

## 코로나방전에 의한 AUTO-BIAS형태의 전기집진에 관한 연구

이주상\*·김신도\*·김광영

\*서울시립대학교 환경공학과,  
신성기술연구소 환경개발부

### A Study on the Electrostatic Precipitation of Auto-Bias Type by Corona Discharge

Ju Sang Lee\*·Shin Do Kim\*·Kang Young Kim

*\*Dept. of Environmental Engineering, Seoul City University  
Dept. of Environmental Development, Shin Sung Technology Research Lab.*

#### Abstract

The electrostatic precipitation of Auto-Bias has the advantages of a little of power consumption by the voltage to apply only at ionizer and the prevention of fire danger by current flow over. As this ionizer wire was used WXN- Pt material of diameter  $90\mu\text{m}$ , that improved ion efficiency and safety, simplified a existing source of electric power by induced Auto-Bias voltage. Also, the new type collector used electric conductivity-film was superior a electric safety and dust collection efficiency and was possible to wash it by water.

As a experiment result of this Auto-Bias electrostatic collector, the induced Auto-Bias voltage by applying D.C 4.0~6.0kV at ionizer was 1.3~2.3kV and then the power consumption by applied voltage was 8-18W. The pressure loss of collector by the amount of flowing was  $6.10\text{mmH}_2\text{O}$  in  $300\text{m}^3/\text{hr}$  and showed a safe state of the dust collection. The collection efficiency by particle size was 65.1-95.8% in  $0.5\sim 5.0\mu\text{m}$ . After corona discharge of ionizer, the remaind ozone concentration was found much lower than that of ACGIH or air pollution criteria in Korea.

## I. 서 론

경제성장과 산업화에 따른 생산활동의 증대로 화석연료의 사용량이 많아지게 되어 대기 오염문제는 날로 심화되고 있다. 특히, 대형공장의 산업용 보일러, 발전소 등에서 배출되는 대기오염물질들은 액체 또는 고체상입자와 기체상물질로 대기오염의 큰 요인으로 작용하고 있다. 공기중에 부유입자는 고체, 액체 및 이들 혼합체로 직경이  $10\mu\text{m}$ 이하의 입자가 대부분이며, 이들 입자는 인간의 폐포에 침착의 가능성이 큰 것으로 알려져 있다. 이러한 오염입자들을 제거하기 위해 종래에는 필터방식의 흡착법이 일반적으로 보급되어 사용되어 왔으나 필터방식의 흡착법은 압력손실이 높고, 입자퇴적으로 인한 단수명으로 자주 교환하여야 하는 번거로움과 경제적 손실이 크다. 이에 대한 개선과 대응으로 2단식 전기집진장치를 산업용으로 널리 사용되고 있다. 2단식 집진장치는 방전극과 집진부에 각각 인가되는 전원장치가 필요하게 되어 단락전류에 의한 화재의 안전성 문제와 과소비전력으로 운전유지비용이 많이 든다. 이러한 필터방식과 2단식 집진장치의 문제점들을 개선 보완시키기 위해 방전부와 집진부에 인가되는 고전압을 방전부에만 인가시켜 방전부의 방전전류일부를 이온포집전극을 통하여 집진부 고전압전극에 공급하여 자동적으로 형성된 전계로 하전된 입자를 제거하는 방식이다. 따라서, 전원을 방전부에만 인가시키게 되므로 소비전력량이 적고 단락전류로 인한 화재의 위험성을 방지할 수 있는 장점이 있다. 본 연구에서는 Auto-Bias의 전기집진장치를 이용하여 방전극에 인가되는 전압에 의한 Auto-Bias의 전기적 특성과 오

존발생농도를 측정조사하고 집진부에 집진되는 분진입자의 크기별 상태와 분진제거성능을 조사하였다.

## II. Auto-Bias 전기집진의 이론적 배경

### 1. 전기집진장치와 필터식 집진장치

집진장치에서 가장 간단한 방식은 필터방식이다. 필터방식으로는 필터를 구성하는 섬유층에 공기류 중의 분진이 충돌·부착한다. 필터의 집진성능  $\eta$ 은

$$\eta = 1 - \exp(-4 \alpha E_x t / \pi d_f) \quad (\text{식1})$$

으로 식1에서 압력손실  $\Delta P$ 는,

$$\Delta P = \eta t U_0 f(\alpha) / d_f^2 \quad (\text{식2})$$

로 된다. 여기서,

$\alpha$ : 충전율,  $E_x$ : 단일섬유 포집효율,  $d_f$ : 섬유 직경,  $U_0$ : 가스유속 (면속도)

