

충격기류식 여과집진장치에서 압력손실에 영향을 주는 인자의 효율예측

서정민·류재용^{1)*}·임우택²⁾·정문섭·박정호³⁾·신춘환⁴⁾

부산대학교 지역환경시스템공학과, ¹⁾한국환경산업기술원, ²⁾안동대학교 응용화학과,
³⁾진주산업대학교 환경공학과, ⁴⁾동서대학교 환경공학과
(2009년 12월 9일 접수; 2010년 2월 4일 수정; 2010년 3월 3일 채택)

Prediction of the Efficiency of Factors Affecting Pressure Drop in a Pulse Air Jet-type Bag Filter

Jeong-Min Suh, Jae-Yong Ryu^{1)*}, Woo-Taik Lim²⁾,
Moon-Sub Jung, Jeong-Ho Park³⁾, Choon-Hwan Shin⁴⁾

Department of Regional environmental system engineering, Pusan National University, Miryang 627-706, Korea

¹⁾*Korea Environmental Industry & Technology Institute, Seoul 122-706, Korea*

²⁾*Department of Applied Chemistry, Andong National University, Andong 760-749, Korea*

³⁾*Department of Environmental Engineering, Jinju National University, Jinju 660-758, Korea*

⁴⁾*Department of Environmental Engineering, Dongseo University, Pusan 617-706, Korea*

(Manuscript received 9 December, 2009; revised 4 February, 2010; accepted 3 March, 2010)

Abstract

The pressure drop through pulse air jet-type bag filter is one of the most important factors on the operating cost of bagfilter houses.

In this study, the pilot-scale pulse air jet-type bag filter with about 6 m² filtration area was designed and tested for investigating the effects of the four operating conditions on the total pressure drop, using the coke dust collected from a steel mill factory.

When the face velocity is higher than 2 m/min, it is not applicable to on-spot due to the increase of power expenses resulting from a high-pressure drop, and thus, 1.5 m/min is considered to be reasonable. The regression analysis results show that the degree of effects of independent parameters is a order of face velocity > concentration > time > pressure.

The results of SPSS answer tree analysis also reveal that the operation time affects the pressure drop greatly in case of 1 m/min of face velocity, while the inlet concentration affects the pressure drop in case of face velocity more than 1.5 m/min.

Key Words : Pulse air jet-type bag filter, Pressure drop, Face velocity, Pulse pressure, Concentration

1. 서론

고도 경제성장으로 인한 공업화와 그에 따른 업종이 다양해짐에 따라 여기에 수반되어 발생하는 대기 오염물질이 증가할 뿐만 아니라 종류도 여러가지로

*Corresponding Author : Jae-Yong Ryu, Korea Environmental Industry & Technology Institute, Seoul 122-706, Korea
Phone: +82-10-9401-4057
E-mail: ryujy@keiti.re.kr

다양해지고 있다.

특히, 대기오염 물질중에서 입자상물질이 다양한 산업활동으로 배출되는 물질로서 산업이 발전함에 따라 대기중으로 배출되는 먼지의 배출량이 증가하여 대기중에 부유하는 입자상 물질은 더욱더 증가할 것으로 예상되어 심각한 대기오염물질로 대두될 전망이다(서 등, 2004).

선진국에서는 환경규제치를 보다 강화하여 적극적인 환경보존 정책을 실시하고 있으며 국내에서도 환경오염물 배출량의 지속적인 증가를 억제하고 보다 쾌적한 환경상태를 유지하기 위한 노력이 진행되고 있다(서 등, 2004). 국내 대부분의 산업체에서는 산업 공정 및 작업공정에서 발생하는 먼지를 포집제거 및 회수하기 위해 다양한 종류의 여과포 집진기술을 적용 운전하고 있다. 여과포 집진장치는 다른 집진장치에 비해 부하변동 및 먼지종류에 따른 집진효율이 변화가 작고, 운전이 용이하여 최근에는 연료 연소, 소각 설비 외에 제품회수 등의 먼지 발생 공정의 배기가스 처리용으로 널리 사용되고 있다(서 등, 2001; Dean과 Cushing, 1987; Billing, 1987; Billing, 1996).

대부분의 산업체에서는 발생하는 입자상대기오염 물질을 포집하기 위한 여과포 집진장치가 배출되는 입자상오염물질 특성 및 여과포 특성과의 적합성 여부를 고려하지 않고 장치설치 업체의 경험과 여과포 공급업체의 제공 자료에만 의존하여 설계, 시공되어 운전되고 있는 실정이다(Keity, 1991a, 1991b).

여과포의 압력손실변화는 여과포에서 분사 노즐까지의 거리, 탈진압력, 탈진간격, 여과속도, 입구분진농도 및 처리 분진의 특성 등과 같은 여러 인자들에 의해 영향을 받는다(Peukert와 Wadenpohl, 2001; Simon 등, 2007; Tsai 등, 2000; Liu와 Liptak, 1997; Leith와 Ellenbecker, 1980; Koehler와 Leith, 1983; Hsin와 Tsai, 1996)

여과 집진장치에서 압력손실증가는 소요 전력비를 증가시키므로 경제적인 운전을 위해서는 최소의 압력 손실로 가동이 매우 중요하다(서 등, 2007).

