

여과집진기의 탈진 성능 향상을 위한 충격 기류 분사 시스템 최적화 설계에 관한 연구

홍성길^{1,2}, 정유진¹, 박기우¹, 정문헌¹, 임기혁², 서혜민², 손병현^{2*}

¹씨이테크(주) 연구개발센터, ²한서대학교 환경공학과

A study on the optimization design of pulse air jet system to improve bag-filter performance

Sung-Gil Hong^{1,2}, Yu-Jin Jung¹, Ki-Woo Park¹, Moon-Heon Jeong¹, Ki-Hyuk Lim²,
Hye-Min Suh² and Byung-Hyun Shon^{2*}

¹C.E.Tech Co. Ltd., R&D Center, ²Dept of Environmental Engineering, Hanseo University

요 약 본 연구에서는 전산유체역학(CFD)을 이용하여 산업체에 널리 적용되고 있는 충격기류형 탈진시스템의 탈진 특성을 규명하고, 그 성능을 향상시키기 위해 탈진부 유니트(unit) 형상을 개조한 경우의 탈진 성능을 비교하였다. 탈진부 각 형상별로 탈진 공기량과 기류 분포, 유입속도 분포 등을 검토한 결과, 블로우 튜브에 노즐을 설치한 경우(Case 3)와 벤츄리에 이중 유입관을 설치한 경우(Case4, 5)가 현재 현장에서 널리 적용되고 있는 구조(Case 1)에 비해 탈진 공기량의 증폭 효과 및 기류 폭의 확장 현상이 우수한 것으로 예측되었다. 선정된 Case-5를 상용 백필터의 사양(직경 150 mm)에 적용하기 위해 벤츄리 제원을 결정 한 결과, 내측 유입관의 직경 50 mm, 외측 유입관의 직경 90 mm의 제원을 적용하면 탈진 공기량을 최대로 유지할 수 있을 것으로 판단된다.

Abstract The dedusting characteristics of pulse air jet type dedusting system which is widely applied in the industries were identified by utilizing the computational fluid dynamics (CFD) and the dedusting performance in modified shape of dedusting unit was compared in this study. The review on the dedusting air volume, air stream distribution and inflow velocity distribution on each shape of dedusting part showed that the case of installing the nozzle on the blow tube (Case-3) and the case of installing the double intaking tube to the venturi (Case-4 and Case-5) were more excellent than the structure (Case-1) which is widely applied in the field in its amplification effect on the air volume and extension of stream width. The specification of venturi was decided to apply the selected Case-5 for the option of the commercial back filter. It is considered that the dedusting air volume will be maintained in maximum in the case of 50 mm and 90 mm for the diameter of internal and external intaking pipe respectively.

Key Words : Computational fluid dynamics, Pulse air jet, Dedusting, Venturi

1. 서론

최근 산업의 발전 및 차량의 증가로 입자상물질에 의한 대기오염이 증가하고 있다. 이를 방지하기 위한 장치로는 전기집진기와 여과집진기가 산업분야에서 많이 적용되고 있다. 여과집진기는 초기투자비용이 적고 운전이

편리하며 또한 집진효율이 높아 매년 증가하는 추세를 나타내고 있다. 그러나 국내에서는 아직까지 여과집진기의 설계 및 운전에서 가장 중요한 인자인 여과속도와 유입 분진농도와의 관계는 어느 정도 연구가 이루어져 있지만 집진 후 여과포에 부착된 먼지의 탈진과 관련된 분사시스템에 관한 연구는 부족한 실정이다. 여과포의 탈진

본 연구는 중소기업청에서 지원하는 2011년도 산학공동기술개발사업(00045078)의 연구수행으로 인한 결과물임을 밝힙니다.

*Corresponding Author : Byung-Hyun Shon

Tel: +82-10-9669-1368 email: bhshon@hanseo.ac.kr

접수일 12년 07월 20일

수정일 12년 08월 03일

게재확정일 12년 08월 09일

특성은 여과집진기의 성능과 여과포의 수명을 좌우하는 가장 중요한 인자이다.

