

최적 발전성능 도출을 위한 태양광모듈 추적방법에 관한 연구

A Study on the Tracking Method for Solar Module to Derive Optimum Performance

김 용 진*
Kim, Yongjin

이 종 수**
Lee, Jong Soo

정 유 근***
Chung, Yu-Gun

김 정 태****
Kim, Jeong Tai

Abstract

The photovoltaic is one of the most important sustainable technologies applicable to architectures. The power performance mainly depends on the installation conditions of them. This study aims to evaluate the power performance of photovoltaic system by the installation conditions, the tracking methods and reflecting mirrors. For the study, the Solar Pro computer simulations have been conducted on installation angles, solar azimuth and solar altitude. Also, the field mock-up tests are performed to of its application to verify the simulation results. Both the results of the experiment and the simulation have proved that the efficiency of 90-degree fixed angle method was higher than that of 30-degree fixed angle, the efficiency of altitude tracking was better than that of azimuth tracking method, and changing both the altitude and the azimuth together is more efficient rather than the shortened tracing way. In addition, the light-concentrating method in which the incidence angle of the sun is controlled by an adhered reflector has been analyzed to have better efficiency than the general method of tracing according to the orbit of the sun. Therefore, this thesis is expected to offer the basic data to set a more effective tracing-type of photovoltaic power generation system in the future. For this, more researches are to be conducted hereafter on a high efficiency drive motor and the establishment of an economic system.

키워드 : 태양광 발전장치, 시뮬레이션, 현장실험, 설치조건, 반사거울

Keywords : Photovoltaic System, Simulation, Field Experiments, Installations Condition, Reflecting Mirror

1. 서론

지구온난화와 기후변화에 대처하고 다음 세대에도 쾌적한 환경을 물려주기 위한 지속가능한 건축을 위하여 신재생에너지의 건축적 활용에 대한 요구가 높게 대두되고 있다. 특히, 대표적 신재생에너지 활용기술로 태양광 발전시스템은 2012년 10만호 태양광 발전 주택건설과 발전차액제도 등 정부의 지원정책¹⁾으로 건축적 보급의 확대를 추진하고 있다.

본 논문은 기존의 소형 시스템 중 고정식 태양광 발전시스템의 단점인 투자대비 적은 실용성으로 인한 가격의 부담을 보완하기 위해 시스템의 발전효율을 향상시킬 방안으로 추적방식과 반사거울을 적용한 집광방식의 태양광 발전시스템의 발전성능을 평가하였다. 이를 통하여 반사거울을 활용한 집광방식의 태양광 발전장치의 가능성을 고찰하고 집광 및 추적방식을 적용한 고효율 태양광 발전시스템 개발을 위한 기초자료를 정립하는데 연구의 목적이 있다.

이를 위하여 Solar Pro의 프로그램을 활용한 컴퓨터 시뮬레이션과 반사거울이 적용된 태양광 발전 mock-up을 활용한 현장실험을 실시하였다. 시뮬레이션을 통하여 고정 및 추적방식에 따른 태양광 발전시스템의 발전성능을 평가하였고 현장실험을 통해 반사거울 적용에 발전성능을 평가하였다. 이때 태양광 발전 mock-up의 집광거울 설치각도는 선행연구 고찰을 통해 최적 경사각도인 30° 고정하여 현장실험을 실시하였다.

* 경희대학교 건축공학과 박사과정(yongjinkim@khu.ac.kr)
 ** 경희대학교 건축공학과 박사과정(js6171@khu.ac.kr)
 *** 충주대학교 건축공학과 부교수(ygchung@chungju.ac.kr)
 **** 교신저자, 경희대학교 건축공학과 교수(jtkim@khu.ac.kr)
 1) 지식경제부 신재생에너지 센터, <http://www.mke.go.kr>

