

# 지열시스템의 특성비교

임 효 재 교수  
/ 호서대학교 기계자동차공학부



## 1. 서론

최근 시행된 대체에너지 이용법과 관련하여 공공부문에서의 신재생 에너지 설치가 의무화되면서 여러 가지 신·재생에너지원중 지열을 이용한 지열원 열펌프 시스템(Ground Source Heat Pump System)에 많은 관심이 모아지고 있다.

GSHP 시스템은 크게 지중 열교환기(ground heat exchanger)와 열펌프(heat pump)로 구성된 냉·난방 겸용 시스템이다. 냉방 사이클로 작동하는 GSHP 시스템은 실내에서 흡수한 열을 지중 열교환기를 통해 지중으로 방출한다. 반대로 난방 사이클인 경우, 지중 열교환기는 지중에서 열을 흡수하여 실내로 공급한다. 여기서 지열이라 칭하는 것은 토양(ground), 지하수(ground water), 지표수(surface water)등을 통칭한 것이다.

GSHP 시스템의 장점은 공기열원 열펌프(air source heat pump)보다 에너지 소비량이 적고, 외부에 노출되는 기기가 없으며, 사용되는 냉매량이 상대적으로 적다는 것이다. 그러나 지중 열교환기 매설을 포함한 전체 시스템의 초기 설치비용이 기존 냉난방 설비보다 과다하다는 것이 단점이다.

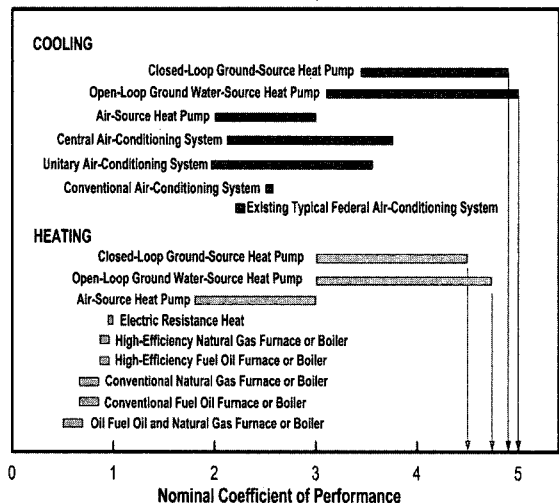
GSHP는 초기 투자비를 제외하면, 다른 신재생 에너지원에 비해 냉난방열원으로 경쟁력이 있는 것으로 입증되고 있으며, 설치 장소에 구애받지 않는 점 등으로 인하여 높은 관심을 모으고 있다.

그림 1은 GSHP 시스템과 기존 냉난방 시스템의 성능을 비교한 그림이다.

## 1.1 지열 시스템의 원리

일반적으로 지열이란 지중에 저장된 열로서, 지표면으로부터의 깊이에 따라 심부지열(deep geothermal)과 천부지열(shallow geothermal)로 구분된다. 심부지열은 지하 300 m이하부터 존재하는 에너지를 의미하며 40℃~150℃ 이상의 온도를 유지한다. 천부지열은 지표로부터 150 m~300 m까지 저장된 지열을 의미한다. 이때의 지중온도는 지형 및 지역에 따라 차이를 보이지만 대략 10℃~20℃ 정도이다.

지열원 열펌프 시스템은, 지면에서 5m까지의 지중 온도는 외기 온도변화에 영향을 받지만, 그 이하부터는 연중 일정한 값을 가진 지중, 지하수 및 지표수를 냉방시에는 히트싱크로, 난방시에는 히트소스로 이용하여 건축물의 냉난방을 동시에



[그림 1] 일반적인 공조시스템과 지열시스템의 성능 비교

가능하도록 하는 시스템이다. 이는 지중 열교환기 순환유체와 지중의 온도차로 인해 발생한다.

그림 2는 일반적인 GSHP 시스템의 냉난방 운전 형태를 나타낸 것이다.

