

패러데이 케이지와 에어로졸 하전기의 설계 및 성능평가

지준호*·배귀남†·황정호**

(2003년 8월 9일 접수, 2004년 1월 28일 심사완료)

Design and Performance Evaluation of a Faraday Cage and an Aerosol Charger

Jun-Ho Ji, Gwi-Nam Bae and Jungho Hwang

Key Words: Faraday Cage(패러데이 케이지), Aerosol Charger(에어로졸 하전기), Electrical Impactor(전기적 임팩터), Corona Discharge(코로나 방전)

Abstract

An electrical cascade impactor is a multi-stage impaction device to separate airborne particles into aerodynamic size classes using particle charging and electrical detection techniques. A Faraday cage and an aerosol charger, which are basic components of the electrical cascade impactor, were designed and evaluated in this study. The low-level current response of the Faraday cage was investigated with changing particle size and air flow rate by using sodium chloride (NaCl) particles. The response of the prototype Faraday cage was very similar to that of a commercial aerosol electrometer (TSI model 3068) within $\pm 5\%$ for singly-charged particles. The response linearity of the prototype Faraday cage could be extended up to flow rate of 30 L/min. For the performance evaluation of the aerosol charger the monodisperse liquid dioctyl sebacate (DOS) particles, with diameters of 0.1~0.8 μm , were generated using spraying from an atomizer followed by evaporation-condensation process. Typical performance parameters of the aerosol charger such as $P \cdot n$, wall loss, and elementary charges per particle were evaluated. The performance of the prototype aerosol charger was found to be close to that of the aerosol charger used in an electrical low pressure impactor (ELPI, Dekati).

1. 서론

다단 임팩터는 수십 나노미터에서 수십 마이크로미터 크기의 대기 에어로졸의 입경분포를 측정하는 장비로 사용되어 왔는데, 작동의 번거로움과 샘플링 시간이 오래 걸리는 단점이 있다. 이와 같은 문제점을 극복하기 위해 최근에 전기적 임팩터가 개발되어 사용되고 있다. 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 임팩터에 대한 연구는 Keskinen 등⁽¹⁾에 의해 본격적으로 시작되었고, 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. ELPI를 사용하여 대기 에어로졸이나 디젤 입자상 물질을 측정하는 연구가 진행되고 있다.⁽²⁻⁴⁾

Fig. 1에 나타낸 바와 같이 전기적 임팩터는

* 회원, 삼성전자 DA 연구소 요소기술그룹

† 책임저자, 회원, 한국과학기술연구원, 대기자원연구센터
E-mail : gnbae@kist.re.kr

TEL : (02)958-5676 FAX : (02)958-5805

** 회원, 연세대학교 기계공학과

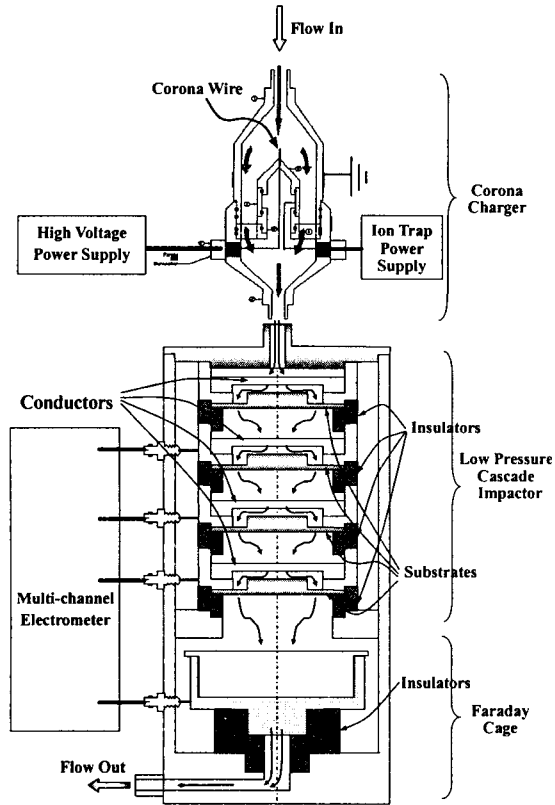


Fig. 1 Schematic diagram of an electrical low pressure impactor

크게 에어로졸 하전기, 다단 임팩터, 패러데이 케이지(FC, Faraday cage), 다채널 극미량 전류계 등으로 구성되어 있다. 코로나 방전을 이용하여 입자를 입경에 따라 일정한 하전량을 갖도록 하전시키는 에어로졸 하전기가 저압 다단 임팩터의 상류에 설치된다. 하전기를 통과하여 하전된 입자는 관성력에 따라 큰 입자부터 차례로 각 단계에 포집된다. 하전된 입자가 각 임팩터의 기관에 충돌하는 순간 하전량은 각 단계에 연결된 극미량 전류계로 동시에 측정된다. 다채널 극미량 전류계의 마지막 채널은 최종필터로 사용되는 FC에 연결되는데, FC는 임팩터에서 빠져나온 나머지 입자의 하전량을 측정한다. FC를 통과하는 전기적 임팩터의 흡인유량은 FC의 하류에 설치되는 유량 제어장치로 조절한다.

