

실시간 미세입자 측정을 위한 다이오드형 코로나 하전기의 설계 및 성능평가

조명훈*·지준호**·박동호*·배귀남***·황정호†
(2004년 2월 16일 접수, 2004년 7월 12일 심사완료)

Design and Performance Evaluation of a Diode Type Corona Charger for Real-Time Measurement of the Submicron Aerosol

Myung-Hoon Cho, Jun-Ho Ji, Dong-Ho Park, Gwi-Nam Bae and Jung-Ho Hwang

Key Words: Electrical Low Pressure Impactor(전기적 저압 임팩터), Real-Time(실시간), Corona
Charger(코로나 하전기), Monodisperse Aerosol(단분산 입자)

Abstract

With a diode corona charger, which is a component of ELPI(Electrical Low Pressure Impactor), aerosol particles are charged to make electrical detection possible before they are collected by the impactor. We designed and evaluated two cylindrical corona chargers, each of which had a central corona needle electrode. For the performance evaluation of each corona charger the polydisperse dioctyl sebacate(DOS) particles, with diameters of 0.1~0.8 μm , and NaCl particles, smaller than 0.1 μm , were used. The particles were then led through an electrostatic classifier (TSI model 3081) to classify monodisperse aerosol with minimal size deviation. After evaluating the wall loss of the particles in the corona charger, we measured the product of penetration and number of charges, $F \cdot n$, to evaluate the corona charger efficiency at high positive voltages of 4, 5, 6 kV.

1. 서 론

미세 입자상 물질이 인체의 미치는 영향에 대한 관심이 증가하면서 공기 중에 부유하고 있는 미세 입자상 물질에 대한 측정 및 평가는 매우 중요해 지고 있다. 특히, 크기가 1 μm 이하의 것들은 매우 작기 때문에 대기 중에 오랫동안 떠다니며 대기를 오염시키며 정확한 측정 또한 어렵다. 이러한 입자상 물질을 측정할 수 있는 대표

적인 계측기로 다단 임팩터가 있다. 입자의 관성력을 이용한 다단 임팩터는 그 제작이 용이하고 분리효율이 높아 대기 에어로졸 포집에 널리 사용되고 있다. 하지만 질량을 측정하여 입자의 크기분포에 대한 농도를 얻기 때문에 샘플링 시간이 길고 기판에 사용되는 필터의 질량측정 등 복잡한 과정이 포함되므로 제한적으로 사용되었다. 이와같이 증량법을 사용하는 경우, 입자상 물질의 크기가 작을수록 질량을 분별할 수 있을 정도의 많은 양의 입자포집이 필요하므로 샘플링 시간이 더욱 길어지게 된다.

전기적 임팩터는 이러한 운전의 번거로움과 많은 시간이 걸리는 질량측정 과정을 해결해 샘플링 시간의 단점을 극복할 수 있도록 최근에 개발된 계측장비이다. 공장, 발전소 등의 배출 에어로졸 측정, 환경모니터링, 디젤 자동차 배출 입자상

* 연세대학교 대학원 기계공학과
** (주)삼성전자 가전연구소
*** 회원, 한국과학기술연구원 대기자원연구소
† 책임저자, 회원, 연세대학교 기계공학과

물질 측정 등 응용범위가 매우 넓고 무엇보다도 실시간 측정이 가능한 장점을 가지고 있다. 이미 Dekati사에서 전기적 저압 다단 임팩터(Electrical Low Pressure Impactor)라는 제품이 상용화 되어 있고 많은 연구가 되어 왔다.⁽¹⁻⁵⁾ 이러한 전기적 임팩터의 구성은 크게 입자 크기에 따라 일정한 하전량을 부가하는 입자하전기, 입자를 크기별로 분리할 수 있는 다단 임팩터, 하전된 입자의 전류값을 측정하는 미세 전류계, 측정된 전류값을 원하는 값으로 변환시켜주는 소프트 웨어 등으로 구성된다.

본 연구의 최종목표는 1 μm 이하의 크기가 매우 작은 입자상 물질을 실시간으로 크기분포에 대한 농도를 얻을 수 있는 간이형 3단 전기적 임팩터의 구성이다. 1 μm 이하의 입자를 실시간으로 측정하려면 입자크기에 따라 일정한 전하량을 부가할 수 있는 입자 하전 장치가 필요하다. 다이오드형 코로나 하전기는 입자가 하전기를 통과하는 과정에서 손실이 큰 단점이 있지만, 입경에 따라 일정한 하전량을 갖도록 할 수 장치이다. 뿐만 아니라 고하전 입자를 만들어 줄 수 있는 안정적인 방법이다. 이런 하전장치를 전기적 임팩터 상류에 설치하면 유입되는 다양한 하전 분포의 입자를 크기에 따라 일정한 전하량으로 대전시켜 임팩터의 성능을 전기적인 방법으로 평가할 수 있게 된다.^(5,6) 본 논문에서는 간이형 3단 전기적 임팩터의 구성요소인 Fig. 1과 같은 다이오드형 코로나 하전기를 설계, 제작하여 성능평가를 하였다. 이전 연구로 에어로졸 하전기의 대한 연구가 있었지만⁽⁷⁾ 본 연구에서는 시험입자 발생방식을 달리하여 20nm 까지의 나노입자 영

역으로 확대하여 성능평가를 수행하였고 이전 연구와 다른 측정방식을 적용하여 차별성을 두었다. 또한 하전기의 모든 설계값들은 실제적인 전기적 임팩터의 구성을 고려하여 결정하였다.

