

유출지하수 열원 지열히트펌프시스템의 난방성능

박 근우¹⁾, 이 응열²⁾

Heating Performance of Ground source Heat Pump using Extruding Ground Water

Geunwoo Park, Eungyoul Lee

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

Abstract : 유출지하수는 지하공간이 깊고 넓게 분포하는 건물에서 자연적으로 유출되어 배출되는 낮은 심도의 지하수이다. 본 연구에서는 신축된 교회건물에서 유출되는 지하수를 열원으로 밀폐형태와 개방형태의 열교환기를 활용하여 각각 5RT급 히트펌프시스템을 난방모드로 운전한 결과를 정리하였다. 실험은 난방순환수의 온도를 43~49 °C범위에서 제어하면서 진행하였으며, 시스템COP에 있어서 밀폐형은 4.12~4.75, 개방형은 3.42~3.98의 범위에서 측정되었다. 이는 기존의 지열히트펌프시스템의 COP와 대동소이한 우수한 성능이라고 판단된다. 또한 펌프동력을 제외한 히트펌프 자체 난방COP에 있어서 밀폐형은 4.69~5.81, 개방형은 4.38~5.43의 범위에서 나타났다. 유출지하수의 온도가 겨울철에도 약 12~14°C를 유지하므로 히트펌프와 시스템전체의 COP가 매우 우수한 값을 나타내고 있음이 확인되었다.

Nomenclature

Q : heating capacity, kcal/h
HP : heat pump
COP : coefficient of performance

1. 서론

유출지하수는 지하철이나 대규모 지하공간이 있는 건물이 층적층 혹은 대수층에 설치될 경우 자연적으로 유출되어 건물외부로 배수되는 지하수이다. 이는 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 12~23°C로 그 온도를 활용하

면 우수한 지열히트펌프의 열원이 될 수 있고 이를 통해 에너지절감과 CO₂발생량을 저감시킬 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 열전달성능(Ⅱ)”^[2]의 밀폐형 열교환기와 일반적으로 활용할 수 있는 개방형 열교환기를 각각 5RT용량으로 현장에 적용하여, 유출지하수가 히트펌프의 열원으로서 타당한가를 검증하고, 이를 활용한 지열히트펌프시스템의 난방성능을 파악하였다.

1) 삼양에코너지 연구소
E-mail : gwpark@ecosy.co.kr
Tel : (031)713-8157 Fax : (031)713-8158
2) 삼양에코너지 연구소
E-mail : yuli_1st@incheon.ac.kr
Tel : (031)713-8157 Fax : (031)713-8158

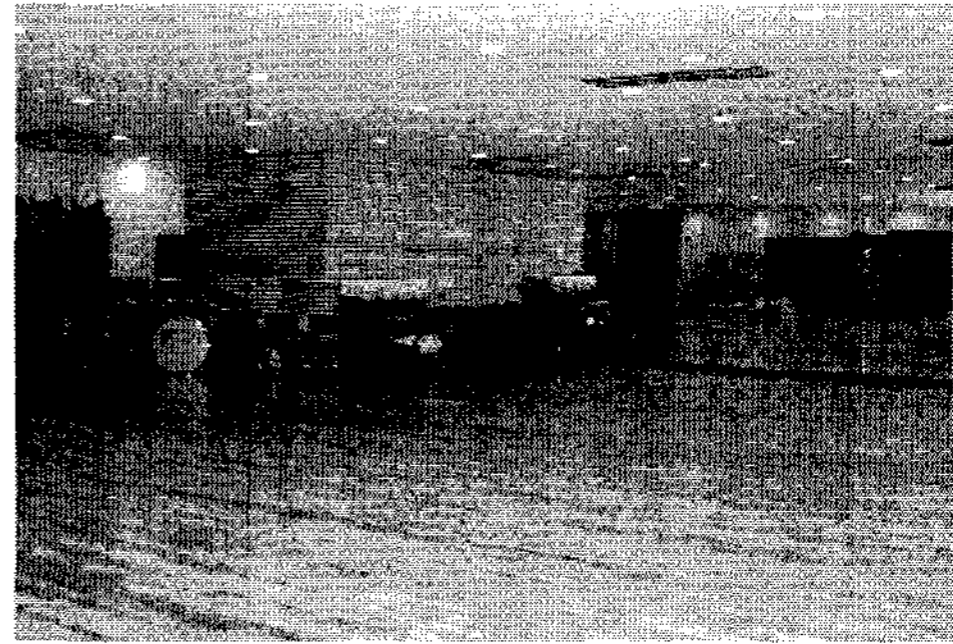
2. 실험장치 및 방법

본 실험은 실제로 유출지하수가 배출되고 있는 의정부 소재 K교회에 밀폐형 5RT, 개방형 5RT 급 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 2,000 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 열교환기를 이용하여 개방형으로도 활용할 수 있는 수질이였다.

