

# 지열복합 열원기기 최적인전제어에 관한 해석적 연구

전종욱, 박종삼, 명우호, 김용기\*, 김용찬\*\*†

이노지오테크놀로지 시스템개발부, \*한국건설기술연구원 화재 및 설비연구부, \*\*고려대학교 기계공학과

## Analytical Study on the Optimal Operating Control of A Hybrid Geothermal Plant

Jongug Jeon, Jongsam Park, Wooho Myung, Young-Ki Kim\*, Yongchan Kim\*\*†

*INNOGEO Technologies, System Development Division, Seoul 150-739, 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 control algorithm of a hybrid Plant, which is combined by renewable energy plant of the GSHP(Geothermal Source Heat Pump) and the normal plant(chiller, boiler). The work presented in this study was carried out in the EnergyPlus(Version 2.0). The EnergyPlus was modified in order to simulate the hybrid plant. The plant system was controlled by the load-range-based operation in which schemes select a user specified set of equipment for each user specified range of a particular simulation condition. In the use of the load-range-based operation, four kind of control cases were defined and simulated in order to obtain the optimal control algorithm of the hybrid plant. The result showed that the Case 2 was the optimal control algorithm which used the GSHP as a base operating plant and the normal plant as an assistant operating plant. Even though the normal plant was operated in full load and the renewable energy plant of the GSHP was operated in partial load, the annual energy consumption of the normal plant was larger than that of the GSHP plant.

**Key words :** Geothermal source heat pump(지열히트펌프), Chiller(냉동기), Boiler (보일러), Optimal control(최적제어)

### 1. 서론

우리나라의 에너지 해외의존도(에너지 총소비량 중 수입, 소비된 에너지량의 비중)는 97%에 이

른다<sup>[1]</sup>. 전체 에너지 사용량 중 건물에서 사용되는 에너지량은 약 30%에 이른다. 환경보전문제와 병행하여 에너지 절약에 관한 관심과 노력은 더욱 커지고 있고, 건물 에너지 사용량을 절감하기 위한 다양한 방법들이 연구되어 실제 건물에 적용되고 있다. 기존의 화석연료를 대체하여 환경문제를 해결할 경제적인 에너지원을 찾는 노력은 신재생/미활용에너지 개발로 이어졌고, 신재생/미활용에너지를 이용한 건물 냉난방 설비는 그 보

† Corresponding author

Tel.: +82-2-3290-3366, Fax: +82-2-921-5439

E-mail: yongckim@korea.ac.kr

접수일 : 2010년 10월 28일

심사일 : 2010년 11월 4일

채택일 : 2010년 11월 8일

급이 급격하게 증가하고 있는 추세이다. Table 1은 에너지관리공단에서 제공하는 신재생에너지 설비 투자계획으로 다양한 신재생/미활용 에너지원(태양광, 태양열, 지열,...)들이 건물설비에 적용되었고 그중 지열을 이용한 건물설비가 전체 투자되고 있는 신재생 열원설비 중 65.3%를 차지하고 있으며 신재생에너지 설비 중 확산 비중이 가장 큰 것으로 나타났다. 지열설비는 최근 연면적 3,000m<sup>2</sup> 이상의 신축공공건물에 총 건축공사비의 5% 이상을 신재생에너지설비에 사용토록 설치의 무효 되면서 공공분야에 급속도로 도입되고 있다. 이에 본 연구는 기존의 냉난방 열원시스템에 지열펌프 시스템이 같이 설치된 복합열원기기를 대상으로 연간 냉난방 운전 시 발생하는 운전비용을 최소화하기 위한 최적제어방법을 찾고자 진행되었다.

