

PV/T와 PV 시설을 통한 열 공유 측면의 지역별에너지 수요량과 생산량 비교분석 연구

A Comparative Analysis of Regional Energy Demand and Production in terms of Energy Sharing through PV/T and PV

권혁민*, 이태규*, 김정욱**★

Hyuk-Min Kwon*, Tae-Kyu Lee*, Jung-Uk Kim**★

Abstract

In recent years, solar energy PV/T research has been actively pursued by complementing solar heat acquisition and solar energy acquisition, and PV/T energy efficiency is generally excellent. In this study, the annual energy demand is calculated based on one building, and the energy production when PV / T installed on the roof and the energy production when PV are installed are compared and analyzed by simulation case. In conclusion, Busan which is the southern province in Korea, has the largest amount of energy generation, and introducing the concept of sharing surplus energy, excluding energy demand from generation. As a result, it can be supplied up to 3.3 households.

요 약

최근 태양열의 열 취득과 태양광의 전기에너지 취득의 상호 보완으로 태양광열(PV/T) 연구가 활발히 진행되고 있으며 대체로 PV/T의 에너지 효율이 더 높은 것으로 연구되고 있다. 본 연구에서는 대상 건물을 모델링하여 연간 에너지 수요량을 산정하고 옥상면에 PV/T를 설치하여 PV/T와 PV의 에너지 생산량을 시뮬레이션별 Case로 비교 분석 하였다. 결과로 남부 지방인 부산광역시의 에너지 생산량이 가장 많았다. 또한 에너지 수요량에서 남는 에너지 생산량을 에너지 공유 시스템의 도입을 가정하였을 때 에너지 공급 가능 세대수를 산정한 결과 최대 3.3세대로 나타났다.

Key words : PV/T, PV, TRNSYS, Simulation, Energy Demand, Energy Sharing

* MS course, Dept. of Energy-grid, Sangmyung University

** Professor, Dept. of Electrical Engineering, Sangmyung University

★ Corresponding author

E-mail : jukim@smu.ac.kr, Tel : +82-2-781-7602

※ Acknowledgment

Manuscript received May. 15, 2019; revised Jun. 1, 2019; accepted Jun. 5, 2019.

This work was supported by the Korea Energy Technology Evaluation and Planning(KETEP)(20164030300230) funded by the Ministry of Trade, Industry and Energy.

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서론

1. 연구의 배경

우리나라에서 가장 많이 채택되고 있는 신재생에너지는 태양광 발전이다. 태양광은 지역별 편차가 있으나 어느 지역이나 발전이 가능하고, 설치가 쉽다. 최근에는 태양에너지를 이용하는 발전으로 태양광뿐만 아니라 태양열도 동시에 활용하는 장비로 PV/T(Photovoltaic Thermal 이하 PV/T)의 관련 연구와 수요가 활발하게 진행되고 있다. PV/T는 기존의 태양광모듈인 PV(Photovoltaic 이하 PV)에 공기 혹은 액체 집열 모듈을 복합 구성한 시스템으로 PV 모듈이 가지는 본연의 기능인 전기를 생산

하며, PV 후면에서 발생하는 열을 열원으로 이용하여 건물의 난방에너지 및 온수를 생산하는 열병합발전시스템이다.[1]

본 연구에서는 PV/T와 PV 시스템의 에너지 생산량을 분석하고 기상데이터를 활용하여 지역별 에너지 생산량을 비교 분석하였다. 또한 에너지 생산량에 대하여 에너지 공유의 개념을 도입하여 에너지 생산량에 따른 공유 가능 에너지량을 도출하였다.

2. 선행연구 분석

김상열, 남유진(2015)의 연구는 동적 시뮬레이션을 활용하여 최적설계방법을 통한 PV/T시스템의 성능분석을 수행하였다. 연구결과 PV/T시스템은 주변 온도와 태양 복사에 크게 좌우되는 것으로 밝혀졌다. 더욱이 특정 기상조건에서 난방 시즌의 전기와 열의 평균효율은 각 13.79%, 41.85%이고, 냉방 시즌의 평균효율은 14.39%와 26.18%로 나타났다.[2]