우수한 탈진 성능은 여과포 표면에 쌓이는 먼지의 부하량을 줄이고 여과포 표면에 부착되는 먼지층을 균일하게 유지시켜 과도한 압력손실을 방지하며 탈진 주기를 감소시켜 여과포의 교체 시기를 연장시킨다. 또한 여과집진기의 여과 성능과 함께 비용 절감 측면에서 매우 중요한 요인으로 작용한다.

여과집진기의 탈진은 진동식, 역기류식, 충격기류식(pulse air jet) 등으로 구분된다. 진동 및 역기류 탈진 방식은 집진과 탈진을 별도로 수행하기 때문에 별도의 집진실을 필요로 한다. 그러나 충격기류식 탈진은 탈진효율이 우수할 뿐만 아니라 집진과 탈진을 동시에 수행할 수 있어 산업체에서 널리 사용되고 있다. 충격기류식 탈진은 여과포 중심부에 설치된 압축공기 노즐을 통해 고압의 압축공기를 분사하고 이 때 형성된 기류와 충격파에 의해 여과포 표면에 부착된 분진을 탈리시키는 방식이다. 그러므로 설계 시 탈진에 투입되는 에너지의 양과 세기 및 분포를 결정할 수 있는 다양한 변수들을 고려해야 한다. 그러나 대부분의 설비업체 및 사용업체에서는 경험에 의존하여 여과집진기의 탈진부를 설계 및 운전하고 있는 실정이다. 이에 따른 탈진 성능 저하로 탈진 주기가 짧아져 필터백의 수명 단축 등의 문제가 발생하고 있는 실정이다[1-3].

이에 본 연구에서는 전산유체역학(CFD : computational fluid dynamics)을 이용하여 충격기류식 탈진 방식의 탈진 특성을 규명하고 또한 탈진부 유닛(unit)의 형상을 개조한 경우의 탈진 성능을 비교하였다. 본 연구를 통해 탈진부 각 형상별로 탈진 공기량과 기류 분포, 여과포 유입속도 분포 등을 검토하여 탈진 성능을 공학적으로 규명하고자 하며, 이를 이용하여 탈진 성능을 극대화시킬 수 있는 탈진 기류 분사 시스템의 최적화 설계에 관한 기초 자료로 활용하고자 한다.

2. 수치해석

2.1 기초방정식

유체의 유동을 정상 상태, 비압축성 기체라 가정할 때 일반적인 물리량의 수송방정식을 다음과 같은 형태로 나타낼 수 있다[4].

$$\text{div}(\mathbf{V}\Phi_i - \Gamma_{\Phi_i} \text{grad}\Phi_i) = S_{\Phi_i} \quad (1)$$

여기에서 \mathbf{V} 는 속도 벡터이고 Γ_{Φ_i} 는 확산 계수이다. S_{Φ_i} 는 부력항(S_{buoyancy})을 제외한 비정상항, 압력구배 등을 포함한 모든 source term을 나타낸다. 위 수송방정식에서 질량 보존 차원에서 물리량 Φ_i 에 밀도 ρ 를 대입하면 연속 방정식이 되며, 속도장에 물리량 Φ_i 에 ρu_i 를 대입하면 운동량 방정식이 된다. 만약 에너지를 수송한다면 물리량 Φ_i 에 $\rho c_p T$ 를 대입하면 에너지 방정식으로 나타낼 수 있다. 또한 중력을 고려해야 하는데, 이는 운동량에 체적력(-중력)인 ρg 를 추가함으로써 다음과 같은 부력항을 나타낼 수 있다.

$$-\rho\beta g\theta = -\rho\beta g(T - T_0) \quad (2)$$

식 (1)에 (2)식을 추가하면 다음과 같다.

$$\text{div}(\mathbf{V}\Phi_i - \Gamma_{\Phi_i} \text{grad}\Phi_i) = S_{\Phi_i} + S_{\text{buoyancy}} \quad (3)$$

