

Global Leader

현대중공업 OpenFOAM 활용사례 소개

현대중공업 조선해양사업부 선박해양연구소 김상현 책임연구원



2022. 9. 22



Change Together!
창조적으로 변화하자!

1. 기술 개발 내용

- 수치 공동 수조
- 수치 예인 수조
- 수치 풍동
- Sloshing

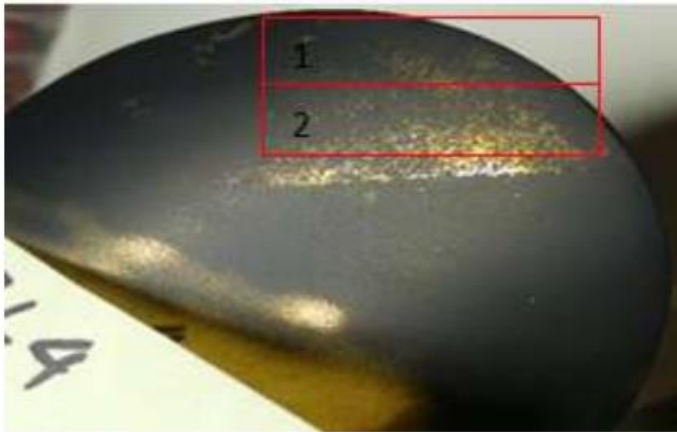
2. 맺음말

■ 배경

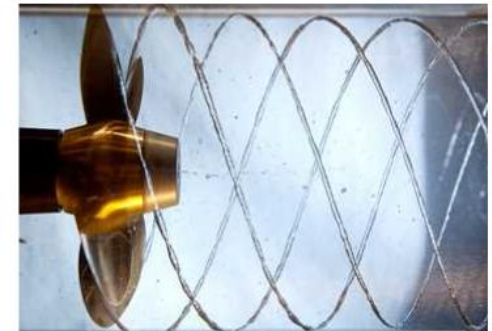
- 추진기 공동 현상 저감을 위해 상용 S/W 활용 중
- 공동 현상 예측에는 많은 전산자원/해석시간이 필요하여, 단기간 상용 S/W 사용량이 급등함
- 당사 설계/해석에 특화된 오픈소스기반 S/W 보유 필요성 증가

