

PV 일체형 태양광발전 광선반시스템의 성능평가

The Performance Evaluation of Photovoltaic-integrated Lightshelf Systems

박 훈* 정 유 근** 김 정 태***
 Park, Hoon Chung, Yu-Gun Kim, Jeong Tai

Abstract

The lightshelf system, a daylighting device, has been applied to improve the visual environment by optimal light distributions and intense illumination levels of a interior. Also, The photovoltaic is one of the most important sustainable technologies applicable to architectures. This study aims to evaluate the performance of photovoltaic integrated lightshelf system. For the study, the 1/5 scaled office models were made and the field tests were experimented under clear sky conditions. The power ratio has been analyzed to evaluate the performance of photovoltaic integrated lightshelf system. As results, the power performance was high on photovoltaic lightshelf installation angle 0°. And the performance was reduced on 23(%) by installation angle 15° and 63(%) by installation angle 30°.

키워드 : 광선반시스템 태양광발전, 축소모형, 현장실험, 발전성능

Keywords : Lightshelf System, Photovoltaic, Scaled Mode, Field Experiment, Power Performance

1. 서 론

최근 고유가가 지속되고 에너지절약과 환경보존 인식이 높아지면서 전체 에너지소비의 약 40(%)를 차지하는 건축분야에서도 신재생에너지를 활용한 다양한 건축기술이 활용되고 있는 실정이다. 이들 신재생에너지 중에서 태양에너지는 무한성과 청정성으로 인하여 대체에너지원으로 많은 관심을 받고 있으며 가장 성장잠재력이 높은 분야로 평가되고 있다¹⁾.

연구는 신재생에너지 중 태양광에너지를 활용하는 방안으로 실내 환경의 시각적, 쾌적성 향상을 위한 자연채광을 주광으로 과도한 빛을 차단하고 적절히 확산시켜 실내유입을 극대화할 목적²⁾으로 설치되는 광선반과 태양광발전 모듈을 복합시킨 PV 일체형 태양광발전 광선반시스템의 성능을 평가하는데 연구목적이 있다.

연구는 기존 일반사무실을 평가모델로 선정하여 제작된 1/5 스케일의 축소모형을 이용한 현장실험을 통해 제안된 PV 일체형 태양광발전 광선반시스템의 성능을 평가

하였다. 이 때, 광선반의 크기는 패시브건축협회³⁾에서 제안된 정남향 태양고도 20°를 활용하여 설정하였다.

제안된 시스템의 성능평가는 창호 수평면에 대해 설치각도(수평면에 대해 0°, 15° 그리고 30°)에 따라 각각의 발전성능을 평가하였다. 연구결과는 보다 최적의 PV 일체형 태양광발전 광선반시스템 개발을 위한 기초자료로 활용될 것으로 기대된다.

2. 관련연구 고찰

연구와 관련되어 분석된 주요 이전 연구는 다음과 같다. 최동진의 ‘태양광발전시스템에서 모듈 설치각도와 어레이 간격의 비교연구’는 태양광모듈의 다양한 설치각도와 조건에 따른 다양한 현장실험을 실시하여 최적의 설치각도를 제안하기 위해 각도별 성능평가를 실시하였다.⁴⁾

박병일 외 2명의 ‘사무소 광선반의 채광성능 분석’ 연구는 시뮬레이션을 활용하여 사무소 건물의 광선반 설치에 따른 성능을 평가하였고 실내 채광성능 및 에너지성능 향상을 위해 광선반의 도입과 지속적인 연구발전이 필요하다고 제안하였다.⁵⁾

* 경희대학교 건축공학과 박사과정(hoonpark@khu.ac.kr)
 ** 한국교통대학교 건축공학과 부교수(ygchung@ut.ac.kr)
 *** 교신저자, 경희대학교 건축공학과 교수(jtkim@khu.ac.kr)
 1) 정주희 외 “거울형 태양광 채광시스템의 공간 유형별 적용현황 분석” 한국생태환경건축학회논문집, 2008.
 2) 김동수 외 “광선기법을 활용한 곡면형 광선반시스템 설계 및 채광성능 평가” 한국태양에너지학회논문집, 2011.

