

유출지하수 열원 지열히트펌프시스템의 냉방성능

박근우*, 남현규, 강병찬

Cooling Performance of Ground source Heat Pump using Effluent Ground Water

Geunwoo Park*, Hyunku Nam, Byungchan Kang

Abstract Effluent ground water overflow in deep and broad ground space building. Temperature of effluent ground water is in 12~20°C 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. Effluent 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 cooling COP is 4.9~5.2 for the open type and 4.9~5.7 for close type system. The system cooling COP is 3.2~4.5 for 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), Cooling Performance(냉방성능), COP(성능계수)

* 삼양에코너지 연구소

■ E-mail : gwpark@ecosy.co.kr ■ Tel : (041)575-5611 ■ Fax : (041)575-4211

Nomenclature

Q : heating capacity, kcal/h

HP : heat pump

COP : coefficient of performance

1. 서론

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 연구보고서¹⁾에 따르면 서울시 지하철

의 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 건전화 방지용으로 이용되고 있으나 이 중 대부분이 하천건전화 방지용으로 활용되고 있다. 그러나 이 유출지하수는 연중 온도가 12~18℃로 그 온도를 활용하면 우수한 지열히트펌프의 열원이 될 수 있고 이를 통해 에너지절감과 CO₂ 발생량을 감축시킬 수 있다. 지구온난화의 심화와 CO₂ 절감목표에 대한 교토의정서의 효력이 2013년부터 한국에 적용되는 심각한 상황에서 국내에 무심히 버려지고 있는 유출지하수를 히트펌프의 열원으로 효과적으로 활용하기 위하여 본 연구가 진행되었다.

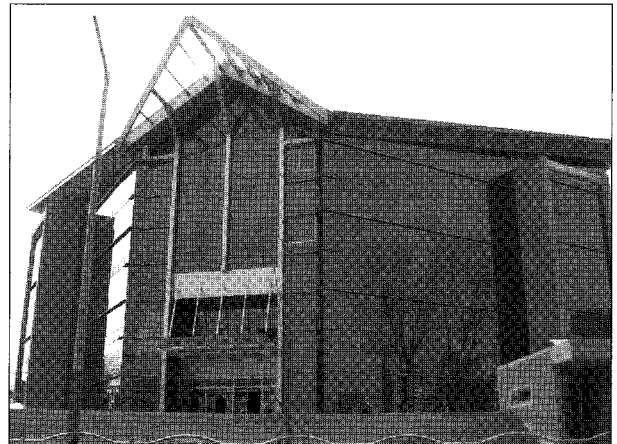
본 연구에서는 2006년 신재생에너지 학회에서 발표한 “유출지하수 열원 지열히트펌프용 Pond Loop형 열교환기의 열전달 성능(Ⅱ)”¹²⁾의 밀폐형 열교환기와, 일반적으로 활용할 수 있는 개방형 열교환기를 각각 5RT용량으로 현장에 적용하여, 유출지하수가 히트펌프의 열원으로서 타당한가를 검증하고, 이를 활용한 지열히트펌프시스템의 난방성능을 파악하였다.

2. 실험장치 및 방법

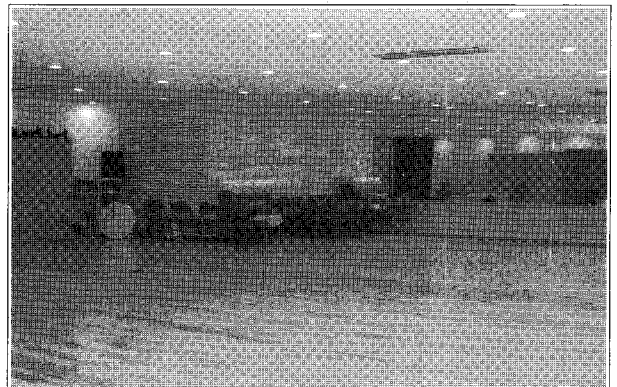
본 실험은 실제로 유출지하수가 배출되고 있는 의정부 소재 K교회에 밀폐형 5RT, 개방형 5RT급 히트펌프시스템을 설치하여 진행한 것이다.

