

PC8) 중규모 순환과 입자오염물질의 침적에 관한 수치연구(1)

- 입자상 물질의 입경별 침적양 추정 -

The numerical study on relationship between mesoscale circulation and deposition of air pollutant (1)

- particle dry deposition according to diameter -

이 화 운, 이 순 환¹⁾, 반 수 진

부산대학교 대기과학과, ¹⁾ 조선대학교 기초과학연구소

1. 서 론

오염물질의 지표농도 결정에 있어 침적과정은 아주 중요하다. 이전의 연구들에서 가스상 물질 중 특히 SO₂의 경우 대기중으로부터 건성침적 과정에 의해서 제거되는 양이 대기로의 총 방출량의 약 1/3배 정도됨을 나타내었다(Arritt *et al.* 1988; Hicks *et al.*, 1991). 입자상 물질의 침적 역시 오염물질의 장거리 수송의 중요한 부분을 차지하고 있다. 특히 황사기간중의 침적과정은 물질의 국가간이동으로 매우 중요시되면서, 건성침적량 및 영향에 대한 연구가 수행되어져 왔다(Kim *et al.*,1991).

한반도의 경우 매우 복잡한 지형분포를 하고 있어서 건성침적의 분포를 정확히 추정하는데 어려움이 있다. 이 등은(2002) 복잡지형의 대기오염확산 수치실험을 통해, 지형에 의해서 생성되는 중규모 순환장이 대기침적에 깊은 영향을 미치고 있으며, 도시화 등 지표변화에 따른 이류 확산을 영향을 분석하였다. 그러나 장거리 수송에서 중규모 지형의 중요성이 강조되고 있고, 이에 따라 중규모 순환장의 역할을 분석하는 것이 중요함에도 불구하고 중규모 순환장과 건성침적의 관계에 대한 정확한 설정이 없다. 따라서 본 연구에서는 한반도 지역의 중규모 순환과 침적의 관계를 규명하기 위한 기초연구로서 복잡지형에서 장거리 수송 입자의 크기에 따른 건성침적의 양상을 밝혀보고자 한다.

2. 연구 방법

침적량의 계산은 기상장을 예측하는 기상장 예측모형, 발생원에서부터 입자의 이류확산을 계산하는 이류확산모형, 대기상태의 건성침적을 계산하는 침적모형의 세 부분으로 구성되어 있다.

기상장 산출을 위한 기상역학모형으로 CSU-RAMS(Regional Atmospheric Modeling System) 모형을 사용하였다. 이 모형은 비정수 레이놀드 평균된 원시방정식으로 구성되어 있으며, 격자 구조는 Arakawa C Grid를 사용하고 있다. 또한 지표면 열수지 모델은 Businger *et al.*(1971)에 의해 모수화되고 Louis(1979)에 의해 수정된 모델을 사용하고 있다. 수평 좌표계는 중규모 수치모의에 적합한 극-평사 투영법을 사용하였다. 연직좌표계는 모델 도메인의 상층은 기압에 평행하고(σ_p), 하층은 지형의 굴곡을 따르는 지형준거좌표계(σ_g)를 사용하는 Hybrid 좌표계를 이용하고, 변화가 큰 경계층을 조밀하게 하고, 상층으로 갈수록 간격이 큰 부등격자를 이용하였다. RAMS는 중규모 순환장을 예측에 주로 사용되며, 해륙풍, 산곡풍 등에 적용되어지고 있으며, 동아시아 규모의 meso-beta규모의 대기역학현상에서 적용되고 있다.

이류확산모형으로는 라그란지안 입자 모형의 일종인 임의 확산모형(Random Walk Model)을 사용하였다. 다수의 입자의 방출을 가정하는 임의 확산모형은 오일러 방식보다 수평분해능이 높다. 그러나 입자의 개수가 적어지면 통계적인 오차가 발생하는 단점이 있다. 그러므로 통계적인 오차를 극복할 수 있을 정도의 입자 개수를 고려하여야 한다. 그리고 연직방향의 비선형성을 보정하기 위하여 시간차분으로 Matsuno 차분법을 이용하여 계산하였다.

