

Conductive Film를 적용한 태양전지 모듈에 관한 연구

A Study of Solar Cell Module using Conductive Film Bonding

박 정 철[†] · 양 연 원^{*}

(Jung-Cheul Park · Yeon-Won Yang)

Abstract - In this paper, solar-cell modules were fabricated by low-temperature bonding method of construction using CF. CF adhesive strength of cells at 180 degree using 3bus bar structure was measured average 2.4N. As the bonding temperature got higher, Voc and Isc was increased. And at 185°C, Rseries was measured 0.013[Ω] which is the highest point. At 185°C, 2N and 6sec in bonding time, P_{max} was measured 3.954[W], fillfactor was measured 67.36[%] and efficiency was measured 13.178[%] the highest point.

Key Words : CF, Fillfactor, Rseries, Isc, Low-temperature bonding, Voc

1. 서 론

현재 태양광발전 산업에서 가장 많이 개발되어있는 분야가 결정질 태양전지이고 다양하게 제작되어있다. 모듈의 기술은 옥외에 설치되어 20년 이상의 내구성을 가져야 하고 충전재, 표면재 등의 구성 재료의 적절한 선택이 태양전지의 수명을 결정하는 중요한 원인이 된다. 태양전지 셀을 연결 시 soldering 공정 시 Pb가 포함된 것을 사용하므로 환경규제와 무연 솔더 개발 및 연구가 진행되고 있다[1-3]. 기존의 기술은 태양전지 위에 Flux를 도포하고 Flux가 도포된 태양전지 위에 Solar ribbon을 올려 230°C~300°C의 조건에서 전극연결을 한다[4-6]. 본 연구는 Anisotropic Conductive Film 장비를 이용하면 태양전지 위에 CF (Conductive Film)을 올려놓고 리본을 180°C~200°C에서 약 10sec, 2Mpa 정도의 압력을 인가하여 CF가 가교 되어 Ribbon 과 태양전지 간 전극을 연결하고자한다. Conductive Film Bonding 기술을 고효율 N-type Cell에 적용 할 때 열피로에 의한 물리적 특성 약화 극복이 가능하나 태양전지의 박막 시 전기적 손실을 최소화하기 위하여 a-si층을 만들어야 하는 단점이 있다. 고효율 N-type Cell 특성상 a-si층이 존재하므로, 200°C 이상 열에 노출 될 경우 전극 구조가 파괴될 수도 있어 태양전지의 모든 공정은 200°C 미만의 저온 공정이 이루어져야 한다. Conductive Film bonding의 경우 일반 bonding에 비해 bus bar 폭을 줄여, 폭이 줄어든 만큼 수광면이 넓어져서 셀의 효율을 그 만큼 상승시킬 수 있다.

본 논문에서 적용된 태양전지의 본딩 기술은 기존의 고온에서 본딩하는 방식이 아닌 Conductive Film를 이용한 저온

본딩 공법으로 모듈을 제작하여 태양광 모듈의 전기적 특성을 조사하여 효율 증대를 향상시키고자 하였다.

2. 본 론

Tabbing&Stringer 장비를 이용하여 태양전지 모듈에 CF(Conductive Film, 히타치케미칼, CF-SX)를 압착하였다. 장비구성은 직교좌표 로봇을 이용하여 태양전지를 vision 검사부로 이동하는 셀 공급부와 CF를 공급하는 것으로 구성되었고 vision 검사부 태양전지의 외곽 및 중앙을 기준으로 저장된 정상제품의 이미지와 비교하여 태양전지의 이상유무를 검사한다. 그리고 CF 공급부로부터 공급받는 CF를 접착을 위하여 이형지와 분리 및 절단하는 공급부로 구분되어있다. vision 검사부에서 검사된 태양전지가 CF 접착부로 이송이 되면 CF 이송부에서 공급이 된 CF를 접착 한다. 접착된 CF과 태양전지 리본을 이용하여 전극을 연결한다. 솔더링부에서는 공급된 태양전지를 직렬연결 되며 온도와 압력 및 시간을 변화하면서 압착을 진행한다. 스트링거로부터 공급된 태양전지는 배출구를 통해 장비외부로 반출되어 모듈 설계에 따라 모듈화가 구성된다.