$$f(\alpha) = 64.5 \alpha^{0.5} (1 + \alpha^2)$$

으로 된다. 식(1)~식(2)과 같이 집진성능의 향상과 압력손실의 저하에는 서로 상반된다. 즉, 집진성능의 향상은 필터 충전율을 증가하지만 그 이상의 경우에 압력손실의 저하를 초래하게 된다. 또, 집진된 분진은 특별한 장치로 제거되어 필터에 퇴적되기 때문에, 위에서  $\alpha$ 가 증대되어 압력손실이 식(1)~식(2)에 따라 누적적으로 가중 된다. 또, 식(1)의  $E_x$ 을 크게 하는 대책으로, 정전기력을 응용하여 Electrode Filter도 개발되고 있다. 그렇지만, 역시 분진의 퇴적결과, Electrode Filter에서 발생하는 전계가 Shield 되어 정전기력의 효

과가 비교적 단기간에 저하하는 경우도 많다. 어쨌든간에, 필터 방식으로는 비교적 단기간에 압력손실증가와 집진성능의 저하로 필터 교환이 필요하게 된다.

이와같이 Auto-Bias Type 전기집진장치 개발의 최대 목적이 신선한 공기의 청정을 유지하여 쾌적한 생활을 제공하는 것도 있지만, 집진성능이 우수한 전기집진 방식을 채용하여, 경제성의 향상과 함께, 소형화를 도모하는 것이 연구개발의 방침이 되는 것은 당연한 귀차이라 할 수 있다.

2. 전기집진장치의 집진성능 모델

전기집진장치의 집진성능은 Deutsche 의 식으로 해석된 경우가 많다. Deutsche의 식에서는 전기집진 장치의 집진과정을 Fig.1의 모델로 생각한다.

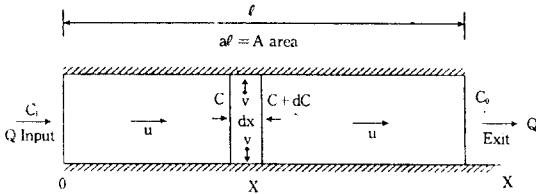


Fig. 1. Collection Model of Deutsche.

즉, 기류에 수직한 단면의 분진농도 C는 일정하므로 입경도 일정하며 입자가 집진전계에 의한 쿨롬인가로 집진극 수직방향에 이동된 속도도 일정하므로 흐름 방향 미소구간 dx 에 따른 dt(=dx/U) 시간에 집진 극면에 포집된 분진량 dw 는

$$dW = a \cdot dx \cdot c \cdot v \cdot dt = a \cdot c \cdot v \cdot (dx)^2 / u \quad (\text{식3})$$

표시된다. 여기서 a는 흐름 방향 단위 길이당 집진극 면적, u는 기류속도로 한다. f를 흐름

단면적으로 하면 분진량의 수지에서

$$\begin{aligned} d_c &= -dW / f \cdot dx \\ &= -a \cdot c \cdot v \cdot dx / f \cdot u \end{aligned} \quad (\text{식4})$$

로 된다. Q를 가스유량(=f·u)과, ℓ을 흐름 방향의 집진극 전길이로 하면, a·ℓ=A는 전 집진단면이 된다. 위의 식을 해석하면 집진율 η은

$$\eta = 1 - \exp(-A \cdot V / Q) \quad (\text{식5})$$

되므로 집진율은 A, Q, 및 V의 관계로 하여 표현 될 수 있다. A, Q는 집진부 즉, 전기집진장치의 형태와 크기 로 처리대상의 가스유량으로 하기 때문에, 본 연구개발에서는 자체에서 제약조건의 결정된 부분이 된다. 집진 성능을 향상시키기 위해서는 V의 증대를 도모할 필요가 있다. V는 분진입자의 입자 대전량 q₀와 집진 전계강도 Ec의 관수로

$$v = C \cdot q_0 \cdot E_p / 3\pi \cdot u \cdot D_p \quad (\text{식6})$$

여기서, C는 Cuningham 계수, u는 가스의 점도, D<sub>p</sub>는 분진입자의 입경으로 된다. 식(6)과 같이 q₀와 Ec을 크게 하는 것이 집진성능 향상의 바람직한 것이 된다. q₀은 이온나이저 부분으로 하전성능 Ec는 Collector 부분의 전계형성법을 그대로 반영하는 부분이 된다.