이와 같은 전기적 다단 임팩터의 구성요소 중 FC는 전기적으로 절연된 공간 내 접촉된 물체의 하전량을 측정하는 장비로, 보통 패러데이 컵(Faraday cup)으로 알려져 있다. 전기적으로 차

폐된 공간에 전도성 컵을 두고 정전기를 띤 물체를 컵에 올려놓아 물체가 갖고 있는 정전기를 측정한다. 즉, 물체가 컵에 올려진 순간 컵에 연결된 전류계를 통해 물체의 정전기가 측정되는데, FC는 컵 대신에 전도성 필터를 설치한 장비이다. 공기 중 에어로졸 입자가 지니고 있는 하전량을 측정하므로, 일정 유량을 흡인하는 과정에서 전도성 필터를 감싸는 금속 카트리지에 연결된 극미량 전류계를 통해 전도성 필터에 포집된 입자의 하전량을 측정한다.

전기적 임팩터의 구성요소 중 임팩터의 상류에는 입경에 따라 일정한 하전량을 부가할 수 있는 에어로졸 하전기를 설치한다. 다이오드형 에어로졸 하전기는 입자가 하전기를 통과하는 과정에서 입자의 벽손실은 크지만, 입자를 포화 하전량에 가깝게 안정적으로 하전시킬 수 있는 장점이 있다. 이와 같이 하전기를 패러데이 케이지와 함께 사용하면 임팩터의 성능을 전기적으로 평가할 수 있다.⁽⁵⁻⁷⁾

본 연구에서는 전기적 임팩터의 구성요소인 패러데이 케이지와 다이오드형 에어로졸 하전기를 설계, 제작하였다. 흡인유량을 3-30 L/min 범위에서 변화시키면서 패러데이 케이지의 성능을 평가한 후, 널리 사용되고 있는 에어로졸 극미량 전류계(AE, aerosol electrometer, TSI model 3068)의 성능과 비교하였다. 또한, 하전기의 인가전압이 4, 5, 6 kV, 흡인유량이 10, 20, 30 L/min인 조건에서 하전기의 성능을 나타내는 통과율과 입자당 전하수의 곱($P \cdot n$), 하전기 벽면에서의 입자손실, 하전된 입자 당 기본 전하수를 측정하였다.

2. 패러데이 케이지와 다이오드형 에어로졸 하전기의 설계

패러데이 케이지의 핵심 설계기술은 전기적인 노이즈를 최소화하는 것이다. 본 연구에 사용된 전류 측정장비는 Keithley 극미량 전류계(electrometer, Keithley model 6517A)로 최소 10^{-16} A의 전류를 측정할 수 있지만,⁽⁸⁾ 측정대상이 완전히 차폐되지 않으면 분해능의 1000배 이상의 전류가 노이즈로 발생할 수 있다. 입자가 부착되는 필터를 전기적으로 차폐시키기 위해 의

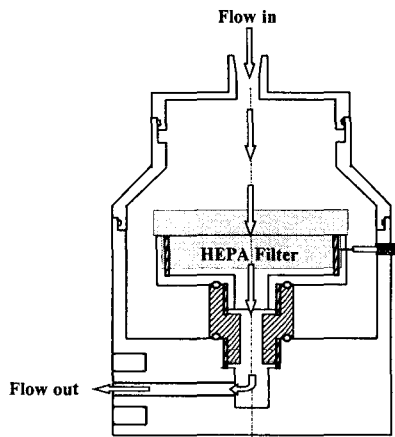


Fig. 2 Cross-sectional view of a Faraday cage

벽은 전도성인 두랄루민으로 만들었고, HEPA (high efficiency particulate air) 필터가 차폐된 공간에 떠 있도록 본체와 필터 사이에 테플론으로 연결부를 만들었다. 절연체와 전도체가 연결되는 부분은 누설이 없게 만들어 흡인된 모든 공기가 필터를 통과하도록 했다. 또, 외벽에 BNC 커넥터를 설치하여 전류계에 직접 연결하였다. HEPA 필터는 전도성 유리섬유로 만들어져 있기 때문에 하전된 입자가 필터에 부착되는 순간 하전량이 측정된다.

상용화된 에어로졸 극미량 전류계(TSI model 3068)의 경우 입구로 유입된 유동의 경로가 필터부에 연결되는 과정에서 90°로 꺾여 입자가 손실되므로, 보통 흡인유량이 15 L/min 이하인 조건에서 사용한다.⁽⁹⁾ 이와 같은 단점을 해결하기 위해서 본 연구에서는 Fig. 2와 같이 입자가 필터로 유입되는 과정에서 유동의 방향이 변하지 않도록 패러데이 케이지를 설계하였다.

