

반사판을 이용한 저집속 집광형 태양광 모듈 제작 및 평가

정혜정*, 이영우, 주성민, 이호재, 부성재**

Fabrication and Evaluation of Low Concentrator Photovoltaic Modules with Aluminium Reflectors

Hyejeong Jeong*, Young-Woo Lee, Seongmin Ju, Ho-Jae Lee and Seongjae Boo**

Abstract

A low concentrating (< 5X) photovoltaic module with aluminum reflectors is fabricated and evaluated which is designed to reduce the affection of the high temperature to the solar cell modules preventing the efficiency lowering. As results, the output power is increased of 1.97X from the concentrating photovoltaic module which is designed with the concentrating ratio of 2.25X and to control the module temperature cooling the module by air circulation. Also, the effect of the concentrating module with aluminum reflectors on the conventional PV module is investigated at the field. The result shows the increase of the output power more than about 20% and the improvement of the module efficiency of 1.4X in spite of the increase of average module temperature.

Key words

Concentrator(집광장치), Photovoltaic module(태양광 모듈), Aluminium reflector(반사판), PV module design(태양광 모듈 설계), Performance evaluation(실증연구)

(접수일 2008. 11. 6, 수정일 2008. 12. 9, 게재확정일 2008. 12. 11)

* 한국생산기술연구원

■ E-mail : jeong124@kitech.re.kr ■ Tel : (062)600-6162 ■ Fax : (062)600-6179

** 한국생산기술연구원

■ E-mail : sboo@kitech.re.kr ■ Tel : (062)600-6160 ■ Fax : (062)600-6179

1. 서론

태양광 발전 기술은 신재생에너지 증장기적 포텐셜이 가장 높고 급성장중인 매우 유망한 분야로서, 저가격화를 위해 다양한 태양전지의 고효율화가 추진되고 있다.

한편 모듈 기술과 관련해서는 모듈 효율의 증가를 위해 렌즈나 반사판등을 이용한 집광 시스템 개발이 활발하게 진행

되고 있으며, 집광장치는 일반적으로 렌즈를 사용하거나 고집속비의 광학장치를 이용하여 태양 추적형으로 설계하여 고집속화를 추구하고 있다.

그러나 집속비에 비례하여 열로 소산되는 에너지 밀도가 증가하므로, 고집속에 따른 태양전지 온도상승에 의한 태양전지 효율 저하를 방지하기 위해 집광장치의 냉각에 유의해야 한다. 또한 현재 전체 시장의 90% 이상을 점유하고 있는

결정계 Si 태양전지는 직렬저항 증가로 인한 집속에 한계가 있다. 단결정 태양전지의 경우 직렬저항으로 인한 출력의 소산은 집속비의 제곱에 비례한다.⁽¹⁾

따라서 본 연구에서는 이러한 여러 가지 제약 조건을 피하여, 저가격의 반사형 광학장치를 이용한 경제적인 저집속형 (< 5X) 집광형 태양광 모듈 시스템 모듈을 설계, 제작하고 그 구조에 대한 분석을 수행 하였다.

2. 집광형 태양광 모듈 시스템 제작

2.1 집광장치

본 연구의 집광장치는 최대의 집속비를 제공하는 CPC (Compound Parabolic Concentrator) 형태의 반사형 광학 장치로서, 단면 알루미늄 반사판을 이용하여 태양전지 표면에 실질적인 균일한 에너지 분포를 이루도록 설계하였다.⁽²⁾

집광 모듈은 곡면으로 된 알루미늄 판을 반사판으로 이용하였으며, 알루미늄의 탄성에 의한 복원력 때문에 금형 방식을 사용하지 않고 복원되는 시점을 고려하여 rolling 방식으로 제작하고, 시간경과에 따른 형상 변형을 방지하기 위하여, 지지대를 활용하여 반사판과 지지대, 지지대판을 결합시켜 이를 보완하였다.

