

PV Thermal 복합시스템의 국내외 연구 개발 동향

김 진희¹⁾, 이 강록²⁾, 양 연원³⁾, 김준태⁴⁾

Research and Development Trends of PV Thermal Combined Systems

Jinhee Kim, Kangrock Lee, Younwan Yang, Juntae Kim

Key words : PV Thermal system(태양광-열 시스템), Space heating & hot water(건물난방 및 온수), Research & development trend(연구개발 동향), air type(공기식), liquid type(액체식)

Abstract : PV Thermal combined system produces the electricity and thermal energy which are needed for buildings. The system removes heat from PV module through air or liquid, so that its efficiency will be improved. The heat as the forms of hot air or hot water can be utilized for building use, like space heating and hot water. This paper describes the concept of PV Thermal combined system and its research and development trend at local and international levels. This materials can be used as a fundamental study source about PV Thermal combined system to apply for building space heating.

1. 서 론

국내 총 에너지 소비량 중 건물분야 소비에너지는 매년 그 비율이 증가되고 있으며 이 중 전기에너지의 구성비는 주거용 건물의 경우 12%, 상업용 건물의 경우 41%를 차지하고 있다. 근래에는 조명사무기기 증가로 인해 전기에너지 소비 비율이 급증세를 보이고 있다. 국내 주거건물은 보통 연간 200Mcal/m²의 에너지성능지수를 나타내고 있으며 이중 약 45% 정도가 난방에너지로 소요되고 있다. 또한 기존의 BIPV(building-integrated Photovoltaic)시스템의 기술에 있어 최대 안전인 열에 대한 문제를 폐열로 고려하는 것이 아니라 이를 적극적으로 활용하여 건물 난방 에너지원으로 이용하여 건물의 에너지 사용량을 대폭 줄이는 것이 가능하다.

최근 건축을 위한 PV시스템의 활용은 건물에너지 분야의 주요 연구대상으로 BIPV 시스템을 적용하여 전기 생산뿐만 아니라 건물외피로서 건축비 절감을 기대할 수 있는 BIPV 시스템의 기술 개발에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 그러나 국내의 경우 태양광발전 시스템의 환경적인 가치와 BIPV 시스템이 갖고 있는 많은 장점에도 불구하고 실용화되지 못하고 있는 실정이다. BIPV 시스템에 영향을 미치는 요인들을 고려하여 BIPV시스템의 최적화 기법에 대한 연구는 지난 몇 년간 계속되어 왔다. 그러나 BIPV 시스템의 효율에 가장 큰 문제가 되는 PV 모듈의 온도상승 즉, 열을 해소하기 위한 연구는 미진한 실정이며 주로 PV 패널 후면을 단순히 통풍을 위한 중공층을 두는 소극적인 방법으로 이루어져 왔다.

따라서 PV 패널 후면의 열을 제거하여 PV 모듈의 효율을 극대화하고 이 폐열을 이용하여 건물 난방에 이용하는 복합적인 기능을 수행하는 시스템으로 활용하는 것이 중요하다. 즉, 건물의

에너지 성능을 향상시키고 태양에너지 이용 시스템의 효율을 극대화하기 위해서는 복합 집열시스템 개발이 필요하다. 또한 이러한 시스템을 건물 난방 기술과 연계하기 위한 기술개발이 필요하다. 그러나 국내에서는 이러한 태양광 열 복합시스템에 대한 인식이 매우 부족하며 관련된 기초 연구 자료도 마련되어 있지 않은 실정이다.

이러한 배경으로 본 연구에서는, 태양광과 태양열을 동시에 활용한 PV Thermal 복합시스템에 대해 알아보고, 이와 관련된 국내외 연구동향에 대해 자세히 살펴보았다. 국내에 PV Thermal 복합 시스템을 건물난방 및 온수공급에 적용하기 위한 시스템 개발의 기초 연구자료로 활용이 가능하다.

