Current Photovoltaic Research 5(1) 33-37 (2017)
DOI:https://doi.org/10.21218/CPR.2017.5.1.033

pISSN 2288-3274
eISSN 2508-125X

장기 Outdoor Test를 통한 CPV와 PV 모듈의 발전량 비교분석

김민수 · 이유리 · 조민제 · 오수영* · 정재학*
영남대학교 화학공학부, 경산시, 38541

A study of Comparative Analysis of CPV and PV Module through Long-term Outdoor Testing

Minsu Kim · Yuri Lee · Minje Cho · Soo Young Oh* · Jae Hak Jung*
School of Chemical Engineering, Yeungnam University, 280 Daehak-Ro, Gyeongsan, Gyeongbuk 38541, Republic of Korea

ABSTRACT: Today, photovoltaic power generation mostly uses Si crystalline solar cell modules. The most vulnerable part of the Si solar cell module is that the power generation decreases due to the temperature rise. But, it is widely used because of low installation cost. In the solar market, where Si crystalline solar cell modules are widely used. The CPV (Concentrated Photovoltaic) module appeared in the solar market. The CPV module reduces the manufacturing cost of the solar cell by using non-Si in the solar cell. Also, there is an advantage that a rise in temperature does not cause a drop in power generation. But this requires high technology to install and has a disadvantage that the initial installation cost is expensive compared to normal Si solar cell module. So that we built a testbed to see these characteristics. The testbed was used to measure the amount of power generation in a long-term outdoor environment and compared with the general Si solar cell module.

Key words: Concentrated Photovoltaic, Photovoltaic, Solar Cell, Power generation, Reliable prediction,

1. 서 론

태양광 산업은 계속 발전을 하고 있다. 특히나 비용절감을 위해서 태양광의 발전량 대비 설치비 $/W의 비용을 낮추기 위해서 많은 연구가 진행이 되고 있다. 관련된 연구에는 태양광 모듈의 내구성 향상, 발전량 증가, 설치비 감소 등이 있다. 하지만 태양광 발전의 대부분은 Si계열의 태양전지 모듈이 사용되고 있다.

대부분의 태양광 발전소가 Si계열의 태양전지 모듈을 사용하지만 여기에는 크게 두 가지의 단점들을 내포하고 있다. 첫 번째, 재활용이 어렵다는 것이다. 일반적인 태양광 모듈은 Fig. 1과 같이 구성되고 있다. 여기서 EVA는 Galss와 Backsheet가 잘 접착이 되어 있도록 하는 역항을 한다.

또한 Backsheet의 경우 시간이 지날수록 재활용이 불가능한 소재이며 내부의 Cell의 경우 Glass와 backsheet분리 과정에서 파괴되어진다. 또한 세부 소재인 Bus-bar 도 부식이나 기타 여러 가지 영향으로 인해서 재사용이 용이하지 않다. 따라서 재활용이 가장 쉽게 가능한 것은 전면 Glass 정도이다. 두 번째는 설치용량과 발전량의 차이이다. 만약 1MW의 발전소를 건설하였을 경우 실제 발전되는 발전량은 설치용량 기준보다 낮게 발전이 된다. 이는 Si계열의 태양전지 셀이 온도의 상승으로 인해서 발전량 저하를 나타내는 것이 가장 큰 원인이다. Si계열의 태양전지 모듈이 발전을 할 경우 일반적으로 모듈의 온도는 대기온도에 비해 20~30°C정도 높게 나타난다. 실제 300W급의 모듈이 온도에 대해서 출력 변화를 Table 1에 나타내었다.

그 결과 일사량 1,000 W/m^{2}에서 온도가 25°C만 높게 나타나도 발전량의 약 9%정도 낮게 발전이 된다는 것이다. 실제로 옥외에서는 대기의 온도에 비해서 20~30°C 정도 모듈의 온도가 높게 나타난다. 이를 감안할 경우 설치용량 기준인 일사량 1,000 W/m^{2}일때 발전량이 10%내외로 떨어진다는 것을 나타낸다.