현재까지 복합열원의 연계운전에 관한 연구는 지속적으로 진행되어 왔다. 태양열과 축열식 열펌프시스템을 연계운전하기 위한 연구는 심야전력을 이용한 빙축열조의 축냉열량을 이용하여 냉방하고 빙축열조에 태양열을 저장하여 열펌프로 난방을 하는 시스템이었다.<sup>[2]</sup> 열병합 시스템의 최적계획에 대한 연구는 대상부하를 담당할 열원설비를 선정하는데 있어서 용량과 방식이 다양한 열원설비들의 최적 조합을 찾고자 하였다.<sup>[3]</sup> 증기압축식과 흡수식 하이브리드 열펌프 사이클에 관한 최적화 연구에서는 사이클의 성능향상을 위해 선 업소버의 온도구배를 최적화 시켜야 하며 최대온도와 열교환기 크기가 성능에 미치는 영향이 크다는 결과를 발표하였다.<sup>[4]</sup> 흡수식과 증기 압축식 냉동기를 복합열원으로 가진 공조시스템에서 공조기 급기온도 제어 알고리즘과 냉동기 온도 제어 알고리즘이 개발되었다.<sup>[5]</sup> 지열히트펌프와

일반냉동기가 복합운전 될 시 냉수온도의 변화와 지열히트펌프의 운전스케줄이 에너지 절감에 미치는 영향이 본 연구와 함께 진행되었었다.<sup>[6]</sup>

## 2. 대상건물의 선정

지열펌프 시스템과 기존의 냉난방 열원이 병행되며 운전되어 질 때 운전비용이 가장 적게 소비되는 최적의 운전 방법이 어떻게 될 것인지를 연구하는 것이 본 연구의 목표이고 이를 위해 지열설비와 기존 열원설비가 병행 운전되는 건물이 선정되었다.

대상건물은 제주시에 위치한 제주생물자원센터 내의 실험동으로 냉/난방 및 항온항습 기능의 10 RT 지열 펌프가 주 시스템으로 상시가동 되고, 최대부하(Peak Load)시에는 기존 열원인 증기보일러(300kg/hr, 5 kgf/cm<sup>2</sup>)와 물대공기 냉동기(30 USRT)를 사용하게 설계되어 있어 신재생/미활용 에너지 열원기기와 기존열원기기가 연계운전되고 있는 건물이다. 시뮬레이션 수행을 위해 수집된 설계도면 등의 자료를 활용하여 열저항으로 작용하는 내외벽체의 열 물성치가 정의되었다. 대상건물을 모델링하고 공조기 공조지역에 따라 건물 내 존을 나누었다. 대상건물은 시공되었던 공조 지역을 중간에 설계변경하고 항온항습실로 개별 항온항습실로 개조하여 사용하고 있었다. 조닝과 모델링은 설계변경 후의 건물구조를 바탕으로 수행되었다. 대상건물의 면적 및 용도는 Table 2에서 보는 바와 같고, 열적부하를 고려하여 조닝을 했을 때 실험용 동물을 위해 온도 조절 해주어야 할 곳과 연구원들을 위해 공조해야 할 공조 공간으로 나누어져있다. 단층의 건물로 면적과 용도를 Table 2에서 알 수 있다.

Table 1 Investment planing on the new renewable energy plant

Year	Buildings	Cost (Billion)	Investment Plan			
			Solar	Photopile	Geo-thermal	Total
2004	30	212.7	14	49	104	166
2005	113	882.9	27	148	345	520
Total	143	1,095.5	41	197	448	686

### 2.1 건물 및 시스템 모델링

본 연구에 사용된 건물 시뮬레이션 프로그램은 EnergyPlus 버전 2.0.0으로 2007년 4월에 업데이트된 프로그램이다<sup>[7]</sup>. 미 에너지성은 EnergyPlus와 관련하여 우리나라 네 지역(인천, 강릉, 광주, 울산)의 연간 기상데이터를 제공하고 있다. 본 시뮬레이션은 제주의 기상상태와 가장 흡사한 울산의

연간 기상데이터로 시뮬레이션 되었다. Fig. 1은 시뮬레이션 대상건물의 구조도이고 Fig. 2는 건물의 구조와 열평형을 고려한 설정온도에 의해 구분된 조닝을 나타낸다.

