

# CFD-ACE+

## 편집부

### 1. Introduction

Multiphysics 시뮬레이션을 위한 프로그램인 CFD-ACE+은 아래와 같이 CFD-GEOM이라는 프리프로세서와 CFD-ACE라는 솔버, 그리고 CFD-VIEW라는 포스트 프로세서를 근간으로 하는 시스템으로 구성되어 있으며, 현재의 최신버전은 V2004이다.

CFD-ACE+의 개발사인 CFDRC는 자사가 개발한 free software인 DTF(Data Transfer Feasibility)라는 라이브러리를 통하여 모든 프로그램을 개발하고 있다. 즉, 유저가 만드는 격자, 그리고 시뮬레이션 한 데이터들은 모두 DTF라는 확장자를 갖는 파일을 통해 공유된다. 또한 이를 기반으로 하는 핵심 프로그램인 CFD-GEOM, CFD-GUI, CFD-VIEW등은 Python이라는 script language를 통해 연결되어 있다. 이를 통해 격자 생성에서부터 해석 그리고 후처리 까지 모두 Python Language로 표현이 가능하므로 해석에 관련된 모든 프로세서를 자동화 할 수 있고 더욱이 Parametric Study, DoE (Design of Experiment), 그리고 Optimization에 이르는 다양한 시뮬레이션을 유저가 직접 만든 특화된 GUI에서 수행 할 수 있다.

### 2. CFD-GEOM

CFD-GEOM은 상호 작용하는 CAD 타입의 Geometry를 작성하고 좀더 효율적인 격자 생성을 도와주는 CFD-ACE+의 전 전처리기 (pre-processor)이다. 또한 CFD-GEOM은 기타 다른 어떤 상용 CAD 프로그램에서 만들어진 데이터와의 interface를 가지고 있기 때문에 사용자들의 CAD 환경에 맞게 통합되어 질 수 있다. 그 주요 특징은 다음과 같다.

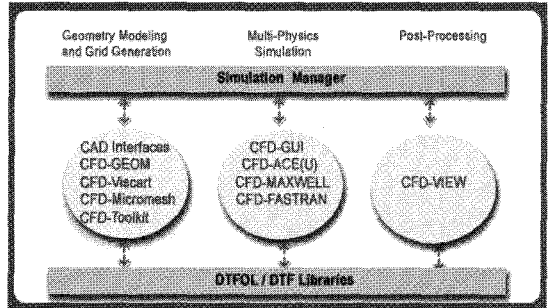


Fig. 1 CFD-ACE+ line up for multiphysics simulation environments

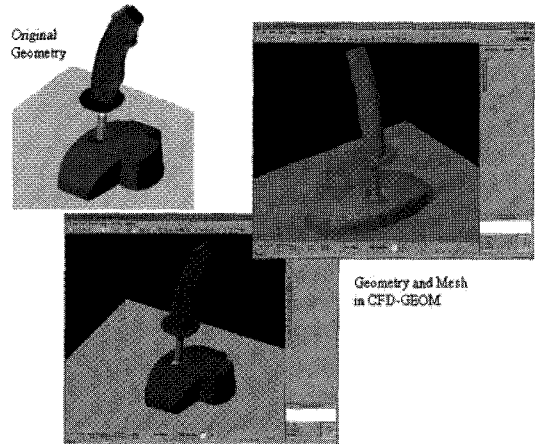


Fig. 2 CFD-GEOM

- Face splitting
- Hybrid pyramid/tetrahedral grid generation
- Prism grid generation & deformation
- Unstructured quad meshing capability
- Geometry & block sweeping capability
- Local block refinement

일반적인 기능 :

- Easy-to-Learn, Easy-to-Use GUI

\* 자료제공 박해연, (주)경원테크, 부장  
E-mail : hypark@mail.kw-tech.co.kr

- Import of IGES geometry
- Intensive library of NURBS
- Automatic and efficient 2D/3D unstructured mesh generation
- Boundary layer resolution
- Auto-Update of 3D multi block meshes
- Automatic "Dirty-Geometry"

