

### 전기적인 특성을 고려한 태양전지모듈의 노화 분석

김승태\*, 강기환\*\*, 박지홍\*, 안형근\*, 유권중\*\*, 한득영\*  
 건국대학교 전기공학과\*, 한국에너지기술연구원\*\*

### Degradation Analysis of PV Module Considering Electrical Characteristics

Seungtae Kim\*, Gi-Hwan Kang\*\*, Chi-Hong Park\*, Hyungken Ahn\*, Gwon-Jong Yu\*\*, Deuk-Young Han\*  
 Konkuk University\*, Korea Institute of Energy Research(KIER)\*\*

**Abstract** - The life time of PV module is semi-permanent. But, because of installation and module fabrication process, its important part can not be finished. In this paper, we analyze 15 years old modules made from different company. Among the PV modules, the maximum power drop ratio was 12.23% minimum and 80.63% maximum. Also the effect of solar cell's short circuit current difference was analyzed. The PV module exposed about 65days, its the maximum power drop ratio was 1.29% minimum and 23.43% maximum. It is for reduction of current value. And the reason for current reduction was due to reduction of parallel resistance of solar cell. To prevent early degradation, it is need to have attention to fabrication, installation and maintenance.

#### 1. 서 론

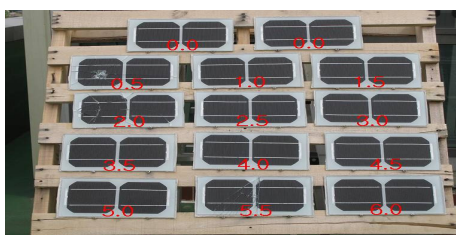
태양전지모듈은 출력이 1년에 1%씩 감소하여 수명은 20년 이상으로 반영구적이며, 유지·보수비용이 적게 드는 장점이 있다. 하지만 이러한 장점에도 불구하고 태양전지모듈의 전기적인 특성 감소 원인은 여러 가지가 있다. 예를 들면, 앞면 유리 및 EVA(Ethyl Vinyl Acetate) Sheet의 투과율 감소, 습기 침투에 의한 전극의 산화 및 태양전지의 산화에 의한 직렬저항의 증가, hot-spot에 의한 태양전지의 스트레스 증가, 태양전지모듈의 파손 등이 있다. 본 논문에서는 실제 설치했던 태양전지모듈과 태양전지의 단락전류편차에 의한 태양전지모듈의 전기적인 특성의 변화를 분석하기 위해 실제 제작한 태양전지모듈을 대상으로 노화분석을 했다.

#### 2. 실험장치 및 실험방법

실험에 사용한 태양전지모듈은 약 15년간 설치했던 모듈로 초기 parameter는 표 1과 같다. 2개사의 태양전지모듈이 있으며, 각각의 노화 사례도 다르다. 그리고 태양전지의 단락전류 편차에 의한 태양전지모듈의 전기적인 특성의 변화를 분석하기 위해 그림 1과 같이 제작·설치했으며, 각각의 모듈은 단락전류의 편차를 0%부터 1%씩 증가시켜 5%까지 제작했다. 모든 측정 실험은 STC(AM 1.5, 1000W/m<sup>2</sup>, 25°C) 조건에서 실행했다. 전기적인 특성을 분석하기 위해 Light I-V curve 측정은 인공광원을 이용한 'PasanIIIb SunSimulator', Dark I-V curve 측정은 'SourceMeter 2430'을 사용했다. 그리고 Dark I-V curve를 분석하기 위해 'fitall' 프로그램을 사용했다.

