[논문] 한국태양에너지학회 논문집
Journal of the Korean Solar Energy Society
Vol. 25, No. 4, 2005

반사판을 이용한 고정식 집속형 태양광·열 복합패널의 성능평가

서유진*, 허창수**

*인하대학교 전기공학과(sssjin@chol.com.), **인하대학교 전기공학과(cshuh@inha.ac.kr)

Performance Evaluation of Fixed-concentrated Photovoltaic/Thermal Hybrid Panel using Reflector

Seo, Yu-Jin*, Huh, Chang-Su**

*Dept. of Electrical Engineering, Inha University(sssjin@chol.com.)
**Dept. of Electrical Engineering, Inha University(cshuh@inha.ac.kr)

Abstract

One of the most effective methods for utilizing solar energy is to combine thermal solar and optical energy simultaneously using a hybrid panel. Many systems using various kinds of photovoltaic panels have already been constructed. But utilizing solar energy by means of a hybrid panel with concentrator has not been to be attempted yet. Normally if sunlight is directed on the solar cell, and there is no increase in temperature, the absorption energy of each cell will increase per unit area. In a silicon solar cell. however, cell conversion efficiency decreases according to the increasing temperature. Therefore, to maintain cell conversion efficiency under normal condition, it is necessary to keep the cell at operating temperature. we design and make new hybrid panel with cooling system to prevent increasing of temperature on cell, collect effectively thermal energy. We compared performance of new hybrid panel with PV module and thermal panel. We also evaluated conversion efficiency, electric power and thermal capacity and confirmed cooling effect from thermal absorption efficiency.

Keywards : 태양에너지(Solar energy), 복합패널(Hybrid panel), 변환효율(Conversion efficiency), 집광장치(Concentrator), 태양전지(PV : Photovoltaic)

접수일자:2005년 10월 28일, 심사완료일자:2005년 12월 10일

기 호 설 명

P_{max} : 순시최대전력(W)
A_1 : 모듈면적(m^2)
I_{01} : 경사면일사강도(W/m^2)
I_{02} : 경사면일사강도($kcal/h \cdot m^2$)
Q : 순간집열량($kcal/kg \cdot ^oc$)
θ_d : 집열매체 입출구온도차(^oc)
m : 집열매체 질량유량(kg/h)
C_p : 집열매체 비열($kcal/kg \cdot ^oC$)
θ_o : 집열매체 출구온도(^oC)
θ_i : 집열매체 입구온도(^oC)
θ_w : 집열매체 평균온도(^oC)

1. 서 론

1.1 연구배경

현재 주로 사용하고 있는 화석에너지는 환경오염 및 지구온난화의 주원인으로 인식되고 있으며 국제적으로 점차 규제가 구체화되고 있어 친환경적인 대체에너지의 개발과 보급 확대가 절실히 요구되고 있다. 이러한 관점에서 국내 총에너지소비량의 상당부분을 소비하고 있는 건축물에서의 태양에너지 이용의 보급확대는 매우 큰 의미를 갖는다. 그러나 광과 열로 대별되는 태양에너지는 다른 에너지원에 비하여 상대적으로 변환효율이 낮아서 초기투자비가 많이 소요되고[1] 넓은 설치공간을 필요로 한다. 따라서 설치공간이 제한적인 건축물에서의 태양에너지의 보급확대를 위해서는 변환기구의 효율향상이 필요하며 PV 모듈의 본래 기능 외에 건축물의 외피로서의 기능을 만족하는 건물통합형 태양광발전 시스템(BIPV, building integrated Photovoltaic System)의 개발이 매우 필요하다[2].

