

충격기류 탈진방식 여과포집진장치에서의 탈진에너지 전달특성

임정환, 김상도, 최호경, 박영옥, 손재익
한국에너지기술연구원 에너지환경연구부

Characteristics of Transfer to cleaning Energy in Pulse-Jet Cleaning System

J. H. Lim, S. D. Kim, H. K. Choi, Y. O. Park, J. E. Son
Energy & Environment Research Dept., KIER

1. 서론

여과포집진장치는 배기가스 중에 함유된 먼지를 여과포로 포집·제거하는 방식의 건식 집진장치로 고효율 유지가 가능한 특징이 있어 먼지배출 허용기준의 계속적인 강화와 총량규제 대응에 적합하여 산업체에 가장 많이 사용되고 있는 집진장치이다.¹

여과포집진장치는 다른 집진기술에 비해 부하변동 및 먼지종류에 따른 집진효율의 영향이 적고, 운전이 용이하여 최근에는 연료연소, 제품 회수공정 및 소각설비 등의 먼지발생 공정의 배기가스 처리용으로 널리 사용되고 있다.²

여과포집진장치는 여과포 표면에 부착된 먼지를 털어내는 방법에 따라 진동탈진, 역기류탈진, 충격기류 탈진 등으로 구분하며, 진동탈진 및 역기류 탈진은 집진과 탈진을 별도로 수행하기 때문에 탈진조작을 위한 별도의 집진실을 필요로 하지만, 충격기류 탈진방식은 탈진효율이 우수할 뿐만 아니라, 집진과 탈진조작을 동시에 수행할 수 있어 여과포집진장치의 소요면적과 부대설비가 적고, 기계적인 구동부분이 적기 때문에 고장에 대한 부담도 적어 산업체에 널리 사용되고 있다.^{3,4,5,6}

충격기류 탈진방식은 여과포 중심부에 설치된 압축공기 노즐을 통하여 여과포의 내부로 고압의 압축공기를 순간적으로 분사하여 여과포 외부 표면에 부착된 먼지를 여과포와 분리시켜 하부로 배출시키는 방식이다. 그러나 분사된 탈진 에너지는 여과포 직경의 20~25배 정도 길이의 여과포 전체에 균일하게 전달되지 못하고 일부분에 집중되어 전달되기 때문에 탈진효율의 저하와 함께 여과포의 부분적인 파손시키고 있으며, 이런 현상이 산업체 현장에서 자주 발생하고 있다.

따라서 본 연구에서는 탈진에너지가 여과포의 전체면에 걸쳐 균일하게 분포시켜 여과포의 마모 손상을 최소화시키면서 탈진효율을 증가시킬 수 있는 탈진장치를 개발하기 위한 기초 연구로서 산업체 현장에서 많이 가장 많이 사용하고 있는 탈진용 분사노즐과 탈진조건에서의 탈진용 에너지 전달 특성을 관찰하고자 다음과 같은 항목을 선정하여 측정하였다.

- 압축공기 분사 유량 : 탈진에 투입된 에너지 양
- 여과포 표면에서의 압력 : 탈진 에너지 세기 및 분포

2. 실험장치 및 실험방법

실험장치의 흐름도를 Fig. 1에 나타내었다. 실험장치는 크게 몸체와 측정 및 제어부분으로 구분할 수 있으며, 기초특성 실험을 수행한 후 본 실험을 대비하여 먼지공급장치등을 설치하였다. 실험장치 몸체는 측정기기의 부착과 장치 벽면에 의한 압력분포의 영향을 최소화하기 위하여 규격보다 다소 크게 설계하였다. 실험용 여과포는 산업체 현장에 설치된 여과포의 규격과 동일한 크기로 3개를 설치하여 탈진조작시 근접여과포에 미치는 영향을 관찰할 수 있도록 하였으며, 여과포의 규격과 설치 간격의 변경이 가능하도록 설계하였다.

측정기기는 분사유량을 계산하기 위하여 압축공기 저장조와 압축공기 분배관에 고압계를 설치하여 압축공기 분사전후에 발생하는 압축공기의 압력차이를 측정할 수 있도록 하였으며, 여과포내의 압력분포를 측정하기 위한 압력계는 여과포 길이방향으로 7지점에 설치하였다. 측정자료의 수집과 분석 및 실험조건 제어는 컴퓨터에서 수행하도록 하였다.

