

PV모듈에서 후면Sheet의 광학적 특성에 따른 전기적 출력 특성

이진섭*, 강기환**, 박지홍*, 유권중**, 안형근*, 한득영*

*건국대학교(jslee79@konkuk.ac.kr), **한국에너지기술연구원(ghkang@kier.re.kr),

Electrical Characteristics of PV Module According to Optical Characteristics of Back-sheet

Lee, Jin-Seob*, Kang, Gi-Hwan**, Park, Chi-Hong*, Yu, Gwon-Jong**
Ahn, Hyung-Gun*, Han, Deuk-Young*

*Konkuk University(jslee79@konkuk.ac.kr),

**Korea Institute of Energy Research(ghkang@kier.re.kr).

Abstract

In this paper, we analyze the electrical characteristics of PV depending on distance among solar cells before and after lamination process. From the result, the PV module's maximum power increases about 3.37% when solar cells's distance is 10mm. And the maximum power increases up to 8.42% when solar cells's maximum distance is 50mm. It is assumed that PV module's surface temperature decreases because of increasing distance between solar cells that would give high power generation. Also, short distance between solar cell and frame result in contamination on glass. When considering reduced maximum power caused by contaminant, from that, we can fabricated PV module of lower cost with high performance.

Keywords : Photovoltaic, I-V Curve, Lamination, Total Reflection, White Back sheet, Black Back sheet, Glass

1. 서론

태양전지모듈은 태양전지를 직렬 또는 병렬로 회로를 구성한 후 진공상태에서 열 봉압하여 외부에 노출 시 장기간 동안 태양전지를 보호하고, 구조물 또는 다양한 설치 장소에 태양광 발전 시스템을 설치하기 용이하게 제작

되어진 태양전지 판이다. 이렇게 Lamination 공정을 거친 태양전지모듈은 전면에 사용되는 유리와 습기침투 방지 및 완충제 역할을 하는 EVA Sheet에서의 투과율 감소에 의해 태양전지에 도달하는 광량은 감소하게 될 것이다. 따라서, 일사강도에 따라 증감하게 되는 전류가 감소하게 되고 전류의 감소에 의해 태양전

지모들의 전기적 출력이 감소하게 될 것이다.

하지만, 모듈면적 대비 태양전지가 차지하는 면적이 적은 White Back Sheet 타입의 모듈에서 Lamination 후 전류 증가에 의해 전기적 출력이 증가하는 현상이 실험으로 증명되었으며 이러한 전류 증가는 모듈 내에서 발생하는 전 반사효과에 의한 것으로 예측된다. 이러한 전 반사효과에 의해 모듈의 전기적 출력이 증가하게 된다면 태양전지와 태양전지 사이의 후면 Sheet의 반사유효면적의 증가에 의해 또는 반사율이 높은 후면 Sheet의 사용으로 인해 더 많은 빛이 후면에서 반사되어 태양전지로 다시 입사하게 되고 입사되는 빛의 양의 증가에 의해 모듈의 전기적 출력은 증가하게 될 것이다.

본 논문에서는 태양전지와 태양전지의 간격이 다른 모듈에서 후면 Sheet의 반사유효면적의 차이에 의한 전기적 출력 특성과 후면 Sheet의 반사율의 차이에 의한 전기적 출력 특성에 대하여 분석하였다. 또한, 모듈의 효율을 증가시키기 위해 태양전지와 태양전지의 간격을 좁게 제작하는 모듈의 프레임 부분의 유리 오염으로 인한 전기적 출력 감소의 심각성을 부각시키고자 한다.

2. 본 론

2.1 전 반사 효과

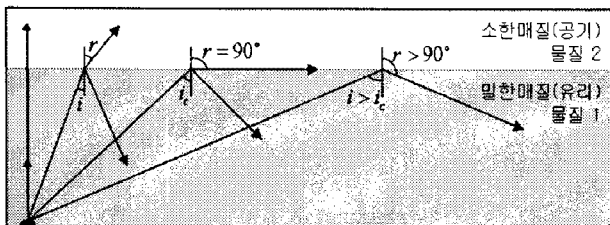


그림 1. 전 반사 효과

그림 1은 전 반사 효과에 대한 그림으로 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 굴절각 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

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

가 되며, 물질 1의 굴절률이 n_1 이고 물질 2가 공기이면

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

가 된다. 위의 식에서 보는 바와 같이 임계각은 물질의 굴절률이 클수록 작아진다.

