

공기역학적 저항 모수화에 따른 오존의 건성침적 속도 비교

이화운, 김유근, 문난경, 노순아*

부산대학교 대기과학과

1. 서론

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.

침적 속도 계산에 있어 지표층 저항이 많은 영향을 미치는 것과 지표면 저항의 물리적, 화학적 현상을 자세하게 모수화하는 연구가 많았다. 그러나 Padro *et al.*(1991)과 Padro J., W.J. Massman *et al.*(1994)의 연구에서 공기역학적 저항과 침적 속도와의 관계가 밀접하고 보다 정밀한 공기 역학적 저항의 모수화에 관한 연구도 필요하다고 말하고 있다.

오존의 건성침적속도 연구에 있어 canopy 저항이 우세한 성분임이 입증된 바가 있지만 공기역학적 저항이 상대적으로 중요한 경우가 나타난다. 공기역학적 저항은 건성침적 속도의 오전과 밤의 일변화 분포에 많은 기여를 하고 식물저항의 일변화가 크지 않은 겨울철의 건성 침적 속도에 많은 영향을 미친다는 것은 연구를 통해 이미 밝혀진바 있다 (Padro *et al.*, 1991).

2. 연구방법

건성침적속도는 공기역학적 저항(aerodynamic resistances), 점성층 저항(quasilaminar sublayer resistances)과 지표층 또는 canopy 저항으로 계산된다. 공기역학적 저항은 일정 플럭스층(constant flux layer)과 침적층(deposition layer)의 난류와 층류의 풍속, 대기 안정도, 마찰 속도, 지표면 특성에 따른 지표 거칠기 길이 등과 관련된다. 점성층 저항은 오염물질의 분자확산과 공기의 점성도 등과 관련되며, 일정 플럭스층의 난류 수송 과정이 적용되지 않으며 입자에 대한 분자 확산이나 브라운 확산만이 의미를 가진다. 점성층 저항은 Pleim *et al.*(1984)와 Wesely and Hicks(1977)에 의한 모수식을 사용하였다. canopy 저항은 지표의 특징과 그 식생에 따라 가장 큰 차이를 보이므로 지표의 성질이 잘 고려되어야 하며, 본 모델에서 canopy 저항은 기공 저항(stomatal resistance), 엽육 저항(mesophyll resistance), 표피 저항(cuticle resistance), 지면 저항(ground resistance)을 고려하여 구성되었다.

공기역학적 저항은 저층 대기에서의 풍속, 마찰속도, 안정도, 지표 거칠기 길이로 계산되어지는데 마찰속도와 현열 플럭스는 Louis(1979)의 모수식을 사용하였다. 주간에는 canopy 저항이 건성침적속도에 가장 큰 영향을 미치며 풍속, 마찰속도, 지표 거칠기 길이 등의 요소는 그 영향이 뚜렷하지 않고 변화폭도 적게 나타나는 반면 야간의 경우 침적속도 변화에 canopy 저항보다 풍속과 마찰속도, 거칠기 길이 등이 건성침적속도에 우세한 작용을 함이 밝혀진 바 있다(문난경, 1996).

본 연구에서는 공기역학적 저항에 따른 건성침적속도를 살펴보기 위하여, 몇가지의 공기역학적 저항 계산 방법에 대하여 건성침적속도를 계산하고 그 결과를 관측치와 비교·검증하였다. 공기역학적 저항은 Monteith(1973)와 Hatfield(1983)의 방법과 본 연구의 계산 방법을 비교하였다. 공기역학적 저항 계산 방법에 따른 건성침적속도 계산 결과의 검증을 위하여 1988년 Canada 환경청에서 실시된 활엽수림에서의 관측자료를 사용하였다.

3. 결 과

공기역학적 저항에 따른 오존의 건성침적속도를 살펴보기 위하여 세 가지 공기역학적 저항 계산 방법을 비교·검증하였으며 오존의 건성침적속도에 대한 관측값(1988, Canada 환경청)은 0.16 ~1.2 cm/sec의 분포를 나타내고, 본 모델(PUDM)의 침적속도 계산결과는 0.2~1.0 cm/sec의 분포를 나타내었다.

