

ORIGINAL ARTICLE

간헐탈진형 충격기류식 여과집진장치의 여과포 반사거리 예측

손정삼 · 정용현¹⁾ · 서정민*

부산대학교 바이오환경에너지학과, ¹⁾부경대학교 생태공학과

Prediction of Off-line Type Pulse Air Jet Bag Filter Reflection Distance

Jeong-Sam Son, Yong-Hyun Chung¹⁾, Jeong-Min Suh*

Department of Bio-Environmental Energy, Pusan National University, Miryang 50463, Korea

¹⁾Department of Ecological Engineering, Pukyong National University, Busan 48513, Korea

Abstract

The purpose of this study is to predict the reflection distance following to the pulsing pressure, total air supplying, filter bag size using numerical analysis techniques and use it as an efficient operation condition and economic data for off-line type pulse air jet bag filter. In this research, filtration area 6 m² condition, calculate filter resistance coefficient for simulation through the main experiments using coke dust. Ansys fluent V19.0 apply to CFD simulation, and analysis pulsing characteristics about pulsing pressure, filtration velocity and nozzle diameter. The maximum reflecting distance of off-line type pulse air jet bag filter is 1,000 mm regardless of total air supplying at over the 42 L/m² conditions, that indicates off-line type can extend filter bag length 1,000 mm than on-line type. In order to effective primary and secondary pulsing of off-line type pulse air jet bag filter, over the 5 bar of pulsing pressure and over the 42 L/m² of total air supplying are needed.

Key words : Bag filter, Reflection distance, Off-line type

1. 서론

요즘 우리나라에서 대기오염의 가장 대표적인 오염 물질은 초미세먼지 (PM 2.5)이며 주요 배출원은 산업 현장에서 분진으로 발생하는 것과 대기 중에서 광화학 등으로 형성되는 염 형태의 것이다(Lim et al., 2016). 초미세 오염물질이 중요한 대기오염물질로 부각되어 초미세먼지(PM 2.5)에 대한 환경기준을 2015년에 신설하였으며, 2018년에는 초미세먼지의 대기환경기준을 연간 평균치는 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하로 24시간 평균치는 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하로 강화하여 시행하고 있다.

대기오염물질을 저감시키는 대기오염방지시설에는 관성력집진장치, 사이클론집진장치, 여과집진장치, 흡

수에 의한 시설, 전기집진장치 등이 있다. 산업 현장에서는 대용량의 함진가스를 처리하기 위해서 충격기류식 여과집진기와 전기집진기를 선정하여 운전하고 있다. 전기집진기는 본체 설비에 대하여 저항손실이 적고 대용량의 함진가스를 처리할 수 있는 장점이 있으나, 충격 부하에 대한 집진 효율 저하와 장시간 운전으로 인한 방전극의 뒤틀림 현상, 높은 전기저항 먼지에 의한 역전리 현상(Back corona) 등으로 함진가스를 지속적으로 처리하기 위해서는 조업조건에 따라 함진가스를 조절해야 하는 문제점이 있다(Park, 2004; Hong et al., 2012). 반면, 충격기류식 여과집진기는 다른 집진기와

Received 11 October, 2023; Revised 30 October, 2023;

Accepted 6 November, 2023

*Corresponding author : Jeong-min Suh, Department of Bioenvironmental Energy, Pusan National University, Miryang 50436, Korea
Phone : +82-55-350-5436
E-mail : suhjm@pusan.ac.kr

© The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.

© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

비교하면 압력손실은 다소 높으나, 함진가스의 물리·화학적 성질에 관계없이 높은 처리효율을 가진다. 또한, 충격부하에 대한 저항성이 높아 함진가스의 분진농도 변화와 유량 변화에 관계없이 안정적인 처리가 가능하며, 여과집진기는 입자 직경 20 μm 이하의 미세 입자상오염물질에 대한 처리효율이 매우 높아 함진가스 처리는 대부분 충격기류식 여과집진기를 선정하여 사용하고 있다.

