

# 한반도 지열에너지자원 부존 현황

지열이용 냉난방 시설 및 심부 지열에너지 자원의 개발을 위한 국내 지열자원의 분포 및 부존자원의 평가 결과를 소개하고자 한다.

송 윤 호

· 한국지질자원연구원 지열연구실 (song@kigam.re.kr)

김 형 찬

· 한국지질자원연구원 지열연구실 (khc@kigam.re.kr)

이 영 민

· 한국지질자원연구원 지열연구실 (ymlee@kigam.re.kr)

이 태 종

· 한국지질자원연구원 지열연구실 (megi@kigam.re.kr)

## 서 언

지열에너지자원은 순 국산이며, 환경적 부담이 거의 없고, 또한 기저부하를 담당하는데 적합한 에너지자원임에도 지금까지 우리나라에서의 신재생에너지 개발의 우선순위에서 뒤쳐져왔다. 이는 물론 우리나라에 화산과 관련한 고온 지열자원이 부존하고 있지 않으며 지역난방에 활용 가능한 저온 지열수 자원의 부존도 풍부하지 않아 전통적인 지열이용 측면에서 불리했기 때문이지만, 천부 지중열을 냉난방 시스템에 활용하는 지열원 열펌프(geothermal heat pump) 시스템의 보급이 급격히 증가하는 현 시점에서 그 인식은 별로 나아지고 있지 않은 것이 실정이다.

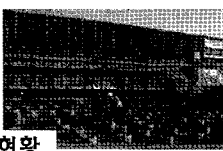
우리나라에서의 지열이용이 단지 지열원 열펌프 시스템의 보급 확대가 전부인 것처럼 대부분 인식되고 있는 현 상황에서, 우리나라에서의 지열부존 특성에 대한 연구에 기초하여 지열에너지자원의 부존량 평가와 활용 기술의 연구개발에 따른 보급 가능

성 전망에 대한 체계적인 고찰에 근거한 합리적인 활용 방안의 제시와 정책결정자 및 일반인에 대한 꾸준한 설득이 절대적으로 필요함은 두 말할 나위가 없을 것이다. 이를 통해야 만이 에너지자원이 절대적으로 부족한 우리나라에서 지열에너지자원이 에너지 문제 해결에 일조할 중요한 재생에너지자원으로서 자리매김할 수 있을 것이기 때문이다.

이러한 측면에서 이 해설에서는 먼저 전세계적으로 통용되고 있는 지열에너지자원의 부존량 평가를 살펴보고, 한국지질자원연구원에서 지난 수년간의 연구 결과를 종합하여 최근에 시도된 부존량 평가 결과에 대해 알아본다.

## 지열에너지자원의 부존량 산정

지열에너지는 일반적으로 지구내부에 저장되어 있는 열로 정의되며 암반 및 그 공극내의 유체가 가지고 있는 열을 포함한다. 지열발전이 주관심이었던 과거에는(현재에도 일부분에서는) 지열에너지를 지



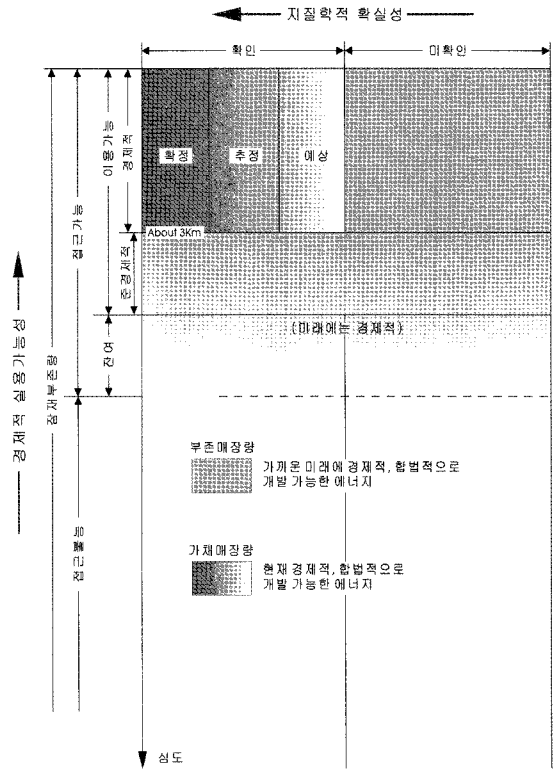
구내부로부터 추출할 수 있는 열로 정의하여 왔다. 그러나 최근 들어 지열원 열펌프 시스템의 보급이 폭발적으로 증가하면서, 지열에너지는 단지 지구내부로부터 열을 추출하는 것만이 아니라, 지하로 열을 방출하고, 더 나아가 열(또는 냉열)을 저장하는 개념까지 포함하게 되었으므로, 지열에너지를 고체 또는 유체를 매개로하여 지구내부에 저장되어 있는 열로 정의하고 있다.