■ 개발 목표

- 에너지 절감 장치로 인한 유동 교란을 고려한 고정도 유동장 해석
- 실제 설계단계에서 활용할 수 있는 해석 안정성/효율성 확보



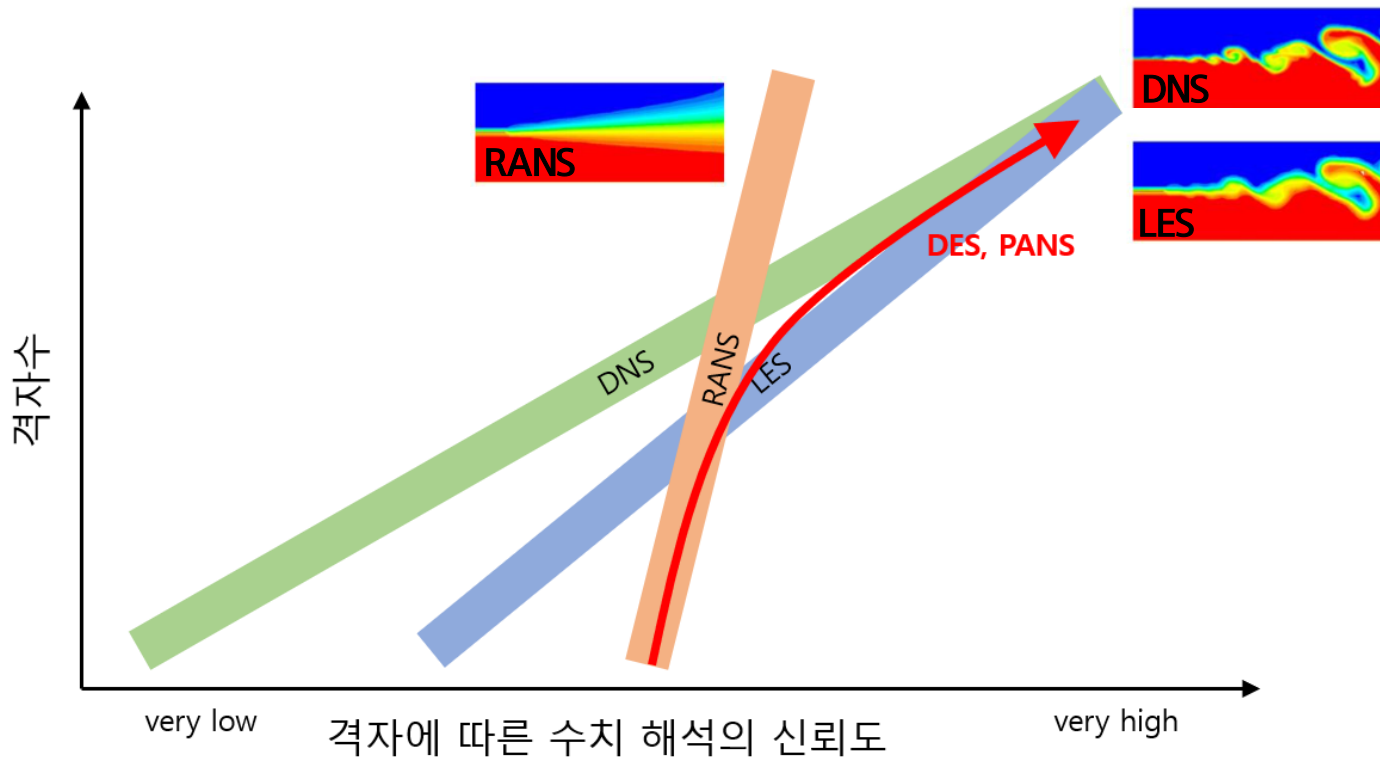
공동현상에 의한 추진기 손상 사례



공동 관측 모형시험

■ Hybrid turbulent model

- 에너지 절감 장치에 의한 유동 교란을 예측할 수 있는 고정도 해석 기법 필요
- RANS → 정확도에 한계가 존재 / LES → 실용성이 다소 떨어짐
- RANS와 LES의 장점을 가진 하이브리드 형태의 난류 모델이 필요
- 사용자의 선택을 통해, 영역별로 RANS와 LES 설정할 수 있는 형태의 하이브리드 난류 모델 개발



■ 지배방정식

• RANS

$$\rho \frac{\partial u_i}{\partial t} + \rho \frac{\partial u_i u_j}{\partial x_j} = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3} \delta_{ij} \frac{\partial u_k}{\partial x_k} \right) \right] - \frac{\partial}{\partial x_j} \tau_{ij}^{RANS}$$

$\tau_{ij}^{RANS} = \rho \overline{u'_i u'_j}$

• LES

$$\rho \frac{\partial \tilde{u}_i}{\partial t} + \rho \frac{\partial \tilde{u}_i \tilde{u}_j}{\partial x_j} = -\frac{\partial \tilde{p}}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \left(\frac{\partial \tilde{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \tilde{u}_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3} \delta_{ij} \frac{\partial \tilde{u}_k}{\partial x_k} \right) \right] - \frac{\partial}{\partial x_j} \tau_{ij}^{LES}$$

$\tau_{ij}^{LES} = \rho (\tilde{u}_i \tilde{u}_j - \tilde{u}_i \tilde{u}_j)$

• Stress항을 Boussinesq 가정을 통해 정리하면, 속도 구배와 난류 점성을 통해 해석 가능

$$\tau_{ij}^{RANS} = -\mu_t \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) + \frac{2}{3} \left(\rho k + \mu_t \frac{\partial u_k}{\partial x_k} \right) \delta_{ij}$$

$$\tau_{ij}^{LES} = -\mu_t \left(\frac{\partial \tilde{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \tilde{u}_j}{\partial x_i} \right) + \frac{1}{3} \mu_t \frac{\partial \tilde{u}_k}{\partial x_k} \delta_{ij}$$

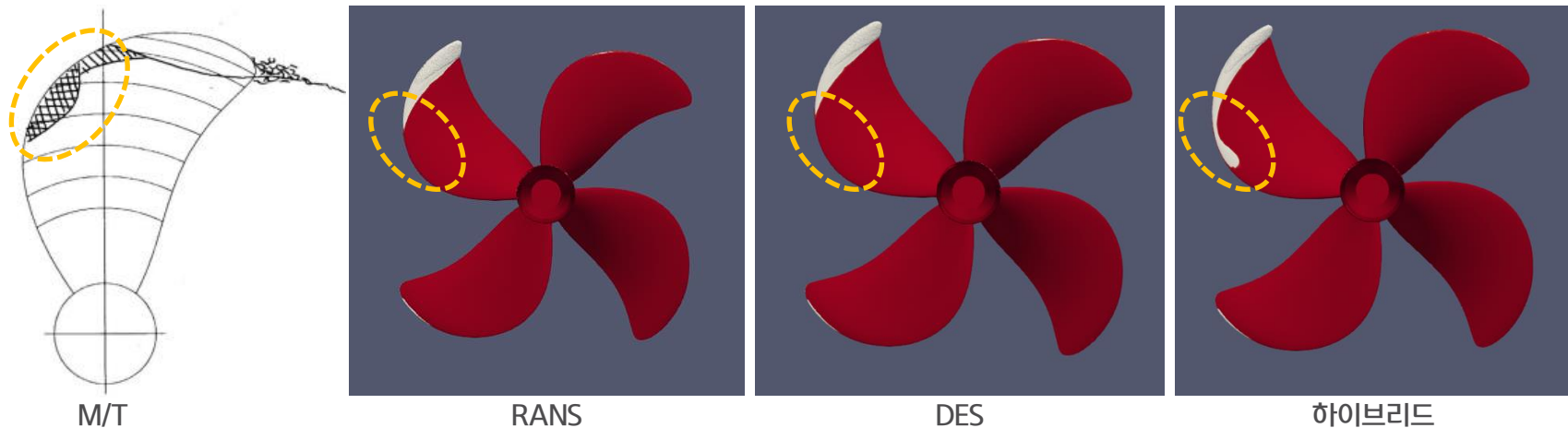
• RANS와 LES를 각 각 해석하고, 두 해석 결과를 blend weighting factor (ω)를 통해 결합

- ω 의 분포는 사용자가 영역별로 직접 선택 (ex. 선체 부근 $\rightarrow \omega = 0$, 추진기 부근 $\rightarrow \omega = 1$)

$$\tau_{ij}^{hybrid} = \omega \tau_{ij}^{LES} + (1 - \omega) \tau_{ij}^{RANS} \quad 0 \leq \omega \leq 1$$