여과집진장치는 여과포를 통해서 함진 가스로부터 오염물질을 분리·제거하는 장치로, 적절한 여과포의 사용은 오염물질의 농도, 종류, 크기와 관계없이 처리할 수 있다. 하지만, 여과포 표면에 부착되는 먼지층을 주기적으로 제거하여야 하고, 여과포 내부로 침투한 먼지로 과도한 압력손실이 발생한다. 분진의 탈진을 위해서는 강한 충격력을 필요로 하는데, 충격기류식 여과집진장치는 압축 공기 (3 ~ 7 bar)를 이용하여 짧은 시간 (50 ms ~ 150 ms) 내에 강한 충격력을 발생시켜 여과포에 부착된 분진층을 제거한다(Simon et al., 2007). 탈진 방식은 여과와 탈진이 동시에 진행되는 연속탈진 (On-line) 방식과, 가스 유입을 차단하고 탈진을 진행하는 간헐탈진 (Off-line) 방식으로 구분되며, 일반적으로 처리 용량이 300,000 m^3/hr 이상의 대형 집진기

에서는 간헐탈진 방식이 사용되며, 소형 집진기에서는 연속 탈진 방식이 사용된다(Dean and Cushing, 1988).

충격기류식 여과집진기의 운전에 가장 중요한 설계 요소는 압력손실을 최소화 하는 것으로, 여과필터 자체의 압력손실과 필터에 부착된 먼지로 인한 압력손실 상승은 전기비용과 새로운 여과포로 교체하는 비용 등이 운전비를 증가시키는 주요 원인이 된다(Simon et al., 2007). 여과집진장치의 설계 및 운영에 있어 여과포로 통과하는 속도, 먼지의 물리·화학적 특성, 집진기 본체 장치 구조 및 여과포에 부착된 먼지 제거 시스템 등에 대해 학술적으로 명확하게 규명된 연구가 거의 없으며, 대부분 대기오염방지시설업체의 경험적인 노하우에 의존하여 설계, 운영되기 때문에 여과집진장치의 대표적인 장점인 고성능 효율을 지속적으로 유지하기 어려운 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 수치해석 기법을 이용하여 여과포에 부착된 먼지를 탈진하기 위한 공기 압력, 압축 공기 소요량, 여과포 크기에 따른 간헐탈진형 충격기류식 여과집진장치내의 유체 유동을 해석하여 여과포에 부착된 분진 제거시스템 요소 변화에 따른 압축공기의 반사거리 및 탈진 특성을 예측하여 여과집진장치의 설

Table 1. Characteristics and components of coke dust

Characteristics		Value				
Particle mean diameter (μm)		58.9				
Standard deviation of diameter		13.2				
True density of particle		1.780				
Components (%)						
C	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	T-Fe	Others	Total
78.6	6.56	2.74	1.45	0.95	9.7	100

Table 2. Characteristics of filter without surface treatment

Specification	Value
Material	Polyester
Size (mm) / Cylindrical type	ϕ 140 × L 850
Thickness(mm)	2.34
Air permeability ($\text{m}^2/\text{m}^2/\text{sec}$)	0.166
Number of bags	16
Filtration velocity (m/min)	1.5
Initial pressure drop (Pa)	206

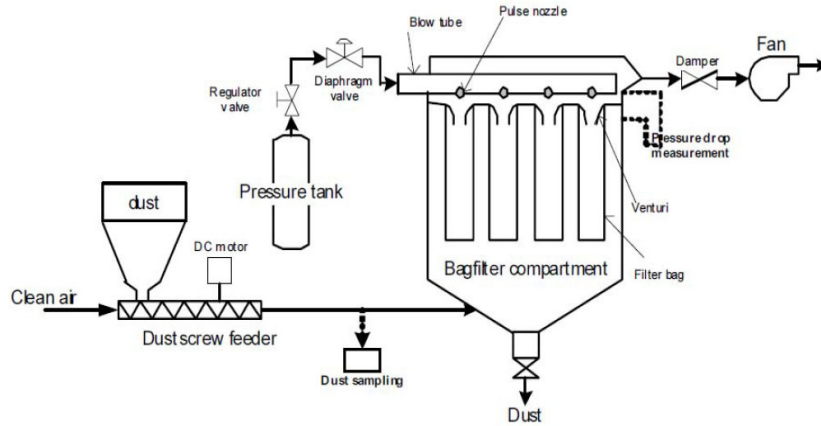


Fig. 1. Schematics of pilot scale bag filter.

계 및 운영 기초자료로 활용하고자 한다.

