

저에너지주택내 지중순환수 조건 변화에 따른 지열 히트펌프의 동절기 성능평가

이철희^{1)*} · 정 훈²⁾ · 김범주³⁾ · 조종영⁴⁾

The Performance of Ground Source Heat Pump System for Domestic Heating under various Ground Water Circulation Conditions

Cheolhee Lee^{1)*} · Hoon Jung²⁾ · Beomjoo Kim³⁾ · Jongyoung Jo⁴⁾

Received 19 August 2015 Revised 22 September 2015 Accepted 22 September 2015

ABSTRACT This study is evaluates the performance of a prototype ground source heat pump(GSHP) system under various secondary fluid flow rates. The prototype GSHP has four functions : space heating, cooling, floor heating and domestic water heating. Heating can be operated by two operational modes : water to water and water to air. As a result, the COP of GSHP was increased from 3.43 to 3.84 when the underground circulation flow rate was increased, but ratio of increased in COP was decreased. When the flow rate of the GSHP system including electricity consumption of the ground circulation pump was increased 19.2 LPM to 47.4 LPM, the COP was increased by up to 6.1%, but flow rate was increased 47.4 to 87.7 LPM, the COP was decreased by up to 6.2%. It is suggested that the GSHP with an underground circulation inverter pump saves power consumption in the operation mode, a variable-speed control of ground circulation flow rate based on a compressor Hz have to be selected in order to optimize COP of GSHP system.

Key words GSHP(지열 히트펌프), Circulation Pump(순환펌프), Variable Speed Control(가변속도제어), Low Energy House(저에너지주택)

1. 서론

에너지 소비에 따른 기후변화 및 에너지 환경문제를 해결하기 위해 전 세계적으로 다양한 분야의 에너지 감축에

대한 정책이 진행되고 있으며 주택에너지 감축은 에너지 절감 요소 중 가장 잠재성 있는 분야중 하나이다. 주택 에너지 감축을 위해서는 단열, 침기 등의 패시브 요소 및 주택 에너지의 70%를 차지하는 난방 및 급탕에 대한 기기의 고효율화에 대한 연구개발이 필요하며 이에 따라 고효율 냉난방기인 히트펌프의 보급이 점차 증가할 것이라고 전망된다.

공기열 히트펌프는 설치가 쉬우며 가격하락의 기대성 등의 장점이 있지만 혹한의 외기온에 따른 낮은 성능이 주요 문제점으로 제기되고 있다. 이에 비해 지열 히트펌프는 지중 열원의 안정적인 공급으로 인해 공기열 히트펌프에 비

1) 한국전력공사 전력연구원 E-mail: good@kepcoco.kr
Tel: +82-42-865-5316 Fax: +82-42-865-5202

2) 한국전력공사 전력연구원 E-mail: hjung@kepcoco.kr
Tel: +82-42-865-5374 Fax: +82-42-865-5202

3) 한국전력공사 전력연구원 E-mail: 06101551@kepcoco.kr
Tel: +82-42-865-5324 Fax: +82-42-865-5202

4) 한국전력공사 전력연구원 E-mail: jjy@kepcoco.kr
Tel: +82-42-865-5217 Fax: +82-42-865-5202

해 높은 성능을 얻을 수 있는 반면 시공호환성 및 높은 설비치의 단점이 있다.^{1,2)} 국내의 경우 지열 히트펌프는 신재생설비로 지정되어 보조금의 지원을 받고 있으며 정부의 에너지 절감 정책에 의해 보급된 지열 히트펌프의 총 설비용량은 '13년까지 총 552,804kW로서 '09년(39,838kW) 대비 '13년 보급용량(121,456kW)은 305% 증가 하였다.³⁾

지열 히트펌프에 대한 연구는 오래전부터 국내외에서 진행 되었으며 최근 지중 순환수 유량제어 및 지열 히트펌프를 건물에 적용한 실증 시험에 관한 다양한 연구들이 진행되고 있다. Zhai et al.⁴⁾은 학교건물에 지열 히트펌프를 적용하여 실내온도 조건의 변화에 따른 실증연구를 수행하였으며, Michopoulos et al.⁵⁾은 시청에 지열 히트펌프를 적용하여 3년간 히트펌프의 성능특성에 관한 연구를 수행하였다. 국내의 경우 Sohn et al.⁶⁾은 가상의 단독주택에 지열 히트펌프를 20년간 적용하여 지열 히트펌프의 난방 성능 및 에너지 사용량을 분석 하였으며 Lee et al.⁷⁾는 국내 지열 히트펌프 인증 제품에 대한 성능자료를 분석하여 히트펌프의 효율 향상 및 지중 열교환기 길이에 의한 시공비 절감을 위해 지중 순환수 유량의 최소화가 필요함을 강조하였다. Kim et al.⁸⁾과 Choi et al.⁹⁾은 학교건물에 물-공기 방식의 지열 히트펌프와 정속형 지중 순환펌프를 설치하여 성능평가를 수행 하였으며, 히트펌프의 용량 변화시 지중 순환수의 유량 최적화의 중요성 및 유량 최적화를 위한 효율적 운전 제어 알고리즘의 필요성을 제시하였다.

