

여과포에 의한 먼지의 종류별 포집에서 압력손실 변화 특성

Characteristics of Filter Resistance Change for Various Particulate Matter Filtration with Fabric Filters

박영옥, 구철오, 임정환, 손재익
한국에너지기술연구소

I. 서론

업종별로 산업공정에서 발생하는 먼지는 형상, 입자크기분포, 겉보기 밀도, 유동도, 비표면적, 안식각, 부착 및 응집성 등의 물리적 특성 및 조성성분 등의 화학적 특성이 서로 다르다(綱一,1986). 또한 업종별 생산공정 및 먼지발생공정에서 발생하는 배출기체의 온도, 습도 및 화학물질의 함유량 등의 조성이 서로 다르다(박영옥,1989). 따라서 업종별로 발생하는 분진의 종류별 특성이 다르기 때문에 여과포에 의해 이와 같은 먼지를 포집할때 여과포 pore에서 형성되는 가교형성(pore bridging) 특성 및 여과포 표면에 부착되는 먼지층(dust cake)의 특성이 서로 달라, 먼지의 종류별로 여과특성이 다르다(Cushing,1988, Dennis,1977).

국내의 산업체에서는 산업공정 및 작업공정에서 발생하는 먼지를 포집하기 위해 여과포집진기술을 대부분이 적용하여 운전하고 있으며, 적용되는 여과포의 종류도 다양하다. 그러나 대부분의 산업체에서는 배출기체 및 발생기체에 함유된 먼지를 제거하기 위한 여과포집진기술을 적용시 설치 여과포와 배출기체 및 먼지의 특성과 적합성 여부를 고려하지 않고 장치설치업체의 경험과 여과포 공급업체의 제공자료에만 의존하고 있는 실정이다. 이로 인해 실제로 여과포집진기술의 고유의 성능인 고효율을 유지 못하고 있을 뿐만 아니라 여과포집진기술의 운전 유지비에 가장 크게 기여하는 여과포의 수명이 선진국에 비해 짧게 유지되어 여과포집진기술의 경제성 평가가 타 집진기술에 비해 그다지 우월하지 않는 것으로 나타나고 있다. 또한 대부분의 여과포는 수입품에 의존하고 있어 여과포집진기술의 운전 유지비 상승의 큰 요인으로 나타나고 있다(손재익,1987, 박영옥,1990). 따라서 업종별로 배출되는 먼지를 여과포에 의해 고효율 포집하기 위해서는 여과포 종류별, 업종별 배출먼지 종류별 포집실험이 먼저 선행되어야 한다. 또한 수입품에 의존하고 있는 대부분의 여과포를 국산 여과포로 대체하기 위해서는 업종별 먼지포집에 적합하고 고성능 유지가 가능한 국산여과포가 개발되어야 한다.

본 연구에서는 G-7과제의 일환으로 고효율 여과포집진기술을 개발하기 위해 1차적인 단계로써 한국에너지기술연구소와 참여기업과 공동으로 개발된 개발 직조된 여과포 3종을 선정하여 먼지의 종류별 압력손실 특성을 bench scale 실험장치에서 규명하고자 하였다.

II. 실험장치 및 실험방법

2.1. 실험여과포

실험여과포는 적용 대상 산업체 업종별 배출 기체 및 먼지 특성 분석 자료를 토대로 개발된 여과포로써 제전사여과포, 고강력저신도여과포, 고온사여과포 등 3종류를 선정하였다. 3종류의 실험여과포 직조형태 및 단일섬유의 형상을 전자현미경(scanning electron microscope)으로 배율 200배로 확대하여 관찰하였다.

2.2 실험용먼지

실험용먼지는 제철,제강, 시멘트제조, 열공급시설, 및 폐기물 소각공정 등 4개 업종을 선정하였으며, 각 공정에 설치된 여과포집진장치에서 포집된 먼지이다. 제철, 제강업과 시멘트 제조업은 현실적으로 분진배출이 다른 업종에 비해 가장 많다는 점을 고려하여 선정하였으며, 열공급시설은 석탄화력발전소에 고효율 여과포집진기술 적용과 이에 적합한 고성능 여과포개발에 목적을 두어 선정하였으며, 폐기물 소

각시설은 폐기물 소각시 발생하는 유해기체, 미량의 중금속 및 먼지를 동시제거 기술개발과 향후 수요를 고려하여 선정하였다.

