



저작자표시 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이차적 저작물을 작성할 수 있습니다.
- 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

工學碩士學位論文

광전극 두께와 표면적 변형에 따른
DSSC의 효율 특성



2014 年 8月

釜慶大學校 大學院

電氣工學科

周澤原

工學碩士學位論文

광전극 두께와 표면적 변형에 따른 DSSC의 효율 특성

指導教授 權聖烈

이 論文을 工學碩士學位論文으로 提出함.



2014年 8月

釜慶大學校 大學院

電氣工學科

周澤原

周澤原의 工學碩士 學位論文을 認准함.

2014年 8月 1日



主 審 工學博士 裴 鍾 一 印

委 員 工學博士 禹 炅 一 印

委 員 工學博士 權 聖 烈 印

목 차

목 차	i
그림 목차	iii
표 목차	v
Abstract	vi
I. 서 론	1
II. 이론적 배경	3
1. 태양전지의 원리와 종류	3
가. 태양전지의 기본원리	3
나. 태양전지의 종류	4
2. 태양전지의 특성평가	6
가. 광전효과	6
나. I-V curve	8
다. Air mass	11
3. 염료감응형 태양전지	13
가. DSSC 개요	13
나. DSSC의 구조	14
다. DSSC의 구성	15
라. DSSC의 동작원리	18
III. DSSC 제작	20
1. DSSC 제작공정	20

가. 광전극 제작	20
나. 상대전극 제작	21
다. 두 기관 결합	21
2. 광전극 두께에 따른 DSSC 제작	23
3. 니들스탬프로 표면적 변형 DSSC 제작	24
4. Mesh로 표면적 변형 DSSC 제작	27
5. DSSC 특성 평가	30
IV. 결과 및 고찰	33
1. 광전극의 두께에 따른 DSSC 측정결과	33
2. 니들스탬프로 표면적 변형에 따른 DSSC 측정결과	37
3. Mesh로 표면적 변형에 따른 DSSC 측정결과	40
V. 결 론	42
참고문헌	44



그림 목차

그림 2.1 태양전지 분류	4
그림 2.2 태양전지의 Current - Voltage 특성 곡	8
그림 2.3 태양광 입사 각도에 따른 AM(air mass)의 값	12
그림 2.4 DSSC 구조	14
그림 2.5 DSSC 동작원리	18
그림 3.1 DSSC 제작공정	22
그림 3.2 제작된 DSSC Unit cell	23
그림 3.3 니들스탬프로 처리공정	24
그림 3.4 니들스탬프로 처리된 광전극 표면	25
그림 3.5 니들스탬프로 처리 시켜 제작된 DSSC Unit cell	26
그림 3.6 Mesh로 처리공정	27
그림 3.7 Mesh로 처리된 광전극 표면	28
그림 3.8 Mesh로 처리 시켜 제작된 DSSC Unit cell	29
그림 3.9 Scanning Electron Microscope	31
그림 3.10 전자 현미경	31
그림 3.11 Solar test system	32
그림 4.1 Tape casting layer에 따른 광전극의 두께	34
그림 4.2 광전극 두께에 따른 DSSC의 I-V curve	35
그림 4.3 광전극 표면적 변형에 따른 DSSC의 I-V curve	37
그림 4.4 광전극 표면적 변형에 따른 DSSC의 I-V curve	40

표 목차

표 4.1 광전극 두께에 따른 DSSC의 효율 및 전기적 특성	35
표 4.2 광전극 표면적 변형에 따른 DSSC의 효율 및 전기적 특성	38
표 4.3 광전극 표면적 변형에 따른 DSSC의 효율 및 전기적 특성	41



DSSCs efficiencies of modified photo electrode surface area and thickness

Zeyuan Zhou

Department of Electrical Engineering, The Graduate School,
Pukyong National University

Abstract

Photo electrode is an important component for DSSC. DSSCs electrical characteristics and efficiencies fabricated with different TiO_2 photo electrodes thickness and modified phoro electrode surface area were studied. $11\ \mu\text{m}$ TiO_2 photo electrode shows a 4.956% efficiency. Efficiencies and short circuit current density increased as tape casting thickness decreased. Modified surface area of the photo electrode by needle stamp processing were studied. 200 times needle stamp processing on photo electrodes shows a 5.168% efficiency. Modified surface area of the photo electrode by screen printing were studied. Screen printing processing on photo electrodes shows a highest 5.358% efficiency.

I. 서 론

최근 재생에너지원으로서 태양전지에 대한 관심은 계속해서 증가하고 있으며, 그 중요성 또한 더해가고 있다. 현재까지 개발된 여러 종류의 태양전지 중 실리콘을 이용한 태양전지는 높은 효율과 제조공정의 확보 등으로 가장 널리 사용되고 있다. 그러나 실리콘 태양전지 제조를 위해 고가의 장비와 원료가 사용되고, 이러한 경제적 문제점으로 발전단가가 한계치에 도달하고 있다. 1991년 스위스 로잔공대의 미카엘 그라첼 연구팀이 나노기술을 사용하여 염료감응형 태양전지(Dye sensitized solar cell : 이하 DSSC)에 대한 발표를 하였다 [1-4]. 이후 DSSC 태어나고 급속한 발전한다.

DSSC는 태양으로부터 입사되는 에너지의 약 44%에 해당하는 가시광을 효과적으로 이용하기 위해 가시광의 선택적 광 흡수대를 가지는 염료분자를 이용하고 있다. 또한 태양에너지를 흡수하는 염료분자와 여기전자를 통한 전하의 이동을 담당하는 넓은 에너지 밴드 갭(band gap) 반도체의 역할이 분리되어 있으며, 염료분자에서 생성된 정공은 산화-환원 프로세스를 이용한 전해질에 의해 환원되는 비교적 간단한 소자 구조를 가지며 제작 방법 또한 간단해 많은 관심을 모으고 있다. 이러한 DSSC의 구동 방식은 광합성의 원리를 적용하고 있으며, 소재 또한 친환경 재료다.

일반적인 DSSC는 광전극(photo electrode), 상대전극(counter electrode), 염료(dye), 전해질(electrolyte)로 구성되어 있다 [5-9]. 광전극의 재료로는 TiO_2 , ZnO , SnO_2 와 같은 넓은 에너지 밴드 갭을 가지는 n형 전이금속 산화물들로 구성될 수 있다 [10-13]. 그 중 광전극의 재료로 가장 많이 사용되고 있는 TiO_2 는 높은 내부 표면적과 제조의 용이성, 화학적 안정성을 가지

고 있다 [14-16]. 앞서 말한바와 같이 DSSC는 광전극의 TiO_2 표면에 화학적으로 흡착된 염료 분자가 태양광을 받아 전자를 발생시킨다. 그러므로 TiO_2 층의 두께 및 형성은 염료와 함께 DSSC의 효율을 결정짓는 요소 중에 하나이다 [17-19]. 이러한 TiO_2 층을 형성하는 방법은 닥터 블레이드(doctor blade), 스핀코팅(spin coating) 그리고 스크린 프린팅(screen printing) 등이 있다 [20-22].

본 연구에서는 DSSC 제작에서 TiO_2 광전극의 두께와 표면적 변형에 따른 DSSC의 전기적 특성 및 효율을 측정 비교한다.



Ⅱ. 이론적 배경

1. 태양전지의 원리와 종류

가. 태양전지의 기본원리

태양전지의 셀 구조에 따라서는 반도체 pn 접합형과 반도체/액체 광전기화학형(photoelectrochemical) 태양전지로 나눌 수 있다. 염료감응형 태양전지는 광전기화학형에 속하며, 유기분자형은 pn 접합형과 유사하다.

빛이 태양전지에 입사되었을 때 p형 반도체의 전도체 전자는 입사된 광에너지에 의해 가전대로 여기 된다. 이렇게 여기된 p형 반도체 내부에 한 개의 전자-정공 쌍을 생성하게 된다. 여기서 발생한 전자-정공쌍 중 전자는 p-n 접합 사이에 존재하는 전기장에 의해 n형 반도체로 넘어가게 되어 외부에 전류를 공급하게 된다. 여기서 전기장은 p형 반도체와 n형 반도체를 서로 결합시켜 접합을 만들면 n형 반도체에 존재하는 과잉전자는 p형 반도체로, p형 반도체에 존재하는 과잉정공은 n형 반도체로 확산하게 되며, 확산된 전자-정공의 빈자리는 양이온-음이온을 각각 띄게 된다. 태양전지에서 전기장은 태양광에 의해서 발생한 전자 혹은 정공을 다른 쪽으로 이동시켜 전류를 생성시키는 역할을 한다.

나. 태양전지의 종류

태양전지는 소재, 이용분야 및 구조에 따라 분류할 수 있으며, 소재의 경우 실리콘, 화합물 반도체와 같은 무기 태양전지와 DSSC를 포함하여 유기 물질을 사용한 유기 태양전지로 나눌 수 있다. 이용목적에 따라서는 지상용 또는 위성용 태양전지로 구분하며, 구조에 따라서는 반도체 pn 접합형과 반도체/액정 광전기 화학형 태양전지(PEC)로 나눌 수 있다. 소재에 따라 태양전지를 분류하면 그림 2.1과 같다.



그림 2.1 태양전지 분류

(1) 무기 태양전지(Inorganic solar cells)

무기소재의 무기 태양전지는 무기소재로 구성된 태양전지이며, 실리콘 태양전지와 같은 반도체 특성을 지니는 태양전지가 이에 속한다. 보통 p-형 반도체와 n-형 반도체를 접합하여 제조된다. 반도체의 밴드 갭 에너지보다 큰 에너지를 가지는 태양광이 태양전지에 입사되면 태양전지가 광

자를 흡수하여 전자-전공 쌍을 형성하여 내부 전기장에 의해 접합부를 거쳐 n-형 반도체 전극으로 전자가 이동하여 단락회로 상에서 전류를 발생하게 된다. 이때 개방전압은 두 반도체의 밴드 갭 에너지 차에 의해 결정된다.

(2) 유기 태양전지(Organic solar cells)

유기 태양전지는 유기분자형 태양전지와 DSSC로 나누어지며, 1990년대 중반부터 주로 연구되기 시작하였다. 유기분자형 태양전지의 경우 전자 도너(electron donor) 특성과 전자 억셉터(electron acceptor) 특성을 갖는 유기물들로 구성되어 있으며, 빛을 흡수하면 전자와 정공이 형성되는데 이것을 여기자(exciton)라 한다. 빛의 흡수로 생성된 여기자는 D-A 계면으로 이동하여 전하가 분리되고, 전자는 억셉터로, 정공은 도너로 이동하여 광전류가 발생하게 된다. 이때 여기자가 이동할 수 있는 거리는 10 nm로 매우 짧기 때문에 광활성 유기분자 물질을 매우 얇게 쌓게 된다. 이로 인해 플라스틱 기판 등에 이용하여 유연한 태양전지 제조에 적합하다.

2. 태양전지의 특성평가

가. 광전효과

광전효과(Photoelectric effect)는 보통 금속 표면에 빛을 쬔었을 때 금속 표면에서 전자가 튀어나오는 현상을 말한다. 넓은 의미로는 복사 에너지가 가시광선·자외선·X선· α 선 영역이고 물질이 고체·액체·기체이며, 방출된 입자가 전자나 이온(대전된 원자 혹은 분자)인 경우도 포함된다.

