



# 지열 냉난방 및 지열 발전의 국내외 현황

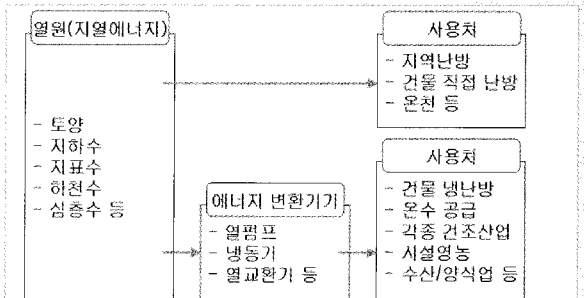
이종재 / 중서대학교

사용 가능한 화석연료의 고갈로 인한 에너지 위기를 극복하고, 화석연료 연소과정에서 발생하는 대기오염 물질에 의한 지구 온난화 현상을 해결하기 위한 방안으로 신·재생에너지 이용에 대한 관심이 날로 증대되고 있다. 이러한 신·재생에너지에 대한 관심 증대와 함께 '공공기관 신축건물에 대한 신·재생에너지 이용 의무화 제도'가 현재 국내에서 시행되고 있다. 본 제도의 목적은 신·재생에너지 이용시설의 보급 확대를 위해 사회적 공감대를 형성하고, 관련사업 및 시장육성을 통해 시공비용을 저감시키는 데 있다. 이러한 목적을 달성하는 데 기여할 수 있는 방안이 지열 에너지의 이용이다.

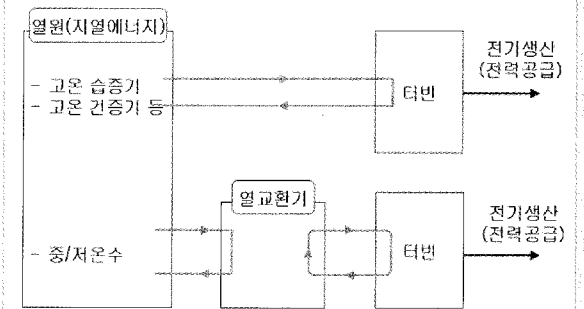
일반적으로 지열이란 지중(토양, 지하수, 지표수 등)에 저장된 태양 복사에너지를 말하며, 이는 지구에 도달하는 전체 태양 복사에너지 중 약 47%를 차지한다. 이 중에서 토양에 저장되는 에너지는 지표면으로부터의 깊이에 따라 천부지열(shallow geothermal)과 심부지열(deep geothermal)로 구분된다. 천부지열은 지표로부터 150~300 m 깊이에 저장된 지열을 일컫는다. 온도는 지형 및 지역에 따라 다르지만 15~30℃ 정도이다. 심부지열은 지하 400 m 이하부터 존재하는 에너지를 말하며 40~400℃의 온도를 유지한다.

지열에너지의 활용방식은 직접이용(direct use)과 간

접이용(indirect use)기술로 분류된다. 직접이용기술은 땅속의 천부지열(15~30℃)을 열펌프(heat pump)나 냉동기와 같은 에너지 변환기기의 열원으로 공급하여 냉난방·각종 건조 산업·도로 용설(snow elting)·온천·양식업 및 시설영농·지역난방 등에 활용하는 기



(a) 중·저온 지열 에너지의 직접 이용



(b) 중·고온 지열 에너지의 간접 이용

그림 1 지열에너지의 활용방식

술이다. 반면, 간접이용기술은 심부지열 중 80℃ 이상의 고온수나 증기를 끌어올려 전력생산을 위한 지열발전(geothermal power plant)에 활용하는 기술이다.

본고에서는 지열 냉난방 및 지열 발전에 관한 기본적인 지식을 제공하고 국내외 현황 및 국내 지열에너지기술이 나아가야 할 방향에 대해 함께 모색해 보고자 한다.

## 2-1. 지열 냉난방 기술의 개요

지열 냉난방 기술은 지열을 열원으로 하는 열펌프 시스템이 그 핵심이다. 이러한 지열원 열펌프 시스템(Ground Source Heat Pump System, GSHPs)은 크게 지중열교환기와 열펌프 유닛으로 구성된 냉·난방 겸용 시스템이다. 냉방 모드에서 작동할 경우 실내에서 흡수한 열을 지중 열교환기를 통해 지중으로 방출하며, 반대로 난방 모드인 경우 지중 열교환기는 지중에서 열을 흡수하여 실내로 공급한다. 냉방과 난방 모드에서 각각 냉열원(heat sink)과 온열원(heat source)의 역할을 하는 지중은 그 온도가 연중 안정적이기 때문에 공기열원 열

펌프 시스템과 비교했을 때 효율이 높고 성능이 우수한 시스템으로 알려져 있다. 그러나 지중 열교환기의 매설을 포함한 전체 시스템의 초기설치비가 기존 냉·난방 설비보다 큰 것이 단점이다.

