



2023

EEXI 대표선속(V_{ref}) 도출을 위한 수치계산 지침서

GL-0035-K

한 국 선 급

Disclaimer :

Although all possible efforts have been made to ensure correctness and completeness of the contents contained in this guidelines, the Korean Register is not responsible for any errors or omissions made herein, nor held liable for any actions taken by any party as a result of information retrieved from this guidelines.

These guidelines are non-mandatory, but are intended to provide practical technical materials to ship owners, ship operators, shipyards, designers and manufacturers. It might be amended periodically or upgraded to rules and guidances as future technology develops and matures.

“EEXI 대표선속(V_{ref}) 도출을 위한 수치계산 지침서”의 적용

1. 별도의 규정이 없는 한, 이 지침서는 2023년 2월 1일 이후 승인 요청되는 수치계산 보고서에 적용한다.

차 례

제 1 장 일반사항	1
제 1 절 배경	1
제 2 절 적용	1
제 3 절 참고 문서	1
제 4 절 용어의 정의	2
제 2 장 수치계산 방법론	3
제 1 절 일반사항	3
제 2 절 수치계산 절차	3
제 3 절 세부 옵션	4
제 3 장 수치계산 모델링	8
제 1 절 일반사항	8
제 2 절 해석 스케일	8
제 3 절 수치 모델링 요건	8
제 4 장 에너지효율기술	12
제 1 절 일반사항	12
제 2 절 해석요건	12
제 5 장 프로펠러 단독성능 해석	15
제 1 절 일반사항	15
제 2 절 해석요건	15
제 6 장 선급 검증	16
제 1 절 일반사항	16
제 2 절 보고서 요건	16
부록 1 보고서 견본	20

제 1 장 일반사항

제 1 절 배경

101. 배경

1. IMO(International Maritime Organization, IMO) MEPC(Marine Environment Protection Committee, MEPC) 78차 회의에서 결의된 EEXI(Energy Efficiency eXisting ship Index, 이하 EEXI)관련 Resolution MEPC.350(78)과 MEPC.351(78)는 EEXI 대표선속(V_{ref})을 도출하는 하나의 방법으로 수치계산(numerical calculations)을 허용하였다. 이 지침서는 수치계산을 사용하여 EEXI 대표선속(V_{ref})을 도출하는 방법론을 제공하기 위해 개발되었다.
2. 이 지침서는 IACS(International Association of Classification Societies, IACS)에 의해 개발된 IACS Recommendation No.173을 대부분 준용하였으며 일부 요건은 문구 해석의 명확성 제고를 위해 우리 선급의 재량에 따라 추가/조정 되었다.

제 2 절 적용

201. 일반사항

1. 이 지침서에서 제시하는 CFD 해석 방법 및 절차는 다음과 같다.(세부사항 2장 참조)
 - (1) 1 단계: 자격의 증명
 - (2) 2 단계: 검증/교정
 - (3) 3 단계: 계산
2. CFD 해석 방법은 크게 다음 시나리오에 적용할 수 있다.
 - (1) 선박이 개조되지 않은 경우, EEDI/EEXI 함수에서 새로운 선속-동력 곡선(speed versus power curve)을 도출해야 하는 경우
 - (2) 선박이 개조된 경우, 개조된 선박의 EEDI/EEXI 함수에서 새로운 선속-동력 곡선(speed versus power curve)을 도출해야 하는 경우, 본 절 201.의 2단계 CFD 해석 결과에 대한 검증/교정은 개조 전 선체의 모형 시험 또는 시운전 결과를 활용하여 수행되고 201.의 3단계는 개조된 선체에 대해 수행되어야 한다.

제 3 절 참고 문서

301. 참고해야할 ITTC(International Towing Tank Conference, ITTC)문서

수치 계산을 수행할 때는 다음의 지침서를 가능한 준수하고 참조해야 한다. 다만, 이 지침서에서 별도로 정하거나 선급에서 인정하는 경우 다음의 지침서에서 정하는 사항과 달리 할 수 있다.

- (1) ITTC 7.5-03-01-02, Rev.02, 2021
- (2) ITTC 7.5-03-01-04, Rev.00, 1999 ¹⁾
- (3) ITTC 7.5-03-03-01, Rev.00, 2014

¹⁾ ITTC 웹사이트는 ITTC 7.5-03-01-04, Rev.00, 1999 문서를 삭제하였지만, 본 지침서에서는 Resolution MEPC.351(78)에 따라 그대로 참조한다.

제 4 절 용어의 정의

401. 주요 용어의 정의

이 지침서에서 사용 되는 주요 용어의 정의는 다음과 같다.

1. **수치계산(numerical calculations)**: 컴퓨터를 이용하여 점성과 자유수면을 고려하며, 적어도 지배방정식이 Reynolds-Averaged Navier-Stokes equations을 지배방정식으로 구현하는 전산유체역학(CFD) 솔버/소프트웨어를 통해 Navier-Stokes equations의 해를 구하는 것을 의미한다.
2. **대상선박(target ship)**: EEXI 승인을 위해 대표선속(V_{ref})을 구하고자 하는 선박을 의미한다.
3. **모선(parent hull)**: CFD 계산을 위한 시리즈 선박들의 최초 선박(선형)이다. 원칙적으로, 모선의 모형시험 자료를 활용하기 위해서는 대상선박에 어떠한 형상변화도 없어야 하지만, 선박의 속도 성능에 영향을 미치지 않는다고 우리 선급이 인정하는 경우에 한하여 선체 부가물의 모양은 변경 가능하다.
4. **유사선박(similar ship)**: 유사선형²⁾을 갖는 선박으로써, 동일한 수의 축과 프로펠러, 수선간길이(LBP), 최대 하기만재흘수에서의 방형 계수(C_b)와 배수량이 대상선박 대비 $\pm 5\%$ 이내의 값을 갖아야 하고, 선수벌브 형상(예, conventional bulbous bow, integrated bulbous bow, straight bow 등)과 선미형상(예, wetted transom, cruise transom 등) 그리고 부가물(EET 포함) 등이 대상선박 대비 유사 조건과 형상을 갖고 있어야 한다.
대상선박에 대한 EEDI/EEXI 대표선속, V_{ref} 를 구하기 위한 본 CFD해석을 수행하기 전에 CFD 해석 결과를 검증(validation)/교정(calibration) 목적으로 사용할 수 있는 유사조건의 선박을 의미하고 대상선박의 모선(parent hull)과 동등한 효력을 갖는 것으로 인정한다.
5. **대체가능선박군(set of comparable ships)**: 4. 유사선박의 정의와 거의 일치하나, 수선간길이(LBP), 최대 하기만재흘수에서의 방형 계수(C_b)와 배수량이 대상선박 대비 $\pm 5\%$ 이내의 값을 요구하는 조건이 삭제되고, 이 외 모든 요건이 4. 유사선박과 동일하다.
6. **교정계수(calibration factor)**: 해상 시운전 그리고/또는 모형시험으로 얻어진 전달동력과 수치계산(실선의 성능 예측을 위해 최종 후처리를 마친 상태)으로부터 얻어진 전달동력 사이의 비교를 통해 얻어진 비율(ratio)로 결정된다. 교정계수는 해상 시운전 그리고/또는 모형시험과 수치계산에서 평가된 동력설정 값들의 비교를 통해 얻어진 비율의 평균으로 계산하거나 또는 각각의 평가된 동력 설정 값에서 별도의 값으로 계산할 수 있다. ⚓

²⁾ 유사선형의 의미는 선종이 다르더라도 다음과 같은 경우에 우리 선급의 재량에 따라 동일한 선박 유형으로 간주할 수 있다. 예를 들어, RO-RO Cargo Carrier, RO-RO Passenger Carrier, 그리고 RO-RO Cargo passenger carrier는 선종은 다르지만 선형이 유사한 것으로 간주될 수 있다. 또한, 이와 유사한 적용을 위해 선종변경 선박의 경우에도 변경 전 원래 선종 유형을 참조하여 상기 완화조건을 우리 선급 재량에 따라 동일하게 적용할 수 있다.

제 2 장 수치계산 방법론

제 1 절 일반사항

Resolution MEPC.351(78)에 따라 수치계산은 모형시험의 보완 또는 대체수단으로 사용할 수 있다. 그럼에도 불구하고 사용된 수치계산 방법과 수치계산 모델은 모선의 해상 시운전 그리고/또는 모형시험을 이용하여 검증/교정이 필요하고 선급의 승인을 받을 필요가 있다. 수치계산 결과에 대해 선급승인을 받고자 하는 조직(이하 제출자)은 다음과 같은 절차를 따라야 한다.

제 2 절 수치계산 절차

201. 1단계: 자격의 증명(Demonstration of qualifications)

1. 제출자는 CFD 해석을 수행할 수 있는 능력을 입증해야 한다.
2. 이 때 ITTC 7.5-03-01-02, Rev.02, 2021(Resolution MEPC.351(78)참조)에 기술된 자격조건 검증 절차를 참조하거나 별도 우리 선급이 인정하는 대체 방법을 택할 수 있다.
3. 자격조건 검증에 사용될 선박은 이 지침서 1장 4절 401.에 정의된 대체가능선박군에 해당하는 KCS, KVLCC1, KVLCC2, KLNG, JBC, DTC 등과 같은 공개된 선형 및 모형시험 또는 실적선의 모형시험 그리고/또는 시운전 자료를 사용할 수 있다.

202. 2단계: 검증/교정(Validation/Calibration)

1. 모형시험 또는 해상 시운전 결과가 있을 경우 사용되는 수치모델은 대상선박(또는 모선)에 의해 교정되어야 한다.
2. 교정이란 목표 값(해상 시운전 또는 모형시험)과 CFD 해석을 통해 얻어진 값 사이의 비율을 찾는 절차이다. 모형시험 그리고/또는 해상 시운전 상황을 CFD 해석에서 완벽히 구현하는 것은 불가능하기 때문에 수치계산에서 얻은 결과는 모형시험 또는 해상 시운전 결과를 기준으로 교정을 수행해야 한다.
3. 교정은 CFD 해석 결과가 완전히 후처리된 후에 실시해야 하고, 만일 모형스케일에서 CFD 해석을 수행 했다면 ITTC 1978(ITTC 7.5-02-03-01.4 또는 가장 최신 버전) 절차에 따라 스케일링(또는 IACS PR38 Rev.03에서 허용하는 대체방법을 따름)을 수행해야 하며 이 때 거칠기와 부가물 영향이 포함되어야 한다.
4. 만일, 대상선박(또는 모선)의 모형시험 또는/그리고 해상 시운전 결과가 존재하지 않는다면 유사선박 또는 대체가능선박군을 이용하여 교정을 수행할 수 있으며, 최종 검증은 모형크기(model scale) 또는 실선크기(full scale) 기반 CFD 해석에서 수행할 수 있다.
5. 검증/교정을 위한 수치계산은 모형크기 또는 실선크기에서 수행할 수 있으며, 이는 Resolution MEPC.351(78)의 부록 2.3에 나와 있는 문구를 참조한다. Resolution에서 언급된 검증(Validation)과 교정(Calibration)은 유사한 의미를 갖는 것으로 간주한다. 이 지침서에서는 제출자의 수치모델을 검증하기 위해 교정계수의 허용치(thresholds)를 엄격하게 제한한다.

