

지열 냉난방 시스템에서 지중열교환기의 설계 및 시공

백성권*, 박용부*, 박종배*

1. 서언

지열 냉난방 시스템은 지반을 하나의 거대한 에너지 저장고라는 개념에서 출발한다. 여름에 실내의 더운 열을 지반으로 보내고 대신 지반을 통과한 차가운 바람이나 물을 통해 실내를 냉방하며, 겨울에는 반대로 실내의 차가운 공기를 지반으로 보내어 상대적으로 따뜻한 공기나 물로부터 열을 얻는다. 기존의 화석 에너지(석유, 석탄, 가스 연료)로만 동작하는 냉난방 시스템과는 차별성을 가지는 것으로, 무한의 에너지원에 의한 환경 친화적인 시스템이라 하겠다.

지열 냉난방 시스템은 Geothermal Heat Pump System(GHP), Ground-Source Heat Pump System(GSHP), Earth Energy System이라는 다양한 이름으로 불리고 있다.

지열 냉난방 시스템에 대한 자세한 설명을 하기

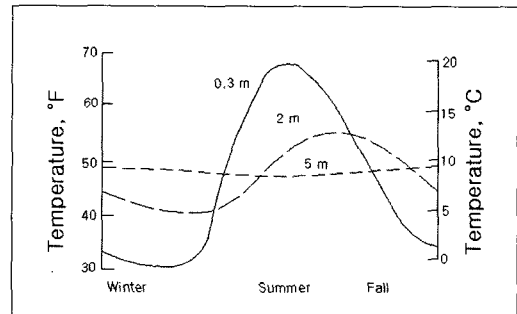


그림 1. 캐나다 오타와의 연간 심도별 지중온도 변화 예 (Williams, 1976)

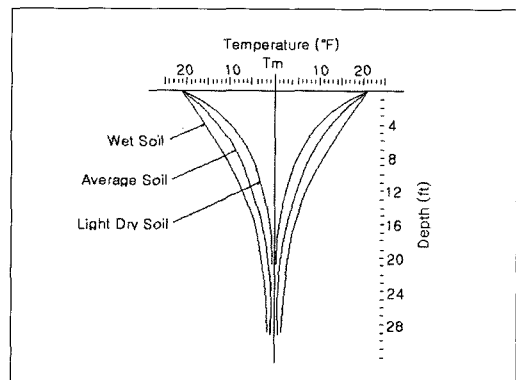


그림 2. 흙의 함수비와 심도에 따른 지중 온도 변화 (IGSHPA, 2000)

*1 코오롱건설(주) 기술연구소 과장(eva999@hanmail.net)

*2 대한주택공사 주택도시연구원 책임연구원

*3 대한주택공사 주택도시연구원 책임연구원

전에 “지열”에 대한 올바른 이해가 반드시 필요하다. 지열은 크게 흔히 온천으로 대표되는 뜨거운 지열과 대기 온도 변화의 영향을 받지 않는 일정 깊이 지중의 상온 지열이 있다. 이 냉난방 시스템의 지열이란 바로 “상온의 지열”을 의미한다.

여름에 대기 온도가 30℃ 이상 상승하거나 겨울에 0℃ 이하로 하강하더라도 일정 깊이 이하의 지반은 항상 일정 온도를 유지하고 있다. 연중 대기 온도의 변화에 영향을 받지 않는 지중 온도가 15℃라고 가정할 때, 한여름의 기온에서 15℃는 추울 정도로 서늘한 온도이며, 한겨울의 15℃는 별다른 난방장치가 필요 없을 정도로 따뜻한 온도이다. 4계절 일정한 온도를 끌어다 냉매로 사용한다면, 무한하고 값싼 에너지를 손쉽게 사용하는 것이다.

2. 개발 이력

지열 냉난방 시스템의 개발은 1912년으로 거슬러 올라가, 스위스에서 처음으로 지반 순환계를 사용하여 특허를 낸 것으로 기록되어 있다. 그러나 1970년대까지 지열 냉난방 시스템은 확실한 시장 수요가 없었다.

처음으로 상용화된 지열 냉난방 시스템은 주거지역에 대해 지하수 타입 시스템으로 설계되었다. 1980년대 중반까지 열펌프의 효율과 가동 범위는 진보된 지반 순환계 재료와 더불어 발전하였고, 이때부터 지반 복합형 열펌프로 시장에 도입되어 상업적 장비가 인기를 끌기 시작하였다. 현재 북미에서 40,000개 이상의 지열 열펌프가 팔렸다.

미국에서는 1994년에 각 분야의 회사, 기술자 및 정부 기관들이 모여서 비영리단체인 지열 열펌프 컨소

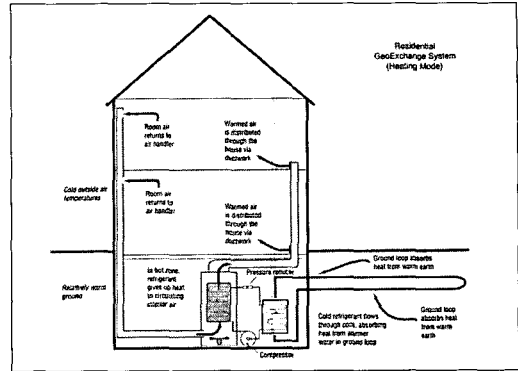


그림 3. 지열 냉난방 시스템의 난방 개요(IGSHPA)

시엄(GHPC : Geothermal Heat Pump Consortium)을 구성하였다. 이 컨소시엄에서는 지열 냉난방 시스템 기술의 홍보, 보급, 기술개발 및 마케팅을 공동으로 수행하고 있다. 미국의 EPA(Environment Protection Agency)와 에너지성이 GHPC를 지원하고 있으며, 미국 환경보호 단체의 연구에 따르면 지열 시스템은 가장 효율적이며, 대부분의 나라에서 이용 가능하고 환경오염을 거의 유발하지 않는 냉난방 에너지라고 한다. 이 시스템은 현재 미국, 캐나다를 비롯하여 스위스, 호주, 영국, 이탈리아, 중국, 일본, 터키 등에서 사용되고 있다.

