Supercomputing Everywhere Connected!

KSC2023 & NSC35th Anniversary Conference

COMMUNITY FORUM

공학분야 오픈 소스 소프트웨어 활성화

OpenFOAM 현황 및 활용 방안

오광호

책임

㈜넥스트폼

주최 KiSTi 한국과학기술정보연구원 Korea Institute of Science and Technology Information www.kisti.re.kr

주관 KiSTi 국가슈퍼컴퓨팅본부 www.kisti.re.kr

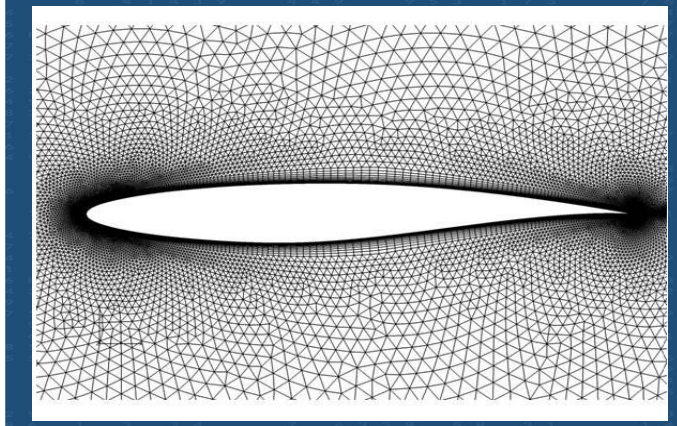
KSCSE 한국계산과학공학회 Korean Society for Computational Science and Engineering

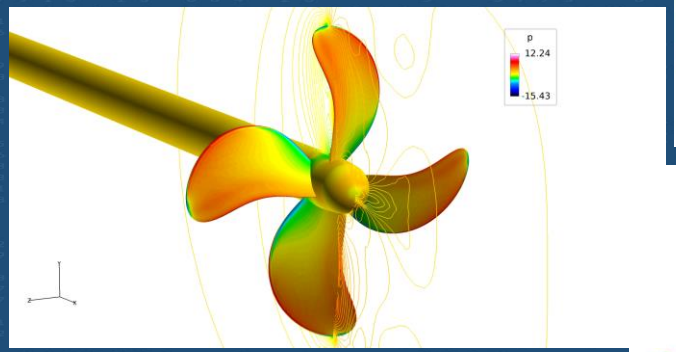
후원 과학기술정보통신부 Ministry of Science and ICT

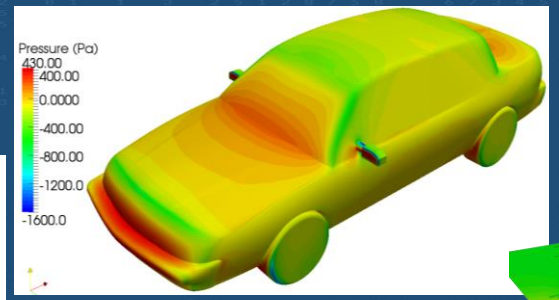
CFD란?

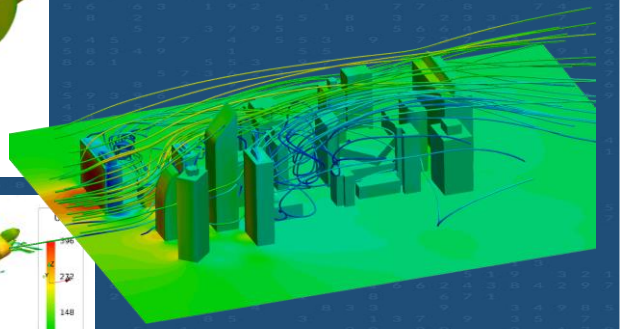
$$\frac{\partial \boldsymbol{u}}{\partial t} + (\boldsymbol{u} \cdot \nabla)\boldsymbol{u} = \boldsymbol{f} - \frac{1}{\rho}\nabla p + \nu \triangle \boldsymbol{u}$$

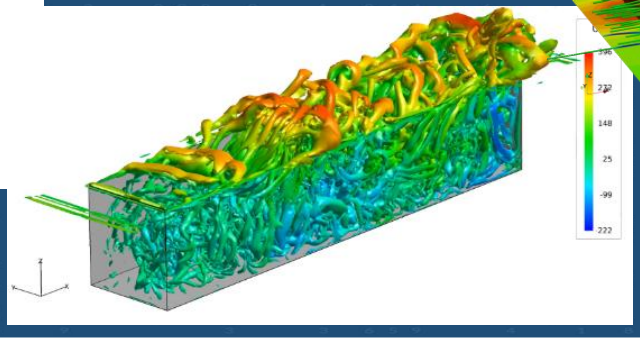
- Computational Fluid Dynamics
- 유체 현상을 기술한 비선형 편미분 방정식인 Navier-Stokes Equations을 이산화하여 대수 방정식으로 변환하고 이를 수치기법의 알고리즘을 사용하여 유체 유동 문제를 해석
- 여러 가정을 통해 지배방정식을 단순화하거나 모델링을 통해 해석하여 근사해를 구함
- 열전달, 연소, 다상유동, 화학반응 등 다양한 문제 해석



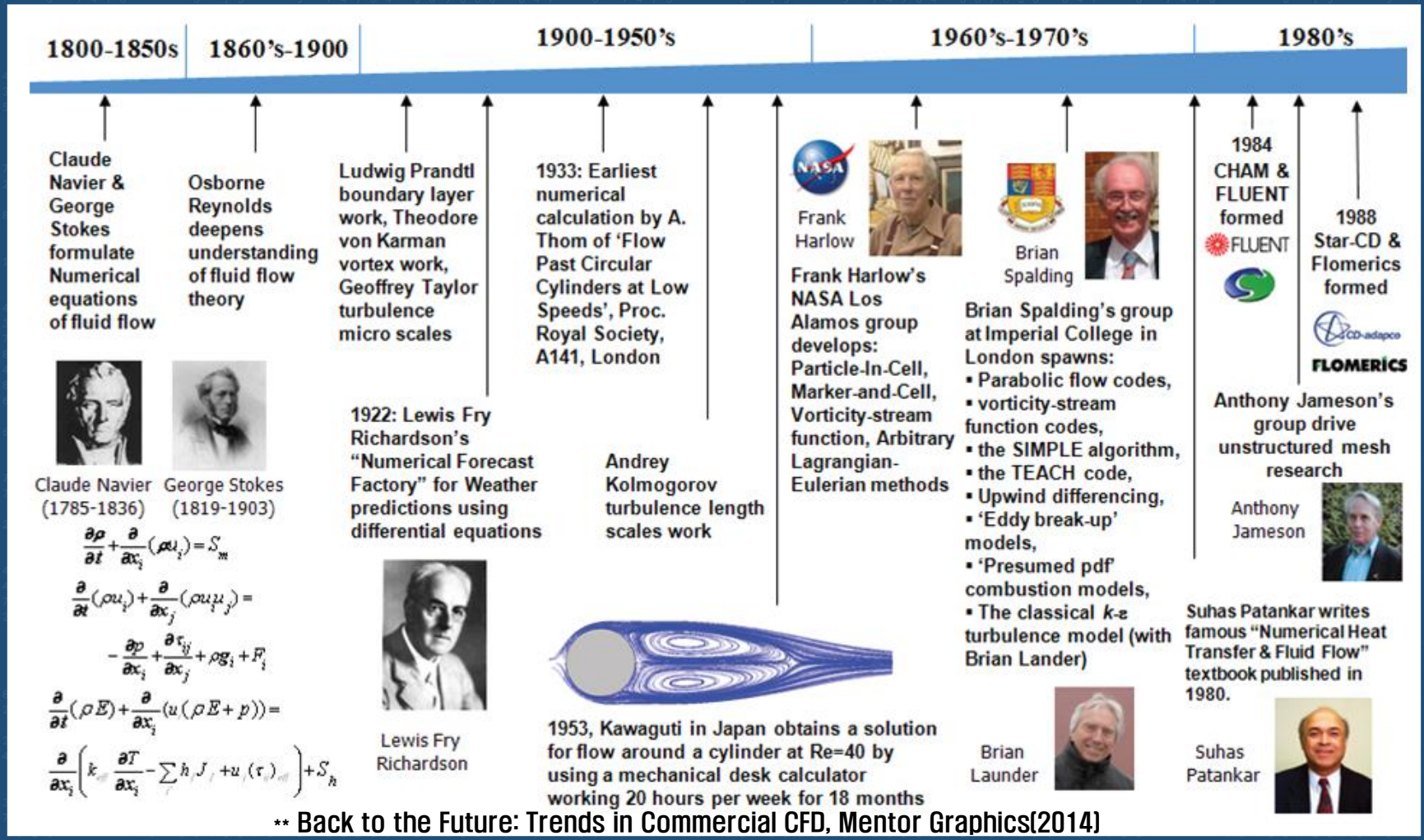






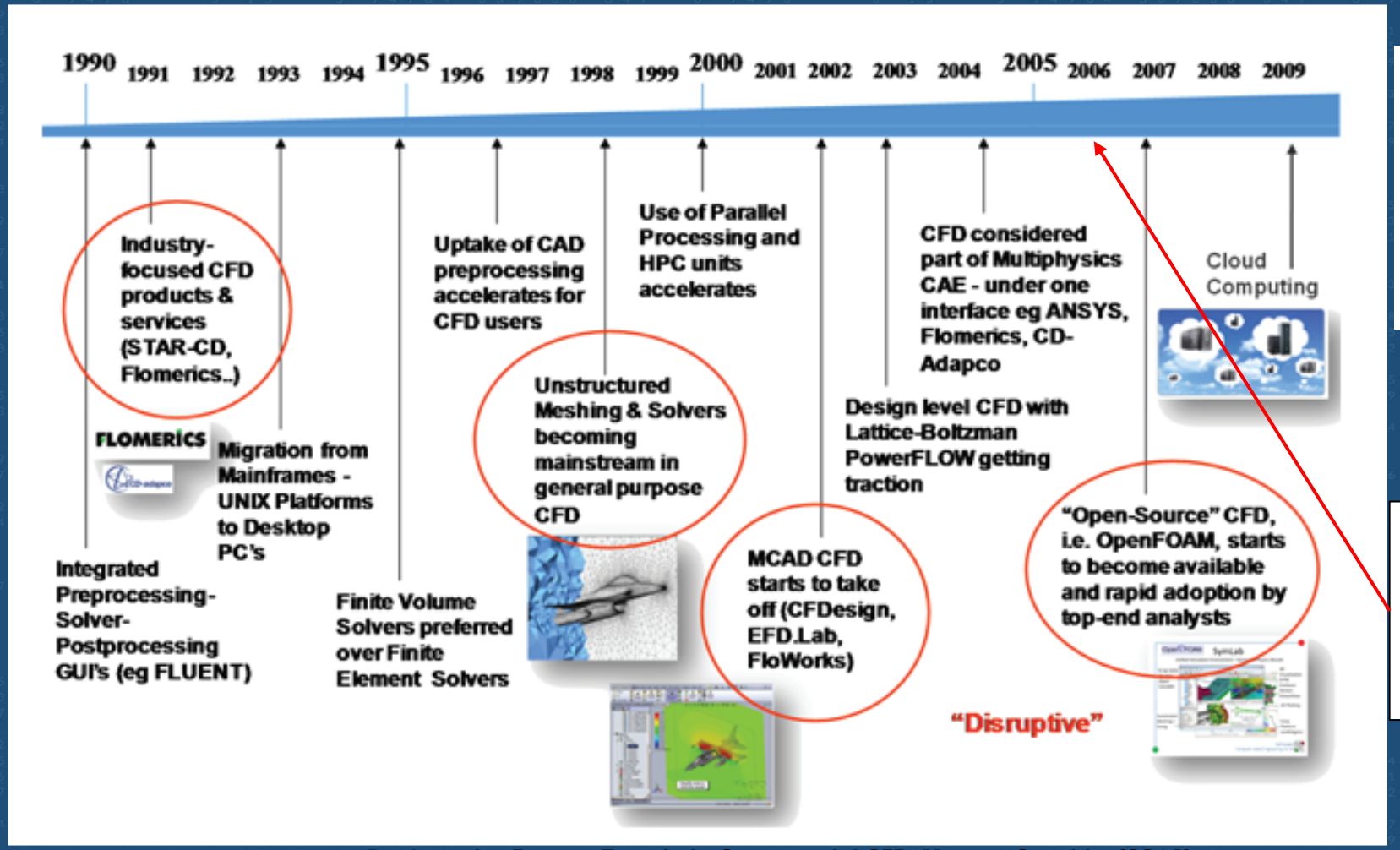


History of Fluid Dynamics & CFD



** Back to the Future: Trends in Commercial CFD, Mentor Graphics(2014)

Industry Trends of CFD



** Back to the Future: Trends in Commercial CFD, Mentor Graphics(2014)

Present

- 인공지능
- 4차 산업혁명
- 고차정확도 기법
- 무격자 기법
- 다물리 연성
- 최적화 / 자동화
- …

Multi core (intel CPU)

