

## PV모듈의 전면 하중 기계강도 특성

최주호<sup>a1</sup>, 김경수<sup>a</sup>, 강기환<sup>a</sup>, 유권종<sup>a</sup>, 김일수<sup>1</sup>

목포대학교 대학원 기계공학과<sup>1</sup>(juhodi1023@naver.com),  
한국에너지기술연구원<sup>a</sup>(kskim@kier.re.kr)

### The mechanical strength characteristic on front-load of PV module

Choi, Ju-Ho<sup>a1</sup>, Kim, Kyung-Soo<sup>a</sup>, Kang, Gi-Hwan<sup>a</sup>, Yu, Gwon-jong<sup>a</sup>, Kim, Il-Soo<sup>1</sup>

Dept. of Mechanical Eng., Graduate School, Mokpo University<sup>1</sup>(juhodi1023@naver.com)  
Korea Institute Research(KIER), Photovoltaic Research Center<sup>a</sup>(kskim@kier.re.kr)

#### Abstract

This study of PV modules in the external environment, learn about the mechanical strength characteristics, the module will investigate the aluminum frame. Positive support in the module by wind loads if uniformly distributed load acting on the front glass of the module size and elongation ( $\omega$ ), and accordingly, depending on the bend is sealed inside the solar cell, micro-cracks that will occur. At this point the most damage-prone parts in a module, this module is part of the center of a strong wind load is applied by the destruction of the environment does not occur in the module frame to secure the reliability and to evaluate changes in the structure.

Keywords : 태양전지모듈(Photovoltaic module), 풍압(Wind pressure), 분포하중(distributed load), 기계적 안전성(Mechanical securement)

#### 기 호 설 명

#### 1. 서 론

$R$	반력
$F$	전단력
$\omega$	분포하중(kg/m)
$l$	길이(m)
$M$	굽힘모멘트(kg · m)

최근 10년간 우리나라의 에너지 소비는 매년 10%라는 세계 최고의 증가율을 기록하고 있으며, 온실가스 배출 증가율 역시 세계 1위를 기록하고 있으며, 세계 기후 협약 이행에 따라 신재생에너지 개발의 필요성이 증

대되고 있다.

현재 선진국에서 활발히 기술개발이 진행되어 실용화 단계에 접어든 신재생에너지로는 태양에너지, 풍력에너지가 주종을 이루며, 바이오매스, 지열, 파력, 조력 등을 이용한 신재생에너지 개발이 활발히 진행되고 있다.

태양광발전 산업은 세계적인 관심 속에 급속한 속도로 성장을 하고 있으며, 2000년 이후부터 35%이상의 놀라운 성장률을 보이고 있다. 지금 처해있는 지구환경 및 에너지 문제를 고려해 볼 때, 향후에도 이러한 증가추세에는 지속될 것으로 예측된다. 태양광발전의 여러 분야 중에서 태양전지 모듈 분야는 태양전지를 보호하고 외부에 설치하기 용이하게 하기 위하여 사용되는 기술로써, 그 동안 조립 공정만으로 인식되어 연구개발에서 소외되어 있었으나, 가격이 비싼 태양전지의 수명은 결국 태양전지 모듈 기술에서 좌우되기 때문에 최근에는 모듈의 내구성을 향상시키는 연구가 많이 수행 되고 있다.[1]

태양광 발전의 핵심 소자인 태양전지는 200 $\mu$ m내외의 얇은 기관으로 외부 충격에 의해 쉽게 파손 될 수 있기 때문에 PV모듈로써 제작되어 보호된다.

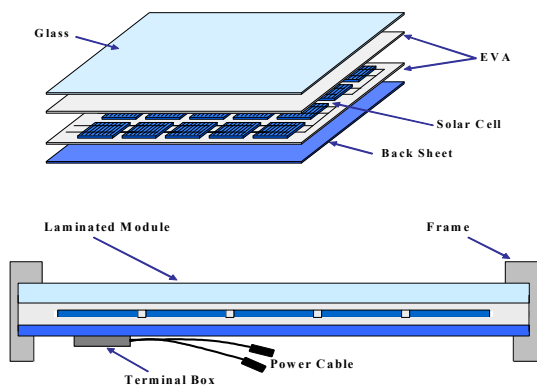


그림 1. 일반 지상용 태양광 모듈 구조

그림 1.과 같이 모듈에는 태양전지의 전면을 보호하기 위해 투명한 저철분 강화 유리가 사용되고, 모듈의 후면에는 Back-sheet,

그리고 태양전지와외의 중간층에는 소재들의 상호 결합, 내구성을 높이기 위해 EVA-sheet가 사용된다. 즉, Glass/EVA/ Solar Cell/EVA/Back-sheet의 형태로 적층된 태양전지는 진공상태에서 열·압축·봉합(Lamination process)된다. 여기에 알루미늄 프레임과 정션 박스, 케이블이 적용되어 단일 모듈로써 제작된다.[2]

이때 PV모듈의 프레임은 설치 장소와 방법에 따라 다양한 형태를 갖게 되는데 특히 고려되어야 할 사항은 외부 응력으로 부터의 변형률을 최소화 하는데 있다.

