

상용 CFD 코드의 자유표면 해석

박 광 훈 · (주)에스티아이C&D 기술연구소, 과장

_e-mail : flow3d@stikorea.co.kr

FLOW-3D는 열전달 및 유체유동 해석 소프트웨어로서 주조, 수리, 기계 등의 다양한 분야에서 사용되고 있다. FLOW-3D는 자유표면(free surface) 유동과 액체-고체 연동해석(FSI; Fluid-Solid Interaction)에 탁월한 능력을 지니고 있다. 지금부터 이러한 FLOW-3D의 특징을 이용한 각 분야별 해석 사례를 소개하고자 한다.

다이캐스팅 및 응고해석 (Die casting, Solidification)

FLOW-3D의 가장 큰 장점 중의 다른 하나는 상변화가 매우 자유롭게 해석된다는 것이다. 고체-액체간의 상변화와 액체-기체간의 상변화가 기본 기능으로 모두 제공되고 있다. 유동과 더불어 상변화가 중요시되는 분야가 주조(casting)와 잉크젯 분야로 세계의 주요 자동차회사와 잉크젯 회사들은 대부분 FLOW-3D를 이용하고 있다.

자유표면유동과 더불어 응고에

관심이 있는 포스코와 같은 철강 업체들도 FLOW-3D의 주요한 고객이다. 철강공정은 자유표면, 열전달, 응고, 입자, 기체운동 등이 복합적으로 고려되어야 하는 공정으로 유동해석이 가장 필요하면서도 적용이 어려운 분야이다. FLOW-3D는 포스코 등에서 철강공정 해석에 독보적인 정확성과 적용성을 인정받아 다양한 해석에 사용되고 있다.

FLOW-3D는 Hirt 박사가 창안한 ① 액상과 기상의 경계면을 나타내는 기법, ② 고정된 격자계를 통해 이동하는 경계면을 정확하게 추적하는 알고리즘, ③ 그

경계면에 경계조건을 적용하는 방법 등의 세 단계를 모두 적용한 VOF 방법을 사용하며, 경계조건 적용과 경계면 추적의 정확성을 향상시키는 다양한 방법들을 포함하고 있다. 그러므로 FLOW-3D를 사용하여 위와 같은 현상을 전산모사 하여 매우 정확한 해석 결과를 얻을 수 있다.

토목분야의 해석 (Hydraulics, Water Treatment)

댐, 항만 등을 해석하는 수리분야(hydraulics)는 토목구조물의

특성상 안정성과 신뢰성에 매우 많은 노력을 기울여야 하며 수치 해석에서는 정확성이 인정받은 프로그램만을 사용한다. 약 10년 전부터 지구온난화의 결과로 국지적으로 매우 많은 비가 내리며 국내에서도 이를 위하여 소양강댐, 대청댐, 한탄강댐 등의 치수 능력을 증대시키고 있다. 이에 필수적인 것이 유동해석으로 국내 뿐 아니라 전 세계적으로 댐분야의 유동해석에서는 FLOW-3D의 결과만을 신뢰성 있다고 인정하고 있다.

정수장 및 하수처리장에서도 고품질의 물을 생산하고 하수처리 효율을 높이기 위하여 설계 및 공정 개선의 다양한 분야에 FLOW-3D를 사용하고 있다.

유체-고체 연동해석 (FSI; Fluid-Solid Interaction)

최근 유동해석에서 가장 많이 요구되고 있는 기능은 유체와 고체가 상호작용하는 현상에 대한 해석기능이다. 대부분의 유동해석 프로그램들은 라그랑지안 기법(Lagrangian method)을 사용하기 때문에 고체의 움직임을 모사하기 위해서 격자 재생성(remesh) 등의 기법을 사용해야 한다.

다음의 예제들은 대표적인 FSI 해석사례들이다.

