

축열식 지열시스템 설치사례

남 임 우, 유 현 구, 심 두 보, 백 기 동
(주)신성엔지니어링

1 서론

최근 화석연료의 과다사용으로 야기된 에너지 고갈 및 환경문제는 세계인 전체가 당면한 21세기의 가장 큰 과제로 대두되고 있다. 또한 원유를 포함한 석유자원은 채굴량 자체가 국가간의 무기로 작용하고 있다. 이의 해결방법으로 제시되고 있는 것이 전 세계적인 신·재생 에너지(대체에너지)의 사용비중 증가 및 의무화이다.

우리 정부에서도 2002년 3월에는 “대체에너지 개발 및 이용·보급 촉진법”을 통해 일정규모 이상의 정부출연금 받은 건물에 대하여 표준건축

비의 5% 이상을 신·재생 에너지 사용시설에 투자하도록 의무화 하고 있다. 최근에는 신·재생 에너지 중 특히 지열 냉난방 시스템에 대한 인식이 확산되어 에너지관리공단 주도의 보급사업지원 신청결과 신청건수의 50% 이상이 지열 히트펌프를 적용한 냉난방 시스템이었으며, 일반기업 및 개인도 지열 냉난방 시스템(이하 지열시스템)의 친환경성, 경제성, 편리성등 인식확대로 최근 국내의 보급률이 급속히 확산되고 있다. 지열시스템의 방식은 설치방식 및 이용방식에 따라 여러 가지로 구분 될 수 있으나 지반조건 및 여러 상황을 고려하여 창녕서드에이지 건물에는 경제성과 효



[그림 1] 건물조감도(창녕서드에이지)

울성에서 현장 조건성 가장 유리하다고 판단되는 축열식 지열시스템방식으로 설치되었으며 이에 대한 설명과 시공방법에 대하여 소개하고자 한다.

2 축열식 지열시스템의 시공사례

2.1 공사 개요

본 건물은 친환경 신.재생에너지인 지열을 이용하여 노인요양시설의 냉난방에 적용, 쾌적하고 경제적인 냉,난방시스템을 구현하고자 하였으며 주간 지열히트펌프의 가동부하를 경감시키기 위하여 야간에 심야전력으로 지열히트펌프를 운전하여 축열조에 냉온수를 축냉/축열 저장하였다가

주간에 축열조에 저장된 냉온수를 순환하여 건물의 냉난방을 수행하도록 축열식 지열시스템으로 설치하였다.

2.2 설계개요

창녕서드에이지 건물의 축열식 지열시스템의 구성은 크게 옥외 지중열교환기와 기계실 지열히트펌프, 축열조, 순환펌프, 자동제어시스템 으로 구성되어 있으며 지열히트펌프의 운전으로 생성된 냉온수를 공조기 및 팬코일을 이용해 건물의 냉난방을 수행하도록 설계되었다.

(1) 축열조 선정(표 2 참조)

<표 1> 지열냉난방 공사개요

공사명	창녕서드에이지 신축공사		
위치	경남 창녕군 고암면 중대리 235-1번지		
발주처	한국 교직원 공제회	시공	안흥개발(주)
지열냉난방시공	(주)신성엔지니어링	용도	노인주거 복지시설
연면적	59,945.93m ²	냉난방면적	9,741.6m ²
규모	지하1층, 지상15층		
공사기간	2006.08.04 ~ 2007.03.31		
지열공사범위	1) 옥외 지열천공공사		
	2) 옥외 매립배관공사		
	3) 기계실 장비설치공사		
	4) 기계실 지열배관공사		
	5) 축열조 설치공사		
	6) 지열냉난방 시스템 자동제어공사		

<표 2> 축열조 선정

구분	냉방시	난방시	비고
축열조 용량	677.3m ³		
저장온도	ΔT 8℃ (12℃ → 4℃)	ΔT 10℃ (45℃ → 55℃)	
최대 저장량	1,702USRt-h	6,434Mcal	
최대일 주간부하	3,758USRt-h	10,601Mcal	
최대 부하일 축열조 저장량	1,337USRt-h	3,790Mcal	히트펌프용량 × 수량 × 10h-심야부하량
축열율	45%	61%	최대부하일주간부하량 ÷ 최대저장량