실험장치의 탈진장치는 공기 압축기에서 발생된 압축공기를 저장하는 저장용기와 압축공기의 공급을 제어하는 펄스밸브, 여러개의 여과포를 사용할 수 있게 하는 압축공기 분배관 (blow pipe)이 있으며, 분배관에는 여과포의 중심위치에 압축공기가 배출되는 분사노즐이 위치한다. 펄스밸브와 분배관은 1"를 사용하였으며, 분사노즐은 산업체 현장에서 가장 많이 사용되고 있는 홀타입(hole-type)과 튜브타입(tube-type)을 사용하였다. 홀타입은 분배관에 단순히 구멍을 뚫어놓은 형태이며, 튜브타입은 아주 단순한 노즐의 형상으로 길이는 60mm로 제작하였다.

실험에 사용한 분사노즐의 직경은 6, 8, 10, 12, 15mm이며, 탈진공기 분사압력은 5, 6, 7 kg/cm²로 산업체 현장조건으로 하였다. 탈진공기 분사거리는 가장 적합하다고 실험적으로 결정된 90mm로 고정하였으며, 펄스밸브 개폐시간(pulse duration time)은 30, 50, 100ms로 설정하여 비교하였다. 분사노즐의 형상 변화와 탈진공기의 분사압력, 벤추리의 유무 및 펄스밸브 개폐시간 변화에 따른 여과포 내부의 peak pressure를 측정하여 탈진조건별 탈진에너지가 여과포에 미치는 영향을 분석하였다.

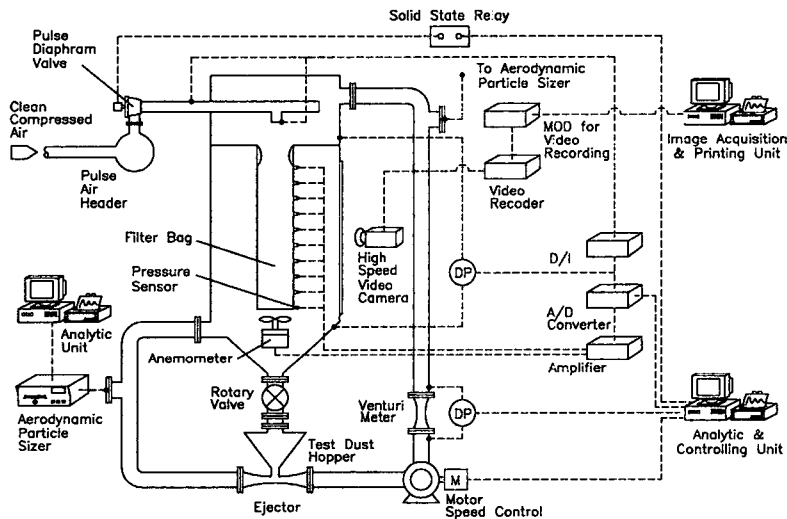


Fig. 1. Schematic flow diagram of Pulse-Jet Cleaning System.

3. 결과 및 고찰

가). 분사유량 변화

분사유량은 압축공기 저장용기 내부의 압력 차이에 용적을 곱하고 노즐의 수로 나누어 노즐 1개를 통하여 분사되는 유량을 계산 하였다.

분사유량은 순수하게 외부에서 공급되는 에너지량으로 볼 수 있으므로, 추후 탈진성과 비교하여 최소의 에너지를 소비하는 최적 탈진조건 도출에 활용될 것으로 사료된다. 또한 분사유량, 실제 분사시간과 분사압력은 탈진조건과 탈진 시스템인 분배관의 규격과 노즐의 지름에 밀접한 관계가 있으므로 각각을 정리하여 나타내었다.

