

# 강변여과수 활용 냉난방 시스템 개발 및 시범시설 구축(2)

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

## 1. 서론

에너지경제연구원의 통계자료에 따르면 우리나라의 에너지 수입액은 666.97억\$ [2005년 : 석유(523.22억\$), LNG(86.46억\$), 석탄(54.43억\$), 원자력(2.86억\$)]이며, 2001년 에너지 사용량 신고업체 에너지사용 현황은 전체산업체(85,158천 TOE), 전체건물(35,883천 TOE), 수송(31,909천 TOE)에서 사용하였다. 우리나라는 에너지 자원을 대부분 수입에 의존하고 있는 현실이며, 세계에너지 시장의 불안정 심화와 고유가 상황의 장기 고착화는 불가피한 상황이다.

최근 우리정부는 기후변화협약과 2011년까지 전체에너지 사용량의 5%를 대체에너지로 전환하기 위하여 2004년 4월 “대체에너지 개발 및 이용 보급 촉진법” 시행령을 공포하여 국가, 지방자치단체, 정부투자기관 등의 공공기관은 의무적으로 대체에너지 활용 할 것을 권고한 바 있다(김형수 등, 2005).

현재 국내에서는 11개 분야 신재생에너지의 개발 및 보급을 위해 노력하고 있다. 신재생에너지 중 지열에너지는 청정하고 화석연료사용으로 인한 CO2 발생이 거의 없고, 고갈되지 않는 지속 이용이 가능하다는 장점이 있다. 그러나 신재생에너지는 기존의 화석연료를 사용하는 시설에 비하여 많은 초기 투자비로 인한 어려움이 있다.

신재생에너지 중 하나인 지열에너지를 이용한 냉난방 시스템은 지중매체(토양, 암반, 지하수)에 있는 열을 끌어내어 냉난방 시설의 열원으로 이용하는 것으로 태양열, 풍력 등 다른 대체에너지에 비하여 초기투자비가 적게 들고 소규모 이용이 가능하며, 시설의 수명이 반영구적이며, 지속 가능한 에너지라는 장점이 있다.

국내의 지열 열펌프시스템이 도입된 시기는 불과 4~5년 전부터 이용하였고, 타 신재생에너지 기술과 비교해 볼 때 이 분야기술은 크게 뒤떨어져 있다. 현재 국내에서 활동하고 있는 지열 펌프 시공업체는 늘어나는 추세이며, 대부분 이들 시공업체는 미국의 지열펌프 제조사와 판매 및 기술제휴를 하여 지열 열펌프 시스템을 설치 시공하는 단순한 작업만 실시하고 있다. 이러한 문제로 국내 실정에 맞는 지열원 열펌프시스템 개발이 필요하며 열펌프 관련 기술은 물론 시스템 설계에 필요한 기초수리학적인 자료 및 정보가 필요하다.

본 기사에서는 하천 주변 충적층(김형수 등, 2004, 프론티어 보고서)과 하상 바닥의 열자원 활용의 가능성을 평가하고, 강변여과수 활용 냉난방 시스템 시범 시설이 2006년 초에 구축되어 난방과 냉방을 운영한 상태에서 장기 모니터링을 통한 효율과 경제성평가를 위하여 현재 지속적으로 수행하고 있다.

## 2. 지열자원 활용 매체

### 2.1 강변여과수

대표적인 유도방식 인공함양방법인 강변여과방식은 강변에 존재하는 대수층의 오염저감능력을 이용하는 기법으로, 하천과 인접한 곳에 양수정을 설치하여 하천과 양수정 사이에 물의 흐름을 관정 방향으로 유도하는 방식을 말한다. 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. 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, 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.

### 2.2 충적층 및 하천수

우리나라의 지하수는 심부지하수인 암반지하수와 천부지하수인 충적층 지하수가 있으며 이러한 지하수들은 기온변화의 영향을 거의 받지 않는 것으로 조사되었다. 심부지하수인 암반지하수는 대기온도 변화에 비해 상당히 일정한 수온을 보이고 있지만 심부지하수를 이용하기 위해서는 많은 시간과 비용등이 필요하다. 비교적 수온이 안정적인 천부지하수를 사용하는 방안이 검토되어 충적층 및 하천 인근에서의 취수를 통해서 많은



[그림 1] 창원시 대산정수장 강변여과수 취수정

수량을 얻을 수 있는 장점이 있어 분석을 실시하였다. 그림 2는 부여군 부여읍 현북리 충적층 현장을 나타낸다.