203. 3단계: 계산(Calculation)

1. 최종 목적은 대상선박의 EEXI 계산을 위한 대표선속(Vref) 도출을 위해 선속-동력 곡선(speed versus power curve)을 산출하는 것이다.
2. 대상선박의 수치계산을 위해서는 이 지침서 2장 2절 202.에서 사용했던 동일한 수치계산 절차와 수치 세트업(numerical set-up)을 적용해야하고, 최종적으로 2장 2절 202. 2단계에서 얻어진 교정계수(calibration factor)를 대상선박에 적용한다.
3. 2장 2절 202. 2단계와 2장 2절 203. 3단계를 바탕으로 사용될 수 있는 3가지 방법은 그림 2.1 및 3절과 같다.

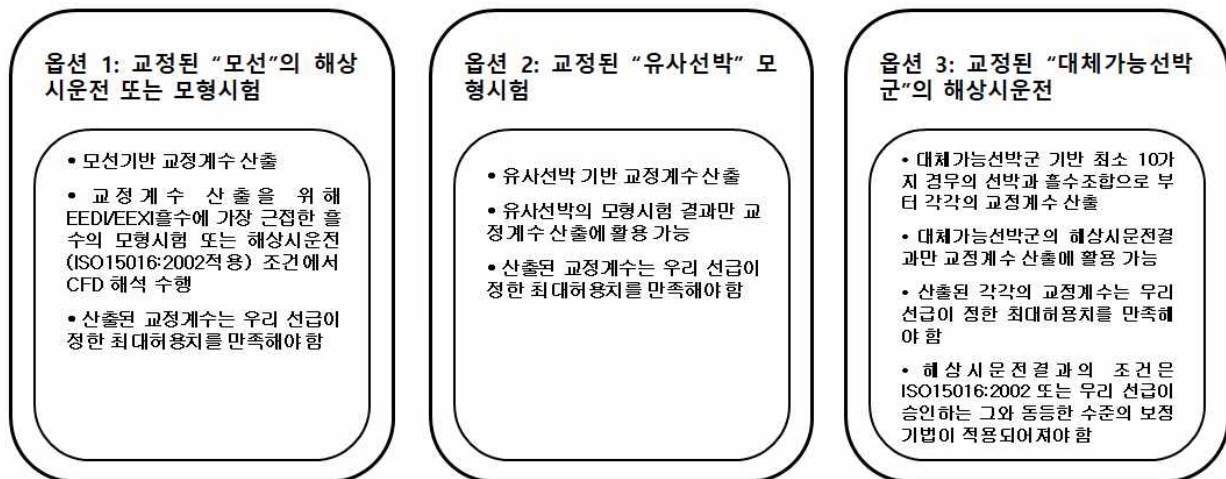


그림 2.1 교정계수 산출 및 CFD 검증을 위한 3가지 방법

제 3 절 세부 옵션

301. 옵션 1: “모션”의 해상 시운전 또는 모형시험 결과 사용을 통한 CFD 교정

1. 옵션 1은 모션의 EEXI 홀수가 아닌 다른 홀수에서의 해상 시운전 또는 모형시험 결과를 이용할 수 있으며, EEXI 홀수와 가장 가까운 홀수의 결과를 통해서 교정계수를 구하는데 사용해야 한다.
2. 해상 시운전 결과의 경우 모형시험 결과와 해상 시운전 결과의 비교분석을 통해 밸러스트 홀수(ballast draft)의 해상 시운전 조건에서 만재 홀수(laden draft) 조건으로 스케일링(scaling) 된 결과를 사용할 수 있다. 이때 해상 시운전 결과는 ISO15016:2002에 따라 보정된 결과를 사용해야 하며, 만일 다른 방법으로 인해 해상 시운전 결과를 보정했을 경우 우리 선급의 사전 승인을 받아야 한다.
3. 수치계산에 일반적으로 직접 포함되지 않는 요소들(예, 부가물, 거칠기, 공기저항 등)은 후처리 단계에서 그 영향성을 반영하여 최종 예측 전달동력을 계산한다.
4. 만일 모형크기(model scale)에서 수치계산을 수행할 경우, 결과는 수조들에서 흔히 사용하는 ITTC 1978방법 (또는 IACS PR38 Rev.03에서 허용하는 대체방법을 따름)에 따라 실선의 성능을 추정해야 하며 해당 선박의 모형시험을 수행했던 수조에서 사용한 방법론(Ca, ITTC 절차, 부가물 영향 고려 등)을 동일하게 적용하여야 한다.
5. CFD를 통한 예측 동력은 해상 시운전 또는 모형시험 결과와 비교하여 교정계수(calibration factor)를 산출할 수 있다.
6. 교정계수 산출 후 새로운 CFD 시뮬레이션이 EEDI/EEXI 홀수에서 최종 수행되며, 새로운 구성(예, 선수벌브 개조, 새로운 프로펠러 등)이 적용될 수 있으며, 동일한 후처리가 적용되며, 앞서 계산된 교정계수는 EEDI/EEXI 홀수 수치계산에서 얻어진 CFD 예측 동력에 곱하여 EEXI 대표선속(Vref)을 도출을 위한 선속-동력 곡선(speed versus power curve)을 최종 산출하는데 사용된다.
7. 교정계수가 만약 0.95~1.05 사이의 값이 도출되었을 경우 바로 다음 단계로 넘어갈 수 있고, 만약 이를 벗어날 경우 문서로써 충분한 검증과 함께 우리 선급에 승인을 득해야 한다. 단, 우리 선급이 허용하는 교정계수 범위는 0.9~1.1 이다.
8. 상기 절차는 조선소에서 밸러스트 홀수에서의 해상 시운전결과에 밸러스트 홀수에서의 모형시험 결과를 반영/교정하여 최대 하기만재홀수에서의 선속을 예측하는 동일한 논리이다.
9. 옵션 1의 절차를 정리하면 다음의 그림 2.2와 같다.

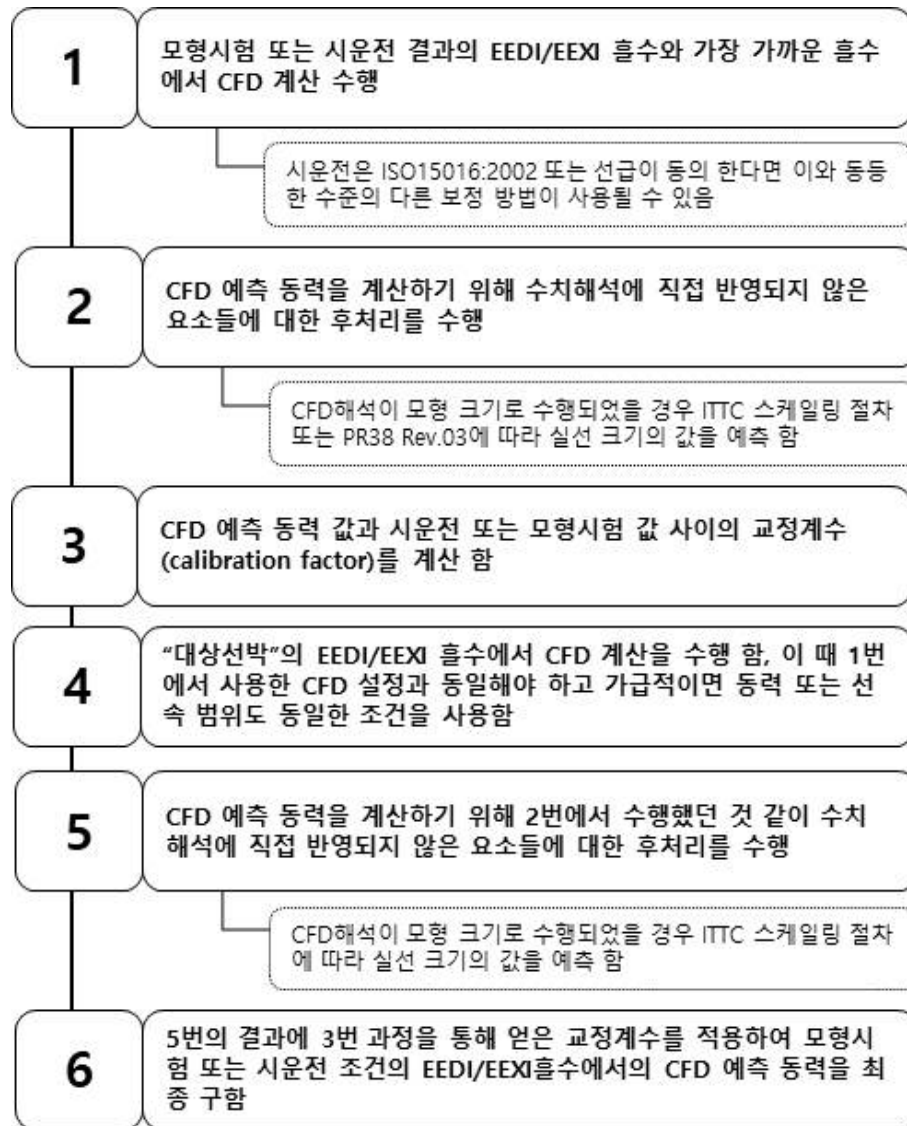


그림 2.2 옵션 1의 처리 절차

302. 옵션 2: “유사선박(similar ship)”의 모형시험 결과 사용을 통한 CFD 교정

1. 옵션 2는 옵션 1과 절차와 요구조건이 유사하지만, 이 경우 수치계산의 검증/교정을 위해 경우 모선 대신 **유사선박**을 사용한다. 단, 옵션 1과는 달리 교정계수를 구하기 위해 유사선박의 ITTC 절차에 따라 수행된 모형시험 결과만이 사용 가능하다.
2. 교정계수가 만약 0.95~1.05 사이의 값이 도출되었을 경우 바로 다음 단계로 넘어갈 수 있고, 만약 이를 벗어날 경우 문서로써 충분한 검증과 함께 우리 선급에 승인을 득해야 한다. 단, 우리 선급이 허용하는 교정계수 범위는 0.9~1.1 이다.
3. 옵션 2의 절차를 정리하면 다음의 그림 2.3과 같다.

