

## CA9) 오존에 대한 건성침적속도의 일반적 특성 고찰

### The Investigation of General Characteristics for Dry Deposition Velocity of O<sub>3</sub>

이화운 · 김유근 · 문난경  
부산대학교 대기과학과

#### 1. 서론

오존 등 기체상 오염물질의 식물 표면에 대한 건성침적은 식물의 생물학적 활동에 피해를 줄 수 있으며(Runeckles and Chevone, 1992; Chappelka and Chevone, 1992), 건성침적 현상은 노출된 식물지표 환경의 화학적 특성을 변화시키는 작용으로 관심의 대상이 되고있다(Businger, 1986; Galbally *et al.*, 1986; Chang *et al.*, 1987; Wesely, 1989; Hicks *et al.*, 1989). 이러한 기체상 오염물질의 침적현상은 대기질 관리에 있어서 오염물질의 적절한 감소계획을 산정·평가하기 위하여 지상 오염물질의 농도를 정확하게 추정하는 과정에서 필수적으로 고려되어야 하는 부분이다. 또한 침적현상은 직접적으로 피해를 받는 수용체(receptor)의 입장에서 피해정도 예측과 생태계 보존을 위하여 정량적·정성적인 연구가 필요하다.

이에 본 연구에서는 PNU/DEM(Pusan National University/Deposition Model)을 이용하여 오존에 대한 건성침적속도의 일반적 특성을 살펴보고자 한다.

#### 2. 연구방법

침적 현상은 일정 플럭스층(constant flux layer)과 침적층(deposition layer)의 난류(turbulent flow)와 층류(laminar flow)의 복합적인 현상과 canopy의 성질에 따라서 복잡하게 발생한다. 이러한 침적현상의 지표가 되는 침적속도는 일반적으로 공기역학적 저항, 점성층 저항, 캐노피 저항을 사용하여 계산할 수 있다.

본 연구에서 사용하는 침적모형(PNU/DEM)은 이화운 등(2000)에 자세히 나타내었으며, 여러 가지 지표면에 대하여 다양한 공기역학적 저항 모수식과 캐노피 저항 모수식을 이용하여 침적속도를 계산할 수 있는 침적모형이다.

침적현상은 강한 일사량으로 인한 대기의 열적 난류와 강한 풍속으로 인한 기계적 난류에 크게 영향을 받으므로 일사량과 풍속의 변화에 따른 침적속도를 살펴보았다.

지표면 종류에 대한 건성침적 속도의 수치모의 결과는 선행연구에서 산정한 관측치와 비교 검증하였는데, 지표면 종류에 대한 지표면 거칠기와 잎 면적지수(LAI, Leaf Area Index)는 공기역학적 저항과 점성층 저항 그리고 canopy 저항에 영향을 미치게 된다.

그러나 침적대상 표면이 수면인 경우에는 다른 지표면과는 다른 메카니즘으로 예측하여야 한다. 수면인 경우에는 특별한 캐노피 저항이 존재하지 않으므로, 캐노피 저항은 고려하지 않고 공기역학적 저항과 점성층 저항으로만 침적속도를 산정한다. 특히 수면 위의 풍속에 따른 지표 거칠기를 산정하여 마찰속도를 계산하고, 이 마찰속도를 이용하여 지표 거칠기를 산정하는 방법을 식(1)과 같이 사용하여 침적속도를 계산하였다.