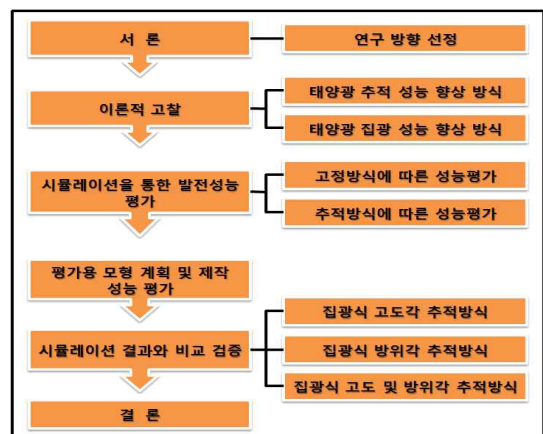


그림 1. 연구의 흐름도

2. 이론적 고찰

2.1 태양광 추적 성능 향상방식²⁾

2.1.1 센서에 의한 방식

센서 방식은 주로 소형 시스템 또는 원칩 마이크로프로세서를 사용하여 소단위로 시스템을 제어하는데 사용된다. 태양의 위치를 감지하기 위해 두 개의 광센서를 사이에 그늘판으로 막은 1쌍은 직각으로 배치한 다음 쌍으로 이루어진 센서의 출력을 서로 비교하고 두 축의 모터를 구동하여 집광이 되도록 함으로써 태양광의 위치를 추적하게 한다.

2.1.2 프로그램에 의한 방식

프로그램식은 날짜와 시간에 따른 연중 태양광의 위치 데이터를 사용하여 태양광을 추적하는 방식이다. 이 방식은 미리 정해진 데이터를 사용하여 추적하는 방식으로 개루프 제어 방식에 속한다.

표 1. 센서식, 프로그램식 비교

구분	센서식	프로그램식
정확성	비교적 정확	정확
초기투자비	높음	낮음
구동방식	대체로 1축	1축 또는 2축
오차보정	입력장치 필요	간단하게 보정
유지보수	일정기간마다 교정	필요 없음
사용 시스템	대규모 시스템	소형, 지역단위 제어
설치 용이성	수평, 정남향 설치	적당한 방향

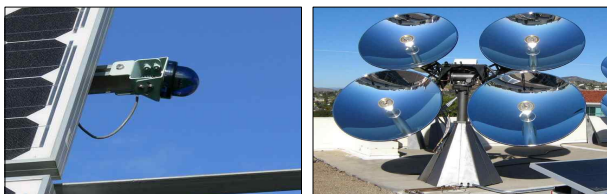


그림 2. 태양광 추적시스템 적용사례

2.2 태양광 집광 성능 향상방식³⁾

2.2.1 반사거울 시스템 방식

반사형 집광기는 태양광을 잘 반사하도록 유리 또는 얇은 강판에 수은이나 알루미늄을 진공증착 시켜 반사판으로 사용한다. 반사거울시스템은 평면 또는 곡면거울 등을 이용하여 태양광을 소정의 장소로 전달하는 방식이다.



그림 3. 반사형 집광 장치

- 2) 현성택, “Dish형 태양열 집광시스템의 플럭스 분포에 관한 연구”, 제주대학교 대학원, 2001, p.22
- 3) 황민구, “반사거울형 태양광 채광시스템의 개발 및 채광성능 평가에 관한 연구”, 경희대학교 대학원, 2003, p.12~16

2.2.2 프리즘형 집광 방식

프리즘 방식은 태양고도에 따라 채광량의 변화가 발생한다. 평판 프리즘은 개별적인 제어가 가능하며 보통 천창용 틀에 부착할 수 있도록 규격품으로 제작되고 있다. 비교적 채광량이 크고 리모콘 조절에 의한 2단계 변환이 가능하며 우천이나 담천공 시 부족한 자연광을 보완하기 위하여 조광기능을 부착할 수 있다.



그림 4. 굴절형 집광 방식

3. 시뮬레이션을 통한 발전성능 평가

3.1 평가용 프로그램

본 연구에서는 다양한 조건방식의 시뮬레이션을 진행하기 위해 Solar Pro 태양광 시스템 시뮬레이션 프로그램을 이용하여 각 시스템별로 달라지는 에너지 생산량 등을 알아 볼 수 있으며, 태양광 발전시스템의 형태별(고정식, 단축식, 추적식)을 선택할 수 있을뿐더러, 태양전지의 종류별(결정질, 박막형 등)로도 선택하여 설계를 고려할 수 있다.

3.2 평가의 조건 및 개요

태양광 추적방식에 따른 태양전지모듈의 최적효율을 알아보기 위해 충북지역 경도와 위도를 기준으로 하여 태양전지 어레이의 경사각과 방위각을 가변 하였으며, 일사량, 외기 온도, 월 최대, 최저 온도, 인버터 시스템 사양 및 일사량에 따른 효율 등을 시뮬레이터 파라미터로 사용하여 최적설계에 따른 발전효율을 알아보았다.