## 2. 지열원 열펌프 시스템의 종류

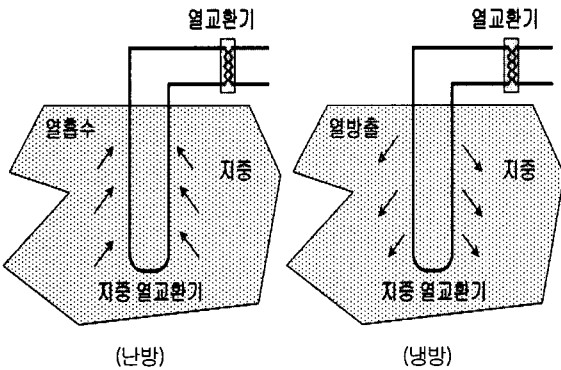
지열원 열펌프 시스템은 열원에 따라 토양 이용 열펌프(Ground Coupled Heat Pump), 지하수 이용 열펌프(Ground Water Heat Pump), 지표수 이용 열펌프(Surface Water Heat Pump) 그리고 복합 지열원 열펌프(Hybrid Ground Source Heat Pump) 등으로 구분할 수 있다.

그림 3은 상업용 및 가정용 건축물에 적용되는 지열원 열펌프 시스템의 여러 가지 형태를 그림으로 나타낸 것이다.

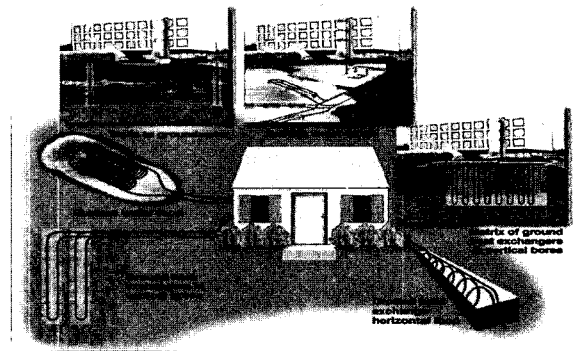
### 2.1 토양 이용 열펌프 시스템 (Ground Coupled Heat Pump System)

토양 이용 열펌프 시스템은 그림 4와 그림 5에서 보는 바와 같이 지중 열교환기의 형상에 따라 수직형과 수평형으로 구분된다. 수직형 지중열교환기는 토양속에 수직으로 설치하고, 냉난방 용량에 따라 다양한 깊이로 매설할 수 있으며, 배관 및 부동액 이송동력이 적게 소요되기 때문에 가장 효율이 높은 열교환기 형식이다. 일반적으로 수직형 지중 열교환기는 직경 100~150 mm, 깊이는 100~300 m의 보어홀을 지면에서 천공한 후 고밀도 폴리에틸렌 파이프를 U자관으로 하여 삽입한다.

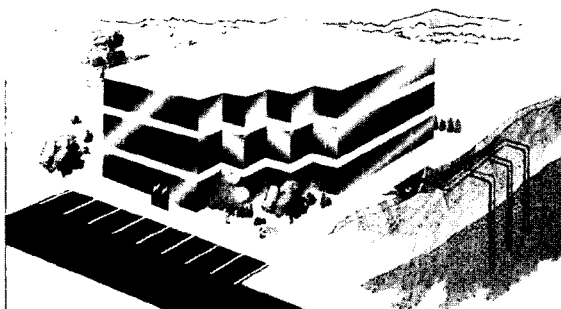
그림 5에서 보는 바와 같이 지중 열교환기가 지면에 수평으로 매설되는 수평형 지열원 열펌프 시스템의 시공비용은 수직형에 비해 저렴하다. 하지만 설치 공간의 제약이 많아 학교 또는 공공기



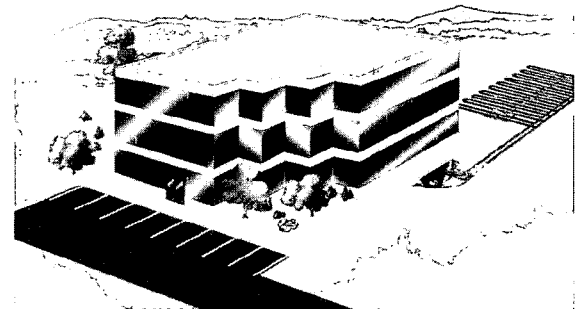
[그림 2] 지열 시스템의 원리



[그림 3] 지열 냉난방 시스템의 여러 형태



[그림 4] 수직형 지중 열교환기

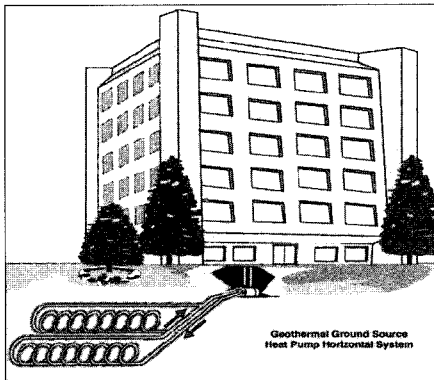


[그림 5] 수평형 지중 열교환기

관 등의 운동장이나 주차장과 같이 지중 열교환기의 설치 부지가 충분할 경우 적용 가능하다. 반면 지중 열교환기 파이프가 지면에서 0.5~1.8 m의 깊이로 굴착한 트렌치(trench)에 매설되기 때문에 매설 위치에서 지중 온도 및 지중 열물성치

