염료감응형태양전지 모듈 적용 PVT 집열기의 열적 성능 분석

Analysis Thermal Performance of PV/Thermal Collector with Dye-sensitized Solar Cell Module

장한빈*, 문종혁**, 강준구**, 김진희**, 김준태**†

공주대학교 건축학부* 공주대학교 건축공학과 대학원** 공주대학교 건축학부 교수*†

ABSTRACT

Photovoltaic-thermal(PVT) collectors are a combination of photovoltaic modules with solar thermal collectors, forming one device that receives solar radiation and produces electricity and heat simultaneously. Of various PV modules, dye-sensitized solar cell(DSC) is a relatively new type of solar cell technology that can transmit light while they can generate electricity. With this aspect, DSC can be applied into solar thermal collectors. The object of this study is to evaluate the thermal performance of PVT collector with DSC. The thermal performance of the DSC PVT combind collector was measured in outdoor conditions with the solar radiation of over 700W/m^2. In this study, the PVT collector with the 30% light transmittance of DSC achieved its thermal efficiency of about 36%.

Keyword: PV/Thermal combined collector, Dye-sensitized Solar Cell, Dye-sensitized solar module, Thermal efficiency, Collected thermal energy

1. 서론

1.1. 연구배경 및 목적

PV/Thermal 집열기는 기존의 태양열시스템과 태양광 시스템을 결합하여 열과 전기를 동시에 생산하는 시스템이다. PV/Thermal 집열기는 외부로 방출되는 열을 좀 더 적극적으로 태양열 집열시스템과 연계해 건물 및 각종 시설의 난방 및 급탕설비에 이용할 수 있다. 이러한 PV/Thermal 집열기에 이용되는 PV 모듈은 그 종류에 따라 다양하게 구현될 수 있다. PV/Thermal 집열기에 적용이 가능한 PV 모듈 중 염료감응형 태양전지(DSC)는 기존 태양전지에 비해 제조단가가 저렴하고 투과성이 있으며 25℃이상의 상온에서 효율이 감소하지 않는 특성이 있다. 현재 연구개발 및 상용화 되어있는 기존의 PV/Thermal 집열기에 사용되고 있는 PV 모듈은 단결정과 다결정 태양전지를 주로 사용하고 있는 실정 이다.

이러한 배경으로 본 연구는 결정질계 PV 모듈이 아닌 염료감응형 태양전지(DSC) 모듈을 적용한 PV/ Thermal 집열기의 열적성능을 실험을 통해 분석하는 것을 목적으로 한다.

1.2. 연구방법 및 범위

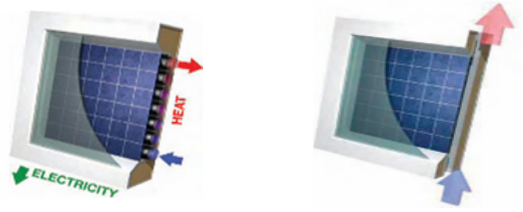
본 논문에서는 먼저 문헌고찰을 통해 PV/Thermal 집열기 원리 및 염료감응형 태양전지의 특성에 대해 정리하였다. 또한 DSC 적용 PV/Thermal 집열기의 열적성능을 실험을 통해 분석하였다. DSC 적용 PV/ Thermal 집열기의 열효율은 "태양 집열기의 집열 성능 시험 방법 " (KS B 8200)에 의해 실험을 수행하였다.

2. PV/Thermal 집열기

2.1. PV/Thermal 집열기

PV/Thermal 집열기는 PV 모듈이 전기 생산과정에서 발생시키는 열을 이용하기 위해 집열기능을 결합한 태양에너지 이용 장치로 전기에너지와 열에너지를 동시에 생산한다. [그림 1]은 유형별 PV/Thermal 집열기를 나타낸다. PV/Thermal 집열기는 [그림 1]의 a 와 [그림 1]의 b 와 같이 공기식(Air Type)과 수식(Water Type)으로 분류할 수 있다.

