

태양열 온수급탕 시스템의 경제성 분석

김진홍, 박유원, 이봉진, 김성수, 홍희기*

경희대학교 대학원, *경희대학교 기계산업시스템공학부

Economic Analysis for Solar water heating system

Jin Hong Kim, Yoo Won Park, Bongjin Lee, Sung Soo Kim, Hiki Hong**

Graduate School, KyungHee University, Yongin 449-701, Korea

**School of Mechanical and Industrial System Engineering, KyungHee University, Yongin 449-701, Korea*

ABSTRACT: Solar water heating system that can be used all the year round has competitiveness comparing to other alternative energy system and possibilities to become wide-spread. At this point of time, economic analysis of the system and pay back period become very useful to energy policy decision. We made up a solar water heating system with four collectors and obtained operating data for a month. Under the same operating condition, LCC analysis was performed with obtained data through simulation during one years using standard weather data. After LCC analysis for a gas geyser by the alternative, it was proved that solar water heating system is superior economically. Also, only five years are taken as payback period for initial investment.

Key words: Solar energy(태양 에너지), TRNSYS, Solar energy simuation(태양열 에너지 시뮬레이션), Life cycle cost(생애 주기 비용)

기 호 설 명

<hr style="border: 1px solid black; margin-bottom: 5px;"/> <p>T_c : 집열판 온도 [°C] T_s : 축열조 온도 [°C] T_{sup} : 공급 온수 온도 [°C] T_w : 시수 온도 [°C] Q_u : 획득열량 [kJ] Q_{load} : 사용열량 [kJ] Q_{aux} : 보조열원의 소요열량 [kJ] I_t : 경사면 투사 일사량 [kJ] C_p : 정압 비열 [kJ/kgK]</p>	<p>\dot{m} : 질량유량 [kg/s] F : 태양열 의존도</p> <p style="text-align: right;">그리스 문자</p> <p>η : 집열 효율</p> <p style="text-align: right;">하첨자</p> <p>i : 입구측 o : 출구측 1 : 1차(브라인) 측 2 : 2차(물) 측</p>
---	---

† Corresponding author

Tel.: +82-31-201-2925; fax: +82-31-202-2625

E-mail address: hhong@khu.ac.kr

1. 서 론

세계적으로 강화되어가고 있는 환경규제와 국

제정세 불안에 따른 유가상승으로 어느 때보다 환경친화적이고 경제적인 대체에너지에 대한 관심이 높아지고 있다. 에너지경제연구원의 2001년 통계에 따르면 국내 연간 에너지소비의 97% 이상이 해외에 의존하고 있으며 83% 이상을 화석연료가 차지하는 것으로 나타났다. 통계치에서 알 수 있듯이 에너지의 해외수입 의존도가 높고 그 중 화석연료의 비율이 많은 우리나라에서는 국제적인 환경규제와 유가상승이 국가 에너지 수급에 치명적인 영향을 줄 것으로 예상된다. 따라서 환경친화적이고 자급 가능한 대체에너지의 개발이 시급한 실정이다.

현재 환경친화적인 대체에너지로 태양에너지의 이용분야가 가장 주목받고 있으며 태양열과 태양광의 이용으로 구분되어 연구가 진행중이다. 그 가운데 태양열 에너지의 이용분야는 한 때 열에너지의 밀도가 낮고 투자비가 비싸기 때문에 경제성이 없다고 평가되기도 하였으나 현재 세계적으로 기술적인 면에서 그 이용가능성이 충분히 입증되고 있다. 태양열 이용에 대한 우리나라의 기술수준은 아직 세계적인 수준에 미치지 못하는 것만 저온 이용분야인 온수급탕의 경우 실용화

단계라고 발표된 바 있다.⁽¹⁾ 이에 본 연구에서는 실험을 통하여 태양열 온수급탕 시스템을 운전·분석해보고 이를 모사한 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하여 적정 조건을 찾아본 후 이에 대한 결과를 이용하여 그 경제성을 검토해보고자 한다. 태양열의 이용이나 경제성 분석에 대한 연구⁽²⁻⁴⁾는 이미 여러 차례 수행된바 있으나 실험을 통해 얻은 결과로 시뮬레이션을 수행하고 이를 경제성 분석하는 연구는 신뢰성있는 근거자료의 확보를 위해 필수적이다.

