태양전지모듈에서 Interconnection용 SnPbAg paste가 전기적 특성에 미치는 영향

강기환, 유권종, 안형근*, 한득영*
한국에너지기술연구원, 건국대학교*

The effect on electrical properties of SnPbAg paste for Interconnection in Photovoltaic Module

Gi-Hwan Kang, Gwon-Jong Yu, Hyungkeun Ahn*, and Deuk-Young Han*
*Korea Institute of Energy Research, KonKuk University**

Abstract

In this paper, electrical properties of photovoltaic module have been observed for 5 years and found to drop around 5 to 25 %.

Element technologies which are critical to electrical loss were therefore examined and dark I-V curve were observed with different soldering conditions.

From the results, series resistance decreased with the decrease of contact resistance regardless of temperature conditions.

Key Words : Photovoltaic module, Interconnection, Solder paste, Soldering, Dark I-V

1. 서 론

태양광발전시스템에서 실제로 외부의 환경에 노출되어 발전하는 태양전지모듈은 수명이 약 20년 이상으로, 반 영구적으로 사용이 가능하며, 한번 설치해 놓으면 유지보수비용이 전혀 들지 않는 청정에너지원으로써, 설치장소에 따라서 소형에서부터 대형까지 시스템의 규모를 결정할 수 있는 장점이 있다.

그러나 국내에서 연구용으로 설치된 일부 태양전지모듈을 약 5년이 경과 후 전기적 성능시험을 분석해본 결과 표 1에서와 같이 약 5~25% 가량의 전기적 특성이 저하되는 현상을 발견하였으며, 선진국에서도 장기간 Field test한 시스템을 대상으로 시험해본 결과 전극부분에서의 열화현상으로 전기적 성능이 저하되는 것으로 확인되었다.[1]

따라서 본 연구에서는 태양전지모듈에서 전기적 특성 저하 요인으로 예상되는 요소기술을 살펴보고, 태양전지모듈 제조공정에서 태양전지를 연결하는 Interconnection용 SnPbAg paste를 사용하여 Reflow M/C에 의해 Soldering하였으며, Soldering전후의 Dark I-V 특성의 변화를 관찰하였다.

표 1. Field Test 5년 경과후 태양전지모듈의 전기적 특성 변화.

등 급	수량(매)	출력범위(W)	비고
Initial-Class	270	50	초기 모델 출력
A-Class	13	47~48	약 5% 출력감소
B-Class	194	40~43	약 15% 출력감소
C-Class	63	35~39	약 25% 출력감소

2. 태양전지모듈의 구조 및 요소기술

2.1 태양전지모듈의 구조

현재 일반적으로 상용화된 태양전지모듈의 구조는 그림 1에서 보는바와 같이 Low iron glass /EVA

sheet/Cells/EVA sheet/Back sheet의 형태로 구성되어 있으며, Laminator내에서 Heating Plate를 가열시켜서 진공상태에서 적층(Lamination) 하여 태양전지 모듈을 제조하게 된다.[2]

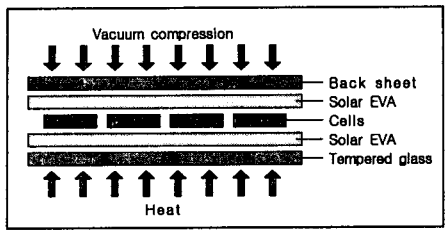

그림 1. 태양전지 모듈의 일반 구조.

그림 1에서 보듯이 태양전지모듈의 제조 방법은 간단해 보이지만, 실제로 외부에 설치한 후 온도, 습도, 우박등 악조건의 환경에서 특성의 변화없이 장수명을 유지해야 하기 때문에 태양전지모듈의 제조공정은 매우 중요하다.

2.2 태양전지모듈의 요소기술

태양전지모듈의 수명을 단축시키는 주된 손상요인은 태양전지 자체의 특성 저하현상과 완충재료의 변형에 의한 특성 저하현상이 발견되기도 하지만 온도, 습도의 영향과 주변 환경에 의한 부식현상에 의하여 태양전지 표면의 전극과 태양전 사이의 연결부가 산화되기 때문이다.

이러한 산화 또는 부식에 의한 전극의 열화현상은 태양전지의 직렬저항을 증대시키고 따라서 발생전류를 감소시켜 결국 전력의 손실을 가져오게 된다.