빛을 금속의 표면에 쬔었을 때 빛의 흡수가 일어나 자유롭게 움직이는 전자, 즉 광전자를 방출하는 현상을 말한다. 전자를 해방하는데 필요한 최소의 에너지를 W , 빛의 진동수를 ν , 플랑크 정수를 h 로 하면 $h\nu - W$ 가 광전자의 운동에너지로, $h\nu_0 = W$ 로 정해지는 한계진동수 ν_0 이상의 빛의 흡수에 의한 광전효과가 일어난다. ν_0 는 물질에 따라 다르며, $h\nu_0 = W$ 를 물질의 일함수라 한다. 광전효과는 흡수체 및 방출되는 전자의 상태에 따라 다음 네 가지로 분류된다.

금속 밖으로 나간 전자가 가진 에너지는 광자가 가진 에너지에서 일함수를 뺀 값이 되면 아래의 식과 같이 나타난다.

$$\frac{1}{2}mv^2 = h\nu - w$$

여기서 $h\nu$ 는 광자의 에너지로 h 는 플랑크상수, ν 는 빛의 진동수이다. $(1/2)mv^2$ 은 금속 밖으로 나간 전자의 고전적 운동에너지로서 m 은 전자의 질량, v 는 속도이다. 태양전지에서 이용되는 광전효과는 광기전력효과로 광 에너지에 의해 반도체 내에 만들어진 전자와 정공이 접촉전위차로 인해 분

리되어 양쪽 물질에 서로 다른 종류의 전기가 나타나는 광기전력이 발생하며, 이때 생성된 전류인 광전류가 이용된다.

광전변환효율(monochromatic incident photon-to-electron conversion efficiency, 이하 : IPEC)은 입사 광자 - 전자로 변환효율이며, 단위 시간에 외부 회로 생성된 전자(N_e)수 및 입사 광자(N_p)수의 비율이다. IPEC 계산 방법을 아래 식과 같이 나타낸다.

$$IPCE = 1240 I_{sc} / (\lambda P_{in})$$

광전변환효율은 태양전지의 성능을 나타내는 가장 중요한 측정 지수이다. 광전변환 효율은, 입사되는 태양 복사광 에너지와 태양전지의 단자에서 나오는 전기 출력에너지의 비를 백분율로 표시할 수 있다. 즉, 태양전지에 입사된 광 에너지 중 어느 정도를 전기에너지로 변환할 수 있는지를 수치로 나타낸 것이다.



나. I-V curve

반도체 전극은 다른 파장의 광전변환 능력이 광전류 작용 스펙트럼으로 나타나며, 염료감응형 태양전지를 Solar test system로 측정하여 나타나는 일반적인 I-V curve를 그림 2.2에 나타내었다.

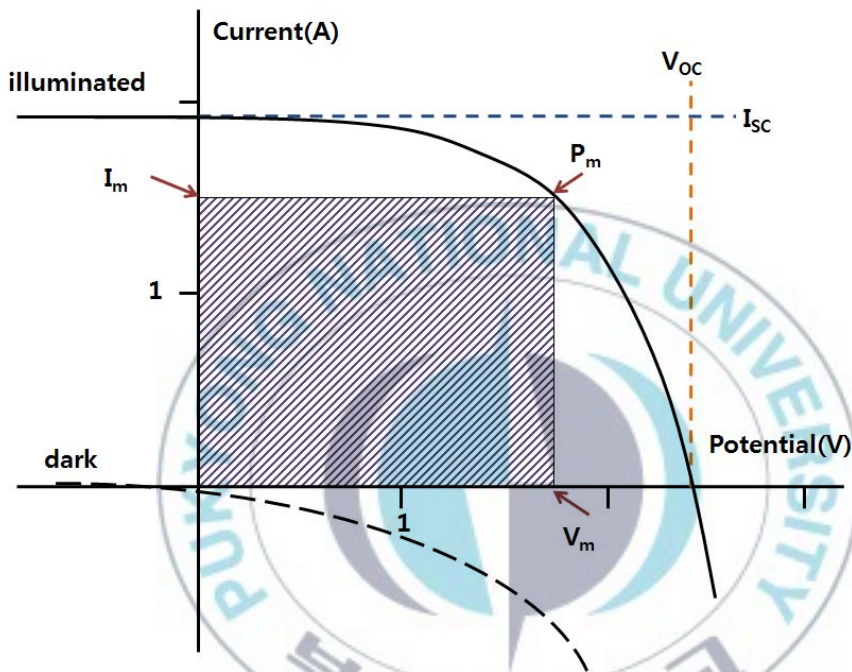


그림 2.2 태양전지의 Current - Voltage 특성 곡

전형적인 태양전지의 전류-전압 특성을 나타내는 그래프이다. 그림 중에 나타나 있는 부분중 최적 동작점이란 최대출력이 얻어지는 동작점을 말하며, 그 때 최대출력 P_{max} 은 I_p 와 V_p 의 곱을 얻어진다. 개방전압은 회로에서 큰 저항이 걸려 광전류가 흐르지 않을 때 생성된 광전압으로 전지에서

얻을 수 있는 깁스 자유 에너지, 즉 무한대의 임피던스가 걸린 상태에서 빛을 받았을 때 태양전지의 양단에 형성되는 전위차이며, 즉 정-부극간 개방 상태에서 전압이다. 단락전류는 회로가 단락된 상태에서 나타나는 전류, 외부저항이 없는 상태에서 빛을 받았을 때 나타나는 역방향(음의 값)의 전류이며, 즉 정-부극간 개방상태에서 전류이다. 최대전압과 최대전류는 최대출력 시 동작한 전압과 전류 값이다.

(1) 단락 전류 (Shortcircuitcurrent, I_{sc})

I_{sc} 는 광전압이 생성되지 않았을 때, 전지에서 얻을 수 있는 최대 전류밀도이며 전자-정공 쌍으로 전환되는 광양자수의 총 수와 같다.

(2) 개방전압 (Opencircuitpotential, V_{oc})

V_{oc} 는 회로에 큰 저항이 걸려 광전류가 흐르지 않을 때 생성된 광전압으로 전지에서 얻을 수 있는 Gibbs자유에너지이다. 높은 V_{oc} 를 얻기 위해서는 Chargecarrier의 확산거리 및 donor와 acceptor의 도핑농도가 가급적 커야하고, 결정의 부피가 얇은 박막과 같이 가급적 작아야 한다.

(3) 충전계수 (Fill factor, FF)

충전계수는 그림 2.2에 나타나 있듯 전지에서 출력의 최대전력 점(max power point)에서의 전류밀도와 전압 값의 곱을 개방전압과 단락전류의 곱으로 나눈 값이다.

$$Fill\ Factor = \frac{P_{MAX}}{P_T} = \frac{I_{MAX} \times V_{MAX}}{I_{SC} \times V_{OC}}$$

따라서 곡선인자는 빛이 가해진 상태에서 그림 2.2의 전류-전압 곡선의

모양이 사각형에 얼마나 가까운가를 나타내는 지표로 전지의 성능을 나타내는 주요한 척도이다.

(4) 광전변환효율 (η)

태양전지의 효율 η 는 광전출력과 투입된 태양광 에너지의 비율로써 다음과 같이 정의된다. 즉 빛에너지가 전기 에너지로 변환되는 태양전지의 효율은 AM 1.5 조건 100 mW/cm^2 에서 입사광 에너지(P_{IN})와 전지에 생산된 최대 전력의 비율로 다음과 같이 정의 된다.

$$Efficiency = \frac{P_{OUT}}{P_{IN}} = \frac{J_{SC} \times V_{OC} \times F.F}{Input\ power}$$

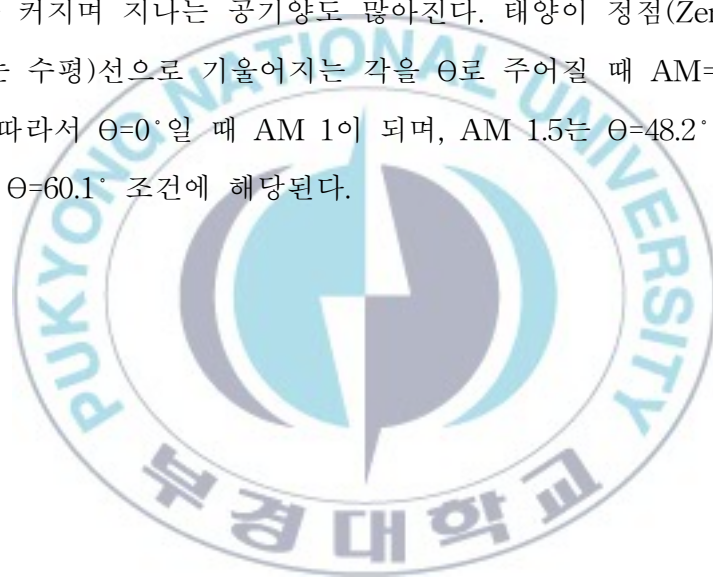
P_{OUT} 은 최대전력 점에서 소자가 나타내는 최대파워를 나타내며, P_{IN} 은 소자에 조사하는 빛의 면적당 파워이다.



다. Air mass

태양전지는 solar simulator를 이용하여 성능을 평가한다. 측정조건은 일반적으로 상온, AM(Air mass) 1.5(100 mW/cm^2)의 광원의 조건에서 평가가 이루어지도록 한다.

태양에너지가 지구표면에 도달할 때 대기권에 의해 흡수, 반사 및 굴절 과정을 거쳐 세기가 감소되는데, 이와 같이 감소되는 정도를 “Air Mass (AM)”로 정의한다. 태양빛이 통과하는 공기의 양을 말하는 것으로 즉, AM 0이라는 것은 공기를 하나도 지나지 않는 태양빛, 태양광이 대기권을 통과하여 지구표면에 수직으로 도달할 때를 AM 1로 정의한다. 그리고 숫자가 커질수록 각도가 커지며 지나는 공기양도 많아진다. 태양이 정점(Zenith)으로부터 지평(또는 수평)선으로 기울어지는 각을 θ 로 주어질 때 $AM = (1/\cos \theta)$ 로 정의된다. 따라서 $\theta = 0^\circ$ 일 때 AM 1이 되며, AM 1.5는 $\theta = 48.2^\circ$ 일 때 그리고 AM 2는 $\theta = 60.1^\circ$ 조건에 해당된다.



