

# 강변여과수(충적층 및 하상)의 열원을 이용한 지열에너지 활용에 관한 연구

김형수, 정우성, 안영섭, 황기섭

한국수자원공사 수자원연구원

## A Study on Application of The Available Geothermal Energy From Riverbank(including Alluvial and Riverbed deposits) Filtration

Hyoung-Soo Kim, Woosung Jung, Youngsub Ahn, Ki-sup Hwang

*Korea Water Resources Corporation,*

*Water Resources Research Institute, Taejeon 305-730, Korea*

**Abstract :** In this study, application of groundwater thermal energy by use of riverbank filtration(RBF) system is reviewed and checked as an energy resources. Also, the cooling and heating system using RBF was developed in Chang-Won Waterwork site to examine the feasibility in real operation of the system. We estimates the roughly overall energy obtained from RBF system if the system is used in cooling and heating. The water temperature and room temperature have been monitored to evaluate the efficiency of the system and the preliminary results show that the geothermal energy obtained by RBF could be adopted in cooling and heating energy source efficiently.

**Key words :** Geothermal energy(열에너지), Riverbank Filtration(강변여과), Alluvium(충적층), Riverbed(하상)

### 용어 설명

Toe : 석유환산톤 (Ton of oil equivalent)

RT : 냉동톤 (refrigerating ton)

RBF : 강변여과 (riverbank filtration)

### 1. 서론

세계 각국은 날로 고갈되어 가고 있는 에너지원의 다원화, 석유 비중의 경감과 대체에너지 및 지속적으로 사용가능한 에너지원 등 적극적이고 합리적인 에너지 정책을 추구하고 있는 실정이다<sup>(1)</sup>. 현재 석유 가격의 폭등과 함께 국가적으로 화석연

료 이외의 에너지에 대한 관심이 고조되고 있으며, 지열 에너지 개발도 대체 에너지의 하나로 주목을 받고 있다. 이에 정부는 대체에너지 이용에 관한 시행령을 공포하여 국가, 지방자치단체, 정부투자기관 등의 공공기관은 의무적으로 대체에너지를 활용할 것을 권고한 바 있다<sup>(2)</sup>.

태양광, 조력, 지열, 연료전지, 지열 등 11개 신재생에너지 개발 및 보급에 많은 노력을 쓰고 있는 상태이며 그 중 지열을 이용한 방법이 각광을 받고 있다. 지열 에너지 이용 냉난방 시스템은 지중열교환기 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.

지열에너지를 사용하는 방법에는 폐회로형과 개회로형으로 나누어지는데 폐회로형은 갇혀진 공간

†Corresponding author

Tel.: +82-42-860-0330; fax: +82-42-860-0592

E-mail address: hskim@kowaco.or.kr

에서 물의 순환을 통해 에너지를 사용하기 때문에 수질오염등 문제점이 생길 수 있다. 개회로형은 하천이나 호소수, 지하수를 지속적으로 사용하기 때문에 지속적으로 사용 가능한 에너지원으로 새롭게 주목을 받고 있는 방법이다.

본 연구의 목적은 지열 에너지를 개회로 방식인 강변여과수 취수와 연계 활용하여 열자원으로 개발 타당 한지를 분석하고 현재 강변여과수를 이용한 취수 현장 시설물에 시범 시설을 설치한 후, 설치된 냉난방시스템에 대한 실증 분석을 통해 이 방법을 이용한 에너지 활용 효율을 검증하는 것이다.

강변여과수(RBF) 열원을 이용한 지열에너지 활용이란 강변여과수가 대기 온도에 비해 상대적인 연중 온도 변화가 적고, 하절기에 대기 온도에 비해 더 낮은 온도를, 동절기에 대기 온도에 비해 더 높은 온도를 보인다는 특징을 활용하여 냉난방시 강변여과수를 열교환 매체로 사용함으로써 보다 효율적이며 경제적인 냉난방을 시행하는 행위를 말한다. 한편 취수 측면에서 강변여과 방식이란, 강변에 존재하는 대수층의 오염저감능력을 이용하여 지표수에 비해 수질측면에서 정수 비용이 적게드는 원수를 취수하는 기법으로, 하천과 인접한 곳에 양수정을 설치하여 하천의 물이 대수층을 통과하여 관정으로 유도된 후 취수하는 방식을 말한다(Fig. 1 참조)<sup>(3)</sup>.

