

전자빔 조사에 의한 PV-Module의 전압-전류 특성

*윤정필, *이기제, *강병복, **차인수, ***강기환, ***정명웅, ***유권중
 * 동신대학교 전기전자공학부 대학원
 ** 동신대학교 전기전자공학부
 *** 한국에너지기술연구원

PV-Module's Voltage-Current special quality research by Electron-beam irradiation.

*Jeong-Phil Yoon, *Gi-Jae Lee, *Byong-Bok Gang, **In-Su Cha
 ***Gi-Hwan Gang, ***Myung-Woong Jung, ***Gwon-Jong Yu
 * Dept. of Electrical & Electronics Eng Graduate of School Dongshin Uni.
 ** Dept. of Electrical & Electronics Eng Dongshin Uni.
 *** Korea Institute of Energy Reserch (KIER)

ABSTRACT

Exhaustion and environmental problem are big problem of 21th century is flint energy and the importance of energy to alternate flint energy as being risen is embossed more. Photovoltaic system is occupying big flow along with wind force development among is many substitute energy has shortcoming that energy conversion efficiency falls behind than another thing substitute energy.

This research investigates electron beam to specification energy to Module that was generalized and schematized difference of curved line after existing V-I efficiency characteristic curve and irradiation. And will analyze cause of Module's efficiency addition and subtraction by electron beam investigation.

1. 서 론

화석에너지 고갈과 환경문제가 21세기의 큰 문제로 대두되면서 화석에너지를 대체할 에너지의 중요성은 더욱 부각되고 있다. 많은 대체에너지 중에서 풍력발전과 더불어 큰 흐름을 차지하고 있는 태양광 발전은 타 대체 에너지에 비해 에너지 변환효율이 뒤떨어진다는 단점을 가지고 있는데, 본 연구는 10% ~14%의 발전효율을 지니고 있는 보편화된 Si PV-Module(삼성 SSM-60W

2EA)에 정밀용접, 식품살균, 폴리머가공, 금속등의 표면 처리, 반도체의 표면 증착 등에 많이 사용되는 전자빔을 설정된 특정 에너지대(1 Mrad, 10 Mrad)로 조사하여, 기존 V-I 효율 특성곡선과 전자빔 조사후의 V-I 효율 특성곡선의 차이를 도식화 하고, 전자빔 조사에 따른 Module의 효율가감의 원인을 분석하였다.

2. Electron Beam

2.1 전자빔의 정의

전자빔이란 텅스텐과 같은 금속(필라멘트)으로 고온으로 가열하면 자유전자의 운동에너지가 커지며 금속체 밖으로 탈출해 나가는 열 전자 방출이 일어나는데 이렇게 발생된 수많은 전자가 같은 방향으로 고속으로 운동하는 전자의 흐름을 전자빔이라 한다.

2.2 전자빔의 응용분야

(1) 전자빔 용접분야

고 진공상태에서 방출되는 전자빔을 고전압으로 가속하고 전자렌즈에 의해 집적하여 높은 에너지 밀도의 열원을 얻는데 이를 이용하여 차별화된 용접결과를 얻어낸다.

- 트리메탈, 자동차 부품분야, 우주항공분야, 원자력분야, 대형선박, 첨단 의료기기 등 기타 기존용접방식으로 용접이 불가능한 부품.

(2) 폐수처리기술 등 환경분야

섬유염색폐수의 난 분해성 물질을 낮은 에너지를 이용하여 분해가능물질로 변환시켜주기 때문에 전자빔을 이용한 전처리를 거친 후 미생물처리를 하면 폐수처리비용의 절감과 슬러지의 감소 등 부대효과를 얻을 수 있다.

(3) 고에너지 전자빔 가속기(High energy electron beam accelerator)를 이용한 재료 물성 변화 및 촉매 특성변화를 얻어낼 수 있다.

