

PC1) 조화평균을 이용한 입자 소산계수의 간략화 방법

Simplified Approximation of Particle Extinction Coefficient using the Harmonic Means

정창훈·김용표¹⁾

경인여자대학교 환경보건과, ¹⁾이화여자대학교 환경학과

1. 서론

에어로졸 입자의 광학적 특성은 입자의 산란에 의한 대기 시정의 감소 및 많은 광학적 측정기기의 사용 및 보정에 있어 매우 중요하다. 많은 실험적, 이론적 연구가 입자의 광학적 특성에 대하여 진행되어 왔다. 일반적으로 입자의 총 소산계수(total extinction coefficient, b_{ext})를 예측하는 방법은 입자의 각 화학 성분의 질량과 그 종의 소산 효율로부터 총 소산계수를 통계적으로 구하는 방법과 입자의 크기 분포와 입자의 굴절률(m)에 따라 구하여진 단일입자 소산 효율(single particle extinction efficiency, Q_{ext})을 적분하여 총 소산 효율을 수치적으로 구하는 방법으로 구분할 수 있다. 이중 후자의 경우, 다 분산(polydisperse)으로 분포되어 있는 입자의 크기 분포를 적분하기 어렵고, Mie의 해를 수치적으로 계산하여 단일 입자 소산 효율을 구하는 관계로 실제 대규모 대기질 모델 등의 적용이 용이하지 못한 어려움이 있다. 본 연구에서는 이러한 어려움을 해결하고자 조화 평균을 이용한 총 소산계수의 간략화 과정을 살펴보고 이를 기존의 Mie의 해와 비교해 보고자 한다.

2. 총 소산계수의 간략화

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

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

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

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. 실제 중간 영역의 경우 입자의 산란 효율이 가장 높은 구간이므로 앞서의 간략화 된 식이 효과적으로 이용되기 위해서는 중간영역의 간략화가 절대적으로 필요하다. 본 연구에서는 중간영역의 산란효율 및 총 입자 산란계수를 다음과 같은 조화평균 식으로 구하였다.

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

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

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

3. 결과 및 고찰

그림 1은 단일입자 소산계수(Q_{ext})와 관련 변수(p^2Q_{ext})를 Mie의 수치적 해와 본 연구의 결과에 대해 비교해 본 것이다. 그림 1에서 볼 수 있듯이 본 연구에서 구한 간략화된 식이 Mie의 수치적인 해를 잘 묘사해 주는 것을 알 수 있다. 그림 2는 입자의 질량 소산 계수(mass extinction coefficient, E_{ext})를 Mie의 해와 본 연구 그리고 기존의 Jung and Kim(2005)의 연구와 비교한 것이다. 그림 2에서도 본 연구의 간략화된 결과가 기존의 연구결과와 비교적 잘 일치하고 있음을 알 수 있다. 본 연구의 결과는 다분산 에어로졸의 소산계수 및 이와 관련된 입자의 광학적 특성을 파악하는데 기여할 것으로 기대된다.

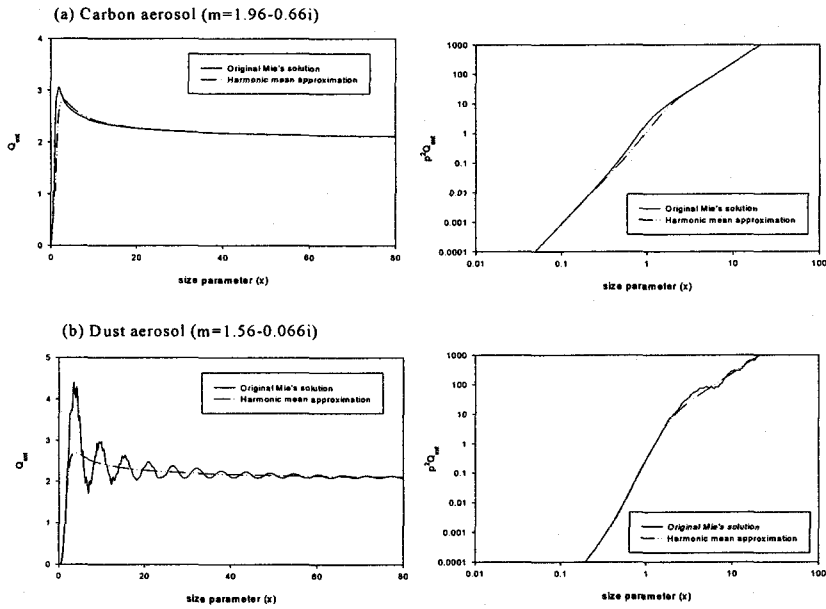


Figure 1. Comparison of the extinction coefficient(Q_{ext}) and p^2Q_{ext} between original Mie's solution and Harmonic mean approximation.

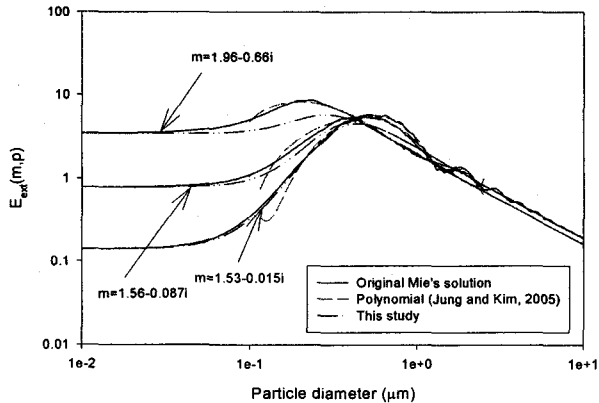


Figure 2. The comparison of the theoretical mass extinction coefficient and approximated ones (polynomial and harmonic mean approximation).

참 고 문 헌

- (1) Jung, C. H. and Y. P. Kim, 2005, Numerical estimation of the effects of condensation and coagulation on visibility using the moment method, J. Aerosol Sci., in press.
- (2) Seinfeld, J. H. and S. N. Pandis, 1998, Atmospheric chemistry and physics, Wiley-Interscience.