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

#### 3. 결과 및 토의

PNU/DEM에서 오존의 건성침적속도에 대한 태양복사와 풍속의 영향을 태양복사가 200, 400, 600, 800 W/m<sup>2</sup>일 때 풍속의 증가에 따른 건성침적속도 변화를 통해 살펴보았다(Fig. 4-1). 그림에서 알 수 있듯이 풍속이 증가할수록 건성침적속도의 크기가 커지는데, 이는 난류가 풍속의 증가에 수반되어 증가하는 것으로 설명되어질 수 있다. 풍속이 1.5m/sec이하로 낮을 때 태양복사에 따른 건성침적속도의 차이는 거의 나타나지 않지만 건성침적속도가 급격히 증가하는 것을 볼 수 있으며, 풍속이 1.5m/sec이상이 되면

건성침적속도는 서서히 증가하는 분포를 보였다. 건성침적속도와 태양복사의 관계에서 약 1.5m/sec이상의 풍속에서 태양복사의 크기에 따른 차이가 나타나, 어느 정도 이상의 풍속일 때 태양복사가 건성침적속도의 크기에 영향을 주는 것을 볼 수 있었다. 약 1.5m/sec의 풍속 이상에서 태양복사가 커질수록 오존의 건성침적속도 역시 커지는 분포를 나타냈으며, 1.5m/sec이상의 풍속에서는 풍속에 따른 건성침적속도의 변화가 서서히 나타남을 볼 수 있었다.

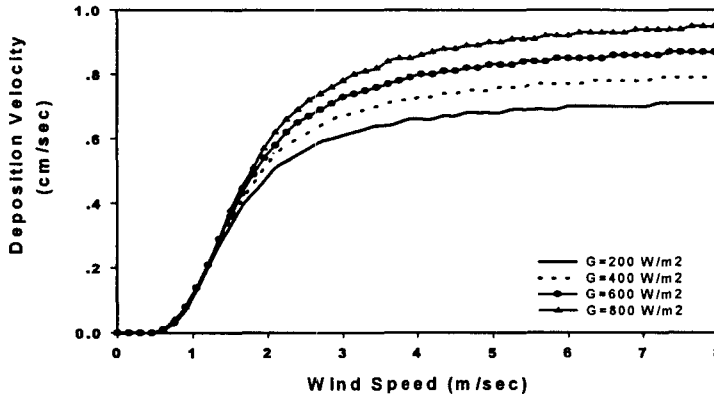


Fig.1. Sensitivity of  $O_3$  dry deposition velocities to wind speed and solar insolation over deciduous forest.

지표면의 종류에 따른 침적속도 계산결과는 목화밭과 포도밭에서 각각 0.2~0.86cm/sec, 0.2~0.53cm/sec의 일변화와 0.54cm/sec, 0.37cm/sec의 일평균값을 보여, Padro(1996)와 Zhang *et al.*(1996), Grantz *et al.*(1997)에 의한 목화밭에서 일변화 및 일평균값과 Grantz *et al.*(1995)에 의한 포도밭에서의 일평균값에 유사한 분포를 보였다. 활엽수림에 대하여 Padro(1992, 1994, 1996)는 1.0cm/sec, 0.2cm/sec의 일평균값과 0.01~1.8cm/sec사이의 분포를 보였으며, Godowitch(1990)에서 0.81cm/sec의 평균값을 보였는데, PNU/DEM에서 계산된 0.69cm/sec의 일평균값 및 0.23~1.09cm/sec의 일변화는 이들 관측값과 유사한 결과를 나타내었다. 침적속도의 일변화를 살펴 볼 때, 야간에는 건성침적속도가 거의 비슷하지만, 주간에는 식생의 종류에 따른 기공작용의 차이가 나타나 농경지와 숲에 대한 건성침적속도가 다른 지표면에 비해 보다 크게 나타났다

또한 선행연구의 수면에서 관측된 건성침적속도와 PNU/DEM으로 수치 모의된 건성침적속도를 비교한 결과 0.001~0.08cm/sec의 분포를 나타내었는데, 이는 호수에서 오존의 건성침적속도가 0.002~0.04cm/sec의 분포를 보인 관측 결과(Wesely *et al.*, 1981)와 해양의 경우 Garland and Penkett(1976)와 Lenshaw *et al.*(1982)에 의해 각각 0.04, 0.05cm/sec의 일평균값을 보인 바가 있어 예측한 결과의 유의성을 검증할 수 있었다.

