

## 산업용 여과포집진장치의 운전 및 성능

박 영 옥

한국에너지기술연구소 에너지환경연구부  
(1995년 3월 10일 접수)

### Operation and Performance of Industrial Bag Filter Apparatus

Young Ok Park

Div. of Energy and Environments, Korea Energy Research Institute  
(Received March 10, 1995)

#### 1. 서 론

먼지는 일반적으로 입자크기가  $10\mu\text{m}$  이상의 강하 먼지와  $10\mu\text{m}$  이하의 부유먼지로 구분하며, 이들의 먼지는 대기중에서 인간이나 동·식물에 주로 영향을 준다. 입자크기 범위가  $0.1\sim 10\mu\text{m}$  사이의 부유먼지는 주로 산업공정에서 연료의 연소 또는 고체상 물질의 분쇄 및 수송공정 등에서 주로 발생되며, 입자크기가  $2.5\mu\text{m}$  이하인 것들은 대기중에서 황산화성 미세먼지와 질산화성 미세먼지로 전환되어 가시도(visibility)에도 큰 영향을 미친다. 대기중에 부유된 먼지중에서  $8\mu\text{m}$  이하는 호흡시 호흡기로 유입되는 입자크기로서, 입자크기가  $6.0\mu\text{m}$  이하인 것은 약 10% 정도가 인간의 폐내로 유입되고,  $4.0\mu\text{m}$  이하인 것은 30%,  $2.0\mu\text{m}$  이하인 것은 약 80%,  $1.0\mu\text{m}$  이하인 것은 약 99%가 폐(lung)에 유입되어 폐에 침착된다고 보고하였다 [1]. 앞으로 산업발전이 계속됨에 따라서 먼지의 배출량이 계속 증가할 것이며, 이로 인해 먼지에 의한 대기오염이 심각해질 뿐만 아니라 인간에 미치는 피해도 심각해질 것으로 예측된다 [2].

현재 국내 산업공정 및 먼지발생공정에서는 발생된 먼지를 포집 제거하기 위해 먼지 발생원의 특성에 따라 각종 집진기술을 적용하고 있는데, 여과포집진장치의 경우 연간 고체연료사용량이 1,000톤 이상인 사

업장을 대상으로 조사한 자료에 의하면 1985년에는 1,374기였고, 1989년에는 2,100기, 1991년에는 5,710기로 연 평균 110% 이상 증가하는 추세를 나타냈다. 이와 같은 증가 추세는 여과포집진기술이 다른 집진기술에 비해 여러 가지 장점을 갖고 있기 때문이라고 볼 수 있다 [2].

앞으로 산업체에서는 먼지배출 허용농도의 강화 대응뿐만 아니라 대기오염 방지 측면과 인간의 호흡기에 유입되는 폐에 침착되는 미세한 입자까지 포집·제거하기 위해서는 먼지제거설비에는 고효율 집진기술을 적용하여야 한다 [5]. 따라서 본 글에서는 선진국에서 고효율 집진기술로 판명되고 있는 여과포집진기술에 대해 먼지포집 특성과 장치의 구성을 먼저 살펴보고 최근에 산업체 및 발전소에 적용하고 있는 여과포집진기술의 운전현황을 고찰하여 미래에 한국형 총합배가스 처리용 여과포집진기술을 개발하기 위한 기초자료로 활용하고자 한다.

#### 2. 집진장치 종류별 특성

Fig. 1에 먼지의 입자크기에 농도범위에 따른 먼지 제거기술의 적용범위를 나타냈다 [3]. 그림에서 보면 집진기술별로 포집이 가능한 입자크기와 먼지의 농도가 서로 다르다는 것을 알 수 있다. 대체적으로 미세

Dust collectors	Particle diameter, $\mu\text{m}$					Dust concentration, $\text{g}/\text{m}^3$					
	0.01	0.1	1	10	100	$10^{-3}$	$10^{-2}$	$10^{-1}$	1	10	$10^2$
Settling chambers						Reentrainment					
Cyclones						Reentrainment					
Fabric filters	Abrasion					Not properly cleaned					
Electrostatic precipitators						Not properly electric charged					
Wet scrubbers	Venturi scrubber					Not properly scrubbing					
Air filters						Short bag life					
Moving bed filters						Not regeneration					

Fig. 1. 집진기술별 적용 가능한 먼지농도 및 입자크기 범위.

한 먼지입자까지 포집이 가능한 집진기술로는 세정액을 이용한 세정식집진기술, 여과포를 이용한 여과포 집진기술, 전기적인 에너지를 이용한 전기집진기술등이 있다. 이들 집진기술중에서 여과포집진기술이 포집가능한 먼지의 입자크기범위와 농도범위가 가장 넓은 먼지포집기술이다. 집진장치에 유입되는 오염기체에 함유된 먼지의 농도가  $10\text{g}/\text{m}^3$  이상이 되면 여과포집진기술의 경우는 여과포에 포집·퇴적된 먼지층을 떨어내는 효과가 떨어지고, 전기집진기술의 경우는 먼지입자에 전기적인 하전 이 곤란하여 집진극에서의 먼지포집효율이 저하되며, 세정식집진기술에서는 세정액의 액적과 먼지입자와의 충돌 및 접촉이 저하되어 먼지포집효율이 저하되는 특성이 있다.

