

결정질 태양전지 모듈 내부 저항의 Mismatch 분석

지양근*, 공지현*, 강기환**, 유권종**, 원창섭* 안형근*, 한득영*

*건국대학교 대학원 전기공학과(ygji@konkuk.ac.kr),
**한국에너지기술연구원 태양광연구단(ghkang@kier.re.kr),

The Analysis of mismatch with resistance on Si-PV module

Ji, Yang-Geun*, Kong, Ji-Hyun*, Kang, Gi-Hwan**,
Yu, Gwon-Jong**, Won, Chang-Sub*, Ahn, Hyung-Geun*, Han, Deuk-Young*

*Dept. of Electrical Engineering, Konkuk University(kkongchi@konkuk.ac.kr),
**Photovoltaic Research Group, Korea Institute of Energy Research(ghkang@kier.re.kr),

Abstract

In this paper, we test the electrical resistance of flat wire in the PV module. normally solar cell has two kind of flat wire(inter connection ribbon and bus bar ribbon). we found the phenomenon that has a unbalance with resistance when we make a wiring between of string. So, we measurement the resistance of flat wire each other. and analysis of mismatch with resistance between flat wires on PV module. next to survey of IR picture on mismatch flat wire samples for analyze of mismatch with current in the wire. and we perform IR test with solar cell that has a connection with flat wire for test the effect of mismatch resistance on solar cell.

Finally we perform the Dark I-V test for survey of effect by the unbalance of resistance. By the result of Dark I-V test, the series resistance of existing connection sample is large more then innovated connection sample.

Keywords : 태양전지모듈(Photovoltaic(PV) module), 직렬저항(series resistance), 부정합(mismatch)

1. 서 론

현재 대부분의 태양광 모듈 업체에서는 모듈 제

조시 약2~3%의 출력 손실이 발생하고 있다.

이와 같은 태양전지 모듈의 효율을 감소시키는 요소로는 저항성분, 태양전지 내에서의

재결합 및 광학적 손실을 들 수 있다. 광학적인 손실은 태양전지 표면에서 빛의 반사에 의한 손실로 texturing 및 반사 방지막 코팅을 이용하여 줄일 수 있다. 태양전지 내에서의 재결합 성분은 에미터 및 기판에서의 재결합, 공간전하층에서의 재결합, 표면재결합, 금속접합에서의 재결합, 표면 재결합, 금속접합에서의 재결합 등으로 나눌 수 있으며 양질의 산화막을 이용한 표면 passivation, 불순물의 제거 등을 통하여 감소시킨다. 저항성분에 의한 감소는 태양전지 차원에서 가장자리(edge)에서의 누설 전류(leakage current), 도핑된 에미터에서 금속전극 방향으로 전류의 흐름에 의한 저항, 기판과 금속전극 및 접촉저항과 관련된 직렬 저항으로 구분된다. 태양전지의 효율을 향상시키기 위해서는 태양전지 구조의 적당한 설계에 의하여 각 손실성분들은 최소화해야 한다. 특히, 태양전지 표면의 금속전극은 표면에서의 빛의 반사 및 직렬저항 성분에 큰 영향을 준다. 따라서 실리콘 전면의 금속 전극은 광에 의해 생성된 광전류가 흐를 수 있게 충분한 단면적을 가져야 하며, 광전류를 외부의 부하로 전달하기 위하여 광 생성전류가 금속전극을 따라 흐를 때, 금속전극 물질은 전기전도도가 충분히 높아 금속전극의 자체 저항 성분에 의한 손실을 최소화하여야 한다. [1]

태양전지 모듈 차원에서의 저항 성분으로는 금속 전극의 저항과 연결 부위의 접촉저항을 예로 들 수 있다. 태양전지에서 생성된 전류의 손실을 최소화하면서 부하에 도달할 수 있도록 최적의 단면적과 길이 선정이 중요하다.

본 논문에서는 태양전지 모듈의 내부 저항 요소에 대해 연구 조사하고, 그 결과를 토대로 내부 저항의 mismatch에 대한 실험을 진행하였다.

