

4D2)

스모그 챔버에서 초기 에어로졸 농도가 서울 대기의 광화학 반응에 미치는 영향

The Effect of Initial Aerosol Concentration on the Photochemical Reaction in Twin Smog Chambers filled with Ambient Air

이영미 · 이승복 · 최지은¹⁾ · 배귀남 · 문길주

한국과학기술연구원 대기자원연구센터, ¹⁾서울대학교 지구환경과학부

1. 서 론

대기 중 생성되는 에어로졸은 황산염(sulfate), 질산염(nitrates), 또는 유기화합물과 같은 오염물질이 가스상 물질의 전환을 통해 생성된다. 가스상 물질의 에어로졸 전환은 핵화(nucleation)반응이 생긴 후 짧은 시간 내에 응축(condensation) 반응을 통해 에어로졸로 성장하는 과정이다(Wang *et al.*, 1992). 스모그 챔버 연구는 대기 중 복잡한 스모그 메커니즘을 밝혀내기 위해 주요 인자를 제어하여 그 영향을 연구하는 효과적인 방법으로 이용되고 있다. 서울을 비롯한 대도시의 시정(visibility)은 대기의 초기조건에 따라 다를 수 있고 이에 영향을 미치는 인자로 광도(light intensity), 에어로졸, 습도, 가스상 물질 등을 들 수 있다. 본 연구는 서울 대기 광화학 스모그의 주된 변수 중 하나인 에어로졸의 초기 농도를 변화시켰을 때 발생하는 미세 에어로졸의 생성 및 성장 현상과 가스상 물질의 농도 변화를 살펴보았다.

2. 실험

본 연구에 사용된 동일한 5.8 m³ 부피를 갖는 두 개의 스모그 챔버(크기 1.8×1.8×1.8 m, 백의 표면적/부피비 3.3 m⁻¹)를 온/습도 조절이 가능한 클린룸 내에 설치하였다. 두 챔버 중 하나는 외기를 그대로 유입시킨 기준 챔버(reference chamber)이고 나머지는 외기의 에어로졸을 제거시켜 유입시킨 실험 챔버(test chamber)이다. 실험 챔버의 경우 외기를 유입하는 덕트의 양쪽 백 중간부분에 고성능 필터(absolute filter, 1T-TA-Z, 캄브리지 필터(주))를 설치하여 에어로졸이 제거될 수 있도록 하였다. 스모그 챔버 내 압력, 가스상 물질(Thermo Environmental Instruments Inc., CO, NO-NO₂-NO_x, SO₂, O₃ analyzers), 에어로졸(TSI Inc., Model 3934, scanning mobility particle sizer), 톨루엔(GC/FID, HP 6890N)을 측정, 분석하였다. 스모그 챔버의 사양, 광원 및 구성요소 등에 관한 자세한 내용은 배귀남 등 (2003)에 기술되어 있다. 실험은 다음과 같은 절차를 통해 이루어졌다. 각 실험을 하기 전에 챔버 백 표면의 오염에 의한 영향을 최소화하기 위해 최소한 13시간 이상 인공광을 켜 상태에서 순수 공기로 연속 flush 후 가스상 물질, 톨루엔 및 에어로졸 농도를 측정하여 챔버내 공기의 순도를 확인했다. 그 후 실제 외기를 스모그 챔버 내로 넣고 빼는 것을 3회 반복하여 외기의 특성이 스모그 챔버 안에서 안정화되도록 하였다. 마지막 외기 시료를 각 챔버 내에 유입하고 초기농도를 측정 후 인공광을 조사하였다. 이때 조사된 인공광의 NO₂ 광분해 상수 k₁는 기준 챔버의 경우 0.5 min⁻¹이었고, 시험 챔버는 0.56 min⁻¹이었다. 광원을 켜 후 약 4시간 동안 1~2분 간격으로 가스상 물질을, 5분 간격으로 에어로졸, 25분 간격으로 톨루엔을 연속 측정하였다.

