

[논문] 한국태양에너지학회 논문집

Journal of the Korean Solar Energy Society

Vol. 26, No. 2, 2006

건물통합을 위한 태양에너지 cogeneration panel 특성 분석 연구

김용환*, 강은철**, 현명택*, 이의준**

*제주대학교 (yhkim@kier.re.kr, mthyun@cheju.ac.kr),

**한국에너지기술연구원(ejlee@kier.re.kr, kec8008@kier.re.kr)

The Performance Assessment Study of Solar Energy Cogeneration panel for Building Integrated System

Kim, Yong-Hwan*, Kang Eun Chul**, Hyun, Myung-Taek*, Lee Euy-Joon**

*Dept. of Mechanical Eng, Cheju University(yhkim@kier.re.kr, mthyun@cheju.ac.kr),

**Korea Institute of Energy Research (ejlee@kier.re.kr, kec8008@kier.re.kr)

Abstract

Solar Thermal-Electric Integrated system can be used to generate heat and electricity simultaneously and can improve indoor air quality. So, it can save heating and electricity cost as it operates at relatively lower temperatures. In this study, one pv module was fixed on a normal wall and a pv module was mounted on a solarwall. And a ventilation fan in the solar energy cogeneration panel was operated from 12:00 to 17:00 hours. Experimental results are recorded and analyzed. The comparison of results show that the temperature of PV on solar energy cogeneration panel was decreased by 7~9°C and the electrical output was improved by 2~3W compared with a PV system without solarwall.

Keywords : 태양에너지(solar energy), 태양광발전모듈(PV), 태양열집열판(solarwall)

기 호 설 명

T_{plen} : 공기층(plenum)온도 [°C]

T_{amb} : 외기(ambient)온도 [°C]

A : Solarwall 면적 (m^2)

T_{gnd} : 지표면온도 [°C]

T_{sky} : 천공온도 [°C]

T_c : 집열판 표면 온도 [°C]

T_s : 주변온도 [°C]

T_{back} : PV 배면온도 [°C]

접수일자:2006년 4월 7일, 심사완료일자:2006년 6월 7일

- Cp : 정압비열 [J/kg/°C]
- IT : 일사량 (W/m²)
- m : 실내유입공기유량 [m³/s]
- Q_{useful} : 태양열유용에너지 [J/s]
- Q_{abs} : 태양열흡수에너지 [J/s]
- Q_{rad.loss} : 복사 열손실 [J/s]
- U_w : 총열전달계수
- α : 흡수율
- ρ : 반사율
- τ : 투과율
- ε : 방사율
- σ_{sb} : 스테판-볼츠만 상수[W/m²K⁴]

1. 서 론

우리나라는 전체 소비되는 에너지의 97%이상을 해외에서 수입하고 있으며, 최근에는 배럴당 \$60을 훨씬 웃도는 고유가 상황이 지속되고 있다. 꾸준한 국내 에너지 수요의 증가로 2000년도 전체 에너지 수입액은 최초로 300억불을 초과하여 국가적으로는 전년 대비 33.3%의 에너지 수요 급신장이 예측되고 있는 상황이다. 최근 국제적으로는 기후협약과 관련해서 각 나라는 자발적인 온실 가스 자체 저감 계획을 확보해야 국제적인 통상 규약 ISO 1400을 만족할 수 있는 상황에 이르고 있다. 이러한 국가간 탄소 배출량 제한 현안 문제의 근본적인 해결을 위해서는 국가적 에너지 절약 기술 개발 기반하의 특별한 청정 대체 에너지 기술을 보완, 적용, 응용, 보급 할 수 있는 연구 의지 및 체계가 절실히 필요한 상황이다. 화석에너지 사용 억제와 환경 친화적 건물에 대한 요구에 부흥하기 위해 미주나 유럽에서는 이미 그림 1과 같이 기존의 건물에 Solarwall과 PV를 통합적으로 설치하여 태양에너지를 활용한 난방에너지와 전력을 동시에 생산할 수 있는 Solar Electric Heat(SEH) cogeneration 기술이 개발 보급 중에 있다.^{1,3}



그림 1. Solar Electric Heat cogeneration(토론토, 캐나다)

이에 국내에도 건물 및 산업용 시설에 이러한 난방에너지와 전기에너지를 동시에 생산하여 에너지 사용을 급감시킬 수 있는 다목적 태양열광에너지 복합활용 공조 시스템 기술에 대한 개발 및 보급에 대한 필요성이 크게 대두되고 있다.

2. 태양에너지 cogeneration panel 작동원리

2.1 태양에너지 cogeneration panel 작동원리

본 연구는 그림 2와 같은 작동원리를 갖는 태양에너지 cogeneration panel 시스템으로 태양복사에너지가 PV와 Solarwall에 도달하였을때 Solarwall에서 생산되는 열과 PV에서 생산되는 전기에너지를 분석하였다.

