양방향 설정온도 제어에 따른 지중연계 히트펌프 시스템의 에너지 절감량 평가 연구

강은철*, 이의준*[†], 민경천**

한국에너지기술연구원 에너지효율연구본부*, 코텍엔지니어링**

Two Way Set Temperature Control Impact Study on Ground Coupled Heat Pump System Energy Saving

Eun-Chul Kang*, Euy-Joon Lee*[†], Kyong-Chon Min**

Energy Efficiency Research Division*, Korea Institute of Energy Research, Daejeon 305-343, Korea
KOTEC Engineering**, Seoul, 431-767, Korea

Abstract

Government has recently restricted heating and cooling set temperatures for the commercial and public buildings due to increasing national energy consumption. The goal of this paper is to visualize a future two way indoor set temperature control impact on building energy consumption by using TRNSYS simulation modeling. The building was modelled based on the twin test cell with the same dimension. Air source ground coupled heat pump performance data has been used for modeling by TRNSYS 17. Daejeon weather data has been used from Korea Solar Energy Society. The heating set temperature in the reference room is 24°C as well as the target room set temperature are 23°C, 22°C, 21°C and 20°C. The cooling set temperature of the reference room is also 24°C as well as the target room set temperature of 25°C, 26°C, 27°C and 28°C. For the air source heat pump system, heating season energy consumption is 35.52 kWh/m²y in the reference room. But the heating energy consumption in the target room is reduced to 7.5% whenever the set temperature decreased every 1°C. The cooling energy consumption in the reference room is 4.57 kWh/m²y. On the other hand, the energy consumption in the target room is reduced to 22% whenever the set temperature increased every 1°C by two way controller. For the geothermal heat pump system, heating energy consumption in the reference room is reduced to 20.7%. The target room heating energy consumption is reduced to 32.6% when the set temperature is 22°C. The energy consumption in the target room is reduced to 59.5% when the set temperature is 26°C.

Key words: Ground coupled heat pump(지열히트펌프), Twin test cell(비교실험실), Simulation modeling(시뮬레이션 모델링), Power consumption(소비동력), Energy saving(에너지 절감), SCOPh(난방계절 성능지수), SCOPc(냉방계절 성능지수)

1. 서 론

[†] Corresponding author

Tel.: +82-42-860-3514, Fax: +82-42-860-3739

E-mail: ejlee@kier.re.kr

접수일 : 2014년 4월 4일

심사일 : 1차:2014년 4월 17일, 2차:2014년 4월 25일

채택일 : 2014년 5월 7일

전 세계적으로 에너지 사용은 급증하고 있으며, 우리나라 또한 에너지 사용 급증으로 피크 냉난방 기간에는 전력 부족 현상이 나타나고 있다. 이

러한 에너지 현안으로 인해 2012년부터는 국가적으로 전력비상 수급기간을 정하여 체계적인 전력 관리 시스템을 도입하기에 이르렀다. 기존의 수요자 중심의 냉난방 설정온도를 최근에는 국가에서 지정하고 있으며, 상업용 및 주거 건물에서의 난방 설정온도는 20℃(공공건물 18℃)[5], 냉방 설정온도는 26℃(공공건물 28℃)[6]로 제한하고 있다. 본 논문에서는 공기열원 히트펌프 시스템을 냉난방 설비로 갖췄을 때 히트펌프 스마트 제어의 일환으로 양방향 실내 설정온도 제어에 따른 건물 에너지 절감량을 정량적으로 평가해 보고자 한다.

2. 건물 설계 및 시스템 모델링

2.1 비교실험실(Twin Test Cell)

공기열원 히트펌프 시스템을 냉난방 설비로 갖추고 있는 실험용 건물을 Fig. 1과 같이 구축하였다. 이 건물은 양측에 동일한 크기와 형태의 실험 공간과 가운데에 모니터링용 공간을 구비하고 있는 비교실험실 실험 장치이며, 양측 실험 공간에는 공기열원 히트펌프를 구비하여 냉방과 난방을 수행할 예정이다. 이 비교실험실은 75mm 두께의 샌드위치 패널로 제작되었으며, 건물의 기본적인 사양은 Table 1에 나타내었다.

Fig. 1 KIER twin test cell.

Table 1 Twin test cell specification.

