

태양전지 Ribbon 두께에 따른 장기 신뢰성 특성에 관한 연구

강민수 · 전유재 · 신영의[†]

중앙대학교 기계공학부

(2013년 11월 16일 접수, 2013년 12월 18일 수정, 2013년 12월 18일 채택)

The Study on the Long- term Reliability Characteristics by Solar Cell Ribbon Thickness

Kang Min-Soo · Jeon Yu-Jae · Shin Young-Eui

School of Mechanical Engineering, Chung-Ang University

(Received 16 November 2013, Revised 18 December 2013, Accepted 18 December 2013)

요 약

본 논문에서는 태양전지의 Ribbon 두께(A-type:0.2mm, B-type:0.25mm)에 따라 3가지 온도조건 (-40~65°C, -40~85°C, -40~105°C)으로 열충격 시험을 수행하였다. 그 결과, A, B type 별 초기 평균효율은 15.2%로 같았다. 하지만, 열충격 시험(600 Cycle) 후 Condition 1에서 A-type 7.5%, B-type 7.7%, Condition 2에서는 8.6%, 13.2%를 나타내었다. Condition 3에서는 각각 11.6%, 19.9%의 감소율을 나타내었다. 열충격 시험 후 A-type보다 Ribbon두께가 두꺼운 B-type의 효율이 크게 감소하였다. 이는 A, B type 모두 이종재료 접합부의 금속간화합물(IMC)층이 형성되어 전기적 저항이 증대된 것으로 판단된다. 또한, B-type의 I-V 특성 곡선 및 EL을 분석한 결과, p-n층이 파괴되고, 병렬저항이 감소하여, 장기적 신뢰성에서 A-type 보다 더 취약한 것으로 나타났다. 향후 태양전지 Ribbon 형상에 따른 장기 신뢰성 특성에 대해 수치해석 및 시뮬레이션 분석이 수반되어야 할 것이다.

주요어 : Silicon Solar Cell, PV module, Reliability, Thermal Shock Test

1. 서 론

최근 화석에너지 고갈현상과 환경오염문제 및 원전사고 등에 의해 그린에너지가 크게 부각되고 있다.[1] 그 중 가장 무한한 에너지원인 태양에너지에 주목하기 시작했으며, 이를 이용한 광전효과를 통해 태양광을 전기에너지로 변환하여 지속적인 사용을 목표로 하고 있다. 따라서, 많은 국가에서 태양에너지 개발에 적극적이며, 현재 가장 많이 사용되는 태양전지는 실리콘 기반의 태양전지이다.

태양광 모듈의 특성상 옥외에 설치되어 지속적인 태양광을 받게 되면 태양광 모듈의 표면온도가 상승하게 되고, 표면 온도의 상승은 효율 감소 및 수명 단

축의 원인으로 알려져 있다.[2] 태양광 모듈은 특히 여름철에 높은 온도에 따른 효율 감소를 가져올 수 있기 때문에 열 부하를 주위 환경으로 원활하게 배출할 필요성이 있다. 태양광 모듈의 표면 온도를 감소시킨 경우 발전량이 증가한다[3]는 연구보고가 있다. 또한, National Renewable Energy Laboratory (NREL)의 태양광 모듈 실증 테스트 보고서에 따르면 해마다 태양광 모듈은 0.5%/year의 속도로 효율이 감소하는 것으로 보고되고 있다.[4] 이러한, 효율의 감소는 태양광 모듈이 받는 열 부하와 태양전지 Ribbon접합부의 영향이 있을 것으로 판단되며, 향후 태양에너지를 지속가능한 대체 에너지 자원으로 사용하기 위해서는 태양광 모듈이 받는 외적인 요인 및 내적인 요인에 대한 신뢰성 평가 데이터베이스가 구축되어야 하며, 이에 따른 정확한 신뢰성 평가방법이 정립 되어야 한다.

[†]To whom corresponding should be addressed.

School of Mechanical Engineering, Chung-Ang University, Seoul 756-756, Korea
 Tel : 031-880-5435 E-mail : shinyoun@cau.ac.kr

본 연구에서는 실리콘 태양전지의 신뢰성평가 및 수명 평가를 위해 ribbon접합부를 분석하였으며, ribbon접합부의 두께에 따른 신뢰성평가를 수행하였다.

