

플랜트 산업에서의 CFD의 응용

류진복 · (주)ATES FBU사업1부 화공/플랜트그룹 기술지원팀장

_e-mail : jbyoo@ates.co.kr

이 글은 기계공학 관련 여러 가지 산업군별 분야 중 화공 및 플랜트 산업 분야에서 FLEUNT를 이용한 CFD 해석 기술이 어떻게 특화되어 응용되고 있는지에 대한 해석 사례를 소개함으로써 현장에서 보다 효과적으로 CFD를 적용할 수 있는 방법론을 제시하고자 한다.



초창기의 CFD 해석 소프트웨어는 열 유동 분야에 국한되어 매우 제한적으로 이용되다가, 1980년대 들어서면서 항공, 자동차, 원자력 분야를 중심으로 적용범위가 확대되었다. 그리고 각 단위공정에서 일어나는 다상유동, 화학반응, 복잡한 기하학적 형상 등에 따른 물리적 현상의 복잡성을 해결하고자 CFD S/W의 해석 모델 개발이 가속화되어 왔다.

현존하는 대부분의 상용 3D CFD 해석용 프로그램들은 대부분이 유사한 기능을 보유하고 있기 때문에 어느 소프트웨어가 특정분야에 매우 적합한 CFD 해석용 소프트웨어라고 단정하는 것은 매우 위험하다고

볼 수 있다. CFD 해석 소프트웨어업계에서, FLUENT 소프트웨어의 경우, 뛰어난 병렬처리 연산 기능과 MultiPhysics 기능 및 복잡한 형상에 대해 손쉽게 해석용 격자를 제작할 수 있는 wrapping technology 및 im-

mersed boundary method 등의 뛰어난 preprocessing 기능뿐만 아니라 보다 다양한 분야를 아우를 수 있는 다양한 물리적 모델을 갖추고 있다. 이 글에서는 기계공학 관련 여러 가지 산업군별 분야 중 FLUENT의 화공 및 플랜트 산업 분야의 CFD 해석 기술의 응용에 대해 살펴 보고자 한다.

아울러 CFD 소프트웨어의 발달과 동시에 컴퓨터 CPU의 계산 성능 향상에 더불어 최근에는 엔지니어링 워크스테이션 혹은 Note PC급 컴퓨터에서도 CFD 해석을 이용할 수 있는 환경이 구축되었다.

유의해야 할 것이 무엇이고, 얻을 수 있는 것은 무엇인가?

CFD 소프트웨어의 사용자 환경이 개선되고 있음에도 불구하고, 컴퓨터를 이용한 수치계산을 하기 위해서는 여러 가지 유의해야 할 점들이 존재하며, 다음과 같은 상황일 때 주로 오류가 발생할 수 있다.

- 낮은 질 혹은 성긴 격자를 사용할 때:

사용된 격자의 크기보다 작은 크기에서 발생하는 현상은 설명할 수 없다. 계산 영역 내 한 부분의 큰 유동패턴을 보다 정확하게 예측하기 위해 다른 영역의 작은 유동패턴에 대한 계산이 요구될 때가 종종 있다. 이것은 애초부터 더 조밀한 격자 계를 필요로 한다.

- 완벽히 수렴되지 않은 결과를 사용할 때:

CFD 결과는 반복계산을 통해 구해진다. 마감일자가 다가왔을 때, 휴식시간이 끝났을 때, 혹은 전날 계산 실행 후 다음날 출근했을 때 반복계산을 중단하는 경우가 종종 있다. 그러나 정확한 결과를 얻기 위해서는 항상 반복계산의 수렴이 적절한 수준까지 진행되어야만 한다.

- 잘못된 물성치 데이터를 사용했을 때:

이것은 별 중요하지 않을 것 같지만 결코 그렇지 않다. 예를

들어, 점성계수가 온도 및 전단율의 함수임에도 불구하고, 오직 하나의 온도 및 전단율에 대해 측정된 점성계수를 사용할 때, 만약 유체 영역의 실제 온도 및 전단율의 범위를 벗어나는 경우에는 본 점성 계수는 더 이상 의미 없는 값이 되며 부정확한 결과를 도출한다.

