

스팬드럴 적용 BIPV의 후면 열 특성에 관한 연구

이상길*, 강태우**, 장한빈***, 강기환****, 김준태*****

*공주대학교 에너지시스템공학과(mysuperysg@kier.re.kr),
**공주대학교 에너지시스템공학과(twkang@kier.re.kr),
***공주대학교 에너지시스템공학과(hanbinj@kongju.ac.kr),
****한국에너지기술연구원(ghkang@kier.re.kr),
*****공주대학교 건축공학과(jtkim@kongju.ac.kr)

A Study on the Thermal Characteristics of BIPV Applied on Curtain Wall Spandrel

Lee, Sang-Gil* Kang, Tae-Woo** Jang, Han-Bin*** Kang, Gi-Hwan**** Kim, Jun-Tae*****

*Dept. of Energy System Engineering, Kongju National University(mysuperysg@kier.re.kr),
**Dept. of Energy System Engineering, Kongju National University(twkang@kier.re.kr),
***Dept. of Energy System Engineering, Kongju National University(hanbinj@kongju.ac.kr),
****Korea Institute of Energy Research(ghkang@kier.re.kr),
*****Dept. of Architectural Engineering, Kongju National University(jtkim@kongju.ac.kr)

Abstract

BIPV is applied to buildings in various forms. However, there are some aspects of consideration in applying PV systems in buildings, such as attaching methods, PV electrical efficiency, appearance and so on. BIPV can be installed on curtain wall spandrel as finishing material, which may combine with insulation. The thermal characteristic of spandrel with BIPV has rarely been studied; the temperature of air space between PV module and insulation layer affects both the electrical behavior of PV module and the energy load in a building. This paper aims to analyse the temperature variation of the layers in BIPV spandrels. In this paper, the temperature of layers, including the air space and PV module, was measured for three different type of BIPV applications on spandrel. The results show that the temperature of air layer for the spandrel with G/G(2) type BIPV module on October was the highest among other months.

Keywords : 건물일체형 태양광발전(Building-integrated photovoltaic), 태양광발전모듈(Photovoltaic module), 스팬드럴(Spandrel), 단열(Insulation), 열적 특성(Thermal characteristics)

1. 서 론

1.1 연구 배경 및 목적

태양광 발전을 건물과 결합시킨 BIPV 시스템은 벽, 지붕, 창호, 차양 등 건물에 다양하게 적용시킬 수 있다. 하지만 건물의 스펠드럴 적용시 스펠드럴 부분은 하나의 외피이기 때문에 단열을 필요로 하고 마감재로 BIPV를 적용하면 환기를 시키지 않는 한 BIPV와 단열재 사이의 공간에는 열로 인한 문제가 발생한다. 우선 건물에너지 측면에서는 냉난방부하에 영향을 줄 수 있으며 전기 발전이라는 측면에서는 온도계수에 의한 발전량 감소를 가져올 수 있다. 그러므로 스펠드럴 부분에 적용되는 BIPV는 각 적용 방식별 열 특성 분석이 선행되어야 하고 그 후에 건물에 미치는 영향까지 고려해야만 올바른 설계가 이루어질 것이다. 그러나 아직까지 이 부분에 대한 연구는 미비한 실정이므로 이러한 스펠드럴 적용 BIPV의 열적 특성에 대한 기초자료로 BIPV 적용 방식에 따라 중공층의 온도가 어떻게 변화하는지 규명하는 것이 필요하다. 따라서 본 논문의 목적은 BIPV가 적용된 건물 스펠드럴부 중공층의 온도 특성을 실험을 통해 비교분석하는 것이다.

1.2 연구 방법 및 범위

본 논문에서는 스펠드럴 적용 BIPV 후면부의 열적 특성을 알아보기 위하여 먼저 중공층을 갖는 BIPV의 열전달 원리를 살펴보았다. 다음으로 커튼월의 스펠드럴부에 결합이 가능한 BIPV 적용 방식 3가지를 설계하고 실험체를 시제작하여 내부 공기층을 포함한 각 층별 온도를 측정하여 열적 특성을 비교하기 위한 실험을 수행하였다. 제작된 실험체를 대상으로 2011년 11월부터 1년간 열적 성능을 측정하고 그 결과를 비교 분석하였다.