### 2.3 댐내 심층수

본 댐내에 심층수란 상온의 영향을 적게 받는 일정 수심을 갖는 위치에서 취수하여 이를 에너지원으로 사용하는 것을 말한다. 댐 내의 심층수를 이용을 하기 위하여 국내 다목적댐의 일부인 부안댐, 대청댐, 충주댐, 소양강댐의 방류수의 수온 변화특성을 조사하였다. 그림 3, 4는 대청댐 댐심층수 온도 모니터링을 위하여 케이블 온도센서를 설치하여 대기온도와 댐심층수 온도 분포를

모니터링하여 분석하였다.

### 3. 수온 모니터링

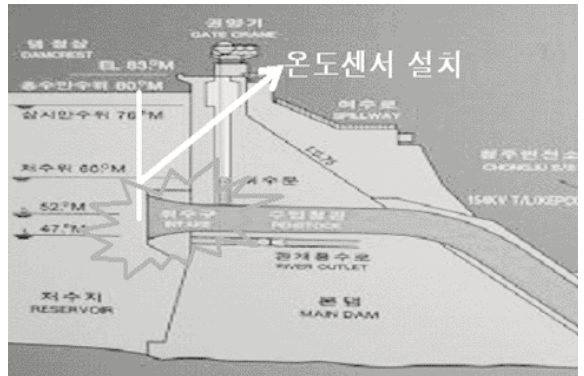
국가 지하수 관측망에서 관측된 충적층 지하수와 그 지역 일평균기온과의 온도 변화에 대해 분석을 실시하였다. 그 결과 충적층 지하수의 온도가 비교적 일정한 창원시 강변여과수, 충적층 지하수를 지열시스템에 적용하는 것이 타당하다고 사료된다. 앞서 설명한 강변여과수의 열자원을 냉난방 시스템에 활용하기 위하여 강변여과 현장과 유사한 온도 분포 특성을 보이는 충적층과 그 인근의 하천, 댐 취수탑에서 장기 모니터링을 실시



[그림 2] 부여군 부여읍 현북리 충적층 현장



[그림 3] 댐 심층수 온도 모니터링



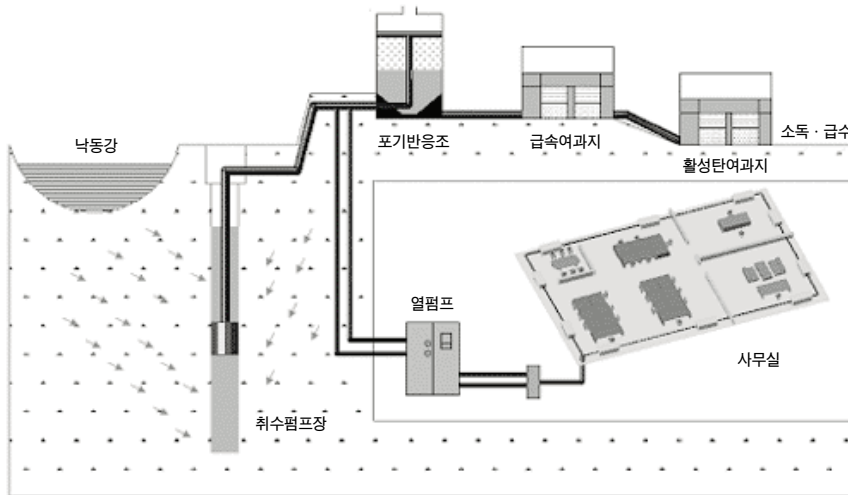
[그림 4] 댐체 취수구 모식도

〈표 1〉 건물의 냉난방부하

구분	면적 (m <sup>2</sup> )	냉방부하 (kcal/hr)	난방부하 (kcal/hr)
지하 (최력단련실)	86.4	-	11,232
1층 (소회의실)	144.0	20,160	15,840
2층 (사무실, 문서고)	144.0	20,160	15,840
	36.0	3,600	3,600
합 계	잘못된 계산식	잘못된 계산식	잘못된 계산식



[그림 19] 대산정수장 시범건물



[그림 20] 강변여과수 활용 냉난방 시스템 개념도

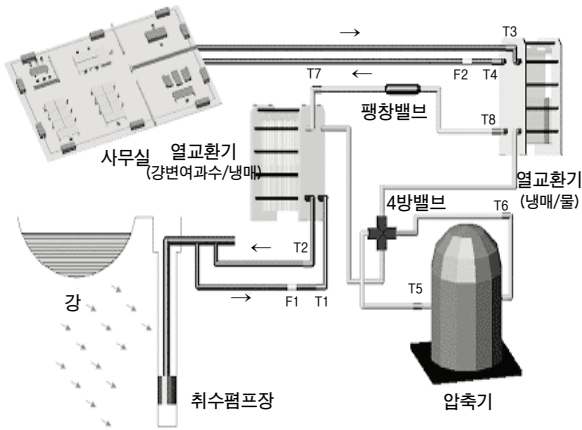
### 4.3 실험 장치 및 방법

강변여과수 활용 열펌프 냉난방시스템 시범 시설 설치 완료 후, 냉난방 시스템의 성능을 평가하기 위한 장기 모니터링을 계획하여 수행 중에 있으며, 현재 한번의 난방과 냉방에 대한 모니터링을 수행하였다.