이러한 문제를 발생시키지 않는 것이 CFD 기술의 기본이며 이러한 함정을 피해가는 것이 다음과 같은 이익을 얻는 것에 우선한다

- 설계실험식이나 실험데이터가 존재하지 않을 때 사용 가능하다.
- 실험적인 방법으로 쉽게 획득할 수 없는 자세한 데이터를 제공한다.
- 사용하는 모델 자체가 기본 물리학에 기초하고 있고 크기와 무관하기 때문에, scale-up 문제를 보다 용이하게 접근할 수 있다.
- 공장에서 발생하는 문제를 평가할 때, 그 효과는 아니더라도 근본적인 요인은 제 공해 줄 수 있다.
- 검증작업을 어떻게 그리고 얼마나 많이 수행할 지에 대한 결정 전의 새로운 시스템에 대한 사전해석에 활용할 수 있다.
- 아주 짧은 시간 안에 많은 가정의 시나리오에 대해 해석해 볼 수 있다.

여러 가지 형태의 플랜트 내 장치들에 대한 성공적인 CFD 적용에 설명하기 위해 교반 반응기, 유동 층 시스템, 사이클론 등의 예를 들고자 한다.

교반 반응기

교반기는 가장 널리 사용되는 공정장치 중 일부이다. 전통적으로 그 설계는 전반적인 인자에 대한 실험식을 기초로 수행되어 왔다. 혼합시간 실험식이 주로 사용된다. 그러나 이러한 방법은 실험적으로 연구된 인자의 범위를 넘어서는 경우에는 때때로 난감한 상황에 봉착한다. 특히 여러 경쟁 화학반응이 동시 수반되는 공정일 경우, 임펠러 비헤 상대적으로 반응물의 유입 파이프의 위치가 혼합시간 및 최종 생성물의 구성 등에 더 큰 영향을 미친다.

그림 1은 한 교반기 내에서 특정 화학 추적기의 확산에 대해 도식화한 것이다. Pitched blade형 임펠러를 사용하여 두 액체를 혼합하는 공정에 적용하였다. 그림에서 보는 바와 같이 임펠러 상단에 잉크 같은 무부력 추적기를 주입하였다. 좋은 결과를 도출하기 위해 일반 난류모델 대신 LES 난류모델을 사용하였다. 대칭적인 임펠러 날개 및 baffle의 존재에도 불구하고, 추적기의 농도분포는 대칭적인 형태를 보이지 않는다. 1/4 조각이 아니라 교반기 전체에 대해 모델링 되어야