따라서 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<sup>(2),(3)</sup>.

## 2. 강변여과 현장 수온 변화 조사

### 2.1 연구 지역

경남 창원시 대산면과 북면에는 강변여과 방식을 사용하여 상수원수를 취수하고 있다(Fig. 2 참조). 창원시의 강변여과수는 낙동강 수질오염 및 수질 사고 시 취약성 등을 개선하기 위해 충적층의 자체정화능력을 이용한 강변여과수를 개발하여 상수원으로서 안정성을 확보하고자 개발되었다.

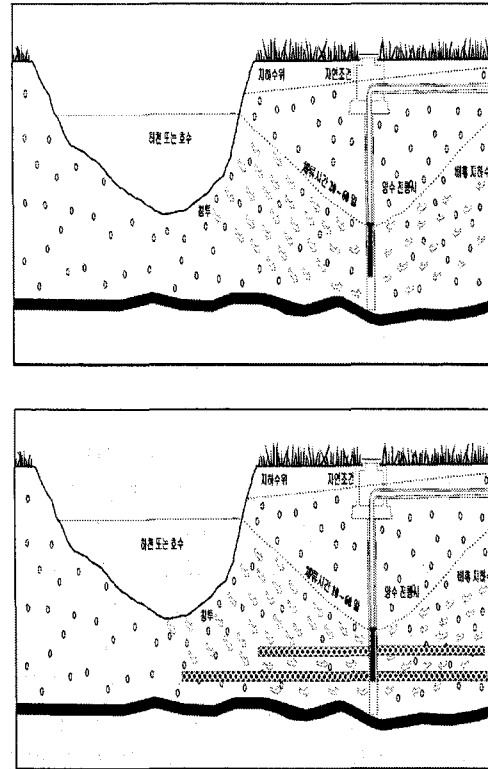


Fig. 1 Schematic of Riverbank Filtration (Vertical well, Horizontal well)

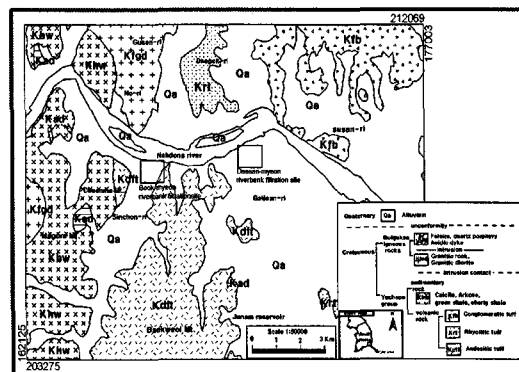


Fig. 2 Location map of study area

### 2.2 수온 측정 결과

강변여과수 개발로 충적층을 통해 유입되는 수온 변화를 알아본 결과, 유도된 강변여과 충적층 지하수는 대기의 온도변화에 영향을 거의 받지 않고 일정한 온도변화를 보이고 있음이 확인되었다.

창원시 북면과 대산면 정수장의 최종 정수원수의 온도 변화 결과는 Fig 3, Fig 4와 같다. 한편, 창원

시 북면과 대산면의 지역 일평균 기온은 Fig 5와 같다.