하전기의 성능은 입자의 크기에 따라 일정한 하전량을 공급할 수 있으나에 달려 있다. 우선 코로나 방전의 발생 유무를 알아보기 위한 실험으로 와이어에 일정한 전압을 인가시켜 외벽에서 발생하는 이온 전류값을 측정하였다. 코로나 개시전압을 확인한 후에는 하전기의 입경에 따른 하전효율을 평가하기 위해 입자의 통과율과 입자당 평균전하수의 곱 ($P \cdot n$)을 하전기의 인가전압을 4~6kV으로 변화시켜 가면서 측정을 하였다. 1 μm 이하의 작은 입경영역의 정확한 하전효율을 평가하기 위해 시험입자를 입자 크기에 따라 크게 0.1 μm 이상의 입자영역과 0.1 μm 이하의 입자영역으로 입자 발생장치를 달리하여 실험을 하였다. 또한 하전기 벽면에서 발생하는 입자 손실율을 구해 하전된 입자당 기본 전하수를 구하였다.

2. 코로나 하전기

2.1 다이오드형 코로나 하전기의 작동원리

입자 크기에 따라 일정한 하전량을 부가하는 하전장치를 만들기 위해 Fig. 1과 같은 편 대 원통의 다이오드형 에어로졸 하전기를 설계하였다. 설계, 제작한 하전기는 이미 상용화 되어 있는 전기적 임팩터에 장착되어 있는 하전기와 비슷한 구조를 지니고 있다. 재질은 두랄미늄이고 내부 원통의 중심에 직경 0.25 mm, 길이 5 mm인 편을

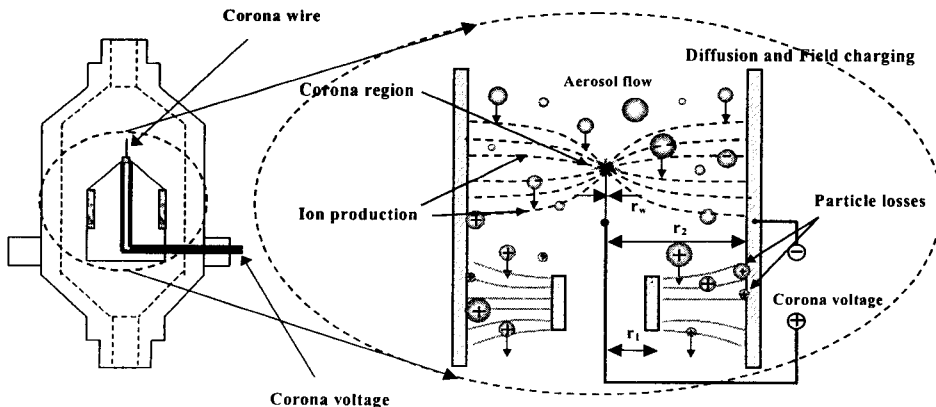


Fig. 1 Cross-sectional view and the operation principle of diode type corona charger

설치하였고 핀과 접지된 원통 내벽의 거리는 25, 20mm의 2가지 모델(model A, B)을 각각 설계, 제작하였다.

다이오드형 코로나 하전기의 작동원리는 다음과 같다. 우선 코로나 방전을 발생시키기 위해 하전기 중심부에 설치된 와이어에 (+) 고전압을 인가한다. 이 순간, 와이어 주위에 생성된 코로나 발광영역(corona glow region)에서 다량의 양이온(positive ions)들이 발생되고 이 양이온들은 접지된 전극, 즉 하전기의 벽으로 빠르게 이동하게 된다. 이 과정에서 이동하는 양이온과 충돌한 입자는 양(+)으로 대전되어, 하전기를 통과한 입자는 단극성 입자가 되는 것이다. 이 때 하전된 입자가 강한 전기장에 의해 접지된 벽면으로 이동하여 부착하는 손실이 생기게 되는데 이 손실을 최소화 할 수 있도록 설계를 하였다. 이런 다이오드형 코로나 하전기의 장점은 단순한 구조로 높은 하전효율을 얻을 수 있다는 것이다. Fig. 1 오른쪽에 하전기 작동원리와 주요 설계변수를 나타내었다.

