

지하수 이용 지열 히트펌프 시스템의 주거용 건물 적용시 난방성능 특성에 관한 연구

A Study on the Heating Performance of SCW Type Geothermal Heat Pump System for Residential House

김주화*

Kim, Ju-Hwa

김주영**

Kim, Ju-Young

홍원화***

Hong, Won-Hwa

안창환****

Ahn, Chang-Hwan

Abstract

Geothermal heat pump system using standing column well type with their ground heat exchanger can be used as a highly efficient source of heating and cooling in massive buildings. But there is no case of a small scale residential house. So in the residential house this study estimated heating coefficient of performance (COP) of geothermal heat pump system using standing column well type which is excellent in heat recovery. As a result of analysis, The COP of heat pump is over average 6 and is excellent. And in consequence of making a comparative study according to the bleeding, the COP is higher in the case of bleeding. Therefore, bleeding affects the performance of the system. This study has shown performance result that stands on actual data. Therefore, this study provides ground data that needs when a low capacity of system designs for a residence with confidence elevation.

Keywords : Geothermal energy, Heating performance, Residential house, Standing column well type

주 요 어 : 지열에너지, 난방성능, 주거용 건물, SCW 방식

I. 서 론

1. 연구의 배경 및 목적

우리나라 주거용 에너지소비는 소득과 가구 수의 증가 및 거주 공간의 확대, 그리고 편리하고 깨끗한 에너지 선호 등으로 지속적으로 증가하였다. 주거부문의 에너지 소비는 1998년 17,905천TOE, 2001년 20,156천TOE, 2004년 20,680천TOE로 증가하여 왔다. 용도별로 보면 난방용 에너지 소비는 큰 변화를 보이고 있지는 않지만, 향후에는 주택공급의 증가 및 주택형태 변화에 따른 난방설비의 교체 등으로 인해 난방에너지 수요가 계속 높아질 것으로 예상하고 있다. 냉방용의 경우에도 난방용에 비해 소비 구성비는 낮지만 최근까지의 경향을 볼 때 가정용 냉방 기기의 보급 증가로 향후에도 꾸준한 에너지 소비의 증가가 예상되고 있다. 이러한 상황에서 자원의 빈국인 우리나라에서는 거의 모든 에너지원을 해외로부터 수입에 의존하고 있으나, 최근 에너지 사용량의 증가와 고유가로 인해 에너지 자급을 위한 방안이 시급히 마련되어야 한

다. 또한 기후변화협약 등 국제환경 규제에 능동적으로 대응할 수 있는 신재생에너지 개발·보급 확대 노력이 필요하다.

이들 신재생에너지 중에서 지반 속에서 비교적 일정한 온도를 유지하는 지열로부터 열을 회수하고 이것을 유효 에너지로 변환시켜 건물의 냉난방 및 온수 급탕용 시스템으로 활용하는 지열 냉난방 시스템의 관심이 점차 증대되고 있다. 이 시스템은 미국의 환경보호청(EPA)에서 혼존하는 냉난방 기술 중에서 가장 높은 효율을 자랑하며, 환경 친화적이고, 비용 효과 또한 높은 공기조화시스템으로 주목하고 있다.

그러나 선진국의 활발한 지열히트펌프시스템의 보급 및 관련기술개발 현황에 비하여 국내에서는 아직까지 이에 대한 연구 및 보급이 저조하다. 또한 지열히트펌프시스템 중 국내에서는 밀폐형 방식의 시스템이 주로 보급되고 있으나, 이는 장기간 운전시 지중열 복원의 문제로 효율성 저하의 문제가 우려된다. 이러한 문제점의 대안으로 건물의 냉난방 에너지원으로서 그 활용가치가 높은 지하수를 이용하는 지열 히트펌프 시스템 중 지하수 관정을 이용하여 물을 순환시킴으로써 열교환을 수행하는 방식으로 효율이 높고 열복원력이 우수한 스텝딩 컬럼 웰(Standing Column Well, 이하 SCW로 표기) 방식의 보급이 필요하다. SCW 방식은 수직 밀폐형에 비하여 인지도가 낮으며, 특히 주거용 건축물의 냉·난방 용도로서의 이용과 경제

*정희원(주저자), 경북대학교 건설·토목공학부, 공학석사

**정희원(교신저자), 경북대학교 건설·토목공학부, 공학박사

***정희원, 경북대학교 건설·토목공학부 교수, 공학박사

****정희원, 대구공업대 건축설비소방안전학과 교수, 공학박사

본 연구는 과학기술부 우수연구센터육성사업인 한양대학교 친환경 건축 연구센터의 지원에 의해 연구되었음.

성 분석에 대한 검토가 전무한 실정이다. 이에 따라 주택 및 소규모 건물에 적합한 시스템 설계 및 개발을 위한 모델 개발이 시급하다.

따라서 본 연구에서는 SCW 방식의 지열히트펌프시스템을 적용한 주거용 건물을 대상으로 난방시 성능을 평가하며, 또한 성능에 영향을 미치는 요소들에 대하여 비교 분석하고자 한다. 실증 데이터를 분석하여 성능검증 결과를 제시한다면 이 시스템의 신뢰도 향상과 더불어 주거용으로 적합한 저용량 시스템 설계시 필요한 기초자료로 활용 될 수 있을 것이다.

2. 연구 방법

본 연구에서는 SCW 방식의 지열히트펌프시스템이 소규모 주거 건물의 난방열원으로 적합한지를 분석하기 위해서 난방시 운전현황을 조사하고 시스템 적정 설계를 분석하기 위해서 난방성능을 평가하였다.

따라서 본 연구는 다음과 같은 방법으로 진행하였다.

