

## AE1) 전기적 임팩터용 페러데이 케이지의 성능평가 Performance Evaluation of the Faraday Cage for a Electrical Impactor

지준호 · 배귀남<sup>1)</sup> · 황정호<sup>2)</sup> · 이규원<sup>3)</sup>

연세대학교 기계공학과 대학원, <sup>1)</sup>한국과학기술연구원 지구환경연구센터,

<sup>2)</sup>연세대학교 기계공학과, <sup>3)</sup>광주과학기술원 환경공학과

### 1. 서론

대전 입자의 거동은 입자의 제어 측면뿐만 아니라 입자의 측정에서 중요한 요소 중 하나이다. 특히, 입자를 실시간으로 측정하는 경우 입자의 대전량을 정밀하고 정확하게 측정하는 것은 측정 대상이 심하게 변할 때 매우 중요하다. 입자의 전기적 특성(대전량)을 이용하여 입경분포를 측정하는 장비로는 EAA(electrical aerosol analyzer), SMPS(scanning mobility particle sizer), ELPI(electrical low pressure impactor) 등이 있다. 전기 집진기나 전기 사이클론, 전기 응집기 등은 대전 입자에 전기장을 인가해 입자를 제거하거나 크기를 제어하는 장치이다. 특히, 실시간으로 넓은 범위의 입경분포를 측정할 수 있는 장비인 ELPI는 최근 디젤 배출 입자상 물질의 측정에 많이 사용되고 있는데, 배출원의 순간적인 변화에 따른 입자상 물질의 배출을 쉽게 평가할 수 있는 장점을 가진 것으로 알려져 있다.

본 연구에서는 디젤 엔진 배출 입자상 물질의 실시간 측정용 다단 임팩터의 개발과정에서 필요한 입자의 대전량을 측정할 수 있는 페러데이 케이지(Faraday cage)를 제작하여 성능을 평가하였다. 먼저 입자 대전량의 절대 측정치를 검증하기 위하여 충돌 분무기로 1  $\mu\text{m}$  이하인 단분산 입자를 발생시켜 상용화된 aerosol electrometer(TSI model 3068)의 측정치와 비교하였다. 또한, 흡인유량에 따른 두 측정장비의 특성도 비교하였다.

### 2. 실험

본 연구에서는 전도성 필터를 사용하여 입자가 필터로 유입되는 과정에서 유동의 방향이 변하지 않도록 페러데이 케이지를 설계하였다. 필터 홀더의 신호선이 직접 electrometer에 연결되고, 외벽을 그라운드 하여 전기적으로 완전히 차폐시키고, 외벽에 BNC 커넥터를 설치하였다. 페러데이 케이지의 특성을 파악하기 위하여 충돌 분무기와 DMA(TSI model 3080 electrostatic classifier with model 3081 long DMA)를 사용하여 단분산 입자를 발생시켰다. 시험 입자로는 NaCl 입자를 사용하였고, 실험 시작, 중간 및 끝에 SMPS를 사용하여 발생하는 입자의 크기분포를 점검하였으며, 입경분포는 거의 변하지 않음을 확인하였다. 실험에서 기준 계측기로 사용한 aerosol electrometer는  $10^{-15}\text{A}$ 까지 측정할 수 있고, 페러데이 케이지에 연결한 electrometer(Keithley model 6517A)는  $10^{-16}\text{A}$ 의 정밀도를 갖는다. 습식 가스미터로 교정된 로터미터와 진공계를 설치하여 흡인유량을 일정하게 조절하였다. 흡인유량은 aerosol electrometer의 적정 유량 범위에서 사용하기 위해 10 L/min으로 설정하였다. 실험 시작 전과 후 aerosol electrometer의 읍셋 전류는  $-8 \times 10^{-15}\text{A}$ 이었고, 페러데이 케이지에 연결한 Keithley electrometer의 경우 실험 전에 읍셋 전류를 제거하였다. 그림 1은 페러데이 케이지의 성능평가 실험장치의 개략도를 나타낸 것이다.

페러데이 케이지의 성능을 평가하기 위하여 충돌 분무기를 사용하여 NaCl 입자를 발생시켜 aerosol electrometer와 페러데이 케이지로 대전량을 측정하였다. 충돌 분무기로 발생된 입자는 회석장치를 거쳐 청정공기와 혼합된 후 기류를 균일하고 안정되게 만드는 유동 안정부로 공급된다. 유동 안정부에서 페러데이 케이지나 aerosol electrometer로 동일한 조건에서 에어로졸을 샘플링하였다.