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

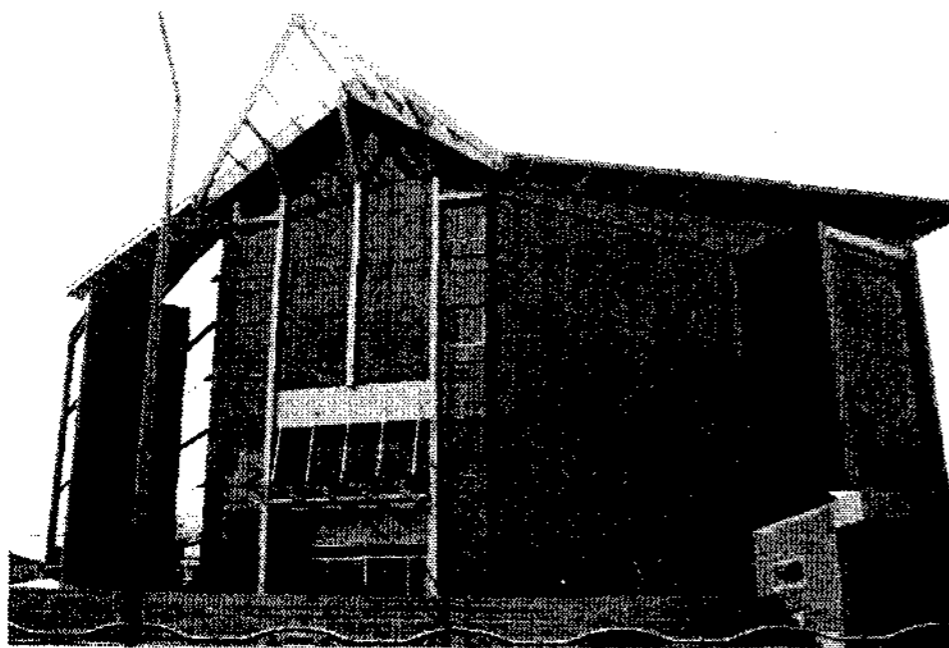


(a) The practice room 1



(b) The practice room 2

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



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

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

대항목	소항목	내용	
건물 전체	연면적 (공조면적)	11,705 m ² (10,163m ²)	
	층수	지상 4층, 지하 2층	
	유출수량	800 ton/day ~ 2,000 ton/day	
	유출수 온도	연중 12 ~ 20℃	
	유출수 수질	생활용수 적합판정	
실험 대상 공간	구분	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

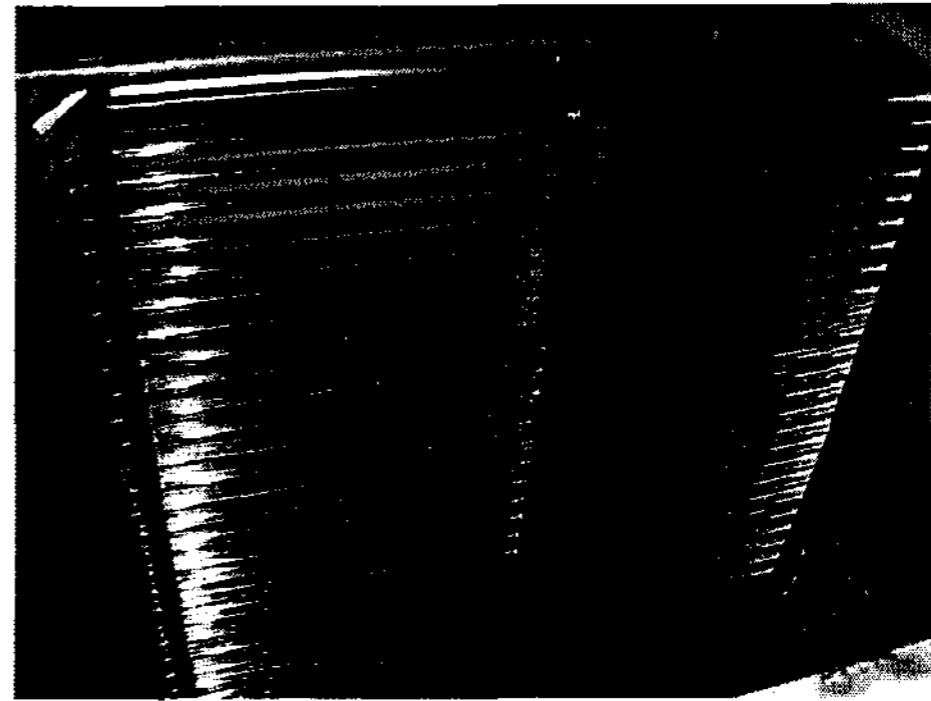
2.2 유출수 열원 지열히트펌프시스템

본 실험에서는 실험대상공간으로 정한 연습실 1, 2와 기계실, 그리고 집수정의 계통도를 Fig. 1에 나타내었다. Table 2에 설치, 운전한 히트펌프 시스템의 사양을 정리하였다.

