

수도시설을 이용한 지열냉난방시스템의 실증연구

황 기 섭, 정 우 성*, 안영섭*

한국수자원공사 수자원연구원

The Field Test of Heat Pump Cooling & Heating System using the water-purifying device

Ki-Sup Hwang, Woo-sung Jung*, youngsub Ahn*

462-1, Jeonmin-Dong, Yosung-Gu, Daejeon, 305-730 Republic of Korea

*462-1, Jeonmin-Dong, Yosung-Gu, Daejeon, 305-730 Republic of Korea

ABSTRACT: The Alternative energy has lately attracted considerable attention due to the high oil price and environment problem. In this study, field test of facility for using the geothermal energy source from water-purifying device was constructed and monitoring devices are installed to estimate the efficiency of this system. Initial installation cost can be saved efficiently by connecting a heat pump system into the existing pumping well in site of water-purifying in Cheongju. One set of monitoring results during summer was presented and analyzed.

Key words: Geothermal energy(지열에너지), water-purifying(수도시설), Heat Pump(열펌프)

1. 서 론

현재 우리나라의 경우 정부 기관을 중심으로 신재생에너지 보급 확대를 위하여 노력하고 있으나, 기존의 화석연료를 사용하는 시설에 비해 많은 초기 투자비로 인한 어려움이 있다. 신재생에너지 중 하나인 지열에너지는 땅속에 있는 열을 끌어내어 냉난방 시설의 열원으로 이용하는 것으로 태양열, 풍력 등 다른 신재생에너지에 비하여 초기투자비가 적게 들고 소규모 이용이 가능하

며, 시설의 수명이 반영구적이며, 지속가능한 에너지라는 장점이 있다. 지열에너지를 이용한 냉난방시스템은 열펌프 냉난방 시스템의 일종으로 지중매체(토양, 암반, 지하수)를 열원으로 이용하는 시스템을 통칭한다. 지열을 이용한 냉난방 시스템에는 비연소형 열전달 시스템이 적용되는데, 비연소형 열전달 시스템(heat transfer system)에서는 열에너지를 생산하기 위해 새로운 화석연료를 사용하는 것이 아니라, 기존의 열에너지를 지중으로부터 필요한 수요처로 이동시켜 사용한다.

본 연구에서는 앞서 기술한 열원(정수장 원수)을 직접 사용하는 개회로 방식으로 초기투자비와 열점 현상이 발생하는 도시지역에 적용 할 수 있는 열펌프 냉난방시스템 구축을 목적으로, 수도 시설 원수의 열자원활용 타당성을 평가하고, 이를 적용한 시험 시설을 설치하여 적용성을 실증적으로 확인하여, 국내의 실정에 맞는 지열원 열

† Corresponding author

Tel.: +82-42-870-7615; fax: +82-42-870-7619

E-mail address: extermist@hanmail.net

펌프 시스템과 그 시스템의 객관적인 신뢰성을 검증하고 자료를 획득하여 지열시스템의 타당성을 평가하는 것이다.

청주 수도사업소 냉난방 시스템은 대청 및 현도 취수장에서 청주 정수장 착수정으로 들어오는 원수를 열펌프 시스템 열원으로 이용하였다.

이에 기존의 지열열펌프 냉난방 시스템 초기투자비의 40~50%를 차지하는 지중열교환기를 정수장 원수관에서 분기하여 초기투자비를 절약하였다. 또한 열교환을 끝낸 열원수는 다시 정수장으로 보내져 정수가 되도록 구성하여 수자원의 낭비와 환경문제를 해결할 수 있을 것으로 사료된다.

2. 수도시설을 이용한 시범시설

2.1 수도시설 개요

청주 정수장은 청주시 흥덕구에 있으며, 최대 정수능력은 250,000 m³/day을 정수하고 대청 및 현도취수장에서 취수하고 있다.

2.2 수도시설 수온 측정 결과

Fig.1 청주정수장에서 2005년 6월 17일부터 2006년 7월22일까지 측정된 원수의 온도와 유량 그래프로 월별 평균으로 작성하였다.

