

## PV module의 출력손실 저감요인 분석

이상훈<sup>a1</sup>, 강기환<sup>a</sup>, 유권종<sup>a</sup>, 안형근<sup>1</sup>, 한득영<sup>1</sup>  
한국에너지기술연구원<sup>a</sup>, 건국대학교<sup>1</sup>

이상훈(ghoslee@kier.re.kr), 강기환(ghkang@kier.re.kr), 유권종(y-gj@kier.re.kr),  
안형근(hkahn@konkuk.ac.kr), 한득영(dyhan@konkuk.ac.kr)

### A Study for reduction of the power loss of PV modules

Lee, Sang-Hun<sup>a1</sup>, Kang, Gi-Hwan<sup>a</sup>, Yu, Gwon-Jong<sup>a</sup>, Ahn, Hyung-Keun<sup>1</sup>, Han, Deuk-Young<sup>1</sup>

Lee, Sang-Hun(ghoslee@kier.re.kr), Kang, Gi-Hwan(ghkang@kier.re.kr), Yu, Gwon-Jong(y-gj@kier.re.kr),  
Ahn, Hyung-Keun(hkahn@konkuk.ac.kr), Han, Deuk-Young(dyhan@konkuk.ac.kr)

#### Abstract

---

The efficiency of solar cell was about 4 [%] in initial stage of photovoltaic industry, but it has quite a lot of efficiency through technology advances. Today, the efficiency of c-Si solar cells is about 17 to 19 [%] and the efficiency of PV modules is about 14 to 15 [%]. We called that electrical losses occurred in the Conversion of solar cells to PV modules are CTM loss(Cell To Module loss), the CTM loss typically has a value of about 3~5 [%]. The more efficiency of solar cell increase, differences are larger because the efficiency decrease owing to physical or technical problems occurred in the Conversion of solar cells to PV modules.

In this study, the power loss factors occurred in the Conversion of solar cells to PV modules are analyzed and it is proposed that how to reduce losses of the PV module. The types of power loss factor are ①losses of front glass and encapsulant(generally EVA sheet), ②losses by sorting miss, ③losses by interconnection, ④ losses by the field aging of PV modules. In further study, experimental and evaluation will be conducted to make demonstrate for proposed solutions.

Keywords : 태양전지 모듈 변환 손실(CTM Loss : Cell to Module Loss), 출력 손실(Power loss), 태양광 모듈(PV module)

---

## 기 호 설 명

$CTM\ CR$	: CTM Conversion Ratio (%)
$P_M$	: PV module Power (W)
$P_C$	: Total Cell Power (W)

## 1. 서 론

국내 및 국외에서 신재생에너지 사업에서 큰 영역을 차지하고 있는 태양광 산업은 많은 연구자들의 노력에 힘입어 놀라운 발전을 이룩하였고 또 계속해서 발전중이다.

산업초기 4 [%]정도의 한자리수 효율을 맴돌던 결정질 태양전지는 현재 양산용을 기준으로 평균 17 [%]의 효율을 나타내고 있다. 그리고 한 국내 결정질 태양전지 제조업체에서는 19 [%] 이상의 태양전지 효율을 달성하였고, 내년쯤에는 이러한 고효율 결정질 태양전지를 양산할 예정이라고 밝힌바 있다.

그리고 이러한 결정질 태양전지를 이용하여 만든 모듈은 14 ~ 15 [%]정도의 효율을 보이고 있는데 이는 태양전지의 효율보다 현저하게 떨어지는 수치이고, 태양전지의 효율이 높아질수록 PV module로 제조되었을 때의 효율 차이는 커지고 있다.

모듈화기술에 직렬저항과 같은 원천적인 문제가 있지만 태양광 모듈(PV module)에 대한 연구가 태양전지 기술 연구의 발전 속도를 따라가지 못하고 있다고도 볼 수 있다.

따라서 본 연구에서는 결정질 태양전지의 모듈 제조시 발생하는 효율 감소요인들을 밝히고 그 해결방안과 연구방향을 제시하고자 한다.

## 2. PV module의 구조 및 특징

PV module의 효율을 감소시키는 요인을 분석하고 문제를 해결하기 위해서는 우선 태양전지가 PV module로 제조되는 과정과 모

듈화 되었을 때의 특성변화를 이해할 필요가 있다.

### 2.1 태양전지의 모듈화

태양전지가 생산해내는 전압 및 전류는 우리가 사용하는 크기에 비해 매우 작은 수치이고 태양전지의 내구성이 매우 낮아 단독으로는 사용하기 어렵기 때문에 태양전지를 모듈화시켜 내구성을 높이고, 적당한 크기의 전원으로 만든다. 태양전지를 PV module로 만드는 과정은 다음과 같다.

