

심부 지열에너지 자원의 개발 및 활용

이 태 종

한국지질자원연구원 지열자원연구실

현재 전세계적으로 화석연료 소비의 약 60%가 주택이나 사무실 등의 냉난방에 사용되고 있으며 따라서 그에 상응하는 이산화탄소의 배출량을 줄이는 것은 전세계적인 최우선 과제로 손꼽히고 있다. 또한 원유가 배럴당 100달러를 넘어선 고유가 시대에 에너지 자립화의 중요성이 그 어느 때보다 강조되고 있다. 이에 따라 이산화탄소의 배출을 억제하는 신재생 에너지에 대한 관심이 높아지고 있으며, 이 중 지열은 연중 언제든 필요하면 가동이 가능하고 어디서나 사용할 수 있는 유일한 유비쿼터스 국산 에너지 자원으로서 에너지의 약 97%를 수입에 의존하는 우리나라에서는 매우 중요한 미래 청정 신재생 에너지 자원이라 할 수 있다.

전통적인 개념의 지열에너지는 지구 내부가 가지고 있는 열로서 그 근원은 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 즉, 지표에서 측정되는 지열류량은 대륙의 경우 약 40%가 상부 지각내에 함유된 방사성 동위원소 즉, 우라늄(U^{238} , U^{235}), 토륨(Th^{232})과 칼륨(K^{40})의 붕괴에 의해 지속적으로 발생하는 열에 기인하고, 나머지 60%는 지구가 생성될 당시 하부지각과 맨틀 상부에 축적된 원시에너지에 기인한다(Pollack and Chapmann, 1977). 최근에는 지열 열펌프를 이용한 냉난방 시스템의 활발한 적용에 힘입어 지하의 냉열을 포함하여, 토양, 지하수 및 지하를 구성하는 물질이 지닌 열로 새로이 정의되고 있다.

지열에너지는 화산활동이나 지각 변동에 의해 지표에서 그 징후가 발견되는데, 인류가 지열에너지를 이용하는 가장 원시적인 형태는 로마시대에도 이용된 온천일 것이다. 지열을 에너지원으로서 이용한 것은 이미 19세기 초반에 이루어졌으며 이탈리아의 Larderello 지역에서 시추공으로부터 자연용출하는 열수에서 붕산을 추출하는 과정에서 필요한 열의 일부를 지열수가 가진 온도 에너지에서 추출하여 활용하였다. Larderello에서는 이후 1904년에 세계에서 최초로 지열 증기를 이용하여 전기를 생산하였으며, 이후 일본, 미국, 뉴질랜드, 멕시코 등으로 지열발전이 확산되는 계기가 되었다.

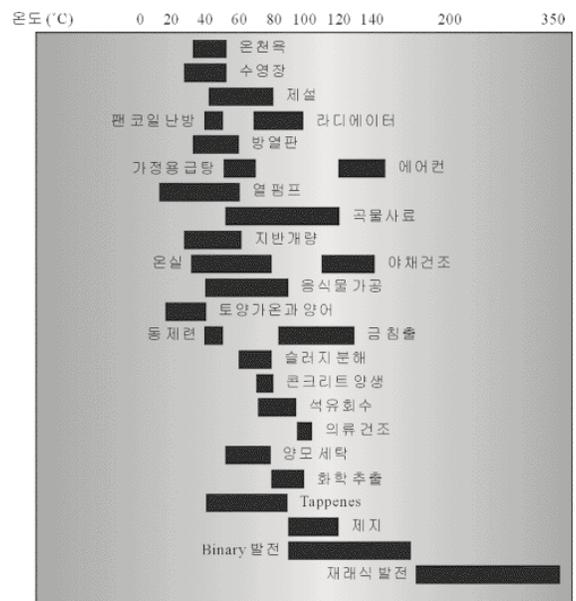
지열의 이용은 크게 지열 증기를 이용하여 전기 에너지로 변환을 통한 간접이용(indirect use)과 지열수가 가진 열에너지를 그대로 이용하는 직접이용(direct use)로 구분할 수 있다. 간접이용은 다시 생산되는 지열수가 150°C 이상인 고온의 증기 혹은 유체인 경우에 가능한 전통적인 증기터빈 방식의 지열발전과 85 ~ 170°C 범위의 중저온의 지열수나 열수탁월형 지열발전소에서 분리되어 배출되는 폐열수를 활용하고 2차 유체기술(binary fluid technology)을 이용하는 방식의 binary 발전으로 나눌 수 있다. 지열 직접이용은 가장 오래되고 보편적이고 다목적으로 이용되는 방법으로 온천욕, 건물 및 지역난방, 농업응용, 수산업응용, 그리고 산업적인 응용으로 나뉘며 가장

널리 보급되어 있는 열펌프 기술도 포함된다. 그림 1은 온도에 따른 지열수의 활용방법을 나타낸 전통적인 Lindal 도표에 binary 발전을 추가한 것이다.

