

요 약 문

I. 연구개요

- 미세먼지에 대한 시민의식의 향상으로 민원이 지속적으로 증가하고, 환경 규제로 중소기업체의 비용이 증가하여 기업 경영의 저해요인이 되고 있음.
- 상기와 같은 문제로 소규모 사업장 방지지설 설치 지원사업을 진행하고 있으나, 대기오염방지지설에 설계기준이 미흡하고 상이하여 방지지설업체들의 사업 수행에 큰 혼선이 야기되고 있음.
- 따라서 부산지역에 설치된 대기오염방지지설을 장기간 효율적으로 사용하고, 또한 운전 및 정비가 용이한 세정집진시설 및 충격기류식 여과집진설비의 설계기준을 수립하고자 함(도금시설/탈사·주물사 배출시설을 중심으로).

II. 연구의 필요성 및 목적

- 미세먼지에 대한 시민의식의 수준 향상으로 민원이 지속적으로 증가하고 있음.
- 지역주민의 빈번한 민원문제와 규제로 중소기업체의 환경비용이 증가하여 기업 경영에 큰 저해요인이 되고 있음.
- 대기오염방지지설 설계 실무 편람(대구지방환경관리청 발행)은 1999년 발간되어 현재의 배출허용기준 설계지침서로 부적합한 내용이 많고, 동종 배출시설에 대한 설계기준이 서로 상이한 내용 수록으로 현장에 혼선을 초래함.
- 최적가용기법 기준서(환경부, 국립환경과학원 : 2005년)는 대형배출시설 위주의 포괄적인 방지지설의 종류 등 일반적 현황 내용을 수록한 기준서로 설계지침서로의 역할은 많이 부족함.
- 대기오염방지기술 관련 서적은 포괄적인 설계내용만 수록되어 있어 산업현장에서 바로 적용할 수 있는 설계 인자는 거의 없음.
- 도금시설의 대표적 방지지설인 세정집진기의 운영실태는 대부분 정확한 설계기준 없이 설치되어, 장시간 사용에 따른 분사 노즐의 탈락, 충전재 및 데미스터의 파손과 막힘 현상 등으로 세정집진기의 집진 효율이 저하되어 있으며, 효율적인 방지지설 설계기준이 미흡하여 걱정된 방지지설 관리가 어려움.
- 탈사 및 주물사 배출시설의 대표적 방지지설인 충격기류식 여과집진기의 운영실태는 대부분 정확한 설계기준 없이 설치되었고, 장시간 사용에 따른 여과포의 눈막힘 현상, Diaphragm valve의 오작동으로 차압이 과대 발생하여 집진풍량이 감소하여 효율이 저하되어 있음.
- 따라서 부산지역에 설치된 대기오염방지지설을 장기간 효율적으로 운전하고, 현장 여건에 적합한 세정집진시설 및 충격기류식 여과집진설비의 설계기준 수립이 필요함.

Ⅲ. 연구의 내용 및 범위

1. 2년차 : 탈사 및 주물사 시설의 충격기류식 여과집진기 설계기준 제시



Fig. 3-2. 탈사 및 주물사 시설의 충격기류식 여과집진기 설계기준 제시

가. 충격기류식 여과집진시설의 설계기준

1) 충격기류식 여과집진시설의 문제점 파악 후 개선사항 토출

- 여과속도 설계기준 제시(참고 논문 중심으로)
- 격막밸브 용량 산정방법 및 설계기준 제시(현장설치자료 및 참고문헌 중심으로)
- Pulse interval, Pulse cycle 및 탈진압력 설계기준 제시(현장자료 및 참고 논문 중심으로)
- Venturi 설치 유무에 따른 압력손실 제시(참고 논문 중심으로)
- Blow tube와 여과포까지 설치 간격 설계기준 제시(참고 논문 중심으로)

나. 송풍기 & Motor 설계기준

1) 송풍기 & Motor 현장조사 및 문제점 파악 후 개선사항 토출

- 송풍기 & Motor의 베어링 진동 여부 점검 체크
- 송풍기 모터 용량 선정 설계기준 제시
- 송풍기 특성곡선 이해와 정압 설계방법 제시

다. 충격기류식 여과집진시설의 운전 메뉴얼

1) 충격기류식 여과집진시설의 효율적인 운전 및 정비

- 여과포 사용 수명 연장 방안 제시
- Duct 내 침전물 방지대책 제시
- 효율적인 충격기류식 여과집진장치의 운전 및 정비 Manual 제시

IV. 연구결과

1. 배출시설의 현장조사 및 문제점 파악



여과집진시설 설계의 주요 착안점은 압력손실을 안정적으로 관리하여 설계 풍량으로 운전하는 것이다. 따라서 연구의 목적은 압력손실을 어떻게 안정적으로 관리하고 교체주기를 최장화하여 소모재료비 및 운전비를 절감하는 것이다.

따라서 본 연구의 관련시설인 부산광역시 사상구 소재 JY 캐스팅, HW 금속 사하구 소재 DK 주물, KM 에스엔피 강서구 소재 TY 메탈, DW 금속공업에 설치된 탈사 및 주물사 공장의 여과집진시설의 현장조사를 실시하여 문제점 파악과 설계에 반영할 사항을 조사하였다.

가. 배출시설 내부 작업장 전경

	
설계용량 부족으로 공장 내 비산먼지 과다	건가후드 포착속도 부족으로 비산먼지 퇴적

나. 여과포 압력손실 관리

	
압력 Gauge 고장으로 여과포 관리 미비	압력손실 과다로 여과포 교체 요망

다. 송풍기

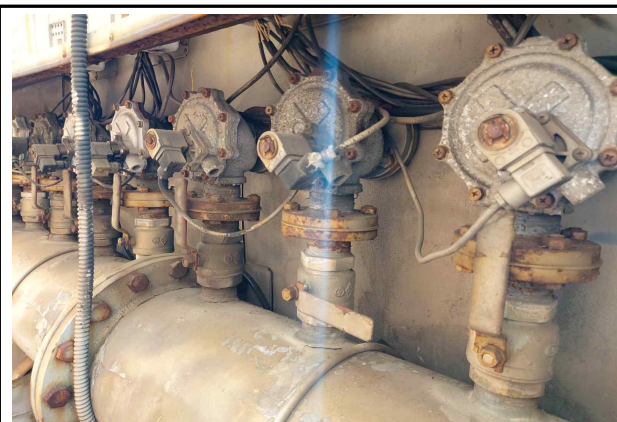


Fan Bearing Oil 주입기 파손 : 비정상 운전

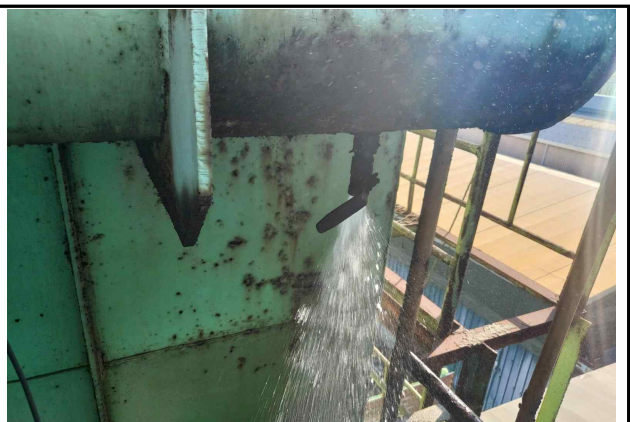


Fan Shaft Bearing Oil 누유

라. Diaphragm Valve 및 Air Header



Diaphragm Valve : Air 누출 및 Close


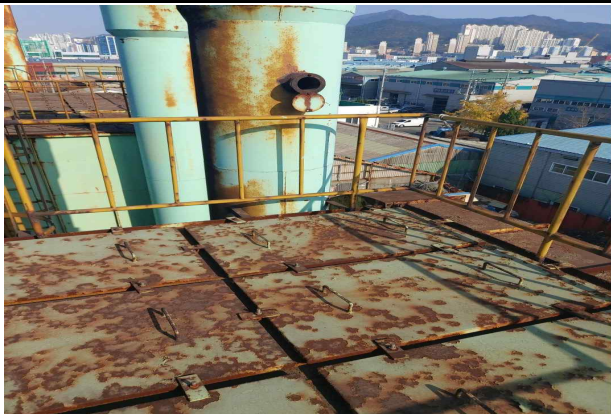


Air Header 응축수 발생 : 여과포 기공폐쇄

마. 본체 안식각

	
<p>Hopper 설치 각도가 낮아 분진 배출이 안됨</p>	<p>Hopper에 Vibrator 설치로 배출 원활</p>

바. 철판 부식 및 관리 부실

	
<p>본체 부식으로 Air Leak 발생 : 효율 저하</p>	<p>상부 Cover 부식으로 Air Leak 발생</p>

2. 설계인자별 압력손실 예측

충격기류식 여과집진장치에서 압력손실(ΔP)의 변화를 설명하는 설명변수 즉, 여과 속도(V_f), 입구농도(C_i), 탈진압력(P_p), 탈진간격(P_i), 벤츨리 설치 유·무에 따른 영향력을 파악하기 위해 통상적인 최소자승 추정법(Ordinary Least Squares Method ; OLS)을 채택하여 파라메타를 추정한 결과, 모형의 적합성을 나타내는 결정계수(R^2)가 0.8975로 높았으며, 추정결과에서 파라메타 추정치 부호가 이론과 부합하며 1% 이내에서 통계적으로 유의하게 나타남으로써 각각의 요인들이 압력손실 변화에 영향을 미치는 것을 알 수 있었다.

