

국내 지열 분포 현황

기본적인 지열 생성 원인과 한반도의 지질적 특성 및 지열과의 관계, 지열유량 분포에 대해 소개하고자 한다.

김미성, 김형찬*

에너지관리공단 연구개발관리실 자원부, *한국지질자원연구원 지하수지열연구부

1. 서론

한국은 에너지의 부존량이 매우 부족한 나라이다. 특히 사계절이 있어서 난방과 냉방이 필요하다. 대부분의 에너지를 외국에 의존하고 있어 경제적으로도 많은 어려움이 따르는 현실이다. 나라의 경제발전을 제조업에 의존하는 우리 입장에서 에너지 자원의 안정적 확보가 중요하다는 것은 더 말할 나위가 없다. 석유자원은 전혀 없으며, 석탄자원도 매장량이 줄거나. 채광심도가 깊어짐에 따른 생산 단가의 증가로 경제성이 취약하며, 수력발전에 의한 에너지의 확보도 한계에 도달했다. 1970년대 초부터 원자력을 이용한 에너지 개발에 착수하여 에너지를 보충하고 있으나 또한, 방사능 오염문제와 핵폐기물 처분장 등 여러 가지 어려운 문제에 당면하게 되었다. 이러한 에너지 자원의 부족한 상황은 이미 선진국에서도 충분히 인식되었을 뿐 아니라, 화석에너지의 남용에 따른 지구온난화 등의 환경문제의 해결 필요성이 심각하게 대두되어 급기야 도쿄의 정서까지 발효되는 시점에 이르렀다. 따라서 전 세계적으로 새로운 친환경 및 청정에너지, 즉 태양, 풍력, 조력, 지열, 생물학적 대체에너지의 개발 필요성을 강조하게 되었고, 최근 미국, 영국, 일본, 러시아, EU국가 등 선진국에서는 막대한 금액의 연구비와 인력을 투입하여, 많은 성과와

실적을 쌓고 있다. 우리나라에서도 새로운 신재생에너지의 연구 및 개발에 이미 많은 예산과 인력을 투입하여 연구 중이나 그 예산과 인력의 규모는 선진국과 비교할 수 없을 정도로 취약한 편이다. 앞서 기술한 신재생에너지 중에서 선진국에서 많은 연구가 진행되고 있는 동시에 활용 중인 에너지로서 지열에너지가 있다. 미국, 일본, 이탈리아, 필리핀, 인도네시아, 뉴질랜드 등의 경우 화산성 지열에너지로서 높은 지열을 이용하여 지열발전을 하고 있으며, 지역난방 및 시설영농에도 많이 이용하고 있다. 그러나 위의 여러 나라는 화산활동이나 지각운동이 계속적으로 일어나는 나라이지만, 우리나라의 경우는 비교적 안정된 지괴 안에 놓여 있어서 이러한 화산성 지열자원을 가지고 있지 않다. 동유럽의 유고, 슬로베니아, 헝가리, 스위스 그리고 프랑스 등에서는 온천이라는 비교적 저온형 지열자원을 지역난방 및 스포츠 시설, 영농시설에 많이 활용하고 있다. 이와 같은 저온형의 지열자원은 지금까지 연구된 지질학적인 자료와 기술을 활용한 지열탐사 및 연구로 새로운 신재생에너지로서의 지열자원을 생산 및 확보 할 수 있다. 그러므로 국내에 지열자원을 이용하기 위하여 가장 기초적인 우리나라의 지열적 특성과 지열이상대는 어떻게 분포하고 있는가에 대해 지금까지 조사된 자료를 이용하여 분석해 보았다.

