

코로나 방전 방식에 따른 전기집진기의 오존, NO_x 발생 및 입자제거 특성

노광철*·이영호**·오명도†

Generation Characteristics of Ozone and NO_x and Particle Removal in the Electrostatic Precipitators

Kwang-Chul Noh, Young-Ho Lee and Myung-Do Oh

Key Words: Ozone(오존), NO_x(질소산화물), Particle Removal(입자제거), Corona Discharge(코로나방전), Electrostatic Precipitator(전기집진기)

Abstract

We investigated the amount of the toxic gases emitted from the Electrostatic Precipitators(ESPs), which are currently used as the indoor air cleaners. The existing wire-to-plate(WTP) and needle-to-plate(NTP) types of ESP designs are considered as the experimntal corona dischargers. Using the voltage, the polarity of wire, the number of needles of NTP as the input variables, we studied the generation characteristics of ozone and NO_x and the particle removal efficiency in the ESPs. As the results, we found out that the concentration of ozone, NO₂ and NO_x is increased with increasing the voltage and the number of needles, but the amount of NO is decreased. And we observed that the generation rates of ozone and NO_x are mainly related with the corona region through the photographs. Finally the experimntal results showed that the particle removal efficiency of ESP with WTP type charger is more superior to that with NTP type chargers at the same voltage.

1. 서 론

건물의 에너지 절약을 위하여 건물의 밀폐도가 증가하고 이에 따른 환기횟수의 감소와 더불어 건축자재나 공조설비 등에서 발생하는 오염물질의 증가, 자동차의 매연이나 공장굴뚝에서 나오는 배기가스 등으로 인해 실내 공기질(indoor air quality)은 상당히 악화되고 있다. 더욱이 현대인들의 하루생활을 분석하면 시간의 90%를 실내에서 사용하는 것으로 보고 되고 있다.⁽¹⁾ 이로 인하여 실내에서의 공기청정에 대한 관심이 증대되고

있으며 실내 공기질을 개선하기 위하여 공기청정기의 사용이 늘어나고 있다.

실내 공기청정기는 입자의 제거방식에 따라 기계식, 전기식, 그리고 혼합식 등으로 나눌 수 있다. 이러한 여러 방식 중 전기식으로 처리유량이 크면서도 압력손실이 작은 전기집진기(electrostatic precipitator, ESP)가 오래전부터 사용되고 있으며 이러한 전기집진기의 집진성능 향상을 위한 여러 방법들이 이론적, 실험적으로 계속 연구되어 왔다.^(1,2)

코로나 방전(corona discharge)을 이용한 실내용 전기집진기는 코로나 영역 내에 유입된 공기분자들을 분해하기 때문에 오존(ozone) 등이 발생하게 된다. 오존(O₃)은 3개의 산소원자로 구성된 하나의 분자이다. 이중 2개의 산소원자는 인간이 호흡하는데 필수적인 산소분자를 형성한다. 나머지 세 번째 산소원자는 오존으로부터 분리되어 다른 물질의 분자에 재부착되고 이에 따라 그 물질의 화학적인 구성

† 책임저자, 회원, 서울시립대학교 기계정보공학과
E-mail : mdoh@uos.ac.kr

TEL : (02)2210-2756 FAX : (02)2248-5110

* 서울시립대학교 대학원 기계정보공학과

** 서울시립대학교 대학원 기계정보공학과

을 변경시키게 된다. 이러한 오존의 반응성에 때문에 유해한 가스를 제거하는데 많이 이용되고 있다. 그러나 인체의 외부에서 유기물과 반응하는 오존의 화학적인 특성은 인체의 내부를 구성하는 유기물과도 동일하게 반응하기 때문에 폐에 손상을 일으킬 수 있고 결과적으로 건강상 문제를 발생시킬 수 있는 요인이 된다.^(3,4) Table 1은 오존의 농도에 따른 영향을 보여주고 있다.⁽⁴⁾ 공기 중에 존재하는 오존은 인간뿐만 아니라 식물 등에도 매우 유해하다는 것을 알 수 있다. 이러한 이유로 미국의 FDA(Food and Drug Administration)에서는 실내 의료기에서의 오존발생량을 0.05ppm이하로 요구하고 있고, EPA(Environmental Pollution Agency)에서는 대기에 대하여 8시간 평균이 0.08ppm이하로 유지되어야 한다고 규정하고 있다.⁽³⁾

현재 실내에 사용되고 있는 전기집진기에서도 코로나 방전에 의해 오존이 발생하게 된다.⁽¹⁾ 이러한 이유로 인하여 실내용 전기집진기에서 발생하는 오존량에 대한 조사가 필요하다고 볼 수 있다. 또한 코로나 방전은 가스를 전자와 이온으로 분해하기 때문에 공기 중의 존재하는 다량의 질소(N₂)도 코로나 방전에 의하여 원자로 분해가 되고 이것이 산소원자와 반응하여 질소산화물(NO_x)을 생성할 수도 있을 것으로 판단된다.

