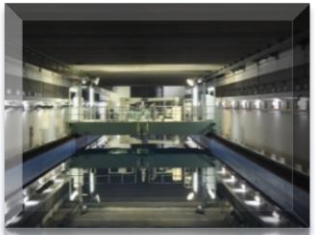
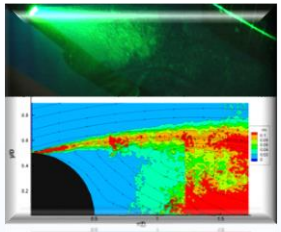
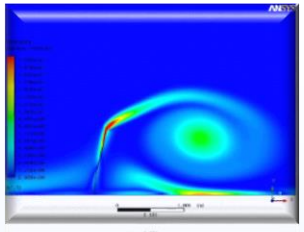
SNUTT
Seoul National University
Towing Tank

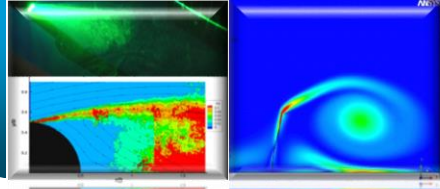


12th OpenFOAM Workshop 참가 보고

서울대학교 조선해양공학과
박사과정 서 인 덕

2017. 09. 20.



1.서론

❑ 발표 목적

- ❍ 12th OpenFOAM Workshop **참가 보고**
- ❍ **학회 기간 중에 수행된 교육, 발표 내용에 대한 요약**

❑ 배경

- ❍ **최근** Open source CFD toolkit**인** OpenFOAM**에 대한 관심이 많아지고 있음**
- ❍ OpenFOAM Workshop**에서도 다양한 분야에서의 발표가 수행됨**
  - ✓ Turbulenc modeling
  - ✓ Water waves
  - ✓ Optimization and Control
  - ✓ HPC
- ❍ **새로운 관점에서의** CFD **적용에 대한 통찰을 제공**
- ❍ **활용 사례를 정리하여 본인의 분야에서의 활용 가능성, 현 기술 수준 등을 고찰**

1.서론

❑ OpenFOAM Workshop

- ❍ OpenFOAM Workshop은 2006년 크로아티아의 Zagreb를 시작으로 매년 열림
- ❍ OpenFOAM과 관계된 연구자, 코드 개발자, 사용자 들이 모여 각자의 연구 성과를 나누는 행사
  - ✓ 연구 결과, 코드 개발, 사용자 교육 및 교류
  - ✓ 서울대학교 이신형 교수가 위원회로 활동 중
- ❍ 금년 행사는 12번째 행사로 영국의 Exeter University 에서 진행
  - ✓ 학회 등록비
    - Early bird registration : 350 £
    - Standard registration : 400 £
    - Student discount : 200 £
  - ✓ Banquet : 50 £/person
  - ✓ 숙박 신청 시
    - 60 £/night

SNUTT Seoul National University Towing Tank

❑ 12th OpenFOAM Workshop

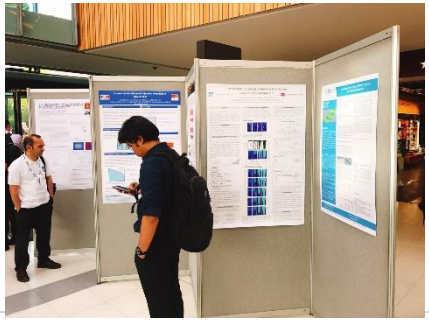
- ❍ Exeter University, Exeter
  - ✓ 2017년 7월 24일(월) ~ 7월 27일(목)까지 4일간 영국 Exeter의 Exeter 대학교에서 열림
  - ✓ 영국 잉글랜드 데번카운티에 위치한 상업 및 항구 도시

SNUTT
Seoul National University Towing Tank

1.서론

❑ 12th OpenFOAM Workshop

- ❍ Workshop은 4**일동안 진행 됨**(2017/07/24 ~ 2017/07/27)
  - ✓ 1일차에는 OpenFOAM 교육
  - ✓ 2~3일차에는 연구 결과 발표
  - ✓ 4일에는 Community day 및 세부 주제에 대한 토론



SNUTT
Seoul National University
Towing Tank

❑ 12th OpenFOAM Workshop 주요 내용

❍ OpenFOAM 교육

✓ 새로 개발된 코드 및 기존의 라이브러리에 대한 사용법, 이론적 배경 설명 외에도 직접 참여하는 실습 방식도 준비 됨

❍ 연구발표

✓ OpenFOAM을 적용한 연구 결과, 새로운 코드 개발에 대한 발표가 진행 됨

❑ OpenFOAM Workshop 소개

❍ 참가 기관 (한국)

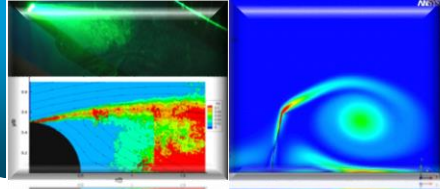
✓ 학계

- 서울대학교
- 부산대학교
- 충북대학교
- 경일대학교
- 포항공과대학교

✓ 기업체

- 현대중공업
- NEXTfoam
- 한국원자력연구원
- KISTI

1일차



❑ 1일차 OpenFOAM 교육

- ❍ **직접 실습을 하며 교육하는** Hands-on training (2-3 **세션)과 발표 형식의** training session (6-7 **세션)으로 분류**
- ❍ Hands-on training**의 참여도가 높아, 공인된 기본 교육에 대한 수요를 확인함**
  - ✓ Training에 참여한 일부 연구자의 경우, OpenFOAM을 첫 CFD code로 사용하는 경우도 있었음
  - → OpenFOAM의 진입장벽이 낮아지고 있음