연구에 사용된 입자상 건성침적모형은 Slinn(1982)에 기초하였다. 건성침적속도를 구하는 식은 다음의 식 (1)과 같다.

$$V_d = V_g + \frac{1}{R_a + R_s} \quad (1)$$

여기서 V_d 는 침적속도이며, V_g 는 중력낙하속도, R_a 는 공기역학적 저항, 그리고 R_s 는 지표저항이다. 공기역학적 저항을 계산하는 식과 지표저항을 계산하는 식은 각각 다음의 (2)와 (3)에 제시되었다.

$$R_a = (\ln(Z_r/Z_0) - \Psi_H)/ku_* \quad (2)$$

$$R_s = \frac{1}{\epsilon_0 u_* (E_B + E_{IM} + E_{IN}) R_l} \quad (3)$$

여기서 E_B , E_{IM} , E_{IN} 는 각각 브라운 확산, 충돌, 간섭에 의한 포집효율을 나타내며, R_l 은 지표에 붙어있는 일부 입자들을 나타내기 위한 보정요소이다.

본 대기확산시스템을 2002년 3월에 발생한 대규모 황사에 적용하여 입경분포에 따른 침적속도의 변화량을 보았다.

3. 결과 및 고찰

입자상 물질인 황산염에 대한 입경별 건성침적속도의 수치모의 결과 그림 1과 같은 결과를 산출하였다. 이러한 결과는 EMEFS-II의 관측결과를 다소 과대평가하고는 있지만 잘 일치하고 있었다. 이러한 결과는 입자가 커질수록 침적속도도 커질 것이라는 일반적인 생각과는 달리 0.1 μ m이하의 입경에서 높은 침적속도를 보이고 있음을 알 수 있다.

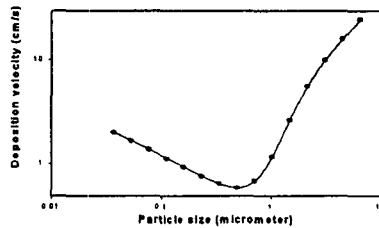


Fig. 1. Predicted deposition velocity as functions of particle size for sulfate using Slinn's module.

이러한 결과에 대한 신빙성을 높이기 위해서는 정확한 입자분포에 대한 이해가 요구되며 본 연구에서는 다루지 못한 수면에 대한 정확한 연구가 이루어진다면 보다 정확한 침적양을 구할 수 있을 것으로 사료된다.

참고 문헌

- 이순환, 이화운, 김유근 (2002) 복잡지형에서 도시화에 따른 대기오염확산에 관한 시뮬레이션, *한국대기환경학회지*, 18,2 67-83
- Arriitt, R. W., R. A. Pielke, and M. Sega. (1988) Variations of sulfur dioxide deposition velocity resulting from terrain-forced mesoscale circulations, *Atmos. Environ.*, 22, 715-723.
- Businger, J. A., J. C. Wingard, Y. Izumi and F. Bradley. (1971) Flux-Profile relationships in the atmospheric surface layer, *J. Atmos. Sci.*, 28, 181-189
- Hicks, B. B., R. P. Hosker Jr., T. P. Meyers, and J. D. Womack (1991) Dry Deposition inferential measurement techniques., Part I : Design and tests of a prototype meteorological and chemical system for determining dry deposition, *Atmos. Environ.*, 12A, 2345-2359.
- Kim, H. K. and E. S. Shin.(1991) Influence of Yellow Sand on TSP in Seoul. IN *Emerging Issues in Asia, Proc. 2nd IUAPPA Regional Conf. on Air Pollution*, Seoul, Korea, Vol. II, pp. 1-7.
- Mesinger, F. and A. Arakawa. (1976) Numerical method used in atmospheric models, GARP Publication Series, No. 14, *WMO/ICSU Joint Organizing Committee*, pp. 64.
- Slinn, W. G. N.(1982) Predictions for particle deposition to vegetation canopies, *Atmos. Environ.*, 16(7), 1785-1794.