

PS33(DR31) 이층 상자모형을 이용한 서울지역 고농도 오존 발생의 주요 인자 연구

Two-Layer Box Modeling for Identifying Major Factors Forcing High-Concentration Ozone in the Seoul Area

김영진¹⁾, 김영성, 김진영, 윤순창¹⁾

한국과학기술연구원 지구환경연구센터, ¹⁾서울대학교 대기과학과

1. 서론

오존은 대기 중에 있는 질소산화물 (NO_x)과 휘발성 유기화합물 (Volatile Organic Compounds, VOCs)이 강한 햇빛과 반응하여 생성되는 2차 오염물질이다. 오존의 농도는 오염물질의 배출과 기상조건, 그리고 대기 중 화학반응이 상호 연결되어 나타난다. 다양한 변수들이 오존 농도 상승에 영향을 미치며, 이러한 과정을 유기적으로 이해하기 위하여 다양한 광화학 수치 모델들이 사용되고 있다.

최근 들어 우리나라에서도 100 ppb를 넘는 고농도 오존이 빈번히 발생하고 있다. 한 예로 1994년 8월 23, 24일 서울 광화문에서는 200 ppb 이상의 오존이 기록되었고, 8월 23일에는 일 최고 오존농도가 322 ppb까지 상승하였다. 1994년 8월 22, 23일은 정체조건에서 오존농도가 상승한 대표적 사례이다 (김영성, 오현선, 1999). 그러나 이 사례 외에도 서울, 수도권에서는 주로 낮은 풍속 조건에서 오존농도가 높게 상승하여 국지배출의 영향이 크게 나타나고 있으며, 그 중에서도 광화문의 오존농도 변화는 전형적인 국지배출의 영향을 보여주고 있다 (김영성, 1997).

본 연구에서는 3차원 격자 모델에 비하여 입력 변수가 간단한 상자 모델을 이용하여, 서울의 대표적인 예로써 광화문 측정소의 고농도 오존이 어떠한 조건에서 발생할 수 있는지를 살펴봄으로써 서울지역 오존농도 상승의 주요 인자를 알아보고자 한다. VOC 농도 등 자료가 잘 갖추어진 경우의 모델링을 통하여 모델을 평가한 후 모델링 조건을 변화시킴으로써 서울지역 오존 농도 상승에 민감한 변수를 찾아내고 고농도 오존이 생성될 수 있는 조건을 조사한다.

2. 연구방법

대상지역의 오존농도가 주로 인근 지역과의 상호작용에 의하여 결정된다면 대상지역을 넓히는 것이 안전하다. 최근 미국 동부에서 지역규모 모델링이 활발한 것은 주요 지역의 오존농도가 자체 배출보다 지역규모 이동에 의하여 결정되기 때문이다. 서울, 수도권도 아시아 대륙과 해양의 영향이 배경을 이루고 있지만 (오현선, 김영성, 1999), 자체 배출이 중요한 대부분의 경우 적절한 크기의 도시 규모 모델로써 좋은 결과를 얻을 수 있다. 광화문은 대기질 모델을 적용하기에 좁은 지역이지만 많은 고농도 오존이 주위의 영향보다 자체 배출에 의하여 발생한다면 독립된 영역으로 취급할 수 있다. 본 연구에서는 서울 광화문 측정소 (37.57°N , 126.97°E)를 중심으로 하는 $1 \text{ km} \times 1 \text{ km}$ 를 대상영역으로 설정하였다. 수평 방향으로는 풍향에 따라 인근 측정소 측정치에 따라 오염물질이 유입되는 것으로 가정하였다. 수평 경계로부터 오염물질의 유입, 혼합층 위 잔류층에 의한 전날의 영향 (Neu et al., 1994), 기상인자, 배출량, VOC source profile의 영향들을 알아보았다.

