

지역별 기상조건과 급수온도에 따른 태양열 온수공급 시스템 성능에 관한 연구

손진국[†]

한라대학교 기계자동차공학부, 교수

A Study on Performance of Solar Thermal System for Domestic Hot Water According to the Weather Conditions and Feedwater Temperatures at Different Locations in Korea

Sohn Jin Gug[†]

Professor, Department of Mechanical & Automotive Engineering, Halla University

[†]Corresponding author: jgsohn@halla.ac.kr

Abstract

The purpose of this study is to analyze the performance of solar thermal system according to regional weather conditions and feedwater temperature. The performance analysis of the system was carried out for the annual and winter periods in terms of solar fraction, collector efficiency and it's optimal degree. The system is simulated using TRNSYS program for 6 cities, Seoul, Incheon, Gangneung, Mokpo, Gwangju, and Ulsan. Simulation results prove that the solar fraction of the system varies greatly from region to region, depending on weather conditions and feedwater temperatures. Monthly average solar fraction for winter season from November to February, a time when heat energy is most required, indicated that the highest is 73.6% in Gangneung and the lowest is 56.9% in Seoul. This is about 30% relative difference between the two cities. On the other hand, the collector efficiency of the system for all six cities was analyzed in the range between 40% and 42%, indicating small difference compare to the solar fraction. The annual average solar fraction is rated the highest at 40 collector degree, while monthly average solar fraction during winter season is rated at 60 degree.

Keywords: 태양열 의존율(Solar fraction), 태양열 시스템(Solar thermal system), 기상조건(Weather conditions), 급수온도(Feedwater temperature), 트랜시스(TRNSYS), 온수급탕(Domestic hot water)

기호설명

Q_u : 집열기 획득열량 (kJ/hr)

Q_{Ls} : 공급 열량 (kJ/hr)

Q_L : 전 열부하량 (kJ/hr)

 OPEN ACCESS


Journal of the Korean Solar Energy Society
Vol.39, No.6, pp.41-54, December 2019
<https://doi.org/10.7836/kses.2019.39.6.041>

pISSN : 1598-6411

eISSN : 2508-3562

Received: 26 September 2019

Revised: 15 November 2019

Accepted: 20 November 2019

Copyright © Korean Solar Energy Society

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution NonCommercial License which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Q_{aux} : 보조 가열량 (kJ/hr)

F_{sol} : 태양열 의존율 (%)

T_{st} : 탱크 상단온도 (°C)

T_a : 대기 온도 (°C)

T_R : 급수 온도 (°C)

1. 서론

우리나라는 기후변화에 대응하여 지구온난화의 주된 요인으로 지적되고 있는 화석연료의 사용을 제한하고 신재생에너지를 확대 보급하기 위해 국가적으로 많은 재정지원과 함께 기술개발을 추진하고 있으며, 국제적으로도 기후변화 협약 이행을 위한 노력을 지속하고 있다.

태양열 시스템은 태양에너지를 직접 열에너지로 변환시켜 공급할 수 있기 때문에 에너지 변환에 따른 손실이 적어 집열 효율이 우수한 장점을 지닌다. 특히 동절기 열에너지 수요가 집중되어 전체 에너지 사용의 80% 이상을 차지하는 일반주택의 경우 태양열 시스템은 가정용 온수 공급시스템으로 사용이 용이하여 전력수요의 일정 부분을 충분히 감당할 수 있을 것으로 기대된다.

태양열 에너지를 보다 효율적으로 이용하기 위한 연구에서 Jo and Kang(2009)¹⁾는 계절별, 지역별 경사면 일사량을 분석하여 연평균과 난방기간을 구분하여 최적 경사각을 제시하였으며, 최근 Lo and Kim(2017)²⁾은 국내 지역별 일사량 및 급수온도에 따라 가정용 태양열 온수시스템을 에너지, 환경, 경제적 관점에서 분석하고, 태양열 의존율이 집열기 경사각을 35° 로 설정한 시스템에서 성능이 지역별 10% 이상 차이가 발생하는 것으로 해석하였다. 한편 Lee et al.(2017)³⁾은 태양광이나 태양열 시스템의 에너지 시뮬레이션에 활용되는 기상조건의 불확실성을 줄이기 위해 일사량에 초점을 맞춘 표준기상자료를 제작하고 기존의 기상자료와 비교하여 제시하였으며, 유효참조데이터센터를 통하여 자료를 활용할 수 있도록 하고 있다. 또한 설비의 최적 이용 방안에 대한 연구에서는 Shin et al.(2011)⁴⁾은 TRNSYS를 이용하여 대용량 시스템에 대한 제어 온도차 최적 운전 방안을 제시하였고, Park et al.(2014)⁵⁾은 수학적 모델링을 통해 기상조건과 축열조 용량 및 집열기 효율의 관계를 해석하여 시스템의 분석 방안을 제시하였다. 이외에도 부하를 고려한 실험적 분석과 집열기 배열에 따른 집열 효율에 대한 연구^{6,7)}는 시스템 성능과 집열기 설치 및 부하가 매우 밀접한 관계가 있음을 제시하고 있다. 이와 같은 기상조건과 태양열 시스템의 최적 이용방안에 대한 많은 연구에도 불구하고 의외로 지역과 계절에 따라 많은 차이가 있는 기상조건과 급수 온도를 직접 시스템에 적용하여 분석한 연구는 부족한 것으로 판단된다.

따라서 본 연구에서는 태양열 온수급탕 시스템을 국내 6개 도시 서울, 인천, 강릉, 목포, 광주, 울산 지역을 대상으로 태양열 의존율, 시스템의 집열기 효율의 관점에서 성능을 비교하고 분석하고자 한다. 특히 열에너지가 집중적으로 필요한 11월 ~ 2월까지의 동절기에 대한 시스템 성능에 기상조건과 시수온도가 미치는 영향을 동적 시뮬레이션에 활용되고 있는 TRNSYS 프로그램을 이용하여 지역별 시스템 성능을 평가하여 제시하고자 한다. 이것은 태양열 이용 측면에서 충족하는 열부하 설비의 용량 설계에 반드시 고려해야할 기술적 사항을 마련

하는데 큰 의미가 있다 할 수 있다. 또한 시스템의 다양한 활용성 측면에서 연간 및 동절기간에 대해 최적 집열기 설치 경사각과 시스템 순환유량에 따른 성능을 제시하고자 한다.