통상적인 최소자승 추정법(Ordinary Least Squares Method ; OLS)으로 추정한 다수-선형 다중회귀분석모형의 요인별 압력손실변화에 대한 탄성치를 Table 4-3에 나타내었다.

Table 4-3. Elastic value by pressure loss change factor(algebraic-linear)

Variables	Rate of change
Filtration velocity (V_f)	$\varepsilon_{V_f} = \frac{d\Delta P / \Delta P}{dV_f / V_f} = 1.53417 \overline{V_f} = 2.30$
Pulse pressure (P_p)	$\varepsilon_{P_p} = \frac{d\Delta P / \Delta P}{dP_p / P_p} = -0.20172 \overline{P_p} = -1.01$
Inlet dust concentration (C_i)	$\varepsilon_{C_i} = \frac{d\Delta P / \Delta P}{dC_i / C_i} = 0.24002 \overline{C_i} = 0.39$
Pulse interval (P_i)	$\varepsilon_{P_i} = \frac{d\Delta P / \Delta P}{dP_i / P_i} = 0.01802 \overline{P_i} = 0.36$

Note : The Average of V_f , C_i , P_p , P_i as $\overline{V_f}$, $\overline{C_i}$, $\overline{P_p}$, $\overline{P_i}$.

Table 4-3에서 여과속도가 1% 증가시 압력손실은 2.30% 증가하여 설계인자 중 압력손실 변화에 가장 크게 기여하는 것을 알 수 있었다. 탈진압력은 1% 증가 시 1.01% 감소하는 것으로 나타났다. 이는 여과속도 다음으로 압력손실 변화에 기여하는 설계 인자임을 알 수 있었고 여과속도 변화와 대비하여 약 44% 기여함을 알 수 있었다. 입구농도는 1% 증가 시 압력손실은 0.39% 증가하는 것으로 나타났다. 이는 입구농도가 압력손실변화에 어느 정도 기여는 하고 있지만 여과속도의 변화에 따른 압력손실변화와 비교하였을 때 약 17% 수준인 것으로 나타났다. 또한, 탈진간격은 1% 상승 시 0.36% 증가로 여러 요인 중 가장 낮은 영향을 갖는 것을 알 수 있었으며 여과속도 변화 대비 약 15.7% 영향을 미치는 것으로 나타났다. 압력손실의 변화

에 미치는 순서는 여과속도(V_f) > 탈진압력(P_p) > 입구농도(C_i) > 탈진간격(P_i) 임을 알 수 있었다. [참고문헌 31]

가. Venturi 설치 유·무에 따른 압력손실 예측

1) 여과속도 변화에 따른 압력손실 예측

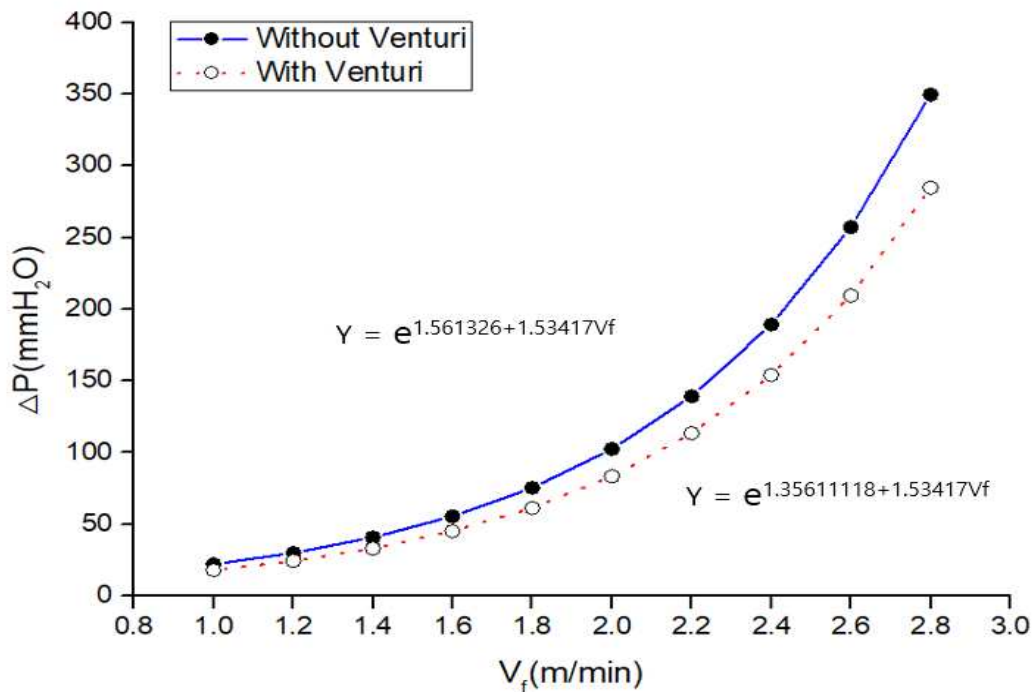


Fig. 4-1. Prediction of pressure loss(ΔP) with or without venturi with Filtration velocity(V_f)

Fig. 4-1은 여과속도 증가에 따라 벤츄리 설치 유·무의 압력손실 변화를 나타내었는데 여과속도(V_f)가 2.8 m/min이면 벤츄리가 설치된 경우는 284.8 mmH₂O로 나타났고, 벤츄리가 미설치된 경우는 349.7 mmH₂O로 나타나 64.9 mmH₂O의 압력손실(ΔP)의 차이가 날 것으로 예측되어 벤츄리 설치시 약 18.6%의 효율을 향상시킬 수 있을 것으로 사료된다. 여과속도가 증가할수록 벤츄리 설치가 압력손실 증가 폭이 커서 경제적이 될 수 있으나 빠른 여과속도는 여과포의 빠른 눈막힘으로 교체주기가 빈번해질 수 있어 여과속도는 분진의 물리·화학적 성분 및 성질을 고려하여 신중한 결정이 필요할 것으로 사료된다.

