강변여과수를 이용한 온실난방기술 개발

Greenhouse Heating Technology Development by using Riverbank Filtration Water

문종필* · 이성현* · 권진경* · 강연구* · 유영선*[†] · 이수장*

Moon, Jongpil · Lee, Sunghyoun · Kwon, Jin-Kyung · Kang, Younku · Ryou, Youngsun · Lee, Sujang

ABSTRACT

In order to heat greenhouse nearby river channel, riverbank filtration water source heat pump was developed for getting plenty of heat flux from geothermal energy. Recharging well, thermal storage tank with separating insulation plate and filtering tank for eliminating iron, manganese were mainly developed for making the coefficient of performance (COP) of heat pump higher. Heating system using riverbank filtration water source heat pump was installed at a paprika greenhouse in the Jinju region where a single fold of vinyl cover and 2 layers of horizontal thermal curtain were installed as a part of temperature keeping and heat insulation with a greenhouse area of 3,185 m². 320,000 kcal/h was supplied for performing a site application tests. A greenhouse heating test was performed from Feb. 1, 2011 to Apr. 30, 2011. As the result of that, COP_h of the heat pump was measured in the range of 4.0~4.5, while COP_s of the system was represented as 2.9~3.3. COP measured of the heat pump was very good and well responded to indoor heating temperature of the environment control system of a greenhouse.

Keywords: Riverbank filtration water source heat pump; greenhouse heating performance; COP_h; COP_s, thermal storage tank

I. 서 론

2008년 한국의 시설원에 면적은 53,408 ha에 달하고 있으며 이중 약 25 %에 해당하는 13,329 ha는 동절기 난방기를 가동하여 원예작물을 재배하고 있다. 2008년 농업용 면세유 공급량의 60 % 정도가 시설원예의 난방에 사용되는 것으로 추정하고 있으며 최근 유가의 급격한 상승은 시설원예 생산비중 난방비가 차지하는 비중을 상승시켜, 농가경영에 큰 어려움을 가중시키고 있다. 이에 대한 에너지절감기술개발이 절실하며 지열히트펌프는 그 효율성과 적용성이 매우 높다 (Ryou et al., 2008). 그러나 지열히트펌프는 열원량에 한계를 가지고 있으며 부족열원을 해결하기 위한 대체열원으로 해수열원과 강변여과수열원이 제시되고 있다. 한국의 농업시설은 대부분 바다와 떨어져 있어 해수열원보다는 하천의 여과수열원을 이용하는 것이 매우 현실적이며 편리하다. 강변여과수는 미국과 유럽 등지에서 약 150년 이전부터 이용되어 왔으며 우리나라에서는 1990년대부터 강변

여과수 취수를 위해 한강, 낙동강, 금강, 영산강, 섬진강 유역인 5대강을 중심으로 조사가 시작되었으며 현재 낙동강 하류에 위치하고 있는 창원시에는 강변여과수 취수방식에 의하여 수돗물을 공급하고 있다. 강변여과수의 수온은 연중 12~18 °C (Kim et al., 2006)로 유지되고 있어 에너지원으로서 그 가치가 주목되고 있다. 또한 강변여과수를 지열원의 활용자원으로 사용하기 위한 연구가 최근 국내에서 이루어지고 있으며 창원 정수장에서는 강변여과수열원 냉난방시스템이 설치된 사례가 있다 (Hwang et al., 2006; Kim et al., 2006). 그러나 강변여과수를 하천주변에 주로 형성되어 있는 화훼 및 원예 재배시설단지의 에너지원으로서 사용하기 위한 기술 및 연구개발은 이루어지지 않고 있다. 그러므로 본 연구에서는 강변여과수를 이용한 온실난방기술을 개발하고 파프리카와 같은 원예작물 재배온실의 실증시험을 통하여 강변여과수를 이용한 온실난방시스템을 새로운 농업용 에너지 확보방안으로 제시하고자 한다.

