

태양광-열(Photovoltaic-Thermal) 복합 이용 집열기

태양광발전 모듈과 태양열 집열 장치를 결합하여 전기 생산과 집열의 두 기능을 동시에 수행하도록 결합한 태양에너지 이용 장치에 대해 설명하고자 한다.

김 준 태

공주대학교 건축학부(jtkim@kongju.ac.kr)

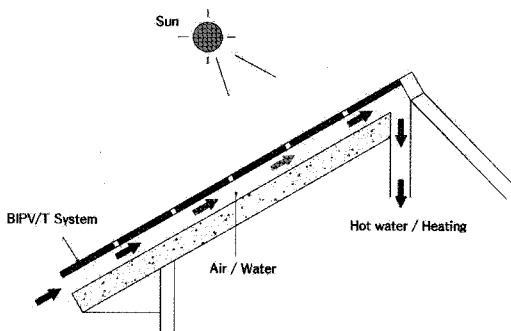
PV-T 모듈 개요

태양광-열(Photovoltaic-Thermal: PV-T) 복합 모듈은 태양광발전 모듈(PV module)로부터 전기에너지 뿐만 아니라 열에너지를 동시에 생산하는 장치이다.

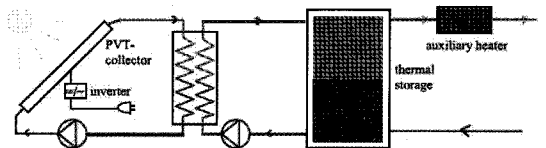
PV모듈에 전달되는 일사량이 많으면 전력 생산량은 증가하게 된다. 그러나 결정질계 PV모듈의 경우는 온도가 높아짐에 따라 발전 효율이 저하된다. 25℃ 이상 조건에서 모듈의 온도가 10℃ 증가할수록 발전 효율은 약 4 ~ 5% 감소하는 것으로 밝혀졌다. 전기 생산과정에서 발생하는 PV모듈의 열이 PV시스템의 전기 효율을 저하시키는 원인이 된다. 기존에는 태양광발전의 주요 구성요소인 PV모듈이 대부분 외부에 가설되는 지지대 위에 설치되어 외기 노출에 의

한 자연통풍으로 PV모듈에서 발생하는 열의 방출에 대해서는 중요하게 고려하지 않았다. 그러나 최근 건물의 구성요소로 PV모듈을 적용하는 건물일체형 태양광(building-integrated PV)의 설치 사례가 증가하고 있는데 이 경우는 PV모듈의 열기 배출이 중요한 이슈가 되고 있다. 태양광발전시스템의 전기 효율을 증진시키기 위해 건물 외피와 PV모듈 사이의 공간에서 열기를 배출하도록 하는 것이 중요하다.

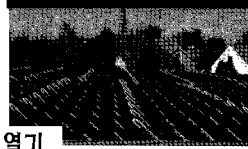
PV-T모듈은 기존 PV시스템에서 열을 외부로 방출하는 것과는 달리 폐열을 적극적으로 이용하는 복합 태양에너지 이용 장치이다. 그림 1과 같이 PV모듈 후면에서 열원을 얻고 이를 이용하여 필요한 곳의 난방이나 급탕에 활용하는 것이다. 이를 건물에 적용하는 경우 이 열원은 건물의 난방 및 급탕에 이용할 수 있다(그림 2). PV-T모듈을 결합한 태양광-열 복합이용 시스템을 건물에 적용하는 경우 건물에서 필요한 전기와 열에너지를 하나의 장치에서 동시에 생산할 뿐만 아니라 PV모듈의 냉각효과로 PV시스템의 전기 효율을 증진시킬 수 있다.