2. BIPV 적용 건물 외벽 열전달 특성

2.1 BIPV의 태양복사열 유입

Fig. 1은 실험에 따른 Back sheet 타입 BIPV를 도식화한 것으로 전면부에 일사에 의한 태양복사열이 유입되고 열전달이 이루어지는 BIPV의 각 구성 재료인 유리, EVA(충진재)를 포함한 태양전지, Back sheet(후면재), 중공층(Air gap), 단열재(Insulation material)를 나타내고 있다.

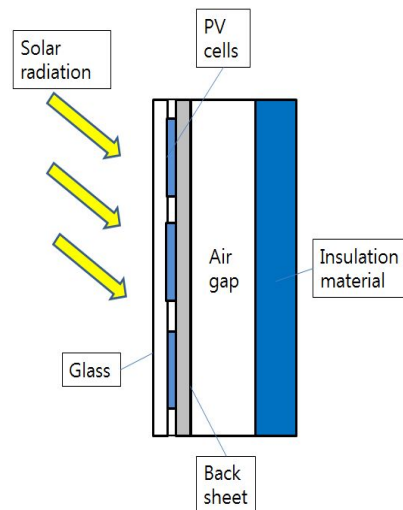


Fig. 1 Sectional view of spandrel with BIPV module

2.2 스펠드럴 적용 BIPV의 열전달 과정

다양한 재료로 구성된 BIPV 적용 벽체의 열전달 매커니즘을 살펴보면 외부조건에서의 경우와 벽체 내부에서의 경우로 구분할 수 있다. Fig. 2는 BIPV 벽체와 외부 조건인 일사량, 일부 공기층과의 열전달 과정을 나타내고 있다. Fig. 3은 공기층 내부에서 각 재료별 전도, 복사, 대류를 통한 열전달 매커니즘을 나타내고 있다. Air gap은 Back sheet와 경계를 이루고 있는 Air gap(B)와 단열재와 경계를 이루고 있는 Air gap(I)으로 세분화 하였는데 이는 같은 공기층이라 할지라도 근접해 있는 재료에 의한 영향으로 각기 다른 온도 특성을

보이기 때문이다.¹⁾

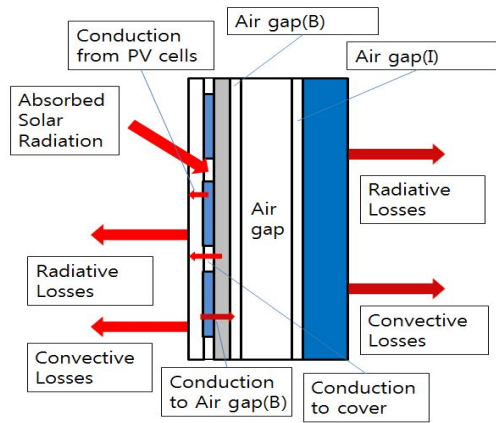


Fig. 2 Heat transfer mechanism of BIPV applied spandrel (external)

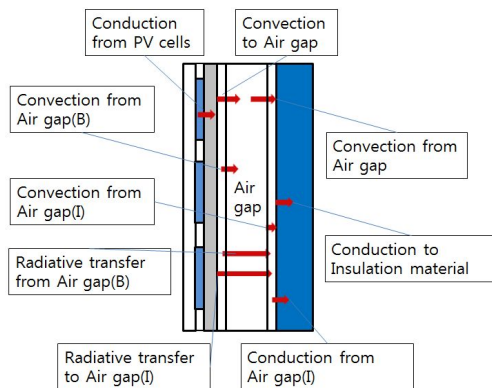


Fig. 3 Heat transfer mechanism of BIPV applied spandrel (internal)

3. 실험 개요

본 논문에서 수행한 스펠드럴에 적용된 BIPV의 후면 중공층의 열 특성 분석을 위해 고려한 주요 설계요소는 BIPV 모듈, 중공층 간격, 후면 단열재, 모듈의 투광성 등이다. 이

1) Solar Energy Laboratory, TYPE 566: Building-integrated PV system, The TRNSYS16 Manual, Vol. A2, Wisconsin: Univ. of Wisconsin-Madison, 2006

요소들을 반영한 세 가지 실험모델로는 우선 후면 단열재 및 중공층 간격이 동일한 Back sheet 타입과 복층화된 Glass-to-Glass(G/G)(1) 타입이 있으며, 세 번째 타입은 G/G(1)타입과는 투광면적이 다른 G/G PV모듈을 적용하고 후면 단열재, 중공층 간격 등이 다르게 적용한 G/G(2)타입이다. 외기조건에서 스펠드럴형 BIPV 시스템의 열적 특성을 파악하기 위해 실험체는 옥외에 설치되었다. 스펠드럴에 적용되는 BIPV의 실측 모델 중 Back sheet 타입과 G/G(1)타입에 대한 실험체는 Fig. 4와 같다.