1.2 연구목적

태양에너지의 변환효율을 향상시키기 위한 방법으로 광. 열 에너지를 동시에 전기와 열에너지로 변환하는 복합시스템이 유리하다. 태양전지의 경우 입력에너지의 약70%를 열로서 재방출하고 있으며 이러한 열을 흡수하여 열에너지로서 활용할 수 있다면 전체 태양에너지의 변환효율을 향상시킬 수 있다. 또한 집광장치를 이용하여 집광을 실시하는 것도 광전류가 증가를 되므로 효율향상에 기여할 수 있다. 하지만 집광은 광에너지만 이용할 경우 PV모듈의 온도상승을 유발하여 효율을 크게 저하시킬 수 있다. 특히 BIPV시스템의 경우 구조상 일사열의 축적으로 PV모듈의 온도상승이 수반되므로 별도의 냉각대책이 필요하다. PV 모듈은 온도가 1°C 상승함에 따라 효율이 0.5% 비율로 감소하며[3] 모듈의 길이가 길어질 경우 설치면과 모듈과의 간격을 충분하게 이격시켜야 전력생산량의 감소를 줄일 수 있다.[4]

본 연구의 목적은 태양전지 모듈, 집광기구, 냉각기구, 열전송 시스템을 조합하여 하나의 복합패널로서 설계, 시작품을 제작하고 실제 환경 하에서 시판중인 태양전지 모듈과 태양열 집열판을 동일한 조건으로 나란히 설치하여 각 시스템의 성능을 비교하여 전기와 열에너지를 동시에 생산할 수 있는 태양광. 열 복합패널로서의 성능을 평가하는 것이다.

2. 복합패널의 설계. 제작

2.1 패널의 구성

모듈의 구성과 배치는 정격최대출력이 1.5W_P이고 최대동작전압이 0.4VDC, 최대동작전류가 3.75A인 태양전지 60장을 30장씩 직렬로 연결하고 전체를 2줄의 병렬로 접속하여 출력전압을 12V로 하였으며 패널내부에 4줄로 배치하였다. 집광장치는 V-trough 형태의 것으로 집속비가 2가 되도록 하여[10] 모듈의 좌우에 배치하였으며 모듈의 냉각구조는 태양전지 하부를 열전도성 접착제로 알루미늄집열판에 접합시킨 액체식 평판형 heat sink로 제작하여 태양전지가 취한 열에너지

가 알루미늄집열판을 통해서 회수되게 하였다. 또한 패널의 오염을 방지하고 집속된 열에너지가 외부로 유출되지 않도록 유리덮개를 적용하였다.(**그림 3**)

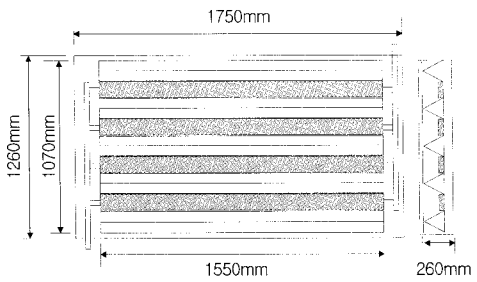

그림 1. 패널의 개략도

그림 2 는 전체 4줄의 모듈 중 한 줄의 모듈에 대한 규격으로 상부와 하부의 폭과 높이 및 각도를 나타내고 있다. **그림 3** 은 2줄의 모듈에 대한 단면으로 구성 재료의 배치를 나타내고 있다.

