

PC1) 2009년 봄철 중국으로부터 먼지 및 오존의 장거리 수송 메커니즘과 플럭스 추정

Estimation of Flux and Mechanism on Long-Range Transport of Dust & Ozone From China in Springtime 2009

문 윤 섭

한국교원대학교 환경교육과

1. 서 론

최근 지구 복사 수지에서 대기 황사(dust)의 영향은 IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007) 보고서에서 잘 나타나있다. 동아시아에서 고비 및 타칼라마칸 사막과 다른 건조 지역이 황사의 주요 배출원이며, 주로 봄철에 발생한다. 봄철의 황사 발생 원인은 상층 제트스트림과 관련하여 지상 저기압 발달에 따른 강한 지상풍과 한랭전선과 관련이 높다(Sun et al., 2001; Kurosaki and Mikami, 2003; Hayasaki et al., 2006). 황사의 장거리 수송에 관한 연구 사례로는 한국 및 일본을 포함하여 알래스카, 캐나다, 북아메리카, 그린랜드를 포함하고 있다(Yasunari and Yamazaki, 2009).

한편 황사기간 동안은 상층에 제트스트림이 발달하고 있으므로 황사뿐만 아니라 대기오염물질의 장거리 수송과 성층권-대류권 또는 자유대기-대기경계층(에크만층)에서 오존 교환이 가능하다(Zanis et al, 2003; Borchi et al., 2005). 중위도 지역에서 성층권-대류권 오존 교환은 상층 제트스트림의 절리 저기압 발달에 따른 대류권계면 접힘현상으로 설명할 수 있다. 기상 역학적 관점에서 절리 저기압은 등온위면에서 높은 잠제와도값을 나타내는 영역을 가르키며, 이 때 대류권계면의 높이는 이 값이 약 1.5에 해당한다(Holton et al., 1995).

본 연구에서는 CMAQ(Community Mutiscale Air Quality)모델을 이용하여 WRF(Weather Forecasting Research) 기상장과 SMOKE 황사 및 대기질 배출량을 이용하여 절리저기압의 발달에 따른 황사 및 오존의 장거리 수송 과정을 파악하고 그 연직 플럭스를 추정코자 한다.

2. 연구 방법

WRF(Weather Forecasting Research) 기상장의 물리과정은 WSM 6-class(WRF) 미물리 과정, Kain-Fritsch 운물리 과정, YSU 대기경계층(PBL) 등을 적용하였다. 발원지의 황사 발생은 5개의 황사 발생 경험식을 이용하였는데, Westphal et al.(1987, 1988)은 마찰속도를 이용하여 $10\mu\text{m}$ 보다 작은 먼지입자의 플럭스를 추정하였고, Park and Inn(2003) 등은 이를 발전시켜 $10\mu\text{m}$ 보다 큰 먼지에 대해서도 적용할 수 있는 경험식을 제시하였다. 또한, Wang et al.(2000)은 토지 타입과 습도를 고려하고, 부유입자의 크기분포에 따라 발생량을 산정하는 방법을 개발하였으며, Ginoux et al.(2001)은 Gillette and Passi(1988)에 의해 개발된 경험식을 개량하여 지형적 침전 확률과 지상풍의 풍속, 입자 크기에 따른 입계풍속을 적용하여 배출량을 산정한 GOCART 모델을 개발하였고, Zender et al.(2006)은 White(1979)의 이론에 의한 황사배출 산정 모델인 DEAD 모델을 개발하였다. 그리고 중국의 대기질 자료는 ACE-Asia 프로젝트 기간동안 작성된 자료를, 국내의 경우는 CAPSS 배출량 자료를 활용하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 1은 2009년 3월 17일 오후 4시 CMAQ을 이용한 SO_4^{-2} 와 O_3 농도분포를 나타낸 것이다. 이 날은 $200\sim 300\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 약한 황사가 발생하였으며, 오존농도가 백령도를 비롯하여 여러 연안지역에서 80ppb로 비교적 높은 농도가 나타난 날이다.

