

가로-세로 비율에 따른 염료감응형 태양전지의 최적 조건 도출 및 모듈 제조

論 文

58-1-16

The Deduction of the Optimal Length to Width Ratio of Dye-sensitized Solar Cell and the Fabrication of a Module

金熙濟* · 朴盛駿** · 崔津英** · 徐鉉雄** · 金美廷*** · 李庚俊*** · 孫珉圭†
(Hee-Je Kim · Sung-Joon Park · Jin-Young Choi · Hyun-Woong Seo · Mi-Jeong Kim ·
Kyoung-Jun Lee · Min-Kyu Son)

Abstract - A novel 8 V DC power source with an external series-parallel connection of 50 Dye-sensitized Solar Cells (DSCs) has been proposed. One DSC has the optimized length to width ratio of 5.2×2.6 cm and an active area 8 cm^2 (4.62×1.73 cm) which attained a conversion efficiency of 4.02 %. From the electrochemical impedance spectroscopic analysis, it was found that the resistance elements related to the Pt electrode and electrolyte interface behave like that of diode and the series resistance corresponds to the sum of the other resistance elements. Surface morphology and sheet resistance of Pt counter electrode did not degrade the performance of the cell. This novel 8V-0.33A DC power source shows stable performance with an energy conversion efficiency of 4.24 % under 1 sun illumination (AM 1.5, Pin of 100 mW/cm^2).

Key Words - Dye-sensitized Solar Cell, Solar cell module, Power source, Optimized length to width

1. 서 론

최근 지속적으로 상승하여, 현재 120달러를 상회하고 있는 유가와 늘어나는 환경 문제로 인해 세계 각국은 대체 에너지 분야에 큰 관심을 두고 많은 연구를 추진하고 있다. 특히 반영구적이고 친환경적이면서 재생 가능한 에너지원인 태양을 근간으로 하여 태양광 발전이 주목을 받고 있다.

기존의 실리콘 태양전지를 바탕으로 많은 연구가 진행되고 있으나, 유럽연합이 아프리카의 사막지대를 이용하여 대규모 태양광 발전 사업을 계획하는 등, 그 수요가 폭발적으로 증가하고 있는 추세에 있다. 이에 따라 실리콘 잉곳의 수요가 공급을 앞지르게 되어, 제조원가는 오히려 가파르게 상승하고 있는 실정이다. 이러한 현실에서 낮은 제조 단가와 11%에 상응하는 높은 에너지 변환 효율을 기반으로 염료감응형 태양전지(Dye-sensitized Solar Cell : DSC)는 기존의 실리콘 태양전지의 대안인 제 3 세대 태양전지로 떠오르고 있다[1-3].

DSC는 식물의 광합성 원리를 기초로 전기를 생산하고 있으며, 샌드위치 구조로 투명전극(F doped SnO_2 , FTO), 나노입자의 다공질 TiO_2 , 염료 고분자층으로 구성된 광전극(photo-electrode)과 투명전극 및 백금(Pt) 박막으로 구성된

상대전극(counter-electrode), 그리고 두 전극 사이를 산화·환원용 전해질 용액으로 채우고 있는 구조이고 태양광이 전지에 입사되면 에너지를 흡수해 여기된 염료 고분자가 전자를 방출해 TiO_2 의 전도대로 보냄으로써 발생하는 기전력을 외부 부하에 전달하는 형태로 동작한다[4-6].

DSC 모듈 및 판넬은 DSC의 대면적화 및 상업화를 위한 중요한 기술 중 하나이다. DSC 모듈의 비용과 수명을 상용화하기 위한 많은 연구가 진행되고 있는데, 그 중에서도 고체 전해질[7], 니켈 그리드를 사용한 대면적 DSC[8], 은 그리드를 활용한 내부 연결 DSC 모듈[9] 등이 주목을 받고 있다. 모듈의 두 가지 종류 중에서 하나는 작은 직사각형 셀들을 직렬 연결한 것이며 또 다른 하나는 높은 전도성 기판으로 이루어진 병렬 그리드 모듈이다[9,10]. 셀의 크기와 기판의 전도성은 태양 전지의 내부 저항에 영향을 주며 이것은 충전율(FF: Fill Factor)과 광전 변환 효율에 영향을 준다. 이러한 이유 때문에 모듈을 구성하는 각각의 셀들은 높은 효율을 얻기 위해 면적이 작아야 하며 단일 모듈에서 높은 개방 전압을 얻을 수 있도록 최적화 구성이 이루어져야 한다. 그리고 후자는 간단한 모듈 구조에 기인한 높은 생산성과 작은 모듈 사이즈로 인해 주목 받고 있다. 그러나 대면적화에 따른 저항 성분은 높은 효율을 가로막는 원인이 되고 있다. 이러한 이유 때문에 단위 셀들을 적절한 방법으로 직·병렬 연결한 모듈 형태가 대면적 DSC의 상용화를 위하여 요구되고 있는 실정이다.

