

에너지슬래브 적용 지열원 열펌프 시스템의 성능 특성에 관한 실증 연구

최 종 민[†]

국립 한밭대학교 기계공학과

Heating and Cooling Performance of a Ground Coupled Heat Pump System with Energy-Slab

Jong Min Choi[†]

Department of Mechanical Engineering, Hanbat National University, Daejeon 305-719, Korea

(Received December 28, 2011; revision received January 10, 2012)

ABSTRACT: Energy foundations and other thermo-active ground structure, energy wells, energy-slab, and pavement heating and cooling represent an innovative technology that contributes to environmental protection and provides substantial long-term cost savings and minimized maintenance. This paper focuses on earth-contact concrete elements that are already required for structural reasons, but which simultaneously work as heat exchangers. Pipes, energy slabs, filled with a heat carrier fluid are installed under conventional structural elements, forming the primary circuit of a geothermal energy system. The natural ground temperature is used as a heat source in winter and a heat sink in summer. The geothermal heat pump system with energy-slab represented very high heating and cooling performance due to the stability of EWT from energy slab. However, the performance of it seemed to be affected by the atmospheric air temperature.

Key words: GCHP(지열원 열펌프), Energy-slab(에너지슬래브), GLHX(지중 열교환기), COP(성적계수), Building structure(빌딩구조체)

기 호 설 명

COP_{hp}	: 열펌프 유닛 성적계수
COP_{sys}	: 지열원 냉난방 시스템 성적계수
C_p	: 비열 [kJ/kg · K]
\dot{m}	: 질량유량 [kg/s]
Q	: 냉방 또는 난방용량 [kW]
T_i	: 실내열교환기 입구온도 [°C]
T_o	: 실내열교환기 출구온도 [°C]

W_{hp}	: 열펌프 유닛 소비전력 [kW]
W_{pump}	: 지중순환펌프 소비전력 [kW]

1. 서 론

21세기에 접어들면서 경제가 발전하고 삶의 질 향상에 대한 요구가 증가함에 따라 건물의 냉난방 에너지 소비가 증가하여 국가 에너지소비의 약 30%를 차지하고 있으며, 지속적으로 증가하는 추세이다. 따라서 고효율의 친환경적 냉난방 시스템에 대한 기술력 향상 요구가 증대 되고 있는 실정이다.⁽¹⁾ 지열원 열펌프 시스템은 친환경적인 신재생에너지를 적용한 현존하는 최고효율의 냉난방 시스템으로

[†] Corresponding author

Tel.: +82-42-821-1731; fax: +82-42-821-1462

E-mail address: jmchoi@hanbat.ac.kr

서 보급 및 기술개발이 활발히 진행되고 있다. 하지만, 현재까지 널리 보급되고 있는 수직밀폐형 지열원 열펌프 시스템은 설치비용이 커서 초기 투자비가 과다하다는 단점이 있다.^(2, 3)

고효율의 지열원 열펌프 시스템의 보급 확산을 위하여 지열원 열펌프 시스템의 초기 투자비 감소를 위해 다양한 지중열교환기 적용 시스템에 대한 연구와 시스템 성능 향상에 관한 연구가 진행되고 있다. Paksoy et al.⁽⁴⁾은 대수층 지하수를 이용하여 연중 지중축열과 연계한 시스템 성능 향상에 관한 연구를 수행하였으며, 운전비용 절감 및 시공비 절감 가능성을 평가하였다. Tarnawski et al.⁽⁵⁾은 수직밀폐형에 비해 초기설치비가 적은 수평형 지중열교환기의 깊이에 따른 성능분석을 수행하였으며, 단일층 수평형 열교환기와 복수층의 수평형 열교환기의 성능향상에 관한 연구를 수행하였다. Hamada et al.⁽⁶⁾은 건물 기초 말뚝에 열교환기를 설치하여 천공비용 절감 및 지중열교환기 시공 기간을 크게 단축할 수 있는 시스템에 관한 연구를 수행하였다. Yu⁽⁷⁾는 건물 기초 파일에 열교환기를 적용한 에너지 파일형 지중열교환기를 사용한 지열원 열펌프 시스템의 성능을 평가하였으며, 시공비 절감효과가 있다는 연구결과를 얻었다. 현재까지 대부분의 국내 지열원 열펌프 시스템의 개발 및 보급은 수직밀폐형과 SCW (Standing Column Well) 방식의 지중열교환기를 적

용한 시스템에 대하여 수행되었다.⁽³⁾ 지열원 열펌프 시스템의 30~40%를 차지하는 지중열교환기의 시공비 절감 및 공사기간 단축을 위한 지속적인 노력이 수행되고 있으나, 구체적인 성과는 매우 부족한 실정이다. 일부에서는 대수층축열 시스템⁽⁸⁾이나 복수정⁽⁹⁾을 이용한 개방형 지열 냉난방 시스템에 대한 연구가 진행되었다.