Table 2 Specification of the simulation building

Specification	
Building area(m <sup>2</sup> )	484
Floor area(m <sup>2</sup> )	484
Floor	1F
Service	Office & Lab

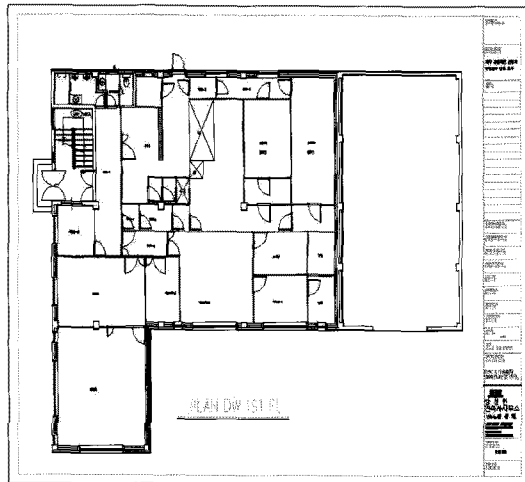


Fig. 1 Plane figure of the simulated building.

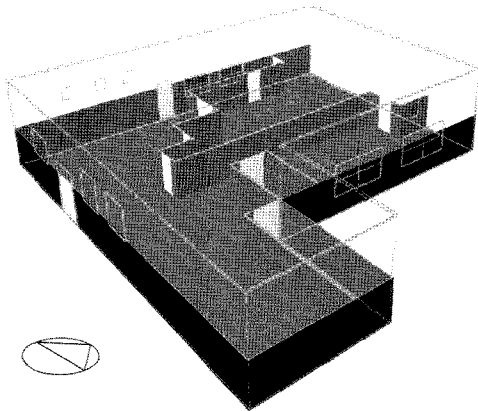


Fig. 2 Modeling of the simulated building.

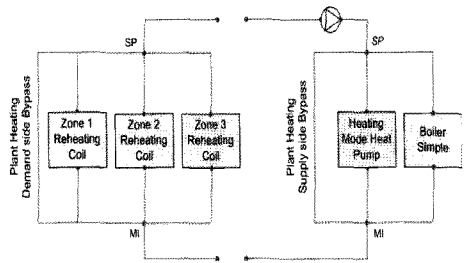


Fig. 3 Loop Schematic for Hot Water of Hybrid-Plant.

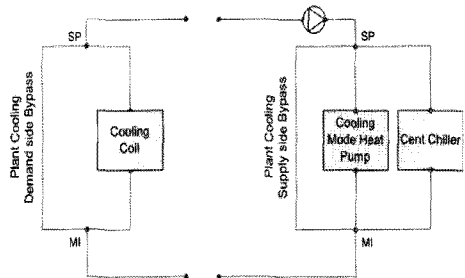


Fig. 4 Loop Schematic for Chilled Water of Hybrid-Plant.

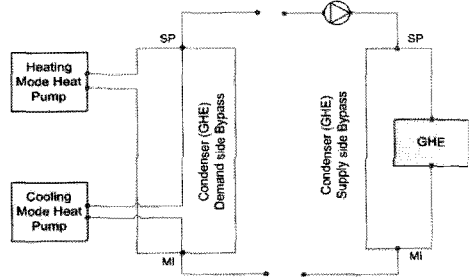


Fig. 5 Loop Schematic for GSHP Condenser system.

제어모형은 시뮬레이션 프로그램인 Energy Plus에 사용가능하도록 설계되었으며, Hybrid Plant와 Condenser로 나누어 볼 수 있다. Hybrid Plant는 건물 내의 온도를 거주자 생활온도로 유지하기 위해 필요한 냉난방 부하를 공급하는데 있어서 실내공기를 가열 혹은 감열하는 코일 파트와 복합열원설비로 이루어진다. 난방용 온수생산을 위한 부분은 Fig. 3에서 보이고, 냉수생산을 위한 Plant 부분은 Fig. 4에서 보인다.