본 연구에서는 단위 셀들을 직·병렬 연결한 새로운 모듈을 구성하기 위하여, 각각의 셀의 가로-세로 비에 대한 최적화 및 외부적인 연결 구조에 대해 연구하였으며, 최적화된 DSC 셀 50개를 이용하여 8V-0.33A DC 전원을 구성하였다.

* 正 會 員 : 釜山大學 電子電氣工學科 教授

** 正 會 員 : 釜山大學 電子電氣工學科 博士課程

*** 準 會 員 : 釜山大學 電子電氣工學科 碩士課程

† 교신저자, 準會員 : 釜山大學 電子電氣工學科 碩士課程

E-mail : smk82@pusan.ac.kr

接受日字 : 2008年 5月 20日

最終完了 : 2008年 10月 28日

2. 실험 방법

2.1 상대전극 제작

본 연구에서는 DSC의 최적 가로-세로 길이 비율을 찾기 위해 그 외 DSC 효율에 영향을 줄 수 있는 조건은 동일하게 두고 DSC를 제작하였다. 상대전극의 제작에 앞서 단위 면적당 표면 저항이 8Ω인 FTO 투명전극 유리 기판을 잘라 여러 가지 서로 다른 가로-세로 길이 비율을 갖는 기판을 준비하였다. 그런 다음 sand-blast 공정을 통해 pin-hole을 형성한 후 광전극과 동일한 투명전극 위에 Pt 박막을 증착하기 위해 RF sputtering 방식을 이용하였다. 진공 챔버 내의 sputtering이 원활히 발생할 수 있도록 아르곤(Ar) 가스를 매개로 주입하고 2.8×10^{-3} Torr, 100℃에서 120W의 RF sputter power를 인가함으로써 FTO 위에 200nm의 두께로 촉매작용을 위한 Pt 박막층을 형성하였다. 또한 모든 셀에 동일한 상대전극의 역할을 위해 동일한 조건으로 sputtering 처리를 해 주었다.

2.2 광전극 제작

본 연구에서는 Solaronix사에서 제공하는 일반적인 DSC 제조 방법을 기반으로 광감응제로 Ruthenium 535 bis-TBA (N719)를 사용하였으며, 전해질은 iodolyte AN-50으로써 요오드 계열의 acentonitile 매질의 휘발성 액체 전해질을 사용하였다. 나노 입자의 다공성 TiO_2 paste는 Degusa P25를 사용하였으며 Doctor-blade 방법을 이용하여 광전극에 TiO_2 필름을 도포하였다. TiO_2 층의 단면적을 최대화 하는 다공질 구조를 형성하기 위해 도포된 TiO_2 필름은 450℃의 온도에서 30분간 소성하였다. 이렇게 소성된 TiO_2 는 다공질 구조를 형성하여 전체 표면적이 넓어져 더 많은 염료를 흡착시킬 수 있게 된다. 소성이 끝난 뒤, 염료 분자층 생성을 위해 광전극을 20mM 농도의 염료(N719)에 상온에서 24시간 침착시킨다. 이후 99.9% 에틸알콜에 20여분간 침지시켜 염료 고분자의 단분자층을 형성하였다.

2.3 DSC의 제작 및 I-V 특성 측정

위 방식을 통하여 제작된 광전극과 상대전극을 60μm 두께의 Thermoplast hot-melt sealing sheet를 사용해 5초간 100℃로 열과 압력을 가해 실링하고 pin-hole을 통해 low viscosity의 iodide에 50mM의 tri-iodide가 함유된 redox electrolyte를 주입한 후, pin-hole을 실링함으로써 염료감응형 태양전지를 완성하였다. 태양전지 특성을 나타내는 단락 전류(I_{sc})와 개방 전압(V_{oc})은 1 sun(100mW/cm²) 조건의 Xenon 램프 아래에서 Keithley 2400 source meter를 이용하여 측정하였다. 또한 전해질과 맞닿아 있는 Pt 상대전극의 전기적인 특성을 알아보기 위해서 Galvanostat/ Potentiostat (EG&G 273A)와 lock in amplifier (EG&G 5210)와 함께 동작하는 Cyclic Voltammetry로 특성을 측정하였다. 셀의 AC 임피던스는 1kHz에서 10MHz의 주파수 범위에서 측정하였다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 Pt 상대전극의 특성