시뮬레이션에서 사용된 Solar Cell 모듈은 BP Solar의 BP-7180 제품을 표준으로 개당 200W로서 모듈 3개를 직렬 연결하여 적용하였다. 또한 현장실험 진행시의 하지 때를 기준으로 태양광 발전장치 발전량을 추적방식별의 방식을 달리하여 발전량을 서로 비교하였다.

표 2. 시뮬레이션 평가의 조건

구분	조건
제조회사	BP-Solar
모델명	BP-7180
정격출력	200W
모듈개수	3개(직렬)
일별발전량	하지
추적방식	90° 고정, 33° 고정
	90° 고정, 방위각 추적
	33° 고정, 방위각 추적
	고도각 추적
	고도·방위각 추적

본 시뮬레이션은 경사각 추적방식에 따른 발전효율을 보기 위해 어레이의 방위각을 최적의 각인 정남향으로 향하게 하고, 경사도를 90°고정, 고도각 90°고정 상태에서 방위각을 추적하여 발전량을 측정하였다. 또한, 선행연구에서 고찰한 최적경사각도인 경사도 33°고정, 고도각 33°고정 상태에서 방위각을 추적, 고도각 추적 및 고도·방위각 추적 총 6가지 방식으로 측정하여 각 방식 시스템의 발전량을 서로 비교하였다.

3.3 고정 방식에 따른 성능평가

1) 고도 90° 고정 방식의 발전량

고정방식에 따른 발전량을 알아보기 위해 우선 200W 모듈 3개를 정남향으로 하였으며, 현장실험과 비교 분석을 위해 현장실험이 진행되는 하지 때를 기준으로 모듈 각도를 90° 고정하여 시뮬레이션을 진행하였다. 분석결과 총 발전량 약 0.69[kWh], 총 발전전력의 생산전력 평균 전력비⁴⁾ 약 8.31[%]로 분석되었으며, 정오를 기준으로 전·후 한 시간의 발전량이 최대치를 보이고 있으며, 평균전력비를 고려하여 볼 때 하지 때의 모듈 각도 90° 고정 방식은 효율이 좋지 못한 것으로 분석되었다.

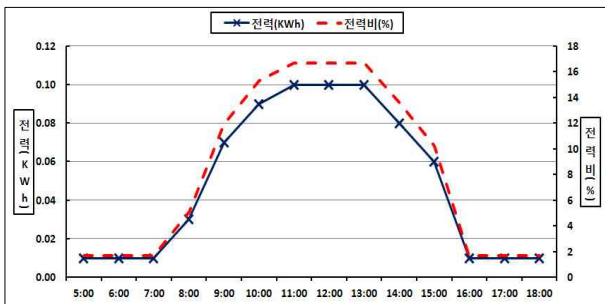


그림 5. 90° 고정, 하지 때의 전력(KWh), 전력비(%)

2) 고도 33° 고정 방식의 발전량

모듈 각도를 33° 고정된 하지 때의 발전량 분석결과 총 발전량 1.78[kWh], 총 발전전력의 생산전력 평균 전력비 약 22.87[%]로 분석되었으며, 33° 고정 방식 또한 정오를 기준으로 전·후 한 시간의 발전량이 최대치를 보이고 있으며, 90° 고정 방식보다 총 발전량 약 1.09[kWh], 평균전력비 약 14.56[%]의 효율이 좋은 것으로 분석되었다.

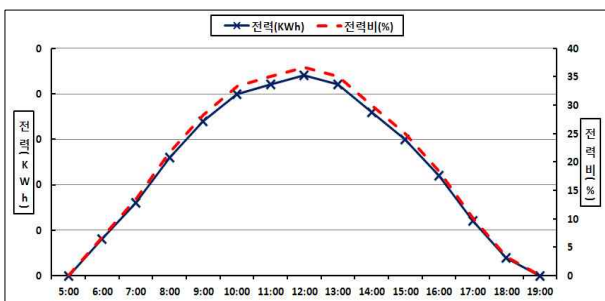


그림 6. 33° 고정, 하지 때의 전력(KWh), 전력비(%)

4) 전력비 = (생산전력 / 모듈의 정격전력) * 100

3.4 추적 방식에 따른 성능평가

1) 고도각 추적 발전량

태양광 추적방식에 따른 모듈의 성능을 알아보기 위해 고도각을 추적하여 발전량을 비교해 보았다. 하지 때의 고도각 추적 발전량 분석결과 총 발전량 약 2.0[kWh], 평균전력비 약 23.86[%]의 발전량을 보였다. 고도각 추적 방식은 90° 고정방식의 발전량에 비해 약 1.31[kWh], 33° 고정방식의 발전량에 비해 약 0.22[kWh]의 차이를 보였다.

