

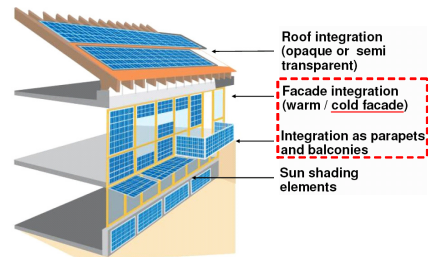
### 건물일체형 Cold Facade PV 시스템의 성능 분석

김현일\*, 강기환\*, 박경은\*, 유권중\*, 서승직\*\*  
 한국에너지기술연구원\*, 인하대학교\*\*

#### Analysis of Performance of Building Integrated PV System into Cold Facade

Hyun-Il Kim\*, Gi-Hwan Kang\*, Kyung-Eun Park\*, Gwon-Jong Yu\*, Seung-Jik Suh\*\*  
 Korea Institute of Energy Research\*, Inha University\*\*

**Abstract** - This paper presents the assesment of experimented data and estimated data for electrical and thermal performance evaluation of building integrated photovoltaic(BIPV) system of cold facade type. BIPV module is used to estimate the dependence of module temperature on irradiance, ambient temperature and indoor temperature. The module temperature of no free ventilated facade PV system is higher than cold facade PV system about 13.4°C. By the results on simulation, the reduction of electrical power loss is 9.57% into cold facade according to free ventilation. The annual averaged PR of BIPV system into cold facade is about 73.1%.



### 1. 서 론

전세계적으로 화석연료 사용 급증으로 96~'05년 사이 우리나라는 1.5°C, 전 세계적으로 0.74°C 상승하는 지구온난화 및 기상이변이 초래되고 있다. '국내 총에너지소비량의 30% 이상을 차지하는 건물에너지 사용 실태를 보면, 이 에너지의 약 20~30%가 단열성능이 취약한 창호와 같은 외부마감재를 통해 손실된다. 이에 2020년 예상 건축물부문 에너지소비량의 15% 절감을 목표로 설계에서 유지관리에 이르기까지 생애주기 전반에 걸친 에너지효율화를 도모하는 혁신방안의 일환으로 신재생에너지의 보급이 확대될 예정이다. 그중 건물일체형 태양광발전(Building Integrated Photovoltaic : BIPV) 시스템은 건물외부마감재와 PV 발전시스템 시장을 결합한 건물외장재형태로 건물에너지 절약과 신재생에너지원인 태양광발전 보급이란 전략적 사업으로의 시너지효과가 기대된다.

BIPV시장은 국내 공공기관의 신재생에너지 설비 의무화와 정부의 신재생에너지 보급정책에 따른 태양광 주택 10만호 보급사업 등이 맞물려 향후 크게 늘 것으로 전망되며, 더욱이 신재생에너지 개발 및 이용·보급 촉진법을 근거로 하는 신재생에너지 공공 의무화 사업은 기존에는 공공기관이 발주하는 건축연면적 3,000㎡ 이상의 신축 건축물에 대해서 총 건축공사비의 5% 이상을 신재생에너지 설비 설치에 투자하도록 의무화하고 있었으나, 2009년부터는 현행 신축건물에 제한을 두었던 것을 "신축·중축 또는 개축"건축물로 확대 시행된다. 설치의무화제도가 시행된 2007년말까지 17,075toe의 유류대체 및 50,950tco2의 온실가스 저감효과를 거둔 것으로 분석된다. 우리나라는 발전차액 제도가 시스템규모에 국한되어 차별적으로 지원되고 있지만, 프랑스의 경우 건물일체형 PV시스템의 경우 일반시스템의 보조금 30 cent/W 보다 25cent/W를 추가로 지원하여 BIPV 시스템의 적용을 장려하고 있다. 우리나라도 BIPV시스템의 적극적인 적용을 위해 경제적인 지원 물론 건물 에너지 및 건축환경에 미치는 BIPV시스템의 효과와 성능에 대한 정량적인 분석이 필요하다. 이에 본 논문에서는 열적 스트레스로 인한 BIPV시스템의 출력손실 저감을 분석하고, 그에 해결 방안으로 cold facade PV시스템의 적용가능성을 검토하였다.

