

단결정과 다결정 태양전지 모듈의 광학적 특성에 따른 전기적 출력 특성 분석

이진섭*, 강기환**, 박지훈*, 유권중**, 안형근*, 한득영*
 건국대학교*, 한국에너지기술연구원**

Electrical Characteristics Analysis for single-crystalline and multi-crystalline PV module optical character.

Jin-Seob Lee*, Gi-Hwan Kang**, Chi-Hong Park*, Gwon-Jong Yu**, Hyunggun Ahn*, Deuk-Young Han*
 Konkuk University*, Korea Institute of Energy Research**

Abstract - After lamination process, Isc is increased by sheet reflection. This paper presents the electrical output characteristics by back sheet reflection. The experiments was conducted by using single crystalline and multi crystalline PV module. The reflection area of single crystalline PV module is larger than multi one due to the difference of solar cell manufacturing. The experiments show that the increased performance ratio of single crystalline PV module output power is 1.55% rather than that of multi crystalline PV module output power is 1.13%. In addition, it is expected that the output power of single one rather than multi-one is increased by the lower temperature when the PV module is installed outside. The results can be reconsidered by the test material and test process. Back sheet used for humidity prevention makes PV module output power increasing.

절각 r 도 증가하다가 굴절각 r 이 90° 가 되면 그 이상 큰 입사각의 빛은 모두 반사하게 된다. 이러한 현상을 전반사라고 하며 굴절각이 90° 가 되는 입사각을 임계각 i_c 라고 한다. 즉, 입사각이 임계각 이상이 되면 입사되는 모든 빛은 반사하게 되는 것이다. 임계각으로 입사하는 빛에 대해서는

$$\frac{\sin i_c}{\sin 90^\circ} = n_{12} \quad \text{또는} \quad \sin i_c = n_{12} \quad (n_{12} < 1)$$

가 되며, 물질 1의 굴절률이 n_1 이고 물질 2가 공기이면

$$\sin i_c = \frac{n_2}{n_1} = \frac{1}{n} \quad \text{또는} \quad i_c = \sin^{-1}\left(\frac{1}{n}\right)$$

가 된다. 위의 식에서 볼 수 있는 바와 같이 임계각은 물질의 굴절률이 클수록 작아진다.

1. 서 론

태양전지 모듈은 태양전지를 직렬 또는 병렬로 회로를 구성한 후, 진공상태에서 열 봉합하여 외부에 노출 시 장기간 동안 태양전지를 보호하고, 구조물 또는 다양한 설치장소에 태양광 발전 시스템을 설치하기 용이하게 제작되어진 태양전지 판이다. 이렇게 Lamination 공정을 거친 태양전지 모듈은 전면에 사용되는 유리와 습기침투 방지 및 완충제 역할을 하는 EVA Sheet에서의 투과율 감소에 의해 태양전지에 도달하는 빛의 양이 감소하게 된다.

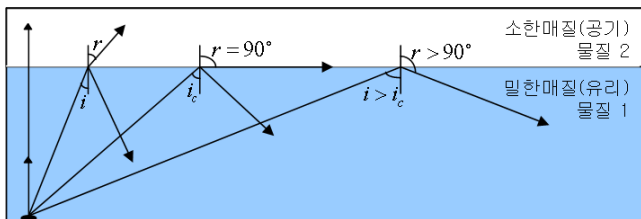
따라서, 일사강도에 비례하는 Isc가 감소하게 되고 Isc감소에 의해 전기적 출력이 감소하게 될 것이다.

하지만, 모듈면적 대비 태양전지가 차지하는 면적이 적은 Back-sheet 타입의 모듈에서 Lamination 후 Isc 증가에 의해 전기적 출력이 증가하는 현상이 실험으로 증명되었으며 이러한 Isc의 증가는 모듈 내에서 발생하는 전반사 효과에 의한 것으로 예측된다. 이러한 전반사효과에 의해 모듈의 전기적 출력이 증가하게 된다면 태양전지와 태양전지 사이의 후면에 사용되는 Back-sheet의 공간이 넓어짐으로 더 많은 빛이 후면에서 반사되어 태양전지로 입사하게 되고 입사되는 빛의 양의 증가에 의해 전기적 출력은 증가하게 될 것이다.

