

## AD2) 실내 스모그 챔버 연구 I: 상대습도가 대기 에어로졸의 성장에 미치는 영향

### Indoor Smog Chamber Study I: Effect of Relative Humidity on the Growth of Atmospheric Aerosols

김민철 · 배귀남 · 박주연<sup>1)</sup> · 임득용 · 진현철 · 문길주

한국과학기술연구원 지구환경연구센터, <sup>1)</sup>이화여자대학교 환경공학과

#### 1. 서 론

서울 지역의 스모그 현상은 1차 오염물질에 의해 생기는 런던형 스모그 및 광화학 반응에 의한 LA형 스모그와는 다른 양상을 나타내고 있는데, 그 특성이 명확히 밝혀지지 않고 있다. 서울 지역의 스모그 특성을 체계적으로 밝혀내기 위해서는 스모그 현상에 대한 현장조사 연구뿐만 아니라 챔버 실험을 통한 스모그 생성과정에 대한 체계적인 연구도 필요하다. 시정장애(visibility reduction) 현상을 거치는 대기의 기상 특성을 보면 대부분 상대습도가 높은 조건이 낮에도 지속되는 경우가 대부분이다. 맑은 오후에도 상대습도가 50~60% 이상 지속되는 경우 아침에 형성된 스모그가 오후까지 이어지는 경향을 보이고 있다. 또한 대기 중에 존재하는 유기물 등은 강한 태양광선에 의해 이차 유기 에어로졸 (secondary organic aerosol, SOA)을 생성하게 된다. 이때 발생하는 에어로졸은 대부분 0.1 $\mu$ m 이하의 nuclei mode의 입자이며, 상대습도가 높은 조건에서 입자상 물질은 응집 또는 응축 등의 과정을 거치면서 시정에 영향을 주는 크기의 입자로 성장하게 된다. 일반적으로 상대습도가 조해점 (deliquescence relative humidity, DRH) 보다 매우 낮은 경우에는 입자상 물질은 고체 (solid) 상태로 존재하며, 상대습도가 조해점 이상이 되게 되면 포화된 수용액 상태가 된다. Tang과 Munkelwitz (1993)에 의하면 조해점은 입자 성분에 따라 약 40% (NH<sub>4</sub>HSO<sub>4</sub>)에서 84% (KCl)의 분포 값을 가지게 된다. 한편, 가스상 오염물질은 수분을 공급받게 되면 H<sub>2</sub>O와 화학 반응이 이루어지면서 다른 물질로 전환하게 된다. 본 연구는 스모그 챔버 (smog chamber)에서 실제 공기가 상대습도의 증가에 따라 어떠한 과정을 거치면서 특성이 변화하는가에 관한 연구이다.

#### 2. 실험

본 연구에서 제작한 실내용 스모그 챔버 (부피: 2.5m<sup>3</sup>, 재질: Teflon film) 는 스모그 현상에 미치는 물리적 변수(온도, 습도, 광도)를 정량적으로 비교하기 위해 클린룸 내에 설치하였다. 스모그 챔버 내에 유입된 공기는 3개의 샘플링 probe와 온/습도 측정기에 의해 특성이 분석되었다. 각각의 probe는 챔버 내 압력, 가스상 물질 (Thermo Environmental Instruments Inc., CO, NO-NO<sub>2</sub>-NO<sub>x</sub>, O<sub>3</sub> analyzers), 미세 입자 (TSI Inc., Model 3934, scanning mobility particle sizer) 그리고 조대 입자 (TSI Inc., Model 3320, aerodynamic particle sizer)를 측정할 수 있도록 설계하였다. 스모그 챔버의 사양 및 구성요소 등에 관한 내용은 배귀남 등 (2001)에서 자세히 다루고 있다. 상대습도는 수분공급장치를 이용하여 조절하였다. 이 장치는 크게 증기를 생산하는 부분과 생산된 증기를 챔버에 주입시키는 부분으로 구성되어 있다. 이온화된 3차 증류수는 증기 생산을 위한 용액으로 사용하였으며, 이 물을 사용하기 전에 삼각 플라스크 내에서 약 30분간 끓여 순도를 높인 후 공급하였다. 원하는 습도로 챔버를 유지하기 위해서는 챔버에 주입해야 할 물의 양을 정량적으로 조절할 수 있어야 할 뿐만 아니라 가열기에 의해 증발된 물의 양을 알아야 하므로 저울을 이용하여 가열기에 의해 증발된 물의 양을 측정하였다. 상대습도는 낮에도 스모그를 형성하는 조건인 50~60%와 아침 스모그 형성 조건인 80~90% 두 조건을 설정하였다. 입자상 물질의 크기분포 및 농도와 가스상 물질의 농도는 10~20분 간격으로 각각 3회 이상 측정하였다. 또한 유입하는 실제 공기가 수분을 공급하는 과정에서 변하는 현상을 측정하기 위해 스모그 챔버 내에 유입하기 전의 실제 대기 공기와 공급하는 과정 중의 특성 변화를 연속적으로 측정하였다. 스모그 챔버

