

## 1E4) 서울지역 6월 오존의 연직분포 Vertical Ozone Distributions over the Seoul Metropolitan Area in June

김유근 · 이화운 · 오인보 · 정우식 · 송상근 · 임윤규 · 황미경  
부산대학교 대기과학과

### 1. 서 론

도시지역 하층대기의 오존 연직분포는 지표부근의 NO<sub>x</sub> 배출의 영향과 대기경계층의 일변화 및 구조적 특성에 의해 시·공간적으로 큰 변화를 나타낸다. 일반적으로 야간에는 역전층 내의 건성침적과 NO<sub>x</sub> 적정작용에 의해 오존농도가 감소하며, 하층 안정층과 분리되어 있는 잔류층(residual layer)의 오존농도와 큰 차이를 보이게 된다. 아울러 일출 후 안정층 파괴와 혼합고 성장에 의해 지표부근의 오존농도가 증가하고 연직적으로 비교적 일정한 오존분포가 나타난다(Zang *et al.*, 1998; Berkowitz *et al.*, 2000). 하지만 다양한 규모의 공간적인 오존수송에 의해 연직 분포가 달라지며, 이는 지표 오존오염현상에 영향을 줄 수 있다. 본 연구는 우리나라 대표적인 대도시이자 오존오염이 가장 심각한 서울지역의 연직적인 오존분포 특성을 파악하고자, 6월중 4일간 오존존데로 관측한 고도별 오존농도자료를 분석하였다. 그 동안 경제적 문제와 연구의 한계로 인해 도시지역에서의 오존 연직 관측은 거의 이루어지지 않았고, 도시지역 오존의 공간적 분포와 거동을 파악할 수 없었다. 물론 본 연구에서도 특정기간의 몇 차례 관측을 통한 한정된 해석으로 제약될 수 밖에 없었지만, 관측기간동안의 상·하층 기상분석과 대기질 분석을 통해 하층대기의 오존분포 특성과 지표부근 농도변화와의 연관성을 파악할 수 있었다. 본 연구의 결과는 서울지역 고농도오존 현상의 역학적인 이해와 함께 오존제어를 위한 광화학 수치모델링 연구의 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

### 2. 오존존데 관측

오존존데(ozonesonde, ENSCI 2Z model) 관측은 고농도오존 현상이 빈번히 나타나는 서울 동부지역에 위치한 방이동 올림픽공원에서 수행되었다. 관측기간은 2003년 6월 6일부터 9일까지 총 4일간이며, 하루 2회 주·야간으로 오존존데가 부양되었다. 관측시간은 일 중 오존농도가 가장 높게 나타나는 1500 LST 전후와 야간 안정층이 충분히 발달하는 0400 LST 전후로 하였다. 오존존데는 연직적 기상조건을 파악하기 위해 Vaisala Radiosonde가 부착되었고, 그 무게는 약 1.03 kg이며, 대기 중에 부양된 오존존데에서 측정된 정보는 403 MHz radio signal 주파수영역에서 0.25 watts의 강도로 전용 수신기에 수신된다. 오존존데로부터 약 1초 간격으로 수신된 오존 및 기상정보는 10m 간격의 고도별 자료로 변환되어 분석에 사용되었으며, 하층대기의 특성을 충분히 반영할 수 있는 고도 3km 까지 자료를 추출하였다. 아울러 오존존데 관측과 더불어 대기중 오존의 거동을 보다 잘 파악하기 위해 동일기간 동안 하루 8회 2시간 간격으로(0700~2100 LST) 상층풍 관측을 Pibal(Pilot balloon)을 이용하여 수행하였다. 상층풍 관측은 매 관측시 30초 간격으로 이루어 졌고, 관측된 고도각 방위각으로부터 고도별 풍향 풍속 자료를 생성하여 분석에 사용하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3. 1 연직 오존분포

그림 1은 4일간 하루 2회 관측된 오존농도의 연직분포 변화를 보여주는 것으로, 대기상층 3 km까지 10 m 간격의 농도(ppb)자료를 바탕으로 표현한 것이다. 첫 번째 관측인 6일 새벽 0418 LST의 경우, 연직적으로 큰 변화를 나타내는 오존분포가 파악되었다. 지표부근에는 대기안정조건 하의 NO<sub>x</sub> 적정효과로 인해 0에 가까운 농도가 나타났으며, 고도에 따라 급격히 농도가 증가하여 고도 1 km 이상부터 약 3 km까지 100 ppb이상의 고농도를 볼 수 있다. 이러한 고농도 현상은 전날 오후에 생성된 오존농도가 잔류층에 남은 양으로 볼 수 있으나, 이후 상층풍관측 결과와 종관기류 분석을 통해 5일 한반도로 유입되는 강한 남서기류와 함께 중국으로부터의 오존 및 전구물질의 장거리 수송효과의 영향이 상당부분 기여한 결과로 분석되었다. 6일 오후 1455 LST에 관측된 오존농도 분포는 동일 새벽에 관측된 오존분포와

상당한 차이가 있음을 볼 수 있다. 이날은 서울지역이 약한 기압골의 영향을 받아 오후에 강수현상이 있었고, 10에 가까운 운량을 보여 오존의 광화학생성에 좋지 못한 기상조건이 형성되어 지표부근의 오존농도가 40 ppb정도로 머물렀다. 한편 대기상층 1~3 km에서는 동일 새벽과 비교해 상당한 농도감소를 볼 수 있는데, 이는 좋지 못한 기상조건과 상층풍 변화로 인한 결과로 해석된다.