10:30-11:00	**Coffee** (Forum Street)								
11:00-12:30	TRAINING SESSIONS								
	Exploration Lab 1	Blue Room (Harrison)	Purple Room (Harrison)	Seminar Room 1-3	Seminar Room 4	Seminar Room 5	Seminar Room 6	Seminar Room 7-9	Seminar Room 10	Seminar Room 11
	Hands-on Training *Swak4foam And Pyfoam - Basic Training* Bernhard Gschaider	**Hands-on Training** *Introduction To Openfoam - How To Run A Car Case* Steven Daniels; Shenan Grossberg	**Hands-on Training**	**Training Session** *Implementation Of Simple Fsi Model With Functionobject* Matvey Kraposhin; Ilia Marchevsky	**Training Session** *Training In Rotating Machinery* Håkan Nilsson	**Training Session** *Learning How To Use Free Surface Flows In Openfoam® 4.1* Victoria Korchagova	**Training Session**	**Training Session** *Application Of Conjugate And Coupled Solvers* Hrvoje Jasak	**Training Session** *Heat Transfer In Openfoam* Johann Turnow	**Training Session** *Paraview Training* Gregor Cvijetić
12:30-13:30	**Lunch** (Forum Street)									
13:30-15:00	Exploration Lab 1	Blue Room (Harrison)	Purple Room (Harrison)	Seminar Room 1-3	Seminar Room 4	Seminar Room 5	Seminar Room 6	Seminar Room 7-9	Seminar Room 10	Seminar Room 11
	Hands-on Training *Computational Aeroacoustics Methods With Openfoam® V.4.1* Victoria Korchagova; Matvey Kraposhin; Sergey Strizhak	**Hands-on Training** *Basic Programming In Openfoam* Recep Kahraman; Matthew Riella	**Hands-on Training** *Visual-cfd, Gui For Openfoam: Part 1 - Intro And Cht Set-up, Hands-on* Pawan Ghildiyal	**Training Session** *Using Insightcae For Automation Of Openfoam Workflows* Hannes Kröger	**Training Session** *Vertical Axis Tidal Turbine Model* Nu RHahida Arini	**Training Session** *Shot Sleeve Modeling In Hpdc - Two-phase Flow With Moving Meshes* Sebastian Kohlstädt	**Training Session** *Overset Mesh In Foam-extend-4.0* Vuko Vukcevic; Hrvoje Jasak	**Training Session** *State And Solution - Advanced Topics In Swak4foam* Bernhard Gschaider	**Training Session** *Hands On Distributed Computing With Openfoam In Aws And Cloudycluster* Boyd Wilson	**Training Session** *Paraview: Usage And Advanced Features* Tristan Coulange
15:00-16:00	**Tea** (Forum Street)									
16:00-17:30	Exploration Lab 1	Blue Room (Harrison)	Purple Room (Harrison)	Seminar Room 1-3	Seminar Room 4	Seminar Room 5	Seminar Room 6	Seminar Room 7-9	Seminar Room 10	Seminar Room 11
	Hands-on Training *Meshing With Cfmesh* Franjo Juretic	**Hands-on Training**	**Hands-on Training** *Visual-cfd, Gui For Openfoam: Part 2 - Mrf And Vof Set-up, Hands-on* Pawan Ghildiyal	**Training Session**	**Training Session** *Implementation Of The Solver For Coupled Simulation For Heat Transfer In Gas And Solid* Matvey Kraposhin; Ilia Marchevsky	**Training Session** *Multiphase (vof) Simulation Project* Jozsef Nagy	**Training Session** *Blockmesh Training* Vanja Škurić	**Training Session** *A Walkthrough Of Helyx-os, The Open-source Gui For Openfoam®* Paolo Geremia	**Training Session** *Iterative Linear Solvers - Theory And Best Practice* Tessa Uroic	**Training Session** *Introduction To Fvoptions* Jens Höpken
18:30-21:30	**Reception and BBQ** (Holland Hall)									

SNUTT
Seoul National University
Towing Tank

2~4 일차

❑ 연구 발표

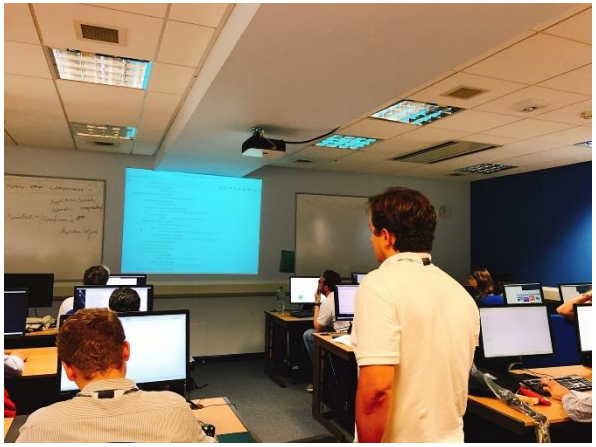
❍ 2,3일차에 진행됨

- ✓ 수치해석 기법, 조선해양공학, 난류 모델링과 같은 유체역학과 관련된 세션 외에도 Software 개발, 최적화 및 제어기법, Hardware(HPC)와 같은 다양한 분야의 세션이 구성 됨
- ✓ 하루에 3번 발표 session이 구성되며 각 세션마다 4~5 개의 sub-session 이 구성됨
- ✓ 각 분야 연구자들의 OpenFOAM 사용 현황을 확인할 수 있었음