2. 저항 관련 이론

광이 조사된 상황에서 pn 접합 태양전지의 기본

특성을 나타내는 I-V특성의 식은

$$J = J_0 \left(e^{\frac{q(V - JR)}{nkT}} - 1 \right) - J_L \quad (1)$$

여기서, J_0 는 saturation current, n 는 diode상수, R 은 직렬저항, T 는 온도, J_L 은 광에 의해 생성된 전류밀도를 나타낸다.

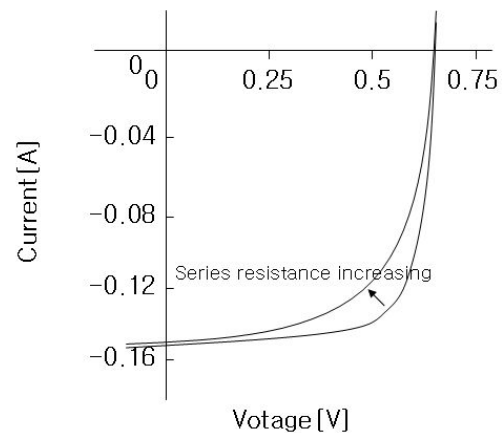


그림 1. 직렬 저항

식(1)으로부터 직렬저항이 증가함에 따라 [그림 1]에서와 같이 충전율(FF:fill factor)이 감소하여 태양전지의 효율은 감소하게 된다.[2]

3. 실험 장치 및 실험 방법

Inter connection ribbon과 bus bar ribbon이 태양전지에 연결될 때, R2, R3와 같이 다른 저항을 갖는 ribbon이 병렬로 연결되게 된다. 이와 같은 같은 저항의 불균형은 금속 전극내에 흐르는 전류의 불균형을 초래하게 되며, 발열 및 손실 증가 등 여러 가지 문제가 예상된다. (그림 2. 참조)

본 실험에서는 이와 같은 inter connection ribbon의 병렬연결에서 발생하는 저항의 불균형 현상에 대해 분석하고자 하였다.

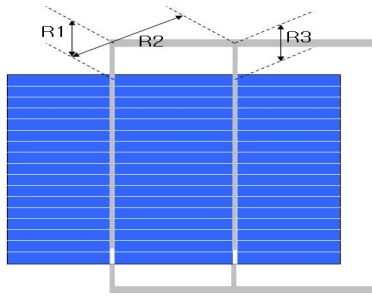


그림 2. 회로의 저항 측정 포인트

3.1 실험 장치

본 실험에서 금속 전극의 저항 측정을 위하여 DRP-3030D와 Digital multimeter M3500A를 사용하였으며, 저항의 mismatch에 의한 전류 흐름을 확인하기 위해 ThermoCAM S60을 사용하였다.

3.2 실험방법

본 실험에는 다음과 같은 재료들을 사용하였다.

표 1. 금속 전극 사양

구분	규격	비고
inter connection ribbon	2.0 × 0.15mm	
bus bar ribbon	5.0 × 0.18mm	

(1) 금속 전극의 저항 측정 방법

R1과 R2의 측정을 위해 우선 inter connection ribbon과 bus bar ribbon 각각의 저항 측정을 실시하였다. 실험 방법은 그림 3의 회로에 8A의 전류를 공급하고, 130mm 간격의 전압을 측정하였다. (그림. 2와 그림3 참조)

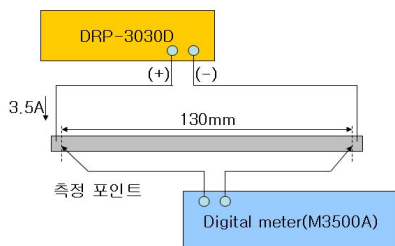


그림 3. ribbon의 저항 측정

다음으로 R1과 R2의 측정을 위해 그림 4와 이 태양전지 부분을 제외시킨 전극 샘플을 제작하고 전압 측정을 실시하였다.