그렇기 때문에 IEC 61215 결정질 태양전지 모듈 인증에는 기계적 하중시험을 시험 항목에 포함하고있어 외부 하중에 의한 기준을 제시한다. 하지만 시험은 실제 Field에 설치되어 모듈이 겪게 되는 모든 응력을 포용하지는 못 할 것이다.

따라서 본 논문에서는 태양전지 모듈이 외부에서 받게 되는 다양한 스트레스 가운데 하중에 의한 변형에 대해 분석하고자 하였다.

## 2. 프레임 설계를 위한 예비적 고찰

PV모듈의 기계적 내구성을 조사하기 위해서 기계 하중 시험이 적용된다. 이 시험의 목적은 모듈의 바람, 눈, 정지 하중 또는 얼음 하중에 대한 내구성을 조사하는 것을 목적으로 한다.

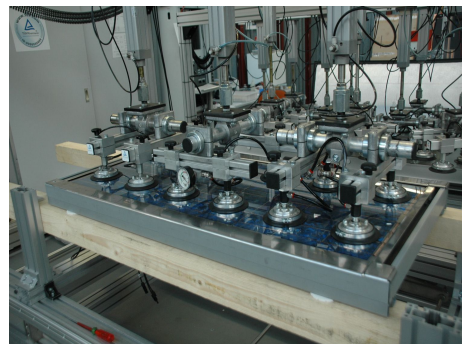


그림 2. 기계 하중시험

태양전지 모듈의 전면 강도는 전면 강화유리와 알루미늄 프레임에 의해서 결정된다. 그림 3은 응력-변형률 곡선(stress-strain curve)으로 재료의 시편에 가한 하중과 변형을 측정하여 얻은 그래프이다. 재료마다 다른 응력-변형률 곡선을 보이며, 공학에서는 재료 시편의 초기 칫수로 계산한 “공칭응력”(σ)과 “공칭변형도”(ε)를 사용한다.

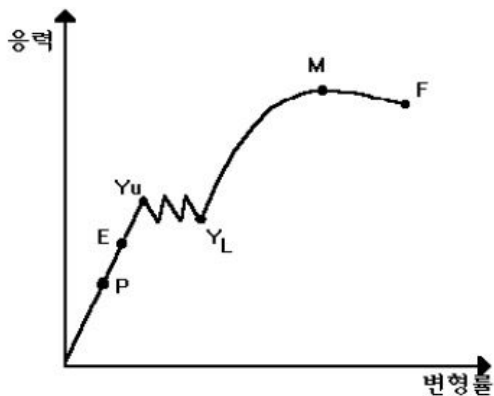


그림 3. 응력-변형률 선도

- $Y_u$  = 상위 항복점(upper yield point)
- $Y_L$  = 하항복점(lower yield point)
- $M$  = 극대점(maximum point)
- $F$  = 완전 파괴(failure)
- $P$  = 비례 한계(proportional limit)
- $E$  = 탄성 한계(elastic limit)

영률은 압축 또는 인장 시의 탄성계수를 말하며 영계수 혹은 종탄성 계수라고 부르기도 한다. 일반적으로 유리는 작은 하중에서는 탄성적으로 변하며 응력과 전 변형량에 비례한다. 알루미늄의 영율( $713,801\text{kgf/cm}^2$ )이 유리의 영율( $750,000\text{kgf/cm}^2$ )의 영율보다 작지만 유리는 탄성한계를 넘어서게 되면 취성파괴가 일어나 원상태로의 복귀가 불가능하게 된다.

유리와 알루미늄 프레임간의 특성 차이 때문에 유리는 취성 파괴가 일어나지만, 알루미늄 프레임은 연성이어서 휘어짐이 잘 일어

나는 성질이 있다. 따라서 알루미늄 프레임이 파괴되기 전에 셀과 유리의 순서로 파괴가 진행됨을 알 수 있다.

### 2.1 기계 하중시험 모델

다음 그림 4은 모듈 표면에 응력발생 장치를 개략적으로 나타낸 것이다.

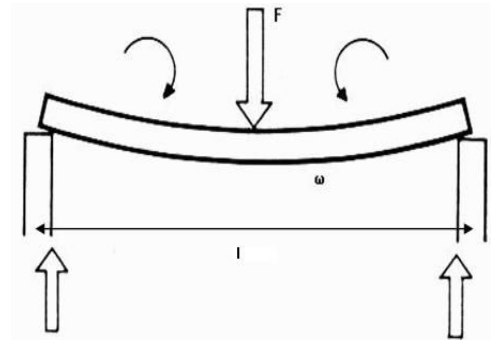


그림 4. 기계적 하중에 의한 응력 발생

$$R = \frac{l^2}{12 \cdot \omega_{\max}} \quad (1)$$

- $\omega$  = 유리의 최대 연신율(%)
- $l$  = 지지대 사이의 거리(m)
- $R$  = 반지름

위의 수식(1)은 모듈 표면에 기계적 하중이 가해졌을 때 모듈 표면이 변형되어 굴곡을 이루는 반지름을 나타낸 것으로  $l^2$ 의 값이 증가함에 따라서 R의 값도 증가하는 비례관계에 있는 것을 확인할 수 있다.

