

태양전지모듈 제조를 위한 요소기술연구

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

A Study on the Element Technology for PV Module Manufacturing

*Gi-Hwan Kang, *Gwon-Jong Yu, *Kyung-Un Park, **Hyungkeun Ahn, **Deuk-Young Han
*Korea Institute of Energy Research, **Konkuk University

Abstract - In this paper, element technologies such as soldering, arrangement and lamination processes for photovoltaic module manufacture were examined and described as main processes. Especially solder paste and temperature condition in soldering process, loss factor in arrangement process and process conditions in lamination process are investigated to minimize the electrical loss.

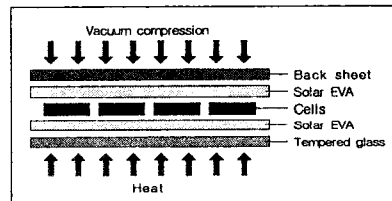
As a results, temperature condition in soldering process was found to be critical to contact resistance of electrode and life-time. Productivity of the process decreases dramatically by physical damage during arrangement process. Pressure level and press condition of upper chamber in lamination process were important parameters for the reliability. According to the test result of photovoltaic module, electrical properties dropped about 5 ~ 25% after 5 years.

능 저하요인으로 작용할 수 있는 납땜공정에서의 Solder paste 및 온도조건, 배열공정에서의 손실요인, Lamination공정에서의 조건별 주요 기술에 대해서 기술하고자 한다.

2. 태양전지 모듈의 구조 및 제조방법

2.1 태양전지 모듈의 구조

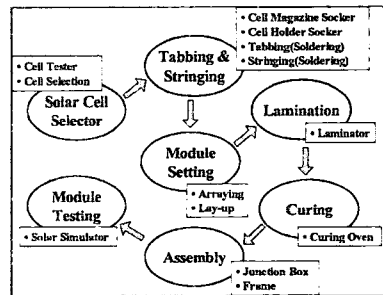
현재 일반적으로 상용화된 태양전지모듈의 구조는 [그림 2-1]에서 보는바와 같이 Tempered low iron glass/EVA sheet/Cells/EVA sheet/Back sheet의 형태로 구성되어 있으며, Back sheet 대신에 Glass나 Al plate등을 사용하기도 한다[3].



[그림 2-1] 태양전지모듈의 일반 구조

2.2 태양전지모듈 제조방법

[그림 2-2]는 태양전지모듈 제조를 위한 장치 및 제조 공정도를 보여주고 있다.



[그림 2-2] 태양전지모듈 제조 공정도

대체에너지중 가장 각광을 받고 있는 태양광발전시스템은 현재 실증단지 조성사업 및 1만호 보급사업과 관련하여 많은 관심이 고조되고 있다[1].

실제로 태양광발전시스템에서 외부 환경에 노출되어 발전하는 태양전지모듈은 수명이 약 20년 이상으로, 반영구적으로 사용이 가능하며, 한번 설치해 놓으면 유지 보수비용이 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 실시해본 결과 <표 1-1>에서와 같이 약 5~25% 가량의 전기적 특성이 저하되는 현상을 발견하였으며, 선진국에서도 장기간 field test한 시스템을 대상으로 시험해본 결과 전극 부분에서의 연화현상으로 전기적 성능 저하 현상이 발견되었다.[2]

<표 1-1> Field Test 5년 경과후 태양전지모듈의 전기적 특성 변화

등급	수량(대)	출력범위(W)	비고
Initial-Class	270	50	초기 모델 출력
A-Class	13	47~48	약 5% 출력감소
B-Class	194	40~43	약15% 출력감소
C-Class	63	35~39	약25% 출력감소

이러한 태양전지모듈은 시간이 지날수록 전기적 특성이 감소하여 결국은 시스템 전체의 수명을 단축시키는 데 영향을 미치고 있다.

따라서 본 논문에서는 태양전지모듈 제조를 위한 요소 기술들을 살펴보고, 특히 제조공정에 있어서 전기적 성

태양전지 모듈을 제조하기 위해서는 크게 Cell을 측정하여 Selection할 수 있는 Cell 측정장치, Cell을 Interconnection 할 수 있는 Tabbing & String 장치, String된 Cell을 사양에 맞게 배열하고, 태양전지 모듈의 구조에 맞게 Setting하는 Arraying장치, 그리고 Cell의 충격방지 및 습기 침입을 막기 위하여 진공상태에서 Silicon rubber를 압력으로 밀어서 적층하는 Laminator, Lamination시간을 줄이기 위하여 Lamination후 열처리하는 curing 장치, 열처리가 끝난 뒤 태양전지 모듈의 전기적 특성을 측정하여, 제품의 품질

을 선별하는 Solar simulator등으로 나눌 수 있다.

