

1. 서 론

오존은 1차 오염물질인 질소산화물(Total Nitrogen Oxides, 이하 NO_x)과 휘발성 유기화합물(Volatile Organic Compounds, 이하 VOCs)이 대기 중에서 복잡한 광화학반응에 의하여 생성되는 2차 오염물질이다. 고농도의 오존 생성은 VOCs 및 NO_x 배출량과 밀접한 관계에 있으며 VOC/NO_x의 농도비에 매우 민감한 것이 지금까지의 연구들에 의해 입증되었다.

현재 국내에서 연구되어지고 있는 오존농도 저감방안을 위한 모형은 UAM(Urban Airshed Model)이 일반적으로 쓰이고 있다. UAM 같은 지역규모의 모형 외에 특정 도시규모의 오존농도 저감방안에 이용되는 모형으로는 미국 EPA의 Regulatory model 중 EKMA(Empirical Kinetics Modeling Approach) 모형이 있다. EKMA는 기류의 흐름에 따라 가상의 공기덩어리(Air Parcel)를 움직여 가면서 공기덩어리 내에서 일어나는 오염물질의 확산, 화학반응 등을 계산하는 OZIPM4(US, EPA, 1989)라는 이동격자 모델을 수반하고 있다. OZIPM4는 계산의 정확도를 높이기 위하여 공기덩어리 내에 유입되는 오염물질의 배출량이 통과지점에 따라 변화하므로 유적선 모델(Trajectory Model)을 이용하여 기류의 이동을 계산해야 하며 특정시간의 오존농도의 수평분포를 파악 할 수 없는 특징이 있다. EKMA가 채택하고 있는 화학반응 Mechanism은 UAM과 같이 1980년대 말에 개발되어 집중적으로 연구, 검토되어온 CBM-4(Carbon Bond Mechanism, Version4)를 채택하고 있다. CBM-4는 광화학스모그와 관련된 여러 가지 물질을 반응성에 따라 30여종으로 덩어리화(lumping)하여 나누고, 이와 관련된 80여개의 주요 반응식을 포함하고 있다.(Gery, 1988)

본 연구에서는 EKMA 모형을 이용하여 오존 환경기준을 자주 초과하는 수도권 지역 중 수원시를 대상으로 효율적인 VOC 및 NO_x의 동시제어로 인한 오존농도 저감 효과를 산출하고자 한다.

2. 연구방법

2.1 대상지역 및 기간 설정

오존 농도에 영향을 미치는 중·장거리 이송에 의한 오존과 선구물질의 효과를 최소화하기 위하여 비교적 외부로부터 격리된 수원시를 대상지역으로 선정하였으며 1996년 8월 중 고농도의 오존이 발생했던 1일, 18일과 EKMA 모형의 화학반응 Mechanism과 배출량 산출 체계의 검증을 위하여 저농도의 오존이 관측된 8월 23일을 대상으로 EKMA 모형을 적용하였다.

2.2 입력자료의 작성

수원 및 반경 100km 이내의 서울, 인천 등의 기상관측 측후소 자료와 오산 상층기상자료를 이용하여 혼합고 및 기류의 이동경로를 추적하였다. 모형 적용기간의 초기조건은 수원 대기오염 자동측정소의 측정자료를 분석하여 산정 하였으며 오존 및 선구물질의 중·장거리 이송으로 형성되는 저면경계조건(Transported surface layer)·상층경계조건(Transported aloft layer)은 대상지역으로부터 공업지역에 위치한 자동측정망을 제외한 40km 이내의 거리의 있는 춘천 대기오염 자동측정소의 측정자료를 이용하여 산정하였다.