석회석분진(Koehler와 Leith, 1983; Hindy 등, 1987; Loeffler와 Sievert, 1987), fly ash(Tasi 등, 2000; Koehler와 Leith, 1983; Park 등, 2003; Ellenbecker와 Leith, 1980), 알루미늄분진(Simon 등, 2007; Call 등,

2002) 그리고 밀크 파우더분진(Gabites, 2008)을 사용하여 여러 조건에서 압력손실변화에 대한 연구가 진행되어진 바 있다. 그러나 coke분진에 대한 연구는 전무한 실정이고 국내에서는 여과집진장치의 설계 및 운전에서 가장 중요한 자료인 여과속도와 여과포 성능 관계, 탈진특성과의 관계 및 탈진 Air압력 등 산업현장 운전조건을 고려한 설계 자료가 확립된 것이 없다.

본 연구에서는 충격기류식 여과집진기(Bag filter)에서 P제철소의 coke분진을 이용하여 여과속도, 입구농도 및 펄스압력에 의한 벤츄리 설치 유·무에 따른 압력손실변화에 영향을 주는 인자를 다중회귀분석으로 압력손실변화 효율을 예측하여 여과집진기의 설계 기초자료로 활용하고자한다.

2. 재료 및 방법

2.1. 실험재료

실험용 먼지는 P제철소 Coke공장의 여과집진장치에서 포집된 것을 사용하였으며, 평균입경은 57.33 μm 이고, 진비중이 1.78이다. Fig. 1은 본 연구에서 사용한 실험용 먼지의 입자크기 분포도를 무게기준으로 누적분포곡선, 정규분포곡선으로 나타냈고, Table 1에는 성분분석을 나타냈었다.

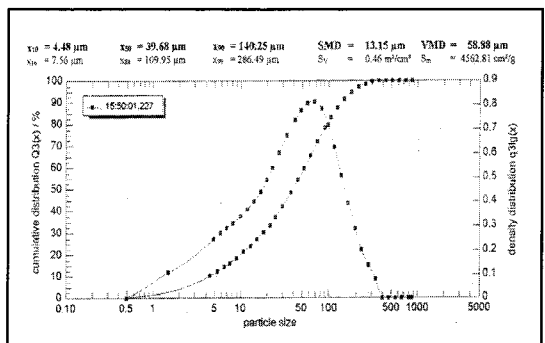


Fig. 1. Particle size distribution of test dusts.

Table 1. Fly ash analysis of sample

| C | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | CaO | T-Fe | S | MgO |
|------------------|-------------------|--------------------------------|-------|-------|--------------------------------|-------|
| 78.6 | 6.56 | 2.74 | 1.45 | 0.95 | 0.84 | 0.32 |
| TiO ₂ | Na ₂ O | K ₂ O | PbO | ZnO | Cr ₂ O ₃ | MnO |
| 0.16 | 0.14 | 0.065 | 0.032 | 0.016 | 0.016 | 0.013 |

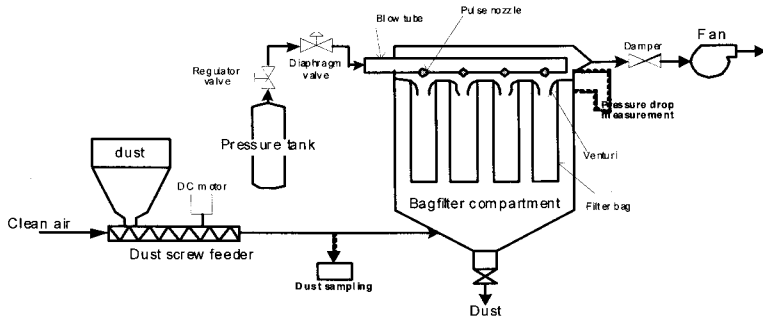


Fig. 2. Flow sheet of experimental apparatus.

2.2. 실험장치

본 실험에 사용된 집진기는 충격기류식 여과집진기로서 분진발생장치, 탈진장치, 여과집진장치 및 흡입식 송풍기로 구성되어 있으며 전체공정도를 Fig. 2에 나타내었다(Kim, 2004).

2.2.1. 분진발생장치

일정량의 분진을 여과집진기 내로 주입하기 위해 DC motor (24 V)를 사용하여 가변전압으로 Screw 회전속도를 변화시켜 분진량을 조절하는 소형 Screw dust feeding 방식을 사용하였으며, 분진공급률은 0.5 ~ 3 g/m³로 입구 분진농도를 조절하여 주입하였다.

2.2.2. 탈진장치

충격기류식 여과집진기의 탈진장치는 Blow tube가 여과포 1열마다 배열되어 있으며 Blow tube의 하면에는 여과포 중심이 되는 위치에 Jet노즐이 있다. Compressor에서 공급되어진 압축공기를 Air regulator로 압력 (3-6 kg/cm²)을 조절하며, Pulse timer의 신호에 의해 Diaphragm valve가 작동함으로써 압축공기를 Blow tube pipe로 통해 순간적 (약 0.1 sec)으로 압축공기가 분사되어 여과포를 탈진한다.

2.2.3. 여과포

실험에 사용된 여과포는 실제 산업현장에서 가장 널리 사용되고 있는 폴리에스테르 여과포로서 크기는 Ø140 × 850 ℓ, 16개를 사용하였다. 여과집진장치 본체는 4개의 Diaphragm valve가 설치되어 있으며, 1개의 D/V당 4개의 여과포가 설치되어 총 16개의 여과포로 구성되어 있다. Table 2에서 여과포의 물리적 성질을 나타내었다.