■ 국부적인 캐비테이션 예측 가능성 검토

- 개발선 모형시험 결과, 추진기 앞전에서 국부적/간헐적 캐비테이션 발생 확인
- 동일한 조건 ($K_t = 0.182$, $\sigma = 1.58$)에서 서로 다른 세 종류의 수치해석 수행
 - RANS / DES / 하이브리드 (동일 해석 격자 사용, abt. 10 mil. mesh)
- RANS와 DES는 국부적 캐비테이션을 예측하지 못하였으나, 하이브리드에서는 예측 가능 확인



- 추진기 형상 및 Loading 변화에 따른 캐비테이션 패턴 변화 검증 완
- 실 설계 적용 검토 중

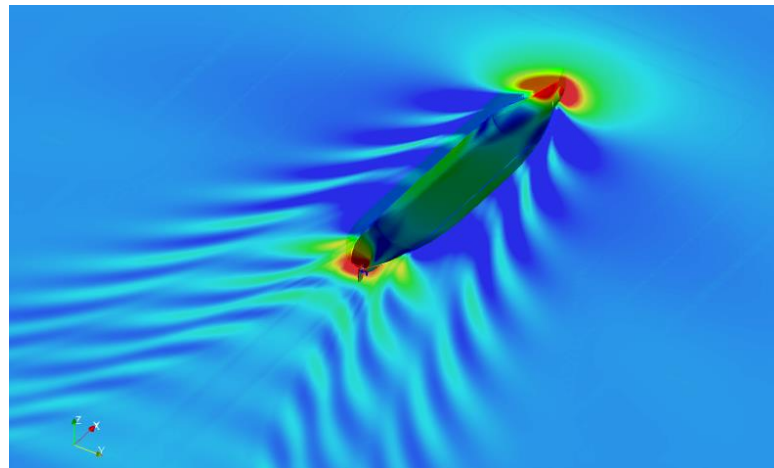
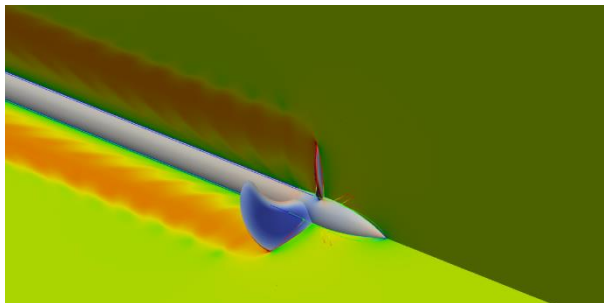
기술개발사례 - 수치 예인수조 개발 (1/5)

■ 배경

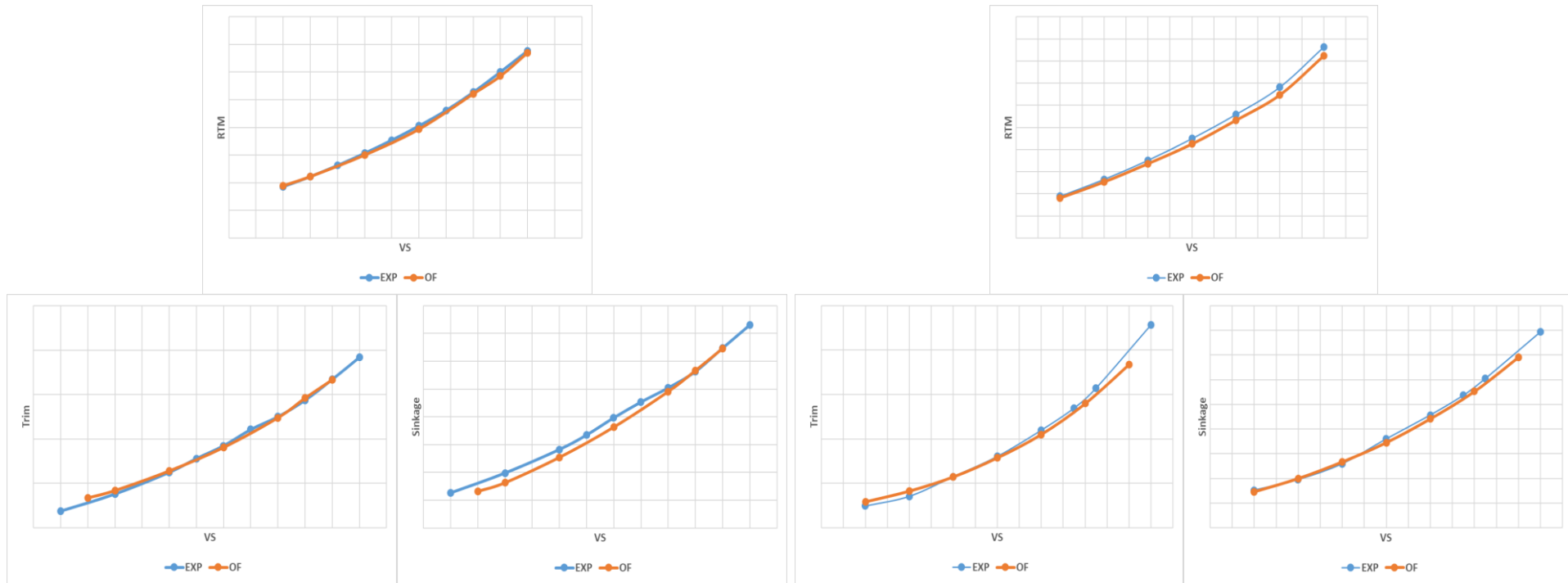
- 당사 보유 대용량 전산 자원(45,000 core)으로 인해 상용 S/W 사용량 및 라이선스 비용 증가 예상됨
- 당사 설계/해석에 특화된 오픈소스기반 S/W 보유 필요성 증가
- 대용량 전산을 활용한 고정밀 수치해석 개발 및 모형 시험 일부 대체 목표

