

사무소건물 태양열급탕시스템의 LCC 최적화 시뮬레이션

고 명 진, 최 두 성*, 장 재 동**, 김 용 식†

인천대학교 건축공학과, *청운대학교 건축설비소방학과, **캔사스대학교 건축대학

Optimizing the Life Cycle Cost of a Solar Water Heating System in an Office Building Through Simulation

Myeong-Jin Ko, Doo-Sung Choi*, Jae D Chang**, Yong-Shik Kim†

Department of Architectural Engineering, University of Incheon, Incheon 406-772, Korea

*Dept. of Building Equip. and Fire Protection System, Chungwoon University, Hongseong 350-701, Korea

**School of Architecture, Design and Planning, University of Kansas, Lawrence 66045-7614, USA

(Received September 15, 2010; revision received October 14, 2010)

ABSTRACT: This study examined the economics of a solar water heating system for an office building using life cycle cost (LCC) optimization simulations. The numerical simulations were conducted with TRNSYS and GenOpt employing the Hooke-Jeeves algorithm. The solar collector area, slope, mass flow rate per collector area and storage tank volume were selected as the main design parameters of the solar water heating system. The LCC optimization simulations of the system were carried out for cases where water temperature was 60°C and 50°C. The results showed that for water temperature at 60°C and 50°C the collector area could be decreased by 17% and 28%, storage tank volume could be decreased by 49% and 54%, and mass flow rate per collector area increased by 5% and 9% respectively compared to a non-optimized system. The LCC of the system was reduced by 4% for 60°C and 7% for 50°C. The initial installation cost of the system was reduced by 24% for 60°C and 34% for 50°C. However, the operating cost of the system increased by 16% for 60°C and 36% for 50°C compared to a traditional solar water heating system.

Key words: Office building(사무소 건물), Solar water heating system(태양열급탕시스템), Life cycle cost(생애주기비용), Optimization simulation(최적화 시뮬레이션)

기 호 설 명

A : n년간 계속되는 일정 기말지불액 [won]
 CEE : 전기에너지 단가 [won/kWh]
 CNG : 가스에너지 단가 [won/m³]
 C_{EE} : 연간 전기 요금 [won]
 C_{NG} : 연간 가스 요금 [won]
 C_{SC} : 집열기 초기투자비 [won]
 C_{Tank} : 축열조 초기투자비 [won]

E_{el} : 연간 전기에너지 소비량 [kJ]
 F : n년 후 기말지불액 [won]
 i : 실질 할인율 [%]
 i' : 이자율 [%]
 j : 물가상승율 [%]
 LHV_{NG} : 천연가스 저위발열량 [kWh/m³]
 m_{HW} : 급탕 사용량 [kg/hr]
 n : 분석기간 [year]
 P : 현재 가치 [won]
 Q_{AH} : 연간 가스에너지 소비량 [kJ]
 V_{Tank} : 축열조 용적 [liter]
 η_{AH} : 보조 가열기 효율 [%]

† Corresponding author

Tel.: +82-32-835-8478; fax: +82-32-835-0776

E-mail address: newkim@incheon.ac.kr

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

최근 전 세계적으로 환경보호 및 에너지절약의 중요성이 강조되면서 신재생에너지시스템에 대한 관심이 높아지고 있다. 신재생에너지시스템 중 태양 에너지를 이용하는 태양열급탕 시스템은 비교적 저온의 열에너지를 사용하고 유지관리비가 저렴하며 국내에서는 1970년대 후반부터 건물 급탕에 이용되어 다른 신재생에너지 설비에 비해 관련 기술개발 수준이 상대적으로 높아서 적용성이 우수하다.⁽¹⁾ 이러한 배경에서 국내에서는 태양열 급탕시스템의 적용이 지속적으로 증가하고 있지만, 현재까지는 주로 급탕부하가 상대적으로 큰 비중을 차지하는 주거용 건물에 국한되는 특징을 보이고 있어서 업무 및 상업시설 등과 같은 타 용도의 건물에 대한 적용 증대가 필요한 상황이다. 특히, 사무용 건물 등의 급탕부하는 주간 집중 발생하는 특성을 나타내고 이는 태양에너지 발생특성과 유사하기 때문에 사무용 건물에 대한 태양열급탕시스템의 적용성은 높을 것으로 예상된다.