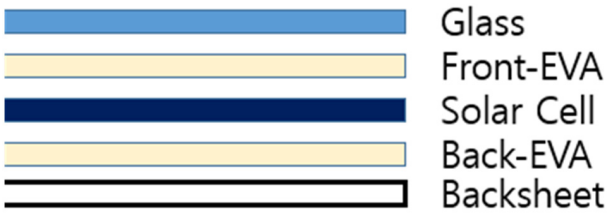

Fig. 1. Conventional photovoltaic module Structure

*Corresponding author: syoh@yu.ac.kr, jhjung@ynu.ac.kr
Received December, 27, 2016; Revised December, 28, 2016; Accepted January, 2, 2017

ⓒ 2017 by Korea Photovoltaic Society
This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0)
which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Table 1. Power generation by temperature (1 sun)

Temperature (℃)	Power generation (W)	Decreasing rate (%)
25	303.91	0
30	298.40	1.8
35	292.91	3.6
40	287.44	5.4
45	281.99	7.2
50	276.55	9.0
55	271.14	10.8

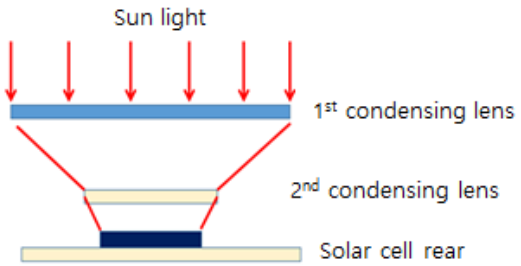

Fig. 2. CPV module structure

이러한 단점을 해결하는 것이 CPV모듈이다. CPV 모듈의 경우는 일반 태양전지 모듈과는 다른 구조를 가지고 있다.

일반 모듈과 다른 구조로 인해서 일정기간 모듈을 사용한 후 대부분의 부품들이 재사용이 가능하다. 이를 통해서 실제 일반 모듈에 비해 높은 가격을 형성하는 것을 완화할 수 있는 부분이다. 두 번째로 실제 설치용량 대비 발전량이 충분히 높게 나타나는 것이다. 이는 CPV에 사용되는 태양전지 Cell이 Si계열이 아닌 비Si계열을 사용함으로써 온도의 상승에 발전량이 어느 정도 유지되거나 높게 나타난다는 것이다.

이 두 가지의 원인으로 인해서 CPV 모듈의 발전이 얼마나 이득이 있을지에 대해서 본 연구에서 실제 Test-bed를 구축하여 비교 분석을 해보도록 하였다. 일반 PV 모듈과 CPV 모듈의 어떤 차이를 보이는지를 1년간의 장기 테스트를 통해서 각 계절별로 비교 분석을 하였다.

2. 본 론

2.1 Test-bed 구축

Test-bed를 설치는 추적형 system을 기준으로 이루어 졌다. CPV 모듈의 특성상 일반 고정형 system에서는 발전이 불가능하다. 그래서 추적형 system을 구성하여 CPV 모듈과 일반 PV 모듈을 동시에 설치를 하여 비교를 진행하도록 하였다.

Tracker에는 DNI, GNI센서를 설치하고 그 옆에 풍량과 풍속계를 설치하였다. 추적방법은 태양의 위치를 확인하여 추적하는 방법과 흐린 날이나 비가 올 경우에는 태양의 위치를 예측하여 추적하는 두가지의 방법으로 추적하도록 설계가 되었다.

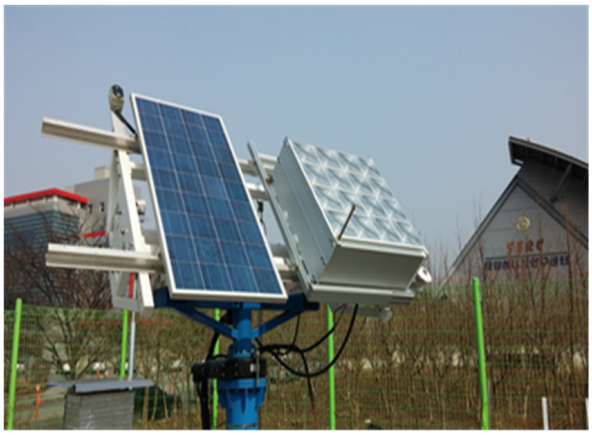

Fig. 3. CPV & C-Si PV module installation image

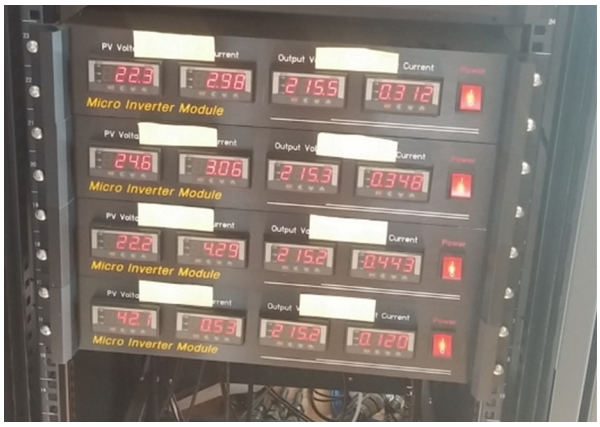

Fig. 4. Power conditioning system (Micro inverter)

