

지열원 열펌프 시스템의 종류 및 설치사례

지열원 열펌프 시스템의 열원에 따른 종류 및 특징과 국내외 설치 사례에 대해 소개하고자 한다.

강 신 형

건양대학교 기계공학과(shkang@konyang.ac.kr)

최 중 민 / 편집위원

국립 한밭대학교 기계공학과(jmchoi@hanbat.ac.kr)

손 병 후

한국건설기술연구원 화재및설비연구센터(byonghu@kict.re.kr)

지열 열펌프 시스템이 우리나라에 2000년경 도입되어 본격적으로 보급되기 시작한 것은 2003년으로, 정부의 보급사업을 통해서 보급시장이 열리게 되었다. 2004년 공공기관 설치의무화 사업이 시작되며 지열 열펌프 시스템의 보급이 본격화되어 보급율이 매년 100% 이상 확대되었다.

초기 지열원 열펌프 시스템의 도입은 미국을 중심으로 이루어졌다. 지열시스템에 관심을 가진 전문가들이 미국의 자료와 미국 IGSPHA의 교육을 받으며 지열원 열펌프 시스템의 설계 및 시공에 대한 전문적 기술을 국내에 도입하였다. 이에 따라 국내에 초기에 도입된 지열원 열펌프 시스템은 미국에서 설치가 많이 이루어지고 있는 지중수평형, 수직밀폐형 시스템을 중심으로 지하수를 이용하는 SCW(standing column well), 단일정/복수정 등의 방식이었다. 이후 코오롱건설 등 지열분야 전문가들이 유럽의 지열기술을 조사하는 중 유럽에서는 에너지 파일형 지열원 열펌프 시스템이 보편화되어 시공되는 것을 알고 기술을 도입 국내 현장에 접목시키고 있다.

지중수평형의 경우 넓은 지중매설 공간을 필요로 하는 특성으로 우리나라의 실정에는 맞지 않아 설치

가 많이 되지 않았지만, 최근 시설원에, 학교, 공항 등에서 관심을 가지고 설치가 확산되어가고 있다. 수직밀폐형의 경우 설계나 시공면에서 신뢰성을 충분히 확보하여 국내에서 설치되는 지열원 열펌프 시스템의 주류를 이루고 보급되고 있다. 지하수를 이용하는 방식은 층적대수층의 발달 등 풍부한 지하수원이 있어야 하는 지중 조건을 전제로 하기 때문에 지하수가 풍부하지 않은 우리나라에서는 단일정/복수정의 보급은 이루어지지 않고 주로 SCW형이 설치되었다. 그러나 SCW형 역시 열용량설계, 지하수량 유지 및 사후관리 등의 문제 등 해결해야하는 기술적 문제가 많이 도출되고 있다. 에너지파일형의 경우 건물이 밀집되어 있는 도심지에 설치 가능한 방식으로 향후 이 방식의 보급이 크게 늘어날 것으로 기대된다.

미국 ASHRAE는 지열원 열펌프를 열원 및 히트 싱크의 종류에 따라 토양 이용 열펌프(GCHP, Ground Coupled Heat Pump), 지하수 이용 열펌프(GWHP, Ground Water Heat Pump), 지표수 이용 열펌프(SWHP, Surface Water Heat Pump) 그리고 복합 지열원 열펌프(Hybrid Ground Source Heat Pump) 등으로 구분하고 있다. 그림 1은 상업용 및 가정용



으로 사용되는 지열원 열펌프의 종류를 보여 주고 있다.

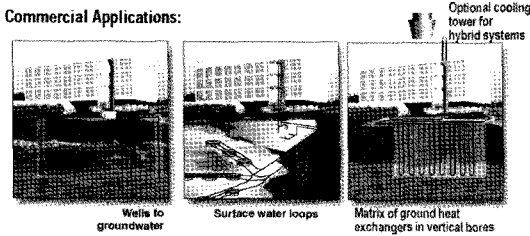
토양 이용 열펌프(Ground Coupled Heat Pump, GCHP)