본 연구에서는 건물 구조체 하부 바닥의 슬래브를 활용한 지중열교환 시스템을 활용하여 추가적인 대지나 천공이 필요없어 설치비용 절감이 가능한 에너지슬래브 지중열교환기 적용 지열원 열펌프 시스템에 관한 실증연구를 수행하였다. 에너지슬래브 시스템은 건물 하부 슬래브구조체에 PE 파이프를 수평으로 설치하여 지중열교환기로 활용하는 방식으로 기존의 수평형 지중열교환기의 변형된 형태이다. 본 연구를 통하여 에너지슬래브 적용 지열원 열펌프 시스템의 국내 적용 타당성과 신뢰성 확보를 위한 기초자료를 제공하고자 한다.

2. 에너지슬래브 시스템 및 성능 평가방법

2.1 실증 시스템 개요

본 연구의 에너지슬래브 적용 지열원 열펌프 시스템의 실증을 위한 대상 사이트는 충청북도 청원

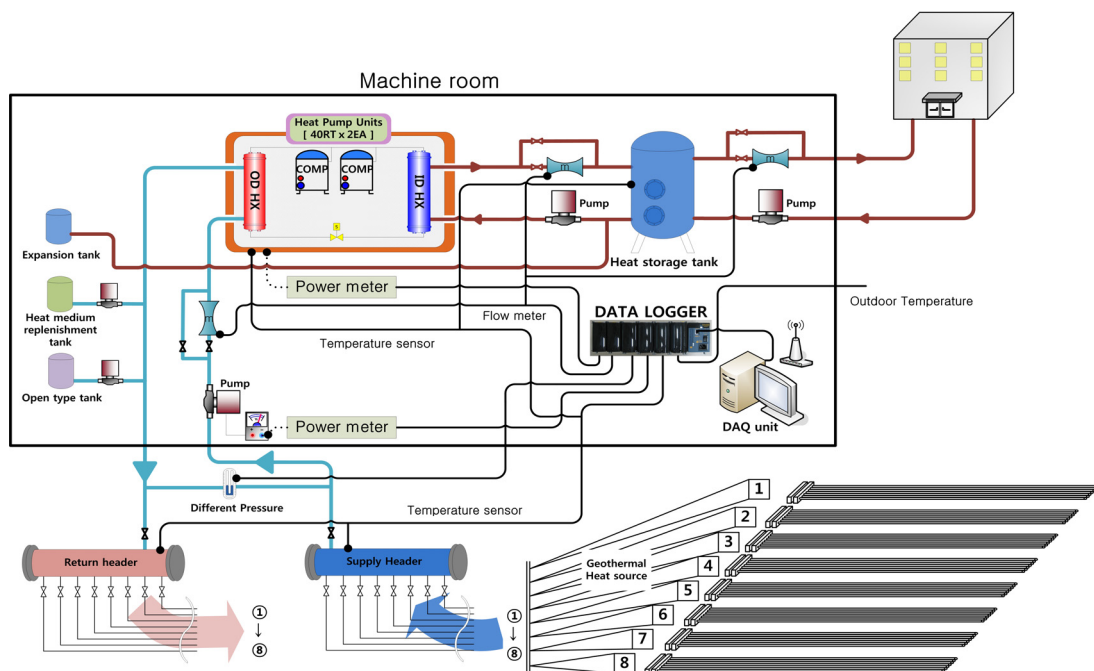


Fig. 1 Schematic diagram of a ground coupled heat pump system with energy slabs.

군에 소재한 골프장의 클럽하우스이다. 지하 1층과 지상 2층으로 구성되며, 지하 1층은 기계실로 사용되고 지상부는 레스토랑, 각종 매장과 샤워실 등으로 구성된다. 에너지슬래브 적용 지열원 시스템은 지하실의 직원식당, 직원락카실 및 캐디 휴게실과 지상 1층의 로비, 관리실, 복도, 파우더 룸 등의 1,294 m²의 냉난방 부하를 담당하며, 지열 담당 건물 냉방 및 난방부하량은 각각 208.4 kW, 112.5 kW이다.

