

## Heat Shocking에 의한 결정질 실리콘 Solar Cell의 출력특성

신준오\*, 정태희\*\*, 김태범\*\*\*, 강기환\*\*\*\*, 안형근\*\*\*\*\*, 한득영\*\*\*\*\*

\*건국대학교 대학원 전기공학과(gobugii@konkuk.ac.kr), \*\*건국대학교 대학원  
전기공학과(come1986@empas.com), \*\*\*건국대학교 대학원 전기공학과(ktbbb@nate.com),  
\*\*\*\*한국에너지기술연구원(ghkang@kier.re.kr), \*\*\*\*\*건국대학교 전기공학과(hkahn@konkuk.ac.kr),  
\*\*\*\*\*건국대학교 전기공학과(dyhan@konkuk.ac.kr)

### The Characteristic of Crystalline Si Solar Cell by Heat Shocking

Shin, Jun-Oh\*, Jung Tae-hee\*\*, Kim Tae-Bum\*\*\*, Kang Gi-Hwan\*\*\*\*,  
Ahn Hyung-Keun\*\*\*\*\*, Han Deuk-Young\*\*\*\*\*

\*Dept. of Electrical Engineering, Graduate School, Konkuk University(gobugii@konkuk.ac.kr),  
\*\*Dept. of Electrical Engineering, Graduate School, Konkuk University(come1986@empas.com),  
\*\*\*Dept. of Electrical Engineering, Graduate School, Konkuk University(ktbbb@nate.com)  
\*\*\*\*KOREA INSTITUTE OF ENERGY RESEARCH(ghkang@kier.re.kr),  
\*\*\*\*\*Dept. of Electrical Engineering, Konkuk University(hkahn@konkuk.ac.kr),  
\*\*\*\*\*Dept. of Electrical Engineering, Konkuk University(dyhan@konkuk.ac.kr)

#### Abstract

---

String & tabbing step in the crystalline PV module manufacturing process for the high temperature directly affects solar cells. In fact, in the manufacture of PV modules tend to be similar to temperature factor and the corresponding changes in the output shows the same characteristics. In this journal, it will be considered about thermal characteristics, especially changes of characteristic in high temperature of the solar cell through experiment that we measure electric output characteristics of solar cells after those are applied with high temperature changes for two seconds. And we can think about the possibility of efficiency improvements over looks in PV module manufacturing processes.

**Keywords** : Solar cell(태양전지), PV Module(태양전지 모듈), Soldering(납땜), Heating(열), short circuit current( $I_{sc}$ )(단락전류), open circuit voltage( $V_{oc}$ )(개방전압)

---

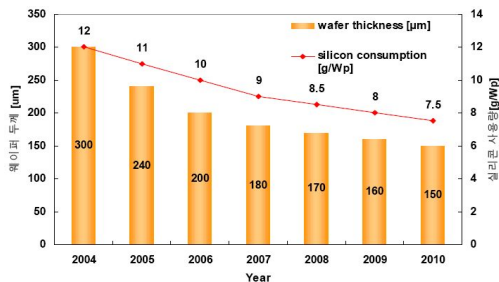
## 기 호 설 명

$I_{sc}$  : Short current, A  
 $V_{oc}$  : Open voltage, V  
 $R_s$  : series resistance,  $\Omega$   
 $R_{sh}$  : parallel resistance,  $\Omega$

## 1. 서 론

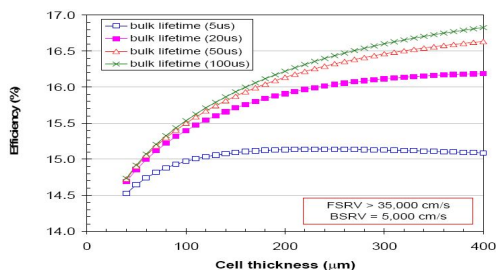
### 1.1 PV모듈 제조 현황

최근 태양전지의 생산단가 절감화 추세에 따라 박형화가 이뤄지고 있다. 이에 따라 기존의 Solar Cell의 제조공정 및 설비와는 차이가 있는 별도의 방식이 필요하며 이에 대한 개발이 진행되고 있는 실정이다. 태양전지의 박형화가 진행되면서 실제로 실리콘의 소비량(g/Wp)은 절감되어 200 $\mu$ m대비 20~30%의 원가절감 효과를 얻을 수 있을 것이다.