그림 1은 장비의 각 부분 및 공정 순서를 나타냈다. 그림 2는 CF본딩 한 구조와 CF를 사용하지 않은 모듈의 개념도를 나타냈다. CF 본딩을 한 모듈은 CF를 사용하지 않은 모듈에 비해 bus bar 폭을 줄여 폭이 줄어든 만큼 수광면이 넓어져서 셀의 효율을 증가시킬 수 있다. CF 접착력을 측정하기 위해 Push pull gauge를 사용하였으며, 리본 및 CF의 직진도는 금속현미경을 이용하여 측정하였다. 전기적 특성은 솔라시뮬레이터를 이용하여 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

CF(Conductive Film)의 접착 강도 측정은 기존 본딩 방식보다 약 40°C 가량 낮은 180°C에서 본딩을 하여 테스트 하였다. 접착력 테스트를 한 결과, 3bus bar 구조에서 접착

[†] Corresponding Author : Department of Electronic Engineering
Gachon University, Korea

E-mail : jcpark@gachon.ac.kr

* Solar Tech Co., Korea

접수일자 : 2016년 10월 24일

수정일자 : 2016년 11월 22일

최종완료 : 2016년 11월 30일



그림 1 CF 공정 순서
Fig. 1 CF bonding process

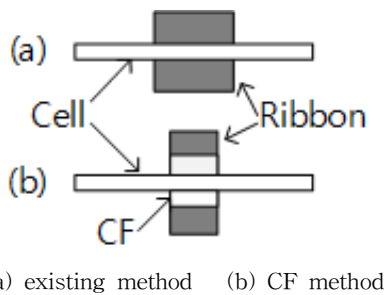
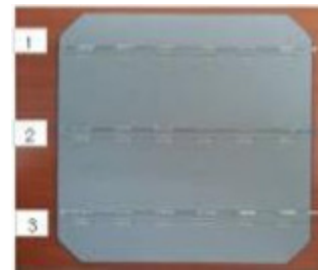


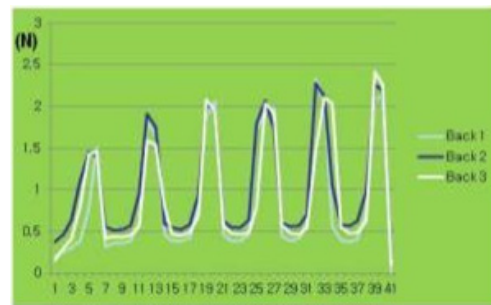
그림 2 셀 단면도
Fig. 2 Cross section of cell

면의 면적이 작은 관계로 평균 약 2.4N의 접착이력이 측정되었으나 모듈 제작에 있어서는 어느 정도 양호한 결과로 측정되었다.

리본의 직진도는 태양전지의 본딩 과정에서 버스 Ag층을 벗어나지 않아야 한다. 왜냐하면 리본이 버스 Ag를 벗어나면 수광면을 가리게 되어 빛의 흡수율을 낮추기 때문이다. 일반적으로 리본의 직진도는 범용적으로 $\pm 0.2\text{mm}$ 적용되고 있다. 본 실험에서는 $\pm 0.1\text{mm}$ 로 측정되어 모듈 제작에 적

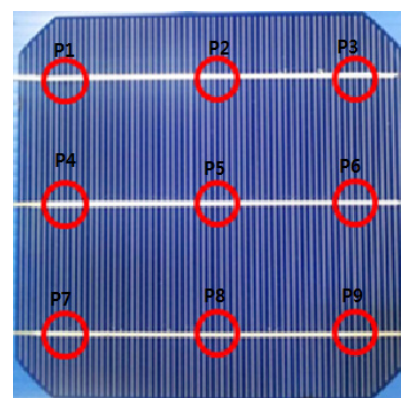


(a) test module



(b) measurement value

그림 3 CF 접착력 측정치
Fig. 3 CF peel force measurement value



(a) test module

P1	0	P2	± 0	P3	± 0
P4	± 0	P5	± 0	P6	± 0
P7	± 0	P8	± 0	P9	± 0.1

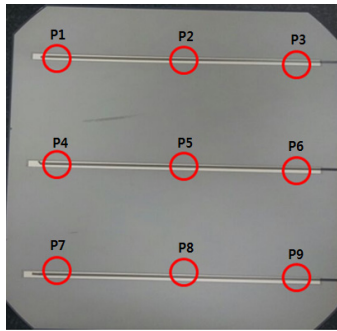
(b) measurement value

그림 4 리본 직진도 측정
Fig. 4 Ribbon straightness measurement

합한 것으로 나타났다.

CF를 이용하여 리본을 본딩 하기 때문 CF의 직진도는 리본 본딩과 밀접한 관계가 있다. 공정 진행 상 CF는 열 압착을 받게 되므로 CF는 버스 Ag 안에 들어와야 하며 그 허용 오차를 본 실험에서는 $\pm 0.2\text{mm}$ 의 결과를 얻었다.