태양전지의 직렬저항은 태양전지에 광전류가 흐를 때 이 전류의 흐름을 방해하는 저항값으로서 태양전지모듈에 있어서 영향을 주는 직렬저항 성분은 전극접촉저항(contact resistance) 및 전극자체의 고유저항(metal resistance)등을 들수 있다.[3]

따라서 이미 만들어진 태양전지를 이용하여 제조되는 태양전지모듈에서 직렬저항을 줄이기 위해서는 Soldering공정에서 전극과 전극간에 연결하는 도체리본의 접촉저항을 최소로 하여, 도체리본과 전극간에 접촉부분에서 발생될 수 있는 Hot spots현상을 줄여야만 긴 수명을 유지할 수 있다.[4]

태양전지모듈을 약 5년이상 사용하게 되면 태양전지의 전극과 도체리본 또는 도체리본과 도체리본의 접촉부분에서 내부의 열화에 의해 Solder paste(SnPbAg) metal의 균열 및 계속적인 스트레스에 의한 파괴로 인하여 접촉저항이 커지게 되며, 시간이 지날수록 심화되어 태양전지모듈로써의 기능을 할 수 없게 된다.[5]

또한 Solder Paste 활성제에 포함되어 있는 염소와 같은 할로겐 원소들이 SnPb계의 합금을 부식시키기 때문에 납땜 후 태양전지의 표면을 깨끗이 세척하거나, 습기나 공기의 침투가 절대로 태양전지표면에 들어가지 않도록 태양전지모듈 제조시 Lamination공정을 잘 해야한다.

그림 3. Solder paste와 Cu ribbon 형상.

Soldering 주위에 염소성분이 존재하면 *SnPb*합금이 이들과 반응하여 $PbCl_2$를 생성시키며, $PbCl_2$ 는 이산화탄소를 함유한 습도가 높은 공기에 대해 안정하지 못하여 다공질 $PbCl_3$로 변하여 부식된다. 그 후 *SnPb*의 합금표면에 다시 산화층이 생기고, 이것은 $PbCl_2$로 변하며, 또 다시 $PbCl_3$가 생성되고 이 과정은 *SnPb* 합금이 모두 부식되어 없어질 때까지 반복된다.

이 과정을 반응식으로 나타내면 아래와 같다.

$$Pb+\frac{1}{2}O_2 \rightarrow PbO$$

(금속)(공기)

$$PbO+2HCl \rightarrow PbCl_2+H_2O$$

습기있는 CO_2 공기 중에서 $PbCl_2$는

$$PbCl_2+CO_2+H_2O \rightarrow PbCO_3+2HCl$$

HCl은 솔더 산화물인 PbO와 반응해서 다시 전 과정이 진행된다.[6]

3. 실험 방법

본 실험은 태양전지모듈 제조공정에 있어서 태양전지와 태양전지를 Interconnection하기 위하여 SnPbAg Paste를 사용하여 Soldering한 후 Soldering 전후 직렬저항의 변화를 관찰하기 위하여 태양전지의 Dark I-V 특성시험을 행하였다.

Soldering에 사용된 장치는 Reflow M/C(KOKI, Japan)을 사용하였으며, 온도 가열방식은 열풍히터방식으로써 5-zone으로 구성되어있고, Conveyor를 이용하여 자동으로 In-out 하게 되어 있다.

Soldering온도 Cycle은 그림 4에서와 같이 1-zon

e~3-zone은 예열 zone으로 사용하였고, 4-zone~5-zone은 Soldering zone으로 사용하였다.

실험에 사용된 Reflow M/C 온도는 그림 4에서와 같이 1-zone~3-zone은 300℃로 고정하였으며, 4-zone과 5-zone은 Soldering zone 으로써 500℃로 고정하였고, Soldering 온도 제어는 Reflow M/C의 Setting 온도를 고정한 상태에서 Conveyor속도를 0.3, 0.5, 0.65, 0.75m/min으로 하여 실험하였다.

실험에 사용된 태양전지는 결정구조 또는 제조방법에 따라 Soldering조건이 다를 수 있다고 가정하여 단결정실리콘(c-Si)태양전지(10.3x10.3cm)와 다결정실리콘(p-Si)태양전지(10.3x10.3cm)를 같은 온도 조건에서 동시에 실험 하였다.

