[논문] 한국태양에너지학회 논문집
Journal of the Korean Solar Energy Society

Vol. 34, No. 5, 2014
ISSN 1598-6411
http://dx.doi.org/10.7836/kses.2014.34.5.109

사무소 건물의 태양열 시스템 운영조건 변화에 따른 에너지 효율 향상에 관한 연구

A Study on the Energy Efficiency Improvement according to Operation Condition of Solar Thermal System in Office Buildings

정영주*・김석현*・이용호**・황정하***・조영흠****†
Jung, Young-Ju*, Kim, Seok-Hyun**, Hwang, Jung-Ha and Cho, Young-Hum****†

(Submit date : 2014. 9. 18., Judgment date : 2014. 9. 25., Publication decide date : 2014. 10. 30.)

Abstract : The supply rate of renewable energy has been increasing under the influence of an energy scarcity. Government has supported the use of renewable energy by government subsidies. The operation of renewable may not been operating appropriately, although increasing the use of renewable energy. We found out some problems of the operation of renewable energy and offered some improvements. This research proposes the efficient operation method for the solar thermal system, and proposed operation method was compared and evaluated with existing operation strategy after selecting one building installed solar thermal system. Recently, the interest to renewable energy has increased because of the environmental issues and energy crisis. However the utilization of the renewable energy system is low because of the use of renewable energy system and existing renewable energy system independently, although supply rate of renewable system is increasing. Especially, in the case of solar thermal system heating load is not responsible for the load of hot water supply in many cases. Therefore, suggesting efficient operation plans and evaluations of the energy consumption and efficiency of a solar thermal system is needed.

Key Words : 신재생에너지(Renewable energy), 태양열시스템(Solar thermal system), 에너지플러스(Energy Plus), 에너지절약(Energy saving)

****† 조영흠 : 영남대학교 건축학부
E-mail : yhcho@ynu.ac.kr, Tel : 053-810-3081
*정영주 : 영남대학교 대학원 건축학과
*김석현 : 영남대학교 대학원 건축학과
**이용호: 경북대학교 건축토목공학부
***황정하 : 경북대학교 건축토목공학부

****† Cho, Young-Hum : School of architecture, Yeungnam University
E-mail : yhcho@ynu.ac.kr, Tel : +82-53-810-3081
*Jung, Young-Ju : Department of Architectural Engineering, Graduate school of Yeungnam University
*Kim, Seok-Hyun : Department of Architectural Engineering, Graduate school of Yeungnam University
**Lee, Yong-Ho : School of Architecture & Civil Engineering, Kyungpook National University
***Hwang, Jung-Ha : School of Architecture & Civil Engineering, Kyungpook National University

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

전 세계적으로 에너지 위기가 큰 문제로 대두되면서 에너지 절약의 중요성이 강조되고 있다. 세계에너지 협의회는 에너지삼중고 (- 에너지안보, 에너지평형, 환경지속 가능성) 해결 목적 달성을 위한 노력의 중요성을 인지하였다. 이렇게 에너지 전환이 가져온 변화에 대응하기 위해 전 세계의 관심이 주목되고 있다. 특히 우리나라는 에너지 소비량의 97%를 수입에 의존하고 있어 에너지 위기가 닥칠 경우 경제가 위태로울 수 있다. 따라서 우리나라 정부는 에너지절약을 위해 신재생에너지를 핵심 대안으로 두고 신재생에너지 산업을 육성하고자 한다. 신재생에너지 중에서 태양열 시스템은 태양으로부터 오는 복사에너지를 열에너지로 변환해서 직접이용하거나, 저장 후 필요시 이용하는 기술이다. 신재생에너지 가운데서 가장 많이 보급된 태양열시스템은 전 세계적으로 80%이상이 주택의 온수급탕용으로 사용된다. 대부분의 태양열 시스템 사용 건물에서 신재생에너지 설치비용 문제 등으로 인하여 건물의 부분부하만을 담당하는 경우가 많으며, 신재생에너지 시스템과 기존열원의 계통이 분리되어 독립적으로 사용되고 있다. 이 경우 효율이 높은 신재생에너지 시스템만으로 부하를 담당할 수 있는 경우에도 두 열원이 모두 작동하게 되며, 그로인해 에너지 낭비가 발생하게 된다.