저온 CF 본딩으로 태양광 모듈을 제작 하였으며, 모듈 크기는 10x6 배열의 제작 하였다. CF 본딩으로 제작된 모듈과 CF 본딩을 하지 않은 모듈의 전기적 특성을 표 1과 그



(a) test module

P1	±0	P2	±0	P3	±0.1
P4	±0	P5	±0	P6	±0.2
P7	±0	P8	±0	P9	±0.2

(b) measurement value

그림 5 CF 직진도 측정

Fig. 5 CF straightness measurement



그림 6 테스트 모듈

Fig. 6 Test module

표 1 전기적 특성

Table 1 Electrical characteristic

	I _{sc} (A)	V _{oc} (V)	P _m (W)	FF(%)	Eff(%)
existing method	8.797	38.075	249.759	74.57	15.76
CF method	8.977	38.68	265.372	76.42	16.74

림 7, 8에 나타냈다. CF 본딩한 모듈은 CF 본딩 하지 않은 모듈보다 I_{sc}는 2%, V_{oc}는 1.56%, FF는 2.4%, E_{FF}는 5.85% 향상된 것으로 측정되었다. 측정된 결과에서 CF 본딩한 모듈이 빛의 흡수면적이 넓어져서 전기적 특성이 향상된 것으로 관측된다.

CF 본딩 공정시 온도, 압력, 본딩 시간을 변화주어서 측정된 것을 table 3~5에 나타냈다.

표 3은 압력을 2N, 시간을 5초로 일정하게 유지하여 온도를 변화시킨 것으로 온도가 증가할수록 개방전압은 상승하고 단락전류가 감소하여 P_{max}는 감소되는 것으로 측정되었다. 그러나 185℃ 일 때 전기적 특성이 낮게 측정된 이유는 R_{series}가 0.013[Ω]으로 가장 높게 측정되고 R_{shunt}이 83.136

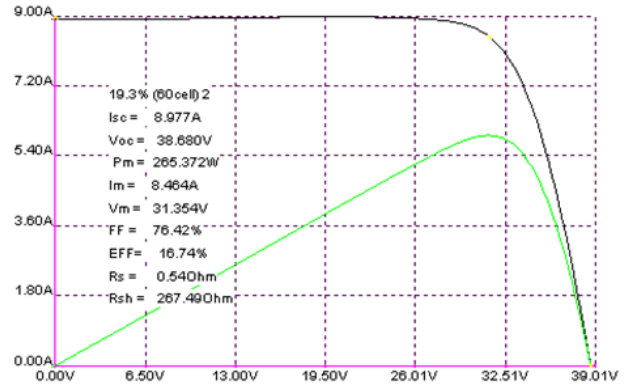


그림 7 CF 방식의 전류-전압

Fig. 7 I-V of CF method

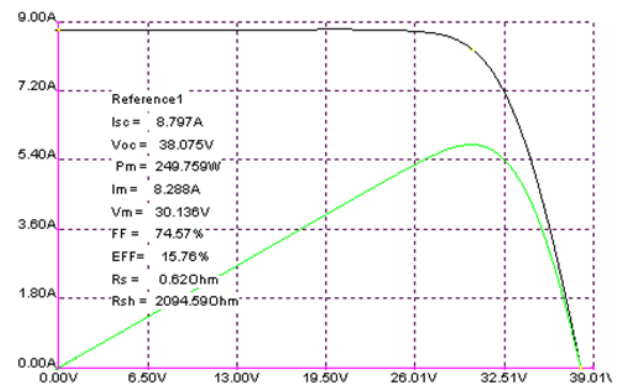


그림 8 기존 방식의 전류-전압

Fig. 8 I-V of existing method

표 3 온도변화의 특성

Table 3 Characteristics of temperature variation

Temp.	110℃	130℃	160℃	185℃	210℃
V _{oc} [A]	0.617	0.619	0.616	0.621	0.62
I _{sc} [mA]	9475.484	9324.624	9266.159	9293.656	9380.861
J _{sc} [mA/Cm ²]	315.849	310.821	308.872	309.789	312.695
P _{max} [W]	4.311	4.42	4.284	3.569	3.951
V _{max} [V]	0.503	0.503	0.488	0.439	0.488
I _{max} [mA]	8570.28	8792.8	8779.04	8125.13	8098.41
F.F[%]	73.765	76.534	75.056	61.866	67.877
Efficiency [%]	14.393	14.738	14.280	11.86	13.199
R _{shunt} [Ω]	30.207	49.067	13.803	83.136	14.395
R _{series} [Ω]	0.008	0.008	0.008	0.013	0.01

[Ω]으로 가장 높게 측정되어 변환효율이 가장 낮게 측정되었다.

