한국대기환경학회 2006 춘계학술대회 논문집
Proceeding of the 41st Meeting of KOSAE(2006)
Korean Society for Atmospheric Environment

4A5) 마이크론 크기의 입자 질량분석기 제작 및 실험

Manufacturing and Experimental Results of the Micron Size Aerosol Mass Spectrometry

김덕현 · 차형기 · 양기호 · 김진아[1] · 김도훈[1]
한국원자력연구소 양자광학부, [1]경남대학교 화학과

1. 서 론

PM2.5를 포함한 나노 크기의 입자가 환경/기상/보건에 중요함은 말할 필요가 없다. 지금까지 대기 중에 존재하는 입자의 총질량이 중요시되고 있다가, PM10, PM2.5로 점점 작은 입자가 중요하게 된 것은 작은 입자가 구름의 생성에 미치는 영향이 크고, 또한 단위 질량에서 작은 입자가 그 표면적이 넓기 때문에 인체에도 더 유해하여 지금은 나노 및 마이크론 입자의 크기 및 성분 분석이 매우 중요하게 인식되었고 이에 대한 연구가 장치개발이 진행되고 있다.

나노크기 입자의 분석은 입자의 입자를 탈착 및 이온화를 위해서 레이저를 동기화 시키지 않고 효율이 100 %에 가까운 입자 도입기(에어로졸 렌즈)를 이용하여 다량으로 측정영역에 도입시키고 이를 히터로 원자화(atomizer) 시키고 이를 다시 전자충을 이용하여 이온화 시키거나, 레이저를 이용하여 확률적으로 이온화시키는 방법이 있다 전자는 탈착이 어려운 종류에 적용하는데 한계가 있고 후자는 입자의 타겟팅효율이 나빠서 청전 지역에서는 통계적인 정보를 얻는데 제한적이라 할 수 있다. 본 연구에서는 입자의 크기가 0.3 마이크론 이상이고 10 마이크론 이하인 입자의 크기 및 성분을 분석하는 장치를 개발하고 이를 실증하였다.

2. 핵심부품의 설계-제작

입자를 구성하는 원소를 분석함은 입자를 도입하는 부분과, 입자를 이온화 시키는 부분, 그리고 이온화된 원소를 성분별로 분석하는 일로 구성된다. 입자를 잘량분석기로 도입하는 것은 노즐과 스키머로 구성되며 각 단계에서 점차적으로 기압이 낮아진다. 본 연구에서는 가료조사와 노즐성능 실험을 통해서 오리피스와 캐피러리의 중간 형태인 노즐을 설계 제작하여 그 성능을 조사하고 직경의 크기를 정했다. 노즐의 막힘 현상과 노즐의 발산각을 고려하여 400μm의 직경을 택하였고, 노즐의 길이는 직경의 5-10 배로 다양하게 채택하였다. 스키머도 같은 크기로 택하였고, 스키머와 노즐의 거리는 5-10 mm로 최적의 상태에서 제 2 챔버의 압력이 최소가 되는 지점을 찾았다. 입자의 속도를 측정하기 위하여 서로 직교하는 두 대의 연속광원인 Nd:YAG(532nm, 80 mW) 레이저를 두 개의 스키머를 통과한 후에 설치하여 입자의 속도를 측정하였다. 두 대의 레이저 간격은 약 6 cm 정도로 측정도니 속도는 200 m/sec에서 400 m/sec로 0.3 μm에서 10 μm 표준 입자를 사용하여 측정하였다. 입자의 속도를 측정하는 챔버는 4×10^{-5} mbar 로서 입자의 속도가 등속운동한다. 속도가 측정된 후 입자는 속도 측정 거리 (6 cm)의 두 배에 해당하는 곳에 펄스형 레이저를 두고 입자가 그곳을 지나는 시간에 고출력 레이저를 동작시켰다. 레이저를 빠르게 움직이는 작은 입자에 타겟팅 시키기 위하여 레이저를 동작시키는 두 개의 신호 (램프 동작신호와 Q-스위치)를 만들어 공급하였다. 그림 1은 입자의 크기가 달라서 각각 다른 속도로 진행하는 입자를 동기 시키기 위한 (Q-스위치) 신호를 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 레이저를 동작시키는 입자의 속도에 관계없이 정확하게 두 배의 시간이 지난 후에 발생하는 것을 알 수 있다. 스위칭 신호가 정확하게 두 배의 시간이 지난 후에 발생하는 것은 두 레이저 사이의 거리가 고출력 레이저 두 배가 되기 때문이다. 어러한 방법으로 레이저를 동기 시키면 빠른 속도로 도입되는 입자의 속도와 관계없이 동기 신호를 만들 수있다. 그림 2 는 알콜을 인공적으로 만들어서 속도 측정 영역으로 도입 시킨 후 얻은 속도분포를 나타낸 것이다. 도입되는 입자의 밀도가 과도할 경우 하나의 입자에 나온 산란신호로 입자의 얻은 t앞선 입자와 뒤의 압자가 그림에서 음의 크기는 서로 관련이 없는 두 레이저의 사이

에서 얻어지는 상관관계 때문이다.

