

열충격 시험을 통한 태양전지 특성에 관한 연구

강민수* · 전유재** · 신영의*†

*중앙대학교 기계공학부 · **여주대학교 자동차과

(2012년 5월 17일 접수, 2012년 9월 5일 수정, 2012년 9월 5일 채택)

A Study on The Characteristics of Solar Cell by Thermal Shock test

Kang, Min-Soo*, Jeon Yu-Jae**, Shin Young-Eui*†

*School of Mechanical Engineering, Chung-Ang University

**Department of Automotive, Yeo-ju Institute of Technology

(Received 17 May 2012, Revised 5 September 2012, Accepted 5 September 2012)

요 약

본 연구에서는 열충격 시험을 통하여 Cell 레벨에서의 효율저하 특성을 분석하였다. 열충격 시험은 PV모듈의 시험 규격인 KS C IEC-61215를 이용하여 보다 가혹한 조건인 -40°C 에서 120°C 의 조건으로 500사이클을 수행하였다. I-V 측정을 통하여 효율을 분석한 결과, 열충격 시험 전 13.9%에서 열충격 시험 후 11.0%로 효율이 저하 됐으며, 감소율은 20.9%로 나타났다. EL촬영을 통해 표면을 분석한 결과 Ribbon접합부 및 Gridfinger의 손상으로 확인 됐으며, 보다 정확한 효율 저하의 원인을 분석하기 위해 단면분석을 실시한 결과, 표면손상으로 확인 되었던 위치의 Cell 내부에서도 Crack을 확인할 수 있었다. 또한, FF(Fill Factor)값을 분석한 결과 열충격 시험 전 72.3%에서 시험 후 62.0%로 11.8%의 감소율을 보였다. 따라서, 경년 시 나타나는 효율저하는 I-V 특성 곡선의 변화에 따라 병렬저항(이 감소하여 Cell자체의 소모전력 증가 및 표면 손상, Cell 내부의 Crack에 기인하여 가속된다고 판단된다.

주요어 : PV모듈, Solar Cell, Bare Cell, 열충격 시험, EL, I-V, Fill Factor

Abstract - In this study, The report analysed the characteristics of power drop in solar cell through thermal shock test. The solar cells were tested 500 cycles in -40°C lowest temperature and 120°C highest temperature by thermal shock test on ironbound conditions, that excerpted standard of PV Module(KS C IEC-61215). The result of the efficiency analysis through measure of I-V, efficiency of Cell decreased from 13.9% to 11.0% and decreasing rate was 20.9% after test. The result of the surface analysis through EL, solar cell has damage of gridfinger and ribbon joint. Cell cracks were founded in damage of cells through cross section of solar cells. Also, Fill factors were decreased from 72.3% to 62.0% after thermal shock test and decreasing rate is 11.8%. therefore, Yearly power drop is aggravated with facts that cell crack, damage of surface and power loss of cell by change of I-V characteristic curve with decreasing of parallel resistance.

Key words : PV module, Solar Cell, Thermal Shock Test, EL, I-V, Fill Factor, Cell Crack, Power drop

†To whom corresponding should be addressed.

School of Mechanical Engineering, Graduate School,
Chung-Ang University 84 Heukseok-Ro, Dongjak-gu, Seoul,
156-756 Kore

Tel : 02-820-5316 ; E-mail : Shinyoun@cau.ac.kr

기 호 설 명

- PV : Photovoltaic
- EVA : Ethylene Vinyl Acetate
- EL : Electroluminescence
- I-V : Current-Voltage
- FF : Fill Factor

