

반사판 적용 구형렌즈를 갖는 집광형 태양전지모듈

(Applied Spherical Lens with Reflect Mirror for the CPV module)

이강연* · 정병호** · 김효진

(Kang-Yeon Lee · Byeong-Ho Jeong · Hyo-Jin Kim)

Abstract

There are two main types of concentrating optical systems in use today: refractive types that use Fresnel lenses, and reflective systems that use one or more mirrors. Regardless of the chosen optical system, the result is concentrated sunlight being aimed at the sensitive face of the cell, to produce more energy from less photovoltaic material.

In this paper, for the achieve trackerless CPV system, CPV module included that the spherical lens with reflect mirror makes it possible to achieve high and stable power generation performance for the high concentration photovoltaic power generation system and cope with the needs for a variety of shapes and sizes in flexible manners and that the multiple cavity assemble method greatly reduces costs. Development of these high performance multi-junction CPV module promises to accelerate growth in photovoltaic power generation.

Key Words : CPV System, Photovoltaic, Spherical Lens, Multi-junction Solar Cell, Parallel MJ Cell

1. 서 론

1.1 연구의 배경

태양광은 지구상에서 가장 풍부하고 공해가 전혀 발생하지 않는 청정한 에너지원으로서 지구상에 공급되는 총 태양광에너지는 초당 약 12만[TW]이다[1-2]. 경제성장 및 국민생활수준향상에 따라 사용의 편리성

으로 인해 전력소비가 지속적으로 증가하고 있으며 이러한 추세는 1990년 이후 2004년까지 에너지수요는 연평균 6.2[%] 증가한 반면 전력수요는 연평균 9.1[%] 증가하고 있다. 따라서 제한된 전력시장여건은 전력수급의 안정과 적정전원 MIX 등이 효율적으로 운영되어야 한다. 전력발전설비 확충에 있어 다양한 대체 에너지 기술 중에서 태양광발전 시스템은 발전소를 보완할 수 있는 중요한 에너지산업의 한 부분으로 분산전원의 역할을 분담해야만 한다[3].

집광형 태양광발전시스템(CPV, Concentrating Photovoltaic System)은 집광구조, 온도제어 그리고 BOS 단가의 분산효과를 통한 최대성능을 발휘할 수 있는 모듈의 설계가 필요하다. 셀의 변환효율은 직렬

* 주저자 : 조선대학교 전기공학과 겸임교수
** 교신저자 : 남부대학교 의료공학과 교수
Tel : 062-970-0254, Fax : 062-970-0254
E-mail : enjoypv@gmail.com
접수일자 : 2011년 9월 17일
1차심사 : 2011년 9월 23일, 2차심사 : 2011년 11월 8일
심사완료 : 2011년 11월 11일

저항의 한계성능에 이를 때까지 조사강도에 따라 발전량은 증가한다. 2007년 Spectrolab사에서 격자부정합(metamorphic) 성장기법을 이용한 InGaP/GaAs/Ge 적층형 태양전지를 이용한 태양전지셀은 240[Sun]의 플래시 테스트에서 40.7[%]에 이른다[4-6].

실리콘 태양전지 모듈과 달리 렌즈나 반사판과 같은 광학장치를 적용한 집광형태양광발전 시스템은 값비싼 태양전지 셀이나 모듈의 면적을 줄여 면적대비 발전효율을 높이는데 기술적인 지향점이 있어 고효율 고집적의 발전방향에 적합한 태양광발전 시스템의 발전방향과 일치하는 장점이 있다. 집광형 태양전지 모듈은 유리렌즈의 무게나 두께를 프레넬렌즈 형상가공을 통해 고분자화합물은 PMMA 소재나 PC 소재의 고투과율 소재를 사용하여 200~500배율까지 높은 배율을 통해 태양전지 효율을 극대화함으로써 셀의 비중을 낮추고 면적대비 발전효율을 높일 수 있는 대안으로 관심 받고 있는 분야이다[7-8]. 그러나 $\pm 1^\circ$ 이상의 높은 태양위치 추적을 위한 정밀추적기가 부착되어야 하는 단점이 있고 추적기의 고장이나 추적실패에 따른 효율저하는 보완해야 할 분야이며 이러한 단점을 극복하기 위한 보완기술을 가동부 보다는 고정부를 이용하며 에너지손실이 없고 장기간의 내구성을 갖는 렌즈형상에서 찾고 있으며 그에 따른 보완기술로 등장한 형태가 구형렌즈이다[9-10].