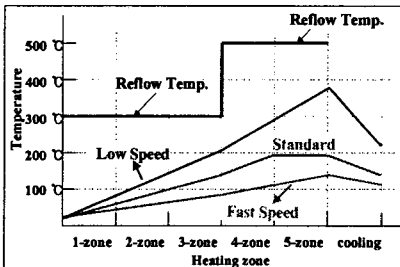
이러한 공정 하나하나의 태양전지모듈의 수명에 영향을 미칠 수 있으므로 태양전지모듈 제조 시 신중을 기해야만 한다.

3. 주요 공정별 요소기술

3.1 Soldering공정

태양전지모듈에서 Interconnection을 위한 납땜용 재료는 Solder paste(SnPbAg)로 사람이 직접 수작업으로 납땜을 하는 경우도 있겠지만 생산성 향상을 위하여 대부분 적외선펌프를 이용하여 납땜하거나, reflow M/C를 이용하여 납땜을 하고 있다.

[그림 3-1]은 당 실험실에서 보유하고 있는 태양전지모듈의 Interconnection을 위한 Reflow M/C의 온도 cycle을 보여주고 있다.



[그림 3-1] Reflow M/C의 온도 Cycle

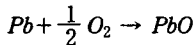
Interconnection을 위한 납땜 조건은 태양전지모듈에 있어서 직렬저항에 매우 영향이 크므로 너무 고온이나 저온에서 납땜을 하지 말고 적절한 온도조건을 찾아서 납땜해야만 한다. 태양전지모듈에서 직렬저항이 미칠 수 있는 영향은 전극접촉저항으로써, 너무 고온에서 납땜할 경우 태양전지 표면전극이 파손이 될 수 있으며, 저온에서 납땜할 경우 Bonding되어 내부에 전류가 흐를 때 Solder paste의 균열로 접촉저항이 커지게 된다.

이러한 태양전지모듈을 약 5년이상 사용하게 되면 태양전지의 전극과 도체리본 또는 도체리본과 도체리본의 접촉부분에서 내부의 열화에 의해 Solder paste metal의 균열 및 지속적인 스트레스에 의한 파괴로 인하여 접촉저항이 커지게 되며, 시간이 지날수록 심화되어 태양전지모듈으로써의 기능을 할 수 없게 된다.[4]

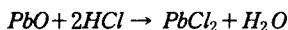
또한 Solder paste 활성제에 포함되어 있는 염소와 같은 할로젠 원소들이 SnPb계의 합금을 부식시키기 때문에 납땜 후 태양전지의 표면을 깨끗이 세척하거나, 태양전지표면에 습기나 공기의 침투가 되지 않도록 태양전지모듈 제조시 Lamination공정을 잘 해야한다.

Soldering 주위에 염소성분이 존재하면 SnPb합금이 이들과 반응하여 PbCl₂를 생성시키며, PbCl₂는 산화탄소를 함유한 습도가 높은 공기에 대해 안정하지 못하여 다공질 PbCl₃로 변하여 부식된다. 그 후 SnPb의 합금표면에 다시 산화층이 생기고, 이것은 PbCl₂로 변하며, 또 다시 PbCl₃가 생성되고 이 과정은 SnPb합금이 모두 부식되어 없어질 때까지 반복된다.

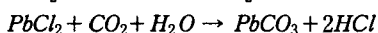
이 과정을 반응식으로 나타내면 아래와 같다.



(금속)(공기)



습기있는 CO₂ 공기 중에서 PbCl₂는



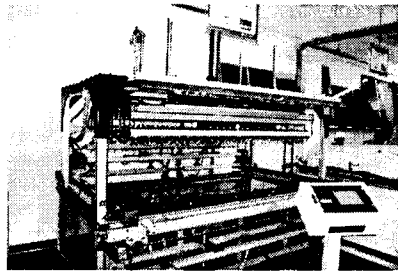
HCl은 솔더 산화물인 PbO와 반응해서 다시 전 과정이

진행된다.[5]

3.2 Arrangement 공정

Module Setting공정은 일렬로 납땜된 수 개의 태양전지 또는 직병렬로 납땜된 수십개의 태양전지를 유리판 위에 이동시켜 배열하는 공정으로써 하나의 태양전지라도 불량이나 파손이 있을 경우 많은 교체 시간을 소비해야 하며, 불량 태양전지를 발견하지 못하고, 다음 공정에 들어갔을 경우에는 수십개의 태양전지를 폐기해야만 하는 많은 경제적 손실이 불가피하여, Module Setting공정은 매우 중요한 공정중의 하나이다. 당 실험실에서는 이러한 문제점을 최소화하기 위하여 태양전지 자동 배열장치를 설계·제작하였다.[6]