하전기를 빠져나와 전기적 임팩터로 들어간 하전 입자는 임팩터 기판에 충돌하면서 입자에 하전된 전하량은 전류로 측정된다. 각 임팩터 기판에 측정된 전류값은 식 (1)에 의해 입자 수농도로 환산할 수 있다. 즉 입경을 알고 있으면 그 입경에 대한 $P \cdot n$ 값과 측정된 전류값을 이용하여 유입되는 입자의 수농도를 계산할 수 있는 것이다. 따라서 전기적 임팩터에서 신뢰성 있는 측정값을 얻기 위해 하전기의 성능평가는 중요하다. 특히, 입자의 크기가 작을수록 하전량이 작기 때문에 고농도의 시험입자를 발생시켜 정확한 하전량을 측정해야 한다.

$$N = \frac{I}{P \cdot neQ} \quad (1)$$

여기서 N 은 전기적 임팩터로 유입되는 입자의 수농도 (개/cm³), I 는 측정된 전류(A), P 는 입자의 하전기 통과율(Penetration), n 은 입자당 평균 전하수, e 는 단위 전하량(1.6×10^{-19} C), Q 는 하전기의 흡입유량(cm³/s)이다.

2.2 다이오드형 코로나 하전기 설계

코로나를 형성하기 위해서는 어느 이상의 전기장이 필요하며 그에 따른 전압은 어느 정도로 인가되어야 하는 문제는 많은 연구가 되어왔다. 공기의 경우에는 식 (2)에서 정의하는 전기장의 세기 E_0 (corona starting electric field) 이상에서 코로나 발생된다.⁽⁸⁻¹⁰⁾

$$E_0 = 3 \times 10^6 \times f \times [\delta + 0.03 \sqrt{\frac{\delta}{r_w}}] \quad (2)$$

식 (2)의 단위는 (V/m)이다. 여기서 δ 는 온도와 압력의 보정계수($= \frac{T}{273} \cdot \frac{760}{P}$), T 는 절대온도, P 는 절대 압력(mmHg), f 는 와이어의 거칠기, r_w 는 와이어의 반경을 나타낸다. 식 (2)에서 나타난 것과 같이 코로나 개시 전기장은 와이어 반경과 공기의 상태의 함수라는 것을 알 수 있다. 또한 이 때의 전위차를 코로나 개시전압(corona starting voltage)라고 하며, 정전기학의 기본 관계식인 $\vec{E} = -\nabla V$ 를 이용하여 실린더 전극 표면으로부터 와이어 까지 적분하면 식 (3)과 같이 코로나 개시전압 V_0 을 유도할 수 있다.

$$V_0 = r_w E_0 \ln \frac{r_2}{r_w} \quad (3)$$

여기서 r_2 는 와이어와 접지된 전극 사이의 거리이다. Table 1에 이론적으로 계산된 전기장의 세기와 model A, B에 대한 각각의 코로나 개시전압값을 나타내었다.

본 연구의 목적이 간이형 3단 전기적 임팩터 개발이므로 내장되는 펌프의 용량을 고려, 유량은 10L/min으로 설정했다. 코로나 개시 전기장강도에 영향을 미치는 와이어의 반경 r_w 는 0.25 mm로 정하였다. 또한 유동속도와 개시전압에 영향을 주는 r_2 의 값은 25, 20mm(model A, B)로 각각 설계하여 성능평가 결과를 비교하도록 하였다.

r_1 (와이어와 실린더 내부벽 사이의 거리)의 값은 입자 손실을 최소화하기 위해 유동이 층류영역에 속하도록 13 mm로 하였다.

3. 실험

Fig. 2는 제작된 에어로졸 하전기의 성능을 평가하기 위하여 구성된 실험장치의 개략도를 나타낸 것이다. 실험장치는 크게 3부분으로 나누어지는데 시험입자 발생부분(a)과 하전기를 통과한 입자의 손실 측정부분(b), 하전기 인가전압에 따른 입자의 통과율과 입자당 평균전하수의 곱($P \cdot n$)을 측정부분(c)로 구성하였다.

입자발생부 (a)에서 분무형 입자발생기(atomizer)를

통해 DOS(dioctyl sebacate)입자를, 전기가열 튜브로(tube furnace)에서 NaCl 입자를 발생시킨다.

입자의 손실 측정부 (b)의 경우 입자발생부에서 동시에 발생된 DOS 100% 입자와 NaCl 입자를 진공펌프를 이용하여 시험덕트 내로 유입시켰다. 덕트입구에는 유입공기에 포함된 오염입자를 제거하기 위해 HEPA(high efficiency particulate air)를 장착하였다. 덕트내에서는 2가지 종류의 입자가 혼합되고 혼합된 입자의 일정한 양을 샘플링해 하전기를 통과시켰다. 이와같이 분무형 입자발생기와 전기가열 튜브로를 같이 적용하면 고농도의 이중모드 입자를 안정적으로 발생시킬 수 있는 장점이 있다. 특히, 나노 크기의 입자로부터 1 μ m 입자까지 고농도로 발생시킬 수 있기 때문에 한번의 실험으로 1 μ m 이하의 모든 영역에서의 하전기의 손실율을 평가할 수 있다. 발생된 이중모드 입자는 고전압을 인가시킨 하전장치를 통과, DMA(Differential Mobility Analyzer, TSI 3081) 및 CPC(Condensation Particle Counter, TSI 3022A)로 구성된 SMPS(Scanning Mobility Particle Sizer, TSI 3936) 시스템에서 입자크기에 대한

