

## BC5) 강화(수도권 풍상측) 지역 오존농도 계절변화 특성과 고농도 사례분석 Seasonal Variations of Surface Ozone and Characteristics of its Episodes at Kangwha Background site in Korea

김유근 · 오인보 · 황미경 · 황선영<sup>1)</sup>

부산대학교 대기과학과, <sup>1)</sup>부산대학교 환경시스템학과

### 1. 서 론

최근 국외의 여러 연구에서 지역 및 종관규모의 기류움직임과 연계된 오염물질 수송이 풍하측 도시 또는 배경지역의 오존농도 상승에 큰 영향을 미침을 밝히고 있다 (Lam *et al*, 2001; Chan and Chan, 2000). 한반도 역시 중국과 동아시아 주요 국가의 빠른 경제성장으로 인해 대기질의 변화에 중요한 요인으로 장거리 수송의 영향을 고려하지 않을 수 없다. 특히 중국의 북경을 중심으로 한 황해연안에서 배출되는 다량의 오염물질은 (Streets and Waldhoff, 2000) 편서풍대의 풍하측에 위치해 있는 우리나라에 직접적으로 영향을 주며, 최근 심각한 대기환경문제로 부각되고 있는 오존농도 상승에도 기여하게 된다. 따라서 이러한 국가간의 장거리수송에 의한 대기질 변화를 정확히 파악하는 것은 매우 중요하며, 배경농도 지역의 정확한 농도변화 분석과 항공기를 통한 3차원 관측 및 모델링을 통한 오염물질 수송의 예측과 진단은 필수적이다. 하지만 현재 국내에서는 배경농도 측정망과 관측 자료의 부족으로 인해 이러한 연구가 아직 초기단계에 머물러 있으며, 장거리 수송에 의한 한반도 대기질 악화의 정도를 정확히 파악하지 못하고 있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 중국 등 주변국가로부터 이동되어 온 대기오염물질을 잘 파악할 수 있고, 수도권 서울과도 인접해 있어 그 영향여부 조사에 비중이 큰 배경농도 지역인 강화 석모리를 대상으로 오존농도의 계절변화 특성과 고농도 사례를 기상조건과 연계하여 분석하였다. 석모리 지역의 경우 오존농도가 최근 1997년에 14 ppb에서 2000년에 44 ppb로 3배 이상의 큰 증가를 보여 (환경부, 2000), 이 지역의 오염 현상뿐만 아니라 인근 풍하측 수도권지역 농도에 상승에 영향을 준다는 측면에서 본 연구의 필요성을 더하고 있다. 즉 석모리 지역의 기류특성에 따른 시간적 농도 변화와 고농도 발생현상을 조사함으로써 한반도 서쪽의 배경 오존농도 특성과 장거리 수송의 이동경로를 파악하고, 인접국 오염원의 영향을 진단하였다.

### 2. 연구 방법

본 연구에서는 최근 3년 (1998년~2000년)을 연구기간으로 선정하였으며, 석모리 지역 대기질 측정망의 오존 및 전구물질 (NO<sub>2</sub>, CO)농도 자료와 인근 강화 기상측정소의 주요 기상인자를 사용하였다. 또한 종관기류 패턴분석을 위해 지상일기도를 사용하였고, 오염물질의 이동경로를 추정하기 위해 Draxler 등에 의해 개발된 HYSPLIT 4 (HYbrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory) 모델을 이용하여 후방궤적 (backward trajectory) 분석을 수행하였다. 지상 대기질 및 기상 자료의 경우 신뢰성 있는 분석을 통해 일 중 75% 이상 측정된 자료를 유효한 자료로 선택하였으며, 사례분석에 있어 적용된 고농도 기준은 오존이 인체에 미치는 유해성을 보다 정확히 평가할 수 있으며 (U.S. EPA, 1996) 장시간의 대기 중 농도변화를 비교적 정확히 파악할 수 있는 8시간 이동평균을 사용하였으며 기준치는 80 ppb로 정하였다. 또한 고농도 사례일의 종관기류 특성을 군집분석을 통해 분류하여 각각 군집을 대상으로 고농도 발생원인을 분석하였다.

### 3. 결 과

#### 3.1 계절변화 특성

일반적으로 배경농도 측정망의 오존농도는 국지배출로 인한 1차 오염물질의 영향이 없고, 낮은 침적 제거효과가 존재하여 일정수준의 농도가 연중 유지되는 특성을 가진다. 하지만 특징적인 기상조건 하에

성층권 오존의 유입, 오존 전구물질의 장거리 수송 등에 의해 고농도 현상이 발생하기도 한다. 본 연구의 대상지역인 석모리 지역의 경우 연중 높은 평균농도 (3년 평균 약 42 ppb) 보였으며, 최고 40% 정도의 계절변화를 나타내었다. 표 1에 제시된 오존의 월변화를 살펴보면 봄철인 3, 4, 5월에 높은 농도가 나타남을 알 수 있으며, 3월에 약 55 ppb의 연중 가장 높은 농도수치를 보였다. 이러한 이른 봄철의 고

