

## 한국의 암석 열전도도에 관한 연구

박 정민<sup>1)</sup>, 김 형찬<sup>2)</sup>, 이 영민<sup>2)</sup>, 송 무영<sup>1)</sup>

### A study on thermal conductivities of rocks in Korea

Jeongmin Park<sup>1)</sup>, Hyoungchan Kim<sup>2)</sup>, Youngmin Lee<sup>2)</sup>, Mooyoung Song<sup>1)</sup>

**Key words** : Thermal conductivity(열전도도), Thermal diffusivity(열확산율), specific heat(비열), mineral composition(구성광물), geothermal heat pump(지열펌프).

**Abstract** : We made 980 thermal conductivity measurements on igneous, metamorphic, sedimentary, and volcanic rock samples from Korea. The average thermal conductivity of igneous, metamorphic, sedimentary, and volcanic rocks are 3.41 W/m-K, 3.98 W/m-K, 4.10 W/m-K, and 3.21 W/m-K, respectively. Thermal conductivity values of a rock type generally have a wide range because thermal conductivity depends on various factors such as dominant mineral phase, micro-structure, anisotropy and so on.

Thermal properties (thermal conductivity, thermal diffusivity and specific heat) are important variables which are used to design a geothermal heat pump(GHP) system. Therefore, our thermal property data can contribute on a efficient design of a GHP system.

#### Nomenclature

TC : thermal conductivity, W/m-K  
thermal diffusivity, mm<sup>2</sup>/sec  
specific heat, J/gK

#### subscript

GHP : geothermal heat pump

요가 있다<sup>2)</sup>. 그리고 지열펌프 설계시 이용하는 열적 특성인자로서 열전도도, 열확산율, 비열 등이 중요한 변수로서 적용이 되기 때문에 이에 대한 연구가 필요하다. 또한, 이 중 암석의 열전도도는 한 지역의 열원을 알기 위하여 지온경사와 더불어 반드시 측정되어야 하는 물성 값이다<sup>3)</sup>.

같은 암석일지라도 열전도도의 범위가 크기 때문에 특정 지역에서의 열전도도 값의 산출이 필요하다. 현재 우리나라 암석의 전반적인 열물성 값에 대한 연구가 미비하기 때문에 본 연구에서는 한국의 암석 열물성 값의 특성을 규명 하고자 하였다.

## 1. 서론

지열에너지란 지구 내부 열의 일부분으로 정의되며, 이는 전도(conduction), 대류(convection), 이류(advection), 방사(radiation)의 네 가지 메카니즘에 의해 지표면에 전달되는 것으로 정의된다. 최근 지열에너지를 이용한 지열펌프(geothermal heat pump, GHP)는 선진국을 중심으로 최근 급속도로 발전, 확산되고 있는 최신 냉난방방법이다. 지열펌프는 화석연료를 사용하지 않고 지하나 지하수, 지표수내에 있는 열에너지를 이용하는 방식으로 환경친화적인 시스템이다<sup>1)</sup>. 지중에서 열의 전달은 지층을 구성하는 암석의 열전도 능력에 따라 좌우되므로 암석의 열전도 능력을 파악하고 암석의 종류별 열전도도 차이를 비교, 분석해야 할 필

## 2. 본론

암석 샘플은 그림 1과 같이 총 몇 980개의 암석 시료를 채취하여 Parker(1961) 등에 의해 적용된 flash method 방법인<sup>4)</sup> LFA 447 NanoFlash를 이용하여 암석 열물성 값을 측정하였다.

