

## 집중기획

# 국내 MW급 EGS지열발전 상용화 기술 개발

2010년 지식경제부 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 착수한 MW급 지열발전 상용화 기술 개발 계획에 대해 소개하고자 한다.

### 추진 배경

우리나라는 저탄소 녹색성장을 위한 제1차 국가에너지 기본계획(2008~2030) 상 2030년까지 1차 에너지소비량의 11%(33,027,000 TOE)를 신재생에너지로 보급하고 신재생에너지산업을 신성장동력으로 육성하는 정책을 표방하여 왔으며, 이러한 신재생에너지 육성 정책 중 국내 심부지열자원의 개발과 활용 역시 중요한 과제 중의 하나로 제시된 바 있다. ‘한국형 지열 발전 시스템의 기술개발 타당성 연구’(장기창, 2009)에서는 우리나라 지열 발전 기술 개발 단계를 구분하여 단기(2011~2015)적으로 200 kWe급 차세대 지열발전 플랜트 기술개발 및 1 MWe급 지열발전 플랜트(소형플랜트) 구축, 중기(2016~2020)적으로는 5 MWe급 상용화 플랜트(중형플랜트) 완성, 장기(2021~2030)적으로는 한국형 중대형 지열발전시스템을 개발하여 10 MWe급 지열발전 플랜트(대형플랜트)를 다수 보급하는 것을 목표로 제시한 바 있다. 특히 최근에는 온실가스 저감 전략 로드맵 상의 중장기 전략 품목으로 20MWe급 지열발전 기술이 선정된 바 있다.

지열발전은 계절과 날씨 등에 영향을 받지 않고 365일 24시간 가동할 수 있어 기저부하를 담당할 수 있는 유일한 신재생에너지 자원으로서 국내

윤운상  
(주)넥스지오  
대표이사  
[gaia@nexgeo.com](mailto:gaia@nexgeo.com)

신재생에너지 육성 정책에 부합함은 물론 전 세계적으로 지열 발전에 대한 관심이 증대되고 있는 것이 사실이다. 화산성 고온 지열지역이 아닌 우리나라에서는 그동안 주로 연중 일정한 온도를 유지하는 천부 지중열을 이용한 지열냉난방을 중심으로 지열에너지에 대한 관심과 보급이 집중되었다.

그러나, 최근 선진국을 중심으로 화산성 고온 지열 지대가 아닌 지역에서 심부 지열원을 확보하고 지열저류층을 수리자극(hydraulic stimulation)을 통해 인공적으로 생성하는 인공지열 저류층 생성 기술(EGS: Enhanced Geothermal System)을 통한 상업적 지열발전이 시도되고, 운영됨에 따라 국내에서도 심부지열을 이용한 지열발전의 가능성이 제기되었다. 2010년 12월 지식경제부의 지원에 의해 착수된 'MW급 지열발전 상용화 기술개발' 과제는 EGS 지열발전 기술의 국내 적용성과 상용화 가능성을 확인하는 첫 번째 시도로서 향후 20 MWe급 상용 지열발전 기술의 초석이 될 것으로 기대하고 있다.

### EGS 지열발전 기술

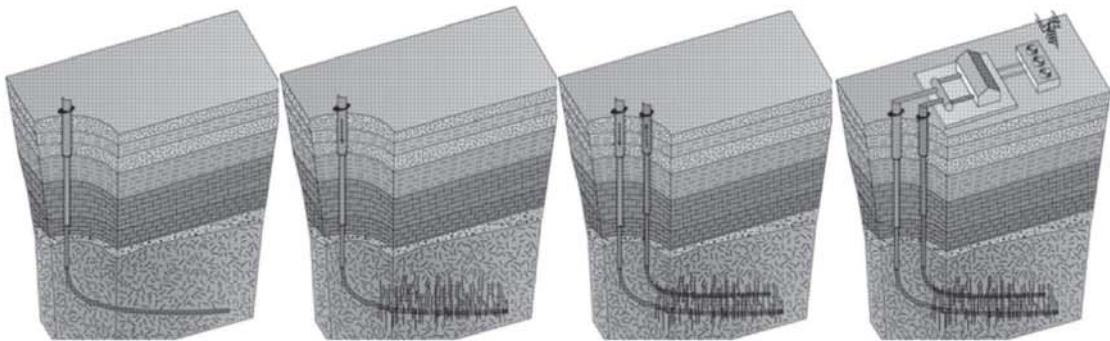
EGS(Enhanced Geothermal System) 기술은 과거에 고온암체(Hot Dry Rock: HDR)를 대상으로 했던 기술을 좀 더 포괄적인 의미로 진보시킨 것으로 발