2.2 제작시료 및 실험방법

2.2.1 태양전지 간격에 따른 전기적 출력특성

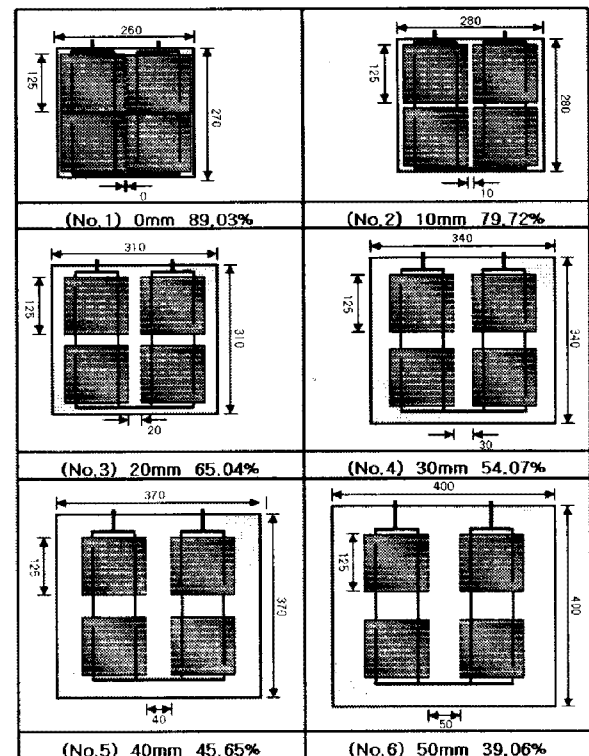


그림 2. 태양전지 간격에 따른 측정시료

그림 2는 태양전지의 간격에 따른 전기적 출력특성을 분석하기 위해 제작한 시료의 그림으로서 태양전지와 태양전지의 간격을 0mm ~ 50mm로 증가 시키면서 4직렬의 총 6개 시료를 제작하였고, 각 모듈에서 셀이 차지하는 비율은 그림에서 나타내고 있다.

실험 방법은 태양전지를 Lamination을 하지 않고 유리판위에 태양전지를 Interconnection 하여 Sun-simulator를 이용하여 STC조건에서 전기적 출력을 측정후 Glass/EVA/Cell/EVA/Back sheet의 구조로 셋팅 하여 Lamination공정을 통하여 모듈화 하였다. Lamination공정을 통하여 제작된 Back sheet 타입의 모듈을 초기 측정과 같은 방법으로 전기적 출력을 측정하여 Lamination후의 태양전지 간격에 대하여 Back sheet의 반사광에 의한 전기적 출력의 증가율을 비교하였다.

2.2.2 후면Sheet의 반사율에 따른 전기적 출력특성

그림 3은 동일한 반사 유효면적에서 후면 Sheet의 반사율에 따른 출력 특성을 분석하기 위해 제작한 시료의 그림으로서 동일한 크기의 유리와 2직렬 2병렬의 태양전지로 구성된 모듈의 후면에 종류가 다른 두개의 White Back sheet와 Black Back sheet 그리고 BIPV용 모듈로 제작되는 Glass등 총 4종류의 후면 Sheet를 이용하여 제작하였다.

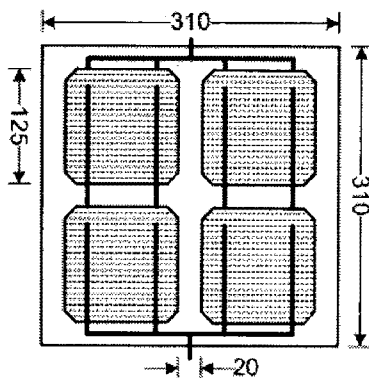


그림 3. 후면 Sheet의 반사율에 따른 측정 시료

실험 방법은 태양전지의 간격에 대한 실험과 같은 방법으로 Lamination을 하지 않고 전기적 출력을 측정후 각각의 후면시트의 종류에 따른 출력을 측정하였다.

