

BC3) **봄철 대류권오존의 고농도특성과 발생원인에 관한 연구** **Characteristics and mechanisms of Tropospheric Ozone Enhancement in Springtime**

김유근 · 송상근 · 오인보
부산대학교 대기과학과

1. 서 론

대류권오존의 기원은 크게 두 부분으로 나누어진다. 첫 번째, 오존의 전구물질인 CO, NO_x, 그리고 non-methan hydrocarbon이 빛과 작용하여 형성되어지는데, 이러한 조건에 부합되는 시기는 태양의 일사량이 풍부하고 온도가 높은 5~9월경이다. 두 번째는, 제트기류가 위치하는 곳에서 대기의 섭동에 의해 대류권계면 접힘 (tropopause folding) 현상 발생시 오존 전량의 90%가 존재하는 성층권에서 다량의 오존이 대류권으로 유입되기도 한다 (Fishman et al., 1979; Uccellini et al., 1985). 이러한 대류권계면 접힘 현상은 늦겨울과 봄철에 가장 활발하다. 특히, 최근에는 성층권오존의 침투로 인한 대류권오존 증가현상에 관심을 가지기 시작하면서부터 많은 연구자들이 대류권계면 접힘과 관련하여 중관 기압배치에 대한 오존의 공간적인 연구에 집중하고 있는 실정이다 (Danielsen, 1980; Austain and Follows, 1991; Stohl et al., 1999). Murao et al. (1990)의 연구에 따르면 1987년 봄에 일본 Sapporo 교외지역의 Teine 산 근처에서의 오존자료 분석을 통하여 이동하는 기압능/기압골 시스템에서 고기압 패턴과 함께 오존의 하향수송을 확인한 바 있으며, Davis (1994)는 대류권계면 접힘에 의해서 성층권의 풍부한 오존을 함유한 공기괴는 상층의 기압골을 따라 지표의 한랭전선 뒤에서 저기압세력의 앞쪽을 통과하면서 침투된다고 밝혔다. 최근 국내에서는 Kim et al. (2000)이 지표부근에서의 오존증가현상을 상·하층의 중관 기압 배치에 의한 연직이류, 하층제트에 의한 수평 수송을 사례연구를 통해 관련성을 확인하였다. 그러나 국내에서는 수행된 연구의 대부분이 관측자료의 부족으로 인해 연구가 미흡한 상태이며 일부 관련 연구에서도 정성적인 분석에만 국한되어 있는 실정으로 앞으로 측정망의 확대와 선진 연구기술 개발이 요구된다. 본 연구에서는 사례연구로서 한반도 부산 및 포항을 중심으로 봄철 대류권오존 농도의 증가현상을 파악하고 그 특성을 분석하며, MM5 모델과 HYSPLIT 모델을 이용한 중관기상장의 시·공간적 변동성을 분석하여 고농도오존의 발생원인과 수송경로 등을 분석하고자 한다.

2. 연구 방법

본 연구에서는 봄철의 대류권 고농도오존 현상을 분석하기 위해 부산지역의 1999년 5월 1일을 중심으로 환경부 산하 9개 대기오염 측정소의 지표오존 및 기타 오염물질자료와 오존의 지상 및 상층 관측 자료의 확보가 가능한 포항기상대에서 관측한 자료 (오존관측연보, 고층기상월보 등)를 이용하였으며, 중관 기압배치 및 기상분석을 위해 지상과 상층기도를 이용하였다. 또한 대류권계면 접힘 현상에 의하여 성층권에서 유입되는 오존의 하향수송을 알아보기 위하여 중규모 기상장 모델인 MM5와 RIP (Read/Interpolate/Plot)을 이용하여 사례일의 기상요소 즉 이차순환의 바람벡터, 지오폠펜셜 고도, 잠재와도 등을 분석하였다. 초기 기상장 입력자료는 대상일의 NCEP (National Centers for Environmental Prediction)에서 제공하는 전지구 분석자료 (GDAS: Global Data Assimilation System)를 이용하였고, 대상영역은 위도 20~60° N, 경도 80~150° E이고 격자간격은 60 km의 해상도를 가진다. 아울러 고농도 오존의 기원 및 오염물질의 발생원을 역으로 추정하기 위해 Draxler 등에 의해 오염물질 입자의 침적, 확산을 추정하기 위해 개발된 HYSPLIT 4 (HYbrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory) 모델을 이용하여 후방궤적 (backward trajectory) 분석이 수행되었다.

3. 결과 및 고찰

3.1 사례일의 오존농도 분석

부산지역에 고농도현상이 발생한 1999년 5월 1일을 중심으로 대기오염 측정소에서 관측한 지표오존과 인근지역인 포항기상대에서 관측한 연직오존의 농도분포를 비교분석하였다.