2) 입구농도 변화에 따른 압력손실 예측

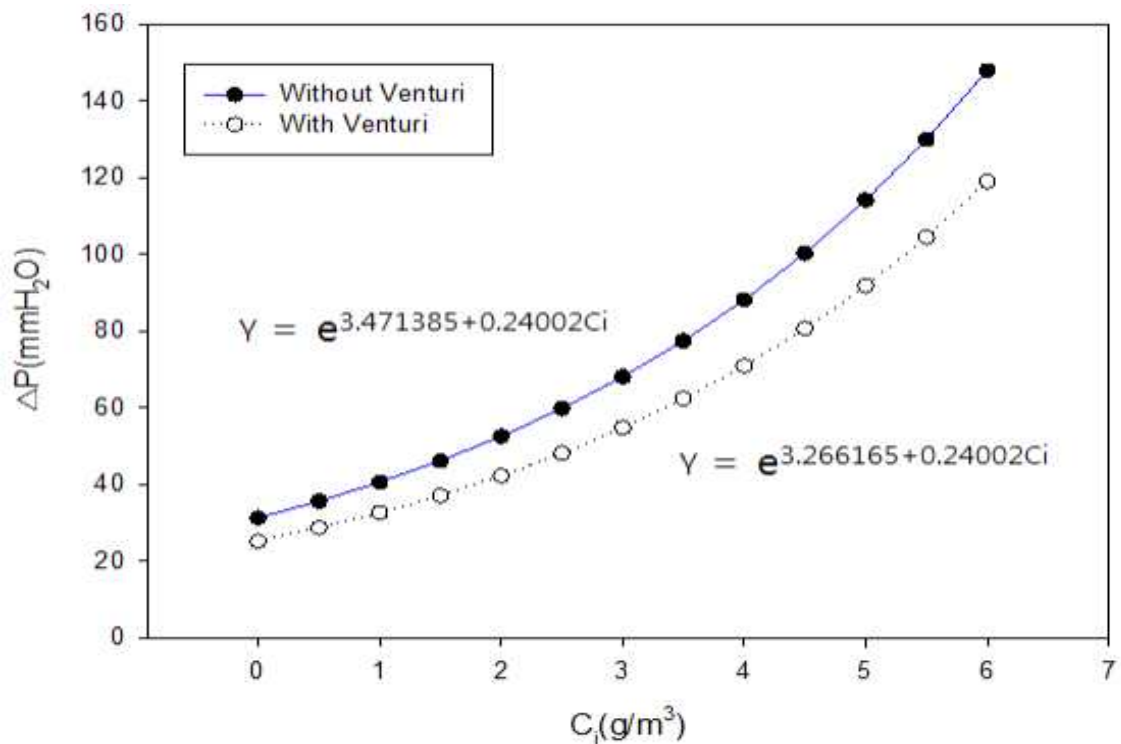


Fig. 4-2. Prediction of pressure loss(ΔP) with or without venturi with Inlet concentration(C_i)

Fig. 4-2는 입구농도 증가에 따라 벤츄리 설치 유·무에 따른 압력손실에 기여하는 영향은 여과속도에 비해 크지 않음을 알 수 있었으며, 5 g/m^3 이상의 고농도 분진이 유입되면 압력손실이 크게 증가할 것으로 나타나 고농도 유입시는 Pre-Duster를 설치하면 압력손실 저감에 효과가 있을 것으로 판단된다.

통상 산업현장은 입구농도가 $2 \text{ g/m}^3 \sim 3 \text{ g/m}^3$ 임을 고려하면 벤츄리 설치 유·무에 따라 입구농도가 2 g/m^3 에서 압력손실 차이는 $9.6 \text{ mmH}_2\text{O}$ 로 나타났고, 3 g/m^3 에서 압력손실 차이는 $12.3 \text{ mmH}_2\text{O}$ 로 나타나, 2 g/m^3 에서 약 18.4%, 3 g/m^3 에서 약 18.6%의 압력손실 저감 효율을 얻을 수 있을 것으로 사료된다.

또한, 초충형성이 완료된 초기 여과포 압력손실이 $80 \text{ mmH}_2\text{O}$ 전·후임을 감안하면 벤츄리가 설치된 경우는 4.65 g/m^3 이하 벤츄리가 미설치된 경우는 3.79 g/m^3 이하에서 운전하면 압력손실 변화에 큰 영향을 미치지 않을 것으로 사료된다.

여과속도(V_f), 탈진압력(P_p), 탈진간격(P_i) 등은 충격기류식 여과집진장치 설계시에 조절이 가능하지만, 입구농도(C_i)는 배출시설의 조업여건과 공정에 따라 오염물질 발생량이 변화되므로 방지시설 유입 전에 사전저감 대책이 필요할 것으로 사료된다.

3) 탈진압력 변화에 따른 압력손실 예측

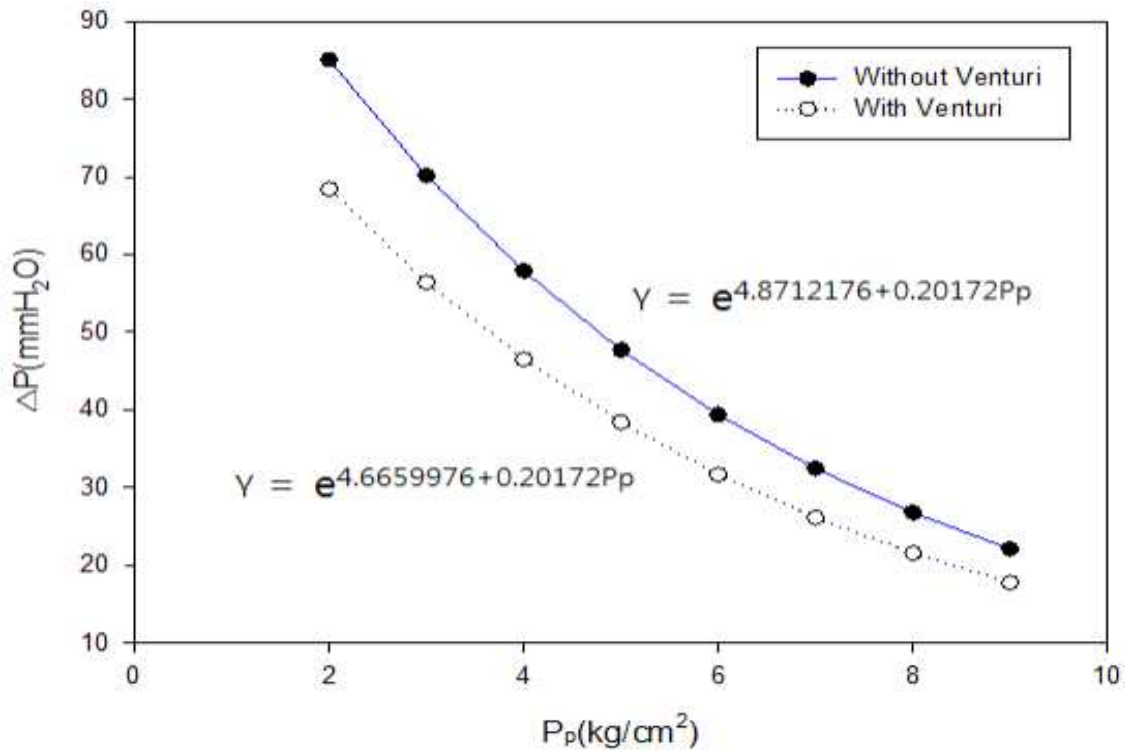


Fig. 4-3. Prediction of pressure loss(ΔP) with or without venturi with Pulse pressure(P_p)

Fig. 4-3은 탈진압력 변화와 벤츄리 설치 유·무에 따른 압력손실 변화를 나타내었는데 탈진압력(P_p)은 여과속도(V_f), 입구농도(C_i), 탈진간격(P_i)과 다르게 탈진압력이 증가하면 압력손실이 감소되는 것을 알 수 있었다. 산업현장에 설치된 충격기류식 여과집진장치의 탈진압력을 5 kg/cm²에서 최대 7 kg/cm²로 설정하여 운전하고 있으므로, 5 kg/cm²의 탈진압력에서 압력손실은 벤츄리를 설치한 경우에서 38.8 mmH₂O로 나타났고, 벤츄리를 미설치한 경우에서 47.6 mmH₂O로 벤츄리 설치가 8.8 mmH₂O의 압력손실을 감소시킬 수 있을 것으로 예측되었다. 또한, 7 kg/cm²의 탈진압력에서 압력손실은 벤츄리를 설치한 경우에서 25.9 mmH₂O로 나타났고, 벤츄리를 미설치한 경우에서 31.8 mmH₂O로 벤츄리 설치 유·무에 따라 5.9 mmH₂O의 압력손실을 감소시킬 수 있을 것으로 예측되었다.

따라서 탈진압력 5 kg/cm²에서 18.5%의 압력손실 저감효과를 얻을 수 있고, 7 kg/cm²의 탈진압력에서도 18.5%의 압력손실 저감효과로 효율이 비슷하게 나타나, 탈진압력이 크면 클수록 압력손실은 다소 감소하겠지만 저감효과는 18.5%로 유사하므로 7 kg/cm² 이상의 탈진압력은 강한 공기압력으로 여과포의 수명이 단축될 것으로 예상되어 높은 탈진압력 설정은 응집성, 부착성 등의 분진 성질을 고려하여 설정할 필요가 있을 것으로 판단된다.

