

# 지열에너지의 국내외 기술개발동향

■ 임 호 재 / 호서대학교, 지열인력양성센터(지열핵심기술연구센터) hylim@hoseo.edu

연중 안정적인 공급이 가능한 지열에너지의 이용기술 개발동향에 대해 소개하고자 한다.

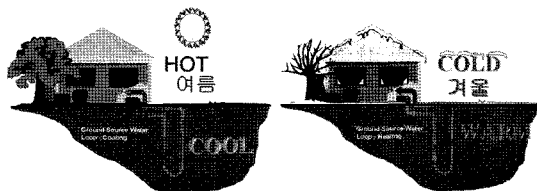
## 지열에너지의 이용기술

지열에너지의 활용방식은 직접이용(direct use)과 간접이용(indirect use)기술로 분류된다. 직접이용 기술은 땅속의 천부지열(15 ~ 30℃)을 열펌프(heat pump)나 냉동기와 같은 에너지 변환기기의 열원으로 공급하여 냉난방· 각종 건조 산업· 도로 융설(snow elting)· 온천· 양식업 및 시설영농· 지역난방 등에 활용하는 기술이다. 반면, 간접이용 기술은 심부지열 중 80℃ 이상의 고온수나 증기를 끌어올려 전력생산을 위한 지열발전(geothermal power plant)에 활용하는 기술이다.

현재 지열에너지 이용기술은 크게 지열 냉난방 기술과 지열 발전 기술로 분류될 수 있다. 지열 냉난방 기술은 지열을 열원으로 하는 열펌프 시스템이 그 핵심이다. 지열원 열펌프 시스템(Ground Source Heat Pump System, GSHPs)은 크게 지중 열교환기와 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. 지열원 열펌프 시스템은 냉방과 난방 모드에서 각각 냉열

원(heat sink)과 온열원(heat source)의 역할을 하는 지중은 그 온도가 연중 안정적이기 때문에 공기 열원 열펌프 시스템과 비교했을 때 효율이 높고 성능이 우수한 시스템으로 알려져 있다. 그러나 지중 열교환기의 설치를 위해 지하 200 m 심도의 지열 공을 천공하고 굴착하는데 많은 비용이 들어 비용 절감 기술개발에 대한 연구가 필요한 실정이다.

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 지열발전, 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 고온의 증기를 이용하는 방식보다 효율이 상대적으로 낮기 때문에, 지역난방과 연계한 열병합발전 방식을 채택하여 경제성을 확보하기도 한다. 간접방식은 열원을 인위적으로 만들어 터빈을 구동한다. 간접방식은 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 불린다. 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.



[그림 1] 지열 냉난방 시스템의 개요



## 지열에너지의 이용현황

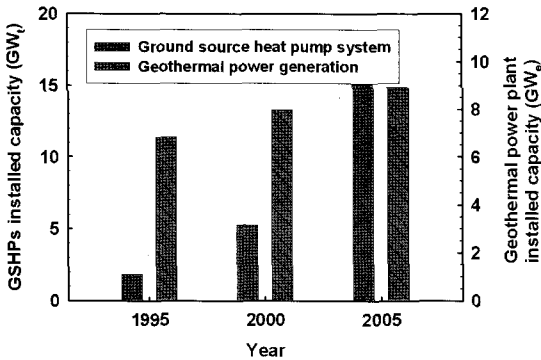
1995년부터 최근 10여 년 간 전 세계 지열에너지의 이용은 꾸준히 증가하고 있다. 지열원 열펌프를 이용한 지열 냉난방의 경우 1995년 1,854 MW<sub>e</sub>에서 2005년 15,384 MW<sub>e</sub>로 증가하였다(시설용량). 국가별로 미국 65%, 스웨덴 20%, 독일 6%순으로 미국 및 유럽국가가 지열 냉난방의 대부분을 차지하고 있음을 알 수 있다(2005년 기준). 지열발전용량은 1995년 6,833 MW<sub>e</sub>에서 2005년 8933 MW<sub>e</sub>로 증가하였으며 미국, 필리핀, 멕시코, 이탈리아, 인도네시아, 일본 등이 지열 발전 산업을 주도하고 있다. 최근 한 연구에 따르면 에너지로 사용할 수 있는 전 세계 지하 열자원 부존량은 연간 약 189 EJ을 생산할 수 있는 양이며, 이는 세계 연간 1차 에너지 소비량의 절반가량을 공급할 수 있는 양이

다. 이에 반해 2004년 말까지의 생산량은 추정된 공급 가능량의 약 1%에 불과하다. 이는 앞으로 지열이 화석연료를 대체할 에너지원으로 발전할 가능성이 무궁무진하다는 것을 뜻한다.