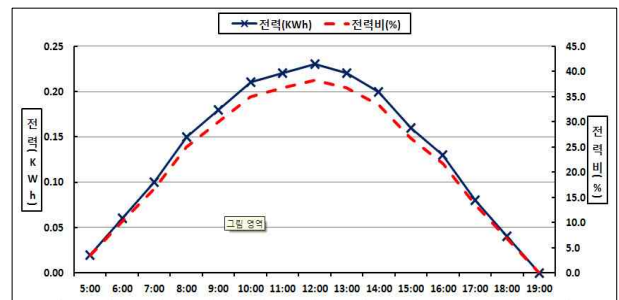


그림 7. 고도각 추적, 하지 때의 전력(KWh), 전력비(%)

2) 고도 90° 고정, 방위각 추적 발전량

태양광 추적방식에 따른 모듈의 성능을 알아보기 위해 고도 90° 고정된 상태에서 방위각을 추적하여 발전량을 비교해 보았다. 하지 때의 방위각 추적 발전량 분석결과 총 발전량 약 1.56[kWh], 평균전력비 약 18.61[%]의 발전량을 보였다.

하지 때의 고도각 추적방식의 발전량 비교결과 약 -0.44[kWh], 평균전력비 -5.25[%]의 차이를 보였으며, 90° 고정방식 발전량 비교결과 약 0.87[kWh], 평균전력비 약 10.3[%]의 차이를 보였으며, 33° 고정방식 발전량 비교결과 약 -0.22[kWh], 평균전력비 약 -4.26[%]의 차이를 보이는 것으로 분석되었다.

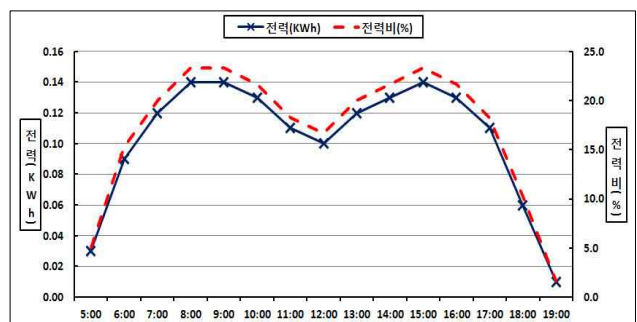


그림 8. 90° 고정, 방위각 추적 - 하지 때의 전력(KWh), 전력비(%)

3) 고도 33° 고정, 방위각 추적 발전량

태양광 추적방식에 따른 모듈의 성능을 알아보기 위해 고도 33° 고정된 상태에서 방위각을 추적하여 발전량을 비교해 보았다. 하지 때의 방위각 추적 발전량 분석결과 총 발전량 약 2.24[kWh], 평균전력비 약 24.93[%]의 발전량을 보였다.

하지 때의 고도각 추적방식의 발전량 비교결과 약 0.24[kWh], 평균전력비 약 1.07[%]의 차이를 보였으며, 90° 고정방식 발전량 비교결과 약 1.55[kWh], 평균전력비 약 16.62[%]의 차이를 보였으며, 33° 고정방식 발전량 비교결과 약 0.46[kWh], 평균전력비 약 2.06%, 고도 90° 고정, 방위각 추적방식의 발전량 비교결과 약 0.68[kWh], 평균전력비 약 6.32[%]의 차이를 보이는 것으로 분석되었다.

