

분사장치가 없는 소형 세정집진기의 먼분진 집진 특성

이 호 원 · 목 영 선 · 현 영 진
제주대학교 청정화학공학과

Characteristics of Compact Wet Scrubber without Spray for Removal of Cotton Dust

Ho-Won Lee, Young-Sun Mok and Young-Jin Hyun

Dept. of Chemical Eng. and Clean Technology, Cheju National University, Jeju-Do, 690-756, Korea

Compact wet scrubber without spray in which the gas including dust can be contacted effectively with liquid was suggested. Gas introduced forcibly into the designed channel by fan atomized some of the liquid into droplets that enhanced mass transfer surface and dust collection. This scrubber does not require spray and solid-liquid separation system. It has the advantage of miniaturization and cost. The collection efficiency was 86% and 94% for cotton dust more than 1 μ m and 4 μ m diameter respectively. The collection efficiency for cotton dust increased with the addition of surfactant. When washing solution of 1x10⁻³wt% surfactant was used, it was 89% and 97% for more than 1 μ m and 4 μ m diameter respectively. But regular operation was impossible for higher concentration than 3x10⁻³wt%, because of the formation of excess foam.

Key words : compact wet scrubber without spray, collection efficiency, cotton dust

서 론

제면 공장에서는 제면 공정 특정상 불가피하게 다량의 분진이 방출될 뿐만 아니라 발생되는 분진의 입자크기 또한 10⁻³ μ m에서부터 1 mm까지 매우 다양하다. 이와 같이 입자의 크기가 다양하고 다량으로 배출되는 분진은 대기오염의 주원인이 될 뿐만 아니라 생산 근로자의 생산성 저하를 가져오고, 특히 성인의 적혈구 cell 직경보다 작은 0.5 μ m ~ 7 μ m의 분진은 폐에 쉽게 축적되어 byssinosis라는 매우 심각한 흉부 질환이 유발되는 것으로 보고되고 있어, 미국 OSHA (Occupational Safety and Health Administration)에서는 먼분진의 허용 농도를 1 mg/m³이하로 법적 규제하고 있다(Hammad and Corn, 1971). 따라서 대기오

염 발생 원을 차단하고 근로자의 건강보호 및 생산성 향상을 위해서는 제면 공정에서 불가피하게 발생되는 분진의 효율적 처리장치 및 기술이 반드시 필요하며, 국내의 제면 업계 등에서도 이에 대한 필요성을 절실히 인식하고 있다.

분진을 처리하기 위해서 가장 우선적으로 해야 할 일은 오염물질의 특성을 정확히 파악하여 그 특성에 적합한 제어장치를 선정하는 것이다. 일반적인 분진 처리 장치에는 중력침강기(gravity settler) 및 원심력 집진기(cyclone) 등의 기계적 분리장치, 여과 집진기(bag house), 전기집진기(electrostatic precipitator), 세정집진기(wet scrubber) 등이 사용되고 있다(김동술, 1995; 김신도 등, 2001).

이러한 분진처리 장치 중 세정집진기는 가연성 먼지를 처리할 수 있고, 같은 성능의 다른 제진 장치와

비교하여 구조가 간단하고 가격이 저렴하다는 장점을 갖고 있다. 또한 가스의 냉각, 증습, 흡수 등의 조작용 제진과 동시에 할 수 있으며, 작업조건의 변동 시에도 수량조정에 의해 배기 중의 분진농도를 일정치 이하로 계속 유지할 수 있는 등의 특징을 갖고 있다(대기오염연구협회, 1995). 이와 같은 세정 집진 장치의 특징과 먼분진이 갖고 있는 높은 흡습성 및 가연성, 제면 제조 공정의 특성 등을 종합적으로 고려하여 볼 때, 제면 분진의 처리는 세정 집진 방식이 가장 경제적이고 효과적인 방법으로 사료된다.

그러나 원자재의 절단, 연마 및 분쇄 등의 공정에서 광범위하게 발생하는 분진의 밀도는 분진입자의 flocc형성 정도에 따라 매우 다양하여 기존의 상업용 세정집진기의 적용이 어려울 뿐만 아니라, 대부분의 제면 업체들은 영세성으로 인하여 실제적인 장치의 설치 및 운전이 이루어지지 못하고 있는 실정으로서 영세한 제면 업체에서 실질적으로 운전될 수 있는 경제적이면서도 고효율을 유지할 수 있는 제면 분진 처리장치의 개발이 절실히 요구되고 있다.