Fig. 1은 에너지슬래브 지열원 열펌프 시스템의 구성도를 나타내며, Fig. 2와 Fig. 3은 에너지슬래브 지중열교환기 배치도 및 설치현장 사진을 나타낸다. 에너지슬래브는 오스트리아의 지열 전문 기업인 EN ERCRET GmbH사가 개발한 에너지슬래브 지중열교환기 설계 전문 프로그램인 TRANSS-LAB⁽¹⁰⁾를 이용하여 설계하여 PE파이프 112라인을 설치하였다. 열펌프 유입 전 후에 메인 서플라이헤더(Supply main header)와 메인 리턴헤더(Return main header)를 설치하고, 각각의 메인 헤더에 8개의 서브 헤더를 설치하였으며 각각의 분기배관은 리버스-리턴 구조(Reverse return)로 배관을 구성하여 순환수가 균일 분배되도록 하였다. 에너지슬래브 배관은 클

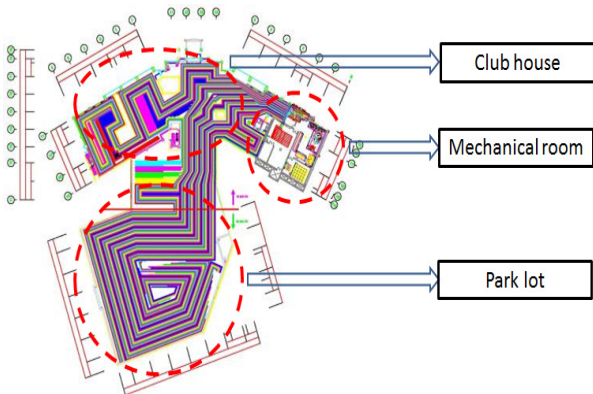


Fig. 2 Structure of energy slabs.



Fig. 3 Photograph of energy-slab installation.

Table 1 Specifications of energy-slab system

Parameters		Specification
Heat pump unit	Type	Water to water
	OD unit	40 RT
	Refrigerant	R22
Energy Slab	Pipe material	HDPE
	Diameter of pipe	20 mm
	Length of pipe	80 m
	No. of pipe	112
	No. of sub-header	8
Installation area		4,000 m ²

럽하우스 건물하부와 지하주차장하부에 설치하였다. 냉수 및 온수 생성을 위하여 40 RT 열펌프유닛 2대가 병렬로 설치되었다. 물대물 지열원 열펌프로 축열조에 난방수와 냉수를 저장하고, 축열조는 3500 Liter이다. Table 1은 본 에너지슬래브 시스템의 설치 사양을 나타낸다.

2.2 DAQ 시스템 및 데이터 처리

에너지슬래브 지열원 열펌프 시스템 실증 사이트의 성능 평가를 위하여 지경부 고시 제 2009-332호의 신·재생에너지설비의 지원·설치·관리에 관한 기준⁽¹¹⁾에 따라 에너지슬래브 적용 시스템의 주요 부위에 온도 센서와 유량계 등을 설치하였다. RTD 센서를 이용하여 에너지슬래브 순환수의 열펌프 실외열교환기 입·출구 온도를 측정하였다. RTD의 정확도는 ±0.15°C이다. 열펌프 유닛의 소비전력은 적산전력계로 측정하였으며, 에너지슬래브 지중순환수의 유량은 마그네틱 체적유량계를 설치하여 측정하였으며, 각각의 정확도는 측정값의 ±0.5%와 ±2%이다. 에너지슬래브의 온도 변화를 고찰하기 위하여 슬래브의 메인 헤더와 서브 헤더에는 T형 열전대를 이용하여 온도를 측정하였다. 정확도는 ±0.2°C이다. 데이터 로거와 센서로 구성된 데이터 취득 시스템을 구성하고, 시스템 2차 유체 순환부와 시스템의 주요 데이터 등을 2초 간격으로 취득하여 컴퓨터에 저장하였다.

본 연구에서는 열펌프의 실내열교환기(난방시 응축기, 냉방시 증발기)와 실외열교환기(난방시 증발기, 냉방시 응축기)의 열교환용량을 측정하였다. 식(1)에 의하여 열펌프의 냉난방 용량을 계산하였으며, 식(2)를 이용하여 열펌프 유닛의 COP를 계산하

였다. 또한, 순환펌프의 소비동력을 고려한 에너지슬래브 시스템의 COP는 식(3)을 이용하여 계산하였다.

$$Q = \dot{m} C_p |T_o - T_i| \quad (1)$$

$$COP_{hp} = Q / W_{hp} \quad (2)$$

$$COP_{sys} = Q / (W_{hp} + W_{pump}) \quad (3)$$

3. 결과 및 고찰

2010년 10월부터 2011년 9월까지의 운전 기간 중에 난방 가동 기간과 냉방 가동 기간에 대하여 에너지슬래브 적용 지열원 열펌프 실증플랜트에 대한 성능을 분석하였다.