* 한전규정 축열율 : 40%이상

(2) 지열 히트펌프 선정

- 히트펌프 능력 : 제빙시간인 10시간동안 축열조 용량만큼 축열할 수 있어야 함
- = (축열조용량+야간부하량)/(축열시간 지열히트펌프대수) < 지열히트펌프 능력
- = (1,760USRt.h)/(10h × 8대) = 22USRt 이상이어야 함
- = 지열히트펌프 25RT × 8대 선정

(3) 지열방식 결정

- 지중열교환기 방식 : 수직밀폐형
- 천공수량 : 92공(천공깊이 150M 기준)

(4) 축열식 지열시스템 계통도(그림 2 참조)

2.3 축열식 지열시스템 설계 및 시공과정

지열히트펌프 시스템은 초기투자비를 제외하면

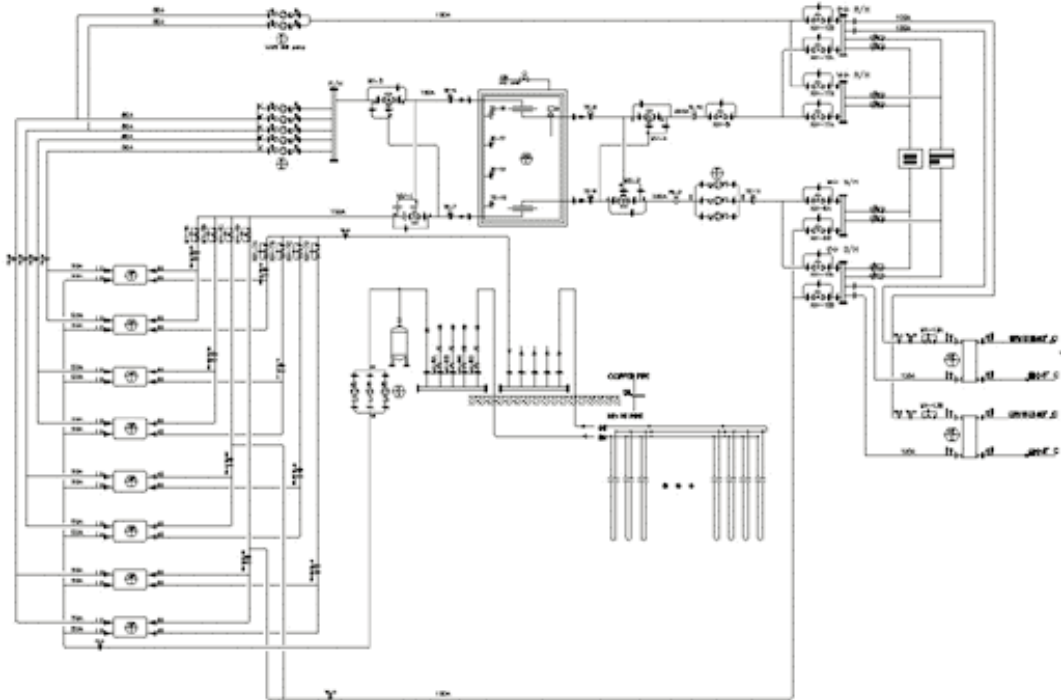
어떤 다른 대체에너지원에 비해 냉난방시스템으로서 경쟁력이 있는 것으로 입증되고 있다. 따라서 지속적인 성능확보와 환경오염을 방지하기 위해 어느 열원 시스템보다도 사전조사와 정밀한 시공을 필요로 한다. 지열히트펌프 시스템의 개략적인 설계 및 시공과정은 다음과 같다.

(1) 지열시스템 설계과정(그림 3 참조)

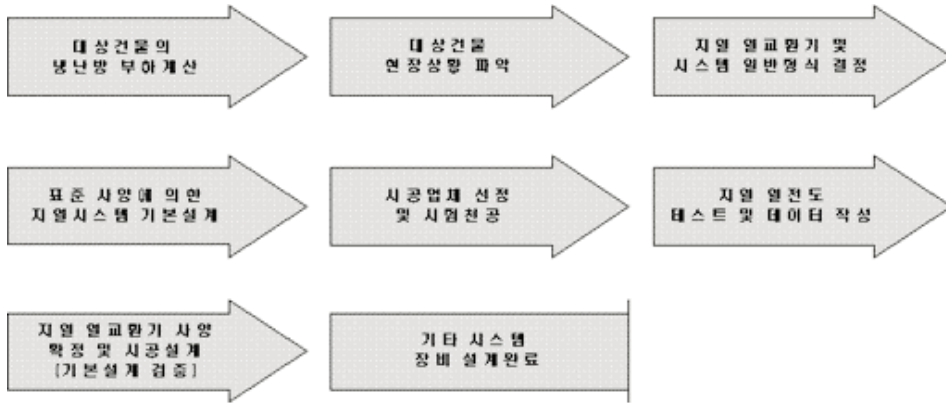
(2) 축열식 지열시스템 시공과정

① 현장 지반조사 및 지중열전도도 측정(그림 4)