모형 적용시 입력되어지는 배출량 자료의 산정을 위하여 1996년 경기도를 대상으로 SO₂, NO_x, CO,

TSP, VOC의 배출량을 산출하였고 배출량 부하요인으로 인구, 산업, 에너지사용, 토지이용, 교통 정보를 이용하였다. 배출량 조사 시 점오염원으로는 대기배출업소 1~3종, 소형소각시설을 고려하였으며 면오염원으로는 대기배출업소 4~5종 및 난방, 이동오염원으로는 자동차, 철도, 건설장비, 농기계를 대상으로 하였으며 기타 VOC 배출량 조사는 저장탱크, 주유소, 세탁소, 도장시설, 용제세척시설, 인쇄소, 소비용품, 매립지를 대상으로 각각의 배출량을 산정하였다. 지역별 격자별 배출량에 대한 매 시간별 배출량 산정을 위하여 오염원에 대한 화학종 구분 계수와 시간 할당 계수는 “시간 및 격자단위 대기오염물질 배출모형의 개발: 수도권 지역의 광화학 선구물질을 중심으로(김동영, 1998)”을 토대로 산출하였다. 산출된 1km × 1km 공간규모의 매 시간별 배출량은 공기덩어리의 대표 이동경로에 따른 평균적인 배출량으로 EKMA 모형의 입력자료로 사용되었다. 또한 인위적인 배출량 외에 대상시간의 기상 특성에 따른 자연 배출량도 고농도의 오존에 적지 않은 영향을 미칠 것으로 예상되나 이번 연구에서는 자연배출량은 고려하지 못하였다.

3. EKMA 모형의 적용 결과 분석 및 고찰

EKMA 모형의 최종 결과분석에는 측정지점에서 예측되어지는 일일 최대 오존농도 예측값과 Spline Interpolation 기법에 의하여 초기 NMOC/NOx 농도비 및 일일 기상조건에 따라 작성된 오존농도 등치선에 기초한 VOC/NOx의 동시제어에 따른 오존농도 저감효율로 나뉜다. 오존은 특히 고농도 예측이 중요한데 그림 1, 2, 3은 EKMA 모형이 비록 1시간 전후의 최대오존 농도 발생 시간의 오차를 보이지만 일일 최대 농도에 접근한 결과를 보여준다. 따라서 EKMA 모형이 채택하고 있고 화학반응 Mechanism과 국내 지역별 배출량에 대한 접근 방식이 어느 정도 체계를 이루었다고 판단된다. 또한 수원시의 오존농도는 고농도의 오존생성에 알맞은 일일 일사량, 기상조건과 부합 시 언제든지 100ppb이상의 고농도 오존이 생성 될 것으로 판단되며 오존생성 선구물질의 배출량 제어가 필요하다고 판단된다.

오존농도는 VOC의 농도에 비례하지만 NOx의 경우엔 생성된 VOC/NOx 농도비에 따라 NOx의 농도가 증가 할 때 오존농도가 증가하기도 하고 감소하기도 하는 것을 그림 4는 보여준다. 이는 오존농도 저감대책이 일률적인 VOC 배출량 저감대책이 아니라 효과적인 VOC/NOx의 동시제어의 개념으로 이루어져야 한다는 것을 나타낸다. 이를 토대로 수원시의 1996년 8월1일을 대상으로 VOC 및 NOx 동시제어에 따른 오존농도 저감효율에 산출한 결과 NOx의 배출량을 각각 10% 증가가 예상되는 경우와 10%의 감소가 예상되는 경우, 현 오존경보농도 기준인 120ppb 이하로 오존농도를 저감시키기 위한 최소 VOC 제어량은 각각 (-)%와 18%가 산출되었다. 이 결과에 따르면 대상지역의 초기 NMOC/NOx 농도비에 따라 오존 고농도의 발생 특성이 결정되어지며 VOC 제어량 뿐만 아니라 NOx의 제어량도 오존농도 저감대책에 상당한 비중을 차지한다는 것을 보여준다. 위의 결과가 가지고 있는 미비점을 해결하기 위해서는 좀더 보강된 배출량 산정과 VOC 배출 오염원에 대한 계속적인 보강, 특히 EKMA 및 UAM 모형에서 요구되어지는 경계조건과 초기조건 중 NMOC에 대한 초기농도산정 등이 이루어져야 한다.

본 연구에서는 많은 가정에 의해 오존농도 저감방향을 제시했으며 차후 실험적인 방법을 통한 NMOC 농도, 지속적인 배출량 오염원 확충과 speciation factor에 대한 연구를 지속적으로 수행하여 지역적 특성에 따른 오존저감 대책을 산출할 예정이다.