Table 2. Characteristics of felt fabrics

| Material | Polyester Felt |
|--|----------------|
| Area Weight (g/m ²) | 564.4 |
| Thickness (mm) | 2.34 |
| Breaking strength (kgf) | 169.5 |
| Air permeability (cc/cm ² /sec) | 16.6 |

2.3. 실험방법

본 실험에 측정된 항목은 Dust 부하에 대한 압력손실, 탈진효율 및 포집효율을 측정하였으며 이에 대한 조건들은 다음과 같다.

2.3.1. 분진농도 측정

실험용 먼지는 건조기 (convecting oven)에서 110 °C로 12시간 동안 가열건조 후 상온건조기(desiccator)에서 실험실의 온도와 같도록 24시간 냉각하여 사용하였다. 먼지농도는 Stack Sampler (Model CE-22-ADS, Ltd. USA)로 등속 흡인하여 농도를 측정하였다.

2.3.2. Pulsing 압력 및 탈진주기

압축공기는 압력계를 사용하여 3 ~ 6 kg/cm²으로 설정하고 Pulse 분사시간은 전자식 timer에 의해 on time (0.1 msec)으로 조절하여 사용했다. 탈진간격 및 탈진주기도 실험조건에 따라 Solenoid valve로 자동 조절하였다.

여과포는 한 조건의 실험이 끝날 때마다 새로운 여과포로 교체하였으며, 실험조건은 Table 3에 나타냈다.

Table 3. Experimental conditions

| | |
|--|------------------------|
| Face Velocity (m/min) | 1.0, 1.5, 2.0, and 1.5 |
| Inlet dust concentration (g/m ³) | 0.5, 1.0, 2.0, and 3.0 |
| Gas temperature (°C) | 20 |
| Cleaning conditions | |
| Pulse pressure (kg/cm ²) | 3, 5, and 6 |
| Pulse interval (sec) | 30 |
| Pulse duration (sec) | 0.1 |
| Injection distance (mm) | 110 |
| Pulse air nozzle diameter (mm) | 10 |

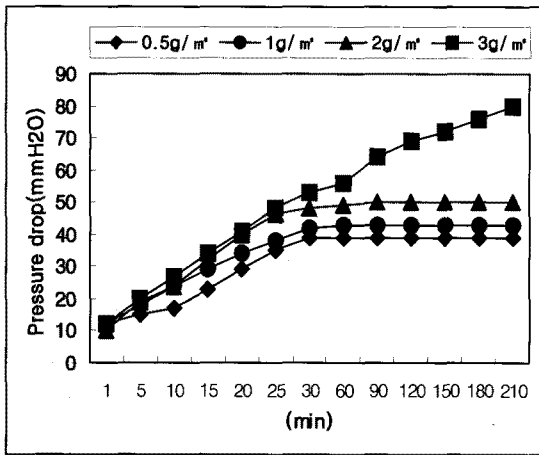
2.3.3. 압력손실 측정

여과집진기의 압력손실 측정은 측정 오차를 줄이기 위해 집진기본체 상하부에 압력계(Dwyer, USA)와 수주마노미터를 동시에 사용하여 측정하였다.