한편, 태양열급탕시스템은 급탕온도나 기기의 설치 및 제어방식 등에 따라 다양한 형태로 구성될 수 있으나, 국내에서는 아직까지 표준화된 설계기준이 없이 관련 업체의 경험 등에 의존하여 적용되고 있는 실정이다. 이로 인해 시스템이 과다 또는 과소 설계되어 비효율적인 초기투자비 및 유지관리비가 요구되고 결과적으로 시스템에 대한 소비자의 신뢰성이 저하되어 적용활성화에 어려움을 초래하는 문제점 등이 발생되고 있다. 이에 따라 시스템의 경제성을 바탕으로 시스템의 성능에 영향을 미치는 주요 설계변수 등에 대한 최적화 설계의 필요성이 대두되고 있으며, 연구의 필요성 또한 높은 상황이다. 이와 관련된 기존의 연구를 살펴보면, Choi et al.⁽²⁾은 공동주택 태양열시스템의 집열성능에 영향을 미치는 인자를 설정하고 집열성능 및 경제성을 기준으로 적정 설계안을 제시하였다. Choi et al.⁽³⁾은 6 kW급 태양열급탕시스템을 대상으로 집열기 면적, 축열조 용량, 펌프순환유량 및 부하량이 시스템의 열성능과 LCC(life cycle cost)에 미치는 영향을 분석하였다. Lima et al.⁽⁴⁾은 주택에 설치된 급탕

목적 태양열시스템을 대상으로 LCC에 기초한 집열기 면적과 경사각, 탱크용적에 대한 최적화 연구결과를 보고하였다. Kalogirou⁽⁵⁾는 산업용 시스템을 대상으로 artificial neural-network과 genetic algorithm을 사용하여 LCS(life cycle savings)를 최대화하는 집열기 면적과 축열조 용적의 최적 조합에 대한 연구를 실시하였다. Calise et al.⁽⁶⁾은 태양열 보조 냉난방시스템을 대상으로 초기투자비와 운영비에 기초한 경제성 모델을 이용하여 시스템의 주요 설계변수에 대한 최적화를 실시하고 에너지 특성을 분석하였다. Fraisse et al.⁽⁷⁾은 소규모 태양열 급탕시스템을 대상으로 에너지, 환경, 경제성의 관점에서 최적화 연구결과를 보고하고 있다.

이에 본 연구에서는 사무소 건물에 적용되는 태양열급탕시스템을 대상으로 시스템의 LCC 최적화 시뮬레이션을 실시하여, LCC 최적화에 따른 시스템 설계변수의 변화, LCC 최적화에 따른 시스템의 LCC 변화 등에 대하여 검토하는 것을 목적으로 한다.

1.2 연구의 방법 및 범위

본 연구에서는 태양열급탕시스템의 적용 대상 건물로서 경기도에 위치한 지상 8층 규모의 사무소 건물을 선정하였으며 본 건물은 실제로 태양열 급탕시스템의 적용이 계획된 건물이다. 태양열 급탕시스템의 설계에 있어서는 전술한 바와 같이 국내에는 아직까지 사무소 건물용 태양열급탕시스템에 대한 표준화된 설계기준이 없는 점 등을 고려하여, 관련된 국내외 전문기술 자료와 국내업체의 실적 및 기술자료 등을 참고하여 시스템의 설계를 실시하였다. 시스템 최적화 설계 변수로는 시스템의 성능에 영향을 미치는 주요 인자인 집열기면적 및 설치경사각, 열매체 순환유량, 축열조 용적 등을 설정하였다. 또한 시스템의 LCC 최적화 기준으로는 초기투자비와 운전비등의 비용항목으로 구성되는 LCC 비용식을 사용하였다. 아울러 본 연구에서의 태양열 시스템 동적 해석 시뮬레이션에는 세계적으로 널리 사용되고 있는 TRNSYS 프로그램을 사용하였으며, 최적화는 TRNSYS⁽⁸⁾와 GenOpt⁽⁹⁾ 프로그램 조합을 바탕으로 Hooke-Jeeves 법을 이용하여 수행하였다.

2. 태양열급탕시스템 모델링

2.1 급탕부하 모델링

사무소 건물의 급탕부하 산정을 위한 급탕사용량의 계산 방법으로는 사용 인원수에 의한 방법과 설치 기구 수에 의한 방법이 있으나, 본 연구에서는 일반적인 사무소 건물에 대한 태양열급탕시스템의 LCC 최적화에 관련된 연구임을 고려하여 급탕 사용 인원수에 의한 방법을 사용하였다. 대상 건물은 경기도에 위치한 연면적 10,368 m²의 사무소 건축물로 유효면적비 60%와 유효면적당 인원수 0.2인/m², 1인당 급탕량 10 l/day를 고려했을 때 급탕 사용인원은 1,245 명으로 계산되며, 1일 최대 급탕량은 12,441.6 l/day, 1시간 최대 급탕량은 2,500 l/hr으로 산정되었다. 연간 시간당 급탕사용량은 식(1)을 사용하여 산정할 수