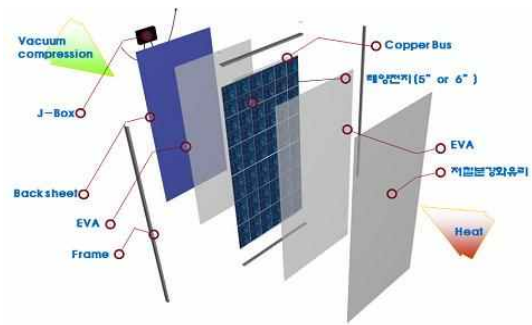


Fig. 1. PV module

1. 서 론

최근 유가의 변동이 심해지고 지구환경에 대한 국제적인 관심이 높아지면서 안정적이고 깨끗한 미래 에너지원의 확보가 경제적 측면은 물론 국가 안보차원에서도 주요한 과제로 부각 되고 있다. 이와 같이 이슈가 되고 있는 그린에너지 산업 중에서 세계적인 관심 속에 급속도로 성장을 하고 있는 태양광 발전 산업은 해마다 30%이상의 놀라운 성장률을 보이고 있으며, 지금 처해있는 지구 환경 및 에너지 문제를 고려해 볼 때 향후에도 이러한 증가 추세는 계속 될 것으로 예측 하고 있다.[1] 이러한 태양광 산업은 현재 결정질 실리콘의 PV모듈이 주를 이루고 있으며, 국내에서는 KS C IEC-61215[2]규격에 의거하여 PV 모듈의 기계적, 전기적 설계 적격성을 판단하고 있다. 한번 설치된 PV 모듈은 자체적인 전기적 성능저하와 함께 표면 변화에 의한 효율 저하가 발생하고 있다. 하지만, 이에 대한 명확한 원인을 규명하고 있지 못한 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 Cell 레벨에서의 장기 신뢰성 시험인 열충격 시험을 통하여 Cell의 자체적인 특성 변화를 고찰하였다.

2. 실험 방법

2-1 실험 시편

PV모듈은 옥외에 설치되기 때문에 장기간 자연환경 및 외부 충격에 견딜 수 있는 튼튼한 밀봉구조로 되어 있어야 한다. PV모듈의 조립 공정을 보면, Fig. 1 과 같이 투과율이 높은 강화유리에 EVA→Solar Cell→EVA→Back sheet 순으로 적층한 후, 아래로부터는 열을 가하고, 후면에서는 컴프레서로 공기를 빼며 진공압착으로 밀봉한다.[4]

위와 같이 제작된 PV 모듈에서 Fig. 2와 같이 Ag paste로 Grid finger와 전면전극 3개를 형성하고 그

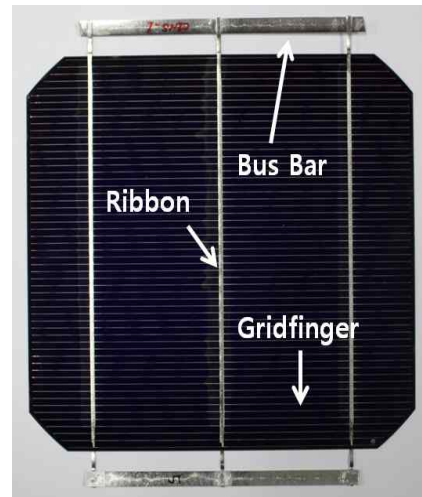


Fig. 2. Shape of Specimens

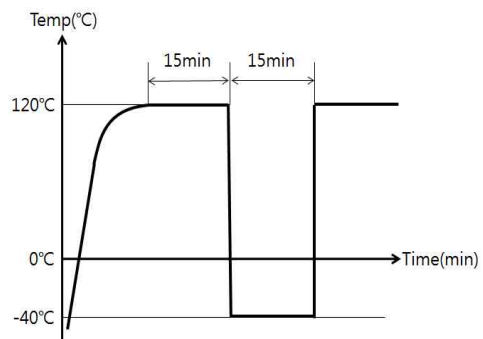


Fig. 3. Temperature profile of Thermal Shock test

위에 Ribbon을 Tabbing한 단결정 Solar Cell을 시편으로 하여 열충격 시험을 수행하였다. 사용된 Cell은 200 두께의 Ribbon이 Tabbing된 238.95의 면적을 갖는 시편을 제작하여 사용하였다.

2-2 열충격 시험

경년 시 나타나는 효율 저하의 원인과 경향성을 분석하기 위하여 열충격 시험을 수행하였다. PV 모듈

의 관련 규격인 IEC KS C 61215에 명시된 열사이클 규격을 이용하여 보다 가혹한 조건에서의 시험을 수행하였다. Fig. 3에서와 같이 열충격 시험의 조건은 저온 -40°C , 고온 120°C 에서 각각 15분씩 유지하였으며, Lamping Time을 포함하여 총 30분을 1사이클로 500사이클을 수행하였다.