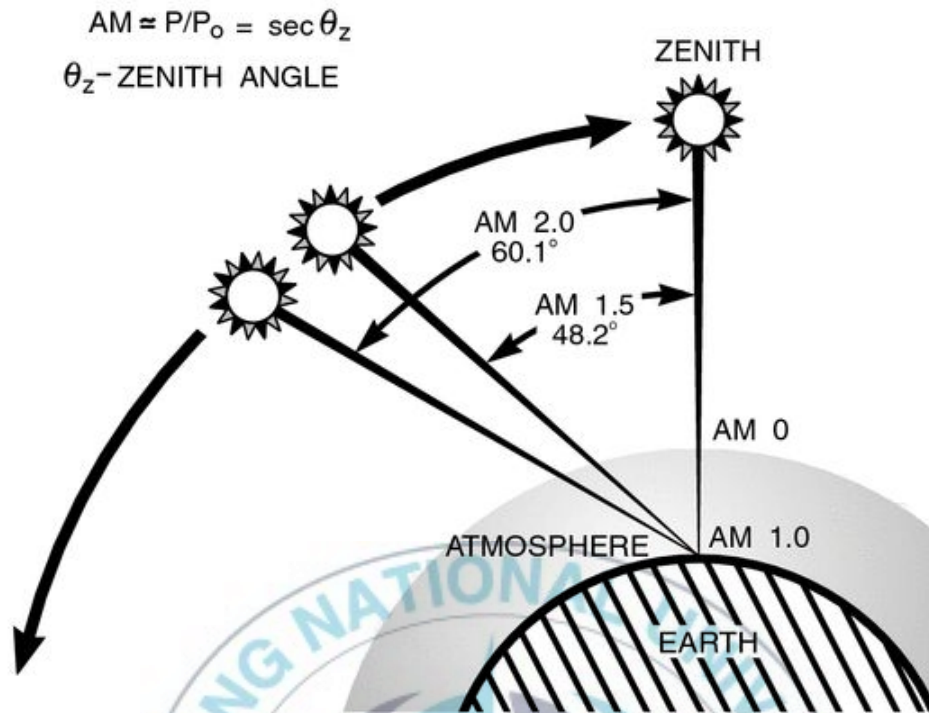


그림 2.3 태양광 입사 각도에 따른 AM(air mass)의 값

일반적으로 통용되는 값은 AM 1.5 이다. 그림 2.3에서 수직 기준으로 48.2°를 이루고 있을 때의 값이다. 태양 자체에서 발산되는 파장대가 훨씬 넓지만, 지구 대기를 통과면서 UV영역을 비롯해 많은 부분이 차단된다. 실제 지표면에 도달하는 파장 영역은 2760~4960 nm 이며, 각각의 파장별 에너지를 다 합치게 되면 AM 1.5의 경우 1001 W/m²가 나오게 된다. 또한 DSSC의 전기적 특성 및 효율 측정 시 Air mass 1.5의 조건으로 측정한다.

3. 염료감응형 태양전지

가. DSSC 개요

태양전지에 관한 연구는 1893년 베크렐(Becquerel)에 의해 전해용액 속에 놓인 전극에 태양광을 비출 때 전기가 발생하는 현상인 광전효과로부터 시작된다. 이를 이용한 실용적인 태양전지는 1954년 벨 전화 연구소의 연구진들이 p-n접합을 이용하는 효율 6%의 전지를 제작함으로써 시작되었다. 1970년대의 에너지파동을 겪으면서 값싸고, 신뢰성 있는 태양전지의 개발이 본격적으로 이루어지게 되었다.

반도체 접합 태양전지와는 달리 광합성 원리를 이용한 DSSC는 기존의 실리콘 태양전지를 대체할 새로운 태양전지의 한 종류로 실리콘 태양전지에 비해 낮은 제조 단가와 우수한 안정성 등의 장점을 가지고 있다. 이 전지와 기존의 태양전지의 근본적인 차이점은, 기존 태양전지의 경우, 태양에너지의 흡수과정과 전자-전공 쌍이 분리되어 전기의 흐름을 만드는 과정이 반도체 내에서 동시에 일어나는 것에 비해, DSSC는 태양에너지의 흡수과정과 전하이동 과정이 분리되어 태양에너지 흡수는 염료가 담당하고, 전하의 이동은 전자의 형태로 반도체에서 담당한다는 것이다. 이러한 DSSC는 90년대 초 미카엘 그라첼 연구팀에 의해 처음 소개 되었고, 본격적인 연구는 2000년 이후 일본을 중심으로 많은 연구가 진행되었다 [23, 24].

나. DSSC의 구조

그림 2.4에 전형적인 DSSC의 구조를 나타내었다. 투명기판 위에는 투명 전극이 코팅되어 있으며, 나노입자로 구성된 다공질 TiO_2 와 TiO_2 입자의 표면에 단분자층으로 흡착된 염료분자, 상대전극 및 두 전극 사이를 채우고 있는 전해질로 구성된다.

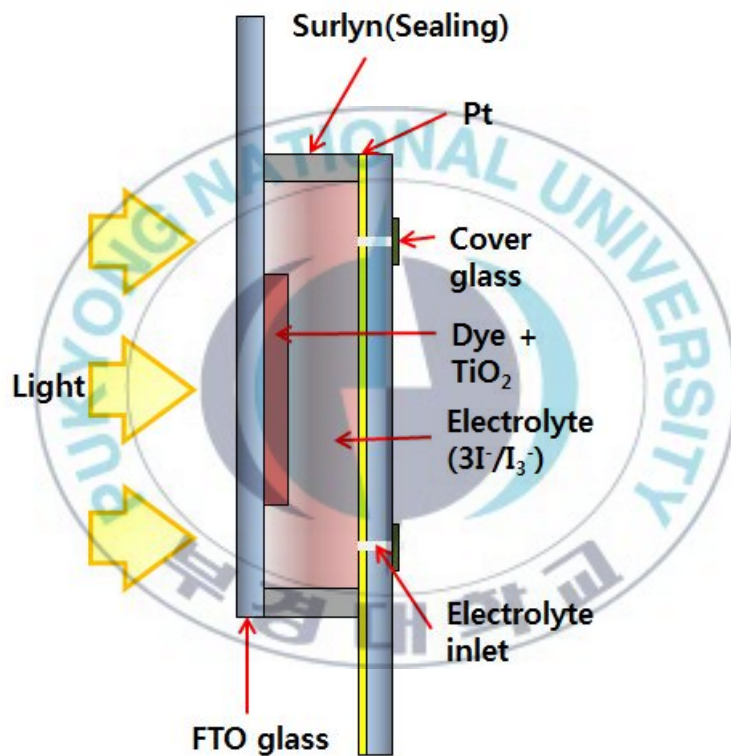


그림 2.4 DSSC 구조

다. DSSC의 구성

(1) 투명전극

전도성 기판은 태양광이 투과되어 염료에 도달하여야 하므로 투명전극을 사용한다. 대표적으로 알려진 투명 전극으로는 ITO(Indium Tin Oxide, $\text{In}_2\text{O}_3\text{-Sn}$), FTO(Fluorine-doped Tin Oxide, $\text{SnO}_2\text{:F}$), AZO(Aluminium doped Zinc Oxide)등이 있다. DSSC에서 나노입자 산화물 전극을 투명 전도성 기판에 만들기 위해서는 400~500℃의 열처리가 필요하다. 따라서 투명 전도성 기판의 온도 안정성을 고려할 필요가 있다. ITO의 경우 가장 우수한 전기 전도성을 가지고 있으나 300℃의 온도에서 면저항이 3배정도 커진다[27]. 저항의 증가는 태양전지의 효율을 감소시키는 요인이 된다. CVD(chemical vapor deposition) 공법으로 제조되는 FTO는 열적 안정성이 우수하고, 비교적 낮은 표면저항과 약 2.2~3.2 μm 의 두께에 86% 이상의 높은 투과율을 가지고 있으며 또한 TiO_2 와의 친화력이 ITO보다 뛰어나 염료로부터 발생한 전자의 에너지 소실 또는 재결합을 감소할 수 있어 주로 사용되고 있다. ITO의 경우 온도안정성 등의 단점이 있지만 유연성 전지의 제작을 위해 사용되는 플라스틱 전도성 기판에 활용되고 있다.

(2) 광전극

DSSC에 사용되는 광전극 재료는 주로 나노결정의 반도체 산화물이 사용된다. 주로 염료를 흡착할 수 있는 전극 소재로 에너지 밴드 갭이 큰 반도체 나노 결정이 사용된다. 나노 크기의 물질을 사용하는 이유는 입자 크기 감소에 의한 비표면적 증가로 보다 많은 양의 광감응(sensitizer)염료분자를 흡착시킬 수 있기 때문이다. 입자의 크기가 수 나노미터 이하로 지나치게 작게 되면 염료 흡착량은 증가하지만, 반면 표면상태 수가 증가하게 되어

재결합 자리 수 또한 증가하게 되는 단점도 가지고 있다. 따라서 입자크기 (size), 형상(morphology), 결정성(crystallinity)등이 양극 전극의 중요한 변수가 된다.

DSSC용 나노 반도체 산화물을 선택할 때 가장 먼저 고려해야 할 부분은 에너지 전도대(conduction band) 값이다. 반도체의 에너지 전도대 값은 염료의 전도대보다 낮아야 한다. 가장 많이 사용되고 있는 재료는 TiO_2 나노 입자이고, 이는 광학적으로 우수한 안정성을 나타내며 3.2eV의 큰 에너지 밴드 갭을 갖고 있으며, 염료의 전도대보다 약 0.2eV 낮은 에너지 전도대를 갖고 있다.

(3) 염료

DSSC에서 염료가 갖추어야 할 조건은 첫째 가시광선 전영역의 빛을 흡수할 수 있고, 둘째 광계수가 높아야 하며, 셋째 나노산화물 표면과 견고한 화학결합을 이루고 있어야 하며, 넷째 열 및 화학적 안정성을 지니고 있어야 한다. 염료의 LUMO level은 특히 전하분리 나노산화물 소재의 전도대 에너지 보다 높게 설계해야 한다. DSSC에 사용되는 염료는 유기금속화합물, 유기화합물 그리고 InP, CdSe 등의 양자점 무기화합물이 알려져 있다. 지금까지 알려진 염료 중에는 루테튬계 유기금속화합물이 가장 우수한 것으로 보고되고 있다. Ru계 염료는 중심금속 Ru 주위에 피리딘계 리간드와 SCN 리간드가 배위되어 있다. 피리딘 고리가 2개, 3개, 4개로 증가하면 MLCT(금속에서 리간드로 전하이동)에 해당하는 피크가 파장으로 이동하고 흡광계수는 감소한다. 루테튬계 염료 중에서 대표적인 것으로 붉은색을 띄는 N3 (N3 염료는 수소가 4개 있으며, 이중금2개가 terabui 왕색을며, 익색 이온으로 치환 된 것을 N719로 명명함)와 검은색의 N749 염료가 있다. 그리고 N886의 검은색 염료가 개발되었다.

(4) 전해질 및 홀 전도체

DSSC용 전해질은 I^-/I_3^- 와 같이 산화-환원 종으로 구성되어 있으며, I^- 이온의 source로는 LiI, NaI, 또는 이미다졸리움 요오드 등이 사용되며, I_3^- 이온은 I_2 를 용매에 녹여 생성시킨다. 전해질의 매질은 acetonitrile과 같은 액체 또는 PVdF와 같은 고분자가 사용될 수 있다. I^- 는 염료분자에 전자를 제공하는 역할을 하고 산화된 I_3^- 는 상대전극에 도달한 전자를 받아 다시 I^- 로 환원된다. 액체형의 경우 산화-환원 이온종이 매질 내에서 신속하게 움직여 염료의 재생을 원활하게 도와주기 때문에 높은 에너지변환 효율이 가능하지만, 전극간의 집합이 완벽하지 못할 경우 누액의 문제를 가지고 있다. 반면 고분자를 매질로 채택할 경우에는 누액의 염려는 없지만 산화-환원 종의 움직임이 둔화되어 에너지변환 효율에 나쁜 영향을 줄 수 있다. 따라서 고분자 사용할 경우에는 산화-환원 이온 종이 매질 내에서 신속하게 전달될 수 있도록 설계하는 것이 필요하다.