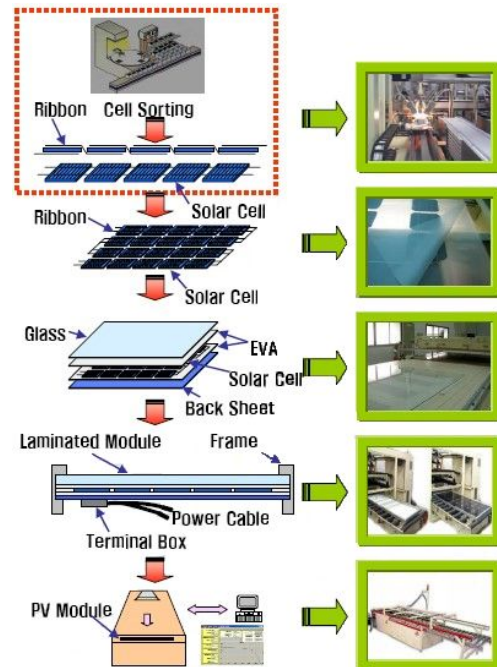
[자료 1.] Si Wafer 두께 변화 예측\_EPIA "Solar Generation IV-2007"

그러나 다른 한편으로는 Cell 두께가 얇아짐에 따라 캐리어 수명시간이 짧아져 Recombination에 의한 효율이 감소하는 단점을 가지고 있다.



[자료 2.] Cell 두께변화에 따른 효율 변화

또한 제조공정 중 String & tabbing 단계에서 고온에 의한 Bowing 현상으로 발생할 수 있는 Micro Crack과 같은 물리적인 충격에도 취약한 단점을 가지고 있다. 태양전지모듈의 제조는 [자료 3]에서 보는 바와 같이 셀을 등급별로 분류하는 Cell Sorting공정, Inter-connection Ribbon을 납땀하는 Tabbing & String공정, 모듈구조를 형성하는 Lay-up공정, 적층하는 적층공정(Lamination)공정, 모듈 내부에서 구성재료로 사용되는 EVA sheet를 가교시키는 Curing공정, Frame 및 단자박스를 결합하는 Assembly공정 등으로 이루어져 있다.



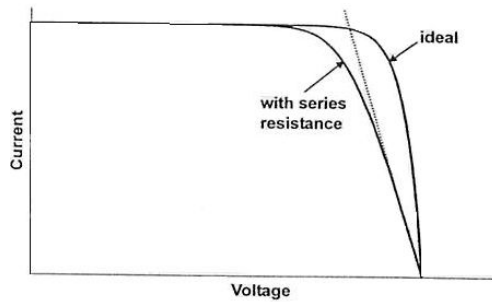
[자료 3.] PV모듈 제조공정

이때 Lamination 공정은 140-160 $^{\circ}$ C 사이에 이루어지며 tabbing & String공정에서의 hot plate위에서 160 $^{\circ}$ C에서 이루어지고 있다. 특히 soldering 공정은 경우에 따라 400 $^{\circ}$ C까지 높은 온도에서 이루어지기도 한다. 본 논문에서는 PV모듈 제조공정 상에서 특히 고온의 열에 의한 Cell의 전기적 특성 변화를 살펴봄으로써 Cell 박형화에 따른 제조공정 및

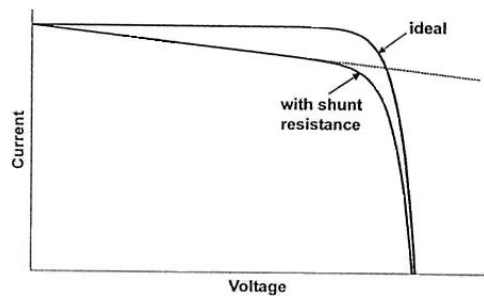
설비의 개선방향을 모색해 보기로 한다.

1.2 직·병렬 저항에 따른 태양전지 특성  
태양전지의 특성에서 Pmax, Fill Factor는 [자료 4], [자료 5]에서 확인할 수 있듯이 Cell 자체의 직·병렬 저항성분에 따라 결정되며 저항이 직접적으로 영향을 미치는 Voc, Isc에 따라 Pmax와 최적 동작전류  $I_m$  과 최적 동작전압  $V_m$ 이  $I_{sc}$ 와  $V_{oc}$ 에 가까운 정도를 나타내는 변환효율의 특성인 F.F[식-1] 타낼 수 있다.

