

## 강변여과수(충적층 및 하상)를 이용한 열펌프 냉난방시스템의 실증연구

황 기 섭, 정 우 성\*, 안 영 섭\*

한국수자원공사 수자원연구원

### The Field Test of bankfiltration(including alluvial and riverbed deposits) Source Heat Pump Cooling & Heating System

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

**ABSTRACT** : Rising in important of alternative energy due to the recently high oil price and environment problem. Application of alternative energy has become higher than before. In this study, facility test of Geothermal energy to bankfiltration was examined applying changwon pumping well. Initial installation cost was efficiently saved by connecting a heat pump system to pumping well in changwon bankfiltration site.

A falling-off in efficiency of heat pump was free due to the bankfiltration that is rare for the temperature fluctuation. Therefore, Heat source as bankfiltration system solve the existing facilities problems of geothermal heat pump system.

**Key words** : Ground water(지하수), Bankfiltration (강변여과수), Heat pump(열펌프), Temperature(온도), Return water(귀환수)

#### 1. 서 론

최근 고유가와 환경문제로 인해 대체에너지에 중요성이 대두되면서 신·재생에너지 자원의 활용에 대한 관심은 그 어느때보다 높아지고 있다. 현재 우리나라의 경우 정부 기관을 중심으로 지열시스템의 보급 확대를 위하여 노력이 증가하고 있으나 기존의 시설보다 많은 초기 투자비와 외국의 지열원 히트펌프 시스템을 그대로 도입, 모방하는 것은 국내의 실정에 맞지 않는 방법이다.

따라서, 국내의 실정에 맞는 지열원 열펌프 시스템과 그 시스템의 신뢰성을 검증하는 것이 중요하나 아직 국내에서는 객관적이고 신뢰성 있는 자료가 없는 상태이다.

지열 시스템은 열펌프와 함께 사용되는 열원 종류에 따라 폐회로(closed loop) 방식과 개회로(open loop) 방식으로 크게 분류될 수 있다. 폐회로 방식은 지중 폐순환회로 내에서 일종의 작동 유체인 순환수를 순환시켜 열에너지를 추출하거나 방열하는 시스템이고, 개회로 방식은 지하수를 위시한 지중열을 이용하는 시스템이다. 현재 대부분의 지열 시스템은 폐회로 방식을 사용하고 있으나, 지하수가 풍부한 국내 여건상 지하수를 직접 이용하는 지하수 열펌프 시스템에 대한 연구가 필요한 시점이다<sup>(1)</sup>.

본 연구에서는 강변여과수 직접 사용하는 개회

†Corresponding author

Tel.: +82-42-860-0582; fax: +82-42-860-0592

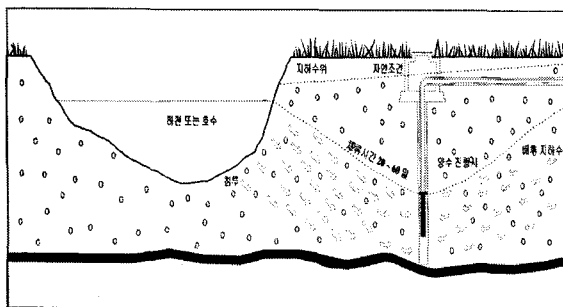
E-mail address: extermist@hanmail.net

로 방식으로 창원시 대산정수장의 강변여과수 시설 활용하여, 실증 시험을 목적으로 강변여과수를 열원으로 이용하는 열펌프 시스템을 설계/적용하여 시범 시설을 구축하였다. 이 열펌프 시스템은 창원시 대산정수장의 상수도 취수정에서 취수한 강변여과수를 본관에서 분기된 일부를 열펌프의 열원으로 활용하여 초기 설치비를 절약하였다. 그리고 연간 온도 변화가 적은 강변여과수를 열원으로 이용하기 때문에 지중열교환에 따른 지중온도 변화로 열펌프의 효율저하가 없으며, 열교환을 끝낸 순환수는 다시 정수장으로 보내져 정수가 되도록 시스템을 구성하여 수질오염을 방지하므로 기존의 지열 시스템의 문제를 해결할 수 있을 것으로 사료된다.