II. 재료 및 방법

강변여과수를 사용하기 위하여 하천제방으로부터 300 m 이내의 온실에 대한 조사를 실시하였으며 강변여과수를 취수할 수 있는 최적지 선정을 위해 지질조사 및 전기비저항탐사법을 실시하였다. 한국수자원공사에서 제공한 자료에 근거하여 강변여과수

* 농촌진흥청 국립농업과학원

[†] Corresponding author Tel.: +81-31-290-1811

Fax: +81-31-290-1840

E-mail: ysyryou@korea.kr

2011년 10월 20일 투고

2011년 10월 28일 심사완료

2011년 11월 15일 게재확정

의 개발 가능성이 가장 높은 낙동강 수계를 대상으로 실시하였으며 예비조사에 의해 가장 최적지로 조사된 진주지점을 대상으로 하여 조사를 실시하였다. 또한 히트펌프의 성능을 개선하기 위해 온도분리형 축열조 개발 및 철·망간을 제거할 수 있는 이물질 제거장치를 개발하였으며 이를 요소기술로 구성하여 온실난방용 강변여과수열원 히트펌프 시스템을 개발하였다. 또한 경상남도 진주지역의 3,185 m²의 파프리카 온실에 개발된 시스템의 현장적용 난방시험을 실시하였고 그 효과에 대해 검증하였다.

1. 대상지역

강변여과수 취수를 위한 최적적용지점을 선정하기 위해 전기비저항 탐사와 시추조사를 실시하였으며 진주지점에 대한 대수층의 두께와 중규모 온실난방에 적합한 최적취수량 1,000 m³/day에 대한 타당성 조사를 하였다. 최적취수량 1,000 m³/day에 대한 계산은 1일 24시간 동안 60 RT (1 USRT = 3,024 kcal/h)급 히트펌프를 운용하면 증발기에서 냉매의 기화열로 4,354,560 kcal/day를 필요로 하며 이때 열원으로 사용되는 강변여과수로부터 증발열량을 공급하기 위해서는 강변여과수의 수온을 15 °C에서 10 °C까지 온도를 낮추어 5 °C의 온도변화량을 이용한다면 물의 비열이 1 kcal/kg·°C이므로 4,354,560 kcal를 5 °C로 나누면 1일 870,000 kg의 물이 필요하며 유량으로 환산하면 1일 870 m³/day이 필요하다. 14 °C의 물을 10 °C까지 온도를 낮추어 4°C의 온도변화량으로 공급할 경우에는 1,088,000 kg으로서 유량으로 환산해서 1,088 m³/day로 약 1,000 m³/day의 물을 필요로 하는 것으로 산정하였다. 진주지역

Fig. 1 Borehole information for pumping and recharge

의 시추조사 과정 중 수행된 정수위 투수시험결과 주대수층인 모래자갈층의 수리전도도는 약 1×10^{-3} cm/s로 양호한 편이며, 2개의 취수정 개발을 위해 2개의 취수공을 굴착하여 조사하였으며 조사결과 BH-1 취수공은 3.5 m, BH-2 취수공은 6.5 m의 모래자갈층을 형성하고 있어 1,000 m³/일의 취수량 개발이 가능할 것으로 판단되었다. 또한 열원으로 사용된 강변여과수를 하천이나 지표로 배출하지 않고 대수층으로 다시 환원시키기 위해 회수정 (함양정) 1곳을 설계하였고 취수정 1곳에서의 취수량에 대한 회수량을 조사하였으며 회수되지 못하는 유량은 하천 및 지표로 배출되는 시스템으로 구성하였으며 조사된 취수공 및 회수공의 지질주상도는 Fig. 1과 같다.

2. 강변여과수열원 히트펌프의 난방시스템 기본설계

강변여과수를 이용한 난방시스템의 개념도는 Fig. 2와 같으며, 이 시스템은 강과 호수 주변의 비피압지하수인 강변여과수를 열원으로 사용하는 히트펌프 시스템으로서 관정의 심도가 깊지 않고 일반 지하수처럼 안정취수량에 대한 제한이 적어 열원량의 제한을 적게 받는 특징이 있다. 하천에서 공급되는 강변여과수는 그 유량이 풍부하여 일반 지하수보다 설치관정을 줄일 수 있어 시스템 설치에 대한 초기투자비를 매우 줄일 수 있다. 또한 시스템 수온이 지하수와 매우 유사한 특성을 갖고 있어 열원으로 사용가능성이 매우 높다. 본 연구에서 개발된 시스템은 회수정 및 지표배수관을 동시에 두어 지하대수층으로 복원되고 초과되는 유량은 지표배수를 통하여 하천으로 다시 돌아갈 수 있도록 하였다.

