

## C-5 연안도시지역에서 선박배출을 고려한

### Lagrangian 입자확산 모델링

### Lagrangian Particle Dispersion Modeling considering Shipping Emission Sources in Coastal Urban Region

이 화 운, 김 유 근, 원 경 미

부산대학교 대기과학과

#### I. 서 론

계산기의 발달과 더불어 대기의 분산을 묘사하던 Gaussian plume model과 Lagrangian puff model은 더욱 더 정확한 3-D Lagrangian Particle Dispersion Model(LPDMs)과 Eulerian advection-diffusion models로 대체될 수 있게 되었다. LPDMs은 수 많은 입자의 운동을 유도하는 평균 바람과 난류를 따라 방출된 물질의 확산과 수송을 묘사하며, 이러한 모델들은 수 만개 혹은 수 십만개 이상의 입자를 수용할 수 있어 긴급한 상황에 적용하는데 유용하다. 반면 Eulerian advection-diffusion model은 Eulerian계에서 면 혹은 체적(volume) 오염원으로 부터 오염물질의 방출과 분산을 묘사할 수 있어 모델의 계산정도는 방출된 입자의 수보다는 격자 분해능과 영역 크기에 비례한다고 볼 수 있다. 그러나 LPDMs는 수송되어지는 입자의 화학적인 변화를 고려할 수 없는 단점 때문에 대기질 예측기법으로는 사용되지 못하고 있다.

본 연구에서는 부산연안 도시의 특정 배출원에서 배출되어진 대기오염물질의 확산과 수송 특성에 따른 대기질 농도변화를 연구하기 위하여 Eulerian계에서 오염물질의 이류와 확산, 광화학 반응, 침적과정을 고려한 3차원 수치모델링을 수행하였으며, 확산과 수송특성은 대기오염물질의 수송과정을 잘 묘사할 수 있는 Lagrangian Particle Dispersion Model을 사용하여 고찰하였다. 여기에서 특정 배출원으로 내륙지역에서는 배출강도의 대부분을 차지하는 사상과 장림공단지역 두 곳과 연안지역에서는 선박의 입, 출항이 빈번한 부산의 남항에 있는 부두 두 곳으로 설정하였다. 오염물질의 배출은 오전8시부터 시작하여 10분마다 연속 방출되어 오후 5시까지 계속되도록 하였다.

#### II. 연구방법

계산영역은 한국의 남동 지역에 위치한 부산과 그 주위 지역으로 제 1의 항구도시인 연안도시 지역이다. 수치모의의 실행은 대규모영역 (Coarse Mesh Grid)과 소규모영역(Fine Mesh Grid)으로 나누어 실행하는 nesting 방법을 사용하였고, 경계조건의 설정은 Clark와 Rarley(1984)의 수치실험에 의해 계산정밀도가 높은 2차 삼입식을 사용하였다. CMG영역은 부산과 그 주위 지역을 표현한 것으로 수평방향(x와 y)은 각각 80km, 격자간격은 5km로 하여 17×17 격자점을 이용했다. FMG영역은 부산지역만을 이용한 것으로 수평방향으로 각각 30km, 격자간격은 1km로 31×31 격자점을 이용했다. CMG와 FMG 영역에서 연직방향으로는 2450m까지 10층으로 나누었고, 각

층 두께는 동일하지 않으며, 지표근처에서는 얇게 설정했다. u와 v의 두 번째 격자점이 있는 높이 50m를 접지층이라 가정했고, 지중은 1m까지를 14층으로 나누었다. 실제 지형은 계산상 다음과 같은 평활화를 하였고, 평활화 후 50m이하는 평지로 보았다.

### III. 선박배출원을 고려한 대기질 예측모델의 구성

#### 1. 배출원의 설정

내륙지역의 배출원은 부산광역시내 존재하는 각 오염원을 점, 선, 면 오염원으로 구분하여, 공해배출업소(1, 2, 3, 4, 5종) 자료와 각 지역의 주택현황자료, 연료 사용량, 각 지점별 교통량 자료, 격자별 도로길이율 등의 자료를 이용하여 1km × 1km 격자 간격으로 산정한 배출량을 사용하였다. 연안지역의 배출원은 크게 선박의 정박시와 항행시로 나누었으며, 정박시는 하역시와 비하역시를 고려하여 설정하였고, 톤수등급별로 선박 1척마다의 배출량 원단위를 선박의 연료사용량과 기관부하율, 항행모드, 항행속도, 체제시간 등을 고려하여 1km × 1km 격자 간격으로 산정하였다.

#### 2. 대기유동장 모델

기초방정식계는 지형의 기복에 관계없이 계산할 수 있는 지형좌표계를 사용한 운동방정식, 온도방정식, 비습방정식, 연속방정식, 정역확방정식, 지중온도방정식으로 구성된 3차원 해륙풍 모델을 사용하였으며, 지표면의 온도는 지표면 열수지방정식을 사용하여 계산하였다.

#### 3. 광화학반응모델

이화운 등(1992)의 연구에서 사용한 광화학반응모델(Photochemical Reaction Model, PRM)을 사용하여 계산하였다.

#### 4. 침적모델

건성침적량을 추정할 수 있는 저항유사법을 사용하여 난류층과 점성층, canopy층으로 침적되어지는 대기오염물질의 침적속도와 침적량을 계산하였다.

#### 5. 수송모델

대기유동장모델에서 계산되어진 바람장과 난류장이 고려된 Lagrangian Particle Dispersion Model을 사용하여 오염물질의 연속적인 위치를 계산하였다.

### IV. 결론

연안도시지역에서 선박배출원을 고려한 대기질 수치모델링은 연안도시의 실제 대기질을 잘 설명할 수 있었으며, 특히 선박에서 배출되는 오염물질들은 내륙지역의 농도에 크게 영향을 미칠 수 있었다. Lagrangian 입자모델링을 통해 수송되어지는 양상은 해륙풍 순환을 반영하여 나타났으며, 낮동안에 사상과 장림공단에서 배출된 오염물질들은 대체로 북쪽방향에 있는 내륙지역에 고농도현상을 보였고, 부두주변에서 배출된 오염물질들은 내륙지역으로도 수송되기도 하지만 그 근방에 머물면서 고농도현상을 나타내다가 해풍의 강도가 강해지는 늦은 오후시간부터 내륙지역으로 이동되어 가는 것을 볼 수 있었다. 따라서 연안도시지역에서 연안주변의 오염도는 내륙지역의 공단배출 오염도 못지않게 문제화되고 있으므로 입출항하는 선박에 대한 강력한 배출규제가 가해져야 할 것이다.