다음으로 Fig. 3과 같은 편 대 원통의 다이오드형 에어로졸 하전기를 설계하였다. 본 연구에서 제작한 다이오드형 하전기는 ELPI에 장착되어 있는 하전기와 비슷한 구조이다. 두랄미늄 재질의 내부 원통의 중심에 직경 0.25 mm, 길이 5 mm 인 핀을 설치하였고, 접지된 원통 내벽과 핀의 간격은 20 mm였다. 전극으로 사용된 핀에 DC 고전압을 인가하고 외부 원통을 접지하면 코로나 방전이 발생되고, 원통 내부에 전기장이 형성된다. 핀 전극에 고전압을 인가하면, 핀 주위에 생

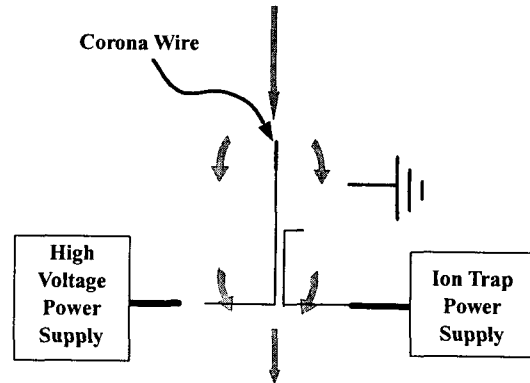


Fig. 3 Cross-sectional view of a diode type aerosol charger

성된 코로나 활성영역(active zone)에서 다량의 이온이 발생된다. 이렇게 발생한 이온은 접지된 전극으로 이동하는 과정에서 입자와 충돌한다. 이온과 충돌한 입자는 하전되는데, 일부는 접지 벽면으로 이동하여 부착되고 나머지는 하전기를 빠져나간다. 고전압을 인가하기 위하여 정전압과 정전류 제어가 가능하고, 각각 -10 kV와 +10 kV 까지 변화시킬 수 있는 2대의 DC 고전압 공급장치를 사용했다. 내부 원통에는 이온을 제거하기 위하여 50 V 정도의 전압을 인가할 수 있는 전압 공급 장치를 연결할 수 있도록 만들었다.

하전된 입자가 기판에 부착되면 입자가 운반한 전하량은 전류로 측정되는데, 입자 수농도는 식 (1)과 같이 측정된 전류를 환산하여 얻는다.

$$N = \frac{I}{PneQ} \quad (1)$$

여기서, N 은 하전기로 유입되는 입자의 수농도 ($\text{개}/\text{cm}^3$), 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 흡인유량(cm^3/s)이다.

하전기의 성능을 평가하려면 입자의 통과율과 입자당 평균 전하수의 곱($P \cdot n$)을 알아야 한다. 하전기 내 입자손실에 대한 정량적인 데이터가 없어도 입경에 따른 $P \cdot n$ 과 측정된 전류를 이용하여 유입되는 입자의 수농도를 계산할 수

있다. 즉, 전기적 임팩터의 각 단계에 채취되는 입경 범위의 기하평균에 해당하는 입경의 $P \cdot n$ 을 사용하면, 임팩터 각 단계에 포집된 입자의 수농도를 계산할 수 있다. 단분산 시험입자를 사용하면, $P \cdot n$ 은 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$P \cdot n = \frac{I}{NeQ} \quad (2)$$

식 (2)에 나타낸 바와 같이 하전기 상류에서 CPC(condensation particle counter)로 입자의 수농도(N)를 측정하고, 하전기를 통과한 입자의 하전량(I)을 측정하면 $P \cdot n$ 을 얻을 수 있다. 여기서, 하전기의 흡인유량은 임팩터의 정격 흡인유량과 같다.

3. 성능평가 실험

3.1 패러데이 케이지의 성능평가

Fig. 4는 패러데이 케이지(FC)의 성능평가 실험장치의 개략도를 나타낸 것이다. 분무형 입자

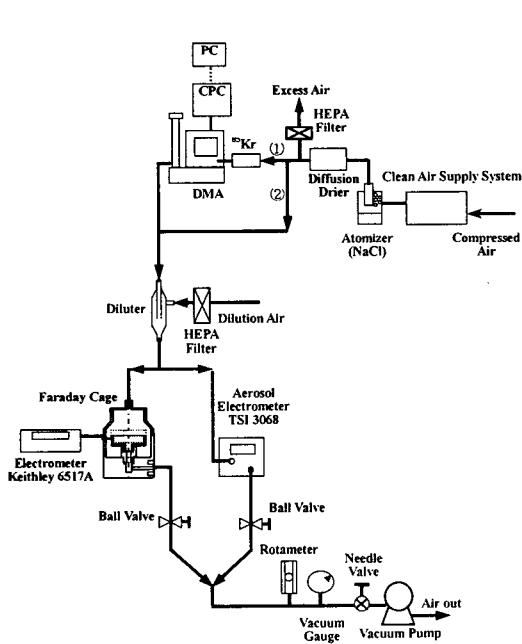


Fig. 4 Schematic diagram of the experimental system for performance test of a Faraday cage

발생기(atomizer)를 사용하여 시험 입자인 NaCl 입자를 발생시켜 ①의 경로를 따라 DMA(differential mobility analyzer, TSI model 3081)로 단분산(monodisperse) 입자를 분류하였다. 단분산 입자의 입경에 따라 AE(TSI model 3068)와 FC로 하전량을 측정하여 비교하였다. 시험유량을 맞추기 위하여 DMA에서 발생된 입자를 회석관에서 HEPA 필터를 통과한 청정공기와 혼합시켰다. 흡인유량을 AE의 사용유량 범위에 포함되는 10 L/min으로 설정하였다.