고성능 DSC의 상대전극은 전자 이동을 쉽게 하기 위하

여 전도성이 좋아야 하고 전해질에서 산화·환원 반응을 촉진하는 촉매 작용이 우수해야 하는 것은 잘 알려진 사실이다[11,12]. 백금이 증착되지 않은 FTO 투명전극을 DSC의 상대전극으로 사용할 경우, 상대전극의 촉매 작용이 우수하지 않기 때문에 DSC의 성능이 떨어지게 된다. 일반적으로 상대전극의 백금 필름의 두께가 두꺼울수록 백금 입자의 크기가 커지며 필름의 표면 저항이 작아져 전도성이 좋게 된다. 백금 입자의 크기에 따라 백금 필름의 표면적이 달라지는데 백금 필름이 100nm 두께 이상이 되면 넓은 표면적과 우수한 촉매 작용을 확보하게 된다. 또한 200nm 두께 이하에서는 백금 필름이 두꺼울수록 표면 저항이 계속 떨어지나 그 이상이 되면 표면 저항의 크기가 변화가 없게 된다. 그러므로 백금 필름의 두께가 200nm 이상으로 두꺼워질 경우 상대전극의 촉매 작용과 백금의 전도성에 의한 DSC 효율 증가의 정도가 거의 차이가 없게 된다[13]. 따라서 본 연구에서는 백금의 넓은 표면적과 백금 입자의 상호 작용에 의한 촉매 작용을 지니고 아울러 표면 저항이 가장 작은 두께인 200nm로 백금 필름을 증착하였다.

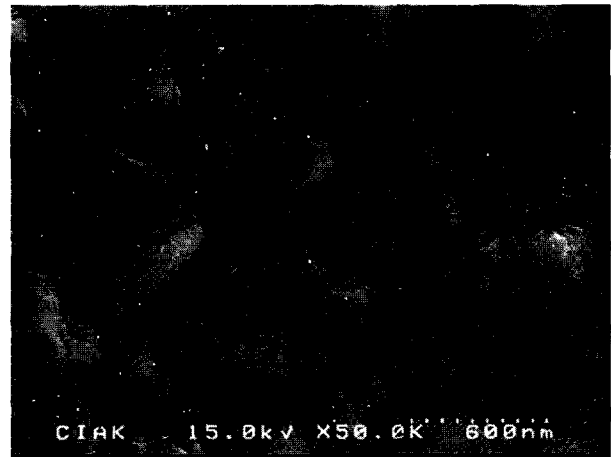


그림 1 백금이 200nm 두께로 증착된 상대전극의 SEM 이미지
Fig. 1 SEM image of 200nm thickness Pt counter electrode

그림 1은 200nm 정도의 두께의 백금 필름이 증착된 상대전극의 SEM 사진이다. 백금 상대전극의 두께가 100nm 일 때 입자 크기가 약 14nm 인데 반해 RF sputtering 방법으로 200nm 정도의 두께의 백금 필름의 입자 크기는 약 60nm가 됨을 이 그림을 통해 확인 할 수 있다. 또한 four point probe 방법으로 상대전극의 표면 저항을 측정했을 때 상대전극의 백금 필름 두께가 100nm 일 때 표면저항이 단위 면적당 4Ω인데 반해 백금 필름 두께가 200nm 일 때는 표면 저항이 단위면적 당 2Ω으로 측정되었다. 이렇게 낮은 값의 상대전극의 표면 저항 값은 상대전극에서의 전자 이동을 증가시키기에 충분한 값이다.

3.2 가로-세로 길이의 비율에 따른 DSC의 I-V 특성

일반적으로 효율 향상을 위한 DSC의 광전극과 상대전극의 넓이와 유효면적을 위한 최적의 구조가 존재한다[14,15]. 따라서 본 논문에서는 가로-세로 길이의 비율에 의한 영향을 측정하기 위하여 동일한 8cm²의 유효면적을 가지는 8종류

의 DSC를 각각 1:6, 1.2:5, 1.5:4, 2:3, 3:2, 4:1.5, 5:1.2, 6:1의 가로-세로 길이의 비율로 나누어 제작한 후 단락전류(I_{sc})와 개방전압(V_{oc})값의 변화를 통해 셀의 특성을 비교·분석하였다.

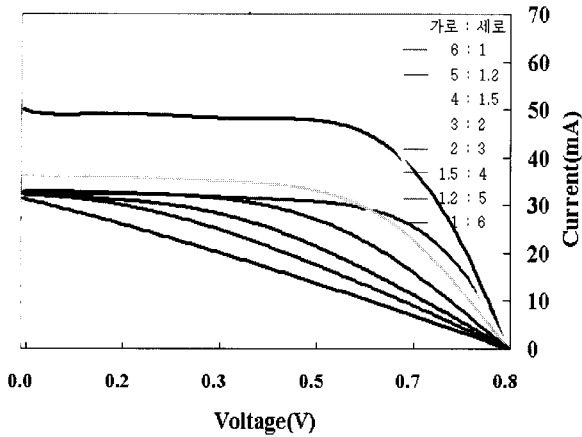


그림 2 가로-세로 길이의 비에 따른 DSC 셀의 I-V 특성 곡선
Fig. 2 I-V characteristics of DSC cells with different width-length ratios