2. 재료 및 방법

2.1. 실험 장치

본 연구에서는 pilot scale의 충격기류식 여과집진기로 여과포에 부착된 먼지 제거 특성을 예측하고, 여과포에 부착된 먼지로 발생하는 압력손실을 측정하였다. 경북 포항시 소재 P 제철소 코크스공장에서 발생하는 먼지를 집진장치에서 포집된 것을 이용하였고, 분석결과 평균 입자직경은 약 $58.9 \mu\text{m}$, 진비중은 1.780이였

다. 먼지는 C가 주성분이며 SiO_2 , Al_2O_3 , CaO 등이 함유되어 있고, Table 1에 먼지의 성분분석을 나타내었다. Table 2에는 실험 연구에 사용된 필터의 제반 특성을 나타내었다. Fig. 1에 pilot scale의 충격기류식 여과집진기의 구조를 나타내었다.

Fig. 2에 여과포로 통과하는 속도 1.5 m/min 에서 입구 부하량에 따른 여과포 및 여과포에 부착된 먼지로 인한 전체 압력손실을 나타내었다. 충격기류식 pilot scale 여과집진기는 0.5 g/m^3 입구 농도에서 운전후 80 min 이후에 먼지 초층이 형성되었으며, 압력손실이 390 Pa 전후에서 안정되었다. Darcy 방정식으로 여과포의 압력손실 계수를 도출하였는데, $3.70 \times 10^{11} (1/\text{m}^2)$ 로 나타났다.

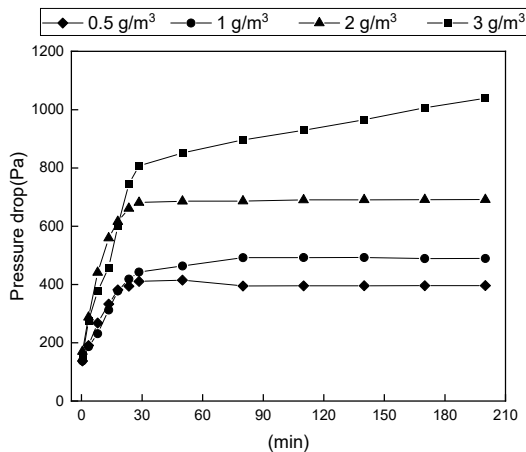


Fig. 2. Bag filter pressure drop according to inlet dust concentration ($V_f = 1.5 \text{ m/min}$).

2.2. 집진기 모델링

간헐탈진형 여과집진기의 분진 제거 특성을 파악하기 위해 해석 프로그램 ANSYS Fluent 19.0을 이용하여 여 전산유체역학 시뮬레이션을 통해 집진기 내부 유동 특성과 압력 분포를 예측하였다. Fig. 3은 집진기 형상 및 해석 영역을 나타내었고, Fig. 4는 여과집진기 형상을 나타내었다.

2.3. 시뮬레이션 조건 및 방법

CFD 프로그램인 Ansys fluent V19.0을 사용하여 간헐탈진형 여과집진장치에서 여과포에 부착된 먼지 제거 특성을 파악하였다. 여과포에 부착된 먼지 탈진에

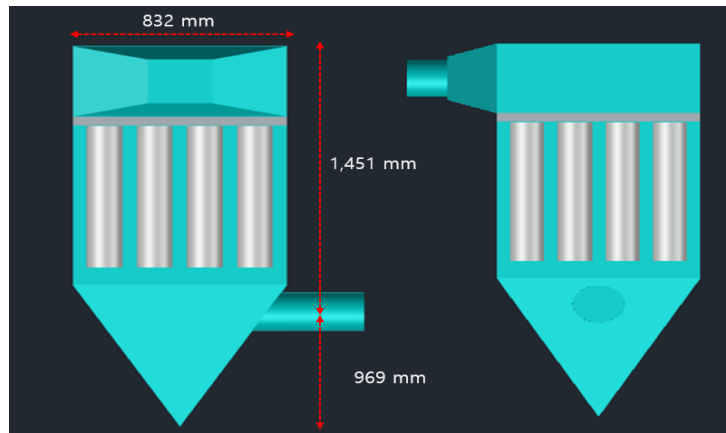


Fig. 3. Pulse air jet bag filter diagram.

사용되는 고압축 공기는 초음속 팽창 유동을 하므로 팽창 및 난류의 구체적인 모사를 위해 RANS 기반 $k-\omega$ 난류 모델을 사용하였다.