SNUTT
Seoul National University Towing Tank

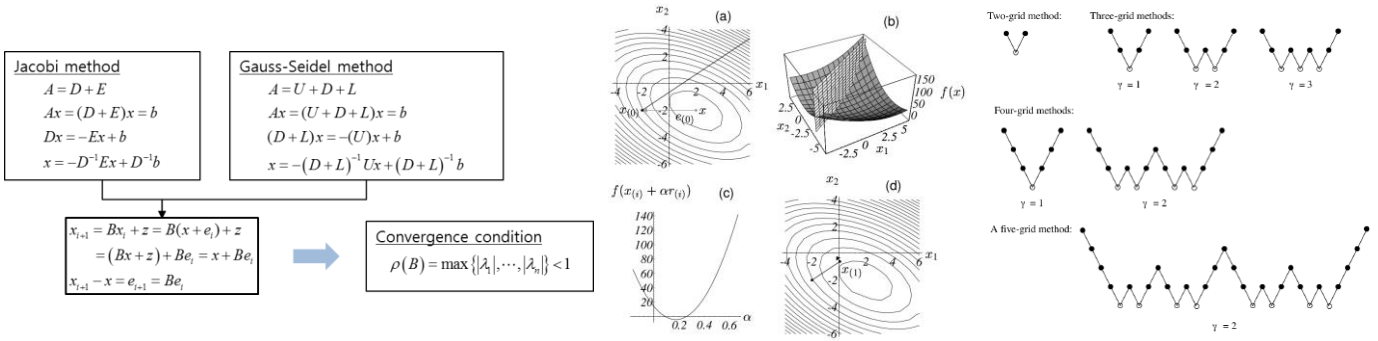
❑ Basic programming in OpenFOAM

- ❍ Scalar **온도 방정식** solver, **시변 경계 조건 구성** 과 같은 **기본적인 코드 개발 교육을 진행**
  - ✓ OpenFOAM 사용법 및 적용
  - ✓ Code compile 방법
  - ✓ 기본적인 코드 개발 방법
  - ✓ OpenFOAM의 core class(Scalar, Vector, Tensor and List)에 대한 이해



❑ Iterative linear solver Basic programming in OpenFOAM

- ❍ Classical iterative solvers
  - ✓ Jacobi method, Gauss-Seidel method와 같은 고전적인 Iterative solve에 대한 설명
- ❍ Krylov-subspace solvers
  - ✓ Steepest descent method
  - ✓ Conjugate gradient method
- ❍ Multigrid method
  - ✓ Multigrid 기법에 대한 개념 소개

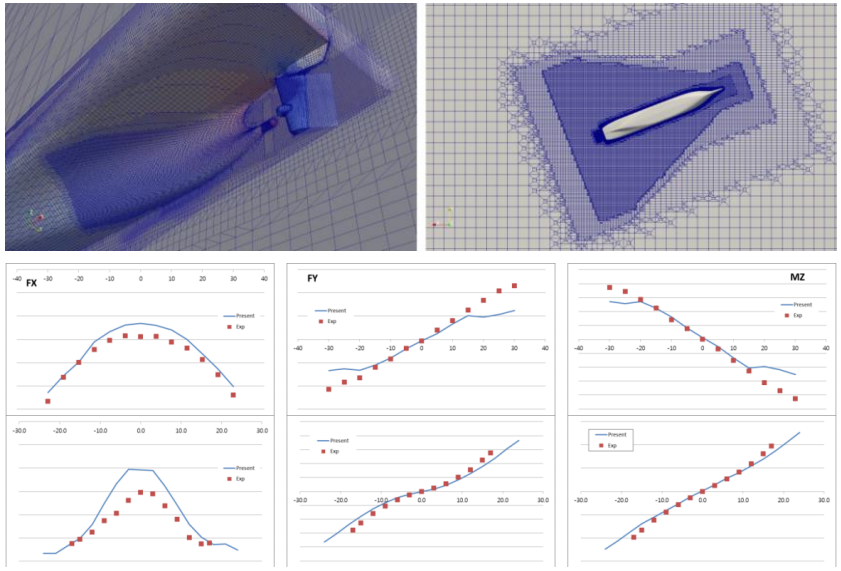


SNUTT Seoul National University Towing Tank

❑ Numerical simulations of captive model test using OpenFOAM

❍ **정적시험** (Speed-Rudder test, **사항시험**)

- ✓ Speed-Rudder test의 경우 운항 중 rudder각이 존재할 때 lateral force를 구할 수 있음
- ✓ 사항시험 같은 경우 사항각이 있을 경우에 대해 해석 수행
- ✓ 모형시험 결과와 잘 맞는 다는 것을 확인할 수 있음

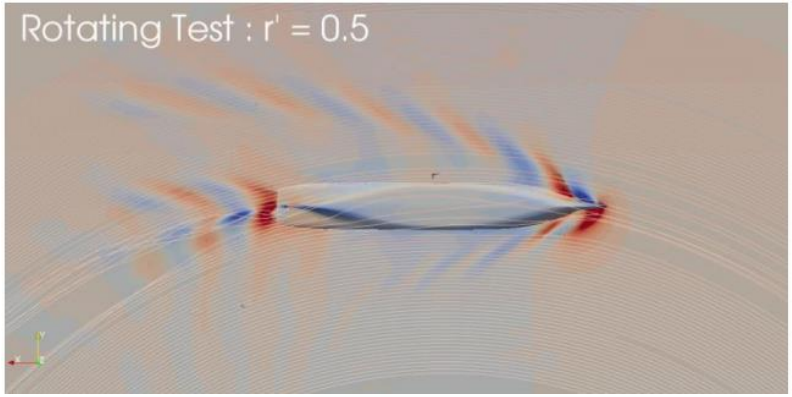


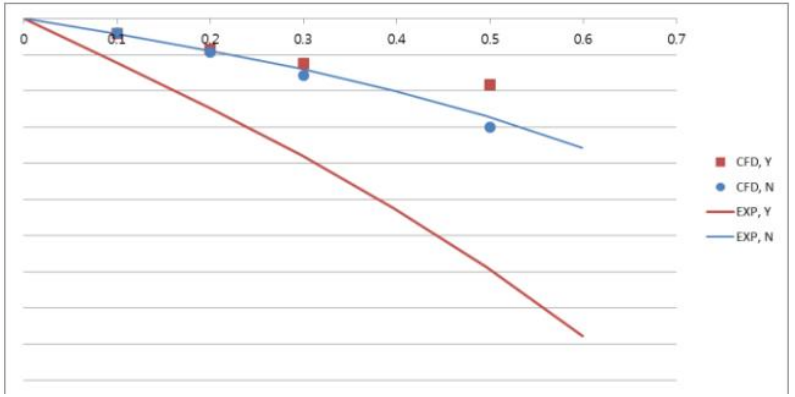
SNUTT Seoul National University Towing Tank