그림 2는 동일한 유효면적($8cm^2$)을 가지면서 가로-세로 길이 비율이 서로 다른 DSC의 I-V 특성 곡선이다. 측정 결과, V_{oc} 는 0.8V 정도로 비슷했지만 길이 비율에 따라 전류나 효율 등 전반적인 면에서 큰 차이를 보였다. 5:1.2, 4:1.5, 3:2의 비율에서는 FF뿐만 아니라 출력전류에서 많은 차이가 있었고, 나머지 비율에서는 V_{oc} , I_{sc} 가 비슷했지만 FF 차이로 출력전력에서 다른 결과를 보였다. 세로의 길이보다 가로의 길이가 상대적으로 큰 경우 전극간의 거리가 멀기 때문에 FF 및 전류가 작게 나오는 경향을 보인다. 세로의 길이가 길어질수록 전극으로의 전자의 이동 거리가 멀어지므로 전자의 재결합 및 표면 저항의 증가로 인해 FF와 전류가 감소되게 된다. 표면 저항의 경우 단위 면적당 8Ω 으로 일정하므로 전자의 이동 거리가 늘어날 경우 저항 성분의 크기가 커짐을 알 수 있다.

반면 세로의 길이가 가로의 길이보다 매우 큰 6:1의 경우는 전극 간의 거리는 가까워 전지 내부에서 전극까지의 전자 이동은 원활하지만 외부 부하로 이어진 전극의 길이가 길어지므로 표면 저항 성분이 커지게 되어 이 경우 또한 출력 전류가 낮아진다. 결국 이러한 결과들은 셀의 가로-세로 비율에 따른 전하 수집 능력 차이에서 온다고 볼 수 있다. 전하 수집은 전하 이동율과 전하 재결합율에 의해 결정되므로 밀리 초 단위로 이루어지는 상대적으로 느린 전하 이동에 대해 전하의 재결합이 이루어지지 않기 위해서는 상대 전극에서의 산화·환원 반응은 나노 초 단위로 이루어져야 한다[16]. 또한 비록 상대전극에 거의 동일한 두께의 백금 필름이 사용되었다라도 촉매 반응은 재결합율이 강화된 작은 폭의 셀에서 더 빠를 수도 있다. 따라서 이러한 이유들로 동일한 TiO_2 와 염료를 사용하여 같은 레벨의 band-gap을 형성해 V_{oc} 가 비슷한 값을 가지는데 반해 I_{sc} 값은 달라지는 것이다. 즉, 최적의 구조는 최소의 저항을 가

짐으로써 가장 큰 I_{sc} 와 전력을 생산하는 태양전지의 구조라는 것을 말하고 실험을 통해 이는 4:1.5의 가로-세로 길이 비율을 갖는 태양전지임을 확인할 수 있었다. 또한, 이 때의 효율이 약 4.02%임을 확인하였다. 이에 따라 본 연구에서는 이렇게 최적 가로-세로 길이의 비율을 갖는 DSC를 모듈 구성을 위한 단위 셀로 결정하였다. 그림 3은 8V-0.33A DC 전원을 구성하기 위한 단위 셀의 개략도를 나타낸다.

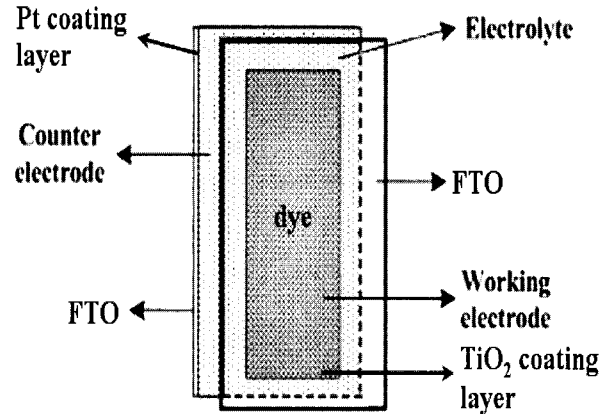


그림 3 단위 DSC 모듈 제작을 위한 단위셀 단면도
Fig. 3 The cross sectional view of a single DSC fabrication

3.3 Cyclic Voltammogram과 전기 화학적 임피던스 분석

cyclic-voltammetry의 측정은 상대전극의 표면과 전해질 사이에 일어나는 전기 화학적 표면 반응을 분석하는데 도움을 준다. 환원 반응은 상대전극과 전해질의 경계면에서 일어난다. 전해질 내부에서 일어나는 환원 반응은 다음 식과 같다.

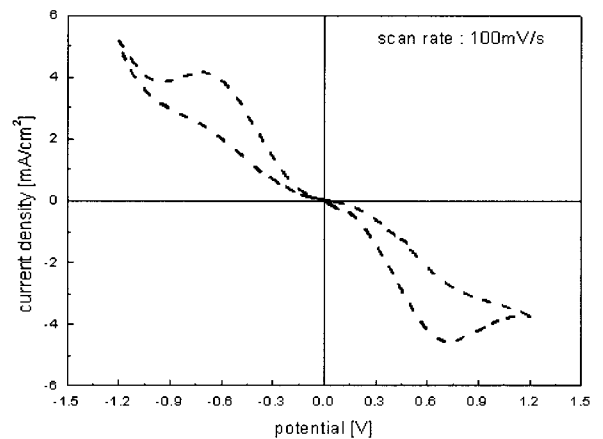


그림 4 100mV/s의 스캔율의 전해질과 상대전극의 Cyclic Voltammogram
Fig. 4 The cyclic-voltammogram of Pt counter electrode and electrolytes interface at the sweep rate of 100mV/s