구형렌즈(Spherical lens)를 적용한 집광형 태양전지 모듈은 고굴절율을 갖는 PMMA나 Glass소재의 구형렌즈를 적용하여 추적기가 필요없는 고집광형 태양전지 모듈을 설계할 경우에 적용할 수 있는 형태로 태양전지 모듈에 대한 성능분석과 발전효율 분석 등을 통해 실현가능성과 실용화 가능성에 대한 연구가 이루어져야 한다. 또한 반사판 갖는다면 구형렌즈의 수차를 보정하여 산란광을 집광할 수 있는 기존의 구형렌즈만 있는 경우와 또다른 우수한 특성을 갖는다.

본 논문에서는 구형렌즈를 적용한 집광형 태양전지 모듈에 반사판을 부착한 집광형 태양전지모듈의 시스템 성능과 발전특성을 분석함으로써 집광형 태양전지 모듈의 완성도 높은 설계구조를 반영하여 발전특성을 확립함으로써 보다 높은 현실적 적용에 따른 타당성과 활용가능성을 입증하고자 한다. 또한 구형렌즈의

적용에 따른 마이크로 태양전지모듈화 기술, BIPV 시스템 기술에 대한 기반기술로 고효율 고집적 태양광발전 시스템의 성능향상과 다양한 어플리케이션의 활용기술에 기초연구를 목적으로 한다.

2. III-V 족 화합물반도체 태양전지모듈

2.1 구형렌즈의 집광특성

집광형 장치는 태양전지 모듈에 도달하는 태양빛을 증가 시켜주는 역할을 하며, 태양전지 모듈의 형태에 따라 원형 집광장치와 선형집광장치로 구분할 수 있다. 원형집광장치로는 돛보기, 원형 프레넬필름, 접시형이 있으며 선형집광장치로는 선형프레넬렌즈, 구유(trough)형 등이 있다.

구형렌즈를 이용하는 경우는 집광면이 다양한 면에서 입사될 수 있으므로 포컬에어리어를 일정한 패턴으로 확보할 수 있다. 그림 1은 구형 렌즈를 적용한 CPV의 형상을 나타낸다.

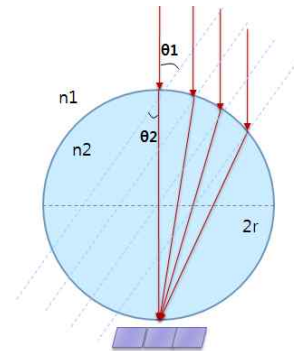


그림 1. 구형 렌즈를 적용한 CPV의 형상
Fig. 1. CPV shape applied to spherical lens

스넬의 법칙(Snell's law)은 입사광 P의 입사각 θ_0 과 굴절광 Q의 굴절각 θ_1 의 sin값의 비율은 매질이 변하지 않는다면 항상 일정하므로 식 (1)과 같다.

$$\frac{\sin\psi_0}{\sin\psi_1} = \frac{v_0}{v_1} = \frac{n_1}{n_0} \quad (1)$$

광선추적(Ray tracing)을 통해 구형렌즈를 통과한

태양광선의 경로 확보, 단일 구면으로 입사하는 광선을 추적하면 그림 2와 같이 추적된다.