3. 격판분리 수축열조 개발

현열축열의 액체축열 중 축열조 내부유체 온도에 따라 성층화하여 높은 온도의 유체를 부하에 대응하여 우선적으로 공급하고 부하가 큰 경우에는 축열조 하부의 낮은 온도의 유체를 보조열원으로 사용하므로써 온도성층화를 위하여 디퓨저를 사용하고

Fig. 2 Conceptual scheme of riverbank filtration water source heat Pump

있는데 디퓨저 설계의 어려움과 설계비용이 증가되므로 본 연구에서는 축열조의 구조개선을 통하여 디퓨저를 설치하지 않고 온도성층화가 되도록 축열조 내부에 단열격판을 설치하였으며 Fig. 3과 같이 아크릴판으로 0.76 m³의 실험수조를 제작하고 순환유량은 15 l/min 로 하였으며 6 kW 전기히터를 이용하여 축열조 내의 단열격판에 의한 온도분리현상을 실험하였다. 또한 단열격판의 수량을 증가시켜 고온부, 중온부, 저온부의 온도분리효과를 실험하였으며 실험수조 내에서 축열수가 격판을 통과할 수 있도록 단열격판 하부뿐만 아니라 상부에도 원형공을 설치하여 축열조내부에서 물이 통과하도록 하였다. 또한 온도분리현상에 의한 온도 차이는 식 (1),(2),(3)과 같이 계산하였다.

실험결과 격판수가 증가될수록 온도분리가 잘 일어나고 온도 차이가 더욱 커졌으며 격판을 ④의 경우와 같이 전방 1/3지점에 설치하는 경우가 효과적인 것으로 나타났으며 격판상부 및 하부에 구멍을 내어 유선을 길게 하면 온도분리가 잘 일어나는 것으로 나타났다. 통과유량은 순환유량과 같거나 약간 크게 설계하였다. 예를 들면 고온부, 중온부, 저온부의 온도는 물이 통과하는 식 (1),(2),(3)의 순서에 따라 축열조 내부 및 격판의 단열에 의한 외부와의 열의 출입은 없는 것으로 가정하고 열평형에 대한 방정식을 이용하여 순차적으로 계산하였다. 계산한 결과 온도분리현상은 히트펌프의 축열온도에 영향을 미치는 것으로 나

타났으며 축열과 방열이 동시에 이루어질때에는 온실내부에서 축열조로 회수되는 축열수에 의해 온도분리는 더욱 커질것으로 예상하였다.

$$\text{고온부온도}(i+1) = (\text{고온부온도}(i) \times (\text{고온부유량} - \text{순환유량}) + \text{순환유량} \times (\text{저온부온도}(i) + \text{히트펌프 축열온도})) / \text{고온부유량} \quad (1)$$

$$\text{중온부온도}(i+1) = (\text{중온부온도}(i) \times (\text{중온부유량} - \text{순환유량}) + \text{순환유량} \times \text{고온부온도}(i+1)) / \text{중온부유량} \quad (2)$$

$$\text{저온부온도}(i+1) = (\text{저온부온도}(i) \times (\text{저온부유량} - \text{순환유량}) + \text{순환유량} \times \text{중온부온도}(i+1)) / \text{저온부유량} \quad (3)$$

4. 모래, 철·망간 제거장치

유량이 많은 강변여과수의 철과 망간을 처리하기 위해 가장 효율적인 방법으로 산화사를 이용한 급속여과처리방법을 도입하였으며 이를 이용한 여과수 이물질 제거장치를 개발하였다. 수처리 여재로서는 일본에서 개발된 망간과복 접촉산화사를 사용하였으며 사용이 간단하고 처리속도 및 효율이 좋아 여과수열원 난방 시스템에 적합한 것으로 검토되었다. 처리 능력은 1.5g Fe/l이며 폭기에 의한 산화사의 산화력이 보급되도록 하였으며 전처리 장치로서 사이클론식 모래제거장치를 두었고 철·망간 제거장치는 Fig. 5와 같다.