지열자원 부존량의 정의에 대해서는 표준화된 용어가 정립되어 있지 않은데, 대부분 부존량의 개념이 광물자원이나 석유/가스자원과 같이 특정 지역에 부존하며 이동성이 없는 지하자원에 적용되고 있기 때문이다. 반면 지열은 지하유체(증기, 지열수)의 대류나 마그마의 유동과 상관되어 이동성이 높은 특성을 가지기 때문에 광물자원에 적용하는 개념을 그대로 적용하는 것은 무리가 있다. 그럼에도 불구하고 이동성을 갖는 자원의 부존량 판정을 위한 다른 방법이 없기 때문에 대부분의 경우 지하자원의 부존량 정의를 약간씩 변형시켜 적용하고 있는 실정이다.

가장 많이 사용되는 지열 부존량의 정의는 Muffler and Cataldi (1978)의 분류를 따르는데(그림 1 참조), 이 또한 기본적으로는 광물자원에 대한 개념에서 가져온 것이다. 이에 따르면 일반적으로 지열의 잠재력(potential)과 관련하여 논의되는 지열자원 부존량은 접근가능한 잠재부존량(accessible resource base)을 말하며, 이는 100년 미만의 어느 특정한 미래에 경제적 및 기술적으로 개발이 가능하게 될 자원으로서 특정 심도 구간 내 지하 암반이 가지고 있는 온도(혹은 열량)와 전체부피를 곱하는 방식(volumetric method)으로 평가된다. 이러한 접근가능한 잠재부존량은 접근가능한 유효 잠재부존량(useful accessible resource base) 즉, 부존매장량(resources)을 포함하며 부존매장량은 또한 경제성 있는 확정매장량(identified economic resource) 즉, 가채매장량(reserves)을 포함한다. 다시 말하면 그림 1에 나타낸 바와 같이 지질학적 확실성에 따라서 예상매장량 추정매장량 확정매장량으로 분류할 수 있으며, 경제성에 따라서는 부존매장량 가채매장량으로 분류하게 된다.

석유의 예에서 잘 알 수 있다시피 가채매장량은 기술적인 한계에 대부분 좌우되며 이는 지열자원의 경

우에도 예외가 아니어서, 그 한 예로 최근 미국에서 이루어진 지열에너지자원 부존량 산정에서 지하 10 km 심도까지 고려된 바 있다(MIT, 2006). 이와 별도로 지열에너지자원 부존량의 산정에서는 에너지를 활용하는 방식도 고려될 필요가 있다. 즉 지금까지의 부존량 산정 또는 추정은 모두 지하로부터 열 또는 유체(증기 또는 지열수)를 추출하는 관점에서만 이루어졌기 때문에, 최근에 가장 중요한 직접이용 방법으로 자리매김한 천부 지중열을 냉난방에 활용하는 지열원 열펌프의 경우는 지금까지 고려되고 있지 못하다. 여기에 지하에 열 또는 냉열을 저장하고 필요한 경우에 추출하는 기술까지 고려한다면 지금까지의 부존량 산정값에 막대한 양이 더해질 것이지만, 여러 가지 기술적인 이유로 아직까지 이를 고려하는 방법이 고안되지 못하고 있다.



[그림 1] 여러 가지 지열자원 부존량의 정의 (after Dickson and Fanelli, 2003; modified from Muffler and Cataldi, 1978)

### 대표적인 지열 부존량 평가 결과

접근가능한 잠재부존량의 평가결과로 먼저 미국 Electric Power Research Institute(EPRI, 1978)의 보고서를 들 수 있는데, 이에 따르면 대륙지각의 3 km 깊이 이내에 저장되어 있는 지열의 총량은  $12 \times 10^{12}$  GWh 또는  $43 \times 10^6$  EJ (Exa= $10^{18}$ )에 이른다. 이 양은 2001년도 전세계 에너지소비량 420 EJ을 생각한다면 인류가 약 100,000년 동안 사용할 거대한 양이다. 여기서 아래 첨자 e는 열에너지를 말한다.

한편, 지열에너지자원 부존량 평가에 대한 서로 다른 많은 결과가 발표됨에 따라 국제지열협회(International Geothermal Association; IGA)에서는 대표적인 부존량 평가 결과를 정리하여 비교한 바 있다(Bertani, 2003). 여기서 인용하여 분석한 자료는 5개인데, 접근 방식의 상이함에 따라 그 값의 차이가 너무 커서 비교의 의미가 없을 정도이다. 따라서 Bertani(2003)는 이러한 5개의 자료를 토대로 2003년 현재의 생산량과 그 추이에 기초한 2020년의 예상치 및 잠재부존량의 최소, 최대값을 정리하였으며 이는 표 1에 보였다.