국내에는 2000년도부터 도입되기 시작하였으며, 미국의 오클라호마 주립대에 위치한 IGSHPA (International Ground Source Heat Pump Association)을 중심으로 설계와 시공 교육과정을 이수한 전문가들이 활동 중이다.

3. 주요 설비

지열 냉난방 시스템의 기본적인 기능은 건물에 대한 공간의 난방, 냉방과 습도 조절이다. 열펌프 1대

지열 냉난방 시스템에서 지중열교환기의 설계 및 시공

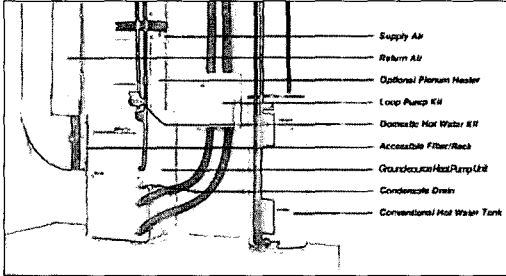


그림 4. 보일러실에 설치된 열펌프와 온수 탱크

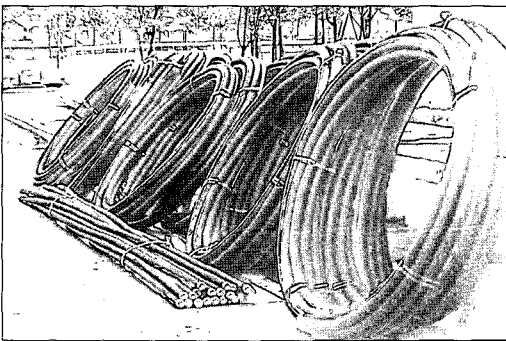


그림 5. 지중열교환기(HDPE파이프)

만으로 냉난방 모두가 가능하며, 현재 사용 중인 보일러와 에어컨의 기능을 모두 가지고 있어 적용시 기존 장비의 설치가 필요 없다. 온수 공급이 가능하며, 이는 일반 온수 보일러를 완전히 대체하는 것이다.

일반적인 지열 냉난방 시스템의 주요 설비는 다음과 같다.

- (1) 냉매를 이용한 냉난방 열펌프(Water-source Heat Pump)

그림 4와 같다.

- (2) 지중열교환기(Ground Heat Exchanger)

그림 5와 같다.

- (3) 공조 설비(Distribution System)

열펌프는 물을 이용해 열을 건물 또는 지중에 전달하는데 그 목적이 있다. 열전달은 중간 열교환기에서 이루어진다. 지중 순환수는 냉각 또는 재 가열

하기 위해 지중으로 되돌려지거나, 지중으로 재 주입된다. 공기 순환 보조 시스템은 열펌프에서 건물로 냉난방 에너지를 방출하기 위한 것으로, Air Duct 순환 시스템의 형태를 취하고 있다.

4. 지열 냉난방 시스템의 장단점

일반적인 화석연료(석유, 가스 등)를 이용한 시스템과 비교할 때 지열 냉난방 시스템의 장점은 아래와 같다.

- (1) 기계실 전용면적 감소
- (2) Life Cycle Cost가 뛰어나 경제적
- (3) 소음 저감
- (4) 최대 전력 소모가 감소
- (5) 난방과 냉방을 동시에 할 수 있는 유연성
- (6) 석유를 이용한 시스템보다 화재 등의 위험이 없어 안전
- (7) 유지비 절감
- (8) 환경 친화적

일반적으로 사용 중 전력 절감에 따른 회수 비용 LCC(Life Cycle Cost)는 국내외 자료에 의하면 3~5년 사이에 이루어지지만, 이는 시스템의 종류와 기술적 수준에 따라 좌우된다.

위의 많은 장점에 비해 시스템 적용을 위해서는 아래와 같은 단점들을 고려하지 않을 수 없다.

- (1) 초기 투자비 증가(냉난방 설비의 약 20~100% 증가 예상)
- (2) 현장 특성에 따른 설계와 시공
- (3) 지열교환기 시공 위한 필요부지의 증가

그림 6은 기존의 냉난방 시스템과 지열 냉난방 시스템의 효율을 비교한 것으로 운전 계수(Coefficient

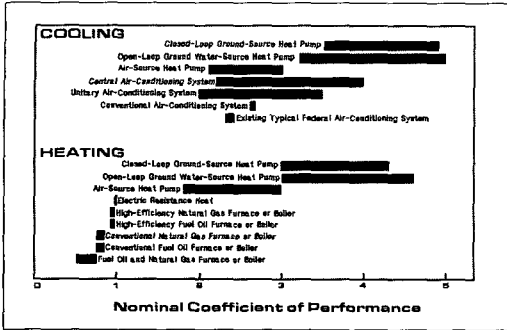


그림 6. 일반적인 냉난방 장치의 효율 비교(GHPC, 2000)

of Performance) 값이 클수록 효율이 크다는 것을 나타낸다. 1의 전기를 이용해 1의 열을 발생시켰을 경우 운전 계수는 1이다. 열펌프를 이용하였을 경우 효율이 크며, 여기에 지열 시스템을 접목한 경우 그 효과가 극대화됨을 알 수 있다.

하지만, 대부분의 대체 에너지 기술에서처럼, 이 시스템의 시장개척에 어려움을 주는 가장 큰 요소는 초기 비용 때문이다. 태양에너지를 이용한 대체 에너지 기술 시장이 현재 많이 침체된 것이 사실이다. 이는 높은 초기 투자비와 지속적인 에너지 공급의 불가능이라는 두 가지 요소가 가장 큰 것으로, 지열 냉난방 시스템도 지속적인 에너지 공급은 가능하지만 높은 초기 투자비가 앞으로 발전에 큰 걸림돌임은 확실하다.

