論 文 13-4-19

전기집진장치의 효율 개선을 위한 풍속 분포 및 입자농도 분포의 영향

Influence of the Distribution of Wind Velocity and Mist Concentration for the Improvement of Efficiency with an Electrostatic Precipitator

임 헌 찬* · 이 덕 출**
Hun-Chan Lim · Duck-Chool Lee

(1998년 5월 21일 접수, 1998년 11월 17일 채택)

ABSTRACT

Recently, there are widely needs of small scale electrostatic precipitator(ESP) in machine shop and other factories. Since the space of such factories is limited, the improvement of collection efficiency is predominant subject.

In this study, we examine the influence of distribution of wind velocity and oil mist concentration inside the ESP in order to improve the performance of the ESP. The distribution of wind velocity and mist concentration is measured respectively in a cross-sectional plane of the ESP. The former is controlled by using a louver which is placed in front of an ionizer and the latter is controlled by lengthening the pipe of entrance of the ESP in order to have plenty of time that mist is dispersed evenly.

It is shown that the uniformity of distribution of wind velocity and mist concentration inside the ESP can be getting by adopting a louver with proper shape and lengthening the pipe of entrance and is also contributed to collection efficiency considerably.

1. 서 론

공기의 정화 장치는 전기식 집진 장치와 여과식 정화 장치로 분류되고 있으며, 주로 사용되어 왔던 여과식 정화 장치는 여과 필터를 사용하기 때문에 입경이 1μm이하의 미립자를 포집하기 어렵고, 분진이 필터를 통과하면서 압력 손실의 발생과 유지 관리 측면에 경제적 부담이

* 대구공업대학 전기과
** 인하대학교 전기공학과

된다[1]. 최근 널리 이용되고 있는 전기 집진 장치는 압력 손실이 극히 적고 초 미립자의 포집은 물론 유지 관리 및 장치의 소형화에 유리한 장점이 많기 때문에 여러 산업 분야에 응용되고 있다[1~5]. 또한 오염원의 종류와 규모에 따라 여러 가지의 형식이 개발되어 있고 발전소, 제철소등의 공장에서 사용되는 대형의 공업용 집진 장치는 기술적인 완성도가 높은 편이다.

그러나 최근 환경 오염에 대한 인식이 높아지면서 실내에서의 오염방지에 관심이 고조되어 병원, 백화점, 사무실 및 작업장 등의 실내에서 소형의 전기 집진 장치가 사용되고 있고, 수요에 대한 요구가 더욱 증대하고 있다[6]. 특히 소규모 공장의 실내 공간에서 선반 작업 등의 금속 가공시에 냉각용으로 절삭유를 사용하는 기계 공장에서 발생하는 오염 물질은 공간으로 확산하여 실내를 오염시키고 작업원의 건강을 해칠 뿐만 아니라 공작기계 자체의 수명을 현저히 단축시키게 된다. 공기 청정용의 소형 전기 집진 장치는 인체에 해로운 오존의 발생이 적은 정코로나 방전을 이용하고 이단식의 구조가 널리 이용되고 있다. 이와 같이 정코로나 방전을 이용한 이단식 전기 집진 장치는 널리 보급되어 있으나 이에 관한 연구보고는 적은 실정이다[7].

본 연구는 소규모의 기계공장에서 적용되는 정극성의 이단식 전기 집진 장치를 대상으로 한 것이며 공작기계에서 나오는 오일입자는 고농도이므로 이를 제거하기 위하여 동일 규격 내에서 집진 극판을 늘리거나 하전부와 집진부의 인가 전압을 높이는 방법 등이 있으나 장시간 사용할 경우 입자의 부착으로 이상방전에 의한 안전상의 문제를 일으킬 수 있다[8,9]. 이와 같이 안전상을 고려하여 집진효율에 미치는 파라미터를 전환하여 장치 내부의 풍속 분포와 입자 농도 분포에 따른 영향을 조사하고 장치의 성능 향상을 연구하고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

본 실험에 사용한 장치는 입자를 대전시키는 하전부와 대전된 입자를 포집하는 집진부가 서로 분리된 이단식 전기 집진 장치이다.