Fig. 4에 모델링에 사용된 간헐탈진형 충격기류식 여과집진기 구조를 나타내었으며, 블로우튜브 (blow tube)에 부착된 노즐 직경, 여과포에 부착된 먼지 제거용 압축공기 압력, 벤츄리 설치 유무에 따라 반사거리 및 소요 압축공기량을 예측하였으며, Table 3에 상세한 CFD 내용을 나타내었다.

CFD 해석시 Navier-stokes 방정식을 지배방정식으로 이용하였고, 난류방정식으로 유체 미소 구간에서

의 해석 정확성은 DNS, LES 모델에 비해 다소 떨어지거나 유체의 전체적인 거동 특성을 모사하기에 가장 적합하며, 계산에 소요되는 시간이 짧아 매우 효율적인 RANS (Raynolds Averaged Numerical Simulation) 모델을 사용했다(Zhiqiang et al., 2007).

3. 결과 및 고찰

3.1. 벤츄리 유무에 따른 공기 공급량

여과집진장치는 여과포에 부착된 분진의 탈진 방식에 따라 진동형, 충격기류형, 역기류형 등으로 구분된다. 충격기류식 여과집진장치는 격막밸브 (Diaphragm valve)의 순간적인(0.1초 내외) 작동으로 고압의 압축공기가 Blow tube pipe를 통해 여과포에 분사하여 부착된 분진을 탈진시킨다. 충격기류식 여과집진장치는 두 단계에 걸쳐 탈진이 진행되는데, 초기에 격막밸브에서 공급된 압축공기로 1차 탈진이 진행되고 벤츄리 효과 (Venturi effect)에 의해 다량의 주변 공기가 유입되어 2차 탈진이 이루어진다.

벤츄리 효과에 의해 유입되는 공기의 양은 여과집진장치와 벤츄리의 크기 및 형상, 탈진 압력 및 압축공기량, 공기 분사 시간 (Pulse time), 여과포 직경 및 면적 등에 의해 크게 달라지며, (Bakke, 1974; Morris et al., 1991; Suh et al., 2010)는 여과집진장치의 벤츄리 효과에 의한 2차 공기 공급량은 1차 공기 공급량의 5 ~ 7 배 정도라고 보고하였다. 대부분의 방지시설업체 및 배출시설업체에서는 경험에 의존하여 집진장치

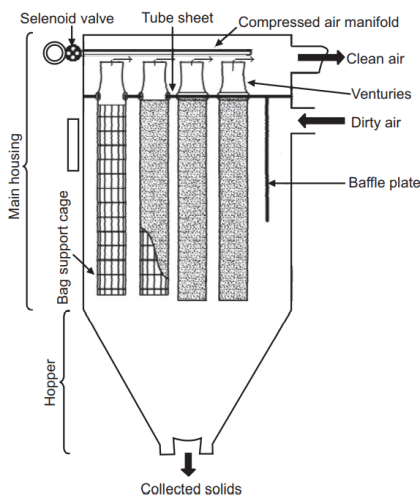


Fig. 4. Pilot system diagram and simulation volume.

Table 3. CFD simulation conditions

Variables	Conditions
Pulsing pressure (bar)	3, 4, 5, 6, 7
Nozzle diameter (mm)	6, 8, 10, 12
Venturi	with or without
Pulse time	0.1 sec
Filter size (mm)	ϕ 100 ~ 200 / L 2000 ~ 4000
Filter coefficient (1/m ²)	3.70×10^{11}

Table 4. Air supply following to pulsing pressure at pulse time 0.1 sec without venturi

Pulsing pressure (bar)	Nozzle diameter (mm)	Primary air supplying (L/m ²)	Secondary air supplying (L/m ²)	Total air supplying (L/m ²)
3	6	1.81	2.58	4.39
4		2.41	3.41	5.82
5		2.81	4.07	6.88
6		3.62	4.66	8.28
7		4.22	5.22	9.44
3	8	3.22	4.57	7.79
4		4.29	6.01	10.3
5		5	7.14	12.14
6		6.44	8.08	14.52
7		7.51	9.23	16.74
3	10	5.03	7.11	12.14
4		6.70	9.34	16.04
5		7.81	11.13	18.94
6		10.06	12.52	22.58
7		11.73	14.40	26.13
3	12	7.25	10.25	17.5
4		9.66	13.49	23.15
5		11.25	16.0	27.25
6		14.49	18.01	32.5
7		16.90	20.59	37.49

