

고온고습 시험을 통한 태양전지의 장기 신뢰성에 관한 연구

강민수* · 전유재** · 김도석* · 신영의*†

*중앙대학교 기계공학부 · **여주대학교 자동차과

(2012년 5월 17일 접수, 2012년 9월 14일 수정, 2012년 9월 14일 채택)

Study on the Long-term Reliability of Solar Cell by High Temperature & Humidity Test

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

*School of Mechanical Engineering, Chung-Ang University

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

(Received 17 May 2012, Revised 14 September 2012, Accepted 14 September 2012)

요 약

본 연구는 고온고습 시험을 통하여 Cell 레벨에서의 표면관찰 및 효율저하를 분석하였다. 고온고습 시험 조건은 KS C IEC-61215에서 제시한 PV 모듈하의 조건을 이용하여 온도 85°C, 습도 85%, 1000hr 동안 수행하였다. EL(Electroluminescence)촬영을 통하여 Cell 표면의 이상 유·무를 분석한 결과, 시간이 경과함에 따라, 부분적으로 표면이 손상되어 변색되는 것을 확인하였다. 고온고습 시험 전 단결정 Cell 및 다결정 Cell의 효율은 각각 17.7%, 15.5%였으며, 1000hr 수행 후 15.6%, 14.0%로 각각 11.9%와 9.3%의 감소율을 보였다. 또한, 경년 시 나타나는 전기적 특성을 분석하기 위하여 FF(Fill Factor)값을 분석한 결과, 고온고습 시험 후 단결정 Cell은 78.7%에서 75.0%로 4.7%, 다결정 Cell은 78.1%에서 76.7%로 1.8%의 감소율을 보였다. 태양전지 실리콘의 원자배열 및 순도에 따라 효율 변화에 영향을 받아 단결정 Cell이 다결정 Cell보다 효율저하가 크게 나타났다고 판단된다. 또한, FF감소율보다 효율 감소율이 크게 저하된 것을 확인할 수 있었으며, 이는 Cell의 외부환경적 요인에 의한 표면 손상이 p-n접합층 접촉저항과 경년 시 나타나는 FF 감소율보다 크게 영향을 준 것으로 판단된다.

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

Abstract - In this study, The report analysed the characteristics of power drop and damage of surface in solar cell through high temperature and humidity test. The solar cells were tested during the 1000hr in 85°C temperature and 85% humidity conditions, that excerpted standard of PV Module(KS C IEC-61215). An analysis of the cell surface through EL(Electroluminescence), the cell has partly change of surface in yearly. Single-crystalline Solar cell efficiency is decreased from 17.7% to 15.6% and decreasing rate is 11.9%. On the other hand, Poly-crystalline Solar cell efficiency is decreased from 15.5% to 14.0% and decreasing rate is 9.3%. A comparison of the fill factor for analysis of electro characteristic in yearly, Single-crystalline Solar cell efficiency is decreased from 78.7% to 78.1% and decreasing rate is 4.7%. On the other hand, Poly-crystalline Solar cell efficiency is decreased from 78.1% to 76.7% and decreasing rate is 1.8%. Single-crystalline has more bigger power drop than poly-crystalline by the silicon purity and silicon atom arrangement. Also, FF decreasing rate has more bigger drop than efficiency decreasing rate for the reason that the damage of surface by exterior environmental factor is the more influence in cell than other reason that is decreasing FF by damage of p-n junction.

†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

Key words : PV module, Solar Cell, Bare Cell, High temperature & humidity test, EL, I-V, Fill Factor

1. 서 론

최근 유가의 폭등 및 화석연료의 고갈 문제를 대처할 수 있는 방안으로 신재생에너지에 대한 관심이 집중되고 있다. 이러한 신재생 에너지에서 태양에너지는 에너지원의 크기가 무한정에 가까우며, 위험요소 또한 적어 신재생에너지 중 가장 이상적인 대체에너지원으로 부각되고 있다.[1]

PV 모듈의 설치 시 품질 인증을 수행하고 있으며, 옥외에 장기간 노출되는 특성상 장기 신뢰성에 대한 평가 및 수명보증이 필수적이다. 대부분의 PV 모듈은 10년 보증, 25년의 내구성을 가지고 설계하고 있으나, PV 모듈은 Cell, EVA(Ethylene Vinyl Acetate), Back sheet 등의 다양한 물질로 구성됨에 따라 수명에 대한 정확한 예측 및 보증이 어려운 실정이다.