(4) 전자현미경 분야

기존의 광학렌즈 대신에 전자렌즈를 사용하고 광선 대신에 전자빔을 이용하여 형광면위에 물체의 확대상을 결상시켜 관찰한다. 광학현미경의 분해능력이 빛의 파장에 의해 제한되는 데 비해, 전자빔의 파장은 0.05 정도로 짧아서 결정내의 원자배열까지 판별할 수 있게 되었는데, 이를 이용하여 생물학, 의학, 공학등 넓은 분야에 걸쳐 이용되고 있다.

3. PV-Module

3.1 Solar Cell

Solar cell은 기존의 화석연료와 달리 태양에너지를 이용하여 전기적 에너지로 변환시키는, 여러 대체에너지 중 한 종류이다. Solar cell 한 장으로는 전력을 일으킨다 말하기 힘들 정도로 출력되는 전력량이 적다. 상용 전원을 끌어내기 위하여 Solar cell을 여러장 붙여서 만들어진 것이 **PV-Module** (Photovoltaic - Module) 이다.

발전소자인 Solar cell의 기본원리는 반도체 P-N 접합으로 이루어진 Solar cell에 태양광선이 입사되면 반도체 고유의 금지대 폭 보다 큰 파장 영역의 태양광 에너지에 의해 전자-정공 쌍이 여기되고, 전자와 정공이 이동하여 N층과 P층을 각각 음극과 양극으로 대전시키는 광기전력 효과에 의해 기전력이 발생하며 외부에 접속된 부하에 전류가 흐르는 원리이다.

여기에서, 광기전력 효과란 금지대폭이 E_g 인 금속-반도체 혹은 p-n접합에 빛을 조사시킬 때 E_g 보다 큰 에너지를 가진 입사광자에 의해서 전자-정공 쌍이 생성되어 접합 양단에 광기전력이 발생하는 현상이다.

3.2 Solar Cell의 특성

태양전지를 타 전지와 비교하여 보았을 때 무한정한 에너지원이므로 연료비가 필요 없고 청정에너지원인 태양에너지를 직접 전기에너지로 변환시킴으로서 전력을 얻는데, 다음의 표와 같은 특성을 지니고 있다.

표 1 Solar cell의 특성
Table 1 Characteristic of Solar cell

장점	연료비가 거의 들지 않는다.
	대기오염이나 폐기물 발생이 적다.
	기계적인 진동과 소음이 없다.
	발전용량 산출이 용이 · 설치기간이 짧다.
	유동적인 형태의 전력생산이 가능.
	소규모에서 대규모발전까지 대상에 따라 이용가능
	모듈 수명이 최소 20년이상으로 긴편
단점 및 개선점	구조가 단순하여 점검 · 보수가 용이하다.
	날씨 · 빛의 방사등 외부환경에 민감하다.
	태양전지의 가격이 고가.
	넓은 면적의 설치장소가 필요하다.
	에너지 변환 효율이 상대적으로 떨어진다.
축전지와 같은 전력저장장치가 필요하다.	
교류전원에는 반드시 인버터가 필요하다.	

PV-Module을 이루는 것은 태양전지이며 이것은 광 에너지에서 전기에너지로 바로 전환하는 p-n 접합 다이오드이다.

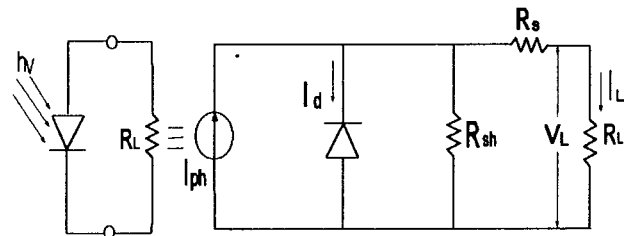


그림 1 Solar cell의 등가회로
Fig. 1 Equivalent circuit of solar cell

여기서, 전류원 I_{ph} 는 광기전류로 표현되며 R_{sh} 그리고 R_s 는 각각 셀의 분로저항 및 직렬저항이다. 일반적으로 R_{sh} 는 매우 크고 R_s 는 매우 작다. 그러므로 R_s 는 간략화 된 분석에서는 무시할 수 있다.

그림 1은 Photovoltaic Effect를 이용한 태양전지의 등가회로를 보여주고 있다.