어승희, 이정빈, 최윤성, 김대현(2012)의 연구는 PV/T시스템의 성능을 기존 PV 모듈 및 태양열 집열기와 비교하고, 태양열 방사조도 및 액체의 입구 온도 측면에서 PV/T시스템의 전기 및 열효율을 분석하였다. glazed PV/T시스템의 열 및 전기 효율은 57.9%, 14.27%로 태양열 흡열판보다 13.6%, PV 모듈보다 0.08%가 낮았다. unglazed PV/T시스템의 경우 태양열 흡열판보다 열효율이 낮았지만, 작동 유체에 의한 냉각효과로 PV 모듈보다 전기효율이 높았다. 다만 glazed PV/T시스템의 총 효율은 72.2%로 태양열 집열기와 PV 모듈보다 효율성이 높았다. 또한 단위 면적 기준으로 계산하면 PV/T시스템의 총 효율은 훨씬 더 높은 것으로 확인되었다.[3]

정용대, 남유진(2015)의 연구는 PV/T시스템의 최적 설계 방법을 확립하기 위해 트랜시스 시뮬레이터를 사용하였고, 현지 기상데이터를 활용하여 다양한 설치조건에서의 시스템 성능을 계산하였다. 서로 다른 온도제어방법에 따라 순환펌프의 온도제어가 5도, 10도, 15도씩 증가함에 따라 전기와 열효율이 2%와 5%씩 감소하였다. 또한 PV/T모듈의 설치각도에 의해 여름철에는 15도, 겨울철에는 60도에서 가장 큰 에너지가 생산되었다. 연간 총에너지생산량은 30도 각도에서 가장 큰 것으로 나타났다.

다. 여름의 에너지 생산은 겨울의 2.2배 정도로 PV/T 모듈의 에너지 생성이 일사량과 공기온도에 의해 크게 영향을 받는 것으로 파악되었다.[4]

이광섭, 앤드류, 강은철, 이의준(2014)의 연구는 PV/T형태에 따라 시스템의 효율성에 미치는 영향을 조사하기 위해서 PV_r을 기준 사례로, PV/T_a는 공기 기준 사례로, PV/T_w는 물을 기준사례로 실험하였다. 각 PV/T에 대해서 전기 및 열효율을 합산한 총 효율을 시험한 결과 PV_r의 경우 12.22%, PV/T_a의 경우 29.50%, PV/T_w의 경우 68.74%로 나타났다. 전력생산량은 표면냉각 효과가 가장 큰 PV/T_w가 가장 높았고, PV/T_a, PV_r순이었다. 또한 전력 생산량은 외기온도가 낮을수록 상승하는 것으로 나타났다.[5]

II. 연구의 개요

1. 연구의 방법

본 연구의 수행방법은 Fig. 1과 같다. 건물 모델 선정, 기상데이터의 선정, 건물의 운용환경 조성, 각 시뮬레이션 모듈 간의 입출력 관계 분석, PV/T와 PV 시스템 구성 등의 순서로 수행하였다. 결론으로 대상 모델의 에너지 수요량 대비 PV/T와 PV의 에너지 생산량의 비교 분석과 에너지 공유 시스템 도입 시 효과를 도출하고 지역별로 비교 분석하였다. 각 시뮬레이션 Cased의 열 공유 기대효과는 열 공급 가능 세대수(Available households)로 도출하였다.

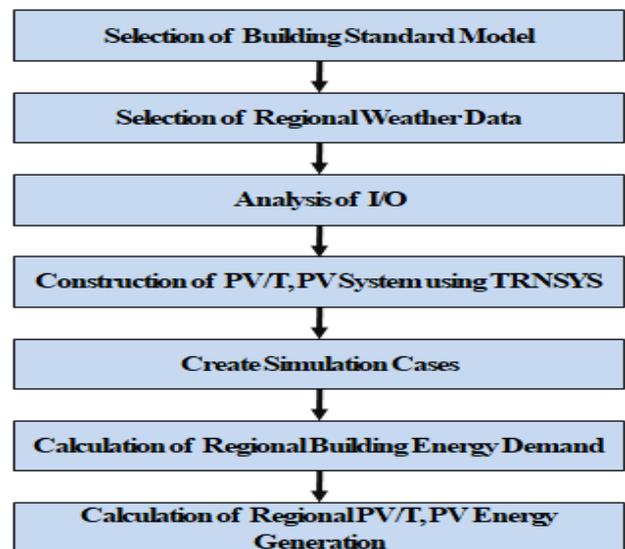


Fig. 1. Flow-chart of the Study.

