

## 반사판을 이용한 태양광발전시스템 실증연구

김용식\*, 강기환\*\*, 심상용\*, 이후락\*, 이진섭\*, 홍진기\*

\*(주)비제이 P&S(yosikim@bjsystem.co.kr), \*\*한국에너지기술연구원(ghkang@kier.re.kr)

### Demonstration Research of Photovoltaic System with Solar Reflectors

Kim, Yong-Sik\*, Kang, Gi-Hwan\*\*, Sim, Sang-Yong\*, Lee, Hoo-Rock\*,  
Lee, Jin-Seob\*, Hong, Jin-Ki\*

\*BJ Power & Solution Co.,Ltd(yosikim@bjsystem.co.kr),  
\*\*Korea Institute of Energy Research (ghkang@kier.re.kr)

#### Abstract

This paper aims at enhancing the electric production efficiency of photovoltaic(PV) system. The electrical power of PV system is proportional to light intensity on a PV module surface. In this paper, we apply two types of systems to enhance power generation efficiency. First of all, concentrating sunlight using specular surface and one-axis tracking system which traces the sun with vertical direction are applied in this project. From this, we analyze the fixed type method and power generation efficiency.

Keywords : 반사판(Solar Reflector), 추적식 시스템(Tracking System), 태양광모듈(Photovoltaic Module), 발전량(Generation Quantity), 발전효율(Generation Efficiency)

#### 1. 서론

지구환경의 오염 및 화석에너지의 고갈은 인류에게 있어서 매우 중요한 문제점으로 부각되고 있다. 인간의 삶의 질이 향상되면서 더 많은 양의 에너지가 소비되었고 석유와 같은 화석연료를 사용함으로써 방출되는

이산화탄소와 같은 유해물질로 인하여 지구 온난화 현상이 가속화 되고 있다.<sup>[1]</sup>

따라서, 인류는 자연환경의 보존과 대체에너지 개발이라는 2가지 지상과제를 동시에 해결하기 위해 다각적인 연구 및 개발이 전개 되고 있으며, 그 중에서도 태양광발전은 현재 전 세계적으로 큰 붐이 일고 있는 분야

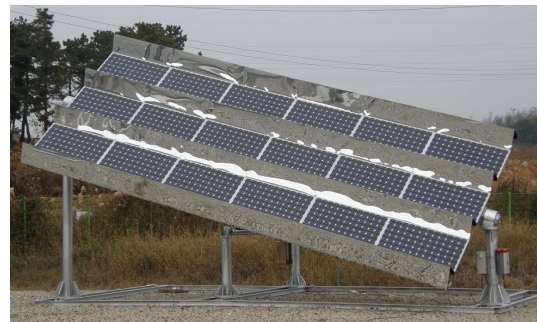
투고일자 : 2009년 01월 13일, 심사일자 : 2009년 01월 18일, 게재확정일자 : 2009년 02월 18일  
교신저자 : 홍진기(hongjinki@bjsystem.co.kr)

로, 매년 큰 폭의 증가추세를 나타내고 있다. 태양광발전시스템의 효율을 높이기 위한 방법으로는 태양전지의 효율을 높이거나 태양전지모듈에 사용되는 재료를 이용하여 높이는 방법, 변환기의 변환효율 및 MPPT 제어를 하여 높이는 방법, 태양이 항상 법선을 이루면서 태양전지모듈에 입사되게 하여 효율을 높이는 방법 등을 이용하고 있다.[2,3]

본 논문에서는 집속형 Tracking 시스템이라 할 수 있는 3kW급 반사판을 이용한 단축형 Tracking 시스템과 고정식 태양광발전시스템을 설치하여 두 시스템의 실제 운전특성을 비교분석하여 집속형 Tracking 시스템의 효율의 우수성을 증명 하고자 하였다.

## 2. 시스템의 구성

그림 1은 실증연구용 반사판을 이용한 단축형 Tracking 시스템과 고정식 태양광발전시스템에 대한 전체 사진을 보여주고 있다.



(a) 반사판을 이용한 단축형 Tracking 시스템



(b) 고정식 태양광발전시스템

그림 1. 실증연구용 태양광발전시스템

### 2.1 태양광발전시스템

시스템에 사용된 PV모듈은 170W 단결정 실리콘 태양전지모듈로서 반사판을 이용한 단축형 Tracking 시스템과 고정식 태양광발전시스템에 각 18장의 태양전지모듈을 이용하여 구성하였다. 또한, 적용된 인버터는 계통연계형 인버터 3kW급으로, 입력의 동작전압은 200~500V이고, 출력은 220V, 60Hz의 AC로 계통과 연계되어 전압과 주파수 및 위상이 동기 되도록 운전된다.