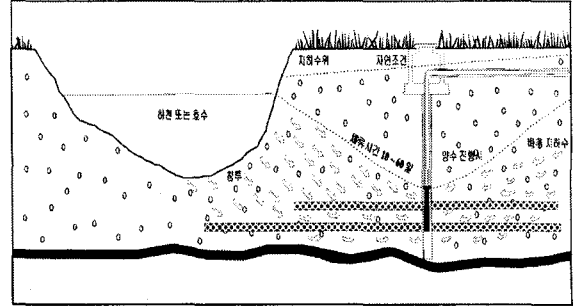
## 2. 강변여과수

대표적인 유도방식 인공함양방법인 강변여과방식(RBF, River Bank filtration)은 강변에 존재하는 대수층의 오염저감능력을 이용하는 기법으로, 하천과 인접한 곳에 양수정을 설치하여 하천과 양수정 사이에 물의 흐름을 관정방향으로 유도하는 방식을 말한다(Fig. 1.<sup>(2)</sup>).

이러한 방식은 하천 원수를 일정기간 강변의 대수층에 체류시켜 자연의 자정 능력을 이용하여 오염물질 및 독소를 제거한 후 취수하므로 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.



(a) Vertical well



(b) Horizontality will

Fig. 1 Schematic of Riverbank Filtration

현재 국내에서 수자원 공급을 위해 활용되는 대표적인 지하수 인공함양 방식인, 강변여과 방식의 유도 함양을 활용하는 지자체는 창원시 대산면 및 북면지역, 함안군 이룡, 김해시 지역이다. 또한 서울특별시와 같은 대도시에서도 대규모 강변여과 방식 간접 취수 등의 타당성 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 사용해오고 있다.<sup>(2)</sup>

이러한 측면들에서 강변여과수 방식은 자연적인 지층의 정화 능력을 활용하여, 이후의 수처리과정의 환경 위해도를 최소화하며, 대규모 하천이외의 중소규모 하천 주변의 층적층의 활용이 가능하며, 지역적으로 개발 가능성이 높고, 특히 일정한 수온 유지로 수처리 관리의 용이성 및 열자원 활용 가능성이 높다는 긍정적 요소들을 가지고 있다.

## 3. 시범 시설 및 측정 장치

### 3.1 시범 시설 대상건물

창원시 대산면에 소재한 대산정수장은 용수 확보 방안으로 총 3단계 사업 중 1단계사업으로 낙동강 제방제외지에 수직집수정을 설치하여 하루

Table 1. Cooling & Heating load of building.

구분	면적 (m <sup>2</sup> )	냉방부하 (kcal/hr)	난방부하 (kcal/hr)
지하	86.4		11,232
1층	144.0	20,160	15,840
2층	144.0	20,160	15,840
	36.0	3,600	3,600
합 계	410.4	43,920	46,512

60,000m<sup>3</sup>의 강변여과수를 취수하고 있으며, 총 24개 취수공과 8대의 수송펌프, 11개의 가압소로 구성되었다.

본 실증 연구에서는 대산정수장 관리본관 내 사무실, 문서고, 체력단련실, 소회의실등을 대상으로 지열원(강변여과수) 열펌프 시스템을 설계/적용하여 시범 시설을 구축하였다. 그 냉난방부하는 Table 1과 같다.

### 3.2. 강변여과 냉난방 시스템 설계

본 실증 연구의 대상 지열원(강변여과수) 열펌프 시스템(GHPs:Geothermal heat pumps)은 강변여과수 취수장에서 취수한 원수를 본관에서 분기하여 이를 열원으로 사용함으로써 초기 설치비를 절감하고, 연간 온도 변화가 적은 강변여과수를 열원으로 이용하기 때문에 효율적이고, 경제적인 냉난방 시스템이 될 수 있을 것으로 예상된다.