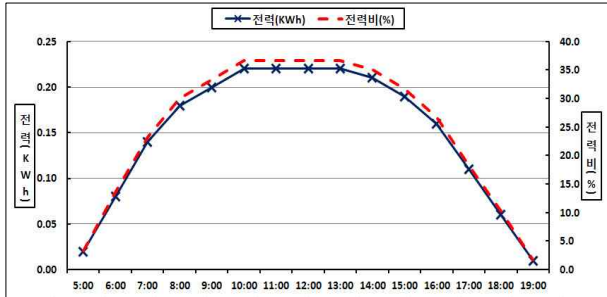


그림 9. 33° 고정, 방위각 추적 - 하지 때의 전력(kWh), 전력비(%)

4) 고도 및 방위각 추적 발전량

태양광 추적방식에 따른 모듈의 성능을 알아보기 위해 계절별로 고도 및 방위각을 추적하여 발전량을 비교해 보았다. 하지 때의 고도 및 방위각 추적 발전량 분석결과 총 발전량 약 2.29[kWh], 평균전력비 약 27.31[%]의 발전량을 보였다. 하지 때의 고도각 추적방식의 발전량 비교결과 약 0.29[kWh], 평균전력비 약 3.4[%]의 차이를 보였으며, 90° 고정방식 발전량 비교결과 약 1.6[kWh], 평균전력비 약 19.00[%]의 차이를 보였으며, 33° 고정방식 발전량 비교결과 약 0.51[kWh], 평균전력비 약 4.44[%], 고도 90° 고정, 방위각 추적방식의 발전량 비교결과 약 0.73[kWh], 평균전력비 약 8.7[%], 고도 33° 고정, 방위각 추적방식의 발전량 비교결과 약 0.05[kWh], 평균전력비 약 2.38[%]의 차이를 보이는 것으로 분석되었다.

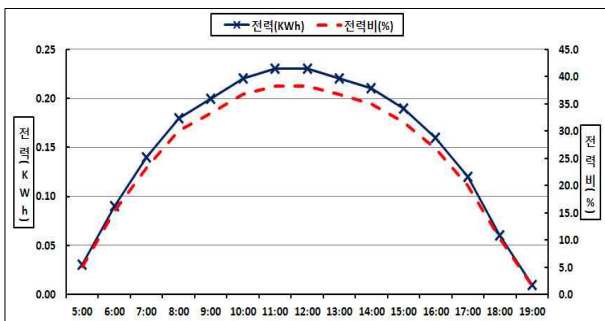


그림 10. 고도 및 방위각 추적 - 하지 때의 전력(kWh), 전력비(%)

4. 반사거울에 따른 태양광 발전성능 평가

4.1 평가용 모형(Mock-up) 제작

본 연구에서는 태양광 발전장치의 성능을 극대화하기 위해 태양 고도각 및 방위각 변화에 따른 발전장치의 제어조건을 설정하기 위하여 평가용 실험체(mock-up)을 제

작하였다. 제작된 실험체는 태양전지 모듈, 컨트롤러 및 태양추적 장치 그리고 생산된 직류를 교류로 바꾸는 인버터 및 거치대 등으로 구성되었다. 실험체의 제작에 적용된 사양은 다음과 같다.

사용한 태양전지 모듈은 Yingli 회사에서 제품으로 크기는 660x540x25(mm)이고, 각 셀의 크기는 150x5(mm), 발전할 수 있는 최대 전류는 40[W], 개방전압 22[V], 최대전류 17.5[V]로 설정되었다. 전류의 역방향 흐름을 방지하고 과충전 및 과방전을 막고, 과부하를 차단하기 위해 컨트롤러를 설치하였다.

반사거울을 설치하여 반사광의 입사면적을 분석한 결과를 토대로 반사거울 크기 350x560x20[mm] 반사경과 프레임 이용하여 모듈 양쪽에 부착하였다. 아래 표 3은 반사거울 각도에 따른 태양의 빛이 모듈에 입사하는 범위를 시간대별로 예상하여 나타낸 것이다.