그림 4는 100mV/s의 스캔율로 FTO/전해질/백금이 증착된 상대전극의 cyclic-voltammetry의 성질을 나타낸 것이다. 음의 방향의 피크값은 I_3 이온의 환원 작용과 일치한다. Cyclic Voltagram에서 최대 면적과 전류 밀도는 일반적으로 환원 반응물의 증가와 함께 증가하며, 피크값의 절대값이 크면 클수록 전극의 환원 반응이 좋아진다[9-10].

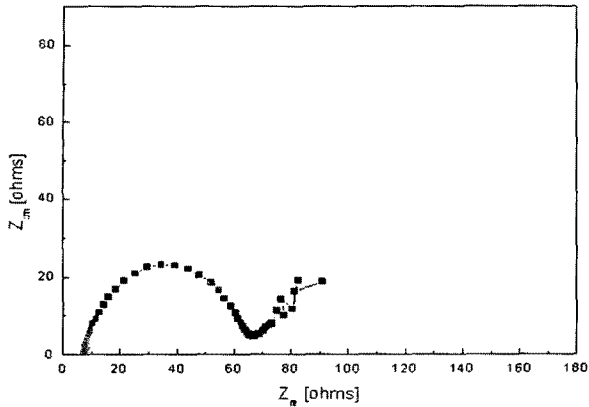


그림 5 유효면적 8cm²의 최적 가로-세로 길이 비율 가진 DSC의 전기화학적 임피던스 분석 스펙트럼

Fig. 5 Electrochemical impedance spectrum of a DSC having 8cm² active area and 4:1.5 length to width ratio

그림 5는 유효면적이 8cm²이고 최적의 가로-세로 길이 비율 4:1.5를 가진 DSC의 전기화학적 임피던스 분석(EIS) 결과이다. 일반적으로 전해질을 포함하고 있는 DSC의 전기화학적 임피던스 스펙트럼은 1kHz와 10MHz의 주파수 범위에서는 3개의 반원이 나타난다[17-19]. 3개의 반원은 임피던스 성분을 나타내는데 각각은 직렬 저항 성분(R_s), 상대전극과 TiO_2 /염료/전해질 사이의 전하 전달 과정에서의 저항 성분(R_{ct}), I_3 계열 전해질 내의 Warburg 확산 과정에서의 저항 성분(R_d)을 뜻한다. R_{ct} 는 중간 주파수 대역에서 나타나는 임피던스인 반면에 저주파 대역에서 나타나는 반원은 Nernst 확산 임피던스를 의미한다[20]. R_s 는 106Hz 이상의 고주파 대역에서 정의되는 것으로써 FTO의 표면저항과 밀접한 관계를 가진다. 이 사실은 그림 5에 나와 있는 것처럼 단위 면적당 8Ω 정도의 표면 저항이 FTO의 면적이 넓어질수록 그에 비례적으로 증가하는 사실에서 확인할 수 있다. 하지만 R_d 의 저항 성분은 1kHz 이하의 저주파 대역에서 나타나기 때문에 본 연구에서는 측정할 수 없었다. 그림 5에서 보여지는 반원은 백금이 증착되어 있는 상대전극에서 일어나는 전하 이동에 관한 임피던스로 단위 면적당 8Ω에서 70Ω 사이의 값을 지니고 있어 다이오드의 임피던스 성분과 동일하다. 또한 이것은 상대전극에서 일어나는 산화·환원 반응의 촉매작용의 능력을 나타내는 계수이기도 하다[21].

3.4 외부 직·병렬 연결한 8V-0.33A DC 전원

일반적으로 단위 셀은 DSC 모듈 및 패널을 구성하기 전에, TiO_2 염료, 전해질 등의 개개의 인자가 DSC 효율에 미치는 효과를 연구함으로써 DSC 성능을 테스트 하는데 사용되어 왔다. 이것은 상업화 단계 이전의 실험실 수준에서

모듈의 장시간 내구성 구축과 모듈의 최적화를 위해서 필수적인 과정이다. 외부 연결형 모듈은 대량 생산의 이점을 안고 DSC 모듈의 새로운 구조로서 인식되고 있다.