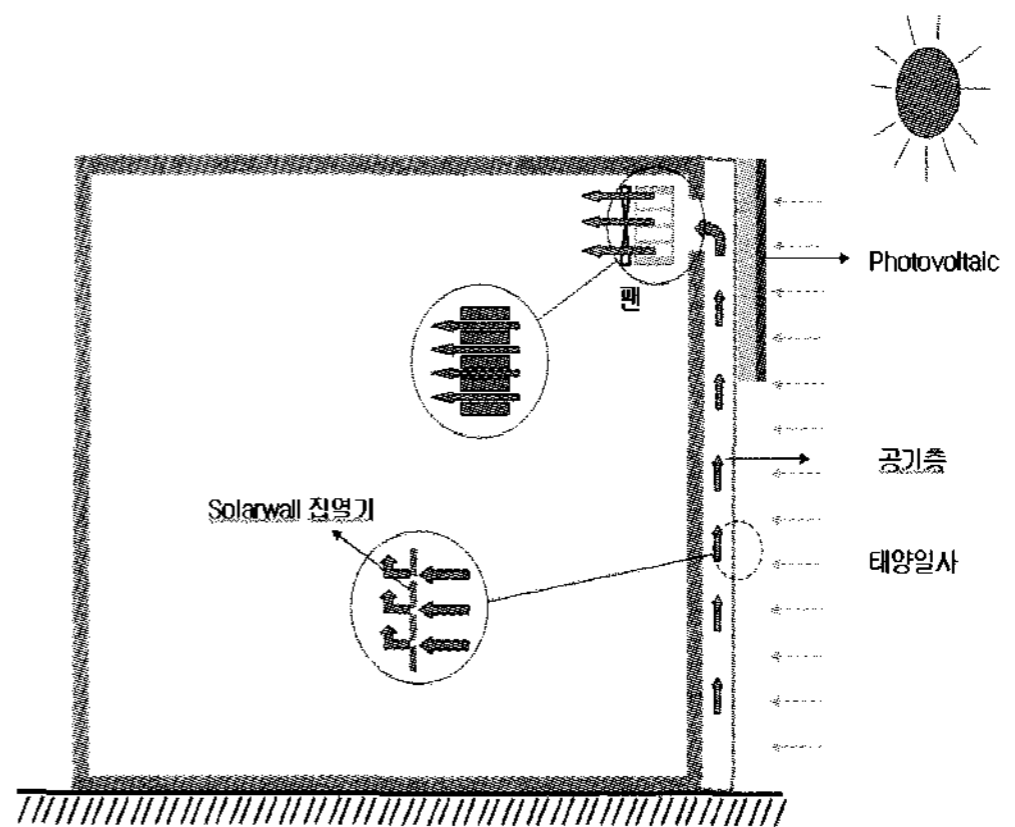


그림 2. 태양에너지 cogeneration panel 작동원리

Solarwall과 벽체 사이에 형성된 공기층은 흡수율이 뛰어난 Solarwall에 의해 고온의 상태를 형성하게 되고, 12시부터 가동되는 팬(Fan)에 의해 실내로 유입되어 실내난방부하저감 및 실내 공기질을 개선시킬 수 있다. 그리고 팬(Fan)이 가동됨과 동시에 고온의 공기가 실내로 배출됨으로서 Solarwall에 설치된 PV 패널의 온도를 낮추어 PV발전효율 향상도 기대할 수 있다.

2.2. 태양에너지 cogeneration panel 작동 메카니즘

본 실험의 작동 메카니즘은 그림 3에서 보는바와 같이 집열판 검사체적을 중심으로 에너지 흐름은 식 (2-1)과 같이 태양열 흡수에너지 (Q_{abs}), 집열판에서 대류에 의한 유용에너지 (Q_{useful}), 외부로 빠져나가는 복사에너지 ($Q_{rad, loss}$)와 대류손실에너지 ($Q_{conv, loss}$)로 구성되어진다.

$$Q_{abs} = Q_{useful} + Q_{rad, loss} + Q_{conv, loss} \quad (2-1)$$

태양열 흡수에너지는 식 (2-2)와 같이 집열판에 도달하는 태양복사에너지와 집열판의 흡수율과의 관계로 나타낸다.

$$Q_{abs} = \alpha I_T A \quad (2-2)$$

식 (2-3)은 태양열유용에너지로써 외부공기가 집열판의 기공들을 통과하면서 공기층 내부로 유입될 때, 집열판 표면에서 발생하는 대류 열전달에 의해 에너지를 흡수하게 된다.

$$Q_{useful} = \dot{m} c_p (T_{plen} - T_{amb}) \quad (2-3)$$

집열판에서 외부로 빠져나가는 복사 열손실은

식 (2-4)와 같이 표현된다.

$$Q_{rad, loss} = \epsilon \sigma_{sb} A (T_c^4 - T_s^4) \quad (2-4)$$

주변온도 (T_s)는 지표면온도 (T_{gnd})와 천공온도 (T_{sky})의 식으로 나타낼 수 있으며, 집열판이 지표면과 수직으로 설치되어 있으면 주변온도는 식 (2-5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$T_s^4 = 0.5(T_{gnd}^4 + T_{sky}^4) \quad (2-5)$$

외기로 빠져나가는 대류손실에너지는 식 (2-6)과 같이 나타낸다.