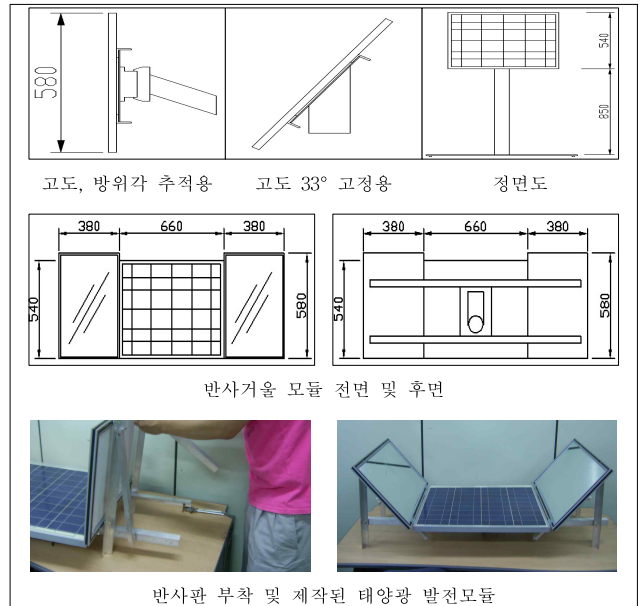


그림 11. 반사거울 적용 태양광 발전장치

표 3. 반사거울 각도에 따른 태양광 입사 범위

입사범위	관련 그림		
30° 반사거울 부착시 모듈			
	9시	12시	15시
	45° 반사거울 부착시 모듈		
9시		12시	15시
60° 반사거울 부착시 모듈			
	9시	12시	15시

4.2 성능평가 개요

태양광의 추적 가능한 발전장치를 활용하여 실제 건축물에 대한 시공성 및 발전성능을 평가하기 위한 현장실험을 실시하고, 실험은 외부 방해물의 영향을 받지 않는 C대학교 건축관 3층 옥상(위도 36도 58분, 경도 127도 52분)에 정남쪽에 위치하도록 설치하였고, 배선반 및 전력측정 장비는 연구실에 구성하였다. 또한 현장실험 진행시 태양광 발전전력의 외부조건 영향을 알아보기 위해 천공휘도, 외부온도, 일사량, 모듈의 표면온도를 15분 주기로 측정하였다.

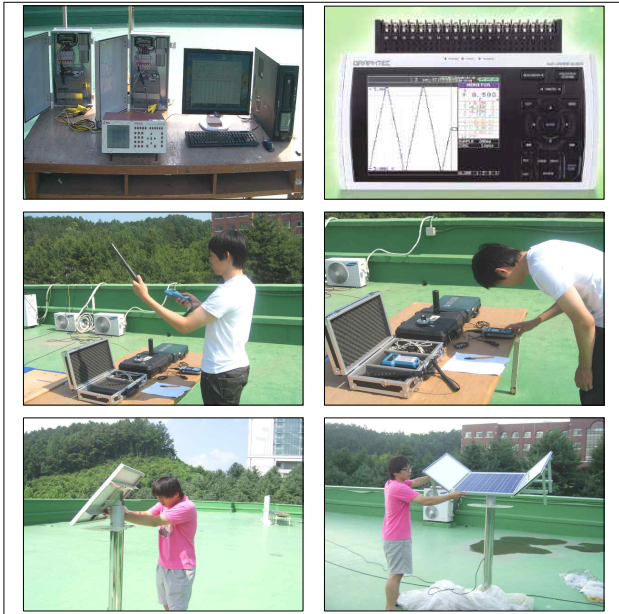


그림 12. 현장실험의 측정장비 및 측정모습

4.3 발전성능 평가

1) 시뮬레이션 결과와 비교검증

시뮬레이션 분석 결과와 비교 검증을 위하여 현장실험에 적용된 두 가지 방식의 태양전지 모듈사이의 유효성을 평가하였다. 두 모듈은 같은 조건에서 정남향, 33° 각도로 고정 설치하고, 오전 9시부터 오후 15시까지 발전성능(전압, 전류, 전력)을 측정하여 두 모듈 사이의 오차를 평가하였다. 이 실험 결과 두 모듈사이의 오차는 전류 약 0.6%, 전압 약 0.37%, 그리고 전력발전량은 약 0.23%로 분석되었으며, 측정시의 일사량은 140.37~652.5[MJ/m²], 표면온도 36~55[°C]로 분석되었다.

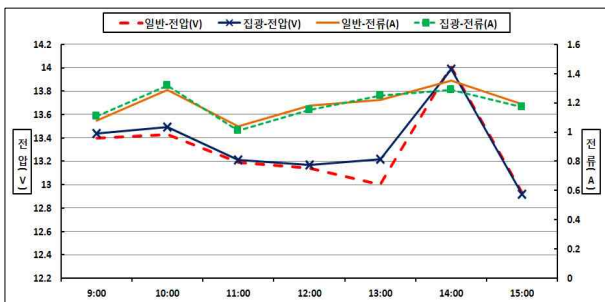


그림 13. 오차율 검증 전압(V), 전류(A)

2) 고도각 추적시 반사거울 적용 발전성능

고도각 추적방식의 태양광 발전시스템에 반사거울의 적용은 집광의 효율성이 가장 좋은 반사경 집광각도 30°로 고정하고 실험을 실시하였고, 반사거울을 적용하지 않고 고도각만을 추적한 경우의 발전성능을 비교하였다. 반사거울의 적용결과 약 141.72[Wh]의 총 발전량을 보였으며, 평균전력 약 23.62[Wh]의 발전량을 보이는 것으로 분석되었다. 또한, 반사거울을 적용하지 않은 경우와 비교하여 총 발전량에서 약 30.81[kW], 평균전력비 약 12.84[%]의 차이를 보이는 것으로 분석되었다.