2. 시스템 구성 및 시뮬레이션 방안

2.1 시스템 구성 및 운전

태양열 시스템은 설비의 구성이 간단하지만 사용 목적에 따른 설계와 운전 방식의 차이로 인하여 성능에 큰 차이가 있고, 외부 환경요소인 기상조건과 급수의 온도에 많은 영향을 받는다. 본 논문에서는 Fig. 1(a)와 같이 시스템의 성능 분석에 필요한 최소한의 기본설비를 활용하여 설비형 태양열 시스템을 구성하고, TRNSYS (Transient System Simulation) 프로그램의 Type 형식으로 제공되는 컴포넌트로 Fig. 1(b)의 동적 시뮬레이션 Studio를 제시하였다. 주요 설비는 집열기와 축열탱크, 집열기와 탱크를 연결해주는 열교환기, 작동유체 순환 펌프, 시스템 제어기 및 급수조절 템퍼링 밸브가 있다.

시스템의 운전은 전적으로 제어기의 ON/OFF 신호에 따라 P₁, P₂ 펌프의 구동에 의해 이루어진다. 열교환기 전후에 위치한 펌프의 구동은 작동유체를 순환시키고, 이 과정에서 집열기에서 획득된 열에너지는 열교환기를 통해 축열탱크로 전달된다. 펌프의 운전은 태양열 시스템에 일반적으로 적용되는 차온제어 방식을 활용하여 집열기 출구와 탱크 하단의 온도차가 10°C ON, 2°C OFF가 이루어지도록 설정하였다.

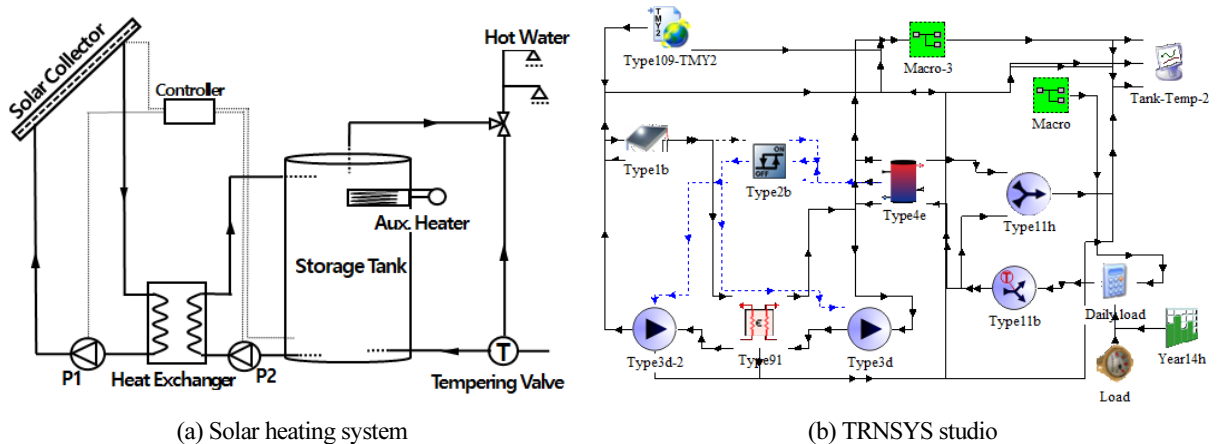


Fig. 1 Schematic of the solar heating system and TRNSYS

한편 급탕 온수는 Fig. 2의 부하 패턴에 따라 일일 240 Liter, 55°C 온수가 템퍼링 밸브(Type 11b)를 통해 축열 탱크와 바이패스 과정을 통해 공급되도록 설정하였다. 축열 탱크의 상층부 온도 T_{st} 가 템퍼링 밸브 설정 온도 70°C 보다 높을 경우($T_{st} > T_{TP}$) 급수를 일정 부분 바이패스 시켜 일정한 급탕 온도를 유지한다. 축열탱크를 거치지 않는 바이패스비율(Y)은 탱크의 상단온도, 템퍼링 밸브 설정온도, 급탕온도에 의해서 $Y = \dot{m}_1 / \dot{m}_{TP,i}$ 로 결

정된다. 여기서 \dot{m}_1 은 탱크 공급유량, $\dot{m}_{TP,i}$ 는 텀퍼링 밸브에 공급되는 유량이다.

시스템의 주요 설비에 대한 기술 사양은 Table 1에 제시하였다. 동절기 열에너지 부하를 고려하여 집열기 면적은 6 m², 경사각은 동절기 낮은 태양 고도를 반영하여 60°로 설정하였다. 축열탱크는 일일 온수급탕량의 150%에 해당하는 360 Liter 용량으로 가정하였다. 또한 탱크 내부에서 온도 성층화가 충분히 이루어지도록 단수(Node수)를 8로 설정하고 1단의 높이는 15 cm로 하였다.

