

제 8회 한국유체공학 학술대회

# 공개 SW를 이용한 교반기 전산유동 해석 프로그램 개발

김병윤, 길재흥, 노현석

2014. 08. 29

[bykim@nextfoam.co.kr](mailto:bykim@nextfoam.co.kr)

# 목 차

- ▶ 머리말 - 연구 배경 및 내용
- ▶ 프로그램 개발 방법
- ▶ 개발 결과
- ▶ 결론

# 연구 배경 - CFD 사용 분야

## ▶ CFD 기술 연구

- 대학이 중심
- 수치해석 기법 연구 : 고차정확도, 무격자 기법, 물리 현상 모델링 기법
- 해석 방법론 연구 : GPU, 최적화, 다물리 현상의 연성해석, 격자 생성

## ▶ CFD 응용 연구

- 제품이나 시스템의 설계에 응용
- **Trouble Shooting**
- 안전, 생활편의성, 레저, 의료...

# 연구 배경 - 응용 연구 분야

## ▶ 엔지니어링 도구로서의 CFD

- 제품이나 시스템의 설계 변경에 대한 성능 변화 시뮬레이션
- 엔지니어링 판단을 위한 기본 데이터 도출이 목적
- 정립된 해석 기법 사용

## ▶ 새로운 해석 기법 개발을 위한 CFD

- 새로운 제품이나 시스템의 개발 과정에서의 시뮬레이션
- 기존 제품이나 시스템의 CFD 적용 분야 확대를 위한 해석 기법 연구

# 연구 배경 - 응용 연구 분야의 문제점

- ▶ 대부분이 특정 제품이나 시스템에 대한 연구
- ▶ 범용 CFD 패키지를 활용
- ▶ 불필요한 기능으로 인한 복잡한 사용법
  - CFD 비전문가의 사용 제한
- ▶ 과도한 SW 사용료
- ▶ 특정 기능의 추가가 어려움
- ▶ 작업 효율성 저하

# 연구 배경 - 대안

- ▶ 특수 목적 (전용) 프로그램 사용
  - 간단한 사용법
  - 작업 자동화를 통한 작업 효율성 향상(pre-post)
  - 활용 인력 및 범위 확대(CFD 비전문가)
- ▶ 기존의 시도들
  - 산업분야 기반 전용 프로그램
    - > Wavis, flowTherm, Icepak, fineTurbo, flow3D, FDS ...
  - 사용자 기반 전용 프로그램
    - > Autodesk CFD, StarCAT, Fluent for CATIA, FloWizard ...

# 연구 배경 - 기존 시도들의 한계

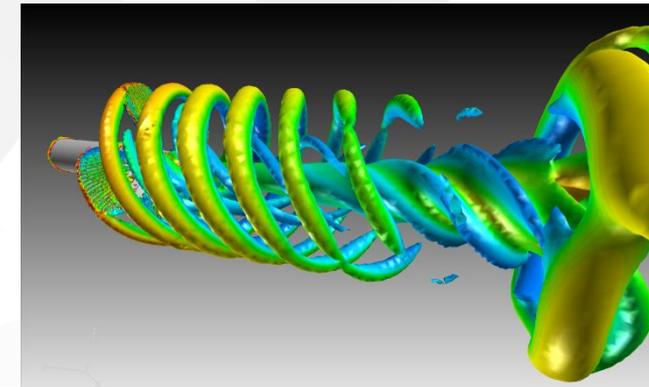
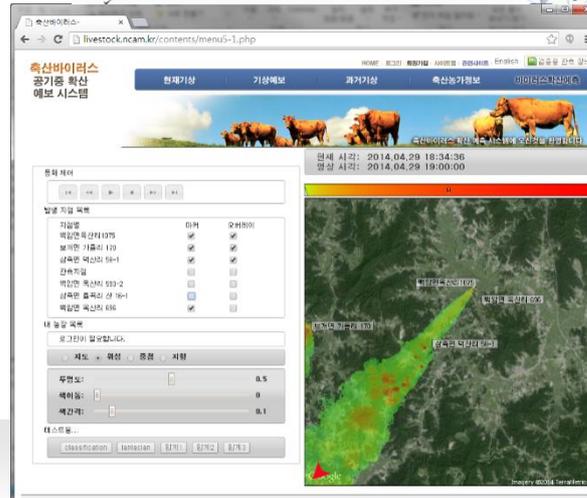
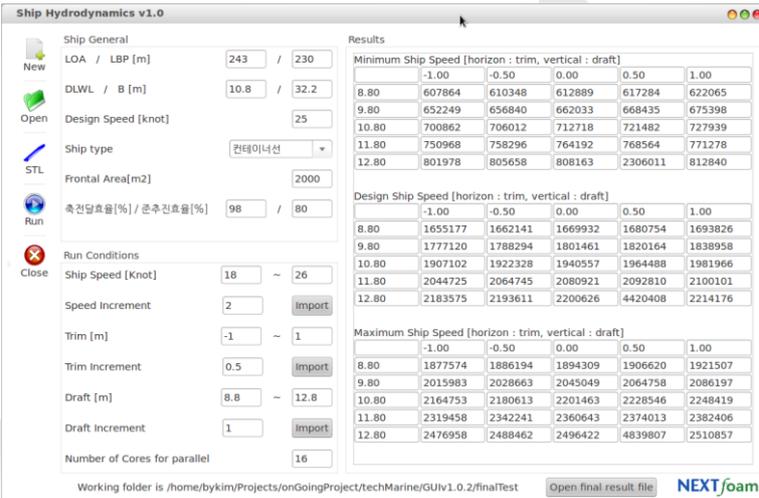
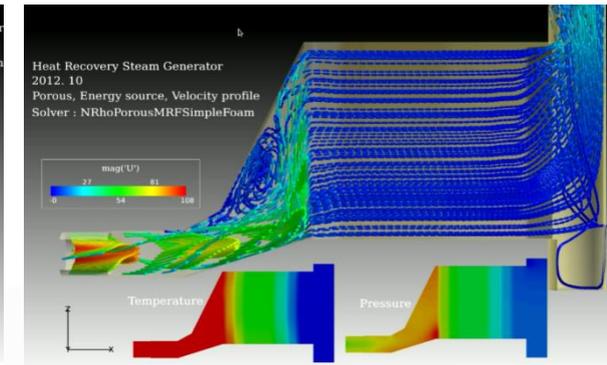
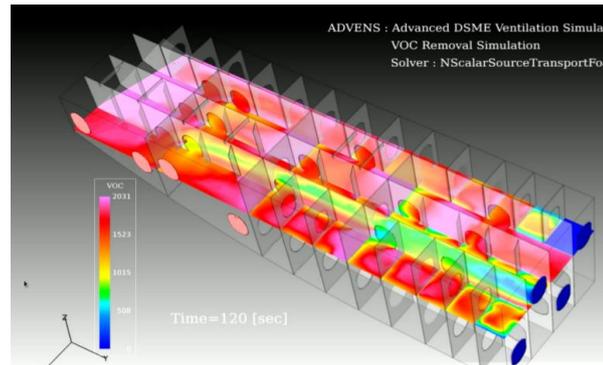
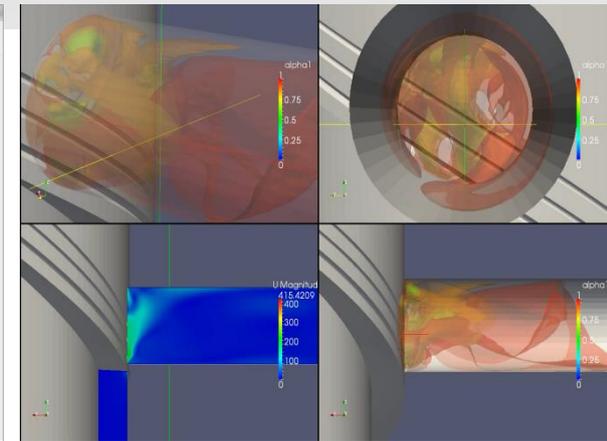
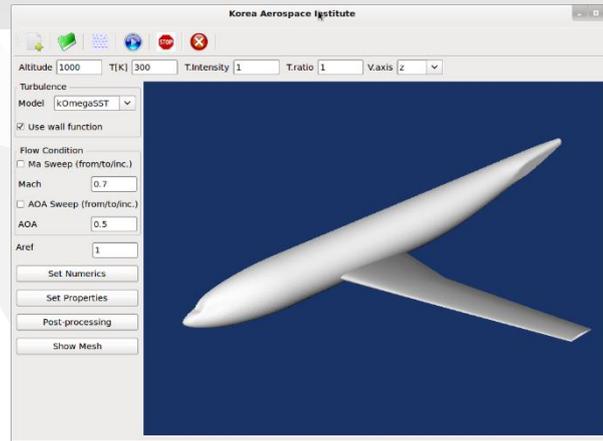
- ▶ 산업 분야 기반의 프로그램
  - 적용 분야의 한계
  - 다양한 기능 구현의 한계
  - 높은 사용 비용
- ▶ 사용자 기반 프로그램들
  - 다양한 기능을 구현하지 못함
  - 사용자 층의 확대에 실패

