

자 료

지열(地熱)의 일반적 고찰

농업공학연구소 정밀농업기계연구실 / 이 용 범 박사

1. 지열의 개념

일반적으로 지열은 크게 지표열과 지중열로 나눌 수 있다. 지표열은 태양열이 근원이 되고 땅속 깊이가 깊어질수록 외기온도의 변화에 대한 영향은 점점 작아지며 땅속 15m 이하에서는 연중 온도변화가 거의 없다. 지표열은 대기권에서 열원인 태양에너지로부터 에너지를 흡수하며 대기권에서 들어오는 전체 태양에너지의 51%가 지표면 또는 해수면에 흡수되고, 30%는 반사되며 19%는 구름과 대기에 흡수된다 (Fig. 1).

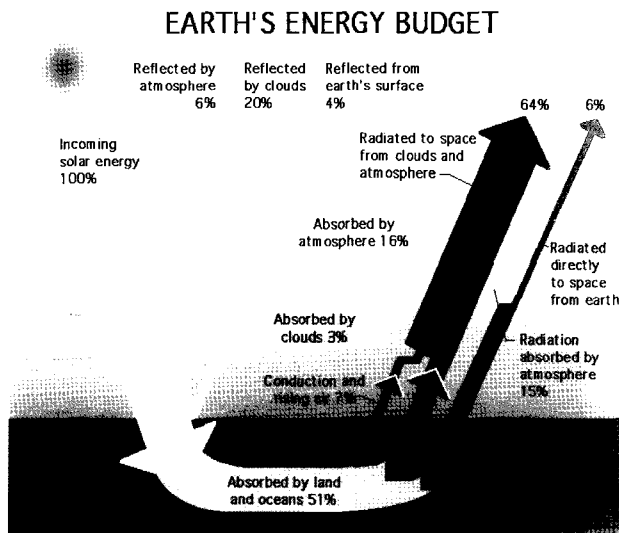


Fig. 1 태양에너지의 흡수현황.

반면 지중열은 지구의 지표면과 맨틀사이의 마그마라고 불리는 뜨거운 액체바위에 저장되어 있는 에너지를 이용하는 것이다. 즉, 이런 마그마의 열은 지열저장고라 불리는 마그마층 위에 존재하는 지하수로 전달되어 증기를 발생시키기도 하고, 바위의 갈라진 틈을 통해 땅 위로 분출되어 온천 등을 만들기도 한다. 지구는 중심부로 들어갈수록 3°C/100m의 비율

로 온도가 증가하며, 3km만 내려가도 땅속 바위의 온도는 100°C 이상을 나타내게 되며, 방사성물질의 붕괴에 의해 야기되는 핵반응 때문에 용해된 지구 중심부의 온도는 4,000°C에 달하게 된다. 즉 지중열은 지구 중심에서 방사성 동위원소의 붕괴로부터 열이 끊임없이 생성되며, 마그마는 지표가 얇은쪽으로 열을 방출하여 화산 및 노천온천을 생성한다. 지중열은 태양열과의 관계가 적으며 엄밀한 의미에서는 재생 가능한 에너지가 아니다. 지표열이 주로 히트펌프와 연계하여 냉난방에 이용되는 반면에 지중열은 주로 온천, 지열발전 등에 주로 이용된다고 볼 수 있으며 대부분의 자료에서는 지열이라고 하면 이 지중열을 의미하게 된다. 그러나 현재 국내에서 이용할 수 있는 지중열 자원은 30~100°C 정도의 저온성 수자원이기 때문에 발전보다는 지역난방, 시설농업 등에만 적합하여 국내에서 아직까지는 온천으로 이용하는 것 외에는 지열에너지를 본격적으로 이용하려는 시도가 그다지 많지 않다. 다만 최근 한국지질자원연구원에서 포항 등을 중심으로 땅속 1~2km까지 시추하여 지중열을 이용한 아파트 난방 등을 시도하고 있는 것으로 보도되고 있다.