2. PV Thermal 복합 시스템

2.1 개요

PV Thermal 복합시스템은 일반적으로 PV 시스템과 태양열 집열기 기능이 결합된 개념이다. 2층 구조의 건물에 적용된 PV시스템으로 태양에너지에 의해 전기를 생산하고 PV모듈 후면에서 발생하는 열을 건물의 난방 에너지 및 온수열원

-
- 1) 공주대학교 대학원 건축학부
E-mail : jhkim3904@kongju.ac.kr
Tel : (041)856-8653 Fax : (041)854-8659
 - 2) 공주대학교 공학연구원
E-mail : rock214@kongju.ac.kr
Tel : (041)856-8653 Fax : (041)854-8659
 - 3) 공주대학교 대학원 건축학부
E-mail : yyw20@hanmail.net
Tel : (041)856-8653 Fax : (041)854-8659
 - 4) 공주대학교 건축학부
E-mail : jtkim@kongju.ac.kr
Tel : (041)850-8653 Fax : (041)854-8659

으로 이용하는 것이다. 이러한 시스템은 데워진 열기를 배출함으로써 PV시스템의 효율을 최대화하고, 여름철에도 지붕의 2중 구조공간으로 열기를 배출하여 건물외피 냉각에 의한 냉방부하 절감효과를 얻을 수 있다. 지붕구조체에서 가열된 열원을 건물 난방 및 온수에 이용하는 것으로, 공기식의 경우 송풍장치 이외의 별도 주변장치 없이 태양에너지에서 얻어진 열원을 이용하는 시스템이다.

따라서 건물에서 태양열과 태양광을 동시에 활용하여 건물의 에너지 성능을 높일 수 있으며, 열원 및 전기를 동시에 확보하기 때문에 경제성 측면에서도 매우 유리하다. 또한 새로운 건축 마감방식으로써 시스템 설치에 따른 공간 절약 및 건축부재의 절감효과를 갖는다.

2.1 PV Thermal 복합 시스템 유형

PV Thermal 복합시스템은 크게 공기식과 액체식으로 나눌 수 있다. 다음의 그림에서 액체식과 공기식의 상용화되어 적용된 제품을 통해 유형을 소개하였다.

공기식의 경우 건물에 완전히 통합된 형태로 적용되어 2중 구조의 PV외피를 통해 공기를 집열하여 전기와 열을 동시에 사용하는 것이 이상적이라 할 수 있다. 따라서 BIPV를 통풍시켜 시스템 전기효율을 최대화하고 통풍된 폐열을 회수하여 이용하는 형태이다(그림1). 또한 그림2와 같이 지붕외피의 solar wall 패널위에 PV모듈이 덧붙여진 형태로 공기를 집열하기도 한다. 그림3의 PV Thermal air collector는 공기를 실내로 흡입하는 팬이 PV Thermal air collector 내부에 부착되어, PV셀 후면의 집열된 공기를 실내로 흡입하는 유닛화된 모듈이다.

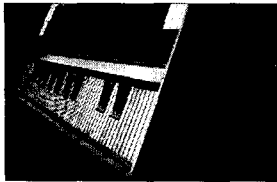


Fig. 1 ventilated BIPV with heat recovery

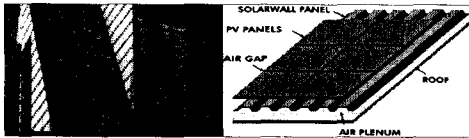


Fig. 2 PV Thermal air collector

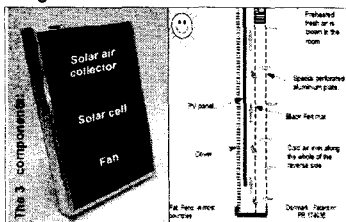


Fig. 3 PV Thermal air collector 2

액체식의 경우는 PV 모듈 뒷면에 액체순환 코일이 덧붙여진 형태로 하나의 복합모듈을 통해 유체를 데워, 전기와 온수를 동시에 생산한다(그림4).

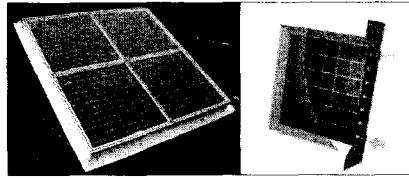


Fig. 4 PV Thermal liquid collector

3. 국내외 연구동향

3.1 국내

국내에 태양열과 태양광에너지를 동시에 이용하는 PV Thermal 복합시스템에 관한 연구는 매우 미약하다. 건물의 입면에 이중외피를 통해 건물의 냉난방 부하를 절감하는 기술은 적용한 바가 있으나, 지붕구조 등에 적용하여 집열된 열을 난방에 적용한 연구는 찾아보기 힘들다.