일반적으로 토양 이용 열펌프를 부동액과 냉매간의 열교환 방식에 따라 간접식과 직접식으로 구분할 수 있다. 간접식은 부동액과 냉매가 열펌프의 열교

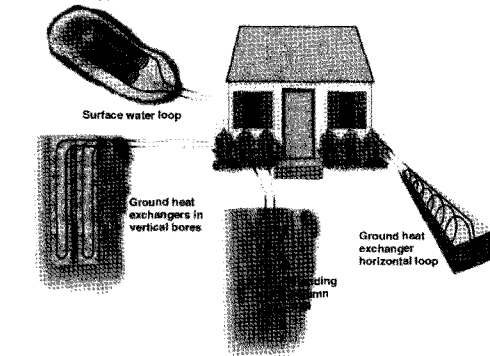
환기에서 열교환을 하는 방식이다. 현재 지열원 열펌프 시스템의 주류를 이루고 있는 방식이기도 하다. 반면에 직접식은 부동액을 사용하지 않고 냉매와 토양이 직접 열교환 하는 방식이다. 이 방식은 지열원 열펌프가 활성화 단계에 접어든 외국에서도 개발 단계에 있는 시스템이다. 간접식 토양 이용 열펌프는 다시 지중 열교환기의 형상에 따라 수직형(vertical type)과 수평형(horizontal type)으로 구분된다.

수직밀폐형 열펌프 시스템(Vertical GCHP)

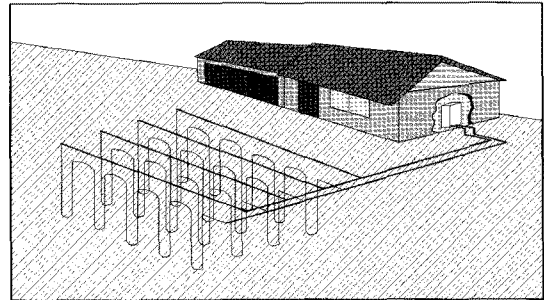
그림 2와 그림 3은 수직형 토양 이용 열펌프와 지중 열교환기 배열 방법을 보여주고 있다. 이 시스템의 지중 열교환기는 토양 속에 수직으로 매설된다. 또한 지중 열교환기 안에서 부동액의 유동 방식에 따라 직렬 시스템(series flow system)과 병렬 시스템(parallel flow system)으로 구분할 수 있다. 수직형 토양 이용 열펌프의 특징은 다음과 같다.



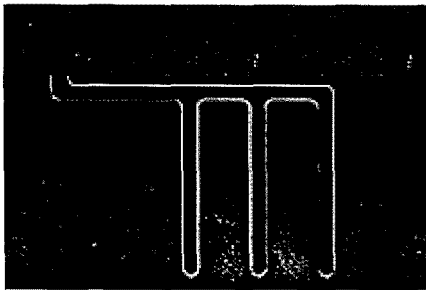
Commercial Applications:



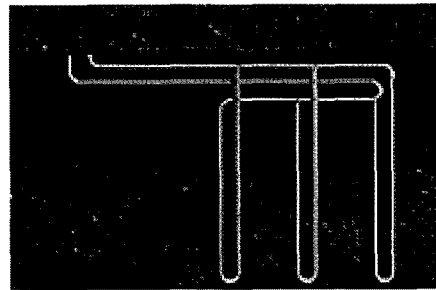
[그림 1] GSHP의 종류 및 다양한 열원 및 히트 싱크



[그림 2] 토양 이용 열펌프의 수직형 지중 열교환기



a) 직렬 배열



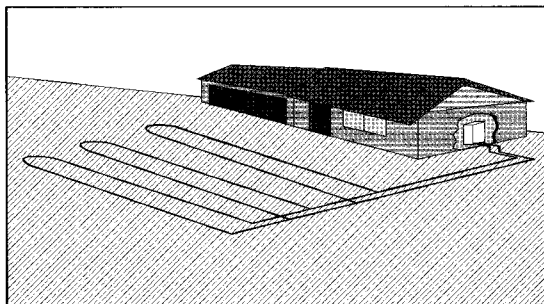
b) 병렬 배열

[그림 3] 수직형 지중 열교환기의 배열 방법

- 지중 열교환기 매설을 위한 토양 면적이 타 시스템에 비해 상대적으로 작다.
- 지중 열교환기를 냉·난방 용량에 따라 다양한 깊이로 매설할 수 있다.
- 연중 외기 온도 변화에 대한 영향이 적다.
- 전체 토양 이용 열펌프 중 배관이 가장 적고 펌프동력도 적게 소요된다.
- 가장 효율이 높은 토양 이용 열펌프 시스템이다.
- 지중 열교환기 파이프 매설을 위해 수직으로 천공을 하기 때문에 공사비가 많이 든다.