2.2 난류 모델

난류 유동은 매우 불규칙하고, 비정상 3차원 거동을 하므로 난류 유동과 관련된 유동 현상을 수치적으로 정확하게 예측하거나 설명하기는 어려워 고 레이놀즈수 유동에서 발생하는 난류의 물리량 수송방정식인 Navier-Stokes 방정식을 직접 풀 수는 없으므로[4], 난류를 해석하기 위해 난류 모델을 도입하게 된다. 난류 모델은 난류 운동을 크게 난류 강도를 나타내는 속도 스케일과 난류 크기를 나타내는 길이 스케일, 두 가지 특성량으로 표현된다. 난류 모델은 난류 점성 계수(μ)를 취급하는 방법에 따라 여러 가지로 나눌 수 있는데 이러한 난류 모델 중 1974년 Launder와 Spalding에 의해 제시된 표준 k- ϵ 모델은 난류의 시간적으로 변동하는 속도가 시간 평균 속도와 변동분의 속도로 되어 있다는 가정하에 Navier-Stokes 방정식을 시간 평균하여 속도 변동량의 상관항이 응력 형태(Re 응력항 = 난류 점성 계수 \times 속도 구배)인 레이놀즈 응력항을 도출해 내고, 이는 분자점성에 의해 발생하는 전단 응력과 같은 형태로 난류를 가장 잘 표현하는 모델이라 할 수 있다[5].

표준 k- ϵ 난류 모델에서는 난류 점성을 난류운동 에너지(k)와 난류의 소산률(ϵ)로 표현한다.

$$\mu_t = \frac{C_\mu \rho k^2}{\epsilon} \quad (4)$$

난류 운동 에너지(k) 방정식은,

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i k) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\frac{\mu_t}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x_i} \right) + G_k + G_b - \rho \epsilon \quad (5)$$

난류 소산률 방정식은 식 (6)과 같고 여기서 G_k 는 난류 생성항으로서 식 (7)과 같다.

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i \epsilon) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \frac{\partial \epsilon}{\partial x_i} \right) + C_{\epsilon_1} \frac{\epsilon}{k} (G_k + C_{\epsilon_3} G_b) - C_{\epsilon_2} \rho \frac{\epsilon^2}{k} \quad (6)$$

$$G_k = \mu_t \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \quad (7)$$

필터백은 porous jump model을 이용하여 다공성 물질로 가정하고 국부 유속에 대한 단위 면적당 압력강하로 계산하였다[6].

2.3 수치해석 조건

2.3.1 수치해석 방법

본 연구에서는 상용 소프트웨어인 FLUENT를 사용하였고, 이는 난류 방정식들의 이산화 방법으로 유한체적법(finite-volume method)을 사용한다. 모든 수치 해석은 상류 차분 도식(upwind differencing scheme)을 이용하여 수행하였다. 이는 대류항에 대해 인공적인 확산 즉, 수치확산(numerical diffusion)을 도입한 것으로서 안정된 해를 구할 수 있다. 그리고 압력장을 구하기 위해 연속 방정식과 운동량 방정식을 조합시키는 방법으로 SIMPLE(Semi-Implicit Method Pressure-Linked Equations) 알고리즘을 사용하였다[4]. 또한 수렴성을 좋게 하기 위해 하향 이완법 (under relaxation)을 사용하였다. 수치해석에 필요한 기본 방정식이 비선형이므로 반복에 의한 해의 수렴이 필요하다. 반복 계산 시 종속변수들의 수렴정도를 점검하기 위하여 잉여치(residual)를 확인하면서 잉여치가 10^{-3} 이하에 도달하면 수렴된 것으로 간주하였다[4].

$$\max |\phi^{n+1} - \phi^n| \leq 10^{-3} \quad (8)$$

2.3.2 해석 모델 및 경계 조건

표 1과 같이 총 5개 Case에 대하여 탈진 성능을 비교하였다.

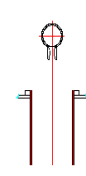

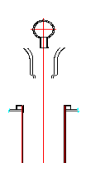

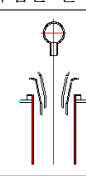
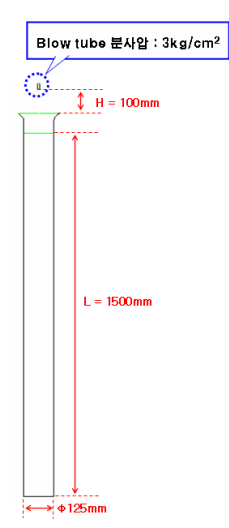
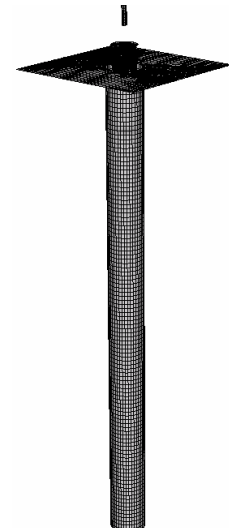
Case-1(일반 블로우 튜브 및 단순 벤츨리 조합)은 현장에서 많이 적용하고 있는 형태로서 백필터 상부에 단순히 노즐을 설치하여 노즐로부터 백필터 내부로 탈진용 압축 공기를 분사하는 형태이다.