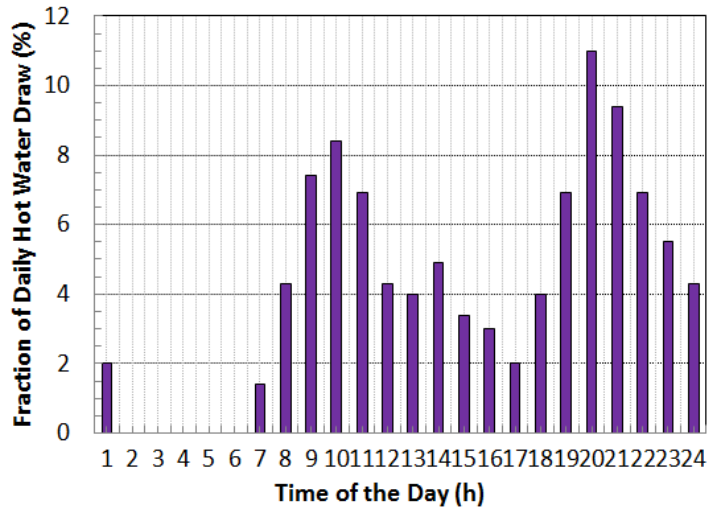


Fig. 2 Daily hot water consumption profile

Table 1 Technical system parameters and operation conditions

Parameters	Type	Contents	Specification
Collector	Type 1b	Type	Flat-plate (2 order)
		Area	6 m ²
		Slope (degree)	30° ~ 60°
		Intercept efficiency (a0)	0.8
		Efficiency slope (a1)	13 kJ/hr.m ² K
		Efficiency curvature (a2)	0.05 kJ/hr.m ² K ²
Storage tank	Type 4e	Capacity (Volume)	0.36 m ³
		Hight / Diameter	1.2 / 0.6 m
		Node	8
Heat exchanger	Type 91	Plate Type	Counter flow
		Efficiency	95%
Controller	Type 1b Collector/Tank	Temp. On / Off	1 / 0
		Δ T	10 / 2°C
Tempering valve	Type 11b Feedwater supply	Tset / fraction Y	70°C / Y

2.2 시뮬레이션 방안 및 조건

(1) 시뮬레이션 방안

시스템의 성능 분석은 Table 1의 기본 사양을 바탕으로 Fig. 1(b)의 TRNSYS Studio 모델의 구동에 의한 시뮬레이션으로 시행되었다. 성능 분석에 필요한 입력 변수로는 기상 조건과 급수온도를 반영한 일일, 계절에 따른 부하패턴 및 부하율, 지역별 기상데이터, 집열기 경사각, 순환유량으로 하였다. 평가는 태양열 의존율, 집열기 효율, 최적 경사각의 관점에서 수행되었다.

집열기 경사각은 30° ~ 70°까지 단계로 10°씩 변경하여 1년에 대한 월평균 값으로 태양열 의존율과 시스템 집열기 효율을 비교하여 최적 경사각을 산출하였다. 또한 시스템의 동절기의 시스템 활용성을 고려하여 집열기 경사각을 60°로 설정하여 국내 6개 도시의 기상 조건과 급수조건에 대한 시스템 성능을 비교 평가를 수행하고, 기상 및 급수온도가 성능에 미치는 영향을 상대적인 관점에서 분석하였다. 이와 더불어 집열기 순환 유량에 따른 성능의 변화와 축열 탱크의 온도 변화를 비교하여 제시하였다.

(2) 일일 온수 급탕 부하

일일 온수 사용량은 1인 60 Liter 4인 기준 240 Liter를 Fig. 2와 같이 시간별 부하로 적용하였으며⁸⁾, 연간 부하율은 계절에 따라 3단계(겨울 12월 ~ 2월, 봄 3월 ~ 5월, 가을 9월 ~ 11월, 여름 6월 ~ 8월)로 구분하여 각각 100%, 75%, 50%로 설정하였다.

(3) 급수 온도

급수온도는 우리나라 기상청에서 제공하는 표준 기상데이터에 근거한 월평균 평년값(1981 ~ 2010, 30년)의 지중온도를 사용하였으며 지역별 지중 1 meter 에서의 온도를 Fig. 3에 나타내었다. 년 중 2월의 지중 온도가 가장 낮은 상태로 서울지역이 3.6°C로 최저이고, 목포와 울산은 각각 7.7°C, 7.5°C로 서울에 비해 약 4°C 높은 상태이다. 반면 8월의 경우 지역별 최대 온도차가 목포와 강릉에서 나타나고 있으며, 1.9°C의 온도차를 보인다. 서울

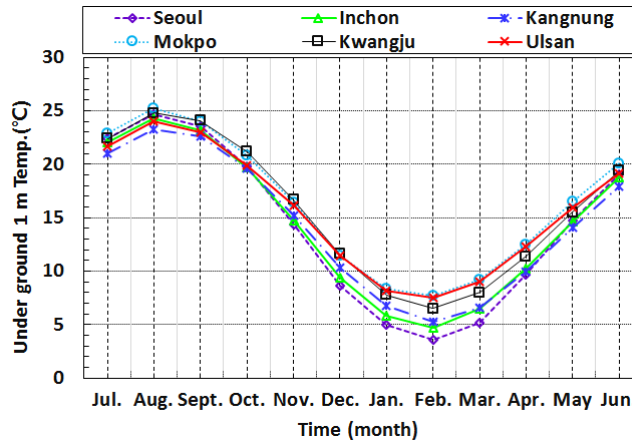


Fig. 3 Monthly temperature of city water

과의 온도차는 2월과 달리 1.4°C로 좁혀지고, 최고와 최저의 지역이 다르게 나타난다. 급수온도는 식(1)에 의해 축열탱크의 부하측 열에너지에 직접적으로 영향을 미친다.

(4) 기상 조건

Fig. 4는 TRNSYS 기상데이터 프로그램에서 제공하는 국내 6개 지역에 대한 일사량의 월평균 평년값 (1971 ~ 2000, 30년)이다⁹⁾. 국내 기상청의 20년간(1991 ~ 2010, 20년) 데이터를 기반으로 한 국내 표준기상데이터와의 비교에서 수평면 일사량은 3% 이내에서 전반적으로 일치하는 것으로 나타나고 있다³⁾. 일사량은 5월이 549.59 MJ/m²로 분석 대상 6개 지역 중 가장 높고 12월은 5월의 50% 이하로 낮아진다. 연간 지역별 일사량을 살펴보면, 광주와 목포가 가장 많으며 서울과 인천이 가장 낮은 상태이다. 11월부터 2월까지의 일사량은 모든 지역에서 12월이 가장 낮은 상태로 4개월 평균은 250 MJ/m²이하이다. 남쪽 3지역의 일사량이 높은 반면 서울, 인천은 같은 기간 항상 낮은 상태를 보인다. 강릉의 경우 12월을 제외한 나머지 3개월 동안 가장 높고, 남쪽과 유사한 일사량 평년값을 보인다.

