

결정질 태양전지 모듈의 개선된 Connection Method

지양근*, 공지현*, 강기환**, 유권종** 안형근*, 한득영*

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

The developed connection method on Si PV module

Ji, Yang-Geun*, Kong, Ji-Hyun*, Kang, Gi-Hwan**,
Yu, Gwon-Jong**, 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 measurement the resistance on the flat wire for PV module. There is some kind of flat wire that has different length and different contact area in the PV module. so we test the resistance on each case for analysis with common connection method. we measurement the electrical output characteristics and phenomenon of PV module that is applied new connetion method. by the result, The fill factor and electrical output characteristics on PV module are analyzed to getting better more then common connection method.

Finally we recommend the developed connection method for diminishing of resistance on PV module. It enhance the electrical character more than common connection method.

Keywords : 태양전지모듈 (Photovoltaic module), 결선 방법 (connection method), 내부저항 (internalresistance), 충전율(fill factor),

1. 서 론

현재 대부분의 태양광 모듈 업체에서는 모듈 제조시 약2~3%의 출력 손실이 발생하고 있다.

이와 같은 태양전지 모듈의 효율을 감소시키는 요소로는 저항성분, 태양전지 내에서의 재결합 및 광학적 손실을 들 수 있다. 광학적

인 손실은 태양전지모듈 및 태양전지 표면에서 빛의 반사에 의한 손실로 전면 글라스와 태양전지의 표면 texturing 및 antireflection 코팅을 이용하여 줄일 수 있다. 태양전지 내에서의 재결합 성분은 에미터 및 기판에서의 재결합, 공간전하층에서의 재결합, 표면재결합, 금속접합에서의 재결합, 표면 재결합, 금

속접합에서의 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 저항이 있으며, 태양전지의 효율을 향상시키기 위해서는 태양전지 구조의 적당한 설계에 의하여 각 손실성분들은 최소화해야한다. 특히, 태양전지 표면의 금속전극은 표면에서의 빛의 반사 및 직렬저항 성분에 큰 영향을 미치기 때문에 실리콘 전면의 금속 전극은 광에 의해 생성된 광전류가 흐를 수 있는 충분한 단면적을 가져야하며, 전류를 잘 수집하기 위하여 실리콘과 금속간에 전류의 흐름을 방해하지 않는 ohmic contact이 되어야 한다. 또한 광전류를 외부의 부하로 전달하기 위하여 광 생성 전류가 금속전극을 따라 흐를 때, 금속전극 물질은 전기전도도가 충분히 높아 금속전극의 자체 저항 성분에 의한 손실을 최소화하여야 한다. 현재까지 고효율 태양전지의 제조를 위하여 사용되는 금속 전극 시스템은 Ti/Pd을 진공증착한 후, 전기 전도도가 높은 은 (silver)을 전기도금(electroplating)한다. 이와 같은 금속전극 시스템은 낮은 제조가격과 신뢰성이 높은 것으로 알려져 있다.[1]

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

현재 위와 같은 요소들에 의해 모듈 제조 중에 약3%의 손실이 발생하고 있지만, 국내 및 외국에서의 연구는 대부분 효율 증가에 집중되어 있다.

본 논문은 태양전지 모듈의 금속 전극 저항에 대하여 연구조사하고 그 결과를 토대로 효율 향상을 위한 개선된 태양전지 모듈의

전극 connection method를 제안하고자 하였다.

2. 태양전지 모듈 내부 저항의 이론적 배경

2.1 직렬저항

광이 조사된 상황에서 np 접합 태양전지의 기본 특성을 나타내는 I-V특성의 식은

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

여기서, J_o 는 saturation current, n 는 diode 상수, R 은 직렬저항, T 는 온도, J_L 은 광에 의해 생성된 전류밀도를 나타낸다.

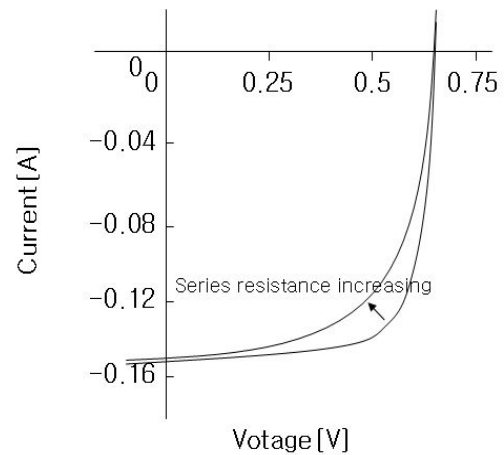


그림 1. 직렬 저항의 변화

식(1)으로부터 직렬저항이 증가함에 따라 충전율 (FF:fill factor)이 감소하여 태양 전지의 효율은 감소하게 된다.[2](그림 1. 참조)

$$I = I_L - I_o \left(\exp \frac{q(V+IR_s)}{nkT} - 1 \right) - \frac{V+IR_s}{R_{sh}} \quad (2)$$