Case-2와 Case-3은 블로우 튜브에서 분사하는 1차 압축공기를 집중시키고자 별도 노즐을 형상별로 설치하였다. Case-4와 Case-5는 2차 충격파가 벤츨리로 원만하게

유입되도록 이중 유입관을 설치한 형태로, Case-4는 이중 유입관을 상부로 올려 블로우 튜브와 벤츨리 사이에 설치한 경우이며 Case-5는 이중 유입관을 벤츨리에 고정된 경우이다.

블로우 튜브와 벤츨리간의 거리는 100 mm, 백필터는 1500 mm H × 125 mm L 규격을 사용하였으며, 블로우 튜브의 분사압은 3 kg/cm²으로 고정하여 동일한 탈진 조건에 대해 각각의 case에 대한 탈진 공기량, 필터백 표면의 탈진 기류 분포를 비교하였다.

[표 1] 수치 해석 모델 case 및 경계조건
[Table 1] Modified cases and boundary conditions for computational fluid dynamics.

| Case-1 | Case-2 | Case-3 |
|---|---|---|
| 일반 탈진 방식 | 블로우튜브에 1차 압축공기 집중용 노즐 설치 | |
|  |  |  |
| Case-4 | | Case-5 |
| 2차 충격기류 안내용 이중 유입관 설치 | | |
|  |  | |
| 해석 대상 경계 조건 | | 격자 형상화 모습 |
|  | |  |

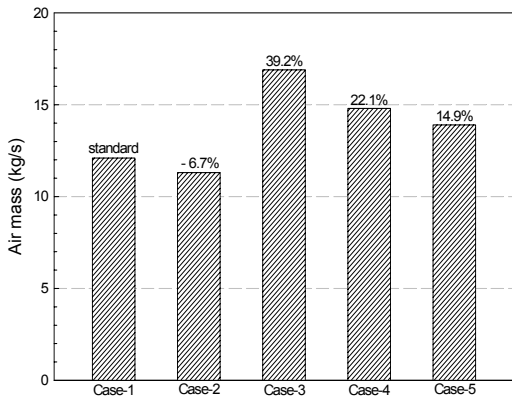
3. 결과 및 고찰

3.1 탈진공기량

각 Case별로 벤츄리 내부로 유입되는 탈진 공기량을 예측한 결과, 그림 1과 같이 Case-2의 벤츄리 형상을 개조할 경우 Case-1보다 백필터 내부로 유입되는 탈진 공기량이 약 6.7% 감소되는 것으로 예측되었다. 그러나 Case-3, Case-4 및 Case-5의 경우에는 큰 폭으로 백필터 내부로 유입되는 탈진 공기량이 각각 39.2%, 22.1% 및 14.9% 증가하는 것으로 나타났다.

Case-2와 Case-3은 블로우 튜브에 노즐을 설치하여 1차 압축공기 분사구 주변의 공간을 단속시켜 압축공기를 집중시키려는 의도였으나, Case-3은 이러한 의도가 정확히 반영되어 탈진 공기량이 큰 폭으로 증가된 점과는 달리 Case-2는 오히려 탈진 공기량이 저감되었다. 이는 블로우 튜브에 노즐 설치시 탈진 공기량 증폭에는 효과적이거나, 노즐 형상에 따른 기류 분사 특성에 의한 차이라고 판단된다.

Case-4와 Case-5는 벤츄리 입구에 기류 안내용 구조물을 설치한 것이 2차 충격 기류가 형성되는 과정에서 원만하게 벤츄리로 유입되도록 안내하는 역할을 하면서 일종의 병목 현상을 해소시켜 탈진 공기량이 증가한 것으로 판단된다.



