

실리콘 태양전지 분광특성 분석연구

(The characteristics research of silicon solar cell spectrum response)

Seok-Joon Choi*, Seung-Yong Yang, Myung-Keun Hwang, Sang-Wuk Shin,
Se-Hyun Lee, Jae-Yup Rho, Jeong-Keun Lee, Jeong-Jin Seo
Korea Institute of Lighting Technology

Abstract

In this paper, We observed spectral responsivity of general poly-cristalline silicon solar cell. This is very important to define solar cell's characteristics. So we tested two small modules that made of poly-cristalline silicon solar cells. We expect to the result of this experiment is useful for researching and measuring solar cell's characteristics.

1. 서론

화석에너지의 고갈이 예상되면서 신재생에너지에 대한 관심이 증폭되고 있는 가운데 태양광발전이 주목을 받고 있다. 태양광 발전에 사용되는 태양전지의 경우 현재 실리콘 태양전지가 가장 좋은 효율을 나타내고 있으며 따라서 실제 태양광 발전 시스템에 가장 많이 쓰이고 있다. 시장 규모가 커짐에 따라 관련된 기업들이 기하급수적으로 늘어나고 있으며 특히 중국기업들의 진출이 두드러진다. 난립하는 태양전지 관련 업체들의 무분별한 시장 진입을 막기 위해서 태양전지의 성능과 특성을 정확하게 측정, 평가할 수 있어야 한다.

일반적으로 태양전지의 성능과 특성을 평가함에 있어서 조사되는 전 파장대에 걸친 효율, 전류, 전압, 충전율을 가지고 평가한다. 거기에 또 한가지 중요한 특성의 파악을 위해서 분광응답특성의 측정을 실시한다.

태양전지의 분광응답특성(Spectral Response)을 측정함으로써 각 파장대에 걸친 태양전지의 특성을 알수있게 되어 태양전지의 연구개발에 매우 유용한 정보를 얻을 수 있다. 다만 태양전지의 종류에 따라 측정 방법에 많은 차이가 있으며, 이는 태양전지의 분광응답 특성이 그 소재와 구조에 따라 특성변수의 상대적인 중요성이 다르기 때문이다.

이 연구에서는 일반적으로 사용하는 다결정 실리콘 태양전지의 분광응답특성을 측정하여 태양전지 성능평가 및 연구개발의 중요한 기초 분석 자료로써 활용하고자 한다.

2. 본론

2.1 태양전지의 분광응답특성 측정

1) 정의

분광응답특성은 분광감도(spectral responsivity), 외부양자효율(external quantum efficiency), 내부양자효율(internal quantum efficiency)의 세가지로 분류되며, 일반적으로 분광응답특성이라고 할 때에는 분광감도(spectral responsivity)를 의미한다.

2) 분광감도(spectral responsivity)

분광감도는 입사되는 단위광 에너지 당 태양전지에서 출력되는 전류의 크기로 정의 하며, 분광감도 곡선의 측정은 광원의 분광특성을 알고 있다면 광도계와 전류계로 측정 가능하다.

3) 외부양자효율(external quantum efficiency)

외부양자효율은 입사된 광자당 수집된 캐리어의 수를 의미한다. 분광감도 측정자료를 이용하

여 대역별로 입사된 광자수와 수집된 캐리어의 수를 계산할 수 있다.

4) 내부양자효율(internal quantum efficiency)

내부양자효율은 태양전지에 흡수된 순 에너지(net energy)의 양을 광자수로 환산하여 흡수된 광자당 수집된 캐리어의 수를 의미한다.

2.2 측정조건

분광응답특성을 측정하는데 가장 이상적인 방법은 측정대상 태양전지를 표준측정조건에서 동작시키며 측정하는 것이지만, 실제 측정은 광조사 조건이나 전기적 동작점의 설정, 동작온도 등으로 인해 엄격하게 지켜지기 어려운 점이 있다. 따라서 분광특성의 측정에서는 다음과 같은 빛의 조사 조건이나 동작점 설정, 동작 온도 등이 고려되어야 한다.

