

# 셀 면적 및 흡착시간에 따른 염료감응형 태양전지 특성에 관한 연구

## A Study on the Characteristics of Dye Sensitized Solar Cells with Cell Area and Dye Absorption Time

이 돈 규<sup>†</sup> · 손 영 주<sup>\*</sup>  
(Don-Kyu Lee · Young-Joo Song)

**Abstract** - In this paper, it is investigated the characteristics of DSSC(Dye Sensitized Solar Cell) with cell area(0.25, 1, 2.25 cm<sup>2</sup>) and dye absorption time(12, 24, 36 h). Thus, we obtain the following results by using the EIS, UV-VIS, I-V measurement. When the cell area increases, the efficiency decreases to 21~32 percent because of the increase about 40~60 Ω of internal impedance regardless of dye absorption time. When the absorption time increases up to 24 hours, the efficiency increases to over 40 percent cause of the reduction of internal impedance regardless of cell area. When the dye absorption time becomes 36 hours, the internal impedance increases and at the same time, in the range of 600~700 nm, as the optical absorption reduces. Therefore, the efficiency decreases to 19~31 percent. When it is absorbed the dye for 24 hours in the smallest cell area which is 0.25 cm<sup>2</sup>, the DSSC has the best efficiency (7.11 %).

**Key Words** : Dye sensitized solar cell, Cell area, Dye adsorption time

### 1. 서 론

현대 생활을 영위하는데 있어 에너지는 필수적인 요소로 그 수요는 점차적으로 증가되고 있다. 하지만 지속적인 에너지원의 소비에 따라 석유 가격이 급상승하고 지구 온난화 현상이 발생하기 때문에 친환경적이면서도 영구적으로 에너지를 공급해 줄 수 있는 신재생 에너지원의 개발은 시급한 과제이다. 신재생 에너지 분야는 재생에너지(태양열, 태양광 발전, 바이오매스, 풍력, 수력, 지열, 해양에너지, 폐기물에너지)와 신에너지(연료전지, 석탄 액화가스화, 수소에너지)로 구분된다.[1] 특히, 태양광을 이용해 전기를 생산하는 결정질 실리콘 태양전지는 현재 가장 주목받고 있는 신재생 에너지원이지만, 결정질 실리콘 태양전지는 실리콘 공급이 그 수요를 따라가지 못해 원료 값이 폭등하고, 복잡한 제조공정으로 인해 경쟁력이 약화되는 어려움을 겪고 있다.[2] 결정질 실리콘 태양전지의 대안 중 하나인 염료감응형 태양전지(Dye Sensitized Solar Cell, DSSC)는 제조단가가 기존 실리콘 태양전지의 5분의 1수준에 불과하여 그 경제성이 입증되었으며, 친환경적인 제조환경과 다양한 응용 가능성으로 상용화에 유리한 장점을 가지고 있기 때문에 최적의 재생에너지원으로써 그 중요성을 더해 가고 있다.[3]

그림 1은 현재 제작되는 DSSC의 기본 구조를 나타낸 그림이다. DSSC는 상판과 하판으로 구성되어 있고, 상판은 유리판위에 투명산화전도막과 Pt전극으로 구성되며, 하판은 유

리판위에 투명산화전도막과 염료가 흡착된 TiO<sub>2</sub>가 도포되어 있으며, 이 두 판 사이에 전해질이 충전되어 있다. 현재 연구되고 있는 고효율 DSSC의 개발은 1980년 M. Gratzel 교수 등에 의해 이루어졌으며 저가의 나노산화물 TiO<sub>2</sub>를 전도성 유리 위에 접착하고, Ru계 염료 및 I<sup>-</sup>/I<sub>3</sub><sup>-</sup> 전해질을 사용하여 실험적으로 효율을 약 15%까지 향상시켰다.[4] 하지만 결정질 실리콘 태양전지의 변환효율(30%) 보다 낮은 효율을 보이고 있어 효율을 높이는 연구가 활발히 진행되어야 한다.[5] DSSC의 효율을 상승시키기 위한 인자들은 투명전도막(Transparent Conductive Oxide, TCO)의 전극 종류, 나노사이즈의 입자로 구성된 다공질 TiO<sub>2</sub>의 코팅 면적 및 두께, 전자를 생성하는 염료와 전자의 산화·환원을 용이하게 하는 촉매인 백금(Pt), 전자 이동의 매개체인 전해질 등이 있다. 현재 효율을 개선시키는 인자들의 연구가 활발히 진행되고 있지만 면적 및 흡착시간을 고려한 연구가 미흡한 것이 현실이다.