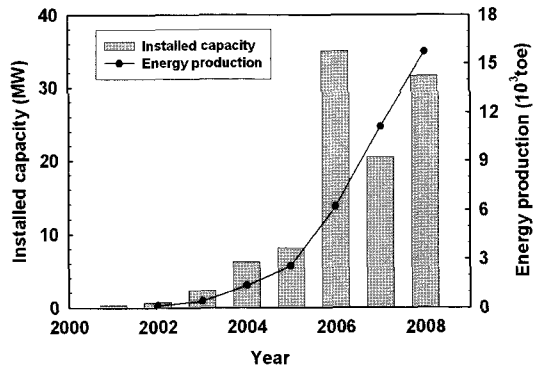
우리나라는 2000년경에 지열 냉난방 시스템을 처음 도입한 후 2004년 공공기관의무화제도 등의 정책에 힘입어 그 이용이 크게 확대되었다. 2006년을 기준으로 총 15,071 RT 용량의 지열 냉난방 시스템이 설치된 것으로 조사되었다. 지열 냉난방 시스템의 보급은 연간 100% 이상 지속적인 성장을 보일 정도로 시장이 확대되고 있다.

## 지열 냉난방 기술의 기술개발동향

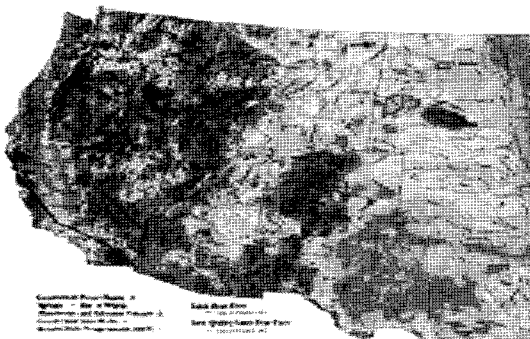
지열 냉난방 기술은 크게 열공급 시스템 개발기술, 지중 열자원(지중 열교환기) 개발기술, 인증 및



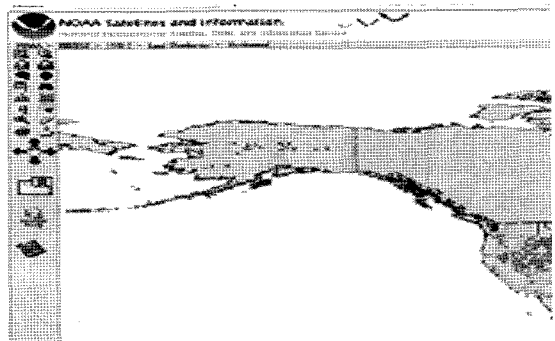
[그림 2] 전 세계 지열에너지 이용 현황



[그림 3] 국내 지열에너지 이용 현황



[그림 4] 미국 DOE에서 작성한 지열류량 분포도(2004년)

