

환경 및 응용기상 분과 [P-062]

단풍절정시기 예측을 위한 통합 기계학습 모델 개발

이상지, 정수종

서울대학교 환경대학원 환경관리학과

기후변화로 인한 생태학적 변동성은 계절적 전환점을 앞당기거나 지연시키며, 이러한 변화를 나타내는 개엽, 개화, 단풍과 같은 식물계절 현상은 산림 생태계의 생산성과 탄소순환 변화를 파악할 수 있는 중요한 지표가 된다. 특히 가을철 단풍은 대중에게 잘 인식되는 계절적 현상일 뿐만 아니라, 생태계 서비스와 관광 자원 관리에도 직접적인 영향을 미치기 때문에 조기 예측의 필요성이 요구된다.

본 연구는 한국에 분포하는 대표적인 단풍나무속(*Acer*) 수종인 단풍나무(*Acer palmatum*)와 당단풍나무(*Acer pseudosieboldianum*)의 장기 관측 자료와 기상자료를 통합하여 단풍 절정기(90-100% 단풍)를 조기에 예측하는 기계학습 모델을 개발하였다. 2009~2024년까지 축적된 훈련된 관찰자가 기록한 식물계절 모니터링 자료를 활용하였으며, 기상청 ASOS 자료로부터 누적온도(GDD), 지면온도, 일사량, 강수량, 습도 등 다양한 기상변수를 산출하여 관측목 위치와 매칭하여 입력자료로 사용하였다. 기본 모델은 기록된 단풍 절정일의 전날(-1일)까지의 모든 기상자료를 활용하여 구축하였고 실제 예측이 필요한 해를 고려하여, 매년 9월 5일 및 9월 20일까지의 제한된 기상자료만을 활용한 조기 예측 모델링 과정을 추가적으로 적용하여 예측 가능성을 검증하였다. 특히 단풍에 영향을 미치는 기상 변수를 정밀하게 확인하기 위해 다양한 변수 조건을 적용한 특징을 가진다. 변수 중요도 분석 결과, 8월 초부터 단풍절정 직전까지의 누적온도, 지면온도, 일조시간이 단풍 절정기를 결정하는 핵심 요인으로 도출되었다. 예측 성능은 평균 절대 오차(MAE) 2.8일, RMSE 4.1일, 결정계수(R^2) 0.87로 나타났으며, 9월 20일까지의 기상자료만 활용하더라도 실제 활용 가능한 수준의 정확도를 유지하였다.

본 연구는 단풍나무속(*Acer*)의 대표 수종의 현장 관측 기록과 기상자료를 통합하여 단풍 절정 예측 모델의 정확도를 향상시키기 위한 시도로, 향후 기후변화 영향 평가와 산림 관리 방안 마련에 기여할 수 있을 뿐만 아니라 생태계 서비스 제공과 관광자원 관리에도 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

Keywords: 기후생태학, 식물계절, 기계학습, 단풍예측모델, 기후위기 적응

※ 본 결과물은 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 관측기반 온실가스 공간정보지도 구축 기술개발사업의 지원을 받아 연구되었습니다 (RS-2023-00232066)