다양한 종류의 지열원 열펌프 시스템 중, 현재 국내·외에서 주를 이루고 있는 시스템은 지중 토양(ground)의 에너지를 활용하는 토양열원 열펌프 시스템이다. 이 시스템은 보어홀(borehole) 천공, 보어홀 그라우팅(grouting), 열펌프 유닛 설치, 부하 측 공기조화 설비 설치 등 다양한 단계를 거쳐 시공된다. 열펌프 작동유체인 냉매의 증발과 응축에 필요한 에너지를 공급하기 위해, 보어홀에 매설된 지중 루프열교환기를 이용한다는 점이 이 시스템의 큰 특징이다.

미국 환경보호청(Environment Protection Agency, EPA)은 현존하는 냉·난방 기술 중에서 가장 에너지 효율적이고 친환경 적이며, 비용효과가 높은 공기조화 시스템으로 지열원 열펌프 시스템을 예로 들고 있다. 또한, EPA(1993)는 이 시스템은 공기 열원 열펌프에 비해 44%까지 그리고 에어컨과 전열기와 비교하면 72%까지 에너지 소비를 절감할 수 있다고 밝혔다.

## 2-2. 지열원 열펌프 시스템의 국내 현황

우리나라의 경우 지열을 이용하는 열펌프 시스템에 실질적인 관심을 갖기 시작한 것은 최근의 일이다. 2000년도에 국내에 최초로 도입된 이후, 열펌프의 용량면에서 적게는 수 냉동톤(Refrigeration Ton, RT)에서 수십 냉동톤의 용량에 지나지 않았다. 적용대상도 소규모의 사무실, 모델하우스, 레스토랑, 레저시설 등에 한정되어 있으며 2003년까지 설치·가동 중인 지열원 냉·난방 시스템은 약 30개소(미군 부대 설치 시스템 제외)였다.

이후 정부의 '공공기관 설치의무화제도'·'일반보급 보조사업'의 시행으로 국내의 지열원 열펌프 시스템의 보급은 급격히 증가하였으며 자세한 현황은 <표 1> 및

표 1 설치의무화사업 현황(2004~2007)

연도	설치원료건수	설치용량(RT)
2004	-	-
2005	1	145
2006	14	1,315
2007	36	3,535
합계	51	4,995

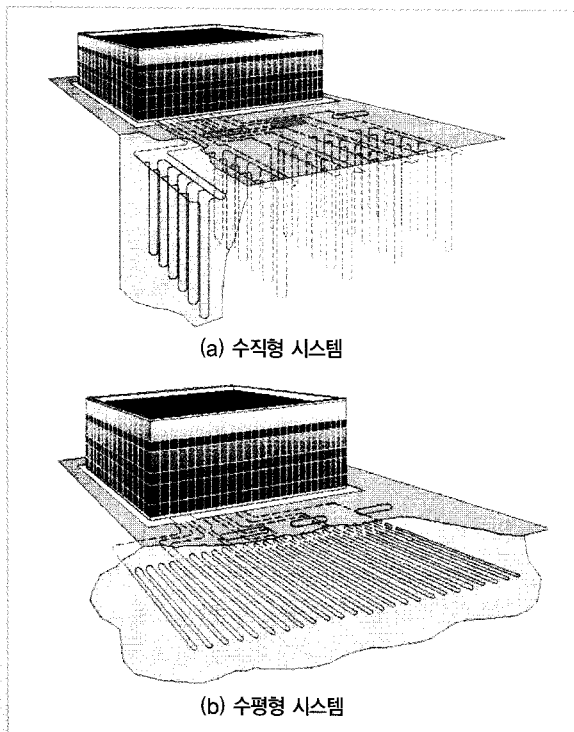


그림 2 상업용 또는 중대형 건물에 적용된 토양열원 열펌프 시스템

## ● 기 획 시 리 즈

〈표 2〉에 정리 하였다. 또한 2007년 기준 에너지관리공단에 등록된 지열 전문업체는 약 484개 업체이며, 10여개 업체가 30억원의 매출을 올리고 있다.

