

WRF-CMAQ 결합 모델을 이용한 동아시아 지역 에어로졸 직접 효과 분석: 여름과 겨울 사례 비교

양채영¹, 전원배², 김동진¹, 문정혁¹, 허민¹, 최현식¹

¹부산대학교 지구환경시스템학부

²부산대학교 대기환경과학과

대기 중 에어로졸은 지표면에 도달하는 태양 복사 에너지를 반사 및 산란시켜 지표면 온도를 감소시키는 역할을 하며, 이를 에어로졸의 직접 효과 (aerosol direct radiative effects)라고 한다. 에어로졸에 의해 냉각된 지표면은 대기를 안정시키고 대기경계층(Planetary Boundary Layer, PBL) 성장을 억제하여 대기 중 미세먼지(PM₁₀, PM_{2.5})와 같은 오염물질의 농도를 증가시킬 수 있다. 이러한 에어로졸의 효과는 대기 중 PM_{2.5} 농도, 태양 복사량과 같은 대기 상태에 영향을 받는다. 고농도 미세먼지가 자주 발생하는 겨울철과 태양 복사량이 많은 여름철에 에어로졸 직접 효과의 영향이 달라질 수 있으며, 이를 분석하기 위해 WRF-CMAQ 결합 모델 (Weather Research and Forecasting - Community Multi-scale Air Quality coupled model)을 사용하였다. WRF-CMAQ 결합 모델은 기존의 기상 모델인 WRF v4.4와 3차원 광화학 수송 모델인 CMAQ v5.4가 통합된 모델로, CMAQ에서 모의된 에어로졸의 성분과 농도를 WRF에 제공하여 기상에 영향을 주며, 그 변화된 기상을 CMAQ에 제공함으로써 에어로졸이 기상 및 대기질에 미치는 영향을 정량적으로 분석할 수 있다. 본 연구에서는 동아시아 지역을 대상으로 여름과 겨울 두 계절에 대해 에어로졸 직접 효과로 인한 기상 변화와 그에 따른 대기질 변화를 모의하기 위해 실험을 수행하였다. 계절에 따른 에어로졸 직접 효과를 반영한 실험과 반영하지 않은 실험을 설계하였으며, CMAQ의 인위적 배출량 자료는 EDGAR HTAP v3 자료를 통해 생성하였고, 자연적 배출량 자료는 MEGAN (Model of Emissions of Gases and Aerosols from Nature) v2.1을 활용해 생성하였다. 수치 모의 결과에 따르면, 겨울철에는 에어로졸 직접 효과로 인한 PM_{2.5} 농도 증가의 폭이 여름철에 비해 크게 나타났으며, 지표면에 도달하는 단파 복사량이 감소하여 에어로졸 직접 효과에 의한 PM_{2.5} 농도와 단파 복사량 간의 관계가 명확하게 나타났다. 반면, 여름철은 PM_{2.5} 농도가 낮아 에어로졸 직접 효과로 인한 단파 복사량 감소가 크지 않았으며, 겨울철에 비해 복잡한 PM_{2.5} 농도 변화를 보였다. 이러한 에어로졸 직접 효과의 계절적 차이를 정확히 이해하기 위해서는 향후 추가적인 분석이 필요할 것으로 사료된다.

Key words: WRF-CMAQ 결합 모델, 에어로졸 직접효과

※ 이 연구는 2024년 대한민국 교육부와 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (NRF-2023R1A2C1002608)