

# PS8(SM33) EKMA를 이용한 수원시의 장래 오존농도 예측 Prediction of Ozone Concentration in Suwon by Empirical Kinetic Modeling Approach

서 집배, 장 영기  
 수원대학교 환경공학과

## 1. 서론

고농도의 오존 농도를 예측·평가하기 위해서는 대상지역의 기상조건과 풍상쪽(up wind)으로부터의 오존·오존전구물질(precursor)의 중·장거리이동, VOCs 및 NOx의 배경농도 및 배출량과 관련된 VOC/NOx의 농도 특성을 파악하는 것이 필수적이다. 따라서 대상지역의 VOCs/NOx의 농도 특성에 따라 차후 고농도의 오존 생성을 예방하기 위한 오존전구물질의 저감대책이 결정되어지므로 대상지역의 광화학특성을 파악하는 것이 선행되어야 한다.

본 연구에서는 미국 EPA의 regulatory model 중 EKMA(Empirical Kinetic Modeling Approach)를 이용하여 오존환경기준을 자주 초과하는 수도권 지역 중 수원시를 대상으로 장래 오존농도를 예측하고 저감효과를 산출하고자 한다.

## 2. 연구방법

### 2-1. 대상지역 및 기간 설정

오존 농도에 영향을 미치는 풍상측으로부터의 오존·오존전구물질의 이동에 의한 효과를 최소화하기 위하여 비교적 외부로부터 격리된 수원시를 대상지역으로 선정하였으며 1997년 9월 중 고농도의 오존이 발생했던 6일을 대상으로 EKMA의 오존농도 예측성을 평가하였으며 향후 2002년, 2007년을 대상으로 동일조건에서 오존전구물질의 배출량 변화에 의한 오존 농도를 예측·저감대책을 산출하였다.

### 2-2. 입력자료의 작성

대상지역의 기상자료 및 공기덩어리(air parcel) 내에 유입되어지는 시간별 배출량을 할당하기 위하여 수원, 서울, 인천의 측후소 자료를 이용하여 back trajectory를 작성하였으며 수원시의 VOCs 배경농도를 산출하기 위하여 “환경부 자료(1997)”에서 제시한 1997년 5월~1998년 8월 사이에 서울을 비롯한 주변 도심지역의 VOC 농도 측정값의 평균치를 CBM-4(Carbon Bond Mechanism, Version4)에서 제시하고 있는 carbon bond group으로 수정하여 입력하였다. 또한 상층에서 유입되어지는 오존농도는 국립환경연구원에서 1997년 6월에 측정하여 제시하고 있는 서울 상층(500m~1000m)에서의 오존농도를 이용하였다.

Table 1. Compositon for Initial NMOC MIX and VOC Emission

Compound	ppmc	Carbon-Num	ppm	PAR	OLE	EHT	TOL	XYL	FORM	ALD2	ISQP	NR
Benzene	0.03114	6	0.00519	0.00519	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.02595
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Styrene	0.00029	1.5	0.00019	0.00000	0.00010	0.00000	0.00019	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
Toluene	0.01683	1	0.01683	0.00000	0.00000	0.00000	0.01683	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
Total	0.62412			0.54863	0.00309	0.00009	0.03025	0.01033	0.00000	0.00000	0.00000	0.03074

### 2-3. 배출량 산출

모형 적용 시 입력되어지는 배출량 자료의 산출을 위해서 1997년 경기도를 대상으로 SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, TSP, VOC의 배출량을 산출하였으며 배출량 부하요인으로는 인구, 산업, 에너지사용, 토지이용, 교통정

보를 이용하였다. 서울 지역의 배출량 산정 및 적용기간의 시간별 배출량을 할당하기 위하여 산출된 격자별 배출량은 “김동영의 연구(1998)”에서 제시하고 있는 오염원에 대한 화학종 구분계수와 시간 할당계수를 토대로 산출되어 대상지역에 시간별로 고려되었다.

