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

Vol. 35, No. 1, 2015
ISSN 1598-6411
http://dx.doi.org/10.7836/kses.2015.35.1.045

외기보상제어 적용에 따른 지열 히트펌프 시스템의 에너지 효율 향상에 관한 연구

A Study on the Energy Efficiency of a Geothermal Heat Pump System in use the Outdoor Reset Control Application

정영주* · 김효준* · 이용호** · 황정하*** · 조영흠****†
Jung, Young-Ju*, Kim, Hyo-Jun**, Hwang, Jung-Ha and Cho, Young-Hum****†

(Received 23 December 2014; accepted 29 Febuary 2015)

Abstract : The government is fostering a renewable energy industry as an alternative to handle the energy crisis. Among the renewable energy systems available, geothermal energy is being highlighted as being highly efficient and safely operable without the effect of outdoor air. Accordingly, a study on the geothermal heat pump is in progress in various worldwide perspective. However, Geothermal energy is only in charge of part load of the building due to the high initial installation cost in korea. Moreover, its efficiency is reduced due to the use of independent existing heat sources. In this study, after selecting the building containing the actual installed geothermal heat pump , the use of excellent geothermal heat pump systems was maximized in terms of the energy efficiency. The objective of this study is to show the operation method of geothermal heat pump system to improve energy efficiency through the TRNSYS simulation. This paper proposed operation methods of geothermal heat pump control according to outdoor air temperature. The result of this study is that existing operation method had some problems and if offered improvement is applied to real condition, energy consumption would be decreased.

Key Words : 신재생 에너지(Renewable energy), 지열 히트펌프 시스템(Geothermal heat pump system), 건물 에너지(Building energy), 외기보상제어(Outdoor reset control)

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

****† Cho, Young-Hum : School of Architecture, Yeungnam University, Gyeongsan, Gyeongbuk 712-749, Korea.
E-mail : yhcho@ynu.ac.kr, Tel : +82-53-810-3081
*Jung, Young-Ju : Department of Architectural Engineering, Graduate school of Yeungnam University
*Kim, Hyo-Jun : 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

에너지는 국가 경제성장에 없어서는 안 되는 중요한 요소인 만큼 에너지 공급의 안정성이 중요하다. 에너지 공급에 문제가 발생할 경우 사회적 혼란이 발생하며 국가 경제에도 큰 손실을 야기한다. 특히 우리나라는 에너지 소비량의 97%를 수입에 의존하고 있으며, 에너지 소비가 매우 높은 에너지 다소비 국가이므로 에너지 수급상황과 향후 전망에 많은 관심을 기울이며 문제가 발생했을 때 체계적으로 대응할 수 있도록 구체적인 대안을 마련해야 한다. 화석연료 사용을 줄여 환경문제를 해결 할 수 있고, 에너지 공급 안정성을 고려할 수 있도록 신재생 에너지 공급의 증가를 하나의 대안으로 보고 있다. 따라서 정부에서는 신재생에너지 및 에너지 효율화를 중심으로 국가 단위의 에너지 정책에 대한 투자가 이루어지고 있다. 신재생 에너지 중에서도 지열 시스템은 냉난방 시스템 중에서도 효율이 높고 환경 친화적인 설비로 기기의 수명이 길고 유지보수비가 적게 든다는 장점을 가지고 있다. 우리나라에서도 공공건축물의 신재생 에너지 시스템 보급사업 및 설치의무화 제도에 의하여 지열 냉난방 시스템의 경제성 및 편리성에 대한 인식이 확산되고 있다. 이에 따라 지열 히트펌프 시스템에 관한 연구가 많이 이루어지고 있으며 주로 지중 열교환기의 효율을 높이기 위한 연구와 성능평가에 관한 연구가 많이 진행되고 있었다. 남유진[1]의 연구에서는 이론적 고찰과 시뮬레이션을 통하여 지열원 히트펌프의 효율향상을 확인하였다. 황인주[2]와 Ozgener[3,4]의 연구에서는 실제 시스템의 실험적 성능평가를 통하여 복합사용 가능성과 성능을 확인하였다. 손병후[5]의 연구에서는 실제 건물에 기존의 냉난방 설비 대신 지열 히트펌프 시스템을 설치한다고 가정한 후 냉난방 성능을 예측하였다. 그러나 대부분 기존의 연구에서는 지열 히트펌프 시스템의 효율을 높이기 위한 실제 운영방안에 관한 연구는 부족한 실정이다. 유시완[6]의 연구에서는 기존 열원과 지열 히트펌프 시스템의 복합운영에 관한 실제 방안에 대한 제어방법을 제안하였다. AHU의 개폐 정도를 제어포인트에 추가하고 시간지연에 의한 순차적 제어를 제안하였지만 히트펌프의 기기성능을 고려하거나 환경변수를 반영하는 제어방안은 아니었다. 따라서 본 연구에서는 환경변수를 고려한 외기보상제어를 지열 히트펌프 시스템에 적용하여 지열 히트펌프 시스템의 사용을 최대화하고 기존 열원 시스템의 사용을 최소화하는 에너지 효율 향상을 위한 실제 운영방안에 대한 제어방법을 제안하고 평가하고자 한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구에서는 실제 지열 히트펌프 시스템이 설치되어 운영 중인 대상건물을 선정한 후 운영 현황을 분석하였다. 그 후 지열 히트펌프 시스템의 기존 운영 방안의 문제점을 파악하였고 지열 히트펌프 시스템의 에너지 효율 향상을 위한 실제 운영방안을제시한 후 TRNSYS 시뮬레이션을 통하여 평가하였다.