태양열과 전기를 동시에 이용하는 태양열 전기 복합패널에 관한연구가 2004년부터 정부 지원과제의 일환으로 한국에너지기술연구원에서 진행 중이다. 이 연구는 Solar wall 입면에 태양광모듈을 부착해 Solar wall을 통해 데워진 공기는 실내로 흡입하고 온도가 저하된 태양광 모듈의 전기적 효율특성을 분석하는 것이다.

또한 반사판을 이용한 태양광, 열 복합패널이 제안되어, 그 성능이 실험결과를 통해 발표되었다. 이 연구에서 서유진 외(2005)는 반사판을 이용한 태양광, 열 복합패널의 열적 전기적 성능특성을 기존의 태양광 및 태양열 시스템과 비교하여 설명하였다.

최근에는 이중외피에 적용된 BIPV시스템에서 데워진 공기를 건물 난방에 적용하는 PV Thermal 복합시스템(“다목적 공기식 집열 지붕 시스템”)에 관한 연구가 진행 중에 있다. 이와 관련되어 김진희 외(2006)는 공기식 집열 BIPV 지붕 시스템의 성능 모델링에 관한 연구를 발표하였는데, 집열된 열원을 TRNSYS를 통해 모델링하고 건물난방 적용성에 대해 설명하였다.

이상적인 태양에너지 이용의 한 방법으로 간주되는 건물의 태양광발전시스템 일체화 적용에 대한 연구개발 사례는 아직 미약한 단계라고 할 수 있고 적용사례를 찾아보는 것이 어려운 실정이다.

3.2 국외

국외에서 PV Thermal 복합시스템에 대한 연구 개발은 이미 30년 전부터 시작되었는데, 최초로 Kern과 Russell(1978)에 의해 BIPV의 지붕이나 벽면의 열을 제거하는 것으로, 공기 또는 물을 사용하는 방식에 대한 연구가 진행되었다. Hendrie(1979)는 기존 방식의 태양열 집열기 기술을 이용해 PV Thermal 시스템의 이론적 모델을 나타냈으며, Raghuraman(1981)은 공기, 수식

PV Thermal collector의 성능을 예측하는 수치 해석 모델을 제안하였고 또한 Cox와 함께 Raghuraman(1985)은 공기식 복합시스템에 관한 성능 모델링을 수행하였다. Bhargava(1991)와 Prakash(1994)는 Hybrid PV Thermal 시스템에 있어 공기유동, 공기채널 깊이, 길이 그리고 흡수판의 영향에 따른 결과를 발표하였다. 공기식 PV Thermal 시스템의 효율에 영향을 미치는 요소와 열적 손실과의 관계를 포함하여 전체 시스템의 효율에 대한 관련성을 규명하였다. Takashima(1994)는 공기층 간격을 통한 PV Thermal 시스템의 냉각효과와 함께 시스템을 제안하기도 하였다. Bergene와 Lovvik(1995)는 수식 타입의 PV Thermal 시스템의 전기적 열적 성능에 대한 결과를 서로 다른 요소 사이에서 에너지 변환으로 자세히 분석하였다. 1997년 Brinkworth는 건물외구 입면에 적용한 PV air heating 시스템의 시뮬레이션 연구결과를 Garg와 Adhikari(1997)의 연구를 포함하여 발표하기도 하였다.

PV패널 후면에 대류되는 공기의 흐름을 통해 폐열을 이용하는 기법이 Garg와 Adhikari(1997)에 의해 연구되었으며 이러한 기법을 적용시킨 모듈이 지붕이나 입면에 상업적으로 이용되었다. 같은 해 Zwaag는 히트펌프(heat pump)를 지원하는 PV Thermal 시스템의 예열공기가 공간난방을 향상시킨다는 것을 증명하는 연구도 진행하였다. 또한 2000년에는 Morgan Bzilian과 Frederik Leenders는 PV Thermal 연구개발 내용과 향후 개발 방향에 대해 정리하였다. 이 연구를 통해 PV Thermal 복합시스템의 다양한 활용방안이 정리되었고 몇몇 제조업체와 함께 시장 잠재성에 대해 소개하였다. 이어 2002년 Morgan Bazilian은 BIPV시스템의 성능에 영향을 미치는 온도와 관련하여 수치해석 모델링과 실험적 연구를 수행하여 PV Thermal 복합시스템의 전기적 열적 성능에 대한 수치해석 모델링을 제시하였다.

