

## 태양열 온수급탕 시스템의 TRNSYS 열성능 분석

손진국\*

\*한라대학교 기계자동차공학부(jgsohn@halla.ac.kr)

## Performance Analysis of Solar Heating System for High Solar Fraction using TRNSYS

Sohn, Jin-Gug\*

\*Dept. of Mechanical &amp; Automotive Eng., Halla University(jgsohn@halla.ac.kr)

## Abstract

In this paper, performances of solar hot water supply systems are parametrically analyzed with the variations of solar collector area, slope of collector and volume of storage. All simulations are conducted by using TRNSYS computer program. Average solar fractions, collector efficiencies and temperatures of storage are investigated monthly as well as annually. For system analysis, the maximum value of monthly average solar fractions has a limitation of 90 percent.

As a result, the designed solar thermal system with 6m<sup>2</sup> collector area, 50° slope and 0.36m<sup>3</sup> storage volume could provide almost an annual average solar fraction of 72 percent. By increasing the storage volume to 0.42m<sup>3</sup>, the annual solar fraction of system increases up to 73 percent.

Keywords : 태양열 온수급탕 시스템(Solar Heating System), 태양열 의존율(Solar Fraction), 트랜시스(TRNSYS), 태양열 축열(Solar Storage)

## 기 호 설 명

$A_c$	: 집열기 면적(m <sup>2</sup> )	$F_R U_L$	: 집열기 열손실 계수(kJ/hr.m <sup>2</sup> .°C)
$\dot{m}$	: 질량유량(kg/hr)	$I_T$	: 집열 면적당 전일사량(kJ/hr.m <sup>2</sup> )
$f_{M \text{ or } Y}$	: 월 또는 연평균 태양열의존율(%)	$T_{in}$	: 집열기 입구 온도(°C)
$\eta$	: 집열기 효율	$T_{out}$	: 집열기 출구 온도(°C)
$F_R(\tau\alpha)$	: 집열기 투과 흡수율(kJ/hr.m <sup>2</sup> .°C)	$T_{amb}$	: 외기 온도(°C)

Submit date : 2012. 2. 22, Judgment date : 2012. 3. 4, Publication decide date : 2012. 6. 11

Communication author : Sohn, Jin-Gug(jgsohn@halla.ac.kr)

- $Q_{Load}$  : 열부하(kJ/hr)
- $Q_{Aux.}$  : 보조히터열량(kJ/hr)
- $Q_{used,act}$  : 태양열시스템공급열량(kJ/hr)

## 1. 서 론

고유가 시대, 에너지 자원이 부족한 우리나라는 전체 소비 에너지의 97%를 수입에 의존하고 있는 실정이다. 태양열에너지는 기존의 화석연료와 달리 태양으로부터 지구에 도달되는 복사에너지를 직접 열에너지로 변환시켜 이용하기 때문에 지구온난화의 주요인으로 지적되고 있는 이산화탄소뿐만 아니라 환경오염을 유발시키는 어떠한 공해가스의 배출도 없다.

이러한 무공해이면서 무한정한 에너지자원인 태양열에너지는 가정용 온수 공급으로부터 냉·난방 및 산업공정에 이르기까지 다양한 사용이 가능하다. 특히 가정용 온수 공급을 위한 태양열 온수급탕 시스템은 설비가 비교적 단순하고, 60 °C 이하의 저온 영역에서 사용되므로 설계와 제작 그리고 설치가 간단하여 기술적 접근이 용이하고, 경제성 또한 높은 수준에 이르고 있다.

태양열 에너지를 보다 효율적으로 이용하기 위하여 윤 등<sup>1)</sup>은 공동주택의 열부하 및 탄소배출량 저감을 위한 태양열 시스템의 최적 적용방안에서 집열기 유형 및 적용위치에 따라 적정한 태양열 시스템 규모를 산정하였으며, 최 등<sup>2)</sup>은 시스템의 실증실험 및 분석 결과를 바탕으로 집열기 설치 방위 및 경사각 등 시스템의 열성능을 시뮬레이션을 통하여 분석하였다. 또한 곽 등<sup>3)</sup>은 시스템의 제어 조건에 따른 열성능 실험을 통하여 시스템의 최적 제어조건을 분석하였으며 조 등<sup>4)</sup>은 우리나라 각 지역의 시스템 최적 설치각 산출을 통한 최대 경사면 일사량 분석 등 다양한 연구들이 진행되어 왔다.