에너지 소비부분을 따져볼 때 난방부분이 급탕부분보다 크기 때문에 건물 난방에서의 태양열 의존율을 높일 필요가 있다. 또한 주거용 건물에 국한되어 있는 태양열 시스템은 주간에 집중 발생하는 태양에너지를 이용하기 때문에 사무용 건물이나 업무용 건물에 적용하여 건물의 난방에너지로 활용한다면 효과가 높을 것이다. 따라서 본 연구에서는 태양열시스템이 설치된 실제 사무소 건물의 운영현황을 살펴보고 태양열 시스템을 난방부문에서 효율적으로 활용할 경우 건물 전체 시스템의 에너지 저감의 가능성을 확인하고자 한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구에서는 사무소용도로 사용되는 기존건물의 신재생에너지 시스템의 운영 현황을 확인하여, 건물의 급탕용도로 사용 중인 태양열 시스템의 생산열량과 급탕부하를 실측하고 건물 모델링 및 시뮬레이션을 통해 난방부하를 산출하였다. 이를 통하여 태양열 생산열량과 급탕부하를 비교하여 태양열 에너지 의존율을 확인 후 태양열 시스템을 난방 부문에서 활용할 경우 대상건물의 에너지 저감에 대한 가능성을 확인하고자 한다.

2. 대상건물 및 시스템 운영현황

표1과 같이 대상건물은 대전광역시에 위치한 사무소 건물로서 지하1층, 지상5층의 건물이다. 그림1은 대상건물의 전경 모습이다. 재실인원은 약 210명이며, VAV 시스템이 설치되어있으며 신재생에너지원으로는 그림2와 같이 태양열 시스템이 설치되어 있다. 태양열 집열판의 경우 46EA, 92㎡의 면적으로 설치되어 있다.

Fig. 1 Exterior of the building

Fig. 2 Solar thermal collectors of the building

Table. 1 Building Information

구분		내용
건물	위치	대전광역시
	외기온도	-11℃ ~ 32.7℃
	용도	사무실
	연면적	6,164㎡
	층수	지상5층(지하1층)
공조시스템	터미널박스	78 vav boxes
	공조기	4 대 (단일 덕트)
	냉동기	2 대
	보일러	1대, 예비 1대
운영조건	급기온도	냉방 24℃, 난방 30℃
	온수온도	82℃
	실내설정온도	여름 28℃, 겨울 18℃

그림3과 같이 대상건물에 설치된 태양열 시스템의 경우 건물샤워실의 급탕부하를 부담하는 용도로만 사용되며 난방시스템에는 사용되지 않고 있다. 즉 태양열 시스템과 기존 열원간의 계통분리로 인하여 각각 담당하는 부하가 독립적이다.