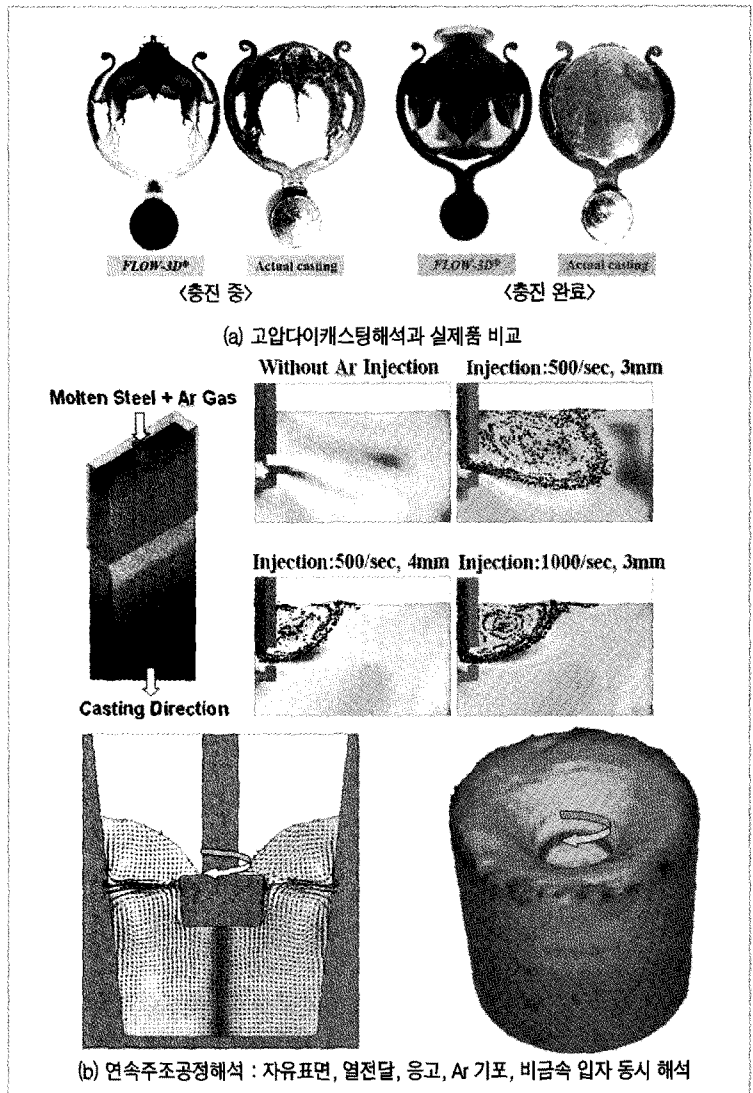
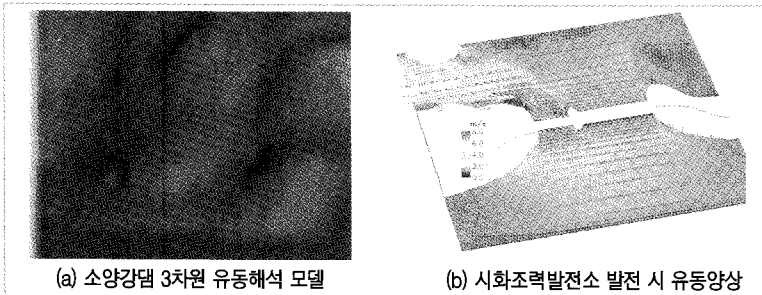


그림 1 다이캐스팅 및 응고해석 예

댐의 방류와 같이 자연현상을 예측하거나 사출성형 및 주조, 잉크젯 프린터와 같이 제품 설계를 최적화하는 등의 문제에서는 기체와 액체가 함께 존재하며 시간에 따라 변화하는 이상 유동(공기-용탕, 물, 잉크)을 전산모사하기 위해서 기상과 액상의 경계를 정확하게 표현하는 방법이 매우 중요하다. 이러한 이유로 현재 대부분의 상용 CFD 프로그램에서는 이상 유동 문제를 전산모사하는 경우 VOF 방법을 사용하고 있다.

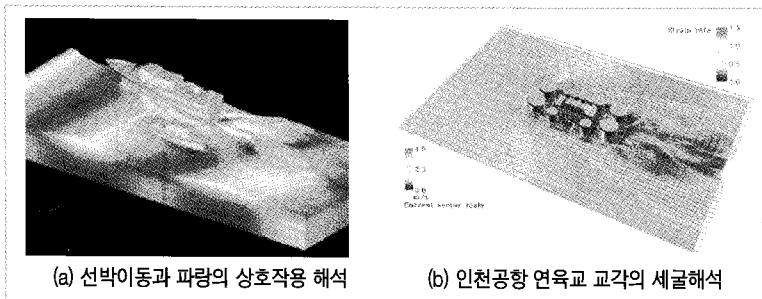
FLOW-3D는 오일러리안 기법(Eulerian method)을 사용하고 FAVOR™를 이용한 고정 격자를 사용하기 때문에 격자 재생성의 필요가 없이 움직이는 고체를 손쉽게 모사할 수 있다.