2. 실험 및 시뮬레이션

2.1 실험장치

태양열 온수급탕설비를 실제 상황에서 운전하기 위해 샤워실을 만들고 상용화된 태양열 온수급탕시스템을 설치하였다. 펌프에 의한 강제순환으로 열매체가 순환되는 설비형 태양열 시스템으로서 Fig. 1과 같이 구성하였다. 배관계통을 보면 집열판과 열교환기 사이에서 브라인(부동액)이 순환하는 1차측 시스템과 열교환기와 축열조 사

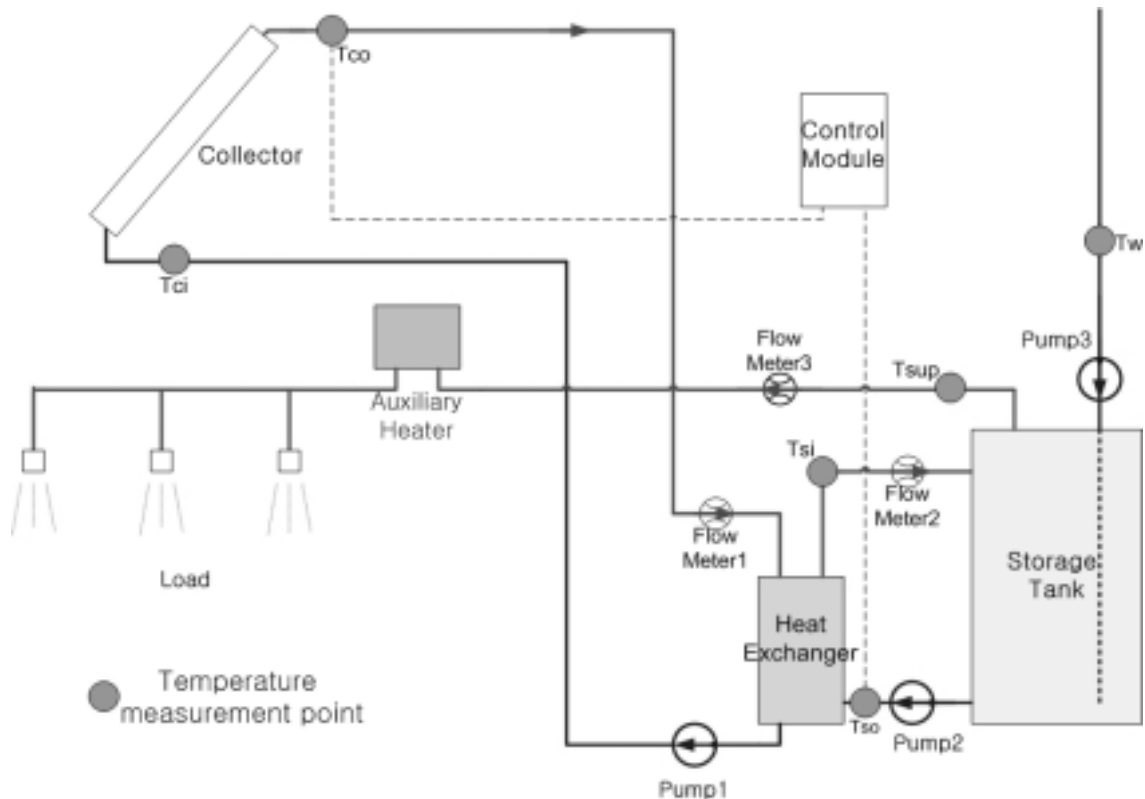


Fig. 1 Schematic diagram of system and measurement points

이에서 물이 순환하는 2차측 시스템으로 구분되어 있다. 직렬로 연결된 4장의 집열판에서 열을 획득한 1차측의 브라인이 열교환기를 거치면서 2차측 열매체인 물로 획득한 열을 전달한다. 축열조 상부의 입구측으로부터 별도의 디퓨저없이 가열된 물이 유입되므로 성층화의 정도는 높지 않은 편이다. 저장된 축열조 내부의 온수는 샤워기를 통해 부하측으로 공급된다.

