

여과집진기의 탈진 능력 향상을 위한 기류 분사 시스템 최적화 설계에 관한 연구

정유진*, 홍성길*, 정중현**, 임기혁***, 김진옥***, 손병현***

*씨이테크(주) 연구개발센터

**대구한의대학교 보건학부

***한서대학교 환경공학과

e-mail: bhshon@hanseo.ac.kr

A study on the optimization design of air current injection system to improve bag-filter dedusting performance

Yu-Jin Jung*, Sung-Gil Hong*, Jong-Hyeon Jung**, Ki-Hyuk Lim***,

Jin-Uk Kim***, Byung-Hyun Shon***

* C.E.Tech Co. Ltd., R&D Center

** Faculty of Health Science, Daegu Haany University

*** Department of Environmental Engineering, Hanseo University

요 약

본 연구는 탈진 기류 분사 시스템의 최적화 설계에 관한 기초 연구의 일환으로 전산유체역학(CFD)을 이용하여 일반 블로우 튜브와 단순 벤츄리 조합의 충격 기류(Pulse air jet) 방식의 탈진 장치에 대한 탈진 성능과 벤츄리 입구에 기류 유도용 구조물을 설치한 경우의 탈진 성능을 비교하였다. 각 Case별로 벤츄리 내부로 유입되는 탈진 공기량을 예측한 결과, case 2의 벤츄리 형상 개조시 case 1 보다 벤츄리로 유입되는 탈진 공기량이 약 20% 증폭되는 것으로 나타났다. 또한 필터백 표면에서의 탈진 기류 전달 분포를 예측한 결과, 모든 case가 필터백의 국한된 영역으로 탈진 기류가 집중됨을 알 수 있었다. 또한, case 2의 경우가 case 1보다 오히려 탈진 기류의 전달 수준이 불량함을 알 수 있다. 이는 case 2의 경우 벤츄리 입구에 기류 유도용 구조물을 설치한 것이 탈진 공기량을 증폭시키는데에는 도움이 되나, 오히려 벤츄리 내부로 유입된 탈진 기류의 직진성을 보완하여 필터백 내부에서 탈진 기류의 확장을 방해하기 때문인 것으로 판단된다.

1. 서론

최근 산업이 발전함에 따라 대기중으로 배출되는 먼지의 배출량이 증가하여 대기 중에 부유하는 입자상 물질은 더욱 더 증가할 것으로 예상되어 심각한 대기오염물질로 대두될 전망이다.

현재까지는 미세입자에 대한 최고 집진성능을 보이는 것은 전기집진장치와 여과집진장치로 알려져 있고, 여과 집진기의 경우 년 평균 약 110% 이상 증가하는 추세를 나타내고 있다. 이와 같은 증가 추세는 여과집진기술이 다른 집진기술에 비해 여러 가지 장점을 갖고 있기 때문이라고 볼 수 있다. 그러나 국내에서는 아직까지 여과집진장치의 설계 및 운전에서 가장 중요한 자료인 여과속도와 입구분진농도와의 관계, 탈진 특성과의 관계, 분사거리 등이 이론적으로 확립된 것이 없다. 특히, 이 중에서 탈진 특성의 경우, 여과집진기의 성능과 여과포의 수명을 좌우하는 가장 중요한 인자라 할 수 있다.

탈진 특성은 여과포 표면에 도달하는 먼지의 부하량을 줄이거나, 여과포 표면에 부착되는 먼지층을 균일하게 유지시켜 과도한 압력손실을 방지할 수 있고, 이로 인하여 탈진 주기 또한 감소시킬 수 있으며, 탈진 조작의 감소에 의한 여과포의 수명 증대로 인하여 여과포의 교체 시기를 연장시킬 수 있으므로 여과집진장치의 운전 및 유지 관리비용을 절감시킬 수 있다는 점에서 여과 성능과 함께 비용 절감적인 측면에서 매우 중요한 요인으로 작용한다. 그러나, 대부분의 장치설치업체 및 사용업체는 경험에 의존하여 여과집진장치와 탈진부를 설계 및 운전하고 있는 실정이다. 특히, 경험에 의존하여 설계된 충격 기류(Pulse air jet) 방식의 탈진 시스템을 적용하고 있는 여과집진기의 경우에는 압축공기의 탈진 에너지가 여과포 내부에 골고루 전달되지 못하고 일부분에 집중적으로 전달됨에 따라 발생하는 탈진 성능 저하 문제, 탈진 성능 저하에 따른 여과 성능 저하 문제, 이로 인하여 일부 국부적인 눈막힘 현상이 지속되어

차압 상승 문제가 해결되지 않아 실제 현장에서는 탈진 주기를 줄여서 운용하게 되면서 잦은 탈진에 의한 필터백 수명 단축 등의 문제가 빈번하게 발생하고 있는 실정이다[1,2,3].