그림 1. 연구 흐름도

II. 본론

1. 트랜시스 시뮬레이터

트랜시스 시뮬레이터는 미국 SEL(Solar Energy Laboratory 이하 SEL)에서 개발한 동적 시뮬레이터로서 전기, 기계, 건축 등 여러 분야에서 에너지 분석을 위해 활용된다. 시스템을 구성하는 모듈을 TYPE으로 표현하는 것이 특징이며, 각 모듈의 입출력 관계를 Flow Diagram 형태로 연결하는 방식으로 사용자의 편의를 제공한다. 미국 DOE의 레퍼런스 건축물 3D 모델과 국내외 표준 기상데이터를 쉽게 연동할 수 있는 장점이 있고, 시뮬레이션 결과 및 입출력 데이터를 시각적으로 표현하기에 적합하여 본 연구에 활용하였다.

2. 건물 모델링

본 연구에서 사용한 건물 모델은 Fig. 2와 같다. 본 건물은 Table 1에 기술한 바와 같이 연면적 100 [m²]의 4인 가구 주거용 건물로 정남향이다. 건물의 창면적비(Window-Wall-Ratio 이하 WWR)는 4.3%이다. 지역별 건물에너지 수요량과 PV/T, PV에 의한 에너지 생산량을 산정하기 위해 사용되었으며 각 벽체는 옥상(Exterior Roof), 외벽(Exterior Wall), 바닥(Ground Floor)으로 구성되어 있다. 벽체의 열관류율은 국토교통부에서 고시한 건축물 에너지절약 설계기준에 의거, 중부1지역, 중부2지역, 남부지역, 제주로 나누어 모델을 생성하였다. 건물의 공조환경은 겨울철 난방의 경우 설정온도 20℃, 냉방의 경우 26℃를 유지하고 환기는 시간당 0.3회로 가정하였다.[6]

Table 1. Building Information.

표 1. 건물 모델링 정보

Category	Info	Remarks
x	10 [m]	
y	10 [m]	
z	3 [m]	
GFA	100 [m ²]	
Window-Wall-Ratio	4.3 [%]	
Azimuth	Southern	
Air Heating	Set temperature : 20℃	
Air Cooling	Set temperature : 26℃	
Ventilation	1 time per 3 hours	
Construction Type	Residential	4 applicants

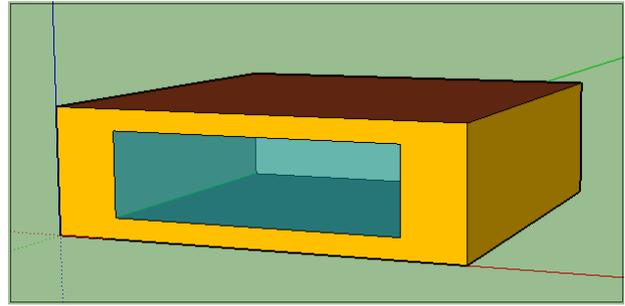


Fig. 2. 3D Building Model.

그림 2. 3D 건물 모델

3. 국내 표준기상데이터

국내 표준기상데이터는 일반적으로 TMY, IWEC, EPW 포맷을 사용하고 있으며 기상청의 데이터를 기반으로 제작되어 활용도가 높고 사용자에게 의해 데이터의 신뢰도 또한 보완될 수 있기 때문에 동적 시뮬레이션을 통한 에너지 해석으로 많이 활용한다. 최근 한국패시브건축협회는 국내 다수 지역의 EPW 기상데이터를 연구과제를 통해 확보하여 무료로 배포하고 있다.

Table 2. Domestic Standard Weather Data.

표 2. 국내 4개 지역의 표준기상데이터

Region	Format	Category
Seoul	EPW	y_data
Daejeon	EPW	y_data
Busan	EPW	y_data
Jeju	EPW	y_data

본 연구에서는 선행 연구된 기상데이터를 시뮬레이션에 활용하였다. 기상데이터는 약 50개의 입력데이터를 갖고 있으며 대표적으로 외기온도, 상대습도, 풍속, 일사량 등이 있다. 특히 기상에 대한 민감한 신재생에너지에 대한 해석을 할 경우 기상데이터의 유무는 매우 중요하다. 따라서 시뮬레이션 수행에 앞서 사용된 기상데이터의 입력데이터를 외기온도, 상대습도, 일사량을 활용하여 선행 분석하였으며 결과는 Fig. 3과 같다.

