

## 지열순환펌프 유량변화에 따른 지열히트펌프시스템의 에너지 성능 평가

### A Study on the Geothermal Heat Pump System Performance Analysis according to Water Flow Rate Control of the Geothermal Water Circulation Pump

정영주\* · 조재훈\*\* · 김용식\*\*\* · 조영흠\*\*\*\*†

Jung, Young-Ju\*, Jo, Jae-Hun\*\*, Kim, Yong-Shik\*\*\* and Cho, Young-Hum\*\*\*\*†

(Submit date : 2014. 11. 10., Judgment date : 2014. 11. 12., Publication decide date : 2014. 12. 26.)

**Abstract :** It is important to control the amount of supply water flow rate at all kinds of HVAC systems in order to maintain IAQ and energy efficiency. The most of buildings installed geothermal heat pumps is using fixed water flow rate in spite of the excellent performance of geothermal heat pumps. Especially when the air-conditioning load is low, the flow rate control may be possible to save energy to operate. However, it is effective to apply the variable flow control system in order to reduce energy consumption. Therefore, the purpose of this study, change a water flow rate and improve the whole performance of the geothermal heat pump. Geothermal heat pump system is modeled after the selection of the applied building, by setting the flow rate control to be analyzed through a simulation of performance evaluation. Building energy saving according to the flow rate of the ground circulating water analyze quantitatively and to investigate the importance of the flow control.

**Key Words :** 지열히트펌프시스템(Geothermal Heat Pump System), 유량변화(Flow Rate Control), 성능계수(COP), 건물 에너지(Building energy)

\*\*\*\*† 조영흠(교신저자) : 영남대학교 건축학부  
E-mail : yhcho@ynu.ac.kr, Tel : 053-810-3081

\*정영주 : 영남대학교 대학원 건축학과

\*\*조재훈 : 인하대학교 건축학부

\*\*\*김용식 : 인천대학교 도시건축학부

\*\*\*\*† Cho, Young-Hum(corresponding author) : School of Architecture,  
Yeungnam University, Gyeongsan, Gyeongbuk 712-749, Korea.  
E-mail : yhcho@ynu.ac.kr, Tel : +82-53-810-3081

\*Jung, Young-Ju : Department of Architectural Engineering,  
Graduate school of Yeungnam University

\*\*Jo, Jae-Hun : Division of Architecture, Inha University

\*\*\*Kim, Yong-Shik : Division of architecture and Urban  
Planning, Incheon University

## 1. 서 론

### 1.1 연구의 목적

전 세계는 심각한 에너지 위기를 겪고 있다. 특히 우리나라의 경우 해외에서 97% 이상의 에너지를 수입하는 만큼 에너지 의존도가 높고 에너지 다(多) 소비국이므로 에너지 절약과 효율적인 사용에 대한 노력과 구체적인 방안을 마련해야 한다. 따라서 정부의 에너지 감축목표를 이행하기 위하여 신재생에너지 산업을 육성하여 지속 가능한 경제발전 에너지 시스템을 구축하고자 한다. 신재생에너지 중에서도 지열시스템은 연중 효율적인 운영이 가능하여 각광받고 있다. 이로 인해 지열 히트펌프 시스템에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. Kong<sup>1)</sup>과 Jeon<sup>2)</sup>의 연구에서는 지열 히트펌프 시스템과 기존열원에 대한 복합운전에 관한 연구가 이루어졌다. 또한 Yu<sup>3)</sup>의 연구에서는 지열 히트펌프 시스템의 활용도를 높이기 위하여 기존열원간의 복합열원 운영방안을 제시하는 연구를 진행하였다. 그러나 국내 지열 히트펌프시스템에 대한 연구는 주로 시스템의 냉/난방 운전 성능에 관한 성능평가에 대한 연구가 대부분이며, 지중열교환기와 지열 히트펌프 시스템의 연계적인 효율 향상에 관한 연구와 유량제어에 관한 연구는 미흡하다. 또한 우리나라에 지열시스템이 설치된 건물들 상당수는 건물의 일부분의 공조를 담당하는 부분부하 형태를 취하고 있으며 정유량 방식을 사용하고 있다. 그러나 에너지 소비량 절감을 위해서는 변유량 시스템을 적용하는 것을 하나의 대안으로 보고 있다. HVAC 시스템에서 공급 유량을 제어하는 것은 에너지 효율과 실내 공기질(IAQ)을 유지하기 위해 매우 중요하다. 특히 공조부

