

## MW급 EGS 지열발전 상용화 기술개발사업의 추진 배경 및 계획

윤운상<sup>1)\*</sup>, 송윤호<sup>2)</sup>, 이태종<sup>2)</sup>, 김광염<sup>3)</sup>, 민기복<sup>4)</sup>, 조용희<sup>5)</sup>, 전종욱<sup>6)</sup>

### Research Background and Plan of Enhanced Geothermal System Project for MW Power Generation in Korea

Woon-Sang Yoon, Yoonho Song, TaeJong Lee, Kwang-Yeom Kim,  
Ki-Bok Min, Yong-Hee Cho, Jongug Jeon

**Abstract** Geothermal energy is believed to be an important source among the renewable energy sources to provide the base load electricity. Although there has been a drastic increase in the use of geothermal heat pump in Korea, there is no geothermal power plant in operation in Korea. Fortunately, the first EGS (Enhanced Geothermal System) Project in Korea has started in Dec 2010. This five year project is divided into two stages; two years for exploration and drilling of 3 km depth to confirm the minimum target temperature of 100 degrees, and another three years composed drilling 5 km doublet, hydraulic stimulation of geothermal reservoir with expected temperature of 180 degrees (40 kg/s) and construction of MW geothermal power plant in the surface. This EGS project would be a landmark effort that invited a consortium of industry, research institutes and university with expertises in the fields of geology, hydrogeology, geophysics, geomechanics and plant engineering.

**Key words** Geothermal energy, EGS, Hydraulic stimulation

**초 록** 지열에너지는 여러 신재생에너지원 중에서도 기저부하를 담당할 수 있는 중요한 자원으로 인식되고 있다. 국내에서도 천부지열을 이용한 지열냉난방은 효율 높은 신재생에너지 활용 사업으로 그 보급이 활성화 되어 있다. 반면, 전세계적으로 지열 발전 기술이 진일보하고, 그 시장이 크게 확대되고 있는 상황에서 아직까지 국내의 심부 지열을 이용한 지열 발전 기술은 낮은 단계에 머무르고 있다. 이러한 조건에서 2010년 12월에 국내 최초의 EGS(Enhanced Geothermal System) 지열 발전 상용화 기술 개발 과제가 착수되었다. 총 5개년의 기간으로 수행되는 이 과제는 2단계로 구분되어 진행될 계획이다. 처음 2년의 1단계에서는 3 km 심도에서 최소 100°C의 지열저류층 온도를 확인하는 것을 주요 과제 내용으로 하여 지중 지열수 순환시스템의 설계가 이루어질 예정이다. 이후 3년을 통해 수행될 2단계에서는 5 km 심도의 생산정과 주입정 등 두 개의 지열발전정을 설치하고, 수리지극을 통하여 온도 180°C의 지열저류층에서 유량 40 kg/s 이상의 지열수를 활용하는 MW급 지열발전소를 건립 운영하게 된다. 이 사업을 성공적으로 추진하기 위하여 현재 지질, 수리지질, 지구물리, 암석역학, 플랜트 엔지니어링 등 다양한 분야의 산학연 연구 기관 등이 망라되어 연구진을 구성한 상태이며, 이후 관심있는 여러 기관과 연구자들의 지원과 참여를 기대하고 있다.

**핵심어** 지열 에너지, EGS, 수리지극

<sup>1)</sup> 주식회사 넥스지오

<sup>2)</sup> 한국지질자원연구원 지열자원연구부

<sup>3)</sup> 한국건설기술연구원 국토지반연구부

<sup>4)</sup> 서울대학교 에너지자원공학과

<sup>5)</sup> 포스코 에너지사업실

<sup>6)</sup> 이노지오테크놀러지 시스템개발부

\* 교신저자 : gaia@nexgeo.com

접수일 : 2011년 2월 18일

심사 완료일 : 2011년 2월 22일

게재 확정일 : 2011년 2월 24일

## 1. 서론

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(강신형, 2007; 장기창, 2009; 송윤호, 2010).