Fig. 1에 알루미늄 반사판의 구조와 반사판, 지지대, 지지대판이 고정되어 하나의 집광장치로 구성된 line형 집광장치를 나타내었다.

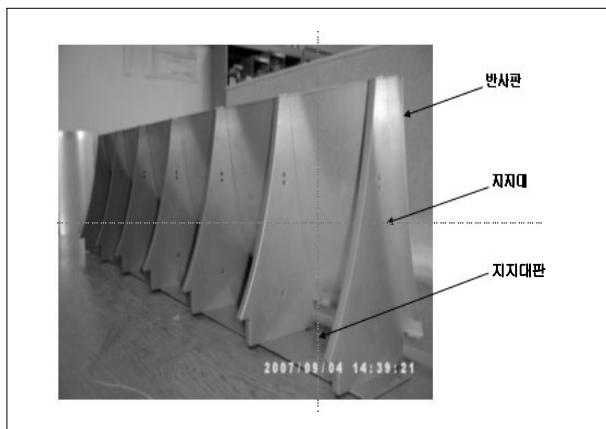


Fig. 1 Line type concentrator with aluminium reflector.

2.2 태양광 모듈

태양광 모듈은 SunPower사의 고효율 단결정 후면 전극 태양전지를 사용하였으며, line형 집광장치와 결합하여 사용하기 위하여, 8개의 셀을 직렬로 연결하여 제작 하였다(Fig. 2).

이 태양전지는 입사광의 양을 줄이는 전면의 금속전극부분을 제거한 후면 전극구조로서 변환효율은 20.66%/cell 이며 (Table 1), 8개의 셀로 구성된 평판형 모듈(string module)의 특성은 Table 2와 같다.

2.3 태양광 집광 모듈

집광형 태양광 모듈은 저가인 반사형 광학 집광장치와 line type의 평판형 태양광 모듈을 각각 지지대에 결합하여 제작 하였다.

Fig. 3에 집광형 태양광 모듈 구조를 나타내었다. 그림의

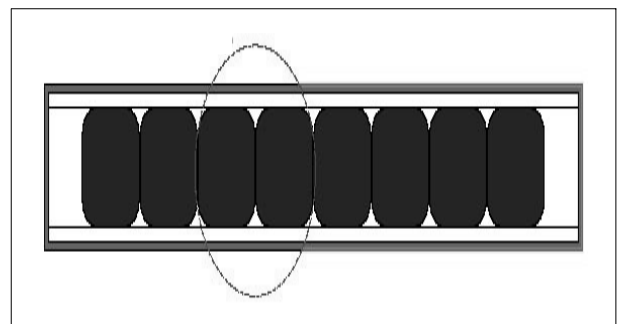


Fig. 2 Photovoltaic string module.

Table 1. Properties of the used solar cell

| | |
|-----------|-----------|
| size (mm) | 125 x 125 |
| Voc (V) | 0,62 |
| Isc (I) | 5,84 |
| Pmax (W) | 3,07 |
| F,F (%) | 79,8 |
| Eff (%) | 20,66 |

Table 2. Properties of the string module

| | |
|-----------|---------------------|
| size (mm) | 1170 x 175 (8 cell) |
| Voc (V) | 5,3 |
| Isc (I) | 5,84 |
| Pmax (W) | 21,3 |

(STC AM1.5, 1KW/m², 25°C)

A와 B는 각각 집광장치와 모듈 지지대 및 태양광 모듈 프레임과 모듈 지지대의 결합점을 나타낸다.