라. DSSC의 동작원리

염료감응형 태양전지는 식물이 광합성 작용을 통해 받은 태양에너지를 전자의 흐름으로 만들어내어 산화환원작용의 에너지로 쓰는 것과 같은 원리로 제작되어진 태양전지이다. DSSC의 동작원리가 그림 2.5와 같이 나타난다.

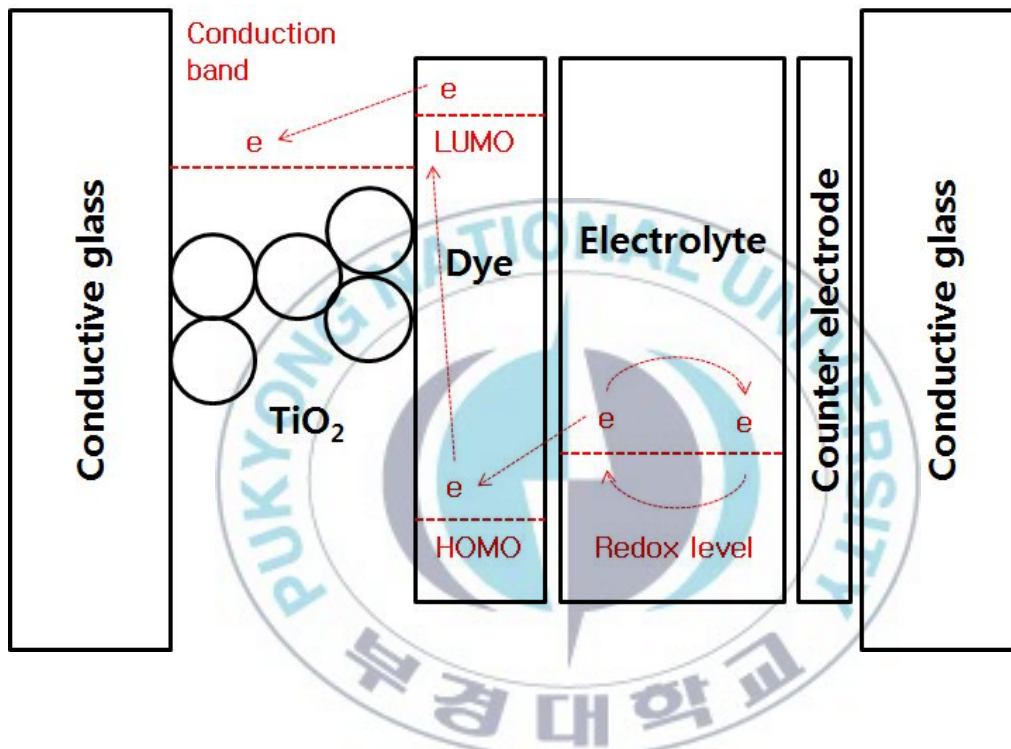
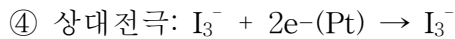
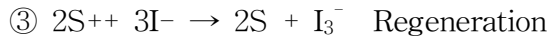


그림 2.5 DSSC 동작원리

DSSC가 작동하는과정을 요약하면 다음과 같다.

- ① 광전극: $S + h\nu \rightarrow S^*$ Absorption
- ② $S^* \rightarrow S^+ + e^-(TiO_2)$ Electron injection



태양전지에 태양광이 입사되면 투명기판과 투명전극을 투과한 광자는 TiO_2 광전극에 화학적으로 흡착된 염료분자에 의해 흡수된다 [25]. 표면광자를 흡수한 염료는 전자, 전공 쌍을 생성하며, 전자가 여기 된다. 여기된 전자는 HOMO(highest occupied molecular orbital) 레벨에서 LUMO(lowest unoccupied molecular orbital) 레벨로 이동된다(반응①). 이때 전자가 발생 하는데 발생된 전자는 TiO_2 의 전도대로 여기 된다(반응②). 여기 된 전자는 다공성의 나노 결정 구조의 TiO_2 를 통해 이동을 하여 투명전극에 도달한다. 광전극로 이동한 전자는 회로를 따라 반대편 상대전극으로 이동하게 된다. 전해질의 I^3 은 여기에 도달한 전자와 반응을 하여 I^- 이 된다(환원 반응④). 전해질의 I^- 은 다시 산화 되었던 염료에 전자를 전달하게 되어 I^3 로 된다(산화 반응③). 즉, 산화 되었던 염료는 전자를 받게 됨에 따라 바닥상태로 환원되어한 사이클이 닫힌다. 이러한 산화-환원반응에 의해 사이클이 계속 재생이 될 수 있는 것이다 [26-28].

Ⅲ. DSSC 제작

1. DSSC 제작공정

가. 광전극 제작

DSSC의 광전극 제작에 사용된 기판은 Fluorine Tin Oxide(이하 FTO라 칭함) glass 이며, FTO glass(TEC 7, thickness 2.2mm, Sheet resistance $7 \Omega/\square$, Pilkington) 표면의 유기물과 무기물 제거를 위해 아세톤, 에탄올, D.I water로 각각 5분 동안 초음파 세척 후 질소가스를 blowing하여 건조하였다. 세척된 FTO glass를 질소 blowing 후 hot plate 온도 40°C 에서 2분 건조하였다.

건조된 FTO glass위에 테이프 캐스팅 후 닥터 블레이드 방식으로 TiO_2 paste(Ti-nanoxide paste, particle size $100 \pm 20 \text{ nm}$, Tera Korea)를 도포하였다. 그리고 전기로에서 30분간 450°C 의 온도에서 소성하였다. 냉각된 광전극 기판을 N719 염료(cis-diisothiocyanato - bis(2,2'-bipyridyl-4,4'-dicarboxylato) ruthenium(II) bis-tetrabutylammonium 0.5 mMol) 염료에 24시간 함침 하였다. 함침 후 TiO_2 광전극에 흡착되지 않은 염료의 제거와 수분제거를 위해 에탄올로 세척한 후 건조하여 광전극 기판을 제작하였다.

나. 상대전극 제작

상대전극 제작 전 전해질 주입을 위한 직경 0.75 mm의 주입구를 천공 후 광전극 제작에서와 같은 방법으로 세척, 건조하였다. 천공 후 세척된 FTO glass에 테이프 캐스팅 후 닥터 블레이드 방식으로 Pt paste(Platisol T, Solaronix)를 도포하였다. 전기로에서 450℃의 온도로 10분 동안 소성한 후 기판을 전기로 내에서 상온까지 냉각시켜 Pt 상대전극 기판을 제작하였다.

다. 두 기판 결합

광전극과 상대전극 두 기판을 위해 surlyn film(Meltonix, Solaronix)을 제작된 광전극 기판의 활성영역 가장자리에 위치시켜 고정하였다. Surlyn film이 고정된 광전극 기판 위에 상대전극 기판의 전해질 주입구의 위치가 surlyn film의 내부를 벗어나지 않도록 상대전극 기판을 정렬하여 클램프로 고정하였다.

고정된 두 기판을 hot plate 온도 120℃에서 3분 동안 가열하여 surlyn film과 두 기판을 결합하였다. 상온까지 냉각된 두 기판의 주입구를 통해 전해질(acetonitrile base electrolyte 0.1 M LiI, 0.6 M DMPII, 0.05 M I₂, 0.5 M TBP)을 주입하고 주입구를 밀봉하여 DSSC를 완성하였다. 그림 3.1에 DSSC의 제작과정을 간략히 나타내었다.

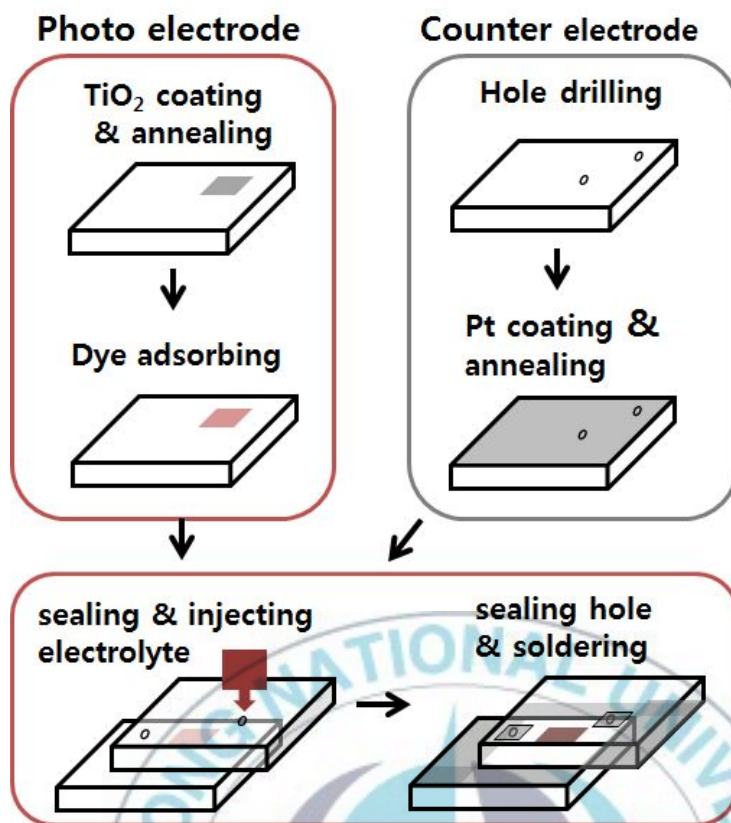


그림 3.1 DSSC 제작공정

2. 광전극 두께에 따른 DSSC 제작

광전극의 두께가 다른 DSSC의 제작을 위해 0.25cm^2 활성영역을 제외한 FTO glass 표면에 테이프 캐스팅 시 테이프의 두께와 layer를 달리하여 제작하였다. 테이프의 두께와 layer는 각각 $30\text{ }\mu\text{m}$, 1 layer 테이프 캐스팅과 $50\text{ }\mu\text{m}$ 로 1, 2, 그리고 3 layer 테이프 캐스팅하였다. 이후 3.1의 DSSC 제작 과정에서와 같이 TiO_2 paste를 도포 후 전기로에서 450°C 의 온도로 30분 동안 소성하였다. 그리고 각각 두께가 다른 TiO_2 층이 형성된 FTO glass를 염료에 함침 하여 광전극 기판을 제작하였다.

상대전극 제작 및 셀의 조합은 3.1에서 제작 과정과 같이 나타내었다. 실제 제작된 DSSC의 사진은 그림 3.2에 나타내었다.