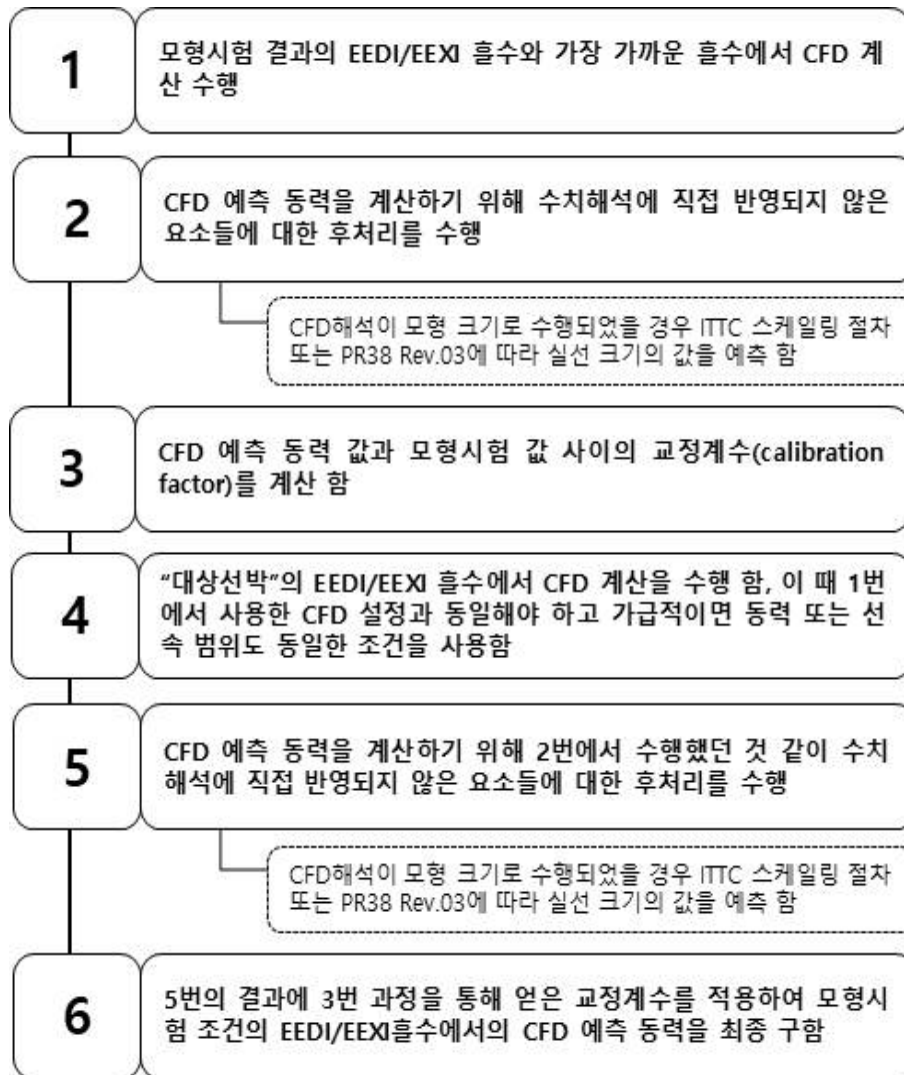


그림 2.3 옵션 2의 처리 절차

303. 옵션 3: “대체가능선박군(set of comparable ships)”의 해상 시운전 결과 사용을 통한 CFD 교정

1. 옵션 3은 **대체가능선박군**의 해상 시운전을 기반으로 교정이 수행된다는 점을 제외하고 옵션 1과 절차는 거의 동일하다.
2. 단, 옵션 1과는 달리 교정계수를 구하기 위해 **대체가능선박군**의 해상 시운전 결과와 모형시험결과의 비교를 통한 밸러스트 흘수(ballast draft)의 해상 시운전 조건에서 만재 흘수(laden draft) 조건으로 스케일링(scaling)된 결과는 사용할 수 없다.
3. 해상 시운전 결과는 ISO 15016:2002 또는 우리 선급이 인정하는 동등한 수준의 해상 시운전 보정기법을 적용한 것만이 인정이 되며, 이 때 밸러스트 흘수와 만재 흘수 조건이 결과에 반드시 포함되어야 한다.
4. **대대상선박**에 적용할 하나의 고유한 교정계수를 도출하기 위해서는 **대체가능선박군**에 속하는 선박들의 흘수와 선형의 최소 조합은 10개 이상이어야 하며 그 방법은 우리 선급의 승인을 득해야 한다.
5. 개별 교정계수들 및 최종 하나의 고유한 교정계수는 0.95~1.05 사이의 값이 요구되며, 만약 이를 벗어날 경우 최대 허용치는 0.9~1.1이고, 이 경우 문서로써 충분한 검증과 함께 우리 선급에 승인을 득해야 한다.
6. 대상선박의 LBP, EEDI/EEI 흘수에서의 배수량(displacement)과 방형계수(Cb)는 교정계수를 도출하는데 사용되는 선박 데이터들의 값들 보다 큰 값 또는 작은 값을 갖아서는 안 된다.
7. 최종 교정계수는 대체가능선박군에 속하는 선박 각각의 선형 흘수들의 조합으로 이뤄진 개별 수치계산으로부터 산출된 개별 교정계수들 전부 수선길이(LBP), 배수량, 방형계수(Cb)에 대한 회귀분석 방법(곡선 또는 면적)을 통해 오직 내삽법(보간법)으로 대대상선박에 해당되는 LBP에 대응하는 하나의 고유한 교정계수를 구한다. 이 때, 단순 평균

값이나 추정 값(외삽법)은 사용할 수 없다. 또한, **대체가능선박군**에 사용될 선박은 **대상선박**을 기준으로 최소 두 척 이상의 선박이 앞뒤로 0.85LBP~1.15LBP 범위에 있어야 하며 나머지 사용될 선박의 LBP, 배수량, Cb는 회귀분석 방법을 통해 하나의 고유한 교정계수를 도출해 내는데 사용되는 정당성을 증명하기 위해 어느 정도 균등한 LBP와 Cb 분포의 특징을 갖는 선박이어야 하고 이는 검증되어야 한다.

8. 옵션 3을 사용하여 하나의 고유한 교정계수를 도출하고자 하는 제출자는 이 지침서 6장 2절 202.에 따라 2장 2절 201.이 면제된다. 데이터베이스에 포함된 모든 시뮬레이션은 3장에 명시된 요건을 따라야하며, 우리 선급은 교정계수를 도출하기 위해 데이터베이스에 포함된 모든 수치계산의 세부사항에 대한 것들을 제출자에게 요구할 수 있다.
9. 옵션 3의 절차를 정리하면 다음의 그림 2.4와 같다.

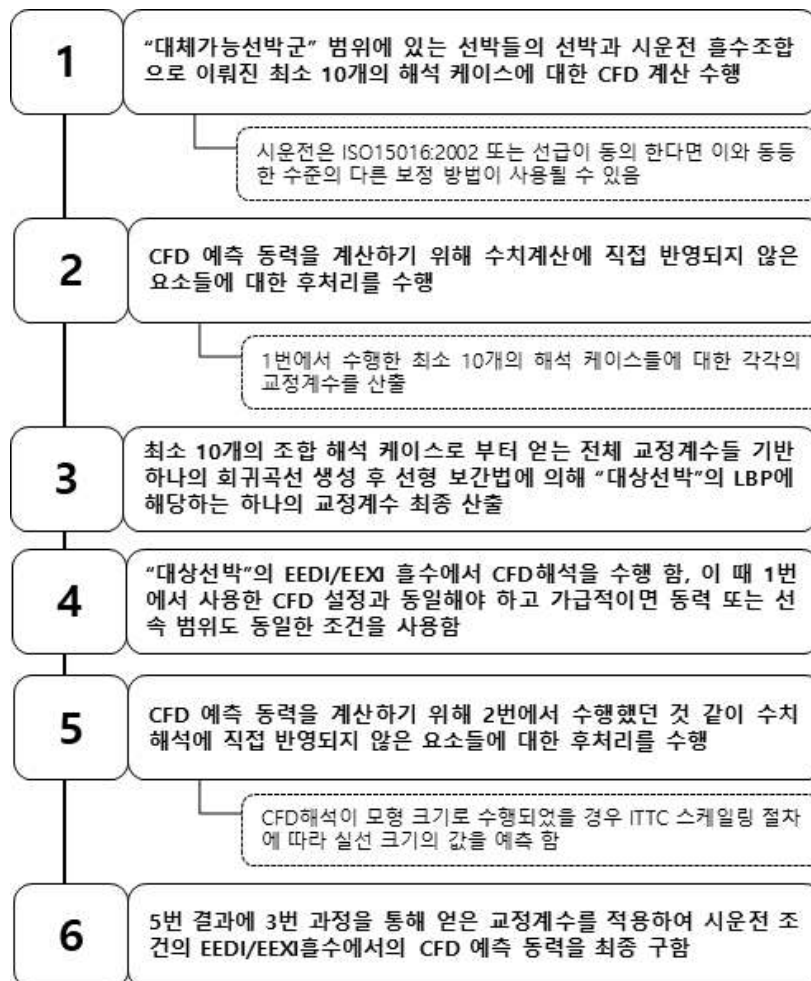


그림 2.4 옵션 3의 처리 절차



제 3 장 수치계산 모델링

제 1 절 일반사항

101. 일반사항

1. 이 장은 수치계산에 적용될 기술적 측면들이 상세히 설명되어있다.
2. 이 장에서 규정한 것 이외의 추가사항들이 CFD 해석 보고서에 포함하는 것이 필요하다고 판단될 경우 우리 선급의 재량에 따라 CFD 해석 보고서 제출자에게 추가사항을 요청할 수 있다.