있으며, Fig. 1과 Fig. 2는 각각 일일 급탕사용 부하율과 연간 급탕사용부하율⁽¹⁰⁾을 나타낸다. 식(1)의 일일 급탕사용부하율의 경우 본 연구에서는 현재 국내 사무소 건물에 대한 관련 기술자료가 부족한 점을 고려하여 VisualDOE⁽¹¹⁾ 프로그램에서 제공하는 사무소 건물 급탕사용부하율을 수정하여 이용하였다. 이 때 일일 급탕사용 부하율의 경우 심야시간대인 23시부터 익일 05시까지의 사무소 건물의 급탕사용부하는 없는 것으로 가정하였으며, 급탕부하는 주말을 제외한 평일 주간 시간대로 제한하여 산정하였다. Fig. 3은 식(1)을 통해 산정된 대상 건물의 연간 급탕사용량을 나타내며, Fig. 4는 급탕부하 산정 시 이용한 연간 시수 온도를 나타낸다.

$$\dot{m}_{HW} = \text{시간당 최대 급탕량} \quad (1)$$

$$\times \text{일일 급탕사용부하율}$$

$$\times \text{연간 급탕사용부하율}$$

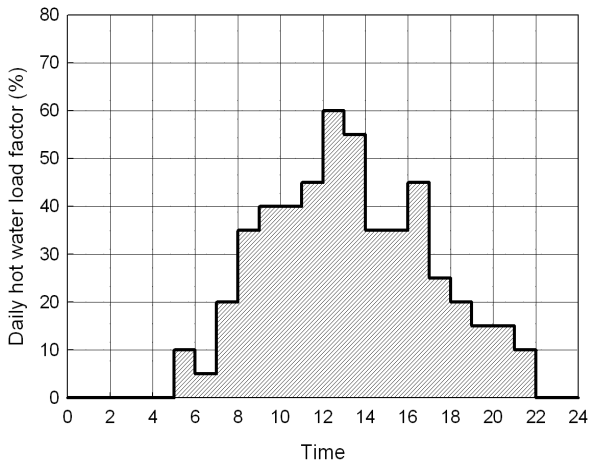


Fig. 1 Profile of weekday hot water draw.

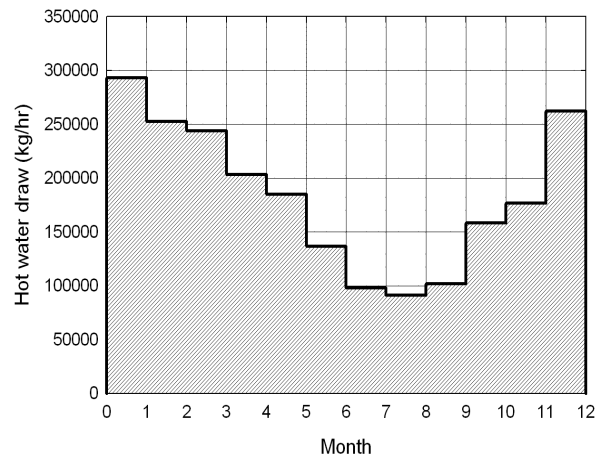


Fig. 3 Monthly hot water draw.

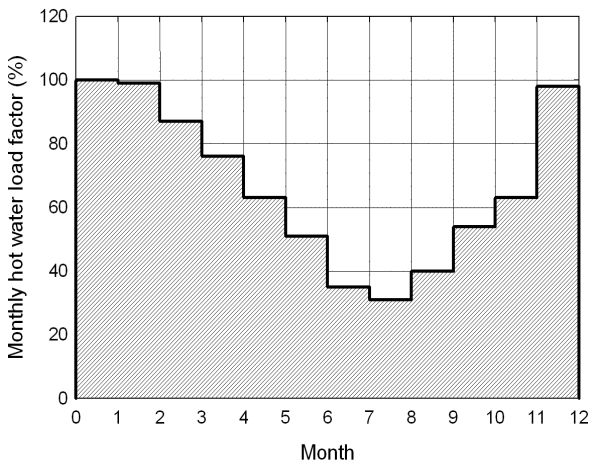


Fig. 2 Profile of monthly hot water draw.