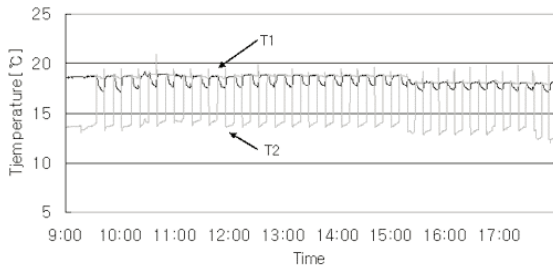
강변여과수 활용 열펌프 냉난방시스템의 성능을 분석하기 위한 전체 시스템과 계측기 설치 개략도는 그림 21에 나타내었다. 본 연구의 열펌프 시스템은 기존의 등유 보일러를 열펌프 냉난방시스템으로 교체하여 설치하였으며, 또한 기존의 실내 배관과 FCU등을 보강 및 교체하여 이용하였다.

그리고 본 시범 시설은 크게 정수장시설을 사용하는 열교환시설, 열펌프, 순환펌프 그리고 데이터 획득을 위한 시스템(T형 온도센서 유량계 전력량계)으로 구성되어 있다.

열펌프 사양은 표 2에 나타내었으며, 장기 모니터링을 위하여 설치된 계측기는 그림 21에서와 같이 T1에서 T8로 표시한 T형 열전대 8개와 원수(강변여과수) 입구와 부하 출구에 2개를 설치하였고, 전력량계는 열펌프 냉난방 시스템 전체를 담당하도록 설치하였다. 그리고 온도센서와 유량계로부터 신호를 10초 간격으로 레코더에 저장하였다.



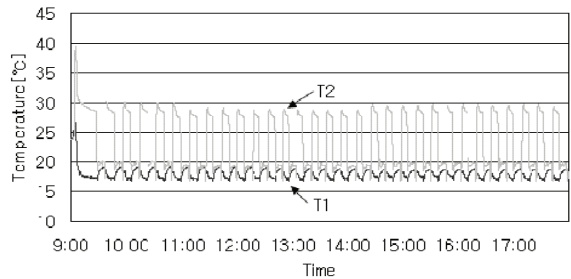
[그림 21] 시스템 온도모니터링 계측기 설치 개략도



(a) 난방(06.2.13)

<표 2> 열펌프 시스템 규격

항목		단위	제원
히트 펌프	열원종류		지열원히트펌프
	형식	열교환기	판형(Plate Type)
		압축기	스크롤(Scroll)
크기		mm	900×1300×1500(H) 이상
히트 펌프 능력	냉방	냉방능력	kcal/h 48,500(16USRT) 이상
		입력전원	kW 12.2 이상
	난방	난방능력	kcal/h 65,500 이상
		입력전원	kW 16.2 이상
3상/전압		ph,V	3ph/380V,60Hz
냉매	종류		프레온가스(R-22)
	화학성분		CHCLF2



(b) 냉방(06.8.14)

[그림 22] 강변여과수 원수와 귀환수 온도 변화

#### 4.4 실험결과 및 고찰

본 연구에서는 2월과 8월에 각각 한달씩 모니터링 하였으며, 매일 오전 9시에서 오후 6시까지 측정을 수행하였으며, 열펌프의 냉난방 운전 설정은 난방의 경우 45°C에서 50°C로 냉방의 경우 7°C에서 13°C까지로 설정하였다. 측정시간은 10초 간격으로 하였다.

현장에 설치된 강변여과수 원수의 온도와 열교환을 끝낸 강변여과수 온도분포는 그림 22에서와 같이 T1(강변여과수 열원측 열교환기 입구)와 T2(강변여과수 열원측 열교환기 출구)로 나타내었다. 그림 22(a)는 난방 운전을 실시한 2월 중 13일 하루 동안의 온도 분포를 나타낸 것으로 난방 운전시 T1의 온도는 평균 18.5°C이고 T2는

13.6°C이었다. 이결과를 보면 약 5°C의 열교환이 이루어지며 매우 양호한 것을 알 수 있다. 또한 T1의 온도분포가 열교환시 낮아지는 것은 원수 배관중 약 3m의 노출부의 영향으로 온도가 낮아지는 경향으로 보이며, 이 부분은 열선을 설치하여 동파를 방지 하였다.