- 1) 소규모 SCW 방식의 지열 히트펌프 시스템이 적용된 주거용 건물 선정. 실험대상 건물 및 시스템 개요 조사.
- 2) 실험 계획수립 및 실험 장비설치.
- 3) 난방시 운전현황 조사 및 성능평가를 위한 데이터 모니터링
- 4) 데이터 분석을 통한 시스템의 난방성능 특성 분석.

본 연구의 연구흐름도는 <그림 1>과 같다.

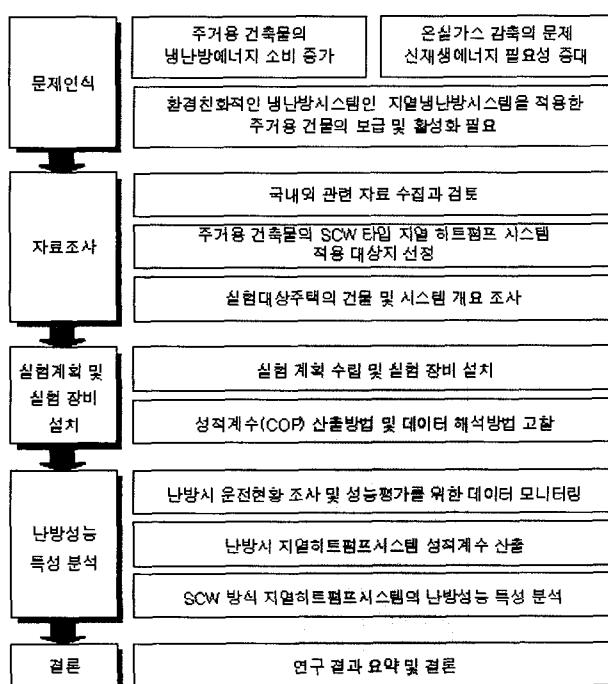


그림 1. 연구흐름도

II. 지열히트펌프시스템의 개요 및 이용현황

1. 지열히트펌프시스템의 개요

최근에 공기원 열펌프 보다는 훨씬 효율적이고 개선된 냉난방 시설로서 채열원으로 지중열(지하수열 포함)을 이용하는 히트펌프가 널리 개발 이용되고 있는데 이를 지열히트펌프라 한다.¹⁾

지열히트펌프시스템이 냉방사이클로 작동하는 냉방기에는 실내에서 흡수한 열을 지중에 설치된 열교환기를 통해 지중으로 방출하며, 반대로 난방사이클로 작동하는 난방기에는 지중 열교환기는 지중에서 열을 흡수하여 실내로 공급한다. 이러한 지열히트펌프시스템의 장점은 일부에서 사용되고 있는 공기열원 히트펌프보다 안정적인 온도를 유지하고, 온도조건이 유리하여 매우 높은 성능을 유지할 수 있다는 점이다. 즉, 운전에 필요한 소비동력이 적고, 구성기기가 비교적 단순하며, 수명이 길고 유지관리가 용이하여 높은 효율과 우수한 경제성을 얻을 수 있다는 장점이 있다. 특히 여름과 겨울이 확연하게 존재하는 우리나라와 같은 기후조건에서는 활용성이 매우 높은 시스템이다.

2. SCW 방식 시스템의 개요 및 특징

개방형 방식 중 하나인 SCW 공법은 하나의 관정에서 열매체로 물을 순환하여 히트펌프에서 발생하는 에너지를 지중열과 열교환 후 이를 다시 동일한 관정에 주입하는 방식으로서 수중펌프가 설치된 공급관을 통해서 관내의 지하수를 끌어올린 후, 기계실에 설치된 2차 열교환기를 통해 순수온도만을 이용한 후 동일한 관정에 재투입한다.

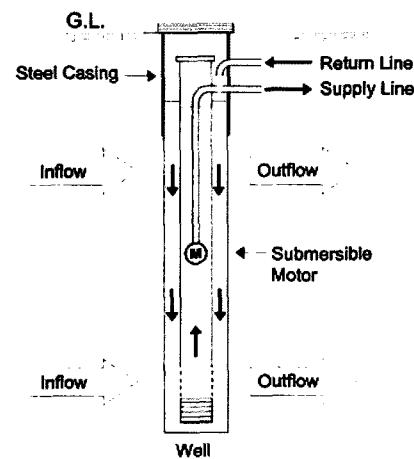


그림 2. SCW 시스템의 개략도

1) 한정상 외 3인(2005), 지열펌프 냉난방 시스템, 도서출판 한림원, pp. 2-4.

SCW 시스템은 국내처럼 암반 절리가 발달된 지역에 유리하며, 열교환 성능은 깊이에 의해 좌우된다. 이 깊이를 결정하는 인자로는 열전달율, 암반의 종류, 블리드(Bleed)량 등이다. SCW 방식의 시스템 개략도는 다음과 같다.

SCW공법의 특징 중 하나는 우리나라처럼 난방부하가 큰 지역에서 적용이 많다는 점인데 미국의 북태평양지역이나 캐나다, 중국 등 난방부하가 크거나 난방 기간이 긴 지역에 주로 적용하고 있다. 이 시스템을 밀폐형에 비교했을 때, 다음과 같은 장점을 가지고 있다.

- 1) 전도저항이 제거되어 관정과 순환수의 열전달성능이 향상된다.

- 2) 지름 40 mm인 U-tube보다 더 넓은 열전달 범위를 가지고 있다.

- 3) 케이싱이 되어 있지 않은 구역은 울퉁불퉁하여 표면적이 증가되고, 증가된 표면적은 SCW의 열교환을 향상시키는 국지적 소용돌이를 일으킨다.

