

자연채광용 박막 투광형 BIPV 창호의 발전특성 분석 연구

윤 종호¹⁾, 김 석기²⁾, 송 종화²⁾, 이 성진²⁾

Performance characteristics of building-integrated transparent amorphous silicon PV system for a daylighting application

Jongho Yoon, Seok-Ge Kim, Jong-Wha Song, Sung-Jin Lee

Key words : BIPV(건물일체형태양광발전), Transparent(투광형), Thin film(박막), A-Si(아몰포스실리콘), Solar Cell(태양전지), Daylighting(자연채광), Specific power yield(발전량)

Abstract : The first grid-connected, building-integrated transparent amorphous silicon photovoltaic installation has been operated since October 2004 in Yongin, Korea. The 2.2kWp transparent PV system was applied to the facade of entrance hall in newly constructed KOLON E&C R&D building. The PV module is a nominal 0.98m x 0.95m, 10% transparent, laminated, amorphous(a-Si) thin-film device rated at 44 Wp per module. To demonstrate the architectural features of thin film PV technologies for daylighting application, transparent PV modules are attached to the building envelope with the form of single glazed window and special point glazing(SPG) frames. Besides power generation, the 10% transmittance of a-Si PV module provides very smooth natural daylight to the entrance hall without any special shading devices for whole year.

The installation is fully instrumented and is continuously monitored in order to allow the performance assessment of amorphous silicon PV operating at the prevailing conditions. This paper presents measured power performance data from the first 12 months of operation. For the first year, annual average system specific yield was just 486.4kWh/kWp/year which is almost half of typical amorphous silicon PV output under the best angle and orientation. It should be caused by building orientation and self-shading of adjacent mass. Besides annual power output, various statistical analysis was performed to identify the characteristics of transparent thin film PV system.

subscrip

BIPV : building integrated Photovoltaic
SPG : special point glazing

1. 서론

박막 태양전지는 궁극적으로 PV모듈의 저가화를 실현시킬 수 있고, 재료의 유연성으로 인해 보다 다양한 형태로 건물에 적용될 수 있으며, 균일한 분포로 빛을 투과시킬 수 있는 특징이 있기 때문에 BIPV분야에서는 매우 큰 장점을 가지고 있

다. 또한 결정계 태양전지가 온도상승에 따라 효율이 저하되는데 반해, 박막전지는 상대적으로 이러한 문제에서 자유로울 수 있기 때문에 건축 자재화 하는데 유리한 점을 가지고 있다. 2010년쯤에는 시장규모도 전체의 20%를 차지할 것으로 기대되고 있다. 이러한 이유로 인해 국내에서도 박막 태양전지 소재 개발 및 상용화에 대한 연구가 활발

1) 한밭대학교 건축공학과

E-mail : jhyoon@hanbat.ac.kr

Tel : (042)821-1126 Fax : (042)821-1115

2) (주)코오롱건설 기술연구소

E-mail : sniffer@kolon.com, song3705@kolon.com

Tel : (031)280-8734 Fax : (031)329-0601

히 추진되고 있으나, 아직 국내에서 상용화되지 않았기 때문에 건물에 적용된 BIPV 사례가 거의 없는 실정이다.

이러한 배경 하에 본 연구에서는 국내에서 최초로 자연채광이 가능한 투명 박막태양전지를 실제건물에 설계, 시공한 후, 장기간에 걸친 성능 모니터링을 통해 발전성능을 측정하고, 통계적기법을 통해 각 영향변수별 성능 특성을 분석 제시함으로써, 향후 투명 박막태양전지를 이용한 건물일체형 태양광발전 설계의 기초자료를 수립하는 데 주목적이 있다.

2. 박막 투과형 BIPV 시스템의 설계 및 시공

2.1 K건설 연구동 건물의 개요

최근 국내의 K건설에서는 친환경건축물에 대한 관심 고조에 부응하여 사내의 신축 연구소 건물을 에너지 저소비형 친환경 건물로 건립하였다. 지열히트펌프시스템, 건물일체형 태양광시스템, 이중외피시스템, 광선반 및 옥상녹화 등 다양한 친환경 건축 요소기술 및 자체 개발 기술을 연구소 건립시 적용하여 2005년 1월에 업무용 건축물로서는 최초로 최우수 친환경건축 본인증을 획득하였다. 표 1은 신축건물의 개요를 그림 1은 완공 후 전경을 나타낸다.