하가 낮을 때는 유량제어가 가능하도록 운영하는 것이 에너지를 절약할 수 있다. 이러한 이유로 변유량 제어 방법에 대한 다양한 연구가 진행되고 있으며, 그 예로 Song<sup>4)</sup>의 연구에서는 지열측 입/출구 온도의 차를 이용한 지열순환펌프의 유량을 제어하는 방법을 제안하였다. 또한, Lee<sup>5)</sup>의 연구에서는 지중순환수 유량변화에 따라 지열 히트펌프 시스템의 효율 향상과 지중 열교환기 길이 감소에 의한 시공비 절감을 위해 유량 최소화 설계가 필요함을 나타내는 연구를 진행하였다. 이렇게 순환유량 및 조건이 지열 히트펌프 시스템의 성능에 미치는 영향에 대한 연구는 있지만 변유량 제어에 대한 명확한 에너지 절감효과에 대한 연구는 부족한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 시뮬레이션을 통하여 지중 순환수의 유량변화에 따른 특성을 분석하고 지중 순환수의 유량제어에 따른 에너지 절감을 정량적으로 분석하고 유량제어의 필요성을 파악하고자 한다.

### 1.2 연구의 내용 및 방법

본 연구에서는 유량제어를 통해 지열히트펌프 시스템의 성능분석을 통한 효율 향상의 가능성을 확인하고 유량제어의 필요성을 확인하고자 한다. 지열히트펌프 시스템이 적용된 건물을 선정하여 모델링 후 시뮬레이션을 통해 유량제어가 가능하도록 설정하여 히트펌프 유닛의 지중 순환수 변화에 따른 성능평가를 분석하였다. 건물의 모델링은 Google Sketch-Up 프로그램을 사용하였고 Trnsys 프로그램에 연동시켜 유량제어가 가능하도록 하였다. 그 후 지중 순환수의 유량변화에 따른 에너지 사용량을 분석하여 에너지 절감 효과를 예측한 후 지중 순환수의 유량제어의 필요성을 파악하고자 한다.

## 2. 대상건물 및 시스템 운영현황

### 2.1 대상건물 개요

본 연구의 대상건물은 경상북도 칠곡에 위치한 대학병원 건물이며 전경은 그림1과 같다. 표1과 같이 건물의 연면적은 81,928m<sup>2</sup>이며 지하 3층, 지상 9층으로 이루어져 있으며 502 병상이 설치되어 있고 수술실은 총 13개가 운영되고 있다.



Fig. 1. Exterior of the building

Table 1. Summary of the building

Classification	Contents
Building name	G University Hospital
Building area	9,737m <sup>2</sup>
Total floor area	81,928m <sup>2</sup>
Geothermal heat pumps use area	2,263m <sup>2</sup>
Geothermal heat pumps installed capacity	530RT

### 2.2 대상건물 운영사항

지열 히트펌프는 총 12대의 530RT 용량이 병렬로 운전되고 있다. 열원설비로는 흡수식 냉온수기 2,900RT가 설치되어 있으며 지열 히트펌프 시스템은 건물의 일부 구간을 공조하는 데에 사용된다. 현재 대상건물의 히트펌프 시스템은 3개의 그룹으로 이루어져 있고, 각 그룹 당 지열히트펌프가 3대씩 설치되어 있다. 전체 그룹에서 1그룹이 주로 부하를 담당하고 있으며, 1그룹 중에서도 3호기 위주로 가동되고 있다. 1그룹 계통도는 그림 2<sup>3)</sup>와 같

다. 표2의 GP-1 펌프가 본 연구에 적용된 지열순환펌프 정보를 나타내며, 표3은 히트펌프 시스템의 정보를 나타낸다.

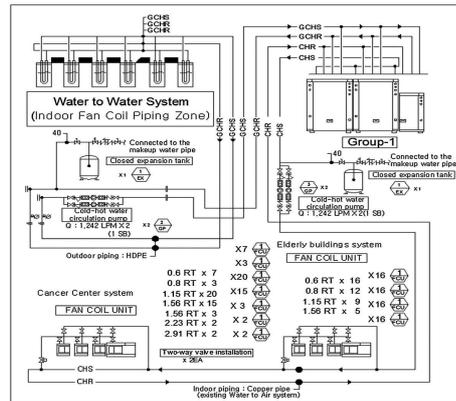


Fig. 2. Schematic diagram of heat source

## 3. 시뮬레이션

### 3.1 건물 모델링

본 연구에서는 그림3과 같이 대상건물을 모델링하기 위하여 Google SketchUp의 TRNSYS 3D를 사용하였다. 그 후 대상건물의 세부데이터를 입력하고 TRNSYS studio modeling을 통해 시스템을 구현하였다.

