

## 북유라시아 주요 강 유역에서 관측된 지표면, 토양 온도, 수문 기후변수들의 변화와 CESM2 비교

손연진, 감종훈

포항공과대학교 환경공학부

영구동토층 지역은 심각한 온난화에 직면해 있으며, 이는 활성층 두께 증가, 영구동토층 파괴와 온실가스 배출로 이어지고 있습니다. 이러한 변화는 수문학, 생태계 및 기후에 중대한 영향을 미칩니다. 본 연구는 북유라시아의 네 개 주요 유역에서 토양 온도 프로파일의 변화 추세를 조사하고, 지구 시스템 모델이 이러한 변화를 얼마나 잘 시뮬레이션하는지 평가합니다. 1963년부터 2014년까지의 여러 깊이에서 관측된 일일 토양 온도 데이터와 함께 대기 온도, 강설 깊이, 강수량, 유량 데이터를 분석했습니다. 커뮤니티 지구 시스템 모델 버전 2(CESM2)의 대규모 앙상블을 사용하여 북유라시아 주요 유역의 토양 온도 프로파일을 시뮬레이션하는 모델의 성능을 평가했습니다. 토양 온도 프로파일 패턴의 변화와 수문학적 변수 간의 관계를 파악하기 위해 추세 탐지와 계절성 분석을 수행했습니다. 세 개 유역 모두에서 토양 온도가 유의미하게 증가하는 추세가 관찰되었으며, 특히 2미터 이상의 깊은 층에서 두드러졌습니다. 이러한 추세는 최근 수십 년 동안 더욱 두드러져 온난화가 가속화되고 있음을 나타냅니다. 수직 온도 경사 분석은 얇은 깊이의 토양층에서 더 가파른 열 경사를 보여주며, 이는 얇은 토양층에서 열 전달이 강화되었음을 강조합니다. 관측된 토양 온도 변화는 수문학적 변수와 관련이 있으며, 더 따뜻한 토양 온도는 더 이른 해빙과 유량 패턴의 변화와 연관되어 있습니다. CESM2 대규모 앙상블은 일반적으로 관측된 활동층 온도 패턴과 추세를 포착하여 영구동토층 역학을 시뮬레이션하는 능력을 보여줍니다. 관측된 온난화 추세는 영구동토층이 기후 변화에 취약하다는 것을 강조합니다. 토양 온도와 수문학적 변수 간의 관계는 잠재적인 피드백이 영구동토층 악화를 가속화하고 수자원의 계절성을 변화시킬 수 있음을 시사합니다. CESM2의 토양 온도 추세 시뮬레이션 능력은 일부 과소평가에도 불구하고 미래 변화를 예측하고 그 영향을 평가하는 도구를 제공합니다. 이 연구는 북유라시아에서 영구동토층의 심각한 온난화를 입증하며, 영구동토층과 기후 상호작용을 더 잘 이해하고 예측하기 위해 지속적인 모니터링과 개선된 지구 시스템 모델링이 필요함을 강조합니다.

Key words: 수문 기후 변화, 영구동토층, 지구시스템모델

※ 이 논문은 해양수산부 재원으로 해양수산과학기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구입니다 (KIMST RS-2021-KS211500, 북극해 온난화-해양생태계 변화 감시 및 미래전망 연구).