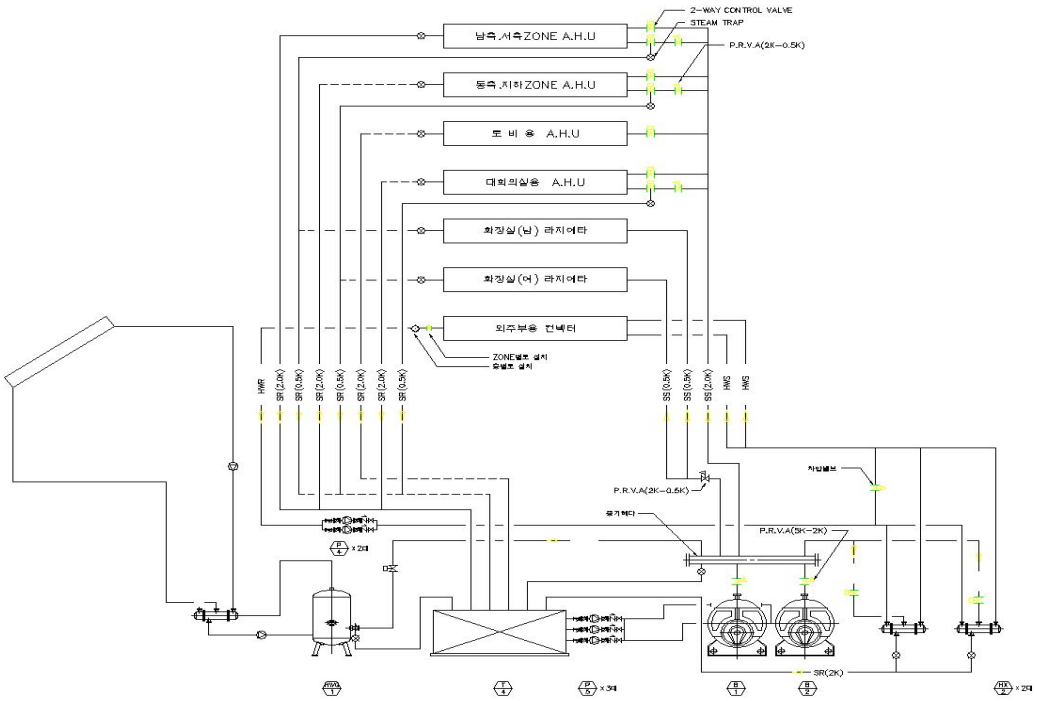

Fig. 3 Shematic Diagram of solar system and heating system

3. 태양열 에너지 생산량 실측

3.1 실측 범위 및 방법

데이터 실측은 실내용 데이터로거 HOBO U12-2ch를 사용하여 측정하였으며 그림4는 태양열 시스템의 기계실 공급관과 환수관의 데이터 측정모습이다. 그림5는 측정지점의 온도를 나타낸 그래프이다. 실측데이터 분석 결과 급탕 공급관과 환수관의 온도차는 약 8℃ 태양열 공급관과 환수관의 온도차는 약 3℃를 나타내고 있었다. 실측데이터를 바탕으로 급탕부하와 태양열 에너지 생산량을 계산하여 태양열 시스템의 부하 분담율을 계산하였다.

Fig. 4. Solar thermal supply pipe and return pipe temperature measurement

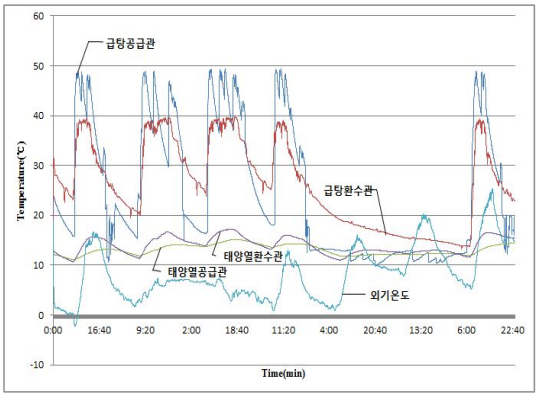

Fig. 5 Actual measured data

3.2 데이터 실측 결과 및 분석

그림6은 급탕부하와 태양열 에너지 생산량을 비교한 그래프이다. 실측데이터 분석 결과 6일을 제외한 모든 날은 급탕부하를 부담하고 남는 미활용 태양열 에너지가 발생함을 확인하였다. 이 결과 전체 태양열 시스템으로 생산한 에너지 중에서 44%만을 급탕부하로 사용하고 있었다. 급탕부하로 사용하고 남는 에너지를 난방에너지에 사용한다면 보일러 사용량을 줄이고 신재생에너지 사용을 최대화 하여 에너지 효율 향상이 가능함을 확인하였다.

