

2차 집광부에 반사형 구조를 적용한 CPV모듈

정병호*, 무스타피줄*, 이강연**, 김남오**, 최낙일***
 남부대학교*, 조선이공대**, (주)삼호엔씨티***

CPV module characteristics using the secondary reflect mirror

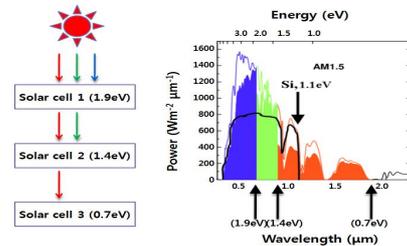
Byeong-Ho Jeong*, Mustafizul*, Kang-Yeon Lee**, Nam-Oh Kim**, Nak-Il Choi***
 Nambu University*, Chosun College of Science & Technology**, Sam-Ho NCT Inc.***

Abstract - CPV system in the desert areas or areas near the equator, as is suitable for high-temperature region. As compared to silicon solar cells, CPV system have a high proportion of a BOS (balance of system). Solar cells because of its low proportion when designing a module technology is applied in a variety of ways. Applied to the CPV system is classified into two kinds of optical technology. One of those using fresnel lens uses refraction of light energy. The other is a mirror reflection of the structure using sprays. Both of these two ways to condense the sun to collect solar cell is a form of light. And goals by using a small solar cell materials is to produce more energy. This research proposes rational design approach to calculate proper system capacity in consideration of the aforementioned factors in CPV system.

갭이 작은 물질이 맨 아래에 위치하도록 한다. 이 경계 맨 위의 셀에서 태양광의 짧은 파장 부분(밴드 갭 에너지보다 큰 부분)의 스펙트럼을 흡수하고 나서 그 다음에 중간 밴드갭을 갖는 물질이 중간 파장부분의 스펙트럼을 흡수하고 마지막으로 가장 짧은 밴드갭 물질이 나머지 스펙트럼을 흡수하여 태양광의 전체 스펙트럼을 여러 부분으로 나누어 효율적으로 사용하는 구조이다. <그림 1>는 텐덤 셀의 효율적인 스펙트럼 이용구조를 나타낸다.

1. 서 론

집광형 태양전지를 100배이상의 고집광시스템에 적용할 때 태양광 발전시스템은 조사되는 태양광을 렌즈나 거울 등의 형태를 이용하여 넓은 면적에 입사되는 태양광을 작은 면적의 태양전지에 빛을 모으는 집광구조이며 집광형 태양전지는 가격이 저렴한 플라스틱 렌즈나 알루미늄 코팅 거울을 사용함으로써 집광도가 높을수록 제조 단가가 비싼 태양전지의 면적을 줄일 수 있어 태양전지 모듈 제조 단가를 대폭 줄일 수 있다[1]. 고집광 시스템을 적용한 집광형 태양전지모듈은 고굴절율을 갖는 PMMA나 Glass+Silicon 소재의 프레넬 렌즈를 적용하고 이에 태양위치 추적기 시스템을 부가하여 발전성능을 확보하는 형태로 이루어진다[2].



<그림 1> 텐덤 셀의 효율적인 스펙트럼 이용구조

III-V 화합물 반도체 태양전지의 기본구조를 Fig. 2에 나타내었다.

CPV(Concentrating Photovoltaic)시스템은 집광구조, 온도제어 그리고 BOS 단가의 분산효과를 통한 최대성능을 발휘할 수 있는 모듈의 설계가 필요하다[3]. 셀의 변환효율은 직렬저항의 한계성능에 이를 때까지 조사각도에 따라 발전량은 증가하는 특성이 있어 집광형태양전지모듈의 설계기술에 따라 높은 발전특성을 가질 수 있다[4]. 집광렌즈의 경우는 광학용 PMMA(Poly Methyl Meth Acrylate)는 상대적으로 가격이 저렴하고 굴절률 1.5, 투명도 0.95이상으로 구형 집광렌즈를 설계하기에 적합한 소재이나 스크래치에 취약하고 내구성이 약해 코팅이나 글래스 보호 등의 집축면에 대한 보호장치가 별도로 필요하다[5].