흡인유량에 따른 FC의 성능을 평가하기 위하여 Fig. 4의 ② 경로로 다분산(polydisperse) 소금 입자를 공급하였다. 5% 소금물 용액을 사용하여 다분산 소금 입자를 발생시켰고, AE와 FC의 흡인유량을 3-32 L/min으로 변경하여 실험을 수행하였다. 유량은 로터미터와 진공계를 사용하여 조절하였다.

3.2 에어로졸 하전기의 성능평가

Fig. 5는 다이오드형 에어로졸 하전기의 성능을 평가하기 위한 실험장치의 개략도를 나타낸 것이다. 에어로졸 하전기의 입자당 전하수를 측

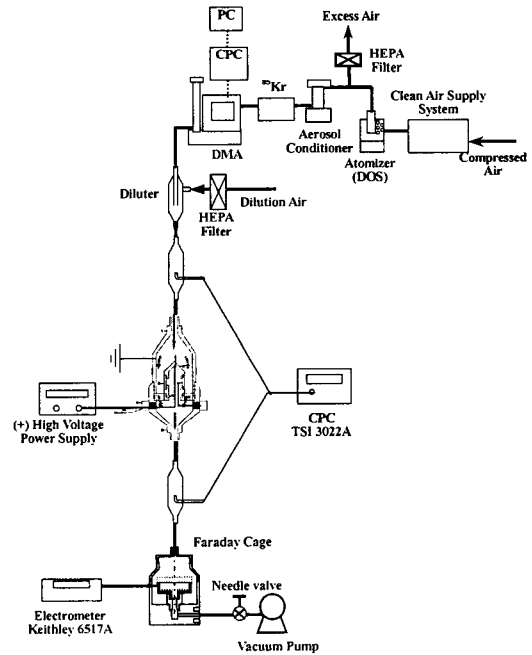


Fig. 5 Schematic diagram of the experimental system for performance test of a diode type aerosol charger

정하기 위해 다분산 DOS(dioctyl sebacate) 입자를 사용하였다. 액체인 DOS 용액을 분무형 입자 발생기로 분무시킨 후, 에어로졸 컨디셔너(aerosol conditioner, TSI model 3702)를 사용하여 기화-응축 방법으로 기하표준편차가 1.3-1.5인 다분산 입자를 발생시켰다.⁽¹⁰⁾ 이렇게 발생된 다분산 입자를 DMA에 통과시켜 (+)1가로 하전된 다분산 입자로 만들었다. 60 nm 이하의 작은 입자는 다중 하전의 영향으로 정확한 다분산 입자를 발생시키기 어려우므로,⁽¹⁰⁾ 60 nm 이상의 입자를 대상으로 실험을 수행하였다. 하전기에 유입된 시험입자는 코로나 방전에 의해 하전되었다. 고전압 공급장치를 사용하여 편형 와이어에 4, 5, 6 kV를 인가하였고, 하전기의 흡인유량을 10, 20, 30 L/min로 변경하면서 실험을 수행하였다. 하전기를 통과하는 입자의 손실을 측정하기 위하여 하전기의 상류와 하류에서 CPC(TSI model 3022A)로 입자의 수농도를 번갈아 측정하였고, 하전기를 통과한 입자의 총 하전량을 패러데이 케이지로 측정하였다. 이때 샘플링 튜브에서의 입자손실은 고려하지 않았다.

4. 결과 및 고찰

4.1 패러데이 케이지의 성능

패러데이 케이지(FC)의 성능을 평가하기 위해 상용화된 TSI 에어로졸 극미량 전류계(AE)의 측정치와 비교하였다. 기존 측정장비로 사용한 AE

는 10^{-15} A까지 측정할 수 있고, FC에 연결된 Keithley 극미량 전류계는 10^{-16} A의 분해능을 갖는다. 실험을 시작하기 전과 후에 AE의 오프셋(offset) 전류는 -8×10^{-15} A이었고, Keithley 극미량 전류계의 경우 실험을 시작하기 전에 오프셋 전류를 제거하였다.

AE의 작동 흡인유량 범위에 포함되는 10 L/min 일 때 AE와 FC로 측정된 입경별 하전량의 비(AE/FC)를 구하여 Fig. 6에 나타냈다. 0.03-0.14 μm 의 입경 범위에서 FC로 측정된 전류는 AE로 측정된 전류의 $\pm 5\%$ 이내이었다.