그림 22(b)는 냉방 운전을 실시한 8월 중 14일 하루 동안의 자료를 정리한 것으로 T1의 평균온도 분포는 17.2°C이고, T2의 평균온도는 27°C인 것을 알 수 있다. 이 결과는 냉방 운전에서 약 10°C의 열을 강변여과수로 배출하는 것을 나타낸다. 그리고 냉방 운전이 정지되었을 때 원수와 리턴수의 온도가 높아지는 것은 개폐기가 잠김으로 인하여 배관 내에 정체되어 원수와 리턴수의 온

하였다. 그 결과 강변여과 현장과 환경이 유사한 충적층에서는 그 온도 분포 특성이 냉난방 시스템에 활용하기에 매우 유리하게 나타남을 확인할 수 있었다(안영섭 등, 2006).

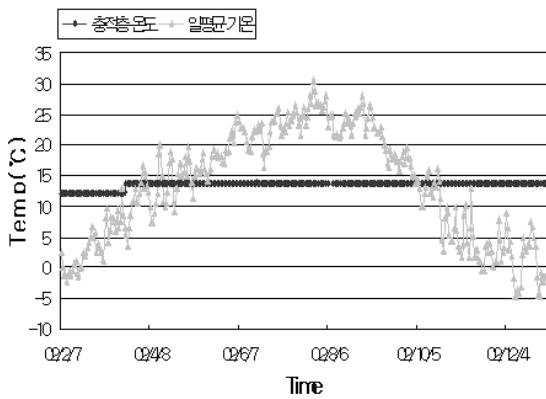
### 3.1 충적층 대상 연구지역(부여군)

천부 지하수인 충적층 지하수의 위치별 온도 분포 파악을 위하여 온도측정장치(iButton)를 이용하였다. 충적층 지하수의 수온 변화를 장기적인 관측을 위해 금강유역 중 충청남도 부여군 부여읍 현북리 충적층에 적용하였으며, 연구지역인 1지역(1~9번)과 2지역(10~15번)에 각각 간이 시추공을 설치 후 온도측정장치

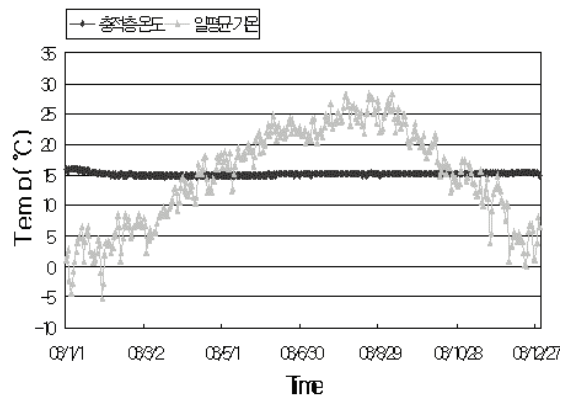
(iButton)를 매설하였다(그림 7). 본 온도측정 장치는 1지역 9곳, 2지역 7곳에 설치하였으며, 1지역은 물이 접한 충적층이 자연적으로 형성된 곳을 대상으로 심도 3m 8공과 4.5m 1개의 간이시추공을 5m간격으로 설치하였다. 2지역은 내륙측으로 심도 3m, 이격거리 8m로 하여 간이시추공을 설치하였다(그림 8).

### 3.2 온도 측정 장치(iButton) 소개

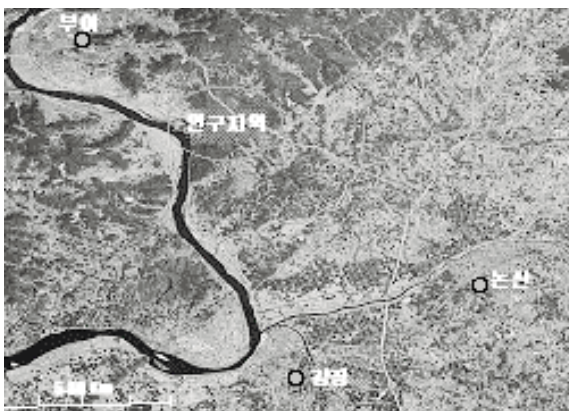
본 연구에 사용된 온도측정장치(iButton)의 특징은 온도변화에 민감한 냉동 창고나 음식물 수송차량의 내부에 변화를 쉽게 알기 위해 개발되었으며 사용자의 목적에 따라 온도측정간격을 설



[그림 5] 부여군 충적층 지하수온도와 일평균 기온



[그림 6] 창원시 충적층 지하수온도와 일평균 기온



[그림 7] 연구 지역 위치도

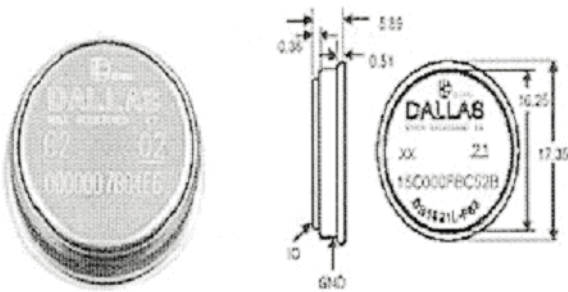


[그림 8] 간이시추공 상세설치도

정하여 원하는 장소에 온도측정장치(iButton)를 설치하여 사용한다. 장점으로는 온도측정장치(iButton)만으로 자동계측 및 무인계측이 가능하고 온도 자료 수집이 용이 하지만 온도측정범위가 제한적이다.

