

# 실험에 의한 공기식 태양광·열 복합 유닛의 성능 비교

## An Experimental Study of Performance Improvement of Air Type PV/T Collector Units

김진희\*                      양연원\*\*                      김준태\*\*\*  
 Kim, Jin-Hee              Yang, Yeon-Won              Kim, Jun-Tae

### Abstract

The integration of PV modules into building facades or roof could raise their temperature that results in the reduction of PV system's electrical power generation. Hot air can be extracted from the space between PV modules and building envelope, and used for heating in buildings. The extraction of hot air from the space will enhance the performance of BIPV systems. The solar collector utilizing these two aspects is called PV/T(photovoltaic/thermal) solar collector. This paper compares the experimental performance of two different types of air type PV/T collector units: the base case of a collector unit with 10cm gap for forced ventilation and the other unit with copper pin attached to PV module to enhance its thermal performance. The experimental results shows that the base case unit had the overall efficiency of 41.9% and the improved unit with copper pin attached to PV module had 50.1% efficiency. For these air type PV/T units, the forced ventilation of the air space improved the electrical performance as well as the thermal performance.

키워드: 태양광·열 복합유닛, 성능비교, 열 성능, 전기 성능, 방열 동핀

Keywords: PV/Thermal collector units, performance comparison, thermal performance, electrical performance, radiant copper pin

### 1. 서 론

#### 1.1 연구배경 및 목적

최근에 태양광발전(PV)시스템은 전기 생산뿐만 아니라 이것을 건물의 마감재로써 건물의 외피로 활용하여 건축비 절감이나 미적인 요소로 적용이 가능한 형태로 발전하고 있다. 이는 건물일체형 PV(BIPV)시스템으로 불리며 이에 대한 연구와 제품개발이 활발하게 진행되고 있다.

BIPV 시스템의 효율에 있어서 가장 큰 문제는 PV 모듈의 온도 상승이라고 할 수 있다. 기존의 BIPV 시스템에서는 이러한 열을 단순히 후면 통풍 등을 이용해 폐열로 배출하여, PV 모듈의 온도를 낮춤으로서 PV시스템의 전기 성능을 향상시켰다. 그러나 이러한 열을 폐열로써 배출하는 것이 아니라, 건물에 필요한 에너지원으로 활용하는 것이 가능하다. 따라서 BIPV시스템의 열을 제거하여 전기적 성능의 향상뿐만 아니라 이 열을 보다 적극적으로 집열하여 건물에 필요한 열에너지원으로 이용하는

방법이 가능하다. 즉, 건물의 에너지 성능을 향상시키고 태양에너지 이용 시스템의 효율을 극대화하기 위해서는 일사 확보가 유리한 지붕면 등을 활용하여 건물 난방에 필요한 열원과 전기를 동시에 확보할 수 있는 복합 시스템의 개발이 필요하다. 이러한 기능을 동시에 수행하는 장치는 태양광·열(PV/T: photovoltaic/thermal) 복합시스템이라고 하며, 시스템의 성능은 일차적으로 집열 유닛의 성능에 의해 결정된다고 할 수 있다.

이러한 배경으로 본 연구의 목적은 지붕적용이 가능한 공기식 PV/T 복합 유닛의 전기 및 열적 성능을 측정 실험하여, PV/T 유닛의 성능을 높이기 위한 방법의 효과를 정량적으로 비교 분석하는 것이다.

#### 1.2 연구방법 및 범위

본 연구에서는 공기식 PV/T 지붕시스템의 기본 유형으로 PV모듈과 지붕면 사이에 공간을 두어 공기 유통이 가능하도록 한 PV/T 유닛의 기본유형을 설계, 시제작하고 외기조건에서 유닛의 전기적, 열적 성능을 측정하였다. 또한 기본 유형의 집열 효율을 높이기 위해 PV모듈에 방열 동핀을 부착한 유형에 대해 동일한 실험을 수행

\* 공주대 대학원 박사과정

\*\* 공주대 대학원 석사과정

\*\*\* 교신저자, 공주대 건축학부 부교수, 공학박사

(jtkim@kongju.ac.kr)

하였고, 두 모듈 유닛의 전기 및 열적성능을 비교 분석하였다.