4) 탈진간격 변화에 따른 압력손실 예측

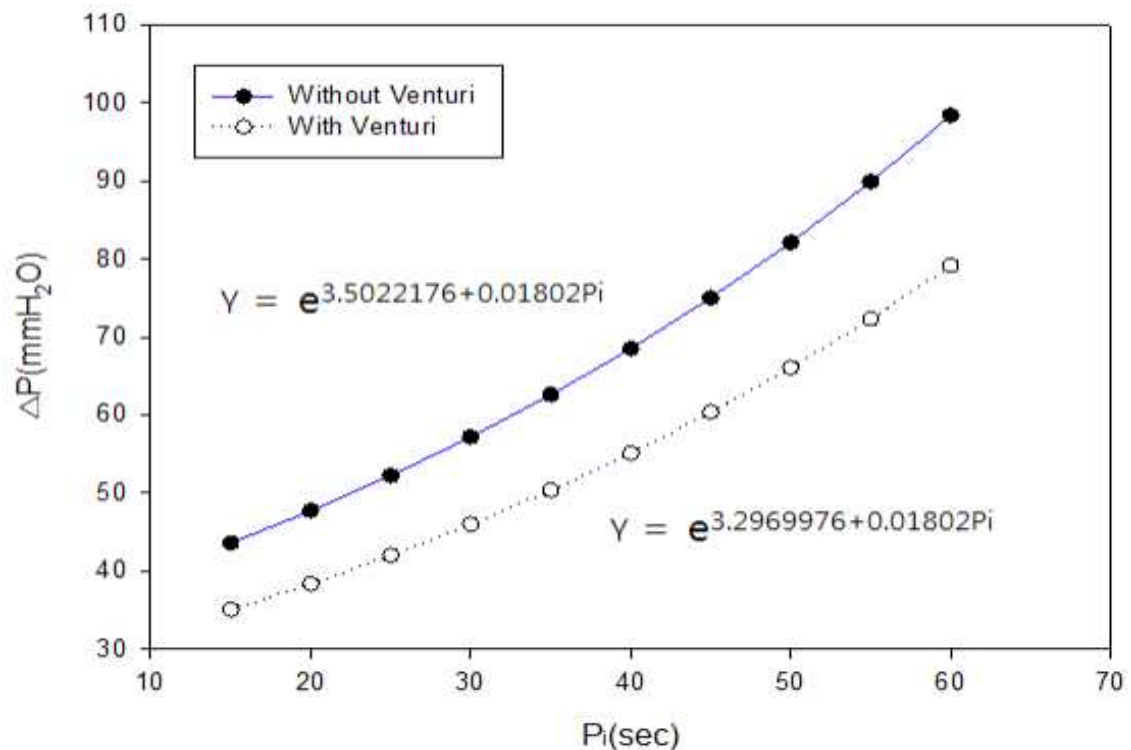


Fig. 4-4. Prediction of pressure loss (ΔP) with or without venturi with Pulse interval (P_i)

Fig. 4-4는 탈진간격 증가와 벤츄리 설치 유·무에 따른 압력손실 변화를 나타내었다. 탈진간격이 길어질수록 벤츄리를 설치하는 것이 압력손실 감소에 다소 기여할 것으로 예측되었으며, 본 연구의 실험 조건인 여과속도(V_f), 입구농도(C_i), 탈진압력(P_p), 탈진간격(P_i) 중 탈진간격(P_i)이 여과포 압력손실에 미치는 영향이 가장 낮게 나타났다. 또한, 빠른 탈진간격은 Air compressor 용량 증대로 인한 비용 상승과 잦은 압축공기의 충격으로 여과포 수명 단축이 예상되므로 분진의 물리·화학적 성질에 맞는 적정 탈진시간을 설정하여야 할 것으로 사료된다.

초층형성이 완료된 여과포 초기 압력손실이 80 mmH₂O임을 감안하면 벤츄리를 설치한 경우에서 탈진간격은 최대 약 60 sec로 나타났고, 벤츄리를 미설치한 경우에서 탈진간격은 최대 약 49 sec까지 가능할 것으로 나타났다. 하지만 산업현장에서는 탈진간격을 통상 20 ~ 30 sec로 설정하므로 탈진간격이 20 sec일 경우는 벤츄리 설치 유·무에 따라 약 18.5%의 압력손실 저감을 기대할 수 있고, 탈진간격이 30 sec일 경우는 18.6%의 압력손실 저감효과를 얻을 수 있을 것으로 사료된다.

나. 분사거리 예측

충격기류식 여과집진장치에서 운전 및 유지관리 등의 운영비용 최소화를 위해서 가장 중요한 요소는 압력손실을 최소화하는 것이다. 따라서 본 연구에서는 압력손실과 운전조건들과의 관계를 추정하고 압력손실을 최소화시킬 수 있는 최적의 분사거리를 도출하고자 Pilot 설비에서 측정된 180개의 실험데이터를 SAS 9.4(SAS Institute, USA) 프로그램의 OLS(Ordinary Least Squares Estimation)방식으로 추정하여 최적의 분사거리를 예측한 결과, 상관 계수(R^2)는 0.8905로 신뢰도가 높았으며, 인자 추정결과의 부호가 설명인자에 따른 압력손실(ΔP) 증가(+)와 감소(-)에 대한 영향에 부합하였다.

여과속도(V_f) 1.25 m/min ~ 1.75 m/min일 때 압력손실(ΔP)은 최소 13 mmH₂O에서 최대 117 mmH₂O로 넓은 범위로 존재하며 이는 입구농도(C_i), 탈진압력(P_p), 탈진간격(P_l), 분사거리(I_d) 등의 설계조건에 의해 영향을 받는다고 해석할 수 있었다.

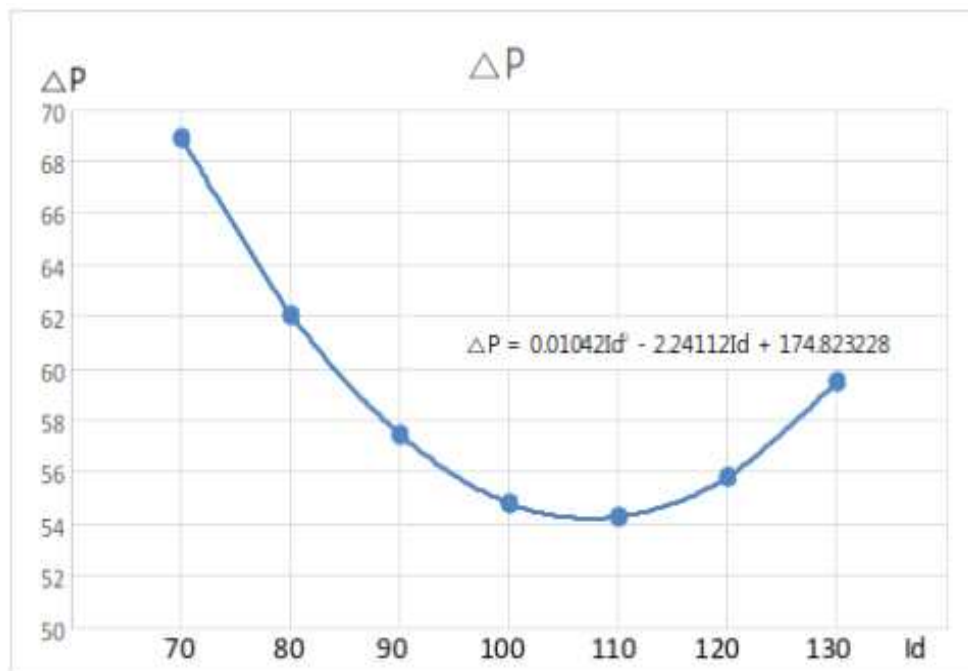


Fig. 4-6. Correlation between Pressure drop and Injection distance when the Filtration velocity is 1.25m/min.

여과속도(V_f)가 1.25 m/min ~ 1.75 m/min에서 압력손실(ΔP)이 최소가 되는 분사거리(I_d)의 값은 101.553738 ~ 107.539347 즉, 약 103 mm ~ 108 mm임을 알 수 있었다.