Test room dimension [m]	2.0×4.0×2.4
Monitoring room dimension [m]	1.0×4.0×2.4
Test room area [m ²]	8.0
Wall type (No window)	Sandwich panel
Wall thickness [mm]	75
U-value [W/m ² .℃]	0.293
Infiltration [ACH]	0.2
Light Power Density [W/m ²]	4.7
Equipment Power Density [W/m ²]	8.2

2.2 비교실험실 부하 해석

실험용 비교실험실에 대한 냉난방 부하 해석은 시뮬레이션 프로그램(TRNSYS 17)[3]을 활용하여 산출하였다. 건물의 냉난방 설정온도는 24℃로 설정하였으며, 태양에너지학회에서 제공하는 대전지역의 기상데이터를 활용하였다. 냉난방부하를 구하기 위한 조건으로 조명부하 4.7W/m², 기기부하 8.2 W/m²로 설정하였고, 실험용 건물이므로 사람의 출입이 없다고 가정하고 침기부하를 0.2 ACH로 설정하였다[4]. 난방은 11월 1일부터 4월 31일까지 6개월간, 냉방은 6월 1일부터 9월 31일까지 4개월간으로 기간을 정하였다. Table 2는 비교실험실에서의 냉난방 피크부하와 냉난방 기간 동안의 총 부하량을 나타내었다.

Table 2 Twin test cell seasonal loads.

Mode	Set Temp.	Peak Load [W]	Seasonal Loads [kWh/m ²]
Heating	24℃	362	89,427
Cooling	24℃	133	8,853

2.3 히트펌프 유닛 성능 데이터

공기열원 히트펌프는 시뮬레이션 프로그램(TRNSYS 17)에서 제공하고 있는 공기 대 공기 히트펌프 유닛의 성능데이터를 사용하였다. 그러나 TRNSYS에서 제공하는 히트펌프의 용량이 본 실험장치의 규모에 비해 약 16배 정도 크기 때문에 시뮬레이션 분석을 위한 방안으로 히트펌프 성능데이터의 용량을 16배로 낮춰서 사용하였다. 본 연구에서

사용한 히트펌프 유닛에 대한 성능 데이터는 KS C 9306에서 제시하는 표준조건[7]을 기반으로 하였으며, Table 3에 나타내었다.

Table 3 Air to air heat pump performance data.

Model	TRNSYS 17 AAHP performance data	
	Heating	Cooling
Capacity [W]	341.8	330.9
Power [W]	115.6	117.6
COP	2.958	2.815
Air flow rate [l/s]	18.75	18.75
Temp. dead band	1 °C	1 °C

2.4 TRNSYS 시뮬레이션 모델링

실험용 비교실험실을 기반으로 하는 공기열원 히트펌프 시스템의 냉난방 특성 평가를 위해서 Fig. 2와 같이 시뮬레이션 프로그램 모델링을 구현하였다[1]. 본 시뮬레이션 모델링은 동일 지역, 동일 건물, 동일 시스템으로 가동되는 것을 모사 하였으며, 실내 설정온도 제어에 따라 냉난방 총 에너지 절감량 및 기간별 히트펌프 COP 변화량을 정량적으로 평가해 보았다. 또한 지열 연계 공기열원을 히트펌프의 열원으로 사용되었을 때의 건물 냉난방 총 에너지 절감량 및 기간별 히트펌프 COP 변화량을 함께 평가해 보았다.

Fig. 2 TRNSYS simulation studio modeling.

3. 시뮬레이션 수행 결과

3.1 설정온도에 따른 난방 에너지 절감량

비교실험실에서 난방 설정온도가 24°C인 기준 공간 대비 실내온도를 1°C씩 낮췄을 때의 실험 공간에서의 에너지 절감량을 시뮬레이션을 통하여 비교해 보았다. Table 4는 시뮬레이션 결과를 보여주고 있으며, 시뮬레이션 결과 기준 공간에서의 총 난방 전력소비량은 35.52 kWh/m²y로 나타났다. 설정온도가 1°C 낮아질 때마다 전력 소비량은 7.5%씩 감소하였으며, 실내온도가 20°C로 설정된 경우의 전력소비량은 24.90 kWh/m²y으로 기준 공간 대비 약 30% 가량 에너지가 절감됨을 알 수 있었다. 히트펌프 난방 총 SCOPh(난방계절 성능 지수)는 설정온도가 낮아짐에 따라 조금씩 증가함을 알 수 있었다.

Table 4 Set temperature impact on heating season energy savings.

Set Temp.	SCOPh	Power consumption [kWh/m ² y]	Energy saving [%]
24°C	2.50	35.517	-
23°C	2.51	32.846	7.5
22°C	2.53	30.183	15.0
21°C	2.55	27.527	22.5
20°C	2.56	24.898	29.9

3.2 설정온도에 따른 냉방 에너지 절감량

비교실험실에서의 난방 시뮬레이션 수행과 같은 방법으로 냉방 시뮬레이션 수행을 하였다. 냉방 설정온도가 24°C인 기준 공간 대비 설정온도를 25°C~28°C까지 1°C씩 높이면서 실험 공간에서의 에너지 절감량을 비교해 보았다. 시뮬레이션 결과 기준 공간에서의 총 냉방 전력소비량은 4.57 kWh/m²y로 나타났다. 냉방 총 전력 소비량은 설정온도를 1°C 높일 때마다 20~30%씩 감소함을 알 수 있으며, 설정온도가 28°C일 경우에는 0.46 kWh/m²y로 약 90%까지 감소됨을 알 수 있었다. 냉방 전력 소비량이 이렇게 크게 감소하는 이유

