

분체공학과 입자 거동 해석 알아보기

지금 입자해석을 주목해야 하는 이유



컴퓨팅 능력의 향상은 CAE 분야에 많은 변화를 가져왔다. 해석 속도가 대폭 개선되었으며, 액체나 기체와 같이 그 흐름을 예측하기 힘든 것들도 실제 실험 결과와 비슷한 수준으로 해석할 수 있게 되었다. 최근에는 마이크로 및 나노 단위의 입자 거동을 해석할 수 있는 입자해석 분야가 주목을 모으기에 이르렀다. 이번 기사에서는 분체공학과 입자해석을 알기 쉽게 소개하고, 대표적인 입자 거동 해석 소프트웨어인 Star-CCM+와 EDEM에 대해 알아본다.

에디터 | 송해영 김란영

많은 양의 흙과 자갈을 단번에 퍼낼 수 있는 굴착기 삽을 설계하려면? 파우더가 고르게 분사될 수 있도록 스프레이의 분사력을 개선하려면? 분말야금을 활용한 제조 공정의 생산성을 높이고 싶다면? 위 질문의 공통된 답안은 바로 '입자해석'이다. 입자해석은 자갈이나 모래, 쌀 등과 같이 알갱이로 이뤄진 입자성 물질(granular material)의 거동을 시뮬레이션하는 것을 가리킨다.

지난 7월 11일 개최된 2017 EDEM Korea User's Conference에서는 국내 분체공학(Particle Technology) 분야의 전문가인 금오공과대학교 박준영 교수가 '이산요소법과 분체공학의 소개'를 주제로 강연을 펼쳤다. 이날 강연에서 박준영 교수는



커피 한 잔에는 분체공학이 집약되어 있다고 해도 과언이 아니다. 스크리닝부터 로스팅, 그라인딩에 이르기까지 모든 과정을 분체공학으로 분석할 수 있다.

“입자해석을 처음 접하는 사람들이 흔히 저지르기 쉬운 실수는 바로 입자해석과 유체해석을 동일시하는 것”이라며 “유체해석으로 입자의 거동을 분석할 경우 정확한 해석 결과를 얻을 수 없다”고 강조했다.

금오공과대학교 박준영 교수



유체와 고체의 성질을 모두 갖는 입자

일견 비슷해 보이는 유체와 입자의 거동 간에는 어떤 차이가 있을까. 이는 간단한 실험으로 확인할 수 있다. 물이 담긴 컵을 한쪽으로 천천히 기울여보자. 물이 쏟아지기 직전까지 수면은 지면과 평행을 유지한다. 반면 컵에 딱 들어맞는 금속 덩어리를 넣고 컵을 기울이면 금속 덩어리의 표면은 컵과 함께 기울어진다. 다음으로는 컵에 모래를 담아보자. 처음에는 금속 덩어리와 마찬가지로 표면이 컵을 따라 기울어지다가 얼마 지나지 않아 물처럼 흘러내릴 것이다. 이처럼 입자는 유체와 고체의 성질을 모두 갖고 있다. '특징이 두 가지'라는 점이 가장 큰 특징

인 셈이다.

입자해석의 필요성

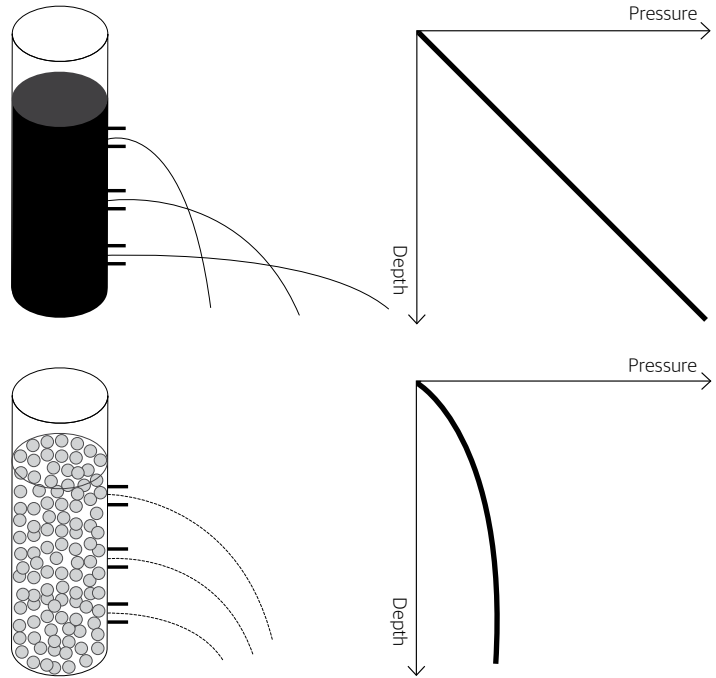
브라질 땅콩 효과(Brazil nut effect) 역시 입자가 갖는 특징을 단적으로 보여준다. 브라질 땅콩 효과는 다양한 크기의 견과류가 든 통을 움직이면 크기가 가장 큰 브라질 땅콩이 맨 위로 올라가는 현상에서 유래되었다. 유체에서 부력이 밀도(density)에 의해 결정되는 반면, 입자에서의 부력은 입자 크기에 의해 결정되기 때문이다. 브라질 땅콩 효과는 제약 분야의 골칫거리이기도 하다. 다양한 종류의 가루약을 잘 섞은 뒤 장시간 운반하면 분말의 크기에 따라 층이 나뉘기 때문이다. 따라서 운반 후에는 가루약을 골고루 섞어주는 작업이 필요하다. 이때 입자해석을 적용할 경우 이와 같은 현상을 미리 파악해 대비할 수가 있다.