등이 계절 및 강우 등에 영향을 받아 효율이 수직형 시스템에 비해 낮다.

그림 6은 슬링키형(slinky type) 지중 열교환기 설치 모습이다. 슬링키형은 트렌치의 길이가 감소하고 제작 및 시공이 간편하며, 수평형 시스템에 비하여 지중 열교환기의 설치 면적은 상대적으로 적게 소요되는 반면 지중 열교환기의 파이프 길이가 길어지는 단점이 있다.

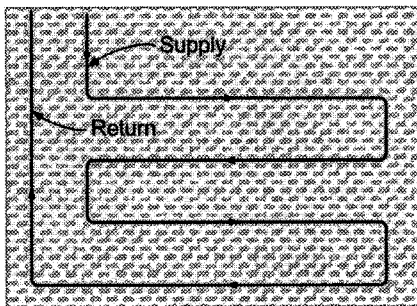


[그림 6] 슬링키형 지중 열교환기

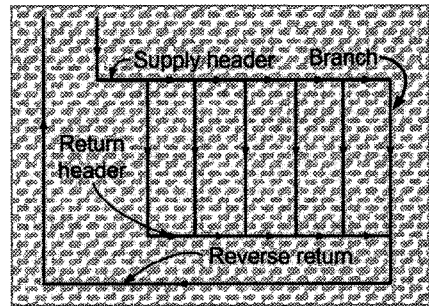
### 2.1.1 직렬 흐름 및 병렬 흐름

#### (Series and Parallel Flow System)

지중 열교환기 파이프가 다중 관으로 구성되는 경우 파이프의 연결방식에 따라 직렬 흐름방식과 병렬흐름 방식으로 구분할 수 있다. 그림 7은 수평형 지중 열교환기를 나타내고, 그림 8은 수직형 지중 열교환기의 형상을 나타낸 것이다.

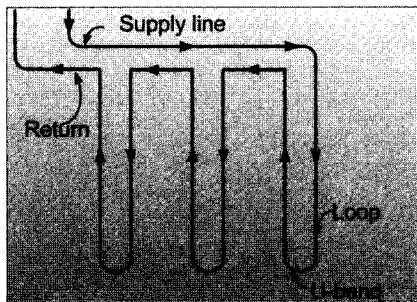


(직렬연결)

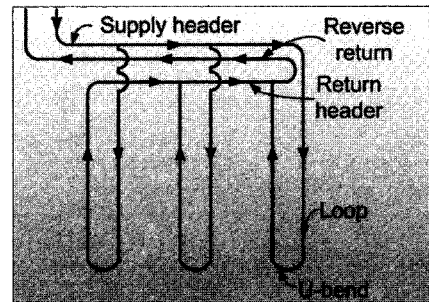


(병렬연결)

[그림 7] 수평형 시스템의 직렬, 병렬 연결

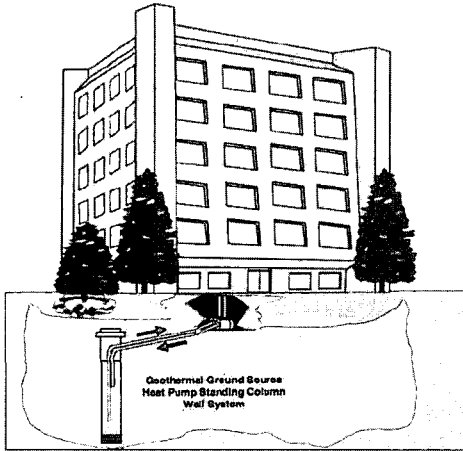


(직렬연결)



(병렬연결)

[그림 8] 수직형 시스템의 직렬, 병렬 연결



[그림 9] 스탠딩 컬럼 웰 시스템(return)