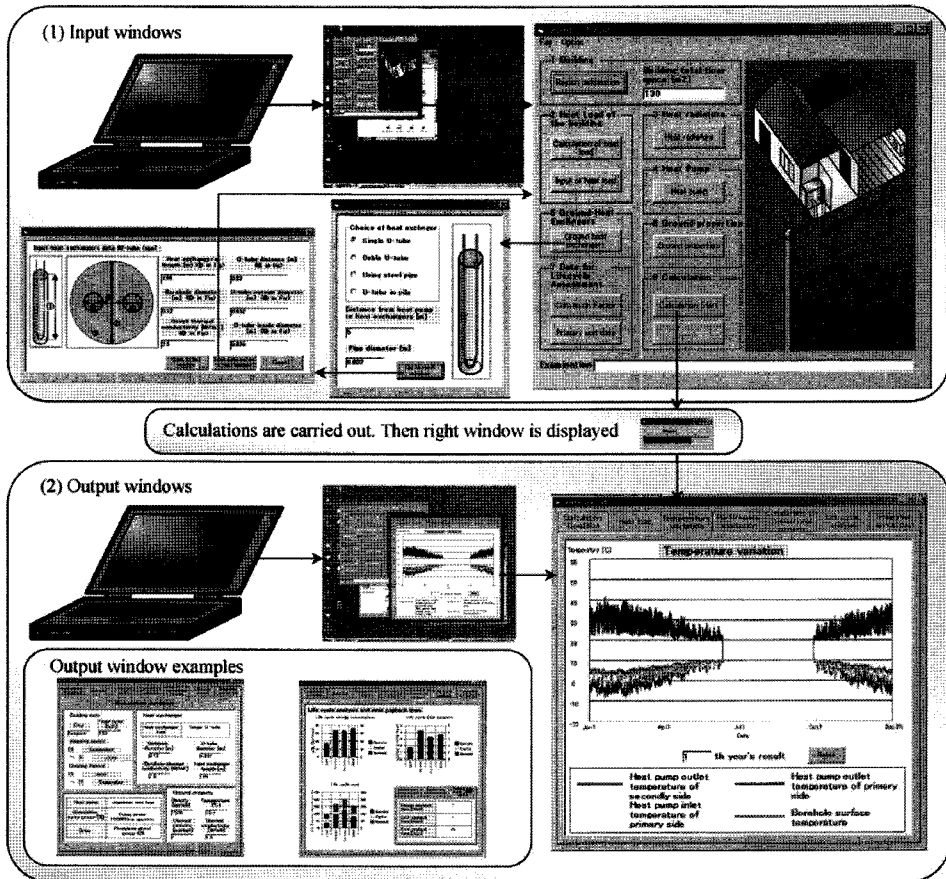


[그림 5] 미국 내 지질학적 정보 제공 웹 사이트

표준화 기술, 응용기술로 나누어 볼 수 있다. 전세계 지열 열펌프 시장의 60% 이상을 차지하고 있는 미국의 경우 지중 열자원을 효과적으로 활용하기 위해 토양 열물성치 등을 비롯하여 각종 데이터베이스를 구축하는데 많은 연구비를 투자하고 있다. 자국 내 지중온도 및 지표면 온도 분포도를 비롯하여 토양과 암반 등 지중 구성물질의 열물성(열전도도, 열확산계수, 밀도 등), 지온경사 분포도 및 지열류량 분포도 등에 관한 전국적 규모의 데이터베이스를 구축하고, 이 데이터를 관련 기업과 학교 등에 제공하고 있다(그림 4). 아울러 이러한 분포도들은 GIS프로그램을 통해 수치화되어 있으며 여러 종류의 소프트웨어와 호환이 가능하여, 지중 열자원을 이용하려는 지역의 모든 정보를 사용자가

쉽게 얻을 수 있는 것이 큰 특징이다. 한편 미국의 NGDC(National Geophysical Data Center)는 지구 물리학과 관련된 거의 모든 자료를 데이터베이스로 구축하고, 전 지구적 특성을 인터넷을 통해 제공하고 있다(그림 5). 아울러 지중열교환기의 최적화와 활용 기술, 지열 열펌프 시스템의 효율과 성능저하 예측 기술, 장기간에 걸친 성능측정 기법, 시스템 경제성 분석도구 개발 등에 산·학·연이 연계하여 기초연구와 응용연구를 활발하게 진행하고 있다. 뿐만 아니라 지열 열펌프 시스템 시공의 표준화를 통해 초기 설치비용 저감은 물론 시스템의 신뢰성을 높일 수 있었다.

