

수직 밀폐형 심부지열 순환 시뮬레이터의 성능 평가에 관한 연구

배정형*, 이동운*, 윤충만*, 류연수**, 정상화*,#

*조선대학교 기계공학과, **한국농어촌공사 농어촌연구원

A Study on Performance Evaluation of a Vertically Closed Deep Geothermal Circulation Simulator

Jung-Hyeong Bae*, Dong-Woon Lee*, Chung-Man Yoon*, Yeon-Su Ryoo**, Sang-Hwa Jeong*,#

*Department of Mechanical Engineering, Chosun UNIV., **Rural Research Institute.

(Received 13 July 2016; received in revised form 28 July 2016; accepted 29 July 2016)

ABSTRACT

While greenhouses have been utilized as a sustainable alternative to traditional soil farming, they are often powered by diesel boilers that necessitate vast amounts of non-renewable energy and emit toxic fumes. Thus, geothermal heat pumps have been proposed as a more energy-efficient substitution for diesel boilers. Currently, most horticultural facilities in the United States use shallow geothermal systems, and are often equipped with horizontal underground heat exchangers as well as heat pump equipment. These shallow geothermal systems require a large drilling site and heat pump to function, which results in high maintenance costs. The heat pump itself consumes a large amount of power, which degrades system performance. Conversely, high temperatures can be attained within a single borehole in deep geothermal vertical closing systems without using a heat pump. This setup can dramatically reduce the power consumption and improve system performance.

In this study, we have modeled a circulation simulator after the circulation systems in deep geothermal facilities to analyze a 2000-meter borehole in Naju-Sanpo-myeon. The simulator is operated by manipulating various putative parameters affecting system performance to analyze the system's coefficient of performance.

Key Words : Deep Geothermal(심부지열), Real Time(실시간), Coefficient of Performance(COP ; 성능계수), VVVF Control(가변 전압 주파수 제어), On-off Control(온오프제어)

Corresponding Author : shjeong@chosun.ac.kr

Tel: +82-62-230-7178, Fax: +82-62-230-7178

기호설명

$C_{p,w}$	= 물의 비열 [J/kg · °C]
COP_1	= 1차측 성능 계수
COP_t	= 전체 시스템 성능 계수
\dot{m}_1	= 1차측 온수유량 [L/s]
\dot{m}_2	= 2차측 온수유량 [L/s]
Q_H	= 시스템 난방능력 [kW]
ΔT	= 온도 차이 [°C]
T_1	= 수조 내 물의 온도 [°C]
T_2	= 1차측 열교환기 입구 온도 [°C]
T_3	= 1차측 열교환기 출구 온도 [°C]
T_4	= 2차측 열교환기 입구 온도 [°C]
T_5	= 2차측 열교환기 출구 온도 [°C]
T_6	= 챔버 내 온도 [°C]
$W_{s,p}$	= 수중 펌프 소비 전력 [kW]
$W_{c,p}$	= 순환 펌프 소비 전력 [kW]
VVVF 제어	= 가변 전압 주파수 (Variable Voltage Variable Frequency) 제어

1. 서 론

전 세계적으로 화석연료 사용량을 줄이고 지열 에너지를 이용하는 국가 주도의 사업이 활발하게 이루어지고 있다. 지열에너지는 장소, 기후, 시간에 관계없이 적용이 가능하고 실효성 및 안정성 면에서 장점을 가지고 있다. 지열을 이용하는 시스템은 연중 안정된 지중열원을 이용하여 냉난방의 효율을 증가시키는 기술로서 열에너지가 안정적으로 공급되므로 인기가 높으며 친환경 에너지의 대표적 기술로서 각광받고 있다. 현재 지열에너지를 농업용 에너지로 사용하는 사업이 꾸준히 보급되고 있다. 그리하여 경유보일러나 온풍기를 사용하는 온실이 지열히트 펌프를 이용한 난방 원예시설로 전환되고 있으며 최근 5년간 국내 지열히트 펌프를 이용한 난방유지 온실은 약 200여 개소에 이르며 히트 펌프

의 규모는 약 10만 kW에 이른다^[1].

지열에너지는 보어홀의 깊이에 따라서 천부지열과 심부지열로 구분되며 천부지열은 10 ~ 20 °C, 심부지열은 40 °C 이상의 온도를 이용한다^[2]. 지중 히트 펌프 시스템은 지중 열교환기의 형상에 따라서 수평형 시스템과 수직형 시스템으로 구분된다^[3].