실험조건에 따른 분사유량의 변화를 Fig. 2에 나타내었다. 분사유량에 가장 큰 영향은 주는 인자로는 노즐의 지름으로 이에 비례하여 증가한다. 또한 노즐의 지름이 클수록 증가하지만 12mm부터 증가 기울기가 서서히 감소하는 것을 보면 분배관의 규격과 설치될 노즐의 지름과 개수에 의한 총 단면적으로 분사유량의 조절이 가능하다는 것을 알 수 있다. 노즐지름 다음으로 분사유량에 영향을 주는 인자는 분사시간으로 시간의 변화에 비례하여 증가하는 것을 알 수 있다. 그러나 노즐지름이 6mm 및 8mm에서는 분사시간에 따라 비례하여 변화하지 않는 경우가 있다. 특히 30과 50ms에서 변화가 심하게 나타난다. 이것은 분사시간이 작은 부분에서의 분사밸브의 정밀한 조작이 어렵다는 것을 알 수 있었다.

실험조건에 따른 실제 분사시간의 변화를 Fig. 3에 나타내었다. 실제 분사시간은 탈진 조작을 수행할 때 여과포의 내부로 탈진에너지를 전달하는 시간으로 여과포가 길 수록 분사 시간을 늘려 주어야 한다. 실제 분사시간에 가장 큰 영향을 주는 인자로는 노즐의 지름으로 직경이 클수록 감소한다. 또한 노즐의 지름이 클수록 감소하지만 12mm에서 감소 기울기가 작아지는 것을 보면 분배관의 규격과 노즐의 지름과 개수에 의한 총 단면적으로 분사시간의 조절이 가능하다는 것을 알 수 있다. 노즐지름 다음으로 분사유량에 영향을 주는 인자는 분사시간으로 시간을 크게 할 수록 증가하는 것을 알 수 있다.

Fig. 4는 실험조건별 실제 분사압력의 변화를 나타내었다. 실제 분사압력은 노즐에서 분사되는 압력으로 탈진조작을 수행할 때 탈진효율과 여과포 파손에 밀접한 관계가 있을 것으로 생각되는 항목이다. 실제 분사압력에 가장 큰 영향을 주는 인자는 역시 노즐의 지름으로, 노즐지름이 6mm에서는 분사압력과 비슷하거나 다소 높은 값을 나타냈으며, 노즐지름이 12mm까지는 서서히 감소하다가 15mm에서 급격히 낮아지는 것으로 나타났다. 이것은 분배관의 규격과 설치될 노즐의 지름과 개수에 의한 총 단면적으로 분사압력도 조절이 가능하다는 것을 알 수 있다. 노즐지름 다음으로 분사유량에 영향을 주는 인자는 분사압력으로 압력의 크기에 거의 정비례하는 것을 알 수 있다. 그러나 분사시간을 변화시켜도 분사압력은 변화하지 않았다.

나) 여과포 내부 peak pressure 분포

peak pressure 분포는 여과포 내부에서의 탈진에너지를 나타내는 것으로, 추후 탈진성과 비교하여 탈진에 필요한 최소의 에너지세기를 유추하여 최적 탈진조건 도출에 활용될 것으로 사료된다.

Fig. 5에는 노즐지름에 따른 여과포 내부의 최대 압력변화를 나타내었다. 기타 실험조건은 벤츨리를 설치한 상태로 분사압력은 7Kg/cm^2 , 분사시간은 100ms이다. 상부 10,38cm 지점의 압력은 벤츨리가 설치된 관계로 음압을 나타내는 경우가 많아 6개 지점의 결과만을 비교하였다.

최대압력은 노즐지름이 10mm에서 가장 높게 분포하는 것으로 나타났다. 또한 상부의 압축공기의 팽창과 build-up현상에 의한 압력의 기울기가 모두 크게 나타나고 있다. 특히 주목할 점은 노즐지름이 12, 15mm에서 노즐의 지름이 증가하여도 압력분포에는 영향을 주지 못하고 비슷한 경향을 나타내고 있다는 것과 노즐지름이 10mm일 때 보다 압력의 분포가 전체적으로 낮게 유지된다는 것이다. 이것은 분배관 내부에서 측정된 실제 분사시간이 짧아서 하부 3개 지점의 압력 증가 기울기가 작고, 실제 분사압력이 낮기 때문에 상부의 압력 증가 기울기가 낮아진 것으로 사료된다.