### 3. 여과포집진기술의 특징

#### 3. 1. 먼지포집원리

산업체의 여과포집진기술에 주로 사용되고 있는 여과포는 직조방식에 따라 크게 직포와 부직포로 분류된다. 여과포에 의한 먼지포집조작에서 여과포의 세공보다 작은 먼지입자들은 대개 여과포 세공을 구성하는 단일섬유들 사이에 형성된 먼지입자의 가교와 여과포 표면에 퇴적된 먼지층에 의해 포집된다. 여과포의 물리적 재질은 여과포 표면에 먼지층이 형성되기전까지는 중요한 먼지포집진기구가 될 수 없다. Dennis는 여과포의 세공을 구성하는 단일섬유에 의한 먼지입자의 포집기구를 5가지 즉, 중력침강, 관성 충돌, 직접차단, 확산, 정전기력으로 분류하였으며, 이와 같은 포집기구에 의해서 단일섬유의 먼지입자의

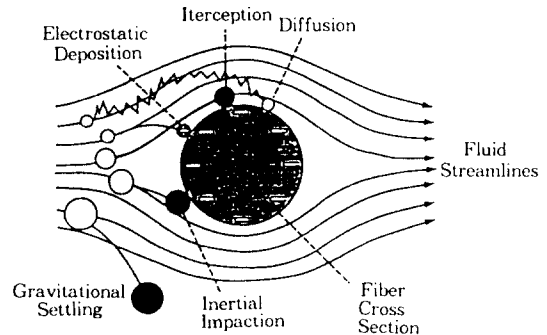


Fig. 2. 단일섬유에 의한 먼지입자 포집기구.

포집효율이 결정된다고 보고된 바 있다[6]. Fig. 2에 여과포 세공을 구성하는 단일섬유에 의한 먼지입자의 포집기구를 나타냈다.

#### 3. 1. 1. 중력침강(Gravity Settling)

처리기체 내의 함유된 먼지입자의 크기와 밀도가 큰 입자는 기체의 흐름을 따라가지 못하고 먼지입자의 자체 무게에 의해 침강·포집되는 작용을 중력침강이라고 한다. 먼지입자의 크기에 따라 침강속도가 다르므로 포집하고자 하는 먼지의 입자크기분포 및 여과속도를 알면 침강에 의한 먼지포집효율을 추정할 수 있다.

#### 3. 1. 2. 직접차단(Interception)

먼지입자의 크기가 작고 가벼우면 관성력도 상대적으로 작아져 먼지입자는 기체의 흐름을 따라가면서 단일섬유 주위에 접근하게 된다. 이때 먼지입자 직경

의 중심과 섬유표면과의 거리가 먼지입자의 반지름보다 작으면 먼지입자는 섬유표면에 접촉하여 부착된다. 단일섬유에 의한 먼지입자의 포집은 먼지입자크기가 1.0 $\mu\text{m}$  이상일 경우 99.9% 정도가 관성충돌과 직접차단에 의해 이루어진다[7].

3. 1. 3. 관성충돌(Inertial Impacton)

단일섬유 주위를 통과하는 먼지입자의 크기가 상대적으로 커 충분한 관성력을 지니고 있어 섬유주위를 통과하는 기체의 흐름을 따라 진행하지 못하고 섬유표면에 충돌 부착되는 현상을 말한다. 관성충돌에 의한 단일섬유의 먼지포집효율은 충돌매개변수의 함수로 나타낸다. 일반적으로 여과속도 0.61m/min의 조건에서 먼지입자크기가 10 $\mu\text{m}$ 인 것의 충돌매개변수는 1.0이다[8]. 관성충돌에 의한 먼지입자포집은 1.0 $\mu\text{m}$  이상의 입자에서 지배적으로 일어난다.

3. 1. 4. 확산(Diffusion)

먼지입자크기가 미세한 먼지입자들은 기체의 흐름을 따라 운동하지 않고 자체적인 무작위 운동으로 확산에 의한 운동을 하게 되며 이 운동을 브라운운동(Brownian motion)이라고 한다. 따라서 먼지입자는 처리기계의 흐름을 따라 이동하지 않고 브라운운동을 하게 되며, 이들 미세한 먼지입자들은 처리기계의 이동속도와 다른 자체의 속도로 이동하다가 결국은 여과포의 세공을 구성하는 단일섬유에 접촉 포집된다.

3. 1. 5. 정전기력(Electrostatic Attraction)

먼지입자중 하전된 먼지입자는 반대 전하를 갖는 여과포로 이동하여 포집된다. 그러나, 먼지입자가 여과포와 같은 극성으로 하전되어 있을 경우에는 서로 반발하는 특성이 있어 먼지포집에 나쁜 영향을 준다.

Table 1에 단일섬유에 의한 먼지입자 포집에서 먼지포집 기구에 따라 포집되는 먼지입자크기 범위를 요약하여 나타냈다[8].

Table 1과 같은 먼지포집기구에 의해 여과포의 단일섬유표면에 부착된 먼지입자는 나뭇가지 모양(dendrite)을 형성하게 된다[9]. 여과포의 세공 내에서 단일섬유 주위를 먼지입자들에 의해 거의 메워지며, 이 현상을 가교현상(bridge formation)이라고 하며 실제 여과포집진장치의 정상 운전조건에서는 가교현상은 입구먼지농도와 탈진조건에 따라 다르지만 대체적으로 수분정도의 짧은 시간내에 이루어진다.

Table 1. 단일섬유에 의한 먼지입자 포집기구별 포집되는 먼지입자크기

Collection mechanisms	Particle diameter, $\mu\text{m}$
Gravitational settling (for large size particles)	> 1.0
Physical or direct interception (for intermediate size particles)	> 1.0
Inertial impacton (for smaller or fine particles)	> 1.0
Diffusion or Brownian motion (for very fine particles)	< 0.01-0.2
Electrostatic attraction	> 0.01

3. 2. 압력손실 특성

여과포집진기술을 이용한 장치설계에서 중요한 변수의 하나는 압력손실이다. 여과포집진기술에서 압력손실을 연소기체 및 먼지를 함유한 기체가 여과포와 먼지층을 통과할 때 발생하는 저항을 말한다. 압력손실의 크기는 처리기체의 점도, 여과속도, 여과포의 물리적 특성, 먼지의 입자크기분포, 먼지층의 두께 및 특성에 따라 좌우된다. 압력손실은 장치를 운전하기 위한 연소기체 및 먼지를 함유한 기체의 유입 또는 처리된 청정기체를 배출시키는데 필요한 송풍기의 용량을 결정하는데 중요한 요소이다. 송풍기의 흡입압력을 결정하기 위한 총 압력손실은 장치 자체의 압력손실인 여과포의 압력손실과 먼지층에 대한 압력손실 및 배관에서의 마찰에 의한 압력손실의 총합이다.

