

# 공기식 집열 지붕 난방시스템의 실험 연구

강준구\*, 김진희\*\*, 김준태\*\*\*

\*공주대학교 대학원 건축학과(zzang9@kongju.ac.kr), \*\*공주대학교 대학원 건축학과(jiny@kongju.ac.kr),  
\*\*\*공주대학교 건축학과 부교수(jtkim@kongju.ac.kr)

## An Experimental Study of Solar Air Roof Heating System With PVT Collector

Kang, Jun-Gu\*, Kim, Jin-Hee\*\*, Kim, Jun-Tae\*\*\*

\*Dept. of Architecture, Graduate School, Kongju National University(zzang9@kongju.ac.kr),

\*\*Dept. of Architecture, Graduate School, Kongju National University(jiny@kongju.ac.kr),

\*\*\*Dept. of Architecture, Associate Professor, Kongju National University(jtkim@kongju.ac.kr)

### 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 research is about the development of solar roof system with PV/T collector to apply into buildings. A test cell experiment was performed with the PVT roof installed: It found that the hot air supply from the PVT air collector contributed to increase the heating efficiency by 2 times and the electrical efficiency by about 8%.

Keywords : 공기식 집열지붕 시스템(Roof air heating system), 태양광/열 복합(Photovoltaic Thermal combined) 난방시스템(Solar Heating system), 열 성능, (thermal performance), 전기 성능(electrical performance), 실험체 (TEST CELL)

### 기 호 설 명

$Q_{input}$  : 공급된 열량  
 $Q_{output}$  : 생산된 열량  
 $T_i$  : 난방시스템 입구온도 (°C)  
 $T_o$  : 난방시스템 출구온도 (°C)  
 $m$  : 열매체 유량 (Kg/hr)  
 $C_p$  : 열매체 비열 (J/Kg°C)

### 1. 서 론

#### 1.1 연구배경 및 목적

최근 BIPV시스템의 환기로 인한 폐열을 이용하는 태양광·열(PV/Thermal) 복합 시스템의 다양한 연구가 진행되고 있다. 이는 PV 패널 후면의 열을 제거하여 PV 모듈의 효율

을 극대화 하고 이 폐열을 이용하여 건물 난방에 이용하는 복합적인 기능을 수행한다.

즉, 건물의 에너지 성능을 향상시키고 태양 에너지 이용 시스템의 효율을 극대화하여 건물에 필요한 열원과 전기를 동시에 확보 할 수 있는 태양광·열 복합 시스템이다.

현재 미국 및 유럽을 통해 많은 연구<sup>1)</sup>들이 활발히 진행되고 있으며 국내에서도 이에 대한 연구<sup>2)3)</sup>가 최근 몇 년 동안 연구되어 왔다. 그러나 국내의 경우 이러한 복합기능의 건물일체형 태양광·열 복합 시스템의 연구는 초기 단계라 할 수 있다. 또한 이에 대해 실제 건물의 난방시스템과 연계하여 난방열원으로 사용하기 위한 연구는 전무한 실정이다.

본 연구에서는 일사확보가 유리한 지붕을 이용하여 건물일체형 공기식 태양광·열 복합 시스템을 개발하였다. 또한 이를 건물 난방 열원으로 이용한 태양광·열 복합 시스템의 전기 및 열적 성능을 측정실험 하였으며, 실험 결과를 비교 분석하였다.

## 1.2 연구방법

본 연구에서는 공기식 태양광·열 복합시스템의 전기 및 열적성능과 건물적용 실험을 위해 공기식 집열 지붕 시스템을 설계 및 제작하였다. 또한 이에 대해 실규모 적용 및 외기실험을 위해 국제적인 수준(EU)에 부합하는 규격 기준<sup>4)</sup>에 따라 실험체를 제작하여 사용하였다.

공기식 집열 지붕 시스템을 실험체에 적용하여 전기 및 열적 성능을 측정하였다. 또한 공기식 집열 지붕 시스템에서 집열된 열원을

실험체의 난방시스템의 예열원으로 이용하는 난방시스템을 설계 및 장치하여 그 성능을 실험하였다.