수직형 직렬 시스템은 직경이 큰 파이프를 사용하기 때문에 파이프 단위 길이 당 성능이 다소 우수하고 배관 길이가 짧아 경제적이다. 반면에 지중 열교환기를 순환하는 부동액이 상대적으로 많이 필요하며, 지중 열교환기 파이프 안에서 발생하는 압력강하 때문에 파이프 길이에 제한이 있다.

수직형의 병렬 지중 열교환기는 비교적 작은 직경의 파이프를 사용하기 때문에 파이프 구입 비용을



[그림 4] 토양 이용 열펌프의 수평형 지중 열교환기

줄일 수 있다. 이 지중 열교환기는 직렬 시스템보다 부동액을 적게 사용하며, 설치비도 낮다.

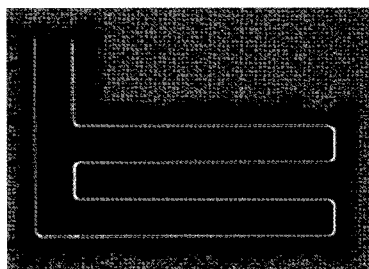
지중수평형 열펌프(Horizontal GCHP)

그림 4는 수평형 지중 열교환기의 개략적인 형상을 보여주고 있다. 이 시스템의 지중 열교환기는 토양 속에 수평으로 매설된다. 지중 열교환기 공사비용이 수직형에 비해 저렴하며, 학교, 군부대, 전원주택, 공공기관 등과 같이 지중 열교환기의 설치 면적이 충분한 건물에 적용될 경우 경제적이다. 반면에 토양의 온도 및 열 특성이 계절, 강우, 매설깊이에 따라 변동하며, 부동액 순환 펌프의 소비동력이 다소 높고 시스템 효율이 수직형 GCHP보다 낮은 단점도 있다. 이 시스템도 직렬형과 병렬형으로 구분할 수 있으며, 형상을 그림 5 a), b)에 나타내었다.

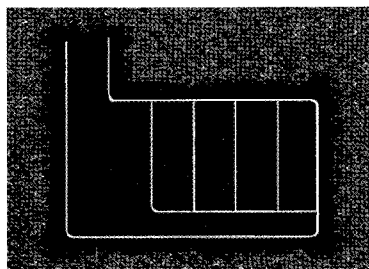
그림 5 c)는 수평형의 일종인 슬린키형 지중 열교환기(Slinky heat exchanger)의 형상을 보여주고 있다. 슬린키형은 트렌치(trench)의 길이를 줄이고 제작 및 시공이 간편한 슬린키 열교환기를 사용한다. 슬린키형 지중 열교환기의 설치 면적은 다른 수평형 시스템보다 상대적으로 적다. 반면에 다른 수평형 시스템보다 지중 열교환기의 파이프 길이가 길어지는 단점도 있다. 또한 슬린키 코일을 수직으로 매설하는 공법을 개발하여 지열원 열펌프 시스템에 적용하고 있다.

에너지파일형 열펌프(Energy-pile GCHP)

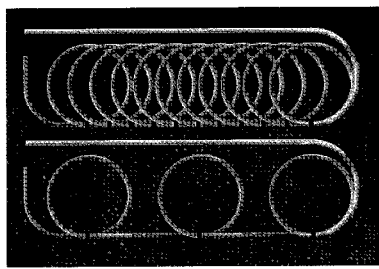
에너지말뚝형 열펌프 시스템은 그림 6에서 보는 바와 같이 건축물의 토목공사 시 현장타설말뚝, 가시설 벽체, 베드기초 등에 지중열교환기를 삽입하는