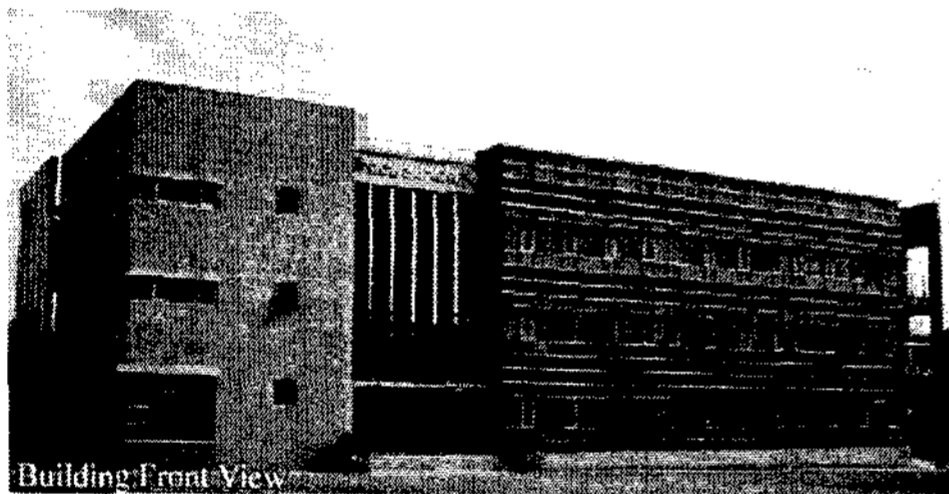


그림 1 완공된 K건설 연구소 건물의 전경

표 3 K건설 신축연구소의 건축개요

구 분	내 용
명 칭	K건설(주) 기술연구소
대지위치	경기도 용인시 포곡면 전대리
공사기간	2004.1 ~ 2004.10
건축규모	지하1층, 지상3층 (철근콘크리트+철골)
건축면적	605.87m ² (183.27평)
연 면 적	2,053.20m ² (621.09평)
외부마감	태양광모듈, 시멘트패널, 광선반 등
특 징	에너지 저소비형 친환경 연구시설

2.2 박막 투과형 BIPV 시스템의 설계 및 시공

신축연구소 건물에 적용된 다양한 기술 중 가장 흥미로운 것 중의 하나는 국내에 최초로 실제 시공된 투과형 박막 태양전지 모듈로, 건물 진입홀의 전면부 유리부분에 채광이 가능하도록 설계 시공되었다.

태양전지의 종류는 아몰포스 박막형 제품으로 일본 K사의 제품을 수입하였으며, 프레임 및 배선 설계, 시공은 국내 기술로 적용되었다. 프레임의 기본 설치구조는 SPG(special point glazing) 공법을 적용하였다. 단위 모듈의 출력은 44W로 총 48매를 6직렬 8병렬로 설치하였다. 총 설치용량은 2.2 kWp, 설치면적은 45m²이다. 태양전지의 투과율은 10%이다. 시스템효율은 90%이며, 계통연계형으로 설치되었다. 그림 2는 PV모듈 설치 후의 실내 및 실외의 전경을 나타낸다.

신축 연구소 건물의 전면향이 남서 50도로 편향되어 PV 시스템의 방위각도 남서 50도로 틀어져 있는 상태이며, PV설치면의 좌우측 및 상부에 건물 자체매스의 돌출에 의한 음영의 영향을 받는 등 PV의 설치조건은 양호하지 못한 상태다. 하지만 전시용 건물의 경우 PV시스템을 열악한 조건에 설치하고 이들의 영향을 직접 실험을 통해 평가 규명한다는 측면에서 의의가 있다고 할 수 있다.