- 펜티엄 (2005)
- 인텔 코어 (2006)
- 제온 (2006)
- AMD 128core (2023)

CAE Open Source Software

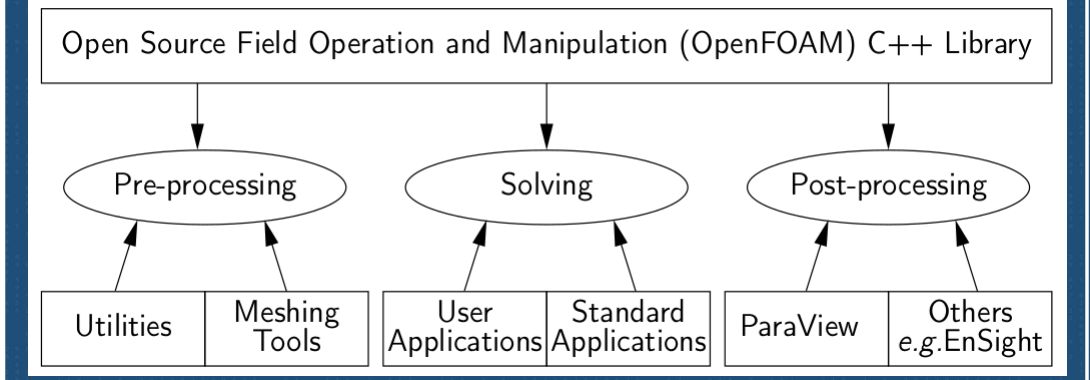
- Pre-Processing
  - ✓ Open CASCADE
  - ✓ Salome
  - ✓ GMSH
  - ✓ NETGEN
- Processing (CFD)
  - ✓ OpenFOAM
  - ✓ Code Saturne
  - ✓ SU2
  - ✓ DualSPHysics
  - ✓ FDS
- Post-Processing
  - ✓ ParaView
  - ✓ Visit
  - ✓ gnuplot

CFDsupport

>> 소스코드가 공개되어 누구나 자유롭게 다운로드하고 수정, 복사 및 재배포가 가능한 소프트웨어…

OpenFOAM 이란?

- Open Field Operation And Manipulation
  - ✓ Open Source CFD Tool Box
- 벡터/스칼라장(field)의 편미분 지배방정식 계산을 위한 C++ 소스코드/라이브러리 모음
  - ✓ Application 실행파일을 만들기 위한 라이브러리 모음
  - ✓ 라이브러리를 활용할 수 있는 개발환경 까지 제공
- 2004년 OpenCFD Ltd.에서 v1.0 공개
- 라이선스 : GNU GPL v3
- 현재 버전(2023. 08)
  - ✓ OpenFOAM Foundation : OpenFOAM v11 (1년주기)
  - ✓ ESI/OpenCFD Ltd. : OpenFOAM v2306 (6개월 주기)
  - ✓ OpenFOAM extend group : foam-extend-5.0 (비정기적)



'OpenFOAM structure', OpenFOAM User Guide

OpenFOAM 특징 및 장점

- 객체지향 소스코드
  - ✓ 클래스 타입의 코드와 라이브러리 형태의 구성으로 사용자가 원하는 솔버를 만들기 용이
  - ✓ standard application 제공, 200여 가지 이상의 실행파일 제공
- 상용프로그램에 준하는 범용성
- 편미분 방정식과 유사한 코드 구성
- MPI를 이용한 병렬화 기능

- 라이선스 비용이 없음
- 다양한 상용 전후처리 프로그램과의 높은 호환성
- 전용프로그램 제작
- 수치모델 추가
- 지속적인 업데이트 및 version release

OpenFOAM® History

1989
- FOAM 이라는 이름으로 개발 시작, Henry Weller & Hrvoje Jasak
- FORTRAN 보다 강력하고 유연한 수치해석 플랫폼 개발

2004
- OpenFOAM 이름의 오픈소스로 release, OpenCFD Ltd

2011
- OpenFOAM Foundation 설립, SGI Group인수

NEXTFOAM

2012
- OpenFOAM Foundation과 OpenCFD Ltd로 분리, ESI Group에 OpenCFD 매각

현재
- OpenFOAM Foundation
- OpenCFD Ltd
- Foam-extend

OpenFOAM 확산 배경

- 커뮤니티 활성화로 사용자 계속 증가 (CFD Online, openfoamwiki)
- 풍부한 기능 및 호환성, 잘 정리된 코드, 라이브러리 기반의 확장성
- 하드웨어 기술 발전에 의한 멀티 코어 컴퓨팅의 일반화
- 상용 소프트웨어의 독점화
  - ✓ 소프트웨어 라이선스 가격 상승, 서브스크립션/HPC 라이선스 정책
- CFD 필요성 증대, 적용 분야 확대
- PLM등 제품 개발 프로세스에 시뮬레이션 기술 통합
- cloud computing
- 디지털트윈, 인공지능, 기계학습에 대한 기술개발로 계산속도 증대 필요

CAE/CFD 시장 현황

- CAE 분야의 CFD 현황
  - ✓ CFD는 CAE 1/3 수준의 시장 크기
  - ✓ 향후 10년간 연평균 8.78% 성장
  - ✓ on Premise CFD, cloud-based CFD
  - ✓ 자동차, 항공, 전자를 포함하는 제조업 중심으로 증가

- 국내 CAE 시장 현황
  - ✓ 전 세계 시장의 3% 시장 크기

Report Coverage	Details
Forecast Period	2023 to 2030
Forecast Period 2023 to 2030 CAGR	12.0%
2030 Value Projection	USD 17.68 Billion
Base Year	2022
Computer-aided Engineering Market Size in 2022	USD 7.23 Billion
Historical Data for	2019 to 2021
No. of Pages	150
Segments covered	Deployment, Type, End-use and Geography

CAE market size – Fortune Business Insights (2023)

표 1. CAE 소프트웨어 분야 매출 현황 (단위 : 만원)

2020년	2021년	전년 대비 성장률	2022년(예상)
21,303,500	23,743,000	11.5%	27,283,000

2021국내 엔지니어링 소프트웨어 시장조사, CAD&Graphics (2022)

Attributes	Details
Projected Forecast Value (2023)	US$ 2,447 million
Projected Forecast Value (2033)	US$ 5,679.2 million
Growth rate	8.78% CAGR
Forecast period	2023 to 2033

CFD market size – Future Market Insights Global and Gonsulting Pvt. Ltd. (2023)

OpenFOAM 국내외 현황

- 영리 업체
  - ✓ 해외
    - 유럽 : ESI, ENGYS, CFD Direct, CFD Support, blueCFD, simFlow, ICON, Wikki, SIMSCALE, Wolf Dynamics …
    - 아시아 : VINAS, CAE Solutions Co., Yiduo Technology, …
  - ✓ 국내
    - 넥스트폼, 한국ESI, 엠피어스, 경원이앤씨

- 비영리 기관
  - ✓ 대학교, 연구소
  - ✓ 특히 유럽의 대학 연구실에서 활발히 사용중
    - 기업과의 연계 프로젝트 비율이 높음

OpenFOAM GUI

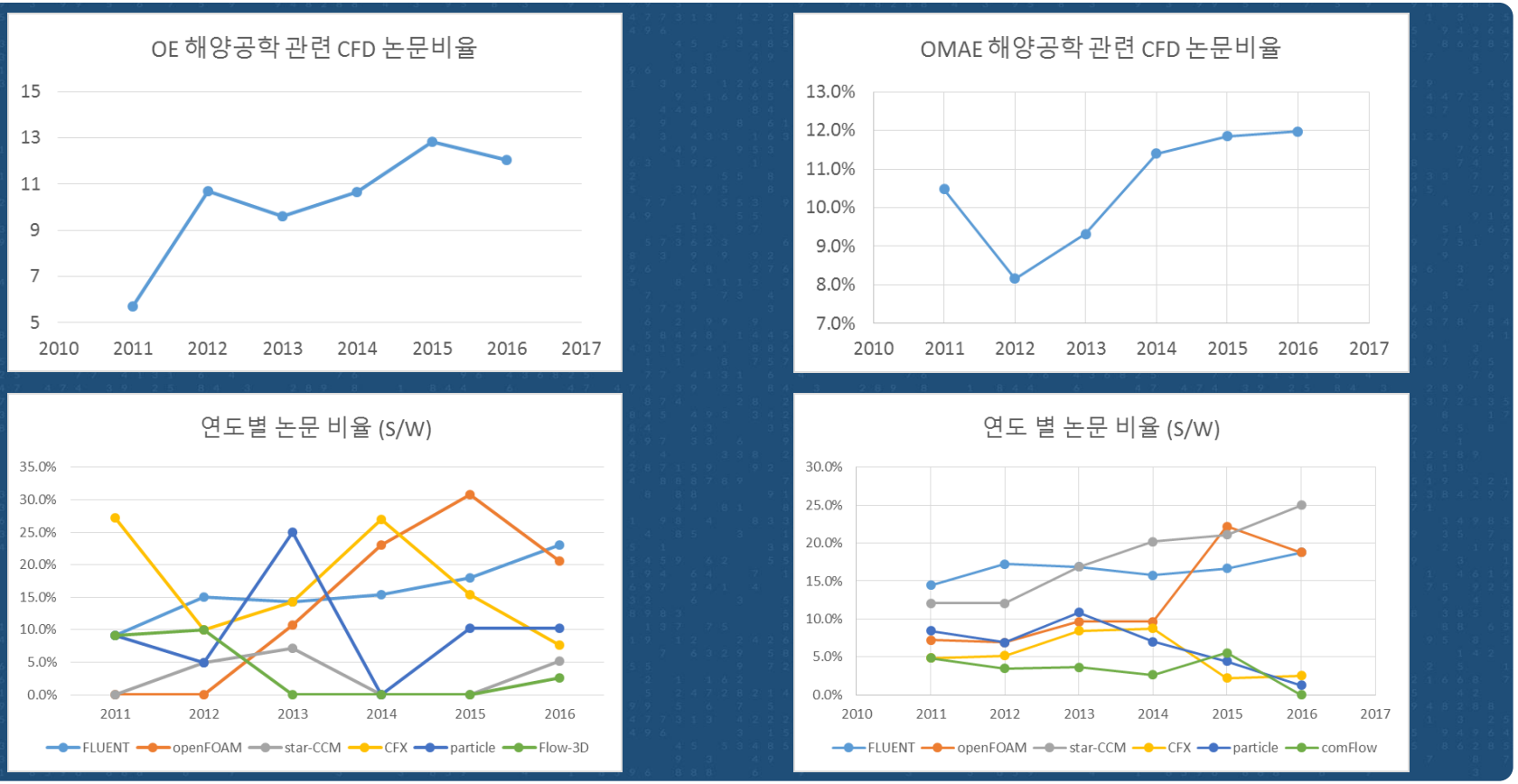
Software	Company	Operating Systems	Availability
Ansa	Beta CAE	Linux, Mac OS X and Windows	*Contact them for more information.*
Caedium	Symscape	Linux, Mac OS X and Windows	Free 30 day trial and for students. Available in monthly to annual subscription.
CAESES	FRIENDSHIP-SYSTEMS	Linux and Windows	Free pro version for students and PhD students. Various trial versions available.
CastNet	DHCAE	Linux and Windows	Free 30 day trial. Annual or perpetual subscriptions. Discount for academic use.
cfFLOW	Creative Fields	Linux and Windows	*Contact them for more information.*
DICE	DICEhub	Linux and Windows	Python + QML
FEATool Multiphysics	Precise Simulation	(MATLAB) Linux, Mac OS X, and Windows	*Visit homepage for free download and more information.*
HELYX	Engys	Linux and Windows	*Contact them for more information.*
iconCFD	ICON	*unknown*	*Contact them for more information.*
MantiumFlow	MantiumCAE	Linux and Windows (OSX is reported to work as well but is not supported)	Free Demo, quarterly and annual licenses available.
simFlow	Atizar Limited	Linux and Windows	Free for evaluation without any time limit. Fixed annual subscription, with discount for academic use.
SimWorks	IdealSimulations	Windows	Free and unrestricted. Commercial version also available for enterprise use
Visual-CFD	ESI Group	Linux and Windows	Free evaluation for 30 days. Fixed annual subscription, with discount for academic use
ennovaCFD for OpenFOAM	IDAJ / Ennova Technologies	Windows and Linux	*Contact them for more information.*

Software	Company/Author	Project page	Operating Systems
BARAM	NEXTfoam	• BARAM GitHub Pages • BARAM GitHub Project	Linux, Windows, and macOS
BARAM-Legacy	NEXTfoam	product page	Linux (Ubuntu/Debian)
Blender	Several	Blender	Linux and Windows (Might work on Mac OS X)
CfdOF	Several developers	Computational fluid dynamics (CFD) workbench for FreeCAD @ Github	Linux and Windows (Might work on Mac OS X)
Discretizer	Björn Bergqvist	Discretizer at SF.net	Linux and Windows (Might work on Mac OS X)
enGrid	enGits	enGrid at Github	Linux and Windows (Also works on Mac OS X)
HELYX-OS	Engys	HELYX-OS on GitHub	Linux
InsightCAE	silentdynamics	InsightCAE wiki on GitHub	Linux