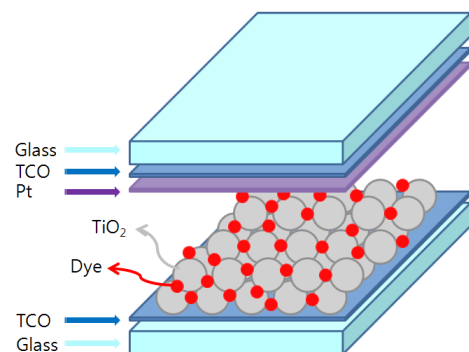


그림 1 DSSC의 기본구조 개략도

Fig. 1 Basic structure of DSSC

\* 준 회원 : 동의대 공대 전기공학과 석사과정

† 교신저자, 중신회원 : 동의대 전기공학과 조교수

E-mail : donkyu@deu.ac.kr

접수일자 : 2012년 2월 5일

최종완료 : 2012년 2월 29일

따라서 본 연구에서는 태양전지의 효율 특성을 조사하기 위해 TiO<sub>2</sub>에 염료를 흡착하는 시간(12, 24, 36시간)과 셀의 면적(0.25, 1, 2.25 cm<sup>2</sup>)을 변화시켜 DSSC의 전기화학적 특성을 조사하였으며, 이를 통하여 DSSC의 효율개선 방안을 고찰하였다.

## 2. 실험 방법

그림 2는 광전극의 제작과정을 개략적으로 나타내었다. 광전극을 제작하기에 앞서 2-Propanol, Acetonitrile, Ethanol, 증류수 순서로 각각 30분씩 초음파 세척을 통해 ITO Glass를 준비하였다. 본 연구에서 사용한 ITO 전극은 전형적으로 사용되는 FTO 전극에 비해 열적 특성이 낮아 저온에서만 소결하여야 하는 단점이 있으나 가격이 저렴하고 매우 우수한 투명성 및 전기전도성을 가지고 있다. 준비된 ITO Glass에 Doctor Blade 방법을 이용하여 TiO<sub>2</sub> Paste (TTP-20N, 국산)를 20 μm의 두께로 도포하고 450°C의 온도에서 30분간 소성하였으며, 이 때 TiO<sub>2</sub> 도포면적을 0.25 cm<sup>2</sup>에서부터 2.25 cm<sup>2</sup>까지 변화시키고, 이를 염료 (N719) 용액에 각각 12, 24, 36시간 동안 염료를 착색시키며 실험 조건을 변화 시켰다. 소성이 끝난 전극을 순도 99.9% 에틸알콜 (C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH)에 약 10분 정도 침지시켜 적층되어 있는 염료분자를 제거하고, 염료의 단분자층을 형성하였다. 에틸알콜을 사용하지 않으면 TiO<sub>2</sub> 표면에 흡착된 염료분자와 전해질 사이의 접촉을 방해하고 발생한 전자의 재결합을 유도해서 전체적인 효율을 저하시키기 때문에 에틸알콜을 사용해 단분자층을 형성하는 것이 효율개선에 많은 도움이 되기 때문이다. 그림 3은 상대전극의 제작 방법을 개략적으로 나타내었다. 상대전극의 세척방법은 광전극과 동일하며, 상대전극 세척 후 탁상 드릴을 사용하여 ITO 기판에 전해질 주입을 위해 0.7 mm의 작은 구멍을 뚫고 세척한다. 그 다음 광전극의 세척공정과 마찬가지로 2-Propanol, Acetonitrile, Ethanol, 증류수 순서로 각각 30분씩 초음파 세척을 통해 glass를 준비한다. 세척이 끝난 ITO 상대전극에 H<sub>2</sub>PtCl<sub>6</sub> 백금촉매 (Solaronix)를 입힌 후 450°C에서 30분 동안 열처리하여 상대전극을 완성하였다. 준비된 광전극과 상대전극을 60 μm 두께의 hot-melt sealing sheet (SX 1170-60)를 사용해 120°C에서 약 2분 동안 건조시킨 후 상대전극에 미리 뚫어 놓은

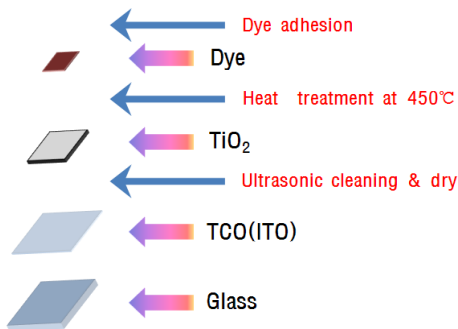


그림 2 광전극의 제작과정 개략도.  
Fig. 2 Schematic diagram manufacturing process of working electrode.