제 2 절 해석 스케일

201. 해석크기의 일치성

1. 기술적으로 CFD 시뮬레이션은 모형크기(model scale) 및 실선크기(full scale) 모두에서 수행될 수 있다. 이 지침서 2장 3절에 나열된 3가지 옵션에 다음과 같은 우선순위가 부여되어야 한다.
2. 옵션 1의 경우, 모형시험과 해상 시운전 양쪽 다 대조하여 최종 예측 동력을 보정하는 경우 모형크기(model scale) 의 시뮬레이션이 우선하지만, 우리 선급이 승인하는 경우 실선크기(full scale) 시뮬레이션도 허용될 수 있다.
3. 다른 두 옵션(옵션 2, 옵션 3)의 경우도 기본 적으로 모형 및 실선크기 모두 사용할 수 있으며, 세 옵션 모두 CFD 시뮬레이션 결과에 대한 검증/교정 단계와 EEDI/EEXI 흡수에서 본 시뮬레이션 단계는 동일한 척도(해석 스케일)로 CFD 시뮬레이션을 수행해야 한다.

제 3 절 수치 모델링 요건

301. 주요 수치 모델링 요건

수치 모델링에 대한 요구조건은 표 3.1을 참조한다.

표 3.1 주요 수치 모델링 요건

항목	요건	기타
형상 (Geometry)	전체 형상 모델링을 기본으로 하지만 만약 bow thruster나 빌지킬 같은 장치 또는 부가물의 형상 구현이 어려울 경우, 그 것들의 영향이 선속 또는 동력에 미치는 것에 대한 교정/보정 계수 또는 경험식을 사용할 수 있으며, 이 경우 충분한 검증 자료를 우리 선급에 제출하여 승인받아야 함	
도메인 (Definition of domain)	·Inlet: 5LBP ~ 10LBP, ·Outlet: 3LBP ~ 5LBP ·Side: 2LBP ~ 4LBP 상기 조건들이 요구되지만, 만약 다른 값을 적용하고자 한다면 충분한 검증 자료를 우리 선급에 제출하여 승인받아야 함	
지배방정식 (Governing equation)	최소 RANS(Reynolds Average Navier Stokes) 방정식 사용	
자유도 (Degrees of freedom)	최소 pitch와 heave를 풀어줌	
Y+	ITTC 7.5-03-02-03 가이드라인을 따름	
프로펠러 모델링 (Propeller modelling)	기본적으로 회전하는 전체 형상을 모델링해야 하지만, 우리 선급 승인이 있는 경우 최소 actuator disk 적용 가능 함 단, EET 효율 계산을 위한 경우에는 기본적으로 actuator disk는 허용이 되지 않지만, 만약 BEM(Blade Element Method)같은 3D 영향이 반영된 저차 모델을 사용한다면 충분한 검증 자료를 우리 선급에 제출하여 승인 받아야 함	
EET 모델링 (EET modelling)	전체 형상 모델링을 기본으로 함	
자유수면 (Free-surface)	VOF(Volume Of Fluid) 또는 Level set 방법이 요구되지만 만약 다른 방법을 사용한다면 충분한 검증 자료를 우리 선급에 제출하여 승인받아야 함	
수치적 스킴 (Numerical scheme)	최소 2nd order upwind 방법이 요구되지만 만약 다른 방법을 사용한다면 충분한 검증 자료를 우리 선급에 제출하여 승인받아야 함	
난류모형 (Turbulence model)	k- ω , SST(Shear-Stress Transport) 또는 RSM(Reynolds-Stress Model)과 같은 최소 2차 방정식 모델이 요구되지만 만약 다른 방법을 사용한다면 충분한 검증 자료를 우리 선급에 제출하여 승인받아야 함	
시간 이산화 (Time discretization)	시뮬레이션은 시간영역에서 수행되거나 quasi-steady 적용을 통해 수행되어야 함	
후처리 (Post-processing)	결과에서 잠재적 진동을 부드럽게 하여 최종 결과의 적절한 평균화를 위한 충분한 시간간격이 고려된다는 것을 입증할 필요가 있다.	
표면 거칠기 (Roughness)	거칠기 효과를 벽함수 사용 등을 통해 수치계산에 직접 적용하는 것을 권장하지 않으며, 만약 어떠한 방식으로든 수치계산에 거칠기 효과를 직접 적용하고자 한다면 대체가능선박군 을 이용하여 그 방법론에 대한 충분한 검증 자료를 우리 선급에 제출하여 승인받아야 함	
난류 세기 (Turbulence intensity)	최대 10%를 넘지 않는 것이 요구되지만 만약 초과 값을 사용한다면 충분한 검증 자료를 우리 선급에 제출하여 승인받아야 함	
시간 간격 (Time step)	ITTC 7.5-03-02-03 가이드라인을 따라 결정함	



제 4 장 에너지효율기술

제 1 절 일반사항

101. 적용

본 지침서는 MEPC.1/Circ.896의 분류표 A에 있는 에너지효율기술(Energy Efficiency Technology, EET)에 대해 수치계산 시 적용가능 하다.

하지만, 다음 경우에는 이 지침서를 적용하여 수치계산을 수행/검증 할 수 없다.

1. Air Lubrication (EET-B)
2. Hull painting and coatings (EET-A)

향후, 이 지침서는 개정을 통해 상기 항목도 포함될 것이다.

나머지 EET에 대해 수치계산을 수행할 경우, 가능한 이 지침서에 기술된 동일한 수치계산 원칙과 방법을 적용할 것을 권고한다.

제 2 절 해석요건

201. 목적

에너지효율기술 적용으로 인한 동력절감 양을 보정계수(correction factor)로써 찾고 이를 이전에 이미 얻은 선속-동력 곡선(해상 시운전, 모형시험, 또는 기타 CFD 계산)에 적용하는 방법론을 제공하는 것을 목적으로 한다.

202. 절차

EET의 효과는 다음과 같이 EET 유무에 따른 두 가지 시뮬레이션의 결과를 다음과 같이 비교하여 계산한다.

1. EET를 적용한 경우와 그렇지 않은 경우 2가지 조건의 시뮬레이션을 수행한다.
2. EET를 적용한 경우와 그렇지 않은 경우의 2가지 조건의 시뮬레이션 결과의 계산된 각각의 선속에서 전달동력을 비교하여 보정계수를 산출한다.
3. 구해진 보정계수를 대상선박 해상 시운전 또는 모형시험 또는 이 지침서 2장의 옵션들에 따라 최종 도출된 CFD 시뮬레이션 결과에 적용하여 최종 선속-동력 곡선(speed-power curve)으로부터 EEXI 대표선속(Vref)를 도출한다.

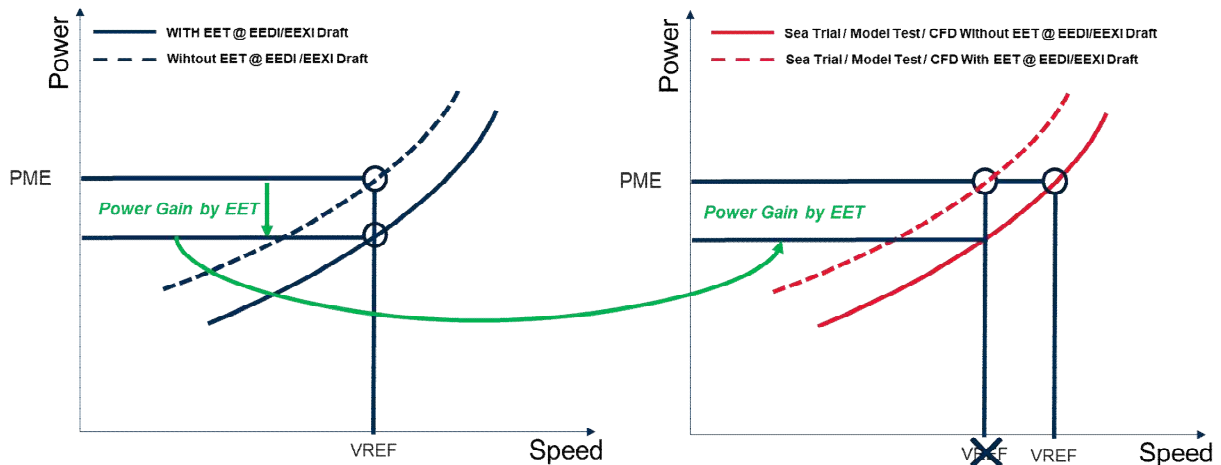


그림 4.1 EET 유무에 따른 보정계수 적용 방법

203. 필수 고려사항

프로펠러 면 근처에 위치한 EET에 대한 CFD 해석을 수행할 경우는 다음 사항을 유념해야 한다.