하전부는 높이 250mm, 폭 60mm의 접지 평판전극 9매를 35mm의 간격으로 하고 그 중심에 방전극으로 직경 100㎛의 텅스텐 8선을 각각 배치하여 선-평판전극 구조로 구성하였다. 집진부는 30매의 평행 평판전극을 고압전극과 접지전극으로 교대로 배치하고 전극간의 간격은 8mm로 하였다. 재질은 하전부의 접지 평판전극과 동일한 알루미늄 재질이고, 각 전극 크기는 높이 250mm, 폭 250mm로 하였다. 하전부와 집진부의 이격거리는 20mm이고 Fig. 1에 집진 장치의 개략도를 나타내었다.

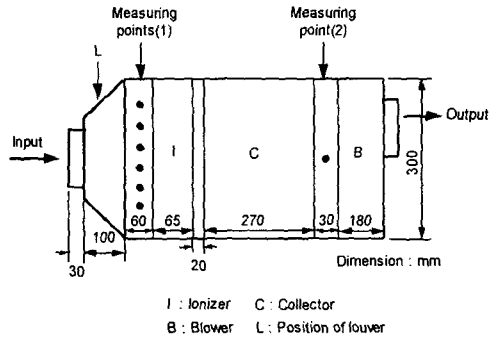

Fig. 1 Schematic diagram of two-stage electrostatic precipitator

하전부의 방전극에는 직류 전원장치(Nichicon Capacitor Ltd., 출력 DC 0~30kV)로 정극성(+)의 고전압을 인가하고, 평판전극은 접지시켜 분압비 1000 : 1의 분압기를 이용하여 전압을 측정하였다. 집진부는 별도의 전원장치(東和計測, 출력 DC 0~30kV)를 접속하여 정극성의 전압을 인가하였으며 10000 : 1의 분압기를 이용하였다.

분진 대용의 더스트는 일본 공업 규격 JIS Z8901에서 규정된 시험용 더스트 14종의 DOP (Dioctyl Phthalate)유를 사용하였다[10]. DOP유의 일반적 성질을 Table 1에 나타내었다. 무색 기름의 액체인 DOP유는 공기응축기의 압축 공기에 의해 입자 발생 장치(ATI사, model TDA-4A)로부터 DOP 입자를 발생시키고, 이 입자는 송풍기에 의해 집진 장치 내부로 보내어진다. 장치 내부의 풍속은 송풍기에 접속된 교류 전원장치를 조절하면서 변화시켰고, DOP 입자농도는 공기 응축기의 조절 밸브로 압력을 가감하면

서 공급량을 조절하였다. 실험 측정장치의 개략도를 Fig. 2에 나타내었다.

Table 1 Properties of DOP particle

화학식	$C_6H_4(COOC_8H_{17})_2$
분자량	390.57
비중	0.981
비등점(5mmHg)	231℃
굴절율	1.49
입자경	0.21~0.32 μm

장치 내부의 풍속 분포의 조절은 Fig. 3과 같이 루버를 제작하여 Fig. 1과 같이 하전부의 전면에 설치하고 루버의 날개 각도를 조절할 수 있도록 하였다. 풍속 측정은 하전부의 상부에 열선 풍속계(일본 과학 공업, Anemomaster, model 24-6141)의 프로우브를 삽입하여 측정하였다. 측정 방법은 Fig. 1의 측정점 위치에서 외함의 윗면에 5cm 간격으로 6개의 구멍을 내어 하전부의 전면에서 본 단면으로 25×25cm의 정사각형에서 36개소를 측정하여 측정값의 평균을 취하여 풍속을 나타내었다.

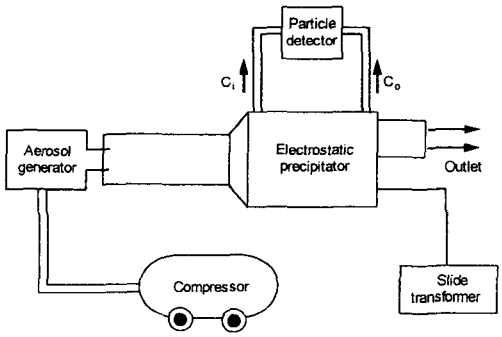

Fig. 2 Schematic diagram of experimental apparatus

입자농도 분포는 입자농도 측정기(ATI사, model TDA-2A)의 프로우브를 하전부의 상부와 집진부의 하부에 삽입하여 측정한 DOP 입자농도를 취하고, 측정 개소는 풍속 분포의 실험과 동일하도록 한다.