이상적인 경우, 광 투사시의 전압 전류 특성은

$$I = I_{ph} - I_o \left[\exp\left(\frac{qV}{nKT}\right) - 1 \right] \quad (1)$$

이 되지만, 실제로는 직렬 저항 R_s 와 병렬 저항 R_{sh} 가 가해져 그림과 같이 되고, 식은

$$I = I_{ph} - I_o \left[\exp\left(\frac{q(V + IR_s)}{nKT}\right) - 1 \right] - \frac{V + IR_s}{2} \quad (2)$$

가 된다.

여기서,

I	출력전류
I_{ph}	광전류
I_o	다이오드 포화전류
n	Diode quality factor
K	볼츠만 상수
q	전자 1개의 전하

이를 전압 전류 특성곡선으로 나타내면 그림 2·3과 같다.

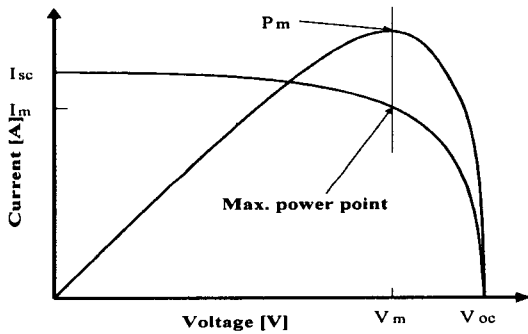


그림 2 Solar cell의 최고 출력전압과 최고 전력점
Fig. 2 Maximum output voltage and maximum power point of Solar cell

그림에서 개방전압 V_{oc} , 단락전류 I_{sc} , 곡선인자 FF (Fill Factor) 등 3개의 변수는 에너지 변환효율과 관련되는 파라미터로서, 우선 개방전압은

$$V_{oc} = \frac{nKT}{q} \ln\left(\frac{I_{ph}}{I_o} + 1\right) \quad (3)$$

이 되고, 단락전류는

$$I_{sc} = I_{ph} - I_o \left[\exp\left(\frac{qIR_s}{nKT}\right) - 1 \right] \quad (4)$$

이 되며, 곡선인자는

$$FF = (V_{MP} \times I_{MP}) / (V_{OC} \times I_{SC}) \quad (5)$$

로 정의되고, 여기서 V_{MP} 는 태양전지의 최대출력전

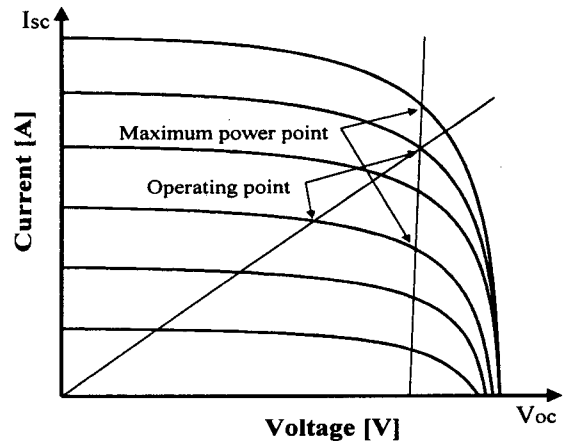


그림 3 Solar cell의 전압·전류 곡선
Fig. 3 Voltage-current curve of Solar cell

압, I_{MP} 는 최대출력전류이다. 태양전지의 에너지 변환효율은 태양전지에서 얻을 수 있는 최대의 전기 에너지를 입사광 에너지로 나눈 값으로 다음과 같다.

$$\eta = \frac{V_{MP} \times I_{MP}}{P_i} = \frac{V_{OC} \times I_{SC}}{P_i} \times FF \quad (6)$$

여기에서, P_i 는 입사된 태양광 에너지이다.

3. 실험 조건 및 구성

본 실험은 위에서 언급했던 전자빔의 응용분야 중 (3)에 나온 전자빔 가속기를 이용한 재료의 특성변화를 이용, PV-Module를 구성하고 있는 Solar cell의 특성변화를 피하여 효율의 증가를 목표로 실험에 임하였다. 실험에 쓰인 장치와 실험조건은 아래와 같다.