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

구분	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
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

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°C를 고려하여 선정하였다. 실내에는 2방향 천정형 FCU를 1RT급으로 6대를 설치하여 충분한 실내측 열교환 능력을 확보하였다.



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

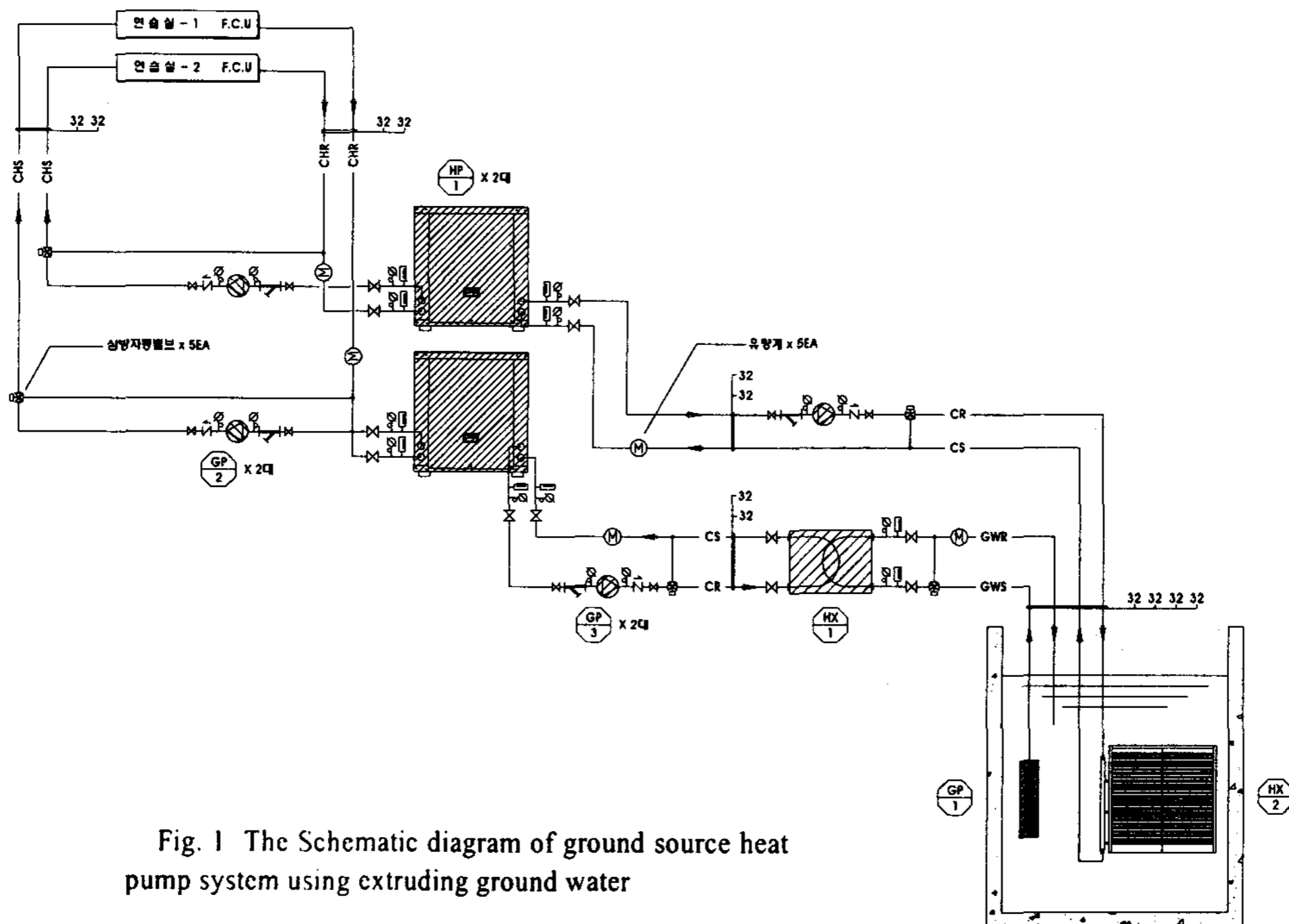


Fig. 1 The Schematic diagram of ground source heat pump system using extruding ground water

3. 실험결과 및 분석

본 장에서는 대상건물에 적용한 유출지하수 히트펌프시스템의 소비전력, 난방능력, 실내온도제어, 유출지하수 및 열원의 온도변화, 난방 성능계수 등을 실험결과를 토대로 분석하였다.

