

A-6 동북아 지역의 대기오염물질 침전에 관한 정량분석

A Study on the Quantitative Analysis of Air Pollutants Deposition in the Northeastern Asia.

김순태, 홍민선
아주대학교 환경공학과

I. 서론

서로 인접해 있는 한·중·일 3국은 오래 전부터 국가간 대기오염물질의 이동에 관해 많은 관심을 가져왔다. 특히 중국의 개방화 정책이후 산업발달이 가시화 되면서 중국의 풍하방향에 위치해 있는 국내 또한 많은 관심을 가지고 이에 관한 연구를 수행중이다. 이러한 최근의 연구동향은 유적선 작성을 통한 유입경로 해석, 일부 지역에서의 배경농도 측정 등이 행해지고 있는 정도이며, 국가간 이동량의 정량적 해석을 통한 기여도 산출 연구는 거의 전무한 실정이다.

본 연구에서는 particle-on-cell 모델을 이용하여 동북아 지역에서의 대기오염물질의 국가간 이동 및 침전량을 정량 분석하였다.

II. 모델

1. 모사 영역 및 기상 자료

모사 영역은 동경 115~135도, 북위 30~40도로 1649km×1125km의 크기이며 중국의 동부와 일본의 류슈를 포함하고 있으며 격자는 동서로 21개, 남북으로 11개, 그리고 상층으로는 높이 3km까지 7개의 격자로 구성되어 있다.

모사 영역에는 한국의 오산, 포항, 광주, 중국의 베이징, 안칭, 난징, 루다, 칭따오, 항주, 그리고 일본의 구마모토 등 총 10개소의 기상측정소가 있으며 quadratic interpolation을 이용, 각 격자의 시간과 고도에 따른 풍향 및 풍속을 구하여 매 12시간마다 모델 입력자료로 사용하였다.

2. 오염물질의 배출 및 이동

모델 모사시 가정된 particle의 방출량은 time step당 50개이고 time step은 900sec로서 3일 모사시 총 14,400개가 배출되며 배출되는 particle들은 높이 1km, 지름 50km내에 위치하게 된다. 배출량의 산정은 1989년 중국의 SO₂배출량인 1,600만톤을 기준으로 현재의 추정치인 2,000만톤으로 환산하였으며 3일 동안 16만4천톤이 배출된다. particle-in-cell model은 lagrangian과 eulerian model에서 문제시 되던 diffusion term을 해결하기 위한 방법으로서 전체 오염물질의 mass가 개개의 element로 나누어지고 분리된 particle은 mass 중심으로 추적되어지며 governing equation은 다음 식 (1)과 같다.

$$\frac{\partial n}{\partial t} + U \frac{\partial n}{\partial x} + V \frac{\partial n}{\partial y} + W \frac{\partial n}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} (D_x \frac{\partial n}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (D_y \frac{\partial n}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z} (D_z \frac{\partial n}{\partial z}) + S \quad (1)$$

여기서 n은 particle의 입자농도, U, V, W와 D_x, D_y, D_z는 x, y, z방향으로의 이동속도와 확산계수를 나타내며 S는 입자의 배출량을 나타낸다.

위 식에서 advection term과 diffusion term은 식 (2)에서처럼 diffusion velocity로 함께 정의되며,

$$u_d = -D \frac{\partial n / \partial x}{n} \quad (2)$$

이는 난류 확산의 effective velocity로서 이동되는 오염물질의 total effective velocity는 다음과 같다.

$$U = u + u_d \quad (3)$$

또, 개개의 particle은 식(4)에서 처럼 local total effective velocity에 의해 이동된다.

$$\frac{\partial x}{\partial t} = U \quad (4)$$

III. 결과 및 고찰

1995년 3월 4일~6일까지의 기상 데이터와 중국의 SO₂배출량(89년)을 이용, 봄철 중국으로부터 한반도의 SO₂유입량을 살펴보았다. 바람장은 3일 모사기간 동안 10개의 기상관측소의 자료를 quadratic interpolation을 이용, 분석하여 지상 3km까지 고도별로 풍향 및 풍속을 매 time step마다 계산하였으며, 그림 1은 모사기간중 대표적인 바람장으로서 모사개시 36시간 후 지상 1000m에서의 바람장을 나타낸다.

오염원은 위도별로 중국 동해안을 따라 위치시켰으며 모사기간중 주된 풍향은 서풍과 북서풍으로 중국 동북지방으로 부터의 유입이 많았다. 그림 2는 SO₂가 산둥반도에서 배출되어 3일 경과된 모습으로서 제주도를 제외한 남한 전지역을 포함해 일본 혼슈지방에까지 이동되었음을 볼 수 있다. 배출량을 고려할 때 그림 2에서 처럼 산둥지방으로 부터의 유입량이 가장 많았으며 이는 한반도에 근접한 산둥반도의 위치 때문인 것으로 사료된다. 또한 오염물질이 지표면과 충돌시 완전 흡착을 가정할 경우, 산둥반도로 부터 오염물의 유입시 한반도내에 침전량이 가장 많았는데 이는 오염물이 서해를 통한 직접적인 이동이 가능하고 풍향을 따라 이동시 태백산맥 서편에서 지표면과의 접촉이 잦아지기 때문인 것으로 사료된다. 그림 3은 Jiangsu지방에서 배출된 SO₂가 제주도 이남을 거쳐 일본의 큐슈지방에 까지 영향을 미치는 것을 보여주고 있다.

