

강변여과수 활용 냉난방 시스템 개발 및 시범시설 구축

서민우, 정우성*, 김형수**, 황기섭***, 안영섭***
 한국수자원공사 수자원연구원 선임연구원, * 책임연구원, ** 수석연구원, *** 연구원

1. 서론

최근 들어 석유 가격의 폭등과 함께 국가적으로 화석연료 이외 에너지에 대한 관심이 고조되고 있으며, 에너지원의 다원화, 석유 비중의 경감, 대체에너지의 개발에 대한 요구가 날로 높아지고 있다. 특히 국내 산업분야에서는 화석연료 사용을 절감하여 대기 오염물질 및 온실가스의 방출을 억제하기 위한 다양한 정책이 추진되고 있다(조수 등, 2004). 현재 우리 정부는 2011년까지 전체 에너지 사용량에 5%를 대체에너지로 전환하기 위하여 다양한 방안을 시행 중에 있으며, 이를 위한 방안 중 하나로 2004년 4월 “대체 에너지 개발 및 이용 보급 촉진법” 시행령을 공포하여 국가, 지방자치단체, 정부투자기관 등의 공공기관은 의무적으로 대체에너지를 활용할 것을 권고한 바 있다(김형수 등, 2005).

현재 국내에서는 대체에너지 개발을 위하여 태양광, 풍력, 조력, 연료전지, 지열 등 11개 신재생 에너지의 개발 및 보급을 위해 많은 노력을 기울이고 있으며, 최근 들어서는 지열에 대한 관심이 높아지고 있다. 이에 지열 에너지를 활용한 냉난방 시스템 보급이 증가하고 있으며 앞으로도 계속적인 증가가 예상된다.

지열에너지를 이용한 냉난방시스템은 열펌프 냉난방 시스템의 일종으로 지중 매체(토양, 암

반, 지하수)를 열원으로 이용하는 시스템을 통칭한다. 지열을 이용한 냉난방 시스템에는 비연소형 열전달 시스템이 적용되는데, 비연소형 열전달 시스템(heat transfer system)에서는 열 에너지를 생산하기 위해 새로운 화석연료를 사용하는 것이 아니라 기존의 열에너지를 지중으로부터 필요한 수요처로 이동시켜 사용한다. 대표적인 비연소형 열 이송 시설은 열펌프와 지열 펌프를 들 수 있다. 열펌프는 실외공기로부터 열을 추출하여 추출된 열을 주택이나 사무실의 난방용으로 이용하는 시설인데 반해, 지열펌프는 지중의 열을 추출하여 난방용으로 이용하는 난방시스템이다.

2004년 말 국내에서 연간 개발이용하고 있는 지하수량은 연간 약 37.5억 m³ 정도이며(건설교통부, 2005), 연평균 지하수의 수온은 14~16℃로 알려져 있다(한정상 등, 2005). 따라서 이들 지하수를 각종 용수로 이용하기 전에 지하수가 보유하고 있는 지열 가운데 약 4~5℃만 지열 펌프를 통해 추출해서 사전에 냉방과 난방용 에너지원으로 활용한다면 추가로 개발 이용할 수 있는 천부 지열 에너지량은 약 2.5 3백만 kW에 이른다.

지열 에너지 개발은 크게 두 가지 범주로 구분할 수 있다. 우선 (1) 지열-전기 응용 방식으로 매우 높은 지열로 인해 발생하는 지하의 수증기를 이용하여 발전용 터빈을 돌려 전기를 얻는 방식이

있다. 또 한 가지는 (2) 지열을 직접 난방 등에 활용하는 방식으로 직접 방식으로 불리며, 유럽에서는 낮은 열량만을 활용한다는 의미로 낮은 엔탈피(low enthalpy) 방식으로 불리기도 한다. 지열 에너지 이용 냉난방 시스템은 지중 열교환기 포함 전체 시스템의 초기 설치비가 기존의 냉난방 설비보다 크다는 단점이 있지만, 연간 유지비가 적게 들고, 이산화탄소와 같은 온실가스의 배출이 적어 환경적인 측면에서도 최근 많은 주목을 받고 있다(김형수 등, 2005).