3.1 동절기 실증 성능

Fig. 4는 2010년 10월에서 2011년 4월까지 난방 운전 가동 기간 동안의 에너지슬래브 지열원 열펌프 시스템의 난방용량과 외기온도를 나타낸다. 난방용량은 217 kW에서 381 kW까지 변화되었다. 외기온도는 -12.4°C에서 12.3°C의 범위에서 변화되었다. 외기온도가 1월 중에 가장 낮게 나타났으나, 난방용량도 1월에 가장 작게 나타났다. 이는 본 에너지슬래브 적용 실증 사이트는 골프장의 클럽하우스로 동절기 이용율이 낮아서 부하량이 감소하여 총 2대의 열펌프 유닛 중 한 대만이 가동되었기 때문이다. 2011년 1월 이후 외기온도가 증가됨에 따라 난방용량도 다소 증가하였다.

Fig. 5는 동절기 난방운전 가동 기간 동안의 열펌프 유닛의 실외열교환기 입·출구 온도변화를 나타낸다. 실외열교환기 입구 최소온도는 3.3°C였으며,

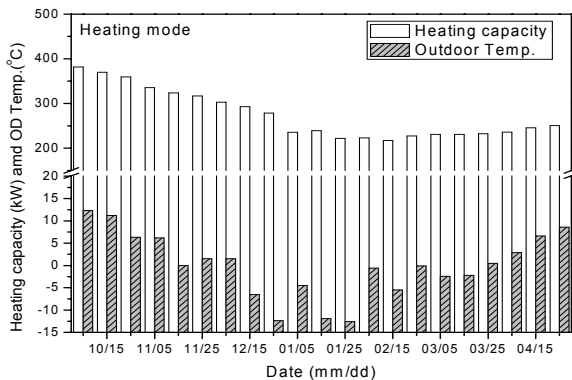


Fig. 4 Variation of heating capacity.

최대온도는 23.5°C로 변화폭이 매우 크게 나타났다. 대상 건축물이 골프장의 클럽하우스이므로 시스템은 주로 주간에 가동을 하였으며, 야간에는 주간에 비해 가동횟수가 적었다. 대부분의 구간에서 시스템의 지속적인 운전 시에 실외열교환기 입구온도가 평균외기온도보다 높은 값을 나타내어 에너지슬래브 활용 지열원 열펌프 시스템이 열적 안정성이 우수하게 나타났다. 하지만, 실외열교환기 유입온도는 외기온도와 유사한 변화 경향을 나타내어 외기온도의 영향을 일부 받은 것으로 분석된다. 특히, 1월 이후 2월부터 외기온도가 증가함에 따라 실외열교환기 유입온도도 증가하였다. 일반적으로 수직밀폐형 시스템은 시스템의 지속적인 난방 운전 시에 지중 냉열 축열로 인해 난방 기간 중에 시스템의 지속적인 가동 중에 열펌프의 실외열교환기 유입온도가 지속적으로 감소하지만, 에너지슬래브 시스템은 외기온도 상승에 따라 실외열교환기 유입온도도 증가하였다.

Fig. 6은 2010년 10월에서 2011년 4월까지의 난방운전 가동 기간 동안의 열펌프 유닛 COP와 시스

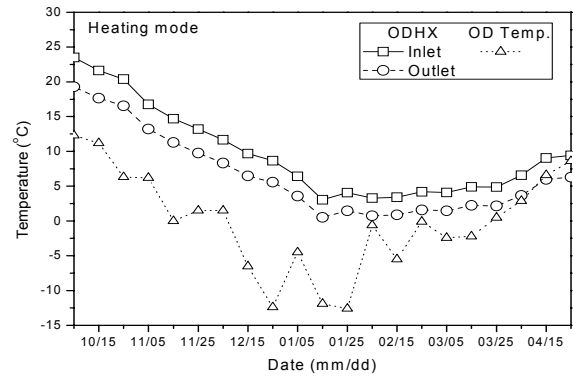


Fig. 5 Variation of inlet and outlet temperature of OD HX in the heating mode.