그러나 이를 농업분야만 축약해서 본다면 시설재배농가에서 개별적으로 몇 천미터까지 시추해 지중열을 시설재배에 직접 이용하기는 현실적으로 어렵다. 또한 지하수를 직접 이용하여 냉난방하는 방식은 최근까지 많이 채택되어 왔으나, 지하수 이용에 따른 지반침하, 지하수고갈, 지하수총염류, 수질문제 등 많은 문제점을 드러내어 왔다. 현재 전국적으로 80여만 이상되는 시추공이 개발되어 있고, 매년 2만 개의 시추공을 새로 뚫고 있으나 많은 시추공이 지하수 오염을 방지할 수 있는 대책도 없이 아무렇게나 폐공되는 등 방치되고 있는 실정이다.

지중열 에너지는 저온 열수를 직접 이용하는 온천 등의 관광 자원 또는 프랑스나 헝가리에서 전형

적인 예를 찾을 수 있는 것처럼 난방 열원 등으로는 많이 개발되었다고 할 수 있으나 에너지원으로서는 그다지 개발된 자원은 아니라고 할 수 있다. 현재 지열에너지 이용에 가장 많이 채택되고 있는 것은 지열을 직접 이용하는 방식이나 앞으로는 지열을 이용한 발전의 비중이 직접 이용 방식보다 커질 전망이다. 지열발전은 지하에 있는 고온층으로부터 증기 또는 열수(熱水)의 형태로 열을 받아들여 발전하는 방식이다.

지구는 하나의 거대한 보일러이며 이것을 이용한 에너지 전환장치는 여러 가지를 생각할 수 있지만, 지열로 발생한 증기를 이용하여 발전시키는 것이 가장 일반적이다. 빗물이 단층 등을 통해서 지하로 흘러 들어갈 때, 그 근처에 마그마가 모여 있으면 고온의 물이 되는데 이 때 우물을 파면 물의 압력이 낮아지면서 고온의 수증기가 되어 뿜어져 나오게 된다. 이 증기로 터빈을 돌리는 것이 지열 발전방식이다. 지열발전은 운전기술이 비교적 간단하고 가동률이 높으며 잉여열을 지역에너지로 이용할 수 있다는 이점이 있다. 전 세계 지열에너지의 양은 그리 많다고 할 수는 없지만 하와이와 일본에서 개발 가능한 지열지대가 60군데 이상 발견되었다.

지중 발전을 위하여 땅속에 구멍을 뚫고서 파이프를 뜨거운 물 속에 꽂으면 뜨거운 증기나 물은 이 파이프들을 통해서 땅 아래에서부터 위로 분출되어 나오게 된다. 냉각된 물은 땅으로 되돌려지고 지구에 의해서 다시 가열되어 진다. 이러한 과정으로 만들어진 전기는 가정, 학교, 그리고 직장을 잇는 거대한 회송 전선으로 보내어지게 된다.

지중열은 열을 만들어주는 형태에 따라 크게 두 가지로 분류할 수 있다. 먼저 화산지역의 지하 깊은 곳에서 올라오는 용암으로 인해 생성되는 화산성 지열이다. 이것은 아이슬란드, 이탈리아, 일본, 칠레, 인도네시아, 필리핀 등과 같은 지각변동대에 위치하며 대부분이 250℃ 이상의 고온 열수이다.

다른 하나는 지각 중에 함유되어 있는 우라늄, 토륨, 포타슘과 같은 방사성 원소의 붕괴에서 얻어지는 열과 약 30km의 두께를 가진 지각하부에 있는 맨틀로부터 전달되는 열에 의해 지질학적으로 장시간에 걸쳐서 데워진 비화산성 지열이다. 이것은 150℃ 미만의 저온성 열수 자원이다.

세계적으로 지열의 이용률은 미국이 40% 이상을

차지하고 있으며 그 외에 필리핀, 멕시코, 이탈리아, 일본, 뉴질랜드, 인도네시아 등이 뒤를 잇고 있다. 그러나 국내에서 기대할 수 있는 지열자원은 30~100℃의 저온성이기 때문에 지중열 이용은 타 국가에 비해 쉽지는 않다. 이에 비해 지표열을 이용하는 방법은 히트펌프와 연계하면 다소 쉽고 저렴하게 설치가 가능하며, 청정 대체에너지로서 동하절기 겸용으로 사용할 수 있어 그 이용 효과가 부각되고 있다.

