

DR4) INPUFF MODEL을 이용한 복잡지형의 질소산화물 확산 모델링

Application of Diffusion Modeling to Nitrogen Oxides using INPUFF Model in Complex Terrain

박영한 · 이종범¹⁾

강원도보건환경연구원, 강원대학교 환경학과¹⁾

1. 서론

동해 지역은 험준한 태백산맥을 경계로 동해안 연안에 위치하고 있으며 공업항만의 발달로 지방 산업의 발전이 가속화되고 있다. 특히 다량의 연료를 사용하는 대기배출시설인 시멘트공장 3개소와 화력발전소 1개소가 밀집되어 대기질 악화가 우려되고 있으며, 주요 배출물질로는 먼지, 질소산화물, 일산화탄소 등이 있다.

NO_x로 표기되는 질소산화물은 일산화질소(NO), 이산화질소(NO₂) 외에 N₂O, N₂O₃, N₂O₄, N₂O₅, NO₃ 등이 있지만 우리나라의 환경문제에서는 NO와 NO₂만을 대상으로 규정하고 있다. 질소산화물의 생성은 주로 자동차 배기가스, 보일러, 소각로, 화력발전소, 시멘트 제조 공장등에서 발생하며 광화학반응에 관여하여 대기오염에 영향을 준다. 따라서 질소산화물은 주요한 대기오염물질로서 규제되고 있으며, 우리나라의 질소산화물 환경기준은 이산화질소 연간 평균치 0.05ppm이하, 24시간 평균치 0.08ppm이하, 1시간 평균치 0.15ppm이하로 설정되어 있다. 현재 동해 지역에는 3개 시멘트 제조회사의 총 18기 시멘트 소성로와 1개 화력발전소의 발전 보일러 1기가 가동 중에 있다. 이들 배출시설에 사용되는 주 연료는 석탄으로 질소산화물의 배출허용기준은 350ppm이내로 규정되어 있다.

일반적으로 대기오염 예측에 많이 이용되는 Gaussian 확산모델은 계산과정이 비교적 간단하고 입력자료의 수집이 용이하므로 널리 사용되고 있다. Gaussian plume model은 배출량과 기상조건이 시간에 따라 변화하지 않는 정상상태(steady state)를 가정하는 반면, Gaussian puff model은 시간에 따른 풍향, 풍속의 차이를 고려하는 비정상상태(unsteady state) 모델로서 해안지역 등에 적용하기가 용이하다.

대기오염 확산 모델을 이용하여 정확한 대기질 예측을 위해서는 정확한 배출량 자료와 기상자료가 필요하며, 모델의 평가 및 보정을 위해서는 실측농도 자료가 필요하다.

오염배출자료의 경우는 배출시설별, 사용연료별 배출가스를 실측하여 배출계수를 산출하고 이를 적용함으로써 정확한 배출자료를 작성할 수 있다. 국내에서는 배출계수를 부분적으로 조사한 사실이 있으나 국내의 모든 대기오염배출시설을 대상으로 각종 대기오염물질의 배출계수를 체계적이고 종합적으로 조사한 자료는 아직 없다. 이러한 이유 때문에 대기 확산모델을 적용할 때 주로 미국 EPA의 배출계수를 이용하는 예가 많아, 그 적용이 국내의 실정과 잘 맞지 않는다. 국내에서 진행되고 있는 대기확산모델에 관한 연구는 최근 들어 활발히 진행(장영기·송동웅, 1995 ; 이종범, 1995)되고 있으나 시멘트 공장을 대상으로 배출자료를 실측하여 적용한 예는 전무한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 동해 지역의 시멘트 공장 및 화력발전소에서 배출되는 질소산화물을 실측하여 배출계수를 산정하고 이를 Gaussian puff model에 적용하여 해안지형 및 산악지형을 포함한 복잡지형에서 대기확산모델이 잘 일치하는지의 여부를 판단하고자 한다. 그리고 각 오염원이 지역 대기질에 미치는 기여도를 밝히며, 향후 대기환경 개선을 위한 방안을 제시하고자 한다.

2. 적용모델

1) INPUFF(Integrated Puff) Model

Puff 모델은 굴뚝에서 연속적으로 배출되는 연기를 작게 잘라서 각각의 연기덩어리(puff)를 이동, 확산시켜서 농도를 계산한 후 모든 연기덩어리의 농도를 종합하여 대상지역의 농도분포와 시간변화를 계산하는 모델이다(이종범, 1995). 각각의 연기 덩어리의 중심(puff center)은 그 연기 덩어리가 위치한 지점과 해당 시각의 풍향, 풍속에 의하여 이동된다. INPUFF(Gaussian Integrated Puff Model-Ver. 2.5)

모델은 비정상 상태(unsteady state)와 nonuniform flow 상태하에서 오염물질의 추정에 유용하다. 또한, 고정 배출원이나 선박과 같은 이동 배출원에 대한 모사가 가능하며 수평 및 연직확산폭의 산출시 프로그램 상에서 사용자가 선택할 수 있도록 구성되어 있다.