온도는 약 4℃ ~ 24℃로 정수장 원수는 연간 약 20℃의 큰 온도변화를 보이고 있다. 청주정수장 원수를 활용한 열펌프 냉난방 시스템 운영시 연중 온도가 일정한 지하수를 열원으로 이용하는 열펌프 시스템(GWHP)에 비하여 상대적으로 불리한 조건으로 작용할 것이다.

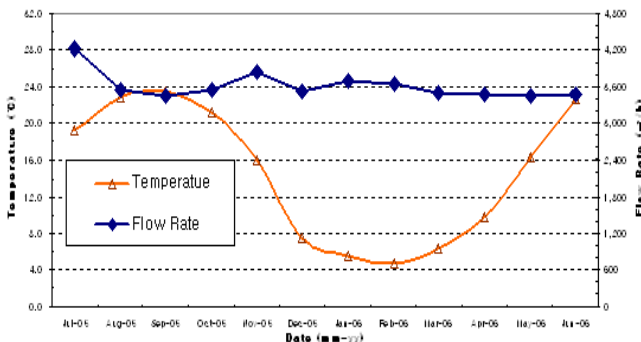


Fig.1 청주정수장 온도-유량

2.3 냉난방 부하량 계산

냉난방부하량 계산에 있어 정확한 부하계산이 필요하지만 제반사항이 많아 면적당 부하량으로 계산하였다. 냉방부하량은 면적당 120kcal/h의 부하량을 가지고 난방부하량은 100kcal/h로 계산하였다. 청주정수장은 관리동과 수돗물서비스센터로 건물 2개동이 운영되고 있는 실정이며 수돗물서비스센터 185평으로 면적을 기준으로 냉난방부하량을 계산하였다.

Table. 1은 각 실별 부하량을 구한 것으로 냉방부하는 98,560kcal/h, 난방부하 71,100kcal/h로 설계하였다.

Table 1. 냉난방부하

구분	냉.난방 면적		단위부하 (kcal/hr, m ²)		냉방부하	난방부하	비고	
	(m ²)	(평)	냉방	난방	(kcal/h)	(Kcal/h)		
1층	사무실	120	36	150	110	18,000	13,200	간헐운전
	식당	96	29	200	110	19,200	10,560	
	방(주방)	10	3	120	110	1,200	1,100	
	주방					4,000	4,000	
	화장실	24	7	120	110	2,880	2,640	
소계	250	76			45,280	31,500		
2층	사무실	336	102	150	110	50,400	36,960	
	화장실	24	7	120	110	2,880	2,640	
소계	360	109			53,280	39,600		
합계	610	185			98,560	71,100		

3. 시범시설 냉난방 시스템 설계

지열원 열펌프 시스템은 공기열원 열펌프 시스템 보다 에너지 소비가 적고, 열원이 공기보다 안정적이며, 대기 중에 노출된 기기가 없으며, 사용되는 냉매의 양이 상대적으로 적다는 장점이 있다.

본 연구의 시범시설인 청주정수장에 설치된 지열원 열펌프 시스템(GHP : Geothermal heat pumps)은 첫 번째 정수과정인 착수정 및 혼화지과정으로 공급되는 원수관에서 분기하여 열원으로 사용함으로 기존의 지하수를 열원으로 이용하는 열펌프 시스템(GWHP)의 경우 지하수를 취수하기 위한 많은 설치비를 절약하고, 수질과 부유물질을 고려하여 2차 열교환기를 설치하였다. 2차열교환기는 판형열교환기로 스케일, 부식 등의

오염물 부착에 열펌프 본체 열교환기를 보호하고자 하는 목적으로 설치되었다.

3.1 장비선정

지열냉난방시스템 구축시 직접적으로 물을 열원으로 하기 때문에 열펌프에 대한 제원을 선정하는 것이 중요하다. Table 2, 3, 4.에서는 시험시설 장비요약을 나타낸 것으로 원수의 연중온도의 변화가 커서 열교환기 설정 온도를 냉방은 3℃, 난방은 2℃로 설정 하고 유량을 590 l/min으로 증가시켰다.