Table 1 Design parameter

E_0	6.63×10^3 kV/m
V_0 (model A, B)	4.3, 4.2 kV
r_2 (model A, B)	0.025, 0.02 m
Q	10 L/min

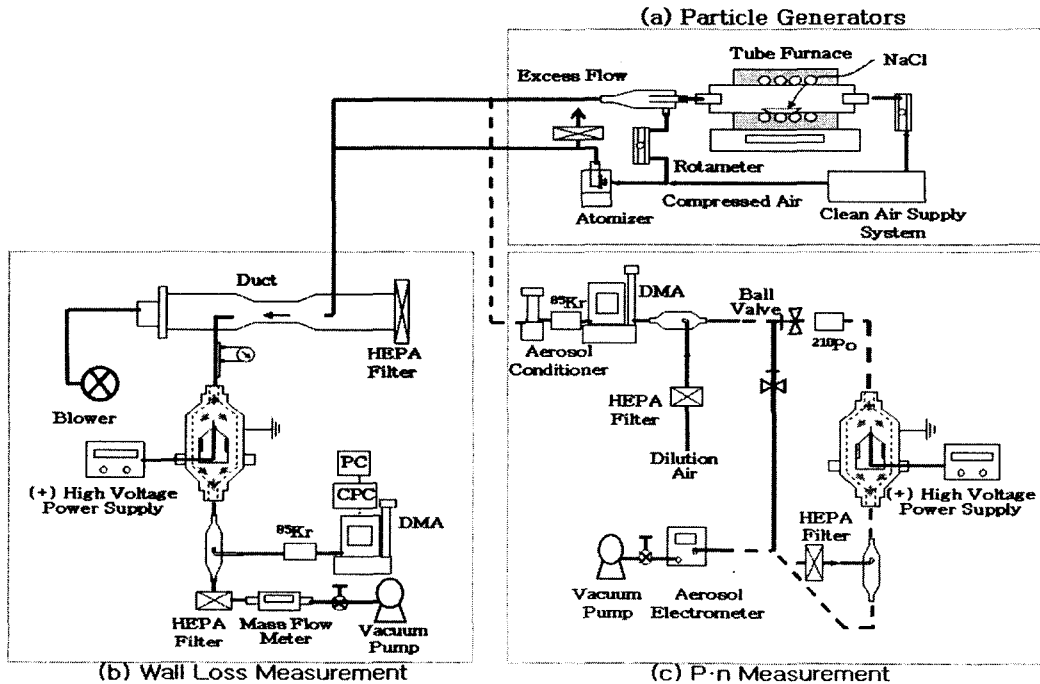


Fig. 2 Schematic diagram of experimental set-up

수농도를 측정하여, 식 (4)를 이용, 인가전압에 따른 전기 벽 손실율을 구하였다.

$$L = 1 - P = \frac{N_1 - N_2}{N_1} \quad (4)$$

여기서 L 은 벽 손실율을 나타내며 그 값은 1과 통과율(P)의 차이와 같다. 그리고 N_1 , N_2 는 각각 인가전압이 없는 경우와 고전압이 인가된 경우, 하전기 하단의 입자 수농도(개/cm³)를 나타낸다. 하전기의 인가되는 고전압은 4, 5, 6 kV로 변화시켰다.

$P \cdot n$ 값 측정부(c)에서는, 입자발생부(a)의 농도 변화에 따른 DOS 입자와 NaCl 입자를 각기 분리하여 사용하였다. 하전된 입자의 하전량은 매우 적기 때문에 시험입자의 농도와 입자 크기가 작을 경우 전류값을 측정하기가 어렵다. 따라서 고농도의 시험입자를 발생시켜야 하는데 이를 위해 입자 영역에 따라 시험입자를 달리 사용하였다. 즉 0.1 μm 이상의 영역에서는 분무형 입자발생기를 사용하여 DOS 입자를, 0.1 μm 이하의 영역에서는 0.002 μm 까지의 고농도의 시험입자를 확보하기 위해 전기 가열 튜브를 사용하여 NaCl 입자를 각각 발생[Fig. 2 (a)의 점선부분]시켜 실험을 하였다. 입자 영역에 따라 다르게 발생된 입자들은 DMA를 이용, 전압을 변화시켜 단분산 입자로 분류하였다. 특히, DOS 입자를 발생시킬 경우, 다중하전(multi charging)된 입자의 영향을 최소화하기 위해 기화 응축장치(Aerosol Conditioner, TSI 3702)를 통과시켜 크기분포의 폭이 좁은 입자를 DMA로 공급, 분류하였다.^(1,11-13)

이전 연구⁽⁷⁾에서 $P \cdot n$ 값 측정은 CPC와 에어로졸 전위계(Aerosol Electrometer, TSI 6071A)를 이용, 하전기를 통과하는 입자의 수농도와 총 하전량을 측정하여 식 (1)에 의해 구하였다. 이와 같이 2대의 계측장비를 이용할 경우, 장비에 의한 오차값이 증폭되어 결과에 영향을 줄 수 있다. 따라서 본 연구에서는 에어로졸 전위계만을 사용하여 측정장비의 오차에 대한 영향을 최소화 하였고 모든 영역에서 고농도의 시험입자를 발생시켜 측정 영역을 확대하였다.

