

1A1) 에어로졸 집속-레이저유도플라즈마 분광분석(Aerosol Focusing-LIBS) 시스템을 이용한 대기 중 에어로졸의 실시간 중금속 원소성분 측정

Measurements of Atmospheric Heavy Metal Particles in Real Time using an Aerosol Focusing-Laser Induced Breakdown Spectroscopy(Aerosol Focusing-LIBS)

곽지현 · 김기백 · 박기홍

광주과학기술원 환경공학과 대기입자공학 연구실

1. 서 론

대기 중 에어로졸은 지구의 복사열평형, 구름형성의 핵으로 작용함으로써 간접적으로 기후변화에 영향을 줄 뿐만 아니라 특히 중금속 함유 에어로졸의 경우, 인체에 흡입시 호흡기 및 폐질환 영향을 주며 건강에 유해한 것으로 알려져 있다(Dockery et al., 1994). 그러므로 이러한 입자상 물질의 발생원 및 이동경로 등을 평가하기 위해서는 화학적 조성의 실시간 측정이 반드시 필요하다. 그러나 지금까지의 에어로졸 분석은 주로 ICP-MS나 AAS 등의 비실시간 화학적 분석 방법으로 분석되어져 왔다. 이는 오염 대상지역에 대한 대표성을 띄는 시료채취, 추출, 복잡한 정제과정의 실험절차를 거치며 많은 시간과 고비용을 필요로 한다. 따라서 이런 단점을 극복할 수 있도록 신속한 분석속도를 보장하면서 물질의 실시간 모니터링이 가능한 측정기술 개발이 필요하다.

에어로졸 집속-레이저 유도플라즈마 분광분석법(Aerosol Focusing-LIBS; Aerosol Focusing-laser induced breakdown spectroscopy)은 시료의 전처리가 필요 없으며 신속하게 에어로졸의 화학적 원소성분을 실시간으로 측정 및 분석이 가능한 방법으로, 고출력의 펄스레이저를 시료에 투사한 뒤 시료를 원자화 및 이온화 시켜 원소에 따른 고유의 스펙트럼을 분석하여 시료 중의 원소성분을 예측할 수 있다.

2. 연구 방법

레이저 유도플라즈마 분광분석 시스템은 크게 레이저, 에어로졸 샘플링 챔버, 스펙트로미터로 구성되어 있다. 본 연구에서는 100mJ/pulse의 Q-switching된 펄스 Laser(Pulsed Nd: YAG, 1064nm-wavelength, 7ns-pulse width, 10Hz-repetition rate, Continuum Inc., USA)를 이용, 플라즈마 상태로 유도해 여기시킨 후 플라즈마의 팽창에 따라 그 안에 여기상태로 있던 이온, 원자 등이 낮은 에너지 준위로 떨어질 때 발산하는 빛을 broadband spectrometer(LIBS+2000, Ocean Optics Inc., USA)를 이용하여 200~900nm까지의 스펙트럼에 대해 한 번에 분석하였다(그림 1). 대기 중의 에어로졸은 PM₁₀ inlet과 diffusion dryer를 통과시켜 일정 유량(25LPM)으로 샘플링 하여 Tygon tube를 통해 에어로졸 챔버로 안내, 에어로졸 집속 시스템(sheath air focusing nozzle)을 적용하여 레이저 빛이 정확히 입자를 맞출 수 있도록 제어 후 collection substrate에 1시간 동안 포집하였다. 실제로 에어로졸 입자에 대한 원소분석이 이루어졌는지에 대한 검증은 위해 같은 실험조건에서 blank로써 collection substrate에 대한 LIBS 스펙트럼을 함께 비교·분석하였다. 에어로졸 챔버의 경우 24시간 측정의 자동화를 위해 레이저 빔 입사각과 스펙트로미터와 연결된 fiber optic lens 간의 각도를 90°로 고정시킨 뒤 collection substrate의 고정된 위치에 에어로졸이 포집, 레이저가 입사되도록 설계하였다. 또한 collection substrate는 자동으로 1시간 간격으로 일정거리를 이동하여 포집되도록 서보모터를 연결, 프로그램을 이용하여 제어하였다.