Table 2. 히트펌프의 제원

구분	히트펌프 열량(kcal/hr)		소비 전력 (kw)	유량 (l/min)	온도(℃)		크기 (LxWxH)
	증발 열량	응축 열량			입구	출구	
냉방	91,600	114,000	25.10	324	12.0	7.0	1,300 x 900 x 1,500
난방	70,000	97,000	32.47	324	45.0	50.0	

Table 3. 열교환기 설정 온도와 유량

구분	2nd 순환 (℃)		열원수 (℃)				비고
	유량 (l/min)	온도(℃)		유량 (l/min)	온도(℃)		
		입구	출구		입구	출구	
냉방	380	35.0	30.0	590	26.8	30.0	
난방	380	2.9	6.0	590	8.0	6.0	

Table 4. 지열냉난방시스템 장비요약

구분	형식	수량	유량 (l/min)	양정	동력	전원		비고
						C:	H:	
히트펌프	스크롤	1				25.1	32.4 7	3Φ 380V 60HZ
2ND 순환펌프	인라인	2	380	10 m	1.5 kw			3Φ 380V 60HZ
열원 순환펌프	심정 펌프	2	590	20 m	3.0 kw			3Φ 380V 60HZ
냉난방 순환펌프	인라인	2	330	20 m	3.7 kw			3Φ 380V 60HZ
소비전력 합계	일반	하절기			33.3 kw			
		동절기			40.7 kw			

4. 온도 모니터링

4.1 실험장치 및 방법

본 기술지원은 청주정수장에 설치된 수온차 냉난방시스템의 에너지절감 효과 분석을 목적으로 정수장 원수를 지열원으로 이용하는 열펌프의 시스템효율과 효과를 분석 제시하고자 한다.

청주정수장에 설치된 열펌프 시스템은 정수전의 원수관에서 분기하여 열원으로 사용하였다. 수질과 부유물질을 고려하여 2차 열교환기를 설치하였다. 2차열교환기는 관형열교환기로 스케일, 부식 등의 오염물 부착에 열펌프 본체 열교환기를 보호하고자 하는 목적으로 설치되었다. 2차열교환기와 기계실에서 사무실까지 긴 배관으로 인한 열손실은 무시하였다.

모니터링 장비는 온도센서 10(T형 : 6, 표면부착형 : 4)와 유량계(전자장 유량계) 2개 전력량계 2개로 측정하였다. 그 위치는 아래 그림과 같다.

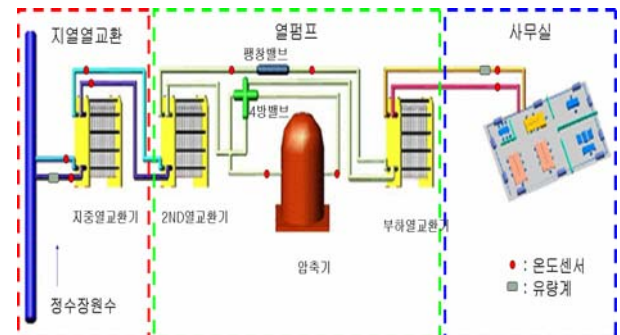


Fig.2 센서 설치 계략도

온도센서는 원수입출구 2개, 2차열교환기 입출구 2개, 압축기입출구 2개, 팽창밸브 입출구 2개, 사무실 순환 배관 입출구 2개 등 총 10개를 설치하였고, 유량계는 배관위치를 고려하여 원수 입구와 순환수 출구에 각 1개씩 2개를 설치하고, 전력량계는 압축기와 전체 시스템에 각 1개씩 설치하였다. data저장은 데이터 수집장치를 이용하여 1초 간격으로 측정하여 30초 간격으로 나타내었다.