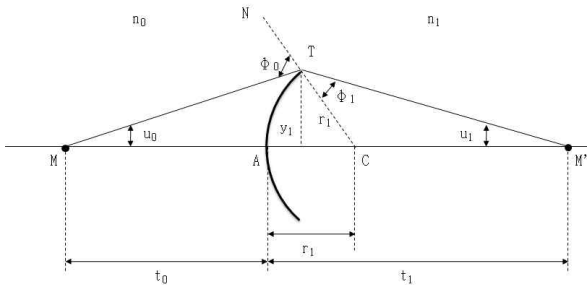


그림 2. 단일구면으로 입사하는 태양광선의 추적
Fig. 2. Trace sun's rays of incident light through the spherical lens

그림 2에서와 같이 u_1 은 음수, u_0, t_0, r_1, n_0, n_1 을 기지량으로 할 때, 태양광선이 경계면과 만나는 높이 y_1 과 입사각(ψ_0), 굴절각(ψ_1) 그리고 경계면에서부터 광선이 광축과 만나는 점(M')까지의 거리 t_1 과 광선과 광축이 이루는 각 u_1 을 확보할 수 있으며 입사각(ψ_0)를 구하는 방법은 삼각형 MTC에서 sin 법칙을 이용하여 식 (2)과 같다.

$$\sin \psi_0 = \frac{r_1 + t_0}{r_1} \sin u_0 \tag{2}$$

입사하는 태양광선과 광축이 이루는 경사각(u_0)을 알면 경계면에 대한 입사각(ψ_0)을 구할 수 있음 또한 굴절각(ψ_1)은 경계면에서 스넬의 법칙을 이용하여 식 (3)과 같다.

$$\sin \psi_1 = \frac{n_0}{n_1} \sin \psi_0 \tag{3}$$

굴절한 태양광선이 광축과 만나는 각(u_1)은 삼각형 MTM'에서 세 각을 더하여 얻을 수 있으며 식 (4)와 같다.

$$u_1 = \psi_1 + u_0 - \psi_0 \tag{4}$$

입사된 태양광선이 광축과 만나는 점과 경계면 사이

의 거리 t_1 은 삼각형 TCM'에서 구할 수 있다.

$$t_1 = r_1 - r_1 \cdot \frac{\sin \psi_1}{\sin u_1} \tag{5}$$

또한 y_1 은 식 (6)과 같다.

$$y_1 = r_1 \sin (\psi_0 - u_0) \tag{6}$$

구형렌즈에 입사되는 태양광선을 추적하여 한 점에서 나온 광선이 광축의 어느 부분에 닿는지를 정확하게 추적 가능하며 이렇게 추적된 태양광선은 이중렌즈를 통해 정확하게 집광형 태양전지의 셀에 도달한다. 구면의 렌즈를 통과한 광선들이 모두 한 점에서 모이지 못하는 수차(aberration)를 반사판을 적용하여 태양광선을 셀에 집광시킬 수 있다.

2.2 구형렌즈를 적용한 집광형 태양전지모듈

구형렌즈의 소재에 따라 굴절률의 차이가 있으나 PMMA 소재의 굴절률 1.4의 특성을 갖는 렌즈는 동지와 하지의 남중고도각의 차이인 경사각 23.5[°]의 보정과 120[°] 방위각은 셀을 다수 개를 병렬 연결함으로서 보정될 수는 정도의 굴절각을 가지므로 CPV 셀을 30개를 병렬 연결시켜 추적기 없는 집광형태양전지 모듈을 구성하였다. 표 1은 CPV 모듈의 형상을 표로 나타내었다.

표 1. 집광형 태양전지모듈의 형상
Table 1. CPV module of feature

Specification	proposed module	previous module
Unit Cell area	2[mm]×2[mm]	4[mm]×4[mm]
Number of parallel connection	30 Parallel	4 Parallel
Number of Series connection	4 Series	4 Series
Cell area	120[mm ²]	64[mm ²]
magnification	26 X	52 X
Cross-sectional area of lens	3,117[mm ²]	3,117[mm ²]
Diameter of lens	63[mm]	63[mm]

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 (7)과 같다.

$$X_g = \frac{A_{conc}}{A_{pv}} \quad (7)$$

실험에 의한 집광비는 일사조건 $1,000[W/m^2]$ 의 조건하에서 집광되기 전 PV모듈의 개방전류 (I_{sc})와 집광된 후 PV 모듈에서의 개방전류 ($I_{sc}(X)$)의 상관비로 나타내며 실제 집광비(X)는 식 (8)과 같다.