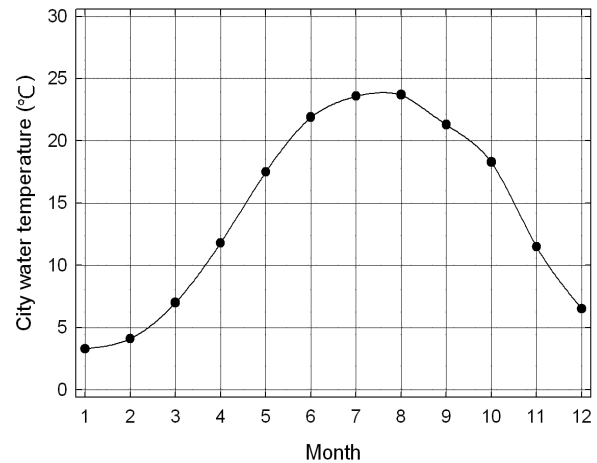


Fig. 4 Monthly city water temperature.

2.2 기준 태양열급탕시스템 모델링

태양열급탕시스템은 사용온도나 기기의 설치 및 제어 방식 등에 따라 다양한 형태로 구성될 수 있으나, 전술한 대로 국내에는 아직 표준화된 설계기준 없이 주로 관련 업체의 경험에 의존하여 적용되고 있는 실정이다. 본 연구에서는 태양열 보급사업을 통해 가장 적용실적이 많고 중대규모 시스템에 일반적으로 적용되는 열교환기 외부설치 축열조 직접이용 방식으로 기준 태양열 급탕시스템을 구성하였다. 시스템의 구성도를 Fig. 5⁽¹²⁾에 나타낸다.

기준 태양열급탕시스템을 통한 급탕 공급온도는 일반적으로 적용되는 온도인 60°C로 설정하였다. 시스템의 용량은 산정된 급탕부하를 기준으로 국내의 일반적 태양열급탕 의존율인 60%를 만족하도록 산정하였다. 시스템의 주요 구성기기 제원은 Table 1과 같다. 집열기는 평판형 집열기를 사용하였으며, 집열기의 설치 경사각은 대상건물이 위치한 지역의 위도인 약 37°를 고려하여 40°로 설정하였다. 태양열 집열기의 순환유체는 30%의 에틸렌글리콜 수용액으로 하였으며, 순환유량은 0.018 kg/m²s이다. 축열조는 3.6 m 높이의 cylinder형으로 용적은 15 m³이며, 열교환기와 축열조 사이의 온수순환유량은 집열기 순환유량과 동일하게 설정하였다. 시스템의 제어는 차온제어 방식을 이용하며, 집열량과 펌프의 소비동력 증가에 따른 시스템 효율 감소 등을 고려하여 ΔT_{on} 은 10°C, ΔT_{off} 는 2°C로 설정하여 작동하도록 하였다.

Fig. 6은 기준 태양열급탕시스템의 구성 및 주요 기기의 제원을 바탕으로 TRNSYS 프로그램을 통해 시스템을 모델링한 결과를 나타낸다. 시뮬레이션에 필요한 기상데이터는 한국태양에너지학회가 제공하는 대한민국 표준년 기상데이터⁽¹³⁾를 이용하였으며, 건물이 위치한 지역과 인접한 서울지역의 데이터를 사용하였다.

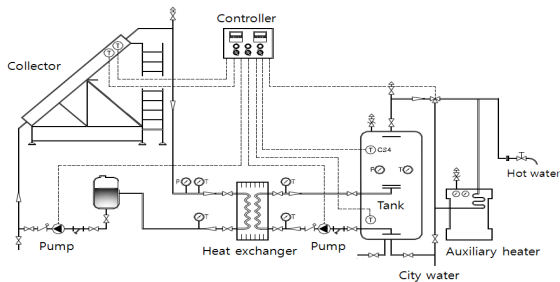


Fig. 5 Schematic diagram of solar water heating system.

Table 1 Basis solar water heating system specification

	Parameter	Specification
Collector	$F_R(\tau\alpha)$	0.793
	$F_R U_L$	5.1758
	Area	2 m ² /ea
	Unit	100ea
	Azimuth	0°
	Slope	40°
	Flowrate	0.018 kg/m ² s
Storage Tank Volume	Type	Vertical cylinder
	Capacity	15 m ³
	Loss	2.0 W/m ² K
	Height	3.6 m
	Inlet	0.2 m
Control Module	Outlet	1.8 m
	Type	Digital difference temperature control
	ΔT_{on}	10°C
Auxiliary Heater	ΔT_{off}	2°C
	Type	Master/Slave
Heat Exchanger	Capacity	175 kW
	Effectiveness	0.82
Solar Loop Pump	Flow rate	12.960 kg/hr
	Efficiency	0.5
Storage Loop Pump	Power	3 kW
	Efficiency	0.5
Solar Loop Fluid	Power	1.1 kW
	Density	1,024 kg/m ³
Storage Loop Fluid	Specific heat	3.823 kJ/kgK
	Density	1,000 kg/m ³
	Specific heat	4.190 kJ/kgK

