

충격기류 탈진방식 여과포집진장치에서 탈진조건 변화에 따른 국산유리섬유여과포의 성능시험

Performance Test of Domestic Glass Fabric by varying cleaning conditions in a Pulse-Jet Cleaned Fabric Filter

박영옥 · 구철오 · 임정환 · 김영성 · 손재익

한국에너지기술연구소
에너지환경연구단
(원고접수: 1994. 5. 23)

Young-Oak Park, Cheol-Oh Koo, Chung-Hwan Lim
Young-Sung Ghim and Jae-Ek Son

Energy & Environment Research Department
Korea Institute of Energy Research
(Received 23 May 1994)

Abstract

Performance of domestic glass fabrics was tested in a pulse-jet cleaned fabric filter under simulated coal combustion. Pulse pressure were 2.5, 4.0kgf/cm² and pulse air nozzle diameter were 4.0, 6.0mm. Pressure drop and penetration turned out to be low at small pulse air nozzle diameter and low pulse air pressure. Fractional penetration through the dust cake and fabric at face velocity of 1.7m/min was higher than that at face velocity of 1.0m/min. As a consequence, the performance of domestic glass fabrics was better with face velocity of less than 1.0m/min, pulse air pressure of 2.5 kgf/cm² and pulse air nozzle diameter of 4.0mm.

1. 서 론

석탄연소장치 또는 먼지발생공정에서 배출되는 먼지를 제거하기 위한 건식집진기술의 하나인 여과포집진장치는 여러 종류의 탈진방법이 있지만 근래에 국내 대부분의 산업체에서는 충격기류 탈진방식을 널리 이용하고 있다(손재익 등, 1987). 충격기류 탈진방식은 압축공기를 사용하여 여과포 외부에 부착된 먼지층을 털어내는 방식을 말한다. 다른 탈진방식에 비해 여과속도(face velocity or air-to-cloth ratio)를 비교적 빠르게 할 수 있고, 탈진조작이 강력하여 단시간내 여과포에 부착된 먼지층이 털어지기 때문에 연속운전이 가능하며 장치의 설치규모가

적다. 반면에 탈진과 집진조작을 수행 할 때 여과포가 고압의 압축공기에 의한 팽창과 여과포 지지들과 주기적으로 충돌하게 되어 여과포는 마모에 의한 손상이 다른 탈진방식에 비해 크다(Park et al., 1991).

국내 대부분의 산업체에서는 이 방식의 장점 때문에 충격기류 탈진방식 여과포집진장치를 설치하여 운용하고 있으나, 경험에 의존한 장치의 설계 및 설치, 운전이 되고있어 고효율 유지가 불가능할 뿐만 아니라 여과포의 잦은 파손으로 인해 고가의 운전 유지비가 소요 되고 있는 실정이다. 또한 여과포 집진장치의 심장부인 여과포는 대부분 수입에 의존하고 있어 장치의 설치 및 유지비를 더욱 상승시키

는 요인이 되고 있다(박영옥 등, 1990). 따라서 국내 여과포 제조업체인 K-산업에서는 수입여과포를 국산여과포로 대체하고자 국산 유리섬유여과포를 개발하였다.

박 등(1990)은 국산 유리섬유여과포를 이용한 플라이애쉬 포집특성을 고찰하기 위하여 기초실험을 실험실규모의 실험장치에서 이미 수행한 바 있다. 본 연구에서는 충격기류 탈진방식 여과포집진장치에서 국산여과포의 고효율 유지를 위한 운전조건 및 설계자료를 획득하고자 pilot scale 실험장치에서 실제 석탄연소조건을 모사하여 탈진조건과 탈진공기 분사노즐직경이 여과포 성능에 미치는 영향을 실험적으로 고찰하였다.

2. 실험

2.1 실험여과포

실험여과포는 국내에서 개발된 고온용 유리섬유 여과포로서 직조형태는 주자직이며 직포이다. 표 1에 실험여과포의 물리적 성질을 나타냈고, 표 2에는 성분분석을 나타냈다. 박영옥 등(1990)이 실험여과포를 역광조건에서 광학현미경으로 관찰한 바에 의하면 공극은 타원형이며, 공극내에는 가느다란 filament들이 서로 교차하고 있는 구조로 되어 있었

다. 실험여과포는 굴곡이나 마찰에 의한 강도저하 방지와 표면을 매끄럽게 하여 부착된 먼지층의 유리를 용이하게 하고 내화학적 성질을 갖기 위해 Teflon[®] B로 표면을 처리하였다.