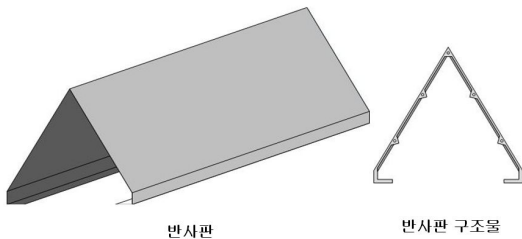
### 2.2 반사판

그림 2는 반사장치의 반사판과 반사판을 고정할 수 있는 구조물로서 Aluminum재질의 반사판에 반사율을 높이고 코팅면을 보호하기 위해 유진체코팅(SiO<sub>2</sub> 코팅)공정을 통하여 반사율과 내구성을 높였다. 그림 3은 반사판의

반사율을 나타낸 그래프로서 5개의 Sample을 측정한 결과 가시광선 380nm~770nm에서의 평균반사율은 97.43%로서 반사판에서 빛의 손실이 거의 발생하지 않고 반사를 하게 된다. 또한 반사판의 설치 용이성과 평판도를 유지하기 위한 반사판고정 구조물은 기계적인 성능과 내열성이 뛰어나고 내충격성, 성형성이 뛰어난 ABS(아크릴, 브티젠, 스틸렌) 열가소성 수지를 이용하여 제작하였다.

일반적으로 입사각과 반사각은 같기 때문에 반사판의 높이를 높이면 한쪽의 반사판에서 반사된 빛이 태양전지모듈 전체에 도달하게 되고 나머지 한쪽의 반사판에서 반사된 빛 또한 태양전지모듈 전체에 도달하기 때문에 두 배의 반사판에 의한 빛의 이득을 얻을 수 있다. 하지만, 이와 같은 방법은 설치면적이 증가하게 되고 풍압 및 외부환경에

의한 시스템 보호차원에서 단점을 갖게 된다. 또한 반사판의 경사각을 완만하게 하면 반사판에서 반사된 빛이 태양전지모듈에 도달하는 빛의 입사각이 커지게 되어 많은 빛의 이득을 얻지 못하게 된다. 따라서, 그림 4는 반사장치를 이용한 시스템이 태양과 직교한 상태에서 한쪽면의 반사판으로부터 반사된 빛이 태양전지모듈의 1/2지점까지 도달하여 양쪽의 반사판에서 반사된 빛이 모듈 전체에 도달하도록 설계된 그림이다. 또한 그림 5는 반사판을 이용한 시스템의 반사장치와 태양전지모듈의 전체 구성도이다.