2. 실험방법

태양광 모듈의 신뢰성 평가를 위해 태양광모듈을 모사하여 시편을 제작하였으며, 열 부하를 가하기 위해 열충격 시험을 수행하였다. 각 내용은 다음과 같다.

2-1. 실험시편

본 연구에 사용된 시편은 Fig. 1과 같이 단결정 (Single-crystalline) Solar Cell을 이용하여 3-line의 Solar ribbon을 Tabbing하고 후면에 Backsheet와 전면에 Glass, EVA(Ethylene Vinyl Acetate)를 Laminate 공정으로 제작하였다. 사용된 ribbon의 조성은 SnPb(60:40)이며, Table 1과 같이, ribbon의 두께를 0.2mm(A-type)와 0.25mm(B-type)의 두 가지

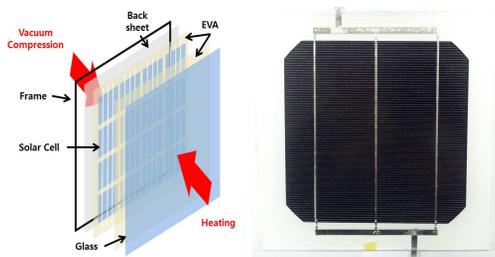


Fig. 1. Photovoltaic Module

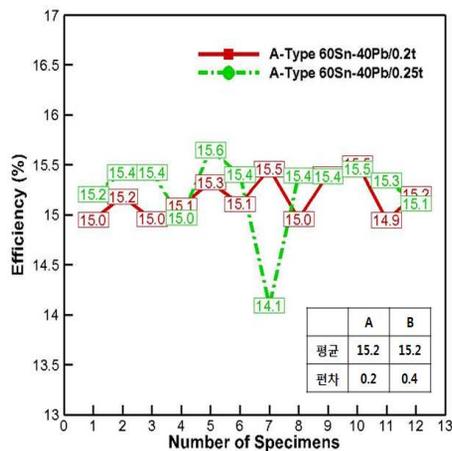


Fig. 2. Efficiency of Specimens

Table 1. Specification of Solar Ribbon

	Solder Composition	Thickness
A-type	60%Sn-40%Pb(wt%)	0.2mm
B-type	60%Sn-40%Pb(wt%)	0.25mm

Table 2. Test Conditions

	Condition 1	Condition 2
고온	65°C	85°C
저온	-40°C	-40°C

조건으로 각각 12개의 시편을 제작하였다.

제작된 시편의 초기 효율은 A-type, B-type 모두 Fig. 2와 같이 평균 15.2% 로 같았지만, 편차는 A-type이 0.2, B-type이 0.4로 나타났다. A-type 보다 B-type의 편차가 2배 크게 나타난 이유는 7번 시편의 효율이 매우 낮게 측정되어 편차가 높아졌다. 이는 A-type, B-type모두 접합성 및 태양전지 효율 특성에는 신뢰할 수 있으나, ribbon의 두께가 두꺼워 짐에 따라 제품의 불량률이 높아질 가능성이 있는 것으로 판단된다.

2-2. 열충격 시험

태양전지 ribbon접합부의 접합능력을 평가하기 위해 Table 2과 같이 3가지 조건을 이용하여 열충격 시험을 수행하였으며, 각 조건에 시편을 4개씩 분배하여 시험을 수행하였다. Condition 2는 KS C 61215[2]의 온도 사이클 시험 조건을 인용하여 설정하였으며, Condition 2를 기준으로 Condition 2, 3의 ΔT를 다르게 하여 설정하였다. 열충격 시험의 온도 프로파일은 Fig. 3과 같으며, 고온(T_{max}) 15분 저온(T_{min}) 15분, 총 30분을 1 cycle로 하여 600 cycle을 수행하였다.

