

## 지열 시공 사례 및 동절기 경제성 분석

박진관<sup>†</sup>, 신용환, 우주식, 정효민\*, 정한식\*

경상대학교 대학원 정밀기계공학과, \*경상대학교 정밀기계공학과·해양산업연구소

### Case study on construction and economic analysis of geothermal heat pump system

Chen Kwan Park<sup>†</sup>, Yong Han Shin, Ju Sik Woo,  
Hyo Min Jeong\*, Han Shik Chung\*

Graduate School, Department of Mechanical and Precision Engineering, Gyeongsang National University,  
Tongyeong-Si, Gyeongsangnamdo, Korea

\*Department of Mechanical and Precision Engineering, Gyeongsang National University,  
Institute of Marine Industry, Tongyeong-Si, Gyeongsangnamdo, Korea

### Abstract

Renewable energy is growing based on low-carbon green energy government policies. According to this policy, geothermal energy is highly efficient and environmental friendly energy which is being recently expanded. However, construction companies are generated disorderly but their ability has not been verified due to the poor geothermal facility which was reported in the media. In the this paper introduce on Busan region's largest geothermal facility, it was confirmed that thermal efficiency of the underground is close to heat exchanger performance. Therefore the study improving the efficiency of underground heat exchange found progressed. The results showed voids between borehole and ground heat exchanger should not be raised. And then geothermal facilities were installed very successfully through the principle grouting operation. As compared to the energy consumption on the basis of operating results energy usage was less than any other heat sources.

**Key words** : Geothermal(지열), Heat exchanger(열교환기), Heat pump(열펌프), Economic analysis(경제 분석)

### 1. 서 론

국내에 지열이 도입되기 시작한 2000년경에는 지열의 보급이 일반화 되지 않았으나 정부의 신

재생에너지 보급 사업이 확대되면서 2005년부터는 지열의 보급이 급속히 확대되고 있다. 이러한 상황에서 일부 지열 효과의 신뢰성에 대하여 서로 다른 반응을 기술자들 사이에서 보이고 있다. 본 논문은 정부의 일반 보급 사업으로 지원된 건물 냉난방 설비 중 400 RT 용량의 지열을 시공한 후 이에 대한 지열의 성능을 평가하기 위해 설계부터 시공과 운전 과정에서 발생된 문제점과 동절기 지열 운전의 경제성에 대하여 제시하였다.

<sup>†</sup> Corresponding author

Tel.: +82-51-640-3775, Fax:+82-51-645-8786

E-mail: pck5728@pufs.ac.kr

접수일 : 2011년 4월 18일

심사일 : 2011년 5월 23일

채택일 : 2011년 5월 30일

## 2. 시공 사례

### 2.1 지열도입 배경과 대상 건물

연구 대상의 건물은 부산광역시 기장군 일광면 이천리에 소재하는 B골프장 클럽하우스로서 건물 개요는 다음과 같다.

- 1) 건물 용도: 골프장 클럽하우스
- 2) 건물규모
  - (1) 층 수: 지하1층 지상 2층
  - (2) 대지면적: 5,579.05 m<sup>2</sup>
  - (3) 건축면적: 10,341.07 m<sup>2</sup>
  - (4) 냉난방면적: 8941.07 m<sup>2</sup>
  - (5) 난방부하: 778 kW
  - (6) 냉방부하: 1,036.3 kW

대상 건물은 도심지 외곽의 도시가스가 공급되지 않는 지역으로 골프장 클럽하우스 건물 특성상 로비, 연회장 등 대공간이 많아 공조기에 의한 중앙공조방식으로 열원은 흡수식 냉온수기 사용 연료는 LPG를 사용하도록 설계에 반영되어져 있었다.