DMA로 단분산으로 분류된 입자들은 하전기를 통과시켜 에어로졸 전위계로 전류값 (I)를 측정하

여 식 (5)를 사용하였다.

$$P \cdot n = \frac{N_2}{N_1} \cdot n = \frac{N_2 n e Q}{N_1 e Q} = \frac{I_2}{I_1} \quad (5)$$

여기서 I_1 는 하전기 상단의 전류값, 즉 DMA로부터 (+)1가로 하전된 입자를 측정된 전류값을 나타낸다. 그리고 I_2 는 하전기 하단의 전류값, 즉 DMA를 통과한 후 다시 증화기(²¹⁰Po)와 하전기를 통과한 하전된 입자를 측정된 전류값이다. Fig. 3와 같이 하전장치 상단과 하단에서 에어로졸 전위계를 이용하여 상단의 전류(I_1 :실선부분)와 하단의 전류(I_2 :점선부분)를 측정하여 두 전류값의 비로 인가전압에 따른 $P \cdot n$ 값을 구하였다.

4. 결과 및 고찰

다이오드형 에어로졸 하전기의 인가전압에 따른 코로나 전류의 측정결과를 Fig. 3에 나타내었다. 하전기의 인가전압에 따라 전류가 변화되는 특성을 이용하여 코로나 방전의 발생을 확인하였다. 전류가 인가전압에 비례하여 증가하는 경향을 나타내고 있다. 같은 구조이지만 전체 직경이 다른 model A, B의 경우 이론적인 계산값보다 약간 작은 값에서 코로나 개시전압이 측정되었다.