[그림 1] PV-T 기본 개념



[그림 2] PV-T 시스템 구성



기존의 연구에 의하면 PV-T모듈의 전기와 열성능은 단독적인 시스템으로 구성되는 태양광발전시스템이나 태양열집열기의 개별 성능과 비교할 때 더 낮은 것으로 나타났다. 그러나 PV-T모듈은 각각의 시스템으로 적용되는 것보다 복합적으로 이용되기 때문에 설치면적을 고려하게 되면 보다 많은 양의 에너지를 동시에 생산한다. 따라서 PV-T 모듈의 전체효율은 기존 단독으로 적용되는 시스템보다 높다고 할 수 있다. 에너지 생산 효율뿐만 아니라 태양광 발전과 태양열 집열 기능을 통합하는 효과로는 사용 재료의 절약, 생산 및 설치에 소요되는 비용의 감소 등을 들 수 있다. 또한 두 가지 기능의 통합은 태양 에너지 이용 설비의 설치면적을 절반까지 줄이는 것을 가능하게 한다.

PV-T모듈의 유형 및 특징

PV-T모듈은 태양열 집열에 사용되는 열원 유체에 따라 공기식과 액체식으로 분류할 수 있으며, 집열기 형

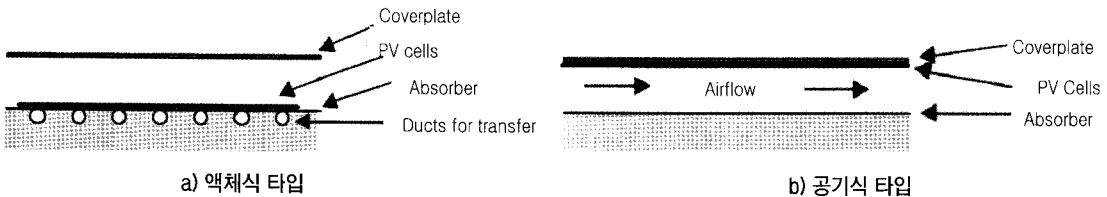
태에 따라 평판형(flat plate)과 집광형(concentrating)으로 구분할 수 있다.

열원 유체에 따른 분류

• 액체식 PV-T모듈

액체식 PV-T모듈은 그림 3 a)와 그림 4 a)와 같이 PV모듈에서 발생하는 열기를 액체에 전달하기 위해 열매체 도관이 있는 집열판을 PV모듈 후면에 부착하는 형태로 열매체로 물이나 부동액 등을 이용한다. 이 때 얻어지는 열에너지는 기존의 태양열시스템과 같이 가정용 온수 및 난방용 열원으로 이용이 가능하다. 현재까지 평판형태의 이 모듈은 대부분 저온 시스템으로 활용되고 있다.

액체식의 경우 기존의 태양열집열기와 유사한 방법으로 건물에 적용하는 것이 가능하다. 반면 공기식에 비해 누수와 동결에 따른 문제가 발생할 수 있으며, PV모듈과 집열기 유체 사이에 열적 저항이 적은 흡수판이 통합적으로 결합되어야 한다.



[그림 3] PV-T모듈 단면



[그림 4] PV-T모듈 유형

• 공기식 PV-T모듈

공기식 PV-T모듈은 그림 3 b)와 그림 4 b)와 같이 모듈 후면에 공기층 및 채널을 두는 형태로, 열매체로 공기를 이용하는 것이다. 공기식 시스템의 경우 PV모듈에서 발생하는 열기를 후면부의 공기층으로 전달하고 이 가열된 공기를 이용하는 방식이다. 이 예열된 공기는 동절기 건물 실내로 직접 유입하여 공간난방에 이용이 가능하고 이는 환기를 위한 외기 도입의 예열원으로 활용할 수 있어 건물의 난방에너지 부하를 저감할 수 있다. 또한 가열 공기를 히트펌프의 열원으로 사용하여 에너지 활용 효율을 높일 수도 있다. 여름철에는 열교환기를 통해 가열 공기를 급탕을 위한 열원으로 사용이 가능하다. 여름철 잉여 열원은 자연대류나 강제환기에 의해 외부로 배출하여 건물 외피를 보다 원활히 냉각시키도록 하여 건물의 냉방부하를 저감시키는 효과를 얻을 수 있다.