또한, 태양전지 모듈에 대한 인증시험이 이루어지고 있지만, 대부분의 인증시험은 태양전지의 모듈인 복합인자에 대해 국한되어 있고, Cell 레벨에서의 장기 신뢰성 평가 시험의 경우 인증기준이 아직 정립되어 있지 않아 경년 시 나타나는 효율저하의 정확한 분석이 미흡하다[2]. 따라서, PV 모듈의 각 재료의 특성을 바탕으로 경년에 따른 복합적인 영향성을 분석하여야 할 것으로 사료되며, 본 연구에서는 고온고습 시험을 통하여 Cell의 특성 변화를 분석하였다.

2. 실험 방법

2-1 실험 시편

현재 PV 모듈은 Fig. 1과 같이 Bare Cell의 전면 및 후면 전극 위에 Ribbon을 Tabbing하여 Solar Cell을 제작하고, 이를 모듈화 하기 위하여 앞면에서부터 차례로 Glass, EVA, Solar Cell, Back sheet를 배열하고, Lamination 공정을 통해 제작된다.

위와 같은 복합재료의 PV 모듈에서 경년에 따른 효율 저하가 발생하고 있으며, Cell 레벨에서의 특성을 분석하기 위하여, 단결정(single-crystalline) Cell과 다결정(poly-crystalline) Cell을 시편으로 선정하였다. 단결정 Cell과 다결정 Cell의 면적을 각각 측정할 결과 단결정 Cell이 238.95cm^2 , 다결정 Cell이 243.36

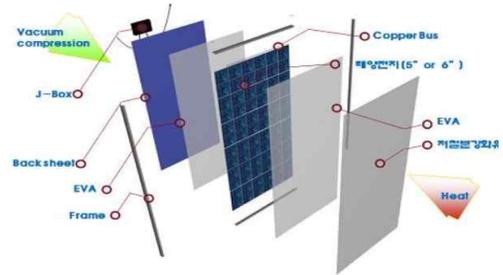
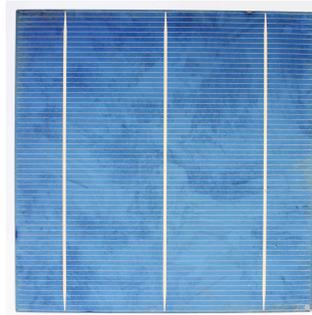


Fig. 1. Structure of PV Module



(a) Single-crystalline Cell



(b) Poly-crystalline Cell

Fig. 2. Shape of Specimens

cm^2 로 산출되었으며, 시편의 형상을 Fig. 2에 나타내었다.

2-2 고온고습 시험

고온고습 시험의 조건은 현재 PV 모듈에서 수행하고 있는 KS C-IEC 61215 규격을 이용하여 Fig. 3과 같이 온도 85°C , 습도 85%에서 1000hr 수행하였으며 [3], 고온고습 시험 전부터 고온고습 시험 후 200hr 마다 Cell의 특성 변화를 관찰하기 위하여 EL촬영 및 I-V 특성곡선을 측정하였다.