대상건물은 병원 건물로서 계절에 관계없이 냉난방 부하가 발생하고, 에너지 다소비 건물로서 항상 많은 에너지가 필요한 건물이다. 또한 대상 건물은 공조기 팬풍량 과대 설계가 되어 있었으며 이는 유량제어가 제어포인트로 작용할 경우 건물의 냉난방 부하의 절감 포인트가 될 수 있음을 확인하였다. 이로써 지열 히트펌프 시스템에서 지중 순환수 유량은 건물의 부하 절감 포인트이며, 성능을 평가하는

3) Si-Wan Yu, et al, A study on the optimized control strategies of geothermal heat pump system and absorption chiller-heater, INTERNATIONAL JOURNAL OF ENERGY RESEARCH , Vol. 38, No.8, pp1083-1098, 2014

중요한 요소이다. 지중순환수 유량에 따른 히트펌프 유닛 성능과 지열시스템의 전체적인 성능향상을 평가하고자 시뮬레이션을 통해 지중 순환수 유량제어를 수행하였다. 지중 순환수 유량은 설계 유량을 일정한 비율로 변화시켜 유량변화에 따른 시스템의 COP와 소비동력을 분석하였다. 히트펌프는 물대물 방식의 Type927을 사용하였고, 지중열교환기는 Type557a 수직형 열교환기를 사용하였다.

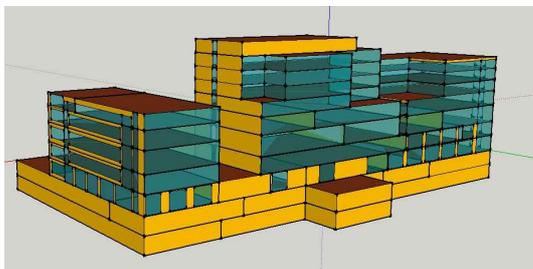


Fig. 3. Building modeling using the Sketch Up program

Table 2. Pump data information

Equipment number	GP-1	GP-2	GP-3
Quantity	4	2	2
Mode	IN-LINE	IN-LINE	IN-LINE
Flow rate(LPM)	1692	1242	1242
Head of fluid(M)	50	35	35
Electric motor(kw)	30	15	15

Table 3. Heat pump data information

Classification	GH-1		GH-2	
	Quantity	11		1
Capacity(RT)	Cooling	Heating	Cooling	Heating
	46.24	48.86	9.86	9.99
Flow rate(LPM)	564	564	114	114
EST(°C)	31	5	31	5
Supplied temperature(°C)	7	45	7	45
Return water temperature(°C)	12	40	12	40
Compressor(kw)	41.57	46.63	8.13	9.20

### 3.2 신뢰도 분석

시뮬레이션 비교분석에 앞서 시뮬레이션의 신뢰도를 평가하기 위하여 실제 측정된 데이터와의 비교를 통해 통계적 방법의 하나로 식 (1)-(3)과 같이 MBE (Mean Bias Error)법과 변동계수인 (Cv(RMSE) Coefficient of Variation of Root Mean Square Error)를 사용하였다.

$$MBE(\%) = \frac{\sum_{Period} (S - M)_{Interval}}{\sum_{Period} M_{Interval}} \times 100 \quad (1)$$

$$RMSE_{Period} = \sqrt{\frac{\sum (S - M)_{Interval}^2}{N_{Interval}}} \quad (2)$$

$$C_V(RMSE_{Period}) = \frac{RMSE_{Period}}{M_{avg}} \times 100 \quad (3)$$

여기서,

- $S_{Interval}$  : 시뮬레이션 결과값 (kWh)
- $M_{Interval}$  : 측정된 소비량 (kWh)
- $N_{Interval}$  : 실제 데이터의 총 개수
- $M_{avg}$  : 실제 모니터링 데이터의 평균

Table 4. Acceptable Calibration Tolerances

Calibration Type	Index	Acceptable Value
Monthly	MBEmonth	±5%
	Cv(RMSEmonth)	15%
Hourly	MBEmonth	±10%
	Cv(RMSEmonth)	30%

ASHRAE's Guideline14<sup>6)</sup> 에 의하면 전체 건물 시뮬레이션의 경우 실제 데이터와의 비교 결과가 표 4의 범위 안에 들어가는 경우 시뮬레이션을 통한 결과가 신뢰할 수 있다고 본다.