3.1 일간 난방성능데이터 분석

Fig. 2는 2007년 2월 21일 현장에서 측정한 유출지하수 열원 히트펌프의 소비전력과 난방성능계수를 나타낸다. 실내순환온수의 공급온도가 43°C로 되면 히트펌프를 멈추고 35°C가 되면 재기동하도록 제어하였다. 히트펌프의 소비전력은 개방형과 밀폐형의 경우 모두 그 값이 3.5~5.0 kW 범위에서 나타났으며, 이는 히트펌프의 열원측과 부하측의 유입수 온도에 따라 압축기의 소비전력이 달라지기 때문으로 파악된다. 하루 중 8시간 운전을 진행하여 총괄 시스템 난방COP가 개방형의 경우 3.8, 밀폐형의 경우 4.4로 우수한 성능을 나타내었다.

Fig. 3은 실내공간에 방출된 난방열량을 나타내고 있다. 밀폐형의 경우가 18,000 kcal/h, 개방형의 경우 16,000 kcal/h로 밀폐형의 경우가 더 큰 능력을 나타내고 있다. 열원과 순환수의 온도가 유사한 상황에서 나타난 결과로 볼 때 밀폐형 시스템에 사용된 히트펌프의 냉매 충전량이 최적화 되어 있다고 추측된다.

Fig. 4는 개방형으로 운전한 경우의 실내온도의 변화와 부하측 순환수의 온도변화를 나타내고 있다. 실내온도는 초기에 13°C에서 시작하여 제어온도인 25°C근방에서 적절하게 제어되고 있다. 부하측에서 순환하는 온수의 온도는 공급온도 43°C에 이르면 히트펌프의 압축기가 정지하여 다시 낮아지고 35°C가 되면 다시 기동하여 난방을 진행하므로 기동/정지를 반복하고 있고, 온도차 5°C정도를 유지하면서 운전이 진행되었다.

Fig. 5는 개방형으로 운전한 경우의 유출지하수의 온도와 히트펌프 입출구의 지중순환수 온도를 나타내고 있다. 유출지하수의 온도는 초기에 14°C근방에서 시작하여 13°C에서 수렴하고 있고, 히트펌프로 유입되는 지중순환수의 온도는 10°C에서 시작하여 9.5°C로 수렴되고 있다. 유출지하수와 지중순환수의 온도가 3.5~4°C의 온도차를 유지하면서 열원으로서 역할을 감당하고 있음을 알 수 있다.

Fig. 6은 밀폐형으로 운전한 경우의 실내온도의 변화와 부하측 순환수의 온도변화를 나타내고 있다. 실내온도는 초기에 12.5°C에서 시작하여 제어온도인 25°C근방에서 적절하게 제어되고 있다. 부하측에서 순환하는 온수의 입출구온도도 개방형과 마찬가지로 적절히 제어되고 있으며, 연습실2의 난방부하가 상대적으로 작아 기동/정지의 반복주기가 더 짧게 나타나고 있다.

Fig. 7은 밀폐형으로 운전한 경우의 지중열교

환기를 거쳐 히트펌프로 입수되는 온도는 초기에 9°C에서 운전말기에는 8°C까지 낮아지면서 열원으로서 역할을 담당하고 있다 지중열교환기의 입출구온도차는 약 2.3°C 정도이다.

3.2 난방기간동안 성능계수 분석

Fig. 8은 본 난방성능실험기간동안의 일별 난방성능계수를 히트펌프에 대해서만 나타낸 것이다. 이는 난방용량을 히트펌프에 투입된 압축기 동력으로 나눈 값이다. 실험기간동안 실내측으로 공급되는 온수의 온도를 43°C에서 49°C까지 단계적으로 승온시켜 히트펌프 응축온도의 변화에 따른 히트펌프의 성능변화를 파악하고자 하였다. 히트펌프만의 난방성능계수에 있어서 개방형의 경우 5.43~4.38의 범위에서 나타났고, 밀폐형의 경우 5.81~4.69의 범위에서 나타나 매우 우수한 성능을 보이고 있다. 실내측으로 공급되는 온수온도 변화에 대해서는 온수온도를 높여감에 따라 전체적인 성능계수는 낮아지는 결과를 보이고 있어 실내의 부하패턴에 따라 실내측 공급온도를 굳이 높일 필요가 없다면 되도록 낮은온도로 제어하는 것이 운전효율 측면에서 효과적임을 보여주고 있다.