2. 대상건물 및 시스템 운영현황

2.1 대상건물

Fig. 1 Exterior of the building

대상건물은 경북 칠곡에 위치한 K대학 병원건물이며 그림1은 대상건물의 전경모습이다. 표1과 같이 지하3층, 지상9층으로 이루어진 건물이며, 신재생에너지로는 지열 히트펌프 530RT가 설치되어 있다.

Table. 1 Summary of the building

Classification	Contents
Building name	G University Hospital
Use	medical facilities
Building area	9,737㎡
Total floor area	81,928㎡
Geothermal heat pumps use area	2,263㎡
Geothermal heat pumps installed capacity	530RT
Number of bed hospitals	502sickbed

Table. 2 Individual room air-conditioning conditions.

Classification	Temperature(℃)		Humidity((%)	
	Summer	Winter	Summer	Winter
Department of ward	26	23	55	45
Department of pharmacy	26	22	55	45
Outpatient department	26	22	55	45
Operating room	24	24	50	50
Recovery room	24	25	55	50
Office	26	20	55	45
Assembly hall	26	20	55	45

Table. 3 Heat pump data information

Classification	GH-1		GH-2	
Quantity	11		1	
Capacity(RT)	Cooling	Heating	Cooling	Heating
	46.24	48.86	9.86	9.99
EST(℃)	31	5	31	5
Supplied water temperature(℃)	7	45	7	45
Return water temperature(℃)	12	40	12	40

Table. 4 Absorption chillers data information

Equipment number	DAC H-1		DAC H-2	
Quantity	3		1	
Capacity (RT)	Cooling (USRT)	Heating (Kcal/hr)	Cooling (USRT)	Heating (Kcal/hr)
	800	2,419,500	500	1,512,000
cold water	entrance	exit	entrance	exit
	12	7	12	7
Hot water	55	60	55	60
Cooling water	32	37.5	32	37.5

2.2 공조현황

실별 공조현황은 표2와 같으며 건물의 열원시스템으로는 지열 히트펌프 530RT, 흡수식 냉온수기 2900RT가 설치되어 있다. 표3과 표4는 지열 히트펌프와 흡수식 냉온수기의 장비정보를 나타낸 것이다.