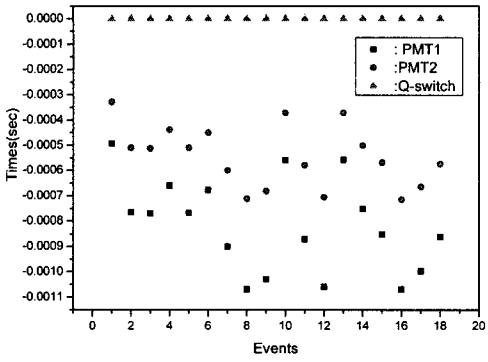

Fig. 1. Aerosol scattering and Q- switching signals.

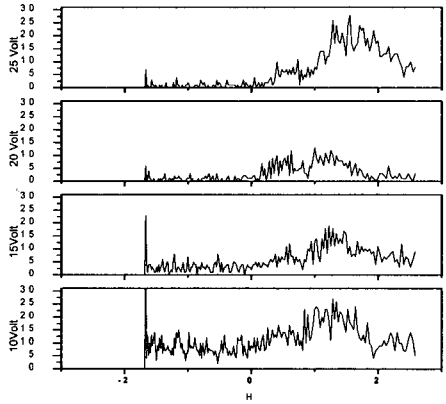

Fig. 2. Aeroosol size distribution of alcohol.

3. 결과 앞으로 연구 계획

그림 3은 제작된 시스템의 모양을 사진으로 나타낸 것이다. 제작된 시스템은 레이저와 광/이온 센서를 제외하고 국내에서 자체 제작한 것으로 앞으로 이를 소경 형량화 및 입자 측정 영역을 나노입자 영역으로 넓힐 것이다.

그림 4는 도입된 여러 종류의 입자를 고출력 레이저로 이온화 시키고 이를 MCP 센서로 구성된 자체 제작한 TOF(Time of Flight) 질량 분석기로 얻은 질량 신호를 나타낸 것이다, 이러한 신호는 아직 검정을 거치지 않았기 때문에 구체적으로 각각의 peak 신호가 어떤 원소를 나타내는지 알 수 없으나, 알루미나와 알코올 그리고 표준 입자에서 서로다른 형태의 질량 신호를 얻을 수 있었다. 앞으로 질량 신호를 검증하고 또한 보다 정확하게 정량화 시키기 위하여 각단계에서 입자의 효율을 측정하고 또한 입자의 크기 측정 영역을 넓히기 위하여 노즐과 작은 입자를 인식하는 기술들을 개발하고자한다.

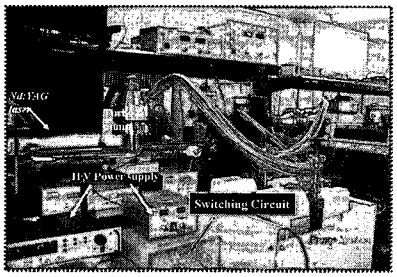

Fig. 3. Developed Aerosol Mass Spectrometer.

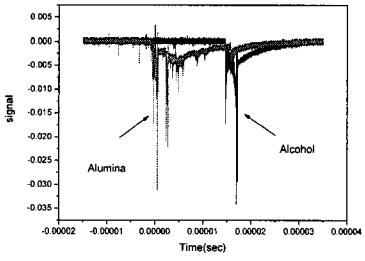

Fig. 4. Aerosol mass signal of Alcohol and alumina particle.

참 고 문 헌

Jayne, J.T., D.C. Leard, X. Zhang, P. Davidovits, K.A. Smith, C.E. Kolb, and D.R. Worsnop (2000) Development of an aerosol mass spectrometer for size and composition. analysis of submicron particles, Aerosol Sci. Technol., 33, 49-70.

Eric Gard, etc. (1997) Real time analysis of Individual atmospheric particle: sedign and performance of a portable ATOFMS, Anal. Chem. 69, 4083-4091.