

PC1) 입자의 특성에 따른 Ångstrom Parameter의 변화: Lognormal Size Distribution

Change of the Ångstrom Parameter in Lognormal Aerosol Size Distribution

정창훈·김용표¹⁾

경인여자대학 환경보건과, ¹⁾이화여자대학교 환경학과

1. 서론

대기 중 에어로졸에 의한 광학적 특성을 파악하기 위한 여러 parameter 중 Aerosol Angstrom parameter가 널리 사용되고 있다. Angstrom parameter는 다음과 같이 정의된다.

$$\alpha \cong -\frac{\log(b_{ext1}/b_{ext2})}{\log(\lambda_1/\lambda_2)} \quad (1)$$

여기서 b_{ext} 는 입자의 소산계수(Seinfeld and Pandis, 1998), λ 는 유입되는 빛의 파장, a 는 Angstrom parameter이다. Angstrom parameter는 입자의 크기에 대해 유용한 정보를 주는데 일반적으로 입자의 크기가 작을수록 Angstrom parameter의 값은 커진다. 따라서 입자의 크기 분포가 어떠한가에 따라 Angstrom parameter의 값은 변화한다. 지금까지의 선행연구는 주로 Angstrom parameter의 값이 입자의 크기와 관련되어 있다는 것일 뿐, 입자 크기 분포에 따른 Angstrom parameter의 값의 관계에 대한 연구는 진행되지 못하였다. 이와 같이 이들 관계에 대한 정량적인 연구가 힘든 이유는 일반적으로 입자의 크기 분포변화에 따른 Angstrom parameter의 변화를 구하기 위해서는 입자의 크기에 따라 단일입자 소산계수를 일일이 적분하여 이를 Angstrom parameter와 비교하여야 하기 때문이다. 이는 복잡한 계산 과정을 거치므로, 입자 크기를 설명하는 변수 변화에 따른 Angstrom parameter의 값을 모사하는데 많은 어려움이 있다. 본 연구에서는 이러한 점에 착안하여 조화평균 방식과 모멘트 방식을 이용하여, 보다 간략화 된(simplified) 방식으로 Angstrom parameter와 입자 크기분포와의 경향을 해석적으로 구하려 한다. 입자의 크기는 다분산 분포를 대수정규분포(log-normal size distribution)으로 가정하여 모멘트 방법을 적용하려 한다.

2. 연구 방법

단일입자 소산효율(single particle extinction efficiency, Q_{ext})은 입자의 크기모수(size parameter, p)에 따라 Rayleigh 영역($Q_{ext(Ray)}$)과 기하영역($Q_{ext(gm)}$)으로 구분한다. 각 영역에서의 단일입자 소산계수는 다음의 두 가지 형태의 간략화된 형태를 갖는다(Seinfeld and Pandis, 1998).

$$Q_{ext(Ray)} = 4pIm(\gamma) + \frac{8}{3} p^4 Re(\gamma^2), \quad \gamma = \frac{m^2 - 1}{m^2 + 2}, \quad \text{for } p \ll 1: \text{ Rayleigh region,}$$

$$Q_{ext(gm)} = 2(1 + p^{-2/3}), \quad \text{for } p \gg 1: \text{ geometric region.} \quad (1)$$

여기서, $p(=\pi d_p/\lambda)$ 는 입자의 직경(d_p)를 파장(λ)으로 나눈 크기 모수이며, γ 는 굴절률(m)에 관련된 복소수이다. 중간영역($p \sim 1$)의 크기 모수 구간에서는 해석적인 형태의 소산 효율을 구할 수 없으므로 Mie의 해에 의해 오직 수치적인 방법으로만 소산효율을 구할 수 있다. 본 연구에서는 중간영역의 산란효율 및 총 입자 산란계수를 다음과 같은 조화평균 식으로 구하였다(Jung and Kim, 2007).

$$Q_{ex} = \frac{Q_{ext}(gm) \cdot Q_{ext}(Ray)}{Q_{ext}(gm) + Q_{ext}(Ray)}, \quad b_{ext} = \frac{b_{ext}(gm) \cdot b_{ext}(Ray)}{b_{ext}(gm) + b_{ext}(Ray)} \quad (2)$$