〈표 1〉 15년간 설치했던 태양전지모듈 초기 parameter

	Voc[V]	Isc[A]	Pmax[W]	Vmp[V]	Imp[A]
A사	18.0	3.30	43.0	14.5	2.96
B사	18.0	3.26	42.0	14.5	2.90

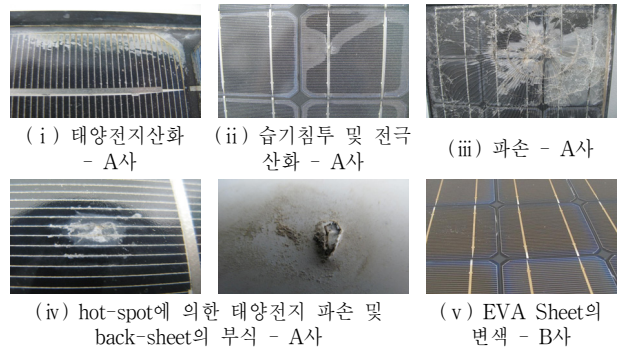


〈그림 1〉 태양전지의 단락전류 편차에 의해 제작한 태양전지모듈

#### 3. 결과 및 고찰

##### 3.1 설치 사례를 통한 노화 분석

태양전지모듈의 노화사례가 그림 2에 각각 (i) 태양전지산화, (ii) 습기침투 및 전극 산화, (iii) 파손, (iv) hot-spot에 의한 태양전지 파손 및 back-sheet의 부식, (v) EVA Sheet의 변색이 나타나 있다. 또한, 이러한 노화사례에 의해 전기적인 출력특성 값의 변화가 표 2에 있으며, 괄호 안은 감소율(%)을 나타낸다.



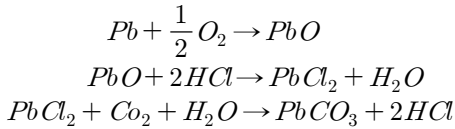
〈그림 2〉 태양전지모듈 노화 사례

〈표 2〉 태양전지모듈의 노화에 따른 parameter 변화

	Voc[V]	Isc[A]	Pmax[W]	Vmp[V]	Imp[A]
A사	18.0	3.30	43.00	14.5	2.96
사례 i	17.7(1.67)	3.13(5.15)	37.74(12.23)	13.7(5.17)	2.75(7.09)
사례 ii	17.7(1.67)	3.10(6.06)	34.00(20.93)	13.2(8.97)	2.58(12.84)
사례 iii	17.4(3.33)	3.03(8.18)	8.33(80.63)	12.5(13.79)	0.66(77.07)
사례 iv	17.8(1.11)	3.07(6.97)	35.65(17.09)	13.7(5.51)	2.61(11.82)
B사	18.0	3.26	42.00	14.5	2.90
사례 v	17.5(2.78)	3.05(6.44)	34.28(18.38)	13.0(10.34)	2.63(9.31)
	17.6(2.22)	2.93(10.12)	34.62(17.57)	13.2(8.97)	2.62(9.66)
평균					
감소율	2.13%	7.15%	27.81%	8.79%	21.30%

태양전지모듈의 수명이 20년 이상이지만, 노화 사례를 보면 그렇지 못함을 알 수 있다. 평균 출력 감소율은 27.81%로 이론상으로 27년 이상을 사용했을 경우의 감소율이어야 한다. 그 중 태양전지모듈의 파손에 의한 출력 감소율이 80.3%로 가장 크고, 태양전지산화에 의한 감소율이 12.23%로 가장 작게 나타났다. 출력감소에 기여도가 큰 parameter는 전류 값이다. 전류 값의 감소는 내부 병렬저항의 감소, 그리고 전압 값의 감소는 내부 직렬저항의 증가에 의한 것임을 알 수 있다.

사례 i ~ iv와 같이 습기침투의 우려가 있는 태양전지모듈에선 다음과 같은 현상이 발생한다. 태양전지를 연결시켜주는 리본의 성분 중에 Pb(납)이 포함돼 있다. 이 성분이 대기 중의 염소성분이 침투해서 반응을 하게 되면 PbCl<sub>2</sub>를 생성시키고, PbCl<sub>2</sub>는 이산화탄소를 포함한 대기와 반응하여 PbCO<sub>3</sub>로 산화된다. 그 후 리본의 표면에 산화층이 생기고, 위와 같은 반응을 반복하면서 리본을 모두 산화 시킨다. 이와 같은 과정을 반응식으로 나타내면 다음 식과 같다.



사례 v의 경우는 자외선에 의해 EVA Sheet의 변색으로 태양전지에 입사되는 태양빛의 감소로 전류 값의 감소를 발생한다.