# 연구 배경 - 새로운 대안

- ▶ 특수 목적(전용) 프로그램의 직접 / 주문 제작
- ▶ 제작 방법
  - Solver : Open source program 사용
  - Pre / Post : Open source program이나 상용 프로그램 사용
  - 사용자 환경 : 자체 개발 혹은 공동 개발
- ▶ 장점
  - 자신에게 최적화된 프로그램
  - 비용, 계산 시간, 작업 시간 절감
  - 활용 범위 확대 (비전문가 그룹에 기술 이전 용이)

# 연구 배경 - 전용 프로그램 개발 사례

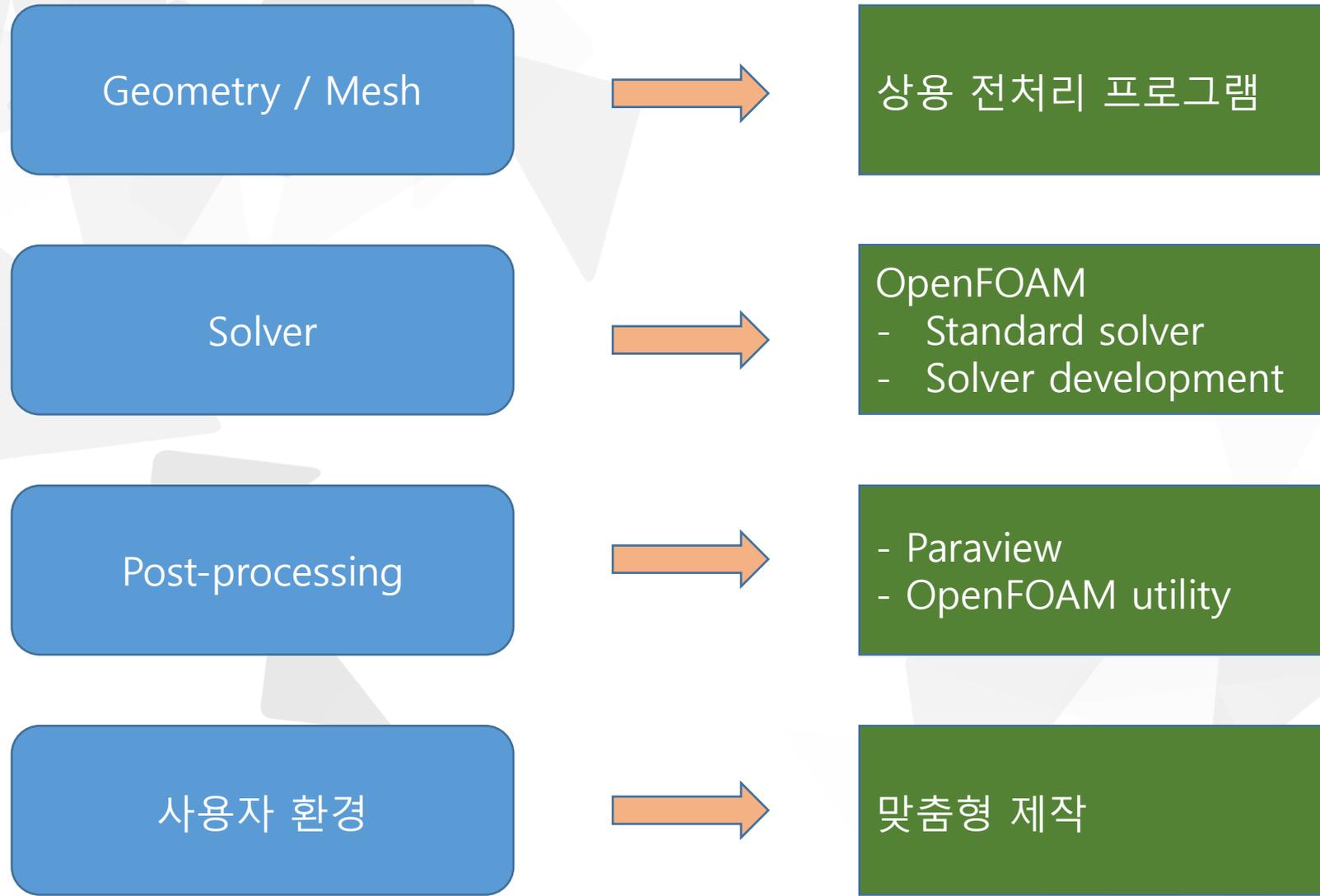
- ▶ 항공기 공력
- ▶ 도장 건조 시스템
- ▶ HRSG
- ▶ 회전체
- ▶ 펌프 캐비테이션
- ▶ 오염물 대기 확산
- ▶ 선박 외부 유동



# 연구 내용

- ▶ 교반기 전용 CFD 해석 프로그램 개발
  - Open source code, OpenFOAM 기반의 솔버 사용
  - 격자는 상용 프로그램에서 제작
  - 코드 검증(validation)
  - 작업 자동화
  - 사용자 환경 제작

# 프로그램 개발 방법



# 프로그램 개발 절차

## 해석 범위 정립

- 단상유동 해석, 다상유동 해석, 열전달 해석
- 정상상태, 비정상상태
- 6가지 해석 모델

## 요구 성능 정리

- 3D N-S eqn., RANS turbulence model
- MRF, Sliding mesh, heat source
- Gravity, VOF, nonNewtonian, passive scalar

## Code 개발

- 2 standard solver
- 4 modified solver
- Temp. dependent BirdCarreau viscous model