2.1 적용대상 건물현황

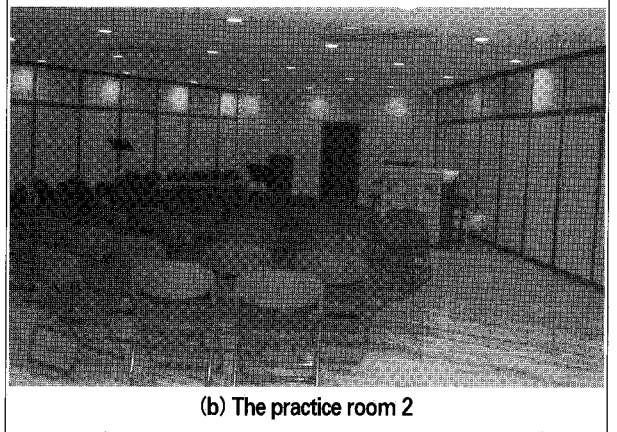
Picture 1은 본 실험이 진행된 의정부 소재 K교회건물의 전경이다. 대상건물의 현황은 Table 1에 나타내었다. 건물전체의 연면적은 11,705m²이고, 지상4층, 지하2층의 신축건물이다. 지하2층 공간이 지하 15m 까지 형성되어 있다. 본 건물은 교회 건물로서 지하공간이 넓어 유출되는 지하수의 양이 많다. 계절마다 편차가 있지만 겨울철 갈수기에 800 ton/day에서 여름철 우기에는 1,000 ton/day 정도로 다량의 유출지하수가 배출되고 있다. 10RT급의 히트펌프를 운전하기 위해서는 약 144 ton/day의 유출수량이 필요한데 이를 상회하는 양이 확보되어 히트펌프를 설치할 수 있었다. 유출수의 수온은 연중 12~20℃ 범위에서 측정되었고, 수질은 생활용수로 적합 판정을 받아 판형 열교환



Picture 1. The Building for Extruding groundwater source heat pump operation.



(a) The practice room 1



(b) The practice room 2

Picture 2. The rooms for heat pump performance experiment using extruding groundwater

기를 이용하여 개방형으로도 활용할 수 있는 수질이였다.

부하대상건물은 집수정 주변의 Picture 2에 나타난 바와 같은 성가대 연습실1, 2로서 유출지하수 집수정과 인접하여 있고

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

| 대항목 | 소항목 | 내용 | |
|--------|-----------|--|-------------------|
| 건물전체 | 연면적(공조면적) | 11,705m ² (10,163m ²) | |
| | 층수 | 지상 4층, 지하 2층 | |
| | 유출수량 | 800 ton/day ~ 2,000 ton/day | |
| | 유출수 온도 | 연중 12 ~ 20°C | |
| | 유출수 수질 | 생활용수 적합판정 | |
| 실험대상공간 | 구분 | 연습실 1 | 연습실 2 |
| | 면적 | 200m ² | 146m ² |
| | 난방부하 | 16,268 kcal/h | 14,641 kcal/h |
| | 냉방부하 | 19,886 kcal/h | 17,897 kcal/h |

집수정 상부에 히트펌프와 순환펌프 등 시스템을 설치하였다. 성가대 연습실에 대한 부하데이터는 Table 1에 나타내었다.

2.2 유출수 열원 지열히트펌프시스템

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

에 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

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

| 구분 | 연습실 1 | 연습실 2 |
|-------------|-------------------|-------------------|
| 집수정열교환형태 | 개방형 수중펌프 + 판형열교환기 | 밀폐형 공조기코일형 열교환기 |
| 히트펌프 정격난방능력 | 12,297 kcal/h | 12,297 kcal/h |
| 히트펌프 정격소비전력 | 4.6 kW | 4.6 kW |
| 히트펌프 입구수온 | 10 ~ 14°C | 10 ~ 14°C |
| 수중펌프 | 46 lpm, 9m, 1/2HP | 없음 |
| 냉온수펌프 | 41 lpm, 17m, 2HP | 41 lpm, 17m, 2HP |
| 지중순환펌프 | 42 lpm, 11m, 1HP | 42 lpm, 11m, 1HP |
| 온수온도 제어 | 43, 45, 47, 49 °C | 43, 45, 47, 49 °C |
| 실내기 | 2way, 1RT급 6대 | 2way, 1RT급 6대 |