지금, 정화대상공간내에서 분진이 하나의 형태로 분포되어 있는 것으로 가정하여 작동 개시하게되면 분진의 감쇄는

$$-V \cdot dn / dt = Q \cdot \eta \cdot n - S \quad (\text{식7})$$

으로 표현될 수 있다. 여기서 V는 대상공간의 체적, n은 분진농도, Q는 처리 가스유량, η은 공기청정기의 집진률, S는 분진 발생률, 식(7)을 풀면

$$n_{\infty} = n_0 \cdot \exp(t/T) + s/Q \cdot \eta \quad (\text{식8})$$

여기서,  $T = V/Q \cdot \eta = \text{시정수}$ ,  $s = S/V$ ,  $n_0$ 은 초기 분진농도로 있지만, 집진 대상 공간의 분진농도는 최종적으로

$$n_0 = S/Q \cdot \eta \quad (\text{식9})$$

의 평형값에 도달한다.

위 해석과 같이 본 연구개발의 주안점은 이오나이저부의 하전성능과 같이 안전성, Collector부의 안정한 전계형성에 있는 것으로 사료된다.

### 3. Auto-Bias Type 전기집진장치의 원리

현재의 공조용 전기집진장치에 있어서는 Fig.2와 같이 2단식집진장치의 집진부와 이오나이저부에 특별히 고전압 전원을 설치하여 집진 전계를 형성하고 있다. 즉, 이오나이저와 Collector 각각에 고전압 전원이 필요로 하고 있다. 그러나, 본 연구의 Auto-Bias Type의 전기집진장치는 Fig.3에 표시한 것 같이 이오나이저의 방전전류의 일부를 이온포집전극 즉, Auto-Bias를 통하여 Collector 고전압 전극에 공급하여 Collector 고전압전극과 집진전극 간의 정전용량에 전하가 축적되어 Collector 고전압전극에 고전압이 발생하게 된다. 이 고전압에 의해 형성된 전계가 집진전계가 되는 것이다.

이와같이 특별한 전원장치를 설치하는 것도 없이 자동적으로 Collector부에 전원이 인가되는 것을 Auto-Bias방식의 원리라고 한다. Auto-Bias Collector 방식과 전원부 Collector 방식의 비교를 Table에 표시하였다. 표에서 auto bias 방식은 전원이 불필요 하고, 단락전류에 의한 화재의 가능성이 없으므로

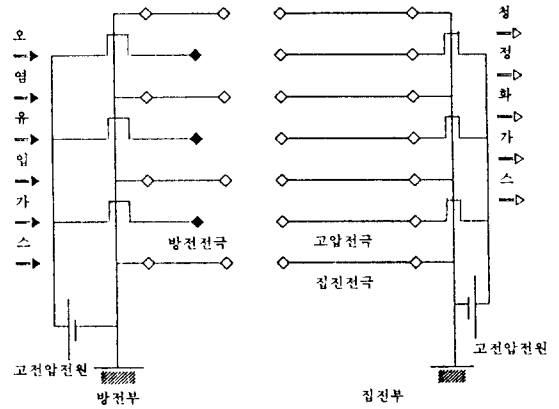


Fig. 2. Two Stage Electrostatic Precipitator.

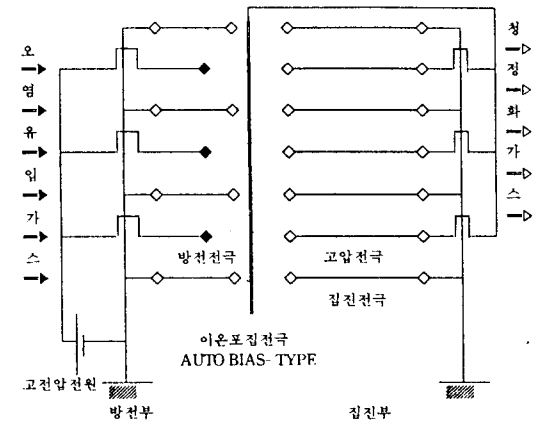


Fig. 3. Electrostatic Precipitator of Auto-Bias Type.

Table 1. Auto-Bias Collector Type vs. Electric Power Collector Type.

| Items                    | Auto-Bias Collector Type             | Electric Collector Type       |
|--------------------------|--------------------------------------|-------------------------------|
| Electric Power           | no                                   | yes                           |
| Safty                    | good                                 | difficult                     |
| Flash-Over               | no                                   | need                          |
| Collection Voltage Safty | Dependence by Ionizer Characteristic | Constant front Electric Power |

안전성이 높은 것으로 사료된다. 또한 인가전압으로 정 부극성을 이용하는 경우의 득실을 Table 2에 표시하였다.