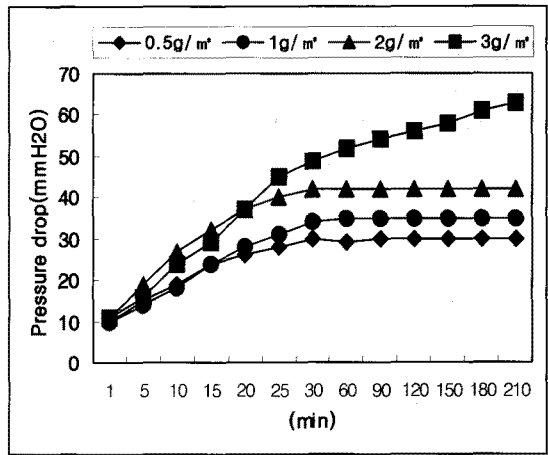
3. 결과 및 고찰

3.1. 여과속도에 따른 압력손실변화

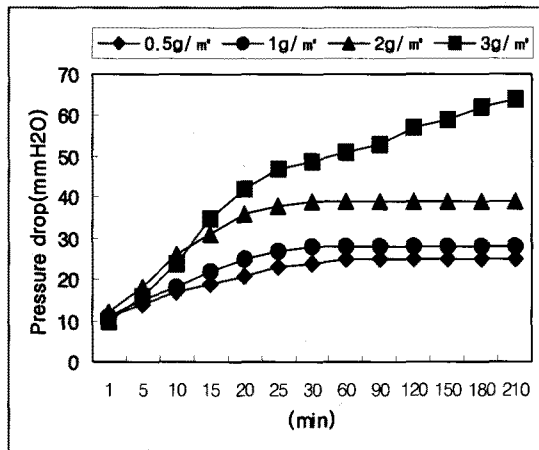
여과속도가 1m/min에서 Pulse pressure (3, 5 및 6



Pulse Pressure 3 kg/cm²

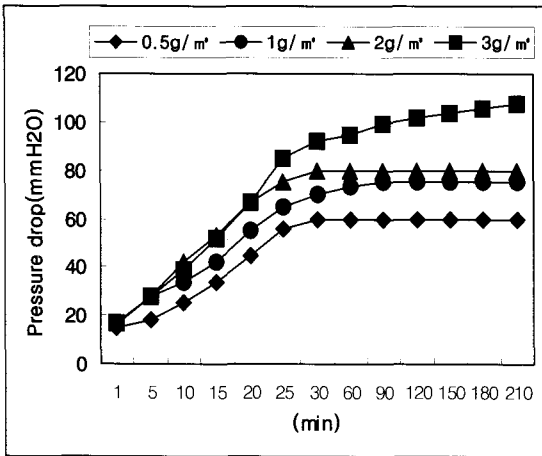


Pulse Pressure 5 kg/cm²

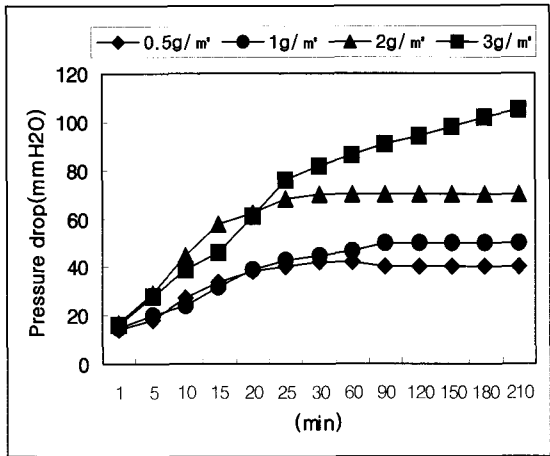


Pulse Pressure 6 kg/cm²

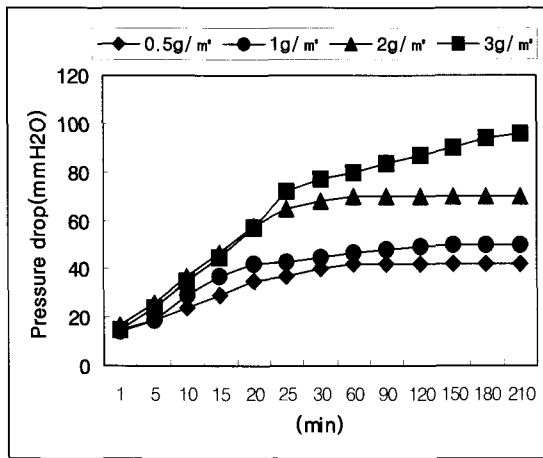
Fig. 3. Inlet dust concentration of pressure drop(Vf: 1 m/min)
(PD: 0.1 m/sec, PI: 90 sec, ID: 110 mm, ND: 10 mm).



Pulse Pressure 3 kg/cm²



Pulse Pressure 5 kg/cm²



Pulse Pressure 6 kg/cm²

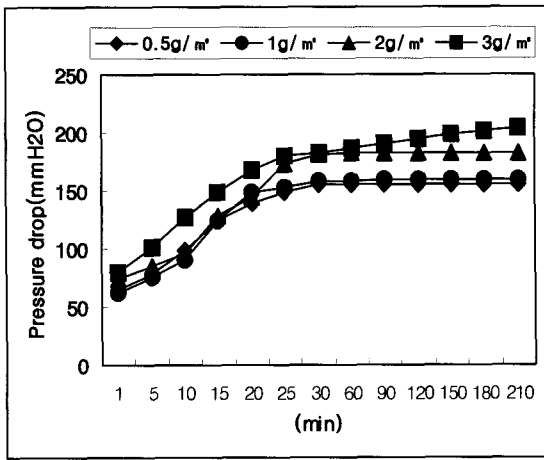
Fig. 4. Inlet dust concentration of pressure drop(Vf : 1.5 m/min)
(PD : 0.1 m/sec, PI : 90 sec, ID : 110 mm, ND : 10 mm).

kg/cm²)변화에 의한 입구농도 변화에 따라 압력변화를 나타냈다.

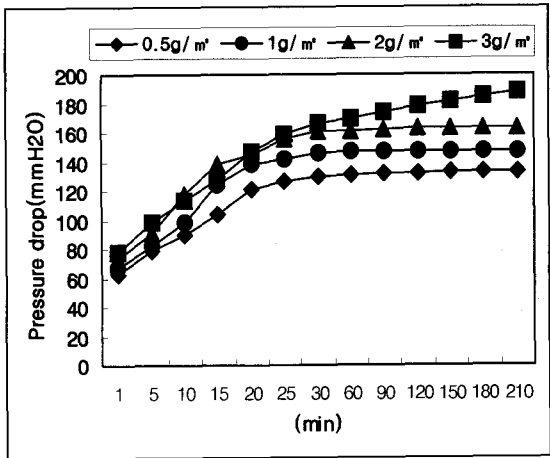
Fig. 3에서 보는 바와 같이 Pulse pressure 3, 5 및 6 kg/cm²에서 입구농도 0.5, 1, 2 및 3 g/m³에서의 압력분포는 20~50 mmH₂O범위로 나타났다. 이는 탈진조작이 정상적으로 수행되어 여과포 표면에 부착된 분진층이 효과적으로 탈진된 것으로 볼 수 있다.