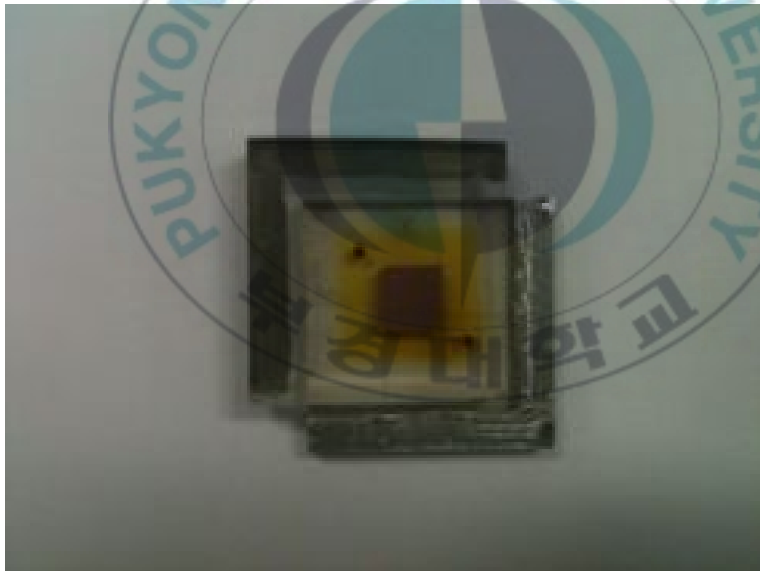


그림 3.2 제작된 DSSC Unit cell

3. 니들스탬프로 표면적 변형 DSSC 제작

TiO₂ 층의 표면구성은 염료와 함께 DSSC의 효율을 결정짓는 요소 중에 하나이다. TiO₂ 층의 제작 시 특정 방법을 통해 표면적을 변형시켜 일반적인 제작과 비교하여 효율 및 전기적 특성을 측정하였다.

광전극의 표면적을 변형시키기 위해 니들(42.4*0.56 mm, CROWN) 30개를 이용해 니들스탬프로 제작하였다. 니들스탬프로 광전극 표면적을 변형하기 위한 공정을 그림 3.3에 표시하였다.

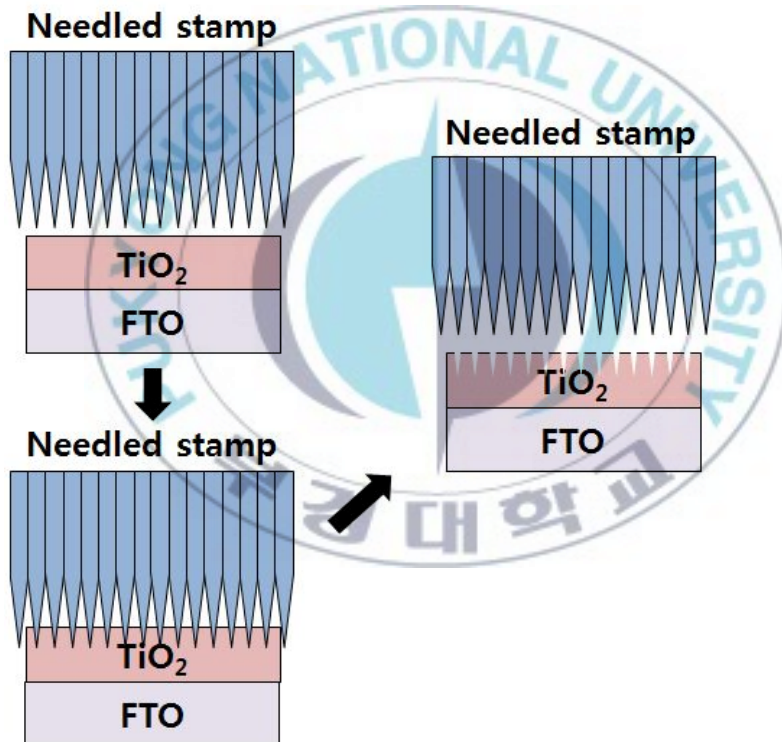


그림 3.3 니들스탬프로 처리공정

TiO₂ 층의 표면에 니들스탬프 처리 시 최적 온도와 처리시간을 조절하고 실험을 통해 확인하였다. SEM(TESCAN, Vage II LSU)으로 측정한 결과를 그림 3.4에 나타내었다. 도포된 TiO₂를 70℃~80℃ 사이에서만 2분간 열처리하였을 때 니들스탬프 처리가 가능하였다. 70℃ 이하의 온도에서 실험 시 광전극 제작 후 표면의 변화가 나타나지 않았다. 80℃ 이상에서는 TiO₂ 층 표면이 경화되어 니들 스탬프 처리 이후 크랙(crack)이 발생함을 확인하였다.

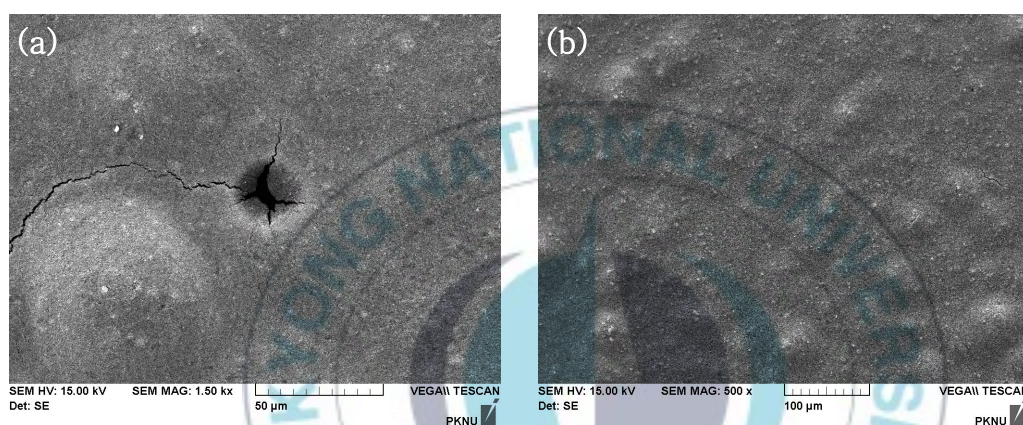


그림 3.4 니들스탬프로 처리된 광전극 표면 (a) Needle stamp on photo electrodes surface in more than 80℃, (b) Generally photo electrode.

이후 니들스탬프 처리는 75℃에서 수행하였다. 0.25cm² TiO₂ 광전극 형성을 위하여 FTO glass 표면에 30 μm 테이프로 1 layer 테이프 캐스팅하였다. Hot plate 온도를 75℃로 설정하여 TiO₂ paste가 도포된 FTO glass를 2분 동안 열처리하였다. 그런 다음 TiO₂ 층의 표면에 니들스탬프 처리하였다. 그림 2와 같이 니들스탬프 처리 시 각각 100회,

200회로 나누어 처리하였으며, 변형된 기판을 전기로에서 450°C 의 온도로 30분 동안 소성하였다. 이후 80°C 까지 냉각된 기판을 염료에 24 시간 함침 후 표면이 변형된 광전극을 제작하였다.

상대전극 제작 및 셀의 조합은 3.1에서 제작 과정과 같이 나타내었다. 실제 제작된 DSSC의 사진은 그림 3.5에 나타내었다.

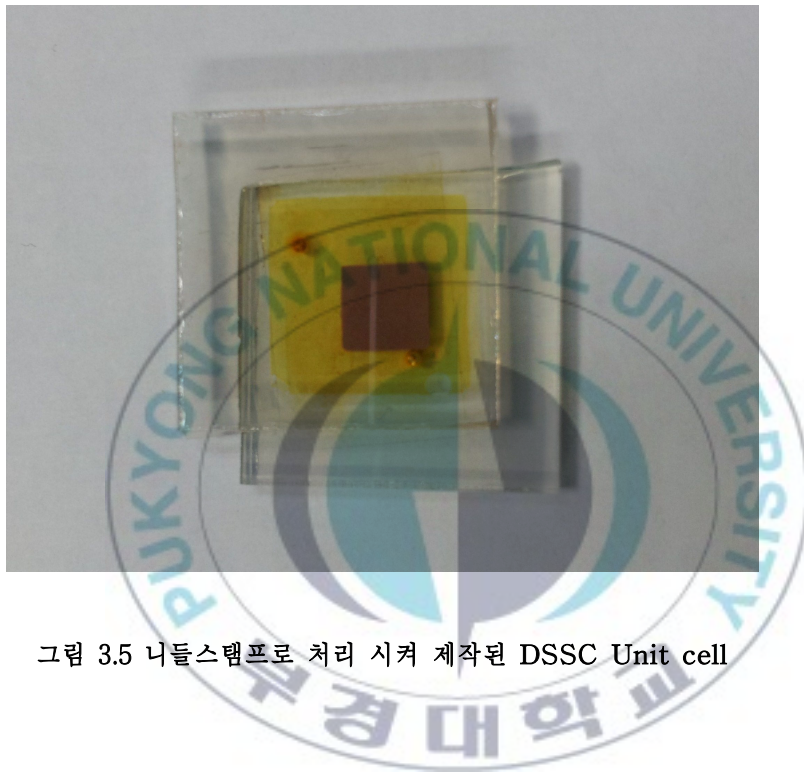


그림 3.5 니들스탬프로 처리 시켜 제작된 DSSC Unit cell

4. Mesh로 표면적 변형 DSSC 제작

Mesh로 표면적 변형에 따른 광전극 제작하기 위해 mesh를 통해 광전극의 표면에 처리한다. 처리 방법은 그림 3.6에 나타내었다.

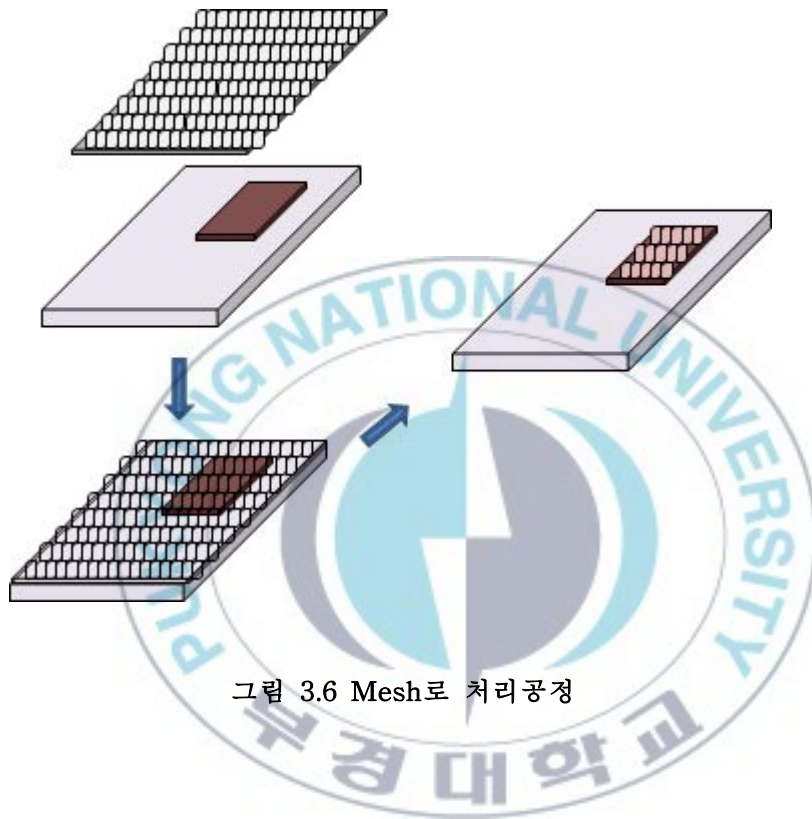


그림 3.6 Mesh로 처리공정

0.25cm^2 TiO_2 광전극 형성을 위하여 FTO glass 표면에 $30\text{ }\mu\text{m}$ 테이프로 1 layer 테이프 캐스팅하였다. TiO_2 층의 표면적 변형을 위해 mesh를 이용해 처리하였다. 처리 방법은 FTO glass위의 도포된 TiO_2 표면에 mesh를 고정하고 Hot plate 온도를 70°C 로 설정하여 2분 동안 열처리하였다. 고정된 mesh를 제거하며 처리과정을 마무리 하였다. 이후 광전극 바로 전기로

에서 450℃의 온도로 30분 동안 소성하였다. 이후 80℃까지 냉각된 기판을 24 시간 함침 후 표면이 변형된 광전극을 제작하였다.