Fig. 9는 본 난방성능실험기간동안의 일별 난방성능계수를 총 시스템에 대해서 나타낸 것으로 이는 난방용량을 히트펌프와 지중 및 냉온수순환 펌프동력의 합으로 나눈 값이다. Fig. 8과 마찬가지로 실내로 공급되는 온수의 온도를 43°C에서 49°C까지 단계적으로 승온시켜 히트펌프 응축온도의 변화에 따른 히트펌프시스템의 성능변화를 파악하였다. 시스템 난방성능계수에 있어서 개방형은 3.86~3.42의 범위에서 나타났고, 밀폐형은 4.75~4.12의 범위에서 나타나 매우 우수한 성능을 나타내었다. Fig. 8의 결과와 마찬가지로 실내측으로 공급되는 온수의 온도가 높아짐에 따라 성능계수가 낮아지는 결과를 보여주고 있다.

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

4. 결론

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

1. 실내공급온수온도를 43°C로 제어한 대표일이 시스템난방성능계수는 개방형의 경우 3.8, 밀폐형의 경우 4.4로 우수한 성능을 나타냈다.
2. 실내로의 난방능력은 연습실1(개방형)의 경우 16,000 kcal/h, 연습실2(밀폐형)의 경우

18,000 kcal/h로 안정적으로 난방을 진행했다.

3. 히트펌프로 유입되는 지중층의 온도는 개방형의 경우 9~10℃, 밀폐형의 경우 8~9℃로 안정적인 온도를 나타내었다.

4. 난방계절동안의 일별 성능계수를 실내온수 공급온도변화에 따라 측정한 결과 히트펌프만의 성능계수는 개방형의 경우 4.38~5.43, 밀폐형의 경우 4.69~5.81의 범위에서 유사하게 나타났으며, 온수온도가 높아질수록 성능계수가 낮아지는 결과를 보였다.

5. 난방계절동안의 일별 시스템 성능계수는 개방형은 3.42~3.86, 밀폐형은 4.12~4.75로 밀폐형이 우수하게 나타났고, 실내공급온수온도가 승온됨에 따라 성능이 감소함으로 알 수 있었다.

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

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 지열히트펌프용 Pond Loop형 열교환기의 열전달성능(2)”, 2006. 11, 한국신재생에너지학회 추계학술대회 논문집, pp. 15~19
- [3] <http://www.waterfurnace.com/>

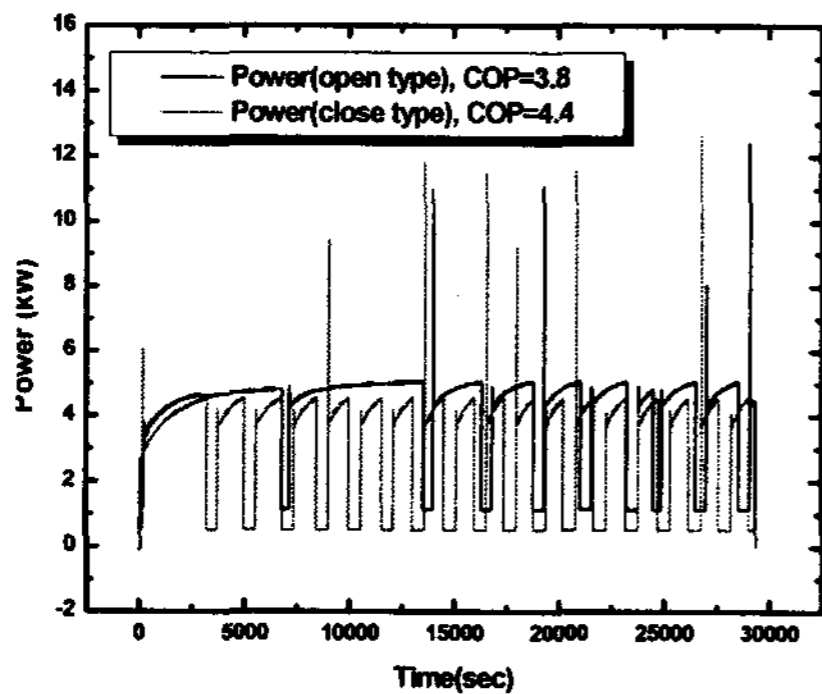


Fig. 2 Power consumption and heating COP of heat pump system using extruding ground water