3. 국내외 지열 히트펌프 시스템 이용현황

1) 국내 현황

현재 국내에서는 주로 공공기관 신축건물이나 상업용 건물, 복지시설, 학교 등 중대형 건물에 지열시스템을 설치하고 있다. 이는 시스템의 저렴한 운영비, 환경친화성, 건물 설계와의 적합성 등 지열에너지의 장점과 시장의 요구가 일치하기 때문이다. 2006년 국내 건물 용도별 지열 히트펌프 시스템의 보급 현황은 <그림 3>과 같으며, <그림 4>는 국내의 연도별 보급 현황이다.

그러나 많은 장점이 있는 지열시스템이 주거용으로는 보급되지 못하고 있다. 다양한 시스템이 보급되어 있는 외국은 초창기에 주거용으로 보급을 시작한 후, 점차 중대형 건물에 적합한 시스템을 보급한 점은 우리와 반대라고 할 수 있다.²⁾

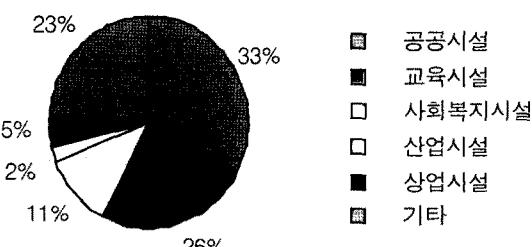


그림 3. 건물 용도별 보급 현황(2006년)

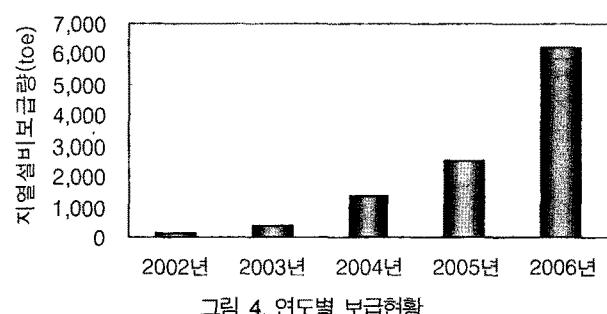


그림 4. 연도별 보급현황

2) 국외현황

연속 냉난방 보급이 보편화되어 있는 미국, 유럽 등 선진국에서는 일반가정 및 중소규모의 건물, 스포츠 센터, 원예단지를 대상으로 냉난방시스템에 지열을 이용하는 히트펌프시스템이 일반적으로 설치되어 운용되고 있으며, 특히 미국에서는 일반주택을 중심으로 냉·난방시스템 및 향온·향습용의 보조에너지 개념으로 널리 이용되고 있다. 한편 일본에서는 전력소비가 많은 주간의 전력부하 경감을 위해 심야전기를 이용하는 히트펌프를 설치하여 좋은 결과를 얻었으며 주거용 에너지 시스템으로도 보급시키고 있다.

III. 조사대상 시스템의 개요 및 실측방법

1. 실측 현장 및 시스템 개요

1) 현장 개요

본 실험의 건물은 대구광역시 산격동에 소재한 지하 1층, 지상 5층 규모의 건물로써, 지상 1~3층은 상가로 사용되고 있으며, 4층과 5층은 복층으로 1개 가구가 거주하고 있다. 1~3층은 임대 사무소 용도이므로 개별 냉난방을 실시하며, 4, 5층만 지열 히트펌프 시스템을 사용하여 냉난방을 한다. 따라서 실제 지열시스템을 통한 냉난방 면적은 231 m²이다.

급탕은 태양열 및 심야전기를 이용하므로 지열 히트펌프 시스템은 냉난방 부하만 감당하고 있다.

표 1. 조사대상건물의 개요

구 분	내 용
위 치	대구광역시 북구
구 조	RC조
시설명	U-building
연면적	231 m ²
시설용도	1~3층, 지하1층: 상업용 4~5층: 주거용(1세대)



그림 5. 대상 건물의 정면도(좌)와 실제(우)사진

2) 순병후(2008), 지열 열펌프 시스템의 건축용용 기술현황, 건축환경설비, 2(1), p. 39.

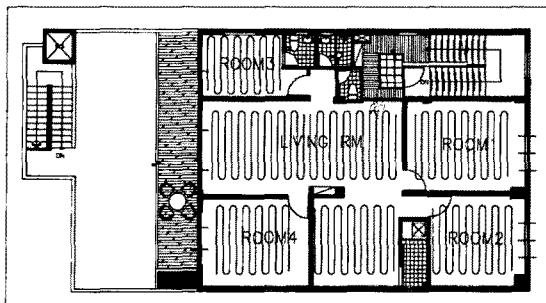


그림 6. 4층 난방계통도

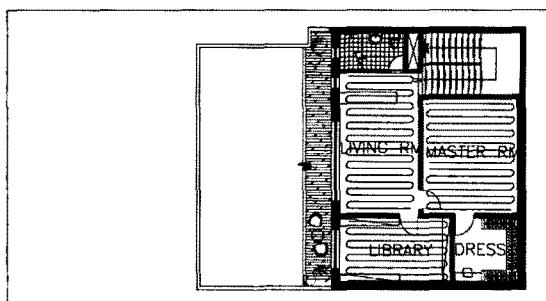


그림 7. 5층 난방계통도

2) 난방시스템 및 지열 히트펌프시스템의 개요

실험대상 건물의 냉난방시스템은 천장형 냉난방시스템과 바닥 난방으로 이루어져 있으나, 난방은 바닥 난방만 실시하였다. 4, 5층의 난방 계통도는 <그림 6, 7>과 같다.