작은 구멍으로 산화·환원 반응을 하는 전해질 (0.5 M LiI, 0.05 M I<sub>2</sub>, 0.5 M 4-tertbutylpyridine in Acetonitrile)을 주입시키고 커버글라스로 실링하여 봉합한 후 120°C에서 약 30초 동안 건조 처리하여 DSSC를 완성 하였다.

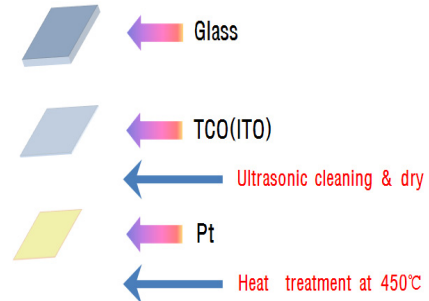


그림 3 상대전극 제작과정 개략도.  
Fig. 3 Schematic diagram manufacturing process of counter electrode.

## 3. 측정 방법

### 3.1 내부임피던스 측정

태양광이 입사되면 염료에서 생성된 전자는 TiO<sub>2</sub> 전도대로 이동하여 나노 입자간 계면을 통하여 광전극을 지나 외부 부하로 전달되게 되는데, 이 과정에서 전자 이동에 영향을 미치는 것은 DSSC 내부의 임피던스이다. DSSC 내부임피던스 성분은 Pt 상대전극에서의 산화·환원 반응과 관계된 임피던스 성분(Z<sub>1</sub>), TiO<sub>2</sub>/염료/전해질 사이의 전자 이동과 관계된 임피던스 성분(Z<sub>2</sub>), 전해질 내의 이온 이동과 관련된 임피던스 성분(Z<sub>3</sub>), 그리고 투명전도성 기판의 저항을 나타내는 성분(R<sub>h</sub>)으로 나누어진다.[6] 이러한 내부 저항들이 커지게 되면 전자 이동을 방해하게 되어 DSSC 효율이 감소하게 된다.[7] 그림 4는 일반적인 나이퀴스트 선도를 나타내었다. 그림에서 보듯이 R<sub>h</sub>를 제외한 나머지 3가지 임피던스 성분은 반원으로 표현된다. Z<sub>1</sub>은 1 Mhz~100 Hz의 고주파수대, Z<sub>2</sub>는 1~100 Hz의 중간 주파수대, Z<sub>3</sub>는 100 mhz~1

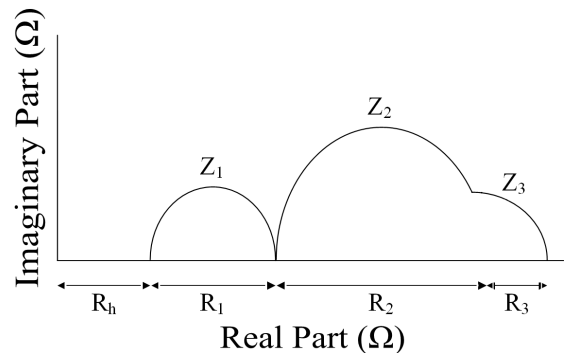


그림 4 EIS 분석 - 나이퀴스트 선도.  
Fig. 4 EIS analysis - nyquist diagram.

Hz의 저주파에서 측정이 된다. 또한 X축은 실수부로 임피던스 성분을 나타내며 Y축은 허수부로 커패시터 성분의 임피던스 성분을 나타낸다. DSSC 내부 임피던스 성분은 실수부로 표현이 되며 다음과 같은 식으로 표현된다.