지열발전은 계절과 날씨 등에 영향을 받지 않고 365일 24시간 가동할 수 있어 기저부하를 담당할 수 있는 유일한 신재생에너지 자원으로서 국내 신재생에너지 육성 정책에 부합함은 물론 전 세계적으로도 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, 이 글에서는 그 배경과 연구 계획에 대해 기술하도록 하겠다.

## 2. 해외 지열 발전 동향

2010년 1월 현재, 세계 지열 발전용량은 10.7 GWe의 발전시설을 갖추고 있고 2010년의 전력생산량은 67,246 GWh에 달하고 있다(Bertani, 2010). 또한 Wissing(2009)는 IEA GIA 기준으로 총 17백만 배럴의 석유대체효과와 64백만톤의 148백만톤의 이산화탄소 배출 절감효과로 분석한 바 있다. Fig. 1는 현재 각국에서 운영중인 지열발전규모모로써 최대 이용국가는 미국(3,093 MWe)이며, 필리핀(1,904 MWe), 인도네시아(1,197 MWe), 멕시코(958 MWe), 이탈리아(843 MWe), 뉴질랜드(628 MWe), 아이슬란드(575 MWe), 일본(536 MWe), 독일(536 MWe), 터키(82 MWe), 러시아(82 MWe), 중국(24 MWe), 에티오피아(7.3 MWe), 케냐(167 MWe), 호주(1.1 MWe), 뉴질랜드(628 MWe) 등이 그 뒤를 잇고 있다.

2010년 현재 전 세계적으로 지열발전 플랜트는 526기가 건설되었으며, 설치용량 면에서 1단 습증기(single flash-steam) 방식(4,421 MWe, 41%)과 2단 습증기(double flash-steam) 방식(2,092 MWe, 20%)의 뒤를 이어 건증기(Dry Steam) 방식(2,878 MWe, 27%), 바이너리(Binary) 방식(1,178 MWe, 11%)의 점유율을 보이고 있다. 특히 용량에서는 바이너리 방식의 비율이 낮았지만, 플랜트 수에서는 전체 526기의 플랜트 중 236기(45%)가 바이너리 방식으로 타 방식보다 설치 수량이 월등한 상태이다. 중저온의 지열수를 이용하는 바이너리 방식의 설치

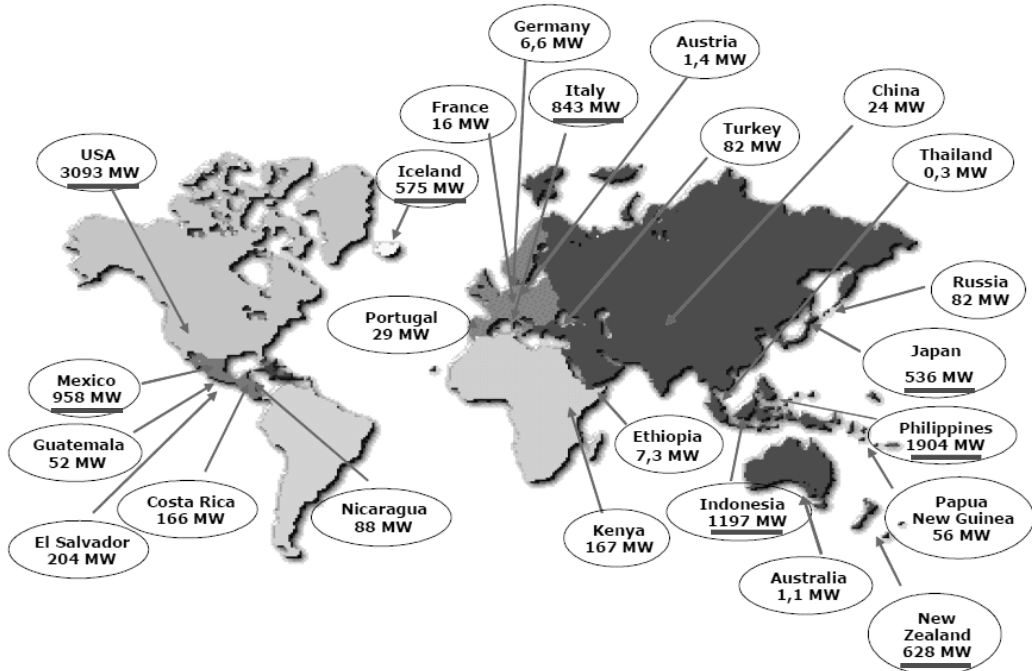


Fig. 1. Geothermal power generation in the world (Bertani, 2010)

