대한설비공학회 2007 동계학술발표대회 논문집 pp. 352 ~ 357

07-W-055

복합열원설비 운전온도 최적 설정에 관한 해석적 연구

전 종 욱*, 이 선 일*, 이 태 원**, 김 용 기**, 홍 대 희, 김 용 찬†

고려대학교 기계공학과 대학원*, 한국건설기술연구원 화재및설비연구센터**, † 고려대학교 기계공학과,

An Analytical Study on the Optimal Set-point of the Hybrid Plant

Jongug Jeon*, Sunil Lee*, Tae-Won Lee**, Yong-Ki Kim**, Daehie Hong, Yongchan Kim†

*Graduate School of Mechanical Engineering, Korea University, Seoul 136-701, Korea
**Fire & Engineering Services Research Dept, Korea Institute of Construction Technology, Korea
Department of Mechanical Engineering, Korea University, Seoul 136-701, Korea

ABSTRACT: The objective of this study is to find the optimal set-point of a hybrid Plant, which is combined by renewable energy plant of the GSHP(Ground Source Heat Pump) and the conventional plant(chiller, boiler). The work presented in this study was carried out by using the EnergyPlus(Version 2.0). In order to validate the simulation model, field data were measured from a building. The GSHP was used as a base plant and the conventional plant as the assistant plant. Various temperatures were controlled (zone summer set-point, zone winter set-point, chilled water temperature, hot water temperature) to find the optimal set-point temperature of the system. The influence of the various set-points were analyzed seasonally.

Key words: GSHP(지열원열펌프), Zone summer set-point(냉방실내설정온도), Zone winter set-point(난방실내설정온도), Conventional plant(기존열원설비), Renewable energy plant(신재생 에너지 설비)

1. 서 론

우리나라의 에너지 해외의존도 (에너지 총 소비량 중 수입, 소비된 에너지량의 비중)는 97%에 이른다[1]. 전체 에너지 사용량 중 건물에서 사용되는 에너지량은 약 30%에 이른다. 환경보전 문제와 병행하여 에너지절약에 관한 관심과 노력은 더욱 커지고 있고, 건물에너지 사용량을 절감하기 위한 다양한 방법들이 연구되어 실제 건물에 적용되고 있다. 냉난방 부하에너지를 절약하기 위한 많은 연구들이 진행되어왔다. 공조시스템에 에너지 절감장치를 추가했을 때 예상되는 에너지 절감량을 예측하기 위해 건물시뮬레이션 프로그램 DOE2를 이용하여 이코노마이저, 열회수코일, 외기조절 댐퍼 등을 모델링하고 적용시켜 설치 전후의 에너지 절감량을 계산한 바가 있었고[2], 겨울철 난방에너지에 영향미치는 요소를 확인하기 위해 TRANSIS 프로그램으로 대상건물을 모델일한 후 간헐운전방법, 침입공기량, 차폐계수 등을 변화시키며 난방용 에너지 사용량의 변화를

† Corresponding author
Tel : +82-2-3290-3366; fax: +82-2-921-5439
E-mail address : yongckim@korea.ac.kr

확인한 연구가 진행되었다[3]. 이와 관련한 본 연구진의 선행연구로서 복합열원설비의 연계운전 시 부하에 따른 장비 선택운전이 연구된 바 있으며, 그 결과로 장비의 부분부하 특성을 고려하더라도 신재생 미활용에너지 설비인 지열펌프를 기저부하 담당 설비로 사용하는 것이 효과적인 운전법이라는 것을 제시하였다[4]. 건물의 에너지를 절약하는 방안으로 사용자가 허락할 수 있는 한 여름의 실내온도를 높게 설정하고 겨울에 실내온도를 낮게 설정해야 한다는 것은 이미 잘 알려진 사실이다. 존의 설정온도뿐만 아니라 장비의 냉온수 설정온도 또한 에너지에 미치는 영향이 클 것이므로 본 연구에는 장비의 냉온수 설정온도와 존의 실내온도 설정이 냉난방 에너지 사용량에 미치는 영향을 정량적으로 분석하고자 하였다. 이를 통해 냉난방 에너지 절감을 위한 설정온도들의 영향력을 확인하고 에너지 절감을 위한 최적온도 설정에 대해 확인해 보았다. 연구는 신재생미활용 에너지 설비인 지열펌프 설비와 기존의 냉난방 설비가 일정 용량비를 가지고 설치되어 있을 경우 냉난방 부하를 담당하기 위한 설정온도들의 최적조건에 대한 연구이다.