$$\text{내부 임피던스 성분} = R_h + R_1 + R_2 + R_3 \quad (1)$$

### 3.2 I-V 측정

제작된 DSSC의 광전압에 따른 전류를 측정하기 위해 광전극과 상대전극을 구성하여 I-V 특성 곡선 및 변환효율 등을 측정하기 위해 solar simulator(정남시스템, Model XES-301S)를 사용하였다. 이 장비는 AM 1.5 필터가 내장된 300 W Xenon Lamp의 100 mW/cm<sup>2</sup> 세기의 빛을 준비된 셀에 조사하여 solar simulator에 연결된 디지털 소스미터(Keithley Instruments Inc, Model 2400)의 장비를 이용하여 측정하였다. I-V 특성을 나타내기 위한 파라미터들은 Keithley에서 제공하는 24XX basic source meter-solar spectrum 프로그램을 이용하여 J<sub>sc</sub>, V<sub>oc</sub>, FF, η 등을 알 수 있었다. 에너지 변환효율(η)은 입사된 빛에너지(P<sub>in</sub>)에 대한 발생된 전기에너지(P<sub>out</sub>)의 비 값으로, 식(2)와 같이 표현된다. 식(3)에서의 FF는 Fill Factor로서 내부 저항 성분과 관련이 있는데 DSSC의 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. 여기서 V<sub>max</sub>[V]와 J<sub>max</sub>[mA/cm<sup>2</sup>]는 J-V curve에서 최대 출력에서의 전압과 전류밀도를 나타낸다.[8]

$$\eta(\%) = \frac{V_{\max} \cdot J_{\max}}{P_{\text{intensity}}} \times 100 = \frac{V_{oc} \cdot J_{sc} \cdot FF}{P_s} \times 100 \quad (2)$$

$$FF = \frac{V_{\max} \times J_{\max}}{V_{oc} \times J_{sc}} \quad (3)$$

FF : Fill Factor

P<sub>intensity</sub> : Input Power

V<sub>oc</sub> : Open Circuit Voltage

J<sub>sc</sub> : Short Circuit Current Density

### 3.3 흡광량 측정

자외선-가시광선 분광광도계(UltraViolet - Visible spectrophotometer, UV-VIS) 측정 장비의 회사는 varian, Model은 cary-5를 사용하였다. UV-VIS는 원자나 분자가 외부에서 에너지를 받으면 에너지의 크기에 따라 그 현상이 달라진다. 보통 파장의 범위가 약 100 nm에서 1000 nm에 이르는 빛을 투과해 흡수하는 빛의 양을 알면 그 원자나 분자의 농도를 결정할 수 있다. 본 연구에서 흡광도의 정의는 파장에 따라 TiO<sub>2</sub>에 흡착되어있는 염료를 투과하는 광을 셀에서 흡수하는 양을 의미한다. 흡광도를 나타내는 식은

$$A = \log\left(\frac{\%100}{\%T}\right) \quad (4)$$

로 정의 할 수 있다. 여기서 %T는 투과도를 나타내는데 다음과 같은 식으로 표현된다.

$$\%T = \frac{I}{I_0} \times 100 \quad (5)$$

로 나타낼 수 있다. 여기서 I<sub>0</sub>는 측정 시 광이 조사되기 전의 광도이고 분모에 있는 I는 광이 조사된 후의 광도이다.

## 4. 실험결과 및 고찰

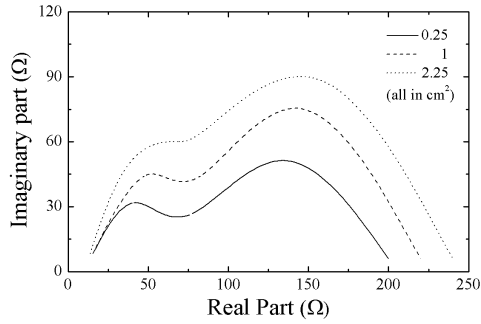
### 4.1 EIS(Electrochemical Impedance Spectroscopy) 특성

표 1은 염료 흡착시간 및 셀 면적의 변화에 따른 내부임피던스 R2의 특성을 나타낸 것이고 그림 5에서의 (a), (b), (c)는 나이키스트 선도의 특성 파라미터이다. 식(1)에서 언급한 바와 같이 R<sub>h</sub>, R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>, R<sub>3</sub> 값들을 모두 합치게 되면 셀 전체의 내부임피던스 성분이 나타난다. R<sub>h</sub>는 TCO Glass의 면 저항을 나타내는 임피던스 성분이고, R<sub>1</sub>은 Pt 상대전극에서의 전자 수송에 관계된 임피던스 성분이고, R<sub>2</sub>는 TiO<sub>2</sub>/염료/전해질 계면에서의 전자이동과 관련된 성분이며 R<sub>3</sub>는 전해질 내의 이온 이동과 관련된 성분이다. 본 연구에서는 단위 면적당의 면 저항을 나타내는 R<sub>h</sub>와 상대전극과 관련된 임피던스 R<sub>1</sub>, 그리고 전해질과 관련된 저항 성분 R<sub>3</sub>가 모두 동일한 ITO Glass, Pt, 전해질로 사용되었기 때문에 EIS 특성 분석은 R<sub>2</sub>만 비교하였다. 셀 면적이 증가함에 따라 R<sub>2</sub>의 크기가 흡착시간에 따라 약 40~60 Ω 정도 증가하는 것을 알 수 있었다. 또한 흡착시간이 증가함에 따라 면적별로 24시간까지는 약 65~85 Ω정도 감소하다 36시간에서는 10 Ω 정도 다소 증가하였다. 이는 셀 면적이 증가하게 되면 각 계면을 이동하는 전자의 면 저항이 높아져 R<sub>2</sub>의 값이 증가하게 되고 흡착시간이 24시간은 충분히 염료 분자가 TiO<sub>2</sub>에 흡착하여 R<sub>2</sub>의 값이 감소하기 때문이다.