2. 지온(地溫)의 특징

지온은 깊이별로 차이는 있지만 계절에 따른 온도 변화가 적다. 3~5m 깊이에서는 대기온도는 달리 4~7월에 지온이 가장 낮고, 10~1월에 가장 높아 난방 에너지원으로서 매우 적합하며, 또 15m 이하에서는 계절의 영향을 거의 받지 않는다.

Fig. 2 및 3은 기상청에서 조사한 2003년도 중부권의 수원지역과 남부권의 부산지역에서 땅속 깊이별 연간 지중온도를 나타낸 것이다. 수원지역에서는 3m 깊이에서 연중 최저온도가 11.5℃이며, 최저온도가 나타나는 시기는 토양의 지연 현상으로 인하여 3월 말에 나타났으며 최고온도는 19℃로 10월초에 나타났다. 반면 5m 깊이에서는 최저온도가 12.5℃로 4월 말경에 나타났고 최고온도는 17.5℃로 10월말에 나타났다. 그리고 1.5m 깊이에서는 최저온이 2월초에 7℃이고 고온은 8월말에 22℃로 나타났다(Fig. 2).

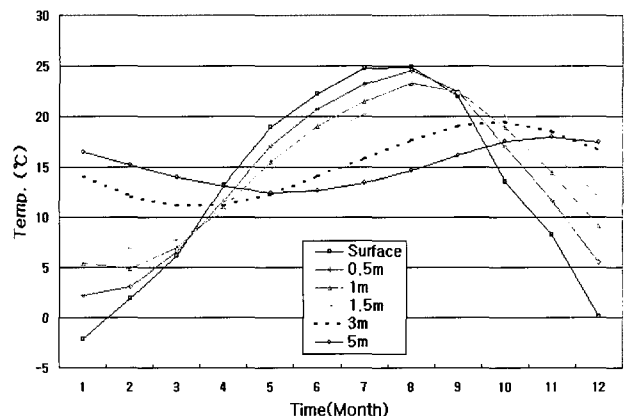


Fig. 2 수원지방의 지중깊이별 연간 토양온도.

부산지역에서는 3m 깊이에서 연중 최저온도가 13.5℃였으며, 지연현상으로 인하여 최저온이 나타나는 시기는 4월 초였으며 최고온도는 20℃로 10월초에

나타났다. 그러나 5m 깊이에서는 최저온도가 15℃로 5월초경에 나타났고 최고온도는 18℃로 11월초에 나타났다. 1.5m 깊이에서는 최고온이 24℃까지 올라가며 시기는 9월초에 나타나(Fig. 3) 중부권과 남부권에서 지온의 차이는 크지 않았다.

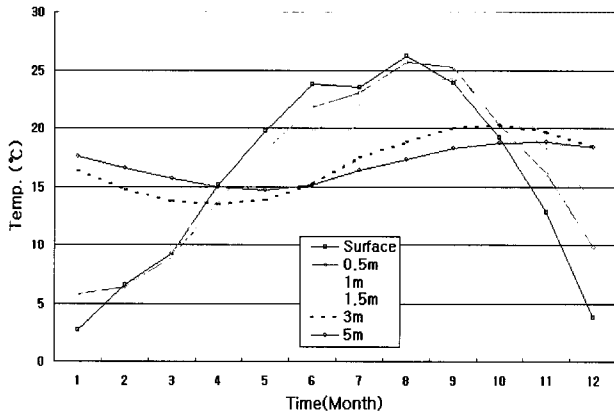


Fig. 3 부산지방의 지중깊이별 연간 토양온도.

따라서 땅속에서는 일정깊이 이하로 내려가면 대기온의 영향은 거의 받지 않으며, 그 영향도 대기온 보다는 몇 개월간의 시차를 두고 나타남을 알 수 있다. 즉 대기온은 8월초가 가장 높고 1월초가 가장 낮으나 3~5m 깊이에서는 약 3개월의 차이를 두고 가장 온도가 높은 시기는 10월 말~11월초에 나타나며 낮은 시기도 3월말에서 4월 초이다. 이런 온도 지연 현상은 태양에너지가 땅속으로 전파되는데 시간이 걸리기 때문이다. 따라서, 대기온과 다르게 나타나는 지온특성 때문에 난방이 필요한 시기인 12월, 1월, 2월에는 비교적 높은 지온을 이용할 수 있고, 냉방이 필요한 6월, 7월, 8월에는 비교적 낮은 지온을 이용할 수 있다. 다시말해 지표열은 태양열을 에너지원으로 하는 지속가능한 에너지로서 다른 대체에너지에 비해 저렴한 초기 투자비와 반영구적인 지하 열교환기로 인하여 연구할 가치가 충분히 있다고 할 수 있다.