따라서 본 연구에서는 기존의 wire-to-plate(이하 WTP) 방식의 하전부를 갖는 공기청정기에 대하여 전압 및 코로나 와이어의 극성변화에 따른 오존과 NO_x 발생량을 측정하여 그 특성을 분석하였다. 하전부의 형상이 needle-to-plate(이하 NTP)인 것에 대해서도 전압, 코로나 와이어의 극성, 침(needle)의 수에 따른 오존 및 NO_x 발생량 등을 조사하였고 이를 WTP 방식의 결과와 비교, 분석하였다. 그리고 WTP 방식과 NTP 방식의 전기집진기에서 입자의 제거효율을 측정하여 오존발생량과 입자제거효율에 대한 비교, 분석을 수행하였다.

2. 실험

2.1 실험장치

전기집진기에서 발생하는 오존과 NO_x의 양, 입자의 제거효율을 측정하기 위하여 Fig. 1과 같이 실험장치를 구성하였다. 이는 공기청정기에서 입자의 제거효율만을 측정하기 위한 실험장치와 그 구성면에서 동일하다. 실내의 공기는 HEPA필터

Table 1 Health effects of ozone

Concentration (ppm)	Exposure time	Effects
0.02	1 hr	Cracked, stretched rubber
0.03	8 hr	Vegetation damage
0.10	1 hr	Increased airway resistance
0.30	continuous working hours	Nose and throat irritation, chest constriction
2.00	2 hr	Severe cough

를 통과하면서 여과되어 풍동으로 유입된다. 여과된 공기들은 허니콤(honeycomb)과 2개의 스크린을 통과하면서 유동의 난류도가 감소되고 유동은 플러그 유동(plug flow) 형상이 된다. 그리고 풍동의 수축부를 통과하면서 경계층이 최대한 억제된 형태로 흐르게 된다. 이때 시험장치부 전면에서 측정된 유동균일도(flow uniformity)는 유속 1m/s에서 ±2% 이내로 측정되었다. 이렇게 균일성이 확보된 유동은 시험장치부(test section)와 플레넘 챔버(plenum chamber)를 지난 후 제트팬(jet fan)에 의해 외부로 빠져나간다. 이때 플레넘 챔버는 제트팬에 형성되는 유동의 교란현상을 방지하기 위하여 설치되었다.

본 연구에서는 전기집진기의 코로나 방전에 의해 발생된 오존(O₃)과 NO_x의 농도를 조사하기 위하여 오존분석기(ozone analyzer, model 400A, API)와 NO_x분석기(NO_x analyzer, model 200A, API)를 사용하였고, 전기집진기의 on/off시에 시험장치부의 50cm 후방에서 각각의 농도를 측정하였다. 입자의 제거효율을 조사하기 위하여 HEPA필터 후단에서 응축식 단분산 입자발생기(condensation monodisperse aerosol generator, model 3475, TSI)로 입경 0.02~0.8µm의 입자를 발생시켰고, 시험장치부의 50cm 후방에서 SMPS(scanning mobility particle sizer, model 3936, TSI)를 이용하여 전기집진기의 on/off시에 시험장치를 통과한 입자의 개수농도를 측정하였다.⁽²⁾ 입자발생 후, 전기집진기 off시 시험장치부에서 측정된 입자농도는 각 입경에 대해 10³개/cm³ 이상이였다.