a) 직렬형

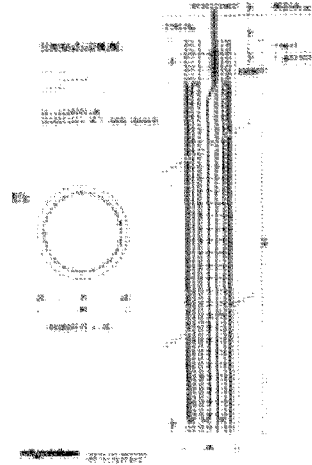


b) 병렬형



c) 슬린키형

[그림 5] 수평형 지중 열교환기의 배열 방법



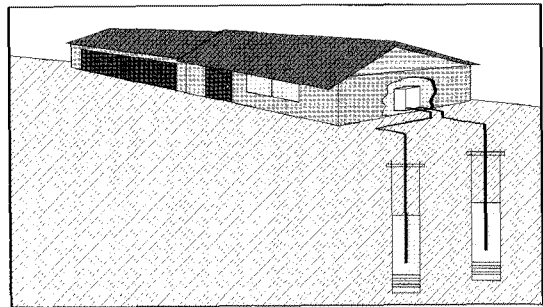
[그림 6] 에너지파일형 지열 열펌프 시스템

방식으로 유럽에서는 일반적으로 시공되는 방식이다. 지열시스템을 우리나라에 도입하는 초기에는 미국기술 위주로 기술을 도입하여 보급하였으나 최근 유럽의 기술을 도입하며 소개되고 있는 방식이다.

수직밀폐형의 경우 지중열교환기를 매설하기 위해 100 ~ 200 m의 보어홀을 천공해야 하지만, 에너지 파일형은 건축물의 지지를 위한 기초말뚝에 열교환기를 삽입하므로 천공 비용이 필요 없다는 장점을 갖고 있다. 또한 건축물이 차지하고 있는 부지에 설치하므로 공간적인 이익도 생기게 된다. 단, 기초에 열교환기를 삽입하므로 토목구조 등과 같은 전문적인 능력을 갖고 이를 설계해야 한다.

지하수 이용 열펌프(Ground Water Heat Pump, GWHP)

양질의 지하수가 풍부한 경우 지하수를 이용하는 열펌프 시스템을 사용할 수 있다. 지하수 이용 열펌프는 토양 이용 열펌프가 보급되기 전에 주를 이루었던 시스템이다. 이 시스템은 토양 이용 시스템에 비해 상대적으로 설치 공간이 작은 반면 많은 양의 물을 열원으로 사용한다. 일반적으로 지중 열교환기를 설치할 수 있는 면적이 부족한 중소형의 상업용 건물이 풍부한 양질의 물을 이용할 수 있을 경우 이 시스템을 적용할 수 있다. 그림 7은 두 개의 우물과



[그림 7] 개방형 지하수 이용 열펌프 시스템

직접 연결된 지하수 이용 열펌프 시스템의 개략도를 보여 주고 있다.

지하수 이용 열펌프의 장점은 토양 이용 시스템에 비해 시공 비용이 적게 들고, 열원을 쉽게 얻을 수 있으며 열원인 우물이 차지하는 면적이 적다는 것이다. 반면에 개방형 지하수 이용 시스템인 경우 물 속의 오염물질은 배관 및 열교환기에 파울링(fouling) 또는 스케일(scale)을 야기할 수 있다. 또한 시스템 설계가 적절하지 못하거나 수원이 깊으면 펌프가 동력을 많이 소비한다.

지하수 이용 시스템을 채택하기에 앞서 다음의 세 가지 사항을 반드시 고려해야 한다. 첫째는 수질이다. 지하수가 함유하고 있는 미네랄은 냉매와 열교환기 파이프 내부 표면에 스케일을 발생시킬 수 있

다. 이 스케일은 주기적인 세정에 의해 줄일 수 있으나, 세척제가 갖고 있는 산 성분은 금속을 부식시켜 열교환기 수명이 단축된다. 따라서 지하수의 수질이 우수하다고 판명되었을 때만 이 시스템을 적용할 수 있다. 그렇지 않은 경우에는 관형 열교환기의 설치가 권장된다. 둘째는 필요한 물의 공급이다. 일반 상업용 건물에 여러 대의 열펌프가 설치되었을 경우 충분히 물을 보충할 수 있는지 또는 지하수의 사용 및 개발이 법에 저촉되는지를 충분히 검토해야 한다. 끝으로 열펌프에서 열교환 과정을 마친 후 배출되는 물을 처리하는데 문제가 없어야 한다. 지하에서 올린 물을 다른 우물 또는 하수에 버리거나 식물을 키우는데 사용할 수 있다. 이 경우에는 법적 규제나 시스템 설치에 제약이 없는 지를 충분히 검토해야 한다.