Item	Unit	Spec.
V_{OC}	V	2.509
I_{SC}	mA	4.42
Fill Factor	%	85.39
P_{max}	mW	9.48
Efficiency	%	31.34
Power density	mW/cm ²	31.34

<그림 2> CPV셀의 구조와 특성

집광형 태양광발전시스템은 고정밀 추적장치가 부가되어야 하며 오차분이나 태양광 모듈의 수직입사가 반드시 이루어져야 하나 렌즈의 광축과 III-V 화합물반도체 태양전지 셀의 정렬 불일치가 발생하는 경우를 보상하기 위한 세컨더리렌즈가 다양한 형태로 존재한다. 여기에는 굴절형과 반사형으로 구분되고 본 연구에서는 반사형 세컨더리 렌즈를 이용한 구조를 적용하고자 한다. CPC(compound parabolic concentrator)는 1965년 winston과 hinterberger에 의해 고안되었으며 일반적으로 CPC는 복합형 포물선형 집광기를 의미한다.

실험에 적용된 CPV 셀은 P-type 위에 N-type을 적층시키는 고효율 설계를 통해 제작되었으며 셀의 노출면적은 5.5[mm] X 5.5[mm]이고 180 ±20um Ge 웨이퍼 두께를 가진다. 액티브 영역은 0.3025cm²이고 본드 영역의 버스바 폭은 0.42mm, 이며 총 셀의 두께는 0.2mm이다. 표 1에서는 본 논문의 실험에 적용된 고효율 III-V 화합물반도체 태양전지 셀의 플래시 테스트를 통한 물리적, 전기적인 특성에 대해 웨이퍼 평균셀의 사양을 나타낸다. 1[SUN]조건에서 개방전압은 2.509V, 단락전류는 4.42mA이고 최대 출력전력은 9.48mW이다.

본 논문에서는 고배율 프레넬 렌즈를 적용한 집광형 태양전지모듈을 제작하였고 여기에는 미러형 2차 반사형구조를 갖는 세컨더리 렌즈를 이용하여 추적형 장치의 보상을 수행하였다. 이를 통해 집광형모듈의 발전성능과 특성을 파악하기 위해서 다양한 일사량을 조사시킨 환경에서 그에 대한 발전특성을 검토하였다. 검토된 발전특성을 통해 제작된 집광형 태양전지모듈에 따른 특성분석과 그 효율성 및 모듈제작공정에 관한 연구를 수행하였다.

2.2 집광형 태양전지모듈 설계

집광형태양전지모듈의 집광효율은 태양광 집광비(X_g)는 집광장치에 도달하는 총 일사량(A_{conc}) 대비 CPV모듈 표면에 도달한 총 일사량(A_{pv})의 비와 같으므로 식 (1)과 같다.

2. 프레넬렌즈를 적용한 III-V족 화합물반도체 태양전지모듈

$$X_g = \frac{A_{conc}}{A_{pv}} \quad (1)$$

2.1 III-V 화합물 반도체 CPV셀의 특성

고효율 III-V 화합물 반도체 태양전지가 높은 효율을 가질 수 있는 이유는 다중접합 텐덤 셀 구조를 갖고 있으며 가장 밴드갭이 큰 물질을 맨 위에 적층하고 중간 밴드갭을 갖는 물질을 가운데, 그리고 가장 밴드

실험에 의한 집광비는 일사조건 1,000W/m²의 조건하에서 집광되기 전 PV모듈의 개방전류 (I_{sc})와 집광된 후 CPV 모듈에서의 개방전류

($I_{sc}(X)$)의 상관비로 나타내며 실제 집광비(X)는 식 (2)와 같다.

$$X = \frac{I_{sc}(X)}{I_{sc}(at 1,000 W/m^2)} \approx \frac{G_X}{G} \quad (2)$$

여기서, G 는 집광되기 전의 일사량, G_X 는 집광후의 일사량이다. 집광효율은 이론적 집광비 (X_g)와 실제 집광비(X)의 상관관계로 구할 수 있으며 식 (3)과 같다.