■ 개발 항목

- Resistance simulation with dynamic trim/sinkage/inclined wave (abt. 15 million mesh)
- Propeller open water simulation (abt. 8 million mesh)
- Self-propulsion simulation with dynamic trim/sinkage (abt. 20 million mesh)

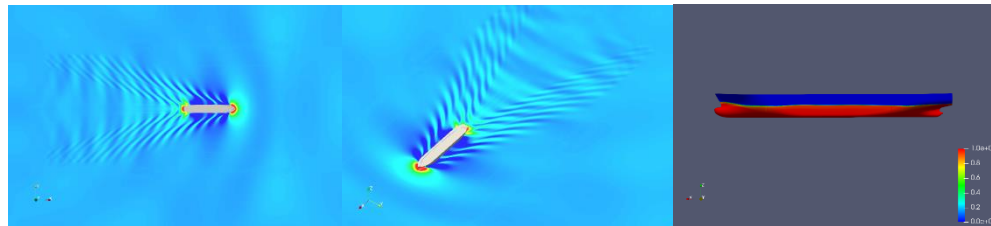


Resistance simulation



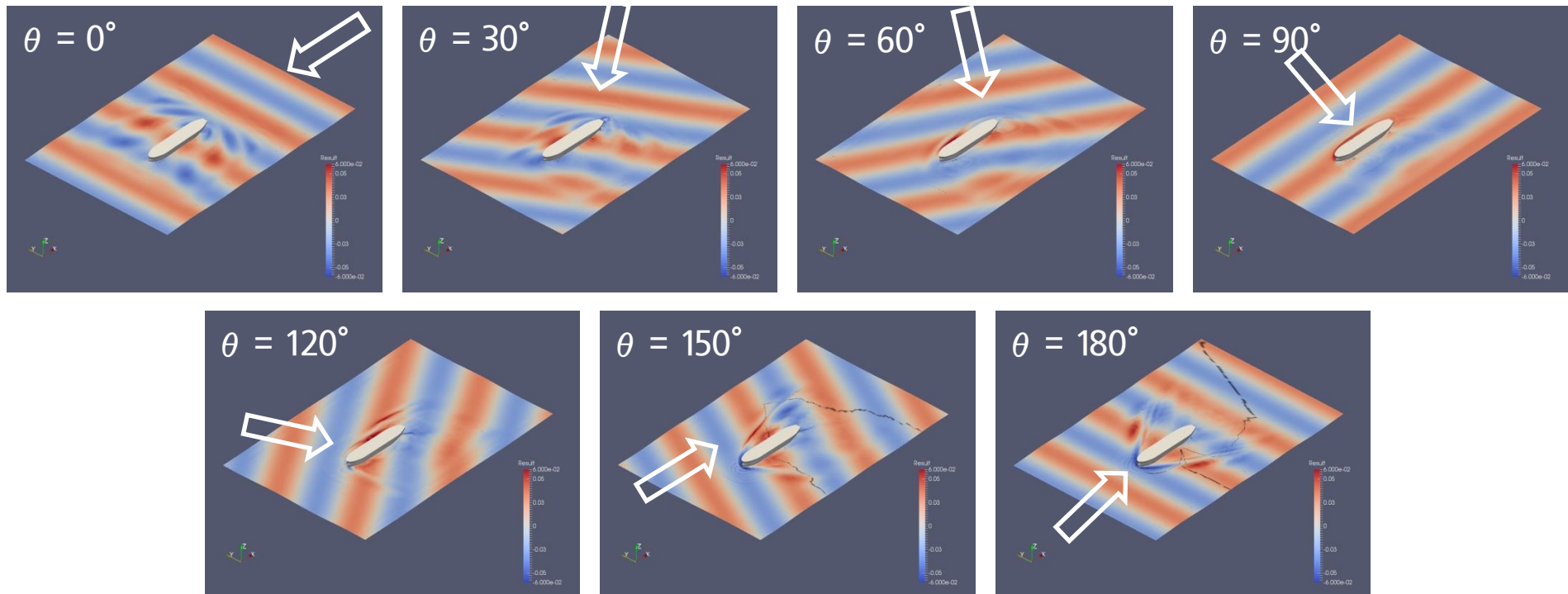
Test vessel A

Test vessel B



기술개발사례 - 수치 예인수조 개발 (3/5)