따라서 본 연구에서는 전산유체역학(CFD : Computational Fluid Dynamics)을 이용하여 일반 블로우 튜브(Blow tube)와 단순 벤츄리(Venturi) 조합의 충격 기류 방식의 탈진 장치에 대한 탈진 성능을 규명하고, 벤츄리 형상을 개조한 경우의 탈진 성능을 비교함으로써, 탈진 성능에 대한 공학적 규명 여부를 검증하고 향후 탈진 성능을 극대화시킬 수 있는 탈진 기류 분사 시스템의 최적화 설계에 관한 기초 자료로서 활용하고자 한다.

2. 수치 해석 내용

2.1. 수치 해석 개요

2.1.1. 기초 방정식

정상 상태, 비압축성 기체라 가정할 때 일반적인 물리량의 수송 방정식을 다음과 같은 형태로 나타낼 수 있다.[4]

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

S_{ϕ_i} 는 부력항(S_{buoyancy})을 제외한 비정상항, 압력구배등을 포함한 모든 source term을 나타낸다.

난류 모델에는 Launder와 Spalding에 의해 제시된 Standard k-ε turbulence model을 사용하였다.[5]

2.1.2. 수치 해석 방법

본 연구에서 사용한 소프트웨어인 FLUENT에서는 이산화 방법으로 유한체적법을 사용하고 있다. 모든 수치 해석은 상류 차분 도식과 엇갈림 격자계를 이용하여 수행하였다. 압력장을 구하기 위해 연속 방정식과 운동량 방정식을 조합시키는 방법으로 SIMPLE 알고리즘을 사용하였고, 벽면과 고체 표면에서의 전단 응력은 벽함수(wall function)를 이용하여 계산하였다. 필터백은 Porous jump model을 이용하여 다공성 물질로 가정하고 국부 유속에 대한 단위 면적당 압력강하로 계산하였다.[6]

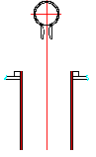
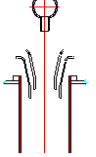


2.2. 수치 해석 모델

[표 1]과 같이 i) Case 1 : 일반 블로우 튜브 및 단순 벤츄리 조합과 ii) Case 2 : 벤츄리 형상 개조, 두 가지 case에 대해 탈진 성능을 비교하였다.

Case 1은 현장에서 가장 많이 적용하고 있는 형태이며, Case 2는 벤츄리 형상을 개조하여 탈진 기류가 벤츄리로 원만하게 유입되도록 기류 안내 역할

용 구조물을 추가 설치한 형태이다.

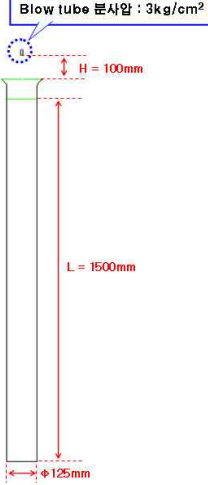
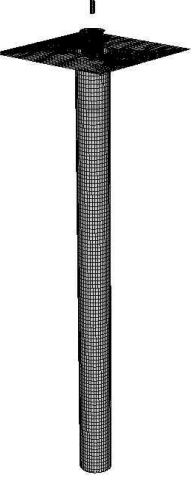
[표 1] 수치 해석 모델 Case

Case 1	Case 2
일반 블로우 튜브와 단순 벤츄리 조합	벤츄리 형상 개조
	
	

2.3 수치 해석 조건

[표 2]와 같이 블로우 튜브와 벤츄리간의 거리는 100mm, 백필터는 1500mmH × 125mmL 규격을 사용하였으며, 블로우 튜브의 분사압은 3kg/cm²으로 고정하여 동일한 탈진 조건에 대해 각각의 case에 대한 탈진 공기량, 필터백 표면의 탈진 기류 분포를 비교하였다.

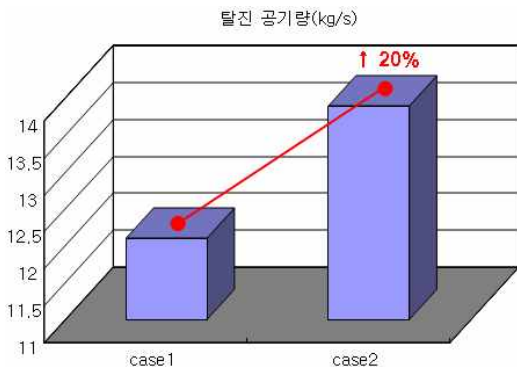
[표 2] 수치 해석 조건

해석 대상 경계 조건	격자 형상화 모습
	

3. 결과 및 고찰

3.1 탈진 공기량

각 Case별로 벤츄리 내부로 유입되는 탈진 공기량을 예측한 결과, [그림 1]과 같이 case 2의 벤츄리 형상 개조시 case 1 보다 벤츄리로 유입되는 탈진 공기량이 약 20% 증폭되는 것으로 예측되었다. 블로우 튜브로부터 분사되는 압축 공기가 1차 충격 기류 역할을 하고 벤츄리로 유입될 때 강한 제트 기류를 형성하여 주변의 공기가 벤츄리 입구로 끌려 들어오면서 2차 충격 기류를 형성하게 된다. Case 2에서 벤츄리 입구에 기류 안내용 구조물을 설치한 것이 2차 충격 기류가 형성되는 과정에서 좀 더 2차 충격 기류를 벤츄리 내부로 집중시키는 역할을 하면서, 원만하게 벤츄리로 유입되도록 안내하였기 때문인 것으로 판단된다.