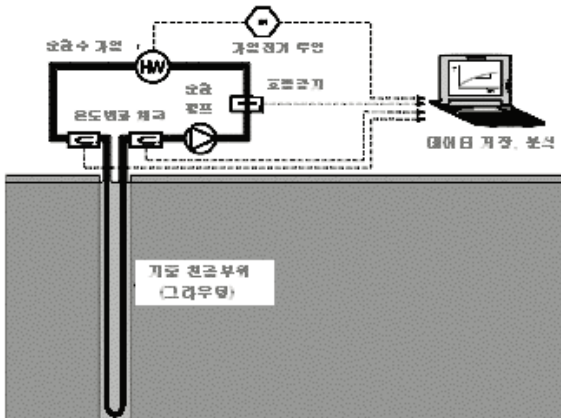
이 과정에서는 테스트 장치 등을 활용하여 지중 열교환기의 설치 장소의 지반이라든지 지질의 구조 등을 조사한다. 현장의 지중열전도도(thermal conductivity)를 측정하여 설계에 반영하는 등의 작업도 포함된다. 지열의 설계당시 본 테스트가 완료되어야 하나 실제 현장에서는



[그림 2] 지열시스템 흐름도



[그림 3] 지열시스템 설계과정



[그림 4] 지열 열전도도 개념도 및 테스트

주로 초기의 설계를 검증하는 순서로 진행되게 된다.

② 천공(drilling)작업(그림 5)

지열 열교환기(pe pipe) 매설을 위한 천공작업을 한다. 천공작업은 일반 지하수개발과 동일한 공정으로 진행이 되며 일반적인 밀폐형 지열의 경우 굴진심도는 100~200m, 지하수이용 개방형의 경우 400m 정도이다.

천공작업 이전에는 반드시 굴착행위 신고 또는 지하수 이용허가서를 관할 시, 구청에 신고한 후 신고필증 또는 허가서가 발부된 후 착공하여

야 한다. 시공 시 장소에 따라 천공 슬라임 제거를 위한 서어징 시 지하수가 다량 토출되게 된다. 이 토출수는 암반의 연마가루가 다량 포함되어 있으며 이를 하천수에 방류 시 민원의 발생우려가 있으므로 방류기준에 적합하도록 적절한 침전 또는 슬라임 제거작업 후 방류하여야 한다.

③ 지열 열교환기 검사 및 설치(그림 6)

지열 열교환기(PE pipe)의 손상여부를 점검하여 이상이 없는지 확인한 다음 천공홀에 지열교환기를 삽입한다. 지열 열교환기를 삽입하는 동



[그림 5] 지열 천공 및 침전조 조성



[그림 6] 지열 열교환기 및 설치

안 과도하게 꼬이거나 흠집이 생기지 않도록 주의하며 부력상쇄 효과를 위해 지열교환기 내에 물을 채우도록 하며 설계된 깊이까지 넣도록 하며 최종 배관연결 시 까지 열려있는 부분은 이물질이 들어가지 않도록 반드시 밀봉하도록 한다.

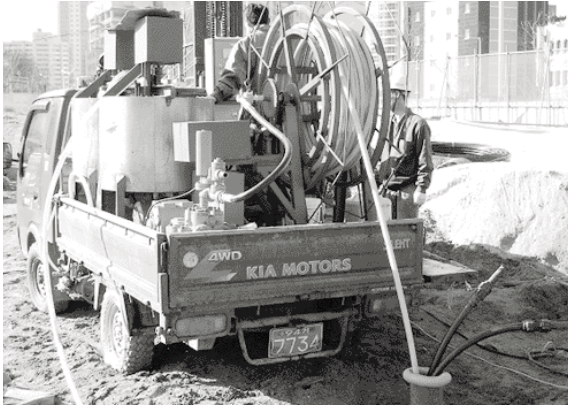
④ 지중열교환기 압력 테스트

지중열교환기를 설치한 다음 각 천공부분의 지열교환기는 되묻음 작업 이전에 각 천공부분의 지열교환기는 물로 채워지고 압력테스트가 시행된다. 테스트 압력은 수압으로 $7\text{kg}/\text{cm}^2$ 정도이며 최소 1시간 이상을 측정하여 압력변화를 확