2-3. EL 및 I-V 특성곡선

EL 촬영은 태양전지에 전기장을 주면 태양전지가 빛을 내는 현상을 이용하여 표면사진의 음영에 따라 Cell의 균열 및 Grid finger의 손상 유·무를 분석할 수 있는 기법이다. 현재 PV모듈 및 태양전지의 표면을 분석하는 가장 대표적인 방법으로 사용되고 있다. 또한, I-V측정은 태양전지에 STC(표준시험조건 : 수

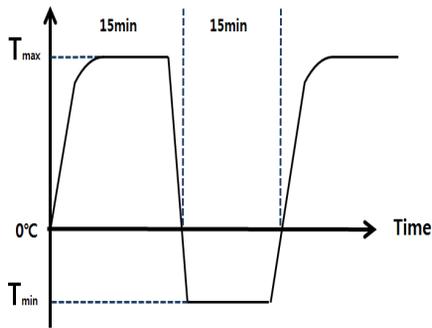


Fig. 3. Temperature profile of Thermal Shock Test

Table 3. Efficiency Degradation of Specimens

Type	조건	0cycle	600cycle	Drop rate
A-type	Condition 1	15.3%	14.2%	7.5%
	Condition 2	15.1%	13.8%	8.6%
	Condition 3	15.1%	13.3%	11.6%
B-type	Condition 1	15.3%	14.1%	7.7%
	Condition 2	15.0%	13.0%	13.2%
	Condition 3	15.4%	12.3%	19.9%

직복사 $E=1000 \text{ W/m}^2$, 전지온도 $T=25^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$, 공기질량 $AM=1.5$ 의 일사량을 주어 개방전압 (V_{oc}), 단락전류 (I_s), 최대출력전압 (V_{max}) 및 전류 (I_{max}), 최대출력전력 (P_{max}), 효율(%), 곡선율(Fill Factor :FF) 측정을 통해 태양전지의 효율 및 전기적 특성을 분석하는 기법이다.[5] 본 실험에서는 각 시험 조건에 따라, 열충격 시험 600Cycle 후 I-V 특성 및 EL 촬영을 수행하여 비교 분석 하였다.

3. 결과 및 고찰

3-1. 효율 변화

열충격 시험 후 효율 변화를 비교하기 위해 I-V 특성곡선을 측정하여 출력 변화를 관찰 하였으며, Table 3에 효율 변화를 나타내었다. 초기 Condition 1에서의 효율 감소율은 A-type이 7.5%, B-type이 7.7%로 거의 차이가 없으나, Condition 2에서는 A-type이 8.6%, B-type이 13.2%의 효율 감소율을 보였다. Condition 3의 조건에서는 11.6%, 19.9%의 높은 효율 감소율을 보이며, ΔT 가 높은 조건에서 B-type의 시편들이 취약해지는 것을 확인할 수 있었다.

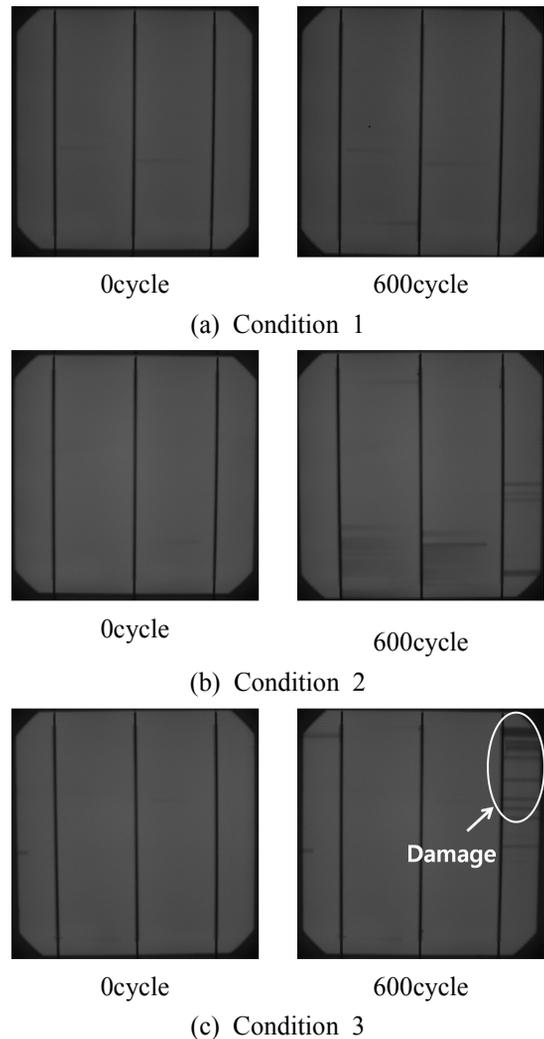


Fig. 4. EL Image of Specimens (A-type)

3-2. EL 측정

효율 감소율의 원인을 분석하기 위해 EL을 분석한 결과, Fig. 4, 5와 같은 변화를 확인하였다. A-type은 Condition 3에서부터 ribbon 접합부 손상이 발생하였으나, Fig. 5의 B-type은 Condition 1에서부터 ribbon 접합부 손상이 발생하는 것을 확인할 수 있었다.[3] ribbon 두께의 증가로 인해 단면적이 늘어난 만큼 열팽창계수 차에 의한 응력 또한 증가하여 B-type의 시편이 더욱 큰 손상을 보인 것으로 판단된다.