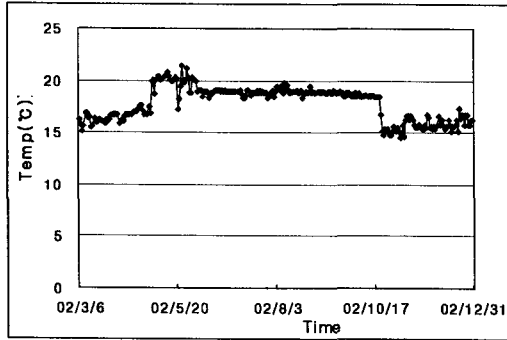


Fig. 3 Temperature variation of Buk-Myeon in Changwon

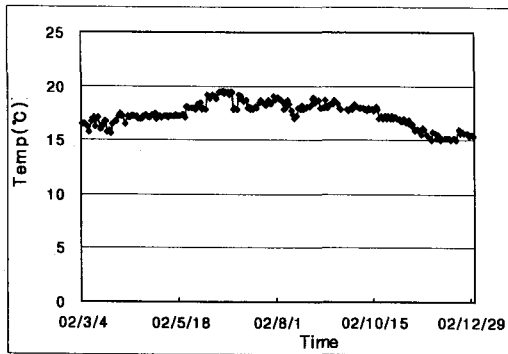


Fig. 4 Temperature variation of Deasan Myeon in Changwon

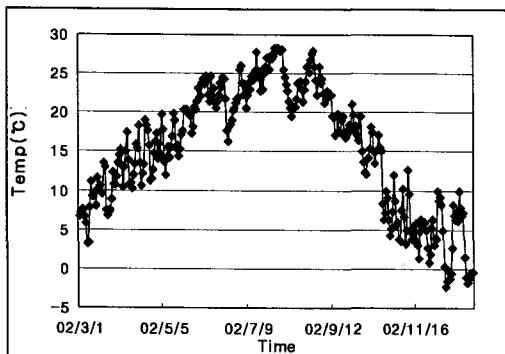


Fig. 5 Average temperature variation in Changwon City

Fig. 3은 창원시 북면에서 측정된 최종 정수 온도 자료는 계절변화에 따라 대산면 최종 정수

온도 변화에 비해 큰 온도변화를 보이고 있다. 이 지역에서 수온차 활용 냉난방 시스템 운영시 상대적으로 큰 온도변화는 대산면 강변여과 현상에서의 냉난방 시스템 운영시 보다 불리한 조건으로 작용할 것이다. Fig. 4는 창원시 대산면 지역에서 측정된 최종 정수 온도 자료는 계절적 변화에도 대체로 15 내지 20도 정도의 일정한 온도분포를 보이고 있어 수온차 냉난방 시스템을 적용하기에 적당한 것으로 판단되었다. 그러나 강변여과 방식으로, 취수 정수된 물의 온도 조건은 Fig. 5에 주어진 창원시 일평균 기온과 비교하였을 때, 물을 열교환 매체로 활용할 경우, 매우 유리할 수 있음을 강하게 시사한다.

### 2.3 층적층을 이용한 에너지량 산정

강변여과 방식 층적층 지하수를 활용한 냉난방 시스템 운영 시, 얻어지는 에너지량을 개략적으로 산정해 보았다. 창원 지역에서 개발가능량은 약 338,000m<sup>3</sup>/일로 타당성 조사시 보고되었다. 한편, 최근 들어 그 보급이 점진적으로 증가하고 있는 지열 열펌프 보급 추세는 Table 1과 같으며, 이러한 보급 효과는 지열 열펌프에 대한 효과가 검증되고 있음을 간접적으로 시사한다고 할 수 있다. 본 연구에서는 따라서, 이러한 열펌프의 열교환매체로 강변여과 층적층 지하수를 활용 시의 에너지량을 가상적으로 평가하였다.