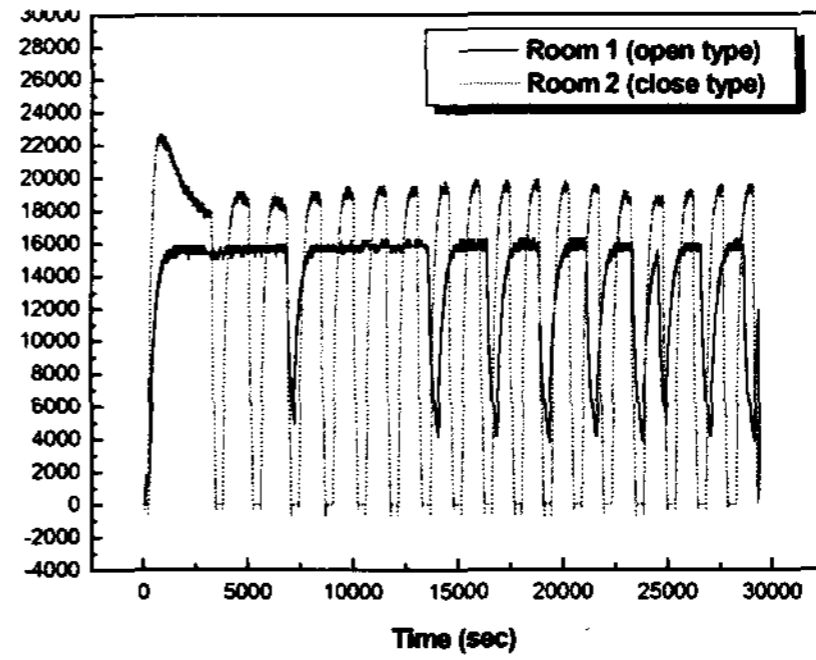


Fig. 3 Heating capacity of heat pump system using extruding ground water

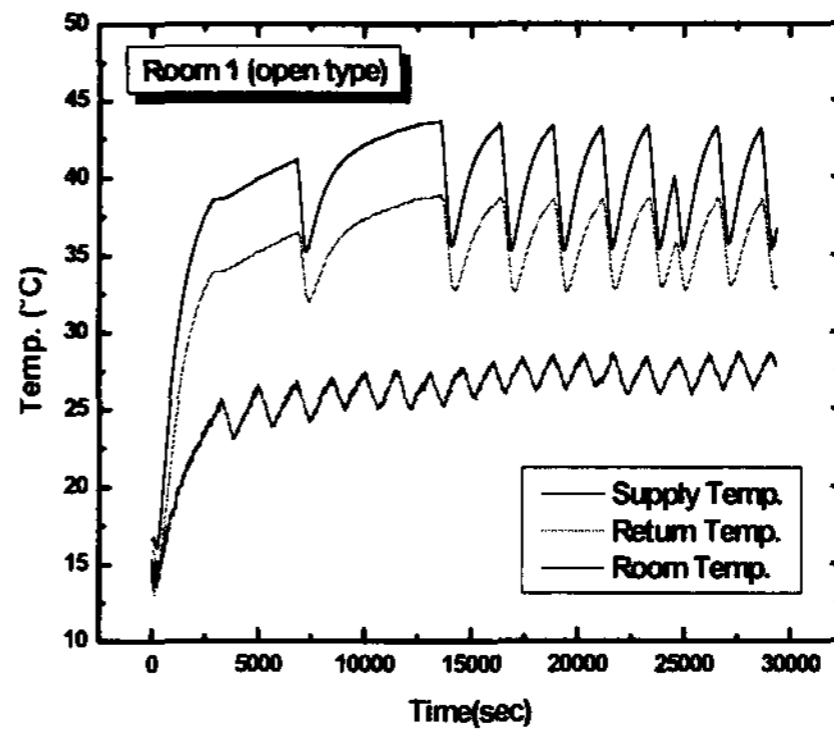


Fig. 4 Indoor temp. and load side circulation water temp. of room 1 (open type heat exchanger)