본 기사에서는 앞서 기술한 직접 방식 지열 에너지 개발 방식을 통해, 하천 주변 충적층 및 하상바닥의 열자원 활용 타당성을 평가하고, 이를 적용한 강변여과수 활용 냉난방 시스템 시험 시설에 대하여 소개하고자 한다. 2006년 초에 시범 시설 설치가 완료되었으며, 현재 냉난방 시설에 계측기를 설치하여 본 시설의 열효율 및 경제성 평가를 수행 중에 있다.

2. 강변여과수

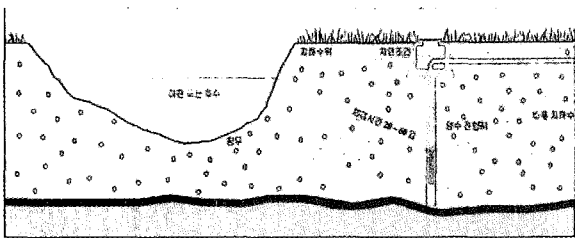
강변여과수(RBF, River Bank filtration) 열자원 활용 기술이란, 일반적으로 지하수 혹은 하천바닥 물은 지상 대기 온도가 기후 변화에 매우 민감한데 반하여 상대적으로 계절적인 온도변화가 작다는 특성을 이용하여 에너지를 얻는 방식을 말한다(과학기술부, 한국수자원공사, 2004). 대표적인 유도방식 인공함양방법인 강변여과방식

은 강변에 존재하는 대수층의 오염저감능력을 이용하는 기법으로, 하천과 인접한 곳에 양수정을 설치하여 하천과 양수정 사이에 물의 흐름을 판정방향으로 유도하는 방식을 말한다.[그림 1]

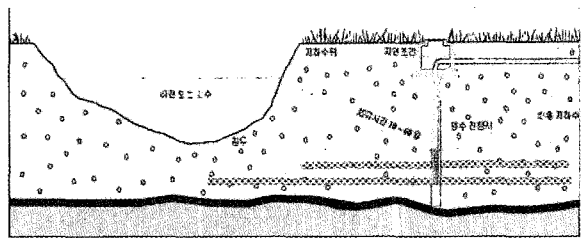
이러한 방식은 하천 원수를 일정기간 강변의 대수층에 체류시켜 자연의 자정 능력을 이용하여 오염물질 및 독소를 제거한 후 취수하므로 후속 공정인 정수처리 공정에서의 부담을 경감시킨다. 강변여과취수방식의 이점은 (1) 연중 수온변화가 적음, (2) 돌발적 수질 사고 시 완충 작용, (3) 낮은 대장균 및 일반세균 농도, (4) 부유물질 제거 가능, (5) 단거리를 이송하는 환경 친화적 시스템이라는 것이다.

강변여과수는 일정 연중 온도가 지표수에 비해서 일정하기 때문에 열펌프를 이용한 열적 활용 가치가 높다고 볼 수 있다. 이러한 강변여과수 혹은 하천수 열에너지는 동절기에는 열펌프의 증발기 가열열원으로 하절기에는 응축기의 냉각열원으로 이용하면, 공기를 열원으로 하는 열펌프에 비해 고효율로 냉온열을 제조하여 단위 건물의 열공급원으로 이용할 수 있다는 장점이 있다.

대표적 유도방식 인공함양방법인 강변여과방식은 현재에도 국내에서 수자원 공급을 위해 활용되는 대표적인 지하수 인공함양 방식이다. 강변여과 방식의 유도 함양을 활용하는 지자체는 창원시 대신면 및 북면지역, 함안군 이룡, 김해시 지역이다. 또한 서울특별시와 같은 대도시에서도 대규모 강변여과 방식 간접 취수 등의 타당



