

3F2) 두 개의 스모그 챔버를 이용한 실제 대기의 광화학 반응 현상에 대한 연구

Investigation of Light Intensity Effect on Photochemical Reactions Using Dual Smog Chambers

이승복 · 이영미 · 김민철 · 배귀남 · 진현철 · 문길주 · 최지은¹⁾

한국과학기술연구원 대기자원연구센터

¹⁾서울대학교 자연과학대학 지구환경과학부 대기과학과

1. 서 론

스모그 챔버는 대기 중 성분들의 화학 반응 기작을 연구하는데 사용되고 있다. 그러나, 기존 연구에서는 광화학 반응 전구물질의 농도가 실제 대기 농도보다 높고, 청정 공기에 연구 대상 전구물질만을 주입한 단순 혼합물을 이용하였으며, 여러 날에 걸쳐 반응이 진행된 성분들을 이용하지 않았다 (Dodge, 2000). 이와 달리 본 연구팀에서는 실내 스모그 챔버에 실제 대기를 도입하여 광화학 반응 실험을 수행하고 있다 (배귀남 등, 2003). 한 개의 스모그 챔버를 이용하는 경우 외기의 특성상 매 실험마다 초기 조건이 달라지기 때문에 단일 인자의 차이에 따른 영향을 파악하기가 쉽지 않았다 (배귀남 등, 2003b). 따라서, 두 개의 스모그 챔버를 이용하여 모든 초기 조건이 일치하도록 하고, 한 인자만을 다르게 하여 광화학 반응 실험을 하였다. 태양광의 세기는 지역별, 계절별, 시간별로 차이가 있는데, 본 연구에서는 이러한 광도의 차이가 광화학 반응에 미치는 영향을 파악하고자 하였다.

2. 실험 방법

본 연구에서 사용한 실내 스모그 챔버는 광도 등의 변수가 스모그 현상에 미치는 영향을 정량적으로 파악하기 위하여 기준 챔버와 시험 챔버로 구성하였다. 두 챔버의 본체, 외기 도입 설비, 청정공기 공급 설비, 광원, 테플론 백, 측정 기기 등에 대해서는 배귀남 등(2003)에 자세히 기술되어 있다. 동일한 두 개의 테플론 백은 체적이 약 6 m^3 ($0.18 \times 0.18 \times 0.18 \text{ m}$)인 정육면체 모양이다.

광화학 반응 실험에 의해 테플론 백의 표면이 오염되므로 매 실험 전 최소 12시간 동안 광원인 blacklight를 켜진 상태에서, 그리고 최소 2시간 동안 광원을 끈 상태에서 청정공기를 계속 흘려줌으로써 백의 초기 상태를 가능한 일정하게 한 후 실험을 수행하였다. 모든 실험에서 오전 10:30~11:30 사이에 약 12분 동안 똑같은 외기를 기준 챔버와 시험 챔버에 넣은 후 초기 농도를 측정한다. 다음 광원을 켜서 약 4시간 동안 가스상 물질(O_3 , NO_x , CO , SO_2)의 농도와 미세입자의 입경 분포를 측정하였다. 측정기기가 한 세트이므로 일정 시간 간격으로 두 백을 번갈아가며 측정하였다. 시험 챔버는 모든 실험에서 서울시 여름철 낮에 해당하도록 총 blacklight 64개 중 50% (NO_2 photolysis rate, $k_1=0.60 \text{ min}^{-1}$)를 고정적으로 켜고, 기준 챔버는 2003년 8월 22일에 100% ($k_1=1.10 \text{ min}^{-1}$)로, 9월 4일에 50% ($k_1=0.60 \text{ min}^{-1}$)로, 9월 6일에 25% ($k_1=0.32 \text{ min}^{-1}$)로 변화시키면서 실험을 수행하였다.

3. 결과 및 고찰

모든 실험에서 광원을 켜기 전 가스상 물질의 초기 농도는 두 챔버에서 거의 동일했던 반면, 입자의 총 개수 농도는 기준 챔버가 시험 챔버보다 약간 낮았다. 이것은 기준 챔버가 외기 도입관의 블로워어로부터 상대적으로 가깝고, 입자 샘플링 관의 길이가 상대적으로 길기 때문인 것으로 생각된다.