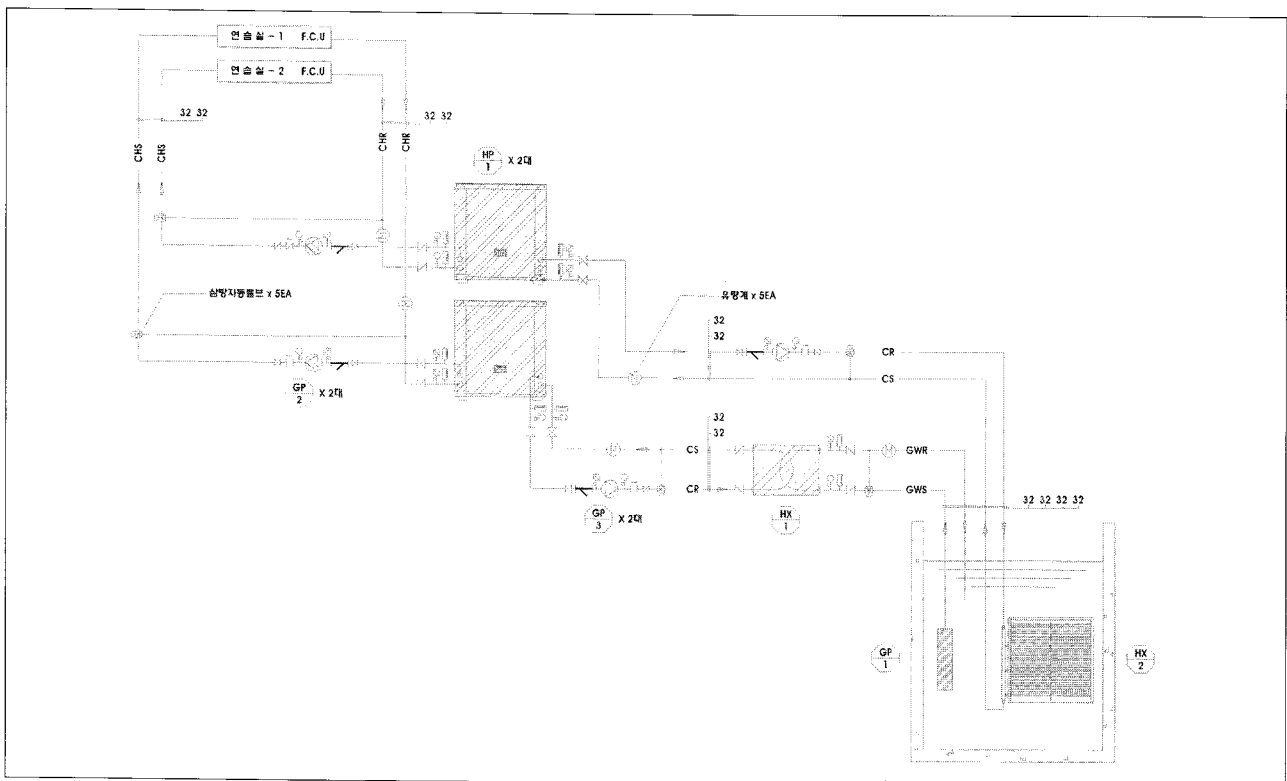
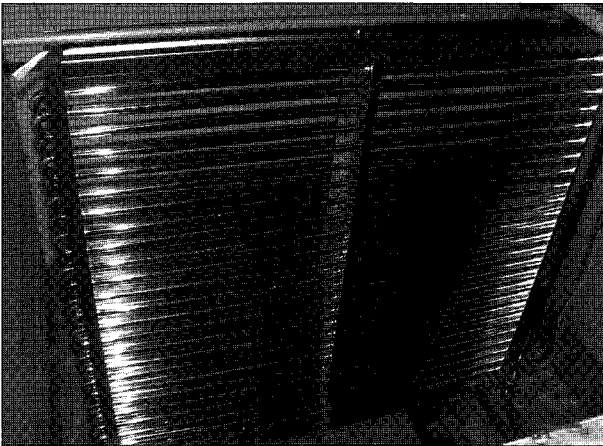


Fig. 1 The Schematic diagram of ground source heat pump system using extruding ground water

온도차 5℃를 고려하여 선정하였다. 실내에는 2방향 천정형 FCU를 1RT급으로 6대 를 설치하여 충분한 실내측 열교환 능력을 확보하였다.