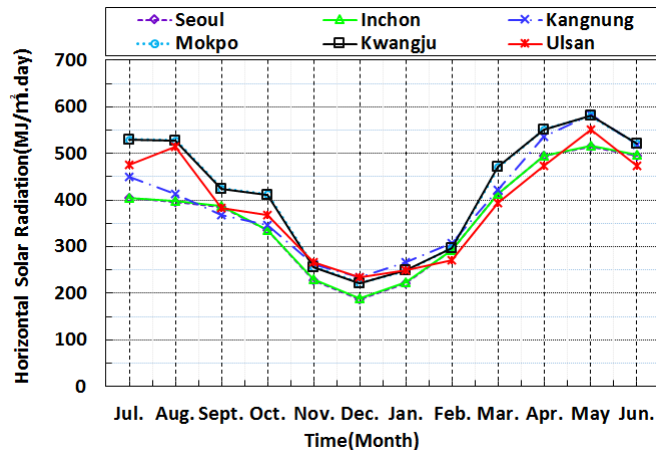


Fig. 4 Horizontal solar radiations for 6 cities

3. 시스템 열정산 배경

시스템에 대한 열성능 계산은 크게 두 부분으로 해석될 수 있다. 첫째는 집열기에서 태양 복사에너지를 열에너지로 전환하는 과정이다. 태양으로부터 집열기에서 획득되는 열량 Q_u 는 집열기에 투사되는 경사면 전 일사량 I_T , 집열기의 열흡수율 $F_R(\tau\alpha)$ 와 손실계수 특성 값 $F_R U_L$, 대기 및 탱크의 온도에 따라 식(1)에 의해 결정된다.

$$Q_u = A_c [I_T F_R(\tau\alpha) - F_R U_L (T_{st} - T_a)] \quad (1)$$

둘째로 축열탱크에서 일일온수급탕에 필요한 열에너지를 공급하는 과정이다. 부하측에서의 소요되는 에너지는 유량 조절 기능의 템퍼링 밸브에 의해 탱크 온도와 급탕 온도에 따라 급수 \dot{m}_L 은 축열 탱크로 $\dot{m}_s = \dot{m}_L \frac{T_L - T_R}{T_{st} - T_R}$ 만큼 유입되고, 나머지 $\dot{m}_R = \dot{m}_L \frac{T_{st} - T_L}{T_{st} - T_R}$ 은 탱크에서 공급되는 높은 온도의 온수와 함께 혼합되어 급탕으로 사용된다.

축열탱크의 온도가 충분히 높은 경우($T_{st} > T_D$) 공급 열량 Q_{Ls} 는 다음 식(2)으로 계산된다. 여기서 T_{st} 는 탱크의 상층부 온도이고 T_R 과 T_L 은 각각 급수의 온도와 급탕 온수의 온도를 나타낸다.

$$Q_{Ls} = \dot{m}_s C_p (T_{st} - T_R) = \dot{m}_L C_p (T_L - T_R) \quad (2)$$

탱크의 상단 온도가 급수온도보다 낮은 경우($T_{st} < T_D$), 보조가열장치에 의해 식(3)에 따라 보조열량 Q_{aux} 이 공급된다.

$$Q_{aux} = \dot{m}_L C_p (T_L - T_{st}) \quad (3)$$

태양열 의존율 F_{sol} 은 시스템에서 설계한 온수급탕을 충족하는데 필요한 전체 열부하 Q_L 에 대한 태양열 시스템에서 실제 공급한 열에너지 Q_{Ls} 의 비로 정의되고, 보조가열장치에 의한 보조열량 Q_{aux} 를 고려하면 다음 식(4)와 같다.

$$F_{sol} = \frac{Q_{Ls}}{Q_L} = 1 - \frac{Q_{aux}}{Q_L} \quad (4)$$

시스템의 집열기 효율 η 는 다음 식(5)와 같이 집열기에 투사되는 전 일사량에 대한 집열기 획득 열량 식(1)과의 비로 나타낼 수 있다.

$$\eta = Q_u / A_c I_T = F_R (\tau \alpha) - F_R U_L (T_{st} - T_a) / I_T \quad (5)$$

4. 시스템 성능 평가

4.1 시스템 최적 경사각 산정

태양열 시스템은 계절에 다른 태양고도의 변화에 의해 집열기 설치 경사각에 따라 성능에 큰 차이가 있어서 시스템의 사용 목적에 따라 집열기의 설치 경사각을 설정 할 필요가 있다. Fig. 5(a)는 집열기 경사각에 따른 시스

템의 연 월평균 태양열 의존율을, Fig. 5(b)는 11월 ~ 2월까지 월평균 태양열 의존율을 나타낸다. 연평균 의존율의 경우 대상지역 모두 집열기가 40° 경사각 부근에서 태양열 의존율은 가장 높고, 경사각이 커짐에 따라 감소하는 것을 알 수 있다. 지역별로 살펴보면 목포, 강릉, 광주 세 지역이 가장 높은 80%의 의존율을 보여주고, 울산은 76.5%, 인천과 서울은 각각 71.8%, 70.7%이다. 최대와 최저를 나타내는 목포와 서울 두지역의 태양열 이용율은 10%의 큰 차이를 나타낸다.