발전량 측정에는 마이크로인버터를 사용하였다. 물론 여러 논문에 MPPT를 적용하여 최고의 발전량을 추적하는 경우와 I-V커브를 통한 발전량 측정이 있으나 일반적으로 발전에는 인버터를 사용한다는 가정하여 상용 마이크로 인버터를 적용하여 각각의 발전량을 측정하도록 하였다. 이로서 실제 발전 system 상에서 발전되는 양을 측정할 수 있을 것으로 판단하였다.

설치된 모듈은 CPV 모듈의 경우 A사에서 개발한 100 W 모듈이다. 비교를 위한 모듈은 B사의 상용모듈이 사용되었다. 모듈의 효율은 약 15%정도이며 단결정 셀을 사용한 모듈이다. 일반 모듈의 경우는 추적형 외에도 고정형에도 동시에 설치를 하여 일반 모듈이 고정형과 추적형에서 실제 1년간 발전량의 차이도 동시에 확인을 하도록 하였다.

2.2 데이터 수집

우선 데이터는 계절별로 분리를 하여 정리를 하였다. 3~5월, 6~8월, 9~11월, 12월~2월로 4계절로 분리를 하였다. 우선 DNI(직달일사량)와 GNI(전일사량)의 비교를 하였다.

다음과 같이 각 계절별로 정리를 하였을 경우 Table 2와 같은

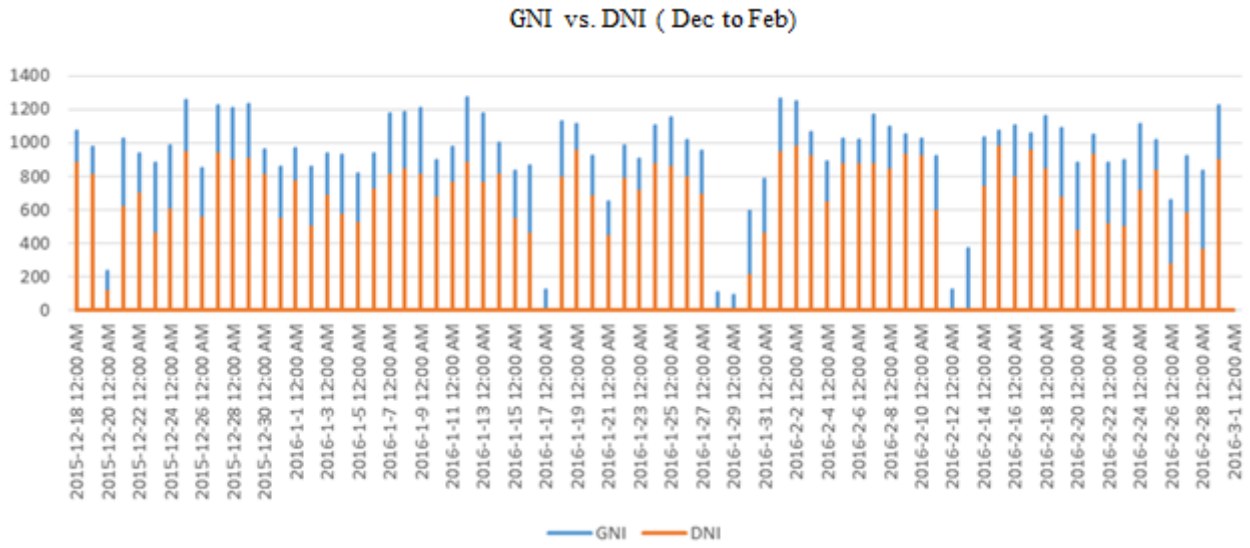

Fig. 5. GNI vs. DNI monitoring data(Dec. ~ Feb.)