현재 국내의 원예시설에 보급된 지열시스템은 천부지열에 해당하고 대부분 수평형 지중 열교환기와 히트 펌프 난방설비를 갖춘 시스템이다. 기존의 난방 시스템에 비하여 난방비용 절감과 사용의 편리성으로 지열히트 펌프 시스템을 설치하고 있지만 천부지열을 이용한 시스템의 경우에는 대부분 보어홀의 깊이가 150~200 m로 더 많은 천공과 부지를 필요로 한다. 또한, 히트 펌프 사용으로 많은 유지 보수 비용이 들어가며 전력량이 많이 소모되어 난방 시스템의 성능을 현저히 저하시키게 된다. 수직 밀폐형 심부지열의 경우에는 천공 부지 확보 및 대규모 장비 투입으로 초기 시추비용이 많이 소요되지만 하나의 보어홀에서 고온의 열을 취득하기 때문에 히트 펌프 설비가 없어도 충분한 열량을 얻을 수 있고 전력소비가 줄어들어 시스템 성능이 올라가는 장점이 있다^[4].

지금까지 국내에서는 수직형 지열히트 펌프 시스템에 대한 연구 결과들이 주로 발표되었다. 수직형 지중 열교환기를 적용한 소용량 시스템의 성능을 실험하거나 해석적으로 분석한 연구가 진행되었다^[5-6]. Lee, J. Y.는 수직 밀폐형 지중 열교환기의 순환수 유량이 히트 펌프 성능에 미치는 영향을 실험적으로 연구하였다^[7]. 2010년에는 원예시설에 지열 원인 멀티히트 펌프(multi-heat pump)를 설치하여 난방 성능을 분석한 연구도 수행되었다^[8]. 그러나 지열히트 펌프가 필요하지 않는 심부지열을 이용한 시스템에서 난방 성능평가에 관한 연구는 매우 미흡한 실정이다.

본 연구에서는 현재 나주시 산포면에 위치한 2000 m 시추공의 심부지열 순환 시스템의 설비를 토대로 순환 시뮬레이터를 제작하였다. 시스템의 성능 계수에 영향을 미치는 변수인 온도 변화, 유량, 소비 전력을 측정하였으며, 수중 펌프의 가변 전압 주파수 제어 및 순환 펌프의 On-off 제어를 적용하여 시스템의 난방 성능을 평가하였다.

2. 이론 고찰

2.1 난방 성능 이론

지열히트 펌프의 시스템은 냉난방 사이클을 가지고 있다. 난방 사이클에서 지중으로 방출한 에너지의 총량은 에너지 방출량과 시스템 소비 전력의 총합이고, 난방 사이클에서는 에너지 유입량과 시스템 소비 전력의 총합이 지중으로부터 유입된 에너지의 총량이다. 지중 열교환기의 열전달량(Q)은 다음과 같이 계산된다.

$$Q = \dot{m} C_{p,w} \Delta T \text{ (kW)} \quad (1)$$

여기에서, \dot{m} (L/s)은 질량유량이며 ΔT 는 열교환기의 입구와 출구의 온도차이다.

지열히트 펌프 시스템의 성능 계수(COP_h)는 다음과 같이 계산된다.

$$COP_h = \frac{Q_H}{W_{hp} + W_p} \quad (2)$$

여기에서, Q_H (kW)는 시스템 난방능력이며 W_{hp} 는 히트 펌프의 소비 전력(kW), W_p 는 펌프의 소비 전력(kW)이다.

3. 시뮬레이터 제작 및 구성

3.1 시뮬레이터 제작

전남 농업기술원 내에 2000 m 깊이로 시추한 시추공과 원예시설 설비를 토대로 시뮬레이터를 제작하였다. 지중 깊이에 따른 심층수의 온도변화를 나타내기 위하여 순환수로 물을 사용하고 수조 내부에 히터와 수중 펌프를 설치한 후 가열된 물을 열교환기로 순환되도록 하여 1차측인 지중부를 재현하였다. 온실을 재현한 챔버 내에 배관을 설치하고 순환 펌프를 통해서 버퍼 탱크를 거쳐 물을 순환시키는 방식으로 2차측을 재현하였다.

시뮬레이터에 사용된 배관은 25A 규격의 PE-Xa

재질이다. 수중 펌프의 가변속 제어를 위하여 인버터를 설치하였으며 순환 펌프는 On-off 제어를 하기 위한 NI-Relay 모듈을 설치하였다. COP값 산출을 위하여 6개의 온도계와 유량계 2개, 전력계 2개를 설치하였다. 시뮬레이터의 개략도는 Fig. 1에 나타내었고 시뮬레이터의 사진은 Fig. 2에 나타내었다. 1차측은 수조 내 수중 펌프부터 열교환기까지의 순환이며, 2차측은 열교환기로부터 버퍼 탱크를 거쳐 챔버까지의 순환을 나타낸다. 시뮬레이터의 사양은 Table 1에 나타내었다.