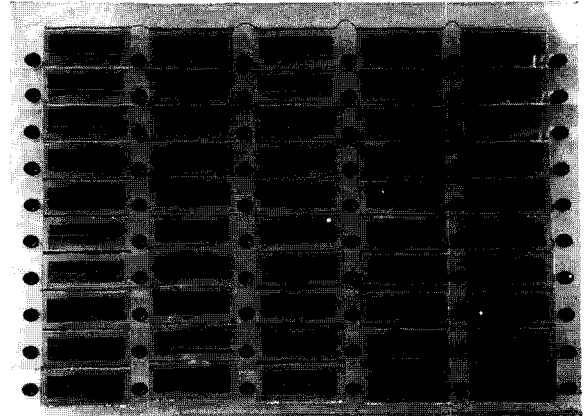


그림 6 실제 구성된 8V DC 전원의 모습
Fig. 6 The real photo of the 8V DC power source

그림 6은 본 연구에서 구성한 모듈로서 거의 동일한 출력을 가지는 유효 면적 8cm²을 가진 DSC 단위 셀들을 앞서 언급한 최적 가로-세로 길이 비율 4:1.5를 적용시켜 제작한 후 50개를 외부 직·병렬 조합하여 구성한 것이다. 모듈의 성능이 외부 직·병렬 조합 및 연결 저항 성분에 민감하다는 사실은 매우 중요하다. DSC를 전기적인 등가회로로 분석 할 경우 크게 전류원 혹은 전압원, 다이오드, 커패시터 및 내부 저항 성분으로 구성된다[17]. 이를 Thevenin-Norton 회로 분석으로 간단하게 나타내면 그림 7과 같다.

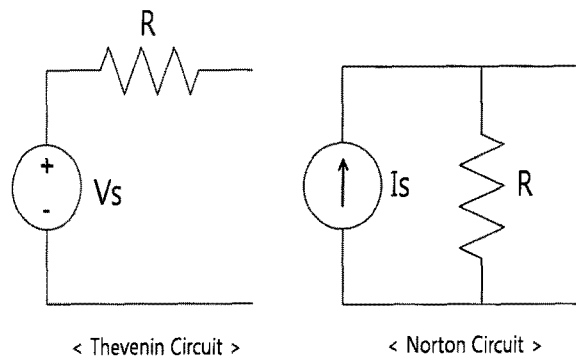


그림 7 DSC 등가회로 분석을 위한 Thevenin-Norton 회로
Fig. 7 Thevenin-Norton circuits for analysis of DSC equivalent circuit

셀을 직렬연결로만 연결할 경우 Thevenin 회로 분석에 의해 전체 전압이 비례적으로 증가하게 된다. n개의 셀을 직렬로 연결할 경우 전체 전압은 nV_s 로 증가하고 셀의 내부 저항 역시 nR 로 증가하게 된다. 따라서 전체적으로 전압은 증가하나 전류가 낮아지게 되어 실용적인 전력을 얻기가 어려워진다. 이에 따라 전류를 증가시키기 위한 방법으로 병렬 연결을 사용한다. 이렇게 함으로써 외부 부하에 전달할 전류

를 증가하여 전체적으로 사용할 수 있는 전력을 얻을 수 있게 된다. 따라서 본 연구에서는 10개의 셀을 직렬연결하고 이것을 5개로 병렬 연결하여 외부 직·병렬 조합을 구성하여 외부 연결 저항 성분이 가장 작도록 설계되었다. 모듈 구성시 사용한 DSC는 최적 가로-세로 길이 비율 4:1.5를 적용시킨 것으로 50개의 단위 셀의 평균 출력 전압 0.8V, 평균 출력 전류 약 62.6mA로 나타났으며 평균 효율은 4.02%로 나타났다. 하지만 이러한 셀들을 외부 직·병렬 조합한 후 모듈의 출력 전압은 8V이며 출력 전류는 0.33A로 나타났다.

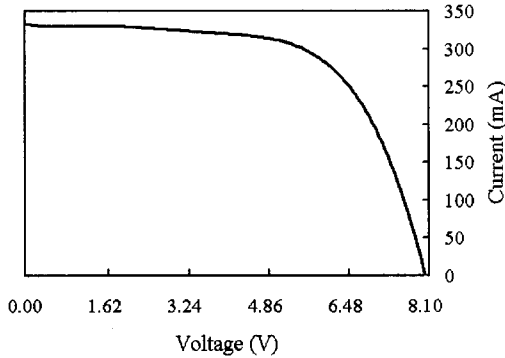


그림 8 외부 직·병렬 연결한 DSC 모듈의 I-V 특성 곡선
Fig. 8 I-V characteristics of 50 DSCs connected in series-parallel connection

그림 8은 50개의 단위 셀들을 외부 직·병렬 연결한 모듈의 I-V 특성 곡선이다. 50개의 DSC를 연결한 모듈은 1 sun 조건하에 광전 변환 효율이 약 4.24%에 이르는데 이것은 단위 셀의 효율 보다 약간 증가한 값이다. 표 1은 앞서 언급한 Thevenin-Norton 회로 분석법을 통해 본 연구에 사용된 단위셀 및 모듈을 분석 비교한 것이다. 모듈의 경우 10개의 직렬연결 셀을 5개 병렬연결한 것을 Thevenin-Norton 분석으로 정리하여 최종적으로 표현되는 등가회로로 표현하였다. 모듈을 구성한 경우가 출력 전압이 10V_s로 단위 셀의 V_s보다 크며 출력 전류의 경우 또한 단위 셀보다 큰 것을 확인할 수 있다. 따라서 전체적인 효율이 단위 셀의 경우 보다 모듈의 경우가 약간 증가하게 된다.

