

## 지열 냉난방 시스템의 성능 및 경제성 평가

임효재<sup>†</sup> · 송윤석\* · 공형진\* · 박성구\*\*

호서대학교 기계공학과, \*호서대학교 대학원, \*\*(주) 지오테크

# Performance Evaluation and Economic Estimation of Ground Source Heat Pump Cooling and Heating System

Hyo Jae Lim<sup>†</sup>, Yoon Seok Song\*, Hyoung Jin Kong\* and Seong Koo Park\*\*

Department of Mechanical Engineering, Hoseo University

\*Graduate School, Hoseo University

\*\*Geotech Inc.

### 요 약

본 연구는 지열원 물 대 물(water to water) 히트 펌프 시스템의 냉방 및 난방 운전시 성능 특성과 경제성 평가에 관한 것이다. 5개의 보어홀당 지중 100m의 깊이로 밀폐 수직형 지중 열교환기(closed-vertical ground source)가 설치된 냉난방 시스템이 적용된 건축물에 대하여 냉난방 운전성능을 평가하였으며, 연간 소비전력을 측정하여 실제 시스템의 경제성을 분석하였다. 또한, 순환수의 입구온도에 따른 시스템의 운전 성능을 분석한 결과 난방시에는 COP가 3.0에서 4.2로 증가한 반면, 냉방시에는 5.0에서 3.7로 감소하였다. 본 실험을 통해서, 대상 건축물에 대한 지열 냉난방 시스템의 수명주기비용은 기존 냉난방 시스템(보일러+에어컨)에 비해서 68%까지 절감되었으며, 시스템의 경제성을 고려해 볼때 기존 건축물에도 지열원 냉난방 시스템을 적용하는 것이 타당하다.

**주요어:** 지열원 열펌프, 지중 열 교환기, 성능계수, 수명주기 비용 분석

**Abstract** — Performance evaluation and economic estimation were conducted on the water to water GSHP (Ground Source Heat Pump) installed in existing building. Ground heat exchanger was a closed vertical loop type and sized to be 5 boreholes and 100 m depth per borehole. Operation efficiency of the system shows that, COP increased from 3.0 to 4.2 with entering water temperature in heating operation, however, COP decreased from 5.0 to 3.7 in cooling operation. Economic estimation was analyzed by LCC (Life Cycle Cost) method and it showed that GSHP could save 68% of cost compare to the conventional oil source. Thus, despite of the large amount of initial cost, GSHP has a economic advantage to the other energy sources.

**Key words:** Ground source heat pump, Ground heat exchanger, Coefficient of performance, Life cycle cost analysis

### 1. 서 론

세계적으로 관심이 되고 있는 기후변화 협약 및 연일

계속되는 유가 상승에 기인하여 이 두 가지를 동시에 해결할 수 있는 방안으로서 대체 에너지가 전 세계적으로 많이 연구되어 지고 있다. 그 중 지열 냉난방 시스템은 어디서나 개발이 가능하여 대체 에너지 자원으로 주목을 받고 있다. 지열 냉난방 시스템은 현재 사용되어지는 냉난방 시스템중에서 가장 안정적이고 환경 친화적이며, 운영비용이 낮아 효율성이 높다고 알려져 있다. 지열 냉난방 시스템이란, 연중 일정한 지중온도를 이

<sup>†</sup>To whom correspondence should be addressed.  
Department of Mechanical Engineering, Hoseo University,  
Baebang Myeon, Asan Si, Choongnam Do, Korea  
Tel: 041-540-5802  
E-mail: hylim@office.hoseo.ac.kr

용하여 여름철 냉방운전에는 지중을 히트싱크로, 겨울철 난방운전에는 히트소스로 이용하여 건축물에 냉난방 모두가 가능한 복합형 시스템이다. 지열 냉난방 시스템은 히트펌프로 들어가는 순환유체의 열(지하열교환)교환 방식에 따라서 폐쇄형 시스템과 개방형 시스템으로 구분될 수 있다.