## Validation

- 4 validation case

## 작업자동화

- 최적 모델 및 입력 변수 선정
- 전처리 과정 표준화
- 후처리 항목 정리 및 과정 표준화

## 사용자 환경 개발

- 입출력 항목 표준화
- 작업자동화 GUI 에서 구현

# 프로그램의 요구 성능

- ▶ 2D / 3D, steady / transient Navier-Stokes Solver
- ▶ RANS turbulence model : 3 k-epsilon series, SST k-omega
- ▶ Boussinesq approximation for buoyancy
- ▶ Newtonian / non-Newtonian fluid
- ▶ MRF, Heat source
- ▶ Rotational cyclic condition
- ▶ VOF model
- ▶ Dynamic mesh

# 코드 개발

## ▶ Solver

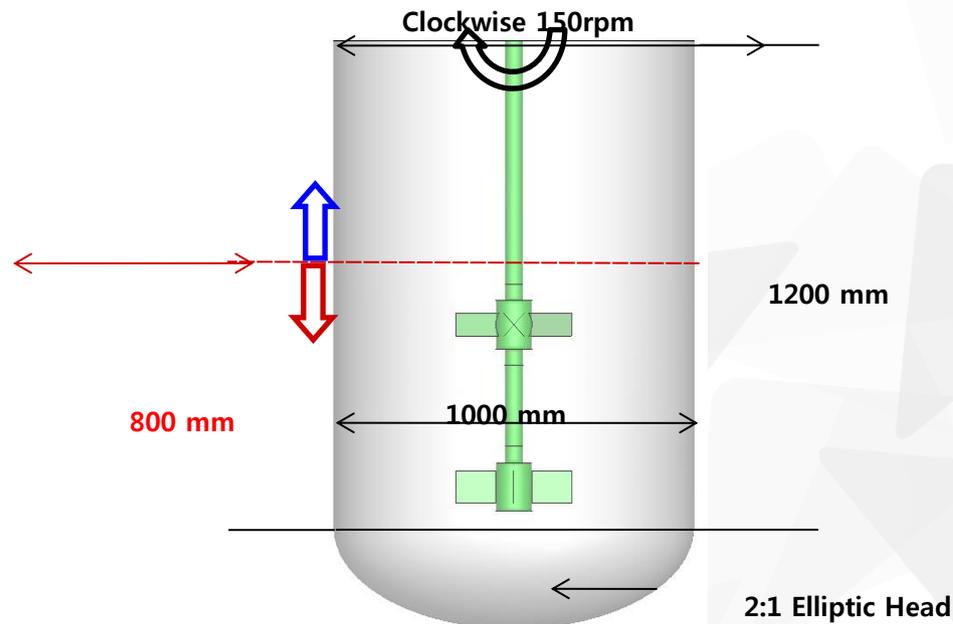
- Single-phase, MRF : simpleFoam (std. solver)
- Single-phase, Sliding mesh : pimpleDyMFoam (std. solver)
- VOF, MRF : modified MRFInterFoam
- VOF, Sliding mesh : modified interDyMFoam
- Energy, MRF : modified buoyantBoussinesqSimpleFoam
- Energy, Sliding mesh : modified buoyantBoussinesqFoam

## ▶ Library

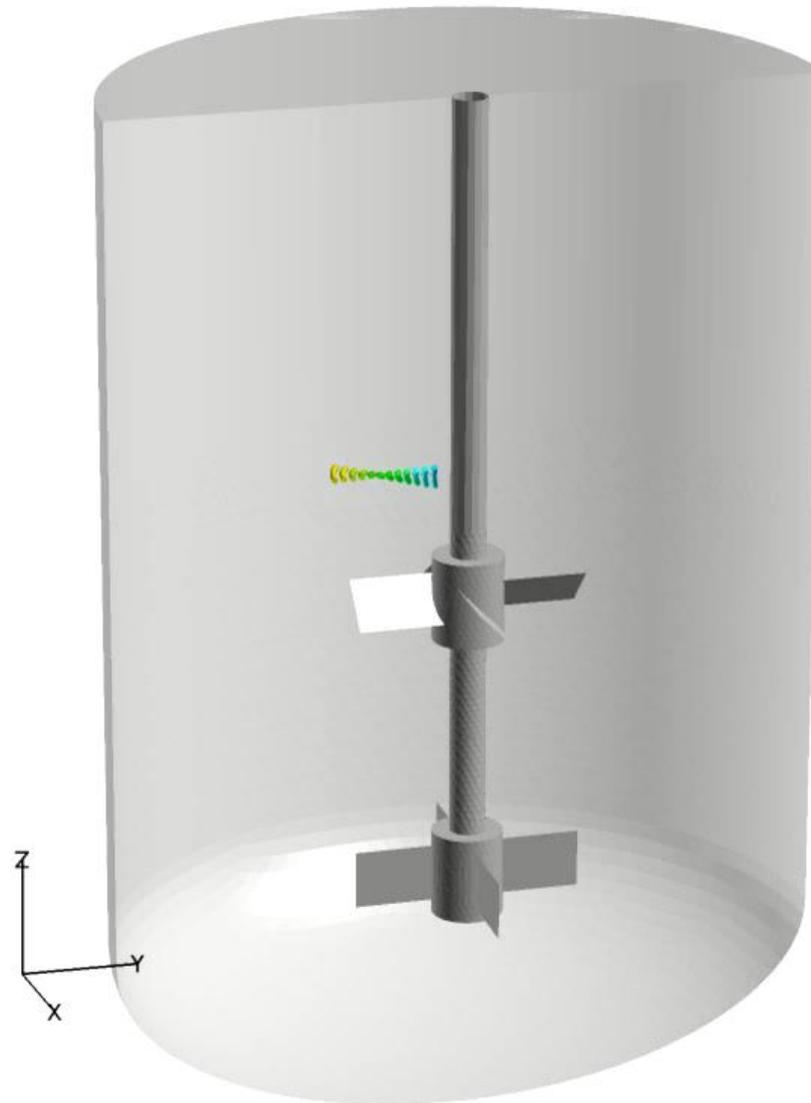
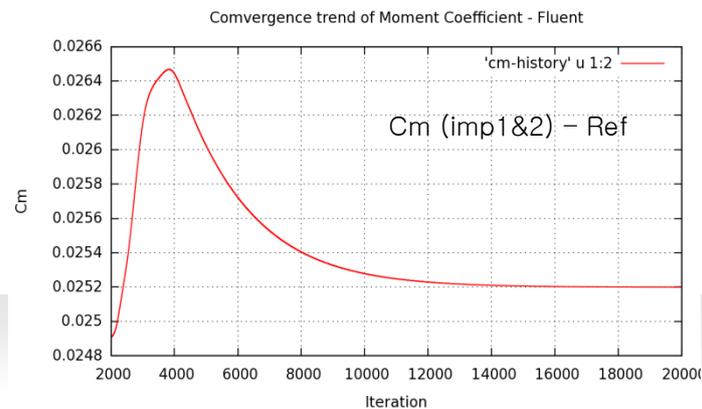
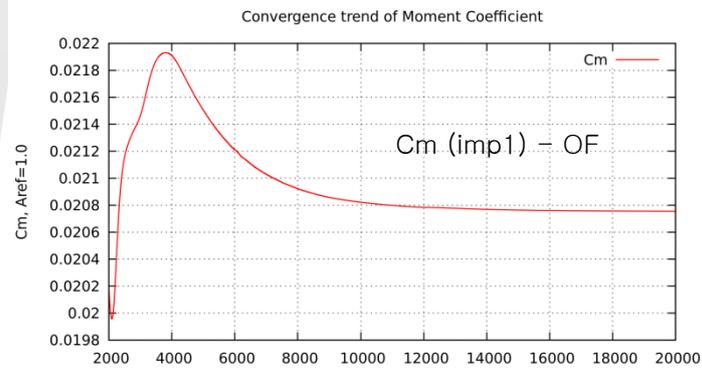
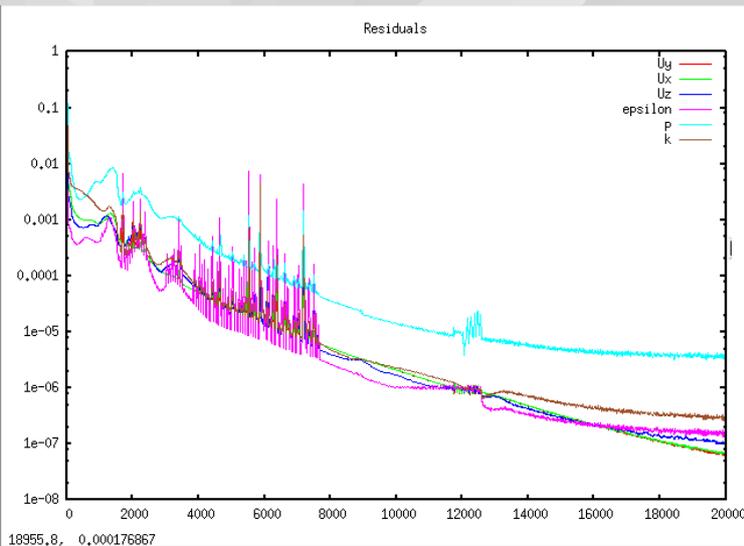
- temperatureDependentBirdCarreau non-Newtonian model