본 연구는 공기식 PV/T 지붕 유닛을 통해 열에너지를 확보하여 이용하기 위한 기초적인 연구로서, 유닛을 난방 시스템과 결합하기 전 PV/T유닛 자체의 전기적, 열적 성능을 실험을 통해 확인한 것이다. 공기식 PV/T 유닛을 난방시스템에 적용하여 열적 성능을 평가하는 것은 본 연구의 범위에 포함되지 않는다.

## 2. 공기식 PV/T 복합 유닛

### 2.1 개요

일반적으로 BIPV시스템은 PV모듈의 온도 상승으로 인한 효율저하를 막기 위해 지붕면과 PV모듈 사이에 공기층을 둔다. PV모듈의 온도가 상승하면 이에 의해 공기층 내부의 온도도 올라가게 되는데, 기존의 BIPV시스템은 이러한 데워진 공기를 자연통풍으로 환기시켜 배출시켰다. 그러나 PV/T시스템으로서 공기식 PV/T 지붕 시스템은 PV모듈을 통해 데워진 공기를 팬(fan)으로 좀더 적극적으로 환기시켜 PV모듈을 냉각시키고, 배출된 열원을 건물 난방 및 급탕시스템에 필요한 열원으로 이용하는 원리이다(그림1).

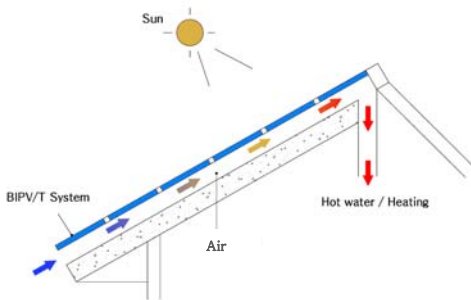


그림 1. 공기식 PV/T 지붕시스템 개념도

### 2.2 연구문헌 고찰

공기식 PV/T 유닛의 집열효과를 높이기 위해 다양한 시도가 이루어졌다<sup>1)</sup>. 공기식 PV/T 유닛은 공기흐름 방식에 따라 구별될 수 있는데, 공기유동층이 흡수판 위쪽 또는 아래쪽으로 구성된 형태, 공기층이 단일(single pass) 또는 이중(double pass)으로 구성되는 유형이 있다. 또한 최근에는 이러한 공기식 시스템의 열효율을 높이기 위해 공기층에 방열핀(fin)을 부착한 형태가 제안되기도 하였다(그림2).

공기식 PV/T 시스템에 대한 연구는 BIPV시스템의 열기 배출 방법과 함께 다양한 연구들이 이루어져왔다. 이 중 Tripanagnostopoulos et al<sup>2)</sup>의 연구에서는 수식 PV/T

시스템과 함께 다양한 디자인 변화를 통해 성능실험 결과들이 발표되었다. 이 연구에서는 4가지 기본 실험모델을 제안하고, 다양한 실험모델을 통해 PV모듈, 유리커버 및 반사재에 따른 PV/T시스템의 성능을 공기식과 액체식으로 구분하여 비교 분석하였다. 따라서 액체식을 포함하여 12가지 유형에 대한 열적, 전기적 성능을 측정하고 열효율과 전기효율을 비교 분석하였다. 또한 실험유체의 입구온도가 외기온도 보다 낮은 조건에서의 각 효율들을 열손실계수와 함께 정량적으로 분석하였다.

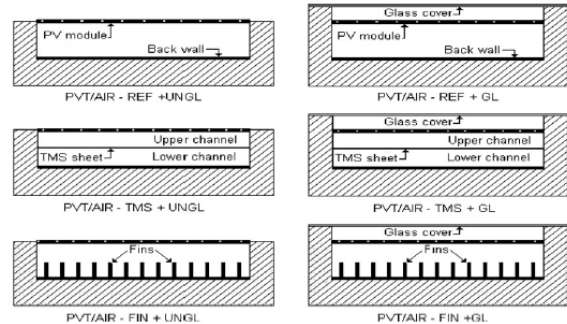


그림 2. 다양한 공기식 PVT 유닛

발표된 연구에 의하면, 기본적인 유형의 다결정 PV모듈을 사용한 공기식 PV/T 유닛의 열효율은 0~38%, 전기효율은 10.5~12%로 분석되었다. 아모퍼스 PV모듈을 사용한 경우 다결정 PV모듈을 사용한 경우와 유사한 열적 특성과 함께 열효율은 0~46%로 높게 나타났으며, 전기효율은 5~6%로 분석되었다. 표1은 연구내용 중 공기식 PV/T의 성능을 나타낸 것이다. PV모듈의 종류에 따라 다결정 실리콘과 아모퍼스 PV/T를 비교해보면, 아모퍼스 PV/T가 다결정PV/T 보다 열손실계수( $\Delta T/G$ )는 약간 높지만, 열효율이 8% 더 높은 것으로 나타났다.