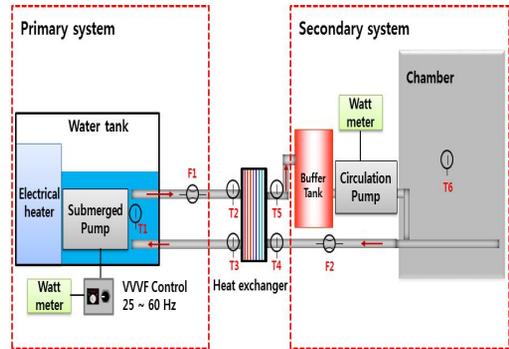


Fig. 1 Schematic diagram of simulator

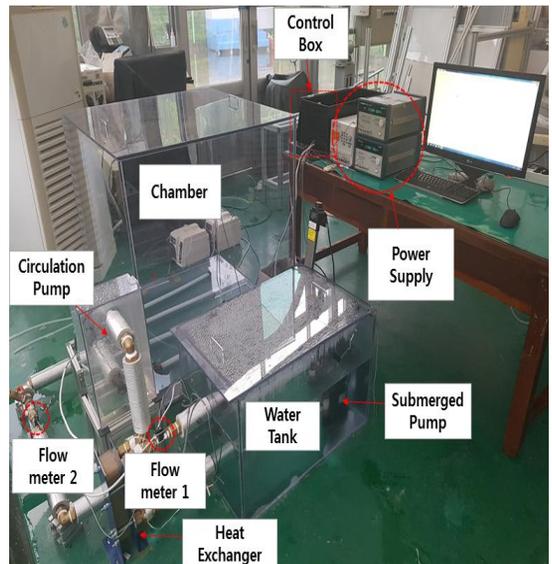


Fig. 2 Photograph of simulator

Table 1 Simulator specification

Simulator	Description
Water tank	20L
Chamber	100L
Buffer tank	15L
Heat exchanger	50,000kcal
Submerged pump	Single-phase, 220V, 1/6hp
Circulation pump	Single-phase, 220V, 1/6hp
Temperature sensor	AO, Thermistor, Range : -40 ~ +100℃
Flow meter	DO, Pulse output, Range : 0.5 ~ 7.5LPM
Controller	AI, AO, DI, DO
Inverter	220V, Range : 0 ~ 60Hz
Watt meter	230V, 60Hz Range : 0 ~ 16A

3.2 시뮬레이터 성능 계수

난방 성능 이론을 시뮬레이터에 적용시켜 시스템 난방능력(Q_H)을 구하면 다음과 같이 계산된다.

$$Q_H = (\dot{m}_1 + \dot{m}_2)C_{p,w}(T_2 - T_4) \text{ (kW)} \quad (3)$$

지열히트 펌프의 성능 계수와 비교하기 위하여 1차측 성능 계수인 COP_1 과 전체 시스템의 성능 계수인 COP_t 을 구하면 다음과 같이 계산된다.

$$COP_1 = \frac{\dot{m}_1 C_{p,w} (T_2 - T_3)}{W_{s,p}} \quad (4)$$

$$COP_t = \frac{(\dot{m}_1 + \dot{m}_2)C_{p,w}(T_2 - T_4)}{W_{s,p} + W_{c,p}} \quad (5)$$

여기에서, $W_{s,p}$ (kW)는 수중 펌프의 소비 전력이며 $W_{c,p}$ (kW)는 순환 펌프의 소비 전력이다.

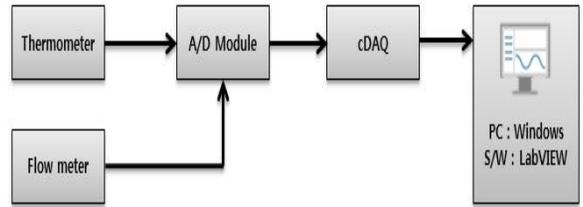


Fig. 3 Block diagram of monitoring system

3.3 시스템 구성 및 제어

시뮬레이터 장치는 실시간 원격 모니터링 및 제어를 위하여 개인용 컴퓨터와 인터페이스 장치로 구성되며, Data logger 및 Controller인 NI-cDAQ를 이용하여 하드웨어를 구성하였다. 소프트웨어는 NI-LabVIEW, 운영체제는 Windows 8에서 운용되도록 시스템을 구성하였다. 모니터링 시스템의 블록선도는 Fig. 3에 나타내었다.

수중 펌프는 정격 60Hz 펌프의 주파수를 변화시켜 펌프의 속도를 변속시키는 VVVF(가변 전압 가변 주파수) 제어 시스템을 적용하였다.