[그림 1] 각 case별 탈진 공기량 비교 결과
[Fig. 1] Comparison of dedusting air quantity for each cases.

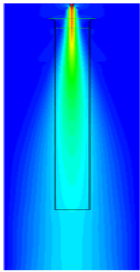
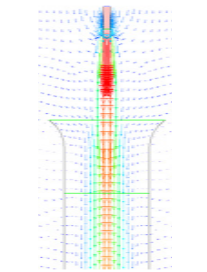
3.2 탈진기류분포

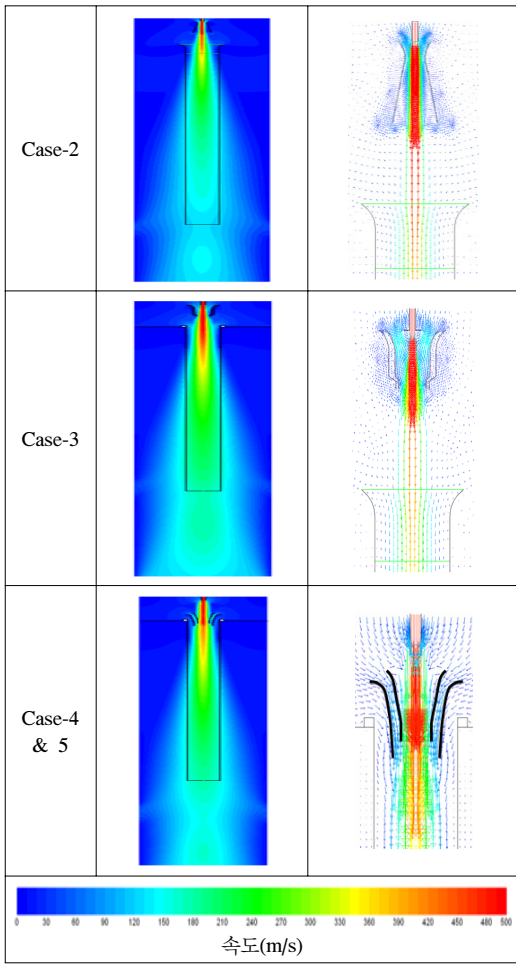
표 2에 각 Case별로 백필터에 전달되는 탈진 기류 분포의 예측 결과를 나타내었다. Case-1은 open된 공간에서 압축 공기가 분사됨에 따라 탈진용 충격기류의 집중력이

예상하였던 것보다 약한 것으로 판단된다. 이에 1차 압축 공기 분사구 주변의 공간을 단속시켜 압축공기를 집중시키려는 의도로 블로우 튜브에 노즐을 설치한 Case-2는 기류 패턴이 1차 압축공기의 집중도는 Case-1보다 우수하나 외부 공기가 벤츄리 주변으로 끌려오면서 벤츄리 끝 확장된 구간에서 경계층 분리 현상이 발생하여 와류가 분사기류의 직진성을 방해하므로 이와 같은 형상으로 확장하는 것은 불합리할 것으로 판단된다. 이에 반해 Case-3의 노즐 형상은 압축공기 초기 분사 순간부터 집중된 탈진용 충격 기류가 진행되는데 크게 방해받지 않는 형상인 것으로 판단된다. 따라서 앞서 탈진 공기량 예측 결과에서도 가장 많은 증폭 효과를 보였던 것으로 판단된다. Case-4와 Case-5는 벤츄리로 유입되는 2차 충격파가 원만하게 유입됨에 따라 2차 충격파의 집중도가 매우 향상되고 있음을 확인할 수 있다. 이 역시 앞의 탈진 공기량 예측 결과에서도 탈진 공기량이 증가할 수 있었던 이유인 것으로 판단된다.