전을 위한 온도는 충분하지만 유체가 없거나 투수율이 낮아 발전에 필요한 만큼의 압력을 가진 지열 저류층이 부존하지 않을 경우에 인공적으로 투수율을 향상시켜 이를 상업적으로 발전이 가능한 시스템으로 만들어내는 기술이다. 일반적으로 EGS에서는 지하심부를 굴착한 후, 강한 압력으로 수리자극을 진행시킴으로써 인공적인 저류층을 생성한 다음, 이를 통하여 열교환된 고온의 지열수를 생산정으로 끌어올려 발전에 이용하게 된다(그림 2 참조).

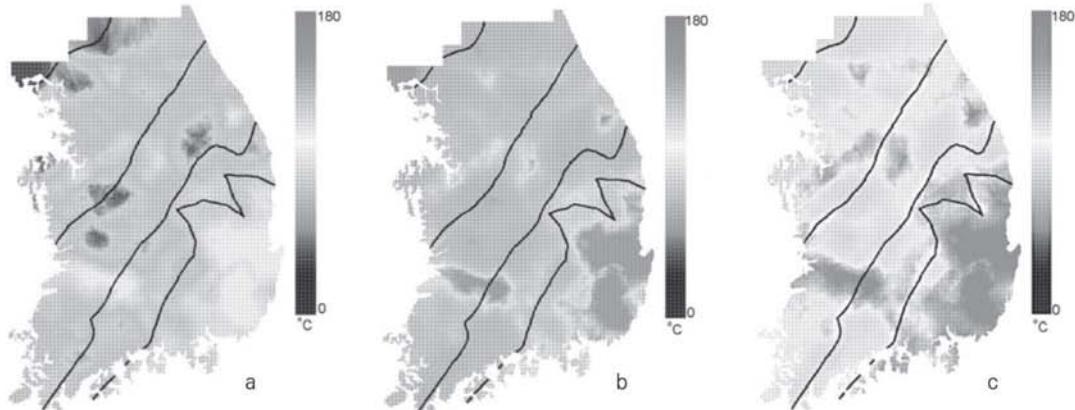
EGS 기술로 인해 화산지대가 아닌 경우에도 지열발전이 가능해짐에 따라 프랑스 Soultz Project를 시발로 하여 독일, 호주 등 비화산지대에서도 지열발전의 상용화가 활발히 추진되고 있다. 국내에서 수행 중인 'MW급 지열발전 상용화 기술' 개발사업 역시 EGS 기술에 기반하고 있다.

### 국내 심부 지열 자원 평가

1970년대까지 국내 지열연구는 주로 온천조사를 위주로 진행되었으며, 1980년대 이 후 관련 연구소와 학계에서 온천조사뿐만 아니라 지열류량에 대한 연구가 수행되기 시작하였다. 특히 2003년 이래 한국지질자원연구원에서 기존의 온천시추 등의 자료를 수집하고 암석의 열물성을 측정하여 2007년 기준으로



[그림 1] EGS 지열 발전 기술 개요



[그림 2] 국내 심부 지열 예측 (a) 3 km, (b) 4 km, and (c) 5 km. (Lee et al., 2010)

총 359개의 지열류량 시료와 580개의 지온증가율 자료, 1,560개의 암석 샘플에 대한 열전도도를 측정하여 남한에 대한 지온증가율 분포도, 지열류량 분포도, 그리고 암석의 열전도도 분포가 작성된 바 있다. 현재 국내 지열자원 부존 정보 DB는 미국 및 유럽의 선진국 수준으로 구축되어 지열자원 부존량 평가에 활용되고 있다(<http://kgiris.kigam.re.kr>).