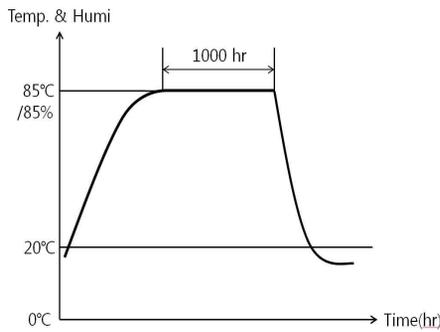


Fig. 3. Temperature Profile of High Temp. & Humidity

2-3 EL 및 I-V 측정

표면의 손상 여부를 확인하기 위하여 고온고습 시험 전·후의 Cell을 Solar Simulator를 이용하여 EL촬영과 I-V 특성 곡선을 측정하여 분석하였다. EL촬영은 Cell에 전기장을 주어 Cell이 내는 빛을 이용하여 표면사진을 촬영하며, 이를 통하여 Cell의 균열 및 Gridfinger의 손상 유무를 확인하고, 표면의 집광능력을 분석하는 기법이다. I-V측정은 태양전지에 STC(표준 시험조건 : 수직복사 $E=1000 W/m^2$, 전지 온도 $T=25^{\circ}C \pm 2^{\circ}C$, 공기질량 $AM=1.5$)의 일사량을 주어 개방전압(V_{oc}), 단락전류(I_s), 최대출력전압(V_{max}) 및 전류(I_{max}), 최대출력전력(P_{max}) 측정을 통해 태양전지의 효율 및 Fill Factor(FF)를 산출하여 Cell의 전기적 성능을 분석하는 기법이다.[4]

3. 결과 및 고찰

3-1 효율 저하

효율 측정은 I-V 특성 곡선을 통해 얻은 최대 출력 전력을 면적당(단결정 : $238.95 Cm^2$, 다결정: $243.36 Cm^2$) 효율로 산출하였다. Fig. 4에서와 같이 단결정 Cell의 고온고습 시험 전 효율은 17.7%였으나, 고온고습 시험 1000hr 수행 후 효율은 15.6%으로 11.9%의 감소율을 보였다. 다결정 Cell의 효율은 시험 전 15.5%였으나, 고온고습 시험 1000hr 수행 후의 효율은 14.0%로 9.3%의 감소율을 보였다.

단결정 Cell이 다결정 Cell보다 초기 효율이 높은 것으로 나타났다. 이는 단결정 Cell의 원자배열 방향이 일정한 고 순도의 실리콘(Si)으로 높은 효율과 함께 높은 에너지 변환효율을 갖는 반면, 원자배열 방향이 일정치 않은 다결정 Cell은 비교적 효율이 낮게

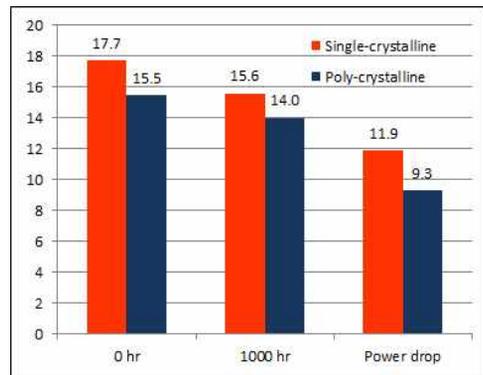


Fig. 4. Degradation of Solar Cell efficiency

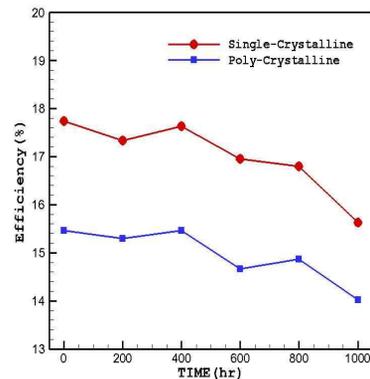


Fig. 5. Efficiency decreasing of Solar Cells

측정되는 것으로 분석된다.[5] 반면, 효율 감소율은 단결정 Cell이 다결정 Cell에 비해 더 큰 값을 보였으며, 이는 순수 결정질이 외부 환경변화에 더 취약한 것으로 사료된다.