#### 4. 결론

PNU/DEM을 이용하여 기상 요소의 변화에 따른 침적속도의 변화를 살펴보기 위하여 풍속, 태양복사, 대기 안정도를 변화시키면서 오존의 건성침적속도를 수치 모의한 결과, 풍속이 증가할수록 건성침적속도는 증가하였으며, 1.5m/sec 이상의 풍속에서 태양복사에 따른 건성침적속도의 차이가 나타났다. 또한 대기가 불안정한 상태일 때는 풍속에 따른 건성침적속도의 차이가 거의 나타나지 않았지만, 대기가 안정한 상태일 때는 풍속이 강할수록 건성침적속도가 급격히 커지는 분포를 나타내었다. 그리고 수면을 포함한 land-use 형태에 따른 오존의 건성침적속도를 산정한 결과 선행연구의 관측치와 비교하여 그 분포가 유사함을 검증하였다.

이러한 결과를 배경으로 지역규모의 건성침적속도와 건성침적 플럭스를 산정할 수 있으며, 아울러

오염물질의 수송경로에서 침적현상을 고려할 때 유용할 것으로 생각한다.

#### 참 고 문 헌

- Businger J. A. (1986) Evaluation of the accuracy with which dry deposition can be measured with current micrometeorological techniques, *J. Clim. appl. met.* 25, 1100-1124
- Chang J. S., Brost R. A., Isaksen, I. S. A., Madronich S., Middleton P., Stockwell W. R. and Walcek C. J. (1987) A three-dimensional Eulerian acid deposition model: physical concepts and formulation, *J. geophys. Res.* 92, 681-14700,
- Chappelka A. H., Chevone B. I. (1992) Tree responses to ozone, In *Surface Level Ozone Exposures and Their Effects on Vegetation*(edited by Lefohn A.S.), pp.271-324. Lewis, Chelsea, MI.
- Galbally I. E., Miller A. J., Hoy R. D., Ahmet S., Joynt R. C. and Attwood D. (1986) Surface ozone at natural sites in the Latrobe valley and Cape Grim, Australia, *Atmospheric Environment*, 20, 2403-2422,
- Grantz D. A., Zhang X. J., Massman W. J., Delany A. and Pederson J. R. (1995) Effects of stomatal conductance and surface wetness on ozone deposition in field grown grape, *Atmospheric Environment*. 29, 3189-3198,
- Hicks, B. B. Matt, D. R., and McMillen, R. T. (1989) A micrometeorological investigation of surface exchange of O<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub> and NO<sub>2</sub> : A case study *Boundary-layer Meteorology*. 47, 321-336
- 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,
- Padro J., H. (1992) Modelled and observed dry deposition velocity of O<sub>3</sub> above a deciduous forest in the winter. *Atmospheric Environment*. 26A, 5, 775-784,
- Padro J., H., W. J. Massman, R. H. Shaw, A. Delany and S. P. Oncley, (1994) A comparison of some aerodynamic resistance methods using measurements over cotton and grass from the 1991 California ozone deposition experiment, *Boundary-Layer Meteorology*. 71, 327-339
- Padro J. H. (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
- Runeckles V. C. and Chevone B. I., Crop responses to ozone. (1992) n *Surface Level Ozone Exposure and Their Effects on Vegetation* (edited by Lefohn A.S.), pp.189-270. Lewis, Chelsea, MI.
- Wesely M.L., Cook D. R. and Williams R. M. (1981) Field measurements of small ozone fluxes to snow, wet bare soil and lake water, *Boundary Layer Meteorol.*, 20, 459-471
- Wesely M.L. (1989) Parameterization of surface resistances to gaseous dry deposition in regional-scale numerical model. *Atmospheric Environment*. 23, 1293-1304
- Zhang L., Jacob Padro and J. L. Walmsley (1996) A multi-layer model vs single-layer models and observed O<sub>3</sub> dry deposition velocities, *Atmospheric Environment*. 30, 339-345