$$Q_{conv, loss} = U_w (T_c - T_{amb}) \quad (2-6)$$

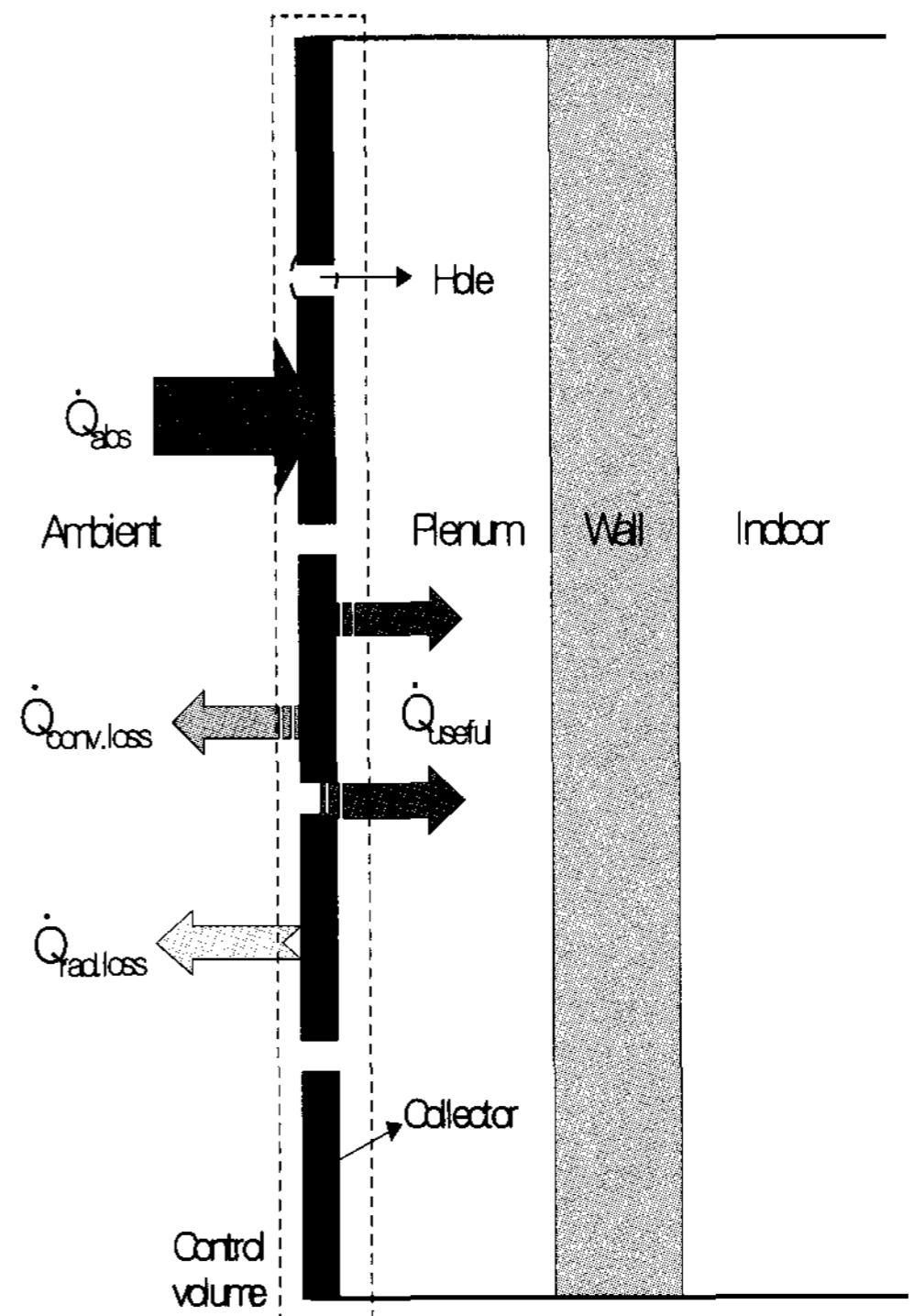


그림 3. 태양에너지 cogeneration panel 작동 메카니즘

3. 태양에너지 cogeneration panel 실험장치 구성

3.1 PV(Photovoltaic)

이번 연구에 사용되어진 실험용 PV 단위모듈은 그림 4와 같은 형상과 표 1의 규격인 PV를 사용하였다.

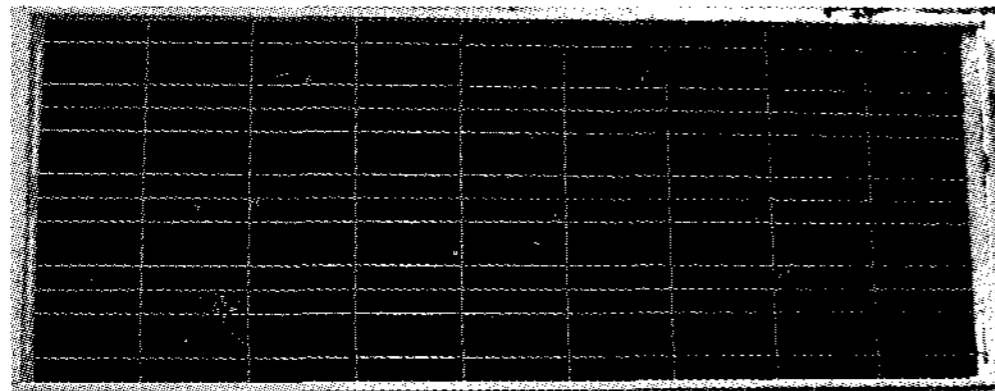


그림 4. 75W급 PV모듈

표 1. 실험에 사용된 Photovoltaic 규격

최대출력	75W
최대전압	17.3V
최대전류	4.35A
최소 보증출력	70W
단락전류	4.75A
개방전압	21.8V
단락전류시 온도계수	(0.065±0.015)%/°C
개방전압시 온도계수	-(80±10)mV/°C
전력 온도계수	-(0.5±0.05)%/°C
크기	538×1204×38mm(W×H×D)
무게	7.7kg

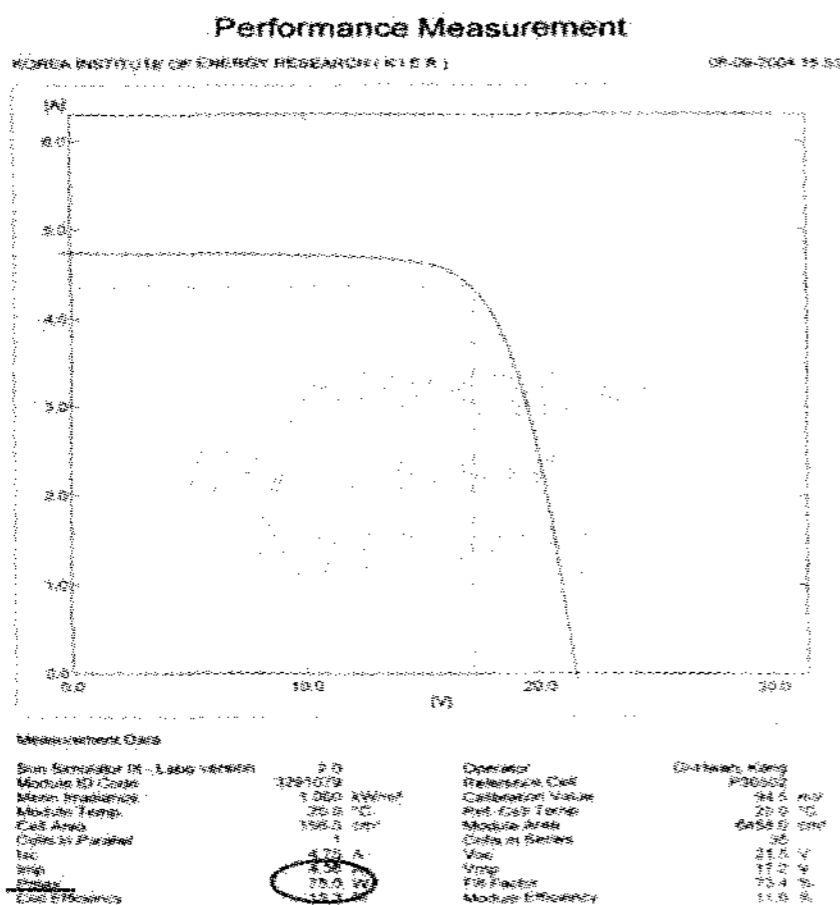


그림 5. PV성능 평가서

이에 대한 성능 평가는 한국에너지기술연구원 태양광성능평가센터에 의뢰하였으며, 그림 5와 같이 일사조건 1000W/m², PV 표면온도 25°C 인 STC(Standard Testing Condition)조건하에서 성능 평가를 수행하였다. 그 결과 이번 실험에서 사용된 PV cell의 효율은 13.3%, module의 효율은 11.6%임을 알 수 있다.