이상의 연구 결과에 따르면 우리나라는 비화산지대의 특성 상 화산 지대에 비해 지온경사도가 크지 않으나, 그림 4와 같이 5 km 심도에서 지역에 따라  $180^{\circ}\text{C}$  이상의 지열저류층이 발달하고 있을 가능성이 높은 것으로 평가되었다 (Lee et al., 2010). 따라서 국내 심부 지열 에너지 자원은 비화산지대의 대표적인 지열발전기술로 대두되고 있는 EGS 기술과 중저온 지열수를 이용한 바이너리 방식의 발전 기술을 이용한다면 전력 생산이 가능한 조건에 해당한다.

특히 경상분지 일대를 비롯한 일부 지역은 그림 2와 같이 비교적 국내에서 심부 지열 자원이 우수할 것으로 분석된 바 있으며, Lee et al(2010)에 의해 5 km 심도에서  $150^{\circ}\text{C}$  이상의 지열저류층이 발달할 것으로 예측된 지역으로 역시 경상 분지 지역에 집중되어 있

다. 한국지질자원연구원에서 수행된 포항 부근 지열원 조사에 따르면 2.385 km 심도에서  $90^{\circ}\text{C}$  온도를 확인한 바 있다(이태종 등, 2008). 이 결과에 기초하여 2 km 이상의 심도에서 동일한 지온 경사가 유지된다고 가정할 경우, 5 km 심도에서  $180^{\circ}\text{C}$ 의 지열저류층 온도를 예상할 수 있다

우리나라 5 km 이내 심도에 부존하는 지열에너지의 총량은  $2.4 \times 10^{12}$  석유환산톤(TOE)로서 이중 2%를 추출하여 사용한다고 가정했을 때, 약 480억 TOE로 이는 2006년 우리나라 전체 1차 에너지 총 소비량의 약 200배에 해당하는 양이다 (표 1, Lee et al., 2010). 따라서 우리 국토에 부존하는 막대한 지열자

&lt;표 1&gt; 국내 심부 지열 에너지 예측(Lee et al., 2010)

Depth interval (km)	Heat content in J	Heat content in GToe	Heat content in GToe (2%)
0~1	$4.25 \times 10^{11}$	101.1	2.0
0~2	$1.67 \times 10^{12}$	398.7	8.0
0~3	$3.72 \times 10^{12}$	884.9	17.7
0~4	$6.52 \times 10^{12}$	1,552.8	31.1
0~5	$1.01 \times 10^{13}$	2,396.0	47.9

원을 심부지열발전기술로 개발할 수 있다면 이산화 탄소 감축 및 국가 에너지 안보에 크게 기여할 뿐만 아니라 급격한 성장세를 보이는 지열발전 산업분야에서 국제 경쟁력을 확보할 기회를 가질 수 있다.

