

국립생태원 건립공사 지열히트펌프 응용설계 사례

정 준 권
선진이앤씨 대표

1. 개요

본 시설은 충남 서천군 마서면 일원 998,000m²의 부지에 문화 및 집회·교육연구시설을 환경부에서 발주하는 공사로서 친환경 및 신·재생에너지를 적극 활용하여 에너지 자립형 건물로 설계하였으며, 자연 에너지를 적극 도입하여 CO₂ 제로화를 목표로 계획 하였다.

특히 건물 냉·난방의 주열원인 지열 냉·난방 방식을 100% 적용하여 친환경 생태원 건축으로 지열외에 태양열과 바이오메스(Biomass)을 열원으로 한 급탕 시스템, EARTH PIT를 이용한 외기 도입 등, 다양한 에너지 절감 방안을 적용하였고, 또한 열원인 지중열을 이용한 천정 복사 냉난방 공조시스템을 적용하여 에너지 절감을 고려한 시스템을 적용하였다. 본 고에서는 에너지 고갈 및 환경 문제에 대한 대안으로 적용된 수직 밀폐형 지열시스템의 설계에 대하여 소개하고자 한다.

1.1 건축개요

표 1은 건축 개요를 나타낸 것으로 주요 시설은 방문자 센터, 생태 교육센터, 생태 연구센터, 멸종 위기 종 센터로 구성되어 있다. 각동에 지열 시스템을 100% 적용하여 에너지 및 환경 부하를 효과적으로 절감할 수 있도록 계획하였다.

1.2 설계 개요

1.2.1 방문자센터

국립 생태원에 대한 전체적인 설명을 보여주는 시설로 생태원의 기능적 입구이며 관람객에게 기본 수칙 및 정보제공, 관찰 장비 대여로 사용된다.

〈표 1〉 건축개요

구 분	내 용	
사 업 명	국립 생태원 건립사업	
건 축 주	환경부	
대지위치	충청남도 서천군 마서면 도삼리 외 4개리 일원	
대지면적	998,213m ²	
건축면적	15,032m ²	
용 도	문화 및 집회시설, 교육연구 시설	
지역/지구	특정 지구단위 계획구역	
건 폐 율	1.5%	
용 적 율	2.3%	
주요시설	연면적	규모
생태 연구센터	6,536m ²	지하 1층, 지상 3층
생태 교육센터	3,725m ²	지하 1층, 지상 2층
멸종 위기종센터	5,234m ²	지하 1층, 지상 2층
방문자 센터	2,020m ²	지하 1층, 지상 2층
방문자 숙소(1~4동)	1,790m ²	지상 2층
기 타	그 외 부속동(매표소, 관리사무소, 사육시설)은 개별 냉난방	

1.2.2 생태 교육센터

생태학과 환경 과학에 대한 전반적인 교육이 집행되는 곳으로 단기 관람객을 전시물과 장기 연구생을 위한 전문화 교육으로 사용된다.

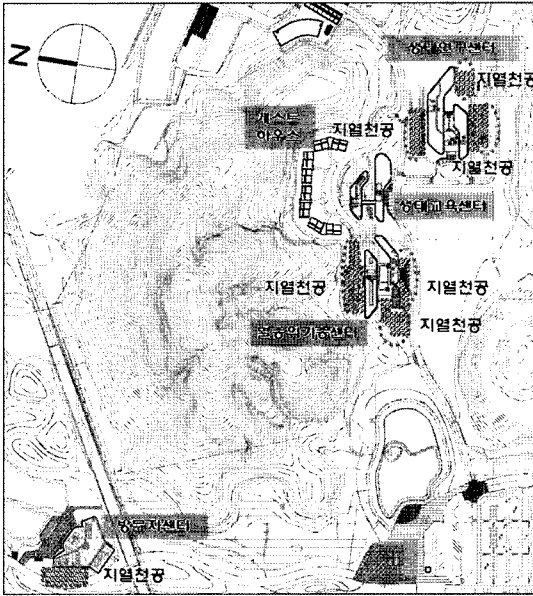
1.2.3 생태 연구센터

기후 변화에 대한 다양한 생태학적 수준에서의 종합적인 연구를 목적으로 전문가, 일반인을 대상으로 지구 생태계에 관한 교육 홍보를 하는 장소로 사용된다.