1) 충남대학교 지질학과

E-mail : min2000u@naver.com, mysong@cnu.ac.kr

Tel : (042)868-3074, (042)821-6423

Fax : (042)868-3358, (042)823-3722

2) 한국지질자원연구원 지하수지열연구부

E-mail : Khc@kigam.re.kr, ymlee@kigam.re.kr

Tel : (042)868-3074, 3069 Fax : (042)868-3358

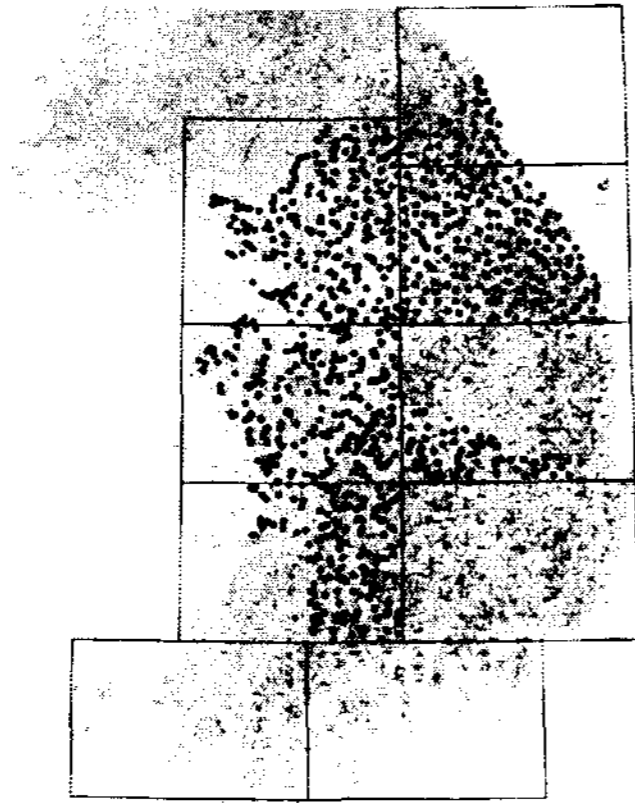


Fig. 1. Location map of rock samples.

이 방식은 작은 크기의 시료를 사용할 수 있으며 빠른 측정시간, 높은 정확도( $\pm 5\%$ )와 재현성( $\pm 3\%$ )등의 특징과 비접촉식의 측정의 장점이 있다. LFA 447 NanoFlash은 열확산을 측정하며, 비열 값은 이미 알려져 있는 표준시료(Pyroceram 9606)을 이용하여 산출한다. 암석의 열전도도는 아래의 식을 이용하여 구할 수 있다.

$$\lambda = \alpha \rho C_p \quad (1)$$

열전도도( $\lambda$ )는 W/m-K, 열확산률  $\alpha$ 는  $\text{mm}^2/\text{sec}$ ,  $\rho$ 는 밀도( $\text{g}/\text{cm}^3$ ),  $C_p$ 는 비열(specific heat, J/gK)이다.

본 연구에서 이용한 실험은 건조시료를 대상으로 구한 값이기 때문에 공극보정을 이용한 아래의 식으로 포화 함수된 상태의 열전도도 값을 계산할 수 있다<sup>5)</sup>.

$$K_{in-situ} = K_{water}^\phi K_{matrix}^{1-\phi} \quad (2)$$

$K_{in-situ}$ 는 포화 함수된 상태의 열전도도,  $K_{water}$ 는 물의 열전도도,  $K_{matrix}$ 는 암석 matrix의 열전도도이며,  $\phi$ 는 공극률이다. 우리나라의 경우 화강암과 편마암이 주를 이루고 있는데 이에 대한 열물성 값은 다음 그림과 같다.

그림 2는 화강암과 편마암의 열확산율을 도시한 그림으로, 화강암 시료는 357개로 평균열확산율은  $1.40 \text{ mm}^2/\text{sec}$ 이며, 편마암은 278개로 평균열확산율은  $1.53 \text{ mm}^2/\text{sec}$ 이다. 그림 3은 화강암과 편마암의 각각의 건조상태의 열전도도와 공극보정된 열전도도 값을 도시한 그림이다.