서울특별시는 연평균 외기온도가 약 13℃이며 상대습도 60%로 나타났다. 가장 추운 달은 1월이며 평균 영하 2℃를 기록하였다. 일사량은 연평균 507 [W/m²]으로 다른 세 지역에 비해 상대적으로 적었다. 대전광역시의 연평균 외기온도는 서울특별시와 같으며 상대습도는 66%로 서울특별시에 비해 약간

높았다. 일사량은 565 [W/m²]로 다소 높았다. 부산 광역시는 연평균 외기온도가 15℃로 중부지방에 비해 약간 높았고 일사량은 605 [W/m²]으로 서울 특별시의 1.2배 수준이다. 제주도는 연평균 외기온도가 약 16℃로 나타났고 일사량은 569 [W/m²]으로 대전광역시와 비슷한 수준이다.

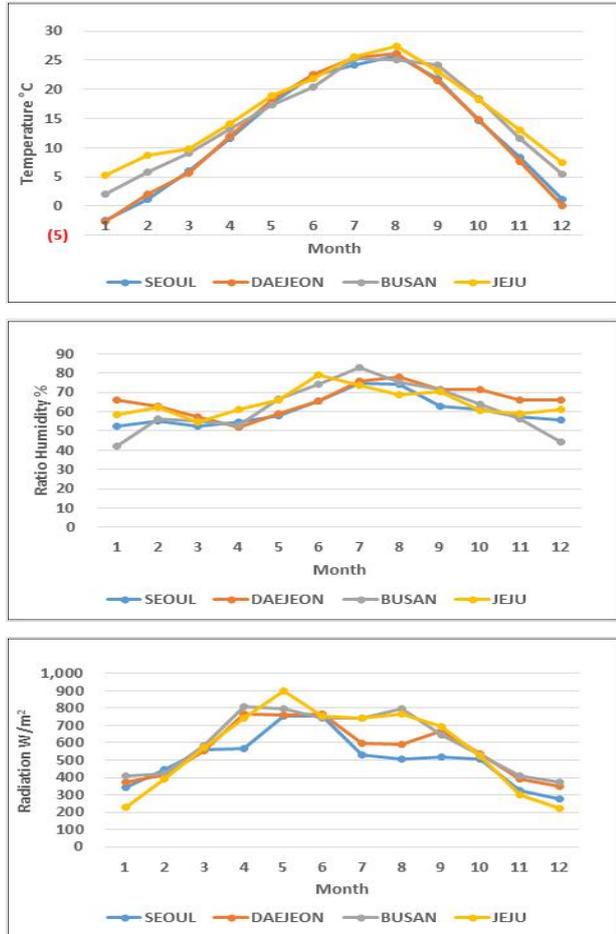


Fig. 3. Analysis of Weather Data.
그림 3. 기상데이터 분석

3. PV/T와 PV 시뮬레이션

본 연구에서는 건물 모델의 옥상면에 PV/T와 PV 모듈을 설치한다고 가정하며 Fig. 4와 같이 PV/T시스템을 구성하였다. PV/T시스템은 태양광 집열기, 파이프, 축열조, 펌프로 이루어져 있다. 태양광 집열기는 기상데이터 모듈로부터 외기온도, 풍속, 직달 일사량, 산란 일사량, 입사각을 입력으로 받고 사용 가능한 에너지량과 그에 따른 일정 온도의 유량을 출력으로 나타낸다. 집열기로부터 나온 출력은 축열조의 입력으로 연결되고 최종적으로 온수(Domestic Hot Water 이하 DHW)와 난

방에 사용가능한 에너지량을 산출할 수 있다. 태양광 모듈은 Table 2와 같이 단결정 모듈을 활용하며 약 255W의 용량을 갖는다. 축열조는 2,000L의 용량으로 실제 공급 유체온도는 45℃이다.