실험결과를 보면, 공기식의 경우 열효율을 개선하기 위한 유리커버의 유무에 따라 열효율이 각각 38%, 59%로 나타나, 유리커버를 한 시스템이 상대적으로 약 20% 이상 높은 효율을 갖는 것으로 나타났다. 또한 열특성에 중요한 열손실계수도 유리커버를 한 시스템이 1.4 차이로 더 작게 나타나, 유리커버를 한 시스템의 열적 성능이 우수함 것으로 분석되었다.

표 1. 다양한 디자인의 공기식 PVT 시스템 성능( $T_i < T_a$ )

PVT 시스템 유형	열효율
PV(다결정)/T(공기식)	0.38-9.33( $\Delta T/G$ )
PV(아모퍼스)/T(공기식)	0.46-10.69( $\Delta T/G$ )
PVT(공기식)	0.38-9.33( $\Delta T/G$ )
PVT(공기식)+유리커버	0.59-7.88( $\Delta T/G$ )
PVT(공기식)+반사재	0.60-12.68( $\Delta T/G$ )
PVT(공기식)+유리커버+반사재	0.75-8.89( $\Delta T/G$ )

1) Y. Tripanagnostopoulos, Aspects and improvements of hybrid photovoltaic/thermal solar energy systems, Solar Energy, Vol.81(9), p.1117-1131, 2007

2) Y. Tripanagnostopoulos et al., Hybrid photovoltaic/thermal solar systems, Solar Energy, Vol. 72(3), p.217-234, 2002

앞서 분석된 연구와 같이 공기식 PV/T시스템의 효율을 개선하기 위해 여러 디자인이 제안되고 성능실험이 수행되었다. 여러 연구들 중 Tonui et al<sup>3)</sup>에 의해 제안된 공기식 PV/T시스템을 보면, 열효율 개선을 위해 얇은 금속시트를 공기층에 부착하거나 방열판을 공기층 바닥부분에 부착하였다. 성능 테스트 결과, 최대 열효율은 PV모듈 후면에 공기층을 갖는 기본적인 유형에 평탄한 메탈시트를 공기층에 추가한 유형과 방열판을 추가한 유형 순으로 각각 최고 25%, 28%, 30%로 나타나 방열판을 부착한 모델이 가장 높은 것으로 분석되었다.

또한 이 연구에서는 공기식 PV/T시스템의 자연대류와 강제대류에 따른 PV/T의 모듈온도 및 입출구 공기온도 분포를 열효율과 함께 분석하였다. 자연대류 시 PV/T시스템의 열효율은 강제대류에 비해 더 낮게 나타났는데, 강제대류와 같은 순으로 각각 16%, 18%, 20%였다. 최근 발표한 연구에서는 동일 3가지 타입의 실험모델에 유리커버를 추가하고 실험하여 열성능을 분석 발표하였다<sup>4)</sup>. 기존의 유리커버를 추가하지 않은 실험모델의 열효율은 0~35%, 유리커버를 추가한 실험모델은 25~55%로 유리커버가 추가된 실험모델이 매우 높게 나타난 것으로 분석되었다. 이는 유리커버가 유닛의 단열효과를 높여 집열효율을 증진시키기 때문으로 판단되며, 다른 한편으로는 유리커버가 PV모듈의 온도를 높이는 요인이 되어 전기 효율을 저하시키는 문제가 있다.

### 2.3 공기식 PV/T 지붕시스템 모형 설계

먼저 실험을 위해 공기식 PV/T 지붕 시스템의 모형을 제작하였다. 그림 3에 나타난 바와 같이 이 시스템은 총 125W<sub>p</sub>의 다결정 실리콘 PV모듈 8장으로 1kW<sub>p</sub>용량으로 구성되었으며, 사용된 단위 PV모듈의 상세 사양은 표2와 같다. 시스템은 두 개의 PV모듈을 하나의 유닛으로 하여 총 4개의 어레이로 구성하여 최대전류 7.04A, 최대전압 34.8V의 최대 250W<sub>p</sub>용량으로 결선하였다.

