대한설비공학회 2007 동계학술발표대회 논문집 pp. 434 ~ 440

07-W-068

유출지하수열원 지열히트펌프의 냉난방성능

박 근 우†, 남 현 규, 강 병 찬
삼양에코너지(주) 부설연구소

Cooling and Heating Performance of Ground Source Heat Pump using Effluent Ground Water

Geun-Woo Park†, Hyun-Kyu Nam, Byung-Chan Kang
Research Center of Samyang Eco-Energy, Chonan 120-700, Korea

ABSTRACT: The Effluent ground water overflows in deep and broad ground space building. Temperature of effluent ground water is in 12~18℃ annually and the quality of that water is as good as living water. Therefore if the flow rate of effluent ground water is sufficient as source of heat pump, that is good heat source and heat sink of heat pump. Effuent ground water contain the thermal energy of surrounding ground. So this is a new application of ground source heat pump. In this study open type and close type heat pump system using effluent ground water was installed and tested for a church building with large and deep ground space. The effluent flow rate of this building is 800~1000 ton/day. The heat pump capacity is 5RT each. The heat pump system heating COP was 3.0~3.3 for the open type and 3.3~3.8 for the close type system. The heat pump system cooling COP is 3.2~4.5 for the open type and 3.8~4.2 for close type system. This performance is up to that of BHE type ground source heat pump.

Key words: Effluent ground water(유출지하수), Ground source heat pump(지열히트펌프), Heating Performance(난방성능), Cooling Performance(난방성능), COP(성능계수)

기 호 설 명

Q : Heating or Cooling capacity, [kcal/h]
HP : Heat Pump
COP : Coefficient of Performance

† Corresponding author
Tel.: +82-2-554-8571; fax: +82-2-568-7853
E-mail address: hvac@sarek.or.kr

1. 서 론

유출지하수는 지하철이나 대규모 지하공간이 있는 건물이 지하수위가 낮고, 투수성이 양호한 지층에 설치될 경우 자연적으로 유출되어 건물외부로 배수되는 지하수이다. 이 유출지하수는 현재 대부분 하수로 버려져 하수처리장의 부하를 증가시키고, 중요한 지하수 자원을 낭비하는 요인으로 작용하고 있다. 2002년 건설교통부 연구보고서[1]에 따르면 서울시 지하철의 유출지하수

발생량은 16만톤/일, 58백만톤/년이며 이는 서울시 전체 지하수 이용량 37백만톤/년의 1.6배에 해당하는 양이다. 16만톤/일의 유출지하수 중 29% 정도가 청소용이나 하천 건천화 방지용으로 이용되고 있으나 이 중 대부분이 하천건천화 방지용으로 활용되고 있다. 그러나 이 유출지하수는 연중 온도가 12~18℃로 그 온도를 활용하면 우수한 지열히트펌프의 열원이 될 수 있고 이를 통해 에너지절감과 CO_2발생량을 감축시킬 수 있다. 지구온난화의 심화와 CO_2 절감목표에 대한 교토의정서의 효력이 2013년부터 한국에 적용되는 심각한 상황에서 국내에 무심히 버려지고 있는 유출지하수를 히트펌프의 열원으로 효과적으로 활용하기 위하여 본 연구가 진행되었다.

본 연구에서는 자체개발한 유출지하수용 밀폐형 열교환기와, 일반적으로 활용할 수 있는 개방형 열교환기를 각각 5RT용량으로 현장에 적용하여, 유출지하수가 히트펌프의 열원으로서 타당한가를 검증하고, 이를 활용한 지열히트펌프시스템의 냉난방성능을 파악하였다.

2. 실험장치 및 방법

본 실험은 실제로 유출지하수가 배출되고 있는 의정부 소재 K교회에 밀폐형 5RT, 개방형 5RT급 히트펌프시스템을 설치하여 진행한 것이다.