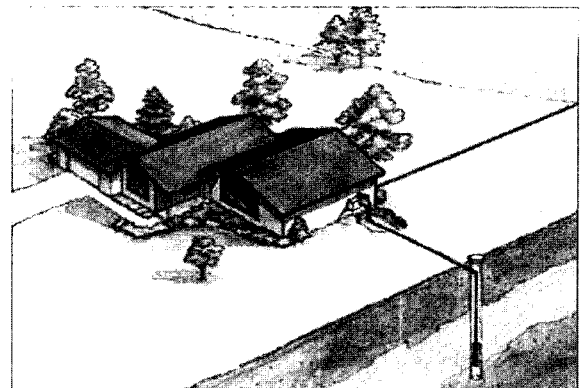
[그림 10] 복수정 이용 열펌프 시스템(return)

일반적으로 직렬 흐름 방식은 직경이 큰 파이프를 사용하기 때문에 파이프 단위길이당 열교환 성능이 우수하고 배관길이가 짧아 경제적인 반면, 파이프 안에서 발생하는 압력손실로 인하여 파이프 길이에 제한이 있다. 병렬 흐름 방식의 지중 열교환기는 비교적 작은 직경의 파이프를 사용하기 때문에 파이프 구입비용을 줄일 수 있고, 설치비도 적게 소요되기 때문에 현재 이 방식을 주로 채택한다. 그러나 각각의 병렬회로는 길이가 서로 같아야 하고(10%이내) 지중 순환회로 내에서 유속이 동일해야 한다. 또한 루프의 유입, 유출에서 작용하는 압력을 동일하게 하기 위해 루프의 구경보다 큰 관으로 헤더(header)를 설치한다.

## 2.2 지하수 이용 열펌프 시스템(Ground Water Heat Pump System)

지하수 이용 열펌프 시스템은 지열원 열펌프 시스템중 가장 오래전부터 사용되어진 시스템중의 하나다. 그러나 이 시스템은 외형적으로는 단순해 보이나 효율적이고 신뢰성 있는 시스템 구축을 위해 지하수정의 설계, 지하수 유량, 지하수 처리 등에 대한 심도 있는 검토가 필요하다.

지하수 이용 열펌프 시스템은 양질의 지하수가 풍부할 때 이를 이용한 시스템이다. 지하수 이용



[그림 11] 지하수 이용 열펌프 시스템(non-return)

열펌프 시스템은 효율이 우수하지만 물 속의 슬러리나 오염물질로 인해 배관 및 열교환기에 스케일을 야기할 수 있다. 이 스케일은 주기적인 세척에 의해 제거할 수 있으나 유지 보수비용을 필요로 한다. 따라서 지하수의 수질과 수량이 우수하다고 판명되었을 때 이 시스템을 적용할 수 있다. 그러나 시스템 설계가 적절하지 못하거나 수원이 깊으면 펌프의 소비동력이 증가하여 운전 효율이 하락한다.

그림 9~그림 11은 중, 대형 건축물에 적용된 지하수 이용 열펌프 시스템을 개략적으로 나타내고 있다. 그림 9는 스탠딩 컬럼 웰 방식으로 단일

한 보어홀에 취수구와 입수구가 설치되어 있어 운전중 유량 변화가 적은 장점이 있으나 열교환량을 확보하기 위해 보어홀 깊이를 깊게해야 하는 단점이 있다. **그림 10**은 취수구와 입수구를 별도의 웰로 시공한 복수정 시스템으로 열교환 효율은 단수정보다 우수하나 입수구에서 지하수 유입에 특별한 기술을 필요로 한다. 그리고 **그림 11**은 지하수 이용 열펌프 시스템의 다른 한 종류로서 지하수를 건물의 냉난방과 급탕에 이용한 후 연못이나 강등에 배수하는 시스템이다. 이 방식은 지중에 분포하고 있는 지하수의 수량이 풍부하여야 하고, 가까운 곳에 연못이나 강이 위치하여야 한다는 제한 조건이 있다.

2.2.1 설치 형태별 특성 비교(표 1)

2.3 지표수 이용 열펌프 시스템 (Surface Water Heat Pump System)

지표수 이용 열펌프 시스템은 연못, 호수 그리고 강 및 바다 등을 히트소스 또는 히트싱크로 이용하는 것이다. 지표수 이용 열펌프 시스템은 크게 밀폐형과 개방형으로 나눌 수 있다.