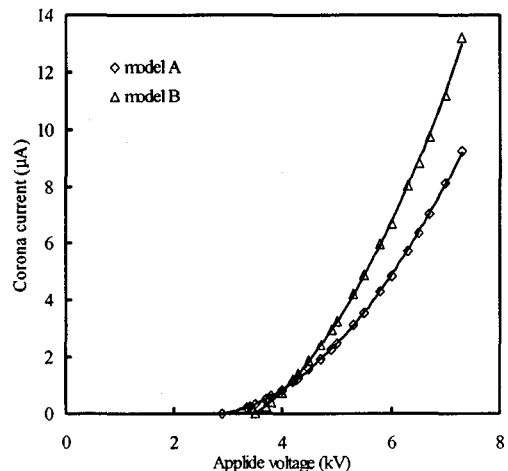


Fig. 3 I-V characteristic curves of an aerosol charger

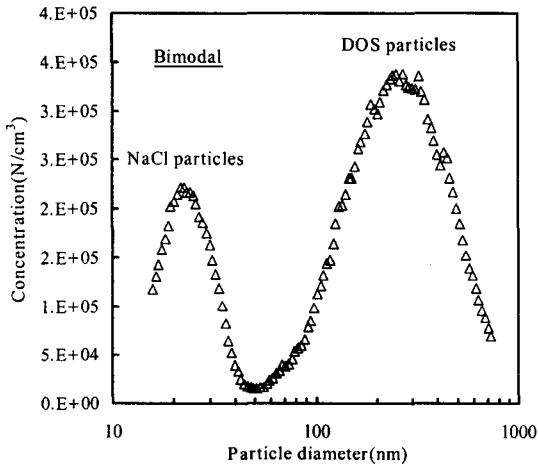


Fig. 4 Size distribution with bimodal peak using atomizer and tube furnace

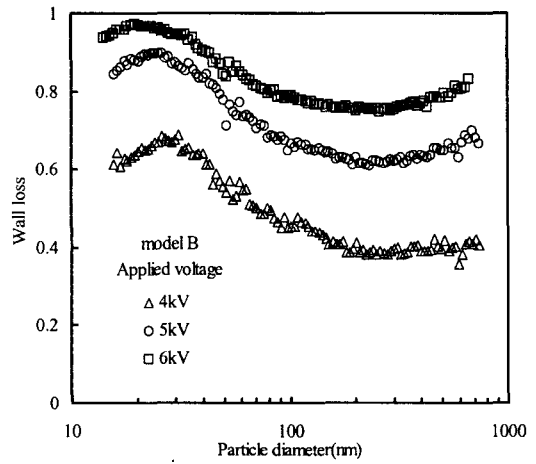


Fig. 6 Wall loss of particles

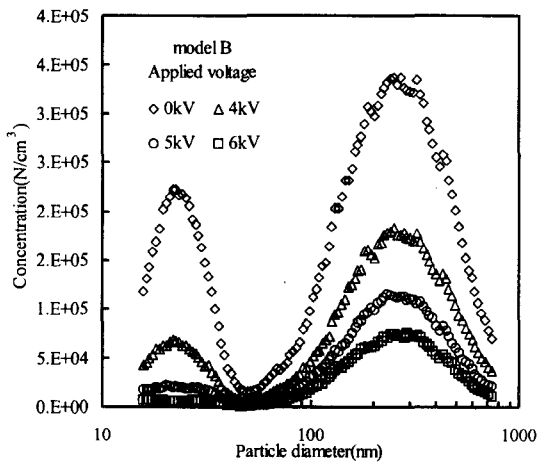


Fig. 5 Number concentration of particle

Fig. 4는 Fig. 2의 실험장치를 통해 발생된 시험 입자의 발생 예를 보여주는 그림이다. 덕트내에서 혼합된 입자는 그림에서 알 수 있듯이 0.1 μm 이하에서는 NaCl 입자가, 0.1 μm 이상에서는 DOS 입자로 2개의 피크점이 나타난다. 이와 같이 발생된 입자를 사용하여 하전기 내의 벽면 손실을 측정하였다. Fig. 5은 인가전압이 각각 0, (+)4, (+)5, (+)6 kV인 경우 하전기를 통과한 입자의 수 농도를 측정한 결과이다. 인가전압이 높을수록 수농도가 적게 측정되는데 이는 인가된 전압이 높을수록 강한 전기장으로 인해 입자의 하전량이 높아 하전기 벽면에 부착되는 입자의 양이 많아

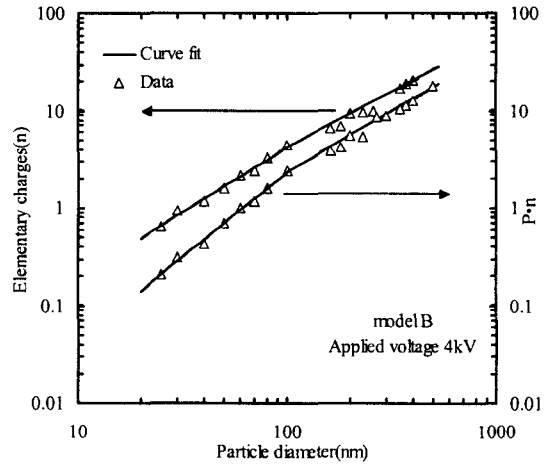


Fig. 7 Particle charging characteristics at (+)4kV

지게 되기 때문이다. 또한 식 (4)를 이용 하전 입자가 전기장의 영향으로 하전기 벽면에 부착되는 손실율을 Fig. 6에 나타내었다. 다이오드형 코로나 하전기에 의해 하전된 입자의 벽면 손실은 일반적인 전기 집진기의 특성과 같은 경향을 보여 준다. 인가된 전압이 증가할수록 전기장의 영향으로 벽면 손실이 증가하는 경향이 잘 나타나며 인가된 전압에 관계없이 0.1 ~ 0.5 μm 사이에서 최소 벽면 손실이 나타났다. 이와 같은 경향은 코로나 방전에 의해 하전된 입자가 전기장내에서 받는 전기력과 공기의 항력이 평형이 될 때 일정한 전기장 방향 이동속도(drift velocity)로 나타나

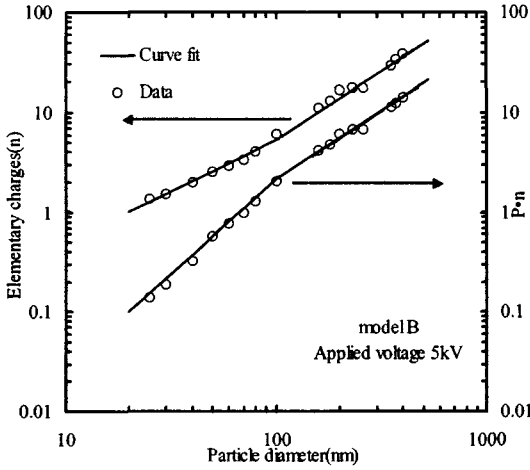


Fig. 8 Particle charging characteristics at (+)5kV

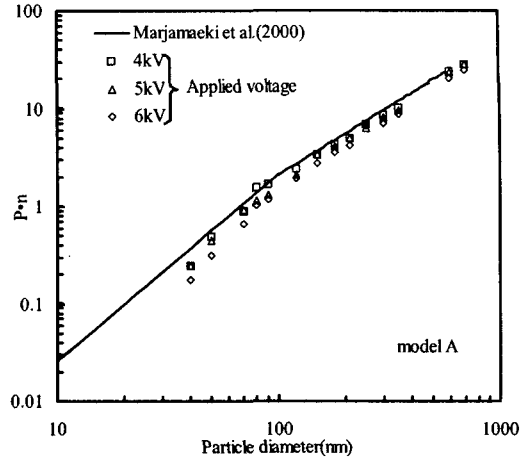


Fig. 10 $P \cdot n$ values of particle passing through the corona charger (model A)