Condenser는 Hybrid Plant의 복합열원기기과 중첩되는 부분으로 실내의 냉난방부하를 담당하

기 위해 건물 밖의 열원과 복합열원기기를 연계하는 시스템 부위이다. 적용된 신재생에너지 설비인 지열펌프를 EnergyPlus에 적용하기 위해서는 지열냉방모드와 지열난방모드로 나누어 시스템을 모델링하여야 한다. Fig. 5는 모델링된 두 가지 모드의 지열펌프가 지중열교환기와 어떻게 연결되는지를 보여준다. 동일한 열펌프라도 냉방의 경우와 난방의 경우가 성능곡선이 다르게 나타나기 때문이다. 시뮬레이션을 이용한 최적제어 알고리즘 개발은 시스템의 다양한 조합으로 시뮬레이션시켜 최적의 효율운전을 찾는 방향으로 진행되었다. 개발된 지열펌프 복합열원시스템을 이용하여 건물 내의 온도를 거주자 생활온도에 맞추어 조절하였고, 온도 조절 방법으로 단일 덕트 재가열 방식을 사용하였다. 이 방법은 공급공기가 냉각코일을 통과하여 설정된 급기온도를 유지한 후 각 존으로 분산된다. 각 존에 공급되는 급기는 입구 덕트마다 배치된 재가열 코일을 통과하게 된다. 이때 재가열 코일의 온수는 정해진 온도로 가열되어져 있고 그 유량이 조절되며 존 급기온도를 입력된 거주자 생활온도 스케줄에 따라 맞추게 된다. 급기팬은 정풍량 방식으로 스케줄에 따라 외기 30%와 혼합되어 일정풍량을 순환 시키고 침입공기량은 순환팬 외의 배기팬 풍량을 존의 체적에 비례하여 각 존에 고려하였다.

복합열원기기를 운전하는 방법으로 여름철 운전방법인 Summer control과 겨울철 운전방법인 Winter control이 있다. 각 타입의 운전법으로 냉방부하와 난방부하를 담당하며 시간에 따른 존의 설정온도는 Table 3에서 보인다. 설정된 존의 온도를 유지하기 위해 시스템은 가동될 것이고 연간 외기 건구/습구온도에 따른 대상건물 내의 존 평균온도변화가 Fig. 6에 나타난다. 대상건물의 복합열원설비의 용량비와 유사한 상태로 열원설비들은 모델링 되었고, 각 열원설비의 부분부하 특성은 EnergyPlus에서 제공하는 각 장비들의 일반 부분부하 특성에 따랐다. 장비들은 부분부하 특성을 고려하여 주어진 상황에 따라 효율이 재계산되어 진다. 냉난방 부하에 따라 운전되는 장비를 다르게 하여 최적 조합의 열원 설비 운전을 찾기 위해 시뮬레이션이 진행되었다.

## 2.2. 최적운전제어로직

EnergyPlus에는 Load range based control이라는 기능이 있어 여러 가지 장비에 우선순위를 구분하여 운전시킬 수 있다. 장비를 선택적으로 운전시킬 수 있으며 두 가지 장비가 동시에 운전될 경우 둘 중 한 장비를 전부하 운전시키고 다른 장비는 부분 부하 운전시킬 수도 있다. 4개의 연계 운전 방안이 시뮬레이션 되었고, 그 방안은 Table 4에서 보인다. Case 1 연계운전은 여름철 냉방부하를 담당하기 위해 지열펌프가 운전된다. 존의 냉방부하가 지열펌프의 냉방용량을 벗어나면 지열펌프는 꺼지고 냉동용량이 약 2.14배 큰 물대공기 스크류압축기 냉동기가 운전된다. 냉동기가 전부하운전으로 냉방부하를 담당하다가 존의 부하가 이를 초과 할 시에는 지열펌프와 냉동기가 같이 운전되기 시작하는데 이 때 지열펌프가 전부하 운전되고 냉동기는 부분부하 운전되어 보조열원의 역할을 한다. 겨울철 난방의 경우 지열펌프가 존의 난방부하를 담당하다가 한계에 다다른 지열펌프는 꺼지고 지열펌프 난방용량보다 약 1.8배가 큰 보일러가 작동한다. 보일러의 난방용량이 부족하게 되는 경우에는 두 가지 난방 열원이 동시에 운전되는데 이 때 지열펌프가 전부하 운전되고 보일러는 부분부하 운전으로 보조열원이 된다. 이와 같이 우선도가 동일한 경우 두 장비 중 먼저 작성된 장비가 전부하 운전되고 뒤에 작성된 장비는 부분부하의 보조 열원기기로 동작하게 된다.

