

A-1 지표면 특성에 따른 오존의 건성침적속도 수치모의에 관한 연구

이화운, 문난경, 노순아
부산대학교 대기과학과

1. 서론

기체상 오염물질은 지표면의 다양한 요소로 인한 난류수송이나 식생의 상태에 따른 uptake로 제어되고 이동하는데, 특히 식생 상태의 계절적·지리적 변화 및 canopy를 구성하는 식생의 종류에 대한 적절한 묘사와 기상인자들의 영향에 대한 정확한 표현이 건성침적의 모수화에 필수적이다. 또한 침적현상의 연구를 위해 믿을 수 있는 침적량 측정 체계와 지역적·공간적 특성을 고려한 모델의 침적 산출 결과가 필요하며 많은 학자들에 의해 다양한 방법으로 침적현상에 대한 연구가 계속되고 있지만 현재 가장 가까운 접근을 결정하기엔 어려움이 있다.

지표 특성에 따른 건성침적속도를 추정하기 위하여, Wesely(1989)는 수치 모델에서 canopy 저항성분을 산출하는 방법을 계절과 지표 특성에 대해 제시하였고, 다양한 지표면에 대한 건성침적속도를 계산·분석하였다. 지표면의 종류에 따른 건성침적의 차이를 비교한 연구로는 숲과 잔디에서 SO₂의 건성침적에 대하여 숲에서의 침적 속도가 잔디에 대한 침적속도보다 큰 분포를 나타냄을 보인 사례가 있다(Shreffler, 1978). 또한 Padro(1996)는 포도밭, 목화밭, 잔디와 숲에 대한 여름의 건성침적속도를 관측된 O₃의 건성침적속도를 이용하여 모델 산출값과 비교·분석하였으며, 서로 다른 지표면에서 건성침적속도의 차이를 설명함에 있어 잎면적지수(Leaf Area Index, LAI), 기공 저항, 공기역학적 저항의 중요성을 언급하였다. 반면, 식물의 영향이 고려되지 않으므로 지표면과는 다른 메카니즘으로 고찰되어야 할 수면에 대하여 Hick and Liss(1976)는 호수와 바다에 대한 SO₂의 침적속도를 계산하였고, McQueen *et al.*(1997)은 오염물질 침적속도와 지표면 fluxes를 수면에서 정확하게 구할 수 있는 지역대기모델(Regional Atmospheric Modeling System)의 유용성을 Chesapeake Bay에서의 buoy관측 자료를 이용하여 평가하였다.

본 연구는 지표면에 따른 건성침적 현상을 보다 정확하게 수치 모의하기 위해 관측된 건성침적 자료를 바탕으로 각 저항 성분을 분석하고 건성침적 예측 모형을 계절과 지표면에 따라 최적화하는데 그 목적이 있다.

2. 연구 방법

PNUDM의 지표면에 따른 모수화 방법을 정립하여 지표면의 특성에 따른 건성침적속도를 여름과 겨울에 대해 다양한 지표면에서 산출하고 관측된 건성침적속도와 비교를 통

해 타당성을 검증하였다. 몇 가지 지표면에서 관측된 건성침적속도와 PNUDM의 수치 모의 결과는 좋은 일치를 보였으며 이를 토대로 다양한 지표면에서 여름과 겨울에 대한 모수화 방법을 정립하고 건성침적속도를 계산하였다. 지표면은 크게 지표면 저항 모수화에 식물과 토양의 영향이 고려되는 지면과 식물 및 토양 저항을 제외한 저항 요소들이 요구되는 수면(water, both salt and fresh)으로 분류하였다. 지면은 농경지(agricultural land), 목초지(range land), 농경지와 목초지가 혼합된 지표면(mixed agricultural and range land), 활엽수림(deciduous forest), 침엽수림(coniferous forest), 혼합림(mixed forest including wetland), 습지(nonforested wetland), 낮은 관목과 바위가 있는 평지(rocky open areas with low-growing shrubs)과 목화밭(cotton field), 포도밭(vineyard)을 고려하였다.