처리된 TiO_2 층을 140 배율의 전자 현미경으로 측정한 결과 그림 3.7에 나타내었다.

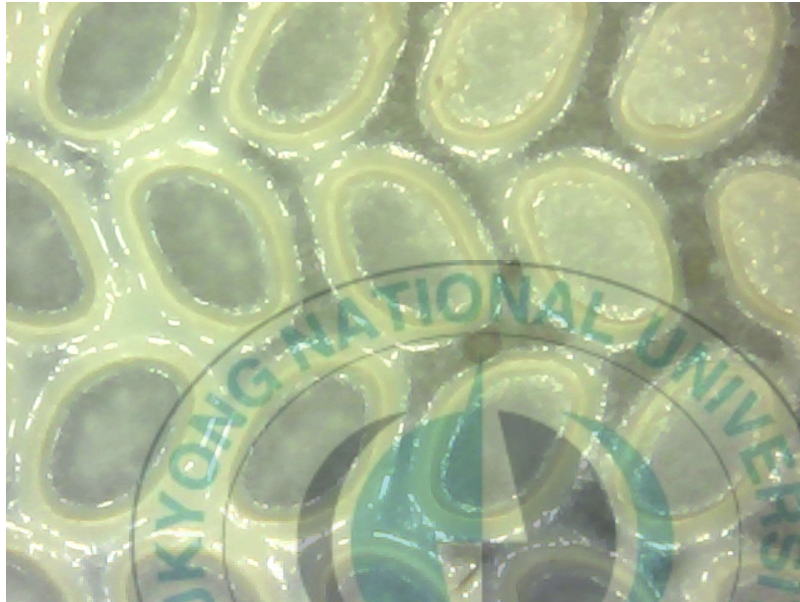


그림 3.7 Mesh로 처리된 광전극 표면

상대전극 제작 및 셀의 조합은 3.1에서 제작 과정과 같이 나타내었다. 실제 제작된 DSSC의 사진은 그림 3.8에 나타내었다.

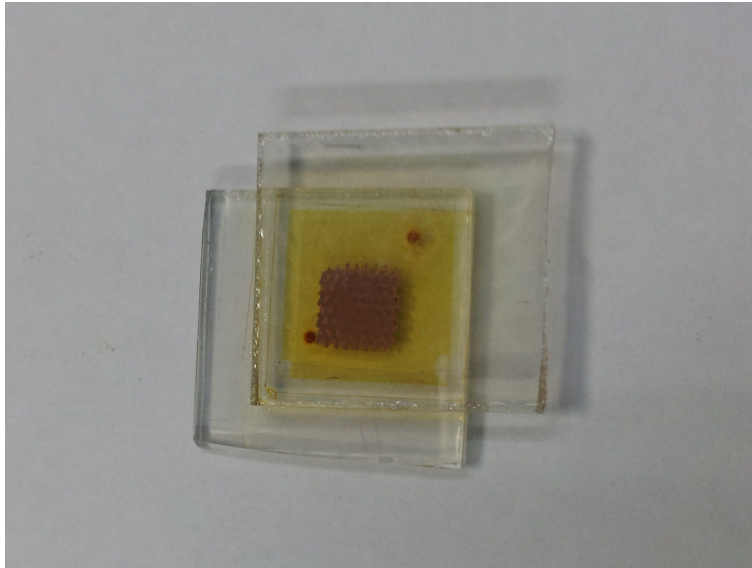


그림 3.8 Mesh로 처리 시켜 제작된 DSSC Unit cell



5. 특성 평가

측정 과정은 크게 두 가지 방식으로 이루어 집니다. 첫 번째는 앞서 DSSC는 제작에서 각 인자의 변화에 따른 형태 및 특성을 측정한 것이며, 두 번째는 셀의 효율특성 측정으로 진행하였다.

광전극의 두께가 다른 DSSC의 제작 시 테이프의 두께와 layer를 달리하여 제작하였으며, 광전극의 두께의 측정은 SEM(TESCAN, Czech, Vega II LSU)을 이용하여 측정하였다. 또한 광전극 표면적을 변형처리 시 표면 형상을 알아보기 위하여 SEM과 전자 현미경을 이용하여 측정하였다. 사용된 장비는 각각 그림 3.9, 3.10에 나타낸 것이다.

제작된 DSSC의 효율 및 전기적 특성을 측정하기 위하여 solar test system(Newport Stratford, No. 91192 1 kW)을 이용하여 측정하였다. Solar simulator로 효율 측정 시 조건은 Air mass 1.5의 조건으로 100 mW/cm^2 의 광량을 셀에 조사하여 측정하였습니다. 측정결과 개방전압 V_{oc} , 단락전류 I_{sc} , 단락전류밀도 J_{sc} , 충전계수 FF.(fill factor), 최대전류 I_{max} , 최대전압 V_{max} , 최대출력 P_{max} , 효율 EF.(efficiency)을 표시하였으며, 그림 3.11는 측정에 사용된 장비를 나타낸 것이다.



그림 3.9 Scanning Electron Microscope(TESCAN, Vage II LSU)



그림 3.10 전자 현미경(J500-eXtreme)

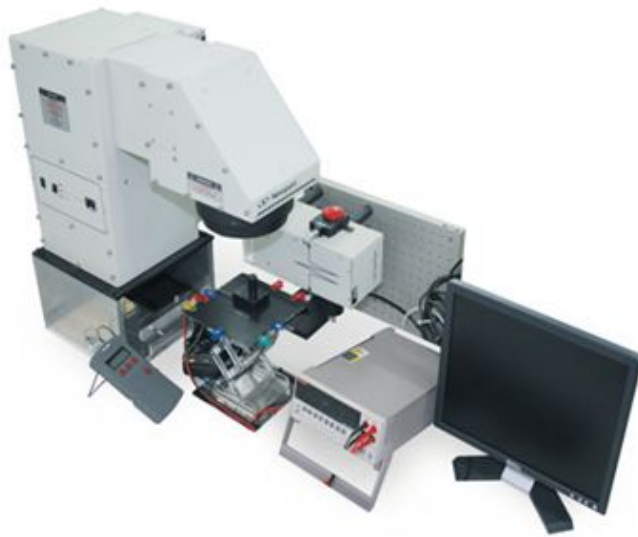


그림 3.11 Solar test system(Newport Stratford, No.91192 1kW)



IV. 결과 및 고찰

1. 광전극의 두께에 따른 DSSC 측정결과

광전극은 염료를 흡착할 수 있는 전극 소재는 밴드 갭 에너지가 큰 반도체 나노결정 산화물을 주로 사용하며 산화물의 두께 및 표면 특성 변화는 광전류와 전압에 모두 영향을 미칠 수 있다. DSSC 광전극의 TiO_2 표면에 화학적으로 흡착된 염료 분자가 태양광을 받아 전자를 발생하였다. TiO_2 층의 두께 및 형성은 염료와 함께 DSSC의 효율을 결정짓는 요소 중에 하나이다.

30 μm 두께의 테이프로 1 layer, 50 μm 두께의 테이프로 1, 2, 그리고 3 layer 캐스팅하여 광전극 두께를 변화시켜 제작된 TiO_2 층의 측면을 SEM으로 측정하였다. 이 결과를 그림 4.1에 나타내었다. 측정 결과 30 μm 테이프로 1 layer 캐스팅한 그림 4의 (a)에서 측정된 TiO_2 층의 두께는 11 μm , 50 μm 테이프로 1, 2, 그리고 3 layer 테이프 캐스팅한 그림 4의 (b), (c), (d)의 TiO_2 층의 두께는 15 μm , 27 μm , 그리고 52 μm 로 측정되었다. 측정결과 테이프 캐스팅의 두께가 증가함에 따라 TiO_2 층의 두께는 증가하였으나 비례하여 증가하지 않는 것으로 나타났다.

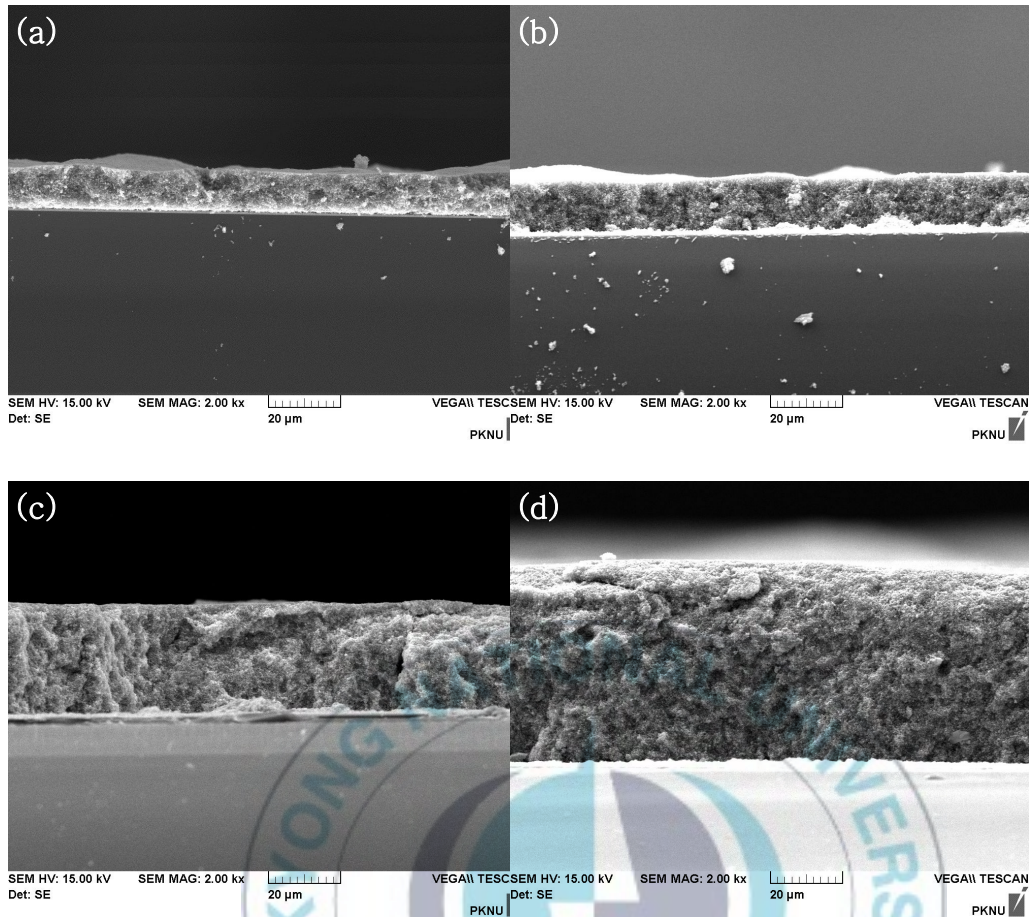


그림 4.1 Tape casting layer에 따른 광전극의 두께

(a) 11 μm (b) 15 μm (c) 27 μm (d) 52 μm .