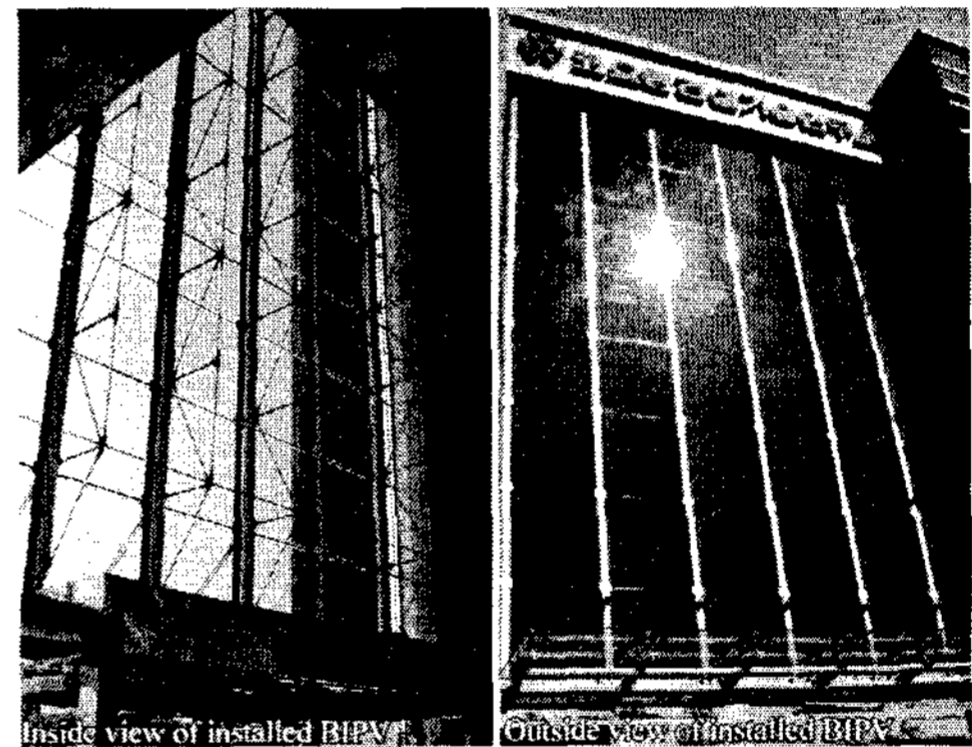


그림 2 투과형 박막 BIPV모듈의 설치 후 실내외 전경

2.3 BIPV 시스템의 모니터링 개요

BIPV 시스템의 시공 완료 후 2004년 12월부터 목적을 통한 PV발전량 예비 모니터링이 이루어졌으며, 자동화 측정장치를 통한 본격적 모니터링은 2005년 6월부터 시작되었다. 따라서 2004년 12월부터 2005년 5월까지는 매시간 또는 매일별 일정 시간대에 적산전력계 등의 목적을 통해 AC 및 DC의 전류, 전압과 발전량 및 수직면전일사량을 계측하였으며, 2005년 6월 부터는 매 1분간격으로 평균된 데이터를 저장 기록하도록 자동화 모니터링 시스템이 가동되었다. 이때 계측 항목은 AC 및 DC의 전류, 전압과, 수직면전일사량 외에 BIPV 모듈의 표면온도를 건물외피의 상부, 중앙부, 하부의 3개 지점을 대상으로 측정하였다.

3. BIPV 발전량 분석결과

3.1 월별 및 연간 BIPV발전량 측정결과

모니터링된 측정결과를 이용해 전체 시스템의 월별 발전량 분석 결과를 표 2에 도식하였다. 표 2는 교류발전량을 기준하여 BIPV 시스템을 통해 생산된 월별 총발전량 및 단위 kWp당 발전량을 나타낸 것이며, 이때 시스템의 방위각인 남서 50°, 수

직면 전일사량값도 함께 제시하였다. 각 데이터는 월평균 일일 적산치 및 월총적산치의 형태로 분리 제시하였다.

인터버틀 통과한 교류(AC) 전원을 기준하여 월평균 PV 발전량은 93.2(kWh/월), 연간 총 PV생산량은 1,119(kWh/년)로 나타났다. 월별 변화를 살펴보면 2월 및 장마철인 7월의 발전량이 가장 낮고, 일사조건이 좋은 10월의 발전량이 가장 높음 것으로 나타났다.

표 4 투과형 박막 BIPV시스템 월평균 일일발전량 및 월적산 일사량 실측결과 (AC발전량 기준)

월	적산일사량(남서50도 수직면)		총발전량		단위출력당발전량	
	kWh/일	kWh/월	kWh/일	kWh/월	kWh/kWp/일	kWh/kWp/월
1			3.09	95.64	1.34	41.58
2			2.55	71.37	1.11	31.03
3			3.51	108.82	1.53	47.31
4			3.28	98.36	1.43	42.77
5			3.05	94.46	1.32	41.07
6	125.7	3,771.6	2.93	87.77	1.27	38.16
7	98.1	3,041.3	2.35	72.94	1.02	31.71
8	104.3	3,232.3	2.49	77.23	1.08	33.58
9	122.0	3,660.3	3.59	107.59	1.56	46.78
10	134.4	4,166.9	4.01	124.35	1.74	54.06
11	111.2	3,335.3	3.12	93.70	1.36	40.74
12			2.79	86.52	1.21	37.62
평균	115.9	3,534.6	3.1	93.2	1.3	40.5
합계				1,118 (kWh/year)		486 (kWh/kWp/year)