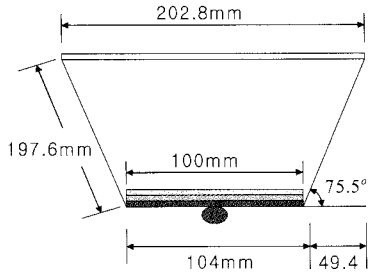

그림 2. 단위모듈의 치수

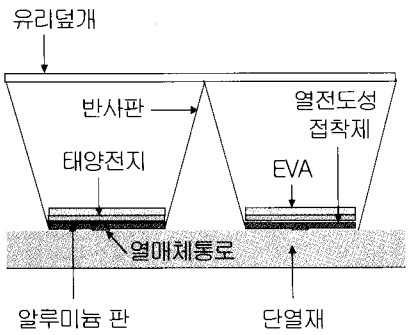

그림 3. 패널의 단면도

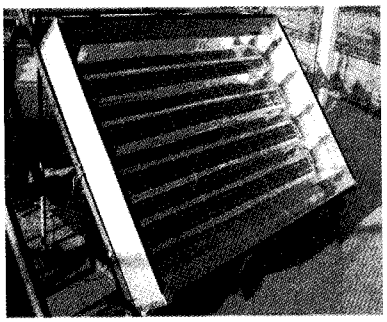

그림 4. 패널의 외관

2.2 재료 선정

태양전지는 유통되고 있는 제품 중 비교적 효율이 좋은 실리콘 단결정 100mm x 100mm 규격의 것을 사용하였고 열 흡수판의 재질은 0.2mm 두께의 알루미늄판위에 태양전지모듈의 하부를 접합시키는 구조로 제작하였으며 반사판은 금속판위에 알루미늄을 코팅한 형태의 것으로 반사율이 95%인 것으로 선정하였다. 태양에너지를 효과적으로 투과시켜 최대의 효율을 얻기 위해 투명한 덮개를 적용하였다. 덮개로는 투과율이 90%인 3mm두께의 투명유리로 사용하였으며 외부프레임은 FRP재질의 것을 사용하였고 40mm두께의 Glass Wool을 패널하부의 단열재로 사용하였다.[5)]

3. 시험방법

3.1 시험시스템의 구성

성능의 비교, 평가를 위해 시판중인 평판형 태양열 집열판과 태양전지모듈을 시험을 위해 제작한 복합패널과 같은 장소에 **그림 5**와 **그림 6**과같이 시스템을 구성하여 나란히 설치하였다.

열매체의 순환은 강제순환 식으로 펌프구동용 전원은 복합패널 내부의 PV모듈로부터 공급받도록 하였으며 두 시스템의 순환펌프는 복합시스템의 집열판온도가 열교환기 내부의 온수온도보다 높을 때 자동으로 연동되도록 하였다. 열매체는 동절기 동파를 방지하기 위하여 에틸렌글리콜을

물로 50% 희석하여 사용하였다.

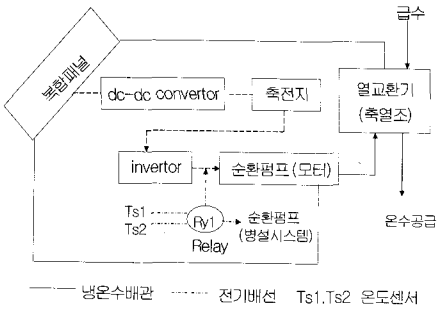

그림 5. 복합시스템

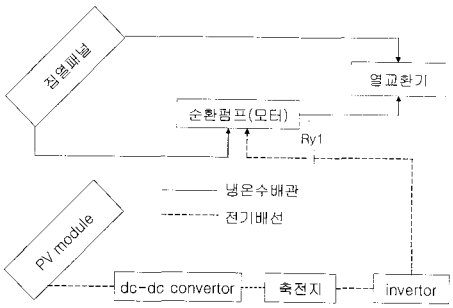

그림 6. 병설시스템

표 1. 각 패널의 주된 사양

패 널		집열판	모듈	복합패널
태양광	면적(m^2)	-	0.857	0.600
태양열	집열면적(m^2)	2.77	-	2.205
	집열매체	선택 흡수막	-	Si 태양전지
외형치수(mm)		1130x2450 x90	660x1300 x37	1260x1750 x260
전체면적(m^2)		2.77	0.858	2.205

표 2. 시험용 패널의 설치조건

위 도	북위 37°28′
경 도	동경 126°38′
경사각	50°
방 위	정남향

3.2 측정시스템의 구성

설치된 패널들의 성능과 특성을 비교하기 위해 **표 3**과 같이 각종 측정용 계기들을 필요개소에 설치하고 **그림 8**과같이 데이터취득시스템을 구성하였다.

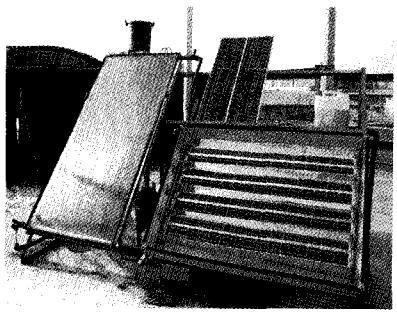

그림 7. 시험시스템

표 3. 측정용 계기의 종류와 용도

종 류	형 식	계기의 용도
온도센서	thermocouple type	외기, 태양전지, 집열판의 입출구 수온, 열교환기의 입출구 수온, 급수, 축열조 및 온수의 온도측정
유량계	analog	펌프의 유량측정
일사량계	digital	수평면, 경사면의 일사량 측정
전력량계	적산식, analog	펌프의 전력사용량 측정
전압계	digital	PV모듈, 복합패널의 개방전압 측정
전류계	digital	PV모듈, 복합패널의 단락전류, 충전전류 측정
자료수집 처리장치	digital, graphic	자료의 수집 및 처리