3. 2. 1. 여과포 자체의 압력손실

청정여과포의 압력손실은 먼지층에 의한 압력손실에 비해서 상당히 낮아 문제가 되지 않지만, 압력손실이 비교적 높은 여과포는 여과포조직이 조밀하여 먼지입자들이 여과포 세공내에서 막히는 현상이 발생하기 쉽다. 이로 인해 동일한 먼지부하 조건에서는 여과포조직이 조밀할수록 더 높은 압력손실이 발생된다. 일반적으로 여과포와 먼지층을 통과하는 기체는 느린 속도로 여과포의 세공과 먼지층을 형성하고 있는 입자들 사이를 통과하게 되므로 층류이다. 이때 발생하는 압력손실은 여과포와 먼지층을 통과하는 기체의 속도 또는 유량에 비례한다[11].

3. 2. 2. 먼지층의 압력손실

먼지층의 압력손실은 여과포 표면에 퇴적된 먼지층 자체에 의한 기체의 통과저항을 말하며, 이 압력손실은 먼지층의 두께, 먼지입자크기 및 밀도, 기체의 점도, 여과속도의 함수이다. 일반적으로 먼지층의 압력손실은 비저항계수와 여과속도에 비례하여 증가한다. 비저항계수는 실험에 의해 결정되며, 이 값은 여과포 집진장치를 설계하기 위한 중요한 자료로 여과속도와 먼지부하에 관련된 탈진조건 결정 및 압력손실의 예측에 필요한 인자이다[12].

3. 2. 3. 여과속도의 영향

여과포집진기술에서 압력손실은 여과속도와 밀접한 관계가 있다. 압력손실은 여과속도가 증가하면 급격히 증가하는 경향이 있으며 장치의 운전에서 유량의 변화는 압력손실에 큰 영향을 미친다. 두 종류의 유리섬유 여과포에 의한 석탄회 포집에서 각 먼지부하 조건에서 여과속도 증가에 따른 압력손실의 변화에 대한 실험결과에 의하면, 압력손실은 여과속도가 빨라짐에 따라 거의 선형으로 증가하며 증가 기울기는 먼지부하가 높을수록 커진다고 보고했다[9].

3. 2. 4. 먼지부하의 영향

유리섬유 여과포에 의한 석탄회 포집 실험결과에 의하면 먼지부하의 변화에 따른 압력손실 변화는 여과속도가 느린 조건에서는 먼지부하가 증가함에 따라 압력손실 증가 경향이 완만하나 여과속도가 빠른 조건에서는 급격해지는 경향이 있다고 보고했다[9]. 따라서 여과포에 의한 먼지포집 조작에서 먼지층형성 초기단계에서는 먼지포집이 계속되면서 여과포 세공 내에 먼지입자의 응집에 의한 가오가 형성되어 압력손실이 급격히 증가하다가 어느 정도 여과시간이 경과하여 먼지층이 안정되면 먼지부하의 증가에 따라 압력손실은 일정하게 증가한다는 것을 알 수 있다.

3. 3. 먼지포집효율 특성

3. 3. 1. 여과속도의 영향

여과포에 의한 먼지입자 포집에서 먼지포집효율은 먼지부하가 증가함에 따라 급격히 증가하는 경향이 특징이다. 또한 먼지포집효율은 여과속도가 빠른 조건에서는 먼지부하가 증가함에 따라 완만하게 증가하는 경향이 있으나, 여과속도가 느린 조건에서는 급격히 증가하는 경향이 있다. 따라서 여과포 표면에 퇴

적된 먼지층이 어느정도 형성되어 두꺼워지면 먼지포집효율에 미치는 먼지부하의 영향은 그다지 크지 않으나 여과속도의 영향은 크다는 것을 알 수 있다 [13].

3. 3. 2. 먼지부하의 영향

부직포 여과포에 의한 각종 먼지입자 포집 실험 결과에 의하면 먼지부하의 변화에 따른 먼지통과율(= 100-먼지포집효율)의 변화 경향이 먼지포집 초기단계인 먼지부하가 낮은 조건에서는 먼지포집효율이 낮으나 먼지부하가 증가하면서 급격히 감소하다가 어느 정도의 먼지부하 이상에서부터는 일정해지는 경향이 있다고 보고했다[14]. 실험에서 확인한 바와 같이 여과포집진기술에서 연소기체나 오염기체에 함유된 먼지입자는 먼지포집 초기단계에서는 여과포에 의해서 일부분만 포집되고 대부분 여과포표면에 퇴적된 먼지층에 의해서 포집되는 것으로 나타났다[14]. 따라서 여과포 자체만으로는 높은 먼지 포집효율을 기대할 수 없다. 탈진 직후에도 포집효율은 저하되며 어느 정도 여과시간이 경과하여 먼지층이 형성되면서부터 포집효율이 증가하는 경향이 뚜렷하게 나타난다.