3.2 SolarWall

Solarwall 집열판 모델은 그림 6에서 보여주는 것과 같이 색상에 따라 Black, Dark Brown, Blue계열의 Solarwall이 있으며 색상이 서로 다른 집열판의 재질특성은 흡수율, 반사율, 투과율의 관계로 정의하여 식 (3-1)과 같이 표현하였다.

$$\alpha + \rho + \tau = 1 \quad \text{식 (3-1)}$$

표 2에서 보는바와 같이 색상을 제외한 집열판의 형상, 재질, 기공 사양 등은 모두 동일하나 흡수율과 반사율의 1,2,3 차이에 의해 각각의 특성을 지니게 된다. 집열판의 반사율 및 투과율은 스펙트로메타를 이용하여 0.36~1.96µm파장별 평균 반사율을 측정하고, 불투명체 재질에 대한 투과율은 $\tau=0$ 으로 가정하였다. 따라서 흡수율은 평균 반사율에 대한 상대적인 값으로 측정할 수 있다.³

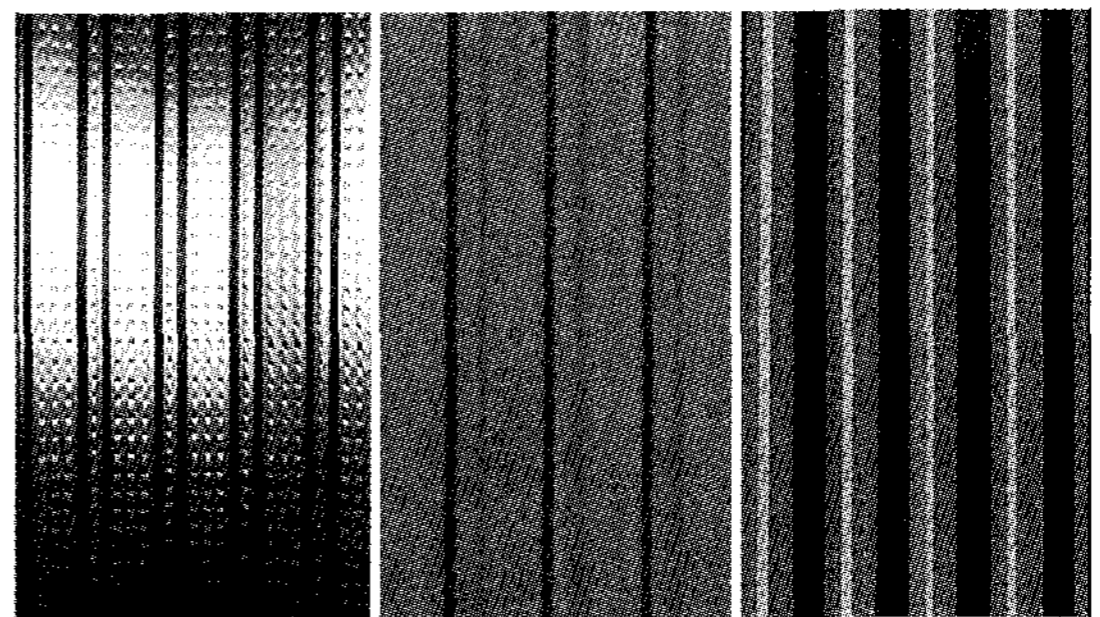


그림 6. Solarwall의 종류

표 2. 모델별 Solarwall의 특징

Model	Black	Dark Brown	Blue
Material	Steel	Steel	Steel
Conductivity [W/mK]	64	64	64
Hole shape	Slit	Slit	Slit
Hole pitch [mm]	20	20	20
Hole diameter [mm]	1.65	1.65	1.65
Porosity [%]	1.0	1.0	1.0
Plate thickness [mm]	0.8	0.8	0.8
Hole array	Aligned	Aligned	Aligned
Absorptivity [%]	95%	92~94%	85%
Reflectivity [%]	5%	6~8%	15%

Solarwall 효율은 Solarwall내 공기층의 태양 열유효에너지에 Solarwall의 면적 A와 일사량 I_T 의 곱으로 나누어지는 식(3-2)로 계산되어 진다.⁵

$$\eta_{sol} = \frac{\dot{m} c_p (T_{plen} - T_{amb})}{A I_T} \quad \text{식 (3-2)}$$

3.3. 태양에너지 열-전기 복합 생산용 실험장치

태양에너지 cogeneration panel 시스템은 그림 7에서와 같이 Solarwall panel에 PV panel 을 결합한 형태로 태양열과 태양광을 복합적으로 활용할 수 있는 시스템이다. 표 3은 실험에 사용