또한 공기식(Air Type)과 수식(Water Type) PV/Thermal 집열기는 PV모듈 후면에 발생하는 열을 직접 난방에 이용하거나 온수로 사용하는 것과 같이 건물에 유입하여 사용하는 부분에 있어 그 구성이 차이를 보이고 있다.



a) 수식 PVT 집열기 b) 공기식 PVT 집열기

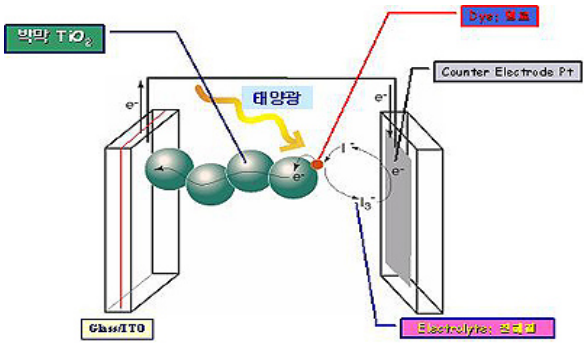
[그림 1] 유형별 PVT 집열기 및 계통도

2.2. DSC의 원리 및 특징

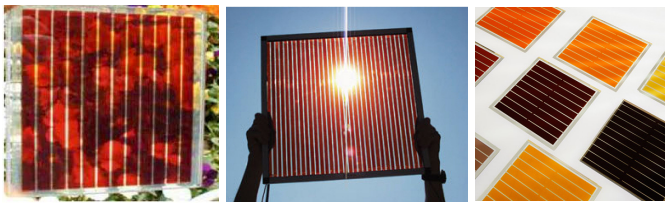
염료감응형 태양전지(DSC)는 태양빛을 받으면 전기를 생산하는 염료를 이용해 전기를 생산한다. 기존 반도체 접합 태양전지와는 달리 광합성 원리를 이용한 고효율의 광전기화학적 태양전지로서 1991년 스위스 Gratzel 그룹에 의해 최초 개발 되었다.

[그림 2]는 염료감응형 태양전지(DSC)의 원리를 보여준다. 염료감응 태양전지는 태양광이 TiO2((산화티탄) 표면에 있는 염료(Dye)에 내리쬐 전자(Electron)가 생성되면서 작동을 시작한다. 생성된 전자는 TiO2를 이동해 전도성 유리(ITO Glass)에 이르고, 전선을 따라 흐르면서 전기를 생산한다. 전자는 반대편 전도성 유리표면의 백금판에 도달해 두 전도성 유리판 사이에 들어 있는 전해질로 전달된다.

염료감응형 태양전지(DSC)는 유리에 활용했을 때 투과성이 있어 채광이 가능하며 다양한 색 구현이 가능하다. [그림 3]과 같이 가시광선을 투과시킬 수 있는 특성을 가지고 있어 건물의 유리창이나 자동차 유리에 그대로 붙여 사용할 수도 있다. 이러한 염료감응형 태양전지(DSC)는 실리콘형에 대비하여 제조단가는 3분의1에서 최대 5분의1 수준이고 입사각에 민감성이 적고 부분적인 그늘집에 강하다 또한 온도가 상승하여도 효율이 감소하지 않는 특성이 있고 투명하게 제작할 수 있어 2~3장을 겹치는 다중 제작이 가능하고, 같은 면적에서 효율을 2~3배 늘릴 수 있는 특징이 있다.



[그림 2] 염료감응형 태양전지의 원리



[그림 3] 염료감응형 태양전지 모듈

3. 열성능 실험

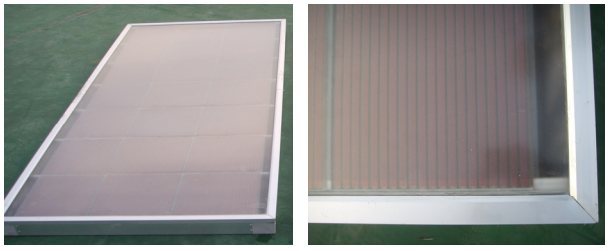
3.1. PV/Thermal 집열기 개요 및 원리

연구에 사용된 염료감응형 태양전지(DSC)적용 PV/Thermal 집열기는 다음 [표 1]에 나타낸 사양의 액체식 평판형 집열기에 DSC를 집열판과 외부커버(저철분강화유리) 사이에 적용한 형태이다.