## 2. 공기식 집열 지붕 난방시스템 실험

### 2.1 공기식 집열 지붕실험체 제작

#### (1) 공기식 집열지붕 설계 및 제작

공기식 집열 지붕의 구조는 유럽의 실험체 기준에 요구되는 단열조건을 만족시켰으며, 외피로 PV모듈을 적용하였다.그림1은 공기식 집열 지붕 단면 모습이다. PV모듈과 지붕구조체면은 10cm 간격으로 공기 집열 채널을 구성하였다. 지붕 구조체 후면에는 200 X 200mm의 취출구를 4군데로 배치하였으며, 송풍 팬을 이용하여 집열된 공기를 배출하도록 설계 제작하였다.

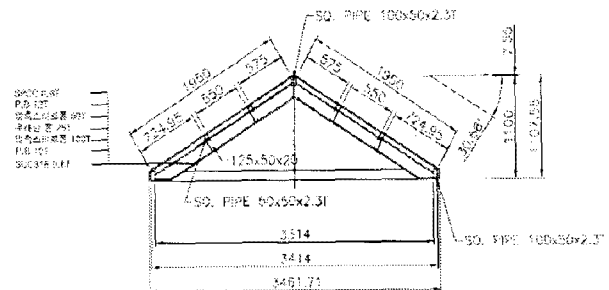


그림 1 공기식 집열 지붕구조체 단면도

선행연구<sup>5)</sup> 분석결과를 바탕으로, 670 X 1505 X 38 크기의 PV모듈 후면에는 전기 및 열효율을 높이기 위해 그림 2와 같이 알루미늄 방열판을 부착하였다.

PV모듈은 최대출력 125Wp의 다결정 실리콘 모듈(670 X 1505 X 38mm)을 사용하였다. 12장의 PV모듈을 하나의 유닛으로 어레이를 구성하여 최대전류 7.04A, 최대전압 213.6V의 최대 1.5kWp용량으로 결선하였다.

1) P.G. Charalambous, G.G. Maidment, S.A. Kalogirou, K. Yiakoumetti, Photovoltaic thermal (PV/T) collectors: A review, Thermal Engineering, Vol.27(2007), pp.275-286, 2006.

2) 김진희, 김준태, 이강록, 양연원, 공기식 BIPV 집열 지붕 시스템의 성능모델링, 한국태양에너지학회 학술발표회 논문집, pp.282-287, 2006.

3) 김진희, 양연원, 김준태, 실험에 의한 공기식 태양광열 복합 유닛의 성능비교, 한국생태환경건축학회 논문집, Vol. 7, No. 6, pp.17-22 2007.

4) Luk Vandaele, Peter Wouters, BBRI, The PASSYS services summary report, European Commission & BBRI, pp.17-54, 1994.

5) Kim, J. H., Kang J. G., Kim, J. T, Performance comparison of Roof-Integrated Air-Type PVT collector, World Renewable Energy Conference, 2008.

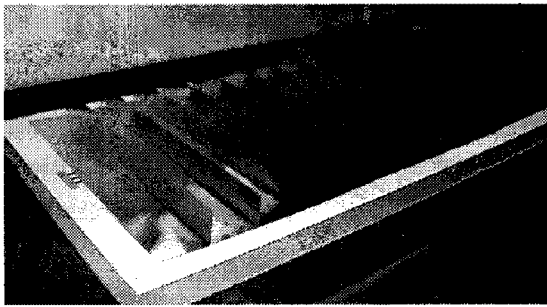


그림 2 모듈후면의 알루미늄 방열핀 부착모습

(2) 건물적용 실험체(Test Cell) 제작

공기식 집열지붕 시스템의 건물적용 실험은 그림 3과 같이 공기식 집열 지붕 시스템이 실험체에 적용하여 이루어졌다. 따라서 공기식 집열 지붕을 통해 얻어진 공기열원을 Test Cell의 난방시스템에 예열원으로 이용하는 것이다.

실험체는 실험을 위한 Test Room과 실험 데이터 측정 및 제어를 위한 Service Room으로 구성 되어 있다. 또한 PASSY 기준에 따라 실험을 위한 설비를 제작 설치하였으며 규모는 표 1과 같다.