2. 해석연구의 신뢰성 확보

에너지 분석의 대상이 되는 건물은 선행연구에서 모델링이 되었던 제주도에 위치한 단층 실험동이다[4]. 대상건물의 형상과 용도, 내부발열부하는 선행연구와 동일하며 장비의 선택적운전법은 신재생 미활용에너지 설비인 지열펌프를 기저부하 담당설비로 운전되었다. 시뮬레이션 데이터의 신뢰성을 확보하기 위해 대상건물의 복합열원설비에는 7개의 터빈유량계와 13개의 T-type 열전대, 스팀용 압력계, 2개의 전력계 등이 설치되어 각 설비들의 운전성능이 측정되고, 서울에서 실시간으로 원격 모니터링 되고 있다. 현장에 설치된 계측장비별 위치는 Fig. 1에서 나타내었다. 건물부하해석 시뮬레이션에 있어서 현장의 데이터와 시뮬레이션 결과 간의 오차가 발생하는 큰 이유 중의 하나가 장비성능의 정확한 모델링이다. 건물에 설치되어 있는 장비의 설계상 제원만을 가지고 설비를 모델링했을 경우 장비의 운전조건이 성능제원을 나타낼 조건과 부합하지 않는 경우가 많아 설비 성능은 제공된 성능제원과 많은

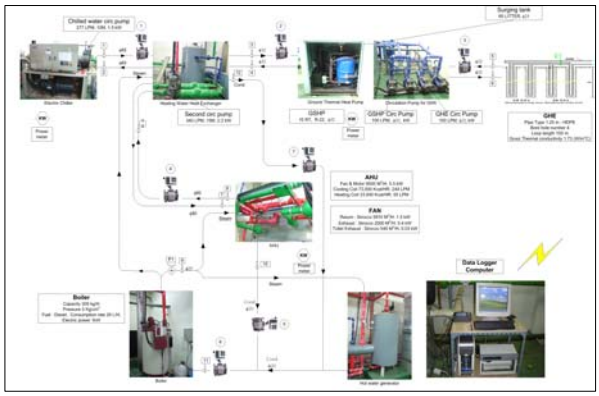

Fig. 1 Schematic diagram of the measured hybrid plant.

Table 1 Specification of hybrid plant

Screw water chiller			
Capacity	112,200 kcal/h	Condensing temp	40.6 ℃
Power	30.3 kW	Evaporating temp	4.4 ℃
Capacity control	25~100%	Liquid temp	40.6 ℃
Refrigerant	R 22	Return gas temp	12.8 ℃
Geothermal heat pump			
Cooling		Heating	
Capacity	29.400 kcal/h	Capacity	32.500 kcal/h
Power	7 kW	Power	11.1 kW
GSHP inlet	12 ℃	GSHP inlet	45 ℃
GSHP outlet	7.1 ℃	GSHP outlet	50.4 ℃
GHE inlet	25.9 ℃	GHE inlet	6.1 ℃
GHE outlet	20 ℃	GHE outlet	10 ℃

오차를 나타낸다. 이에 본 연구에서는 대상건물의 장비성능을 실시간으로 측정하고, 측정된 결과는 시뮬레이션 모델링에 적용되어 대상건물의 장비와 근접한 모델링이 될 수 있도록 하였다.