❑ Numerical simulations of captive model test using OpenFOAM

❍ 동적시험 (Rotating Arm test)

- ✓ MRF 기법을 적용하여 Rotating arm test solver 개발
- ✓ Yaw moment 같은 경우 구속모형시험을 통해 구한 값과 일치하나 횡방향 lateral force같은 경우 under-estimated 된 것을 확인

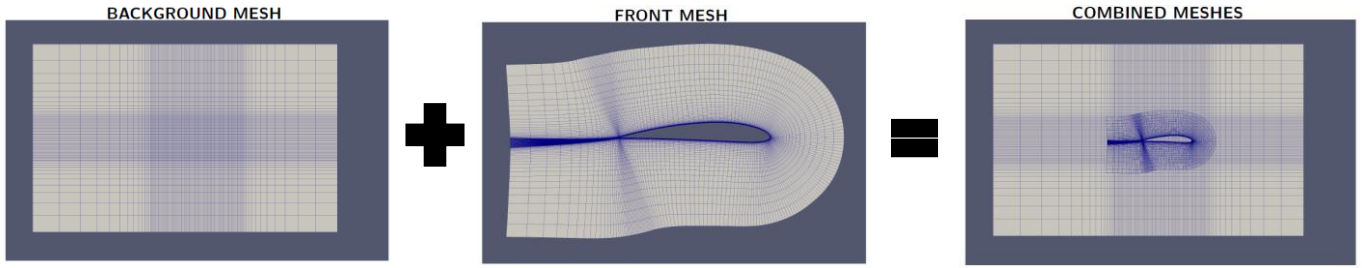




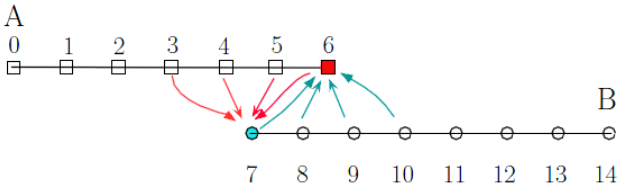
❑ Overset grid

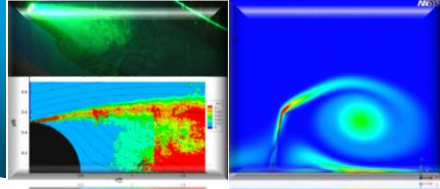
❍ Native Overset Mesh Library for OpenFOAM

- ✓ Overset library에 대한 전반적인 교육
- ✓ Extended OpenFOAM의 Overset Mesh library에 대한 설명



- ✓ Background mesh와 Front mesh를 중첩시킴
  - DSF (Donor Suitability Functions)를 이용하여 donor/acceptor 쌍을 찾고 그 사이 정보를 interpolation을 이용하여 정보를 전달





❑ Overset grid

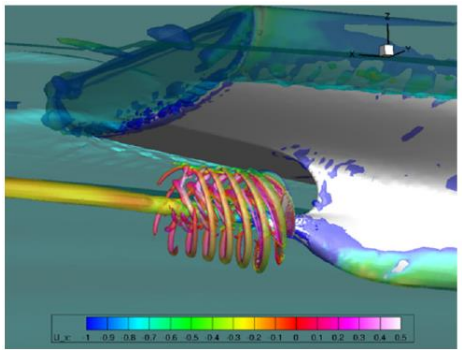
❍ Native Overset Mesh Library for OpenFOAM

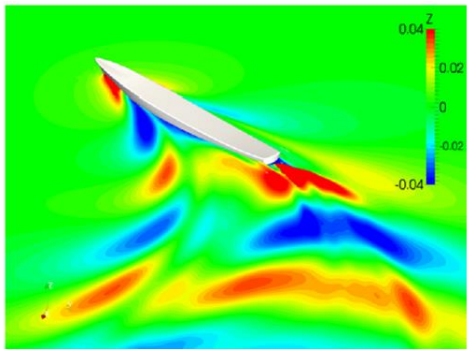
✓ Overlap assembly strategies and interpolation schemes

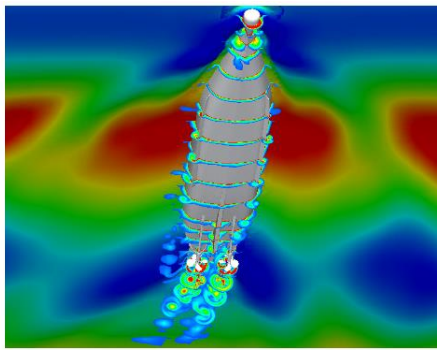
- Donor/acceptor를 결정짓는 library
  - » manual: acceptor에 해당하는 donor cell을 지정
  - » faceCells: 각 패치의 face를 인접한 cell이 acceptor로 지정
  - » Overlap: 자동으로 donor/acceptor 지정
  - » Composite: 기타 등등
- Overlap으로 설정할 경우 DSFs(Donor suitability functions)를 통해 donor/acceptor 짝을 지정
  - » noSuitability, patchDistance, cellVolumes, faceArea, cellBoundingBoxdiagonal
- Donor/acceptor 간의 interpolation scheme 종류
  - » Injection: 단순히 master donor cell값 사용, First order, bounded
  - » AverageValue: Average value of all donors, First order, bounded
  - » inverDistance: donor cell에서 acceptor cell사이의 거리의 역수를 weight으로 가하여서 사용 First/second order/ bounded

