

대기물리 분과 [P-048]

# PINE 장비를 사용한 먼지 에어로졸의 비균질 빙핵화 모수화 기법 개발

강우석<sup>1</sup>, 이명인<sup>1</sup>, 김부요<sup>2</sup>, Belorid Miloslav<sup>2</sup>, 김영미<sup>2</sup>, 차주완<sup>2</sup>

<sup>1</sup>울산과학기술원 지구환경건설도시공학과

<sup>2</sup>국립기상과학원 응용기상연구부

대기 중 얼음 핵 형성 입자(Ice Nucleating Particles, INP)는 구름의 상 변화를 결정하는 데 중요한 역할을 한다. INP는 -38°C보다 높은 온도에서 과냉각된 구름 내에서 비균질 핵화를 통해 얼음 결정 형성을 촉진하며, 이는 구름의 반사율, 수명, 그리고 미세물리학적 특성에 직접적인 영향을 미친다. 현재 INP 연구는 한계점을 가지고 있다. INP는 전체 대기 입자 중 희소한 입자로 측정이 매우 어렵고, 기존 정량화 기법들은 노동집약적이며 시간 해상도가 낮아 정확한 농도 파악에 한계가 있다. 야외 기반 연구에서는 주변 시료에서 입자 유형을 분리하기 어렵고 대기 중 처리 과정의 영향을 정량화하기 힘든 반면, 실험실 연구는 실제 대기 조건을 정확히 모사하는지에 대한 불확실성이 크다.

본 연구에서는 이러한 한계를 극복하기 위하여 이동형 얼음 핵 측정 장비인 PINE(Portable Ice Nucleation Experiment)를 활용하였다. PINE 장비를 통하여 대류권 온도 범위(-10°C ~ -31°C)에서 INP의 농도를 측정하고, 혼합상 구름 조건에서의 비균질 빙핵화 과정을 체계적으로 조사하였다.

실험에서는 광물성 먼지 에어로졸의 표준 시료인 ISO fine test dust를 사용하였다. 에어로졸의 수 농도 및 크기 분포는 SMPS(Scanning Mobility Particle Sizer), CPC(Condensation Particle Counter), OPC(Optical Particle Counter) 장비를 통해 실시간으로 측정되었다. 분산된 에어로졸은 PINE 장비 내부로 도입되어 Flush, Expansion, Refill의 3단계 순환 과정을 거치며 INP로 활성화되었다. 이 과정에서 다양한 온도 조건에서 INP의 수 농도를 정밀하게 측정하였다. 서로 다른 조건에서 체계적인 측정을 실시하였으며, 측정된 INP 농도 데이터를 온도(T), 총 에어로졸 수 농도(N<sub>aerosol</sub>), 입자 직경(D), 그리고 ice active surface site density(n<sub>s</sub>)의 함수로 다중 회귀 분석을 수행하였다.

**Keywords:** 빙핵 모수화, 에어로졸-구름 상호작용, 구름미세물리, PINE, 비균질 빙핵화

※This work was funded by the Korea Meteorological Administration Research and Development Program (grant: RS-2025-02313090)

※이 연구는 기상청 「기후위기 대응 국가기후예측시스템 개발 사업」(RS-2025-02313090)의 지원으로 수행되었습니다.

※This work was funded by the Korea Meteorological Administration Research and Development Program "Research on Weather Modification and Cloud Physics" under Grand (KMA 2018-00224)

※기상청 국립기상과학원 "기상조절 및 구름물리 연구" (KMA2018-00224) 의 지원으로 수행되었습니다.