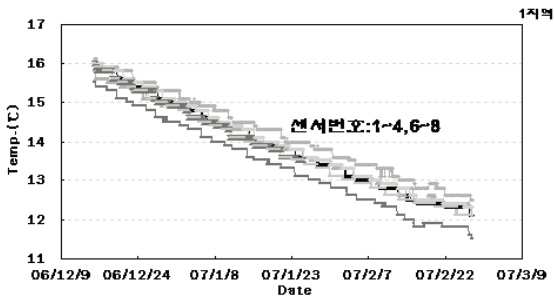
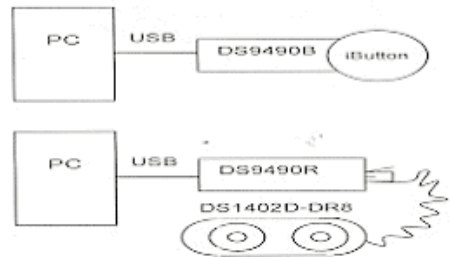
### 3.3 측정 결과

충적층 온도 측정결과 1지역에서 측정된 심도 3m 1 4센서, 6 8센서와 4.5m인 5번 센서의 온도변화 곡선이 상이(그림 10, 11)했으며, 2지역에서의 온도 변화곡선은 센서번호10~11번, 12~14번, 15번이 상이했다(그림 12). 그리고 부여시 일평균 기온(그림 13)을 비교하여 충적층 지하수가 지열시스템의 열원으로써 가능한 것으로 사료된다.

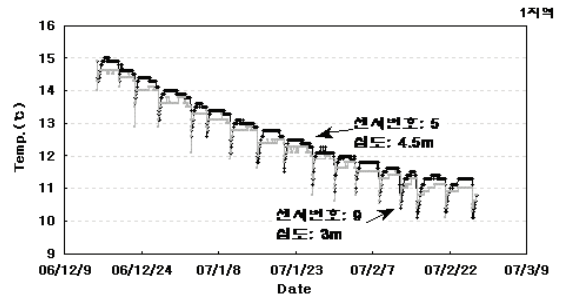


[그림 9] 측정에 사용된 온도측정장치(iButton)와 운영 계통 회로

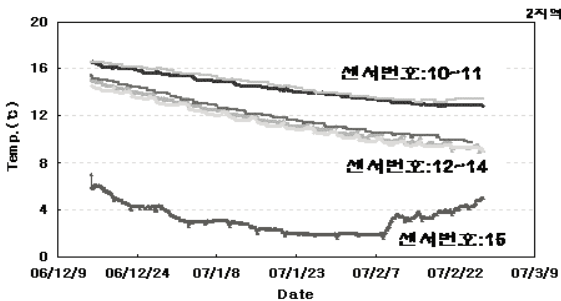
#### TYPICAL OPERATING CIRCUIT



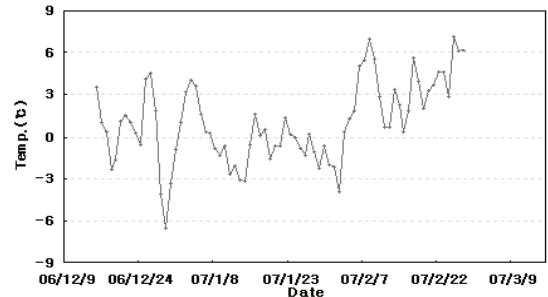
[그림 10] 측정된 온도변화(센서번호 1~4, 6~8)



[그림 11] 측정된 온도변화(센서번호 5, 9)



[그림 12] 측정된 온도변화 (센서번호 10~15번)

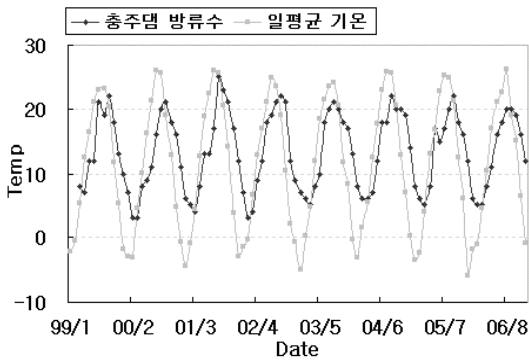


[그림 13] 일평균 기온(부여)