2.1 적용대상 건물현황

Picture. 1은 본 실험이 진행된 의정부 소재 K교회건물의 전경이다. 대상건물의 현황은 Table 1에 나타내었다. 건물전체의 연면적은 11,705m^2이고, 지상4층, 지하2층의 신축건물이다. 지하2층 공간이 지하 15m 까지 형성되어 있다. 본 건물은 교회 건물로서 지하공간이 넓어 유출되는 지하수의 양이 많다. 계절마다 편차가 있지만 겨울철 갈수기에 800 ton/day에서 여름철 우기에는 1,000 ton/day 정도로 다량의 유출지하수가 배출되고 있다. 10RT급의 히트펌프를 운전하기 위해서는 약 144 ton/day의 유출수량이 필요한데 이를 상회하는 양이 확보되어 히트펌프를 설치할 수 있었다. 유출수의 수온은 연중 12~18℃ 범위에서 측정되었고, 수질은 생활용수로 적합 판정을 받아 판형 열교환기를 이용하여 개방형으로도 활용할 수 있는 수질이었다.

부하대상건물은 집수정 주변의 Picture. 2 에 나타난 바와 같은 성가대 연습실1, 2로서 유출지하수 집수정과 인접하여 있고 집수정 상부에 히트펌프와 순환펌프 등 시스템을 설치하였다. 성가대 연습실에 대한 부하데이터는 Table 1에 나타내었다.

Picture. 1 The Building for Extruding ground water source heat pump operation.

(a) The practice room1

(b) The practice room2

Picture. 2 The rooms for heat pump performance experiment

Table 1 The status of building adopting extruding ground water source heat pump

대항목	소 항 목	내 용	
건물 전체	연면적 (공조면적)	11,705 m^2 (10,163m^2)	
	층수	지상 4층, 지하 2층	
	유출수량	800 ~ 1,000 ton/day	
	유출수 온도	연중 12 ~ 18℃	
	유출수 수질	생활용수 적합판정	
실험 대상 공간	구 분	연습실 1	연습실 2
	면적	200 m^2	146 m^2
	난방부하	16,268 kcal/h	14,641 kcal/h
	냉방부하	19,886 kcal/h	17,897 kcal/h

2.2 실험대상 유출지하수열원 히트펌프시스템

본 실험에서 실험대상공간으로 정한 연습실 1, 2와 기계실, 그리고 집수정의 계통도를 Fig. 1 에 나타내었다.