3-3. I-V 측정

열충격 시험 후 효율 감소의 원인 및 전기적 특성 변화를 분석하기 위해 I-V 특성 곡선을 측정하여 EL

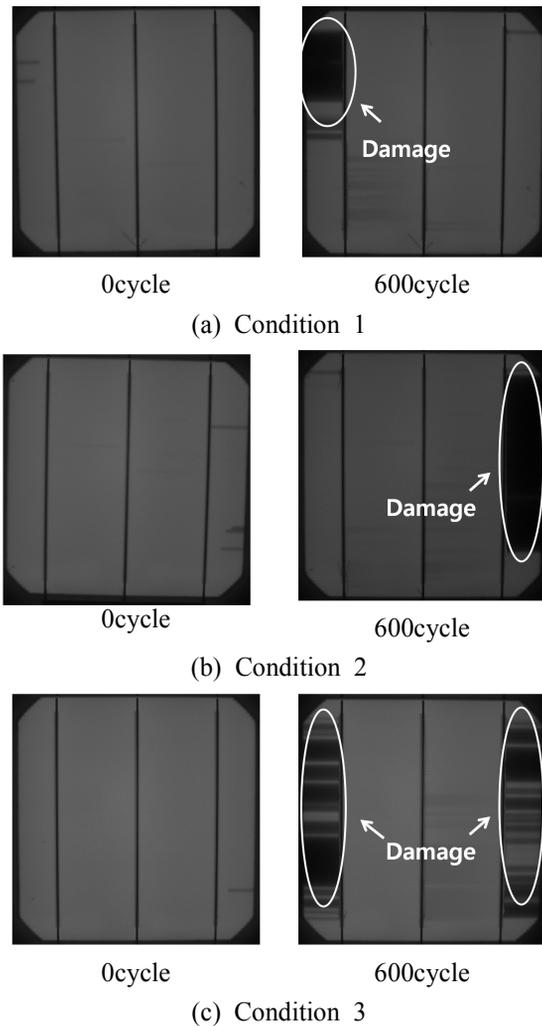


Fig. 5. EL Image of Specimens (B-type)

사진과 비교분석하였다. 그 결과, I-V 특성 곡선 변화가 가지는 특징과 EL사진과 그 특성이 일치하는 것을 확인하였다. A-type의 경우 Fig. 4와 같이 열충격 시험 조건이 다르더라도 표면에서의 변화가 크게 나타나지 않았던 것과 같이 Fig. 6에 나타낸 I-V 특성 곡선에도 큰 차이가 발생하지 않았다. 그러나, Ribbon 접합부의 손상이 발생하여 표면의 직렬 저항이 증가되었다.

B-type의 I-V 특성 곡선은 A-type의 I-V 특성 곡선 보다 상대적으로 큰 차이를 보였다. Condition 1, 2에서는 직렬저항이 증가하는 Ribbon접합부의 손상이 발견되었지만, Condition 3의 조건에서는 Current 값이 약 0.7(A) 정도 낮아지는 결과를 확인 할 수 있었다. 이는 높은 ΔT 에 의한 Ribbon 접합부 파괴가 가중되어 p-n층의 손상을 유발하였고, 이를 통해 병