Fig.1에서 나타난 바와 같이 Monteith(1973)와 Hatfield(1983)의 공기역학적 저항 계산방법은 관측값과 비교하여 전체적으로 과대평가되는 결과를 보였으며, 두 방법이 거의 비슷한 분포를 보였다. 야간의 경우 주간보다 세 가지 방법 모두 건성침적속도가 관측값에 근접하게 나타나고 있지만 PUDM의 계산결과가 관측값과 가장 유사하게 나타나고 있으며, 특히 12시에서 18시 사이에서 관측값과 좋은 일치를 보였다. 따라서 오존에 대하여 여름철 활엽수림에 대한 건성침적속도는 고려된 세 가지 공기역학적 저항의 모수화 가운데 PUDM의 공기역학적 저항의 모수화를 이용한 건성침적속도의 일변화가 관측값(1988, Canada 환경청)의 일변화와 가장 좋은 일치를 나타내어 그 유용성을 검증하였다.

참 고 문 헌

문난경, 1996, 중규모에서의 대기 오염 물질 침적 모델에 관한 연구, 부산대학교 일반대학원 석사학위논문

Businger J.A., Wingaard J.C., Izumi Y. and Bradley F., 1971, Flux-Profile relationships in the atmospheric surface layer, J. Atmospheric Sciences, 28, 181-189

Hatfield, J.L., 1983, Evapotranspiration obtained from remote sensing methods, Adv. Irrig. 2, 395-416

Hicks, B.B., 1979, Some micrometeorological method for measuring dry deposition rates. AICHE Symposium Series, Emissions control, 187-190

Galbally Ian E., 1974, Gas transfer near the earth's surface, Advances in

geophysics. 18, 329-339

Louis J.F., 1979, A parametric model of vertical eddy fluxes in the atmosphere. *Boundary-Layer Meteorology*. 17, 187-202

Monteith J.L., 1973, *Principles of environmental physics*, Arnold London, G.B., 241pp

Padro J., H.H. Newmann, and G. Den Hartog, 1991, An investigation of the ADOM dry deposition module using summertime O_3 measurements above a deciduous forest. *Atmospheric Environment*. 25A, 8, 1689-1704

Padro J., 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

Wesely M.L. and Hicks, B.B., 1977, Some factors that affect the deposition rates of sulfur dioxide and similar gases on vegetation. *Journal of Air Pollution Control Association*. 27, 1110-1116

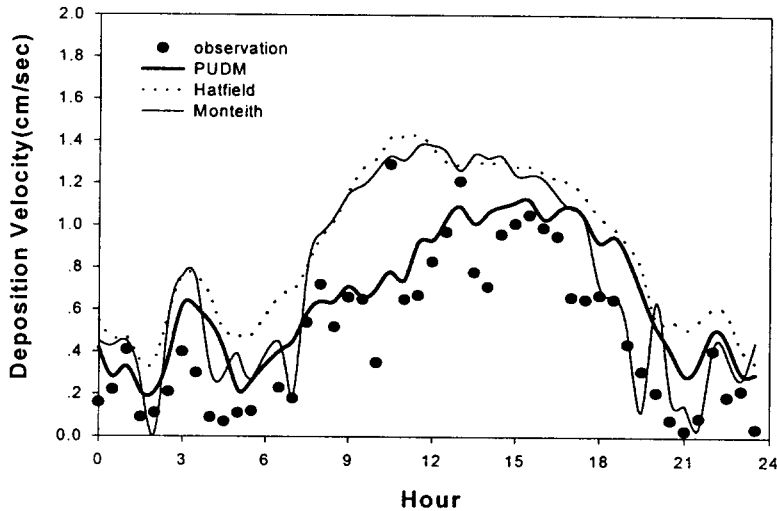


Fig.1 Diurnal cycles of the dry deposition velocity of O_3 over deciduous forest obtained from the PUDM R_b and R_c and the respective R_s s for summertime.