집진 효율(η)은 하전부의 상류측 입자농도(C_i)와 집진부의 하류측 입자농도(C_o)로부터 다음의 식(1)에 의해 구하였다.

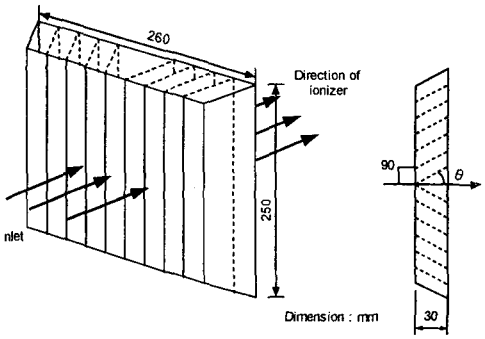

Fig. 3 Configuration of a louver

$$\eta = \frac{C_i - C_o}{C_i} \times 100[\%] \quad \cdots\cdots (1)$$

η : 집진 효율 [%]

C_i : 하전부의 상류측 입자농도 [mg/m^3]

C_o : 집진부의 하류측 입자농도 [mg/m^3]

3. 실험결과 및 고찰

3.1 풍속 분포의 영향

고 밀도, 고 점성의 유연(油煙)이나 다량의 입자가 발생하는 곳에서는 입자의 흡인 량을 빠른 풍속으로 제거해 주지 않으면 안되기 때문에 넓은 풍속 범위에서 많은 유량을 처리할 수 있어야 한다. 그러므로 먼저 풍속 분포의 집진 효율에 미치는 영향에 대해 조사한다.

일반적으로 기존의 집진 장치는 장치 내부에 풍속 분포를 균일화하기 위한 기능을 가지고 있지 않다. 본 장치에서도 장치 내부에 풍속 분포 제어 기능을 취부하지 않은 상태에서 하전부 12 kV, 방전부 6kV의 정(+)의 고전압을 인가하고 DOP 입자농도 유량 30mg/m^{3}의 조건하에서 송풍기에 인가된 전압을 조절하면서 집진 장치에 유입되는 평균 풍속을 0.7~3.5m/s로 변화시킬 때 나타나는 집진 효율을 Fig. 4에 나타내었다.

평균 풍속 2.0m/s정도까지는 거의 안정된 집진 효율을 보이고 있으며 그 이상의 풍속에서는 급격히 저하되는 현상이 나타나고 있다. 이 현상으로부터 집진 효율은 풍속에 의존하고 있음을 알 수 있다. 풍속 2.5m/s이상에서는 장치 내부의 풍속 분포가 일정하지 않고 국부적으로 풍

속이 빠른 영역이 존재하게 되어 집진 효율이 저하되는 것으로 추정된다.

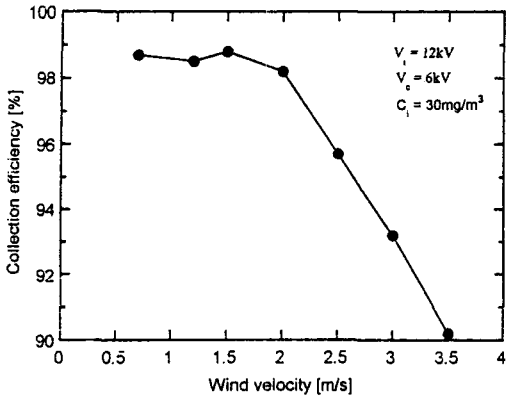

Fig. 4 Dependence of wind velocity for collection efficiency

이 현상을 확인하기 위하여 DOP 입자농도를 가하지 않은 상태에서 풍속 2.5m/s로 설정하고 Fig. 1에서 나타낸 측정점(1)의 위치에서 풍속 분포를 측정하여 Fig. 5에 나타내었다.

