

GE1

황해상공에서의 황화합물의 장거리이동 특징에 대한 사례 연구

A Episodic Study on the Long-range Transport of Sulfur Compounds over the Yellow Sea Area

김 병 곤 · 안 준 영 · 강 창 국 · 박 철 진 · 한 진 석 · 강 인 구
국립환경연구원 대기연구부

1. 서 론

대기중 황화합물은 강수나 에어로졸 생성에 중요한 역할을 담당한다. 대류권 하층에 존재하는 산성침적물이나 광화학 산화물 등 대기오염물질은 평균 체류시간이 1일에서 1주일정도로 보통 수백에서 수천 km까지 이동이 가능하다. 황산염의 북반구 중위도에서 대기중 체류시간은 겨울철에는 4~6일, 여름철 6~15일로 조사된 반면에 SO₂의 체류시간은 2~3일로 매우 짧다(Benkovitz et al., 1994). SO₂는 장거리이동 과정에서 황산염인 입자상으로 변환하여 에어로졸 상태로 존재하면서 직접적으로 빙을 산란 혹은 흡수시키며, 간접적으로는 구름의 응결핵으로 작용하여 구름물리를 변화시키고 결국 지구복사 체계를 변화시키고 있고, 황산염의 전지구적 냉각률은 약 -1.1 W/m²로써 CO₂ 및 다른 온난화가스에 의한 온실효과(1.5, 0.95 W/m²)에 필적하는 수준이다(Charlson et al., 1991). 이와 같이 SO₂의 황산염으로의 변환은 대기오염물질의 장거리이동현상과 관련한 생태계 산성화문제와 함께 이것이 지구 복사에너지 수지에 어떻게 영향을 주는 가에 대해서도 관심을 갖고 연구가 진행중에 있다(Lelieveld and Heintzenberg, 1992; Langner et al., 1992).

이러한 점들을 감안할 때 동북아시아의 지역적인 규모에서의 황화합물의 장거리이동 특징을 파악하는 것은 이 지역의 대기 및 생태계 보전을 위해서 필요하며, 그리고 나아가 지구적인 규모에서의 복사와 관련된 기후 변화 등에 미치는 영향 산정을 위해서도 우선적으로 해결해야 할 과제로 판단된다.

2. 내용 및 방법

본 연구에 사용된 항공기는 10인승 고정익 쌍발기(Chieftain, USA Piper Co)이며, 항공기 바닥면에 설치한 시료유입 노즐을 통해 기류가 유입되도록 설계되었다. 상층비행중 가스상물질 및 입자개수농도 등의 오염물질을 채취하는데 사용된 노즐은 stainless steel 재질로서 서로 다른 크기로 2개를 제작하여(Gas 측정용 및 입자개수농도 측정용) 이전의 비행과 동일하게 장착하여 사용하였다. 항공기 내부에는 가스상 측정기(SO₂, NO, NO_x, O₃ 분석용, THERMO - Trace level)와 입경별 입자개수측정기(Optical Particle Counter, RION KC-01C) 등을 탑재하였다. 이밖의 측정기들의 검·교정 및 자세한 분석방법은 김병곤 등(1997)의 방법과 동일하게 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

항공 측정은 2회로 나누어 실시하였는데 (1회 : '98년 4월 26일~4월 27일, 2회 : '98년 11월 7일~11월 10일), 1차 측정을 실시한 4월 26일 오전에는 1000m고도를 거의 일정하게 유지하며 125.0E, 37.0N, 126.0E, 36.0N, 127.0E 선상을 운행하며 대기오염물질을 측정하였고 오후에는 오전과 동일한 경로로 단지 고도를 3000m 부근으로 유지하였다. 4월 27일에는 오전과 오후 모두, 고도별 오염농도 특징을 살펴 보기 위하여 37.0N~36.3N까지 300, 600, 1200, 3000m로 고도를 변화해 가면서 대기오염물질을 측정하였다. 그리고 2차 측정인 11월 7일의 비행경로는 4월 26일과 같게 하면서 1000m 고도를 비행하였고, 8일에는 오전에 김포공항을 출발하여 서해상공 125.0E 선상을 따라 37.0N~35.0N까지 비행한 후 광주공항도착하였고, 오후에 광주공항을 출발하여 역순으로 비행하였다. 그리고 11월 9일에는 37.0N~36.0N 사이를 500, 1000, 2000, 3000m로 고도를 변경하면서, 11월 10일에는 4월 27일 측정과 같이 37.0N~36.3N 사이를 500, 1000, 1200, 1500, 1800, 2100, 2500, 3000m로 고도를 변화시키면서 왕복비행하였다.