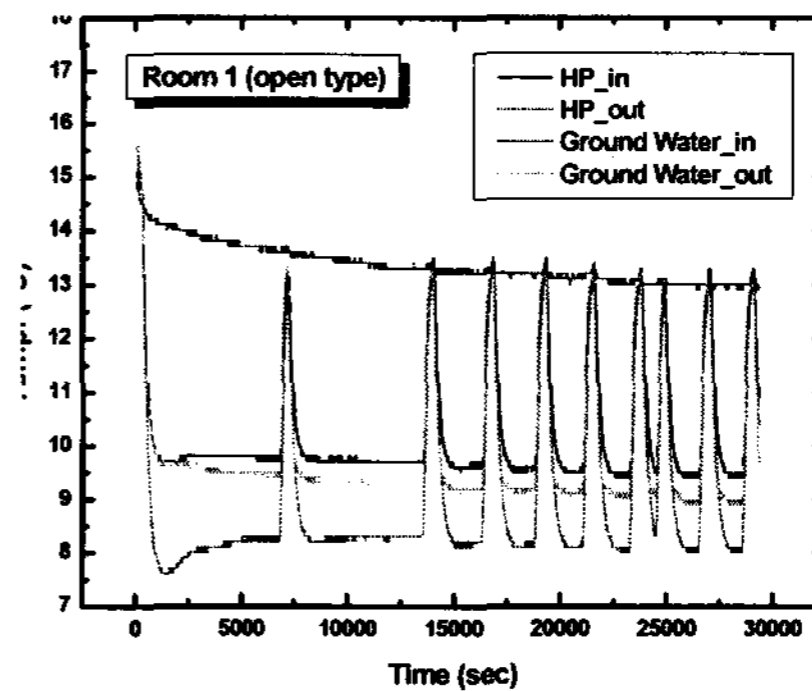


Fig. 5 Ground water temp. and source side water temp. of open type heat pump system.

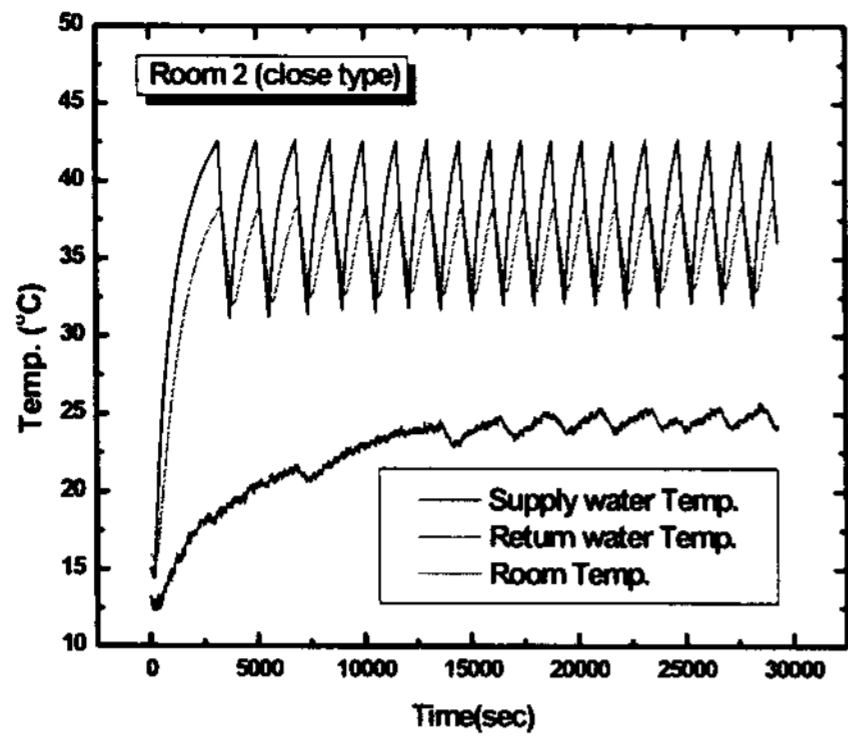


Fig. 6 Indoor temp. and load side circulation water temp. of room 2(close type heat exchanger)

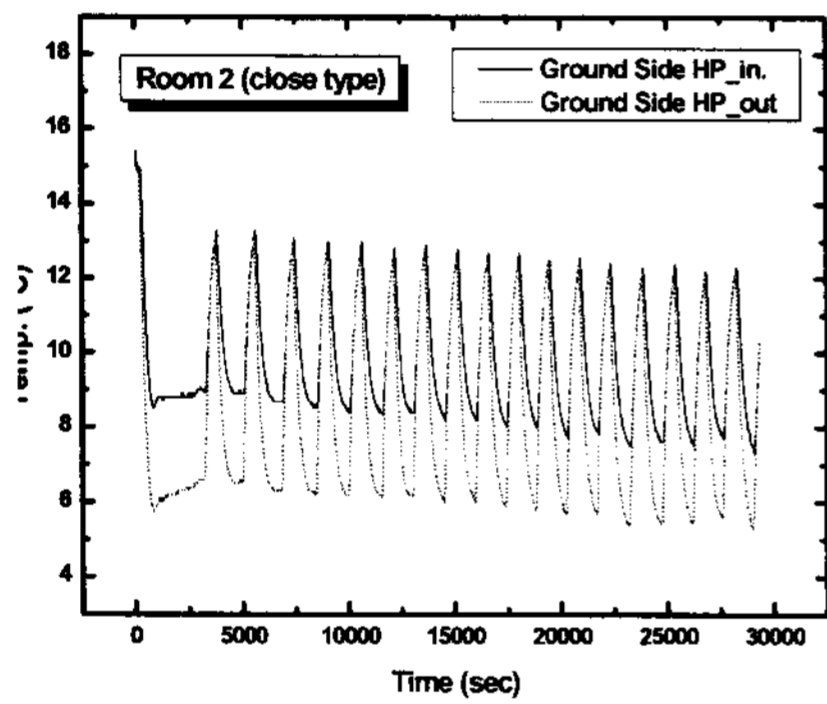


Fig. 7 Source side water temp. of close type heat pump system.