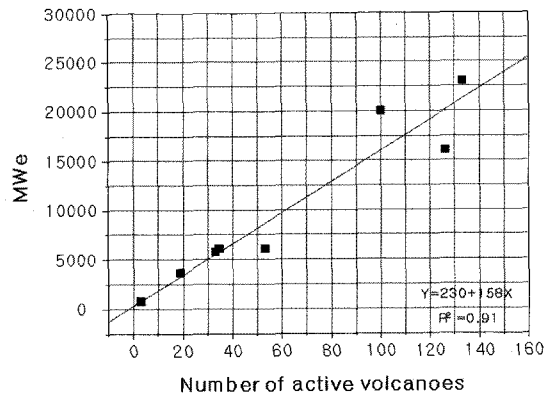
이상과 같은 잠재부존량의 평가는 실제 개발 가능한 양에 비해 상당히 과대평가되는 경우가 많은데, 그 이유는 실제 얻어지는 에너지의 양이 지열을 운반하는 매체인 지열유체의 부존상태, 저류층 압력 및 실제 생산온도 등에 좌우되기 때문이다. 반면, 특정 지열지대에서 실제 굴착된 시추공으로부터 측정되는 저류층의 정보로부터 시뮬레이션을 통해 부존량을 평가하는 경우 즉, 확정매장량의 개념으로 평가할 때에는 완벽한 평가를 위한 충분한 개수의 시추공이 존재하지 않은 경우가 대부분이므로 실제 매장량에 비해 과소평가되는 경향이 있다(Stefansson, 2005). 특히 이 방법은 넓은 지역(예를 들면, 지구전

체의 잠재부존량)에서의 지열 잠재력 평가로 확대 적용할 수 없는 단점이 있다.

### 확인된 자원에 기초한 정량 평가

한편, Stefansson(2005)은 검증 가능하다는 측면에서 한 단계 진보한 방식으로 평가를 시도하였다. 먼저 지열발전이 활발한 8개 나라에서의 활화산 개수와 확인된 매장량의 상관관계를 구하여보니 상관계수(R<sup>2</sup>)가 0.91로 매우 높은 결과를 보여주었다(그림 2). 이에 기초하여 전세계적으로 접근가능한 활화산의 수가 1,322개임을 감안해 지열 발전이 가능한 매장량을 약 209±27 GWe로 추산하였다. 물론 이는 온도 130℃ 이상으로 지열발전이 가능한 자원에 대한 부존량 평가이다. 여기서 아래 첨자 e는 발전 에너지를 말한다.

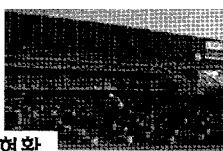
지열발전과 달리 직접이용이 가능한 130℃ 이하의



[그림 2] 아이슬랜드, 미국, 인도네시아, 필리핀, 일본, 멕시코, 뉴질랜드와 투스카니(이탈리아) 등 대표적인 나라에서 활화산의 수와 추정된 지열 에너지 잠재량의 상관관계(Stefansson, 2005)

<표 1> 세계 지열자원 부존량 평가 종합 (Bertani, 2003)

	지열발전					직접이용			
	2003년 현재	2020년까지 예상	추정 잠재부존량			2003년 현재	2020년까지 예상	추정 잠재부존량	
			최소	최대				최소	최대
TWh/y	50	300	1,000	40,000	TWh/y	50	140 / 700	100,000	170,000,000
GWe	8	40	140	6,000	GW <sub>t</sub>	15	40 / 200	30,000	50,000,000



지열수(온천수 포함)는 고온 지열수(증기)에 비해서는 비교적 전세계에 고르게 분포하고 있다. 미국과 Iceland의 지열수 분포 빈도는 온도가 증가할수록 지수함수적으로 감소하는 특성을 보이는데, 단위질량당의 에너지는 온도에 따라 증가하므로 특정 온도 범위에서의 에너지량은 분포수에 그 온도에서의 에너지를 곱함으로써 얻을 수 있게 되며, 이에 기초한 온도별 에너지량의 분포도가 그림 3에 나타나 있다 (Stefansson, 2005).

그림 3에서 보면 130℃ 이하의 지열자원 부존량이 전체의 68%를 차지함을 알 수 있다. 따라서 32%를 차지하는 고온 지열 부존량이 209 GW<sub>e</sub>임을 생각하고 열에너지의 약 10%가 전기에너지로 변환된다고 가정할 때, 직접이용가능 지열부존량은 4,400 GW<sub>t</sub>로 계산된다. Stefansson(2005)은 시뮬레이션에 의한 확정매장량은 volumetric 방법에 비해 4 ~ 5배 적으며, 잠재부존량은 추정매장량에 비해 5 ~ 10배 많은 경우들에 기초하여 표 2와 같이 부존매장량과

최소 및 최대 추정 매장량을 나타내었다.