OpenFOAM wiki
https://openfoamwiki.net

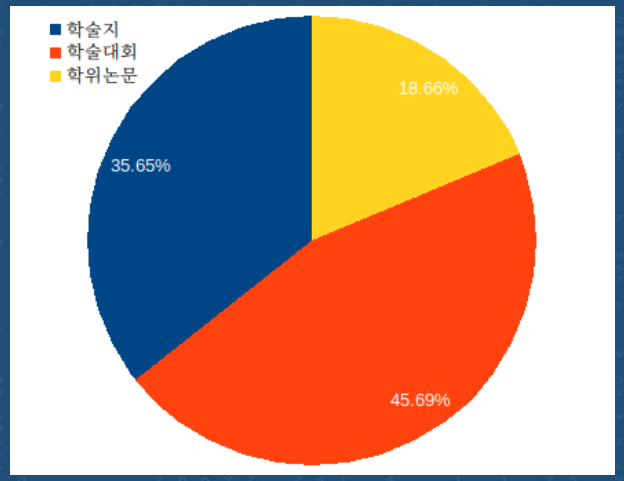
OpenFOAM 사용 현황 – 논문

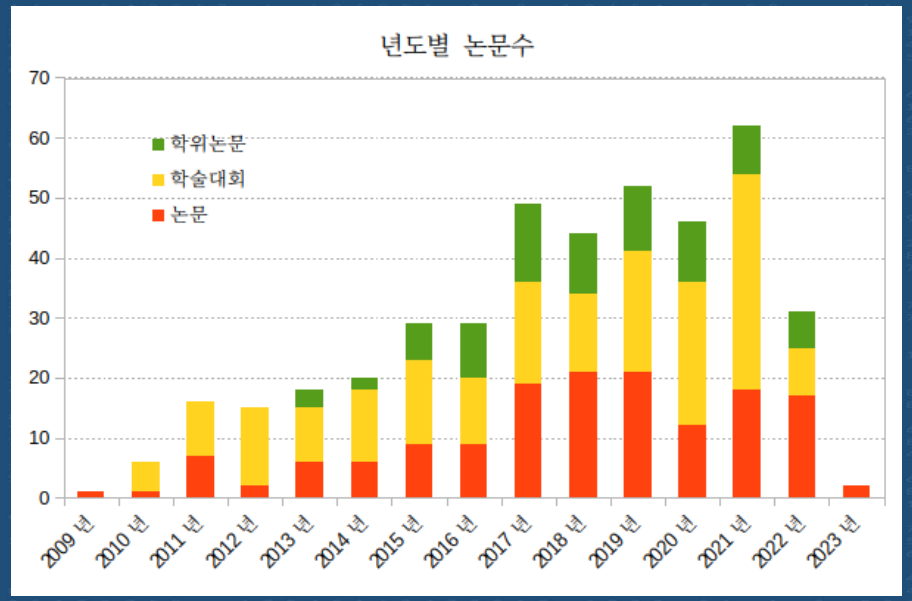
- Ocean Engineering 논문 조사
  - ✓ 2011~2016년도, 1575편
- International Conference on Ocean, Offshore & Arctic Engineering (OMAE) 학술대회 논문 조사
  - ✓ 2011~2016년도, 4716편

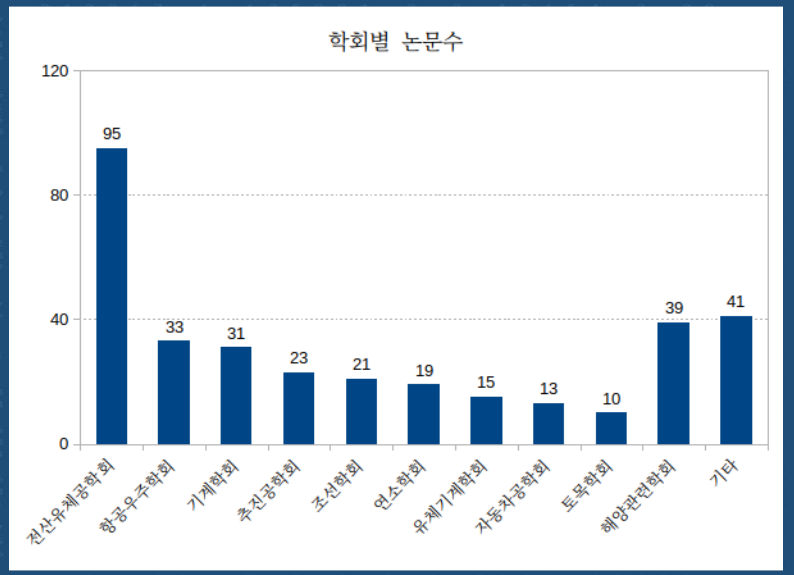


OpenFOAM 현황 – 국내 사용자, 논문

- DBPia에 OpenFOAM 키워드 검색 결과 (논문수)
  - ✓ 2009~2022년, 418편
  - ✓ 주요 학회 : 전산유체공학회, 항공우주학회, 추진공학회, 대한조선학회, 연소학회, 유체기계학회, 자동차공학회, 토목학회 등등

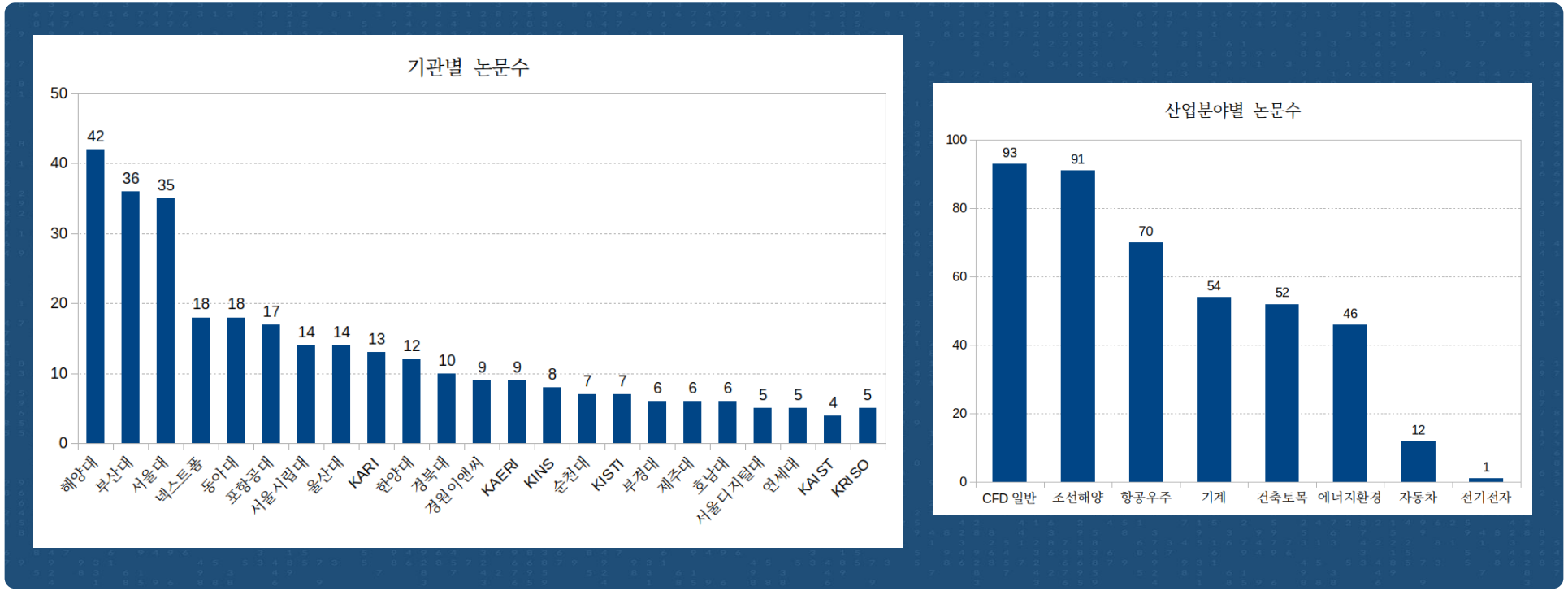






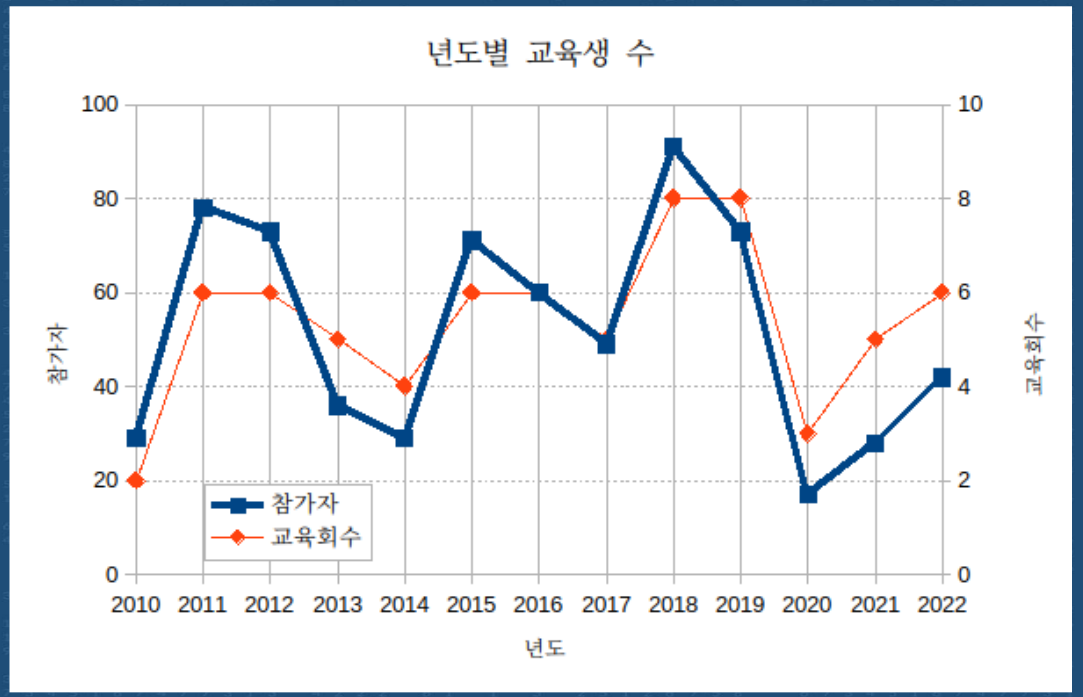
OpenFOAM 현황 – 국내 사용자, 논문

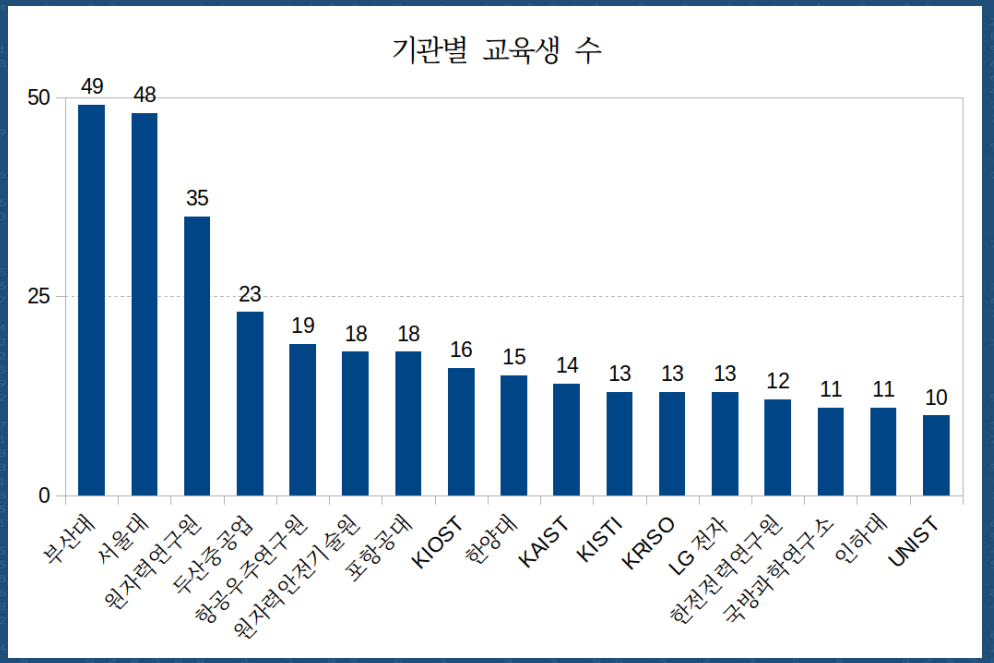
- DBPia에 OpenFOAM 키워드 검색 결과 (기관)
  - ✓ 2009~2022년, 418편
  - ✓ 대학교, 산업체, 연구소