[그림 3-2]는 별도의 모듈 Setting용 지그가 필요치 않고 태양전지와 태양전지의 간격, String 태양전지와 String 태양전지의 간격, 태양전지의 수량 및 용량등을 자유롭게 Setting하여 모듈 제작이 가능한 다중모델 태양전지모듈용 자동 배열장치의 사진을 보여주고 있다.

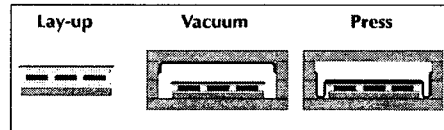


[그림 3-2] 태양전지 자동배열장치 사진

3.3 Lamination 공정

태양전지모듈을 제조하기 위한 공정 중에서 가장 중요한 공정은 Lamination 공정이라 할 수 있다.

Lamination은 [그림 3-3]과 같이 Glass/EVA/Cell/EVA/Backsheet 등의 구조로 setting된 모듈을 Laminator의 가열된 Plate위에 올려놓은 후 Upper chamber를 Close하고 Upper chamber와 Lower chamber를 1 Torr 이하의 진공상태로 pumping한 후 Upper chamber에 압력을 높여 Silicon rubber를 밀어서 적층하게 된다.



[그림 3-3] Lamination의 원리

[그림 3-4]는 Lamination을 하기 위하여 Upper chamber의 pressure level과 Silicon rubber의 press speed 의한 실험변수 영역을 보여주고 있다.

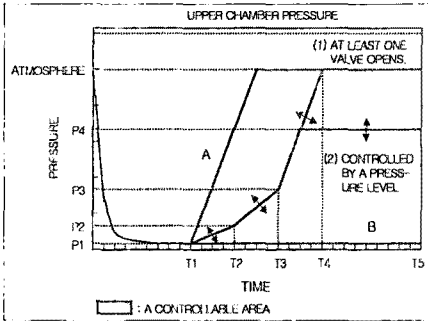
여기서 Line A는 Upper chamber의 Air 밸브 3개가 T1에서 동시에 Open된 상태를 보여주고 있으며, Line B는 계속해서 Upper chamber의 진공을 1Torr 이하로 pumping하고 있는 것을 보여주고 있다.

T1~T5는 Lamination시간을 나타내며, P1~P4는 Upper chamber의 pressure level을 나타내고 있다. 일반적으로 T1까지의 시간은 Pumping시간을 의미하며, T1에서 T2는 slow press, T2에서 T3는 standard press, T3에서 T4는 fast press, T4에서 T5는 Curing 시간을 의미한다.

[그림 3-4]에서 보여주고 있는 Curve의 Pressure level과 press의 관계를 정리하면,

$$T1 \sim T2 : P1 \sim P2 = \text{Valve 1} \Rightarrow \text{Open}$$

T2~T3 : P2~P3 = Valve 1,2 ⇒ Open
 T3~T4 : P3~P4 = Valve 1,2,3 ⇒ Open
 으로 나타낼 수 있다.



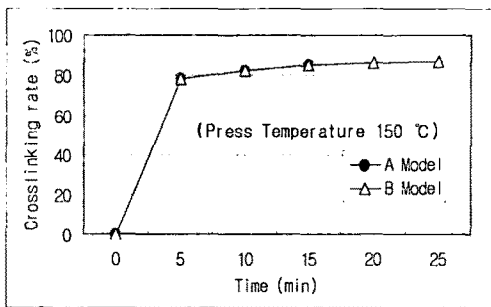
[그림 3-4] Upper chamber의 제어 Curve

위의 제어조건은 태양전지모듈용 유리의 두께나 크기, EVA, Backsheet등 Setting된 태양전지모듈의 구조에 따라 Lamination 조건이 달라지는데 이때 조건이 적절하지 못하면 발생될 수 있는 문제점은 태양전지의 파손, 태양전지의 배열 홀트러짐, Bubble현상 등 제조공정상의 경제적 손실과 태양전지모듈의 수명에 큰 영향을 미칠 수 있다.

위와 같은 문제점을 해결하기 위해서 사용자는 태양전지모듈 구조에 적절하게 Valve1~3의 open/close에 의한 T1~T5의 press 시간과 P1~P4의 Pressure level을 잘 설정해야 한다.