5. 현장 적용시험

가. 취수정 및 회수정 개발

온실난방용 60RT급 히트펌프의 열원으로 강변여과수를 공급하기 위해 취수관정을 개발하였다. 전기비저항탐사와 시추조사를 통해 1차적으로 관정개발 위치를 선정하고, 이를 검증하기 위해 3D FEFLOW model을 이용하여 지하수에 대한 수리지질 시뮬레이션을 수행하였다.

시뮬레이션 분석결과 히트펌프에서 5 °C의 열을 뺏기고 지하수 대수층으로 회귀되는 회귀수량을 회수정 1곳당 1일 170 l/min으로 가정하고 취수정과 회수정의 이격거리를 70 m로 하였을 때 회수정으로 회수된 물의 수온이 취수정에 영향을 미치는 데 걸리는 시간은 181일 이상으로 계산되었다. 안정 취수량은 양수 시험결과 취수정 2곳에서 1,647 m³/day으로 산정되었으며, 현장 적용시험을 위해 여과수열원 히트펌프 시스템을 이용하여 파프리카 온실난방을 위한 60 RT급 히트펌프열원으로 1,000 m³/day을 공급하는 데는 문제가 없을 것으로 판단되었다. 관정개발위치

Fig. 3 Temperature separation experiment of water in thermal tank by using insulated plates

Fig. 4 Temperature difference between highest and lowest temp. chamber in thermal tank

Fig. 5 Design drawing of device to remove iron and manganese

Fig. 6 Heat transfer simulation in aquifer (GL - 8 m) by using 3D-FEFLOW Model

선정을 위한 수리지질모델의 시뮬레이션과 취수공에 대한 양수 시험결과를 근거로 안정취수량을 결정하고 취수정과 회수정의 개발위치를 선정하였으며, 관정의 여재 및 스크린 설치등 Fig. 7과 같이 취수정 2곳과 회수정 1곳을 개발하였다. 또한 회수정 1곳으로 취수량의 전량을 회수할 수 없으므로 회수량을 초과하는 유량은 하천으로 배수할 수 있는 시스템으로 구성하였다.

취수정과 회수정은 최종 설계도를 기반으로 현장 시공하였으나 현장 지질상황에 따라 일부 수정이 되었으며, 최종적으로 시공된 결과는 아래 Table 1과 같다.

나. 히트펌프 시스템 적정 설계

시설원에 에너지 절감 가이드북에서 제시하는 온실의 최대난방부하 계산식을 이용하여 최대난방부하를 결정하였으며 표준기상자료 및 최근 5년간 측정된 지중온도를 이용하였다.

1) 최대난방부하 산정

Fig. 7 Research site and its surrounding

Table 1 Construction result of water pumping and recharging well

Classification	Pumping well 1	Pumping well 2	Recharging well
Vertical depth	20.0 m	22.0 m	22.0 m
D 500 mm section	0.0 m ~ 13.0 m	0.0 m ~ 11.5 m	0.0 m ~ 11.5 m
D 400 mm section	13.0 m ~ 20.0 m	11.5 m ~ 22.0 m	11.5 m ~ 22.0 m
Installation section of outside casing	0.0 m ~ 6.0 m	0.0 m ~ 7.0 m	0.0 m ~ 6.5 m
Processing section of outside casing groove	-	-	6.5 m ~ 11.5 m
Screen installation section	5.0 m ~ 15.0 m	6.0 m ~ 16.0 m	-

시험온실의 형태는 1-2W형, 1층 피복 (PE필름), 7연동 비닐 하우스이며 경상남도 진주시 대곡면 남강댐 하류에 위치해 있다.