태양열 온수급탕 시스템은 일반적으로 부

하가 적은 하절기에 있어 설비의 과열과 가동율 저하에 의한 비경제성 등을 고려하여 연평균 태양열 의존율이 60% 범위 이내에서 설계되도록 권장하고 있다. 이와 같이 연평균 태양열 의존율이 제한되는 경우 태양열 시스템은 열부하 수요가 많은 동절기에 집열기에서 획득되는 열량이 최대가 되도록 설계되어야 한다.

이를 위해서는 연평균 태양열 의존율과 더불어 계절에 따른 월별 태양열 의존율에 대한 상세한 분석이 필요하고, 이것은 태양열 설비의 열성능 분석에 가장 기본이 되는 태양열 집열기 면적, 축열조 용량, 집열기 설치 경사각을 변수로 하는 기술적 분석이 수반되어야 한다. 특히 설비의 과잉과 과열을 고려하여 하절기에서의 의존율을 90%로 제한할 때 동절기 열에너지공급이 최대로 이루어지기 위해서는 앞서 언급한 3 가지 변수의 상호 정량적 관계와 과열에 대비한 축열조내의 온도분포에 대한 분석이 매우 중요하다 하겠다.

따라서 본 논문에서는 태양열 이용 증대 방안의 일환으로 월평균 태양열 의존율을 90%로 최대 설계 허용 범위로 설정하고 집열기 면적, 설치 경사각, 축열조 용량이 태양열 의존율과 집열기 효율 그리고 축열조의 온도 변화에 미치는 영향을 TRNSYS<sup>5)</sup> 프로그램을 이용하여 상세히 분석하고, 태양열 의존율이 높은 영역에 대한 열성능 자료를 제시하고자 한다.

## 2. 시스템 및 시뮬레이션

### 2.1 TRNSYS Studio

TRNSYS(Transient System Simulation)는 1975년 미국 Wisconsin-Madison대학에서 태양열 시스템의 설계와 동적 시뮬레이션을 목적으로 개발하여 보급하기 시작한 상용 프로그램으로서 현재 그 신뢰성이 입증된 상태로 Version 17에 이르렀다.

프로그램의 시작은 Simulation Studio의 구동으로부터 이루어진다. 사용자의 목적에 따라 시스템은 프로그램에서 Type 번호 형식으로 제공되는 집열기, 펌프, 축열조 등과 같은 다양한 컴포넌트(Components)를 마치 전기 회로와 같이 연결하여 완성한다. 각각의 컴포넌트는 설비의 기본 사양에 해당하는 초기 매개변수(Parameter)값이 지정되고, 입력 값과 출력 값이 있어 상호 관련 있는 컴포넌트가 전. 후로 연결되어 앞쪽의 컴포넌트 출력 값은 다음 컴포넌트의 입력 값으로 이용되며, 그 출력 값은 다시 다음에 위치하는 컴포넌트의 입력 값으로 사용되는 방식이다.

## 2.2 시스템 구성 및 운전

Fig. 1은 본 연구의 태양열 온수급탕 시스템의 열성능 분석을 위한 시스템 구성을 보여주는 TRNSYS 16.1 Studio 화면이다.

이 시스템은 열교환기를 중심으로 집열기-열교환기-펌프1의 1차 유동부, 열교환기-축열조-펌프2의 2차 순환 개방식 축열부, 열 부하 공급에 필요한 급수 조절밸브 및 보조가열기, 그리고 운전을 위한 차온 제어기로 구성되었다. 1차 순환유체는 혼합액(물-프로필렌 글리콜 40%)이 사용되었다.

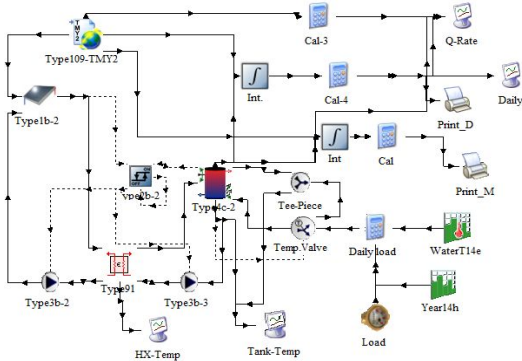


Fig. 1 Schematic of the system for TRNSYS simulation

주요 시스템의 기본 사양과 시뮬레이션 범위는 Table. 1에 나타내었다. 집열기는 경제

성과 효율성을 고려하여 저온 영역에서 효율이 높은 평판형으로 선정하고 축열조는 용량에 따라 형상이 일정하도록 높이와 직경의 비를 1.6으로 유지하였다. 또한 온도 성층화가 이루어지도록 Node수는 6으로 설정하였다. 운전은 집열기 출구부와 축열조 하단의 온도차에 의한 열교환기를 중심으로 펌프1과 펌프2가 10°C ON되고 2°C OFF되는 차온 제어 방식을 적용하였다.