위 공정과 같이 광전극 두께를 달리하여 제작된 DSSC를 solar test system(Newport Stratford, No.91192 1kW)을 이용하여 측정하였다. 측정 결과 I-V 곡선을 그림 4.1에 나타내었으며 전기적 특성 및 효율을 표 4.1에 나타내었다.

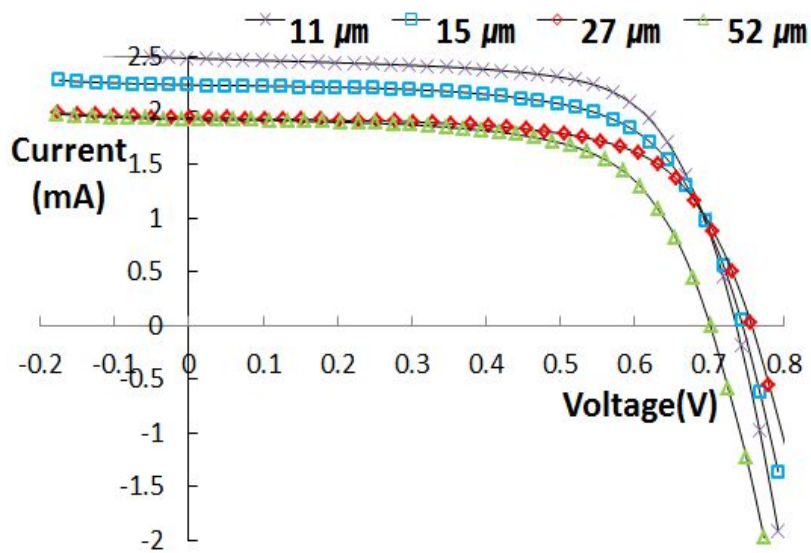


그림 4.2 광전극 두께에 따른 DSSC의 I-V curve

표 4.1 광전극 두께에 따른 DSSC의 효율 및 전기적 특성

thickness(μm)	11	15	27	52
Voc(V)	0.736	0.745	0.757	0.701
Isc(mA)	2.487	2.240	1.937	1.919
Jsc(mA/cm^2)	9.949	8.962	7.750	7.678
Fill Factor(%)	67.688	65.587	66.016	64.534
Imax(mA)	2.175	1.922	1.601	1.621
Vmax(V)	0.570	0.570	0.605	0.536
Pmax(mW)	1.239	1.095	0.969	0.869
Efficiency(%)	4.956	4.378	3.875	3.475

표 4.1에 나타난 바와 같이 광전극 두께를 11 μm 로 제작한 DSSC의 효율이 4.956%로 가장 나타났으며, 15 μm 에서는 4.378%, 27 μm 에서는 3.875%, 그리고 52 μm 에서는 3.475%로 가장 낮게 측정되어 광전극의 두께가 증가함에 따라 효율이 감소함을 나타내었다. 광전극의 두께가 두꺼워짐에 따라 단락전류밀도는 11 μm 에서 9.949 mA/cm^2 , 52 μm 에서 7.678 mA/cm^2 로 감소하였다. 개방전압의 경우 11 μm 에서 0.736 V, 27 μm 에서 0.757 V로 증가하였다. 단락전류밀도의 감소는 광전극 두께의 증가에 따른 광전자 이동거리의 증가에 의한 결과로 보이며, 개방전압의 증가는 광전극 구계의 증가에 따른 표면준위 상승과 이에 따른 전해질의 산화환원 준위의 차의 증가에 의한 결과로 보인다 [29]. 이와 같이 광전극의 두께가 증가함에 따라 단락전류밀도의 감소와 비교하여 개방전압의 증가 값이 상대적으로 적어 효율이 감소한 것으로 나타났다. 이를 충전계수 계산식 식(1)과 효율 (efficiency : FF) 계산식 식 (2)를 통해 다시 확인하였다. 광전극 두께가 52 μm 일 경우 개방전압이 0.701 V로 크게 감소한 이유는 TiO_2 두께가 증가함에 따른 표면준위 상승으로 재결합 증가로 인한 결과로 보인다. 이는 전의 실험 결과와 일치함을 보인다 [30].

2. 니들스탬프로 표면적 변형에 따른 DSSC 측정결과

광전극의 표면적을 니들스탬프로 변형하여 제작된 DSSC를 solar test system로 측정하였다. 측정 결과 I-V 곡선을 그림 4.3에 나타내었으며 전기적 특성 및 효율을 표 4.2에 나타내었다.

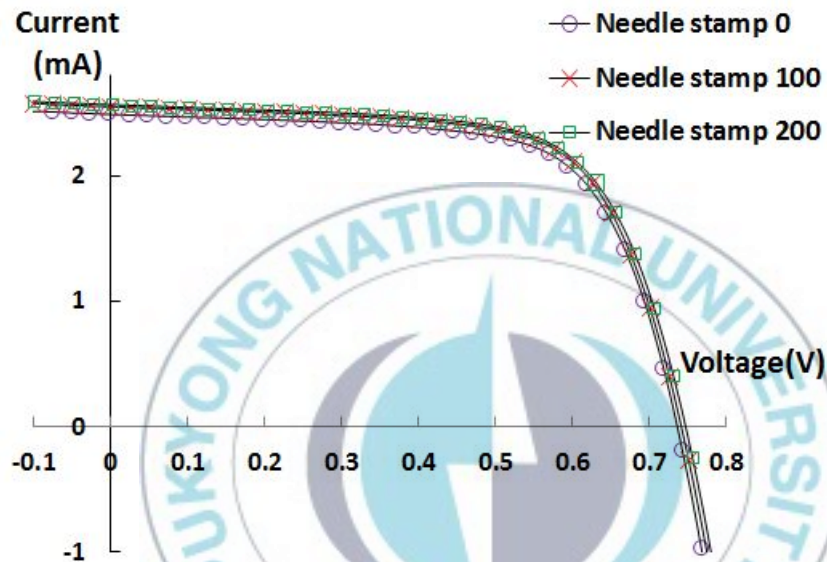


그림 4.3 광전극 표면적 변형에 따른 DSSC의 I-V curve

니들스탬프로 처리하지 않은 DSSC의 효율은 4.956%이며, 100번 처리 시 효율은 5.108%로 측정되었다. 그리고 200번 처리 시 효율은 5.168%로 가장 높게 측정되었다. 니들스탬프로 200번 이상 처리 시 효율은 큰 차이를 보이지 않았다. 개방전압의 경우 니들 스탬프 처리하지 않은 DSSC에서 0.736 V로 측정되었으며, 100번 처리 시 0.741 V, 그리고 200번 처리 시 0.747

V로 증가되었다. 또한, 단락전류밀도 역시 처리하지 않은 DSSC의 9.949 mA/cm^2 로 측정되었으며, 100번 처리 시 10.198 mA/cm^2 , 그리고 200번 처리 시 10.261 mA/cm^2 로 증가되었다. 충전계수의 경우 니들스탬프 처리하지 않은 DSSC에서 67.688%로 가장 높게 측정되었으며, 100번 처리 시 67.591%, 그리고 200번 처리 시 67.443%로 가장 낮게 측정되었다. 이는 단락전류와 개방전압의 증가와 비교하여 최대전류와 최대전압의 증가가 상대적으로 적어 나타난 결과로 충전계수 계산식을 통해 확인하였다 [31].

표 4.2 광전극 표면적 변형에 따른 DSSC의 효율 및 전기적 특성

Needle stamp (number)	0	100	200
Voc(V)	0.736	0.741	0.747
Isc(mA)	2.487	2.549	2.565
Jsc(mA/cm^2)	9.949	10.198	10.261
Fill Factor(%)	67.688	67.591	67.443
Imax(mA)	2.175	2.217	2.228
Vmax(V)	0.570	0.576	0.580
Pmax(mW)	1.239	1.277	1.292
Efficiency(%)	4.956	5.108	5.168

광전극의 표면을 변형한 DSSC와 변형하지 않은 DSSC를 비교하였을 때 변형 시 충전계수는 감소하였지만 상대적으로 큰 단락전류밀도와 개방전압의 증가로 효율이 상승하였음을 효율 계산식을 통해 확인하였다. 이는 광전극의 표면적의 변형에 따라 전해질 산화반응 면적이 증가된 것에 따라 단락전류의 밀도 증가와 광전극 표면적 증가로 인한 표면준위 상승에 따라 효율 증가로 보인다 [32].



3. Mesh로 표면적 변형에 따른 DSSC 측정결과

광전극의 표면적을 mesh로 변형하여 제작된 DSSC를 solar test system로 측정하였다. 측정 결과 I-V 곡선을 그림 4.4에 나타내었으며 전기적 특성 및 효율을 표 4.3에 나타내었다.

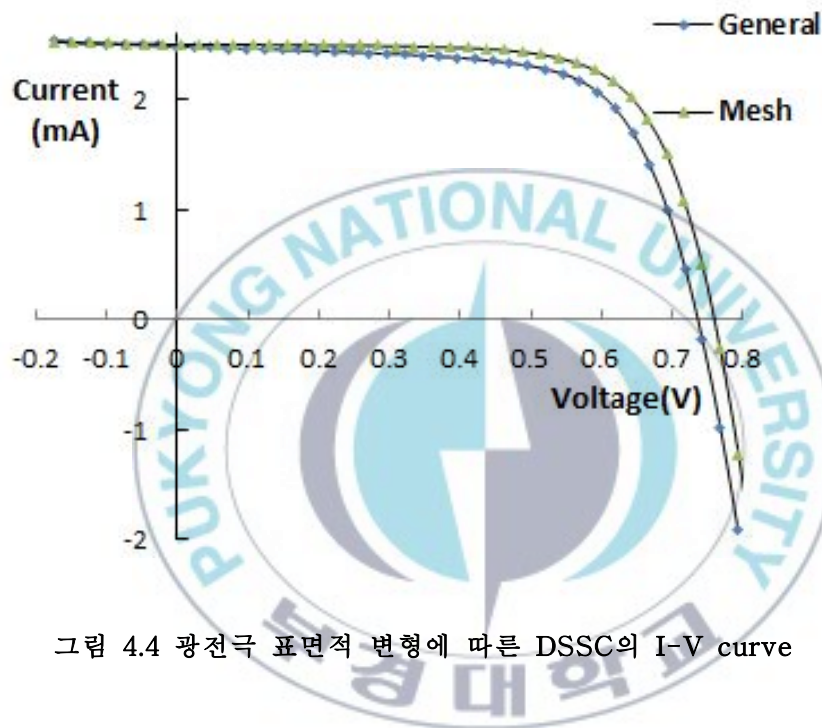


그림 4.4 광전극 표면적 변형에 따른 DSSC의 I-V curve

Mesh로 현형처리 시 DSSC의 효율은 5.358%이며, 미처리 시 효율은 4.956%로 측정되었다. 개방전압이 경우 mesh로 처리한 DSSC에서 0.759 V로 측정되었으며, 미처리 시 0.736V로 증가되었다. 또한, 단락전류밀도 역시 처리한 DSSC의 10.026 mA/cm²로 측정되었으며, 미처리 시 9.949 mA/cm²

표 4.3 광전극 표면적 변형에 따른 DSSC의 효율 및 전기적 특성

thickness(μm)	미처리	변형처리
Voc(V)	0.736	0.759
Isc(mA)	2.487	2.507
Jsc(mA/cm^2)	9.949	10.026
Fill Factor(%)	67.688	70.410
I _{max} (mA)	2.175	2.272
V _{max} (V)	0.570	0.590
P _{max} (mW)	1.239	1.339
Efficiency(%)	4.956	5.358

로 증가되었다. 충전계수의 경우 처리한 DSSC에서 70.410%로 측정되었으며, 표면변형처리 시 67.688%로 낮게 측정되었다.

