

[논문] 한국태양에너지학회 논문집

Journal of the Korean Solar Energy Society

Vol. 26, No. 3, 2006

단열 복층유리 PV의 커튼 월 적용 가능성에 관한 실험적 연구

오민석*, 김희서**

*두원공과대학(oh-ms@hanmail.net), **단국대학교 건축공학과(hwayskim@hanmail.net)

The Experimental Study on the Application of the Insulated Glass PV Module in the Curtain Wall

Oh, Min-Seok*, Kim, Hway-Suh**

*Architectural Engineering & Interior Design, Doowon Technical College(oh-ms@hanmail.net),

**Dept. of Architecture, Dankook University(hwayskim@hanmail.net)

Abstract

In order to positively cope with the international environmental regulations like UNFCCC (UN Framework Convention on Climate Change) and to overcome energy crisis, Korea, who depends on import for more than 97% of required energy, needs to continuously proceed to development, spread and expansion of alternative energy and then, to cultivate the capacity to keep the balance of demand and supply of energy by itself. In this aspect, the technology of BIPV (Building Integrated Photovoltaic) is the field that the world is most interested in. However, at present, this technology is centered on increasing the efficiency of the module itself so it has lots of problems to be applied to buildings. Application of the integrated PV system in building external curtain wall can obtain much more generation of electric power than in roof-types whose area for installation is restricted, so it is excellent in terms of its possibility of application. Therefore, this paper intends to advance its practical use by proposing how to get integrated PV system which can be applied to building external curtain wall, and how to apply it.

Keywords : 대체에너지(Alternative Energy), 태양전지(Photovoltaic), 커튼 월(Curtain wall), 건축물 적용(Building's Integration), 일체화 가능성(Unification's possibility)

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 기대효과

에너지의 공급의 97%이상을 수입에 의존하고 있는 국내의 경우, 에너지 위기의 근본적인 해결을 위해 대체에너지의 개발·보급·확대 정책을 지속적으로 추진하고 있다. 과거 건축물 에너지 소비억제를 위한 노력은 단열보강과 고효율 기기의 개발 등 절약정책 위주로 추진되어 왔으나 이러한 기술이 에너지 위기의 대처하는 궁극적인 해결책이 될 수는 없었다.

건축물에 태양전지를 적용하는 BIPV(Building Integrated Photovoltaic) 기술은 청정에너지 생산을 위한 보다 적극적인 기술이며, 국가 에너지 정책의 대안으로 최근 세계적으로 큰 관심을 받는 분야이다. 그러나 현재까지 BIPV 기술은 그 적용에 있어 초보적이며, 건축 마감재로 사용되기 위해서는 추후 단열성능과 같은 건축물 외피 마감재로서의 물리적 요건을 충족시켜야 한다.

1.2 연구의 방법

본 연구는 수직 외벽면에 적용 가능한 단열 복층유리 PV의 성능평가에 관한 연구로 먼저, 커튼 월 외피에 적용 가능한 단열 복층유리 PV의 디테일을 제안하였고, 이후 3차원 모델링을 통해 제안된 단열 복층유리 PV의 건축물 일체화 가능성에 대하여 알아보았다. 또한, 일사량과 PV모듈 주위의 온도와 변환효율의 관계를 실험하여 제안된 시스템의 성능을 검증하고자 하였다.

2. PV시스템의 커튼 월 적용 방법

2.1 커튼 월(Curtain Wall)의 의미

현대 건축에서 가장 각광받는 대형 유리의 커튼 월(Curtain Wall) 외피 마감은 충분한 차양 및 단열 대책이 없는 상황에선 과도한 열손실로 건물 에너지 소비를 부추기는 요인으로 작용하게 될 뿐

만 아니라 건축물 외관을 단순하며 획일적이게 한다. 이러한 문제들은 PV시스템의 다양한 디자인을 통해 보완이 가능하다.

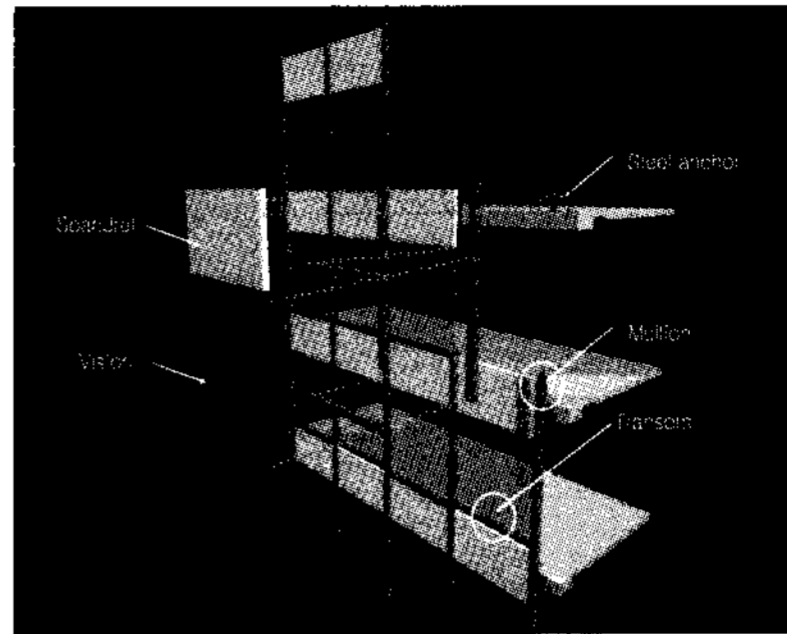


그림 1. 커튼 월의 구성

2.2 커튼 월 외피의 적용 가능성

커튼 월은 스펠드럴(Spandral)의 불투명한 표면을 포함하며 불투광성(Non-Transparent)의 PV모듈이 사용될 수 있다. 커튼 월의 비전(Vision)은 일반적으로 유리가 사용되며 양호한 광학적 속성과 함께 매우 투명한 기능에 그 이유가 있다.