밀폐형은 일반적으로 나선형 (spiral)의 수중 열교환기나 설치 면적을 줄인 슬림짐 (Slim Jim) 등을 물 속에 넣어 순환유체를 통하여 냉난방을 하는 시스템이다. 수중 열교환기나 슬림짐은 물속에서 부력에 의해 뜰 수 있기 때문에 설치에 주의를

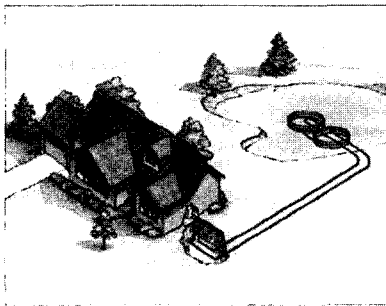
기울여야 한다.

개방형 시스템은 호수나 강등의 지표수를 직접 이용하는 방식이다. 본 시스템은 지표수 이용 밀폐형 시스템과 같이 지하 매설이 없으므로 설치 비용이 저렴한 장점이 있는 반면, 개방형 시스템은 수질이 나쁜 경우와 수원 규모가 작은 경우 열원의 온도 변화가 심하여 이용에 많은 문제점이 발생할 소지가 있으며 효율이 감소하는 단점이 있다.

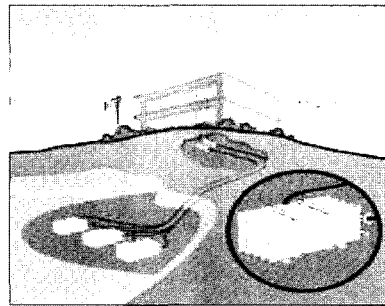
**그림 12**는 지표수 이용 밀폐형 시스템을 나타내고 있으며, **그림 13**은 지표수 이용 개방형 시스템을 나타내고 있다.

<표 1> 설치 형태에 따른 GSHP 시스템의 특성 비교

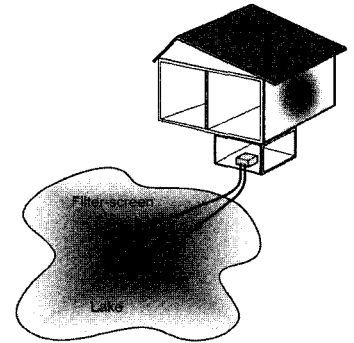
구분	토양 이용 열펌프 시스템	지하수 이용 열펌프 시스템
핵심기술	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 지중 열교환기 설계</li> <li>• 천공 hole간 연결</li> <li>• 그라우팅 작업</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 수중펌프 설치</li> <li>• 지하수 관정 설치</li> <li>• 양수 시험</li> </ul>
국내 수준	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 정부 지원정책에 의해 보급이 증가</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 03년 40 RT 용량 설치 운영</li> </ul>
필요면적	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 3 RT/150 m</li> <li>• 1 hole/5평</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1.5 gpm (5.6 lpm)/RT</li> <li>• 지하수량 필요</li> </ul>
소요비용	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 지중 열교환기 설치 비용은 전체 비용의 40% 수준</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 지하수량의 확보여부에 좌우되나 전체 비용의 25% 수준</li> </ul>
비고	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 지하수 이용 열펌프 시스템은 토양 이용 열펌프 시스템에 비해 설치 면적이 감소하고 천공개수가 줄어 투자비가 감소하는 면은 있으나, 복수정의 경우 사용 지하수를 재 입수시키는 배수정 설치에 대한 기술적 know-how와 양수량에 대한 사전 점검 필수</li> </ul>	



(나선형 수중 열교환기)

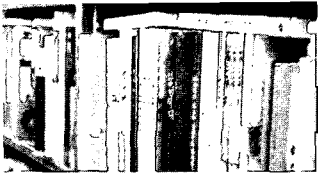


(슬림짐)

