

지열에너지의 냉난방용 이용 현황 및 활용 방안

조정식 / 한국건설기술연구원 기전연구실 선임연구원

본고는 연중 비교적 일정한 온도를 유지하는 지열을 동절기에 회수하여 난방용으로 사용하고, 하절기에는 실내에서 흡수된 열을 방열하는 열침으로 활용할 수 있는 에너지절약시스템으로의 이용 현황 및 활용 방안에 대하여 기술한 내용이다.

머리말

지구에 축적된 막대한 양의 에너지 중에서 지표면으로부터 일정한 깊이 이하의 토양이 보유하고 있는 열에너지(이하 '지열')는 아직까지 미이용에너지로 남아있다.

외국에서는 비교적 저급에너지이면서 연중 일정한 온도를 유지하는 토양이 갖는 지열을 열원으로 하는 열펌프 시스템의 개발을 적극적으로 추진하여 에너지절약형 냉·난방 시스템을 활발하게 보급하고 있다.

본고에서는 연중 비교적 일정한 온도를 유지하는 지열을 동절기에 회수하여 난방용으로 사용하고, 하절기에는 실내에서 흡수된 열을 방열하는 열침(Heat Sink)으로 활용할 수 있는 에너지절약 시스템으로의 이용현황 및 활용방안에 대하여 기술하고자 한다.

지열에너지의 이용특성

지구내부에 축적된 막대한 양의 열에너지인 지열을 이용하기 위하여 지중에 파이프를 매설하고, 이 파이프 내에 熱媒를 순환시킴으로써 겨울철에는 토양이 갖고 있는 열을 채취하여 열

펌프시스템의 열원으로 이용하고, 여름철에는 토양에 열을 방열시켜 지중에 열을 축열하는 시스템을 구성하는 것이 가능하다.

현재, 미국뿐만 아니라 스웨덴에서는 이러한 지열을 이용한 열펌프시스템을 활발하게 사용하고 있으며, 또한 일본에서도 꾸준히 개발하고 있고, 특히 건설회사의 연구소와 대학에서도 연구 및 실험이 실시되고 있다.

지열이 열원으로서 우수한 점은 온도가 비교적 안정되어 있고, 열교환기 표면에서의 除霜이 불필요하며, 소음이 비교적 적다는 것을 들 수 있다. 열펌프에 의한 토양의 온도강화에 대해서는 지나치게 열을 끌어오지 않는 한 일반적으로 문제가 없다.

한편 열원으로서의 결점은 넓은 지표면적을 필요로 하고, 배관을 매설하기 위한 경비가 많이 든다는 점과 배관계로부터 냉매의 누설에 대한 대응이 곤란하다는 점 등을 들 수 있다.

그러나 地熱源이용 열펌프는 일반적으로 아직 냉난방 겸용형으로 활발하게 사용되지 못하고 있다. 그 이유는 냉방시 토양에 대한 방열이

토양을 건조시키고 이것이 토양의 열전도 성능을 심하게 감소시켜 결과적으로 토양으로서의 裨熱을 곤란하게 한다는 점이다.

지열에너지의 이용현황

지열원 열펌프는 북미와 유럽에서 주택을 중심으로 특히 많이 이용되고 있다. 북미의 경우에 1985~1986년도에 설치된 지열원 열펌프의 수는 1,500개에서 15,000개 정도에 이르고, 사무소 건물에서 633kW의 열펌프 용량을 갖는 시스템이 최대 규모이며, 그 설치비용은 3RT, 180m 수직 파이프 시스템을 기준으로 \$ 4,500~6,500 정도가 소요된다.

[표]는 외국에서 실용화된 지중 매설파이프의 체열능력을 나타낸 것으로 보통 20~40W/m가 일반적이며, 체열방식도 熱媒의 직접 순환방식과 간접 열교환방식이 각각 연구되고 있다.