순환 펌프는 챔버 내의 온도(T_6)를 설정온도에 따라 On-off 제어기에 의해 작동된다. 온실 내 작물을 재배하는 것을 가정하여 온대성 작물의 생육 적온에 맞춰 On-off 제어기의 온도 범위를 23 ~ 27 ℃로 설정하였다. 챔버 내 온도는 Set point 25 ℃, Dead band 2 ℃로 설정 후에 On-off 제어를 수행하였다. 챔버 내 온도인 T_6 의 온도가 27 ℃ 이상이 될 경우 순환펌프가 Off되고 23 ℃이하로 떨어지게 되면 On이 된다.

4. 시뮬레이터의 성능 계수 실험

4.1 실험조건

일반적으로 심부지열 시스템에서 물의 온도는 심도 1,250 m ~ 2,250 m일 때 40 ~ 60 ℃까지 취득 온도가 증가한다^[9]. 지중 깊이에 따라 전체 시스템의 성능 계수에 미치는 영향을 시뮬레이터로 실험을 수행하기 위하여 수조 내 히터로 수조 내의 온도(T_1)를 40 ~ 60 ℃ 내에서 10 ℃간격으로 증가시켜 온도 변화에 따른 시스템 성능 계수 실험을

수행하였다. 1차측 수중 펌프를 가변속시키면 유량 값과 소비 전력이 변동되므로 1차측 성능 계수와 전체 시스템의 성능 계수가 변하게 된다. 따라서, 주파수 변속에 따른 성능 계수의 변동을 파악하기 위하여 정격 60 Hz의 수중 펌프를 가변속 제어하여 주파수 30 ~ 60 Hz 범위 내에서 10 Hz의 간격으로 수중 펌프의 주파수 변화에 따른 시스템 성능 계수를 구하였다. 또한, 2차측 순환 펌프를 On-off 제어 하면 소비 전력 값이 변화하여 시스템 성능 계수에 영향을 미치게 된다. 수조 내 수온 조건을 약 43 ~ 58 °C로, 챔버 내의 온도 조건 23 ~ 27 °C로 설정하여 실험을 통해 순환 펌프의 On-off 제어에 따른 시스템의 성능 계수를 구하였다.

4.2 실험결과 및 고찰

4.2.1 수조 내 물의 온도 변화에 따른 시스템의 성능 계수

수중 펌프를 정격 60 Hz로 가동하고 수조 내 설정 온도(T_1) 조건을 42, 51, 55 °C로 설정하여 실험을 수행하였다. 수중 펌프와 순환 펌프를 3시간 동안 가동하여 챔버에 난방에너지를 공급하였다. 각 펌프의 정격 소비 전력은 수중 펌프에서 0.18 kW, 순환 펌프에서 0.07 kW를 나타내었으며, 유량은 평균적으로 1차측에서 0.154 L/s, 2차측에서 0.110 L/s를 기록하였다.

Fig. 4에 나타난 바와 같이 수조 내 수온의 온도가 상승함에 따라 취득열량 값이 상승하였으며 식(3)으로부터 취득열량 값을 계산하면 55 °C의 경우에는 5.08 kW였다.

수조 내 온도(T_1) 값이 상승함에 따라 COP의 값들이 증가하였고 55 °C의 경우에 COP_t 의 값이 최대 20.67까지 증가하였다. 또한, 전체 시스템 성능의 계수인 COP_t 가 1차측 성능 계수인 COP_1 보다 전체적으로 높은 것을 확인할 수 있었다.

1차측 성능 계수인 COP_1 은 식(4)에 따르면 T_2 - T_3 값에 의하여 결정되고 전체 시스템 성능 계수인 COP_t 는 식(5)에 나타난 바와 같이 T_2 - T_4 에 의하여 결정된다. 여기서 T_4 의 값은 챔버 내에 열을 방출하기 때문에 냉각되어 T_3 의 값보다 더 낮아지게 된다.

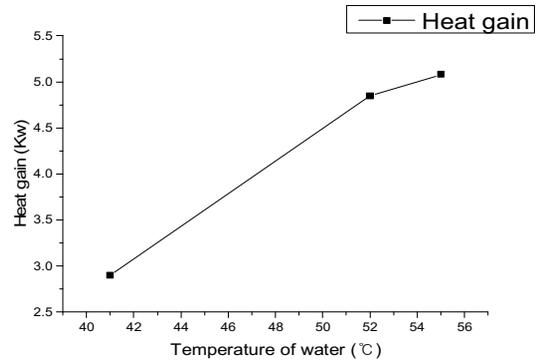


Fig. 4 Heat gain according to temperature of water in water tank

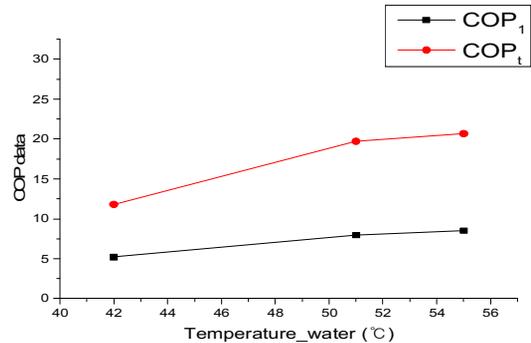


Fig. 5 COP data according to temperature of water in water tank

그러므로 T_2 - T_4 의 값이 T_2 - T_3 의 값보다 커지게 때문에 COP_t 값이 COP_1 보다 전체적으로 커지게 된다.