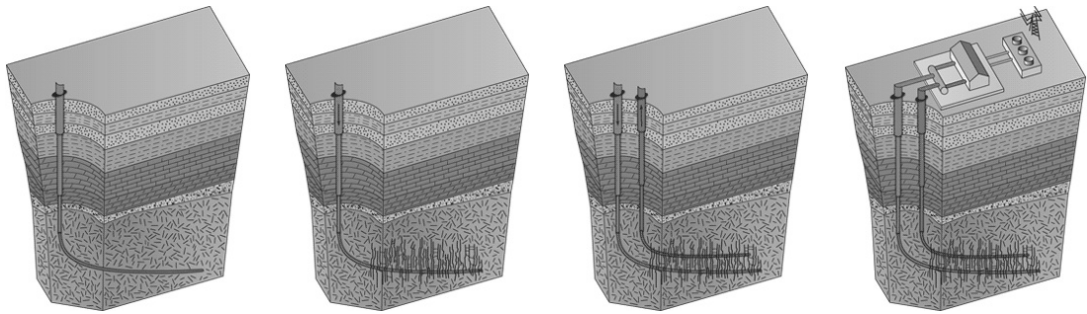


Fig. 2. Schematic diagrams of EGS power generation of Groß Schönebeck

개소가 많은 것은 지열발전이 더 이상 화산성의 고온 지열자원을 가지고 있는 국가에서만 보급될 수 있는 분야가 아니라는 사실을 뒷받침하고 있다.

특히 진보된 지열발전기술인 EGS 기술의 개발이 성공리에 진행되면서 화산지대가 아닌 경우에도 지열발전이 가능해짐에 따라 프랑스, 독일, 호주 등 비화산지대에서도 지열발전의 상용화가 활발히 추진되고 있는 점은 주목할 만한 동향이다. 지열발전 선진국의 경우, 화산성 고온지역이 아닌 지역에서 지하 5 km 침도까지 굴착 후(심부 굴착 기술), 고압의 수리자극을 이용하여 인공적으로 지열 저류층을 생성(인공 저류층 생성 기술)하여 이로부터 증기 및 열수를 회수하여 전기를 생산(binary 지열발전 기술)하고 집단 열에너지를 공급하는 EGS 기술을 적극 도입하고 있다.

EGS 기술은 과거에 고온암체(Hot Dry Rock; HDR)를 대상으로 했던 기술을 좀 더 포괄적인 의미로 진보시킨 것으로 발전을 위한 온도는 충분하지만 유체가 없거나 투수율이 낮아 발전에 필요한 만큼의 압력을 가진 지열 저류층이 부족하지 않을 경우에 인공적으로 투수율을 향상시켜 이를 상업적으로 발전이 가능한 시스템으로 만들어내는 기술이다. 일반적으로 EGS에서는 지하 심부를 굴착한 후, 강한 압력으로 수리자극을 진행



Fig. 3. Geothermal power plant of Soutz project (www.soutz.net)

시킴으로써 인공적인 저류층을 생성한 다음, 이를 통과하면서 열교환된 고온의 지열수를 생산정으로 끌어올려 발전에 이용하게 된다(Fig. 2).