수면에서는 식물과 토양에 관한 저항 성분이 고려되지 않으므로 공기역학적 저항과 점성층 저항만으로 저항을 계산하였으며, 그 특성상 지면과는 다른 보편함수와 지표 거칠기 길이 등을 통해 모수화 하였다. 수면에서 지표 거칠기 길이는 마찰속도에 비례하는 것으로 가정되는 NCAR의 식을 사용하였다.

$$z_0 = \frac{0.032 \times u_*^2}{g} + 0.0001 \quad (1)$$

또한, 수면에서 대기가 불안정한 상태일 때 Hsu *et al.*(1999)에 의해 간략화된 보편함수 Ψ_m 을 사용하였다.

$$\Psi_m\left(\frac{z}{L}\right) = 1.0496\left(-\frac{z}{L}\right)^{0.4591} \quad (2)$$

3. 연구 결과

지표면의 특성에 따른 오존의 건성침적속도를 관측된 기상입력자료를 사용하여 계산하였다. PNUDM의 지표면 저항 모수화 방법은 여름의 활엽수림에서 0.2~0.9cm/sec의 분포를 나타내었으며 0~1.3cm/sec의 분포를 나타내는 관측값에 좋은 일치를 보였다. PNUDM의 결과는 주간에 대기가 불안정해지면서 침적속도가 커지고, 새벽과 야간에는 작은 침적속도를 나타내는 뚜렷한 건성침적속도의 일변화를 보이고 있으며, 풍속의 영향으로 사료되는 진동을 새벽과 야간에 나타내었다.

수면에 대하여 PNUDM을 사용한 오존의 건성침적속도의 분포는 0.001~0.05cm/sec를 나타내었으며, 식물 지표의 영향이 고려되지 않으므로 일변화폭이 크지 않고 다른 지표면에서 나타나는 야간에 작고 주간에 큰 침적속도의 일변화 분포가 약하게 나타난다. 오존은 물에 대하여 용해도가 낮으므로 젖은 지표면이나 수면에서는 느리게 제거되는 특성을 가지고 있는데, 다른 지표면에 비해 수면에서 낮게 관측·수치 모의되는 오존의 건성침적속도는 이러한 오존의 일반적인 특성으로 설명될 수 있다. 수면에 대한 선행 연구

에 따르면 호수에서 관측된 오존의 건성침적속도가 0.002~0.04cm/sec의 분포를 보인 바가 있는데(Wesely *et al.*, 1981), 이는 PNUDM을 통한 수면에서의 건성침적속도와 유사한 일변화 분포이다. 또한, PNUDM으로 계산된 건성침적속도의 일 평균값 0.05cm/sec는 해양에서 Garland and Penkett(1976)와 Lenschow *et al.*(1982)에 의해 관측된 0.04, 0.05cm/sec의 일 평균값에 유사한 결과이다. 따라서, 지표면의 특성에 따른 오존의 건성침적속도를 수치 모의한 결과는 지면은 물론 수면에 대해서도 타당한 결과를 보이는 것으로 사료되며, 본 연구 내용을 바탕으로 추후 실제 지형에 대하여 건성침적속도를 수치 모의할 경우 그 결과를 보다 정확히 추정할 수 있을 것으로 예상된다.

참고 문헌

- 문난경, 1996, 중규모에서의 대기오염물질 침적모델에 관한 연구, 부산대학교 일반대학원 석사학위논문.
- Garland J. A. and Penkett S. A., 1976, Absorption of peroxy acetyl nitrate and ozone by natural surfaces, *Atmospheric Environment*. **10**, 1127-1131.
- Hicks, B. B. and Liss, P. S., 1976, Transfer of SO₂ and other reactive gases across the air-sea interface, *Tellus*. **28**, 348-354.
- Hsu S. A., B. W. Blanchard and Zhangde Yan, 1999, A simplified equation for Paulson's Ψ_m (Z/L) formulation for overwater applications. *American Meteorological Society*, 623-625.
- Lenschow D. W., Pearson R. Jr and Stankov B. B., 1982, Measurement of ozone vertical flux to ocean and forest, *J. Geophys. Res.* **87**, 8833-8837.
- McQueen J. T., R. A. Valigura and B. J. B. Stunder, 1997, Evaluation of the RAMS model for estimating turbulent fluxes over the Chesapeake Bay, *Atmospheric Environment*. **31**, 22, 3803-3819.
- Shreffler J. H., 1978, Factors affecting dry deposition of SO₂ on forests and grasslands. *Atmospheric Environment*. **12**, 1497-1503.
- Padro J., 1996, Summary of ozone dry deposition velocity measurements and model estimates over vineyard, cotton, grass and deciduous forest in summer, *Atmospheric Environment*. **30**, 2363-2369.
- Wesely M. L., 1989, Parameterization of surface resistances to gaseous dry deposition in regional-scale numerical model. *Atmospheric Environment*. **23**, 1293-1304