Hegazy(2000년)는 4가지의 모듈화 된 PV Thermal solar air collectors를 개발하였고, 4가지의 모델의 열 해석을 통해 시스템의 성능을 비교 평가하였다.

2000년 이후에는 이러한 PV가 결합된 Solar air system을 지붕에 적용하는 Roof 시스템이 많은 연구자들에 의해 디자인되었다. Firth는 BP Solar와 함께 주거용 건물에 PV Thermal Roof시스템을 제안하였는데, Oxfor Solar House에 적용되어 건물외구 전기 및 난방요구량에 따른 시스템 성능을 분석하였다. 이 시스템은 PV 모듈 후면에 통풍간격을 두고 그 밀면에 태양열 흡수판을 두어 후면의 더운 공기를 실내로 끌어들이는 방식의 시스템이다. 또한 모델링을 통해 연간 건물 부하 대비 열과 전기적 성능을 평가하였으며, 시스템의 열적 경제성도 함께 평가하여 발표하였다.

2002년에는 PV air collector를 이용해 히트펌프를 예열하여 난방에 적용하는 연구가 실제 건물에 적용되어 Zondag에 의해 수행되었다. 이 시스템은 완전히 통합된 PV 지붕구조에 공기채널과 서터를 두어 여름철에는 지붕을 환기시켜 냉방부하를 줄이고 겨울에는 더워진 공기를 히

트펌프 보일러의 난방열원으로 이용하는 것이다. 모델링을 통해 PV와 유동 공기의 온도를 의 부조건과 함께 정략적으로 나타냈으며, 자연대류에 의해 냉각된 지붕후면의 온도와 데워진 공기의 온도차를 비교하여 평가하였다.

최근 2004년에는 Cartmeil에 의해 통풍된 PV와 Solar air collector가 Brockshill Environment 센터에 적용되어 모니터링과 시뮬레이션이 함께 연구되어 발표되었다. 여기서는 환기공기의 예열, 시스템의 순환공기 등 4가지의 모델이 제안되어 ESP-r과 TRNSYS에 의해 새로운 모듈타입을 개발하였으며, 시스템의 에너지 부하에 따른 열적 전기적 성능을 평가하였다.

Zakharchenko는 PV cell과 Solar collector를 결합하여 최적화된 모델을 제안하였는데, 이 시스템은 PV 셀 밀면에 흡수판을 부착하여 열을 적극적으로 이용하는 하나의 모듈화 된 시스템을 나타냈다. 이에 따라 발생하는 전기효율과 열적 효율을 함께 실험을 통해 성능을 평가하고, 최적화된 모델을 제시하였다.

Manewan(2004)은 열전(thermoelectric) 지붕 태양집열기라는 시스템을 제안하였는데, 지붕의 통풍간격의 입구와 출구 쪽에 통풍 팬을 부착하고 계절적으로 팬을 작동시켜 이에 따른 열 획득과 발전량을 실험을 통해 분석하고 시스템의 성능을 평가하였다. 또한 열 획득을 시뮬레이션을 통해 나타냈으며(2005년), 열 획득을 알아보기 위해 새로운 TRNSYS Type77을 개발하였으며, 기존 Type73과 연동하여 열 획득량을 평가하였다.

Tripanagnostopoulos(2002)는 Hybrid PV Thermal 시스템을 온도증가에 따른 PV의 전기적 효율과 관련하여 시스템의 성능을 나타냈다. PV 후면에 물 파이프와 공기채널을 적용한 모듈을 각각 실험모델을 통해 성능을 비교 평가하였다. 최근 Tonui(2006)는 Tripanagnostopoulos와 함께 집열효율을 높이기 위해 공기채널 후면에 핀(fin)이 부착되는 등 개선된 PV Thermal 컬렉터를 제안하였다. 또한 Bakker는 PV패널 후면에 히트파이프를 부착시켜 완전한 PV와 Solar collector가 합쳐진 시스템을 히트펌프에 연동하는 복합시스템의 열적 전기적 성능을 평가하였다.