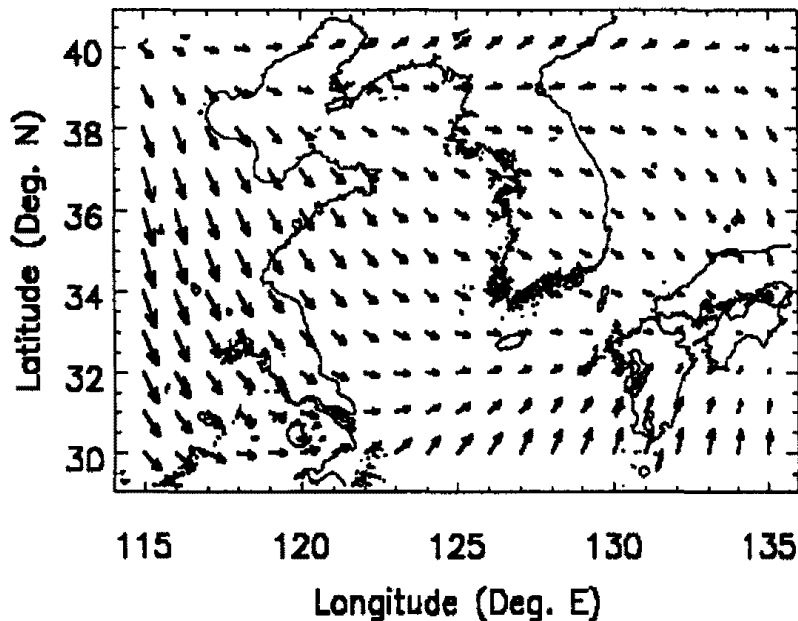


Figure 1. Wind field at 1000m(ASL) on March 5th, 1995.

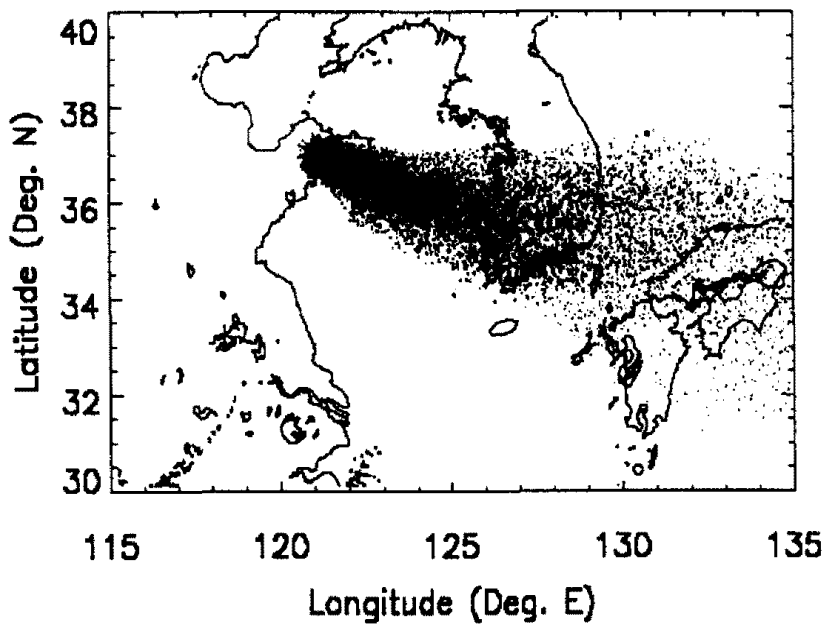


Figure 2. Visualization of SO₂ transport for 3 days from Shandong.

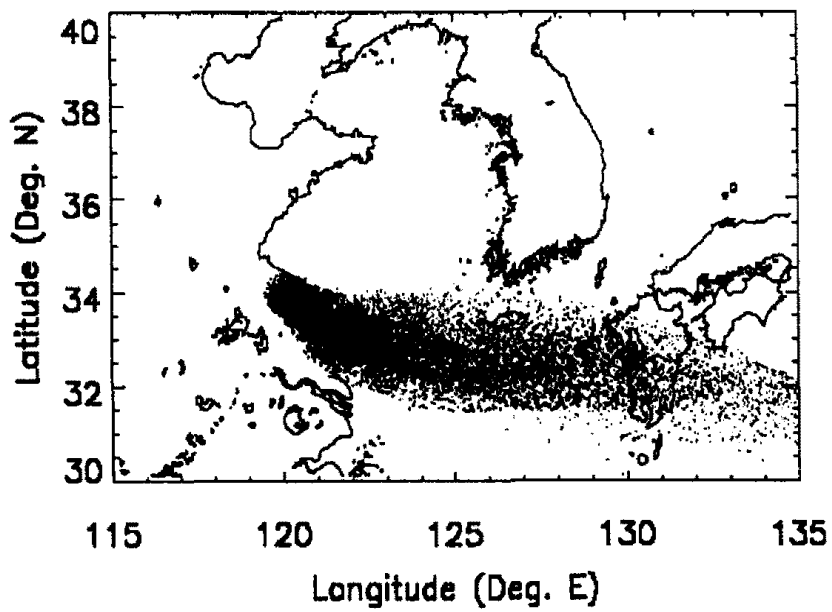


Figure 3. Visualization of SO₂ transport for 3 days from Jiangsu.