1.2.4 멸종 위기종센터

멸종 위기 동·식물의 보전 및 복원 전략 수립하는 곳으로 멸종 위기 동·식물에 관한 교육, 홍보, 전시, 관람으로 사용된다.

그림 1에 건물 배치도 및 지열 천공 배치를 표현했다.



[그림 1] 건물 배치 및 지열 천공 배치도

2. 기계 설비 계획

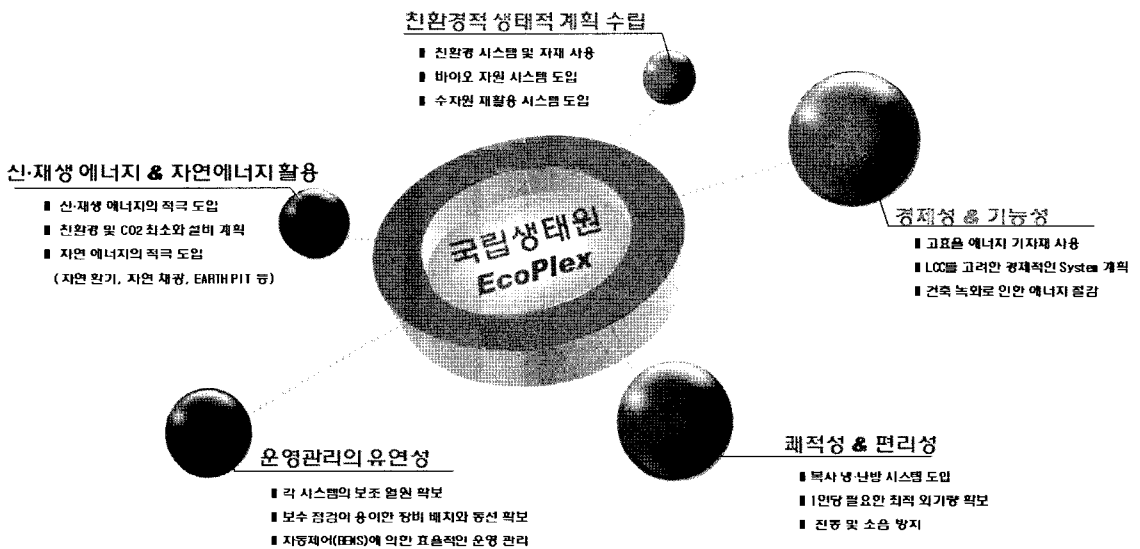
2.1 기본 방향(그림 2 참조)

2.2 부하 분석

표 2는 주요 건물의 부하 분석을 표로 작성하였다.

2.3 열원 시스템 선정

각 열원 시스템을 비교 검토한 결과 초기 투자비



[그림 2] 설계 기본 방향

는 고가이나 운전비, COP(성적계수)등을 고려하고 또한 생태원이라는 건물의 특성에 맞는 친환경적인 수직 밀폐형 지열 시스템을 선정하였다.

2.4 열전도 테스트

2.4.1 지열 열전도도 테스트의 개요

지열 열전도도 테스트는 일정한 열부하를 보어 홀에 주입하면서 지중 열교환기 내부를 순환하는 유체의 변화되는 온도를 측정하는 것이다. 현장의 열교환기 설치를 위하여 설치한 샘플 천공홀을

<표 2> 대상건물 부하현황

구분	연면적 (m ²)	냉방부하		난방부하		비고
		Kcal/h	kW	Kcal/h	kW	
생태 연구센터	6,536	595,977	693	388,475	452	냉방 기준 선정 지열100%사용.
생태 교육센터 (방문자 숙소 포함)	3,725	458,897	534	140,280	163	
열중위기중 센터	3,870	471,975	549	113,552	132	
방문자센터	2,020	294,994	343	190,429	221	
계	16,151	1,821,843	2,119	832,736	968	

<표 3> 열원 방식 선정(방문자 센터 기준)