향후 지열원 열펌프 시스템의 대규모 실용화 단계에 진입하기 위해, 초기 투자비 절감기술 개발과 지열 자원에 대한 국가적 차원에서 종합적인 정보네트워크 구축이 필요하며 외국장비와 설계공법 등의 국산화를 통해 국내 여건을 고려한 시공기법 개발이 필요하다. 또한 주거용 지열원 열펌프 시스템의 사용 전력이 전기요금 누진제 적용에서 일반 가정용 전기요금으로 적용되어 보급 확대가 이루어질 전망이다.

### 2-3. 지열원 열펌프 시스템의 국외 현황

전 세계적으로 2005년도의 지열에너지 시설용량은 28,269 MWt로 2000년도와 비교하였을 때 거의 두 배 증가하였다. 이용량 면에서 보면 2005년에 273,372 TJ/year로 2000년 대비 약 43%(연간 7.5%)의 증가율을 보였다.

2005년도 기준 전세계 지열원 열펌프 시스템 보급 대수는, 12kW급 열펌프 유닛으로 환산하였을 때, 약 130만대로 추정되며 지난 5년간 매년 10%이상의 증가율을 보였다. 특히 미국, 서유럽(오스트리아, 스위스, 스웨덴 등), 터키, 중국 등이 전 세계 지열원 열펌프 시스템의 보급을 주도하고 있다.

표 2 일반보급보조사업 현황(2004~2007)

연도	개소	설치용량(MW)
2004	10	793
2005	17	1,659
2006	41	4,744
2007	38	4,371
합계	106	6,867

표 3 용방식별 전 세계 지열 에너지 직접 이용 현황(1995~2005)

	시설용량(MW)			이용량(TJ/year)		
	2006	2000	1995	2006	2000	1995
GSHPs	15,384	5,275	1,854	87,503	23,275	14,617
지역난방	4,366	3,263	2,579	55,256	42,926	38,230
온실난방	1,404	1,246	1,085	20,661	17,864	15,742
양식업	616	605	1,097	10,976	11,733	13,493
농산물 건조	157	74	67	2,013	1,038	1,124
산업 이용	484	474	544	10,868	10,220	10,120
온천 및 수영	5,401	3,957	1,085	83,018	79,546	15,742
제설	371	114	115	2,032	1,063	1,124
기타	86	137	238	1,045	3,034	2,249
합계	28,269	15,145	8,664	273,372	190,699	112,441

미국은 지열원 열펌프 시스템을 포함 전 세계 지열원 에너지 직접이용을 주도하고 있는 나라다. 2005년 기준, 전체 직접이용 용량은 7,817 MWt, 이용량은 31,239 TJ/year(8,678 GWh)이다. 이 중에서 지열원 열펌프 시스템이 용량 면에서는 92%, 이용량 면에서는 71%를 차지하고 있어 단연 지열 열펌프 시스템을 적극적으로 보급하고 있음을 알 수 있다.

유럽에서는 2005년 기준, 약 43만대의 지열원 열펌프 시스템이 유럽 전 지역에 보급되었다. 스위스는 면적대비 지열원 열펌프 설치 건수로는 세계 1위로 2km<sup>2</sup>당 1대 이상의 지열원 열펌프 시스템이 설치되어 있다.

한편, 일본은 정부차원에서 지구 온난화를 억제하려는 노력의 일환으로 지열원 열펌프 시스템을 적용하는 프로그램을 시작하였으며, 이 프로그램에 따라 병원, 도서관, 시청 등 공공시설 60여 곳에 시범적으로 적용하고 있다. 이에 따라 추진 부서인 일본 환경청은 약 40%의 에너지 절약을 예상하고 있다. 또한 경제산업 산하기관인 NEDO(New Energy and Industrial Technology Development Organization)는 가정용 지열원 열펌프 시스템을 개발하여 약 40 곳에 보급하였다.

## III. 지 열 발전

### 3-1. 지열 발전 기술의 개요

지열 발전은 지열 에너지를 직접 이용 하는 것이 아니라 전기에너지로 변환하여 사용처에 공급하는 간접 이용방식이다. 지열 발전은 터빈 구동을 위한 열원을 획득하는 방법에 따라 직접방식과 간접방식으로 나뉜다.