Fig. 2는 전기집진기에 사용된 WTP 방식과 NTP 방식의 하전부와 집진부의 형상을 보여주고 있다. WTP 방식의 하전부의 크기는 26(L)×280(H)

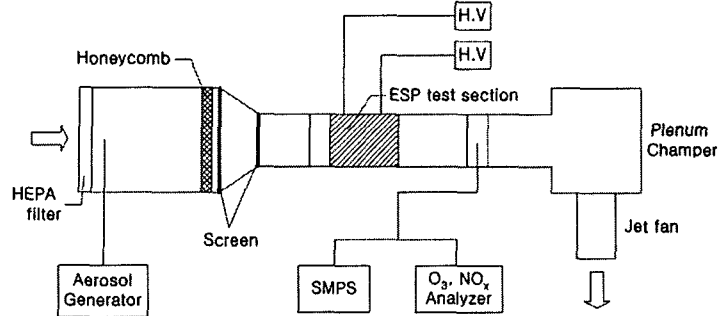


Fig. 1 Schematic diagram of the experimental system

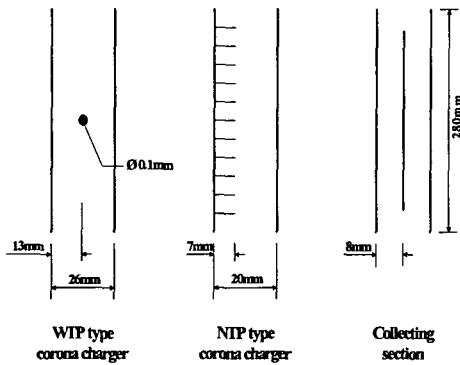


Fig. 2 Schematic diagram of the ESP's parts

18(W)mm 이고 5개의 레인(lane)으로 구성되어 있으며, 와이어와 판 사이의 간격은 13mm이다. NTP 방식의 하전부는 길이와 높이가 20(L)×280(H)mm 이고 6레인(lane)으로 구성되었으며 그 폭은 침의 수에 따라 달라진다. 침은 15mm의 일정한 정방향으로 배열되어 있으며 침의 개수(38, 95, 133)에 따라 판의 폭이 달라진다. NTP 방식의 침 끝과 판 사이의 간격은 13mm로 WTP 방식과 동일하다. 집진부의 크기는 16(L)×280(H)×100(W)mm 이고 총 8레인으로 구성되어 있으며, 판과 판사이의 간격은 8mm이다. 고전압 발생기 (high voltage power supply)는 전압 0~30kV, 전류 0~6mA까지 발생이 가능한 장치로 하전부 및 집진부에 연결하여 사용하였다. 이때 발생한 전압, 전류는 고전압 프루브(high voltage probe, model P6015A, Tektronix)를 이용하여 측정하였다.

2.2 실험방법

본 연구는 실내 공기청정용 전기집진기에 대한

오존 및 NOx 발생량과 입자의 제거효율을 조사하기 위한 것이다. 따라서 모든 조건은 실내용 전기집진기의 가동조건을 기준으로 실험하였다. 전기집진기의 코로나 방전부는 그 방식에 관계없이 전류-전압곡선에 의하여 안정성이 유지되는 최대의 전압을 인가전압의 한계로 하여 그 값보다 낮은 전압에서 실험을 수행하였다. 집진부의 전압은 코로나 방전부 전압의 1/2을 인가하였다.

WTP 방식의 경우, 오존 및 NOx의 발생량, 입자제거효율에 대한 조사는 전압-전류 특성곡선에 맞추어 값을 측정하였고, NTP 방식의 경우에는 침의 수에 따라 코로나 방전부의 전류-전압 특성이 달라지기 때문에 침(needle)의 수에 따라 전압을 기준으로 5~12kV에서 오존 및 NOx의 발생량, 입자제거효율을 측정하였다. 또한, 코로나 와이어에 인가된 양 또는 음의 방전극성에 따른 오존 및 NOx에 관한 발생특성의 변화와 입자제거효율을 관찰하기 위하여 양코로나(positive corona)와 음코로나(negative corona)에 대한 실험을 모두 수행하였다. 유속은 모든 실험에서 1m/s로 일정하게 유지하였다.

3. 결과 및 논의

3.1 전압-전류 특성

본 연구에서 사용된 전기집진기의 전기적인 특성을 분석하기 위하여 인가전압과 코로나 전류와의 관계를 Fig. 3에 나타내었다. 이 특성곡선들은 WTP 방식은 5레인, NTP 방식은 6레인이 모두 설치되었을 때 측정한 값들이다. (a)는 양코로나에 의한 전류-전압 특성을 보여주고 있고, (b)는 음코로나인 경우의 특성을 나타낸다. 여기서

NTP-1,2,3은 NTP 방식의 침(needle)의 수에 따른 분류로서 각각 38개, 95개, 133개일 때를 의미한다. WTP 방식과 NTP 방식 모두 인가전압의 증가와 함께 코로나전류도 증가하는 것을 볼 수 있다. 그리고 동일한 전압에서의 코로나전류는 음코로나가 양코로나보다 큰 것으로 측정되었다.