구분	지열 시스템	가스흡수식냉온수기	심야전력이용 지열시스템	비고
개요도				
시스템 개요	지열히트펌프 : 45USRT × 3대	냉온수기 : 150USRT × 1대 냉각탑 : 250USRT × 1대	지열히트펌프 : 80USRT × 1대 수축열조 : 400Ton	
초기 투자비	555,200,000원(100%)	313,000,000원(55%)	400,000,000원(72%)	
연간 운전비	37,200,000원(100%)	157,800,000원(424%)	46,700,000원(126%)	
	전력 : 냉-132 kW 난-157.2kW	전력 : 냉- 30.5kW 난- 7kW	일반전력 : 냉-84 kW 난-3 kW 심야전력 : 냉-76 kW 난-3 kW	
특징	<ul style="list-style-type: none"> 시스템 효율이 높고 안정적 수명이 길다. 건축공간의 활용성이 크다. 초기투자비가 고가이다. 옥외 열교환기 설치공간이 필요하다. 	<ul style="list-style-type: none"> 초기투자비가 저렴하다. 수전용량이 감소한다. 운전비가 증가한다. 진공유지가 어려우며 진공 저하시 효율이 저하된다. 건축 관련 냉각탑 하중 고려한다. 장비의 수명이 짧다. 	<ul style="list-style-type: none"> 히트펌프용량이 줄어든다. 운전비가 절감된다. 축열조 설치면적이 늘어나며 건축 투자 비용이 늘어난다. 장비수명이 짧아진다. 냉온수 저장으로 열효율이 저하 된다. 유지관리가 어렵다, 개방형 배관이어서 부식 우려가 높다. 	
검토 의견	●			● 냉온수기 시스템에 비해 초기투자비는 고가이나 운전비 측면에서 초기에 초기투자비 회수 가능

특 집 최신 지열히트펌프시스템 적용 사례

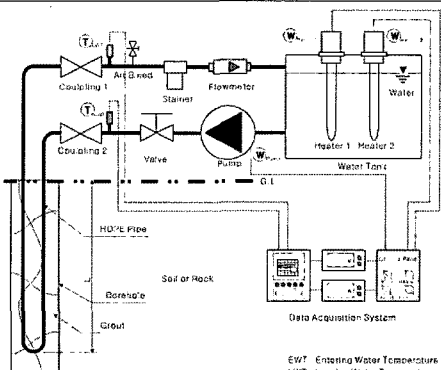
기준으로 일정한 열부하를 보어홀에 주입하면서 지중 열교환기 내부를 순환하는 유체 온도변화의 경사도 및 주입 열량을 기준으로 측정을 하게 된다. 측정된 데이터는 측정시간에 대하여 지열 열

교환기 입, 출구의 온도변화 곡선으로 나타내게 되고, 이를 측정 시간에 대한 대수곡선으로 배열하여 측정값에 대한 기울기를 구하면 열전도도를 측정 할 수 있다.

<표 4> 지열 시스템 방식 선정

구분	수평형	수직형	개방형(심부지열)	비고
개념도				
천공 깊이	2m	150 ~ 200m	500m	
천공 용량	180m/USRT	50m/RT (3~4USRT/Hole)	16m/USRT (30USRT/Hole)	
천공 면적	100m ² /USRT	25m ² /Hole	30m ² /Hole	
공사 금액	140만원/USRT	437만원/USRT	400만원/USRT	
특 징	<ul style="list-style-type: none"> • 열교환기 설치면적 크다. • 소형건물에 적합 • 초기투자비가 작다. 	<ul style="list-style-type: none"> • 열교환기 설치면적 작다. • 중대형건물에 적합 • 초기투자비가 수평형에 비해 크다. 	<ul style="list-style-type: none"> • 교환기 설치면적 최소이며 지하수를 직접 이용하므로 높은 열전달 효율 • 대형건물 및 도심에 적합 • 환경오염에 대한 의식문제 • 국내법 적용이 어려운 시스템 	
검토 의견	• 상기의 내용을 검토한 결과 수직 밀폐형을 적용한다.			

<표 5> 지중 열전도도 테스트 준수조건

분류	관리규정 (ASHRAE, IGSHHPA 규정 참조)	개념도
총 측정시간	48시간 이상	
해석방법	Line Source Method	
전압편차	표준전압의 1.5% 이내	
LOOP 온도차	3.5 ~ 7°C	
히터 용량	공급되는 열량은 1미터당 50 ~ 80W	
데이터 취득간격	10분 이하	
열전도도 측정시기	그라우팅 완료후 72시간 이후	

2.4.2 지열 열전도도 테스트 결과

지열 열전도도 테스트의 결과는 표 6에서 결과를 기록하였다.