3. 4. 부분집진효율 특성

Fig. 3에 먼지입자크기에 따른 제거기술별 부분먼지포집효율 경향을 비교하여 나타냈다[4]. 그림에서 보면 먼지입자크기 10.0 $\mu$ m 이상에서는 venturi scrubber, 전기집진장치 및 여과포집진장치에서의 부분

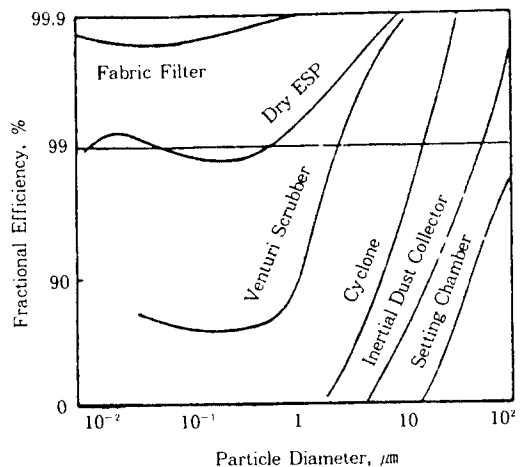


Fig. 3. 집진기술별 부분집진효율 특성.

Table 2. 여과포집진장치용 여과포 종류별 화학적 특성

Fabric	Temperature limitations ℃	Specific gravity	Weight g/m <sup>2</sup>	Acid resistance	Alkali resistance	Face velocity m/min	Bag life year	Cost factor <sup>a</sup>
Nomex <sup>b</sup>	204	1.38	480	Fair	Good	1.0-1.2	1-2	3.4
Connex <sup>b</sup>	204	1.38	480	Fair	Good	1.0-1.2	1-2	3.4
Teflon <sup>c</sup>	260	2.30	770	Excellent	Excellent	1.0-1.5	3-4	20.0
Rastex <sup>d</sup>	260	1.60	610	Excellent	Excellent	1.0-1.5	2-3	3.0
Glass <sup>e</sup>	270	2.54	800	Very good	Fair	0.5-0.9	1-2	1.0
P84 <sup>f</sup>	260	1.41	545	Very good	Excellent	1.0-1.5	2-3	7.0
Tefaire <sup>g</sup>	260	2.21	710	Excellent	Excellent	1.0-1.5	2-3	16.0
Ryton <sup>h</sup>	180	1.38	550	Fair	Good	1.0-1.2	1-2	1.5

Note : <sup>a</sup>Calculated using the data from the domestic textile company.

<sup>b</sup>Aromatic aramid fibers.

<sup>c</sup>Fluorocarbon fibers.

<sup>d</sup>Polytetrafluoroethylene fibers.

<sup>e</sup>Glass fibers.

<sup>f</sup>Polyimide fibers.

<sup>g</sup>Blend of 85% fluorocarbon fibers and 15% glass fibers.

<sup>h</sup>Polyphenylene sulfide.

포집효율은 100%이나, 1.0 $\mu$ m 이하의 입자크기에 대해서는 venturi scrubber가 90%, 전기집진장치가 99%, 여과포집진장치가 99.9%의 부분포집효율을 나타내었다. 즉, 미세한 먼지입자 포집에서는 여과포집진장치가 전기집진장치에 비해 포집효율이 10배 정도 우수하다고 볼 수 있다. 원심력집진기술인 cyclone, 관성집진장치 및 중력침강설의 경우 미세한 먼지입자의 포집은 거의 불가능한 것을 알 수 있다.

#### 4. 산업용 여과포의 종류

초기에는 여과포집진장치에 먼 또는 양모 등의 천연섬유를 소재로 한 여과포가 주로 사용되어 왔는데, 각종 합성섬유가 개발됨에 따라 합성섬유들이 갖고 있는 우수한 특성이 여과포에 적용되므로 급속하게 천연섬유에서 합성섬유로 전환되었다. 그러나 특수한 분야에서는 탈진효율, 먼지포집효율, 제전성 및 천연섬유만이 갖고 있는 특성을 살려서 제조된 새로운 합성섬유가 사용되고 있다. 연소장치 및 폐기물소각로, 먼지발생공정에 설치하여 운영되고 있는 여과포집진장치에 대표적으로 사용되는 여과포의 종류와 특징을 요약하여 Table 2에 나타냈다[15]. 여과포 제조 및 직조기술이 개발 또는 개선되어 여과포의 품질개선과 생산가격 인하에 큰 공헌을 하고있다. 최근 내고온,

내산성 및 내알칼리성이 우수한 여과포가 개발되고 있다.

유해기체가 높은 농도로 발생되는 폐기물 소각로 및 먼지 포집 조건 열악한 공정에 적용이 가능한 여과포 재질로는 Teflon, expanded PTEE Rastex, polyimide P84, glass 등이 있다. 폐기물소각로외에 연료의 연소공정 및 열공급 시설에는 Nomex나 Connex, glass, Ryton 등을 주로 사용되고 있으나 가격이 고가인 Tefare도 사용되고 있다.

#### 5. 탈진방식

여과포집진기술에서 장치의 종류는 탈진방식에 따라 구분할 수 있으며, 탈진방식은 크게 나누어 진동 탈진방식, 역기류탈진방식, 충격기류탈진방식으로 나눌 수 있다. 탈진은 연소기체나 배출기체에 함유된 먼지를 여과포로 포집할 때 여과포표면에 형성된 먼지층을 주기적으로 털어내는 조작을 말한다. 여과조작이 진행되면서 먼지층은 점차 두꺼워져 먼지층을 통과하는 기체의 저항이 증가하게 되며, 이로 인해 압력손실이 높아져 결국 정상적인 운전이 불가능하게 된다. 따라서 압력손실을 일정하게 유지하여 정상적인 운전을 하기 위해서는 여과포 표면에 어느 정도의 먼지층이 퇴적되면 이 먼지층을 물리적인 운동이나

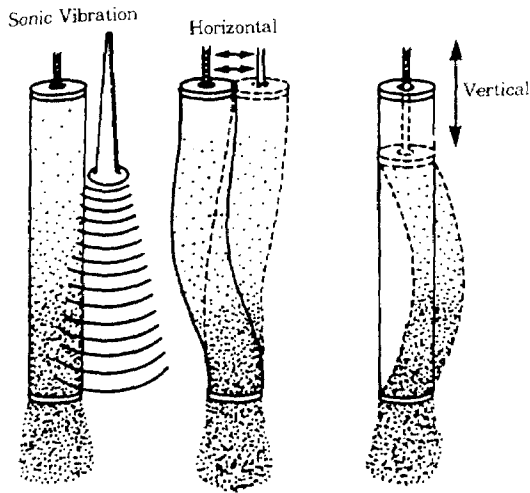


Fig 4. Shaking cleaning.