3. 이층 상자모델

Lagrangian 모델인 USEPA (1989)의 EKMA (Empirical Kinetics Modeling Approach)에 수평 이류과정을 포함시켜 Eulerian 모델로 전환하였다. 이층 모델은 전날의 고농도 오존이 저녁에 생성된 stable layer에 의하여 layer 위쪽에 갇혀 있다가 다음 날 혼합고의 성장에 따라 지표로 유입되는 것을 모사하기 위하여 고안하였다. 하층 상자는 지표부터 혼합고까지이고, 상층 상자는 현재의 혼합고 (하층 상자 높이)부터 전날 최고 혼합고까지이다. 이에 따라 현재의 혼합고가 전날의 혼합고보다 높아지게 되면 상층 상자는 없어지고 단상자 모델이 된다. 기존의 상자모델에서는 상부로부터의 유입 농도가 일정한데

반해 본 연구의 상층 상자에서는 배출과 침적이 없는 상태에서 화학 반응이 일어나며 혼합고의 성장에 따라 하층 상자와 물질을 교환하게 된다.

모사의 초기조건은 환경부 광화문 측정소에서 측정한 값을 사용하였고, 기상조건은 광화문 측정소와 가까운 서울 기상청의 자료를 이용하였다. 수평 경계조건은 매 시간 풍향을 고려한 서울시 환경부 측정소의 자료를 사용하였다. 배출량은 국립환경연구원 (1994)의 자료를 보정한 김진영 등 (1997)의 자료를 이용하였다.

4. 결과

1차로 1997년 8월 6-7일을 대상으로 상층으로부터 40 ppb의 오존이 청정 대기와 함께 유입되는 것을 가정한 결과 1차 조건의 수평 이류는 오존농도를 감소시켰다 (그림 1). VOC source profile은 오존농도 변화에 큰 영향을 미쳐 차량 배출보다 도장용 용제 사용이 많을 때 오존농도가 급격히 상승하였다. 수평 이류 효과는 경계조건에 따라 다양한 변화를 보였다. 상층으로부터 오존 유입이 증가할 경우 오존 농도가 상승하였는데, 전날 생성된 고농도 오존이 stable layer 위쪽에 갇혀 있다가 다음 날 혼합고의 성장에 따라 유입될 경우 오존농도가 더욱 증가하였다.

참고 문헌

- 김영성 (1997) 1990~1995 서울·수도권 지역의 광화학 오염현상, 한국대기보전학회지, 13, 41-49.
- 김영성, 오현선 (1999) 1990-1997 기간 중 서울·수도권 지역의 고농도 오존 사례 연구, 한국대기환경학회지, 15, 267-280.
- 김진영, 김영성, 김용표 (1997) EKMA 모델과 최적화 방법에 의한 광화학 모델링 대기오염물질 배출량 보정 연구, 한국대기보전학회 추계학술대회, 11월 14-15일, 동신대학교, 논문 번호 D-5.
- 오현선, 김영성 (1999) 서울·수도권 지역 고농도 오존 사례의 지상 및 중관 기상 특성, 한국대기환경학회지 (인쇄 중).
- USEPA (1989) *User's Manual for OZIPM-4 (Ozone Isoleth Plotting with Optional Mechanisms)*, Volume 1, EPA-450/4-89-009a, Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC.
- Neu, U., T. Künzle and H. Wanner (1994) On the relation between ozone storage in the residual layer and daily variation in near-surface ozone concentration - A case study, *Boundary-Layer Meteorology*, 69, 221-247.

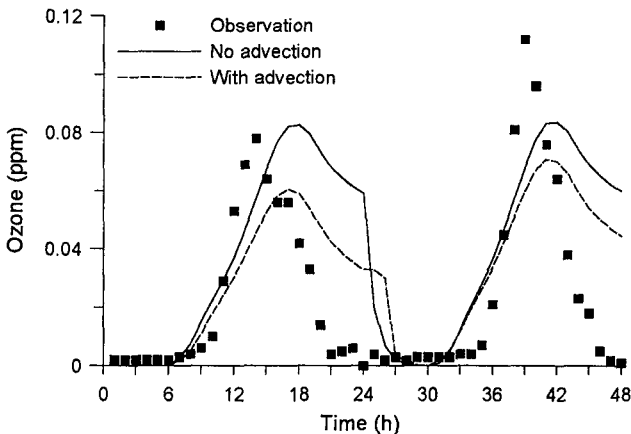


Fig. 1. Comparison of observed and predicted ozone concentrations on August 6-7, 1997 at Kwanghwamun for the base case.