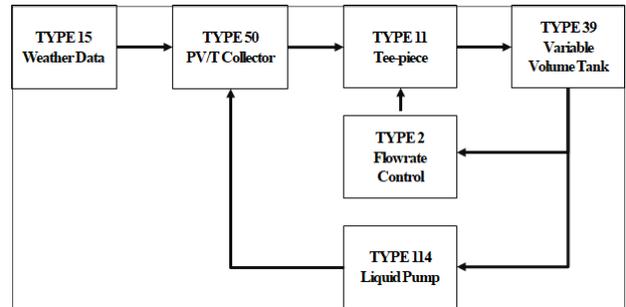


Fig. 4. Construction of TRNSYS PV/T System.
그림 4. 트랜시스 PV/T시스템

Table 3. PV/T Module information.

표 3. PV/T 모듈 정보

Category	PV Module Info
Type	Mono-crystalline
Isc	8.89 [A]
Voc	37.8 [V]
Voc.max	31.2 [V]
Isc.max	8.18 [A]
number of cells	120
Temp. coefficient of Isc	0.0001879 [A/K]
Temp. coefficient of Voc	-0.00117 [V/K]
Storage Tank Capacity	2,000 [L]
Set temperature of flow-rate	45℃

PV/T의 DHW 생산에 따른 온수 사용 프로파일은 Long Le-Van 외(2018) 연구를 참조하여 Fig. 5와 같이 가정하였다.[7]

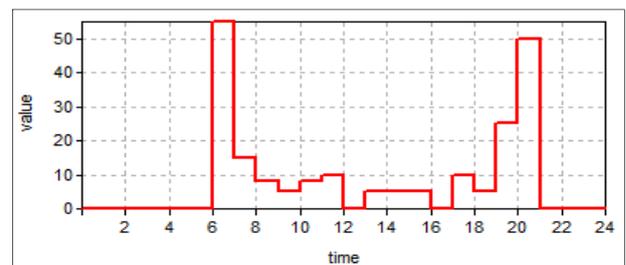


Fig. 5. Heat using schedule.
그림 5. 열 사용 스케줄

트랜시스를 활용한 시뮬레이션은 Table 4와 같이 PV/T와 PV는 용량별로 나누어 총 6개의 시뮬

레이션 모델을 생성한다. 같은 면적에 설치함으로써 PV/T와 PV의 에너지 생산량을 비교한다.

시스템의 에너지 생산효율이 가장 낮을 것으로 판단된다.

Table 4. Simulation Cases.

표 4. 시뮬레이션 케이스

Case no.	PV/T	PV
1	100%	0%
2	80%	20%
3	60%	40%
4	40%	60%
5	20%	80%
6	0%	100%

Table 6. Regional PV/T, PV Energy Generation.

표 6. 지역별 PV/T, PV 에너지 생산량

Seoul	Annual Energy Generation [kJ]		
	PV/T		PV
	DHW[kJ]	Electricity[kJ]	Electricity[kJ]
Case 1	7,183,427	12,870,662	0
Case 2	7,157,262	10,295,998	2,677,022
Case 3	7,143,773	8,919,055	4,650,220
Case 4	7,137,179	5,944,589	6,975,330
Case 5	6,984,344	2,970,278	9,300,441
Case 6	0	0	11,625,551

III. 실험결과

1. 지역별 에너지 수요량 산정

지역별 대상 건물의 연간 에너지 수요량은 Table 5와 같다. 제주도의 연간 수요량이 가장 많았으며 상대적으로 부산광역시의 수요량은 다른 세 곳과 확연한 차이를 보였다.

Table 5. Regional Building Energy Demand.

표 5. 지역별 건물에너지 수요량

Category	Annual Building Energy Demand [kJ]
Seoul	9,296,729
Daejeon	9,714,351
Busan	7,994,098
Jeju	10,432,138

에너지 수요량으로 볼 때 남부지역의 에너지 수요가 다른 지역에 비해 적다고 판단할 수 있다.

2. 지역별 PV/T와 PV 에너지 생산량 산정

지역별 에너지 생산량은 Table 6에 정리하였고 Fig. 6에서 나타낸 바와 같이 시뮬레이션 Case 별 DHW, PV/T의 전기 생산량(Elec), PV의 전기 생산량(PV Elec)의 변화를 확인할 수 있다. 결과적으로 에너지 생산량의 총량으로는 부산광역시가 가장 많은 것으로 나타났다. 부산광역시는 앞서 기상 데이터 분석 자료에서 확인할 수 있는 바와 같이 연간 평균 일사량이 가장 우수했으며 그에 따라 에너지 생산량이 많은 것으로 사료된다. 일사량과 에너지 생산량이 비례 관계에 있는 점을 고려할 때 일사량이 가장 적었던 서울특별시에서 PV/T와 PV