단위출력당 발전량으로 환산할 경우 연평균 일일발전량은 1.3 kWh/kWp/day, 월발전량은 40.5 kWh/kWp/month로 분석되었다. 단위출력당 연간 총발전량은 486.4 kWh/kWp/year가 생산된 것으로 측정되었다. 이는 기존의 결정계 태양전지는 물론 아몰포스 박막 PV의 일반적 발전 성능보다 많이 떨어지는 수준으로, 건물의 방위가 남서 50도로, 좌우 상부에 음영영향 요인 등으로 인해 발생한 결과이다.

3.2 통계분석을 통한 BIPV시스템 거동특성 분석

3.2.1 개요 및 분석방법

2005년 6월 - 2005년 11월까지 6개월간에 걸쳐 1분간격으로 모니터링된 실측데이터는 설치된 BIPV 시스템의 거동특성을 파악하는데 매우 유용한 자료로 활용될 수 있다. 하지만 1개 변수만 하더라도 총 수십만개가 넘으며, 전체 기록된 데이터는 수백만에 달하기 때문에, 데이터 수가 너무 방대하여 단순히 시간별 산술평균 등의 분석을 통해서만 변수간의 상호영향을 정확히 파악하기 곤란하다.

따라서 본 연구에서는 우선 데이터 전처리과정을 통해 분석에 불필요한 야간 시간대의 데이터 및 계측 오류로 판정되는 데이터 등을 선별 제거한 후, 최종적으로 분석에 사용 가능한 건전한 데이터를 분류하였다. 최종 선별된 데이터는 총 17개 변수에 대해 각각 10만 여개의 분별 측정자료로 총

178만개의 데이터를 대상으로 통계 분석을 수행하였다. 본 연구에서는 Statistica 통계패키지를 활용하여 분석을 수행하였다.

분석 방법은 전체 계측 데이터를 우선 각 월별로 1차 그룹화하고, 2차로 각 시간대별로 그룹화하여 산술평균 및 표준편차, 최대 및 최소값에 대한 통계처리를 함으로서 각 월을 대표할 수 있는 하루 중의 시간별 변동특성 그래프의 형태로 분석을 수행하였다.