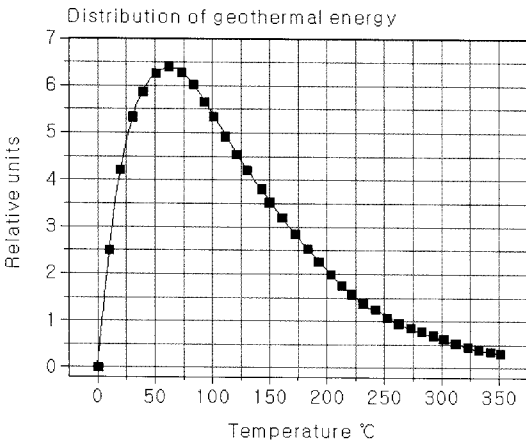
이 표에서 보면 부존매장량은 6 TW<sub>t</sub>(=189 EJ/year)에 이르며 이는 전세계 연간 에너지 사용량(2001년도에 420 EJ)의 1/2에 가까운 양을 공급할 수 있음을 말한다. 물론 표 2에 나타난 바와 같이 평가 방법에 따라 1/4에서 10 배까지 그 부존량의 평가가 달라질 수 있지만 어떠한 경우에도 그 양은 방대한 것은 변함이 없다.

### EGS를 고려한 부존량 평가

최근의 미국 및 유럽에서의 지열개발은 지하 4 ~ 5 km 깊이까지 굴착한 후, 고압의 물을 주입해 인공적으로 저류층을 생성하여 인접한 시추공을 통해 올라온 증기를 이용해 저온발전을 수행하는 EGS (Enhanced 또는 Engineered Geothermal System) 기술의 개발에 집중되고 있다. 이러한 EGS 기술은 프랑스 Alsace 지방의 Soultz 프로젝트가 대표적이며(<http://www.soultz.net>), 호주 및 독일에서도 활발히 진행되고 있음은 잘 알려져 있다.

이러한 EGS 시스템의 미국 내 적용을 통한 에너지 문제 해결방안을 모색하는 노력으로 미국에서는 Massachusetts Institute of Technology(MIT, 2006)의 주관으로 EGS기술의 적용성 및 경제성에 대한 종합보고서를 발간한 바 있는데, 이 보고서에서 미국 내 지열자원 부존량에 대한 새로운 평가결과를 발표하였다. 물론 이 방법도 근본적으로 volumetric method이지만 1970년 이후로 축적된 모든 지열류량자료, 암반의 열물성자료 및 열생산률자료를 망라하여 좀더 정량적인 평가결과를 내었다는 데 의미가 있다.

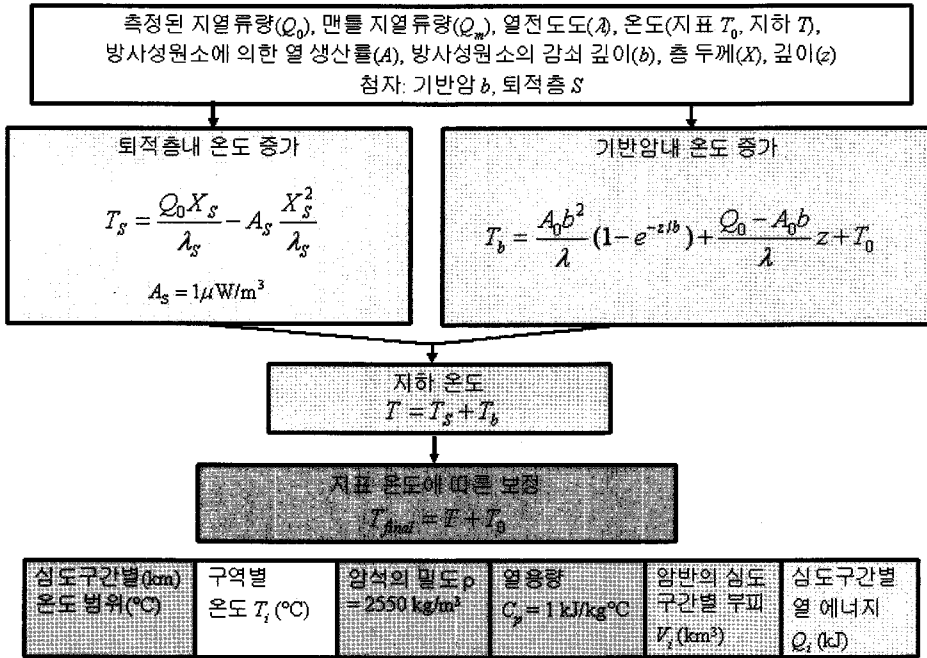
그림 4는 MIT(2006)에서 사용한 방식의 부존량 산출 흐름도를 나타낸 것으로 지각내 열생산률 자료를 포함하여 지온증가를 측정자료가 없는 깊은 심도