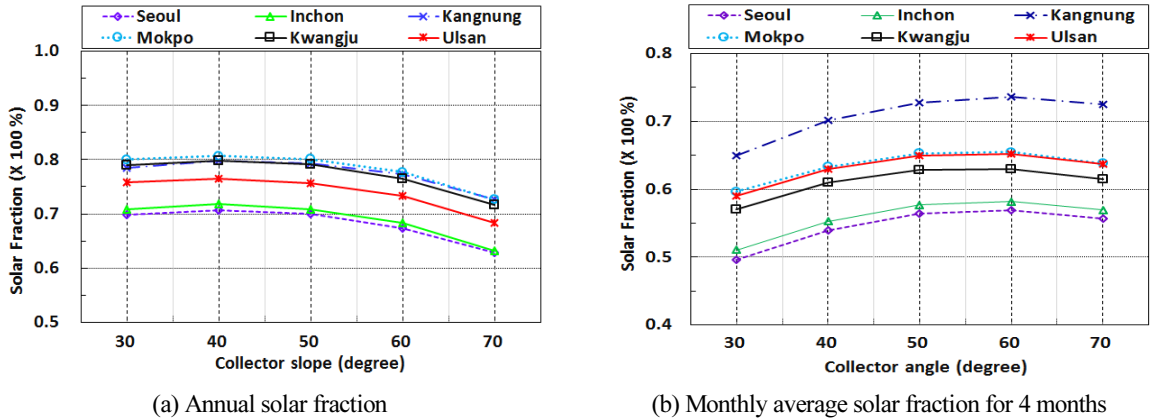


Fig. 5 Solar fraction for different collector slope

반면 동절기 4개월(11월부터 2월)의 태양열 의존율은 55° ~ 60°(최적 경사각 58°) 경사각 영역에서 가장 높게 나타나는 것으로 산출된다. 강릉이 경사각 60°에서 73.6%로 가장 높아 태양열 이용이 매우 효과적인 지역으로 판단된다. 서울은 56.9%로 가장 낮고 두 지역은 16.7%의 차이를 보인다. 동절기 온수급탕 공급이 주된 목적인 시스템을 설계할 경우 집열기의 경사각을 60°로 크게 유지하는 것이 필요한 것으로 판단된다.

4.2 태양열 의존율 및 집열기 효율

(1) 태양열 의존율

지역별 기상조건과 급수온도, 계절에 따른 부하율을 반영한 연 월평균 태양열 의존율을 Fig. 6에 지역별로 비교하여 나타내었다. 집열기의 경사각은 60°이고, 순환 유량은 단위 면적당 20 kg/hr로 일정한 상태로 유지하였다.

1년 기간 중 일사량과 열 부하에 따라 온수급탕 시스템의 태양열 의존율은 8월과 10월에 가장 높은 상태를 보이고, 2월이 전반적으로 낮은 것을 알 수 있다. 특히 열 부하 소요가 큰 겨울철의 경우 서울, 인천, 목포 3개 지역에서는 12월이 가장 낮고, 광주는 1월, 울산은 2월이 가장 낮게 나타났으며 강릉의 경우에는 다른 지역과 다르게 3월이 가장 낮은 것으로 나타났다.

2월에 전체적으로 낮은 것은 적은 일사량과 가장 낮은 지중온도에 의한 결과로 판단되며, 서울과 인천 지역은 일사량에 의한 영향이 급수온도 의한 영향보다 크게 작용하는 것으로 판단된다. 12월 서울과 인천에서의 이용

울은 각각 46.2%, 50.7%이고, 서울이 비교 대상 지역 중 가장 낮으며, 강릉이 가장 높은 73.1%로 전체 비교 대상지역에서 서울과 강릉 두 지역이 가장 큰 27%의 차이를 보이고 있어 동일 기간, 동일한 설비용량의 태양열 설비를 이용하는 경우 지역에 따라 큰 차이가 있음을 알 수 있다.

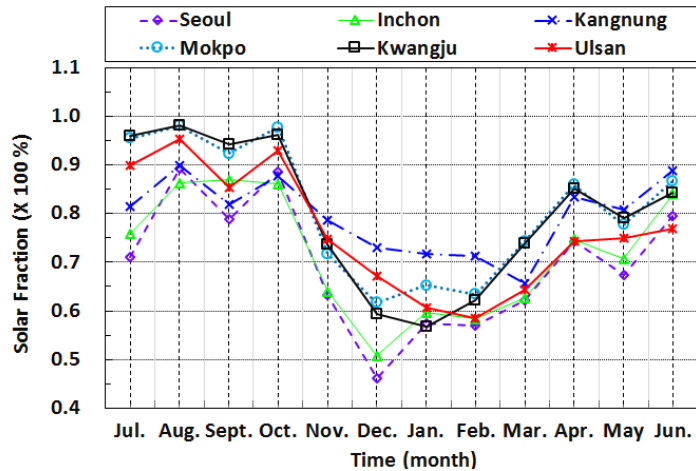


Fig. 6 Monthly solar fraction

(2) 집열기 효율

Fig. 7은 분석대상 6개 도시에 대한 시스템의 집열기 효율을 나타낸다. 집열기 효율은 식(1)에 의하면 외기온도가 태양에너지 획득 열량에 영향을 주어 태양열 의존율과는 다르게 하절기보다 외기온도가 낮은 동절기에 높은 것으로 나타난다. 동절기의 경우 집열기 효율은 평균 40% 정도이고, 지역에 따른 차이는 7% 이내인 것으로 나타났다. 하절기의 경우에도 집열 효율이 35% 정도를 유지하고 있어 태양열 시스템의 우수성을 보여주고 있다. 강릉, 목포, 울산이 전반적으로 높은 집열기 효율을 나타내고, 인천과 서울은 비교적 낮은 것으로 나타난다.