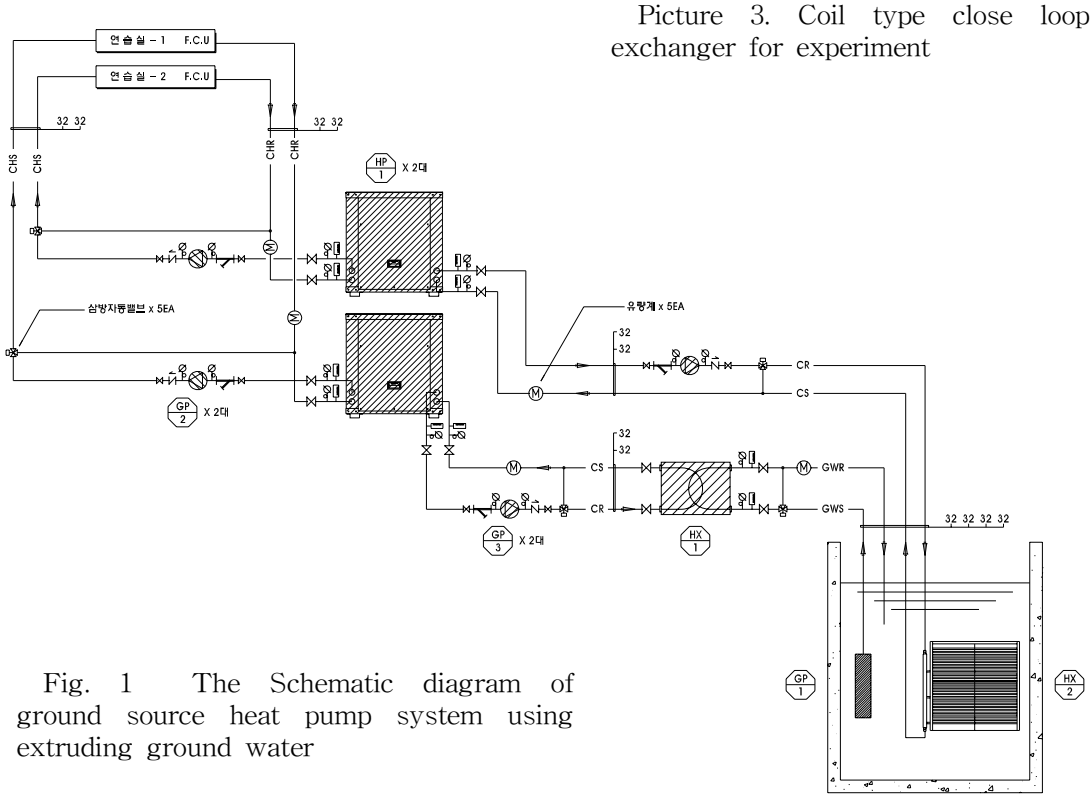

Fig. 1 The Schematic diagram of ground source heat pump system using extruding ground water

Table 2에 설치, 운전한 히트펌프시스템의 사양을 정리하였다. 연습실1은 개방형, 즉 수중펌프와 판형열교환기를 이용하여 유출지하수의 열원으로 활용하였고, 연습실2는 밀폐형으로 개발한 Picture 3과 같은 열교환기를 집수정 내에 설치하여 열전달에 사용하였다. 히트펌프는 5RT급, Water Furnace 제품을 사용하였고, 수중펌프와 냉온수, 지중순환펌프 등은 5RT급에 온도차 5℃를 고려하여 선정하였다. 실내에는 2방향 천정형 FCU를 1RT급으로 6대 를 설치하여 충분한 실내측 열교환 능력을 확보하였다.

Picture 3. Coil type close loop heat exchanger for experiment

Table 2 The spec. of heat pump system using effluent ground water

구 분	연습실 1	연습실 2
집수정 열교환형태	개방형 수중펌프 + 판형열교환기	밀폐형 공조기코일형 열교환기
히트펌프 정격난방능력	12,297 kcal/h	12,297 kcal/h
히트펌프 정격소비전력	4.6 kW	4.6 kW
수중펌프	46lpm, 9m, 0.5HP	없음
냉온수펌프	41lpm, 17m, 2HP	41lpm, 17m, 2HP
지중순환펌프	42lpm, 11m, 1HP	42lpm, 11m, 1HP
온수온도 제어	43, 45, 47, 49 ℃	43, 45, 47, 49 ℃
냉수온도 제어	7, 9℃	7, 9℃
실내기	2way, 1RT급 6대	2way, 1RT급 6대

3. 실험결과 및 분석

본 장에서는 대상건물에 적용한 유출지하수 히트펌프시스템의 냉난방능력, 유출지하수 및 히트펌프입출구 온도변화, 냉난방성능계수 등을 실험결과를 토대로 분석하였다.

3.1 난방성능 및 지하수측 온도

Fig. 2는 실내공간에 방출된 난방열량을 나타내고 있다. 개방형과 밀폐형 모두 14,000~15,000 kcal/h 범위에서 난방능력을 나타내고 있다. 히트펌프에 적용되는 열원의 온도가 9~10℃, 부하측의 온도가 43℃로 동일범위에서 운전되어 난방능력도 동일범위에서 나타나고 있다.

Fig. 3은 개방형으로 운전한 경우의 유출지하수의 온도와 히트펌프 입출구의 지중순환수 온도를 나타내고 있다. 유출지하수의 온도는 초기에 14℃근방에서 시작하여 13℃에서 수렴하고 있고, 히트펌프로 유입되는 지중순환수의 온도는 10℃에서 시작하여 9.5℃로 수렴되고 있다. 유출지하수와 지중순환수의 온도가 3.5~4℃의 온도차를 유지하면서 열원으로서 역할을 감당하고 있음을 알 수 있다.

Fig. 4는 밀폐형으로 운전한 경우의 지중열교환기를 거쳐 히트펌프로 입수되는 온도는 초기에 9℃에서 운전말기에는 8℃까지 낮아지면서 열원으로서 역할을 담당하고 있다 지중열교환기의 입출구온도차는 약 2.3℃ 정도이다.