표 4. 고도각 추적시 반사거울 적용에 따른 발전성능

시간	반사거울 적용		반사거울 적용 안함	
	전력(Wh)	전력비(%)	전력(Wh)	전력비(%)
10:00	23.98	59.95	210	35.00
11:00	26.73	66.83	220	36.67
12:00	21.31	53.28	230	38.33
13:00	26.43	66.08	220	36.67
14:00	20.13	50.33	200	33.33
15:00	23.14	57.85	160	26.67
합계	141.72	354.30	1240	206.67
평균	23.62	59.05	206.67	34.44

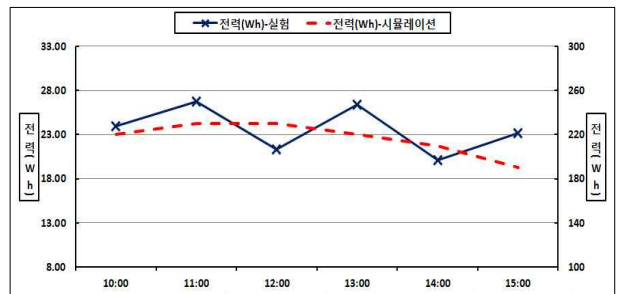


그림 14. 고도각 추적시 반사거울 적용에 따른 발전성능

3) 방위각 추적시 반사거울 적용 발전성능

반사거울을 적용한 태양광 발전시스템의 총 발전량은 약 102.64[Wh]로 분석되었고 평균 발전량은 약 17.11[Wh]로 분석되었다. 반사거울을 적용하지 않고 모듈각도 90° 고정된 발전모듈에 비해 총 발전량에서 약 11.48[kW], 평균전력비 약 4.79[%]의 차이를 보였으며, 모듈각도 33°로 고정된 경우와 비교하여 약 5.87[kW],의 총 발전전력 증가와 평균전력비 약 2.45[%] 향상되는 것으로 분석되었다.

표 5. 방위각 추적시 반사거울 적용에 따른 발전성능

시간	반사거울 적용		반사거울 적용 안함	
	전력(Wh)	전력비(%)	전력(Wh)	전력비(%)
10:00	14.17	35.41	130	21.67
11:00	18.04	45.11	110	18.33
12:00	20.29	50.73	100	16.67
13:00	14.03	35.08	120	20.00
14:00	20.04	50.10	130	21.67
15:00	16.08	40.19	140	23.33
합계	102.64	256.61	730	121.67
평균	17.11	42.77	121.67	20.28

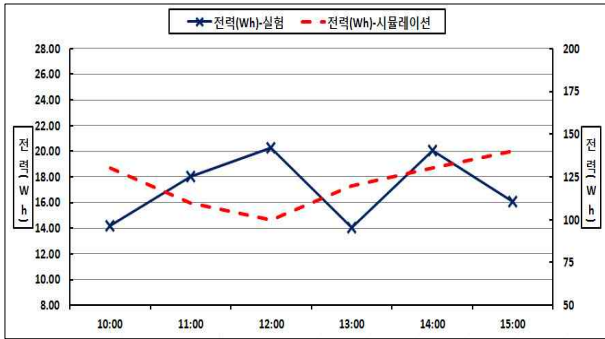


그림 15. 방위각 추적시 반사거울 적용에 따른 발전성능

3) 고도각 및 방위각 추적시 반사거울 적용 발전성능
반사거울을 적용한 경우에 약 110.04[Wh]의 총 발전량을 그리고 평균전력 약 18.34[Wh]으로 분석되었다. 반사거울을 적용하지 않은 경우에 비해 총 발전량 약 10.94[kW] 그리고 평균전력비 약 4.56[%] 향상되는 것으로 분석되었다.