Table 2. Annual measurement data of GNI and DNI

Measurement term	GNI(W)	DNI(W)	DNI / GNI
Dec ~ Fed	364504	245916	0.674659
Mar ~ May	527087.5	330917.5	0.627823
Jun ~ Aug	487275	230430.2	0.472896
Sep ~ Nov	339356	177486.2	0.523009

데이터를 실제 측정을 통해서 수집할 수가 있었다.

우선 눈에 띄는 것은 일사량이 가장 좋을 것이라고 판단되는 여름이 타 계절에 비해 높지 않다는 것이다. 오히려 CPV가 발전을 하는데 필요한 일사량 에너지인 DNI의 비율이 낮다는 것을 볼 수 있다. 오히려 겨울이 GNI대비 DNI값이 높다. 이유는 DNI의 경우 태양에너지가 지평면에 도달하는데 방해되는 것이 적은 날일수록 좋은 값을 나타낸다. 대체적으로 수분의 함유량이 많은 여름에는 빛의 난반사로 인해서 DNI의 값이 낮게 나타난다.

이러한 현상은 GNI혹은 DNI의 최고값이 여름이 아닌 봄에 나타나는 것으로도 판단이 가능하다. Fig. 5는 봄과 여름의 청명한날 하루 동안의 실제 GNI값과 DNI값을 비교한 그래프이다.

Fig. 6에서와 같이 여름의 경우 일사량이 매우 높다고 생각할 수 있으나 실제 일사량은 봄과 가을에 더욱 높다는 것을 알 수 있다. 본 데이터는 2015년 12월~2016년 11월까지의 데이터를 누적한 값이다. 2016년의 가을의 경우 조금 일사량이 낮게 분포가 되었나 이전 데이터를 비교했을 경우 대체적으로 봄과 가을에 일사량이 높게 나타나는 것을 알 수 있다.

겨울의 경우 고정형과 추적형상에서의 GNI차이가 많이 나타난다. 이는 정오의 시간대에서 고정형의 경우 30도로 설치가 되어있기 때문에 태양의 고도가 60도정도가 되었을 경우 수직으로 빛을 받아 일사량의 최고점을 나타내어야 하지만 겨울은 대분 정오에 30~40도 정도에서 태양의 고도를 나타낸다. 이로 인해서 설치각에서 받는 에너지의 양이 많이 줄어든 것을 볼 수

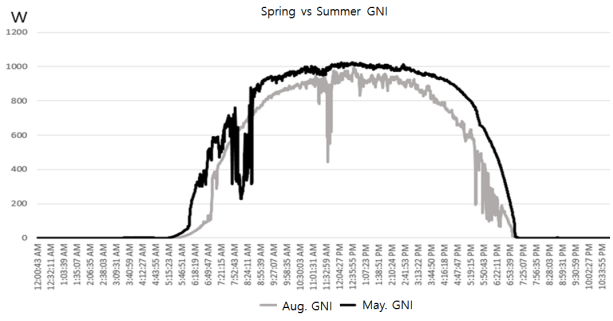

Fig. 6. Spring and summer data comparison

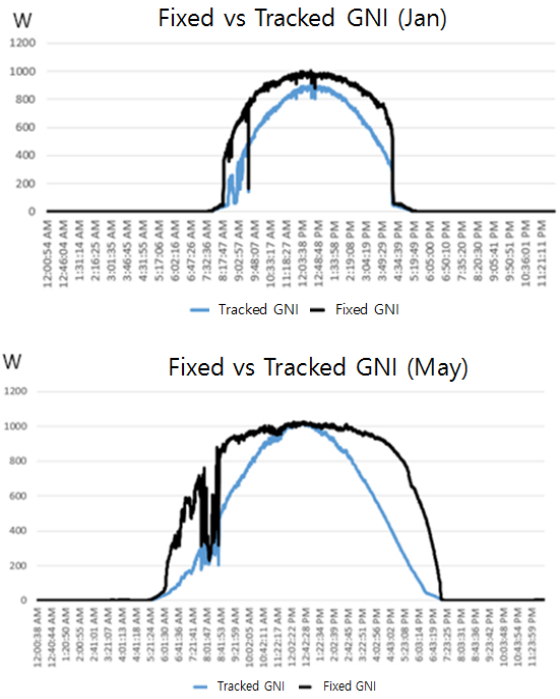

Fig. 7. Seasonal tracking and fixed GNI solar radiation data

Table 3. 1-year power generation comparison (Unit W/m^2)