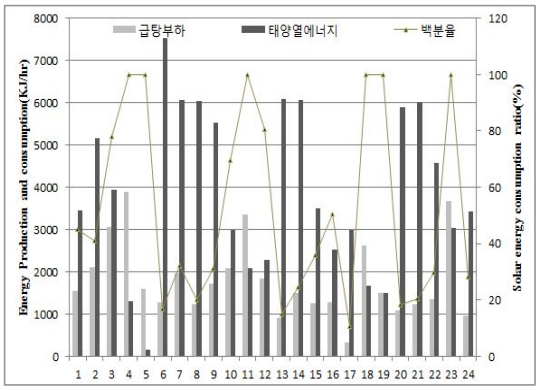

Fig. 6 Comparison graph of Hot water heating load and solar thermal energy production

4. 대상건물 에너지 성능 시뮬레이션

4.1 시뮬레이션 입력조건

설계도면을 분석하고 대상건물을 조닝하여 구글 Sketch Up의 Plug-in인 Open studio로 대상 건물을 모델링 하였다. 그림 7은 대상건물의 모델링 모습이다. 이후 Energy Plus를 사용하여 시뮬레이션을 수행하였으며 대상건물의 운영특성, 기기운전특성, 스케쥴 입력조건 등을 고려하여 실제 건물의 운영 형태를 분석하고 세부 데이터를 입력하였다. 기상데이터의 경우 건물이 실제 위치한 대전광역시

의 기상데이터를 사용하였다. 표2는 각 벽체의 구성요소와 물성치를 나타내고 있다.

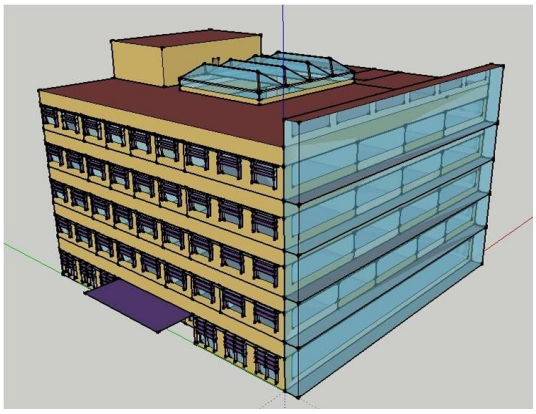

Fig. 7. Building modeling using the Sketch Up program

Table. 2 Specification of material property

	재료	두께(m)	열전도율 (W/mk)	밀도 (kg/㎥)
외벽	화강암	0.03	3.17	2560
	판넬	0.1	0.51	140
	단열재	0.042	0.036	140
	석보보드	0.025	0.58	800
내벽	석고판넬	0.1	0.51	140
천장	텍스	0.012	0.055	140
바닥	콘크리트	0.2	1.6	2240
	단열재	0.061	0.051	140

대상건물의 열원설비는 보일러 2대, 냉동기 2대, 냉각탑 1대, 공조기 4대로 구성되어 있으며 표3은 열원설비의 사양을 나타낸 표이다. 난방시스템은 VAV 시스템과 컨벡터를 이용한 방식 두가지로 구분된다. 대상건물의 난방시스템은 용량 800kg/h의 증기식 보일러로 이루어져 있다. 이는 4개의 공조기와 외주부의 컨벡터로 연결되도록 모델링 되었다. 태양열 시스템의 경우 대상건물의 샤워실 급탕부하를 담당하는 용도로만 사용되며 난방 시스템에는 이용되지 않고 있었다. 표4는 대상건물의 공조기 사양을 나타낸 것이다.