표 1 Test Cell의 규모

구분	길이 (m)	넓이 (m)	높이 (m)	면적 (m <sup>2</sup> )	부피 (m <sup>3</sup> )
Test cell 외측	8.44	3.80	3.62	32.07	116.1
Test room 내측	5.00	2.76	2.75	13.80	38.0
Service room 내측	2.40	3.58	3.29	8.60	28.3

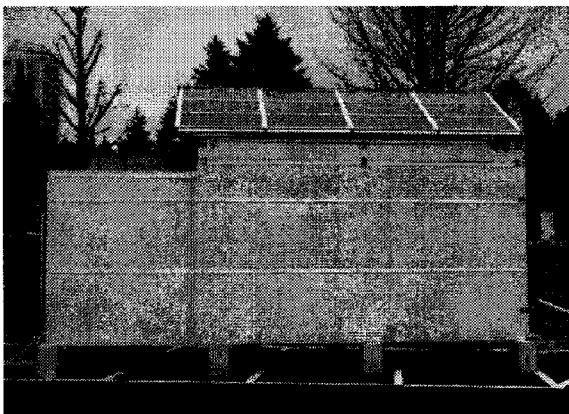


그림 3 공기식 집열모듈이 적용된 실험장치 외관

2.2 실험장치 및 방법

(1) 실험장치

제작된 공기식 집열 지붕 난방시스템은 충남 공주시 소재 공주대에 설치되었다. 지붕의 경사는 30°로 남향을 향하도록 설치하였다. 공기식 집열지붕의 PV모듈 후면과 실내 온도 측정을 위한 T타입 온도센서가 설치되었으며, 전력생산량을 측정하기 위해 계통연계를 통한 2kW<sub>p</sub>급 인버터를 설치하였다. 집열지붕에서 흡입되는 공기열원의 유량과 실내에 공급되는 유량을 측정하기 위해 공조덕트용 풍량계를 설치하였다. 또한 실험 외부조건으로 경사 지붕면의 전일사량, 외기온도 등을 측정하기 위한 센서 및 일사량계를 설치하였다. 실험장치의 냉난방 설비의 기본 사양은 실험장치 실내 온도 오차범위가 ±1℃ 내, 온도 제어범위는 5~45℃, 전기히터 용량 1.2kW, 냉동기 용량 2.2kW이다. 측정 장치 및 센서를 통한 측정 데이터는 데이터로거 및 인버터 통해 실시간으로 모니터링 되도록 구성하였다.

공기식 집열 지붕 난방 시스템은 그림 4와 같으며, 공기식 집열 지붕에서 모듈 후면을 냉각시키고 배출된 공기를 Test Room의 난방 예열원으로 이용하는 시스템이다. 따라서 공기식 집열 지붕시스템에서 예열된 공기는 덕트를 통해 Test Room으로 들어가고, 전기히터에 의해 가열된 공기는 분배 호스를 통해 Test Room에 공급하는 방식이다. 이때 Test Room의 공기는 환기팬에 의해 순환된다.

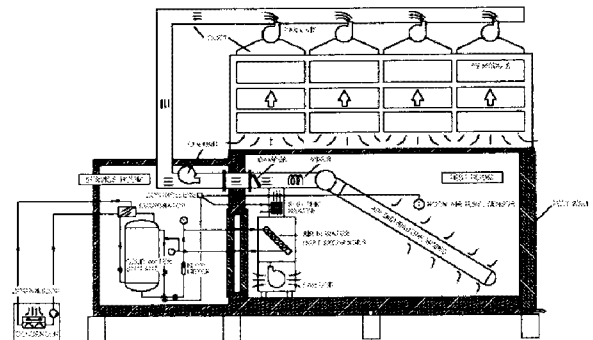


그림 4 공기식 집열지붕 난방시스템 설비계통도

공기식 집열지붕 난방시스템은 집열온도에 따라 ON/OFF를 제어하는 댐퍼와 팬을 조작하는 컨트롤 패널을 포함하여 설계되었다. Test Room의 요구되는 실험조건은 냉난방시스템(HCS: Heating & Cooling System)에 의해 설정된다.