일본은 우리와 비슷한 시기에 지열 열펌프 시스템이 도입되었지만, 공조·냉동산업과 열펌프 기



[그림 6] 일본에서 개발된 지열 열펌프 시스템 설계 및 성능 예측 프로그램

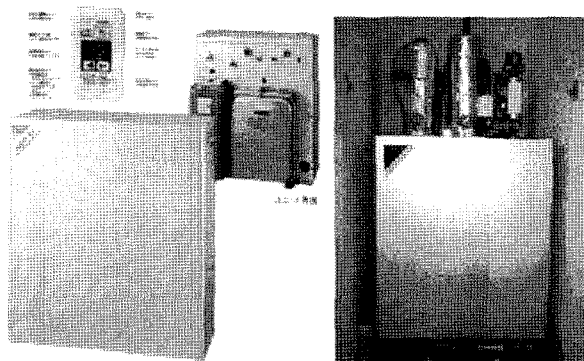


술이 발달한 나라답게 최근 들어 높은 보급률을 보이고 있으며, 많은 연구개발 결과들이 발표되고 있다. 일본 정부는 지구 온난화를 억제하는 노력의 일환으로 지열 열펌프 시스템을 적용하는 프로그램을 시작하였으며, 이 프로그램에 따라 고효율 지열 열펌프를 병원, 도서관, 시청 등 공공시설 60여 곳에 시범적으로 적용하였다. 추진 부서인 일본 환경청은 건물 냉방에 지열 열펌프를 적용할 경우, 약 40%의 냉방 에너지를 절감할 수 있다고 밝혔다. 또한 일본 경제산업성 산하기관인 NEDO (New Energy and Industrial Technology Development Organization)는 가정용 지열 열펌프 시스템을 개발하고 약 40 곳에 보급하였다. 일본 역시 다른 선진국들과 다름없이, 지열 시스템의 초기 투자비를 줄일 수 있는 기술과 시스템의 성능과 신뢰성을 향상시킬 수 있는 기술 그리고 각종 기준 등을 마련하는 연구에 많은 투자를 하고 있다. 일본의 기후와 지중조건, 대상 건물의 부하 특성 등에 적합한 설계도구(그림 6)와 지중열전도 측정 장비 등이 최근에 개발되었으며, 단독주택용 소형 지열 열펌프도 개발되어 실용화 단계에 이르렀다(그림 7).

구개발이 본격적으로 시작되었으며, 최근 국내 업체에서 생산한 제품들의 지열 냉난방 시스템 적용 비율이 50% 이상 차지할 정도로 큰 성과를 이루었다. 주요 연구개발 성과를 정리하면 다음과 같다.

지열 냉난방 요소기술의 선진국 대비 국내 기술 수준을 파악하기 위해 산학연 전문가 180명을 대상으로 설문조사를 실시한 바 있다(2007). 기술 개발 수준을 기술 완속기 및 시장확대기(81 ~ 100%), 기술실증 및 상업화(61 ~ 80%), 기술의 응용 연구(41 ~ 60%), 기술 도입 및 기초기술 습득(21 ~ 40%), 개념 정립(0 ~ 20%)의 5단계로 분류하여 설문을 실시하였다. 4개의 핵심기술 중 지중 열교환기(61.6%)와 열공급 시스템(58.5%) 부분의 기술수준은 상대적으로 높은 반면, 응용기술(54.0%)이나 표준화 및 인증기술(52.3%) 부분은 상대적으로 낮은 것으로 나타났다. 이는 지열 냉난방 시스템의 도입 초기부터 지금까지 정부주도의 보급 사업을 수행하면서 당장 현장에서 필요한 설계와 시공기술에 집중적인 투자를 한 것이 원인이다. 아울러 전체 시스템을 포함하여 설계와 시공기술의 신뢰성을 구축하는 데 필요한 표준화 및 인증 부문에서는 기술개발 투자가 다소 부족했음을 보여준다. 향후 시장을 안정시키고 신뢰성을 제고하기 위해서는 핵심기술과 각 세부기술에 대한 인증 기술이나 표준화 기술 개발에 더욱 많은 연구개발

지열 냉난방 시스템 국내 도입 초기(2000년 경)에 국산 지열 열펌프의 신뢰성 문제로 수입에 의존하였다. 이후 2002년 경 지열 냉난방 기술에 대한 연



- Compressor: 1.5 HP scroll type
- Variable speed control by an inverter
- Refrigerant: R410A
- Maximum heating out put: 6.3 kW (0 °C - 35 °C)
- HEXs: Blazing Plate Type
- Two expansion tanks and two DC-blushless circulation pumps are included in a body
- Remote controller
- Natural cooling circulation



© Copy right, 2005 Prof. Katsunori Nagano, Hokkaido University, Sapporo, Japan

[그림 7]일본에서 첫 대량 생산된 소형 지열 열펌프

투자가 있어야 하겠다.

