상을 지니고 있어 광전극의 제조 시 상당히 좋은 표면을 제공하기 때문에 첨가 함량이 0.5%일 경우 전류 밀도의 향상으로 가장 높은 에너지 변환 효율인 8.3%로 향상됨을 알 수 있었다.

### 감사의 글

본 연구는 교육과학기술부와 한국산업 기술재단의 지역혁신 인력 양성사업으로 수행된 연구결과임.

### 참 고 문 헌

1. B. O'Regan and M. Grätzel, *Nature*, **353**, 737 (1991).
2. M. Grätzel, *Nature*, **414**, 338 (2001).
3. K. Hara, Y. Tachibana, Y. Ohga, A. Shinpo, S. Suga, K. Sayama, H. Sugihara, and H. Arakawa, *Solar Energy materials and Solar cells*, **77**, 89 (2003).
4. F. L. Qiu, A. C. Fisher, and A. B. Walker, *Electro chemistry*

- Communications*, **5**, 711 (2003).
5. P. Wang, S. M. Zakeerruddin, J. E. Moser, M. K. Nazeeruddin, T. Sekiguchi, and M. Grätzel, *Nature Materials*, **2**, 402 (2003).
  6. (a) C. J. Barbe, F. Arendse, P. Comte, V. Shiklover, and M. Grätzel, *J. Am. Ceram. Soc.*, **80**, 3157 (1997). (b) N. G. Park, J. A. Mascarenhas, and A. J. Frank, *J. Phys. Chem. B*, **103**, 3308 (1999).
  7. K. Hara, T. Sato, R. Katoh, A. Furube, Y. Ohga, A. Simpo, S. Suga, K. Sayama, H. Sugihara, and H. Arakawa, *J. Phys. Chem. B*, **107**, 597 (2003).
  8. A. Hinsch, J. M. Kroon, R. Kern, I. Uhlendorf, J. Holzlock, A. Meyer, and J. Ferber, *Prog. Photovolt: Res. Appl.*, **9**, 425 (2001).
  9. A. Shah, P. Torres, R. Tschamer, N. Wyrsh, and H. Keppner, *Science*, **285**, 692 (1999).
  10. K. Kalyanasundaran and M. Grätzel, *Coordination Chemistry Reviews*, **77**, 347 (1999).
  11. M. Grätzel, *J. Photochem. Photobiol.*, **4**, 145 (2003).
  12. N. G. Park, Dye-Sensitized Solar Cell, *J. Korean Ind. Eng. Chem.*, **15**, 265 (2004).