표 4은 온도를 185℃, 압력을 2N로 유지하여 시간을 변화시킨 것으로 시간변화를 주었을때의 모든 측정치는 큰 변화가 없는 것으로 나타났다.

표 5는 온도를 185℃, 시간을 5초 유지시키고 압력을 변화시킨 것으로 압력이 4N이상이면 모든 측정치가 감소하는 것으로 나타났다. 압력이 4N이상이면 미세균열이 발생되어

표 4 시간변화의 특성

Table 4 Characteristics of time variation.

Time[sec]	2	4	5	6	7.5
V_{oc} [A]	0.626	0.627	0.621	0.626	0.627
I_{sc} [mA]	9344.708	9270.935	9293.656	9368.038	9352.756
J_{sc} [mA/Cm ²]	311.49	309.031	309.789	312.268	311.759
P_{max} [W]	3.738	3.755	3.569	3.954	3.933
V_{max} [V]	0.454	0.46	0.439	0.474	0.487
I_{max} [mA]	8234.57	8166.44	8125.13	8340.42	8069.59
F.F[%]	63.88565	64.63149	61.86626	67.36913	67.02936
Efficiency[%]	12.460	12.515	11.896	13.178	13.110
R_{shunt} [Ω]	12.744	53.332	83.136	11.653	15.043
R_{series} [Ω]	0.014	0.014	0.013	0.012	0.011

표 5 압력변화의 특성

Table 5 Characteristics of press variation.

Press	2N	3N	4N
V_{oc} [A]	0.621	0.614	0.622
I_{sc} [mA]	9293.656	9435.725	9259.303
J_{sc} [mA/Cm ²]	309.789	314.524	308.643
P_{max} [W]	3.569	4.359	4.055
V_{max} [V]	0.439	0.497	0.474
I_{max} [mA]	8125.13	8769.63	8552.58
F.F[%]	61.86626	75.24794	70.4251
Efficiency[%]	11.896	14.530	13.517
R_{shunt} [Ω]	83.136	9.728	14.9
R_{series} [Ω]	0.013	0.008	0.01

출력을 저하시킨 것으로 예상된다.

그림 9은 185℃, 2N으로 고정하고 시간을 변화주었을 때 I-V를 측정된 것을 나타냈다. 185℃, 2N에서 본딩 시간을 6초로 하였을 때 Pmax는 3.954[W], fillfactor는 67.36(%) , efficiency는 13.178(%)로 가장 높게 측정되었다. 즉 시간변화에 따른 Rshurt, Rseries 감소에 의해 전기적 특성이 향상된 것으로 예상된다.

그림 10은 2N의 압력과 시간을 5초로 하여 온도변화를 주었을 때 I-V를 측정된 것으로 135℃일 때 Pmax는 3.5[W], FF는 61.8(%) , efficiency는 11.89(%)로 가장 높게 측정되었다.

그림 9, 10에서 온도 및 시간변화에 따른 Rshunt, Rseries 감소에 의해 전기적 특성이 향상된 것으로 예상된다[7].

4. 결 론

본 논문은 Conductive Film를 이용한 저온 본딩 공법으로 모듈을 제작하여 태양전지 모듈의 효율 증대를 향상시키고자 하였다.

- (1) CF의 접착 강도 측정은 180℃에서 본딩을 하여 3bus bar 구조에서 평균 2.4N의 접착력이 측정되었다.
- (2) 180℃에서 본딩을 하였을 때 기존 리본 방식에 비해

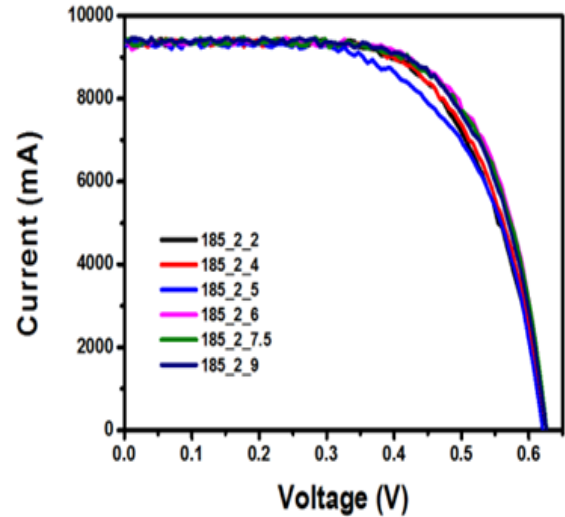


그림 9 시간 변화에 따른 전류-전압

Fig. 9 I-V of time variation.