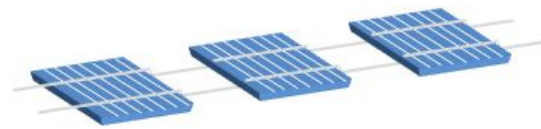


그림 1) String화 된 연결된 태양전지

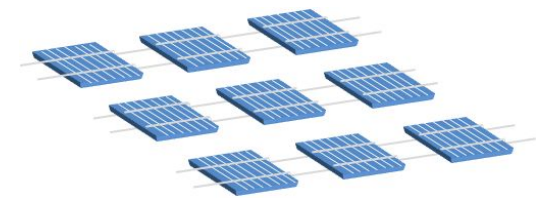


그림 2) 태양전지 매트릭스(Matrix)

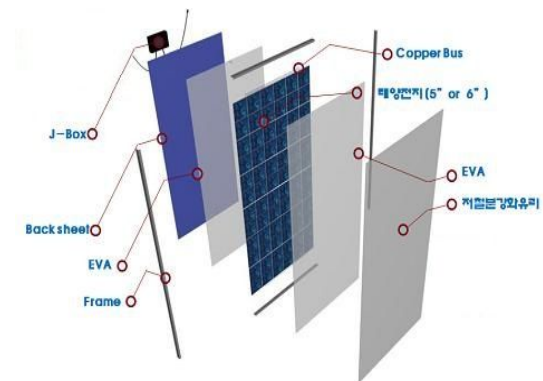


그림 3) PV module의 구조

먼저 태양전지를 그림 1과 같이 직렬로 배열한 후 Ribbon을 이용한 Tabbing과정을 거

쳐 하나의 String을 형성한다. 이렇게 만들어진 하나의 String은 모듈로 제작하기 위하여 그림 2와 같은 매트릭스(Matrix)로 형성된다. 이러한 태양전지 매트릭스는 그림 3과 같이 전면 Glass(저철분 강화유리), EVA(Ethylene Vinyl Acetate), Backsheet 등과 함께 Lamination 공정을 거쳐 PV module로 제작된다.[1]

### 2.2 PV module의 특성

PV module내의 모든 태양전지는 직렬회로로 구성되기 때문에 PV module의 전압은 각각의 태양전지의 전압치를 더한 것과 같고, PV module의 전류 값은 PV module내에 연결되어 있는 태양전지의 전류치 중 가장 낮은 값을 취하게 된다.

이러한 특성으로 인하여 기본적으로 PV module의 출력(발전량)이 감소하게 되고, 그 밖에 Ribbon에서 발생하는 직렬저항성분, 태양전지의 내구성을 위해 사용한 전면 Glass나 EVA sheet 등으로 발생하는 태양광 반사 및 광투과율 감소가 PV module의 추가적인 출력 저감요소로 작용하게 된다.

이렇게 태양전지에서 PV module로 생산되면서 발생한 추가적인 모든 손실을 CTM Loss(Cell To Module Loss)라 부른다. 통상적으로 CTM Loss는 보통 3 ~ 5 [%]의 값을 갖는다. 그리고 태양전지를 PV module로 제작하였을 때 손실 없이 온전히 변환되었는지를 나타내는 수치로서 식(1)과 같이 CTM CR(Cell To Module Conversion Ration)을 이용하기도 한다.

$$CTM CR = \frac{P_M}{P_C} \times 100 [\%] \dots (1)$$

### 3. PV module의 손실 요인

PV module의 손실 요인에는 모듈제조과정의 Tabbing String공정이나 Lamination공정 중에 발생하는 공정손실과 PV module제조

가 완료된 후에 발생하는 모듈재료에 의한 손실 및 노화에 의한 손실이 있다. 여기서 이 모든 사항을 다룰 수 없어 그 중 대표적인 몇 가지만을 소개하였다.

#### 3.1 Glass 및 Encapsulant에 의한 손실

태양전지의 내구성 문제를 보완하기 위하여 모듈화에 적용된 Glass 및 EVA sheet와 같은 Encapsulant(봉지재)는 내구성을 증가시켰을지는 모르지만 결과적으로 PV module의 출력을 절감시키는 요인으로 작용하게 된다. 기본적으로 Glass와 Encapsulant의 반사율이 있기 때문에 태양전지의 발전효율이 가장 좋은 파장대역으로 알려진 가시광선 영역에서의 출력이 감소하게 된다. 그림 4는 저철분 유리와 EVA sheet을 모듈화 공정과 동일하게 Lamination을 한 후 파장대별 반사율을 측정된 것이다.