3. 여과속도

처리풍량(m^3/min)과 전체 여과면적(m^2)의 비율을 여재비($\text{m}^3/\text{m}^2/\text{min}$) 혹은 여과속도(m/min)라한다. 분진의 성상 및 입경 분포, 함수율, 여재의 성상 등에 따라 최적 여과속도가 달라지나, 산업현장에서는 일반적으로 0.8 ~ 2.0 m/min 을 기준으로 충격기류식 여과집진장치를 설계 운전하고 있으며 주물사, 탈사시설의 분진은 유분 함유 정도에 따라 1.2 m/min ~ 1.5 m/min 에서 여과속도를 결정하면 될 것으로 판단된다.

Table 4-6. 주요 공정의 여과속도 [참고문헌 3]

분진 또는 공정	여과속도	비고
소각로 분진	0.8 m/min 전·후	생활 쓰레기 소각장
반사로, 용해로, 전기로	1.0 m/min 이하	알루미늄 공정, 제강공정
비산재 분진	0.9 ~ 1.2 m/min 전·후	연소, 파쇄 발생 미세분진
고로, 유분함유 분진	1.2 m/min 전·후	제철소
일반 공업용 분진	1.2 ~ 1.5 m/min 전·후	유분 성분이 없는 분진
곡물, 톱밥 등	2.0 m/min 이하	건조하고 입경이 큰 분진

4. 탈진 공기 공급량

대부분의 방지시설업체 및 배출시설업체에서는 경험에 의존하여 집진장치를 설계 및 운전하기 때문에 2차 공기의 정확한 양과 탈진특성을 파악하기 어려운 실정이다. 따라서 수치해석 시뮬레이션을 통해 산업현장에서 널리 사용되는 크기 $\Phi 130 \times L 3000$ 폴리에스테르 여과포(Pulse time 0.1 sec)를 기준으로 탈진압력 변화에 따른 2차 공기 공급량 및 여과포의 탈진특성을 확인하였다.

Table 4-7에는 벤츨리가 없는 경우 공기 공급량 변화를, Table 4-8에는 벤츨리가 적용된 충격기류식 여과집진기의 공기 공급량 변화를 나타내었다.

선행연구(Suh 등의 연구결과)에 따르면, 분사 노즐 직경을 최소 10 mm 이상으로 설계하고 탈진압력을 5 bar 이상에서 5 ~ 7 L/m^2 이상 압축공기량을 공급하면 여과포에 효과적인 Cleaning이 될 것으로 판단된다. [참고문헌 54]

Diaphragm valve는 여과포 탈진에 필요한 소요 압축공기를 공급하는 기기로, 1개의 밸브가 탈진할 여과면적(여과포 1 m^2 면적당 통상 5 ~ 7 L의 압축공기량이 소요)을 계산하여 Diaphragm valve 용량을 선정하면 된다.

Table 4-7. 벤츄리가 없는 경우 탈진압력에 따른 공기 공급량(Pulse time 0.1 sec)

탈진압력 (bar)	노즐 직경 (mm)	1차 공기 공급량 (L/m ²)	2차 공기 공급량 (L/m ²)	총 공기 공급량 (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

Table 4-8. 벤츄리가 적용된 경우 탈진압력에 따른 공기 공급량(Pulse time 0.1 sec)

탈진압력 (bar)	노즐 직경 (mm)	1차 공기 공급량 (L/m ²)	2차 공기 공급량 (L/m ²)	총 공기 공급량 (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

5. 탈진성능

충격기류식 여과집진장치의 탈진성능을 알기 위해 탈진압력, 여과면적, 직경비와 여과속도에 따른 유효 탈진거리에 대한 연구에 따르면 노즐직경 10 mm, 여과속도 1.5 m/min 이하에서 탈진압력이 5 bar 이상 이면 유효탈진거리는 2,300 mm 전후임 이므로 높은 탈진 압력으로 인한 여과포 수명을 고려하면 적정 탈진압력은 5 bar 이상이면 최적의 탈진성능을 나타낼 것으로 판단된다. [참고문헌 54]

가. 연속탈진형 충격기류식 여과집진장치의 탈진압력에 따른 유효 탈진거리

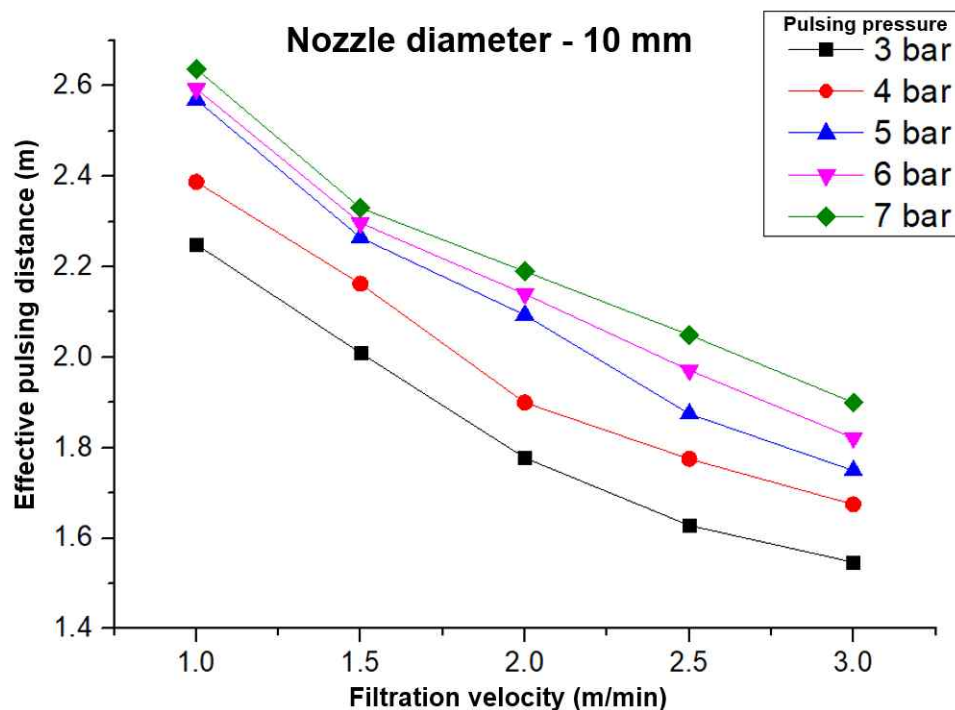


Fig. 4-9. On-line type pulse air jet bag filter effective pulsing distance following to filtration velocity at 10 mm nozzle

Fig. 4-9에서 노즐 직경 10 mm에서 유효탈진거리는 1,553 ~ 2,642 mm로 나타났다. 여과속도 2.0 m/min 이하에서 탈진압력은 5 bar 이상으로 사용하면 유효탈진거리가 대폭 증가하는 것을 알 수 있었다. Xavier 등의 연구결과에 따르면 여과집진장치의 탈진 메커니즘은 여과포 상부는 격막 밸브(Diaphragm valve)를 통해 공급된 압축공기가 여과포에 강한 충격기류와 압축공기의 팽창으로 인한 진동에 의해 탈진이 이루어지고, 압축공기가 여과포 하부 75%까지 도달하면 하부는 충격기류와 여과포의 파동·진동으로 부착된 분진이 탈진된다고 보고하였다. [참고문헌 46] 시뮬레이션 연구결과도 노즐 직경 10 mm, 여과 속도 1.5 m/min 이하, 탈진압력 5 bar에서 충격기류의 도달 거리는 2,285 mm로 여과포 하부 76.2%까지 도달하여 여과포에 부착된 분진이 충분히 제거될 것으로 판단된다.