Table 1. Physical characteristics of test fabric.

| Physical Characteristics | Domestic woven glass fabric |
|--|-----------------------------|
| Wave pattern | sateen |
| Air permeability(m ³ /min/ m ² at 12.7 mmH ₂ O | 12.0 |
| Finish | Teflon [®] B* |
| Tensil strength | |
| Warp(kg/25 mm) | 136.0 |
| Filling(kg/25 mm) | 113.0 |
| Mullen burst(kg/cm ²) | 42.0 |
| Weight(g/m ²) | 550.0 |
| Thickness(mm) | 0.579 |
| Fiber diameter(μm) | 0.14 |
| True density(g/cm ³) | 2.2 |
| Bulk density(g/cm ³) | 0.95 |
| Void fraction(-) | 0.57 |

* Du Pont's formulation designed to lubricate glass fabric for gaseous filtration in corrosive or high temperature environments.

Table 2. Composition of test fabric(wt. %).

| SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | K ₂ O | CaO | MgO | Na ₂ O | Fe ₂ O ₃ | MnO | TiO ₂ | P ₂ O ₅ | B ₂ O ₃ | BaO | SO ₃ |
|------------------|--------------------------------|------------------|------|------|-------------------|--------------------------------|------|------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------|-----------------|
| 54.65 | 15.40 | 0.07 | 22.8 | 0.58 | 1.74 | 0.3 | 0.01 | 0.54 | 0.038 | 4.28 | 0.019 | 0.0022 |

2.2 실험용먼지

일본공업규격을 참조하여 제5종 먼지의 입자크기에 상응하는 실험용먼지를 플라이애쉬로부터 제조하였다(JIS Z 8901, 1984). 플라이애쉬는 역시 일본공업규격에 의하여 보령화력발전소 전기집진장치에서 포집된 것을 이용하였는데 포집 플라이애쉬의 최대입자크기가 68.5μm이고 무게기준 적산분포곡선에서 평균입자크기가 19.1μm이었다. 그림 1은 본 연구에서 사용한 실험용먼지의 입자크기분포를 무게기준 적산분포곡선으로 나타냈고, 표 3에는 성분분석을 나타냈다. 일본규격협회 제5종 먼지의 무게기준 적산분포곡선에서 평균입자크기 범위는 13-17 μm인데 비해 실험용먼지의 평균입자크기는 16.4μm이다. 실험용먼지를 전자현미경으로 관찰한 바에 의하면 그 형상들은 거의 완전히 구형으로 확인되었다(손재익 등, 1988).

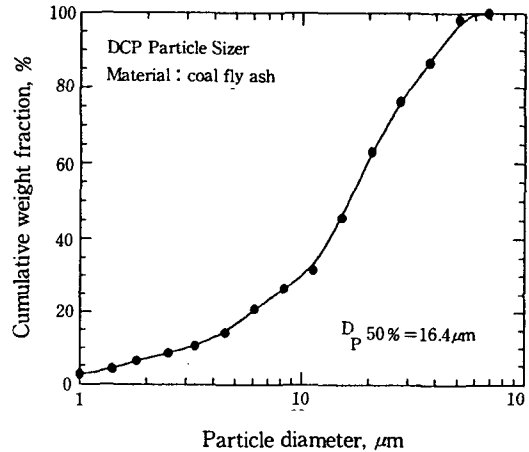


Fig. 1. Particle size distribution of test dusts.

2.3 실험장치

산업체 현장의 운전조건을 모사하여 여과포의 성

Table 3. Composition of test dusts(wt. %).

| SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | K ₂ O | CaO | MgO | Na ₂ O | Fe ₂ O ₃ | TiO ₂ | SO ₃ | Others | IDT ¹⁾ | HDF ²⁾ |
|------------------|--------------------------------|------------------|------|------|-------------------|--------------------------------|------------------|-----------------|--------|-------------------|-------------------|
| 65.22 | 22.03 | 0.40 | 2.47 | 1.42 | 0.83 | 5.34 | 0.42 | 1.37 | 0.62 | 1,331°C | 94 |

¹⁾Initial deformation temperature

²⁾Hardgrove grindability index

능특성을 연구하기 위한 pilot scale 실험장치의 공정도를 그림 2에 나타냈다. 실험장치는 고온의 기체를 발생시키는 열풍발생부분, 고온기체내 먼지의 농도를 조절하기 위한 실험용먼지 공급 및 분산부분, 고온기체내의 수분함유량과 유해기체 농도를 조

절하기 위한 수증기와 유해기체 공급 및 혼합부분, 여과포 성능을 시험하기 위한 실험용 여과포집진장치 부분, 탈진용 압축공기 정제 및 공급부분, 포집된 먼지의 배출 및 수송부분, 압력, 온도, 유량 등의 측정값을 기록하기 위한 계장부분으로 구성되어 있다.