본 연구에서 사용된 WTP 방식의 코로나 개시전압은 양코로나인 경우 4.6kV, 음코로나인 경우 5.0kV로 측정되었다. 그리고 NTP 방식의 코로나 개시전압은 NTP-1,2,3 모두 양코로나인 경우 7kV, 음코로나인 경우 6kV로 거의 같게 측정되었다. Fig. 3에서 보는 바와 같이 침의 수가 증가함에 따라 코로나전류가 증가하고 있는데, 이는 침의 수가 증가하면서 코로나 방전이 발생하는 영역도 증가하기 때문이다. 이러한 결과들은 장치의 크기 및 실험조건 등으로 인하여 정량적인 직접 비교는 어렵지만, 이전의 Huang and Chen⁽¹⁾의 결과들과 정성적으로 잘 일치한다.

3.2 오존 및 NO_x 발생 특성

인가전압의 증가에 따라 WTP와 NTP-1,2,3에 대한 오존 및 NO_x 발생량을 측정하였다. Fig. 4는 오존의 발생량을 나타낸다. 초기상태에서의, 즉 코로나 방전 이전의 오존농도는 약 4~7ppb정도로 모든 경우에 대해서 비슷한 값으로 측정되었다. Fig. 4에서 보는 바와 같이 양/음 코로나에 관계없이 인가전압의 증가와 함께 오존농도도 증가하는 것을 볼 수 있다. 이는 전압의 증가와 함께 이온전류가 증가하게 되고 이러한 이온전류들은 아래와 같은 반응으로 인하여 오존의 발생을 더욱 활성화시키기 때문이다.^(5,6)



WTP 방식의 양코로나인 경우에는 오존이 매우 작게 발생하였지만 음코로나인 경우에는 상당히

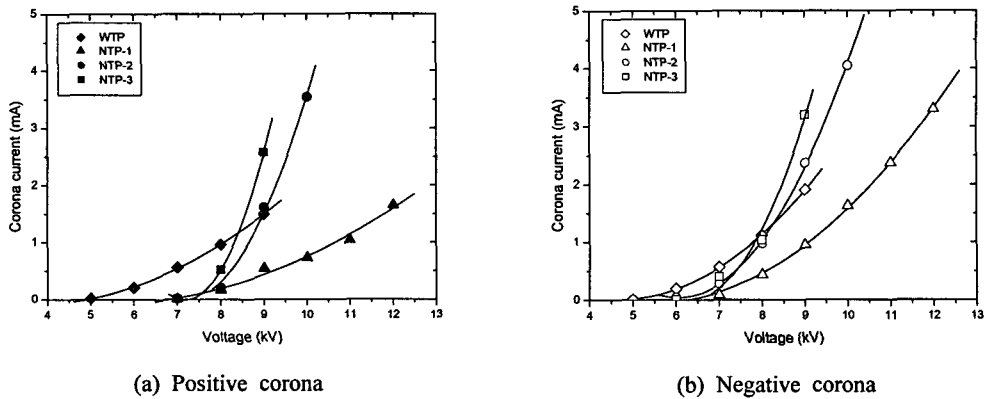


Fig. 3 Experimental voltage-current characteristic curves for several corona dischargers