본 연구에서는 지중 순환수 유량 및 공급온도에 따른 지열 히트펌프의 성능을 평가하기 위하여 물-물 방식(난방, 급탕) 및 물-공기 방식(냉방)이 결합된 지열 히트펌프 시제품을 개발하여 실증 저에너지주택에 설치 후 연간 성능평가를 수행하고 결과를 분석하였다. 도출된 결과를 통하여 저에너지주택에서의 지열 히트펌프의 동절기 기간의 지열 히트펌프의 난방 성능 및 에너지 사용량을 분석하며 지중 순환수의 유량 최적화에 대한 타당성을 고찰하고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실증사이트 개요

본 연구를 위해 2012년 신축설계 기준인 난방 50%,

총에너지 30% 저감을 충족하는 Fig. 1과 같은 단독주택형 저에너지 실증주택을 2010년 대전에 완공하였다. 지상 2층, 총면적 214m²의 실증주택은 복층유리 이중창, 삼중유리 시스템 창호, 외단열 시스템 등의 패시브 요소로 구성되었다. 또한 주택내의 난방 및 급탕설비로 물-물 및 물-공기 방식이 결합을 통해 공간 냉/난방, 바닥난방 및 급탕의 선택적 이용이 가능한 지열 멀티 히트펌프 시제품을 설치하였다. 주택내의 난방은 히트펌프에서 생산된 온수를 이용, 건식바닥을 통한 바닥 복사난방 방식을 주로 사용하였으며 주택내 공간 난방 사용시에는 각층 거실 및 침실에 설치된 6대의 천장형 실내기를 이용하였다. 급탕은 급탕조내 히트펌프를 통한 축열방식과 태양열 설비를 이용한 축열방식을 결합하여 각각 설정된 온도에서 운전하여 에너지를 절감하도록 구성하였다. 지열이용을 위해 각각 150m와 100m 깊이의 Borehole과 열교환기를 설치하였으며 지중열 전도시험을 수행하여 100m 깊이의 지중열 전도도는 3.55W/m·k, 150m 깊이의 지중열 열전도도는 3.25W/m·k로서 냉동공조 인증센터로부터 인증을 받았다.

2.2 지열 히트펌프 시스템 개요

Fig. 2 및 Table 1은 실증주택에 설치된 지열 멀티 히트펌프 시제품의 개략도 및 사양을 나타낸다. 히트펌프의 압축기는 BLDC 인버터를 적용한 로터리 압축기이며 인버터의 회전수를 15~80Hz로 가변하여 부분부하에 대응한다. 지중 순환펌프는 초기 0.9kW급 정속형 펌프를 설치하였으나, 부분부하 운전시 펌프의 상대적인 소비전력 증가 및 히트펌프의 효율감소로 인한 시스템의 전체 성능저하를 개선하기 위해 인버터펌프로 변경하였다. 적용된 인버터 펌프의 제어방식으로는 지열측 입/출구 온도차에 대한 목표온



Fig. 1. Picture of Low Energy Detached House

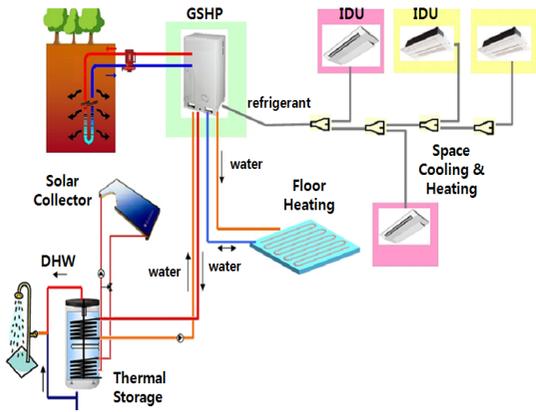


Fig. 2. Schematic diagram of the prototype GSHP system

Table 1. Specifications of GSHP system

Item		Specification
Normal capacity	Cooling	14.4
	Heating & DhW	16.5
Electricity	Cooling	3.0
	Heating & DhW	4.1
Refrigerant	R410A	
Max temp.	55°C	

※ 실험조건 : KS B ISO 13256-1, EN14515

도를 설정하고 실제 측정된 온도차에 대한 비례적분제어를 통해 지중 순환펌프의 유량을 제어하는 방식을 사용하였다.¹⁰⁾ 히트펌프는 각방에 설치된 지상 1.2m 높이의 온도센서로부터 실내 설정온도에 대한 가동신호를 받아 작동여부를 결정한다.

2.3 데이터 측정

본 연구에서는 지열원 히트펌프를 사용하여 실증주택의 연간 에너지 사용량 및 히트펌프의 냉/난방 성능평가를 수행하고자 실증주택 및 히트펌프의 주요 부위에 온도센서, 압력계, 유량계 등을 설치하여 실증 데이터를 확보하였다.

지열 히트펌프 시스템의 열원측 및 부하측 온도측정은 RTD를 이용하였으며 주택의 실내의 각 요소별 온도는 T형 열전대를 이용하여 측정하였다. RTD의 정확도는 ±0.01°C, 열전대의 정확도는 ±0.1°C이다. 유량은 열원측(LF600, TOSIBA) 및 부하측(FEP311, ABB)에 전자식 유량계를 설

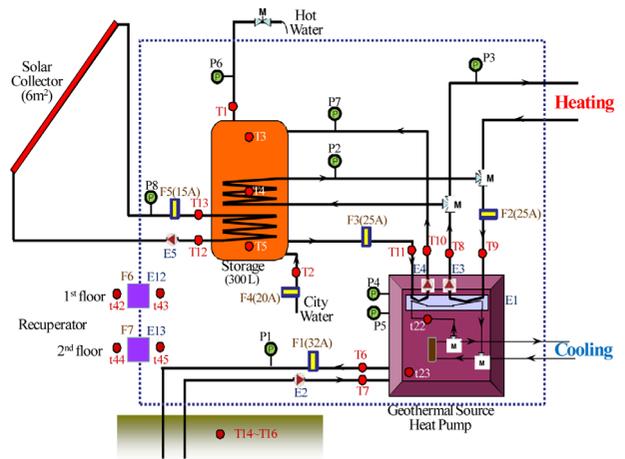


Fig. 3. Measure point of actual performance data of GSHP system

치하여 측정하였다. 전력량 모니터링은 실증주택의 분전반에 미터링 디바이스를 각각 설치하여 분전반 내부의 CT에서 측정된 데이터를 취합하여 서버에 전송하는 방식을 적용 하였으며 전력분석계(WT1600, YOKOHAMA)를 통해 검증하였다.