- 고농도 오존 저감대책 수립 시 VOC 및 NOx의 동시제어가 이루어져야 하며 현재 대기오염 자동측정소의 측정항목에서 제외된 탄화수소를 포함한 비메탄계 탄화수소의 농도가 제공된다면 대상지역과 시간의 확대적용을 통한 충분한 Case-study를 통해 오존과 VOC/NOx의 관계로부터 대상지역의 광화학 특성이 정확히 파악 될 경우 좀더 효율적인 오존농도 저감방안이 가능할 것이라 판단된다.
- 현재 산출된 배출체계는 앞으로 지속적으로 보완, 개선되어야 하며 지역별 배출 Inventory가 작성되어 EKMA 및 UAM 모형의 예측 정확도를 높여야 하고 대상지역의 광화학 특성에 따른 도시규모의 VOC 및 NOx 제어가 선행되었을 시 Multi-Transport된 오존농도를 반영 할 수 있는 지역규모의 모형인 UAM의 활용으로 지역적인 배출량 규제에 따른 오존농도 저감방안이 함께 이루어져야 한다고

판단된다.

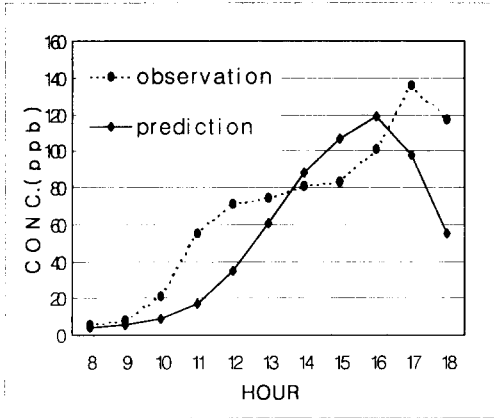


Fig. 1. Hourly variation of observed and predicted value of O₃ at 8. 1. 1996

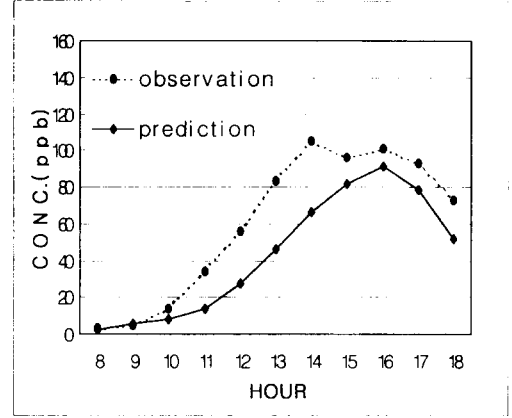


Fig. 2. Hourly variation of observed and predicted value of O₃ at 8. 18. 1996

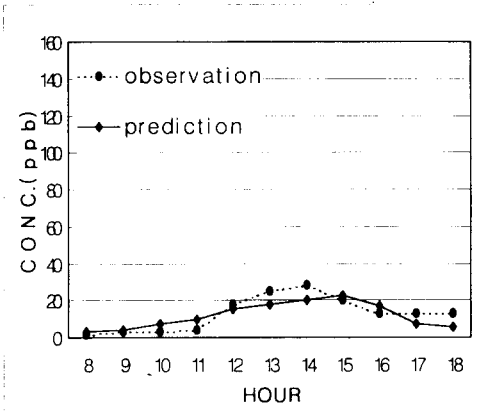


Fig. 3. Hourly variation of observed and predicted value of O₃ at 8. 23. 1996

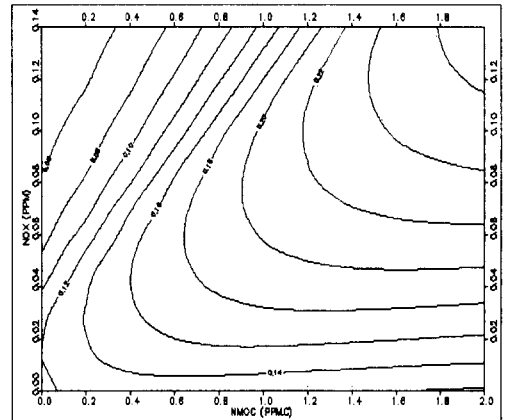


Fig. 4. NMOC and NO_x of the plotting

참 고 문 헌

- U. S. EPA (1989) Procedures for Applying City-specific EKMA.
- U. S. EPA (1988) A PC Based System for Generating EKMA Input Files.
- U. S. EPA (1989) User's Manual for OZIPM-4 (Ozone Isoleth Plotting With Optional Mechanism).
- U. S. EPA (1989) Consideration of Transported Ozone and Precursors and Their Use in EKMA.
- 김동영 (1998) 시간 및 격자단위 대기오염물질 배출모형의 개발 -수도권의 광화학스모그 선구물질을 중심으로, 서울대학교 환경대학원 박사학위 논문.