Table. 1 Design parameters of the solar heating system

Parameter		Specification
Collector	Type	Flat-plate
	Area	2m <sup>2</sup> ~10m <sup>2</sup>
	Slope	10°~70°
	$F_R(\tau\alpha)$	0.75
	$F_R U_L$	18 kJ/hrm <sup>2</sup> °C
Pump	Mass flow	30 kg/hr.m <sup>3</sup>
Storage Tank	Capacity	0.12m <sup>3</sup> ~0.60m <sup>3</sup>
	Height/Diameter	1.6
	Set. Temp.	55°C
Heat Exchanger	Type	Counter flow
	Efficiency	0.95
Controller	$\Delta T_{ON/OFF}$	10 °C/ 2 °C

## 2.3 시뮬레이션 조건

시스템 구성에 따른 시스템 운전조건과 더불어 시뮬레이션을 위한 외부조건으로 소요 열 부하, 일일 부하패턴, 연간 부하율, 급수온도, 기상자료는 시스템의 기본 설계와 시스템 분석에 영향을 미치는 매우 중요한 요소들이다.

태양열 온수급탕 시스템의 설비 용량을 결정하는데 있어 가장 기초적인 자료는 무엇보다 부하에 대한 정확한 자료가 요구된다. 그러나 이에 대한 자료의 연구가 충분치 못한 관계로 Fig. 2의 시간별 급탕부하 비율<sup>6)</sup>에 따라 부하가 공급되는 것으로 하였다.

또한 일일 온수 급탕량은 1인 65 Liter의 온수를 사용하는 것으로 4인 가족을 기준으로 전체 260 Liter가 사용되는 것으로 가정하고, 연간 부하율은 동절기(11월-3월), 중간기, 하

절기(6월-8월)로 구분하여 동절기는 100%, 중간기와 하절기는 각각 75%, 50%의 부하율을 적용하였다.

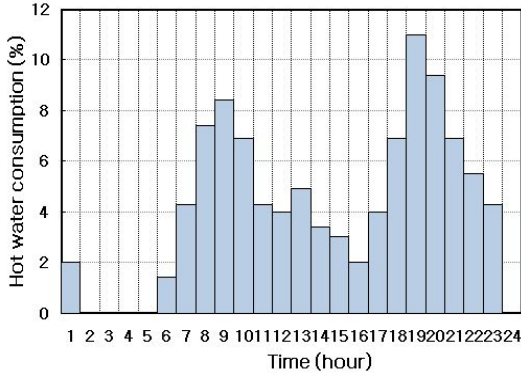


Fig. 2 Daily hot water consumption profile

일일, 연간 부하율과 더불어 열부하량에 직접적으로 영향을 미치는 축열조의 급수 온도는 Fig. 3의 기상청 자료<sup>7)</sup>에 근거한 서울지역의 지중 1m 온도의 평년값과 동일한 것으로 하였다.

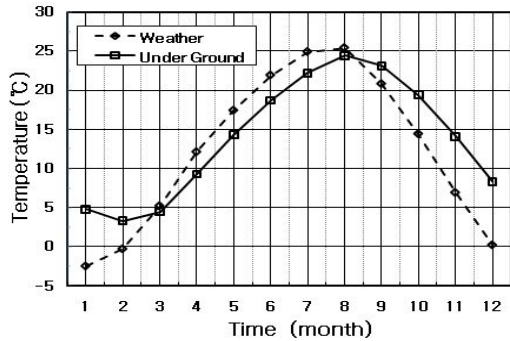


Fig. 3 Monthly temperature of weather and under ground of 1m (seoul, 30 years mean data)

서울의 기상자료는 프로그램에서 제공되는 TMY2의 표준기상자료를 전제로 사용하였다. 본 논문에 나타내지는 않았지만 TMY2의 월평균 전일사량과 기상청 자료에 의한 평균 일사량 월평년값(MJ/m<sup>2</sup>)은 일치하는 것으로 확인되었다.