EGS 지열발전의 가장 대표적이며 최초의 상업적인 성공을 거둔 사례는 프랑스의 Soutz Project(Fig. 3a)로서, 현재 1.5 MWe급의 ORC 바이너리 발전시설이 가동 중에 있으며(www.soutz.net), 이보다 40 km 북쪽에 위치한 독일의 Landau에서는 현재 2.9 MWe의 지열발전 시설이 가동 중에 있다. 또한 독일의 경우 Unterhaching시에 2007년부터 3.5 km 깊이에서 135°C의 지열원을 개발

Table 1. Geothermal Power plants in Germany (Wissing, 2009)

Location	Capacity	Year
Unterhaching (German Molasse Basin)	3.3 MW (Kalina)	2007
Landau (Upper Rhine Valley)	2.9 MW (ORC)	2007
Insheim (Upper Rhine Valley)	5 MW	2010
Bruchsal (Upper Rhine Valley)	0.55 MW	2009
Sauerlach (German Molasse Basin)	8 MW	2009
Garching (German Molasse Basin)	-	2011
Unterföhring (German Molasse Basin)	-	2011

하여 3.3 MW의 지열발전 및 지역난방에 활용하고 있으며(Fig. 3b), 이러한 성과에 기반하여 2025년까지 150개의 지열발전소를 건설할 계획을 세우고 있다(Table 1).

호주의 경우에도 2020년까지 2,000 MW의 지열발전 수행 계획을 수립하고 현재 14개 이상의 기업이 지열발전사업에 참여하고 있으며 미국의 경우 2006년 MIT 대학에서 발간한 자료(Tester et al., 2006)에 의하면 2050년까지 미국 총 기저전력의 10%를 지열발전으로 대체할 수 있는 것으로 예상하고 있다. 보수적인 전망을 따르더라도 현재 진행 중인 Project를 합산하면 2015년에는 18.5 GWe에 달할 것으로 예상되며 일본, 호주, 독일 등 각국의 지열발전 전망을 고려하면 더 높은 수치도 가능할 것으로 예측된다.

이러한 각국의 보급 확대 계획을 종합하여 2005년 유럽 재생에너지 위원회(EREC, European Renewable Energy Council)에서 발표한 세계 신재생에너지 전망(EREC, 2005)에 따르면 미래의 지열발전 보급 용량규모는 현재의 10 GW에서 2020년 약 41 GW, 2030년에 70 GW로 증가할 것으로 예상되고 있다. 또한 IPCC 보고서에 따르면

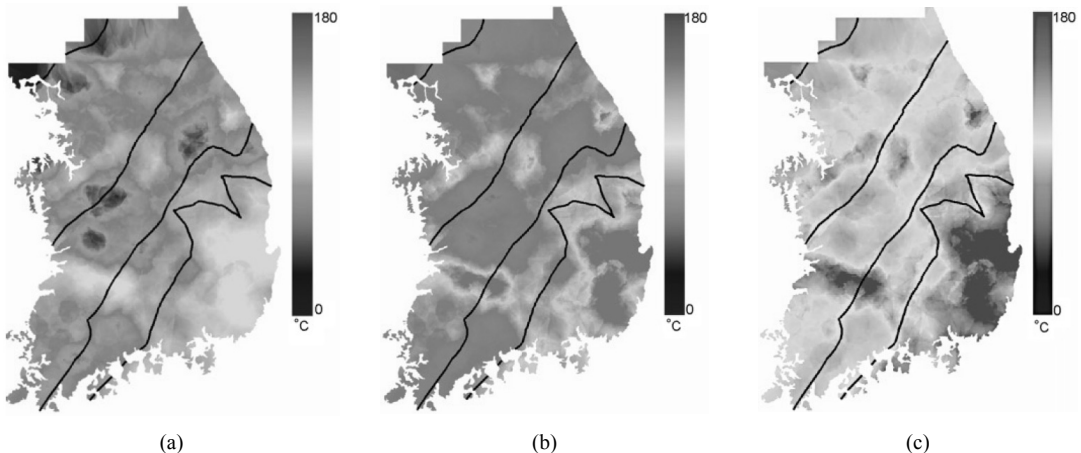
(Fridleifsson et al., 2008), 2050년에는 지열발전 설비 용량이 140 GWe, 지열발전량은 연간 약 1,103,000 GWh로 예측되고 있으며. 2050년에는 전세계 지열발전 시장은 약 1,760억달러에 이르고 지열발전에 따른 이산화탄소 감축 효과는 약 5억톤에 달할 것으로 분석하였다(Table 2).