표 6. 고도 및 방위각 추적시 반사거울 적용에 따른 발전성능

시간	반사거울 적용		반사거울 적용 안함	
	전력(Wh)	전력비(%)	전력(Wh)	전력비(%)
10:00	17.18	42.96	220	36.67
11:00	18.22	45.55	230	38.33
12:00	20.52	51.31	230	38.33
13:00	17.48	43.70	220	36.67
14:00	20.39	50.98	210	35.00
15:00	16.24	40.61	190	31.67
합계	110.04	275.10	1300	216.67
평균	18.34	45.85	216.67	36.11

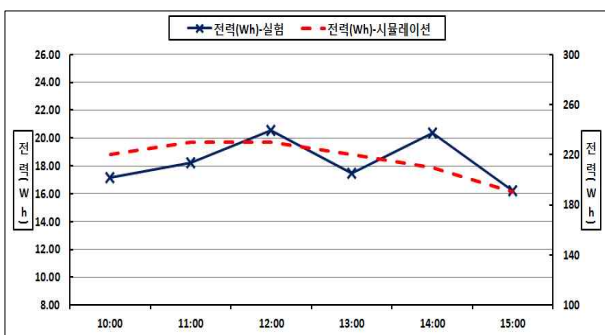


그림 16. 고도 및 방위각 추적시 반사거울 적용에 따른 발전성능

5. 결론

본 논문은 태양광 발전시스템의 발전효율을 향상시킬 방안으로 추적방식과 반사거울을 적용한 집광방식의 태양광 발전 시스템의 발전성능을 평가하였다. 연구의 결과는 다음과 같다.

태양광을 추적하지 않는 고정형의 경우에 모듈각도 33°에서 최적의 발전성능을 보이고 태양 방위각 추적방

식이 고도각 추적방식에 비해 효율적이며 흐린날에 비해 맑은 날에 그 차이가 증가하는 것으로 분석되었다. 또한, 방위각 추적방식의 경우에 모듈각도 33°에서 90° 보다 발전성능이 약 18(%) 증가하는 것으로 분석되었다.

반사거울을 활용한 집광방식에서는 반사거울 각도 30°에서 최고의 발전성능을 보이고 반사거울을 설치하지 않은 발전모듈과 비교하여 고도각 추적방식이 방위각 추적방식에 비해 높은 발전성능을 보이는 것으로 분석되었다. 이는 설치된 반사거울이 태양입사광에 영향을 끼친 결과로 사료되며 이에 대한 추가적인 연구가 필요하다고 사료된다.

본 연구에서는 다양한 설치조건에 따른 태양광 발전장치의 발전효율을 평가하여 건축분야에서 보다 적극적인 활용이 예측되는 고효율 태양광 발전시스템 개발을 위한 기초자료를 제공하였다. 앞으로 제안된 발전장치의 건축적 적용을 위한 구조적 안전성 및 시공방안 등 보다 지속적인 연구가 필요한 것으로 사료된다.

Acknowledgement

본 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2011-0001031).

참고문헌

1. 현성택, "Dish형 태양열 집광시스템의 플럭스 분포에 관한 연구", 제주대학교 대학원 석사학위논문, 2001
2. 황민구, "반사거울형 태양광 채광시스템의 개발 및 채광성능 평가에 관한 연구", 경희대학교 대학원 박사학위논문, 2003
3. 김봉래, "집광 채광형 PV발전 시스템의 설계에 관한 연구", 한국해양대학교 대학원 석사학위논문, 2006
4. Adi Pieper, "Easy Guide to Solar Electric for Home Power Systems", ADI SOLAR, Second Edition 2003.
5. Bruno Gaiddon, Henk Kaan and Donna Munro, "Photovoltaics in the Urban Environment/Lessons learnt from Large-Scale Projets", Earthscan, 2009
6. IEA, Energy Balances of OECD Countries
7. 국토해양부 <http://www.mltm.go.kr> (검색일: 2012년 2월 1일)
8. 한국천문연구원 <http://www.kasi.re.kr>(검색일: 2012년 2월 1일)
9. 기상청 <http://www.kma.go.kr>(검색일: 2012년 2월 1일)
10. 지식경제부, "태양광발전/비즈니스 활성화 방안", 2008

투고(접수)일자: 2011년 12월 1일
수정일자: 2012년 2월 21일
게재확정일자: 2012년 2월 24일