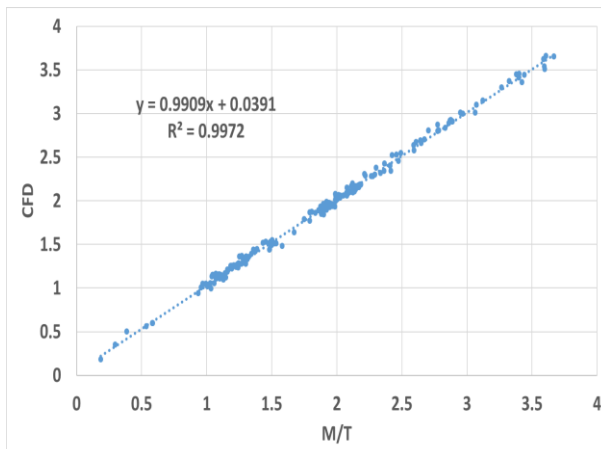
- Added resistance due to waves
 - 선수파 뿐 아니라, 측면/후면파에 대한 영향 검토
 - Regular wave generation + 6 D.o.F



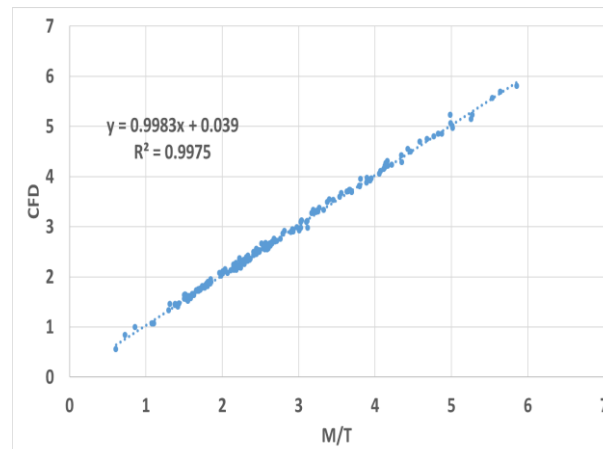
부가저항 해석 예시

기술개발사례 - 수치 예인수조 개발 (4/5)

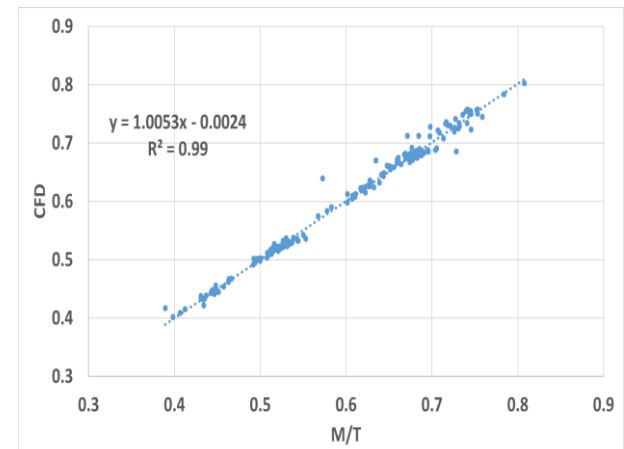
- Propeller open water simulation
 - Abt. 80 propellers x 3 advance ration
 - Ship type : VLCC, LNGC, CNTR, COC, VLEC, LPGC, PCTC