이러한 태양전지모듈이 태양광발전시스템에 포함 돼 있으면, 전체적인 출력의 감소를 야기하므로 유지·보수를 소홀히 해서는 안 된다.

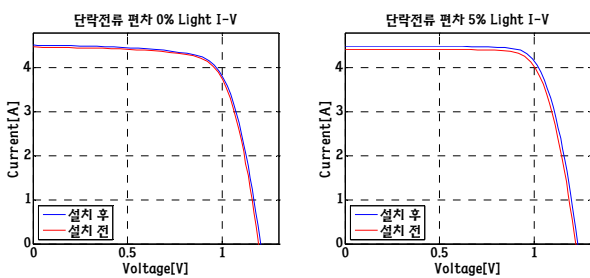
### 3.2 태양전지의 단락전류 편차에 의한 노화 분석

태양전지의 낮은 전압 특성으로 많은 수의 태양전지를 직렬연결해서 태양전지모듈을 구성한다. 이때 발생하는 문제는 직렬연결에 의해 낮은 태양전지의 전류 값에 의해 태양전지모듈의 전류 값이 정해진다라는 것이다. 태양전지모듈 제작사들이 태양전지의 출력 값을 기준으로 태양전지모듈을 제작하기 때문에, 태양전지모듈에서 태양전지의 단락전류 편차에 의한 영향을 피할 수가 없다. 표 3은 태양전지의 단락전류 편차에 의해 parameter의 변화를 나타낸 것이다. 짧은 시간동안 실험을 했기 때문에 제작한 태양전지모듈을 단락시켜 옥외에 1560시간(65일) 동안 설치한 후 수거해서 재측정 했고, 괄호 안은 감소율(%)을 나타낸다.

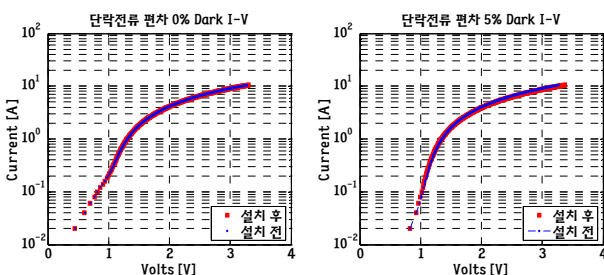
〈표 2〉 제작한 태양전지모듈의 parameter 변화

		Voc[V]	Isc[A]	Pmax[W]	Vmp[V]	Imp[A]
0%	설치 전	1.2	4.52	3.89	1.0	4.07
	설치 후	1.2	4.47(1.11)	3.84(1.29)	1.0	4.04(0.74)
1%	설치 전	1.2	4.66	4.06	1.0	4.30
	설치 후	1.2	4.60(1.29)	4.00(1.48)	0.9	4.28(0.47)
2%	설치 전	1.2	4.65	4.14	1.0	4.24
	설치 후	1.2	4.24(8.82)	3.17(23.43)	0.9	3.53(16.75)
3%	설치 전	1.2	4.55	3.93	1.0	4.14
	설치 후	1.2	4.49(1.32)	3.85(2.04)	1.0	4.05(2.17)
4%	설치 전	1.2	4.57	4.09	1.0	4.21
	설치 후	1.2	4.51(1.31)	4.02(1.71)	1.0	4.16(1.19)
5%	설치 전	1.2	4.49	4.16	1.0	4.21
	설치 후	1.2	4.42(1.56)	4.06(2.40)	1.0	4.14(1.66)

표 2에서 알 수 있듯이 단락전류의 편차가 클수록 출력과 전류 값의 감소율이 큰 것을 알 수 있다. 다만, 2% 편차의 태양전지모듈에서 감소율이 가장 크게 나타난 것은 옥외 설치 중 파손에 의해 태양전지의 일부가 깨져서 리본에 연결된 태양전지와 분리돼 나타난 현상이다. 단락전류 편차 0%와 5%를 비교한 Light I-V curve는 그림 3에, Dark I-V curve는 그림 4에 있다.