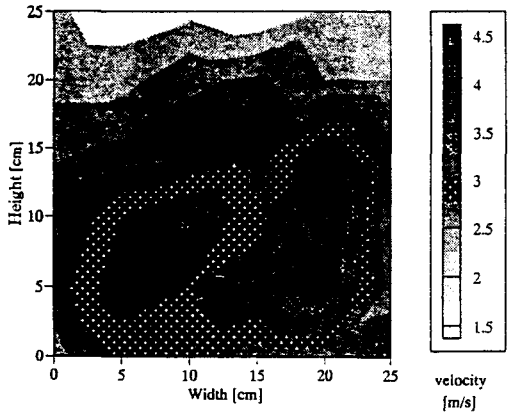

Fig. 5 Distribution of wind velocity inside precipitator without a louver

풍속 분포도에서 상당한 난류 현상이 나타나고 있으며 최대 풍속은 4.4m/s이고 3.0m/s 이상되는 빠른 영역도 부분적으로 존재한다. 이것은 장치 내부의 풍속 분포가 균일하지 않음을 나타내고 있다. Fig. 4의 풍속 2.5m/s이상에서 효율이 급격히 저하되는 것은 장치 내부의 풍속 분포가 균일하지 않은 현상이 원인이라는 것을 알 수 있다.

불 균일한 풍속 분포에서 국부적으로 나타나는 빠른 풍속 영역에 있는 입자는 장치 내를 빨리 통과하기 때문에 하전부에서 입자의 대전과 집진부에서의 포집이 효과적으로 이루어지지 않을 것이며 이것이 원인이 되어 집진 효율이 저하될 것이라는 추정을 할 수 있다.

장치 내부에서의 균일하지 않은 풍속 분포는 집진 효율에 좋지 않은 영향을 끼치므로 이를 개선하고 장치 입구에 풍속 분포의 균일화를 제어할 수 있도록 Fig. 3과 같이 제작된 루버를 하전부의 상류 측에 취부하고 루버의 각도를 변화시키면서 장치 내부의 풍속 분포 변화에 따른 집진 효율을 측정하였다.

루버의 각도가 커짐에 따라 풍속 분포는 안정되고 약 30°의 회전각에 도달하면서 4.5m/s 이상의 빠른 영역은 사라지고 최대 풍속이 3.1 m/s로 어느 정도 균일한 풍속 분포를 나타내고 있다. 이 조건에서 장치 내부의 풍속 분포를 Fig. 6에 나타내었다.

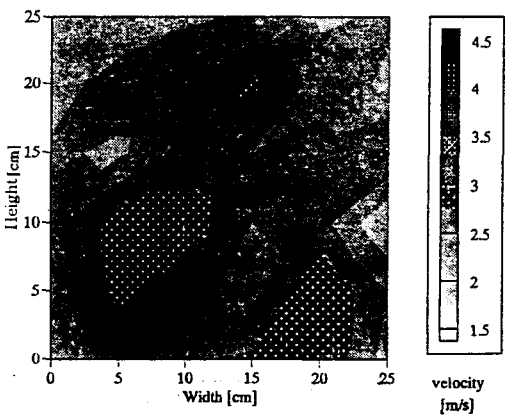

Fig. 6 Distribution of wind velocity inside precipitator with a louver

하전부 12kV, 집진부 6kV의 정(+)의 고전압을 가하고 풍속 2.5m/s, DOP 입자농도 30mg/m³에서 집진 효율을 측정하여 비교한 결과, 루버가 없는 경우 95.7%에서 루버 취부시 97.5%로 약간 상승하는 현상을 보였다.

하전부의 상류 측에 루버를 이용하는 것은 장

치 내부의 풍속 분포를 균일화하는데 좋은 역할을 하고, 또한 풍속 분포의 균일화는 집진 효율의 향상에 영향을 끼치고 있음을 확인하였다.

3.2 입자농도 분포의 영향

장치 내에 루버를 취부하여 내부의 풍속 분포를 균일하게 유지하고, 하전부 12kV, 집진부 6kV의 정(+)의 고전압과 풍속 2.5m/s의 하에서 DOP 입자농도 변화에 대한 집진 효율을 Fig. 7에 나타내었다.