표 2. PV모듈 상세 사양

항목	상세 규격
최대 출력	125W
최대 전압	17.8V
최대 전류	7.04A
단락전류	7.66A
개방전압	21.1V
크기	670*1505*38mm
무게	10.5kg
셀타입	6'poly crystalline silicon

3) J.K. Tonui & Y. Tripanagnostopoulos, Improved PVT solar collectors with heat extraction by forced or natural air circulation, Solar Energy, Vol.22(4), p.623-637, 2007  
 4) J.K. Tonui & Y. Tripanagnostopoulos, Air-cooled PVT solar collectors with low cost performance improvements, Solar Energy, Vol.81(4), p.498-511, 2007

이 시스템은 PV모듈과 지붕사이에 각목을 이용하여 10cm 높이의 공기 채널을 두도록 하였다. 또 그림4에 나타난 바와 같이 지름 10cm의 집열 공기취출구를 실험체 상부 4곳에 설치하고 팬을 부착하여 내부 공기를 취출할 수 있게 하였다. 또 그림4와 같이 경사면을 0°~ 60°까지 조절 할 수 있게 구조체 모형을 설계하였다. 이 구조체의 구성과 단열은 건축물설비기준에 적정하도록 설계 제작 하였다.

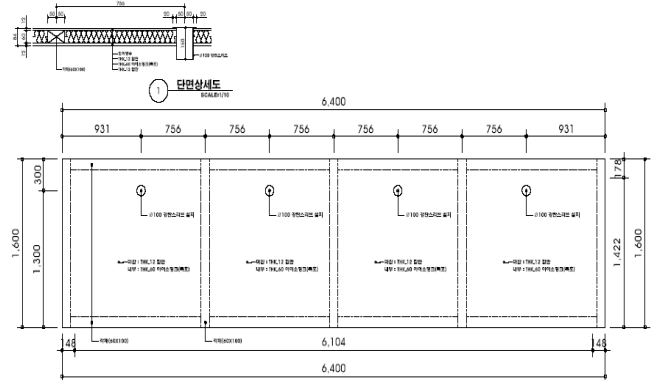


그림 3. 공기식 PV/T 지붕구조 평면

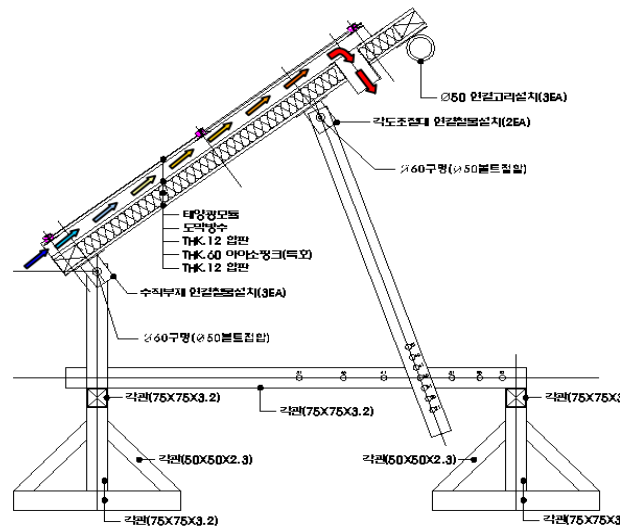


그림 4. 공기식 PV/T 지붕 실험모형 단면

가장 기본적인 형태의 공기식 PV/T 복합 유닛은 앞서 설명된 실험모형과 같이 지붕면과 PV모듈 사이에 공기층을 두고 별도의 기계장치 없이 팬을 이용하여 데워진 공기를 이용하는 것이다. 실제 난방이 필요한 시기인 동절기에는 보다 높은 온도의 공기를 얻는 것이 필요하며 이를 위해 다양한 방법이 시도되고 있다.

본 연구에서는 열전도율이 높은 동판을 방열판으로 PV모듈 후면에 부착하는 형태로 설계하였다. 이 동판은 열이 발생하는 PV모듈 후면에 방열면적을 늘려 PV모듈의 열을 보다 적극적으로 방열하여 높은 열원의 공기를 얻을 수 있다. 이는 다른 한편으로 PV모듈에 대해 냉각

효과를 주어 전기효율을 높이게 된다. 그림5는 본 연구에서 사용한 두 가지 형태의 PV/T 유닛을 나타낸 것으로 PV모듈과 지붕면 사이에 10cm 높이의 공기층을 둔 기본 유형(a)과 같은 규격에 방열을 위해 PV모듈에 동핀을 부착한 유형(b)의 단면을 나타낸 개념도이다. 방열 핀은 0.5mm 두께의 동판을 열전도성 접착제를 이용하여 상용화된 다결정 실리콘 PV모듈의 후면에 부착하였으며 핀의 간격은 8cm, 길이는 5cm로 하였다.

