

PC1) 언덕지형에서 연기확산의 수치모사 Numerical Simulation of Plume Dispersion Over a Hilly Terrain

김현구¹⁾ · 이정목²⁾ · 최돈범²⁾

¹⁾포항산업과학연구원 대기환경연구팀, ²⁾포항공과대학교 기계공학과

1. 서 론

본 연구에서는 라그랑지안 확산모델(LDM; Lagrangian dispersion model)을 이용하여 평지 및 언덕지형에서의 연기확산을 수치모사하였다. 수치예측의 검증에 위하여 평지지형의 경우는 풍동실험 결과와 비교하고 언덕지형의 경우는 오일러리안 확산모델(EDM; Eulerian dispersion model)의 모사결과와 비교함으로써 언덕지형에서 오염물질의 확산특성을 연구하였다.

2. 수치해석법

오염물질 이송 및 확산의 매체가 되는 대기유동장의 수치모사는 실제의 복잡지형에의 적용사례를 통하여 검증된 Kim et al.(2000)의 수치모델을 이용하였으며, 특히 비선형와점도 모델을 이용하여 확산계산에 필수적인 비등방성 레이놀즈 난류응력을 분리하는 Kim & Patel(2000)의 산출방법을 채택하였다. 또한 본 연구에서는 난류유동장 내에서 연기입자의 무작위 움직임을 표현하는 랑게빈(Langevin) 방정식에 기초한 라그랑지안 확산모델(노유정 등, 1998)을 사용하여 연기확산을 모사하였다. 그런데 언덕지형에서는 확산현상은 평지에서와는 달리 난류 시간척도와 길이척도가 지면으로부터 높이만의 함수가 아니기 때문에 $k-\epsilon$ 난류모델로부터 유도되는 시간척도(eddy turnover time)인 $T_L = (2/3) C_\epsilon k / \epsilon$ 을 사용하였다(김현구와 이정목, 1998a). 참고로 난류상수 C_ϵ 는 Lu(1995)가 제시한 0.212를 적용하였다. 농도장의 산출은 입자개수방법을 사용하였고, 입자계적 계산의 정확도를 확보하기 위하여 확산계산의 시간척도인 쿠런트(Courant) 수를 0.3으로 설정하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 1은 평지 대기경계층 내 연기확산에 의한 무차원 농도를 본 연구의 라그랑지안 확산모델의 예측결과, 풍동실험(Raupach & Legg, 1983) 및 오일러리안 확산모델의 예측결과(김현구와 이정목, 1998b)와 상호 비교한 것으로, 라그랑지안 모델이 오일러리안 모델의 해석결과에 비하여 특히 배출원 직후의 고농도 부분을 정확하고 예측하고 있음을 보여준다. 이러한 차이는 난류확산의 수학적인 모델인 구배확산이론(gradient diffusion theory)에 근거한 오일러리안 확산모델의 내재적인 오차 때문인 것으로 분석된다(김현구와 이정목, 1998a).

그림 2는 언덕지형을 지나는 대기유동장 내에서 배출된 연기확산에 의한 지면농도분포를 도시한 그래프로, 좌표의 원점은 오염원의 위치이다. 오일러리안 및 라그랑지안 확산모델의 예측결과는 정성적으로 유사한 분포를 보이고 있으며, 배출원이 언덕후방에 위치한 경우가 언덕전면에 위치한 경우보다 더 높은 최대지면농도를 보이고 있다. 참고로 배출원은 언덕높이의 1/4 높이에 위치한 경우를 수치모사 하였다. 언덕후방에 배출원이 위치한 경우, 지면농도 예측결과에 다소간의 차이가 보이고 있는데, 이는 오일러리안 확산모델에서는 미소점원인 배출원을 유한체적의 격자로 표현함으로써 발생하는 수치오차에 기인하는 것으로 판단된다. 참고로 본 연구에서는 유동박리가 발생하지 않는 완만한 언덕지형을 지나는 대기유동장 내 연기확산을 수치모사하였으나, 향후로는 유동박리 및 재순환이 수반되는 경우에 대한 연기확산으로 연구를 진행할 예정이다.