1) 광조사조건

분광응답특성의 측정에서 대부분의 태양전지는 자연광을 사용하던 인공광을 사용하던 차이가 두드러지게 보이지는 않는다. 다만 조사되는 빛의 강도에 대해서는 대단히 민감한 반응을 보이는 경우가 많은데 화합물 태양전지의 경우에 특히 심하다고 알려져 있다. 조사되는 빛의 강도가 낮을 때에는 트랩이나 재결합 중심이 생성된 캐리어를 소멸시키나, 강도가 높을 때에는 포화되어 측정에 영향을 많이 미치지 않는다.

분광응답특성의 측정에 있어 바이어스 광과 좁은 대역 광원의 조사강도와 공간적 균일도는 반드시 정밀하게 측정되어야 하며, 측정이 의미를 가지기 위해서는 광원에 따라 적합한 검출기의 선정이 필수적이다.

2) 전기적 동작조건

태양전지의 분광응답특성은 보통 단락상태(단자전압=0)에서 측정하지만 실제 동작은 최대출력점(단자전압≠0) 근처에서 하게 된다. 동작전압의 이동에 따라 바이어스 전압에 의해 접합의 폭이 달라짐에 의해 분광응답특성의 변동을 가져

온다. 다만 동작전압이 최대출력점 근처로 이동하면 분광응답특성에 어떤 영향을 미치는지는 확실하게 규명되어있지 않다.

3) 태양전지의 동작온도

여러 태양전지의 분광응답특성을 서로 비교하기 위해서는 규정된 온도에서 측정하는 것이 우선적으로 필요하지만 분광응답특성의 온도계수는 일반적으로 대단히 작고, 특성자체가 조사되는 빛의 파장에 대해 강하게 의존하기 때문에 실제로는 큰 문제가 되지 않는다.

2.3 측정장비

일반적으로 분광응답특성 측정방법은 좁은대역의 단속되는 광원을 이용하는 AC측정법과 단속되지 않는 좁은대역의 광원을 이용하는 DC측정법의 두가지로 나눌 수 있다.

AC측정법은 일정한 강도의 바이어스 광을 단속광과 동시에 조사시켜 태양전지의 실제 사용조건과 같은 조건에서 측정할 수 있다는 이점을 가지고 있다. 좁은대역 광원의 조사강도는 바이어스 광에 비해 매우 작으므로 태양전지의 출력전류에서 단속광에 의해 생성되는 AC성분을 lock-in 검출법으로 측정하여 분광응답 특성을 구한다. 이는 조사되는 빛의 강도에 따라 응답특성이 심하게 달라지는 화합물계 태양전지와 같은 경우에 유용하다.

DC측정법에서는 바이어스 광은 불필요하며 단속되지 않는 좁은대역의 광원만이 필요하며 검출되는 DC전류가 바로 해당되는 대역의 분광응답특성이 된다. DC측정법은 AC측정법에 비해 장치구성이 간단하지만 출력전류의 크기가 조사되는 빛의 강도에 따라 정비례하는 단결정 실리콘 태양전지같은 경우에만 사용할 수 있다.

조사되는 빛의 파장을 선택하는 방법에는 주로 모노크로메이터(monochromator)를 사용하거나 필터 휠(filter wheel)을 사용하는 방법이 주로 쓰인다. 모노크로메이터는 조사되는 빛의 파장을 연속적으로 변화시킬 수 있어 대역폭에 따라 분광응답특성이 급격히 변화하더라도 측정이 가능하다. 그러나 조작이 번거롭고 동작이 늦으며 출력광의 균일도가 낮은데다 편광현상이 일어날 가

능성이 있다. 필터휠은 조사강도가 비교적 높고 균일도가 좋지만 파장선택성이 떨어지며 필터가 자외선에 오래 노출될 경우 수명이 단축되는 단점을 가지고 있다.

이 연구에서 사용하는 장비의 광학부는 [그림 1]과 같은 구조로 이루어져 있다.

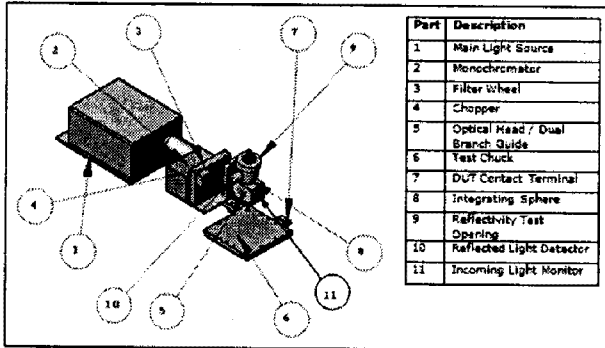


그림 2. 연구에 사용된 SR장비의 광학부 구조

광원은 할로겐램프를 사용하고 있으며 세밀한 조사파장의 조절을 위해 모노크로메이터와 필터휠을 동시에 사용하였다.

