

실시간 환경 모니터링을 위한 기체 기반 입자 분석 칩 Air-based particle analysis chip for real-time environmental monitoring

*김홍래, #김용준, 박철우, 황정호

*H. L. Kim, #Y. J. Kim(yjk@yonsei.ac.kr), C. W. Park, J. H. Hwang
연세대학교 기계공학부

Key words : particle detection, corona discharger, virtual impactor

1. 서론

최근 들어 대기 환경이 악화됨에 따라 대기 환경 모니터링 기법에 대한 관심이 증대되고 있다.[1] 대기 중에는 많은 종류의 미세 부유 입자가 존재하며, 그 크기 또한 다양하다. 이러한 부유 입자들은 호흡기를 통해 인체에 유입되어 호흡기 질환 등의 질병을 유발하는 것으로 알려지고 있어, 다양한 지역에서의 실시간 모니터링이 요구되고 있다.[2] 이에, 대기 중 부유 입자의 감지를 위한 몇 가지 상용 장비들이 보급되어 있다. 이러한 장비들은 높은 신뢰성을 바탕으로 입자 분류 및 측정을 위해 널리 사용되고 있다. 하지만 부피가 크고 가격이 비싸기 때문에 단일 지점에서의 측정만이 가능하며, 넓은 범위에 걸친 실시간 모니터링 시스템에는 적합하지 않다.

이에, 본 연구에서는 관심 지점에서의 입자 분석이 가능한 소형 저가의 입자 분석 시스템을 개발하였다. 제안하는 입자 분석 시스템은 MEMS 기술을 이용하여 제작된 입자 분류를 위한 소형 가상 임팩터[3]와 입자 하전을 위한 코로나 하전장치로 구성되는 입자 분석 칩과 코로나 하전장치에 고전압을 인가하기 위한 고전압 변환회로로 구성된다. 입자 분석 칩에 유입되는 입자들은 가상 임팩터에서 입자의 관성에 따라 크기별로 분류된 후, 코로나 하전 장치를 통해 하전 되어 하전 입자의 전류값 측정을 통해 입자의 수농도가 추정된다.

2. 설계 및 제작

입자 분석 칩은 그림 1.(a)와 같이 입자 분류를 위한 가상 임팩터와 입자 하전을 위한 코로나 하전 장치로 구성된다. 가상 임팩터는 다양한 크기의 입자가 혼재하는 유입 유량을 측면 유로(major channel)로 90% 이상, 직선 유로(minor channel)로

10% 이하로 유지하면, 크기가 작은 입자는 작은 관성으로 인해 대부분의 유동이 진행되는 측면 유로로 이동하고, 크기가 큰 입자는 큰 관성으로 인해 유입 방향을 유지하여 직선 유로로 진행한다. 이러한 원리로 공기 중의 입자를 크기에 따라 분류할 수 있다. 코로나 하전 장치의 경우 그림 1.(c)와 같이 코로나 방전 현상을 발생시키기 위해 뾰족한 팁 모양의 전극으로 제작되어진다. 뾰족한 팁 모양의 전극과 평판 전극 사이에 고전압이 인가되어지면, 팁 쪽에 전계가 집중되어 지고 공기의 절연이 파괴되면서 전자가 방출되게 된다. 이 때 마이크로 채널 내부는 방전 팁 근처의 이온화 영역과, 이온 혹은 전자로 구성되는 드리프트 영역으로 나뉘게 되는데, 이 드리프트 영역으로 입자가 통과할 때, 입자의 하전 현상이 일어나게 된다.

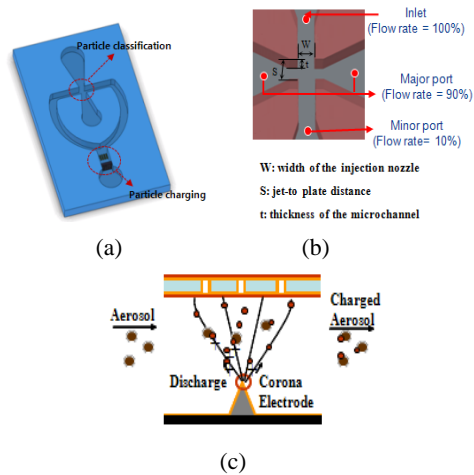


Fig. 1 The schematic of the (a) particle analysis chip, (b) virtual impactor and (c) corona discharger