3. 지표열을 이용하는 열교환시스템

지표열의 이용방식은 주변의 입지여건에 따라 적절한 열교환시스템을 이용할 수 있다. 일반적으로 열교환시스템은 순환매체유가 밖으로 방출되느냐 되지 않느냐에 따라 밀폐식과 개방식으로 구분한다. 그리고 열교환시스템의 설치형태에 따라 수직형과 수평

형으로 구분할 수 있다.

개방형은 주변 저수지나 강 같이 가까운 곳에 水原이 있는 경우 수원중 온도의 영향을 많이 받지 않는 수심이 깊은 부분의 심층수의 열을 직접 이용하고 방류하는 방식이다(Fig. 4). 이 방식은 저렴한 비용으로 시공이 가능하고 공사기간을 단축할 수 있으며 시공이 용이한 특징이 있으나 유지보수 및 필터 교환 등이 필요하며 소규모 이용시에는 이용에 어려움이 있다.

수평형 밀폐식은 Fig. 6과 같이 냉난방을 요하는 시설물의 주변에 넓은 공간을 확보할 수 있고 냉난방 부하도 그다지 크지 않는 곳에 적합하며 비교적 저렴한 방식으로 짧은 기간내에 시공이 가능하고 시공도 용이한 특징이 있다.

Fig. 5와 같은 수직형 밀폐루프식은 일반 건축물에 많이 이용되고 있으며, 주변공간이 넓지 않아도 가능하여 국내에서 가장 많이 이용하는 방식이다. 그러나 수직형의 경우 천공비용으로 인하여 설치비용이 높은 단점이 있다. 호수나 저수지형 밀폐루프는 주변 저수지나 강같이 가까운 곳에 水原이 있는 경우 Fig. 7과 같이 깊은 바닥에 루프를 던져넣어 주변 심층수의 열을 열교환하여 이용하는 방식이다. 이 방식은 개방식과 밀폐식 모두 적용이 가능하고 유지보수가 불필요하고 저렴한 비용으로 간편하게 시공이 가능한 장점이 있으나 소규모 이용시에는 이용에 어려움이 있다. 따라서 지열 이용방식은 여러 여건들을 고려하여 적절한 열교환시스템을 선정하여야 하며 히트펌프와 연계하여 이용하는 지열은 히트펌프의 응축기 및 증발기에 연결하여 냉난방을 동시에 수행하는 시스템으로서, 지온이 동절기에는 높고 하절기에는 낮아 냉방 및 난방시에 효율을 극대화할 수 있고 공기열원 히트펌프에 비해 혹서기나 혹한기에도 냉난방 성능의 저하가 없는 특징이 있다.

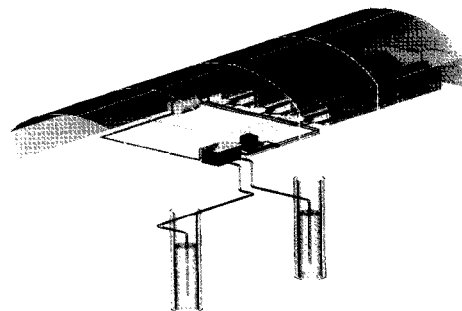


Fig. 4 지하수 이용 시스템(Open Loop System).

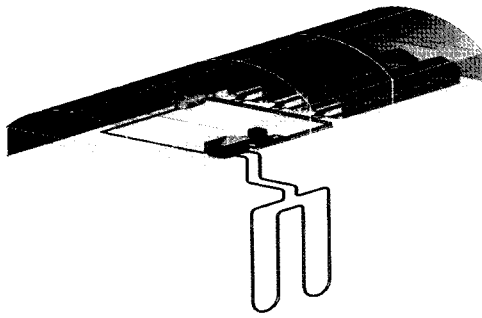


Fig. 5 수직형 시스템(Closed-Loop System).