흡인유량의 영향을 살펴보기 위하여 다분산 소금 입자를 사용하였다. 5% 소금물 용액을 분무형 입자발생기로 발생시킨 후, 다분산 소금 입자의 총 하전량을 비교하였다. Fig. 7은 흡인유량에 따른 총 하전량의 변화를 나타낸 것이다. 유량이 15 L/min 이상이면 AE의 전류는 선형적 증가 곡선에서 벗어나고, 20 L/min보다 크면 감소하는 경향을 나타낸다. 반면에 본 연구에서 설계, 제작한 FC의 경우 흡인유량이 증가하더라도 전류가 선형적으로 증가한다. 이것은 AE의 경우 에어로졸이 전류 센서가 연결된 전도성 필터로 흡인되는 과정에서 유로가 90°로 꺾이는 부분이 있으므로, 흡인유량이 많아지거나 입자가 커지면 입자 손실이 증가하기 때문이다. 반면, 본 연구에서

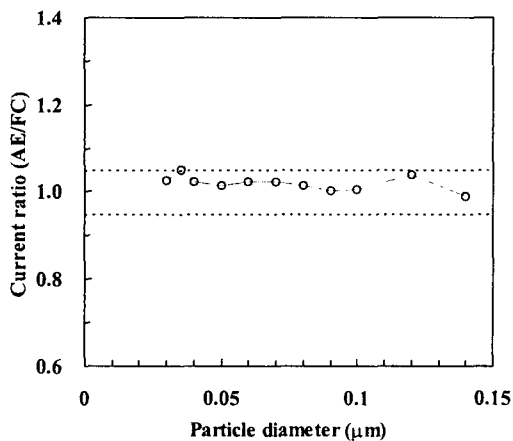


Fig. 6 Comparison of current responses at 10 L/min

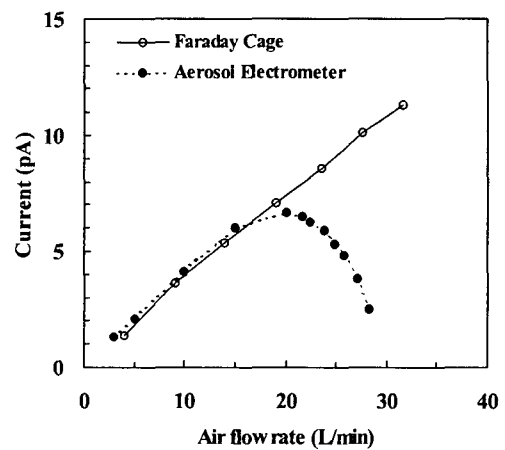


Fig. 7 Effect of sampling flow rate on the current responses

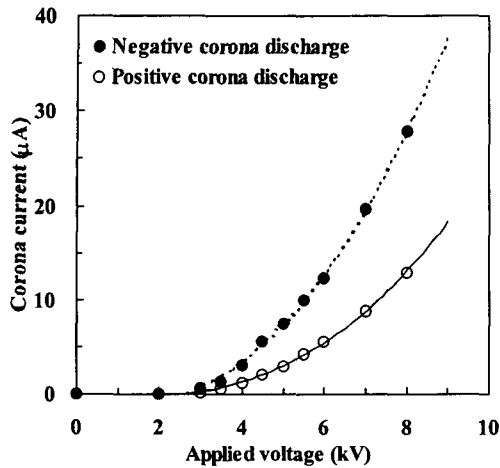


Fig. 8 I-V characteristic curves of an aerosol charger

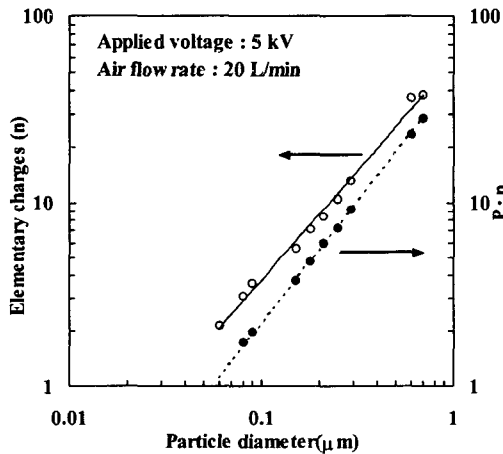


Fig. 9 Particle charging characteristics of an aerosol charger

제작한 FC는 필터 영역까지 유로가 꺾이지 않고 직접 유입되도록 설계하였기 때문에 유량이 증가하여도 입자의 손실이 나타나지 않았다.