지열 냉난방 시스템의 초기 투자비는 기존의 시스템에 비해 상당히 큰 편인데, 가장 큰 이유는 지열교환기를 시공하기 위해 굴착하는 비용이 추가적으로 투입되기 때문이다. 현재 보어홀 굴착 비용은 당 5~15만원 정도로 초기 투자비의 20~50%까지 차지한다.

그림 7은 IGSHPA에서 조사한 결과로 냉난방 용량이 3톤인 시스템을 시공했을 때 시공비를 비교한 것이다. 일반 시스템보다 지열 냉난방 시스템의 시공비용이 확실히 증가하는 것을 알 수 있다. 특히 수

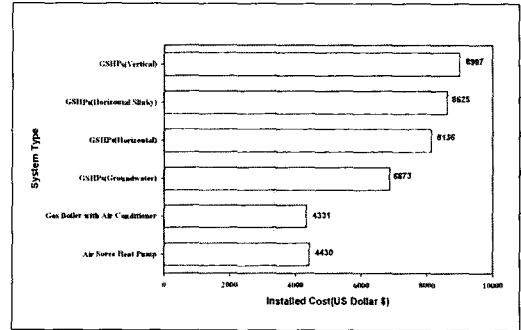


그림 7. 3톤 규모 냉난방 시스템의 종류에 따른 전체 설치 공사비 비교(IGSHPA, 2000)

직형 시스템의 경우 가장 비용이 큰데, 이는 보어홀 굴착 비용에 의한 비용 상승이 주요인이다. 자료가 미국을 기준으로 하였기 때문에 수직형과 수평형의 금액 차이가 적으나 국내 여건으로 볼 때 그 차이는 더 클 것으로 판단된다.

5. 지중열교환기에 따른 시스템 종류

5.1 Groundwater Heat Pump System

이 시스템의 형태는 시장에 가장 먼저 출시된 것이다. Groundwater Heat Pump System은 설치하기가 가장 간단하며, 시공 후 10년간 문제없이 사용하는 곳도 있다. 그러나 지역 환경 규제(지하수의 식수 사용 등)와 불충분한 물의 공급으로 일부 지역에서는 사용하는 데 제한이 따른다.

Groundwater Heat Pump System은 대수층의 지하수가 건물로 직접 펌핑되는 단순한 우물로 이루어져 있다. 상기 기술한 것처럼, 중간 열 교환기는 우물에서 열펌프를 분리시킨다. 이것은 물의 부식, 마모 작용으로부터 열교환기를 보호한다. 건물에서 빠

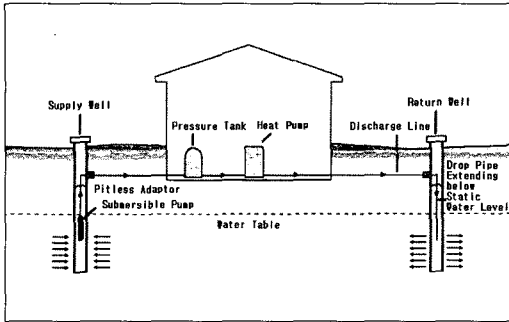


그림 8. Groundwater Heat Pump System (Sauer and Howell, 1983)

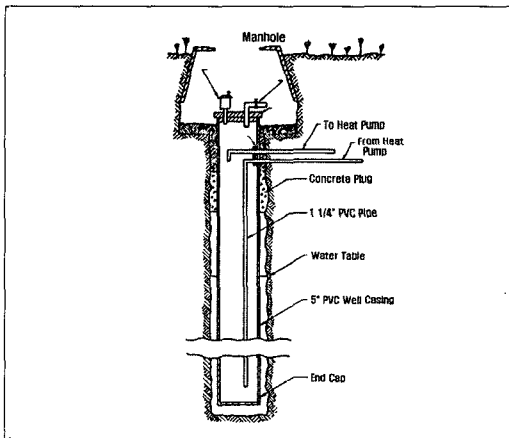


그림 9. Standing Column Well System (Bose, 1980; Sauer and Howell, 1983)

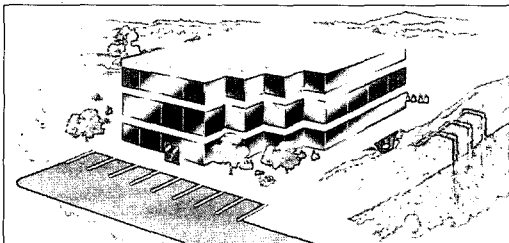


그림 10. Vertical Ground-coupled System

저나간 물은 주입정(Injection Well)이라 불리는 두 번째 우물로 돌려보내진다.

5.2 Standing Column Well System

Standing Column Well System은 Groundwater Heat Pump System이 개량된 형태이다. Standing well은 보통 직경 15, 깊이 100이다. 이 시스템에서 우물 바닥의 물이 건물의 열 교환기로 펌핑된 후 동일한 우물로 돌려보내진다. 일반적으로 우물의 물은 사용할 수 있다. 이 시스템을 원활하게 활용하려면 물의 양이 충분하여야 한다. 수직 우물은 지하수가 깊은 곳에 존재하면 과도한 펌핑 파워의 요구로 비경제적이다.

5.3 Vertical Ground-coupled System

지반에 연결하는 이러한 형태는 지표 가까이 임반 이거나 사면 붕괴가 거의 없는 보다 큰 건물에 아주 적합하다. 이 시스템은 지하 50~200 정도 깊이의 보어홀의 연속체로 구성된다. 각 보어홀에는 한두 번 감아 끝이 U자형인 파이프를 매설한다. 파이프 설치 후 이 구멍은 불투수성 재료인 벤토나이트나 시멘트로 채운 후 그라우팅 한다. 그라우팅 과정에서 지표수의 대수층 유입이나 인접 대수층의 부실로 인한 물의 침투를 막기 위해 특수한 재료로 보어홀을 채우게 된다. 일반적으로 그라우팅 재료는 일반 뒹채움재보다 낮은 열전달 특성을 가지며, 비용도 비싸다. 지역적 규제가 허용된다면, 천공구의 상위 6~10의 그라우팅으로 지표수 침투를 막는데 충분하며, 높은 지열교환기 효율과 낮은 단가 실현이 가능하다. 채움과 그라우팅 후 수직 파이프는 수평 헤더 파이프(Header Pipes)와 연결한다. 헤더 파이프는 지열교환기 열전달 유체를 열펌프로 주고받는 역할을 한다. 수직 순환계는 일반적으로 수평형보다 비싼