온도, 압력, 유량, 소비전력, 기상자료 등의 실증주택의 모든 데이터는 PC와 데이터 로깅 시스템(Agilent 34980A)을 상호 연결한 후 10초 간격으로 수집하여 1분 평균값으로 데이터를 저장한 후 TCP/IP 및 FTP 데이터 전송방식을 통하여 에너지 관리시스템(EMS)에서 통합운영 하였으며 히트펌프 제작사의 자체 모니터링 프로그램을 히트펌프에 연결하여 데이터를 상호 비교하였다.

히트펌프의 성능평가를 위해서는 히트펌프의 실시간 난방 공급열량에 대한 정확한 산출이 필요하였다. 본 연구에서는 부하측 입출구 온도 및 유량을 통하여 식 (1)과 같이 히트펌프의 난방 공급 열량을 산출한 후 히트펌프 및 지중 순환펌프 소비전력을 포함한 히트펌프 시스템의 COP 식 (3)을 계산하였다.

$$Q_{hp} = \dot{m} C_p (T_{fi} - T_{fo}) \quad (1)$$

$$COP_{hp} = Q_{hp} / W_{hp} \quad (2)$$

$$COP_{sys} = Q_{hp} / W_{sys} \quad (3)$$

3. 실험결과 및 고찰

3.1 일간 난방성능데이터 분석

저에너지 실증주택의 에너지 성능평가 및 지열 히트펌프의 성능평가를 위해 2011년 1월부터 연속 냉난방 운전을 시작하였다. 바닥난방 운전 초기 각방의 각실 온도제어 조건으로 실험을 진행하였으나, 각실 온도 변화에 따른 잦은 히트펌프 기동 및 히트펌프의 효율 저하 등의 문제로 인해 2012년 1월부터는 2층 거실의 실내온도가 기준인 중앙온도 제어방식으로 실험을 연중 수행하였으며 히트펌프는 설정 실내온도 기준 $22 \pm 0.5^\circ\text{C}$ 범위에서 기동하였다. 이후 히트펌프 시스템의 성능향상을 위해 지중순환수 유량 제어 시스템을 구축하였으며 본 연구에서는 유량제어가 수행된 난방성능평가에 대한 결과를 분석하였다.

Fig. 4 및 Fig. 5는 2월 분석일의 지열 히트펌프의 가동 패턴을 나타낸다. 실험당일 최저/최고/평균 외기온은 $-5.9^\circ\text{C}/5.2^\circ\text{C}/-0.6^\circ\text{C}$ 이며 일사량 및 외기온의 상승으로 인해 10시부터 17시 사이에는 히트펌프가 가동을 하지 않았다. 실험당일 히트펌프의 일일 공급 난방열량은 81.9kWh, 소비 전력은 23.1kWh로서 히트펌프의 일일 총괄 COP는 3.51이며 총 가동시간은 426분이었다. 히트펌프는 가동 초기 바닥난방 배관 내 정체되어 있는 $20 \sim 30^\circ\text{C}$ 범위의 저온 난방수가 히트펌프로 유입됨에 따라 최대 18kW의 순간 난방열량을 공급하였으며 이후 건식바닥의 빠른 열교환을 통한

목표 실내온도의 도달로 가동종료 직전에는 10kW의 난방열량을 공급하였다. 히트펌프 가동시 난방 출수온도의 설정값은 46°C 로서 난방 입출구 온도차의 최대값은 9.5°C , 최소값은 5.0°C 를 나타내었다.

지중순환펌프는 설정된 지열순환 입출구 온도차를 유지하기 위해 유량을 증감시키며 설정 최소 펌프가동률 이하로는 유량을 감소시키지 않도록 제어되었으며 실험 당일 지열순환수 입출구 온도차는 5°C 이하, 순환펌프의 최소 가동률은 40%(36 LPM)로 설정되었다. 실험결과 히트펌프 가동 초기 지열순환수 입출구 온도차를 5°C 를 맞추기 위해 순환펌프는 최저 유량인 36 LPM으로 기동하였고 난방열량 증가에 따른 지중순환수 온도차 증가로 인해 유량을 증가시켜 온도차를 유지하였으며 이후 난방공급 열량이 안정화가 된 후에는 온도차가 감소하여 36 LPM으로 유량을 유지, 가동종료 직전 입출구 온도차는 3°C 까지 감소하였다. 일일 평균 지중순환수 유량은 36.7 LPM, 입출구 온도차는 3.3°C 를 나타내었다.

