

# 지열원 히트펌프

■ 임 효 재 / 호서대학교, 지식경제부 지열인력양성센터, hjljm@hoseo.edu

연중 안정적인 공급이 가능한 지열에너지 이용 히트펌프에 대한 소개 및 최근 개발동향을 소개하고자 한다.

## 지열펌프의 원리

### 냉·난방 시스템 원리

#### · 냉방 사이클

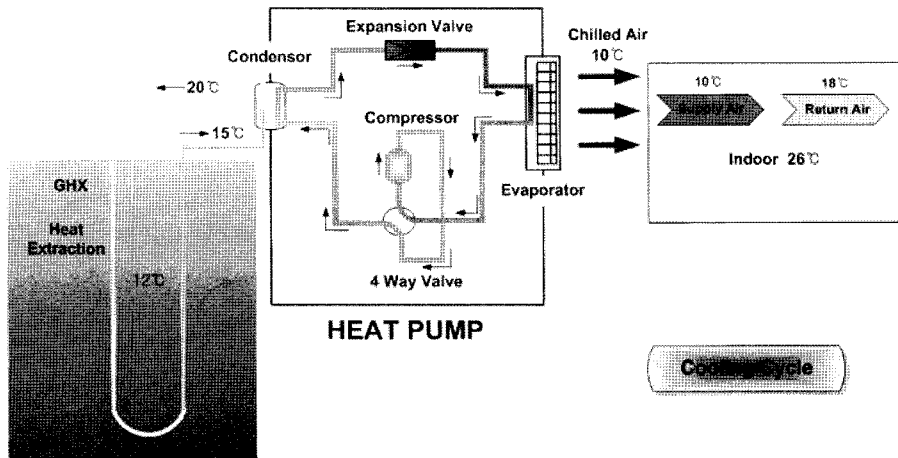
열펌프는 하나의 패키지 유닛으로 되어 있고 내부는 압축기, 열교환기, 4방 밸브, 팽창 밸브 등으로 구성되어 있다. 그림 1에서 보면, 압축기로부터 나온 과열증기 냉매는 4방 밸브를 거쳐 열교환기(응축기)로 들어가 뜨거운 증기의 열을 지중 순환유체 측으로 버리게 된다.

열교환기(응축기)에서 냉매와의 열교환을 통해 비교적 차가운 지중 순환수의 온도는 상승하고 냉매는 상온 기체상태(vapor phase)에서 액체 상태(liquid phase)로 변하게 된다. 열교환기(응축기)에서 순환유체가 흡수한 열은 지중과의 열

전달을 통해 방출하게 된다. 따라서 지중과의 열교환을 통해 설정 입구온도까지 떨어지게 하는 것이 지중 열교환기의 역할이다.

이 차가운 액상의 저압 냉매는 팬코일 유닛(증발기 혹은 열교환기)로 들어가 공기나 물과 열교환 하여 건물 내부에서 돌아오는 냉수나 공기를 시원하게 만들며 다시 액 냉매는 증기로 상변화를 하게 된다. 증기가 된 냉매는 4방 밸브를 지나면서 압축기로 들어가 다시 뜨거운 고압증기 냉매가 되는 것이다. 이 냉방 사이클에서는 건물 내부를 담당하는 열교환기는 증발기, 지중으로 열을 방열하는 열교환기는 응축기의 역할을 하게 된다.

열교환기를 지나는 뜨거운 증기 냉매는 지중 열교환기의 작동 유체에 열을 방출하고 자신은 액 냉매로 상변화를 한다. 이때 전형적인 시스템에서의 EWT(Entering Water Temperature)는 약 15 ~ 20℃ 정도이고 냉매로부터 열을 받게 되어 약 5 ~ 6℃ 정도의 온도가 상승하게 된다.



[그림 1] 냉방 사이클 구성도



이렇게 상승된 순환유체의 온도는 지열 파이프를 순환하면서 지중의 15℃ 정도의 온화한 온도와 열교환이 되어 다시 적절한 EWT(여기서 20℃ 정도)로 되돌아오면서 시스템은 정상 상태를 이루게 된다. 부동액이 방출한 열량은 모두 지하에 버려지게 되며 이러한 버려지는 열량은 지하의 열용량을 감안하여 정확히 계산되어 지열루프의 크기가 결정된다.

그림 1에서 보듯이 지열루프는 정확히 하나의 열교환기의 역할을 하는 것이며, 파이프의 성능, 땅의 열용량, 부동액의 유량 등에 따라 열교환기의 성능(길이)이 결정된다.

• 난방 사이클

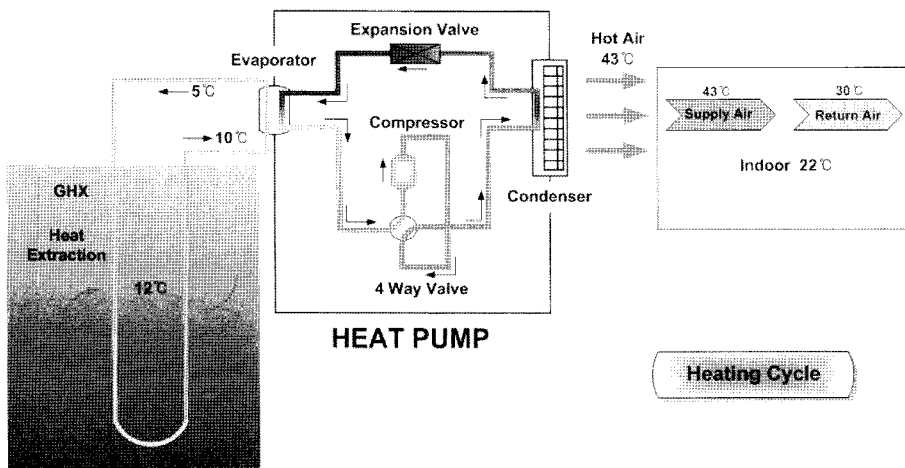
그림 2에서와 같이 압축기로부터 나온 뜨거운 증기 냉매는 4방 밸브를 통해서 팬코일 유닛(응축기 혹은 열교환기)으로 들어가 뜨거운 증기의 열을 상대적으로 온도가 낮은 순환 공기 또는 건물 순환수와 열교환 한다. 즉 리턴되는 공기는 팬코일 유닛을 통해서 실내 내부를 난방하기 위한 열량을 받는다. 과열 증기 냉매는 팬코일 유닛(응축기)을 거쳐 액 냉매 상태가 되며 팽창 밸브를 지나면서 차가운 저압의 액 냉매가 되어 열교환기(증발기)로 흘러 들어가게 된다. 열교환기(증발기)의 열로부터 열량을 받은 액 냉매는 증기로 상변화를 하고 4방 밸브를 통해 압축