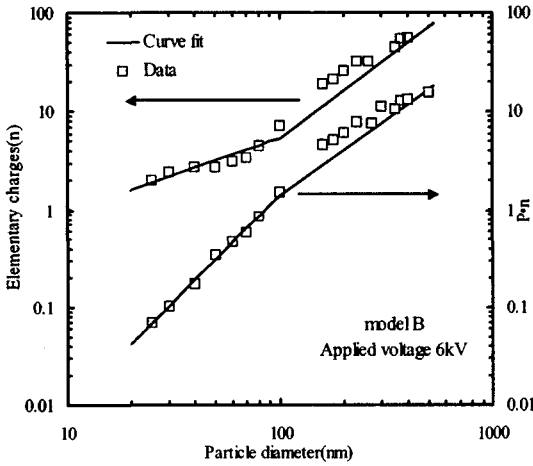


Fig. 9 Particle charging characteristics at (+)6kV

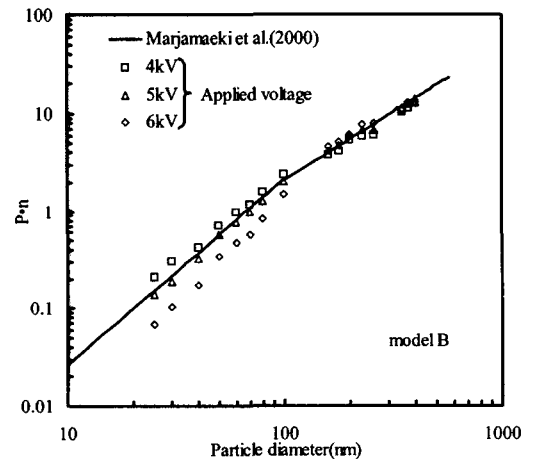


Fig. 11 $P \cdot n$ values of particle passing through the corona charger (model B)

는데, 이 크기 영역에서 입자의 이동속도가 최소가 되기 때문이다.⁽⁷⁾ 손실율은 약 30nm 보다 작은 입자크기에서 감소하는데 이는 입경이 작을수록 하전량이 적어 전기장에 영향을 덜 받기 때문이다.

Fig. 7은 model B의 경우, 인가전압이 (+)4 kV 일 경우, 하전기의 벽면 손실값을 이용해 입자당 평균전하수와 $P \cdot n$ 값을 함께 나타내었다. 앞서 언급했듯이 하전기를 지나면서 하전된 입자가 벽면에 부착되어 손실이 일어나므로 평균전하수와 통과율의 곱을 나타내었다.

P 는 하전기의 통과율을 나타낸 것이므로 항상 1보다 작은 값을 갖게 된다. 따라서 입자의 평균전하수 n 이 $P \cdot n$ 값보다 크게 나타난다. 또한 입자크기가 크면 전기장에 의해 생성된 이온들과 충돌확률이 높아지므로 입자당 평균전하수가 커지게 되는 것이다. 입경이 작을수록 평균전하수와 통과율 곱의 값 차이가 심해지는데 이는 하전기를 통과하는 입자의 손실이 증가하기 때문이다. 전압이 증가할수록 이런 경향이 뚜렷해진다. 측정된 입경별 $P \cdot n$ 값은 입경이 0.095~1.0 μ m 일

때 $44.635 \times D_p^{1.3524}$ 였고(D_p : μm), 입경이 0.095 μm 이하일 경우에는 $128.79 \times D_p^{1.7411}$ 였다. Fig. 8에 인가전압이 (+)5 kV 일 때 결과를 나타내었다. 입경이 0.095 ~ 1.0 μm 일 때 $44.019 \times D_p^{1.2671}$ 였고(D_p : μm), 입경이 0.095 μm 이하일 경우에는 $180.13 \times D_p^{1.9087}$ 로 기존의 Marjamaeki 등⁽¹⁾이 한 연구와 흡사한 결과를 얻었다. 그리고 Fig. 9에서 인가전압이 (+)6 kV 인 경우에 입경이 0.095 ~ 1.0 μm 일 때 $36.404 \times D_p^{1.109}$, 입경이 0.095 μm 이하일 경우 $219.58 \times D_p^{2.1903}$ 으로 인가전압에 따른 $P \cdot n$ 값을 얻었다. 이 값들은 간이형 3단 전기적 임팩터⁽¹⁴⁾에서 측정된 전류값을 수능도로 환산할 때에 필요한 값들이다. Fig. 10, 11에 각각 model A, B에 대한 입경에 따른 $P \cdot n$ 값을 나타내었다. 인가전압을 바꾸어도 $P \cdot n$ 값은 큰 차이가 없는 데 이는 인가전압을 높이면 평균전하수(n)는 커지는 반면에 하전기를 통과하는 통과율(P)은 작아지기 때문에 서로의 값이 상쇄되기 때문이다. 하지만 입경이 작아질수록 이런 상쇄되는 효과는 적기 때문에 큰 입경에 비해 값이 차이가 많이 났다.