### 기술 개발 목표

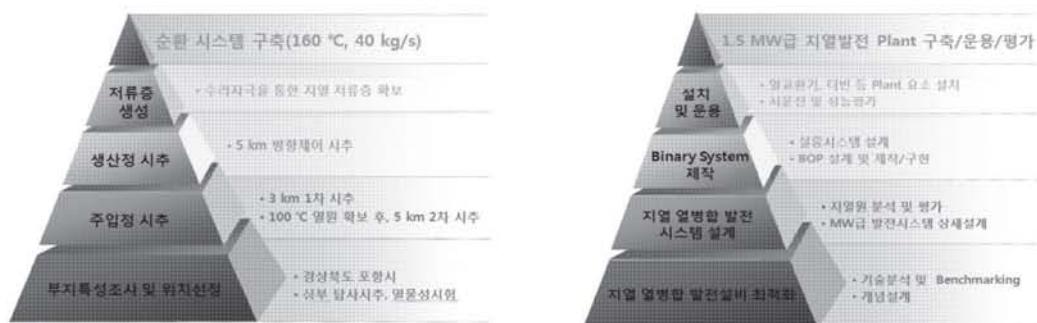
2010년 12월로부터 5개년 계획으로 에너지기술 평가원의 지원으로 착수된 'MW급 지열발전 상용화 기술 개발' 과제는 정부 출연금 약 200억원, 민간 출연금 약 250억원 규모의 예산으로 추진된다. 이 과제에서는 국내 5km 심도에서 발전이 가능한 심부지열자원을 탐사, 평가하고 인공적으로 지열저류층을 형성하여 지열수 순환시스템을 완성하는 원천기술을 확보함으로써 MWe급 상용화 지열발전소(CDP: Commercial Demonstration Plant)를 건설 운영하는 것을 목표로 하고 있다. 그림 3은 이 기술 개발 과제에서 달성하고자 하는 연구 목표로서 순발전량 1.5 MW의 지열 발전소를 목표로 하고 있다.

이 과제에서 연구 개발하고자 하는 핵심 기술은 지열자원의 조사/탐사 기술, 지열 저류층 평가 기술, 심부 시추기술 및 심부 지열저류층 활성화 기술 등 지중 지열수 순환 시스템 관련 기술과 확보된 심부지열수를 활용하여 전력을 생산할 수 있는 MW급의 플랜

트 설계 및 건설, 운영 기술 등이다. 이를 위하여 (주) 넥스지오를 주관기관으로 하여 개별 요소 기술의 국내 전문 기관인 한국지질자원연구원, 한국건설기술연구원, 서울대학교, 포스코, 이노지오테크놀로지 등이 연구 개발에 참여하고 있으며, 해외 지열 발전 전문 기관 역시 과제에 참여하고 있다.

### 기술 개발 추진 계획

2015년 까지 이 사업에서는 심부 지열저류층의 특성을 파악하고 5km 급의 심부 시추기술과 저류층 활성화 기술을 통하여 생산정으로부터 지열에너지를 개발하게 된다. 개발된 지열수는 지열 발전 플랜트 기술에 의해 1.5 MW급의 전기에너지로 변환되어 공급될 계획이다. 사용된 지열수는 주입정을 통해 다시 지열저류층에 재주입되며, 이 과정을 통하여 최종적으로 지열수의 순환 시스템이 완성된다. 또한 필요한 경우 열교환을 통하여 열에너지로서 지역난방이나 농업, 어업 등의 산업단지에 공급할 계획이다. 아울러 이 시스템의 장기적인 가동에 따른 지열저류층 상태, 지열수 순환시스템 및 지열발전 시스템에 대한 장기적인 모니터링과 유지관리 기술을 적용하여 지속 가능한 지열에너지의 활용시스템이 구축되게 된다. 그림 4는 5개년 간 수행될 주요 사업 추진 계획이다.



[그림 3] MW급 지열 발전 상용화 기술 개발 목표



[그림 4] MW급 지열 발전 상용화 기술 개발 추진 계획

류층 활성화에 따른 미소진동 계측 및 해석기술, 지열 저류층 평가 및 모니터링 기술, 지열수 순환 시스템 구축, MW급 지열발전 플랜트 설계, 구축 및 운영기술 등이 개발될 계획이다.