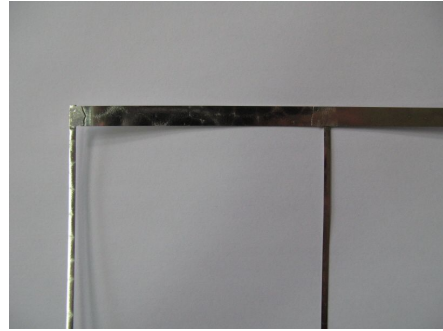


그림4. R1, R2 측정용 시료

실험을 통해 얻은 전압 결과를 식(1)을 이용하여 저항값으로 환산하였다.

$$V = IR \quad (1)$$

(2) 전류의 불균형 확인 실험

R1과 R2의 저항 차이에 의한 전류 비교를 위해 발전 상태에서의 금속 전극에서의 발열 실험을 진행하였다.

실험은 그림.5와 같이 실험용 샘플을 제작하고, 8A의 전류를 공급한 상태에서 ThermoCAM S60을 이용하여 금속에서의 온도 변화를 관찰하는 방법으로 진행하였다.

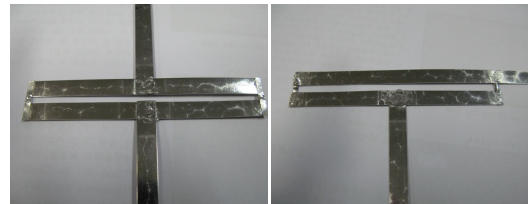


그림 5. 전극내 전류 불균형 실험 sample

(3) 태양전지 내부의 전류 불균형 확인 실험

위와 같은 실험의 결과가 태양전지 내부에도 영향을

미칠 것으로 판단되어 태양전지 내부의 온도 분포 분석을 실시하였다.

실험은 +, - bus bar ribbon을 모두 한쪽 방향으로 연결한 태양전지에 8A를 공급한 상태에서 태양전지의 온도 분포를 관찰하였다.(그림.6 참조)



그림 6. 태양전지내의 전류 불균형 sample

(4) 태양전지의 Dark I-V 실험

금속 전극의 저항 불균형이 태양전지에 미치는 영향을 실험하기 위해 Dark I-V 실험을 실시하였다.

실험은 태양전지에 bus bar ribbon을 측면으로 연결한 것과 같이 A(+)와, B(-)점을 통해 Dark I-V 실험을 실시하고, 태양전지의 bus bar ribbon을 R1과 R3이 같아지는 지점 즉 bus bar ribbon의 중앙 C(+)와 D(-)점을 통해 Dark I-V 실험을 실시하였다. (그림.7 참조)

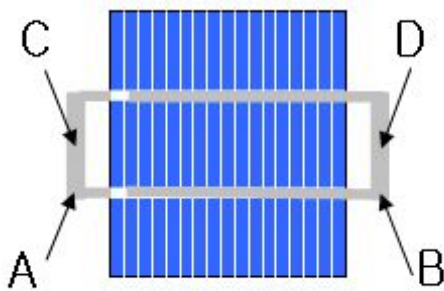


그림 7. Dark I-V 실험

(5) 저항 불균형 유무에 따른 전기적 성능 비교
금속 전극의 저항 불균형이 태양전지 모듈의 발전

성능에 미치는 영향을 분석하기 위한 실험을 진행하였다.

실험은 5inch 태양전지 4x4배열 태양전지 모듈을 제작하고 저항의 불균형 유무를 모두 실험 가능하도록 금속 전극을 연결하여 전기적 성능을 비교하였다.

4. 실험 결과 및 고찰

본 논문은 태양전지모듈 내부의 저항 중 inter connection ribbon의 저항 불균형에 의한 전류 집중 현상 및 태양전지에 미치는 영향을 분석하기 위한 실험으로 다음과 같은 결과를 도출하였다.