국명	열부하	깊이	파이프직경	파이프길이	체열능력
	[kW]	[m]	[cm]	[m]	[W/m]
덴마크	-	0.5~105	4.0	-	17~20
	9.6	12~20	1.6	210	-
	-	-	-	160	-
스웨덴	10.0	0.7~10.7	5.0	370	17.5
	760.0	35	1.6	28,500	-
네덜란드	18.0	1~11	4.0	300	-
	21.0	40~100	9.0	275	29~38
	-	0~10	2.0	10	40
	240.0	1.5~21.5	5.0	2,400	-
	220.0	0.1~10.0	5.0	1,400	-
	850.0	20	2.0	7,200	-
캐나다	-	12	2.5	128	-
영국	-	8	9.5	16	32~50

일본의 경우, 大林組기술(연)의 시스템은 지중매설 파이프의 길이가 1,200m, 체열능력은 16~20kcal/mh에 달하며, 일본 최대의 규모인 동경의 리조트호텔에 도입한 예를 들 수 있는데, 이들은 지열이용 시스템을 채용한 이유는 겨울철 석유확보의 문제, 사용수의 제한, 염해의 방지 및 청결한 운전 등에 있었으며, 다소 추가공사가 있었지만 운전은 순조롭게 진행되고 있다.

또한, 北海道大學에서 지열원 열펌프 시스템에 관한 연구를 통해, 교내에 파이프의 외경

27mm, 내경 23mm, 전체 매설길이 60m, 부동액의 순환유량은 4ℓ/min인 스파이럴형 매설관을 지중깊이 1.0~1.8m에 수평으로 설치하고, 2년간에 걸쳐 체열온도와 토양온도의 추이 및 열펌프의 성능계수 등을 실측하고 실험한 결과, 난방열원으로서의 이용가능성을 밝혔다.

미국에서는 Tennessee 대학의 Tech House에 地熱源 열펌프 시스템을 설치하여 1983~1984년까지 냉난방 실험을 하였다. 열유속, 전력소비, 토양의 온도변화, 시스템의 온도를 측정하고 성능계수를 측정한 결과, 난방성능계수는 전형적인 공기-공기 시스템보다 다소 높은 수치를 얻었지만, 냉방성능계수는 공기-공기 시스템보다 상당히 낮았다. 냉방실험에서 이렇게 낮은 성능계수가 얻어진 이유는 지중 코일 매설시 뒤채움(Backfilling)을 제대로 행하지 않았거나, 토양이 건조하였고 지중 코일이 짧음으로 인해 발생한 것으로 판단된다.

따라서, 냉방모드에서의 성능을 향상시키기 위해서는 보다 효율적인 열펌프시스템의 이용과 뒤채움(Backfilling) 과정을 통하여 지중 열교환기의 성능을 향상시키거나, 지중 매설파이프 표면적을 증가시키거나 또는 주변에 있는 토양의 수분함유량을 증가시키는 방안이 연구되어야 할 것이다.

또한 스웨덴에서는 난방용 열펌프수가 급증하고 있으며, 가장 추운날(스웨덴 남부지방: -16℃) 지역난방 시스템의 경우 120/70℃이다. 실질적으로 스웨덴에서의 모든 열펌프는 동절기에 난방을 하기 위하여 사용되고, 하절기에 냉방을 하기 위하여는 거의 사용되지 않는다.

이와 같이 선진 외국에서는 지열을 회수하여 유효하게 활용하기 위한 연구가 매우 활발하게 진행되고 있고, 특히 미국에서는 주택건설의 초기단계에서 열펌프 설비를 갖추는 경우도 있으며, 이 때의 열원은 주로 지열을 대상으로 하고 있다. 이들 시설에는 고밀도의 열축조를 설치하거나 심야전기를 이용하여 축열시켜 사용하는 경우가 보편화되어 있다.

선진국의 활발한 열펌프 시스템의 보급 및 관련기술개발 현황에 비하여 아직까지 국내에서는 이에 대한 연구가 매우 저조한 실정이다. 다만, 본 연구원에서는 상기와 같은 지열에너지의 이용 및 활용 가능성을 확인하고자 연구를 수행하고 있는 실정이다.

지열에너지 활용방안

[1] 지열이용 열교환기의 설계방안

지중 매설파이프를 이용한 축열 및 채열 열교환기는 매설방식별로 나누면 크게 수평매설방식과 수직매설방식으로 구분할 수 있으며, 각각은 기하학적 구조, 설치방법, 사용자재 및 순환유체 등에 따라서 그 형태가 달라진다.

우선, 수평매설방식을 살펴보면, 지하 0.5~2.5m 정도의 깊이에 지표면과 평행하게 파이프를 매설하는 것으로 20~50mm의 원형단편 PVC나 금속제 파이프가 주로 사용된다. 또한 매설코일의 간격은 보통 0.6~2.5m정도까지 가능하며, 최근에는 벨기에와 미국에서 2중층을 설치하는 경우도 있다.

이러한 방식의 지중 열교환기의 설치에 비교적 간편하여 설치비용이 절감되는 이점이 있는 반면에 지열의 이용측면에서는 불리하며, 넓은 설치면적이 필요하다는 제약적인 요소가 있다.

적용실험에 따른 문헌에 의하면, 이와 같은 수평매설방식의 지열 축열량은 매설파이프의 길이에 따라 10~75W/m 정도로, 그 평균은 17W/m 정도가 되며, 파이프 표면적에 따라서는 40~225W/m² 정도인 경우도 있다.

다음으로, 수직매설방식은 지표면과 수직인 방향으로 매설하는 형태로서, 보통 지하 10m 정도까지 매설하는 Sallow Type과 지하 10m 이상 약 100m 정도까지 매설하는 Deep Type으로 나눌 수 있다. 이 방식은 비교적 양질의 지열에너지를 이용할 수 있고, 설치면적도 적게 든다는 장점이 있는 반면에 지하 심도가 깊기 때문에 설치에 제약 사항이 있으며, 또한 설치경비도 비교적 많이 소요된다.

수직매설방식에서의 지열채열량은 보통 파이

프 단위깊이당 20W 정도, 파이프 단위표면적당 살펴보면 48~227W정도로 알려져 있다.

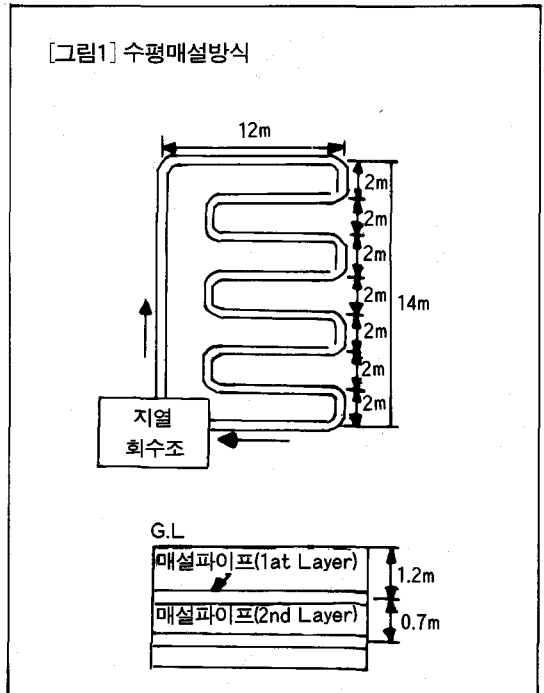
또한, 지중 매설파이프에 열매체를 직접 순환시키는 직행식과 순환수에 의해 간접 열교환시키는 간접식의 두가지 방식에 따라 적용성이 달라질 수 있다.

[2] 지열이용 열교환기의 설치방안

지열에너지를 건물의 냉난방용으로 이용하기 위하여 실제로 본연구원의 연구 실험을 통하여 수행하고 있는 설치방안을 중심으로 기술하여 보면 다음과 같다.

수평매설일 경우[그림 1]에서 보인 바와 같이 동과 PVC 파이프의 길이를 각각 10m, 12m로 제작한 후 지하 1.9m 깊이로 굴삭하고, 각각의 길이로 제작된 동과 PVC 파이프를 설치한다. PVC 파이프의 경우 굽어진 부분은 기밀성이 유지되는 엘보우를 이용하여 연결시키며, 동과 이프는 용접을 하고, 수평매설은 2중층(Double Layer)으로 하여 효과를 가중시키도록 한다.

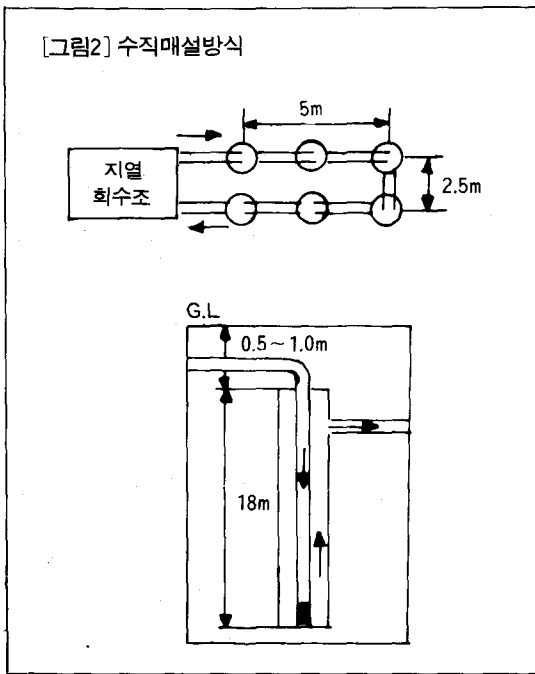
지하 1.9m 깊이와 1.2m 깊이의 설치작업이 완료된 후 지표로부터 0.5m 되는 깊이까지 매립한 후 파이프의 동파를 방지하기 위해 보온섬



유를 덮어준 후 마무리작업을 실시한다.

또한, 지하 1.2m, 1.9m 깊이에 매설된 동파이프의 전열효과를 증대시키기 위해서 60cm × 25cm 정도의 동핀(Copper Fin)을 동파이프 밑에 일정한 간격으로 부착시킨다.

다음으로, 수평매설보다 지중코일에 대한 면적을 적게 차지하고, 지열에너지의 이용면에 유리한 수직매설의 경우 18m 깊이의 6개 각 홀에 들어가는 파이프중 내부 파이프의 하단에는 유체가 흐를 수 있도록 같은 면적의 홀을 가공하고, 외부 파이프의 상단에는 다음홀에 설치된 파이프로 유체가 흐를 수 있도록 T 이음관을 연결시키며, 외부 파이프의 상단부에 있는 캡에는 내부파이프가 들어 갈 수 있도록 홀을 가공한다.<그림2참조>



이러한 작업이 완료된 후, 10m × 8m 정도의 면적을 지표로부터 1m 깊이까지 굴삭을 한 후, 보링기계를 이용하여 지하 18m까지 파이프가 들어갈 수 있도록 보링작업을 완료한 다음에는 보링홀의 붕괴가 우려되기 때문에 바로 길이가 6m인 파이프를 홀안에 삽입시키며, 다음에 연결되는 파이프와 용접을 용이하게 하기 위해 삽

입된 파이프의 상단부를 보링기계로 고정시키고, 연결 파이프를 수직으로 세워 내부 파이프를 용접한 후에 외부의 파이프를 용접하는 순서로 수행한다.

지중매설 파이프와 토양과의 원활한 열전달을 위해서는 매설파이프의 바깥표면과 보링 홀의 틈새를 충분히 채워야 하며, 이 때 사용되는 재료는 열전도율이 높은 재료가 되어야 한다. 보통, 이러한 목적으로 사용되는 것이 벤토나이트(Bentonite)이며, 열전달 성능을 향상시킬 뿐만 아니라 지반 안정제의 역할까지도 수행하게 된다.

따라서, 물과 벤토나이트 가루를 교반기에 넣고 충분히 희석시켜, 적정 粘度를 유지한 다음, 주입구의 호스를 통하여 수직매설 파이프 주위의 공간을 채운다.

수직매설 파이프의 설치가 완료된 다음에 각각의 수직매설 파이프에 유체가 흐를 수 있도록 연결작업을 하며, 지표면과 가까운 연결용 파이프에는 겨울철에 동파되는 일이 없도록 보온재로 덮개를 씌워 충분히 보온을 실시한다.

맺음말

대부분 거의 모든 에너지를 수입에 의존하고 있는 상황과 최근의 에너지 사용량의 증가 추세에 비추어 볼 때, 에너지원의 자급을 위해서는 무한한 에너지원이라 할 수 있는 토양이 갖는 지열 에너지에 관심을 가져야 한다.

특히, 유럽이나 북미 및 일본 등을 비롯한 선진외국에서는 오래전부터 이와 같은 지열의 이용에 대한 가능성을 확인하고, 실용화에 박차를 가하고 있다.

국내에서도 이러한 지열을 활용하기 위한 방안으로 그 유효 이용 가능성을 확인하기 위하여 지열에너지의 이용특성 및 이용현황, 그리고 연구실험을 통한 효과적인 활용방안을 제시하였다.

향후 지열 에너지의 실용화를 위한 이론적 및 실험적 결과를 바탕으로 활발한 연구가 계속적으로 뒤따라야 할 것이다.