공기식 PV-T모듈을 건물에 적용하는 경우, 높은 열효율을 얻기 위해서 많은 양의 공기유입이 요구되어 큰 면적의 덕트가 요구된다. 또한 공기순환을 위해 필요한 주요 장치인 송풍팬에서 소음이 발생할 수 있다. 반면, 동결 및 과열에 의한 피해가 없고 누수에 대한 문제가 발생하지 않는 장점이 있다.

형태에 따른 구분

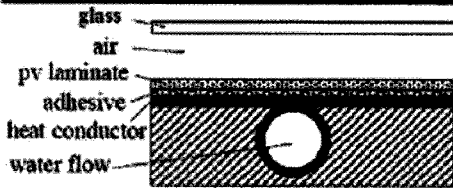
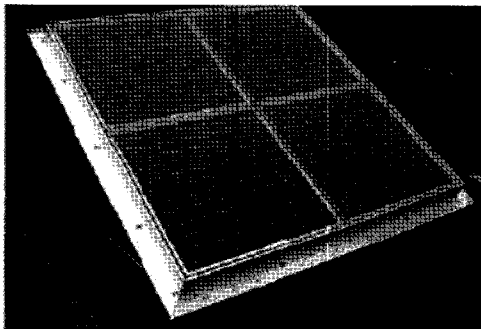
• 평판형 PV-T모듈

평판형 PV-T모듈의 구조는 일반적으로 기존의 태양열 집열기와 매우 유사하여, 집열기의 금속 흡수판 위에 PV모듈이 부착되는 형태라고 볼 수 있다. 일반적인 평판형 PV-T모듈은 유리커버 유무에 따라 유리커버형(glazed) 모듈과 유리커버가 없는 형태(unglazed)의 모듈로 분류할 수 있다(그림 5).

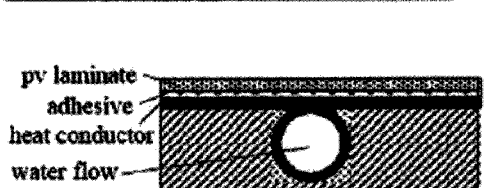
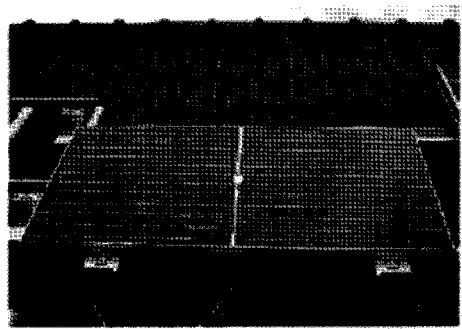
평판형 PV-T모듈은 건물 입면 및 지붕에 일체화시켜 적용하는 것이 용이하며 일반적인 평판형 태양열 집열기와 유사한 형태로 설치된다. 유리커버형 모듈은 공기층을 둔 유리커버 마감으로 모듈의 열손실을 줄임으로써 유리커버가 없는 형태의 모듈에 비해 열효율이 매우 우수하다. 반면, 유리커버를 하는 경우 상대적으로 모듈의 온도가 상승하기도 하고 유리에 의해 일사유입이 일부 차단되어 PV모듈에 의한 전기 성능은 낮아지는 단점이 있다.