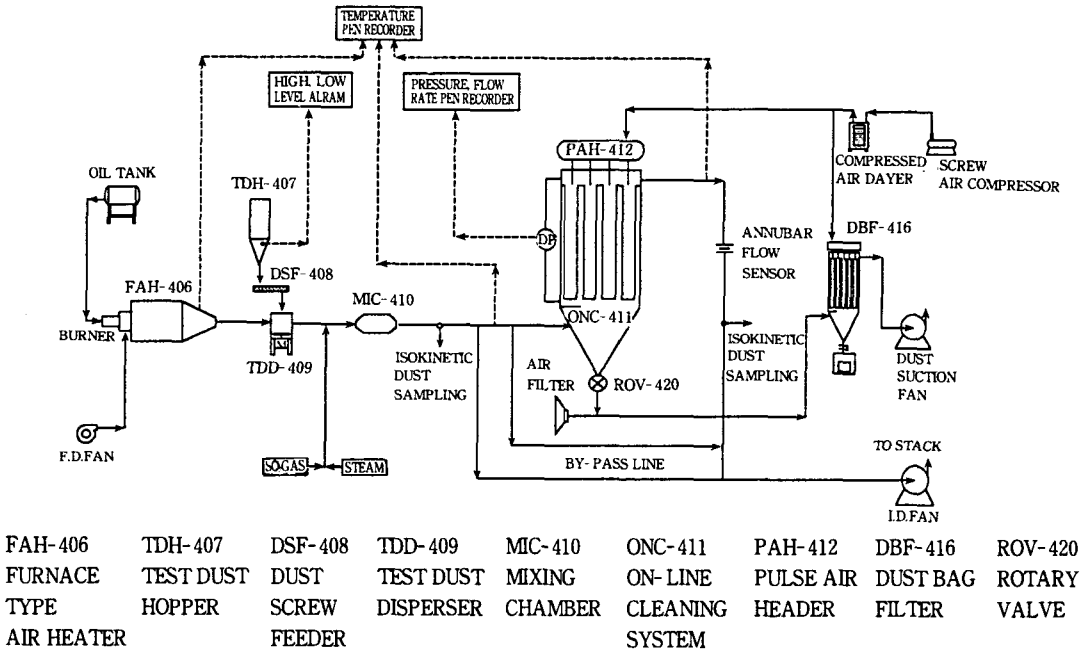


Fig. 2. Schematic diagram of the pilot scale test unit.

열풍발생로(FAH-406)에서 경유를 완전연소시켜 고온의 기체를 발생시키고 기체의 온도는 외부에서 유입되는 회석공기 유량으로 조절하도록 하였다. 온도가 조절된 고온기체는 먼지분산기(TDD-409)로 유입되고, 저장조(TDH-407)에 저장된 실험용먼지는 정량공급기(DSF-408)에서 정량되어 분산기로 투입되며 분산기에서 propeller형 날개의 회전에 의해 고온기체내로 분산된다. 먼지를 함유한 기체는 혼합조(MIC-410)로 유입하여 수증기와 유해기체와 혼합된다. 실제 산업체 현장에서 배출되는 기체와 유사하게 모사된 기체는 실험용 집진장치(ONC-420)로 유입되어 먼지는 실험용 여과포에서 포집되고 청정기체는 흡인송풍기에 의하여 대기로 배출된다.

실험용 집진장치의 탈진방법은 주기적 충격기류 탈진방식(on-line pulse-jet cleaning)으로써 가로 및 세로로 각각 4열로 총 16본의 여과포가 설치되어 있다. 여과포의 규격은 직경 130mm, 길이 2,500mm로써 실제 산업체에 설치하여 운전되고 있는 여과포집진장치의 규격과 거의 비슷하나 설치본수만 적게 하였다. 여과포 내부에는 여과포를 지지해주는 지지틀이 삽입되어 있으며 지지틀의 규격은 직경이 125mm, 길이가 2,490mm이고 틀을 구성하는 수직 wire와 ring의 직경은 4mm인 스텐레스 강이며, 수직 wire와 수직 wire의 간격은 25mm이고 ring과 ring의 간격은 150mm이다.

실험용 집진장치에서 포집된 먼지는 rotary valve

(ROV-420)에 의해 배출되어 수송관에 유입, roots blower에 의해 흡인되는 공기에 의해 수송되어 포집장치(DBF-416)로 유입되어 먼지는 포집되고 청정기체는 대기로 배출된다.