화강암의 열전도도는  $2.09 - 5.87 \text{ W/m-K}$ 의 범위를 갖으며, 평균 열전도도는  $3.43 \text{ W/m-K}$ 이다. 편마암의 열전도도 범위는  $1.70 - 6.67 \text{ W/m-K}$ 이며, 평균 열전도도는  $3.79 \text{ W/m-k}$ 이다.

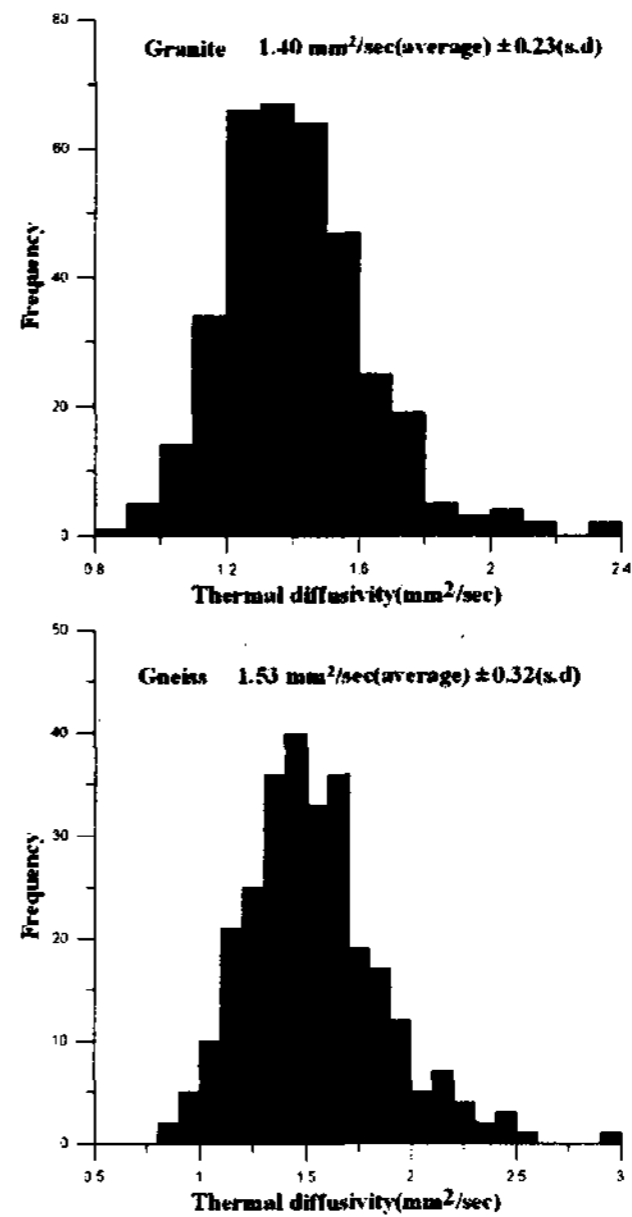


Fig. 2. Thermal diffusivities of granite and gneiss samples.