$$F.F = \frac{V_m \times I_m}{V_{oc} \times I_{sc}} \dots \text{[식-1]}$$



[자료 4.] I-V Curve에서 직렬저항 특성



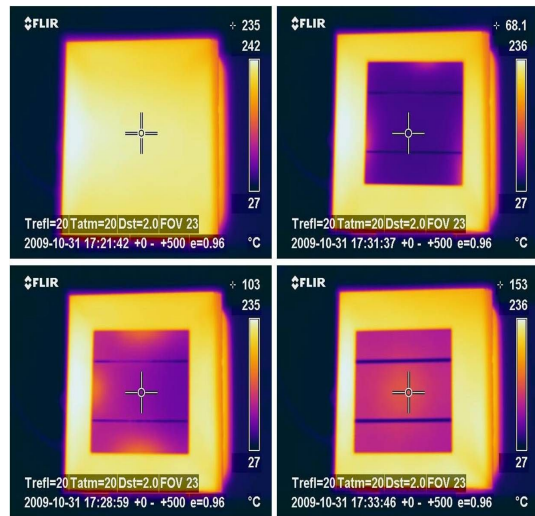
[자료 5.] I-V Curve에서 병렬저항 특성

## 2.본 론

### 2.1 실험방법

실제 Soldering 공정은 Soldering하는 방법

에 따라 Infrared, Hot air, Ultrasonic soldering 방식 등이 존재한다. 열원의 Uniformity에 따라 Cell에 특정온도 이상의 고온의 열이 가해질 수 있지만 본 실험에서는 Normal case에서 열이 Cell 전체에 고르게 분포될 수 있도록 Hot plate 상부에 Aluminum 기판을 이용하였다. [자료 4.]는 열화상카메라(FLIR)를 이용하여 촬영한 Hot plate 및 Cell의 균등한 열분포 이미지이다. 태양전지 셀을 hot plate에 올려놓은 직후와 시간에 따른 온도 변화를 관찰 확인 할 수 있다. 첫 번째 그림은 hot plate 자체의 온도이며 두 번째 그림은 태양전지 셀을 올려놓은 직후, 세 번째 그림은 1초가 경과한 후에 셀의 이미지이며 마지막으로 2초가 경과한 한 후의 태양전지 셀의 열 분포 이다.

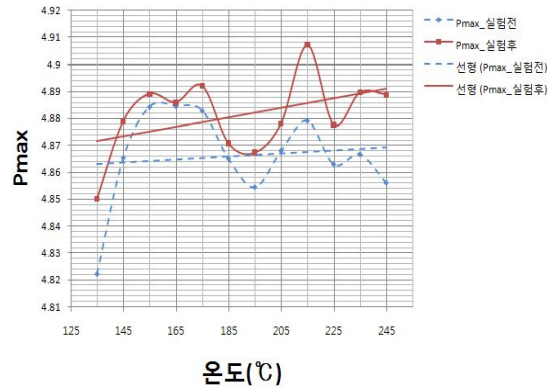


[자료 4.] hot plate 위에서의 태양전지 열 분포

실험은 6 inch 정상 Cell을 사용했으며 Cell Simulator를 이용하여 초기치를 측정하였다. 각 Cell은 Hot plate 상에서 2sec 동안 baking하여 열 충격이 가해졌으며 온도는 135°C ~ 245°C의 범위에서 10°C간격으로 split test를 실시하였다. 각 온도 군마다 2장의 Cell을 baking 한 후 실험오차를 감안하여 두 번째 Cell의 Data를 기준으로 Pmax를 산출하였다.

## 2.2 실험 결과

[자료 5], [자료 6.]는 실험 후 Cell Simulator로 측정된 Voc, Isc 값이다. 그래프에서 볼 수 있듯이 실험 전 대비 실험 후 Cell의 출력은 전체적으로 향상됨을 볼 수 있다. 실제로 Voc, Isc 값이 증가했고 상대적으로 온도가 증가함에 따라 Voc의 변화보다 Isc의 증가율이 커지면서 Pmax도 향상되었다. 특히 그래프에서 주목할 점은 절대적인 Pmax값의 증가보다도 온도 Factor에 따른 변화이다. 초기 135°C에서의 출력보다 155°C ~ 175°C, 215°C에서의 출력이 개선됨을 보여주며 온도가 증가함에 따라 증가하는 폭의 차이가 커지는 경향을 보인다.