(a) 수직 집수정 방식



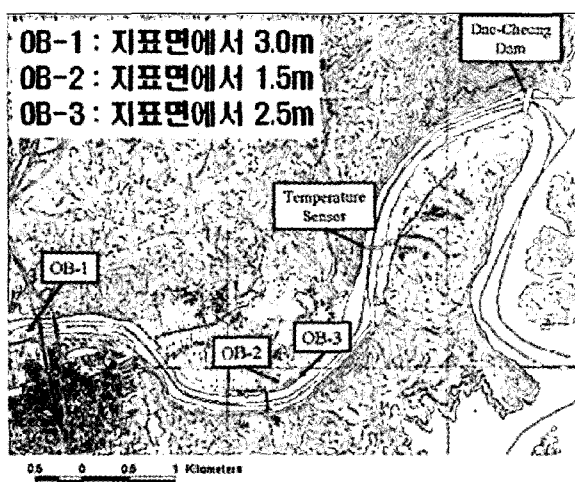
(b) 수평 집수정 방식

[그림 1] 강변여과 방식 모식도(김형수와 석희준, 2004)

성 조사가 수행되어, 앞으로 국가적으로도 대규모 취수원 확보의 방안으로 발전할 것으로 기대된다. 일반적으로 지하수는 지표수와는 달리 일정한 수온을 가지며 수질이 양호하여 음용수로 선호되고 있으나, 그 양은 제한적이어서 대부분의 수자원 공급은 지표수에 의존하여 왔다. 그러나 최근 독일을 선두로 하여 유럽의 많은 지역에서 이러한 지하수의 장점과 수량적으로 풍부한 지표수의 장점을 이용하여 강변여과방식과 강변에서의 직접인공함양 방식을 성공적으로 사용해 오고 있다.

이러한 측면들에서 기존의 물 공급 시스템이 대부분 댐 혹은 대규모 하천의 지표수를 취수하여, 물을 원거리로 이송하는 방식인데 반해, 강변여과수 방식은 일차적인 자연적인 지층의 정화 능력을 활용하여, 이후의 수처리 과정의 환경 위해도를 최소화하며, 대규모 하천이외의 중소규모 하천 주변의 충적층의 활용이 가능하여, 지역적으로 개발 가능성이 높고, 특히 일정한 수온 유지로 수처리 관리의 용이성 및 열자원 활용 가능성이 높다는 긍정적 요소들을 가지고 있다.

3. 강변여과 및 하천수 수온 변화 모니터링



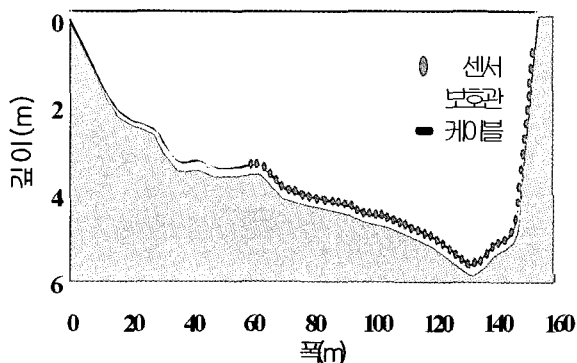
[그림 2] 충적층 및 하상바닥 센서 설치 위치

앞서 설명한 강변여과수의 열자원을 냉난방 시스템에 활용하기 위하여 강변여과 현장과 유사한 온도 분포 특성을 보이는 충적층과 그 인근의 하천에서 장기 모니터링을 실시하였다. 그 결과 강변여과 현장과 환경이 유사한 충적층에서는 그 온도 분포 특성이 냉난방 시스템에 활용하기에 매우 유리하게 나타남을 확인할 수 있었다(안영섭 등, 2006).

3.1 계측 현장

충적층과 하상바닥의 계절별 온도 변화를 장기적으로 관측하기 위한 장기 모니터링 현장으로 대전광역시 대덕구 미호동과 충북 청원군 문의면의 경계인 대청 조정지댐 직상류 및 하류를 선정하였다. 하천 인근 충적층의 온도 변화를 측정하기 위한 OB-1은 대청 조정지댐 하류 인근 철도 옆, OB-2, OB-3는 대청댐 하류 조정지댐 인근 농경지에 깊이를 다르게 설치하였으며, 하천의 바닥의 온도를 측정하기 위한 온도센서는 조정지댐 하류에 설치하였다[그림 2, 그림 3].