[그림 3] 미국과 아이슬랜드의 온도별 지열에너지 분포(Stefansson, 2005)

<표 2> 세계 지열 부존량 평가(Stefansson, 2005)

	최소 추정 매장량	확인된 자원으로부터 추정된 매장량	최대 추정 매장량
발전에 이용할 수 있는 매장량	0.05 TW <sub>e</sub>	0.2 TW <sub>e</sub>	1 ~ 2 TW <sub>e</sub>
직접이용 가능 매장량	1 TW <sub>t</sub>	4.4 TW <sub>t</sub>	22 ~ 44 TW <sub>t</sub>
전체 매장량	1.5 TW <sub>t</sub>	6 TW <sub>t</sub>	30 ~ 60 TW <sub>t</sub>



$$Q_i = \rho C_p V_i [\Delta T_i] = \rho C_p V_i [T_i - T_0]$$

[그림 4] 지하 심부의 온도 및 지열 부존량 계산의 흐름도(modified from MIT, 2006)

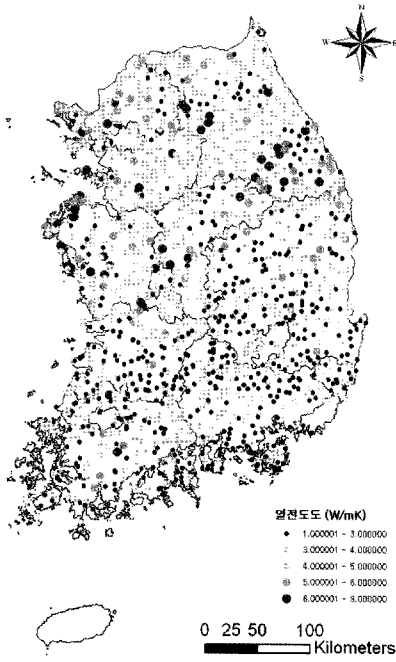
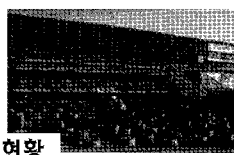
에서의 온도분포도 가능한 한 정확하게 반영하고 있다. 이러한 방식에 따라 지하 3 ~ 10 km 심도 범위 내 미국 대륙에 부존하는 지열에너지의 총량은  $13 \times 10^6$  EJ 이상으로 평가되었는데, 회수율을 2%로 가정하였을 때 추출가능한 열량 즉, 가체매장량이  $2 \times 10^5$  EJ 이상으로 2005년도 미국 1차에너지 사용량의 2,000배에 이른다고 하였다. 이를 바탕으로 보고서에서는 2050년까지 미국에서 EGS를 포함하여 공급 가능한 지열발전량은 100 GWe에 이른다고 전망하고 있으며, 이 보고서를 평가한 미국 DOE 보고서에서도 이러한 자원 추정값은 상당히 합리적이라고 결론내리고 있다(US DOE, 2008).

### 우리나라 지하 열자원 부존량 평가

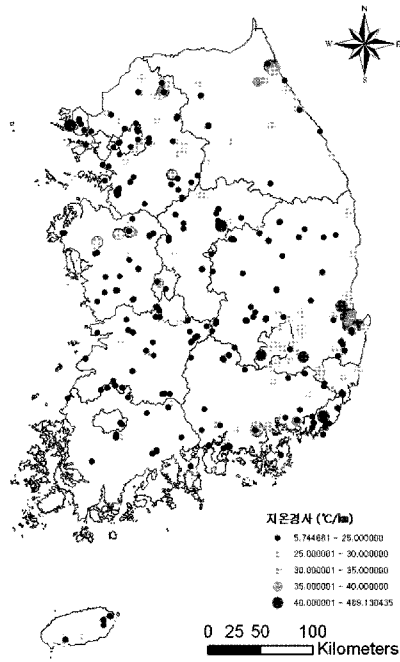
우리나라의 지열에너지자원 부존량의 추정은 지금까지 시도된 바 없었다. 그러나 우리나라의 지온증가율 및 지열류량에 대한 연구는 주로 온천개발용

시추공 자료를 위주로 꾸준히 시도되어 왔으며, 이러한 결과로 한국지질자원연구원에서 지금까지의 자료를 모아서 우리나라의 지온증가율 분포도와 지열류량 분포도를 제시한 바 있으며(송윤호 등, 2005), 이후 꾸준히 자료의 수집 및 분석을 통한 업그레이드가 진행 중에 있다. 또한, 그림 4와 같은 방법으로 심도별 열에너지 부존량을 구하기 위해서는 위의 자료와 더불어 지역별 암석의 물성(밀도, 열전도도, 열생산률, 열용량)에 대한 정보가 필요한데, 한국지질자원연구원에서는 2005년부터 2008년까지 우리나라 전역에 걸쳐 총 1,516개의 암석 시료를 채취하여 밀도, 공극률, 열전도도, 열확산률 및 열용량을 측정하여 전국적인 지열 주제도를 제시했다(김형찬 등, 2008, 그림 5).