그리고 하전기 반경이 다른 model A, B의 결과를 비교하였을 때, 입경이 작아질수록 $P \cdot n$ 값의 차이가 커지는 현상이 나타났다. 이는 Fig. 3에서 나타낸 바와 같이 model A, B의 경우, 같은 인가전압에 대해서 코로나 방전의 특성이 차이가 나기 때문이다.

5. 결론

본 연구에서는 전기적 임팩터의 구성요소의 하나인 다이오드형 코로나 하전장치를 설계, 제작하여 성능평가를 수행하였다. 본 연구에서 실험을 통해 얻어진 결론은 다음과 같다.

(1) 인가된 전압이 증가할수록 벽면 손실이 증가하며, 인가 전압에 상관없이 0.1 ~ 0.3 μm 사이에서 최소 벽면 손실이 나타났다. 손실율은 약 30 nm 보다 작은 입자크기에서 감소하는데 이는 입경이 작을수록 하전량이 적어 전기장에 영향을 덜 받기 때문이다.

(2) 하전기 model B에서 인가전압이 (+)5 kV 인

경우, 기하학적 구조가 비슷한 상용화된 전기적 다단 임팩터의 하전기와 유사한 $P \cdot n$ 값을 얻었다.

(3) 입경이 약 100nm 이하 입자의 경우 인가전압에 따른 $P \cdot n$ 값의 변화 차이가 그 이상의 입자의 경우보다 큰 것을 확인하였다.

향후 연구로는 성능평가된 하전장치와 입자를 크기별로 분리할 수 있는 다단 임팩터, 다채널 전류계 등으로 이루어진 통합시스템을 구성하는 연구를 수행할 예정이다.

후 기

본 연구는 과학재단 특정기초 연구지원사업(과제번호: R01-2003-000-10142-0)과 과학기술부 국가 지정연구실사업(관리번호: M1-0204-00-0049)의 지원으로 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

- (1) Marjamaeki, M., Keskinen, J., Chen, D. R. and Pui, D. Y. H., 2000, "Performance Evaluation of the Electrical Low-Pressure Impactor (ELPI)," *J. Aerosol Sci.*, Vol. 31, No. 2, pp. 249~261.
- (2) Maricq, M. M., Podsiadlik, D. H. and Chase, R. E., 2000, "Size Distribution of Motor Vehicle Exhaust PM: A Comparison Between ELPI and SMPS Measurement," *Aerosol Sci. Technol.*, Vol. 43, pp. 239~260.
- (3) Ahlvik, P., Ntziachristos, L., Keskinen, J. and Virtanen, A., 1998, "Real Time Measurements of Diesel Particle Size Distribution with an Electrical Low Pressure Impactor," *SAE Technical Paper 980410*.
- (4) van Gulijk, C., Schouten, J. M., Marijnissen, J. C. M., Makkee, M. and Moulijn, J. A., 2001, "Restriction for the ELPI in Diesel Particulate Measurements," *J. Aerosol Sci.*, Vol. 32, pp. 1117~1130.
- (5) Hillamo, R. E. and Kauppinen, E. I., 1991, "On the Performance of the Berner Low Pressure Impactor," *Aerosol Sci. Technol.* Vol. 14, pp.

- 33~47.
- (6) Ji, J. H., Cho, M. H., Bae, G. N. and Hwang, J., 2004, "Design and Performance Evaluation of a Low Pressure Impactor for Sampling Submicron Aerosols," *Trans. of the KSME B*, Vol. 28, pp. 349~358.
- (7) Ji, J. H., Bae, G. N. and Hwang, J. H., 2004, "Design and Performance Evaluation of a Faraday Cage and an Aerosol Charger," *Trans. of the KSME B*, Vol. 28, pp. 315~323.
- (8) Reist, P. C., 1993, "Aerosol Science and Technology," *McGraw-Hill*.
- (9) Flagan, R. C. and Seinfeld, J. H., 1988, "Fundamentals of Air Pollution Engineering," *Prentice Hall*, pp. 417~430.
- (10) Hinds, W. C., 1999, "Aerosol Technology," *John Wiley & Sons*.
- (11) Ji, J. H., 2003, "Change of Particle Size Distribution Using Corona Discharge and Classifying Characteristics of Charged Particles," *Ph.D. Thesis*, Yonsei University.
- (12) Ji, J. H., Bae, G. N. and Hwang, J., 2003, "Nano Particle Charging Characteristics of Aerosol Charge Neutralizers," *Trans. of the KSME B*, Vol. 27, pp. 1489~1497.
- (13) Ji, J. H., Bae, G. N. and Hwang, J., 2003, "Effect of Performance of Aerosol Charge Neutralizers on the Measurement of Highly Charged Particles Using a SMPS," *Trans. KSME B*, Vol. 27, pp. 1498~1507.
- (14) Cho, M. H., Ji, J. H., Park, D. H., Bae, G. N. and Hwang, J. H., 2004, "Design and Performance Evaluation of a Potable 3-Stage Electrical Low Pressure Impactor(P-ELI) for Measurements of The Submicron Aerosol," *Trans. of the KSME B*, Vol. 28, pp. 826~833.