현재 우리나라에 보급된 SCW형 지열원 열펌프 시스템의 시공 및 운영상 다음과 같은 문제점이 도출되고 있어 보급에 애로점 및 소비자의 피해사태가 나타나고 있다. 따라서 이에 대한 연구가 반드시 이루어져 SCW형 지열원 열펌프 시스템의 신뢰성을 확보하고 시장의 혼동을 줄여 나아가야 한다. 현장에서 일어나고 있는 대표적인 문제점은 다음과 같다.

- 우물공의 열용량 설계 방법의 부재에 의한 설비용량의 불확실성
- 자연적 혹은 인위적인 지하수량의 변동에 따른 열용량 부족현상
- 침전물 발생 및 유기물 등에 의한 유공관 막힘

현상

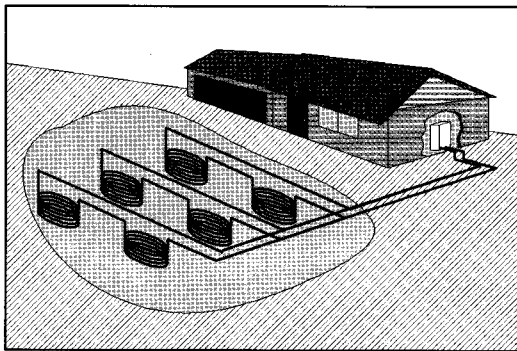
- 유공관 막힘 등으로 인한 막대한 우물공의 사후 관리 문제
- 우물공의 오염 및 침전물에 의한 우물공 청소의 사후관리 비용 문제
- 외국의 블리딩을 이용한 시스템과 달리 블리딩을 이용하지 않는 국내 설계
- 우물공 최소 설치 간격에 대한 기준의 부재
- 지하수의 오염에 대한 정확한 이론적 정립 부재

지표수 이용 열펌프(Surface Water Heat Pump, SWHP)

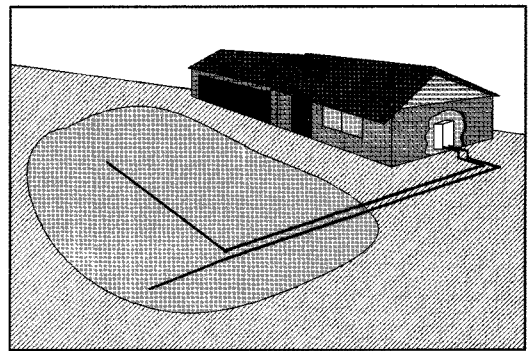
지표수 이용 열펌프는 자연 또는 인공 연못 그리고 호수 등을 열원 또는 히트싱크로 활용할 수 있다. 일반적으로 지표수의 열 물성은 앞서 언급한 지하수와는 다소 차이가 있다. 이 방식은 밀폐형 사이클과 개방형 사이클로 구분된다.

밀폐형 지표수 이용 열펌프(Closed Loop SWHP)

그림 8 a)의 밀폐형 지표수 이용 시스템은 연못의 물을 열원 또는 히트싱크로 활용한다. 토양 이용 열펌프의 지중 열교환기는 땅 속에 매설되지만 이 시스템의 지중 열교환기는 연못이나 호수에 잠겨있는 것 외에는 시스템 면에서 큰 차이가 없다. 부동액은 순환펌프에 의해 물 속에 잠긴 지중 열교환기와 열펌프의 열교환기 내를 유동한다. 자외선 차단 처