IEA SHC의 Task 16는 2000년부터 건물에 태양광발전 시스템을 적용하는 것에 대한 연구를 국제공동으로 수행한 것으로 태양열과 태양광발전을 결합한 복합시스템에 대한 개념과 연구개발 동향에 대해 명확히 제시하였다. 이후 IEA PVPS 내의 Task 7을 통해 Esbensen Consulting(DK)는 대규모 PV Thermal 시스템에 대한 연구와 개발을 실행하였고 Ecofys(NL)사의 PV Thermal 시스템에 대한 기술적 재검토를 통한 관련 기술의 진보로 상업적 이용 가능성이 제시되었다. PV Thermal 시스템은 최근에 통풍이 되는 PV 입면(Solarwall, CAN)과 같이 열교환 매체로서 공기를 사용하였다. 다른 방법으로 열 교환 매체로서 물을 사용하였으며 일반적으로 주거용 건물에서는 PV 패널과 함께 온수시스템으로 사용되었다. 최근 IEA SHC에서는 Task35가 새롭게 만들어져 PV Thermal에서 열을 적극적으로 활용하는 연구가 계속적으로 이루어지고 있다. 제조업

체와 함께 제품으로 상용화된 다양한 PV Thermal 컬렉터에 대해 소개하고 있다.

이러한 PV Thermal 시스템은 Solarwall(CAN), Chromagen Solar Energy System(ISR), Zenith Energietechnik(GE), Solarwerk(GE) 등에 의해 상용화되었으며, 지난 20년 동안 몇몇 업체와 연구소들에 의해 모듈화된 PV Thermal Hybrid 패널이 디자인되었다.

상용화된 PV Thermal Hybrid 시스템 제품을 보면, Chromagen의 Multi Solar System은 흡수관에 태양전지가 통합된 시스템이 상업용 건물에 적용되었다. Solarwerk 사의 제품은 Spacetrum으로 불리는 PV Thermal Hybrid 모듈로 흡수관 위에 180개의 태양전지가 설치된 모듈이다. 이 모듈은 63%의 열적 효율과 12%의 전기효율로 최대 250W의 전력을 생산한다. 일본의 OM Solar는 주거 건물 전체에 에너지 요구량에 대한 제품을 적용하였다. 이 시스템은 지붕구조 아래 공기채널을 통해 더운 공기를 집열하여 냉방 시에는 외부로 배출하고 난방 시에는 콘크리트 슬라브에 축열하나 실내의 직접 난방에 이용되기도 한다.

Solarwall사의 SolarRoof는 건물 지붕에 통합된 형태로 제안하여 전체 시스템효율이 70%에 달하여 경제성이 우수한 것으로 밝히고 있다. Adti사의 Solar Venti는 모듈화된 팬이 부착된 공기식 PV Thermal 시스템을 제품으로 상용화하여 생산되고 있다. Pvtwins사는 PV모듈 후면에 워터파이프를 부착한 형태의 PV Thermal 시스템으로, 50°C 이상의 온수를 생산하는 모듈제품을 상용화하였다.

4. 결론

본 연구에서는 PV모듈을 통해 발생하는 열을 건물난방에 활용하기 위한 기초자료로서, PV Thermal 복합시스템의 사례에 대해 알아보고 국내외 연구동향을 자세히 살펴보았다.

국내의 경우 실제 건물에 PV Thermal 복합시스템에 적용되어 건물에 이용되는 사례는 전무한 실정이며, 몇몇 PV Thermal 복합시스템에 대한 기초연구만이 학교나 공공 연구소를 통해 이루어지고 있다.