농도현상은 도시지역과는 다른 경향을 보이는 것이며, 광화학 반응에 좋지 못한 낮은 기온과 강한 풍속이 존재하는 시기로 볼 때 수송에 의한 영향이 강함을 알 수 있다. 즉 석모리지역의 봄철 고농도는 그림 1에서 나타나 있듯이 탁월한 서풍계열의 바람에 의한 중국지역 오염된 공기의 장거리 수송을 추정할 수 있다. 여름철의 경우 도시지역과 마찬가지로 강수에 의해 비교적 낮은 농도를 보였으며, 8월에 약 30 ppb의 연중 최저농도를 나타내었다. 또한 광화학 생성효과가 매우 적은 겨울철 30~40 ppb의 농도는 대도시지역과 비교해 2배 이상의 높은 수치로 서풍계열 기류의 영향이 주된 원인으로 볼 수 있다.

Month	Ozone mean	1 $\sigma$	Month	Ozone mean	1 $\sigma$
January	32.8	5.65	July	38.4	7.48
February	38.4	5.01	August	30.2	7.91
March	55.9	6.83	September	35.3	8.63
April	53.2	11.31	October	38.5	7.73
May	54.2	8.69	November	34.1	2.66
June	50.7	6.31	December	36.8	6.01

Table 1. Monthly distribution of O<sub>3</sub> means and 1  $\sigma$  deviation values, 1998-2000.

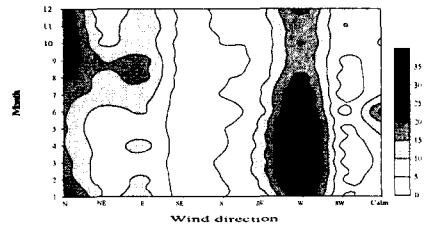


Fig. 1 Diurnal variations of frequency of wind directions, 1998-2000.

### 3.2 고농도 사례분석

연구기간 동안 석모리 지역에 발생한 고농도 오존 사례일은 총 59일로 그림 2에 나타나 있듯이 5월과 6월에 각각 14회로 가장 많은 빈도를 보였다. 특징적으로 계절별 다른 일 변화 경향이 나타남을 그림 3에서 알 수 있다. 봄철의 경우 일 중 농도변화 폭이 적으며 장시간 고농도가 유지되는 특성을 보여 중규모 수송의 영향이 주된 원인으로 판단되며, 여름과 가을철 사례의 경우 이른 아침의 농도 감소와 함께 일 변화 폭이 상대적으로 크게 나타나 국지순환에 의한 오존전구물질의 유입이 존재함을 알 수 있다. 이러한 결과는 지상 바람자료의 분석을 통해 확인할 수 있었다. 또한 사례일을 대상으로 후방궤적 분석을 수행한 결과 봄철의 대부분의 사례가 중국의 오염물질이 장거리 수송과 깊은 관련이 있음이 밝혀졌으며 상부대류권에서의 연직 수송의 영향 역시 존재함을 알 수 있었다.

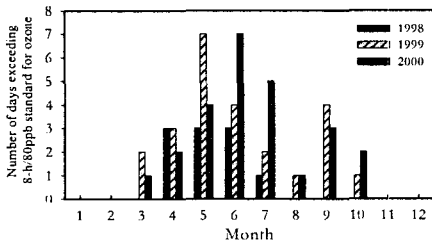


Fig. 2 Monthly distributions of ozone episodes exceeding 8-h/80 ppb at Sukmori, 1998-2000.

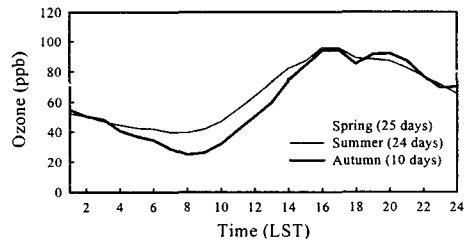


Fig. 3 Diurnal variations of ozone for the episodes in different seasons at Sukmori, 1998-2000.

### 감사의 글

본 연구는 환경부에서 주관하는 “광화학 대기오염의 생성과정 규명과 저감대책 수립을 위한 종합 조사·연구”의 연구비 지원으로 이루어 졌습니다.

### 참고 문헌

- 환경부 (2001) 대기환경연보, pp34.
- Chan, C.Y. and L.Y. Chan(2000) The effect of meteorology and air pollution transport on ozone episodes at a subtropical coastal Asian city, Hong Kong, *J. Geophys. Res.*, 105, 20707 -20724.
- Lam, K.S., T.J. Wang, L.Y. Chan, T. Wang, and J. Harris (2001) Flow patterns influencing the seasonal behavior of surface ozone and carbon monoxide at a coastal site near Hong Kong, *Atmospheric Environment* 35, 3121-3135.
- Streets, D.G., and S.T. Waldhoff (2000) Present and future emissions of air pollutants in China: SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, and CO, *Atmospheric Environment* 34, 363-374.
- U.S. EPA (1996) *National ambient air quality standards for ozone: Proposed decision*. 40 CFR Part 50.