

PA2) 간이형 전기적 저압임팩터(P-ELI)의 설계 및 성능평가 Design and Performance Evaluation of a Portable Electrical Low-pressure Impactor

지준호¹⁾²⁾ · 조명훈¹⁾ · 박동호¹⁾ · 배귀남²⁾ · 황정호¹⁾

¹⁾연세대학교 기계공학과, ²⁾한국과학기술연구원 대기자원 연구센터

1. 서 론

다단 임팩터는 수십 나노미터에서 수십 마이크로미터 크기의 대기 에어로졸의 입경분포를 측정하는 장비로 사용되어 왔다. 최근에는 전기적 임팩터가 개발되어 기존 다단임팩터의 문제점인 운전이 번거롭고, 측정시간이 오래 걸리는 단점을 보완하였다. 전기적 임팩터는 실시간으로 에어로졸의 크기분포를 측정할 수 있으므로, 대기환경 모니터링, 디젤 자동차에서 배출되는 입자상 물질(PM, particulate matter)의 측정, 대기오염 방지시설을 구비한 공장, 발전소, 소각로 등의 PM 모니터링 시스템 등에 응용될 수 있다. 특히, 에어로졸이 시간에 따라 변하는 시스템에 적용하여 입경분포의 변화를 실시간으로 측정할 수 있다. 전기적 임팩터는 Keskinen 등(1992)에 의해 본격적으로 시작되었고, 현재 상용화된 전기적 저압 임팩터(ELPI, electrical low pressure impactor, Dekati)는 12개의 극미량 전류계(electrometer)를 이용하여 입경이 0.03-10 μm 범위인 입자의 크기분포를 실시간으로 측정할 수 있다. 그렇지만 가격이 고가이고 시스템이 복잡하다는 단점이 있다.

본 연구에서는 기존 전기적임팩터(ELPI)와 운전원리는 비슷하지만, 간이형으로 운반이 편리한 포터블 전기적 저압임팩터(P-ELI, portable electrical low pressure impactor)를 개발하였다. 전기적 임팩터의 요소인 패러데이 케이지(Faraday cage)와 입자하전기를 제작하여 다단의 저압임팩터와 연결한 통합시스템을 구성하였다.

2. 간이형 실시간 저압임팩터의 구성요소

그림 1에 나타낸 바와 같이 전기적 임팩터는 크게 에어로졸 하전기, 다단 임팩터, 패러데이 케이지(FC, Faraday cage), 다채널 극미량 전류계(multichannel electrometer) 등으로 구성되어 있다. 코로나 방전을 이용하여 입자를 입경에 따라 일정한 하전량을 갖도록 하전시키는 에어로졸 하전기가 저압임팩터의 상류에 설치된다. 하전기를 통과하여 하전된 입자는 관성력에 따라 큰 입자부터 차례로 각 단계에 포집된다. 하전된 입자가 각 임팩터의 기관에 충돌하는 순간 각 입자가 보유하고 있는 하전량은 각 단계에 연결된 극미량 전류계로 동시에 측정된다. 다채널 극미량 전류계의 마지막 채널은 최종필터로 사용되는 패러데이 케이지(FC)에 연결되는데, FC는 임팩터에서 빠져나온 나머지 입자의 하전량을 측정한다. FC를 통과하는 전기적 임팩터의 흡인유량은 FC의 하류에 설치되는 진공펌프와 유량 제어장치로 조절한다. 임팩터 상류에 설치된 하전기를 통과한 입자의 입경과 전하량의 상관관계를 알고 있다면 각 단계에 충돌한 입자의 농도를 계산할 수 있으므로, 샘플링 입자의 크기분포를 측정할 수 있다. 저압임팩터는 서브마이크론 영역에서 3-4단을 구성할 수 있도록 설계하였고, 각 단의 기관에서 하전 입자의 전하량을 전류로 측정할 수 있도록 BNC 케이블을 설치하였

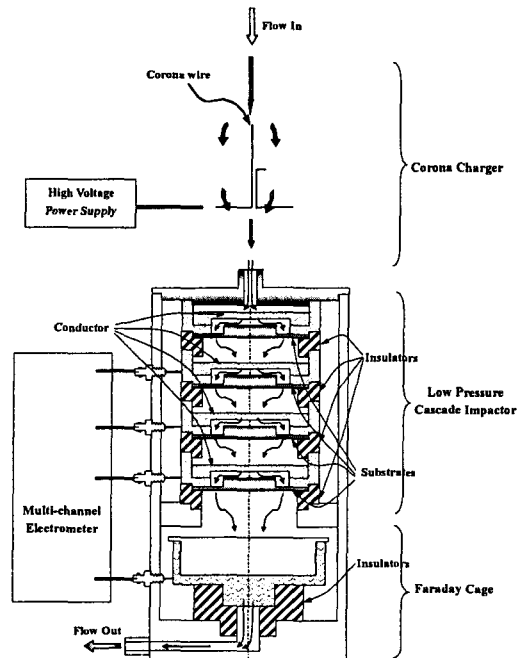


Fig. 1. Cross sectional view of a portable electrical low pressure impactor.