기에 의해서 다시 뜨거운 증기 냉매가 되는 것이다, 이 난방 사이클에서는 냉방 사이클과는 다르게 팬코일 유닛은 응축기, 열교환기는 증발기의 역할을 하게 되는 것이다.

두 개의 서로 다른 열교환기는 냉방과 난방 모드시 서로 다른 역할을 하게 된다.

열교환기를 지나는 차가운 액 냉매는 지중 열교환기의 작동유체로부터 열을 흡수하고 자신은 증기 냉매로 상변화를 하게 된다. 이때 열교환기는 냉방사이클 중에서 증발기의 역할을 하게 되며 순환유체의 EWT는 전형적으로 약 10℃ 정도가 된다. 경우에 따라서는 EWT가 영하 가까이 내려가는 경우도 있지만 부동액의 어는점은 약 -12 ~ 20℃이므로 충분하다.

이와 같이 약 10℃ 정도의 순환유체는 열교환기(Coax Coil)를 나갈 때 온도는 약 5℃가 되며 보통 온도 강하는 5 ~ 6℃ 정도이다. 이렇게 강하된 온도의 부동액은 지열 PE 파이프를 따라서 순환하면서 지중의 온화한 15℃ 정도의 온도와 열교환을 하여 다시 적절한 EWT(여기서 10℃ 정도)로 되돌아오면서 시스템은 정상상태에 이르게 된다. 부동액이 지중으로부터 흡수한 열량은 지하의 열용량을 감안하여 정확히 산출되며 또 이를 근거로 지열루프의 크기를 결정하게 된다.



[그림 2] 난방 사이클 구성도

• 열펌프의 효율

난방시 열펌프에 투입된 전력과 이로 인해 새로이 생성된 열에너지와의 비를 열펌프의 난방 효율 및 성적계수(Coefficient Of Performance, COP)라 한다. 즉, 다음의 수식으로 표현할 수 있다.

$$COP = \frac{\text{생성된 열에너지}}{\text{소비전력(KWh)}}$$

보통 공기열원 열펌프의 경우 성적계수는 평균적으로 3 이상이다. 그러나 겨울철 대기온도가 낮아지면 다음과 같은 문제들로 인하여 성적계수가 2 이하로 떨어지나, 지열원 열펌프의 경우 초기 설계만 정확히 이루어지면 공기열원 열펌프와 같은 극단적인 성능하락과 같은 단점이 줄어든다.

① 대기온도: 대다수의 공기열원 열펌프는 겨울철 대기온도가 7℃ 이하인 경우에도 작동한다. 그래서 열펌프의 COP는 2 이하로 떨어지게 된다. 그러나 대기온도가 -6.7℃(20°F)이하일때 열펌프의 COP는 1 이하로 내려간다.

지열원 열펌프 시스템의 경우 초기 설계시 지중 열교환기의 정확한 설계를 통하여 열펌프로 공급되는 순환유체의 온도가 극단적인 경우를 제외하고는 0℃ 이하로 떨어지는 경우가 없어 안정적인 열원을 공급받을 수 있는 장점을 가지고 있다.

② 제상(Defrost): 실외기에 부착된 열교환기를 통해 유동하는 냉매는 매우 차기 때문에 냉동실에서 동결작용이 일어나는 것처럼 실외 열교환기의 코일이 결빙되곤 한다. 따라서 실외온도가 4.5℃(40°F) 이하로 내려가면 열펌프에 서리가 발생되어 열원과의 열교환 성능 하락으로 열펌프의 성능이 떨어진다. 따라서 실외기에 생기는 서리를 제상(서리제거) 해주어야 한다. 즉 코일에 생긴 얼음을 녹이기 위해서 부가적인 전열기로 실외기에 있는 열교환기의 코일의 서리를 제거한다. 이때 서리제거작용이 열펌프의 효율을 감소시킨다.

③ 부속열(Supplemental Heat): 겨울철에 실

외에서 냉매는 온도가 내려가기 때문에 열펌프의 열공급량도 감소한다. 열공급 대상지에 지속적으로 열을 공급해 주어야만 요구하는 실내온도가 유지되어 쾌적한 실내를 구성할 수 있다. 실외 온도가 너무 낮아 실내가 요구하는 모든 열에너지를 열펌프가 공급할 수 없는 경우가 발생할 수 있다. 이를 해결하기 위해 실내에서 부족한 열에너지를 공급하기 위해 열펌프의 실내 케비넷 안에는 전기 난방 코일이 별도로 설치되어 있다. 열펌프의 구성요소 중에서 상술한 부속열 공급장치를 백업(Backup) 또는 응급 열공급 장치라고도 한다. 실외온도가 낮아 실내에 필요한 열에너지를 공급치 못할 경우 작동되며, 특히 서리 제거시 히터를 작동시켜 실외기의 코일에 공급하여 제상 운전한다.