가동별 지열 순환수 초기 공급온도는 오전에 비해 오후가 높았으며 이는 외기온 증가에 따른 난방부하 감소로 인해 히트펌프의 정지간격이 길어짐에 따라 토양온도가 회복된 것으로 보인다. 오전의 지열 순환수의 가동 초기 입구온도는 평균 12.9°C , 종료직전 온도는 평균 11.2°C 인 것에 비해 오후의 가동 초기 입구온도는 $14.1, 13.5, 13.1^\circ\text{C}$ 로서 공급온도는 증가하였지만 가동이 반복될수록 온도는 감소

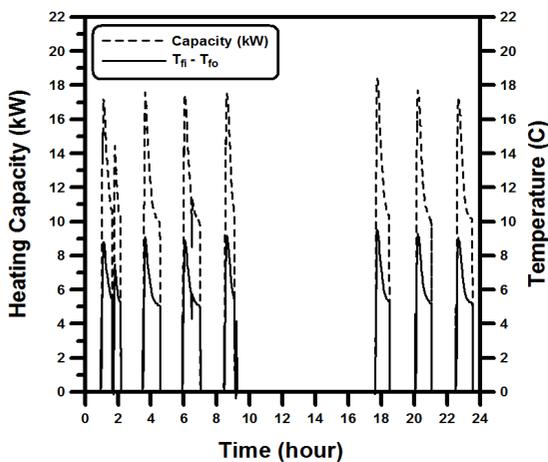


Fig. 4. Variations of floor heating capacity and inter and outlet water temperature difference on load side (Feb.21)

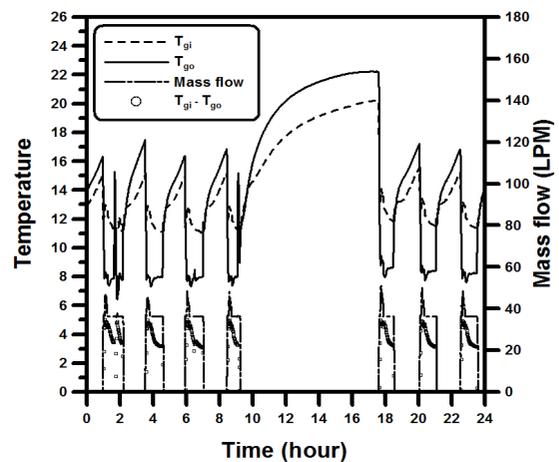


Fig. 5. Variations of inlet and outlet temperature, Temperature difference and mass flow rate on ground source side (Feb.21)

한다.

Fig. 6은 지중 공급열량, 난방 공급열량, 압축기 소비전력을 나타낸다. 가동시 분당 평균 지열 공급 열량은 9.5kW, 난방공급 열량은 12.6kW, 평균 소비전력은 3.5kW이며 총 지열 공급열량 대비 난방 공급열량의 평균비는 75.1%로서 지중 공급열량과 압축기 소비전력의 합은 난방 공급열량에 비해 3.1%의 오차가 발생하였다. 이러한 결과는 압축기 효율에 의한 전력투입량 대비 손실, 시스템 가동시간에 의한 배관 열전달률 감소, 배관손실, 지중순환수의 비열 오차 등의 원인으로 볼 수 있으며, 직접적인 열량 측정이 어려운 지열 히트펌프의 공간 냉/난방 성능평가지 지중 공급열량과 압축기 소비전력으로 지열 히트펌프의 효율을 계산하는

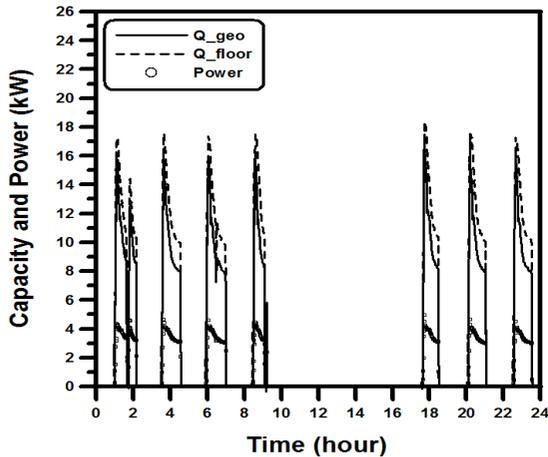


Fig. 6. Variations of Daily element capacity and power consumption (Feb.21)

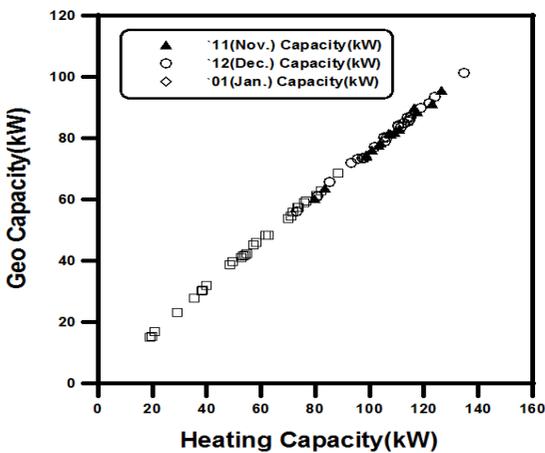


Fig. 7. Daily average geothermal capacity according to heating capacity of GSHP

방식에 대하여 적정 오차를 고려하여 효율을 판단하여야 한다. Fig. 7은 동절기 기간중 주택의 일일 난방부하별 지열 취득 열량에 대한 결과로서 지열 취득열량은 난방부하 대비 평균 76.1%, 지중 공급열량과 압축기 소비전력 대비 난방 공급열량은 3.3%의 오차가 발생하였다.