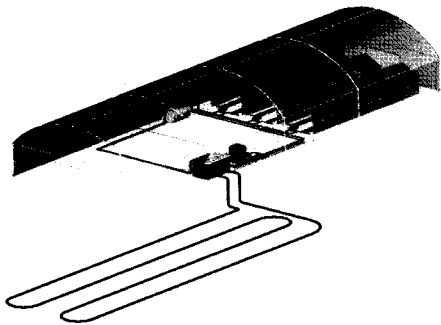


Fig. 6 수평형 시스템(Closed-Loop System).

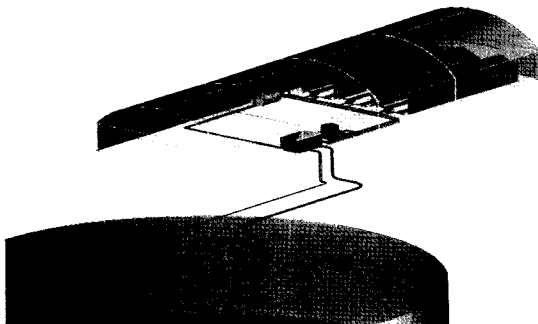


Fig. 7 Pond System(Closed-Loop System).

4. 국내외 적용사례

2~3년 전까지만 해도 국내에서의 지열이용은 온천으로 이용하는 것 외에는 지하수를 직접 이용하여 냉난방에 부분적으로 이용하는 연구가 주류를 이루어 왔다. 그러나 2001년에 이르러 미국의 기술이 국내에 전파되면서 지표열과 히트펌프를 연계한 시스템이 전원주택, 강당, 체육관, 모텔하우스 등에 도입 설치되기 시작하였다. 지금 국내에서는 호텔 등 숙박업소, 레스토랑 등의 음식점, 학교 사무실, 교회, 강당, 모텔하우스, 휴게소 등 주로 바닥 냉난방이 아닌

공간 냉난방 건축물을 중심으로 50여곳 이상 보급이 되고 있는 실정이다.

그러나 농업용으로 완전히 실용화된 시설은 아직 나타나지 않고 있으며, 다만 경기도 농업기술원과 (Fig. 8), 선문대 시험온실(Fig. 9), 그리고 안동 및 영천지역 등의 온실에 설치되어 부분적으로 시험이 이루어지고 있다. 앞으로도 지하수를 직접 이용하는 방식은 환경 및 수자원 보호측면에서 이용이 쉽지 않을 것으로 사료되며, 단순히 땅속의 공기를 온실로 순환시키는 방식은 보조열원으로 이용하기도 부족한 에너지원으로 기 설치된 시설도 방치되고 있는 실정이다. 따라서 앞으로의 지열시스템의 적용은 지표열과 히트펌프를 연계한 냉난방시스템 중심으로 연구 및 보급이 뒤 따를 것으로 판단된다.

그러나 국내에서도 대규모로 지중열을 이용하여 난방을 시도하고 있기도 하다. 한국지질자원연구원을 중심으로 하여 경북 포항시 북구 흥해읍에 수직형 시추공을 지하 1km까지 뚫어 심부 지열수의 부존량과

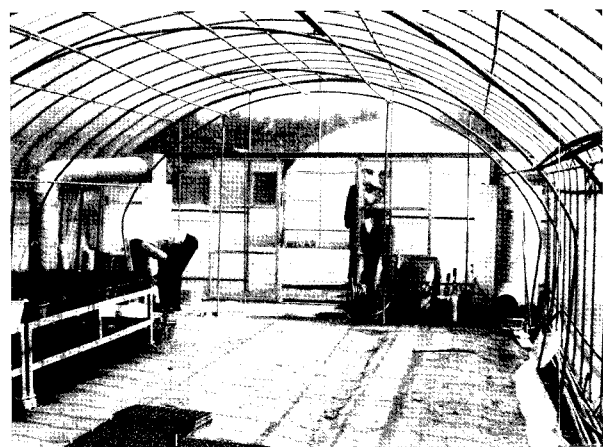
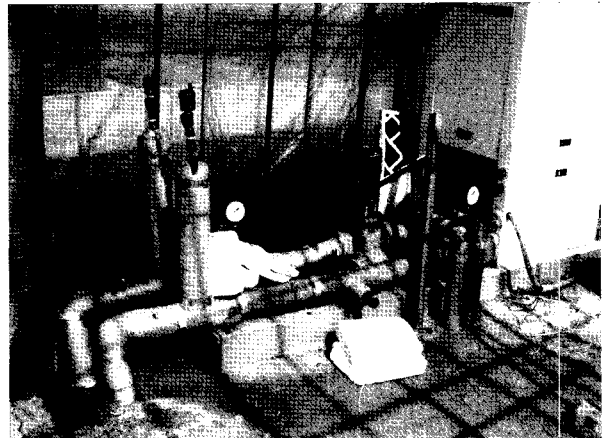