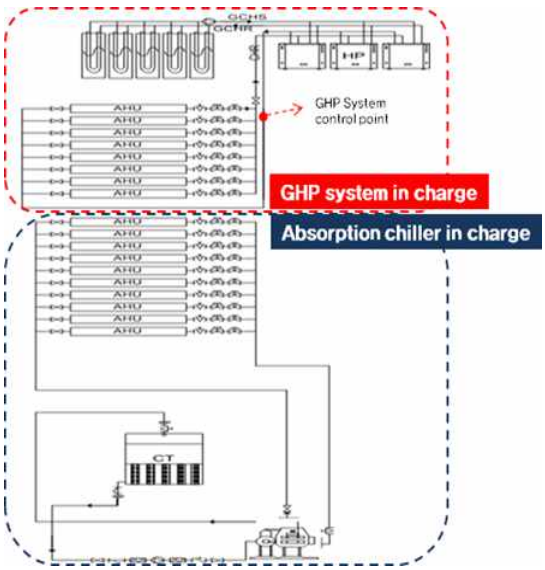


Fig. 2 Schematic diagram of heat source

그림2와 같이 지열 히트펌프는 건물의 일부 구간을 공조하는 데에 사용되고 흡수식냉온수기와 혼합하여 사용하지 않으며, 열원시스템

에서 생산된 열원수는 FCU와 AHU로 공급되어 각 담당구역을 공조한다. 현재 열원 시스템은 자동제어로 이루어져 있으며, 지열 히트펌프와 흡수식냉온수기 모두 냉,온수 공급온도를 기준으로 대수제어가 이루어지고 있다. 하지만 이 경우 부하가 적을 경우에도 모든 열원 시스템은 설정온도를 맞추기 위하여 지속적으로 운전을 하게 되고 이에 따라 에너지가 낭비되는 문제점이 발견되었다.

3. 열원시스템 운영방안 제시

한국의 여름철 전력량 수요가 주로 냉방용 전력수요에 의해 크게 증가되고 있는 시점이다. 그러나 건물의 환경성능 향상을 위한 냉방부하 저감에 관한 연구는 미흡하다. 또한 실제 대상건물에서 팬 풍량 과대 설계로 인한 공조공간의 과냉 현상으로 인한 에너지 낭비와 기존운영방안의 문제점을 발견하였고 이에 본 연구에서는 여름철 냉방부하의 저감에 초점을 맞추어 지열 히트펌프 시스템의 에너지 효율 향상을 위한 실제 운영방안을 제안하고 평가하고자 한다.

3.1 기존운영방안

대상건물의 지열히트펌프 시스템의 제어는 히트펌프 부하 측 환수온도를 고려하여 이루어진다. 여름철 히트펌프 냉수 출구온도의 설정값(Tset)인 7℃를 유지하도록 제어되고 있다. 즉, 히트펌프 냉수 출구온도가 7℃보다 아래인 경우 히트펌프 시스템의 작동을 중단하고 7℃이상인 경우 히트펌프 시스템이 작동되는 on/off 제어를 한다.

대상건물의 지열 히트펌프는 부하 측 환수온도를 설정 값에 맞추기 위하여 운영되며 그에 따라 on/off 제어를 하고 있었다. 그러나 공조공간에 부하가 없을 경우에도 냉수 온도의 설정 값에 맞추기 위하여 운전되어 불필요한 에너지가 소비되고 있으며 이를 해결하기 위해 냉수 온도의 설정 값을 제한하지 않고 에너지 낭비를 줄이는 제어방안이 필요할 것으로 판단된다.

3.2 외기보상제어

기존의 지열히트펌프 제어 방식으로는 부하 측 환수온도를 일정하게 유지하기 위해 불필요한 에너지가 발생한다. 따라서 외기온도의 변화에 따라 실내로 공급되는 냉방공급수의 온도를 비례적으로 변화 시키는 외기보상제어를 하나의 제어방안으로 마련하였다. 여기서 외기보상제어는 열손실율이 외기온에 따라 달라지므로, 공급온도를 외기온에 따라 조절함으로써 공급 냉수의 온도를 제어하는 제어방식이다. 식(1)과 식(2)를 이용하여 그림3과 같이 직선 R을 구할 수 있다.

