

## O<sub>3</sub>에 대한 하계와 동계의 건성침적 속도의 계절 특성 변화 The Variation of Seasonal Characteristics in Modelled and observed Dry Deposition Velocity of O<sub>3</sub>

이 화 운 · 김 유 근 · 문 난 경

부산대학교 대기과학과

### 1. 서 론

대기 오염 현상은 인구 증가와 산업화로 날로 심각해지고 있고 이로 인한 영향은 동·식물 뿐만 아니라 건축구조물, 나아가서는 기후변동에까지 미치고 있다. 이러한 오염 물질에 의한 피해 현황과 가까운 미래에 미칠 영향을 예측할 수 있다면 오염 물질의 배출 규제와 방지에 큰 도움을 줄 수 있을 것이다. 이에 오염 물질이 미치는 영향을 추정하기 위한 대기 오염 농도 예측 모델의 연구는 많은 학자들에 의해 다양한 방법으로 추진되어 왔고 이와 함께 건성 침적 모듈의 연구도 지속적으로 이루어져 왔다.

건성 침적 현상의 연구에 있어 Businger와 Wingard(1971)는 지표층에서 profile과 flux를 측정하여 무차원 형태로 다양한 물리량을 분석하였고, Hicks(1979)는 Profile methods와 Modified Bowen Ratio Methods 등을 사용하여 건성 침적량을 측정하는 방법에 대하여 논함과 동시에 eddy correlation technique을 사용해서 건성 침적량을 직접 측정하였다. Galbally(1974)는 지표에서의 gas 흡착과 지표 근처의 gas 농도와의 일반적인 관계를 알아보고, 지표에서의 gas uptake, 점성층과 난류층에서의 gas의 수송에 관한 연구를 하였고, Wesely와 Hicks(1977)는 식물이 있는 지표에 대한 침적율(deposition rate)에 영향을 미치는 factor에 의한 방법을 review하고, 침적 속도 계산 방법의 기본적 개념을 밝힌 바 있다.

기존 연구에서는 주로 여름을 대상으로 다양한 연구가 이루어져 왔으나, 바람과 눈의 효과가 고려된 겨울에 대한 건성 침적 속도에 관해서는 많은 연구가 이루어지지 않았다.

따라서 본 연구에서는 수치 모의를 통하여 여름과 겨울의 건성 침적 현상에 대한 특성을 알아보고자 한다. 특히 잎이 무성한 여름철 활엽수림에 대하여 그리고 잎이 모두 떨어진 겨울철 활엽수림을 대상으로 O<sub>3</sub>와 SO<sub>2</sub>에 대한 침적 속도의 모델 결과와 관측 결과를 비교·분석하고자 한다. 아울러 침적속도와 기상 인자들 사이의 연관성을 계절별로 살펴보고자 한다.

### 2. 연구방법

침적 현상은 일정 플럭스층(constant flux layer)과 침적층(deposition later)의 난류(turbulent flow)와 층류(laminar flow)의 복합적인 현상과 canopy의 성질에 따라서 복잡하게 발생한다.

침적속도 계산은 일정 플럭스층(constant flux layer)과 침적층(deposition later)의 난류(turbulent flow)와 층류(laminar flow)의 풍속, 대기 안정도, 마찰속도, 지표 거칠기 길이 등과 관련되어 나타나는 공기역학적 저항(aerodynamic resistance)과 오염물질의 종류에 따른 분자확산, 공기의 점성도 등으로 나타나는 침적층 저항(deposition-layer resistance) 그리고 식생의 잎과 지면의 성질에 따른 지표면 저항(surface resistance)으로 이루어 진다.

공기역학적 저항은 저층 대기에서의 풍속, 대기 안정도, 그리고 지표면 성질에 따른 지표 거칠기 길이로 계산 되어지는데, 마찰속도와 현열속(heat flux)에 대하여는 Louis(1979)의 모수식을 사용하였다.

난류의 수송 과정이 더 이상 적용되지 않고 오염물질의 분자확산이나 브라운 확산 그리고 공기의 점성도가 중요하게 작용하는 침적층 저항은 Pleim et al.(1984)의 모수식을 사용하였다.