Fig. 8 경기도농업기술원 시험온실(물-공기방식, 수직형).

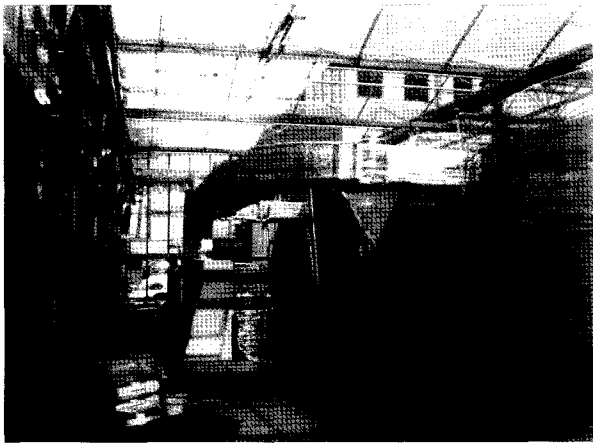
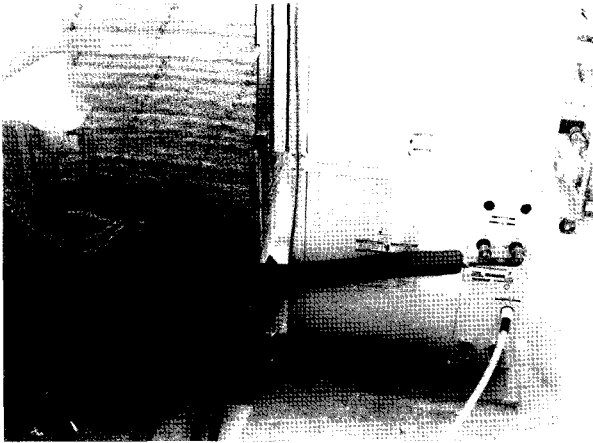


Fig. 9 선문대학교 시험온실(물 - 공기방식, 수직형).

경제성을 조사하였고, '04년부터 실제 지열수를 뽑아 올릴 깊이 2km의 시추공사에 돌입한다고 하며 지열수 온도는 75℃ 전후로 포항의 장성 신시가지 아파트 1,500 가구에 난방 및 급탕용으로 하루 1200t씩 공급을 목표로 하고 있다. 앞으로도 40~75℃의 지열수 존재가능성이 높은 경북 포항 울산 경주, 강원 속초, 양양, 고성, 충청 아산 등 10여 곳을 중심으로 지중열 개발을 지속할 계획임에 따라 국내에도 지열을 이용한 대체에너지의 이용연구가 본격적으로 이루어질 것으로 보인다.

그러나 우리나라는 화산이나 지진대가 있는 미국, 일본, 아이슬란드에서 200~300℃의 고온 지열수에서 증기를 얻어 전력을 생산하고 있는 것에 비해 이 같은 고온의 지열 에너지는 존재하지 않아 외국에 비해 경쟁력은 다소 약해 보인다.

국제적으로는 국가간 차이는 많으나 미국, 캐나다, 독일, 스웨덴 등을 중심으로 보급이 활성화 되고 있다. 특히 미국은 오클라호마 주의회 의사당, Water

Furnace공장 및 사무실, 다가구 주택 등 대형건축물에 지열 히트펌프를 설치하고 있으며 2000년까지 500천 units가 설치되었다. 또한 매년 50,000 units가 새로 설치되고 있다. 그 중 46%가 수직형 밀폐시스템이고, 38%는 수평형 밀폐시스템을 설치하고 있다.