3. 실험 및 결과

가상 임팩터는 1 μ m의 분류 입경을 가지도록 설계하였다. 이에 따른 분류 효율의 분석을 위하여 0.6~10 μ m의 carbon 입자를 통해 그림 2과 같이 실험을 진행하였다. 그림 2에서의 a) 부분에서는 입자가 생성되며, b) 부분에서는 생성된 입자의 크기 분포가 분석된다. 실험에 수행된 입자 분석칩으로 유입되는 입자의 농도는 200~2200 particles cm⁻³이다. c) 부분에서는 입자가 가상 임팩터에 의해 1.02 μ m의 분류 입경으로 분류된다. 분류된 입자는 가상 임팩터의 성능을 평가하기 위해 한 번 더 SMPS(TSI 3936, TSI Inc.)를 거치게 된다. 그 후 코로나 하전 장치에 의해 하전된 다음, Aerosol electrometer(TSI 3068B, TSI Inc.)를 이용하여 하전입자에 의한 유도 전류를 측정함으로써 입자의 수농도가 추정되어진다.

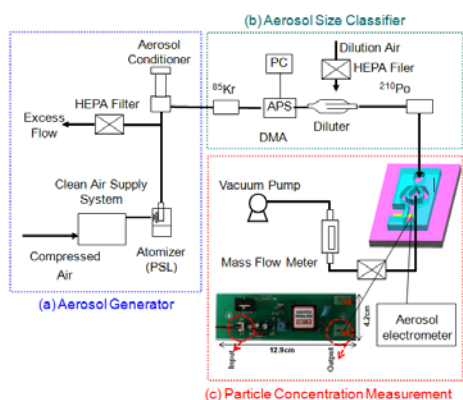


Fig. 2 Experimental setup for particle analysis using the proposed device

그림 3.(a)는 가상 임팩터를 이용하여 측정된 입자 분류 효율 결과이다. 입자의 분류입경은 1.03 μ m로 설계치(1.0 μ m)와 약 3%의 오차를 가졌다. 그림 3.(b)는 코로나 하전 장치의 특성을 나타낸 결과이며, 약 1.5kV에서 코로나 방전 현상이 발생하며, 약 1.8kV에서부터 안정적인 코로나 방전이 일어난다. 그림 3.(c)는 코로나 하전 장치에 고전압을 인가하기 위한 회로의 특성을 나타낸 결과이며, 약 0.7에서 4V를 인가하였을 때 820v에서 5kV의 고전압으로 변환할 수 있었다. 따라서 제작된 고전압 변환회로를 이용하여 입자의 하전을 위한 안정적인 코로나 방전 현상을 발생시킬 수 있었다. 그림 3.(d)는 가상 임팩터에 의해 분류되고 코로나 하전 장치에

의해 하전된 입자를 Aerosol electrometer를 이용하여 측정된 결과이다.

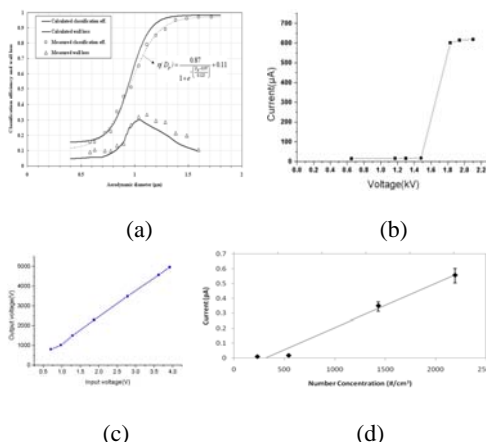


Fig. 3 The experimental result of the (a) Virtual impactor, (b) corona discharger, (c) High voltage DC-DC converter, (d) particle number concentration measurement

4. 결론

제작된 입자 분석칩은 MEMS 기술을 이용하여 소형, 저가형으로 제작되었으며 넓은 범위에서의 실시간 환경 모니터링에 적합하도록 제작되었다. 제안하는 입자 분석칩은 향후 소형 환경 모니터링 시스템에 적용되어 대기 중 입자 농도를 감지하는데 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

후기

본 연구는 서울시 R&BD 프로그램(GR070039) 및 환경부 “환경융합신기술개발사업(212-101-006)”의 지원을 통하여 수행되었습니다.

참고문헌

1. R. Wilson and J.D. Spengler, Harvard University Press. 1st ed., 1996
2. K. Donaldson, X. Y. Li, W. MacNee, "Ultra fine particle mediated lung injury", Journal of Aerosol Science, 29, 553-560, 1998
3. Y. H. Kim et al., "Micromachined cascade virtual impactor with a flow rate distributor for wide range airborne particle classification, Applied Physics Letters, 91, 043512 1-3, 2007