EB2) 접선유입방식의 여과집진장치 내에서의 내통이 유동장 및 입자거동에 미치는 영향

Effect of Inner Tube on Flow Field and Particle Behavior inside Bag Filtration System with Tangential Inlet

박석주·김상도·최호경·박영옥
한국에너지기술연구소 집진기술연구센터

1. 서 론

여과포 표면상에 도달하는 입자의 농도를 낮추거나 균일하게 유지시킬 경우, 부착된 입자층 두께의 성장으로 인한 압력손실의 증가율을 줄일 수 있고 이로 인하여 탈진 주기 또한 감소시킬 수 있다. 탈진 조작의 저감으로 인하여 여과포의 수명 증대로 여과포의 교체 시기를 연장시킬 수 있으므로 여과포 집진장치의 운전 및 유지 보수비의 저감을 이룰 수 있다. 본 연구에서는 집진용기의 중간부분에 위치한 접선 유입관을 통하여 오염입자를 함유한 기체유동을 유입시킨 후, 원심력과 난류확산에 의하여 집진용기 내벽과 내통(inner tube) 벽면에 부착된 입자는 중력에 의하여 용기 바닥으로 모인 후 바닥면에 설치된 스크래퍼(scraper)를 통하여 분리 처리될 수 있는 새로운 형상의 집진장치를 개발하고자 하였다. 집진용기내의 내통은 입자포집 기능 이외에 여과포 영역으로 난류에 의하여 확산되는 입자의 농도를 줄여주고 스크래핑 작업 중 바닥면으로부터 여과포 영역으로 재유입 되는 입자의 량을 줄이기 위하여 설치되었다.

2. 연구 방법

집진장치의 구조와 크기는 그림 1에 나타난 바와 같이 집진용기와 4개의 여과포 그리고 내통으로 구성되어 있다. 본 수치해석 연구에서는 입자와 기체 유동이 접선 유입관을 통하여 용기 내로 유입된 후, 용기 내의 유동장을 따라 이동하면서 입자들의 일부는 용기 내벽과 내통 내벽에 부착이 되고 나머지 입자들은 여과포를 관통하여 용기 출구를 빠져나간다고 가정하였다. 집진장치내의 유체유동 및 입자거동을 해석하기 위하여 상용 전산 프로그램인 미국 Fluent사가 개발한 FLUENT version 5를 이용하였다. 최적설계 변수로써 내통의 길이와 위치에 따른 집진장치내의 유동장 및 입자거동을 수치 해석하였다. 그림 1에서와 같이 내통을 6 조각으로 나누어 각각을 내벽인 경우 혹은 내부 계산 면인(즉, 내벽이 아닌) 경우로 설정하여 내통의 길이와 위치에 따른 수치해석을 수행하였다. 입자상 물질을 함유하고 있는 3차원 난류 비압축성 정상 유동을 지배하는 방정식은 유체 연속방정식, x, y, z 방향의 운동량방정식, 에너지방정식과 난류모델에 따른 난류운동에너지방정식, 난류소산에너지방정식, 입자의 운동과 궤적을 나타내는 Lagrangian 입자궤적추적모델(particle trajectory tracking model) 방정식 등으로 서로 결합(coupling)되어 있으며, 이 식들을 동시에 풀어야 한다. 유체유동은 유입구의 레이놀즈수($Re=\rho uL/\mu$)를 기준으로 전유동장이 난류유동으로 간주되어 수치적 난류모델을 적용하여야 하며, 내부에서 강한 선회유동이 발생되므로 높은 전단변형율을 고려할 수 있는 RNG k-ε 모델을 채택하였다. 유동장을 가로질러 존재하는 다공성 매질은 표준 유체유동 방정식의 운동량 원천항(source term)으로 처리하였다.