본 현장에 적용된 지열히트펌프시스템은 SCW 방식으로 지하수열을 추출하여 사용한 후, 사용한 지하수는 다시 심정의 상부구간으로 재순환시키거나 외부로 버리는 시스템이다. 관정(well)은 건물 뒤편 주차장 공간에 지하 196m로 천공하였다. 현 시스템은 열교환기, 취득된 지열 에너지를 냉풍과 온풍 및 온수로 변환시켜주는 지열 히

표 2. 지열 히트펌프의 개요

구분	내용	
형식	SCROLL COMP ¹	
냉방능력 (kcal/h)	26,700	
난방능력 (kcal/h)	32,000	
압축기 동력 (kcal/h)	냉방시	15,480
	난방시	23,440

표 3. 기타 구성요소의 개요

구분	내용	
심정 순환펌프	형식	심정펌프(4")
	동력	1.2 (kW)
순환펌프	형식	인라인
	유량	118 (LPM)
냉온수 순환펌프	동력	0.6 (kW)
	형식	인라인
냉온수 순환펌프	유량	110 (LPM)
	동력	0.6 (kW)
열교환기	형식	판형
	전열량	35,140 (kcal/h)

트펌프, 열교환기의 작동 매체를 순환시키는 순환펌프 등으로 구성되어 있다. 실측대상 시스템의 계통도는 그림 8과 같다.

히트펌프의 냉방능력은 26,700 kcal/h이며, 난방능력은 32,000 kcal/h이다. 열교환기는 판형으로 T산업의 TX 3AN-15제품이며, 최대 설계 압력은 34 kg/cm^2 , 최대설계온도범위는 $-30\text{~}210^\circ\text{C}$ 이다. 압축탱크는 Z사의 Ultrapro, 차압조절밸브는 SPD-12, 냉온수 순환용 펌프는 PH-431I(최대 양수량 24,000 l/h)이다. 지열원 히트펌프내 작동유체는 순수한 물이며, 지열원 히트펌프(냉온수 순환펌프)에 2대(PH-431I), 지열원 히트펌프(냉온수 순환펌프)에 2대(PH-431I)의 순환펌프가 운

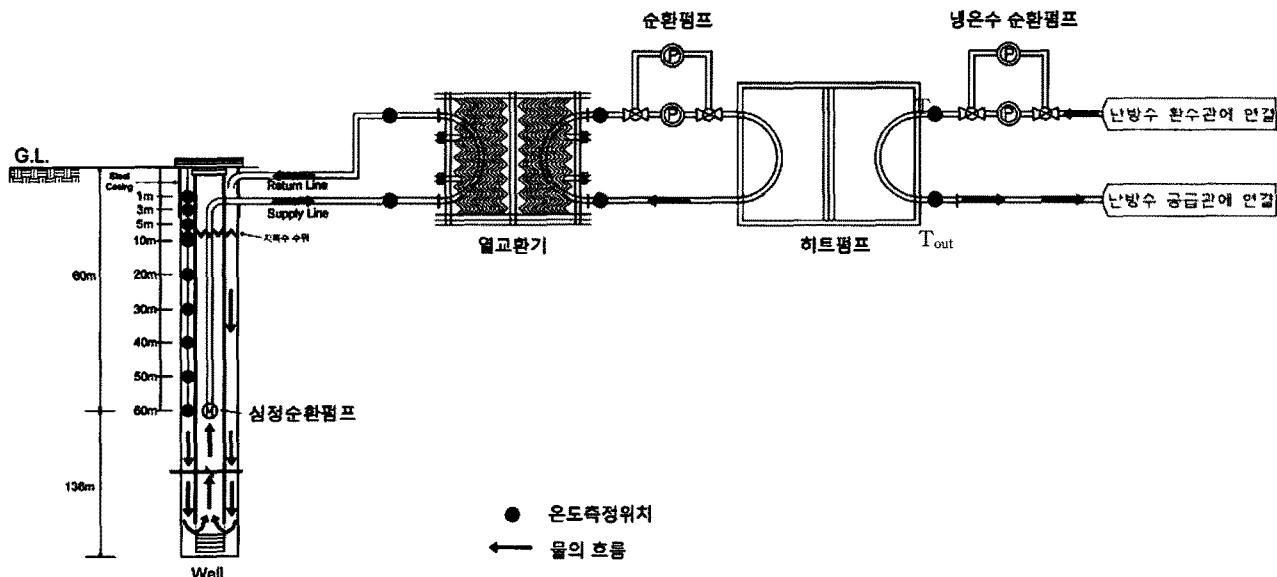


그림 8. 시스템 계통도

전되고 있으나, 실제 운전은 각 1대식만 하며, 나머지 2대는 By-pass용이다.

2. 실측 장치 및 실측 방법

1) 실측 장치

본 연구에서는 지하수 수온 변화 및 지하수위 등을 파악하기 위해 관정의 깊이에 따른 지하수 온도를 측정하였다. 관정의 총 깊이는 196 m이며, 지하 60 m에 지하수 공급 양수 펌프가 설치되어 있다.

지열 히트펌프와 전체 시스템의 성능측정과 지열 히트펌프 입·출구와 열교환기 입·출구, 그리고 Supply 및 Return 온도를 측정하기 위해서 각각 열전대(Thermocouple, T type)와 데이터 로거(Agilent 34970A)를 설치하였으며, 유량 측정을 위해 정밀 초음파 유량계(Transport model pt868)를 사용하였다.

2) 실측 방법

실측 방법은 다음과 같다.

1) 실험은 2008년 3월 2일 저녁 6시부터 3월 9일 오전 9시까지 실시.

2) 매설깊이에 따른 지중온도 변화를 측정하기 위하여 관정 1, 3, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60 m(총 9 포인트)에 열전대를 설치하여 데이터 모니터링.

