

## 1D3) 유해 대기오염물질의 난류확산 수치모의에서 침적항과 부력항 추가에 따른 효과

원경미 · 이화운 · 지효은 · 김철희 · 송창근<sup>1)</sup>

부산대학교 대기과학과, <sup>1)</sup>University of Houston

### 1. 서 론

유해 대기오염물질(Hazardous Air Pollutants; HAPs)은 독성, 발암잠재성, 축적성 및 대기 중의 지속성 등으로 인하여 사람의 건강이나 재산, 동·식물의 생육에 직접 또는 간접적인 피해를 줄 우려가 있는 대기오염물질을 일컫는다. 대체로 일반오염물질에 비해 위해성이 매우 커서 보다 엄격한 관리가 요구되는데, 현재 국내에서는 측정기술의 미비와 대기 중의 농도 및 배출량 등에 대한 축적된 자료 등이 매우 부족하여 관리가 미흡하고 관련된 연구들이 시작단계에 있는 반면, 선진 각국에서는 유해 대기오염물질의 효율적인 관리를 위해 배출실태 조사 및 배출목록 작성, 지속적인 대기 모니터링, 인체 및 생태계 등에 미치는 위해성 평가 등의 지속적인 연구를 토대로 유해 대기오염물질 저감정책 수립의 기초 자료로 활용하고 있다(차준석, 2005).

현재 국내의 대기환경보전법에서는 특정대기유해물질로 25종만을 규제하고 있으며, 선진국(미국 188종, 독일 154종, 일본 234종)에 비하면 그 숫자가 매우 적어 최근 들어 독성, 위해성 및 배출량 등의 자료에 근거하여 규제대상물질을 추가 확대하려는 계획을 추진하고 있다. 환경부의 대기배출원조사(SODAM)의 결과(환경부, 2003, 2004)에 의하면, 25종의 유해 대기오염물질 중 2002년의 경우에 염화수소가 321톤(36.5%)으로 가장 많이 배출되었으며 그 다음으로 벤젠 247톤(28.1%), 포름알데히드 108톤(12.3%), 시안화수소 76톤(8.7%)의 순으로 배출되었다. 2003년의 경우 염화수소의 배출량이 2,462.175톤(66.4%)으로 급격히 증가하는 추세를 보였으며, 벤젠 431.522톤(11.64%), 염소 168.829톤(4.55%), 시안화수소 168.327톤(4.54%)순으로 나타났다. 2003년은 3중사업장의 조사대상 추가로 인해 오염물질의 배출량이 전반적으로 2002년에 비하여 다소 증가한 추세였다.

특히, 독성과 폭발성을 가진 유해 대기오염물질의 경우 큰 분자량을 가지거나 중합체인 경우가 많아 주변 공기보다 무겁다는 특징을 가지고 있다. 예를 들어, 1984년 12월 인도의 보팔(Bhopal)에서 일어난 폭발 사고 시 누출된 메틸이소시아네이트(Methyl isocyanate, MIC)의 경우, 그 분자량이 57.05로서 20°C 정상온도에서 일반 공기의 2배나 밀도가 높다. 따라서 유해 대기오염물질의 확산 및 수송은 중력 침강(gravitational slumping) 및 혼합과정(entrainment process)에 의한 희석효과(dilution effect) 등을 고려하여야 하는 등 일반 대기오염물질과는 다른 특징을 가지고 있다. 이러한 특징을 모의하기 위하여 기존의 연구에서는 non-buoyant gaseous tracer의 확산 및 수송에 한정되어 라그랑지안 모델링에 적용하였으나, 라그랑지안 모델에 heavy gas의 밀도차에 의한 부력 보정을 통하여 heavy gas의 중력 침강 효과와 희석효과를 묘사할 수 있는 방법론이 Gopalakrishnan and Sharan (1997)에 의해 제시되면서 인도 보팔시의 폭발사고에 적용하는 등의 성과를 올렸다.