$$X = \frac{I_{sc}(X)}{I_{sc}(at 1,000 W/m^2)} \approx \frac{G_X}{G} \quad (8)$$

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 (9)과 같다.

$$\eta = \frac{G_X}{G} \cdot \frac{1}{X_g} \quad (9)$$

또한 발전효율분석을 위한 집광형 태양전지모듈의 효율은 식 (10)과 같다.

$$\eta(\%) = \frac{E_{module}}{E_{sun} \cdot A_{module}} \times 100\% \quad (10)$$

여기서, E_{module} 은 집광형 태양전지모듈에서 생산된 에너지나 전력이고 E_{sun} 은 단위면적 당 태양으로 발생된 에너지나 전력이고 A_{module} 은 태양전지모듈의 표면 면적이다.

태양전지 셀을 중심으로 $30[^\circ]$ 의 양각을 갖도록 설계된 반사판은 스텐레스 전해연마를 통해 반사율 $70[\%]$ 이상을 확보하였다. 제안된 반사판의 구조는 그림 5와 같으며 구형렌즈와의 초점길이는 $30[mm]$ 이며 반사판 미러의 길이는 $35[mm]$ 이다. 그림 3은 반사판 거울의 구조를 나타낸다.

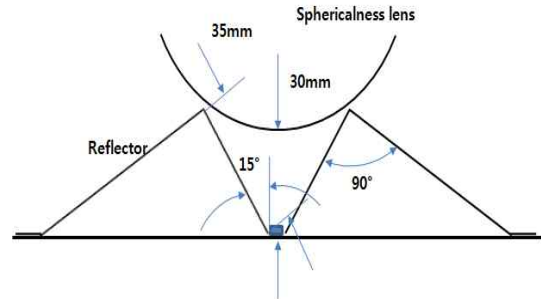


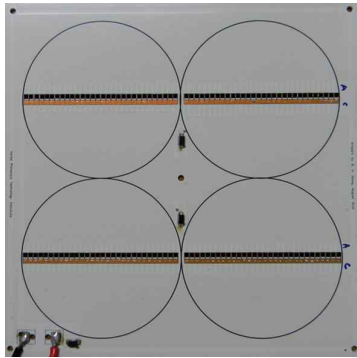
그림 3. 반사판 거울의 구조
Fig. 3. Reflector mirror structure

2.3 CPV 리시버의 설계

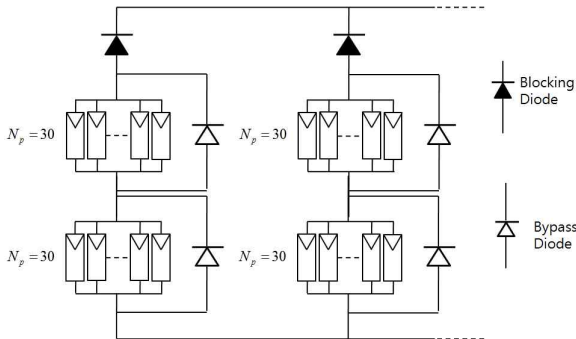
집광에 따른 셀에 발생하는 열을 흡수, 분산하기 위해 Al METAL PCB를 적용하였다. 주변온도 $40[^\circ C]$ 에서 $60[^\circ C]$ 이하 접촉면 온도유지를 위한 METAL PCB 설계는 $1.0[mm]$ Al Base, $70[\mu m]$ 동박 두께, $100[mm]$ 절연층 두께를 갖는 알루미늄베이스의 PCB 보드를 적용하였고, 실리콘 Thermal grease를 방열판과의 접촉을 확보하기 위하여 적용하였다. 실리콘 Thermal grease의 성능은 열전달계수 $k=1.2[W/mK]$, $R=0.013[^\circ C \cdot in^2/W]$, Bond line= $15[\mu m]$ (@30Psi)이다. 그림 4는 집광형 태양전지모듈의 회로도이다. 실험을 위한 하나의 모듈은 그림 4에서 보는 바와 같이 30개의 태양전지 셀의 병렬연결을 통해 방위각의 보상을 수행하였고, 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. 또한 셀과 PCB와의 부착은 와이어본딩을 이용하여 접촉시켰다.

