

## 강변여과수와 천부 지하수를 이용하는 지하수 열펌프시스템의 적정유량

한정상<sup>1\*</sup> · 한혁상<sup>1</sup> · 한찬<sup>2</sup> · 전재수<sup>3</sup> · 김형수<sup>4</sup>

<sup>1</sup>(주)씨엔이, <sup>2</sup>(주)유신코퍼레이션, <sup>3</sup>(주)한서엔지니어링, <sup>4</sup>한국수자원공사

## Optimum Pumping Rates of Ground-Water Heat Pump System Using Groundwater or Bank Infiltrated Water

Jeongsang Hahn<sup>1\*</sup>, Hyuk Sang Han<sup>1</sup>, Chan Hahn<sup>2</sup>, Jae Soo Jeon<sup>3</sup> and Hyong Soo Kim<sup>4</sup>

<sup>1</sup>CNE Inc., <sup>2</sup>Yoo Sin Corporation Ltd., <sup>3</sup>Hans Engineering Co.,Ltd., <sup>4</sup>KOWACO

The groundwater heat pump system(GWHP) is one of the most efficient ground source heat pump system(GSHP) which uses low grade and shallow geothermal energy for cooling and heating purpose. The GWHP system shall be designed properly based on peak block load performance and optimum pumping rate of groundwater comparable to ground coupled heat pump system(GCHP). The optimum pumping rate depends on groundwater temperature at a specific site, size of plate heat exchanger, and total head loss occurred by whole system comprising pumps and pipings. The required optimum flow rates of the system per RT are ranged from 3.8 to 9.8lpm being less than the typical building loop flow of 9.5 to 11.4lpm.

**Key words :** RT, GWHP, GSHP, GCHP, Total system

지하수열펌프시스템(GWHP)은 지열열펌프시스템(GSHP)가운데 성능이 가장 우수하며 저온의 천부지하수를 이용하는 시스템이다. GWHP시스템은 지중연결 열펌프시스템(GCHP)에 비해 최대 블록부하와 전 시스템 성능에 부합되는 지하수유량을 기준으로 하여 설계를 하며 최적 지하수유량은 해당지역의 지하수온도, 판형열교환기의 규격과 전체 펌프와 배관류의 전 양정고에 따라 결정한다. 대체적으로 전형적인 빌딩루프순환수의 필요유량은 1RT당 9.5~11.4lpm 정도인데 비해 GWHP시스템이 필요로 하는 최적 지하수유량은 이보다 훨씬 적은 3.8~9.5lpm정도이다.

**주요어 :** 냉동톤, 지하수열펌프, 지열열펌프, 지중연결지열펌프, 전 시스템성능

### 1. 서 언

최근 미국 텍사스 중질유(WTI)의 선물가격은 연일 기록을 경신하여 10월중순에 배럴당 86\$을 상회하였고 중동산 두바이유의 현물가격도 연초 50\$에서 현재 90\$까지 상승한바 있다. 일부 에너지 전문가들은 세계 에너지 시장이 1970년대의 오일쇼크에 견줄만한 이른바 슈퍼스파이크 초기국면에 진입했기 때문에 국제 유가는 머지 않아 배럴당 100\$에 이를 것이며 상당기간 현재와 같은 고유가 추세가 지속될 것으로 예측하고 있다.

그런데 석유는 앞으로 약 40년, 가스는 약 60년, 석

탄은 약 150~200년이면 고갈될 것이라고 한다. 따라서 에너지를 거의 전량 해외에서 수입하는 우리나라는 현재와 같이 예측 불허한 국제 유가변동과 상승한 화석연료의 고갈 및 기후변화 협약에 따른 국제 환경규제 강화에 적절히 대처하기 위해 에너지 저소비형 산업구조로 경제체질을 전환해야 함은 물론 청정 및 환경친화적이며 에너지 절약형인 재생에너지의 개발보급을 국가적인 최우선 정책으로 다루어야 할 때이다.

이미 유럽제국은 1970년대 두차례의 오일쇼크를 거치면서 재생에너지를 지속적으로 개발하여 현재 그 이용률은 전체 에너지의 7%(프랑스)에서 23%(핀란드)에 이르는 고효율 저소비형에너지 선진국으로 변신하였으

\*Corresponding author: geohans@chol.com

나 우리나라의 재생에너지 이용률은 고작 2.3%수준이다.

현재 국내에서 냉난방에너지 이용량은 전체에너지 이용량의 약 20% 수준이다. 국내 가용한 신재생에너지원 가운데 국내 어디서나 저렴하게 개발가능하며 개발보급에 가장 양호한 조건을 구비하고 있는 분야는 우리 발밑에 부존되어 있는 지하수가 보유한 열과 천부지중열(5~400 m이내)이다.

2005년말 국내에서 개발이용하고 있는 지하수량은 연간 약 37.2억m<sup>3</sup>정도이며, 연평균 지하수의 수온은 14~16°C이다. 만일 지하수를 각종 용수로 이용하기 전에 지하수가 보유하고 있는 열가운데 약 4~5°C만 추출해서 사전에 냉난방 열에너지원으로 활용하더라도 당초의 용수이용에는 전혀 문제가 없다. 이 경우에 추가로 개발 이용할 수 있는 천부열 에너지량은 약 2.5~3 백만kW에 이른다(Hahn *et al.*, 2006).

특히 지하수열과 천부지중열을 열에너지원으로 이용하는 냉난방시스템은 국산화 비율이 80%정도 이상이기 때문에 11개 신재생 에너지 가운데 가장 비용-경제적으로 개발 이용이 가능하고 널리 활용되고 있는 분야이다.