따라서 본 연구에서는 Gopalakrishnan and Sharan (1997)이 제시한 방법론을 이용하여 일반 대기오염물질 뿐만 아니라 유해 화학물질인 HAPs의 난류확산 수치모의에서 침적항과 부력항 추가에 따른 효과를 고찰하였다.

### 2. 연구 방법

대기 난류확산장에서의 유해 대기오염물질의 침적 및 중력 침강 효과를 수치모의하기 위해 대기확산 모델로는 지역대기환경모델로 최근 많이 사용되고 있는 RAMS (Regional Atmospheric Modeling System)를 사용하여 난류확산장을 계산하였고, 이를 침적항과 부력항이 추가된 라그랑지안 모델에 사용하여 유해 대기오염물질의 수송 과정을 모사하였다.

사용된 RAMS는 미국 남부 Florida 지역에 적용했던 해륙풍 모델(Pielke, 1974)로서 이후 콜로라도 주 럽대에서 추가 개발된 구름모델과 지형변환에 의한 대기순환 모델을 결합시킨 기상모델이다(Walko *et al.*, 1995). 기초 방정식은 연속 방정식과 운동 방정식, 열역학 방정식, 수분에 대한 물질 방정식이며, 기본적으로 압축성 유동을 모사하나 정역학 근사를 사용할 때에는 비압축성 유동 혹은 압축성 유동으로부터 음파를 제거한 비탄성 유동을 가정할 수 있다. 본 연구의 선행연구(원경미 등, 2004)에서는 RAMS 모델의 초기 입력자료들로서 기후학적으로 월 평균된 SST자료 대신 매일 관측되는 NOAA 극궤도 위성 SST자료와 지상 및 상층의 GTS 자료를 모델형식으로 변환하여 사용함으로써 초기 입력자료 개선에 따른 향상된 모델의 예측도를 검증할 수 있었다.

따라서 본 연구는 선행연구에 바탕을 두어 진행되었고, 난류확산 수치모델의 대상영역은 우리나라 지역 대기환경의 축소지역이라 할 수 있는 수도권 영역을 포함한 경기도 일대 지역으로 하였다. 이 영역은 대규모의 점배출원을 가지면서 복잡한 지형적 구조와 연안지역의 특성을 모두 갖춘 지역으로 대기오염의 시나리오 연출 시에도 적용 가능한 대표성을 띤 곳이다. RAMS는 한반도를 중심으로 3개의 등지격자계(nested grids system)를 포함하도록 하였다.

### 3. 결과 및 고찰

RAMS의 난류확산장을 따른 라그랑지안 수송과정에서 유해 대기오염물질들은 짧은 시간 내 오염원근방 대기내로 이동하여 영향을 미치면서 지표면부근에 쌓이는 것을 볼 수 있었다. 이를 통해 침적항과 부력항의 추가에 따른 효과를 확인할 수 있었으며, 특히 RAMS의 난류확산장에서 예측된 주풍향을 따라 이동확산 되어지므로 정확한 난류확산장의 예측이 유해 대기오염물질의 거동 예측에 무엇보다 중요한 인자임을 확인할 수 있었다. 또한 이러한 모델링 결과는 유해 화학물질의 비정상적 누출에 대비한 대응지침을 제공할 수 있으며, 유해 대기오염물질 저감대책 수립에 기초자료로 활용될 수 있으리라 본다.

### 참 고 문 헌

- 환경부 (2003, 2004), 화학물질 배출량조사 결과
- 원경미, 이화운, 정우식, 이귀옥, 김철희 (2004), 초기 입력 자료의 개선에 의한 RAMS 기상장 예측, 2004년 한국대기환경학회 추계학술대회
- 차준석 (2005), 국내 유해대기오염물질의 배출 인벤토리 구축, 유해대기오염물질 관리에 관한 국제세미나 자료집, 국립환경과학원
- ATMET (2002), RAMS Technical description, RAMS Technical Manual at Atmospheric Meteorological and Environmental Technology site (<http://www.atmet.com>)
- Gopalakrishnan S. G., and M. Sharan (1997), A lagrangian particle model for marginally heavy gas dispersion, Atmos. Envir., 31, 3369-3382