

동결 사질토 시료의 간극수 염분농도에 따른 부동수분측정 실험

Unfrozen water content measurement test according to salinity of pore water in frozen sandy soil

김희원¹, 고규현^{2*}

Kim, Hee Won, Go, Gyu-Hyun

¹금오공과대학교 토목공학과 석사과정, ²금오공과대학교 토목공학과 부교수

연구배경

- 동결토 내 부동수분은 동결토의 강도, 크리프 특성, 동결 시의 체적 팽창 및 융해 시의 체적 수축 등과 같은 열적, 역학적 특성에 영향을 미치기 때문에[1], 흙의 부동수분특성곡선은 동결 거동을 평가하는 수치해석모델의 주요 입력 인자가 된다.
- 동결토의 동결 거동에 대한 신뢰성 있는 예측을 위해서는 부동수분특성에 대한 실내 실험을 통한 정밀한 측정이 선행되어야 한다.

연구목적

- 본 연구에서는 간극수의 염분농도가 동결에 따른 부동수분에 미치는 영향을 평가하기 위한 실내 실험을 수행하였으며, 관측된 실험데이터를 토대로 염분농도 0% 및 35% 조건에 대해 부동수분 산정 회귀식을 각각 제안하였다. 또한, 수치해석 결과와의 비교 분석을 통해 제안된 회귀식의 적합성을 검증하였다.

부동수분측정 실내 실험



Fig. 1. Experimental setup for measurement of the unfrozen water content of sandy soil

- 동결에 따른 시료의 부동수분의 변화를 알아보기 위한 실내실험을 수행하였다. 직경(D) 14cm X 높이(H) 13cm인 몰드에 사질토 재료인 주문진사를 포화시켜 시료를 조성하였으며 TDR 측정 장비(METER사 TERSO11)를 이용하여 동결과정에 따른 시료의 부동수분 변화를 확인하였다.
- 시료를 효과적으로 냉각시키기 위해 몰드 주변을 구리관으로 감싼 후 -20°C의 냉매제를 순환시켰으며, 이때 단열 상자를 설치하여 외기 온도와의 열교환을 차단하였다.
- 부동수분의 양을 측정하기 위해 TDR(Time Domain Reflectometry) 센서를 이용하였다. 전자기파가 물질 속을 통과하는 속도는 물질 고유의 유전율에 의존하며, TDR센서는 유전율을 결정하기 위해 전자기파가 probe의 끝단까지 갔다가 되돌아오는 속도를 자동으로 계산한 다음 상대 유전율과 체적함수비 사이의 관계식을 토대로 흙의 부동수분을 측정한다.
- 간극수의 염분농도를 0% 및 35%로 각각 조성하여 포화된 시료의 냉각에 따른 부동수분을 측정하였고, Fig. 2와 같이 냉각온도-중량 함수비 곡선을 도시하였다. 이때, 간극수의 염분농도 이 외의 변수들은 모두 통제하였다.

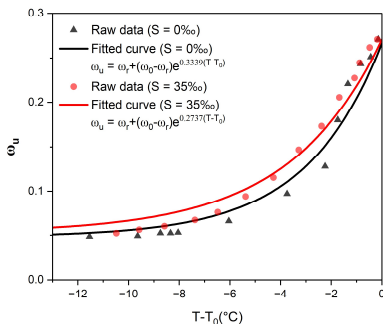


Fig. 2. Curve fitting results of unfrozen water content measurement

- 사질토에 대한 염분농도별 부동수분특성곡선 예측 모델을 산정하였다. Fig 2에서 알 수 있듯이 예측된 부동수분특성곡선의 전반적인 양상은 지수함수 형태로 확인되었고, 함유된 간극수의 염분농도가 높을수록 부동수분특성곡선의 기울기는 완만해지는 경향을 나타내었다.

실내실험 모델링

- 산정된 회귀식의 적합성을 검토하기 위해 회귀식을 입력자료로 사용하는 수치해석을 통해 실내 동결 시험 과정을 모사하였다. 이때 사용된 구성 방정식, 초기 조건, 경계조건은 Fig. 3과 같다.
- 실내 동결시험 시 바닥 부분에서는 열대류로 인한 냉각효과가 상대적으로 적을 것으로 판단되어 외곽부의 80% 정도에 해당되는 대류 열전달 계수 h_c 를 사용하였다.

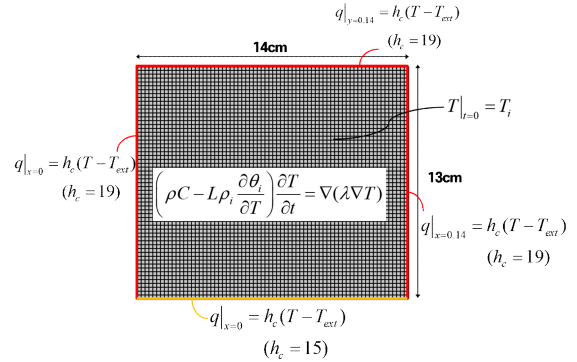


Fig. 3. Governing equation, initial condition, boundary conditions of the model

결과 및 분석

- 앞서 도출된 회귀식을 입력자료로 사용한 수치해석모델과 실내 실험을 통해 도출된 시편의 시간-온도 그래프를 비교 검토하였다. 대부분의 관측 포인트에서 수치해석 결과와 실내 실험 결과의 차이가 2.5 이내인 것으로 보아, 본 연구에서 적용된 회귀식이 적합함을 알 수 있었다.

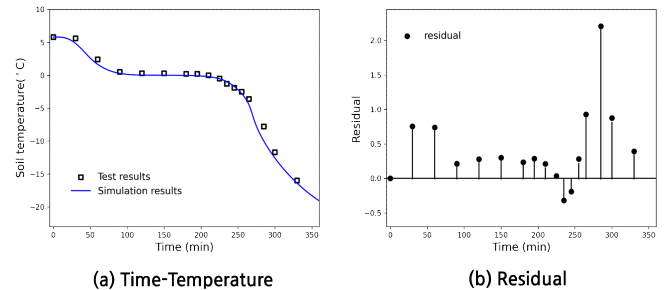


Fig 4. Comparison results between simulation and test results

결론

- 신뢰성 있는 지반의 동결 거동 평가를 위해서는 다양한 지반환경에서의 물성 평가 연구가 필요하다. 이에 본 연구에서는 사질토 시료의 간극수 염분농도가 부동수분에 미치는 영향에 대해 분석하였다.
- 동결토 해석 시 핵심 입력 인자 중 하나로 여겨지는 부동수분 곡선의 정확한 산정을 위해 실내 실험을 수행하였다. 사질토의 부동수분특성곡선의 전반적인 양상은 지수함수 형태로 확인되었고, 간극수의 염분농도가 높을수록 부동수분곡선의 기울기는 완만하게 나타났다. 이러한 특성은 향후 염분을 포함한 지반에 대한 동결토 해석 시 유용한 기초자료가 될 것으로 사료된다.
- 실내 실험 결과를 바탕으로 동결에 따른 사질토의 부동수분특성을 추정하는 회귀식을 제안하였으며, 도출된 회귀식이 적용된 수치해석모델은 실내 실험 결과를 합리적으로 모사하였다.

감사의 글

- 이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No.2022R1C1006507).

참고문헌

- 채덕호(2015) "동결온도와 세립분 함량에 따른 동결사질토의 장기거동 예측", 박사학위 논문, 단국대학교, 경기도, 대한민국, pp.156.