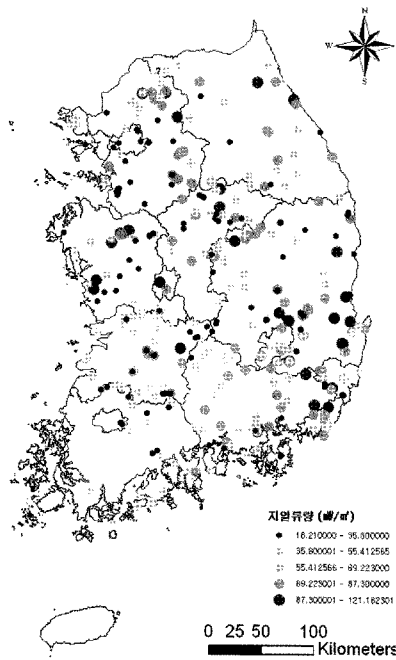
우선, 전국에서 수집된 총 1,516개 암석 시료로부터 측정된 열전도도 자료로부터 열전도도 분포도(그림 5 a))를 작성한 결과, 국내 암석의 열전도도는 2.49 ~ 5.42 W/mK 범위를 가지며, 주로 경기도, 강



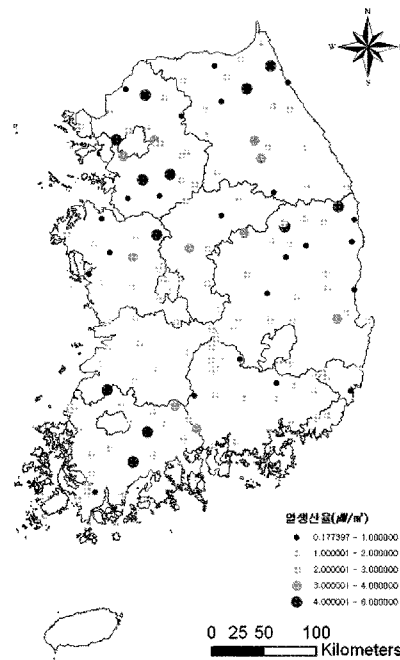
a) 열전도도(1,516개)



b) 지온경사(715개)



c) 지열유량(492개)



d) 열생산율(180개)

[그림 5] 지열 조사 정보 분포 (김형찬 등, 2008)

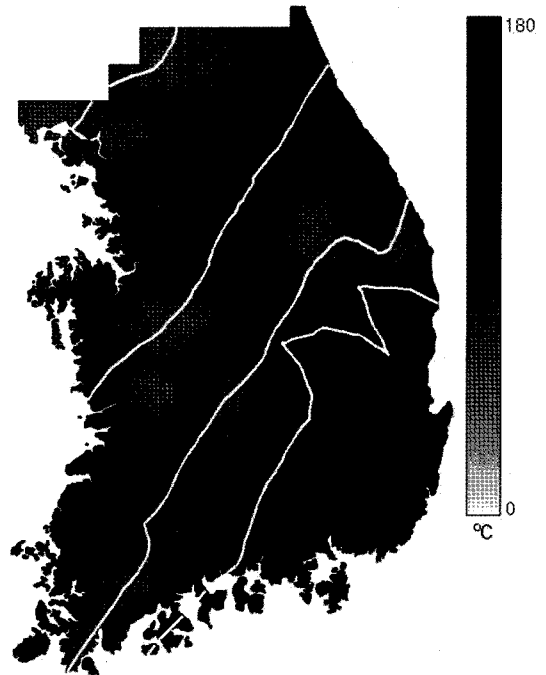
원도, 충청도 지역의 암석이 높은 열전도도를 나타내었고, 지온증가율은(그림 5 b))를 보면 심도 1 km 당 낮게는 18.6℃, 그리고 높게는 62.3℃의 지온증가를 보이는 것으로 나타났으며, 강화도, 화천, 속초-인제, 서산-아산, 충주-괴산, 포항-영덕, 경주, 부산, 마산 지역이 지온증가율이 높게 나타났다. 또한 지금까지 수집된 492개 지열류량 자료를 이용한 지열류량 분포도(그림 5 c))에서는 경기도 중부 및 남부, 충청남도 북부, 강원도 중부, 전라북도 동부, 경상북도와 경상남도 동부지역이 높게 나타났다. 그리고 총 125개의 암석 시료에 대한 화학분석 및 55개 감마검층 자료로부터 우리나라에 분포하는 화강암 및 편마암의 열생산률을 구했는데, 그 평균값은 각각  $2.040 \pm 0.086 \mu\text{W}/\text{m}^3$ 과  $2.041 \pm 0.162 \mu\text{W}/\text{m}^3$ 을 보이고 있다(김중찬 등, 2008).