### 3. 분석 및 결과

태양열 시스템의 열성능은 태양열 의존율과 집열기 효율로 비교 평가될 수 있다. 여기서 집열기 효율은 태양으로부터 집열기에 투사되는 단위면적당 전일사량[kJ/hr.m<sup>2</sup>]을 얼마나 많은 열에너지로 변환시킬 수 있는가를 나타내는 것으로 식(1)에 의한 집열기 열흡수율  $F_R(\tau\alpha)$ 과 손실계수( $F_R U_L$ )에 의한 요소기술 수준과 집열기 경사면 일사량에 의해 결정된다.

$$\eta = Q_u / (A_c I_T) = \dot{m} C_p (T_{out} - T_{in}) / (A_c I_T) = F_R(\tau\alpha) - F_R U_L (T_{in} - T_{amb}) / I_T \quad (1)$$

또한 식에 나타난 바와 같이 집열기 효율은 대기 온도( $T_{amb}$ )에 의해 열손실 부분이 결정되는 관계로 계절에 따른 외기온도에 영향을 받는다. 한편 태양열 의존율(Fraction of solar energy)은 온수급탕 또는 냉, 난방에 소요되는 열부하에 대해서 태양열 시스템이 담당하는 열에너지의 비로 정의되어 식(2)와 같이 표현된다. 즉 필요한 부하 중 태양열 시스템으로 얼마나 많은 양의 에너지를 공급할 것인가 하는 것으로 설비의 크기에 의해서 결정되는 선택적 사항이다.

$$f = Q_{used, act} / Q_{Load} = (Q_{Load} - Q_{Aux.}) / Q_{Load} = 1 - Q_{Aux.} / Q_{Load} \quad (2)$$

따라서 태양열 의존율은 설비 각각의 성능을 나타내기보다 전체 시스템 차원에서 부하에 대한 설비의 열용량을 나타내는 지표이므로 집열기 효율보다 활용성이 높다고 할 수 있다. 이러한 관점에서 본 논문에서는 시뮬레이션 결과를 태양열 의존율을 중심으로 집열기 효율과 축열조의 온도 분포를 비교하여 분석하였다.

### 3.1 태양열 의존율

Fig. 4는 집열기 면적과 설치 경사각에 따른 연평균 태양열 의존율의 분석 결과이다. Table. 1의 설비의 기본 사양에 근거하여 각각의 집열 면적에 따른 축열조 용량과 펌프 순환 유량이 반영되었다. 즉 집열기의 단위 면적에 대하여 축열조 용량과 순환 유량은 각각 60 Liter와 30 kg/hr으로 하였다.

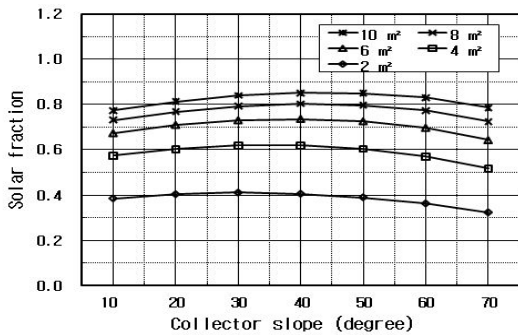


Fig. 4 Annual solar fraction for different collector areas and slope

경사각 40°를 기준으로 집열기 면적을 2m<sup>2</sup> 증가시킬 때 연평균 태양열 의존율은 21%, 11%, 6.8%, 4.8%가 상승하는 것으로 나타난다. 이 경사각 40°보다 큰 경사각의 경우 증가폭은 다소 크고, 작은 경사각에서는 증가폭이 다소 감소하는 것으로 나타났다.

연평균 태양열 의존율의 최고점은 집열기 면적이 증가할수록 경사각이 큰 방향으로 이동하는 것을 알 수 있다. 이것은 부하 대비 열 손실이 상대적으로 감소에 의한 것으로 판단된다. 집열기 설치 경사각이 연평균 의존율에 미치는 영향은 집열기 면적이 동일한 경우 크지 않은 것으로 판단된다. 태양열 의존율은 최고점을 나타내는 경사각을 기준으로 전, 후 15° 범위 내에서 2%정도의 차이를 보이고 있다.

집열기 면적이 6m<sup>2</sup>의 경우 경사각 20°~55° 범위 내에서 연평균 70% 이상의 태양열 의존율을 나타내고, 경사각 30°와 50°에서의 연평

균 태양열 의존율은 각각 72.5%와 72.9%로 매우 유사한 값을 나타낸다. 그러나 월별 의존율에 있어서는 그림 5에 나타난 바와 같이 그 영향이 크게 나타날 수 있어 집열기의 경사각은 사용 목적에 따른 선택이 요구된다. 8 m<sup>2</sup>인 경우 경사각의 모든 구간에서 최저 72%에서 최고 80%에 이르기까지 매우 높은 연평균 의존율을 나타내고 있다.

월평균 의존율을 살펴보면 경사각 10°~30°에서는 6월에 99%의 의존율을 보이고, 90%가 넘는 기간이 무려 연간 6개월 이상 존재하여 부하에 비해 집열기를 포함한 시스템 설비가 과도한 것으로 과열방지를 위한 기술적 대안이 필요할 것으로 판단된다.