Daejeon	Annual Energy Generation [kJ]		
	PV/T		PV
	DHW[kJ]	Electricity[kJ]	Electricity[kJ]
Case 1	8,036,806	16,590,320	0
Case 2	8,036,790	13,271,173	2,547,586
Case 3	8,036,301	9,952,027	5,095,171
Case 4	8,028,588	6,632,894	7,642,757
Case 5	7,853,986	3,313,953	10,190,343
Case 6	0	0	12,737,928

Busan	Annual Energy Generation [kJ]		
	PV/T		PV
	DHW[kJ]	Electricity[kJ]	Electricity[kJ]
Case 1	8,574,203	17,898,543	0
Case 2	8,574,193	14,317,636	2,746,114
Case 3	8,573,935	10,736,729	5,492,228
Case 4	8,567,277	7,155,835	8,238,342
Case 5	8,391,031	3,575,139	10,984,457
Case 6	0	0	13,730,571

Jeju	Annual Energy Generation [kJ]		
	PV/T		PV
	DHW[kJ]	Electricity[kJ]	Electricity[kJ]
Case 1	8,303,635	16,913,301	0
Case 2	8,303,626	13,529,509	2,567,091
Case 3	8,303,392	10,145,717	5,134,183
Case 4	8,297,247	6,761,936	7,701,274
Case 5	8,135,641	3,378,340	10,268,366
Case 6	0	0	12,835,457

종합적으로, 시뮬레이션 결과에 따르면 전체 지역에서 PV/T를 대상 면적에 100% 설치하는 Case 1의 에너지 생산량이 가장 우수한 것으로 나타났다. PV/T를 100% 설치할 경우에는 PV 모듈만 설치할 때에 비해 많게는 1.96배의 에너지 생산량을

나타냈으며 생산량의 격차는 일사량이 가장 많았던 제주도에서 가장 컸으며 다음으로 부산광역시, 대전광역시, 서울특별시 순으로 나타났다. 서울특별시에서도 약 1.73배의 차이를 보인 것으로 미루어 볼 때 PV/T가 PV에 비해 같은 설치면적 대비 에너지 생산에 훨씬 유리한 것으로 보인다.

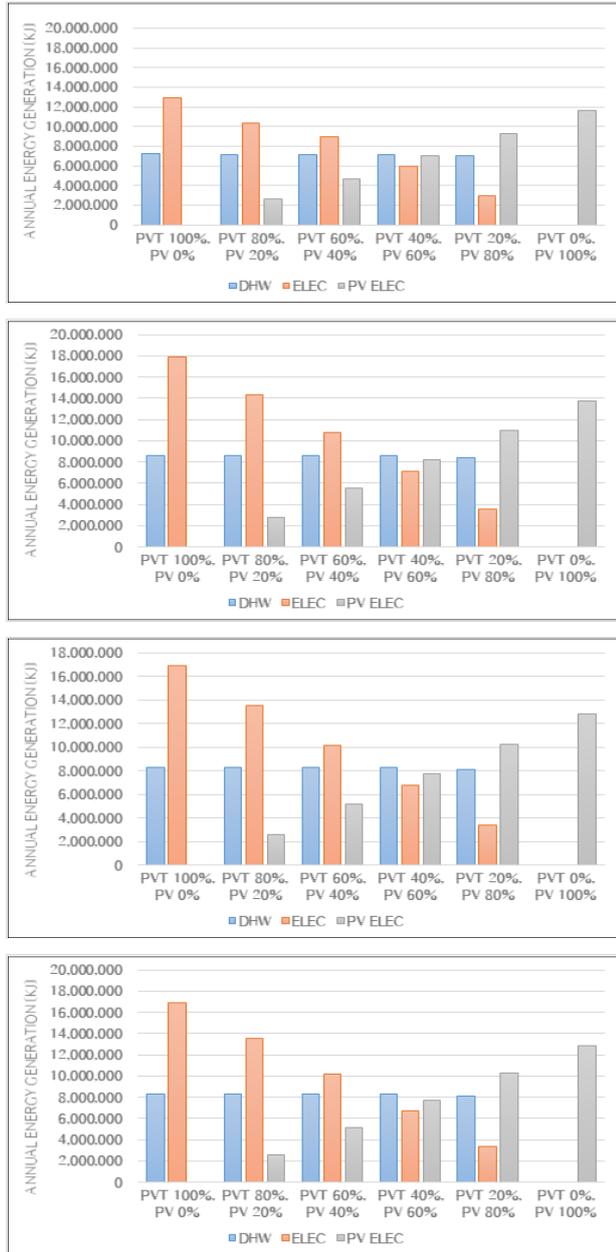


Fig. 6. Regional Comparison with Simulation Cases according to Energy Generation.

