

1C2) 모멘트 방법을 이용한 대기 중 다분산 입자의 건식침적 속도의 예측

Estimation of Polydispersed Particle Dry Deposition Velocity Using Moment Method

배수아 · 정창훈¹⁾ · 김용표

이화여자대학교 환경학과, ¹⁾경인여자대학 환경보건과

1. 서 론

건식침적은 대기 중에 존재하는 입자를 제거하는 중요한 기작 중 하나이다. 일반적으로 건식침적은 건식침적속도와 대기 중 입자의 농도의 곱으로 나타낸다(Seinfeld and Pandis, 1998). 이중 건식침적에 의한 대기 중 입자의 제거율을 구하는데 중요한 요소 중 하나인 건식침적속도는 직접적으로 측정하기가 어려우며 입자 크기에 의한 함수로 표현된다. 건식침적속도는 주로 Wesely (1989)가 제시한 저항이론이 이용되며, 확산과 중력 침강을 포함한 다양한 인자들로 구성되어 있다. 본 연구에서는 다분산 에어로졸의 제거를 모사하기 위하여 Raupach et al. (2001)이 제시한 건식 침적 속도식을 간략화하였다. 구하여진 건식 침적속도는 모멘트방법을 이용하여 다분산 입자의 건식침적속도에측에 이용되었고, 최종적으로 건식 침적되는 다분산 입자의 분포 변화를 구하고자 하였다.

2. 계산 방법

2.1 모멘트 방법

모멘트식은 식 (1)과 같이 정의된다. 여기서 M_k 는 입자 부피 분포에 대한 모멘트이다. v_p 는 입자의 부피, $n(v_p)dv_p$ 은 입자의 부피 농도이다.

$$M_k = \int_0^{\infty} v_p^k n(v_p) dv_p \quad (1)$$

2.2 건식침적속도

입자의 건식침적속도는 직접적인 중력침강, 관성 충돌, 브라운확산이라는 세 가지 기작에 의한 속도의 합이다(Raupach et al., 2001). Raupach et al. (2001)이 제시한 건식침적속도식은 식 (2)과 같다.

$$V_d = V_t + G \left[f_{form} a_f E + (1 - f_{form}) a_v Sc^{-2/3} \right] \quad (2)$$

$$\text{여기서, } V_t = \frac{\rho_p d_p^2 g Cc}{18 \mu_a}, \quad Sc = \frac{\mu_a}{\rho_a D_{diff}}, \quad D_{diff} = \frac{k_b T Cc}{3 \pi \mu_a d_p}, \quad G = \frac{u_*^2}{u_r},$$

$$St = \frac{\rho_p d_p^2 u_*^2}{18 \mu_a \nu}, \quad E = \left(\frac{St}{St + 0.8} \right)^2, \quad f_{form} = 0.75, \quad a_f = 2, \quad a_v = 8$$

V_t 는 중력침강속도, Sc 는 Schumit 수, D_{diff} 는 확산계수, St 는 Stokes 수, E 는 관성충돌효율이다.

관성충돌에 의한 효율은 Stokes 수의 함수로 나타낼 수 있는데 모멘트 방법을 이용하기 위하여 Stokes수의 함수로 근사화하였다. 입자가 커질수록 효율은 1에 가까워지고 입자가 작은 영역에서는 $E=0.33St^{0.5}$ 로 나타낼 수 있다. 이 관성충돌 영역을 표현하는 두 영역에 관한 근사식을 조화평 균을 이용하여, 하나의 식으로 나타내면 식 (3)과 같다.

$$E = \left(\frac{St}{St + 0.8} \right)^2 \cong \frac{1}{\frac{1}{0.33St^{9/5}} + 1} \quad (3)$$

식 (3)을 식 (2)에 대입하면 다음과 같다.

$$V_d = V_t + G \left[f_{form} a_f \frac{1}{\frac{1}{0.33St^{9/5}} + 1} + (1 - f_{form}) a_v Sc^{-2/3} \right] \quad (4)$$

2.3 다분산 입자의 건식침적속도에 대한 해석해

다분산 입자에 대한 건식 침적 속도는 건식 침적 속도를 입자의 크기에 적분하여 모멘트 식을 적용한다. 본 연구에서 구하여진 입자의 개수농도와 질량농도에 대한 건식침적속도의 해석해는 다음과 같다.

$$V_d' = \frac{\left(\gamma_1 M_{2/3} + G \left(\frac{M_{6/5} M_0}{\frac{1}{\gamma_2} M_0 + \gamma_3 M_{6/5}} + \gamma_4 M_{-2/9} \right) \right)}{M_0}, \quad V_{d,mass}' = \frac{\left(\gamma_1 M_{5/3} + G \left(\frac{M_{11/5} M_1}{\frac{1}{\gamma_2} M_1 + \gamma_3 M_{11/5}} + \gamma_4 M_{7/9} \right) \right)}{M_1} \quad (5)$$

3. 민감도분석

그림 1은 입자의 개수농도에 대한 건식침적속도의 해석해에 대한 민감도 분석이다. 건식침적속도에 영향을 미치는 기하학적 입자 크기와 표준편차, 마찰속도에 대하여 민감도 분석을 하였다. 기하학적 표준편차가 증가할수록 기하학적 평균 직경이 1 μm 미만인 입자에서 건식침적속도가 증가하며 마찰속도 또한 증가할수록 건식침적속도가 증가하였다.

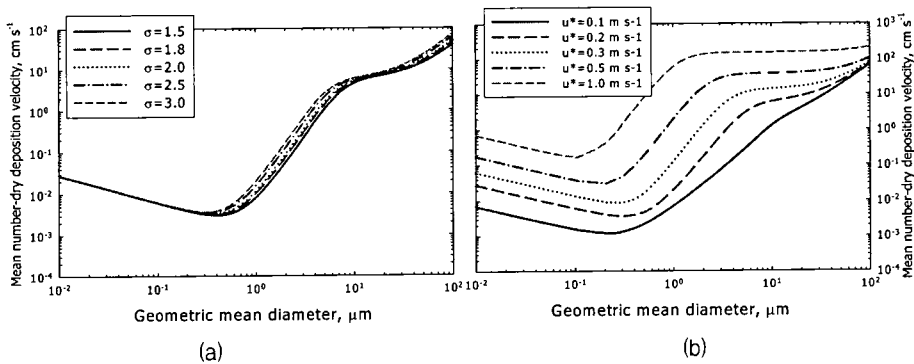


Fig. 1. Sensitivity of the mean number-dry deposition velocity to (a) geometric standard deviation, σ , and (b) friction velocity, u^* .

참고 문헌

- Raupach, M.R., P.R. Briggs, N. Ahmad, and V.E. Edhe (2001) Endosulfan Transport: II. Modeling airborne dispersal and deposition by spray and vapor, *Journal of Environmental Quality*, Vol. 30, 729-740.
- Seinfeld, J.H. and S.N. Pandis (1998) *Atmospheric chemistry and physics*, Wiley-Interscience.
- Wesely, M.L. (1989) Parameterization of surface resistances to gaseous dry deposition in regional-scale numerical models, *Atmospheric Environment*, Vol. 23, 1293-1304.