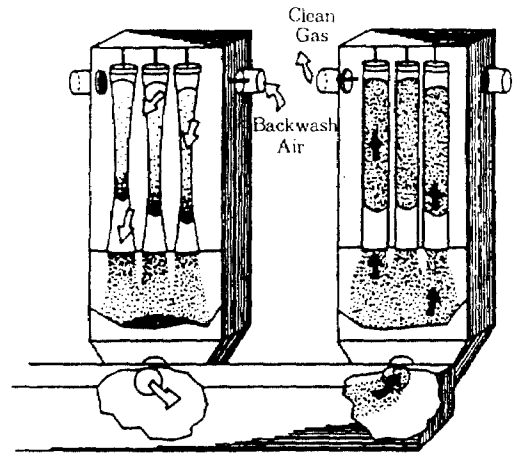


Fig. 5. Reverse air cleaning.

에너지를 가하여 털어내야 한다. 여과포집진기술은 탈진방식에 따라 구조나 특징이 현저하게 차이가 난다[16, 17].

### 5. 1. 진동탈진방식

진동탈진방식(Fig. 4)은 요과포의 상단을 수평방향이나 수직방향으로 매분 수십회 또는 수백회 정도의 주파수로 요동시켜 여과포의 내부에 부착된 먼지층을 털어내는 것으로, 진동형식과 탈진의 회수는 여과포에 포집되는 먼지의 특성에 따라 좌우된다. 이 방식에서는 기체의 유입이 차단된 상태에서 탈진조작이 수행되어야 하므로 연속집진조작을 수행하려면 장치 전체를 여러 개 단위실로 구획화시켜야 한다. 각 단위 집진실의 입구와 출구에 damper를 설치하여 탈진조작 기간동안 입구와 출구측을 밀폐시켜야 효율적인 탈진조작이 가능하다. 이 방식에는 여과포로 직포인 유리섬유가 대부분 사용되고 있다.

진동탈진방식은 부착성이 강한 먼지의 탈진능력이 극히 불량하고 기계적인 조작으로 인해 여과포의 손상이 쉽게 발생하는 단점이 있다. 특히 여과포의 손상은 여과포의 상단의 clamp로 고정된 부분에서 빈번히 발생한다. 또한 여러 개의 단위집진실 구조로 설치해야 연속집진조작이 가능하므로 집진장치의 설치 면적이 많이 소요되는 단점이 있다.

### 5. 2. 역기류탈진방식

역기류탈진방식(Fig. 5)에서는 처리기계의 유입반

향과 반대로 저압의 공기를 불어넣어 여과포 내부에 부착된 먼지층을 여과포에서 분리시켜 하부의 저장조로 하강시킨다. 이 탈진방식의 운전도 진동탈진방식과 마찬가지로, 처리기체의 유입이 차단된 상태에서 탈진조작이 수행되어야 하므로 연속 운전을 위해서는 장치 전체를 여러 개의 단위집진실로 구획화하여야 한다. 각 단위 집진실은 집진조작과 탈진조작이 번갈아 별도로 수행되어야 연속운전이 가능하다. 이 방식에서 사용되는 여과포는 대부분 직포인 유리섬유이며 부직포도 상용되는 경우가 있다. 여기에 상용되는 부직포는 비교적 공극률이 크고 유연성이 있으며 여과포의 무게가 300~450g/m<sup>2</sup>인 것이 선정되고 있다.

역기류탈진방식은 탈진조작시 탈진에 에너지가 적고 여과포에 물리적으로 가해지는 강도가 극히 낮아 여과포의 수명이 길다는 장점이 있다. 단점으로는 탈진조작과 집진조작이 별도로 수행되어야 하므로 장치 설치에 소요되는 면적이 넓다는 점을 들 수 있다.

### 5. 3. 충격기류탈진방식

충격기류탈진(Fig. 6)은 여과포의 상부에서 순간적으로 고압의 공기를 불어넣어 그 충격력과 역기류에 의해서 여과포의 외부 표면에 부착된 먼지층을 털어내는 방식이다. 이 방식에서는 탈진하고자 하는 대상 여과포만을 순간적으로 정지시킨 상태에서 탈진을 수행하므로 탈진 및 집진조작이 동시에 진행되고 연속 운전이 가능하여 여러 개의 단위 집진실이 필요없다. 또한 이 방식은 탈진강도가 강해 부직포 여과포에 유

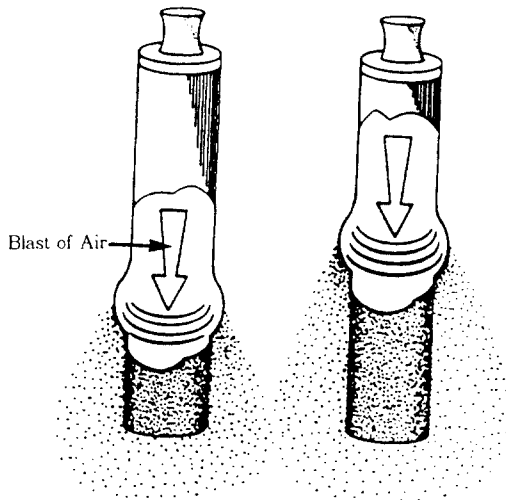


Fig. 6. Pulse jet cleaning.