강변 여과와 유사한 조건을 가지는 하천 인근 충적층의 경우, 총 3곳의 매설 깊이 1.5 m, 2.5 m, 3.0 m까지 시추하여 자동 온도 측정장치를 매설한 후, 매 30분 간격으로 온도를 자동 측정하였다. 하상바닥의 온도측정은 단일 케이블 내 다중으로 온도 센서가 배열된 계측기를 이용하여 측



[그림 3] 하상바닥에 설치된 온도센서

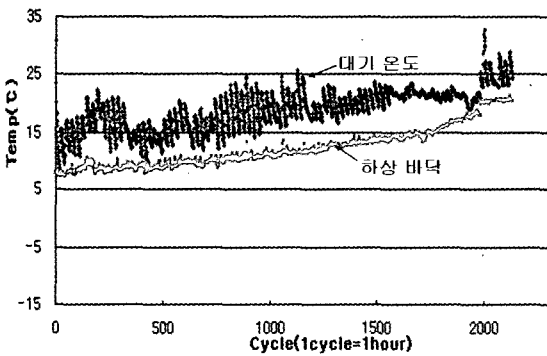
정하였다[그림 3]. 2005년 4월에 38개의 온도센서는 하상 바닥, 2개의 온도 센서는 대기 중에 노출되도록 설치하여 매 1시간 간격으로 온도변화를 관측하였다.

3.2 측정 결과

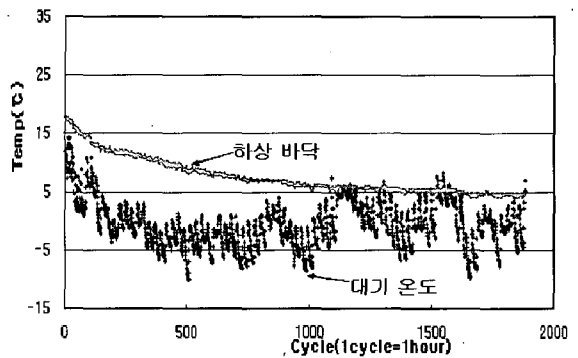
그림 4는 하상 바닥에 설치된 온도센서를 통해 대기와 하상에서 측정한 온도분포를 보여주고 있다. 대기 온도와 하천 온도 사이에는 약 5℃ ~ 10℃ 정도의 일정한 차이를 보이고 있다. 하지만, 봄에서 여름으로 갈수록 하상바닥의 온도와 대기 온도 차이는 줄어드는 모습을 보이고 있으며, 역시 가을에서 겨울로 갈수록 서서히 온도 차이가 줄어드는 모습을 보였다. 이러한 경향은 하천수를

이용하는 경우 한여름과 한겨울에는 수온차 에너지를 이용한 냉난방 시스템에 제약으로 작용할 것이다. 한편 하천 인근 층적층에서 측정된 자료를 살펴보면 여름과 겨울에 대기 중 온도와 온도 차이가 크게 나타났으며, 또한 깊이가 깊을수록 연중 온도변화가 작게 나타남을 확인할 수 있었다[그림 5].

하천수와 층적층에 대한 온도 모니터링을 통해 하상바닥에 비해 층적층이 더 큰 개발 가능 수온차 에너지를 가지고 있음을 알 수 있었으며, 하상바닥의 경우 하천 바닥을 굴착하여 집수암거를 설치하거나 하천 제방을 통해 집수를 하면 이러한 단점을 어느 정도 극복할 수 있을 것으로 사료된다.