노즐지름이 6,8mm인 경우 압축공기 팽창에 의한 압력 증가는 나타나지 않고 build-up현상에 의한 하부의 압력만이 증가하였다. 따라서 본 실험조건에서는 177cm지점이 최저 압력이 나타나는 전이 영역으로 볼 수 있다.

상부 68cm 지점의 압력이 노즐지름에 따라 변화하는 것은 분사공기의 팽창될 때 분사각도가 거의 일정하기 때문인 것으로 사료되며, 상부에서의 압력분포는 탈진 시스템의 구성,

즉 분배관의 규격과 분사 노즐의 지름과 수에 의하여 크게 영향을 받을 것으로 판단된다.

Fig. 6에는 분사압력에 따른 여과포 내부의 압력변화를 나타내었다. 기타 실험조건은 벤츄리를 설치한 상태로 노즐지름은 10mm, 분사시간은 100ms이다. 최대압력은 압력의 크기에 비례하여 증가하였고, 압력분포의 경향은 비슷하게 나타나는 것을 알 수 있다. 분사압력이 6, 7Kg/cm²에서는 상부에서는 압력이 증가하지만 중앙 부분(178cm)에서 감소였다가 다시 하부까지 증가하는 아주 일반적인 경향을 나타내고 있다. 분사압력이 5Kg/cm²의 경우 최 하부의 압력이 낮게 나타난 것은 압력을 감지하지 못한 것으로 판단되었다.

상부의 압축공기 팽창에 의한 압력 증가 기울기는 압력에 비례하여 커지지만, 하부의 build-up 현상에 의한 증가 기울기는 거의 일정하게 나타나고 있다. 따라서 분사압력은 하부의 build-up현상보다 상부의 압축공기 팽창에 의한 압력 증가에 많은 영향을 미치는 것을 알 수 있다.

Fig. 7에는 분사시간에 따라 여과포 내부의 압력변화를 나타내었다. 기타 실험조건은 벤츄리를 설치한 상태로 노즐지름은 10mm, 분사압력은 7Kg/cm²이다. 최대압력은 분사시간에 비례하여 증가 하지만 상부보다는 하부 쪽의 증가율이 높게 나타났다. 이 것은 상부의 압축공기 팽창에 의한 압력의 증가는 분사압력과 분사 노즐의 지름에 의하여 결정되며, 분사시간이 증가하면 하부에서 발생하는 build-up 현상은 강하게 발생되어 오랜 시간 높은 압력을 유지하여 여과포의 상부까지 영향을 미친다는 것을 알 수 있다. 따라서 본 실험에 사용된 길이 3m의 여과포에서는 분사시간이 100ms에서 가장 높은 압력을 나타내고는 있으나, 여과포 파손과 탈진성능을 고려하면 여과포 전체의 압력분포가 균일하게 나타나는 조건인 30ms도 고려되어야 할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 환경부가 지원하는 선도기술사업(G-7프로젝트)의 일환으로 수행되었습니다. 연구비의 지원에 감사드립니다.

참고문헌

1. 황계순,공성용: “펄스-젯 여과집진기에서의 최적 탈진 시스템”, 한국환경공학회지 Vol.19. No.9. pp.1193-1204. 1997.
2. 손재익,박영옥,구철오,임정환,김상도: “고효율 집진기술 산업용 직물여과포집진장치 국산화 개발”, 환경부, 한국에너지기술연구소, 제2단계 1차년도 년차보고서 9-1-2, 1997.
3. 손재익,박영옥,구철오,임정환,김홍룡: “산업용 고효율 여과포집진기술개발”, 환경부, 한국에너지기술연구소, 제1단계 3차년도 단계보고서 9-1-2,1997.
4. 최덕일 외: “배출시설별 대기오염물질 배출계수 산정에 관한 조사연구(I)” 국립환경연구원, NIER # 87-02-197,1987
5. 손재익, 박영옥, 구철오, 임정환: “유연탄 활용과 환경공해 방지대책연구(V),” 한국동력자원연구소, KE-89-79, 1989.
6. 박영옥, 구철오, 임정환, 김홍룡, 손재익, 이영우: “충격기류 탈진방식 여과포 집진장치에 의한 먼지 제거 특성 연구”, 한국폐기물학회지, Vol.13, No.5, pp.603-615, 1996.