항공측정기간중인 4월과 11월에 측정된 SO₂, O₃, NO_x, 입자개수농도의 연직 구조특징을 살펴보았다.

입경별 입자개수농도는 광학입자 개수측정기(OIPC)를 이용하여 0.3~10 μ m(5개 채널)범위를 측정하였는데 OIPC는 대기 시료를 흡입하여 개개의 입자에 의한 산란과의 강도를 측정하여 입자의 크기를 추정하는 방식이다. 4월과 11월 측정결과 모두 O₃과 NO_x는 연직으로 변화가 크지 않은 것을 알 수 있었으나 SO₂와 입자개수농도는 하층에서 변화가 심하였으나 상층으로 올라갈수록 변화범위는 감소하면서 절대농도 역시 뚜렷하게 감소하는 것으로 나타나고 있었다. 이는 지상부근에서 이들이 배출되어 경계층내에서 장거리 수송되었음을 나타내는 것이라고 생각한다. 특히 11월 8일 오전과 오후에 지상에서 1000~1500m 부근까지 SO₂와 입자개수농도의 증가가 현저하게 나타났다.

1998년 11월 8일의 경우 앞에서 언급한 바와 같이 SO₂가 1000m 이하 하층에서 고농도가 관측되었는데 이 때 입자개수농도가 전체 입경 영역에서 고르게 증가하는 것으로 나타난 반면에 O₃ 농도는 감소하는 것으로 나타났다. 이 당시의 일기도 분석에 의하면 화남지방에 키작은 고기압이 발달하고 북만주에서 기압골이 남서쪽으로 팽창함에 따라 1000~2000m 상공에서 10m/s 정도의 강한 서풍이 서해 상공에서 불고 있었다. 그리고 11월 8일의 유선분석 결과를 살펴보다도 한반도 서해 상공에 유선이 조밀하게 수렴하고 있는 것을 알 수 있었다. 이 기간동안의 자료를 살펴보면 그 동안의 11월 8일의 SO₂ 농도가 11월 8일을 제외한 전·후 시기나 4월 측정결과에 비해 고농도 예피소드인 것으로 분석되었다(그림 1).

이를 종합하면 기류가 SO₂ 배출량이 밀집되어 있는 산둥반도 상공을 통과하면서 고농도 SO₂와 다량의 mineral aerosol이 강한 서풍기류를 타고 장거리 수송되었는데 이와 함께 O₃과 같은 산화제들도 같이 이동하면서 산화반응을 통해 황산염으로 변화하였고, 이 과정에서 입자표면에서의 산화반응이 중요한 인자로 작용하였을 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

- 김명곤 등 (1997) 한국대기보전학회지, 13(5), 361-369.
 기상청 (1998) 기상월보(11월).
 Benkovitz C.M. et al. (1994) Journal of Geophysical Research, 99, 20725-20756.
 Charlson, R.J., et al. (1991) Tellus 43AB, 152-163.
 Langner J. and H. Rodhe (1991) Journal of Atmospheric Chemistry, 13, 225-263.
 Lelieveld J. and J. Heintzenberg (1992) Science, 258, 117-120.