이상과 같은 측정값과 우리나라 지표온도분포도(구민호 등, 2006)를 이용하면 그림 4에 제시된 흐름도와 같이 우리나라의 심도별 온도 및 열에너지 부존량 분포를 구할 수 있게 된다. 즉, 이들 자료와 Turcotte & Schubert(1982)이 제안한 식을 이용하여 심도별 온도분포도 작성하였으며, 우리나라 지하 내부의 온도는 1 km에서 23.9 ~ 47.8℃, 2 km에서 34.2~79.7℃, 3 km에서 44.2 ~ 110.9℃, 4 km에서 53.8 ~ 141.5℃, 5 km에서 63.1 ~ 171.6℃로 나타났다(그림 6).

이로부터 전국의 우리나라 심도 5 km 까지 부존하고 있는 지열에너지의 양을 산출한 결과를 표 3에 나타냈으며, 그 총량은 약 100,000 EJ 로서 2006년 우리나라 1차에너지 총 소비량의 10,000배에 이르는 막대한 양이다(박성호 등, 2008). MIT 보고서(MIT, 2006)에서 가정된 2%의 회수율만으로도 2006년 우리나라 일차에너지 총 소비량의 약 200배에 달하며,

지열이 지구내부로부터 지속적으로 공급된다는 것을 고려한다면, 우리나라에 필요한 모든 전기 및 난방 에너지를 공급할 수 있는 양이 부존하고 있다는 것을 말해준다.

물론 이러한 자원이 쉽사리 2%의 회수율로 개발될 수 있는 가채매장량이 되기는 어려운데, 이는 열을 효율적으로 추출하는데 필요한 유체(지열수 또는 증기)가 항상 부존하지는 않기 때문이다. 또한 가채매장량으로부터 실제로 공급가능한 부존량은 정책적인 판단 및 지역의 특성과 시기적인 문제까지도 고



[그림 6] 우리나라 지하 5 km에서 지온 분포 (박성호 등, 2008)

<표 3> 심도별 지열에너지 부존 총량(박성호 등, 2008)

심도(km)	지열부존량( $10^{21}$ )	석유원산분(Gtoe)	2% 개발사(Gtoe)	비 고
0 ~ 1	$4.25 \times 10^{21}$	101.1	2.0	2006년 국내 1차에너지 소비량: 0.233 Gtoe
0 ~ 2	$1.67 \times 10^{22}$	398.7	8.0	
0 ~ 3	$3.72 \times 10^{22}$	884.9	17.7	
0 ~ 4	$6.52 \times 10^{22}$	1,552.8	31.1	
0 ~ 5	$1.01 \times 10^{23}$	2,396.0	47.9	



려해야하므로, 우리나라에서 공급가능한 지열에너지 자원의 부존량을 추정하는 것은 결코 쉬운 일이 아니다. 그러나 지금까지 얻어진 과학적인 자료에 근거한 부존량의 최초 추정이 이루어졌기 때문에, 이를 기초로 여러 가지 요인을 고려한 공급 가능량에 대한 연구들이 뒤따를 것으로 기대된다. 앞서 밝힌 바와 같이 이러한 추정치는 근본적으로 지하로부터 열에너지를 추출하는 관점에서만 이루어진 것이기 때문에, 냉난방이나 지중 열 저장 기술의 보급이 늘어남에 따라 공급가능한 자원부존량은 계속 늘어갈 것이 확실하다.

### ubiquitous 자원의 활용측면에서 우리나라에서의 가능성

잘 알려져 있듯이 우리나라는 화산활동과 관련한 고온의 지열자원이 부존하고 있지 않으며 또한 상대적으로 온도가 높은 심부 지하수가 국부적인 파쇄대를 따라 부존함에 따라 온천을 제외하고는 에너지자원으로서의 지열자원의 활용이 극히 미미한 상황이다. 그러나 천부 지층의 연중 일정한 온도 특성에 기초하여 대기와의 온도차를 이용해 지중 열교환을 통한 냉난방을 수행하는 지열원 열펌프 시스템은 우리나라의 기온 특성상 어디에서나 보급이 가능하다.