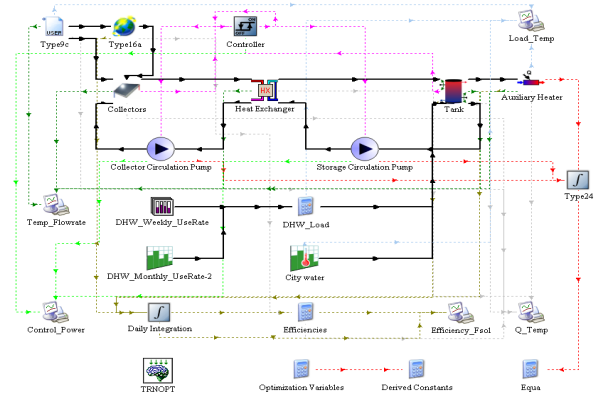


Fig. 6 Configuration of basis solar water heating system in TRNSYS program.

3. 태양열급탕시스템의 LCC 최적화 시뮬레이션

3.1 LCC 최적화 시뮬레이션 개요

본 연구에서 태양열급탕시스템 최적화 목적은 건물의 급탕부하에 대응하기 위한 가장 경제적인 시스템을 구성하는 것이다. 시스템의 최적화와 관련해서는 Optilib과 GenOpt등과 같은 다양한 소프트웨어가 개발 보급되어 있으며, 본 연구에서는 TRNSYS와 GenOpt 시뮬레이션 프로그램의 조합을 바탕으로 Hooke-Jeeves법을 이용하여 태양열급탕시스템의 최적화를 수행하였다.

태양열급탕시스템의 최적화는 앞에서 설계된 기준 태양열급탕시스템을 기준으로 주요 설계 변수의 변화에 따른 시스템의 경제성 변화에 근거하여 실시하였다. 시스템의 경제성 평가 방법으로는 LCC 평가법 중 현가법을 이용하였으며, 비용분석 항목으로는 시스템의 주요 구성기체인 집열기와 급탕탱크에 대한 초기투자비와 보조보일러 및 펌프에 의한 운전비로 한정하여 분석을 실시하였다. 식(2)와 식(3)은 각각 현가법에 의한 반복비용과 비반복비용을 나타낸다.

$$P = A \times \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \quad (2)$$

$$P = F \times \frac{1}{(1+i)^n} \quad (3)$$

위 식(2)와 식(3)에서의 실질할인율 i 는 식(4)에 의해 구할 수 있으며, 이자율 i' 와 물가상승률 j 는 각각 2003년부터 2009년까지의 한국은행 통계자료⁽¹⁴⁾인 기업일반자금대출금리와 전국평균 물가상승률을 평균하여 사용하였다.

$$i = \frac{1+i'}{1+j} - 1 \quad (4)$$

위와 같은 현가법을 바탕으로 태양열급탕시스템의 LCC 최적화를 위한 집열기 및 축열조에 대한 초기투자비와 보조보일러 및 순환펌프에 의한 운전비의 비용식을 정리하면 식(5)와 같다. Table 2는 LCC 분석에 사용되는 변수들의 설정치를 나타낸다.

Table 2 Variables setup of LCC analysis

Variables	Value	
Interest rate	6.41%	
Inflation rate	3.16%	
Real discount rate	3.15%	
Service life	20year	
Energy cost	Electric*	68.9 won/kWh
	Natural gas**	778.28 won/m ³

Note) * Date of application 2009, 6. 27.

** Date of application 2010, 7. 1.

$$P = C_{SC} + C_{Tank} + (C_{EE} + C_{NG}) \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \quad (5)$$

주요 설계변수인 집열기와 축열조에 대한 초기투자비는 각각 제조업체⁽¹⁵⁾ 및 한국물가정보⁽¹⁶⁾ 제공 데이터를 바탕으로 회귀법에 의해 각 구성기기에 대한 비용함수를 도출하여 적용하였으며, 식(6) 및 식(7)과 같다.

$$C_{SC} = 242,500 \times A_c \quad (6)$$

$$C_{Tank} = 1,017.1 \times V_{Tank} + 365,474 \quad (7)$$

태양열급탕시스템에 의한 1차 에너지 소비는 보조가열기의 가스소비량과 순환펌프의 전기소비량으로 나뉘며, 각 에너지소비량에 대한 에너지비용 함수식은 각각 식(8) 및 식(9)와 같다. 전기가격은 태양열급탕시스템의 전력요금⁽¹⁷⁾ 비용 계산 결과를 바탕으로 계산된 평균 전력단가 68.9원/kWh의 고정값으로, 도시가스⁽¹⁸⁾는 서울지역 업무난방용 요금인 778.28 원/m³으로 적용하였다.