또한 태양전지모듈의 Lamination 공정에 있어서 EVA의 Crosslinking rate는 매우 중요하다. EVA의 Crosslinking rate가 80% 이하이면 태양전지모듈이 외부에 노출되었을 때 시간이 지날수록 EVA가 변색되고 습기가 침투하여 태양전지모듈의 수명에 영향을 미칠 수 있다. [7][8]

[그림 3-5]는 T4~T5 영역에서 실시하는 Curing공정이며, plate온도 150℃에서 Curing 시간에 따른 EVA의 Crosslinking rate를 보여주고 있다.

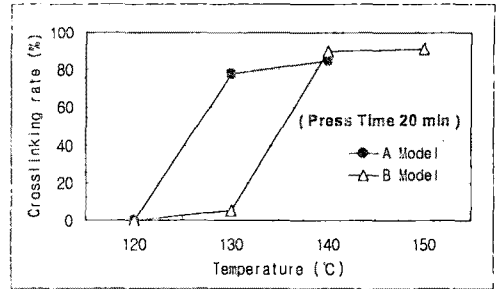


[그림 3-5] 시간에 따른 EVA의 Crosslinking rate

그림에서 보는바와 같이 A model과 B model의 Crosslinking rate는 curing 시간 5분이 경과하면서 80% 가까이 근접하고, 10분이 지나면서 80%를 도달하였으며, 시간이 지날수록 약간씩 증가하여 25분에서 약 85%를 보여주고 있다.

[그림 3-6]은 plate의 온도를 변화시키면서 curing을 20분간 실시했을 때 EVA의 Crosslinking rate를 보여주고 있다. A model의 EVA는 120℃에서 변화가 없으나 130℃에서 80%를 근접하여 140℃에서 80% 이상을 나타내었다. B model의 경우 130℃까지 거의 변화가 없다가 140℃에서 85%를 나타내었으며, 150℃에서도 약간 증가는 하였으나 거의 근사한 값을 보여주

었다. 이와 같이 태양전지모듈용 EVA는 제조사 및 Model마다 온도조건이 다르기 때문에 사용자는 이점에 유의하여야 한다.



[그림 3-6] 온도에 따른 EVA의 crosslinking rate

4. 결 론

본 논문에서는 태양전지모듈의 구조와 제조장치, 제조공정 등을 살펴보고, 납땜공정, 배열공정, 적층공정등 주요 공정에서 태양전지모듈의 특성저하요인 및 수명에 영향을 미칠 수 있는 요소기술을 살펴보았다.

납땜공정에서 온도조건은 태양전지모듈의 전극접촉저항에 영향을 주며, Solder paste(SnPbAg)활성제에 포함되어 있는 염소와 같은 할로겐 원소들이 SnPb계의 합금을 부식시키기 때문에 납땜 후 태양전지의 표면을 깨끗이 세척하거나, 습기나 공기의 침투가 절대로 태양전지표면에 들어가지 않도록 해야 한다.

배열공정에서의 태양전지의 파손이나 배열 홀트러짐 현상등은 생산성 저하 및 경제적 손실을 주게된다.

이러한 문제점을 보완하기 위하여 태양전지 자동배열장치를 설계 및 제작 하였다.

적층공정에서 Upper chamber의 Pressure와 Press 조건은 태양전지모듈용 유리의 두께나 크기, EVA, Backsheet등 Setting된 태양전지모듈의 구조에 따라 Lamination 조건이 다르며, EVA의 Crosslinking rate는 80% 이상이 되어야만 태양전지모듈의 수명을 연장시킬 수 있다.

[참 고 문 헌]

- [1] 유건중, 소정훈, "태양광 발전기술의 현황과 전망", 한국설비기술협회, 특집(대체에너지), pp.52~62, no6, vol.19, 2002.
- [2] 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
- [3] 강기환, 소정훈, 정영석, 정명용, 유건중 "태양전지모듈의 구성 및 Lamination의 온도특성", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp1376~1378, 2002. 7.
- [4] 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.
- [5] 정재필, 신영의, 임승수, "무연 마이크로 솔더링" 삼성실업, 2001. 6.
- [6] 강기환, 유건중, "태양전지 자동배열장치", 특허출원(20-2003-0009565), 2003. 03.
- [7] Final Subcontract Report, "PVMat Improvements in the BP Solar Photovoltaic Module Manufacturing Technology", NREL, Nov. 2001.
- [8] Technical Guide, "EVASAFE™, PV Module encapsulants", Bridgestone.