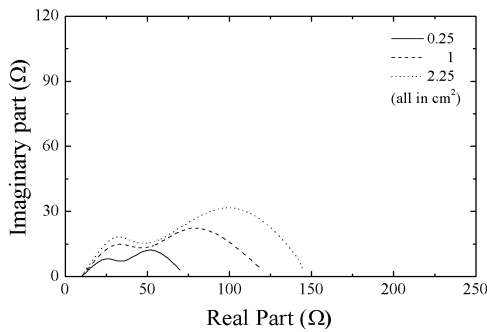
표 1 염료 흡착시간 및 셀 면적에 따른 내부임피던스 특성 파라미터.

Table 1 Characteristic parameter of the internal resistance according to dye absorption time and cell area.

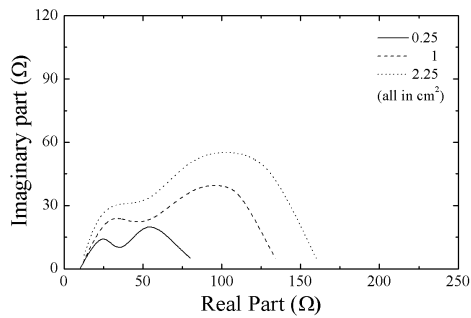
area (cm <sup>2</sup> )	Internal Resistance R2 (Ω)		
	Dye adsorption time		
	12 h	24 h	36 h
0.25	125.7	38.4	45.4
1	148.6	75.2	85.1
2.25	163.8	99.2	110.7



(a) 12 h

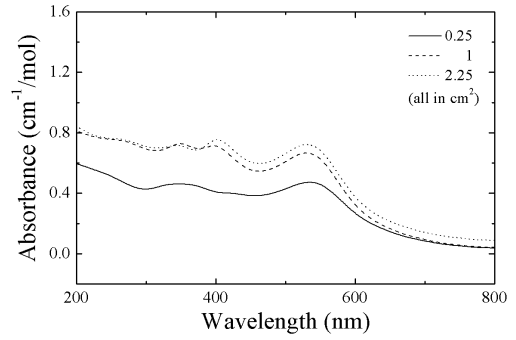


(b) 24 h

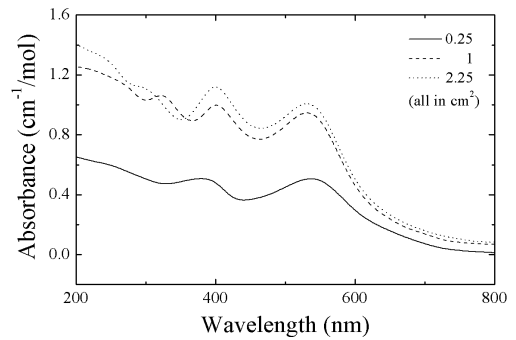


(c) 36 h

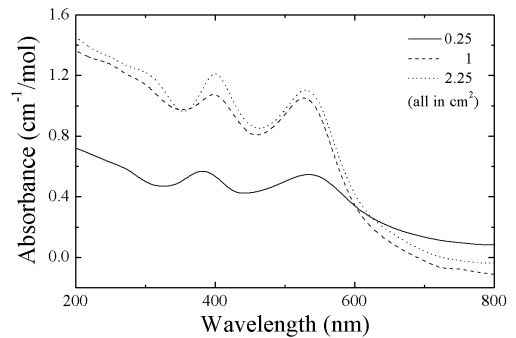
그림 5 염료 흡착시간 및 셀 면적에 따른 EIS 특성.  
Fig. 5 EIS characteristic according to dye adsorption time and cell area.