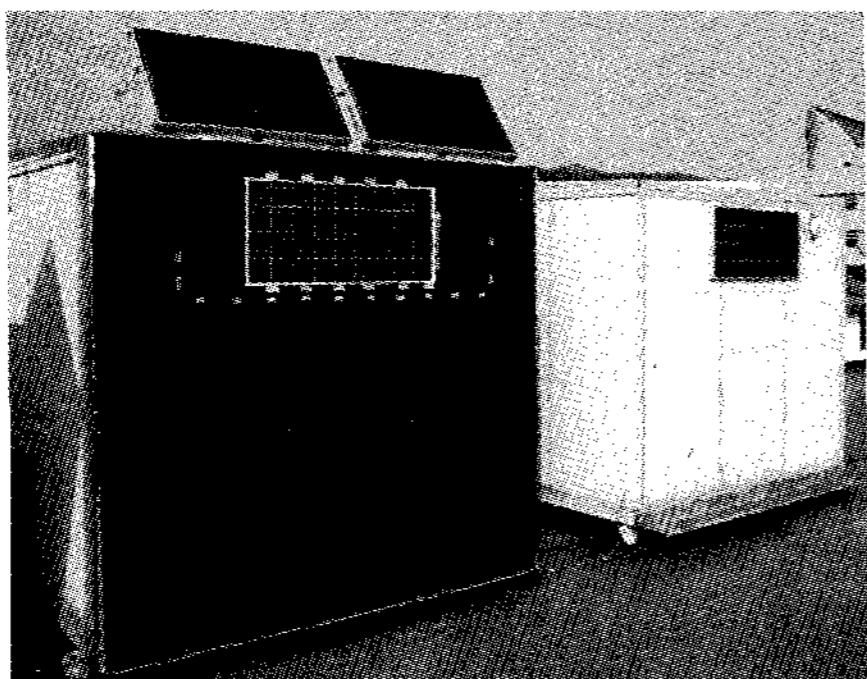


그림 7. Twin test cell 전경

된 챔버의 사양으로 길이 2.8m, 폭 2.7m, 높이 2.4m 공간의 건물에 외벽은 단열이 우수한 샌드위치 판넬을 이용하여 제작하였다.

표 3. Twin test cell 사양

Test Cell Specification	Dimension	2.7m×2.8m×2.4m	
	Volume	18.14m ³	
	Total wall area	41.52m ²	
	Floor area	7.56m ²	
	Overall heat transfer coefficient	0.458W/m ² K	
	Steel panel	conductivity	194
thickness		0.02m	
Urethane foam	conductivity	0.047	W/mK
	thickness	0.075m	
SW module	Conductivity	64 [W/mK]	
	Hole shape	Slit	
	Porosity	1.0 [%]	
	Thickness	0.8 [mm]	
PV module	Color	Dark brown	
	Area	6458 [cm ²]	
	Max. Power	75 [W]	
	Cells in Series	36	

Solarwall panel이 설치되어진 건물의 남측 벽 상부중앙에는 가로 30cm, 세로 15cm의 벽을 뚫어 Solarwall과 벽체내 가열된 공기가 실내로 강제 유입되도록 송풍팬을 설치하였고 이는 Solarwall을 통한 신선외기 및 상온의 공기를 실내로 유입시킴으로서 실내난방부하 및 환기량을 충족시켜주고 그에 따른 PV panel의 배면온도를 낮추어 PV의 전력량을 향상시켜준다.

만약 PV의 발전에 의해 팬이 작동된다면 일사량에 비례하여 작동유량이 달라지고 그에 따른 내부온도도 변화할 것이다. 그림 8은 Solarwall 성능실험시 측정된 작동유량에 따른 Solarwall의 온도상승도 변화로 솔라월과 벽체사이 형성된 고온의 공기층이 실내로 흡입됨에 따라 Solarwall

내 온도상승도가 변화함을 알 수 있다.³

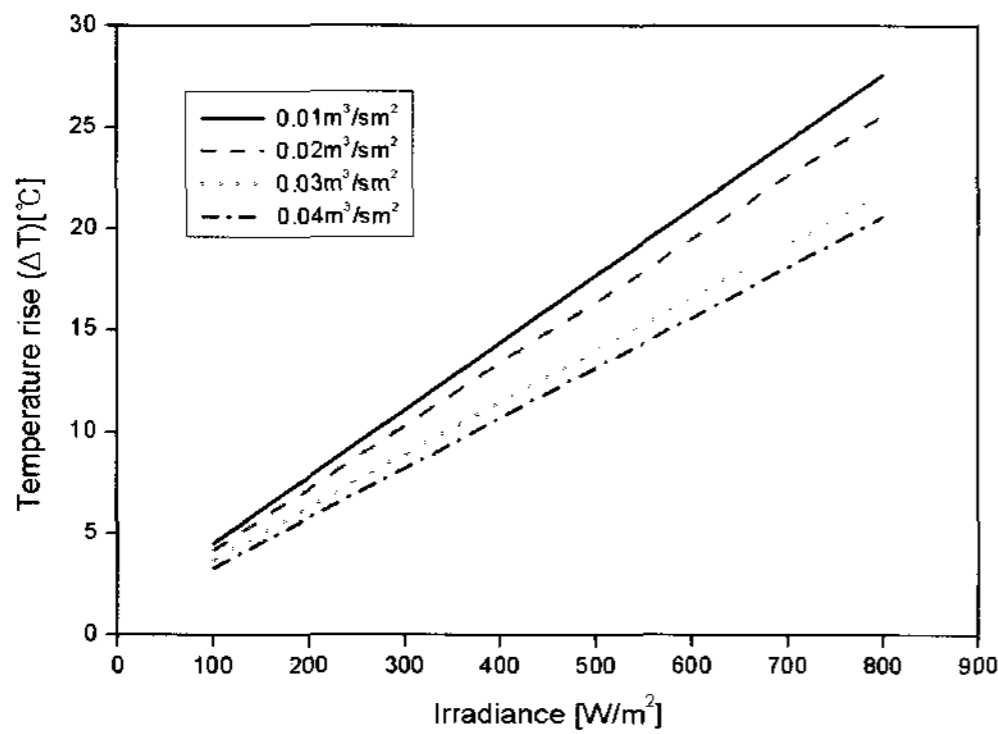


그림 8. 작동유량에 따른 Solarwall의 온도 상승도

본 실험에서는 비교적 낮은 유량으로 고정하였다. 그 이유는 작동유량이 클수록 효율은 좋아지나 소음이 커지는 문제가 발생한다. 이런 경우 실내난방 및 공기조화가 필요한 공장 및 산업용 시설 같은 대규모의 건물에 적당하다. 반면에 작동유량이 적을 경우 효율은 낮으나 소음이 적게 발생하는 장점이 있다. 이런 경우는 작동유량이 많지 않은 가정용/사무용에 적절하다. 이번 실험은 가정용/사무용 건물의 실내난방에 맞춰 설계하였기 때문에 약 0.012m³/sm²의 비교적 낮은 작동유량으로 고정하였다.