나. 간헐탈진형 충격기류식 여과집진장치의 반사 거리 변화

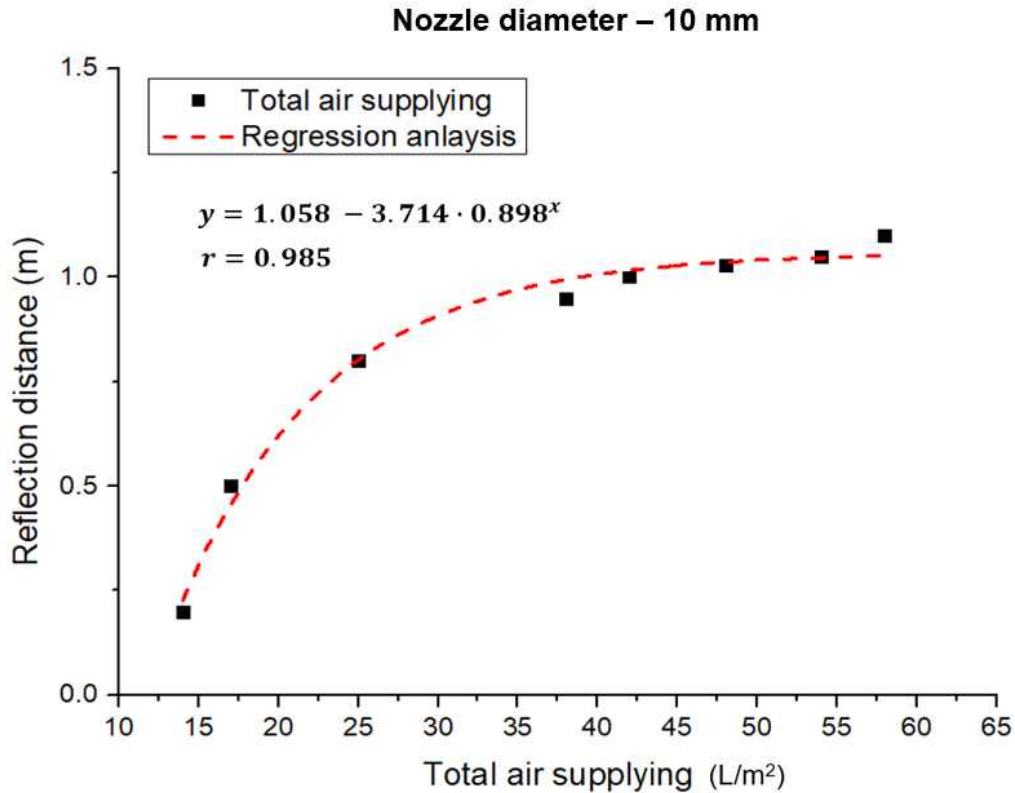


Fig. 4-11. Off-line type pulse air jet bag filter reflection distance following to air supplying at 10 mm nozzle

간헐탈진형(Off-line type) 충격기류식 여과집진장치는 탈진 시 집진 기류를 차단하기 때문에 기류 저항이 거의 없어 압축공기가 여과포 지지대의 Under cap 바닥까지 도달한다. 여과포 지지대의 Under cap에 충돌한 압축공기는 운동량이 소산되어 속도가 느려지고, 여과포 상단 방향으로 상승기류가 형성된다. [참고문헌 47] 이 상승기류의 최대 상승 높이를 반사 거리(Reflection distance)라 한다. [참고문헌 46, 47] Fig. 4-11에서 간헐탈진형 충격기류식 여과집진장치의 전체 공기 공급량이 늘어날수록 반사 거리 또한 다소 증가하는 경향이 있으며, 전체 공기 공급량이 42 L/m² 이상이면 공기 공급량 증가에 관계없이 반사 거리는 1,000 mm 전·후임을 알 수 있었다. 따라서 간헐탈진형 여과집진장치는 연속탈진형 여과집진장치보다 여과포 길이를 1,000 mm 길게 설치하여도 탈진에도 큰 영향이 없을 것으로 판단된다. [참고문헌 54]

다. 직경비 및 여과속도에 따른 유효탈진거리 예측

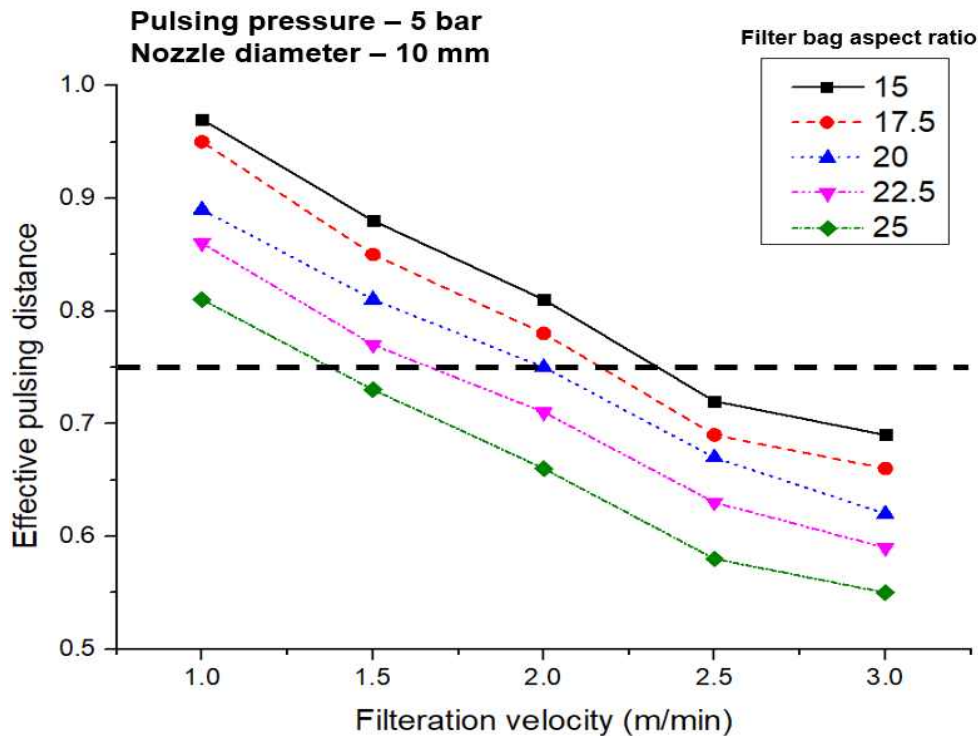


Fig. 4-12. Effective pulsing distance of pulse air jet bag filter at pulsing pressure 5 bar, nozzle diameter 10 mm

Xavier 등(2017)에 따르면, 충격기류식 여과집진장치에 사용되는 여과포의 효율적인 탈진을 위해서는 격막밸브(Diaphragm valve)에서 여과포 내부로 분사되는 압축공기가 여과포 하부 75% 지점 이상 도달해야 한다고 보고하였다. Fig. 4-12에는 노즐 직경 10 mm, 탈진압력 5 bar에서 여과포 직경비 및 여과속도에 따른 유효탈진거리비를 나타내었다. 여과속도가 1 m/min 이하일 때는 여과포 직경비에 관계없이 유효탈진거리비가 0.75 이상으로 여과포 전체에 효과적인 탈진이 가능한 것으로 나타났으며, 탈진압력이 동일한 조건에서는 여과속도가 증가할수록 여과저항이 증가하여 유효탈진거리비가 감소하였다. 동일 여과속도 조건에서는 탈진압력이 증가할수록, 공급되는 압축공기량과 운동에너지가 증가하여 탈진거리비가 증가하는 것으로 나타났다. 또한, 여과포의 직경비가 감소할수록 유효탈진거리비가 증가하여 탈진성능이 향상되나, 여과포 직경과 집진장치의 설치면적이 과도하게 증가하기 때문에 집진장치 설치면적을 고려, 노즐 직경 10 mm에서 여과포 직경비는 최대 22.5까지 가능하나 설계 여유율을 고려하면 직경비는 20 전후가 좋을 것으로 판단되며, 최적 탈진압력은 여과포 수명을 고려하여 5 bar가 적정한 것으로 판단된다. [참고 문헌 36]

6. 내부 기류 분포

충격기류식 여과집진장치에서 측정된 실측 압력손실 결과를 바탕으로, 수치해석 시뮬레이션을 통해 집진장치 내부 유동 특성 및 압력 분포를 예측한 결과는 다음과 같다. [참고문헌 56]

가. 단일 입구 여과집진장치 내부 유동 해석 결과

Fig. 4-15에 따르면 집진기 내부 유입속도가 15 m/sec 이상으로 높아 여과포로 유입되기 전에 집진기 본체 벽면과 강하게 충돌하고, 호퍼 방향으로 1 ~ 5 m/sec의 와류가 발생하여 퇴적된 분진이 재비산 된다. 또한 집진기 벽면과 충돌 후 상승하는 가스는 집진기 내부로 고르게 분배되지 않고, 집진기 뒤쪽 벽면을 중심으로 확산되어 13 ~ 16번 여과포로 유체가 집중되어 여과포에 고루 분포되지 않으므로, 유체의 속도를 낮추고 집진기류를 분배하기 위한 장치가 필요할 것으로 판단된다.