인한다. PE소재의 특성 상 초기 가압 후 압력강하가 많으나 안정이 되면 강하속도가 느려지고 압력이 유지된다. 허용압력은 안정 후 $1\text{kg}/\text{cm}^2$ 이다. 지열배관은 대개 매립배관으로 상부 복토 및 마감 후에는 보수하기가 까다로우므로 열교환기 합입 후, 지열 매립헤더배관 융착완료 후, 기계실 지중배관 인입 후 반드시 압력테스트를 실시하여야 한다.

⑤ 그라우팅(grouting)작업 (그림 7)

지중열교환기를 설치한 다음 열교환기와 천공홀 사이의 빈공간을 채운다. 이는 지중 열교환기



[그림 7] 지열 그라우팅



[그림 8] 옥외 매립배관

와 천공홀 주변의 토양 또는 암석등과 열전달을 촉진하고 표층수의 오염원으로부터 심층지하수를 보호하기 위함이다. 그라우팅 방식으로는 벤토나이트+물 또는 여과사 + 상부층 벤토나이트마감 등의 방식이 사용된다. 벤토나이트 그라우팅은 하부에서 슬러리를 토출하여 상부로 토출되는 방식으로 시공하며 그라우팅은 최초 타설 후 몇시간 방치하면 지하로 일정량 침하하게 된다. 침하량은 지속적으로 3~4회 보충하여 표층부에서 슬러리를 확인할 수 있어야 한다.

⑥ 옥외 매립배관(그림 8)

그라우팅작업으로 지열 열교환기의 설치작업

은 종결되게 되며 설치된 지열 열교환기는 기계실의 히트펌프와 지중매립배관으로 연결되어야 한다. 지중배관은 일반적으로 PE용착 방식으로 시공하게 된다. PE 용착작업의 특성 상 우천시나 작업장 온도가 -5°C 이하에서는 작업을 하지 않도록 한다. 매립배관의 용착이 완료되면 매립 전에 반드시 기밀시험을 거친 후 매립하게 된다. 일반적으로 매립 시 시공부에 기초콘크리트 또는 가이드 등은 사용하지 않으나 되도록 직선배관이 되도록 하며 기계실 방향으로 역구배가 되지 않도록 한다. 역구배 발생 시 에어포켓이 형성되면 열교환기 내로 순환수의 흐름이 원활하지 않을 우려가 있기 때문이다. 1차 매립

은 관의 손상방지를 위하여 모래를 30cm 채우며 2차 큰돌을 고른후 굴착토로 상부 50cm를 남기고 매립하게 되며 매설관 경고띠를 두른 후 매립을 완료하게 된다.

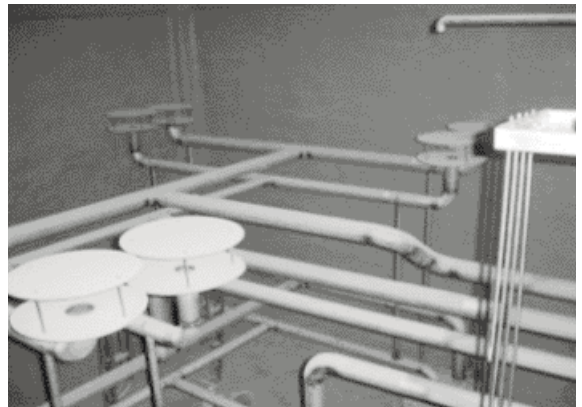
⑦ 축열조 설치(그림 9)

축열식 지열시스템에서 히트펌프의 가동전력을 저렴한 일반전력의 1/3~1/4수준의 심야전력을 사용하기 위해서는 반드시 축열조가 필요하며, 히트펌프에서 공급되는 냉열(4℃)과 온열(55℃) 저장이 동시에 가능하도록 수축열조가 채택되어 있다. 수축열조는 그림 9에서와 같이 물의 밀도차에 의하여 고온의 물은 축열조

상부로 저온의 물은 하부에 유지하는 특성을 활용하도록 디퓨저를 설치하여 온도성층화를 이루도록 하여야 한다. 이를 위하여 적절히 디퓨저를 설치하면 냉방시는 가능한 낮은 온도(4℃)로 부하에 냉열을 공급하고 난방시는 가능한 높은 온도(55℃)로 부하에 온열을 공급함으로써 축열조 이용율을 높이고 순간부하공급능력을 향상시킬 수 있다.