Fig. 4의 결과는 시뮬레이션 과정에 배관, 축열조 등 실제 설비에서 발생하는 제반 손실 부분이 반영되지 않았지만 시스템 용량 설계의 기본 자료로 활용이 가능할 것으로 보인다.

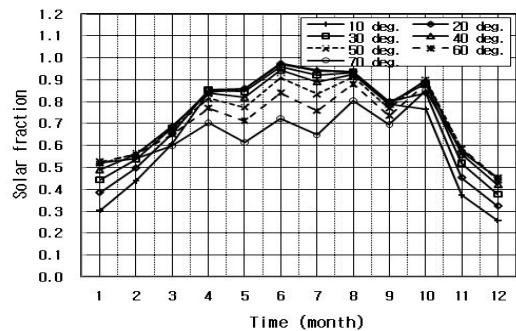


Fig. 5 Monthly solar fraction for different collector slope (collector area 6m<sup>2</sup>)

Fig. 5는 집열기 면적이 6m<sup>2</sup>인 경우 집열기 설치 경사각에 따른 월평균 태양열 의존율을 나타내고 있다. 태양열 의존율이 경사각에 따라 월별로 많은 차이가 있음을 알 수 있다.

경사각이 비교적 작은 20° 이하의 경우 태양열 의존율은 기상청 자료의 서울지역 평균 일사량 평년값과 매우 유사한 것으로 보이나 여기에서는 계절에 따른 열부하가 반영된 결과라 할 수 있다. 따라서 그림에 나타난 바와

같이 봄철의 4월과 5월의 월평균 의존율은 동일한 85%를 유지하고, 가을인 9월과 10월의 월평균 의존율은 경사각이 작은 10°의 경우 낮아지고 있다. 20° 이상에서는 10월의 일조합(hr)이 9월에 비해 매우 큰 관계로 증가하고 있다.

한편 경사각이 더욱 커진 50° 보다 커지는 경우 5월과 9월의 태양열 의존율은 각각 4월과 10월의 태양열 의존율에 비해 뚜렷이 작은 것으로 나타나고 있다. 이것은 결국 계절에 의한 태양 고도에 따라 집열기 경사각에 의한 집열량이 영향을 받아 의존율의 변화로 나타나는 결과로 해석된다. 7월의 경우 장마에 의하여 일조합이 매우 낮은 상태로 월별 일사량에 비해 상대적으로 낮은 의존율을 나타내는 것으로 파악된다.

한편 설비의 과열 문제를 고려하여 월평균 의존율을 90% 이내로 설계범위로 설정할 경우 경사각 50° 이상의 경우에 월평균 태양열 의존율이 하절기의 6월과 8월에도 90% 이하를 유지할 수 있는 것으로 나타났다. 이 보다 적은 10°~40°의 경사각에서는 하절기에 있어 의존율이 90%를 초과하는 것으로 나타나고 있다.

따라서 경사각을 크게 함으로써 하절기의 의존율은 감소시키고 난방과 온수급탕과 같이 열부하 소요가 많은 12월과 1월의 동절기에 태양열 의존율을 높게 하여 전체적인 차원에서 태양열 이용율이 향상되도록 설계가 가능하다.

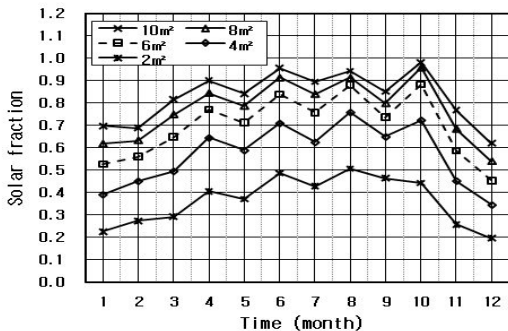


Fig. 6 Monthly solar fraction for different collector area (collector slope 60°)

Fig. 5에 의하면 경사각 50°, 집열기 면적 6 m<sup>2</sup>의 경우 월평균 의존율이 90%에 이르고 있어 동일한 경사각에서 집열기 면적이 커지면 설계허용 범위로 설정한 월평균 의존율 90%를 크게 초과할 것으로 예상된다.

따라서 Fig. 6은 Fig. 4의 집열기 경사각 60°에서 집열기 면적에 따른 연평균 태양열 의존율 36%, 57%, 70%, 77%, 83%를 나타내는 지점의 월평균 태양열 의존율을 분석하기 위한 시뮬레이션 결과이다.

그림에 나타난 바와 같이 경사각이 60°로 큰 경우 집열기 면적이 증가할 때 동절기의 의존율이 하절기에 비해 상대적으로 우수하여 집열량의 대부분을 유효에너지로 사용할 수 있을 것으로 보인다. 10월의 경우 의존율이 더욱 높아지는 것은 9월에 비해 일조합이 크게 증가한 결과로 해석된다.