Measurement term	CPV (W)	PV (W) (Tracked)	PV (W) (Fixed)
Dec ~ Fed	48767.35	47249.23	34070.77
Mar ~ May	58624	60792.31	47900
Jun ~ Aug	49877.28	51954.69	46327.31
Sep ~ Nov	37919.24	39785.47	35589.9

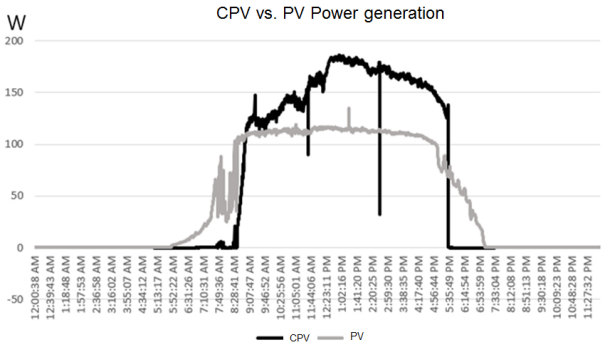

Fig. 8. Compare of CPV and C-Si PV per 1 m^2, clear sky

있다. 데이터 상에서도 차이를 나타내는 것을 볼 수 있다.

2.3 데이터 분석

데이터를 바탕으로 실제 CPV와 PV의 발전량을 측정한 값을 나타내어 보았다.

비교는 실제 각각의 모듈의 면적이 다르기에 동일한 기준인 1m^{2}기준으로 발전량을 환산하여 나타내었다. 동일면적대비 CPV의 모듈이 PV모듈과 비슷한 발전량을 보이는 것을 알 수 있다. Fig. 8을 보면 실제 청명일을 기준으로는 CPV의 발전량이 추적형 PV모듈의 발전량을 1.5배이상 상회하는 것을 볼 수 있다.

하지만 구름이 끼는 흐린날이나 비가오는 날의 경우 일반 PV 모듈은 소규모이지만 발전을 한다. CPV의 경우 DNI가 거의 0이기에 발전량이 0에 가깝게 되어 청명일과는 반대로 흐린날의 경우는 PV모듈이 CPV에 비해 발전량이 많이 나타낸다. 이를 종합하여 1년 평균을 내었을 때 추적형 PV 모듈과 CPV모듈간의 차이가 비슷해지는 것을 볼 수 있다.

3. 결 론

발전량이 CPV와 추적형 PV가 비슷할 경우 초기 투자비가 높은 CPV가 당연히 좋지 못한 결과를 보이는 것이 사실이다. 하지만 설치지역에 따라 차이가 나타날 수 있다. CPV의 경우 대기중의 수증기량이 적어 난반사가 많지 않고 DNI가 높은 사막지역에서 큰 장점을 나타낼 수 있을 것이다. 특히나 사막의 경우는 고온으로 인해서 일반 모듈의 내구성 하락이 심각하게 나타나

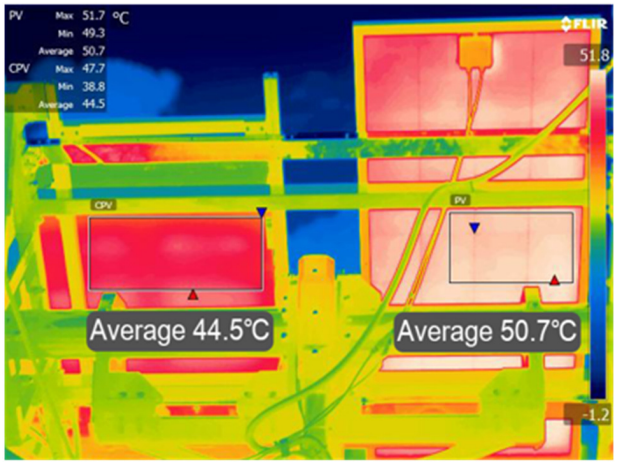

Fig. 9. CPV and C-Si PV module IR image at rear side (summer)

태양광의 진출이 어려운 지역 중의 하나이다. 또한 사막의 경우는 흐린날이나 비가오는 날이 매우적어 CPV 모듈을 이용하면 높은 발전량을 보일 것이며 모듈의 내구성 하락으로 인해서 모듈의 폐기가 아닌 수리 및 재활용이 가능한 부분이 있기 때문에 큰 장점이 될 것이 분명하다.