따라서 정부는 지금부터라도 손쉽게 개발할 수 있는 지하수를 위시한 천부지중열을 이용한 재생에너지 개발 이용보급을 극대화하여 급변하는 국제 유가변동과 국제 환경 규제에 대처할 은 물론 열에너지의 안정적인 공급과 에너지 절약을 도모할 필요가 있다

## 2. 지하수를 열원으로 이용하는 지하수 열펌프시스템

소규모 가정용 열펌프시스템을 부적절하게 설계했거나 제어했을 때의 지하수 열펌프시스템(Ground Water Heat Pump System, GWHP)은 지하수를 양수하는데 상당한 비용이 소요되는 것으로 알려져 왔다. 그러나 대규모 상업용 GWHP시스템의 전반적인 펌프효율은 매우 양호하여 1RT당 필요한 지하수유량은 빌딩순환수의 필요유량인 11.34lpm(3gpm)보다는 훨씬 소량일 뿐만 아니라 펌프의 양정고 또한 가정용 GWHP에 비해 적다. 상기 요인들은 결국 GWHP시스템의 양수비를 획기적으로 절감시킬 수 있는 요소들이다. 실제로 지하수 열펌프시스템은 지중연결 열펌프시스템(수직회로형)에 비해 성능면이나 운영면에서 훨씬 양호하고 비용이 경제적이다(Hahn *et al.*, 2005).

GWHP설계시 고려해야할 사항으로는 지하수를 양수 및 주입하기 위해 사용하는 지하수펌프(우물펌프, well

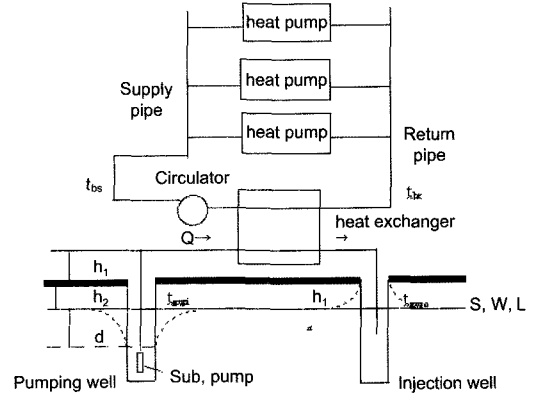


Fig. 1. Schematic diagram of groundwater heat pump system connected to plate heat exchanger between groundwater loop and building loop.

pump)와 열펌프(heat pump) 및 빌딩 순환회로에 연결된 빌딩 순환수 펌프의 규격이다. GWHP시스템의 성능에 영향을 주는 이들 3가지 펌프시스템 사이의 유기적인 관계를 면밀히 파악해두면 냉난방에너지 운영비를 최소화시킬 수 있다.

본고는 50RT이상 규모의 상업용 GWHP시스템을 설계할 경우 사용하는 펌프시설들의 최적설계방안에 대해 중점적으로 다루고자 한다. 특히 대규모 빌딩은 기후조건에 관계없이 냉방부하가 지배적이기 때문에 냉방부하를 기준으로 해서 GWHP시스템의 성능을 알아보고자 한다. 상업용 GWHP시스템은 일반 판형열교환기를 이용하여 지하수 순환회로와 빌딩 순환회로를 서로 격리 시킨 경우이다(Fig. 1). 소규모 가정용 열펌프 시스템과 상업용 GWHP시스템의 차이점은 지하수를 열펌프시스템의 열공급원(heat source)과 배출원(heat sink)으로 직접 이용하지 않고 판형열교환기를 통해 간접적으로 지하수열을 이용한다는 점이다.(Kavanaugh and Rafferty, 1997, Hahn *et al.*, 2005).

## 3. 우물펌프의 수두와 소요동력

### 3.1. 우물펌프의 수두

GWHP시스템의 전체 수두손실은 지하수를 양수할 때의 양정고( $h_1+h_2+d$ )와 주입에 필요한 주입압 또는 주입수두( $h_{in}$ )와 지표배관의 수두손실(surface requirement)로 이루어져 있다. 물론 전체 수두손실은 계산할 때는 배관과 각종 이음관에서 발생하는 수두손실을 가산해야 하지만 이들 수두손실은 상술한 3가지 수두손실에 비해 그리 크지 않다.

**Table 1.** Total head losses of all piping system(Q=1.1 m<sup>3</sup>/min).

	Type	Size(mm)	Qty	Head loss(m)	Remarks
Well head	Elbows	150	3ea	0.07	
	Butterfly valve	150	1ea	0.015	
	Check valve	150	1ea	0.09	
Piping to B/D	PVC pipe, Class 160	150	91m	0.73	
Mechanical room	Elbow	150	12ea	0.3	44% of total head loss
	Heat exchanger	0.5 kg/cm <sup>2</sup>	1ea	3.5	
	Butterfly valve	150	2ea	0.03	
Piping to Injection well	PVC pipe, Class 160	150	120m	1.0	
	Elbows	150	4ea	0.09	
	Pressue valve	0.21 kg/cm <sup>2</sup>	1ea	2.1	
Total surface loss				7.93 m	

대다수의 우물에서 지하수를 연속적으로 양수하면 지하수위는 자연수위에서 동수위(d, 動水位)까지 하강하게 되고, 이 때문에 대수층 내에 저장되어 있던 지하수가 우물로 이동하게 된다. 즉 지하수 이동의 기동력이 된다. 동수위는 지하수 양수율에 따라 좌우되며 통상 양수율이 증가하면 동수위는 더욱 커진다. 여기서 지표면과 동수위 사이의 수직고(高)를 우물펌프수두(well pump head) 또는 양정고(lift)라 한다. 우물의 심도와 자연수위하에 설치되어 있는 펌프의 설치심도는 펌프수두와는 무관하다.