일반적으로 지열히트 펌프를 사용하는 시스템의 난방 성능 계수는 약 2.5 ~ 3.8에 불과하다^[10]. 그러나 심부 지열 시스템의 경우에는 Fig. 6에 나타난바와 같이 시스템 성능 계수가 10 이상이기 때문에 히트 펌프를 이용하는 시스템보다 시스템 성능 계수의 값이 훨씬 높게 나타났다.

4.2.2 수중 펌프 주파수 변화에 따른 시스템의 성능 계수

수조 내 온도를 42 °C로 고정하고 정격 주파수 60 Hz의 수중 펌프를 변속 운전하였다.

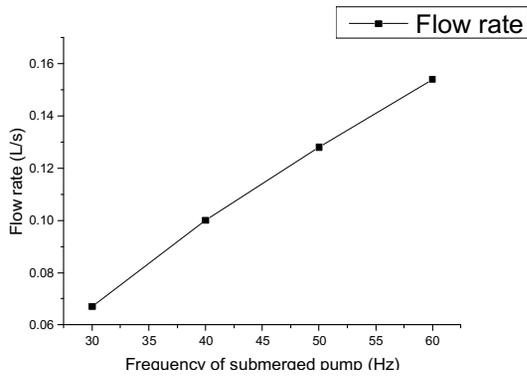


Fig. 6 Flow rate according to frequency variation of submerged pump

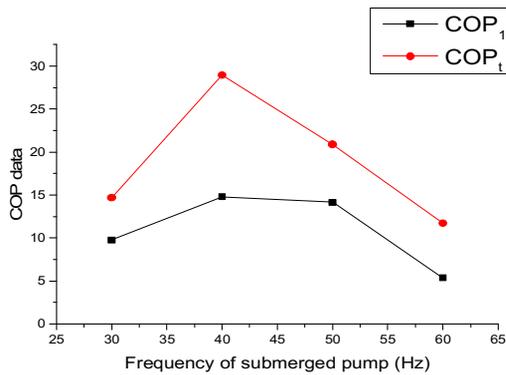


Fig. 7 COP data according to frequency variation of submerged pump

주파수는 인버터를 이용하여 30 ~ 60 Hz 범위에서 10 Hz의 간격으로 변화시켜 변속 운전하였고 순환 펌프는 각 실험 조건에서 3시간동안 가동하였다. 주파수에 따른 유량 변동은 Fig. 6에 나타내었다.

수중 펌프를 정격 60 Hz로 운전할 경우 평균 유량은 0.154 L/s이며, 소비 전력은 0.18 kW이다. 수중 펌프를 50 Hz로 운전하였을 경우에는 열교환기에 유입되는 유량은 0.128 L/s로 나타났다. 소비 전력은 0.096 kW로 약 절반이 감소하였으므로 정격 60 Hz 운전보다 COP의 값들이 급격하게 증가하였다. 수중 펌프를 40 Hz로 운전할 경우에는 평균 유량이 0.100 L/s로 낮아졌으며 소비 전력은 0.08 kW를 기

록하였다. 이때, 시스템 COP_t 값은 최대치인 28.95로 증가하였다. 그러나 수중 펌프를 30 Hz로 운전하였을 경우에는 COP의 값이 감소하였다. 이는 유량이 감소함에 따라 온도 차이가 커져야 되지만 열교환기의 성능으로 인하여 40 Hz 운전보다 온도 차이가 나지 않고 유량 값만 감소하였기 때문에 COP 값이 감소한 것으로 보인다.

수중 펌프의 주파수 변동에 따른 COP값은 Fig. 7에 나타내었다.