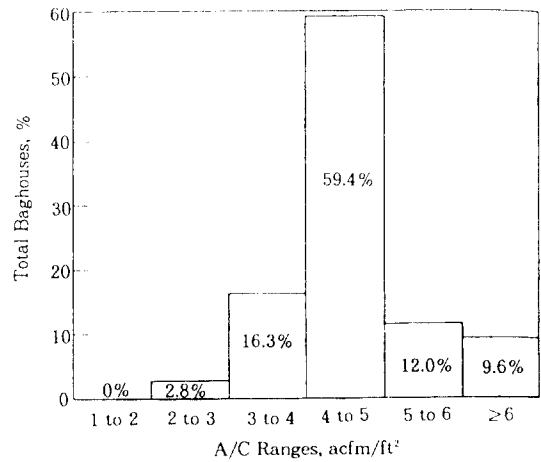


Fig. 7. Pulse jet식 여과포집진장치의 여과속도 범위 별 운전 현황.

Table 3. 탈진방식별 여과포집진기술의 분류와 특성

탈진 방식	적용 여과포			여과 방식	여과 속도 m/min	기체 온도 °C	특징 또는 주요 용도
	종 류	형 상	재 료				
진 동 탈진	직 포	원통형	합성섬유	내면 여과	0.6-1.6	~200 (耐熱 Nylon)	<ul style="list-style-type: none"> <li>소용량에서 대용량까지, 또는 일반 환경집진에서 고온집진까지 적용</li> <li>Fume(전기로 배가스) 집진에 적용</li> </ul>
		봉투형			1.0-1.5	~100	<ul style="list-style-type: none"> <li>소용량(數+<math>m^3/min</math>) 등의 소형간 이집진장치에 적용</li> </ul>
충 격 기 류 탈진	부직포	원통형 (봉투형 도 적용)	합성섬유	외면 여과	0.9-1.5	~200 (耐熱 Nylon)	<ul style="list-style-type: none"> <li>탈질 및 집진조작 동시 가능</li> <li>공기수송 장치용 교체-기체 분리 용 등, 고농도 마모 배관에 허용</li> </ul>
	직 포	원통형	Glass 섬유		0.5-1.5	~250 (Glass 섬유)	<ul style="list-style-type: none"> <li>미분탄연소보일러 등 고온기체 여 과에 적용</li> </ul>
	부직포	캐트리지형	합성섬유 또는 종이포		0.3-1.0	~140	<ul style="list-style-type: none"> <li>빠른 여과속에 적용</li> <li>작업장 공기 정화용(공기청정, 건 전지공장, 남면지 포집)에 적용</li> </ul>
	燒 結 爐 材	원통형	금속섬유 또는 Ceramic		0.5-1.5	~450 ~1,200	<ul style="list-style-type: none"> <li>고온기체 집진에 적용 (Hot-gas filtration)</li> </ul>
역 기 류 탈진	직 포 또는 부직포	원통형	Nylon 등 부직포	내면 여과	0.6-1.2	~200 (耐熱 Nylon)	<ul style="list-style-type: none"> <li>시멘트 제조, 철강업에 적용</li> </ul>
	Glass 섬유		0.3-1.0		~250	<ul style="list-style-type: none"> <li>Carbon black, 非鐵精鍊, 고온 fume에 적용</li> </ul>	
	부직포	봉투형	합성섬유	외면 여과	1.0-2.0	~140	<ul style="list-style-type: none"> <li>鐵物砂處理 등 탈진조작이 용이하고, 대용량에 적용</li> </ul>

효하여 이 탈진방식의 개발과 함께 부직포 여과포가 보급되기 시작했다. 이 방식에 사용되는 부직포는 무게가 600g/m<sup>2</sup> 이상이며 두께가 비교적 두껍다.

충격기류탈진방식은 부직포 여과포의 사용으로 단위 처리기체 용량당 설치면적이 다른 탈진방식에 비해 적게 소요되는 장점을 지니고 있어 국내 산업체 설치되어 운용되고 있는 여과포집진장치의 탈진방식은 대부분이 이 방식을 적용하고 있다. 또한 부직포 여과포 적용으로 인해 전면여과가 가능하여 여과속도를 직포 여과포에 비해 2~3배 정도 빠르게 채택할 수 있는 장점이 있다. 반면 탈진조작시 탈진강도가 강하여 여과포에 가해지는 에너지가 다른 탈진방식에 비해 훨씬 강하여 여과포 수명이 짧은 단점이 있다.

Table 3에 탈진방식별 여과포집진기술의 분류와 특성을 요약하여 정리하였다[18].

### 6. 산업용 및 발전용 여과포집진장치의 운전 동향

석탄연소 보일러에서 배출되는 먼지의 포집용으로 설치되어 운전되고 있는 pulse-jet식 여과포집진장치에 대한 문헌조사를 통해 수집한 자료를 이용해 다음과 같이 범위를 분류하여 분석 고찰하였다[19, 20, 21].

- 1) 여과속도 범위별 운전현황
- 2) 연소방법별 설치현황
- 3) 처리기체 유량범위별 설치현황
- 4) 여과포 재질선정 현황

#### 6. 1. 여과속도 범위별 운전 현황

Pulse-jet식 여과포 집진장치 251기에 대해서 설계 여과속도의 채택범위에 따라서 분류한 것을 Fig. 7에 나타냈다. 그림에서 보는 바와 같이 여과속도는 1.22-1.52m/min(A/C ranges, 4-5 acfm/ft<sup>2</sup>)범위를 가장 많이 채택하여 설치, 운전을 하고 있으며, 다음 순위로는 0.91-1.22m/min(A/C ranges, 3-4 acfm/ft<sup>2</sup>) 약간 낮은 여과속도 범위에서 채택하여 설계 및 운전하고 있다. 여과속도는 특히 탈진효율, 여과포의 수명에 관계되므로 연료 석탄의 성상과 보일러의 운전 조건에 적합한 여과포 재질을 선전하고 난 후에 결정한다.