4.1 금속 전극의 저항 측정 결과

inter connection ribbon과 bus bar ribbon 그리고 R1과 R2의 저항 실험을 실시하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

표 2. 전극의 저항 측정 결과

구 분	저 항
inter connection ribbon	0.710±0.005mΩ/cm
bus bar ribbon	0.119±0.005mΩ/cm
R1	1.114±0.005mΩ
R2	0.215±0.005mΩ

실험 결과 Inter connection ribbon의 저항이 Bus bar ribbon의 저항보다 약 6배 높게 관찰 되었다.

R1과 R2의 측정 결과는 각각 1.114±0.005mΩ과 0.215±0.005mΩ으로 inter connection ribbon 사이를 연결하고 있는 bus bar ribbon의 저항(R4) 만큼의 저항차이가 발생하는 것이 확인되었다. (표 2. 참조)

이와 같은 결과에서 태양전지의 발전된 전류가 R1과 R2를 통해 합해진다는 것을 고려할 때, R3쪽으로 R1보다 큰 전류가 흐르게 될 것이다. 즉 태양전지에서도 R3쪽으로 더욱 높은 전류 흐름이 예상되며, 따라서 태양전지 내부에도 온도차이가 예상된다.

(2) 전류의 불균형 확인 실험

R1과 R3에 각각 다른 전류가 흐르는 것을 확인하기

위해 21℃의 항온실에서 발열 실험을 실시하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

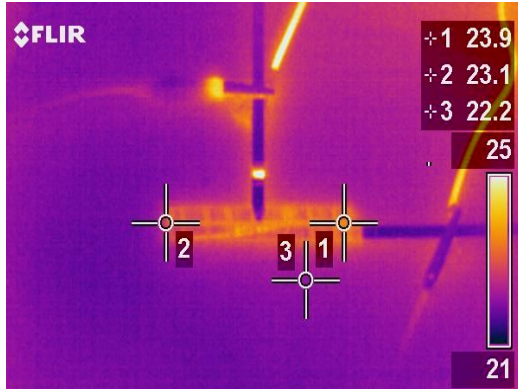


그림 9. 금속전극의 전류 불균형 측정 결과

그림에서 보듯이 저항이 작은 쪽(1번)에서 저항이 큰 쪽(2번)보다 약 $0.8\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 높은 온도가 관찰되었다. 이러한 사실로 볼 때 2번보다 1번에서 더 많은 전류가 흐르고 있다는 것을 확인 할 수 있다.(그림 9. 참조)

(3) 태양전지 내부의 전류 불균형 확인 실험

위와 같은 전극에서의 저항 불균형 현상이 태양전지에 미치는 영향 관찰을 위한 발열 실험을 실시하여 다음과 같은 결과를 얻었다. (그림 10. 참조)

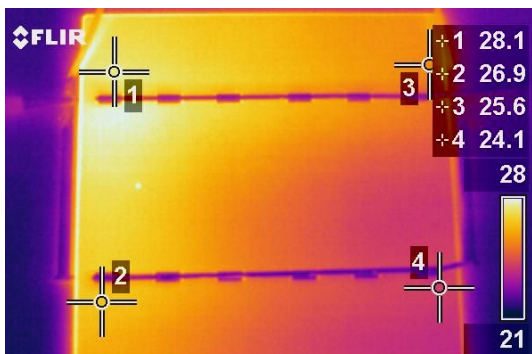


그림 10. 태양전지 내 전류 불균형 측정 결과

그림에서와 같이 태양전지의 1번과 3번 쪽 즉 저항이 작은 쪽이 2번과 4번쪽 즉 저항이 큰 쪽보다 높은

온도가 관찰되었다. 추가적으로 동일한 셀의 bus bar 방향을 바꾸면 온도 분포가 반대 경향을 보이는 것이 확인 되었다.

이와 같은 결과로 볼 때, 전극의 저항의 불균형이 태양전지내부의 전류 흐름에 영향을 미치며 이것이 태양전지 내부 온도 변화에 영향을 미치는 것을 알 수 있다.

이러한 현상은 태양전지의 성능 및 내구성에 영향을 미칠 것으로 예상된다.