반사판 반사판 구조물

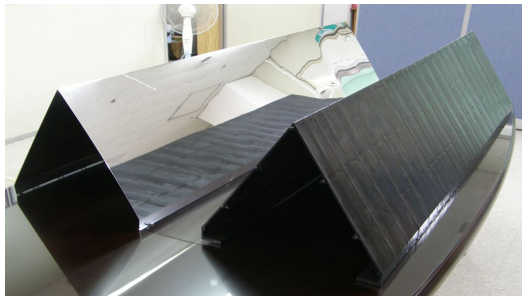


그림 2. 반사장치

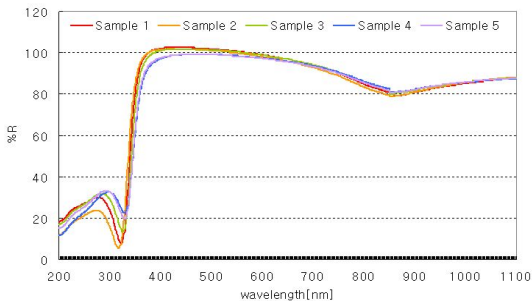


그림 3. 반사판의 반사율

### 2.3 단축형 Tracking 시스템

본 시스템은 태양과 직교할 때 반사판에서 반사된 빛이 태양전지모듈의 1/2지점에 도달

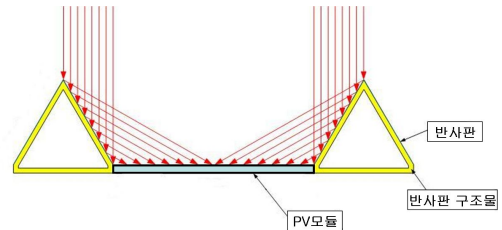


그림 4. 반사판에 의한 빛의 반사

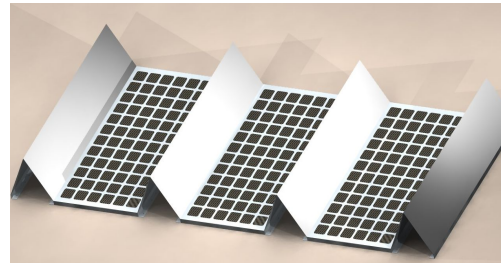


그림 5. 반사판을 이용한 시스템의 전체 구성도

하게 설계된 점을 고려해 단축형 Tracking 시스템을 적용하였다. 고정형 시스템에 적용할 경우 고도각과 방위각의 변화에 대해 빛이 태양전지모듈의 어느 한쪽 부분에 집중되는 현상이 발생하게 되고, 방위각이 낮은 오전과 오후에는 반사판에 의한 그림자 영향에 의해 효율이 감소하는 원인으로 작용하게 된다. Tracking 장치는 큰 하중의 모듈과 반사판을 움직이는데 웬기어를 이용한 시스템과 프로그램 방식을 채택하여 추적하였고, 추적장치의 회전각은 좌우 45°로서 90°의 회전각을 갖게 되며 고도각은 15°의 경사를 갖는다. 일반적으로 국내에 설치되는 단축형 Tracking 시스템의 경우 방위각의 변화만을 고려해 수평으로 설치하게 되지만, 본 연구에서 적용된 단축형 Tracking 시스템은 방위각과 고도각 모두를 고려하여 설계되었다. 하지만, 본 시스템을 국내의 고정식 설치 각도인 약 30° ~ 35°로 설계 시 시스템의 상부를 지지하는 축의 높

이가 2배로 증가하게 되며 추후 발생하는 결함을 방지하기 위해 경사각이 15°로 설계되었다. 그림 6은 단축형 Tracking 시스템의 구동장치에 대한 전체 사진을 보여주고 있다.



그림 6. 단축형 Tracking 시스템의 구동장치

### 3. 태양위치 및 일사량 변화

태양은 시간 및 위치에 따라 변하기 때문에 그림 7과 그림 8에서 보는 바와 마찬가지로 태양의 일조 시간은 하절기가 가장 길고 동절기가 가장 짧다. 따라서 태양의 일조시간과 일사강도에 영향을 받는 태양광발전시스템은 측정 시기에 따라 발전량과 발전효율이 달라지게 된다. 본 논문에서 분석한 반사판을 이용한 태양광발전장치는 15°의 경사각을 갖는 단축형 Tracking 시스템을 적용하였다. 15°의 경사각에서 태양과 직교할 때 반사판에 의해 반사된 빛의 이득이 가장 크게 설계된 점을 고려한다면 고도가 낮은 동절기에 비

해 고도가 높은 하절기에 반사에 의한 빛의 이득이 더 높게 된다. 하지만, 본 실증연구의 측정 기간은 동지를 포함한 11월 15일 ~ 12월 31일까지의 Data를 분석하였으므로 하절기를 포함한 연간 분석 결과는 더 높은 발전량과 발전효율을 나타내게 될 것으로 예상된다.

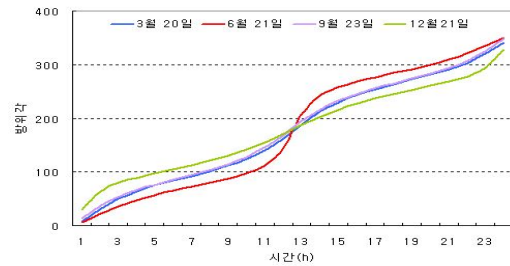


그림 7. 중요절기의 방위각 변화

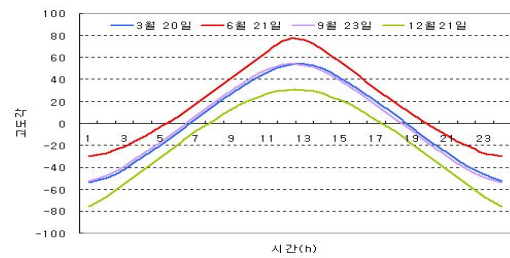


그림 8. 중요절기의 고도각 변화

### 4. 발전데이터 분석

본 논문에서 사용한 데이터는 2008년 11월 15일에서 2008년 12월 31일까지 47일간 분석한 자료로서 계통과 연계하여 인버터를 통해 MPPT (Maximum Power Point Tracking)하였다. 또한, 모니터링 시스템을 구축하여 데이터는 1분 단위로 하루에 1440회 수집하였으며 하루 발전량 (Wh)을 계산하여 고정식과 반사판을 이용한 단축형 Tracking 시스템과 비교분석 하였다.

