

선진 지열발전 시스템

(Enhanced Geothermal Systems)

지열발전을 위한 최신 기술인 EGS에 대해 시스템 개요와 개발현황을 설명하고자 한다.

백성권

코오롱건설(주) 기술연구소(eva2k@kolon.com)

선진 지열시스템, EGS는 Enhanced Geothermal Systems의 약자로 발전용량을 극대화하고 발전소 위치선정의 제약을 줄이기 위해, 심부지층의 파쇄대나 절리를 통해 주입한 물을 통과시켜 열을 얻는 방식을 말한다(그림 1). 기존 지열발전 시스템을 기술적으로 개량한 것인데, 보다 정확한 용량 산정과 투자비 절감을 위해 개발된 것이다. 기존 지열발전과의 큰 차이점은 다음과 같다.

- 지열원을 얻기 위해 주입정을 두어 물을 공급
- 발전용량 증대를 위해 지중 파쇄대를 인공적으로 생성

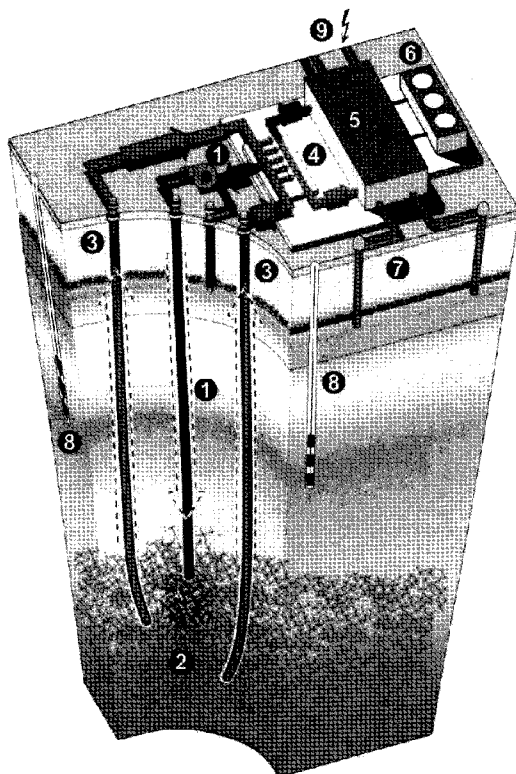
최근 미국에서는 물 대신 CO₂를 이용한 시스템 개발에 관심을 갖고 있다. 이는 물을 이용하는 것보다 발전용량이 커지며, 물의 사용을 최소화할 수 있기 때문에 더 경제적이다.

그림 2는 EGS 발전소 운영 모습을 나타내며, 기존 발전설비에 비해 EGS는 다음과 같은 장점을 가지고 있다.

- 큰 발전 용량
- 장수명 플랜트
- 열원의 확장성 우수
- 플랜트 부지 선정 및 규모 제약의 최소
- 친환경적인 장점

하지만 큰 장점에 비해 단점도 수반하게 되는데, 이는 전체 프로젝트의 성공을 좌우하는 요인이기도 하다.

- 경제적인 파쇄대 형성과 우물 굴착에 대한 예측



- | | |
|-----------------|------------|
| ① 주입정 및 주입펌프 | ② 인공 파쇄대 |
| ③ 증기 생산정 | ④ 열교환기 |
| ⑤ 터빈과 발전기 | ⑥ 냉각 순환로 |
| ⑦ 고온 지중저장고 | ⑧ 진동발생 계측공 |
| ⑨ 전력 및 난방수 공급관로 | |

[그림 1] EGS의 발전 개략도

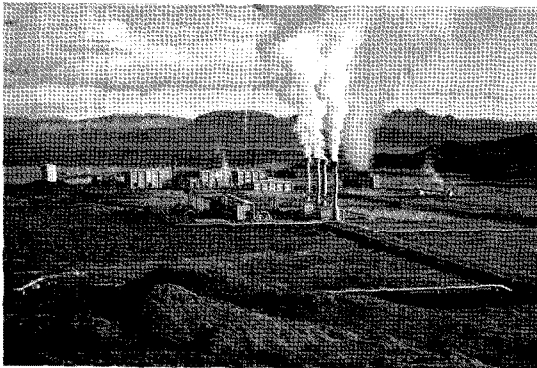
이 불명확

- 지진 발생 가능성 존재

실제 위와 같은 단점으로 인해 프로젝트가 중단된 곳도 있기 때문에 기술적인 접근을 보다 신중히 할 필요가 있다. 지열발전 프로젝트 수행시 발생하는 지진을 보통 미소지진(microearthquake)이라 칭한다. 극히 국지적이며 그 규모가 작기 때문인데 이는 파쇄대 형성 과정이나 순환수 주입시에 보통 발생한다. 그림 3은 전세계 지진대와 지열 발전소 건설 현황을 나타낸다.