본 시스템은 강변여과수를 열원으로 직접 이용한 개방회로 시스템으로 설계되었으며, 정수장의 강변여과수 본관에서 분기된 일부 강변여과수를 열원으로 사용하고, 열교환을 끝낸 순환수는 다시 정수장으로 보내져 정수가 되도록 시스템을 구성하여 수질오염을 방지할 수 있다. 그 냉난방 시스템 개략도와 열펌프 시스템 규격은 Fig. 2와 Table. 2에 나타내었다.

에서는 2월 13일에서 18일까지 6일간 일 24시간 연속으로 난방 시험 운전을 실시하였다. 자료의 정리는 설정온도에 따라 열펌프의 작동시간만을 고려하여 정리하였다.

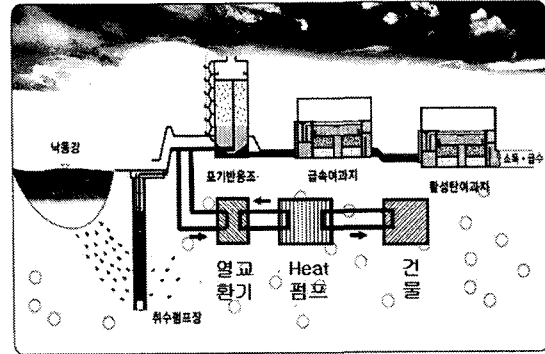


Fig. 2 Schematic of Riverbank Filtration Source Heat Pump Cooling & Heating System.

Table 2. Applied Heat pump input data.

항목		단위	설계치
히트펌프	열원종류		지열원히트펌프
	형식	열교환기	판형(Plate Type)
		압축기	스크롤(Scroll)
	크기	mm	900×1300×1500(H) 이상
히트펌프냉방	냉방능력	kcal/h	48,500(16USRT) 이상
	입력전원	kW	12.2이상
히트펌프난방	난방능력	kcal/h	65,500이상
	입력전원	kW	16.2이상
능력	3상/전압	ph,V	3ph/380V,60Hz
냉매	종류		프레온가스(R-22)
	화학생분		CHCLF <sub>2</sub>

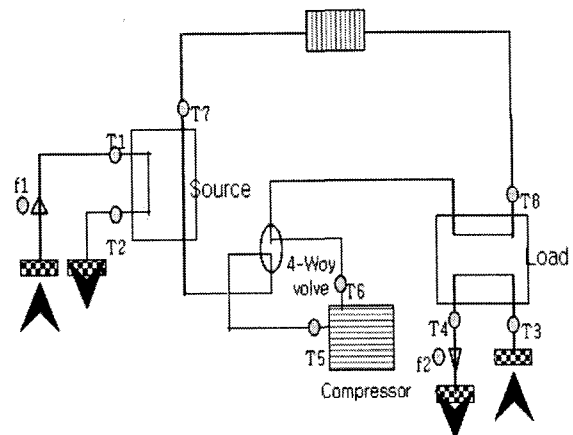


Fig. 3 Heat pump schematic piping diagram.

### 3.3. 계측장비

본 실증 연구에서는 장기 성능평가를 위해서 Fig. 3과 같이 T형 온도센서 8개, 유량계 2개, 적산 전력량계 1개를 열펌프에 설치하였고, T1에서 T4까지는 수배관으로 T1과 T2는 지중열교환기 입출구, T3과 T4는 부하측 입출구이다. 또한 T5에서 T8까지는 냉매회로로 T5와 T6은 압축기 입출구에 T7과 T8은 지중열교환기입구와 부하 열교환기 출구에 설치되었다. 그리고 유량계는 지중 열교환기 입구와 부하측 출구에 설치하였고, 실내 온도와 실외온도는 다이버를 이용하여 측정하였다. 측정은 온도센서, 유량계로부터 신호를 레코더로 받아 저장하였다.