OpenFOAM 현황 – 교육

- ㈜넥스트폼 교육 참가자
  - ✓ 총 539명의 참가자, 154개 기관



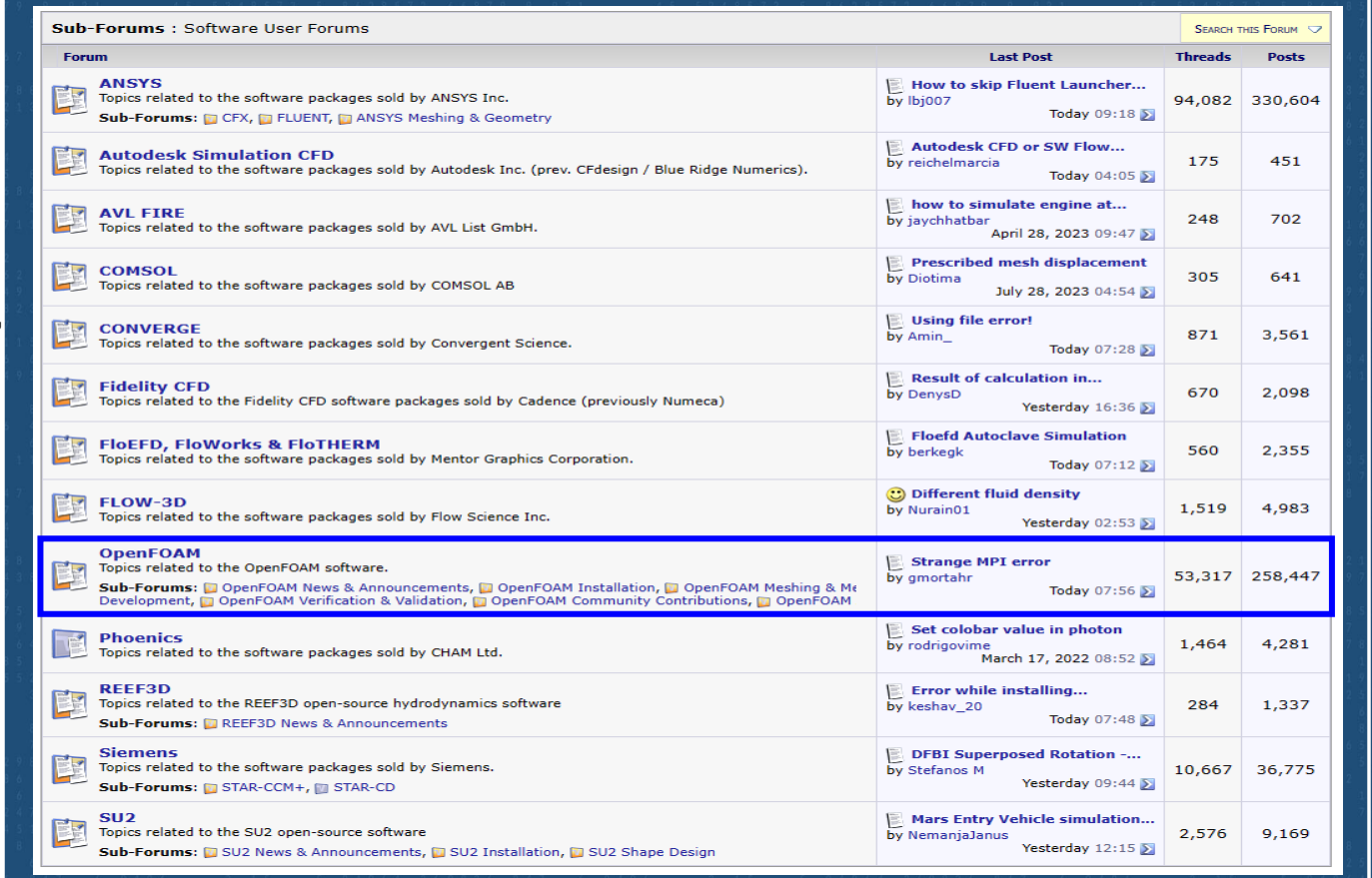


OpenFOAM 국내외 관련 활동

- 오픈소스의 자생력을 갖추려면 사용자가 많아져야 함
- 국제워크샵
  - ✓ OpenFOAM Workshop 2023, 18th
    - 8th 행사, 2013년 제주 개최
  - ✓ since 2006, 매해 개최
- 국내행사
  - ✓ OpenFOAM Korea Users' Community Conference (OKUCC)
    - since 2012, 매해 가을 개최
    - 2023년 10th , 10월 19~20일, 부산 APEC 하우스
  - ✓ 공개소스 CFD연구회
    - 전산유체공학회 산하 연구회, 매해 동/하절기 세미나 개최

OpenFOAM online 활동

- online 커뮤니티 필요
  - ✓ CFD Online
    - CFD 소식, 채용, 행사, 업체, tools 등 제공
    - 각 분야별 세분화된 커뮤니티 포럼 제공
      - 활성화된 Q&A 게시판
    - www.cfd-online.com
  - ✓ OpenFOAM wiki
    - 관련 자료, release 소식/history, installation, communit소개, tips&tricks, 소식 등을 제공
    - openfoamwiki.net/
  - ✓ github
  - ✓ Source Forge



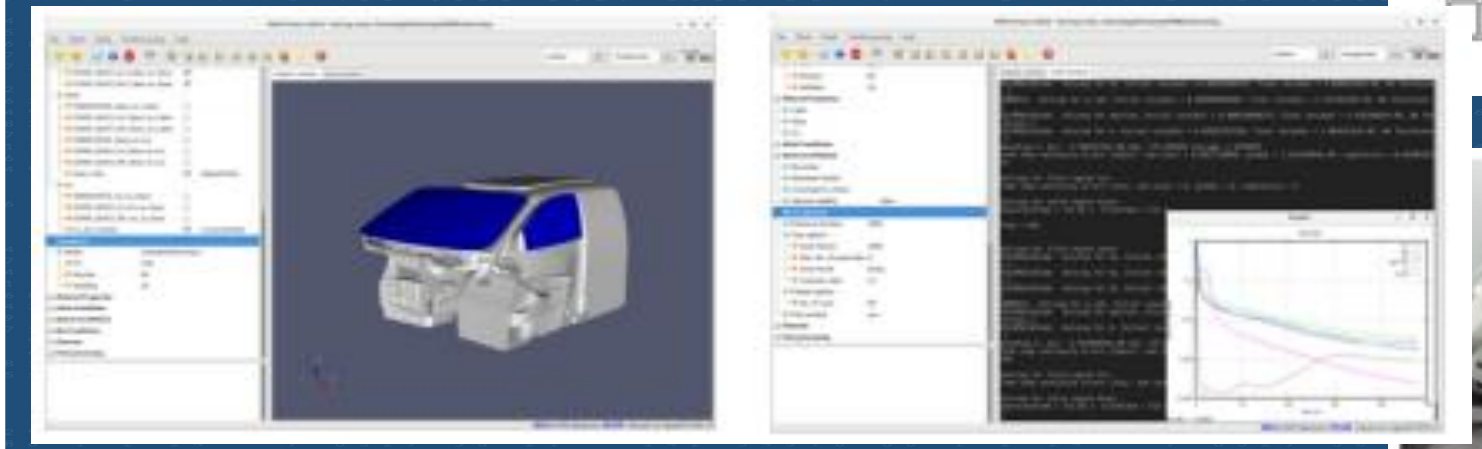
Sub-Forums : Software User Forums — Search this Forum

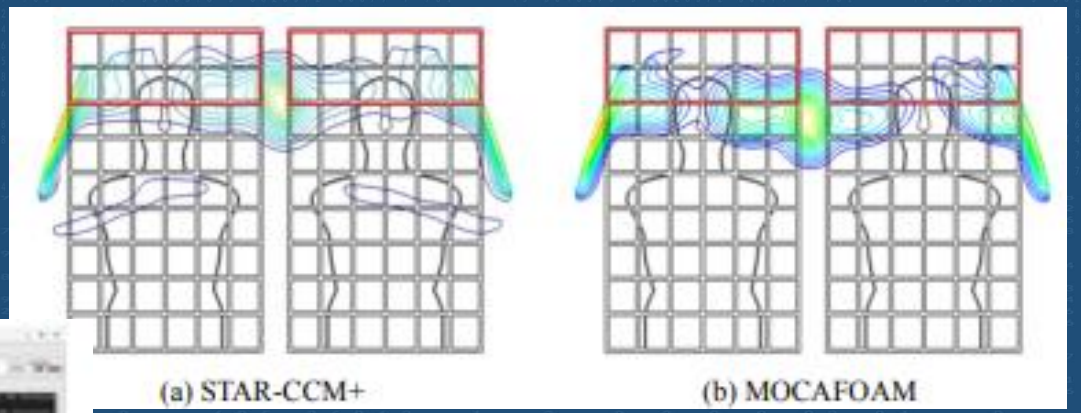
Forum	Last Post	Threads	Posts
ANSYS Topics related to the software packages sold by ANSYS Inc. Sub-Forums: CFX, FLUENT, ANSYS Meshing & Geometry	How to skip Fluent Launcher... by lbj007 Today 09:18	94,082	330,604
Autodesk Simulation CFD Topics related to the software packages sold by Autodesk Inc. (prev. CFdesign / Blue Ridge Numerics).	Autodesk CFD or SW Flow... by reichelmarcia Today 04:05	175	451
AVL FIRE Topics related to the software packages sold by AVL List GmbH.	how to simulate engine at... by jaychhatbar April 28, 2023 09:47	248	702
COMSOL Topics related to the software packages sold by COMSOL AB	Prescribed mesh displacement by Diotima July 28, 2023 04:54	305	641
CONVERGE Topics related to the software packages sold by Convergent Science.	Using file error! by Amin_ Today 07:28	871	3,561
Fidelity CFD Topics related to the Fidelity CFD software packages sold by Cadence (previously Numeca)	Result of calculation in... by DenysD Yesterday 16:36	670	2,098
FloEFD, FloWorks & FloTHERM Topics related to the software packages sold by Mentor Graphics Corporation.	Floefd Autoclave Simulation by berkegk Today 07:12	560	2,355
FLOW-3D Topics related to the software packages sold by Flow Science Inc.	Different fluid density by Nurain01 Yesterday 02:53	1,519	4,983
OpenFOAM Topics related to the OpenFOAM software. Sub-Forums: OpenFOAM News & Announcements, OpenFOAM Installation, OpenFOAM Meshing & Me Development, OpenFOAM Verification & Validation, OpenFOAM Community Contributions, OpenFOAM	Strange MPI error by gmortahr Today 07:56	53,317	258,447
Phoenics Topics related to the software packages sold by CHAM Ltd.	Set colobar value in photon by rodrigovime March 17, 2022 08:52	1,464	4,281
REEF3D Topics related to the REEF3D open-source hydrodynamics software Sub-Forums: REEF3D News & Announcements	Error while installing... by keshav_20 Today 07:48	284	1,337
Siemens Topics related to the software packages sold by Siemens. Sub-Forums: STAR-CCM+, STAR-CD	DFBI Superposed Rotation -... by Stefanos M Yesterday 09:44	10,667	36,775
SU2 Topics related to the SU2 open-source software Sub-Forums: SU2 News & Announcements, SU2 Installation, SU2 Shape Design	Mars Entry Vehicle simulation... by NemanjaJanus Yesterday 12:15	2,576	9,169

CFD Online, Software User Forums

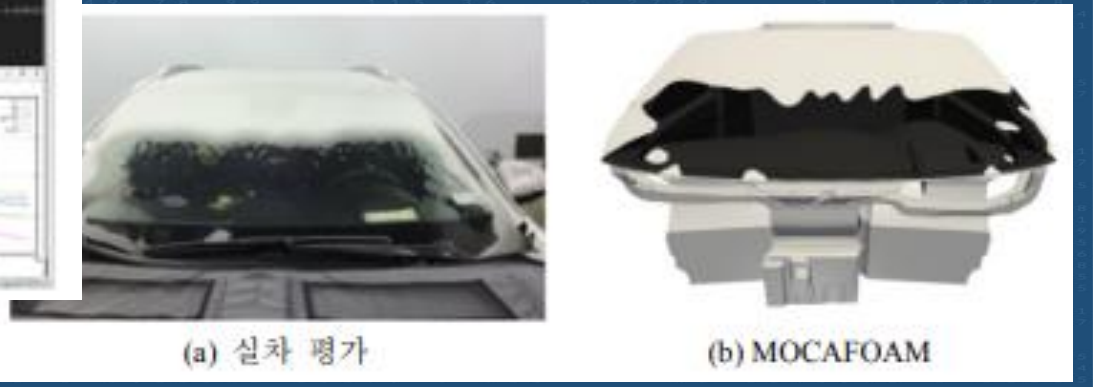
OpenFOAM 산업계 활용 예

- 현대모비스
  - ✓ 상용툴을 대체하기 위한 전용프로그램 제작
  - ✓ MOCAFOAM
    - 칵핏 공조 해석 (풍향, 풍배 및 제상 해석) 전용 프로그램
    - 자동차 실내 공조/윈도우 제상 해석