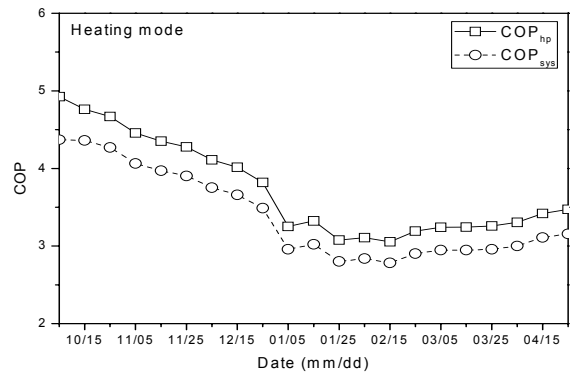


Fig. 6 Variation of COP in the heating mode.

템 COP를 나타낸다. 일일 평균 열펌프 유닛 COP는 3.1에서 4.9의 범위에서 변화되었으며, 시스템 COP는 2.8에서 4.4의 범위에서 변화되었다. 시스템 난방 운전 시작 후 COP는 지속적으로 감소하다가 1월 이후 외기온도의 상승과 함께 증가하였다. 이는 에너지슬래브가 외기온도의 영향을 받아 외기온도 상승에 따라 열펌프 유닛의 실외열교환기 유입 지중순환수 온도가 증가하여 난방 용량이 증가하였기 때문이다.

Fig. 7은 난방운전 가동 기간 동안 시스템 운전 중의 메인 서플라이헤더와 메인 리턴헤더의 온도와 온도차를 나타낸다. 메인 서플라이헤더는 에너지슬래브를 순환한 뒤 열펌프로 공급되는 헤더이며, 메인 리턴헤더는 열펌프 순환 후 에너지슬래브로 유입되는 헤더이다. 메인 서플라이헤더와 메인 리턴헤더의 시스템 가동 중의 온도차는 약 2.4°C에서 4.4°C의 범위에서 변화되었다. 외기온도가 낮은 경우에 메인 서플라이헤더와 메인 리턴헤더의 온도차가 낮게 나타났다. 초기 10월 가동 중의 온도차이는 약 4.4°C를 나타냈으나, 외기온도가 감소함에 따라 온도차가 감소하였고, 2월부터 외기온도가 증가함에 따라 온도차가 증가하였다. 에너지슬래브는 총 112 배관라인으로 구성되어 지중순환수의 균일 분배를 위해 각 메인헤더는 8개의 서브헤더가 설치되어 있다. 8개의 서브헤더 중에 2개 서브헤더에 연결된 배관부는 클럽하우스 지하에 설치되어 있으며, 6개 서브헤더 배관부는 지하주차장에 설치되어 있다. 각 서브헤더의 입출구 온도차이는 1.9°C에서 5.1°C의 범위에서 변화되었다(Fig. 8). 외기온도와 메인 서플라이헤더의 온도차가 작아짐에 따라 클럽하우스 지하와 지하주차장 건물 외벽부에 설치된 서브헤더 1과 3에서의 온도차가 가장 크게 나타

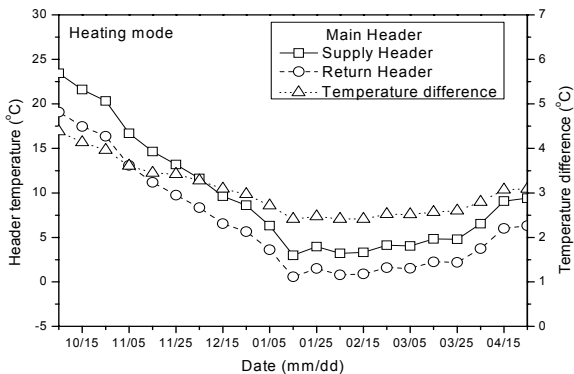


Fig. 7 Variation of main header temperature in the heating mode.

났다. 그러므로 각 서브헤더의 에너지슬래브 배관은 서로 열간섭을 일으킨 것으로 분석된다. 또한, 건물 외벽부에 설치되지 않은 서브헤더 중에는 클럽하우스 하부에 설치된 서브헤더 2의 입출구 온도 차이가 지하주차장에 설치된 서브헤더보다 큰 온도 차이를 나타냈다. 따라서 클럽하우스 하부의 에너지슬래브는 상부에 건물이 설치되어 외기온도의 영향이 미비하였으나, 지하주차장에서는 에너지슬래브 상부가 외기에 노출되어 외기온도의 영향도가 다소 크게 나타난 것으로 분석된다. 그러므로 에너지슬래브는 건물하부에 설치할 경우 열원의 안정성이 증가되는 것으로 판단된다.

