

사이클론과 관성충돌 및 백필터의 제진원리를 일체화한 멀티 제진시스템의 수치 해석적 연구 (Ⅱ) : 벤츄리 설치

홍성길*, 정유진*, 정문헌*, 박기우*, 임기혁**, 서혜민**, 손병현**
씨이테크(주) 연구개발센터*
한서대학교 환경공학과**
e-mail : bhshon@hanseo.ac.kr

A Study on Numerical Calculations of Multi-stage Dedust System coupled with the Collection Principle of Cyclone, Inertial Impaction and Bag filter (Ⅱ) : Venturi Installation

Sung-Gil Hong*, Yu-Jin Jung*, Moon-Heon Jeong*, Ki-Woo Park*,
Ki-Hyuk Lim**, Hye-Min Suh**, Byung-Hyun Shon**
*C.E.Tech Co. Ltd., R&D Center

**Department of Environmental Engineering, Hanseo University

요약

본 연구는 “사이클론과 관성충돌 및 백필터의 제진원리를 일체화한 고효율 멀티 제진시스템의 최적화 설계를 위한 수치 해석적 연구(I) : 집진기 입구 최적화 설계”에 이은 일련의 연구로서 앞선 연구에서 도출된 사이클론부 하단 벤츄리(Venturi)에서의 강한 하향 기류의 가속에 따른 분진 재비산 가능성에 대한 추가적 검토를 위한 연구이다. 사이클론부를 통과한 기류가 상향 흐름으로 방향을 전환할 때 좀 더 가속시켜 빠르게 곡률반경을 형성하여 조대 입자의 분리를 극대화시키기 위한 목적으로 사이클론부 하단을 벤츄리 형상으로 설계하였으나, 유동장 분석 결과 벤츄리를 통과한 처리가스 흐름이 가속되면서 호퍼 하단까지 약 4~5 m/s의 강한 하향 흐름을 형성하고 호퍼 하부의 말단 부근에서 상향 흐름으로 방향 전환을 하고 있는 것으로 예측됨에 따라 설계 의도와는 달리 벤츄리 설치시 호퍼 하단에 포집된 분진의 재비산을 예방하는 데는 크게 역할을 하지 못하는 것으로 나타났다.

1. 서론

여과집진장치(Bag filter)는 배기가스 중에 함유된 먼지를 여과포로 포집, 제거하는 방식으로 미세분진에 대한 제진효율이 매우 우수하여 먼지배출 허용기준의 지속적인 강화와 총량규제 대응에 적합하여 산업체에서 가장 많이 사용되고 있는 집진장치이다.

또한, 다른 집진기술에 비해 부하변동 및 먼지종류에 따른 집진효율의 영향이 적고 운전이 용이하여 소각로 및 화력 발전 보일러 후단, 주물 제조업을 포함한 각종 먼지 다량 발생공정의 배기가스 처리용으로 널리 사용되고 있다.

그러나 여과집진장치의 처리부하를 경감시키기 위해 전단에 사이클론(Cyclone)과 같은 조대입자 처리용 집진장치를 설치하여 운전하고 있어 운전유지비

및 설치비 증가 요인이 되고 전단 집진장치의 관리 잘못으로 여과집진장치의 성능을 저하시키는 사례가 빈번하게 발생하고 있다. 이와 같은 문제점을 해결하고 여과집진장치의 성능을 고성능으로 유지하기 위해서 하나의 장치 내에서 “사이클론-관성충돌-여과포 집진”이라는 다단 제진 단계가 동시에 이루어져 입경 분포별로 순차적인 제진이 가능한 멀티 집진기(특히 출원 제10-2011-0068196호)를 국내 대기방지시설업체와 공동으로 산학공동기술개발사업을 통해 개발을 진행 중에 있다.

본 연구는 “사이클론과 관성충돌 및 백필터의 제진원리를 일체화한 고효율 멀티 제진시스템의 최적화 설계를 위한 수치 해석적 연구(I) : 집진기 입구 최적화 설계”에 이은 일련의 연구로서 1차 연구에서 도출되었던 사이클론부 하단 벤츄리(Venturi)에서의

강한 하향 기류의 가속에 따른 분진 재비산 가능성에 대한 추가적 검토를 위한 연구 결과이다.