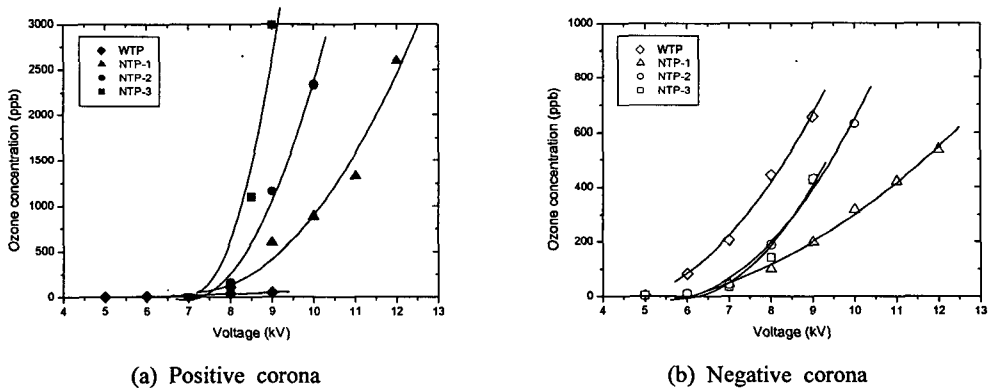


Fig. 4 Ozone generation characteristic curves for several corona dischargers

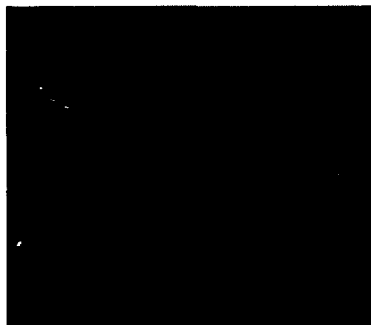
많은 양의 오존이 발생하였다. 양코로나인 경우, 인가전압이 9kV에서 오존농도가 초기농도보다 약 50ppb 증가하였고, 음코로나인 경우에는 약 650ppb 증가하였다. 이러한 결과는 동일한 전압에서 발생하는 오존량이 양코로나에 비해 음코로나가 많다고 한 Huang and Chen⁽¹⁾의 결과와 정성적으로 잘 일치하는 것으로 나타났다.

그러나 NTP 방식의 경우에는 양코로나가 음코로나에 비해 더 많은 오존을 발생시키는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 코로나 영역(corona region)과 매우 관련이 깊다. WTP 방식은 양코로나에 비해 음코로나인 경우에 더 큰 코로나 영역을 갖는다. 그러나 NTP 방식의 코로나 방전에서는 음코로나인 경우에 비해 양코로나인 경우에 전기장의 영향으로 인하여 이온화영역이 증가⁽⁷⁾하기 때문에 오존량이 더 많이 발생하는 것으로 판단이 된다. Fig. 5는 코로나 방전부의 방식 및 코로나의 종류에 따른 코로나 영역을 보여주는 사진이다. 사진에서 보는 바와 같이 코로나 영역의 크기는 NTP, 양코로나 > WTP, 음코로나 >

NTP, 음코로나 > WTP, 양코로나의 순서로 나타났다. 이는 Fig. 4에서 보여진 오존발생량과 동일한 크기 순서를 갖는다. 이러한 결과는 코로나 영역과 오존발생량 사이에 중요한 연관성이 있음을 보여준다. 즉, 코로나 영역이 커질수록 오존의 발생량도 증가한다는 것을 증명해 준다.

그리고 양코로나의 경우 침의 수가 증가함에 따라 오존발생량은 계속해서 증가하는 것으로 나타났다. 음코로나의 경우 NTP-2,3에서는 거의 동일한 발생량을 나타냈다.

Figs. 6~8은 코로나 방전부에서 인가전압에 따른 NO, NO₂, NO_x의 초기농도에 대한 증감량을 보여준다. 여기서 측정된 NO_x의 양은 NO와 NO₂의 측정량을 합한 것이다. NO_x는 대기에서의 일변화량이 크기 때문에 각 경우에 대한 실험시에 그 초기값의 변동(50~100ppb)이 심하였다. 따라서 NO, NO₂, NO_x의 변화량을 초기값에 대한 증감량으로 값을 나타냈다. 공기 중의 질소분자(N₂)는 코로나 방전에 의하여 분해되어 산소원자들과 반응하거나 또는 분해된 산소원자들과, 오존과 직접



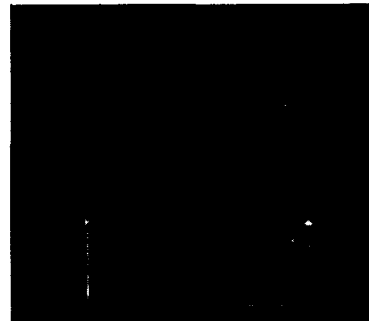
(a) WTP, positive corona



(b) WTP, negative corona



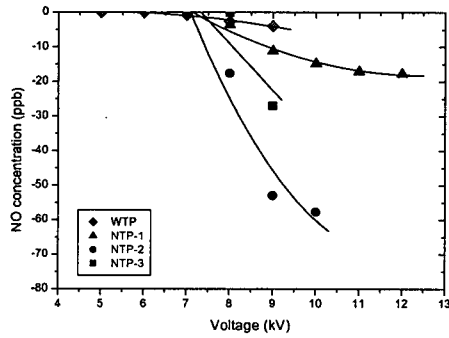
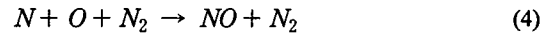
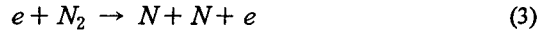
(c) NTP, positive corona