위에 보이고 있는 식(2)는 태양전지의 전류식이 다. 식에서 볼 수 있는 것처럼 직렬저항 R_s 가 커

지게 되면 전류는 감소하게 되기 때문에 전지의 효율은 떨어지게 된다.

3. 실험장치 및 실험방법

3.1 실험장치

본 실험에서 금속 전극의 저항 측정을 위하여 DRP-3030D와 Digital multimeter M3500A를 사용하였으며, 직렬 저항이 태양전지 모듈에 미치는 영향을 실험하기 위해 PasaIIIb sun simulator(Belval S.A)를 사용하여 STC 조건(AM1.5, 25°C, 1kW/m²)에서 인공 광원법에 의해 측정하였다.

3.2 실험방법

본 실험에는 현재 상업용 모듈 중 대표적으로 사용되고 있는 6inch 태양전지 모듈에는 표 1.과 같은 spec의 금속 전극 재료가 주로 사용 되고 있어 본 실험에도 같은 규격을 사용하였다.

표.1 금속 전극 규격

구 분	규 격
inter connection ribbon	2 × 0.15mm
busbar ribbon	5 × 0.18mm

(1) 금속 전극의 저항 측정

태양전지 모듈의 금속 전극 저항 분석을 위해서 금속 전극과 전극 부품의 연결부분에 대한 저항측정을 실시하였다.

inter connection ribbon, bus bar ribbon 그리고 리본이 연결되는 부분의 저항 측정을 목표로 하였으며, 실험은 6inch 모듈을 기준으로 inter connection ribbon에는 4A, bus bar ribbon에는 8A의 전류를 흘려주며 일정한 길이 사이의 전압 측정을 실시한 후 저항값으로 환산하는 방법으로 진행하였다.(그림.2 참조)

inter connection ribbon과 bus bar ribbon은 각각 130mm를 기준으로 측정하였으며, 접촉 저항은 I+B(inter

connection ribbon+bus bar ribbon)과 B+B(bus bar ribbon+bus bar ribbon)을 각각 따로 측정하고, I+C+B와 B+C+B의 측정을 통해 계산을 통해 구하였다.

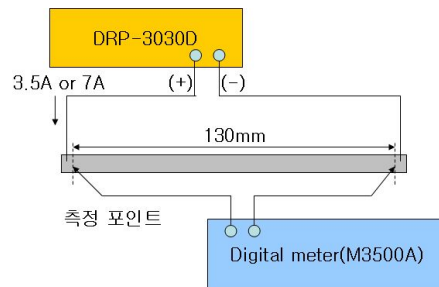


그림 2. 저항 측정 회로 구성도

(2) 태양전지 모듈의 저항 분석

앞서 측정한 금속 전극의 저항 데이터를 바탕으로 현재 상용화된 6×10사이즈 모듈의 금속전극에서의 저항 분석을 실시하였다. 저항은 금속 전극의 종류와 길이 그리고 접촉점으로 나누어 사용 빈도와 저항에 대해 분석 하였다.

본 논문에서는 전지와 접촉된 ribbon 부분은 전혀 변화하지 않기 때문에 분석에서 제외 시켰으며, bypass 부분역시 개선 부분에 관계가 없으므로 제외하고 분석을 진행하였다.

(3) 개선된 connection method 적용 실험

개선된 connection method의 효과를 실험하기 위해 6×10 배열의 실험용 모듈을 제작하여 전기적 출력 실험을 실시하였다.(그림 3. 참조)

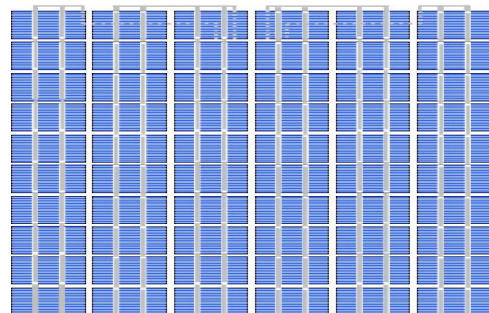


그림 3. 실험 시료 모듈 design

실험용 모듈은 inter connection ribbon을 각각 2mm로 감소 시켰으며, connection point가 좌우에 2곳씩 총 4곳이 증가되었다.