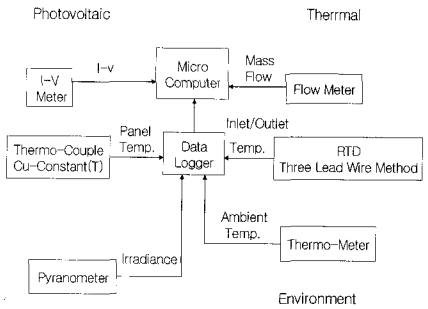

그림 8. 데이터취득시스템

3.3 성능의 평가방법

태양에너지의 이용시스템은 이용방법, 시스템의 수준, 설치상태, 제어방식, 유지보수상태, 부품의 사용기간에 따른 변화 등과 같이 성능에 영향을 주는 인자가 많기 때문에 성능을 측정하여 평가하는 것은 매우 어려운 일이며 그 성능을 수치로 표현하는 것은 한계가 있다고 말할 수 있다. 각 패널의 전기 및 열에너지 변환효율, 전력량, 열량은 다음 식을 이용하여 산출하였다.[6]

1) 광전변환효율

$$\eta_p = \frac{P_{\max}}{I_{01} A_1} \cdot 100(\%) \quad (1)$$

2) 집열효율

$$\eta_t = \frac{Q}{I_{02} A_2} \cdot 100(\%) \quad (2)$$

3) 전력량

$$W_p = \int P_{\max} dt (\mathrm{Wh}) \quad (3)$$

4) 열량

$$W_t = \int Qtt(cal) \quad (4)$$

5) 순시집열량

$$Q = m C_p \theta_d (kcal/h) \quad (5)$$
$$\theta_d = \theta_o - \theta_i = 2(\theta_w - \theta_i)$$

4.성능의 비교, 분석

복합패널의 성능을 측정하기위하여 **그림 7**과 같이 기존 제품을 나란히 배치하고 같은 시간에 데이터를 취득하여 각각의 특성을 비교, 분석하였다. 편의상 그림에서 복합패널은 proposed model로 태양전지 모듈은 PV로 표기하고 태양열 집열기는 SC로 표기하였다.

4.1 발전전력

태양전지모듈과 복합패널의 일사강도의 증감에 따른 발전전력의 변화를 측정한 결과 공히 일사강도의 증가에 따라 발전전력이 증가하는 특성을 나타내었다. 태양전지모듈에서는 발전전력이 일사강도 100W/m^{2}에서는 20W, 500W/m^{2}에서는 80W, 1,000W/m^2 에서는 155W로 측정되었다. 복합패널에서는 이보다 다소 낮게 나타났으며 100W/m^{2}에서 10W, 500W/m^{2}에서 74W, 1,000W/m^{2}에서 150W로 측정되었다. 따라서 태양전지모듈과 복합패널의 발전성능에는 큰 차이가 없는 것으로 분석되었다.(**그림 9**)

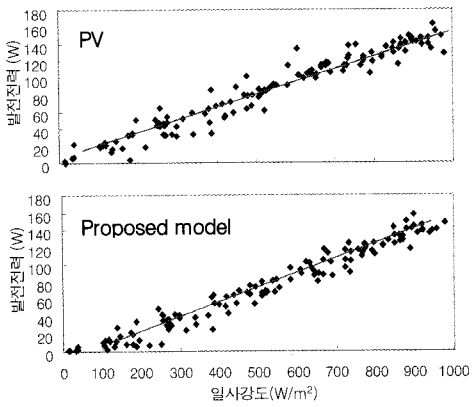

그림 9. 일사강도에 따른 발전전력의 변화

4.2 광전변환효율

일사강도에 따른 광전변환효율을 실측치를 기준하여 분석한 결과 태양전지모듈에서는 일사강도 100W/m^{2}에서 20%이며 500W/m^{2}에서는 18%, 1,000W/m^{2}에서는 16%로 일사강도가 증가됨에 따라 광전변환효율이 감소되었다. 복합패널에서는

일사강도 100W/m^{2}에서 10%, 500W/m^{2}에서 12%, 1,000 W/m^2 에서는 24%로 전반적인 효율은 태양전지모듈에 비하여 다소 낮게 나타났으나 일사강도가 증가됨에 따라 광전변환효율이 증가하였다.