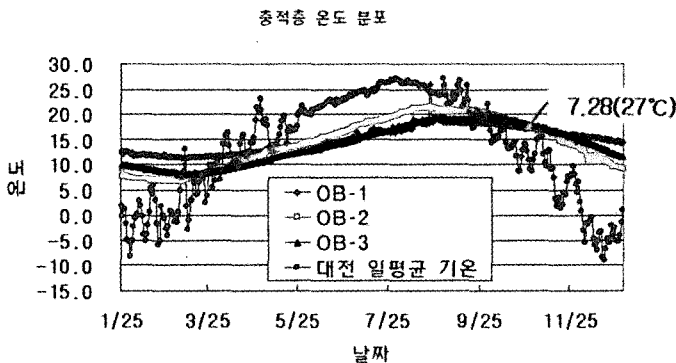


(a) 봄-여름



(b) 가을-겨울

[그림 4] 대기와 하상 바닥 온도변화



[그림 5] 층적층 및 하상바닥 센서 설치 위치

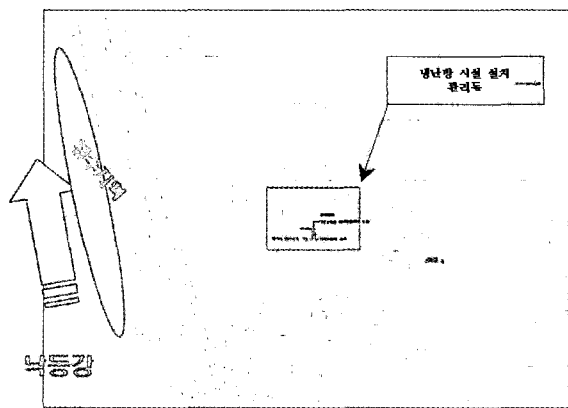
4. 강변여과수 활용 냉난방 시스템 시범 시설 설치

4.1 강변여과 시설 개요

창원시 대산면에 위치한 대산정수장 내 강변여과 시설은 용수 확보 방안으로 낙동강 제방제외지에 수직 집수정을 설치하여 강변여과수를 취수하고 있으며, 총 3단계 사업 중 현재 1단계사업이 완료되어 운영 중에 있다. 본 강변여과 시설은 총 24개의 취수공과 8대의 송수펌프, 11개의 가압소로 구성되어 있으며, 하루 가능 최대 계획 공급량은 총 180,000 m³이며, 현재 하루 60,000 m³의 물을 취수 및 정수하여 일반 수용가로 공급하고 있다. 또한 취수정은 우물 재생, 펌프 모터 등의 고장 등을 고려하여 30% 여유를 두어 설치하였다. 그림 6은 본 강변여과 활용 냉난방 시범 시험 시설이 설치된 건물의 위치와 강변여과수 취수 지역을 보여주고 있다.

4.2 강변여과 냉난방 시스템 설계

지중, 지하수 및 지표수체, 호수, 강 및 바다와 같은 저급원의 열원을 이용하는 지열시스템을 지열원 열펌프 시스템(GSHP)이라 하고, 지중에 부설된 열전달 장치인 지중열교환기 일명 지중 순

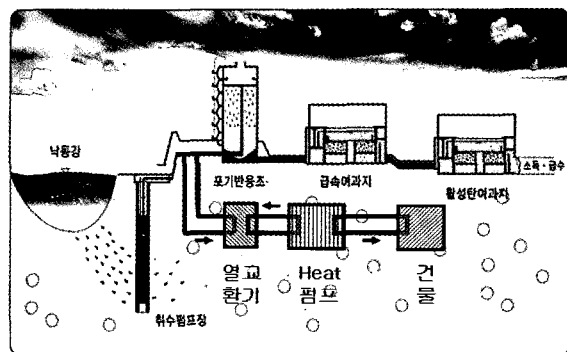


[그림 6] 창원시 강변 여과 지역 및 냉난방 시스템 적용 건물 평면도

환회로(GHEX)를 통해 지중열을 흡수 방열하는 시스템을 지중연결 지열펌프(GCHP)시스템이라 한다. 이 가운데 지하수체가 보유하고 있는 열을 이용하는 시스템을 지하수열펌프라 하며, 지표수체의 열원을 이용하는 시스템을 지표수열펌프(WSHP)라 한다. 지열원 열펌프 시스템은 순환수의 회로방식에 따라 지열을 직접 이용한 다음, 그 인근에 소재한 수체로 방류하는 개회로형 시스템과 지중이나 수체내에 폐회로를 설치한 후 폐회로 내에서 순환하는 작동 유체를 이용하여 필요한 열을 지중에서 추출하거나 방열하는 폐회로형 시스템이 있다.