Table 1. Analysis of initial investment cost (1000 won/year)

		System			
		bsorption	EHP	geothermal	
initial cost		580,000	406,000	1,684,000	
electric cost	basic	14,269	33,020	19,824	
	used	cooling	10,666	44,473	28,265
		heating	21,358	43,077	25,369
total		46,32	120,571	73,458	
gas cost	cooling	130,69			
	heating	163,374			
total		176,443			
maintenance cost of year		30,000	2,500	2,500	
operation cost of year		370,393	123,071	75,958	

그러나 도시가스가 공급되지 않는 지역으로서 난방열원을 Table 1과 같이 경제성분석을 실시한 결과 초기 투자비용이 다소 많이 투입되었지만 운전비용과 이산화탄소 발생량 등을 검토한 결과

정부의 저탄소녹색성장 정책에 적극 부응하기 위해 클럽하우스 전체 냉난방 열원을 지열을 이용한 지열냉난방 시스템으로 도입하기로 결정하였다. 건물 전체 냉방 부하 560 RT 중 400 RT 용량의 지열설비에 대하여 정부의 일반보조금 지원 사업을 신청하여 대상자로 지정이 되어 연구대상 현장에 지열을 도입하였다.

### 2.2 계획 및 설계

정부의 일반 보급 사업지원 대상자로 선정된 후 현장에서 열전도도 시험을 실시한 결과 1.96 W/m<sup>2</sup>의 지중 열전도도 값을 구하였으며, GLD 프로그램을 이용하여 시뮬레이션 결과 Fig. 1과 같이 지중열교환기 전체길이는 냉방기준 23,722.7 m, 시추공 수는 120공, 시추공당 깊이는 197.7 m, 히트펌프용량은 1,444.4 kW로 계산되었다.

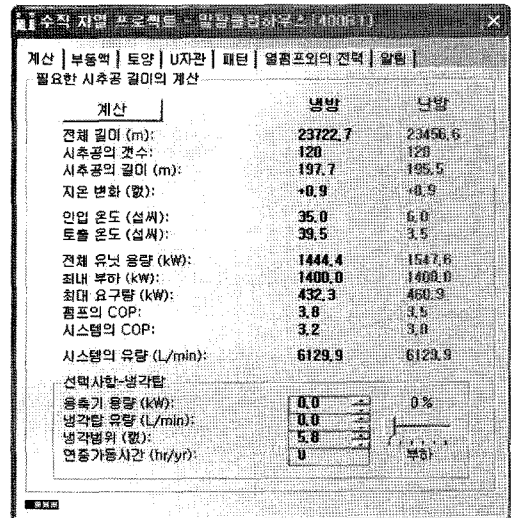


Fig. 1 Result of G.L.D program simulation.

이를 근거로 골프장의 공사 현장에서 대상건물 부지 주변에 지열천공 장소를 검토한 결과 주차장 부지에 지중열교환기 설치를 위한 보어홀을 천공하기로 결정하고 실시설계를 통해 보어홀 깊이 200m로 하여, 가로 8공, 세로 15공, 총 120공의 보어홀을 천공하였다.

지중열교환기 실시설계에 이어 기계실에 설치되는 히트펌프 및 버퍼탱크등 펌프류와 순환펌프

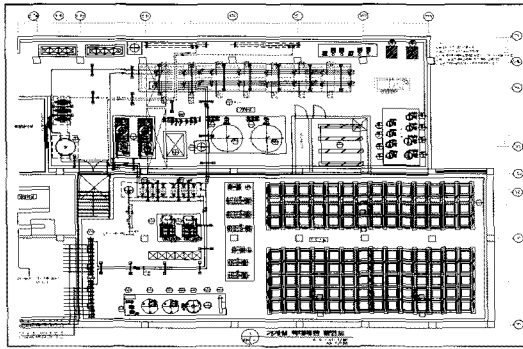


Fig. 2 Layout of equipment room.

설치장소가 협소하여 기존 건축기계 설비탑과 협의의 통하여 기존 설계도서에 의한 장비 배치도를 재검토한 결과 지열장비를 한 곳에 집중배치가 불가능하여 현장 여건에 따라 지중열교환기 공급환수 헤드는 옥외에 별도의 실을 만들어 히트 펌프를 제외한 장비는 Fig. 2와 같이 기계실 여유 공간을 활용하여 배치를 하였다.