폐쇄형 시스템은 간접 열교환을 하는 방식으로 지중 열교환기의 순환유체가 폐쇄루프를 계속적으로 순환하여 지중과 간접적으로 열교환을 하는 방식이며, 개방형 시스템은 우물, 호수 지하수등의 수원을 히트펌프 내로 직접 유입시켜 열교환을 한 후 배출시키는 방식이다.

미국을 비롯한 여러 선진국에서는 이미 오래전부터 지열을 이용한 냉난방 시스템 기술이 연구 되었으며, 그 적용 기술이 상용화 되었다. 최근 국내에서도 여름과 겨울이 확연하고 지중이 보유하고 있는 에너지원으로서도 여타 선진국에 비해 효율성이 높아 지열 냉난방 시스템에 대한 관심이 증가되고 있으며, 향후 대체에너지 보급정책을 감안하면 보급률은 지속적으로 상승할 것이며 점차 이에 따른 연구가 점점 활발하게 진행되고 있다.

하지만 국내에서 보고된 지열 냉난방 시스템에 관한 연구는 단기간에 걸친 시스템의 성능 및 특성에 관한 것들에 그치고 있으며, 건축물에 적용하여 실제로 운영중인 지열 냉난방 시스템에 대한 경제성 분석 등과 같은 실증연구는 미비하다.

따라서 본 연구에서는 기존건물에 설치된 지열 냉난방 시스템에 대하여 1년 동안의 소비전력량을 측정하고, 측정된 자료를 바탕으로 일반적인 냉난방 시스템과의 경제성을 평가하고 비교하는데 그 목적이 있다. 본 연구의 수명주기비용 분석법은 BLCC 4.9 프로그램을 사용하였다<sup>11)</sup>.

## 2. 실험 장치 및 방법

### 2-1. 실험개요

본 연구의 대상 건물은 경기도 성남시에 위치한 4층 짜리 사무실용 건물이다. 본 건물의 냉난방을 위하여 설치한 지열원 열펌프 시스템은 10RT급 물 대 물 방식(water to water type)으로 1대가 3층 기계실에 설치되어 있다. 지열 시스템을 이용한 공조 영역은 2~3층이며 기존건물에 새롭게 지열 냉난방 시스템이 설치된 상태이다.

지중 열교환기의 설계는 상용 소프트웨어인 GLD (Ground Loop Design)를 사용하였으며, 지면에서 지하 100 m 깊이까지 천공한 5개의 보어홀(borehole)에 직경 25 mm의 고밀도 폴리에틸렌 U-tube를 사용하였다.

경제성 평가를 위하여, 현재 사용중인 지열 냉난방 시스템의 소비전력을 2002년 12월~2003년 11월, 1년 동

안 측정하였다. 하절기에는 냉방으로 동절기에는 난방으로 운전하였으며, 운수급탕 모드는 실험 기간 동안 상시운전 되었다. 소비 전력량은 380V-3P-4L 적산 전력량계와 디지털 파워미터로 동시에 측정하였으며, 지중 열교환기와 부하측 열교환기의 입·출구 온도와 유량은 k-type 열전대와 터빈유량계를 이용하였다. 데이터 획득시스템은 CHINO사의 SE-3000이다.

본 연구에서는 지열원 열펌프 시스템과 경제성 비교를 위하여 냉난방 설비는 경유(light oil)용 증기 보일러와 개별 에어컨(이하 ALT)으로 설정하였다.

대상 건물의 개요와 냉난방부하 및 외부조건 등을 아래의 Table 1에 정리하였다. Fig. 1은 건물에 설치된 지열 시스템을 개략적으로 나타낸 것이다.

