

동결 사질토의 간극수 염분농도에 따른 어는 점 변화 측정 연구

Impact of Pore Water Salinity on the Freezing Point of Frozen Sandy Soil

김민서¹, 김희원¹, 고규현^{2*}

Kim, Min Seo, Kim, Hee Won, Go, Gyu-Hyun

¹금오공과대학교 토목공학과 석사과정, ^{2*}금오공과대학교 토목공학과 부교수

연구배경

- 최근 지반 동결과 관련된 시공 현상이 다변화되면서, 해안 또는 해저 지반의 특성을 검토해야 하는 사례가 늘고 있다. 이 경우, 지반 내 간극수의 염분농도에 따른 지반재료의 열적 특성 변화에 대한 평가가 중요해진다.
- 간극수는 염분농도는 흙의 어는점 및 간극수의 상변화가 진행 시간 등에 영향을 미칠 수 있기 때문에 이러한 영향을 실내 실험을 통해 고찰할 필요가 있다.

연구목적

- 동결토 해석의 핵심 인자로 간주하는 부동수분곡선에는 흙의 어는점(T_0) 결정이 요구되는데(Table 1), 염수를 함유한 지반의 경우 흙의 어는점을 신뢰성 있게 산정하기 어려운 경우가 많다.

Table 1. Unfrozen water content curve prediction model applied in previous research

예측 모델	비고
1 $S_w = [1 - (T - T_0)]^\alpha$	Tice(1976)
2 $S_w = \left(1 + \frac{(T_0 - T)}{\Delta T_{ca}}\right)^{-m}$	Zhou and Meschke (2013)
3 $\omega_u = \begin{cases} \omega_0 & T \geq T_0 \\ \omega_r + (\omega_0 - \omega_r) \exp[\mu(T - T_0)] & T < T_0 \end{cases}$	Michalowski(2006)

염수가 포함된 지반에서 나타나는 어는 점 내림 현상

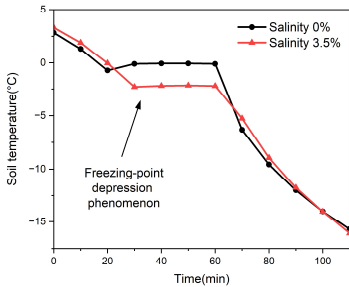


Fig. 1. Freezing point depression observed in soil with salinity 3.5% porewater

- Fig. 1에서 알 수 있듯이, 담수로 포화된 사질토의 어는점은 물의 어는점(0°C)과 거의 유사하게 나타나지만 간극수 내 염분이 높아있는 경우 사질토의 어는점은 담수로 포화된 경우보다 훨씬 낮게 나타난다.
- 따라서, 본 연구에서는 간극수의 염분농도가 포화 사질토의 어는점에 미치는 영향을 평가하기 위하여 실내 동결실험을 수행하였으며, 실험 결과를 기반으로 시료의 간극수 염분농도를 독립변수로 하는 예측 경험식을 도출하였다.

어는 점 측정 실험

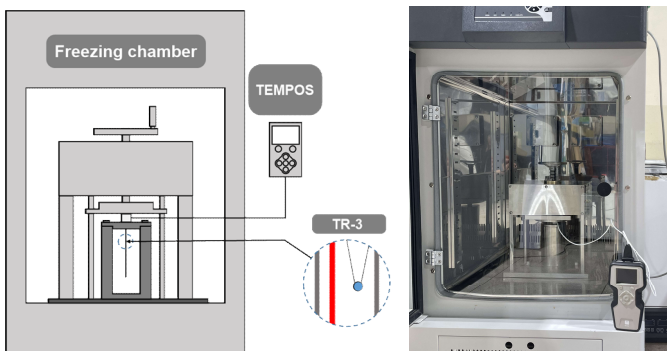


Fig. 2. Experimental setup for the measurement of soil's freezing point

- 염분농도에 따른 어는점의 변화를 알아보기 위한 실내 실험을 수행하였다. 직경(D) 5cm X 높이(H) 11.9cm인 몰드에 사질토 재료인 주문진사를 다양한 염분농도의 간극수로 포화시켜 시료를 조성하였으며 METER사 TR-3 센서를 이용하여 시료의 동결과정에서 어는점(Freezing point)을 측정하였다.

분석 및 해석

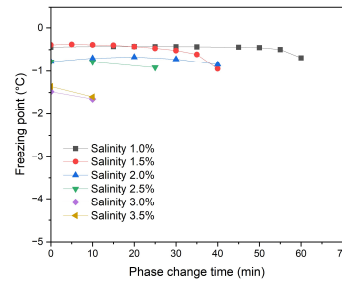


Fig. 3. Phase change time according to salinity change

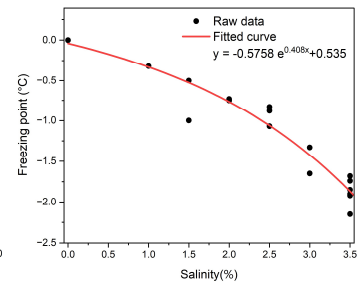


Fig. 4. Curve fitting results of freezing point according to salinity change

- 간극수의 염분농도를 0% ~3.5%로 달리 조성하여 상변화가 진행될 때의 시료의 어는점을 측정하였고 그 결과를 Fig. 3에 도시하였다. 이때, 간극수의 염분농도 이외의 변수들은 모두 통제하였다.
- 간극수의 염분농도가 높아질수록 상변화에 소요되는 시간이 짧게 나타났다. 이는, 염분농도가 높아질수록 공극 내 순수 물의 비율이 줄어들기 때문에 상변화에 걸리는 시간이 더 감소한 것으로 사료된다.
- 시료의 간극수 염분농도가 높아질수록 동결 사질토의 어는점 내림이 지수함수적으로 낮아지는 경향을 확인하였다. 또한, 실내 실험 결과를 바탕으로 간극수의 염분농도별 시료의 어는점 내림 정도를 추정할 수 있는 경험식을 제안하였다(Fig. 4)

결론

연구의 요약

- 동결토의 신뢰성 있는 평가를 위해서는 다양한 지반 환경 조건에서의 지반재료의 동결 특성 변화와 관련된 기초실험 연구가 필요하다. 본 논문은 간극수의 염분 농도 변화에 따른 동결토의 어는점 내림 현상을 평가하기 위한 실내 실험을 수행하였다.
- 실험 결과 시료의 간극수 염분농도가 높아질수록 동결 사질토의 어는점 내림이 지수함수적으로 낮아지는 경향을 확인하였고, 실내 실험 결과를 바탕으로 간극수의 염분농도별 시료의 어는점 내림 정도를 추정하는 경험식을 제안하였다.
- 간극수의 염분농도가 높아질수록 상변화 소요 시간이 짧아지는 경향이 확인되었다. 이러한 특성은 향후 염분을 포함한 동결지반의 평가 시 어는점 내림 현상과 함께 고려되어야 할 요소로 판단된다.

감사의 글

- 이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No.2022R1C1I006507).

참고문헌

1. Tice, A. R., Anderson, D. M. & Banin, A. (1976). "The prediction of unfrozen water contents in frozen soils from liquid limit determinations", CRREL, US Army Corps of Engineers.
2. Zhou, M. M., & Meschke, G. (2013). "A three-phase thermo-hydro-mechanical finite element model for freezing soils", *International journal for numerical and analytical methods in geomechanics*, 37(18), 3173-3193.
3. Michalowski, R. L., & Zhu, M. (2006). "Frost heave modelling using porosity rate function", *International journal for numerical and analytical methods in geomechanics*, 30(8), 703-722.