Table 2. Advantage and Disadvantage by Ionizer Polarity of Auto-Bias.

| Item                   | Positive           |                | Negative       |
|------------------------|--------------------|----------------|----------------|
|                        | Streamer Discharge | Glow Discharge | Glow Discharge |
| Ionizer type           | Streamer Discharge | Glow Discharge | Glow Discharge |
| Corona Initial Voltage | High Voltage       | High Voltage   | Low Voltage    |
| Discharge Current      | middle             | middle         | large          |
| Charge Characteristic  | bad                | good           | good           |
| Ozone Generation       | a little           | a little       | much           |

### III. 실험방법 및 장치

#### 1. 실험방법

Auto-Bias Type 전기집진장치의 Ionizer 부, Auto-Bias부, Collector부에 대한 코로나 방전특성 및 Ionizer부의 인가전압에 따른 분진의 하전특성을 유입분진의 집진효율에 대한 실험 Model을 Fig.4에 나타내었다.

본 연구 실험장치는 먼저 Wire와 Plate로 구성된 Ionizer부로 코로나전압을 인가하는 고전압 Power Supply, Fan, 유속 측정장치의 계측시스템 등으로 구성하였다. Wire의 간격과 Plate간격을 변화시킴에 따라 Wire와 Plate 사이의 전류흐름을 Micro Ameter로 측정하였고, 최적의 상태에서의 간격을 찾아내어 Wire와 Plate의 간격을 고정 실험하였다.

본 실험에서 사용된 Ionizer부 Wire의 직경과 Plate의 간격을 고정시키고 Auto-Bias 전극의 간격을 변화시켜 유도된 전압변화를 오실로스코프로 측정하여 적정의 Auto-Bias 전압을 결정하여 고정시키고 입자가 정상적으로

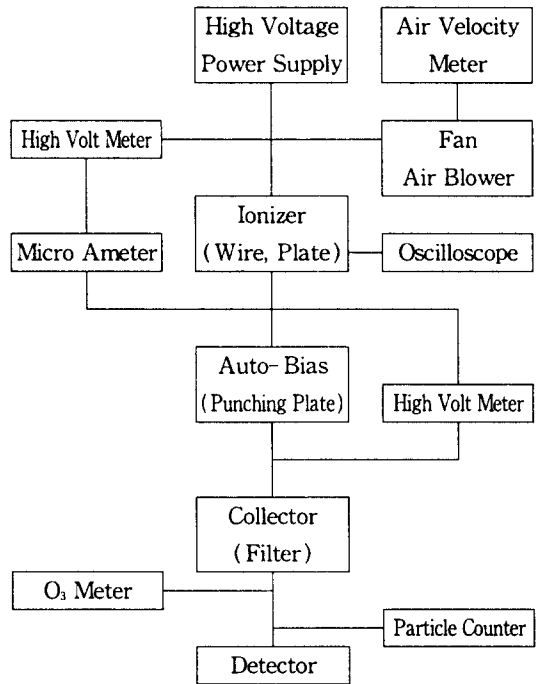


Fig. 4. Schematic Diagram of the Experiment.

풍동장치에 층류가 형성되도록 하고 분진의 유동속도를 변화시켜가며 집진효율을 측정하였다. Ionizer부에서는 인가되는 전압의 변화를 4kV에서 6kV까지 0.1kV씩 증가시키면서 Auto-Bias 유도전압과 O<sub>3</sub>농도 및 집진효율을 측정 하였다. Ionizer부에 코로나전압을 인가하기 위하여 KIKUSUI TOS 5101 10kW/5mA 용량의 고전압 공급장치를 사용하였으며 Fan에서 불어나오는 바람의 흐름을 고르게 분포하기 위해 정류격자를 사용, 아크릴관속에 삽입하였다. 온·습도측정은 Model Kanomax 6511(Japan)을 사용하였다. 코로나방전에 의한 Ionizer Wire와 Plate사이의 전류측정을 위하여 Micro Ameter (YOKOKAYA 2101)을 연결하여 전류를 측정하였다. 실내의 분진입자의 농도를 측정하기 위해 광란식 입자계측기인 RION Model KC-

01(Japan)로  $0.3\mu\text{m}$ - $5.0\mu\text{m}$ 를 측정하였다. 오존의 농도측정은 자외선 흡수방식인 Ozone Analyzer(Model Dasibi Dy-1500, Japan)을 사용하였다.

Ionizer부를 통과한 유입입자의 유도를 위하여 Auto-Bias전극을 Sus 304를 사용하였으며 유도전압을 측정하기 위해 오실로스코프(TEKTRONIXS 2245 A)를 사용 측정하였으며 Collector부의 전압을 최대한으로 줄이기 위해 필름 위에 도전성 물질을 Print하여 Filter의 압손실을 최대한으로 줄여 실험하였다. 또한 풍량을 줄이기 위해 인가전압을 슬라이더스에 연결하여 0.25kW의 Electric Blower Type SF-75(Japan)을 사용하여 풍량을 변화시켜 가며 실험하였다.