1. 수치계산 용어의 정의는 이 지침서 1장 4절 401.을 따른다.
2. 자유수면(free-surface): 우리 선급이 인정하는 경우 자유수면을 고려하지 않을 수 있으나, 이 경우 제출자는 자유수면 유무에 따라 결과에 영향을 주지 않음을 자체 검증하고 그 증거자료(evidence)를 우리 선급에 제출해야 한다.
3. 선체형상(hull geometry): 기본적으로 완전한 모델링 상태에서 시뮬레이션을 수행해야 하지만, 우리 선급이 인정하는 경우 선체형상의 일부만 모델링이 가능하다. 단 선체일부 형상을 제거했을 경우와 그렇지 않은 경우의 결과와 차이가 없음을 제출자가 자체 검증하고 그 증거자료(evidence)를 우리 선급에 제출해야 한다.(예, EET로 유입되는 유동의 패턴, 주변의 압력 및 속도분포 등)
 - (1) 선체의 일부만 모델링할 수 있다. 이 경우 경계조건은 시뮬레이션에서 표현되지 않은 선체 부분에 의해 유도되는 흐름 패턴을 나타내는 방식으로 설정되어야 한다. 이 경우 선체의 일부를 제거해도 결과에 영향을 미치지 않는다는 것을 우리 선급에 입증해야 한다. 이러한 검증에는 **대체가능선박군**에 대해 CFD 제출자가 수행한 이전 검증 사례가 포함될 수 있다.
 - (2) 만약 **대상선박**의 선형을 이용할 수 없는 경우 우리 선급 동의하에 **유사선박**의 선형을 이용할 수 있으며, 단 제출자는 우리 선급의 요청이 있는 경우 다른 **유사선박**의 선형에 해당 EET를 적용/시뮬레이션을 수행하여 양 쪽 경우에 EET로 인한 에너지 저감 결과(%)가 큰 차이가 없음을 우리 선급에 문서로써 입증해야 한다.
4. CFD를 이용하여 EET 효율을 계산할 경우 제출자는 이 지침서 6장 2절 202.에 따라 자격을 입증해야 한다.
5. 프로펠러 형상은 원칙적으로 완전한 모델링이 이뤄져야 하지만, 날개요소이론(BEM)과 같은 하위 모델을 적용하고자 할 경우 우리 선급 동의하에 제출자는 그 방법론에 대한 검증을 수행하고 그 결과를 우리 선급에 문서로써 제출하여 사용된 방법론의 정당성을 입증해야 한다. 단, actuator disk 또는 그와 유사한 단순 수치모델링을 통한 인위적 모델은 허용되지 않는다.
6. EET가 적용되지 않은 시뮬레이션에서 프로펠러 RPM은 모형시험 또는 해상 시운전 결과 값과 비교해야 하며, 그 차이는 예상되는 EEI 대표선속 조건의 전진계수 범위에서 $\pm 2.0\%$ 이내여야 한다. 만약 불만족 시 그에 대한 합리적 이유를 문서로써 우리 선급에 입증을 해야 하며, 그럼에도 불구하고 최대 $\pm 2.2\%$ 를 초과할 수 없다.
7. **대상선박**의 실제 프로펠러 형상을 이용할 수 없는 경우 대체프로펠러를 만들어 CFD해석에 이용할 수 있다. 대체프로펠러 조건은 다음과 같으며 제출자는 다음 사항을 우리 선급에 제출해야 한다.
 - (1) 대상선박의 실제 프로펠러의 K_t 그리고 $10K_q$ 곡선을 이용할 수 있는 경우, 보고서에는 대체프로펠러의 프로펠러가 작동되는 EEDI/EEI율수와 선속의 예상 전진계수 범위³⁾에서 K_t , $10K_q$ 그리고 η_O 가 실제 프

로펠러의 비교 값 대비 차이가 모두 $\pm 3\%$ 이내여야 한다.

- (2) **대상선박** 실제 프로펠러의 K_t 그리고 $10K_q$ 곡선을 이용할 수 없는 경우, 제출자는 임의 데이터에 기초하여 얻은 등가 곡선(예, Wageningen Series)를 참조로 사용할 수 있다. 보고서에는 대체프로펠러가 작동되는 EEDI/EEI 수와 선속의 예상 전진계수 범위³⁾ 내에서 K_t , $10K_q$ 그리고 η_O 가 등가 곡선의 참조 값 대비 차이가 모두 $\pm 3\%$ 이내여야 한다.
- (3) 대체프로펠러의 최종 형상은 직경, 날개 수, 허브직경, 회전방향은 같은 값을 갖도록 하며 다음 표와 같이 대상선박의 실제 프로펠러의 값과 비교해 우리 선급에 제출해야 하고 다른 모든 값들의 차이는 $\pm 3\%$ 이내여야 한다.
- 만약, $\pm 3\%$ 불만족 시 그에 대한 기술적 정당성을 우리 선급에 입증해야 한다.

항목(Item)	대체 프로펠러 (Replace propeller)	설계 프로펠러 (Target propeller)
직경 (Diameter)		
날개 수 (Number of blades)		
회전방향 (Rotating direction)		
확장면적비 (Expanded Area Ratio)		
허브직경 (Hub diameter)		
코드길이 (Chord Length)		
날개 최대두께 (Max.thickness)		
0.7R에서 피치 비 (Pitch Ratio at 0.7R)		

8. 격자 수렴도 검증 시 실제 프로펠러를 포함하거나 5.에 따라 BEM 같은 하위 모델을 사용할 수 있으며 반드시 이것들 중 하나의 방법을 적용해야 한다. ⚓

3) 예상 전진계수 범위는 프로펠러가 선박에 설치되었을 때 작동할 것으로 예상되는 전진 계수를 의미하며, 분석과 관련된 EEI 조건을 의미한다. 유효성 검사는 관련 동작 지점에 가까운 전진계수 범위를 포함해야 한다.

제 5 장 프로펠러 단독성능 해석

제 1 절 일반사항

101. 적용범위

Resolution MEPC.351(78)에 따라 수치계산을 통하여 프로펠러 단독시험을 보완 또는 대체할 수 있다.

제 2 절 해석요건

201. 입증요건

1. 수치계산 용어의 정의는 이 지침서 1장 4절 401.을 따른다.
2. 유체 영역 및 경계 조건은 해석 결과에 영향을 미치지 않도록 설정되어야 하고 이는 보고서에 포함되어야 한다.
3. 수치계산을 위한 모델 형상과 격자는 이 지침서 3장을 따라야 하지만 다음 차이는 허용된다.: 최소한 프로펠러는 BEM 모델을 사용해 모델링하여 최소한의 3D 효과를 고려해야 한다. 단, Actuator disk/force 모델은 허용되지 않는다.
4. 6장 2절 202.에 요구된 자격요건 일부사항을 대체하기 위해서는, 보고서는 매우 유사한 프로펠러(즉, Wageningen B series)에 대해 제안된 방법론에 대한 검증 결과를 포함해야 한다. 수치계산 결과와 임의 데이터(Wageningen B series)에 기초하여 얻은 값의 차이는 대체프로펠러가 작동되는 예상 전진계수 범위³⁾ 내에서 K_t , $10K_q$ 그리고 η_O 와 비교했을 때 각각의 차이가 모두 $\pm 3\%$ 이내여야 한다.

항목(Item)	대체 프로펠러 (Replace propeller)	설계 프로펠러 (Target propeller)
직경 (Diameter)		
날개 수 (Number of blades)		
회전방향 (Rotating direction)		
확장면적비 (Expanded Area Ratio)		
허브직경 (Hub diameter)		
코드길이 (Chord Length)		
날개 최대두께 (Max.thickness)		
0.7R에서 피치 비 (Pitch Ratio at 0.7R)		



제 6 장 선급 검증

제 1 절 일반사항

101. 목적

본 장에서는 EEXI 계산을 위한 기술문서 작성 시 보조 기술문서로 사용될 수치계산 보고서에 포함되어야 할 요건을 자세히 설명한다. 보고서 견본은 **부록 1**에서 확인할 수 있다.

제 2 절 보고서 요건

우리 선급에 제출할 보고서는 다음의 내용이 포함되어야 한다.

201. 도입 & 목적(Introduction & Objectives)

수행한 수치계산의 목적과 수행범위를 설명한다. 수치계산 시 **모선, 유사선박, 대체가능선박군** 등의 모형시험 또는 해상시운전결과를 활용하여 검증/교정 과정을 거쳐 교정계수(calibration factor)를 도출해 냈을 경우 절차 및 방법에 대한 상세한 설명을 필요로 한다.

202. 자격 요건(Qualifications)

1. 원칙적으로 제출자는 CFD 해석능력에 관한 자격을 증명하기 위해 ITTC 7.5-03-01-02, Rev.02, 2021 **5장**을 참조하여 관련 검증 절차를 수행할 수 있다. 이는 CFD 해석을 수행하는 제출자가 입증해야 할 품질보증(quality assurance) 절차의 일환이다.
2. 이 지침서 **1장 4절 401.**에 정의된 **대체가능선박군**을 참조한 EEXI 승인을 위해 검토 중인 선박 유형, 또는 사전 우리 선급이 승인한 유사하다고 판단되는 선박의 유형이 포함될 수 있다. 제출자에 의해 제공된 문서가 회사의 수치 계산 수행 능력을 보장하기에 충분한지 여부를 평가하는 것은 우리 선급의 재량에 달려 있다.
3. 면제조건: 제출자는 검증/교정의 방법으로 이 지침서 **2장 3절 303.**에 따라 교정계수를 구할 경우 제출자의 CFD해석에 관한 자격요건 증명과정은 면제될 수 있다.

203. 보충자료 기술 및 제출(Description of Supporting Documentation)

수치계산을 수행하는 제출자가 **대상선박**의 최종 EEXI 대표선속(V_{ref})을 도출하기 까지 참고한 자료들이 보고서에 포함되어야 한다. 예를 들어 다음과 같은 자료들이 포함될 수 있다.

1. 모형시험 보고서(model test report)
2. 해상 시운전 보고서(sea trial report)
3. 선도(hull drawings)
4. 일반배치도(general arrangement)
5. 프로펠러 도면(propeller drawings)

만약 상기와 같은 보충자료 중 우리 선급에 의해 검증에 반드시 필요하다고 간주될 경우 제출자는 그러한 자료들을 보고서 부록에 포함시켜야 한다.

204. 선박제원(Vessel Description)

수치계산에 사용된 모든 선박들의 세부사항을 기술해야 하며, 최소한 다음 사항을 보고서에 포함시켜야 한다.

1. 선명(ship name)
2. IMO Number and/or Hull Number
3. 선종(vessel type)
4. 설계흘수(design draft)
5. 경하중량/배수량(lightweight and displacement)
6. EEXI흘수(EEXI draft)
7. 주 엔진 출력(main engine power/ SMCR and NCR)
8. 수선간장길이(length between perpendiculars, LBP)
9. 선폭(beam molded, B)
10. 높이(depth, D)
11. 프로펠러 데이터(propeller data):
 - (1) 프로펠러 직경(propeller diameter)
 - (2) 날개수(number of blades)
 - (3) 회전방향(rotating direction)
 - (4) 확장면적비(expanded area ratio)
 - (5) 허브의 주요 치수(main dimensions of the hub)
 - (6) 코드길이(chord length), 날개최대두께(maximum thickness), 피치비(pitch ratio at 0.7 R)
 - (7) 만약 EET 적용됐다면 주요제원 및 에너지저감 동작원리 등

205. CFD 프로그램(CFD Software)

1. 상용코드의 경우 동일하게 사용된 Software 이름과 버전 그리고 간단한 설명
2. 만약 자체개발 CFD코드를 사용했을 경우 이 지침서 1장 3절 301.(ITTC 7.5-03-01-04, rev.00과 ITTC 7.5-03-01-02, rev.02)을 참고하여 수행하거나 또는 사전 우리 선급의 승인을 득한 대체방법론을 적용하여 코드에 대한 세부적인 설명과 검증을 수행해야 한다.
3. 이는 이 지침서 2장 2절 201.에서 요구하는 자격증명 과정의 일부이다.