직접방식은 수백 m 에서 수 km 깊이로 천공된 보어홀(borehole)을 통해 추출한 지열수 또는 증기(steam)를 터빈 구동에 직접 이용하는 방식이다. 건증기 지열발

전, 습증기 또는 플래시증기 지열발전, 바이너리 사이클 지열발전이 여기에 속한다. 건증기와 플래시증기 지열발전은 고온 고압의 건증기 또는 습증기를 터빈 구동에 직접 이용한다. 바이너리 사이클 지열발전은 중저온의 지열수(80~120℃)와 증발온도가 지열수보다 상대적으로 낮은 2차 유체를 주로 이용한다. 이는 고

온의 증기를 이용하는 방식보다 효율이 상대적으로 낮기 때문에, 지역난방과 연계한 열병합발전 방식을 채택하여 경제성을 확보하기도 한다. 일례로, 오스트리아 Altheim 지방에 도입된 지열 열병합발전 플랜트는 유기랭킨사이클로 운전된다. 이 플랜트는 1 MW의 전력을 생산하며, 동시에 지역난방 배관망으로 연결된 개별주택과 학교에 10 MWth의 난방 에너지를 공급한다.

간접방식은 열원을 인위적으로 만들어 터빈을 구동한다. 지하 심층의 뜨거운 암반층(Hot Dry Rock, HDR)까지 보어홀을 시추하고, 이 안으로 물을 주입하여 고온의 물이나 수증기를 만든 후 이를 다시 지상의 터빈으로 공급하여 전기를 생산하는 방식이다. 이 기술은 EGS(Enhanced Geothermal System) 지열발전으로도 불

린다. 제 3 세대 지열활용기술로서, 현재 미국을 비롯한 유럽의 기술 선진국들이 연구개발에 많은 투자를 하는 분야이다. 지속적인 투자와 개발이 선행된다면, 고온의 지열자원이 없는 국내에도 적용 가능한 기술이다.

### 3-2. 지열 발전의 국내외 현황

지열에너지를 활용하는 방법은 매우 다양하지만, 지열 발전 분야는 그동안 많은 주목을 받지 못했다. 따라서 이 분야에 대한 전폭적인 투자와 연구개발이 있어야 하겠다. 미국등을 중심으로 바이너리 사이클을 적용한 저온 지열발전이 활성화 되면서, 국내에서도 지열발전의 가능성을 엿보이고 있다. 이미 지열이용연구회의 용역으로 호서대학교, 한국건설기술연구원 등이 중심이 되어 국내에서의 지열 발전 타당성을 조사하였다. 여기에 GS건설과 코오롱건설 등 국내 관련기업에서도 자체적으로 지열 발전에 대한 적용 타당성 조사를 계획하고 있다.

현재 전 세계에서 약 24개국 이 지열 발전을 통해 전기를 공급하고 있으며, 미국·필리핀·멕시코·이탈리아·인도네시아·일본 등이 이 분야를 주도하고 있다.