(a) 12 h



(b) 24 h



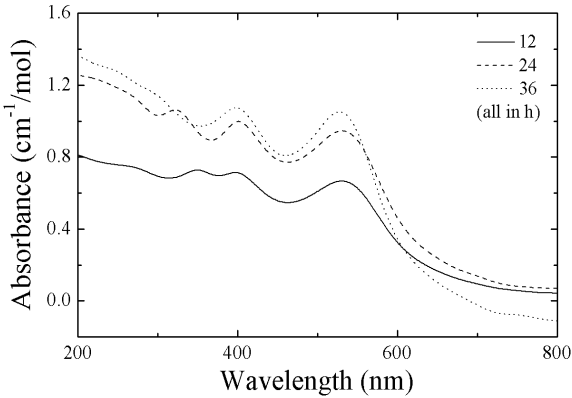
(c) 36 h

그림 6 염료 흡착시간 및 셀 면적에 따른 흡광량.  
Fig. 6 Extinction volume according to dye adsorption time and cell area.

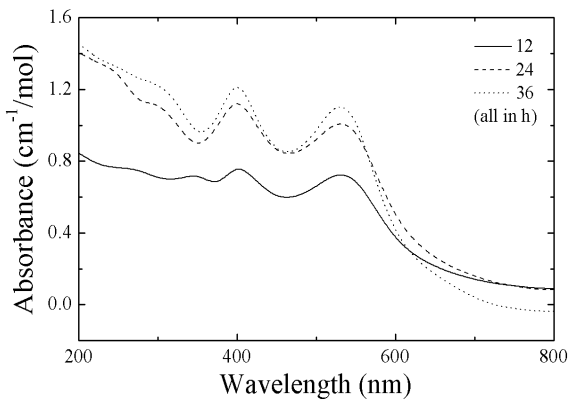
## 4.2 UV-VIS 특성

그림 6의 (a), (b), (c)는 각각 흡착 시간이 12, 24, 36시간에서의 셀 면적에 따른 흡광도를 나타낸 그림이다. 염료 흡착시간이 증가와 면적에 따라 광흡수가 전체적으로 증가하는 것을 알 수 있었다. 이는 TiO<sub>2</sub>에 흡착되는 염료의 양이 충분히 흡착되어 흡착시간이 증가하게 되면 전자의 생성이 활발하다는 것을 의미한다. 또한 그림에서 보면 1, 2.25 cm<sup>2</sup>는 흡광량이 비슷하였지만 0.25 cm<sup>2</sup>에서는 상당히 낮은 흡광량을 보였다. 이는 UV-VIS 측정 시 빛이 조사되는 면적이 0.25 cm<sup>2</sup>보다 크므로 TiO<sub>2</sub>에 흡착된 염료 쪽으로 빛이 흡수되는 것이 아니라 TCO Glass 쪽으로 흡수되는 양이 많아 흡광량이 작아졌기 때문이다.

그림 7의 (a)와 (b)는 1, 2.25 cm<sup>2</sup>의 면적을 가지는 셀에 염료를 흡착시키는 시간에 따른 흡광량의 변화를 나타내었다. 셀 면적이 0.25 cm<sup>2</sup> 흡광량의 그림을 제외시킨 이유는 앞에서 설명한 바와 같이 UV-VIS 측정 시 빛이 조사되는 면적이 0.25 cm<sup>2</sup>보다 넓어 결과 자료를 사용할 수 없기 때문이다. 염료 흡착시간이 12시간에서 24시간 이상으로 증가하게 되면 흡광량이 상당히 증가하는 것을 알 수 있었다. 즉, 24시간 이상의 염료 흡착을 시켜야만 광흡수가 제대로 일어남을 알 수 있었다. 그러나 36시간으로 흡착을 시키면 600 nm 이하의 파장에서는 흡광량이 다소 증가하지만 600 ~ 700 nm의 파장에서는 급격히 떨어진다. 즉, 과도한 염료 흡착은 상대적으로 장파장 영역의 광을 흡수하지 못하게 되어 24시간보다 오히려 광흡수가 적게 일어난다.



(a) 1 cm<sup>2</sup>



(b) 2.25 cm<sup>2</sup>

그림 7 셀 면적 및 염료 흡착시간에 따른 흡광량.