Picture 3. The coil type heat exchanger for ground source heat pump using extruding ground water

3. 실험결과 및 분석

본 장에서는 대상건물에 적용한 유출지하수 히트펌프시스템의 소비전력, 냉방능력, 실내온도제어, 유출지하수 및 열원의 온도변화, 냉방성능계수 등을 실험결과를 토대로 분석하였다.

3.1 일간 냉방성능데이터 분석

본 절에서는 대표일에 있어서 유출지하수 열원 히트펌프시스템의 냉방성능 결과를 나타낸 것이다. 실험일은 2007년 7월 9일로서 Fig. 2의 전력소비량은 개방형의 경우 약 3.6 kW, 밀폐형의 경우 약 3.0 kW의 전력을 소비하고 있다. 히트펌프의 기동/정지 제어는 실내 공급수의 온도가 16℃가 되면 가동하고, 9℃가 되면 정지하도록 설정하였다. 실내 냉방부하가 설계 용량보다 크지 않아 개방형과 밀폐형 시스템 모두 기동과 정지를 반복하고 있다. Fig. 3은 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 히트펌프

의 능력이 상대적으로 낮게 나타났다. Fig. 4에서 개방형 시스템의 실내온도는 초기 25℃에서 말기에 22℃까지 낮아지고 있다. 순환수는 온도차 4℃를 유지하면서 제어온도인 9℃에서 15℃사이에서 제어되고 있다. Fig. 5는 개방형의 경우 지중층의 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. 6에서 밀폐형 시스템의 실내온도는 24℃에서 시작하여 22℃에서 제어되고 있다. Fig. 7에서 밀폐형 시스템의 지중층 공급온도는 초기 17℃에서 말기에는 20℃까지 상승하였다.

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. 8은 히트펌프만의 냉방COP로서 냉방능력을 압축기 소비전력으로 나눈 값이다. 개방형의 경우 4.9~5.2, 밀폐형의 경우 4.9~5.7 로서 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. 9는 히트펌프와 지중순환펌프, 그리고 실내순환펌프까지 고려한 시스템 냉방COP를 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 나타내었다.