집광형 태양전지는 집광구조로 인해 표면온도의 상승이 유발되는 기본구조를 갖는다. 또한 높은 표면온도로 인해 발전효율이 감소하며 주변의 구조물이나 상태에 영향을 미치므로 방열구조에 대한 고려가 요구된다. 집광형 태양전지모듈의 효율을 향상시키기 위해 냉각수를 이용하거나 방열판을 이용한다. 본 실험에서는 메탈 PCB를 적용하여 외기온도 $35[^\circ C]$ 에서

접촉면온도를 65[°C]이하를 유지하였으므로 별도의 히트싱크에 대한 고려를 첨가하지 않았다.



(a) Metal PCB 사진
(a) Photograph of the Metal PCB

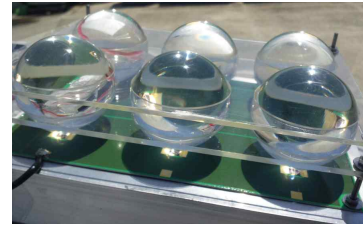


(b) 집광형태양전지 모듈 회로도
(b) CPV module circuit

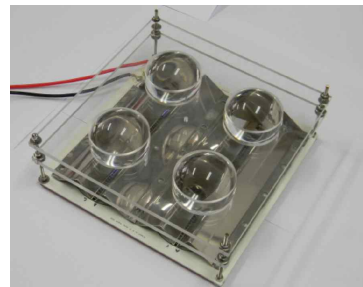
그림 4. 집광형 태양전지모듈의 회로도와 METAL PCB 사진
Fig. 4. Photograph of the Metal PCB and CPV module circuit

3. 실험 및 성능분석 결과

실험은 기존의 구형렌즈를 적용한 집광형 태양전지 모듈과 반사판을 적용한 구형렌즈를 적용한 집광형 태양전지의 발전특성을 분석하기 위해 동일한 조건에 24시간 동안 발전성능을 분석하는 방식으로 진행하였다. 그림 5는 실험을 위한 실리콘 태양전지와 CPV 모듈 사진이다. 설치위치 정보는 방위각은 정남향이며 경사각 30[°]이다. 실험장소는 125.54E, 35.09N이다.



(a) 기존의 구형렌즈 집광형 태양전지모듈
(a) Non-reflect mirror CPV module



(b) 반사판 적용한 구형렌즈 집광형 태양전지모듈
(b) CPV module with reflect mirror

그림 5. 실험에 적용된 구형렌즈모듈과 반사판이 적용된 구형렌즈 집광형 태양전지 모듈 사진
Fig. 5. Photograph of the experiment setup with CPV module

AM 1.5 조건(100[mW/cm²], 25[°C])에서 측정된 결과, 반사판 적용 구형렌즈를 갖는 집광형 태양전지모듈은 개방전압 $V_{open} = 4.525[V]$, 단락전류는 $I_{short} = 15[mA]$, MPP 전압은 $V_{mpp} = 4.173[V]$, MPP 전류는 $I_{mpp} = 14[mA]$ 이고 충전율 FF=0.914로 나타났다. 그림 6과 그림 7은 실험에 따른 집광형 태양전지모듈의 V-I, P-V-I의 특성곡선을 각각 나타낸다.