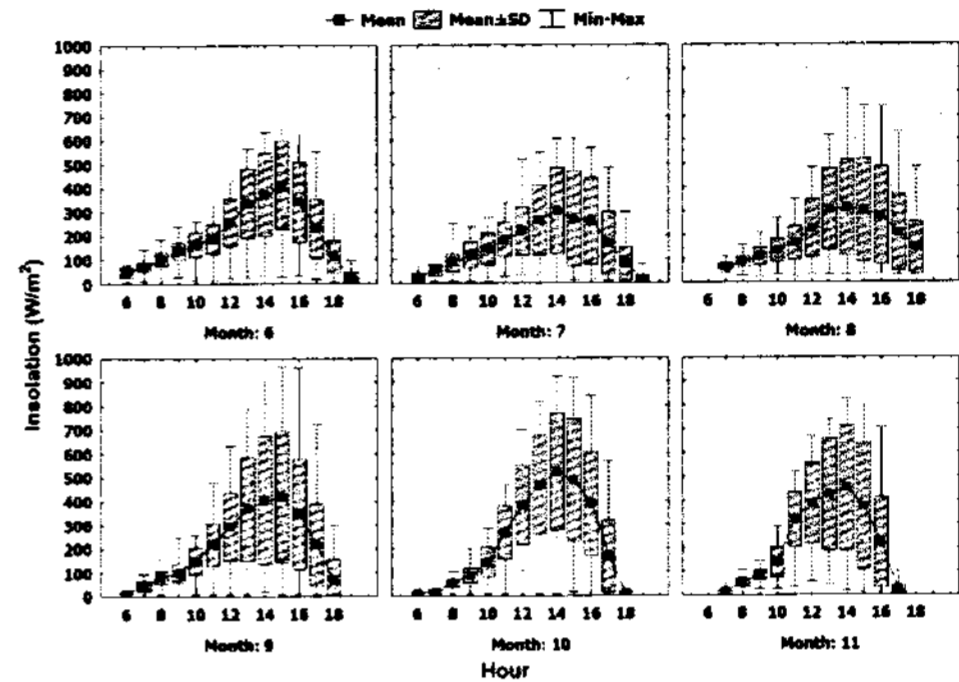


그림 3 월평균 시간별 일사량 변화 통계처리 결과

그림 3은 분석결과의 일례로서, 6개월에 걸친 측정기간 동안 일사량(남서50도 방위, 수직면 경사각 전일사량) 실측결과를 이용해 매월 시간대별 일사량 변화를 통계 처리한 결과이다.

그림에서 “●”은 각 시간대별 평균값을, “▨”는 평균±표준편차의 범위를, “I”는 최대값 및 최소값의 변화 범위를 나타낸다. 예를 들어 그림 7의 좌측 상단 첫 번째 그래프의 첫 구간은 6월중 오전 6시~7시 사이에 계측된 모든 데이터의 평균, 표준편차 범위, 최대최소 범위를 나타내는 것이다. 이를 통해 각 월별 평균 일사량의 일간 시간별 변동이 월 변화에 따라 어떻게 변화되는지의 변동특성을 파악할 수 있으며, 특히 최대 최소의 변화범위 또한 동시에 판정가능하기 때문에 시스템의 거동특성을 매우 효과적으로 비교 분석할 수 있다.

3.2.2 일사강도에 따른 PV발전량

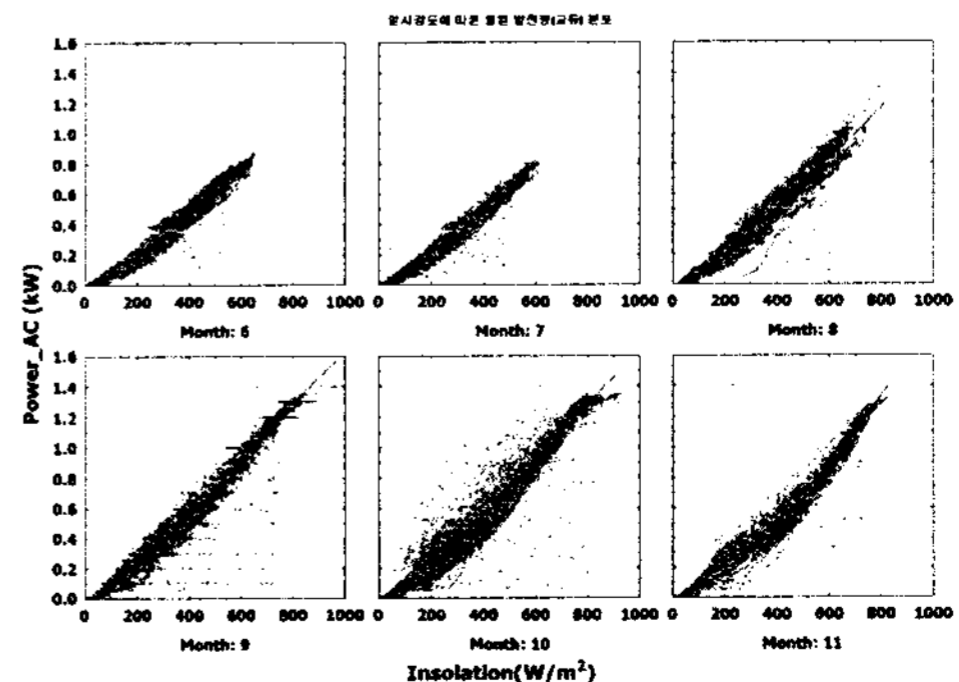


그림 4 월별 일사강도에 따른 PV 발전량 변화

그림 4는 남서50도 방위각, 수직 경사각면의 전일 사량 강도에 따른 교류발전량의 상관관계를 각 월 별로 도식한 결과이다. 6월, 7월의 경우 일사강도가 700 w/m²을 넘는 경우가 없는 반면, 9월 10월의 경우는 900w/m²가 넘는 경우도 다수 발생할 정도로 일사수열 조건이 양호하였음을 인지할 수 있다. 그림에 도식된 바와 같이 일사강도에 따른 발전량의 관계는 매우 높은 선형성을 가지고 있음을 알 수 있다. 상관관계의 월별 변화는 아주 큰 차이를 나타내지는 않지만, 전반적으로 6월에서 11월로 갈수록 선형회귀식의 기울기가 점차 커짐을 알 수 있다.

