

PC2) 강수 강도에 의한 다분산 에어로졸의 세정계수 예측 Estimation of polydispersed aerosol scavenging coefficient as a function of rain intensity

배수야 · 정창훈¹⁾ · 김용표

이화여자대학교 환경학과, ¹⁾경인여자대학 산업·환경공학부

1. 서론

강수는 대기 중에 존재하는 오염물질 제거에 중요한 역할을 한다. 강수에 의한 에어로졸의 세정은 입자의 크기, 강수 크기 분포, 강수 종류의 영향을 받는다. 본 연구에서는 강수에 의한 에어로졸의 세정계수를 대수 정규분포를 가정한 다분산 입자 크기 분포와 강수 크기 분포에 대하여 모사하고 강수 강도와 입자크기분포의 함수로 세정계수를 변수화하여 모멘트 방법으로 세정계수를 구하는 것이다.

2. 연구 방법

2. 1 변수화

강수에 의한 입자 제거 속도는 세정계수와 입자 개수 농도의 곱이다. 세정계수는 충돌 커널과 충돌 효율의 함수이다.

$$A = \int_0^{\infty} K(d_p, D_d) E(d_p, D_d) dD_d \quad (1)$$

여기서 $K(d_p, D_d)$ 는 충돌 커널이고 $E(d_p, D_d)$ 는 충돌 효율, D_d 는 강수 크기이다. 충돌 커널은 강수입자의 단면적과 종말속도, 강수 개수 농도, 입자 개수 농도의 곱으로 입자 크기와 강수 입자 크기의 함수이다. 충돌 효율의 식은 다음과 같다:

$$E(d_p, D_d) = \frac{1}{ReSc} [1 + 0.4Re^{1/2}Sc^{1/3} + 0.16Re^{1/2}Sc^{1/2}] + 4 \frac{d_p}{D_d} \left[\frac{\mu_a}{\mu_w} + (1 + Re^{1/2}) \frac{d_p}{D_d} \right] + \left(\frac{St - S^*}{St - S^* + 2/3} \right)^{2/3} \quad (2)$$

여기서, Re 는 강수 입자의 레이놀즈 수, Sc 는 입자의 슈미츠 수, d_p 는 입자 크기, D_d 는 강수 크기, μ_a 와 μ_w 는 각각 입자의 점성, 물 입자의 점성이다. 충돌 효율은 앞의 세 항은 브라운 확산, 맨 뒤의 항은 관성 충돌, 나머지 항은 차단 (interception)의 영향의 함으로 이루어져 있다. 강수 크기 분포와 입자 크기 분포는 대수 정규분포라고 가정하였고 강수 개수 농도와 기하학적 평균 직경, 기하학적 표준편차는 강수 강도의 함수로 계산하였다 (표 1).

Table 1. The parameter of relationship between lognormal variables and rain intensity R.

Parameter	N_d, m^{-3}	D_d, mm	σ
Feingold and Levin (1986)	$172R^{0.22}$	$0.72R^{0.23}$	$1.43-3.0 \times 10^{-4}R$
Cerro et al. (1997)	$194R^{0.30}$	$0.63R^{0.23}$	$(0.191-1.1 \times 10^{-2} \ln R)^{0.5}$

2. 2 모멘트 방법과 세정계수

로그노말 함수에 대한 k번째 모멘트 식은 다음과 같이 정의된다:

$$X_k = \int_0^{\infty} d_p^k n(d_p) dd_p \quad (3)$$

여기서 k 는 임의의 실수, $n(d_p)dd_p$ 는 입자 개수 농도이다. X_0 은 개수 농도, πX_2 는 표면적, $(\pi/6)X_3$ 는 입자의 총 부피를 뜻한다. 식 (2)와 (3), 충돌 커널 식을 식 (1)에 대입하면 세정계수를 입자 크기와 강수 크기의 함수로 나타낼 수 있다. 그런데 위에서 언급하였듯이 강수 개수 농도와 강수 크기를 강수 강도의 함수로 나타내었기에 세정계수는 입자 크기와 강수 강도의 함수로 표현된다. 그러므로 세정계수는 입자크기와 강수 크기 분포를 포함 할 뿐만 아니라 강수 종류도 포함할 수 있게 된다.