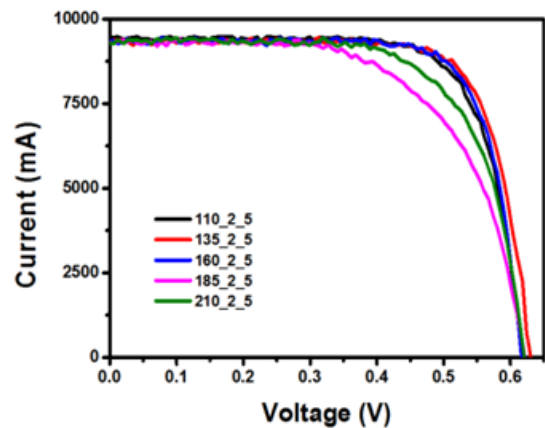


그림 10 온도 변화에 따른 전류-전압

Fig. 10 I-V of temperature variation.

1% 전후의 출력 상승효과를 얻을 수 있었다.

- (3) 본딩 처리 시 온도가 상승할수록 Voc와 Isc가 상승되었다. 또한 185℃ 일 때 Rseries가 0.013[Ω]으로 가장 높게 측정되고 Rshunt이 83.136[Ω]으로 가장 높게 측정되어 변환효율이 가장 낮게 측정되었다.
- (4) 185℃ 2N에서 본딩 시간을 6초로 하였을 때 Pmax는 3.954[W], fillfactor는 67.36(%) , efficiency는 13.178(%)로 가장 높게 측정되었다.
- (5) 135℃일 때 Pmax는 3.5[W], fillfactor는 61.8(%) , efficiency는 11.89(%)로 가장 높게 측정되었다.
- (6) 기존방식의 cell보다 CF 방식의 셀이 1% 향상된 것은 빛의 흡수면적이 더 많이 존재하게 되어 증가된 것으로 관측되었다.

결론적으로 온도와 압력 및 본딩 시간을 조절하여 Rshunt, Rseries 변화를 주어 CF방식으로 태양전지 셀을 적용하면 높은 효율을 얻을 수가 있다.

References

- [1] Morita, K., Inoue, T., Kato, H., Tsuda, I. and Hishikawa, Y. "Degradation factor analysis of crystalline-si PV modules through long-term field exposure test", 3rdWorld conference on photovoltaic energy conversion, Poster pp, 1948-1951, 2003
- [2] Gxasheka, A.R., Van Dyk, E.E. and Meyer, E.L. "Evaluation of performance parameters of PV modules deployed outdoors", Renewable Energy, Vol.30, pp. 611-620, 2005
- [3] Dunlop, E. D., Halton, D. and Ossenbrink, H.A. "20 years of life and more: Where it the emd of like of a PV Module", Photovoltain Specialists Conference, pp, 1593-1596
- [4] Jong Hyun Lee, Nam Hyun Kang, Chang Woo Lee and Jeong Han Kim "Necessity of Low Melting Temperature Pb-free Solder Alloy and Characteristics of Representative Alloys", Journal of KWJS, Vol.24m No.2 , 17-28, 2006
- [5] Sung K. Kang and Amit K. Sarkhel "Lead (Pb)-free solders for electronic packaging", Journal of Electronic Materials, Vol. 23, pp.701-707, 1994
- [6] M. McCormarck and S. Jin " Improved mechanical properties in new, Pb-free solder alloys", Journal of Electronic Materials, Vol. 23, pp. 715-720, 1994
- [7] Augustin Mcevoy, Tom Markvart and Luis castaner "Practical Handbook of Photovoltaics Fundamentals and Applications" Elsevier, pp.13-15, 2012

저 자 소 개



박 정 철 (Jung-Cheul Park)

1983년 명지대학교 전자공학과 학사
1892년 명지대학교 전자공학과 석사
2000년 명지대학교 전자공학과 공학박사
2007년 ~ 현재 : 가천대학교 전자공학과 교수



양 연 원 (Yeon-Won Yang)

2006년 2월 공주대학교 건축공학과(학사)
2008년 2월 공주대학교 건축공학과(석사)
2008년 3월 ~ 현재 솔라테크(주) 근무