New input methods

- Spray file format
- STL input & output
- VOF format
- 그외에 PLOT3D, FAST, XFG, AFG format들을 CFD-VIEW 2003에서 import 가능

격자생성에 관련된 특징 :

- Complete multilevel undo/redo capabilities
- Block extrusion & revolution
- Elliptic smoothing process for face & block of structured Grid
- Prism & pyramid meshing for hybrid hexahedral/tetrahedral mesh system
- Improved user control in generation of tetrahedral meshing
- Scaling & mirroring
- Journaling file system by Python language
- Automatic & parametric grid generation by simulation manager

특징 :

- Object-Oriented interface
- Fast manipulation of large data
- Structured, unstructured, hybrid, polyhedral data Sets
- Interactive & transient point and line data probes
- Transient animation of liquid spray/particle data
- Annotation/presentation
- Interactive animation and movie recording
- Seamless integration with CFDRC's flow solvers
- Variety of output formats

사용가능한 격자형태 :

- Quadrilateral, hexahedral, triangle, tetrahedral, prism, polyhedral

호환되는 데이터 형식 :

- IGES, SAT, CIF, DXF, GDSII, Mixed-U, FAST-U, Nastran, PATRAN, Plot3D, STL, DTF, CGNS 등

### 3. CFD-VIEW

CFD-VIEW는 CFD-ACE+로 부터의 결과 데이터나 기타 다른 프로그램에서 생성된 파일을 위한 전용 후처리기(post-processor)이다. User friendly한 GUI를 바탕으로 flow visualization이나 data acquisition에 특화된 프로그램이다.

Particle tracing

- Arrow movement animation 가능
- Ribbon, tube로의 표현 가능
- Trace를 따라 변수의 plotting이나 표현이 가능

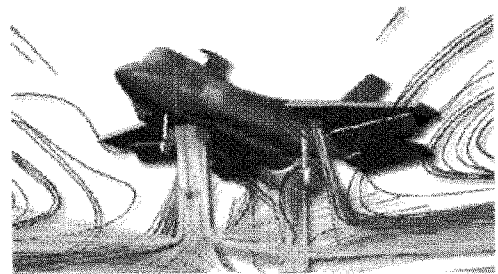


Fig. 3 Post-processing example (1)

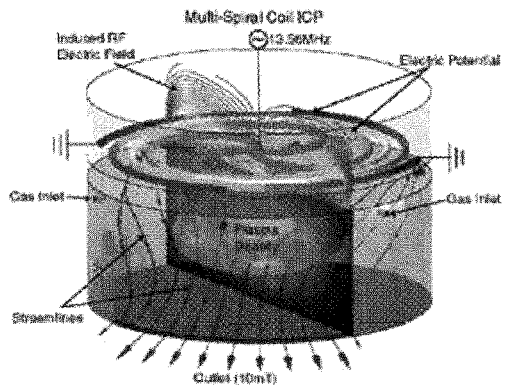


Fig. 4 Post-processing example (2)

## CFD-ACE

CFD-ACE는 다음과 같은 모듈로 구성되어 있으며 필요에 따라서 각 모듈들을 연결하여 사용한다.

모듈:

