

2D1) 한반도 대류권 오존의 기원: 인위적 영향 혹은 성층권으로부터의 유입 The origin of tropospheric ozone: The anthropogenic or stratospheric influence

김재환 · 이현진 · 이상희¹⁾

부산대학교 대기과학과, ¹⁾항공우주연구소

1. 서 론

대기 중 전체 오존의 약 10%를 차지하고 있는 대류권 오존은 대류권의 화학구성을 조절하고, 기후를 변화시키며 인체와 식물에 해로운 영향을 끼친다. 이러한 대류권 오존은 최근 동아시아에서 북반구의 다른 중위도 지역보다 더욱 크게 증가하고 있다(Lee et al., 1998). 아시아 대륙의 오존 증가는 지역적으로 국한된 것이 아니라 오존을 비롯해 오존의 전구 물질 수송으로 태평양과 심지어 북아메리카까지 영향을 미치는 것으로 관측되었다(Jacob, 1999). 그러므로 아시아 지역의 대류권 오존 분석과 원인을 규명하는 것이 중요하다. 극동 아시아 지역에 대한 연구 중 Kajii 등(1998)과 Pakpong 등(1999)은 일본의 배경농도 지역인 오키(36°17' N, 113°11' E)와 하포(36°41' N, 137°48' E)지역을 분석하였다. 본 연구에서는 대류권 오존의 광화학 생성으로 인해 봄철 고농도 오존이 나타난다는 오키와 하포에서의 연구를 토대로 비슷한 위도대에 있는 포항의 관측 자료를 이용해 한반도 대류권 오존의 기원에 대해서 알아보았다.

2. 자료 및 분석 방법

포항에서 지표 오존의 특성을 살펴보기 위해 환경부 및 지방자치단체에서 운영하고 있는 측정소에서 관측된 자료를 사용하였다. 또한 대류권 오존의 연직 분포를 알아보기 위해 포항 기상대에서 1995년 1월부터 2000년 12월까지 6년 동안 주 1회, 대부분 대류권 오존 생성이 활발한 맑은 날, 06UTC에서 관측한 오존존데 자료를 사용하였다. 그리고 오존과 오존의 전구 물질 수송을 알아보기 위해 바람장과 잠재와도장을 이용하였는데 National Centers for Environmental Prediction/National Center for Atmospheric Research(NCEP/NCAR) Climate Data Assimilation System(CDAS) 재분석 자료를 사용하였다. 마지막으로 공기의 이동 경로를 알아보고 오존의 기원 지역을 알아보기 위해 Hybrid Single-Particle Lagrangian Intefrated Trajectory(HYSPLIT) 모델을 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

1998년부터 2000년까지 3년 동안 포항의 지표오존은 봄부터 증가하면서 여름에 감소한 후 가을에 다시 상승하는 동북아시아의 계절적 변화를 잘 보이고 있다. 그러나 포항의 오존존데 자료를 이용해 대류권 오존의 연직 변화를 살펴보면 6월에 연직 변화와 대류권 오존 농도가 가장 크게 나타나고 있다. 이처럼 대류권 전반에 걸쳐 고농도의 오존이 지표 오존보다 한달 늦게 나타나는 원인을 알아보기 위해 5월과 6월의 바람장을 분석해보았다. 5월의 1000hPa, 700hPa, 500hPa 바람장을 살펴보면 바람의 강도 차이는 있지만 대체적으로 겨울철 아시아 몬순의 패턴이 남아 중국으로부터 오존과 오존의 전구 물질들이 유입될 것으로 사료된다. 그러나 6월의 경우 하층과 상층의 바람 방향에 차이를 보이고 있는데 6월의 하층, 1000hPa에서는 해양에서 우리 나라로 바람이 부는 여름철 아시아 몬순의 패턴을 보이고 있다. 그러므로 6월의 지표에서는 해양으로부터 깨끗한 공기가 유입되므로 오존 농도가 감소하는 것으로 사료된다. 그러나 6월 상층에서는 5월과 마찬가지로 중국으로부터 오염된 공기가 유입되고 있으므로 중국에서부터 수송되는 오존과 오존의 전구 물질로 인해 6월의 고농도 오존이 나타나는 것으로 사료된다. 그러나 대류권 전반에 걸쳐 오존의 농도가 높게 나타나고 있으므로 광화학 반응에 의해서만 생성된다고 하기에는 무리가 있다. 그러므로 6월 고농도 오존의 다른 원인에 대해 좀 더 자세히 알아보기 위해 1km