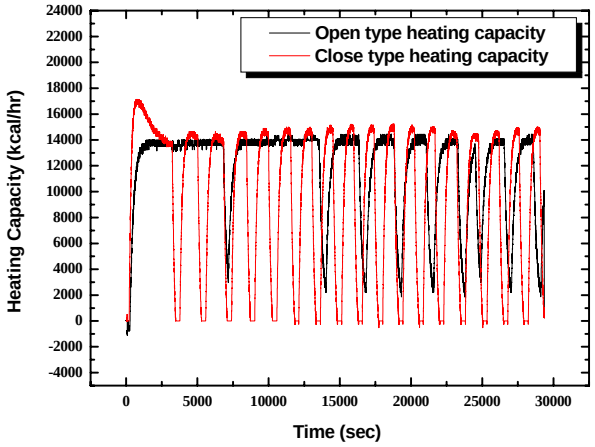

Fig. 2 Heating capacity of heat pump system using extruding ground water

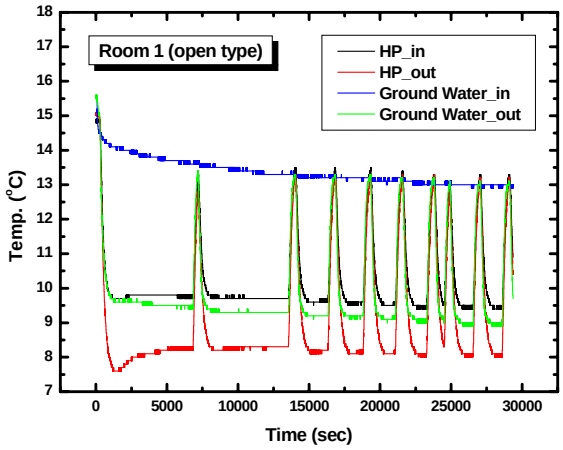

Fig. 3 Ground side water temp. of open type heat pump system(Heating Mode).

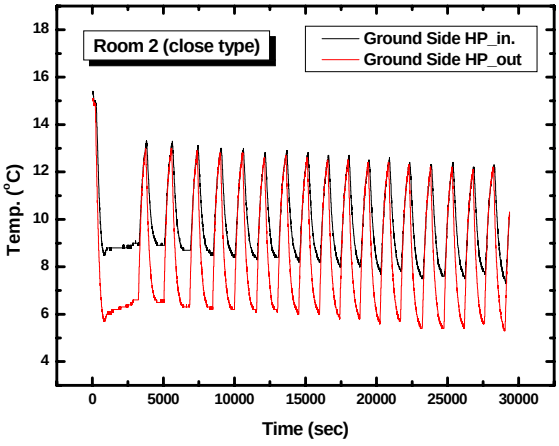

Fig. 4 Ground side water temp. of close type heat pump system(Heating Mode).

3.2 난방성능계수 분석

Fig. 5는 본 난방성능실험기간동안의 일별 난방성능계수를 히트펌프에 대해서만 나타낸 것이다. 이는 난방용량을 히트펌프에 투입된 압축기 동력으로 나눈 값이다. 실험기간동안 실내 측으로 공급되는 온수의 온도를 43℃에서 49℃까지 단계적으로 승온시켜 히트펌프 응축온도의 변화에 따른 히트펌프의 성능변화를 파악하고자 하였다. 히트펌프만의 난방성능계수에 있어서 개방형의 경우 3.85~4.68의 범위에서 나타났고, 밀폐형의 경우 3.82~4.69의 범위에서 나타나 매우 우수한 성능을 보이고 있다. 개방형과 밀폐형의 히트펌프 난방COP가 유사하게 나타난 것은 히트펌프에 인입되는 지중측의 온도가 9~10℃로 동일범위에 있기 때문이다. 실내측으로 공급되는 온수온도 변화에 대해서는 온수온도를 높임에 따라 전체적인 성능계수는 낮아지는 결과를 보이고 있어 실내의 부하패턴에 따라 실내측 공급온도를 굳이 높일 필요가 없다면 되도록 낮은 온도로 제어하는 것이 운전효율 측면에서 효과적임을 보여주고 있다.