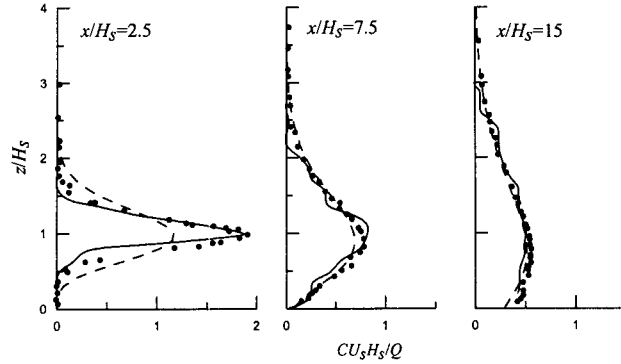


Fig.1 Comparisons of vertical profiles of mean concentration from an elevated source in an atmospheric boundary layer over flat terrain (solid lines: LDM, dashed lines: EDM, symbols: measurements).

[기호설명] H_s : 배출원 높이, C : 농도, U_s : 배출원 높이에서의 유속, Q : 단위시간당 배출유량

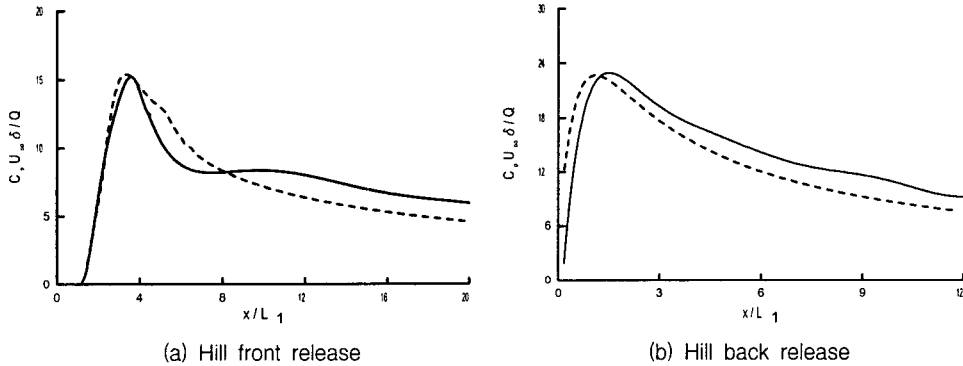


Fig. 2. Distributions of ground-level concentration over hilly terrain from the elevated sources at different locations (solid lines: LDM, dashed lines: EDM).

[기호설명] $2L_1$: 언덕높이의 1/2인 높이에서의 밀면길이, δ : 경계층 높이, U_∞ : 경계층 외부유속

참 고 문 헌

- 김현구, 이정목 (1998a) 난류확산계수의 수정에 의한 Eulerian 확산모델의 개선, 대한기계학회 논문집 B, Vol. 22, No. 10, pp. 1483~1489.
- 김현구, 이정목 (1998b) 산지 내 오염물질 확산의 2차원 수치해석, 한국대기보존학회지, Vol. 13, No. 5, pp. 383~396.
- 노유정, 이정목, 김현구 (1998) 성층대기 중 부력연기 확산의 수치모사, 대한환경공학회 추계학술연구발표회 논문초록집, pp. 564~564.
- Kim, H.G. & Patel, V.C. (2000) Test of Turbulence Models for Wind Flow Over Terrain with Separation and Recirculation, Boundary-Layer Meteorology, Vol. 94, pp. 5~21.
- Kim, H.G., Patel, V.C. & Lee, C.M. (2000) Numerical Simulation of Wind Flow over Hilly Terrain, J. Wind Eng. & Ind. Aerodyn., Vol. 87, pp. 45~60.
- Lu, Q.Q. (1995) An Approach to Modeling Particle Motion in Turbulent Flows. I. Homogeneous, Isotropic Turbulences, Atmos. Environ., Vol. 29, No. 3, pp. 423~436
- Raupach, M.R. & Legg, B.J. (1983) Turbulent Dispersion From an Elevated Line Source: Measurements of Wind-Concentration Moments and Budgets, J. Fluid Mech., Vol. 136, pp. 111~137.