1, 2차측의 열매체 순환은 각각에 설치되어 있는 펌프1,2에 의해 이루어진다. 열을 획득할수 있는 조건에서만 순환이 이루어질수 있도록 시스템을 제어하기 위해 디지털 차온제어기를 설치하였으며, 집열기의 출구온도와 축열조의 출구온도차를 이용하여 펌프1,2를 ON/OFF 방식으로 제어하였다. $T_{c,i}$ 와 $T_{c,o}$ 사이의 온도차가 8°C 이상일 경우 펌프1,2가 작동되고 4°C 이하로 떨어지면 펌프1, 2는 멈추게 된다. 펌프의 작동 여부는 펌프의 전력공급선에 릴레이 회로를 연결하여 계측기에서 On/Off 신호를 읽어들이수 있도록 하였다. 또한 경사면에 투사되는 일사량을 측정하기 위해 집열기와 같은 각도로 일사계를 설치하였다. 보조열원으로는 6.6 kW의 순간 전기온수기 2기를 사용하였으며 온도조절이 자유롭지 못한 순간온수기의 단점을 보완하기 위하여 히터전력량 조절기를 부착하여 출구의 설정온도를 40°C 로 맞추었다. 보조열원으로 전기온수기를 설치한 것은 소요 전력량을 측정하여 보조열원의 열공급량을 정확히 산정하기 위함이다.

2.2 측정 및 실험결과

샤워시 일반적인 온수급탕 획득열량 패턴을 파악하기 위해 집열시간인 9시부터 18시까지를 샤워급지시간으로 설정하였다. 1, 2차측의 획득 열량 및 부하 열량을 계산하기 위해서 각 지점의 온도와 유량을 측정하였다. 온도센서로는 K-type의 열전대를 사용하였고 1, 2차측의 유량은 변동의 폭이 거의 없으므로 일반 수도관용 적산유량계를 설치하였다. 부하량의 파악을 위해 순간유량의 측정이 가능한 유량센서를, 보조 열원의 사용전력을 측정하기 위해 순간전력계를 설치하였다. 각각의 측정위치는 Fig. 1에 보인다. 데이터의 측정은 36초 간격으로 수행되었고 계측기로는 Agilent사의 34970A 데이터로거를 사용하

Table 1 Specification of system

Control module	Type	Digital difference temperature control	
Collector	Size	1179×2228 mm	
	Area	2.5 m ²	
	Unit	4	
	Slope	40°	
Storage Tank	Volume	430 ℓ	
	UA	0.15 W/K	
Heat Exchanger	Type	Coil in shell	
	UA	309.5 W/K	
	Materials	Shell : STS Coil : Copper	
Pump	1'st	Capacity	60 lpm (H : 4m)
		Output	80 W
	2'nd	Capacity	35 lpm (H : 3m)
		Output	40 W
Pipe	Material	Copper	
	Diameter	20 mm	
Auxiliary Heater	Type	Electric geyser	
	Capacity	13.2 kW	

였다. 다음의 식들을 사용하여 획득열량, 집열효율, 태양열 의존도를 구하였다.

$$Q = \dot{m} C_p \Delta T \quad (1)$$

$$\eta = \frac{Q_{u,2}}{I_t} \times 100 (\%) \quad (2)$$

$$F = \frac{Q_{load} - Q_{aux}}{Q_{load}} \times 100 (\%) \quad (3)$$

시스템의 설치 및 보완이 이루어진 후 원활한 측정이 이루어진 4월 1일부터 25일까지의 데이터를 Table 2에 정리하였다. 1인당 평균 사용열량은 5.03 MJ이었으며, 1일 평균 적정인원인 20명보다 적은 8.2명이 사용한 것으로 파악되었다. 측정결과 집열효율은 49.4 %, 태양열 의존도는 72.3 %를 보였다. 효율과 태양열 의존도가 다소 낮은 이유는 일사량이 가장 좋은 시간대에 샤워를 금지시킨 것과 부하량이 전반적으로 적었기 때문이다. 집열운전이 진행중인 낮 시간에 온수를 사용하지 않음으로써 축열조의 온도는 계속 올라가게