### 3. 결과 및 고찰

1% NaCl 용액을 사용하여 충돌 분무기와 DMA로 발생시킨 단분산 NaCl 입자의 입경별 대전량을 aerosol electrometer(AE)와 페러데이 케이지(FC)로 측정한 결과를 비교하여 그림 2에 나타냈다. 그림을

보면, 실험 입경범위에서 페러데이 케이지의 전류 측정치는 aerosol electrometer의 전류 측정치의  $\pm 20\%$  이내이고, 전류 측정치가 장비 분해능의 20배(0.02 pA) 이상인 경우  $\pm 5\%$  이내이다.

흡인유량의 영향을 살펴보기 위하여 5% NaCl 용액을 사용하여 충돌 분무기로 발생시킨 NaCl 입자의 총 대전량을 aerosol electrometer와 페러데이 케이지로 측정된 결과를 비교하여 그림 3에 나타냈다. 이때 두 측정장비의 흡인유량을 3~32 L/min으로 변화시켰다. 그림 3을 보면, 흡인유량이 15 L/min 이상이 되면 aerosol electrometer의 전류는 선형적 증가 곡선에서 벗어나기 시작하고, 20 L/min보다 크면 흡인유량이 증가함에 따라 감소하는 경향을 나타낸다. 반면에 페러데이 케이지의 경우 흡인유량이 증가함에 따라 전류가 거의 선형적으로 증가함을 알 수 있다. 이것은 상용화된 aerosol electrometer의 경우 에어로졸이 입자 채취 필터로 흡인되는 과정에서 유로가 꺾이는 부분이 있으므로, 흡인유량이 많아지거나 입자가 커지면 입자손실이 증가하지만, 본 연구에서 제작한 페러데이 케이지의 경우 유로가 꺾이지 않도록 설계하였으므로, 흡인유량이나 입경에 따라 입자손실이 거의 생기지 않기 때문인 것으로 생각된다.

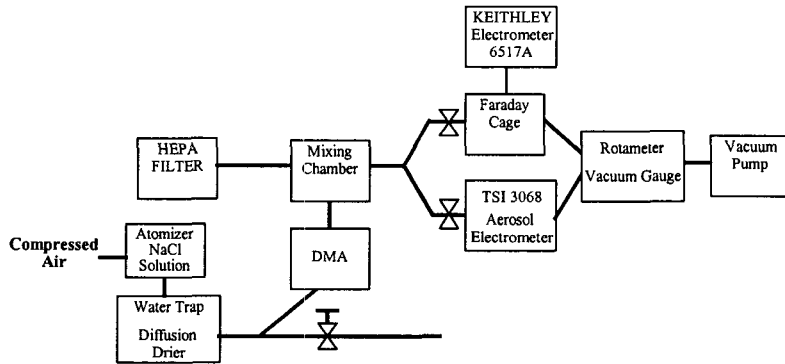


Fig. 99. Schematic diagram of the experimental system

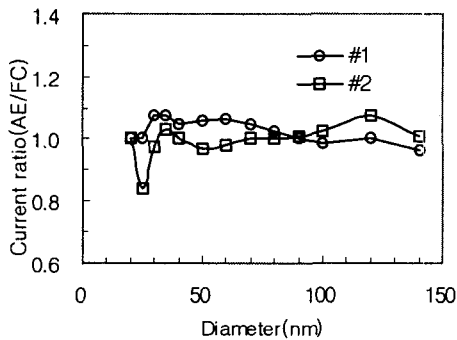


Fig. 100. Comparison of current responses of two instruments with particle diameter.

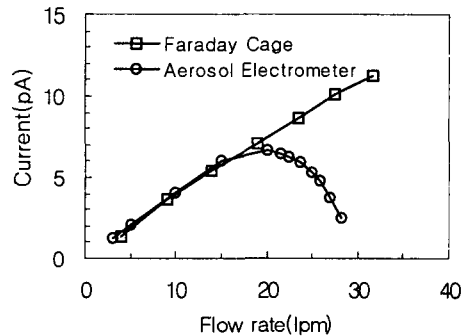


Fig. 101. Effect of sampling flow rate on the current responses.

### 감사의 글

본 연구는 과학기술부 정책연구사업(과제번호 : 기계99-03)의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

### 참고 문헌

Keithley, 「Low Level Measurement」

Maricq, M.M., D.H. Podsiadlik, and R.E. Chase (2000) Size Distribution of Motor Vehicle Exhaust PM: A Comparison Between ELPI and SMPS Measurement, Aerosol Science and Technology, Vol.43, 239~260