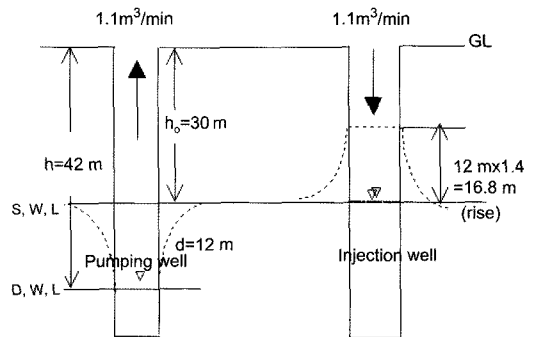
Fig. 2와 같이 자연수위가 지표하 30 m(h<sub>0</sub>)지점에 분포되어 있는 대수층에서 분당 1.1 m<sup>3</sup>의 양수율로 지하수를 채수할 때 순수 수위강하(d)가 12 m이면 (h<sub>1</sub>=0 m일때) 총 양정고는 42 m가 된다.

지표배관의 수도손실은 빌딩내에 설치되어 있는 배관의 수도손실과 열교환기의 수도손실과 각종 이음관과 부속품에서 발생하는 수도손실을 합한 값이다. 지금 양수정에서 빌딩까지의 거리는 91 m, 빌딩에서 주입정까지의 거리가 120 m이고, 관내유량은 전술한 바와 같이 1.1 m<sup>3</sup>/분일때 지표배관 수도손실을 약산하면 약 7.93 m이다(Table 1).

수도손실이 가장 크게 발생하는 부위는 판형열교환기로써 대체적으로 1개 판형 열교환기당 수도손실은 3.5~8.5m 정도이다.

본 사례는 지하수 배출관로에서 발생하는 +수압을 유지시켜 주기위해 압력 유지용 밸브를 사용한 경우이다.

지하수가 보유한 열을 판형 열교환기에서 열교환시킨 후, 사용한 지하수를 주입정으로 다시 동일 대수층으로 주입시킬 경우에는 추가적인 주입압(수두압)은 필요치 않다. 대체적으로 규제기관들은 양수한 지하수를 동일 대수층으로 다시 주입하도록 규정하고 있어 양수정의 성능만으로도 주입정의 잠재적인 성능을 충족시킬 수 있다.



**Fig. 2.** Hydraulic heads at pumping and injection well.

이론적으로 양수한 지하수를 동일 대수층으로 주입할 때 소요되는 주입압은 양수정에서의 수위강하(d)에 해당하는 수두압만 있으면 된다. 이 때 양수정과 주입정사이의 수리적인 관계는 영상정(image well)의 이론을 적용하여 규명할 수 있다(Hahn, 1983). 위 사례의 경우 양수정에서 1.1 m<sup>3</sup>/분의 양수율로 지하수를 채수할 때 총양정고는 Fig.2와 같이 42 m(자연수위+수위강하)이다. 지금 주입정과 양수정이 동일 대수층에 설치되어 있고 2개 우물에서 자연수위가 모두 지표하 30 m 하부에 분포되어 있다면 주입정에서 필요한 주입압은 약 18 m(30-12 m)에 해당하는 수두압이 된다. 그러나 실제 주입압은 대수층과 주입정에서 발생하는 수도손실, 우물설계의 적정성 및 지하수의 수질 등에 따라 달라진다. 즉 최적우물설계에 의거하여 우물을 설치하고, 지하수의 수질이 양호한 경우에 주입정에 적용할 수 있는 적정 주입압은 양수정에서 발생한 수도손실(수위강하)보다 약 20% 더 커야하며, 부적절한 우물설계에 의거 설치한 우물의 경우(우물 효율이 낮은 경우)에 필요한 주입압은 실수위강하 수도손실압보다 약 60% 이상 커야 한다.

위 사례의 경우와 같이 1.1 m<sup>3</sup>/분의 양수율로 지하

수를 양수하여 지하수의 열에너지를 이용한 다음, 주입정을 통해 1.1m<sup>3</sup>/분의 율로 지하수를 동일대수층에 다시 재주입할 때 필요한 주입압은 다음과 같다(단 주입압은 실수위 강하량에 약40% [(20+60)/2]를 가산)

- 양수정에서의 실수위 강하 : 12 m
- 주입정에서 필요한 주입압 : 12 m×1.4=16.8 m
- 주입정의 자연수위 : 지표하 30 m
- 주입정에서 주입지하수의 지표면하 수위 : 30 m-16.8=13.2 m

위의 계산에서 제시된 바와 같이 주입정에서 주입수의 수위(주입압)는 여전히 지표면하 13.2 m에 분포되어 있기 때문에 주입을 위해 별도의 주입압을 추가하지 않아도 된다. 즉 1.1 m<sup>3</sup>/분의 율로 지하수를 양수하여 인근 주입정으로 재주입하는 경우에 필요한 총 주입압은 다음과 같이 약 49.93 m이다.

