PE20) 압축 판별기준에 따른 분진케익 형태 변화

Change in Dust Cake Morphology Depending upon Compression Criteria

장성찬 · 한세현 · 정용원
인하대학교 환경공학과

1. 서 론

보다 엄격한 배출허용기준을 만족시키기 위해 입자여과기술의 중요성이 커지고 있다. 그러나 여과기 내 분진 케익(dust cakes)을 이루고 있는 입자의 특성이나 이러한 분진 케익의 압축현상을 분석하기 위한 실험적인 연구에는 어려움이 많기 때문에 이로 인해 여과 공정에 대한 체계적인 연구가 충분히 이루어지고 있지 못한 실정이다.

실험연구의 보완책으로 컴퓨터 시뮬레이션은 분진 케익의 형성과 성장을 체계적으로 연구하기 위해서 최근에 개발되고 있다. 이를 통해 케익의 구조에 대한 정보를 얻을 수 있고, 입자의 특성과 여러 운전조건의 변화에 따른 케익의 형성과정을 여과시간 혹은 다른 변수에 대한 함수로서 나타낼 수 있다. 이로 인해 중요한 공정 변수의 효과가 시뮬레이션의 결과로서 확인된다. 이 결과는 또한 실험연구의 결과와도 비교가 가능하다.

결과적으로, 보다 효과적으로 여과 공정을 운영하고 최적의 설계를 하기 위해서는 분진 케익의 퇴적 양상에 영향을 미치는 여러 가지 운영 인자나 입자들의 특성이 미치는 영향을 조사하는 것이 매우 중요하다고 할 수 있다. 본 연구에서는 선행되었던 시뮬레이션의 결과를 비교 분석하고, 실험결과와의 차이점을 검토하여 기존 시뮬레이션 방법의 문제점을 발견하였다. 본 연구에서는 Lu and Hwang(1995)의 압축 판별기준을 도입하여 시뮬레이션을 시도하였다.

2. 연구 방법

분진 케익의 구조를 시뮬레이션하기 위해 그림 1에서 보여 지는 바와 같이 단위 층의 개념을 도입하였다. 이 개념은 Hoflinger(1994)에 의해 처음으로 제안되었다. 케익 층의 높이는 입자의 직경인 d_p와 같은 크기를 갖는 단위 층(Partial layer)의 총합으로 나타내어진다. 본 연구에서 입자는 단분산(mono disperse)이며 구 모양으로 가정하였다.

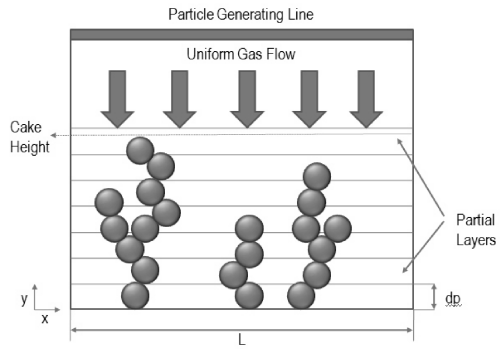

Fig. 1. Schematic of the two-dimensional simulation of dust cake and the concept of partial layer.

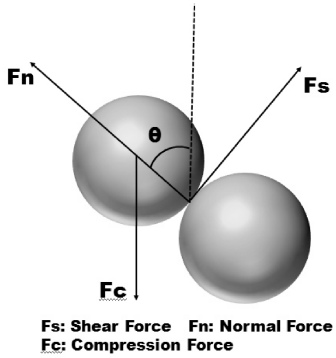

Fig. 2. Relationship between the forces acting on a particle in the dust cake.