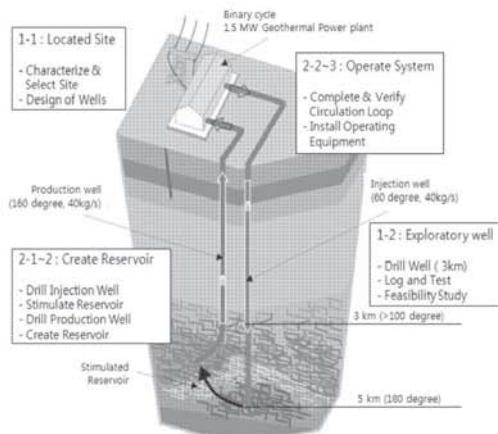
### 지열 발전 상용화 기술의 확장

소개한 과제는 국내 최초 MW급 상용화 지열발전 사업으로서, 그

이 연구는 크게 2단계로 구분되어 수행될 계획이며, 그림 5는 단계별로 진행되는 연구의 중심 내용이다.

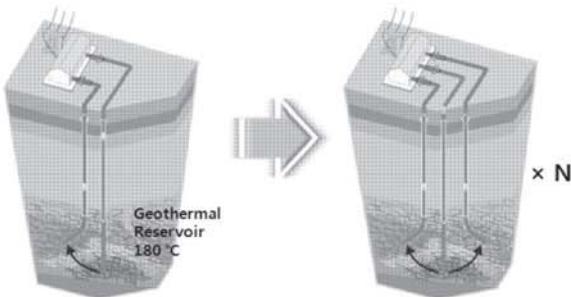
그림 5에 제시된 바와 같이 연구 1단계(2년: 1-1~2)에서는 후보 부지에 대한 탐사를 통해 부지특성화와 지열정에 대한 설계를 수행한 후(1-1), 부지 3km 심도에서 100°C 이상의 열원을 확보하여 MW급 지열발전 가능성 및 경제성 평가를 통해 2단계 진입 여부를 판단하게 된다(1-2). 1단계의 핵심 개발기술 요소는 심부 3차원 고분해능 지열 탐사 기술, 3km 시추기술 및 시추공벽 안정화 기술, 심부 지열자원 부존 규명 기술 및 지중 지열수 순환시스템 설계 기술이다. 1단계가 성공적으로 수행된 이후, 2단계 3년간은 5km 심도에서 지열저류층 온도 180°C, 지열수 온도 160°C, 유량 40kg/s의 심부 지열수자원 확보하고, 5km 심도의 지열발전용 생산정과 주입정의 설치와 수리자극을 통하여 인공저류층을 생성한 후(2-1~2), MW급 지열발전소를 설계, 구축 운영할 계획이다(2-2~3). 2단계에서는 5km 급 심부 시추기술 및 시추공벽 안정화 기술과 심부 지열 저류층 활성화 기술, 저

성공 여부는 연구 과정에서 또한 연구 종료 후에 국내 지열 발전 산업에 큰 영향을 미칠 것으로 판단된다. 이후의 성공적인 수행을 전제로 할 때, 그림 6과 같이 2015년까지 1.5 MW(doublet) 이상, 2017년까지 3 MW(triplet) 이상, 2020년까지 20 MW(well network) 이상, 2030년까지 200 MW 이상의 지열 발전이 국내



[그림 5] MW급 지열발전 상용화 기술 개발 사업 단계별 추진 내용

2010-2015	-2017	-2020	-2030
Doublet	Triplet	Well network	× N
>1.5 MW	>3 MW	>20 MW	>200 MW



[그림 6] 국내 지열 발전 전망

에서 가능할 것으로 기대하고 있다.