- 양수정에서 총양정고 : 42 m(30+12)
- 지표수 배관에서 마찰수두손실 : 7.93 m
- 주입압(수두) : 0 m
- 계 : 49.93 m

### 3.2. 우물펌프의 소요동력

우물펌프가 필요로 하는 동력은 유량, 수두 및 펌프 효율에 따라 좌우된다. 유량이 0.4~3.8 m<sup>3</sup>/분 정도되는 수직 터빈펌프의 최대 효율은 77~80%정도이며 모터의 효율은 규격별로 차이가 있으나 대체적으로 5마력 규모가 75%정도이고 75마력규모는 85%정도이다. 그러나 국산 수중모터펌프의 전체 효율은 대체적으로 40~50% 미만이다(한국물가정보, 2005). 이들 범위로 부터 평균효율을 계산해보면 우물펌프와 모터의 전체 효율은 63%정도 된다.

상기 값(63%)를 토대로 해서 지하수유량과 펌프 양정고에 따른 GWHP시스템에 사용할 수 있는 우물펌프의 소요 동력을 계산하면 Fig. 3과 같이 된다.

지하수유량과 펌프양정이 클 때에는 우물펌프의 소요 동력도 증가한다. 즉 COP<sub>g</sub>가 3.76(EER=15)로 운전되는 일반 수원(水源, 일명 물원)열펌프는 1RT당 약 800watt의 전력이 필요하다. 그런데 Fig. 3의 Ref. 3에 제시한 바와 같이 지하수유량이 11.45lpm 이고 펌프의 총양정고가 120m인 지하수 열펌프시스템이 사용하는 우물펌프는 1RT당 약 372watt의 전력이 필요한 것으로 계산되어 Fig.3의 내용과 동일하다. 이는 전술한 일반 수원 열펌프 소요 동력의 46%정도 밖에 되지

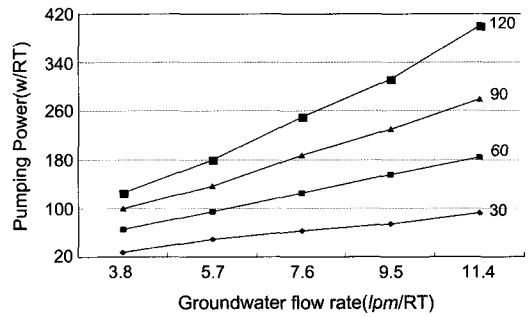


Fig. 3. Relation between required electric power(watt/RT) and groundwater flow rate (lpm/RT) via several pumping heads(efficiency: pump; 75%, motor; 80%)

#### Ref. 1)

At flow rate of 7.56lpm/RT, 150 RT can cover flow rate of 1134lpm

At total head of 60m, required motor pump's power(kW);  $0.746 \times 2.2 \times 10^{-4} \times (1134 \times 60) / (0.75 \times 0.8) = 19 \text{ kW}$

So electric watt per RT;  $19,000 / 150 = 126 \text{ watt/RT}$

#### Ref. 2)

At flow rate of 9.45lpm/RT, 120 RT can cover flow rate of 1134lpm

At total head of 90m, required motor pump's power(kW);  $0.746 \times 2.2 \times 10^{-4} \times (1134 \times 90) / (0.75 \times 0.8) = 28 \text{ kW}$

So electric watt per RT;  $28,000 / 120 = 234 \text{ watt/RT}$

#### Ref. 3)

At flow rate of 11.34lpm/RT, 100 RT is needed for flow rate of 1134lpm

At total head of 120m, required motor pump's power(kW);  $0.746 \times 2.2 \times 10^{-4} \times (1134 \times 120) / (0.75 \times 0.8) = 37.2 \text{ kW}$

So electric watt per RT;  $37,200 / 100 = 372 \text{ watt/RT}$

않는다.

따라서 우물펌프의 과도한 소요 동력을 방지하기 위해서는 단순히 지열펌프시스템의 성능보다는 전체 시스템의 성능을 토대로 해서 지하수 열펌프시스템을 설계해야 한다.

## 4. 지하수의 최적유량(Optimum pumping rate)

우물펌프, 빌딩 순환펌프와 열펌프들이 소비하는 전력이 최소가 되도록 설계하면 지하수 열펌프시스템을 최적 상태로 운전할 수 있다. 빌딩루프의 유량이 정해지면 열펌프의 성능은 빌딩 루프순환수의 온도에 따라 결정되며 순차적으로 루프온도는 지하수유량 또는 판형 열교환기 설계온도에 따라 좌우된다.

대다수의 GWHP시스템을 최적으로 설계했을 때 필요한 지하수유량은 빌딩루프의 유량보다는 훨씬 적은

량이다.

이와 같은 조건하에서 판형 열교환기는 접근온도(열 펌프로부터 환수되어 열교환기로 유입 되는 입구온도(entrance temperature)와 방류지하수의 온도사이의 차이)가 1.5°C정도일 때 가장 경제적으로 설계할 수 있다(Hahn *et al.*, 2005). 냉방형식일 때 지하수의 수온이 일정하고 판형 열교환기의 접근온도가 일정한 경우에 지하수유량이 증가하면 빌딩 루프온도는 하강하고 수원 열펌프의 냉방성적계수는 상승한다. 예를 들어 COP<sub>c</sub>가 3.57이고 열교환기의 접근온도가 1.5°C이며 지하수의 수온이 15.6°C인 ARI 330의 지원연결 수원 열펌프(gs/c)를 사용하는 경우에, COP<sub>c</sub>가 3.78(EER=15)인 수원열펌프가 필요로 하는 지하수유량은 1RT 당 3lpm 정도 되고, COP<sub>c</sub>가 4.03(EER=16)인 수원열 펌프는 3.44lpm 정도 되며, COP<sub>c</sub>가 4.28(EER=17)인 수원열 펌프는 3.96lpm 정도 된다(Lohrenz *et al.*, 2006). 따라서 필요유량과 시스템의 성적계수사이의 관계곡선(Fig. 4~Fig. 8)에서 나타난 바와 같이 특정지점에서는 열펌프의 성능향상은 우물펌프의 소요 동력에 따라 조절되며 결과적으로 시스템의 최대 소요 동력에 대한 최적 지하수유량은 해당지역의 조건에 따라 달라진다.