- Flow : laminar flow
- Heat transfer : conduction, convection (forced & natural), conjugate heat transfer, ice melting, solidification, moving solid
- Turbulence : turbulent flow (RANS & LES)
- Chemistry : pure mixing (iso-phase), homogeneous (gas phase) reaction, Heterogeneous (surface) reaction
- User scalar : calculation of user defined scalar transport
- Radiation : DOM, STS, MCM
- Cavitation : hydro-machine & devices
- Grid deformation : translation or rotation of boundaries, implicit coupling deformation
- Stress : linear and non-linear deformation, contact analysis, modal analysis
- Electric : electrostatic, DC or AC conduction
- Magnetic : static, AC, DC+AC
- Spray : particle tracing, evaporation
- Free surface (VOF)
- Plasma : Inductively Coupled Plasmas (ICP), Direct Current (DC), Capacitively Coupled Plasmas (CCP)
- Two-Fluid: two-phase flow (no heat transfer), solid-gas, liquid-gas, liquid-liquid, liquid-solid
- Kinetic : time-dependent 4-D Fokker-Planck (FP) equation solving
- Semi device : Drift-Diffusion (DD) and Hydrodynamic (HD)

### 4.1 Flow module

Flow module은 CFD-ACE(U) solver의 핵심이다. CFD-ACE는 속도장과 압력장을 SIMPLEC (Semi-Implicit Method for Pressure-Linked Equations Consistent) 알고리즘으로 계산하게 된다.

기본적으로 중력과 원심력에 의한 영향을 반영시킬 수 있으며, 표면장력이나 전자기력 등에 의한 영향은 다른 module과 같이 계산 할 경우에 반영시킬 수 있다.

일반적인 유동이 아닌 특별한 경우를 위해 다음과 같은 부가적인 기능을 선택 할 수 있다. 먼저 비뉴턴 유체 유동의 계산을 위한 점성모델이 있으며, 2차원 축대칭 시뮬레이션을 수행할 시에는 swirl을 부여할 수 있고, 저압 유동시에 볼 수 있는 slip현상의 시뮬레이션을 위한 Knudsen Function을 쓸 수 있다. 또한 인체공학 분야에서 문제가 되는 적혈구 파괴에 의한 점도 변화를 부여한 hemolysis model과 격자수를 줄여 계산을 보다 근사적으로 행하는 reduced model등이 있다.

입구경계조건의 종류로는 일정유속, 일정압력, 일정유량 등을 줄 수 있으며, 출구경계조건으로는 일정속도, 일정압력, far-field, extrapolate 등의 조건을 줄 수 있다. 체적조건으로는 유량의 source와 sink를 줄 수 있으면, porous media로 가정할 수도 있다. 그 밖에도 일정 구간을 정의하여 momentum을 감소시키거나 증가시킬 수 있는 momentum resistance model, fan model이 있다. Momentum resistance model과

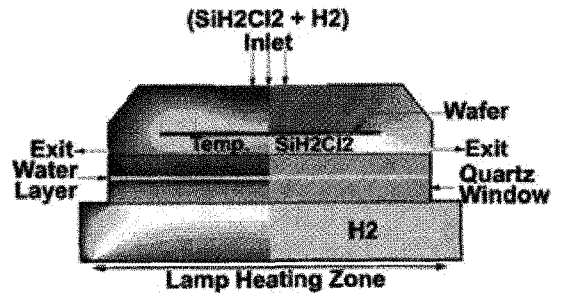


Fig. 5 CFD-ACE+ simulation of SEMATECH benchmark case with radiative heating of a wafer via a quartz window with water cooling

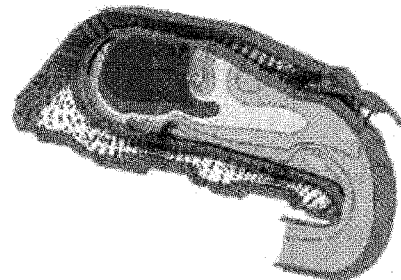


Fig. 6 APU combustor

fan model은 적용공간을 격자계와 무관하게 절대좌표 공간 내에서 임의대로 규정지을 수 있으므로 매우 편리하고 효과적인 기능이라고 할 수 있다.