4. 결과 및 고찰

챔버 내에 유입된 대기 오염물질의 초기조건에 따라 광화학 반응으로 생성된 에어로졸의 농도 및 종의 생성량은 달라질 수 있다. 광화학 반응이 진행된 오후 대기 영향을 배제하기 위하여 스모그 챔버에 유입하는 외기는 오전 10시~11시 사이로 일정하게 하였다. 그림 1은 고성능 필터를 이용하여 외기의 에어로졸을 모두 제거한 시험 챔버와 외기를 그대로 유입한 기준 챔버에 광원을 조사하였을 때 (P100-0) 에어로졸의 총개수 농도와 질량농도의 변화를 보여주고 있다. 측정된 에어로졸의 수농도 및

질량농도는 스모그 챔버의 자연감소율(natural decay) 실험을 통해 얻은 결과로부터 wall-loss 보정을 하였다. 에어로졸을 제거하지 않은 기준 챔버의 경우 실험시간 동안 총 개수농도(약 6,600~8,300 #/cm³)와 질량농도가 큰 변화를 보이지 않는 반면, 에어로졸을 제거한 시험 챔버의 경우 인공광을 쬐기 약 30분 이전부터 에어로졸이 빠르게 생성되고 있으며 광원 조사 후 약 1시간 이후에는 에어로졸의 생성과 성장이 동시에 이루어졌다. 질량농도도 점차 증가하여 실험 종료시 1.96 µg/m³을 보인다.

그림 2는 시험 챔버를 외기를 채우는 시간의 절반은 고성능 필터를 이용하여 에어로졸 농도를 제거하여 유입하고 나머지는 기준 챔버와 같이 외기를 유입한 경우(P100-50) 에어로졸의 총 개수 농도와 질량농도의 변화를 보여주고 있다. 시험 챔버의 경우 초기 에어로졸의 수농도 및 질량농도(1,780 #/cm³, 1.29 µg/m³)는 기준 챔버(2,639 #/cm³, 1.75 µg/m³)의 약 70%이다. 이 경우 두 챔버 모두 수농도 및 질량농도가 꾸준히 증가하는 경향을 보였고 시험 챔버는 인공광을 조사한 지 약 1시간 후부터 에어로졸이 생성되기 시작한다. 이때 초기에 NO는 거의 존재하지 않으며 인공광을 쬐자마자 생성되는 O₃의 기울기가 차이를 보였다. 본 연구에서는 초기 에어로졸 농도의 차이에 따른 광화학 에어로졸의 생성 및 성장반응과 광화학 반응으로 생성되는 오존 농도의 변화를 분석하였다.

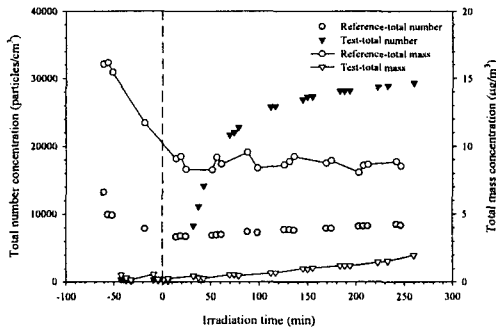


Fig. 1. The total number and mass concentration of aerosol with irradiation time (P100-0)

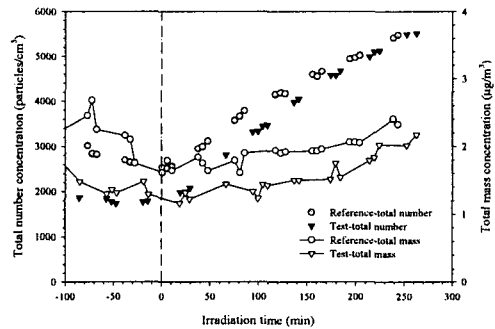


Fig. 2. The total number and mass concentration of aerosol with irradiation time (P100-50)

사 사

본 연구는 과학기술부 국가지정연구실사업 (과제번호: M1-0204-00-0049)의 지원으로 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사사를 드린다.

참 고 문 헌

- 배귀남, 김민철, 이승복, 송기범, 진현철, 문길주 (2003) 실내 스모그 챔버의 설계 및 성능평가, 한국대기환경학회, 16(4), 437-449.
- Wang, S-C., S. E. Paulson, D. Grosjean, R. C. Flagan, and J. H. Seinfeld (1992) Aerosol formation and growth in atmospheric organic/NO_x systems-I. outdoor smog chamber studies of C₇- and C₈-hydrocarbons, *Atmospheric Environ.*, 26:403-420.