집열기 면적이 커진 8m<sup>2</sup>인 경우 하절기 6월과 8월의 태양열 의존율이 설계범위로 설정한 90%의 상한값을 넘는 91%를 나타낸다. 특히 10월에 집열기 면적의 증가에 따라 의존율이 큰 폭으로 증가하여 96%에 이르는 것으로 계절 특성상 일조합(hr)의 평년값이 큰 결과로 볼 수 있다. 따라서 집열기 면적 6m<sup>2</sup>의 경우 50°가 설계 허용 경사각의 상한 영역에 있고 집열기 면적이 커지는 경우는 경사각을 크게 하여도 월평균 의존율에서 상한 범위를 넘어서는 것으로 나타나고 있다.

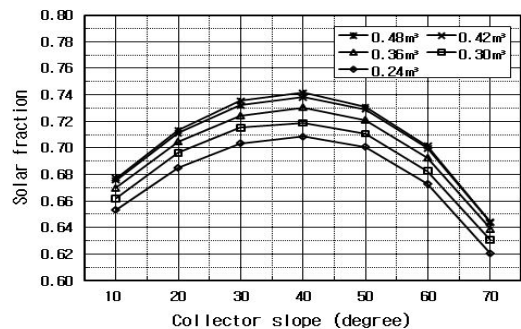


Fig. 7 Annual solar fraction for different collector slope and for capacity of storage tank (collector area 6m<sup>2</sup>)

Fig. 7은 집열기 면적을  $6\text{m}^2$ 로 일정하게 유지하고 축열조 용량의 변화에 따른 연평균 태양열 의존율을 경사각에 따라 분석한 결과이다. 경사각이 동일한 경우 축열조 용량이 증가되면 연평균 태양열 의존율이 증가하지만 축열조 용량이  $0.42\text{m}^3$  이상에서는 의존율의 증가가 급격히 감소하는 것으로 나타난다. 이것은 축열조 용량이 집열기 면적에 비해 상대적으로 커짐으로 인하여 축열조의 온도를 일정 온도 이상 유지하기 위해서는 오히려 보조 열원이 증가하기 때문인 것으로 파악된다.

그림에 나타난 바와 같이 경사각과 축열조 용량이 각각  $40^\circ$ - $0.36\text{m}^3$ 과  $50^\circ$ - $0.42\text{m}^3$ 인 두 지점은 태양열 의존율이 73%로 동일한 수준이지만 월평균 일사량을 살펴보면 6월의 경우 각각 93.5%와 91.5%를 나타내고, 8월의 경우에는 92.2%와 91.1%로 동일한 경사각에서 축열조 용량이 증가하면 의존율이 증가하게 되지만 경사각의 증가로 월평균 태양열 의존율이 감소하는 결과로 하절기에서의 태양열 의존율은 낮아지고, 반면 동절기에는 상대적으로 증가 효과가 있게 된다. 따라서 태양열 의존율이 동일한 상태를 유지하는 범위에서 축열조 용량을 크게 하기 위해서는 경사각이 큰 방향으로 이동이 가능하고, 이 경우 축열조 온도를 낮출 수 있으며 하절기 의존율을 낮추고 동절기 의존율을 향상시킬 수 있는 효과를 기대할 수 있다.

### 3.2 집열기 효율

태양열 시스템에 있어 가장 핵심적인 설비인 집열기는 시스템 전체의 성능을 결정하는 중요한 요소라 할 수 있다.

Fig. 8은 식(1)에 근거하여 집열기 면적과 경사각에 따른 연평균 집열기 효율을 분석한 결과이다. 동일한 경사각에 대하여 집열기 면적이 증가하는 경우 그림에 나타난 바와 같이 집열기 효율은 연평균 태양열 의존율과 반대로 감소한다. 반면 면적이 동일한 경우 경사

각이 커질수록 의존율은 증가폭이 크지는 않지만 점진적으로 증가한다. 면적이  $6\text{m}^2$ 인 집열기 효율은 경사각  $50^\circ$ 와  $60^\circ$ 에서 모두 32.5%로 최고치를 나타내고 있다.