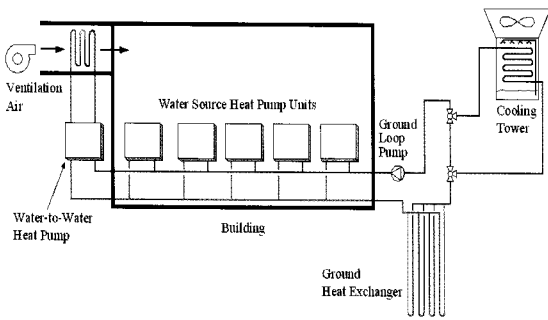


a) 밀폐형

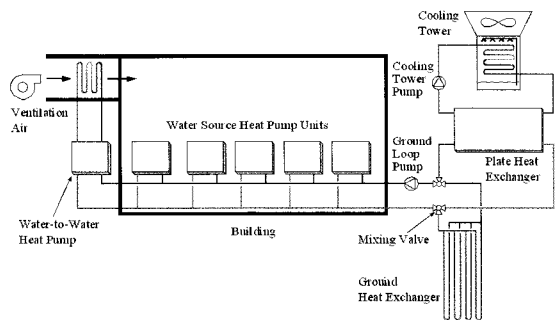


b) 개방형

[그림 8] 지표수 이용 열펌프 시스템



[그림 9] 복합 지열원 열펌프: 냉각탑 이용



[그림 10] 복합 지열원 열펌프: 냉각탑 및 판형 열교환기 이용

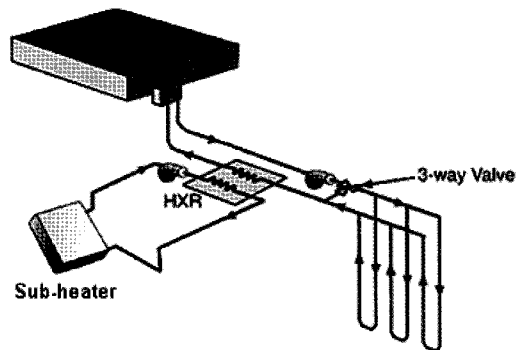
리가 되어 있는 고 밀도 폴리에틸렌 파이프를 지중 열교환기의 재료로 사용한다. 일반적으로 밀폐형 지표수 이용 열펌프의 지중 열교환기는 나선(spiral) 형상이다. 설치비용은 저렴하지만 효율은 타 시스템에 비하면 다소 낮으며, 부동액 순환 펌프는 동력을 적게 소모하며, 전체 시스템의 유지비와 운전비 또한 저렴하다. 반면에 연못이나 호수의 크기가 작은 경우 외기의 온도 변화에 따른 열원의 온도변화 때문에 시스템의 효율은 감소한다.

개방형 지표수 이용 열펌프(Open Loop SWHP)

지표수를 이용해서 송풍기나 기타 복잡한 장비 없이 냉각탑의 기능을 대신할 수 있다. 따뜻한 지역에서는 겨울철 난방모드에서 호수를 열원으로 사용할 수 있지만, 7℃ 이하의 낮은 온도에서는 개방형 사이클로는 난방효과를 기대하기는 어렵다. 점유 공간을 줄이기 위해서 물 대 공기 혹은 물 대 물 열펌프로 물이 직접 유입되기도 하나, 대개의 경우는 중간에 열교환을 시키게 된다. 호수가 깊은 경우(12 m 이상)에는 충분한 온도 성층화가 생성되므로 연관을 통하여 직접적인 냉각이나 예냉(Precooling)이 가능할 수도 있다. 물을 깊은 호수 바닥으로부터 끌어올려 환기 덕트 내의 코일에 통과시킬 수도 있다. 그림 8 b)는 개방형 지표수 이용 열펌프 시스템을 보여주고 있다.

복합 지열원 열펌프(Hybrid Ground Source Heat Pump)

수직형 토양 이용 열펌프는 지중 열교환기를 설치



[그림 11] 보조히터 이용 복합 지열원 열펌프

하는 데에 많은 공간을 필요로 하며, 설치비 또한 많이 든다. 이는 지열원 열펌프를 적용할 건물이 커질수록 즉, 냉·난방 부하가 커질수록 지중 열교환기의 설치비가 상승하게 된다. 이러한 점을 보완할 수 있는 방식이 복합 지열원 열펌프이다. 이 시스템은 앞서 설명한 지열원 열펌프와 냉각탑(냉방 사이클 시)이나 보일러(난방 사이클 시)와 같은 보조 열원을 병행함으로써 지중 열교환기의 길이 및 개수를 줄인다. 그림 9와 10은 냉각탑을 연결한 복합 지열원 시스템을 보여주고 있다.