(4) 태양전지의 Dark I-V 실험

이와 같은 금속 전극의 저항 불균형이 태양전지의 직렬 저항성분에 미치는 영향을 실험하기 위해 Dark I-V 실험을 실시하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

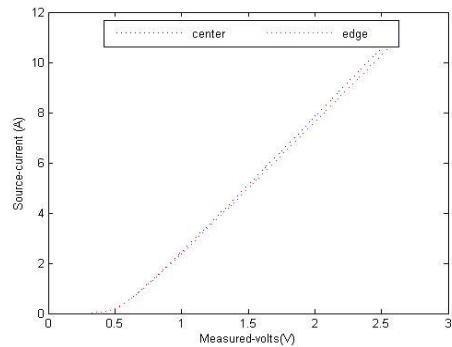


그림 11. Dark I-V 측정 결과

위와 같이 A와 B를 통해 측정한 결과가 C와 D를 통해 측정한 결과보다 낮은 기울기를 보이는 것으로 확인되었다. 이와 같은 결과로 볼 때 bus bar ribbon의 center에 연결했을 때(C, D)의 직렬저항이 bus bar ribbon의 edge에 연결했을 때(A와 B)보다 작은 것을 알 수 있다.(그림 11. 참조)

이와 같은 직렬저항이 스트링마다 존재하게 되며, 스트링의 수가 더욱 많아진다면 더욱 큰 영향을 미칠 것으로 예상된다.

(5) 저항 불균형 유무에 따른 전기적 성능 비교

저항 불균형 유무에 따른 전기적 성능 비교실험 결과 출력에는 큰 영향을 주지 못하는 것으로 실험되었

다. (그림 12. 참조)

참 고 문 헌

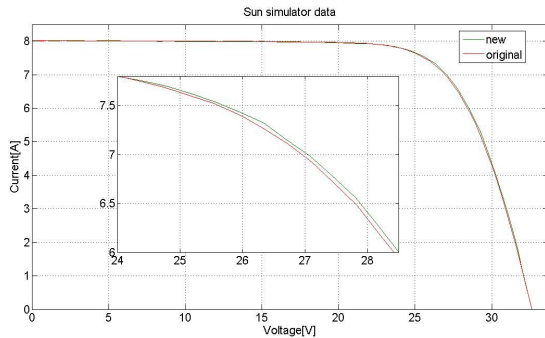


그림 12. 출력 측정 비교 결과

1. L. D. Partain Ed., "Solar cells and their applications", John Wiley & sons Inc., pp.2-22,1995.
2. M. Wolf, "Metallization for large area solar cells", 15th IEEE Photovoltaic specialists conference, p. 506, 1981.
3. 지양근외, "결정질 태양전지 모듈의 개선된 connection method", 한국에너지학회 추계학술대회 논문집, 2007.

5. 결론

본 논문에서는 태양전지 모듈의 내부 저항 요소에 대해 연구 조사하고, 그 결과를 토대로 내부 저항의 mismatch에 대한 실험을 진행하였다.

실험 결과로 볼 때 태양전지 모듈의 금속 전극 저항의 불균형은 태양전지의 내부 온도의 불균형을 유발하며 태양전지 모듈 영향을 미칠 것으로 판단된다.

현재는 태양전지 내부의 직렬저항 성분이 크기 때문에 저항의 불균형이 큰 영향을 미치진 않지만 향후 태양전지의 고효율화 기술에 따라 태양전지 내부의 직렬 저항 성분이 작아지면 이와 같은 영향은 매우 중요한 부분이 될 것으로 판단된다. 따라서 결정질 태양전지 모듈의 내부 회로를 디자인 할 때 전극의 단면적, 스펙 등에 이와 같은 저항의 비율을 고려되어야 할 것이다.

본 논문에서는 저항의 불균형에 의해 직렬 저항이 증가한다는 것을 확인 하였으며, 지속적인 연구를 통해 저항의 불균형이 태양전지 모듈에 미치는 악영향 연구를 진행할 계획이다.

후 기

본 연구는 지식경제부 신재생에너지기술 개발사업의 일환(2007-N-PV12-P-01)으로 수행되었습니다.