## 2.3 시공

### 2.3.1 보어홀 천공 및 케이싱 삽입·인발

지열 시공 과정은 일반적인 현장의 경우 보어홀 천공, 케이싱 설치, 지중열교환기 삽입, 그라우팅 작업, 배관연결 작업 순으로 진행이 되어 지고 있다. 본 건물에서의 시공은 앞서 언급한 바와 같이 공사 마무리 단계에서 지열도입이 검토되어 실제 시공시 보어홀 천공부분이 현장의 시험 천공 부분과 떨어져 시공을 하였다. 시공과정에서 지중의 토질 및 암반 구조가 연약하여 외부 케이싱 삽입 후 열교환기 삽입시 보어홀이 붕괴되는 사례가 빈번히 발생되었다. 따라서 연구 대상의 현장에서는 Fig. 3과 같이 외부 케이싱 내부에 관경 150 mm의 강관을 현장 여건에 따라 지하 100~180 m까지 삽입을 하였다.

내부케이싱 삽입시에는 연약한 지반층의 보어홀이 붕괴되기 직전 신속한 삽입을 위해 대형크레인 장비를 이용하여 삽입을 하였다.

### 2.3.2 지중열교환기 삽입 및 그라우팅 작업

지중열교환기 삽입 작업시에는 전체 지중열교

환기에 대하여 수압시험을 실시하였으며 배관삽입시에도 지중열교환기 내 수압을 유지한 상태에서 삽입을 하도록 하였다. 그 이유는 지중열교환기가 지하 200 m 깊이에 설치되는 특성상 삽입시 혹시 발생 할지 모르는 U자관 용접 부분의 파열에 따른 보수가 불가능하다고 판단되었기 때문이다.

열교환기 설치 작업 후 실시한 그라우팅작업은 그라우팅 주입관의 길이가 200 m가 되는지 직접 확인 후 작업을 시행하였으며 그 결과 Fig. 4와 같이 그라우팅작업을 진행하는 동안 관내부에 고인 물이 계속 넘쳐 흘러나오면서 그라우팅이 완벽하게 이루어졌다.

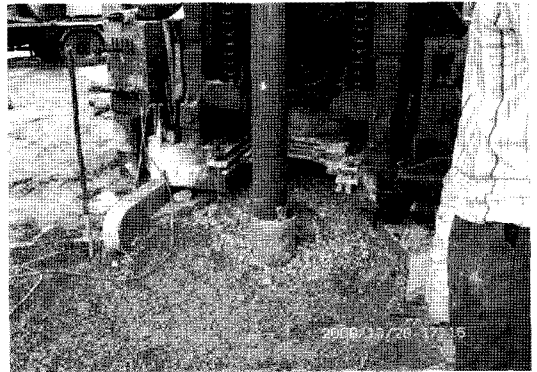


Fig. 3 Install of inner casing.

### 2.3.3 지중열교환기 연결 작업

그라우팅 작업이 끝난 후 지중열 교환기 배관 연결 작업을 그라우팅 작업과 케이싱 인발이 끝나면 지중열교환기의 설치 작업은 종료가 되며 설치된 지중열교환기는 기계실의 히트펌프와 지중매립배관은 트렌치를 통해서 연결이 된다. 지중열교환기 지관이 연결되는 트렌치는 배관 설치부분에 대하여 지반 다짐공사를 실시하여야 한다. 지열 지관 연결 배관 작업은 유량의 균일한 흐름을 확보하기 위해 리버스리틴 방식으로 배관을 연결하였다.

배관 연결 작업이 끝난 후 배관이 설치된 트렌치에 300 mm 두께의 모래로 덮은 후, 그 위에 현장에서 굴착한 양질의 토질을 500 mm 두께로 매립 하며 이때 매립배관 보호를 위해 배관보호 테이프를 설치하여 향후 굴착 발생 시 배관을 보호 하도록 하였다.