대상건물의 스크류 압축식 냉동기와 지열펌프의 제원은 Table 1과 같으며, 스크류 압축식 냉동기는 4단계의 부분부하 운전특성을 갖고 있다. 8월 중 냉동기의 운전데이터를 측정하여 부분부하 운전 용량 대를 확인하고 4단계의 부분부하 운전 시 전력비를 측정하였다. 현장에서 수집된 데이터는 EnergyPlus2.0에 입력하게 되어 있는

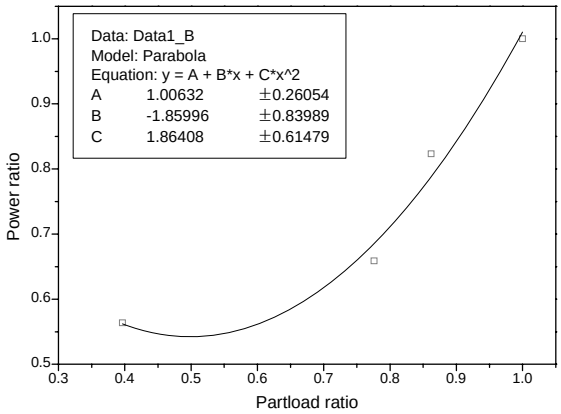

Fig. 2 Full load ratio curve at the screw water chiller

Full load ratio curve의 계수입력에 사용되었고 냉동기 모델링에서 사용된 현장설비의 부분부하 특성곡선은 Fig. 2에서 보여주고, 주요변수의 정의는 아래와 같다.

$$Powerratio = \frac{Partpower}{Fullpower} \quad (1)$$

$$Part\,Loadratio = \frac{Partload}{Nominalcapacity} \quad (2)$$

$$Powerratio = C_1 + C_2 PartLoadRatio + C_3 PartLoadRatio^2 \quad (3)$$

지열펌프 또한 정격용량에 미치지 못하는 성능을 나타내어 모델링 시 성능저하가 고려되었다. 시스템 모델링에 대한 보정작업을 마친 후 시뮬레이션이 진행되었다. 설비의 실험변수로서 4개의 설정온도(냉수온도, 온수온도, 냉방 실내온도, 난방 실내온도)를 변화시켰으며, 변수의 범위는 Table 2와 같다. 각 변수들이 전체 에너지량에 미치는 영향을 확인하기 위해 다구찌 실험법으로 해석이 진행되었고 해석에 사용된 직교배열표는 Table 3에서 나타내었다.

Table 2 Various set-point conditions [℃]

Step	Summer Zone set-point	Win Zone set-point	Chilled water set-point	Hot water set-point
1	23	20	6	52
2	25	22	8	55
3	27	24	10	57

Table 3 L9 (3^4) Orthogonal array

Case	Summer Zone	Winter Zone	Chilled water	Hot water set-point
1	23	20	6	52
2	23	22	8	55
3	23	24	10	57
4	25	20	8	57
5	25	22	10	52
6	25	24	6	55
7	27	20	10	55
8	27	22	6	57
9	27	24	8	52

3. 계절별 설정온도 변화에 따른 에너지 변화

설정온도들이 건물에너지 소비량에 미치는 정도를 다구찌 법으로 해석해본 결과 여름철에는 실내 설정온도와 냉수 설정온도를 가능한 높이고, 겨울철에는 실내 설정온도와 온수 설정온도를 가능한 낮추어야 하는 경향을 확인할 수 있었다. 그러나 실제 설정온도는 계절별로 나뉘어 조금씩 바뀔 수 있으므로 설정온도 변화에 따른 연간 에너지 변화를 각 계절별로 분석해 보았다.

Fig. 3부터 Fig. 6까지는 계절별로 설정온도가 에너지 소비량에 미치는 영향을 나타낸다. 봄철 에너지 변화를 살펴보면 냉방에너지를 절약하기 위한 변수로서 실내 설정온도가 냉수 설정온도에 비해 영향력이 크지 않은 것으로 나타난다. 이런 경향은 다른 계절에서도 뚜렷이 나타난다. 경향의 이유는 EnergyPlus로 시뮬레이션 시 공급공기 온도를 설정해 주고 담당 존에 유입되기 전에 공기는 재가열 코일로 다시 가열되어 존의 부하를 담당하는 방식으로 냉난방부하를 담당하는데 과도한 용량의 냉방설비가 운전되는 동안은 존을 설정온도보다 과냉 시키는 경우가 발생하는데 그 이유가 있다. 냉방설비용량이 건물의 부하용량보다 과도하게 크게 설계되어 있는 경우 설비의 부분부하운전이 에너지 절감에 미치는 영향이 크다는 것을 확인할 수 있다. 중앙 냉난방 설비로 되어있는 건물일 경우 공급온도가 아닌 환기온도로 현장의 온도상태를 확인하고 그에 적절한 공급온도를 유지시켜주는 방식을 사용하여 해석결과와 어느 정도 차이를 보일 수는 있으나 현장에서도