2) 바람장 산출모델

INPUFF 모델에서는 사용자의 선택에 따라 모델영역내의 1개 지점의 바람자료를 사용하거나 바람장 산출 모델에 의한 격자별 바람자료를 사용하도록 구성되어 있다. 지형이 복잡하거나 모델 영역이 비교적 넓은 경우 1개 지점의 바람자료만으로 전체 영역을 모사하는 경우 한계가 있으므로, 격자별 바람을 산출할 수 있는 바람장 산출모델의 출력결과를 이용하는 것이 바람직하다.

본 연구에서는 3차원 바람장 산출모델인 DWM(diagnostic wind model, Dauglas *et al.*, 1990)을 실행하여 그 출력결과를 INPUFF 모델에 적용하였다.

3. 연구방법

모델링 영역은 시멘트 공장 3개소, 화력발전소 1개소 및 대기오염 측정소를 중심으로 TM좌표(183.0, 424.0)를 남, 서 기준점으로 하여 40km×40km 범위내의 동해시 전역과 강릉시 및 삼척시를 포함하여 중부 동해안 지방을 대상으로 하고 각 격자간의 간격은 수평·수직격자 크기를 1km로 나누어 41×41개의 격자점으로 나누었다. 따라서 INPUFF에 적용되는 DWM의 영역도 동일하게 설정하였다. 단, receptor 영역은 프로그램의 계산능력 및 시간을 고려하여 모델링 영역 40km×40km 범위에서 각 격자간의 간격을 2km로 나누어 21×21개의 격자점으로 나누었다.

적용기간은 동해시 대기오염 측정소에서 질소산화물의 농도가 높았던 기록이 많았고, 강우량이 비교적 적었던 1998년 가을의 3개월(9, 10, 11월)로 선정하여 동해시 대기오염측정소에서 측정된 질소산화물의 농도 경향을 살펴본 바 질소산화물의 농도를 N(질소)의 양으로 환산한 평균 농도는 9월 18.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 10월 17.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 11월 21.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 나타났고, 시간 최고치는 11월 28일 21시에 152.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었으며 일 최고치는 11월 26일에 53.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 기록하였다.

대기오염물질 오염원은 화산재 등 자연적인 오염원과 일상생활에서 발생하는 인위적인 오염원으로 나눌 수 있으며, 인위적오염원은 다시 점오염원(point source), 면오염원(area source), 선오염원(line source)으로 구분된다. 본 연구에서는 모델링 영역내에서 인위적으로 배출되는 점오염원(고정 배출원인 공장), 면오염원(주거밀집지역의 취사 및 난방) 및 선오염원(이동배출원인 차량통행)으로 구분하여 배출량을 산출하였으며, 이를 INPUFF 모델의 입력자료로 사용하였다.

4. 결과 및 고찰

1) 실측에 의하여 얻어진 시멘트 제조공장 소성로의 질소산화물 배출계수는 크링카 생산량 1ton을 기준으로 2.4kg/ton으로 산출되었으며 이는 미국 EPA에서 사용되는 배출계수 1.3 kg/ton에 비하여 약 1.8 배 높은 값이다. 그러므로 정확한 배출량 산정을 위해서는 현장에서 실측한 농도 자료에 의해 배출계수를 산출하는 것이 바람직하다.

2) INPUFF 모델 실행시 바람장 산출 모델인 DWM을 적용한 경우가 단일 기상자료를 적용한 경우보다 실측값에 더 잘 일치하였으며, 수평확산폭의 개선에 의하여 특이하게 높은 농도를 나타내는 이상치가 감소하였다. 그러므로 강원도와 같이 복잡한 지형의 경우 바람장을 이용한 INPUFF 모델의 사용이 적당하다.

3) 본 연구 대상 지역에 속하는 대형 점오염원들로부터 배출된 질소산화물이 동해시 지역의 대기에 미치는 기여율은 평균 56%로 나타났으며, 삼척시에 미치는 기여율은 평균 84%였다. 따라서 점오염원으로부터 배출된 대기오염물질이 이 지역의 대기질에 주요 오염원으로 나타나고 있어 배출원에서의 질소산화물 저감 대책이 필요한 것으로 판단된다.