는 외기온도 대비 실내온도 차가 대체로 크지 않기 때문인데, 냉방은 기온이 높은 낮 시간을 제외하고는 대체로 실내온도와 외기온도 차가 크게 나타나지 않기 때문이다. 이러한 영향으로 히트펌프 냉방 총 SCOPc(냉방계절 성능지수)는 설정온도가 높아짐에 따라 조금씩 증가함을 알 수 있었다.

Table 5 Set temperature impact on cooling season energy savings.

Set Temp.	SCOPc	Power consumption [kWh/m ² y]	Energy saving [%]
24℃	2.80	4.573	-
25℃	2.87	3.061	33.1
26℃	2.93	1.868	59.2
27℃	2.97	0.975	78.7
28℃	2.99	0.464	89.9

3.3 GCHP에 의한 난방 에너지 절감량

히트펌프 열원으로 외부공기 대신에 지중 공기열을 사용하는 시뮬레이션 모델링을 비교실험실을 대상으로 수행 하였다[2]. 지중 공기열은 지역마다 조금씩 다를 수 있으나 대체로 15℃~17℃ 범위에 속한다. Table 6은 지열온도가 10℃~14℃로 변환에 따른 히트펌프의 성능 데이터를 보여주고 있다. 지열공급 온도가 14℃일 때의 히트펌프 SCOPh는 3.18이었으며 약 20.7%의 에너지 절감효과가 나타났다. 지열공급 온도가 10℃일 때는 SCOPh는 2.97로 약 15.9%의 에너지 절감효과가 나타남을 알 수 있었다.

Table 6 Geothermal impact on heating season at 24℃ set temperature.

Source Temperature		SCOPh	Power consumption [kWh/m ² y]	Energy saving [%]
Outdoor air		2.50	35.517	–
Geothermal (constant)	14°C	3.18	28.168	20.7
	13°C	3.13	28,567	19.6
	12°C	3.07	28,988	18.4
	11 °C	3.02	29,436	17.1
	10°C	2.97	29,878	15.9

본 시뮬레이션에서는 난방기간의 지중 공기열 온도를 14℃로 가정하였으며, 이 때의 건물 난방기간 총 에너지 절감량 및 난방기간 동안의 히트펌프 COP 변화량을 평가해 보았다. Table 7은 외부공기 대신에 쿨 튜브를 통과한 14℃의 지중 공기열이 히트펌프의 열원으로 유입되었을 때의 시뮬레이션 결과를 보여주고 있다. 실내온도가 24℃로 설정된 기준 건물에서의 난방 전력 소비량 대비 지중 공기열원 히트펌프를 적용한 실험 건물에서의 난방 전력 소비량은 28.17 kWh/m²y로 기준 건물 대비 20.7%의 에너지 절감량을 나타냈으며, SCOPh도 2.50에서 3.18로 27.2% 향상되었다. 실내온도를 20℃로 설정하였을 경우에는 Fig. 3과 같이 난방 전력 소비량이 19.76 kWh/m²y로 기준 건물 대비 44.4% 절감되는 것을 알 수 있었으며, 난방기간 동안의 히트펌프의 SCOPh는 3.32로 32.8% 향상되었다.

Table 7 Set temperature impact on heating season energy savings with GCHP.

Source	Set Temp.	SCOPh	Power consumption [kWh/m ² y]	Energy saving [%]
Air without geothermal energy	24℃	2.50	35.517	-
	24℃	3.18	28.168	20.7
Air with geothermal energy (14℃)	23℃	3.22	26.041	26.7
	22℃	3.25	23.933	32.6
	21℃	3.29	21.866	38.4
	20℃	3.32	19.764	44.4

Fig. 3 GCHP heating energy saving effect.

3.4 GCHP에 의한 냉방 에너지 절감량

비교실험실 난방 실험과 마찬가지로 냉방기간 동안에는 쿨 튜브를 통과한 지중 공기열의 온도를 18℃로 가정하였다. Table 8은 외부공기 대비 지중 공기열이 히트펌프 열원으로 유입되었을 때의 시뮬레이션 결과를 보여주고 있다. 실내온도가 24℃로 설정된 기준 건물에서의 냉방 전력 소비량 대비 지중 공기열원 히트펌프를 적용한 실험 건물에서의 냉방 전력 소비량은 4.55 kWh/m²y로 기준 건물 대비 0.6%의 에너지 절감량을 나타냈으며, SCOPc은 2.82로 조금 상승하였다. 실험건물의 실내온도가 26℃로 설정되었을 경우에는 Fig. 4와 같이 냉방 전력 소비량이 1.85 kWh/m²y로 기준 건물 대비 59.5% 절감량을 나타내었으며, 실험건물의 실내온도를 28℃로 설정할 경우에는 냉방기간 동안의 전력 소비량은 0.45 kWh/m²y였으며, 히트펌프 SCOPh는 3.09로 기준건물 대비 약 10.4% 개선되었다.