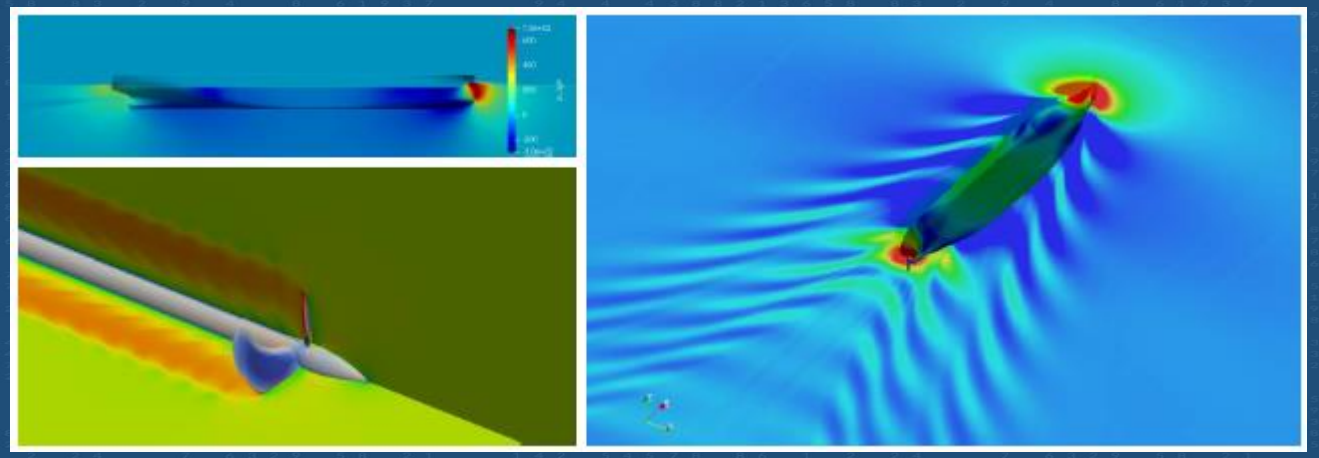
(a) STAR-CCM+ (b) MOCAFOAM



(a) 실차 평가 (b) MOCAFOAM

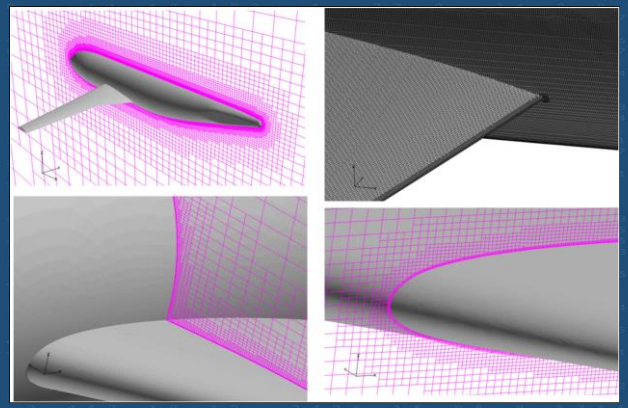
OpenFOAM 산업계 활용 예

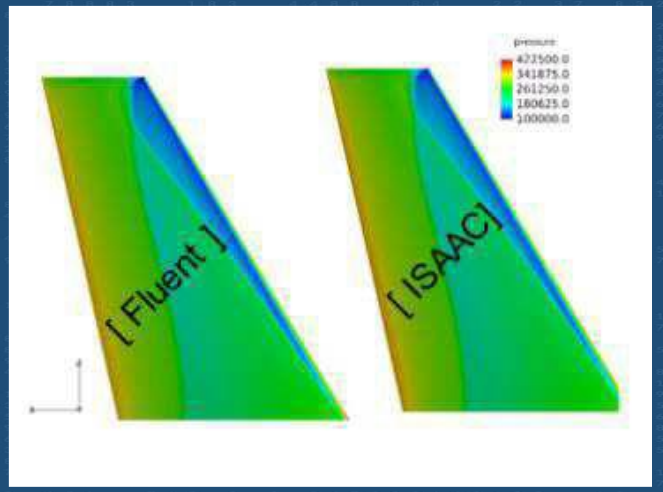
- HD현대중공업
  - ✓ 대용량 전산자원(45,000core) 활용으로 고정밀 수치해석 개발 및 모형시험 일부 대체
    - 수치예인수조, 수치공동수조, 수치풍동 개발
  - ✓ 자세 설계/해석에 특화된 오픈소스 S/W 보유 필요성 증가
  - ✓ 기존 난류모델 보다 정확성, 실용성이 좋은 hybrid turbulence model 개발/적용
  - ✓ Resistence, POW, Self-propultion, wind profile

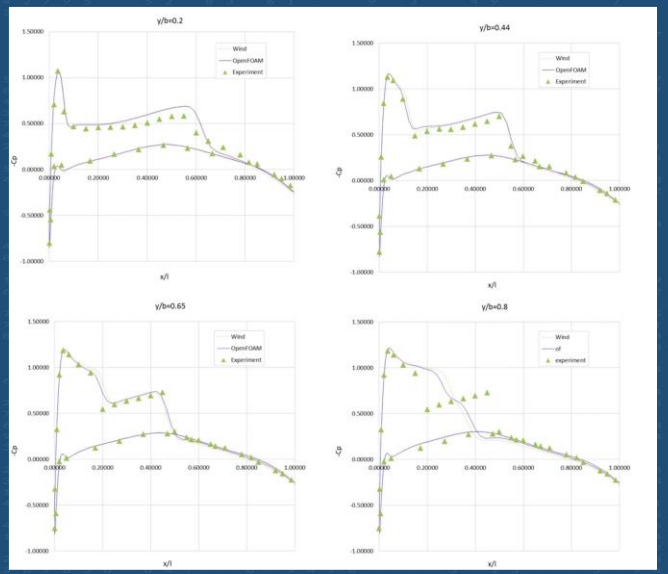


OpenFOAM 산업계 활용 예

- 한국항공우주산업
  - ✓ 전산유체역학을 이용한 항공기 공력해석 시스템 및 방법
  - ✓ 초음속 영역 해석이 가능한 밀도기반 압축성 솔버 및 GUI 프로그램 개발
    - LU-SGS 수치모델, wall function 개발
    - 마하수, 받음각, 원방경계조건을 입력 변수로 하는 batch run
  - ✓ 상용 라이선스 비용 절감

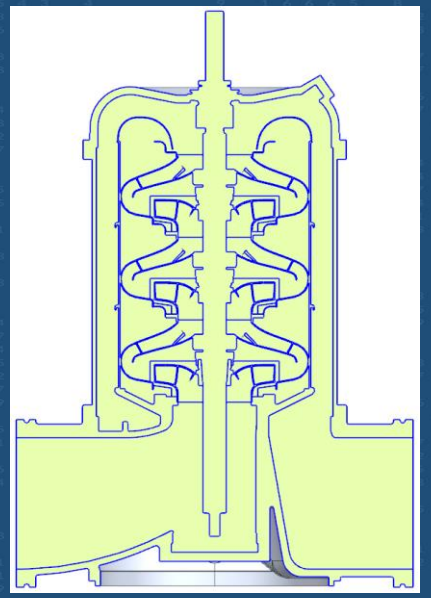


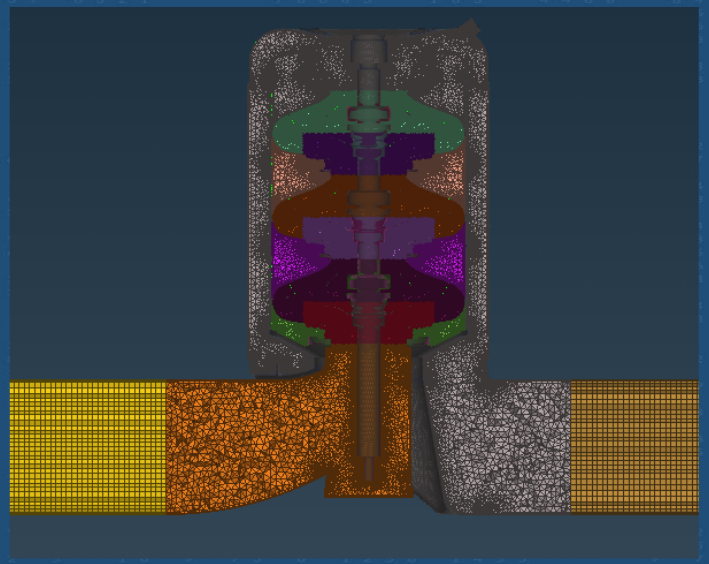


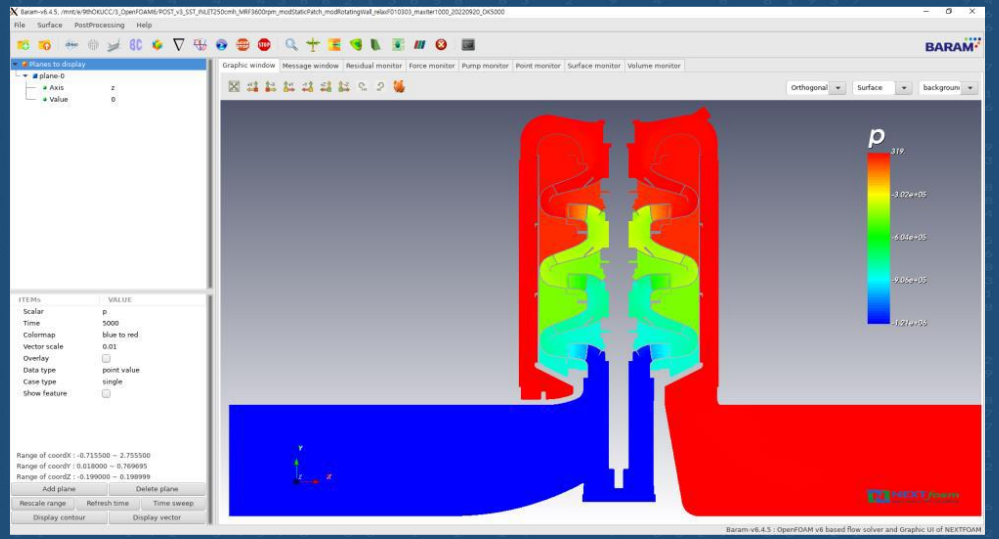


OpenFOAM 산업계 활용 예

- 한국전자기술연구원
  - ✓ 펌프 설계 및 성능 평가를 위한 CFD 적용
    - 유량 및 회전수에 따른 양정, 동력, 효율 계산
  - ✓ 상용툴을 대체하는 BARAM 프로그램 사용