# Validation – single-phase, MRF

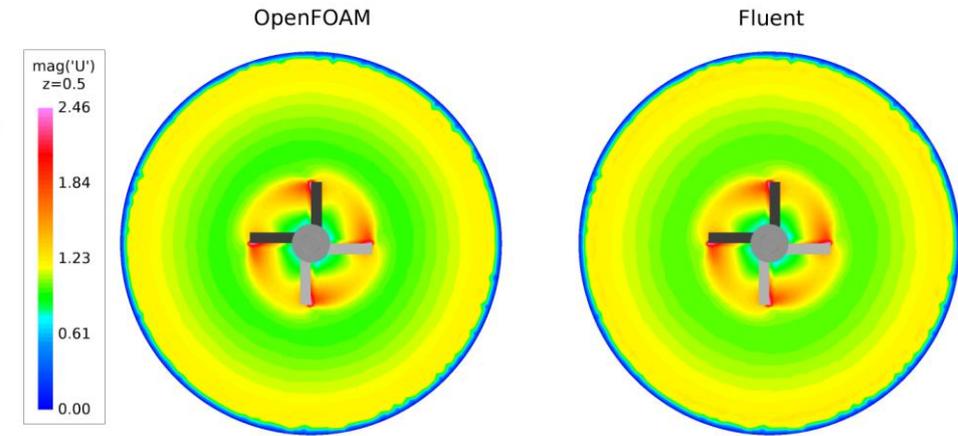
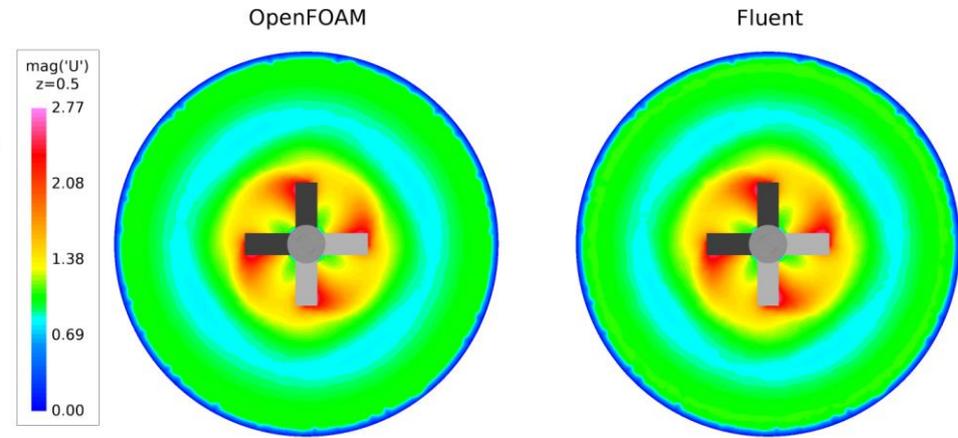
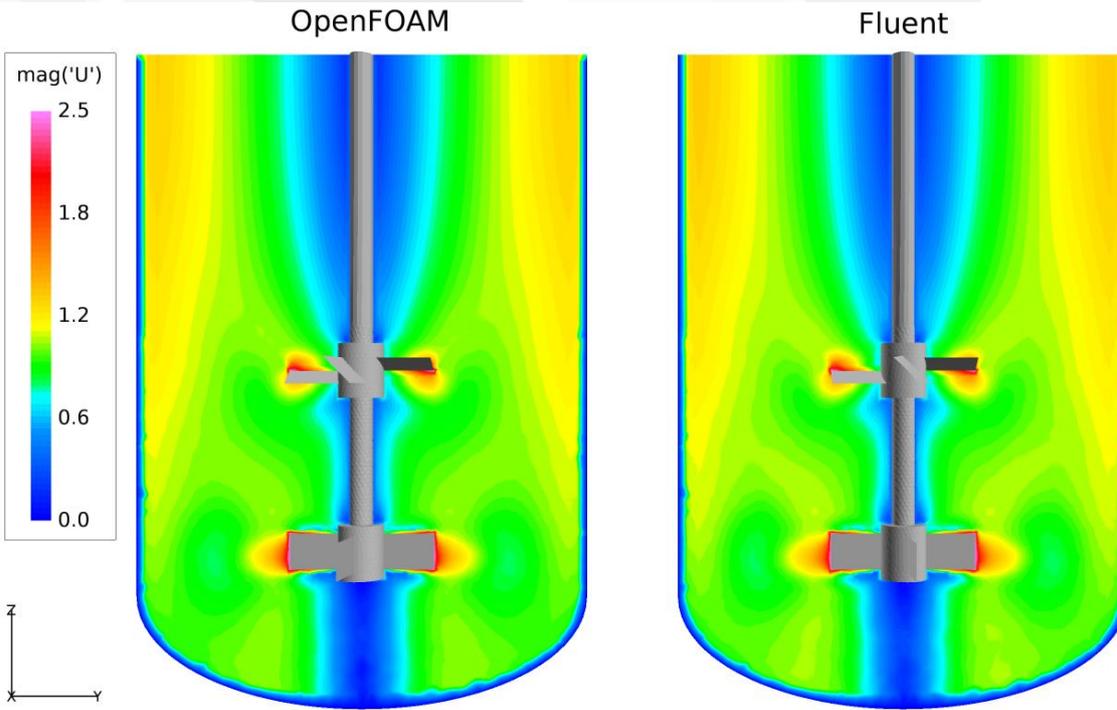
- ▶ 형상 : 1단 Flat Paddle, 2단 Pitched Paddle
- ▶ 난류 모델 : standard k-epsilon
- ▶ 물성값 : 밀도 998.2 kg/m<sup>3</sup>, 점도 0.001003kg/ms