지열원 열펌프 시스템은 공기 열원 열펌프 시스템(air source heat pump)보다 에너지 소비가 적고, 열원이 공기보다 안정적이며, 대기 중에 노출되는 기기가 없으며, 사용되는 냉매의 양이 상대적으로 적다는 장점을 가지고 있다. 그러나 지중열 교환기의 매설을 포함한 전체 시스템의 초기 설치비가 기존 냉난방 설비보다 큰 것이 단점으로 들 수 있다.

본 시범 시설의 대상인 지열원(강변여과수) 열펌프 시스템(GHP : Geothermal Heat Pump)은 상수도 취수정에서 취수한 강변여과수를 본관에서 분기하여 이를 열원으로 사용하도록 설계되었다. 기존에 어느 정도 장치가 설치된 상수도 사업소 내 강변여과수를 열원으로 사용하므로 초기 설치비가 저렴하고, 연간 온도 변화가 적은 강변



[그림 7] 강변여과수 활용 냉난방 시스템 개념도

여과수를 열원으로 이용하기 때문에 향후 효과적이고도 경제적인 냉난방 시스템이 될 수 있을 것으로 예상된다.

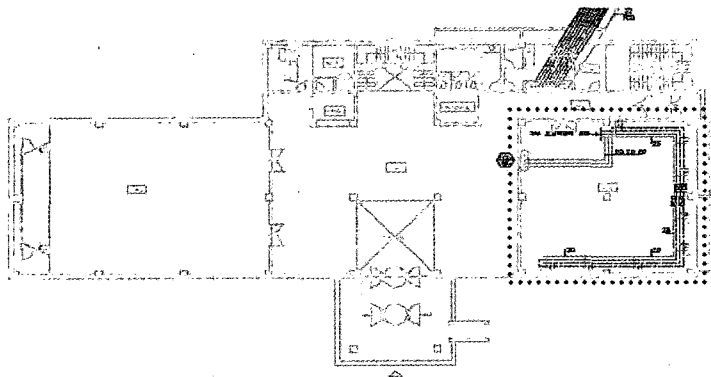
본 시스템은 강변여과수를 직접 순환시키는 방식인 개방회로 시스템으로 설계되었으며, 따라서 강변여과수 본관에서 분기된 일부 강변여과수는 냉방 시에는 열교환기에서 흡수하고, 난방 시에는 반대로 열교환기를 통해 열을 방출하는 시스템으로 냉난방에 활용하도록 하였다[그림 7].

본 창원시 강변여과수 시설 활용 시범 냉난방 시스템에는 15 RT급 히트펌프 1대를 설치하여, 창원시 대산정수장 관리본관 내 사무실, 문서고, 체력단련실, 소회의실 등의 냉난방을 담당하도록 설

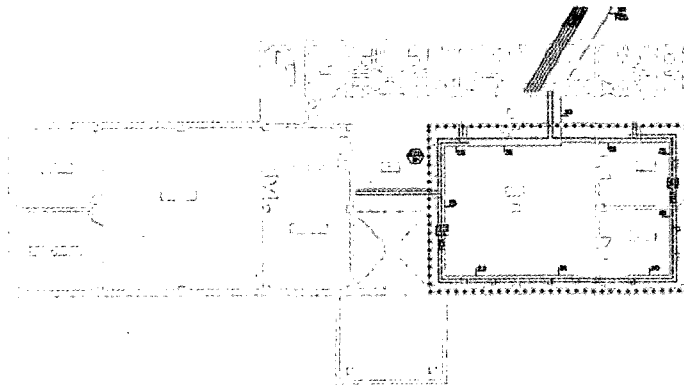
계하였다. 냉매의 압축은 스크롤식 압축기를 사용하여 하였으며, 본 현장에 설계된 히트펌프는 냉방 시 15 USRT, 난방시 50.5 Mcal/h의 냉난방 부하를 가지며 약 450 m³의 면적의 냉난방을 담당할 수 있도록 하였다.