그러나 입구농도가 고농도인 3 g/m³에서는 Pulse pressure 3, 5 및 6 kg/cm²에 상관없이 압력분포는 계속 증가 했다. 이러한 현상은 탈진조작이 정상적으로 수행되지 않아 여과시간에 경과함에 따라 여과포 표면에 분진이 계속 퇴적되어 분진층이 두께가 점점 두꺼워지므로 때문이다.

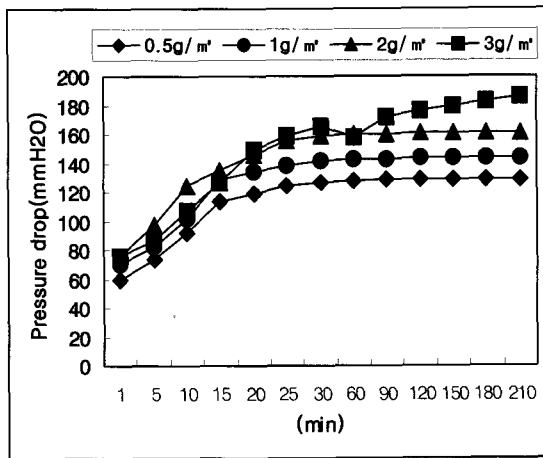
Fig. 4는 여과속도가 1.5 m/min인 경우 Pulse pressure



Pulse Pressure 3 kg/cm²



Pulse Pressure 5 kg/cm²



Pulse Pressure 6 kg/cm²

Fig. 5. Inlet dust concentration of pressure drop(Vf : 2 m/min)
(PD : 0.1 m/sec, PI : 90 sec, ID : 110 mm, ND : 10 mm).

3, 5 및 6 kg/cm²에 따라 압력변화를 나타냈다.

입구농도가 저농도인 0.5 및 1 g/m³의 경우 Pulse pressure가 3 kg/cm²에서 압력분포는 60 ~ 80 mmH₂O, Pulse pressure가 5 kg/cm²인 경우에는 40 ~ 50 mmH₂O, Pulse pressure가 6 kg/cm²인 경우는 40~50 mmH₂O 범위로 나타났다. Pulse pressure가 5 및 6 kg/cm²의 경우는 Pulse pressure가 3 kg/cm²인 경우 보다는

약 1.5배 낮게 나타났고, Pulse pressure가 5 및 6 kg/cm²에서는 거의 비슷한 압력분포로 나타났다. 이와 같은 현상은 충격기류 분사압력이 낮으면 높은 조건에 비해 충격기류 분사유량이 적고, 강도가 낮아 탈진 조작 후 여과포에 잔류된 분진량이 많아진다. 이로 인해 분진층을 통과하는 기체의 통과저항이 커져 압력손실이 높아진다. 고농도인 2 및 3 g/m³의 경우는 Pulse