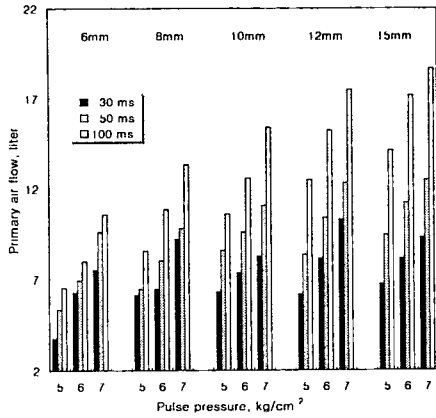


Fig. 2 실험조건별 분사유량

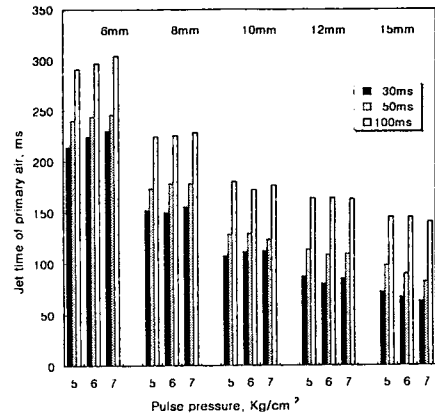


Fig. 3 실험조건별 실제 분사시간

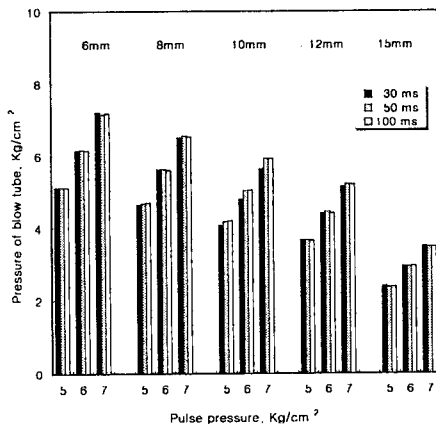


Fig. 4 실험조건별 실제 분사압력

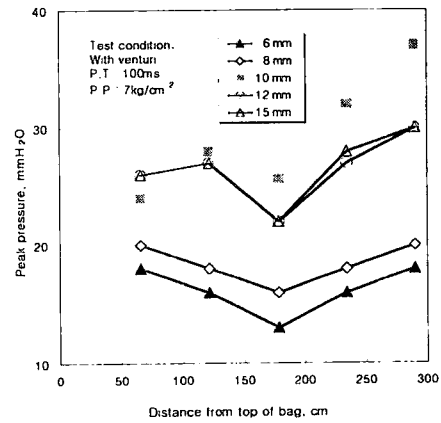


Fig. 5 노즐지름에 따른 최대압력 분포

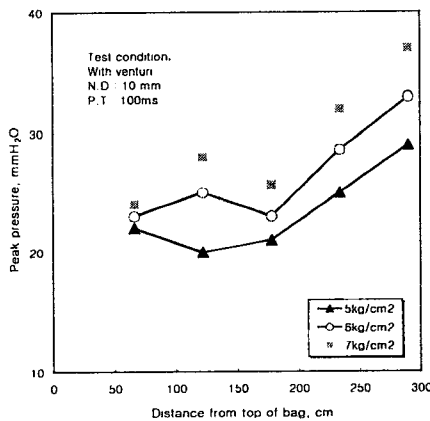


Fig. 6 분사압력에 따른 최대압력 분포

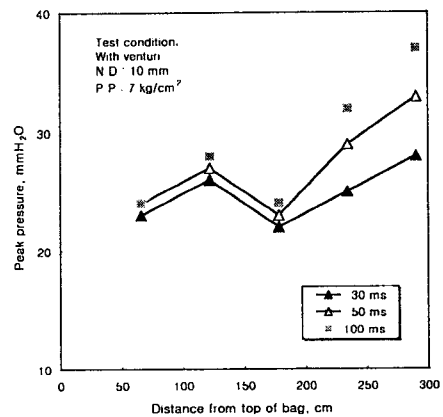


Fig. 7 분사시간에 따른 최대압력 분포