### 2-2. 연간 에너지소비량

경제성 분석에 가장 큰 영향을 미치는 연간에너지 소

Table 1. Summary of the building.

| Categories         | Contents           |
|--------------------|--------------------|
| Ground floor area  | 396 m <sup>2</sup> |
| Total Floor area   | 330 m <sup>2</sup> |
| Stories            | 2F~3F              |
| Cooling load       | 26,400 kcal/h      |
| Heating load       | 29,700 kcal/h      |
| Water heating load | 1,600 kcal/h       |
| Depth              | 100 m              |
| Heat pump          | GTW-HP-1000H 10RT  |

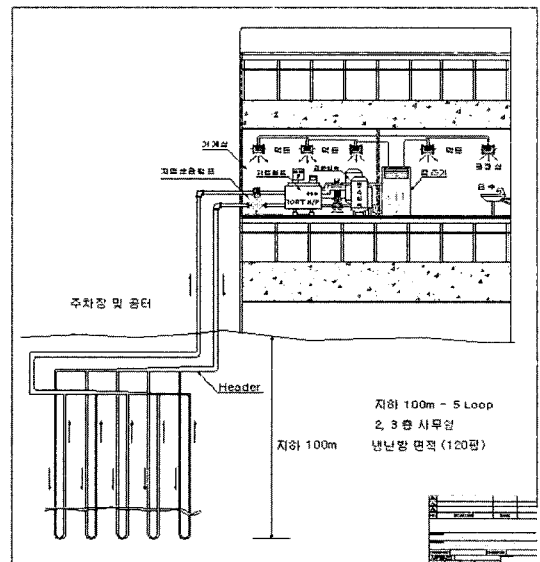


Fig. 1. Schematic diagram of geothermal heating and cooling system.

Table 2. Annual energy consumption of two sources.

| Categories      | GSHP        |             | ALT     |
|-----------------|-------------|-------------|---------|
|                 | Elec. (kwh) | Elec. (kwh) | Oil (l) |
| Spring and Fall | 1,470       | -           | 123     |
| Summer          | 6,555       | 8,681       | 61      |
| Winter          | 15,930      | -           | 4,922   |
| Total           | 23,955      | 8,681       | 5,106   |

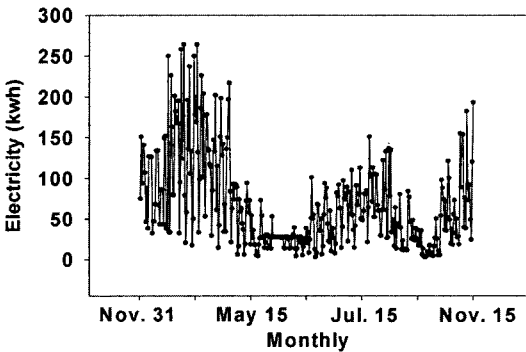


Fig. 2. Energy consumption of GSHP.

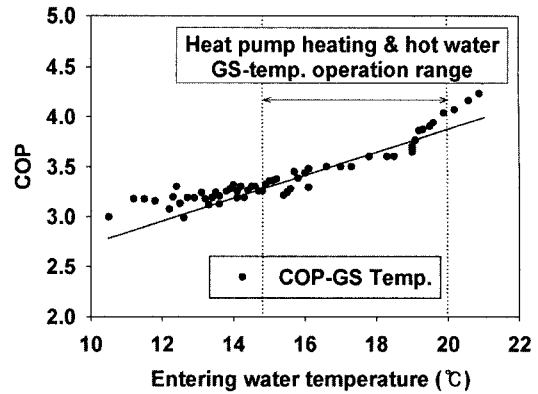
비량을 산출하기 위해 실험 site 내에서 조사 및 측정된 자료를 가지고 설비 가동시간 및 이에 따른 에너지 소비량을 산출하였다.

Table 2는 GSHP 시스템에 사용된 전체시스템의 소비 전력량과 ALT 시스템의 산출된 에너지 소비량을 나타내고 있다. 표에서 보듯이 ALT 시스템은 난방과 급탕 부하에 경유가 많이 사용되며 특히 겨울철에 많은 사용량을 보이고 있다. 그리고 여름에는 GSHP 시스템보다 많은 전력량을 소모하는 것을 알 수 있다.