그림 6. 지역별 시뮬레이션 케이스별 에너지 생산량 비교

4. 생산량의 공유시스템 가정

실험결과에 따라 에너지 생산량이 연간 에너지

수요량에 비해 매우 높게 도출되었다. 전체 에너지 생산량에서 건물의 수요량을 뺀 나머지 에너지량을 잉여 생산량으로 활용하고 에너지 공유 시스템의 도입을 가정하였을 때 Table 7과 같이 지역별 에너지 공유 효과를 비교 분석하였다.

Table 7. Regional PV/T, PV Energy Generation.

표 7. 지역별 PV/T, PV 에너지 생산량

Seoul	Generation [kJ]	Demand [kJ]	Total Energy sum [kJ]	Available households
1	20,054,089	9,296,729	(10,757,360)	2.157
2	20,130,283	9,296,729	(10,833,554)	2.165
3	20,713,049	9,296,729	(11,416,320)	2.228
4	20,057,098	9,296,729	(10,760,369)	2.157
5	19,255,063	9,296,729	(9,958,334)	2.071
6	11,625,551	9,296,729	(2,328,822)	1.250

Daejeon	Generation [kJ]	Demand [kJ]	Total Energy sum [kJ]	Available households
1	24,627,126	9,714,351	(31,503,094)	2.535
2	23,855,549	9,714,351	(27,412,371)	2.456
3	23,083,500	9,714,351	(23,321,175)	2.376
4	22,304,239	9,714,351	(19,222,781)	2.296
5	21,358,283	9,714,351	(14,957,884)	2.199
6	12,737,928	9,714,351	(3,023,577)	1.311

Busan	Generation [kJ]	Demand [kJ]	Total Energy sum [kJ]	Available households
1	26,472,747	7,994,098	(36,377,192)	3.312
2	25,637,943	7,994,098	(31,961,480)	3.207
3	24,802,892	7,994,098	(27,545,523)	3.103
4	23,961,455	7,994,098	(23,123,192)	2.997
5	22,950,627	7,994,098	(18,531,668)	2.871
6	13,730,571	7,994,098	(5,736,473)	1.718

Jeju	Generation [kJ]	Demand [kJ]	Total Energy sum [kJ]	Available households
1	25,216,936	10,432,138	(31,698,100)	2.417
2	24,400,226	10,432,138	(27,497,596)	2.339
3	23,583,292	10,432,138	(23,296,871)	2.261
4	22,760,458	10,432,138	(19,090,257)	2.182
5	21,782,346	10,432,138	(14,728,548)	2.088
6	12,835,457	10,432,138	(2,403,319)	1.230

결과로 잉여 생산량을 공유할 경우 Fig 7과 같이 많게는 약 3.3 가구에 공급할 수 있는 것으로 보이며, 공급 가능 세대수가 가장 적은 Case는 제주 Case 6이고 1.23 세대에 공급할 수 있는 것으로 나타났다. 상대적으로 에너지 수요량도 적고 에너지 생산량이 우수한 부산광역시에 동일 면적 PV/T를

100%로 설치할 때 에너지 생산량이 가장 우수하였다.

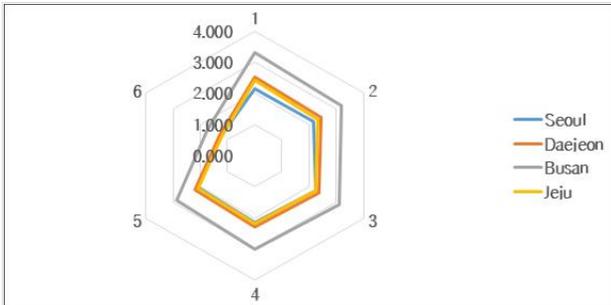


Fig. 7. Comparison with each regional heat sharing effect.
그림 7. 지역별 열 공유 효과 비교

IV. 결론 및 고찰

국내 신재생에너지 보급 촉진에 따라 태양광 발전이 빠르게 확산 되었으며 최근에는 가정용으로 태양광이 많이 보급되고 있다. 이와 더불어 태양열과 태양광 발전을 상호보완한 PV/T시스템의 연구와 수요도 활발하게 진행되고 있다.