장래 오염물질 배출량을 추정하기 위하여 도 발전계획 및 각 시·군의 장래개발계획 등을 참조하였다. 특히 인구변화, 자동차 등록대수, 토지이용변화, 산업공단 추진현황, 장래 소각 정책 변화 등을 참고하여 장래 배출량을 산정하였다. 장래 배출량의 시간별 할당계수는 1997년의 격자별 배출량과 비교하여 산출하였으며 자연배출량은 1997년, 2002 및 2007년을 동일하게 적용하였다. back trajectory 작성 결과 오전 08~10시 동안은 공기덩어리가 서울 지역을 통과하므로 서울 지역의 장래 배출량 및 저감대책 시행 후 배출량은 “서울시정개발연구원의 자료”를 이용하였다. 2002, 2007년 각각의 저감대책으로는 연료연소, 중·소형 소각로, 자동차, VOC의 방지시설 설치기간에 대한 환경부 고시 등을 이용하여 산출하였다.

### 3. 결과 및 고찰

본 연구에서는 EKMA를 이용하여 1997, 2002 및 2007년의 오존 농도를 예측하여 장래 배출량 저감대안에 활용하고자 하였다. 1997년의 오존 농도는 예측치와 실측치가 유사한 결과를 보이고 있으며 2002, 2007년은 현재의 수준에서 오존 농도가 유지되는 것으로 나타났으며 VOC/NOx의 농도비는 4~5배의 비율을 보였다. 전체 배출량의 증가에도 불구하고 장래 오존 예측치의 감소는 대상지역의 오존 농도 특성이 VOCs에 비해하고 NOx에 반비례하는 특성으로 설명을 할 수가 있다. 즉 2002, 2007년의 오존전구물질의 배출량은 VOCs에 비해 상대적으로 NOx의 배출량이 증가한다는 것을 의미한다. 하지만 오존 전구물질의 초기농도 및 중·장거리 이송에 따른 효과 또한 고농도의 오존 생성에 큰 영향을 미치지만 2002, 2007년의 장래 예측치의 입력조건은 1997년과 동일조건으로 적용되어 VOCs 배경농도 및 오존 농도가 현 수준보다 증가 할 경우, 고농도의 오존이 생성 될 수 있는 기상자료와 부합 시 언제든지 100ppb 이상의 오존이 생성될 가능성이 존재하여 저감대안의 필요성이 대두된다. 따라서 2002, 2007년을 대상으로 저감대안을 시행했을 시 오존 농도의 감소효과를 볼 수 있었다. 1997년 수원시의 광화학특성에 따라 다음과 같은 가정을 할 수가 있다.

- 1997년 기준으로 2002, 2007년의 오존 농도는 VOCs에 비해 상대적으로 NOx의 장래 배출량이 증가하므로 오존 농도는 현재의 수준에서 머무를 것이다. 하지만 현 VOC/NOx의 4~5배의 농도비율이 VOCs 배출량의 증가나 NOx 배출량의 감소로 인해 변화하면 언제든지 고농도의 오존이 생성될 가능성이 크므로 현 장래 예측 오존농도가 안전한 수치는 아니다. 따라서 저감대안 시행 시의 VOCs/NOx의 농도 비율이 3~4배 정도의 비율로 유지 될 때 고농도의 오존 생성을 억제 할 수 있을 것으로 추정된다.
- 기존 자료들에 의한 도심지역의 VOC/NOx의 배출량 비율이 1.5~2배인 점을 감안하면 1997년 수원시, 서울특별시의 VOC/NOx의 평균비율은 각각 0.8, 1.3, 2002년과 2007년에는 1.2, 0.8, 1.3, 0.8 으로서 현 배출량 산출체계에서 VOCs 배출량이 저평가 되었을 가능성이 있다. VOC 배출 오염원의 지속적인 보강과 NOx 배출량의 제고가 필요하다고 판단된다.