3.2.3 월별 시간대별 PV발전량 변화

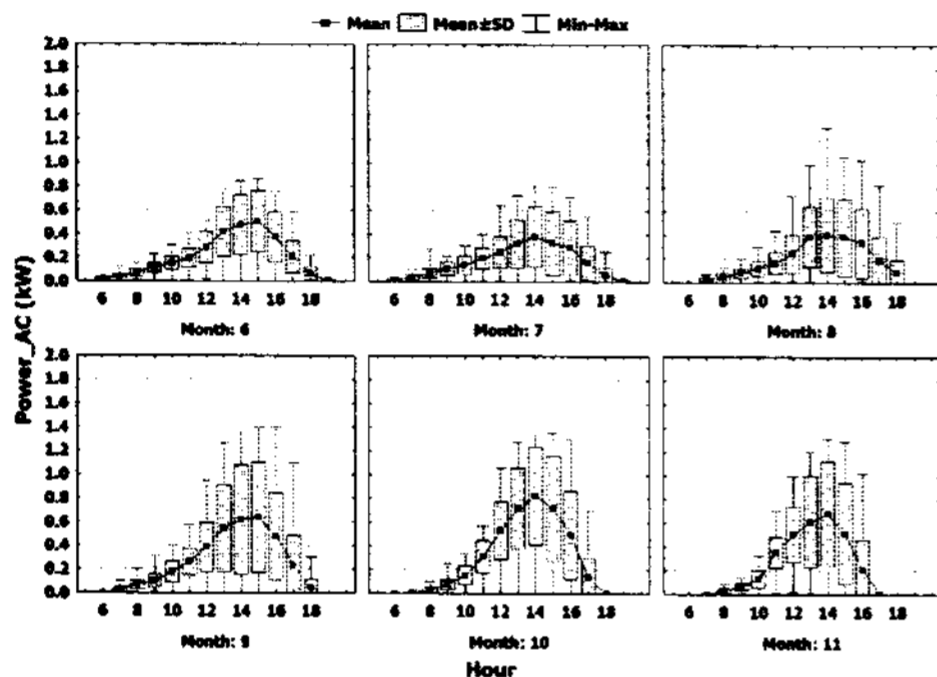


그림 5 월평균 시간별 BIPV AC 발전량

그림 5는 매 시간별 PV 교류 발전량의 변화범위를 각 월별 통계값으로 분석 도식한 결과이다. 6월-8월까지의 발전량에 비해 9월-12월의 시간별 발전량의 크기가 큼을 알 수 있다. 이는 현재 설치된 PV모듈의 방위각 및 경사각의 영향이 가장 큰 요인으로 판단된다. 14시를 기준으로 PV 평균출력은 0.4kW-0.8kW의 범위를 나타내며, 최대값은 1.4kW까지 나타낸다. 건물 방위각의 영향으로 전반적으로 14시, 15시에 최대 출력을 나타내며, 오전보다 오후에 발전량이 큰 것이 확연히 나타난다.