4.2 다이오드형 에어로졸 하전기의 성능

다이오드형 에어로졸 하전기의 전압-전류 특성을 살펴보기 위해 인가전압에 따른 코로나 전류의 측정결과를 Fig. 8에 나타냈다. ±3 kV 근처에서 전압이 증가함에 따라 전류가 급격하게 증가하는 코로나 개시 현상이 나타난다. 동일한 인가

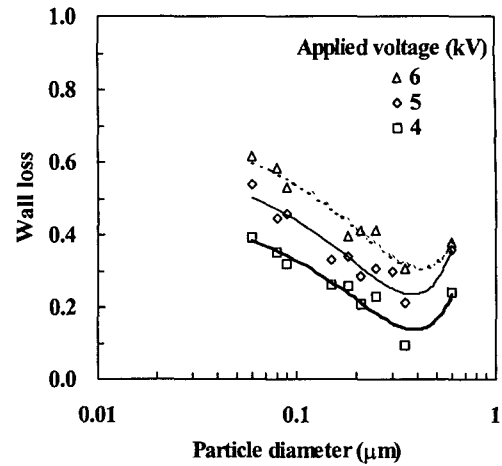


Fig. 10 Wall loss of particles at 20 L/min

전압에서 음(-)의 코로나의 경우 양(+)의 코로나에 비해 코로나 전류가 높다. 음(-)의 코로나는 전극에서 불규칙적으로 이탈하는 전자에 의해 발생하므로, 전극으로부터 솔(brush)과 같이 불안정한 형상으로 나타나고 소음을 발생시킨다. 또한, 방전과정에서 나노 입자들이 부산물로 생성될 수 있기 때문에 보통 측정장비의 예비 하전기로는 사용되지 않는다.

Fig. 9는 하전기의 흡인유량이 20 L/min이고 인가전압이 (+)5 kV일 때 입자당 평균 전하수(n), 입자의 통과율 및 입자 당 평균 전하수의 곱인 $P \cdot n$ 을 나타낸 것이다. 통과율은 항상 1보다 작으므로 입자당 평균 전하수는 $P \cdot n$ 보다 크다. 입경이 증가하면 이온들과의 충돌확률이 높아지므로 입자의 하전량은 커진다. 입경이 0.09 μm인 경우 입자 당 전하수는 약 3.6개이고, $P \cdot n$ 은 입자 당 전하수에 통과율을 곱한 값으로 2이다. 이것은 0.09 μm 입자의 56%가 하전기를 통과하고 나머지 44%는 하전과정에서 손실되는 것을 의미한다. 0.25 μm인 경우 입자당 전하수는 10.5개이고, $P \cdot n$ 은 7.28로 30% 정도의 입자가 손실된다. 하전기에 의해 하전된 입자의 평균 전하수는 일반 대기 중에 존재하는 입자의 하전량 분포를 나타내는 볼츠만 평형 하전량 분포의 전하수인 0.09 μm의 0.2개와 0.25 μm의 0.6개보다 18배 가량 많다.