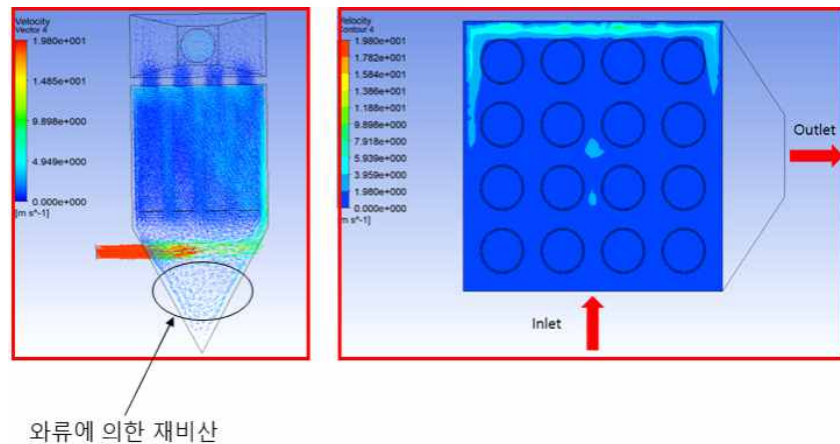


Fig. 4-15. Pilot system gas flow stream lines at $V_f = 1.5$ m/min

나. 다중 입구 여과집진장치 내부 유동 해석 결과

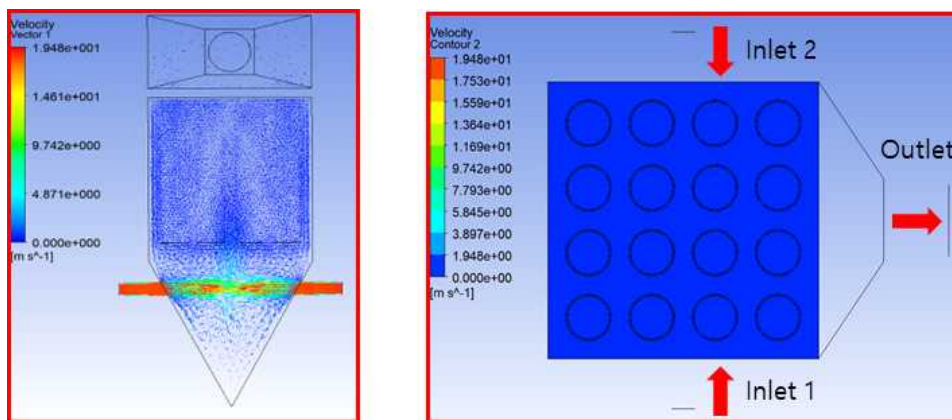


Fig. 4-16. Multi-inlet system gas velocity distribution at $V_f = 1.5$ m/min

합진가스를 여과포에 고루 분배하고 호퍼 방향으로 와류를 방지하여 압력손실을 최소화하기 위해 다중 입구 덕트 집진방식을 고안하였으며 내부 유체 흐름 및 분포 정도는 Fig. 4-16에 나타내었다. 단일 입구 여과집진장치와 달리 동일한 에너지를 가진 유체가 충돌하여 운동량이 소산되어 본체 가운데를 중심으로 가스가 고루 분배되며 호퍼 방향으로 발생하는 와류의 속도가 0.75 ~ 3.5 m/sec로 단일 입구 형상에 비해 25 ~ 30% 감소하여 분진의 재비산 위험이 줄어들 것으로 판단된다. 소형 집진시스템의 경우 입구 덕트가 두 개로 분리되므로 설치공간 확보 및 덕트 시스템에서 추가적인 비용이 발생하므로 경제성을 고려하여야 할 것으로 판단된다.

다. 가이드 베인 적용에 따른 내부 유동 해석 결과

가이드 베인은 적은 압력손실로 유체의 방향을 변화시킬 수 있는 장치로서, 집진기 본체에 유입되는 유체 가속 흐름 속도를 줄이고 분진의 재비산 방지 및 여과포에 유량을 고루 분배하기 위해 가이드 베인 적용에 따른 유동 특성을 해석하였다. Fig. 4-17에는 가이드 베인이 설치된 여과집진장치의 유속 분포를 나타내었으며 특정 위치에서 유량이 집중되지 않고, 모든 여과포에서의 속도가 균일하게 분포됨을 알 수 있었다. 가이드 베인의 최적 설치 각도는 여과포 중심으로 가스 분배가 가능한 53°로 나타났다. 가스가 여과포 전체에 고루 분배되어 여과 성능이 향상되고, 여과속도가 모두 낮게 균일하여 여과포에 퇴적되는 오염물질의 양이 동일하기 때문에 모든 여과포에서 안정적인 집진/탈진이 가능할 것으로 사료된다.

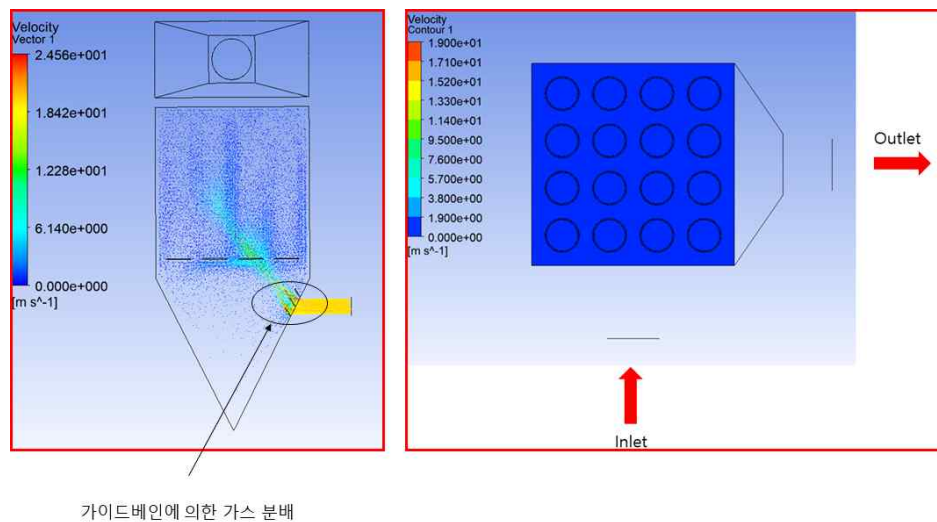


Fig. 4-17. Guide vane system gas velocity distribution at $V_f = 1.5$ m/min

라. 집진장치 압력손실 해석 결과

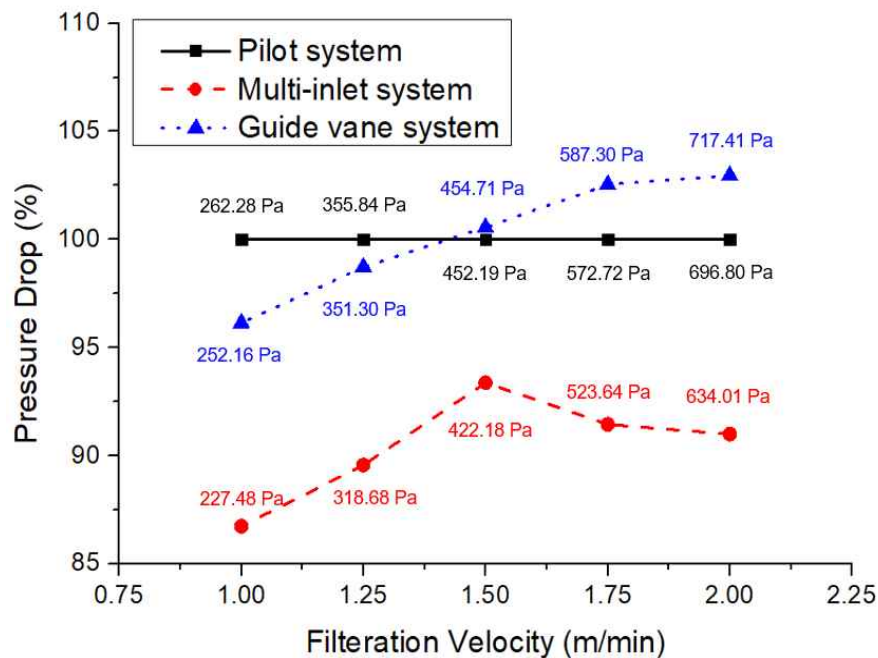


Fig. 4-21. Pressure drop comparison by system types

Fig. 4-21은 단일 입구형을 기준으로 여과속도 및 집진장치 형상에 따른 전체 압력손실 비율을 나타내었다. 여과속도 1.5 m/min 이하에서는 다중 입구형과 가이드 베인 모두 단일 입구형에 비해 전체 압력손실이 낮게 나타났다. 이는 집진기류의 안정적인 분포로 인해 평균 유속이 감소하였기 때문으로 판단된다. 여과속도 1.5 m/min 초과 시 가이드 베인 시스템의 전체 압력손실이 증가하게 되는데 이는 동일 여과 면적 조건에서 여과속도 상승에 의한 집진기류 유량 증가 때문으로 여과속도가 1.5 m/min 초과 시 덕트의 유입속도는 20 m/s 이상으로 강한 난류가 발달하고 이로 인해 가이드 베인에서의 압력손실이 증가하기 때문이다. 반면, 다중 입구형의 경우 여과속도와 관계없이 단일 입구형이 비해 전체 압력손실이 낮게 나타났는데, 이는 동일한 운동량을 가진 집진기류의 충돌로 인해 난류 강도가 감소하여 부차적인 손실이 크게 감소하였기 때문이다.