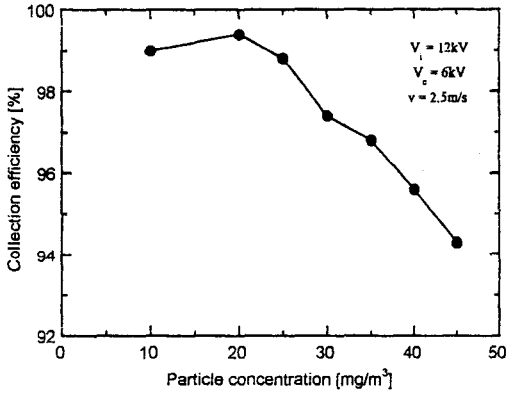

Fig. 7 Dependence of particle concentration for collection efficiency

집진 효율은 DOP 입자농도가 10mg/m^{3}에서 25mg/m^{3}까지는 일정하다가 그 이상에서는 서서히 저하한다. 이 현상으로부터 장치 내부의 입자농도 분포도 집진 효율에 영향을 미칠것으로 추정된다.

상기의 조건에서 하전부와 집진부의 전원은 인가하지 않고 풍속만을 동일하게 하여 평균 입자농도를 30mg/m^{3}로 한 상태에서 장치 내부의 입자농도 분포를 나타낸 것이 Fig. 8이다. 이 결과로부터 장치 내부의 풍속 분포가 일정해도 입자농도 분포는 일정하지 않음을 알 수 있고 또한 중심부에 집중적으로 들어가고 있음을 알 수 있다. 육안으로 관찰해도 입자농도의 유로는 중심부에 빨려 흘러 들어가는 듯한 흐름을 볼 수 있었고, 이 때 최대 입자농도는 48mg/m^{3}을 보이고 있다.

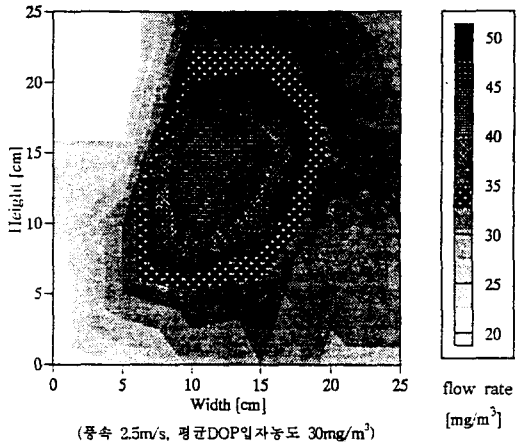

Fig. 8 Particle concentration distribution inside electrostatic precipitator under uniformity of wind velocity distribution

최적의 풍속 분포 내에서도 장치 내부의 입자농도 분포는 균일하지 않고 이로 인하여 집진 효율이 저하하게 되므로, 입자농도 분포의 균일화를 위하여 본 장치에서 입자가 들어가는 입구의 관로(직경 125mm)를 기존의 30mm에서 260 mm의 길이로 아크릴 파이프를 연결하고, 풍속 2.5m/s, DOP입자농도 30mg/m3의 조건하에서 입자의 흐름을 관찰하고 장치 내부의 입자농도를 측정하여 Fig. 9에 나타내었다.

입자는 육안으로 보아도 연장된 파이프 내에서 골고루 분산되어 들어가는 현상을 볼 수 있으며, 입자농도 측정 결과에서도 농도가 많은 영역이 크게 감소하였고 최대 입자농도는 32.3 mg/m^{3}으로 나타났다. 이 현상은 장치의 입구측이 하전부의 거리와 가까울수록 입자가 골고루 분산될 시간적 여유가 없기 때문에 균일한 풍속 분포의 상태라고 해도 공기를 타고 급속히 중심부로 빨려 들어가게 되어 입자분포가 균일하지 않게 된다는 것을 알 수 있고, 집진 장치는 오염 발생원으로부터 일정 거리를 유지해야 효율을 높일 수 있음을 추정할 수 있다.

풍속 2.5m/s, DOP 입자농도 30mg/m^{3}의 조건에서 루버를 취부하여 풍속 분포를 균일하게 한 경우와 풍속분포, 입자농도 분포 모두 균일하게 한 경우의 집진 효율은 97.5%에서 98.9%로 상

승하였다.