3. 결과 및 고찰

2009년 8월 4일부터 2009년 8월 6일까지 대기 중 에어로졸을 1시간 간격으로 sheath air focusing

nozzle을 통과시켜 collection substrate에 포집 후 레이저로 조사하여 얻은 스펙트럼 분석결과, 1시간의 sampling time으로 collection substrate에 particle beam이 포집된 것을 확인할 수 있었으며, Pb, Mn, Co, Mg, Fe, Ca, Cu 등과 같은 (중)금속 원소가 발견되었다. Pb, Mn, Co, Mg, Fe과 같은 원소의 경우

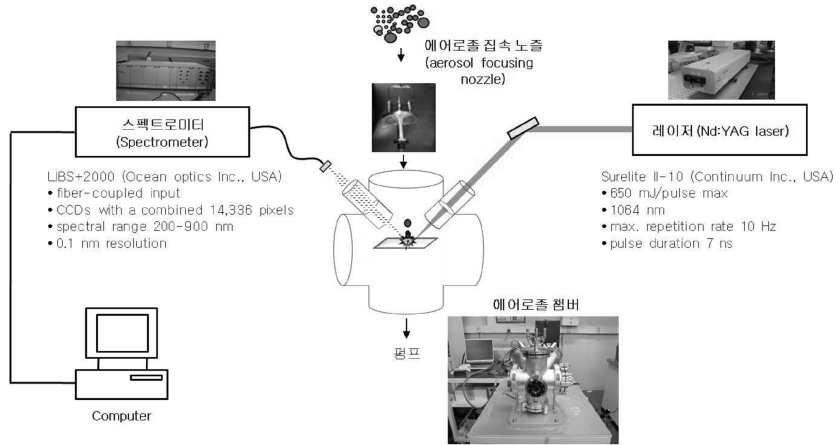


Fig. 1. Schematic of Aerosol Focusing-LIBS system for detection of atmospheric aerosols.

평균적으로 오전 9~10시와 저녁 7~8시 사이에서 최대 peak area 값이 나타나는 것을 관찰하였다. 반면 Cu 원소의 경우 오전(10시), 오후(2시), 저녁(7시) 모두에서 값이 증가하는 경향을 보였다. Ca 원소의 경우 오전 시간 대에서 값이 약간 증가하는 것으로 나타났지만 전반적으로는 값의 변화가 크지 않은 것을 관찰할 수 있었다.

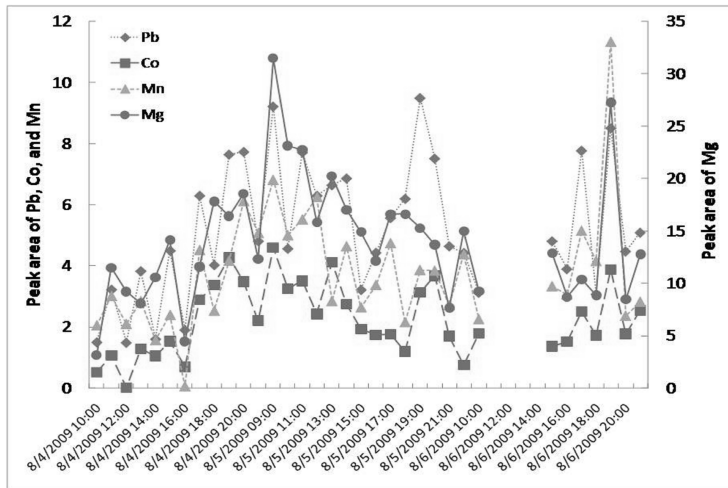


Fig. 2. Diurnal variation of LIBS response for Pb, Mn, Co, and Mg.

참 고 문 헌

Dockery, D.W. and C.A. Pope (1994) Acute Respiratory Effects of Particulate Air Pollution, Ann. Rev. Publ. Health, 15, 107-132.