2.3 시험방법

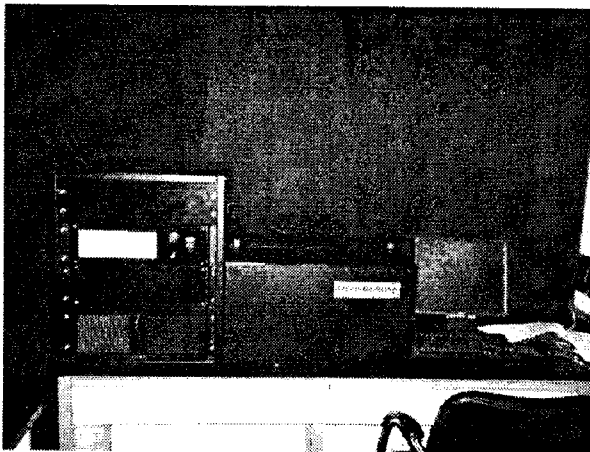


그림 3 측정에 사용된 SR 측정장비

분광반응특성의 측정은 항온항습기가 설치된 암실에서 행해졌으며 대기온도는 $25^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, 측정 스펙트럼의 범위는 350nm~1100nm, 측정 간격은 50nm으로 측정하였다.

분광반응특성 측정에 사용된 시료는 6인치 크기의 다결정 실리콘 태양전지 2개를 이용해 만들었으며 태양전지의 수광면은 비반사 코팅이 되어

있는 에폭시 수지를 사용하였다.

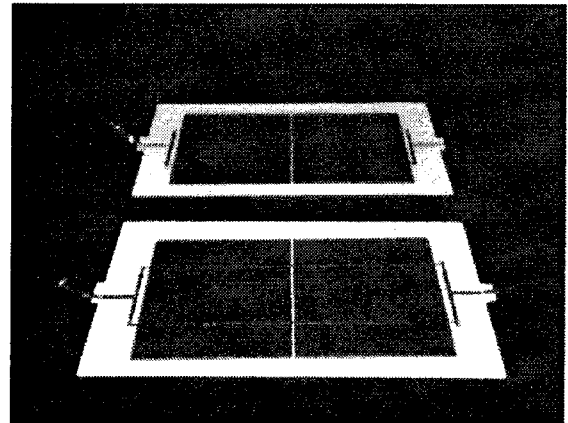


그림 4 분광반응특성 측정에 사용된 시료

2.4 시험결과

각 시료에 들어있는 두 개의 태양전지 셀중에서 임의로 한쪽을 선택하여 셀의 중앙부분에 직경 15mm의 빔을 조사하였다.

다음은 분광반응특성을 측정한 결과이다. 같은 셀을 사용한 두 시료는 거의 같은 반응을 나타내고 있으며 두 시료 모두 600nm~700nm범위의 파장에서 90%를 초과하는 광전자양자효율을 나타내고 있다.

표 2 시료1의 분광반응특성 측정데이터

Wavelength [nm]	Solar Cell Response [A/W/sqcm]	IPCE [%]
300	35.14	1.88
350	60.57	2.77
400	274.50	11.00
450	833.32	29.68
500	1539.07	49.34
550	3064.34	89.30
600	3743.50	100.00
650	3966.14	97.80
700	4279.74	97.99
750	4211.24	90.00
800	3646.14	73.05
850	3598.24	67.85
900	4018.61	71.57
950	4642.74	78.33
1000	3459.95	55.46
1050	1458.32	22.26
1100	378.9	5.52

표 3 시료2의 분광반응특성 측정데이터

Wavelength [nm]	Solar Cell Response [A/W/sqcm]	IPCE [%]
300	34.36	1.79
350	59.10	2.64
400	272.91	10.66
450	852.92	29.61
500	1582.98	49.47
550	3128.26	88.87
600	3840.15	100.00
650	4084.31	98.18
700	4389.91	97.99
750	4276.85	89.10
800	3657.18	71.43
850	3580.15	65.81
900	3867.58	67.14
950	4385.58	72.13
1000	3133.48	48.96
1050	1313.13	19.54
1100	275.63	3.91