3.4 모니터링 장치

실험 데이터 측정 및 분석을 위해 실험이 진행되는 동안 LabVIEW⁴ 를 이용하여 모니터링 프로그램 구성하였고 측정된 데이터를 1분 간격으로 저장하기 위한 HP34970A 데이터 획득 장치를 구현하였다.

4. 실험결과 및 분석

4.1 실험결과 비교

Solarwall과 벽체사이에 형성되는 고온의 공기는 그림 9와 같이 12시를 기준으로 가동되는 팬

에 의해 실내로 유입되면서 실내온도를 급격히 상승시킨다. 반면에 이러한 고온의 공기가 실내로 유입되면서 Solarwall의 표면온도는 감소된다. 이와 같은 Solarwall 표면온도의 감소는 PV의 열저항을 최소화하여 PV배면온도를 급격히 감소시킨다. 이러한 PV배면온도의 감소는 그림 10에서 보여주는 것과 같이 PV 발전전력 생산량을 증가시켜준다.

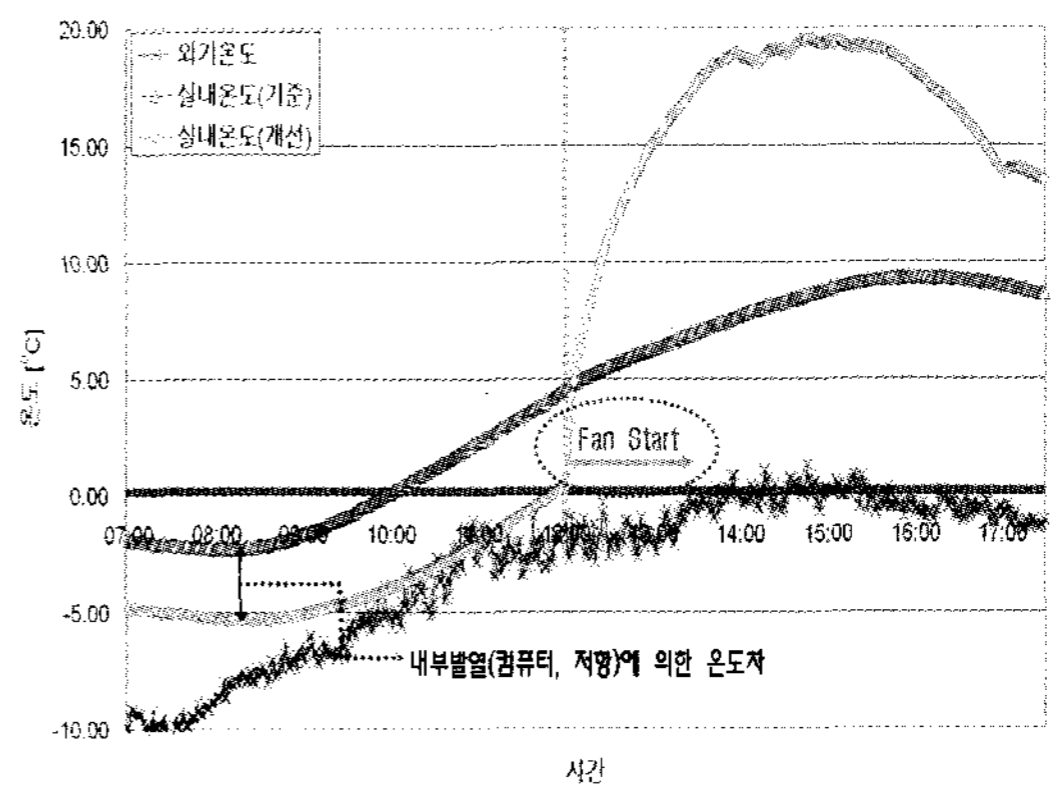


그림 9. 실내온도 변화 (2005. 02. 21)