Table. 1 국내 지열 열펌프 보급 추세 (2004 대체에너지보급통계)

항목 \ 년도	2000	2001	2002	2003	2004
총개소수	1	5	10	14	34
RT	10	88	207	670	1,768
toe/yr	-	-	122	393	1,355

층적층 지하수에 대한 장기 온도 모니터링 결과 대기온도에 비해 냉난방을 위한 열교환 시 적어도 5도에서 10도 정도의 온도 편차가 있는 것으로 평가되었으며, 개략적인 연평균 기온은 15도 내외로 산정할 수 있었다. 또한 15도의 지하수를 일일 10톤 양수할 경우의 냉난방 능력은 개략적으로 2RT

내외이므로, 이러한 냉방 능력과 창원지역의 강변여과수 개발 가능량을 고려하여 연간 생산할 수 있는 에너지를 산정하면(capacity factor 0.25가정) 연간 활용 가능한 에너지량은 개략적으로 44,000 toe에 해당되며, 이는 Table 1의 2004년 열펌프 보급에 의한 연간에너지의 30배 이상의 엄청난 값을 알 수 있다.

강변여과 증적층 지하수의 활용 가능 에너지 평가는 현재 보다 구체적인 방법으로 진행중이지만, 예비적인 개략 산정에서 알 수 있듯이 현재 취수 목적으로 수행되는 강변여과 방식을 에너지 활용 측면의 냉난방에 활용할 경우에도 매우 긍정적인 효과가 있을 것으로 사료된다. 이러한 결과는 취수와 에너지 활용을 겸한다는 장점이 있으며, 특히 냉난방을 위해 별도의 열교환 시설을 기존 취수 시설과 연계시킴으로써 수자원 활용과 에너지 저감을 동시에 이룰 수 있는 획기적인 방안으로 평가된다.

### 3. 강변여과수 열자원 활용 시스템 설계

강변여과수를 열원으로 사용하면 사계절 수온이 균등하게 유지되어 수온변화에 따른 문제가 발생되지 않으며, 홍수나 갈수기에도 수질과 수량이 안정적으로 공급할 수 있다. 본 연구에서는 강변여과수와 대기 온도 간에 온도차를 이용하는 냉난방 시스템의 타당성을 검토하기 위하여, 기존에 설치 운영되고 있는 강변여과 시설에 지열 펌프를 설치하는 냉난방 시스템 예비 설계를 실시하였다.

지열원 히트펌프 시스템(GHPs: Geothermal heat pumps)의 종류는 크게 3가지로 나눌 수 있다. 즉, 지표면에 있는 물을 이용하는 지표수 시스템(SWHP:surface-water heat pump systems), 땅속에 파이프를 묻고 내부에 유체를 순환시키는 지열 시스템(GCHP:Ground-coupled heat pump systems), 지하수를 이용하는 지하수 시스템(GWHP : Ground-water heat pump systems)으로 나눌 수 있다. 그리고 지하수 시스템(GWHP)은 직접정 시스템(SCW: Standing column well systems)으로부터 지하수를 직접 순환시키는 방식인 개방회로(open-loop)시스템이 있다.

#### 3.1 창원시 강변여과시설 개요

창원시에 위치한 강변여과시설은 용수확보 방안으로 낙동강 제방 제외지에 수직 집수정을 설치하여 상수원으로 사용하고 있으며, 총 3단계 사업 중 현재 1단계 사업이 완료되어 정상 운영 중에 있다. 본 강변여과시설은 총 24개의 취수공과 8대의 송수펌프, 11개의 가압소로 구성되어 있으며, 하루 가능 최대 공급량은 180,000 m<sup>3</sup> 이며, 현재 하루 60,000 m<sup>3</sup>의 물을 취수 및 정수하여 일반 수용으로 공급하고 있다.

#### 3.2 강변여과 냉난방 시스템 설계

지열원 히트펌프 시스템은 공기열원 히트펌프 시스템(air source heat pump)보다 에너지 소비가 적고, 열원이 공기보다 안정적이며, 대기 중에 노출되는 기기가 없으며, 사용되는 냉매의 양이 상대적으로 적다는 장점이 있다. 그러나 지중열 교환기의 매설을 포함한 전체 시스템의 초기 설치비가 기존 냉난방 설비보다 큰 것은 단점이라고 할 수 있다.