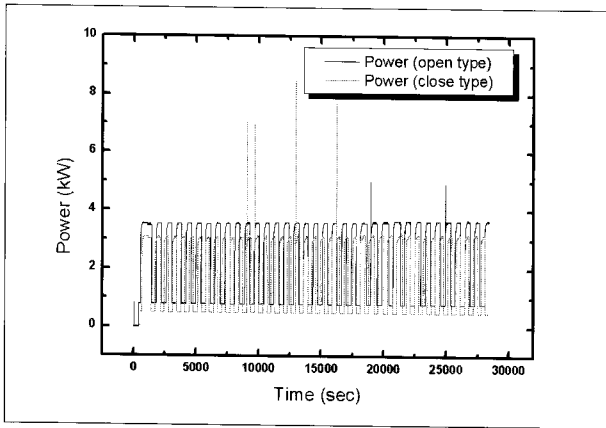


Fig. 2 Power consumption of heat pumps

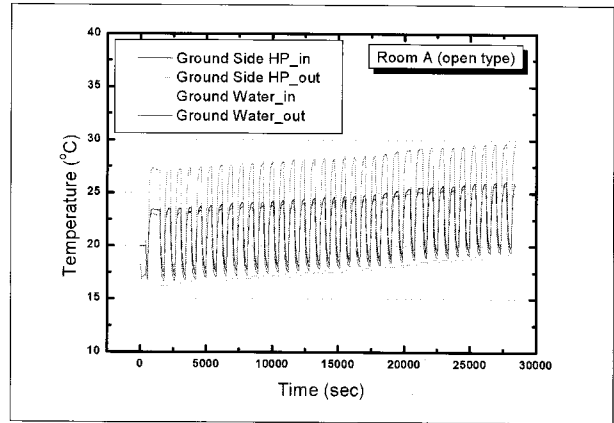


Fig. 5 Ground side water temperature variation of open type heat pumps

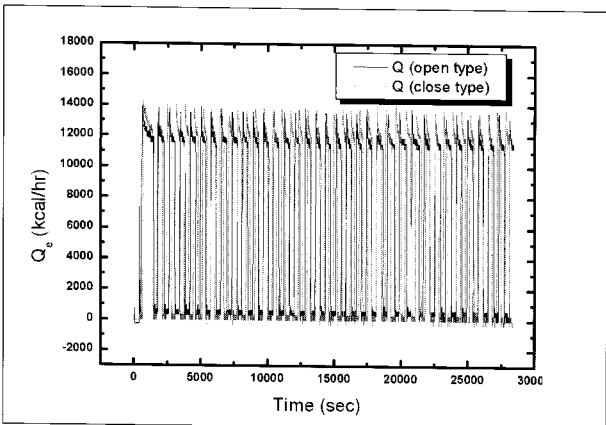


Fig. 3 Cooling performanc of heat pumps

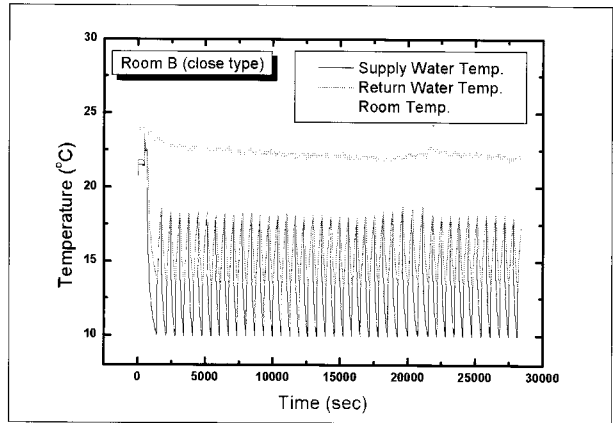


Fig. 6 Indoor air temperature and load side water temperature variation of close type heat pumps

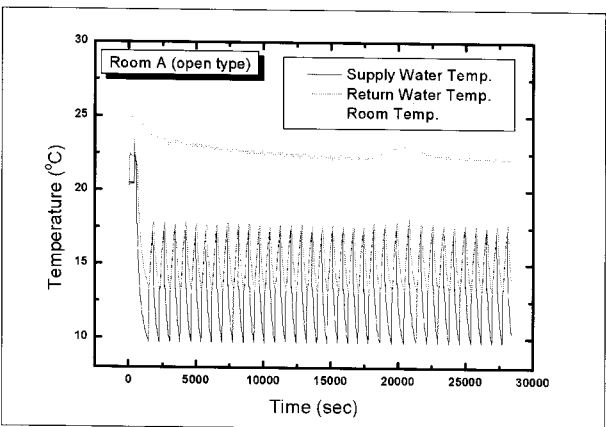


Fig. 4 Indoor air temperature and load side water temperature variation of open type heat pumps

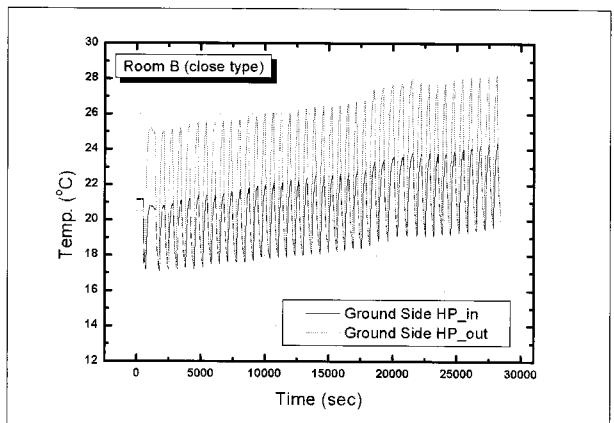


Fig. 7 Ground side water temperature variation of close type heat pumps

4. 결론

유출지하수를 이용한 지열히트펌프를 개방형과 밀폐형 열교환기를 사용하여 현장에 적용하여 냉방운전을 분석한 결과 다음과 같은 결론은 얻었다.

1. 실내측 냉수 순환온도를 9℃로 제어한 대표일의 경우 유출지하수 히트펌프의 총 소비동력은 개방형의 경우 3.6kW, 밀폐형의 경우 3.0kW로 나타났고, 개방형은 수증펌프의 동력이 추가되어 0.6kW 크게 나타났다.
2. 실내로의 냉방능력은 개방형과 밀폐형 모두 12,000~14,000kcal/h로 안정적으로 냉방을 진행했다.
3. 히트펌프로 유입되는 지중층의 온도는 개방형의 경우 23~26℃, 밀폐형의 경우 17~20℃로 안정적인 온도를 나타내었다.