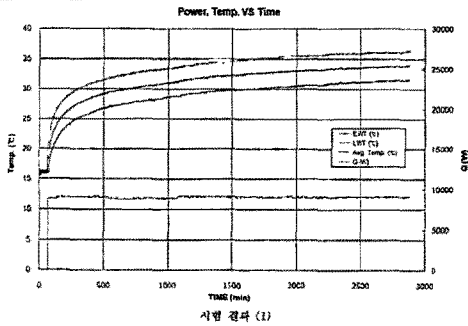
<표 6> 지중 열전도도 테스트 결과

측정시간 (min)	2,885
측정간격 (min)	1
측정깊이 (m)	150
사용 유체	WATER
평균전력 (W)	9,060
평균전원 (V)	220
평균 전류 (A)	41
SLOPE	2.78
열전도도	1.73
측정법	Simplified Line Source Equation

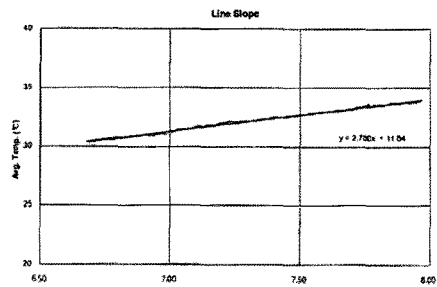
산출식

$$k = Q / (4 \times \pi \times \text{Depth} \times \text{Slope})$$

k : Conductivity Value
 Q : Heat Transfer Rate
 π : Pi
 Depth : Loop Length
 Slope : Avg. Loop Temperature VS Time (linear least squares)
 Avg. Loop Temperature (In & Out Mean Value)
 Time (N-Log Scale)



시험 결과 (1)



시험 결과 (2)

Borehole Design Project - 미래생태원공사-2

Results | Fluid | Soil | U-Tube | Pattern | Extra kW | Information |

Calculate

	COOLING	HEATING
Total Length (m):	16121.9	5789.7
Borehole Number:	110	110
Borehole Length (m):	146.6	18.1
Ground Temperature Change (°C):	-0.3	0.9
Unit Inlet (°C):	32.0	5.0
Unit Outlet (°C):	37.7	1.0
Total Unit Capacity (kW):	1087.3	1116.6
Peak Load (kW):	1031.0	119.0
Peak Demand (kW):	262.4	62.1
Heat Pump COP:	4.1	1.5
System COP:	3.9	3.0
System Flow Rate (L/min):	3328.9	610.2

Optional Cooling Tower/Boiler

Condenser Capacity (kW): 0.0 Cooling Tower

Cooling Tower Flow Rate (L/min): 0.0 0%

Cooling Range (°C): 5.6

Annual Operating Hours (hr/yr): 0

Boiler Capacity (kW): 0.0 Load Balance

Borehole Design Project - 미래생태원공사-2

Results | Fluid | Soil | U-Tube | Pattern | Extra kW | Information |

Undisturbed Ground Temperature

Ground Temperature: 15.0 °C

Soil Thermal Properties

Thermal Conductivity: 1.73 W/(m°C)

Thermal Diffusivity: 0.036 m²/day

Diffusivity Calculator | Check Soil Tables

Modeling Time Period

Prediction Time: 10.0 years

2.5 장비 선정

표 7에서는 각 동별 지열 히트 펌프의 장비 선정 및 지중 열교환기 관련 사항을 기술하였다.