[표 1] 태양열 집열기 상세규격

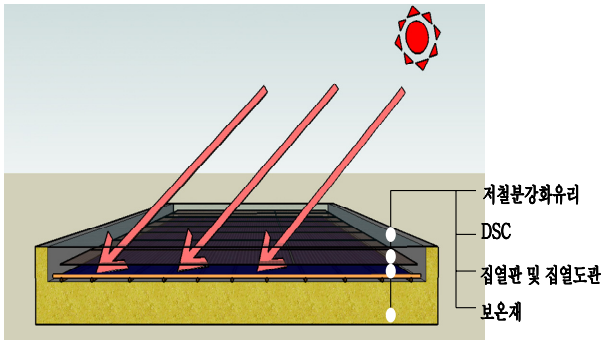
항목	상세규격
모델명	SSC-2200
인증번호	대체에너지설비 인증 1 호
Size	995 × 2205 × 80
집열면적	2.2 m^2
형식	액체식 평판형
작동온도	최대 190° C 최소-30° C
무게	42kg
작동열매체	물

PV/Thermal 집열기에 적용된 DSC 모듈은 30×30(cm) 사이즈로 총 21개 적용되었으며, 모듈의 투과율은 30%이다. [그림 4]는 DSC적용 PV/Thermal 집열기의 외관 및 상세 모습이며 [그림 5]는 개념도 및 원리를 나타낸 것이다. 저철분 강화유리와 집열판 사이에 투과율 30% DSC를 적용하여 태양에너지로 받은 빛의 일부가 DSC를 투과하여 태양열 집열판에 도달하게 되어 열에너지를 획득하게 되는 원리이다.



a) PVT 집열기 모습 b) PVT 집열기 상세모습

[그림 4] 실험된 DSC 적용 PV/Thermal 집열기



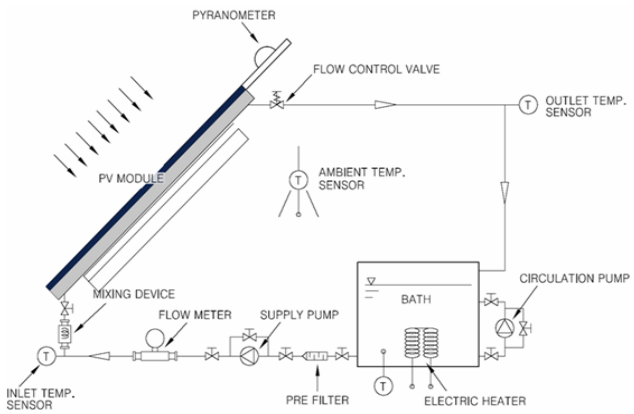
[그림 5] DSC적용 PV/Thermal 집열기의 원리

3.2. 실험장치 및 방법

[그림 6]은 PV/Thermal 집열기의 열적성능을 실험하기 위한 실험장치의 구성을 나타낸 계통도이다. 실험장치는 순환되는 유체의 온도를 일정하게 유지시키기 위한 48L 의 항온조와 유체순환을 위한 펌프, 유량계로 구성되었으며 밸브를 조작함으로써 실험조건이 요구한 유량을 일정하게 유지할 수 있다.

실험가대는 수평(0~360°)및 수직(0~90°)으로 각도조절이 가능하여 태양 입사가 PVT 집열기와 수직이 되도록 전동기에 의해 수동으로 조절이 가능하다. 일사량계, 태양위치 추적판, 외기온도와 실험체 입출구 온도를 측정하는 센서(RTD 타입)를 설치하였다.

본 실험은 "태양 집열기의 집열 성능 시험 방법" (KS B 8200)에 기초하여 성능실험을 하였으며 일사량 700 W/㎡이상, 실험유량 150 kg/hr에서 실험하였다. PVT 집열기의 입구온도를 30℃, 40℃, 50℃, 60℃로 설정하여 각 10℃씩 변화를 주어 열전달 매체인 유체를 일제히 흘려보내 실험을 하였으며 수집된 데이터 분석을 통해 염료감응형 태양전지(DSC)적용 PV/ Thermal 집열기의 열성능에 대한 분석을 실시하였다.