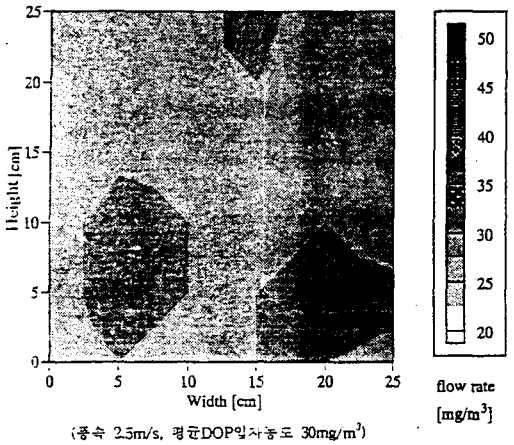

Fig. 9 Particle concentration distribution inside electrostatic precipitator by lengthening the pipe of the entrance of a ESP

이와 같이 집진 효율은 장치 내부의 풍속 및 입자농도의 분포에 영향을 받고 있음을 알 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 기존의 전기 집진 장치의 고효율화를 위한 성능 향상을 목적으로 장치 내부의 풍속 분포 및 입자농도 분포의 균일화를 통하여 다음의 결론을 얻었다.

첫째, 본 실험에 이용한 집진 장치는 입구측에서 들어온 공기가 하전부에 도달하기까지 급격히 넓어지는 구조로써, 입구에서 유로가 급격히 넓어지는 구조에서는 공기의 흐름이 장치의 벽면을 따라 가는 것이 아니고 분산되면서 직진하는 경향이 나타나며, 이것이 원인이 되어 풍속이 빠른 영역이 부분적으로 나타나 집진 효율에 악영향을 미치게 된다.

둘째, 장치 내의 풍속이 균일하게 진행할 때 이 공기류를 타고 흘러 들어가는 입자는 풍속과 동일한 현상으로 일정하게 유입되는 것이 아니기 때문에 풍속 분포와는 별도로 장치 내부의 입자농도 분포를 고려하지 않으면 안된다. 즉, 장치의 입구 측이 하전부와의 거리가 가까울 수록 입자가 골고루 분산될 시간이 없기 때문에 균일한 풍속 분포의 상태라고 해도 공기를 타고 급속히 중심부로 빨려 들어가게 되어 입자농도 분포가 균일하지 않게 된다. 집진 장치는 오염 발생원으로부터 일정한 거리를 유지해야 집진 효율을 향상시킬 수 있음을 알 수 있었다.

셋째, 집진 장치의 효율은 장치 내부의 풍속 분포 및 입자농도 분포의 영향을 받고 있음을 확인하였다.

집진 장치의 구조 및 형상 등의 특성에 차이는 있지만, 내부의 공기류를 제어하기 위한 루버의 이용과 적절한 설계로 풍속 분포의 균일화를 꾀하고, 또 입자들이 하전부에 도달하기까지 분산될 충분한 시간적 여유를 감안하여 오염 발생원으로부터 집진 장치를 일정한 거리로 유지함으로써 입자농도 분포의 균일화를 도모할 수 있을 것으로 사료된다. 특히 장치 내부의 풍속 분포와 입자농도 분포의 균일화는 집진 효율의 향상, 장치의 고 성능화와 여러 가지 집진 특성 연구의 데이터 축적 등에 양호한 영향을 줄 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

1) 日本空氣淸淨協會編, "空氣淸淨ハンドブック", オーム社, pp. 247~248, 1981.
2) 靜電氣學會編, "靜電氣ハンドブック", オーム社, pp. 473~475, 1981.
3) Jean Cross, "Electrostatics: Principle, Problem and Applications", Adam Hilger, pp. 161~163, 1987.
4) 日本空氣淸淨協會編, "空氣淸淨ハンドブック", オーム社, pp. 324~330, 1981.
5) H.J. White, "Industrial Electrostatic Precipitation", Addison-Wesley, 1963.
6) 淺野和俊, 大橋朝夫, "靜電氣工學演習", 朝倉書店, pp. 73~81, 1985.
7) G.W. Penney, "Elect. Eng.", Vol. 56, p. 159, 1937.
8) 橋本淸隆, 足立宜良, "靜電氣とその工業への應用", 東京電機大學出版局, pp. 107~124, 1969.

9) 二澤正行, "靜電氣對策マニュアル", オーム社, pp. 125~133, 1981.

10) 日本工業規格, "試驗用粉體及び試驗用粒子", JIS Z8901, 1995.