2-3 EL 촬영 및 I-V 특성 곡선

Solar Simulator를 이용한 EL 촬영을 통하여 표면을 분석하였으며, I-V 특성 곡선을 측정하여 전기적 특성을 분석하였다. EL 촬영은 Cell에 전기장을 주었을 때 Cell이 빛을 내는 현상을 이용하여 표면사진의 음영에 따라 Cell의 균열 및 Gridfinger의 손상 유무를 분석할 수 있는 기법이다. I-V 특성 곡선 측정은 태양전지에 STC(표준 시험조건 : 수직복사 $E=1000\text{ W/m}^2$, 전지온도 $T=25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, 공기질량 $AM=1.5$)의 일사량을 주어 개방전압(V_{oc}), 단락전류(I_s), 최대 출력전압(V_{max}) 및 전류(I_{max}), 최대출력전력(P_{max}) 측정을 통해 태양전지의 효율 및 Fill Factor(FF)를 산출하여 분석하는 기법이다.

3. 결과 및 고찰

3-1 효율 저하

효율은 Solar Cell에 100 mW/cm^2 을 인가하여 얻은 출력 값(P_{max})을 Cell의 면적으로 나누어 산출하였다. Fig. 4와 같이 열충격 시험 전 효율은 13.9%였으나, 열충격 시험 후에는 11.0%로 초기효율 대비 20.9%의 감소율을 보였다.

3-2 전기적 특성 변화

I-V 특성 곡선을 통하여 열충격 시험 전·후 FF를 비교 분석하였다. 열충격 시험 후 Fig. 5와 같이 I-V 특성 곡선의 변화가 있었으며, 이를 분석한 결과 Fig. 6과 같이 열충격 시험 전 FF는 72.3%였으나, 열충격 시험 후 62.0%로 11.8%의 감소율을 확인 하였다. 이는 Cell 내부의 다이오드 특성에 따라 직병렬저항에 의해 산출되는 값으로 경년에 의한 Cell 내부의 직렬 저항의 증가 및 병렬 저항의 감소가 FF 효율변화에 영향을 미친 것으로 분석된다.[5]

Cell 내부의 자체적 저항 변화는 Fig. 7과 같은 태양전지 등가 회로모델에서 확인할 수 있다. Cell 내부

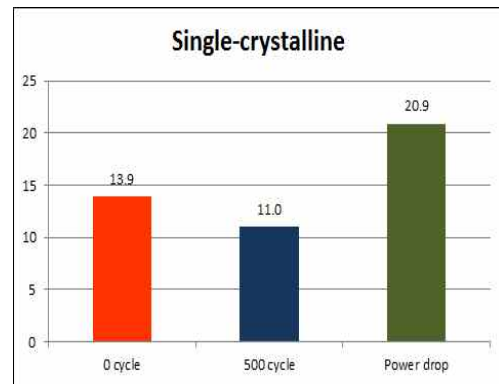


Fig. 4. Degradation of Solar Cell efficiency

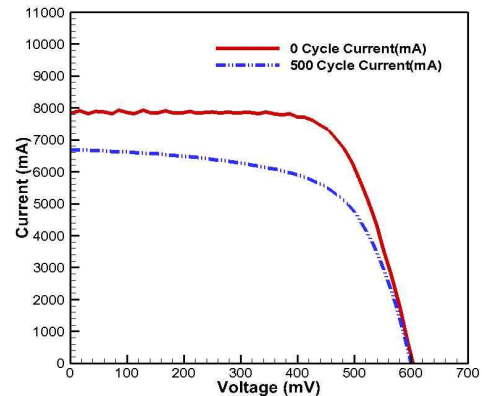


Fig. 5. I-V Characteristic curve

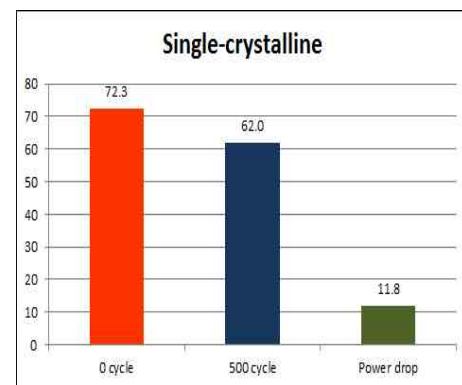


Fig. 6. Degradation of Solar Cell Fill Factor

에는 직렬저항(R_s)과 병렬저항(R_{SH})이 생기며 R_s 는 p, n층의 전류가 흐를 때의 저항 및 계면에서의 접촉 저항에 의해 발생한다. 반면 R_{SH} 는 p-n접합의 누설전류, 결정결함 및 불순물에 의해 발생하며, Fig. 8과 같은 곡선의 변화가 생긴다. 따라서, Fig. 8(1)과 같은 변화는 p-n접합계면에서의 R_s 증가에 따른 것이나,