Fig. 5는 고온고습 시험 전·후 매 200hr 마다 효율 감소율 값의 경향성을 나타낸 것이다. Fig 5를 통하여 단결정과 다결정 Cell에서의 효율 저하에 대한 경향성이 비슷하게 나타나는 것을 확인할 수 있다. 이는 태양전지 실리콘의 원자배열 및 순도에 따라 효율 감소율의 차이는 있지만, 단결정질과 다결정질의 태양전지가 갖는 효율 변화의 비슷한 경향성을 감안할 때, 고온고습 시험 후 효율 저하의 가장 큰 원인은 표면 손상 및 태양전지 실리콘 내의 p-n층에서 열 및 습공기에 영향을 받아 효율 변화에 영향을 준 것으로 판단할 수 있다. 향후 다양한 실험을 통해 태양전지 실리콘의 원자 구조 배열 및 순도에 따른 효율 변화 및 경년시 나타나는 효율저하에 대한 정확한 원인을 규명해야 할 것이다.

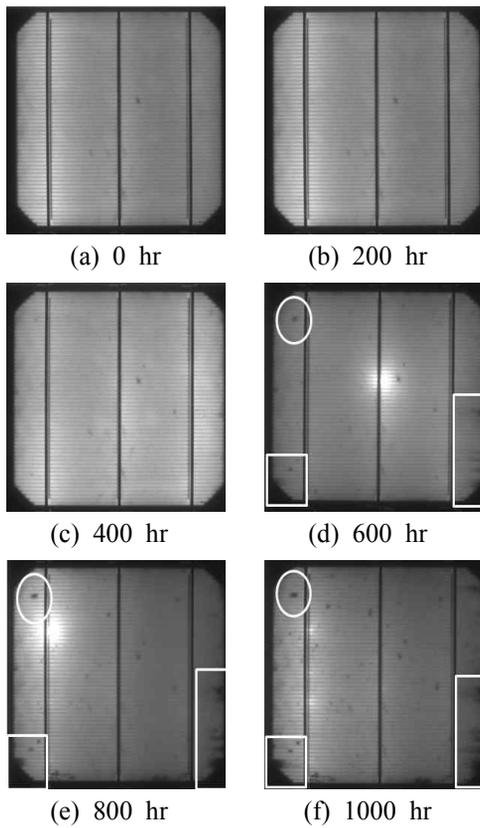


Fig. 6. EL Image of Single-crystalline Cell

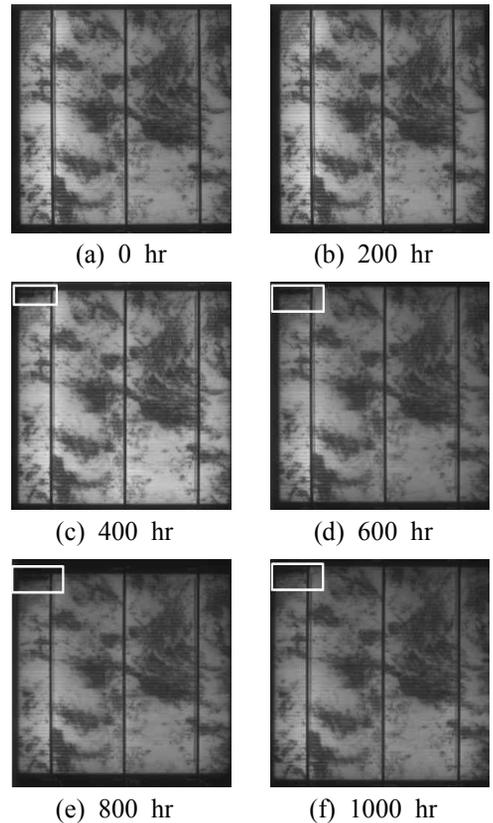


Fig. 7. EL Image of Poly-crystalline Cell

3-2 표면 관찰

고온고습 시험 1000hr 수행 후 EL촬영을 통하여 Cell의 표면 변화를 비교하였다. 측정결과 Fig. 6, 7에서와 같이 다결정, 단결정 Cell 모두 Cell 끝단 (edge) 부분부터의 손상이 되는것을 확인할 수 있었다. 이는 Cell edge부분의 p-n접합이 상대적으로 외부에 쉽게 노출되어 있어 비교적 침습이 쉽게 발생되기 때문에 나타난 표면손상이라 판단된다.