$$C_{EE} = \frac{\sum_i E_{el,i} C_{EE}}{3600} \quad (8)$$

$$C_{NG} = \frac{Q_{AH} C_{NG}}{3600 \eta_{AH} LHV_{NG}} \quad (9)$$

LCC 최적화의 설계변수는 시스템 성능에 영향을 미치는 주요 인자들인 집열기의 면적, 경사각, 순환유량 및 축열조 용적으로 설정하였다. Table 3은 각 LCC 최적화 변수에 대한 설정치를 나타내며, 최적화 변수 초기 값은 앞서 설계된 기준 태양열급탕시스템의 해당 값으로 설정하였다.

Table 3 Variables setup of basis solar water heating system optimization

Variables	Initial value	Minimum value	Maximum value	Step value
Collectors Area	200 [m ²]	100 [m ²]	300 [m ²]	1.00
Collectors Slope	40 [°]	0 [°]	90 [°]	1.00
Collector Flow rate	64.8 [kg/hrm ²]	36.0 [kg/hrm ²]	108.0 [kg/hrm ²]	0.01
Tank Volume	15 [m ³]	5 [m ³]	30 [m ³]	0.01

Table 4 Variables variation according to the optimization

Variables	Basis system	LCC Optimization	
		Tset 60°C	Tset 50°C
Collectors Area	200 m ²	166.75 m ² -17%	144.50 m ² -28%
Collectors Slope	40°	43.00° 8%	46.13° 15%
Collector Flow rate	64.8 kg/hrm ²	61.28 kg/hrm ² -5%	58.81 kg/hrm ² -9%
Tank Volume	15 m ³	7.66 m ³ -49%	6.92 m ³ -54%

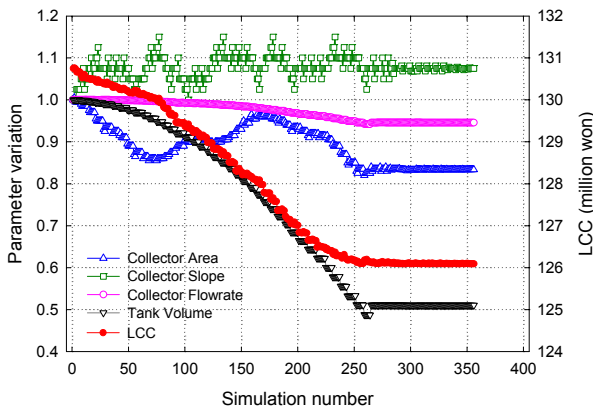


Fig. 7 LCC optimization results of basis solar water heating system for hot water load temperature of 60°C.

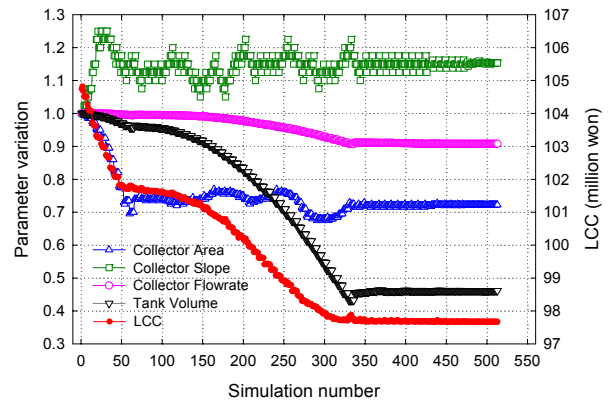


Fig. 8 LCC optimization results of basis solar water heating system for hot water load temperature of 50°C.

3.2 LCC 최적화 시뮬레이션 결과

3.2.1 설계변수 변화

본 연구에서는 사무용 건물에 적용 가능한 기준 태양열급탕시스템을 대상으로 Hooke-Jeeves법을 이용한 LCC 비용식을 사용하여 시스템 최적화를 실시하였다. 최적화를 진행함에 따라 각 설계변수들은 Hooke-Jeeves법에 의해 증가 혹은 감소를 반복하면서 최소 LCC 값을 구하는 과정이 진행되었다. Fig. 7은 급탕 공급온도가 60°C인 경우의 LCC 최적화 결과로, 약 280번의 시뮬레이션 반복 후 각 설계변수들의 변화가 둔화되기 시작하여 356번의 시뮬레이션 후 126,092,729원의 최소 LCC가 획득되었다. Fig. 8은 급탕 공급온도를 50°C로 설정하였을 때 LCC 최적화 결과로, 주요 설계변수의 변화 양상은 Fig. 7의 결과와 유사하게 나타났으며, 획득된 최소 LCC는 97,671,056원으로 나타났다.