여기서, 총 입자 산란계수(b_{ext})는 단일입자 산란효율과 입자 크기분포($n(d_p)$)의 함수로 표현된다.

$$b_{ext} = \int_0^\infty \frac{\pi d_p^2}{4} Q_{ext} n(d_p) dd_p. \quad (3)$$

여기서 구하여진 총 입자 산란계수를 두 개의 파장대에 대하여 구하고 이를 식(1)에 대입하면, 입자의 크기분포에 대한 Angstrom parameter의 변화를 해석적으로 구할 수 있다. 본 연구에서 구한 두 파장대는 각각 450nm(λ_1)와 670nm(λ_2)이다.

3. 결과 및 고찰

그림 1은 Angstrom parameter의 변화를 입자의 기하학적 평균직경(geometric mean diameter)의 함수로 나타낸 것이다. 굴절률의 imaginary part가 있는 경우와 없는 경우로 나누어 Angstrom parameter의 변화를 알아보았다. 그림 1에서 보듯이 해석적인 해와 수치적인 해가 대체적으로 비슷한 경향을 보이는 것을 알 수 있다. 또한 굴절률에 허수해가 존재할 때 기하학적 평균직경이 작을수록 Angstrom parameter는 1로 수렴함을 알 수 있다. 그림 2는 굴절률의 실수부와 허수부가 변화함에 따라 Angstrom parameter의 변화를 수치적인 결과와 본연구의 해석해와 비교해 본 것이다. 그림 2에서 보듯이 수치적, 해석적 해 모두 비슷한 경향을 보임을 알 수 있다.

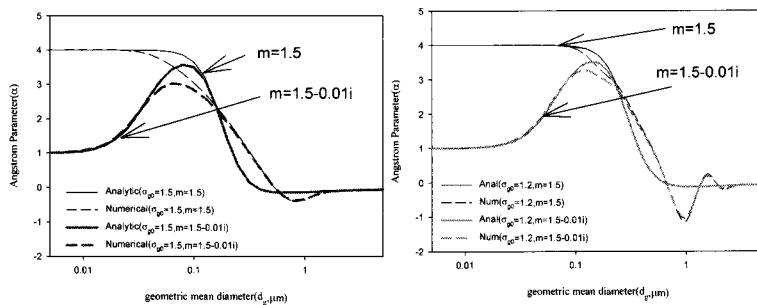


Figure 1. Change of the Angstrom parameter as a function of geometric mean diameter(d_g) in different refractive index (m) and geometric standard deviation (σ_{g0}).

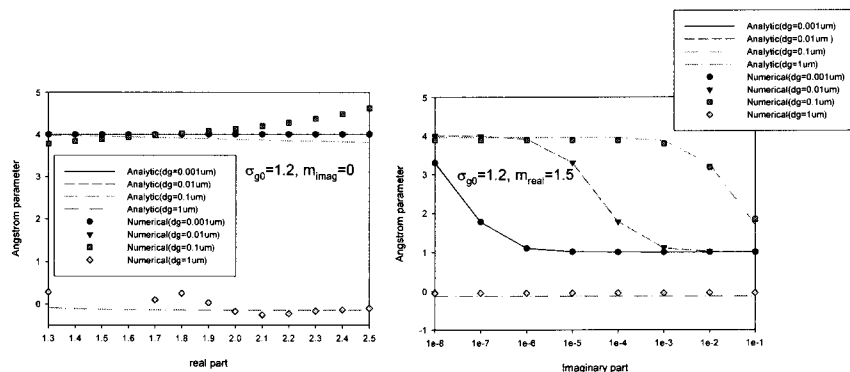


Figure 2. Change of the Angstrom parameter as a function of refractive index (real and imaginary part, $\sigma_{g0}=1.2$)

참 고 문 헌

- Jung, C.H. and Y.P. Kim (2007) Particle extinction coefficient for polydispersed aerosol using a harmonic mean type general approximated solution, *Aerosol Science and Technology*, in press.
- Seinfeld, J.H. and S.N. Pandis (1998) *Atmospheric chemistry and physics*, Wiley-Interscience.