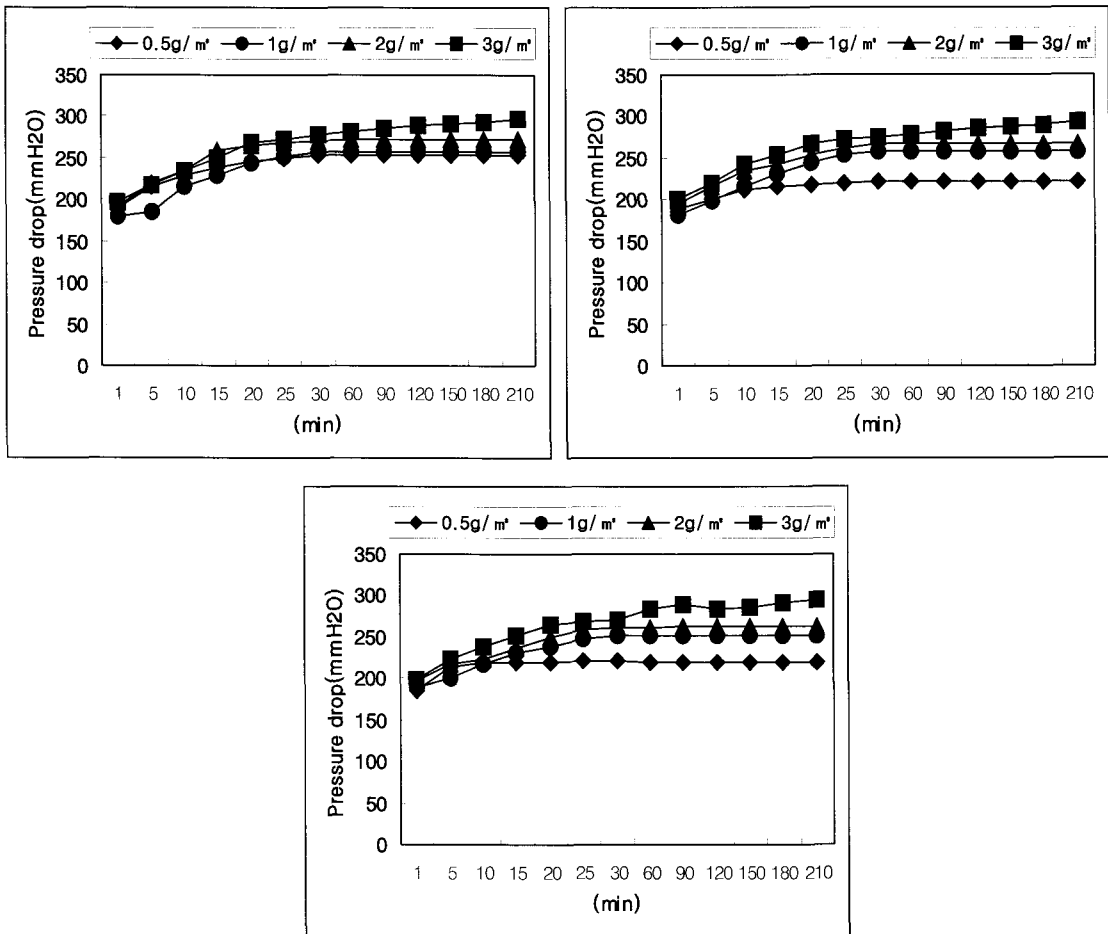


Fig. 6. Inlet dust concentration of pressure drop(V_f : 2.5 m/min)
(PD : 0.1 m/sec, PI : 90 sec, ID : 110 mm, ND : 10 mm).

pressure가 3, 5 및 6 kg/cm²인 경우들과 거의 비슷한 압력분포로 나타났다.

Fig. 5 및 Fig. 6은 여과속도가 2 및 2.5 m/min에 따라 농도별 압력분포를 나타냈다. 여과속도 2 m/min일 때 Pulse pressure가 3, 5 및 6 kg/cm²인 경우는 일정하게 유지되는 압력분포는 약 120 ~ 180 mmH₂O였으며, 여과속도가 2.5 m/min 경우에서는 약 200 ~ 280 mmH₂O로 나타났고, 입구농도 0.5, 1.0, 2.0 및 3.0 g/m³별 압력분포는 크게 차이가 나타나지 않았다.

이러한 현상은 여과포를 통과하는 여과속도가 빨라져 탈착조작시 여과포 표면에 부착된 분진층이 충

격기류의 충격파형(Shock wave)에 의해 털어졌다가 다시 여과포 표면으로 재부착(redeposition)현상이 계속 반복되어, 탈진조작이 정상적으로 수행되지 않기 때문이다(Saleem와 Krammer, 2007; Kavouras와 Krammer, 2003; Ellenbecker와 Leith, 1983). 따라서 여과속도가 2 m/min 이상에서는 높은 압력손실로 동력비 증가로 현장에 적용하기가 곤란할 것으로 사료된다.

Ni와 Yu 등은 여과속도가 빠른 조건에서 탈진조작시 여과포에서 털어진 분진이 다시 재비산하여 여과포에 재형성되는 현상의 계속되므로 여과포 표면에서

Table 4. Regression model result

| Model | unstandardized coefficients | | standardized coefficients | t | significance probability |
|------------------|-----------------------------|----------------|---------------------------|---------|--------------------------|
| | B | standard error | Beta | | |
| Constant | -150.020 | 6.247 | | -24.015 | 0.000 |
| Velocity(V) | 143.418 | 2.086 | 0.918 | 68.756 | 0.000 |
| Pressure(P) | -3.690 | 0.935 | 0.053 | -3.946 | 0.000 |
| Concentration(C) | 12.297 | 1.215 | 0.135 | 10.124 | 0.000 |
| Time(T) | 0.201 | 0.017 | 0.160 | 11.963 | 0.000 |

※R-squared = 0.887, F = 1619.588 (significance probability 0.000)

분진층의 두께가 계속 증가하고, 분진의 압착으로 압력손실이 증가한다고 보고했다(Silva 등, 1999; Jeon와 Jung, 2004; Ni 등, 2006). 본 실험결과에서도 확인한 바와 같이 충격기류식 탈진방식에서 여과속도가 빠른 조건에서는 탈진효과가 감소되어 압력손실이 증가한다는 것을 알 수 있었다.

결과에서 회귀모형의 설명력은 88.7%이며, 모형의 유의성 검정은 매우 유의한 것으로 나타났다. 표준화계수로부터 독립변수들은 유속 > 농도 > 시간 > 압력으로 순으로 압력변화에 영향을 주고 있고, 모든 독립변수는 매우 유의한 것으로 나타났다. 여기에서 압력변화를 예측하기 위한 추정된 다중회귀식은 다음과 같다.

3.2. 유속, 농도, 시간에 따른 회귀모형

Table 4에 다중회귀분석 결과를 요약하였는데, 이

$$y = -150.02 + (143.438 \times V) - (3.690 \times P) + (12.297 \times C) + (0.201 \times T)$$