4.2 모니터링결과 및 고찰

본 기술지원은 2007년 8월 8일부터 모니터링하고 있으며 일일 24시간 측정을 수행하였다, 아래 그림은 대기온도는 10초 간격으로 1번 저장하였고, 원수온도는 모니터링 자료로 8월 8일부터 8월 16일 오전 8시부터 오후 7시까지 측정된 자료를 나타낸 것이다. 대기 온도는 I 버튼이라는 센서를 이용하여 현장에서 측정된 결과이다.

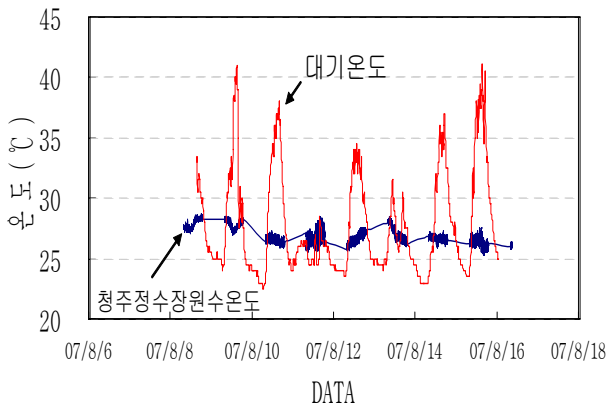


Fig.3 청주정수장 원수온도 분포

Fig. 3에서 보면 일과 시간 즉 8시부터 7시까지는 원수의 온도분포가 대기온도에 비하여 낮지만 그 외 시간은 더 높은 것으로 나타난다. 8월 11일과 13일은 비의 영향으로 원수의 온도보다 대기온도 보다 낮은 것을 알 수 있다. 또한 원수온도가 평균 약 27°C로 수열원 열펌프 시스템의 열원으로 좋지 않은 것을 알 수 있다.

4.2.1 청주 정수장 수온차 냉난방시스템 효과 분석

청주 정수장 수온차 냉난방시스템 효과를 분석위하여 8월 16일자를 대상으로 선정하여 각 온도센서와 유량계, 전력량계등의 자료를 분석하였다. 이 자료는 시험 목적으로 24시간 동안의 자료로 정리하였으며, 압축기가 작동 시간을 대상으로 작성하였다.

Fig. 4에서 원수의 온도는 오전 8시부터 오후 10까지 대기온도보다 낮고 그 이후 시간은 높은 것을 알 수 있다. 수온차 냉난방시스템이 운전되어야 하는 오전 8시

부터 오후 6시까지의 온도분포는 원수의 온도와 대기온도가 약 10°C 이상 차이가 나는 것으로 나타났다. 현재 냉난방시스템은 약 2~3°C의 열을 청주정수장 원수로 배출하고 있는 것으로 판단되며, 정수장의 많은 원수를 이용하여 열교환 온도는 줄이고 수량을 늘려 설계되었고, 설계와 같은 수준으로 작동되는 것으로 판단된다.

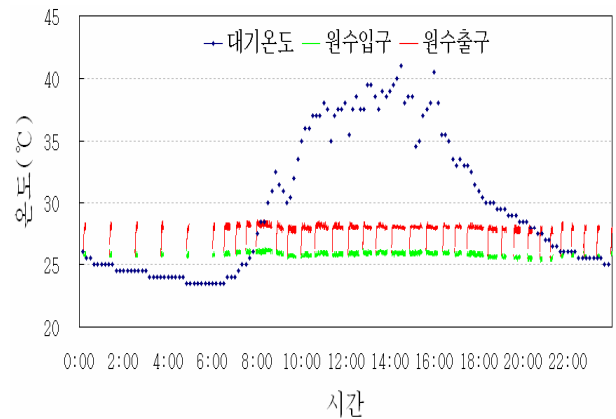


Fig.4 원수입·출구 온도 분포

Fig. 4는 2차 열교환기의 온도 분포를 나타낸 것이다. 2차 열교환기는 청주정수장의 원수를 열원으로 사용함으로 인하여 원수에 포함되어 있는 부유물로부터 히트펌프 장비 내에 설치되어 있는 열교환기를 보호하는 목적으로 장치되었으며, 그 설계 온도 범위는 30~35°C이고 2차 열교환기 입구는 온도는 27°C 정도이고 출구 32°C 정도로 약 5°C 정도 열교환되고 있으며, 이것은 열펌프에서 약 5°C의 열교환을 하는 것으로 판단된다.