206. CFD 모델 형상과 격자(CFD geometry model and mesh)

1. 수치계산에 사용된 형상 모델을 자세히 설명하는 과정이 보고서에 포함되어야 한다. 모든 단순화 및 누락은 문서화되어야 하며 그것들이 결과에 미치는 영향은 교정조치(remediation action)와 함께 명확하게 식별되어야 한다(필요한 경우).
2. 수치계산에 사용된 형상 모델과 모형시험 또는 해상 시운전을 수행했던 실제 형상과의 비교표를 다음과 같이 작성해야 한다.

항목(Item)	CFD model	Actual model
전장길이(LOA)		
수선간장길이(LBP)		
폭 B(mld.)		
깊이 D(mld.)		
배수량(방향타와 주요 부가물 포함 / CFD 해석에 사용된 모든 흘수)		
침수표면적(방향타와 주요 부가물 포함 / CFD 해석에 사용된 흘수)		
길이방향의 무게중심(CFD 해석에 사용된 모든 흘수) (LCB in % of LBP)		
높이방향의 무게중심(CFD 해석에 사용된 모든 흘수) (VCB from baseline)		

3. 우리 선급의 검증을 위해 제출자는 두 모델 형상 간 비교그림을 정면, 측면, 후면, 입체(bird view)로 보고서에 포함시켜야 하며, 검증을 수행하기에 부족할 경우 우리 선급은 추가 자료(예, 구조도, 선도 비교 등)를 요청할 수 있다.
4. 제출자는 CFD 해석에 사용된 격자의 수렴도의 적정성을 증명하기 위해 격자수렴 테스트(grid convergence study)를 수행해야하며, 우리 선급의 승인이 있다면 과거 **대체가능선박군**에 해당하는 선박에 대해 수행했던 결과로 대체할 수 있다. 격자수렴 곡선을 생성하기 위해서는 최소 3개의 서로 다른 격자 크기를 적용해야 한다.
또한 보고서에는 다음 사항이 포함되어야 한다.
 - (1) 유동장 격자 크기 및 각각의 격자 크기(경계층(boundary layers), 첫 격자 간격 등)가 보고서에 기술되어야 하며, 이것들은 도메인(domain)의 각기 다르게 적용된 정제구역(refinement zones)과 모든 방향(x,y,z)에 대해 제공되어야 한다.
 - (2) 격자의 다양한 측면 뷰와 확대그림:
 - (A) 선형의 각 부위마다 다르게 적용되었을 경우의 경계층 격자
 - (B) 선체의 주요 부분(선수벌브, 선미부, 트랜섬, 프로펠러, 부가물, EET 등) 격자의 확대 그림

207. CFD 설정(CFD Set-up)

수치계산에 사용된 다음 CFD 설정 값은 보고서에 포함되어야 한다.

1. 사용된 CFD 소프트웨어와 버전(CFD software and version)
2. CFD 해석에 사용된 주요 방정식(CFD equations being used)
3. 해석 방식(예, steady or unsteady)
4. 난류모형 및 사용의 정당성 설명(turbulence model and justification for its choice)
5. 수치 해석 방식(예, second-order upwind and iteration stop criteria)
6. 유동영역 치수(fluid domain dimensions)
7. 모든 유동영역 면에 적용된 경계조건(boundary conditions)
8. 사용된 모든 좌표계 및 모든 모델에서의 원점 설명(coordinates system and model origin)
9. 수치계산 모델에 사용된 자유도 설정 값(degree of freedom)
10. 프로펠러 모델링에 대한 세부 설명 및 해석원리(예, rotating full propeller, BEM, actuator disk 등)
11. 수치계산이 수렴되었는지 여부를 평가하는데 사용했던 각종 수렴 기준에 대한 설명
12. 사용된 초기조건에 대한 설명(initial conditions)

208. 검증 평가(Validation Assessment)

1. 유효성 평가 절차는 제출자가 수행해야 한다.
2. 계산된 값이 합리적이고 기대한 값 이내임을 증명하기 위함이다. 목적은 결과에 포함된 절대 값을 엄격하게 검증하는 것이 아니라 얻은 최종 값과 유동의 흐름 패턴이 물리적 현실과 일치하는지 검증하는 것이다.
3. 결과의 정성적 평가와 구해진 정량적 기준 값을 증빙 자료로 사용한 검증을 통해 적절히 이뤄져야 한다.
4. 결과의 하위 집합(그래픽 및 수치)을 적절히 사용하여 어떻게 해석결과들이 “예상대로”의 합리적 결과인지를 증명할 수 있다.

209. 후처리와 결과(Post-processing and Result)

보고서에는 사용된 후처리 절차(평균인 경우 마지막 값 등)에 대한 설명이 포함되어야 한다. 그리고 최종 자항점을 찾은 방법론에 대한 설명(프로펠러 단독성능시험 CFD 시뮬레이션이 사용된 경우 이러한 세부 정보도 필요함) 역시 포함되어야 한다.

또한 해당 선박을 평가한 모든 조건(흘수 및 속도)에 대해 얻은 다음과 같은 결과를 보고서에 포함시켜야 한다.

1. 시뮬레이션 중 하나의 대표적 경향을 보여주는 잔차(residuals) 그림. 수행된 시뮬레이션 유형(선속과 흘수 조합) 당 최소 하나의 그림 세트: 저항, 자항, 프로펠러 단독성능 곡선 등.
2. 전체 저항, 점성 저항, 압력 저항, 프로펠러 추력의 수렴 곡선들의 예를 보여주는 한 그림. 수행된 시뮬레이션 유형 당 최소 하나의 그림 세트: 저항, 자항, 프로펠러 단독성능 곡선 등.
컬러코드(color code)를 사용한 그림에 수치를 적용하여 최소한 다음과 같은 그림은 보고서에 포함되어야 한다.

- (1) 파고가 있는 파동 패턴의 전체 보기(wave patterns)
 - (2) 선수별브 및 선미 트랜섬 부위의 파동 패턴의 확대 그림
 - (3) 선체 및 부가물의 Y^+ 값
 - (4) 선체 및 부가물의 압력계수 분포 그림
 - (5) 회전하는 완전한 모델 프로펠러 또는 EET를 적용했을 경우 프로펠러 및 EET의 압력계수 분포, 주변을 통과하는 유동흐름의 형상 및 주요 위치의 단면도
3. 모든 흡수와 선속/동력 설정 조건의 CFD 해석을 통해 얻은 다음과 같은 값을 표로써 정리하고 각 도출된 값들에 대한 요약 설명이 보고서에 포함되어야 한다.
- (1) 선박 저항(총 저항, 점성저항, 압력저항)
 - (2) 추력감소계수($1-t$)
 - (3) 유효반류 감소계수($1-w$)
 - (4) 프로펠러 추력계수(K_t)
 - (5) 프로펠러 토크계수($10K_q$)
 - (6) 프로펠러 단독효율(η_O)
 - (7) RPM
 - (8) 전달동력(DHP) \downarrow

부록 1 보고서 견본

1. 도입 & 목적(Introduction & Objectives)

이 보고서는 VESSEL(NAME)에 대한 EEDI/EEI 대표선속(Vref)을 도출하는 데 사용되는 CFD 모델링에 대한 설명을 포함한다. 이 보고서에 사용된 절차는 선급 지침서와 수치 모델링 주제에 대한 가장 최신의 ITTC 지침을 따른다. 이런 과정에서 발생한 차이는 이 보고서에 적절하게 문서화되었으며 정당성 입증에 관한 사항이 포함되어 있다.

최종 대표선속(Vref)은 MEPC.351(78) 및 선급 지침서(또는 IACS Recommendation No.173)에 따라 활용 가능한 모형시험 그리고/또는 해상 시운전 결과에 대해 CFD 결과에 대한 교정을 수행한 다음, 대상선박의 EEDI/EEI 홀수 조건에 대해 최종 계산된다. 다음 장에서는 세부 방법론, 매개변수들, 후처리 및 최종 결과를 자세히 설명한다.

2. 자격요건(Qualifications)

ITTC 7.5-03-01-02, Rev.02, 2021 가이드라인에 따라서 다음과 같이 CFD 해석을 수행할 수 있는 능력을 증명한다.

(1) 일반 자격(General Qualifications)

COMPANY NAME(제출자)은 지난 ##년 동안 선박의 저항 및 추진성능에 대한 여러 R&D, JIP, JDP 프로젝트 등에 참여했다. 수행한 프로젝트는 다음과 같다.

Project no.	Year	Description
1	2013	...
2	2014	...
3	2015	...
4	2020	...
5	2021	...
...
...

COMPANY NAME(제출자)은 당사의 표준 수치모델링(BPG)를 사용하여 CFD 결과에 대한 정확도를 확보한 다음과 같은 벤치마킹/검증 연구 등에 참여한 실적이 있다.

Project no.	Year	Ship type	Description	Scale
1	2015	...	...	model(or full)
2	2016	...	...	model(or full)
3	2017	...	...	model(or full)
4	2019	...	...	model(or full)
5	2020	...	...	model(or full)
...
...

(2) 사례별 자격(Case Specific Qualifications)

COMPANY NAME(제출자)은 KR 지침서(또는 IACS Recommendation No.173)에 따라 "대체가능한선박군" 범주에 속하는 선박에 대해 수치 계산을 통해 선박 성능을 평가하는 다수의 프로젝트를 다음과 같이 수행했다.

Project no.	Year	Ship type	Scale
1	2015	...	model(or full)
2	2016	...	model(or full)
3	2017	...	model(or full)
4	2019	...	model(or full)
5	2020	...	model(or full)
...
...

3. 보충자료(Supporting Documentation)

본 보고서에 포함된 CFD 해석들과 관련하여 다음과 같은 보충자료 목록이 사용되었으며, 부록에 수록되어 있다.

Document no.	Document Name	Description
1	모형시험 보고서	
2	해상 시운전 보고서	
3	선도	
4	일반배치도	
5	프로펠러 도면	
...