Table 3 Zone set point temperature

Control type	Period	Cooling set point	Heating set point
Summer control	5/1 - 9/30	08:00 - 17:00 [24 oC]	
		18:00 - 07:00 [28 oC]	
Winter control	10/1 - 4/30		08:00 - 17:00 [18 oC]
			18:00 - 07:00 [22 oC]

Table 4 Operating schedule for Hybrid plant

Case	Priority	Summer cooling	Winter cooling	Summer heating	Winter heating
1	1	GSHP	GSHP	GSHP	GSHP
	2	Chiller	Chiller	Boiler	Boiler
	3	GSHP/Chiller			GSHP/Boiler
2	1	GSHP	GSHP	GSHP	GSHP
	2	GSHP/Chiller	Chiller	Boiler	GSHP/Boiler
3	1	Chiller	Chiller	Boiler	Boiler
	2	Chiller/GSHP			Boiler/GSHP
4	1	Chiller	GSHP	GSHP	Boiler
	2	GSHP/Chiller	Chiller	Boiler	GSHP/Boiler

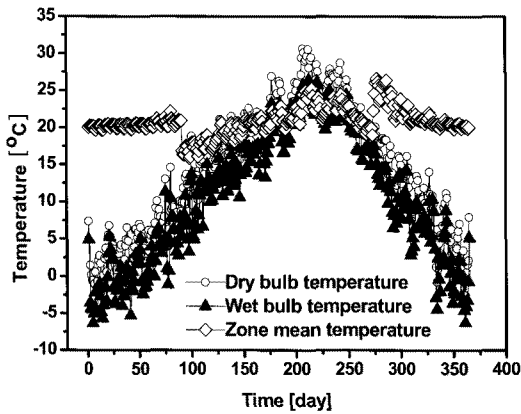


Fig. 6 Annual zone mean temperature.

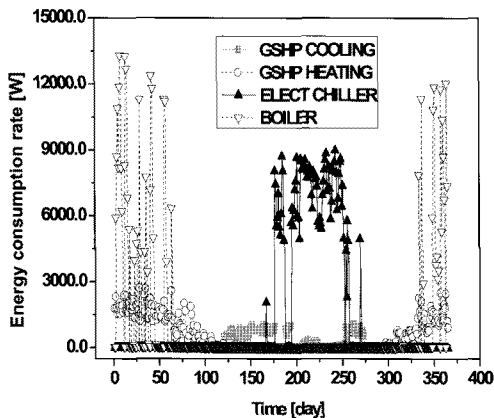


Fig. 7 Case1: Annual energy consumption rate.

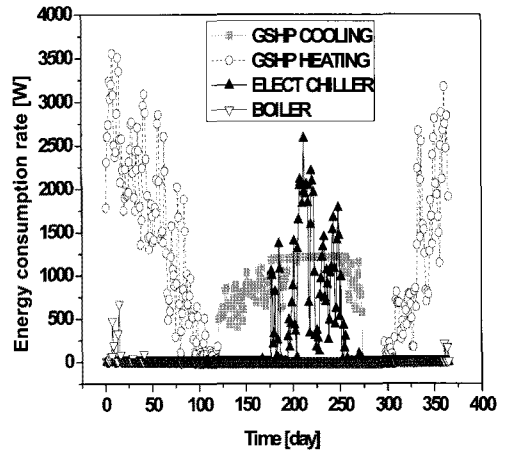


Fig. 8 Case2: Annual energy consumption rate.