Table 8 Cooling season energy savings with GCHP.

Source	Set Temp.	SCOPh	Power consumption [kWh/m ² y]	Energy saving [%]
Air without geothermal energy	24℃	2.80	4.573	-
Air with geothermal energy (18℃)	24℃	2.82	4.545	0.6
	25℃	2.89	3.037	33.6
	26℃	2.97	1.850	59.5
	27℃	3.04	0.961	79.0
	28℃	3.09	0.446	90.2

Fig. 4 GCHP cooling energy saving effect.

4. 결 론

본 논문에서는 건물 냉난방 설비로써 공기열원 히트펌프 시스템을 갖췄을 때의 실내 설정온도 제어에 따른 건물에너지 절감량을 정량적으로 분석하고자 하였다. 본 연구에서 수행한 내용 및 결론은 다음과 같다.

- (1) 비교실험실 건물을 대상으로 냉난방 부하를 해석하였고, TRNSYS에서 제공하는 공기열원 히트펌프 성능데이터와 대전지역 기상데이터를 통합한 형태의 TRNSYS 시뮬레이션 모델링을 개발하였다.
- (2) 기준 건물의 난방 설정온도 24℃ 대비 실험 건물의 난방 설정온도는 23℃, 22℃, 21℃, 20℃로 구분하였으며, 냉방 설정온도 24℃ 대비 실험 건물의 냉방 설정온도는 25℃, 26℃, 27℃, 28℃로 구분하여 건물에너지 절감량을 정량적으로 비교 평가하였다.
- (3) 난방기간 동안의 기준 건물의 전력 소비량은 35.52 kWh/m²y였으며, 설정온도를 1℃ 낮출 때마다 전력 소비량은 7.5%씩 절감되었다. 냉방기간 동안의 기준 건물의 전력 소비량은 4.57 kWh/m²y였으며, 설정온도를 1℃ 낮출 때마다 전력 소비량은 평균 22%씩 감소되었다.
- (4) 히트펌프 열원으로 외부공기 대신에 지중연계 공기열을 사용하여 시뮬레이션 모델링을 수행하였다. 난방기간의 지중 공기열 온도를 14℃로 가정하였으며, 지중연계 공기열원 히트펌프를 적용한 실험 건물에서의 난방 전력 소비량은 기준 건물 대비 20.7%의 에너지 절감량을 나타냈으며, SCOPh도 3.18로 27.2% 향상되었다. 실내온도를 20℃로 설정하였을 경우에는 난방 전력 소비량이 기준 건물 대비 44.4% 절감되었고, 히트펌프의 SCOPh는 3.32로 32.8% 향상되었다.
- (5) 냉방기간의 지중연계 공기열의 온도를 18℃로 가정하였으며, 기준 건물 대비 지중연계 공기열원 히트펌프를 적용한 실험 건물에서의 냉방 전력 소비량은 0.6%의 에너지 절감량을 나타냈으며, SCOPc은 2.82로 조

금 상승하였다. 실험건물의 실내온도를 28℃로 설정할 경우에는 냉방기간 동안의 전력 소비량은 0.45 kWh/m²y였으며, 히트펌프 SCOPh는 3.09로 기준건물 대비 약 10.4% 개선되었다.

후 기

본 연구는 2013년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지 기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다.(과제번호 2013T100200057)

참고문헌

1. Jin-Woo Park et al., (2012.06), Annual Performance Evaluation Study of the Building Integrated Heat Pump System using TRNSYS, Proceedings of SAREK, SAREK, pp.125-128
2. 강은철, 이의준, (2013.04), 국제 호환형 건물통합 지열히트펌프시스템 연간 성능평가기술, 설비저널 v.42 n.4
3. The University of Wisconsin Madison, (2013), TRNSYS 17 a TRaNsient SYstems Siimulation Program
4. 건축물의 설비기준 등에 관한 규칙-지역별 건축물 부위의 열관류율표(남부지역 기준), (2013.09), 국토교통부령 제54호
5. 에너지관리공단, (2011.01), 에너지 다소비건물 난방온도 제한 조치, 지식경제부 고시 제2011-12호
6. 에너지관리공단, (2011.07), 에너지 다소비건물 냉방온도 제한 조치, 지식경제부 고시 제2011-140호
7. Korea Standards Association, 2010, KS C 9306