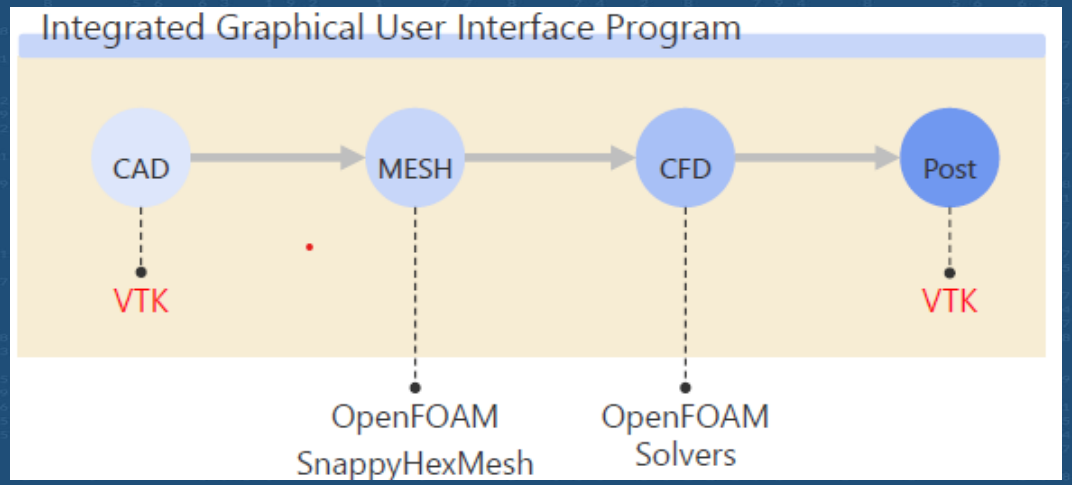


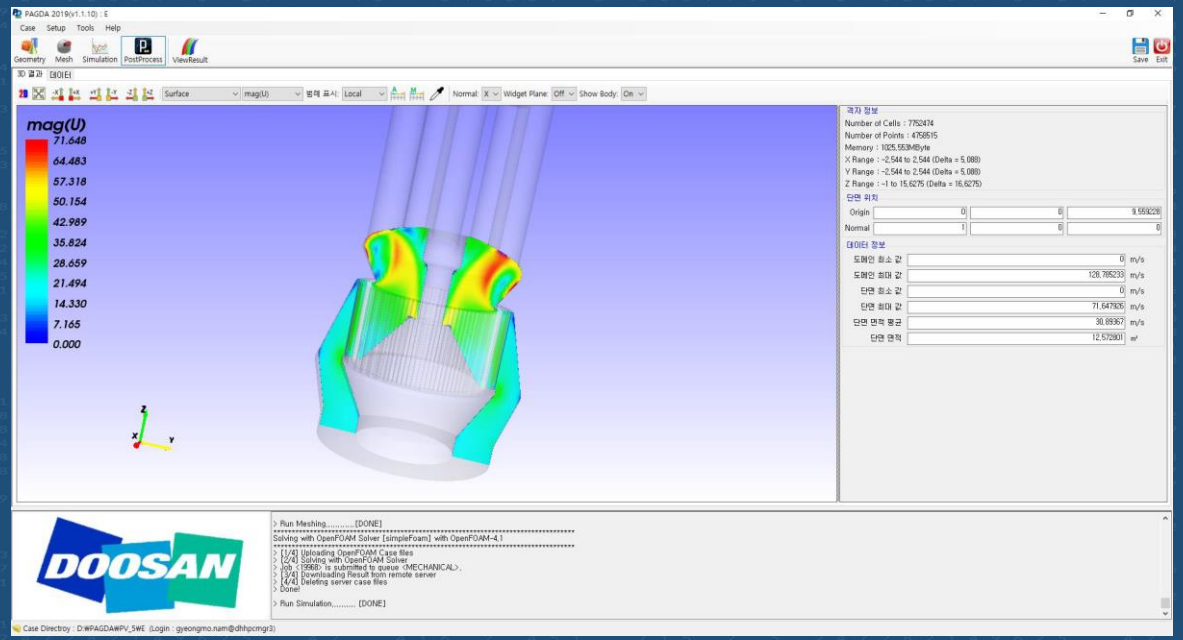




OpenFOAM 산업계 활용 예

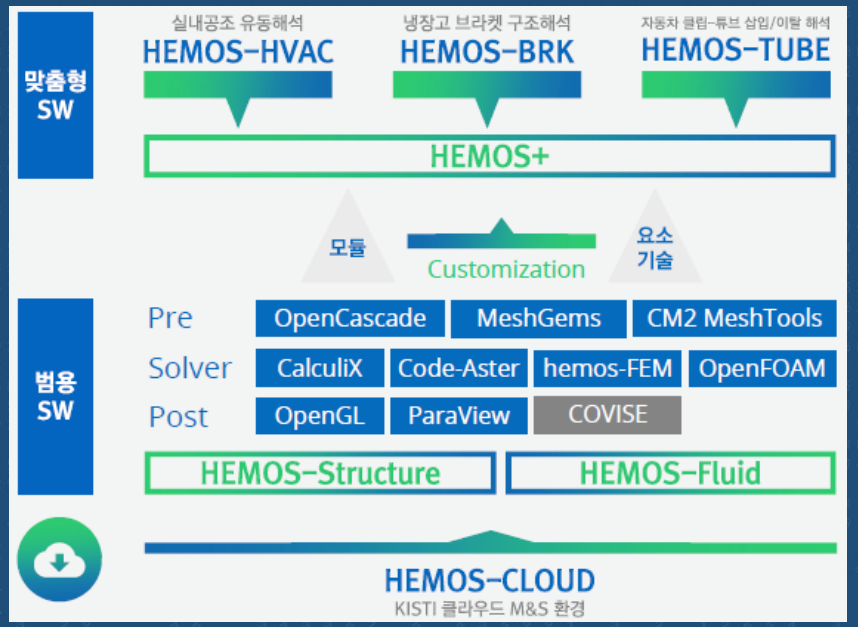
- 두산에너빌리티
  - ✓ 연소해석 solver, 전용 GUI 프로그램 개발
  - ✓ open source를 이용한 통합 프로세스

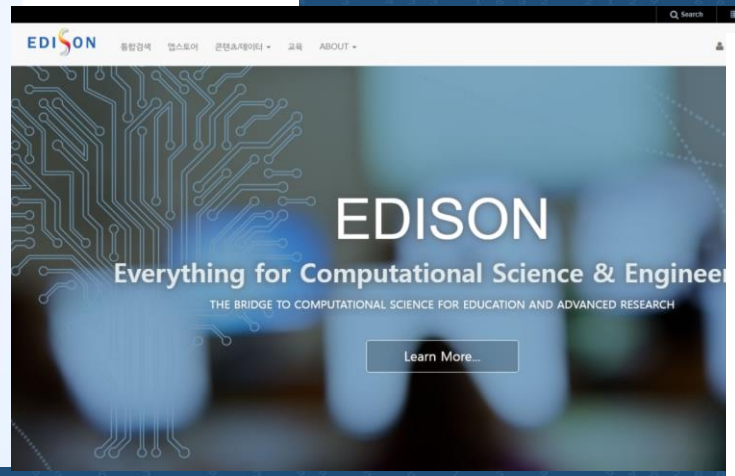




OpenFOAM 산업계 활용 예

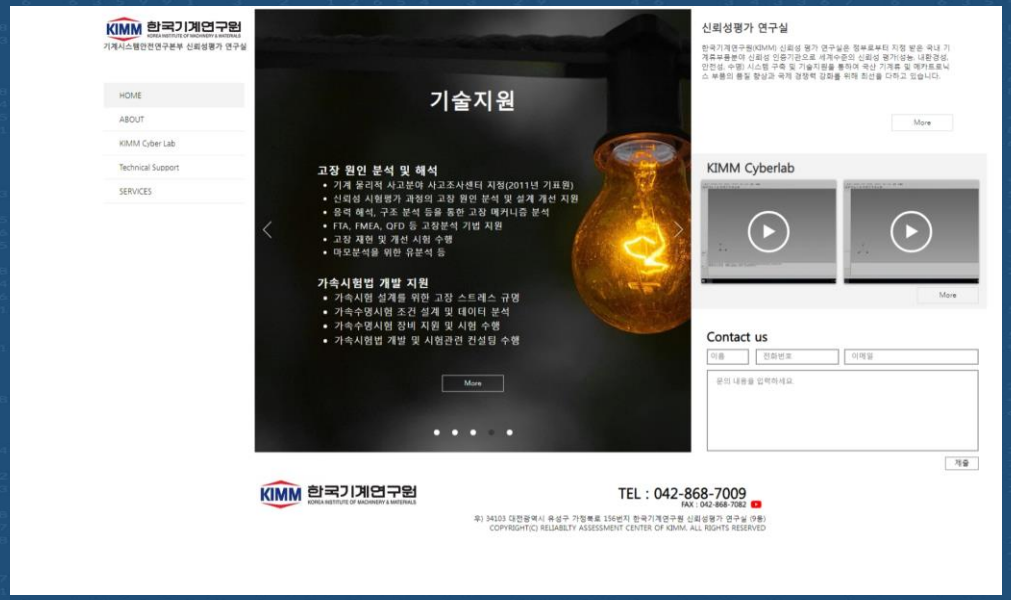
- 한국과학기술정보연구원
  - ✓ 산업체 지원을 위한 오픈소스 프로그램 서비스
  - ✓ 다양한 해석 모듈을 포함하는 범용 서비스
    - M&S SW HEMOS-FLUID
    - 국가슈퍼컴퓨팅센터 – MyKSC
    - 사이언스앱 플랫폼 – EDISON

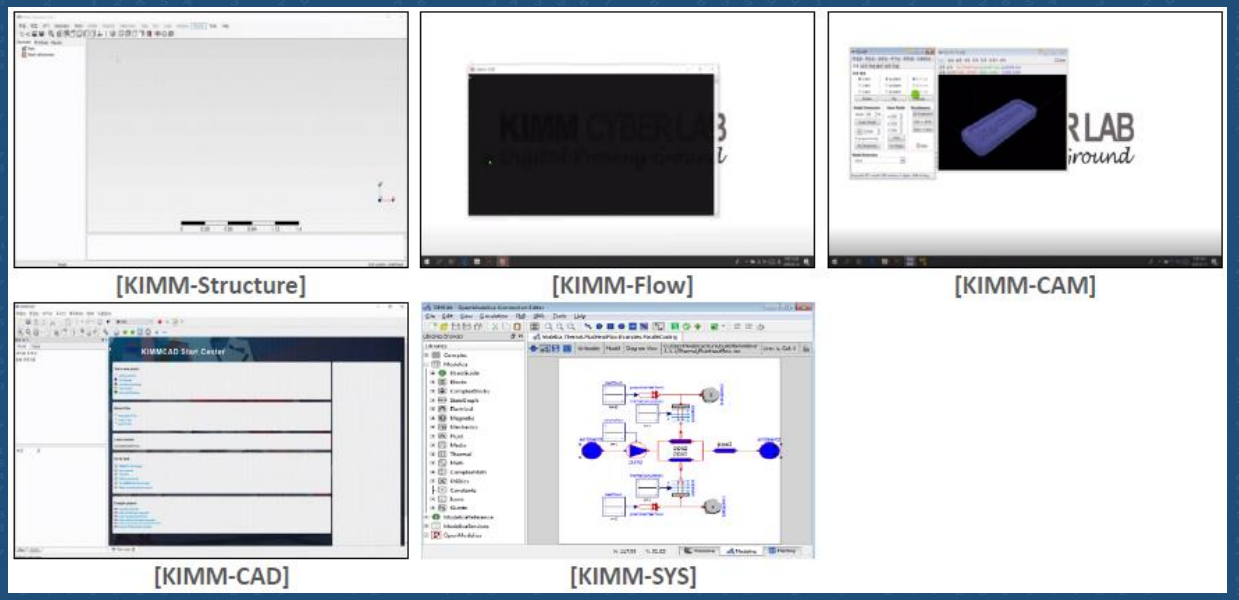




OpenFOAM 산업계 활용 예

- 한국기계연구원
  - ✓ 가상공학플랫폼 KIMM Cyber Lab
  - ✓ 중소기업 엔지니어링 시뮬레이션 지원을 위한 범용 서비스
  - ✓ KIMM-Flow 서비스





OpenFOAM 산업계 활용 예

- 대학교 연구실/출연연구소
- 실험실 내부 코드로 개발, 지속적인 모델 추가 및 성능 개선 가능
  - ✓ 부산대학교
    - 항공우주공학, 기계공학과, 조선공학과
  - ✓ 서울대학교
    - 조선공학과
    - 항공우주공학과
    - 원자핵공학과
  - ✓ 동아대학교 조선공학과
  - ✓ 한국해양대학교
    - 해양공학과, 조선공학과
  - ✓ POSTECH
  - ✓ 한국항공우주연구원, 한국원자력연구원, 한국원자력안전기술원, 한국과학기술정보연구원, 선박해양플랜트연구소, 한국건설기술연구원, 한국해양과학기술원, 국방과학연구소 등등

Cloud에서의 OpenFOAM 활용을 위한 Infrastructure

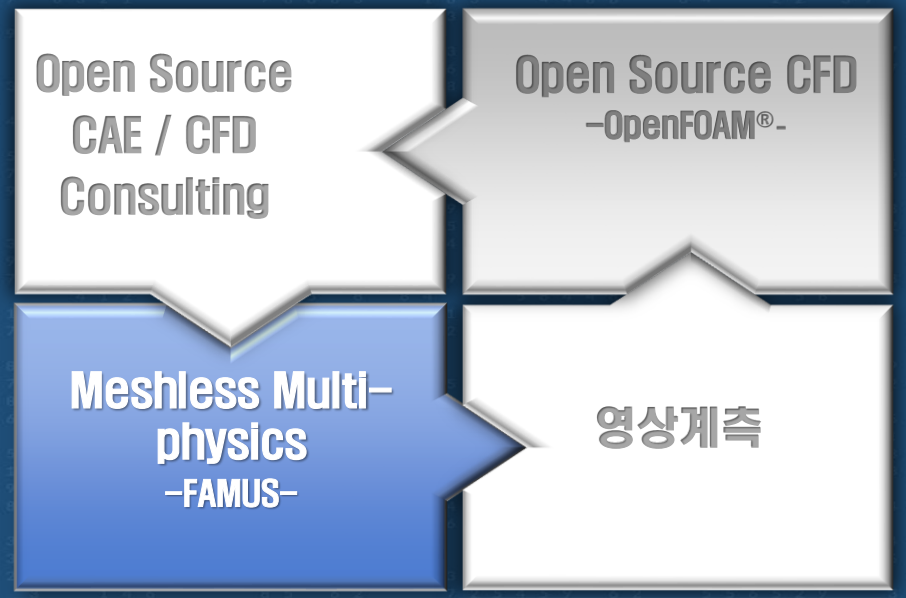
- AWS, Azur, KISTI, Rescale, SIMSCALE, PACE
  - ✓ CAE software SaaS
  - ✓ 기존의 On-Premises에 대비되는 새로운 S/W 서비스
  - ✓ 사용자는 비용 효율적인 사용이 필요