2.6 옥외 지중 열교환기 공사

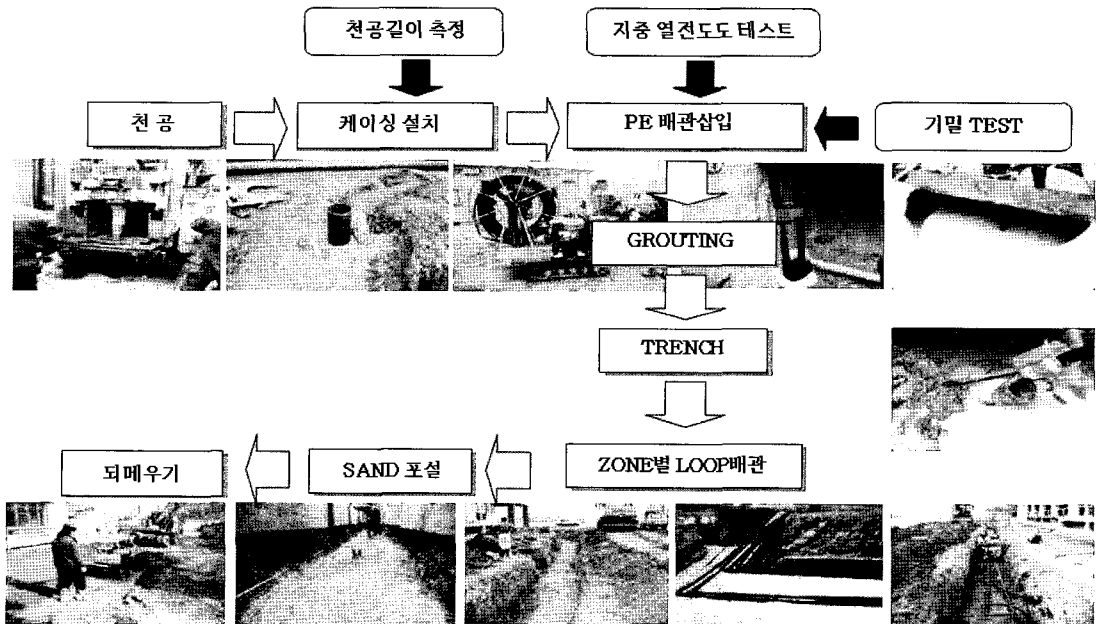
3. 공조 시스템

이 장에서는 지면상 생태연구센터의 공조설비에 대해서만 기술하기로 한다.

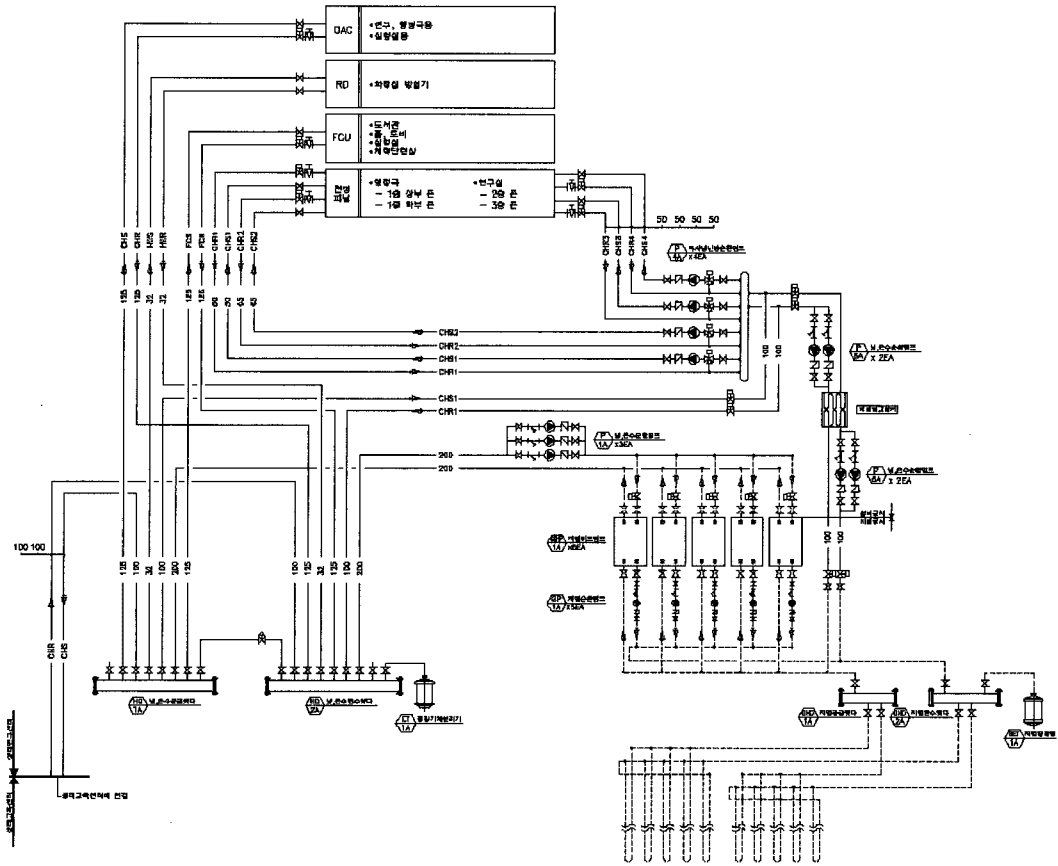
2차측 부하기기측과 지열열원기기와의 연관된 흥미있는 공조시스템을 소개하고자 한다.