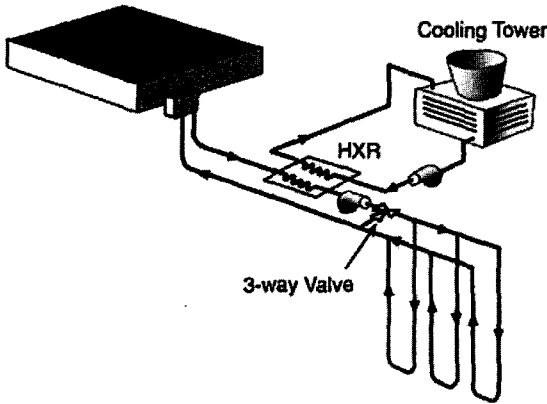


[그림 13] 지표수 이용 개방형 시스템

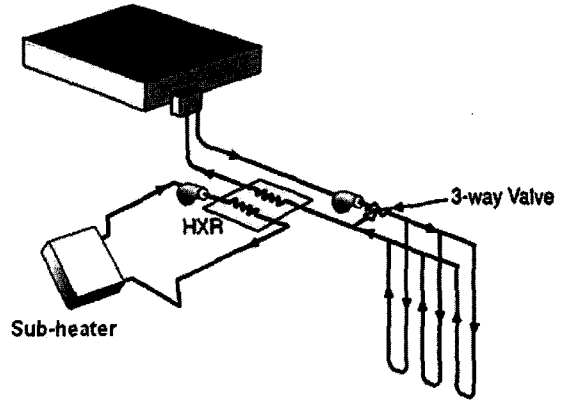
[그림 12] 지표수 이용 밀폐형 열펌프 시스템



## 일반원고



[그림 14] 냉각탑 이용 하이브리드 시스템



[그림 15] 보조열원 이용 하이브리드 시스템

### 2.4 복합 지열원 열펌프 시스템 (Hybrid Ground Source Heat Pump System)

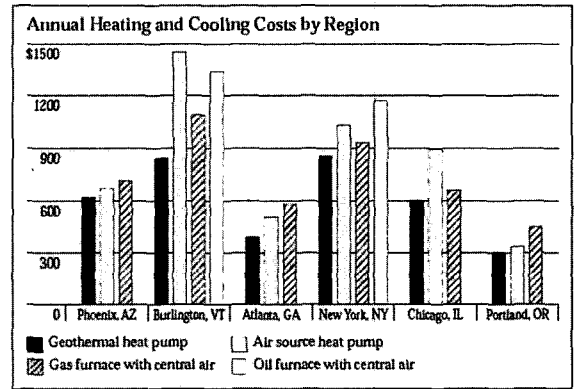
일반적인 토양 이용 열펌프 시스템은 지중 열교환기 설치를 위한 부지와 설치비용 면에서 제약을 받는다. 이러한 단점을 보완하기 위해 복합 지열원 열펌프 시스템이 도입되었다. 이 시스템은 피크 부하시 냉각탑이나 보조열원을 사용하여 지중 열교환기의 길이 및 갯수 등을 줄일 수 있다.

그림 14는 냉각탑(cooling tower)과 판형 열교환기를 수직형 토양 이용 열펌프 시스템에 연결한 시스템을 나타내고 있다. 일정한 수준의 부하는 지중 열교환기를 이용하고, 설정 부하를 넘어서는 부하에 대해서는 냉각탑을 이용하여 동시에 사용하게 된다. 또한 난방시에는 지열원 열펌프 시스템에 일반적인 난방설비에 주로 사용되는 보일러 또는 태양열 집열판등을 추가로 설치하여 보조열원으로 사용한다. 그림 15는 보조 열원을 이용한 복합 지열원 열펌프 시스템을 나타낸 것이다.

## 3. 지열 시스템의 방식별 설계 특징

### 3.1 지열 열펌프 시스템의 비용 분석

현재 국내에서 운영 중인 지열원 시스템에 대한 연간 운전 및 유지비용에 대한 합리적인 데이터



[그림 16] 열원별 에너지 비용 비교

를 확보하지 못하고 있는 실정이다. 이는 지역마다 에너지 가격이 다르며, 다양한 시스템이 운전되고 있는 외국도 유사한 실정이다.

미국의 환경보호청(Environment Protection Agency, EPA)은 현존하는 냉난방 기술 중에서 가장 에너지 효율적이고, 환경 친화적이며, 비용 효과가 높은 공기조화 시스템으로 지열원 열펌프 시스템을 예로 들고 있다. 실제로 공기 열원 열펌프 시스템에 비해 44%까지 그리고 냉난방시 에어컨과 전열기를 이용하는 경우와 비교하면 72%까지 에너지 소비를 절감할 수 있다고 보고 하였다.

그림 16은 미국에서 GSHP 시스템과 기존 공조 시스템의 열원별 연간 냉난방 비용을 비교한 그

림이다. 지역에 따라 다소 차이는 있지만 전체적으로 GSHP 시스템의 비용이 가장 낮은 것을 알 수 있다.