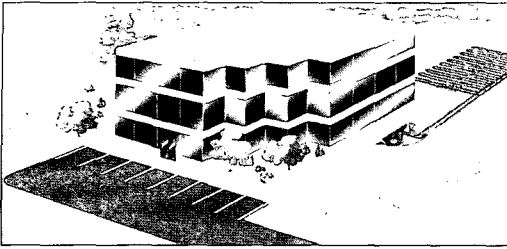


그림 11. Horizontal Ground-coupled System

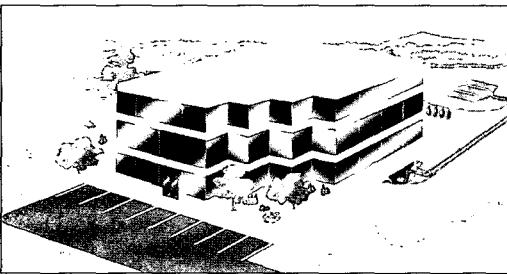


그림 12. Surface Water Heat Pump System

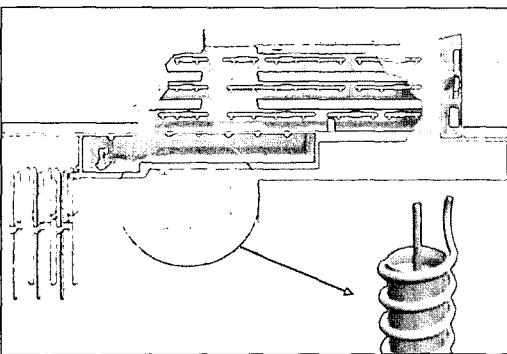


그림 13. 말뚝형 지중열교환기

편이지만, 깊을수록 더 효율이 높기 때문에 설치 파이프의 길이가 수평형보다 짧다.

5.4 Horizontal Ground-coupled System

이 시스템은 수직형에 비해 경제적이나, 광범위한

대지 면적을 필요로 한다. 이러한 이유로 보통 주거지 역이나 작은 상가 같은 소규모에 적합하다. 수평 지열 교환기는 보통 지표에서 2~5 아래의 구덩이에 일련의 파이프를 설치한 것이다. 보통 냉난방 능력 당 35~55 정도의 파이프를 설치한다(IGSHPA, 2000). 일단 파이프를 깔고 나면 트랜치는 뒷채움한다.

5.5 Surface Water Heat Pump System

지표수 시스템은 경쟁력 있고 상대적으로 저가인 지열 냉난방 시스템이다. 건물 근처에 호수나 연못이 있을 때, 일련의 코일 파이프를 수위 아래에 침수시켜 열 교환기를 설치한다. 이 시스템은 최소한의 파이프와 굴착을 필요로 하며 호수가 충분한 표면적과 깊이를 가져야 한다. 냉매의 흐름은 지중 설치 시스템처럼 유체가 파이프를 통해 펌핑되며, 순환계는 수중 생태계에 영향을 주지 않는 폐합 시스템이다. 수면 열펌프 시스템을 적용한 설계는 아직 제한적이긴 하지만, 많은 성공적인 시스템이 현재도 작동하고 있다.

5.6 말뚝형 지중열교환기(KOLON Energy Pile System)

코오롱건설에서 개발한 기술로 건물하부에 설치되는 강관이나 PHC 말뚝 중공부에 지중열교환기 설치하는 기술로, 시공 부지 및 시추비 절감이 가능한 기술이다. 일반적인 수직형에 비해 길이 당 2배 이상의 성능을 발휘하며, 이는 유럽형 현장타설말뚝 지중열교환기 기술과는 구분되는 기술로 2005년 신기술 인증을 받은바 있다.

6. 지중열교환기 설계

지열교환기(Ground Heat Exchanger)는 열펌프와 지반을 연결하는 장치를 말한다. 보통 고밀도 폴리에틸렌(High Density Polyethylene, HDPE) 파이프를 사용하는데, 길게 늘어뜨려 지하수에 연결하거나, 지중에 묻어 열 교환이 이루어지게 한다.

PVC 등 다른 재료의 파이프에 비해 HDPE 파이프가 지는 장점은 다음과 같다.

- (1) 50년 이상의 내구성
- (2) 외부 충격을 완화하는 유연성
- (3) 부식, Scale 등에 강한 내부식성과 내화학성
- (4) 큰 열전도성

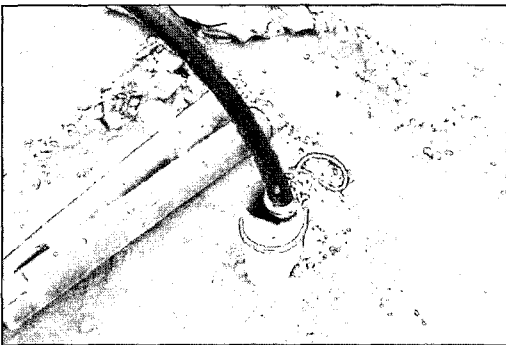


그림 14. 수직형 지중열교환기 시공 모습

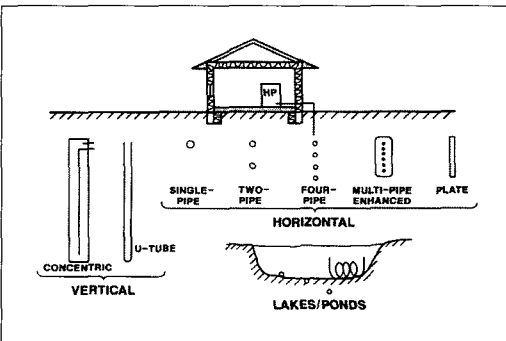


그림 15. 설치 유형별 지중열교환기

(5) 저온에 대한 우수한 내한성

지열 냉난방 시스템에서 모든 Ground Heat Exchanger는 보통 설치 후 변경이 상당히 어렵기 때문에, 시공 시 필요한 재료와 기술자 자질은 아주 양질이어야 한다. 사용되는 파이프의 재료는 대부분 고밀도 폴리에틸렌이고 파이프 연결은 용융 접착(Fusion Bond)한다.