벤츄리의 설계 의도는 사이클론부를 통과한 기류가 상향 흐름으로 방향을 전환할 때 좀 더 가속시켜 빠르게 곡률반경을 형성하여 조대 입자의 분리를 극대화시키기 위함인데, 1차 연구 결과 벤츄리로 인하여 탈리된 분진을 잠시 저장하는 공간인 호퍼 하단부까지 강한 유속을 형성시키고 있어 탈리 분진의 재비산 가능성이 있을 것으로 예측되었다.

따라서 본 연구를 통해 벤츄리 형상 설치 유무에 대한 유동장을 개략적으로 분석하여 설치 여부를 결정하였다.

2. 수치 해석 내용

2.1. 수치 해석 개요

2.1.1. 기초 방정식

유체의 유동에 대한 물리적인 특성을 나타내는 기본적인 법칙이 있다. 예를 들어, mass, momentum, energy conservation 등과 같은 법칙들이다. 정상 상태, 비압축성 기체라 가정할 때 일반적인 물리량의 수송 방정식을 다음과 같은 형태로 나타낼 수 있다.[3]

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

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

난류 모델에는 난류점성계수를 취급하는 방법에 따라 여러 가지 모델이 있는데, 본 연구에서는 Launder와 Spalding에 의해 제시된 Standard k-ε turbulence model을 사용하였다.[4]

2.1.2. 수치 해석 방법

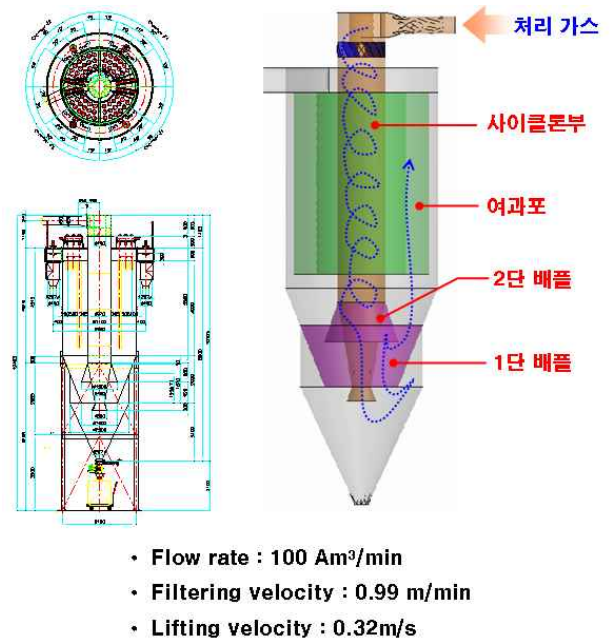
본 연구에 사용된 상용 소프트웨어인 FLUENT에서는 이산화 방법으로 유한 체적법(Finite-volume method)을 사용하고 있다. 모든 수치 해석은 상류차분 도식(Upwind differencing scheme)과 엇갈림 격자계(Staggered grids)를 이용하여 수행하였다. 압력장을 구하기 위해 연속 방정식과 운동량 방정식을 조합시키는 방법으로 SIMPLE (Semi-Implicit Method Pressure-Linked Equations) 알고리즘을 사용하였고, 벽면과 고체 표면에서의 전단 응력은 벽함수(Wall function)를 이용하여 계산하였다. 촉매층은 실제 형상과 공극을 모델링하여 구현하는 것이 불가능하므로 Porous jump model을 이용하여 다공

성 물질로 가정하고 국부 유속에 대한 단위 면적당 압력강하로 계산하였다.[5]

2.2. 수치 해석 모델

2.2.1. 해석 대상 및 경계 조건

[그림 1]에 본 연구 대상인 멀티 집진기 도면과 경계 조건을 나타내었다. 100Am/min³의 유량이 상부 입구로 유입되어 하향 선회류를 형성하여 사이클론부를 통과하고 기류 방향이 상향으로 전환되어 배플에 충돌 차단 과정을 거친 후 여과포를 통과하도록 설계되었다.