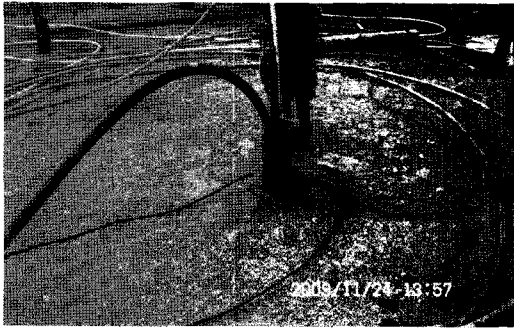


Fig. 4 Install of underground heat exchanger.

### 2.3.4 기계실 장비 및 배관공사

기계실 장비 및 배관공사는 일반 기계설비공사와 동일한 조건으로 실시하며 다만 수압시험을 거쳐 시운전 전 반드시 배관 내에 플러싱 작업 및 공기배출 작업을 하여 지열교환기 및 기계실 배관의 이물질 제거하여 주어야 하며 시스템 배관내 공기를 완전히 제거하여 지열시스템의 운전 및 성능에 영향을 미치지 않도록 주의한다.

## 3. 동절기 경제성 평가

### 3.1 동절기 설비가동 현황

혹한기인 2011년 1월 17일 부산지방 외기온도가 최저 -7.8℃, 최고기온 3.9℃, 평균기온 -7.8℃일 때, 지열설비를 가동한 결과 지중열교환기 입구 온도는 평균 12.8℃, 출구 온도는 10.4℃로 나타났으며 지열히트펌프 입구 온도는 평균 36.8℃로 중앙공조기를 이용하여 난방을 실시하여 정상적인 사용조건에서 실내온도 측정기준점에서 실내온도를 측정된 결과 겨울철 정부에서 제시한 난방 기준온도인 20℃에 도달하는 시간이 오전 10시30분경으로, 지열시스템의 난방적용에 아무런 문제가 없었다.

### 3.2 지열의 경제성 검토

지열시스템의 가동에 따른 경제성 효과를 검증하기 위하여 지열히트펌프, 지열 순환펌프 및 냉·온수 순환펌프에 설치된 전기계량기의 전기사용량을 측정하여 한전에서 고지된 전력 요금의 단

Table 2. Quantity and cost of electric on geothermal useage

	consumption of electric (kWh)	unit cost (won)	total (won)
heat pump	221.1	85	1,879,350
geothermal circulating pump	72.8	85	618,800
circulating pump	76.6	85	520,880
total			3,019,030

가를 적용하여 2011년 1월 본 건물에 대하여 지열원을 이용하여 사용되어진 전기사용량과 요금을 분석하였다. 그 결과 2011년 1월 한 달간 연구 대상 건물의 냉난방 열원으로 사용된 지열의 가동에 사용된 전기 총사용량 및 요금은 Table 2와 같다.

상기와 같이 실제 지열을 사용하여 측정한 전기사용량에 근거하여 지열설비의 연간 운전 시간을 분석하여 운전비용을 산출 하였다. 운전비용 분석에는 Table 3과 같은 조건을 적용하였으며 사용예상시간은 설비 냉난방 부하계산서의 난방 운전 가동시간을 적용 하였다.

위 근거에 의하여 Table 4와 같이 장비별 동절기 난방 운전 비용 비교 분석을 하였다. 난방운전 비용 비교 분석의 근거는 흡수식 냉온수기의 경우 공사 초기 본 건물에 설치하기로 되어 있었으며 설계 당시 금액을 투자비로 계산하였다. EHP 난방기기의 경우도 공사 진행중 흡수식 냉온수기의 설치가 불가능하여 EHP 냉난방기 도입을 위해 다시 설계변경을 통해 산출한 EHP 난방기기 설계금액을 투자비로 계산하였다. 지열은 현장 지중열 전도도 테스트를 통해 얻어진 지중열교환기의 용량과 히트펌프설치비등을 적용하였다.