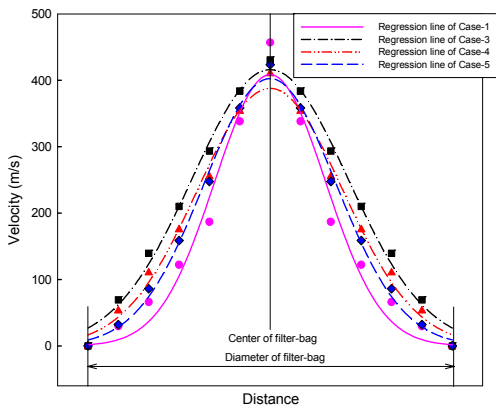
표 2의 탈진 기류의 유속 분포를 보면, Case-1과 Case-2는 모두 균일한 탈진 기류 전달은 어려운 것으로 판단된다. 또한, 이는 실제 여과집진기 설치 사업장의 현장에서 조사한 결과와 유사한 경향을 보였다. 현장에서 채취한 필터백을 절개하여 부위별로 차압을 측정해 보면, 벤츄리에서 가장 가까운 구간과 가장 먼 구간의 차압이 높고, 중앙 구간이 상대적으로 차압이 낮은 경향과 유사하였다[1-3]. Case-3은 탈진 기류의 도달폭이 좀 더 확장되는 것으로 나타났다. Case-4와 Case-5의 경우, Case-3과 거의 유사한 유속분포를 보였다. 이는 모두 탈진 공기량이 증폭되고 여과포 내부로 병목 현상이나 직진성에 대한 특별한 방해없이 원만하게 유입됨에 따라 탈진 기류 폭도 확장되는 것으로 판단된다. 이에 Case-3, Case-4 및 Case-5는 필터백에 탈진 기류가 균일하게 전달되는 능력이 좋은 것으로 예측되었다.

[표 2] 충격기류의 유속분포 및 유동 특성
[Table 2] Velocity distributions and flow patterns of dedusting pulse air jet.

| Cases | 유속분포 | 공기의 유동 |
|--------|--|---|
| Case-1 |  |  |



3.3 여과포 유입 유속 분포

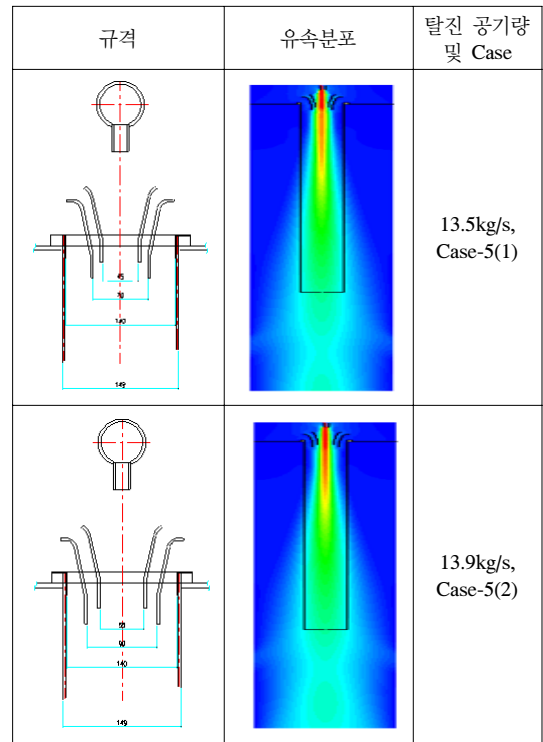


[그림 2] 각 case별 위치에 따른 탈진 공기의 유속분포
[Fig. 2] Velocity distribution of dedusting pulse air jet from center to wall of bag filter for each cases.

그림 2는 벤츄리 입구로부터 20 cm 떨어진 지점의 유입 공기의 유속 분포를 나타낸 것이다. 모든 경우의 유속 분포 형태는 거의 비슷한 경향을 보였다. Case-1의 경우 백필터 벽면에서의 유속은 가장 적었으나 백필터 중앙부에서의 유속은 상대적으로 빨라 유속의 편차가 심함을 알 수 있다. 또한 Case-3의 경우 그림 1의 탈진공기량에서도 알 수 있듯이, 백필터 벽면 뿐만 아니라 백필터 중앙부에서의 유속도 가장 빠르고 최고의 탈진공기량을 나타낸 것으로 판단된다. Case-4와 Case-5의 경우가 유속의 균일분포 측면에서는 가장 우수한 결과를 보였다.