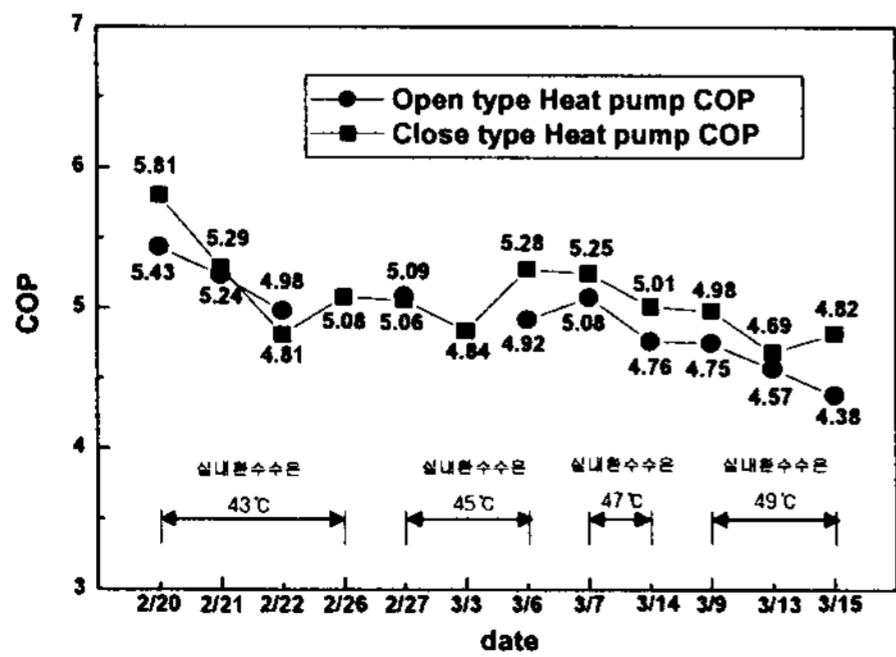


Fig. 8 Heating COP of heat pump as load side water temp. control regime

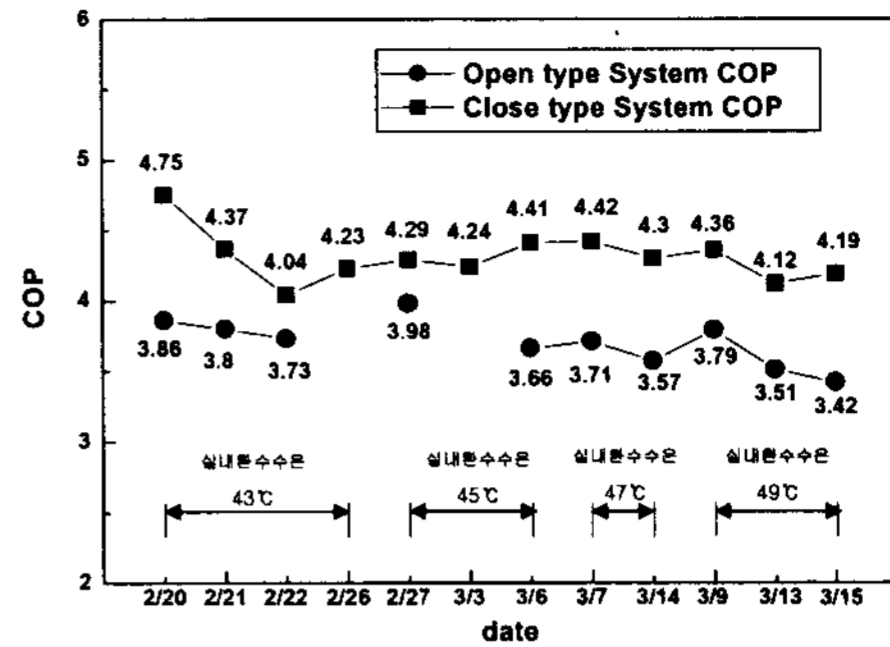


Fig. 9 Heating COP of heat pump system as load side water temp. control regime