간혹 열펌프 자체가 고장이 나는 경우에 필요한 실내 열에너지를 공급할 수 있기 때문이다. 부속 전기 열공급장치는 열펌프처럼 성적계수가 높지 않다. 대체적으로 전열기의 COP는 1 정도이기 때문에 부속 열공급장치를 이용하게 되면 열펌프의 전체 난방효율은 떨어진다.

④ 주기적인 손실: 난방장치를 가동하는 경우에 해당 부하공간이 충분히 따뜻해질 수 있을 정도의 열을 공급해야 한다. 그러나 열펌프 가동을 잠시 중지시키면 실내로 공급되지 않은 열에너지는 열펌프내에 잔존한다. 열펌프를 가동하거나 중지하는 경우에 발생하는 열손실을 주기적 손실(Cycling Loss)이라 한다.

⑤ 연평균 난방 성능 인자(Heating Season Performance Factor, HSPF 또는 SPF): 열펌프의 전반적인 난방효율을 파악하기 위해 표준 시험을 실시한 결과를 SPF로 알려진 수치로 표현한다. 이 시험은 제상작용 온도의 변동, 부속열 공급, 송풍 및 열공급 장치의 가동과 중지 사이클 등으로 인해 발생하는 난방효율의 감소를 간접적으로 알아보기 위해 실시한다. 일반적으로 SPF치가 클수록 열펌프의 난방효율은 커진다. 겨울철 난방시기에 SPF가 6인 열펌프의 평균 COP는 약 2가 된다.

계산된 SPF가 실제로 설치한 열펌프의 성능

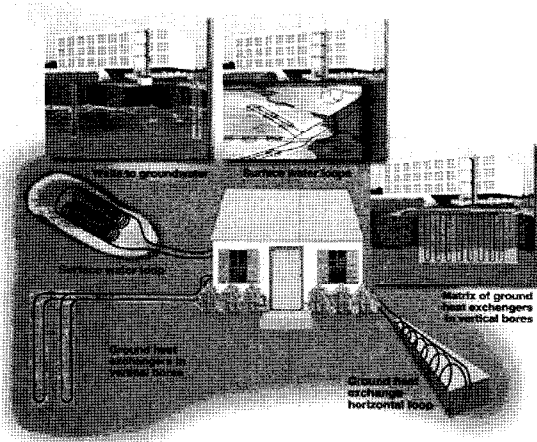


을 정확하게 나타낼 수 있는 지시인자는 아니다. SPF는 특별한 기후조건을 토대로 하여 계산된 값이기 때문에 모든 조건에 일률적으로 적용할 수는 없다.

⑥ 계절별 에너지 효율비(Season Energy Efficiency Ratio, SEER): 냉방효율은 SEER을 이용해서 비교한다. 열펌프에 의해 냉방이 되는 효율은 SEER을 이용하고 SEER이 클수록 냉방이 잘됨을 뜻한다. SEER이란 송풍용 팬을 포함한 열펌프를 가동하는데 사용한 에너지와 냉방대상 시설물로부터(주택 등) 제거한 열에너지와의 비를 의미한다. SEER은 일반적으로 SPF보다 훨씬 크다. 그 이유는 냉방 시에는 추가적인 보조열이 필요하지 않기 때문이다. 냉방을 위주로 하는 열대 및 아열대지역과 하절기 동안에는 SPF치 보다 SEER이 더욱 중요하게 널리 사용되는 효율치이다.

### 지열원 열펌프 시스템의 형태

지열원 열펌프 시스템은 지열을 추출하거나 실내에서 추출한 열을 지중으로 방열하기 위해 여러 가지 형태의 지중 순환회로를 지하에 설치한다. 지중 열교환기(Ground Heat Exchanger, GHE)는 지중에서 지열을 흡수 또는 방열하여 냉난방 수요자의 열원으로 이용되며, 일단 지중에 설치하고 나면 눈에



[그림 3] 지열 열펌프 시스템의 다양한 형태

보이지 않으므로 정확한 설계 및 시공이 요구된다.

일반적으로 지열원 열펌프 시스템은 그림 3과 같이 개방형 시스템(open loop system)과 밀폐형 시스템(closed loop system)으로 분류할 수 있다. 개방형 시스템은 지하수나 지표수를 직접 열교환 함으로서 효율은 높지만, 지하수나 토양의 오염문제 등을 야기할 수 있다. 반면 밀폐형 시스템은 부하 수요에 맞게 다양하게 시공할 수 있으나 초기 투자비와 효율 면에서 개방형 시스템에 비해 다소 떨어지는 단점이 있다.

또한 열펌프는 설치 용량에 따라 소형 지열원 열펌프와 대형 지열원 열펌프로 구분하기도 한다.

### 밀폐형 시스템(Closed Loop System)

지열원 열펌프 시스템 중에서 밀폐형 시스템은 가장 보편적인 시스템으로 알려져 있다. 다른 방식의 하나인 지하수 이용 열펌프 시스템은 지하수의 양, 수질 및 설치현장의 조건이 매우 까다롭다. 그러나 본 시스템은 설치 면적만 충분하다면 냉난방 부하에 필요한 열량을 공급할 수 있는 시스템이다.

이 시스템은 열에너지원으로 지표 가까이에 위치한 천부 지중열을 이용하는 시스템이다. 이 기법은 열에너지원으로 지하수를 사용하는 대신 지열을 보유하고 있는 지중에 PE 파이프나 PB 파이프를 이루어진 열교환기를 매설하고 이들 밀폐 회로내에서 물이나 부동액이 혼합된 순환유체가 순환되도록 하여 지중 암반이나 토양과의 열전달을 통해 필요 열량을 흡수·추출하도록 하는 방법이다. 이 방식에는 수평형, 수직형 등이 있다.