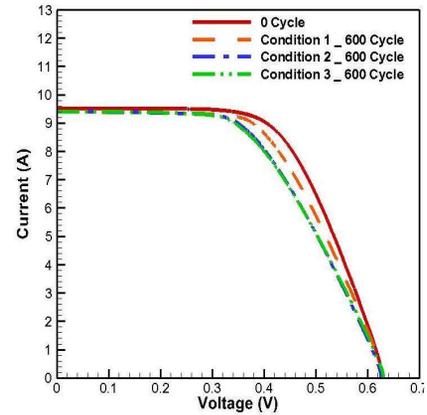


Fig. 6. I-V Characteristic curve of A-type

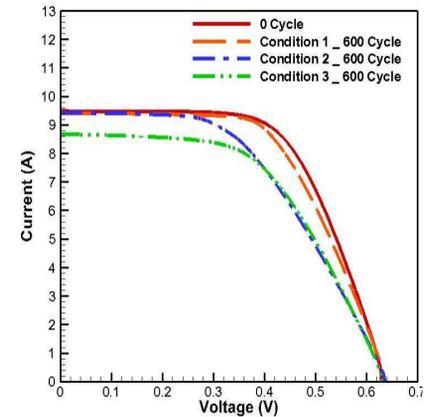


Fig. 7. I-V Characteristic curve of B-type

렬저항이 감소한 것이다.

일반적으로 Ribbon의 단면적이 크면 도선의 저항이 낮아져 이론 효율은 증대 되지만, 비용이 올라가기 때문에 현재 범용적인 Ribbon의 두께는 1.5mm~2.5mm가 가장 많이 사용되고 있다. 그러나, 본 실험에서 Fig. 6, 7의 I-V 특성 곡선 변화를 분석한 결과, 태양광 Ribbon이 두꺼운 B-type이 A-type보다 더 큰 가혹조건에 방치되었을 경우 p-n층이 손상되어 태양전지 자체의 성능이 저하되는 것을 확인할 수 있었다. 이는 열충격 시험에 의한 이종재료의 금속간화합물(IMC)층이 형성되어 전기적 저항이 증대 됐으며, 결정적으로 Ribbon 두께가 두꺼울수록 열응력의 차가 크게 발생하여 가장 취약한 Ribbon접합부 Cell 손상이 효율에 직접적인 영향을 준 것으로 판단된다. 향후 Ribbon접합부에서 발생하는 열응력을 수치화하기 위해 시뮬레이션을 통한 Ribbon 두께에 따른 열응력을 분석하여 최적의 Ribbon 두께를 정립해야 할 것이다.

4. 결 론

태양광 Ribbon 두께에 따라 장기적 신뢰성 평가를 수행한 결과 다음과 같은 결론을 확인하였다.

- (1) A-type(2.0mm) B-type(2.5mm)모두 초기 평균 효율은 15.2%로 같지만, 편차는 A-type이 0.2, B-type이 0.4로 A-type이 작은 편차율을 나타내었다.
- (2) 열충격 시험 600 Cycle 후 Condition 1, A-type에서의 효율은 초기대비 7.5%의 감소율을, Condition 2에서는 8.6%, Condition 3에서는 11.6%의 감소율을 보였고, B-type에서는 각각 7.7%, 13.2%, 19.9%의 감소율을 보였다.
- (4) 열충격 시험 후 Ribbon의 두께가 더 두꺼운 B-type에서 큰 효율 감소율이 나타났으며, I-V 특성곡선 및 EL을 분석한 결과, p-n층이 파괴되고, 병렬저항이 감소하여, 장기적 신뢰성에서 A-type 보다 더 취약한 것으로 나타났다.
- (5) 향후 수치해석 및 시뮬레이션을 통하여 Ribbon 두께에 따른 열응력 차를 분석하고, Ribbon 형상변화에 따른 영향성을 정립해야 할 것이다.

참고문헌

1. J. S. Yeon, G. B. Kim "Investigation of Laser Scattering Pattern and Defect Detection Based on Rayleigh Criterion for Crystalline Silicon Wafer Used in Solar Cell" Journal of the KSPE/ v.28 no.5 = no.242, 2011, pp.606-613
2. S.H. Euh , J. B. Lee, Y. S. Choi, D. H. Kim, "The Performance and Efficiency Analysis of a PVT System Compared with a PV module and a Solar collector" , Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol. 32, No. 2, 2012 pp.1-10
3. D. C. Yoo, E. J. Lee, "A study on the effect that the green roof has on the performance of PV module" , Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol. 32, No. 2, 2012, pp.113-119
4. D. C. Jordan, S. R. Kurtz, "Photovoltaic Degradation Rates-an Analytical Review"

Progress in Photovoltaics:Research and Applications, prog. Photovolt: Res. Appl.(2011)

5. M. S. Kang, D. S. Kim, Y. J. Jeon, Y. E. Shin, "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)