또한 반사율 측정 장비를 이용하여 Back sheet의 반사율을 측정하여 반사율에 따른 전기적 출력 특성을 비교 분석 하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 태양전지 간격에 따른 전기적 출력 특성

그림 4는 태양전지의 간격에 따른 Lamination 전·후의 I-V Curve로서 태양전지의 간격이 거의 0 mm에 가까운 No.1의 시료는 후면 Sheet의 반사유효면적이 거의 존재하지 않으므로 Lamination전·후의 I-V Curve가 거의 동일하지만 태양전지 간격이 증가할수록 I-V Curve가 차이가 나게 된다. I-V Curve에서 볼 수 있듯이 전압은 일정한 반면 전류값이 증가하는 것을 볼 수 있다.

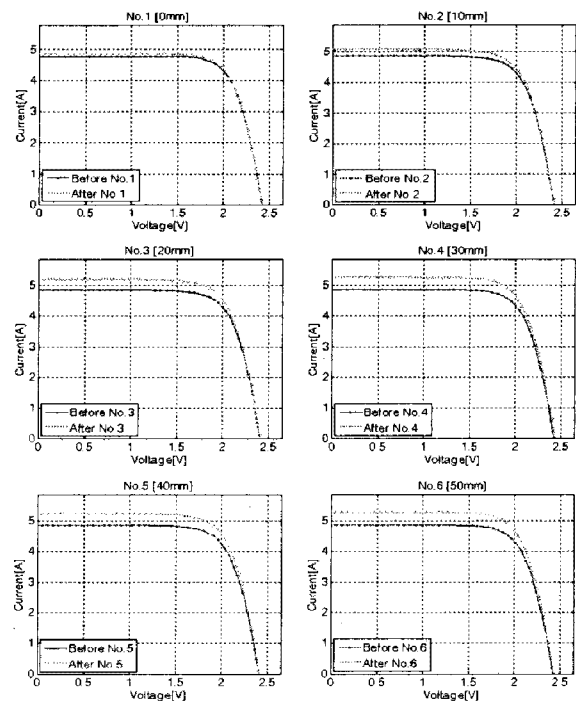


그림 4. 태양전지 간격에 따른 I-V Curve

$$I = I_L - I_0 \left(\exp \frac{q(V + IR_s)}{nkT} - 1 \right) - \frac{V + IR_s}{R_{sh}}$$

위의 태양전지의 일반적인 전류식 에서도 알 수 있듯이 태양전지의 전류는 Photo 전류 (I_L) 즉, 광전류에 비례하게 되므로 같은 크기의 또는, 같은 태양전지의 모듈에서 전류가 증가하게 된 것은 일사강도의 증가에 의해서 전류가 증가했다고 볼 수 있다. 이는 굴절률이 큰 물질에서 굴절률이 작은 물질로 빛이 입사할 때 굴절각이 90°이상이 되면 입사된 빛이 모두 반사하게 되는 전반사 효과에 의해 빛의 이용률이 높아지기 때문이다. 다시 말하면, 유리를 통과한 빛이 후면의 White Back Sheet에서 반사하게 되고 다시 유리의 표면에서 반사하게 되어 태양전지로 빛이 흡수되는 현상이다.

그림 5는 Lamination 전후의 출력 증가율을 나타낸 그림으로서 No.1의 출력 증가율은 8.65W에서 8.72W로 0.81% 증가하는데 그쳤으나, 태양전지의 간격이 10mm인 시료에서는 8.64W에서 8.93W로 3.37%의 전기적 출력이 증가하였다. 또한, 20mm의 태양전지 간격을 둔 No.3의 시료에서는 5.92%의 전기적 출력 증가율 나타내었고 No.4와 No.5의 시료에서는 7.34%와 7.83%의 전기적 출력이 증가하였다. 최대 50mm의 태양전지의 간격을 둔 No.6의 시료에서는 8.42%의 출력 증가율을 나타냄으로서 태양전지의 간격에 따라 많은 양의 전기적 출력이 증가하게 되는 것을 알 수 있다.