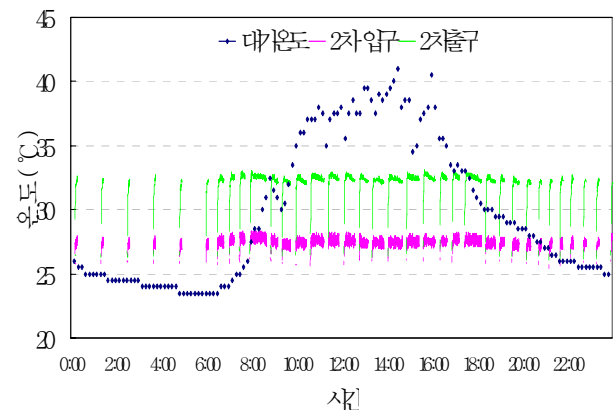


Fig.5 2차 열교환기 온도 분포

Fig. 5는 열펌프 시스템에서 건물(사무실)로 열을 공급하는 순환수 입·출구 온도 분포를 나타낸 것이다. 열펌프 설정온도는 7~12℃로 설계되었다. 측정된 Data를 분석한 결과 순환수 입구 온도분포는 7~13℃, 순환수 출구 온도 분포는 12~16℃이며, 입구온도 분포가 설계치 보다 다소 높은 것은 순환수량, 즉 열펌프에서 사무실까지 배관(85m)이 길어, 유량으로 인한 부하측 열교환의 지연이 있는 것으로 판단된다.

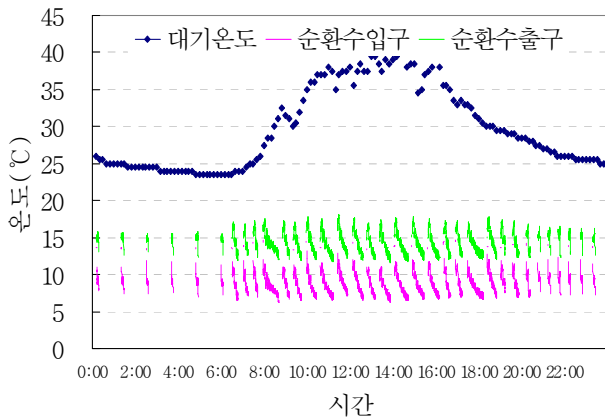


Fig. 6 순환수 입출구 온도 분포

Fig. 7은 원수 측과 순환수 측에 장치한 유량계의 유량분포를 나타낸 것이다. 2차 열교환기 측의 유량은 측정하지 않았다. 원수와 순환수량은 43ton/h와 18ton/h로 거의 변화가 없는 것으로 나타났다. 원수 유량이 많은 것은 원수의 온도조건이 좋지 못하여 부하측 순환수 유량에 비하여 상당히 많은 원수를 사용하는 것을 알수 있다.

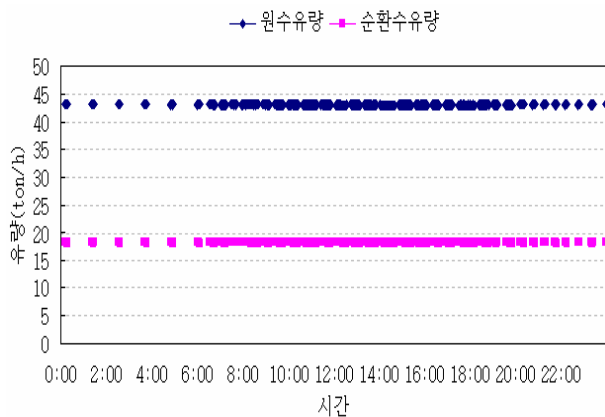


Fig. 7 원수와 순환수의 유량 분포

Fig. 8은 전체시스템 전력과 냉방능력, COP등을 나타낸 것으로 압축기가 작동할 경우 32kw정도 전력을 사용하고, 열량은 평균 100Mcal/h정도 생산되었으며, COP는 평균 3.9로 상당히 좋은 효율을 나타내었다.