### 지열 발전 기술의 기술개발동향

지열 발전 분야에서 미국은 세계 최고 수준의 기술력을 보유하고 있다. 뿐만 아니라 가장 많은 지열발전량을 보유한 국가이며, EGS 기술 분야에서도 유럽과 더불어 기술을 선도하고 있는 나라다. 현재 미국에서는 The Geysers(1960년에 건설된 세계 최대 규모의 지열발전소)에서 얻은 경험을 바탕으로 물(water)의 재주입(reinjection)이 저류층의 압력을 유지하기 위해 필요하다는 인식하에 최적의 물 재주입 방법을 연구하고 있다. 이는 The Geysers 지열지대가 1988년 2,000 MW로 최대 발

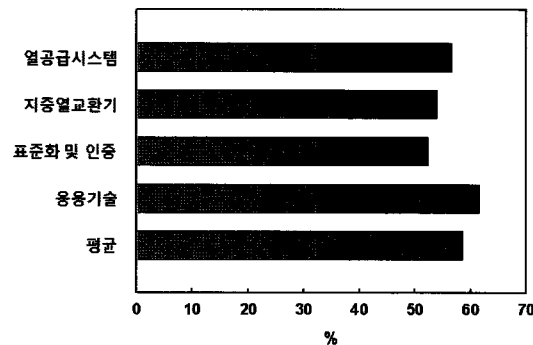
전량에 도달한 이래 압력과 생산량이 점차 감소하는 추세를 보이고 있기 때문이다.

또 다른 연구 측은 지열발전에서 실제 전기를 생산하는 데 핵심요소라고 할 수 있는 터빈과 관련된 것이다. 이 터빈의 효율을 높이고, 오래된 지열발전소와 효율이 낮은 시설을 대상으로 효율을 높이기 위한 연구가 다양하게 시도되고 있다.

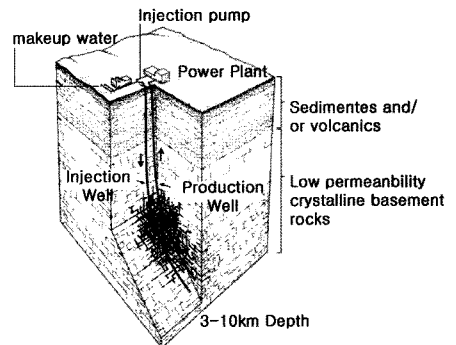
지열발전이라고 하면 일부 한정된 지역, 즉 열구배가 높은 지역에서만 가능한 것으로 인식하여 기초 에너지 공급원으로 생각하지 않았다. 하지만 EGS 기술을 적용할 경우, 지역적 한계를 극복하여 지열발전을 할 수 있는 것으로 입증되었다. EGS 기술은 HDR(Hot Dry Rock), HWR(Hot Wet Rock), HFR(Hot Fractured Rock) 등으로도 불린

<표 1> 국내 지열 이용기술 연구개발 주요성과

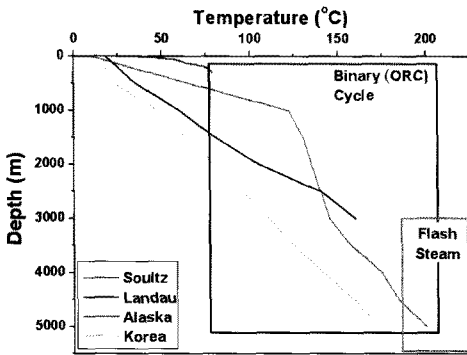
과제명	사업기간	주관기관
<b>열공급 시스템 기술개발</b>		
지열 열이용 하이브리드 히트펌프 시스템 개발	2004 ~ 2007	뉴그린테크
유출 지하수를 이용한 건물 냉난방 기술	2005 ~ 2007	삼양에코에너지
용량 가변형 지열원 다중공간 냉난방시스템 개발	2006 ~ 2009	탐솔
<b>지중 열교환기 기술개발</b>		
한국형 지중열교환기 최적 패키지 개발	2004 ~ 2007	포항산업 과학연구원
저가, 고효율 지중 열교환기 그라우팅 재료 개발 및 DB구축	2006 ~ 2008	호서대학교
수직형 지중 열교환기 시공 기법 및 고성능 천공기술 개발	2005 ~ 2007	건설기술연구원
<b>실증연구</b>		
시설 원예용 수평형 지열 히트펌프 시스템 실증연구	2005 ~ 2007	공간코리아
3 pipe u tube 수직밀폐형 열교환기 지열 시스템 실증연구	2006 ~ 2008	뉴그린테크



[그림 8] 국내 기술수준 분석결과(2007)



[그림 9] 복수 보어홀을 이용한 EGS 기술 개략도



[그림 10] 국내외 주요지역의 지열구배

다. 이 기술의 기본 개념은 기반암의 자연 절리의 투수율을 증가시켜, 다수의 심부 보어홀을 시공하고 물을 순환시켜 발전하는 것이다. 이 기술은 세계의 지열발전 분야 확대에 많은 공헌을 할 것으로 기대되고 있으며, 아울러 고온의 지열자원이 부족한 국내에서도 적용 가능한 기술로 간주된다.