3.2.4 월별 시간대별 PV표면온도 변화

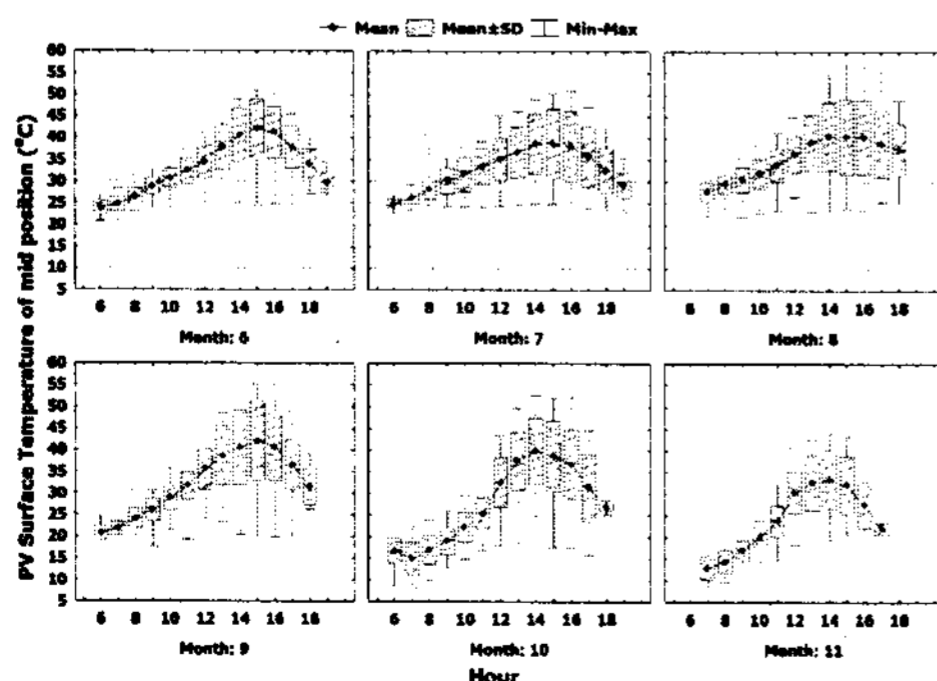


그림 6 월평균 시간별 PV모듈 중앙부지점 표면온도 변화범위

그림 6은 시간별 PV모듈 표면온도(중앙부지점) 변화범위를 각 월별 통계값으로 분석 도식한 결과이다. 8월의 경우 15시 부근의 PV표면 평균온도(중앙부지점)가 40℃ 부근이며, 최대온도도 60℃를 넘지않는다. 10월의 경우 평균값의 최소/최대 편차가 25℃에 이를 정도로 큰 온도변화를 나타내고 있다. 분석 대상 PV 모듈은 10%의 투과율을 가진 채광용 단창 형태로 적용되었기 때문에, 벽체나 지붕에 일체화된 기존의 결정계 모듈에 비해 큰 온도상승을 나타내지는 않는 것으로 나타났다.

4. 결론

본 연구에서는 국내에서 최초로 자연채광이 가능한 투과형 박막 아몰포스실리콘 태양전지를 이용해 아트리움 공간의 외피용 BIPV 모듈로 설계 시공한 후, 장기간의 성능 모니터링을 통해 발전특성을 분석 제시하였다. 1년간의 모니터링 결과 45 m², 2.2kWp의 투과형 박막 태양전지를 통해 생산된 총 발전량은 1,119 kWh/year이며, 월평균 93.2 kWh/month의 전기가 생산되었다. 단위출력당 발전량으로 환산할 경우 월평균 발전량은 40.5 kWh/kWp/month, 연간은 486.4 kWh/kWp/year로 나타났다. 본 연구의 발전량 측정결과는 일반적인 아몰포스 박막 태양전지를 최적의 방위각 및 경사각 조건으로 설치하여 도출한 단위출력당 발전성능 측정에 관한 기존 연구1) 데이터와 비교할 때, 거의 1/2에 해당하는 수준이다. 이는 대상건물의 방위각 영향으로 BIPV시스템의 방위가 남서측 50° 각도로 설치되었으며, 또한 좌우측 및 상부에 돌출된 건물매스의 자체 음영영향으로 인해 추가적으로 발전성능이 저하되었기 때문이다.

본 연구는 국내에서 최초로 아트리움 공간의 자연채광용으로 설치된 투과형 박막 아몰포스실리콘 태양전지 BIPV시스템에 대한 실측결과를 다양한 형태로 분석 제시했다는 점에서 의의를 찾을 수 있으며, 향후 큰 잠재시장을 가지고 있는 공공건물 또는 상업건물의 채광용 BIPV 시스템의 설계 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

후기

-본 연구는 (주)코오롱기술연구소의 지원으로 수행되었음.

-본 연구는 과학기술부 우수연구센터육성사업인 한양대학교 친환경건축 연구센터의 지원으로 수행되었음 (R11-2005-056-02005-0)

References

- [1] David Faiman, et. al. 2003 "Amorphous, mono- and poly crystalline silicon PV modules; A comparative study of their relative efficiencies under various outdoor conditions", 3rd Proceedings of World Conference on Photovoltaic Energy conversion, Osaka, Japan, May 11-18, 2003
- [2] 윤종호, 김석기, 송종화, 이성진, 2006. 5 "자연채광용 박막 태양전지 BIPV모듈의 발전성능 실측연구", 한국생태환경건축학회 학술발표대회 논문집, 제6권 1호(통권10호), ISSN 1975-3616, 2006. 5