따라서, 비전 부분에 적용가능한 PV모듈은 유리를 대체할만한 투광성이 요구된다. 그러나 현재까지는 반투광성의 PV모듈(비정질 아몰포스)을 이용하거나 불투명 PV모듈(결정형 실리콘)의 셀(Cell)과 셀(Cell) 사이 간격을 통해 투과되는 빛의 일부를 부분적으로 사용 가능할 뿐이다.

2.3 일체형 PV모듈의 작동환경

(1) 일사량과 발전량

PV모듈은 표면에 조사되는 일사량의 강도에 크게 영향을 받기 때문에 태양을 향한 PV시스템의 최적방향과 설치각도가 무엇보다 중요하다. 그러나 수직 외벽면에 적용되어진 PV시스템은 적정 설치각도 확보의 어려움에도 불구하고 날로 고층화하는 건축물에서 PV모듈의 적용면적 확보에 보다 많은

가능성이 있어 최근 관심이 고조되고 있다.

(2) 음영과 발전량

PV모듈의 표면 전부 또는 일부에 그림자가 드리워 직사광선이 방해받을 경우 일사획득 면적의 감소, 음영에 의한 계통 결손 등 시스템 전체의 발전량 확보에 악영향을 미치게 된다. 그러므로 설치장소 주변의 나무나 건물 등은 물론 멀리 언(Mullion)과 트랜섬(Transom)과 같은 커튼 월 부재 자체의 높이로부터 돌출로 인한 음영이 지 않도록 유의한다.

(3) 온도의 영향과 발전량

일사량이 많다고 해도 발전량이 비례적으로 증가되는 것이 아니다. 결국, PV모듈 자체온도를 가능한 낮게 유지할수록 변환효율과 실내공간의 단열성능에 유리하므로 시스템 주변온도로부터 PV모듈의 온도 저감방안이 고려되어야 한다. 특히, 여름철 일사의 영향에 따른 일체형 PV모듈의 작동 및 주변온도(내/외표면, 중공층)상승에 대한 변환효율의 검토가 필요하다.

3. 일체형 BIPV모듈의 제작

결정계의 실리콘 태양전지 셀(Cell)의 두께는 0.3~0.5mm로 3~10 μ m인 비정질형(아몰포스계통)에 비해 모듈 전체의 중량이 많이 나가는 단점이 있으나, 변환효율이 비교적 높아 일사량이 부족한 수직 외벽면의 적용에 발전량 확보상 유리하다.

3.1 샌드위치 글래스 모듈의 도입

샌드위치 글래스 결정형 실리콘 PV모듈은 PV를 보호하는 2개의 유리와 혼합하여 디자인 된다. 이와 같은 형태의 모듈은 아직 열성능이 검증되지 않아 국내 관련법상 건축물의 외피재료로 매우 제한적이다. 따라서, 일체형 방식에 적용 가능한 다양한 열성능 조합을 검토해 볼 필요가 있다.

표 1. 창 및 문의 국내 기준(열관류율 : kcal/m²h²C)

건축물의 부위		중부 지역	남부 지역	제주도
창 및 문	외기에 직접면하는 경우	3.30이하	3.60이하	4.50이하
	외기에 간접면하는 경우	4.70이하	5.20이하	6.50이하

3.2 단열 복층유리 PV모듈의 개념

현재 국내에서는 일반적으로 6mm와 12mm의 공기층을 가진 단열 복층유리가 사용되고 있으며 단열성은 단층유리의 약 2배가 된다. 이와 같은 원리를 이용한다면 샌드위치 글래스 PV 모듈의 단열성 향상 모델을 제안 가능하다. 제안된 단열 복층유리 PV 모듈의 구상도는 OPTISOL Energie Fassaden의 기술자료를 참고하였으며, 공기층을 포함한 단열 복층유리 PV의 개념도는 그림 2와 같다.