탈진용공기는 screw형 공기압축기에서 발생되어 정제장치로 유입, 압축공기내에 함유된 수분, 유분(oil mist)이 완전히 제거 압력조절기에서 압력이 조절되어 압축공기 저장조(PAH-412)에 저장된다. 탈진용공기는 탈진공기조절 제어반에서 탈진주기와 탈진간격이 조절되어 노즐을 통해 여과포 상단에 설치된 벤츄리로 분사 여과포내부로 확산된다. Fig. 3에 여과포 상단에 설치된 탈진용공기 분사부의 상세도를 나타냈다.

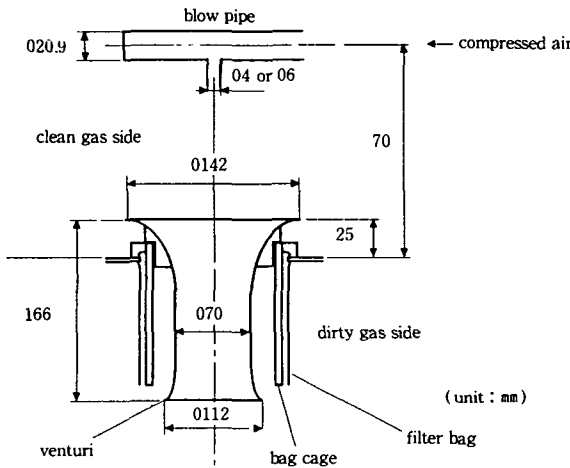


Fig. 3. Filter bag mounting and pulse injecton.

함진기체내 먼지의 농도, 수분함유량, 유해기체의 농도측정은 실험용 여과포집진장치의 입구와 출구에 설치된 채취구(sampling pot)에서 시료를 채취하여 분석된다. 실험용 집진장치를 통과한 유량은 Annubar flow sensor에서 측정되고 실험장치의 압력손실은 차압계에서 측정된다.

2.4 실험방법

실험용먼지는 건조기(convecting oven)에서 110℃로 12시간 동안 가열건조한 후 상온건조기(desiccator)에서 실험실의 온도와 같도록 24시간 냉각하여 사용하였다. 먼지농도는 실험용먼지의 공급유량으로 조절했으며, 장치의 입구와 출구의 먼지농도는 stack sampler(Model CE-22-ADS, Chung Engineering Co., Ltd.)로써 등속흡인하여 측정하였다. Stack sampler에서 먼지는 원통여지(Whatman, silica glass microfiber thimbles)로 포집하였고, 원통여

지는 고온건조기에서 250℃로 2시간 동안 가열한 후 상온건조기에서 냉각하여 analytical balance(Sartorius Model R200D)로 무게를 측정하였다. 입구와 출구의 분진의 입자크기는 cascade impactor(Andersen Mark III particle sizing stack sampler)로 측정하였다. 탈진공기 분사노즐 변경을 위해서는 그림 3에서 보는 바와 같이 실험조건에 요구되는 크기의 노즐이 뚫린 4열의 blow pipe를 교체 시켰다. 실험여과포는 한 조건의 실험이 끝날때마다 새로운 여과포로 교체하였으며 실험조건을 표 4에 나타냈다.

Table 4. Experimental conditions.

| | |
|-----------------------------|-----------------------------|
| Face velocity | 1.0m/min |
| Upstream dust concentration | 1.0g/Sm ³ |
| Gas temperature | 200℃ |
| Cleaning conditions | |
| Pulse pressure | 2.5, 4.0kgf/cm ² |
| Pulse interval | 30, 120, 171sec. |
| Pulse duration | 80, 120msec |
| Pulse air nozzle diameter | 4.0, 6.0mm |

3. 결과 및 고찰

3.1 압력손실

충격기류 분사압력은 여과포에 부착된 먼지층을 털어내기 위해 분사되는 압축공기의 압력을 말하며, 압력손실의 변화에 많은 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 고온용 국산여과포에 의한 플라이에쉬 포집 조작에서 충격기류 분사압력이 압력손실에 미치는 영향을 그림 4에 나타냈다. 운전시간이 경과함에 따라 압력손실비(총 압력손실에 대한 청정여과포의 압력손실과의 비)는 충격기류 분사압력이 낮은 조건이 높은 조건보다 압력손실이 2배 정도 높게 유지되었고 압력손실이 일정하게 유지되는 시간도 약 1시간 정도 늦었다. 이와 같은 현상은 충격기류 분사압력이 낮으면 여과포 내부로 분사되는 탈진공기의 유량이 적어 여과포 외부에 부착된 먼지층의 일부분만 털어내어 잔류된 먼지의 양이 충격기류 분사압력이 높은 조건에 비해 많아 압력손실이 높게 유지되기 때문이다(Richard와 Hans, 1982). 또한 충격기류 분사압력이 낮은 조건에서는 여과포에 일정하게 잔유하는 먼지층의 형성시간도 충격기류 분사압력이 높은 조건에 비해 길어진다는 것을 알 수 있다.