〈그림 3〉 단락전류 편차에 의한 Light I-V 그래프



〈그림 4〉 단락전류 편차에 의한 Dark I-V 그래프

단락전류 편차 0%인 태양전지모듈은 I-V curve가 거의 일치하지만, 단락전류 편차가 5%인 태양전지모듈은 약간 차이를 확인할 수 있다. 그리고 표 2와 같이 Light I-V curve 측정보다 Dark I-V curve 측정에서 보다 세밀한 parameter(직렬저항, 병렬저항, 다이오드지수, 역포화전류)등을 얻을 수 있으며 표 3에 있다. 이번 실험에선 직렬저항과 병렬저항의 변화를 보았다. 그 결과 직렬저항의 증가와 병렬저항의 감소를 알 수 있다. 즉, 앞서 3.1절에서와 같이 직렬저항의 증가는 태양전지에서 전압 값의 감소를 병렬저항의 감소는 태양전지에서 전류 값의 감소를 야기한다.

〈표 3〉 Dark I-V 측정에 의한 태양전지모듈의 parameter 변화

	Rs[Ω]	Rsh[Ω]
0%	1.995E-01	1.072E+01
	1.990E-01	1.059E+01
1%	1.880E-01	9.800E+00
	1.909E-01	6.528E+00
3%	1.784E-01	3.580E+01
	2.100E-01	1.388E+01
5%	1.822E-01	1.248E+01
	2.814E+00	4.450E+00

### 3. 결 론

태양전지모듈의 전기적인 출력을 감소시키는 노화 사례별로 15년간 설치했던 태양전지모듈과 태양전지의 단락전류 편차에 의한 노화 사례로 1560시간(65일)간 설치했던 태양전지모듈을 정리하면 다음과 같다.

- (i) 태양전지산화 : 출력 12.23% 감소
- (ii) 습기침투 및 전극 산화 : 출력 20.93% 감소
- (iii) 파손 : 출력 80.63% 감소
- (iv) hot-spot에 의한 태양전지 파손 및 back-sheet의 부식 : 출력 17.09 감소
- (v) EVA Sheet의 변색 : 각각 출력 18.38%, 17.57% 감소
- (vi) 단락전류의 편차 : 각각 출력 1.29%, 1.48%, 23.43%, 2.04%, 1.71%, 2.40% 감소

이와 같은 출력의 감소는 전류 값의 감소에 큰 영향을 받는데, 전류 값은 태양전지의 내부 병렬저항의 감소에 의한 것이다. 또한, 노화 사례를 기준으로 태양전지모듈을 20년 이상 사용하려면 다음과 같은 사항이 필요하다.

- 사례 i, ii, v : 태양전지 제작 공정의 최적화
- 사례 iii, iv : 태양전지 모듈 설치 및 유지·보수에 주의 요망
- 사례 vi : 태양전지모듈 제작 시 태양전지 선정 방법

마지막으로 이렇게 노화된 태양전지모듈이 발견된다면, 즉시 태양전지모듈을 교체해주는 것이 전체 태양광발전시스템을 반영구적으로 사용할 수 있게 된다.

### 〈참 고 문 헌〉

[1] G. H. Kang, G. J. Yu, H. K. Ahn, and D. Y. Han, "The Effect on Electrical Properties of SnPbAg Paste for Interconnection in Photovoltaic Module", Proc. 2003 Summer Conf. KIEEME, p. 71, 2003

[2] D. L. King, B. R. Hansen, J. A. Kratochvil, and M. A. Quintana, "Dark Current-Voltage Measurements on Photovoltaic Modules as a Diagnostic or Manufacturing Tool", Photovoltaic Specialists Conference, Conference Record of the 26th IEEE, 1997. 9-10.

[3] S. T. Kim, C.-H. Park, G.-H. Kang, Waithiru C. K. Lawrence, H. K. Ahn, G.-J. Yu, and D.-Y. Han, "Operation Characteristics of Bypass Diode for PV Module", J. of KIEEME, Vol. 21, No. 1, p. 12, 2007.

[4] M. A. Quintana, D. L. King, F. M. Hosking, J. A. Kratochvil, R. W. Johnson, B. R. Hansen, N. G. Dhare, and M. B. Pandit, "diagnostic Analysis of Silicon Photovoltaic Module after 20-year Field Exposure", 28th IEEE photovoltaic Specialists Conference, Anchorage, p. 1420, 2000.