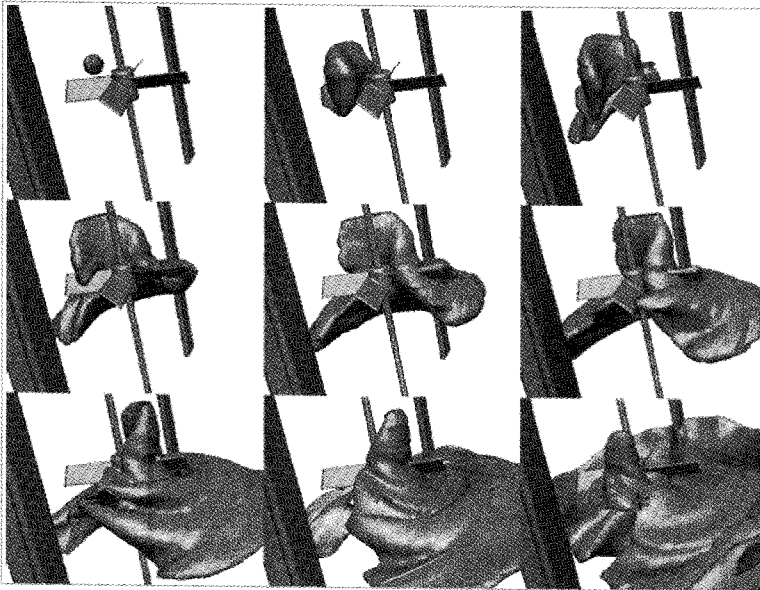


그림 1 교반기 내에서 시간에 따른 추적기 확산 분포

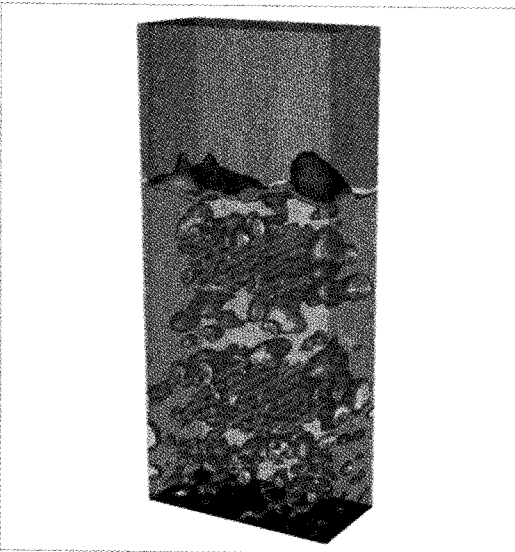


그림 2 유동층 반응기의 촉매입자 분포

함을 알 수 있다.

유동층 시스템

유동층 시스템은 고체 입자의 수송, 건조, 가열, 혼합, 코팅, 화학반응 공정 제어의 효과적인 기

술이다. 유동화의 결과로 고체입자는 마치 유체처럼 거동한다. 그러므로 좋은 유동화 공정 설계를 위해서는 수력학에 대한 이해가 필수적이다.

기체/고체 유동의 상호작용에 대해 그 실험적인 측정이 불가능하지는 않다 하더라도 상당히 난해하다. 그러나 CFD 해석은

시공간의 모든 지점에서 자세한 정보를 확보할 수 있다는 이점이 있다. 유동층 시스템의 계산에 대해 Eulerian granular 다상유동 모델을 적용할 수 있다. 본 다상 유동모델은 상호 침투성을 가지는 기체/고체 혹은 액체/고체 유

동 해석에 적용하고, 넓은 범위의 고체입자 농도에 대해서 자세한 결과를 제공한다.

그림 2는 촉매 고체입자가 충전되어 있는 곳에 하단에서 반응물을 투입하여 heterogeneous reaction을 일으키고 그에 의해 발생하는 반응열을 제거하기 위해 2단의 냉각 파이프가 존재하는 3차원 유동층 시스템에 대한 해석결과이다. 유동층 시스템의 구조가 좌우의 대칭적인 구조이고, 깊이 방향으로 동일한 모양이어서, 이러한 가정 하에 3차원적인 문제를 2차원으로 단순화하고, 또한 symmetry 경계를 사용함으로써 문제의 해결을 위해 계산량을 줄이고, 계산시간을 단축시킬 수 있다고 계산수행 전 생각할 수 있지만, 그림 2에서 보는 바와 같이 그 결과는 좌우 대칭적이지도 않으며 2차원적인 결과도 보이지 않는다.

이러한 다상유동 현상을 모사해야 하는 경우, CFD 해석 시 흔히 이용했던 2차원적 해석 및 symmetry 경계 사용에 상당히 유의해야 한다. 즉 다상유동 해석은 2차원 및 symmetry 경계로 문제를 단순화 할 수 없다고 볼 수 있다.