실제 여름을 기준으로 모듈의 온도를 측정해 본 결과 고집광으로 인해 온도가 높게 나타날 것으로 예측되는 CPV가 일반 PV 모듈에 비해 온도의 분포가 낮은 것을 볼 수 있다. 이는 CPV모듈이 일반 모듈에 비해 집광을 위한 내부 공간이 있고 셀의 뒤편에 발열판의 구성에 따라서 낮아질 수 있기 때문이다. 온도가 낮은 것은 내구성의 측면에서도 일반 모듈에 비해 높을 가능성을 보여주는 부분이다.

또한 CPV 모듈의 경우는 일반 Si 모듈에 비해 발전량 향상에 관하여 연구하여야할 분야가 아직도 많이 남아 있다. 고집광, 방열, 셀의 효율 향상 등을 통해서 내구성 강화와 발전율 상승을 크게 기대할 수 있다.

물론 아직 CPV가 완전하게 단점을 모두 보완한 것은 아니다. 처음 서두에서도 언급을 했지만 일반 모듈에비해 들어가는 부품들이 많다. 이로 인해서 초기 설치비용의 문제가 있다. 특히나 CPV모듈의 경우 추적형 system이 반드시 수반되어야하기에 모듈외에도 설치비용의 상승을 가져오는 부분이 있다. 또한 내부온도의 하락이 장점이나 반대로 단점으로 적용되는 것이 이슬 맺힘 현상이다.

물론 일반 PV모듈에서도 Fig. 10과 같이 이슬 맺힘 현상이 나타난다. 하지만 CPV의 경우 내부의 공기층이 있어 일반 PV에 비해서는 조금더 오래 유지되는 것이 사실이다. 즉 안개가 자주 형성되는 지역에서는 일반 PV에 비해 나쁘다는 것을 의미한다. 하지만 이는 오전의 1시간 남짓 나타나는 차이이다. 물론 CPV 모듈에 따라서 이러한 현상이 나타나는 시간이 다를 수 있다. 그 외에도 강한 풍속을 유지하는 곳에서는 추적형이 일반 고정형에 비해 약한 것도 사실이다.

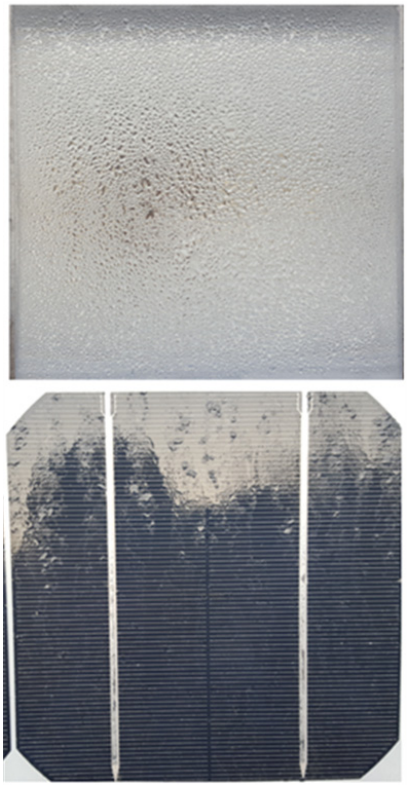

Fig. 10. Dew condensation(Top;CPV, Bottom;C-Si PV)

이러한 부분들은 현재도 계속해서 개선을 하고 있으며 또한 충분히 개선의 여지가 있는 부분들이다. 본 연구에서는 CPV 모듈이 실제 일반 PV모듈에 비해 이론적이 아닌 실제 현장에서 얼마나 발전량이 얼마나 차이가 나는 것인지 특성이 어떻게 다른지 등을 분석하여 보았다. 향후 추적형 시스템과 모듈의 개선 연구가 진행되어야하며 개발된 연구에 대한 테스트도 동시에 계속해서 이루어져야할 것이다.

Acknowledgement

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. 20148520120050)

References

1. U. S. Department of Energy, "2010 Solar Technologies Market Report", November 2011
2. D.L.king, W.E. boyson, J.A.Kratochvil, “Photovoltaic Array Performance Model”, Sandia National Laboratories, 2004.
3. Minsu Kim, “Optimal design for silicon based photovoltaic system”, Master. Thesis, 2006.