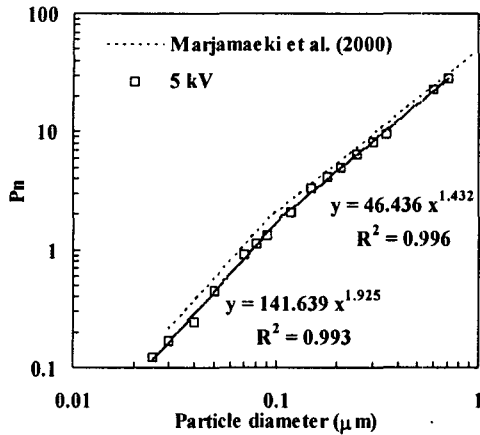


Fig. 2. $P \cdot n$ values at the air flow rate of 10 sL/min

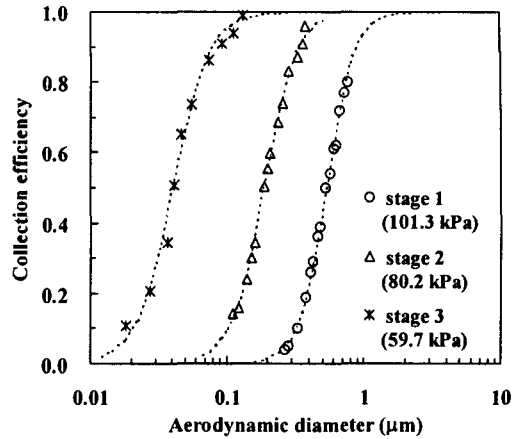


Fig. 3. Collection efficiencies of each impactor stage

다. 3개의 단으로 저압임팩터의 분리입경이 약 0.05 μm 까지 낮출 수 있도록, 첫 번째와 두 번째 단의 하류에 압력조절 오리피스를 설치하여 각 단의 작동압력을 변경할 수 있도록 설계하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 2는 임팩터의 작동유량인 10 Lpm일 때, 하전기의 전극에 5 kV를 인가한 경우 입자하전기의 특성인 $P \cdot n$ 을 나타낸 것이다. $P \cdot n$ 은 하전기의 성능을 나타내는 변수로 입자의 하전기 통과율과 입자당 전하수의 곱이다. 전기적 임팩터는 각 단계에서 채취된 입자의 크기범위의 평균인 기하평균입경에 해당하는 $P \cdot n$ 데이터를 이용하여 각 단계에 채취된 입자의 농도를 계산한다. 그림 2에서 얻은 회귀함수를 이용하면, 임팩터 단계의 분리입경이 변경되어도 각 단계의 $P \cdot n$ 을 계산할 수 있다. 그림 3은 지준호 등(2003)의 전기적 성능평가 방법을 이용하여 각 단계의 성능을 나타내는 입자채취곡선을 나타낸 것이다. 제작한 1, 2, 3 단의 노즐 직경은 0.6, 0.4, 0.3 mm이고, 노즐 개수는 9, 10, 20개였다. 각 단계의 노즐 상류의 압력이 101.3, 80.2, 59.7 kPa 인 경우 50% 분리입경은 0.53, 0.185, 0.43 μm 였다. 특히, 1단계와 2단계의 하류에 장착된 압력조절용 오리피스의 개수와 직경을 조절하면 각 단계의 상류 압력을 결정할 수 있기 때문에 분리입경을 임의로 쉽게 변경할 수 있다. 또한 전체 임팩터는 간단하게 통합시스템으로 구성할 수 있다.

전기적 임팩터 시스템에서 각 단계의 전류 데이터를 이용하여 실제 입자의 크기분포를 얻으려면 복잡한 보정 과정을 얻어야 한다. 특히, 미세입자의 경우 하전기를 통과하더라도 하전효율이 낮기 때문에 각 단계에서 전류계의 분해능 이상의 전류가 측정되어야 한다. 결국 서브마이크론 입자를 전기적으로 측정하려면 입자의 농도가 충분히 높거나 전류계의 최소 측정값이 낮아야 한다. 앞으로의 연구로는 다채널 전류계를 임팩터 본체에 통합한 시스템을 구성하는 것과 임팩터의 성능을 고려하여 정확한 데이터를 얻을 수 있도록 소프트웨어를 개발하는 것이다.

사 사

본 연구는 산업자원부 신기술실용화기술개발사업(과제번호: 10005549)의 지원으로 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고 문헌

- Keskinen, J., Pietarinen, K. and Lehtimaeki, M. (1992) Electrical Low Pressure Impactor, *J. Aerosol Sci.*, Vol. 23, pp. 353-360.
- 지준호, 조명훈, 배귀남, 황정호, (2003) 서브마이크론 입자 측정용 저압 임팩터의 설계 및 성능평가, 대한기계학회 B권 심사증.