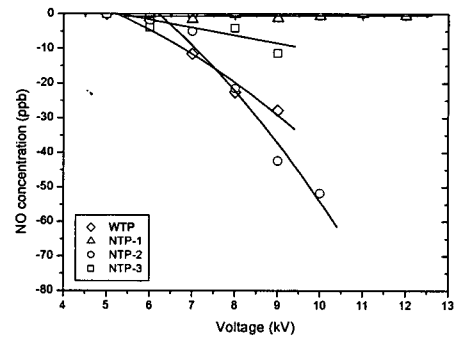
(c) NTP, negative corona

Fig. 5 Photograph of the corona region (the voltage is applied at 9kv)

반응하여 NO를 생성하게 된다. 이러한 NO는 코로나에 의해 발생한 산소원자, 오존 등과 다시 반응하여 NO₂로 변하게 된다.⁽⁵⁻⁸⁾

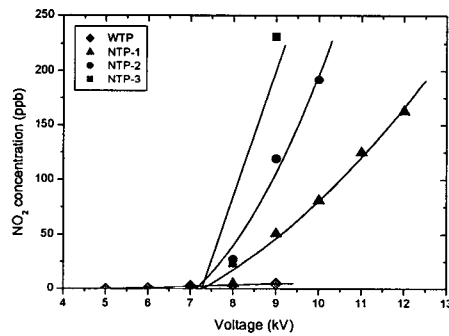


(a) Positive corona

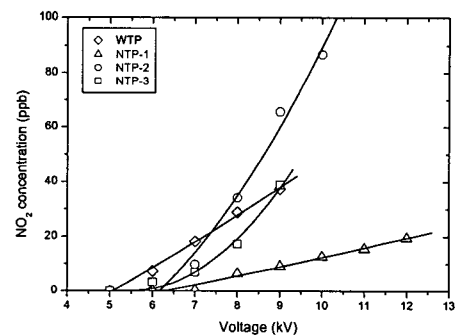


(b) Negative corona

Fig. 6 NO removal characteristic curves for several corona discharges

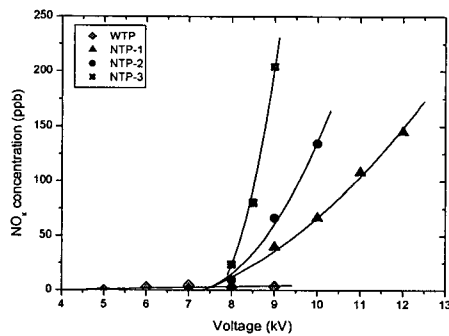


(a) Positive corona

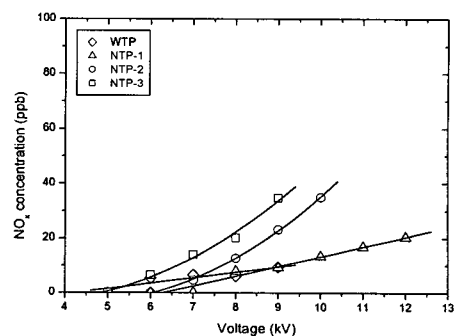


(b) Negative corona

Fig. 7 NO₂ generation characteristic curves for several corona discharges

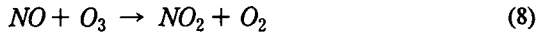


(a) Positive corona



(b) Negative corona

Fig. 8 NO_x generation characteristic curves for several corona discharges



식 (4)~(6)과 같은 반응으로 생성된 NO는 식 (7), (8)의 반응에 의하여 Fig. 6에서 보는 바와 같이 그 양이 전압의 증가와 함께 계속해서 감소하게 되는데 특정전압 이상이 되면 초기의 존재량이 거의 모두 소멸되는 것으로 나타났다. 그러나 NO의 산화반응에 의해서 NO₂의 양은 전압의 증가와 함께 계속해서 증가하게 되는데 이는 Fig. 7에서 볼 수 있다. Fig. 8은 초기농도에 대한 NO_x의 증가량을 보여주고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 인가전압이 증가함에 따라 NO_x의 발생량은 점차 증가하는 것을 볼 수 있다. 이는 전기집진기 자체에서 NO_x가 생성되고 있다는 것을 보여주고 있다.