기본유형으로서 앞서 나타낸 공기식 PV/T 지붕 실험 모형을 제작하였으며, 동핀부착유형은 기본유형의 PV모듈에 직접 동핀을 부착한 것이다. 동핀부착의 실험체는 공기식 PV/T 지붕모형에 사용된 일반 PV모듈에 동핀을 부착한 PV모듈을 사용한 것이다.

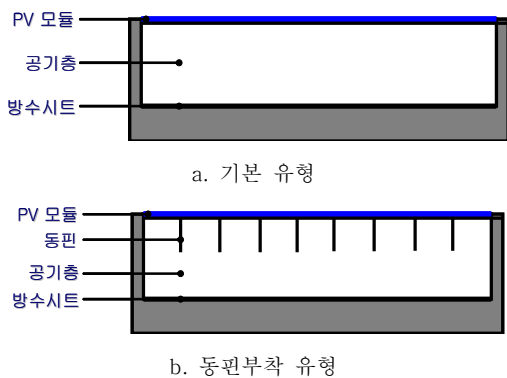


그림 5. 공기식 PV/T 기본 유형 및 동핀부착 유형

### 2.4 실험장치 및 방법

성능평가를 위해 제작된 공기식 PV/T 지붕시스템 모형 실험체는 충남 공주시 소재 공주대 공과대학 건물의 옥상에 설치하였다(그림6). 지붕의 경사는 30°로 정남향을 향하도록 설치하였다. 실험체의 PV모듈 및 후면 공기의 온도, PV시스템의 전력생산량 등을 측정하기 위한 측정기기를 연결하였으며, 실험 외부조건으로 경사 지붕면의 전일사량, 외기온도 등을 측정하였다. 실험 장치로 PV시스템의 전력부하로 사용하기 위해 부하저항기, 일사량, 외기온도 및 모듈온도 등의 실측치를 자동으로 기록하는 계측장비, 그리고 시스템의 생산전력량을 계측하는 파워미터 등으로 구성하였다.



그림 6. 공기식 PV/T 지붕 시스템 실험모형 외관

앞서 설명된 두 유형의 공기식 PV/T 복합 유닛을 공기식 PV/T 지붕시스템 모형에 적용하여 비교실험 하였다. PV/T 기본 유형에 대한 실험은 2007년도 5월~6월 동안 실시되었으며, 동핀을 부착한 모형은 10월~11월 동안 실시되었다. PV/T 유닛 내부의 공기온도와 모듈 표면온도를 측정하기 위해 열전대(T타입)를 설치하였다. 집열된 공기는 환기팬을 이용해 외부로 배출되며 배출된 공기온도와 환기량을 측정하기 위해 그림6과 같이 덕트를 연결하고 풍량 및 온도센서를 설치하였다. 환기팬을 통해 배출되는 공기량은 한 유닛 당 150m<sup>3</sup>/h의 동일한 유량으로 실험하였다.

### 3. 공기식 PV/T 지붕시스템 성능평가 실험결과

본 연구에 포함된 공기식 PV/T 지붕시스템의 모형 실험결과는 여러 날의 실험결과 중 일부이며, 비교적 일사가 일정하게 나타난 날을 선택하여 비교분석하였다. 실험은 환기팬에 의한 통풍 냉각효과가 PV모듈의 온도변화에 미치는 영향과 이것이 PV모듈의 전기효율 증진에 미치는 효과를 분석하였다. 또한 이러한 변화가 PVT의 열 획득에 미치는 영향을 분석하였다. 이 때 유닛 자체의 제반 성능을 분석하는 것으로 실험의 범위를 제한하여 환기팬에 작동에 소요되는 전력소모량에 대한 것은 고려하지 않았다.

실험결과는 기본 유형과 동핀 부착 유형에 대해 각각 일사량에 따라 상승되는 PV모듈온도와 지붕 내에 집열되는 공기온도를 분석하였으며, 강제환기 시 환기팬을 통해 배출된 공기온도를 분석하였다. 또한 강제환기를 통해 냉각된 PV모듈과 그렇지 않은 PV모듈의 전기성능을 분석하였으며, 기본유형과 동핀부착유형에 대한 실험결과를 비교 분석하였다.