따라서 본 연구에서는 스프레이와 고액분리장치 없이 오염기체 유도용 fan 만으로써 분진을 포함하는 기체와 세정액을 효과적으로 접촉시킬 수 있는 방법과 장치를 고안하고, 이에 대한 기초 설계자료를 제시하였다.

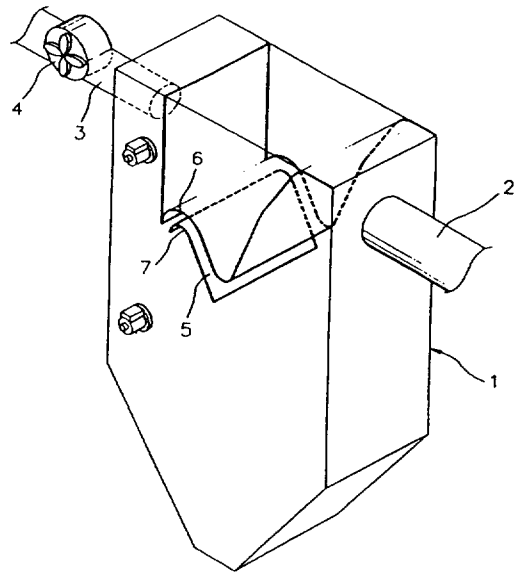
시스템의 설계 및 실험방법

시스템의 설계 및 제작

분진을 포함하는 오염기체를 물 또는 기타의 액체와 접촉시켜, 입자를 세정수 또는 세정액으로 이동시킴으로서 기체로부터 분진을 분리하는 조작용 세정제진이라 하고, 그 장치를 세정집진기라고 한다. 세정집진기 중 일반적으로 가장 널리 사용되고 있는 스프레이 세정집진기(spray scrubber)는 세정액을 분사시켜 오염기체와 세정액과의 접촉에 의해 오염기체중의 분진을 분리하는 집진장치이다. 이러한 스프레이 세정집진기의 구성에는 오염기체의 흐름을 유도하기 위한 팬(fan), 세정수를 분사시키기 위한 펌프와 스프레이가 필요하며, 분진에 의해 스프레이가 막히는 것을

방지하기 위해 세정액과 분진을 분리하기 위한 고액분리기가 별도로 필요하다(Sargent, 1980).

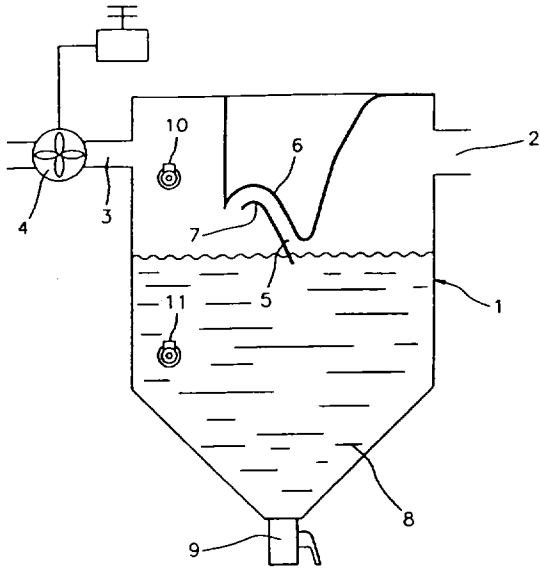
이에 반해 본 연구에서는 스프레이와 고액분리장치 없이 기체 유도용 팬에 의해 세정액의 액적이 자발적으로 형성되도록 하고, 이 액적과 오염기체가 충분히 접촉할 수 있도록 한 소형 세정집진기를 고안하였다. 이러한 세정집진기는 오염기체를 유도하기 위한 팬이 만이 필요하고, 세정액 액적을 형성하기 위한 분사 펌프, 분사 노즐과 고액분리장치를 필요로 하지 않는다는 특징을 갖고 있으며, 그 사시도를 Fig. 1에 나타내었다.



- | | |
|--------------------------|--------------------------|
| 1. Main Body | 2. Inlet for Gas |
| 3. Outlet for Gas | 4. Fan |
| 5. Gas Flow Channel | 6. Upper Part of Channel |
| 7. Lower Part of Channel | |

Fig. 1. A perspective view of compact wet scrubber without spray.