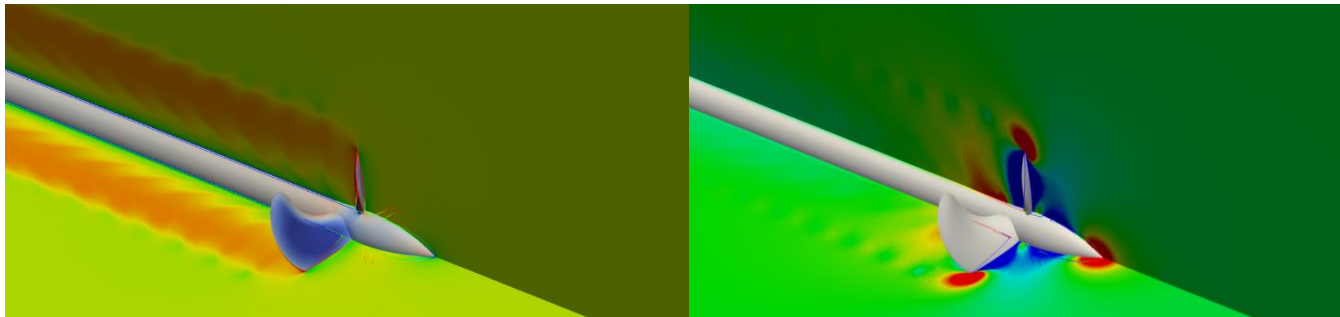
10KT



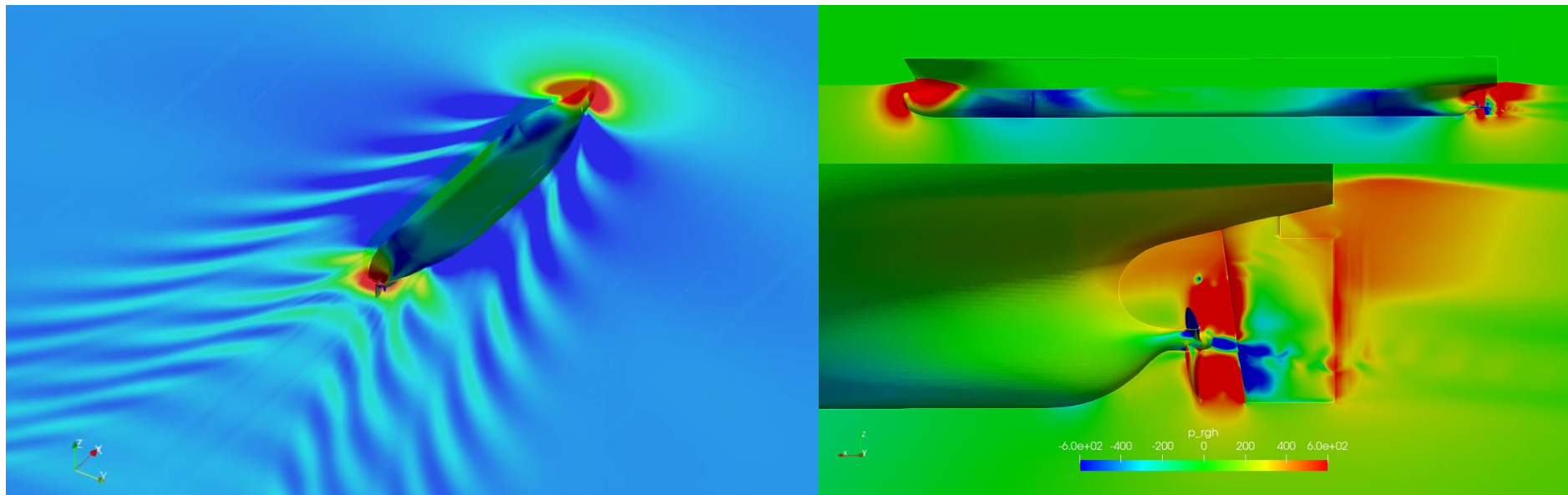
100KQ



EtaO



- Self-propulsion simulation
 - Considering free surface & heave/pitch motion
 - Abt. 3 % error bound for Thrust, Torque



- Evaluation of reference (Vref) for EEXI regulation by CFD
 - Resistance / POW / Self-propulsion simulations → Evaluation of speed-power curve

■ 배경

- 나날이 강화되고 있는 환경규제로 인해 **현실적인 연비 성능을 평가하는 기술의 중요성이 커지고 있음**
 - 현실적인 연비 성능을 평가하기 위해서 **실제 운항 항로에서 선박에 작용하는 부가저항을 고려해야 됨**
 - 대표적인 부가저항으로는 **파도, 바람, 조류** 등이 있음
 - 바람에 의한 부가저항(풍저항)을 감소를 통해 연비를 향상하고자 하는 시도들이 종종 있었음
- **풍저항 감소를 현실적으로 평가하기 위해 아래 2가지가 필요함**
 - 주어진 바람 세기 및 방향에서 **풍저항을 정확하게 계산**할 수 있어야 함
 - **실제 운항 항로에서의 바람 세기 및 방향에 대한 정보**