본 연구의 대상인 지열원(강변여과수) 히트펌프 시스템(GHPs:Geothermal heat pumps)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 강변여과수를 열원으로 이용하기 때문에 향후 효과적이고도 경제적인 냉난방 시스템이 될 수 있을 것으로 예상된다.

본 시스템은 강변여과수를 직접 순환시키는 방식인 개방회로 시스템으로 설계되었으며, 따라서 상수도 사업소 강변여과수 본관에서 분기된 일부 강변여과수는 냉방 시에는 열교환기에서 열이 흡수되고, 난방 시에는 반대로 흡수한 열을 열교환기에 방출하는 시스템으로 냉난방에 활용하도록 하였다. 그리고 열교환을 끝낸 순환수는 다시 정수장으로 보내져 정수가 되도록 시스템을 구성하였다.

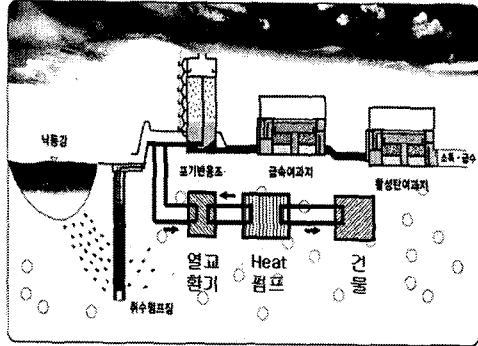


Fig. 6 Schematic of Riverbank Filtration Source Heat Pump Cooling & Heating System.

예비 시험을 위한 창원시 강변여과수 시설 활용 냉난방 시스템에는 15RT급 히트펌프 1대를 설치하여, 창원시 상수도사업소 내 체력단련실, 사무실, 문서고, 소회의실 등의 냉난방을 담당하도록 설계하였다. 냉매의 압축은 스크롤식 압축기를 사용하는 것으로 하였으며, 본 현장에 설계된 히트 펌프는 냉방시 15.0USRT, 난방시 50.5 Mcal/h의 냉난방 부하를 가지며 약 450m<sup>3</sup>의 면적의 냉난방을 담당할 수 있도록 하였다.

### 3.3. 계측장비

본 실증 연구에서는 장기 성능평가를 위해서 Fig. 7과 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 지중열교환기 입구와 부하측 출구에 설치하였고, 실내온도와 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 10초간격으로 저장하였다. 그리고 자료의 정리는 열펌프 구성물 중 압축기 작동 시간(총 144시간중 약 40시간)만을 고려하였다.

Table. 2 설치위치별 계측장비와 규격

설치 위치	번호	장비명	용량
수배관 입출구	T1-T4	온도센서(T형)	0~100℃
냉매회로	T5-T8	온도센서(T형)	0~100℃
유량계	F1-F2	터빈유량계	30~300m <sup>3</sup>

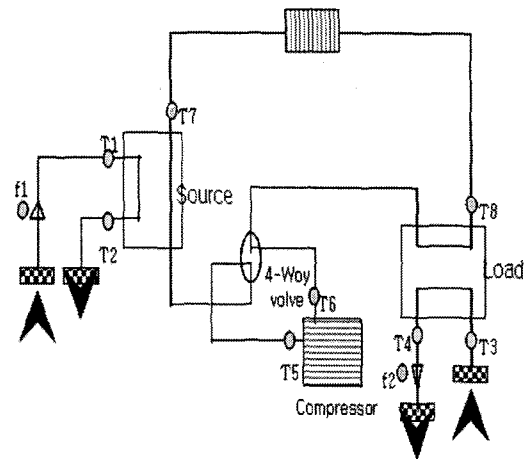


Fig. 7 Heat pump schematic piping diagram

## 4. 실험결과 및 고찰

### 4. 1. 실내의 온도 분포

Fig. 8은 실증연구 기간 중 실내 온도와 실외온도를 나타낸 것이다. Fig. 8에서 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.