3-3 전기적 특성

p-n접합의 손상에 따른 전기적 성능 저하를 분석하기 위해 I-V특성 곡선을 통한 Fill Factor를 비교하였다. Fig. 8과 같이 단결정 Cell의 고온고습 시험 전 FF는 78.7%이며, 고온고습 시험 1000hr 수행 후의 FF는 75.0%로 4.7%의 감소율을 보였다. 다결정 Cell은 고온고습 시험 전 78.1%였으나, 고온고습 시험 1000hr 수행 후 FF는 76.7%로 1.8%의 감소율을 보였다.

이러한 FF의 변화는 태양전지의 다이오드 특성에 변화가 생겨 나타난 것으로 판단된다. 태양전지는

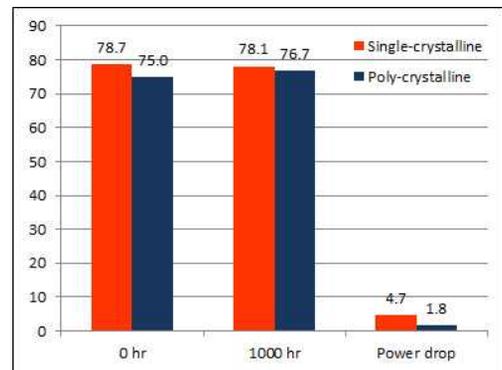
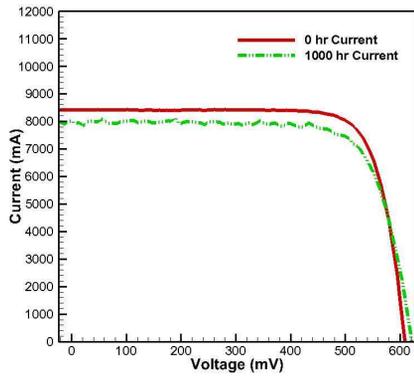
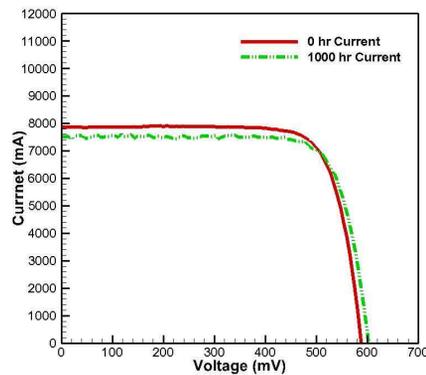


Fig. 8. Degradation of Fill Factor

Fig. 10과 같은 등가 회로로 모식화 할 수 있으며, 이때 Cell 내부에는 직렬저항(R_s)과 병렬저항(R_{SH})이 생긴다. R_s 는 p, n층의 전류가 흐를 때의 저항이며, 계면에서의 접촉저항에 의해 발생한다. Fig 11(1)의 곡선처럼 나타낼 수 있다. 반면 R_{SH} 는 p-n접합의 누설전류, 결정결함 및 불순물에 의해 발생하며, FF 또한, 크게 감소하여 Fig. 11(2)와 같은 곡선의 변화가 생긴다[6][7].



(a) Single-crystalline Cell



(b) Poly-crystalline Cell

Fig. 9. I-V Characteristic curve

이와 같은 연구결과로 본 실험에서의 효율 변화는 Fig. 6, 7과 같이 Cell edge 부분에서의 p-n 접합층의 습공기 침습에 의해 접촉 저항 및 경년에 의한 자체 저항이 커진 것으로 분석되며, Fig. 9의 I-V 특성 곡선에 따라 Fig 11(1)과 같은 특성인 p-n접촉 저항이 증가하여 FF가 감소한 것으로 판단할 수 있다. 또한, FF의 감소율에 비해 효율 감소율이 크게 떨어지는 것을 확인할 수 있었으며, 이는 외부환경적 요인에 의한 표면 손상이 태양전지의 집광능력에 영향을 주어 p-n접합층 접촉저항과 경년 시 나타나는 FF 감소율보다 크게 나타났다고 판단된다.