[그림 1] 각 case별 탈진 공기량 비교 결과

3.2 탈진 기류 분포

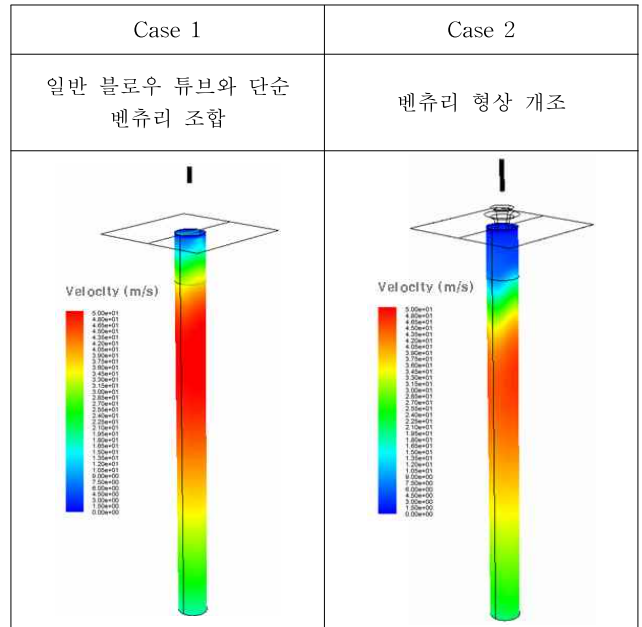
[표 3]에 각 Case별로 필터백에 전달되는 탈진 기류의 분포의 예측 결과를 나타내었다.

필터백 표면에서의 탈진 기류 전달 분포를 예측한 결과, 모든 case가 필터백의 국한된 영역으로 탈진 기류가 집중되어 있음을 볼 수 있다. 두 가지 형상 모두 균일한 탈진 기류 전달은 어려울 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[1,2,3].

또한, case 2의 경우가 case 1보다 오히려 탈진 기류의 전달 수준이 불량함을 알 수 있다. 이는 앞서 [그림 1]의 결과에서도 알 수 있듯이 case 2의

경우 벤츄리 입구에 기류 유도용 구조물을 설치한 것이 탈진 공기량을 증폭시키는데에는 도움이 되나, 오히려 벤츄리 내부로 유입된 탈진 기류의 직진성을 보완하여 필터백 내부에서 탈진 기류의 확장을 방해하기 때문인 것으로 판단된다.

[표 3] 탈진 공기량 예측 결과



4. 결론

본 연구는 탈진 기류 분사 시스템의 최적화 설계에 관한 기초 연구의 일환으로 전산유체역학(CFD)을 이용하여 일반적으로 가장 많이 사용하고 있는 일반 블로우 튜브와 단순 벤츄리 조합의 충격 기류(Pulse air jet) 방식의 탈진 장치에 대한 탈진 성능과 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 2의 벤츄리 형상 개조시 case 1 보다 벤츄리로 유입되는 탈진 공기량이 약 20% 증폭되는 것으로 예측되었다. 이는 Case 2에서 벤츄리 입구에 기류 안내용 구조물을 설치한 것이 2차 충격 기류가 형성되는 과정에서 좀 더 2차 충격 기류를 벤츄리 내부로 집중시키는 역할을 하면서, 원만하게 벤츄리로 유입되도록 안내하였기 때문인 것으로 판단된다.

2. 필터백 표면에서의 탈진 기류 전달 분포를 예측한 결과, 모든 case가 필터백의 국한된 영역으로

탈진 기류가 집중되어 있음을 볼 수 있다. 두 가지 형상 모두 균일한 탈진 기류 전달은 어려울 것으로 판단된다. 또한, case 2의 경우가 case 1보다 오히려 탈진 기류의 전달 수준이 불량함을 알 수 있다. 이는 case 2의 경우 벤츄리 입구에 기류 유도용 구조물을 설치한 것이 탈진 공기량을 증폭시키는데에는 도움이 되나, 오히려 벤츄리 내부로 유입된 탈진 기류의 직진성을 보완하여 필터백 내부에서 탈진 기류의 확장을 방해하기 때문인 것으로 판단된다.

사사

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

참고문헌

- [1] 서정민, "Pulse air jet bag filter의 탈진보조장치 개발", 경남지역환경기술개발센터, pp. 1-10, 2004.
- [2] 이원희, "상부유입식 전기 Cyclone/Bag filter의 특성", 부경대학교 공학석사학위논문, 2000.
- [3] 박병현, "여과집진기에서 역세척 충격기류 분사노즐 형태 및 탈진 효율에 관한 연구", 경희대학교 공학석사학위논문, 2004.
- [4] 명현국, "수치유체공학", 한미출판사, pp.124-138, 1997.
- [5] Patankar SV, Numerical Heat Transfer and Fluid Flow, Hemisphere Publishing Corp., 1980
- [6] 신병록, 장근식, 조강래, "전산유체역학", 대영사, pp. 264-277, 1997.