## 2. 실험 장치

본 실험에 사용된 풍동장치는 Fig. 5와 같다. 풍동실험장치는 한국 KS, 일본 JIS규격의 근거에 의해 제작되었으며 본 실험장치에 맞게 필터실험을 목적으로 제작하였다.

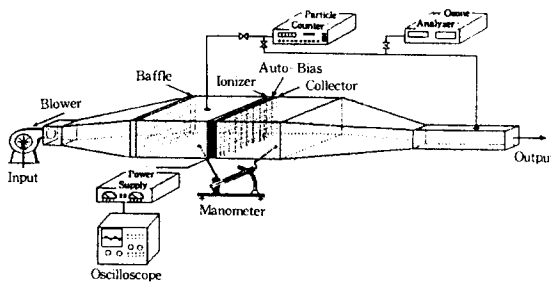
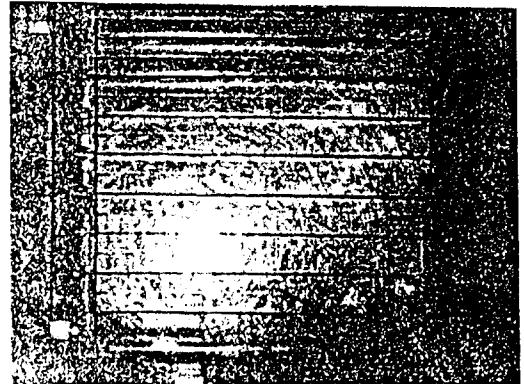
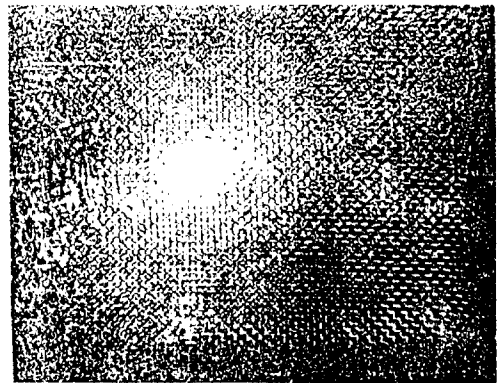


Fig. 5. Experimental Setup.

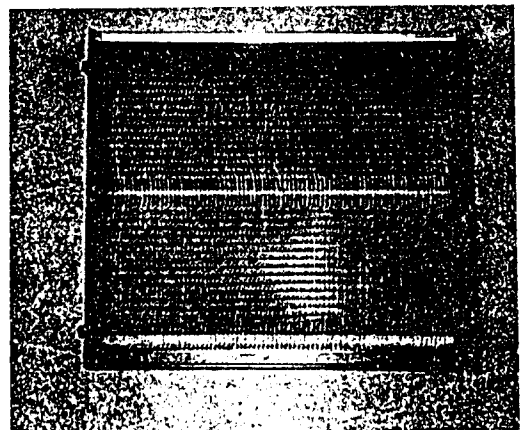
본 실험장치는 크게 방전부, Auto-Bias, 집진부로 구분할 수 있는데, 방전부에는 일반적으로 간편하고 경제적인 직류코로나방식을 적용하였다. 이 방전부의 Ionizer는 공조용 집진



(a) Ionizer



(b) Auto-Bias



(c) Collector

Fig. 6. Ionizer, Auto-Bias, Collector

용으로 크기를  $210 \times 180 \times 35\text{mm}$ 로 하였고 와이어는 WXN-Pt의 재질과 직경 $0.09\text{mm}$ ,

와이어 간격은 20mm로 1개의 줄로 지그재그로 연결하여 방전판과 평행되게 설치 하였다. 방전판은 0.5mm의 두께 SUS304를 20mm의 간격으로 8개를 사용하였다. Auto-Bias는 SUS 304의 재질로 직경 0.5mm를 사용하고 3mm격자간격의 그물망으로 제작하였다. 크기는 175mm×210mm이다. 집진부는 PP필름에 활성탄의 도전성물질을 도포하여 Electric-Conductivity Film Type Coolector로 제작하였다. 이 방식은 Auto-Bias전극에 유도되는 전압이 집진부에 인가되어 정전기력을 이용한 전기집진장치로 안전성이 유지되고 물세척이 가능하여 집진효율이 우수하여 집진부에 걸리는 전압이 상당히 낮은 것으로 고전압과 접지극이 모두 동일구조로 제작하였다. PP필름의 크기는 180mm×15mm, 두께는 0.34mm, 활성탄의 피복폭은 4.32mm로 하였다. 본 실험에 사용된 Ionizer, Auto-Bias, Collector는 Fig. 6과 같다.