그림 9는 일조시간이 8시간 이상인 청명한 12월 18일, 12월 26일, 12월 27일의 일일 발전량을 비교한 데이터로서 표 1에서 보는 바와 같이 고정식에 비해 반사판을 이용한 단축형 Tracking 시스템을 적용함으로써 많은 발



전량과 발전효율이 증가하게 되었다.

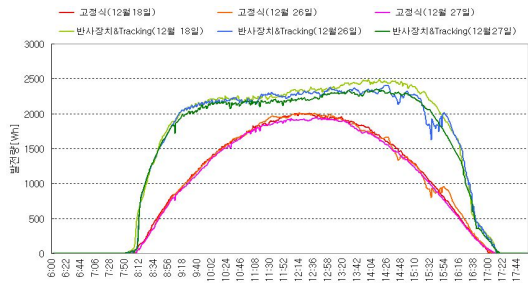


그림 9. 일일 발전량 비교

표 1. 일일 발전량 비교

측정일	고정식	반사판을 이용한 단축형 Tracking 시스템	발전 증가율
12월 18일 발전량	11.28kWh	17.21kWh	52.50%
12월 26일 발전량	11.29kWh	16.79kWh	48.73%
12월 27일 발전량	10.95kWh	16.36kWh	49.40%

일반적으로 단축형 Tracking 시스템을 적용할 경우 20%의 발전효율이 증가하게 되지만 본 실증 연구에서 일조시간이 8시간 이상의 청명한 날을 기준으로 약 50%의 발전효율이 증가하게 되면서 반사판에 의해 30%의 발전효율이 추가로 증가하게 되었다. 그림 10과 그림 11은 11월 15일부터 12월 31일까지의 고정식과 반사판을 이용한 단축형 Tracking 시스템의 발전량을 일조시간·발전효율과 비교한 그래프이다. 표 2에서 보는바와 같이 47일의 총 발전증가율은 42%로서 청명한 날의 발전증가율에 비해 감소하였다.

하지만, 본 실증연구의 목적은 태양빛을 집중시키고 태양전지모듈을 태양과 직교시켜

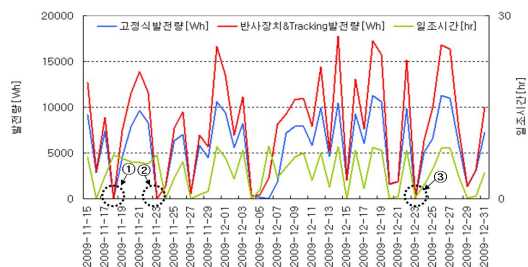


그림 10. 일조시간과 발전량 비교

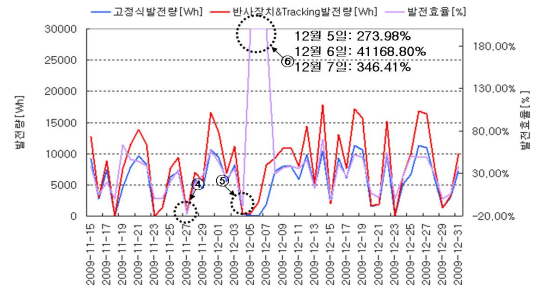


그림 11. 발전효율과 발전량 비교

표 2. 11월 15일~12월 31일 발전량 비교

측정일	고정식	반사판을 이용한 단축형 Tracking 시스템	발전 증가율
11월 15일 ~12월 31일	269.16kWh	382.22kWh	42%

발전효율을 높이는데 있으므로 일조시간이 좋지 못한 흐린 날의 경우 발전효율이 감소하게 되어 전체 발전효율의 감소 요인으로 작용하게 된다. 그림 10의 ①번, ②번, ③번의 경우 데이터 수집 장치의 오류가 발생하게 되어 데이터가 수집되지 않아 두 시스템의 발전량이 0인 그래프가 그려지게 되었다. 또한 그림 11의 ④번, ⑤번의 경우 하루 발전량이 0.5kWh에도 못 미치는 흐린 날의 수치적 오차에 의해 음의 값이 나타나게 되었다.