에너지 비용 산출은 부하계산서의 겨울철 난방

Table 3. Base of geothermal system operation cost

cooling hours	960 h/year	
heating hours	1,200 h/year	
electric cost	summer	92.2 won/kWh
	winter	75.1 won/kWh

가동 시간인 1200시간을 각 장비별로 적용을 하였다 에너지 비용 산정은 흡수식냉온수기의 경우 전기 기본요금을 포함하여 난방시 전력 사용량과 가스 사용량에 대하여 부하계산서에 에너지 예측 사용량에 겨울철 전기 평균요금 75.1원을 적용하였으며 가스요금은 조사 당시 가격을 적용시켰다 EHP 난방기기 역시 설계 변경 당시 부하계산서에 나타난 예측 전기 사용량에 겨울철 평균 전기 단가를 적용하여 에너지 비용을 산출하였다. 지열은 실제 운전을 통해 사용된 전기 사용량에 대하여 겨울철 평균 전기 단가를 적용하여 에너지 비용을 산출하였다.

그 결과 Table 4와 같이 지열의 경우 본 건물에서 동절기 난방에 사용되는 에너지 비용이 18,100,000 원으로 나타났다. 그러나 초기투자비용이 흡수식 냉온수기에 비해 3배 이상 높으며 EHP 난방기기에 비해 4배 이상 높은 것으로 나타났다. 반면 운전에너지 비용은 흡수식냉온수기에 비해 월등히 낮게 나타났으며 EHP에 비해 60%정도 낮게 나타났다. 그러나 본 건물은 정부의 신재생에너지 일반보급화 사업현장으로 선정되어 투자비용의 50%를 지원받아 시공하여 투자 비용이 3년 이내에 회수 될 것으로 예상된다.

#### 4. EHP와 지열방식의 비교

지열을 이용한 건물 전체에 중앙공조방식 난방을 실시하고 있는 본 건물에 지열과 EHP의 경제성 분석을 위해 게스트룸에 별도의 개별식 EHP 난방기기를 설치하였다. 그리고 이 공간에 지열을 이용한 중앙난방과 개별식 EHP난방기기를 격

Table 4. Analysis of heating operation cost

	Absorption chiller heater	E H P	geothermal
load (KW)	778kW	778kW	778kW
equipment	400RT	550HP	400RT
invest cost	580,000,000	406,000,000	1,680,000,000
heating cost	220,000,000	46,000,000	18,100,000

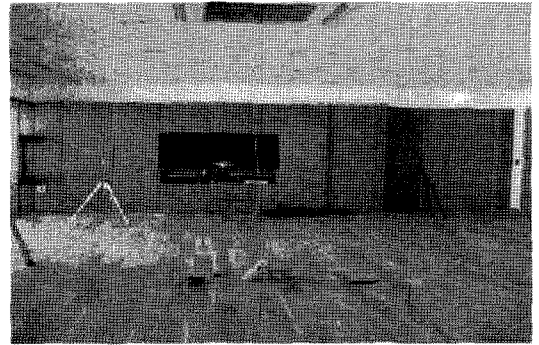


Fig. 5 Measure of guest room temperature.

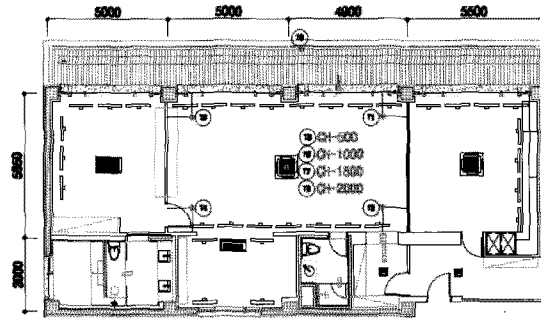


Fig. 6 Layout of temperature measuring point of guest room.

일간격으로 교번 운전을 하면서 Fig. 5와 같이 데이터로거를 이용하여 오전 9시부터 오후 6시까지 총 9시간 동안의 실내 각 지점의 온도를 측정하였다.