6.1 지중열교환기의 구성장치

지중열교환기의 주요 구성장치는 아래와 같다.

(1) 순환과 역류 헤더(Headers)

히트펌프에서 병렬 루프(지중열교환기)로의 유체 흐름을 순류, 역류로 제어한다. 여러 가닥의 루프(지중열교환기)를 한 곳으로 모아 기계실로 끌어오는 역할도 한다.

(2) 루프(Loops)

헤더에서 출발하여, 시추공이나 트렌치를 지나 다시 헤더로 돌아오는 파이프를 가리킨다. 일반적으로 좁은 의미에서 지중열교환기를 의미한다.

(3) 역류계(Reverse Return)

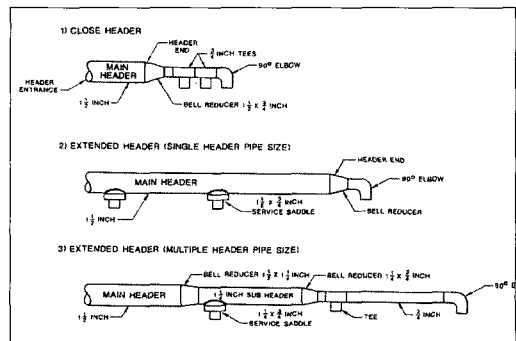


그림 16. 헤더 상세도

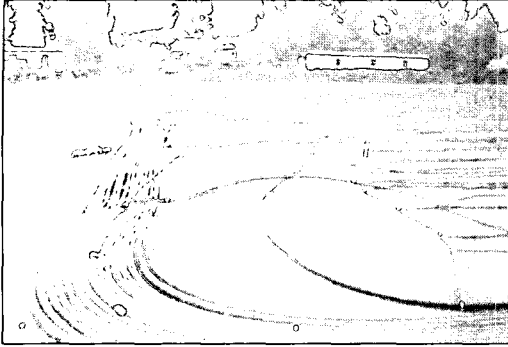


그림 17. 수평형 루프가 설치된 모습

각 루프의 유출입 압력을 동일하게 조절하는 파이핑 배열장치이다. 헤더 라인을 따라 발생하는 압력 손실 효과를 제거하기 위해 주로 사용한다.

(4) U 밴드(U-Bend)

시추공이나 트랜치 끝에서 유체가 돌아나오기 위해 루프형태의 heat exchanger에 사용하는 180도 꺾어진 고정장치이다.

6.2 지중열교환기의 설계 순서

지중열교환기의 설계순서는 아래와 같다.

(1) 지중열교환기의 배치 형태 결정

- a. 수평 또는 수직
- b. 병렬 또는 직렬 배열

(2) 플라스틱 파이프의 사양을 결정

- a. 재료(폴리에틸렌 또는 폴리부틸렌)
- b. 크기(SDR 또는 SCH)
- c. 직경
- d. 길이
- e. 순환 유압의 손실

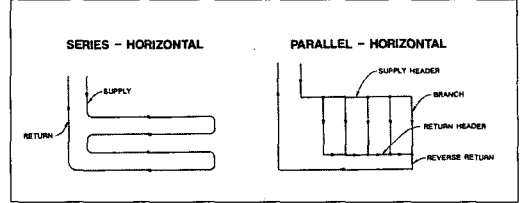


그림 18. 수평형의 병렬과 직렬 배치

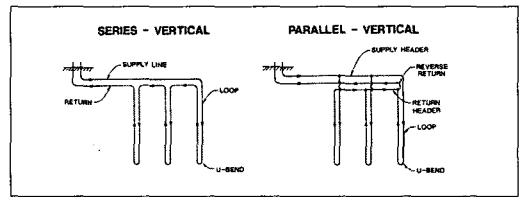


그림 19. 수직형의 병렬과 직렬 배치

설계에서 가장 중요한 사항은 지중열교환기의 길이 결정이다. 이는 지하수의 유동을 포함한 지반의 열전도 성능과 건물의 부하 크기에 따라 결정되는 사항으로, 지중열교환기의 설치 길이가 부족할 경우 시스템에 심각한 문제를 초래한다.

표 1에 표시된 최소 유속을 만족하는가를 검토하여, 부적합하면 새로운 파이핑 배열 장치를 사용한다. 최소 유속은 유체 종류에 따라 달라진다.

표 1. 난류방지를 위한 파이프 내 최소 흐름(Gallon/Min.)

Nominal Pipe Size (Pipe ID)	Water at 40°F	20% Calcium Chloride at 25°F	Propylene Glycol-20% at 25°F	Methanol 20% at 25°F
PE (SDR-11)				
3/4" (0.86)	1.1	2.3	3.4	2.4
1" (1.077)	1.3	2.9	4.4	3.1
1 1/4" (1.385)	1.7	3.6	5.5	3.9
1 1/2" (1.534)	1.9	4.1	6.3	4.4
2" (1.943)	2.4	5.2	7.9	5.5
PE (SCH 40)				
3/4" (0.824)	1.0	2.2	3.3	2.3
1" (1.049)	1.3	2.8	4.2	3.0
1 1/4" (1.380)	1.7	3.7	5.6	3.9
1 1/2" (1.610)	2.0	4.3	6.5	4.4
2" (2.067)	2.5	5.5	8.4	5.9
PB (SDR-17, IPS)				
1 1/2" (1.676)	2.1	4.5	6.8	4.8
2" (2.095)	2.6	5.6	8.5	5.9
PB (SDR-13.5, CTS)				
1" (0.957)	1.2	2.5	3.9	2.7
1 1/4" (1.171)	1.4	3.1	4.7	4.9
1 1/2" (1.385)	1.7	3.7	5.6	3.9
2" (1.811)	2.2	4.8	7.3	5.1