스프레이가 없는 세정집진기의 구성을 구체적으로 설명하기 위하여 세정집진기의 개략도를 Fig. 2에 나타내었다. 스프레이가 없는 세정집진기는 집진기 몸체(1)의 한쪽 벽에 형성된 기체 도입구(2), 기체 도입구가 형성된 쪽과 반대쪽 몸체 벽에 형성된 기체유출구(3), 기체 유출구 쪽에 장착된 기체 흡입팬(4) 및 기체 흡입팬의 작동에 따라 기체 도입구(2)를 통해 유입된 기체가 기체 유출구(3) 쪽으로 이동하도록



- 1. Main Body
- 2. Inlet for Gas
- 3. Outlet for Gas
- 4. Fan
- 5. Gas Flow Channel
- 6. Upper Part of Channel
- 7. Lower Part of Channel
- 8. Water(or Surfactant Solution)
- 9. Outlet for Slurry
- 10. Inlet for Water Supply
- 11. Outlet for Water Discharge

Fig. 2. Schematic diagram of compact wet scrubber without spray.

통로를 제공하는 기체 유로(5)로서 구성된다. 스프레이가 없는 세정집진기의 기체 유로(5)는 유로 형성용 상부 부재(6)와 유로 형성용 하부 부재(7)에 의해 형성되도록 하였다. 유로 형성용 상부 부재(6)는 상면 및 전방부와 후방부가 세정집진기 몸체(1)에 부착되고, 기체 도입구 쪽 옆면은 아래로 갈수록 집진기 몸체 면에서 멀어지는 경사면을 갖고, 하향 면은 기체 유로 형성면 중 기체 도입구 쪽은 아래로 볼록하고 기체 유출구 쪽은 위로 볼록한 봉우리 형상을 하며, 기체 유출구 쪽 옆면은 수직면으로 된 내부밀폐형으로 하였다. 또한, 기체 유로의 형성을 위해 상부 부재의 아래쪽에 위치되는 하부 부재는 세정집진기 몸체의 전방부 및 양측부에 부착되어 지지되며, 기체 도입구 쪽 말단이 상부 부재의 위로 볼록한 형상을 따라 같이 위로 볼록한 봉우리 형상을 하도록 하였고, 상부 부재의 수직 옆면과 하향 면이 만나는 점의 높

이에서 기체 유출구 쪽 말단을 갖는 패널(panel)형으로 하였다.

스프레이가 없는 세정집진기가 작동될 때 기체 도입구 쪽 말단은 세정액에 잠기고 기체 유출구 쪽 말단은 세정액면 위쪽에 위치하게 된다. 기체 유로 형성용 상부 부재 및 하부 부재는 직사각형의 유로 횡단면을 갖는 산봉우리 형태로 함으로써 기체의 상승시 액적의 형성을 유도하고, 기체의 하강 시에는 분진 함유 액적이 관성에 의해 수면과 충돌할 수 있도록 하였다. 스프레이가 없는 세정집진기는 처리하고자 하는 오염기체의 양에 따라 적절한 크기로 제작 가능하며, 팬만의 흡인력에 의해 기체가 기체 유로 내로 큰 유속으로 유도될 수 있도록, 기체 유로를 제외한 모든 공간은 밀폐되도록 하고, 하단부는 제거된 분진들이 포집되어 쉽게 배출될 수 있도록 원추형으로 제작하는 것이 바람직하다.

집진효율의 측정

제면 분진에 대한 스프레이가 없는 세정집진기의 집진효율을 측정하기 위하여 Fig. 3과 같은 장치를 제작, 사용하였다. 분진 발생기에서 발생된 분진은 팬 속도 조절기에 의해 조절된 팬에 의해 일정 속도로 세정집진기로 도입된다. 이때, 기체 도입구와 배출구에 설치된 필터와 진공 펌프를 사용하여 일정 시간 동안 등속으로 흡입한 후, 필터에 여과된 분진의 무게를 각각 측정하여 집진효율을 다음과 같은 식에 의해 계산하였다.