4. 결론

본 연구에서는 고온고습 시험 후 Cell 레벨에서의 효율저하 특성은 다음과 같다.

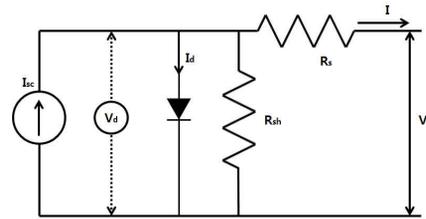


Fig. 10. Equivalent Circuit of Solar Cell

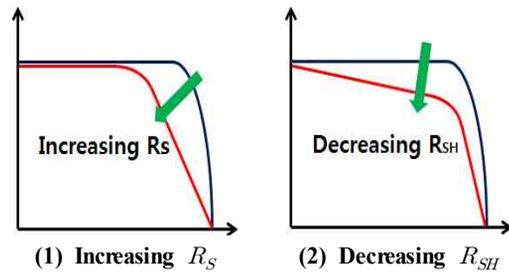


Fig. 11. I-V Curve according to Resistance of variation

- (1) 고온고습 시험 수행 후 단결정 Cell에서는 600hr, 다결정 Cell에서는 400hr 후에 Cell 표면이 손상되는 것을 확인 하였다.
- (2) 고온고습 시험 전과, 1000hr 수행 후 단결정 Cell과 다결정 Cell의 효율 및 FF 값의 감소율은 단결정 Cell이 11.89%, 4.7%, 다결정 Cell은 9.26%, 1.8%로 단결정 Cell이 다결정 Cell에 비해 감소율이 모두 크게 나타났다.
- (3) 경년 시 태양전지 실리콘의 원자배열 및 순도에 따라 효율 변화에 영향을 받아 단결정 Cell이 다결정 Cell보다 효율저하가 크게 나타났다고 판단된다.
- (4) 효율 감소율이 FF의 감소율에 비해 크게 떨어지는 결과는 외부환경적 요인에 의한 표면 손상이 p-n접합층 접촉저항과 경년 시 나타나는 FF 감소율보다 크게 영향을 준 것으로 판단된다.
- (5) 향후, 효율저하의 원인을 더욱 명확하게 규명하기 위하여 Cell 내부에서의 분석을 통하여 표면 손상의 원인을 정확하게 분석하여 원인을 규명하여야 할 것이다.

후 기

"이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원

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

참고문헌

1. Hong, Guen-kee, Cho, Kyeong-yeon, Seo, Jae-Keun, Oh, Dong-Joon, Shim, Ji-myung, Lee, Hyun-woo, Kim, Ji-Sun, Shin, Jeong-Eun, Lee, Eun-Joo, Lee, Soo-Hong, Lee Hae-Seok "Improvement of solar cell efficiency using selective emitter" KSES, VOL.31, NO.2, 2011 pp. 56-59, 2011.
2. 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
3. KS C-IEC 61215
4. Kang Min-Soo, Kim Do-Seok, Jeon Yu-Jae, Shin Young-Eui "The 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
5. "저탄소 녹색 성장을 위한 태양광 발전", (주) 도서출판 기다리. pp. 112.
6. Augustin McEvoy, Tom Markvart, Luis Castaner "Practical Handbook of Photovoltaics Fundamentals and Applications" Academic Press. pp.1031-1044
7. D. Pyscha, A. Mettea, S.W. Glunza. "A review and comparison of defferent methods to determine the series resistance of Solar cells" Sol. Energy Mater. Sol. Cells 91, 2007