#### • 수평형 시스템

이 방식은 통상적으로 건물의 냉난방시 필요 부하량이 적고, 열교환기를 매설할 수 있는 충분한 공간이 있으며, 굴착대상 지중 토양이 굴착하기에 용이한 곳에서 가장 경제적으로 설치할 수 있는 지열원 열펌프 시스템 설치방식으로서 대체적으로 소규모 상업용 빌딩이나 가정용 주택에 주로 설치하는 방식이다.

수평형 시스템의 열교환기 매설깊이는 최소 1 ~ 3 m 규모이며, 지면에 수평방향으로 PE관을 부설한다. 냉난방용량 1 RT 당 필요한 PE관의

매설길이는 통상 120 ~ 180 m 이고, 제한된 굴착 공간내에 PE관을 보다 많이 설치하기 위해서 환형(Slinky)의 코일형태로 감아서 부설하기도 한다.

최근에는 수평착정기를 이용해서 설치지점의 미관을 해치지 않고 폐회로를 설치할 수 있는 방법이 개발되었다.

이 시스템을 설치할 때 지열펌프가 필요로 하는 충분한 양의 열에너지를 전달·흡수할 수 있도록 충분한 길이의 폐회로를 지하에 매설한다.

예를 들면 난방 시 지열펌프의 열교환기 코일 내에서 순환수가 순환할 때 지열펌프의 냉매에 의해 수온은 최소 약 2 ~ 4℃ 하강한다. 그렇기에 열교환기의 설치길이는 순환수가 열펌프 내에서 열 교환한 열량만큼 지중으로부터 지열을 다시 흡수할 수 있을 정도로 설치한다.

• 수직형 시스템

본 방식은 천공예정부지의 지질상태가 양호하고, 열교환기 매설부지가 부족하거나, 대용량의 냉난방 부하를 필요로 하는 곳(건물)에 주로 적용하는 방식이다.

평균 150 ~ 200 m 심도의 수직천공(Bore hole)을 건물주위나 인근에 굴착한다. 그런 다음 두 개의 PE관을 U-bend로 연결한 후 굴착공내에 하나 혹은 두 개의 열교환기를 설치한다. 폐회로를 설치한 공은 적절한 재료(그라우트 재료)로 뒤채움을 하거나 그라우팅을 실시한다.

이와 같이 수직으로 설치한 PE관을 지표 밑 1.8 ~ 2.5 m에 매설한 상부 연결관(Header Pipe)과 서로 연결한다. 이들 PE관의 수직·수평 폐회로 내부는 순환유체를 채워 순환수가 지중 압반과의 열교환을 통해 열펌프에 열량을 공급할 수 있도록 한다.

일반적으로 수직폐회로는 설치비가 수평 폐회로에 비해 고가지만 연중 일정한 지중 온도를 이용해 냉난방 부하량을 확보할 수 있다. 따라서 수직형 지중 열교환기의 파이프 설치 길이는 수평식 지중 열교환기 보다 짧다. 그림 4는 수직방향으로 설치한 폐회로형 지열펌프의 모식도이다.

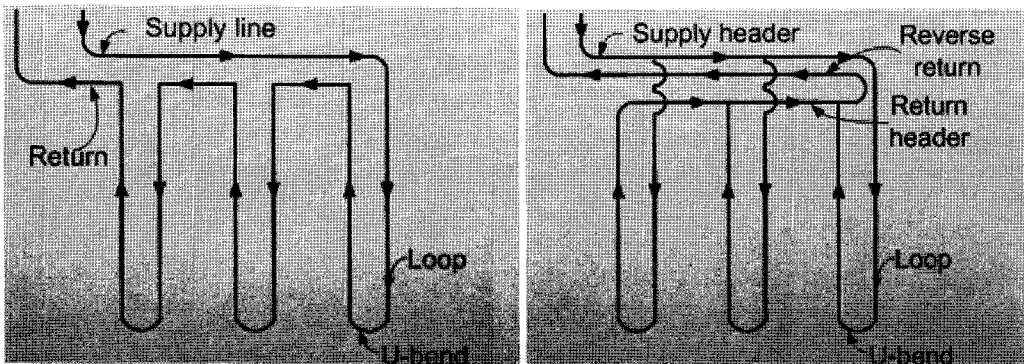
개방형 시스템(Open Loop System)

개방형 지열원 열펌프 시스템은 지하수량이 풍부하고 수질이 우수하며, 지중 상황이 좋은 지역에서 이용 가능한 시스템이다.

개방형 시스템의 경우 일반적으로 토양 이용 열펌프 시스템에 비해 성능이 우수하나, 시스템의 지속적인 이용을 위해서는 취수되는 지하수량의 점검과 수질검사 등 사전 조사가 선행되어야 한다.

특히 국내의 경우 지하 대수층의 발달이 미약하여 필요 지하수량을 확보하기 위한 투자가 필요하다. 더구나 지하수는 국가에서 지정 보호하고 있는 수자원으로서, 이용에 따른 관계당국과 협의가 필요하다.

개회로형 지열원 열펌프 시스템은 취수정과 배수정 두 개의 우물로 구성된 복수정(Two well)



[그림 4] 수직형 지중 열교환기



시스템과 하나의 우물에서 취수와 배수가 이루어지는 직립정 방식이 있다. 직립정 방식은 우물 하부에서 비교적 높은 온도의 지하수를 이용한 후 동일한 우물의 상부에 배수하여 재활용하는 스탠딩 컬럼웰(Standing Column)방식의 시스템이 있다.

• 복수정 시스템(Two Well System)

그림 5에서와 같이 동일한 대수층에서 취수정과 배수정을 별도로 설치하여 이용하는 방식이다. 지하수가 풍부하게 부존되어 있는 지역에서 이용가능하다.