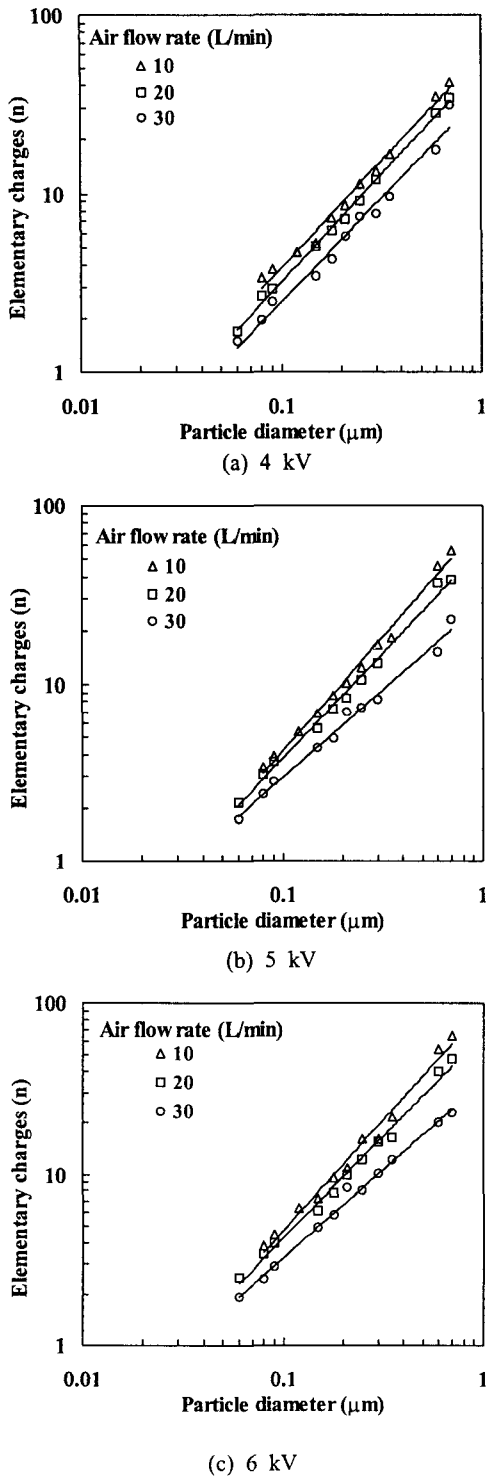


Fig. 11 Elementary charges per particle passing through the aerosol charger

Fig. 10은 하전기를 통과하는 과정에서 하전 입자가 전기장의 영향으로 벽면에 부착되는 손실율을 나타낸 것으로 1-통과율(P)과 같다. 다이오드형 에어로졸 하전기에 의해 하전된 입자의 벽면손실은 일반적인 1단 전기집진기의 집진 특성과 비슷하게 0.1-0.5 μm 영역에서 입자의 손실이 최소가 된다. 이와 같은 경향은 코로나 방전에 의해 하전된 입자가 전기장내에서 받는 전기력과 공기의 항력이 평형이 될 때 일정한 전기장 방향 이동속도(drift velocity)로 나타나고, 이 크기 영역에서 입자의 이동속도가 최소가 되기 때문이다. 인가된 전압이 증가할수록 벽면손실은 증가하고, 하전기의 흡인유량이 증가하면 벽면손실은 감소한다. 즉, (+)5 kV를 인가한 경우 0.25 μm 입자의 벽면손실은 10 L/min에서 50%이지만, 20 L/min에서 약 30%, 30 L/min에서 약 17%로 낮아진다. 이 결과는 앞에서 $P \cdot n$ 으로 계산했던 결과와 거의 일치한다.

Fig. 11은 하전기의 인가전압이 (+)4, (+)5, (+)6 kV인 경우 흡인유량이 10, 20, 30 L/min일 때 입자의 평균 전하수를 비교하여 나타낸 것이다. 입경이 크거나 흡인유량이 적어 전기장 내 체류시간이 길어지면 입자는 이온과 충돌할 확률이 높아지므로 하전량이 많아진다. 입자의 평균 전하수는 모든 인가전압에서 하전기의 흡인유량이 10 L/min일 때 가장 많고, 흡인유량이 증가할수록 감소한다. 인가전압이 증가함에 따라 0.1 μm 이하에서 입자당 전하수의 차이가 감소하고, 입경이 커질수록 입자당 전하수의 차이가 커진다. 즉, 인가전압과 흡인유량의 영향을 함께 고려하면, 0.7 μm인 입자의 경우 인가전압이 4 kV이고 흡인유량이 30 L/min일 때 입자당 평균 전하수가 22.7개이고, 6 kV, 10 L/min에서 42.9개로 차이가 20.2개로 크지만, 0.09 μm인 입자의 경우 2.5개와 6.3개로 차이가 3.8개로 적다.

Fig. 12는 하전기의 인가전압이 (+)4, (+)5, (+)6 kV, 흡인유량이 10, 20, 30 L/min일 때 입경에 따른 $P \cdot n$ 을 나타낸 것으로, Marjameaki 등⁽⁷⁾의 결과도 함께 나타냈다. Marjameaki 등이 사용한 하전기는 본 연구의 하전기와 기하학적 구조가 거의 비슷하고, 편 전극에 5 kV의 전압을 인가하였다. 하전기의 흡인유량이 10 L/min일 때 (+)4 kV가 인가된 경우와 20 L/min일 때 (+)4, (+)5, (+)6 kV인 경우 Marjameaki 등의 결과와 거의 일치한다. 하전기의 흡인유량이 10 L/min일