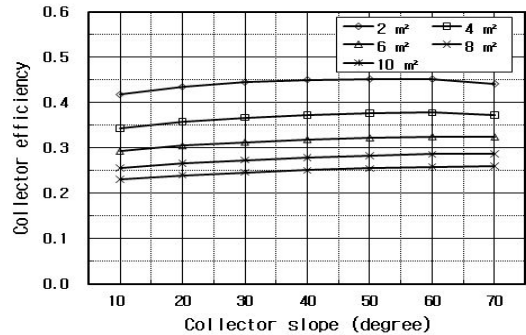


Fig. 8 Annual collector efficiency for different collector slope and area

이와 같이 집열기 면적이 증가할 때 집열기 효율이 감소하는 것은 집열기 면적이 증가함에 따라 축열조에 공급되는 열에너지 양이 많아지고, 축열조의 온도상승으로 결국은 집열기의 출구온도와 축열조 하단, 즉 집열기의 입구 온도차가 감소되어 집열기로부터 획득되는 열량의 감소가 주원인으로 분석된다.

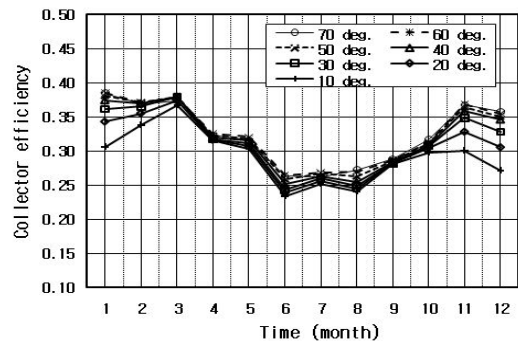


Fig. 9 Monthly collector efficiency for different collector slope (collector area  $6\text{m}^2$ )

Fig. 9는 면적이  $6\text{m}^2$ 인 집열기의 경사각에 따른 월평균 집열기 효율을 나타낸다. 집열기 효율이 하절기 보다 외기온도가 낮고 태양열

의존율이 낮은 동절기에 높은 것을 알 수 있다. 또한 경사각이 큰 경우에 집열기 효율이 높게 나타나고 있다. 특히 12월과 1월의 경우 집열기 효율이 경사각에 따라 8%의 큰 차이가 있는 것으로 나타난다.

### 3.3 축열조 온도 분포

태양열 의존율은 소요부하와 계절에 따라 큰 차이를 나타내고 있다. 특히 열부하에 비하여 지나치게 설비가 크게 설계되는 경우 부하가 적은 하절기에 의존율이 매우 높게 나타날 수 있고, 집열기로 부터 더 이상 집열을 할 수 없는 단계에 이르는 경우 설비의 과열현상이 일어나게 된다. 따라서 태양열 의존율과 함께 집열기 출구 또는 축열조 상단의 온도에 대한 분석이 필요하다.

Fig. 10은 집열기 면적 6m<sup>2</sup>에 대한 집열기 설치 경사각과 축열조 용량에 따른 축열조 온도 분포를 나타낸 것이다.

(a)와 (b)는 축열조 용량이 0.36m<sup>3</sup>로 동일하고, 경사각이 각각 30°와 50°인 경우로 연평균 태양열 의존율은 72.4%와 72.1%로 매우 근사한 값을 나타내지만 축열조의 온도 분포는 큰 차이를 보이고 있다.

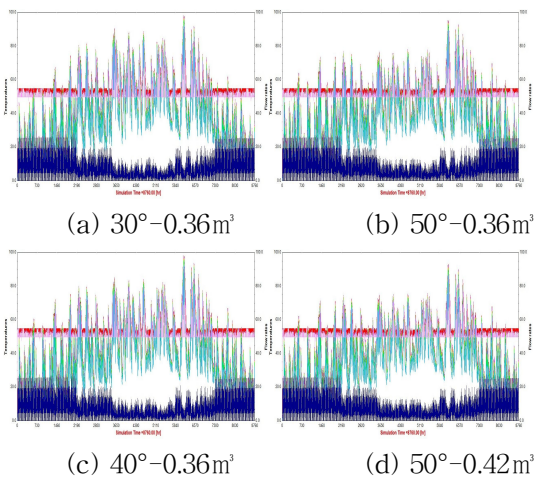


Fig. 10 Variation of storage temperature for different collector slope and for capacity of storage tank

즉 (a)의 경우 하절기 온도가 90 °C로 매우 높게 나타나고 있으나 (b)의 경우 경사각의 증가로 동일한 기간에 있어 축열조 온도가 75°C 이하를 유지하고 있어 설비의 과열 문제를 해결하는 방안을 제시하고 있다. 또한 이것은 Fig. 4와 연계하여 보면 6월과 8월에서의 의존율 추세와 일치하는 결과를 보여준다.