3) 패시브건축협회 <http://www.phiko.kr/>
 4) 최동진 “태양광발전시스템에서 모듈 설치 각도와 어레이 간격의 비교연구” 조명 전기설비학회논문지, 2009.
 5) 박병일 외 2명 “사무소 건물에서 광선반의 채광성능분석” 조명 전기설비학회논문지, 2008.

김봉균 외 1명의 ‘광선반 유형에 따른 실내 채광특성에 관한 축소모형 실험적 연구’는 일반사무소 건축물에 주로 적용되고 있는 저투과 유리창호에 광선반 채광시스템 적용과 이에 따른 분할된 채광창의 채광성능을 다양한 조건에 비교, 평가 하였다.⁶⁾

3. 축소모형 실험개요

3.1 축소모형의 제작

PV 일체형 태양광발전 광선반시스템의 발전성능을 평가하기 위하여 편축창 소규모사무실(5.4m×5.4m×2.7m)을 연구대상으로 선정하였다. 선정된 사무실의 실내 마감은 사무소 실내 반사율 권장치⁷⁾ 및 페인트 색의 반사율⁸⁾을 활용하여 (표 1)과 같이 설정하였다.

표 1. 실내 표면반사율

실 내	권장반사율(%)	마감(반사율, %)
천장	80~90	흰색 페인트 (85)
벽	40~60 (%)	흰색, 라이트 스카이 페인트 (36)
바닥	20~40 (%)	갈색 부직포(20)

선정된 소규모사무실의 축소모형은 1/5 크기로 외부 실험에 따른 기상변화를 고려하여 방수합판을 사용하여 제작되었다. 또한, 빛의 유입을 차단하기 위해 이중으로 외벽을 제작하였다.

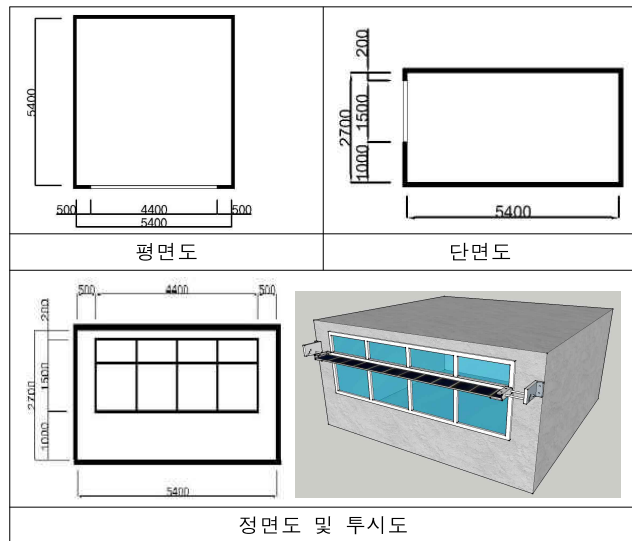


그림 1. 사무실 도면 및 투시도



그림 2. 사무실 설치 예

PV 일체형 태양광발전 광선반시스템의 제작은 앞선 패시브건축협회 제안 안에 따라 크기(4.4m×0.36m)로 계산하였고 이를 기준으로 1/5 축소크기 (0.88m×0.072m)로 제작하였다⁹⁾. 축소 제작된 PV 일체형 태양광발전 광선반 시스템에 설치된 솔라 셀은 모두 10개로 직렬 연결하였으며 태양광발전 광선반의 정격용량은 6.048W이다.



그림 3. 축소모형 제작

6) 김봉균 외 “광선반유형에 따른 실내 채광분석에 관한 축소모형 실험적 연구” 한국생태환경건축학회, 2005.
 7) 윤동원, “건축환경실험”, 1994.
 8) 신현구, “광선반의 채광성능평가에 관한 연구”, 경희대학교 대학원 석사학위논문, 2003.