그림 5에 충격기류 분사노즐의 직경의 크기에 따

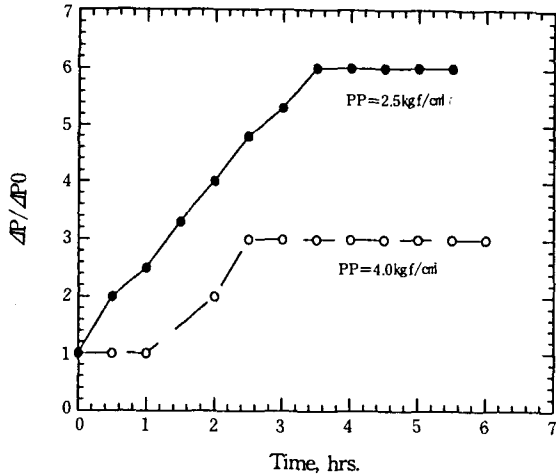


Fig. 4. Variation of pressure drop ratio to clean fabric pressure drop with time for different pulse pressure (face velocity; $V_f=1.0\text{m/min}$, upstream concentration; $C_u=1.0\text{g/Sm}^3$, pulse interval; $PI=171\text{sec}$, pulse duration; $PD=120\text{msec}$, Pulse air nozzle diameter; $ND=6.0\text{mm}$, clean fabric pressure drop; $\Delta P_o=10\text{mmH}_2\text{O}$).

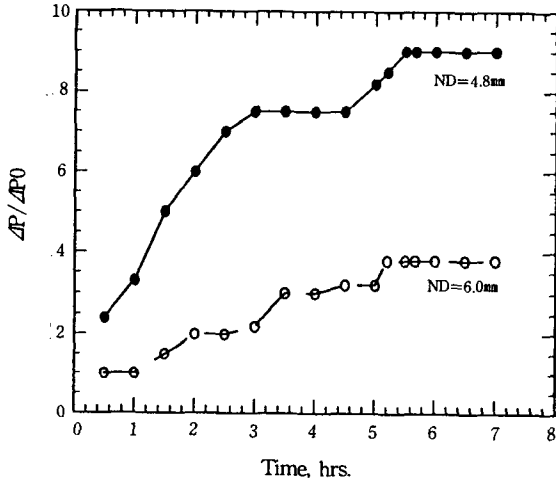


Fig. 5. Variation of pressure drop ratio to clean fabric pressure drop with time for different pulse air nozzle diameter ($V_f=1.0\text{m/min}$, $C_u=1.0\text{g/Sm}^3$, $PI=30\text{sec}$, $PD=80\text{msec}$, $PP=2.5\text{kgf/cm}^2$, $\Delta P_o=10\text{mmH}_2\text{O}$).

큰 압력손실비의 변화를 나타냈다. 충격기류 분사노즐 직경이 작은 조건에 비해 운전시간이 경과함에 따라 압력손실이 급격히 상승하였고 일정하게 유지되는 압력손실도 높았다. 일정한 충격기류

분사압력 조건에서 분사노즐 직경이 크면 탈진공기의 분사유량이 많아 여과포로 부여되는 압력(peak pressure)이 높아 여과포는 반경방향으로 크게 팽창되며, 부착된 먼지층이 여과포에서 쉽게 분리된다. 그러나 탈진공기의 분사유량이 적으면 여과포로 부여되는 압력이 낮아 먼지의 잔유율이 높아진다. Richard와 John(1975)은 충격기류 분사노즐 직경이 9.2mm인 경우 15.8mm보다 압력손실이 약 1.4배 정도 더 높게 유지되는 것으로 보고하고 있다.

충격기류 탈진방식 여과포집진장치에서 여과포의 마모에 가장 크게 영향을 미치는 인자는 탈진조건이다. 충격기류 분사압력이 높고 탈진간격이 짧으면 압력손실은 낮게 유지되나 여과포와 지지틀과의 충돌이 빈번하게 일어나 접촉 마모에 의해 여과포가 쉽게 파손된다. 따라서 여과포의 수명을 길게 유지하기 위해서는 집진장치의 압력손실을 공정이 허용하는 범위에서 어느 정도 높게 유지할 필요가 있다. 이와 같은 측면에서 보면 고온용 국산 유리섬유 여과포에 의한 플라이애쉬 포집조작에서 충격기류 분사압력은 2.5kgf/cm², 분사노즐 직경은 4.0mm의 탈진조건이 유리하다.