## 4.2 Heat transfer module

여기서 heat transfer module은 전 엔탈피 방정식을 푸는 것을 의미한다. 열전도 및 대류 그리고 계산 영역 내의 고체, 유체 사이의 conjugate heat transfer 문제 또한 계산이 가능하다. Flow module과 더불어 증력효과를 더하여 natural convection문제를 풀 수 있으며, 온도장이 필요한 여러 다른 module을 계산하기 위한 근간이 되는 module이라 할 수 있다. 예를 들어 radiation 문제를 풀기 위해서는 당연히 heat transfer module을 활성화 시켜야 한다.

CFD-ACE만의 독특한 기능으로는 자동차 유리와 공기 사이의 온도차에 의한 성에 문제등에 특화된 ice melting 기능이 있고, 특정 고체체적에 속도 (translation, rotation)를 줄 수 있는 moving solid 기법이 있다. Moving solid 기법은 실제 격자가 움직이는 것이 아니라 고정격자에 가상의 속도를 주는 것이다.

벽경계조건으로는 단열조건, 일정온도, 일정열유속 등을 줄 수 있으며, 임의의 interface를 thin wall로 처리하여 가상의 두께와 열전달 계수를 주는 thermal gap model을 쓸 수 있다. 체적조건으로는 원하는 volume에 일정 온도, 일정 열유량을 줄 수 있다

## 4.3 Turbulence module

Turbulence model은 층류가 아닌 난류유동을 시뮬레이션 할 경우 flow module과 더불어 사용하는 module이다. 실제로 지구상의 대부분의 유동은 난류라고 할 수 있으며 유체의 이동에너지 측면에선 단점이 될 수 있으나 열전달이나 연료의 혼합등의 경우에는 장점이 될 수 있으므로 산업적인 응용에도 한 몫을 하고 있다.

난류 모델링 요구의 다양한 범위에 부합하도록, CFD-ACE+에서는 난류모델의 폭넓은 선택이 가능하다. 난류모델은 현재 RANS 모델 (Reynolds Averaged Navier Stokes models)뿐만 아니라 LES (Large Eddy Simulation models) 모델이 포함된다. V2003 부터는 k-epsilon과 k-omega의 가장 최상의 특징을 조합한 Menter SST model이 추가되었다. 이들 난류

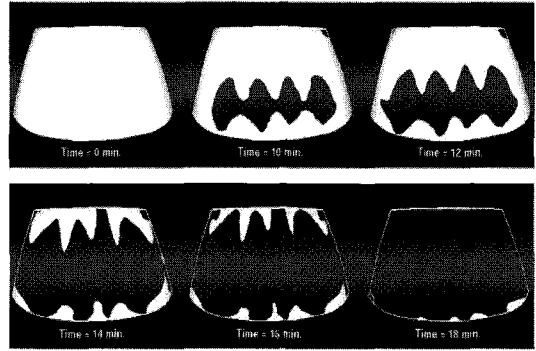


Fig. 7 Ice melting patterns

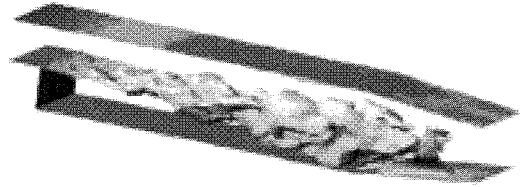


Fig. 8 LES predictions of premixed propane-air combustion backstep test case of Pitz

모델은 넓은 범위의 응용분야에서 인정 되고 사용되어 왔다. CFD-ACE+에서 지원되고 있는 난류모델은 다음과 같다.