$$\eta = \frac{G_X}{G} \cdot \frac{1}{X_g} \quad (3)$$

발전효율분석을 위한 집광형 태양전지모듈의 효율은 식 (4)과 같다.

$$\eta(\%) = \frac{E_{module}}{E_{sun} \cdot A_{module}} \times 100\% \quad (4)$$

여기서, E_{module} 은 집광형 태양전지모듈에서 생산된 에너지나 전력이고 E_{sun} 은 단위면적 당 태양으로 발생된 에너지나 전력이고 A_{module} 은 태양전지모듈의 표면 면적이다. <표 1>은 집광형 태양전지모듈의 특성을 나타내었다.

<표 1> CPV모듈의 형태

Item	Specification
Unit Cell exposure area	6.6mm×5.6mm
Number of parallel connection	1 Parallel
Number of Series connection	4 Series
Active area	4×30.25mm ²
Bondable bus bar width	0.42mm
Total cell thickness	~0.2mm

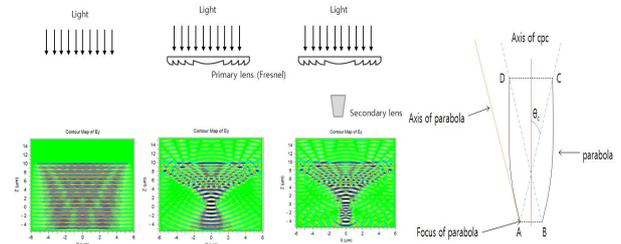
집광형 태양전지의 리시버는 집광에 따라 셀에 발생하는 열을 흡수, 분산하기 위해 Al METAL PCB를 적용하였다. 주변온도 40℃에서 60℃ 이하 접촉면 온도유지를 위한 METAL PCB 설계는 1.0mm Al Base, 70 μm 동박 두께, 100mm 절연층 두께를 갖는 알루미늄베이스의 PCB 보드를 적용하였고, 실리콘 Thermal greese를 병렬판과의 접촉을 확보하기 위하여 적용하였다. 실리콘 Thermal greese의 성능은 열전달계수 $k = 1.2W/mK$, $R = 0.013 \text{ } ^\circ C \cdot in^2/W$, Bond line = 15μm(@30Psi)이다.

CPV 리시버의 회로도는 실험을 위한 하나의 모듈은 4개의 태양전지 셀의 직렬연결하였고 여기에 하나의 바이패스 다이오드가 부착되어 셀 파손 시 발생할 수 있는 개방상태를 보정하도록 하였다. 또한, 두 개의 직렬연결은 블로킹 다이오드를 통해 이웃한 어레이에서 발생한 역전압의 유입을 차단하는 역할을 한다. 집광형 태양전지는 집광구조로 인해 표면온도의 상승이 유발되는 기본구조를 갖는다. 또한 높은 표면온도로 인해 발전효율이 감소하며 주변의 구조물이나 상태에 영향을 미치므로 방열구조에 대한 고려가 요구된다. 본 실험에서는 메탈 PCB를 적용하여 외기온도 25℃에서 접촉면온도를 85℃이하를 유지하였으므로 별도의 히트싱크를 고려하지 않았다.

3. 실험 및 성능분석결과

CPV모듈을 제작하여 성능시험을 수행하였으며 실험은 330~1,100[W/mm²]의 범위에서 다양한 일사조건상에서 실험을 수행함으로써 기후변화 및 일사강도에 따른 특성분석을 수행하였다.