3) 히트펌프의 성능평가를 하기 위하여 히트펌프 및 열교환기의 공급관 및 환수관 온도 측정.

4) 시스템의 성적계수 산출을 위해 전력량계를 설치하여 전력소비량 측정

5) 초음파 유량계와 수도계량기를 이용하여 유량 측정.

6) 블리딩(Bleeding) 유무에 따른 성능변화를 살펴보기 위해 사용한 지하수를 관정으로 재순환시키는 방법과 외부로 배출시키는 방법(이하 블리딩으로 표기) 수행.

3. 시스템 성능 해석방법

에너지를 사용하거나 전환하는 장치의 성능은 효율로 나타낸다. 실제로 보일러의 효율을 알면 보일러의 연소실에서 태운 연료 중에서 몇 %가 물을 증기로 증발시키는데 사용되었는지 알 수 있다. 그러나 보일러, 자동차 등 대부분의 장치는 효율로 성능을 알 수 있지만 냉동기나 히트펌프와 같은 장치는 공급한 에너지보다 나오는 에너지가 많아서 효율로는 성능을 표시할 수 없어서 성적계수(Coefficient of Performance, COP)로 성능을 표시한다. 히트펌프의 성적계수는 고온을 얻기 위해 응축기에서 온수를 가열한 양을 압축기를 돌리기 위해 공급된 전기에너지로 나눈 수치이다. 히트펌프에서 출열이 입열보다 큰 이유는 출열에는 압축기로 공급된 에너지 외에 주위로부터 흡수한 폐열도 포함되었기 때문이며 에너지보존법칙에 위배되는 것은 아니다.³⁾

3) 김하연(2008), 기후변화 시스템의 이해, (주)한국에너지정보센터, p. 23.

본 시스템의 성능평가를 위해서 식 (1)~(3)을 이용하여 성적계수를 산출하였다.

난방 사이클로 작동하는 지열원 히트펌프에서 지중으로부터 흡수한 열량은 (1)식과 같으며, 히트펌프의 난방 성적계수는 식 (2), 전체 시스템의 난방 성적계수는 식(3)과 같이 계산할 수 있다.

$$\dot{Q}_{heating} = c_p m (T_{out} - T_{in}) \quad (1)$$

여기서, m 은 시스템을 순환하는 물의 질량유량, c_p 는 순환하는 물의 비열이며, T_{in} 과 T_{out} 는 각각 실내를 순환한 순환수가 히트펌프로 유입되기 전의 온도와 히트펌프를 통과한 후의 물 온도이다.

$$COP_{hp} = \frac{\dot{Q}_{heating}}{W_{hp}} \quad (2)$$

$$COP_{heating} = \frac{\dot{Q}_{heating}}{W_{hp} + \sum W_p} \quad (3)$$

W_{hp} , W_p 는 각각 히트펌프와 순환펌프가 소비하는 전력이다.

IV. SCW 방식 지열히트펌프시스템의 난방성능 특성 분석

1. 난방성능 특성

지하수 배출방법을 달리하여 실험한 결과 지하수를 열교환 한 후 관정으로 재순환시킬 경우 히트펌프의 난방 성적계수는 4.3~10.1로 평균 6.1이며, 전체 시스템의 성적계수는 3.5~8.3으로 평균 5.0으로 나타났다. 지하수를 재순환하지 않고 블리딩할 경우 히트펌프의 난방 성적계수는 4.9~11.9의 범위로 평균 7.2이며, 전체 시스템의 난방 성적계수는 4.0~9.8 범위로 평균 난방 성적계수는 5.9로 나타났다.

문헌에 의하면 일반적으로 지열 히트펌프는 실외온도가 비교적 낮은 동절기에 전열기를 이용하여 난방을 할 때 필요로 하는 열에너지에 비해 약 2/3의 에너지를 절약할 수 있으며, 히트펌프의 난방효율(COP)은 평균적으로 3 이상으로 나타나고 있다. 따라서 본 시스템의 난방효율은 6 이상으로 나왔으므로 난방성능은 우수하며, 블리딩의 경우 성능이 더 우수한 것으로 나타났다.

표 4. 지하수 배출 방법에 따른 난방 성적계수 비교

구분	지하수 배출 방법	
	관정으로 재순환	블리딩
평균난방 성적계수	히트펌프	6.1
	시스템	5.0

2. 외부기온 현황 및 지중온도의 분포

시스템의 성능은 지중 열교환기와 열교환을 수행하는 토양의 온도분포, 구성 성분 등의 영향을 받는다. 따라서 본 연구에서는 시스템이 설치된 곳에서의 매설 깊이에 따

표 5. 측정당시의 외부기온

구 분	평균외부기온	평균최고기온	평균최저기온
온도	6.1°C	11.8°C	0.6°C

른 지중 온도 변화를 측정하기 위해 시스템을 가동하지 않는 낮시간 동안의 관정의 깊이에 따른 온도 변화를 측정하였다.

측정당시의 외부기온은 기상청 자료를 활용하였다. 평균외부기온은 6.1°C이며, 평균최저기온은 0.6°C, 평균최고기온은 11.8°C로 나타났다.

지중온도를 조사한 결과 지하 3m까지는 외부 기온의 영향을 많이 받으나 평균외부기온보다는 높게 나타났다. 지하 5m 지점에서의 온도는 외기의 온도변화에 다소 영향을 받지만, 외기 온도가 변동하는 것과 비교하면 상대적으로 안정적이다. 또한 10m 이하에서는 외부 기온의 변화에 상관없이 지하수 온도가 어느 정도 일정하게 유지되는 것으로 나타났다. 따라서 지하 5~10m에 지하수의 자연수위가 형성되어 있는 것으로 사료된다. 지하 10m 이상의 깊이에서는 외부의 기온에 관계없이 지하수 온도가 15.5~16.1°C 범위로 온도차이가 1°C 이내 정도로 온도가 분포함을 보아 온도의 변화가 미미함을 알 수 있다. 지하 10~60m에서 측정된 지하수의 평균온도는 15.8°C로 나타났다.