빌딩루프의 순환펌프가 소비하는 동력 또한 최적 유량을 계산할 때 반드시 고려해야 한다. 루프펌프가 필요로 하는 에너지는 빌딩루프의 유량과 시스템의 수도 손실에 따라 좌우된다. 최근에 제시된 지원 열펌프시스템에 대한 설계지침에 의하면 루프의 양수동력이 1RT당 75watt이하이면 A등급(양호)으로, 75~100watt/RT이면 C등급(보통)으로, 100watt이상이면 D 및 F급(불량)으로 규정하고 있다(Hahn *et al.*, 2005).

이 기준은 상업용 지중연결 폐회로시스템(GCHP)에 적용하기 위해 개발된 것이긴 하나 지하수 열펌프시스템에 적용해도 무방하다. 상술한 2가지 설계기준사이의 가장 큰 차이점은 지중 루프 대신에 판형 열교환기를 사용하는 점이다.

75RT이하의 소규모 시스템의 경우 판형 열교환기에서 발생하는 수도손실은 지중루프시스템에서 발생하는 수도손실 보다 일반적으로 크다. 그러나 대규모 시스템에서는 지하수열펌프시스템과 GCHP 시스템에서 발생하는 수도손실은 유사하다. 특히 전술한 바와 같이 판형 열교환기에서의 수도손실은 총 수도손실의 40~44%정도이므로 지하수 열펌프시스템과 지중연결 열펌프시스템에서 루프 순환에너지 차이는 약 ±10%에 이른다. 환원하면 COP<sub>c</sub>가 3.28이고 루프순환수의 부하가 75watt/RT인 시스템에서는 그 차이가 ±1%정도 된다.

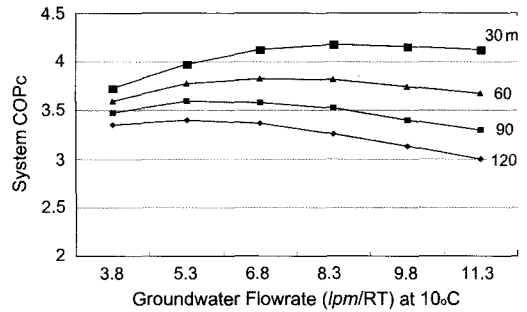


Fig. 4. The relation between groundwater flow rate(lpm/RT) and COP<sub>c</sub> via several pumping heads at 10°C of groundwater.

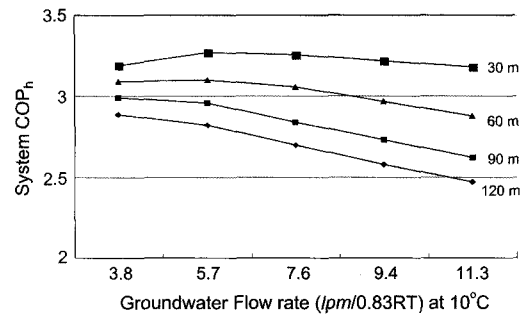


Fig. 5. The relation between groundwater flow rate(lpm/0.83RT) and COP<sub>h</sub> via several pumping heads(10°C groundwater temperature) .

루프 순환펌프의 필요 동력이 75watt/RT이고 전체 우물펌프의 효율(펌프와 모터)이 약 63%이며 열펌프의 효율이 보통일 때의 성능자료를 이용하여 각종 우물펌프의 수도, 지하수는 및 유량에 대한 전 시스템의 난방성적계수를 계산해 보면(단, ARI=330이며, COP<sub>c</sub>=3.53일 때) Fig. 4~Fig. 9와 같다.

펌프수두가 낮은 경우 특히 난방시의 이들 관계곡선은 거의 평행하다. 각 곡선당 명확한 최적지점이 소재 하긴 하나, 운전유량은 최적보다 적은 값을 사용하는 것이 좋다.

예를 들어 냉방부하가 지배적인 지역에서 지하수온이 10°C이고 최대 블록부하(peak block load)가 300RT일 때 우물펌프의 필요수두가 60m이면 최적유량은 1RT 당 약 6.8lpm이 된다. 따라서 전체유량은 2,040lpm이며 이때 시스템의 COP<sub>c</sub>는 약 3.8이다(Fig. 4).

Fig. 5는 0.83RT당 필요한 지하수유량과 전 시스템의 양정고에 따른 난방성적계수를 도시한 그림이다. 즉 총양정고가 30m이며 전 시스템의 COP<sub>h</sub>가 3.27로 최대치를 나타낼 때 필요한 지하수(10°C)의 유량은

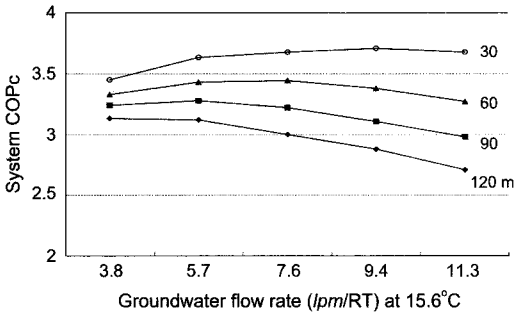


Fig. 6. The relation between groundwater flow rates(*lpm*/RT) and COP<sub>c</sub> via several pumping heads(15.6°C of groundwater temperature).