Fig. 5는 G/G(2)타입의 실험체이며 실제 건물에 적용되어져 있다. 실험체가 설치된 장소는 대전시 유성구에 소재한 한국에너지기술연구원 성능 평가동 옥상이며, 세 타입 모두 BIPV 모듈이 남향을 향하도록 하였다. 실험은 2011년 11월부터 2012년 10월까지 계속하여 진행되었으며, 수집된 데이터 중 계절별 변화를 뚜렷하게 확인할 수 있는 1월, 4월, 7월, 10월의 비교적 일사량이 양호한 날의 자료를 바탕으로 비교 분석하였다.



Fig. 4 BIPV experimental models(left circle: G/G(1), right circle : back sheet type)



Fig. 5 BIPV experimental model of G/G (2) type

각 실험체는 Fig. 6과 같은 구성 상세를 하고 있으며 G/G타입인 경우 10mm의 간격을 두고 유리를 복층화 하였다. Back sheet 타입과 G/G(1)타입의 후면 단열재는 10mm이며 중공층 간격은 50mm로 하였다. G/G(2)타입에 대해서는 중공층 간격 23mm, 후면 단열재는 60mm로 하였다.

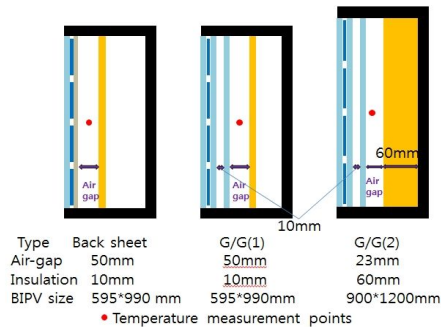


Fig. 6 Temperature measurement points and the configuration of the experiments

각 실험체 타입에 적용된 PV모듈의 특징을 살펴보면 Back sheet타입과 G/G(1)타입은 5인치 단결정 실리콘 태양전지 28개를 직렬로 구성하여 990 * 595mm의 크기이다. 표준 실험조건(STC)에서 Back sheet 타입은 73.4 W, G/G(1) 타입은 71.7 W의 용량을 갖는 것으로 측정되었다. G/G(2)타입의 경우 5인치 단결정 실리콘 태양전지 24개를 직렬로 구성한 PV모듈이 사용되었으며 크기는 1200 * 900 (mm)로 STC에서 전기용량은 45.99 W로 측정되었다.

4. 실험 결과

4.1 일별 중공층 온도

동일한 외기조건에서 스펠드럴 적용형태의 세 가지 BIPV 유형에서 내부 중공층의 열적 특징을 비교분석하기 위해 PV모듈과 단열재 사이의 공기층의 온도를 비교하였다. Fig. 7부터 Fig. 10은 각 날짜별 외기 온도와 일사량 등 외부 환경이 동일한 상태에서 실험 모

델의 중공층 온도를 비교한 것이다.

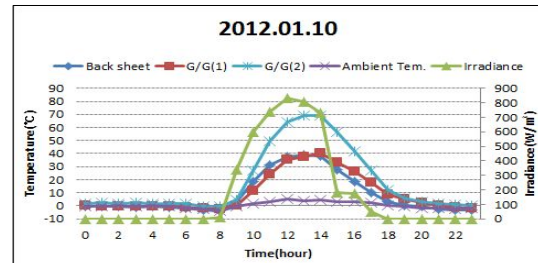


Fig. 7 Temperature variation of BIPV spanderel air gap (Typical winter day)

겨울철을 대표할 수 있는 2012년 1월 10일 하루 동안의 중공층내 공기온도는 Fig. 7과 같다. 우선 Back sheet 타입과 G/G(1)타입을 비교하면, 오전에는 Back sheet 타입 중공층의 온도가 G/G(1)타입의 경우보다 높았지만 오후 2시경을 기점으로 G/G(1)타입의 온도가 더 높아졌으며 이 경향은 오후 시간 동안 그대로 유지되었다. 그러나 두 타입의 중공층 온도는 전체적으로 낮은 상태를 유지하는 것으로 나타나 Back sheet 타입의 최고 온도는 13시에 기록된 38.8 °C이며, G/G(1)타입의 최고 온도는 14시에 기록된 40.1 °C 였다.