Fig. 4에 세부 설계 내용을 도시 하였으며, 전체 집광형 태양광 모듈은 모듈 지지대로 부터 집광장치 및 태양광 모듈 프레임이 약간의 공간을 두고 있다. 수직방향의 공간 a와 수평

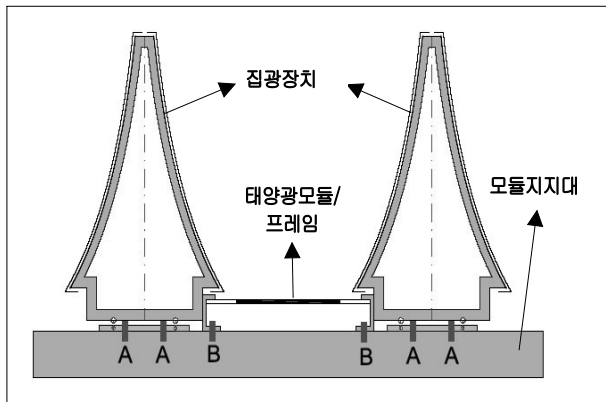


Fig. 3 Concentrator photovoltaic module.

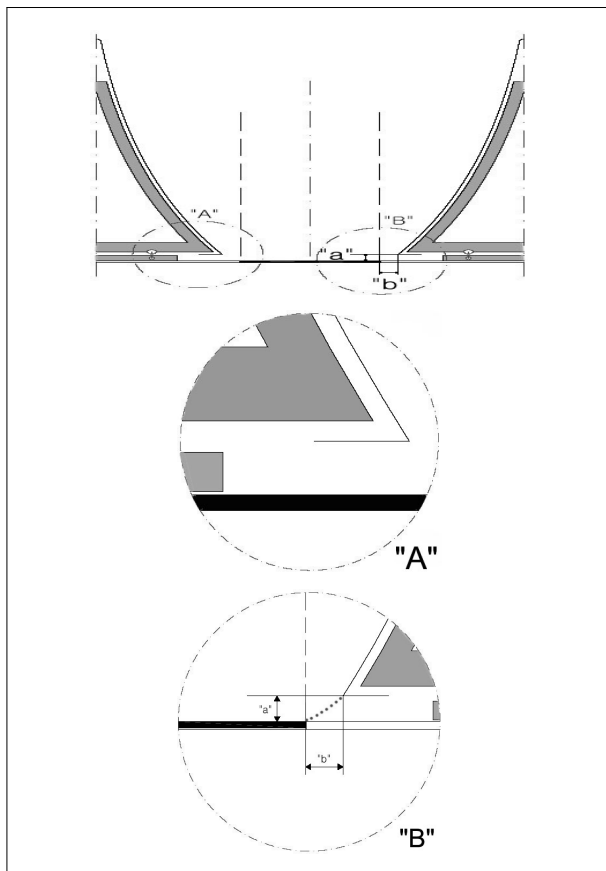


Fig. 4 Concentrator photovoltaic module (detail).

방향의 공간 b는 반사판 곡률 설계구조에 영향을 미치지 않도록 설계하였다.

이러한 반사판과 모듈 사이의 여유 공간은 반사판의 그림자가 태양전지를 가릴 수 있는 시공오차를 예방하고, 빗물 및 오염물질 등의 발전효율 저하요인 제거에도 용이하며, 공기 순환을 통한 태양광 모듈의 냉각 기능까지 수행할 수 있다.⁽³⁾

2.4 태양광 집광 시스템

집광형 PV시스템은 단면 알루미늄 반사판, 지지대, 지지대 판이 고정되어 하나의 집광장치로 구성된 line형 집광장치(Fig. 1)와 8개의 셀을 직렬로 연결하여 제작한 태양광모듈(Fig. 2)(string module)을 결합한 구조로서, 전체 집광형 PV시스템은 54개의 line형 집광장치와 51개의 평판형 태양광 모듈로 구성되어 시스템의 전체 출력은 2.1KW로 설계 되었다(Fig. 5).

3. 성능 측정 결과

3.1 태양광 집광 모듈

평판형 모듈의 특성은 8개의 셀로 구성된 string 모듈 4개를 연결하여 측정하였다(Fig. 6).

집광형 모듈의 경우 Fig. 6과 같이 string 모듈 4개에 line형 집광장치를 결합하여 측정하였다(Fig. 7). 적용된 반사판은 2.25X로 설계하였으나, 제작결과 2.237X의 기하 집속비를 확보하였다.

