

연속 구름시딩에 의한 인공증우가 미세먼지 농도에 미치는 영향 연구

송상근^{1,2}, 고은아², 강제연³, 임윤규⁴, 장기호⁴

¹제주대학교 지구해양학과

²제주대학교 지구해양융합학부 지구해양전공

³기상청 수치모델링센터 수치모델개발과

⁴국립기상과학원 기상응용연구부

최근 급속한 경제성장과 산업 활동으로 인한 고농도 미세먼지 오염을 해결하기 위한 대안 중 하나로 인공강우 연구의 중요성이 거론되고 있다. 그러나 인공강우 관측의 어려움 및 장비 부족 등으로 인해 인공강우 실험의 정량적 효과를 파악하는 데 한계가 있고, 미세먼지 저감과 관련한 인공강우 연구는 주로 지상 및 항공 실험을 기반으로 수행되어, 수치 모델링을 통한 상세 연구가 필요한 실정이다. 이에 본 연구에서는 기상청(KMA) 영역을 중심으로 인공증우 효과가 뚜렷하며 강우 발생 이전 다소 높은 미세먼지 농도 조건($PM_{10} \geq 60 \mu g/m^3$ 또는 $PM_{2.5} \geq 35 \mu g/m^3$)을 가진 사례일을 선정하여 6시간 연속 구름시딩에 대한 인공강우 및 대기질(PM_{10} , $PM_{2.5}$) 수치모의를 하였다. 이용된 인공강우 및 대기질 수치모델은 각각 WRF v3.8 기상모델과 CMAQ v5.3.2 광화학 모델이다. WRF 모델의 구름미세물리과정은 Modified morrison scheme (MMS)을 적용하였으며, 한랭 구름에는 요오드화은(AgI), 온난구름에는 염화칼슘($CaCl_2$)을 살포하도록 설계하였다. 연속 시딩 모델링에서, 먼저 시딩을 적용하지 않은 실험(UNSD)에서 시간별 모든 고도에서 액체수함량(Liquid water content, LWC)의 최고값이 감지되는 첫 시간 이후부터 6시간 연속으로 나타나는 시간대를 찾는다. 다음 시딩을 적용한 실험(SEED)에서, LWC 최고값이 나타나는 상층(약 1~3 km) 격자에서 바람 성분(u, v)을 이용하여 AgI는 1시간 전, $CaCl_2$ 는 2시간 전의 위치를 찾아 시딩하도록 설계하였다. 본 연구에서의 인공증우량 및 미세먼지 농도 변화는 SEED 실험과 UNSD 실험의 차이(SEED-UNSD)를 이용하여 계산하였다. 대상영역의 300분 누적 인공증우량은 전체 공간 평균 0.4 mm (최대 1.0 mm), 증우율은 평균 24% (최고 81%)였으며, 시간별 PM_{10} 농도 저감은 공간평균 약 $-2 \mu g/m^3$ (최고 $-7 \mu g/m^3$), 저감율은 평균 약 -11% (최고 -32%)로 추정되었다. 대부분 사례에서 미세먼지 농도의 감소는 인공증우에 의한 세정효과가 주요 원인으로 나타났다. 일부 사례는 세정효과뿐만 아니라 기상 조건(특히, 상대습도)과의 복합적 효과로 인해 미세먼지 저감이 발생한 것으로 사료된다. 또한 모든 사례에서 인공증우에 의한 미세먼지의 화학성분별 저감은 대체로 수용성 에어로졸(특히, 2차 무기 및 2차 유기 에어로졸)의 농도 감소가 큰 비중을 차지하였다(60%~85%).

Key words: 연속 구름시딩, Modified morrison scheme, 인공증우, 미세먼지, WRF, CMAQ

※ 이 연구는 기상청 국립기상과학원 기상조절 및 구름물리 연구(KMA2018-00224)의 지원을 받았습니다.