유럽연합(EU)은 ENGINE(ENhanced Geothermal Innovative Network for Europe)을 조직하여 주요 유럽 프로젝트인 Soutz-sous-Forets(in France)를 지원하고 있다([www.soutz.net](http://www.soutz.net), <http://engine.brgm.fr>). 프랑스, 독일, 이탈리아, 스위스, 미국, 일본 등이 이 프로젝트에 참여하고 있으며, 산업 컨소시엄(EEIG Heat Mining)이 운영하고 있다. 지금은 EC, 프랑스, 독일이 거의 균등하게 제공하고 있으며, 이 사이트의 시스템은 1개의 주입정과 2개의 생산정으로 구성되어 있다.

국내에서는 아직 지열발전 기술 개발을 구체적으로 진행한 사례가 없다. 그러나 일부 기업은 발전설비를 위한 기초 기술을 확보하고 있는 것으로 판단된다. 따라서 지열발전 기술에 대한 필요성에 의하여 국내에서 사업이 진행된다면 여러 대기업들이 참여할 수 있을 것이다. 일례로 현대엔지니어링은 1992년에서 1999년까지 인도네시아 다라자트 지열발전소 PHASE 1과 2의 설계, 기자재 구매와 시공을 담당하는 55 MW과 78 MW급의 지열발전소를 성공적으로 수행하였고, 현재 지열발전 시장에서의 우위를 차지하기 위해 주요 기기 공급업체와 장래의 발주처와의 전략적 유대관계를 강화하고 있다.

그림 10은 국내 지열구배와 전세계 주요 지역의 지열구배를 보여주고 있다. 이들 지역과 달리 국내의 경우 지열구배가 낮아 바이너리발전 또는 EGS 기술을 활용한 지열 발전이 가능할 것으로 보인다. 따라서 국내 지열발전의 기술개발에 있어서 핵심 요소는 심부천공 및 EGS를 위한 인공과채기술과 지상 플랜트로서 저온지열 발전 플랜트의 기술확보가 필요한 실정이다.

## 향후 국내 지열 이용기술 개발계획

국내 한 연구에 따르면 한반도의 지하 5 km 내에 부존하고 있는 지열에너지의 양은 약 100,000 EJ로, 이는 2006년 우리나라 1차에너지 총 소비량의 10,000배에 이르는 막대한 양이다. 지열에너지는 태양으로부터 지속적으로 공급받고 있으므로 향후 우리나라뿐만 아니라 전 세계에서 에너지 수급의 대안으로 활용 가능한 에너지원임이 분명하다. 따라서 지열 이용을 위한 핵심기술들의 국산화 및 선진화가 절실한 실정이다. 이에 따라 정부는 내년 에너지기술개발사업의 신규지원과제를 공모하여 상세기획 대상을 선정하였다. 신재생 에너지 분야에서 지열은 총 네 개의 주제를 도출하였다.

- ① 그린홈 적용을 위한 소형·소용량 지열 히트 펌프 시스템 상용화 기술 개발
- ② 친환경 개방형 지열 시스템 개발 및 기술 표준화
- ③ 분산형 집단에너지 지열시스템 개발
- ④ 200 kW<sub>e</sub> 지열발전 Pilot Plant 구축

이와 같은 지속적인 연구개발을 통해 국내 지열 이용기술의 신뢰성을 제고하고, 지열에너지의 이용을 확대하여 에너지위기의 대안으로 활용해야 한다.

## 지열인력양성센터(지열핵심기술연구센터)

지식경제부는 2008년 지열관련 분야의 상시적 지원을 위해 지열인력양성센터를 지정하여 운영 중에 있다. 지열인력양성센터는 지열과 관련된 기술지원, 전문가교육 등 지열 관련 토털 솔루션을 제공하는 역할을 수행 중에 있으며 홈페이지(<http://gteec.or.kr>)/전화(041-543-5580~1)를 통해 자세한 내용을 문의할 수 있다. ④