시스템 가동시 사용한 지하수를 관정으로 재순환할 때와 블리딩시의 지하수 공급온도를 측정하였다. 시간에 따른 지하수 공급 온도의 변화는 <그림 10, 11>과 같다.

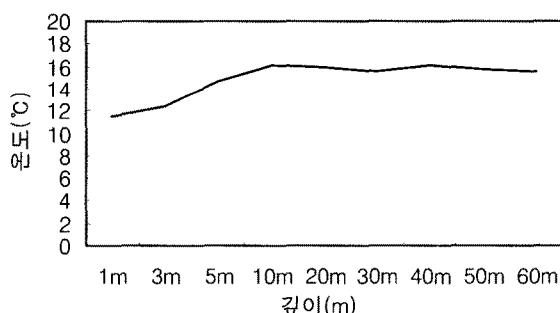


그림 9. 관정 깊이에 따른 지중온도 분포

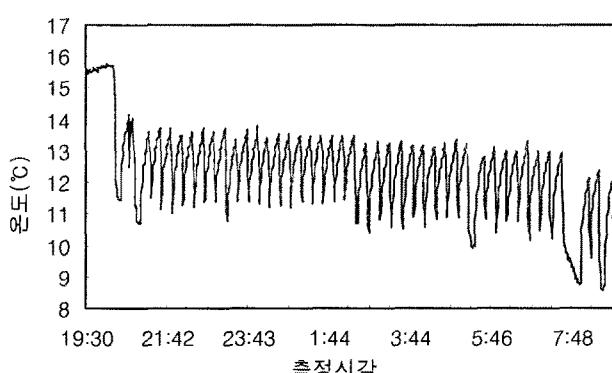


그림 10. 관정으로 재순환시 지하수 공급온도 변화

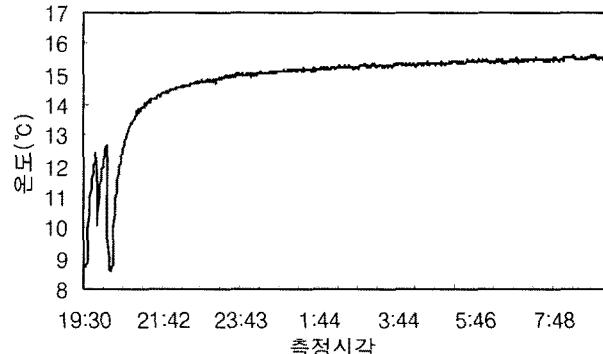


그림 11. 블리딩시 지하수 공급온도 변화

사용한 지하수를 관정을 재순환시 지하수 공급온도는 점차적으로 떨어지는 것으로 나타났으며, 시스템을 가동한 후 다음날 오전 9시경 운전을 정지할 시 온도는 8.5°C 정도로 떨어졌다.

열교환기를 거친 지하수를 관정으로 재순환시 약 5시간 정도 후에는 지하수 온도가 떨어지는 것으로 나타났다. 또한 지속적으로 이 운전방식으로 가동할 경우 시스템의 운전에 문제가 발생하였다.

그러나 사용한 지하수를 관정으로 재순환하여 열교환기로의 공급온도가 8.5°C로 떨어졌을 때 블리딩으로 운전을 변환하자 공급수의 온도는 급격하게 회복되었다. 따라서 난방성능 향상과 지하수 유출 문제를 고려하여 관정으로 재순환과 외부로 배출하는 방법을 자동적으로 제어할 수 있는 시스템이 필요한 것으로 사료된다.

3. 2차 열교환기 및 히트펌프의 공급수 및 환수 온도

관정에서 2차 열교환기로의 공급관의 지하수 온도(T_1)와 2차 열교환기에서 관정으로의 환수관의 지하수 온도(T_2) 차이는 평균 3.8°C이며, 히트펌프로의 환수관의 난방수(T_3)와 히트펌프에서 실내로의 공급관의 난방수 온도(T_4) 차이는 평균 8.8°C로 나타났다.

지하수를 관정으로 재순환시 2차 열교환기 공급수 및 환수온도는 각각 평균 10.8°C, 7.0°C로 온도 차이는 3.8°C이다. 또한 히트펌프의 평균 환수관 및 실내 공급관의 오수 온도는 각각 40.3°C, 48.6°C이다.

순환수를 외부로 배출할 경우 2차 열교환기 공급수 및 환수온도는 각각 평균 11.2°C, 7.5°C로 온도 차이는 3.7°C로 나타났다. 히트펌프의 평균 환수관 및 실내 공급관의 오수 온도는 각각 40.0°C, 49.0°C이다.

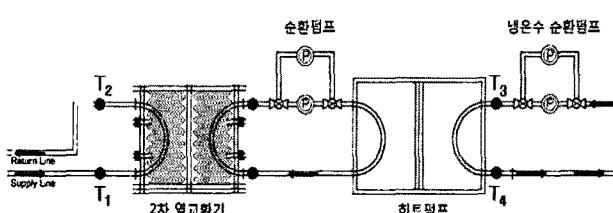


그림 12. 온도 측정 위치

표 6. 운전방법에 따른 2차 열교환기 및 히트펌프의 공급수 및 환수 온도
(단위: °C)

구 분	관정으로 재순환		블리딩	
	평균온도	온도차이 (T ₁ -T ₂)	평균온도	온도차이 (T ₄ -T ₃)
2차 열교환기	T ₁	10.8	3.8	11.2
	T ₂	7.0		7.5
히트펌프	T ₃	40.3	8.3	40.0
	T ₄	48.6		49.0

지하수 처리방법에 따른 2차 열교환기 및 히트펌프의 공급수 및 환수 온도 차이는 미미한 것으로 보아 지열히트펌프시스템의 성능에 미치는 영향이 거의 없는 것으로 나타났다.