### 3.4 연구 대상 지역(댐 심층수)

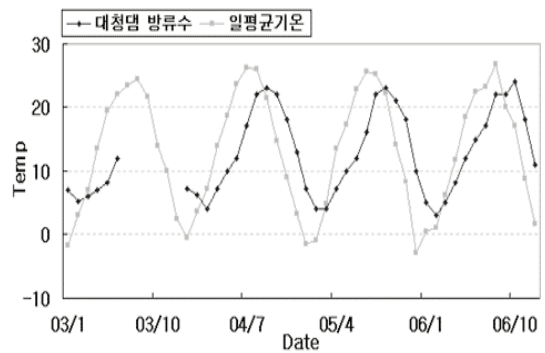
본 댐내에 저류되어 있는 심층수의 이용에 대해 검토하는 것을 목적으로 부안댐, 대청댐, 충주댐, 소양강댐의 방류수의 수온 변화특성에 대해 살펴 보았다(그림 ). 방류수 중에는 발전방류에 필요한 수량을 취수구에서 지열시스템에 직접 연결하여 사용하는 것으로 생각하여 개략적인 온도 분포 특성을 검토하였다. 연구 지역은 대청댐 취수탑으로 온도케이블 길이 50m를 적용하여 대기온도와 심층수간의 온도변화를 측정하였으며 취수구 주변의 수온 분포에 대해 iButton을 이용하여 지속적으로 측정하였다.

### 3.5 측정결과

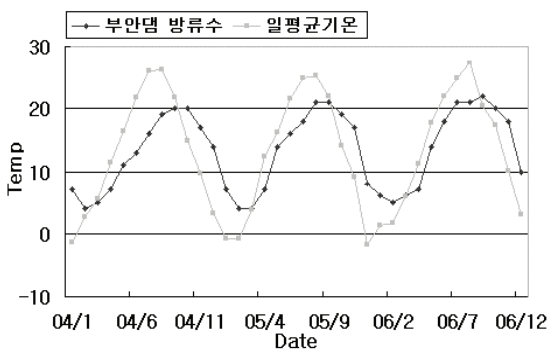


[그림 14] 부안댐 방류수 온도와 일평균 기온

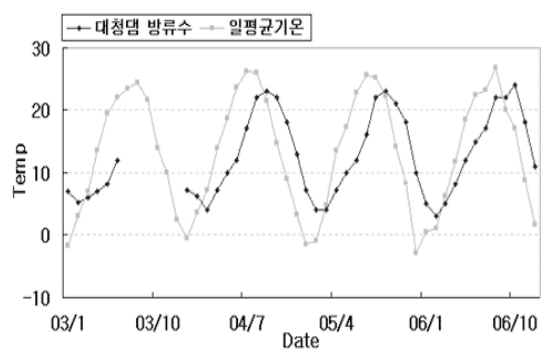
대청댐 취수구 부근의 댐 심층수 온도는 거의 일정하게 유지되고 있는 것으로 보이며 이 부근의 수온은 겨울 동안 대체적으로 약 5~10℃ 정도를 유지하고 있다. 겨울동안 심하게 변하는 대기온도보다 안정적인 온도 분포로 인하여 취수구에서의 방류수를 사용하여 지열시스템의 열원으로 사용하면 열공급 부분에서 많은 장점이 있을 것으로 판단되며 안정적인 유량을 얻을 수 있을 것으로 기대된다. 그림 18(b)는 12월 29일 06:51분의 온도 분포를 나타내고 있고, 26m지점이 수면으로 인하여 온도가 급격하게 변화된 것을 알 수 있으며, 또한 수심이 2m이상에서 온도 변화폭이 작아 이는 수열에너지로 활용이 가능할 것으로 판단된다.