3. 결과 및 고찰

그림 1은 각 강수 강도에 따라 입자 크기 변화에 대한 세정계수의 값이다. 강수 분포는 Feinfeld and Levin (1986)이 제시한 대수 정규분포에 의한 식을 사용하였다. 그림 1에서 볼 수 있듯이 강수 강도가 증가함에 따라 세정계수도 증가하고 있다. 입자 크기가 0.1 μm 보다 작을 때에는 입자가 작을수록 세정계수는 커지는데 이는 입자가 작을수록 브라운 확산의 영향이 커지기 때문이다. 반대로 입자 크기가 1 μm 보다 클 때에는 입자가 커질수록 세정계수가 커진다. 이는 입자가 커질수록 관성충돌에 의한 충돌 효율이 증가하기 때문이다.

입자 크기 분포를 세 모드로 나누고 모멘트 방법을 이용하여 강수 강도에 대한 세정계수를 구하였다 (그림 2). 입자 크기 분포는 아이트켄 모드, 적산 모드, 조대입자 모드로 나누고 각 모드의 개수 농도, 기하학적 평균 입자 크기, 기하학적 표준 편차는 도심지역의 에어로졸 분포를 적용하였다 (Nieto, 2002). 모멘트 방법에 의하여 구한 강수 강도에 대한 세정계수는 aR^b 의 형태로 간단하게 나타낼 수 있으며 본 연구에서 제시한 도심지역 에어로졸의 입자크기 분포일 경우 a 는 9.86×10^{-2} 이고 b 는 0.87이다.

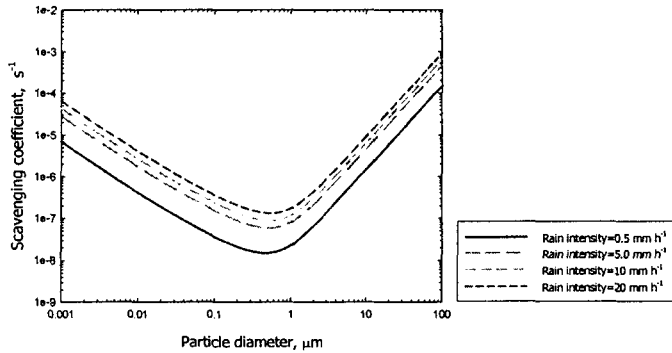


Fig. 1. Scavenging coefficient for particle diameter scavenged by precipitation with rain intensity R .

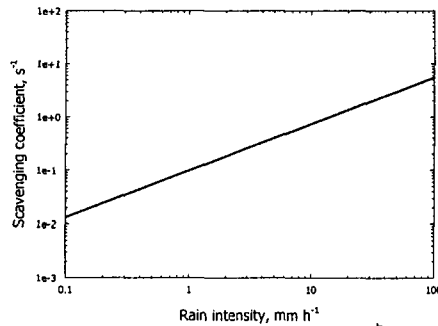


Fig. 2. The scavenging coefficient expressed as aR^b ($a=9.86 \times 10^{-2}$, $b=0.87$).

사 사

이 연구는 기상연구소의 지구온난화 및 한반도 기후변화 예측기술 개발과제 및 기후환경 시스템 연구센터의 지원으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- Feingold, G. and Z. Levin (1986) Journal of Climate and Applied Meteorology 25. 1346-1363.
 Nieto, P.J.G. (2002) Aerosol Science and Technology, 36, 814-827.
 Cerro, C., B. Codina, J. Bech, and J. Lorente (1997) Journal of Applied Meteorology 36. 1470-1479.