구글(Google)

현재 신재생에너지에 두 번째로 큰 투자를 하고, EGS에 가장 많은 투자를 한 기업은 어디일까? 답은 인터넷 검색엔진으로 우리에게 친근한 구글이다(그

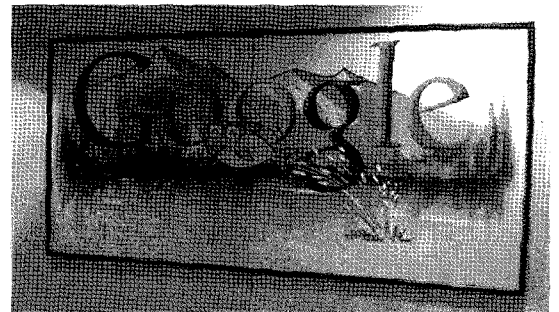


[그림 2] EGS 발전소 운영 모습

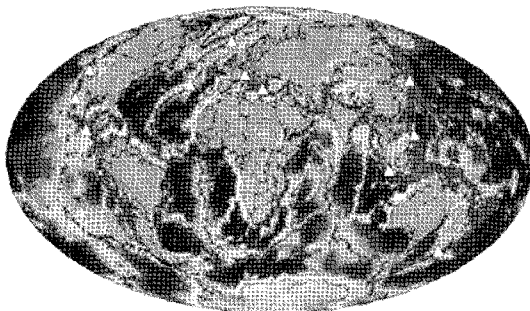
림 4). 올해 구글의 EGS 연구개발 투자금액은 1,025만 달러에 이른다. 이는 구글의 목표인 샌프란시스코 규모의 도시 전력을 지열발전으로 공급하겠다는 계획의 첫 출발로 지열발전이 신재생에너지 중에서 전력 생산이 가장 안정적이고 대규모 개발이 가능하다는 것을 검토 후 결정하였기 때문이다.

현재 연구개발의 기술적인 주요 목표는 EGS를 석탄을 이용한 발전소 보다 저렴한 가격으로 전력을 공급하는데 있으며, 이를 위해서 시공 단계 및 생산 단가를 낮추기 위해 노력하고 있다. 지중 열교환 효율을 높이기 위해 AltaRock Energy사에 625만 달러를 투자하였으며, Potter Drilling사에는 4백만 달러를 투자해 현재 기술보다 더 깊고 견고한 심부암을 굴착할 수 있는 시추 장비를 디자인하도록 하였다. 또한 Southern Methodist University에 지열연구실에 489,521 달러를 지원해 북미의 지열자원 연구와 지열원 지도의 업데이트를 지원하고 있다.

이러한 투자가 가능했던 것은 구글 회장단에서 에



[그림 4] 신재생, 친환경 기업으로 탈바꿈한 구글



[그림 3] 전세계 지진대와 지열발전소 건설 현황



[그림 5] 구글어스에 맵오버레이 적용시 미국의 지열원 분포도



너지 위기를 심각하게 받아 들였고, 신재생 에너지에 대한 투자는 일반 시민들이나 국가에서 수행하기에는 천문학적인 투자가 필요하기 때문에 그 한계가 있음을 직시하고 구글과 같은 대기업의 투자만이 이를 해결할 수 있다는 판단에서다.

현재 구글어스(Google Earth) 사용자를 위해서 현재 지열원 분포를 구글어스에서 확인할 수 있는 맵 오버레이(Map Overlay)를 제공하고 있다(그림 5). 또한 지열발전에 대한 미 정부의 신기술 개발 방향 수립에 도움을 주고자 "EGS 정책 제안"을 만들어 제공하고 있다.

시스템 설치 과정

그림 6은 지열발전시스템 설치과정을 나타내며, 각 과정에 대한 상세 설명은 다음과 같다.

주입정 굴착

원하는 온도대의 심층암반까지 주입정을 굴착한다. 이때 이 암반층은 반드시 불투수층이어야 한다. 이러한 지층은 대부분 심도 1.5 km 이상인 지하수면 아래에 있다.

공급수 주입

주입정의 하부에 위치한 기반암에 균열이 생성될 수 있도록 충분한 수압으로 물을 주입한다.

