

SM16) 산성 에어로졸과 미세탄소 입자에 의한 도시지역 시정감쇄 Visibility Impairment by Acidic Aerosol & Carbonaceous Particles in Urban Atmosphere

김경원 · 오승진 · 김영준 · 김문옥¹⁾

광주과학기술원 환경공학과, ¹⁾광주지방기상청 기후과

1. 서론

도시지역의 시정변화는 일정한 경향성을 지니는 일부 오염물질들의 배출에 의해 지배적인 영향을 받는 것으로 보고되고 있다. Sulfate, nitrate는 대기중의 상대습도와 밀접한 관계를 지니고 있어서, 일일 주기로 증감하는 수증기와와의 반응에 의하여 입자의 크기가 성장·감소하여 대상물체의 이미지 형성광(image forming light)을 산란시킴으로써 관측자의 시야 경로부터 빛을 이탈시키는 현상을 나타낸다. 이런 현상은 가시광선영역의 빛을 흡수하는 검정색 입자, 즉 원소탄소(elemental carbon)에 의한 흡수효과와 함께 이미지 형성광의 총 소멸계수(total extinction coefficient)로 표현된다.

특히 계절적으로 습도와 오염물질의 양이 상대적으로 높은 여름철의 대기 조건에서, SO₂ gas는 쉽게 산화하여 sulfate를 형성하며, NH₄⁺와의 중화 정도에 따라 (NH₄)₂SO₄, NH₄HSO₄, H₂SO₄의 세 가지 입자의 형태로 존재하게 된다. 이들 입자들의 물리적 성장은 빛의 산란 효과를 기하 급수적으로 증가시킴으로써 총 소멸효과의 약 80~95%를 기여하게 된다. 이런 현상은 nitrate에서도 동일하게 나타나므로 각각 황성분(sulfur compounds)과 질소성분(nitrate compounds)중 가스상 성분(SO₂·HNO₃)에 의한 간접 현상을 최소화하기 위하여 본 연구에서는 242mm annular denuder를 사용하여 산성 가스를 제거하도록 sampler를 설계하였다. 또한 elemental carbon에 의한 흡수 효과는 aethalometer를 사용하여 실시간 광학적으로 분석함으로써, TOR(Thermal Optical Reflectance)과 TMO(Thermal Manganese Oxidation)분석법과 비교 검토할 수 있으며, 도심 교통상황과 관련하여 원소탄소농도와 시정거리(visual range)와의 관계를 확인할 수 있다.

본 연구에서는 위와 같은 조건에서 여름철 시정(visibility)을 아주 좋은 날(Best 20%), 보통인 날(Middle 20%), 그리고 아주 안 좋은 날(Worst 20%)로 구분하여 각각의 경우에 산성 에어로졸과 미세탄소 입자의 기여도와 경향성을 조사하였다.

2. 연구방법

광주 도시지역의 시정감쇄를 조사하기 위하여 광주시 도심 내에 두 개의 시정관측소를 설치하였다. Transmitter site(제1관측소)는 해발 84m 현대백화점 옥상 위에, Receiver site(제2관측소)는 해발 78m 광주지방기상청 옥상 위에 설치되었다. Optec Model LPV-2 transmissometer는 대기 중 빛의 transmittance를 Modtran3 modeling program으로 모사하여 ND-filter 방법으로 검정하였다. Belfort Model 1597 nephelometer는 암전류(dark current)와 zero-pot이 ±0.012V가 되도록, CFC-12 span-pot이 1.880V (Rayleigh scattering: 84m)가 되도록 증폭비를 조절하여 검정하였다. Magee Scientific Model AE-14U aethalometer는 4lpm의 유량으로 PM2.5입자만을 포집할 수 있도록 도입부를 설계하여 열산화망간법(TMO, Thermal Manganese Oxidation)으로 분석된 원소탄소의 농도와 비교 검토하였다. 검정되어진 transmissometer, nephelometer, aethalometer의 광학계는 실시간 1분간격으로 각각 소멸계수(extinction coefficient), 산란계수(scattering coefficient), 흡수계수(absorption coefficient)를 측정하도록 조정되었다. Automatic visual camera는 매일 오전 8시부터 오후 6시까지 2시간 간격으로 6컷트 씩 광주시 도심의 시정변화를 촬영하여 슬라이드 필름으로 현상 보관되었다. URG-3000J VAPS는 fine particle의 포집을 위해 Gelman사 47mm 2μm pore Teflon filter를 사용하였으며, coarse particle는 Costar사 47mm 0.4μm pore Nuclepore(polycarbonate) filter, 미세 탄소입자는 Whatman사 4.7cm Quartz microfibre filter를 사용하였다. 가스상 물질의 포집은 242mm annular denuder와 150mm annular denuder로써 각각 산성가스의 포집을 위해서는 1%Na₂CO₃+1%glycerin+(H₂O+CH₃OH)을 함침액

으로 사용하였으며, 암모늄이온(NH₄⁺)은 1% citric acid+1% glycerin+(H₂O+CH₃OH)을 함침액으로 사용하였다.