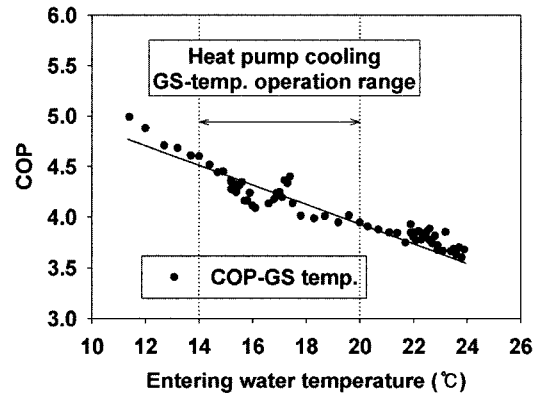
Fig. 2는 지열 시스템의 소비전력량을 일일평균값으로 나타낸 그래프이다. 그림에서 보듯이 GSHP 시스템은 난방부하가 가장 큰 1월에 최대 전력소모가 발생하였다.

2-3. 냉난방 효율

지중에서의 열교환을 통하여 건물내 난방 및 온수 급탕 운전시 시스템의 입수온도는 10~20°C 범위이며, 15~20°C의 온도범위는 여름철 온수급탕 운전에 해당하는 온도 범위이다. 이 온도에 해당하는 지열 시스템의 난방 COP(Coefficient of Performance)는 약 3.3의 값이다. 본 연구에서의 COP는 히트펌프에서의 열교환량을 시스템의 전체소비전력량(펌프 및 송풍기 포함)으로 나눈 값으로 정의하였다. 즉 히트펌프에 유입되는 순환수의 온도가 높을수록 시스템의 COP도 비례하여 상승하였으며, 유입 온도가 낮을수록 시스템의 COP는 낮은 값을 나타내었다. 아래의 Fig. 3(a)는 난방과 급탕시 시스템 입구



(a) Heating operation.



(b) Cooling operation.

Fig. 3. COP variations with EWT in heating and cooling operation.

온도와 COP 관계를 나타낸 그래프이다.

Fig. 3(b)는 냉방시 시스템 입수온도와 COP 관계를 나타낸 그래프이다. 냉방 운전시의 유입수 온도는 14~20°C 범위이다. 유입수 온도가 높을수록 시스템의 COP는 감소하였으며, 반대로 유입수 온도가 낮은 경우에는 시스템의 COP가 상승하였다. 유입수 온도에 따른 COP의 변화는 열교환기에서의 열교환율, 히트펌프 냉매싸이클의 증발, 응축온도 변화에 따른 히트펌프 소비동력의 변화와 연관이 있다.

3. 경제성 분석

3-1. 경제성 분석방법

최적의 설비를 선정하기 위한 분석 순서는 LCC(Life Cycle Cost) 분석의 신뢰도를 높이기 위한 기초 데이터 조사, 열원 및 공조 설비의 대안 선정, 각 대안별 비용

분석 산출의 순서로 이루어졌다. 공조기기의 경제성분석의 방법에는 순현재가치법과 LCC 분석방법이 있다<sup>[2][3]</sup>.

본 논문에서는 지열 냉난방 시스템(GSHP : Ground Source Heat Pump)과 기존 ALT간의 상호 배반 관계를 전제로 하고 있다. 즉 고려하는 설비들 가운데 선택의 여지가 없는 관계를 뜻한다.

순현재가치법(NPV : Net Present Value)은 실물자산의 평가에 활용 할 수 있다. 실물 자산의 경우 순 할인 혜택에서 순 할인비용을 차감한 현재가치가 그 자산의 경제연수 동안에 걸쳐 형성되는 시장가치이다<sup>[3]</sup>.

LCC 분석법은 시스템이나 기기의 제작을 위한 기획, 연구, 개발에서 시작되어 제조, 조립, 시운전 및 조정을 거쳐 실질적으로 이용되어 장기간 사용 후 최후에 폐기되기까지의 필요한 모든 경비를 계산하는 방법이다. 특히, 설비의 경우 설치에서 폐기까지 총 비용을 계산하면 초기비용보다 많은 비용이 소모된다.