7. 여과포 선정

여과포 설계시 가장 중요한 검토사항은 운전온도와 여과포의 내열성 및 함수량이다. 여과집진기에서는 여과포의 재질에 따라서 사용온도에 제약을 크게 받아서 고온가스는 냉각하여 처리하여야 하나 고온 가스는 대부분 다량의 수분과 황산화물을 함유하고 있으므로 결로점(이슬점) 이하로 냉각하면 수분발생으로 여과포에 분진과 함께 부착하여 기공을 폐쇄시켜 집진효율을 급격하게 떨어트리므로, 산노점으로 여과포를 크게 손상시켜 소손되므로 철저한 조사가 필요하다.

일반적으로 탈사 및 주물사시설에서 배출되는 최대 가스 온도가 80℃ 이하이므로 Polyester(P.E, 건열) 재질에 제진 발수용 여과포를 주로 사용한다.

탈사·주물사시설을 비롯한 일반적인 여과포를 설계 및 구매시 주요 검토 사양은 다음과 같다.

- ① 여과포 재질은 내열성이 우수한 재질로 하고 $550 \pm 20 \text{ g/m}^2$, 통기도는 $10 \text{ cc/cm}^2 \text{ sec}$ 이상, 두께는 $2.0 \pm 0.2 \text{ mm}$ 이상으로 한다.
- ② 여과포의 압력손실은 150 mmAq로 제작한다.
- ③ 여과포 가공시 접합부는 15 mm이내 간격으로하여 3선 이상으로 재봉 (재봉시 1 Inch당 6땀 이상 되도록) 하여야 하며, 하부는 길이 45 mm를 이중으로 포개어 Over lock 형식으로 재봉하여야 한다.
- ④ Bag cage는 SWRM으로 $\Phi 4 \text{ mm}$ 의 Wire를 사용하여 제작하고, Retainer 선간의 간격은 35 mm 이내로 하고 내부원형 보강선은 300 mm 이내 간격으로 취부한다.(10 가닥 이상)
- ⑤ 재봉실 재질은 Bag재질과 동일 재질을 사용하여야 한다
- ⑥ Bag은 Snap ring type으로 하고 Snap ring은 SUP-6(0.4 t) 또는 SK-5M 이상을 사용한다.
- ⑦ Bag 재질은 공인기관의 시험 성적서를 제출하여야 한다.

가. 여과포 선정시 조사항목표

여과포 선정시 조사항목표

회사명 :

크 기 :

조사일 :

Project :

수 량 :

조사자 :

가스와 분진		
온도	입구평균(℃)	
	순간최대(℃)	
가스의 성질	가스의 조성	
	수분(%)	
	부식성	
	가연성	
	기타	
분진의 성질	종류	
	입도분포	
	입자형상	
	비중	
	부피 비중	
	수분(%)	
	부착성	
	응집성	
	흡습성	
	조해성	
	마모성	
	대전성	
	가연폭발성	
기타		

장치의 구조와 설계조건	
집진기 형식	
여과속도(m/min)	
여과면적(m ²)	
압력손실(mmH ₂ O)	
풍량(Nm ³ /min)	설계 :
	운전 :
정압(mmH ₂ O)	
Pre-duster 유무	
여과포 직경 - 길이비	
여과포의 설치간격	
압축공기압(kg/cm ²)	
벤츄리 설치여부	
가스 냉각방법	
보온여부 및 설치장소	
기타	

기 타 사 항	
투입원료와 반응과정	
사용연료와 조성	
온도 제어방법	
PROCESS FLOW	

운 전 조 건	
입구 농도(mg/Nm^3)	
배출목표농도(mg/Nm^3)	
현재배출농도(mg/Nm^3)	
결로점($^{\circ}\text{C}$)	
탈진간격(sec)	
탈진주기(min)	
운전조건, 기타	

V. 연구결과의 기대효과 및 활용계획

1. 기대효과

가. 환경적 효과

- 1) 대기오염방지시설의 효율 향상으로 지역 대기환경 민원문제 해결
- 2) 장·단기적인 실효성 있는 설계기준을 대기오염방지시설에 적용함으로써 부산시의 쾌적한 대기환경 조성에 기여
- 3) 배출시설에서 발생하는 미세먼지 및 악취감소로 실내작업환경 개선에 의한 작업능률 향상 기대
- 4) 소규모 사업장 방지시설 설치 지원사업 시행 시 적정 설계기준제시로 방지시설업체의 기술향상 유도과 배출시설 관리 지침서로 활용

나. 경제적 효과

- 1) 충격기류식 여과집진기의 안정적인 압력손실관리로 여과포 사용 수명 연장으로 운전비 및 재료비 절감
- 2) 방지시설의 안정적인 유지관리로 기업의 환경비용 절감과 생산성 향상 및 매출 증대
- 3) 적절한 송풍기 모터의 선정으로 시설 운전효율 증대와 Diaphragm valve의 정상적인 작동으로 운전비 절감
- 4) 소규모 사업장의 환경개선 비용 절감으로 기업 경영상황 호전
- 5) 지자체 발주 대기오염방지시설의 표준 설계지침 제시로 부실시공을 사전에 방지하고, 공정한 설계기준으로 업체간 공정 경쟁 유도

다. 사회적 효과

- 1) 미세먼지 및 악취에 의한 민원 해소로 지역주민과의 신뢰 구축
- 2) 대기오염방지시설의 표준 설계지침 제시로 대기오염방지시설의 집진 효율 신뢰도 확보
- 3) 지자체의 환경계획수립과 신규 및 기존 배출업체 관리와 교육자료로 활용
- 4) 소규모 사업장 방지시설 설치 지원사업의 향후 점검자료로 활용

2. 활용계획

- 가. 방지지설의 효율 향상으로 지역 대기환경 민원문제 해결
- 나. 소규모 사업장의 환경개선비용 절감으로 기업 경영상황 호전
- 다. 지자체의 환경계획수립과 신규 및 기존 배출업체 관리 자료로 활용
- 라. 지자체 발주 방지지설의 표준 설계지침 제시로 부실시공을 사전에 방지하고, 공정한 설계기준으로 업체 간 공정 경쟁 유도
- 마. 소규모 사업장 방지지설 설치 지원사업의 향후 운전 점검자료로 활용
- 바. 장·단기적인 실효성 있는 설계기준을 대기오염방지지설에 적용함으로써 쾌적한 대기환경 조성에 기여

3. 연구성과

가. 대기오염방지지설 적정 설계

1) 개최(부산 녹색환경지원센터 후원)

- 일시 : 2022년 2월 10일 목요일 13:00 - 17:00
- 장소 : 부산역 연수원 2층 강의실
- 대상 : 대기오염방지지설업체 설계 담당자(세영환경산업(주) 외 12업체 22명)

2) 주제 : 흡수에 의한 시설 적정 설계기준 제시

나. 환경 분야 전문가 자문회의 주제 발표

1) 개최(부산 녹색환경지원센터)

- 일시 : 2022년 5월 26일 목요일 14:00 - 17:00
- 장소 : 부경대학교 해양공동연구관 2층 224호 회의실

2) 주제 : 대기방지지설별 오염물질 저감원리 및 적정 설계기준

다. 논문 게재

- 1) 투고 학회 : 한국도시환경학회 제 22권 3호 pp. 161-167(2022.09.30)
- 2) 제목 : 충격기류식 여과집진장치에서 최적의 탈진 분사거리 예측