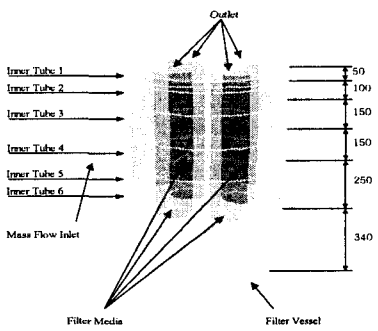

그림 245. 집진장치 구조 및 크기

3. 내통 길이와 위치에 따른 집진장치 내에서의 입자 거동 특성 및 집진효율 수치해석 결과

내통 1번부터 6번까지의 조합에 따른 집진효율의 변화를 계산한 결과, 그림 2와 같이 나타났다. 입자 직경은 1 ㎛이고, 밀도는 1550 kg/m^{3}으로 가정하였다. 집진효율은 유입구를 통하여 유입된 입자의 총 질량에 대한 집진장치 내의 벽면에 부착된 입자의 총 질량의 비로 계산하였다. 내통이 없는 경우(w/o Inner Tube)는 유입된 대부분의 입자들이 여과포 중간 영역으로 이동하여 여과포를 지나 출구로 빠져나가기 때문에, 집진효율은 약 90.5 % 정도로 낮게 나타났다. 그러나 내통이 1번부터 6번까지 모두 존재하는 경우(Inner Tube 123456)는 집진효율이 약 96.5 %로 증가하였다. 상부가 내통에 의하여 순환유동으로부터 차단되었기 때문에 유입된 많은 입자들이 용기 내벽과 내통사이의 공간을 통하여 이동하면서 벽면에 부착되고, 부착되지 못한 입자들은 여과포를 거쳐 출구로 빠져나간다. 내통이 없는 경우에 비하여 집진효율이 높은 이유는 입자의 비행시간이 증가하여 용기 내벽과 내통 벽면에 부착되는 입자수가 증가하였기 때문이다. 내통이 6번부터 차례로 제거됨에 따라 집진효율이 감소되고, 1번 내통만 남았을 경우(Inner Tube 1) 집진효율이 내통이 없는 경우의 효율에 가까워지는 것은 집진용기의 여과포 상부 영역이 순환유동으로부터 내통에 의하여 차단된 상태에서, 내통의 길이가 작아짐에 따라 유입입자의 비행시간이 짧아지고 입자의 부착 면적이 감소하였기 때문이다. 그러나 내통이 1번부터 3번까지 차례로 없어지는 경우는 내통이 모두 있는 경우(Inner Tube 123456)보다 집진효율이 더 높은 것은 집진용기의 상부 영역이 개방됨에 따라 'Inner Tube 123456'의 경우에 비하여 더 많은 입자가 순환류를 따라 용기 벽면의 상부로 이동할 수 있기 때문이다. 이것은 'Inner Tube 23456'인 경우 용기 상부 벽면 근처에서의 입자의 농도가 'Inner Tube 123456'의 경우에 비하여 더 높은 것으로부터 알 수 있었다.

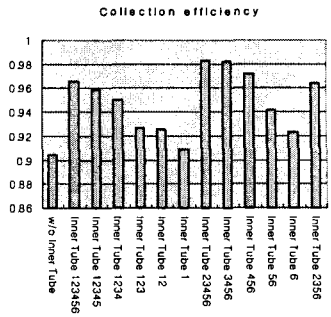

그림 2. 내통 길이와 위치에 따른 집진효율

4. 결론

원심 순환유동식 여과포 집진장치 내에 내통을 설치한 새로운 집진장치를 개발하기 위하여 수치 시뮬레이션을 수행하였다. 그 결과, 다음과 같은 결론을 도출하였다.

(1) 내통이 존재하지 않는 원심 순환유동식 여과포 집진장치 내부는 말단벽효과(end wall effect)와 여과포로 인한 압력차에 의하여 여러 재순환유동(recirculating flow)들로 이루어진 아주 복잡한 유동장이 형성되었다.

(2) 내통은 집진용기 내벽으로부터 여과포 영역으로의 순환류의 난류확산 효과를 차단시켜 입자들의 집진장치 내에서의 비행시간을 증가시키는 역할을 하였다.

(3) 내통이 존재할 경우 입자들의 비행시간 증가와 부착 면적의 증가로 인하여 내통이 없는 경우에 비하여 집진효율이 증가하였다.

(4) 집진용기의 하부로부터 내벽이 제거되면서 내벽의 길이가 감소함에 따라 집진효율이 감소하였다.

(5) 집진용기의 상부가 내통에 의하여 차단된 경우보다 상부의 일부가 개방된 경우가 집진효율이 더 높게 나타났다.

참고문헌

손재익, 박영옥, 구철오, 김상도, 임정환, 최호경, 김홍룡, 길인섭, 김동진, "고효율 집진기술-산업용 직물여과포집진장치 국산화 개발", 제2단계 3차년도 단계보고서 KIER-976621, 환경부 (1998).

여석준, "하부유입식 원심 여과집진장치의 특성", J. of KSEE Vol. 22, No. 4, pp. 639-650 (2000).

Fluent Inc., FLUENT5 User's Manual (1998)

후 기

본 연구는 환경부의 환경기술연구개발사업 과제로 수행되었으며, 에에 도움을 주신 모든 분들께 깊은 감사를 드립니다.