- NBP, KT Cloud, Kakao Enterprise, Google Cloud

- CSP + CAE S/W + MSP = SaaS
  - ✓ 접근성, 호환성 및 운영관리의 이점
  - ✓ 디지털전환(DX)으로 시장 크게 성장
    - 가트너(Gartner)에 따르면 2023년 717조원으로 예측
  - ✓ 정부 R&D 지원 크게 증가

(주)넥스트폼

회사명	㈜넥스트폼
사업분야	전산유체역학 해석 소프트웨어 개발, 해석 및 컨설팅
설립일	2011년 01월 03일
구성원	총원 27명
	공학박사 5명 / 공학석사 20명 / 공학사 1명 / 경영학사 1명
특허	모델링을 활용한 건축물의 풍압해석 시스템 및 방법, 제10-1831906호
	속도 압력 엔탈피 연계 해석 방법 및 이를 수행하기 위한 컴퓨팅시스템, 제10-1975919호
위치	서울특별시 금천구 디지털로 9길 32, A동 1106호(가산동)
Product	FAMUS
	BARAM
	ESPER
연혁	2011. ㈜넥스트폼 창립
	2012. 제 1회 OpenFOAM 한국 사용자 모임(OKUCC) 개최
	2013. 제8회 국제 OpenFOAM 워크샵 개최 / 벤처등록 / 기업부설연구소 설립/ 연구개발서비스업 신고
	2016. 국방과학연구소 '압축성 유동 무격자 해석' 기술 이전
	2017. 중소벤처기업부 기술전문기업(K-ESP) 선정 / 병역지정업체 선정

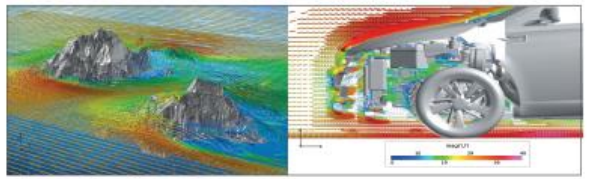


(주)넥스트폼

Open Source CAE/CFD Consulting

OpenFOAM, OpenCasCade, NETGEN, Gmsh, ParaView-Python 기술을 이용한
CAE/CFD Processing Consulting

- 다양한 물리 현상 해석/컨설팅 (다양한 CFD 문제 해석 용역 등)
- 사용자 맞춤 프로그램 개발(BARAM, ESPER)
- 자동차/조선/항공/철도/화학/전자/기계 등 다양한 산업별 개발 사례
- OpenFOAM 교육, 기술지원
- 커뮤니티활동 (OKUCC)
- 클라우드 활용 기술 지원 등

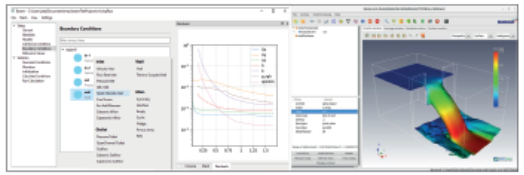


FAMUS Meshless CFD

- Fully Automated MUlti-physics Simulator
- 무격자 기법 기반 상용 CFD 해석 프로그램
- 국방과학연구소의 무격자 기술이전으로 서울대와 공동 개발
- 대변형 해석 / 다중물체 중첩 해석 용이
- 기존 무격자 기법 약점 보완
- 초음속/극초음속 영역에서도 정확도 확보
- FAMUS 해석 솔버 기반 사용자 맞춤 해석 프로그램 개발

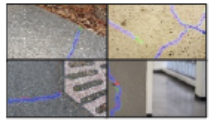
BARAM

- Open Source CFD Package / 사용자환경(GUI)
  - Windows/Linux/Mac OS
  - 병렬연산 프로세스 수 제한 없이 누구나 사용 가능
- Pre-Processing : SnappyHexMesh, cfMesh, Mesh Conversion(msh, ccm)
- Post-Processing : Paraview, Patch/Cutting Plane Contour, Iso-Surface,Vector Plot, Streamline
- 솔버의 안정성/정확성 향상
- 다양한 예제/매뉴얼, Cloud Platform
- Processing
  - 비압축성, 열전달, 복합열전달, 다상유동, 압축성, 다화학종, 스칼라
  - 정상/비정상 상태, 난류유동



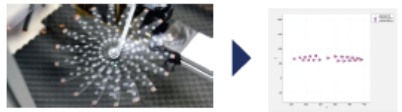
영상계측

- 광학식 단안 및 양안 카메라 기반 6-자유도 위치·자세 측정 (렌즈 교정부터 결과 가시화까지 End-to-end 솔루션 제공)
- 상태추정필터 기반 시계열 데이터 분석 기술(속도, 각속도)
- 고속 카메라 및 조명 동조를 통한 고속 이동체 촬영 및 분석
- 대형 구조물의 비접촉식 계측 및 진동 주파수 성분 분석
- 심층학습기반 객체인식 및 임베디드 시스템 구축



딥러닝 기반 크랙 탐지기술

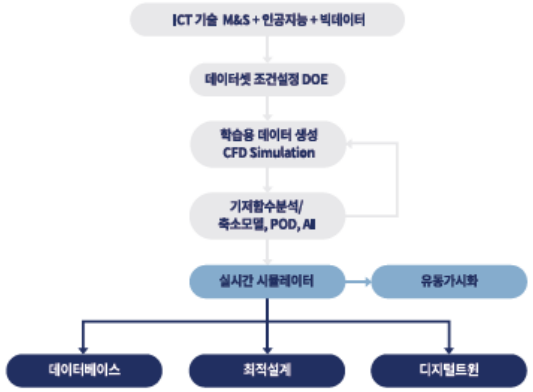
단안영상기반 회장분리계측



조명 동조를 통한 고속 회전체 계측 및 분석

실시간 시뮬레이터

- 반복적인 CFD해석 문제에 대한 차수축소모델을 자동으로 구성하고 신규 해석 결과를 실시간 예측하는 프레임워크
- 기존데이터셋(실험 혹은 계산)을 활용, 신규 해석 조건에 대한 전체 유동장을 재건할 수 있는 차수축소모델 생성
- 기저함수와 인공신경망 기반의 내삽법을 통해 고정밀도의 데이터를 실시간으로 획득가능
- 계산/실험 해 보지 않은 형상 및 유동조건에 대한 해석결과 추정가능
- 데이터 베이스 생성, 최적설계, 다물리해석, 비행 시뮬레이터 등 반복 해석 문제에 대한 One-Click Solution 제공



주요고객사

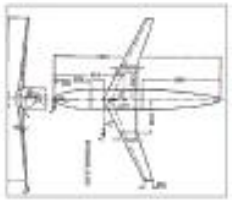
KAI, KARI, 국방과학연구소, Rotem, KRISO, KIOST, KISTI, 한화방산, HOUSAN, 대우건설, HYUNDAI MOTOR GROUP, HYUNDAI MOBIS, KERI, LG화학, LG전자, 현대중공업, HYOSUNG, DSME, Hanon SYSTEMS, KRI, KETI, 한국조선해양, K water

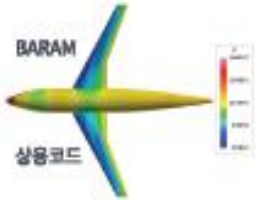
BARAM

- OpenFOAM 기반의 CFD 프로그램 패키지, GNU GPL 라이선스로 공개한 오픈소스 프로그램
  - ✓ 오픈소스 라이선스 – 다운로드, 수정, 재배포에 대한 제한이 없음
  - ✓ 다양한 플랫폼 지원 (Linux, Windows, macOS)
  - ✓ 제한없는 병렬연산
  - ✓ 비압축성, 압축성 유동, 열전달 및 다상유동 해석
  - ✓ 솔버 강건성 향상 솔버 포함
  - ✓ 맞춤형 프로그램 제작

	좌		우	
Cd	BARAM	상용프로그램	BARAM	상용프로그
	0.109	0.109	0.3201	0.3090

M = 0.75, AOA = 0.49

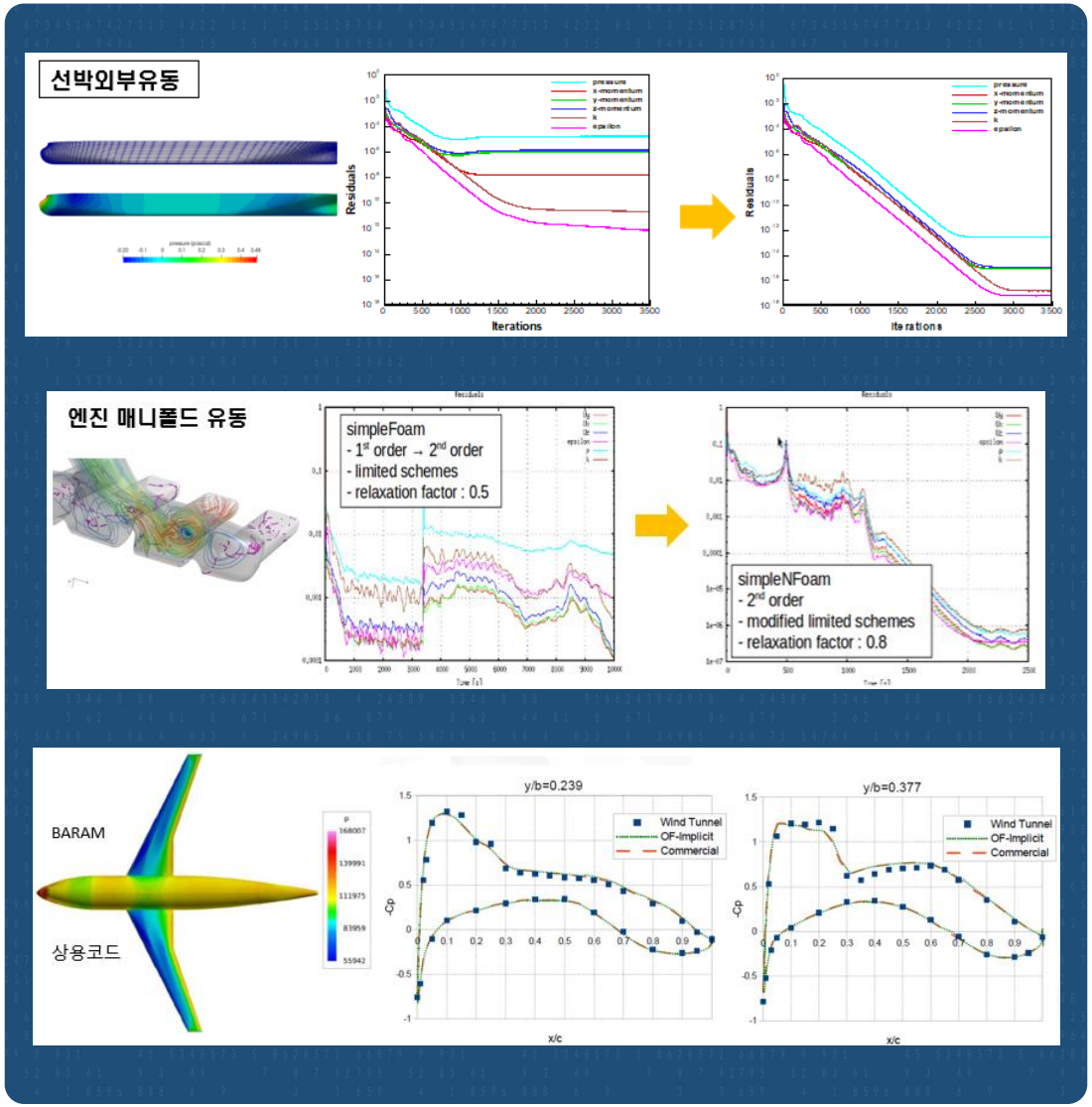




격자	• cfMesh, snappyHexMesh를 사용하는 격자 생성 기능 • Fluent, StarCCM+, Gmsh 격자 변환 기능 • 격자의 축소/확대, 회전, 이동, Baffle 생성, 경계면 격자 분할, 축대칭/2차원 격자 생성 기능
솔버	• 압력기반 SIMPLE/PIMPLE 알고리즘을 사용한 비압축성 유동해석 • 밀도기반 Coupled 솔버를 사용한 압축성 유동해석 • Flux Splitting 기법을 사용한 압력기반의 전체 마하수 영역 유동해석 • 전도, 자연대류, 강제대류, 복사, 복합열전달 해석 • VOF 기법을 사용한 자유수면 해석, 캐비테이션 해석 • 화학종 혼합 해석, 사용자 정의 스칼라 해석 • 난류모델 : Laminar, Euler, Spalart-Allmaras, k-ε, RNG k-ε, Realizable k-ε, k-ω SST
후처리	• Residuals Plot • Force, Probe, Surface Integral/Average,Volume Integral/Average • Contour/Vector Display at Patch and Cutting Plane iso-Surfaces, Streamlines, Clip • ParaView
기타	• MRF, Sliding Mesh, Porous Media, Actuator Disk, Fixed Velocity • Scalar Source, Fixed Value • Initialize : Potential Flow, SetFields, MapFields • Cell Zone Conditions