3.2 하절기 실증 성능

Fig. 9는 2011년 6월에서 2011년 9월까지 냉방운전 가동 기간 동안의 에너지슬래브 지열원 시스템의 냉방용량 변화를 나타낸다. 일일 냉방용량은 6월

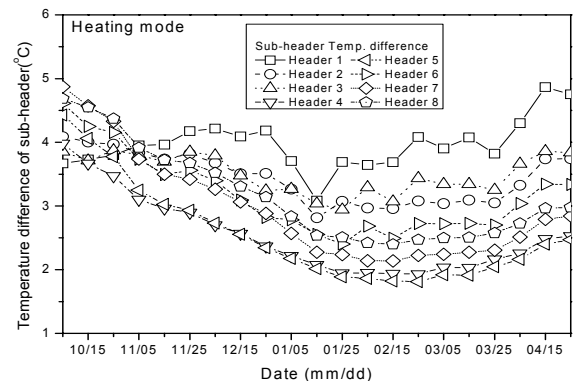


Fig. 8 Variation of sub-header temperature difference in the heating mode.

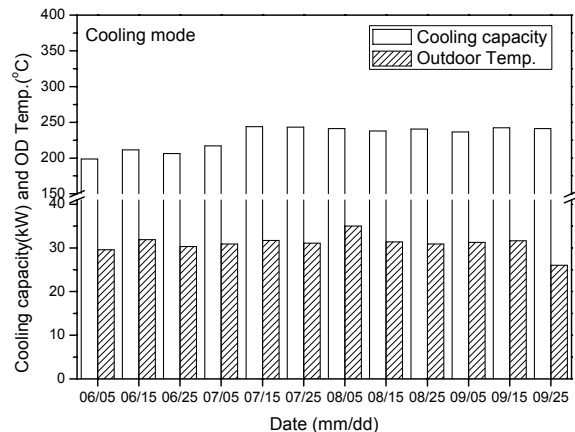


Fig. 9 Variation of cooling capacity.

부터 7월 초까지는 다소 낮은 값을 나타냈으나, 7월 중순 이후부터는 다소 증가하였다. 냉방운전 초기에는 외기온도가 다소 낮지만 일일 평균 냉방용량이 다소 낮게 나타났는데, 이는 외기온도가 낮아서 열펌프가 잦은 단속운전으로 추가 손실이 발생했기 때문인 것으로 분석된다.

Fig. 10은 냉방운전 가동 기간 동안의 열펌프 유닛 실외열교환기 입·출구 온도 변화를 나타낸다. 냉방운전 초기에는 실외열교환기 입구온도와 외기온도와의 차이가 크게 나타났으나, 시스템이 냉방모드로 지속적으로 운전됨에 따라 실외열교환기 입구온도가 상승하여 실외열교환기 입구온도와 외기온도와의 차이가 감소하였다. 이로 인해 열펌프 유닛의 소비전력이 증가하여 8월 중순경에는 열펌프 유닛 COP가 감소하였다(Fig. 11). 실외열교환기 입구온도가 증가함에 따라 열펌프 소비전력이 증가한 것은 응축압력이 증가하여 열펌프의 압축비가 증가하였기 때문이다. 하지만, 압축기 입구온도가 증가하였지만, 7월 중순 이후의 냉방용량 변화량은 미소하였는데, 이는 순환수 유량이 커서 충분히 실외열교

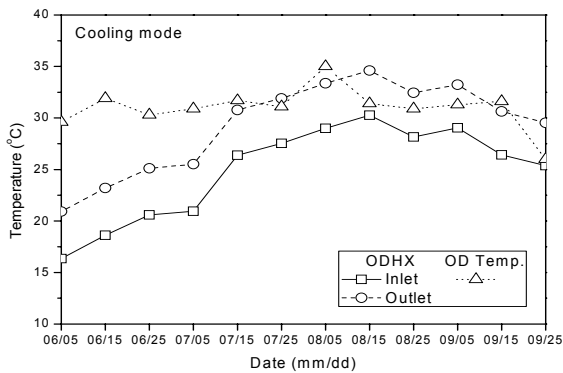


Fig. 10 Variation of inlet and outlet temperature of OD HX in the cooling mode.