### 2. 본 론

#### 2.1 건물일체형 cold facade PV 개요

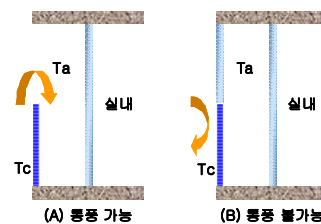
일반 지상용 PV모듈의 경우 설치 시 일사량, 설치경사각, 어레이간의 간격 등을 고려하는 반면, BIPV모듈의 경우 개설자의 쾌적한 환경을 보장이라는 중요한 요소가 추가된다. 특히 PV모듈 후면에서 발생하는 열을 처리하기 위한 적절한 설계 및 설치 공법이 요구된다. 이에 PV/T시스템과 같은 태양광과 열을 겸용 시킨 연구들이 활발히 진행되고 있다. 일반적인 연구결과에 의하면 PV모듈 후면 개방형보다 폐쇄형은 약 3~7°C 상승하는 것으로 알려져 있고 이로 인한 출력저하는 약 0.6~1% 정도로 예측되어 진다. 그림 1은 BIPV시스템 적용 유형의 개념도이다. Facade부분의 경우 자연통풍이 가능한 형태 즉, cold facade부분에 PV모듈을 적용시킬 경우 별도의 전력을 이용하는 환기시스템이 필요치 않다고 사료된다.

〈그림 1〉 건물일체형 PV시스템 적용 유형

PV시스템이 최대 효율을 얻기 위해서는 태양전지 셀의 온도상승을 70°C 이하가 되게 하는 것이 가장 이상적이다. 유럽에서 설계 경험치로 도출된 벽면에 부착되는 시스템의 손실율은 no air gap은 10% 손실, 5cm air gap은 5% 손실, 15cm air gap은 온도에 의한 최소한의 손실을 나타낸다. 이에 개구부나 창호의 개폐가 가능한 cold facade부분에 PV시스템을 적용할 경우 동절기에는 PV모듈에 의해 공기의 예열이 가능하고, 하절기에는 PV모듈에 의해 상승된 온도를 개구부를 통해 유입된 외기로 냉각이 가능하여 열적 스트레스로 인한 출력손실은 저감될 것이다.

#### 2.2 건물일체형 cold facade PV시스템 성능

건물일체형 PV시스템의 경우 실내온도가 정제되어 있는 PV 배면 온도에 의한 출력손실을 피할 수 없다. 이에 자연통풍 가능 여부에 따른 태양전지 어레이의 발전성능 및 PV모듈 배면 온도를 계산하였으며, 동일 시스템의 실측 데이터와 성능 비교분석을 하였다.



〈그림 2〉 건물일체형 facade PV시스템 개념도

#### 2.2.2 실험

BIPV시스템은 설치 방위각 15°(남서), 설치경사각 90°로 설치되었으며, 50W급 국산 단결정 실리콘 태양전지모듈(BIPVSTM50)로 총 11직렬2병렬 2군으로 설치되어있는 시스템에서 어레이 1군만 Sunny boy사의 정격 850W급 계통연계형 PCS(Power Condition System)에 연결하여 2007년 2월부터 운전 중이며, 데이터는 1분 간격으로 수집하고 있다. 그림 3은 시스템을 개요를 나타내며, PV모듈 규격과 PCS의 상세 규격은 표 1, 표 2와 같다.

〈표 1〉 모듈 규격 및 어레이 구성

| 모듈 규격                |       | 어레이 구성         |              |
|----------------------|-------|----------------|--------------|
| P <sub>max</sub> [W] | 50    | Cell type      | 단결정 Si       |
| V <sub>oc</sub> [V]  | 21.6  | Cell Size [mm] | 103×103      |
| I <sub>sc</sub> [A]  | 3.2   | Size [mm]      | 617×1075×9.5 |
| V <sub>mp</sub> [V]  | 16.95 | 모듈수량 [매]       | 22           |
| I <sub>mp</sub> [A]  | 2.95  | 어레이 구성         | 11직렬×2병렬     |

〈표 2〉 PCS 규격

|    |                             |             |
|----|-----------------------------|-------------|
| DC | Max operating voltage       | 300 [V]     |
|    | Operating voltage range     | 150~300 [V] |
|    | Nominal operating voltage   | 180 [V]     |
|    | Max input current           | 6.7 [A]     |
|    | Max temperature range       | -25~+60℃    |
| AC | Nominal operating voltage   | 230V        |
|    | Nominal operating frequency | 60Hz        |
|    | Nominal output power        | 850W        |
|    | Max output power            | 900W        |
|    | Max output current          | 4.5A RMS    |