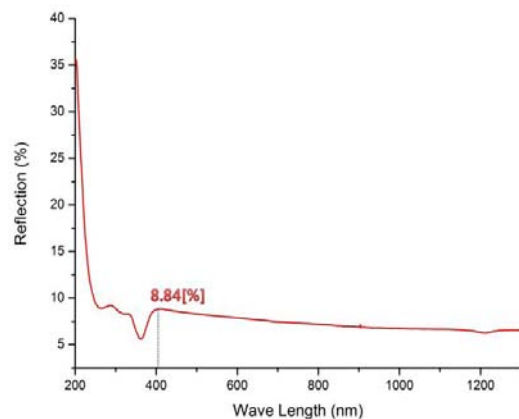


그림 4) Glass 및 EVA sheet의 반사율

그림 4에서 보이듯 가시광선 영역(여기서는 400 ~ 800 [nm]으로 지정함.)에서 약 7 ~ 9 [%]의 반사율을 보이고 있으며 408 [nm]에서 최대 8.84 [%]의 반사율을 가진다. 그리고 PV module 전면에 위치한 Glass와 Encapsulant는 그림 4와 같이 단파장 영역의 빛을 반사시키기 때문에 기술개발을 통해 태양전지가 발전할 수 있는 빛의 파장 대역폭

을 증가시켜도 그것이 PV module의 출력 및 효율에 끼칠 수 있는 영향력은 낮다고 볼 수 있다.

### 3.2 태양전지 Sorting miss에 의한 손실

PV module을 제작하는 데는 수십 장의 태양전지가 사용되지만 현실적으로 PV module 제작에 쓰이는 태양전지들이 모두 같은 전기적 특성을 지닐 수 없기 때문에 PV module 제작 전 Sorting이라는 과정을 거쳐 여러 장의 태양전지를 전기적 성능이 비슷한 것끼리 배열하게 된다. 태양전지를 배열하는 기준은 태양전지의 단락전류(Short circuit current) 또는 효율(Efficiency)이 PV module의 출력에 미치는 영향이 크므로 이것에 우선순위를 두고 분류한다. 이러한 Sorting과정이 제대로 이루어지지 않으면 PV module은 낮은 전류값으로 인하여 출력 및 효율이 감소될 뿐만 아니라 부분열화현상으로 인한 PV module의 노화를 가속시킬 수도 있다.

### 3.3 Interconnection에 의한 손실

그림 2와 같이 PV module 제조에 사용되는 태양전지 매트릭스는 태양전지를 직렬연결한 각각의 String을 또 다시 직렬 연결함으로써 만들어지게 된다. 이때 String과 또 다른 String을 연결해주는 작업을 Interconnection이라 하고 이 지점에서 많은 전기적 손실이 발생하게 된다. 표 1에서 보이듯 이 지점에서의 고장이 PV module 전체 고장의 80 [%]를 차지할 만큼 빈번하다.[2]

Interconnection과정에서 Ribbon과 Ribbon과의 접합은 금속과 금속과의 접합으로서 높은 저항 값을 갖는다. 또한 Ribbon은 구리(Cu)에 주석(Sn)이 도금된 형태로서, Interconnection 후 시간이 지남에 따라 접합된 부분의 부식이 진행되어 PV module의 성능을 저하시키는 요소로서 작용하게 된다. 그리고 Backsheet 또는 Encapsulant(대체로 EVA sheet)가 PV module 내부로의 습기침투를 제대로 막아주지 못한다면 부식작용은 더욱 더 빠르게 진

행될 것이다.

표 1. Types of Field Failures Observed

Types of Failures	% of Total Failures
Metallization/Interconnector Corrosion	45.3
Cell or Interconnect Break/Fatigue	40.7
Junction Box Problem	3.6
Delamination	3.4
Mechanical Damage	1.4
Defective Bypass Diode	0.2

### 3.4 PV module 노화에 의한 손실

PV module은 대개 실외에 설치되어야 하기 때문에 먼지, 습기, 우박 등에 의한 영향을 받게 되고 실내보다 큰 온도변화를 겪게 된다. 이 영향들이 지속되면 결국 그림 5(약 1.5년간 옥외노출 된 PV module)에서 보인 것과 같이 전극의 부식 등과 같은 노화현상이 발견되고, 이러한 현상들은 PV module의 전기적 손실을 초래할 뿐만 아니라 PV module자체의 수명도 감소시킨다.