인가전압을 DC 4.0kV-6.0kV로 변화시켜 Auto-Bias에 유도되는 전압과 집진효율을 측정하였다. 측정된 결과는 Table 3과 Fig. 7과 같다. Ionizer에 인가전압에 따라 인가 전류는 0.2mA-0.3mA의 변화를 나타나 소비전력이 8~18W이었고, Auto-Bias에 유도되는 전압은 1.3kV-2.3kV로 인가전압의 평균 34.9%가 유도 되는 것으로 나타났다. Ionizer부에 인가한 전압과 Auto-Bias의 유도전극전압의 측정을 Oscilloscope로 각각의 전압을 x10 고압probe를 사용하여 측정하였다. Auto-Bias에 유도된 전압과 오존농도는 Fig. 8과 같다. 분진의 집진효율도 인가전압에 따라 22.3%에서 57.3%의 변화를 보이고 있으며 오존의 농도는 0.009~0.027ppm으로 나타났다.

Table 4와 Fig. 9는 풍량변화에 따른 집진 효율 및 오존발생농도를 나타냈다. 본 실험에서 전압은 5kV로 고정하였다. 그림과 같이 풍량이 100m<sup>3</sup>/h-300m<sup>3</sup>/h로 증대할 때 오존의 발생은 0.031ppm에서 0.007ppm으로 나타나 발생한 오존의 양은 거의 인체에 미치지 않는 농도이며 집진효율은 풍량이 100m<sup>3</sup>/h일 때 직경이 0.3μm을 63.3%의 효율을 보였다.

IV. 실험결과 및 고찰

실내의 분진중 0.3μm 대상으로 Ionizer부에

Table 3. Applied Voltage vs. Current, Auto-Bias Voltage, Dust Collection Efficiency.

| 구분<br>인가전압(KV) | 인가전류(mA) | Auto-bias전압(KV) | 집진율(%) | 오존농도(ppm) | 비 고                                     |
|----------------|----------|-----------------|--------|-----------|---|
| 4.0            | 0.20     | 1.3             | 22.3   | 0.009     | -기온 : 27℃<br>-상대습도-52.6%<br>-입자크기-0.3μm |
| 4.5            | 0.23     | 1.5             | 44.6   | 0.013     |   |
| 5.0            | 0.25     | 1.7             | 49.8   | 0.020     |   |
| 5.5            | 0.27     | 2.0             | 52.4   | 0.023     |   |
| 6.0            | 0.30     | 2.3             | 57.3   | 0.027     |   |

Table 4. Air Rate vs. Dust Collection Efficiency, Ozone Generation Concentration.

| 구분<br>풍량(m <sup>3</sup> /H) | 오존농도(ppm) | 정압(mmAq) | 집진율(%) | 비 고   |
|-----------------------------|-----------|----------|--------|---|
| 100                         | 0.031     | 0.27     | 63.6   | -기온 : 27℃<br>-상대습도 : 52.6%<br>-입자크기 : 0.3μm |
| 150                         | 0.026     | 2.79     | 55.9   |   |
| 200                         | 0.020     | 4.06     | 48.9   |   |
| 250                         | 0.012     | 5.08     | 27.9   |   |
| 300                         | 0.007     | 6.10     | 13.4   |   |

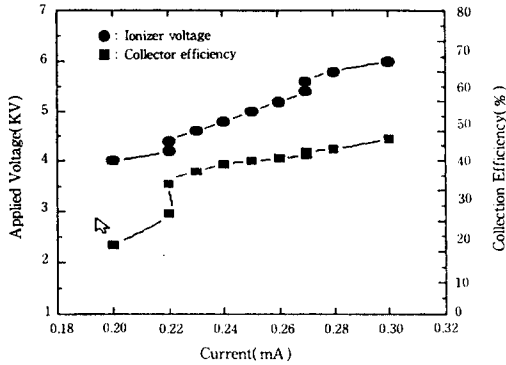


Fig. 7. Applied Voltage vs. Current, Auto-Bias Voltage, Dust Collection Efficiency.

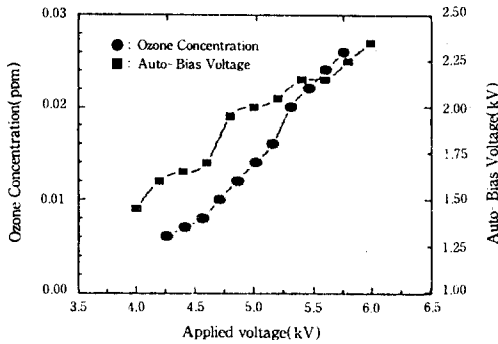


Fig. 8. Applied Voltage Wave vs. Auto-Bias Induced Voltage.