2.2.2 시뮬레이션

건물일체형 cold facade PV시스템에서 그림 2의 (A)와 (B)에 따른 발전 성능 비교를 위해 태양전지 등가회로식인 식(1)을 이용해 시뮬레이션을 수행하였다. 동일 일사강도에서 식(2)에  $T_a$ 는 통풍이 가능한 조건(A)에는 외기온도를 통풍이 불가능한 조건(B)에는 실내온도를 적용하여, 그에 따른 태양전지 어레이의 출력전력과 PV모듈 온도를 식(2)~식(6)을 이용하여 계산하였다.

$$I = I_{SC} \left[ 1 - \exp\left(-\frac{V - V_{OC} + IR_S}{V_t}\right) \right] \quad (1)$$

$$T_c = T_a + C_t G_{eff} \quad (2)$$

$$V_t = 0.025 \times (273 + T_c) / 300 \quad (3)$$

$$I_{SC}(G) = \frac{I_{SC}^*}{G^*} G_{eff} \quad (4)$$

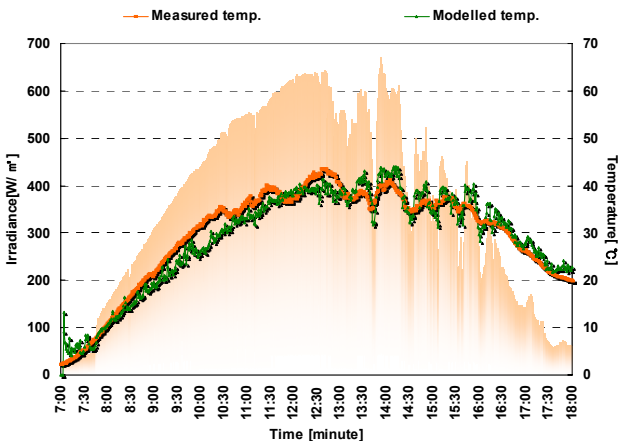
$$V_{OC}(T_c) = V_{OC}^* + (T_c - T_c^*) \frac{dV_{OC}}{dT_c} \quad (5)$$

$$R_s = \left( 1 - \frac{FF}{FF_0} \right) \frac{V_{OC}}{I_{SC}} = r_s \times \frac{V_{OC}}{I_{SC}} \quad (6)$$

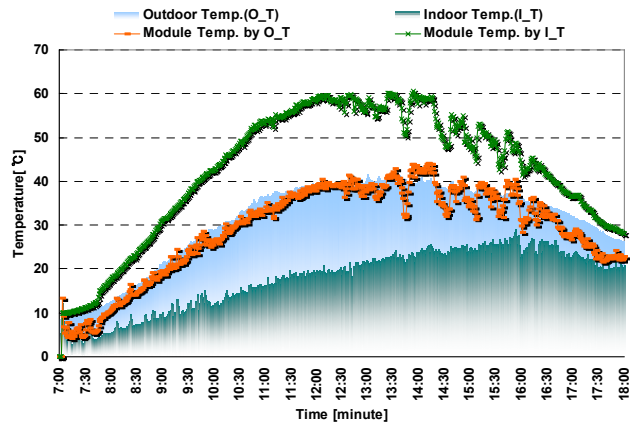
2.3 성능 분석

태양광발전시스템의 경우 외부환경 즉, 일사량, 풍량, 운량, 적설량 그리고 음영에 의해 영향을 받지만 이와같은 외부환경은 설계자가 완벽하게 제어할 수 있는 부분이 아니다. 반면 내부환경 즉, 모듈의 내부조건과 건축환경은 적절한 설계로 제어가 가능하다. 특히, 모듈 배면의 온도가 1℃ 상승 시 초래되는 약 0.5% 출력손실 뿐만 아니라 BIPV시스템의 경우 건물 재질자의 실내 열환경에 악영향을 끼치게 되며 이러한 정체가 되어 있는 상승된 공기는 재차 PV모듈에 열적 스트레스를 가하게 된다.