#### 3.1 공기식 PV/T 복합 유닛의 전기적 특성

실험에 의해 전기적인 특성을 살펴보면, 두 가지 유형 모두 일사량 변화에 따라 전력생산량이 변화하는 것으로 나타났다. 그림 7~10에서 보면, 기본 유형과 동핀부착유형 모두 환기팬이 작동되는 시점인 오후 1시부터 2시사이 일사량이 서서히 감소되나 PV모듈의 전력생산량은 오히려 증가하는 것을 알 수 있다. 이는 환기팬의 작동으로 PV모듈온도가 떨어졌으며 이에 따라 전력생산량이 증가하게 되는 것이다.

환기팬의 작동으로 PV모듈온도의 변동을 살펴보면 기본유형은 62℃에서 53℃, 동핀부착유형은 57℃에서 39℃로 떨어져, 각각 9℃와 18℃씩 떨어졌다(그림 7, 8). 따라서 강제환기로 집열된 공기를 배출함으로써 PV모듈이 냉각되고 이에 따라 시스템의 전기효율이 개선된 것을 알 수 있다. 또한 기본유형보다 동핀부착유형에서 방열핀의 역할로 PV모듈의 냉각효과가 더 큰 것으로 분석되었다.

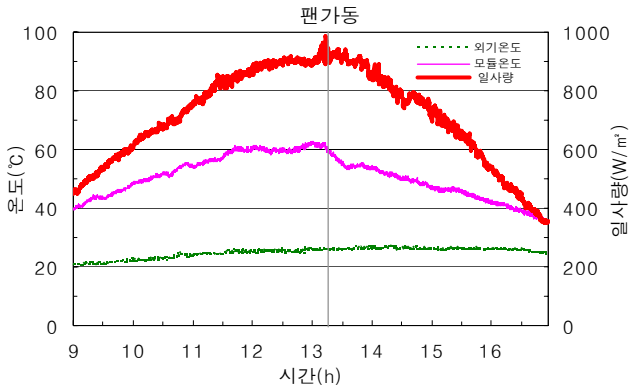


그림 7. 일사에 따른 모듈온도(기본유형)

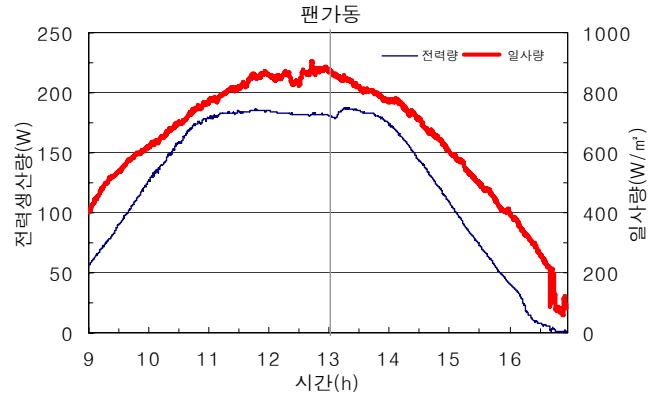


그림 10. 일사에 따른 전력(동핀부착유형)

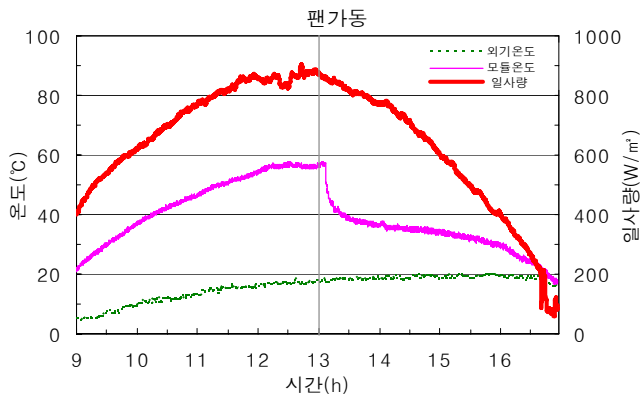


그림 8. 일사에 따른 모듈온도(동핀부착유형)

이에 따른 PV모듈의 전기효율을 비교해 보면, 그림 9와 10에 나타낸 바와 같이 동핀부착유형이 기본유형에 비해 냉각 효과의 증진으로 PV모듈의 전기효율이 더 향상되는 것으로 분석되었다. 팬가동 전후의 전기효율을 비교해 보면, 기본유형은 10.1%에서 10.6%로 증가하였고, 동핀부착유형은 10.1%에서 11.1%로 증가하여, 팬 가동에 따라 기본유형은 0.5%, 동핀부착 유형은 1%의 전기효율이 증진된 것으로 나타났다. 따라서 PV모듈 후면에 동핀을 부착하는 것이 방열을 촉진하여 PV모듈의 냉각을 증진시키고 전기효율을 높이는 것임을 확인하였다.