설비용량이 부하용량보다 지나치게 커지면 대상 존의 실내온도를 과냉 시키므로 유사한 결과를 초래한다고 볼 수 있다. 난방의 경우 존의 설정온도가 에너지 절감에 미치는 영향이 훨씬 크다는 것을 확인할 수 있다. 단위 설정온도가 계절별로 냉난방 에너지량에 미치는 정량적인 영향력이 Table 4에 나타나있다.

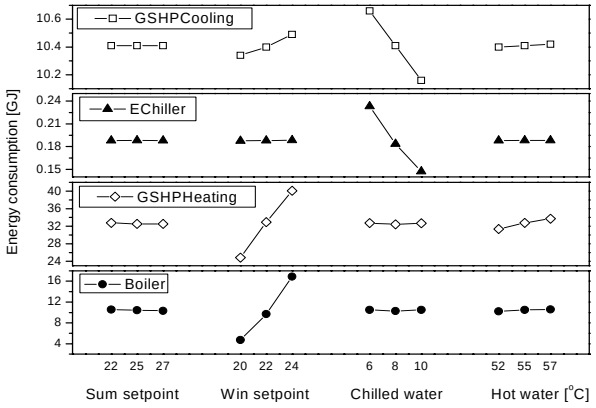

Fig. 3 Energy consumption with various set-points in the spring.

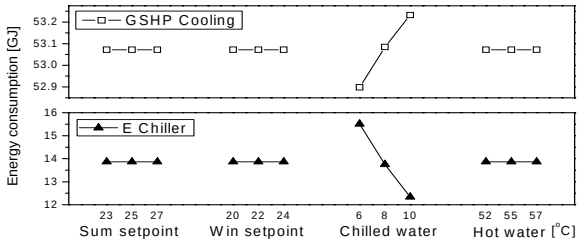

Fig. 4 Energy consumption with various set-points in the summer.

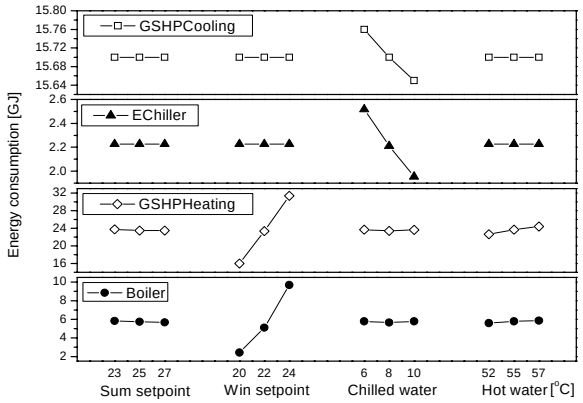

Fig. 5 Energy consumption with various set-points in the fall.

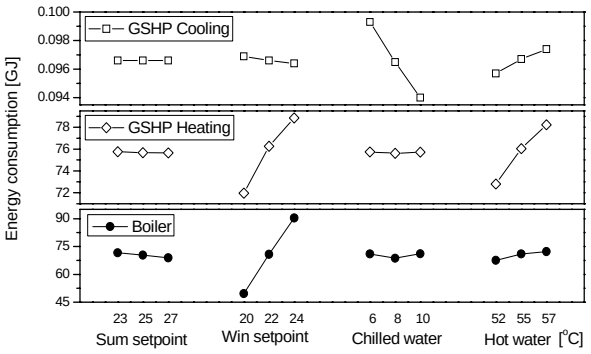

Fig 6 Energy consumption with various set-points in the winter.