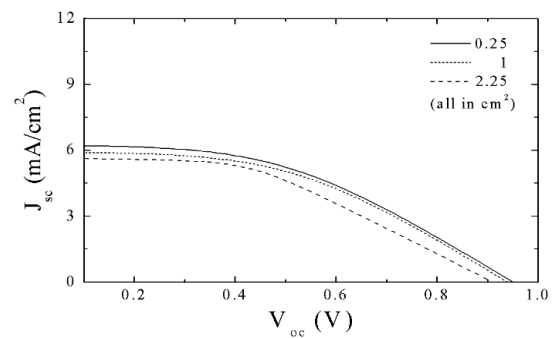
Fig. 7 Extinction volume according to cell area and dye absorption.

### 4.3 I-V 특성

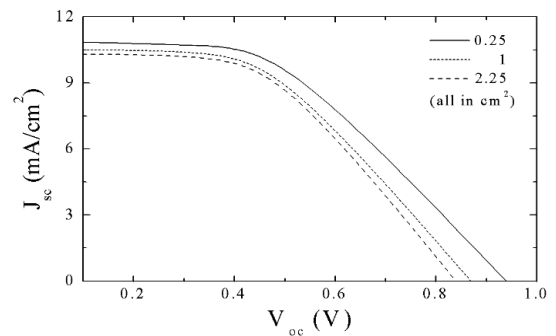
그림 8은 염료 흡착시간과 셀의 면적에 따른 I-V 특성 곡선을 나타낸 것이고 표 2는 각각의 개방전압( $V_{oc}$ ), 단락 전류밀도( $J_{sc}$ ), 채움인자(FF), 효율( $\eta$ ) 등의 I-V 특성 파라미터를 나타내었다. 셀 면적이 증가하면 I-V 특성들은  $V_{oc}$ 는 0.9 V로 거의 변함없는 반면  $J_{sc}$ 는 0.62 mA/cm<sup>2</sup> 감소하였고 24, 36시간에서는 0.89, 0.63 mA/cm<sup>2</sup> 씩 감소하였다. 따라서 FF 역시 12, 24, 36시간에서 각각 0.07, 0.12, 0.04 씩 감소하여 효율이 각각 0.85, 2.3, 1.03% 씩 감소하였다. 면적이 증가함에 따라 효율이 감소하는 이유는 4.1절의 EIS 측정 결과에 따라 내부 임피던스의 증가로 인해 셀 내부에서의 전자 흐름이 원활하지 못하기 때문이다. 즉, 염료에서 TiO<sub>2</sub> 층으로 주입된 광전자가 trap-detrap 과정을 거치면서 TCO 전극으로 이동하게 되는데, 이 전자의 흐름이 내부 저항의 증가로 인해 늦어졌기 때문이다. 또한 셀 제작 시 면적이 증가함에 따라 전해질의 누수, 염료가 흡착되는 TiO<sub>2</sub> 면적의 다공성 부족, 염료에서 TiO<sub>2</sub>로 이동하는 전하이동성이 더불어 감소하여 효율이 감소하게 된 것이다.

표 2 염료 흡착시간 및 셀 면적에 따른 I-V 특성파라미터.  
Table 2 I-V Characteristic parameter according to dye adsorption time and cell area.

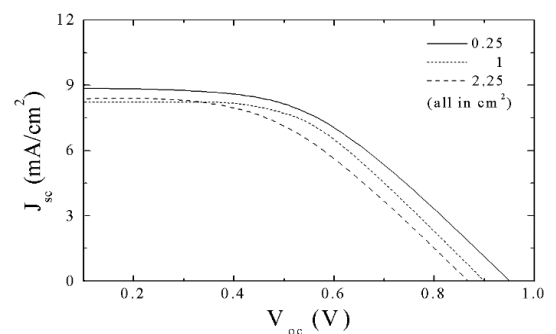
흡착시간	area (cm <sup>2</sup> )	V <sub>oc</sub> (V)	J <sub>sc</sub> (mA/cm <sup>2</sup> )	FF	$\eta$ (%)
12시간	0.25	0.951	6.23	0.61	3.61
	1	0.945	5.89	0.55	3.06
	2.25	0.911	5.61	0.54	2.76
24시간	0.25	0.941	11.12	0.68	7.11
	1	0.865	10.58	0.59	5.41
	2.25	0.841	10.23	0.56	4.81
36시간	0.25	0.951	8.85	0.58	4.88
	1	0.901	8.23	0.55	4.07
	2.25	0.868	8.22	0.54	3.85



(a) 12 h



(b) 24 h



(c) 36 h

그림 8 염료 흡착시간 및 셀 면적에 따른 I-V 특성: (a) 12 h, (b) 24 h, (c) 36 h.

Fig. 8 I-V characteristic curve according to dye adsorption time and area: (a) 12h, (b) 24h, and (c) 36h.