태양전지모듈에서 일사강도의 증가에 따라 광전변환효율이 감소하는 것은 일사강도의 증가에 따른 태양전지의 온도상승으로 인한 것으로 분석되었으며, 복합패널의 경우에는 일사강도가 증가됨에 따라 태양전지의 온도가 상승하지만 패널내부의 냉각시스템이 열을 회수함으로서 온도특성의 영향을 받지 않은 것으로 분석되었다.(**그림 10**)

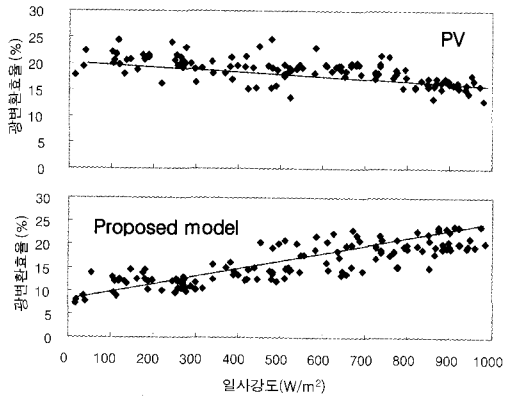

그림 10. 일사강도에 따른 광전변환효율

오전7시부터 오후19시까지 12시간동안의 광전변환효율의 변화를 측정치를 기준으로 계산하였다. PV의 경우 대체적으로 낮 시간의 효율이 비교적 높게 일정하게 유지되고 있었으나 복합패널의 경우에는 오전시간대부터 낮 시간까지는 효율이 증가하지만 저녁시간대로 가면서 감소하는 것으로 확인되었다. 이것은 시험에 사용한 복합패널의 측면높이가 높고 태양전지가 상대적으로 내측에 위치하기 때문에 태양의 고도가 낮은 아침과 저녁시간에 그림자의 영향을 받는 것으로 분석되었다.(**그림 11**)

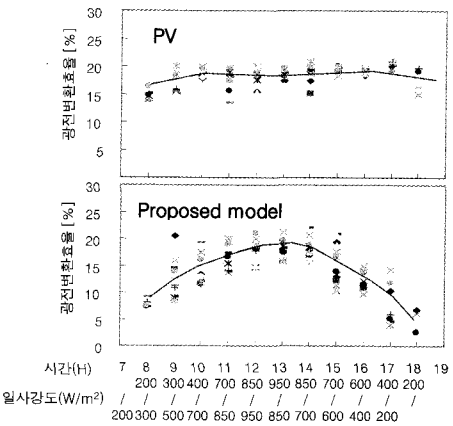

그림 11. 시간대에 따른 광전변환효율

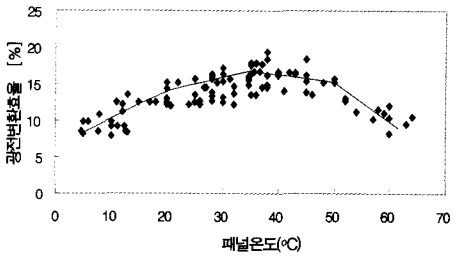

그림 12. 패널온도에 따른 광전변환효율

실 환경 하에서 복합패널의 내부온도에 따른 광전변환효율의 변화를 분석하였다. 모듈의 온도가 약 35°C로 될 때 까지는 증가하지만 그이상의 온도에서는 효율이 저하하는 것을 확인하였다. 또한 복합패널의 최대효율은 30-40°C의 온도범위에서 형성되는 것을 알 수 있었다.(**그림 12**)

4.3 집열량

집열판과 복합패널의 일사강도의 증감에 따른 집열량의 변화를 측정한 결과 공히 일사강도의 증가에 따라 집열량이 증가하는 특성을 나타내었다. 집열판에서는 집열량이 일사강도 100W/m^{2}에서는 300cal, 500W/m^{2}에서는 820cal, 1,000W/m^{2}에서는 1,430cal로 측정되었다. 복합패널에서는 이보다 낮게 나타났으며 100W/m^{2}에서 220cal,