[그림 15] 대청댐 방류수 온도와 일평균 기온

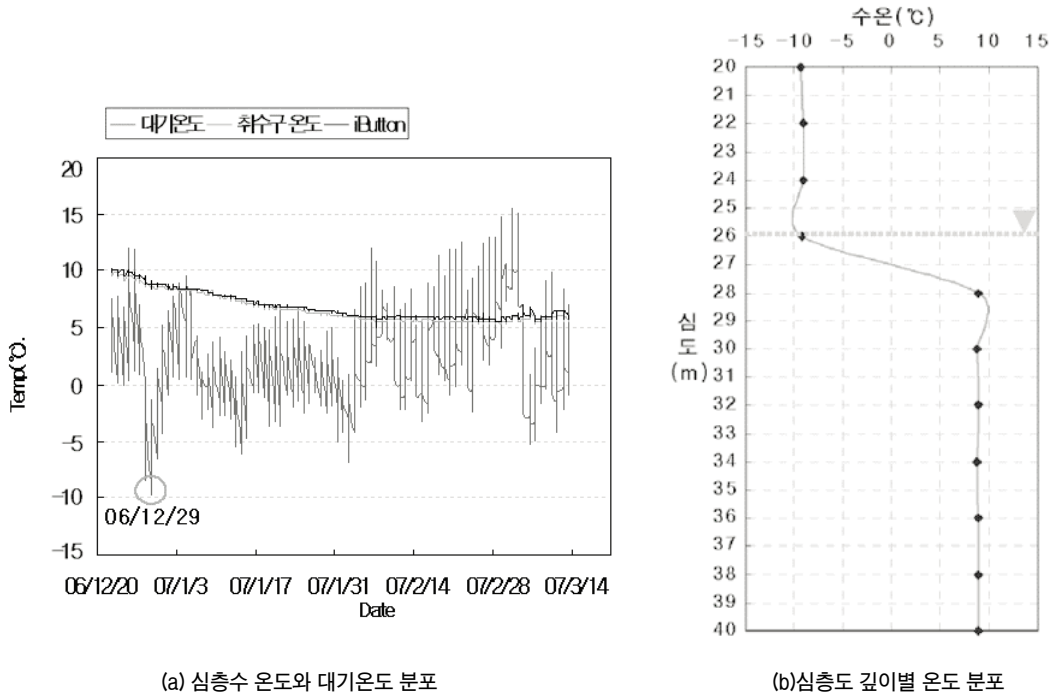


[그림 16] 충주댐 방류수 온도와 일평균 기온



[그림 17] 수양강댐 방류수 온도와 일평균 기온





(a) 심층수 온도와 대기온도 분포

(b) 심층도 깊이별 온도 분포

[그림 18] 취수구 부근에서 측정된 심층수 온도와 대기온도

#### 4. 강변여과수를 이용한 냉난방 시설 및 모니터링

##### 4.1 강변여과 시설 개요

창원시 대산면에 위치한 대산정수장은 용수확보 방안으로 낙동강 제방 제외지에 그림 1과 같은 수직 집수정을 설치하여 강변여과수를 취수하고 있으며, 총 3단계 사업중 1단계 사업이 완료되어 운영 중에 있다. 본 대산정수장의 강변여과 시설은 하루 60,000m<sup>3</sup>의 강변여과수를 취수하고 있으며, 총 24개의 취수공과 8대의 수송펌프, 11개의 가압소로 구성되었다.

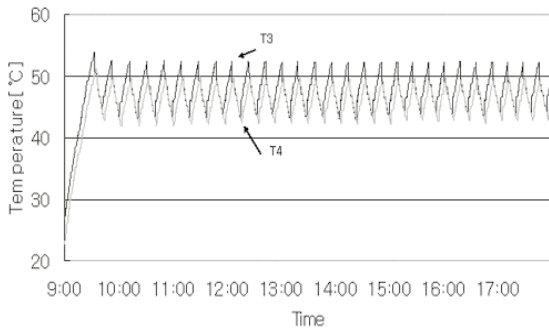
##### 4.2 강변여과 냉난방 열펌프 시스템 설계

본 연구에 적용된 지열원 열펌프 시스템(GHP : Geothermal Heat Pump)은 강변여과수를 열원으로 이용하는 개회로 시스템이며, 대산정수장에

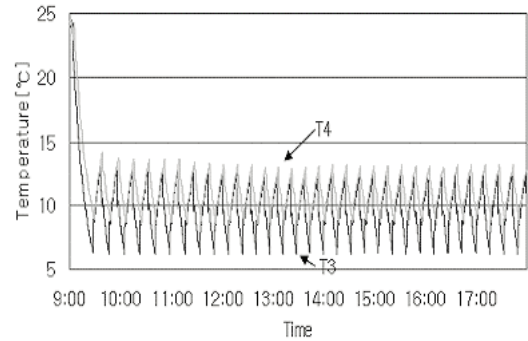
서 취수되는 강변여과수 본관에서 분기한 일부의 강변여과수를 열원으로 사용하고, 정수하여 수용가로 공급하고 있다.

본 연구의 강변여과 냉난방 열펌프 시스템은 대산정수장의 포기반응조 입구쪽의 본관에서 분기하여 원수로 사용하므로 초기 설치비를 절감하였고, 순환펌프 없이 개폐기를 설치하여 강변여과수량을 조절 할 수 있도록 하였다. 그 결과 냉난방 시스템의 운전비를 절약할 수 있었으며, 연간 온도 변화가 적은 강변여과수를 열원으로 이용하기 때문에 효율적이고, 경제적인 냉난방 시스템으로 예상된다.

본 창원시 대산정수장 강변여과수 시설 활용 시범 냉난방 시스템은 15USRT급 히트펌프 1대를 설치하여, 관리본관 내 사무실, 문서고, 체력단련실, 소회의실등을 대상으로 설계/적용하여 시범 시설을 구축하였다. 그 냉난방 부하는 아래 표 1에 나타내었다.