챔버의 광도 조건이 동일했던 9월 4일 실험에서 O_3 를 포함한 모든 가스상 물질은 광화학 반응 실험 동안 두 챔버 사이의 농도 차이가 거의 없었다. 반면 두 챔버의 광도 조건이 달랐던 8월 22일과 9월 6일 실험에서는 k_1 값이 큰 챔버의 O_3 농도와 그 증가하는 기울기는 상대적으로 높았고, NO_2 농도는 상대적으로 낮았다 (그림 1(a) 참조). 본 실험에서 NO_2 측정값의 경우 기기의 특성상 HNO_3 , PAN 등의 농도가 포함된 값이다. k_1 이 0.6 min^{-1} 이하인 경우에는 측정일에 관계없이 입자의 총 개수 농도는 시간에 따라 지속적으로 감소하였으며 (그림 1(b) 참조), k_1 이 1.1 min^{-1} 인 경우에는 증가하다가 감소하는 경향을 나타냈다. 이 결과는 테플론 백에 의한 손실을 보정하지 않은 것이다.

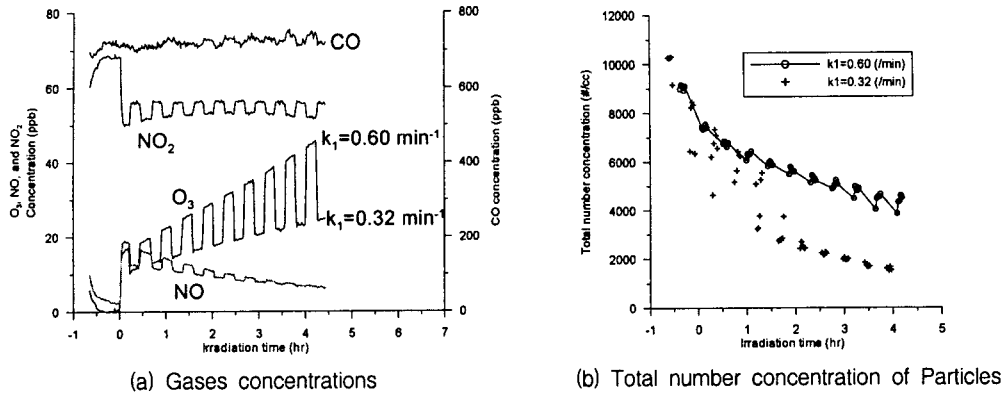


Fig. 1. Concentrations of gases and particles in two chambers on September 6, 2003.

NO₂ 광분해율에 따른 O₃ 증가 기울기를 나타낸 그림 2(a)에서 보듯이 k₁이 클수록 O₃ 증가 기울기도 증가하는 것을 알 수 있으며 이것은 배귀남 등(2003b)의 결과와 동일하다. k₁이 0.60 min⁻¹로 같아도 측정일에 따라 차이가 있음은 초기 외기 상태의 차이 때문으로 생각된다. 그림 1(a)를 두 챔버의 배율로 변환하여 나타낸 것이 그림 2(b)이다. k₁의 배수가 비슷하면 O₃이 증가하는 기울기의 배수도 비슷하였다. 초기 조건에 따라 광화학 반응의 결과가 달라질 수 있으므로 다양한 초기 조건에서 두 스모그 챔버의 광도와 같은 주요 인자만을 다르게 하여 광화학 반응 실험을 수행함으로써 스모그 현상에 미치는 주요 인자의 기여도를 파악할 계획이다.

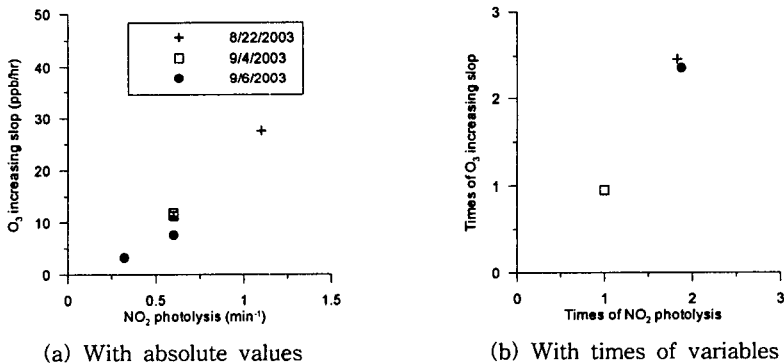


Fig. 2. Correlation of increasing slope of O₃ according to NO₂ photolysis rates.

후 기

본 연구는 과학기술부 국가지정연구실사업(과제번호: 2000-N-NL-01-184)의 지원으로 수행되었습니다.

참고 문헌

- 배귀남, 김민철, 이승복, 송기범, 진현철, 문길주 (2003) 실내 스모그 챔버의 설계 및 성능평가, 한국대기환경학회지, 19(4), 437-449.
- 배귀남, 박주연, 김민철, 문길주, 김용표 (2003b) 실내 스모그 챔버를 이용한 서울 대기에서 광화학 반응에 의한 에어로졸의 생성 및 성장 현상의 관찰, 한국대기환경학회지, 심사중.
- Dodge, M.C. (2000) Chemical oxidant mechanisms for air quality modeling: critical review, Atmospheric Environment, 34, 2103-2130.