Table 4 Influence of change of unit set-point [%]

Season	Sum Zone set-point	Win Zone set-point	Chilled water set-point	Hot water set-point
Spring	0.2	24.6	0.3	3.4
Summer	0	0	2.3	0
Fall	0.3	21.3	0.2	2.6
Winter	1.0	17.5	1.8	4.6

단위 설정온도 변화에 따른 계절별 에너지 변화량을 살펴보면 봄철 존의 난방 설정온도 변화가 봄철에너지 냉난방 에너지 소비량의 24%를 절약할 수 있을 정도로 영향력이 큰 것으로 확인되고 에너지 단위로 약 13.2 GJ에 해당하는 에너지가 단위온도인 2°C를 낮추었을 때 절약될 수 에너지량이다. 다음으로 영향력 있는 설정온도는 온수 설정온도로서 약 3.4%의 영향력이 있는 것으로 나타났다. 봄철과 가을철에는 단위 설정온도 변화에 따른 영향력이 비슷한 경향을 보였으며, 겨울철에 존의 설정온도를 2°C 낮추었을 때 약 25.5 GJ의 에너지 절감을 얻을 수 있어 환경 온도가 낮아질수록 난방 설정온도가 에너지를 절약하는 데 기여도가 크게 상승하는 것을 볼 수 있다. 겨울철에는 온수의 설정온도 또한 4.6%라는 적지 않은 절약비율을 보이고 있으며 에너지 절감량은 약 6.7 GJ에 이른다. 이는 Fig. 6에서 확인할 수 있듯이 지열펌프가 온수 설정온도에 크게 영향을 받고 있는 것이다. 기존의 일반적 난방 설비인 보일러를 이용하여 온수난방을 할 시에 온수의 설정온도는 에너지 절감에 크게 영향을 미치지 못했으나 신재생 미활용

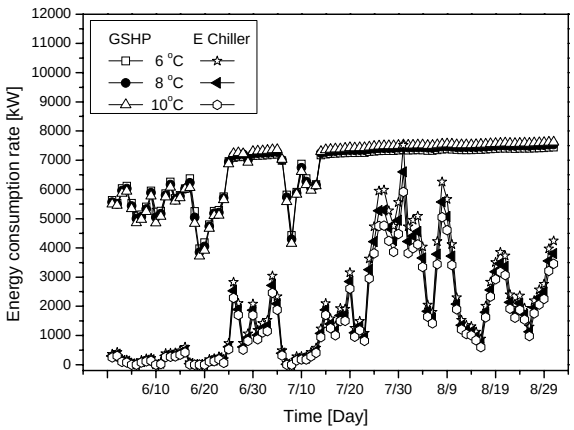

Fig. 7 Energy consumption rate of hybrid plant in the summer.

에너지설비인 지열펌프를 난방설비로 사용하게 되면 온수 설정온도 또한 에너지 절감을 위한 운전법에 적지 않은 영향을 나타내고 있음을 확인할 수 있다.

여름철 에너지 절감을 위한 설정온도 변화에 대한 결과를 보면 특이한 점을 발견할 수 있는데 냉수설정온도 증가에 따라 지열펌프와 스크류 냉동기가 에너지 사용량에서 상반되는 결과를 보이고 있다는 것이다. 이는 기저부하 담당으로 전부하 운전되는 지열펌프가 설정온도 상승에 따라 장비의 적정 용량범위를 벗어나 소비전력이 증가하는데 기인한다. 보조 냉방기구로 운전 중인 냉동기는 부분부하 운전 중으로 냉수 설정온도에 따라 일반적인 경향인 에너지 절감이 나타남을 확인할 수 있다(Fig. 7). 이는 복합열원실비로써 지열펌프와 기존의 냉동기를 연합하여 설치할 때는 장비용량에 대한 최적비가 존재한다는 것을 의미하고 최적용량비의 장치가 설치되어야 설정온도 변화에 따른 냉난방 에너지 절감을 최적화할 수 있을 것이다.