3. 2 먼지통과율

충격기류 분사압력이 먼지입자 통과율에 미치는 영향을 그림 6에 나타냈다. 충격기류 분사압력이 높은 조건에서 먼지통과율이 높았다. 충격기류 분사압력이 높으면 탈진공기의 충격파의 부피가 커지며 여과포가 반경방향으로 팽창되는 크기도 커진다. 이

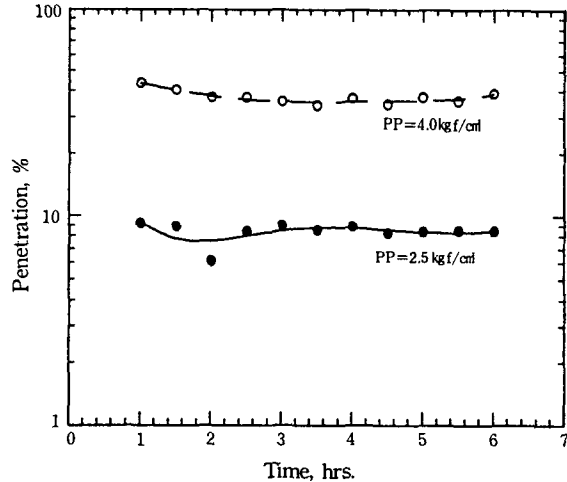


Fig. 6. Variation of penetration with time for different pulse pressure ($V_f=1.0\text{m/min}$, $C_u=1.0\text{g/Sm}^3$, $PI=171\text{sec}$, $PD=120\text{msec}$, $ND=6.0\text{mm}$)

에 따라 여과포의 세공크기가 커지며, 충격파가 통과한 후 세공이 원래상태로 복귀하는 시간도 길어진다. 이와 같은 현상이 발생되면 집진조작을 할 때 미세한 먼지입자는 여과포의 세공을 통과하며 세공의 크기가 클수록 먼지통과율은 높아진다. Richard와 John(1975)은 충격기류 분사압력이 6.8kgf/cm² 일때 2.7kgf/cm²에 비해 먼지통과율은 약 6배 정도 높게 유지되며, 잔류된 먼지부하도 낮다고 보고 했다.

그림 7에 충격기류 분사노즐의 직경의 크기에 따른 먼지통과율 변화를 나타냈다. 충격기류 분사노즐 직경이 작은 조건에서는 먼지통과율이 낮았고, 일정하게 유지되는 시간도 늦게 도달하였다. 어느 조건에서나 먼지포집 초기에는 먼지통과율이 높았다가 시간이 지나면 일정하게 유지되고 있는데 이와 같은 현상은 초기에 먼지입자가 여과포에 의해서만 포집되고, 후기에는 먼지층에 의한 포집이 일어났기 때문이다(박영옥 등, 1990). 여과포 내부와 표면에 먼지층이 안정적으로 형성되어 거의 일정하게 유지되는 먼지통과율은 충격기류 분사노즐 직경이 큰 조건이 작은 조건에 비해 약 10배 높으며, 일정하게 유지되는 시간도 약 1시간이 빠르다.

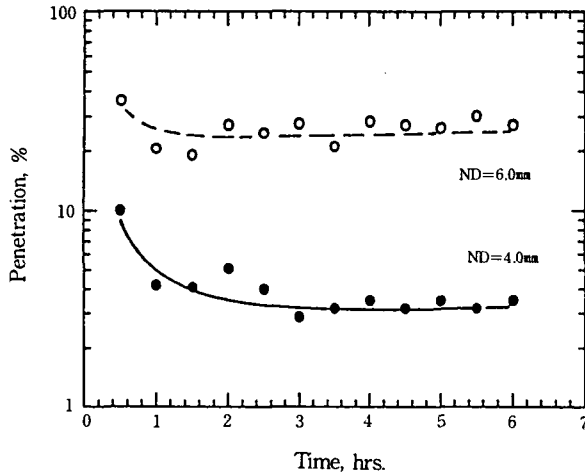


Fig. 7. Variation of penetration with time for different pulse air nozzle diameter ($V_f=1.0\text{m}/\text{min}$, $C_u=1.0\text{g}/\text{Sm}^3$, $PI=171\text{sec}$, $PD=80\text{msec}$, $PP=2.5\text{kgf}/\text{cm}^2$).

그림 8에 탈진주기가 먼지통과율에 미치는 영향을 나타냈다. 본 실험에서는 충격기류 분사압력이 낮고 분사노즐 직경이 작은 조건과 충격기류 분사압력이 높고 분사노즐 직경이 큰 조건에 대해서 알아 왔다. 어느 조건에서나 탈진주기가 길수록 먼지통과율은 감소하며, 특히 탈진공기 분사유량이 적을 때는 먼지통과율의 감소 효과가 그다지 크지 않다.

