

기후분과 [P-017]

위성 관측과 재분석 자료를 활용한 북극 구름 장기 변화 진단

문영민¹, 송환진^{1,2}, 최민진³, 장성빈², 최원준²

¹경북대학교 대기과학과 BK21 위험기상 교육연구팀

²경북대학교 G-램프(LAMP) 사업단

³경북대학교 대기원격탐사연구소

본 연구는 위성 관측 자료와 세 가지 재분석 자료(MERRA-2, ERA5, JRA-3Q)를 활용하여 1980년부터 2024년까지 약 45년 동안 북극 지역의 구름 수상체, 즉 얼음 물 경로(Ice Water Path, IWP)와 액체 물 경로(Liquid Water Path, LWP)의 장기 변화를 종합적으로 분석하였다. 또한 기후 인자와의 연관성을 살펴보기 위해 2 m 기온(T_{2m})과 총 수증기량(Column Water Vapor, CWV)과의 관계를 함께 진단하였다. 평균 분포를 비교한 결과, 모든 재분석 자료는 위성 관측에 비해 IWP와 LWP를 과소 모의하는 경향을 보였으며, 특히 LWP에서 그 차이가 두드러졌다. 추세 분석에서는 재분석 자료 간 결과 차이가 뚜렷하게 나타났다. IWP의 경우, MERRA-2는 북극 전역에서 감소하는 양상을 보여주었고, ERA5는 뚜렷한 변화가 거의 없었으며, JRA-3Q는 오히려 증가 경향을 나타내어 IWP의 장기적인 변동성과 관련한 불확실성이 크다는 점을 확인할 수 있었다. 반면 LWP와 T_{2m} , CWV는 세 재분석자료 모두에서 일관된 증가 추세가 나타나, 온난화와 대기 수증기 증가가 북극 구름의 변화를 주도하고 있음을 시사하였다. 추가적으로 실시한 특이값 분해(Singular Value Decomposition; SVD) 분석에서는 재분석 자료별로 뚜렷한 차이가 나타났다. MERRA-2에서는 T_{2m} 상승 지역, CWV 상승 지역, IWP 감소 지역이 공간적으로 일치하는 특징을 보여주었다. 반면, ERA5에서는 T_{2m} , CWV와 LWP 사이에서 강한 공변동성이 확인되었다. JRA-3Q는 다른 두 재분석과 달리 T_{2m} 및 CWV와 IWP/LWP 모두가 양의 상관성을 보여, 수증기 증가와 온난화가 동시에 얼음 및 액체 구름 성분과 밀접히 연결되어 있음을 나타냈다. 이러한 결과는 북극 온난화가 특히 액체 구름의 증가와 긴밀히 연결되어 있으며, 재분석 자료 간 불확실성이 여전히 크다는 점을 보여준다. 본 연구는 북극 구름 변화에 대한 이해를 심화하고, 나아가 기후변화가 북극 항로 개척 및 장기 예측 가능성에 미치는 영향을 진단하는 데 중요한 기초 자료를 제공할 수 있다.

Keywords: 재분석 자료, 기후변화, 북극, 구름, 대기 수상체

※ 이 연구는 G-램프(LAMP) 사업(No. RS-2023-00301914), 한국기상산업기술원의 위성기반 극한기후·기후 변화 감시 기술개발 사업(No. RS-2025-02219688)의 지원을 받아 수행된 연구입니다.