본 실증연구 측정은 2월 13일에서 18일까지 6일간 일일 24시간 연속으로 난방 운전을 실시하였다. 열펌프의 운전은 45℃ ~ 50℃로 설정하였고, 각 온도센서와 유량계의 신호를 레코더를 이용하여 10초 간격으로 저장하였다. 그리고 자료의 정리는 열펌프 구성물 중 압축기 작동 시간(총 144시간중 약 40시간)만을 고려하였다.

## 4. 실험결과 및 고찰

### 4. 1. 실내외 온도 분포

Fig. 4는 실증연구 기간 중 실내 온도와 실외 온도를 나타낸 것이다. Fig. 4에서 보는 바와 같이 실내온도는 업무시간인 8시부터 6시까지는 약 21℃에서 25℃사이에서 실내온도가 분포하고 이후에는 FCU의 잠금 장치를 이용하여 난방을 하지 않아 실외온도의 영향을 받는 것을 알 수 있다.

### 4. 2. 열펌프 시스템의 성능

Fig. 5는 열교환기로 공급되는 강변여과수의 온도와 열교환을 끝낸 순환수의 온도변화를 나타낸 것이다. Fig. 5에서 T1(강변여과수 원수)은 약 17℃에서 19℃까지의 온도분포를 보이고 T2(열교환을 끝낸 순환수)의 온도 분포는 10℃에서 18℃까지 차이를 보이고 있다. 그 원인은 강변여과수 본관에서 열교환기까지의 약 30m 의 배관에 고여 있는 원수가 동파방지를 위해 설치한 열선에 의

하여 발생하는 것으로 사료된다.

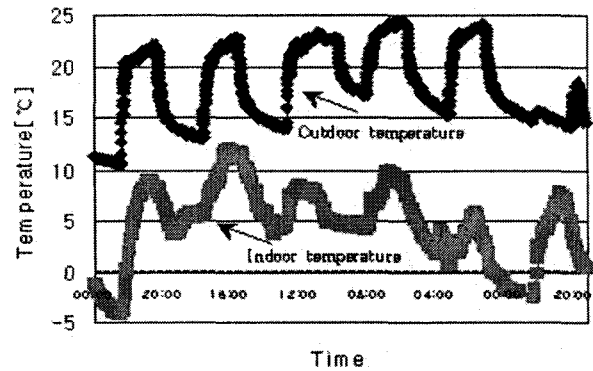


Fig. 4 Indoor and outdoor temperature

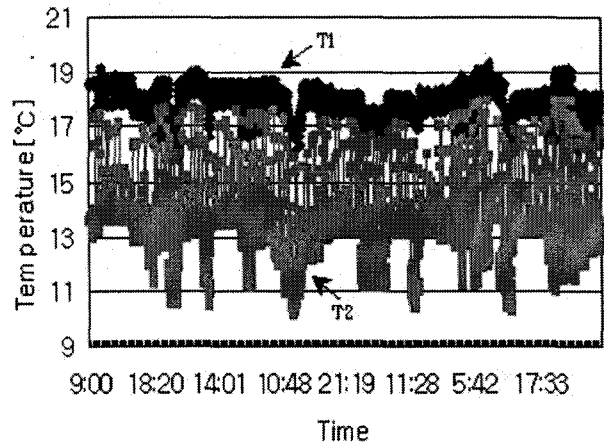


Fig. 5 Riverbank Filtration water and return water temperature

Fig. 6과 Fig. 7은 2월 13일 오전 9시부터 2월 14일 오전 9시까지 24시간의 자료를 1시간씩 평균하여 나타낸 것이다.

