

## PC1) Bimodal 분포에서의 다분산 에어로졸의 시정 모사 Visibility Simulation of Polydispersed Aerosol on the Bimodal Distribution

정찰훈·김용표<sup>1)</sup>

경인여자대학교 산업·환경공학부, <sup>1)</sup>이화여자대학교 환경학과

### 1. 서론

대기 중 부유하는 입자, 특히 직경 0.1~2.5  $\mu\text{m}$ 의 적산모드에 위치하는 미세입자들은 산란을 통해 시정에 많은 영향을 미치게 된다. 또한 0.1 $\mu\text{m}$  이하의 아이트켄(Aitken) 모드 입자들은 응집(coagulation)과 응축(condensation)에 의하여 적산 모드로 성장하므로 이들 아이트켄 모드와 적산 모드의 입자가 시정에 미치는 영향은 매우 중요하다. 본 연구에서는 대기 중 에어로졸의 크기 분포를 Bimodal로 가정하고 아이트켄 모드와 적산 모드의 거동이 시정에 미치는 영향을 모멘트 방법(Jung et al., 2003)을 이용하여 모사하였다.

### 2. 시정 모델

대기 중에 부유하는 입자상 물질에 의한 빛의 산란과 흡수는 총 소산계수 ( $b_{ext}$ )로 표현한다.

$$b_{ext} = \int_0^{d_p^{max}} \frac{\pi d_p^2}{4} Q_{nuclei}(m, p) n_i(d_{pi}) dd_{pi} + \int_0^{d_p^{max}} \frac{\pi d_p^2}{4} Q_{accum}(m, p) n_j(d_{pj}) dd_{pj} \quad (1)$$

여기서  $d_p$ 는 입자의 직경,  $n(d_p, t)$ 는 입자의 개수 농도,  $m$ 은 입자의 굴절률,  $p(= \pi d_p / \lambda)$ 는 입자와 유입되는 빛의 파장( $\lambda$ )과 관련된 무차원 상수,  $Q_{nuclei}(m, p)$ 와  $Q_{accum}(m, p)$ 는 단일입자 소산계수로 각각 아이트켄 모드와 적산모드를 나타낸다. 시정은 인간의 눈을 통해 볼수 있는 최대한의 거리로 정의하며 일반적으로 다음의 식을 통해 표현한다(Koschmeider, 1925).

$$Vis = \frac{3.912}{b_{ext}} \quad (2)$$

총 소산계수( $b_{ext}$ )의 계산은 Mie의 해에 의해 수치적인 방법을 통하여 계산되어 왔다.(Garcia-Nieto, 2002). 본 연구에서는 주어진 파장과 굴절률에서의 소산계수를 아이트켄 모드와 적산 모드의 입자에 관하여 각각 다음과 같이 6차 다항식으로 근사 시켰다.

$$Q_{nuclei}(p, m) = A_{1i} p_i^6 + A_{2i} p_i^5 + A_{3i} p_i^4 + A_{4i} p_i^3 + A_{5i} p_i^2 + A_{6i} p_i + A_{7i}$$

$$Q_{accum}(p, m) = A_{1j} p_j^6 + A_{2j} p_j^5 + A_{3j} p_j^4 + A_{4j} p_j^3 + A_{5j} p_j^2 + A_{6j} p_j + A_{7j} \quad (3)$$

여기서,  $i$ 와  $j$ 는 각각 Aitken 모드와 적산 모드를 의미하고  $A$ 는 6차 다항식으로 근사하였을 때의 계수를 의미한다. 입자의 개수 농도( $n(d_p, t)$ )를 대수 정규 분포로 가정한다면 식(3)은 모멘트 형식으로 변환할 수 있다(Jung et al., 2003).

### 3. 결과 및 고찰

그림 1은 본 연구에서 적용한 간략화 된 6차 다항식에 의하여 구한 질량 소산 효율(mass extinction efficiency)와 Mie의 해에 의해 수치적으로 계산하여 구한 질량 소산 효율을 비교한 것이다. 그림 1에서 보는 바와 같이 간략화 된 결과와 수치적인 결과가 매우 잘 일치하고 있음을 알 수 있다. 일반적으로 응집 과정 중 입자의 기하학적 평균 직경은 증가하나 개수농도는 감소한다. 또한 응축 과정중 입자의 개수농도는 변화하지 않으나 기하학적 평균 직경은 지속적으로 증가하게 된다. 그림 1에서 볼 수 있