3.2 사례일의 기압배치 분석

고농도오존이 발생한 사례일을 선택하여 일기도를 분석한 결과, 한반도의 상층에 강한 제트류와 함께 기압골이 위치하고, 이러한 상층의 강한 기압골과 온도구배로 인하여 cold advection이 생성되며, 지표 부근에서는 한반도 우측의 전선을 동반한 저기압 세력을 따라 대륙성 고기압이 한반도 쪽으로 확장되는 종관 기압패턴을 나타내었다.

3.3 성층권오존의 하향수송

본 연구에서는 봄철 부산지역의 고농도오존 현상은 광화학생성과 함께 대류권계면 접힘과 같은 대기의 dynamic behavior에 의해서 상층의 오존이 대류권 하부까지 내려온 것으로 볼 수 있다. 실제로 성층권오존의 대류권 유입에 대한 검증을 위해 Fig 1과 같이 북만주에서부터 한반도까지의 연직 단면도를 나타내었다. Fig. 1a는 고농도오존이 발생하기 몇 시간 전 (1999년 4월 30일, 1500 UTC)의 수송경로를 나타내고 있으며, 이때에 대류권계면 접힘 현상으로 인해 등온위면을 따라 중·하부 대류권까지 내려온 잠재와도는 그 다음날 (5월 1일, 0600 UTC) 부산의 지표부근에서 매우 높은 값 (1.5 PVU 이상)을 나타내고 있음을 Fig. 1b에서 관찰 할 수 있었다. 이것은 상층에서 하층으로의 물질 수송이 가능하다는 것을 말하며, 하부성층권에 존재하는 오존이 한반도 상층에서 하층으로 유입되었다는 것을 나타내고 있다.

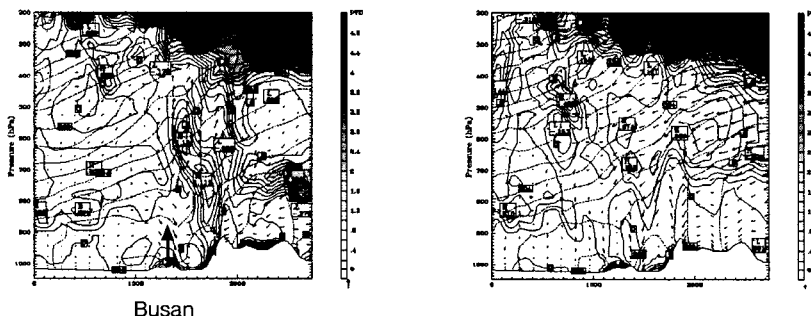


Fig. 1. Vertical cross section for potential vorticity ($1\text{PVU}=10^{-6}\text{m}^2\text{sec}^{-1}\text{Kkg}^{-1}$, solid lines), isentropes (K, dashed lines), and vertical wind velocity (arrows) at 1500 UTC on 30 April (a) and 0600 UTC on 1 May (b) 1999.

참고 문헌

- Austin, J. F., and M. J. Follows, 1991. The ozone record at Payerne: an assesment of the cross-tropopause flux. *Atmospheric Environment* 25A, 1873-1880.
- Danielsen, E. F., 1980. Stratospheric source for unexpectedly large values of ozone measured over the Pacific Ocean during Gametag, August 1977. *Journal of Geophysical Research* 85(C1), 401-412.
- Davis, T. D., and E. Schuepbach, 1994. Episodes of high ozone concentrations at the earth's surface resulting from transport down from the upper troposphere/lower stratosphere: a review and case studies. *Atmospheric Environment* 28, 53-68.
- Fishman, J. V., Ramanathan, P. J. Crutzen, and S. C. Liu, 1979. Tropospheric ozone and climate, *Nature*, 282, 818-828.
- Kim, Y.K., H.W. Lee, J.H. Kim, Y.S. Moon, and S.K. Song, 2000. Characteristics of near-surface ozone distribution, *Journal of the Korean Environmental Science Society* 4(3), 127-138.
- Murao, N., Ohta, S., Furuhashi, N. and Mizoguchi, I, 1990. The causes of elevated concentrations of ozone in Sapporo, *Atmospheric Environment* 24A, 1501-1507.
- Stohl, A., N. Spichtinger-Rakowsky, P. Bonasoni, H. Feldmann, M. Memmesheimer, H.E. Scheel, T. Trickl, S. Hubener, W. Ringer, M. Mandl, 1999. The influence of stratospheric intrusions on alpine ozone concentrations, *Atmospheric Environment* 34, 1323-1354.
- Uccellini, L. W., D. Keyser, K. F. Brill, and C. H. Wash, 1985. The presidents day cyclone of 18-19 February 1979: Influence of upstream trough amplification and associated tropopause folding on rapid cyclogenesis.