본 시스템의 가장 큰 특징은 하나의 우물에서 취수된 지하수를 인근에 천공된 다른 우물로 배수함으로써 이용이 간편하나, 취수정 및 배수정을 설치하기 위한 선행 연구가 이루어 져야 하는 단점이 있다.

이 시스템은 대수층에 설치한 취수정(Supply Well)으로부터 지하수를 취수하여 냉난방 대상 지역에 설치된 열교환기로 송수한 후 열에너지를 추출하여 이용하고, 이용하고 난 지하수는 동일대수층 내에 설치된 배수정으로 재 주입하

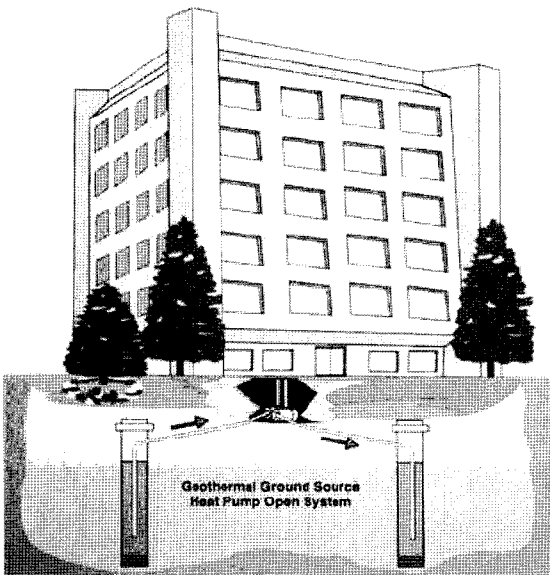
여 지중에서 순환시키는 시스템이다.

일반적으로 가정용 지열펌프 시스템에서는 취수정과 배수정 사이의 거리는 평균 30 m 정도 이면 충분하다. 복수정 시스템의 우물 설치는 소규경의 우물로부터 적정량을 공급받는 지하수량이 풍부한 기존우물의 경우에 적용 가능한 방식이다.

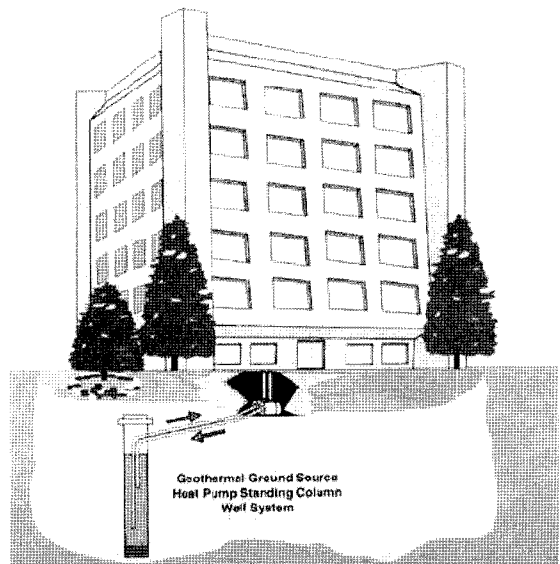
• 직립정 시스템(Standing Column Well System)

이 시스템은 미국의 북동부 지역(뉴욕)에서 개발된 기술로서 대수층의 발달이 활발한 지역에서 주로 이용되는 시스템 이다. 수직으로 천공된 우물(구경 150 mm, 심도 (450±α)m)에서 취수된 지하수를 건물내부의 열 교환기로 인입하여 열교환하여 건물의 냉난방에 이용하고, 열 교환된 지하수는 다시 수직 천공된 우물 상부에 방류하여 지중과 열교환 하는 방식이다.

일반적으로 지하심부로 내려갈수록 지열과 지하수의 온도는 상승한다. 즉 우물 하부에서 연중 일정한 지하수를 채수하여 지열펌프의 열교환기를 통과시킨다. 그런 다음 온도가 상승하거나 하락한 열에너지는 난방용으로 이용하고 열



[그림 5] 복수정 시스템



[그림 6] 직립정 시스템

을 빼앗긴 찬 지하수(냉수)는 다시 동일 우물의 상부구간으로 재순환시킨다.

이 방법은 지하수량이 풍부한 미국, 유럽의 오스트리아, 독일 및 스위스 등에서 널리 이용되고 있는 방식이다.

### 지열원 열펌프 시스템 구성요소

#### 지열펌프(Geothermal Heat Pump)

지열펌프는 GHP, EHP와 비슷하나 열원의 이용 방식에서 차이점을 보이고 있다. 지열펌프는 전기를 이용하여 압축기를 구동하고 열원으로 지중열을 이용한다. 가스식 열펌프는 가스엔진으로 압축기를 구동하여 냉난방에 이용한다. 전기식 열펌프는 전기를 투입하여 공기 열원으로부터 실내에 냉난방을 한다.

지열펌프의 운전방식은 크게 냉장고와 에어컨과 차이는 없으나 4방 밸브 설치로 냉난방 운전이 가능하고, 일반 수열원 열펌프에 비해 큰 운전온도범위를 가지고 있다.

열펌프는 증발기, 응축기, 4방 밸브, 압축기 및 팽창밸브로 구성되어 있다.

따라서 지중과 열전달을 통한 순환유체를 통해 지열펌프 내부의 냉매회로와 열교환하고 냉난방 시스템을 거쳐 실내에 냉난방 운전을 한다. 이는 기존의 열을 한곳에서 다른 곳으로 효율적으로 이동시킴으로서 에너지 효율성이 크고, 친환경적이다.

#### • 압축기(Compressor)

지열펌프에 사용하는 압축기는 여러 종류가 있으나 일반적으로 스크롤 타입의 압축기를 이용한다. 스크롤 압축기는 로타리 압축기의 일종으로 두 개의 스크롤 부품이 선회운동을 하며 압축하는 방식이다.