수압 파쇄대

물을 계속 가압하게 되면 균열은 계속 진행하면서, 기존의 균열과 합해지며 점차 대규모 파쇄대가 형성된다. 이 과정이 EGS에서 가장 중요하며 조심해야 할 부분이다.

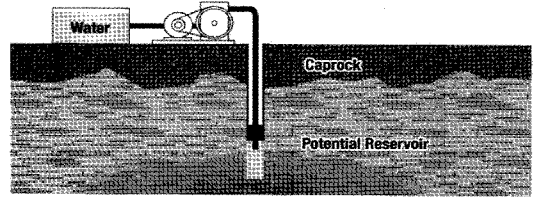
생산정 굴착

생성된 파쇄대 내에 순환수가 물, 또는 증기 형태로 빠져 나올 수 있도록 생산정을 굴착한다. 이 때 기반암은 지속적으로 불투수를 유지해야 한다.

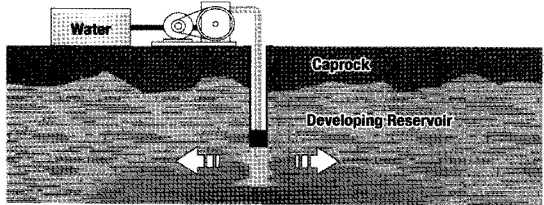
발전용량의 확대

크게 생성된 기반암의 파쇄대에 발전소 설계 용량 만큼 필요한 생산정을 추가로 더 설치한다. 이로써

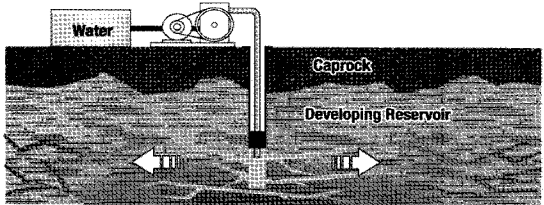
심부암반은 깨끗하고 지속적인 열원으로 사용이 가능하다.