Fig. 8 및 Fig. 9은 일일 최고/최저/평균 기온이 $-4.9^{\circ}\text{C}/-17.6^{\circ}\text{C}/-11.4^{\circ}\text{C}$ 인 1월 분석일의 지열 히트펌프 가동특성을 나타낸다. 히트펌프의 성능은 총 공급 난방열량 122.9 kWh, 히트펌프 소비전력 34.9kWh로서 일일 평균 COP는 3.47이며 가동시간은 총 698분을 가동하였다. 2월 실증 데이터의 경우 난방 가동 횟수는 7회로 평균 약 60분을 가동

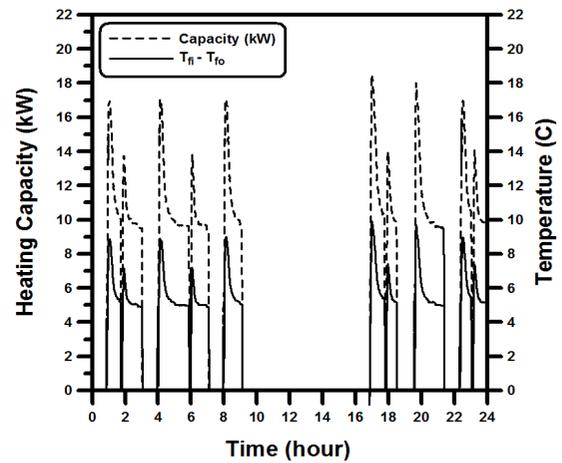


Fig. 8. Variations of floor heating capacity and inter and outlet water temperature difference on load side (Jan. 3)

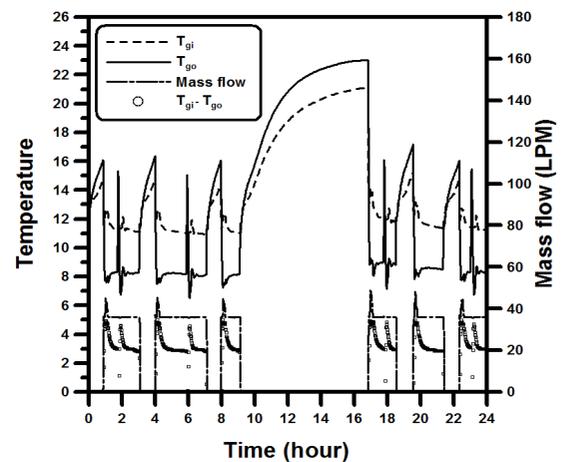


Fig. 9. Variations of inlet and outlet temperature, Temperature difference and mass flow rate on ground source side (Jan. 3)

하였지만 1월 분석일에는 가동횟수는 6회, 평균 116분을 가동하였다. 오전의 지열 순환수 가동초기 입구온도는 12.6°C ~12.3°C, 종료 직전 입구온도는 평균 11.0°C이었으며 오후의 가동초기 입구온도는 14.1°C, 13.1°C, 12.7°C로서 2월 대비 약 0.4°C 감소하였다. 히트펌프 가동 도중 난방공급 열량 및 지중순환수 유량이 0이 되는 것은 3시간마다 히트펌프의 냉매 재분배 제어에 의해 6분정도 역방향으로 작동하기 때문이다.

Fig. 10은 히트펌프 가동시 난방부하 대비 인버터압축기의 회전수 제어 및 시간별 COP를 나타낸다. 초기 난방배관 내의 30°C 이하의 난방수 환수로 인해 난방공급열량이 증가하지만 6분후 히트펌프가 공급한 난방수가 모두 순환되며 난방 환수온도의 증가폭은 점차 감소한다. 인버터 압축기는 난방공급열량에 따라 회전수를 제어하며 70Hz에서 최저 설정치인 40Hz까지 감소시켜 히트펌프를 가동한다. 히트펌프 COP는 난방공급열량의 감소에 따라 감소하며 30°C 이상의 난방수가 환수된 시점부터 초기 10분 동안 COP는 10.7% 감소하였으며 20분까지 COP는 감소하는 경향을 나타내나 20분 이후부터는 10분당 1%대, 40분 이후부터는 10분당 0.5% 미만으로 안정화 되었다. 지열 히트펌프의 인증조건은 실험조건이 안정화 된 상태에서 진행되는 조건으로 소비자는 제작사에서 제시한 성능결과와 다른 값을 적용 받을 수 있으며 초기 소비전력 증가로 인해 잦은 가동시 소비전력이 증가할 것으로 추론할 수 있다.

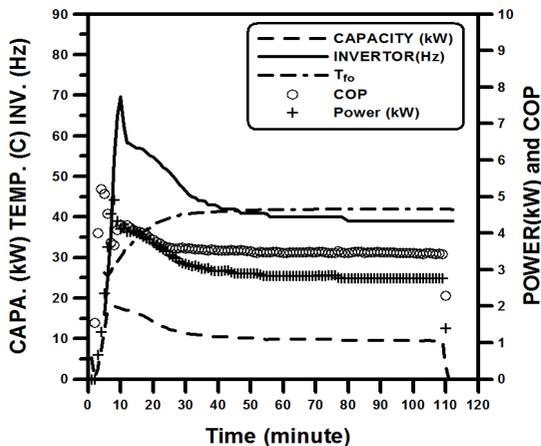


Fig. 10. Performance characteristics of GSHP in heating mode (Jan. 3)