(c)는 경사각 40°에 동일한 축열조 용량의 경우로 집열기 면적 6m<sup>2</sup>시스템에서 가장 태양열 의존율이 큰 경우이다. (a)의 경우에 비하여 경사각이 커짐으로 인해 하절기에서의 온도 분포가 낮아지고 있으나 6월과 8월의 의존율이 여전히 90% 이상으로 설계범위에서 제외되는 상태이다. (d)의 경우 연평균 의존율이 (c)의 73%와 매우 근사한 72.99%를 나타내고 있지만 경사각과 축열조 용량의 증가에 인하여 축열조 온도 분포가 (b)의 경우보다도 전체적으로 낮아지는 효과가 있다. 따라서 하절기 6월과 8월에 월평균 의존율이 91%로 설계범위를 초과하지만 12월과 1월에 있어 높은 태양열 의존율과 80 °C이하의 안정적인 축열조 온도 분포를 보이고 있다.

## 4. 결 론

시스템의 설비 용량 및 설치 경사각에 따라 태양열 의존율, 집열기 효율, 축열조 온도 분포에 대하여 TRNSYS 프로그램을 이용하여 정량적으로 살펴본 결과 다음과 같은 결론에 도달하였다.

- (1) 집열기 면적이 동일한 경우 집열기 설치 경사각이 연평균 의존율에 미치는 영향은 크지 않은 것으로 판단되나 월별 의존율에 있어서는 그 영향이 크게 나타날 수 있어 집열기의 경사각은 사용 목적에 따라 적절한 선택이 요구된다. 태양열 의존율은 최고점을 나타내는 경사각을 기준으로 전. 후 15° 범위 내에서 2%정도의 차이를 보이고 있다.



- (2) 경사각을 크게 함으로써 하절기의 의존율을 감소시키고 난방과 온수급탕과 같이 동절기에 열부하가 많이 소요되는 12월과 1월의 태양열 의존율을 높게 하여 전체적으로 태양열 이용율이 높게 유지될 수 있도록 설계가 가능하다.
- (3) 월평균 의존율을 최대 90%로 설계의 상한으로 설정할 경우 6m<sup>2</sup>의 집열기 경사각은 50°가 설계의 상한 영역에 있고 연평균 의존율은 72%에 달하는 것으로 분석되었다.
- (4) 축열조 용량이 증가하면 의존율이 증가하게 되지만 경사각의 증가로 월평균 태양열 의존율이 감소하는 결과로 하절기에서의 태양열 의존율은 낮아지고, 반면 동절기에는 상대적인 증가 효과가 있게 된다.
- (5) 집열기 효율은 집열기 면적이 증가하는 경우 연평균 태양열 의존율과 반대로 감소한다. 또한 집열기 효율은 하절기 보다 외기온도가 낮고 태양열 의존율이 낮은 동절기에 높고 경사각이 큰 경우 집열기 효율이 높게 나타나고 있다. 12월과 1월의 경우 집열기 효율이 경사각에 따라 8%의 큰 차이가 있다.
- (6) 집열기 6m<sup>2</sup>, 경사각 50°, 축열용량 0.42m<sup>3</sup>인 태양열 시스템은 72.9%의 높은 연평균 태양열 의존율과 6월과 8월의 하절기 의존율이 91%대로 월평균 설계범위로 설정한 90%를 초과하지만 축열조 온도가 80℃이하를 유지하고 있어 높은 태양열 이용율이 가능한 시스템으로 판단된다.

- Apartment Building“ Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol. 31, No.2, 2011
2. Choi, B. S., Lee, B. J., Kang, C. D., Hong, H. K., “Verification Experiment and Analysis for 6 kW Solar Water Heating System (Part3: Optimum Design and Economic Evaluation“ Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration engineering, Vol. 17, No. 1, 2005
3. Kwak, H. Y., Kim, J. B., Joo, H. J., Kim, J. B., “Demonstration study on Heating and Hot water According to Control Condition of Solar system“ Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol. 26, No. 4, 2006
4. Jo, D. K., Kank, Y. H., “ Analysis of Maximum Solar Radiation 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, 2009
5. Klein S A, Duffie J A, Mitchell J C, Kummer J P & Thornton J W, TRNSYS A Simulation Program User’s Manual (Solar Energy Lab., University of Wisconsin, Madison) 2000
6. Philip. F & Danny. P., A Review of Hot Water Draw Profiles Used in Performance Analysis of Residential Domestic Hot Water Systems, Publication No. FSEC-RR-56-04, Florida Solar Energy Center, July 20, 2004
7. Korea Meteorological Administration, (www. climate. go. kr.)

## 참 고 문 헌

1. Yoon, J. H., Sim, S. R., Shin, U. C., Kwak, H. Y., “A Study on the Optimum Application Method of Solar Thermal system to reduce Thermal Load and Carbon Emission in