4. CFD 해석프로그램 설명(CFD Software Description)

- (1) 상용코드의 경우 동일하게 사용된 Software 이름과 버전 그리고 간단한 설명
- (2) 만약 자체개발 CFD코드를 사용했을 경우 이 지침서 1장 3절 301.(ITTC 7.5-03-01-04, rev.00과 ITTC 7.5-03-01-02, rev.02)을 참고하여 수행하거나 또는 사전 우리 선급의 승인을 득한 대체방법론을 적용하여 코드에 대한 세부적인 설명과 검증을 수행해야 한다.
- (3) 이는 이 지침서 2장 2절 201.에서 요구하는 자격증명 과정의 일부이다.

5. 선박제원(Vessel Description)

최소한 다음과 같은 정보가 포함되어야 한다.

(1) 선박

Vessel Name	
IMO Number	
Vessel Type	
Main Engine Type	
SMCR × RPM	
DWT	
LWT	
Design Draft	
EEXI/EEDI draft	
LBP	
Beam molded(B)	
Depth(D)	

(2) 프로펠러

Diameter	
Number of Blades	
Rotating Direction	
Expanded Area Ratio	
Hub Diameter	
Chord Length	
Max.thickness	
Pitch Ratio at 0.7R	

6. CFD 모델 형상(CFD Model Geometry)

여기에는 CFD 해석에 사용된 형상 그림을 나타내야 한다. 또한 실제 선박과 CFD 해석용 형상과 유체정역학적 값을 (principal hydro-statics values) 비교하여 나타내야 한다. 만약 CFD 해석을 위해 선박의 실제 형상(부가물, 프로펠러, 방향타, EET 등 포함)이 단순화 되었거나 생략을 했다면 본 장에서 자세히 기술되어야 한다. 본 장에서 포함되어야 하는 그림의 예는 다음과 같다.

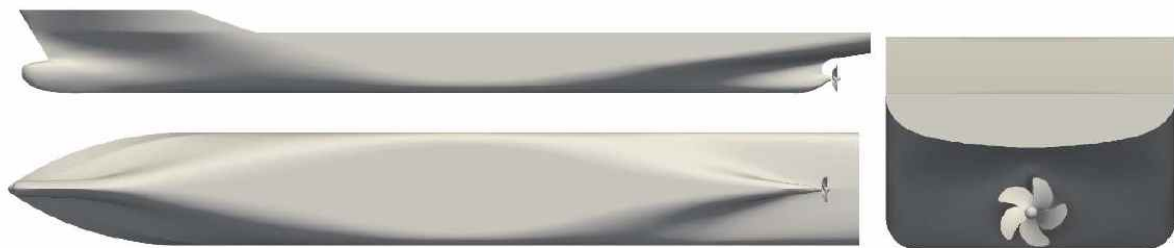


그림 1 Example of different views of a geometry used in CFD analysis

7. 수치모델 설정(Numerical Model Set-up Description)

여기에는 설정한 수치모델을 자세히 설명해야 하는데 최소 다음과 같은 정보를 포함해야 한다.

- (1) 사용된 CFD 방정식(CFD equations)들
- (2) 시뮬레이션 유형(simulation type), 선형 vs 비선형(steady vs unsteady)
- (3) 난류모델 및 선택의 정당성 설명(turbulence model and justification for its choice)
- (4) 수치계산체계(numerical solution schemes): 예, second-order upwind and iteration stop criteria
- (5) 유체영역의 모든 표면에 적용되는 경계조건(boundary conditions)
- (6) 좌표계 및 모델 원점에 대한 설명
- (7) 모형에 사용된 자유도 설정(degrees of freedom)
- (8) 프로펠러 모델링에 대한 설명: 예, rotating full propeller, actuator disk, etc.
- (9) 적용된 초기조건(initial conditions) 설정에 대한 설명과 경계조건을 자세히 설명하는 그림

CFD 계산에 사용된 경계 조건을 자세히 설명하기 위해 이미지를 제공해야 한다.

격자생성 전략은 상세하게 설명되어야 한다. 셀 크기의 크기, 사용 중인 격자 유형, 경계층 세분화 등에 대한 일반적인 설명이 제공되어야 한다. 각기 다른 뷰에서 격자 정제영역 그림도 제공되어야 한다.

후처리 방법론도 여기에 자세히 설명되어 있어야 한다: 프로펠러 단독성능 데이터가 사용되는 방법, 2개 이상의 시뮬레이션이 수행되는 경우(저항 및 자항) 등. 자항 점을 찾기 위해 사용되는 추론은 상세히 기술되어야 한다.

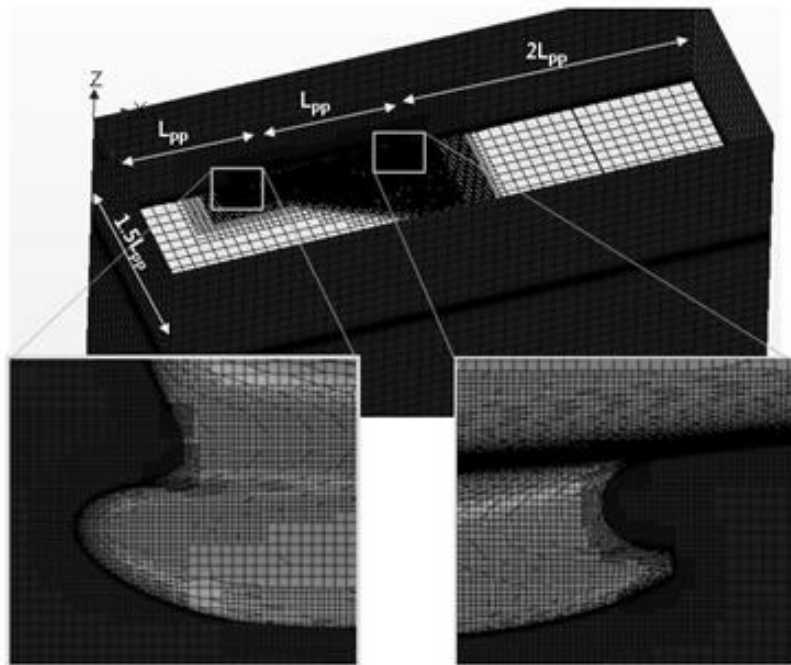


그림 2 Simple example of size and form of fluid domain and grid details

8. 결과(Results)

여기에는 대상선박의 최종 EEXI 대표선속(V_{ref})를 도출하기 위해 사용된 각 선박의 선속과 흘수 조합의 모든 사례들의 CFD 해석결과를 나타내야한다.

각 해석케이스 마다 다음과 같은 사항을 포함시켜야 한다.

- (1) 시뮬레이션 중 하나의 대표적 경향을 보여주는 잔차(residuals) 그림. 수행된 시뮬레이션 유형(선속과 흘수 조합) 당 최소 하나의 그림 세트: 저항, 자항, 프로펠러 단독성능 곡선 등.
- (2) 전체 저항, 점성 저항, 압력 저항, 프로펠러 추력의 수렴 곡선들의 예를 보여주는 한 그림. 수행된 시뮬레이션 유형 당 최소 하나의 그림 세트: 저항, 자항, 프로펠러 단독성능 곡선 등.
- (3) 컬러코드(color code)를 사용한 그림에 수치를 적용하여 최소한 다음과 같은 그림은 보고서에 포함되어야 한다.
 - 파고가 있는 파동 패턴의 전체 보기(wave patterns)
 - 선수벌브 및 선미 트랜섬 부위의 파동 패턴의 확대 그림
 - 선체 및 부가물의 Y^+ 값
 - 선체 및 부가물의 압력계수 분포 그림
 - 프로펠러 면에서 공칭반류 그림
 - 회전하는 완전한 모델 프로펠러 또는 EET를 적용했을 경우 프로펠러 및 EET의 압력계수 분포, 주변을 통과하는 유동흐름의 형상 및 주요 위치의 단면도

예상되는 보기/결과에 대한 간단한 예는 다음과 같다.