• 집광형 PV-T모듈

태양광 시스템의 효율을 증진시키기 위해 PV모듈에 일사량을 집중하여 증가시키기 위한 집광장치가 사용되기도 한다. 집광장치로는 렌즈나 반사경이 사

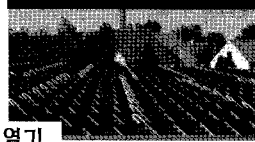


a) glazed type



b) unglazed type

[그림 5] 평판형 PV-T모듈 유형

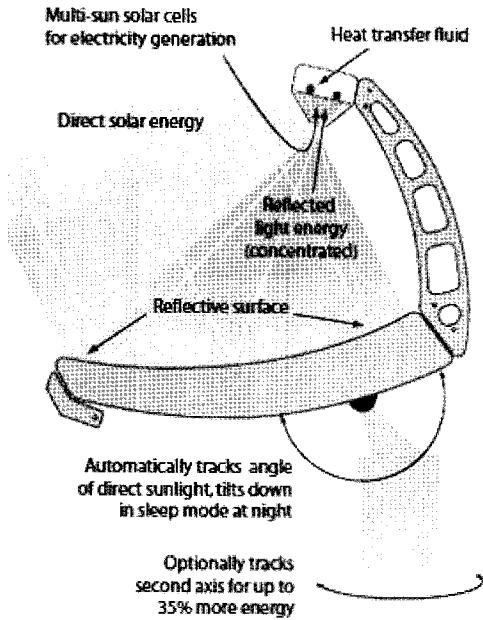


용되는데 이 장치에 의해 일사에너지의 밀도가 높아 지기 때문에 PV모듈의 면적을 줄이는 것이 가능하여 PV시스템에 의한 전기 생산 단가를 낮추는 것이 가능하다. 집중된 일사에너지에 의해 PV모듈의 온도도 높게 상승하기 때문에 이때 PV모듈을 냉각시키는 것이 매우 중요하다. 이때 물은 집광형 PV-T모듈의 열기를 제거하는 매체로 사용될 수 있다(그림 6). PV모듈의 후면에 부착되는 집열판과 유체도관

을 통해 물과 같은 유체를 순환시키면 PV모듈을 냉각시키고 가열되어 나온 온수는 급탕이나 난방 목적으로 사용될 수 있다. 기존 문헌에 따르면 가격이 비싼 PV모듈의 사용 면적을 줄이고 고열이 발생하는 PV모듈 후면에 물을 이용한 집열장치를 결합하는 것은 PV시스템의 경제성을 높이는 방법이라고 소개하고 있다.

집광형 PV-T모듈은 그림 7에 나타난 바와 같이 집광장치가 태양을 추적하는 기능 여하에 따라 고정형과 추적형으로 분류할 수 있다.

집광형 PVT 복합모듈은 집광효율을 높이기 위한 형상으로 평판형에 비해 두께가 두껍고 균일적이지 못한 외관형태로 건물 외피에 일체적으로 적용하는 것은 어렵다. 또한 집광성능을 유지하기 위한 유지 보수 비용이 증가하게 된다. 한편 일사의 집광 효율을 고려하면 이러한 집광형 모듈의 사용은 확산일사가 많은 기후지역에는 적절하지 않다고 할 수 있다.



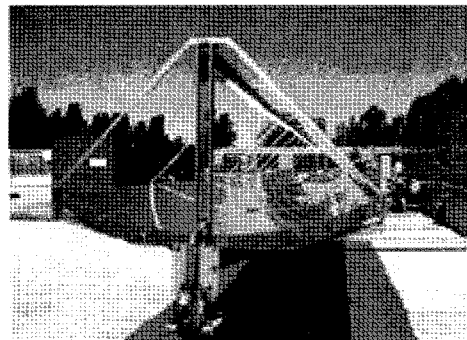
[그림 6] 집광형 PV-T모듈

PV-T모듈 유형별 시장 잠재성 비교

세계에너지기구의 국제 협력연구를 통해 도출된 PV-T모듈 유형별 비용, 시장잠재성, 건물결합성 등에 대해 비교하면 표 1과 같다. 먼저 PV-T모듈의 가격을 비교하면 건물 외피에 적용된 PV모듈의 후면을 환기시켜 열을 확보하는 방식(ventilated PV facades)이 가장 유리하고 대체적으로 공기식에 비해 추가적으로 유체관의 결합 및 시스템이 필요한 액체식이 불리한 것으로 나타났다. 한편 모듈의 내



a) 고정형



b) 추적형

[그림 7] 집광형 PV-T모듈 유형

구성이나 신뢰도는 유리커버가 없는 공기식과 건물 외벽 적용형이 우수한 것으로 평가되었다.