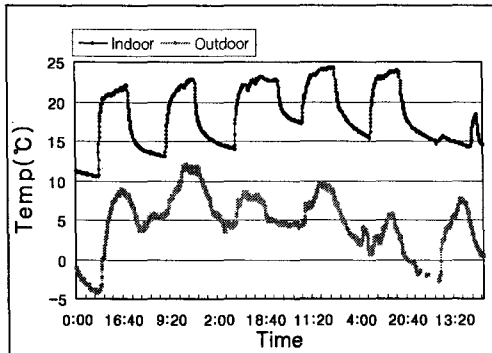


Fig. 8 Temperature variation of indoor and outdoor temperature (06.2.13 ~ 2.18)

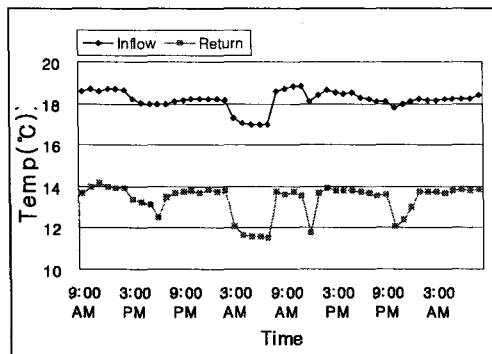


Fig. 9 Temperature variation of inflow and return water (06.2.13 ~ 2.14)

## 5. 결론 및 향후 계획

본 연구는 하천과 인접한 곳에 양수정을 설치하여 물을 취수하는 방식인 강변여과수의 열적 특성, 즉 대기에 비해 상대적으로 연중 일정한 온도 특성을 이용하여 경제적인 냉난방 시스템을 개발하고자 계획되었으며, 이를 위해 연중 층적층 지하수 온도 관측, 일평균 기온과의 비교 검토와 강변 여과수 활용 냉난방 시스템 설계 및 시범 시설 설치를 수행하였다. 또한 개략적인 강변여과수 활용 에너지 개발 가능량을 평가하였다. 현장 온도 관측을 통해 하천 인접 층적층의 온도 변화가 대기 온도에 비해 매우 안정적임을 확인하였으며, 대략적인 지열에너지 활용 가능량 산정을 통해 강변여과수가 향후 냉난방 시스템 큰 기여를 할 잠재적인 에너지원임을 확인하였다. 또한 강변여과수 활용 냉난방 시스템의 실제 적용 가능성을 검증하기 위하여, 현재 운영 중인 강변여과 취수 시설에 연계 냉난방 시스템에 다양한 정량 계측을 통해 장기적

운영시 얻을 수 있는 경제성을 정량 평가할 예정이다.

## 사 사

본 연구는 산업자원부 에너지자원기술개발 사업의 일환으로, 한국지질자원연구원에서 주관하는 “지하열자원 부존 활용 정보 시스템 구축” 과제 중 한국수자원공사에 의해 수행되는 “강변여과수(층적층 및 하상)열 자원 활용기술” 세부과제이다. 이에 연구비를 지원해준 산업자원부(에너지관리공단)에 감사드린다.

## 참고문헌

- [1] 안영섭, 김진훈, 정우성, 김형수, 2006, 하천수 열원을 이용한 개발가능한 에너지량 산정, 지하수도양환경학회 2006 춘계학술발표대회 논문집, pp.365-368
- [2] 김형수, 서민우, 정우성, 송윤호, 2005, 강변여과수(층적층 및 하상) 열자원 활용 기술, 신재생에너지학회 2005 추계학술발표대회 논문집, pp.591-595
- [3] 김형수등 2004, “지속가능한 지하수 개발 및 함양기술개발” 보고서, 한국수자원공사 연구보고서 KIWE-GG-04-1, 21세기 프론티어 연구개발사업 “수자원의 지속적 확보기술개발”세부과제(3-4-1) 1단계 최종보고서