지하에 부존하는 지열에너지는 막대하다. 지하에 부존하는 혹은 추출가능한 지열에너지량에 대해서는 지금까지 다양한 접근방법으로 여러 연구 결과가 발표되어 있다. 우선, 전지구적으로 볼 때 지열류량으로부터 계산된 지구의 총 열 함유량은 12.6×10^{24} MJ, 지각의 경우는 5.4×10^{21} MJ로 추정된다 (Armstead, 1983). 또한, 2006년 말에 MIT에서 발표한 보고서(MIT, 2006)에 따르면 미국에서 현재의 기술수준으로 활용가능한 에너지의 총량은 2×10^5 EJ로서 2005년도 미국 전체 1차 에너지 사용량의 약 2,000배에 달하는 것으로 발표되었다. 표 1은 한 전문가 그룹에서 추산한 대륙별 저온 및 고온의 지열자원의 이용가능량(geothermal potential)을 나타낸 것이다(세계 지열 협회, IGA : International Geothermal Association, 2001).

지금까지 우리가 이용해 온 지열에너지는 지하 심부로부터 지표로 열을 운반해 주는 매개체(즉, 액체나 증기형태로의 지하수)의 유동이 가능한 지질학적인 조건을 만족하는 지역 즉, 지열자원(geothermal resources)이 부존 하는 지역에서만 국한되었으나, 최근에는 기술의 비약적인 발전

에 힘입어 지하 4 km 이상 시추하고 지상에서 물을 강제로 고압으로 주입해서 인공적인 대수층을 형성한 후, 이로부터 150°C 이상의 열수를 얻어 내어 전기를 생산하는 개선된 지열 시스템 (EGS, Enhanced Geothermal System) 기술로 발전하였고 프랑스 알사스 지방의 Soultz Project (<http://www.soultz.net>)가 대표적인 사례라 할 수 있다. 이러한 EGS 기술은 화산지대가 아니더



[그림 1] 지열유체의 이용방법을 나타내는 도표 (Lindal, 1973을 개선)

<표 1> 세계의 지열 이용 가능량 (세계지열협회, 2001)

	발전용 고온자원		직접이용용 저온자원열량환산 백만 Tj/년(최소값)
	재래기술 전력환산TWh/년	재래기술과 binary 전력환산TWh/년	
유럽	1830	3700	> 370
아시아	2970	5900	> 320
미국	1220	2400	> 240
북미	1330	2700	> 120
중남미	2800	5600	> 240
오세아니아	1050	2100	> 110
세계 총합	11,200	22,400	> 1400

라도, 땅속에 지열수가 부존하지 않더라도 지열에너지의 개발 및 활용을 가능케 하는 기술로서 지열에너지 자원이 진정한 유비쿼터스 에너지 자원임을 입증하는 기술이라 할 수 있다.

이러한 EGS 기술에는 정밀 지질조사 기술, 심부 탐사 기술, 심부 시추 기술, 수압 파쇄 기술, 심부 시추공 계측 및 모니터링 기술 및 지반 응력 해석 기술, 지하 유체 거동 시뮬레이션 기술 등 첨단 기술이 집약된 기술로서, 이 중 일부 분야에서는 세계적인 수준에 도달해 있으나 많은 분야에서 아직 그 기술격차가 크며 우리나라에서 지열에너지 개발을 위해서 시급히 확보되어야 하는 기술이라 하겠다.

이번 호의 특집에서는 이러한 지열에너지자원의 개발 및 활용을 위한 핵심 기술들의 국내외 현황을 살펴보고자 하였다. 우선, 최근 가장 이슈가 되고 있는 EGS 기술을 통한 지열발전의 세계적인 동향 및 binary 발전 기술을 포함하는 전세계 지열발전 기술의 현황을 살펴보고, 심부 지열에너지 자원의 확보 측면에서 가장 중요한 지열 탐사 기술과 심부 시추 기술에 대해 살펴본다. 마지막으로 국내의 심부 지열에너지 자원의 개발 현황을 살펴 봄으로써 에너지의 대부분을 수입에 의존하

는 국내에서 향후 그 중요성이 인식되어 EGS 지열발전 등 심부 지열에너지 자원의 활발한 개발로 이어지길 기대한다.

참고문헌

1. Armstead, H. C. H., 1983, Geothermal Energy, E. & F. N. Spon, London, 404 p.
2. International Geothermal Association, 2001, Report of the IGA to the UN Commission on Sustainable Development, Session 9 (CSD-9), New York, April.
3. Lindal, B., 1973, Industrial and other applications of geothermal energy. In: Armstead, H.C.H., ed., Geothermal Energy, UNESCO, Paris, 135-148.
4. MIT, 2006, The future of geothermal energy - Impact of Enhanced Geothermal Systems (EGS) on the United States in the 21st century, 372p
5. Pollack, H.N., and Chapman, D.S., 1977, Mantle heat flow, Earth Planet. Sci. Lett., 34, 174-184.