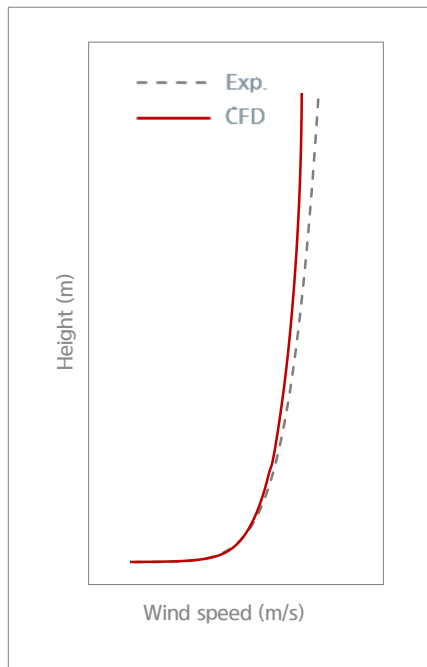
■ 개발 목표

- 정확한 풍저항 계산을 위해서 **OpenFOAM을 활용하여 수치풍동 구축**
- **실제 운항 항로에 따른 풍저항 도출 시스템 구축**

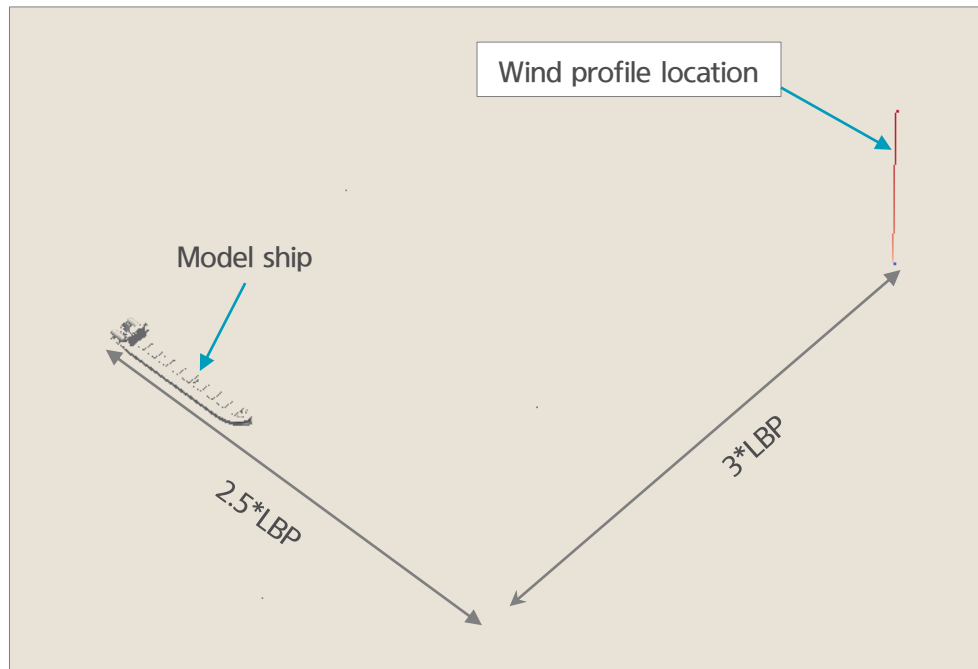
■ 검증

• 해상 풍 profile 모사

- 풍동시험 시, **현실적인 풍저항 계수를** 예측하기 위해 **해상 풍(sea wind profile)**을 모사하여 시험 진행함
- 수치풍동의 검증을 위해서 풍동시험에 사용 된 해상 풍 profile과 동일한 profile을 모사하는 것이 필수
- 아래 그래프는 해석에서 측정된 sea wind profile과 풍동시험에서 사용된 profile을 비교한 그래프
→ 시험 오차 평균 약 1.5%



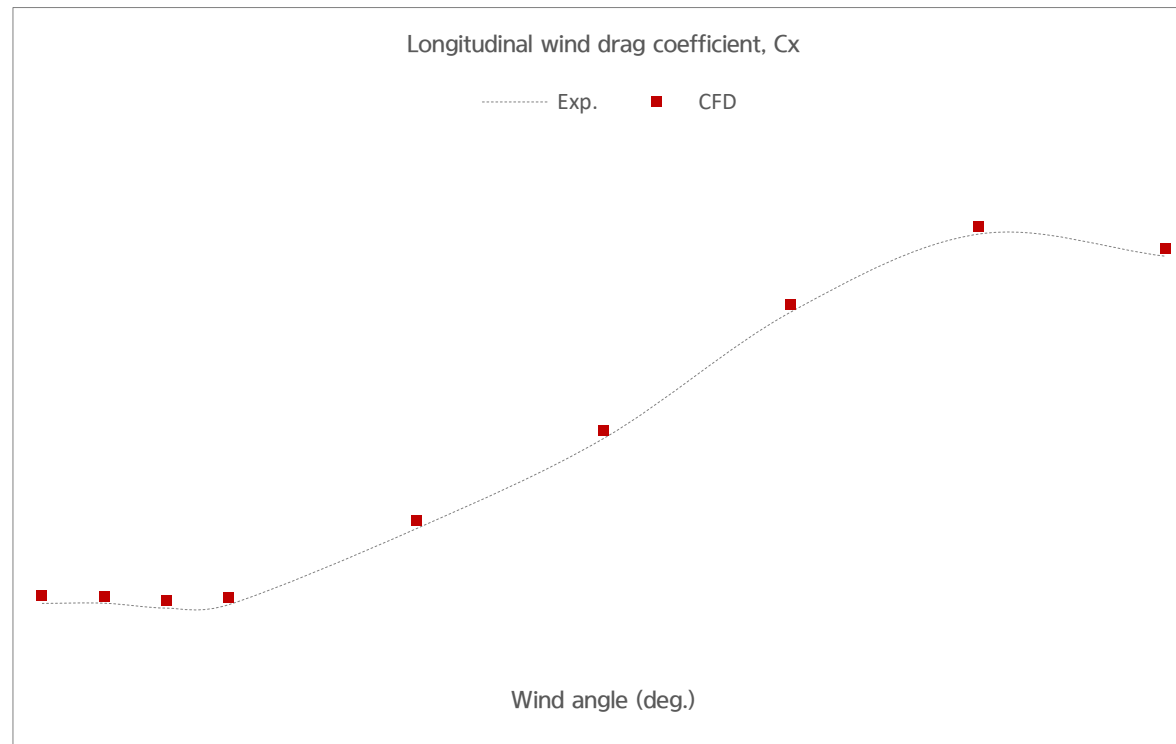
Wind profile 비교



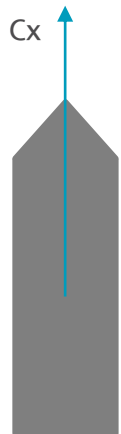
수치풍동에서 wind profile 계측 위치

기술개발사례 - 수치 풍동 개발 (3/3)

- 진행방향 풍저항 계수(C_x) 비교 결과
 - 수치풍동 결과를 풍동시험 결과와 비교했을 때, 최대 오차율 약 5%
 - 아래 그래프는 최대 오차가 발생하는 선박의 진행방향 풍저항 계수(C_x) 결과