⑧ 실내배관 연결 작업(그림 10)

트렌치 작업을 실시한 후 지중열교환기를 준별로 구분하여 분배헤더에 연결하고, 또한 기계실 지열관련 장비 및 히트펌프 설치, 배관작업을



[그림 9] 축열조 및 축열조 내부 디퓨저 배관



[그림 10] 기계실 연결배관 설치 및 지열 자동제어 판넬

한다. 배관공사는 일반설비의 배관과 동일하나 각 분배헤더별로 압력계를 설치하여 흐름의 불균형 또는 열교환기의 누수를 체크할 수 있도록 하여야 한다. 밀폐배관은 반드시 플러싱 작업 및 에어퍼징 작업을 하여 지열교환기 및 기계실 배관의 이물질 제거를 주어야 하며 또한 시스템 배관내의 공기를 완전히 배출하여 시스템의 운전 및 성능에 영향을 미치지 않도록 주의한다.

3. 지열열교환기 열용량평가

(1) 지열 열전도 테스트

창녕서드에이지 현장의 지열 열용량을 평가를 위해 지열열전도 테스트를 수행하였으며, 지열 열전도 테스트는 현장의 열교환기 설치를 위하여 설치한 샘플 천공홀을 기준으로 실시 일정한 열부하를 보어홀에 주입하면서 지중 열교환기 내부

를 순환하는 유체의 온도변화의 경사도 및 주입된 열량을 기준으로 하여 측정하였다.

지열 열전도도 테스트의 개념은 그림 11에 나타난 것처럼 일정한 열을 지열 열교환기 내로 주입 또는 추출하는 동안 지열 열교환기를 순환하는 유체의 변화되는 온도를 측정하는 것이다. 열전도도를 구하기 위한 현재 가정 일반적이고 정확하게 산출하는 방법은 Line-Source 이론에 의하여 계산하는 방법으로 계산할 수 있다.

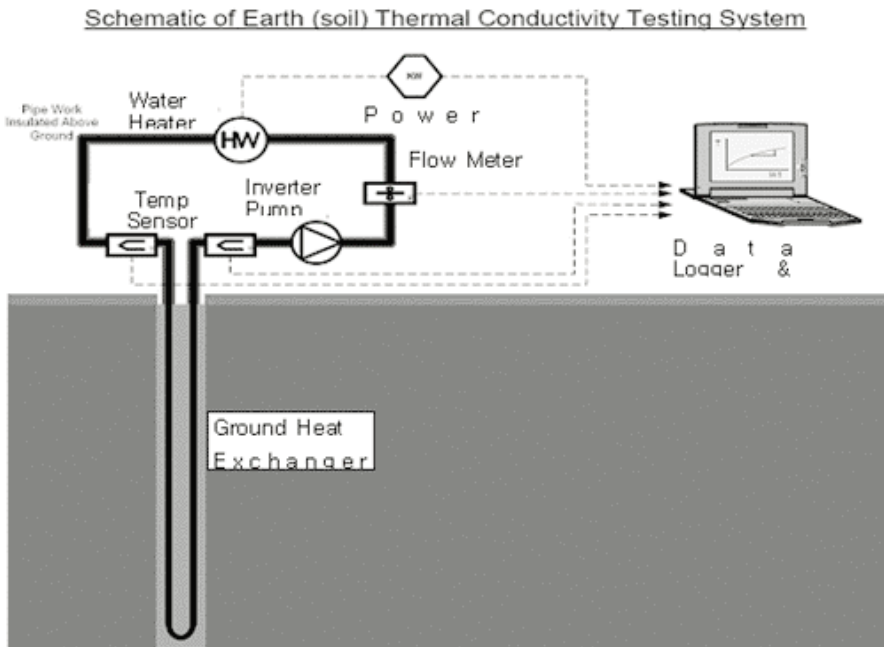
$$k = \frac{Q}{(4\pi \times L \times \text{slope})}$$

