

1A4) 대기 부유 입자의 실시간 단일 에어로졸의 성분 분석용 질량분석기의 설계-제작

Design and Development of Atmospheric Single Particle Aerosol Mass Spectrometer

김덕현 · 차형기 · 양기호 · 김도훈¹⁾ · 김진아¹⁾ · 이상천¹⁾

한국원자력연구소 양자광학부, ¹⁾경남대학교 화학과

1. 서 론

대기 중의 부유 입자를 측정하는 기술 중에서 입자의 물리 화학적 특성을 실시간으로 측정 하는 것은 다른 어떤 물리량을 측정하는 것보다 중요하다. 특히 이들을 실시간으로 분석하는 것은 오염원의 발생 원인을 규명하거나 경보 체계를 구축하는데 있어서 반드시 필요한 기술이다. 에어로졸을 이루는 분자나 원자 상태를 직접 측정하는 것이 가장 좋은 방법이다. 그러나 벌크 상태의 모체에서 이를 분석하는 기술들은 (MALDI:Matrix Assisted Laser Desorption Ionization Mass Spectrometer) 소개된 바 있으나 아직 단일 에어로졸 상태에서 에어로졸을 구성하는 분자 상태를 측정하는 기술은 아직 소개된 바가 없다. 본 연구에서는 에어로졸을 구성하는 성분을 원자 상태로 나누어 분석하는 기술에 관한 것이다.

0.3 μm 이하의 작은 입자의 경우 광산란 방식에 의하여 입자의 속도 측정이나 궤적을 알 수 없기 때문에 입자의 크기 측정을 할 수 없고 또한 동기신호 발생이 어렵기 때문에 입자를 효율적으로 도입하는 것이 가장 중요하다. 그러나 본 연구에서 목표로 하고 있는 크기의 입자 영역(0.4 - 10 μm)에서는 입자를 도입하는 장치와 도입된 입자의 속력을 측정하고 이로부터 입자의 크기를 산출하는 장치 및 입자를 용발시키고(ablation) 용발된 원소를 이온화 시키는 장치, 이온 상태의 원자를 질량별로 분리하여 측정하는 질량분석기가 매우 중요하다.

본 연구에서는 각각의 핵심부품들을 개발하고 그 성능을 검증하였으며, 이를 토대로 올레익산(Oleic Acid)을 입자 발생기로 발생시켜 그 질량 신호를 측정하는 연구를 수행하였다.

2. 핵심 부품의 설계

입자 도입기의 핵심은 질량분석기에서 요구하는 압력과 대기압을 분리시키고 입자를 효율적이면, 또한 입자의 발산이 작은 상태로 적도록 주(main) 챔버에 도입시키는 일이다. 이를 위하여 본 연구는 입자의 발산각을 줄이고 효율적으로 입자를 도입하기 위하여 여러 가지 종류의 노즐을 구성하고 그 발산 및 효율을 측정하였다. 그리고 각각의 챔버의 압력을 최소화 하기 위하여 노즐과 스키머의 간격과 크기를 조절하면서 압력변화와 입자의 발산각을 측정하여 최적의 스키머 위치 크기를 정하였다. 본 연구에서 얻은 최적의 노즐의 크기는 400 μm , 스키머와 노즐 간의 간격은 4 mm, 첫 번째 스키머의 크기는 400 μm 였으며 이때 입자의 속도를 측정하는 챔버는 약 2×10^{-5} mbar의 압력을 유지한다. 이때의 MFP는 수십 cm 이기 때문에 입자는 등속 운동을 한다고 예측할 수 있다.

입자를 이온화 시키는 레이저는 일반적으로 수십 Hz 정도의 UV 레이저, 10 nsec 이하의 펄스폭, 또한 수십 mJ 이상의 에너지를 지닌 레이저가 주로 사용된다. 최종적으로 또한 10^8W/cm^2 이상의 파워밀도를 지녀야 하기 때문에 입자의 속도를 정확하게 측정하고 이를 이온화 시켜야하기 때문에 고휒력 레이저를 동작시키는 동기 신호 발생장치가 필요하다. 본 연구에서는 두 레이저 사이에서 입자의 속도를 측정하고, 레이저를 동기 시키기 위하여 동기신호 발생 및 입자 크기분포를 측정하는 회로를 구성하고 그 성능을 검증하였다. 또한 레이저의 동작을 주기적으로 수행하기 위해서 가상의 동기신호를 발생시키고 이 경우는 질량신호가 없기 때문에 이를 구별하여 주 컴퓨터에 질량신호를 저장할 수 있도록 하였다.