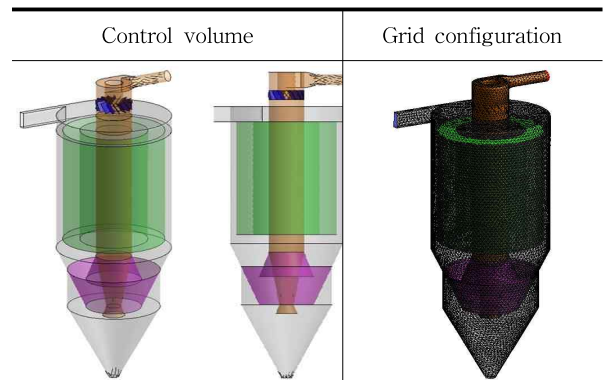


[그림 1] 해석 대상 본체 도면 및 운전 조건

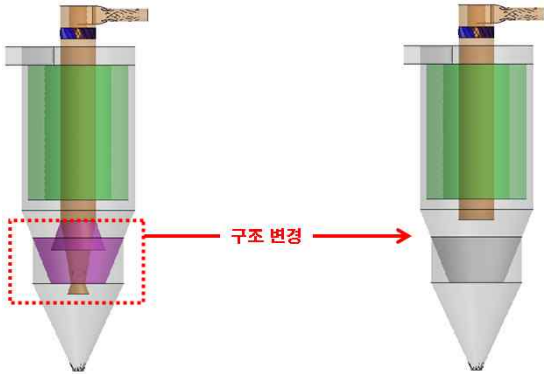
2.2.2. 해석 모델

[표 1]에 유동해석을 위한 집진기 본체 모델과 수치 계산을 위한 격자 형성(Grid configuration) 모습을 나타내었다.

[표 1] 집진기 본체



아울러, 분진 재비산 가능성에 대한 검토 조건인 벤츄리 설치 유무 형상을 [그림 2]에 나타내었다.



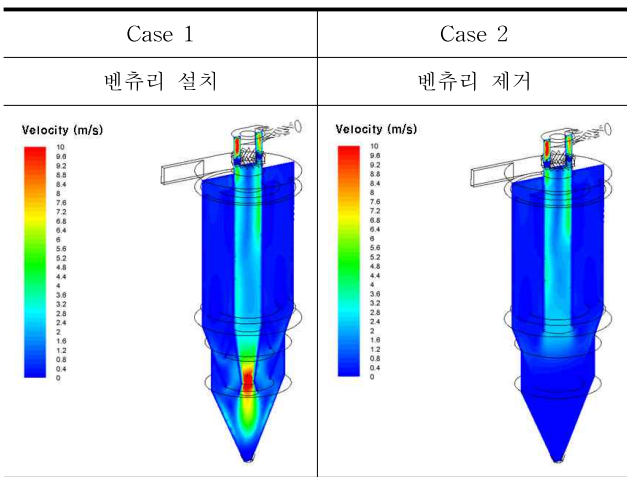
[그림 2] 구조 변경안

3. 결과 및 고찰

3.1. 속도장 예측 결과

Case 1의 유동장을 보면 벤츄리를 통과한 처리가스 흐름이 가속되면서 호퍼 하단까지 약 4~5 m/s의 강한 하향 흐름을 형성하고 있음을 확인할 수 있다. 반면에 벤츄리를 제거한 Case 2의 유동장에서는 사이클론부를 통과한 기류가 배플 주변을 제외하고는 강한 유속을 형성하고 있는 구간은 없는 것으로 예측되었다.