$$R = \frac{(T_{W,\max} - T_{W,\min})}{(T_{O,\min} - T_{O,\max})} \quad (1)$$

$$T_{water} = R(T_{out} - T_{o,\min}) + T_{w,\max} \quad (2)$$

R : 외기보상률
Tw,max : 최대 설정 공급냉수온도(℃)
Tw,min : 최소 설정 공급냉수온도(℃)
To,max : 최대 외기온(℃)
To,min : 냉방 개시 외기온(℃)
Twater : 히트펌프 냉수출구온도(℃)
Tout : 외기온(℃)

그림 4는 본 연구에서 나타난 외기온도 변화에 따른 공급 냉수온도의 설정 값의 변화를 나타낸 그림이다. 그러나 외기온도가 34℃ 이

상이 될 경우 냉수온도가 지나치게 낮아지므로 최소 공급 냉수온도를 기존의 설정온도인 7℃로 하여 외기온이 높아지더라도 냉수온도의 최저값($T_{w,min}$)아래로 떨어지지 않고 공급하도록 제어한다.

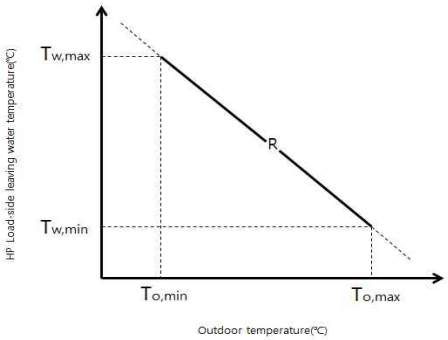


Fig. 3 Outdoor reset control curve

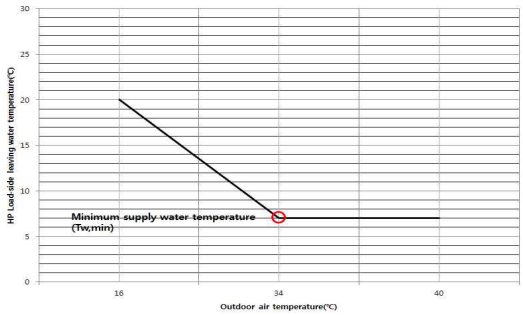
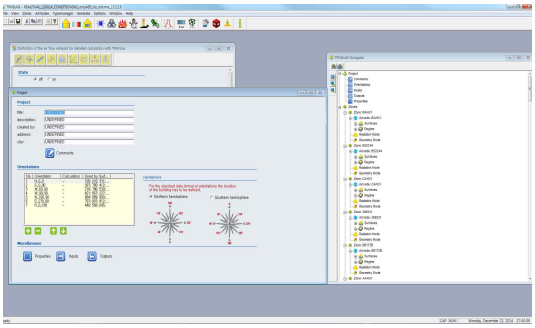


Fig. 4 Outdoor reset control curves for the supply cold water

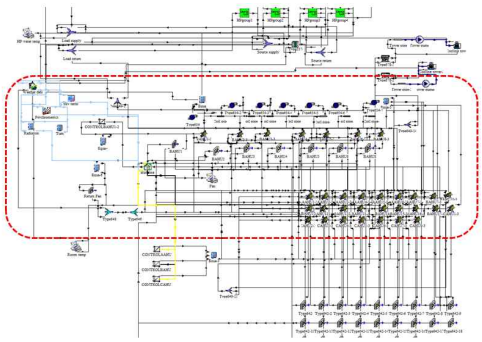
4. 시뮬레이션

4.1 시뮬레이션 툴

대상건물의 모델링은 Google Sketch up의 TRNSYS 3D를 이용하여 모델링 하였다. 그 후 그림 5와 같이Trnbuild modeling과 TRNSYS Studio modeling을 사용하여 대상건물의 세부 데이터를 입력하고 HVAC 시스템을 구현하였다. 기상데이터의 경우 대상건물이 위치한 대구지역의 기상데이터[7]를 사용하였으며, 8월 평균기온은 26.1℃이다. 대상건물의 냉방기간은 6월 말부터 9월초까지이다. 시뮬레이션의 신뢰도[8]는 선행 연구에서 검증하였다.