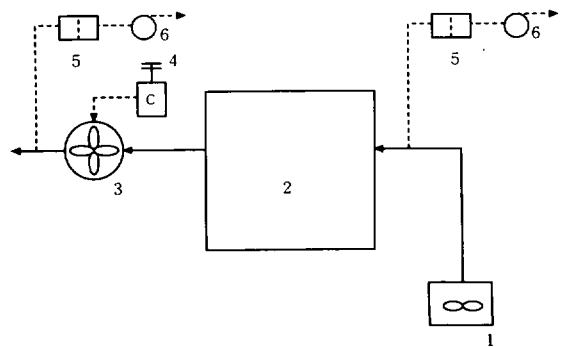


Fig. 3. Schematic diagram of measuring apparatus of collection efficiency for cotton dust.

$$\text{집진효율} = \left(1 - \frac{\text{배출기체 중의 분진의 무게}}{\text{도입기체 중의 분진의 무게}}\right) \times 100 \quad (1)$$

결과 및 고찰

스프레이가 없는 세정집진기의 작용 및 운전시의 집진 현상

스프레이가 없는 세정집진기의 작용 및 운전시의 집진 현상에 대한 상세한 묘사를 위하여 세정집진기의 단면도 및 운전시의 현상을 Fig. 4에 나타내었다. 세정액을 Fig. 4의 D 부근까지 채우고, 적절한 속도로 팬을 가동하면, 기체의 흐름 통로만을 제외한 모든 공간을 밀폐화되어 있으므로 팬의 흡인력에 의해 기체의 흐름은 A, B, C, D, E, F, G의 순서로 유도된다. 기체가 C 부근을 통과할 때, 유로의 단면적이 급격히 감소되고, 이에 따라 기체의 유속이 급격히 증가되어 C-E 사이에서 수파(水波)와 액적이 형성되었다. 이러한 현상은 바다와 같은 수면 위에서 강풍이 불 때 수파와 물방울이 형성되는 원리와 흡사하다.

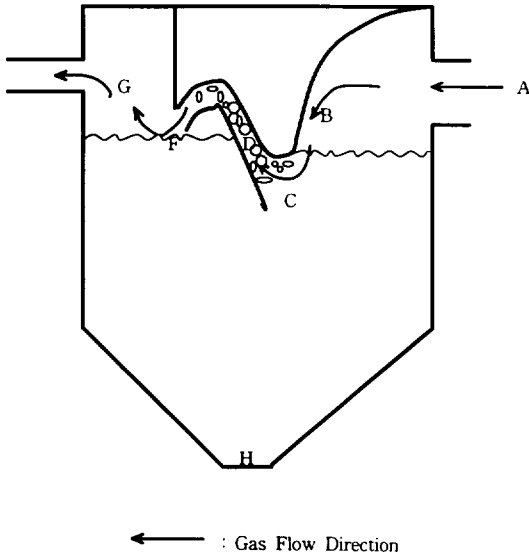


Fig. 4. Schematic diagram of atomizing liquid into droplets and gas-liquid contact in compact wet scrubber without spray.

이와 같이 형성된 수파 및 액적은 기체와 접촉하여 기체중의 분진을 흡수하였다. 이때, 물방울의 형성은 유로 채널의 면적과 높이(또는 길이), 팬의 속도 및 세정액의 수면 높이에 의해 조절이 가능하였으며, 세정수액에 계면활성제를 소량 첨가하면 보다 높은 집진 효과를 얻을 수 있었다. 한편, 물을 흡수한 분진은 일부의 세정수액과 함께 팬의 흡인력에 의해 E(유로 채널의 정점)를 넘고, 중력에 의해 하단부의 세정액과 합쳐진 후, 집진기의 원추형 하단(H)에 집진 됨으로써 제거할 수 있었다.

스프레이가 없는 세정집진기의 성능

팬 속도에 따른 자기유도 세정집진기의 작용 및 현상을 관찰한 결과, 팬의 풍량을 4.3 m³/min로 운전하였을 때 수파 및 액적의 생성이 최적으로 이루어졌으며, 이 유량은 유로 채널 내에서의 기체 속도로 환산하여 계산했을 때 약 10 m/s에 해당된다.