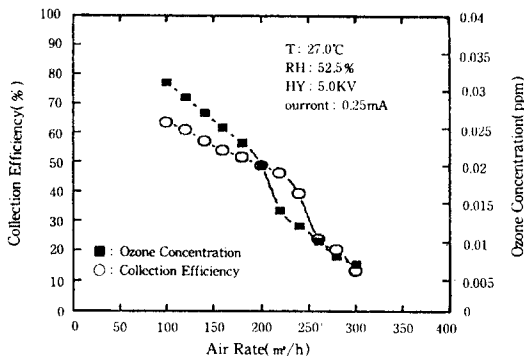


Fig. 9. Air Rate vs. Dust Collection Efficiency, Ozone Generation Concentration.

Fig. 10에서 인가전압을 5kV로 할 때 인가 전류는 0.025mA이며 Auto-Bias에 유도되는

전압은 1.7kV일 때, 풍량에 따른 집진 효율과 압력 손실을 표시한 것이다.

압력손실은 풍량이 증가함에 따라 300m³/h에서 8mmAq 정도로 정압이 커짐을 알 수 있었다. 효율은 대체적으로 안정된 상태를 볼 수가 있었다.

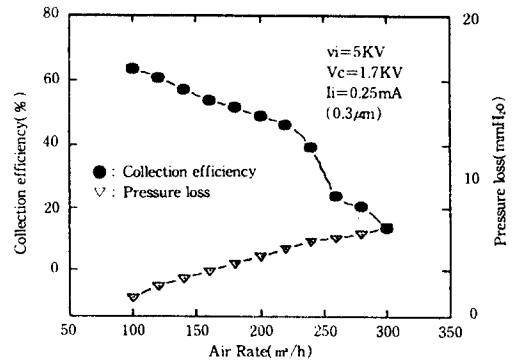


Fig. 10. Air Rate vs. Dust Collection Efficiency, Pressure Loss.

입자크기별 Auto-Bias의 집진효율은 풍량을 200m³/h와 300m³/h에서 실시 하였다. 실험 결과는 Table 5와 Fig. 11과 같다. 그림에서 풍량이 200m³/h일 때 입자가 5.0µm이상 은 95.8%의 높은 집진효율을 나타냈으나 풍량이 300m³/h일 때는 80.3%으로 분진의 집진효율이 풍량의 영향을 크게 받는 것으로 나타났다.

Table. 5 Particle Size vs. CollectionEfficiency.

| 구분        | 풍량 200m³/H | 풍량 300m³/H | 비 고                                |
|-----------|------------|------------|------------------------------------|
| 입자크기 (µm) | 집진률(%)     | 집진률(%)     |                                    |
| 0.3       | 49.8       | 15.2       | -기온-27°C                           |
| 0.5       | 65.1       | 50.0       | -상대습도: 52.6%                       |
| 1.0       | 86.2       | 63.1       | -인가전압: 5kV                         |
| 5.0       | 95.8       | 80.3       | -인가전류: 1.7kV<br>-Auto-Bias : 1.7kV |



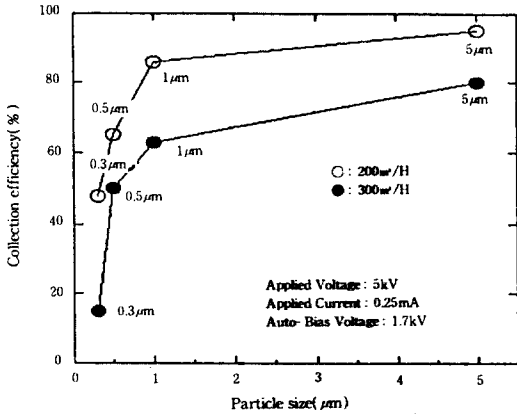


Fig. 11. Particle Size vs. Collection Efficiency.

### V. 결 론

본 연구에서 기존의 2단식 전기집진장치를 개선한 새로운 Type의 Auto-Bias 전기집진장치를 개발 하였다. 이 장치의 Ionizer Wire는 직경이 90 $\mu\text{m}$ 의 WXN-Pt재질을 사용하여 이온 효율 및 안정성을 향상시켰으며 유도된 Auto-Bias 전원을 사용하여 종전의 전원장치를 간소화시켰다. 또한 집진부의 장치는 세정이 가능하며, 포집효율이 높고 정전기적 안정성이 뛰어난 도전성 필름을 사용한 새로운 Electric Conductivity-Film Type Collector를 개발하였다. 실험한 결과는 다음과 같다.