Fig. 6은 본 난방성능실험기간동안의 일별 난방성능계수를 총 시스템에 대해서 나타낸 것으로 이는 난방용량을 히트펌프와 지중 및 냉온수순환펌프동력의 합으로 나눈 값이다. Fig. 8과 마찬가지로 실내로 공급되는 온수의 온도를 43℃에서 49℃까지 단계적으로 승온시켜 히트펌프 응축온도의 변화에 따른 히트펌프시스템의 성능변화를 파악하였다. 시스템 난방성능계수에 있어서 개방형은 3.0~3.32의 범위에서 나타났고, 밀폐형은 3.32~3.84의 범위에서 나타나 매우 우수한 성능을 나타내었다. 개방형의 경우가 약 10%정도 COP간 낮게 나타난 이유는 수중펌프의 동력이 추가되었기 때문이다. Fig. 5의 결과와 마찬가지로 실내측으로 공급되는 온수의 온도가 높아짐에 따라 성능계수가 낮아지는 결과를 보여주고 있다.

본 실험을 통하여 유출지하수가 발생하고 있는 현장에 유출지하수를 열원으로 하는 히트펌프시스템을 개방형과 밀폐형으로 적용한 결과 모두 안정적으로 난방성능을 나타내고 있으며 그 성능도 일반지열히트펌프시스템과 유사한 우수한 성능을 나타내고 있음을 알 수 있었다

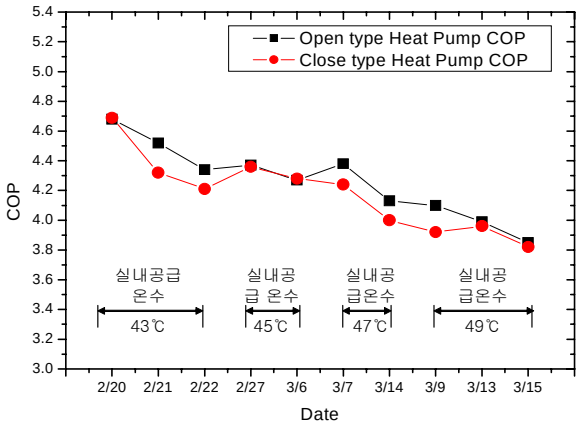

Fig. 5 Heating COP of heat pump with load side water temp.

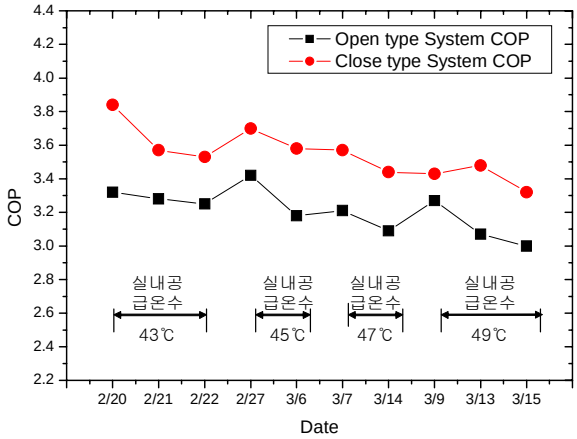

Fig. 6 Heating COP of heat pump system with load side water temp.

3.3 냉방성능 및 지하수측 온도

Fig. 7은 본 시스템의 냉방능력을 나타낸 것이다. 개방형과 밀폐형 모두 12,000~14,000 kcal/h의 용량을 나타낸다. 기동초기에는 히트펌프로 유입되는 순환수의 온도가 15℃정도로 높기 때문에 능력이 더 크게 나타나고, 정지하기 바로 전에는 순환수의 온도가 9℃정도로 상대적으로 낮기 때문에 히트펌프의 능력이 상대적으로 낮게 나타났다. Fig. 8은 개방형의 경우 지중측의 온도를 나타낸 것이다. 판형열교환기에 공급되는 온도는 16~19℃ 범위에서 운전되고 있으며, 히트펌프로 유입되는 온도는 초기에 23℃, 운전말기에는 26℃로 서서히 상승하는 것을 볼 수 있다. Fig. 9에서 밀폐형 시스템의 지중측 공급온도는 초기 17℃에서 말기에는 20℃까지 상승하였다.