# Validation – single-phase, MRF

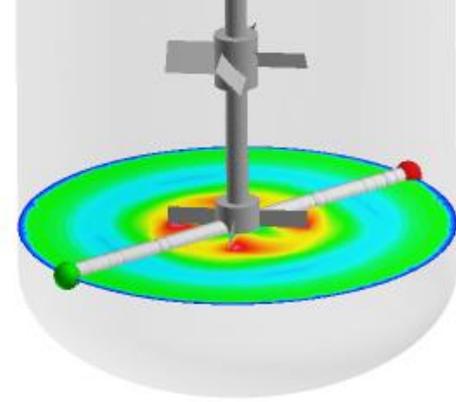


# Validation – single-phase, MRF

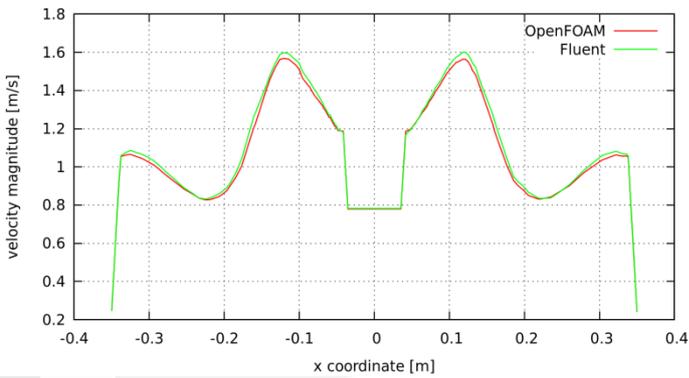


**Moment difference : 3.82%**

# Validation – single-phase, MRF

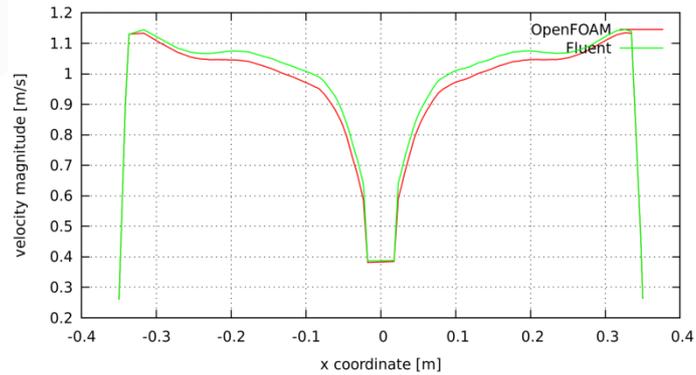


Velocity magnitude profile at  $z=0.1$



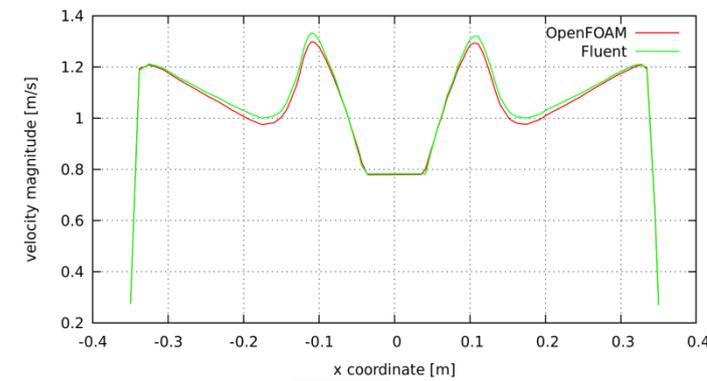
U magnitude at  $z=0.1$

Velocity magnitude profile at  $z=0.3$



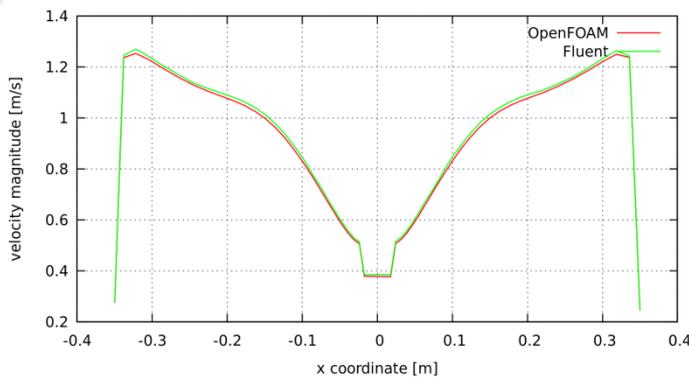
U magnitude at  $z=0.3$