3.2 지중순환수 특성별 히트펌프 성능평가

Fig. 11은 11월부터 1월까지의 실험결과를 바탕으로 한 일일 평균 지중순환수 공급온도 대비 지열 히트펌프의 일일 평균 COP_{avg}이다. 실험조건은 2층 거실 실내온도(22°C)를 기준으로 한 중앙난방 방식이며 지중순환수 유량제어를 위해 지중순환수 입/출구의 목표 온도차는 5°C, 순환수 펌프의 최소가동률은 40%로 설정하였다. 실험결과 히트펌프 가동시 평균 지중순환수 공급온도 15°C에서 히트펌프 COP_{avg}는 4.00이며 11.6°C에서 COP_{avg}는 3.48으로 약 13.0% 감소하였다. 월별 지중순환수 공급온도는 11월의 14.9~13.0°C, 12월 13.1~11.8°C, 1월 11.9~11.5°C로 감소하였으며 월별 평균 히트펌프 COP는 11월 평균 3.88, 12월 평균 3.64, 1월 평균 3.58로서 지중순환수 공급온도의 감소에

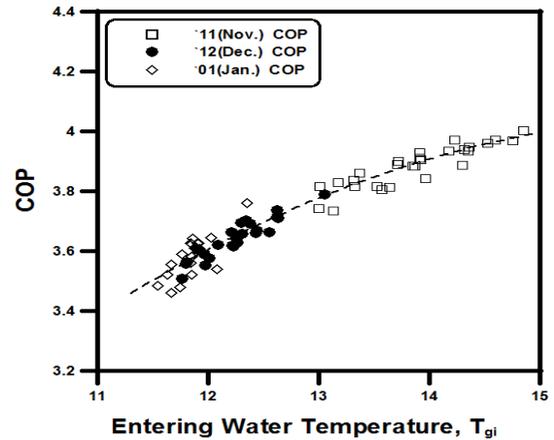


Fig. 11. Daily average COP variations of GSHP according to ground source T_{gi}

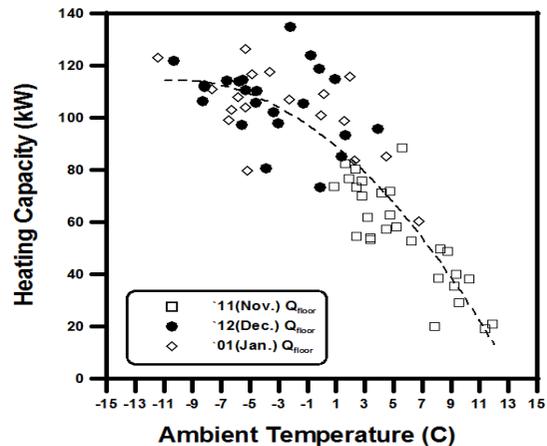


Fig. 12. Daily heating capacity variations of GSHP with ambient temperature

따라 COP는 점점 감소한다. 이러한 결과는 Fig. 12에서도 볼 수 있듯이 외기온의 감소에 따른 주택의 난방부하 증가, 그리고 히트펌프의 가동시간 증가에 의해 지열 회복율의 감소로 판단된다. 2012년 11월부터 2월까지의 평균 외기온 별 가동시간은 11월 5.6°C/54분, 12월 -3.5°C/106분, 1월 -2.6°C/102분, 2월 -1.9°C/96분으로 외기온 감소에 따라 히트펌프의 가동시간은 증가하는 경향을 나타내었으며 Fig. 13과 같이 난방부하 증가에 의해 히트펌프의 COP가 감소하는 경향을 확인할 수 있다.

Fig. 14는 지중순환수 유량에 따른 히트펌프의 난방성능을 가동시간별로 비교한 것이다. 지중순환수의 유량제어를 위해 순환펌프의 최소 가동률을 10% 간격으로 변화시켰으

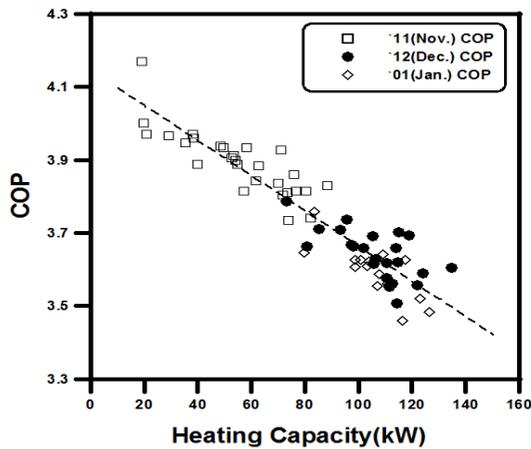


Fig. 13. Daily average COP variations of GSHP according to Daily heating capacity

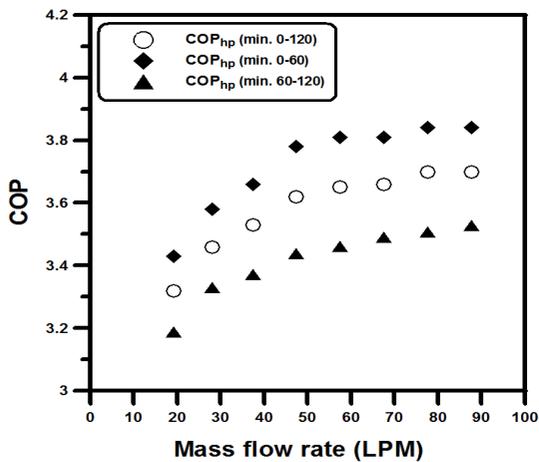


Fig. 14. Comparison of COP of operation time for the GSHP under Secondary fluid flow rate