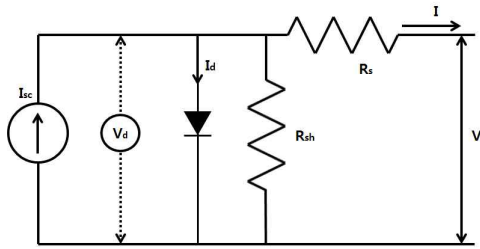


Fig. 7. Equivalent Circuit of Solar Cell

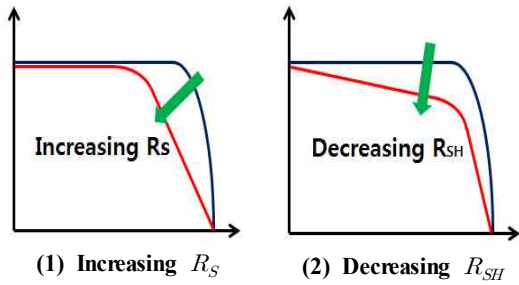
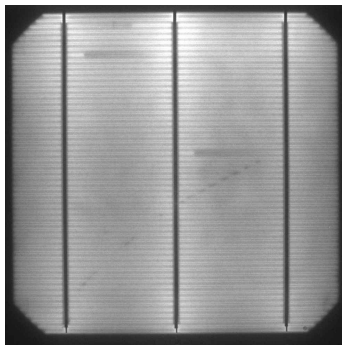
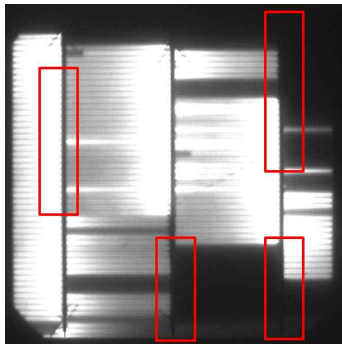


Fig. 8. Image of Solar Cell



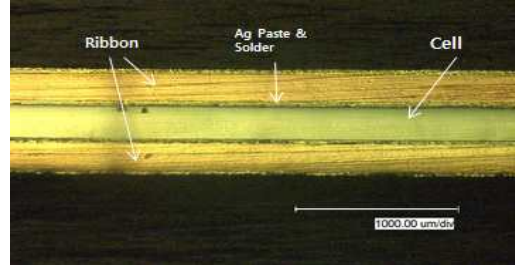
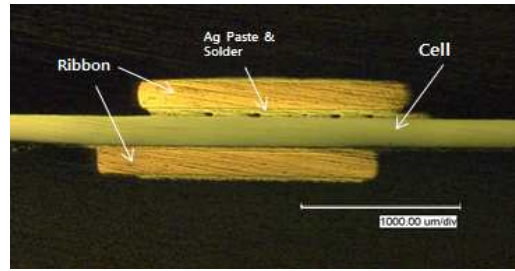
(1) 0 Cycle



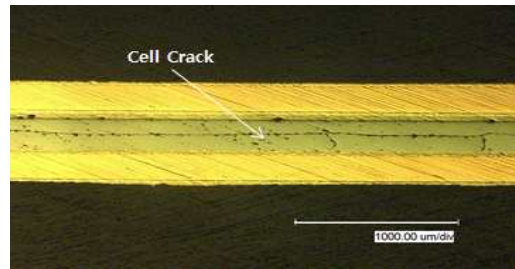
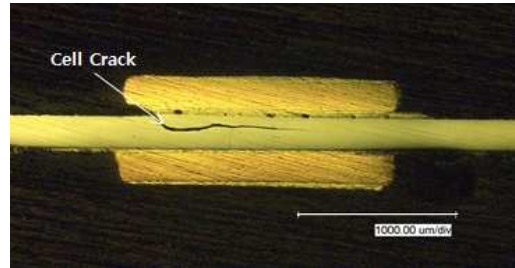
(2) 500 Cycle

Fig. 9. EL Image of Solar Cell

Fig. 8(2)와 같은 변화는 Ribbon접합부의 손상 및 누설전류에 의한 영향으로 R_{SH} 가 감소하여 발생한 것으로 분석할 수 있다.