<표 7> 지열시스템 장비선정

구 분	단위	방문자 센터	생태 연구센터	열충 위기종 · 생태 교육센터
히트펌프 선정	USRT	45 USRT	45 USRT	45 USRT
수 량	EA	3	6	5
형 식	-	수직 밀폐형	수직 밀폐형	수직 밀폐형
천공수	HOLE	39	88	103
천공 깊이	M	150	150	150
PIPE 종류	-	HDPE,	HDPE,	HDPE,
Pipe구경/천공 구경	mm	30/150	30/150	30/150
그라우팅	-	벤토나이트(volclay), 유동화재(CETCO), 물:80, 벤토나이트:20		
지중순환 열매체	-	물:80, 알코올:20		
비고	-			



[그림 3] 지중 열교환기 공사 공정도



[그림 4] 생태 연구센터 열원 흐름도

3.1 생태 연구 센터

3.1.1 적용 공조 시스템

- 1) 천정 복사 냉난방 : 업무시설(연구실, 행정실)
- 2) FCU : 실험실, 도서관, 홀, 로비
- 3) OAC : 연구, 실험실, 행정실 등의 Make up 공조

3.1.2 지열 시스템과 공조 시스템의 활용 방안

- 1) 업무시설의 공조시스템은 천정 복사 냉난방 시스템을 적용하였다.
- 2) 천정복사 냉난방 시스템의 냉운수 공급 수온은 냉방시 : 15 ~ 17℃, 난방시 : 35℃ 이상

필요하다.

- 3) OAC (외기조화기)로 MAKE UP 공조를 하여 결로에 대비하였다.
- 4) 따라서 그림 4 열원 흐름도에와 같이 지열의 지중 열매 온도는 15℃ 내외로 거의 일정하므로 지열 히트 펌프를 거치지않고 지중열교환 냉매를 바로 천정 복사 냉난방 시스템에 열원을 공급하도록 바이패스를 구축하여 환절기 또는 한여름의 경우하시에 운영하도록 설계를 하였으며 에너지절약에 많은 도움을 줄 것으로 판단이 된다. 또한 지열히트펌프 시스템에 대한 많은 활용 방안과 시스템 접목이 필요한 때이므로 이 장에서 간략히 소개하였다.

4. 결론

본고에서는 친환경 건축 기술이 적용된 충남 서천 국립 생태원에 적용된 지열 냉난방 시스템을 소개 하였다. 생태원에 적용된 지열 냉·난방 시스템은 현존하는 냉난방 기술 중에서 가장 효율적이고, 환경 친화적으로 시스템의 효율이 높고 안정적이며 건축공간의 활용성이 높은 등 많은 장점을 가지고 있다. 이에 본 건축의 냉·난방 및 급탕에 신·재생에너지인 지열을 사용하여 열원 100% 적용하였다. 기존 냉난방 설비에 비해 다소 높은 초기 투자비로 냉온수기 시스템에 비해 200% 정도의 초기 투자비가 들지만 연간운전비 면에서 약 3년정도 후에는 초기 투자비를 회수 할 수가 있다. 운전비 면에서 경제성이 높지만 초기 투자비가 높아서 현재는 대규모 공공건물 및 교육부의 학교건물 등에 보급되고 있는 정도의 실

정이다.

특히 높은 초기 투자비는 에너지 이용효과가 가장 높은 민간 부문에 대한 보급을 제한하는 가장 큰 원인이 되고 있다. 이를 해결 하기 위한 방안으로서 초기 투자비, 운전비, 유지관리비 등에 정부 차원의 각종 금융지원 정책이 개발 되어야 하고 국가의 기술 개발 노력과 시장 활발성을 통해 초기 투자비를 줄인다면 다른 신·재생에너지에 비해 민간 시장에서 보급이 활성화 될 수있을 것으로 판단된다.

이와 더불어 지열시스템 이용기술의 표준화, 설계 및 시공 기술의 고도화와 시스템 운전에 대한 신뢰성 확보를 통하여 공공뿐만 아니라 민간으로의 확대 적용이 필요하며 지열 냉난방에 대한 끊임없는 연구와 시공 기술 개발 등이 지속 되어야 할 것이다. 