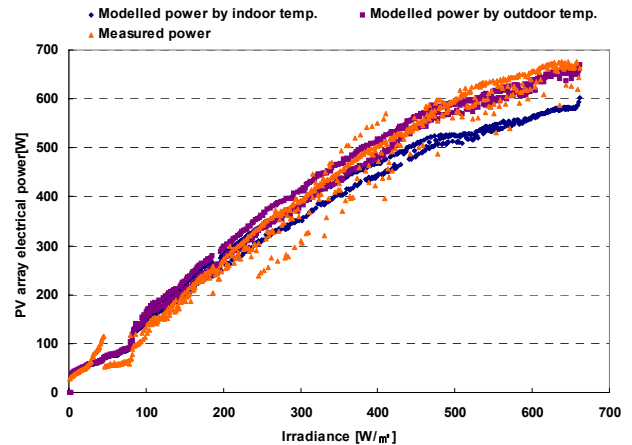
그림 3은 cold facade형 PV시스템의 계산된 PV모듈 온도와 실측된 PV모듈 온도의 비교를 나타냈다. 계산된 온도는 실측한 온도와 약 2.4℃ 정도의 차이를 보이며 그 패턴은 유사하게 나타났다. 그림 4는 cold facade형태와 달리 자연통풍이 안되는 경우는 정체가되어있는 실내공기에 의해 스트레스를 받은 PV모듈 온도를 계산하여 cold facade형 PV모듈의 계산된 값과 비교한 결과 평균 13.4℃ 정도의 차이를 나타냈다.



〈그림 3〉 PV모듈의 실측온도와 계산된 온도 비교



〈그림 4〉 열적 스트레스에 따른 PV모듈 온도 비교



〈그림 5〉 온도에 따른 BIPV시스템의 출력전력 비교

그림 5는 cold facade PV시스템의 실측 및 계산된 출력전력과 자연통풍이 되지 않은 동일 시스템의 계산된 출력전력을 비교한 결과이다. 자연통풍 가능 여부에 따른 계산된 출력전력의 차이는 평균 35.11W이다. 동일 출력전력량을 자연통풍 가능한 cold facade 시스템의 경우 4.4kWh, 자연통풍이 불가능한 시스템의 경우 4.02kWh로 계산 되었으며, cold facade PV시스템의 실측값은 4.31kWh이다.

3. 결론

본 연구는 건물일체형 태양광발전시스템의 활발한 적용을 위해 출력 전력 손실이 요인이 적고, 설치가 용이한 cold facade PV시스템의 적용 타당성을 검토하였다. 1.1kW급 cold facade PV시스템의 실측값과 시뮬레이션을 통해 계산된 값을 비교한 결과, 온도는 평균 2.4℃, 출력전력은 21W 차이가 나타났으며, 자연통풍 가능 여부에 따라 일일 시뮬레이션을 한 결과, 동일 용량 BIPV시스템에서 온도는 평균 13.4℃, 출력전력은 35.1W 그리고 자연통풍으로 PV모듈 배면온도가 방열됨에 따라 9.57%의 출력전력량 손실이 저감되었다. 또한 발전 시 PV모듈 배면 온도가 70℃이하이면 이상적이라는 기존 실증연구에 따르면, 본 연구에 cold facade PV시스템의 발전시 PV모듈 온도는 수직면이므로 하절기에도 비교적 안정적인 범위에 속한다고 판단된다. 발전성능 계수 PR은 연평균 73.1%로 시스템 자체의 큰 문제는 없으나 다만 수직면에 설치되므로 태양일조시간에 대해서 PV어레이의 급격한 성능 변화로 작용되는 것으로 판단된다. 향후 BIPV모듈 자체의 열모델링을 통해 발전성능을 분석하고자 한다.

[참고 문헌]

[1] Antonio Luque, Steven Hegedus, "Handbook of photovoltaic science and engineering", John Wiley & Sons Ltd. 2003.  
 [2] German Solar Energy Society, "Planning and Installing Photovoltaic Systems", James & James, p. 275, 2005  
 [3] DeoPrasad, "Designing with Solar Power", Images publishing, 2005  
 [4] G. Notton, C. Cristofari, M. Mattei, P. Poggi "Modelling of a double-glass photovoltaic module using finite differences", Applied thermal engineering, 25, 2854-2877, 2005