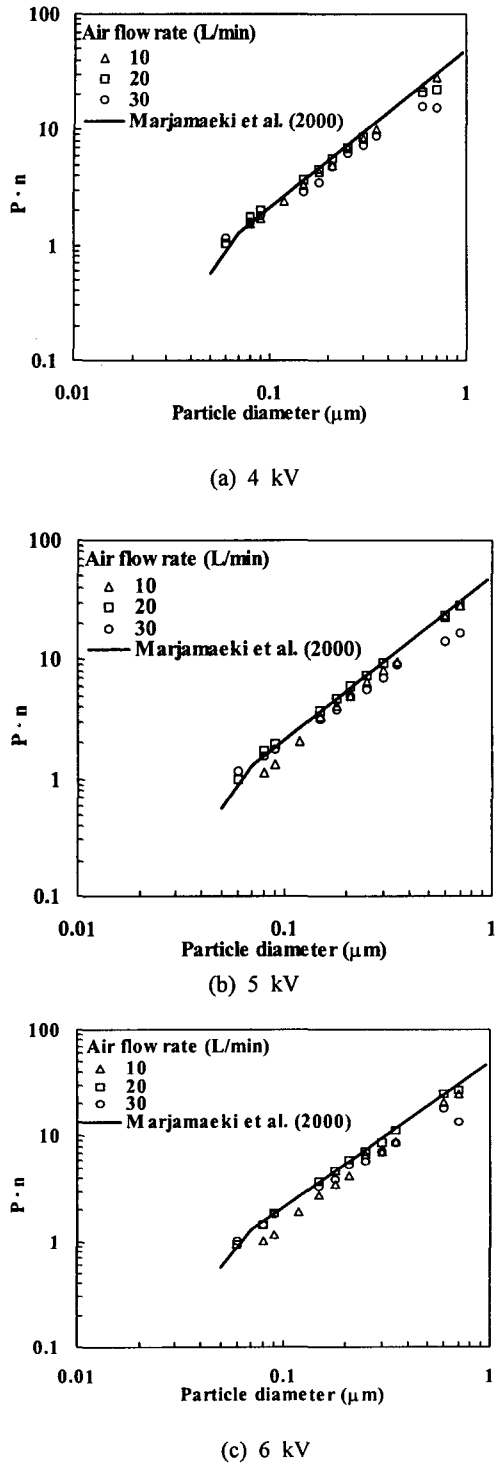


Fig. 12 $P \cdot n$ values of particles passing through the corona charger

Table 1 $P \cdot n$ values with operation conditions of the diode charger

air flow rate(L/min)	applied voltage(kV)	$P \cdot n(a \times d_p^b)$		R^2
		a	b	
10	4	44.778	1.36	0.9918
	5	48.248	1.47	0.9972
	6	43.412	1.47	0.9959
20	4	36.515	1.20	0.9981
	5	44.813	1.30	0.9997
	6	46.483	1.35	0.9975
30	4	26.435	1.12	0.9918
	5	26.033	1.10	0.9974
	6	26.555	1.11	0.9767

때 (+)5, (+)6 kV가 인가된 경우 입경이 작을수록 $P \cdot n$ 이 약간 낮고, 30 L/min인 경우 입경이 클수록 $P \cdot n$ 이 약간 감소한다. 그러나, $P \cdot n$ 은 큰 차이가 없었는데, 이것은 인가전압이나 흡인유량이 변하더라도 통과율과 입자당 하전수가 서로 상충되어 나타나기 때문이다. 즉, 인가전압이 증가하면 Fig. 11에 나타낸 것처럼 입자당 전하수가 증가하지만, 강한 전기장이 형성되므로 Fig. 10과 같이 입자의 통과율이 감소하기 때문에 $P \cdot n$ 은 비슷한 값을 갖는다.

Marjameaki 등⁽⁷⁾의 경우 하전기는 통과하는 입경이 0.095~1.8 μm 일 때 $P \cdot n$ 은 $50.507 \times d_p^{1.3805}$ 였고, 본 연구에서 설계 제작한 하전기의 경우 흡인유량이 20 L/min, 인가전압이 5 kV일 때 $44.813 \times d_p^{1.30}$ 였다. 그러나, 하전기의 흡인유량이 같으면 인가전압이 (+)4, (+)5, (+)6 kV로 달라지더라도 $P \cdot n$ 은 비슷하다. 하전기의 흡인유량이 10, 20, 30 L/min, 인가전압이 (+)4, (+)5, (+)6 kV인 경우 본 실험에서 구한 $P \cdot n$ 을 Table 1에 정리하여 나타냈다.

5. 결론

패러데이 케이지는 하전된 에어로졸 입자의 전하량을 측정할 수 있는 장비이고, 에어로졸 하전기는 입자를 높게 하전시킬 수 있는 장비이다. 본 연구에서는 실시간 전기적 임팩터의 기본 구성요소인 패러데이 케이지와 코로나 하전기를 설

계하여 대표적인 성능을 평가하였다.

먼저 입자의 하전량을 10^{-15} A 수준까지 측정할 수 있는 패러데이 케이지를 제작하여 성능을 평가하였다. 하전기의 흡인유량이 10 L/min인 경우 본 연구에서 제작한 패러데이 케이지의 전류 측정치는 TSI 에어로졸 극미량 전류계와 $\pm 5\%$ 이내로 비슷하였고, 15 L/min 이상인 경우 TSI 에어로졸 극미량 전류계의 손실이 증가하는 반면 본 연구에서 제작한 패러데이 케이지는 유량에 따른 입자손실이 나타나지 않았다. 즉, 흡인유량에 상관없이 입자의 하전량을 정확하게 측정하였다.

또한, 입자를 크기별로 일정하게 하전시킬 수 있는 다이오드형 에어로졸 하전기를 설계, 제작하여 성능을 평가하였다. 흡인유량이 일정한 경우 인가전압에 무관하게 에어로졸 하전기의 $P \cdot n$ (입자의 통과율과 수농도의 곱)이 비슷하게 나타났다.

후 기

본 연구는 과학기술부 정책연구사업(관리번호: 기계 99-03)과 산업자원부 신기술실용화기술개발사업(과제번호: 10005549)의 지원으로 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사의 말씀을 드린다.

참고문헌

- (1) Keskinen, J., Pietarinen, K., and Lehtimaeki, M., 1992, "Electrical Low Pressure Impactor," *J. Aerosol Sci.*, Vol. 23, pp. 353~360.
- (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) Keskinen, J., Marjamaeki, M., Virtanen, A., Maekelae, T., and Hillamo, R., 1999, "Electrical Calibration Method for Cascade Impactors," *J. Aerosol Sci.*, Vol. 30, pp. 111~116.
- (7) 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.
- (8) Keithley, 1996, *Model 6517A Electrometer, User's Manual*.
- (9) TSI Corporation, 1999, *Model 3068 Aerosol Electrometer, Instruction Manual*.
- (10) Ji, J. H., Bae, G. N., and Hwang, J., 2003, "Effect of Particle Clogging in Orifices on the Particle Collection Efficiency of a Micro-Orifice Impactor," *KSME Journal (B)*, Vol. 27, No. 2, pp. 197~205.