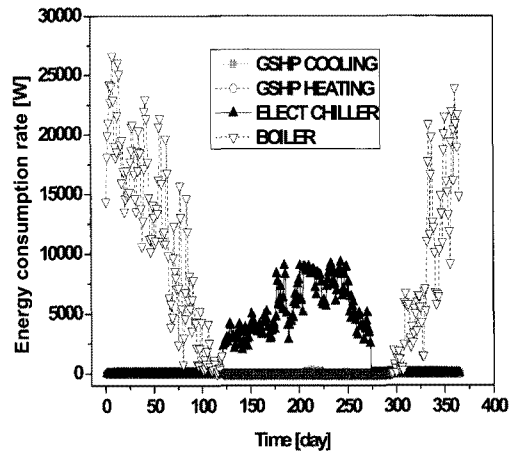


Fig. 9 Case3: Annual energy consumption rate.

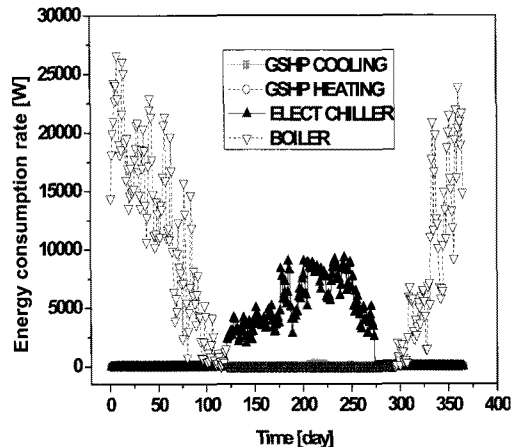


Fig. 10 Case4: Annual energy consumption rate.

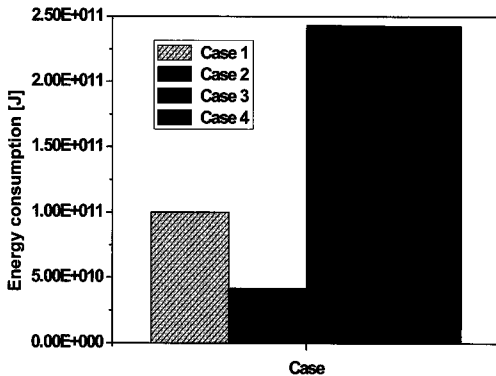


Fig. 11 Annual energy consumption according to 4 case study.

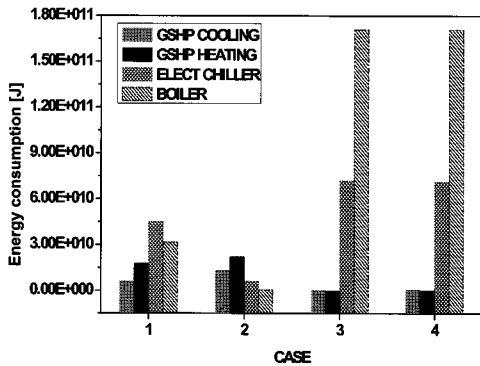


Fig. 12 Annual energy consumption of the plants with 4 case study.

### 3. 결과 및 고찰

Fig. 7은 지열펌프로 운전될 수 있는 범위까지 운전된 후 한계용량을 벗어나면 냉동기와 보일러 열원을 사용한 경우로 상대적으로 용량이 큰 일반설비들의 에너지 사용량이 크게 나타난다.

설비 한계용량을 벗어나더라도 일반설비들을 보조열원으로 지열펌프가 주된 설비로 운전되었을 때의 에너지 사용량을 Fig. 8에서 보였고, 장비별 에너지사용량이 가장 고르게 분포되어 있다.