제철,제강업종에서는 중요한 공정인 coke plant의 CDQ(coke dry quenching)공정에 설치된 여과포집진장치에서 포집된 먼지(coke dust)를 채취했으며, 시멘트 제조업에서는 시멘트의 주요원료인 석회석 분쇄공정에 설치된 여과포집진장치에서 포집된 먼지(cement dust)를 채취했다. 열공급시설에서는 유연탄과 제지슬릿지를 혼소시키는 유동층연소 보일러에 설치된 여과포집진장치에서 포집된 회(fly ash)를 채취했으며, 폐기물소각로에서는 폐합성수지를 건류소각방식에 설치된 여과포집진장치에서 포집된 회(incinerator ash)를 채취하였다. 각 공정별로 채취된 먼지는 Jet Mill(100 AFG)을 이용하여 일본공업규격 제10종의 입자크기에 상응하도록 제조하였다.

2.3 실험장치

실험장치는 실험용먼지 공급 및 분산부분, 실험분진 확산실 및 실험여과포 설치부분, 실험용먼지 포집부분 및 공기유량 조절 및 흡인부분으로 구성되어 있다.

실험용먼지 정량공급은 주사기형 먼지정량공급기(syringe type dust feeder)에 의해서 정량 되어 혼합형 먼지분산기(mixer type dust disperser)에서 분산되어 확산실(diffusion chamber)로 유입된다. 먼지분산기에서는 실험용먼지의 분산효과를 일정하게 유지하기 위해 impeller의 회전수를 항상 일정하게 유지하도록 했다. 확산실은 투명한 유리로 제작되어 실험용먼지의 확산상태 및 거동을 관찰할 수 있도록 투명한 pyrex glass로 제작하였으며, 상단 확산실의 길이는 510mm이고 하단의 길이는 240mm로써 총길이가 760mm이다. 실험여과포는 확산실 상단과 하단사이에 설치하도록 되어 있으며, 실험여과포 하단에는 실험여과포가 압력손실 증가로 인한 변형을 방지하기 위해 100mesh stainless steel screen을 설치하였다.

실험시 외부공기 유입을 차단하기 위해 각단과 실험여과포 및 stainless steel screen사이에 두께 5mm 실리콘 고무패킹을 삽입시켜 실험여과포 체결기(test fabric holder)에 의해 조일 수 있도록 제작했다. 먼지부하의 변화와 여과속도의 변화에 따른 실험여과포의 압력손실은 확산실 상단과 하단의 압력측정공(pressure tap)과 연결된 경사manometer를 설치하여 미세한 압력변동도 판독할 수 있도록 했다. 확산실에 유입된 실험용먼지와 실험용 여과포를 통과한 먼지는 원통여지(absolute filter, Whatman, silica glass microfiber thimbles)에서 완전히 포집 되고 확산실에서 분산된 실험용먼지의 입자크기와 실험여과포를 통과한 먼지의 입자크기는 cascade impactor(Andersen Mark III particle sizing stack sampler)에 의해 측정한다. 실험용 여과포에서 먼지부하의 증가로 인한 유량변화를 방지하기 위해 유량계(Matheson Model 605) 전단에 압력변화 완충역할용 조리개형 오리피스(throttle type orifice)를 설치하여 실험용 여과포 먼지층을 통과하는 유량이 일정하게 유지되게 하도록 하였다.

한 조건의 실험기간 동안 실험용 여과포를 통과한 적산유량을 측정하기 위해 건식 기체유량계(dry gasmeter)를 설치했으며, 최종 단에 진공pump(TSI Model 3033)를 설치하여 실험용 여과포를 통과하는 유량을 조절하였다.

2.4 실험방법

실험용먼지는 고온건조기(convecting oven)에서 110℃의 일정한 온도유지조건에서 12시간 동안 가열 건조한 후 상온건조기(desiccator)내에서 실험실내의 온도와 같도록 24시간 냉각하여 사용했다. 실험여과포는 실험실내에서 24시간동안 방치하여 실험실내의 온도 및 습도조건과 같도록 하여 무게를 측정후 사용했으며, 원통여지는 고온건조기에서 110℃의 일정한 온도에서 1시간동안 가열건조한 후 상온건조기내에 항상 방치에 놓고 필요할 때 꺼내어 무게를 분석용 천칭에서 측정후 사용했다.

실험용먼지는 먼지정량공급기의 syringe내에 충전 시키고 실험조건에 적합한 먼지 공급량을 조절하여 먼지분산기에 공급시킨 후 분산시켜 확산실내로 유입시켰다. 확산실내로 유입된 먼지의 농도와 실험여과포를 통과한 먼지의 농도는 원통여지에서 포집된 먼지의 무게로 환산하였으며, 실험여과포에 퇴적된 먼지의 무게는 분석용 천칭에서 무게를 측정후 청정여과포의 무게와의 차로써 계산하였다.