그림 11의 ⑥은 동절기의 환경적요인(눈)에 의해 발생한 경우로서 기상청 자료에 의하면 12월 5일 실증연구가 진행되고 있는 전북 김제지역에 8.5cm의 적설량을 기록하였다. 이에, 그림 12에서 보는 바와 같이 (a)의 12월 5일에는 눈과 비가 섞인 흐린 날씨에 의해 두 시스템 모두 발전량이 감소하게 되었다. 하지만, (b)의 12월 6일은 5일 밤에 내린 눈에 영향을 받아 반사판을 이용한 단축형 Tracking 시스템의 경우 반사판에 의해 눈이 녹기 시작하면서 14시부터 발전을 하게 되지만 반사판이 설치되어 있지 않은 시스템의 경우 여전히 태양전지모듈 표면에 쌓인 눈에 의해 발전을 거의 하지 않은 것을 알 수 있다. (c)의 12월 7일 눈이 녹은 반사

판을 이용한 단축형 Tracking 시스템의 경우 아침 8시 30분부터 발전을 시작하였지만 고정식의 경우 12시부터 눈이 녹기 시작하면서 발전을 시작하였다. 따라서, 그림 11에서 보는 바와 같이 12월 6일의 경우 발전증가율이 41168.80%와 같은 데이터가 발생하게 되었고 이는, 반사판이 눈의 녹는 시간을 단축시켜 발전량을 증가시키는 요인으로 작용하기도 하였다.

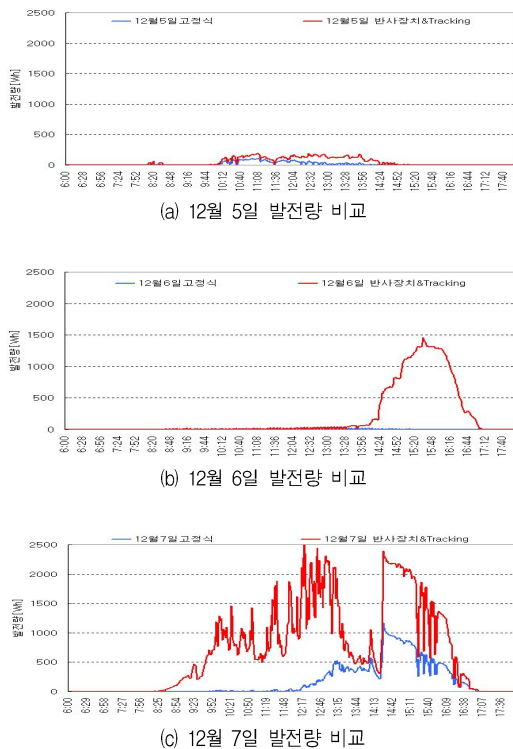


그림 12. 동절기 환경적요인(눈)에 의한 발전량 비교

## 5. 결 론

본 논문은 3kW급 고정식 태양광발전시스템과 반사판을 이용한 단축형 Tracking 시스템의 실제 운전 특성을 비교 분석한 논문으로서 반사판과 단축형 Tracking의 적용에 의한 경제성은 고려되지 않았다.

태양 빛을 반사시켜 집중시키는 반사장치는 Aluminum재질의 반사판에 반사율을 높

이고 코팅면을 보호하기 위해 유전체코팅(SiO<sub>2</sub> 코팅)공정을 통하여 반사율과 내구성을 높였고, 추적장치의 회전각은 좌우 45°로서 총 90°의 회전각을 갖게 되며 고도각은 15°의 경사를 갖는 단축형 Tracking 시스템을 적용하였다. 일조시간이 8시간 이상인 청명한 12월 18일, 26일, 27일의 일일 발전량을 비교한 결과 약 50%의 발전효율이 증가하게 되었다. 또한, 2008년 11월 15일부터 12월 31일까지 반사판을 이용한 단축형 Tracking 시스템을 적용한 결과 42%의 발전효율이 증가하게 되었다. 하지만, 본 실증연구에는 15°의 경사각을 갖는 단축형 Tracking시스템이 적용되었고, 태양과 직교할 때 반사판에 의해 반사된 빛의 이득이 가장 크게 설계된 점을 고려한다면, 고도가 높은 하절기를 포함한 연간 분석 결과는 더 높은 발전량과 발전 증가율을 나타내게 될 것이다.

## 후 기

본 연구는 한국중부발전주식회사, 한국남동발전주식회사, 한국서부발전주식회사, 한국남부발전주식회사, 한국동서발전주식회사의 중소기업지원협력연구개발사업의 연구비지원으로 수행되었음(과제번호: 제 2007-발중연-10호)

## 참 고 문 헌

1. 최연옥 외, “3kW급 추적형 태양광발전시스템의 실증연구”, 전력전자학회 학술대회 논문집, 2006
2. 박정국 외, “추적식과 고정식의 태양광발전시스템의 운전효율분석” 전력전자학회 학술대회 논문집, 2005
3. F. H. Kloh et al., “Field Test Result of the Archimedes Photovoltaic V-Trough Concentrator System”, 17th Eur. PVSEC, 2001