Table 2 Summary of measured data

Item	Value
Irradiation	3,367 MJ
Heat collected	1,664 MJ
Total heating loads	1,030 MJ
Auxiliary energy	285 MJ
Efficiency	49.4 %
Solar Fraction	72.3 %

되고 어느 정도에 이르게 되면 획득열량과 손실 열량이 비슷하게 되어 운전이 정지되게 되므로 집열효율이 떨어지게 된다. 또한 부하량이 적어지면 낮시간에 충분히 가열된 물이 사용되지 못하고 축열조의 온도가 여전히 높은 상태에서 익일 운전이 시작되므로 집열효율은 낮아질 수밖에 없다.

2.3 시뮬레이션

실험에서 취득한 결과로는 평균 사용인원이 약 8명 정도로 부하량이 고정되어 있었으나 이를 시뮬레이션을 통하여 부하량을 8명, 15명, 20명, 30명, 50명으로 변화시켜가며 계산함으로써 실험을 통해 구할수 없는 부분에 대해 예측해 경제성 분석에 이용하였다.

시뮬레이션 프로그램으로는 1970년대 말부터 태양열 시스템 해석용으로 널리 사용되고 있고 이미 그 타당성이 입증된 바 있는 TRNSYS를 사용하였다.⁽³⁾ 본 논문에서는 최신버전인 TRNSYS 15를 사용하였다. 기본적으로 계산 입력값은 실험장치와 동일한 조건으로 설정했으며, 측정시간간격 역시 동일하게 36초로 하였다. 부하조건은 상대적으로 일사상태가 양호했던 2003년 4월 1일의 부하사용량을 적용하여 Fig. 2에 나타난 실제 데이터와 비교하였다.

연간 부하사용량을 계산하기 위해 앞서 언급했던 하루 1인당 사용열량을 설정하여 부하량을 변화시켰으며, 시수온도는 13.2도로 설정하였다. 특히 아침 8시에서 9시, 저녁 10시에서 12시에 사용인원이 집중되는 것을 고려하여 50명의 경우 최악의 상태라 가정하고 이 시간대에 부하량을 집중시켰다.