Velocity magnitude profile at  $z=0.5$



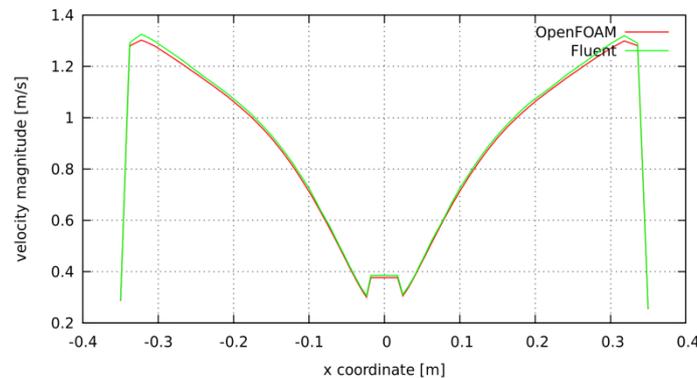
U magnitude at  $z=0.5$

Velocity magnitude profile at  $z=0.7$



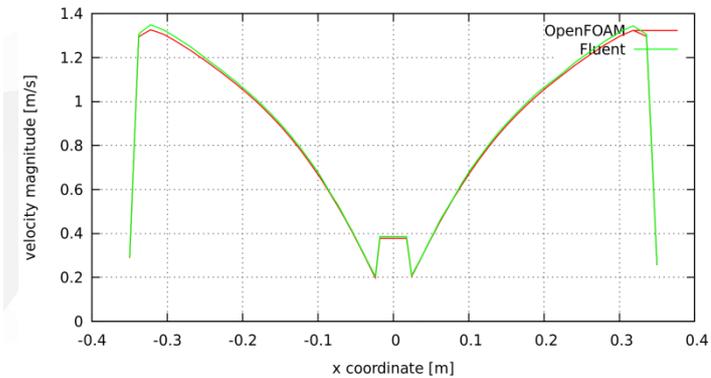
U magnitude at  $z=0.7$

Velocity magnitude profile at  $z=0.9$



U magnitude at  $z=0.9$

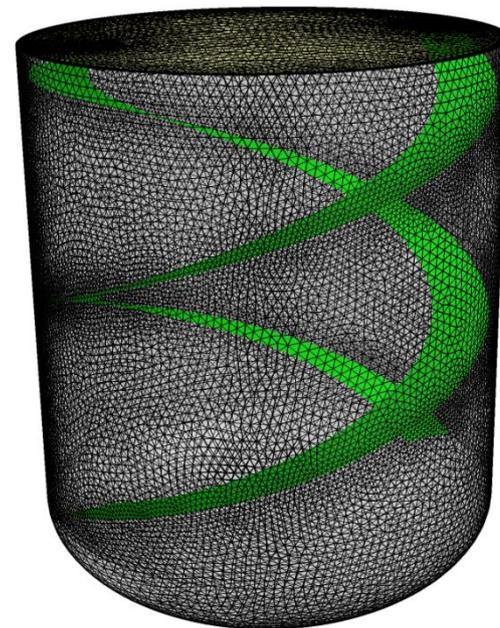
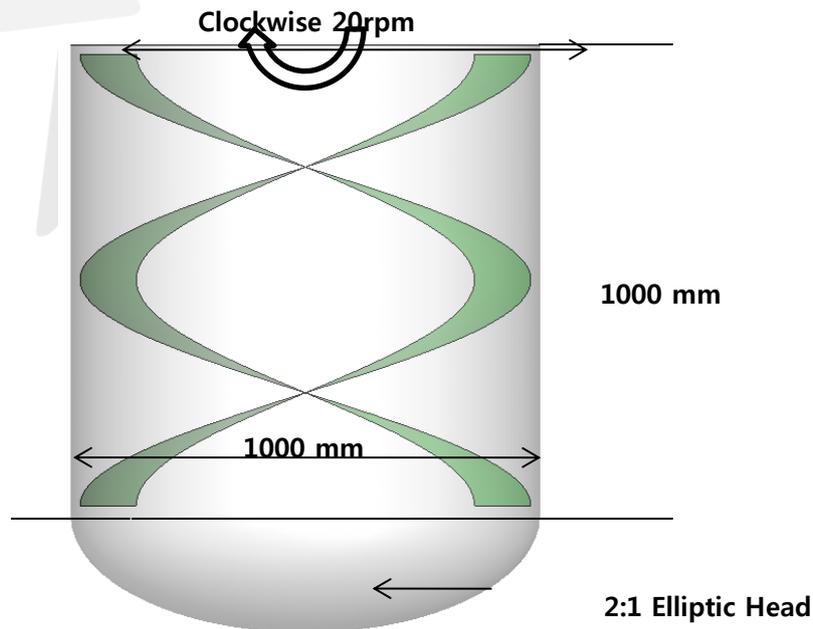
Velocity magnitude profile at  $z=1.1$



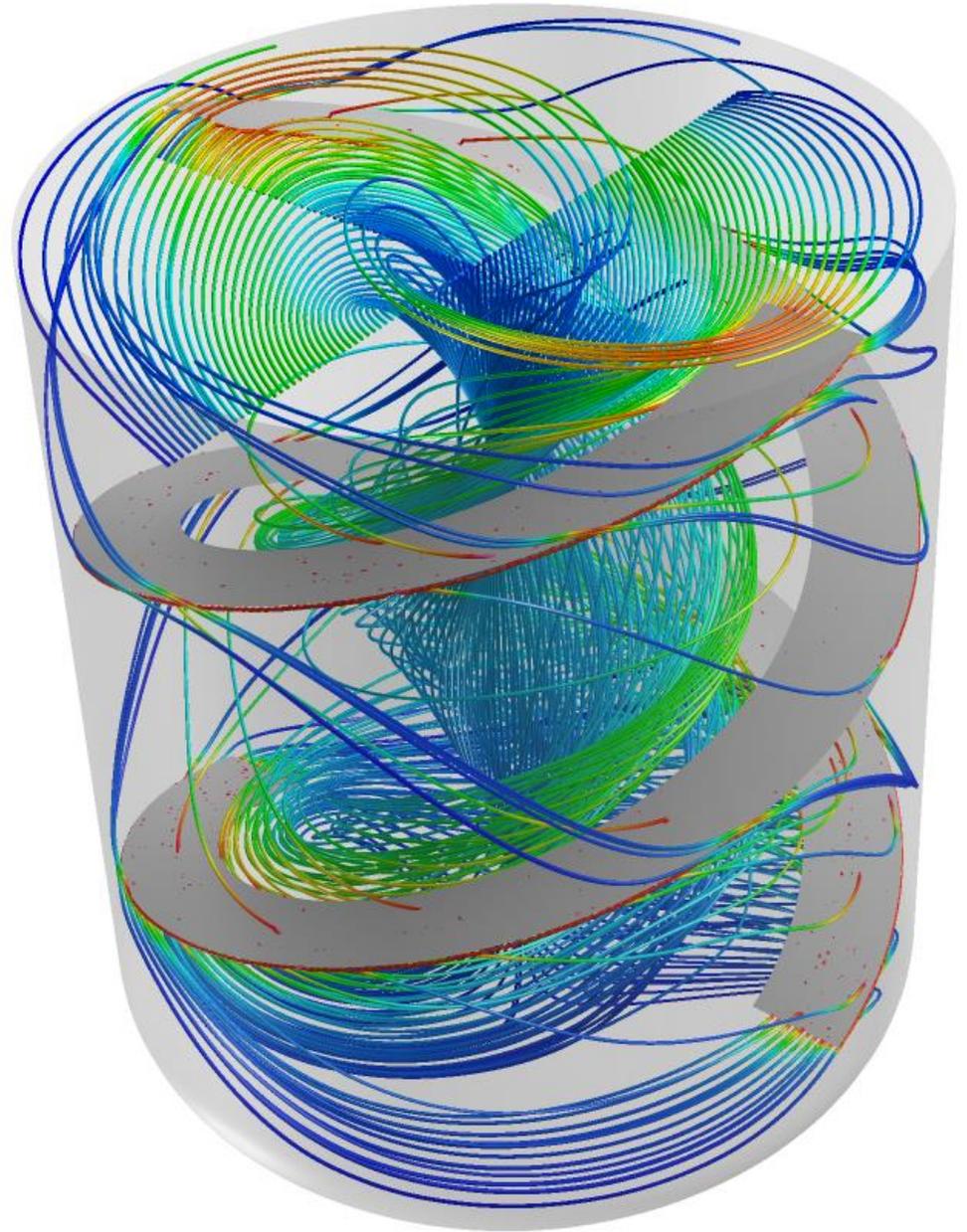
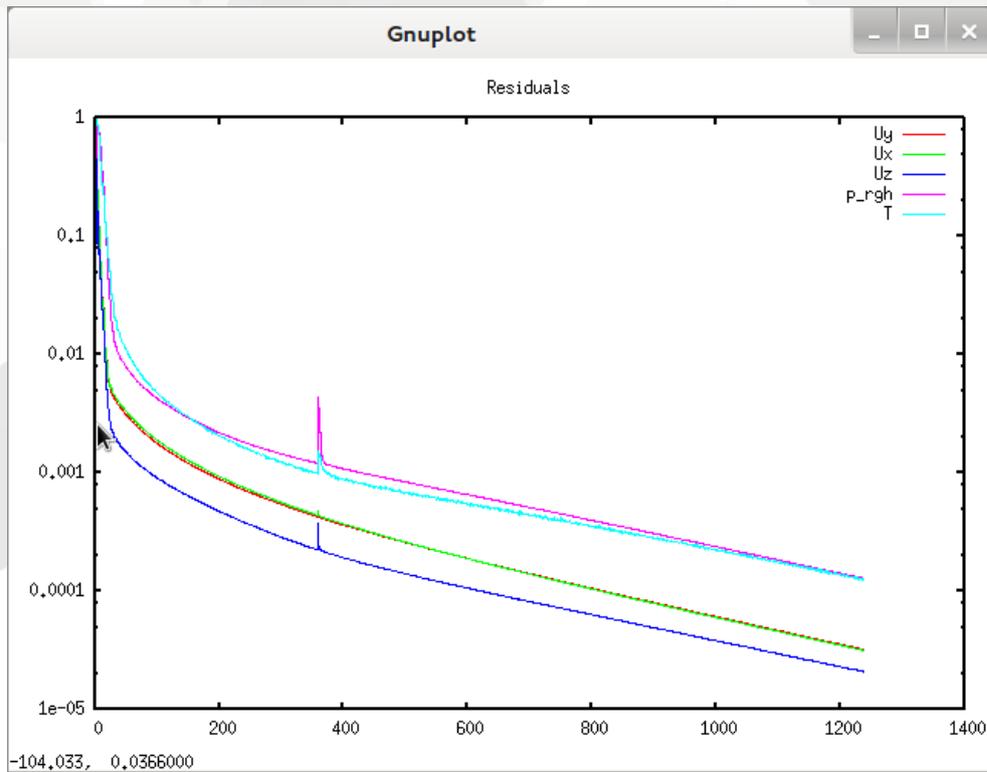
U magnitude at  $z=1.1$