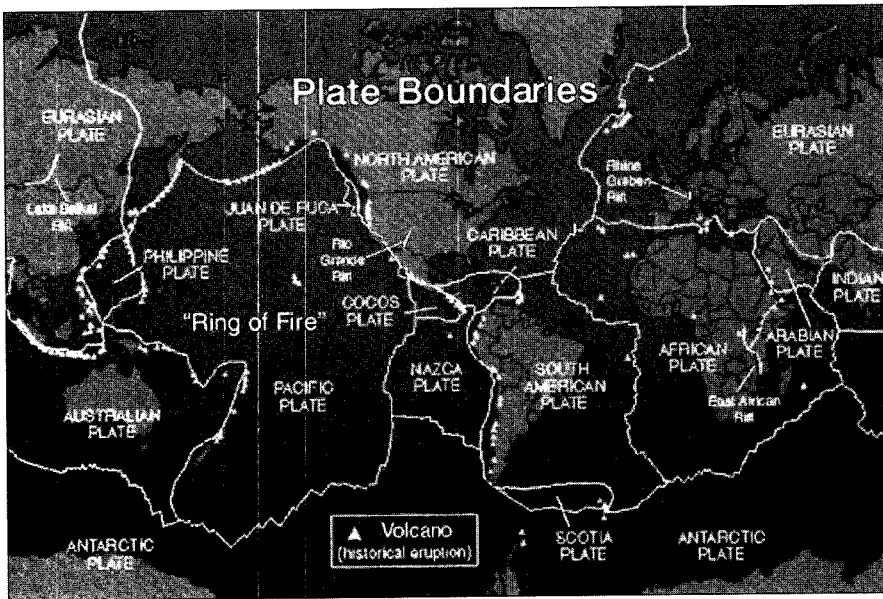
2. 본론

지구는 지각, 맨틀, 핵으로 구분되며, 지구 내부에서 고온의 열이 지표로 방출되고 있다. 이는 상부 지각과 맨틀 내의 U, Th 및 K 등 주기가 긴 방사능 동위원소가 농집되어 있으며, 이러한 방사능 동위원소가 붕괴하며 발생된 열이 지표로 방출되는 것이다. 이와 같이 지구 내부의 열이 지표로 전달되는 과정은 주로 암석을 매체로 전달되는 열전도가 대부분이며, 부분적으로 지하수 또는 마그마와 같이 유체가 지각의 약한 부분을 통하여 전달되는 열 대류가 있다. 열 대류에 의해 전달되는 지열은 온천과 같은 것이다. 온천은 지표에서 물이 들어가 지하에 높은 열원을 갖는 지역을 통과하면서 데워져 이 물이 밀도가 낮아지면서 지층의 약한 부분을 뚫고 지표로 올라오는 것이다.

지구 전체를 보면 고온의 지열 지대의 특성이 있다. 그림 1을 보면 지각은 몇 개의 판으로 구성되어 있으며 맨틀 대류에 의해 맨틀 위를 움직이고 있다. 이러한 지각 판의 경계면에는 많은 화산이 발달되어 있다. 일본, 필리핀, 이탈리아, 미국 서

부 등에서는 많은 화산이 있으며, 이로 인해 지진의 발생률도 높은 지역이다. 이러한 지역에서는 지열을 이용하여 발전(發電)도 가능하며, 지역난방에 직접 이용도 가능하다. 그러나 우리나라의 경우는 비교적 안정한 지반위에 놓여 화산의 분출과는 거리가 멀다.

그러나 우리나라에도 4, 50℃의 높은 온천이 존재하는 것으로 보아 화산성 고온 온천은 아니더라도 비교적 높은 지열을 가지고 있음을 알 수 있다. 우리나라의 온천 중 현재 온도가 가장 높은 온천은 부곡 온천(72℃)이며, 수안보, 해운대, 백암, 척산, 덕구 온천 등 40℃ 이상을 보인다. 이들 온천은 지열의 흔적이라 할 수 있으며, 이의 분포를 보면 특징적인 현상이 나타난다. 그림 2는 우리나라 온천의 분포이며, 또한 지질구조선(단층)을 도시한 것이다. 그림 2에서 보면 우리나라 대표적인 온천은 대부분 단층선상에 놓여 있음을 알 수 있다. 이러한 특징은 지하 심부에 U, Th 및 K 방사능 동위원소 함량이 많은 고온암체가 존재하고 지하수의 통로가 될 수 있는 약한 지반 즉, 단층대가 있기 때문임을 시사한다.