### 5. 결 론

본 연구에서는 태양전지 종류 중에서 DSSC의 셀 면적과 염료 흡착 시간에 따른 EIS, I-V, UV-VIS 특성들을 비교 조사하여 다음과 같은 결론을 얻었다. I-V 특성에서 셀의 면적이 2.25 cm<sup>2</sup> 까지 증가하면 염료 흡착시간에 관계 없이 Voc는 4~10 %, Jsc 7~9 %, FF 6~17 % 까지 각각 감소하여 DSSC의 효율이 21~32 % 까지 감소하였다. 셀의 면적이 증가함에 따라 내부 임피던스가 40~60 Ω 정도 증가하게 되어 효율이 감소하는 것을 알 수 있었고, UV-VIS 특성 결과에 의한 흡광도는 면적에 따라 효율 변화에 큰 영향을 미치지 않았다. I-V 특성에서 흡착시간이 24시간으로 증가하면 J<sub>sc</sub>는 셀 면적에 따라 약 45 % 증가하고 36시간이 되면 약 20 % 까지 감소하게 되었다. 반면에 V<sub>oc</sub> 값은 시간에 따라 거의 변화가 없어 FF는 10 % 정도 증가하다가 14 % 정도 감소하였다. 따라서 효율 역시 42~49 % 까지 증가하다가 19~31 % 까지 감소하였다. 염료 흡착시간이 증가하면 24시간까지의 내부 임피던스가 약 65~85 Ω 정도 감소하여 효율이 상승하게 되고 24시간 이상이 되면 내부 임피던스가 10 Ω 정도 다소 증가하여 효율이 감소하였다. UV-VIS 분석을 통한 결과 24시간 이상의 흡착이 이루어져야만 광흡수가 제대로 일어남을 알 수 있었고, 특히 36시간에서는 600~700 nm의 영역에서 광흡수가 감소하여 내부 임피던스의 증가와 더불어 효율을 감소시켰다. 즉, 본 연구에서는 셀 면적이 제일 작은 0.25 cm<sup>2</sup>에 염료를 24시간 흡착시 7.11 % 라는 가장 좋은 효율을 가진 DSSC를 제작할 수 있었고, 향후 효율을 감소시키는 원인들을 찾아 개선해 나간다면 대면적 DSSC에서의 효율 상승의 기초 자료로 사용 될 수 있을 것이다.

### 참 고 문 헌

[1] 진영삼, "TiO<sub>2</sub> Passivating Layer의 제조방법에 따른 염료감응형 태양전지의 특성," 경원대학교 일반대학원 석사 학위 논문, 2011.

[2] T. Markvart, "Solar Electricity," John Wily Inc., pp.1-5, 24-35, 1994.

[3] M. Gratzel, "A photovoltaic device structure based on internal electron emission," Nature, 421, pp. 23-69, 2003.

[4] B. O'rgan, M. Gratzel, "A low cost, high efficiency solar cell based on dye sensitized colloidal TiO<sub>2</sub> films," Nature, 353, pp.73-77, 1982.

[5] H.-J. Kim, Y.-C. Kim, J.-T. Hong, M.-J. Kim, H.-W. Seo, J.-W. Park, J.-Y. Choi, "A Study of the Photo-Electric Efficiency of dye sensitized solar cell under lower light intensity," J. of Elec. Eng. & Tech., 2, 4, pp.413-552, 2007.

[6] M. Gratzel, "Solar energy conversion by dye sensitized photovoltaic cells," Inorg. Chem., 44, 20, pp.6841-6851, 2005.

[7] 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, pp.737-740, 1991.

[8] G. P. Kalaigan, M. S. Kang, and Y. S. Kang, Solid State Ionics, 177, pp. 109-111, 2006.

## 저 자 소 개



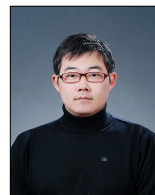
### 이 돈 규 (李 敦 揆)

1976년 10월15일생. 2002년 부산대 공대 전기공학과 졸업. 2004년 동 대학원 전기공학과 졸업 (석사). 2007년 동 대학원 전기공학과 졸업 (박사). 현재 동의대 조교수

E-mail : donkyu@deu.ac.kr

Tel : 051-890-2544

Fax : 051-510-1498



### 손 영 주 (孫 榮 洵)

1982년 12월 30일생. 2010년 동의대학교 전기공학과 졸업. 현재 동의대학교 대학원 전기공학과 석사 졸업.