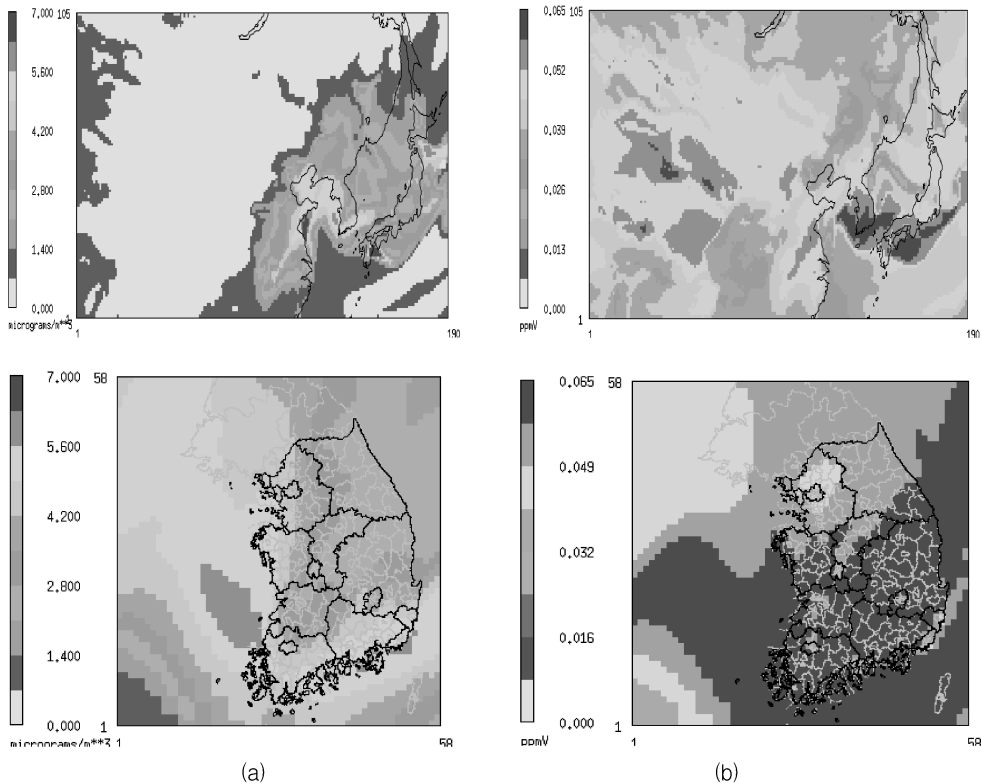


Fig. 1. Spatial distribution SO_4^{-2} and ozone concentration at 1600 LST on 17 March 2009.

지표면에서의 모델링 결과, 백령도의 먼지 농도는 중국에서 서해안 남쪽으로 수송된 후 다시 북상하여 수송되었으며, 오존의 경우는 상층으로부터의 침투를 통해 남쪽에서 북쪽으로 수송되어 나타났다. 그리고 수송된 오존의 연직 플럭스는 $F(\text{O}_3) = ((N(\text{O}_3) \times D_z)_t - (N(\text{O}_3) \times D_z)_{t-1}) \times \nabla t$ 로 계산할 수 있다. 여기서 $N(\text{O}_3) = P(\text{O}_3)/kT$ 로 오존 수농도(molecules/cm³), D_z 는 주어진 층의 두께, $P(\text{O}_3)$ 는 오존 분압, k 는 Boltzmann 상수 (1.3807×10^{-19}), T 는 기온, $\nabla t = t_t - t_{t-1}$ (sec)로 수치모의 시간간격을 나타낸다. 또한 먼지의 연직 플럭스는 $N(\text{O}_3)$ 대신에 먼지 농도($\mu\text{g}/\text{m}^3$)를 그대로 적용하여 계산할 수 있다.

사 사

본 연구는 한국학술진흥재단의(KRF-2006-331-C00297)의 “WRF-CMAQ 모델을이용하여 봄철 동아시아 상공에서 질리저기압의 발달시나리오에 따른 오존 및 미세먼지(황사)의 연직 플럭스 추정” 연구의 일환으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- Borchi, F., E. Oikonomou, and A. Marengo (2005) Extratropical case study of stratosphere-troposphere exchange using multivariate analyses from mozaic aircraft data, *Atmospheric Environment*, 39, 6537-6549.
- Yasunari, T.J. and K. Yamazaki (2009) Impacts of Asian dust storm associated with the stratosphere-to-troposphere transport in the spring of 2001 and 2002 on dust and tritium variations in mount Wrangell ice core, Alaska, *Atmospheric Environment*, 43, 2582-2590.