국외의 경우 이미 PV Thermal 복합시스템의 성능이 여러 이론 및 실험적 연구를 통해 입증되었으며, 제품화되어 실제 건물에 적용되고 있다. 또한 이러한 PV Thermal 복합시스템을 통해 획득된 열원은 건물에 직접적으로 난방에 이용되거나 온수를 생산하는데 적용되고 있다. 또한 최근 히트펌프와 같은 난방기의 예열원으로 이용되는 연구가 활발히 진행 중에 있다.

따라서 국내에서도 PV Thermal 복합시스템을 이용하여 태양에너지 이용 시스템의 효율을 높이고, 이를 건물의 난방 및 온수 열원으로 활용하기 위한 시스템 기술의 연구 및 상용화 제품의 개발이 조속히 이루어져야 할 것이다.

References

[1] 서유진, 허창수, 2005, 반사관을 이용한 고정식 집속형 태양광, 열 복합패널의 성능평

가, 한국태양에너지학회 논문집 Vol.25, No.4, pp.85-92

- [2] 김진희, 이강록, 김준태, 2006, 공기식 BIPV집열 지붕시스템의 성능모델링, 한국태양에너지학회 학술발표회 논문집, pp.282-287
- [3] Y. Tripanagnostopoulos et al., 2002, Hybrid photovoltaic/thermal solar systems, Solar Energy Vol.72, No.3, pp.217-234
- [4] A. K. Bhargava et al., 1991, Study of a hybrid solar system-solar air heater combined with solar cells, Energy Conversion & Management 31, pp.471-479
- [5] J. Prakash, 1994, Transient analysis of a photovoltaic-thermal solar collector for co-generation of electricity and hot air/water, Energy Conversion & Management 35, pp.967-972
- [6] T. Takashima et al., 1994, New proposal for photovoltaic-thermal solar energy utilization method, Solar Energy 52, pp.241-245
- [7] T. Bergene and O. M. Lovvik, 1995, Model calculations on a flat-plate solar heat collector with integrated solar cells, Solar Energy 55, pp.453-462
- [8] B. J. Brinkworth et al., 1997, Thermal regulation of photovoltaic cladding, Solar Energy 61, pp.169-178
- [9] H. P. Garg and R. S. Adhikari, 1997, Conventional hybrid photovoltaic/thermal air heating collectors: steady-state simulation, Renewable Energy 11, pp.363-385
- [10] M. D. Bazilian, et al., 2001, Photovoltaic cogeneration in the built environment, Solar Energy Vol. 71, No. 1, pp.57-69
- [11] M. D. Morgan, Thermoelectric numerical modelling and experimental testing of a modular building integrated photovoltaic cogeneration System, University of New South Wales, 2002
- [12] A. Hegazy, 2000, Comparative study of the performances of four photovoltaic/thermal solar air collector, Energy Conversion & Management 41, pp.861-881
- [13] S. K. Firth, Design and performance evaluation of PV-Thermal Roof system for residential new build houses, 2000
- [14] H. A. Zondag, Combined PV-air collector as heat pump air preheater, Netherlands Energy Research Foundation ECN, 2002
- [15] B. P. Cartmell et al., 2004, A multi-operational ventilated photovoltaic and solar air collector: application, simulation and initial monitoring feedback, Solar Energy 76, pp.45-53
- [16] R. Zakharchenko et al., 2004, Photovoltaic solar panel for a hybrid PV/thermal system, Solar Energy Materials & Solar Cells 82, pp.253-261
- [17] S. Maneewan et al., 2004, Investigation on generated power of thermoelectric roof

- solar collector, Renewable Energy29, pp.743-752
- [18] J. K. Tonui et al., 2006, Improved PV/T solar collectors with heat extraction by forced or natural air circulation, Renewable Energy(elsevier)
- [19] F. Leenders, Workshop on PV/Thermal systems, 2001
- [20] F. Leenders, H. Sorensen, Draft 'Road map' on PV/T system(ECOFYS), 2000
- [21] M. D. Bazilian, et al, 2001, Photovoltaic cogeneration in the built environment, Solar Energy Vol. 71, No. 1, pp.57-69
- [22] <http://www.solarwall.com/roof/roof.html>
- [23] <http://www.pvtwins.nl/panels.html>
- [24] M. Bakker et al., 2005, Performance and costs of a roof-sized PV/thermal array combined with a ground coupled heat pump, Solar Energy78, pp.331-339