를 설계 및 운전하기 때문에 2차 공기의 정확한 양과 탈진 특성을 파악하기 어려운 실정이다. 따라서 본 연구에서는 수치해석 시뮬레이션을 통해 산업현장에서 널리 사용되는 크기 ϕ 130 × L 3000 폴리에스테르 여과포 및 pulse time 0.1 sec 기준으로 탈진 압력 변화에 따른 2차 공기 공급량 및 여과포의 탈진 특성을 예측하였다.

Table 4는 벤츄리가 없는 경우 공기 공급량 변화를,

Table 5는 벤츄리가 적용된 집진기의 공기 공급량 변화를 나타내었다.

Fig. 5는 탈진 압력, 노즐 직경, 벤츄리 유무에 따른 전체 공기 공급량 변화를 나타내었다. 수치해석 시뮬레이션 결과 벤츄리를 사용하지 않을 경우 2차 공기 공급량은 1차 공기 공급량의 1.23 ~ 1.42배이며, 벤츄리를 사용할 경우 2차 공기 공급량은 1차 공기 공급량의 3.05 ~ 4.33배로 높게 나타났다. 탈진 압력이 낮을수록

Table 5. Air supply following to pulsing pressure at pulse time 0.1 sec with venturi

Pulsing pressure (bar)	Nozzle diameter (mm)	Primary air supplying (L/m ²)	Secondary air supplying (L/m ²)	Total air supplying (L/m ²)
3	6	1.81	7.89	9.7
4		2.41	10.55	12.96
5		2.81	10.71	13.52
6		3.62	11.08	14.7
7		4.22	13.01	17.23
3	8	3.22	13.95	17.17
4		4.29	18.73	23.02
5		5	19.0	24
6		6.44	19.66	26.1
7		7.51	22.95	30.46
3	10	5.03	21.77	26.8
4		6.70	29.20	35.9
5		7.81	30.0	37.81
6		10.06	30.72	40.78
7		11.73	36.04	47.77
3	12	7.25	31.4	38.65
4		9.66	42.12	51.78
5		11.25	43.05	54.3
6		14.49	44.25	58.74
7		16.90	51.56	68.46

2차 공기 비율이 증가하는 것으로 나타났는데, 분사 노즐 직경과 탈진 압력이 증가할수록 여과포 내부로 공급되는 충격기류의 압력이 높아 공기 저항이 증가하여 유입된 2차 공기의 일부가 역류하기 때문으로 사료된다. 벤츄리를 사용할 경우 2차 공기 공급량이 늘어나 탈진 성능이 향상될 것으로 판단되며, (Lu and Tsai, 1999; Suh et al., 2014)는 충격기류식 여과집진장치의 효과적인 탈진을 위한 1차 압축공기량은 7 L/m² 이상, 최소 탈진 압력은 5 bar 이상임을 보고하였다. 본 연구에서도 여과포의 효과적인 탈진을 위해서는 탈진 압력 5 bar 이상, 분사 노즐 직경은 최소 10 mm 이상으로 설계해야 할 것으로 사료된다.

3.2. 탈진 압력에 따른 반사거리 변화

간헐탈진형 충격기류식 여과집진장치는 탈진 시 집진기류를 차단하기 때문에 기류 저항이 거의 없어 압축공기가 여과포 지지대의 Under Cap 바닥까지 도달한다.

여과포는 다공성 구조로 고속·고압 상태에서는 파이프와 같은 역할을 하여 압축공기의 외부 손실을 방지하고, 압축공기를 여과포 하부바닥으로 유도하여 1차 탈진이 진행된다. 여과포 지지대의 Under Cap에 충돌한 압축공기는 운동량이 소산되어 속도가 느려지고, 여과포 상단 방향으로 상승기류가 형성된다(Schalucherinigung, 1989). 이 상승기류의 최대 상승 높이를 반사거리(Reflection distance)라 하며, 반사된 상승기류는 여과포 하부에 충격기류 및 진동파동으로 2차 탈진이 이루어진다(Schalucherinigung, 1989; Xavier et al., 2017).