며 기존의 동일한 실내조건에서 히트펌프를 120분간 가동하여 데이터를 취득하였다. 각 유량조건에서 초기 60분의 난방 공급열량은 난방부하의 감소에 따라 8.8kW±4% 이내로 감소하였다. 히트펌프의 COP는 유량이 증가할수록 증가하지만 증가폭은 감소하며 87.7 LPM(최소가동률 90%)에서 COP가 가장 높았다. 0~120분 구간의 히트펌프의 평균/최대 COP는 3.58/3.70 이었으며 0~60분 구간의 히트펌프 평균/최대 COP는 3.72/3.84, 60~120분 구간의 히트펌프 평균/최대 COP는 3.41/3.53을 나타내었다. COP의 증가와 달리 초기 난방부하의 증가로 인해 0~60분의 평균 소비전력은 3.72kW로서 난방부하가 감소 및 안정화된 60~120분 구간의 소비전력 3.41kW 대비 0.31kW 증가하였다. Fig. 10과 Fig. 12에서 나타낸 바와 같이 히트펌프의 공급부하 감소에 따라 히트펌프의 COP도 감소하는 경향을 보이지만 COP 감소율 대비 부하 감소율이 더 크게 때문에 초기 60분 이전의 전력 소비량이 더 높은 값을 가지게 된다. 이러한 결과는 저에너지주택내 잦은 히트펌프의 기동이 오히려 전력소비량을 증가시킬수 있으며 일정 실내온도를 유지하는 것이 난방에너지 절감에 유리할 것으로 판단된다.

Fig. 15는 설정유량에 대한 인버터 순환펌프의 유량별 소비전력을 나타낸다. 순환펌프의 소비전력은 유량이 증가함에 따라 소비전력의 증가폭이 커짐을 알 수 있다. 이 결과를 바탕으로 Fig. 16과 같이 0~120분 운전기간의 히트펌

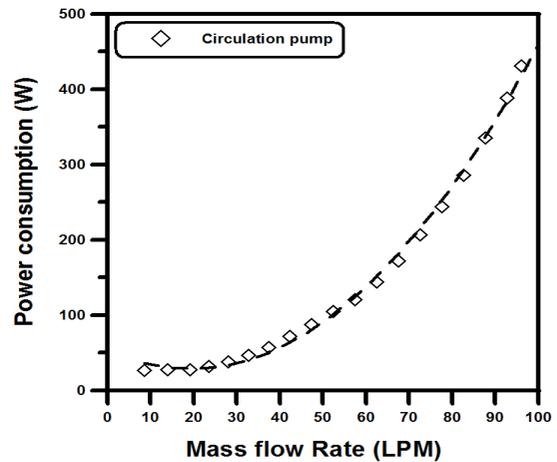


Fig. 15. Power Consumption of Ground circulation pump under Secondary fluid flow rate

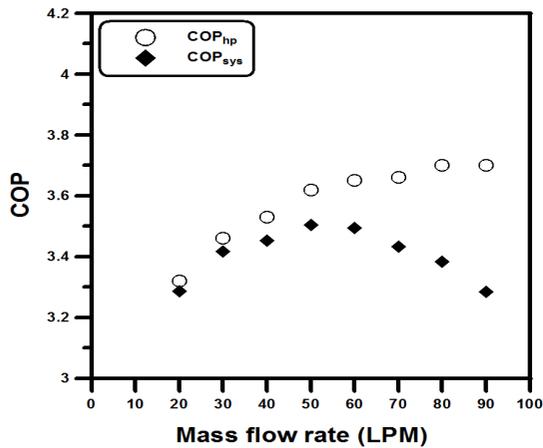


Fig. 16. GSHP COP and GSHP system COP according to Secondary fluid flow rate

프의 COP_{hp} 및 유량별 지중 순환펌프의 소비전력을 포함한 시스템 총괄 COP_{sys}에 대해 비교하였다. 히트펌프의 COP_{hp}는 지중순환수 유량이 증가할수록 증가하지만 COP_{hp}의 증가폭은 점점 감소하였다. 이와 달리 지중순환펌프를 포함한 총괄 COP_{sys}는 지중순환수 유량 47.4 LPM(최소 가동률 50%)에서 3.50로 가장 높으며 47.4 LPM을 중심으로 점차 감소하여 19.2 LPM(최소 가동률 20%)에서 3.29까지 감소한다. 순환펌프를 포함한 히트펌프 시스템의 소비전력은 47.4 LPM에서 5.48kW로 최소 소비전력을 나타내었고 최대 소비전력 6.16kW를 나타낸 19.1 LPM과의 비교시 11.0%의 소비전력이 절감되었다. 본 결과를 토대로 지열순환수의 유량제어를 통한 일 6회 난방 가동시 월 122.4kWh를 절감할 수 있다. 이러한 결과는 저에너지주택내 지열 히트펌프 적용시 에너지절감을 위해 지중순환펌프로 인버터펌프를 설치하여야 하는 이유일 뿐만 아니라 시스템의 전체 효율 향상을 위해서도 필요하다. 하지만 인버터 압축기의 제어방식으로는 사용자가 다양한 변수를 설정하여 유량을 제어하는 방식이 아닌 부하 변동에 대한 유량 최적화 방식이 필요하며 인버터 압축기의 회전수 변동에 연동하여 제어가 가능한 지중순환유량 제어방식이 기존 방식의 오차를 줄여줄 수 있을 것으로 예상된다.