온도 측정 지점은 Fig. 6과 같이 일반적인 실내 온도 측정점인 외벽에서 1 m, 바닥에서 1.5 m 높이에 온도 측정 지점을 설정하였으며 상부로부터 0.5 m, 1 m, 1.5 m, 2 m 지점에 온도센서를 부착하여 온도를 측정하였다.

온도 측정 방법은 외기의 온도가 중요하다고 판단하여 외기 조건이 비슷한 2월 12일과 13일을 기준하였다. 2월 12일 외기최저온도 -1.9℃, 최고 온도 5.1℃, 평균온도 0.1℃일 때 오전9시에 EHP를 가동하여 실내온도 측정기준인 1.5 m 지점에서 실내온도 20℃에 도달하는 시간이 Fig. 7과 같이 오후 12시 10분이었다. 반면, 2월 13일 최저온도 -3.4℃, 최고온도6.0℃, 평균온도 1.2℃일 때 동일한 지점에서 측정된 실내온도 20℃에 도달한 시간이 Fig. 8과 같이 오전 9시 20분경이었다.

Place	Date	Time	Value	Unit	Value	Unit	Value	Unit	Value	Unit	Value	Unit
1	2011-02-12	8:56:09	4.1	T1K	4.1	T2K	4.1	T3K	4.1	T4K	11.5	T5K
2	2011-02-13	9:06:09	15.2	T1K	15.2	T2K	15.2	T3K	15.2	T4K	16.7	T5K
3	2011-02-13	9:16:10	18.8	T1K	18.8	T2K	18.8	T3K	18.8	T4K	20.2	T5K
4	2011-02-13	9:26:10	20	T1K	20	T2K	20	T3K	20	T4K	21.2	T5K
5	2011-02-13	9:36:11	21.8	T1K	21.8	T2K	21.8	T3K	21.8	T4K	22.6	T5K
6	2011-02-13	9:46:11	23.2	T1K	23.2	T2K	23.2	T3K	23.2	T4K	24	T5K
7	2011-02-13	9:56:12	24	T1K	24	T2K	24	T3K	24	T4K	24.6	T5K
8	2011-02-13	10:06:13	23.6	T1K	23.6	T2K	23.6	T3K	23.6	T4K	24.5	T5K
9	2011-02-13	10:16:13	24.2	T1K	24.2	T2K	24.2	T3K	24.2	T4K	25.2	T5K
10	2011-02-13	10:26:14	25.5	T1K	25.5	T2K	25.5	T3K	25.5	T4K	26.4	T5K
11	2011-02-13	10:36:14	25.3	T1K	25.3	T2K	25.3	T3K	25.3	T4K	26.1	T5K
12	2011-02-13	10:46:15	24.8	T1K	24.8	T2K	24.8	T3K	24.8	T4K	25.7	T5K
13	2011-02-13	10:56:15	25.8	T1K	25.8	T2K	25.8	T3K	25.8	T4K	26.7	T5K
14	2011-02-13	11:06:16	26.2	T1K	26.2	T2K	26.2	T3K	26.2	T4K	26.7	T5K
15	2011-02-13	11:16:16	26	T1K	26	T2K	26	T3K	26	T4K	26.4	T5K
16	2011-02-13	11:26:17	26.2	T1K	26.2	T2K	26.2	T3K	26.2	T4K	26.9	T5K
17	2011-02-13	11:36:17	26.6	T1K	26.6	T2K	26.6	T3K	26.6	T4K	27.1	T5K
18	2011-02-13	11:46:18	26.4	T1K	26.4	T2K	26.4	T3K	26.4	T4K	26.8	T5K
19	2011-02-13	11:56:18	26.4	T1K	26.4	T2K	26.4	T3K	26.4	T4K	26.7	T5K

Fig. 7 Result of indoor temperature on geothermal system.

## 5. 결론

본 연구를 통해 나타난 결론은 지열 시공시 가장 중요한 것은 지중열교환기이며 지중열교환기가 제대로 기능을 발휘할 수 있도록 본 현장에서 별도의 케이싱을 최고 180m까지 설치하여 시공한 결과 운전시 효과가 매우 높은 것으로 나타났다. 특히 지열을 이용한 결과 초기 투자 비용이 다소 높게 나타났으나 운전비 비교 분석 결과 2~3년 이내 투자비용이 회수 될 것으로 판단이 되었다.