4.3 강변여과수 이용 히트펌프시설 설치

창원시 대산 정수장 강변여과수 활용 냉난방 시스템은 상수도 취수정에서 취수한 강변여과수를 본관에서 분기하여 이를 열원으로 사용하도록 설계되어 별도의 지중열교환기와 순환펌프 없이 개폐기를 설치하여 강변여과수량을 조절할 수 있으며, 열펌프 본체에 직접 연결하므로 초기 설치비를 절약하고,



(a) 관리 본관 1층



(b) 관리 본관 2층

[그림 8] 창원시 대산정수장 냉난방 시스템 적용 위치 및 배관도

연간 온도 변화가 적은 강변여과수를 열원으로 이용하기 때문에 지중열교환에 따른 지중온도 변화로 열펌프의 효율저하나 환경의 변화와 같은 기존의 지중열교환기의 문제를 해결할 수 있었다.

적용된 강변여과수 활용 냉난방시스템의 설치 단면은 그림 8과 같다. 그림에서 확인할 수 있는 바와 같이 관리동 1층 소회의실과 2층에 사무실 문서고 등에 기존의 냉난방시설과 추가로 냉난방 시설을 설치하였다.

본 시범 시설은 2006년 1월에 냉난방 시스템 설치 공사를 착공하여 2월에 설치를 완료하고

시험 운영을 시작하였다. 2006년 3월에는 공사를 준공하여 현재 시범 운영과 모니터링을 수행 중에 있다.

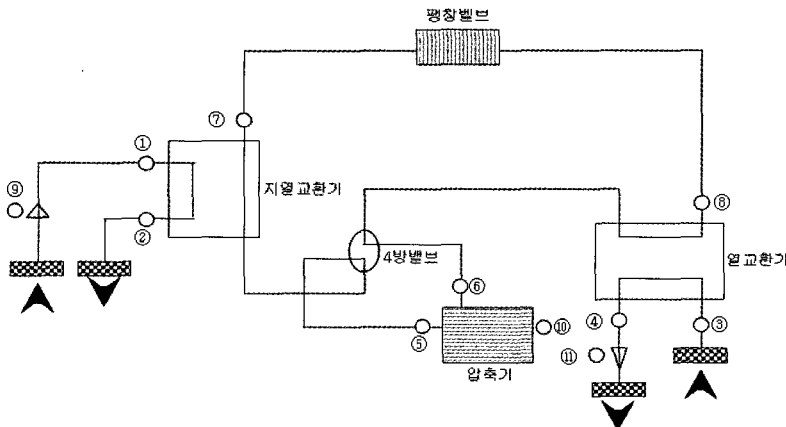
설치된 열펌프는 15 RT급 단일 열펌프 1기이며, 시스템의 규격은 표 1에 자세히 나타내었다.

4.4 시범 냉난방 시설 장기 모니터링

강변여과수 활용 냉난방시스템 시범 시설 설치 완료 후, 냉난방 시스템의 성능 평가를 위한 장기 모니터링을 계획하여 수행 중에 있다. 설치된 계측기의 종류, 위치, 제원 등은 그림 9와 표 2와 같

<표 1> 열펌프 시스템 규격

항 목		단 위	제 원	
히트펌프	열원종류		지열원 히트펌프	
	형식	열교환기	판형(Plate Type)	
		압축기	스크롤(Scroll)	
크기		mm	900×1300×1500(H)이상	
히트펌프 능력	냉방	냉방능력	kcal/h	48,500(16USRT) 이상
		입력전원	kW	12.20이상
	난방	난방능력	kcal/h	65,500이상
		입력전원	kW	16.20이상
	3상/전압		ph,V	3ph/380V,60Hz
사용냉매	종류		프레온가스(R-22)	
	화학성분		CHCLF2	



[그림 9] 시스템 온도 모니터링을 위한 계측기 설치 개략도

다. 그림 9에서와 같이 T형 온도센서 8개, 유량계 2개, 적 전력량계 1개를 열펌프에 설치하였다. 본 온도 모니터링은 장기간에 걸쳐 계속적으로 수행하여 결과를 분석할 예정이다. 온도 및 유량 모니터링 결과는 초기 예측치와의 비교와 냉난방 시스템의 경제성 평가 등에 활용될 예정이며, 주기적인 feed-back을 통해 본 시스템의 성능 향상에도 기여할 것으로 기대된다.