### 3. 국내 심부 지열 자원 평가 및 지열 발전 전망

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

**Table 2.** Trend and forecasting of geothermal power generation in the world (Fridleifsson et al., 2008)

Year	Installed Capacity (GW)	Electricity Production (GWh/yr)	Capacity Factor (%)
1995	6.0	38,035	64
2000	8.0	49,261	71
2005	8.9	56,786	73
2010	11	74,669	77
2020	24	171,114	81
2030	46	343,685	85
2040	90	703,174	89
2050	140	1,103,760	90



**Fig. 4.** Temperature at (a) 3 km, (b) 4 km, and (c) 5 km. (Lee et al., 2010)

존량 평가에 활용되고 있다(<http://kgris.kigam.re.kr>).

이상의 연구 결과에 따르면 우리나라는 비화산지대의 특성 상 화산 지대에 비해 지온경사도가 크지 않으나, Fig. 4와 같이 5 km 심도에서 지역에 따라 180°C 이상의 지열저류층이 발달하고 있을 가능성이 높은 것으로 평가되었다(Lee et al., 2010). 따라서 국내 심부 지열



Fig. 5. Areas with temperature higher than 150°C at 5 km (Lee et al., 2010)

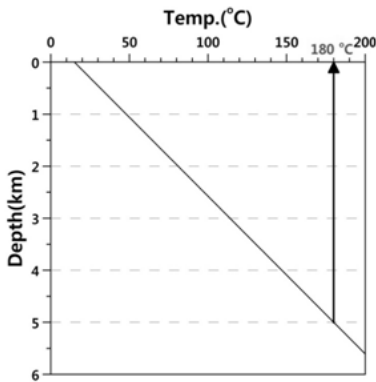


Fig. 6. Estimated temperature at 5 km depth of KIGAM Pohang site.

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 Fig. 4와 같이 비교적 국내에서 심부 지열 자원이 우수할 것으로 분석된 바 있으며, Lee et al.(2010)에 의해 5 km 심도에서 150°C 이상의 지열저류층이 발달할 것으로 예측된 지역으로 역시 경상 분지 지역에 집중되어 있다(Fig. 5). 한국지질자원연구원에서 수행된 포항 부근 지열원 조사에 따르면 2.385 km 심도에서 90°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°C의 지열저류층 온도를 예상할 수 있다(Fig. 6).

우리나라 5 km 이내 심도에 부존하는 지열에너지의 총량은 2.4×10<sup>12</sup> 석유환산톤(TOE)로서 이중 2%를 추출하여 사용한다고 가정했을 때, 약 480억 TOE로 이는 2006년 우리나라 전체 1차 에너지 총 소비량의 약 200 배에 해당하는 양이다(Table 3, Lee et al., 2010). 따라서 우리 국토에 부존하는 막대한 지열자원을 심부지열 발전기술로 개발할 수 있다면 이산화탄소 감축 및 국가 에너지 안보에 크게 기여할 뿐 만 아니라 급격한 성장세를 보이는 지열발전 산업분야에서 국제 경쟁력을 확보할 기회를 가질 수 있다.

이와 같이 국내 심부 지열을 이용한 지열 발전 가능성이 대두됨에 따라 ‘한국형 지열발전 시스템의 기술개발 타당성 연구’(장기창, 2009)에서는 우리나라 지열발전 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 지열발전 시스템을 개발하여 10 MWe급 지열발전 플랜트(대형플랜트)를 다수 보급하는 것을 목표로 제시한 바 있다.