Fig. 8 Pulse jet식 여과포집진장치의 석탄 연소방식별 설치 현황

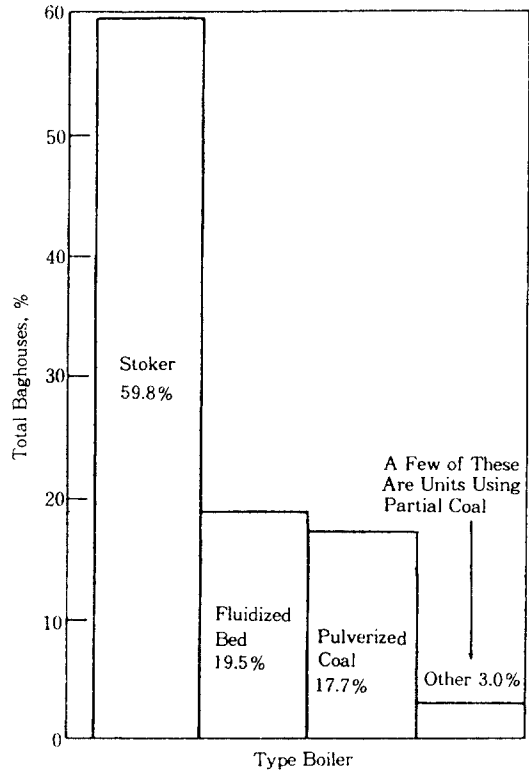


Fig. 8. Pulse jet식 여과포집진장치의 석탄 연소방식별 설치 현황.

#### 6. 2. 연소방법별 설치 현황

Pulse-jet식 여과포 집진장치 267기에 대해서 연소방식별로 설치되어 있는 현황을 Fig. 8에 나타냈다. 연소방식은 stoke연소, 유동층연소(fluidized bed combustion)와 미분탄(pulverized coal combustion)이 있으며, 이들 연소방식이 산업체와 발전소에 적용되고 있다. 그림에서 보면 약 60%의 집진장치가 stoker연소보일러에 설치되어 있고, 나머지는 유동층연소 보일러와 미분탄연소 보일러에 설치되어 있는 것을 알 수 있다.

#### 6. 3. 처리기체 유량별 설치 현황

Fig. 9는 pulse-jet 여과포 집진장치 286기에 대해서 처리기체의 유량범위에 따라 분류한 그림이다. 충격기류(pulse-jet)탈진방법을 이용한 여과포 집진장치는 처리기체유량범위가 실제운전조건에서 566-2,830m<sup>3</sup>/min(20,000-100,000scfm)정도에서 가장 많이 설치되고 있음을 알 수 있다. 이 범위의 처리기체



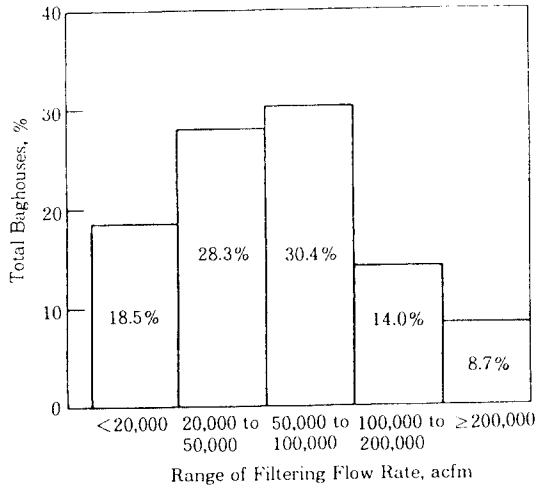


Fig. 9. Pulse jet식 여과포집진장치의 처리기체 유량별 설치 현황.

유량은 산업용 규모와 소형발전용 규모의 범위에 들어가고 있다. 발전용 규모에도 약 20% 정도가 설치되어 운전되고 있는 것을 보면 pulse-jet 여과포 집진장치가 대용량 규모에도 적용되고 있다는 것을 알 수 있다.

### 6. 3. 여과포 재질선정 현황

Pulse-jet식 여과포 집진장치에 사용되는 여과포의 재질은 유리섬유, Teflon과 Nomex가 주로 선정되어 사용하고 있다. Fig. 10은 국외의 pulse-jet식 여과포 집진장치 330기에 채택되어 사용되고 있는 여과포 재질별 선정비율을 나타냈다. 그림에서 보는 바와 같이 직포(woven fabric)인 유리섬유 여과포가 주종을 이루고 있고, 약간의 부직포(felt fabric)인 유리섬유가 채택되어 사용되고 있다. Nomex에 비해 Teflon이 가격면에서 비싸나 많이 채택되고 있는 이유는 Teflon 여과포가 Nomex여과포에 비해 산과 알칼리 분위기에 강하고, 고온에 적합하며 강도가 강하다는 장점이 있기 때문이다.