4. 유량 및 유속 변화

운전방법에 따른 유량 및 유속을 측정하였다.

<그림 13>은 운전방법에 따른 유량의 변화를, <그림 14>는 운전방법에 따른 유속의 변화를 각각 나타낸다.

유량은 관정으로 재순환 할 경우 시간이 흐름에 따라 유량이 점점 증가하고, 순환수를 외부로 배출할 경우 시간이 흐름에 따라 유량이 점점 감소한다. 유속은 관정으로 재순환 할 경우 시간이 흐름에 따라 유속이 점점 증가하고, 순환수를 외부로 배출할 경우 시간이 흐름에 따라 유속이 점점 감소한다.

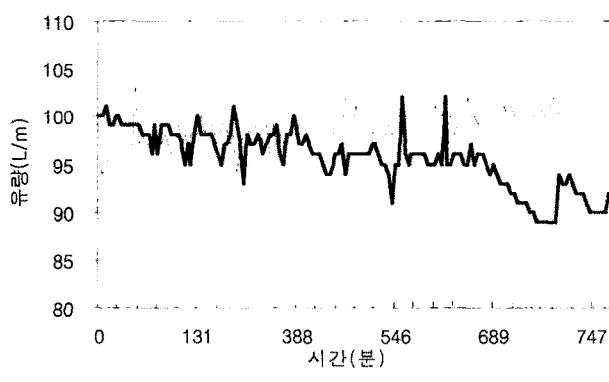


그림 13. 운전방법에 따른 유량의 변화

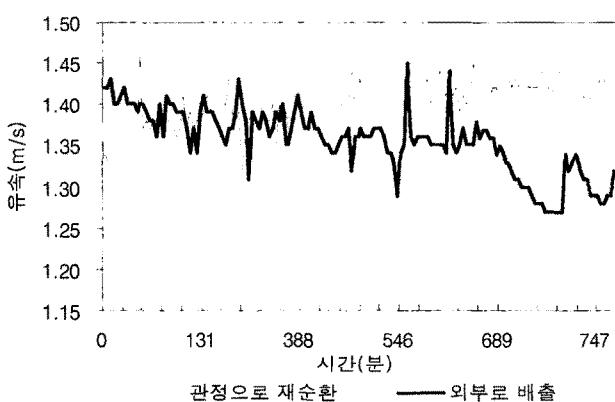


그림 14. 운전방법에 따른 유속의 변화

표 7. 운전방법에 따른 평균 유량 및 유속

	관정으로 재순환	블리딩
유량(L/m)	99.679	96.429
유속(m/s)	1.306	1.294

<표 7>은 운전방법을 달리하여 12시간 30분간 운전하였을 때 각각 측정한 평균유량과 유속의 값이다. 평균유량은 관정으로 재순환 할 경우가 순환수를 외부로 배출할 경우보다 3.25 L/m 정도 더 높게 나타났으며, 평균유속은 관정으로 재순환 할 경우가 블리딩의 경우보다 0.012 m/s 가량 더 높게 나타났다. 관정으로 재순환 할 경우가 블리딩의 경우보다 평균 유량 및 유속이 더 높게 나타났다.

5. 운전시간 비교

본 시스템에서 전력소비량은 실시간으로 측정되지 않아서 시스템 운전시간을 통해 전력소비량을 비교하였다.

사용한 지하수의 배출 방법을 달리하여 시스템을 가동시킨 후 동일한 시간동안(12시간 30분) 히트펌프 및 그 외의 시스템이 운전된 시간을 조사하였다. 12시간 30분(750분) 동안 시스템이 가동되는 시간은 사용한 지하수를 배출하는 방법에 따라 다르게 나타났으며 <그림 15>와 같다.

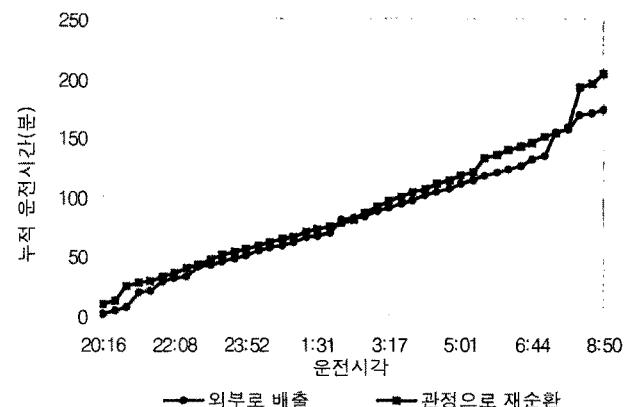


그림 15. 운전방법에 따른 누적 운전시간

관정으로 재순환시 총 운전시간은 204분이었으며, 순환수를 외부로 배출을 할 경우에는 183분으로 나타났다. 관정으로 재순환시 순환수를 외부로 배출할 때보다 운전시간이 약 11% 증가하였다. 이를 통해 관정으로 재순환시 전력소비량도 증가하여 성적계수가 떨어짐을 알 수 있다.

V. 결 론

본 연구에서는 주거용 건물에 적용된 SCW 방식의 지열 히트펌프시스템을 대상으로 난방시 성능을 분석하였다.