구간별, 월별로 성층권의 특징을 사용하였다. 성층권은 오존의 농도는 매우 높고 습도는 거의 없는 건조한 지역이므로 80ppb 이상의 고농도 오존, 20% 미만의 낮은 상대습도를 보일 때를 성층권 유입 가능성이 있는 구역으로 정의하였다. 구간별로 성층권 유입 가능성을 백분율로 포기해 보았을 때 3월부터 증가하면서 6월에 가장 높고 7월과 8월에 감소하다가 12월에 매우 낮은 계절 변화를 보인다. 6~7km 구간은 성층권 유입 가능성이 가장 큰 구역(52%)이지만 HYSPLIT 모델에서는 고도 변화가 거의 없는 평행하게 이동하는 궤적 변화가 주로 나타나고 있다. 그러므로 성층권과 대류권을 구별하는 잠재와도를 이용하여(Blustein, 1993) 성층권-대류권 교환에 대해 살펴보았다. NCEP/NCAR 자료를 이용해 포항 기상대와 가까운 130°E에서 10°N~60°N까지 1995년부터 2000년까지 월평균한 잠재와도장을 분석해보았다. 성층권 공기는 제트류 중심 뒤쪽 하부에서 전선을 따라 대류권으로 유입되고 있는데 포항은 6월까지 제트류의 후면에 위치한다. 7월부터는 제트류가 고위도로 이동하면서 포항은 제트류의 전면부에 위치하게 된다. 그러므로 포항이 제트류의 후면에 위치하고 있는 봄철부터 6월까지의 활발한 성층권-대류권 교환으로 인해 성층권 오존이 대류권에 영향을 미칠 것으로 사료된다.

4. 결 론

포항 지표 오존의 월평균 변화를 살펴보면 겨울철에 낮은 오존 농도가 봄철부터 증가하다가 여름철에 감소한 후 가을에 다시 증가하는 동북아시아 계절적 변화를 보인다. 그러나 1995년부터 2000년까지 6년 동안 포항의 오존존데 자료를 분석해보면 전 구간에 걸쳐 대류권 오존이 지표오존보다 한달 늦은 6월에 고농도 오존이 나타나고 있다. 이것은 아시아 몬순의 영향으로 6월에는 해양에서 오는 깨끗한 공기의 유입을 받기 때문에 6월의 지표 오존 농도가 낮을 것으로 사료된다. 그러나 광화학 생성만으로는 늦은 봄에 전 구간에 걸쳐 고농도의 오존이 나타날 수 없으므로 다른 원인인 성층권-대류권 교환에 대해서 알아보았다. 포항 오존존데 자료를 이용해 성층권 유입 가능성을 알 수 있는 구역(고농도 오존, 낮은 상대습도)을 백분율로 나타내면 6월에 가장 높게 나타나고 6~7km에서 가장 크게 나타난다. 이 구간의 오존의 기원 지역을 알아보기 위해 HYSPLIT 모델을 분석해 보았지만 우리나라에 영향을 미치는 정확한 지역을 정의할 수 없다. 그러므로 성층권 유입에 대해 좀더 자세히 나타낼 수 있는 잠재와도를 이용하였다. 포항 근처 130°E의 잠재와도장을 살펴보았을 때 6월까지 제트류 후면에 위치하므로 성층권과 대류권 교환이 활발할 것으로 추론된다. 본 연구에서 포항을 여러 가지 방법으로 분석해 보았을 때 봄철 고농도 오존을 구명하기 위해서 성층권과 대류권의 교환도 무시할 수 없었다. 앞으로 계속적인 관측과 자료의 보충에 의해 봄철 고농도 원인인 중국으로부터의 수송과 성층권 유입에 대한 정량적인 분석도 가능할 것이라 사료된다.

참 고 문 헌

- Blustein, H.B., 1993, Synoptic-Dynamic Meteorology in Midlatitudes, Oxford University Press, Inc., 181-187.
- Jacob, D.J., J.A. Logan, and P.P. Murti, 1999, Effect of rising Asian emissions on surface ozone in the United States, *Geophys. Res. Lett.*, 26, 2175-2178.
- Kajii, Y., K. Someno, H. Taminoto, J. Hirokawa, H. Akimono, T. Katsuno, and J. Kawahara, 1998, Evidence for the seasonal variation of photochemical activity of tropospheric ozone: Continuous observation of ozone and CO at Happo, Japan, *Geophys. Res. Lett.*, 25, 3505-3508.
- Lee, S., H. Akimoto, H. Nakane, S. Kurnosenko, and Y. Kinjo, 1998, Lower tropospheric ozone trend observed in 1989-1997 at Okinawa, Japan, *Geophys. Res. Lett.*, 25, 1637-1640.
- Pakpong P., J. Hirokawa, Y. Kajii, H. Akimoto, and M. Nakako, 1999, Influence of regional-scale anthropogenic activity in northeast Asia on seasonal variations of surface ozone and carbon monoxide observed at Oki, Japan, *J. Geophys. Res.*, 104, 17895-17910.