9) 광선반 길이 산정 : $\tan(90-70) \times 1000\text{mm} = 360\text{mm}$

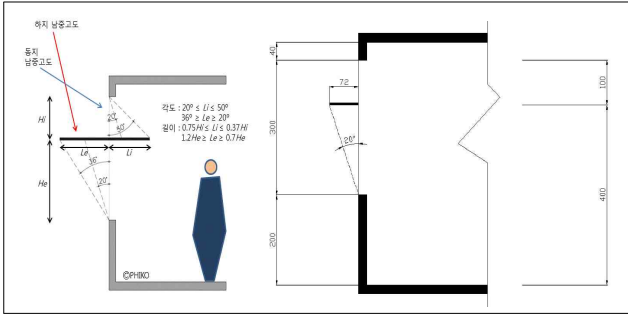


그림 4. 광선반 길이 산정

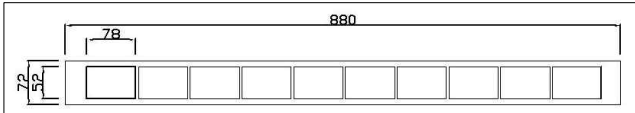


그림 5. 태양광발전 광선반

표 2. 태양광발전 광선반 설치 솔라 셀

	솔라 셀 (0.078×0.052m)	
	1개	10개
정격전압(Vmax)	0.48v	4.8V
정격전류(Imax)	1260mA	1260mA
정격전력(w)	0.6048W	6.048W
개방전압(Voc)	0.55V	5.5v
개방전류(Isc)	1390mA	1390mA
개방전력(w)	0.7645W	7.645W

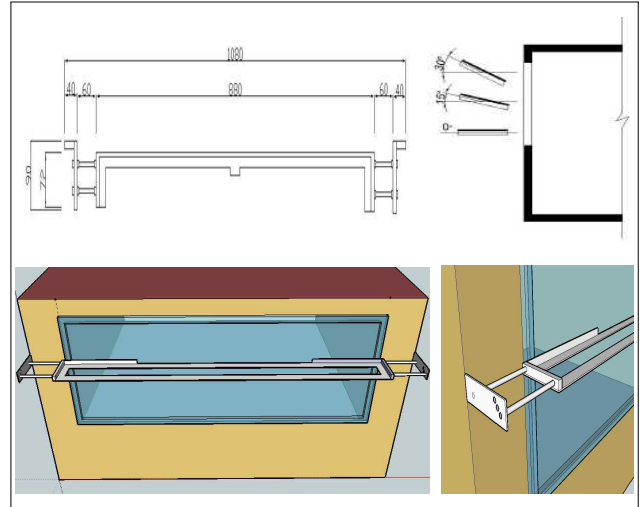


그림 7. 거치대 및 각도별 단면



그림 6. 태양광발전 광선반 제작

3.2 태양광발전 광선반 설치

연구대상 축소모형에 PV 일체형 태양광발전 광선반을 설치하기 위한 거치대는 알루미늄 재료를 사용하여 제작하였다. 이 때, 수평면을 기준으로 0°, 15° 그리고 30° 각도로 조절할 수 있도록 제작하여 태양광발전 광선반의 설치설정에 따른 평가실험이 가능하도록 계획하였다.



그림 8. 거치대 제작 및 설치

3.3 축소모형 실험

PV 일체형 태양광발전 광선반시스템의 축소모형 실험은 외부의 방해물 영향이 없는 충북에 위치한 K대학 건 축관 옥상에서 정남방향을 기준으로 실시하였다. 실험은 외부 천공회도, 광선반 표면온도, 태양전지 및 태양광모듈 효율 및 I-V Curve 발전량 등을 측정하였다. 이 때, Solarlink 태양광발전 모니터링 시스템을 사용하여 외부

일사량 및 온도 측정 그리고 발전장치의 순간 및 평균 그리고 누적 발전량을 측정하였다.