### 7. 결 론

산업공정 및 먼지배출 공정에서 발생하는 먼지를 포집 제거하여 대기중으로 먼지의 배출을 최대화 억제하기 위한 대기오염 제어 설비로서는 세정식집진기

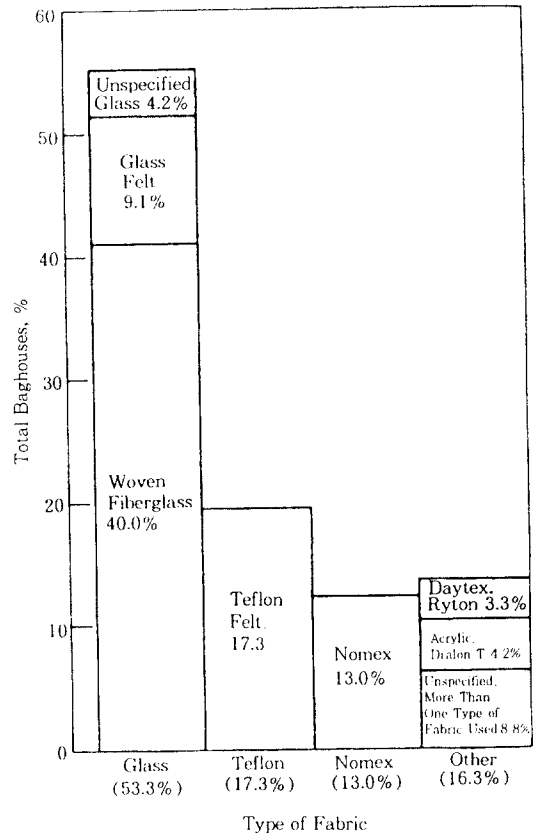


Fig. 10. 산업용 여과포 종류별 사용 현황.

술, 전기식집진기술 및 여과포집진기술이 주종이다. 최근에 와서 산업의 발달로 인해 발생하는 먼지의 량이 계속 증가하고 있어 먼지에 의한 대기오염이 심각해질 것으로 예측되고, 또한 현재에도 부유먼지로 인해 도심지역의 가시거리가 해가 갈수록 짧아지고 있는 실정이다. 먼지에 의한 피해는 대기오염뿐만 아니라 유독성 물질을 함유한 먼지입자는 피부에 접촉되어 피부질환의 발생 원인이 되고 있는 실정이다.

따라서 정부에서는 먼지에 의한 대기오염 및 인체의 피해를 최대한 줄이기 위해 먼지배출 허용기준을 단계적으로 강화하고 있어, 이에 대응하여 고효율 집진기술 여과포집진기술을 각 업종의 산업체 적용하여 최고 성능을 유지하기 위해서는 적용 공정의 특성별 배출먼지 및 기체 특성, 여과포 재질 특성, 탈진 특성, 설계기술의 표준화, 최적 운전기술 등을 확립하기 위한 많은 연구 중점적으로 수행되어야 할 것이다.

## 참고문헌

1. W. C. Hinds, "Aerosol Technology, Properties, Behavior, and Measurement of Aerborne Particles," John Wiley & Sons, New York 2-10 (1982).
2. 손재익, 박영옥, 구철오, 임정환, "대기오염 방지를 위한 분진제어기술(I)," 과학기술처, 23-39 (1992).
3. 尹伊谷剛一, "集塵工學," 日刊工業新聞社, 175-192(1980).
4. 永松定祐, "廢物燒却爐の總合排ガヌ處理," 化學獎置, 32-36(1991).
5. W. C. Hinds, "Aerosol Technology, Properties, Behavior, and Measurement of Aerborne Particles," John Wiley & Sons, New York, 211-232 (1982).
6. R. Dennis, "Collection efficiency as a function of particle size, shape, and density," *JAPCA*, **24**, 12, 1156-1163(1977).
7. D. Leith, and M. First, "Particle Collection by a Pulse-Jet Fabric Filter," 68th Annual Meeting of APCA, 1-14(1975).
8. M. Robert and P. E. Bethea, "Air Pollution Control Technology," Van Nostrand Reinhold Co., 145-204(1978).
9. 박영옥, 김영성, 손재익, 정태수, "유리섬유 여과포에 의한 석탄회 포집, I. 분진층의 형성과 압력손실 특성," 화학공학, **29**, 4, 463-469(1991).
10. 박영옥, 구철호, 임정환, 손재익, "Pulse-Jet식 여과포집진장치의 여과포 성능 시험 연구(I)," 과학기술처, 259(1989).
11. 박영옥, "석탄회 포집에 있어서 유리섬유역과포의 여과성능에 관한 연구," 학위논문, 238(1989)
12. C. E. Billings and J. E. Wilder, "Handbook of Fabric Filter Technology," Vol. 1, GCA/Technology Division, Bedford, Mass., EPA-APTD 0690(NTIS No. B-200-648), 145-204(1978).
13. D. Leith and M. First, "Particle Collection by a Pulse-Jet Fabric Filter," 68th Annual Meeting of APCA, 1-14(1975).
14. 박영옥, 구철호, 임정환, 손재익, "Pulse-Jet식 여과포집진장치의 여과포 성능 시험 연구(II)," 과학기술처, 201(1990).
15. 박영옥, 손재익, "폐기물 소각 배가스 제어기술(I), -분진제어-, 한국폐기물학회, **11**, 2, 301-317(1994).
16. A. C. Atern, "Air Pollution Third Edition," Academic Press, New York, IV, 97-131(1977).
17. C. E. Billings and J. E. Wilder, Handbook of Fabric Filter Technology, Vol. 1, GCA/Technology Division, Bedford, Mass., EPA-APTD 0690 (NTIS No. PB-200-648), 145-204(1978).
18. 米田乞, 池野榮宣, "Bag Filter," 化學工學, **55**, 5, 146-151(1991).
19. C. Dickenson, "Filters and Filters and Filtration Handbook," Elsevier Advanced Technology, Oxford., 63-117(1992).
20. 박영옥, 구철오, 임정환, 손재익, "Pulse-Jet식 여과포집진장치의 여과포성능 시험 연구(II)," 과학기술처, 201(1990).
21. A. H. Dean and K. H. Cushing, "Pulse-jet fabric filters for coal-fired utility and industrial boilers," Electric Power Research Institute, 3412 Hilview Avenue Palo Alto, Ca 94304 (1987).