

PA16) PM10, PM2.5 및 PM1 모니터링 기술 개발 Development of Monitoring Techniques for PM10, PM2.5 and PM1

권순박 · 임경수 · 이규원
광주과학기술원 환경공학과

1. 서론

대기오염물질은 입자상물질과 가스상물질로 구분되는데, 이 중 입자상물질은 시정을 감소시키고 인체 건강에 유해한 영향을 미친다. 일반적으로 입자크기가 큰 거대입자는 인체 호흡기관에서 대부분 차단되거나 다시 밖으로 나오게 되지만, 입자크기가 작은 미세입자의 경우 대부분 폐의 깊은 곳에 침착하여 인체에 매우 유해하다. 이러한 미세입자의 유해성 때문에 우리나라도 1995년부터 PM10에 대한 대기환경기준을 설정하여 그 양을 규제하고 있다. 최근에는 폐에 높은 침착률을 보이는 PM2.5에 대한 관심이 집중되고 있다. 입자상 오염물질을 측정하기 위한 기존의 방법은 대기오염지역의 공기를 채취하여 일정 시간 후에 무게를 측정하는 방법과 베타선 감쇠량으로 농도를 측정하는 베타선흡수법 등이 있다. 그러나 포집된 입자의 무게를 측정하는 방법은 입자상물질의 샘플링에 많은 시간이 소모되며 필터의 전처리 및 무게측정과정의 번거롭고, 시간에 따른 농도분포의 추이를 파악할 수 없는 단점이 있다. 반면 베타선 흡수법의 경우 일정시간 간격으로 농도분포의 추이를 파악할 수 있기는 하나 엄밀한 의미에서 실시간 측정이라고 할 수는 없으며, 또한 임계범위가 제한적이고 장비가 고가인 단점이 있다. 따라서 넓은 범위의 입자상물질을 보다 경제적이고 쉬운 방법으로 모니터링 할 수 있는 실시간 측정방법의 개발이 절실히 요구된다. 본 연구에서는 PM10, PM2.5 및 PM1을 실시간으로 측정할 수 있는 기술을 개발하고 이를 실제 대기의 입자상물질의 농도측정에 적용함으로써 PM10, PM2.5 및 PM1의 실시간 모니터링 시스템 개발의 기반을 마련하고자 한다.

2. 연구 내용 및 방법

본 연구에서는 입자상물질을 실시간으로 모니터링 하기 위해 입자의 크기에 따른 물리적 특성과 전기적 특성을 함께 이용하게 된다. 입자의 관성력 차이를 이용하여 입자를 크기별로 분리하고, 입경에 따라 나타나는 하전량의 차이를 이용하여 입자를 검출한다. PM10, PM2.5 및 PM1을 동시에 분리할 수 있는 다단임팩터(cascade impactor)를 개발하고, 입자에 전하를 공급할 수 있는 하전기(charger)와 하전된 입자의 전하량을 측정할 수 있는 전류측정기(electrometer)를 구성하게 된다. 다단임팩터는 입자의 관성을 이용하여 입경이 큰 입자부터 차례대로 기판에 충돌시켜 입자를 분리하는 장치로 대기 중 입자상물질의 포집에 널리 사용되고 있는 장치이다. 본 연구에서는 다단임팩터를 독자적으로 설계, 제작하여 그 분리 효율 특성을 평가하고 전기적 방법이 적용 가능 하도록 제작되었다. 다단임팩터의 성능평가는 실험실에서 발생시킨 단분산 입자를 사용하였다. 하전기는 코로나 방전을 이용하여 입자를 하전시키는 장치로서 약 5kV의 전압을 직경 0.3mm의 텅스텐 와이어에 공급할 수 있도록 설계 되었으며 단분산 입자를 사용하여 하전효율과 통과율 특성을 분석하였다. 전류측정기는 임팩터내의 기판과 연결되어 약 $10^{-12}A(=1pA)$ 수준의 저전류 측정이 가능하도록 구성되었다.

3. 연구결과

3.1 다단임팩터를 이용한 PM10, PM2.5 및 PM1의 분리

목표 분리입경이 각각 10, 2.5, 1 μ m 이고, 흡인유량이 30 l/min인 다단임팩터를 설계하였다. 임팩터의 각 단은 크게 가속노즐, 기판, 그리고 외벽으로 구성되며 노즐의 개수 및 크기의 결정은 무차원 변수인 레이놀즈 수(Reynolds number)와 스토크스 수(Stokes number)를 사용하여 계산하였다. 다단임팩터의 마지막 단인 3단(stage 3)의 기판에 포집되지 않고 통과한 입자들은 후처리필터(after filter)에 포집된다.