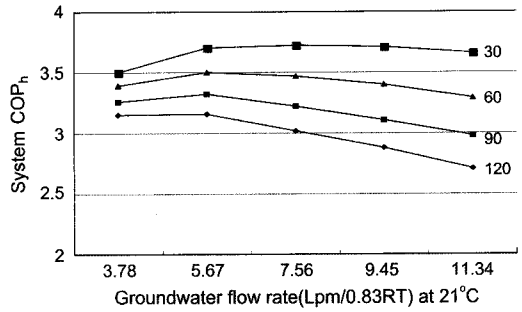


Fig. 9. The relation between groundwater flow rates(*lpm*/0.83RT) and COP<sub>h</sub> via several pumping heads(21°C of groundwater temperature).

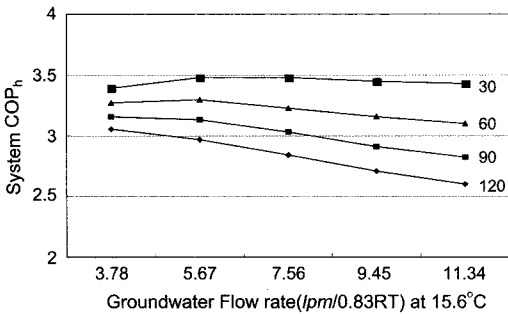


Fig. 7. The relation between groundwater flow rates(*lpm*/0.83RT) and COP<sub>h</sub> via several pumping heads(15.6°C of groundwater temperature).

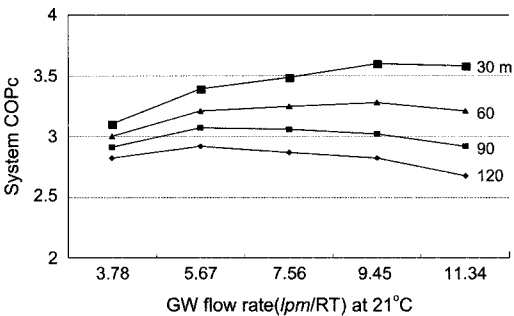


Fig. 8. The relation between groundwater flow rates(*lpm*/RT) to COP<sub>c</sub> via several pumping heads(21°C of groundwater temperature).

0.83RT당 약 5.7lpm이다. Fig. 6에서 지하수온이 15.6°C이고 양정고가 90m일 때 1RT당 지하수유량을 11.3lpm에서 5.7lpm으로 50%감소시키면 시스템의 COP<sub>c</sub>는 약 0.3정도(2.97에서 3.27로 증가) 증가한다.

이러한 사실은 시스템의 운영비는 약간 상승하나 소요 지하수의 유량감소에 따른 우물펌프의 운영비와 펌프류의 초기투자비를 대폭 절약할 수 있음을 의미한다.

양수위가 하강하면 지하수를 주입하거나 방류하기가 쉬워진다. 이들 관계는 해당 지역의 고유특성이기 때문에 설계자는 제시된 그림들의 제반특성들을 잘 이용하여 지하수의 최적유량을 선택해야 할 것이다.

Fig. 7과 Fig. 9는 지하수온이 각각 15.6°C와 21°C일 때 0.83RT당 지하수 순환수의 필요유량(lpm)과 양정에 따른 지하수 열펌프의 난방성적계수들을 나타낸 그림이다. 이들 결과들에 의하면 최적 지하수유량은 빌딩회로의 설계유량인 11.34lpm보다는 훨씬 소량인 모두 5.67lpm정도로 나타났다.

Fig. 8과 같이 지하수온이 21°C이고 총양정고가 90m와 120m일 때 난방성적계수가 가장 크게 나타나는 지하수유량은 빌딩루프의 설계유량인 11.34lpm보다 훨씬 적은 5.67lpm이다. 이러한 현상은 총양정고가 30m와 60m일 경우에도 11.34lpm보다 훨씬 적은 9.45lpm이다.

### 5. 지중연결 지열펌프시스템과 지하수 열펌프 시스템의 성능

수직폐회로형 지중연결 지열펌프시스템과 지하수 열펌프시스템을 동일 대수층에 설치한 후 가동한 성능결과를 비교검토한 바에 의하면, 수직폐회로형 지열열펌프시스템은 지중에 설치한 지중열교환기의 길이에 따라 그 성능이 좌우된다. 최근 지열펌프의 지침에 의하면 냉방시 지열펌프로 유입되는 지중순환수의 입구온도는 해당지역의 비교란(undisturbed) 지중온도보다 약 14±3°C(25±5°F)정도 높다(Hahn et al., 2005). 지금 비교하려는 지중온도가 해당지역의 지하수온도와 동일하고 입구온도가 지하수온도보다 14±3°C 높을 경우 지하수온(지중온도, tg)별 입구온도와 난방성적계수는 Table 2와 같다.

**Table 2.** Undisturbed earth, entering water temperature, and COP<sub>c</sub> (based on ARI 330, COP<sub>c</sub>=3.55, EER=14.1).

tg(°C)	EWT(°C)	Heat pump		Remarks
		COP <sub>c</sub>	EER	
10	24	4.23	16.8	
15.6	29.5	3.76	14.9	
21	35	3.33	13.2	

Note: tg: Undisturbed earth temperature, EWT: Entering water temperature

COP<sub>c</sub>가 3.55인 ARI=330 지중연결 지열펌프를 사용하는 경우에 상술한 입구온도별 COP<sub>c</sub>는 각각 4.23~3.33이다(Table 2).