5. 결론

본 기사에서는 신재생 에너지 중 최근 들어 주목을 받고 있는 지열을 이용한 냉난방 시스템 적용 시범 시설에 대하여 소개하였다. 현장 계측을 통해 직접 방식 지열 에너지 개발 방식인 하천 주변의 충적층 및 하상 바닥의 열자원을 활용하는 기법에 대한 타당성을 평가하였으며, 이를 실제적으로 적용하기 위한 강변여과수 활용 냉난방 시스템 시험 시설에 대하여 소개하였다. 강변여과수(RBF, River Bank filtration) 열자원 활용 기술이란, 일반적으로 지하수 혹은 하천 바닥 물은 지상 대기 온도가 기후 변화에 매우 민감한데 반하여 상대적으로 계절적인 온도변화가 작다는 특성

을 이용하여 하절기와 동절기에 냉난방 에너지 획득시의 열교환을 대기가 아닌 강변여과수를 통해 수행하는 방식을 말한다.

본 시범 시설은 2006년 초에 설치가 완료되었으며, 현재 냉난방 시설에 계측기를 설치하여 본 시설의 열효율 및 경제성 평가를 수행 중에 있다. 장기간에 걸친 시범 시설 온도 모니터링 결과는 본 시스템의 경제성 평가에 활용될 것이며, 이러한 실증 자료를 기초로 본 시스템은 강변여과수가 개발되는 곳에 효과적이고 경제적인 냉난방 시설로 실용화될 수 있을 것이다. 또한 수자원공급을 위한 수도 시설과 냉난방 에너지 시설을 연계시킨 세계적으로도 희소한 사례로 앞으로 수자원을 활용한 에너지 효율화 사업의 시금석이 될 것으로 크게 기대된다.

6. 참고문헌

1. 건설교통부 (2005), 지하수 조사연보, 한국수자원공사, pp.5-25
2. 과학기술부, 한국수자원공사 (2004), 지속적인 지하수 개발 및 함양기술 개발, 수자원의 지속적 확보기술개발, 1단계 최종보고서(과

<표 2> 설치위치별 장비명과 규격

설치 위치		번호	장비명	용량
수배관 입출구	지중열교환기 입구	①	온도센서	0~100℃
	지중열교환기 출구	②	온도센서	0~100℃
	부하측 입구	③	온도센서	0~100℃
	부하측 출구	④	온도센서	0~100℃
냉매회로	압축기 입구	⑤	온도센서	0~100℃
	압축기 출구	⑥	온도센서	0~100℃
	응축기 출구	⑦, ⑧	온도센서	0~100℃
유량계	지중수 순환	⑨	터빈유량계	30~300m ³
	부하 순환	⑩	터빈유량계	30~300m ³
전력량계	압축기	⑩	전력량측정기	삼상 4선 380V 120A
	지중순환펌프	⑨		
	실내순환펌프	⑪		

- 제번호 3-4-1)
3. 김형수, 서민우, 정우성, 송윤호 (2005), “강변여과수(충적층 및 하상) 열자원 활용 기술 개발”, 신재생에너지학회 2005 추계학술발표대회 논문집, pp.591-594
 4. 김형수, 석희준 (2004), “지속가능한 지하수 개발 및 인공함양”, 수자원의 지속적 확보기술개발 사업단, SWRRC Technical Report TR2004-04
 5. 안영섭, 김진훈, 정우성, 김형수 (2006), “하천수 열원을 이용한 개발 가능한 에너지량 산정” 2006년 지하수토양학회 봄학술발표회, pp.365-368
 6. 조 수, 장철용, 성욱주, 이진성, 박희문 (2004), “재열이용 열펌프의 난방성능에 대한 실험적 연구”, 대한설비공학회 2004 하계 학술발표대회 논문집, pp.1182-1186
 7. 한정상, 한혁상, 한찬 (2005), 지열펌프 냉난방 시스템, 도서출판 한림