(3) 건물의 필요한 부하에 따라 지중열교환기의 길이를 계산

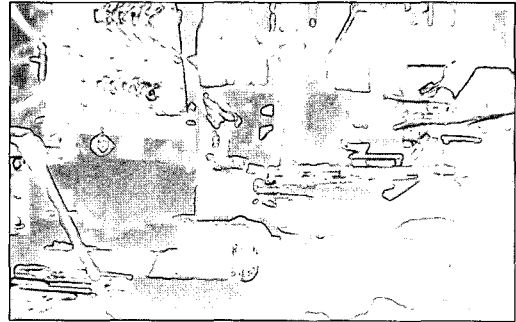
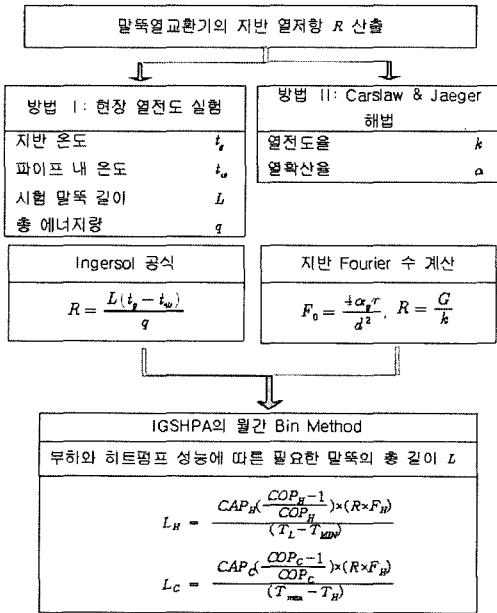


그림 20. 보어홀 굴착 모습



그림 21. 지중열교환기 설치 모습

(4) 순환펌프를 선택

지중열교환기 내부의 순환액 유동을 위해 사용하는 펌프로 파이프 내압이 허용하는 범위 내에서 설계 유량을 펌핑할 수 있는 사양을 결정한다.

(1) 보어홀 굴착

일반적으로 직경 15cm 크기의 보어홀을 깊이 200m 정도 굴착한다. 깊이가 얕아지면 추가적으로 많은 보어홀이 필요하여 작업 세팅 시간과 시공할 여유 부지가 더 필요하게 되는 단점이 있다. 또한 이 보다 더 깊은 경우는 굴착 작업의 성능 저하 및 보어홀 수직도 유지가 곤란하다. 이 때문에 국내에서는 깊이 200m 정도를 기준으로 시공하고 있다.

7. 지중열교환기 시공

7.1 지중열교환기의 시공 순서

국내에는 대부분 수직형을 시공하며, 시공 순서는 이를 기준으로 설명한다.

지중열교환기의 시공 순서는 다음과 같다.

시공시 반드시 설계 깊이 이상 굴착하였는지 확인해야 하며, 일반적으로 2m 이상 더 굴착하고 있다.

(2) 지중열교환기 설치

지중열교환기 끝을 U밴드로 연결하여 두가닥으로 만든 후 이를 보어홀에 설치하게 된다. 이때 파이

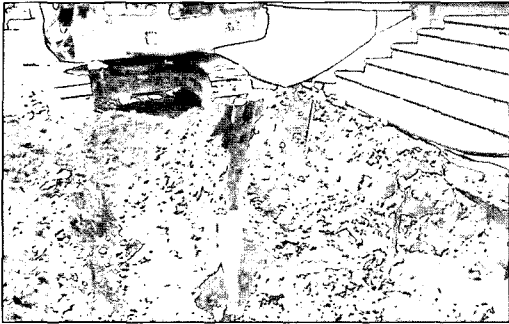


그림 22. 그라우팅 완료 후 모습

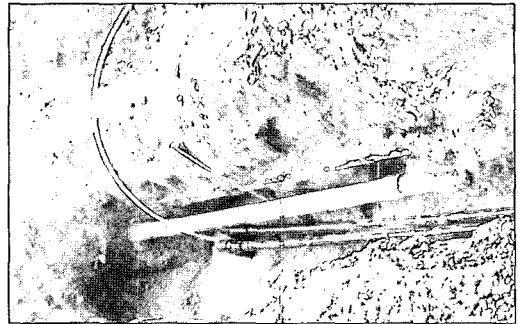


그림 23. 파이프 연결 작업 후 트렌치를 따라 기계실로 유도

프의 무게가 가볍기 때문에 끝에 철근을 매달거나, 파이프 내에 물을 채워 하중을 증가 시키는 경우도 있다. 파이프가 일정 깊이만큼 보어홀 내에 들어가면, 자중에 의해 미끄러져 보어홀 바닥으로 떨어지기 때문에 기계 장비가 필요할 만큼 특별히 어려운 작업은 아니다.

(3) 그라우팅 작업

지중열교환기 파이프와 지반은 빈 공간으로 남게 되는데, 이를 그라우트로 충전하는 작업을 수행해야 한다. 충전은 반드시 트레미관을 이용하여 하부부터 채워야 한다. 그라우트는 일반적으로 시멘트나 벤토나이트를 사용하도록 하고 있으며, 국내에서는 미국의 영향을 받아 대부분 벤토나이트로 시공하고 있다.

(4) 파이프 연결 및 헤더 작업

이 작업은 지중열교환기 설치에서 가장 중요한 것이라 할 수 있다. 각각의 지중열교환기를 연결하여 헤더로 연결한 후 이를 주 파이프로 합쳐 기계실로 끌어오는 것이다. 이 때 각 파이프의 연결은 접착제나 연결 장치를 사용해서는 안되며, 반드시 열융착 장비를 이용해 접합해야 한다. 이는 장기적으로 파이프의 품질을 확보하기 위한 방법이다.