그림 1에서와 같이 입자는 필터상단부분의 입자생성 line에서 균일한 random number 생성 프로그램에 의하여 무작위로 생성된다. 이때 입자의 위치는 입자의 중심의 좌표에 해당한다. 생성된 입자는 궤적상 가스흐름의 영향을 무시하였으며, -y 방향으로 직선 이동을 한다고 가정한다. 하강하는 입자가 필터 표면이나 먼저 침착된 입자와 접할 경우에 접한 위치에서 그 입자는 침착되는 것으로 가정한다. 두 개의 입자가 접촉했을 때의 계산되는 algorithm은 다음과 같다. 입자에 작용하는 부착력은 Van der Waals 힘만을 고려하였다. 그림 2에서 보여 지는 바와 같이 입자에 작용하는 압축력 F_c는 수직력(normal force) F_n과 전단력(shear force) F_s로 나뉘어진다. 또한 두 개의 입자 사이에는 마찰력이 존재하게 되고, 두 개의 입자가 접촉했을 때 전단력이 마찰력보다 작은 경우에는 상단의 입자는 접촉점에서 부착하게 된다. 반대로 전단력이 마찰력보다 클 경우에는 상부의 입자는 접촉하고 있는 입자의 궤적을 따라 하부로 이동하여 다른 입자가 접하게 되는 순간에 이동이 정지 되는 것으로 가정하였다. 본 연구에서는 Jeon and Jung(2004) 의 연구에서 사용된 압축력 계산방법과 Lu and Hwang(1995)의 압축력 계산방법을 이용한 시뮬레이션 결과들을 비교하였다.

3. 결과 및 고찰

본 연구에서는 각각의 조건에서 시뮬레이션 결과로부터 의미 있는 결과를 얻기 위해 random number를 사용하여 최소 10회 반복 수행하였다. 즉, 본 연구에서 제시한 결과들은 동일한 조건하에서 10회 반복 수행을 한 평균값이다. 부착력, 마찰계수, 여과유속, 입자크기 등의 변수를 변화시켜 시뮬레이션을 수행하였고, 그 결과를 그래프를 통하여 나타내었다.

그림 3과 그림 4는 분진 케익의 여과 속도에 따른 효과를 확인하기 위하여 가스의 유속을 0.01m/s, 0.5m/s, 0.1m/s로 변화시켜 시뮬레이션을 수행한 것이다. 전자는 분진 케익의 각 층에 따른 압력강하(pressure drop)를 보여주며, 후자는 케익 층에 따른 공극율의 변화를 보여주고 있다. 그래프를 보면 여과속도가 커질수록 하단 층에 걸리는 압력강하가 급격하게 증가하는 것을 알 수 있다. 이를 통해 여과속도가 증가함에 따라 분진 케익의 구조가 조밀해지는 현상을 예측할 수 있다.

결론적으로 높은 여과속도가 높은 압력강하를 유발하여 압축력이 증가되는 현상이 일어나고, 그에 따라 분진 케익의 구조가 전체적으로 조밀하게 형성되는 것을 확인하였다.

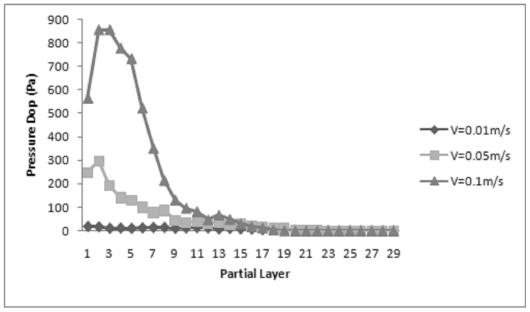

Fig. 3. Effect of filtration velocity on pressure drop (d_p=5㎛, β(friction coefficient)=0.1, H(Hamaker constant)=1.0×10^{-19}J).

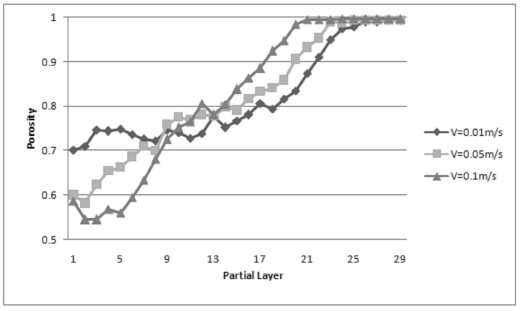

Fig. 4. Effect of filtration velocity on porosity(d_p=5㎛, β(friction coefficient)=0.1, H(Hamaker constant)=1.0×10^{-19}J).

사 사

이 논문은 환경부의「폐기물 에너지화 특성화대학원사업」으로 지원되었습니다.

참 고 문 헌

Hoflinger, W. (1994) Model calculation of the compression behavior of dust filter cakes, Filtration and Separation, 31(8), 801-811.

Jeon, K.-J. and Y.-W. Jung (2004) A Simulation study on the compression behavior of dust cakes, Powder Technology, 141, 1-11.

Lu, W.-M. and K.-J. Hwang (1995) Cake Formation in 2-D Cross-Flow Filtration, AIChE Journal 41(6), 1443-1455.