듯이 입자의 소산효율은  $0.1\sim 1\mu\text{m}$ 에서 최대치를 갖게 된다. 따라서 응집 과정을 통해서 입자의 시정은 증가하고 응축 과정을 통하여  $0.1\mu\text{m}$ 이하의 입자가 소산효율의 최대치인 적산 모드로 성장하는 동안 시정이 감소하게 되는 것을 예측할 수 있다. 그림 2는 응집과 응축에 의한 입자의 크기 분포 변화와 시정의 변화를 시간에 따라 모사 한 것이다. 입자의 기하학적 평균 직경( $d_{g0}$ )은 각각  $0.03\mu\text{m}$ 과  $0.3\mu\text{m}$ 으로 정하였고 기하학적 표준편차( $\sigma_{g0}$ )는 각각 1.8과 1.7로 하였다. 에어로졸의 3가지 형태인 hazy, urban 그리고 clean은 García-Nieto (2002)의 분류를 따랐다. 그림 2에서 볼 수 있듯이 실제 모사결과 응집 과정 동안 시정은 증가하고 응축과정 동안 시정은 감소하는 것을 볼 수 있다. 본 연구에서는 대기 중 에어로졸의 분포를 아이트 켄 모드와 적산 모드의 두개의 분포로 가정하였을 경우 입자의 소산계수를 6개의 다항식으로 근사하여 응집 및 응축에 의한 시정의 변화를 모사하였다. 모사결과 주어진 초기 조건에서 응집에 의해서는 시정이 증가하고 응축에 의해 시정이 감소하는 것을 알 수 있었다. 향후 입자의 초기 분포와 에어로졸 역학이 시정의 미치는 영향에 관한 연구가 진행될 예정이다.

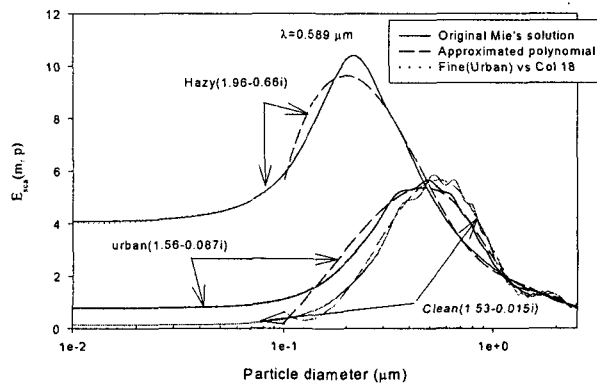


Figure 1. The comparison of the approximate mass scattering efficiencies and theoretical ones at  $\lambda=589\text{nm}$  for three aerosol types.

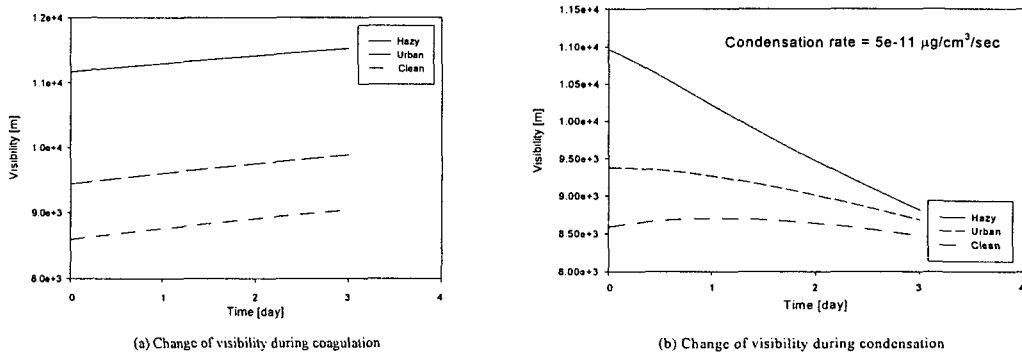


Fig. 2. Change of the extinction coefficient and visibility during condensation. ( $N_0=10,000/\text{cm}^3$ ,  $N_1=1,000/\text{cm}^3$ ,  $\sigma_{g0}=1.8, \sigma_{g1}=1.7$ ,  $d_{g0}=0.03\mu\text{m}$ ,  $d_{g1}=0.3\mu\text{m}$ )

### 참고 문헌

- García-Nieto, P. (2002) Study of visibility degradation due to coagulation, condensation, and gravitational settling of the atmospheric aerosol, *Aerosol Sci. Tech.*, 36: 814-827.
- Jung, C. H., Kim, Y. P., and Lee, K. W. (2002) Simulation of the influence of coarse mode particles on the properties of fine mode particles, *J. Aerosol Sci.*, 33: 1201-1216.
- Koschmieder H.(1925) Theorie Theorie der horizontalen sichtweite II: kontrast und sichtweite beitrage zur physik der freien, *Atmosphäre*, 12: 171-181.