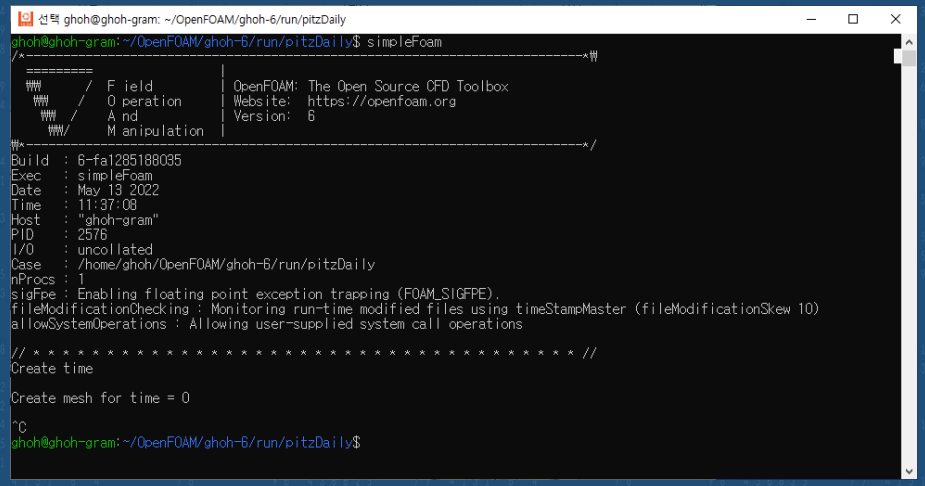
OpenFOAM solver 개선 사항

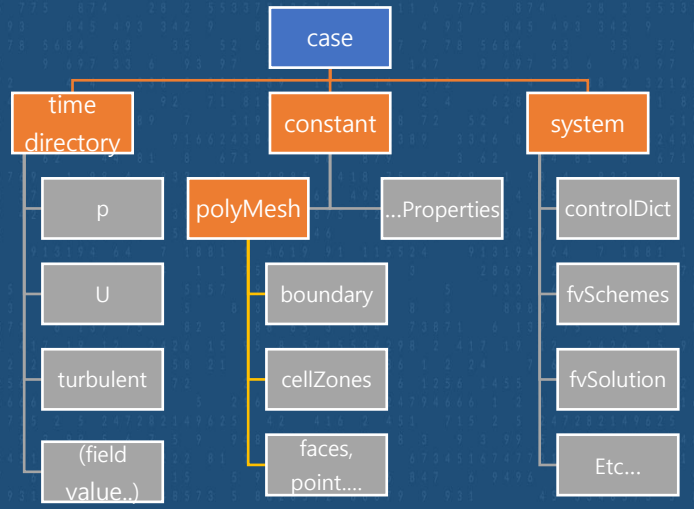
- 솔버 알고리즘 개선
  - ✓ Pressure-velocity coupling 방법 개선
  - ✓ velocity, density interpolation 방법 개선
  - ✓ 운동량보존 방정식의 relaxation factor 의존성 제거
  - ✓ 비정상상태 솔버의 time step 의존성 제거
- Slope limiter 개선
- 압력구배항 이산화 방법 개선
- 난류모델 생성항 선형화 방법 개선
- 압축성 솔버 개발
  - ✓ Density based implicit solver using LU-SGS algorithm
  - ✓ Pressure based solver using flux splitting scheme

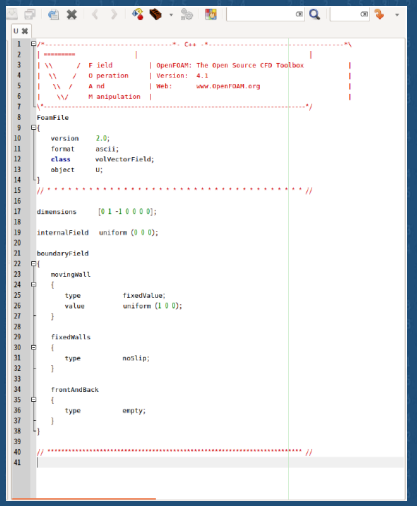


OpenFOAM에 대한 고려 측면

- OpenFOAM의 단점
  - ✓ 높은 진입장벽 – Linux, C++, install, manual
  - ✓ standard solver의 안정성
  - ✓ CLI, TUI 기반 사용자환경
  - ✓ 기술 전문 서비스 부재
  - ✓ 검증자료/벤치마크 부족
  - ✓ 기술문서 부족
  - ✓ 배포 기관의 개발에 대한 명확한 로드맵 부족



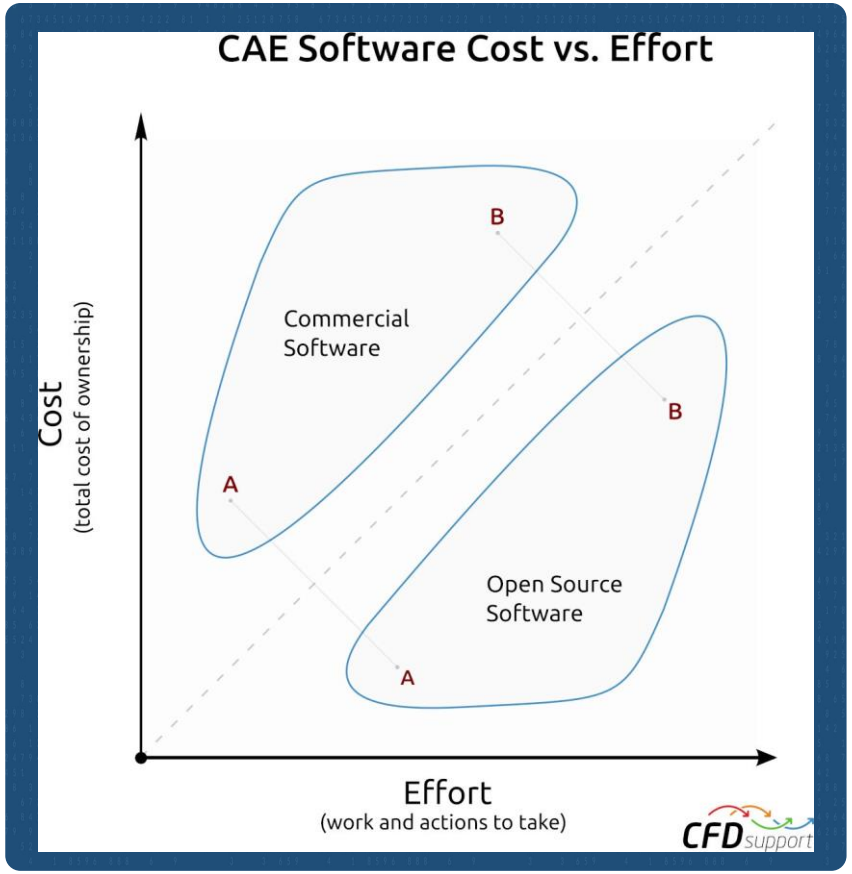




오픈소스 소프트웨어에 대한 생각

- 오픈소스 CAE 프로그램에 다각도 측면 (vs 상용프로그램)
  - ✓ 비용 및 노력
    - 이해, 구현 및 검증에 추가적인 노력 필요
    - 시간과 노력은 피할 수 없고 비율만 선택 가능
  - ✓ 정확성
    - 마찬가지, 엔지니어의 기술 및 경험이 결정
  - ✓ 확장가능성
    - 시뮬레이션 수요 증가로 매력적
  - ✓ 기술요구사항
    - 사용자에 요구되는 수준이 높음
  - ✓ 협업/명확한비전
    - 오픈소스의 장점/단점
  - ✓ vendor lock-in
    - 사용자의 종속성, 기술변경의 위험성/어려움
  - ✓ 목적
    - 정형화된 작업에 최적화, 장기적으로 유리
  - ✓ 대학에서의 역설
    - 상용코드의 저가 공급으로 오히려 사용이 어려움
  - ✓ 기업자산관리
    - 상용코드 의존에 대한 위험성, 오픈소스가 매우 타당

>> 사용자는 비용보다 프로세스 변경을 더 위험하다 생각
코드 공개 자체 보다 사람과 기술이 더 중요
기술의 변화는 빠르고 여기에 오픈소스는 매우 적합



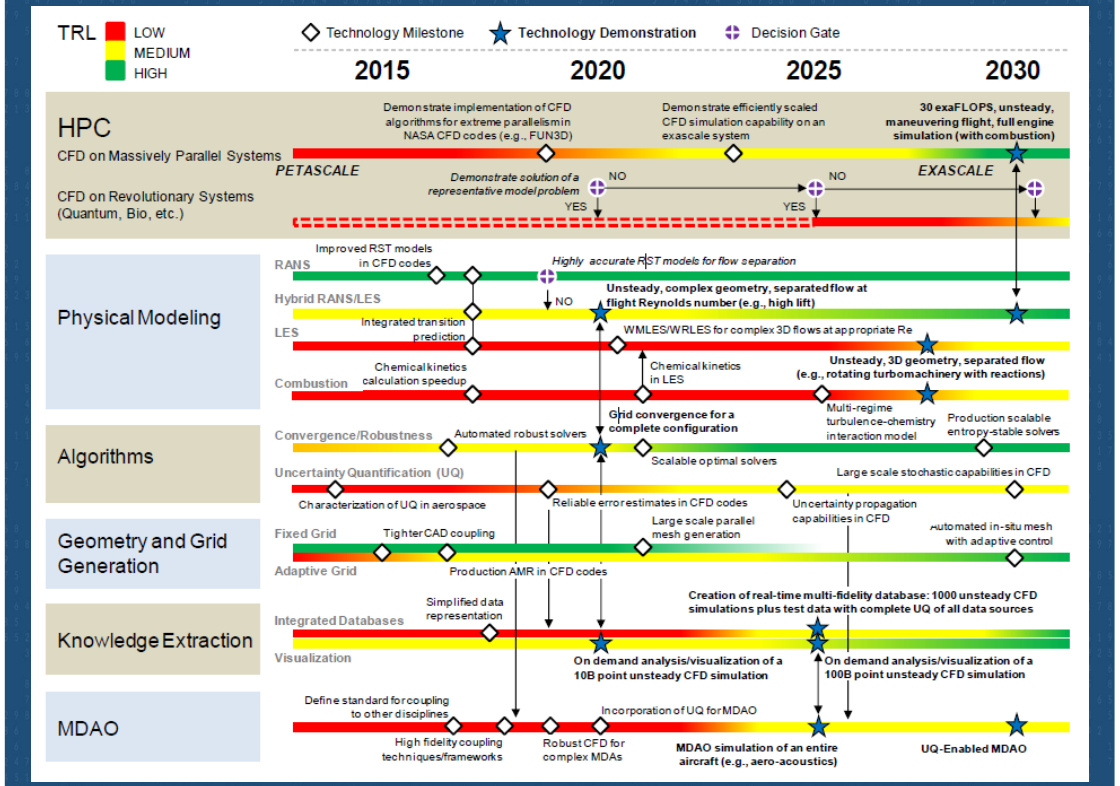
'Various Aspects of Using Open-Source Software in Computer-Aided Engineering – CAE' ,
Lubos pirkl, CFDSUPPORT, (2022)

CFD 최근 연구 방향

- 4차 산업혁명
  - ✓ Digital Transformation, Digital twin, 인공지능, 빅데이터, IoT 기술 부각
  - ✓ CAE에서 실시간 해석 필요, CFD에서 현실적으로 불가능

- CFD
  - ✓ AI, Machine Learing, optimization 통합 연구
    - POD (Proper Orthogonal Decomposition)
    - ROM (Reduce Order Model)
    - PINN (Physics Informed Neral Network)
  - ✓ 자동화
  - ✓ 고도화
    - 난류모델 : LES, DNS
    - 대용량격자, 적응격자
    - multi physics
    - 수치알고리즘
    - 대용량 후처리

>> 점점 더 많은 시뮬레이션 수요로
오픈소스의 활용도/필요성 증가



'Technology Development Roadmap' , CFD Vision 2030 Study, NASA (2014)

Open source와 함께한 10년

- Open source는 분명한 강점을 가지고 있고 또 수요도 있다.
- 산업계에서 너무 서두르고 있지 않나..
  - ✓ 장기적인 투자라고 생각하며 접근 필요
  - ✓ 결국 오픈소스 개발 업체들을 통해 실용화 가속 가능
- 상용프로그램을 대체하기란 현실적으로 쉽지 않다. 서로 공존하는 방향으로 나아가야..
- 개발 인력의 어려움, CFD 엔지니어의 감소
- 회사는 계속 성장, 시장이나 기술의 변화가 큰 애로사항 (DX, AI/ML, GPT)
- 오픈소스를 추구하는 것은 의미 있는 일이라 생각 (오래 일할 수 있지 않을까? 아닐수도..^^)

Supercomputing Everywhere Connected!

KSC2023 & NSC35th Anniversary Conference

COMMUNITY FORUM

공학분야 오픈 소스 소프트웨어 활성화

경청해 주셔서 감사합니다.