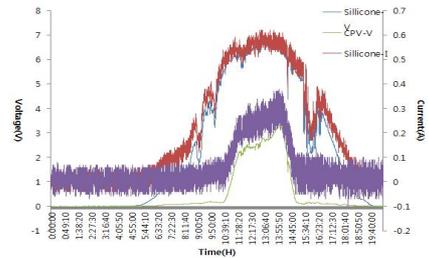
2차 세컨더리렌즈인 CPC는 포물선형태의 반사판이 조리개부터 흡수판까지 광선을 깔대기 형태로 구성된다. 내부반사형 포물면 렌즈는 여러 방향에서 입사하는 빛을 유선형의 측면에서 반사시키는 것으로 출사단면에 빛을 모을 수 있는 광학소자이다. 본 연구에 적용된 CPC는 입사각도 25°이하의 평행광이라면, 어느 방향에서 입사해도 효율적으로 출사단면에 집광할 수 있는 구조이다. 좌우측은 다른 형태의 포물선의 형태로 구성되고 C와 D의 끝단에서 기울기는 컬렉터의 중간점과 평행하다. 모든 광선은 흡수판이 광원을 흡수하고 $|\theta| < \theta_c$ 인 영역의 각도에서 커버하기 위해 규정되고 방출된다.



<그림 3> 미러형 2차렌즈에 대한 빛의 trajectory 시뮬레이션 결과

미러타입의 CPC는 알루미늄반사형구조를 갖도록 설계되었고 반사율은 92%이상이다.

<그림 4>는 실리콘태양전지와 CPC가 부착된 CPV모듈의 발전성능을 분석한 그래프이다. 실험 결과 CPV모듈의 추적장치의 오차를 물리적으로 보상이면서 발전하는 출력특성을 관찰할 수 있다.



<그림 4> CPC미러 CPV모듈의 발전성능 비교

4. 결 론

집광형태양광발전시스템은 기존에 태양광발전시스템의 방식과 달리 높은 집적도와 고효율 에너지원이라는 장점을 갖춘 완성도 높은 융복합 시스템으로 구성되어야 한다. 집광형 태양광발전시스템의 셀은 인공위성의 전원으로 사용되어 애로환경에서의 신뢰성이 입증되었고 유리, 플라스틱, 알루미늄과 같은 부재료들 역시 대량생산의 용이함과 제품의 높은 신뢰성 및 생산성이 입증되어 향후 발전가능성이 매우 높은 태양광발전 원으로 적용될 수 있으나 제한된 외기조건과 추적기와 같은 BOS의 절대적인 지원이 필요한 특성을 가지고 있어 이에 대한 극복방안이 요구된다.

본 연구에서는 반사판 적용한 CPV 모듈의 성능을 분석한 결과 경사 각보정기능이 확보된 결과로 26% 이상의 발전효율을 확인할 수 있었다. 또한, 태양의 위치변동에 따른 구형렌즈의 포컬 영역의 불일치를 화합물반도체 태양전지의 병렬연결을 통해 보상하는 설계를 통해 화합물반도체 태양전지를 설계하였고 이를 이용한 태양광발전 시스템의 구현하였다. 향후에 실증연구를 통해 국내 환경에서 실리콘 태양전지와와의 성능비교를 통해 상업화가능성에 대한 타당성을 검토하고자 한다.

[참 고 문 헌]

- [1] 정병호 · 이강연 · 박주훈 · 문은아 · 이상현 · 김대근, "SOG 렌즈를 적용한 집광형 태양전지모듈 특성", 전기학회논문지 58권 2호 2009
- [2] 정병호, 김남오, 이강연, "구형렌즈를 적용한 CPV모듈 발전성능 분석에 관한 연구", 대한전기학회 논문지, 59P-3-9, pp. 293-297. 2010. 9.
- [3] C. Baur et al "Triple-junction III-V based concentrator solar cells: perspectives and challenges", J. Sol Eng Engineering, pp. accepted for publication, 2006.
- [4] Martin A. Green, Keith Emery, Yoshihiro Hishikawa, and Wilhelm Warta, "Solar Cell Efficiency Tables (Version 31)," Prog. Photovolt: Res. Appl., 2008, Vol.16, pp.61 - 7.
- [5] Frank Dimorth and Saeah Kurtz, "High-efficiency Multijunction Soalr Cells," MRS BULLETIN, Vol.32, Mar. pp.230-235, 2007.
- [6] A. W. Bett et al "FLATCON/TM and FLASHCON/TM: Concepts for high concentration PV", 19th European PVSEC, pp. 2488-2491, 2004.