## (2) 실험방법

실험은 3~4월 중에 실시하였으며, 실험방법은 Test Cell의 Test Room 온도를 동일한 조건에서 두 가지 방법으로 실험하였다. “공기식 집열 지붕 난방방식”은 공기식 집열지붕에 의해 발생한 열원을 기존 난방방식인 전기히터 난방의 예열원으로 사용한 경우이다. “전기히터 난방방식”은 기존 Test Cell의 난방방식인 전기히터로만 난방을 하는 경우이다. Test Room의 난방 전 초기 실내온도는 15℃로 설정한 후 Test Room의 난방 설정온도를 25℃로 하여 실험을 수행하였다. 두 난방방식 모두 실내 설정온도까지 도달하는 데 최종 투입되는 전력량을 비교 실험하였다. 측정 실험데이터는 일사량, PV모듈온도, 지붕 내 공기온도 및 취출온도, 덕트를 통해 실내에 공급된 공기온도, 실내온도, 전기히터 입구 및 출구측 온도, 전기히터 상용 전력량이 측정되었다. 또한 실내에 공급되는 유량과 지붕으로부터 얻어지는 공기유량을 측정하였다.

공기식 집열 지붕 난방 실험의 경우, 지붕으로부터 배출된 공기가 외기온도 보다 높은 때에, 지붕과 전기히터와의 연결덕트에 설치된 댐퍼를 ON, 전기히터를 ON 시킨다. 다음으로 팬을 가동시켜 가열된 공기를 실내에 공급하고, 내부 순환 팬에 의해 전기히터의 예열원으로 보내져 난방하게 된다.

오직 전기히터에 의한 난방실험의 경우 지붕과 전기히터와 연결덕트의 댐퍼를 OFF 시킨 후 전기히터만을 작동시킨다. 실내공기는 공기식집열 지붕 난방실험과 같이 내부 팬에 의해 순환된다.

## 3. 공기식 지붕 집열 시스템 실험결과

### 3.1 공기식 집열 지붕시스템의 열성능

공기식 집열 지붕시스템의 열성능은 실내에 공급된 난방에너지 사용전력량을 앞서 설명된 두 실험조건에서 비교 분석하였다. 그림 6은 평균일사량 800W/m<sup>2</sup>, 평균외기온도 16℃에서 공기식 집열 지붕 난방과 전기히터 난방의 난방에너지 사용전력을 비교한 그래프이다.

그래프에서 보면, 처음 난방이 시작될 때 두 실험조건 모두 약 1.2kW의 전력이 난방에너지로 공급되는 것을 알 수 있다. 난방설정 온도 25℃에 도달하기 위해 최대 전력 공급되는 것이다.

공기식 집열 지붕의 예열원에 의한 난방의 경우, 오전 10시 30분에서 11시 사이에 공급 전력량이 급격히 감소하였다. 이는 실내온도가 난방설정 온도에 도달하였으며, 공기식 집열 지붕에 의한 가열된 공기로 실내 설정 온도를 유지하는 데 도움을 주기 때문에 난방 사용전력량이 최소로 공급되는 것이다. 전기히터 난방의 경우 오후 1시 이후에 공급 전력량이 서서히 감소하였다. 이는 앞서 분석과 동일하게 난방설정온도에 도달한 시점이며, 난방설정 온도에 도달한 이후에는 PID 컨트롤에 의해 서서히 공급전력량이 감소하는 것이다.

또한 난방설정온도 도달 이후에는, 내부 순환팬 가동 및 실내온도 유지를 위해 공기식 집열지붕 난방과 전기히터 난방의 두 실험조건 모두 각각 약 0.3kW, 0.4kW의 전력량이 지속적으로 공급되고 있다.

설정온도에 도달하는 동안 난방을 위해 사용된 총 히터전력은 각각 2.6kWh, 5.2kWh로 분석되었다.

이러한 분석결과로 공기식 집열 지붕난방은 설정온도에 도달하는 시간이 전기히터 난방에 비해 2시간 단축되는 것을 알 수 있다. 또한 난방을 위해 사용된 전력량을 비교한 결과, 공

기식 집열 지붕 난방이 전기히터 난방에 비해 절반가량 감소되는 것으로 분석되었다.