4. 결론

본 연구에는 장비의 냉온수 설정온도와 존의 실내온도 설정이 냉난방 에너지 사용량에 미치는 영향을 정량적으로 분석하고자 하였다. 지열펌프 설비와 기존의 냉난방 설비가 일정 용량비를 가지고 설치되어 있는 시스템은 건물부하해석 프로그램인 EnergyPlus2.0을 사용하여 모델링되었다. 제주도에 위치한 대상건물의 장비성능을 실시간으로 측정하고, 측정된 결과는 시뮬레이션 모델링에 적용되어 대상건물의 장비와 근접한 성능을 나타낼 수 있는 모델링이 될 수 있도록 하였다. 설비의 실험변수로서 4개의 설정온도(냉수온도, 온수온도, 냉방 실내온도, 난방 실내온도)를 변화시켰으며, 변수의 범위는 일반적인 설정온도 기준에서 2℃씩 3단계로 변화 시켰으며 각 인자들의 영향력을 분석하기 위해 다구찌 실험법으로 해석이 진행되었다. 해석의 결과는 계절에 따라 분석되었으며 다음과 같은 결론들을 얻을 수 있었다.

(1) 설비의 냉방용량이 부하용량보다 과도하게 크게 설치된 경우 봄철, 가을철의 환절기에 냉수 설정온도가 냉난방에너지 절감에 가장 큰 영향력을 가진다는 것을 확인할 수 있다. 냉수의 설정온도를 2℃ 높여 줄 때 환절기에 사용되는 냉난방 에너지 소비량의 약 24%까지 절감할 수 있었다.

(2) 겨울철 난방에너지의 절감을 위해서는 실내 난방 설정온도를 낮추어 주는 것이 에너지 절감에 가장 큰 요소로 나타났으며, 외기가 낮을수록 그 영향력이 더욱 커졌다. 실내 난방 설정온도를 2℃ 낮추어 줄 때 겨울철 냉난방 에너지의 17.5%에 달하는 에너지가 절감되는 것을 확인 할 수 있었다.

(3) 신재생 미활용에너지 설비인 지열펌프와 보일러와 동시에 난방 부하를 담당할 경우 기존의 보일러에서 에너지 절감에 영향력을 발휘할 수 없었던 온수 설정온도가 지열펌프에서는 단위온도 변화 시 겨울철 냉난방에너지 대비 약 4.7%의 에너지 변화를 야기 시키는 것을 확인할 수 있었다. 전체 용량 대비 지열펌프의 용량이 커질수록 그 영향력은 더욱 커질 것으로 예상된다.

(4) 냉방설비로서 지열펌프와 기존의 냉동기가 연계운전 될 경우 냉수 설정온도에 따른 에너지 절감의 경향이 상이하게 나타났고, 이는 장비의 용량 범위 차이에 원인이 있다는 것을 확인하였다. 기존의 냉방설비와 신재생 미활용에너지 설비인 지열펌프를 연합하여 설치할 때는 최적의 용량비가 존재할 수 있음을 보인 결과이다.

후 기

본 논문은 에너지관리공단의 지원에 의하여 수행되었으며(2006-E-BD11-P-02-3-010)이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Ministry of Commerce, Industry and Energy, Report 2004, Korea.
2. Huh. J. H., Kwon. H. S., Han. S. G., Ihm. P. C., 2006, A case study on the building energy savings through HVAC system optimization process, SAREK, Vol. 18, No. 5, pp. 426-433.
3. Park. Y. W., Yoo. H. S., Hong. H. K., Analysis of heating energy in a Korea-style apartment building 3 : The effect of room condition settings. SAREK, Vol. 17, No. 8, pp. 722-728.
4. Jeon. J. U., Kim. K. Y., Lee. T. W., Kim. Y.K., Hong. D. H., Kim. Y. C., 2007, Analytical study on the optimal control algorithm of the hybrid plant. Proceedings of the SAREK, pp. 1137-1142.
5. Peck. J. H., Park. S. S., 2003, A linked plan between solar heat and heat pump system with thermal storage. Korea Institute of Industrial Technology.
6. Oh. S. D., 1999, A Case Study on Optimal Planing of Cogeneration System, KSME 99F213 pp. 84-89.
7. Jeon. K. T., Jung. D. S., 2001, Optimization Study of the Compression/Absorption Hybrid Heat Pump Cycle, SAREK, Vol.13, No. 5, pp. 48-58.
8. Han. D. H., Lee. H. J., 2001, Control Algorithms for the Dual Source Air Conditioning System, Proceedings of the SAREK, pp. 731-736.
9. EnergyPlus Engineering Document, 2007, US Department of Energy.