내의 온도와 상대습도는 10초 간격으로 데이터를 획득하였다.

### 3. 결과 및 고찰

실제 공기가 수분을 공급받게 되면 입자상 물질과 가스상 물질은 상이한 기작(mechanism)을 갖게 된다. 입자상 물질은 응축과 응집 등을 거치면서 크기와 개수는 증가하게 되며, 챔버 표면에 침착(deposition)하는 비율도 증가하게 된다. 이에 반해 가스상 물질은 수분과 반응을 거치면서 다른 물질로 전환되어 농도는 감소하게 된다. 그림 1은 수분을 공급받은 실제 공기의 시간에 따른 특성을 보여주고 있다. 그림에서 개수평균입자크기(number mean diameter)와 개수농도(number concentration)는  $1\mu\text{m}$  이하의 미세 입자 측정값을 말한다. 그림에서와 같이 개수농도는 수분 공급과 동시에 급격히 증가하다가 서서히 증가하는 경향을 보였다. 측정기간 동안 입자의 개수농도는 실제 공기에 비해 약 4.4 배 증가하였다. 이러한 증가는 대부분 50~70nm 입자의 증가(약 10.2배 증가)에 기인하였고 이로 인해 입자의 개수평균입자크기도 초기의 측정값보다 작은 60~80nm 이었다. 상대습도가 높은 경우 오존의 분해율은 증가하게 되는데(Seinfeld와 Pandis, 1998), 본 연구에서도 오존 농도는 수분 공급과 동시에 빠른 감소를 보이다가 서서히 감소하는 특성을 보였다. 오존이외의 가스상 물질은 시간에 따라 감소하는 경향을 보였으나 감소량은 매우 적었다.

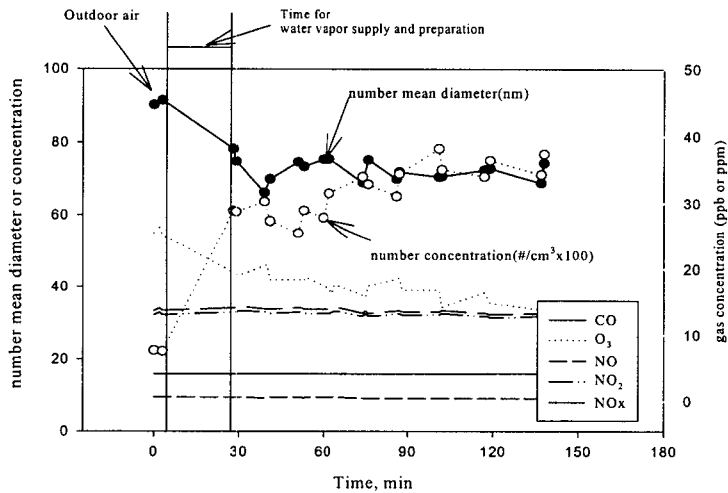


Fig 1. Concentration change of atmospheric pollutants as a function of time.  
 outdoor air: 17.9°C(temp.), 11.6%(RH), smog chamber air: 17.1°C, 79%

#### 감사의 글

본 연구는 과학기술부 국가지정연구실사업 (과제번호: 2000-N-NL-01-C-184)의 지원으로 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사를 드립니다.

#### 참고 문헌

- 배귀남, 송기범, 김민철, 임득용, 진현철, 문길주 (2001) 대기 에어로졸 실험용 실내 스모그 챔버의 설계 및 성능평가, 한국대기환경학회 추계학술대회, 85~86.
- Seinfeld, J. H., and Pandis, S. N. (1998) *Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change*. John Wiley & Sons, Inc. 250-251.
- Tang, I. N., and Munkelwitz, H. R. (1993) Composition and temperature dependence of the deliquescence properties of hygroscopic aerosols, *Atmos. Environ.*, 27A, 467-473.