표 2 실험 장치

Table 2 Experiment device

장치	소유기관 및 제조회사
Sun simulator 240-A-stire	한국에너지기술연구원
전자빔 조사기 - 1기	삼성 중공업
SSM00296, SSM00298	삼성 PV-Module

표 3 실험에 쓰인 PV-Module 자원

Table 3 Solar cell that is used in an experiment

Maxium Power	60 W
Maxium Voltage	17.1 V
Maxium Current	3.5 A
Dimension(mm)	1113(L)×502(W)×50(D)
Weight(kg)	7.2
Type	Multicrystal
SERIAL NO	0041000296 · 0041000298

표 4 전자빔 조사 실험 조건

Table 4 Experiment condition with Electron beam

조건	Model	SSM00296	SSM00298
Energy		1 MeV	1 MeV
Current		5.71 mA	14.3 mA
Conveyer Velocity		10m/min	2.5m/min
ρ		4.3 g/cm ³	4.3 g/cm ³
t		0.05 mm	0.05 mm
Dose		1 Mrad	10 Mrad

4. 실험 전 · 후 결과 값.

4.1 전자빔 조사 전

전자빔 조사전의 PV-Module의 외관은 그림 4와 같이 맑은 청색을 띄고 있고, 효율은 12%대를 나타내고 있으며, 전력값은 60W대를 기록하였다. 이것은 표3의 모듈 재원과 일치하는 결과를 보여주었으며, 전압전류 곡선은 그림 5·6과 같다.

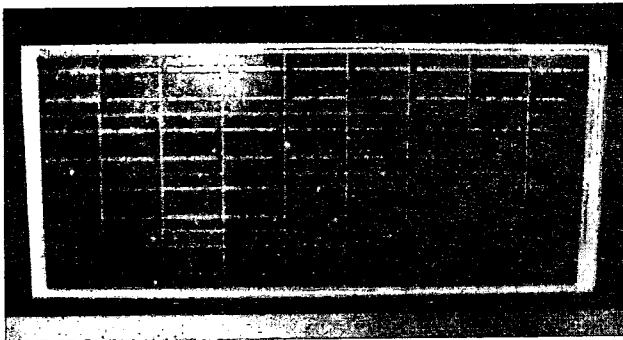


그림 4 전자빔 조사전의 PV-Module 외관.
Fig. 4

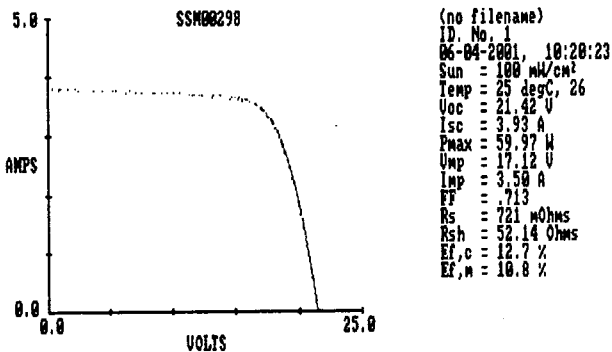


그림 5 전자빔조사전의 SSM00298 전압· 전류곡선
Fig. 5 Voltage· Current curve of SSM00298

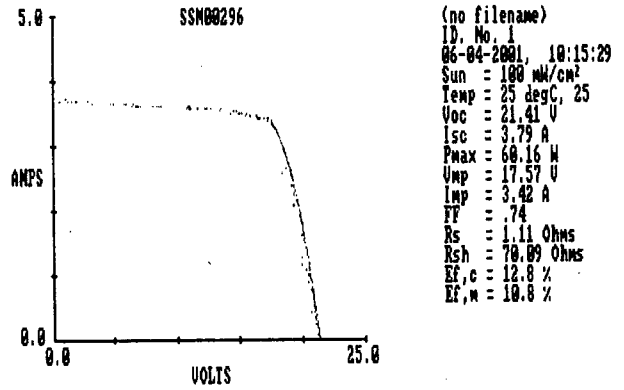


그림 6 전자빔조사전의 SSM00296 전압· 전류곡선
Fig. 6 Voltage· Current curve of SSM00296

4.2 전자빔(1 Mrad) 조사 후

1 Mrad의 에너지대를 갖는 전자빔 조사후의 모듈의 외관은 그림 7과 같은데, 조사전의 모듈외관과 비교하였을 때 좀 더 짙은 청색으로 변화하였으나 크게 변화했다고 볼 수는 없다. 효율 측정결과는 기존의 12%대에서 10%로 떨어졌다.(그림 8 참조),