표 1 Thevenin-Norton 회로 분석법을 통한 단위셀 및 모듈 비교

Table 1 Comparison between the single cell and module by using Thevenin-Norton circuit analysis

	Thevenin Circuit	Norton Circuit	출력 전류	출력 전압
단위 셀			$I_L = \frac{R}{R+R_L} I_s$ ($R_L > R$)	V _s
모듈			$I_L = \frac{2R}{2R+R_L} \times 5I_s$ $= \frac{10R}{2R+R_L} I_s$ ($R_L > R$)	10V _s

4. 결 론

본 연구에서는 DSC 모듈 구성을 위한 단위 셀의 최적 가로-세로 비율을 찾아내기 위해 서로 다른 가로-세로 비율을 가진 DSC를 Doctor-blade 방법을 이용하여 제작하였다. 이때 DSC 셀의 유효 면적은 8cm²(4.62cm × 1.73cm)이며, 본 연구에서 얻어진 최적 가로-세로 비율 4:1.5로 설정한 결과 표준 광원 하에서 4.02% 정도의 효율을 기록하였다. DSC의 등가회로 분석에 의해 모듈의 저항 성분이 작도록 설계하여 50개의 단위 셀을 10개의 직렬연결과 5개의 병렬 연결로 DSC 모듈을 구성하였으며 단위 셀의 경우 보다 FF가 60%에서 63% 정도로 상승하였으며 광전 변환 효율은 4.24%까지 증가하였다. 이를 통해 외부형 연결형 모듈이 DSC를 상용화하기 위한 모듈의 새로운 구조의 하나로서의 가능성을 확인할 수 있었다. 그러므로 앞으로 지속적인 연구가 계속된다면 가까운 미래에는 더 높은 광전변환 효율을 가지는 DSC 모듈을 구성할 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 기초과학연구사업기금 (No. R01-2004-000-10318-0)에 의한 염료감응형 태양 전지 연구의 일환으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- [1] Michael Grätzel, "Conversion of sunlight to electric power by nanocrystalline dye-sensitized solar cells", Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry, Vol. 164, Iss. 3, pp. 3-14, June 2004.
- [2] Michael Grätzel, "Photochemical cells", Nature, Vol. 414, pp. 338-344, November 2001.
- [3] Brian O'Regan, Michael Grätzel, "A low-cost, high-efficiency solar cell based on dye-sensitized colloidal TiO₂ films", Nature, Vol. 353, pp.737-740, October 1991.
- [4] John B. Asbury, Encai Hao, Yongqiang Wang, Hirendra N. Ghosh, and Tianquan Lian, "Ultrafast electron transfer dynamics from molecular adsorbates to semiconductor nanocrystalline thin films", Journal of Physical Chemistry B, Vol. 105, Iss. 20, pp. 4545-4557, 2001.
- [5] Joachim Schnadt, Paul A. Brühwiler, Luc Patthey, James N. O'Shea, Sven Södergren, Michael Odellius, Rajeev Ahuja, Olof Karis, Margit Bässler, Petter Persson, Hans Siegbahn, S. Lunell and Nils Mårtensson, "Experimental evidence for sub-fs charge transfer from an aromatic adsorbate to a semiconductor", Nature, Vol. 418, pp. 620-623, August 2002.