[표 2] 속도장 예측 결과

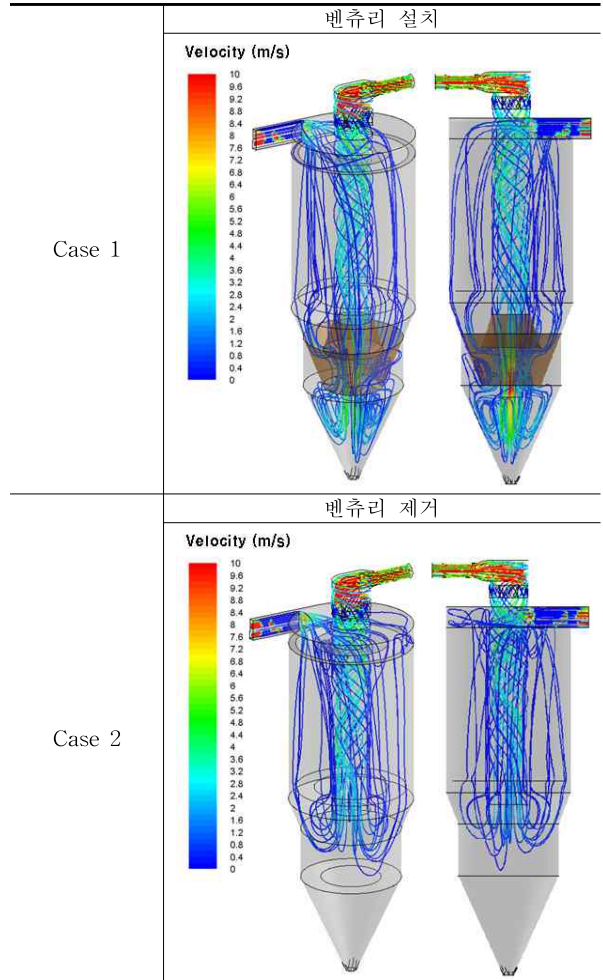


3.2. 기류장 예측 결과

Case 1의 결과를 보면 벤츄리를 통과한 처리가스 흐름이 호퍼 하부의 말단 부근에서 상향 흐름으로 방향 전환을 하고 있는 모습을 볼 수 있다. 이는 벤츄리 설계 의도와는 달리, 오히려 호퍼 하단에 누적되어 있는 탈리 분진을 재비산시킬 수 있는 가능성

이 있음을 예상할 수 있다. 반면에 벤츄리를 제거한 Case 2의 결과를 보면 처리가스 흐름이 사이클론부를 통과하는 즉시 상향으로 방향 전환을 하면서 배플에 충돌하는 모습을 확인할 수 있었다.

[표 3] 속도장 예측 결과



3.3. 예측 결과 종합

벤츄리를 설치한 경우의 기류 가속에 따른 분진 재비산 문제 해소 여부를 개략적으로 검토한 결과, 벤츄리를 통과한 처리가스 흐름이 가속되면서 호퍼 하단까지 약 4~5 m/s의 강한 하향 흐름을 형성하고 호퍼 하부의 말단 부근에서 상향 흐름으로 방향 전환을 하고 있는 것으로 예측되었다. 반면에 벤츄리를 설치하지 않은 경우에는 사이클론부를 통과한 기류가 배플 주변을 제외하고는 강한 유속을 형성하고 있는 구간은 없는 것으로 예측되었고, 처리가스 흐름은 사이클론부를 통과하는 즉시 상향으로 방향 전환을 하면서 배플에 충돌하는 것으로 예측되었다.

4. 결론

본 연구는 “사이클론과 관성충돌 및 백필터의 제진원리를 일체화한 고효율 멀티 제진시스템의 최적화 설계를 위한 수치 해석적 연구(I) : 집진기 입구 최적화 설계”에 이은 일련의 연구로서 1차 연구에서도 출되었던 사이클론부 하단 벤츄리(Venturi)에서의 강한 하향 기류(Down stream)의 가속에 따른 분진 재비산 가능성에 대한 추가적 검토를 위한 연구로서 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

사이클론부를 통과한 기류가 상향 흐름으로 방향을 전환할 때 좀 더 가속시켜 빠르게 곡률반경을 형성하여 조대 입자의 분리를 극대화시키기 위한 목적으로 사이클론부 하단을 벤츄리 형상으로 설계하였으나, 유동장 분석 결과 벤츄리를 통과한 처리가스 흐름이 가속되면서 호퍼 하단까지 약 4~5 m/s의 강한 하향 흐름을 형성하고 호퍼 하부의 말단 부근에서 상향 흐름으로 방향 전환을 하고 있는 것으로 예측되었다. 따라서 설계 의도와는 달리, 벤츄리 설치시 오히려 호퍼 하단에 누적되어 있는 탈리 분진을 재비산에 효과가 그리 크리는 않을 것으로 예상되었다.

사사

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

참고문헌

- [1] 김진욱, 정유진, 유정근, 손병현, “반건식 반응기와 백필터를 결합한 하이브리드 대기오염제어 시스템의 수치해석적 연구(II)”, 한국산학기술학회 논문지 제12권 제2호, pp. 985-992, 2011.
- [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.