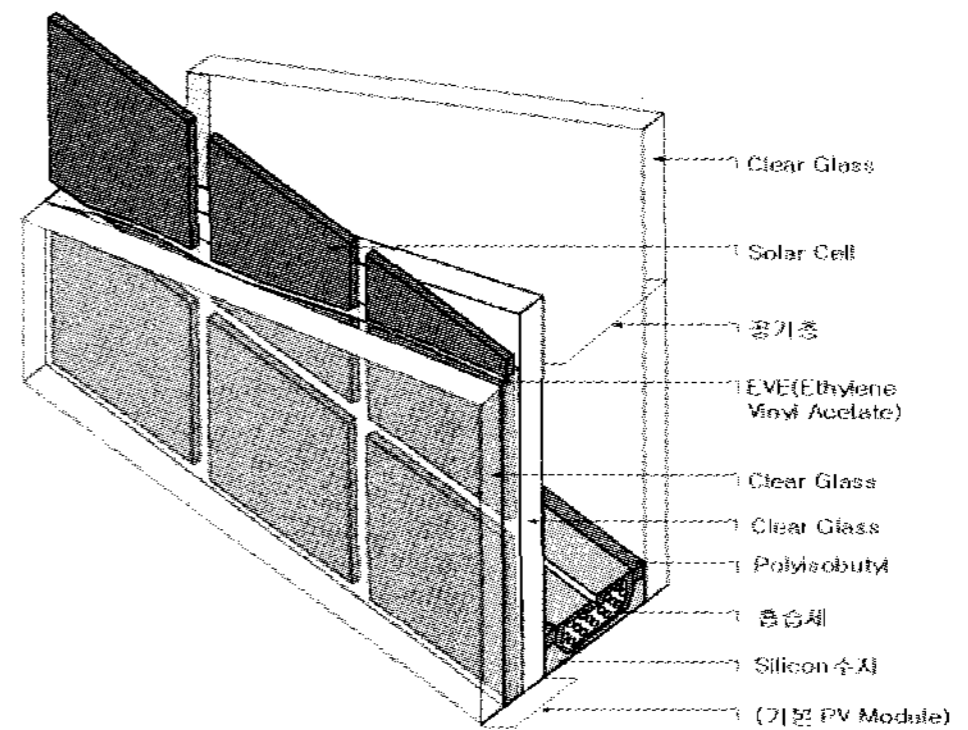


그림 2. 일체형 단열 복층유리의 PV모듈의 개념도

3.3 단열 복층유리 PV모듈의 제작

정지된 공기(Still Air)는 단열의 효과가 매우 높은 재료로 상온 20 $^{\circ}$ C의 경우 열전도율이 0.022 kcal/mh $^{\circ}$ C로 단열재의 기본이 된다. 일체형 단열 복층유리 PV의 제작은 도입한 샌드위치 글래스 PV(Glass-4mm + 1EVA(PV) + Glass-4mm) 모듈의 뒷면에 12mm 공기층(=간봉의 두께)과 6mm유리를 두어 제작하였다. 보다 다양한 재료의 응용에 따른 열관류율 산정을 위해 WINDOW

5.021) 프로그램을 사용하였으며, PV 셀(Cell)의 열전도율 값을 유리와 같이 계산한 결과 Saint Gobain Glass사에서 제시된 기술자료의 실제 측정값과 비교하여 유사한 결과를 얻을 수 있었다. 2) 시뮬레이션에 의해 샌드위치 글래스 PV = 4.4kcal/m²h°C, 단열 복층유리 PV = 2.1 kcal/m²h°C의 값을 계산하였다. 제안된 시스템은 국내 외벽 단열기준에 상위하며 아르곤 가스, Low-E글라스 등의 응용에 의해 보다 향상된 열성능 값을 얻을 수 있다. 알루미늄 프레임은 대표적인 프레임 제작 E사의(단열바 포함) 제품을 실제 이용하여 그림 3과 같이 제작되었다.

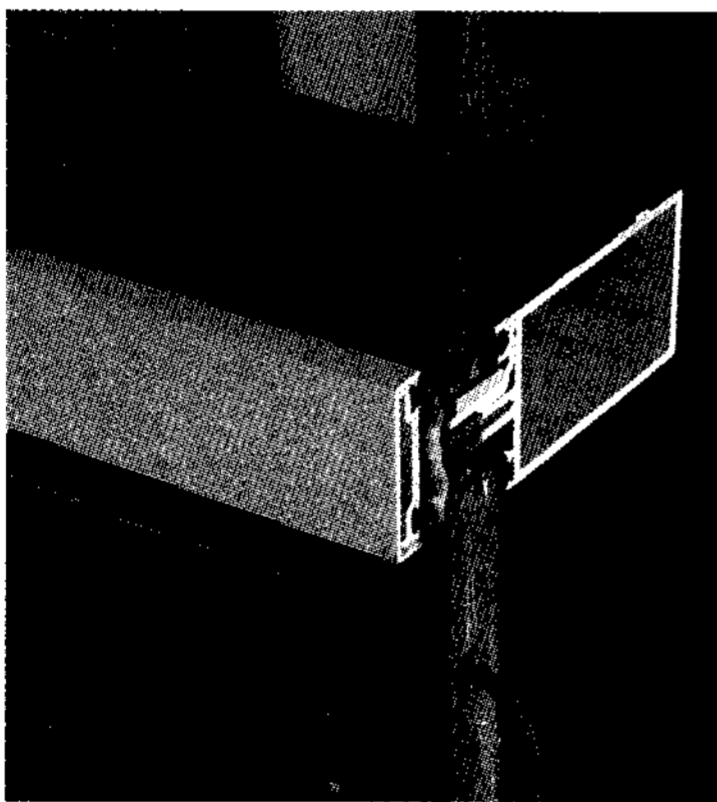


그림 3. 단열 복층유리 PV모듈의 결합 디테일

3.4 3-D모델링

단열 복층유리 PV모듈을 커튼 월에 적용 시 비전(Vision) 부분에 사용되어 질 수 있으며 서로 다른 두께의 기존 외피(유리)와의 조합 가능성에서 그림 4와 같은 디테일을 완성하여 긍정적인 결과를 도출하였다. 또한, 제안된 일체형 복층유리 PV 모듈의 규격을 토대로 그림 5와 같이 3D-모델링 하

여 건축물 외피 적용 가능성을 현실화하였다. 추후 연구에서는 조명부하의 영향과 냉난방부하 및 발전량의 종합적인 지표로서의 환경성능이 검토되어야 할 것이다.