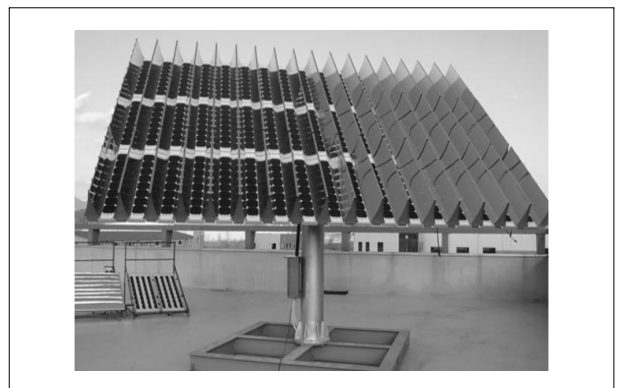


Fig. 5 Concentrator photovoltaic system.

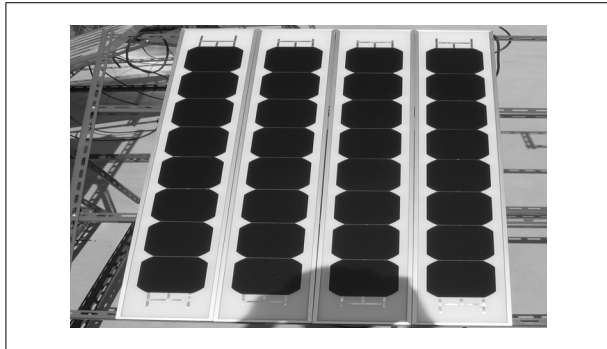


Fig. 6 String photovoltaic module.

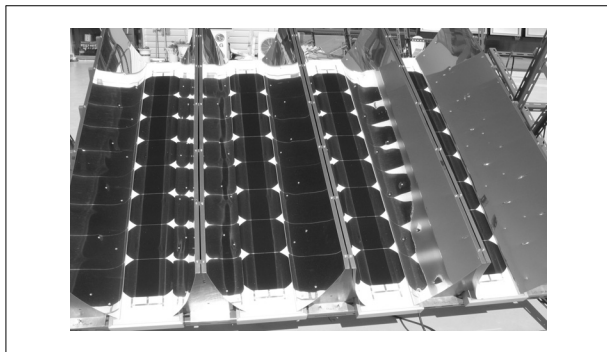


Fig. 7 Concentrator photovoltaic module.

Table 3. Properties of photovoltaic module

| | string module | concentrator module |
|--------------------------|---------------|---------------------|
| number of string modules | 4 | 4 |
| Voc (V) | 21,2 | 21,8 |
| Isc (I) | 5,83 | 11,89 |
| Pmax (W) | 88,6 | 174,6 |
| Vmp (V) | 16,9 | 16,5 |
| Imp (I) | 5,25 | 10,59 |

(STC AM1.5, 1kW/m², 25°C)

평판형 모듈의 Pmax는 8,86W, 집광형 모듈의 Pmax는 174,6W 로서 반사판 적용 결과로 1,97X의 성능 개선을 확인 하였다(Table 3).

3.2 태양광 집광 시스템

반사판을 이용한 집광형 PV시스템의 성능을 평가하기 위하여, 일사량과 모듈온도 변화에 따른 출력변화와 효율변화를 평판형 모듈과 집광형 모듈에 대해서 각각 측정하고 비교하였다.