- [6] Michael Grätzel, "Perspectives for dye-sensitized nanocrystalline solar cells", Progress in Photovoltaics : Research and Applications, Vol. 8, Iss. 1, pp. 171-185, February 2000.
- [7] Kenichi Okada, Hiroshi Matsui, Takuya Kawashima, Tetsuya Ezure, Nobuo Tanabe, "100 mm × 100 mm large-sized dye sensitized solar cells", Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry, Vol. 164, Iss. 3, pp. 193-198, June 2004.
- [8] Hiroshi Matsui, Kenichi Okada, Takuya Kawashima, Tetsuya Ezure, Nobuo Tanabe, Ryuji Kawano, Masayoshi Watanabe, "Application of an ionic liquid-based electrolyte to a 100 mm×100 mm sized dye-sensitized solar cell", Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry, Vol. 164, Iss. 3, pp. 129-135, June 2004.
- [9] Won Jae Lee, Easwaramoorthi Ramasamy, Dong Yoon Lee, Jae Sung Song, "Dye-sensitized solar cells: Scale up and current - voltage characterization", Solar Energy Materials and Solar Cells, Vol. 91, Iss. 18, pp. 1676-1680, November 2007.
- [10] M.Spath, P.M. Sommeling, J.A.M van Roosmalen, H.J. Smit, N.P.G van der Burg, D.R.Mahieu, N.J. Bakker, J.M. Kroon, "Reproducible manufacturing of dye-sensitized solar cells on a semi-automated baseline", Progress in Photovoltaics : Research and Applications, Vol. 11, Iss. 3, pp. 207-220, May 2003.
- [11] N. Papageorgiou, W. F. Maier, and M. Grätzel, "An iodine/triiodide reduction electrocatalyst for aqueous and organic media", Journal of the Electrochemical Society, Vol. 144, Iss. 3, pp. 876-884, March 1997.
- [12] Kazuharu Suzuki, Makoto Yamaguchi, Mikio Kumagai and Shozo Yanagida, "Application of carbon nanotubes to counter electrodes of dye-sensitized solar cells", Chemistry Letters, Vol. 32, No. 1, pp. 28-29, 2003.
- [13] Xiaoming Fang, Tingli Ma, Guoqing Guan, Morito Akiyama, Eiichi Abe, "Performances characteristics of dye-sensitized solar cells based on counter electrodes with Pt films of different thickness", Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry, Vol. 164, Iss. 3, pp. 179-182, June 2004.
- [14] Liyuan Han, Naoki Koide, Yasuo Chiba, Ashraf Islam, Ryoichi Komiya, Nobuhiro Fuke, Atsushi Fukui, and Ryohsuke Yamanaka, "Improvement of efficiency of dye-sensitized solar cells by reduction of internal resistance", Applied Physics Letters, Vol. 86, 213501, May 2005.
- [15] H. Bisht, H. -T. Eun, A. Mehrstens, M. A. Aegerter, "Comparison of spray pyrolyzed FTO, ATO and ITO coatings for flat and bent glass substrates", Thin Solid Films, Vol. 351, Iss. 1-2, pp. 109-114, August 1999.
- [16] Arthur J. Frank, , Nikos Kopidakis and Jao van de Lagemaat, "Electrons in nanostructured TiO₂ solar cells: transport, recombination and photovoltaic properties", Coordination Chemistry Reviews, Vol. 248, Iss. 13-14, pp. 1165-1179, July 2004.
- [17] Liyuan Han, Naoki Koide, Yasuo Chiba, and Takehito Mitate, "Modeling of an equivalent circuit for dye-sensitized solar cells", Applied Physics Letters, Vol. 84, 2433, March 2004.
- [18] Motonari Adachi, Masaru Sakamoto, Jinting Jiu, Yukio Ogata, and Seiji Isoda, "Determination of parameters of electron transport in dye-sensitized solar cells using electrochemical impedance spectroscopy", Journal of Physical Chemistry B, Vol. 110, Iss. 28, pp. 13872-13880, July 2006.
- [19] Anneke Hauch, Andreas Georg, "Diffusion in the electrolyte and charge-transfer reaction at the platinum electrode in dye-sensitized solar cells", Electrochimica Acta, Vol. 46, Iss. 22, pp. 3457-3466, August 2001.
- [20] T. C. Wei, C. C. Wan, and Y. Y. Wang, "Poly(N-vinyl-2-pyrrolidone)-capped platinum nanoclusters on indium-tin oxide glass as counterelectrode for dye-sensitized solar cells", Applied Physics Letters, Vol. 88, 103122, March 2006.
- [21] R. Kern, R. Sastrawan, J. Ferber, R. Stangl, J. Luther, "Modeling and interpretation of electrical impedance spectra of dye solar cells operated under open-circuit conditions", Electrochimica Acta, Vol. 47, Iss. 26, pp. 4213-4225, October 2002.

저 자 소 개



김희제 (金熙濟)

1955년 10월 23일생. 1980년 부산대학교 공대 전기공학과 졸업. 1982년 부산대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1990년 규슈대학교 대학원 에너지공학과 졸업(박사). 현재 부산대학교 전기공학과 교수 재직 중.



박성준 (朴盛駿)

2000년 동의대학교 공대 전기공학과 졸업. 2002년 부산대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 부산대학교 대학원 전기공학과 박사과정 재학 중. 현재 한국수력원자력 발전소(고리) 근무 중.



최진영 (崔津英)

1979년 11월 13일생. 2002년 신라대학교 공대 광공학과 졸업. 2004년 부산대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2007년 부산대학교 대학원 전기공학과 졸업(박사).



서현웅 (徐鉉雄)

1980년 10월 25일생. 2006년 부산대학교 전자전기정보컴퓨터공학부 졸업. 2008년 부산대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 동 대학원 전자전기공학과 박사과정 재학 중.



김미정 (金美廷)

1982년 8월 27일 생. 2001년 부산대 전자전기통신공학부 졸업. 2008년 부산대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사).



이경준 (李庚俊)

1983년 2월 23일생. 2008년 부산대학교 공대 전자전기통신공학부 졸업. 현재 동 대학원 전자전기공학과 석사과정 재학 중.



손민규 (孫珉圭)

1982년 6월 7일생. 2008년 부산대학교 공대 전자전기통신공학부 졸업. 현재 동 대학원 전자전기공학과 석사과정 재학 중.