7일 새벽 0403 LST관측의 경우, 고기압의 영향하에 지표부근으로 형성된 대기안정조건과 함께 매우 낮은 오존농도를 볼 수 있었고, 상층으로는 전날 오후의 분포와는 다르게 다시 오존농도의 상승을 확인할 수 있다. 1450 LST의 경우는 지상의 오존농도상승이 상당히 있었으며, 하층의 혼합고 발달과 함께 대기경계층내의 일정농도분포를 볼 수 있다. 8일 새벽 0404 LST의 오존분포는 7일과 거의 유사하게 나타났고, 오후 1455 LST의 경우는 2 km 이상의 고도에서는 큰 변화가 없으나 지표로부터 약 1.5 km 까지 매우 높은 오존농도를 볼 수 있다. 특징적으로 혼합층 상부에 약 110 ppb의 가장 높은 농도가 나타나 하층대기의 활발한 대류현상을 알 수 있다. 9일의 경우 새벽 0404 LST에 관측된 오존분포는 지표부근과 상층 오존농도가 전체적으로 감소한 것을 볼 수 있다. 즉, 지표부근의 NOx 적정효과와 함께 상층의 동풍의 역할이 주요원인으로 해석된다. 오후 1522 LST의 관측에서는 전체적인 약한 농도상승을 볼 수 있으며, 이날 30℃이상의 기온이 나타났음에도 불구하고 지표부근의 하층대기 오존농도가 전일에 비해 상당히 낮게 나타났다. 이러한 원인은 7, 8일과 비교해 높아진 혼합고와 지표부근의 동풍에 의한 결과로 해석된다.

이상과 같은 4일간의 관측결과에서 대기경계층 내의 연직 오존분포는 상당한 폭의 일변화를 나타내었고, 안정도나 혼합층의 높이 등이 지표 오존농도 상승과 감소에 깊은 연관이 있음을 보여주었다. 아울러 경계층 상부의 오존분포는 지표부근 만큼은 아니지만 상층의 풍향에 따라 상당 폭의 변화를 보여주어 지역규모 이상의 수송효과를 가늠할 수 있었다.

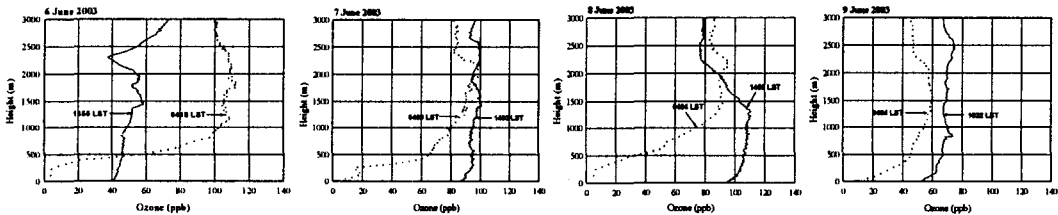


Fig. 1. Vertical ozone distributions observed at Bangyi in Seoul for 6-9 June, 2003.

### 3. 2 고도별 오존농도의 시간적 변화

시간에 따른 연직 오존분포 변화를 보다 명확히 파악하기 위해 세 고도(지표, 1500m, 3000m)에서의 농도변화를 분석하였다. 지표부근에서의 주·야간의 큰 변동성과 대기상층의 작은 변동성은 비교할 만 하며, 특징적으로 지표부근의 오존농도 변동경향과 대기상층의 변동경향이 항상 일치하지 않음을 볼 수 있다. 즉 대기경계층 상부의 오존농도는 큰 규모의 수송에 의해 영향을 받을 수 있음을 보여주는 결과이다. 물론 상부의 오존이 지표로 영향을 어느 정도 줄 수 있는가 하는 문제해결과 오존농도 변동의 정확한 정량적 해석을 위해서는 빈도수 높은 오존 및 전구물질의 관측이 필요할 것이다.

## 사 사

본 연구는 환경부에서 주관하는 “대도시 대기질 관리방안 조사연구”의 연구비 지원으로 이루어졌습니다.

## 참 고 문 헌

- Berkowitz, C.M., J.D. Fast, and R.C. Easter(2000) Boundary layer vertical exchange processes and the mass budget of ozone: Observations and model results, *J. Geophys. Res.*, 105, D11, 14789-14805.
- Zhang J., S. T. Rao, and S. M. Daggupaty(1998) Meteorological processes and ozone excesses in the Northeastern United States during the 12-16 July 1995 Episode, *J. Appl. Mete.*, 37, 776-789.