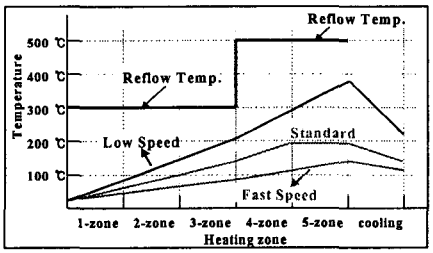

그림 4. Reflow M/C의 온도 Cycle.

태양전지 전후면 전극에 Soldering하기 위해 사용된 Solder Paste는 국내에서 제조된 Sn(62.8):Pb(36.8):Ag(0.4)를 사용하였으며, Screen Printing법을 이용하여 인쇄하였다.

태양전지의 표면온도 측정에는 Thermometer (Testo 935), Dark I-V 특성시험은 Solar Simulator (81194-1000, Oriel Instruments,USA)를 사용하였다. 또한 납땜된 형상을 확인하기 위하여 광학현미경(Olympus)을 사용하여 태양전지 표면 전극의 납땜 상태를 확인하였다.

4. 결과 및 고찰

그림 4의 Reflow M/C 4-zone과 5-zone에서 Soldering 되는 온도는 순수 납(Pb)의 융점 327.5℃, 순수 주석(Sn)의 융점 약 232℃로써, Sn에 Pb를 첨가하면 융점이 점차 저하되어 38.1wt%의 Pb가 될 때 183℃로 융점이 가장 낮아진다.[6]

따라서 실험에 사용된 62.8wt%Sn-36.8wt%Pb-0.4wt%Ag의 융점은 약 192℃로써 본 실험에 사용된 Soldering 온도는 Reflow M/C 출구에서 측정된 태양전지 표면온도보다 약 50℃ 높은 220℃~185℃까지로 추측하고 있다.

Dark I-V 특성 측정은 직렬저항의 변화를 쉽게 관찰 할 수 있으며, 누설저항 및 태양전지의 물리적 특성의 변화도 쉽게 관찰 할 수 있다. 또한 노화된 태양전지모듈의 특성을 관찰하는데도 많이 사용되어지고 있다.[7]

그림 5는 c-Si 태양전지의 Soldering 조건에 따른 Dark I-V 특성의 변화를 보여주고 있다.

그림에서 보듯이 reflow 속도 0.3, 0.65, 0.75 m/min에서 c-Si 태양전지의 Dark I-V 특성은 기울기가 급격하게 증가된 것을 확인할 수 있었으며, 기울기의 증가는 즉 직렬저항이 감소된 것을 알 수 있다.

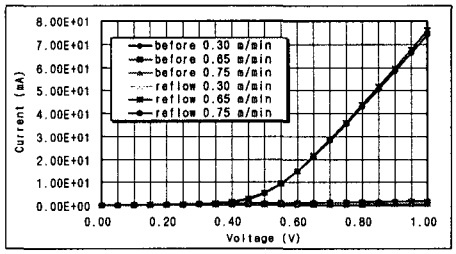

그림 5. Soldering 전후의 c-Si Cells의 Dark I-V 특성 변화.

그림 6은 p-Si 태양전지의 Soldering 조건에 따른 Dark I-V 특성의 변화를 보여주고 있다.

p-Si 태양전지도 c-Si 태양전지와 마찬가지로 reflow 속도와 관계없이 기울기가 급격하게 증가하였으며, 직렬저항이 감소된 것을 알 수 있다.

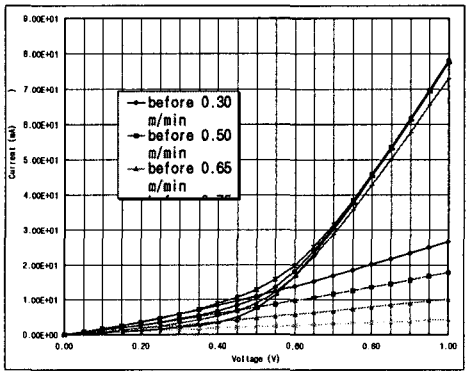

그림 6. Soldering 전후의 p-Si Cells의Dark I-V 특성 변화.

그림 5, 그림 6에서와 같이 Soldering 온도와 관계없이 전체적인 기울기의 증가는 태양전지와 태양전지를 연결하는 도체리본이 태양전지 표면전극으로 사용되는 Ag paste의 고유저항을 감소시킴으로써,

직렬저항이 감소된 것으로 판단된다.

본 실험에서 확인된 Soldering온도에 따른 Dark I-V 특성의 변화는 실제로 Soldering조건이 양호한 상태에서 측정된 값으로써, Conveyor속도 0.3m/m 이하에서와 0.8m/min 이상에서는 태양전지 표면 전극 파괴 현상과 Solder Bonding현상을 확인 할 수 있었다.