[자료 7.] 온도에 따른 Pmax 변화 및 추이

## 3. 결 론

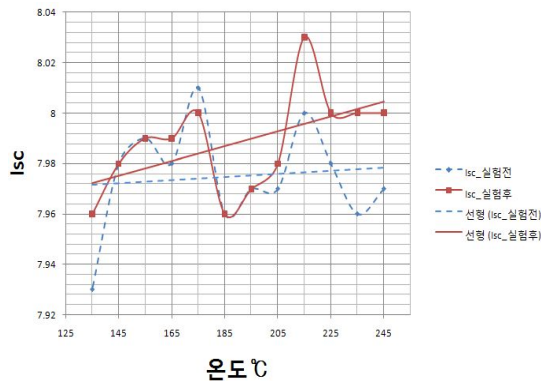
실험 후 Solar Cell의 변화는 Isc, Voc 그리고 그에 따른 Pmax 모두 전체적인 개선효과를 보여준다. 특정 온도에서의 열에 의한 Cell 출력특성변화를 본 실험 Data로 결론을 내리기에는 부족함이 있지만 Pmax 개선효과 가능성을 보여준 것이라 생각된다. 또한  $I_{sc}$ 와  $V_{oc}$  값의 증가로 인한 Pmax 출력 개선의 경우 그 원인으로 온도의 증가에 따른 Silver paste의 물성변화와 그로 인한 Ribbon과 Cell 사이 계면의 변화, 그리고 Cell 자체 물성의 변화가 그 요인으로 추측되며 본 실험을 기반으로 추후 Heat Shocking에 의한 Solar Cell 출력의 재현성을 확인하고 PV모듈의 구성요소별 특성을 세부적으로 분석하는 실험이 추가적으로 진행되어야 할 것이다. 또한 이러한 Data를 바탕으로 Cell 제조공정상에서의 PV모듈 출력개선 방안이 세부적으로 연구되어야 할 것으로 사료된다.

## 후 기

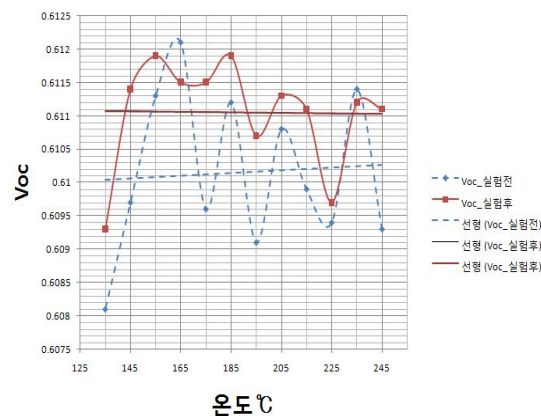
본 연구는 지식경제부 신재생에너지기술개발사업의 일환 (2008-N-PV-P-01-3-020-2008)으로 수행되었습니다.

## 참 고 문 헌

1. 강기환, 유권중, 안형근, 한득영, “자동배열



[자료 5.] 온도에 따른 Isc 변화 및 추이



[자료 6.] 온도에 따른 Voc 변화 및 추이

- 장치를 이용한 태양전지모듈 제조 공정 개발” Journal of the Korean Solar Energy Society vol.23, 2005
2. D.W.K. Eikelboom, J.H. Bultman, A. Schonecker, M.H.H. Meuwissen, M.A.J.C. van den Nieuwenhof, D.L. Meie “CONDUCTIVE ADHESIVES FOR LOW-STRESS INTERCONNECTION OF THIN BACK-CONTACT SOLAR CELLS” 29th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, 20 - 24 May 2002, New Orleans, USA
  3. M. Bähr et al., “Comparison of Bow-Avoiding Al-pastes for Thin, Large-Area Crystalline Silicon Solar Cells””, 20th EPSEC, Barcelona, 2005, p.926 - - 929
  4. A. M. Gabor et al., “SOLDERING INDUCED DAMAGE TO THIN SI SOLAR CELLS AND DETECTION OF CRACKED CELLS IN MODULES””, 21st EPSEC, Dresden, 2006, p.2042 - 2047
  5. Andrew M. Gabor, Mike Ralli, Shaun Montminy, Luis Alegria, Chris Bordonaro, Joe Woods, Larry Felton “SOLDERING INDUCED DAMAGE TO THIN SI SOLAR CELLS AND DETECTION OF CRACKED CELLS IN MODULES”Presented at the 21st European Photovoltaic Solar Energy Conference, September 4-8, 2006, Dresden
  6. 이재형, 임동건, 이준신, “태양전지원론 (Principle of solar cell)”, 홍릉 과학출판사, 2005
  7. K.S.Kim G.H.Kang, G.J YU, “The Analysis of Electrical Characteristics of PV Module according to Mechanical Load Test”, Proceedings of the Korean Solar Energy Society Spring Annual Conference, pp. 247 ~ 251 (5pages), 2008
  8. S. R. Wenham, M. A. Green, M. E. Watt and R. Corkish, “applied PHOTOVOLTAICS”, EARTHSCAN , 2007
  9. Atmaram. G.H, Ventre, G.G, Maytrott. C.W, Dunlop. J.P, Swamy.R, “Long-term performance and reliability of crystalline silicon photovoltaic modules”, Conference Record of the Twenty Fifth IEEE, 13-17 May 1996 Page(s):1279 - 1282,