G/G 모듈을 사용한 G/G(1)과 G/G(2)를 비교하면, G/G(2) 타입의 중공층 온도가 측정 시간별로 최소 약 2 °C 이상 높았으며, 특히 오후 1시와 2시의 경우 다른 두 타입에 비해 30 °C 이상 높게 나타났다. G/G(2) 타입에서 중공층의 최고 온도는 68.9 °C로 나타났다.

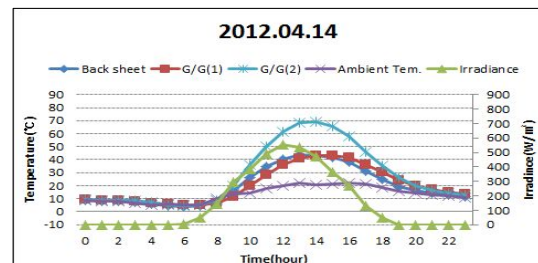


Fig. 8 Temperature variation of BIPV spanderel air gap (Typical spring day)

봄철을 대표하는 특정일로 선정한 2012년 4월 14일의 시간별 중공층의 온도변화는 Fig. 8과 같다. 일사량이 증가함에 따라 Back sheet 타입과 G/G(1) 타입의 경우 오전과 오후 시간대별로 중공층의 온도는 다소 차이가 있으나 전체적으로 유사한 분포로 증가하는 것으로 나타났다. back sheet 타입의 최고 온도는 13시에 기록된 43.9 °C, G/G(1)타입은 14시에 기록된 43.5 °C로 나타나 최고온도에서 두 타입은 거의 차이가 없는 것으로 확인되었다. G/G(2) 타입의 중공층 온도를 살펴보면 일사가 없는 새벽 시간대에는 G/G(1) 타입과 비교할 때 1 °C 이내로 거의 같은 온도분포를 보이나 일사가 높은 낮 시간에는 G/G(2)타입의 중공층 온도가 더 높게 올라갔다. 이 타입의 중공층 최고 온도는 69.4 °C로 다른 두 타입 최고온도보다 26 °C 가량 차이를 보였다.

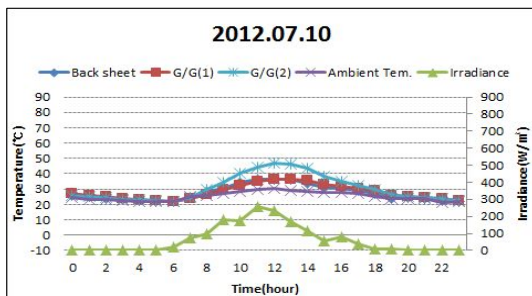


Fig. 9 Temperature variation of BIPV spandrel air gap (Typical summer day)

여름철을 나타내는 2012년 7월 10일 하루 동안의 BIPV 온도특성을 살펴보면, Back sheet 타입의 중공층 온도는 오전에 G/G(1) 타입보다 높고 정오경부터 G/G(1) 타입의 온도가 더 높아지기 시작하였다(Fig. 9). Back sheet 타입은 11시 최고 온도 36.4 °C, G/G(1) 타입은 12시에 기록된 36.6 °C로 거의 유사한 분포를 나타냈다. 반면 G/G(2) 타입의 경우 중공층 온도는 다른 두 타입보다 높아 최대 46.6 °C를 기록하였다. Fig. 9에서 나타나듯 여름철 외기 온도는 다른 계절과 비교하여 높

지만 수직인 벽면의 일사량 획득이 큰 폭으로 감소하여 전체적으로 BIPV 내부 중공층의 온도가 낮은 것으로 판단된다.

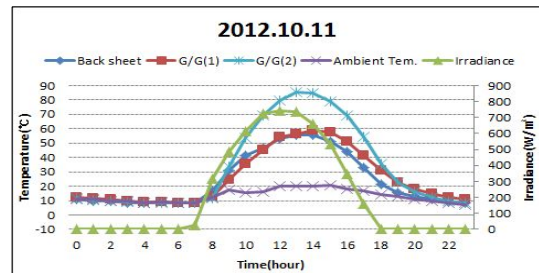


Fig. 10 Temperature variation of BIPV spandrel air gap (Typical autumn day)

2012년 10월 11일의 측정을 통해 전형적인 가을철의 특성은 Fig. 10과 같다. Back sheet 타입과 G/G(1) 타입 모두 오후 2시에 최고 온도를 기록하였고 이는 각각 55.6 °C와 58.9 °C로 나타났다. G/G(2) 타입의 경우 오후 1시 중공층의 온도가 최대 85.7 °C까지 상승하였고 전체적으로 앞의 두 타입에 비해 높은 온도 차이를 보이고 있다.