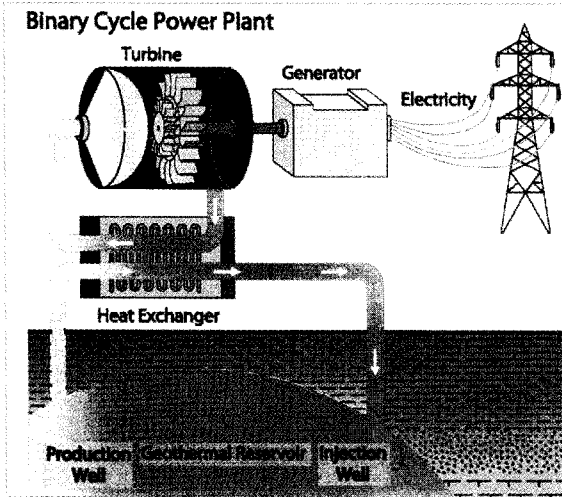


그림 3 바이너리 사이클 지열 발전

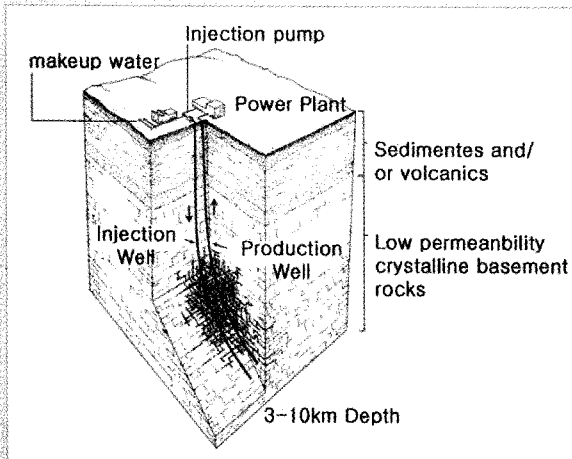


그림 4 복수 보어홀을 이용한 EGS 기술 개략도

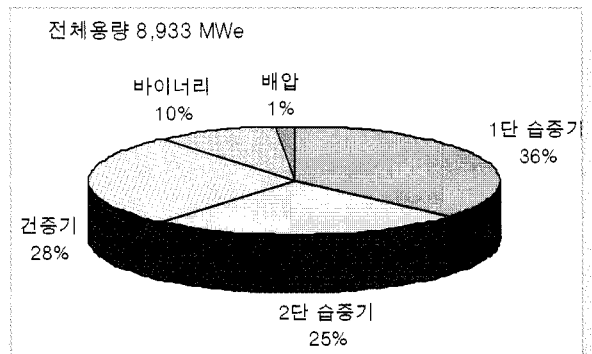


그림 5 2005년 기준 전세계 지열발전 방식별 용량 비중

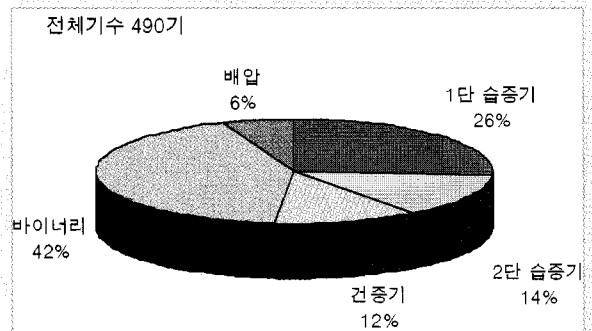


그림 6 2005년 기준 전세계 지열발전 방식별 플랜트 기수 비중

지열 발전 플랜트의 시설용량 면에서 이 여섯 나라가 전 세계 지열 발전의 86%를 차지한다. 최근 들어 멕시코와 인도네시아의 성장세가 두드러진 것을 확인할 수 있으며, 여기에 새롭게 지열 발전을 시작한 나라로 에티오피아·과테말라·호주·니카라과 등이 있다.

전체 지열 발전 용량은 2000년 7,972 MW에서 2005년 8,933 MW로 증가하였으며, 이 기간 동안 연평균 2.3%의 성장세를 보였다. 전 세계적으로 2005년 초까지 490기의 지열 발전 플랜트가 건설되었으며, 용량 면에서 보면 1단 습증기방식(37%)과 2단 습증기 방식(26%)이 단연 지열 발전의 대세다. 바이너리 방식은 전체 490기의 플랜트중 208기(42%)를 차지하고 있어 플랜트 수만 보면 타 방식보다 우세하였다. 이는 지열발전이 더 이상 고온의 지열자원을 가지고 있는 국가에서만 보급될 수 있는 분야가 아니라는 사실을 뒷받침 한다.

#### IV. 결 론

신·재생 에너지 중 지열에너지는 거의 무한정한 자원으로 평가되고 있는 것이 세계적 추세다. 이미 미국이나 유럽의 일부 선진국에서는 지열 열펌프 시스템과 지열 에너지를 이용한 지역난방(geothermal district heating) 등을 포함하여 지열발전까지 다양한 분야에서

지열에너지를 적극적으로 이용하고 있다.

외국에서는 1970년대 1차 석유파동 이후, 지열 에너지가 건물 난방 에너지원으로서 매우 뛰어난 활용 가치가 있다는 점을 인식하고, 일반 주거용 건물과 상업용 건물, 학교, 공공시설, 군부대 등에 다양한 종류의 시스템을 설치하고 있다. 우리보다 에너지 사정이 좋은 미국이나 유럽 각 국에서 지열 에너지를 적극적으로 활용하기 위한 요소기술과 초기 투자비 절감을 위한 기술 개발에 많은 투자를 하고 있다는 점은 시사하는 바가 크다. 다시 말해 지열원 열펌프 시스템을 비롯하여 각종 지열 에너지 활용 기술을 적극적으로 보급하고 아울러 보급 활성화에 필요한 기술 개발에 많은 투자가 있어야 할 것이다. 또한 중·대형 지열 발전 플랜트를 시공하는 데 기초 자료로 활용할 수 있는 관련 기술에 대한 표준을 정립하고 동시에 EGS 발전으로 나아가기 위한 기술개발에도 많은 투자가 있어야 한다.

지식경제부는 2008년 지열관련 분야의 상시적 지원을 위해 지열인력양성센터를 지정하여 운영 중에 있다. 지열인력양성센터는 지열과 관련된 기술지원, 전문가 교육 등 지열 관련 토탈 솔루션을 제공하는 역할을 수행 중에 있으며 홈페이지(<http://gteec.or.kr>)/전화(041-543-5580~1)를 통해 자세한 내용을 문의할 수 있다.