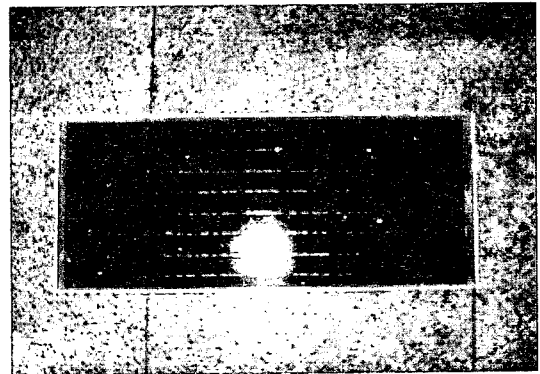


그림 7 전자선(1Mrad)조사후 PV-Module 외관
Model : SSM00296

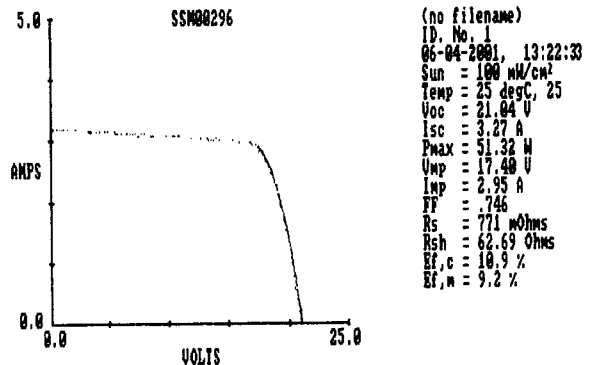


그림 8 전자선(1Mrad)조사후 전압· 전류곡선
Model : SSM00296

4.3 전자빔(10Mrad) 조사 후

10 Mrad의 고 에너지대를 갖는 전자빔 조사후의 모듈의 외관은 그림 9과 같으며, 조사전의 모듈외관과 비교하였을 때 기존의 외관이라 볼 수 없을 정도로 어두운 흑색으로 변하였고, 효율 측정결과 기존의 12%대에서 5%로 크게 떨어졌다. (그림 10 참조),

