

CA1) 1999년 5월 종관기상 변화에 따른 동북아시아 대기오염물질의 분포 특성

Distribution of Air Pollutants in Northeast Asia According to Synoptic Meteorology in May 1999

김진영, 김영성, 원재광¹⁾, 윤순창¹⁾

한국과학기술연구원 지구환경연구센터

¹⁾서울대학교 지구환경과학부

1. 서론

동북아시아 지역은 전세계적으로 인구가 조밀하고 경제발전 속도가 빠른 지역으로, 이에 따라 막대한 양의 대기오염물질이 배출되고 있다. 이 지역의 대기오염 특성으로는 (1) 막대한 양의 인위적인 대기오염물질 배출, (2) 흙먼지의 배출, (3) 편서풍을 들 수 있다 (문길주 등, 1996).

본 연구에서는 동북아시아 지역을 대상으로 기류이동의 변화에 따라 대기오염물질의 분포가 어떻게 달라지는가를 보고자 하였으며, 이를 위하여 우리나라 시간으로 1999년 5월 6-7일과 5월 11-12일의 바람장 및 대기오염물질의 농도 변화를 비교 분석하였다. 대기질 모델로는 US EPA (1999)의 Models-3/CMAQ (Models-3 Community Multi-scale Air Quality)을 이용하였고, 기상 모델로는 PSU/NCAR의 MM5 (Mesoscale Model)를 이용하였다 (NCAR, 1999).

2. 자료

대기질 모델링을 위한 대상영역은 동북아시아 지역 5,184 km × 3,456 km로서, 격자 크기는 108 km × 108 km, 대상 영역의 격자 개수는 동서 방향으로 48개, 남북 방향으로 32개로 하였다. 연직 방향으로 500 hPa 높이까지 6개의 층으로 구분하였다.

배출량 자료는 미국 University of Iowa의 Carmichael 교수가 ACE-ASIA (Asian Pacific Regional Aerosol Characterization Experiment) 프로젝트의 일환으로 산정한 1° × 1° 간격 자료를 이용하였다. 결과 해석을 용이하게 하기 위하여 배출량의 일변화는 가장 단순한 형태로서 24시간 동안 배출량이 일정한 것으로 가정하였다. 토지 이용도 자료는 MM5 모델의 입력 자료를 연계하여 이용하였으며, 광해리 계수를 구하는데 필요한 입력 자료와 영역 내의 경계 및 초기 조건은 US EPA에서 예시로 제공한 자료를 이용하였다. Homogeneous initialization을 이용하였기 때문에 초기 조건의 불확실성을 배제하기 위해서는 모델의 초기 적용 기간이 충분히 길어야 한다. 따라서 모델링 시작 후 39시간 이후의 자료만을 결과분석에 이용하였다.

3. 결과

3.1 바람장

모델링 기간 전반에 걸쳐 중국 남부 지역에서는 동풍 계열의 바람이, 중국 중북부 지역에서는 남풍 계열의 바람이 지배적이었으며, 한반도와 일본 열도의 남쪽 해상에서 대만까지는 북동풍이 지배적이었다. 서풍은 중국 북부 지역에서 시작하여 한반도 북부와 일본 열도 북부를 거쳐 태평양으로 불어나가는 형태를 보인다.

3.2 1차 오염물질의 공간 분포

NO₂는 반응이 비교적 빠른 1차 오염물질로서 장거리 이동되는 모습은 나타나지 않으며 주로 배출원 근처에서 농도가 높다. 24시간동안 배출량이 일정한 것으로 가정하였기 때문에 혼합고가 높아지는 오후 시간대에 농도가 낮아지며, 혼합고가 낮아지는 새벽 3시에 배출원을 중심으로 농도가 높게 나타나는 현상을 볼 수 있다. Toluene도 NO₂와 마찬가지로 주로 배출원 근처에서 농도가 높으며 낮시간대에 농도가 낮고 밤시간대에 농도가 높다.