## 참고문헌

Place	Date	Time	Value	Unit	Value	Unit	Value	Unit	Value	Unit	Value	Unit
7	2011-02-12	10:00:05	15.2	T1K	15.8	T2K	16	T3K	15.2	T4K	18.7	T5K
8	2011-02-12	10:10:05	15.1	T1K	16.5	T2K	16.8	T3K	16.3	T4K	19.2	T5K
9	2011-02-12	10:20:06	15.5	T1K	16.9	T2K	14.5	T3K	16.5	T4K	19.2	T5K
10	2011-02-12	10:30:06	15.8	T1K	17.2	T2K	17.8	T3K	17	T4K	19.8	T5K
11	2011-02-12	10:40:07	16.1	T1K	17.3	T2K	17.6	T3K	17.2	T4K	20.3	T5K
12	2011-02-12	10:50:08	16.4	T1K	16.2	T2K	17.2	T3K	17.5	T4K	20	T5K
13	2011-02-12	11:00:08	16.5	T1K	17	T2K	17.9	T3K	18.4	T4K	20.8	T5K
14	2011-02-12	11:10:09	17.3	T1K	18.1	T2K	18.5	T3K	18.8	T4K	20.9	T5K
15	2011-02-12	11:20:09	17.4	T1K	18.5	T2K	18.8	T3K	18.9	T4K	20.7	T5K
16	2011-02-12	11:30:10	17.5	T1K	18.3	T2K	18.9	T3K	19.1	T4K	21.5	T5K
17	2011-02-12	11:40:10	16.4	T1K	17.4	T2K	18.7	T3K	19.2	T4K	21.5	T5K
18	2011-02-12	11:50:11	17.8	T1K	18.8	T2K	18.9	T3K	19.6	T4K	21.9	T5K
19	2011-02-12	12:00:11	18.1	T1K	18.9	T2K	20	T3K	19.9	T4K	21.8	T5K
20	2011-02-12	12:10:12	19.2	T1K	19.8	T2K	20.2	T3K	20	T4K	21.5	T5K
21	2011-02-12	12:20:12	19.4	T1K	19.8	T2K	20.8	T3K	20.1	T4K	21.7	T5K
22	2011-02-12	12:30:13	18.5	T1K	20.1	T2K	20.9	T3K	20.2	T4K	21.9	T5K
23	2011-02-12	12:40:13	19.4	T1K	20.3	T2K	21.2	T3K	20.5	T4K	22.2	T5K
24	2011-02-12	12:50:14	19.2	T1K	19.9	T2K	21.6	T3K	20.5	T4K	22.2	T5K
25	2011-02-12	13:00:15	20.2	T1K	19.8	T2K	21.8	T3K	20.3	T4K	22.3	T5K

Fig 8. Result of indoor temperature on EHP system.

이처럼 지열을 이용하여 난방을 했을 경우 외기의 영향을 전혀 받지 않으므로 원하는 시간에 필요 온도의 취득이 가능하지만 외기의 영향을 받는 EHP난방기기의 경우 거주자가 필요로 하는 실내온도 취득이 어렵다는 사실을 입증하였다.

1. Ministry of Knowledge Economy, 2007 strategy of new and renewal energy R&D 2030,
2. Alyssa K, 2007, Overview Geothermal Generation and Potential, POWER-GEN Renewable Energy & Fuels 2007.
4. Alyssa K, Diana B, Karl G, 2007, A Guide to Geothermal Energy and the Environment
5. Burns, K .L. et a, 2000, Status of the Geothermal Industry in Australia, World Geothermal Congress 20008.
6. Daniel S, Prame C, and Doone W, 2000,Initial Calculations of performance for an Australian HDR Reservoir, World Geothermal Congress 2000, 3907-3912.
7. H.J.Ahan, Evaluation geothermal heat pump operation performance in office building.