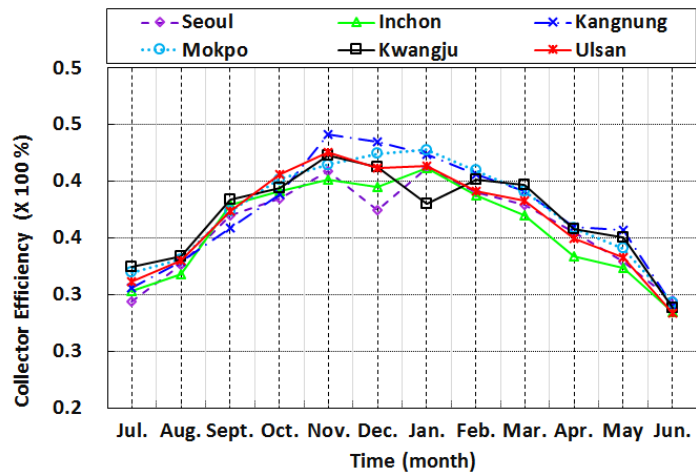


Fig. 7 Monthly collector efficiency for 6 cities

(3) 시스템 성능 비교

Fig. 8에 지역별로 년 월평균 및 동절기 월평균 태양열 의존율과 집열기 효율을 비교하여 나타내었다. 년 월평균 태양열 의존율은 목포, 강릉, 울산이 약 80%에 달하여 매우 높은 성능을 나타내고 있으며 서울은 70%로 인천 73%에 비해 다소 낮게 나타난다. 년 월평균 태양열 의존율은 목포가 가장 높은 반면 동절기 4개월 평균 의존율은 오히려 강릉이 76%로 목포의 65%에 비해 높은 것으로 나타나고 있다. 동절기의 집열 효율은 지역별로 큰 차이가 없이 40% ~ 42% 범위에 있어 시스템 설계에 있어 중요도는 낮은 것으로 판단된다.

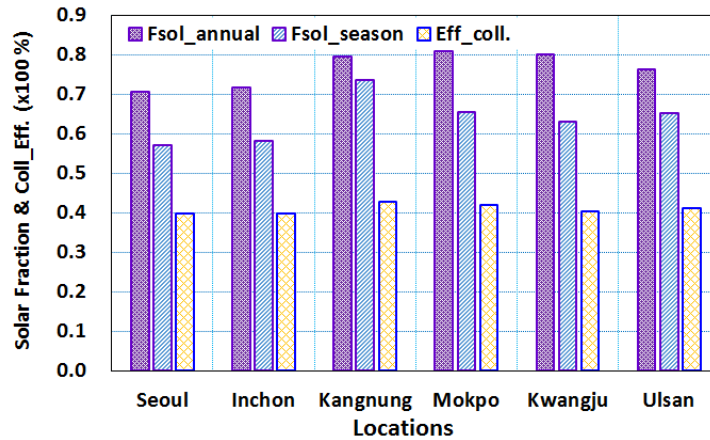


Fig. 8 Solar fraction and collector efficiency

(4) 순환 유량에 따른 태양열 의존율

집열기 순환 유량에 따른 태양열 의존율을 Fig. 9에 비교하였다. 모든 지역이 동일한 경향을 나타내고 있으며, 순환 유량이 감소함에 따라 의존율은 모든 지역에서 동일한 비율로 증가하는 것으로 나타난다.

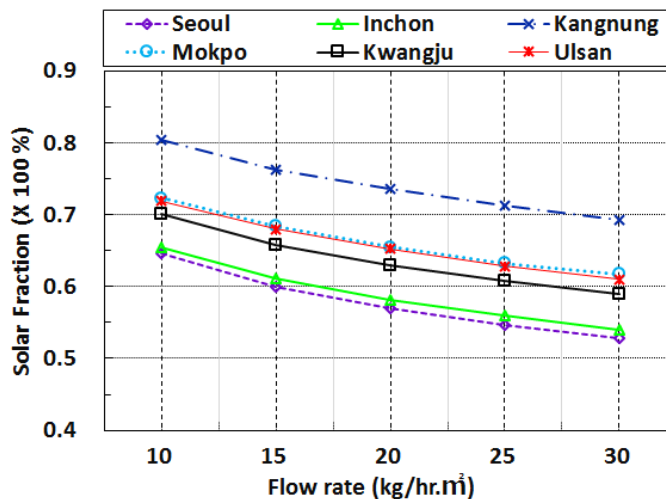


Fig. 9 Monthly solar fraction for different flow rate

이것은 집열기에서 획득되는 열량 식(1)에 적용되어 순환유량이 줄어들 경우 집열기 출구의 온도가 높아져 탱크 상층부의 온도에 영향을 미치고 일정한 급탕 온도를 유지하는 데 필요한 보조의 가열 여부를 정한다. 광주, 울산, 목포지역은 63% ~65% 범위에서 순환유량에 따라 의존율이 근사한 것으로 나타난다. 인천은 서울과 근접한 지역으로 시스템 의존율 또한 큰 차이가 없음을 파악할 수 있다. 강릉의 경우, 태양열 의존율이 집열기 면적당 10 kg/hr의 유량에서 동절기 열에너지부하의 80%를 담당할 수 있고, 가장 낮은 서울 지역에서도 53%의 온수급탕 공급이 가능한 것으로 보인다. 집열기 순환유량이 시스템 성능에 미치는 영향이 매우 큰 것으로 가변형 순환유량 설비와 최소 유량에 따른 설비의 과열에 대한 연구가 필요한 것으로 판단된다.

4.3 기상조건 및 급수온도의 영향 평가

(1) 급수온도의 영향

급수 온도가 시스템 성능에 미치는 영향은 일정한 기상조건하에서 급수온도를 지역별로 적용하여 비교하였다. 기상조건은 일사량이 비교대상 중 가장 낮은 서울을 기준으로 하고, 급수는 Fig. 3의 지역별 지중 온도를 적용하였다. 지역별 태양열 의존율을 상대적으로 비교할 수 있도록 Fig. 10에 비교하여 나타내었다.