3.4 최적의 형상 선정

Case-1에 비해 탈진 공기량의 증폭 효과 및 기류 폭의 확장 형상이 우수한 Case-3, Case-4, 및 Case-5 중에서 현장 적용의 용이성을 고려한 결과, Case-3의 경우에는 제품 가공 및 시공방법(기존 탈진부에 고정하는 방법)이 어려워 최종적으로 Case-5를 선정하였다. Case-5는 기존 상용 벤츄리를 2단 벤츄리로 변형가공이 가능하고 대량 양산이 가능하며 또한 블로우 튜브와 벤츄리 높이 조절이 용이하기 때문이다.



[그림 3] Case-5에 대한 탈진 공기의 유속분포 및 탈진공기량.

[Fig. 3] Velocity distribution and air quantity for Case-5.

그림 3은 탈진 모사 실험 결과 유입량이 타 형상에 비해 우수하고 현장 적용성이 뛰어난 것으로 예측된 Case-5에 대해 가장 일반적으로 사용되고 있는 상용 백필터의 사양(직경 150 mm)에 적용하기 위한 벤츄리 제원을 결정하기 위하여 전산모사를 수행한 결과이다. 모사 결과 내측 유입관의 직경 50 mm, 외측 유입관의 직경 90 mm 일 때 범용 백필터 사이즈에 대해서는 Case-5(2)의 벤츄리 제원을 적용하면 탈진 공기량을 최대로 유지할 수 있을 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구는 탈진 기류 분사 시스템의 최적화 설계에 관한 기초 연구의 일환으로 전산유체역학을 이용하여 일반 블로우 튜브와 단순 벤츄리 조합의 충격기류방식의 탈진 장치에 대한 탈진 성능과 블로우 튜브 및 벤츄리 입구에 기류 유도용 구조물을 설치한 경우의 탈진 성능을 비교한 결과, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 각 Case별로 벤츄리 내부로 유입되는 탈진 공기량을 예측한 결과, Case-3, Case-4 및 Case-5와 같이 노즐 부착 및 벤츄리 형상 개조시 Case-1 보다 벤츄리로 유입되는 탈진 공기량이 약 14.9-39.2% 증폭되는 것으로 예측되었다. Case-2는 오히려 탈진 공기량이 저감되었으며, 이는 블로우 튜브에 설치된 노즐 형상이 탈진 기류의 직진성을 방해하기 때문으로 판단된다.
2. 각 Case별로 벤츄리 내부로 유입되는 탈진 기류 분포를 예측하여 비교한 결과, Case-3의 노즐 형상은 압축공기 초기 분사 순간부터 탈진 기류를 집중시키는데 매우 효과적인 것으로 예측되었다. 또한 집중된 탈진용 충격 기류가 여과포 내부로 진행되는 데 크게 방해받지 않는 형상인 것으로 판단된다. Case-4와 Case-5는 벤츄리로 유입되는 2차 충격파가 원만하게 유입됨에 따라 2차 충격파의 집중도가 매우 향상되고 있음을 확인할 수 있었다.
3. 각 Case별로 탈진 기류의 유속 분포를 예측한 결과, Case-1과 Case-2는 모두 균일한 탈진 기류 전달은 어려울 것으로 예측되었다. Case-3은 탈진 기류의 도달폭이 좀 더 확장되는 것으로 나타났다. Case-4와 Case-5의 경우, Case-3과 거의 유사한 유속분포를 보여, Case-3, 4, 5는 필터백에 탈진 기류가 균일하게 전달되는 능력이 좋은 것으로 예측되었다.
4. 각 Case별로 여과포로 유입되는 탈진 기류의 유입 속도를 예측하여 비교한 결과, Case-4와 Case-5의

경우가 유속의 균일분포 측면에서는 가장 우수한 결과를 보였다. 본 연구를 통해서 현장에서 널리 적용되고 있는 탈진부 구조(Case 1)에 비해 탈진 공기량의 증폭 효과 및 기류 폭의 확장 및 현장 적용의 용이성 등을 고려하여 Case-5를 최적의 형상으로 선정하였다. 선정된 Case-5에 대하여 가장 일반적으로 사용되고 있는 상용 백필터의 사양(직경 150 mm)에 적용하기 위한 벤츄리는 내측 유입관의 직경 50 mm, 외측 유입관의 직경 90 mm의 제원을 적용하면 탈진 공기량을 최대로 유지할 수 있을 것으로 판단된다.