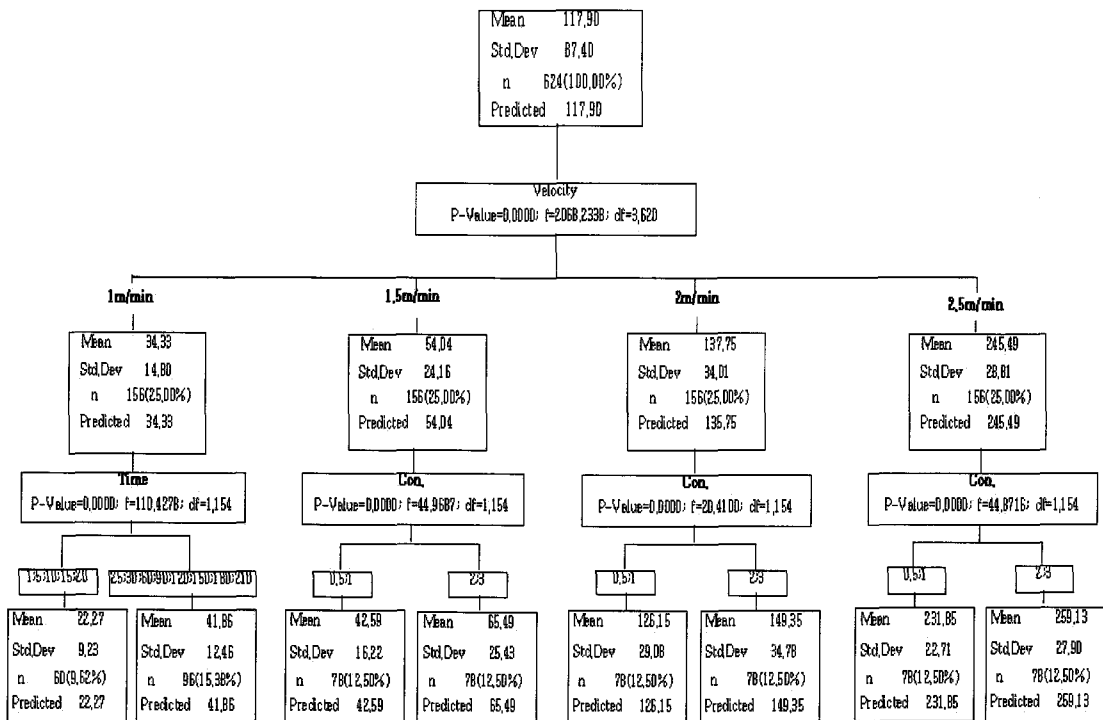


Fig. 7. SPSS Answer Tree of Multiple Regression Analysis.

압력변화를 예측하기 위한 다른 방법으로 최근에는 널리 이용되고 있는 SPSS Answer Tree를 활용하여 다음과 같은 Fig. 7의 결과를 얻었다.

그 결과로부터 우선 여과속도 1.0, 1.5, 2.0 및 2.5 m/min에 따라서 다음은 농도별, 시간별에 따라 압력변화가 나타났다.

여과속도 1 m/min의 조건에서 시간에 따른 압력의 변화에 크게 영향을 주는 것으로 나타났고, 운전시간 1, 5, 10, 15 및 20 min분에 대해서는 평균 22.27 mmH₂O의 압력변화가 나타났으며, 운전시간이 25 min 이상에서는 41.86 mmH₂O의 압력변화로 나타났다.

여과속도 1.5, 2.0 및 2.5 m/min에서는 운전시간 보다는 농도 변화에 영향을 주는 것으로 나타났고, 여과속도 1.5 m/min에서는 저농도(0.5 및 1.0 g/m³)조건에서는 압력변화는 42.59 mmH₂O, 고농도(2.0 및 3.0 g/m³)인 경우는 65.49 mmH₂O의 압력변화가 나타났다.

여과속도 2.0 및 2.5 m/min인 경우 149.35 및 259.13 mmH₂O의 범위로 나타났다

따라서 충격기류식 여과집진장치에서 여과속도 1 m/min인 경우는 운전시간에 따라 여과속도에 큰 영향을 주는 것으로 나타났고, 여과속도 1.5 m/min이상에서는 농도에 영향을 주는 것으로 나타났다.

4. 결론

4.1. 충격기류식 여과집진장치의 여과속도, 입구농도 및 펄스압력에 따른 압력 손실에 대한 연구결과 낮은 여과속도에서 입구 부하량이 적을 때는 정상적인 탈진으로 압력분포는 약 30 ~ 80 mmH₂O로 유지되는 것을 알 수 있었다. 그러나 입구농도가 고농도인 3 g/m³인 경우는 탈진압력변화에 따라 압력손실은 계속 증가하는 것을 알 수 있었다. 빠른 여과속도에서는 탈진압력에 상관없이 거의 비슷한 압력분포 나타냈으며, 입구 부하량 변화에 크게 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 이는 여과포를 통과하는 여과속도가 빨라서 탈진조작이 정상적으로 수행되지 않기 때문이다. 따라서 여과속도가 2 m/min이상에서는 높은 압력손실인한 운전 및 정비비용의 증가로 설계인자로 채택하기가 곤란 할 것으로 사료하며, 1.5 m/min 전후의

여과속도가 경제적인 설계속도인 것을 알 수 있었다.

4.2. 다중회귀분석에서는 유속 > 농도 > 시간 > 압력 순으로 압력손실에 영향을 미치는 것을 알 수 있었으며, SPSS Answer Tree 분석은 낮은 여과속도(1 m/min)에서는 시간이 압력변화에 크게 영향을 주며, 여과속도가 1.5 m/min이상에서는 입구부하량이 압력손실 증가에 영향을 미치는 것을 알 수 있었다.

감사의 글

이 논문은 부산대학교 자유과제 학술연구비(2년)에 의하여 연구되었습니다.