### 맺음말

국내에서 최초로 대규모 정부지원이 포함된 EGS 지열발전 상용화 기술 개발 연구 프로그램이 착수되었다. 현재 국내의 기술 수준으로 5 km급 심도의 인공저류층 생성과 MW급 지열 발전소 구축 운영이라는 목표는 큰 도전이 아닐 수 없다. 이 과제가 성공적으로 수행된다면, 1년 365일 기후와 주야에 관계없이 기저부하를 담당할 수 있으며 이산화탄소 배출이 거의 없는 청정 신재생에너지원을 확보할 수 있을 뿐 아니라, 관련 지질 자원 탐사와 암석역학 및 플랜트 기술의 획기적인 진일보를 이루어 낼 수 있을 것으로 기대하고 있다. 3~5 km 심부 시추기술의 개발을 통하여 상대적으로 낙후된 국내 심부시추 기술을 선진화 함으로써 향후 5 km 이상의 심부 시추기술 자립화에 기여하고 석유 가스전 개발, 이산화탄소 저장장, 방사성 폐기물의 지하 저장 등 심부 공간 이용분야에 활용토록 하는 것도 하나의 예가 될 수 있을 것이다.

또한 국내 최초의 상용화 지열발전소 건설을 통

한 지열발전 시장 진출의 교두보를 확보함으로써 심부 지열자원의 개발 및 활용을 위한 핵심기술의 개발을 통한 국가 저탄소/녹색성장의 신성장동력 창출에 크게 기여할 수 있을 것이다. 특히 기후 변화 협약(UNFCCC)과 이에 따른 교토 의정서가 국제질서에 영향을 주는 시대 상황에서 국내에서 개발될 지열발전기술은 급격한 성장이 예고된 국제 지열발전시장에서 국가경쟁력을 강화하는 효과가 있을 것으로 기대된다.

국내의 심부지열을 이용한 지열발전 기술 수준은 지열 발전 선진국에 비해 그 수준과 기술의 자립도가 높지 않은 것 역시 현실이다. 이를 성공적으로 극복하기 위해서는 지열 발전 관련 제도의 정비, 적극적인 해외 기술의 도입과 국내화 그리고 핵심 기술의 국산화가 주요 관건이라 하겠다.

### 참고문헌

1. 강신형, 2007, 신·재생에너지 R&D 전략 2030의 지열분야 전문위원회 최종보고서
2. 송윤호, 2010, 인공 지열 저류층 생성 기술(EGS)을 이용한 국내 지열발전 pilot plant 규모 추정, 한국지구시스템공학회지, 47, 245-253.
3. 이태종, 송윤호, 이창범, 박덕원, 김형찬, 조병욱, 이승구, 김통권, 황세호, 윤숙, 이상규, 이철우, 이영민, 이성곤, 박인화, 심병완, 이윤수, 2008, 지열수 자원 실용화 기술 개발, 한국지질자원연구원 연구보고서 GP2007-002-03-2, 지식경제부, 185p.
4. 장기창, 2009, 한국형 지열발전 시스템의 기술개발 타당성 연구, 지식경제부 연구보고서

5. Bertani R, 2010, Geothermal power generation in the world: 2005–2010 Update Report, Proc. World Geothermal Congress 2010, Bali, Indonesia.
6. EREC, 2005, A sustainable world energy outlook
7. Fridleifsson, I. B., Bertani, R., Huenges, E., Lund, J. W., Ragnarsson, A., and Rybach, L., 2008, "The possible role and contribution of geothermal energy to the mitigation of climate change", in Hohmeyer, O., and Tritten, T. (Eds.) IPCC Scoping Meeting on Renewable Energy Sources, Proceedings, Luebeck, Germany, 20–25 January, pp. 59–80.
8. Lee Y, Park S, Kim J, Kim HC, and Koo M-H, 2010, Geothermal resource assessment in Korea, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 14, 2392–2400
9. Tester et al., 2006, The future of geothermal energy – Impact of Enhanced Geothermal Systems (EGS) on the United States in the 21st century, Massachusetts Institute of Technology, <http://www1.eere.energy.gov>
10. Wissing, L., 2009, Germany Country Report, presented at 21st IEA GIA ExCo meeting, Madrid, Spain, May 7–8, 2009.
11. <http://kgris.kigam.re.kr>
12. <http://www.soultz.net> 