Table 1. Collection efficiencies of compact wet scrubber without spray

Cotton Dust Diameter	Surfactant Conc. (wt%)	
	0	1x10 ⁻³
≥ 1μm	86%	89%
≥ 4μm	94%	97%

한편, 팬의 풍량을 4.3 m³/min로 고정하고, 스프레이가 없는 세정집진기의 면분진의 집진효율을 측정된 결과를 Table 1에 나타내었다. 분진입자 크기가 클수록 집진효율은 증가하였고, 1 μm 이상의 분진과 4 μm 이상의 분진에 대한 평균 제거율은 각각 86%와 94%이었다. 세정수에 계면활성제를 첨가하여 세정집진기 내의 세정액의 계면활성제 농도를 1x10⁻³wt%로 했을 때, 1 μm 이상의 분진과 4 μm 이상의 분진에 대한 평균 제거율은 각각 88%와 97%로서 계면활성제를 사용했을 경우가 사용하지 않았을 경우보다 높은 집진효율을 나타내었다. 이러한 이유는 계면활성제에 의해 보다 많은 액적이 생성되어 물질전달 계면이 증가되기 때문이다. 그러나 고농도(3x10⁻³wt% 이상)의 계면활성제를 사용하였을 경우에는 운전 중에 거품이 과도하게 형성되어 정상적인 조업이 어려웠다.

이상의 결과들로부터 스프레이가 없는 세정집진기는 팬의 구동력만으로도 기체의 흡입과 동시에 기체와 액체를 효과적으로 접촉할 수 있음을 알 수 있었다. 따라서 스프레이가 없는 세정집진기는 스프레이 세정집진기에 비해 스프레이 시스템과 고액분리장치를 별도로 설치할 필요가 없기 때문에 운전비와 제작비를 획기적으로 줄일 수 있고, 구조가 매우 간단하여 고장율이 매우 낮으며, 소형화가 가능하여 작은 소요공간이 요구된다. 따라서 스프레이가 없는 세정집진기는 제면공장을 비롯한 각종 증소형 산업체 및 사업장에서 발생하는 분진의 처리, 가연성 및 폭발성 분진의 처리, 유독성 기체의 흡수와 기체의 냉각 등에도 활용가능성이 높은 것으로 판단된다.

요 약

오염기체 유도용 fan 만으로 분진을 포함하는 기체와 세정액을 효과적으로 접촉시킬 수 있는 방법을 제시하였다. 기체가 고안된 유로를 따라 통과할 때 액적이 생성되었으며, 이 액적에 의해 기-액간의 물질전달면적이 증가되었다. 이러한 방식의 스프레이가 없는 세정집진기는 장치 제작비와 운전비가 매우 저렴할 뿐만 아니라 구조가 매우 간단하여 고장율이 매우 낮고, 소형화가 가능하였다. 먼분진을 대상으로 스프레이가 없는 세정집진기의 집진효율을 측정된 결과 분진 입자 크기가 클수록 집진효율은 증가하였고, 1 μm 이상의 분진과 4 μm 이상의 분진에 대한 평균 제거율은 각각 86%와 94%이었다. 또한 계면활성제를 세정액에 첨가하였을 때 집진효율은 증가되었다. 세정액의 계면

활성제 농도를 $1 \times 10^{-3} \text{wt}\%$ 로 했을 때, 1 μm 이상의 분진과 4 μm 이상의 분진에 대한 평균 제거율은 각각 89%와 97%이었다. 그러나 고농도($3 \times 10^{-3} \text{wt}\%$ 이상)의 계면활성제를 사용하였을 경우에는 운전 중에 거품이 과도하게 형성되어 정상적인 조업이 어려웠다.

참고문헌

- 김동술. 1995. 공정설계에 입각한 대기오염방지공학. 신평문화사, 서울, 607 pp.
- 김신도 · 김종호 · 봉춘근. 2001. 대기오염방지공학: 입자상 오염물질. 향문사, 서울, 219 pp.
- 대기오염연구협회. 1995. 환경기술자를 위한 대기오염공학. 동화기술, 1356 pp.
- 배귀남 · 김용표 · 백남준. 2000. 습식 공기청정장치의 공기오염물질 제거 특성. 대한환경공학회지, 22: 21-31.
- G. D. Sargent. 1980. Gas-Solid Separations. In: Separation Techniques in Chemical Engineering Magazine. McGraw-Hill, New York, pp. 201-212.
- T. M. Remarz. 1980. Removing Particulates from Gases. In: Separation Techniques in Chemical Engineering Magazine. McGraw-Hill, New York, pp. 201-212.
- Y. Y. Hammad and M. Corn. 1971. Hygiene Assessment of Airborne Cotton Dust in a Textile Manufacturing Facility. American Industrial Hygiene Association Journal, 37: 662-667.