지표층 저항은 잎에 관련되어 나타나는 여러 가지 저항들과 지면에 대한 저항으로 구성되어지는데, 잎이 무성한 여름의 경우에는 LAI(잎면적지수)와 기공저항(stomatal resistance) 등이 지표층 저항에 크게 작용할 것이고, 잎이 모두 진 상태인 겨울의 경우에는 지면 위로 떨어진 마른 잎들과 지면위에 쌓이는 눈의 영향 등이 지표면에 크게 작용 할 것이다. 따라서 계절에 따른 지표면의 특성으로 지표층

지향이 다양하게 나타나게 된다.

이에 여름과 겨울의 활엽수림에 대한  $O_3$ 와  $SO_2$ 의 침적 속도의 일변화를 예측·비교하고,  $O_3$ 와  $SO_2$ 에 대한 침적 속도의 예측치와 CANADA 환경청(1988)에서 관측한  $O_3$ 와  $SO_2$  침적속도의 관측치를 비교하였다. 그리고 지표면 지향에 대하여 Wesely(1989)의 방법으로 계산된 침적 속도와 본 연구에서 계산된 침적속도의 계절별 비교를 살펴보았다. 그리고 침적 모델의 구성 요소들과 침적속도의 관련성을 계절별로 살펴보고 그 특성을 알아보았다.

### 3. 결 과

침적속도의 특성을 살펴보기 위하여  $O_3$ 와  $SO_2$ 의 flux와 농도, 일사량, 풍속, 지표의 습한 정도(CWC), 지표면 온도, 지표 부근 대기 온도 등의 관측자료의 계절별 분석을 수행하였다. 겨울의 경우 여름에 비해 평균 풍속은 강하고 일사량이 작고, 식물의 잎이 적어 uptake의 감소를 유발하여 겨울철의 침적 속도는 여름철에 비하여 낮게 예측되었다.

여름의 침적대상 표면의 젖은 정도가 주로 낮에는 강수, 밤에는 이슬의 영향인데 반하여 겨울의 침적대상 표면의 젖은 정도는 낮과 밤 모두 높은 눈이나 비의 영향을 주로 받는다. 지표면 온도와 지표 부근 대기의 온도 사이의 차이는 안정도와 난류 현상에 영향을 미치고 이는  $O_3$ 와  $SO_2$ 의 uptake에도 영향을 미쳐서 결국은 침적속도의 계산 결과로 나타나게 된다.

겨울에 대한 침적 속도와 여름의 침적 속도를 비교해 본 결과는 겨울에 대한 침적 속도가 여름에 대한 침적 속도에 비하여 약 70% 정도로 낮게 나타났으며 이것은 관측치와 비교적 잘 일치하는 것으로 나타났다. 지표층 지향에 있어서 Wesely(1989)의 방법을 사용하여 예측한  $O_3$ 와  $SO_2$ 의 침적속도와 본 연구에서 예측한  $O_3$ 와  $SO_2$ 의 침적 속도와 관측치를 비교해 본 결과 두 방법 모두 관측치와 대체로 좋은 일치를 보이지만, Wesely(1989) 방법을 사용한 결과가 관측치와 비교하여 약간의 과소 평가, 본 연구의 결과는 약간의 과대평가를 나타내었다.

또한 침적속도와 기상 요소들의 상관성을 살펴본 결과 지표면의 거칠기 길이가 클수록, 대기가 불안정할수록, 풍속과 마찰 속도가 클수록 침적속도가 크게 나타났으며, 지표면 wetness와도 밀접한 관련성을 가짐을 알 수 있었다.

### 참 고 문 헌

- Businger J.A., Wingaard J.C., Izumi Y. and Bradley F., Flux-Profile relationships in the atmospheric surface layer, *J. Atmospheric Sciences*, 28, 181-189, (1971)
- Hicks, B.B., Some micrometeorological method for measuring dry deposition rates. AICHE Symposium Series, Emissions control, 187-190, (1979)
- Galbally Ian E., Gas transfer near the earth's surface, *Advances in geophysics*, 18, 329-339, (1974)
- Luise F.(1979), A parameter Model of Vertical eddy Fluxes in the Atmosphere. *Boundary Layer met.* 17, 187-202
- Wesely M.L. and Hicks, B.B., Some factors that affect the deposition rates of sulfur dioxide and similar gases on vegetation. *Journal of Air Pollution Control Association*, 27, 1110-1116, (1977)
- Wesely M.L., Parameterization of surface resistances to gaseous dry deposition in regional-scale numerical model. *Atmospheric Environment*, 23, 1293-1304, (1989)