한편 시장 잠재성 측면에서는 유리커버가 있는 액체식이 가장 우수하고 다음으로는 유리커버가 없는 형태가 뒤를 잇고 있다. 이는 비록 유리커버형 액체식이 가격 및 신뢰성에서 상대적으로 불리하나 전체

적인 PV-T모듈의 효율을 고려할 때 다른 방식보다 유리하기 때문이다. 건축통합적인 측면에서는 집광형을 제외하고 거의 동일한 수준으로 평가되어 PV 모듈만을 건물에 통합하는 방식과 같이 집열기능을 부여한 모듈의 경우도 건물에 통합적으로 적용하는 데 큰 문제가 없는 것으로 밝혀졌다.

<표 1> PV-T모듈 유형과 적용 특성

	Module cost	Reliability	Market potential	Building integration	System economics	Aesthetics
Liquid modules glazed			++	+	+	
Liquid modules unglazed		+	+	+	+	+
Air modules glazed	+			+	+	
Air modules unglazed	+	++		+	+	+
Ventilated PV facades	++	++		+	+	+
PV/T concentrators	+				+	

<표 2> PV-T모듈 유형과 적용대상과의 관계

Markets (in order of size)	type of application	Liquid modules glazed	Liquid modules unglazed	Liquid modules unglazed with heat pump	Air modules glazed	Air modules unglazed	Ventilated PV with heat recovery	PV/T concentrators
Consumers	Domestic hot water	+++						
	Domestic space heating & hot water	+		+++	+			
	Collective hot water	++						+++
	Collective space heating & hot water	++						+
	Pool heating		+++					
Tertiary	Collective hot water	++						++
	Collective space heating & hot water	+						+
	Office space heating	++		++	+++	+++	+++	
	Solar cooling				+	+	++	++
	Public pool heating	++	++					
Agriculture	Solar drying				+	+		
	Hot water	+	+					
Industry	Industrial Process heat	+	+					+
	Industrial space heating			+		+	+	
	Solar cooling							+



표 2는 PV-T모듈 유형별로 시장의 크기와 적용 가능성시스템과의 관련성을 분석한 결과를 나타낸 것이다. 가정용 급탕에는 유리커버가 있는 액체식이 가장 적절하고 주거의 난방과 급탕을 동시에 고려하는 경우는 유리커버가 없는 액체식을 열펌프와 결합하는 방식이 최적의 모델이라고 밝히고 있다. 한편 사무공간의 난방을 목적으로 하는 경우는 유리커버 유무와 상관없이 공기식이 적절하며, 집광형의 경우는 고온수를 만드는 특성상 중앙집중형 난방방식에 보다 적합한 것으로 평가되고 있다. 이러한 분석은 건물에 사용되는 열원의 용도 및 사용 방식에 따라 PV-T모듈의 형태가 다르게 적용되어야 한다는 것을 보여준다.

맺는 말

PV-T모듈은 하나의 유닛에서 태양광발전과 태양열 집열을 동시에 수행하는 기술이 적용된 것으로 아직까지 상대적으로 경제성이 낮은 PV시스템의 효율을 높이는데 공헌할 수 있다. 특히 건물에 적용하는 경우 전기와 열에너지를 동시에 확보하고 소비처인 건물에 바로 공급하게 되어 전체적인 에너지 시스템의 효율을 증진시킬 수 있다. 특히 두 에너지원의 확보를 동시에 이루어 태양에너지 이용 장치의 설치면적을 대폭적으로 줄일 수 있어 향후 과밀한 도시지역 등에 태양에너지 시스템을 공급하는데 유리할 것으로 기대된다. 