

방사선 비상시 대기확산모델을 이용한 방사능물질의 이동 추적

이관희, 문종이, 이진홍*

한국원자력안전기술원, 대전광역시 유성구 구성동 과학로 34

충남대학교*, 대전광역시 유성구 대학로 79

khlee@kins.re.kr

1. 서론

궤적(trajjectory) 모델은 대기중에서 오염물질의 source-receptor 관계를 연구하기 위한 분야에서 많이 사용되고 있으며, 특히 황사와 같은 대기오염물질의 장거리이동을 예측하기 위해서 기상연구소 및 대학교 등에서 많이 활용되고 있다. 궤적모델을 이용하면 원자력시설의 사고시 방사능물질의 방출 초기단계에서 방사능물질이 특정 관심지역(대도시 또는 인구밀집지역 등)으로의 이동여부와 이동시간을 빠르게 계산할 수 있으며, 지하핵실험에 따른 방사능물질 방출시 이를 탐지하기 위한 최적의 탐지장비 위치선정 등에 활용될 수 있다.

본 논문에서는 원자력시설의 사고 또는 지하핵실험 등에 따른 방사능물질의 대기 중 방출시 이러한 방사능물질의 대기중 이동을 추적할 수 있는 대기확산모델을 소개하고자 한다.

2. 대기확산모델

방사능물질의 대기중 확산은 방출지점 및 주변지역의 풍향·풍속 및 대기안정도 등의 기상특성에 따라 달라진다. 따라서, 대기중 확산 특성을 보다 정확히 예측하기 위해서는 방출지점 및 이동지역의 기류 흐름 등을 정확히 예측할 수 있는 기상장 예보모델과 이를 이용하여 오염물질의 대기중 거동(침적, 물리/화학적 반응, 수송 등)을 정확히 예측할 수 있는 대기확산모델이 필요하다. 또한, 대기중 방사능물질의 농도를 보다 정확히 예측하기 위해서는 정확한 방출량 정보(선원항)도 필수적이다.

그러나, 방사능물질의 방출 초기단계에서 선원항 정보를 정확히 파악하기는 어려울 수 있으며, 이동방향 예측을 위해서는 정확한 선원항 정보보다는 정확한 방출지점 정보가 보다 중요하다.

방사능물질의 대기중 이동을 보다 정확히 예측하기 위해서 궤적모델은 3차원으로 전방향 및 역방향으로 궤적 추적이 가능하여야 하며, 방출지점 및 방출시간에 대한 불확실성을 고려하여 방출지점 및 방출시간을 조금 달리하여 추적할 수 있는 기능(ensemble 기능)이 있어야 한다. 이와 같은 궤적모델의 기능을 만족하면서 online에서 쉽게 계산할 수 있는 모델에는 다음과 같은 것이 있다.

가. HYSPLIT

HYSPLIT(Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated Transport) 모델은 미국 국립해양대기청(NOAA) 산하 대기연구소(ARL)와 호주 기상청이 공동 개발한 모델로, 미국, 호주, 중국 등의 지역기상특별센터(RSMC)에서 비상대응모델로 이용되고 있으며, 다른 여러 기관에서도 오염물질의 장거리수송 모델로 사용하고 있다. 특히, 이 모델은 오염물질의 농도뿐만 아니라 오염물질의 전방향 및 역방향으로의 궤적 추적도 가능한 코드로 국내에서도 황사 등의 대기오염물질 장거리이동을 예측하기 위해서 많은 연구기관에서 활용하고 있다. 본 모델은 NOAA 홈페이지(<http://www.arl.noaa.gov/ready/hysplit4.html>)에서 on-line으로 전세계 모든 지점에서의 오염물질 농도 및 궤적추적이 가능하여 많은 연구자들이 활용하고 있다. 그림 1은 NOAA 홈페이지에서 2009년 3월 12일 서울지점에 도착한 공기괴를 3시간간격으로 역추적한 결과이다(500, 1000, 1500m의 3개 고도).