Fig. 4와 Figs. 6~8에서 볼 수 있듯이 NO₂와 NO_x는 오존의 증가와 밀접한 관련이 있음을 알 수 있다. NO₂와 NO_x의 양도 오존발생량처럼 인가전압의 증가와 함께 음코로나에 비해 양코로나에서 많은 증가를 보이고 있다. 이는 앞서 논의한 코로나 영역과 관련이 깊다. 코로나 영역이 클수록 질소의 반응영역은 증가하게 되고 오존의 발생도 증가하게 되는데 이로 인하여 식 (7), (8)의 반응이 더 활발하게 일어나서 NO_x와 NO₂의 발생량도 증가하는 것이다. 그리고 Figs. 6~8에서 보는 바와 같이 인가전압이 증가함에 따라 NO의 양은 감소하지만 NO의 산화반응에 의하여 NO₂

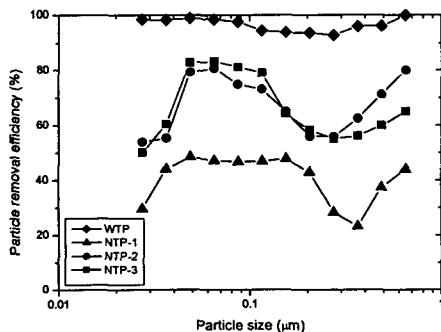
의 양은 증가하게 된다. 이때 NO₂의 증가량이 NO의 감소량보다 크기 때문이고 결국 NO_x의 양은 증가하게 된다. 이러한 결과는 NO를 코로나 방전부에 직접 주입하여 NO_x의 제거실험을 수행하였던 이전의 결과들과 잘 일치한다.^(5,7,8)

오존에 관한 기준들⁽³⁾을 근거로, 본 연구에서 실험한 전기집진기들을 평가한다면 9kV이상에서 모든 장치들이 기준치를 초과하는 것으로 나타났다. 특히 WTP 방식, 양코로나의 경우를 제외하고는 모든 방식들에서 오존발생량이 위의 기준들을 훨씬 초과되는 것으로 나타났다. 또한 WHO의 NO₂에 대한 실내 허용기준(24시간평균, 0.075ppm)을 근거로 본 연구에서 사용된 전기집진기를 평가한다면 NTP 방식, 양코로나의 경우 9kV이상에서는 이 기준치를 초과하는 것으로 나타났다. WTP 방식의 두 가지 경우와 NTP 방식, 음코로나 경우에는 WHO의 기준을 만족하는 것으로 나타났다. 따라서 실내의 공기질이 점차 강화되고 있는 시점에서 기존의 입자 및 가스제거용 전기집진기에 대하여 여러 가지 운전조건에 따른 오존 및 NO_x 발생에 관한 보다 분석적인 실험연구가 필요하다고 판단된다.

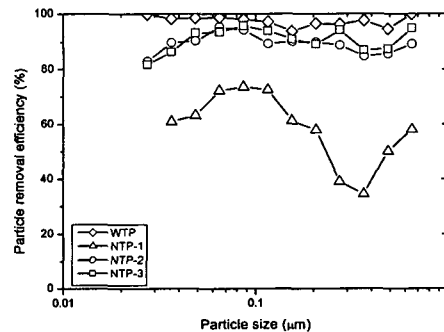
3.3 입자제거 특성

코로나 방전부방식과 종류에 따라 입자제거 특성이 어떻게 변하는지를 관찰하기 위하여 입경별 수농도를 측정하여 입자제거효율을 계산하였다.

Fig. 9는 코로나 방전부의 전압이 9kV, 집진부의 전압이 4.5kV일때의 입경별 입자제거효율을 보여준다. 모든 실험에 대해서 입자제거효율은 양코로나에 비해 음코로나가 더 큰 것으로 나타났다. 또



(a) Positive corona



(b) Negative corona

Fig. 9 Particle removal efficiency for several corona discharges when the applied voltage is 9kV

한 코로나의 종류에 관계없이 침의 수가 증가할수록 입자제거효율은 증가하는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 동일한 전압에서 음코로나가 양코로나보다 더 큰 이온전류가 흐르기 때문이다.⁽¹⁾ 그러나 Fig. 4와 Fig. 9를 관찰해 보면 9kV에서 WTP의 코로나전류가 NTP-2,3보다 낮아도 입자제거효율은 크게 나타나는 것을 볼 수 있다. 이는 Fig. 2에서 보는 바와 같이 전체 유동영역(20mm) 중 침 영역(7mm)으로 유입되는 입자들은 코로나 영역에서 발생되는 이온의 영향을 덜 받기 때문에 입자가 하전될 확률이 낮아져서 그만큼 입자제거효율이 감소하게 되는 것이다. NTP-2와 NTP-3의 경우에는 입자제거효율이 거의 비슷하게 측정되는데 이러한 이유도 침의 안쪽으로 유입되는 입자들의 양이 비슷하기 때문인 것으로 판단된다.