4. 냉방계절동안의 일별 냉방COP를 실내냉수공급온도변화에 따라 측정된 결과, 히트펌프의 성능계수는 개방형의 경우 4.9~5.2, 밀폐형의 경우 4.9~5.7의 범위에서 유사하게 나타났으며, 냉수온도가 낮아질수록 COP가 낮아지는 전형적인 경향을 나타내었다.
5. 지중 및 실내순환펌프의 동력을 합하여 냉방COP를 산정한 결과, 개방형 3.2~4.5, 밀폐형 3.8~4.2로 우수한 결과를 나타내었다. 밀폐형이 보다 높은 시스템COP를 나타낸 이유는 개방형의 경우 수증펌프의 동력이 추가되었기 때문으로 판단된다.
6. 유출지하수를 이용한 히트펌프를 유출지하수 배출현장에 적용하여 냉방운전한 결과 안정적으로 운전이 진행됨을 확인하였다. 본 연구결과가 유출지하수를 열원으로 활용하는 시스템이 보급되는데 기초연구가 될 것으로 기대된다.

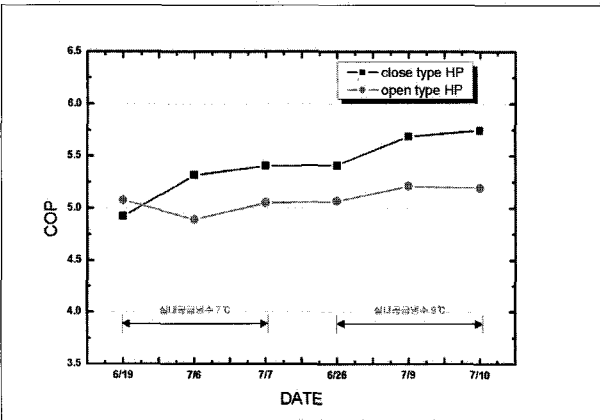


Fig. 8 Heat pump COP in cooling mode with load side circulating water temp

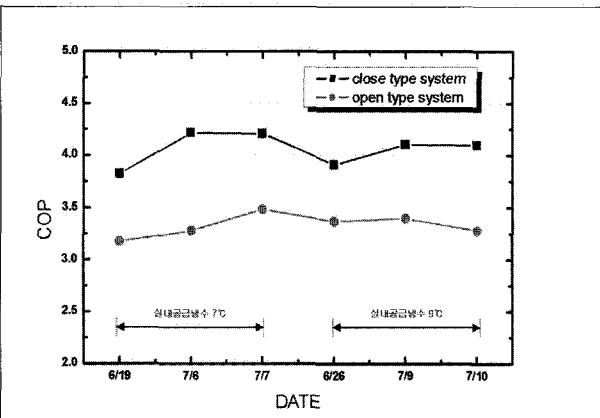


Fig. 9 Heat pump system COP in cooling mode with load side circulating water temp

후기

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

References

- (1) 건설교통부, "대형시설물 등의 유출지하수자원 활용방안 연구", 2002.
- (2) 박근우 외 1인, "유출지하수 열원 지열히트펌프의 난방성능", 2007. 6, 한국신재생에너지학회 춘계학술대회 논문집, pp. 460~465
- (3) <http://www.waterfurnace.com/>

박근우



1994년 고려대학교 기계공학과 공학사
1996년 고려대학교 기계공학과 공학석사
2000년 고려대학교 기계공학과 공학박사

현재 삼양에너지(주) 연구소장
(E-mail : gwpark@ecosy.co.kr)

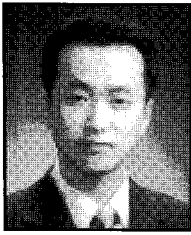
남현규



2001년 영남대학교 기계공학과 공학사
2003년 영남대학교 기계공학과 공학석사

현재 삼양에너지(주) 근무
(E-mail : hknam1@naver.com)

강병찬



2004년 제주대학교 기계공학과 공학사
2006년 제주대학교 기계공학과 공학석사

현재 삼양에너지(주) 근무
(E-mail : solosha@naver.com)