이와 같은 시료를 인공 광원법에 의해 전기적 출력 실험을 실시하였다.

4. 결과 및 고찰

본 논문은 태양전지모듈 내부의 저항을 분석하고, 저항에 의한 태양 전지 모듈의 전기적 출력 특성과 현상 분석을 통한 저항 손실 감소를 위한 것으로 다음과 같은 결과를 도출 하였다.

4.1 파트별 저항 측정 결과

태양전지 모듈의 금속전극의 저항을 측정하여 다음과 같은 결과를 얻었다. (표 2. 참조)

표 2. 금속 저항 측정 결과

구 분	저 항	비 고
I	0.710mΩ/cm	
B	0.119mΩ/cm	
B+B	0.059mΩ/cm	
I+B	0.103mΩ/cm	
B+C+B	3.295mΩ/28cm	접촉면 0.5×2
I+C+B	10.96mΩ/28cm	접촉면 0.2×2
B+C+B	3.15mΩ/28cm	접촉면 0.5×0.5
I+C+B	10.83mΩ/28cm	접촉면 0.2×0.5

I(inter connection ribbon), B(bus bar ribbon), C(contact)

실험 결과 inter connection ribbon이 가장 높은 저항을 갖는 것으로 나타났으며, 접촉 저항은 약 0.03mΩ로 계산되었다.

4.2 태양전지 모듈의 저항 분석

태양전지가 6×10배열로 들어가는 모듈의 저항 분석을 실시하여 다음과 같이 전극의 종류와 길이 그리고 contact 저항으로 나누어 각각의 사용 빈도와 저항을 분석하였다. (표 3. 참조)

표 3. 태양전지 모듈 저항 분석 결과

구 분	저 항 (mΩ)	빈도 (회)	계 (mΩ)	비 고
I(2mm)	0.142	108	15.336	전지+전지
I(3mm)	0.213	20	4.26	전지+B
I(15mm)	1.065	4	4.26	전지+B
B(230)	2.737	5	13.685	St+St
B(395)	4.700	2	9.4	St+JB
B(200)	2.38	2	4.76	St+JB
I+B	0.049	24	1.176	C.P
B+B	0.057	4	0.228	C.P
계			53.105	

*셀에 겹치는 부분과 bypass ribbon 제외
St(string), JB(junction box), C.P(contact point)

태양전지 모듈 내부에서 차지하는 비율로 볼 때 inter connection ribbon의 사용 빈도가 가장 높고, 차지하는 저항 비율도 가장 큰 것을 알 수 있다. 또한 접 접촉에 의한 저항은 다른 저항에 비해 매우 작은 것이 확인 되었다.

4.3 개선된 connection method 실험

개선된 connection method의 효과 비교를 위한 실험 결과는 다음과 같다. (그림 4. 참조)

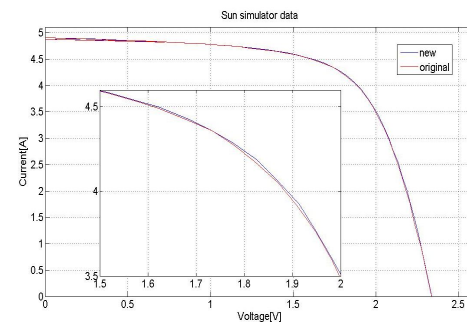


그림 4. 출력 비교 그래프

그래프에서 보이는바와 같이 기존의 method와 비교할 때 bus bar ribbon의 접점이 많아졌지만 접점에 의한 저항 증가보다 짧아진 inter connection ribbon에 의한 저항 감소가 더 커서 출력이 증가한 것을 확인할 수 있다.

4.4 개선된 connection method 제안

본 논문에서는 connection method의 개선만으로 직렬저항의 개선이 가능한 모델을 제안하고자 한다.