Table 4는 기준 태양열급탕시스템에 대한 LCC

최적화에 따른 시스템 설계변수의 변화결과이며, 표에서는 급탕공급온도가 60°C 및 50°C인 경우에 대하여 나타내고 있다. 집열기 면적은 기준시스템의 200 m²에 비해 166.75 m² 및 144.50 m²로 변화되어 17% 및 28% 감소하는 결과를 보였다. 집열기 경사각은 기준시스템의 40°에 비해 43.00° 및 46.13°로 변화하여 8% 및 15% 증가하는 결과를 나타냈다. 경사각의 증가는 급탕부하가 커지는 동절기에 더 많은 집열에너지를 확보할 수 있는 것으로 판단된다. 한편, 집열기 순환유량은 기준시스템의 64.8 kg/hrm²에 비해 61.28 kg/hrm² 및 58.81 kg/hrm²로 변화하여 5% 및 9% 감소하는 결과를 보였다. 집열기의 순환유량 감소는 펌프가동 및 에너지소비를 증가시키는 결과를 초래하게 된다. 축열조의 용적은 기준시스템의 15 m³에 비해 7.66 m³ 및 6.99 m³로 변화하여 49% 및 54% 감소하는 결과를 나타냈다. 아울러, 집열기 단위면적당 축열조 용적은 기준 시스템의 경

Table 5 LCC results of solar water heating system according to LCC optimization

(Unit : won)

System type	Investment costs			Operation costs			LCC (service life : 20years)
	Collectors	Storage tank	semi total	Pumps	Auxiliary heater	semi total	
Basis system (Tset 60℃)	48,500,000	15,621,974	64,121,974	3,879,697	62,746,655	66,626,352	130,748,326
Optimization system (Tset 60℃)	40,436,875	8,156,460	48,593,335	4,175,593	73,323,801	77,499,394	126,092,729
Basis system (Tset 50℃)	48,500,000	15,621,974	64,121,974	3,879,697	36,744,467	40,624,164	104,746,138
Optimization system (Tset 50℃)	35,041,250	7,403,806	42,445,056	4,336,173	50,889,827	55,226,000	97,671,056

우 75 l/m^2 이었으나, 각각 46 l/m^2 및 48 l/m^2 로 변화하여 상대적으로 큰 감소를 보였다.

3.2.2 LCC 변화

시스템의 LCC 최적화에 의한 설계변수 변화가 시스템의 경제성에 미치는 영향에 대하여 분석하였다. Table 5는 태양열급탕시스템의 내구연한을 20년으로 하였을 경우에 기준 시스템과 LCC 최적화 시스템의 경제성 분석결과를 나타낸다.

전체적으로 LCC 최적화 시스템이 급탕 공급온도 60℃인 경우 약 4%(4,655,597원), 50℃인 경우에는 약 7%(7,075,082원)의 총비용이 절약되는 것으로 나타났다. 초기투자비를 보면, LCC 최적화 시스템의 집열기 및 축열조 용량 감소에 따라 급탕 공급온도가 60℃와 50℃인 경우 각각 24%와 34% 정도 초기투자비가 감소하는 것으로 나타났다. 세부적으로 집열기 및 축열조의 초기투자비 감소를 살펴보면 60℃에서는 각각 17%와 48%, 50℃에서는 각각 28%와 53%의 감소율을 보였다. 한편, LCC 최적화 시스템의 운전비는 집열기 순환유량 감소에 따른 시스템 운전증가로 급탕 공급온도가 60℃와 50℃일 때 각각 16%와 36% 증가하는 결과를 나타냈다. 아울러, 급탕 공급온도의 차이에 따른 운전비 변화를 보면, LCC 최적화 시스템의 경우 60℃에서 50℃로 공급하는 경우 약 29% 운전비 감소를 나타냈다.

이상의 결과로부터, 초기투자비가 시스템 적용의 걸림돌로 작용하는 신재생에너지시스템 중 하나인 태양열급탕시스템에 있어서 시스템의 LCC 최적화를 통한 초기투자비 감소 및 LCC 감소가 가능하며

또한 각종 변수에 따른 운전비 변화 특성도 파악할 수 있음을 알 수 있다. 아울러, LCC 최적화에 따른 설계변수의 변화는 LCC 비용식에 따른 결과로서 이러한 설계변수의 변화가 시스템의 에너지효율 등에 미치는 영향에 관해서는 별도의 검토가 필요하다고 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 사무소 건물에 적용되는 태양열급탕시스템을 대상으로, 시스템의 LCC 최적화 시뮬레이션을 실시하고 그에 따른 각종 설계변수의 변화 및 경제성 변화 등에 대하여 검토를 실시하였다.