Table. 3 Specifications of heat source equipment

	용도	용량		
보일러	급탕	500 kg/h	운전압력	5 kg/㎠
	난방	800 kg/h		
냉동기	냉방	30 USRT	증발기유량	534 LPM
			응축기유량	453 LPM
냉각탑	냉방	312 kcal/h	송풍량	575 CMM

Table. 4 Specifications of AHU

공조기	송풍량	냉각 코일	가열 코일	가습량
AHU1	39,000 CMH	170,000 kcal/h	119,000 kcal/h	48kg/h
AHU2	32,000 CMH	140,000 kcal/h	98,000 kcal/h	40kg/h
AHU3	15,000 CMH	76,000 kcal/h	70,100 kcal/h	-
AHU4	3000 CMH	25,000 kcal/h	11,000 kcal/h	7kg/h

대상건물의 스케쥴 입력조건은 건물의 운영패턴과 사용시간에 대한 분석을 통해 적용하였다. 대상건물의 기기 운영스케줄은 계절별로 상이하지만 크게 동절기와 하절기로 구분하였으며 사용 스케줄은 건물의 사용시간인 오전7시부터 오후6시 평균 80%의 사용량으로 운영하도록 입력하였다. 사용기기는 재실인원을 고려하여 산정하였으며 재실인원 또한 재실율이 높은 시간에 평균적으로 80%의 사용량을 나타낸다. 점심시간과 퇴근시간 이후에 50%의 사용량이 있으며 심야시간에 대부분의 사용량이 없는 것으로 설정하였다.

4.2 시뮬레이션 검증

시뮬레이션 결과 값에 대한 신뢰도를 검토하기 위하여 실제 에너지 소비량과 시뮬레이

션 에너지 소비량을 비교해 보았다. 시뮬레이션의 결과가 어느 정도의 오차를 가지는지에 대해 정량적으로 평가할 수 있는 MBE(Mean Bias Error)법과 CV(RMSE) (Coefficient of Variation of Root Mean Square Error)법을 사용하였다.

MBE법과 CV(RMSE)법은 ASHRAE[1]에서 제안하는 통계적 방법 중 하나이다. 이 때 계산된 오차범위가 작을수록 시뮬레이션의 신뢰도는 높다고 할 수 있으며 오차 범위는 MBE의 경우 ±5%, CV의 경우 15% 미만인 경우 모델링이 신뢰도가 있다는 것으로 규정한다.

$$\mathrm{MBE}(\%) = \frac{\sum_{Period}(S-M)_{Interval}}{\sum_{Period} M_{Interval}} \times 100 \quad (1)$$

$$RMSE_{Period} = \sqrt{\frac{\sum(S-M)^2_{Interval}}{N_{Interval}}} \quad (2)$$

$$C_V(RMSE_{Period}) = \frac{RMSE_{Period}}{M_{avg}} \times 100 \quad (3)$$

$S_{Interval}$: 시뮬레이션 데이터 (kWh)
$M_{Interval}$: 실제 데이터 (kWh)
$N_{Interval}$: 실제 데이터의 총 개수
M_{avg} : 실제 모니터링 데이터의 평균

식 (1) -(3)을 통해 시뮬레이션의 신뢰도를 계산한 결과 시뮬레이션을 통해 얻은 값은 약 350kWh이며 실측을 통해 얻은 값은 약 363kWh로 MBE법의 오차는 -3.6%, CV법의 오차는 13.4%로 오차 범위를 벗어나지 않고 만족하여 시뮬레이션 결과를 신뢰할 수 있는 것으로 나타났다.

1) ASHRA's GUIDELINE 14, For Measurement of energy and demand savings : How to determine what was really saved by the retrofit, Energy Systems Laboratory, Texas A&M University, 2005

4.3 시뮬레이션 결과

시뮬레이션의 결과를 바탕으로 난방부하와 태양열 에너지 생산량을 비교하였고 그림8과 같다. 난방부하는 97,652kJ/hr이며 태양열 에너지 생산량은 87,263kJ/hr으로 태양열 에너지 생산량 중 급탕부하로 사용되는 에너지는 38,633kJ/hr로 총 생산량의 44%가 사용되고 있었다. 이 결과는 태양열 에너지 생산량 중 56%의 미활용 에너지가 발생함을 나타낸다.

태양열 에너지 중 미활용 에너지를 난방부하에 활용할 경우 에너지 의존율을 분석하였다. 그 결과 급탕부하를 사용하고 남는 태양열 에너지를 난방부하로 사용한다면 난방부하의 약 49%를 부담할 수 있으며 태양열 시스템의 부하 분담율의 증가가 가능함을 확인하였다.