4.2 계절별 중공층 온도 비교

계절별로 실험 대상 BIPV 스펀드럴 내부의 공기온도 변화를 살펴보기 위해 실험 대상 타입별로 각 계절을 대표하는 일자의 시간대별 온도를 비교 분석하였다. Fig. 11은 Back sheet 타입의 각 계절별 대표일의 중공층의 온도 분포를 비교한 것이다.

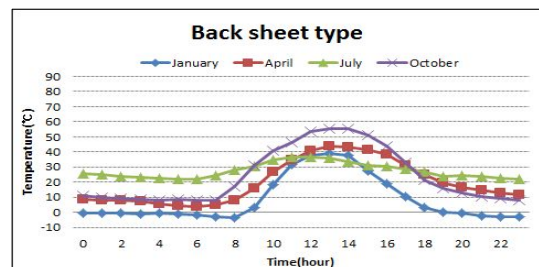


Fig. 11 Temperature variation of air gap in BIPV Back sheet type according to season

Back sheet 타입의 경우 외기온도의 영향으로 일사가 없거나 낮은 시간대에서는 여름철 중공층 온도가 가장 높게 나타났고 일사가 높은 낮 동안에는 여름철의 온도가 가장 낮게 유지가 된 것으로 나타났다. 이 타입에서 가을철(10월) 일사가 높은 낮 동안 가장 높은 온도 분포를 갖고 있다.

G/G(1) 타입에서도 최고 온도를 확인하면 여름철이 가장 낮고, 낮동안은 가을철 가장 높은 온도를 유지하는 것으로 확인되었다(Fig. 12). 다음으로 중공층의 온도가 높은 순서는 봄철(4월)과 겨울철(1월)이었다.

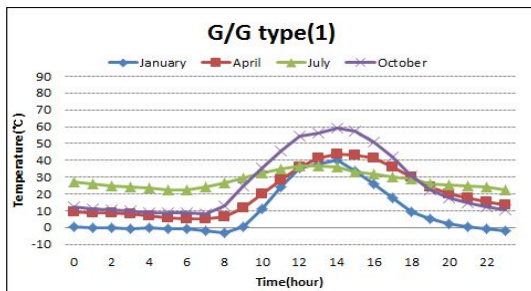


Fig. 12 Temperature variation of air gap in BIPV G/G(1) type according to season

G/G(2) 타입의 계절별 온도 분포는 Fig. 13과 같으며 가을인 10월에 가장 높은 온도 분포를 보이는 것은 앞의 경우와 같으나, 봄(4월)과 겨울철(1월)은 오전에 온도분포가 거의 같은 수준을 유지하는 것으로 나타났다. 이 타입에서도 여름철 온도 분포가 가장 낮은 것으로 확인되었다.

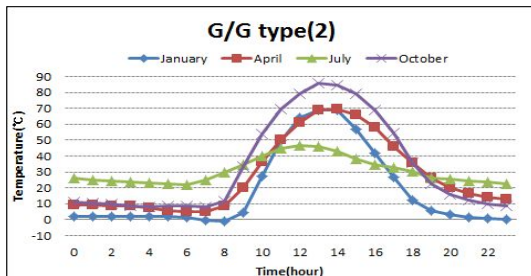


Fig. 13 Temperature variation of air gap in BIPV G/G(2) type according to season

4.3 실험 결과 분석

이상의 결과에서 동일 외기 조건과 동일 몸체를 갖는 Back sheet 타입과 G/G(1)타입은 일사가 시작되는 오전에는 Back sheet 타입의 중공층 온도가 더 높았지만 오후부터 저녁까지는 G/G(1)타입의 중공층 온도가 더 높게 나타났다. 동일한 조건에서 스펀드럴부에 적용된 BIPV모듈의 적용방식이 다르기 때문에 내부 중공층으로의 열전달 특성에도 차이가 나타난 것으로 분석된다. 즉 back sheet 타입의 BIPV 모듈 적용과 G/G 모듈의 복층화로 인해 전면 구성재의 열적 전달에서 차이가 발생하고 일사가 낮은 오후 시간에는 반대로 중공층에서 전면으로의 열손실에 차이가 생기므로 인해 G/G(1) 타입의 중공층 온도가 더 높은 것으로 판단된다.