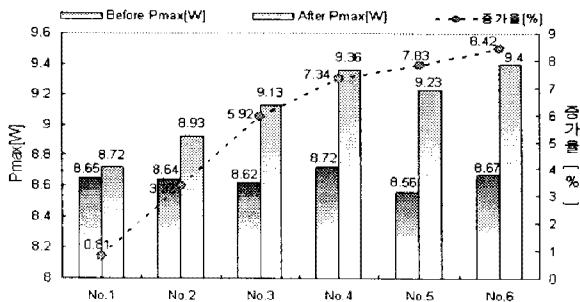


그림 5. Lamination 전·후의 출력 증가율

위와 같은 결과를 토대로 후면 Sheet의 반사율의 차이에 따라서는 어떠한 출력 특성을 갖는지 다음의 후면 Sheet의 반사율에 따른 전기적 출력 특성 실험을 수행하였다.

3.2 후면 Sheet의 반사율에 따른 출력 특성

그림 6은 후면 Sheet로 사용된 White Back sheet 1번과 2번, Black Back sheet 3번, Glass 4번의 반사율을 측정된 결과로서 측정 파장 범위는 200nm~1100nm이다. 그림에서 보는 바와 같이 White Back sheet의 경우 1, 2번 모두 높은 반사율을 나타내지만 Black Back sheet와 Glass의 경우 낮은 반사율을 보이고 있다.

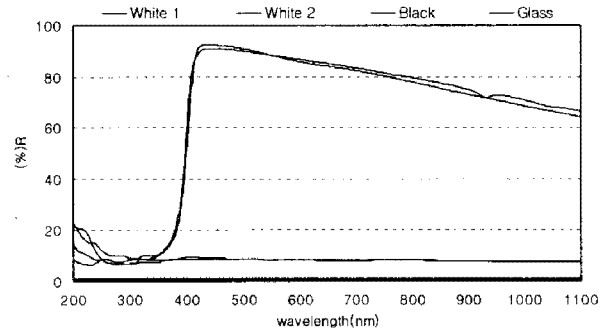


그림 6. 후면 Sheet의 반사율

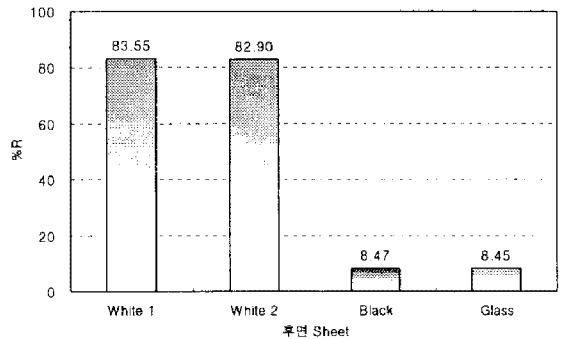


그림 7. 후면 Sheet의 가시광선 평균 반사율

그림 7의 가시광선(380nm~770nm) 영역에서의 평균 투과율에서도 볼 수 있듯이 White

Back sheet의 경우 83.55%와 82.90%로서 높은 반사율을 나타내었지만 Black Back sheet와 Glass의 경우는 각각 8.47%와 8.45%로서 빛이 거의 반사되지 않고 흡수 또는 투과하게 됨으로서 낮은 반사율을 나타 내었다.

그림 8은 후면 Sheet의 재료로 사용된 White, Black, Glass의 반사율에 따른 Lamination 전·후의 I-V Curve로서 83.55%와 82.90%로 반사율이 높은 White1과 White2의 경우 Lamination전의 Isc에 비해 White Back-sheet를 사용한 Lamination후의 경우 그림 4의 실험 결과와 마찬가지로 Isc가 증가하게 되었다.

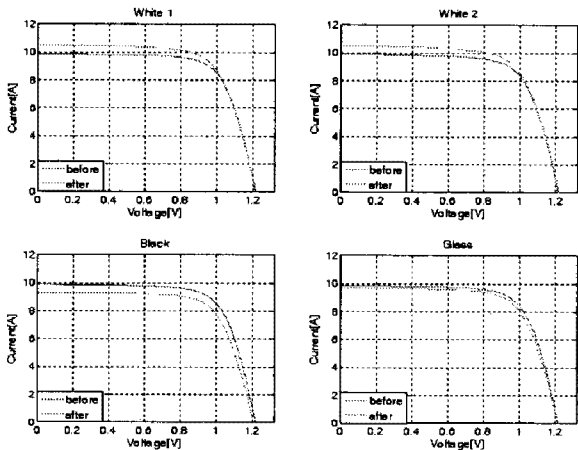


그림 8. 후면 Sheet의 반사율에 따른 I-V Curve

하지만, 8.47%와 8.45%로 반사율이 현저히 감소한 재료인 Black Back-sheet와 Glass의 경우는 반사율이 좋은 Sheet의 Isc증가와와는 달리 후면 Sheet의 반사에 의한 전반사 효과가 발생하지 않아 Lamination전의 Isc에 비해 Lamination후의 Isc는 감소하게 되었다.