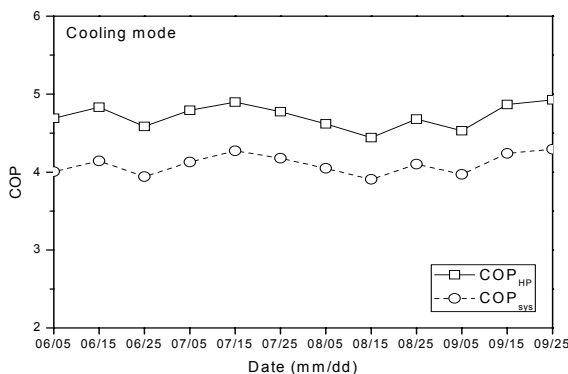


Fig. 11 Variation of COP in the cooling mode.

환기에서 열전달이 발생하였기 때문인 것으로 분석된다. 실외열교환기 입구 최소 및 최대온도는 16.3°C와 30.3°C로 일일 평균 외기온도보다 0.6°C에서 13.3°C 낮은 온도를 나타냈으며, 열펌프 소비전력은 42 kW에서 52 kW까지 변화되었다. 2011년 6월에서 2011년 9월 사이에서 일일 평균 열펌프 유닛과 시스템의 최대 COP는 각각 4.9와 4.3이었다. 또한, 일일 평균 열펌프 유닛과 시스템 최소 COP는 4.4와 3.9을 나타내었다. 8월 말 이후 시스템은 지속적으로 냉방운전을 하였으나, 실외열교환기 입구온도는 감소하였는데, 이는 냉방 가동율 감소와 함께 외기온도 하강에 따른 영향으로 분석된다. 이로 인해 8월말 이후에는 열펌프 유닛과 시스템 COP도 증가하였다.

Fig. 12는 하절기 냉방 운전 기간 동안 메인 서플라이헤더와 리턴헤더의 온도 변화를 나타낸다.

메인 서플라이헤더의 온도가 가동 초기에는 16.3°C로 매우 낮았으나, 지속적인 운전으로 8월에는 30.3°C로 크게 증가하였다. 하지만, 메인 서플라이헤더와 리턴헤더의 시스템 가동 중의 온도차는 약 4.5°C에서 4.9°C 범위로 변화폭이 크지 않았다. 이는 지중순환수의 유량이 다소 커서 온도 증가시에도 에너지슬래브에서 충분한 열교환이 일어났기 때문인 것으로 분석된다. 열펌프 사양서상의 지중순환수 유량은 912 LPM이지만, 본 지중 순환수는 980 LPM으로 높게 나타났다. 이는 순환펌프 선정 시의 설계 손실 수두보다 에너지슬래브의 병렬 연결에서의 압력 손실이 작게 나타났기 때문인 것으로 분석된다. Fig. 13은 8개 서브 서플라이헤더와 리턴 헤더 각각의 온도차이를 나타낸다. 냉방운전 시에도 난방운전 시와 같이 건물의 외벽쪽에 설치된 서브 헤더 1번과 3번의 온도차가 가장 높게 나타나 다른 서브 헤더 측에

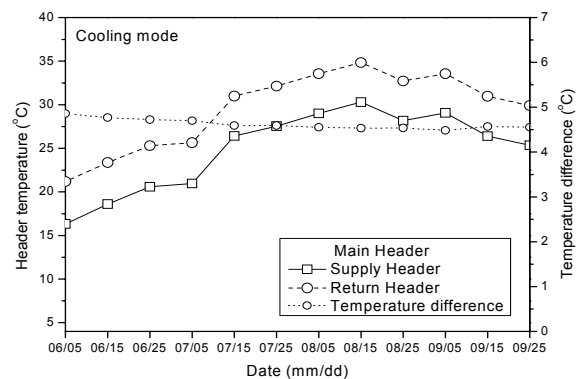


Fig. 12 Variation of main header temperature in the cooling mode.

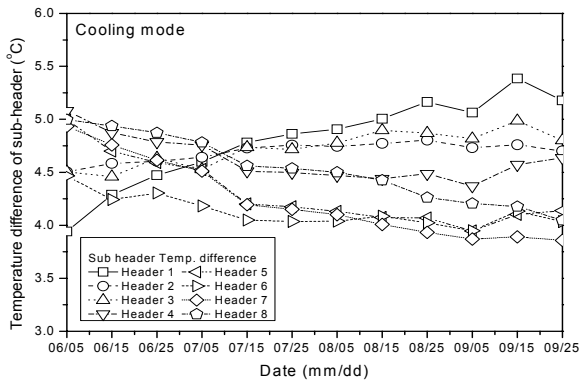


Fig. 13 Variation of sub-header temperature difference in the cooling mode.