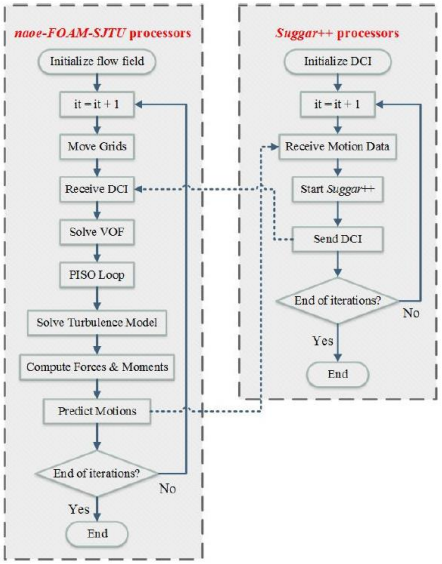
✓ 독립적으로 격자를 구성하기 때문에 복잡한 형상을 구현하기 용이하고 격자를 원하는 대로 이동시킬 수 있음

- **Overset grid in NAOE-FOAM-SJTU with applications to naval hydrodynamics**
  - **격자 변형 기법이 아닌 중첩 격자 기법을 이용하여 선박의 6자유도 운동을 해석**
    - ✓ 6DoF with moving components(moving rudder, rotating propeller)
  - DCI(Domain connectivity information)**은** Sugar++**에서 수행**
    - ✓ Donor/acceptor 연결 알고리즘
  - **자항, 선회 시험 그리고 파중** Zig-Zag test **등을 해석**