스크롤 압축기는 선회스크롤의 공진운동에 의해서 냉매를 압축하는 방식으로 효율의 상승, 저소음, 저진동이 대표적인 특징이다.

스크롤 압축기의 장점으로는 체적이 적는데 반해 압축비가 크며 효율이 높다. 또한 기계력에 의한 내부누설 및 손실저감과 형상으로부터 내부 누설 및 손실저감에 의해 고효율화 되었다.

#### • 응축기 및 증발기

열펌프의 가장 큰 특징중의 하나는 동일한 장비를 이용하여 냉난방에 이용할 수 있는 장점이 있다. 이는 뒤에 설명이 될 4방 밸브의 전화에 의해 냉매 흐름이 바뀌게 되어 운전하게 된다.

지열펌프에 사용되는 응축기(Condenser) 및 증발기(Evaporator)는 냉난방 운전시 그 역할이 바뀌게 된다.

응축기의 역할은 고온고압의 기체냉매를 차갑게 냉각된 저온의 액체냉매로 상 변화시킨다. 반대로 증발기는 팽창 밸브를 빠져나온 저온 저압의 액체 냉매는 증발기로 유입되어 주위로부터 열을 흡수하여 고온 저압의 기체 냉매가 된다.

물 대 물 방식 열펌프의 경우 브레이징 타입의 열교환기가 주로 이용되어 냉매와 순환수간의 열교환을 하고, 물 대 공기 방식 열펌프는 플레이트식 열교환기를 대부분 사용하여 리턴되는 공기와의 직접적인 열교환을 한다.

#### • 팽창밸브

팽창밸브는 일명 Throttling Device 및 Expansion Valve라고 하며 냉동장치가 최대의 성능을 발휘하고 경제적으로 운전되도록 증발압력까지 팽창 시키는 기능과 증발기로 유입되는 냉매량을 조절하는 기능을 한다.

응축기에서 액화된 고압의 액냉매를 좁은 통로로 통과시켜서 저항을 가하여 압력을 강하시키고, 냉매의 유량을 제어하는 역할을 한다.

대표적인 장치로는 모세관형 온도자동 팽창밸브(Thermostatic Expansion Valve)와 전자팽창밸브 등이 있으며 이들 중 모세관형은 소규모의 가정용 냉장고와 지열펌프에 주로 사용한다.

팽창밸브는 구경이 작은 구리관으로 이루어져 있고 냉매의 흐름을 제어하는 특정길이를 가지고 있다.

따라서 모세관은 관내에서 흐르는 냉매에 작용하는 저항으로서 냉매를 교축시켜 팽창시키는 역할을 한다. 모세관형 교축장치는 가격이 저렴하고 움직이는 부위가 전혀 없으며, 외부로 누출되지 않는 장점이 있긴하나 부하 변동에 민감하지 못한 단점이 있다.



• 4방 밸브(Reversing Valve)

일명 역(Reversing) 밸브라고 한다. 지열펌프는 4방 밸브를 이용하여 냉난방 운전을 전환한다. 일반적으로 압축기를 통과한 증기냉매는 고온 고압이기 때문에 열을 방열시킬 수 있는 열에너지가 낮은 응축기 방향으로 이동한다. 4방 밸브를 통과한 고온고압의 증기냉매가 실내측에 설치된 열교환기(응축기)로 이동하면 지열펌프는 난방이 되고 그 반대로 지중 열교환기로 이동하면 냉방이 된다.

4방 밸브는 냉매가 흐르는 밸브 본체와 가동 부분인 슬라이더를 움직이기 위한 솔레노이드 코일과 플랜저 니들로 구성되어 있으며 작동원리는 다음과 같다.

- 냉방운전 : 냉방모드에서는 솔레노이드 코일에 전기가 통하지 않는다. 따라서 스프링에 의해 플랜저 니들은 좌측으로 밀려있다. 슬라이더 좌측은 압축기의 흡입측과 연결되기 때문에 저압이 되고, 우측은 고압이기 때문에 압력차에 의해 슬라이더는 좌측으로 밀리게 된다. 압축기에서 나온 고압가스는 실외기로 흐르고 실내기의 저압 가스는 압축기에 흡입된다.

- 난방운전 : 솔레노이드 코일에 전기가 통하면 플랜저는 우측으로 밀려 슬라이더 우측이 압축기 흡입 측과 연락되기 때문에 저압이 되고, 좌측은 고압이기 때문에 압력차에 의해 슬라이더는 우측으로 밀려 냉매의 흐름이 냉방 운전 시와 완전히 반대가 된다. 즉 난방운전이 된다.

• Desuperheater

디슈퍼히터는 압축기와 4방 밸브사이에 설치되어 있기 때문에 지열펌프 시스템의 냉난방 운전과 별도로 필요한 온수를 언제나 생산할 수 있다. 그러나 하절기의 냉방주기에서는 고온의 증기냉매가 디슈퍼히터내의 Coil을 통과하므로 이로부터 열을 흡수하여 하절기에는 별도의 열원 제공없이 온수를 무료로 사용할 수 있다. 난방의 경우는 온수를 생성하는 열원을 지중 열교환기에서 추가적으로 공급하여야 한다.

즉 디슈퍼히터의 코일은 Coax-Coil형으로서 고

온의 냉매와 물이 열 교환이 되도록 하여 온도를 높이는 장치로서 지열펌프의 특성에 따라 응축기의 전 용량을 온수 생산에 사용할 것인지 아니면 방열되는 용량 중에서 일부분만 사용할 것인지에 따라 coax-coil의 크기가 달라진다.