(a)Trnduild modeling



(b)TRNSYS Studio modeling

Fig. 5 Simulation tool - TRNSYS

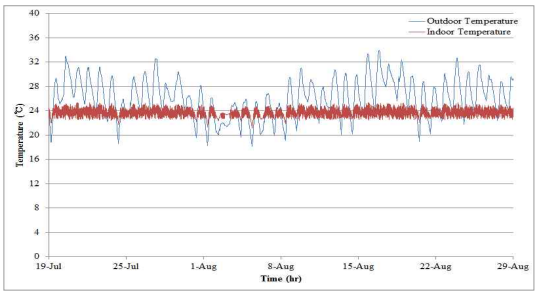
4.2 대상건물 모델링

히트펌프 시스템의 효율을 높이는 운영방안을 제시하였고 기존의 방식과 제안된 방식의 에너지 소비량을 비교하기 위하여 Trnsys simulation studio를 통하여 모델링한 후 시뮬레이션 하였다. 히트펌프는 물대물 방식의 Type927을 사용하였고, 지중열교환기는 Type557a 수직형 열교환기를 사용하였다. 지열 히트펌프는

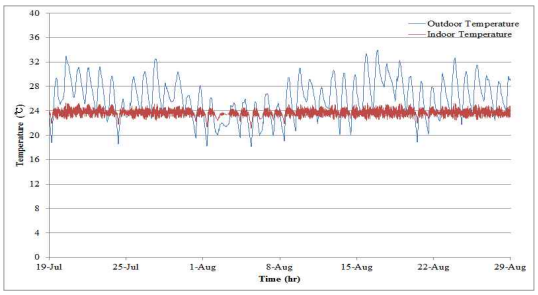
8) Young-Ju Jung, et al, A Study on the Geothermal Heat Pump System Performance Analysis according to Water Flow Rate Control of the Geothermal Water Circulation Pump,

총 3 그룹으로 나누었으며 각각의 설정온도 제어를 위해서 Type 911의 on/off Controller를 사용하였다. 외기보상제어의 경우 기존의 운영방식에서 외기온도를 제어시스템에 연결시켜 구현하였다.

4.3 시뮬레이션 평가



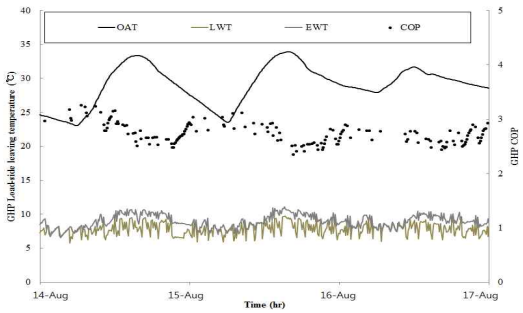
(a)Existing operating status



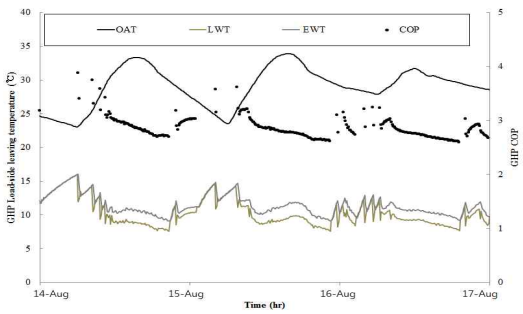
(b)Outdoor reset control

Fig. 6 Indoor heat environment in accordance with the case

그림 6은 하절기 실내온도를 24℃(±1℃)로 설정 하였을 때 실내 공간의 온도를 나타낸 그래프이다. 실내공간의 설정온도는 조금만 벗어나도 재실자들의 쾌적에 문제가 생길 것이다. 그림6-(a)와 같이 기존의 운영방안의 경우 방의 최저온도가 21.72℃ 최대온도가 26.12℃이며 방의 평균온도는 23.36℃로 나타났다. 외기보상제어의 경우 그림6-(b)와 같이 최저온도가 22.13℃ 최대온도가 25.35℃이며 방의 평균 온도는 23.82℃를 나타냈다. 시뮬레이션 결과 두 방안 대부분 실내 공간의 설정 편차 내에서 실온의 제어가 가능했으나, 평균 실의 온도는 기존의 운영방안에서 외기보상제어로 갈수록 설정 값에 더 근접하였으며 실온편차가 줄어드는 것을 확인하였다. 이에 따라 실내 열 환경이 안정적으로 실온을 제어할 수 있음을 확인하였다.