[그림 1] 지각 판의 경계와 화산 분포 (출처 : geothermal.marin.org)

온천으로 직접적으로 지열을 전달하는 것 외에도 인공적으로 지열수 통로를 만들어 이용하는 방법도 있다. 최근에 시추기술이 발달하면서 2 km 정도의 깊이까지 굴착이 가능하므로 지열이 높은 지역을 굴착하여 에너지원을 얻어낼 수 있다. 그러기 위해서는 우리나라의 지열의 특성을 알아야 한다. 지열이 높다라는 의미는 지열류량이 높다라는 것을 말한다. 지열류량은 지구 내부에서의 열이 지표로 전달되는 과정에서 지층을 매체로 하여 단위 면적당 흐르는 열의 양을 말한다. 지열류량 계산은 지층의 열전도도와 심부 열이 지층을 통해 전달될 때 심도에 따른 온도차, 즉 지온경사(또는 지온증가율, geothermal gradient)를 측정하여 산출한다.

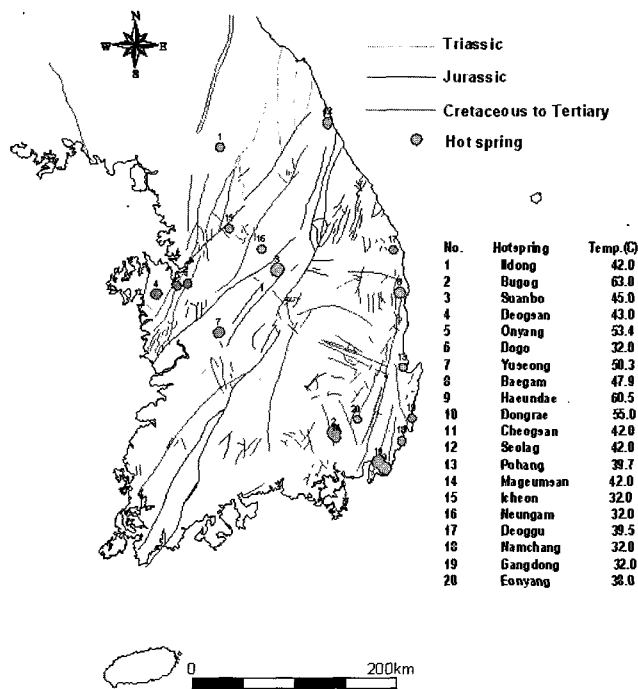
열역학 제 2법칙에 따르면 밀폐된 공간의 내부와 외부와의 온도 차이는 시간이 흐름에 따라 평형을 이루며 같아진다. 열을 전도하는 물질에서 온도는 일반적으로 모든 방향으로 연속적으로 변화하며

각 지점에서의 온도는 시간에 따라 변화한다. 열이 전도에 의해 전달되는 기본 관계는 푸리에 법칙에 있다. 이는 열 흐름(\bar{q}) 즉, 한 매체의 임의의 지점에서 단위면적 및 단위 시간당의 열량은 그 지점에서의 지온경사와 직접적으로 비례한다는 것이며 일차원적으로 열 흐름은 다음 식과 같다.

$$\bar{q} = -K \frac{dT}{dy} \text{ (mW/m}^2\text{)}$$

여기서 K : 열전도도 ($\text{W/m}^\circ\text{K}$), T : 온도 ($^\circ\text{K}$), y : 열 흐름의 방향좌표, 즉 심도(m)이다. 지표에서 볼 때 열의 원인은 지하 심부이므로 1차원적 접근은 타당하다. 그러므로 스칼라로 표시하는 지열류량(Q)은 지온경사와 열전도도의 곱으로 표시된다.