온실의 규격은 폭 7 m, 측고 4 m, 동고 6 m, 길이 65 m이었으며 시설면적은 3,185 m²이었다. 온실의 보온 및 차광을 위하여 알루미늄이 혼입된 수평커튼 1층이 설치되어 있는 것을 고려하였으며 진주시의 표준기상자료와 기상대자료를 이용하여 설계온도를 결정하였다. 결정된 설계온도는 최저외기온 -8.4 °C, 지중온도 1.3 °C, 난방설정온도 20 °C로 결정하였고 식 (4)에 의해 최대난방부하량을 산정하였다.

$$Q_{ht} = [A_i \{h_i(1-f_r) + h_v\} (T_i - T_o) + A_b(h_b)(T_i - T_g)] f_w \quad (4)$$

여기서 Q_{ht} = 최대난방부하 (kcal/h)

A_i = 온실외피복 면적 (m²)

A_b = 표면노출 온실바닥 면적 (m²)

h_i = 피복재관류열전달계수 (kcal/m² · h · °C)

h_v = 환기열전달계수 (kcal/m² · h · °C)

h_b = 실내바닥열전달계수 (kcal/m² · h · °C)

T_i = 실내설정온도 (°C)

T_o = 설계외기온도 (°C)

T_g = 지중온도 (°C)

f_r = 보온피복(커튼)등에 의한 에너지절감률

f_w = 풍속에 의한 난방부하보정계수 (1 ~ 1.1)

$$= [5,067\{3.5 \times (1 - 0.45) + 0.2\}\{20 - (-8.4)\} + 3,185 \times 0.244 \times (20 - 1.3)] \times 1.1$$

$$= 321,779 \text{ kcal/h} \approx 320,000/860 = 372 \text{ kW}$$

계산된 최대난방부하는 372 kW이었으며 축열조를 이용한 에너지 절감 및 히트펌프용량의 과대설계를 방지하기 위하여 최대난방부하의 70 %인 266kW를 히트펌프 용량으로 결정하고 나머지 30 %는 축열조 용량으로 대체하여 최대난방부하에 대응하도록 설계하였다.

2) 히트펌프 및 순환펌프 용량 결정

성능계수가 4.0 이상이 되면서 설계용량을 만족시키고 친 환경적인 R407 냉매를 사용하는 히트펌프를 Table 2와 같이 선정하

Table 2 Capacity of heat pump and coefficient of performance

Model (refrigerant)	Quantity	Capacity of heat pump (kW)		Power consumption (kW)		COP	
		Heating	Cooling	Heating	Cooling	Heating	Cooling
HP-0300WW (R407)	2	133.0	105.0	33.0	21.5	4.03	4.88
Total	2	266.0	210.0	66.0	43.0	4.03	4.88

Table 3 Design flow in the ground side and the load side depending on performance of heat pump, design temperature of cold/warm water

Model		Source			Load		
		EWT (°C)	LWT (°C)	Flowrate (l/m)	EWT (°C)	LWT (°C)	Flowrate (l/m)
HP-0300WW	Heating	15.0	10.8	725	45.0	50.0	770
	Cooling	18.0	23.0	725	10.7	7.0	770

였다. 또한 히트펌프의 용량 및 냉온수의 설계온도에 따른 지중 및 부하측 순환유량을 Table 3과 같이 결정하였다.

지중측 (강변여과수) 순환펌프의 유량결정은 취수정 2곳에 각각 취수펌프 1대를 설치하는 것으로 설계하고 식 (5)에 의해서 산정하였다.

$$[\text{증발열량 합계 (kW)} + \text{소비전력 (kW)}] \times 860 \text{ (kcal/h)} / 5 \text{ } ^\circ\text{C} / 60 \text{ min} / \text{펌프대수} = (210.0 \text{ kW} + 43.0 \text{ kW}) \times 860 \text{ (kcal/h)} / 5 \text{ } ^\circ\text{C} / 60 \text{ min} \approx 725 \text{ l/min} \quad (5)$$

축열수 순환펌프의 유량결정은 순환펌프 1대를 설치하는 것으로 설계하고 식 (6)에 의해서 산정하였다.

$$\max[\text{증발열량 합계 (kW), 응축열량합계 (kW)}] \times 860 \text{ (kcal/h)} / 5 \text{ } ^\circ\text{C} / 60 \text{ min} = (266.0 \text{ kW} \times 860 \text{ kcal/h}) / 5 \text{ } ^\circ\text{C} / 60 \text{ min} \approx 770 \text{ l/min} \quad (6)$$