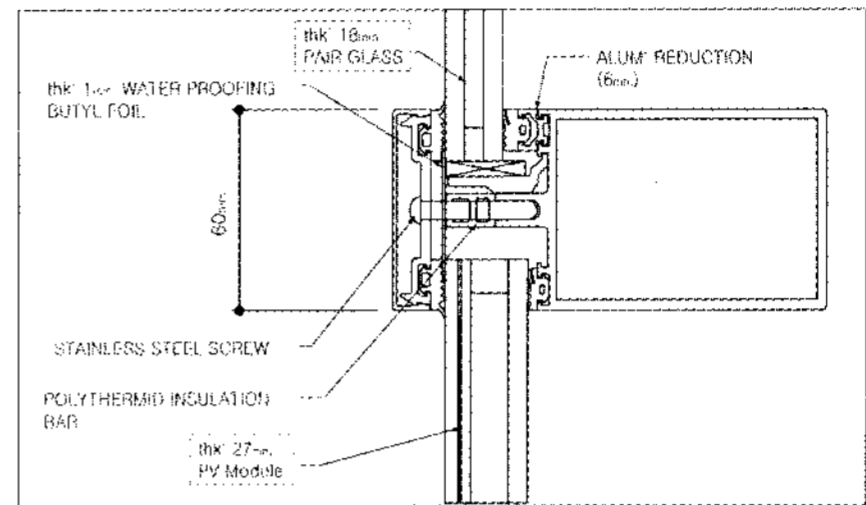


그림 4. 일체형 PV모듈의 제작 디테일

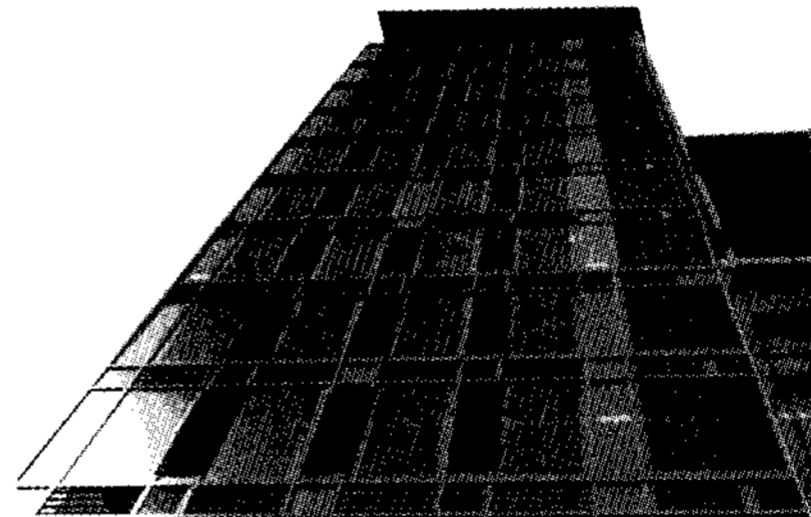


그림 5. 일체형 BIPV의 모델링(수직 외벽면 적용)

4. 일체형 BIPV의 온도의 영향과 발전효율

제안된 단열 복층유리 PV 모듈은 중공층의 도입으로 단열에 유리하나, 오후시간 일사량 증가에 따른 중공층 공기온도의 상승과 그 영향은 현재까지 검토 되지 않았다. 따라서 본 연구에서는 일사량과 PV모듈 주위의 온도 및 변환효율을 측정하여 제안된 시스템에 미치는 온도의 영향을 분석하였다.

4.1 실험장치의 제작

일체형 및 샌드위치 글래스 PV모듈을 주위의 장애물로부터 충분히 떨어진 D대학 공학관 건물 옥상에 정남향, 경사각도 90°로 설치하여 전력량과 PV모듈 주위 온도를 측정하였다. 측정기간은 2003년 6, 7, 8월의 일사량이 최대가 되는 시기

- 1) 미국 LBNL(Lawrence Berkely National Laboratory)의 Windows and Daylighting Group에서 개발된 창호시스템의 종합적인 열성능 분석이 가능한 프로그램
- 2) Li Mei, David Infield, Ursula Eicker, Volker Fux, "Thermal modeling of a building with an integrated ventilated PV facade", Energy and Buildings vol. 1515, pp. 1~13, 2002

로 하였으며 이는 PV모듈의 온도가 일사에 의해 최대 높이는 시기의 데이터 값의 추출을 위한 것이다.

4.2 실험방법

일사계는 LI-200SA Pyranometer Sensor에 2220 Millivolt Adapter를 연결한 뒤 Datalogger Datascan 7320에 연결하였으며, Datalogger와 Delite 2.0의 셋팅은 일사량과 온도를 동시에 읽을 수 있도록 조절하여 측정기간 중 매 분 단위로 데이터를 기록하였다. 동시에 발전량 측정에 대한 데이터 수집과 기록은 전력량 분석 장치인 Power Analyzer(WN-01) 2기를 이용하여 연속적으로 측정하였다.