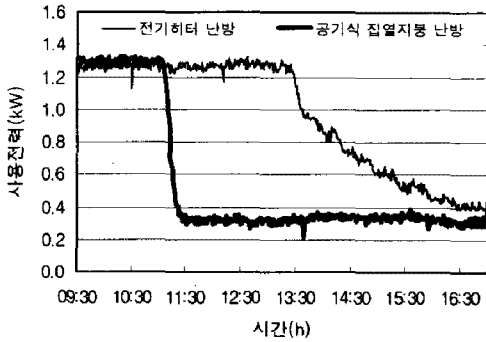


그림 5 난방을 위해 공급된 전력량

두 실험조건에서의 난방성능을 식(1)에 의해 공급된 열량  $Q_{input}$  과 생산된 열량  $Q_{output}$  비율로 성능계수 COP로 나타냈으며 일정기간의 COP를 그림 6, 7과 같이 나타냈다.

분석결과 공기식 집열지붕 난방 시스템의 COP는 최소 1.2에서 최대 2.4로 평균 1.85로 분석되었으며, 외기온도와 일사량에 따라 영향을 받는 것으로 분석되었다. 이는 공기식 집열 지붕의 열효율이 일사량과 외기온도가 낮을수록 감소하기 때문이다.

전기히터 난방시스템의 난방성능은 COP가 약 0.85로 일정하게 나타났다.

따라서 공기식 집열지붕 난방시스템은 오직 전기히터 만에 의한 난방보다 약 2배 이상 성능향상을 보이는 것으로 분석되었다.

$$COP = \frac{Q_{output}}{Q_{input}} = \frac{m c_p (T_o - T_i)}{Q_{input}} \quad (1)$$

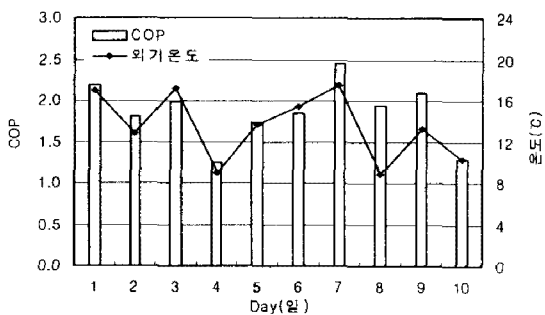


그림 6 공기식 지붕 집열 난방 시스템의 일별 COP

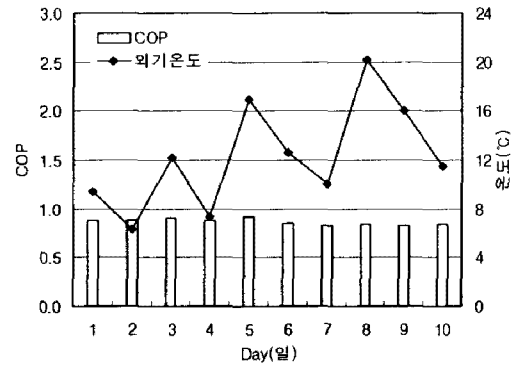


그림 7 전기히터 난방시스템의 일별 COP

### 3.2 공기식 집열 지붕 시스템의 전기성능

그림 8은 두 실험조건에서의 일일 평균 일사량별 전력생산량을 비교 분석한 그래프이다.

공기식 집열 지붕 난방시스템은 PV모듈 후면의 가열된 공기를 예열원으로 사용하기 때문에 집열된 공기를 배출함으로써 PV모듈 냉각효과로 전기효율이 증진된다. 따라서 PV모듈 후면의 열기가 배출되지 않는 전기히터 난방시스템의 실험조건과 비교해 전력생산량이 20W~100W이상 차이가 나는 것으로 분석되었다.

그래프에서 보면, 두 실험조건에서의 전력생산량은 일사량이 증가할수록 차이가 나는 것을 알 수 있다. 그래프에서, 일사량 800W/m<sup>2</sup> 에서 공기식 집열 지붕 난방과 전기히터 난방시스템의 전력생산량은 각각 1020W, 939W로 공기식 집열지붕 난방시스템이 전력생산량이 약 8% 가량 높은 것으로 분석되었다. 또한 일사량이 낮은 경우보다 일사량이 500W/m<sup>2</sup> 이상에서 일사량의 증가에 따른 전력생산량의 증가 폭이 커지는 것으로 나타났다.