Fig. 6은 간헐탈진형 충격기류식 여과집진장치의 공기 공급량에 따른 반사거리 변화를 나타내었다. 전체 공기 공급량이 늘어날수록 반사거리 또한 다소 증가하는 경향이 있으나, 전체 공기 공급량이 42 L/m² 이상이면 공기 공급량 증가에 관계없이 반사거리는 1,000 mm 전·후임을 알 수 있었다. 따라서 간헐탈진형 여과집진장치는 연속탈진형 여과집진장치 보다 여과포 길

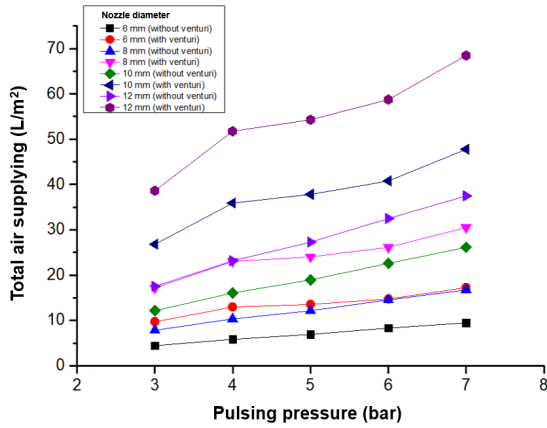


Fig. 5. Total air supplying according to pulsing pressure, nozzle diameter and venturi.

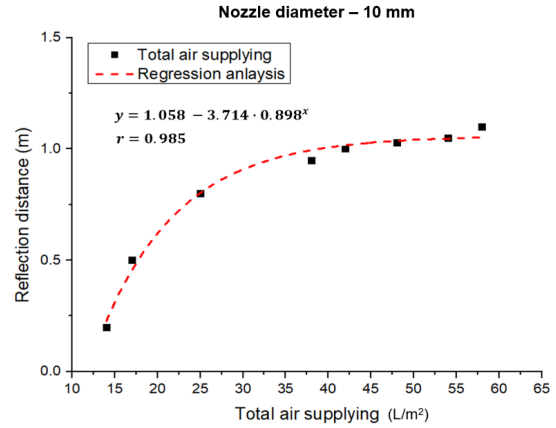


Fig. 6. Off-line type pulse air jet bag filter reflection distance following to total air supplying at 10 mm diameter nozzle.

Table 6. Filter bag size and pulsing conditions

Filter bag diameter (mm)	100	125	150	175	200
Filter bag length (mm)	3,900	3,120	2,600	2,228	1,950
Filter bag area (m ²)	1.22(∅ 130 × L 3000)				
Pulsing conditions	Nozzle diameter (mm)				10 / 12
	Pulsing pressure (bar)				5
	Venturi				○

이를 1,000 mm 길게 설치하여도 탈진에는 큰 영향이 없을 것으로 판단된다.

간헐탈진형 여과집진장치에서 효율적인 1차, 2차 탈진을 위해서는 탈진 압력 5 bar 이상, 여과포 단위 면적당 전체 공기 공급량은 42 L/m² 이상으로 판단된다.

3.3. 여과면적에 따른 반사거리

여과포의 효율적인 탈진을 위해 여과포의 직경과 길이 비율에 따른 반사거리를 분석하였다. 여과포는 원형 타입으로, 여과면적 1.22 m²(∅ 130 × L 3000) 기준으로 여과포의 크기와 탈진 조건을 Table 6에 나타내었다.

Fig. 7은 간헐탈진형 충격기류식 여과집진장치의 여과면적 1.22 m²일 때 여과포 직경 변화에 따른 반사거리 비율을 나타내었다. 여과포의 직경이 늘어날수록 반사거리 비 또한 증가하는 것으로 나타났으며, 여과포 직경이 100 mm 인 경우 반사거리 비는 약 25%, 여과

포 직경 150 mm에서 약 39%, 여과포 직경 200 mm에서는 약 44%로 나타났다. 여과포 직경이 감소할수록 유동 단면적이 감소하여 분사된 충격기류의 유속이 다소 증가하나 여과포 길이 증가로 인해 충격기류 유출량 및 압력손실이 상승하여 반사되는 거리 비율은 감소하는 것으로 판단된다.