원소분석(element analysis)은 기초과학연구소 중앙분석기기부 동위원소그룹에서 왕수법으로 추출하여 ICP/MS와 ICP/AES의 두가지 방법으로 Na, Mg, Al, Si, S, K, Ca, Ti, V, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Pb를 정량하였다. 이온분석(ion analysis)은 Dionex-120 IC(Ion Chromatograph)를 사용하여 광주과학기술원에서 분석되었으며, 탄소성분(유기 및 원소탄소)의 분석은 열산화망간법(TMO, Thermal Manganese Oxidation)에 의해 미국 AtmAA사에 의해 수행되었다.

3. 결과 및 고찰

1999년 6월 16일부터 8월 28일까지 여름철 광주시의 시정 변화는 낮 동안(06:00~18:00) 평균시정거리(average visual range) 15.3±7.2km, 평균deciview 34.7±4.5, 밤 동안(18:00~06:00) 평균시정거리 13.8±7.4km, 평균deciview 36.0±5.7으로 관측되었다. 하루 중 시정이 가장 악화되는 시각은 06:00~08:00이며, 가장 좋은 시각은 14:00~16:00시 인 것으로 확인되었다. 이런 현상은 대기 중 상대습도와 밀접한 관계를 지니고 있으며, 측정기간 중 빈번한 강우에 의하여 밤과 낮의 시정이 역전하는 현상이 다수 발견되었다. SO₂와 HNO₃ 가스가 시정감쇄에 미치는 간섭효과와 분석결과에 의하면, 집중 측정기간 동안 시정거리 58.6에서 11.7km의 감소로 인하여, 미세입자(<2.5μm)에 대한 각 농도의 분율이 각각 20.89에서 5.53%, 17.03에서 7.15%로 감소하였다. 따라서 산성어로졸에 의한 산란효과는 대기 중에 존재하는 산성가스에 영향을 받고 있음이 확인되었다. 그림 1은 여름철 집중측정기간 중 원소탄소(elemental carbon)에 의한 흡수효과를 나타낸 그래프로써 총 소멸계수에 대한 흡수계수의 비를 백분율로 표시하였다. 시정이 좋은 날(best 20%)에 비하여 좋지 않은 날(worst 20%)이 원소탄소에 의한 흡수현상의 기여도가 작은 것으로 조사되었다. 따라서 미세 탄소입자에 의한 흡수현상은 동일 원소탄소량에 대하여 맑은 날에 더 심하게 시정을 악화시키는 것으로 분석되었다. 그림 2는 transmissometer에 의해 측정된 소멸계수(measured B_{ext})와 에어로졸분석에 의해 재구성한 소멸계수(reconstructed B_{ext})와의 상관관계를 나타낸 그래프로써 reconstructed B_{ext}는 다음 관계식에 의해 재구성되었다.

$$RCB_{ext} = 3f(RH)[sulfate]+3f(RH)[nitrate]+4[organic\ mass\ carbon]+1[soil]+0.6[coarse\ mass]+B_{abs}$$

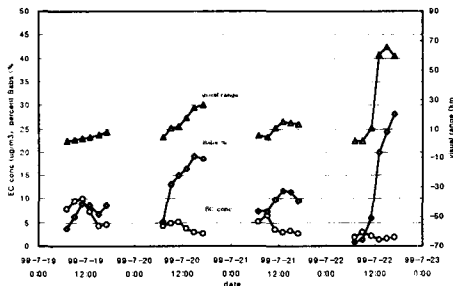


Fig. 1. Diurnal contribution of B_{abs} by elemental carbon

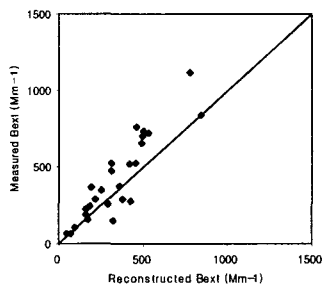


Fig. 2. Comparison of measured B_{ext} with reconstructed B_{ext}

참고 문헌

- U.S. Environmental Protection Agency Air Quality Strategies and Standards Division Visibility and Ecosystems Protection Group (1998) Visibility Monitoring Guidance Document
- M.L. Pitchford, M.C. Green, H.P. Kuhns, I. Tombach, W.C. Malm, M. Scruggs, R.J. Farber and V. Mirabella (1999) Project MOHAVE Final Report, 5-1~5-14
- Friedlander S.K. (1977) Smoke, Dust and Haze, John Wiley & Sons 122~130
- National Research Council (1993) Protecting Visibility in National Parks and Wilderness Areas, National Academy Press, 127~129
- IMPROVE (1993) Spatial and Temporal Pattern and the Chemical Composition of the Haze in the United States, 4-1~4-9