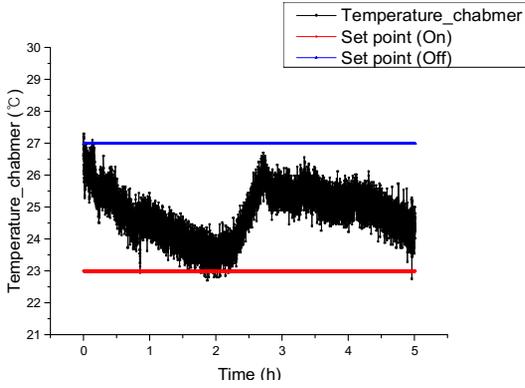
4.2.3 순환 펌프 On-off 제어에 따른 시스템의 성능 계수

수중 펌프는 정격 60 Hz로 가동하고 순환 펌프는 Set point 25 °C, Dead band 2 °C로 설정하여 On-off 제어하였다. 또한, 수조 내 설정 온도(T₁) 조건을 42, 51, 55 °C로 설정하여 실험을 수행하였다. 순환 펌프를 On-off 제어 했을 때 각 수조 내 온도 조건에 따른 챔버 내의 온도와 유량 값을 Fig. 8부터 Fig. 10까지 나타내었다. 각 데이터는 관내 질량 유량이 일정하게 유지되는 1시간 후부터 취득하였다.

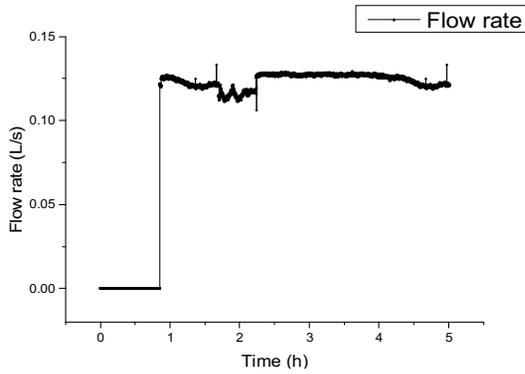
Fig. 8에 나타낸 바와 같이 수조 내 물의 온도를 42 °C로 설정하였을 때 챔버 내 온도(T₆)는 27 °C 이상 올라가지 않았다.

Fig. 9에 나타낸 바와 같이 수조 내 온도가 51 °C 일 때는 순환 펌프가 2번 작동되었고 평균 25 °C 이상을 유지하였다. 즉, 수조 내 온도 값이 상승함에 따라 순환 펌프의 On-off 횟수가 증가하고 소비 전력 값이 감소하였다. Fig. 10에서 보는 바와 같이 수조 내 온도가 55 °C일 때는 순환 펌프가 3번 작동되었고 작동 시간이 길지 않으므로 소비 전력은 0.006 kW를 기록하였다. 이때, COP_t 값은 27.32로 최고치를 기록하였다.

식 (5)로부터 시스템 성능 계수를 구하기 위하여 순환 펌프를 On-off 제어를 했을 경우에 수조 내 수온에 따른 순환 펌프의 소비전력을 Fig. 11에 나타내었다. 수조 내 수온이 증가함에 따라 순환 펌프의 소비 전력이 감소함을 알 수 있다. 수조 내의 수온의 온도 변화에 따른 COP 값들은 Fig. 12에 나타내었다.

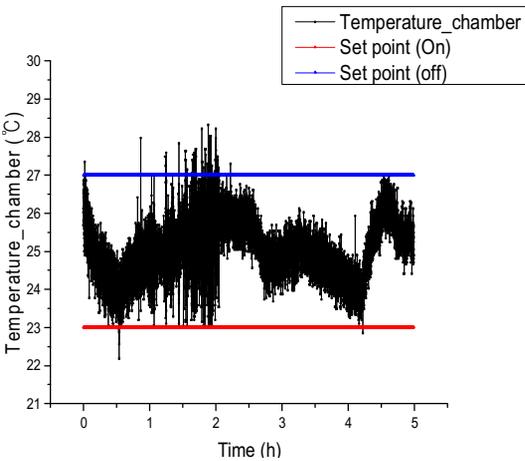


(a) Temperature of chamber

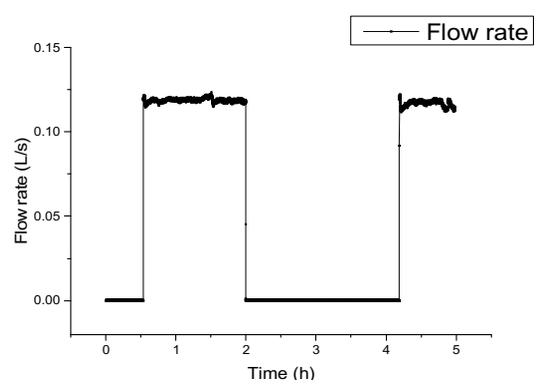


(b) Flow rate

Fig. 8 Temperature and flow rate for circulation pump with on-off controller at $T_1=42^\circ\text{C}$