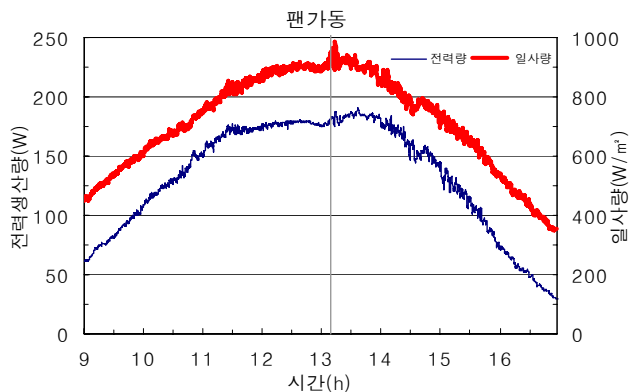


그림 9. 일사에 따른 전력(기본유형)

### 3.2 공기식 PV/T 복합 유닛의 열성능 특성

실험 유닛에서 PV모듈 후면을 냉각하고 데워진 지붕 구조체의 공기를 팬에 의해 강제배출 시켰을 때 일사량에 따른 집열 효율은 그림 11, 12와 같이 나타났다. PV/T 유닛의 집열 효율은 다음 수식(1)에 의해 계산되었다. 일사량이 서서히 증가하여 가장 높아졌을 때 환기팬을 가동시켰으며, 시스템의 모듈 유닛당 150m<sup>3</sup>/h 유량을 강제 흡입하여 외부로 배출하였다. 따라서 오후 1시 이후부터의 집열효율을 계산한 것이며, PVT 복합 유닛의 입구 온도인 외기온도와 출구쪽 흡입덕트에서 온도의 차로 계산되었다.

$$Q_1 = A_g \times G$$

$$Q_2 = \dot{m}c_p(T_o - T_i)$$

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

$\eta_{th}$  : 열효율

$A_g$  : 집열기 전면적 (m<sup>2</sup>)

$T_o$  : 집열기 출구온도 (°C)

$T_i$  : 집열기 입구(외기)온도 (°C)

$\dot{m}$  : 열매체 유량 (m<sup>3</sup>/hr)

$C_p$  : 열매체 비열 (kJ/kg°C)

$G$  : 일사량 (W/m<sup>2</sup>)

공기식 PVT 지붕시스템에서 기본유형의 집열효율은 평균 31.8%(그림11), 동핀부착유형의 집열효율은 평균 39%(그림12)로 나타났으며, 일사량에 따라 일정한 집열효율이 나타나는 것으로 분석되었다. 이를 통해 기본유형보다는 동핀부착유형의 집열효율이 7% 가량 높은 것으로 나타나 집열효율이 증진된 것으로 분석되었다. 이는 동핀이 방열을 증진하여 PV모듈 후면의 열이 보다 많이 방출됨으로서, PV모듈온도는 더 하강하고 내부 공기온도는 높아져 집열효율이 증진된 것으로 분석되었다.

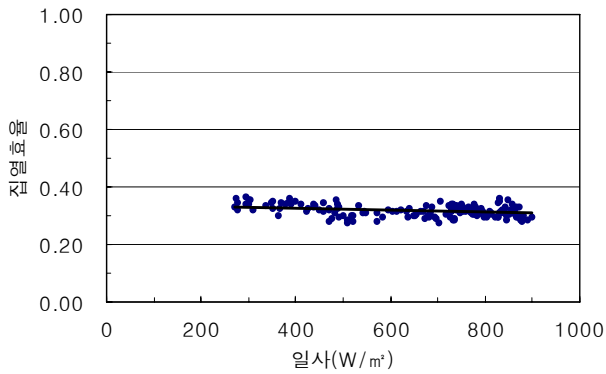


그림 11. 일사에 따른 집열효율(기본유형)