Table 1에서 보는바와 같이 전 세계적으로 지열 히트펌프는 2000년 기준 6,675MW가 설치되어 있으며, 그 중 미국에 설치된 용량이 4,800MW로 72%를 차지한다.

그리고 미국에서의 지열을 이용하는 방법 또한 60%가 히트펌프와 연계하여 이용하고 있다.

Table 1 지열 히트펌프시스템 보급현황(2000년 기준)

국 가	설치용량 (MWt)	에너지 생산량 (TJ/yr)
Australia	24	57.6
Austria	228	1,094
Bulgaria	13.3	162
Canada	360	891
Czech Rep	8	38.2
Denmark	3	20.8
Finland	80.5	484
France	48	255
Germany	344	1,149
Greece	0.4	3.1
Hungary	3.8	20.2
Iceland	4	20
Italy	1.2	6.4
Japan	3.9	64
Lithuania	21	598.8
Netherlands	10.8	57.4
Norway	6	31.9
Russia	1.2	11.5
Poland	26.2	108.3
Serbia	6	40
Slovak Rep.	1.4	12.1
Slovenia	2.6	46.8
Sweden	377	4,128
Switzerland	300	1,962
Turkey	0.5	4
UK	0.6	2.7
USA	4,800	12,000
계	6,675.4	23,268.9

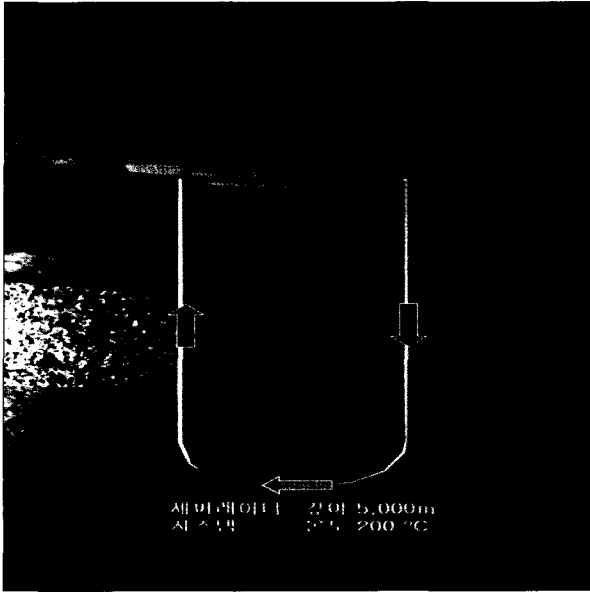


Fig. 10 독일의 Soultz지역 지역발전.

반면 지중열 또한 독일, 스웨덴, 프랑스, 일본 등은 국가적인 차원에서 지중열 이용 발전시스템이 활발 또는 실용화되어 있다. 독일의 경우 Fig. 10과 같이 독일과 프랑스의 접경지역 Soultz지역 지하 5,000m 부근 고온암반 틈새에서 200℃의 열수를 확보하고 '03년 발전으로 50MW의 난방효과를 기대하고 있다. 스웨덴에선 20~50℃의 열수를 이용하여 산업용뿐

만 아니라 빌딩난방과 농사 등 다양한 방면에 이용하고 있다. 지열에너지를 이용한 지역난방 및 개인적인 가정 난방이 활성화되어 있어 어디를 가도 지열 에너지 이용현장을 쉽게 접근할 수 있으며, 지열에너지뿐만 아니라 눈을 지하 저장고에 저장, 이를 이용하여 에너지로 사용하는 방법을 검토 중에 있다. 일본은 정부산하 연구소인 GSJ(Geological Survey of Japan)를 중심으로 지열류량 분포도 작성 등 활발히 추진 중에 있다.

참고 문헌

1. 기상청. 2003. 우리나라 지역별 기상자료.
2. 김영복. 1996. 환경보전형 지열이용 시스템에 의한 생물생산 환경제어기술. NICEM 해외훈련결과보고서.
3. 신현준 외. 1993. 지열에너지의 유효이용을 위한 고찰. pp. 409-419.
4. 이재한. 2000. 지중열 교환시설의 실용화 연구. 영남농업시험장 연구보고서.
5. Closed-Loop/Ground-Source Heat Pump System : Installation Guide. 1998. oklahoma university.