광전극의 표면을 mesh로 변형 처리한 DSSC와 처리하지 않은 DSSC를 비교하였을 때 변형 시 큰 단락전류밀도와 개방전압의 증가로 효율이 상승하였음을 효율 계산식을 통해 확인하였다. 이는 광전극의 표면적의 변형에 따라 전해질 산화반응 면적이 증가된 것에 따라 단락전류의 밀도 증가와 광전극 표면적 증가로 인한 표면준위 상승에 따라 효율 증가로 보인다.

V. 결 론

본 연구에서는 광전극 두께, 니들 스탬프로 표면적을 변형처리, 그리고 mesh로 표면적을 변형시켜 제작된 DSSC의 전기적 특성 및 효율을 측정하고 각각 비교하였다. 그 결과 얻어진 결론은 다음과 같다.

1. 광전극의 두께를 달리하여 제작된 DSSC의 효율을 측정한 결과 광전극 두께 11 μm 에서 4.956%로 가장 높게 측정되었으며 15 μm , 27 μm 그리고 52 μm 에서 각각 4.378%, 3.875% 그리고 3.475%로 측정되어 광전극의 두께위짐에 따라 효율이 감소됨을 확인하였다. 광전극의 두께가 두꺼워짐에 따라 단락전류밀도는 11 μm , 9.949 mA/cm^2 에서 52 μm , 7.678 mA/cm^2 로 감소함을 보였다. 개방전압의 경우 11 μm 에서 0.736 V로 측정되어 이후 27 μm 에서 0.757 V 까지 증가하였으나 52 μm 에서 표면준위 상승으로 인해 0.701 V로 감소함을 보였다. 광전지 출력의 최대전력 점에서의 전류밀도와 전압 값의 곱을 개방전압과 단락전류의 곱으로 확인하였다. 또한 단락전류와 개방전압의 증가와 비교하여 상대적으로 더 큰 최대전류와 최대전압의 감소로 인한 충전계수의 증가를 확인하였다.

2. 광전극을 니들스탬프로 변형시켜 제작된 DSSC의 효율을 측정한 결과 니들스탬프로 처리하지 않은 DSSC의 효율은 4.956%로 측정되었으며, 100번 처리 후 효율은 5.108%로 측정되었다. 그리고 200번 처리 후 효율은 5.168%로 가장 높은 효율이 측정되었다. 니들스탬프로 200번 이상 처리 시 효율은 큰 차이를 보이지 않았다. 단락전류밀도의 경우 니들스탬프로 처리하지 않은 DSSC의 9.949 mA/cm^2 에서 200번 처리 시 10.261

mA/cm²로 증가하였다. 개방전압 또한 니들스탬프 처리하지 않은 DSSC의 0.736 V에서 200번 처리 시 0.747 V로 증가하였다. 변형 처리된 셀과 변형하지 않은 셀을 비교하였을 때, 변형 시 Fill Factor는 소폭 감소하였지만 상대적으로 큰 단락전류밀도와 개방전압의 증가로 효율이 상승하였다.

3. 광전극을 mesh로 변형시켜 제작된 DSSC의 효율을 측정한 결과 미처리한 DSSC의 효율은 4.956%로 측정되었으며, 처리 후 효율은 5.358%로 측정되었다. 단락전류밀도의 경우 mesh로 처리하지 않은 DSSC의 9.949mA/cm²에서 처리 시 10.026mA/cm²로 증가하였다. 개방전압의 경우 mesh로 처리하지 않은 DSSC의 0.736 V에서 처리 시 0.759 V로 증가하였다.



참고문헌

- [1] B. O'Regan and M. Gratzel, *nature*, **353**, 737 (1991).
- [2] Y. Zhang, Y. Shen, F. Gu, M. Wu, Y. Xie, and J. Zhang, *Appl. Surf. Sci.*, **256**, 85 (2009).
- [3] L. M. Peter, *Phys. Chem. Chem. Phys.*, **9**, 2630 (2007).
- [4] T. W. Hamann, R. A. Jensen, Alex B. F. Martinson, Hal Van Ryswyk, J. T. Hupp, *Energy & Environmental Sci.*, **1**, 66 (2008).
- [5] S. Y. Kwon, W. Yang and Z. Y. Zhou, *J. KIEEME* **26**, 3 (2013).
- [6] S. Dai, K. Wang, J. Weng, Y. Sui, Y. Huang, S. Xiao, S. Chen, L. Hu, F. Kong, Xu. Pan, C. Shi, Li Guo and S. Dai, *Sol. Energy Mater. Solar Cells*, **85**, 447 (2005).
- [7] S. Dai, J. Weng, Y. Sui, C. Shi, Y. Huang, S. Chen, X. Pan, X. Fang, L. Hu, F. Kong, K. Wang and S. Dai, *Sol. Energy Mater. Solar Cells*, **84**, 125 (2004).
- [8] M. Grätzel, *J. Photochem. & Photobiol. C Photochem. Rev.*, **4**, 145, (2003).
- [9] K. Pan, M. Liu, Q. Zhang, J. Li, Y. Liu, Q. Lü, J. Li, D. Wang, Y. Bai, T. Li and Z. Liu, *Thin Solid Films*, **484**, 346 (2005).
- [10] H. J. Kim, D. Y. Lee, and J. S. Song, *J. KIEEME*, **18**, 571 (2005).
- [11] H. Cho, S. G. Yu, and J. W. Cho, *J KIEEME*, **22**, 269 (2009).
- [12] B. Tan, E. Toman, Y. Li, and Y. Wu, *J. Am. Chem. Soc.*, **129**, 4162 (2007).
- [13] C. S. Chou, Y. J. Lin, R. Y. Yang, and K. H. Liu, *Adv. Powder Technol.*, **22**, 31 (2011).

- [14] Y. Zhang, J. Zhang, P. Wang, G. Yang, Q. Sun, J. Zheng and Y. Zhu, *Phys. Chem. Chem. Phys.* **123**, 595 (2010).
- [15] H. G. Jung, Y. S. Kang, Y. K. Sun, *Electrochimica Acta.* **55**, 4637 (2010).
- [16] S. Ito and M. Gratzel, *Thin Solid Films* **516**, 4613 (2008).
- [17] H. J. Koo and N. G. Park, *Inorg. Chim. Acta.* **361**, 667 (2008).
- [18] X. G Zhao, E. M. Jin, and H. B. Gu, *J. KIEEME* **24**, 427 (2011).
- [19] S. Y. Kwon, W. Yang and Z. Y. Zhou, *J. KIEEME* **25**, 7 (2012).
- [20] B. Munkhbayar, S. H. Huang, J. H. Kim, K. Y. Bae, M. K. Ji, H. S. Chang, H. M. Jeong, *Electrochimica Acta* **80**, 1 (2012).
- [21] X. Z. Liu, Z. Huang, K. X. Li, H. Li, D. M. Li, L. Q. Chen and Q. B. Meng, *Chinese Phys. Lett* **23** 2606 (2006).
- [22] H. Chang, C. H. Chen, M. J. Kao, S. H. Chien, C. Y. Chou, *Applied Surface Science* **275**, 15 (2013).
- [23] M. Durr, A. Schmid, M. Obermaier, S. Rosselli, A. Yasuda, G. Nelles, *Nature Mater.* **4**, 607 (2005).
- [24] 장대석, 태양전지의 최신 기술 동향, 한국과학기술 정보 연구원.
- [25] Y. V. Pleskov, Solar Energy Conversion. *A photoelectrochemical Approach* (Springer Verlag, Berlin heidelberg, 1990).
- [26] M. K. Nazeeruddin, A. Kay, R. Humpbry Baker, E. Miiller, P. Liska, N. Vlachopoulos, and M. Grätzel, *J. Am. Chem. Soc.*, **115**, 6382 (1993).
- [27] J. B. Asbury, R. J. Ellingson, H. N. Ghosh, S. Ferrere, A. J. Nozik, and T. Lian, *J. Phys. Chem. B*, **103** [16] 3110-19 (1999).
- [28] Y. Tachibana, et al., *J. Phys. Chem.* **100**, 20056 (1996).
- [29] K. S. Hwang and K. P. Ha, *Appl. Chem. Eng.* **21**, 405 (2010).

- [30] S. Nakade, M. Matsuda, S. Kambe, Y. Saito, T. Kitamura, T. Sakata, Y. Wada, H. Mori, and S. Yanagida, *J. Phys. Chem. B.* **106**, 10004 (2002).
- [31] Yeji Lee, Misook Kang, *Materials Chemistry and Physics* **122**, 1 (2010).
- [32] V. Dhasa, S. Mudulia, S. Agarkara, A. Ranaa, B. Hannoyerb, R. Banerjeea, S. Ogale, *Solar Energy* **85**, 6 (2011).



감사의 글

부경대학교 입학부터 지금까지 많은 분들이 옆에서 지켜봐주셨고 도움을 주셨습니다. 그 분들의 관심이 아니었다면 하루하루가 쉽지 않았기에 항상 감사한 마음을 가지고 열심히 생활하고 있습니다. 졸업을 앞두고 이며 지금 이렇게 글로써 감사의 마음을 전하고자 합니다.

먼저 항상 저에게 관심과 지도를 주신 권성열 교수님께 감사의 말씀드립니다. 그리고 부족한 저의 졸업논문을 관심과 이해로 심사해 주신 배종일 교수님과 우경일 교수님께도 감사의 인사드립니다. 또한 오고가며 수행 중인 연구에 관심을 가져주시고 아낌없는 지도를 해주신 전기공학과 교수님들께 감사의 말씀드립니다.

2008년 3월에 입학 때부터 지금까지 걱정과 함께 믿음을 가지고 지켜봐 주신 아버지, 어머니께 감사드립니다.

저희 연구실에서 졸업된 선배와 식구들에게 고맙다는 말 전하며, 사무실의 조교 선생님들과 근로학생들에게도 감사의 말 전합니다.

미래는 모르지만 더 나은 미래를 만든다는 생각으로 항상 정진하도록 하겠습니다. 앞으로도 지금처럼 지켜봐 주시고 응원해주신다는 믿음으로 더욱 노력하도록 하겠습니다.

2014년 8월

주택원 올림