냉방 사이클로 작동하는 지열원 열펌프가 설계 냉방부하를 넘게 되면, 즉 지중 열교환기에서 감당할 수 있는 냉방 용량이 초과되면 용량을 냉각탑을 가동하여 충족시키게 된다. 즉, 설계 시에 정해진 수준의 냉방부하까지는 지중 열교환기를 이용하여 충족시키고, 그 수준을 넘어서는 부하에 대해서는 냉각탑을 가동하게 된다. 그림 9는 냉각탑과 수직 병렬

형 토양 이용 열펌프가 직접 연결된 시스템을 보여주고 있다. 그림 10에서 보여주고 있는 시스템은 앞선 그림 9의 시스템에 판형 열교환기를 설치한 것이다. 이 판형 열교환기 안에서 부동액과 냉수를 간접 접촉시켜 열교환을 하는 방식이다.

난방 사이클의 복합 지열원 열펌프는 상용 난방설비에 주로 사용되는 보일러, 보조히터, 태양열 집열판 등을 보조 열원으로 사용한다. 보조 히터를 함께 연결

한 복합 지열원 열펌프를 그림 11에 나타내었다.

지열원 열펌프 시스템 국내외 설치 사례

국외 설치 사례

표 1 ~ 5는 지열원 열펌프 시스템의 국외 설치 사례를 시스템이 적용된 건물별과 에너지파일형으로 정리한 것이다.

< 표 1 > 상업용 설치 사례(Commercial Case Studies)



- Hazleton St. Joseph Medical Center, 병원
- 소재지: Luzerne County, 펜실베이니아주
- 건물 개요: 면적 6,500 ft²
- 냉난방 유닛: 5 RT 2대, 7.5 RT 1대
- 방식: 수직밀폐형, 6개의 보어홀을 220 ft 깊이로 설치.
총 파이프 길이 3100 ft, 직경 1.5'의 PE 파이프 사용



- Wildlife Center of Virginia, 야생동물 센터
- 소재지: Waynesboro, 버지니아주
- 건물 개요: 5700 ft²
- 냉난방 유닛: 4 RT 2대, 5 RT 2대.
- 방식: 지중수평형, 총길이 11,530 ft의 PE파이프를 slinky 방식으로 구성, 2500 ft의 트렌치(trench) 작업



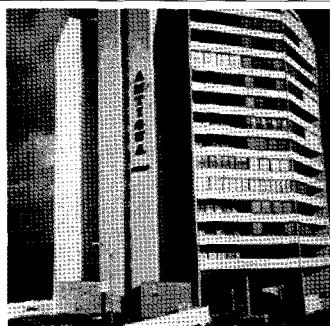
- Blue River Resort, 휴양시설
- 소재지: British Columbia
- 건물 개요: 39600 ft², 객실과 부대 편의 시설.
- 냉난방 유닛: 23대의 열펌프 (총 103 RT)
- 방식: 수직밀폐형, 34개의 보어홀을 200 ft 깊이로 설치



<표 2> 주거용 설치 사례(Residential Case Studies)

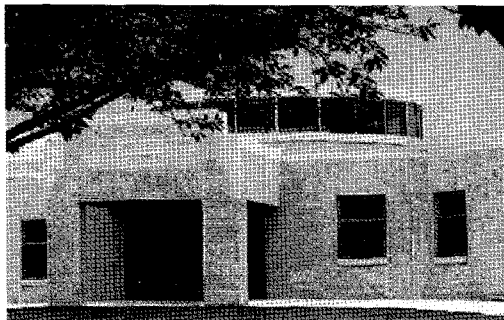


- 소재지: 하트포드, 코네티컷주, 개인주택
- 냉난방 유닛: 4.2 RT 열펌프
- 방식: 복수정(2 wells)
- 지하수: 250 ft 깊이, 2개의 직립정(well)



- 소재지: 오션시, 메릴랜드주, 아파트
- 건물 개요: 14층, 104 가구, 가구 당 900 ft²
- 냉난방 유닛: 107개의 열펌프사용 (총 222 RT)
- 방식: 수직밀폐형, 160개의 보어홀을 175 ft 깊이로 건물 주차장에 설치. PE 파이프를 사용하였으며, 총 파이프 길이는 10 mile

<표 3> 학교 설치 사례(School Building Case Studies)