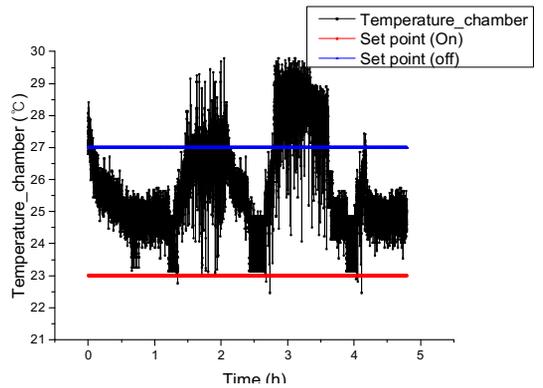


(a) Temperature of chamber

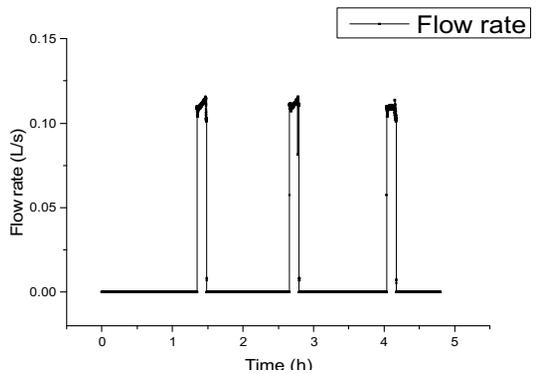


(b) Flow rate

Fig. 9 Temperature and flow rate for circulation pump with on-off controller at $T_1=51^\circ\text{C}$



(a) Temperature of chamber



(b) Flow rate

Fig. 10 Temperature and flow rate for circulation pump with on-off controller at $T_1=55^\circ\text{C}$

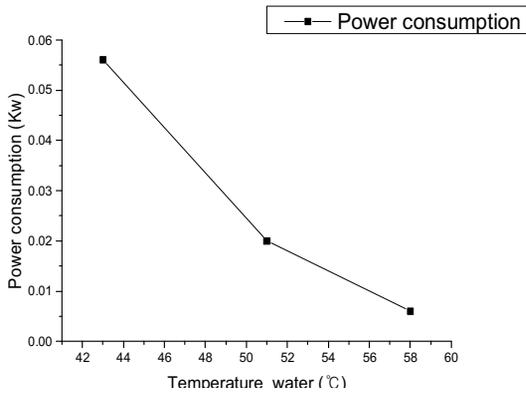


Fig. 11 Power consumption of circulation pump with on-off controller according to temperature of water in water tank

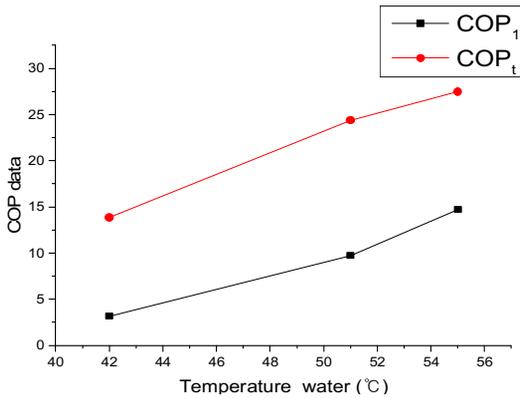


Fig. 12 COP data according to temperature of water using circulation pump with on-off controller

점차 수조 내 온도가 상승함에 따라 순환 펌프의 작동시간이 짧아지고 소비 전력이 감소하여 전체 시스템 성능 계수인 COP_t가 증가하였다. Table 2에 제어 기법을 사용하지 않고 정격으로 시뮬레이터를 동작 했을 때와 순환 펌프를 On-off 제어하여 시뮬레이터를 동작했을 때의 시스템 성능 계수를 비교하여 나타내었다.

Table 2에 나타낸 바와 같이 수조 내 수온 조건을 42, 51, 55 °C로 설정하여 실험을 수행하였을 때 수온이 높아짐에 따라 시스템 성능의 계수의 차가 커졌다.

Table 2 Comparison of COP_t Values

Operating condition	COP _t values of total system		
	42 °C	51 °C	55 °C
Without control	11.8	19.7	20.67
On-off control	13.87	24.41	27.32
Setting temperature T ₁ (°C)	42 °C	51 °C	55 °C

순환 펌프를 On-off 제어했을 때 제어를 하지 않은 경우보다 시스템 성능의 계수가 더 높게 나타났다. 순환 펌프를 On-off 제어하고 수조 내 설정 온도가 55 °C일 때 전체 시스템 성능계수는 최대치인 27.32로 나타났다.