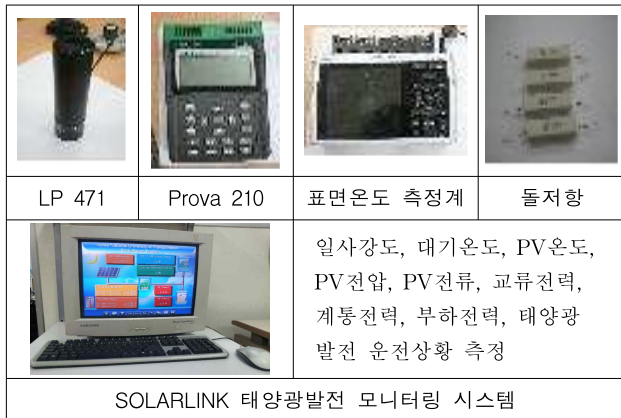


그림 9. 현장실험의 측정장비

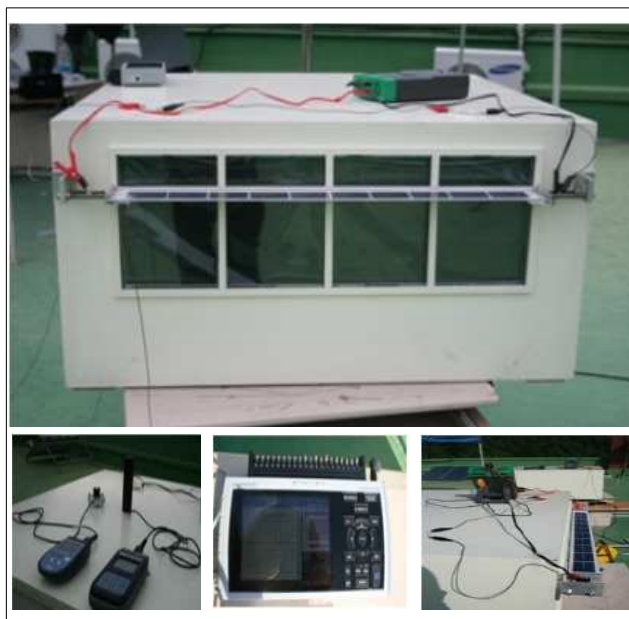


그림 10. 현장실험

4. 태양광발전 광선반의 발전성능 평가

4.1 태양광발전 광선반시스템 유효성 평가

제작된 2개의 PV 일체형 태양광발전 광선반시스템 사이의 발전성능 차에 따른 오차를 보정하기 위해 광선반 시스템 간 유효성 평가를 실시하였다. 실험은 창호 수평면에 대해 0° 각도의 같은 조건에서 실시하였다.

오차보정을 위한 현장실험은 정남방향을 기준으로 청천공상 상태에서 2일 동안 실시하였고 일시적인 기상변화로 급격한 변화를 보이는 측정값을 제외한 유효한 측정값을 평가 자료로 활용하였다.

이 때, 실험에 사용된 각 태양광발전 광선반시스템의 발전성능 분석을 위해 실제 측정된 발전장치의 발전전력 측정치와 사용된 솔라 셀의 정격전력의 비(%)로 정의한 전력비를 활용하여 분석하였다.