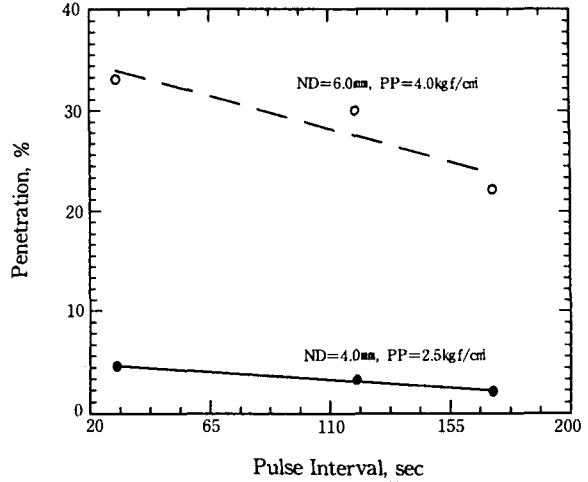


Fig. 8. Penetration as a function of pulse interval for different pulse air nozzle diameter and pulse pressure ($V_f=1.0\text{m}/\text{min}$, $C_u=1.0\text{g}/\text{Sm}^3$, $PD=80\text{msec}$).

그림 9에 탈진공기 분사시간이 먼지통과율에 미치는 영향을 나타냈다. 충격기류 분사압력이 낮고 분사노즐 직경이 작은 조건과 충격기류 분사압력이 높고 분사노즐 직경이 큰 조건 중 어느 경우나 탈진공기 분사시간이 길어지면 먼지통과율은 증가하며, 특히 탈진공기 분사유량이 많을때 효과가 크다.

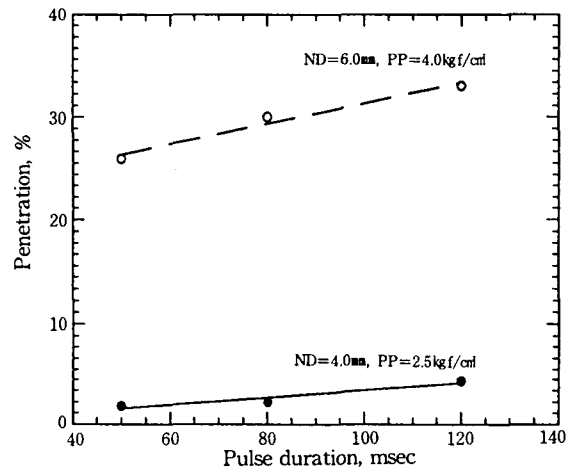


Fig. 9. Penetration as a function of pulse duration for different pulse air nozzle diameter and pulse pressure ($V_f=1.0\text{m}/\text{min}$, $C_u=1.0\text{g}/\text{Sm}^3$, $PD=171\text{msec}$).

3.3 부분먼지통과율

일정한 탈진조건에서 먼지입자 크기별 통과율을 여과속도에 따라 측정하며 그림 10에 나타냈다. 여

과속도가 빠를때 같은 먼지입자 크기대의 통과율이 높다. 여과속도가 1.0m/min 일 때 0.7 μ m인 먼지가 4% 정도 통과 되었으나 1.7m/min에서는 18% 정도가 통과 되었다. 또한 1.0m/min 조건에서는 2.0 μ m 이상인 먼지입자는 거의 포집이 가능하나 1.7m/min 조건에서는 8.0 μ m 이상부터 거의 포집이 가능하였다. 이 이유는 여과속도가 느릴 경우 기체에 함유된 먼지입자들이 먼지층과 여과포를 통과하는 속도가 느려 미세한 먼지입자까지도 가교형성된 먼지입자들에 의해 용이하게 포집되나, 여과속도가 빠르면 먼지층과 여과포 내부에서 가교형성된 먼지입자들에 의한 포집효과가 감소될 뿐만 아니라 먼저 포집되었던 먼지입자까지도 통과하는 현상이 발생될 수 있기 때문이다.