k = 열전도도 Q = 열주입량

$\pi = 3.14$ L = 천공홀 깊이

slope = 대수시간에 대한 온도곡선의 기울기

측정된 데이터(입출구 온도값)는 측정시간에 대하여 지열 열교환기 입, 출구의 온도변화 곡선으



[그림 11] 지열 열전도도 테스트 개념도

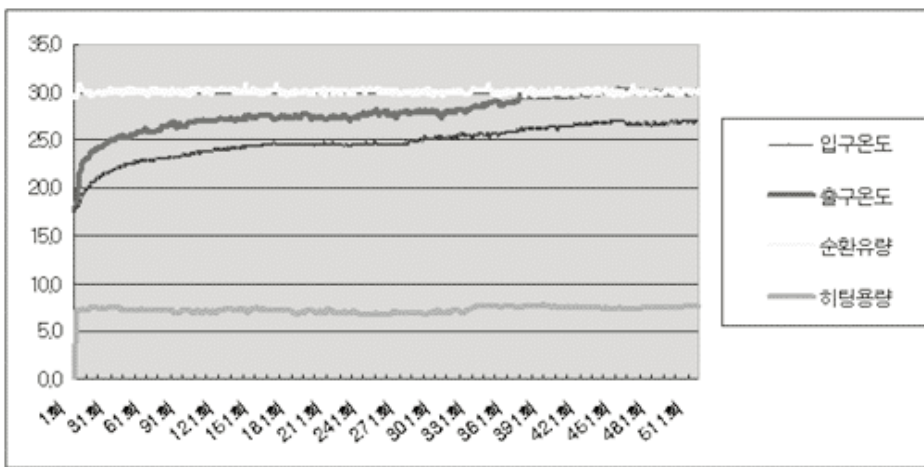
로 나타나게 된다. 이를 측정시간에 대한 대수곡선으로 배열하여 측정값에 대한 기울기를 구하면 열전도도를 측정할 수 있다.

상기의 동일한 테스트 결과를 X축에 대하여 시간에 대한 데이터 측정 회수로 보았을 때 **그림 11**은 측정회수에 대한 X의 자연수축 그래프이며 **그림 12**는 X의 로그축 그래프이다. 이에 대한 측정결과를 정리하면 **표 3**과 같다.

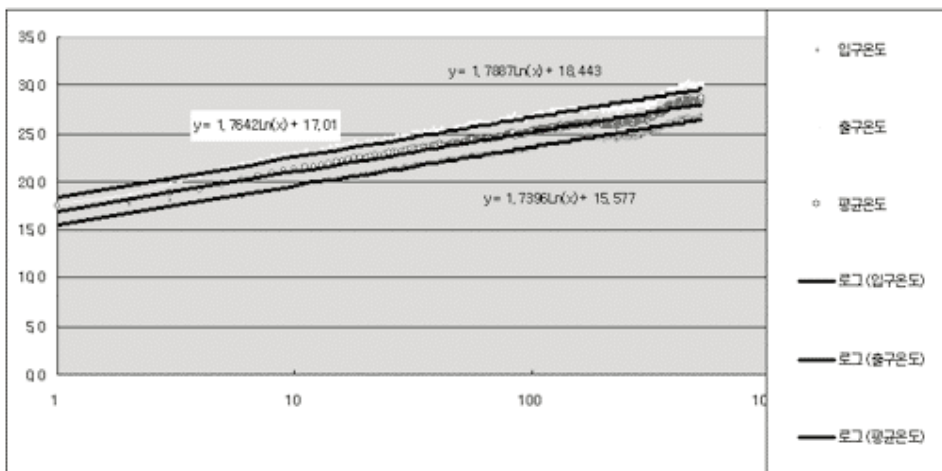
(2) 최종 지열 열교환기 사양 결정

지열 열교환기를 사양을 계산하기 위해서는 지열 열교환기 설계프로그램을 사용하여 시추한 암반의 성상 및 앞에서 실험한 열전도 테스트 결과를 입력하여 계산하게 된다. 지열 열교환기 설계를 위한 전문 프로그램은 **표 4**와 같으며 이를 사용하여 최종 사양을 결정하게 된다.