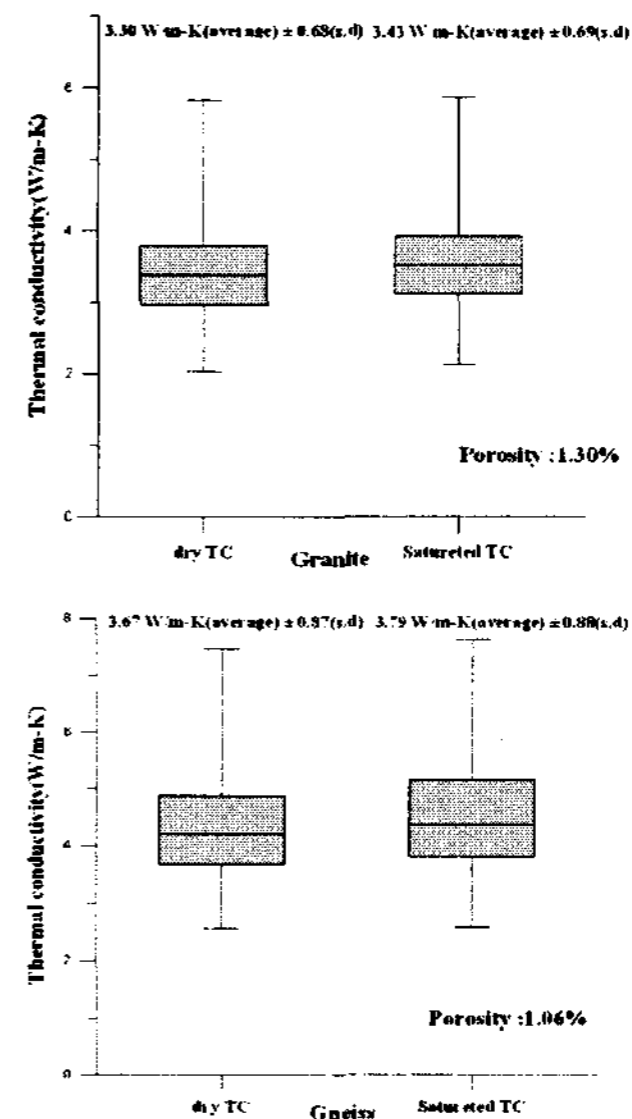


Fig. 3. Distribution of Dry TC and corrected TC of granite and gneiss samples.

화강암과 편마암의 열전도도 범위가 큰 이유는 열전도도는 구성광물, 이방성 등의 영향에 열전도도 값이 좌우되기 때문이다<sup>6)</sup>. 특히, 석영광물의 열전도도는  $7.7 \text{ W/m-K}$ 으로 석영광물의 함유량에 따라 열전도도 값이 달라질 수 있다.

암석을 화성암, 변성암, 퇴적암, 화산암으로 암

중별로 분류를 하였으며, 그 결과는 다음과 같다. 화성암의 열전도도는 1.75 - 5.87 W/m-K 의 범위를 갖고며 평균 열전도도는 3.41 W/m-K, 평균 열확산률은 1.39 mm<sup>2</sup>/sec, 평균 밀도는 2.65 g/cm<sup>3</sup>, 평균 비열 값은 0.885 J/gK 이다. 변성암의 경우, 1.70 - 8.76 W/m-K 의 범위를 갖고며, 평균 열전도도는 3.98 W/m-K, 평균 열확산률은 1.62 mm<sup>2</sup>/sec, 평균 밀도는 2.72 g/cm<sup>3</sup>, 평균 비열 값은 0.881 J/gK 이다. 퇴적암의 경우, 2.25 - 7.49 W/m-K 의 범위를 갖고며, 평균 열전도도는 4.10 W/m-K, 평균 열확산률은 1.64 mm<sup>2</sup>/sec, 평균 밀도는 2.71 g/cm<sup>3</sup>, 평균 비열 값은 0.887 J/gK 이다. 화산암의 경우, 2.04 - 5.46 W/m-K 이며, 평균 열전도도는 3.21 W/m-K, 평균 열확산률은 1.35 mm<sup>2</sup>/sec, 평균 밀도는 2.60 g/cm<sup>3</sup>, 평균 비열 값은 0.840 J/gK 이다. 퇴적암의 경우 열전도도 값이 높은 이유는 측정된 퇴적암 중 열전도도가 높게 나오는 사암(4.35 W/m-K), 석회암(3.79 W/m-K)의 비율이 높기 때문이다. 석회암의 경우 외국의 사례(2.55 W/m-K)<sup>7)</sup>에 비해 높은 편인데 본 연구에서 측정된 석회암중 일부가 돌로마이트화 되어가는 과정에 있는 암석일 것으로 판단된다.