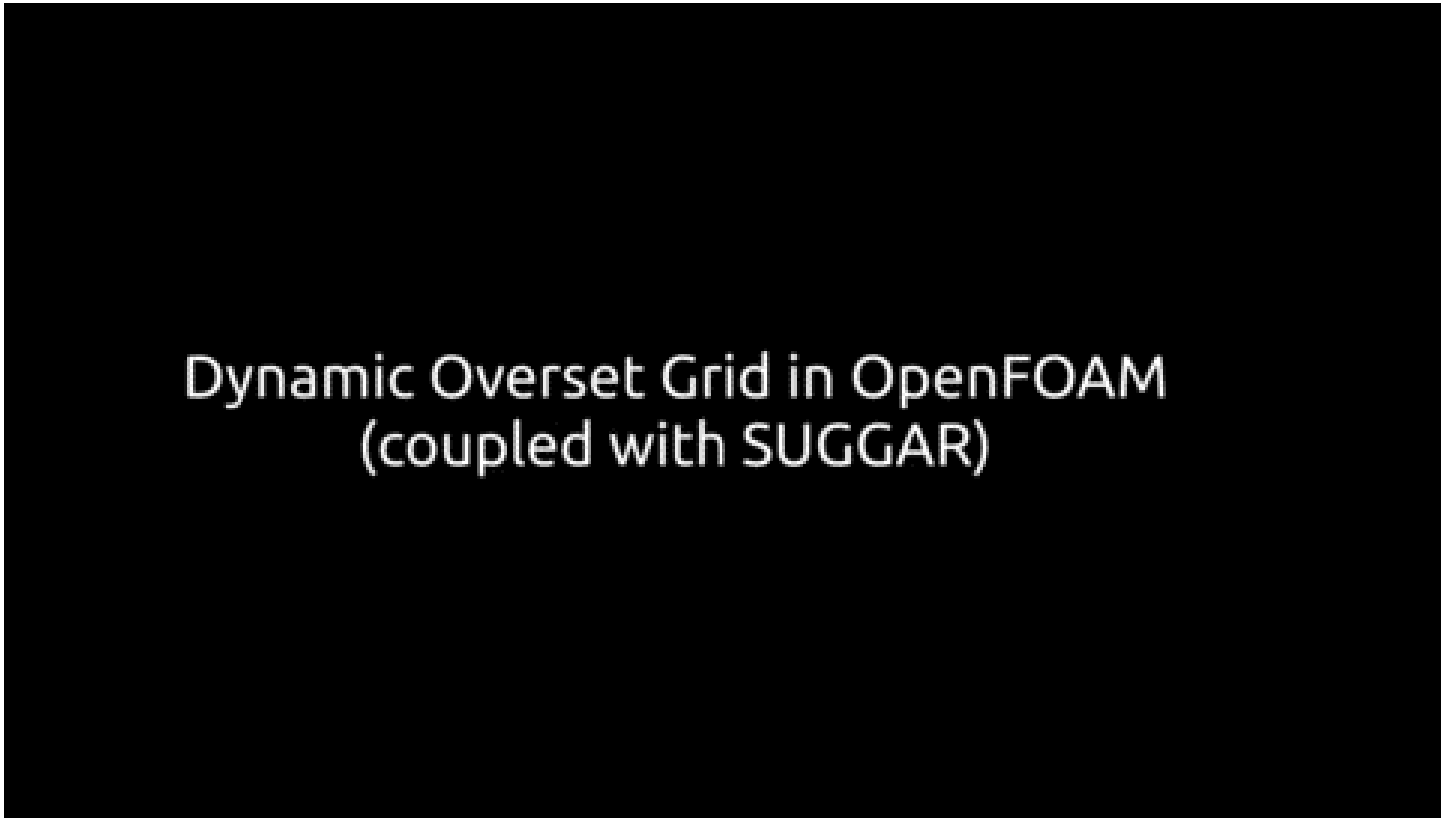






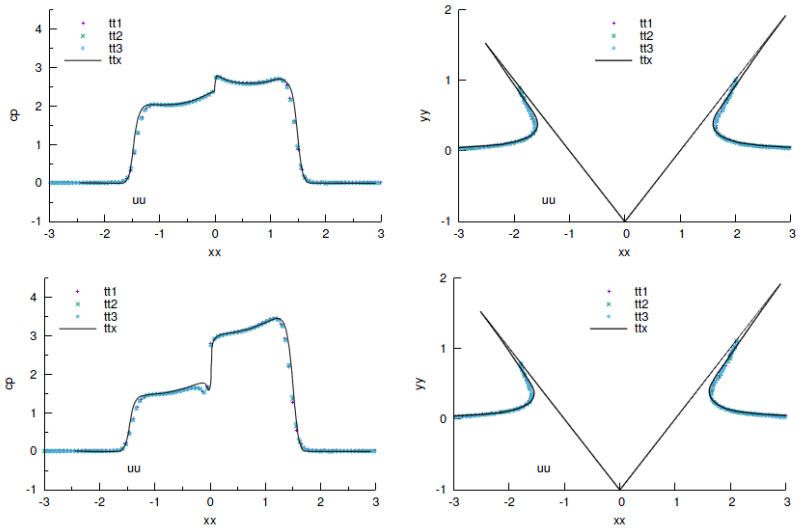


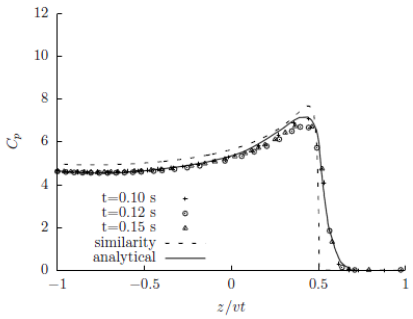
- **Overset grid in NAOE-FOAM-SJTU with applications to naval hydrodynamics**

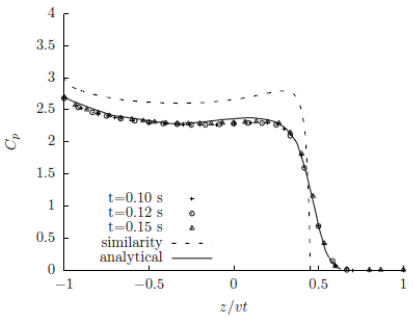


❑ An overset multiphase flow solver for water entry problems

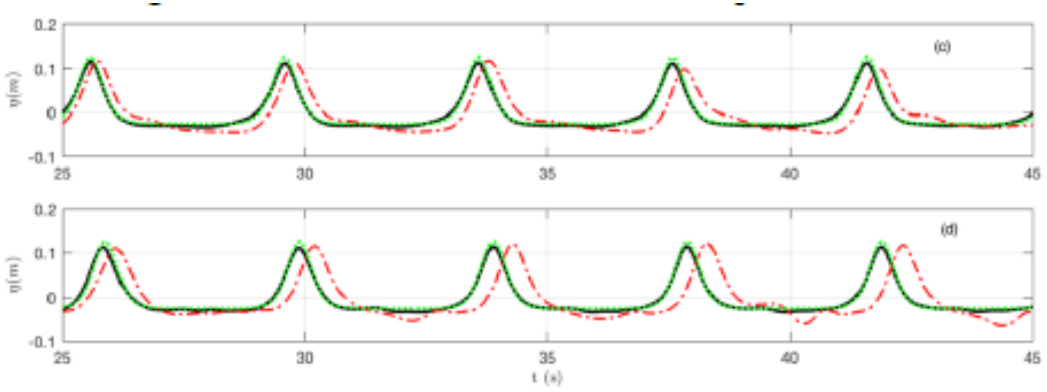
- ❍ 2**차원** wedge**의** Water entry **문제를 중첩 격자 기법을 이용하여 해석**
  - ✓ Vertical and oblique water entry 2D
  - ✓ 2 종류의 선저 경사각
- ❍ **추후** 3**차원** slamming life boat**에 대해 계산 할 예정**

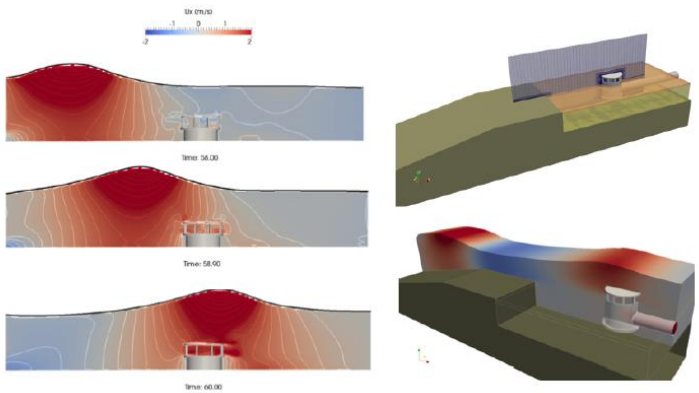






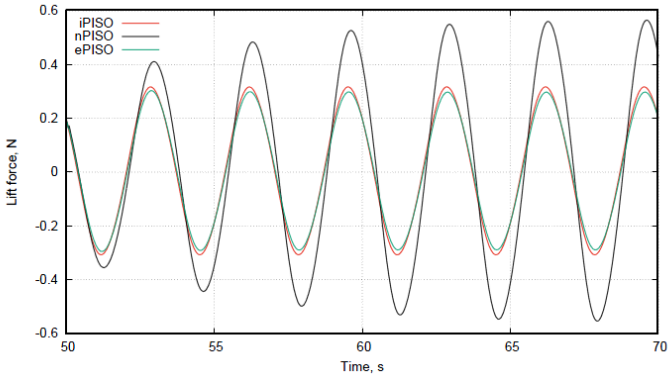
- **New wave boundary conditions for shallow water condition application to ship maneuvering**
  - Water intake structure**가 파에 의해 영향을 받는** shallow water**에 설치 되었을 때**
  - Generation of realistic wave condition(non linear feature, shallow)
    - ✓ Peaked wave crests and longer rounded wave troughs
    - ✓ small wave generation algorithms, potential
  - Complex wave hydrodynamics in shallow water condition