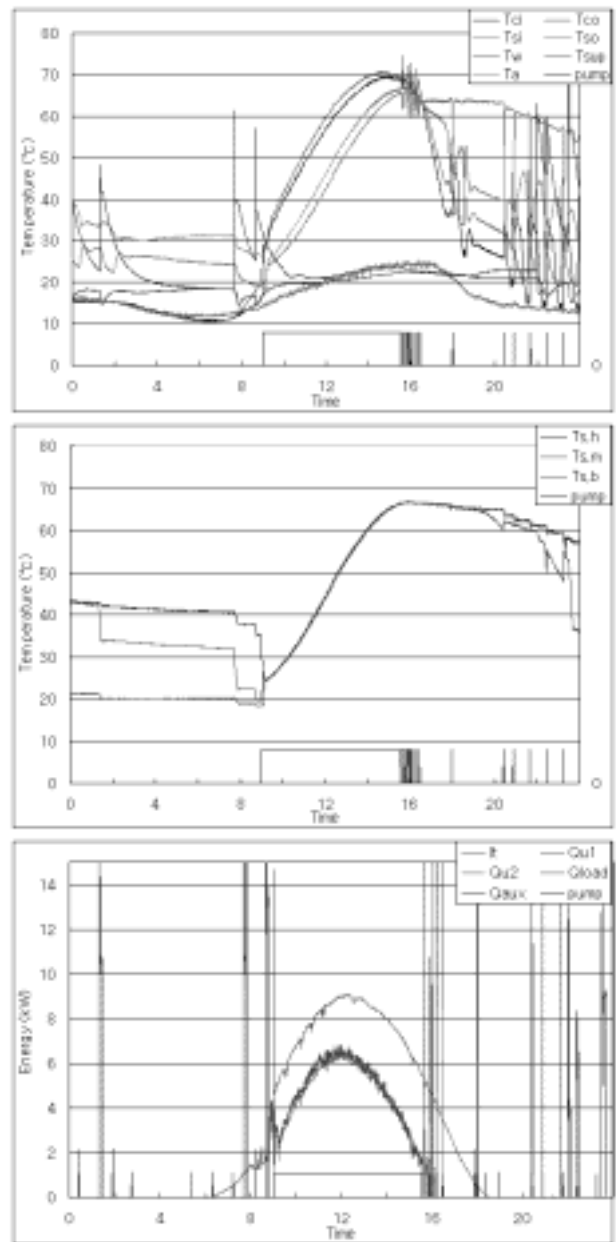


Fig. 2 Data graph

3. 경제성 분석

Table 3에 보여진 시뮬레이션을 통해 계산된 부하별 연간 에너지 사용량을 기초로하여 동일 용량의 가스온수기를 이용한 온수급탕 시스템과 경제성을 평가하여보았다. 평가 방법으로는 LCC(Life Cycle Cost)분석개념을 도입하였으며 이를 계산하기 위해서 미국 국립표준연구소(NIST)에서 개발한 BLCC 5.1 프로그램을 사용하였다.⁽⁴⁾

기준안(basecase)으로 설정하게 될 가스온수기

Table 3 Result for load change
(unit: GJ)

people Item	8	15	20	30
Irradiation	42.9			
Heat collected	27.7			
Total heating loads	21.05	49.37	70.97	80.56
Auxiliary energy	1.28	6.75	19.29	28.76
Efficiency	64.52 %			
Solar Fraction	93.9 %	86.32 %	72.8 %	64.3 %

의 용량은 태양열 시스템(alternative)에서의 보조 열원과 같은 용량으로 설정하였으며 실제 보급될 시스템의 경우 가스온수기를 보조열원으로 사용하게 될 가능성이 높으므로 실험에서 사용한 보조열원 역시 가스온수기로 가정하여 분석하였다. 두 시스템을 비교하여 총 LCC가 낮은 시스템이 경제성이 있는 것으로 평가된다. 또한 대안의 순익(Net Savings)에 해당하는 에너지 절감에 따른 단순투자회수기간(SPB)을 통해 최적 설계 조건을 제시하고자 한다.

3.1 경제적 가정 항목

(1) 분석시점(base date)

비용산정의 기준으로 편의상 2003년 1월1일을 분석의 시작시점으로 한다.

(2) 사용시작시점 (service date)

일반적으로 설비의 운영시작시점을 말하며 본 연구에서는 분석시점과 일치하는 것으로 한다.

(3) 분석기간(study period)

비용이 계산되는 기간으로 각 대안의 내용년수를 고려하여 20년으로 산정한다.

(4) 현금할인율(discount rate)

미래에 발생할 비용의 시점이 각기 다르기 때문에 기준시점으로 등가환산하기 위한 적정 할인율을 결정한다. 본 연구는 최근 정기예금 6년 평균 이자율과 각종 경제지표를 이용하여 4.1%를 적용한다.

Table 4 Total LCC except Energy costs
(unit: won)

classification	Base case	Alternative	Savings
Capital requirements as of base date	780,000	6,400,000	-5,620,000
Recurring and non-recurring OM&R cost	600,000	160,000	440,000
Capital replacements	780,000	1,530,000	-750,000
Residual Value at end of study period	0	-500,250	500,250

Table 5 Result of LCC analysis

Unit Men	Net savings(won)	SPB(years)
8	-324,532	-
15	6,731,460	7
20	9,530,531	6
30	9,549,651	6

3.2 각 대안의 비용항목

(1) 초기투자비

각 대안에 필요한 장비설치비, 배관설비 및 인건비를 포함한 시공비의 총합으로 기준안은 장비비 64 만원, 배관 및 설치비 14 만원을 적용하여 총 78 만원으로 설정, 태양열 시스템은 집열기 한 장당 제반비용을 포함하여 140 만원, 보조열원을 추가하여 총 640 만원을 초기투자비로 설정하였다.

(2) 잔존가치

시설물의 법정 내용년수를 기준으로 시설의 가치가 매년 일정비율로 감소(정액법)한다고 보고 분석시점으로부터 15년(residual value factor: 66.7%)에 태양열 시스템의 펌프 2대, 축열조 1대를 교체하여 계산하였다.