Fig. 9와 Fig. 10을 살펴보면 설비용량이 큰 냉동기와 보일러를 주로 운전할 경우 대부분의 부하에 대응이 가능하고 한겨울과 한여름에 한정적으로 지열펌프의 도움을 받게 된다. Case 4의 경우 지열펌프가 냉방운전 시 Case 3보다 빈번하게 운전되기는 하나 에너지사용의 정도가 미미하여

에너지사용패턴이 거의 동일하게 나타난다.

4개의 Case로 복합열운기기를 연계 운전시켜 시뮬레이션 해본 결과 Case 2가 가장 효율적인 운전 방안으로 나왔고, 이는 Fig. 11의 Case별 연간 에너지 사용량에서 확인된다. Case 2는 지열냉방열펌프와 지열난방열펌프를 이용하여 여름철 냉방부하와 겨울철 난방부하의 기저부하를 담당하는 운전을 하며 장비의 용량을 초과하는 부하가 발생할 경우 기존 냉난방 설비인 냉동기와 보일러를 보조열원으로 지열펌프와 동시 가동시키는 시스템이다. Fig. 12로 연간 장비별 에너지 사용량을 방안에 따라 분석해 보면 Case 2에서 지열냉방열펌프와 지열난방열펌프의 연간 에너지 사용량이 증가했음에도 불구하고 다른 Case들의 냉동기 및 보일러 사용에너지 증가량이 몇 배수 더 크게 증가하는 것이 요인이 되고 있다. 이로써 장비효율이 에너지 사용량에 가장 크게 영향을 미친다는 것을 알 수 있다. 비록 기존열원이 부분부하 운전되고 용량이 작은 지열펌프가 전부하 운전 되더라도 기존설비가 전부하 운전되는 Case 보다 Case 2가 최적의 복합열원 연계운전 방안으로 나타난 것은 지열펌프 시스템 자체가 가지고 있는 효율적 에너지 사용량이 비록 기존열원시스템이 부분부하로 병행운전 될 지라도 기존 열원시스템만을 전부하 운전했을 때의 에너지 사용량보다 적게 나타나는 결과를 야기 시킨 것이다.

본 시뮬레이션의 에너지 절감량은 각 장비의 실제 부분부하성능을 고려하지 않고 EnergyPlus에서 제공하는 장비타입에 따른 일반운전특성을 사용하였으므로 현장작용의 신뢰도는 떨어질 수 있으나 신재생에너지설비인 지열펌프가 일반냉동기와 헤더혼합으로 설치된 경우 운전방법의 기초 자료가 될 수 있다.

### 4. 결론

신재생 미활용에너지 설비인 지열펌프와 기존의 열원설비가 복합되어 있는 열원설비 건물이 시뮬레이션 프로그램인 EnergyPlus로 해석되었다. 건물의 냉난방부하를 담당하기 위한 열원설비들의 시스템이 모델링 되었고, 장비들 간의 부분부하와 전부하 운전을 교체하는 4가지 연계운전

방식이 load range based operation 기능을 통해 해석되었다. 결과는 신재생 미활용에너지 설비인 지열펌프가 연간 우선 운전되어 기저부하로 사용하는 Case 2가 가장 에너지 절약이 큰 운전방안으로 나타났다.

## 후 기

“본 연구는 서울시 산학연 협력사업(ST090845)의 지원에 의하여 수행되었으며, 이에 감사드립니다.”

## 참고문헌

1. Ministry of Commerce, Industry and Energy, Report 2004, Korea.
2. 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.
3. Oh, S. D., 1999, A Case Study on Optimal Planing of Cogeneration System, KSME 99F213 pp. 84-89.
4. 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.
5. Han, D. H., Lee, H. J., 2001, Control Algorithms for the Dual Source Air Conditioning System, Proceedings of the SAREK, pp. 731-736.
6. Jeon, J., Lee, S., Hong, D., Kim, Y., 2010, Performance evaluation and modeling of a hydrid cooling system combining a screw water chiller with a ground source heat pump in a building, Energy, 35. pp. 2006-2012.
7. EnergyPlus Engineering Document, 2007, US Department of Energy.