Nomenclatures

- V : 속도 벡터(velocity vector)
- Γ_{Di} : 확산 계수(diffusion coefficient)
- S_{Di} : 부력항을 제외한 비정상항, 압력구배 등을 포함한 모든 source term
- k : 난류 운동 에너지
- ϵ : 소산률
- G_k : 난류 생성항
- R : 잉여치
- G_b : 부력항
- μ_t : 난류 점성 계수
- $C_{\mu}, C_{\epsilon 1}, C_{\epsilon 2}, \sigma_k, \sigma_{\epsilon}$: 경험적 실험상수
- ρ : 밀도
- Φ_i : 지배 방정식의 의존 변수
- g : 중력 가속도
- u, v, w : X, Y, Z방향 속도 성분

References

- [1] Jung-Min Seo, Development of pulse air jet bag filter cleaning assistant equipment, pp.1-10, 2004.
- [2] Won-Hee Lee, Characteristics of electrostatic cyclone/bag Filter with upper inlet, Pukyong National University, master thesis, 2000
- [3] Byung-Hyun Park, Effect of jet nozzle on the reverse pulse jet cleaning in bag-filter system, Kyung Hee University, master thesis, 2004.
- [4] Hyun-Guk Myung, Computational Fluid Dynamics for Engineering, Han Mi publishing company, pp. 124-138, 1997.

[5] Patankar SV, Numerical Heat Transfer and Fluid Flow, Hemisphere Publishing Corp., 1980.

[6] Byung-Rok Shin, Computational Fluid Dynamics, Dae Young publishing company, pp. 264-277, 1997.

홍 성 길(Sung-Gil Hong) [정회원]



- 1987년 8월 : 영남대학교 기계공학(공학석사)
- 2001년 12월 ~ 현재 : (주)씨이테크 대표이사

<관심분야>
대기오염제어기술, 열분해, 대기오염모델링

정 유 진(Yu-Jin Jung) [정회원]



- 2000년 2월 : 창원대학교 환경공학(공학사)
- 2002년 2월 : 창원대학교 환경공학(공학석사)
- 2002년 9월 ~ 2010년 3월 : 크린에어테크놀로지(주)
- 2010년 3월 ~ 현재 : 씨이테크(주) 컨설턴트 수석연구원

<관심분야>
산업환기기술, 대기오염제어기술, 대기오염모델링

박 기 우(Ki-Woo Park) [정회원]



- 2000년 2월 : 창원대학교 환경공학(공학사)
- 2003년 2월 : 창원대학교 환경공학(공학석사)
- 2010년 3월 ~ 현재 : 경기대학교 환경에너지시스템공학 박사과정
- 2004년 10월 ~ 현재 : 씨이테크(주) 기업부설연구소 수석연구원

<관심분야>
대기오염제어기술

정 문 현(Moon-Heon Jeong) [정회원]



- 2008년 2월 : 한서대학교 환경공학과(공학사)
- 2010년 2월 : 한서대학교 환경공학과 (공학석사)
- 2010년 7월 ~ 현재 : 씨이테크(주) 기업부설연구소 주임연구원

<관심분야>
대기오염제어기술, 신재생에너지처리

임 기 혁(Ki-Hyuk Lim) [준회원]



- 2011년 2월 : 한서대학교 환경공학과(공학사)
- 2011년 3월 ~ 현재 : 한서대학교 환경공학과 석사과정

<관심분야>
유해가스처리, 산업폐기물처리

서 혜 민(Hye-Min Suh) [준회원]



- 2012년 8월 : 한서대학교 환경공학과(공학사)
- 2012년 9월 ~ 현재 : 한서대학교 환경공학과 석사과정

<관심분야>
유해가스처리, 산업폐기물처리

손 병 현(Byung-Hyun Shon)

[정회원]



- 1990년 2월 : 부산대학교 환경공학과(공학사)
- 1994년 2월 : 부산대학교 환경공학과 (공학석사)
- 1997년 2월 : 부산대학교 환경공학과 (공학박사)
- 1997년 3월 ~ 현재 : 한서대학교 환경공학과 정교수

<관심분야>

대기오염제어(탈황 및 탈질), 폐기물처리, 이산화탄소 흡수