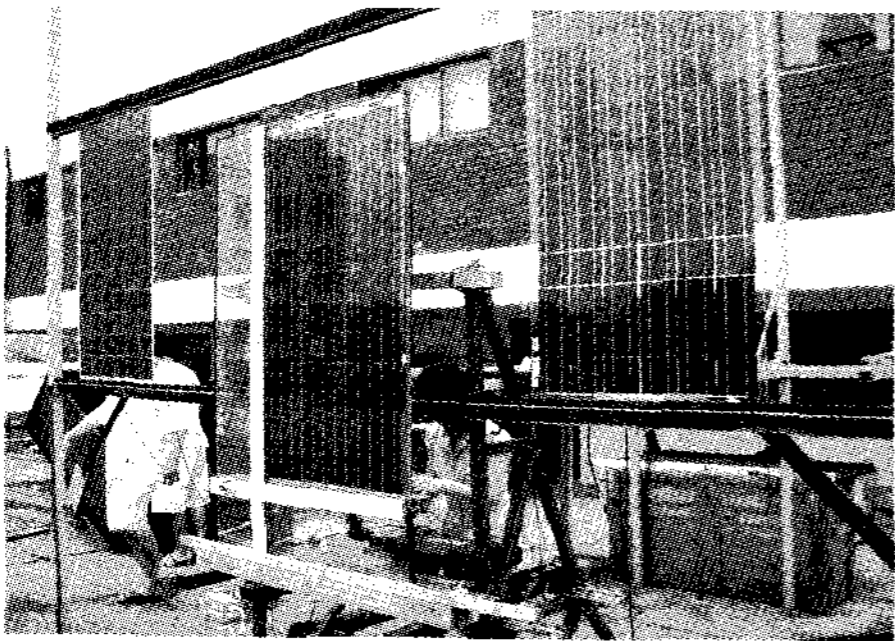


그림 6. 실험장치의 전경과 측정장치

온도의 측정은 T-type 열전대를 이용하여 제안된 단열 복층유리 PV 모듈의 전면, 후면 및 공기층에서 측정하였으며 풍향, 풍속 및 상대습도 등을 기록 가능한 Model 8360-M-GB Calibrated를 통하여 대기상태의 기상을 기록하였고 측정기간 중 매 10분 단위로 기상데이터를 기록하였다.

4.3 실험의 결과

일사량의 데이터는 측정대상기간 중 기온이 높고(평균 기온 30°이상) 일사량이 많은 쾌청한 날씨의 결과를 취합하였으며, 그림 7은 수직면 수평면 일사량과 발전량 01 (단열 복층유리 PV모듈), 발전량 02 (샌드위치 글래스 PV모듈)을 측정한 결과이다. 결과 값에 의하면 중공층이 있는 단열 복층유리 PV의 발전량과 그렇지 않은 샌드위치 글래스 PV모듈의 발전량은 거의 유사한 패턴을 보이며, 중공층 추가에 따른 발전량의 변화는 확인할 수가 없었다. 다만, 두 모듈 모두 오후 1시 이후 오전과 같은 일사량에도 보다 적은 발전량을 나타내어 추가적으로 모듈 주위의 온도가 변환효율에 어떤 영향을 미치는지 분석하였다.

그림 8. 9. 10은 단열 복층유리 PV 모듈의 전면, 후면 및 중공층의 온도를 측정한 결과로 오후 1시 이후 변환효율의 그래프는 온도가 변환효율의