5. 결론

본 연구에서는 지열히트 펌프를 사용하지 않는 수직 밀폐형 심부지열 시스템을 재현하여 시뮬레이터를 제작하였고 지중 심도에 따른 온도 변화 및 펌프의 가변 전압 주파수 제어 및 On-off 제어기법에 따른 성능 계수의 변동을 실험적으로 구하고 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 수조 내 물의 온도 조건을 42, 51, 55 °C로 설정하고 실험한 결과 수온의 온도가 상승함에 따라 온도 차이가 상승하여 취득열량 값이 높아진다는 것을 확인하였다. 취득열량이 높아짐에 따라 시스템 성능 계수 값이 상승하게 되고 이는 지중의 깊이가 커짐에 따라 난방열량과 성능 계수가 커진다는 것을 예측할 수 있었다. 또한, 난방 성능 측면에서 지열히트 펌프를 사용하지 않은 심부지열 시스템이 천부지열 시스템보다 훨씬 유리하다는 것을 예측할 수 있었다.
2. 수중 펌프를 30 ~ 60 Hz 범위에서 가변속하여

유량 값을 조정한 후 실험한 결과 40 ~ 60 Hz까지는 점차 주파수가 감소함에 따라 성능 계수가 상승하고 40 Hz에서 시스템의 성능 계수는 최대값을 나타냈다. 이는 가변 전압 주파수 제어기법을 통해 난방 성능을 증가시킬 수 있다는 것을 제시하였다.

3. 설정 온도 23 ~ 27 °C로 설정하여 순환 펌프를 On-off 제어하여 실험한 결과 정격으로 시뮬레이터를 동작 했을 때보다 시스템 성능의 계수가 증가하는 것을 확인하였다. 따라서, On-off 제어로 시뮬레이터를 가동하면 난방 성능이 향상됨을 알 수 있었다.

후 기

“이 논문은 2014년 농림수산식품기술기획평가원(iPET)의 지원에 의하여 수행되었습니다.(과제번호 : 314037-02-1-HD020)”

REFERENCES

1. Ryoo, Y. S., “A Study on the Loadsharing for Geothermal Heat pump System and Boiler in Horticultural Greenhouse,” Rural Research Institute, 11-D150769-000025-01, pp.8-13, 2012.
2. Kim, S. S., ‘A Study on the Heat Pump System by Using Geothermal Energy’, Department of Mechanical & Precision Engineering Graduate School Gyeong Sang National University , 2010.
3. Sohn, B. H., “Performance Analysis of Ground-Coupled Heat Pump System with Slinky-Type Horizontal Ground Heat Exchanger,” Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering 24(3), pp.230-239, 2012.
4. Bae, J. H., “A Study on the Deep-geothermal Water Simulation Monitoring using LabVIEW,” KSMPE Conference, pp.202-202, 2016.
5. Sohn, B. H., Cho, C. S., Shin, H. J., and An, H. J., “Cooling and heating performance evaluation of a GSHP system, Korean Journal of Air-conditioning and Refrigeration Engineering,” Vol. 17, No. 1, pp.71-81, 2005.
6. Sohn, B. H., Choi, J. M., and Choi, H., “Performance Simulation of Ground-Coupled Heat Pump(GHP) System for a Detached House, Korean journal of Air-conditioning and Refrigeration Engineering, Vol 23, No. 6, pp.392-399, 2011.
7. Lee, J. Y., Chung, J. T. Woo, J., and Choi, J. M., “Influence of the Secondary Fluid Flow rate of the Performance of a GSHP System, Korean Journal of Air-conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 22, No.10, pp.649-656, 2010.
8. Kang, S. H., Choi, J. M., Moon, J., and kWon, H., “Heating Performance of a Ground source Multi-heat pump for a Greenhouse, Korean Journal of Air-conditioning and Refrigeration Engineering, Vol.22, No. 6, pp.337-344, 2010.
9. Kim, H. C., and Lee, Y. G., ‘Heat flow in the Republic of KOREA’, Journal of Geophysical Research, Vol.112, B05413, doi:10.1029/2006JB009, pp.266. 2007.
10. Chae, H. B., and Nam, Y. J., Kim, D. K., ‘Study on the experimental analysis for a hybrid heat pump using the renewable heat source’, The Society Of Air-Conditioning And Refrigerating Engineers Of Korea, Conference of Autumn, pp.416-419. 2013.
11. Jung, S. H., and Kim, D. G., Gong, S. H., ‘Development of Electrical and Oil Heater for energy saving’, Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol.10, No.5, pp.38-43. 2011.
12. Jung, S. H., ‘Thermal Insulation Property due to Internal Air-layer Content of Warm Multi Layer Materials by using Numerical Analysis’, Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol.11, No.4, pp.97-103. 2012.
13. Lee, C. H., and Kim, D. M., Yang, H. S., Kim, S. J., ‘Design and Analysis of Cryogenic Turbo Expander for HTS Power Cable Refrigeration system’, Journal of the Korean Society of

Manufacturing Process Engineers, Vol.14, No3,
pp.141-148. 2015.

14. Lee, S. H., and Moon, H. J., Hue, S. B., Choi, S. D., 'Development of LED Module Control-based PWM Current for Control of Heat-dissipation', Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol.14, No.6, pp.129-135. 2015.