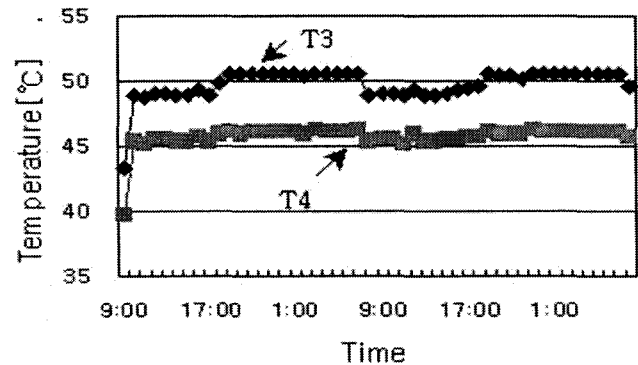


Fig. 6 Inlet and outlet Temperature of load

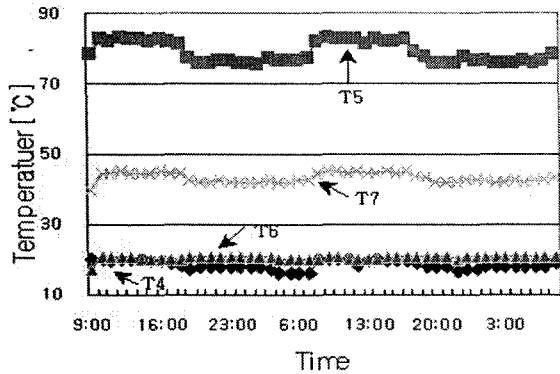


Fig. 7 Temperatuer of refrigerant

Fig. 6과 부하측 열교환기의 입출구 온도를 나타낸 것이다. 난방운전 과정 중 열펌프에서 약 50°C (T3)의 온수를 공급하여 부하측에서 열펌프로 약 45°C(T4)의 냉수로 환수되는 평균 5°C정도의 열을 부하측에 방출하고 환수되는 것을 알 수 있다. 또한 일과시간인 8시부터 18시까지는 부하사용량이 증가하는 것을 알 수 있다.

Fig. 7은 냉매의 온도 변화에 관한 것으로 각각 압축기입구(T5), 압축기 출구(T6), 지중열교환기 입구(T7), 부하측 열교환기 출구(T8)의 온도 분포를 나타내었다.

## 5. 결론

본 실증 연구에서는 대산정수장 관리본관 내 사무실, 문서고, 체력단련실, 소회의실등을 대상으로 지열원(강변여과수) 열펌프 시스템을 설계/적용하여 시범 시설을 구축하고, 장기간에 걸친 시범 시설의 열효율과 경제성 평가를 위해 2월 13일에서 18일까지 실증실험을 수행하여 시스템의 성능을 살펴보았다.

그 결과 강변여과수는 온도 변화가 작고 17°C에서 18°C를 유지하여 열효율이 좋고 수량이 풍부하다. 그리고 강변여과수 본관에서 분기된 일부 강변여과수를 열원으로 사용하여 초기 투자비를 절감하고 귀환수를 다시 정수하여 사용하므로써 환경영향을 최소화 시킬수 있었다. 강변여과수가

개발되는 곳에서 효과적이고 경제적인 냉난방 시설로 실용화 될 수 있을 것으로 기대된다.

## 후 기

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

## 참고문헌

1. 남현규, 서정아, 김영일, 신영기, 2004, “지하수 열원 열펌프 시스템 개발을 위한 지하수 온도 변화 특성 연구”, 대한설비공학회 2004년 동계 학술발표대회 논문집, pp. 439-444
2. 과학기술부, 한국수자원공사, 2004, “지속적인 지하수 개발 및 함양기술 개발, 수자원의 지속적 확보기술개발”, 1단계 최종보고서 (세부과제 3-4-1)
3. 김형수, 서민우, 정우성, 송운호, 2005, “강변여과수(층적층 및 하상) 열자원 활용 기술 개발”, 신재생에너지학회 2005 추계학술발표대회 논문집, pp.591-594
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
7. 안영섭, 김진훈, 정우성, 김형수, 2006, “하천수 열원을 이용한 개발 가능한 에너지량 산정” 2006년 지하수토양학회 봄학술발표회, pp. 365-368