Fig. 8은 여과포 직경 변화에 따른 여과포 길이 및 최대 탈진 가능 거리 (Maximum pulsing length)를 나타내었다. 간헐탈진형 충격기류식 여과집진장치는 탈진 시 집진 기류를 차단하므로 공기 저항이 거의 없어 충격기류가 여과포 바닥까지 충분히 도달하기 때문에 연속 탈진형 여과집진기보다 여과포 길이를 연장하여 설치가 가능하다. 여과포 직경이 100 mm 일 때 최대 탈진 가능 거리는 4,914 mm이며, 여과포 직경이 125 mm 일 경우는 4,180 mm, 여과포 직경이 150 mm이면 3,614 mm까지, 여과포 직경이 175 mm이면 3,163 mm까지, 여과포 직경이 200 mm 일 때는 2,808 mm까지 여과포의 탈진이 가능 할 것으로 판단된다.

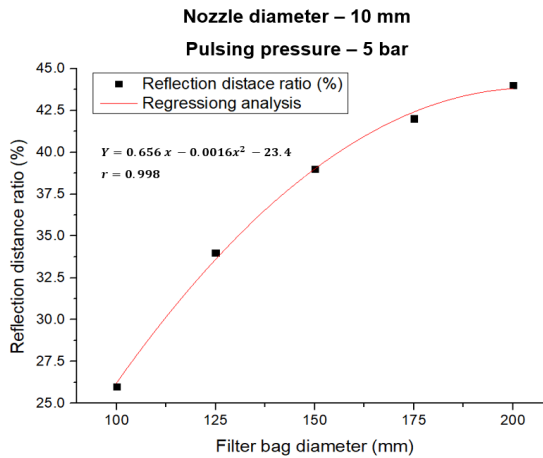


Fig. 7. Off-line type bag filter reflection distance ratio according to filter bag at 5 bar, 10 mm diameter nozzle, filter area 1.22 m².

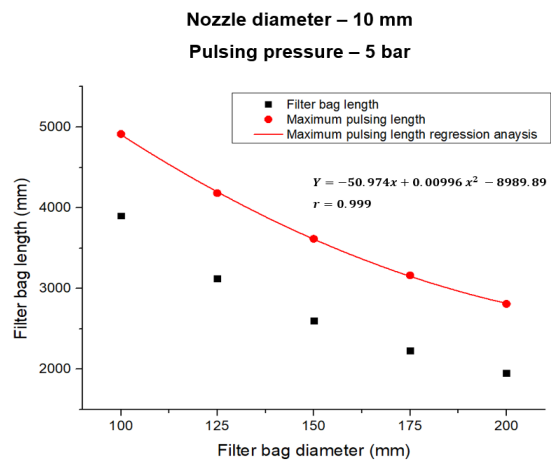


Fig. 8. Off-line type bag filter length and maximum pulsing length at 5 bar, 10 mm diameter nozzle, filter area 1.22 m².

4. 결론

충격기류식 여과집진장치의 가장 중요한 설계인자는 여과포에 포집된 먼지를 효과적으로 제거하여 압력손실을 최소화하는 것이다. 본 연구에서는 충격기류식 pilot scale 여과집진장치를 이용하여 경북 포항시 소재 P제철소 코크스 분진으로 실험한 측정 결과를 바탕으로 여과포의 압력손실 계수를 계산한 후 일반적으로 사용하는 CFD 프로그램인 Ansys fluent V19.0로 벤츄리 설치 유무에 따른 압축공기 소요량 변화, 노즐 및 여과포 크기 변화, 여과포에 부착된 먼지 제거용 압축공기 압력 변화에 따른 간헐탈진형 여과포의 필요 공기공급량 및 반사거리를 예측하였다.

1. 벤츄리 유무에 따른 전체 공기 공급량 분석 결과, 벤츄리가 없으면 격막 밸브에서 공급된 공기의 1.23 ~ 1.42배의 2차 공기가 여과포에 유입되었으며, 벤츄리를 사용할 경우 3.05 ~ 4.33배의 2차 공기가 여과포에 유입되는 것을 알 수 있었다.
2. 간헐탈진형 충격기류식 여과집진장치의 여과포에 전체 공기 공급량을 42 L/m² 이상이면 공기 공급량 증가에 관계없이 반사 거리는 1,000 mm 전·후로 간헐탈진형 여과집진장치는 연속탈진형 여과집진장치 보다 여과포 길이를 1,000 mm 길게 설치하여도 탈진에도 큰 영향이 없을 것으로 판단된다. 간헐탈진형 여

과집진장치에서 효율적인 1차, 2차 탈진을 위해서는 탈진 압력 5 bar 이상, 여과포 단위 면적당 전체 공기 공급량은 42 L/m² 이상임을 알 수 있었다.