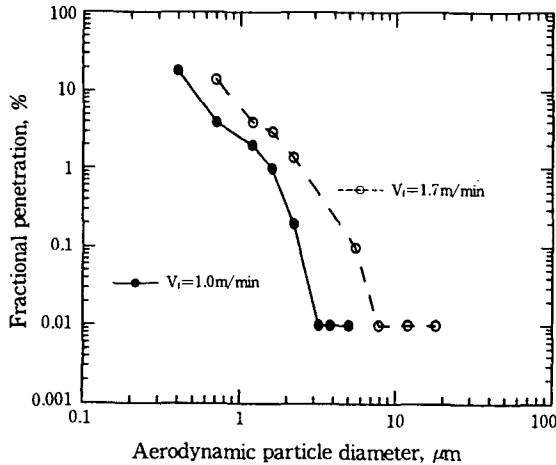


Fig. 10. Effect of face velocity on fractional penetration as a function of particle size ($C_u = 1.0\text{g}/\text{Sm}^3$, $PI = 120\text{sec}$, $PD = 80\text{msec}$, $PP = 4.0\text{kgf}/\text{cm}^2$, $ND = 6.0\text{mm}$).

4. 결 론

여과포의 크기는 산업체의 규모와 비슷하나 여과포 설치 본수가 적은 충격기류 탈진방식 여과포집진장치에서 석탄연소 조건을 모사하여 국내에서 개발된 고온용 유리섬유여과포의 성능을 탈진조건인 충격기류 분사압력과 충격기류 분사노즐 직경 변화에 따라 고찰하였다.

1. 탈진기류 분사압력이 낮고 분사노즐 직경이 작으면 탈진기류 분사압력이 높고 분사노즐 직경이 큰 조건에 비해 압력손실은 높게 유지되고 일정하게 유지되는 시간도 지연되나, 탈진조작에 의한 여과포

의 마모를 줄이기 위해서 탈진기류 분사압력을 2.5 kgf/cm^2 과 분사노즐 직경이 4.0 mm 인 조건에서도 정상적인 운전도 가능할 것으로 판단된다.

2. 탈진기류 분사압력이 낮고 분사노즐 직경이 작은 조건이 분사압력이 높고 분사노즐 직경이 큰 조건에 비해 먼지통과율이 낮게 유지되었다.

3. 탈진주기가 느리면 먼지통과율이 감소하는 경향이 있으나 탈진공기 분사시간이 길어지면 증가하는 경향을 나타냈다. 이와 같은 경향은 탈진공기 분사유량이 많은 조건에서 뚜렷하였다.

4. 여과속도가 느리면 먼지입자크기에 따른 통과율이 여과속도가 빠른 조건에 비해 낮게 유지되며, 포집되는 입자크기도 작았다.

감 사

이 연구는 과학기술처에서 주관하는 특정연구개발과제의 연구결과의 일부이며 연구비를 지원해 주신 관계당국에 감사를 드립니다.

Nomenclature

- C_u : upstream dust concentration, g/Sm^3
- $Dp50\%$: mass median diameter, μm
- ND : pulse air nozzle diameter, mm
- ΔP : total pressure drop, mmH_2O
- ΔP_o : clean fabric pressure drop, mmH_2O
- PD : pulse duration, msec
- PI : pulse interval, sec
- PP : pulse pressure, kgf/cm^2
- V_1 : face velocity, m/min

참 고 문 헌

손재익, 김영성, 박영욱, 최정후, 박영철, 구철오, 임정환(1979), "유연탄 활용과 환경공해 방지 대책연구(III)", 한국동력자원연구소 연구보고서 KE-87-18, p.164.

Park, Y.O., Koo, C.O., Ghim, Y.S. and Son, J.E. (1991), "Collection of fine powder by felt fabrics in pulse-jet cleaned fabric filters", Korean-Japan Powder Technology Seminar, 한국화학공학회 심포지움 시리즈 91-08, p. 283-294.

박영욱, 손재익, 김영성, 구철오, 임정환(1990), "Pulse-Jet식 여과포집진장치의 여과포 성능 시험연구(II)", 과학기술처, p.201.

- 박영욱, 손재익, 김영성, 구철오, 임정환(1989), "Pulse-Jet식 여과포 집진장치의 여과포 성능 시험연구(I)", 과학기술처, p.259.
- 박영욱, 김영성, 손재익, 정태수(1991), "유리섬유 여과포에 의한 석탄회 포집 I. 분진층 형성과 압력손실 특성". 화학공학, 29(4), p.463-469.
- JIS Z 8901(1984), "試験用ダスト", 日本工業標準調査會.
- 손재익, 김영성, 박영욱, 최정후, 박영철, 구철오, 임정환(1988), "유연탄 활용과 환경공해방지 대책연구(IV)", 한국동력자원연구소 연구보고서 KE-88-22, p.147.
- Richard, D. and Hans, A.K.(1982), "Recent concepts describing fabric filter system behaviour", Filtration and Separation, p.22-25.
- Richard, D. and John, W.(1975), "Fabric Filter Cleaning Studies", EPA-650/2-75-009, p.409.