도입된 입자를 정확하게 타겟팅하는 것은 에어로졸 질량분석기의 핵심기술이다. 이를 위한 전제로 입

자의 발산각과 입자의 등속운동이 중요하다. 앞에서 언급하였듯이 입자의 속도변화는 챔버의 압력과 관계가 있으며 입자를 타겟팅하는 챔버에서는 2×10^{-7} mbar 이하의 압력을 유지하고 있음을 확인하였다. 이온화된 입자의 궤적은 입자를 TOF(Time of Flight) 챔버로 도입하는 장치와 가속하는 장치에 의하여 그 특성이 정해지는데 일반적으로 에어로졸 질량분석기는 다른 TOF 질량분석기와 다른 초기 이온 분포 및 방향을 지닌다. 벌크 상태의 LA-MS(Laser Ablation-Mass spectrometer)와 달리 360도 사방으로 이온이 진행하기 때문에 질량분석기의 성능이 저감된다.

질량 분석기의 분해능을 높이기 위하여 이온을 가속시키는 방법에 대하여 연구하고 이를 구현하는 장치를 설계-제작하였다. 이를 위하여 고속으로 고전압을 스위칭하는 장치와 넓은 영역에 일정 전압을 걸어서 이온을 추출 가속하는 장치를 제작하였으며, 이온센서와 증폭기를 이용하여 이온 신호를 획득하는 장치를 개발하였다. 기존의 여러 가지 방법의 질량분석기 분해능 향상방법 중에서 본 시스템은 후가속(Post focusing)방법을 이용하도록 장치를 설계하였다. 후가속 방법은 반사형 TOF 방법과 같은 기존의 방법과 달리 모든 질량 성분의 원소에서 그 분해능이 향상되기 때문에 에어로졸 질량분석기와 같이 미지의 다양한 질량신호를 한꺼번에 측정해야 하는 경우에 유용하게 쓸 수 있다.

3. 장치 제작 및 테스트

그림 1은 본 연구에서 설계-제작한 장치의 실제 모습을 보여준다. 장치는 5 개의 진공펌프(2개의 터보 펌프)와 2 부분으로 나누어진 챔버와 이온을 추출 및 가속하는 장치, 그리고 1m 길이의 TOF 자유비행영역으로 되어있다. 그림 2는 제작된 장치를 이용하여 구리판에 레이저를 조사하여 얻은 구리의 동위원소 질량신호를 나타낸다. 그림에서 알 수 있듯이 구리 원소를 구성하는 질량 $m=65, 63$ 의 두 신호가 선명하게 구별되는 것을 알 수 있다.

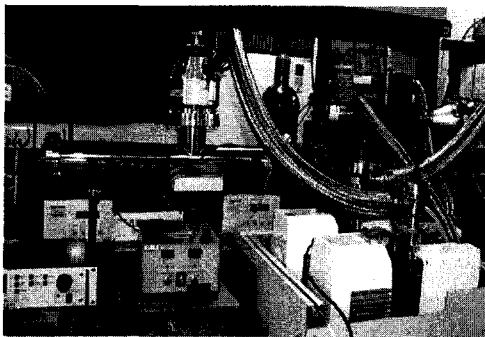


Fig. 1. 설계 제작된 AMS (Aerosol Mass Spectrometer)

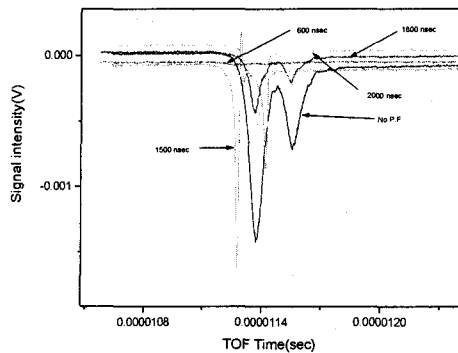


Fig. 2. 구리판에 조사하여 얻은 질량신호

참 고 문 헌

Murray V. Johnston (2000) Sampling and analysis of individual particles by aerosol mass spectrometry