7.2 그라우팅

그라우팅의 목적은 첫 번째 환경적인 문제로 시추공 설치 후, 지하수의 오염 방지와 농작물 보호 및 우물의 수질을 보호하고, 지중열교환기를 따라 물이 상으로 누수하는 것을 막는 것이다. 두 번째 그라우트의 가장 중요한 역할은 지열교환기와 지반의 열적 단락이 발생하지 않도록 하는 것이다. 실내의 열을 열펌프를 통해 운반하는 냉매가 지열교환기를 통과할 때, 열은 그라우트와 지반을 통해 흡수 또는 소산된다. 만약 그라우트가 지열교환기나 지반, 암반과 확실히 결합된 상태가 아니라면, 그 경계면은 열적 불연속면이 되어 공기 또는 물에 의한 단열층으로 작용하게 된다. 실제 이는 지열 냉난방 시스템의 효율을 크게 떨어뜨리는 주된 요인이 되고 있으며, 주된 원인은 그라우트의 건조 수축, 다른 재료와의 열적 변형 불일치, 그라우팅 방법에 의한 시공 불량 등이다.

시공 시 시추공과 수직 지열교환기 간의 빈 공간을 가장 이상적인 재료로 채워야 한다. 여기서 이상적인 그라우트라 함은 아래와 같은 특성을 대부분 만족해야 하지만, 실 시공에서 이를 모두 만족하는 재료는 없으며 설계 및 시공자가 환경 조건을 만족하는 최적의 재료를 선정해야 하는 어려움이 남아

지열 냉난방 시스템에서 지중열교환기의 설계 및 시공

있다(IGSHPA, 1991).

- (1) 지하수와 같은 유체의 흐름을 막을 수 있는 낮은 투수성
($1 \times 10^{-7} \sim 1 \times 10^{-9} \text{cm/sec}$)
- (2) 양호한 열전도 특성
- (3) 지열교환기와 시추공 벽을 견고하게 결합 가능
- (4) 그라우트가 접할 지하수 성분 및 변형 물질에 대하여 화학적인 비활성 또는 무반응
- (5) 용이한 혼합성
- (6) 타설 시간 동안의 펌프 가능한 연경도
- (7) 3/4 또는 1 인치 직경의 파이프(트레미)를 따라 시추공 내 타설 가능
- (8) 시추공 내에서 Self-level 가능
- (9) 투수층으로 최소한 침투
- (10) 믹싱과 펌핑 장비에서 청소용이
- (11) 합리적인 가격에서 쉽게 이용 가능
- (12) 취급의 안전성
- (13) 벤토나이트는 최소한 90% 이상의 몬모릴로나이트(Montmorillonite)를 포함하여야 하며, KS A 5101(표준체)의 0.85(No.20)체를 90% 이상 통과하여야 하고, 0.08(No.200)체의 통과량이 10% 이하이어야 한다(토목공사 일반 표준시방서 및 건축공사 표준시방서의 벤토나이트 방수공).

표 2에서 사용한 그라우트는 미국에서 지열용으로 추천하는 Thermal Grout 85와 일반 토목용 방수 그라우트인 Montigel-F와 DY-3, 그리고 제지용 벤토나이트인 Opazil이란 제품들이다.

실험 방법은 비정상상태의 열탐침법을 사용하였다. 시료는 습윤 상태에서 측정하였으며, 실제 지하 수위 아래에서의 그라우트 상태와 일치한다. 건조 상태에 대한 열전도율을 측정하기 위해 시료를 제작

표 2. 벤토나이트 그라우트의 열전도 특성(백성권, 2004)

Grout Type	Ratio by Weight(g/g)			Thermal Conductivity (W/m · K)
	Bentonite Grout Type	Sand/Bentonite	Water/Bentonite	
I	Thermal Grout 85	0	1.5	1.78 ±0.01
II	Thermal Grout 85	1	1.5	3.07 ±0.18
III	Montigel-F	0	1.5	1.97 ±0.07
IV	Opazil	0	1.5	1.88 ±0.04
V	DY-3	0	1.5	1.85 ±0.09



그림 24. 건조시 벤토나이트의 수축 상태(백성권, 2004)

하였으나, 측정이 불가하였다. 이는 건조시 벤토나이트 고유 특성인 팽창성이 감소하여 큰 균열을 동반한 건조 수축이 발생하기 때문이다.

건조시 벤토나이트 그라우트의 상태는 그림 24와 같으며, 모래를 첨가하였을 경우 건조 수축에 의한 부피의 변화는 상대적으로 작은 편이다. 이는 모래의 부피로 인해 벤토나이트의 수축률이 줄어든 것으로, 불가피하게 불포화 지반에 시공해야 할 경우 모래를 첨가하면 성능 저하를 보완할 수 있다.

표 3은 시멘트 무게를 기준으로 각각 모래, 벤토나이트, 물의 혼합비를 달리하여 시료를 성형하였다. 또한 각 시료들은 건조 상태와 습윤 상태로 그 함수

표 3. 시멘트 그라우트의 열전도 특성(백성권, 2004)

Grout Type	Ratio by Weight(g/g)			Thermal Conductivity(W/m · K)	
	Sand/Cement	Bentonite/Cement	Water/Cement	Dry	Wet
I	0	0	1.0	0.87	1.07
II	2.5	0	1.0	1.25	2.12
III	0	0.2	1.0	0.43	0.83
IV	1.0	0.2	1.0	0.68	1.38

조건에 따른 열전도 특성을 측정하였다. 실험 결과 시멘트 그라우트에 모래를 첨가하였을 경우에 열전도율이 가장 높았으나, 벤토나이트를 첨가한 경우는 열전도율이 가장 낮다.

8. 결 언

중동 지역의 분쟁 등으로 인한 OPEC의 석유 감소 움직임과 미국을 비롯한 세계 주요국의 석유 재고량 감소로 국제 유가가 폭등하는 등 최근 또 다시 고유가 시대가 예고되는 실정이다. 또한 기후변화협약에 의한 온실 가스 배출 감축 이행 방안에 합의한 교토 의정서 체제의 본격적인 출범으로 앞으로 선진국은 물론 개도국에서도 환경오염이 적은 미래 에너지원의 개발 및 온실 가스 배출 저감 시책을 강화해 나갈 것으로 보이며, 국내와 같이 선발 개도국으로 분류되는 국가들은 2차 공약 기간(2013~2017년) 중 감축을 실행토록 압력이 가중될 것으로 보여 더 이상의 지연은 사실상 어려울 전망이다.