6) ASHRAE's GUIDELINE 14, For Measurement of energy and demand savings : How to determine what was really saved by the retrofit, Energy Systems Laboratory, Texas A&M University, 2005

표5와 같이 대상건물의 실제 8월분 전기 사용량은 약 348,682kWh이며 시뮬레이션을 통한 전기 사용량은 약 337,283kWh 이다. 에너지사용량 모니터링결과와 비교한 결과 전력사용량 시뮬레이션 값은 실제 측정된 값의 96.7%로 산출되었으며, MBE = -3.27%, Cv(RMSE) = 10.83%로 계산되었다. MBE (Acceptable Value : ±5%)와 Cv(RMSE) (Acceptable Value : 15%) 값이 모두 오차 범위 벗어나지 않는다. 따라서 시뮬레이션은 신뢰도를 가진다고 판단하였다.

Table 5. Calculations to verifying the reliability of Simulated

Month	Aug
Measured data (kWh)	348,682
Simulated data (kWh)	337,283
MBEmonth	-3.27%
Cv(RMSE)	10.83%

### 3.3 시뮬레이션 결과 및 분석

그림 4는 시뮬레이션을 통한 지중순환수 유량 변화에 따른 히트펌프 시스템의 COP와 전체시스템의 COP를 나타내는 그래프이다. 설계 유량의 비율(flow rate ratio = 설계유량×비율)에 따라 히트펌프 시스템의 COP를 살펴본 결과 지중순환수 유량이 작은 영역인 20%에서 60%까지는 유량이 증가함에 따라 히트펌프 시스템의 COP의 기울기가 크게 증가한 반면 70%에서 100%까지는 그 증가폭이 줄어들었으며 설계유량의 80%일 때부터 100%까지는 히트펌프 COP 변화량이 미비하였다. 전체시스템의 COP는 지중열교환기의 순환펌프에서 소요되는 소비전력을 고려하여 계산된다. 설계유량의 20%에서 70%까지는 시스템 COP가 증가하였고, 설계유량의 70%부터 설계유량까지는 감소하는 추세를 보였다. 설계유량일 때의 시스템 COP는 설계유량의 70%일 때보다 약 4.7% 감소하였다.

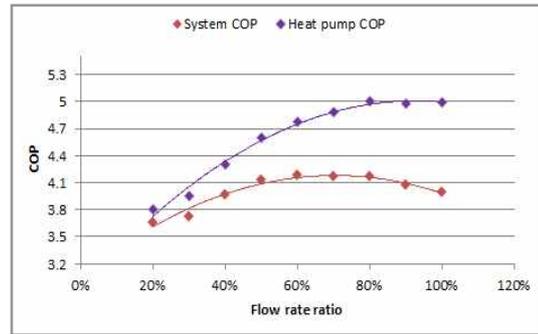


Fig. 4. COP according to flow rate

그림 5는 설계유량의 비율에 따라 단위면적당 히트펌프의 에너지 소비전력과 지중열교환기의 순환펌프 소비동력을 분석한 그래프이다. 지중 순환수의 유량이 설계유량의 80%일 때까지 히트펌프 에너지 소비량이 줄어들어 지중 순환수 유량이 설계유량의 40%일 때 보다 80%일 때 약 16%정도 에너지가 감소하였다. 그러나 80%이후에는 소비동력의 증가폭이 미비하였다. 설계유량의 비율이 증가함에 따라 히트펌프 소비동력이 감소하였지만, 지중열교환기의 순환펌프의 소비동력이 증가함에 따라 전체 에너지 소비량은 설계유량의 70%일 때 에너지 절약효과가 크게 나타난다.