화성암중 염기성 암맥(3.67 W/m-K)보다 더 많은 규산염광물을 포함하는 산성암맥(4.35 W/m-K)이 열전도도가 높다.

변성암중 규암은 편마암, 편암, 천매암, 각섬암, 혼펠스에 보다 높은 석영함량을 갖고 있어 열전도도가 높은 경향을 보인다.

본 연구에서 측정된 암석의 열전도도와 공극률과의 뚜렷한 상관관계는 보이지 않는다. 그 이유 중의 하나는 대부분의 암석 공극률이 2% 내외로 상관관계의 적용에는 무리가 있다는 점이다. 그리고 화성암과 변성암의 경우 광물구성 성분에 의한 열전도도에 미치는 영향이 공극률에 의한 영향보다 더 우세하기 때문에 구성광물이 전반적인 암석의 열전도도 값에 영향을 주로 미치는 것으로 판단된다. 특히, 결정질 암석의 경우 석영광물(7.7 W/m-K)의 함량에 따라 암석의 열전도도 값이 다양하게 나타난다. 따라서 광물조성과 열물성과의 상관관계는 구성광물의 분석 후에 실시돼야 할 것으로 사료된다.

### 3. 결 론

열전도도는 암석의 광물성분에 따라 변화양상이 다르기 때문에 같은 암석일지라도 열전도도 값의 범위가 크다. 따라서 지열펌프 설계시 입력되는 열물성인자 값은 암석의 평균열물성 값의 적용보다 그 지역에서의 측정된 암석 열물성 값을 적용시켜야 한다.

암석의 열전도도와 열물성과의 뚜렷한 상관관계는 보이지 않는다. 이는 암석의 열전도도는 광물조성, 이방성, 구조 등에 주로 영향을 받기 때문으로 이에 대한 분석이 필요할 것으로 판단된다.

암석의 열전도도 값은 지열류량을 계산하는데 이용되며, 천부 지중열을 이용한 지중열 교환기 설계에 중요한 입력변수로 사용될 수 있다.

### 후 기

본 연구는 한국지질자원연구원의 중대형 과제(NP2005-024)인 '지하 열자원 부존 정보 DB 구축'의 연구비 지원에 의해 수행되었다. 특별히 암석 샘플 및 성형을 해주신 이병태 선생님과 암석 샘플에 참여해주신 박덕원 박사님, 심병완 박사님, 이창범 선생님, 이철우 박사님께 깊은 감사를 드립니다.

### References

- [1] 한정상, 한규상, 한혁상, 한찬, 2004, 친환경 대체에너지인 천부 지중열을 이용한 지열펌프 냉난방 시스템, 한림원.
- [2] 송운호, 김형찬, 이철우, 황세호, 조병욱, 이태중, 심병완, 안은영, 2005, 국내 지하 열 자원 활용기술 개발의 중장기 계획. 한국지질자원연구원 2004-R-NC02-P-01-0-000 과제 최종보고서, p. 104.
- [3] Beadsmore, G. R., and Cull, J. P., 2001, Crustal heat flow-A guide to measurement and modeling, Cambridge Univ. Press, p. 324.
- [4] Parker, W. J., Jenkins, R. J., Buter, C. P., Abbott, G. L., 1961, Flash Method of Determining Thermal Diffusivity, Heat Capacity and Thermal conductivity, Journal of applied physics v. 32, no. 9, p. 1679-1684.
- [5] Woodside, W. H., and Messmer, J. H., 1961, Thermal conductivity of porous media. 2. Consolidated rocks. J. Appl. Phys., v. 32, p. 1699-1706.
- [6] 김형찬, 2004, 남한의 지열류량과 지질자료를 이용한 지열 이상대 해석, 박사학위논문, 충남대학교, p. 123.
- [7] Kappelmeyer, O., and Haenel, R., 1974, Geothermics with special reference to application, Gebrüder Borntraeger, p. 238.