본 논문에서는 단결정과 다결정 태양전지의 제조공정상의 차이로 인한 형태의 이점을 이용하여 같은 크기의 모듈에서 태양전지와 태양전지 사이의 후면에 사용되는 Back-sheet의 반사유효면적 차이에 따른 전기적 출력 특성 및 온도 특성에 대하여 분석 하였다.

2. 본 론

2.1 전반사 효과



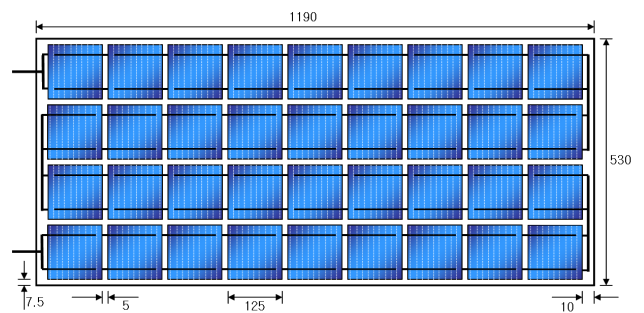
<그림 1> 전반사 효과

<그림 1>은 전반사 효과에 대한 그림으로서 굴절률이 큰 물질(즉, 밀한매질)에서 굴절률이 작은 물질(즉, 소한매질)로 빛이 입사할 때, 위의 그림과 같이 굴절각 r 은 입사각 보다 크다. 입사각 i 가 커짐에 따라 굴

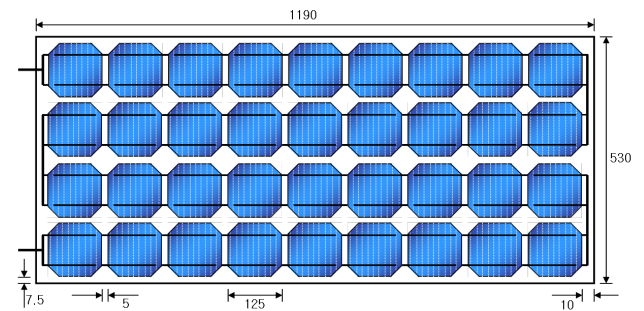
2.2 실험장치 및 구성재료

본 실험에서는 PasanIIIb Sun simulator(Baval S.A)를 사용하여 STC 조건(AM1.5, 25°C , $1\text{kW}/\text{m}^2$)에서 인공광원법에 의해 전기적 출력을 측정 하였다. 또한, Data Logger(GL450)을 이용하여 1일동안 옥외에 노출 시킨 상태에서 Back Sheet의 반사유효면적 온도를 측정 하였다. 구성재료를 보면 전면에 사용된 유리는 5mm의 저철분 강화유리를 사용하였고 후면에 사용된 Sheet는 Krempel사의 White Back Sheet를 사용하였으며 태양전지는 5인치 단결정과 5인치 다결정의 태양전지를 이용하여 시료를 제작 하였다.

2.3 제작시료 및 실험 방법



<그림 2> 다결정 시료



<그림 3> 단결정 시료

<그림 2>와 <그림 3>은 본 실험을 위해 제작된 시료의 그림으로서 태양전지 간격은 5mm로 하였고, 같은 5인치 시료지만 다결정과 단결정의 태양전지 제조공정상의 차이로 표1에서 보는 바와 같이 후면 Sheet의 반사유효면적이 증가하게 된다. 단, 태양전지의 Interconnection용으로 사용되는 Ribbon과 Busbar의 면적은 무시하였다.

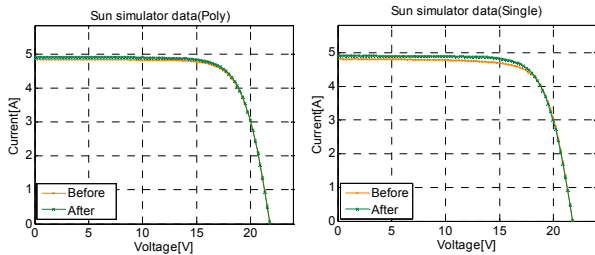
실험 방법은 태양전지를 Interconnection하여 Lamination공정 전에 전기적 출력을 측정후 Lamination공정을 통하여 제작된 Back-sheet타입의 모듈을 초기 측정과 같은 방법으로 전기적 출력을 측정하여 단결정과 다결정 태양전지모듈의 후면 Sheet반사율에 따른 전기적 특성과 온도 특성을 분석하였다.