물탱크와 사일로(silo) 간 비교를 통해서도 유체와 입자의 차이점을 발견할 수 있다. 사일로는 시멘트나 광석, 곡물 등의 분체물을 저장하는 원통형 창고다. 물탱크에 세로로 세 개의 구멍을 뚫으면 맨 아래 구멍의 물줄기가 가장 멀리까지 뿜어 나간다. 유체의 경우 깊이가 깊어질수록 압력이 높아지기 때문이다. 반면 모래가 든 사일로에 구멍을 뚫으면 맨 위 구멍에서 흘러나온 모래가 가장 먼 지점에 떨어진다. 사일로에서 깊이와 압력 간 관계는 오른쪽 그래프를 통해 표현할 수 있다. 물탱크와 달리 높이가 50m를 훌쩍 넘는 사일로를 제작할 수 있는 것도 이 때문이다.

이외에도 입자와 유체 간의 특성 차이는 곳곳에서 발견할 수 있다. 유체에 대한 접근법을 그대로 입자에 적용해서는 안 되는 이유가 여기에 있다.

입자해석의 종류

입자성 물질의 거동을 해석하는 방법으로는 크게 다섯 가지가 있다. 첫 번째 방법은 유한요소법(Finite Elements Method)을 활용한 연속체 모형(Continuum Model)이다. 입자 간 충돌을 고려하지 않으며 분체 유동에 대해 유체로 접근하는 경우가 있어 해석 결과가 실제와 다를 수 있다. 두 번째 방법은 DEM(Discrete Element Method), 즉 이



산요소법이다. 입자 하나하나의 궤적을 일일이 쫓으며 각 입자가 갖는 힘을 모두 계산하기 때문에 높은 계산력을 요구한다. 이후 소개할 Star-CCM+와 EDEM 모두 DEM을 채택하고 있다.

세 번째 해석 방법은 셀룰러 오토마타(Cellular Automata)인데, 방대한 양의 입자를 분석할 수 있는 대신 역학적 정보를 구할 수 없어 제한적으로 사용되고 있다. 네 번째 방법은 통계를 기반으로 한

DSMC(Direct Simulation of Monte-Carlo)이며, 다섯 번째 방법은 최근 그 활용도가 증가하고 있는

SPH(Smoothed Particle Hydrodynamics)다.

그렇다면 입자해석이 가능한 상용 소프트웨어로는 어떤 것들이 있을까. 다음 장에서는 입자 거동 해석을 가능하게 하는 소프트웨어인 Star-CCM+와 EDEM에 대해 소개하도록 한다.

물탱크와 사일로에서 깊이와 압력 간의 관계를 보여주는 그래프

입자해석은 컴퓨터 그래픽 분야에 활용되기도 한다. 애니메이션 영화 '몬스터 주식회사'에서 주인공인 설리의 털은 상당히 자연스럽게 표현되었다. 한 올의 털을 표현하기 위해 여러 개의 입자를 이어 붙였기 때문.



여타 해석과의 연동을 통한 설계 최적화 - EDEM

EDEM은 이산요소법(DEM)을 이용한 입자역학 전용 해석 툴로서, 자갈이나 모래 등 다양한 입자의 거동을 시뮬레이션할 수 있다. EDEM은 입자와 모델의 모양 및 물성을 정의하는 크리에이터(Creator), 크리에이터에서 정의된 내용을 계산하는 시뮬레이터(Simulator), 계산된 값을 분석 및 정리하는 애널리스트(Analyst)의 세 가지 모듈로 구성된다.

EDEM의 특징으로는 단순히 입자의 거동을 분석할 뿐만 아니라, 다양한 API 코드 및 CAE 소프트웨어와의 연동 해석(coupling)을 통해 입자 거동에 영향을 미치는 다양한 물리적 현상이 포함된 영역에 대해서도 시뮬레이션이 가능하다. 즉 EDEM을 CFD(Ansys Fluent)나 FEA(Ansys Mechanical, Abaqus, Nastran), MBD(Adams, Recurdyn, Virtual Lab Motion) 등의 CAE 툴과 연계함으로써 해석의 범위를 유동해석, 열전도해석, 구조해석 등까지 확장할 수 있다.

실제로 지난 7월 11일 개최된 2017 EDEM Korea User's Conference에서는 Recurdyn과의 연동

해석 적용 사례에 대한 발표가 이뤄졌다. 여타 해석과 연동할 경우 설계 시 안전 계수를 낮추고, 시험 횟수를 줄일 수 있어 개발 비용이 절약된다.

EDEM은 중장비, 제약, 금속 가공, 분말 야금 등 다양한 분야에 활용되고 있다. 공정별로는 굴착기 버킷, 스프레더, 경운기 및 수확기 등 대량으로 재료를 처리하는 장비에 대한 가상 테스트, 분쇄기 등의 최적화, 파우더 혼합이나 정제 코팅 등과 같이 벌크고형물을 포함하는 공정의 최적화 등에 활용 가능하다. 즉 분말이나 입자가 포함된 공정이라면 어디서든 활용 가능한 셈이다. ☞

1 넥스티어엔스 김형민 대표 2 DEM Solutions 이안 윌리엄슨(Ian Williamson) 부사장 3 입자해석을 위한 소프트웨어 EDEM 4 지난 7월 11일 개최된 2017 EDEM Korea User's Conference