부하측 (온실)의 순환펌프 유량결정은 순환펌프 1대를 설치하는 것으로 설계하고 식 (7)에 의해서 산정하였다.

$$\max[\text{냉방부하 (kW), 난방부하 (kW)}] \times 860 \text{ (kcal/h)} / 5 \text{ } ^\circ\text{C} / 60 \text{ min} = (372 \text{ kW} \times 860 \text{ kcal/h}) / 5 \text{ } ^\circ\text{C} / 60 \text{ min} \approx 1,100 \text{ l/min} \quad (7)$$

다. 격판분리 축열조

1) 축열조 용량결정

축열가능시간은 오전 9시부터 오후 5시까지 가능한 것으로 가정하고 주간에 5시간 축열하는 것으로 설계하였다. 히트펌프 용량은 266.0 kW로서 열량인 229 Mcal/h로 환산하였고 축열수 이용온도를 50.0 °C에서 40 °C까지 10.0 °C를 이용할 수 있는 것으로 산정하였다. 저장가능한 축열조의 열량은 1,145 Mcal/day로 산정되었고 10.0 °C를 이용한다면 110 m³의 축열조 용량이 필요한 것으로 산정되었다. 최대난방부하와 적용부하의 부족열량을 축열조에 저장하여 최대 부하 320 Mcal/h에 대응이 가능하도록 하였다.

Fig. 8 Design drawing for site application of ground filtration water heat source heat pump

2) 축열조 현장설치

격판분리 축열조는 가로 3.2 m×세로 10.0 m×높이 3.5 m로 구성하여 총 축열용량이 110 m³이 되도록 설치하였고 축열조 내부에는 단열격판을 3.3 m 간격으로 2개를 두어 고온부, 중온부, 저온부의 축열공간으로 설계하였다. 고온부와 저온부 사이에 설치한 격판에는 최하부에 직경 (D) 100 mm인 원형구멍을 일정한 간격으로 5개를 설치하였고 바닥으로부터 2.5 m 높이에도 직경 (D) 100 mm 원형구멍 3개를 격판의 중심과 중심의 좌우로 700 mm 간격으로 설치하여 온실난방에 유리하도록 하였고 중온부와 저온부에 설치한 격판부에는 최하부에 직경 (D) 100 mm인 원형구멍을 일정한 간격으로 5개를 설치하여 축열수가 고온부, 중온부, 저온부를 원활하게 관통하게 할 수 있도록 하였다.

라. 이물질 제거장치

현장적용지점의 수질조사결과 철 (Fe)은 1.13 ppm과 3.81 ppm으로서 먹는물 수질기준인 0.3 ppm보다 높게 측정되었으며 망간 (Mn)은 0.058 ppm, 0.067 ppm으로서 먹는물 수질기준인 0.05 ppm보다 높게 나타났다. 본 연구에서는 철 망간에 대한 처리기준을 철 (Fe) 5.0 ppm일때 0.3 ppm으로 처리하고 망간 (Mn) 2.0 ppm을 0.1 ppm으로 하여 산화사가 처리할 수 있는 수질기준을 목표로 하여 1일 최대 500 m³ 처리가 가능하도록 하였다. 이물질 제거장치는 직경 (D)이 1.26 m, 바닥면적은 1.21 m²로 설계하였고 여재의 층고는 1.4 m로 하였다. 여재층 밑의 자갈층, 배수공간과 여재층 상부의 여유고, 팽창고등을 첨가하여 전체 높이는 2.5 m로 되도록 설계하였다. 산화물에 대한 처리는 자동밸브를 부착하여 히트펌프가 작동하지 않으며 자동 역세척이 되도록 하였으며 이때 이물질 및 산화물이 배수되도록 하였다. 강변여과수가 이물질 제거장치에 체류하는 시간은 3~5분이 되도록

하였으며 압력식 하향류식 급속여과방식으로 취수정과 히트펌프 사이에 설치하였다.