이는 태양전지의 전면 재료로 사용되는 Glass와 EVA sheet에서의 투과율 감소 즉, 태양전지에 도달하는 일사강도의 감소에 의해 Isc가 감소하게 되는 것으로 White Back-sheet의 경우 Glass와 EVA sheet에서의 투과율 감소에 의한 손실에 비해 후면 Sheet의 반사에 의한 이득이 더 크기 때문에 Isc가 증가하게 되는 것이다. 다시 말하면 후면 Sheet의 반사에 의한 출력증가율은 상당

히 크다고 할 수 있다.

그림 9는 후면 Sheet의 반사율에 따른 Isc의 증감률에 대한 그림으로서 반사율이 가장 좋은 White1의 시료의 경우 9.85A에서 10.51A로서 6.7%의 Isc증가율을 나타내었다.

이에 이어 White2 시료의 경우도 9.9A에서 10.49A로서 5.96%가 증가하였다.

하지만 반사율이 낮은 Black Back sheet의 경우 9.86A에서 9.29A로 5.78% Isc가 감소하게 되었다. 또한, 비슷한 반사율을 가진 Glass의 경우 9.84A에서 9.68A로 1.63%감소하는데 그쳤는데 이는 Black Back sheet의 경우 조사된 빛을 거의 모두 흡수하게 되어 전반사 효과가 발생하지 않지만, Glass의 경우 빛을 투과시키기 때문에 모듈 후면에 존재하는 어떠한 물체의 반사에 의해 약간의 전반사 효과가 작용한 것으로 보인다.

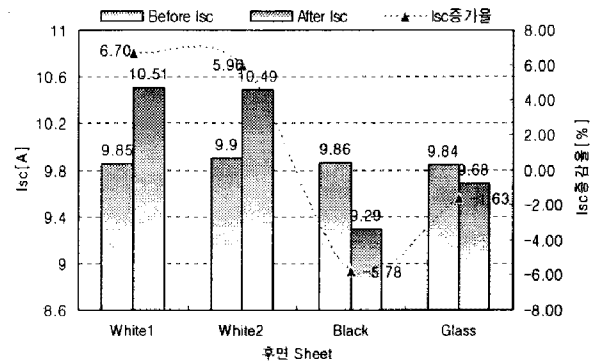


그림 9. 후면Sheet의 반사율에 따른 Isc 증감률

4. 결 론

본 논문은 PV모듈을 제작하는 과정에서 후면 Sheet의 반사 면적과 후면 Sheet의 반사율에 따라서 전기적 출력의 특성을 분석하기 위한 실험으로 후면 반사 면적이 증가하면 증가할수록 후면 반사율이 높으면 높을수록 전반사효과에 의한 영향으로 전기적 출력이 더 증가하게 된다.

반사 면적의 증가에 의한 실험에서 태양전

지 간격이 10mm인 시료에서는 3.37%의 출력이 증가하였고 태양전지 간격이 증가 할수록 출력이 증가하여 50mm 태양전지간격의 시료에서는 8.42%까지 출력이 증가하였다.

또한, 반사율에 의한 실험에서는 가시광선 영역에서의 반사율이 83.55%와 82.90%로 높은 White Back sheet의 경우 6.7%와 5.96%의 Isc 증가율을 나타내었다. 하지만, 가시광선 영역에서의 반사율이 8.47%와 8.45%의 Black Back sheet와 Glass의 경우는 5.78%와 1.63%의 Isc가 감소함으로서 전기적 출력 손실요인으로 작용하게 되었다.

PV모듈을 제작하는 과정에서 이와 같은 배열 조건이나 반사율이 높은 후면 구성 재료의 사용으로 같은 태양전지용량의 모듈에서 더 높은 경제적 이익을 얻을 수 있을 것이다.

참고문헌

1. 이진섭외, PV모듈 제조공정에서 Interconnection에 따른 전기적 손실 특성 분석, 대한전기학회 하계 학술대회, 2007.
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.