사이클론

사이클론은 분리 및 집적의 목적으로 사용되는 전형적인 장치 중 하나이다. 어떤 부유물이 반경

방향의 원심력으로 인해 회전하면서 축 방향으로 이동을 일으키는 작용을 한다. 전형적인 적용분야로, 고체입자가 충전된 유체가 장치의 접선 방향으로 유입된다. 축 방향의 양 쪽 끝에 출구가 존재하는데, 하단출구는 하단부 꼭지점에, 상단출구는 튜브 형태로 중앙부에 위치한다. 유입되는 고체입자의 밀도가 유체에 비해 크다는 가정을 할 때, 상대적으로 크기가 큰 고체입자는 원심분리에 의해 원통 벽 쪽으로 빨리 옮겨가고 중력에 의해 축 아래 방향으로 떨어져 출구를 통해 외부로 배출될 것이다. 그러나 크기가 작은 입자는 그에 비해 벽 쪽으로 느리게 이동해 그 만큼 유체와 분리되지 못하고 상단 출구로 같이 배출되게 된다.

그림 3은 Stairmand 디자인의 전형적인 사이클론이다. 고체입자의 궤적에 해당하는 선회유동을 나타내고 있다. 입자의 거동 계산에 유체의 유동 패턴이 이용되는데, 이를 이용하여 입자의 분리능을 계산할 수 있다. 본 해석은 Reynolds stress 난류모델을 사용하여 계산한 시간평균 유동분포를 보는 것이다(다른 RANS 계열의 난류모델을 사용

CFD는 해석 이외에는 달리 얻을 방법이 없는 여러 플랜트 공정장치에 대해 유동 관련 현상에 대한 자세한 정보를 얻는데 적합한 해석도구로 자리 잡았다.

하는 경우 선회유동 예측인 잘못된 결과를 도출하게 된다). 그러나 특정 조건 아래에서, 사이클론에서 발생한 선회유동이 정상상태의 고정된 위치에서 나타나지 않고, 실제로 세차운동을 하면서 움직이게 된다. 이런 상황 또한, LES 난류모델을 적용함으로써 계산해 낼 수 있다.

플랜트 산업에서, 공정 자체에 대한 모델링은 필수조건이다. 오늘날 공정모사 기술의 발전으로 인해 공장 전체에 대해 해석을 시행하는 것이 흔한 일이 되었다. 현재의 CFD는 대개 하나의 단위 장치에 대해 모델링 한다. 이것은 공정모사 소프트웨어에서 사용되

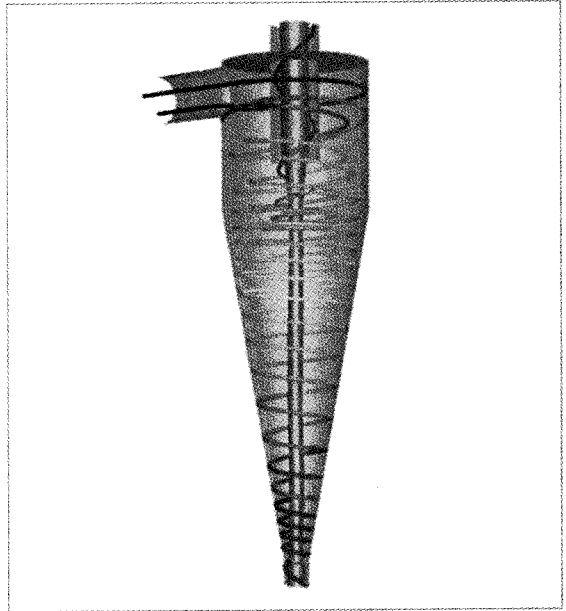


그림 3 Stairmand 디자인 사이클론, 고체입자의 선회 유동 pathline

는 단순한 모델에 비해 더 정확하고 자세한 정보를 제공한다. 미래에는 물리적 모델 및 프로그램 사용 편의성의 발전뿐만 아니라 CFD 소프트웨어와 공정해석 소프트웨어의 보다 강력한 통합에 초점이 맞춰질 것으로 보이고, 일정 부분은 이미 현실로 나타나고 있다.