마. 인터넷 기반 실시간 원격 모니터링 시스템

인터넷기반의 실시간 원격 모니터링 시스템을 구축하여 축열조의 고온부, 중온부, 저온부에 대한 온도 변화 및 온실내부의 온도변화, 히트펌프의 입·출구온도 및 취수정 강변여과수의 온도 등을 실시간 모니터링 시스템 구축을 통하여 계측 및 모니터링 하였으며 이를 이용한 히트펌프 및 난방시스템에 대한 성능계수를 측정하였고 실시간 원격제어, 감시 및 자료구축이 가능한 시스템이다.

최종적으로 여과수열원 난방시스템을 Fig. 8과 같이 현장에 설치하였으며 2011년 2월 1일부터 4월 30일까지 진주시 대곡면 와룡리 파프리카 온실에 난방시험을 실시하였으며 히트펌프 성능계수, 시스템 성능계수, 온실내부 온도 변화 등을 측정하고 분석하였다.

III. 결과 및 고찰

진주시 대곡면 와룡리 파프리카 온실에 강변여과수열원 히트펌프를 설치하고 난방시험을 실시하였으며 일별로 측정된 히트펌프 및 시스템 난방성능계수를 평균적으로 월별로 제시하면 Table 4와 같다. 강변여과수의 수온이 4월에 가장 낮은 것으로 나타났으며 수온이 낮아질수록 성능계수가 저하되는 것으로 나타났다. 평균적으로 히트펌프 성능계수는 4.0~4.5의 값을 나타냈고 시스템 성능계수는 2.9에서 3.3으로 나타나 히트펌프 효율이 매우 양호한 것으로 나타났다.

또한 난방시험 결과를 분석해보면 격판분리 축열조의 온도분

Table 4 Performance coefficient of heat pump and system heating by month

Month	Temperature of filtration water in river (°C)	Performance coefficient of heat pump (COP _h)	Performance coefficient of system (COP _s)
Feb.	14.4	4.5	3.3
Mar.	13.8	4.2	3.1
Apr.	11.8	4.0	2.9

Coefficient of Performance for heat pump(2. 26 2011)

Fig. 9 Improvement effect of coefficient of performance by temperature separation of the thermal storage tank

Riverbank filtration water temperature (2. 26, 2011)

Fig. 10 Hourly temperature change of riverbank filtration water as a heat source

리현상으로 인하여 온실에 열 공급이 이루어질 때는 고온부와 저온부의 온도차이가 5.5 °C로 나타났고 온실에 열 공급이 없고 축열조의 온수만을 생산할 때에는 3.0 °C의 온도차이를 보이는 것으로 나타났으며 열 공급에 의해 축열조에서 온도분리현상이 발생할 때에는 Fig. 9와 같이 히트펌프 성능계수가 향상되는 것으로 나타났다. 2월에 계측된 강변여과수는 14 °C의 열원으로 히트펌프에 사용되고 회수되는 수온은 10 °C 정도의 값을 보이며 Fig. 10과 같은 그래프를 보였으며 2월은 14.4 °C, 3월은 13.8 °C 4월 11.8 °C 까지 내려가 히트펌프 성능계수도 점차 줄어드는 것을 볼 수 있었으나 평균적으로 히트펌프가 4.0 이상의 값을 보였다.

Temperature change for greenhouse heating(Feb. 24, 2011)

Fig. 11 Heating effect of riverbank filtration water source heat pump in greenhouse

온실내부의 설정온도에 따른 난방시스템의 난방능력을 검증하기 위해 Fig. 11과 같이 시간별 변온관리를 통한 온도관리로 인하여 내부설정온도가 시간별로 변화하였고 이러한 온실의 내부설정온도변화에 대한 강변여과수열원 히트펌프 시스템의 난방능을 계측하였다. 계측결과 개발된 난방시스템은 온실내부설정 온도변화에 잘 대응할 수 있도록 온실내부에 충분한 열에너지를 공급하고 있는 것으로 나타났다.

또한 히트펌프의 열원으로 사용되고 대수층으로 회귀되는 강변여과수의 용량은 취수정 1곳과 회수정 1곳을 기준으로 했을 때 취수량 360 l/min 일때 대수층으로 회수되는 최대용량은 240 l/min으로 계측되었고 나머지 120 l/min은 지표배수가 되는 것으로 나타나 취수량의 67 % 정도가 대수층으로 회수되는 것으로 나타났고 33 %가 지표배수되는 것으로 나타났다.