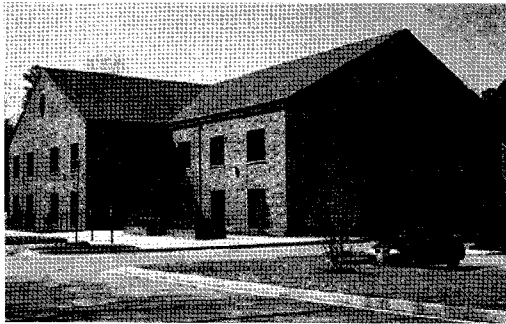


- Neff Elementary School
- 소재지: Lancaster, 펜실베이니아주
- 건물 개요: 총면적 148,530 ft²의 2층 건물.
- 냉난방 유닛: 350 RT 냉방용량
- 방식: 수직밀폐형, 140개의 보어홀을 288 ft 깊이로 설치

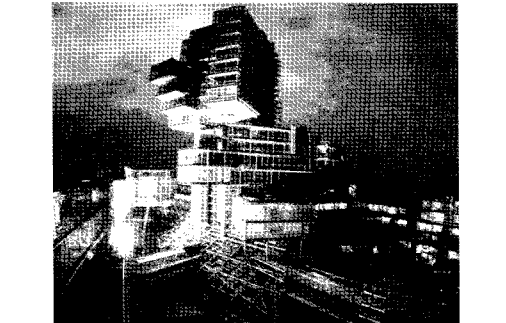



- Onamia Elementary School
- 소재지: Onamia, 미네소타주
- 건물 개요: 78,000 ft²
- 냉난방 유닛: 53대의 열펌프 (총 193 RT)
- 방식: 수직밀폐형, 50개의 보어홀을 560 ft 깊이로 설치.
지중 열교환기 내 열교환 유체의 순환 유량 400 gpm

<표 4> 공공기관 설치 사례(Government Facilities Case Studies)

	<p>Norddeutsche Landesbank</p> <ul style="list-style-type: none"> - 소재지: Hannover, 독일 - Termination : 2,000 - 냉난방 유닛: 총 100 RT의 냉방용량 - 방식: 에너지파일형, 122개 drilled piles
	<ul style="list-style-type: none"> • Health & Human Services Building • 소재지: York County, 버지니아주 • 건물 개요: 총 면적 31,680 ft² • 냉난방 유닛: 23대의 열펌프 (총 100 RT) • 방식: 수직밀폐형, 96개의 보어홀을 165 ft 깊이로 설치

<표 5> 에너지파일형 설치 사례(Energy-Pile Case Studies)

	<ul style="list-style-type: none"> • Norddeutsche Landesbank • 소재지: Hannover, 독일 • Termination : 2,000 • 냉난방 유닛: 총 100 RT의 냉방용량 • 방식: 에너지파일형, 122개 drilled piles
	<ul style="list-style-type: none"> • Keble College • 소재지: Oxford, 영국 • Termination : 2,002 • 냉난방 유닛: 총 45 kW의 냉방용량 • 방식: 에너지파일형, pile wall, 61개 bored piles



<표 6> 국내 설치 사례

	<ul style="list-style-type: none"> • 관악구청 통합청사 • 소재지: 서울시 관악구 • 냉난방 유닛: 총 125 RT • 방식: 수직밀폐형, 44개의 보어홀을 200 m 깊이로 설치 30A PE파이프
	<ul style="list-style-type: none"> • 주택공사 광주 지역 본부 • 소재지: 광주 • 건물 개요: 총 면적 29,307 m² • 냉난방 유닛: 총 146 RT • 방식: 수직밀폐형, 40개의 보어홀을 200 m 깊이로 설치 40A PE파이프
	<ul style="list-style-type: none"> • 경기케어센터 • 소재지: 경기도 화성 • 건물 개요: 총 면적 12,082 m² • 냉난방 유닛: 총 350 RT • 방식: 수직밀폐형, 77개의 보어홀을 170 m 깊이로 설치 40A PE파이프

국내 설치 사례

다음은 지열원 열펌프 시스템의 국내 설치 사례를 나타낸 것이다. 상용 공기 열원 열펌프 시스템보다 초기 투자비가 크기 때문에 상업용 건물, 호텔이나 펜션

과 같은 리조트 시설 그리고 학교의 도서관과 같은 건물에 주로 적용되고 있으며, 아직 개인 주택이나 공동 주거 시설에의 적용은 미흡한 실정이다. 또한 수직 밀폐형 열교환 방식이 주를 이루고 있다. (※)