또한 1, 4, 7, 10월을 각 계절을 대표한다고 가정하고 비교했을 때 외기 온도가 높은 여름 보다는 수직면에 가장 많은 일사를 받는 가을에 중공층 온도가 가장 높은 것으로 나타나 중공층의 열로 인한 PV모듈의 효율 저하 문제가 발생할 가능성이 가장 높은 시기로 예상할 수 있다.

G/G(1) 타입과 다른 유형의 G/G 모듈을 적용한 G/G(2) 타입에서 중공층의 온도가 최대 85.7 °C에 도달하였고 전체적인 온도 분포도 가장 높게 나타났다. 이는 적용된 G/G 모듈의 투광성이 높아 내부로 유입된 일사에너지가 더 많고 중공층 간격이 감소하였으며 후면 단열재가 강화되었기 때문으로 분석된다.

5. 결론 및 고찰

본 논문에서는 BIPV 모듈이 적용된 스펀드럴 내부의 열적 특성을 분석하기 위해 서로 다른 BIPV 모듈 유형을 적용한 세 타입의 실험체를 대상으로 실측된 중공층 온도를 분석하였다. 각 계절별 대표일을 기준으로 유형별 온도 특성을 비교하였다.

동일한 조건으로 스펀드럴 부분을 구성한 Back sheet 타입과 G/G(1)타입의 중공층 최고 온도는 시간대별로 다소 차이는 있으나 거의 유사한 분포를 보였다. 이 차이는 G/G(1) 타입의 복층화된 유리 간격 10mm에 따른 오전과 오후 시간대의 열전달과 열손실의 시간 차로 인해 발생하는 것으로 판단된다. 투과면적이 넓은 G/G BIPV 모듈이 적용된 G/G(2) 타입에서는 내부로 유입되는 일사에너지 양의 증가로 인해 온도가 다른 타입에 비해 상당히 높은 것으로 확인되었다. 이러한 분석 결과를 통해 단열이 적용된 스펀드럴 부분에 BIPV를 설치할 경우 투과 면적과 중공층 간격, 후면 단열재의 성능 강화등이 중공층 온도에 영향을 미치는 것으로 파악되었다.

BIPV 시스템의 효율을 높이기 위해서는 PV 모듈의 투광성 이외에 스펀드럴을 구성하는 요소들이 이러한 온도 차이에 어떠한 영향을 미치는지 보다 상세하게 규명하는 것이 필요하다. 추후 이론적 해석 및 실험을 통한 정량적 비교 분석을 실행하는 것이 요구된다. 특히, 향후 커튼월 스펀드럴부에 BIPV모듈을 적용하여 중공층의 온도 상승으로 인한 BIPV시스템의 발전량 감소에 대한 추가적인 연구가 필요하다.

후 기

본 논문은 2011년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지기술평가원(20114010203040)의 지원을 받아 수행된 것임.

References

1. J. H. Yoon, M. H. Oh, G. H. Kang and J. B. Lee, Annual Base Performance Evaluation on Cell Temperature and Power Generation of c-Si Transparent Spandrel BIPV Module depending on the Backside Insulation Level, Journal of the Korea Solar Energy Society, vol. 32, pp. 24~33, 2012
 2. Solar Energy Laboratory, TYPE 566; Building-integrated PV system, The TRNSYS16 Manual, Vol. A2, Wisconsin: Univ. of Wisconsin-Madison, 2006
 3. A. Kwok and W. Grondzik, Green Studio Handbook, 2nd edition., Burlington(USA) : Architectural Press, 2011
 4. S. Armstrong and W.G. Hurley, A thermal model for photovoltaic panels under varying atmospheric conditions, Thermal Engineering, vol. 30 pp. 1488~1495, 2010
 5. U. Eicker, Solar Technologies for Buildings, Chichester(England):Wiley, 2003
 6. K. E. Park, Study on the Performance Characteristics of Semi-Transparent BIPV Modules for Glazing, Doctoral Dissertation, Kongju National University, 2010
 7. H. R. Kim, A Study on Electrical and Thermal Performance of BIPV Curtain Wall Systems, Master's Thesis, Kongju National University, 2012
 8. J. H. Kim, A Study of Energy Performance of a Building-Integrated Photovoltaic-Thermal System, Doctoral Dissertation, Kongju National University, 2011
1. J. H. Yoon, M. H. Oh, G. H. Kang and J. B. Lee, Annual Base Performance Evaluation on Cell Temperature and Power Generation of c-Si Transparent Spandrel BIPV Module depending on the Backside Insulation Level,