500W/m^{2}에서 690cal, 1,000W/m^{2}에서 1,240cal로 측정되었다. 따라서 집열판과 복합패널의 면적비율을 감안하면 거의 대등한 집열성능을 가지고 있는 것으로 분석되었다.(**그림 13**)

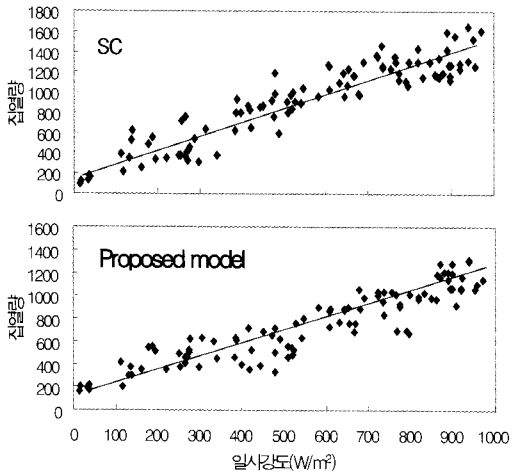

그림 13. 일사강도에 따른 집열량

4.4 집열효율

일사강도에 따른 집열효율을 실측치를 기준하여 분석한 결과 집열판에서는 일사강도 100W/m^{2}에서 50%이며 일사강도 450W/m^{2}까지는 증가하여 67%에 달하지만 그이상의 일사강도에서는 감소하여 1,000W/m^{2}에서는 53%로 되는 것을 알 수 있었다. 복합패널에서는 일사강도 100 W/m^{2}에서 40%, 450W/m^{2}에서 42%, 1,000 W/m^{2}에서는 50%로 전반적인 효율은 집열판에 비하여 다소 낮게 나타났으나 일사강도의 증가에 따라 집열효율이 완만하게 증가하였다.

집열판에서는 어느 정도의 일사강도까지는 집열판과 주위온도와의 온도차이가 생기지 않지만 일사강도가 증가하게 되면 온도차이로 인하여 열손실이 발생하는 것으로 분석 되었다. 복합패널에서는 일사량이 증가하여도 패널이 냉각되어 패널 내부의 온도변화의 폭이 적으므로 주위온도와의 차가 상대적으로 작아서 효율의 변화폭이 적게 되는 것으로 분석되었다.(**그림 14**)

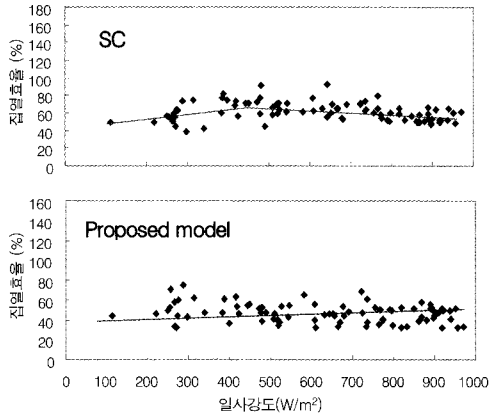

그림 14. 일사강도에 따른 집열효율

집열판의 경우 대체적으로 낮 시간의 효율이 비교적 일정하게 유지되고 있었으나 복합패널의 경우에는 일사량이 증가하는 오후 13시까지는 효율이 증가하다가 그 이후 일사량이 감소되는 시간대부터는 점차 그 효율이 감소하는 것을 확인하였다. 이것은 광 변환효율의 경우와 마찬가지로 시험에 사용된 복합패널의 높이가 높기 때문에 태양의 고도가 낮은 시간대에는 그림자의 영향을 받은 것으로 판단되었다.(**그림 15**)