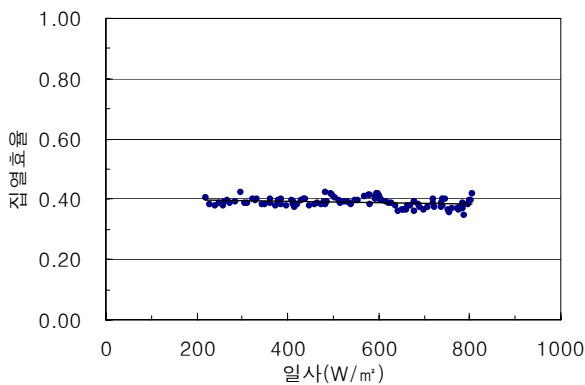


그림 12. 일사에 따른 집열효율(동핀부착유형)

#### 4. 결론

본 연구에서는 실험을 통해 열과 전기를 동시에 생산할 수 있는 공기식 PV/T 복합 유닛의 열적 성능 및 전기적 성능을 분석하였다. 특히 PV모듈과 지붕면 사이에 공기층을 둔 PV/T 기본유형과 열적 성능을 향상시키기 위해 기본유형에 동핀을 부착한 유형에 대한 제반 성능을 비교 분석하였다.

실험결과 공기식 PV/T 복합 유닛 전기효율은 팬 가동에 의한 PV모듈 냉각효과로 유닛에 적용된 PV모듈의 원래 전기효율 대비 5% 증진되었다. 또한 공기식 PV/T 지붕시스템의 기본유형에 동핀을 방열핀으로 부착함으로써 PV모듈 냉각효과는 더 높게 나타났다. 이에 따라 전기효율이 PV모듈의 원래 전기효율 대비 10% 증진된 것으로 분석되었다. 공기식 PV/T 동핀부착유형의 집열효율은 기본유형보다 7% 가량 높은 것으로 나타났다.

공기식 PV/T 복합 유닛의 전체효율은 팬가동 후 기본유형은 41.9%, 동핀부착유형은 50.1% 인 것으로 분석되었다. 따라서 기존 단독으로 적용되는 BIPV시스템과 비교해 약 30~40%의 열적 효율이 부가되는 것으로 분석되었다.

본 연구를 통해 PV모듈에 방열핀을 부착함으로써 PV/T 유닛의 전기 및 열적 성능이 증진된 것을 확인하였으며, 기존 단독 태양광 및 태양열시스템과 비교하여

전체효율에서 크게 낮지 않은 것으로 분석되었다. 이러한 기초적인 실험 결과를 바탕으로 향후 PV/T유닛의 전기 및 집열효율을 더욱 높일 수 있는 방법을 개발하는 것이 필요하다. 또한 이러한 PV/T유닛을 실제 건물의 난방시스템과 결합하여 건물의 난방부하 저감에 미치는 효과를 종합적으로 분석하는 추가적인 연구가 필요하다.

#### 후 기

본 연구는 에너지관리공단“에너지 절약형 다목적 공기식 집열 지붕시스템 개발”연구사업의 일환(과제번호: 2005-E-BD02-P-02)으로 수행되었음.

#### 참고문헌

1. 김진희, 김준태, 이강록, 양연원, 공기식 BIPV 집열 지붕 시스템의 성능모델링, 한국태양에너지학회 학술발표회 논문집, p.282-287, 2006
2. J.H. Kim, H.J. Lee, E.W. Yang, J.T. Kim, Thermal and electrical performance of an air type PV/T system, Solar World Congress 2007, ISES, Vol.1(2), p.401- 404, 2007
3. Y. Tripanagnostopoulos,, Aspects and improvements of hybrid photovoltaic/thermal solar energy systems, Solar Energy, Vol.81(9), p.1117-1131, 2007
4. Y. Tripanagnostopoulos et al., Hybrid photovoltaic/ thermal solar systems, Solar Energy, Vol. 72(3), p.217-234, 2002
5. J.K. Tonui & Y. Tripanagnostopoulos, Improved PVT solar collectors with heat extraction by forced or natural air circulation, Solar Energy, Vol.22(4), p.623- 637, 2007
6. J.K. Tonui & Y. Tripanagnostopoulos, Air-cooled PVT solar collectors with low cost performance improvements, Solar Energy, Vol.81(4), p.498-511, 2007
7. Y. Tripanagnostopoulos,, Aspects and improvements of hybrid photovoltaic/thermal solar energy systems, Solar Energy, Vol.81(9), p.1117-1131, 2007