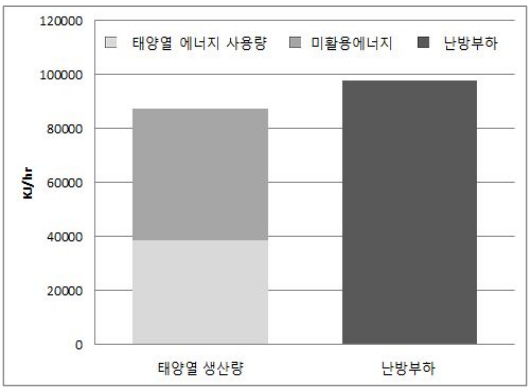

Fig. 8 Comparison graph of heating load and solar thermal energy production

5. 결 론

본 연구에서는 태양열 시스템이 적용된 사무소 건물을 대상으로 태양열 시스템의 급탕 운영 현황을 분석하였다. 그 후 태양열 에너지 생산량이 급탕 사용량 보다 많은 것을 확인하고, 시뮬레이션을 통해 난방부하를 산정하여 태양열 생산량의 미활용에너지를 난방부하 부

담에 사용할 수 있음을 확인하였다. 실측과 시뮬레이션 결과를 정리하여 요약하면 다음과 같다.

(1) 대상건물의 태양열 시스템 운영현황을 살펴본 결과 급탕부하만을 부담하고 있었으며 난방부하는 부담하지 않고 있었다.

(2) 실제 건물의 급탕용도로 사용 중인 태양열 시스템을 실측하여 비교해본 결과 태양열 생산량의 44%만을 사용하고 있었으며 남는 미활용 에너지가 발생함을 알 수 있었다. 이 미활용 태양열 에너지를 난방에너지로 사용한다면 보일러 사용량을 줄이고 신재생에너지 사용을 극대화 하여 에너지 효율 향상이 가능함을 확인하였다.

(3) 대상건물의 시뮬레이션을 통해 난방부하를 파악한 결과 급탕부하를 사용하고 남는 태양열 에너지를 난방부문에서 활용할 경우 난방부하의 약 49%를 절감할 수 있음을 확인하였다.

후 기

이 논문은 2014년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (NRF-2011-0012071)

Reference

1. Yu S.W., Jung Y.J., Kim S.H., Jo J.H. and Kim Y.S., A study on the optimized control strategies of geothermal heat pump system and absorption chiller-heater, International Journal of Energy Research, 2013
2. Yu S.W., Jo J.H., Kim Y.S., and Cho Y.H., A study on efficient complex operation of Geothermal Heat pump system and Absorption chiller-heater, Proceedings of the Korean Solar Energy Society, 2012
3. Kwak H.Y., Kim J.B., Joo H.j., and 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, pp.119~126, 2006
4. Kwak H.Y and Joo H.J, Thermal Performance of Space heating and Hot water for Solar System. Proceedings of the Korean Solar Energy Society, 2007
5. Kang S.H., Lee Y.H., Hwang J.H. and Cho Y.H., The analysis of the renewable energy supply ratio for the school building applied PV system, Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol. 32, No. 2, pp. 55~57, 2012
6. Kim H.J., Jung Y.J., Seo D.H. and Cho Y.H., A study on the Selection of the VAV System and Proper Minimum Airflow to Improve Energy Efficiency, J.Korean Soc. Living Envirion.Sys, Vol. 20, No. 7, pp. 906~912, 2013
7. Shin U.C., Baek N.C., Kwak H.C. and Ju H.L., An experimental study on the solar hot water heating system for the dormitory of universuty, Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol. 26, No. 2, pp. 103~109, 2006
8. ASHRA′s GUIDELINE 14, For Measurement of energy and demand savings : How to determine what was really saved by the retrofit, Energy Systems Laboratory, Texas A&M University, 2005
9. TRNSYS 17 Reference Manual, University of Wiconsin Madison, 2010