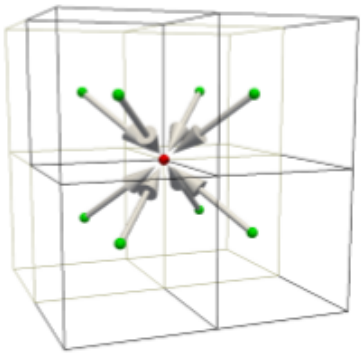
❑ Consistent second order accurate non-iterative PISO algorithm

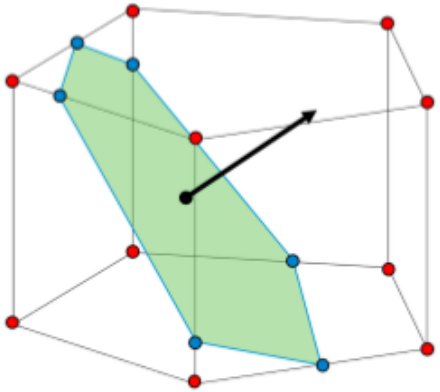
- ❍ Non-iterative PISO **알고리즘의 경우 시간 차분의 2차 정확도로 잡아도 2차 정확도를 보장하지 않음**
  - ✓ Splitting error
  - ✓ Implicit predictor and multiple explicit corrector steps
- ❍ Non-iterative PISO **알고리즘의 시간 차분 정확도를 높임**
  - ✓ Flux extrapolation 기법 사용
  - ✓ Implicit predictor 상의 momentum 방정식을 2개의 시간 스텝 전의 것을 선형 extrapolation사용



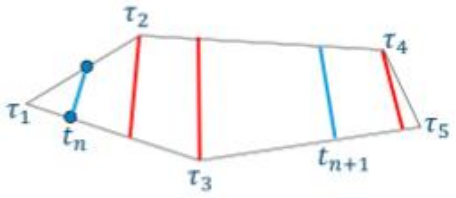
❑ A NEW VOLUME-OF-FLUID METHOD IN OpenFOAM

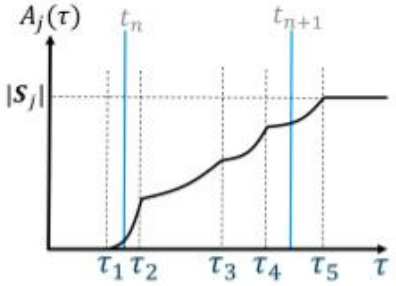
- ❍ isoAdvector algorithm **이라는** VOF(Volume of Fluid)**기법을 개발 한 후 다상 유동** solver**인** interFOAM**에 적용**
  - ✓ Geometric VOF 알고리즘의 일종으로 셀 내부의 상경계면을 재구성하고 셀 면에서의 유체의 유량을 추정하는 방식
  - ✓ Isosurface를 계산하는 Reconstruction 단계와 셀 면에서 유량을 이용하여 volume fraction 을 추정하는 단계로 이루어짐





$$\Delta V_{ij}^{n} \approx \frac{\tilde{\phi}_{ij}^{n}}{|\mathbf{S}_j|} \int_{t_n}^{t_{n+1}} \int_{\mathscr{F}_j} H(\mathbf{x},\tau)\, dA d\tau.$$



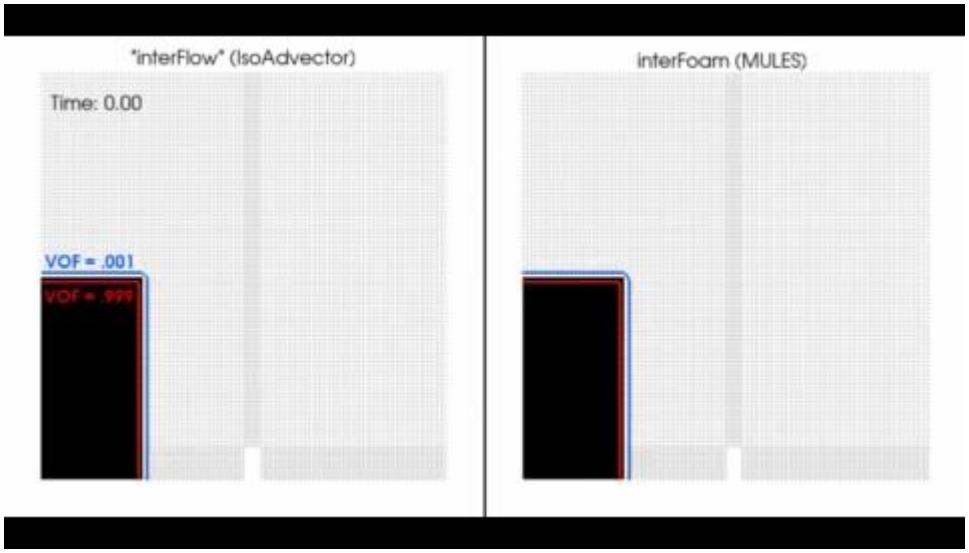


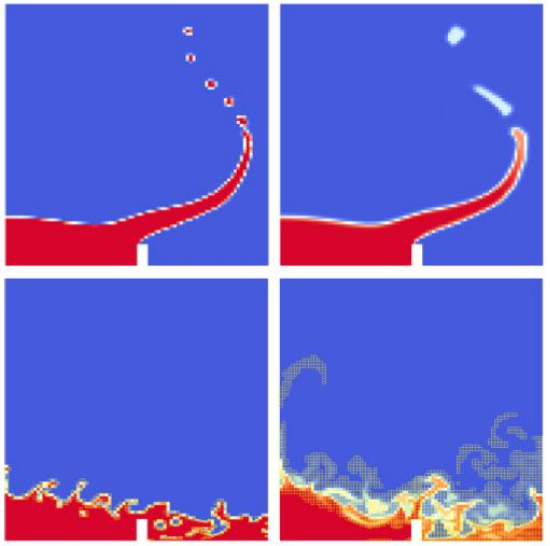
❑ A NEW VOLUME-OF-FLUID METHOD IN OpenFOAM