# Validation – Heat transfer, MRF

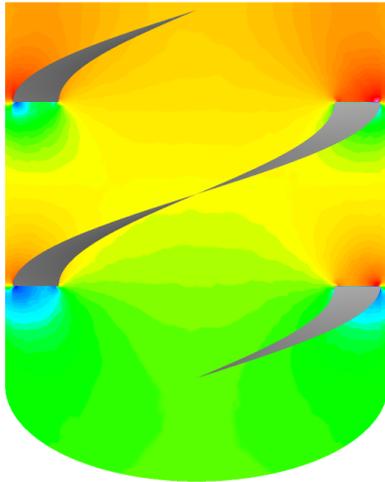
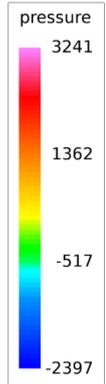
- ▶ 형상 : Double Helical Ribbon
- ▶ 모델 : Laminar, Steady, MRF
- ▶ non-Newtonian fluid
- ▶ Heat source : 10000 W/m<sup>3</sup>
- ▶ Wall condition : temp. 300k



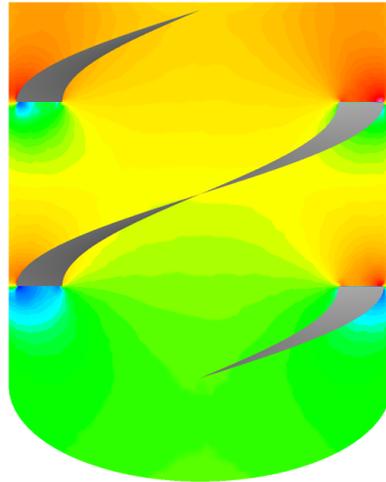
# Validation – Heat transfer, MRF



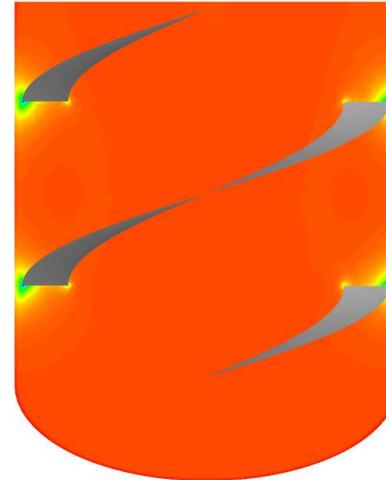
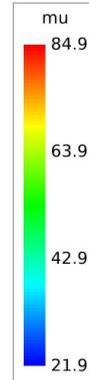
# Validation – Heat transfer, MRF



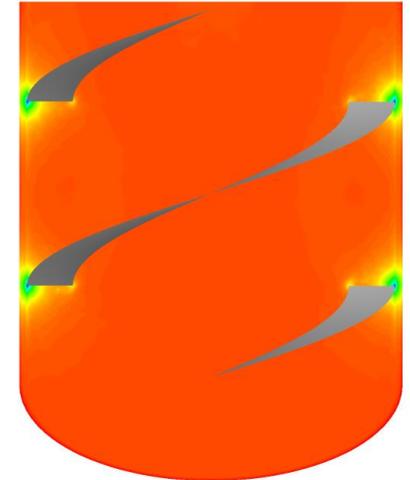
OpenFOAM



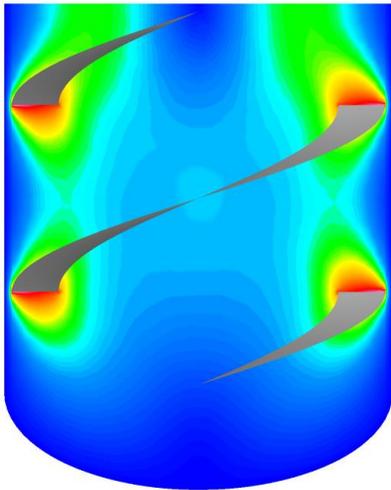
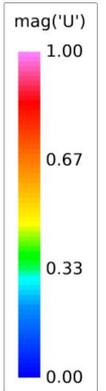
Fluent