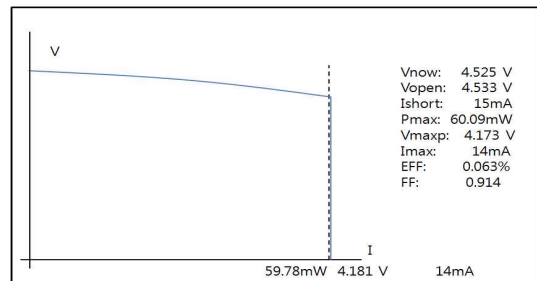


그림 6. 실험에 따른 V-I 특성곡선
Fig. 6. Experimental result of the V-I characteristics curve

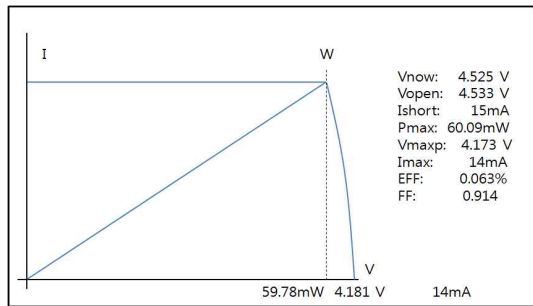


그림 7. 실험에 따른 P-V-I 특성곡선
Fig. 7. Experiment result of P-V-I characteristics curve

제안된 집광형 태양전지모듈의 I-V 특성을 분석한 결과 FF가 0.914[%]로 매우 높게 나왔다. 특히, 전류 특성에서 단락전류와 개방전압이 거의 일치하는 특성을 보였으며 FF이 높다는 것은 에너지변환효율이 높은 태양전지모듈특성으로 해석될 수 있다. 기존의 실리콘 태양전지의 경우 일반적으로 FF가 0.8정도인 것을 감안할 때 빛의 반사가 거의 발생하지 않고 높은 흡수율을 갖는 것을 확인할 수 있다.

시스템 성능분석은 일정기간동안 태양전지의 발전 출력특성을 분석하는 방법으로 분석 기간 동안의 발전전력량의 산출, 변환효율 등을 기상조건의 변화와 이에 따른 영향을 분석함으로써 시스템효율에 직접적으로 영향을 미치는 팩터를 분석하여 설계상에서 이를 보완하여 성능의 업그레이드를 이루고자 하는 분석방법이다. 그림 8은 실험을 위한 환경조건, 일사량의 1일 변화량을 나타낸다.

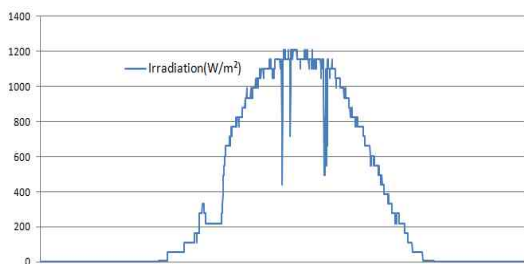


그림 8. 실험을 위한 환경변수(일사량)
Fig. 8. Environment parameter(Irradiation) for the experiment

그림 9는 기존의 구형렌즈를 이용한 집광형 태양전

지모듈의 발전특성을 나타낸다. 피크전력이 커팅되는 현상은 포컬 에어리어의 미스매칭에서 비롯됨을 확인할 수 있다. 이는 고정된 형태의 집광형 태양전지에서 나타나는 일반적인 현상으로 높은 성능의 태양위치 추적기가 사용되어야만 하는 조건을 확인할 수 있다.

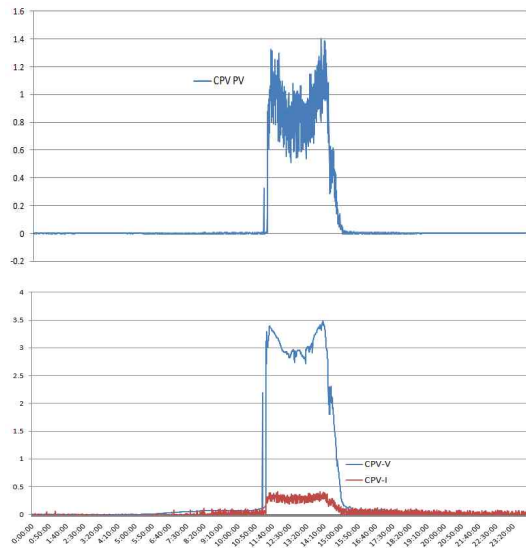


그림 9. 반사판이 없는 구형렌즈를 적용한 집광형 태양전지모듈의 발전특성
Fig. 9. Applied spherical lens CPV module power generation characteristics without reflector