지중 열교환기(Ground Heat Exchanger)

• 지중 열교환 파이프

현재 지중 열교환기는 고밀도 폴리에틸렌과 폴리부틸렌 재질의 파이프를 주로 사용한다. 지중 열교환기 파이프 직경을 결정할 때에는 파이프 내의 유체를 이송시키는 소비동력과 유체와 지중 사이의 열전달을 동시에 고려해야 한다. 파이프의 직경을 크게 하면 펌프의 소비동력은 증가하나 순환유체(부동액)와 지중 사이의 열전달이 원활하게 이루어진다. 반대로 파이프의 직경을 적게 하면 펌프 소비동력은 감소하는 반면에 열전달이 부족한 경우가 발생된다. 파이프 내의 순환유체 유동을 난류유동으로 만들면 열전달은 원활하게 이루어지지만 펌프의 소비동력이 증가한다. 따라서 유체의 압력강화와 열전달 성능에 기초하여 지중 열교환기 파이프의 직경을 선정한다.

1) 폴리에틸렌 파이프(Polyethylene Pipe, PE)

폴리에틸렌수지를 원료로 하여 압출성형기로 제조한 관으로 화학적 전기적 성질은 염화비닐관보다 우수하고 비중도 0.92 ~ 0.96(염화비닐의 약 2/3)으로 가볍고 유연성이 있으며 약 90도에서 연화하지만 저온에서 강하고 영하 60도에서는 취하지 않으므로 한냉지 배관에 알맞다. 결점으로는 질이 부드러워기 때문에 외상을 받기 쉽고 인장강도가 작다는 결점이 있다. 원래 재료의 색깔은 우유색으로 햇빛에 바래면 산화피막이 벗겨져 열화하므로 카본블랙을 혼합해 흑색으로 만들어 급수관에 널리 사용한다. 일반용과 수도용이 있고 연결관과 경질관이 있다.

2) PE 파이프의 특징

- 내식성 : 어떤 토질에서도 전식, 부식이 전혀 없으며 특히 해수나 습지 배관으로서는 최적이다.



- 내한성 : 영하 80℃까지는 물성 변화가 없으며 동파되지 않는다.
- 내약품성 : 산, 알칼리, 유류 등에 대한 저항성이 우수하며, 약품에 침식되지 않는다.
- 위생성 : 수질에 의한 오염이 전혀 일어나지 않으며 무독, 무취하므로 식수공급에 아주 적합하다.
- 작업성 : 중량이 강관 1/7, 연관 2/3로 운반과 취급 시공이 간편하다.
- 연결의 간편성 : 용착 및 조임식 등 다양한 방법이 있다.
- 유연성 : 유연성이 뛰어나 험한 지형에도 배관이 용이하고 지진이나 지반 침하의 경우에도 파열되지 않고 지형에 따라 휘어지며, 무거운 하중에도 압착 되었다가 다시 복원된다.

3) 지중 열교환기 파이프 직경 선정

지중 열교환기의 파이프의 직경을 결정할 때에는 다음과 같은 두 가지의 공학적인 요소를 고려해야 한다.

- 파이프의 직경은 마찰수두손실을 최소화시키고 적은 동력으로 최대의 난류흐름을 만들도록 한다.
- 순환유체와 지중 암반과의 원활한 열전달을 위해 난류 유동을 만들어야 하기 때문에 파이프 직경은 작아야 한다. 그러나 직경이 작을 경우 지중 열교환기의 역할인 원활한 열전달이 이루어지지 않을 수 있다. 따라서 파이프의 직경은 유체의 압력강하

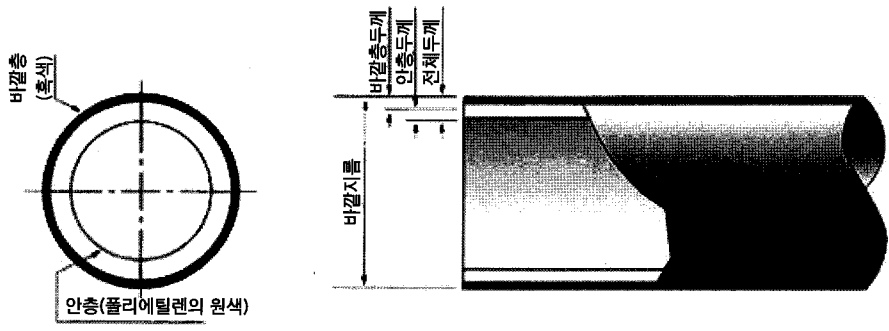
와 열전달 성능을 기초로 하여 선정되어야 한다. 또한 설계자는 사용가능한 파이프의 크기, 재질, 직경 및 설치비용을 고려해야 한다. 즉 순환수의 마찰수두손실을 최소화 시키면서 열전달을 촉진 시킬 수 있도록 한다.

열교환기 파이프는 호칭규격 20 mm, 25 mm, 32 mm, 40 mm의 PE 파이프를 사용한다. 상부 트렌치관은 지중 루프의 연결 방식과 설치 용량에 맞추어 관경을 결정토록 한다.

• 그라우트

1) 그라우트의 목적

그라우팅이란 적절한 열전도 계수를 가지며 동시에 투수도가 작은 그라우트로 보어홀과 지중 열교환기 파이프 사이의 빈공간을 채우는 일련의 시공과정을 말한다. 즉 그라우팅은 수직 밀폐형 지중 열교환기를 설치할 때 보어홀과 지중 열교환기의 공간을 채우는 작업이다. 그라우트의 주된 목적은 암반으로 구성된 보어홀 주변의 지중과 지중 열교환기 파이프 내를 순환하는 작동유체 사이에 열전달이 원활하게 일어나도록 하고, 투수계수가 낮은 재료를 이용하여 지표수나 지하수의 침투 및 침출을 막아 환경오염을 방지한다. 만일 그라우트 재료로 보어홀 내를 완전히 채우지 않거나 열전도 계수가 작은 재료로 보어홀 내를 채우게 되면 지중 열교환기의 열전달 능력은 감소하게 되며 이는 전체 지열원 열펌프 시스템의 성능감소로 이어진다.