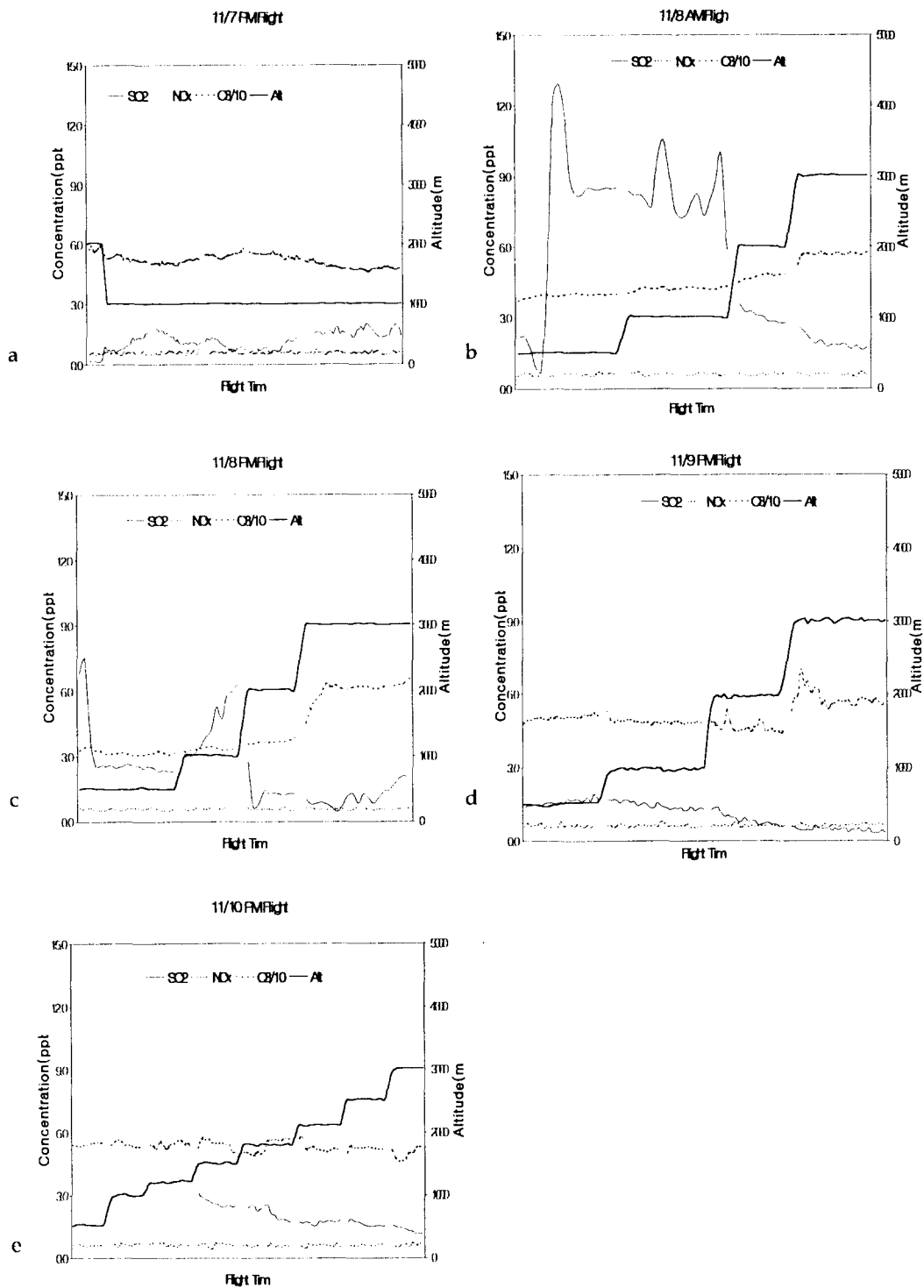


Fig. 1. The results of SO₂, NO_x and O₃ measurement according to the variation of altitude, November 7(a), 8 AM(b), 8 PM(c), 9(d) and 10(e), 1998.