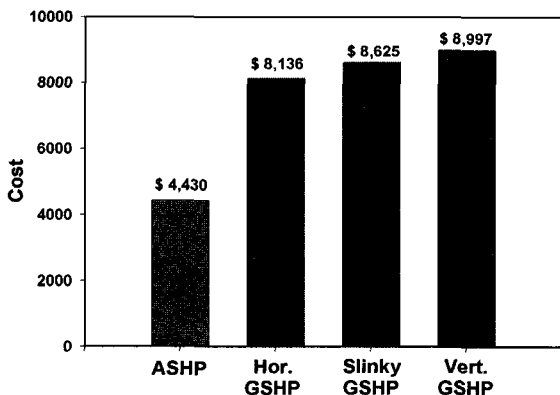
기존 냉난방 설비와는 달리 GSHP 시스템은 별도의 에너지 소비 없이 급탕을 할 수 있다. GSHP 시스템은 열펌프의 압축기 구동에 의한 과잉의 열을 보조장치(desuperheater)를 이용하여 급탕 탱크로 보낸다. 여름철 급탕은 별도의 비용이 소요되지 않으며, 겨울철에는 기존 냉난방 설비의 약 50%의 비용으로 급탕을 할 수 있다.

### 3.1.1 GSHP 시스템 설치 비용분석

GSHP 시스템의 높은 설치비용은 보급확대의 장애가 되고 있다. 이러한 초기설치비의 과다는 GSHP 시스템의 지중 열교환기 설치로 인해 발생된다. 그 이외의 비용으로는 GSHP 시스템의 열펌프 유닛, 부대비용 그리고 내부시설 설치비용 등을 들 수 있다.

<표 2> 설치비용의 구성비율

Ground loop	27.2% ~ 34.2%
Heat pump	27.3% ~ 30.2%
Indoor installation	19.2% ~ 21.1%
Ductwork	13.5% ~ 14.5%
Pumps	6.2% ~ 6.9%



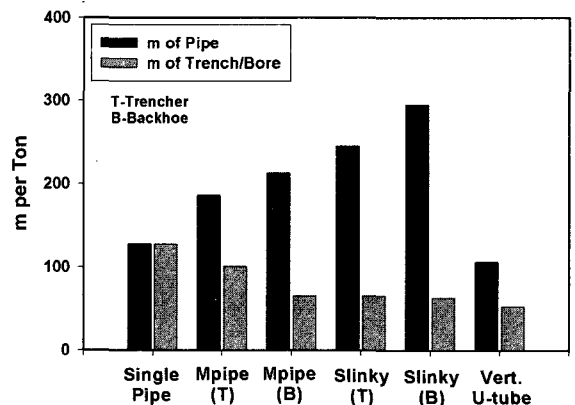
[그림 17] 열원별 초기 투자비 비교

NRECA(National Rural Electric Cooperative Association) Market Research에 따르면 \$2,360/ton(5 ton 수평형)에서 \$3,000/ton(3 ton 수직형)의 비용이 소요되며 기타 부대비용으로는 \$1,250~\$1,550 정도의 비용이 필요한 것으로 조사되었다. 표 2는 설치비용의 구성 비율을 나타낸 것이다.

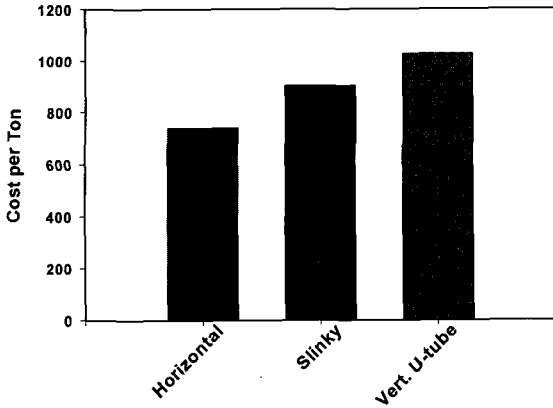
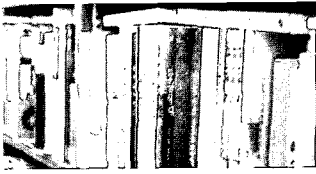
그림 17은 여러 가지 형태별 초기투자비를 비교한 그래프이다. 그림에서 알 수 있듯이 지열원 방식은 공기열원 방식에 비해 대략 2배 정도의 초기 투자비를 필요로 한다.