그림 10은 반사판이 적용된 집광형 태양전지모듈의 발전특성을 나타낸다. 반사판을 적용했을 때 피크전력이 순조롭게 발전되는 현상을 확인할 수 있으며 이는 구형렌즈의 미스매칭을 보정해주는 효과로 확인할 수 있다. 특히, 렌즈 직경 크기와 동일하게 셀을 병렬연결시켜 경사각의 변동을 보정한 설계와 반사판을 통한 흡수율을 높이는 설계가 그림과 같은 최대 전력을 생성하는 주요한 요인으로 분석된다. 그리고 출력특성에서 보는 바와 같이 넓은 시간대역에서, 즉, 저일사강도에서도 광에너지를 충분히 흡수하여 실리콘 태양전지모듈의 넓은 면적에서 발전특성과 유사한 구조를 가지므로 추적기가 없는 구조에서 적용가능성을 확립하였다. 이는 동일 규격의 반사판이 없는 구조와 비교하여 볼 때, 발전량을 면적으로 계산하면 상대 발전량 면적은 70,257[mm²]로 약 4[W]의 발전량이 생성되었고,

반사판을 갖는 집광형 태양전지모듈의 상대 발전량의 면적은 59,261[mm²]로 약 3.37[W]의 발전량이 생성되었다. 실제 가용된 셀의 면적은 64[mm²]와 40[mm²]임을 각각 감안할 때, 발전량의 차이는 26[%] 더욱 높은 발전량을 나타냈다. 또한 출력된 발전특성으로 볼 때, 저일사량 시간대에도 고정형 실리콘 태양전지모듈의 발전특성과 같이 발전이 이루어짐을 확인 할 수 있다.

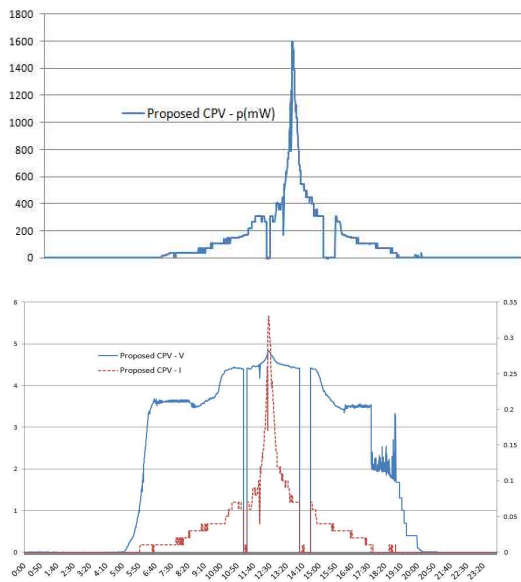


그림 10. 반사판을 갖는 구형렌즈를 적용한 집광형 태양전지모듈의 발전특성
Fig. 10. Applied spherical lens CPV module power generation characteristics with reflector

반사판 적용 구형렌즈를 이용한 집광형 태양전지모듈의 발전특성을 분석한 결과 포컬 에어리어의 보정 기능과 더불어 주변의 반사광이나 산란광을 집광하는 효과까지 확인할 수 있으며 이는 높은 충전율로 에너지의 활용도가 매우 높게 나타났다. 또한 방위각의 변동을 보정한 셀의 병렬연결의 배치에 따라 추적기 없는 고정형 집광형 태양전지 모듈의 활용을 위한 타당성이 검증되었다.

4. 결 론

집광형태양광발전시스템은 기존에 태양광발전시스

템의 방식과 달리 높은 집적도와 고효율 에너지원이라는 장점을 갖춘 시스템이다. 집광형 태양광발전시스템의 셀은 이미 수십 년간 인공위성의 전원으로 사용되어 신뢰성이 입증되었고 유리, 플라스틱, 알루미늄과 같은 부재료들 역시 대량생산의 용이함과 제품의 높은 신뢰성 및 생산성이 입증되어 전력플랜트 분야에 적용될 때 경쟁력을 갖출 것으로 예측된다. 그러나 제한된 외기조건과 추적기와 같은 BOS의 절대적인 지원이 필요한 특성을 가지고 있어 이에 대한 극복방안이 다양하게 제안되어야 한다.