그림 5) 옥외 노출된 PV module의 전극부식

추가적으로 PV module에 손실을 유발시키는 현상으로는 EVA sheet의 황변현상, 태양전지의 백화현상 및 파손 등이 있다.[3]

#### 4. PV module의 손실 저감 방안

앞서 제시되었던 손실들에 대한 저감 방안 혹은 그 연구방향에 대해 언급하자면 다음과 같다. 우선 PV module의 전면 glass 및 Encapsulant에 관한 문제에서는 역시 광(光) 투과율을 높이고 반사율을 낮추는 방법이 제시되어야 할 것이고, 특히 낮은 파장대역(약 300 ~ 400 [nm])에서 발생하는 태양전지와 PV module의 발전 가능성 차이를 해결하는 것이 시급하다고 보인다. 또한 전면 Glass 및 Encapsulant를 투과한 빛이 PV module 후면에 있는 Backsheet의 반사율을 높여 반사효과에 의한 PV module의 출력향상을 도모해야 한다. 자세히 말하면 빛의 입사각도에 따라서 Backsheet에서 반사된 빛의 반사각도 및 이동경로를 예상하여 이 반사된 빛이 Encapsulant를 거쳐 전면 Glass로 빠져나가지 않고 태양전지 후면으로 다시 입사될 수 있도록 설계되어야 할 것이며, 이것은 PV module 제작시 String 및 매트릭스 형성과정에서 태양전지 상호 배열간격에 대한 연구로 해결될 수 있다.

태양전지 Sorting miss에 관한 문제는 현재의 태양전지 소자특성과 직렬회로구조라는 틀을 벗어나지 못한다면 완전히 해결될 수 없는 문제로 보인다. Sorting 과정에서 발생하는 손실을 저감시킬 수 있는 방법은 Sorting 과정에서 PV module 성능에 영향력이 큰 단락전류( $I_{sc}$ ) 및 효율(Efficiency)을 우선시하고 다른 요소들도 각각 비교하여 최대한 전기적특성이 비슷한 태양전지를 선별하여 사용하는 것이라 사려된다.

Interconnection에 의해 발생하는 손실 중 금속과 금속의 접촉저항에 의한 손실이 가장 크므로 Busing작업과 Tabbing작업을 제거하는 것이 손실을 줄이는 가장 효과적인 방안이 될 것이다. 하지만 현재 양산되어지는 PV module 제조공정방식에서 이 작업은 모듈화공정 장비들에게 혁신적으로 새로운 양

산 방식을 제시하지 않는 한 제거될 수 없다고 본다. 따라서 현재로서는 Ribbon의 두께를 증가시키는 등의 기본적인 방법으로 직렬저항 성분을 감소시키고, Interconnection 지점에서 발생하는 PV module의 노화현상을 방지하는데 치중하여 2차 손실을 막는 것이 더 옳다고 보인다. 그리고 PV module에 사용되어지는 Ribbon에는 납(Pb)성분이 포함되어 있는데, 납(Pb) 성분이 포함된 Ribbon은 은(Ag)이나 구리(Cu)성분보다 접촉저항이 더 낮다.[4] 하지만 납(Pb)은 인체 및 자연에 유해하며, PV module내에 수분이 침투하게 되었을 때 납(Pb)이 산화반응과정 중에 작용하여 Ribbon 표면에 산화층을 생성하므로 이로 인한 손실이 PV module에 야기될 수 있다.[5] 공정단가 및 제조직후의 저항 값만 본다면 납(Pb) 성분이 포함된 Ribbon을 써도 무방하겠지만, 생산된 PV module의 장기적인 수명과 품질보중에 대한 신뢰성을 높이기 위해서는 반드시 납(Pb) 성분을 줄여야 한다.

#### 5. 결 론

앞서 언급되었던 PV module의 손실들은 완전히 해결하기 어려운 문제들임에는 틀림없다. 하지만 이 문제들을 해결하지 않고서는 태양전지 효율에 관한 기술개발과 PV module의 성능이 연계되어질 수 없고, 이는 태양광산업의 발전가능성을 저해시키는 결과로 다가올 수 있기 때문에 본 논문에서는 태양전지가 PV module로 제조될 때 발생하는 손실과 이에 대한 해결방안을 제시하고자 하였다. 추후에 이루어지는 연구에서는 손실 및 그 해결방안에 대한 구체적인 연구로 실제적인 실험 및 검증 과정을 거칠 예정이다.

#### 후 기

본 연구는 2011년도 지식경제부의 재원으로

로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을  
받아 수행한 연구과제입니다.  
(No. 20113010010010-11-1-000)

### 참 고 문 헌

1. 김경해, 이준신, 태양전지 실무 입문, 두양사, p.236-254.
2. 김용훈 외, 단결정 실리콘 Photovoltaic(PV) Module의 수명 예측, 대한기계학회 추계 학술대회, 2009.
3. 최은지, Field에서 c-Si PV모듈의 노화현상 사례 및 원인 분석, 대한전기학회 제 41회 하계학술대회, 2010.
4. 류세환, PV 모듈의 손실 요인에 대한 분석, 전력전자학회 전력전자학회지 제 13권 제 3호 p.36-41, 2008.6.
5. 김승태, 전기적인 특성을 고려한 태양전지모듈의 노화 분석, 대한전기학회 하계 학술대회 논문집 p.1110-1111, 2008.7.