지온경사는 시추공을 굴착하여 심도별 온도검층을 통하여 측정한다. 우리나라 평균 지온경사는 약 25.7°C/km 이다. 우리나라의 지온경사 분포는 그림 3과 같다.

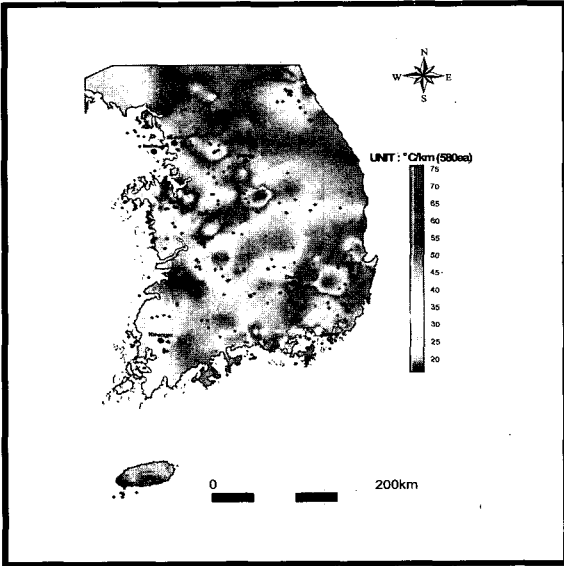


[그림 2] 우리나라 주요 온천의 분포와 단층구조선

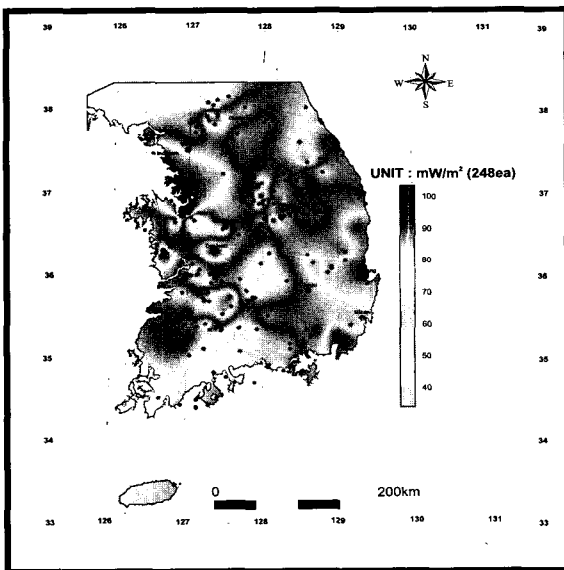
그림 3에서 볼 수 있는 바와 같이 우리나라에서 지온경사가 높은 지역은 경북 포항과 경산 주변, 강원 속초, 오색 주변, 경남 고성주변, 충북 수안보 주변, 대전 유성 주변, 경기 이천과 포천 주변,

강화 석모도 주변 등이다. 이러한 지역 주변은 대부분 온천이 존재하고 있는 지역이다. 그러나 지온경사가 높다고 해서 반드시 지열류량이 높다고 할 수는 없다. 구성 암석이 열을 얼마나 전달할 수 있는 능력이 있는가에 따라 달라질 수 있다. 그러므로 암석의 열전도도를 측정하기 위해서는 시추공의 암석을 채취하며, 시추 코어가 없는 경우는 시추공 주변의 동일한 암석을 채취하여 실 내에서 열전도도를 측정한다. 측정된 암석의 열전도도와 지온경사를 이용하여 지열류량을 산출할 수 있다. 그림 4는 우리나라의 지열류량 분포도이다.

