

지열냉난방시스템 적용을 위한 지반의 열전도 특성에 관한 연구

백성권*, 안형준*

*코오롱건설(주) 기술연구소

A Study on Thermal Conductivity Properties of Soil for GSHP Systems

Baek, Sung Kwon* · An, Hyung Jun*

KOLON Engineering & Construction Co., Ltd., Gyeonggi, Korea

요 약

지열 냉난방 시스템의 설계는 냉난방 공간의 크기에 따라 필요한 부하를 계산하여 설계하게 된다. 설계 부하를 충분히 소화할 수 있는 지열교환기의 길이와 보어홀의 깊이 및 개수는 지반의 열적 특성에 크게 좌우된다. 열전도율이 큰 지반일수록 지열교환기 내의 열 흡수 및 소산이 효과적으로 이루어져 지열교환기의 길이도 상대적으로 짧아질 수 있다. 즉, 효율적이고 정확한 설계를 하기 위해서는 지반의 열전도율을 확실히 알고 있어야 하며, 지반의 물리적 특성에 따른 열적 특성을 설계자는 미리 숙지하여야 한다. 이에 열전도 실험을 통해 사질토와 점토의 열적 특성과 경향을 제시하며 기존 연구 결과와도 비교하였다. 실험실에서 조건을 엄격하게 적용하기 위해 표준사를 시료로 사용하여 함수비와 건조 밀도 조건을 제어하였다. 또한 낙동강 하구 유역의 불교란 점토 시료를 채취하여 자연 상태에서의 토질 특성에 따른 열적 특성이 같은 경향을 보이는지를 검토하였다.

실험은 흙이나 분말의 과도상태에 대한 가장 일반적인 방법인 탐침을 이용한 열전도 실험 장치를 사용하여 수행하였다. ASTM D 5334-92, D 5930-97과 IEEE 442-1981 표준을 따른 장비인 TP02 센서를 사용하여 CR10X 계측기로 자료를 수집하였다. 현재 열전도 측정용으로 사용되는 국내의 대부분의 장비는 단 열재를 측정하기 위한 최대 열전도율이 $0.4W/mK$ 이하인 낮은 측정 능력을 가진다. 하지만, 흙의 열전도율을 측정하기 위해서는 최소 $4.0W/mK$ 의 열전도율이 필요하며, 본 실험에서 사용한 센서의 측정 범위는 $0.1 \sim 6.0W/mK$ 으로 사용 범위를 만족한다.

표준사를 이용한 실내 열전도 실험 결과에서 함수비와 건조밀도에 따라 열전도율은 각각 비선형 비례하며, 입도가 균등한 순수한 사질토에 대해 Kersten 방정식의 계수들은 열전도율을 과소평가하고 있어 방정식 계수의 수정이 필요하며, 열전도율은 $k = [0.0671 \log w + 1.4461] 10^{0.9519 \rho_d}$ 에 근사한다.

기존 국내의 연구에서는 일반적인 흙의 특성에 따른 열전도율에 대한 연구만이 수행되었으나, 본 연구에서 사용한 낙동강 유역의 고소성 불교란 점토의 열전도 실험을 통해 점토 지반의 열적 특성이 일반 흙과는 상이한 함수비와 열전도율이 반비례하는 거동을 보이는 것으로 나타났으며, 이는 팽창성이 큰 점토에서 간극비의 증가에 따른 입자의 접촉면의 감소 때문이다. 본 연구 결과에 따르면 함수비의 증가에 따라 부피의 증가가 큰 포화 점토의 열전도율 예측을 위해서 Kersten(1949) 방정식과 도표 및 ASHRAE(1997)의 표를 사용하는 것은 큰 주의가 필요하다.