현재 사용 중인 모델은 bus bar의 shorts를 방지하기 위해 A와 B부분의 inter connection ribbon의 길이가 13~15mm로 필요이상 길게 제작되고 있는 상황이다.(그림 5. 참조)

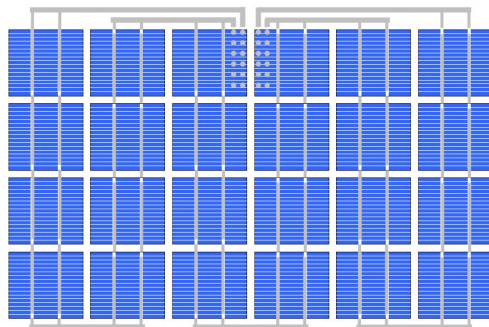


그림 5. 기존의 connection method

앞서 실험한 저항 측정 결과를 분석해보면 inter connection ribbon 10mm의 저항은 접점 저항의 10배에 달하는 크기이다. 따라서 접점이 다소 증가하더라도 설계하기에 따라 저항을 감소시키는 것이 가능하다고 판단된다.

이에 inter connection ribbon의 길이를 줄이고 bus bar를 태양전지 후면으로 우회 시키는 방법과 과 같이 bus bar를 기존 방향으로 우회 시키는 방법 두가지를 제안하고자 한다.(그림. 5와 그림. 6 참조) 이 방법에 대한 저항을 계산해보면 (표 4.)와 (표 8.)과 같다.

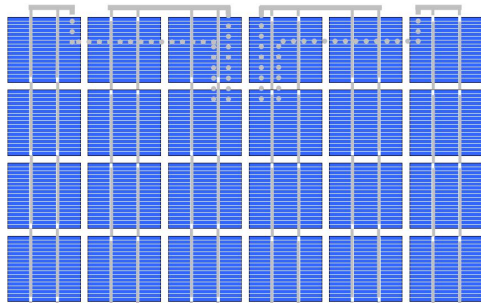


그림 6. 개선 모델.1

먼저 개선 모델.1의 경우 bus bar의 위치가 아래로 내려오게 되면 자연스럽게 모듈의 면적 축소가 가능하기 때문에 glass 및 기타 부품의 사용량이 줄어 제조단가 절감의 효과가 기대된다.(그림. 6 참조)

하지만 bus bar의 후면 또는 태양전지의 후면으로 bus bar를 우회시켜야하기 때문에 shorts에 대한 잠재된 위험이 존재한다.

표 4. 개선 모델.1의 전극 저항 계산

구 분	저 항 (mΩ)	빈도 (회)	계 (mΩ)	비 고
I(2mm)	0.142	132	18.744	전지+전지
B(230)	2.737	5	13.685	St+St
B(395)	4.700	2	9.401	St+JB
B(190)	2.261	2	4.522	St+JB
I+B	0.049	24	1.176	C.P
B+B	0.057	8	0.456	C.P
계			47.528	

모델.1은 (표 4.)와같이 기존 모델에 비해 전체 저항이 53.105mΩ에서 47.984mΩ으로 약 5.2mΩ으로 10%정도 감소하게 된다.



그림 7. 개선 모델.2

구 분	저 항 (mΩ)	빈도 (회)	계 (mΩ)	비 고
I(2mm)	0.142	132	18.744	전지+전지
B(230)	2.737	5	13.685	St+St
B(395)	4.700	2	9.5	St+JB
B(200)	2.38	2	4.76	St+JB
I+B	0.049	24	1.176	C.P
B+B	0.057	8	0.456	C.P
계			48.321	

모델2는 모델1에 비해 적지만 역시 기존 모델에 비해 9% 가까이 감소하게 된다. 또한 모델2의 경우 기존의 구성을 거의 유지하면서 우회만을 하기 때문에 모델1보다는 안정적인 방법이라 하겠다.

conversion. Vol. 3, pp. 455~479. pergamon press, 1963.

5. 결 론

본 논문에서는 태양전지 모듈의 구성요소 중 금속 전극의 저항을 측정하고, 태양전지 모듈의 내부 저항에 대한 분석을 실시하였다. 그 결과 기존에 사용되는 조합에서는 inter connection ribbon의 저항이 모듈의 금속 전극의 저항 중 가장 큰 것으로 나타났다.

인공 광원법에 의한 실험 결과 저항을 추가하여 실험한 태양전지모듈에서 직접적인 모듈의 출력 저하가 관찰되었으며, I-V curve에서 Voc 쪽의 기울기가 감소하는 현상이 관찰되었다.

개선된 connection method를 사용할 경우 약 9%의 저항 감소하는 것으로 계산되었으며, 모듈을 제작하여 실험한 결과 0.5%의 출력 증가가 확인되었다.

개선된 모델은 기존에 inter connection ribbon을 길게 사용했던 모듈일수록 개선효과가 탁월할 것으로 기대된다.

후 기

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

참 고 문 헌

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. M. Wolf, " series resistance effect on solar cell measurements" advanced energy