

대기물리 분과 [P-047]

# 운고계 기반 구름-에어로졸 전이영역의 시공간적 특성 분석

조희원<sup>1</sup>, 엄준식<sup>1,2,3</sup>

<sup>1</sup>부산대학교 BK21 지구환경시스템 교육연구단, 지구환경시스템학부 대기과학전공

<sup>2</sup>부산대학교 대기환경과학과

<sup>3</sup>부산대학교 환경연구원

구름과 에어로졸은 지구 복사 수지와 기후 예측에 큰 불확실성을 초래하는 주요 요인이다. 실제 대기에서는 구름과 비구름 상태가 뚜렷하게 구분되지 않고 점진적인 변화를 보이는 경우가 많아, 구름-에어로졸 전이영역(transition zone, TZ)의 존재가 중요한 연구 주제로 부상하고 있다. 이러한 배경에서, 본 연구의 목적은 구름과 에어로졸을 단순한 이분법적 상태로 구분하는 기존 접근을 넘어, 전이영역을 별도의 상태 혹은 연속체로 취급해야 할 정량적 근거를 제시하는 데 있다.

이를 위해 2023-2025년 3년간의 Vaisala CL61 운고계 관측 자료를 활용하여 TZ를 정량적으로 탐지하는 다변수 접근법을 제안한다. 후방산란계수( $\beta$ ), 신호대잡음비(signal-to-noise ratio; SNR), 편극해소비(depolarization ratio; DR)를 통합해 단일 변수 기반 탐지의 한계를 보완하고, CloudnetPy 기반 알고리즘을 수정하여 각 변수에 대해 이중 임계값 범위(브래키팅)를 설정, 임계값 민감도를 체계적으로 평가한다. 여기서 '엄격' 조건(상한을 높인 세트)은 확실한 구름만을 탐지하고, '관대한' 조건(하한을 낮춘 세트)은 더 많은 신호를 구름으로 허용한다. 두 조건 사이에서 분류가 변화하는 시·공간 구간을 TZ로 정의하며,  $\beta$ -SNR-DR의 다 변수 조합으로 분류 신뢰도를 향상시킨다. 이중 임계값을 이용해 경계의 자의성을 정량화하는 발상은 최근 운고계 자료를 이용한 임계값 민감도 연구를 참고하되, 본 연구는 CL61의 편극 정보(DR)를 결합한 다변수 브래키팅으로 이를 확장한다.

자료 처리 과정에서는 잡음·포화 신호 마스킹, 범위 보정 등 품질관리 절차를 체계화하고, 통계적 검증으로 결과의 일관성과 견고성을 점검한다. 시공간 분석은 시간대·계절·고도별로 세분화하여 TZ의 발생 패턴과 변동성을 조사하고, 3년 연속 관측을 통해 장기 변동 특성과 단일 센서의 다변수 분석 적용성을 평가한다. 이 접근은 고정 임계값·단일 변수에 의존한 기존 탐지의 한계를 줄이고, TZ를 연속체로서의 확률적 상태 또는 별도의 상태로 다룰 수 있는 정량적 토대를 제공한다. 나아가 장기 통계 산출을 통해 향후 복사 모수화와 구름-에어로졸 상호작용 표현의 정교화에 기여한다.

**Keywords:** 운고계, 전이영역, 편극해소비, CloudnetPy, 구름-에어로졸 구분

※ 이 연구는 교육부(RS-2020-NR049592)와 한국연구재단(RS-2025-00572970)의 지원으로 수행되었습니다.