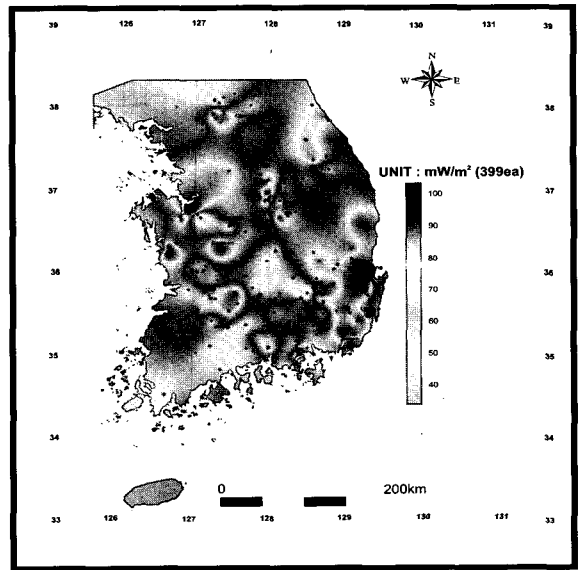
그림 4(a)는 248 개의 지열류량 자료를 이용한 것이며, 그림 4(b)는 151 개 지열류량 자료가 추가하여 399 개를 이용하여 작성한 지열류량 분포도이다. 그림 4(a)에서 볼 수 있는 바와 같이 포천, 속초, 아산, 유성, 진안 주변에서 높은 지열류량을 보이며, 울진, 포항, 동래 지역이 높은 지열류량을 보인다. 그림 4(b)에서는 특히 경상남북도 일대의 자료가 주로 보충되었는데 울진, 포항,



[그림 3] 우리나라의 지온경사 분포도



(a) : 248개 자료



(b) : 399개 자료

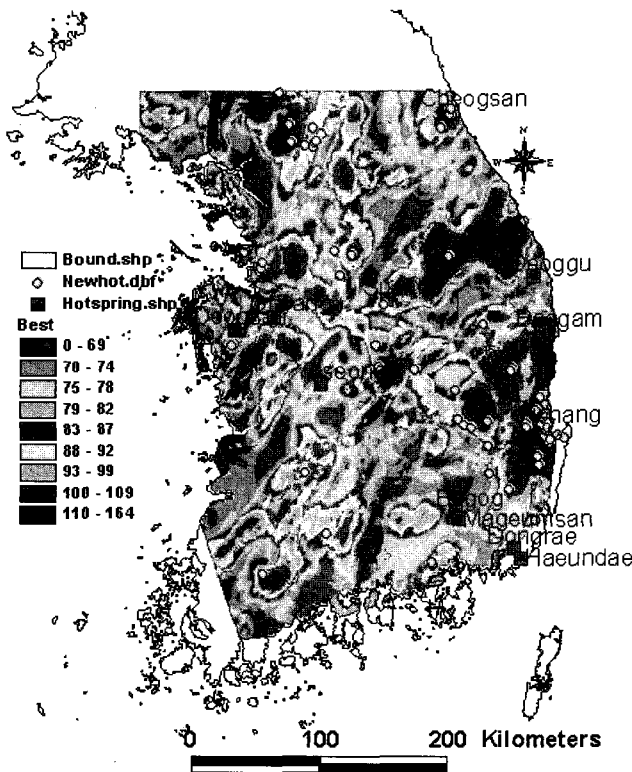
[그림 4] 우리나라의 지열류량 분포도

양산, 동래로 이어지는 지열류량 이상대가 나타난다. 이 지역은 우리나라에서 가장 큰 단층인 양산 단층대와 잘 일치하고 있는 것으로 보인다. 즉, 지열이상대는 지질구조선과 무관하지 않음을 알 수 있다. 전체적인 국내 내륙의 평균 지열류량은 약 64 mW/m^2 로 세계 대륙의 평균 65 mW/m^2 과 비슷한 값을 보인다.