3.3 2차 오염물질 농도의 공간 분포

우선 하루 중 오존 농도가 가장 높아지는 오후 3시의 오존 농도를 보면, 최고 농도는 중국 남동부 해안 지역에서 나타나며, 대륙 지역뿐 아니라 오염물질의 배출이 없는 해양 지역까지 대부분의 지역에서 오후 3시의 오존 농도가 50 ppb 이상이다. 또한 오후 3시 오존 농도 분포에서 특이할 만한 사실은 우리나라의 서울을 중심으로 한 수도권 지역의 오존 농도가 높지 않다는 것과 한반도 서남단부터 제주도에 걸쳐 오존 농도가 높다는 것인데, 한반도 서남단과 제주도에서는 5월 6일 오전에는 북풍, 5월 6일 오후부터 7일에 걸쳐서는 북동풍이 불었기 때문에 한반도에서 발생한 오염물질의 이동에 의해 오존 농도가 높아진 것으로 해석된다. 밤시간에는 오염물질의 배출이 있는 대륙 지역에서는 오존 농도가 낮고 오염물질의 배출이 없는 해양 지역에서는 오존 농도가 높다.

PAN은 오존과 마찬가지로 광화학 반응에 의한 2차 생성물질이기 때문에 오염물질의 배출이 많은 지역 주변에서는 대체로 오존 농도가 높은 곳에서 PAN 농도도 높게 나타난다. 한편 오염물질의 배출뿐만 아니라 오존 농도도 낮은 중국 중부 내륙지역에서 고농도의 PAN 영역이 넓게 나타나고 있는데, 이 지역의 PAN 농도 증가는 NO_x 배출이 많은 중국 동부 해안가에서 생성된 PAN이 동풍을 따라 장거리 이동한 것으로 해석된다.

3.4 제주도 고산과 서울에서의 시간별 농도 변화

그림 1과 2는 제주도 고산과 서울에서의 PAN과 HNO₃의 시간별 농도를 나타낸 것이다. 서울 지역의 PAN 농도는 약 0.1 ppb 전후로 거의 일정한 것에 비해 제주도 고산에서는 5월 6일 0시에는 약 0.025 ppb이던 것이 점차 증가하여 같은 날 15시에는 약 0.28 ppb로 증가하였으며, 이후로 5월 7일까지는 약 0.25 ppb 전후의 농도가 유지된다. HNO₃ 농도는 서울 지역에서는 낮에 높고 밤에 낮아지는 일반적인 일변화 경향을 보이는 것에 비해 제주도 고산에서는 계속 증가하고 있다. 즉, 제주도 고산에서의 PAN 및 HNO₃ 농도 증가는 외부로부터의 오염물질의 이동에 의한 것으로 추측된다.

감사의 글

본 연구는 환경부 차세대핵심환경기술개발사업인 "미량독성 유해물질의 장거리 이동특성 분석과 영향평가 기술" (과제번호 2001-44001-8)과 과학기술부 황해종합조사사업 중 "해양-대기 조사 연구" (과제번호 98-LO-01-01-A-03)의 일환으로 수행되었습니다.

참고 문헌

- US EPA (1999) User Manual for the EPA Third-Generation Air Quality Modeling System (Models-3 Version 3.0), EPA-600/R-99/055, Research Triangle Park, USA.
- 문길주 등 (1996) 동북아 대기오염 장거리 이동과 환경보전협력 방안에 관한 조사(I), 국립환경연구원.
- NCAR (National Center for Atmospheric Research) (1999), PSU/NCAR Mesoscale Modeling System Tutorial Class Notes and User's Guide: MM5 Modeling System Version 2. NCAR, USA.

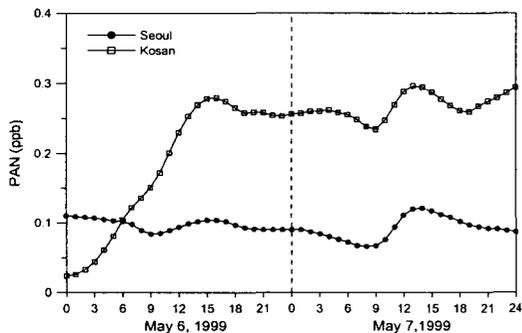


Fig. 1. Time series of PAN concentrations at Seoul and Kosan.

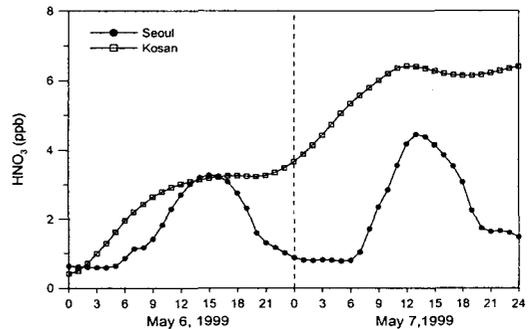


Fig. 2. Time series of HNO₃ concentrations at Seoul and Kosan.