우물펌프를 사용하지 않는 폐회로형 루프시스템의 성능은 지열펌프와 폐회로의 루프펌프(loop circulator)의 동력만으로 결정된다. 그 결과 1RT당 75watt의 루프펌프 동력으로 운영되는 즉 설계가 비교적 잘된 폐회로형 지열펌프시스템에서 전체시스템의 1RT별 COP<sub>c</sub>는 각 온도별로 지열펌프의 소요전력에 75watt를 합한 값으로 나눈 값이다(Table 3).

Fig. 4, Fig. 5 및 Fig. 8에서 제시한 지하수열펌프의 전 시스템의 순환수유량, 지하수온 및 전양정별 냉방성적계수에 의하면 지중연결 지열펌프시스템(GCHP)와 지하수 열펌프시스템(GWHP)의 성적계수를 쉽게 비교할 수 있다.

Table 4와 같이 우물펌프의 소요 동력이 포함된 지하수 열펌프의 경우에 우물펌프의 전양정고가 60m 이하이고 지하수온이 각각 10, 15.6 및 21°C일때 지하수 열펌프시스템의 냉방성적계수(COP<sub>c</sub>)는 지중연결 지열펌프시스템의 냉방성적계수 보다 일반적으로 양호하다. 특히 지하수온이 21°C이고 우물펌프의 전양정이 90 m 일 때 COP<sub>c</sub>는 3.07로써 가장 양호하며 이때 필요한 지하수유량은 대체적으로 1RT당 5.7~7lpm(1.5~1.89gpm) 규모이다.

상술한 2가지 시스템 사이의 성적계수의 차이는 그리 크지 않지만 지하수온이 15.6°C이며 우물펌프의 전양정이 30 m일 때 GWHP시스템은 GCHP시스템의 COP<sub>n</sub>에 비해 약 8%정도 양호{(3.7~3.43)/3.43≒0.08} 하고 우물펌프의 전양정이 120m일 때 GWHP의 COP<sub>c</sub>는 GCHP에 비해 약 8%정도 낮다. Fig. 4, Fig. 5와 Fig. 8은 GWHP와 GCHP의 평균 설계인자를 이용해서 작성했기 때문에 최소한 설계자의 능력에 따라 시스템의 형식보다는 시스템의 성능에 더 큰 영향을 미칠 것이다.

국내에 분포되어있는 층적층지하수와 암반지하수의 연평균온도가 14.3°C임을 감안하면 국내 지하수자원은 물자원으로서의 중요성은 물론 추후 저급-천부지열원의 대체에너지원으로서 매우 중요한 역할을 할 것으로 판단된다(Hahn, 2005).

**Table 3.** COP<sub>c</sub> of total system under consideration of power(watt) of heat pump and circulation pump of closed loop(based on A grade).

tg(°C)	EWT(°C)	Heat pump		Heat pump (watt)	Circulator (watt)	System (watt)	System		Remarks
		COP <sub>c</sub>	EER				COP <sub>c</sub>	EER	
10	24	4.23	16.8	714	75	789	3.83	15.2	HR=TC+0.86xKw+DCP HE=TH-0.86Kw COP <sub>c</sub> =EER=TC/Kw COP <sub>n</sub> =TH/0.86KW
15.6	29.5	3.75	14.9	805	75	880	3.43	13.6	
21	35	3.33	13.2	909	75	984	3.07	12.2	EER/3.968=COP <sub>c</sub>
참고	12,000/714=16.8	3,024/714=4.23	12,000/789=15.2						
	12,000/805=14.9	3,024/805=3.75	12,000/880=13.6						
	12,000/909=13.2	3,024/909=3.33	12,000/984=12.2						

**Table 4.** The relation of groundwater temperatures, COP<sub>c</sub> of groundwater heat pump, total system(heat pump+circulation pump+well pump), and optimum pumping rates(lpm/RT) when total lift of the system is less than 60 m.

Groundwater temperature(°C)	Total system		Flow rate (lpm/RT)	Difference (%)	Remarks
	COP <sub>c</sub>	EER			
10	3.91	15.3	6.8	2	3.83(GCHP as shown in Table 3)
15.6	3.70	13.7	5.7~6.8	8	3.43
21	3.28	13.0	6.8~9.5	7	3.07
	3.07	12.2	6.8		

## 6. 결론 및 제언

양호한 설계에 따라 설치된 GWHP시스템은 대체적으로 GCHP시스템보다 성능이 우수하며 시스템의 성능은 최대 블록부하를 기준으로 하여 결정한다. 뿐만 아니라 GWHP시스템이 최적의 성능을 갖도록 하기 위해서는 전 시스템 성능에 부합 되는 필요한 지하수유량을 선택해야 한다. 이때 지하수유량은 이미 설치해 둔 열펌프의 용량을 기준으로 결정하지 말고 최대 블록부하에 부합되도록 결정한다. 즉 최적 지하수유량은 지하수온, 열교환기의 설계와 전체 펌프의 전양정에 따라 결정한다, 일반적으로 전형적인 빌딩루프 순환수의 필요유량은 1RT당 9.5~11.4lpm (2.5~3gpm) 정도인데 비해 GWHP의 최적 필요 지하수유량은 이보다 훨씬 적은 3.8~9.5lpm (1~2.5gpm)정도라도 충분한 성능을 발휘한다.