(a) 소양강댐 3차원 유동해석 모델

(b) 시화조력발전소 발전 시 유동양상

그림 2 댐 및 방조제 유동해석 예



(a) 선박이동과 피랑의 상호작용 해석

(b) 인천공항 연육교 교각의 세굴해석

그림 3 해양 항만 분야 유동해석 예

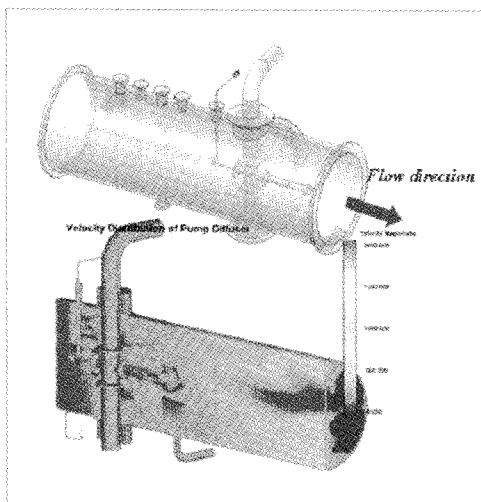


그림 4 정수장 급속혼화기 유동해석: 혼화액의 확산 및 균일 혼합해석

맺 음 말

1963년 FLOW-3D의 개발자인 C.W. Hirt 박사가 미국 Los Alamos 국립연구소에서 VOF(Volume of Fluid) 방법을 개발한 이래 지금까지 FLOW-3D는 이상유동 해석분야에 중점을 두고 계속 발전을 거듭하며 사용자층을 확대해 왔다.

현재, 두 개의 상이

존재하는 유동현상을 해석하는데 있어서 FLOW-3D뿐만 아니라 대부분의 상용 유동해석 프로그램에서도 VOF 방법을 사용하고 있다. VOF 방법이 이렇게 지배적인 이상유동해석 방법으로 자리잡게 된 이유로는 복잡한 이상유동현상을 쉽고도 정확하게 표현할 수 있으며 자유표면의 형상 표현에 있어서 매우 자유롭기 때문이다. 자유롭다는 말은 자유표면의 형상과 격자가 독립적이기 때문에 제약이 없다는 뜻이다.

컴퓨터 및 유동해석 프로그램이 비약적으로 발전함에 따라 유동해석 프로그램은 유동만을 해석하던 과거와는 달리 점차 그 영역을 넓혀 구조물의 운동 및 변형을 포함한 유동해석을 수행할 수 있게 되었다. 현재 다양한 유동해석 프로그램들은 이러한 유동-구조를 연계한 해석이 가능하다.

FLOW-3D는 독특한 FAVOR(Fractional Area Volume Obstacle Representation)라는 방법을 사용하여 고체 또는 구조물을 표현하는데 이 방법은 액체와 기체를 스칼라(scalar) 값으로 구분하여 자유표면 형상을 표현하는 VOF 방법과 같이 구조물과 유체를 격자로 구분하지 않고 스칼라 값으로 구분하고 그 형상을 나타낼 수 있게 해준다. 이 FAVOR 방법은 앞서 VOF에서 살펴본 바와 같이 격자와 형상이 독립적으로 표현될 수

있게 하며 형상의 움직임을 자유롭게 나타낼 수 있다.

FLOW-3D는 FAVOR 방법을 사용하기 때문에 격자로 고체영역과 유체영역이 구분되는 다른 유동해석 프로그램과는 달리 형상의 움직임을 격자와 무관하게 자유롭게 나타낼 수 있으며 격자 재생성도 필요 없게 된다.

격자에 의해 기체와 액체를 구별하여 이상유동을 해석하던 과거에서 VOF 방법을 사용하는 지금의 사례에서 볼 수 있듯이 유체와 고체를 함께 해석하는 경우 FAVOR를 사용하는 FLOW-3D가 보다 다양한 분야에서 보다 복잡한 유동 구조현상을 쉽고 정확하게 표현하리라고 생각한다.



그림 5 유체-고체 연동해석의 예