Fig. 8~10에 일사량과 모듈온도변화에 따른 출력변화와

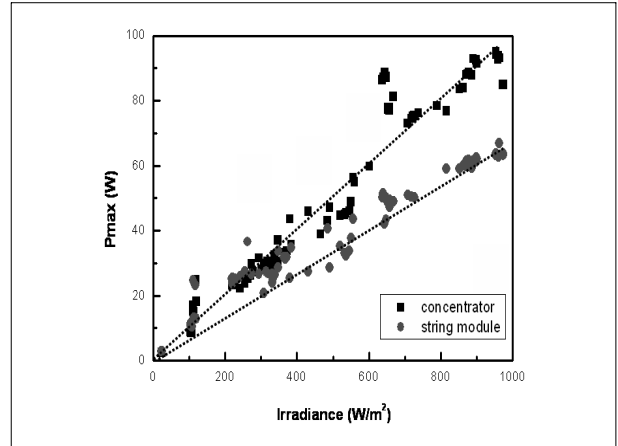


Fig. 8 Output power (Pmax) change of the modules concerned with the increase of the light irradiance.

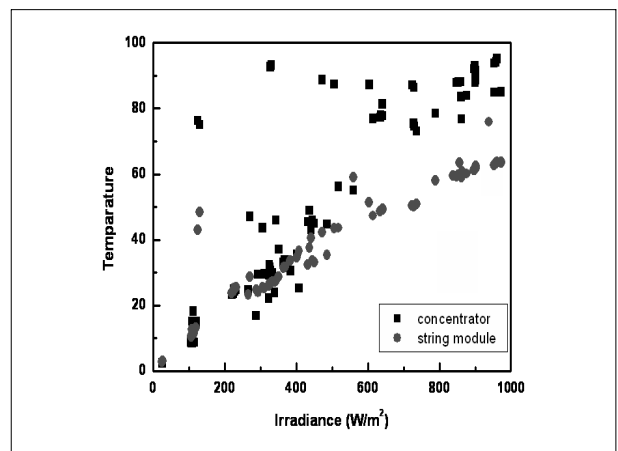


Fig. 9 Relation between the light irradiance and the module temperature.

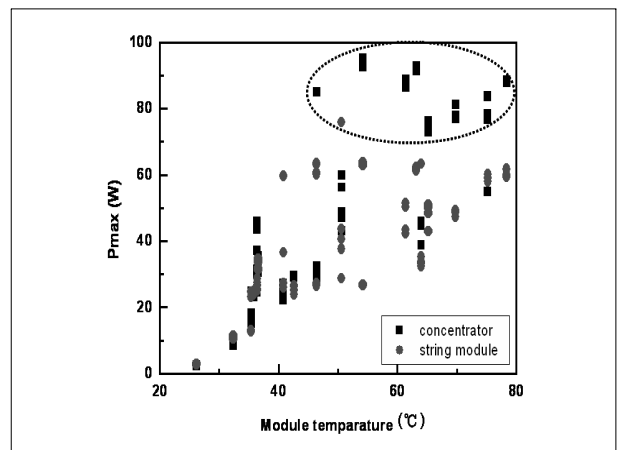


Fig. 10 Dependence of output power (Pmax) on the module temperature.

효율변화를 나타내었다.

일사량 증가에 따라 집광형 모듈의 출력증가율이 평판형 모듈보다 훨씬 높았으며, 일사량에 비례하여 증가하였고, 특히 약 $550\text{W}/\text{m}^2$ 이상의 일사량에서는 약 20% 이상의 출력 차이를 보였다(Fig. 8).

일사량 증가에 따라 실증 모듈의 온도 변화를 측정하였다. 평판형의 경우 모듈온도는 60°C 를 넘지 않았으나, 집광형 모듈의 경우 집속에 의한 온도 증가로 약 90°C 정도 까지 상승하였다(Fig. 9).

모듈온도에 따른 출력변화를 살펴보면 동일한 낮은 모듈온도에서는 평판형 모듈과 집광형 모듈 모두 비슷한 출력을 보이고 있으며, 고온에서는 집광형 모듈의 출력이 좀 더 나은 것으로 나타났다. 본 실증 집광형 모듈은 모듈온도의 상승에도 불구하고, 일사량이 증가함에 따라 70°C 에서 평판형 모듈의 최고출력 수준인 80W 정도의 우수한 출력을 나타내었다(Fig. 10).