1. Ionizer부에 DC 4.0-6.0kV의 전압을 인가시킬 때 유도되는 Auto-Bias전압은 1.3kV에서 2.3kV인가 되었다. Auto-Bias의 유도전압은 Ionizer전압에 평균 34.9%가 되는 것으로 나타나 별도의 집진부에 전원공급이 필요없는 것으로 증명되었다.
2. 인가전압에 따른 전력소모량은 8W-18W의 범위에서 가능하므로 전기집진에 의한 전력소비측면에서 경제적인 것으로 나타났다.

3. 풍량에 의한 집진부의 압력손실은 유량이 증대 될수록 비례하여 증가 하지만 풍량이 최대 300 $\text{m}^3/\text{h}$ 일 때 6.10mmAq정도로 분진의 집진효율은 안정한 상태를 보였다.
4. 입자의 크기별 집진효율을 실험한 결과 0.5 $\mu\text{m}$ -5.0 $\mu\text{m}$ 의 크기를 65.1%에서 95.8%으로 나타나 인간의 폐포에 침착하는 입자를 대부분 제거할 수 있는 것으로 나타났다.
5. Ionizer부의 코로나 방전으로 인한 오존의 발생은 0.009-0.027ppm으로 나타나 미국의 ACGIH의 권고치 0.1ppm과 국내 8시간 환경기준 평균치 0.06ppm보다 낮은 수치로 나타났다.
6. 집진부에 새로운 도전성 필름의 재질을 사용한 Electric Conductivity-Film Type Collector는 도전성이 뛰어나고 포집효율이 높고, 정전기적 안정성에 문제점이 없는 것으로 나타났다. 더욱이 물세척이 가능하여 재사용이 가능하였다.

### 참 고 문 헌

1. 전 춘생: 방전 고전압 공학, 동명사, 1993.
2. 대한환경공학회: 대한환경공학회, 춘계 논문 초록집, 1993.
3. John F. Blackburn: Component Handbook, 1949.
4. Britton Chance, Rebert I., Hulsizer, et al: Electronic Time Measurements, 1949.
5. G. N. Glasoe, J. V. Lebacqz: Pulse Generators. Mcgraw-HillBook Company, INC., 1948.
6. A. D. Moore: Electrostatics and its Applications Awiley-Interscience, 1973.

7. Setsuo Ichimaru : Plasma Physics, University of Tokyo, 1988.
8. S. Meyers : The regulatory framework for future particulate technology needs, in Proc.5th Symp.on Transfer and Utilization of Particulate Control Tech., 1, 1-1, 1986.
9. S. Oglesby and G. B. Nichols : Electrostatic Precipitation. New York, Marcel Dekker, 1978.
10. R. Carr : Integrated environmental control in the electric utility Industry, J. Air Pollut. Contr. Assn., 36, 5, 652-658, May 1986.
11. A. Mizuno and M. Otsuka : Development of a charge-to-radius ratio measuring apparatus for submicron particles, IEEE Trans. Ind. Appl., IA-20, 3, 703-708, May/June 1984.
12. S. Masuda and A. Mizuno : Initiation condition and mode of back discharge (electrostatic precipitation), J. Electrostatics, 4, 1, 35-52, Dec. 1985.
13. A. A. Elmoursi and G. S. P. Castle : The analysis of corona quenching in cylindrical precipitators using charge simulation IEEE Trans, Ind, Appl., IA-22, 80-85, 1986.
14. G. W. Penny and R. E. Matick : Potentials ind.c corona fields, Trans, AIEE, 79 91-99.
15. Strauss, W. : Industrial Gas cleaning Pregamon, press, Oxford, 1966.
16. Y. L. M Creighton, E. M. Van Veld Huizen, P. G. Ransak, W. R. Rutgers: Discharge structure and electron temperature of pulsed corona-XY, Summer school and international symposium on the Physics of Ionised gas, Dubrovnik, Yugoslavia, 1990.
17. A. Mizuno et al : A method for the removal of sulfur dioxide from exhaust gas utilizing pulsed streamer corona for electron energization, IEEE Trans, Ind Appl. IA-22, 3 516-522, 1986.
18. Rea. M. and Dimelli, G. : Pulse power electrostatic technology for the simultaneous removal of NOX and SO<sub>2</sub>, 4th Int., Cont., on Electrostatic precipitation, Beijing China, 624-634, 1990.
33. Leonard, G.L., Mitchner, M. and Self, S, A. : 980 Particle Transport in Electrostatic Precipitators, Atmospheric Environment, 14, 1089-1299.
34. J. H. Pickles et al : Geometrical Factors in Corona Discharge, IOP short Meetings Series, 14, 1988.