표 3. 태양광발전 광선반의 발전성능 (순간전력비)

구분	외부 온도 (°C)	외부 휘도 (cd/m ²)	외부 일사량 (W/m ²)	광선반 표면온도(°C)		전력비 (%)	
				광선반A	광선반B	광선반A	광선반B
최대	24.2	15792	753	38	38	29.6	29.4
최소	20.7	7377	635	11.5	11.8	22.4	22.1
평균	22.4	11964	722	29.3	29.7	27.6	27.2

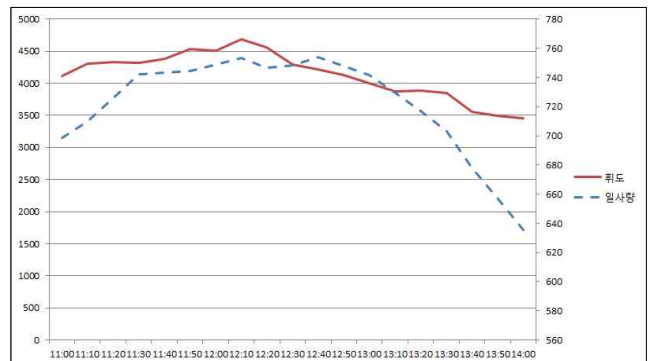


그림 11. 측정시의 외부 일사량 및 휘도

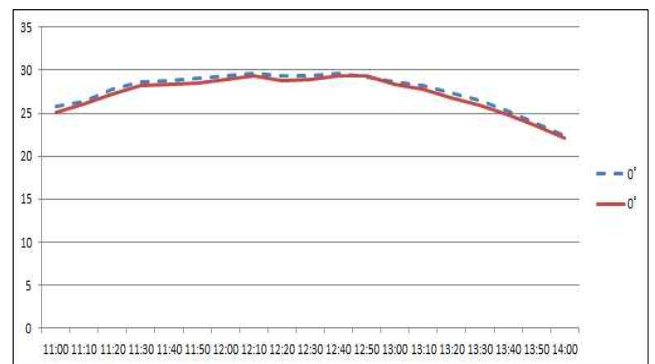


그림 12. 태양광발전 광선반 순간 전력비

현장실험에 사용된 두 태양광발전 광선반시스템의 발전성능은 태양광발전 광선반 (A)의 경우에 전력비가 최대 29.6% 그리고 최소 22.4%로 현장실험에서 측정된 순간 평균 전력비는 27.6%) 분석되었다. 또한, 태양광발전 광선반 (B)는 최대 29.4%, 최소 22.1%로 순간 평균 전력비는 27.2%로 분석되었다.

그러므로 두 태양광발전 광선반시스템 사이의 오차는 0.4%로 분석되어 성능평가에서 측정값을 보정하였다. 측정시의 외부 천공휘도는 7,377~15,792cd/m², 외부 일사량은 635~753W/m² 그리고 광선반 표면온도는 11.5~38°C의 분포를 이루는 것으로 분석되었다.

4.2 설치각도 15°의 발전성능 평가

PV 일체형 태양광발전 광선반시스템을 건축물 창호의 수평면에 대해 15° 각도로 설치된 경우의 발전성능을 평가하였다. 설치각도에 따른 성능분석은 창호 설치각 0°와 창호 설치각 15°인 경우를 동시에 같은 조건에서 측정하여 그 측정값을 비교, 평가하였다.

분석결과 창호 설치각도 15°의 태양광발전 광선반시스템의 발전성능은 전력비가 최대 15.5% 그리고 최소 1.39%로 순간 평균 전력비는 5.51%로 분석되었다. 이 때, 창호 설치각도 0° 발전성능은 최대 19.4%, 최소 1.67%로 순간 평균 전력비는 7.53%로 분석되었다.

표 4. 태양광발전 광선반의 발전성능 (순간전력비)

구분	외부 온도 (°C)	외부 휘도 (cd/m ²)	외부 일사량 (W/m ²)	광선반 표면온도(°C)		전력비 (%)	
				설치각 0°	설치각 15°	설치각 0°	설치각 15°
최대	21.2	4690	538	51.7	49	19.4	15.5
최소	18.1	3455	458	39.5	23.6	1.67	1.39
평균	19.8	4130	520	46	43	7.53	5.51