<표 1> 반사유효면적 비교

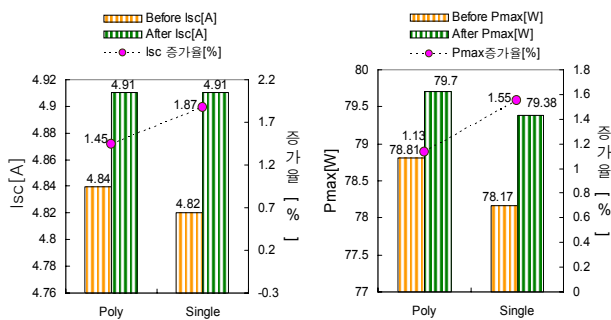
	Poly	Single	비 고
모듈 면적[cm ²]	119×53=6,307	119×53=6,307	
셀 면적[cm ²]	156.3×36=5,626.8	148.3×36=5,338.8	
반사유효면적[cm ²]	680.2	968.2	288cm ² 증가

3. 결과 및 고찰

본 논문에서는 단결정과 다결정 태양전지의 제조공정상의 차이로 인한 형태의 이점을 이용하여 같은 크기의 모듈에서 태양전지와 태양전지 사이의 후면에 사용되는 Back-sheet의 반사유효면적의 차이에 따른 전기적 출력 특성 및 온도 특성에 대하여 실험하였다. <그림 4>에서 보는 바와 같이 Lamination공정을 거친 단결정과 다결정 시료에서 Lamination 공정을 하기전의 시료에 비해 Isc가 증가하게 된다. Isc는 태양전지의 면적과 일사강도에 비례하게 되는데 같은 태양전지의 면적에서 Isc가 증가했다면 일사강도의 증가에 의해 Isc가 증가한 것으로 볼 수 있다. 이는 전반사 효과에 의해 빛의 이용률이 높아지기 때문인데, 다시 말하면 유리를 통과한 빛이 후면의 White Back Sheet에서 반사되어 다시 유리 표면에서 반사되고 태양전지로 빛이 흡수되는 현상이다. 그러므로 후면 Sheet의 반사유효면적이 증가하게 되면 전기적 출력도 증가하게 되는 것이다.



<그림 4> 단결정과 다결정 Lamination 전후의 I-V특성

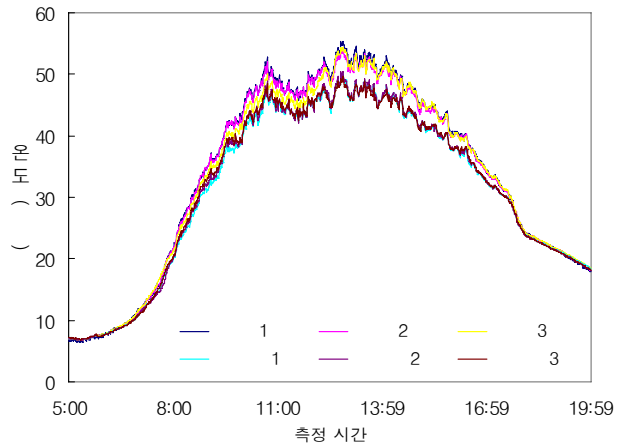


<그림 5> 단결정과 다결정 Lamination 전후의 증가율

<그림 5>는 단결정과 다결정 시료의 Lamination 전·후의 Isc와 Pmax의 증가율을 나타낸 그림으로서 다결정 모듈의 경우 4.84A에서 4.91A로 Isc가 증가함으로써 1.45%의 증가율을 나타냈으며, 단결정 모듈의 경우 4.82A에서 4.91A로 1.87%의 증가율을 나타내었다. 또한, 전기적 출력은 다결정 모듈의 경우 78.81W에서 79.7W로 1.13%의 증가율을 나타냈으며, 단결정 모듈의 경우 78.17W에서 79.38W로 1.55%의 증가율을 나타내었다. 실험결과 다결정 모듈의 증가율에 비해 단결정 모듈의 증가율이 더 큰 폭으로 증가하였다. 위의 결과와 같이 Lamination공정에서 유리와 EVA Sheet의 투과율 감소에 의해서 모듈화를 시키면 출력이 감소하게 되는 것이 아니고, 모듈화를 시키게 되면 후면 Sheet의 반사유효