각 대안 비교에 있어 시간적 가치에 대해 공통의 시점으로 환산하는 방법에 따라 현금법, 증가법, 연가법, 등으로 구분할 수 있다. 건축설비 시스템과 같이 사용기간 동안 발생하는 연비용이 동일할 경우에는 현금법이 일반적으로 사용된다. 현금법은 검토하는 시점 이후에 발생하는 지출을 현시점의 가격으로 환산하여 합산하는 방식이다<sup>[4]</sup>.

**3-2. LCC 분석 조건**

본 연구의 두가지 설비에 대한 LCC 분석시에는 초기 투자비, 유지관리비 및 기기 폐기비용과 같은 구성요소를 바탕으로 이자율, 에너지비용 상승률, 내용 연수 등이 종합적으로 고려되어야한다<sup>[5]</sup>.

먼저 초기 투자비는 현재가격으로 조정되어야 함으로 GSHP는 실제 시공비용이며, 기존 냉난방 시스템은 견적자료를 기준으로 산출하였다. 새로운 설비의 LCC 분석시 대안의 비교를 위한 변수로는 현재가치를 미래가치로 환산할 때 적용하는 이자율과 미래가치를 현재가치로 환산할 때 적용하는 할인율 등이 있다.

기존 냉난방 시스템의 경우 유지관리비를 초기 투자비의 5%로 가정하였으며, GSHP의 경우는 국내에 자료의 미비로 인하여 초기투자비의 1.5%로 가정하였다. 그리고 돌발적인 고장없이 단순 관리비만으로 시스템을 운영하였으며 내용 연수 이후에 전량 교체하는 것으로 가정하였다<sup>[6]</sup>. 에너지 비용의 산출을 위한 에너지원별 비용은 Table 3에 나타내었다.

건축물의 냉난방 설비에 대해서는 LCC 분석을 수행할때, 화폐의 시간적 가치가 매우 중요하므로 시스템가동중 일정한 시간이 지난후 발생하는 항목에 대해서도 현재가치를 기준으로 작성되어야 한다. 이에 따라서 가

**Table 3. Price of two energy sources.**

| Categories  |               | Price                                      |
|-------------|---------------|--|
| Electricity | Demand charge | 5,170 ₩/kw                                 |
|             | Charge        | Spring and Fall : 61.00 ₩/kw               |
|             |               | Summer : 91.60 ₩/kw<br>Winter : 64.90 ₩/kw |
| Light oil   |               | 750 ₩//                                    |

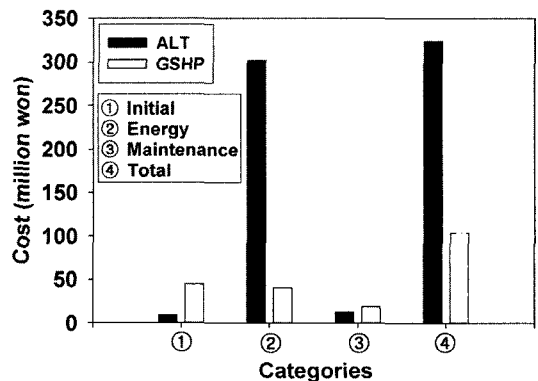
격변동요소에 대한 고려가 필요하다. 하지만 이에 대한 체계적인 데이터가 국내에는 아직 없기 때문에 통계청에서 발표한 데이터를 근거로 현가환산율 8% , 물가상승률 5% 그리고 에너지가격 변동률은 전기의 경우 3%, 경유인 경우에는 9%를 적용하였다. 분석기간은 설비운전으로부터 20년간 운전 후 전량 폐기 되는 기간까지로 하였다<sup>[5]</sup>.