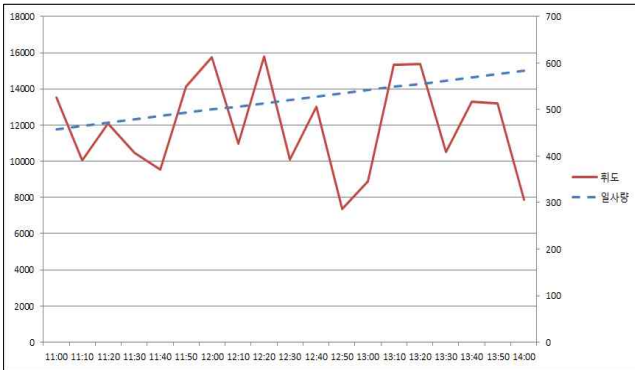


그림 13. 측정시의 일사량 및 휘도

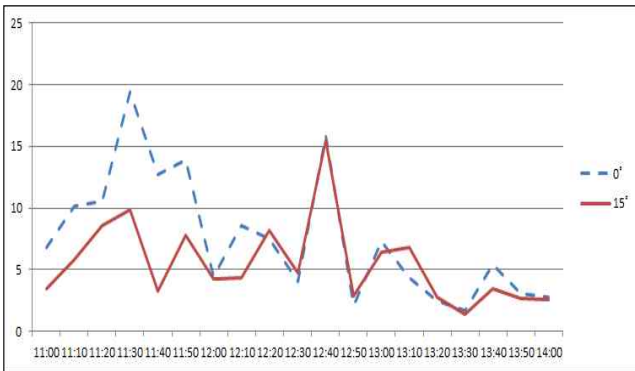


그림 14. 태양광발전 광선반 순간 전력비

또한, 창호 수평면에 대해 15° 각도로 설치된 태양광발전 광선반시스템의 순간 발전 전력비는 창호 설치각도 0°에 비해 약 27% 감소하는 것으로 분석되었고, 이 때 순간 최대 및 최소 전력비의 경우 약 20%가 감소되는 것으로 분석되었다.

현장측정시의 천공휘도는 3,455~4,690cd/m²로 분포되어 평균 천공휘도 4,130cd/m²로 분석되었다. 또한, 외부 일사량은 458~538W/m²로 평균 520W/m²로 분석되었다. 그리고 태양광발전 광선반의 표면온도는 23.6~49°C로 평균 43°C로 분석되었다.

4.3 설치각도 30°의 발전성능 평가

PV 일체형 태양광발전 광선반시스템을 건축물 창호의 수평면에 대해 30° 각도로 설치된 경우의 발전성능을 평가하였다. 설치각도에 따른 성능분석은 창호 설치각 0°와 창호 설치각 30°인 경우를 동시에 같은 조건에서 측정하여 그 측정값을 비교, 평가하였다.

표 4. 태양광발전 광선반의 발전성능 (순간전력비)

구분	외부 온도 (°C)	외부 휘도 (cd/m ²)	외부 일사량 (W/m ²)	광선반 표면온도(°C)		전력비 (%)	
				설치각 0°	설치각 30°	설치각 0°	설치각 30°
최대	22.8	19161	702	41.2	43	20.3	7.28
최소	19	11353	344	32.1	30.4	3.6	1.92
평균	21.3	14008	541	35.7	35.3	11.1	4.11