설계변수에 따라 제작된 임팩터 각 단은 실험실에서 단분산 입자를 발생시켜 성능평가를 수행하였다(권순박 등, 2000). 실험입자로는 Oleic acid 입자와 Polystyrene latex (PSL) 표준입자가 사용되었으며, Oleic acid 입자는 Vibrating Orifice Aerosol Generator (VOAG, TSI model 3450)를 사용하여 발생시키고, PSL 입자는 atomizer를 이용하여 발생시킨다. 발생된 입자는 중화기(Kr-85 neutralizer)를 통과시켜 Boltzmann 분포의 하전특성을 갖도록 유도한다. 임팩터를 통과하는 유량은 진공펌프와 mass flowmeter를 사용하여 30 l/min로 일정하게 고정시킨다.

3.2 실시간 측정시스템의 구성

입자상 물질이 크기에 따라 하전특성이 다른점을 이용하는 실시간 측정시스템의 구성을 위해서는 입자상 물질의 전기적 전처리가 필수적이다. 전기적 전처리 과정은 코로나 방전을 이용하였다. 입경에 따른 하전특성을 평가하기 위해 단분산 입자를 발생시킨 뒤 Aerosol Electrometer (TSI model 3068A)를 이용하여 전류량을 측정하게 된다. 그림 1은 입자상물질의 실시간 측정을 위한 개요도를 나타낸다. 입자하전기를 통과한 입자는 다단임팩터에서 입경에 따라 분리되고 분리된 입자에 의하여 발생된 전류가 전류측정기를 통해 측정된다(Kwon et al., 2000). 임계 오리피스(critical orifice)를 이용하여 유량을 일정하게 유지되고, 임팩터의 각 단에서 측정된 전류는 데이터처리를 통해 개수농도 정보로 전환되게 된다.

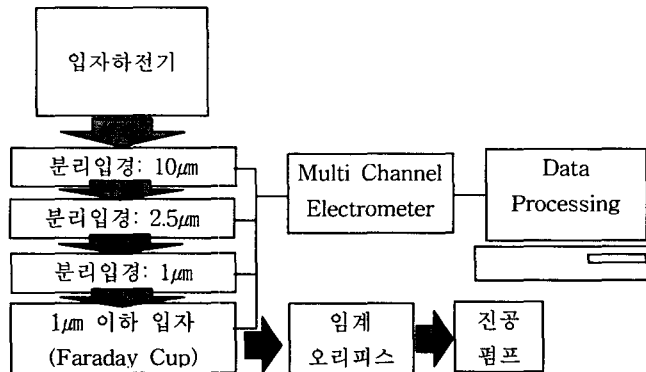


그림 1. PM10, PM2.5 및 PM1 실시간 측정기술 개요도

4. 결론 및 향후전망

본 연구에서는 입자상물질(PM10, PM2.5 및 PM1)을 실시간으로 측정할 수 있는 기술을 체계적으로 연구하여 그 실현 가능성을 검증하였다. 다단임팩터를 이용하여 입자상물질을 입경에 따라 분리한 뒤, 전기적으로 전처리 된 입자의 전하량을 측정함으로써, 입자의 개수농도 정보를 획득할 수 있었다. 개발된 다단임팩터는 실험실내에서 발생시킨 단분산 입자를 사용하여 각 단계에 대한 입자 포집특성을 평가하였으며, 전기적 전처리 장치와 전류측정기를 결합한 Proto-type을 제작하여 전체적인 성능을 평가하였다. 기존의 측정방식의 단점을 극복하여 시간에 따라 변화하는 입자상물질의 농도변화 추이를 측정할 수 있는 본 기술의 개발은 대기환경 개선에 큰 도움이 될 것으로 전망된다.

감사의 글

본 연구는 광주과학기술원 환경모니터링 신기술 연구센터 사업의 일환으로 수행되었으며, 도움을 주신 분께 감사드립니다.

참고문헌

- 권순박, 임경수, 이규원, 지준호, 배귀남 (2000) 상압 다단임팩터의 설계 및 성능평가, 대기환경학회 춘계학술대회발표논문집, 219-220.
 Kwon, S. B., K. S. Lim, K. W. Lee, and G. N. Bae (2000) *The American Association for Aerosol Research 19th Annual Conference Abstracts*, p 34.