이 시스템과 수주 지열정시스템(SCW)은 지하수를 이용하는 시설이므로 기존 지하수법에 따라 지하수 이용부담금은 물론 지하수영향평가 대상 시설이다(건교부, 2005). 이는 추후 지하수열펌프와 수주지열정 적용 시 초기투자비를 위시한 원가상승과 운영비 상승에 지대한 악재로 작용할 것이다.

USEPA는 지하수 열펌프시스템과 수주지열정을 지하수의 유익한 이용(beneficial use)인 Class V로 분류하여 그 이용을 적극 권장하고 있다. 따라서 한국지열에너지학회를 위시하여 지열관련학회들(대한지질학회, 대한자원환경지질학회, 한국지구물리학회, 한국지하수토양환경학회, 대한지질공학회 등)은 산자부와 건교부와 협의하여 현행 지하수법에서 규정하고 있는 지하수 이용부담금이 결국 정부가 추진하고 있는 재생에너지 개발보급에 걸림돌이 되고 있음을 주지시켜야 할 것이다. 즉 천부 지열이용시스템(지하수열펌프와 수주지열정 포함)에서 열원이나 열배출원으로 이용하는 지하수는 지하수 이용부담금 적용대상에서 제외되도록 해야 할 것이다.

수주지열정(SCW)은 35~45RT 규모의 열에너지를 1개의 대규모 심정으로부터 공급하기 위해 해당지역에 분포된 암석의 열전도성, 열유량, 지하수 산출량과 배경수온 등 수문지열계의 열적 및 수리특성에 따라 심도가 450~500m이상 되는 심정을 공간간격이 최소 25~100m되게끔 이격시켜 설치운영하는 일종의 지하수 열펌프시스템이다. 그런데 최근 일부 업체들은 공간거리의 확보가 불가능한 곳에서도 SCW사이의 거리를 7~10m만 이격시킨 후 시공하는 사례가 허다하다. 이

는 단시일내에 공내에서 열간섭현상이 발생하여 지열정으로서의 기능을 상실할 것이며 나아가 국내 지열이용보급에 지대한 부정적인 영향을 미칠 것으로 사료된다. 따라서 작금과 같은 무분별한 수주지열정의 설계시공이 더 이상 방지되지 않도록 정부는 이에 따른 강력한 규제를 해야 할 것이다.

## 사 사

본고는 한국수자원공사의 위탁사업으로 시행중인 강변여과수(충적층 및 하상)지열 자원 활용 기술의 일환으로 지하수 열펌프시스템의 최적 시스템 지하수 유량에 관한 연구 내용이다. 특히 본 논문 심사과정에서 적절한 지적과 수정을 해주신 익명의 심사위원께 심심한 감사를 드리는 바이다.

## 참고문헌

- ED Lohrenz, Hahn Jeongsang, Han Hyok Sang, Hahn Chan and Kim Hyong Soo (2006) A Study on An Integrated GEO/TES with Geothermal Heat Exchanger and Thermal Ice Storage, Economic and Environmental Geology, v. 38, n. 6, p. 717-729.
- Hahn Jeongsang, Jeon Jae Soo, Kim Hyong Soo (2006) Performance and Economic Evaluation Geothermal Heat Exchanger Using Bank Infiltrated Groundwater(1st Annual Report), KOWACO, p.74-84.
- Hahn Jeongsang, Hahn Kyu Sang, Han Hyok Sang and Hahn Chan (2005) Geothermal Heat Pump System for Heating and Cooling, Hanrim Publisher (2nd edition) p.6-5,9-22.10-6,11-26~27.
- Hahn Jeongsang (1983) Introduction of Groundwater, Parkyong Publishing Co, p.279-293.
- Hahn Jeongsang (2000) Groundwater Environment and Pollution, Parkyong Publishing Co, p.156-274.
- Hahn Jeongsang (2005) The Concept and Current Technical Level Geothermal heat Pump System, Korea Jour. of Geothermal Energy, v. 1, n. 1, p. 10-18.
- Hahn Chan, Jeon Jae Soo, Han Hyok Sang, Yoon Woon Sang and Hahn Jeongsang (2007) Seasonal Variation of Entrance Water Temperature(EWT) and COP of Groundwater Heat Pump System Using Bank Infiltrated Water from Stream-Alluvial Aquifer, Korea Jour. of Geothermal Energy, v. 3, n. 2, p. 39-51.
- Hahn Jeongsang, Han Hyok Sang, Hahn Chan, and Kim Hyong Soo (2007) Optimum Distance between Pumping and Injection Well of the Geothermal Heat Pump System, Korea Jour. of Geothermal Energy, v. 3, n. 2, p. 60-71.
- Kavanaugh, S.P and Rafferty, K. (1997), Ground-Source Heat Pump, Design of Geothermal Systems for Commercial and Institutional Buildings, ASHRAE, p.77-78.
- Korea Material Pricing Co., Ltd (2005) Price List Repub-



lic of Korea, p.601-612.  
MOCT, KOWACO (2006) Annual Report of Groundwater  
Investigation/Republic of Korea, <http://gims.go.kr>  
MOCT (2005) Revised groundwater Law-Article 30-3  
and Presidential Decree 40-3, p.87-88.

Rafferty, K. (2003) Well Pumping Issues of Commercial  
Ground Water Heat Pump System Geo-Heat Center,  
p.1-10.

---

2007년 10월 28일 원고접수, 2007년 12월 3일 게재승인.