(a) 난방(06.2.13)



(b) 냉방(06.8.14)

[그림 23] 부하측 입출구 온도 변화

도는 외기온의 영향으로 높아지는 것을 알 수 있었다.

그림 23은 부하측 입출구의 온도분포를 나타낸 것으로, 난방과 냉방운전을 (a), (b)에 나타내었다. 그 위치는 그림 21의 T3(내부수환 냉매와 열교환된 부하측 입구)와, T4(내부수환 냉매와 열교환된 부하측 출구)를 나타낸 것으로 난방 운전의 경우 그림 23(a)에서 나타내었다. 그 공급되는 온수의 온도 분포는 약 45°C에서 52°C로 45°C에서 운전을 시작하여 52°C에서 운전을 끝내는 반복운전을 하는 것을 알 수 있다. T3과 T4의 평균 온도차는 약 2°C이며, 이것은 건물에 2°C의 열을 공급한 것을 알 수 있다. 그림 23(b)은 냉방 운전의 자료를 정리한 것으로 공급되는 냉수의 온도 분포는 약 7°C에서 13°C로 분포하는 것을 알 수 있다. 평균 온도차는 약 2°C이며, 공급 냉수 온도가 낮아서 결로현상이 발생하였다. 그 원인은 기존의 배관의 냉방 보온 미비로 인하여 발생하였다.

## 5. 결론

본 기사는 지난 2006년도 한국지열에너지학회 저널 “강변여과수 활용 냉난방 시스템 개발 및 시범시설 구축(1)”의 계속과제로써, 강변여과수를 활용한 냉난방시스템을 구축하기 위해 충적층 및 하상에서 수온모니터링을 조사분석하여 지열활

용성을 판단하고, 댐내 심층수를 분석하여 지열에너지 활용성을 판단하고, 창원시 시범시설을 구축완료후 지속적인 모니터링을 통하여 경제성평가를 하고자 하였다.

따라서, 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 부여군 충적층에서 측정된 온도 자료는 약 3~4.5m 깊이의 충적층이 일평균 기온보다 약 5~10°C정도 높은 것으로 측정되며 지열 시스템의 열원으로 이용 가능한 것으로 판단된다. 하지만 같은 심도에서 측정된 자료는 서로 상이하여 위치, 지형, 지질 조건에 영향을 받는 것으로 사료되며 지속적인 연구가 필요하다.

(2) 댐내 심층수 온도 분포 자료는 대기와 수면이 만나는 곳에서 온도 변화가 큰 것으로 보이며 수면에서 2m이내 지점까지 대기의 영향을 받는 것으로 사료된다. 댐내 심층수 사용시 수면에서 3m 이하에서 취수하면 지열원으로 안정적인 온도 확보가 가능할 것으로 판단된다.

(3) 창원시 대산정수장 지열냉난방시스템을 모니터링한 결과 계절에 따른 원수 온도 변화는 2°C 이하로 나타났고, 겨울철 온도는 동파방지를 위한 열선으로 인하여 조금 높게 나타난 것으로 사료된다.

(4) 난방시 약 5℃의 열교환이 이루어지고 있으며 약 45~50℃의 온수를 공급하였다. 또한 냉방 시에는 약 7~13℃의 냉수를 공급하였고, 약 10℃의 열을 배출하였다.

## 6. 참고문헌

1. 안영섭, 황기섭, 정우성, 김형수(2007), “지열 자원 활용을 위한 충적층 지하수 온도 분포”, 지하수도양환경학회
2. 서민우, 정우성, 김형수, 황기섭, 안영섭(2006), “강변여과수 활용 냉난방 시스템 개발 및 시범시설 구축”, 대한설비공학회
3. 김형수, 정우성, 안영섭, 황기섭(2006), “강변여과수(충적층 및 하상의 열원을 이용한 지열에너지 활용에 관한 연구”, 한국지열에너지학회
4. 정우성, 황기섭, 안영섭, “강변여과수(충적층 및 하상)를 이용한 냉난방시스템 설치 및 모니터링 연구”, 신재생에너지학회
5. 안영섭, 김진훈, 정우성, 김형수 (2006), “하천수 열원을 이용한 개발 가능한 에너지량 산정” 2006년 지하수도양학회 봄학술발표회, pp.365-368
6. 건설교통부 (2005), 지하수 조사연보, 한국수자원공사, pp.5-25
7. 한정상, 한혁상, 한찬 (2005), 지열펌프 냉난방 시스템, 도서출판 한림
8. 김형수, 서민우, 정우성, 송운호 (2005), “강변여과수(충적층 및 하상) 열자원 활용 기술 개발”, 신재생에너지학회 2005 추계학술발표대회 논문집, pp.591-594