(1) The point without damage in EL Image of cell



(2) The point with damage in EL Image of Cell

Fig. 10. Cross section of Cell after Thermal shock test

따라서, 본 실험에서 사용된 Cell은 Ribbon 접합부의 손상에 따른 R_{SH} 감소에 의한 전기적 특성 변화를 보였으며, Ribbon접합부의 손상은 표면 관찰을 통하여 확인하였다.

3-3 EL촬영을 통한 표면 분석

열충격 시험 전·후 EL 촬영을 통하여 Cell의 표면을 분석하였다. Fig. 9(2)와 같이 열충격 시험 후 Cell의 표면에 음영 변화가 나타났으며, 이는 Cell Crack, Ribbon 접합부의 단락, Gridfinger의 단선과 같은 손상이라 판단된다. 또한, 이와 같은 Cell의 변화는 효율 저하에 직접적인 영향을 준 것으로 판단되며, 이

를 정확히 분석하기 위해서는 Cell 단면의 손상 유무를 확인하여 비교 분석할 필요가 있다.

3-4 단면 분석

효율저하의 원인을 명확히 분석하기 위하여 표면 변화에 따른 단면을 분석하였다. 그 결과, 열충격 시험 후 표면의 손상이 발견되지 않았던 부분에서는 Fig. 10(1)과 같이 Cell 내부에서의 손상이 확인되지 않았으며, 음영의 변화가 있어 불량이라 판단된 부분에서는 Fig. 10(2)와 같이 Cell 내부에서도 Crack이 확인되었다. 이는 반복적인 열에 의한 Ribbon 접합부와 Cell의 이종재료 열응력 차에 의한 손상으로 분석된다[8]. 따라서, 경년 시 나타나는 p-n접합 사이의 누설전류에 의한 FF감소와 Cell 내부에서의 Crack으로 인해 효율 저하가 발생되었으며, 더욱 가중되었다고 판단된다.

향후 다양한 시험법 및 다양한 환경조건을 통해 Cell 내부에서의 Crack이 생기는 위치와 성장요인에 대해 분석하고 규명하여 PV모듈에서의 장기 신뢰성 확보 방안을 제시하여야 할 것이다.

4. 결 론

열충격 시험을 통한 Cell 레벨에서의 태양전지 효율저하 특성에 대한 결론은 다음과 같다.

- (1) 열충격 시험 전 대비 열충격 시험 후 효율은 20.9%의 큰 감소율을 보였다.
- (2) 표면을 분석한 결과, 열충격 시험 후 Cell Crack, Ribbon접합부의 단락, Gridfinger의 단선을 확인하였다.
- (3) 열충격 시험 후 Fill Factor를 분석한 결과 소모 전력 증가에 의해 11.8%의 감소율을 보였다.
- (4) 경년 시 효율저하의 원인은 소모전력증가, 표면손상, Cell 내부의 Crack에 기인하였다고 판단된다.
- (5) 향후 다양한 시험법 및 분석기법을 통해 PV모듈에서의 효율저하 원인을 분석하여 장기 신뢰성 향상의 확보방안을 제시하여야 할 것이다.

후 기

"이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원

으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No.2012-0001532)."

참고문헌

1. Kang, Kyung-Chan, Kang, Gi-Hwan, Huh, Chang-Su, Yu, Gwon-Jong. "태양전지 모듈의 내구성을 위한 EVA sheet의 특성연구" 한국태양에너지학회 추계학술발표 논문집 2008 Nov. 14, pp.30 - 35, 2008.
2. KS C IEC-61215
3. KS C IEC-60904-3
4. 박종화著, "알기 쉬운 태양광발전" 문운당, p 102
5. M. G. Willalva, J. R. Gazoli, and E. R. Filho, "Comprehensive approach to modeling and simulation of photovoltaic arrays", IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 24, No. 5, pp.1198-1208, May 2009.
6. G.R. Walker, "Evaluating MPPT topologies using a Matlab PV model", Journal of Electrical & Electronics Engineering, Vol. 21, No. 1, pp. 49-56, 2001.
7. 이형연, 김대일, 김영일, 이덕영, 최형남, 하영복著 "태양광 발전 시스템 이론 및 설치 가이드북" 도서출판 신기술 pp72-pp130
8. Kang. Min-Soo, Kim. Do-Seok, Jeon. Yu-Jae, Shin. Young-Eui, "쏘 Study on Thermal Shock Test Characteristics of Solar Cell for Long-Term Reliability Test", Journal of Energy Engineering, Vol. 21, No. 1, pp. 26-32, 2012