본 연구에서는 반사판 적용 구형렌즈를 이용한 집광형태양광발전 모듈의 성능을 분석한 결과 경사각보정 기능이 확보된 결과로 26[%] 이상의 발전효율을 확인할 수 있었다. 또한, 태양의 위치변동에 따른 구형렌즈의 포컬 영역의 불일치를 화합물반도체 태양전지의 병렬연결을 통해 보상하는 설계를 통해 추적기 없는 멀티접합 화합물반도체 태양전지를 설계하였고 이를 이용한 태양광발전 시스템의 구현함으로써 추적기 없는 새로운 집광형 태양전지모듈의 새로운 모델을 제시하였다. 또한 그동안 문제시되었던 산란일사량의 확보와 셀 어레이의 구조개선의 문제를 극복하였다. 그러나 부피가 커지고 반사판의 성능확보라는 과제와 더불어 발전시간을 늘리고 성능을 향상시키기 위해서는 고굴절률 렌즈 소재가 필요하다는 결과를 확인하였다.

향후에 실증연구를 통해 국내 환경에서 실리콘 태양전지와 성능비교를 통해 상업화가능성에 대한 타당성을 검토하고자 한다.

References

- [1] 소정훈, 최주엽, 유권중, 정영석, 최재호, “3(kW)급 계통 연계형 태양광발전시스템의 성능특성 비교분석에 관한 연구”, 한국태양에너지학회, Vol. 24, No. 2, 2004.
- [2] 한원석, 김현수, 최병석, 오대근, “차세대 고효율 태양전지 기술동향”, 제 22권, 5호, 전자통신동향분석, pp. 86-94, 2007.
- [3] 정병호, 김남오, 이강연, “구형렌즈를 적용한 CPV모듈 발전특성 분석에 관한 연구”, 대한전기학회, 59P-3-9, pp. 293-297, 2010. 9.
- [4] 강은철, 아메드 나비드, 김용환, 조일식, 이의준, “고집광 PV 모듈 성능비교 연구”, 한국태양에너지학회 2006년도

준계 학술대회논문집, pp. 263-269, 2006.

- [5] 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.
- [6] Frank Dimorth and Saeah Kurtz, "High-efficiency Multijunction Solar Cells," MRS BULLETIN, Vol.32, Mar. pp.230-235, 2007.
- [7] A. W. Bett et al "FLATCON/TM and FLASHCON/TM: Concepts for high concentration PV", 19th European PVSEC, pp. 2488-2491, 2004.
- [8] R. R. King et al., Appl. Phys. Lett. 90, p. 183516, 2007.
- [9] A.W. Bett1, et. al "HIGH-CONCENTRATION PV USING III-V SOLAR CELLS" , Presented at the 2006 IEEE 4th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, pp. 7-12, 2006.
- [10] C. Baur et al "Triple-junction III-V based concentrator solar cells: perspectives and challenges", J. Sol Eng Engineering, pp. accepted for publication, 2006.

◇ 저자소개 ◇



이강연 (李康淵)

1970년 3월 2일생. 2005년 조선대학교 대학원 전기공학과 졸업(박사). 2006년~현재 조선대학교 전기공학과 겸임교수.



정병호 (鄭炳湖)

1971년 5월 28일생. 2006년 조선대학교 대학원 전기공학과 졸업(박사). 2006~2009년 (주)기영미다스 선임연구원. 2009년~현재 남부대학교 전임강사.



김효진 (金孝鎭)

1968년 6월 4일생. 2001년 광운대 물리학과 졸업(박사). 2001~2003년 호카이도 대학교 양자전자 집적연구센터 박사 후 연구원. 2003년~현재 광기술원 책임 연구원.