앞으로의 연구 보완 방향 및 보완점은 EKMA 및 UAM(Urban Airshed model은 초기농도·경계조건 등의 배경농도가 중요한 의미를 내포하는데 반해 현 VOC 측정시간대는 대부분 오후나 하루평균으로 이루어지고 있어 이미 local source에 노출된 결과를 사용하고 있다. 따라서 고농도의 오존 생성이 빈번한 대상지역의 오전 6~9시간의 VOCs 농도 측정이 이루어질 경우 좀 더 세밀한 대상지역의 광화학 특성을 고려 할 수 있을 것이다.

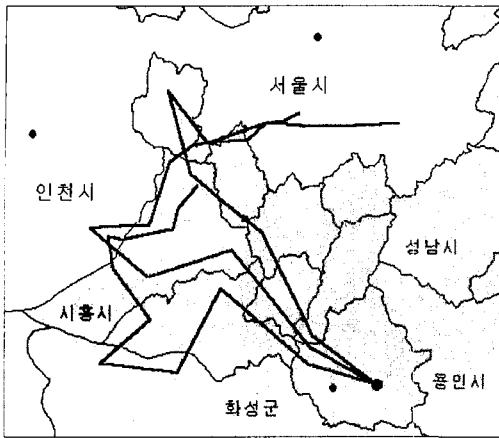


Fig. 1. Back Trajectory at 6, 9, 1997

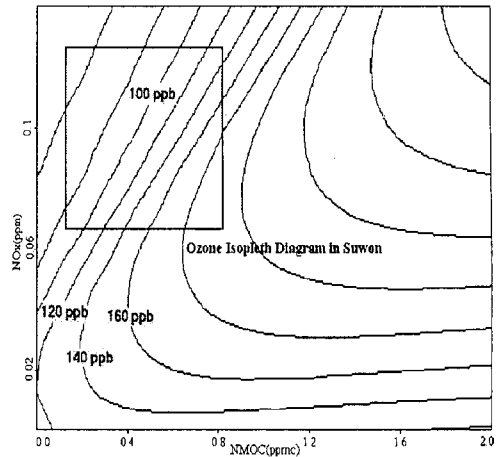


Fig. 2. NMOC and NO<sub>x</sub> of the plotting

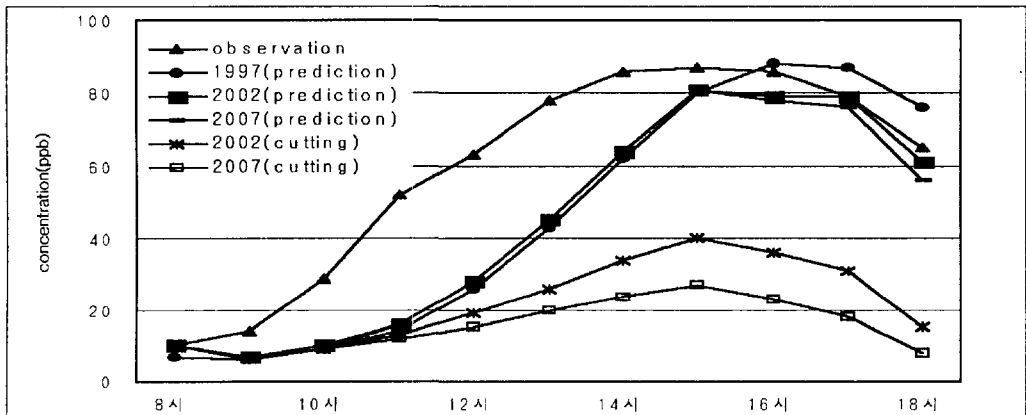


Fig. 3. Hourly variation of observed and predicted value of O<sub>3</sub>

### 참고문헌

- U. S. EPA (1989) User's Manual for OZIPM-4 (Ozone Isopleth Plotting With Optional Mechanism).
- 김동영 (1998) 시간 및 격자단위 대기오염물질 배출모형의 개발 -수도권의 광화학스모그 선구물질을 중심으로, 서울대학교 환경대학원 박사학위 논문
- 환경부(1997) 대기오염물질의 위해성 평가 및 관리기술