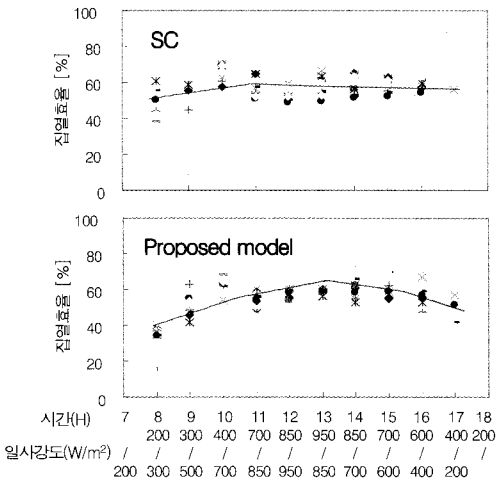

그림 15. 시간대에 따른 집열효율

5. 결 론

복합패널의 설치면적은 기존 집열판의 면적과 PV모듈의 면적을 합한 값의 약60(%)정도이지만 비교시험 결과 집광형 복합패널에서는 기존의 두 패널의 특성을 합한 만큼의 에너지를 얻을 수 있었다.

복합패널의 전기적인 특성에 있어서는 발전전력이 일사강도 100W/m^2에서 10W, 500W/m^2에서 74W, 1,000W/m^2에서 155W로 일사강도의 증가에 따라 증가하였으며 광전변환효율은 일사강도 100W/m^2에서 10%, 500W/m^2에서 12%, 1,000W/m^2에서 24%로 일사강도의 증가에 따라 증가하였다.

집열특성에 있어서는 집열량이 일사강도 100 W/m^2에서 220cal, 500W/m^2에서 690cal, 1,000 W/m^2에서 1,240cal로 일사강도의 증가에 따라 증가하였으며 집열효율은 일사강도 100W/m^2에서 40%, 450W/m^2에서 42%, 1,000W/m^2에서 50%로 일사강도의 증가에 따라 완만하게 증가하였다.

또한 복합패널의 집열량과 집열효율의 확인으로 자체냉각효과가 있음을 알 수 있었으며 적용된 냉각기구는 PV모듈의 냉각기능 뿐 만 아니라 태양열 집열기로서의 기능도 보유하고 있는 것을 알 수 있었다.

향후 복합패널의 측면 높이가 높아져서 패널 자체의 그림자에 영향을 받는 문제점과 기타 적용상의 미비점 보완 그리고 건축적인 사항에 대한 후속연구가 성공적으로 이루어진다면 BIPV시스템 적용 시에 모듈의 온도상승으로 인한 효율저하에 대한 대책의 하나가 될 수 있을 것이며 단위면적당 에너지 생산량이 증가됨으로서 태양에너지가 건축물의 에너지원으로서 보급이 확대되는데 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

1. Matthew Buresch, "Photovoltaic Energy Systems", McGraw- Hill Book Company, pp. 1-23 1983
2. 김현일, 서승직 "BIPV 시스템의 응용" 한국태양에너지학회 추계학술발표대회 논문집, pp.138-143, 2003
3. Rondall Thomas, "Photovoltaic and Architecture ,Spon Press", London, p.14, 2001
4. 김준태, 김진희 "PV모듈온도를 고려한 BIP 시스템의 성능평가" 한국태양에너지학회 ,춘계학술발표대회 논문집, pp 53-58, 2004.
5. Toru Fujisawa, Tatsuo Tani, T. "Consideration on Photovoltaic Thermal Binary Utilization for Residental Building, IEE, Japan, Vol. 119-8. No. 3, 1999
6. Toru Fujisawa, Hideki Iwawaki, Tatsuo Tani, "Characteristics of Photovoltaic/ Thermal Hybrid Panel Evaluation with Exergy", Proceedings of JAES/JWEA Joint Conference 1995
7. C.H. COX,III and P, Raghuraman, "Design Consideration for Flat-Plate Photovoltaic / Thermal Collector"Solar Energy Vol. 35. No. 3, pp. 227-241, 1985
8. H. P. GARG and R. S. ADHIKARI, International Journal of Energy Research, 22, pp. 547-562 1998
9. Takumi Takashima, Tadayoshi Tanaka, Takuya Doi, Junji Kamoshida, Tatsuo Tani and Takashi Horigome, solar energy, Vol. 52, No 3, pp. 241-245 1994
10. R,P Goswami, G, D Sootha, B, S, Negi, Z. H. Zai. Vol. 44, pp.837-849, 1992