그림 18은 지중 열교환기 설치 방식에 따라 지중 열교환 파이프의 사용 길이를 나타낸 것이다. 수평형의 경우 평균적으로 단일 파이프를 적용하였을 경우 127 m/ton, 다중의 지중 열교환기를 옆으로 설치하여 적용하면 101 m/ton 그리고 트렌치를 이용하여 묻는 깊이를 서로 다르게 사용하면 66m/ton의 파이프를 사용하는 것을 알 수 있다. 또한 슬링키형은 땅에 눕혀 시공하면 295 m/ton의 파이프를 사용하는 반면 슬링키를 세워 시공하면 245 m/ton의 파이프 사용량을 보이고 있다.

수직형은 단일 지중열교환기의 경우 전체 파이프 사용량은 106 m/ton로 가장 적은 사용량을 보이고 있다.



[그림 18] 지중 열교환기 방식별 파이프 사용량



[그림 19] 방식별 초기 설치 비용

그림 19는 설치 용량 3 ton을 기준으로 하여, 3/4in HDPE파이프를 사용하였을 때의 방식별 설치비용으로, 수평형은 \$741/ton, 슬링키형은 \$904/ton, 수직형은 \$1,028/ton을 나타낸 그래프이다.

#### 4. 결론

최근의 에너지 위기 및 환경보호 측면에서 지열을 이용한 냉난방 시스템에 대한 관심이 고조되고 있는 실정이다. 앞서서도 살펴본 바와 같이 기존 시스템 대비 에너지 이용 효율이 20~70%나 더 높고 프레온가스나 이산화탄소의 발생이 전혀 없는 환경친화적인 지열에 대한 연구와 실용화는 갈수록 증대될 것으로 예상된다. 정부도 에너지관리공단을 중심으로 관련 기관에 많은 시설비와 연구비를 투입하고 있으며, 시공기업도 급격히 증가하고 있다. 또한 각급 학교나 공공시설 등에서 지열 설비에 대한 문의 및 투자상담이 활발하며 최근 에너지전시회에서 보여준 지열에 대한 관심은 향후 이 분야에 대한 활성화를 기대할 수 있을 것이다.

본고에서는 미활용 저급 에너지인 지열의 효과적인 활용을 위해 여러 가지 지열 시스템의 방식에 대해 고찰하였다. 건물의 용도와 부하, 설치하

고자 하는 위치에 따라 최적의 방식을 선정하기 위해 지질 및 지형조사 등 선행연구가 필수적이다. 지열 시스템의 근본적인 장애 요소인 초기투자비의 회수기간을 포함한 운영비와 에너지 절감량 등을 면밀히 검토하여 시공하면 타열원에 비해 경제적 그리고 기술적 우위를 확보 할 수 있다.

#### 참고 문헌

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. ORNL/DOE, 2001, Saving from the world's largest installation of geothermal heat pump at Fort Polk,
5. NRECA/OSU, 1998, Closed-loop ground source heat pump systems installation guide, NRECA research project 86-1, Washington D.C.
6. NRECA/OSU, 1998, Closed-loop ground source heat pump systems—Slinky installation guide, Rural Electric Research project 86-1, Palo Alto, California.
7. Rafferty, K., 2000, Design aspects of commercial open-loop heat pump systems, Geo-heat center, Oregon institute of Technology, Klamath Falls, OR.



8. Rafferty, K., 1998, Heat exchangers, Geothermal direct use engineering and design guidebook, 3rd Ed., GHC, Oregon Institute of Technology, Klamath Falls, OR.
9. ORNL/DOE, 2001, Assessment of hybrid geothermal heat pump system: geothermal heat pumps offer attractive choice for space conditioning and water heating.
10. Best, D., 1998, Ground-coupled heat pumps in a large residential installation, IEA Heat Pump Center Newsletter. Vol. 16, No. 1,
11. DOE, 1998, Geothermal heat pumps, DOE/GO-10098-652, FS 105 Department of Energy, Washington D.C.
12. 함효준, 1998, 경제성 공학, 동현출판사
13. Steve Kavanaugh, Cost containment for ground-source heat pumps, Alabama University-TVA Research Consortium. Tuscaloosa, AL.
14. Lim H. J., Song Y. S., Kong H. J. and Park S. K., 2004, Performance evaluation and economic estimation of Ground source heat pump cooling and heating system, Energy Engg. J., Vol. 13, No. 4, 