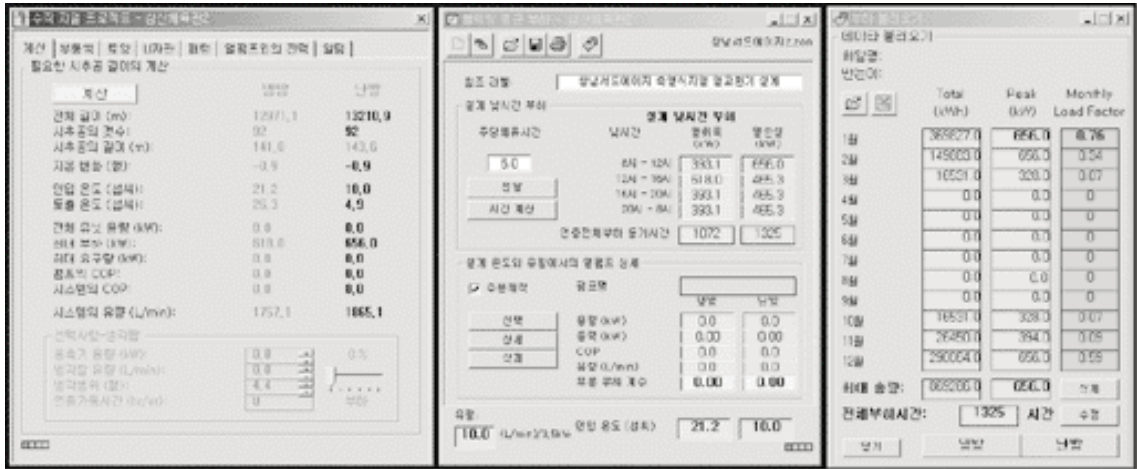
그림 14는 프로그램에 정확한 정보를 입력하기



[그림 12] 지열 열전도도 테스트 데이터 그래프(창녕서드페이지)



[그림 13] 지열 열전도도 테스트 데이터 그래프(창녕서드페이지)



[그림 14] 지열 열교환기 설계 프로그램(GLD)

<표 3> 지열 열전도도 테스트 결과(창녕서드에이지)

구분	규격	비고
천공홀	깊이	150 m
	지름	150 φ
지열교환기	30 A	
평균 가열용량	7.248 kW	
평균 순환유량	30.09 lpm	
평균 온도차	3.14 °C	
온도곡선 기울기	1.7642	
지중 열전도도	2.180 W/m°C	
관계식	$k = \{(Q) / (4\pi \times L(m) \times \text{Slope})\}$	
계산과정	$= \{7.248\text{kW} / 4\pi \times 150\text{m} \times 1.7642\}$	
	$= 2.180 \text{ W/m}^\circ\text{C}$	

위해서는 시험천공에서 얻은 시공현장의 지반데이터, 부동산을 사용할 경우 부동산 사양, 지열 교환기의 사양 및 배치계획, 지열 히트펌프의 사양 등이 필요하다.

4. 결론

이상으로 지열 시스템의 이해를 돕기 위한 시스템의 일반적인 설명 및 실례를 통하여 시공방법

<표 4> 지열 열교환기 설계프로그램의 예

프로그램명	공급사
GchpCalc	Energy Information Service (USA)
EED	Lund Univ. (Sweden)
GLHEPRO	IGSHPA (USA)
GLGS	IGSHPA (USA)
GS2000	Caneta Research (Canada)
GLD	Geo Bore Technology (USA)
GEOCALC	HVACR Program (USA)

과 주의사항을 위주로 설명하였다. 현재 국내에서 지열시스템은 공공기관의 의무화 및 에너지소비에 대한 의식의 변화, 유지보수의 편리성 등을 이유로 보급이 급격하게 증가하고 있다. 에너지관리공단을 축으로한 신.재생에너지 보급목표는 2013년까지 총 에너지 소비의 6%를 설정하고 있다. 이를 위하여 올해에 보급합성화를 위하여 4천억원을 투입하고 있으며 이 기조는 앞으로 계속 될 것으로 사료된다. 이에 신재생 에너지 중 국내 현실에 가장 적합하다 할 수 있는 지열 냉난방에 대한 끊임없는 연구와 시공기술 개발 등이 지속되어야 할 것이다.