먼지부하와 여과속도 변화에 따른 압력손실은 경사manometer에서 측정하며, 여과포를 통과하는 유량은 유량계에서 조절했다. 실험여과포의 형상과 여과포내부에서 먼지입자의 포집상태는 전자현미경

(Philips 505 XL-30)을 사용하여 관찰했다. 실험범위를 Table 1에 나타냈다

Table 1. Experimental conditions

Experimental variables	Experimental ranges
Face velocity	1.0 - 2.5 m/min
Test dust feed rate	46 - 100 mg/min
Upstream dust concentration	10 g/m ³
Dust loading	0 - 600 g/m ²

III. 결과

먼지종류별 여과포 종류별 압력손실 특성은 서로 다르게 나타났다. 또한 먼지종류별 초기먼지층이 형성되는 먼지부하가 서로 다른 값으로 나타났으며, 균일먼지층 형성단계에서 먼지부하에 대한 압력손실 증가 비도 여과포 종류와 먼지의 종류에 따라 다른 값으로 나타났다.

초기먼지층이 형성되는 먼지부하는 코크스 먼지와 유연탄과 제지슬러지 혼소회가 약 50 - 100 g/m², 시멘트 먼지가 약 150 g/m², 폐기물 소각 회가 100 - 150 g/m² 정도로 확인되었다. 먼지부하의 증가에 따라 압력손실 증가비가 선형으로 증가하는 먼지부하는 여과포의 종류에 따라 차이가 났으나, 대체적으로 코크스 먼지와 시멘트 먼지가 약 100 g/m², 유연탄과 제지슬러지 혼소회가 약 300 g/m², 폐기물 소각 회가 약 150 g/m² 정도로 각각 추정되었다.

먼지종류별 압력손실 증가는 여과포 종류에 관계없이 폐기물 소각 회가 가장 낮게 증가하는 경향을 나타냈으며 코크스 먼지가 가장 높게 증가하는 경향을 나타냈다. 여과포 종류별 압력손실 증가경향은 먼지의 종류에 따라 차이가 났으나 대체적으로 시멘트 먼지와 유연탄과 제지슬러지 혼소회의 포집에서는 고온사여과포, 폐기물 소각 회 포집에서는 고강력저신도여과포가 다른 여과포에 비해 낮게 유지되었다. 여과포 종류별, 먼지 종류별 압력손실 특성이 서로 다르게 나타나는 것은 여과포의 종류에 따라 먼지의 종류별 여과포 내부에서 가교형성 상태, 먼지층의 퇴적 구조가 서로 다르기 때문에 일어나는 현상으로 유추했으며, 먼지 종류별 입자형상 및 여과포 표면에 퇴적된 먼지층의 구조, 여과포 종류별 단일섬유의 형상 및 직조구조, 여과포의 단일섬유 주위에 먼지의 포집, 가교형성되는 현상 등을 전자현미경 관찰을 토대로 확인했다.

참고문헌

尹伊谷 鋼一(1986) 改訂増補 粉體物性圖說, 日本粉體工會 編, 700p.

박영옥, 손재익, 김영성, 구철오, 임정환(1989) Pulse-Jet식 여과포집진장치의 여과포 성능시험 연구(I), 과학기술처, 259p.

K. M. Cushing, P. V. Bush and T. R. Snyder(1988) Fabric Filter Testing at the TVA Atmospheric Fluidized-Bed Combustion(AFBC) Pilot Plant, Southern Research Institute, P.O. Box 55305, 2000, 9th Avenue South, Birmingham, AL 35255, Final Report, CS-5837, E-39p.

R. Dennis, R. W. Cass, D. W. Cooper, R. R. Hall, V. Hampl and H. A. Klemm(1977) Filtration Model for Coal Fly Ash with Glass Fabrics, GCA Corporation, GCA/Technology Division, Bedford, MA 01730, Report # EPA-600/7-77-084, 453p.

손재익, 박영옥, 구철오, 임정환, 김영성(1998) 유연탄활용과 환경공해 방지 대책 연구(III), 한국동력자원연구소, 연구보고서, KE-87-189, 164p.

박영옥, 손재익, 김영성, 구철오, 임정환(1990) Pulse-Jet식 여과포집진장치의 여과포 성능시험 연구(II)", 과학기술처, 201p.