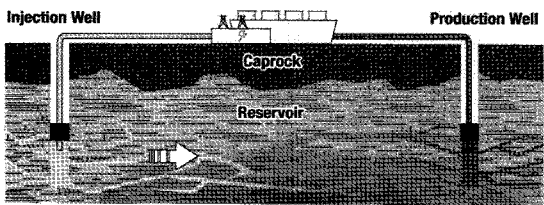
a) 주입정 굴착



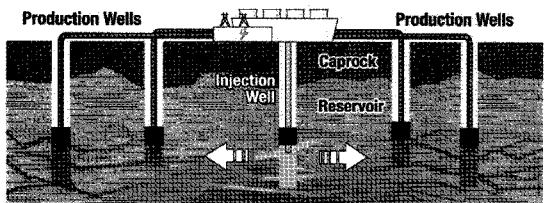
b) 공급수 주입



c) 수압 파쇄대



d) 생산정 굴착

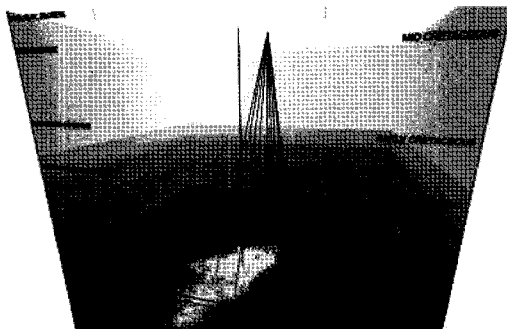


e) 발전용량의 확대

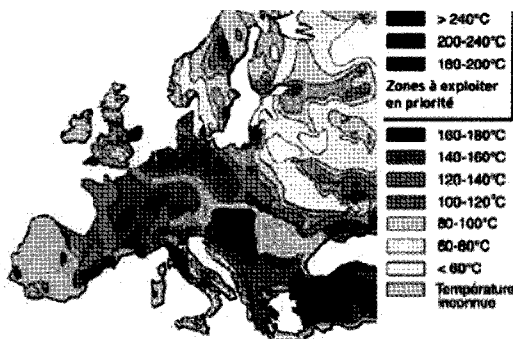
[그림 6] 지열발전시스템 설치과정

MEGS

MEGS(Modular Enhanced Geothermal Systems)는 규격화된 선진 지열발전 시스템이다. 파쇄대 규모에 따라 발전플랜트를 설계하고 장비를 개발 또는 설치하게 되는데, 이때 용량에 따라 발전터빈을 주문제작하여 설치한다. 이는 주문제작으로 인한 가격상승 때문에 사업비 측면에서 큰 부담이 되는 요인으로 작용한다. 그래서 플랜트 설비 부분을 기존에 제작된 표준화된 것을 활용하는 것이 투자비 절감에 도움이 되기 때문에 기성제품인 규격화된 발전터빈을 사용하게 된다. 이러한 기성제품을 이용해 플랜트 설비를 구성하는 EGS를 MEGS라 부르는 것이다. 플랜트 설비는 일단 단위 규격형태로 나뉘어져 발전을 하게 된다. 단위규격이 많이 설치될수록 용량이 큰 플랜트가 되며, 플랜트 규모의 증설이 용이한 장점이 있다. 일반적으로 이러한 플랜트는 기존 장비의 선택성 때문



[그림 7] 호주 쿠퍼유역의 50 MW급 EGS 지중 모델링



[그림 8] 유럽의 지열원 분포도

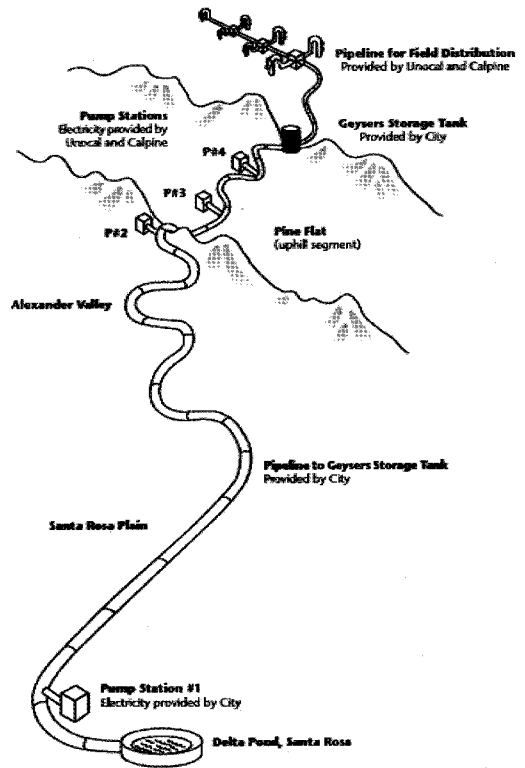
에 바이너리 발전 방식을 선택하기도 한다.

프로젝트 현황

상용 EGS 프로젝트는 호주, 미국, 독일에서 대부분 수행되고 있다.

전세계적으로 가장 큰 현장은 호주의 쿠퍼 유역으로 5,000 ~ 10,000 MW급의 개발이 가능한 지역이다(그림 7). 현재 33개사가 이 지역을 굴착 및 개발을 하고 있다. 호주 정부는 2025까지 전체 에너지소비량의 25%를 신재생에너지로 대체하려는 국가 포트폴리오를 계획하고 있다.

독일은 타 국가에 비해 열악한 지열자원 개발을 위해 지열발전 생산량에 대해 kWh당 23 센트의 정부 보조금을 지급하고 있다. 현재 란도우 프로젝트가 정부지원금을 받고 있는 대표적인 경우이다. 그림 8은 유럽의 지열원 분포를 나타낸다.



[그림 9] 북캘리포니아 게이저스 지역의 주입수 공급 라인도



<표 1> 주요국가의 EGS 개발 현황

프로젝트명	용도	국가	규모 (MW)	굴착심도 (km)	현황
솔츠	연구용	프랑스	1.5	4.2	운영
데저트 피크	연구용	미국	11 ~ 50	-	개발
란도우	상용	독일	3	3.3	운영
파라라나	상용	호주	7 ~ 30	1.5	굴착
쿠퍼	상용	호주	250 ~ 500	4.3	굴착

미국은 캘리포니아주의 게이지스 지역에 지열발전 플랜트가 집중되어 있다(그림 9). 사막지역으로 개발이 용이하고 열원의 온도가 높아 경제성이 있기 때문이다. 이 지역은 최근 주입수 부족으로 인해 산타로사 시에서 하수를 끌어와 재활용하는 방법을 선택하였다.

30년동안 하루에 5,000만 리터의 하수를 산타로사에서 끌어 들여 2 ~ 3 km 지하로 주입하여 85,000 세대에 전기 공급이 가능한 85 MW의 전력을 생산하게 된다. 표 1은 세계 주요국가의 EGS 개발 현황을 나타낸다. (※)