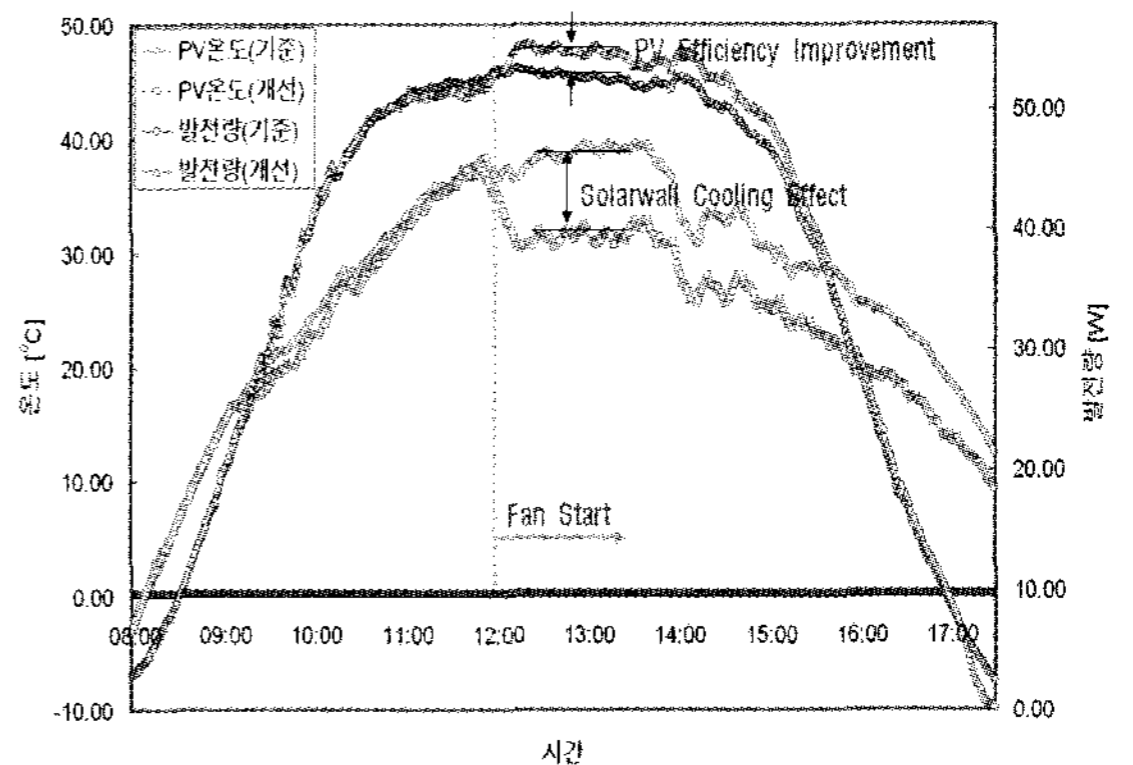


그림 10. PV온도에 따른 발전량 변화 (2005. 02. 21)

그림 11은 일정기간동안의 태양에너지 cogeneration panel의 PV배면 온도변화를 보여주는 것으로 팬의 작동에 따라 PV배면온도가 낮아짐을 보여주고 있고 그에 따라 그림 12와 같이 발전효율이

증가됨을 보여주고 있다. 이와같은 그림에서 알 수 있듯이 전반적으로 팬의 가동에 따른 PV 배면온도 변화와 그에 따른 PV 발전전력량은 반비례하여 나타남을 알 수 있다.

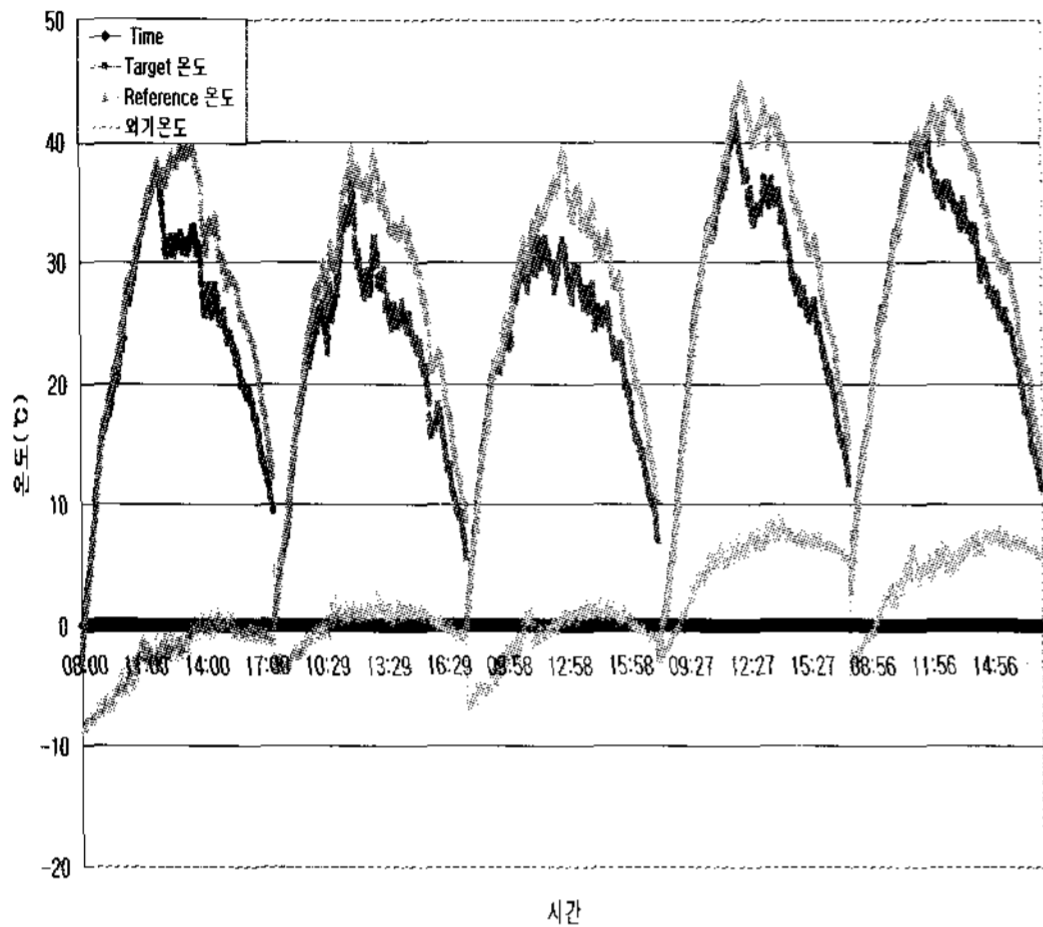


그림 11. 팬가동에 따른 PV배면 온도 변화 (2005.02.25-3.1)