이러한 천부 지중열은 언제 어디서나 존재하는 소위 ubiquitous 자원으로서 적극적으로 활용코자 하는 노력 여하에 따라서는 우리나라의 대외 에너지의존도 감소에 일정부분 기여할 수도 있을 것으로 전망되고 있다. 더욱이 연간 막대한 양의 지하수가 개발되어 사용되고 있는 현실에서(연간 38억 ton 규모) 지하수가 가지고 있는 연중 일정한 온도를 에너지원으로 냉난방에 활용코자 하는 시도도 최근 이루어지고 있다. 지하수의 열에너지를 냉난방에 이용하는 기술은 적은 수의 시추공만 굴착하기 때문에 지중 열교환 방식에 비해 초기 투자비가 훨씬 저렴하다는 측면에서 매우 유리하다. 또한 기존의 지하수 공급망에 연결할 경우에는 열교환 시설만 필요하기 때문에 특별한 추가 비용을 필요로 하지 않은 장점이 있으므로 더욱 경쟁력이 있다고 하겠다. 우리나라의 경우 대도시가 위치하고 있는 하류 지역에 풍부한 충적층 지하수가 부존하고 있으므로 비록 충적

층 지하수의 온도가 연중 일정하지는 않더라도 대기 온도 변화에 비해서는 매우 적으므로 훌륭한 에너지원으로 사용가능하다.

한편 최근들어 EGS기술의 현실성이 입증되면서, 우리나라의 평균 지온증가율을 약 25℃/km라 할 때 5 km 심도에서의 평균 지온은 약 140℃ 내외일 것이며 지온증가율이 이 보다 낮더라도 7 km 심도에서는 대부분의 지역이 125℃ 이상의 지온을 가진다고 이야기할 수 있다. 특히, 그림 6에 보인 바와 같이 우리나라 일부 지역에서는 5 km 심도에서 최대 180℃의 지온이 예상되고, 최근의 발달된 시추기술로 5 km 까지의 굴착은 어렵지 않게 수행할 수 있으므로 EGS를 위한 심부 지열자원 또한 ubiquitous 자원으로 볼 수 있을 것이며, 세계적인 추세에 맞추어 우리나라에서도 하루 빨리 EGS 실현을 위한 연구개발이 이루어져야 할 것이다.

### 후 기

이 원고의 연구 결과들은 한국지질자원연구원의 기본사업 연구로부터 얻어진 결과이며, 2008년도 지구시스템공학회지(Vol 45, No 4, p. 293-304)에 발표된 저자의 논문과 한국지질자원연구원 연구보고서 "지하 열자원 부존·활용 정보시스템 구축"의 내용을 함께 구성한 것임을 밝힌다.

### 참고문헌

1. 구민호, 송윤호, 이준학, 2006, "국내 지면온도의 시공간적 변화 분석", 자원환경지질, 제39권 3호, pp. 255-268.
2. 김종찬, 이영민, 황세호, 구민호, 2008, "한국의 열생산율 분포 및 그 해석", 「UN이 정한 지구의 해」 선포식 및 지구과학한마당축제 학술대회초록집, 4.23-4.25, OD1-120.
3. 박성호, 이영민, 김종찬, 김형찬, 구민호, 2008, "지열에너지 자원 활용을 위한 한국의 지열에너지 부존량 산출", 「UN이 정한 지구의 해」 선포식 및 지구과학한마당축제 학술대회초록집, 4.23-4.25, OR6-197.
4. 김형찬, 이창범, 이철우, 박인화, 심병완, 백승



- 균, 박정민, 이병태, 구민호, 차장환, 김완수, 서정아, 오세영, 2008, 지하 열 자원 부존 정보 D/B 구축 및 평가에 관한 연구, 연구보고서, 한국지질자원연구원, 에너지관리공단.
5. 송윤호, 김형찬, 심병완, 이창범, 박덕원, 이태중, 이철우, 박인화, 임현철, 김유숙, 김연기, 이병대, 2005, "지열자원 부존특성 규명 및 활용기반기술 연구", 한국지질자원연구원 연구보고서 OAA2004018-2005(2), 과학기술부, 101p.
  6. Bertani, R., 2003, "What is geothermal potential?", IGA News, vol. 53, pp. 1-3.
  7. Dickson, M. H., and Fanelli, M., 2003, "What is geothermal energy?", International Geothermal Association, <http://iga.igg.cnn.it>.
  8. Electric Power Research Institute, 1978, "Geothermal energy prospect for the next 50 years", Special Report ER-611-SR.
  9. 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.
  10. Muffler, L.J.P., and Cataldi, R., 1978, "Methods for regional assessment of geothermal resources", Geothermics, vol. 7, pp. 53-89.
  11. Massachusetts Institute of Technology, 2006, "The future of geothermal energy - Impact of Enhanced Geothermal Systems (EGS) on the United States in the 21st century", [http://www1.eere.energy.gov/geothermal/future\\_geothermal.html](http://www1.eere.energy.gov/geothermal/future_geothermal.html).
  12. Stefanson, V., 2005, "World geothermal assessment", Proceedings of World Geothermal Congress 2005, Antalya, Turkey, 24-29 April 2005.
  13. U.S. DOE, 2008, "An evaluation of Enhanced Geothermal Systems technology", [http://www1.eere.energy.gov/geothermal/pdfs/evaluation\\_egs\\_tech\\_2008.pdf](http://www1.eere.energy.gov/geothermal/pdfs/evaluation_egs_tech_2008.pdf). 