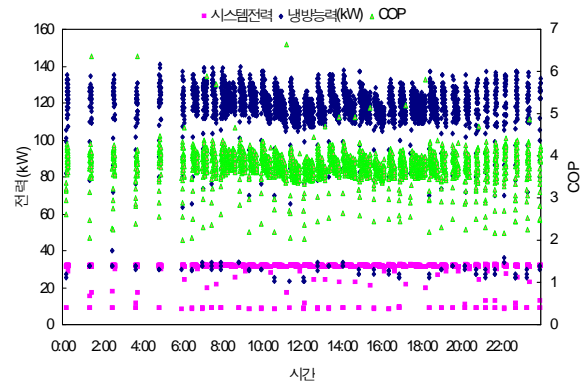


Fig. 8 전력사용량과 냉방능력, COP의 변화

5. 결 론

본 연구는 국내 최초로 적용된 수도시설을 이용한 지열냉난방시스템에 대한 에너지 저감 효과분석을 하고자 2007년 8월 8일부터 8월 16일까지 냉방에 대한 분석을 하여 다음과 같은 결과를 나타내었다.

1) 정수장의 원수의 온도는 최고 27.5℃로 수열원 열펌프 시스템의 열원으로는 부족한 것으로 나타났으나, 사용 가능유량이 3,500ton/h으로 지열냉난방 시스템 적용에 전혀 문제가 되지 않은 것으로 판단된다.

2) 현재, 냉방시스템은 약 2~3℃의 열교환을 하는 것으로 나타났으며, 이는 원수의 온도상승으로 인한 수질의 영향을 최소화 할 수 있다.

3) 본 시스템은 2차열교환기를 사용하여 원수의 부유물질이 시스템내에 들어가는 것을 방지하여 시스템 유지보수비용을 절감시킬 수 있다.

4) 본 시스템의 효과분석을 위하여 평균 전력과 냉방능력, COP는 각각 32kW, 100Mcal/h, COP=3.9로 매우 큰 값을 나타내었다.

후 기

본 연구는 2005년도 에너지자원기술개발 사업의 일환으로 에너지관리공단에서 지원하고 한국지질자원연구원에서 주관한, “강변여과수(충적층 및 하상)열 자원 활용기술”의 과제로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

[1] 남현규, 서정아, 김영일, 신영기, 2004, “지하수 열원 열펌프 시스템 개발을 위한 지하수 온도변화 특성 연구”, 대한설비공학회 2004년 동계 학술발표대회 논문집, pp. 439-444

[2] 김형수, 서민우, 정우성, 송운호, 2005, “강변여과수(충적층 및 하상) 열자원 활용 기술 개발”, 신재생에너지학회 2005 추계학술발표대회 논문집, pp.591-594

[3] 과학기술부, 한국수자원공사, 2004, “지속적인 지하수 개발 및 함양기술 개발, 수자원의 지속적 확보기술개발”, 1단계 최종보고서 (세부과제 3-4-1)

[4] 한정상, 한혁상, 한찬, 2005, 지열펌프 냉난방 시스템, 도서출판 한림

[5] 박성룡, 안영훈, 박준택, 라호상, 2002, “하천수 열원 열펌프시스템의 성능 분석”, 대한설비공학회 2002년 하계학술발표대회 논문집, pp. 420-428

[6] 최병윤, 이상훈, 김준호, 이동원, 2004, “지열원을 이용한 수축열식 히트펌프 냉난방시스템의 실증연구”, 대한설비공학회 2004년 하계학술발표대회 논문집, pp. 442-448