너지슬래브보다 지중으로 열을 충분히 방열한 것으로 보인다. 또한, 클럽하우스 지하에 설치된 서브헤더 1번과 2번에 비하여 건물외곽 부인 서브헤더 3번을 제외한 지하주차장에 설치된 서브 서플라이헤더와 리턴헤더의 온도편차가 작게 나타났다. 이는 클럽하우스와 건물 외벽쪽과 달리 에너지슬래브가 대기와 인접하여 외기온도의 영향을 다소 크게 받았기 때문인 것으로 분석된다. 서브 헤더별 온도차는 3.8°C에서 5.4°C를 나타냈다.

4. 결 론

시공비 절감 측면에서 장점을 가진 에너지슬래브 지열원 열펌프 시스템을 TRANSSLAB 프로그램으로 설계 및 시공하고, 냉난방 실증 성능을 분석하여 다음의 결론을 얻었다.

에너지 슬래브 적용 지열원 열펌프 시스템은 2010년 10월 초기 난방 운전 후 외기온도가 감소함에 따라 성능이 저하되었으나, 1월 중순 이후 외기온도가 상승함에 따라 성능이 향상되었다.

2011년 6월 초기 냉방 운전 후 시스템이 지속적으로 운전됨에 따라 시스템의 성능이 점차 감소하였으나, 8월 이후 외기온도가 하강함에 따라 성능이 향상되었다.

에너지슬래브 시스템의 냉난방 운전 시 에너지슬래브 배관군의 외부인 건물 외벽쪽에 설치된 에너지슬래브에서의 열흡수 및 방출 성능이 크게 나타났는데, 이는 에너지슬래브와 슬래브사이에 설치된 슬래브보다는 열간섭을 적게 받은 것 때문인 것으로 평가된다.

국내 최초로 TRANSSLAB으로 설계된 본 시스

템의 에너지슬래브는 클럽하우스와 지하주차장 하부 구조체에 설치되었다. 이중 클럽하우스 하부의 건물 하부에 설치된 에너지슬래브에서의 지중열교환 성능이 크게 나타났는데, 이는 지하주차장에 설치된 에너지슬래브는 대기와 근접하여 외기온도의 영향을 크게 받은 것으로 분석되었다. 따라서 에너지슬래브 시스템의 신뢰성 확보를 위해서는 에너지슬래브의 설치 위치에 따른 영향을 함께 고려하여 설계해야 될 것이다.

후 기

본 연구는 2009년도 지식경제부의 재원으로 한국 에너지 기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다(No. 2009T100101148).

참고문헌

1. KEMCO, 2010, New and renewable energy statistics 2010, Report of Korea Energy Management Corporation, KEMCO, Yongin, Korea.
2. Gao, Q., Li, M., Yu, M., Spittler, J. D., and Yan, Y. Y., 2009, Review of development from GSHP to UTES in China and other countries, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 13, No. 6, pp. 1383-1394.
3. Lee, J. Y., 2009, Current status of ground source heat pumps in Korea, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 13, No. 6/7, pp. 1560-1568.
4. Paksoy, H. O., Gürbüz, Z., Turgut, B., Dikici, D., and Evliya, H., 2004, Aquifer thermal storage(ATES) for air-conditioning of a super-market in Turkey, Renewable Energy, Vol. 29, pp. 1991-1996.
5. Tarnawski, V. R., Leong, W. H., Momose, T., and Hamada, Y., 2009, Analysis of ground source heat pumps with horizontal ground heat exchangers for northern Japan, Renewable Energy, Vol. 34, pp. 127-134.
6. Hamada, Y., Saitoh, H., Nakamura, M., Kubota, H., and Ochifuji, K., 2007, Field performance of an energy pile system for space heating, Energy and Buildings, Vol. 39, pp.

- 517-524.
7. Yu, H. K., 2008, Development and performance evaluation of ground heat exchanger utilizing PHC pile foundation of building, Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol. 5, pp. 56-64.
 8. NexGeo Co., 2010, Aquifer thermal energy storage heating and cooling systems development, Final Report of Ministry of Knowledge Economy, 2007-N-GE01-P-01-0-000.
 9. Geo-Tech Co., 2006, Research of two-well type ground water heat pump system, Final Report of Ministry of Knowledge Economy, 2004-N-GE11-P-02.
 10. www.enercret.com.
 11. Ministry of Knowledge Economy, 2009, Standards of support, installation, and management for new and renewable energy system, Ministry of Knowledge Economy Announcement, 2009-332.