[그림 7] 파이프의 구조



- 환경

- 순환유체의 누수에 의한 지하수 오염 방지
- 농작물 보호 및 우물 등의 수질 보호
- 열교환기를 따라 지하수가 지표로 침출을 방지
- 열교환기를 따라 지표 오염물이 지하로 침투됨을 방지

- 성능

- 지중의 토양/암반과 열교환기의 원활한 열전달
- 보어홀 내부에서 열교환기의 자립 유지
- 열교환기와 보어홀 벽면과의 이격 방지를 위해 팽윤성이 큰 재료 사용

2) 그라우트 재료

- 벤토나이트 계열 그라우트

벤토나이트는 화산재가 점토질 광물로 변성되어 오랜 침식과 풍화에 의해 생성된 광물이다. 양질의 벤토나이트는 팽창성이 좋아 원래의 체적보다 약 10 이상으로 팽창하여 물을 흡수하는 성질을 가지고 있으며, 점착성이 좋아 그라우팅 후 보어홀 벽면 붕괴를 방지하고 지하수를 차단하는 특성을 가지고 있다.

실리카샌드 그리고 유동화제를 첨가함으로써 벤토나이트가 가진 특성을 오랜시간동안 지속토록 한다. 실리카샌드를 첨가함으로써 열전도계수는 증가하지만, 중량이 크게 증가하는 단점이 있다.

- 시멘트 계열 그라우트

시멘트는 주로 포틀랜드 시멘트로 석회질원료와 점토질 원료를 적당한 비율로 혼합한 재료를

말한다. 시멘트 그라우트 재료의 사용은 압력이 심한 곳이나 유동의 변화가 심한 곳, 파쇄암 지대 그리고 염분이 검출되는 지역에 벤토나이트를 대체하여 많이 사용된다. 이는 대수층의 유속이 심하고 압력이 셀 경우 벤토나이트 계열의 그라우팅재료의 경우 유실의 우려가 있으나 시멘트 그라우트의 경우 경화되어 이를 방지할 수 있다. 그러나 팽윤성이 부족하여 지중 열교환기 파이프와 그라우팅 사이에 공극이 생성될 수 있는 소지가 있다.

• 순환펌프

순환펌프는 지중 열교환기의 길이, 순환유체의 유량 및 압력손실 등을 고려하여 선정한다. 즉 지중 열교환기를 설계할 때 가장 중요한 부분은 순환펌프의 에너지 소비량과 시스템의 냉난방 효율을 저하시키지 않는 범위 내에서 충분한 유량을 유지시키는 동력이다.

순환수의 최적 유량을 1 RT 당 9.45 ~ 13.4 lpm 정도로 산정 가능하다. 표 1은 등급 기준표이다. 여기서 등급기준이란 산정된 순환펌프의 동력을 냉방부하로 나눈 값을 뜻한다.

<표 1> 순환펌프의 효율적인 설계기준

순환펌프의 동력/냉방부하	등급
50 이하	우수
75 ~ 75 이하	양호
75 ~ 100	보통
100 ~ 150	부족
150 이상	불량

<표 2> 각 유체의 물성치 및 보정계수

Solution	Temp. (°C)	Viscosity (centipoise)	Density (g/cm³)	Multiplier
Water	40	1.55	1	-
Calcium Chloride	25	4.0	.19	1.36
Propylene Glycol	25	5.2	1.02	1.23
Methanol	25	3.5	0.92	1.25
Ethanol	25	2.1	0.79	1.20

• 순환 유체

지중 열교환기를 통과하는 유체의 경우 표 2와 같이 여러 종류의 부동액을 첨가한다. 이때 첨가물 및 온도에 따라 순환유체의 점성 및 물리적 특성이 변함으로, 이를 고려하여 적정용량의 순환펌프를 선정한다. 다음의 표는 각 부동액의 첨가에 따른 물리적 특성 및 보정계수를 나타내었다. 이러한 수치를 감안하여 실제 원하는 유량을 만족시키는 펌프 선정이 필수적이다.

참 고 문 헌

1. DOE, 2001, Ground-source heat pumps applied to federal facilities-second edition, Federal Energy Management Program, US Department of Energy, Washington D.C
2. DOE, 2000. Ground-source heat pumps applied to commercial facilities, Federal Technology Alerts, US Department of Energy, Washington D.C.
3. Kavanaugh, S.P. and Rafferty, K., 1997, Ground-source heat pumps : design of geothermal systems for commercial and institutional buildings, ASHRAE, Atlanta
4. Stephen R. Petersen : "The NIST Building Life-Cycle Cost Program, User's guide and Reference manual", NISTIR 5185-3 (1995)
5. Henry Malcolm Steiner: Engineering economic principles 2nd ed., Hanol, Seoul, Korea, pp 86 ~ 94 (2000)
6. N.D.Paul, The effect of grout conductivity on vertical heat exchanger design and performance, Master Thesis, South Dakota State university.
7. Yavuzturk C. and Spitler J. D., 1999. A short time step response factor model for vertical ground loop heat exchangers, ASHRAE Transactions, Vol. 105, Part 2, pp. 540-550.
8. Sohn Byong Hu, Shin Hyun Jun and Park Sung Koo: "Comparative analysis of life-cycle costs of ground source heat pump and conventional HVAC system", Proceedings of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, 2004-s-222, pp 1339~1344, (2004)
9. Ground Loop Design. Geothermal Design Studio. GBT, Inc.
10. D. Pahud, B. Matthey. Comparison of the Thermal Performance of Double U-Pipe Borehole Heat Exchangers Measured In Situ. University of Applied Sciences of Southern Switzerland.
11. 한정상, 한 찬, "지열펌프 냉난방 시스템", 한림원, 2004