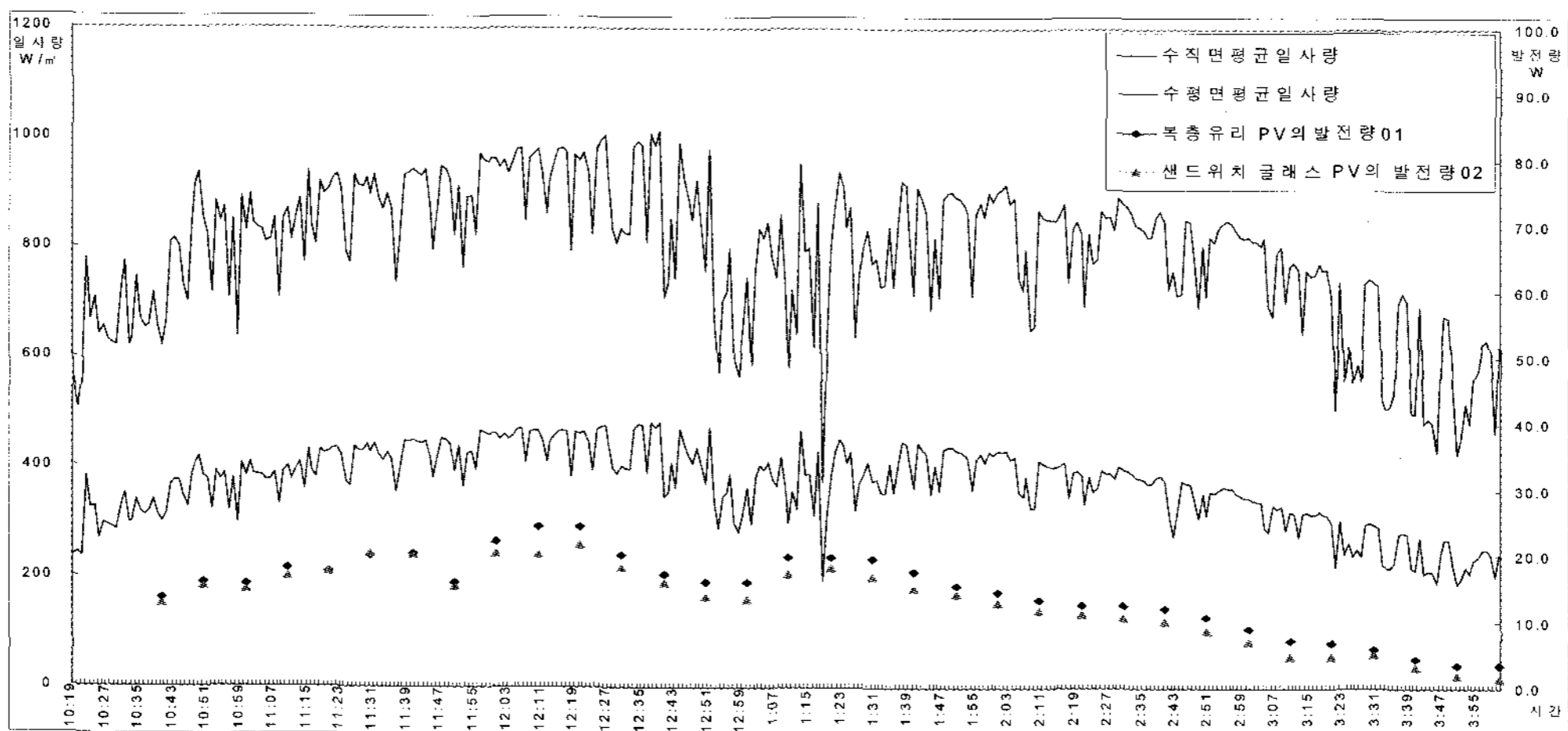


그림 7. 일사량과 발전량

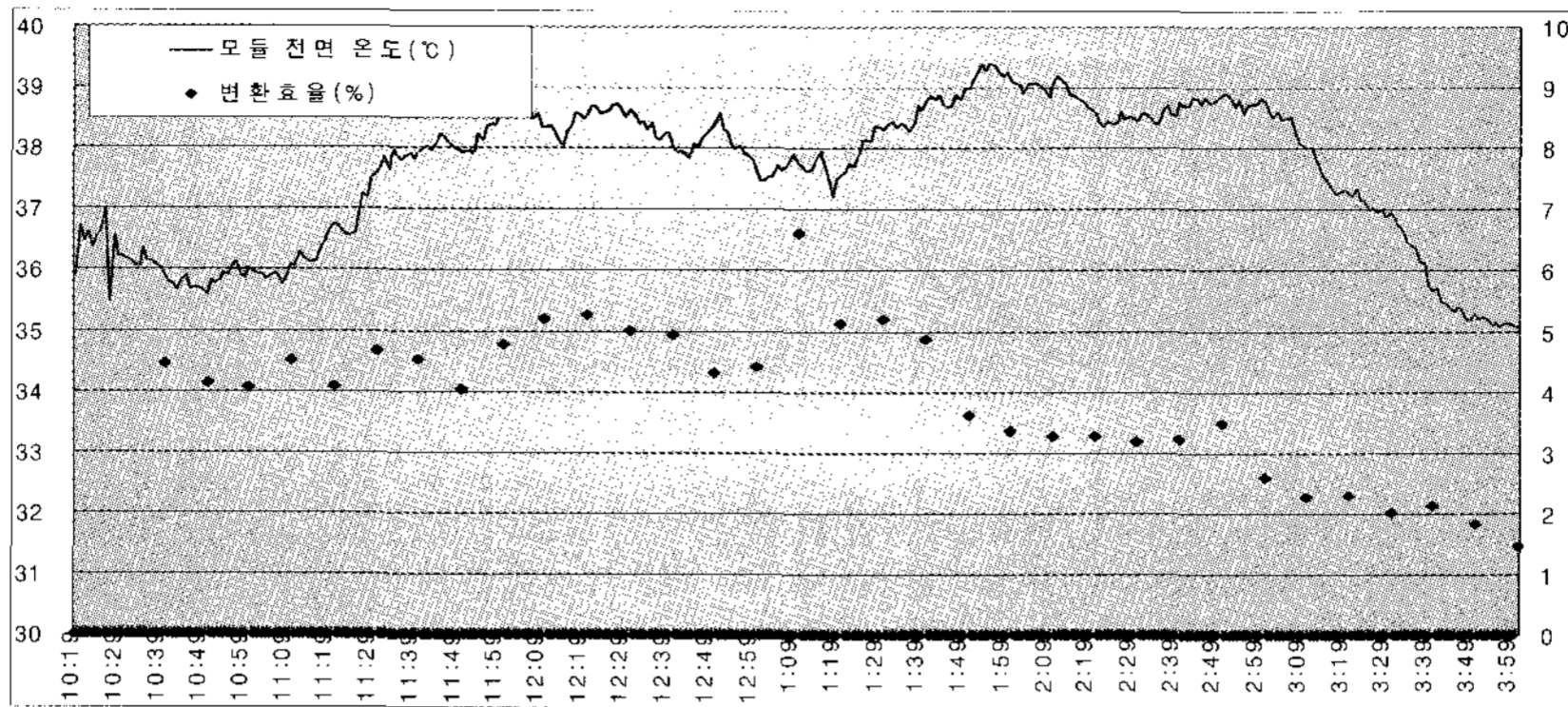


그림 8. 단열 복층유리 PV모듈 전면의 온도와 변환효율

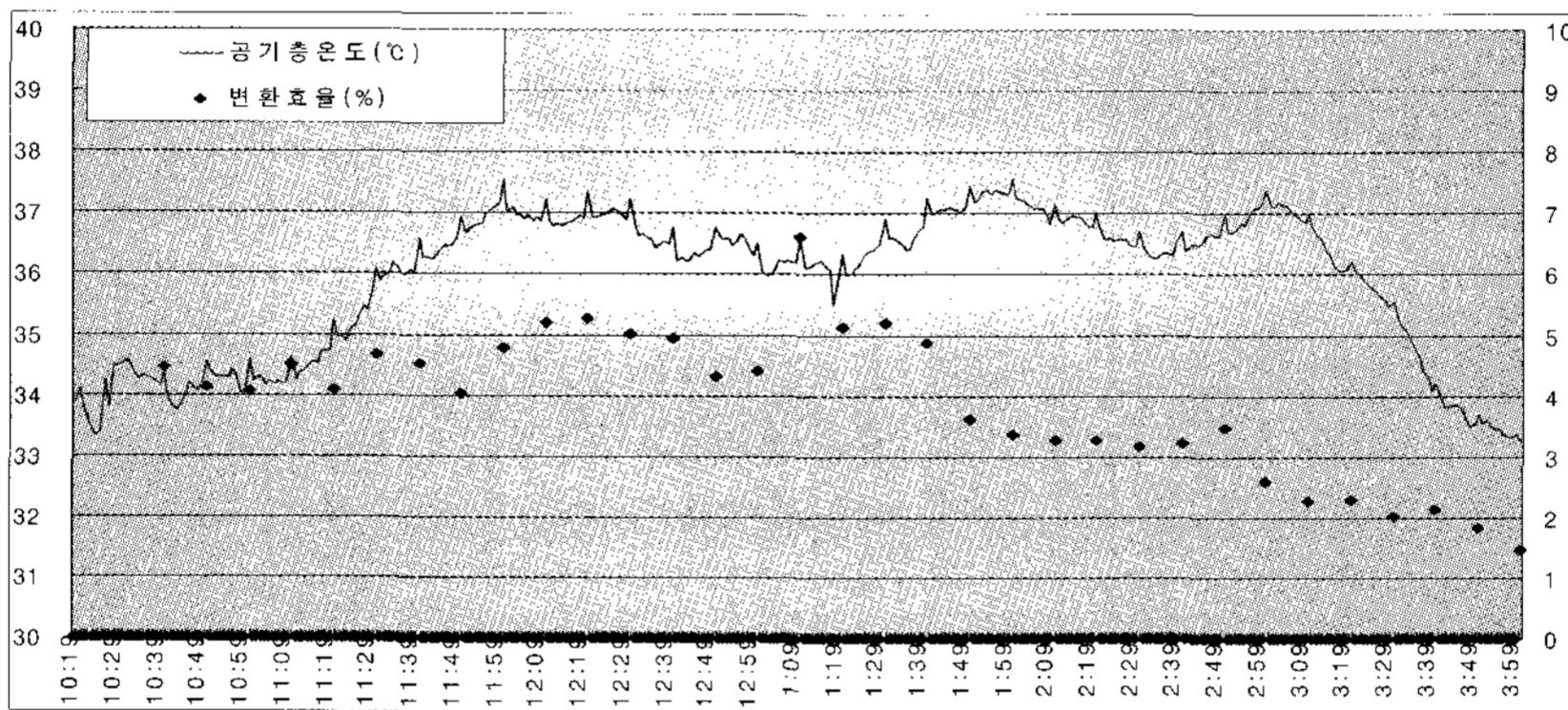


그림 9. 단열 복층유리 PV모듈 공기층 온도와 변환효율

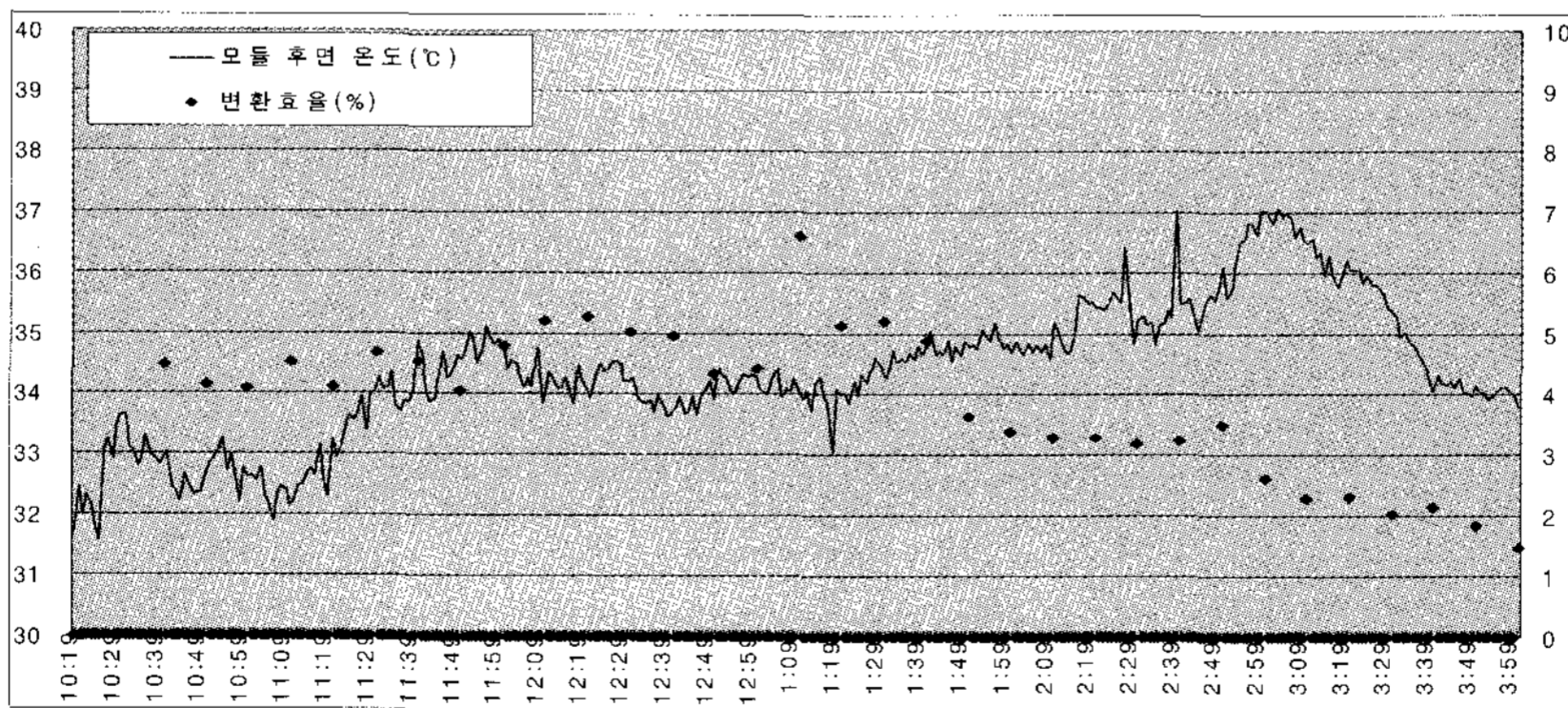


그림 10. 단열 복층유리 PV모듈 후면의 온도와 변환효율

결과에 일부 영향을 미치고 있음을 보여준다. 그림 8. 9에서 모듈 전면과 중공층의 온도가 높은 시점에 변환효율이 감소됨을 확인할 수 있다. 따라서

모듈 후면 온도의 영향에 비해 모듈 전면과 중공층의 온도의 영향이 변환효율 감소의 요인이며, 특히 모듈 전면의 온도가 주된 원인으로 보여진다. 또