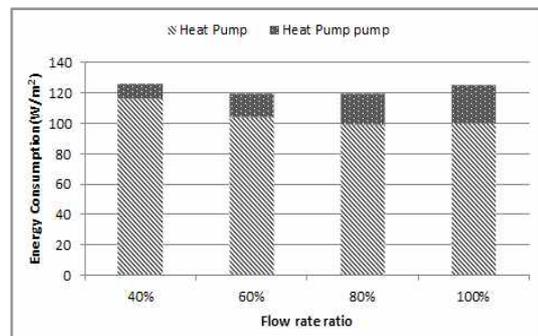


Fig. 5. Heat pump and pump energy consumption according to flow rate ratio

지중 순환수 유량변화에 따른 COP변화와

에너지 소비량을 분석한 결과 유량제어에 따라 지열히트펌프 시스템의 성능에 영향을 미치며 에너지 절약효과가 다르게 나타남을 확인하였다. 따라서 지중 순환수의 유량제어가 시스템 전체의 효율향상에 중요한 요소임을 확인하였다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 지중 순환수 유량 변화에 따른 지열히트펌프 유닛의 COP와 펌프 소비동력을 분석하였고 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 대상건물의 시뮬레이션을 통해 지열 히트펌프 시스템의 성능평가를 해본 결과 지중 순환수의 유량을 일정한 비율로 증가시켰을 때 유량이 낮은 범위인 20%에서 60%까지는 유량이 증가함에 따라 히트펌프 시스템의 COP가 큰폭으로 증가하였다. 반면 유량 증가 후 80%부터는 그 증가폭이 크게 줄어들어 거의 일정한 양상을 보였다.
- (2) 유량의 비율에 따라 단위면적당 히트펌프의 에너지 소비량을 살펴본 결과 지중 순환수 유량이 설계유량의 40%일 때 보다 80%일 때 약 16%정도 에너지가 감소하였다. 그러나 80%이후에는 소비동력의 증가폭이 미비하였다.
- (3) 전체시스템의 COP는 설계유량의 20%에서 70%까지는 시스템 COP가 증가하였고, 설계유량의 70%부터 설계유량까지는 감소하는 추세를 보였다. 또한 히트펌프 소비동력과 지중열교환기의 순환펌프 소비 동력을 분석한 결과, 설계유량의 비율이 증가함에 따라 히트펌프 소비동력이 감소하였지만, 지중열교환기의 순환펌프의 소비동력이 증가함에 따라 전체 에너지 소비량은 설계유량의 70%일 때 에너지

절감효과가 크게 나타난다. 따라서 지열순환펌프의 적절한 유량제어가 필요하며 전체 시스템의 에너지에 중요한 역할을 임을 확인하였다.

본 연구는 지열 히트펌프 시스템에서 유량 제어는 에너지절감을 위해 중요한 요소임을 평가하였다. 향후 연구에서는 지열 히트펌프 시스템의 유량제어를 위한 도구로서 가상의 유량계를 개발함으로써 적절한 지중 순환수의 유량 설계가 이루어질 수 있는 가능성을 확인하고 가상센서를 개발하고자 한다. 이를 활용하여 지중 순환수의 유량을 제어하는 구체적인 방안을 제시할 필요가 있다.

#### 후 기

이 논문은 2013년 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No.2011-0028990)

#### Reference

1. Kong D.S., Jang Y.S., Ahn B.H. and Huh J.H., A Study on The Methodology of Design Optimization in Cooling System. Proceeding of the Society of Air-conditioning and Refrigerating Engineers of Korea, Vol.2012, No.6 pp.632~635, 2012
2. Jeon J.U., Park J.S., Myung W.H., Kim Y.K. and Kim Y.C., Analytical Study on the Optimal Operating Control of a Hybrid Geothermal Plant. Korea Society Geothermal Energy Engineers, Vol. 6, No. 2, pp.1~7, 2010
3. Yu S.W., Jung Y.J., Kim S.H., Jo J.H. and Kim Y.S., A Study on the Optimized Control Strategies of Geothermal Heat Pump System and Absorption Chiller-Heater, International Journal of Energy Research, Vol. 38, No. 8,

- pp.1083~1098, 2014
4. Song.S.W., An Experimental Study on Variable-Speed Control of an Ground-Water Circulation Pump for a Ground Source Multi-Heat Pump System, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol.25, No. 8, pp. 443~449, 2013
  5. Lee.J.Y., Chung.J.T., Woo.J.S., and Choi.J.M., Influence of the Secondary Fluid Flow Rate through GLHX on the Performance of a GSHP System, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol.22, No. 10, pp 649~656, 2013
  6. ASHRAE's GUIDELINE 14, For Measurement of energy and demand savings : How to determine what was really saved by the retrofit, Energy Systems Laboratory, Texas A&M University, 2005
  7. ASHRAE handbook-fundamentals. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers, Inc; 2009