3. 간헐탈진형 충격기류식 여과집진장치는 탈진 시 집진기류를 차단하므로 공기 저항이 거의 없어 충격기류가 여과포 하부바닥까지 충분히 도달하기 때문에 여과포 직경 ϕ 100mm ~ ϕ 200 mm의 반사 거리 비는 약 25% ~ 44%로 나타났고, 최대 탈진 가능 거리는 4,914 mm ~ 2,808 mm까지 여과포 탈진이 가능할 것으로 사료된다.

REFERENCES

- Bakke, E., 1974, Optimising filtration parameters, J. Air Pollut. Cont. Assoc., 24, 1150-1154.
- Dean, A. H., Cushing, K. M., 1988, Survey on the use of pulse-jet fabric filters for coal-fired utility and industrial boilers, J. Air Pollution. Cont. Assoc., 38, 90-96.
- Hong, S. G., Jung, Y. J., Park, K. W., Jeong, M. H., Lim, K. H., Suh, H. M., Shon, B. H., 2012, A Study on the optimization design of pulse air jet system to improve bag-filter performance, J. Kor. Acad. Ind. Coop., 13, 3792-3791.
- Lim, Y. B., Lee, S. B., Kim, H., Kim, J. Y., Bae, G. N., 2016, Review of Recent Smog Chamber Studies for Secondary Organic Aerosol, J. Korean Soc. Atmos. Environ., 32, 131-157.

- Lu, H. S., Tsai, C. J., 1999, Influence of design and operation parameters on bag cleaning performance of pulse-jet baghouse, *J. Environ. Eng.*, 125, 583-591.
- Morris, C., Cursley, C. J., Allen, R. W., 1991, The role of venturis in pulse jet filters, *Proc. Filtration Soc.*, 28, 33-36.
- Park, B. H., 2004, Effect of jet nozzle on the reverse pulse jet cleaning in bag-filter system, Master's Dissertation, Kyunghee University, Seoul, Korea.
- Schalucherinigung, D., 1989, Fabric cleaning in pulse jet filters, *chemical engineering and processing, Process Intensification*, 26, 179-183
- Simon, X., Chazelet, S., Thomas, D., Bemer, D., Regnier, R., 2007, Experimental study of pulse-jet cleaning of bag filters supported by rigid rings, *J. Powder Technol.*, 172, 67-81.
- Suh, J. M., Park, J. H., Cho, J. H., Jin, K. H., Jung, M. S., Yi, P. I., Hong, S. C., Sivakumar, S., Choi, G. C., 2014, Pressure drop predictions using multiple regression model in pulse jet type bag filter without venturi, *J. Environ. Sci. Int.*, 23, 2045-2056.
- Suh, J. M., Ryu, J. Y., Lim, W. T., Jung, M. S., Park, J. H., Shin, C. H., 2010, Prediction of the efficiency of factors affecting pressure drop in a pulse air jet type bag filter, *J. Environ. Sci.*, 19, 437-446.
- Xavier, S., Sandrine, C., Dominique, T., Denis, B., Roland, R., 2017, Experimental study of pulse jet cleaning of bag filter supported by rigid rings, *J. Powder. Technol.*, 172, 67-81.
- Zhao, Z., Wei, Z., Zhiqiang, J. Z., Qingyan, Y. C., 2007, Evaluation of various turbulence models in predicting airflow and turbulence in enclosed environments by CFD: Part 1-summary of prevalent turbulence models, *HAVC and R Research*, 13(6), 853-870.
-
- Master's course. Jeong-Sam Son
Department of Bio-Environmental Energy, Pusan National University
jsson333@naver.com
 - Professor. Yong-Hyun Chung
Department of Ecological Engineering, Pukyong National University
chungyh@pknu.ac.kr
 - Professor. Jeong-Min Suh
Department of Bio-Environmental Energy, Pusan National University
suhjm@pusan.ac.kr