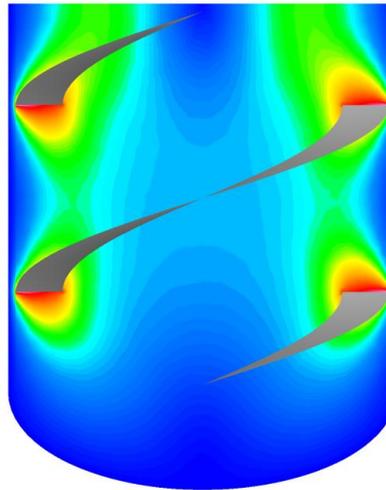
OpenFOAM



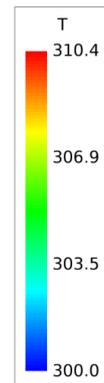
Fluent



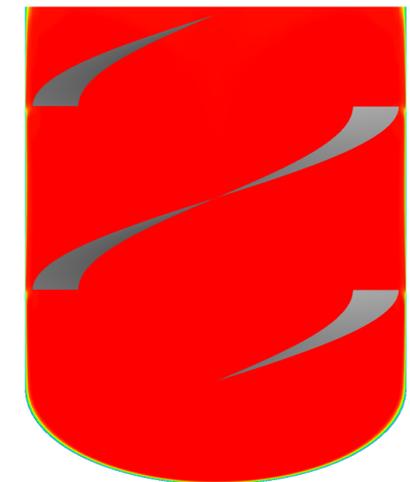
OpenFOAM



Fluent

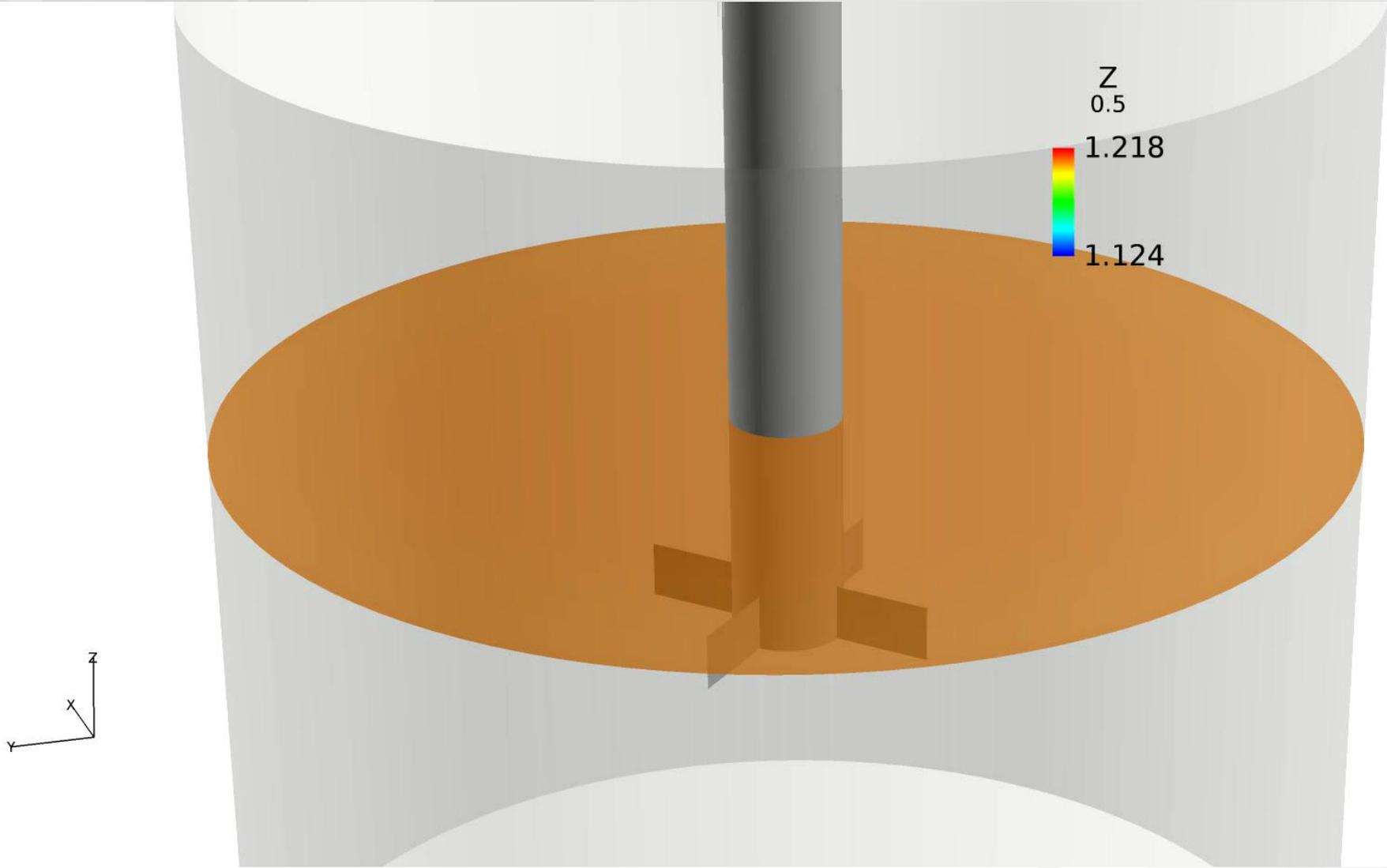


OpenFOAM



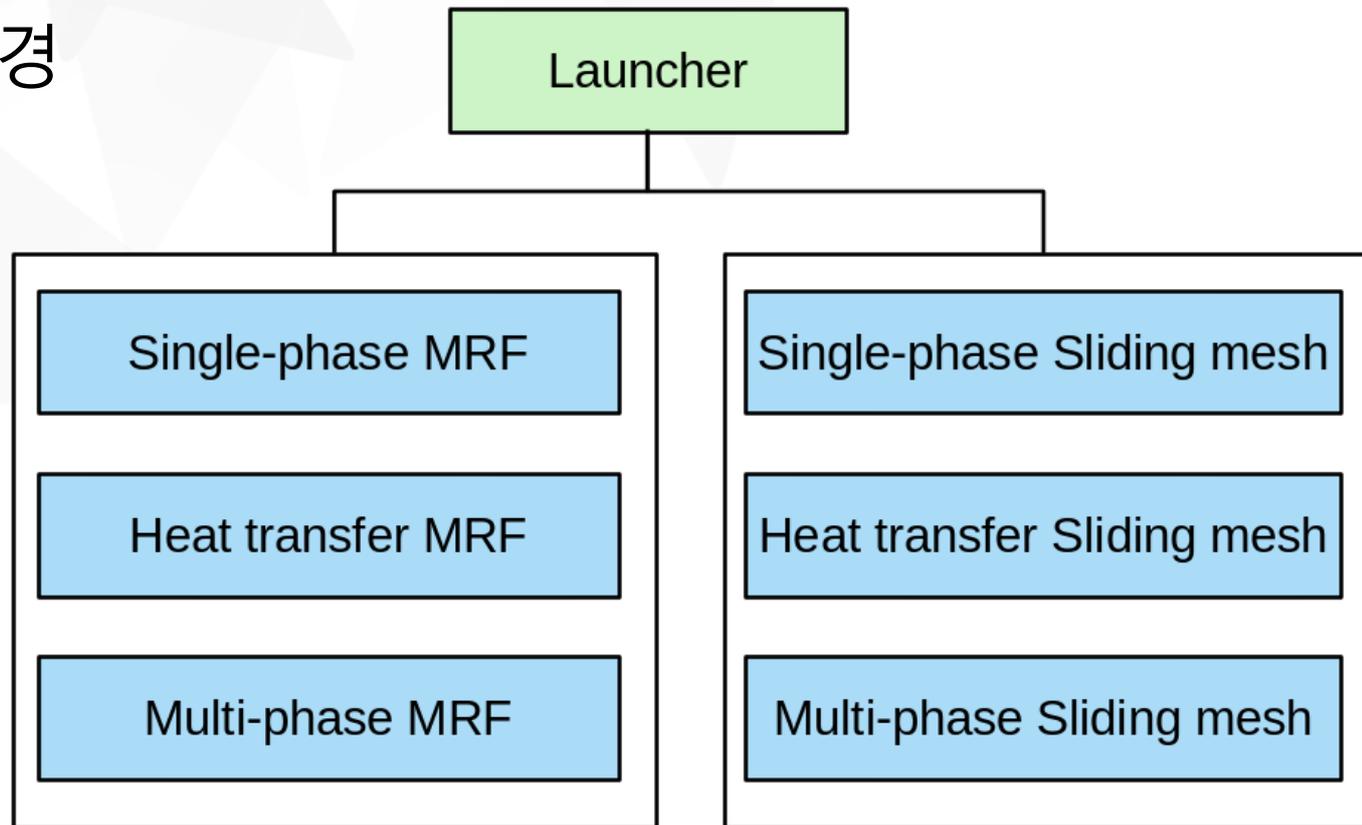
Fluent

# Validation - VOF, Sliding mesh



# 사용자 환경 개발

- ▶ language : python v2.6
- ▶ graphic library : pygtk, VTK
- ▶ 6가지 GUI 환경



# 사용자 환경 개발

LG Chemical – Single Phase Mixer Simulator



Tool bar

Graphic window

## Rotating Conditions

RPM

Rot. Axis  ▼

Rot. Ori.

## General Condition

Tur. Model  ▼

Gravity Dir.  ▼

Density [kg/m3]

viscosity [kg/ms]

## Post-processing

Basic input panel

# 사용자 환경 Demo



# 맺음말

- ▶ 공개 SW인 OpenFOAM을 이용하여 교반기 전산유동해석 전용 프로그램을 개발하였다.
- ▶ CFD 응용 연구에서 “전용 프로그램 주문 제작“ 이라는 새로운 CFD 활용 방법을 제안한다.
- ▶ 기대 효과
  - 연구 효율성 향상
  - CFD 활용 범위의 확대
  - 엔지니어링 능력 향상
  - 독자적인 기술 개발의 기반