그림 7은 Soldering된 시료의 전극과 도체리본에 붙어있는 SnPbAg paste의 형상을 관찰하기 위하여 광학현미경으로 촬영한 표면 형상 사진을 보여주고 있다.

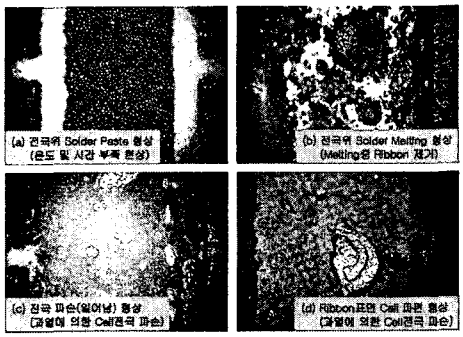

그림 7. Soldering 온도에 따른 전극과 리본의 표면형상.

(a)는 Soldering온도가 낮을 때 태양전지 표면 전극부분에 도포된 SnPbAg paste가 전혀 녹지 않고 그대로 남아있는 형상을 보여주고 있으며, (b)는 Solder paste가 녹는 중에 도체리본을 떼어 SnPbAg 합금이 Soldering 후 어떤 모형으로 전극표면에 도포되는지를 관찰하였다. (c)는 Soldering 온도가 과열되어 태양전지 표면 전극이 실리콘 기판 자체에서 일어나는 현상을 보여주고 있으며, 사이사이 실리콘 기판이 파손된 현상도 확인 할 수가 있다. (d)는 reflow 온도가 과열된 상태에서 Soldering된 도체리본을 태양전지 표면 전극으로부터 임으로 떼어냈을 때의 형상을 보여주고 있으며, 이때 도체리본에 실리콘 기판의 파편이 붙어서 전극이 일어나는 현상을 보여주고 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 태양전지모듈의 수명에 영향을 주는 전극 부분의 온도, 습도의 영향과 주변환경에 의한 부식현상 외에도 태양전지가 외부에 노출되었을 경우 전극부분에서 전기적 특성에 영향을 줄 수 있는 태양전지와 도체리본간의 Interconnection을 위하여 Reflow M/C을 이용하여 Soldering온도를 변화시켜 납땜한 후 태양전지의 특성에 가장 영향이 큰 직렬저항의 변화를 보기 위하여 Dark I-V 특성을 관찰하였다.

Dark I-V 특성 결과에서 c-Si, p-Si 태양전지 모두 Soldering 온도에 관계없이 모두 기울기가 급격하게 증가되어, Interconnection을 할 경우 전극 접촉저항의 감소에 의해 직렬저항이 감소되는 것을 확인하였으며, 적정한 Soldering 온도 조건에서 Interconnection이 이루어지지 않을 경우 태양전지 표면전극의 파괴 및 Solder bonding현상에 의해 태양전지모듈이 외부에 노출되어 발전될 경우 시간이 지날수록 전극 접촉저항의 증가 및 hot spots 현상이 증가되어 태양전지모듈의 수명을 단축시킬 것으로 사료된다.

참고 문헌

[1] M.A.Quintana, et al., "Diagnostic Analysis of Silicon Photovoltaic Module after 20-Year Field Exposure", Presented at 28th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, Anchorage, Sept. 15~22, 2000

[2] 강기환,소정훈,정영석,정명웅,유권종 "태양전지모듈의 구성 및 Lamination의 온도특성", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp1376~1378, 2002. 7.

[3] 한국에너지기술연구원 연구보고서, "태양광발전기술개발", 1981. 12.

[4] D.L.King, J.A.Kratochvil, and M.A.Quintana "Application for infrared imaging equipment in photovoltaic cell,module,and system testing", Technical Report about PV Module and arrays, Sandia National Laboratories, April 2000

[5] M.A.Quintana and D.L.King "Commonly Observed Degradation in Field-Aged Photovoltaic Modules", Presented at the 29th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, New Orleans, May 2002.

[6] 정재필,신영의,임승수, "무연 마이크로 솔더링" 삼성실업, 2001. 6.

[7] D.L.King, et al., "Dark Current-Voltage Measurements on Photovoltaic Module as a Diagnostic or Manufacturing Tool", 26th IEEE PVSC Proceedings, 1997, pp.1125-1128.