본 연구에서는 전기와 열에너지의 동시적인 생산이 가능한 PV/T시스템의 에너지 생산량을 도출하고 기존 태양광 발전(PV)과 비교 분석을 수행하였다. 결론으로 열에너지뿐만 아니라 전기에너지의 생산량도 PV/T시스템이 우수하였고, PV에 비해 약 1.96배의 에너지가 생산 되었다. 특히 남부지방인 부산광역시에서 가장 많은 생산량을 보였다. 설비의 측면에서는 PV에 비해 PV/T가 확실한 우위에 있다는 점을 연구를 통해 명확히 밝혔으며 지역적으로는 일사량이 많고 에너지 수요가 적은 남부지방이 중부지방에 비해 상대적으로 PV/T의 더 많은 에너지 생산량을 기대할 수 있었다. 또한 열공유 또는 에너지 공유 시스템의 도입을 가정하였을 때 남는 에너지 생산량을 공급할 수 있는 세대수로 산정한 결과, 최대 3.3 세대에 공급할 수 있는 것으로 확인하였다. 향후에는 PV/T와 PV의 설치비용 및 에너지 프로슈머, 제로에너지건물의 관점에서 경제성을 분석하여 본 연구를 추가 보완할 것을 밝힌다.

References

- [1] Sakhr M Sultan and M. N. Ervina Efzan, "Review on recent Photovoltaic/Thermal (PV/T) technology advances and applications," *Journal of Solar Energy*, vol.173, pp.939-954, 2018.
DOI: <http://doi.org/10.1016/j.solener.2018.08.032>
- [2] S. Y. Kim and Y. J. Nam, "Study on the Analysis Performance of PVT system using the Dynamic Simulation," *Journal of the Korea Institute of Ecological Architecture and Environment*, vol.15, no.2, pp.95-101, 2015.
DOI: <https://doi.org/10.12813/kieae.2015.15.2.095>
- [3] S. H. Euh, J. B. Lee, Y. S. Choi and D. H. Kim, "The Performance and Efficiency Analysis of a PVT System Compared with a PV module and a Solar collector," *Journal of the Korean Solar Energy Society*, vol.32, no.2, pp.1-10, 2012.
- [4] Y. D. Jeong and Y. J. Nam, "Sensitive analysis of design factor for the optimum design of PVT system," *Journal of the Korea Institute of Ecological Architecture and Environment*, vol. 15, no.4, pp.5-11, 2015.
DOI: <https://doi.org/10.12813/kieae.2015.15.4.005>
- [5] G. S. Lee, Andrew, E. C. Kang and E. J. Lee, "An Experimental Comparison Study of PVT Water and PVT Air Modules for Heat and Power Co-Generation," *Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, vol.26, no.12, pp.559-564, 2014.
- [6] Legislation National legislation information center, energy conservation design standard commentary of building, annex 8, 2018.
- [7] Le-Van et al "Dynamic modelling and control strategy of a heating system based on wood pellet boiler-stove," 10th International Conference on System Simulation in Buildings, At Liege, Belgium, 2018.

BIOGRAPHY

Hyuk-Min Gwon (Member)

2017 : MS course in dept. of
Energy-grid, Sangmyung University
2011 : Department of Mass
Communications, Hankuk University
of Foreign Studies

2010~Present : Gyeeyoung Co., LTD Dept. of Smartcity
Director

Tae-Kyu Lee (Member)

2016 : BS degree in dept. of
Energy-grid, Sangmyung University.
2017~2018 : Researcher in
Green-Energy Laboratory.
2018 : MS course in dept. of
Energy-grid, Sangmyung University.

Jeong-Uk Kim (Member)

1987 : BS degree in Control and
instrumentation Engineering, Seoul
National University.
1989 : MS degree in Electrical &
Electronic Engineering, KAIST.
1993 : PhD degree in Electrical &
Electronic Engineering, KAIST

2010~Present : Full professor, Sangmyung Univ.