참고 문헌

- 서정민, 최금찬, 박정호, 류재용, 2007, 대기공학설계, 동화기술, 234-299.
- 서정민, 류재용, 박정호, 전보경, 최금찬, 손영일, 2007, 충격기류식 여과집진장치에서 운전조건 변화로 인한 여과저항에 관한 연구, 한국환경과학회지, 16(4), 449-458.
- 서정민, 최금찬, 박정호, 2004, 충격기류식 여과 집진장치의 펄스 간격 및 분사거리에 따른 압력 손실 변화에 관한 기초연구, 한국환경과학회지, 13(3), 223-232.
- 서정민, 김찬훈, 박출재, 2001, 충격기류식 여과집진설비에서 여과저항에 관한 연구, 한국폐기물학회, 18(6), 503-509.
- Billing, C. E., 1996, Effect of Particles Accumulation in Aerosol Filtration, Ph. D. Dissertation, California Institute of Technology, 37-42.
- Call, S., Conta, P. I., Thomas, D., Bemer, D., Leclerc, D., 2002, Evolutions of efficiency and pressure drop of filter media during clogging and cleaning cycles, Powder Technol., 128(2-3), 213-217.
- Dean, A. H., Cushing, K. M., 1988, Survey on the use of Pulse-Jet Fabric Filters, J. Air Pollut. Control Assoc., 38(1), 90-96.
- Dean, A. H., Cushing, K. M., 1987, Pulse-Jet Fabric Filters for Coal-Fired Utility and Industrial Boilers, EPRI Report, CS-5386, Research Project 1129-8.
- Ellenbecker, M. J., Leith, D., 1983, Dust removal characteristics of fabrics used in pulse-jet filters, Powder Technol., 36(1), 13.

- Ellenbecker, M. J., Leith, D., 1980, The effect of dust retention on pressure drop in a high velocity pulse-jet fabric filter, *Powder Technol.*, 25(2), 147-154.
- Gabites, J. R., Abrahamson, J., Winchester, J. A., 2008, Design of baghouses for fines collection in milk powder plants, *Powder Technol.*, 187(1), 46-52.
- Hindy, K. T., Sievert, J., Loeffler, F., 1987, Influence of cloth structure on operational characteristics of pulse-jet cleaned filter bags, *Environ. Int.*, 13(2), 175-181.
- Hsin-Chung, L. U., Tsai, C. J., 1996, Numerical and experimental study of cleaning process of a pulse-jet fabric filtration system, *Environ. Sci. Technol.*, 30(11), 3243-3249.
- Jeon, K. J., Jung, Y. W., 2004, A simulation study on the compression behavior of dust cakes, *Powder Technol.*, 141(1-2), 1.
- Kavouras, A., Krammer, G., 2003, Distributions of age, thickness and gas velocity in the cake of jet pulsed filters-application and validation of a generations filter model, *Chem. Eng. Sci.*, 58(1), 223.
- Keity M., 1991, Expert System Control of Fabric Filters, *Filtration & Separation*, 28(4), 183-194.
- Keity M., 1991, The Role of Venturies in Pulse Jet Filter, *Filtration & Separation*, 28(1), 33-36.
- Kim, S. T., 2004, A study on the pressure drop variance of pulse interval, injection distance in pulse air-jet type bag filter, Master thesis, Department of Environmental Science, Miryang National University, Miryang.
- Koehler, J. L., Leith, D., 1983, Model calibration for pressure drop in a pulse-jet cleaned fabric filter, *Atmos. Env.*, 17(10), 1909-1913.
- Leith, D., Ellenbecker, M. J., 1980, Theory for pressure drop in a pulse-jet cleaned fabric filter, *Atmos. Env.*, 14(7), 845-852.
- Liu, D. H. F., Liptak, B. G., 1997, Air pollution: Environmental Engineers' Handbook, 2nd ed., Lewis Publishers (CRC Press), 346-349.
- Loeffler, F., Sievert, J., 1987, Cleaning mechanisms in pulse-jet fabric filters, *Filtr. Sep.*, 24(2), 110-113.
- Ni, L. A., Yu, A. B., Lu, G. Q., Howes, T., 2006, Simulation of the cake formation and growth in cake filtration, *Miner. Eng.*, 19(10), 1084.
- Park, S. J., Choi, H. K., Park, Y. O., Son, J. E., 2003, Effects of a shroud tube on flow field and particle behavior inside a bag-filter vessel, *Aerosol Sci. Technol.*, 37(9), 685-693.
- Peukert, W., Wadenpohl, C., 2001, Industrial separation of fine particles with difficult dust properties, *Powder Technol.*, 118(1-2), 136-148.
- Saleem, M., Krammer, G., 2007, Optical in-situ measurement of filter cake height during bag filter plant operation, *Powder Technol.*, 173(2), 93.
- Silva, C. R. N., Negrini, V. S., Aguiar, M. L., Coury, J. R., 1999, Influence of gas velocity on cake formation and detachment, *Powder Technol.*, 101(2), 165.
- Simon, X., Chazelet, S., Thomas, D., Bemer, D., Regnier, R., 2007, Experimental study of pulse-jet cleaning of bag filters supported by rigid rings, *Powder Technol.*, 172(2), 67-81.
- Tsai, C. J., Tsai, M. L., Lu, H. C., 2000, Effect of filtration velocity and filtration pressure drop on the bag-cleaning performance of a pulse-jet baghouse, *Sep. Sci. Technol.*, 35(2), 211-226.