4. 결론

본 연구에서는 저에너지 실증주택내 지중순환수의 가변

유량이 가능한 지열 히트펌프를 적용하여 실증 성능평가를 수행하였으며 일일 기동특성 및 지중순환수 유량별 히트펌프 시스템의 성능을 비교하여 다음과 같은 결과를 도출하였다.

- 1) 시험결과, 2월 시험일내 일일 평균 외기온 -0.6°C 에서 난방 공급 총/평균 열량 81.9 / 11.7kWh, 평균 가동시간 60분, 일일 총괄 COP는 3.51 이었으며 1월 시험일내 일일 평균 외기온 -11.4°C 에서 난방 공급 총/평균 열량 122.9 / 9.1kWh, 평균 가동시간 116분, 일일 총괄 COP는 3.47을 나타내었다.
- 2) 히트펌프 가동시간대의 일일 평균 지열 순환수 공급온도는 $15.0\sim 11.6^{\circ}\text{C}$ 이며 일일 총괄 COP는 최대 4.00, 최소 3.48으로 지중 순환수 입구 온도 감소에 따라 최대 13.0% 감소하였다. 이러한 원인으로는 외기온의 감소에 따른 주택의 난방부하 증가, 그리고 히트펌프의 가동시간 증가에 따른 지열 회복율의 감소로 판단된다.
- 3) 지중 순환수 유량별 히트펌프의 최대 COP는 최소가동률 90%에서 COP 3.70로 유량이 증가함에 따라 증가하는 경향을 보이지만 증가폭은 감소한다. 히트펌프 가동시간별 COP는 초기 60분일 경우 최소가동률 90%에서 3.84로 시간대별 결과중 가장 높으며, 60-120분 시간대가 3.53으로 가장 작지만 전력사용량은 3.72kW/3.41kW로서 초기 난방부하 증가로 인해 전력사용량은 증가하였다.
- 4) 지중 순환수 펌프의 소비전력을 포함한 히트펌프 시스템의 COP는 히트펌프의 COP와 달리 47.4 LPM에서 3.50로 가장 높았으며 47.4 LPM을 중심으로 점차 감소하여 19.2 LPM에서 3.29으로 최대 6.1% 감소하였다. 전력사용량의 경우 47.4 LPM에서 소비전력 5.48kW로 19.1 LPM의 소비전력 6.16kW 대비 11.0% 절감되어 일 6회 한달 난방 가동시 약 122.4kWh를 절감할 수 있다.
- 5) 위의 결과를 바탕으로 저에너지주택에 지열 히트펌프의 적용시 에너지절감을 위해 지중순환펌프를 인버터 펌프로 설치를 해야 하며 시스템의 전체 효율 향상을 위해서는 다양한 제어방식을 통해 지중 순환수 유량 제어가 존 재하지만 사용자가 값을 설정하는 방식이 아닌 인버터

압축기의 회전수 변동에 연동한 방식이 기존 방식대비 히트펌프 시스템의 효율을 향상시켜 줄 수 있는 방식이 될 것으로 기대한다.

References

- [1] DOE, 2001, "Ground-source heat pumps applied to federal facilities second edition", Federal Energy Management Program, DOE/EE-0245(PNNL-13534), US Department of Energy.
- [2] Ozgener, L., Hepbasli, A., and Dincer, I., 2007, "A key review on performance improvement aspects of geothermal district heating systems and applications", *Renew Sustainable Energy Rev.* 11, 1675-1697.
- [3] 에너지관리공단, 2014, "2013년 신·재생에너지 보급통계", 에너지관리공단 신·재생에너지센터, pp. 50-51.
- [4] X.Q. Zhai, X.L. Wang, H.T. Pei, Y. Yang, and R.Z. Wang, 2012, "Experimental investigation and optimization of a ground source heat pump system under different indoor set temperatures", *Applied Thermal Engineering*, Vol. 48, 105-116.
- [5] Michopoulos, A., Bozis, D., Kikidis, P., Papakostas, K., and Kyriakis, A. N., 2007, "Three-years operation experience of a ground source heat pump system in Northern Greece", *Journal of Energy and Buildings*, Vol. 39, 328-334.
- [6] Sohn, B. H., Choi, J. M., and Choi, H. J., 2011, "Performance Simulation of Ground-Coupled Heat Pump (GCHP) System", *Korean Journal of Air - Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 23, No. 6, 392-399.
- [7] Lee, J. Y., Chung, J. T., and Choi, J. M., 2010, "Influence of the Secondary Fluid Flow Rate on the Performance of a GSHP System", *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 22, No. 10, 649-656.
- [8] Euiyoung, Kim., Jaekeun, Lee., Youngman Jeong., Yujin, Hwang., Sangheon, Lee., and Naehyun, Park., 2012, "Performance evaluation under the actual operating condition of a vertical ground source heat pump system in a school building", *Journal of Energy and Buildings*, Vol. 50, 1-6.
- [9] Jongmin, Choi., Hyo-Jae, Lim., Shin-Hyung, Kang., Jemyung, Moon., and RockHee, Kim., 2009, "Daily Heating Performance of a Ground Source Multi-heat Pump at Heating Mode", *Korea Journal of Air - conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 21, No. 9, 527-535.
- [10] Suwon, Song., 2012, "An Experimental Study on Variable-speed Control of a Ground-water Circulation Pump Using Inlet and Outlet Water", *Proceedings of the SAREK 2012 Summer Annual Conference*, 179-182.