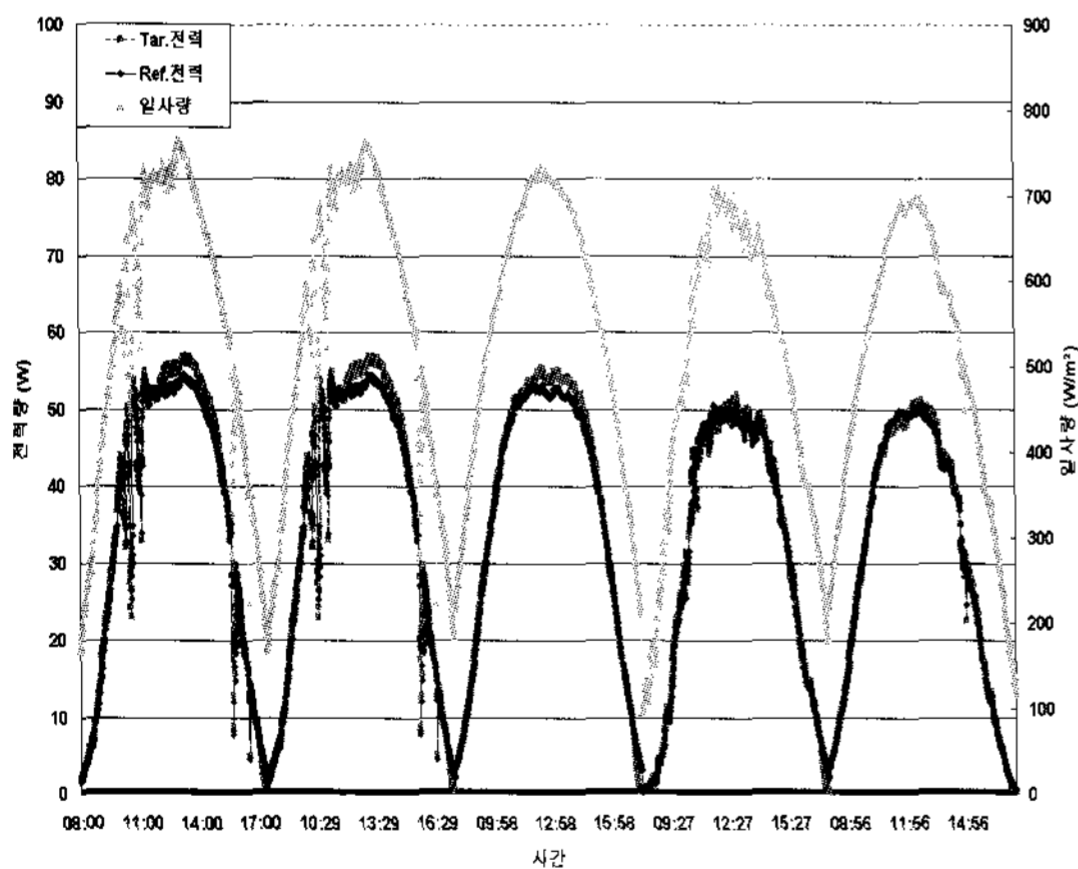


그림 12. 일사량의 변화에 따른 발전전력량 변화 (2005.02.25-3.1)

표 4. 일사량에 따른 발전량(2월) (12~13시 기준)

일사량	기준발전량(W)	평균 전력차(W)
800W/m ²	54.2W	2.3W
700W/m ²	49.1W	2.4W

표 5. 일사량에 따른 온도변화량(2월) (12-13시 기준)

일사량	집열판 공기층 온도 T _{plen} (°C)	배면온도차 ΔT _{back} (°C)	외기온도(°C)
800W/m ²	30.2°C	7°C	0.3°C
700W/m ²	26.3°C	9.3°C	6.5°C

표 4와 표 5는 실험 데이터를 기준으로 일사량에 따른 발전량 및 팬 가동에 따른 온도 변화량을 보여주고 있다. 데이터는 2월을 기준으로 하루 중 12-13시 시간대를 분석하였으며, 기준 PV 대비 개선형 태양에너지 cogeneration panel 모듈에서의 PV 배면온도차와 외기온도 평균치, 기준 PV 패널에서의 발전전력 생산량 및 태양에너지 cogeneration panel에서의 향상되는 평균 전력차를 분석하였다. 그 결과 태양에너지 cogeneration panel과 일반벽체에 설치되어진 PV배면온도차를 비교하여 평균 7~9°C 정도의 온도를 감소시켰고 그에 따른 PV 발전 성능은 약 4.2% 가량 향상됨을 확인할 수 있었다.

5. 결론 및 향후과제

본 연구는 PV(Photo Voltaic)와 Solarwall을 연계하여 건물에서의 난방부하를 줄임과 동시에 BIPV(Building Integrated Photo Voltaic)를 고려한 PV의 전력생산효율을 높이는 연구를 수행하였다. 전반적으로 열성능 평가 분석을 위주로 하였고 뚜렷한 계절별 일사량에 근거하기보다 일사량의 변화에 따른 태양에너지 cogeneration panel 성능평가에 목적을 두고, 겨울철 난방용에 맞춰 시스템 연구를 수행하였다. 본 연구의 열성능 평가를 위해 수행된 연구 내용으로는 먼저 태양열 집열 난방시스템 적용 가능성 평가를 위해 오후 12시에서 오후 5시까지 작동하는 팬의 공기 유입에 따른 실내온도 변화를 수행하였고 그에 따른 PV배면 온도변화, PV발전전력량 변화를 일일

실험 데이터 분석하였다. 그 결과 실험한 날의 날씨와 계절적 영향에 의해 약간의 차이가 있긴 하나 일사량 $700\text{W}/\text{m}^2$ 를 기준으로 할 때, 내부온도는 일반벽체를 사용한 건물에 비해 약 10°C 의 온도차를 보였고 일반벽체내 설치되어 있는 모니터링 장치의 내부발열을 고려한다면 $12\sim 13^\circ\text{C}$ 의 온도변화가 있음을 확인할 수 있었다. 또한 팬이 가동되는 12시를 기준으로 평균 $7\sim 9^\circ\text{C}$ 의 배면온도를 하강시켜 일반벽면체에 설치되어진 PV보다 $2\sim 3\text{W}$ 가 향상됨을 알 수 있었다. 그러나 오전 12시에서 오후 5시까지의 지속적인 팬가동은 날씨의 변화에 대해 전혀 대처할 수 없으므로 일사량 및 내부온도 변화에 따른 팬가동이 가능한 제어 시스템이 추가적으로 개발되어야함이 사료된다.

참 고 문 헌

1. 이의준, 2001, "공간 에너지 절약형 태양열 공기 집열 UTC 팬-덕트 공조 시스템 개발에 관한 연차중간보고서", 산업자원부.
2. 강동연, 2000, "태양열 공기난방 건축외장판넬 시스템의 열성능 분석에 관한 연구", 석사학위논문, 제주대학교 대학원.
3. 강은철, 2002, "태양열 신선외기 난방시스템의 열성능 평가에 관한 연구", 석사학위논문, 제주대학교 대학원.
4. 최성주, 1999, "Graphical Programming LabVIEW 입문", 동일출판사, pp. 257-265.
5. 이택식, 이재현, 이준식, 1993, "열전달", 회중당, p. 740.