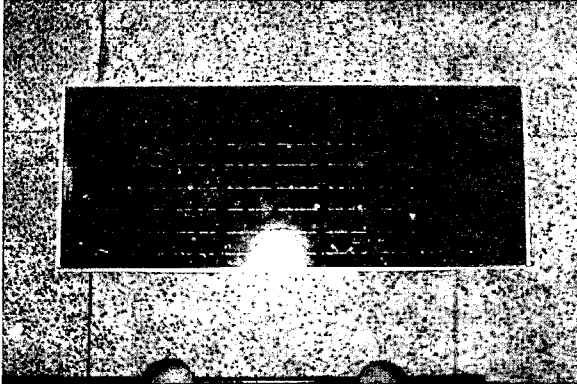


그림 9 전자선(10Mrad)조사후 PV-Module 외관
Model : SSM00298

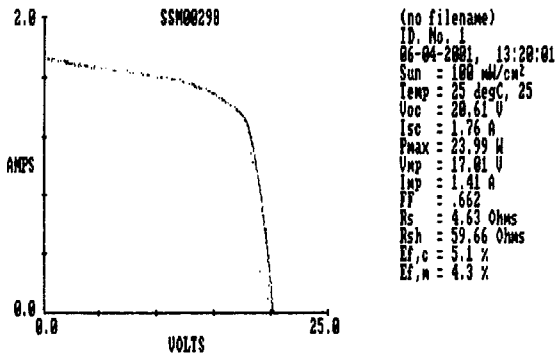


그림 10 전자선(10Mrad)조사후 전압·전류곡선
Model : SSM00298

4.4 결과값 분석

실험값에서 전자빔 조사전 12%대의 효율을 나타내던 태양광 모듈은 전자빔 조사 후 실험대상 모듈 두 개다 효율의 감소를 가져왔다. 전자빔의 에너지대가 높을수록 효율은 크나큰 감소를 가져왔는데 그 결과에는 모듈을 구성하고 있는 솔라셀의 재료자체의 변화요인도 있으나, 실험전에 한가지 간과했던 부분도 작용한 것으로 보인다. 그것은, 완성된 모듈은 솔라셀을 여러장 붙여서 만든 것으로 제품 출시시 외부에 코팅 처리된 부분을 간과한 것이다. 이로 인하여 고 에너지대로 갈수록 외형은 더욱 검게 변하였고, 또한 이로 인하여 태양광을 직접적인 전 원소스로 이용하는 모듈은 그 광원을 받는 면적이 더 적어지고 밝은 광원이 아닌 어두운 광원을 받게 되어 효율이 더욱 저하되었다.

5. 결 론

본 연구는 한계에 부딪힌 솔라셀의 효율증가를 위한 한가지 방편으로, 요즘 큰 두각을 나타내고 있는 한 분야인 전자빔을 이용하여 직접적인 효율 증대를 꾀하였다. 각각 다른 에너지대를 모듈에 직접 조사하여 그 효율을 측정한 결과 아래와 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 고 에너지대로 갈수록 (1Mrad → 10Mrad) 효율은 크게 떨어졌다.

[효율 12%(기준) → 10%(1Mrad) → 5%(10Mrad)]

2) 완성된 모듈을 이용하여 전자선을 조사한다면 태양광을 전원소스로 사용하는 모듈의 특성상 외관에 코팅된 재료가 전자빔 조사로 인하여 검게 변하여 효율이 오히려 크게 저하되었다.

3) 1Mrad 이하의 에너지대에서 세부적인 실험 진행이 필요하다.

차후에는 본 연구 해당 데이터를 보완하고 세분화하여, 완성된 모듈이 아닌 솔라셀 시료에 다양한 에너지대 (1Mrad 이하)를 적용하여 효율 증대 연구를 진행하고자 한다.

참 고 문 헌

- [1] Harmancioglu, N. B. and Necdet Alpaslan, "Water Quality Monitoring Network Design : A problem of Multi-Objective Decision Making", Water Resources Bulletin Vol. 28, No. 1, pp. 179~192, 1992.
- [2] J. H. R. Ensil, "Maximum Point Tracking : A Cost Saving Necessity in Solar Energy Systems", IEEE. PESC. 90, pp. 1073~1077, 1990.
- [3] K. Heumann, W. Wienhofer, "Optimization of Photovoltaic Solar Systems by Controlled DC-DC Converter under Consideration of Power-Output-Statistics", IPEC-Tokyo '83, pp. 1049~1060, 1984.
- [4] G. L. Campen, "An Analysis of the Harmonics and Power Factor Effects at a Utility Intertied Photovoltaic System", IEEE Trans. Vol. PAS-101, No. 12, pp. 4632~4639, 1982.
- [5] 유권종의, "전력 Peak Cut를 위한 주택용 태양광발전시스템의 에어콘개발", 한국에너지기술연구소 보고서, 1994.
- [6] Z. Salameh, D. Taylor, "Step-Up Maximum Power Point Tracker for Photovoltaic Arrays", Solar Energy, Vol. 44, No. 1, pp. 57~61, 1990.
- [7] Victorio Arcidiacono, Sando Corsi, Luciano Lambri, "Maximum Power Point Tracker for Photovoltaic Power Plants", IEEE. pp. 507~512, 1982.
- [8] Robert J. Vidmar et al ; IEEE TRANSACTION ON PLASMA SCIENCE, Vol 26, NO. 3 June, 1998.