[그림 6] 실험장치

3.3. 실험결과 및 분석

PV/Thermal 집열기의 열적 성능은 일반적인 태양열 집열기와 동일한 방법으로 도출할 수 있다. 본 연구에서는 집열판에서 얻어지는 총 태양에너지 Q_1과 집열기 내를 통과하는 유체를 통해 얻어지는 획득에너지 Q_2의 관계로

서 다음과 같은 수식(1)에 따라 열적 효율을 계산하였다.

$$Q = A_G \times G$$

$$Q = \dot{m} c_p (T_i - T_o)$$

$$\eta_{th} = \frac{Q_2}{Q_1} = \frac{\dot{m} C_P (T_i - T_o)}{A_G \times G} \quad (1)$$

η_{th} : 열효율

T_i : 집열기 입구에서의 열매체 온도 ($^\circ C$)

T_o : 집열기 출구에서의 열매체 온도 ($^\circ C$)

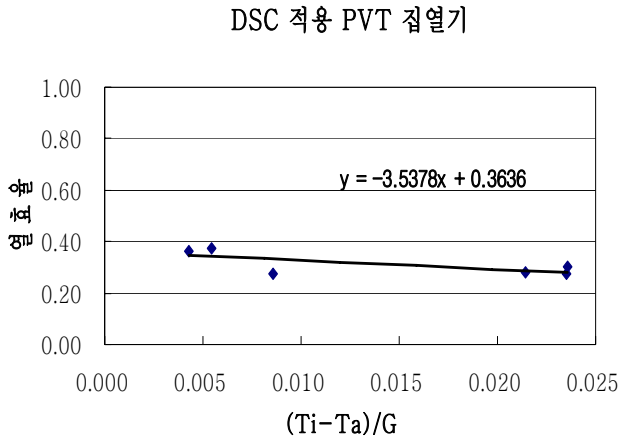
$\dot{m}$: 열매체 유량 (Kg/hr)

C_p : 열매체 비열 ($Kcal/Kg^\circ C$)

G : 일사량 (W/m^2)

실험에 의해 분석된 DSC적용 PVT 집열기의 성능은 [그림 7]과 같이 나타낼 수 있다. 여기에서 T_a는 외기온도($^\circ C$)를 말한다.

DSC적용 PV/Thermal 집열기의 열효율(η_{th})에 대한 관계식은 η_{th}= 0.3636− 3.5378($T_i - T_a / G$)으로 나타낼 수 있다. 이를 통해 DSC적용 PV/Thermal 집열기의 열효율은 열손실계수가 0인 조건에서 약 36% 인 것으로 분석되었다. 또한 X축에 대한 열손실계수는 −3.54 인 것으로 나타났다.



[그림 7] PV/Thermal 집열기의 열효율

3.4. 결론

본 연구에서는 DSC모듈을 적용한 PV/Thermal 집열기의 열성능을 실험을 통해 측정 및 분석하였다.

실험결과 열손실계수를 0인 기준에서 열효율은 약 36%로 다소 낮은 것으로 분석되었다. 이는 DSC모듈의 투과성능이 30%로 낮아 일사획득량이 적기 때문이다. 그러나 기존 태양열집열기 전면에 사용되는 유리의 투과율이 90%이상인 것에 비해 투과율이 30%인 PV/Thermal 집열기의 효율이 절대적으로 낮다고 결론짓기는 어렵다.

본 논문에서는 DSC적용 PV/Thermal 집열기의 열적 성능만이 분석되었으므로 추후 전기성능과 함께 종합적인 성능분석이 요구된다. 또한 열성능개선에 대한 추가적인 연구와 DSC 모듈의 특징을 고려한 PV/Thermal 집열기 개발에 대한 추가 연구가 필요할 것으로 판단된다.

참고문헌

[1] 이진우, 태양광 발전 시스템, 한국 과학 기술정보연구.

[2] 이필렬(2004), 다시태양의 시대로, 양문이진우, 태양광 발전 시스템, 한국과학기술정보연구.

[3] 양연원 (2007). 건물 적용을 위한 공기식 태양광 열복합시스템의 성능평가의 관한 연구, 공주대학교 대학원 석사논문.

[4] 강준구, 김진희, 김준태(2009). 평판형 액체식 PVT 모듈의 성능 실험 분석, 대한설비공학회 하계 학술발표회 논문집

[5] 김진희, 강준구, 김준태(2009.06), 액체식 PVT 복합모듈의 유형별 성능 비교 분석, 대한설비공학회 하계학술발표회 논문집.

[6] 김진희, 이강록, 김준태(2006), 건물통합형 PV Solar Roof 의 통풍효과 실험분석, 한국태양에너지학회 논문집

[7] B. O'Regan and M. Gratzel, Nature 353, 737(1991)