Table 3. Heat content for different depth intervals (Lee et al., 2010)

Depth interval (km)	Heat content in J	Heat content in GToe	Heat content in GToe (2%)
0-1	4.25 × 10 <sup>21</sup>	101.1	2.0
0-2	1.67 × 10 <sup>22</sup>	398.7	8.0
0-3	3.72 × 10 <sup>22</sup>	884.9	17.7
0-4	6.52 × 10 <sup>22</sup>	1552.8	31.1
0-5	1.01 × 10 <sup>23</sup>	2396.0	47.9

#### 4. 지열발전 상용화 기술 개발 추진 계획

2010년 12월로부터 5개년 계획으로 에너지기술평가원의 지원으로 착수된 ‘MW급 지열발전 상용화 기술 개발’ 과제는 정부 출연금 약 200억원, 민간출연금 약 250억원 규모의 예산으로 추진된다. 이 과제에서는 국내 5 km 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.

이 과제에서 연구 개발하고자 하는 핵심 기술은 지열 자원의 조사/탐사 기술, 지열 저류층 평가 기술, 심부 시추기술 및 심부 지열저류층 활성화 기술 등 지열수 순환 시스템 관련 기술과 확보된 심부지열수를 활용하여 전력을 생산할 수 있는 MW급의 플랜트 설계 및 건설, 운영 기술 등이다. 이를 위하여 (주)벙스지오를 주관기관으로 하여 개발 요소 기술의 국내 전문 기관인 한국지질자원연구원, 한국건설기술연구원, 서울대학교, 포스코, 이노지오테크놀로지 등이 연구 개발에 참여하

고 있으며, 해외 지열 발전 전문 기관 역시 과제에 참여하고 있다.

앞으로 5년동안 이 연구에서는 심부 지열저류층의 특성을 파악하고 5 km 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 지속가능한 지열에너지의 활용시스템이 구축되게 된다.

이 연구는 크게 2단계로 구분되어 수행될 계획이며, Fig. 7은 단계별로 진행되는 연구의 중심 내용이다.