나. FLEXTRA 및 FLEXPART

FLEXTRA는 노르웨이 대기연구소(Norwegian Institute for Air Research, NILU)의 Andreas Stohl이 개발한 궤적모델이다. 본 모델은 포트란코드로 작성되었으며 소스 코드를 인터넷에 공개하여 누구나 다운로드해서 이용할 수 있으며, 대기중 확산농도 예측을 위한 라그랑지안 모델인 FLEXPART와 함께 17개국의 35개 그룹에서 대기확산 관련하여 다양한 분야에서 활용되고 있다. NILU 홈페이지(<http://tarantula.nilu.no/trajectories/index.cfm>)에서는 ECMWF 기상자료를 이용하여 전세계 293개 지점에서 6시간간격의 역방향으로 궤적추적한 결과를 확인할 수 있다. 또한, 사용자가 포트란코드 및 NOAA 기상자료 등을 이용하여 원하는 지점에서의 궤

적 및 농도를 계산할 수 있다. 그림 2는 NILU 홈페이지에서 2009년 3월 12일 서울지역에 도착한 공기괴를 3 시간간격으로 역추적한 결과이며(500, 1000, 1500m의 3개 고도) 그림 1의 HYSPLIT 결과와 유사하게 나타났다. 그림 3은 라그랑지안 대기확산모델인 FLEXPART를 PC에 설치하여 NOAA의 GFS자료를 이용하여 계산한 결과를 GrADS 프로그램으로 표출한 예제이다.

3. 고찰

원전 사고시 방출지점에 대한 정확한 정보를 알 수 있으나, 지하핵실험과 같은 경우에는 최초의 지점분석(지진파분석 등) 자료는 어느정도 불확실성을 포함할 수 있다. 이런 경우에는 방출지점과 어느정도 떨어진 주변지점의 궤적분석을 통하여 시간에 따른 두 궤적의 이동 방향을 비교하면 방출지점의 불확실성에 따른 영향을 어느정도 파악할 수 있다. 또한, 방출고도도 방사능물질의 정확한 궤적추적을 위해서는 정확한 자료가 필요하다. 원전 사고시에는 건물의 배기구 위치 등을 통하여 방출고도를 산정할 수 있으며, 지하핵실험의 경우에는 지표면방출로 가정할 수 있다. 그러나, 방출 당시의 대기상태에 따라 필요시 연기 상승효과(plume rise)를 고려하여야 정확한 계산이 가능하나, 이와 같은 정보가 없을 경우에는 상기 방출고도 이외에 몇 개의 고도를 추가하여 이동경로를 추적한다면 방출고도의 불확실성에 따른 궤적의 이동경향을 파악할 수 있다. 또한, 방출 시작 및 지속 시간에 대한 정보가 없을 경우에는 방출 예상시간 전후로로 궤적을 추적하여 이에 따른 궤적의 변화경향을 종합적으로 파악할 필요가 있다.

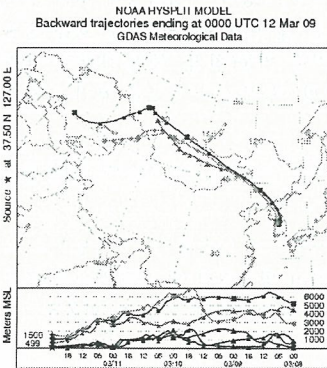


그림 1. HYSPLIT 역추적 결과

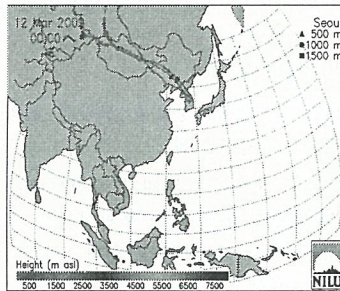


그림 2. FLEXPART 역추적 결과

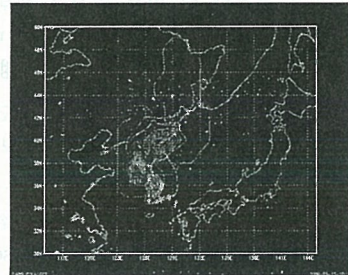


그림 3. FLEXPART 농도 계산 결과

참고문헌

1. HYSPLIT 홈페이지(<http://www.arl.noaa.gov/ready/hysplit4.html>)
2. Stohl, A., G. Wotawa, P. Seibert, and H. Kromp-Kolb (1995): Interpolation errors in wind fields as a function of spatial and temporal resolution and their impact on different types of kinematic trajectories. *J. Appl. Meteor.* 34, 2149-2165.
3. Stohl, A., M. Hittenberger, and G. Wotawa (1998): Validation of the Lagrangian particle dispersion model FLEXPART against large scale tracer experiments. *Atmos. Environ.* 32, 4245-4264.
4. FLEXPART 홈페이지(<http://tarantula.nilu.no/trajectories/index.cfm>)