이러한 결과는 태양광모듈을 적용한 지붕에서 후면의 열기가 배출되지 못하면, 일사량 및 외기조건에 따라 PV모듈의 온도 상승으로 전기효율이 감소되기 때문인 것이다.

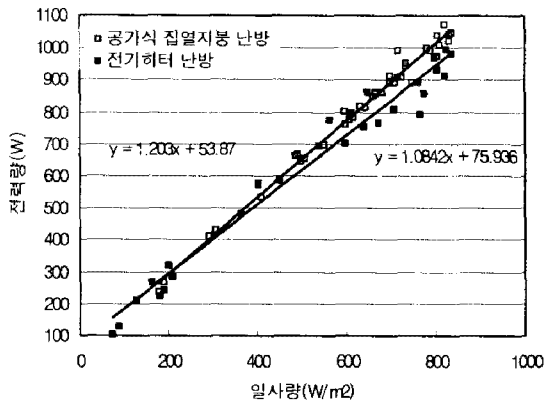


그림 8 일사량에 따른 전력생산량

#### 4. 결 론

본 연구에서는 전기효율을 증진시키면서 건물 난방열원으로 이용 할 수 있는 공기식 집열지붕 시스템을 설계 및 제작하였다. 또한 이를 실험하기 위해 실험체에 적용하여 공기식 집열지붕 난방시스템의 전기 및 난방 성능을 분석하였다.

분석결과 공기식 집열 지붕 난방시스템이 전기히터 난방보다 난방성능이 2배로 높게 나타났다. 따라서 공기식 집열 지붕 시스템에서 얻어진 열원을 예열원으로 이용할 경우 하루 동안 전체 난방 에너지 사용량의 절반가량이 감소되는 것으로 분석되었다.

전기성능은 공기식 집열 지붕 난방시스템이 전기히터 난방시스템 보다 환기효과에 의해 약 8% 증진되는 것으로 분석되었다.

본 연구의 실험결과는 맑은 날 외기온도가 많이 낮지 않은 조건에서의 결과이며, 동절기와 같은 일사와 외기 조건이 다른 경우 다소 난방성능이 감소될 수 있다.

따라서 연중 계절적으로 좀 더 다양한 외부 조건에서의 실험 및 분석이 요구되며, 성능에 영향을 미치는 각 요소에 대한 추가적인 연구가 필요하다.

## 후 기

본 연구는 2007년 정부(지식경제부)의 재원으로 에너지관리공단의 지원을 받아 수행된 연구임”(과제번호: 2005-E-BD02-P-02)

## 참 고 문 헌

1. P.G. Charalambous, G.G. Maidment, S.A. Kalogirou, K. Yiakoumetti, 「Photovoltaic thermal (PV/T) collectors: A review」, Thermal Engineering, Vol.27(2007), pp.275-286, 2006.
2. 김진희, 김준태, 이강록, 양연원, 「공기식 BIPV 집열 지붕 시스템의 성능모델링」, 한국태양에너지학회 학술발표회 논문집. pp.282-287, 2006
3. 김진희, 양연원, 김준태, 「실험에 의한 공기식 태양광·열 복합 유닛의 성능 비교」, 한국생태환경건축학회 논문집. Vol.7 No.6, pp.17-22, 2007
4. Luk Vandaele, Peter Wouters, BBRI, 「The PASSYS services summary report」, European Commission & BBRI, pp.17-54, 1994.
5. Kim, J. H., Kang J. G., Kim, J. T., Performance comparison of Roof-Integrated Air-Type PVT collector, World Renewable Energy Conference, 2008.
6. Kim, J. H, Kang, J. G, Kim, J. T, An Experimental Study of Air-Type PVT Collector with Performance Improvements, SB08, 2008.
7. J.K. Tonui & Y. Tripanagnostopoulos, 「Improved PVT solar collectors with heat extraction by forced or natural air circulation」, Solar Energy, Vol.72(3), pp.217-234, 2007