(a)Existing operating status



(b)Outdoor reset control

Fig. 7 Cold water inlet and outlet temperature and COP of the geothermal heat pump

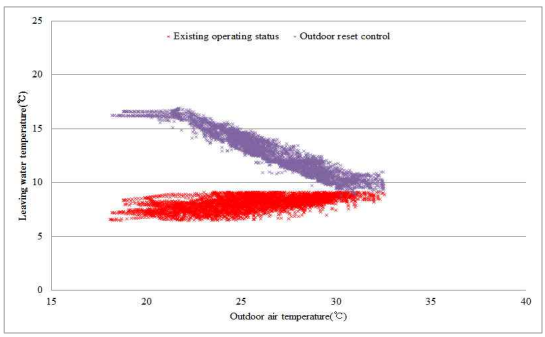


Fig. 8 Cold water inlet and outlet temperature according to the outlet temperature

그림 7의 경우 각 운영방안별 지열히트펌프의 냉수 입,출구 온도와 COP를 분석한 결과이다. 기존운영방안의 경우 지열히트펌프의 출구온도는 평균 7.86℃ 입구온도는 평균 8.97℃이며 COP는 최대 3.25로 나타나고 있다. 냉수 온도 7℃를 맞추기 위해 낭비되는 에너지가 발생하므로 외기보상 제어를 적용하였으며 그 결과 외기보상제어의 경우 지열히트펌프의 출구 온도는 7℃~16℃ 입구온도는 7℃~16℃로 평균 냉수 출구온도는 10.29℃ 평균 냉수 입구온도는 11.39℃를 나타냈다. 그림 8은 외기 온도에 따른 냉수 입 출구 온도를 나타낸 그래프이다. 기존의 운영방안의 경우 외기 온도와 관계없이 냉수 온도가 설정값인 7℃(±1℃)의 범위에서 움직이고 있었다. 반면 외기보상제어의 경우 외기온도에 따라 냉수출구온도가 비례하여 변화하고 있음을 확인하였다.

냉수 출구온도를 설정 값에 맞추는 것이 아니라 외기온도에 따라 비례적으로 변하기 때문에 냉수출구온도를 7℃로 고정하는 기존의 운영방안에 비해 입,출구 온도를 비례제어하는 외기보상제어가 입,출구 온도 모두 편차가 커졌으며, 설정값을 맞추기 위한 불필요한 에너지의 소비가 줄어 이에 따라 에너지 절약이 가능할 것으로 예상된다.

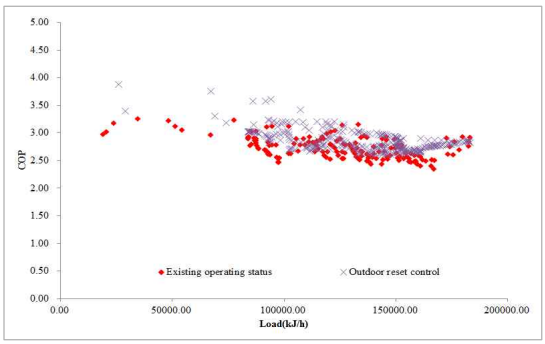


Fig. 9 Geothermal heat pump system COP and indoor load relationship

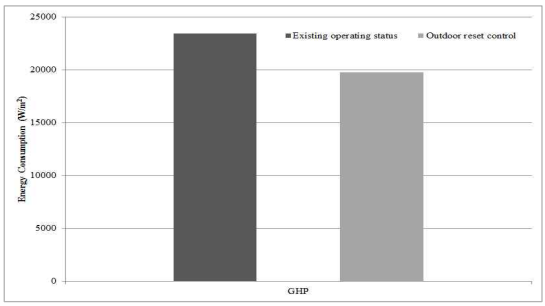


Fig. 10 Comparison of the energy consumption for a geothermal heat pump system.