따라서 지지대 사이의 거리가 증가되면 모듈의 휘어짐은 커지게 되어 셀에 미세균열(Micro-crack) 및 파손 발생으로 인해 모듈의 내구성이 감소되어 수명에 크게 영향을 미치게 될 것이다.[2]

### 2.2 균일 분포 하중 작용

모듈을 하나의 보로 가정하여, 모든 면적에 대해 균일 분포하중( $\omega$ )이 작용한다고 하면,

반력은

$$R_A = R_B = \frac{wl}{2}$$

전단력 선도(Shearing force diagram ; S.F.D)

$$F_x = R_A - wx = \frac{wl}{2} - wx$$

$$F_{x=0} = \frac{wl}{2} = R_A$$

$$F_{x=l} = -\frac{wl}{2} = -R_B$$

또한  $F_x = 0$ 의 위치에서  $M_{\max}$ 이 생기므로

$$\frac{wl}{2} - wx = 0$$

$$\therefore x = \frac{l}{2} : M_{\max} \text{의 위치}$$

굽힘모멘트(Bending moment diagram ; B.M.D)

$$M_x = R_A \cdot x - wx \left( \frac{l}{2} \right) = \frac{wlx}{2} - \frac{wx^2}{2}$$

$$M_{x=0} = 0$$

$$M_{x=\frac{l}{2}} = M_{\max} = \frac{wl}{2} \left( \frac{l}{2} \right) - \frac{w}{2} \left( \frac{l}{2} \right)^2 = \frac{wl^2}{8}$$

$$M_{x=l} = 0$$

그림 5.에서와 같이 처짐각(기울기)이 0인 곳에서 최대 처짐이 발생됨을 알 수 있다.

보가 사각형을 이룰 때 최대 처짐이 발생되는 곳은 모듈의 중심 부분이 된다. 하중이 발생될 때 최대 모멘트가 발생하는 곳은 모듈 중심 부분이 될 것이고, 모듈의 중심 부분이 파손에 가장 취약한 부분이라는 것을 알 수 있다. [3]

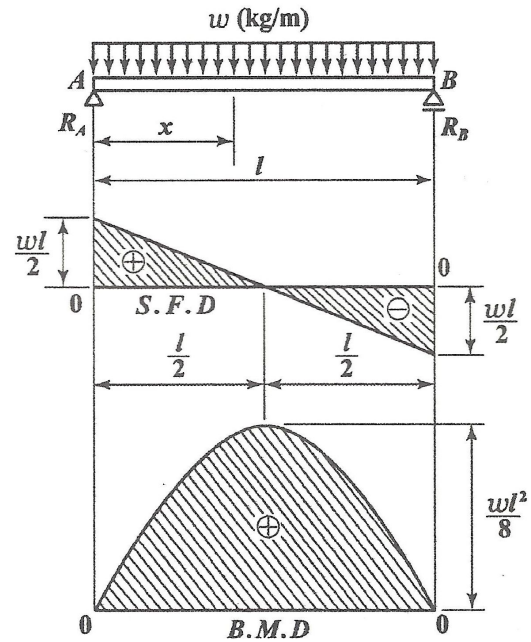


그림 5. 균일 분포하중이 작용할 때

### 3. 결 론

본 논문에서는 실제 태양전지 모듈이 외부에 노출되어 다양한 하중에 의해 받게 되는 스트레스와 응력변화에 대해 분석하고자 하였다.

태양전지 모듈은 유리의 취성 파괴를 방지하고자 알루미늄 프레임이 설치하였지만, 모듈의 대형화와 기계강도 하중을 초과하게 되면 모듈의 처짐이 증가하여 복구 불능 상태가 되는 것을 알 수 있다.

모듈에 균일 분포하중이 발생될 때 모듈의 중심에서 최대 처짐이 발생되고 그에 따라 유리 및 셀의 취성파괴가 발생될 것이다.

따라서 태양전지 모듈 제작 시 설치 장소와 용도에 맞는 유리 및 알루미늄 프레임이 적용되어야 할 것이다.

향후에는 모듈을 설계하는데 있어 다양한 응력발생 작용을 고려하여 모듈의 전면유리 두께와 프레임의 구조에 관한 연구를 진행하겠다.

## 후 기

본 연구는 2011년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP) 지원을 받아 수행한 연구과제입니다.

(No. 20113010010020-11-1-000)

## 참 고 문 헌

1. 건국환격을 고려한 BIPV용 태양전지모듈 및 제조기술개발, 산업자원부, 2007.10.
2. 공지현 외 5명, 기계적 하중에 따른 스트레스로 인한 PV 모듈의 전기적 특성, 한국 태양에너지학회, VOL 29, NO 2, 2009.11.19.
3. 이주성 외 5명, 핵심 재료역학, 인터뷰전, 2004.
4. Photovoltaic module qualification: Dynamic Mechanical Load Test including Performance- and Electroluminescence Measurement, deutscher akkreditierungs rat 2008.08.28.