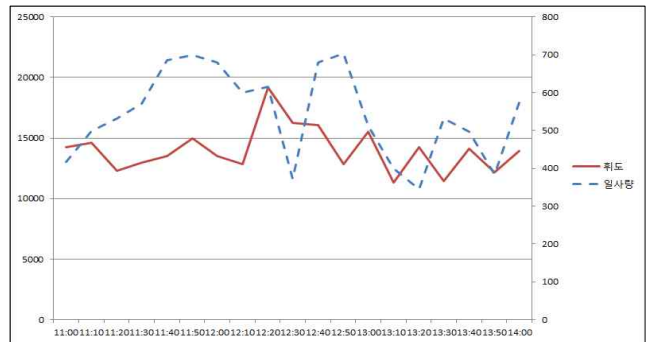


그림 15. 측정시의 일사량 및 휘도

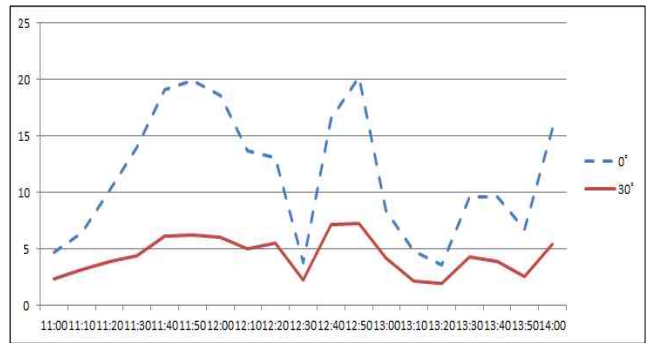


그림 16. 태양광발전 광선반 순간 전력비

분석결과 창호 설치각도 30°의 태양광발전 광선반시스템의 발전성능은 전력비가 최대 7.3% 그리고 최소 1.9%로 순간 평균 전력비는 4.1%로 그리고 같은 조건에서 창호 설치각도 0°의 발전성능은 최대 20.3%, 최소 3.6%로 순간 평균 전력비는 11.1%로 분석되었다.

그러므로 창호 수평면에 대해 30° 각도 설치된 태양광발전 광선반시스템의 순간 발전 전력비는 창호 설치각도 0°에 비해 약 63% 감소하며 순간 최대 및 최소 전력비의 경우 약 55% 감소하는 것으로 분석되었다.

측정시의 천공휘도는 11,353~19,161cd/m²로 분포되어 평균 14,008cd/m², 외부 일사량은 344~702W/m²로 평균

541W/m² 그리고 광선반 표면온도는 30.4~43°C로 평균 35.3°C로 분석되었다.

4.4 설치각도에 따른 발전성능

PV 일체형 태양광발전 광선반 채광시스템의 발전성능을 설치각도에 따라 분석한 결과는 다음과 같다. 설치각도에 따른 발전성능은 창호에 수평으로 설치한 경우에 가장 높으며 설치각도를 15°로 변화시키면 약 27%의 그리고 설치각도를 30°로 변화할 때 약 63%의 전력감소가 예측되는 것으로 분석되었다.

순간 최대전력비의 변화는 수평설치에 비해 설치각도 15°에서 20.1% 그리고 설치각도 30°에서 64.1% 감소하는 것으로 분석되었다. 순간 최소전력비의 경우에 설치각도 15°에서 16.7% 그리고 설치각도 30°에서 46.7% 감소하는 것으로 분석되었다.

즉, 설치각도에 따른 발전성능은 태양광이 수직으로 입사하는 수평면에서 가장 우수하며 설치각도가 커질수록 발전성능은 급격히 감소하는 것으로 분석되었다. 즉, 연구에서는 수평설치 광선반 발전장치의 성능이 가장 우수한 것으로 분석되었다.

표 6. 0°, 15°, 30° 고정 순간 전력비

순간전력비	광선반 설치각도			
	창호 0°	창호 15° (감소율, %)	창호 30°	창호 30° (감소율, %)
최대(%)	19.4	15.5 (20.1 %)	20.3	7.28 (64.1 %)
최소(%)	1.67	1.39 (16.7 %)	3.6	1.92 (46.7 %)
평균(%)	7.53	5.5 (27 %)	11.1	4.1 (63 %)

5. 결론

연구는 건축물에서 활용할 수 있는 태양광 발전기술로 PV 일체형 태양광발전 광선반시스템의 발전성능을 현장 실험을 통해 평가하였다. 이를 위해 소규모 편축상 사무실을 대상으로 1/5로 축소모형을 제작하였고 광선반 설치각도에 따른 현장실험을 실시하였다.