### RANS (with wall function)

- Standard k-epsilon model
- RNG k-epsilon model
- Kato-Lauder k-epsilon model
- Spalart-Allmaras model

### RANS (without wall functions)

- Two layer k-epsilon model
- Chien low Reynolds number k-epsilon model
- k-omega model
- k-omega Shear Stress Transport(SST) model
- Menter Shear Stress Transport(SST) model

### LES

- Smagorinsky model
- Germano's dynamic subgrid scale model
- Menon's localized dynamic subgrid scale model

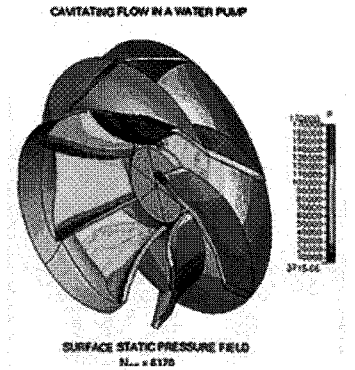


Fig. 9 Cavitation flow (pressure contour)

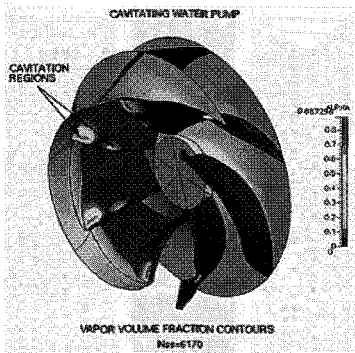


Fig. 10 Cavitation flow (cavitation region)

#### 4.4 Cavitation module

Cavitation이란 액체상태의 유체 유동에서 부분적인 압력강하에 의해 그 지점의 액체가 기화하여 액상이 불연속하게 되는 현상을 말한다. Cavitation은 주로 속도가 매우 빠른 회전체나 노즐등에서 발생되는데 주로 유체의 이송량이나 압력장에서의 손실등으로 이어지므로 산업현장에서 피해야 하는 현상중의 하나이다. 또 cavitation이 심한 경우 소음과 진동으로 인한 기계의 물리적인 파괴도 일어날 수 있다. 그러므로 cavitation의 예측은 유체기계의 효율과 안정성을 위해 매우 유용하며 cavitation이 형상에 매우 민감하므로 유체기계의 설계등에도 응용될 수 있다.

#### 4.5 Free surface (VOF) module

CFD-ACE+에서 free surface 모듈은 표면 장력 효과를 포함한 두 가지의 incompressible, immiscible 유체 혼합물의 거동을 수치해석 하기위해 사용된다.

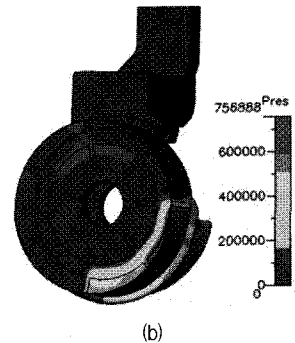
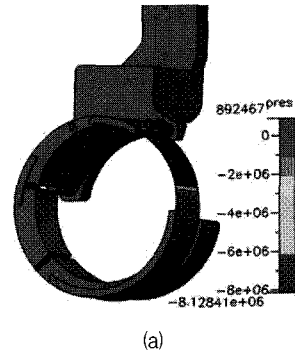


Fig. 11 Vane pump (negative pressure) : (a) Incompressible model (2000 rpm) and (b) cavitation Model (2000 rpm)

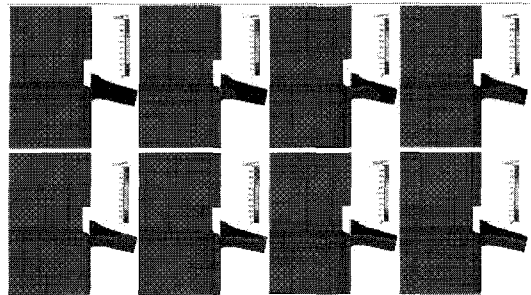


Fig. 12 Free surface problem

임의의 immiscible fluid-fluid 경계를 갖는 두 유체의 거동을 해석 할 수 있으며, 공기와 물과 같이 밀도차가 큰 두 유체를 포함한다. 두 유체 사이의 free surface의 위치는 해에 의해 결정되고 이를 응용 할 수 있는 분야는 sloshing problem, injection mold-ing, capillary flow, coating, jetting 등이다.

#### 참고문헌

- (1) <http://www.kw-tech.co.kr>