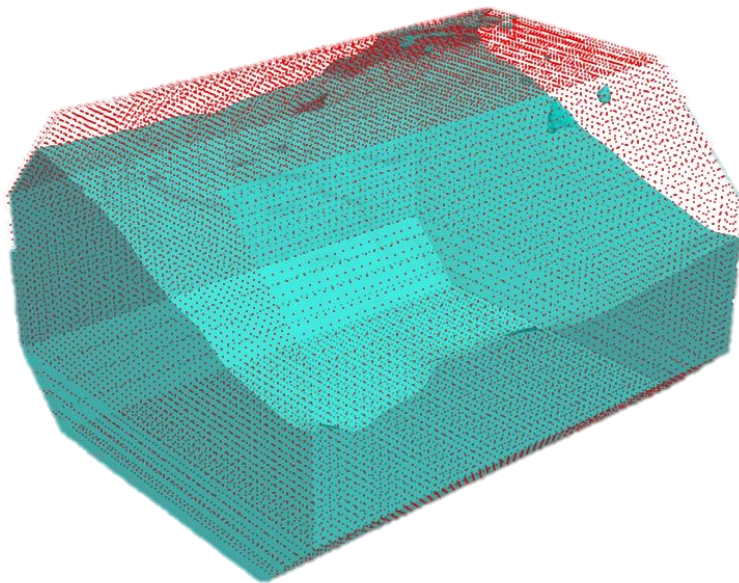


진행방향 풍저항 계수 결과

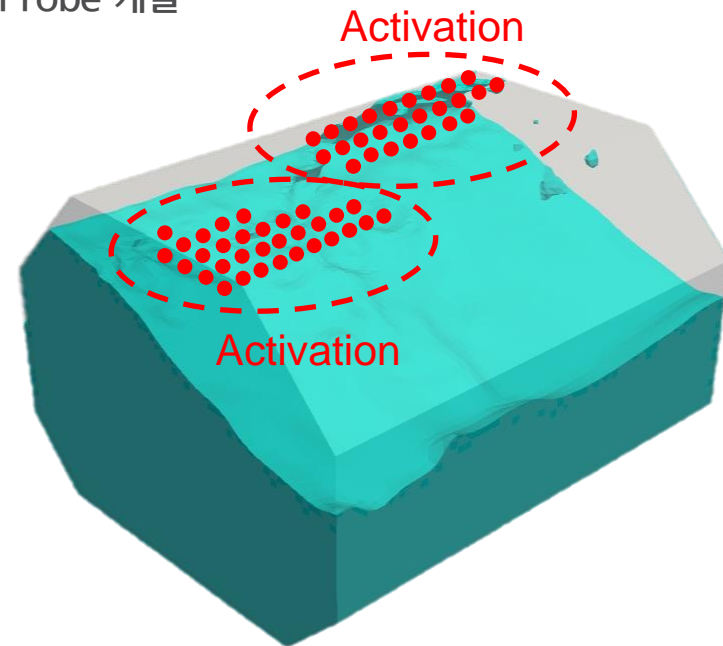


기술개발사례 - Sloshing (1/2)

- 배경
 - 극저온 유체 화물창 설계 및 안정성 평가 기술 개발
- 개발 항목
 - 실시간 sloshing event detecting 위한 ghostProbe 개발



Fixed Pressure Probes



ghostProbes

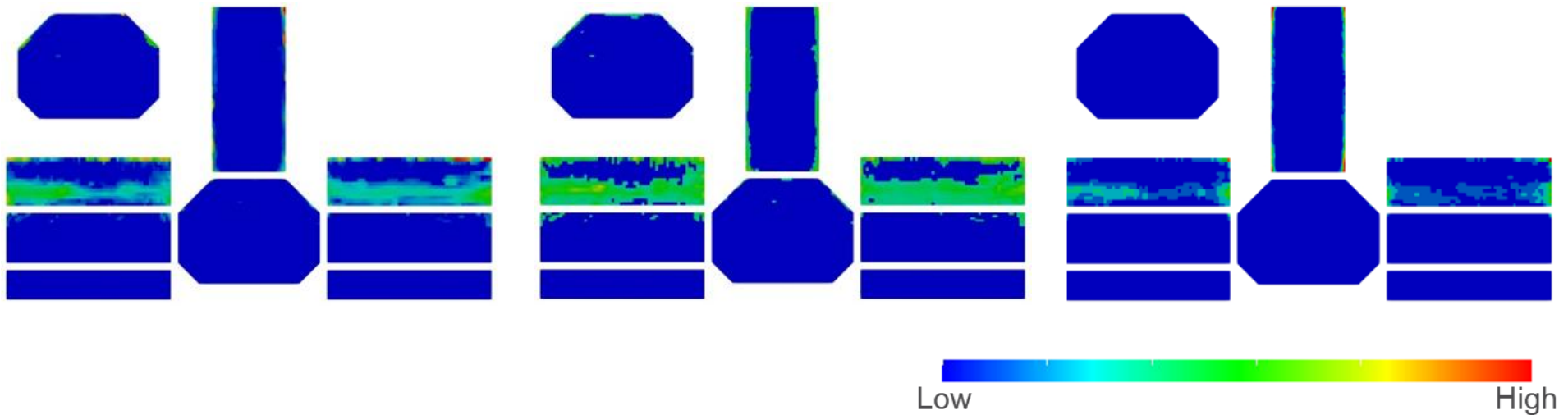
기술개발사례 - Sloshing (2/2)

- Maximum Envelope of 3hours Irregular Motion
 - $V = half / H_s = 15.6m / T_z = 11.5s / Hdg = 210deg$

Pressure

Impact Velocity

Number of Impacts



- 오픈소스 기반 S/W의 발전은 시대적 흐름이며, 산업계에서도 점차 도입 중
- 당사 유동해석 분야에도 OpenFOAM 활용 사례 증가 중
- 목적에 맞는 요소 기술 개발(자체 or 외부기관 과제) 후 실 업무 적용
- 기존 상용 S/W 사용자에게겐 여전히 진입장벽 존재 (Linux, GUI)
- 저변 확대를 위해서는 편의성/확장성에 대한 고려 필요

감사합니다