그림 9는 부하에 따른 COP의 관계를 분석하여 나타낸 그래프이다. 같은 부하상황일 때 기존운영방안보다 외기보상제어일 때 히트펌프의 성능이 더 높게 나타나는 것을 확인하였다.

또한 각 운영방안별 지열히트펌프의 에너지 소비량측면에서 비교 분석한 결과는 그림 10과 같다. 외기보상제어가 기존의 운영방식에 비해 약 16% 정도 에너지가 절감된 것을 확인하였다. 이는 외기보상제어에 따른 기기의 효율적인 운영이 이루어졌기 때문으로 판단된다.

5. 결 론

지열 히트펌프 시스템의 현재 운영현황의 문제점을 살펴본 결과 효율적인 활용이 이루어지지 않고 있었다. 따라서 본 연구에서는 지열 히트펌프 시스템의 효율을 최대화 하는 운영방안을 제시하고 시뮬레이션을 통한 평가를 실시하였으며 본 연구의 결론은 다음과 같다.

(1) 대상건물의 지열 히트펌프는 부하 측 환수 온도를 설정 값에 맞추기 위하여 운영되며 그에 따라 on/off 제어를 하고 있었다. 그러나 공조공간의 부하가 없을 경우에도 냉수 온도의 설정 값에 맞추기 위하여 운전되어 불필요한 에너지가 소비되고 있었다. 따라서 이를 해결한 제어방법이 필요하다.

(2) 외기 온도의 변화에 따라 실내로 공급되는 냉방공급수의 온도를 비례적으로 변화시키는 외기보상제어를 제안하였다. 기존의 운영방안의 경우 지열히트펌프의 출구온도는 평균 7.86℃이고, 외기보상제어의 경우 지열히트펌프의 평균 냉수 출구온도는 10.29℃이다. 냉수 출구온도를 설정 값에 맞추는 것이 아니라 외기온도에 따라 비례적으로 변하기 때문에 냉수출구온도를 7℃로 고정하는 기존의 운영방안에 비해 입,출구 온도를 비례제어하는 외기보상제어가 입,출구 온도 모두 편차가 커졌다.

(3) 또한, 같은 부하상황일 때 기존운영방안보다 외기보상제어 일 때 히트펌프의 성능 즉, COP가 더 높게 나타났다.

(4) 에너지 소비량을 비교한 결과 외기보상제어의 경우 기존의 방식에 비해 16% 에너지 절감이 가능하였다.

후 기

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

Reference

1. Nam Y.J., Study on the optimum design of a heat pump system using solar and ground heat. The Society of Air-conditioning and Refrigerating Engineers of Korea, Vol.24, No.6, pp. 509～514, 2012
2. Hwang I.J., Woo N.S. and Lee H.C., A study on the performance evaluation of hybrid energy system with geothermal and solar heat sources. The Society of Air-Conditioning and Refrigerating Engineers of Korea Vol.18, No.3, pp.279～286, 2006.
3. Ozgener O., Experimental investigation of the performance of a solar-assisted ground-source heat pump system for greenhouse heating. International Journal of Energy Research, Vol.29, pp.217～231, 2004.
4. Ozgener O, and Hepbasl A., Experimental performance analysis of a solar assisted ground-source heat pump greenhouse heating system. Energy and Buildings, Vol.37, No.1, pp.101～110, 2005.
5. Sohn B.H. and Kwon H.S., Performance Prediction on the Application of a Geothermal Heat Pump(GHP) System in an Office Building, The Society of Air-Conditioning and Refrigerating Engineers of Korea, Vol.26, No.9, pp. 431～434, 2013.
6. 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, Vol.38, No.8, pp.1083～1098, 2014
7. The Korean Solar Energy Solar Energy Society. : http://kses.re.kr/
8. Jung Y.J., Jo J.H., Kim Y.S. and Cho Y.H., A Study on the Geothermal Heat Pump System Performance Analysis according to Water Flow Rate Control of the Geothermal Water Circulation Pump, Korean Solar Energy Society, Vol.34, No.6, pp.103～109, 2014
9. ASHRAE'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
10. ASHRAE handbook-fundamentals. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers, Inc; 2009.