결과를 요약하면 다음과 같다. 각각 급탕공급온도 60℃ 및 50℃인 경우에 있어서,

(1) LCC 최적화 시스템의 설계변수 변화 : 집열기의 면적이 17% 및 28% 감소, 집열기의 경사각은 8% 및 15% 증가, 축열조의 용적은 49% 및 54% 감소되는 결과를 나타내어 초기투자비가 저감되는 시스템으로 변화되었다. 한편, 집열기의 순환유량은 5% 및 9% 감소되는 결과를 보여 운전비는 증가되는 시스템으로 변화되었다.

(2) LCC 최적화 시스템의 LCC 변화 : 시스템 내구연한을 20년으로 설정하였을 경우, 전체적인 LCC는 4% 및 7% 저감, 초기투자비는 24% 및 34% 저감되어 시스템의 LCC 최적화에 따라 투자비가 저감되어 시스템의 적용 활성화에 기여할 수 있을 것으로 판단된다. 그러나 LCC 최적화에 따라 시스템의 운전비가 16% 및 36% 증가되는 결과를 초래하

여 이에 관한 신중한 검토가 필요하며, LCC 최적화에 따른 시스템 설계변수의 변화가 시스템의 에너지 성능 등에 미치는 영향에 대해서 별도의 검토가 필요함을 알 수 있었다.

후 기

이 논문은 인천대학교 2009년도 자체연구비 지원에 의하여 연구되었음.

참고문헌

1. Ko, M. J., Choi, D. S. and Kim, Y. S., 2009, Energy Performance Analysis of Solar Hot Water Heating System used in an Office Building Using the Dynamic Simulation, Proceedings of the KSES 2009 Spring Annual Conference, Vol. 29, No. 1, pp. 281-285.
2. Choi, K. H., Shim, T. C., Lee, J. S. and Baek, H. S., 2002, Design of the solar active heating system for apartment housing, Proceedings of the SAREK 2002 Winter Annual Conference, pp. 623-628.
3. Choi, B. S., Lee, B. J., Kang, C. D. and Hong, H. K., 2005, Verification experiment and analysis for 6 kW solar water heating system(part 3 : Optimum design and economic evaluation), Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 17, No. 1, pp. 16-24.
4. Lima, J. B. A., Prado, R. T. A. and Taborianski, V. M., 2006, Optimization of tank and flat-plate collector of solar water heating system for single-family households to assure economic efficiency through the TRNSYS program, Renewable Energy, Vol. 31, No. 10, pp. 1581-1595.
5. Kalogirou, S. A., 2004, Optimization of solar systems using artificial neural-networks and genetic algorithms, Applied Energy Vol. 77 No. 4, pp. 383-405.
6. Calise, F., d'Accadia, M. D. and Palombo, A., 2010, Transient analysis and energy optimization of solar heating and cooling systems in various configurations, Solar Energy, Vol. 84, No. 3, pp. 432-449.
7. Fraisse, G., Bai, Y., Pierre's, N. L. and Letz, T., 2009, Comparative study of various optimization criteria for SDHWS and a suggestion for a new global evaluation, Solar Energy, Vol. 83, No. 2, pp. 232-245.
8. Solar Energy Lab., 2005, TRNSYS 16.1 reference manual, University of Wisconsin-Madison.
9. Wetter, M., 2009, GenOpt, Generic Optimization Program. User Manual, Lawrence Berkeley National Laboratory, Technical Report LBNL-2077E.
10. Korea Energy Management Coporation, 2002, A Study on Improvement of the Consultation Systems about Energy Use Plan, Korea Energy Management Coporation.
11. Architectural Energy Coporation, 2004, Visual DOE 4.0 User Manual.
12. Lee, D. W., Kawk, H. Y., Lee, J. K., Yoon, E. S., Rhie, S. M., Joo, M. C. and Chung, D. H., 2008, Standardization of the Solar Thermal Energy System, Ministry of Knowledge Economy.
13. KESE Registration Number 2009-incheon-R-004, (2009).
14. <http://ecos.bok.or.kr/>.
15. <http://www.jehin.co.kr/>.
16. <http://www.kpi.or.kr/>.
17. <http://cyber.kepco.co.kr/>.
18. <http://www.seoulgas.co.kr/>.