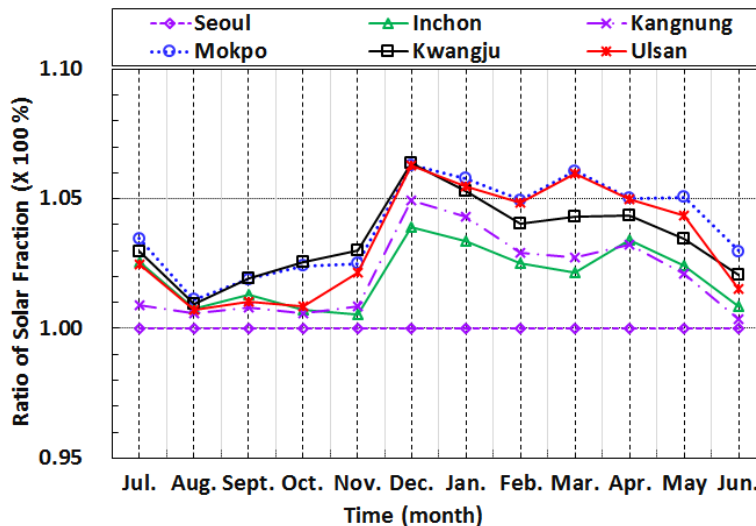


Fig. 10 Ratio of solar fraction for different feedwater temperatures

11월부터 지중 온도의 영향으로 각 지역별 의존율은 큰 차이를 보이며 5월까지 이어지고 있다. 월평균 지중 온도는 2월이 가장 낮지만 지역별 일사량 차이가 커서 12월에 태양열 의존율이 큰 차이를 보이는 것으로 판단된다. 광주, 울산, 목포 지역의 경우 태양열 의존율은 급수온도에 의해 서울 지역에 비해 약 6% 높게 나타나고 있으며 강릉은 5%, 인천의 경우에도 4%가 높은 상태이다. 반면 급수온도가 높은 8월에는 지역별 온도차가 작아서 급수 온도가 의존율에 미치는 영향은 제한적인 것으로 판단된다.

(2) 기상자료의 영향

기상자료가 시스템 성능에 미치는 영향은 급수온도를 일정한 상태로 유지하고 지역별 기상조건을 적용하여 산출한 결과를 Fig. 11에 제시하였다. 서울을 기준으로 대상 지역의 태양열 의존율의 비로 나타내었다.

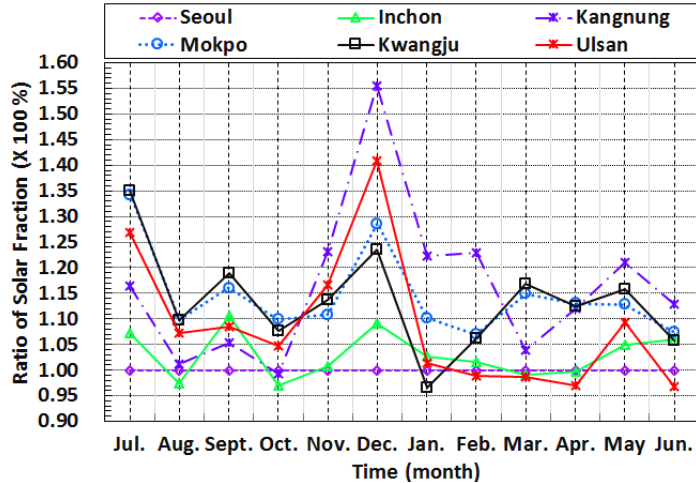


Fig. 11 Ratio of solar fraction for different weather conditions

태양열 의존율은 12월에 지역별로 가장 큰 차이가 있다. 서울에 비해 강릉, 울산, 목포, 광주, 인천의 태양열 의존율은 각각 55%, 41%, 29%, 24%, 9% 높은 상태이다. 1월과 2월의 경우 강릉과 목포지역이 서울에 비해 각각 22%, 10% 높은 것으로 나타나지만 다른 지역에서는 큰 차이를 보이지 않거나 오히려 낮은 의존율을 나타낸다. 특히 울산의 경우 기상조건에 의해 의존율이 급격히 낮아지고 있음을 알 수 있다. 강릉과 목포가 다른 지역에 비해 동절기에 효율적으로 높은 상태를 유지하고, 울산의 경우 11월과 12월에는 높으나 1월 이후 급격히 낮아짐을 알 수 있다.

(3) 시스템의 온도 분포

분석 대상 6개 지역에서 대표적으로 서울과 강릉을 대상으로 1월 20일 부터 30일까지 집열기 출구부와 축열 탱크의 상, 하단부 온도 분포를 비교하여 Fig. 12(a)와 (b)에 나타내었다.

Fig. 12(b) 강릉의 경우 분석 기간 태양열 에너지가 지속적으로 축열되어 탱크의 상단 온도가 매우 안정적인 상태를 유지하고 있어 급탕 설정온도를 충족하는 것으로 보인다. 반면 Fig. 12(a) 서울은 5일간의 축열로 탱크 상단온도가 급수온도 이하로 낮아져 보조 가열이 4회가 이루어지는 것으로 나타났다. 이와 같이 동일 기간에 있어 지역에 따른 기상 조건의 차이로 인하여 축열 탱크에서의 온도차가 크게 차이가 있으며 태양열 의존율에 직접적인 영향을 미치는 것을 확인할 수 있다.