연구결과 제작된 두 태양광발전 광선반의 사이의 오차는 0.4%로 측정값을 보정하였다. PV 일체형 태양광발전 채광시스템의 설치각도에 따른 발전성능은 창호 수평면에 설치각 0°로 설치된 시스템에 비해 15° 각도로 설치할 경우 약 27% 그리고 30° 각도로 설치할 때 약 63% 발전성능이 감소하는 것으로 분석되었다.

순간 최대전력비는 수평설치에 비해 설치각도 15°에서 약 20.1% 및 설치각도 30°에서 약 64.1% 감소하는 것으로 분석되었다. 또한, 순간 최소전력비는 설치각도 15°에서 약 16.7% 그리고 설치각도 30°에서 약 46.7% 감소되는 것으로 분석되었다. 그러므로 발전성능은 태양광이 수직으로 입사하는 수평면에서 가장 우수하며 설치각도가 커질수록 급격히 감소되는 것으로 분석되었다.

광선반시스템은 단순구조로 건축물 창호에 간단히 설치할 수 있으며 실내로 유입되는 강한 직사일광을 차단하는 반사면에 태양전지를 설치하여 주택용 태양광발전장치 개발에 유용한 채광시스템이다. 연구결과는 최적의 태양광발전 광선반시스템 개발을 위한 기초자료로 유용하게 활용될 수 있으리라 사료된다.

그러나 연구결과는 축소된 광선반 태양광 발전장치의 제작에 있어 사용된 강화유리의 두께조절이 어려워 실제 성능평가에 한계가 있을 것으로 판단된다. 또한, 광선반 반사면에 반사율이 적은 태양전지를 적용함으로써 실내 유입 반사량의 감소로 채광성능의 저하가 예측되며 이에 대한 보완연구가 필요할 것으로 사료된다.

후 기

이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2012-0000609). 또한 이 논문은 2011년도 한국연구재단의 ‘기초연구사업’에 의해 수행된 연구(No. 03-2011-00780001)의 일부분임.

참고문헌

1. 김동수, 윤종호, 신우철, 이광호, “광선추적기법을 활용한 곡면형 광선반시스템 설계 및 채광성능 평가” 한국태양에너지학회 논문집 제31권 제4호, 2011. 8.
2. 김봉균, 김정태, “광선반유형에 따른 실내 채광분석에 관한 축소모형 실험적 연구” 한국생태환경건축학회 학술발표대회 논문집, 통권9호, 2005. 11.
3. 박병일, 양인호, 나미현, “사무소 건물에서 광선반의 채광성능 분석” 조명전기설비학회논문지 제22권 제8호, 2008. 8.
4. 신현구, “광선반의 채광성능평가에 관한 연구”, 경희대학교 대학원 석사학위논문, 2003.
5. 정주희, 이종수, 김정태, “거울형 태양광 채광시스템의 공간유형별 적용현황 분석” 한국생태환경건축학회논문집 통권34호, 2008. 12.
6. 조일식, 김병식, 이진숙, “조명해석 프로그램을 이용한 광선반의 적정크기 선정 및 채광성능분석에 관한 연구” 대한건축학회논문집 제20권 제6호, 2004. 06.
7. 최동진, “태양광발전시스템에서 모듈 설치 각도와 어레이 간격의 비교연구” 조명전기설비학회논문지 제23권 제1호, 2009. 1.
8. 한중호, 김종선, 황철진, 윤경환, 강정진, “광도파 원리의 평면형 태양광 집광기 설계를 위한 광학적 해석” 제36권 제1호, 2012. 2
8. Heating, Cooling, Lighting: Design Methods for Architects, Norbert Lechner, 2000

투고(접수)일자: 2012년 12월 3일
수정일자: (1차) 2012년 12월 21일
게재 확정일자: 2012년 12월 24일