❍ Dam break simulation**을 수행하고 그 결과를** VoF**기법 중 하나인** Mules **알고리즘과 비교**

✓ 더 날카로운 상경계면을 얻을 수 있음

✓ 특히 Mules 알고리즘의 경우 유체가 벽면에 부딪히고 난 후 경계면이 번짐

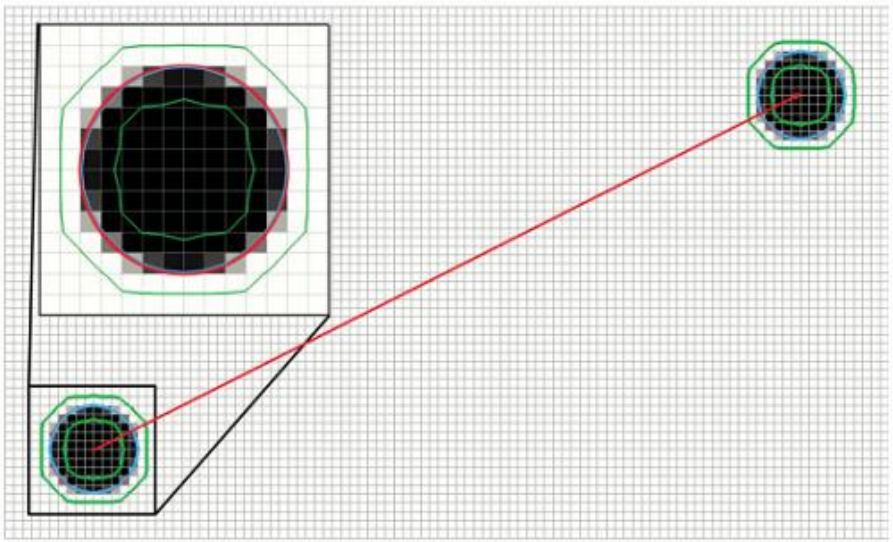


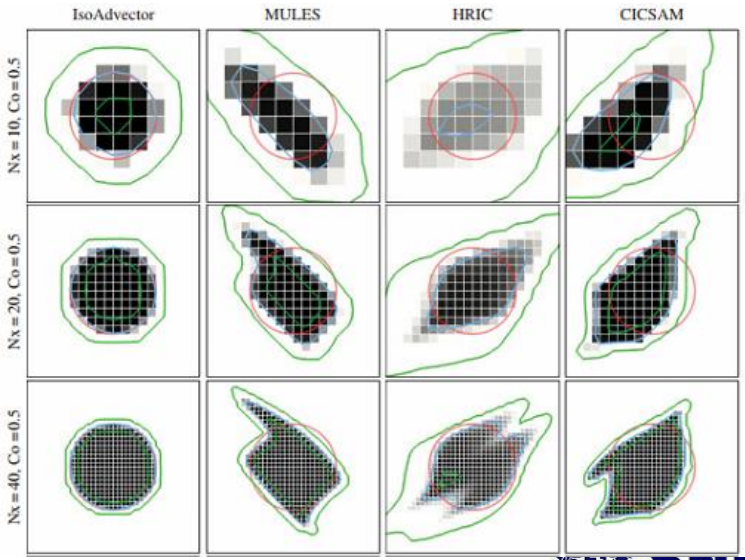


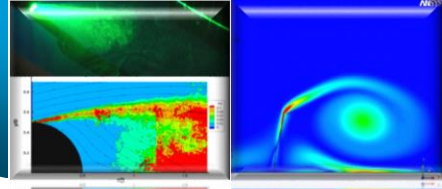
❑ A NEW VOLUME-OF-FLUID METHOD IN OPENFOAM

❍ Disc in steady uniform 2D flow**에 대해** Mules, HRIC **및** CICSAM **과 같은** VOF **알고리즘을 이용하여 해석한 결과와 비교**

- ✓ 액적 크기: 0.25 m, 속도: (0.5m/s, 0.5m/s)
- ✓ 붉은: 기존 형상, 푸른: 이동 후 최종 형상, 녹색: α가 0.9, 0.01이 되는 지점
- ✓ Isoadvection 기법의 경우 형태가 잘 보존되는 것을 확인할 수 있음







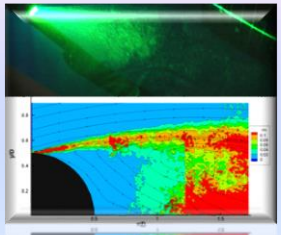
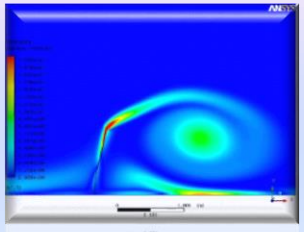
마치는 말

❑ 교육 후기

❍ OpenFOAM **비숙련자에서 부터 코드 개발자 까지 모두 참여할 수 있는** workshop

- ✓ 비숙련자의 경우 OpenFOAM 관련 교육 혹은 어떤 분야의 연구들이 존재하고 어떻게 OpenFOAM을 활용하는 추세인지 확인
- ✓ 코드 개발자의 경우 자신이 개발한 코드 혹은 OpenFOAM 적용 사례와 자유로운 분위기 속에서 해외의 OpenFOAM 사용자와 교류할 수 있는 기회

SNUTT
Seoul National University
Towing Tank

경청해 주셔서 감사합니다

서울대학교 조선해양공학과
박사과정 서 인 덕

2017. 08. 18.