Fig. 7에 제시된 바와 같이 연구 1단계(2년: 1-1~2)에서는 후보 부지에 대한 탐사를 통해 부지특성화와 지

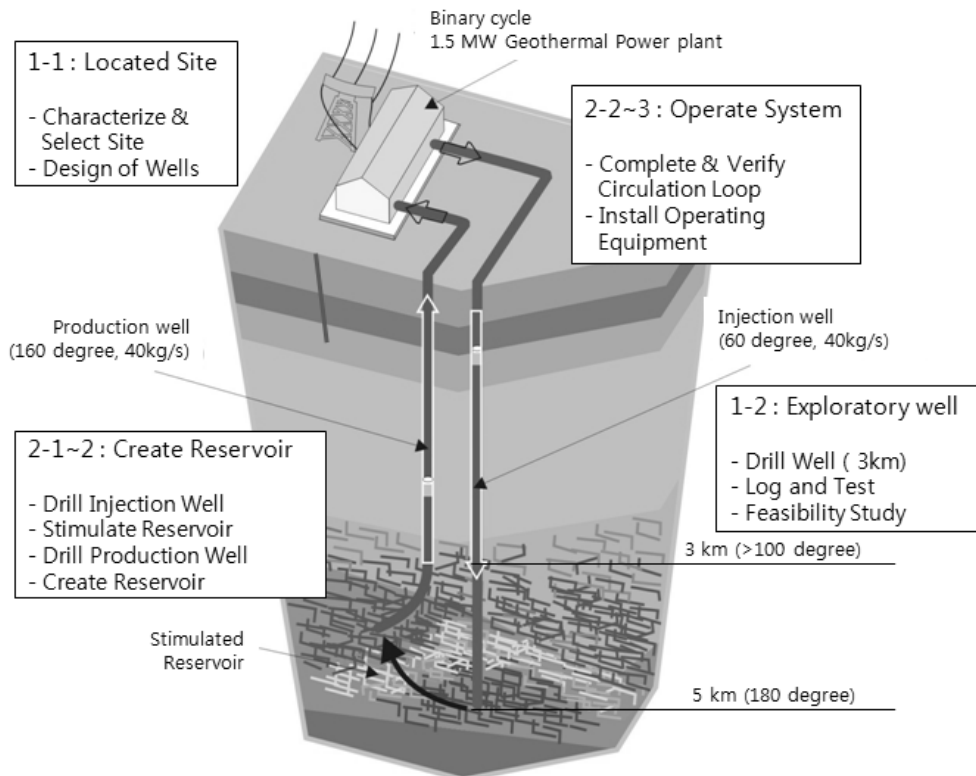


Fig. 7. Procedure of Korean EGS research project

열정에 대한 설계를 수행한 후(1-1), 부지 3 km 심도에서 100°C 이상의 열원을 확보하여, MW급 지열발전 가능성 및 경제성 평가를 통해 2단계 진입 여부를 판단하게 된다(1-2). 1단계의 핵심 개발 기술 요소는 심부 3차원 고분해능 지열 탐사 기술, 3 km 시추기술 및 시추공벽 안정화 기술, 심부 지열자원 부존 규명 기술 및 지중 지열수 순환시스템 설계 기술이다. 1단계가 성공적으로 수행된 이후, 2단계 3년간은 5 km 심도에서 지열저류층 온도 180°C, 지열수 온도 160°C, 유량 40 kg/s의 심부 지열수자원 확보하고, 5 km 심도의 지열발전용 생산정과 주입정의 설치와 수리자극을 통하여 인공저류층을 생성한 후(2-1~2), MW급 지열발전소를 설계, 구축, 운영할 계획이다(2-2~3). 2단계에서는 5 km 급 심부 시추기술 및 시추공벽 안정화 기술과 심부 지열 저류층 활성화 기술, 저류층 활성화에 따른 미소진동 예측 및 해석기술, 지열 저류층 평가 및 모니터링 기술, 지열수 순환 시스템 구축, MW급 지열발전 플랜트 설계, 구축 및 운영기술 등이 개발될 계획이다.

이 과제는 국내 최초 MW급 상용화 지열발전 사업으로서, 과제의 성공 여부는 연구 과정에서 또한 연구 종료 후에 국내 지열 발전 산업에 큰 영향을 미칠 것으로 판단된다. 이후의 성공적인 수행을 전제로 할 때, 2015년까지

1.5 MW(doublet) 이상, 2017년까지 3 MW(triplet) 이상, 2020년까지 20 MW(well network) 이상, 2030년까지 200 MW 이상의 지열 발전이 국내에서 가능할 것으로 기대하고 있다(Fig. 8).

5. 결 론

국내에서 최초로 대규모 정부지원이 포함된 EGS 지열발전 상용화 기술 개발 연구 프로그램이 착수되었다. 현재 국내의 기술 수준으로 5 km 급 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 신재생에너지를 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 선진화함으로써 향후 5 km 이상의 심부 시추기술 자립화에 기여하고 석유 가스전 개발, 이산화탄소 지중저장, 방사성 폐기물의 지하 저장 등 심부 공간 이용분야에 활용토록 하는 것도 하나의 예가

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

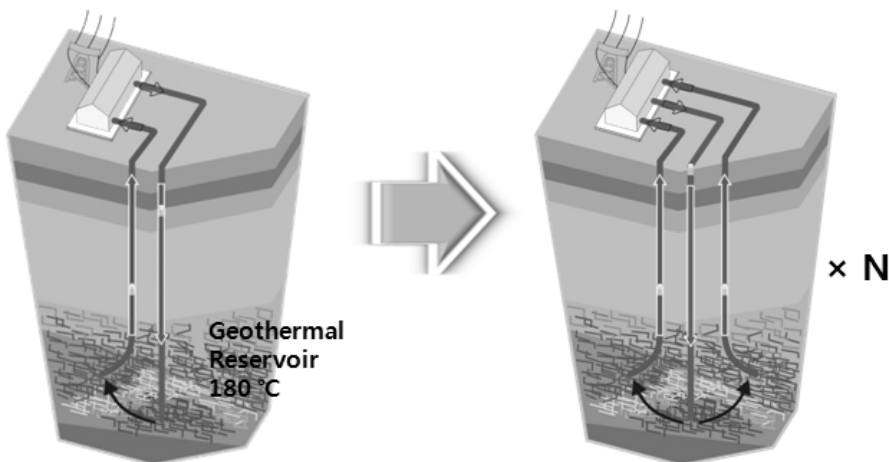


Fig. 8. Master plan of geothermal power generation in Korea

될 수 있을 것이다.