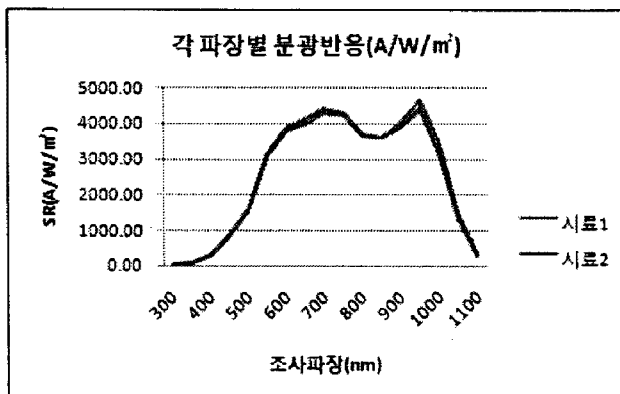


그림 5 각 파장별 분광반응

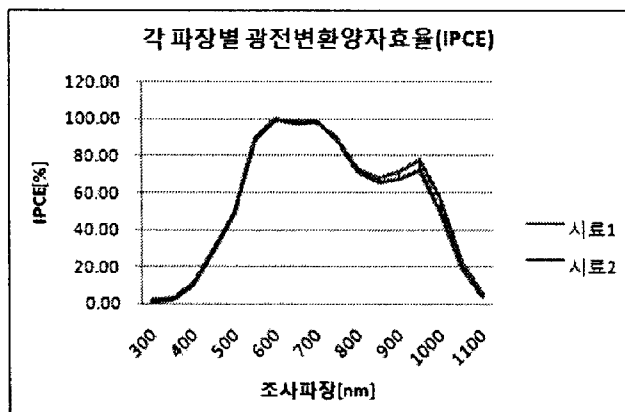


그림 6 각 파장별 IPCE 그래프

위 시험 데이터에서 볼 수 있듯이 광전변환 양자 효율이 50%를 초과하는 범위는 시료 1의 경우 550nm~1000nm 까지이며, 시료 2의 경우 550nm~950nm 의 범위를 가진다. 정리하자면 시험에 사용된 다결정 실리콘 태양전지는 500nm 이상의 가시광 영역부터 1000nm 까지의 적외선 영역까지의 영역에서 비교적 높은 효율을 보인다는 것을 알 수 있다.

3. 결론

본 연구에서는 일반적인 다결정 태양전지의 분광응답특성을 측정하여 각 파장대에서 에너지변환 효율을 알아보았다. 이 연구에 사용된 다결정 실리콘 태양전지의 분광응답특성은 550nm~950nm사이에서 두드러지게 나타나며, 자외선 영역은 거의 영향을 주지 못하는 것으로 보이고 있다. 이를 통해 실제 태양전지의 성능을 측정할 때 사용되는 광원을 결정하는데 있어서 기초 자료로 쓰일 수 있으며, 모듈을 제조하는데 있어서 원자재 선택의 기준이 될 것으로 기대한다.

[참고 문헌]

- [1] Tsuno Y. 외 2, "A Method for Spectral Response Measurements of Various PV Modules", 23rd European Photovoltaic Solar Energy Conference, pp. 2723~2277, 2008
- [2] Pravettoni M. 외 5, " Spectral Response Measurements of Multi-Junction PV Modules at the European Solar Test Installation Laboratories and their Usage in Clear Day Outdoor Characterisation", 23rd European Photovoltaic Solar Energy Conference, pp. 2908~2912, 2008
- [3] Bremner S.P. 외 2, " Limiting Efficiency of an Intermediate Band Solar Cell Under Concentrated AM1.5 Spectrum", 23rd European Photovoltaic Solar Energy Conference, pp. 37~40, 2008
- [4] Dieter K 외 1, "반도체 소자분석 개정3판", Wiley, pp. 1~754, 2008
- [5] 이재형 외 2, "태양전지 원론", 홍릉과학출판사, pp. 2~420, 2005