**3-3. LCC 분석 결과**

LCC 분석조건 및 측정된 GSHP의 연간 에너지 소비량을 기준으로 기존 냉난방 시스템에 대하여 LCC 분석결과를 아래의 Table 4와 Fig. 4에 나타내었다. 아래서 보는 바와 같이 초기 투자비면에서는 기존 냉난방 시스템이 GSHP에 비하여 유리하나, 에너지 소비량이 과다하여 총 LCC가 크게 상승하였다. 그리고 유지관리 비

**Table 4. Total present value of LCC for each cases (unit : 1000 won).**

| Categories         | GSHP    | ALT     |
|--------------------|---------|---------|
| Initial costs      | 45,000  | 9,000   |
| Energy costs       | 40,412  | 302,312 |
| Maintenance costs  | 18,388  | 12,258  |
| Total value of LCC | 103,800 | 323,570 |



**Fig. 4. Comparison of annual cost.**

용에서는 GSHP 시스템이 ALT 시스템에 비해 약간 높은 것을 알 수 있다. 이것은 유지관리 비용을 초기투자비의 5%로 가정하여 계산하였기 때문이다.

GSHP 시스템의 총비용은 ALT 대비 32% 수준의 분석 결과를 나타낸다. 마찬가지로 기존시스템은 전체 운영비중 93%를 에너지비용으로 소모하지만 GSHP 시스템은 불과 38% 수준에 불과함을 알 수 있다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 최근 들어 관심도가 점차적으로 증가하는 지열원 열펌프 시스템의 성능 및 경제성을 검토하였다. 지열 냉난방 시스템의 COP는 순환유체의 입구 온도에 따라서 그 값이 변화하며, 냉방운전시에는 입구온도가 낮을수록, 난방 및 온수 급탕 운전시에는 높을수록 그 값이 증가함을 알 수 있었다.

일반적으로 적용할 수 있는 기존 냉난방 설비와 GSHP 시스템에 대해 LCC 분석을 수행하였다. 그 결과 지열원 열펌프 시스템의 초기 투자비는 기존 설비에 비해 크지만 에너지 소비량 부분에서 기존 시스템보다 경제적인 시스템으로 확인되었다.

향후 연구에서는 본 연구의 LCC 분석에서 무시하였던 몇가지 변수들을 고려하면 GSHP는 기존 냉난방 설비에 비해 보다 많은 장점을 보여줄 것이다. 그리고 아직 신기술에 대하여 거부감을 가진 일반 건물주들에게도 정확한 근거를 제시함으로써 신뢰성을 제공할 수 있으리라 예상되며 정부의 대체에너지 정책 수립에도 긍정적인 영향을 미칠 것이라 사료된다.

#### 후 기

이 논문은 2004년도 호서대학교 학술연구조성비에 의

하여 연구되었음.

#### 참고문헌

1. Stephen R. Petersen: "The NIST building life-cycle cost program, user's guide and reference manual", NISTIR 5185-3 (1995).
2. Park, Y., Park, M.Y. and Kim, C.M.: "Economic analysis of heat pump system in educational building", Journal of Society Air-Conditioning and Refrigerating Engineers of Korea, 15(10), 879 (2003).
3. Henry Malcolm Steiner: Engineering economic principles 2nd ed., Hanol, Seoul, Korea, 86 (2000).
4. Lee, H.S., Byun, W.S. and Kang, H.S.: "Assessment for economics of HVAC system by life-cycle cost technique", Proceedings of the SAREK 2002 Summer Annual Conference, 2002-S-143, 283 (2002).
5. Choe, S.H., Cha, B.J., Kim, S.M. and Leigh, S.B.: "A study on optimized design decision of building service systems based on a life-cycle cost analysis-A case study on community center and congress hall of a local government", Journal of Society Air-Conditioning and Refrigerating Engineers of Korea, 14(2), 134 (2002).
6. Sohn, B.H., Shin, H.J. and Park, S.K.: "Comparative analysis of life-cycle costs of ground source heat pump and conventional HVAC system", Proceedings of the SAREK 2004 Summer Annual Conference, 2004-s-222, 1339 (2004).