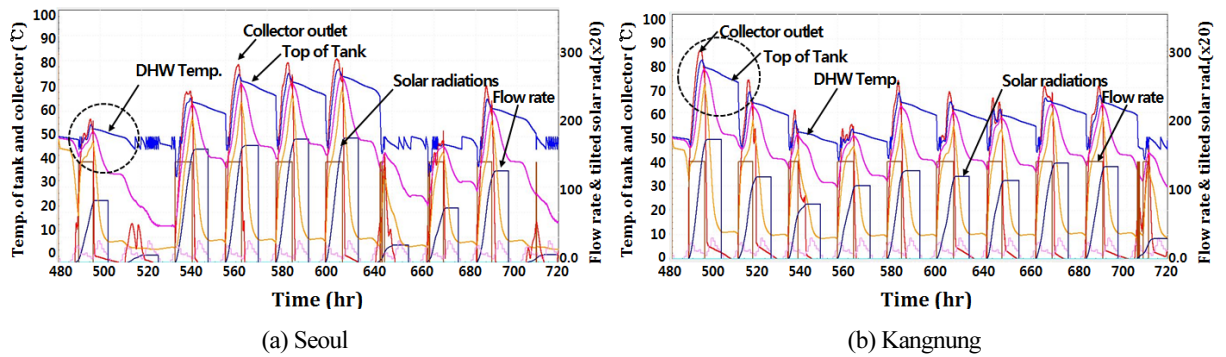


Fig. 12 Temperature of collector and storage tank in Seoul and Kangnung

5. 결론

본 논문에서는 지역별 기상조건과 급수온도에 따른 태양열 온수공급 시스템의 성능을 태양열 의존율과 시스템의 집열기 효율, 최적 경사각의 관점에서 국내 6개 도시를 정량적으로 비교 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

- (1) 시스템의 태양열 의존율은 동일한 시간에 있어 지역에 따른 기상조건과 급수온도 차이로 인하여 지역별로 큰 차이가 있다. 지역별로 최대 50% 이상의 성능 차이를 보이고 있어 동일한 열 부하를 감당하기 위해서는 시스템 용량 설계에 있어 지역에 따른 성능차이가 반영되어야 할 것으로 판단된다. 1년 중 12월 태양열 의존율은 가장 낮은 상태로 태양열 의존율은 서울이 46%, 강릉은 73%에 달한다.
- (2) 연평균 태양열 의존율은 집열기 설치 경사각이 40° 영역에서 가장 높게 나타나고 있으며, 동절기 4개월의 최적 경사각은 60° 영역에 있다. 따라서 태양열 시스템의 활용성을 고려하면 경사각을 크게 선정하여 동절기 태양열 의존율을 높이는 것이 바람직한 것으로 판단된다. 연평균 태양열 의존율은 서울이 70.7%로 가장 낮고, 목포가 80.7%로 가장 높고, 동절기 4개월의 태양열 의존율은 강릉이 73.6%로 가장 높고, 서울이 56.9%로 가장 낮아 두 지역의 의존율에 16.7% 큰 차이가 있는 것을 알 수 있다.
- (3) 시스템의 집열기 효율은 비교대상 전 지역에 있어 40% ~ 42%의 범위 내에 있어 지역간 상대적으로 큰 차이가 없는 것으로 평가된다.
- (4) 지역에 따른 기상조건이 성능에 미치는 결과는 매우 큰 것을 알 수 있다. 동일한 설비의 경우 서울지역에 비해 강릉의 의존율은 55% 높고, 인근 지역인 인천도 약 9%가 높은 것으로 나타난다. 반면 급수온도만의 차이로 인한 결과는 최대 6% 차이가 있는 것으로 나타난다. 서울을 기준으로 광주, 울산, 목포 지역은 6%, 강릉 5%, 인천의 경우에도 4%의 높게 나타나고 있다.
- (5) 1월 20일부터 30일까지 10일 동안 서울과 강릉의 운전 결과의 비교에서 축열탱크 상단부 온도가 서울에서는 설정온도 50°C보다 낮은 일수가 발생하여 보조 열량 공급이 4회 이루어진 반면 강릉은 태양열 공급에 의하여 탱크의 온도가 급탕 온도를 충족하는 것으로 분석되었다.

REFERENCES

1. Jo, D. K. and Kang, Y. H., Analysis of Maximum Solar Radition on Inclined Surfaces for the Installation of Solar Thermal Systems in Korea Using the Optimum Installation Angle, *Journal of the Korean Solar Energy Society*, Vol. 29, No. 2, pp. 47-54, 2009.
2. Lo, M. J. and Kim, Y. S., Applicability Estimation of Solar Water Heater According to Solar Radiation and Water Supply Temperature in Korea, *J. Korean Soc. Living Environ. Sys*, Vol. 24, No. 5, pp. 579-587, 2017.
3. Lee, H. J., Kim, S. Y., and Yun, C. Y., Generation of Typical Meteorological Year Data Suitable for Solar Energy Systems and Analysis of Solar Irradiance Data, *New \$ Renewable Energy*, Vol. 13, No. 3, pp. 24-33, 2017.
4. Shin, U. C., Yoon, J. H., Baek, N. C., and Kwak, H. Y., Thermal Performance Analysis for Optimal Operation of Solar Hot Water System, *Journal of the Korean Solar Energy Society*, Vol. 31, No. 2, pp. 143-147, 2011.
5. Park, B. D., Kim, G. D., Kim, K. H., Dynamic Performance Analysis of Flate Solar Collector System According to Weather Conditions and Capacity of Heat Storage Tank, *Journal of the Korean Solar Energy Society*, Vol. 34, No. 6, pp. 57-65, 2014.
6. Lee, K. H., Joo, H. J., Yoon, E. S., and Kwak, H. Y., An Experimental Study on Daily Efficiency of Solar Collector with Heating Loads of Solar Water Heating System, *Journal of the Korean Solar Energy Society*, Vol. 32, No. 2, pp. 19-27, 2012.
7. Ko, M. J., Lim, B. M., and Kim, Y. S., Analysis on the Energy Performance of Solar Water Heating System According to the Configuration of Flat Plate Collectors, *Journal of the Korean Solar Energy Society*, Vol. 36, No. 4, pp. 49-56, 2016.
8. Duffie, J. A. and Beckman, W. A., *Solar Engineering of Thermal Process*, Second ed., Wiley, New York, pp. 686-732, 1991.
9. Klein, S. A., Dufflie, J. A., Mitchell, J. C., Kummer, J. P., Thrnton, J. W., and TRNSYS, A., *Transient Simulation Program User'S Manual*, University of Wisconsin, Madison, 2000.