한, 중공층 온도의 영향은 그림 7에서와 같이 중공층이 없는 샌드위치 글래스 유리와 유사한 발전량의 패턴을 가지기 때문에 실제 그 영향이 미미함을 확인하였다.

5. 결 론

단열 복층유리 PV를 제작하여 실험한 결과 다음과 같은 성능에서 긍정적인 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, 샌드위치 글래스 PV모듈에 공기층과 후면 유리의 추가로 간단하게 열성능을 향상시킨 새로운 조합을 만들 수 있으며, 이는 국내 외피의 단열성능 기준에도 적합하다.

둘째, 제안된 PV 모듈의 3D-모델링 결과 서로 다른 외피재료와의 조합에서 미적으로 양호하며 건물 외피 디자인을 위한 보다 다양한 가능성을 보여 주었다.

셋째, PV모듈 주변의 온도와 일사량의 측정실험의 결과 샌드위치 글래스 PV모듈과 단열 복층유리

PV모듈 모두 변환효율에서 유사한 패턴을 보이며, 단열 성능상 복층유리 PV모듈의 활용이 보다 유용함을 알 수 있다. 특히, 단열 복층유리 PV의 발전량 저감의 원인으로 지적되었던 중공층 온도의 영향은 미미하였으며 PV모듈 전면을 통해 유입되는 일사량에 의한 온도의 전달이 오후 시간 발전량 저하의 주된 원인임을 알 수 있었다. 따라서, 단열 복층 유리 PV모듈 설계 시 전면 유리의 열성능을 먼저 고려하여야 한다.

참 고 문 헌

1. 임종욱, 오민석, 김희서, BIPV 건물 외피시스템 개발, 대한건축학회논문집(계획계), 20권 2호, 2004.2.
2. Min-Seok Oh, Hway-Suh Kim, The Experimental Study on the Application of the PV System in the Curtain Wall. 2005 Solar World Congress.