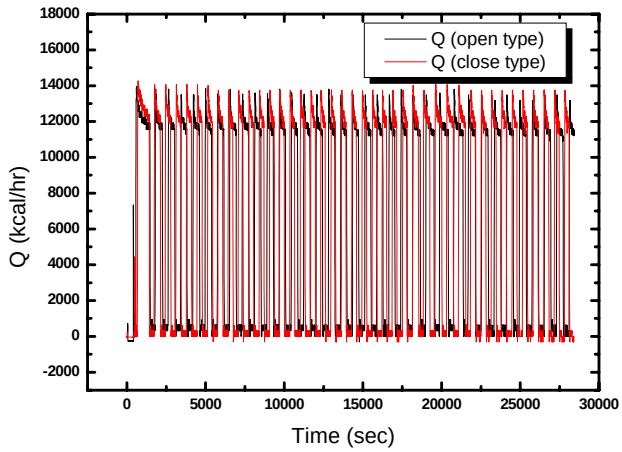

Fig. 7 Cooling performance of heat pump system

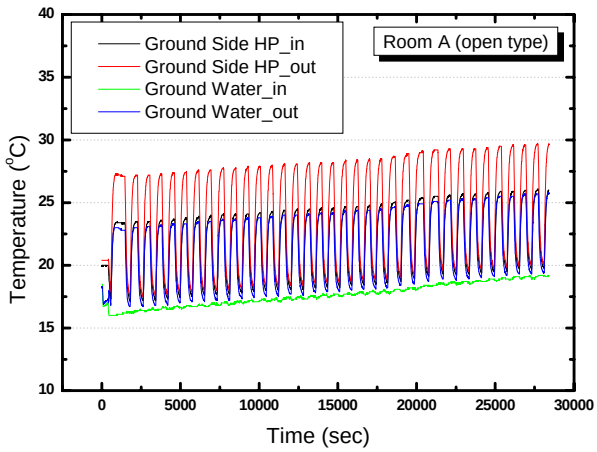

Fig. 8 Ground side water temperature variation of open type heat pump system(Cooling Mode)

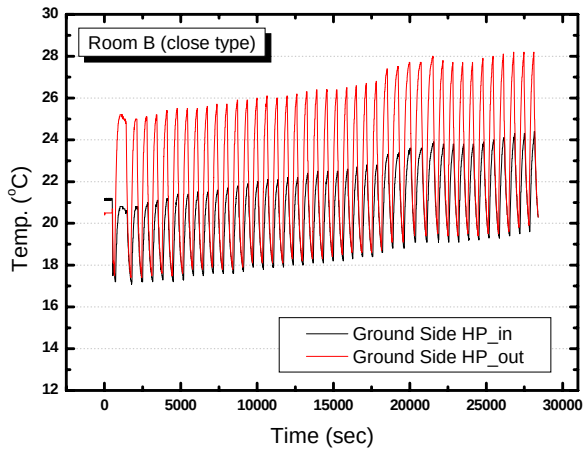

Fig. 9 Ground side water temperature variation of close type heat pump system(Heating Mode)

3.2 냉방기간동안 성능계수 분석

실내측 순환수의 제어온도 변화에 따른 냉방성능의 변화를 보기위해 실내공급냉수의 온도를 7℃와 9℃로 각각 제어한 경우의 냉방COP의 변화를 나타낸 것이다. Fig. 10은 히트펌프만의 냉방COP로서 냉방능력을 압축기 소비전력으로 나눈 값이다 개방형의 경우 4.9~5.2, 밀폐형의 경우 4.9~5.7로서 매우 우수하게 나타났다. 실내공급온도의 제어온도가 7℃일때보다 9℃일 때의 성능이 더 높게 나타나고 있다. 이는 히트펌프의 증발압력이 상승함에 따른 냉매사이클의 전형적인 현상을 나타내었다고 할 수 있다. Fig. 11은 히트펌프와 지중순환펌프, 그리고 실내순환펌프까지 고려한 시스템냉방COP를 나타낸다. 개방형의 경우 3.2~3.5, 밀폐형의 경우 3.8~4.2의 범위에서 나타나고 있다. 개방형이 밀폐형보다 낮은 이유는 수중펌프의 동력이 추가되기 때문이다.

이상의 결과를 종합해 볼 때 냉방성능에 있어서도 기존의 지열히트펌프시스템에 상당하는 우수한 성능을 나타냄을 확인할 수 있었다.