IV. 결 론

본 연구에서는 강변여과수를 이용하여 시설원예를 목적으로 하는 60 RT 급 온실 난방시스템을 개발하였으며 히트펌프, 격판이용 온도분리 축열조, 이물질 제거장치, 취수정 및 회수정 등으로 구성되어 있으며 현장 적용시험을 위하여 경상남도 진주시 대곡면 남강댐 하류에 위치한 파프리카 온실을 선정하여 연구를 수행하였다. 재배면적이 3,300 m², 일중비닐피복, 2층 수평 커튼이 설치된 온실임으로 시간당 320,000 kcal의 열을 공급할 수 있도록 설계하였으며 2011년 2월 1일부터 4월 31일까지 난방성능시험 및 효과분석을 실시하였다. 그 결과 히트펌프 성능계수 (COP_h)는 4.0~4.5의 범위에서 측정되었고 시스템 성능계수 (COP_s)는 2.9~3.3으로 나타났다. 특히 격판분리 축열조의 온도분리현상으로 온실 열공급시 고온부와 저온부의 온도차이는 5.5 °C로 나타났으며 이로 인한 히트펌프 성능계수가 향상

되는 것으로 나타났다. 또한 회수정을 통해 강변여과수의 66 %를 대수층으로 다시 환원할 수 있어 수자원의 선순환을 도모하고 풍부한 수열원을 이용함으로써 초기 설치비 저감과 안정적인 난방시스템을 구축할 수 있어 향후 지열원 히트펌프와 같은 에너지절감 및 화석연료 대체효과를 가져올 수 있을 것으로 기대하고 있다.

본 연구는 농촌진흥청 공동연구사업 (과제번호: PJ006508 012011)의 지원에 의해 이루어진 것임.

REFERENCES

1. Doherty P. S., S. Al-Huthaili, S. B. Riffat, and N. Abodahab, 2004. Ground source heat pump description and preliminary results of the Eco Housesystem. *Applied Thermal Engineering* 24: 2627-2641.
2. Hepbasli, A. and O. Akdemir, 2004. Energy and exergy analysis of a ground source (geothermal) heat pump system. *Energy conversion and management* 45: 737-753.
3. Hwang, Ki-Sup, Woo-sung Jung, and Young sub Ahn, 2006. The Field Test of bankfiltration (including alluvial and riverbed deposits) Source Heat Pump Cooling & Heating System, *Proceedings of the 2006 Summer Annual Conference of the Society of Air-conditioning and Refrigeration Engineer of Korea*, 1186-1190 (in Korean).
4. Kim, hyoung-Soo, Woosung Jung, Youngsub Ahn, and Ki-sup Hwang, 2006. A Study on Application of The Available Geothermal Energy From Riverbank (including Alluvial and Riverbed deposit) Filtration. *Proceedings of the 2006 Summer Annual Conference of the Society of Air-conditioning and Refrigeration Engineer of Korea*, 209-214 (in Korean).
5. Lee, Dong-Kee, Jae-Hyeoun Park, Chang-Kun Park, Jung-Suk Yang, Do-Hyun, Nam, Dae-kun Kim, Gyo-cheol Jeong, Yong-sun Choi, and Sung-an Boo, 2004. Application of the Artificial Recharge to Reduce the Ground-water Drawdown of the Riverbank filtration. *The Journal of Engineering Geology* 14(4): 391-400.
6. Lim, Hyo Jae, Jeong-Tae Kwon, Chang Eob Kim, Hyoung Jin Kong, and Seong Koo Park, 2009. An Experimental Study of Ground Water Source Two Well Type Geothermal Heat Pump System, *Korean Journal of Air-conditioning and Refrigeration Engineering* 21(8): 468-474 (in Korean).
7. Ryou, Youngsun, Younku Kang, Youngjung Kim, and Keunchun Kang, 2008. Heating and Cooling Effect of Portected Horticulture by Geothermal Heat Pump System with Horizontal Heat Exchanger, *Proceedings of the 2008 Spring Annual Conference of The Korean Society for New and Renewable Energy*, 630-633 (in Korean).