그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 지하수를 열교환한 후 관정으로 재순환시킬 경우 히트펌프의 난방 성적계수는 4.3~10.1로 평균 6.1이며, 전체

시스템의 효율은 3.5~8.3으로 평균 5.0으로 나타났다.

지하수를 재순환하지 않고 순환수를 외부로 배출할 경우 히트펌프의 난방 성적계수는 4.9~11.9의 범위로 평균 7.2이며, 전체 시스템의 효율은 4.0~9.8 범위로 평균 난방 성적계수는 5.9로 나타났다.

2) 본 시스템의 난방효율(성적계수)은 5 이상으로 난방 성능이 우수하며, 순환수를 외부로 배출할 경우 성능이 더 우수한 것으로 나타났다.

3) 관정으로 재순환 후 순환수를 외부로 배출할 경우 지하수 온도는 회복되는 것으로 나타났으며 자연회복 속도보다 빠른 것으로 나타났다. 따라서 난방성능 향상과 지하수 유출 문제를 고려하여 관정으로 재순환과 외부로 배출하는 방법을 자동적으로 제어할 수 있는 시스템이 필요한 것으로 사료된다.

4) 지하수 처리방법에 따른 2차 열교환기 및 히트펌프의 공급수 및 환수 온도 차이는 미미한 것으로 보아 지열히트펌프시스템의 성능에 미치는 영향이 거의 없는 것으로 나타났다.

5) 순환수를 관정으로 재순환 할 경우와 외부로 배출할 경우의 평균유량과 평균유속을 비교한 결과 관정으로 재순환시 평균유량은 3.25 L/m, 평균유속은 0.012 m/s 정도 더 높게 나타났다.

본 실증연구를 통해서 소규모 SCW 방식 지열히트펌프 시스템의 적용 가능성은 확인했으나 주거용 건물에의 보급 확대를 위해서는 경제성 평가가 필요하므로 추후에는 환경비용을 고려한 경제성 평가를 할 것이며, 장기 운전 데이터 분석을 통해 지하수온 온도 변화에 관한 연구를 실시할 것이다.

기호 설명

C_p :	비열 [J/kg · °C]
m :	질량유량 [kg/h]
Q :	열전달량 [J/h, W]
T :	온도 [°C]
W_{hp} :	히트펌프의 소비전력 [W]
W_p :	순환펌프의 소비전력 [W]
COP_{hp} :	히트펌프의 성적계수 [-]
$COP_{heating}$:	시스템 전체의 성적계수 [-]

하첨자

hp :	히트펌프
in :	입구
out :	출구

참고문헌

- EPA (1993), Space Conditioning: The Next Frontier. Office of Air and Radiation, 430-R-93-0044 (4/93), EPA, Washington, D.C.,
- 임효재 외(2006), 개방형 지열 히트펌프 시스템의 운전 특성, 대한설비공학회 2006 하계학술발표대회 논문집, 701-706.
- I Lund, J. W. and Freeston, D. H. (2001), World Wide direct use of geothermal energy 2000, Geothermics, 30, 29-68.
- Shin, H. J., Ahn, C. H. and Cho, C. S. (1995), Overview for the effective use of geothermal energy, Air-conditioning and Refrigeration Engineering, 24(4), 409-419.
- 박성룡(2006), 지열시스템 설치 사례분석, 설비|공조 냉동 위생(한국설비기술협회지), 23(3), 89-97.
- Kavanaugh S. P. and Rafferty K. (1997), Ground source heat pump - Design of geothermal systems for commercial and institutional buildings, Proceedings of the ASHRAE, Atlanta Georgia, 72-113.
- 조정식 외(2005), 지열에너지이용 냉난방 시스템 성능분석, 지열에너지 저널, 1(1), 19-25.
- 김용식 외(2006), 주상복합 건축물에 적용된 지열이용 히트펌프 시스템의 냉방성능 평가, Journal of the Korean solar Energy Society, 26(4), 9-16.
- 이원호, 김주영, 홍원화, 안창환(2008), 소규모 SCW 형식 지열히트펌프 시스템의 난방 시 지하수 온도 회복속도에 관한 연구, 대한건축학회 논문집(계획계), 24(7), 223-230.
- 임효재(2005), 지열시스템의 특성 비교, 지열에너지저널, 1(2), 57-65.
- 산업자원부, 지열냉난방 시스템 실증연구, 2005년 5월
- 김진한 외(2006), 스텐딩컬럼웰을 적용한 지열히트펌프 실증연구사업 최종보고서, 산업자원부.
- 산업자원부(2005), 지열냉난방시스템 성능평가 및 엔지니어링 기술 확보.
- 한정상 외 3인(2005), 지열펌프 냉난방 시스템, 도서출판 한림원, 2-4.
- 손병후(2008), 지열 열펌프 시스템의 건축응용 기술현황, 건축환경설비, 2(1), 39.
- 김하연(2008), 에너지기후변화 시스템의 이해, (주)한국에너지정보센터, 23.
- 산업자원부/신·재생에너지센터/국회 신재생에너지 정책연구회(2006), 2005년 신·재생에너지 백서.
- Arif Hepbasli, Ozay Akdemir, Ebru Hancioglu (2003), Experimental study of a closed loop vertical ground source heat pump system, Energy Conversion & Management, 44, 527-548.
- Mustafa Inalli, Hikmet Esen (2004), Experimental thermal performance evaluation of a horizontal ground-source heat pump system, Applied Thermal Engineering, 24, 2219-2232.

접수일(2008. 6. 27)
수정일(1차: 2008. 9. 29)
제재확정일(2008. 10. 17)