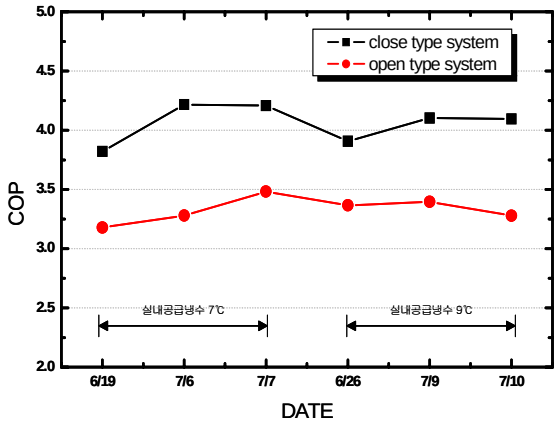

Fig. 10 Cooling COP of heat pump system with load side circulating water temp.

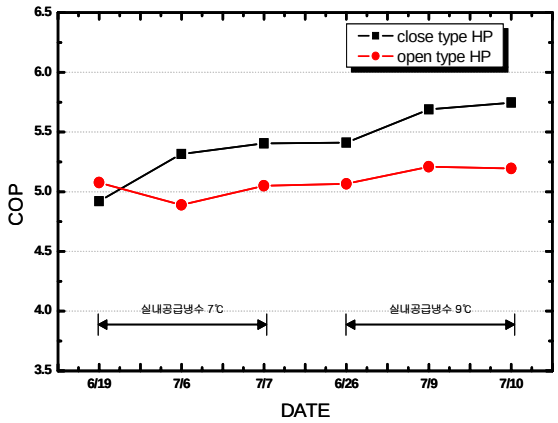

Fig. 11 Heat pump system COP in cooling mode with load side circulating water temp.

4. 결 론

유출지하수를 이용한 지열히트펌프를 개방형과 밀폐형 열교환기를 사용하여 현장에 적용한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 실내로의 난방능력은 연습실1(개방형)과 연습실2(밀폐형) 모두 14,000~15,000kcal/h로 안정적으로 난방을 진행했다.

(2) 난방 시 히트펌프로 유입되는 지중측의 온도는 개방형의 경우 9~10℃, 밀폐형의 경우 8~9℃로 안정적인 온도를 나타내었다.

(3) 난방계절동안의 일별 시스템 성능계수는 개방형은 3.0~3.32, 밀폐형은 3.32~3.84로 밀폐형이 우수하게 나타났고, 실내공급온수온도가 증가함에 따라 성능이 감소함으로 알 수 있었다.

(4) 실내로의 냉방능력은 개방형과 밀폐형 모두 12,000~14,000kcal/h로 나타났다.

(5) 냉방 시 히트펌프로 유입되는 지중측의 온도는 개방형의 경우 23~26℃, 밀폐형의 경우 17~20℃로 안정적인 온도를 나타내었다.

(6) 냉방계절동안의 일별 시스템 성능계수는 개방형 3.2~4.5, 밀폐형 3.8~4.2로 우수한 결과를 나타내었다. 밀폐형이 보다 높은 시스템COP를 나타낸 이유는 개방형의 경우 수중펌프의 동력이 추가되었기 때문으로 판단된다.

(7) 본 실험결과를 통해 유출지하수의 수온과 수량이 확보된다면, 개방형 혹은 밀폐형으로 유출지하수를 열원으로 하는 지열히트펌프시스템의 운전이 가능함을 확인할 수 있었다.

후 기

본 연구는 2005년 신재생에너지기술개발사업 중 「유출지하수를 이용한 건물냉난방기술개발(2005-N-GE02)」의 일환으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. 건설교통부, “대형시설물 등의 유출지하수자원 활용방안 연구”, 2002.
2. 박근우 외 1인, “유출지하수 열원 지열히트펌프용 Pond Loop형 열교환기의 열전달성능(2)”, 2006. 11, 한국신재생에너지학회 추계학술대회 논문집, pp. 15~19
3. http://www.waterfurnace.com/
4. 산업자원부, “유출지하수를 이용한 건물냉난방 기술개발에 관한 연구” 최종보고서, 2007. 7