(3) 운영 및 관리비용

각 대안에 해당하는 시설물의 유지관리에 소요되는 비용을 말하며, 기준안은 매년 운수기 세관 및 수리비가 3 만원이 소요되고, 태양열 시스템은 브라인 교체비 8 천원을 반영한다.

(4) 에너지 비용

Table 3의 연간 에너지 사용량을 이용하여 에너지 공급업체의 효율체계에 따라 산출하였다. 에너지 가격변동율은 지난 10년 동안의 추이를 참고하여 각각 LNG 2.7%, 전기 2.44%를 적용하였다.

태양열 온수급탕 시스템과 그 대안으로 가정용 가스 온수기에 공통으로 사용되는 비용은 Table 4에 명시하였으며 두 시스템의 분석결과는 Table 5와 같이 나타났다. 샤워인원이 늘어날수록 순이익이 높아지고 단순투자회수기간이 짧아지고 있음을 알 수 있다. 그러나 부하의 패턴을 분석해 본 결과 아침 8시에서 9시, 저녁 10시에서 12시 사이에 사용인원이 집중되고 1인당 샤워시간이 8~10분 정도 임을 고려했을 경우 한계치가 있으므로 이를 적용하여 보면 본 시스템의 경우 최대 사용인원은 1일 20명에서 25명 사이가 될 것으로 보인다.

4. 결론

태양열 온수급탕 시스템의 직접 설치를 통한 실험으로 얻은 데이터를 기초로 시뮬레이션을 행하고 이를 통해 예측된 연간의 데이터를 이용하여 경제성분석을 수행하였다. 집열판 4장으로 이루어진 태양열 온수급탕 시스템을 샤워용으로 사용하는 경우 적정 인원은 20명에서 25명 정도로 나타났으며 이 경우 대안이 되었던 가스온수기보다 약 1,500만원이상의 순익이 발생하였고, 투자회수기간도 5년 이내로 줄어들었다. 이러한 결과에서 볼 때 태양열을 이용한 온수급탕 시스템의 경우 대체에너지로써 충분한 경제적 가치를 가지고 있음을 알 수 있다.

현재는 온수급탕 시스템이 주로 보급되고 있으며 본 논문에서 그 경제성이 평가되었지만 앞으로는 난방이나 냉방 등의 분야로도 진출가능성이 높은 만큼 그에 대한 경제성 평가도 이루어져

야 할 것으로 보인다. 하지만 이에 앞서 이러한 태양열을 이용한 대체에너지 분야에 대해 꾸준한 투자와 연구개발 및 정책적인 뒷받침이 있어야 할 것이다.

참고문헌

1. Kang, Y. H. and Yang Y. S. 1998, Development of solar technology in Korea, Solar energy, Vol. 18, No. 2, pp. 1-7
2. Lee S. S., 1998, Installation of solar hot water heater, Solar energy, Vol. 18, No. 2, pp 51-66
3. Baek, N. C., Yu J. Y., Yoon E. S., Lee D. W., Joo M.C., 2001, A study on the field test and simulation of active solar system for residential house, Solar energy, Vol. 21, No. 1, pp 93-100
4. Choi S. H., Cha B. J., Kim S. M., Leigh S. B., 2002, A study on optimized design decision of building service systems based on a Life-Cycle-Cost Analysis, Society of Air-Conditioning and Refrigeration Engineers of Korea, Vol 14, No. 2, pp 134-142
5. Solar Energy Lab, 1944, TRNSYS Manual, Univ. of Wisconsin-Madison. U.S.A.
6. Stoecker W. F. and Jones J. W., 1982, Refrigeration and Air Conditioning, McGraw-Hill, Second Edition, pp. 380-400
7. Duffie J. A. and Beckman W. A., Solar engineering of thermal process, 1991, c, John Wiley & Sons pp. 487-512
8. McQuiston F. C., Parker J. D., Spitler J. D., 2000, Heating, Ventilating, and Air Conditioning, John Wiley & Sons, Fifth Edition, pp. 297-340