면적이 클 경우 후면 Sheet의 반사에 의해서 전기적 출력은 증가하게 된다. 다만, 상용화된 모듈이 이론적 출력에 비해 감소하게 되는 이유는 Junction Box, Connector Cable, Connector 에서의 접촉저항의 증가와 후면 Sheet의 유효반사면적 감소에 의해서 전기적 출력은 감소하게 된다.

<그림 6>은 단결정과 다결정 태양전지모듈의 후면 Sheet 반사유효면적의 차이에 의한 모듈의 온도를 측정된 결과로서 그림에서 보는 바와 같이 다결정 시료에 비해 단결정 시료의 온도가 낮은 것을 알 수 있다. 12:53의 경우 다결정 모듈의 반사유효면적의 온도가 평균 54.7℃로써 단결정 모듈의 평균 온도인 50.1℃에 비해 4.6℃가 더 높은 것을 알 수 있다. 모듈을 실제로 Site에 설치하였을 경우 단결정 모듈은 주변 태양전지의 열 간섭으로부터 다결정 모듈에 비해 자유롭기 때문에 냉각 효과가 커짐에 따라 실제 발전량은 더 증가하게 될 것으로 예상된다.



<그림 6> 단결정과 다결정 태양전지 모듈의 온도 특성

3. 결 론

본 논문은 후면 Sheet의 반사유효면적의 크기가 다른 모듈의 광학적 특성에 따른 전기적 출력 특성을 비교 분석하기 위한 실험으로 단결정과 다결정 태양전지로 회로가 구성된 모듈을 제작하여 전기적 출력 특성 및 온도 특성을 분석하였다. 다결정 모듈의 경우 4.84A에서 4.91A로 Isc가 증가함으로써 1.45%의 증가율을 나타냈으며, 단결정 모듈의 경우 4.82A에서 4.91A로 1.87%의 증가율을 나타내었다. 전기적 출력은 다결정 모듈의 경우 78.81W에서 79.7W로 1.13%의 증가율을 나타냈으며, 단결정 모듈의 경우 78.17W에서 79.38W로 1.55%의 증가율을 나타냈으며, 후면 Sheet의 반사유효면적의 크기가 증가한 단결정 모듈에서 출력이 더 증가하게 되었다.

또한, 모듈을 실제로 Site에 설치하였을 경우 단결정 모듈은 주변 태양전지의 열 간섭으로부터 다결정 모듈에 비해 자유롭기 때문에 냉각 효과가 커짐에 따라 실제 발전량은 더 증가하게 될 것으로 예상된다.

전반사에 의한 출력 증가에 있어서 고려해야할 사항인 전면에서 사용되는 유리의 투과율과 두께 그리고 유리의 종류(미스트라이트 등), 태양전지의 간격, 단결정과 다결정, 그리고 후면 Sheet의 반사율 등에 의해 실험 결과는 크게 달라질 것이며 위의 사항을 적절하게 잘 이용한다면 정해진 태양전지의 용량에서 더 큰 전기적 출력을 얻을 수 있을 것이며 추후 추가 실험을 하고자 한다.

[참 고 문 헌]

[1] 이진섭외, "PV모듈에서 태양전지의 간격에 따른 전기적 출력 특성 분석", 한국전기전자재료학회 하계 학술대회, 2008.
 [2] Luque, "Handbook of Photovoltaic Science and Engineering, Part I, WILEY, 2002.
 [3] NREL, "Innovative Approaches to Low Cost Module Manufacturing of String Ribbon Si PV Modules", NREL/SR-520-36908, 2004.
 [4] Edson L, Meyer and E, Ernest van Dyk, "Assessing the Reliability and Degradation of Photovoltaic Module Performance Parameters", IEEE TRANSACTIONS ON RELIABILITY, VOL.53, NO.1, 2004.