일사강도가 증가함에 따라 발전능력이 일정하게 증가하는 특성을 나타내었지만 집광형 모듈의 경우 일사량이 $600\sim 700\text{W}/\text{m}^2$ 일때 최대 발전 성능을 나타내었다.

Field test 기간(6월~8월, 3개월) 동안의 평판형 모듈의 평균온도는 45.51°C 였고, 집광형 모듈의 평균온도는 49.87°C 로서, 약 4°C 정도 차이가 있었으나, 집광형 모듈이 약 1.4배의 출력 증가를 나타내었다.

4. 결론

본 연구에서는 알루미늄 반사판을 이용한 저집속 (< 5X) 집광형 태양광 모듈을 설계 및 제작하여 성능 평가를 실시하

였다. 집광형 태양광 모듈은 2.25X의 집속비로 설계하였으며, 또한 태양광 집속에 의한 태양전지 모듈의 온도 상승을 공기순환을 통한 냉각이 가능하도록 하였다.

제작된 집광형 태양광 모듈의 특성을 STC 조건($1000\text{W}/\text{m}^2$, 25°C)에서 측정한 결과 1.97배의 출력 증가를 확인하였다.

반사판을 이용한 집광형 PV시스템의 성능향상을 평가하기 위하여, 일사량과 모듈온도 변화에 따른 출력변화와 효율변화를 평판형 모듈과 집광형 모듈 각각에 대해서 필드에서 측정하고 비교한 결과, 반사판을 사용 집속한 모듈이 약 20% 이상의 출력 증가를 보였으며, 모듈온도 70°C 에서도 집광형 모듈은 평판형 모듈의 최고출력 수준인 80W 정도의 우수한 특성을 나타내었다.

또한 설계된 집광장치와 모듈간의 여유 공간이 공기순환으로 인하여 모듈의 온도 상승을 저하하여 2.25X의 집속에서의 모듈온도 상승을 평균 약 4°C 정도로 억제함으로써, 집속에 의한 출력상승 효과만을 강조 할 수 있었다.

결론적으로 실증연구를 통해 모듈의 평균 온도 상승에도 불구하고 1.4 배의 발전효율 증가를 확인하였다.

References

- [1] 황우성 외, 2006, "A Concentrating PV Module Design", 태양에너지학회 춘계학술발표대회 논문집, Vol. 4, pp. 288-293.
- [2] 황우성, 특허, 2007, "고집속, 수광밀도 균일화 복합 포물면", 등록번호 : 10-0696283-0000.
- [3] 이영우 외, 특허, 2008, "반사판으로부터 반사된 태양광을 전기에너지로 변환시키는 태양광 발전 시스템", 출원번호 : 10-2008-0020168.

정혜정



2001년 조선대학교 고분자공학과 공학사
2006년 동신대학교 재료공학과 공학석사

현재 한국생산기술연구원 호남권기술지원본부 연구원
(E-mail : jeong124@kitech.re.kr)

이영우



2000년 조선대학교 토목공학과 공학사

현재 프로텍(주) 팀장
(E-mail : main@optonics.biz)

주성민



2000년 국립경상대학교 재료공학부 공학사
2003년 국립경상대학교 세라믹공학과 공학석사

현재 엑사토 대표 겸 광응용연구소 연구소장
(E-mail : sju@exatto.co.kr)

이호재



1992년 고려대학교 기계공학과 공학사
1995년 한국과학기술원 정밀공학과 공학석사
1999년 한국과학기술원 정밀공학과 공학박사

현재 한국생산기술연구원 호남권기술지원본부 수석연구원
(E-mail : lee2003@kitech.re.kr)

부성재



1991년 독일 Christian-Albrecht 대학교 물리학
학사
1996년 독일 Christian-Albrecht 대학교 물리학
학사
2002년 독일 Bw. M nchen 대학교 전자공학과
공학박사

현재 한국생산기술연구원 호남권기술지원본부 수석연구원
(E-mail : sb00@kitech.re.kr)