기름, 석탄 등 화석연료 매장량의 한계로 화석연료에 대한 사용 제한은 피할 수 없는 현실로 다가올 것이며, 국내도 지금까지 경험해 왔던 에너지 사용 패턴과는 다른 새로운 변화가 올 것으로 예상된다. 에너지의 97% 이상을 수입에 의존하고 있는 국내의

경우 기후변화협약 등 국제 환경 규제에 능동적으로 대처하고 에너지의 근본적인 해결을 위해서는 에너지를 최대한 합리적으로 사용하도록 하는 노력과 함께 대체에너지 개발·보급 확대 정책을 지속적으로 강력하게 추진하여 공급 능력을 키워 나가는 노력이 무엇보다 중요하다 하겠다.

대체에너지는 지속가능·재생 가능한 환경친화적인 청정에너지로서 화석 에너지 고갈, 국제 환경 규제의 강화로 향후 주요 에너지원으로 부상할 전망이다. 독일, 일본, 미국 등은 대체에너지의 중요성을 인식하여 국가의 중요한 발전 전략의 하나로 이미 오래전부터 태양에너지·풍력·지열·해양 에너지·폐기물·바이오 등의 재생에너지와 연료전지·수소 등의 신에너지 같은 대체에너지 기술개발 및 보급에 과감히 투자해 오고 있다.

최근의 고유가 체제가 장기화될 가능성이 점쳐지고 대체에너지에 대한 관심이 높아지면서 각국 정부의 대체에너지 이용 의무화 정책은 더욱 확대될 전망이다. 더욱이 이러한 움직임은 기후 변화 협약의 실효가 나타나기 시작하면서 한층 가속될 것으로 보인다. 당사국들 대부분이 화석연료에 대한 에너지 의존도가 높아 할당된 온실가스 감축 목표를 달성하기 위해서는 청정 대체에너지 활용을 유도하는 정책을 구사할 수밖에 없기 때문이다.

대체에너지의 경제성이 그 종류에 따라 기존 화석

지열 냉난방 시스템에서 지중열교환기의 설계 및 시공

연료 기반의 에너지에 비해 2~10배가량 뒤지는 상황이기 때문에 아직까지 대체에너지 보급 및 관련 산업 육성은 민간보다는 정부의 정책적 지원에 의존하는 바가 크다. 대체에너지 이용을 의무화하는 노력이 가속된다는 것은 세계 주요 국가들이 현재의 화석연료 중심의 에너지 및 경제 체계의 한계를 인식하고 있고 지속 가능한 경제의 실현에 대하여 의견을 같이하고 있다는 것을 반증한다.

정부 주도의 대체에너지 보급 및 확대는 환경 문제 해결, 에너지 자급뿐 아니라 관련 산업의 성장에 직결될 수 있다. 일본은 일찌감치 공공기관을 대상으로 태양광 발전 시스템 보급에 나서 1990년대를 거치며 20배가량의 태양광 에너지 생산 증대와 함께 발전 단가도 80% 가량 줄일 수 있었다. 일본은 태양광 발전 모듈과 같은 관련 산업을 발전시키면서 세계 태양전지 시장을 주도하고 있다. 게다가 최근에는 지열과 수소 에너지 분야에서도 활발한 움직임을 보이면서 관련 시장을 선도하려는 태세다. 태양전지 뿐 아니라 연료전지 및 수소 에너지, 풍력, 지열 등 대체에너지 분야에서 관련 기술, 인프라 및 설비 등 다양한 기회가 생겨나고 있는 만큼 정부의 정책 지원뿐만 아니라, 국내 기업들의 적극적인 관심과 사업화 노력이 필요할 것이다. 또한 지열 냉난방 시스템에 대한 올바른 이해와 이를 활용하기 위한 기초적인 지식을 얻는데 이 글이 도움이 되었으면 한다.

참고 문헌

1. 박용부, 박종배, 임해식, 백성권(2006), "지열냉난방시스템의 적용현황 및 전망", 주택공사 Huri Focus 제12호.
2. 백성권(2004) "중공말뚝을 이용한 지열냉난방 시스템 개발에 관한 연구", 부산대학교 공학박사학위 논문, pp.8~99
3. Allan, M.L(1998), Geothermal Heat Pump Grouting Materials, BNL 65676.
4. Aston, D.(1973), "Soil Temperature Data 1958-1972", Environment Canada, Atmospheric Environment Service, CLI-2-73.
5. EPRI, NRECA, IGSHPA and Oklahoma State University(2000), "Grouting for Vertical Geothermal Heat Pump Systems", Oklahoma State University, Stillwater Oklahoma.
6. IGSHPA and Oklahoma State University(1991), "Grouting Procedures for Ground-Source Heat Pump Systems", Oklahoma State University, Stillwater Oklahoma.
7. IGSHPA and Oklahoma State University(2000), "Closed-Loop/Ground- Source Heat Pump Systems: Design and Installation Standards 2000", Oklahoma State University, Stillwater Oklahoma.
8. Incropera, Frank P. and Dewitt, David P.(1996), "Introduction to Heat Transfer", John Wiley & Sons.
9. NRECA, IGSHPA and Oklahoma State University(1988), "Closed-Loop/Ground- Source Heat Pump Systems: Installation Guide", Oklahoma State University, Stillwater Oklahoma.
10. Sauer, Harry J. Jr. and Howell, Ronald H.(1983), "Heat Pump Systems", A Wiley-Interscience Publication, John Wiley & Sons, N.Y.
11. Shonder, John A. and Hughes, Patrick J.(1998), "The Evaluation of a 4000-Home Geothermal Heat Pump Retrofit at Fort Polk, Louisiana: Final Report", Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee.