

## 지열에너지의 유효이용을 위한 고찰

### Overview for the Effective Use of Geothermal Energy

신 현 준  
H. J. Shin



· 1953년생  
· 에너지 절약 및 공기조화 설비와 환경플랜트 설비의 최적화 등에 관심을 가지고 있다.

안 철 홍  
C. H. Ahn



· 1965년생  
· 열펌프 및 에너지절약분야 등에 관심을 가지고 있다.

조 정 식  
C. S. Cho



· 1958년생  
· 지하공간 환기 및 지열에너지 이용분야에 관심을 가지고 있다.

#### 1. 서 론

지구의 탄생이래 생성·축적된 막대한 양의 에너지 중에서 지표면으로 부터 일정한 깊이 이하의 토양이 보유하고 있는 열에너지(이하 '지열')는 개발의 여지가 있으나 아직까지 미이용에너지로 남아 있다.

이와 같은 지열에너지는 산업의 고도화와 함께 생활수준이 향상됨에 따라 화석에너지의 소비량이 급격히 증가하면서 발생하는 오염물질에 의한 환경오염을 방지하고 에너지자원을 절약하기 위해서 매우 유용한 에너지원이 될 수도 있다.

특히, '70년대에 겪었던 두차례의 에너지

위기를 기점으로 에너지 절약기술에 대한 관심이 높아지고, 최근들어 환경오염에 대한 인식이 새롭게 부각되면서 청정에너지라고 할 수 있는 지열에너지의 이용에 대해 깊은 관심을 끌게 되었다.

외국에서는 비교적 저급에너지이면서 연중 일정한 온도를 유지하는 토양이 갖는 지열을 열원으로하는 열펌프 시스템의 개발을 적극적으로 추진하여 에너지 절약형 냉·난방 시스템을 활발하게 보급하고 있다.

이에 본 연구에서는 연중 비교적 일정한 온도를 유지하는 지열을 동절기에 회수하여 난방용으로 사용하고, 하절기에는 실내에서 흡수된 열을 방열하는 열침(Heat Sink)으

로 활용할 수 있는 냉방 시스템의 보급실태를 조사하고, 이를 토대로하여 국내에서의 보급 가능성을 검토하므로 중소기업의 건물·사업용 건물 및 주택단지·단독주택 등에 대한 새로운 에너지절약 시스템으로의 보급 가능성을 확인하고자 한다.

## 2. 지열에너지의 이용 현황

### 2.1 지열에너지의 이용사례

지열원 열펌프는 주택을 중심으로 북미와 유럽에서 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 규모로 되며, 그 설치비용은 3RT, 180m 수직 파이프 시스템을 기준으로 4,500~6,500\$ 정도가 소요된다.

표 1 유럽의 지열원 열펌프의 설치현황

국 명	설치수	최종 조사 연도	지열원 히트펌프 점유비율 (%)	비고
오스트리아	150	1986	10	
벨기에	10이하			
덴마크	13,000	1986	35	
아이슬란드	10이하			
핀란드	9,000			
프랑스	9,000	1986	20	
독일	5,000	1984	10	
네델란드	100이하			
노르웨이	3,000	1985		
스페인	10이하			
스웨덴	38,000	1986	30	

표 2 외국의 지중코일의 채열능력

국 명	열부하 [kW]	깊이 [m]	파이프직경 [cm]	파이프길이 [m]	채열능력 [W/m]
덴마크	-	0.5~10.5	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	-
네델란드	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	40
영국	-	8	9.5	16	32~50
독일	-	1~11	2.8	300	47
	14.5	1.5~6.5	4.0	100	-
	-	1~49	6.0	192	65~100

유럽에서는 표 1에 나타난 바와 같이, 80,000건 정도에 이르고 있으며, 지열원 열펌프는 전체 열펌프 시장의 10~35%를 차지할 정도로 상당히 높은 시장 점유율을 보이고 있다.

표 2는 외국에서 실용화된 지중코일의 채열 능력을 나타낸 것으로, 보통 20~40w/m가 일반적이며, 채열방식도 직팽코일 순환 방식과 간접 열교환방식이 각각 연구되고 있다. 지중에 파이프를 경제적으로 매설하는 매설기에 대한 연구도 진행되고 있으며, 매설기의 연구는 지열원 열펌프의 보급을 좌우한다.

이외에 태양열과 결합시킨 일본의 大林組 기술연구소 본관의 시스템은 코일길이가 1,200m, 채열능력은 16~20kcal/m·h이며, 일본에서 최대규모의 지열원 열펌프시스템은 동경의 리조트호텔에 도입한 예를 들 수 있다. 열펌프시스템은 30HP×10대이며, 파이프 전체길이는 7,904m로서, 깊이 13m인 구멍 152개로 구성되어 있고, 1개의 구멍에 U자관을 각각 2Set씩 설치하였다.

이를 채용한 이유는 겨울철에 석유확보의 문제, 사용수의 제한, 염해의 방지 및 청결한 운전 등에 있었으며, 다소 추가공사가 있었지만 운전은 순조롭게 진행되고 있다.

### 2.2 연구현황

일본, 미국, 스웨덴에서의 토양열원 히트펌프 시스템에 대한 연구사례를 정리해보면

다음과 같다.

#### 2.2.1 일본

日本 北海道大學工學部の 長野克則 교수는 토양열원 히트펌프 시스템에 관해 연구하였다. 교내에 파이프의 외경  $\phi$  27mm, 내경  $\phi$  23mm, 전체매설길이 60m, 부동액의 순환유량은 4ℓ/min인 스파이럴형 매설관(피치인 수치를 다르게 하여 설치)을 지중 깊이 1.0~1.8m에 수평으로 설치하고 2년간에 걸쳐 실험을 하였다. 실험 첫 해에는 장기간에 걸쳐 매설관의 형상 및 피치의 폭이 채열량에 미치는 영향과 채열의 가능성을 검토하고, 채열 종료후에는 자연상태 그대로의 토양에 히트펌프의 채열부를 접속시켜 난방실험을 하였다. 실험방법에 대해 간략히 설명하면, 히트펌프의 운전은 심야 전력 시간대에 당일의 난방부하 열량을 축열(30℃→35℃,  $\Delta T=5^\circ\text{C}$ )하는 것으로 하고, 하루 적산 열출력이 예정된 하루 공급 열량에 도달하는 시점에서 운전을 정지시키는 방법으로 하였다. 동절기에 5개월간 히트펌프를 운전하여 채열온도와 토양온도의 추이 및 히트펌프의 성능계수 등을 실측하고, 난방 열원으로서의 이용가능성을 밝혔다.

'92. 12. 5~'93. 5. 28까지 난방실험을 한 결과 운전초기에는 COP가 2.6이었으며, 2월 중순 이후에는 2.3~2.4였다. 이와 같이 난방실험중에 얻은 채열량, 열출력의 평균치와 적산치 및 기간성능계수를 분류하여 정리하면 표 3과 같다.

표 3 채열량, 열출력의 평균치와 적산치 및 기간성능계수

	히트펌프 운전시간	채 열 량	열 출 력	전력소비량		성능계수	
				압축기동력	부동액순환 펌프동력	COP	COP'
평균치	5.9h/d	137.5W/m	5.45KW	2.29kW	0.12KW	2.38	2.26
적산치	1038h	10526MJ	20318MJ	8553MJ	437MJ	-	-

주 : COP = 열출력/압축기동력전력소비량

COP' = 열출력/(압축기동력전력소비량+부동액순환펌프전력소비량)

수평형 매설관을 토양에 설치하여 2년간에 걸쳐 채열실험과 히트펌프를 접속시켜 난방실험을 한 결과는 현열이동에 의한 단기간의 실험에서는 7일 이후 채열량이 50~60W/m였으며, 매설관의 형상 및 피치폭에 의한 매설밀도가 채열량에 미치는 영향은 작다는 것을 밝혔다. 또한 채열 종료 후 토양온도는 자연방치에 의해 다음 난방개시시기까지 자연온도 레벨까지 거의 회복되었고, 토양 온도 레벨을 회복시키기위해 하절기에 인위적인 축열을 필요로하지 않는다는 것을 실험을 통해 밝혔다.

지중 열교환기와 히트펌프를 접속하여 5개월간에 걸쳐 난방실험을 한 결과 난방부하가 최대가 되는 혹한기에는 장시간 안정된 난방운전이 가능하다는 것을 밝혀냈으며, 이러한 실험 조건 상태에서 실험기간중 평균채열온도는  $-1.6^{\circ}\text{C}$ , 기간 평균 COP는 2.38이었다.

### 2.2.2 미국

Tennessee 대학의 TECH house에 토양열원 히트펌프 시스템을 설치하여 1983~1984년까지 냉난방실험을 하였다. 열유속, 전력소비, 토양의 온도변화, 시스템의 온도를 측정하고 성능계수를 측정한 결과 난방성능계수는 2.6으로 전형적인 공기-공기 시스템보다 다소 높은 수치를 얻었지만, 냉방성능계수는 1.1로 공기-공기 시스템보다 상당히 낮게 나왔다. 냉방실험에서 이렇게 낮은 성능 계수가 얻어진 이유는 지중 코일 매설시 Backfilling을 제대로 행하지 않았거나, 토양이 건조하거나 지중 코일이 짧음으로 인해 발생되었다고 판단된다. 실험에 사용된 토양열원 히트펌프 시스템의 제원은 히트펌프의 가열 용량은 10kW, 히트펌프의 냉각용량은 7.5kW, 전체매설길이는 213m, 매설간격은 1.8m였고, 토양성분은 85%의 진흙과 침적토, 15%의 모래로 되어 있다. 또한 소량의 부식 방지제를 첨가했으며, 각 루프의 유량은  $2.5\text{m}^3/\text{h}$ 로 하였다. 이와 같은 시스템을 설치하는데 \$5,290이 소요되

었다.

난방실험의 경우 가열 모드에서 수평 토양 열원 히트펌프 시스템의 성능을 1983. 11~1984. 3까지 측정하였다.

토양열원 히트펌프 시스템은 전형적인 공기-공기 히트펌프 시스템에서 요구하는 예비전원 없이 열을 필요로하는 공간에 열을 공급하였다. 이때 전체 전력소비는 압축기가 전체전력소비의 75%를 Blower가 15%, 펌프가 10%를 차지하였다.

이와 같은 실험을 통해 얻은 결과는 2.59의 난방성능계수를 얻을 수 있었으며, 달이 바뀔수록 약간 감소함을 볼 수 있었는데 이는 지중 코일 주변의 지중온도와 습도가 동절기 동안 변화하기 때문이다.

냉방실험은 1983. 6~9까지 측정하였다. 측정된 냉방실험의 성능계수는 1.1로 상당히 낮은 값이 얻어졌다. 실험기간중 전력소비는 압축기가 80%, 팬이 12%, 펌프가 8%였다.

입구측 브라인 온도는  $29^{\circ}\text{C}$  이상 증가하였으며, 시스템가동 시간은 심야에는 정지시키고 낮시간 동안 가동시켰다. 본 실험에서 사용하고 있는 지중코일의 표면온도는  $15^{\circ}\text{C}$ 였다.

냉방성능계수가 낮은 이유는 지중 열교환기의 저성능과 히트펌프 시스템이 우선적으로 가열모드에서만 높은 성능을 발휘할 수 있도록 설계되어 있기 때문이다.

냉방모드에서의 성능을 향상시키기 위해서는 좀더 효율적인 히트펌프의 이용과 Backfilling 과정을 통한 지중 열교환기의 성능향상과 코일 표면적의 증가, 코일 주변에 있는 토양의 수분함유량의 증가에 의해 달성할 수 있다.

### 2.2.3 스웨덴

Chalmers 공업대학의 열동력기술과의 T. Berntsson 교수는 태양열 집열기를 이용한 것과 Wind Convectore를 이용하는 시스템에 대해 연구하였다. 이 보고서는 스웨덴에서 히트펌프 시스템에 대한 연구동향을 설명하

고 있다.

스웨덴에서는 난방용 히트펌프가 급증하고 있으며, 가장 추운날(스웨덴 남부지방:  $-16^{\circ}\text{C}$ )의 열공급 및 회수되는 온도는 다세대 주택의 경우  $55/45^{\circ}\text{C}$ , 지역난방 시스템의 경우  $120/70^{\circ}\text{C}$ 이다. 실질적으로 스웨덴에서의 모든 히트펌프는 동절기에 난방을 하기 위해 사용되고 있으며, 하절기에 냉방을 하기 위한 수요는 없다.

스웨덴에서 한가지 중요한 R&D는 크기에 따른 히트펌프의 열원이다. 소규모 시스템의 경우 단독주택은 팬을 포함한 대기 열교환기와 자연대류를 갖는 Wind Convect(자연대류), 지중에서의 수평 및 수직 파이프 등에 대해 광범위한 조사가 진행되어 왔다.

태양열원 히트펌프에 대한 관심은 주로 중간용량( $100\text{kW}\sim 1\text{MW}$ )의 시스템이다. 깊이  $10\sim 40\text{m}$ 의 수직매설 파이프는 가장 실용적이고 효과적인 지중 열교환 기술로 인정되고 있다.

스웨덴에서는 태양열 집열기, 히트펌프, 계절적으로 토양열을 채열할 수 있는 중간 크기의 난방 시스템의 실험·이론적인면에 대한 대형 R&D 프로그램을 실시하고 있다. 또한 태양열 집열기를 대신할 수 있는 Win Convect가 연구되어 왔다.

스웨덴의 Sunclay 플랜트에 태양열 집열기와 지중 열교환기 그리고 히트펌프를 갖는 완벽한 실험장치를 설치하였다. 이곳에 설치된 저온 태양열 집열기의 면적은  $1,500\text{m}^2$ 이며, 4개의 디젤구동 히트펌프, 열출력은  $98\text{kW}$ , 토양은 Wet Clay, 600개의 수직홀, 수직매설깊이는  $35\text{m}$ , 각홀에  $170\text{mm}$  간격으로 2개의 플라스틱 재질의 파이프를 삽입하였으며, 각홀의 간격은  $2\text{m}$ 이다.

디젤엔진의 경우 전체기름 소비가  $530\text{MWh}$ , 보일러의 경우  $16\text{MWh}$ 이다. 온수탱크로부터의 공급온도는  $45^{\circ}\text{C}$ 로 히트펌프의 성능계수는 3.41(3월)과 3.94(9월) 사이로 계절별 성능계수는 3.6이었다.

Utby 플랜트에 설치되어 있는 시스템은 수직매설 파이프로 중간 크기에 해당하며, 매설깊이가  $10\text{m}$ , 토양은 Wet Clay, 37개의 파이프, 히트펌프의 출력은  $10\text{KW}$ , 지붕위에 설치된 Wind Convect의 전체면적은  $163\text{m}^2$ , 파이프의 직경은  $50\text{mm}$ , 파이프 간격은  $2\text{m}$ 이다.

지중 열교환기와 집열기 용량의 올바른 결합은 히트펌프의 용량에 맞게 선택하여 태양열 집열기와 Wind Convect는 비용면에서 약간의 차가 있으며 그 이유는 태양열 집열기와 Wind Convect 사이에 온도 변화의 폭이 크기 때문에 콤팩트한 지중 열교환기 시스템을 이용해야 하기 때문에 태양열 집열기는 Wind Convect에 비해 많은 투자 비용이 요구된다.

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

선진국의 활발한 열펌프 시스템의 보급 및 관련기술개발 현황에 비하여 아직까지 국내에서는 이에대한 연구가 매우 저조한 실정이다. 특히, 주거용·중소규모 건물 등의 냉·난방용도로서의 이용과 경제성 분석에 대한 검토가 거의 없는 상태이다. 이러한 점을 감안하여 지열원 열펌프의 개발을 위해 수행된 과정에서 도출된 지열특성을 다음에 제시한다.

### 3. 지중온도 분포

지중토양은 저밀도에너지를 무한정 함유하고 있는 훌륭한 자연 축·채열재라고 할 수 있으며, 보통, 부동층 토양의 온도는 그 지방의 연중 평균온도와 비슷한 정도인 것

으로 알려져 있다.

비록, 이들 에너지는 산업용으로 이용하기에는 대부분 부적합하지만, 냉난방열원의 보조기능으로 활용하기에는 효과적인 것으로 파악되고 있다.

이에 대한 구체적인 자료를 수집하기 위하여 지표면으로 부터 지하 1.2m에서 18m 까지의 온도 분포를 측정하여 그림 1에서부터 그림 7에 걸쳐 나타내고 있다.

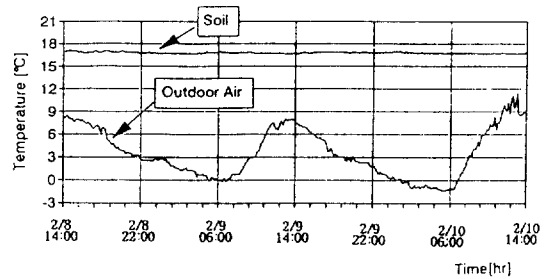


그림 4 지중 온도 분포(깊이 9m)

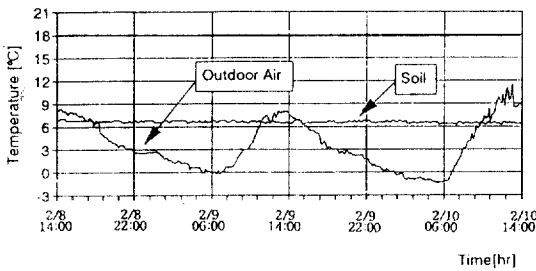


그림 1 지중 온도 분포(깊이 1.2m)

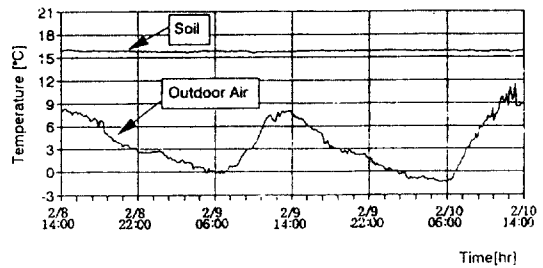


그림 5 지중 온도 분포(깊이 12m)

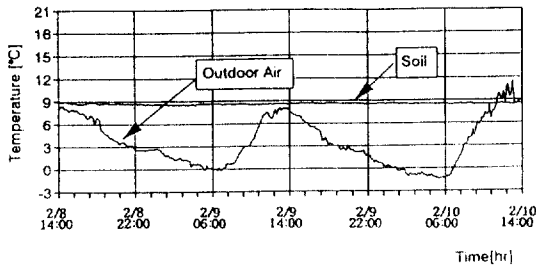


그림 2 지중 온도 분포(깊이 2m)

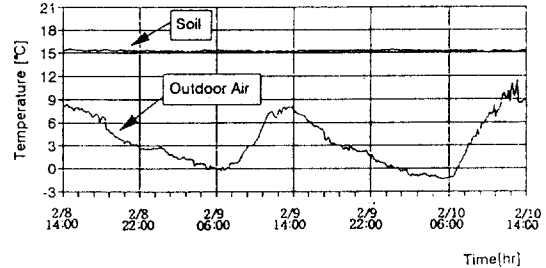


그림 6 지중 온도 분포(깊이 15m)

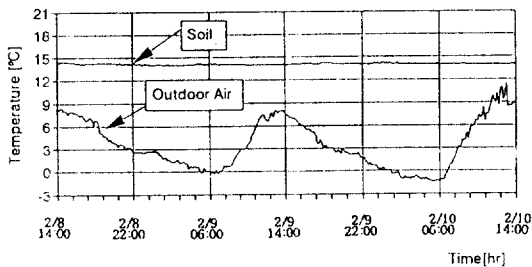


그림 3 지중 온도 분포(깊이 6m)

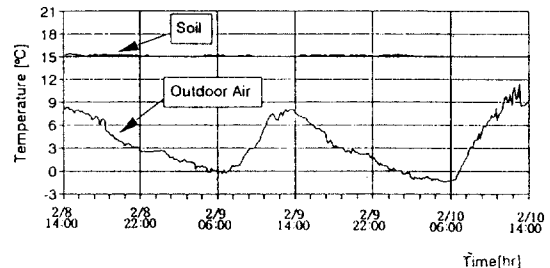


그림 7 지중 온도 분포(깊이 18m)

그림에서 알 수 있듯이, 지하 1~2m 정도 이내에서는 난방기에 7~9℃의 온도분포를 보이고 있으나, 지하 6m 이하에서는 깊이에 관계없이 14~16℃ 정도의 일정한 분포를 나타내고 있다.

따라서, 비교적 저급 에너지이지만 열펌프를 이용하면 건물에서 사용이 가능한 유효에너지로의 전환이 가능한 것으로 평가한다.

이러한 지중온도의 특성은 외기온도 분포가 변하더라도 쉽게 영향을 받지 않을 뿐만 아니라, 열펌프의 열원으로 활용한다면 안정적인 성능을 확보할 수 있어, 냉·난방열원으로 유효하게 이용할 수 있음을 의미하는 것이다.

즉, 열펌프의 열원으로서 일반적으로 사용되는 공기에 비해서 안정적이기 때문에 유리한 열펌프 시스템의 구성이 가능할 수가 있다.

#### 4. 열펌프 시스템 및 지중열교환기 성능

##### 4.1 열펌프 시스템설계 및 제작

지중열교환 코일에서 채열된 열을 열원으로 하는 열펌프 시스템의 설계를 위해서 필요 열량을 16,600[Kcal/hr]로 하였으며, 지중 매설 파이프(지중 열교환기) 입출구의 작동유체의 온도차는 대략 5℃이며, 냉매(R-22)의 증발온도는 -10℃로 하였다.

또한 20℃의 과열도와 10℃의 과냉각도를 설정하였으며, 증발기 내부에서의 변화는 10℃의 냉각수를 5℃로 降下시키는 과정에

서 냉매온도는 -10℃에서 7℃로 변화하며, 응축기 내부에서의 변화는 10℃의 응축수를 35℃로 상승시키기 위해 80℃의 냉매를 30℃로 변하는 것으로 설계하였으며, 열펌프내의 순환냉매유량은 22Kg을 주입시켰다.

위에서 언급된 조건들을 이용하여 증발기, 압축기, 응축기의 입출구 온도와 엔탈피 값을 구하여 열펌프 시스템의 열수지를 계산하였다.

열펌프 시스템은 특수한 조건의 변화에 따라 적절하게 상황을 변화시켜가면서 실험을 할 수 있도록 하기 위해서 기존의 제품을 사용하기 보다는 설계에 부합되도록 제작하여 설치하였으며, 열펌프 시스템에 사용된 요소기기의 기본사양 및 열펌프 시스템을 그림 8에 나타내고 있다.

##### 4.2 지중 열교환기의 설치

지중매설 파이프를 이용한 축열 및 채열 열교환기는 매설방식별로 나누면 크게 수평매설방식과 수직매설방식으로 구분할 수 있으며, 또한 기하학적 구조, 설치방법, 사용 자재 및 순환유체 등에 따라서 그 형태가 달라지게 된다.

지열의 축·채열 특성을 파악하기 위해 표 4와 같은 사양으로 파이프를 수평과 수직으로 매설하였으며, 이러한 내용을 간략히 서술하면 다음과 같다.

그림 9와 같이 수평매설은 파이프의 길이를 각각 10m, 12m로 제작한 후 굴삭기를 이용하여 지하 2m 깊이로 굴삭하였고, 굴삭작업이 완료된 후 각각의 길이로 제작된 파이프를 설치하였다.

PVC 파이프의 경우 굽어진 부분은 기밀성이 유지되는 엘보우를 이용하여 연결시켰고, 동파이프는 동용접을 실시하였으며, 지하 2m와 1.2m에 2중층(Double Layer)으로 설치하였다.

지하 2m 깊이의 설치작업이 완료된 후 흙을 0.8m 두께로 매립한 후 지하 2m 깊이에서 설치한 방법과 동일한 방법으로 설치하

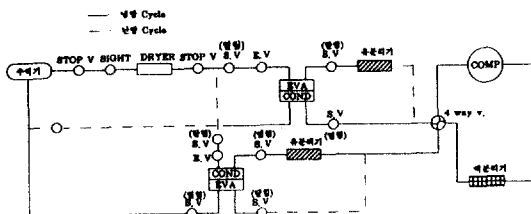


그림 8 열펌프 시스템 구성도

표 4 지중열교환기의 사양

사 양	매설방법	수평매설	수직매설
재 질		동파이프	동파이프
		PVC파이프	
규 격		K-Type	K-Type
		Hi-3P	
호 칭 경(mm)		동파이프:32	외측파이프:50
		PVC파이프:25	내측파이프:32
매 설 깊 이		1.2m, 2m	19m
매설된 파이프길이		108m	108m
매 설 간 격		2m	2.5m
매 설 흘		-	6개
순 환 액		Water	Water
전 열 축 진 매 체		-	벤토나이트 사용
작 업 기 계		굴삭기	

었다. 지하 1.2m 깊이의 설치작업이 완료된 다음, 지표로부터 0.5m되는 깊이까지 매립한 후 파이프의 동파를 방지하기 위해 보온 섬유를 덮고, 마무리작업을 실시하였다.

또한, 지하 1.2m, 2m 깊이에 매설된 동파이프의 전열효과를 증대시키기 위해서 60cm×25cm 정도의 동Fin을 동파이프 밑에 일정한 간격으로 부착시켰다.

수평매설에서 PVC를 매설한 이유는 시공성이 비교적 쉽고 경제성이 높다는 장점을 갖고 있기 때문에 열전도율이 낮다는 단점에도 불구하고 동파이프의 성능과 PVC 파이프의 성능을 비교분석하기 위해 설치하였다.

다음으로, 지중코일에 대한 매설 면적을 많이 차지하는 수평매설보다 면적을 적게 차지하고, 지열에너지의 이용면에서 유리한 수직매설을 고려하여 그 성능을 알아 보고자 수직매설도 설치하였다.

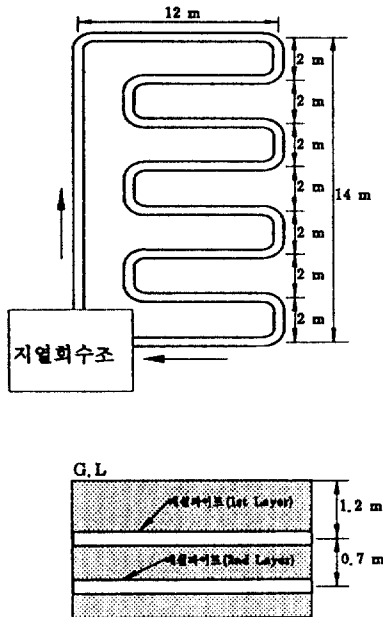


그림 9 수평 매설 파이프 설치도

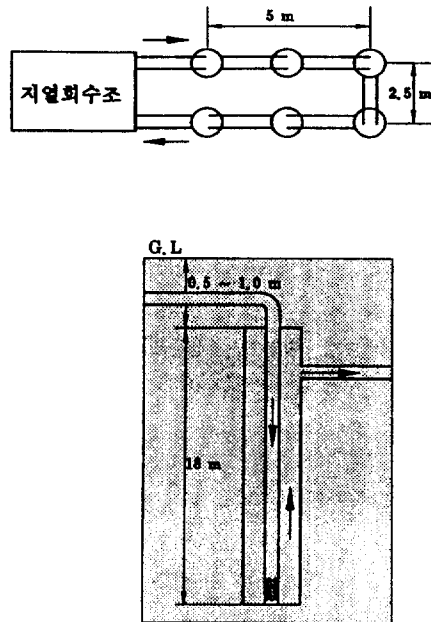


그림 10 수직 매설 파이프 설치도



수직매설의 경우 그림 10과 같이 18m 깊이로 6개 각 홀에 들어가는 파이프중 내부 파이프의 하단에는 유체가 흐를 수 있도록 같은 면적의 홀을 가공하였으며, 외부 파이프의 상단에는 다음홀에 설치된 파이프로 유체가 흐를 수 있도록 T 이음관을 연결시켰으며, 외부 파이프의 상단부에 있는 캡에는 내부파이프가 들어갈 수 있도록 홀을 가공하였다.

이러한 작업이 완료된 후, 10m×8m 정도의 면적을 지표로부터 1m 깊이까지 굴삭을 한 후 보링기계를 이용하여 지하 18m까지 파이프가 들어갈 수 있도록 보링작업을 하였다.

1개의 보링 작업이 완료된 후에는 보링홀의 붕괴가 우려되기 때문에 바로 길이가 6m인 파이프를 홀안에 삽입시켰으며, 다음에 연결되는 파이프와 용접을 용이하게 하기 위해 삽입된 파이프의 상단부를 보링기계로 고정시키고, 연결 파이프를 수직으로 세워 내부 파이프를 용접한 후에 외부의 파이프를 용접하는 순서로 작업을 수행하였다.

지중매설 파이프와 토양과의 원활한 열전달을 위해서는 매설파이프의 바깥표면과 보링 홀의 틈새를 충분히 채워야 하며, 이 때 사용되는 재료는 粒子가 미세하고 열전도율이 비교적 높은 재료가 되어야 한다.

일반적으로, 이러한 목적으로 사용되는 것이 Bentonite이며, 열전달 성능을 향상시킬 뿐만 아니라 지반 안정제의 역할까지도 수행하게 된다.

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

6개의 수직매설 파이프의 설치가 완료된 다음에 6개의 수직매설 파이프에 유체가 흐를 수 있도록 연결작업을 하였으며, 지표면과 가까운 연결용 파이프에는 겨울철에 동파되는 일이 없도록 보온재로 덮개를 씌워 충분히 보온을 실시하였다.

### 4.3 실험방법

지중 매설 파이프에 물을 주입할 때 파이프내의 공기를 제거하기 위해 에어벤트를 열고, 파이프내로 물을 주입시켰다. 이와 같은 작업이 완료되었어도 에어벤트를 계속 열어놓은 상태에서 순환펌프를 수회 작동시켜 파이프내의공기를 최소화하였다.

각 부분의 온도를 측정하기 위해 축열조 입구와 지중매설 파이프 입·출구, 증발기(응축기), 응축기(증발기)를 통과하는 냉매의 입출구, 압축기 입출구의 온도를 측정하기 위해 T-Type AWG NO.32의 Thermocouple를 부착한 후 Data Logger에 접속시켰다.

실험은 수직 매설 파이프와 수평 매설 파이프에 대해서 각각 실험을 실시하였으며, 실험을 할때 파이프 입구에 부착되어 있는 유량계와 축열조의 수량을 체크하였다.

이들 중 한가지 실험이 종료된 후에는 전체 시스템을 일정 시간 동안 정지 시킨 후 재가동하였으며, 또한 축열조의 물을 새로 교체하면서 실험을 하였다. 난방실험을 완료한 후 냉매 파이프 내의 냉매의 평형을 유지시키기 위해 유분리기의 냉·난방 밸브를 모두 개방시키고, 4 Way Valve와 Solenoid Valve의 S/W를 냉·난방을 선택하여 Sight Glass로 평형상태를 확인하는 순서로 실험을 하였다.

### 4.4 실험결과 및 고찰

이상의 실험을 통해 얻은 결과를 정리하면 다음과 같다.

그림 11은 수직 매설 파이프의 난방 실험 결과로서 축열조내의 수량은 0.5m<sup>3</sup>이며, 이때 지중 매설 파이프와 증발기에 물을 순환시켜 얻은 지열원과 증발기내를 통과하는 냉매와의 열교환으로 얻어진 냉매의 온도를 이용하여 축열조내의 초기수온 19℃를 31℃까지 승온시키는 데 압축기에서 소비한 소비전력은 3.2kW이었다. 여기서, 지중매설 파이프 입출구 온도차가 갈수록 적어짐을

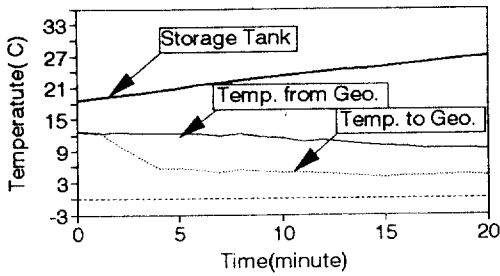


그림 11 수직 매설 파이프의 난방실험

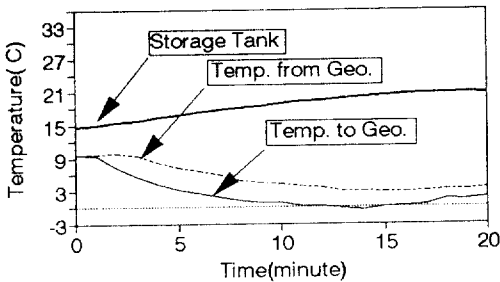


그림 12 수평 매설 파이프의 난방실험(2m)

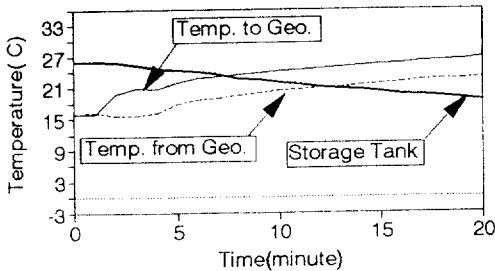


그림 13 수평 매설 파이프의 냉방실험

알 수 있으며, 이는 지중 매설 파이프 주위의 토양온도가 채열과정으로 인하여 역시 감소되고 있음을 알 수 있다. 수직매설 파이프의 난방실험의 성능계수는 2.4이다.

그림 12는 수평 매설 2m 동파이프의 난방 실험 결과로서 축열조내의 수량은 역시 0.5m<sup>3</sup>이며, 축열조의 초기온도는 15°C로 일정 시간 동안 열펌프가 작동된 후에 열펌프가 멈추었을 때 축열조내의 수온은 20°C로 상승되었다. 이 때 압축기의 소비전력은 1.

47kW가 소비되었다. 이를 성능계수로 환산하면 2.21이다.

그림 13은 1.2m, 2m 동파이프의 Double Layer의 냉방실험 결과로서 축열조 내의 수량이 0.5m<sup>3</sup>이며, 축열조내의 초기온도는 26°C였으며, 일정 시간 동안 열펌프가 작동된 후 축열조내의 수온은 16°C였다. 압축기에서 소비된 소비전력은 2.29kW이었다. 이를 성능계수로 환산하면 2.5이다. 이때 지중 매설 파이프 입출구의 초기온도는 15.7°C였으며, 열펌프의 냉방 Cycle이 작동된 후 지중 매설 파이프와 토양과의 열교환은 거의 5°C차로 상승 곡선을 형성하고 있음을 알 수 있었다.

이와 같은 실험결과에서 알 수 있듯이, 지중 매설 파이프를 이용하여 비교적 저급 에너지인 지열을 활용할 수 있는 가능성을 확인할 수 있으며, 특히 설치 면적도 적게 소요되는 수직매설방식이 수평매설방식보다 유리함을 알 수 있었다.

### 5. 결 론

자원의 빈국인 우리나라에서는 거의 모든 에너지원을 해외로 부터 수입에 의존하고 있는 상황과 최근의 에너지 사용량의 증가에 비추어 볼 때, 에너지원의 자급을 위해서는 무한한 에너지원이라 할 수 있는 토양이 갖는 지열 에너지에 관심을 갖아야 한다.

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

국내에서도 이러한 지열을 활용하기 위한 방안으로 그 유효 이용 가능성을 확인하고자, 지중온도 분포의 조사와 아울러 지중 매설 파이프를 설치하여 실험을 실시하였으며, 그 결과 추세인 청정에너지를 구현하고 에너지 절약의 가능성을 보인 효과적인 방안이라 할 수 있다.

따라서, 지열 에너지의 실용화를 위해서

는 이론적 및 실험적인 결과를 바탕으로 활발한 연구가 계속적으로 뒤따라야 할 것이다.

참 고 문 헌

1. 岡 建雄, 藤田尊志, '히트펌프熱源とその有效活用', 空氣調和, 衛生工學會, 第67卷, 第6號, pp. 26~35, 1993.
2. D. A. Ball, R. D. Fisher, D. L. Hodgett, 'Design Methods for Ground-Source Heat Pumps', ASHRAE Trans. Vol. 89, Part 2B, pp. 416~440, 1983.
3. 岡 建雄, 藤田尊志, '土壤熱利用 히트펌프시스템', 建築設備と西管工事, pp. 73~77, 1989. 10.
4. 高 島 熱, 本多朔郎, '地熱에너지', 에너지資源, Vol. 11, pp. 40~44, No. 1, 1990.
5. 申鉉準, '地熱採熱을 위한 Thermosyphon의 利用에 관한 研究', 博士學位論文, 1994. 8.
6. P.D. Metz, 'Ground-Coupled Heat Pump System Experimental Results', ASHRAE Trans. Vol. 89, pp. 407~415, 1983.
7. George S. Smith and Thomas Yamauchi, 'Thermal Conductivity of Soils for Design of Heat Pump Installations', Heating, Piping and Air Conditioning, 1950.
8. W. S. Johnson, et al, 'Annual Performance of a Horizontal-Coil Ground-Coupled Heat Pump', ASHRAE Trans. No. 2945.
9. P. Frank, T. Berntsson, 'Ground-Coupled Heat Pumps with Low-Temperature Heat Storages; Some Swedish Experiences', ASHRAE Trans., Vol. 91. Part 2B, 1985.
10. M. A. Catan, V. D. Baxter, 'An Optimized Ground-Coupled Heat Pump System Design for Northern Climate Applications', ASHRAE Trans., Vol. 91. Part 2B. 1985.
11. 長野克則 외 6인, '토양열원 히트펌프 시스템에 관한 연구', 空氣調和·衛生工學論文集, No. 58, 1995. 6, 1995.