또한 국내 최초의 상용화 지열발전소 건설을 통한 지열발전 시장 진출의 교두보를 확보함으로써 심부 지열 자원의 개발 및 활용을 위한 핵심기술의 개발을 통한 국가 저탄소/녹색성장의 신성장동력 창출에 크게 기여할 수 있을 것이다. 특히 기후변화 협약(UNFCCC)과 이에 따른 교토의정서가 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. 적극적인 해외 기술의 도입과 국내화 그리고 핵심 기술의 국산화를 위해서 현재 구성된 연구진 외에도 지열 발전에 관심 있는 각 기관과 전문 연구진들의 관심과 지원 그리고 참여가 절실한 이유가 여기에 있다.

## 감사의 글

본 연구는 2010년 지식경제부 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 신재생에너지 기술개발사업 연구과제(No. 2010T100200494) 입니다.

## 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, 한국지구시스템 공학회지, 47, 245-253.
3. 이태중, 송윤호, 이창범, 박덕원, 김형찬, 조병욱, 이승구, 김통권, 황세호, 윤옥, 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 Trittin, 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 H.C., 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 21<sup>st</sup> IEA GIA ExCo meeting, Madrid, Spain, May7-8, 2009.
11. <http://kgris.kigam.re.kr>
12. <http://www.soultz.net>





**윤운상**

1991년 서울대학교 자연과학대학 지질학과 이학사  
1994년 서울대학교 대학원 지질과학과 이학석사  
2003년 서울대학교 대학원 지구환경과학부 이학박사  
Tel: 02-448-6953  
E-mail: gaia@nexgeo.com  
현재 주식회사 넥스지오 대표이사



**송윤호**

1985년 서울대학교 공과대학 자원공학과 공학사  
1987년 서울대학교 대학원 자원공학과 공학석사  
1992년 서울대학교 대학원 자원공학과 공학박사  
Tel: 042-868-3175  
E-mail: song@kigam.re.kr  
현재 한국지질자원연구원 지열자원연구부 책임연구원



**이태중**

1990년 서울대학교 공과대학 자원공학과 공학사  
1992년 서울대학교 공과대학 자원공학과 공학석사  
1998년 서울대학교 공과대학 자원공학과 공학박사  
Tel: 042-868-3051  
E-mail: megi@kigam.re.kr  
현재 한국지질자원연구원 국토지질연구본부 지열자원연구실장



**김광엽**

1997년 서울대학교 공과대학 자원공학과 공학사  
1999년 서울대학교 공과대학 자원공학과 공학석사  
2007년 서울대학교 공과대학 지구환경시스템공학부 박사  
Tel: 031-910-0225  
E-mail: kimky@kict.re.kr  
현재 한국건설기술연구원 기반시설연구본부 지반연구실 수석연구원



**민기복**

1994년 서울대학교 자원공학과 공학사  
1999년 서울대학교 자원공학과 공학석사  
2004년 스웨덴 왕립공과대학(Royal Institute of Technology) 공학박사  
Tel: 02-880-9074  
E-mail: kbmin@snu.ac.kr  
현재 서울대학교 에너지자원공학과 조교수



**조용희**

1985년 한양대학교 공과대학 토목공학 학사  
1989년 Stevens Institute of Technology 기계공학과 석사  
Tel: 02-3457-0436  
E-mail: ycho2000@posco.com  
현재 포스코 에너지사업실 근무(직책 부장)



**전종욱**

2001년 서울과학기술대학교 기계공학과 공학사  
2004년 고려대학교 공학대학원 기계공학과 공학석사  
2010년 고려대학교 공과대학 열 및 유체전공 박사  
Tel: 070-8277-8754  
E-mail: jongugjeon@gmail.com  
현재 (주)이노지오테크놀로지 시스템개발부 부장