지금까지 조사된 지열류량 자료와 우리나라의 지질분포 및 지구물리자료를 비교 분석해 보면 암종별 특징은 퇴적암류 분포지역이 비교적 높은 지열류량을 보이고 있으며, 다음으로 화성암류, 변성암류 순이다. 이는 심부에 화성암류의 방사능 동위원소의 붕괴열이나 화성활동에 의한 잔류열이 열전도도가 비교적 낮은 퇴적암류가 덮혀서 열을 보존하고 있기 때문으로 판단된다. 지층 생성시대별로는 젊은 지층인 신생대 지층 분포지역

이 가장 높게 나타나며, 다음이 중생대, 고생대 지층 분포지역이고 원생대, 시생대 지층 분포지역은 낮은 지열류량 값을 보인다. 한편 지구물리적 자료에 의한 것으로 한반도 전체 중력탐사자료를 이용하여 지각의 두께를 산출한 자료와 지열류량 자료를 비교 분석해 보면 대체로 지각이 얇은 부분에서 맨틀과 가까우므로 높은 지열류량을 보인다. 지열류량 자료가 많이 있으면 보다 정확한 지열이상대 파악이 가능하겠지만 많은 예산과 노력이 필요하다. 그러므로 지금까지 알려진 지질생성 시기, 암종, 지각의 두께와 지열류량과의 상관관계를 이용하여 한반도의 지열이상대 지역을 예상할 수 있다. 또한 앞에서 기술한 바와 같이 지질구조선 발달 상황이 지열이상대와 관련성이 크다는 것을 알 수 있었다.

그림 5는 지금까지 조사된 지열류량 특성을 중



[그림 5] 지열이상대 예상 분포도 및 온천 분포

합하여 한반도의 지열류량 이상대 지역을 중첩분석을 통하여 작성한 것이다. 그림 5에서 보면 포항, 경주일대와 울진, 영양, 군위일대, 중동부의 삼척, 정선, 영월, 단양일대, 북동부의 속초, 양양일대, 중부지역의 상주일대, 남서부의 화순일대, 중서부의 보령, 청양, 공주, 화성, 용인일대, 북서부의 포천, 연천, 전곡, 철원 일대가 지열이상 예상지역으로 나타났다. 일반적으로 지열의 부존 증거로서 지표에서 쉽게 확인할 수 있는 것이 온천이다. 온천은 지열뿐만 아니라 물이 풍부해야 하기 때문에 지질구조선과 관련이 깊다. 그림 5에 우리나라의 온천이 도시되어 있는 바 지열이상 예상지역과 잘 일치하고 있음을 알 수 있다. 그러나 이는 축척 1:1,000,000 지질도를 이용한 것이므로 지열개발을 위한 시추지점을 선정하기에는 문제가 있다. 또한 지열류량 자료가 부족한 상태에서 여러 가지 특성을 이용한 예상지역이므로 실제 지열개발을 위해서는 정밀 지질조사 및 탐사가 필요하다.

3. 결론

앞에서도 언급한 바와 같이 지열이상대는 곧, 지열류량이 높은 지역을 말하므로 정확한 지열류량 분포 및 지열이상대 파악은 지열류량 자료의 보다 많은 확보가 필요하다. 최근 국내 지하수 개발 및 온천개발 등으로 많은 시추공이 굴착되고 있다. 이러한 시추공에 대한 물리검층 조사가 되어 있다면 엄청난 자료가 축적되었을 것이다. 시추공 굴착은 시 또는 군의 굴착허가를 받아야 하는 사항이다. 이 때 시추공에 대한 물리검층 의무가 같이 주어진다 면 자료 확보는 물론 개발자에게 시추공에 대한 지질 정보도 알려줄 수 있으므로 효과적인 제도가 될 것이다. 이러한 제도가 정부차원에서 지원해 준다면 미래의 신재생에너지인 지열에너지 개발에 확실한 지시자가 될 것으로 기대된다.

향후 국내 지열을 에너지원으로 효과적으로 활용하려면 기본적인 탐사 및 시추기술이 보다 체계적으로 이루어져야 하며 그에 따른 정부의 적극적인 지원이 필요할 것이다.