또한 NTP 방식의 경우, 입자의 직경이 0.05 μ m 이하인 경우에는 입자제거효율이 감소하는 것을 볼 수 있는데 이는 0.05 μ m이하의 입경에서는 일부의 입자만이 하전이 되는 부분하전(partial charging)의 영향⁽²⁾ 때문인 것으로 판단된다.

4. 결 론

전기집진기에 적용될 수 있는 하전부인 WTP 방식 및 NTP 방식의 전기집진기에서 발생하는 오존, NO_x 발생량과 입자제거효율에 대한 조사를 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 코로나전류는 코로나 방전부의 형상에 관계없이 인가전압의 증가와 함께 증가하고, 동일한 전압에서 양코로나에 비해 음코로나에서 전류값이 더 크며 NTP 방식의 경우, 침의 수가 증가함에 따라 코로나전류도 증가한다.
- (2) 오존의 발생량은 코로나 영역의 크기와 매우 밀접한 관련이 있으며 동일한 인가전압에서 WTP 방식의 경우, 양코로나에 비해 음코로나에서, NTP 방식의 경우, 음코로나에 비해 양코로나에서 훨씬 많은 오존이 발생한다.
- (3) NO_x의 증가량은 오존발생량과 밀접한 관련이 있으며 오존발생량이 클수록 NO_x의 증가량도 크게 나타난다.
- (4) 인가전압의 증가함에 따라 NO의 양은 감소하나 NO₂의 양은 증가하게 되는데 이는 NO가 NO₂로의 산화반응 때문이며 결국 특정전압 이상이 인가되면 NO_x의 양은 증가하게 된다.

(5) 입자제거효율은 코로나 방전방식에 관계없이 양코로나에 비해 음코로나에서 더 크게 측정되었다.

후 기

본 연구는 1999년도 학술진흥재단 선도연구지원사업의 지원의 일부로 이루어졌으며, 이에 관계자 여러분께 감사사를 드립니다.

참고문헌

- (1) Huang, S. H and Chen, C. C, 2001, "Filtration Characteristics of a Miniature Electrostatic Precipitator," *Aerosol Sci. and Tech.*, Vol. 35, pp. 792-804.
- (2) Yoo, K.H., Lee, J.S. and Oh, M.D., 1997, "Charging and Collection of Submicron Particles in Two-Stage Parallel-Plate Electrostatic Precipitators," *Aerosol Sci. Technol.*, Vol 27, pp. 308-323.
- (3) US EPA, 1995, "Ozone Generators that are sold as Air Cleaners: An Assessment of Effectiveness and Health Consequences," Indoor Air-Publications.
- (4) Wark, K. and Warner, C. F., 1981, *Air Pollution: Its Origin and Control*, Harper & Row., New York, pp. 32-33
- (5) Lowke, JJ and Morrow, R., 1995, "Theoretical Analysis of Removal of Oxides of Sulphur and Nitrogen in Pulsed Operation of Electrostatic Precipitators," *Plasma Science, IEEE Transactions*, Vol. 23, No. 4, pp. 661-671.
- (6) Mason, N.J. and Skalny, J.D., 2002, "Experimental Investigations and Modeling Studies of Ozone Producing Corona Discharges," *Czechoslovak J. of Physics*, Vol. 52, pp. 85-94.
- (7) Dong, L., Chen, C., Sheng S., Chi, X. and Yang, J., 2002, "The Influence of Interface Phenomenon on Removal of NO and SO₂ in Corona Discharge Reactor with Water Film," *Industry Applications Conference 2002, 37th IAS Annual Meeting*, Vol. 3, pp. 2194-2197.
- (8) Kuroki, T., Takahashi, M., Okubo, M. and Yamamoto, T., 2001, "Single-Stage Plasma Chemical Process for Particulates, NO_x and SO_x Simultaneous Removal," *IEEE Transactions*, Vol. 38, No. 5, pp. 1204-1209.