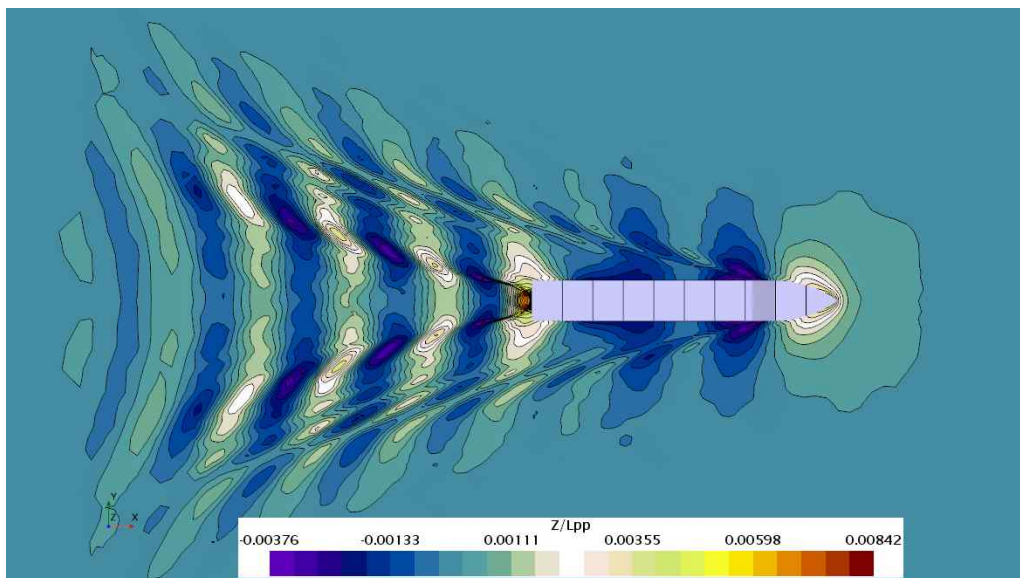


그림 3 Wave-patterns

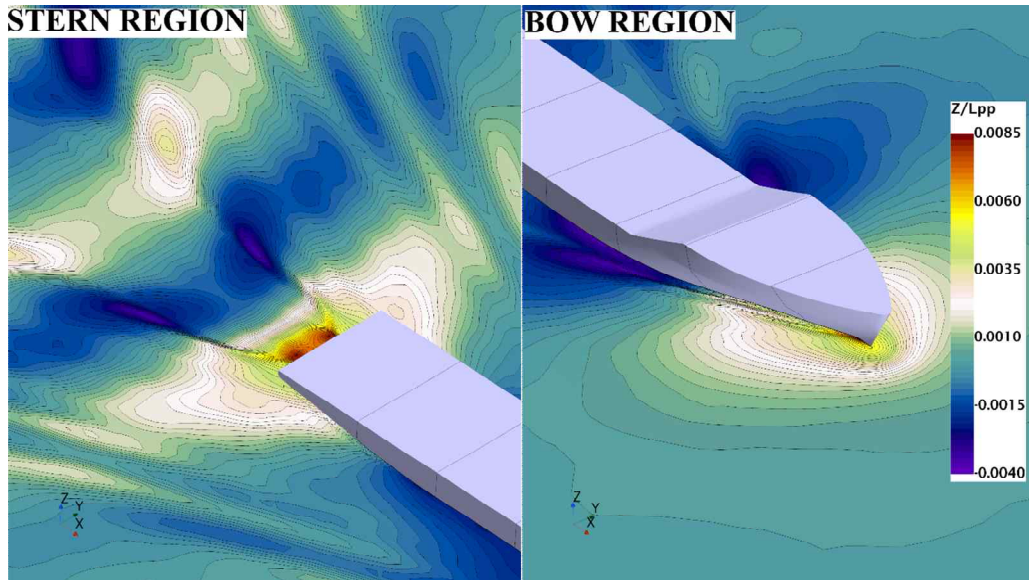


그림 4 Zoom view of the wave-patterns around stem and stern

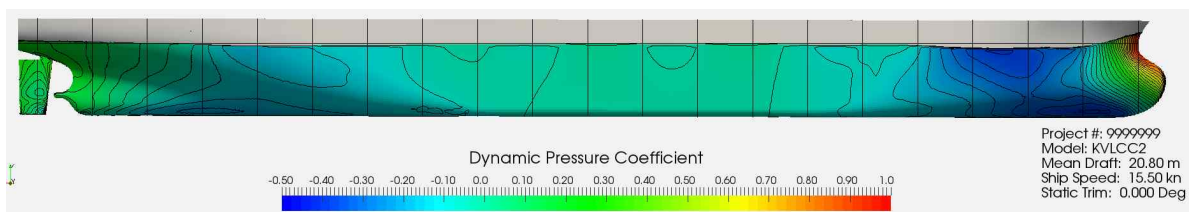


그림 5 Distribution of the dynamic pressure coefficient along the hull form

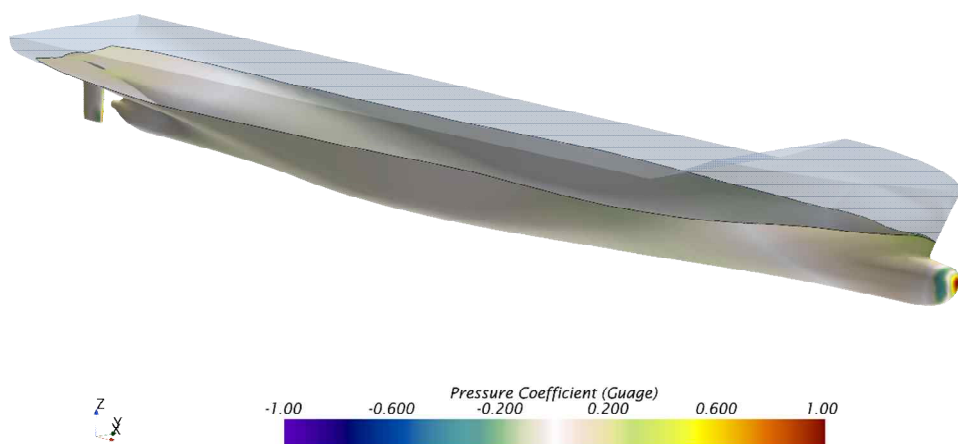


그림 6 Distribution of the pressure coefficient on the wetted hull surface

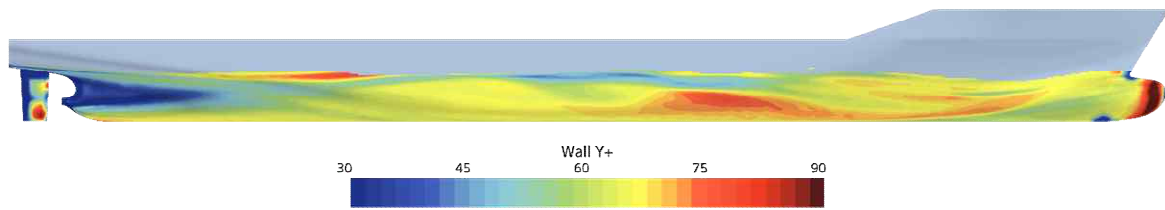


그림 7 Distribution of Y+ values along the hull form

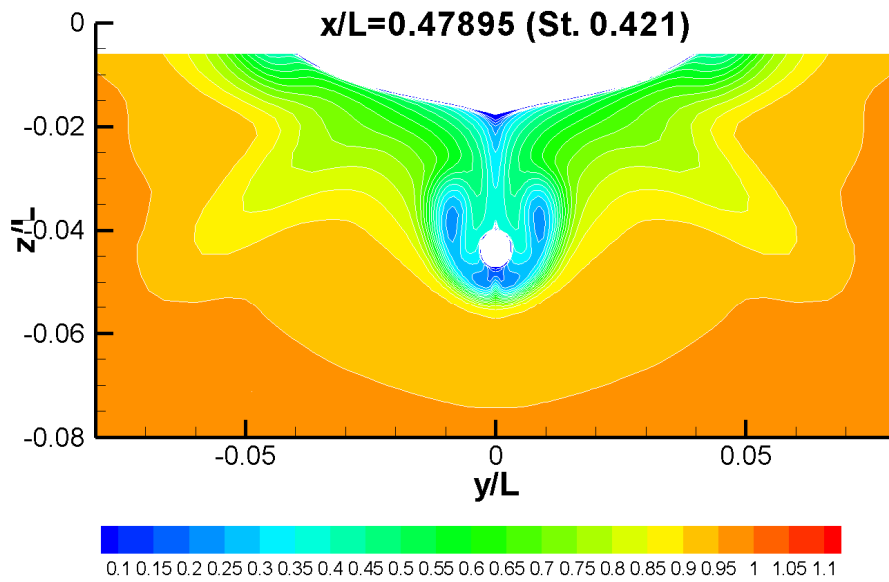


그림 8 Distribution of non-dimensional x-velocity by the ship speed

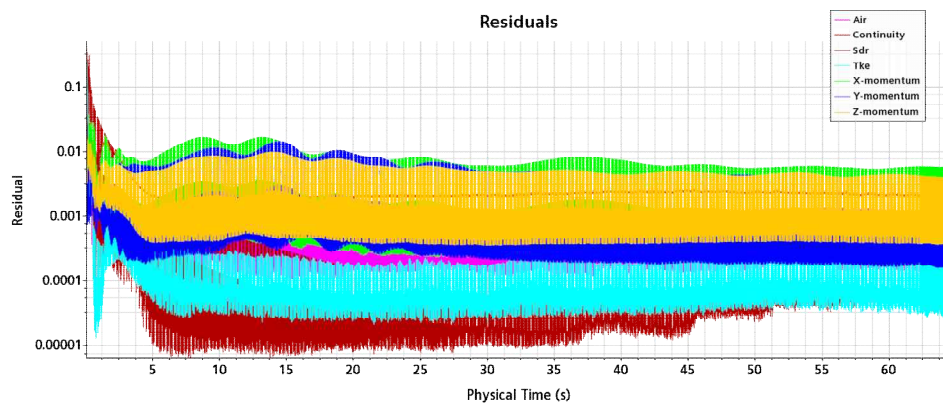


그림 9 Convergence plot of numerical residuals

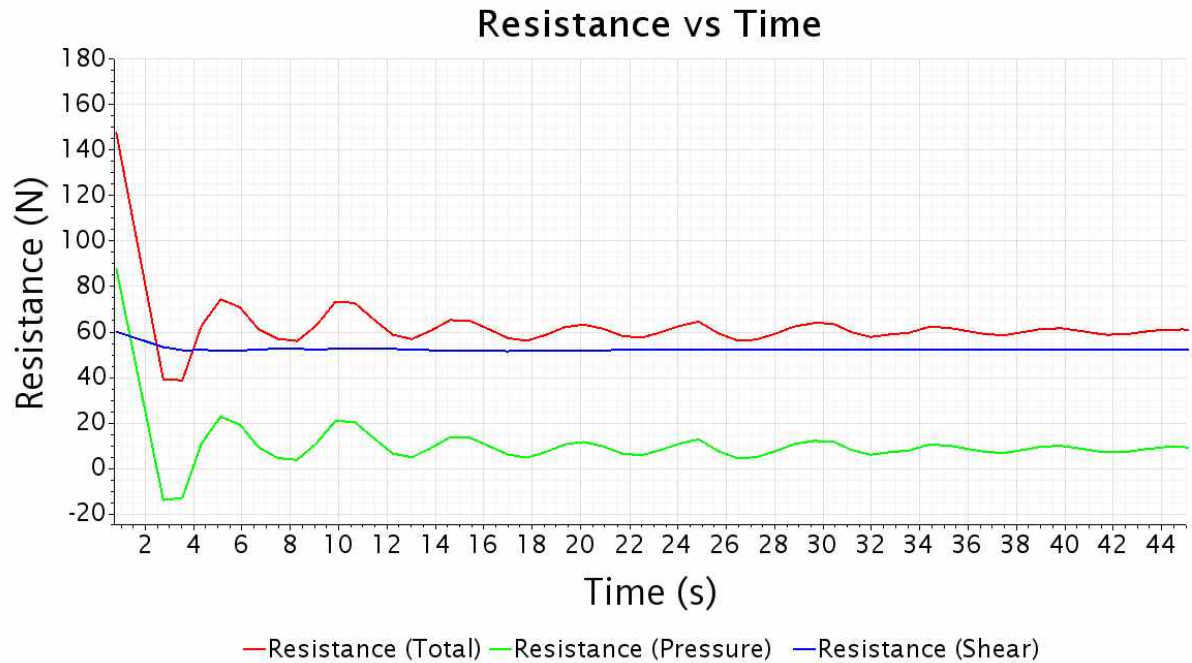


그림 10 Convergence plot of main efforts

모든 흡수와 선속/동력 설정 조건의 CFD 해석을 통해 얻은 다음과 같은 값을 표로써 정리하고 각 도출된 값들에 대한 요약 설명이 보고서에 포함되어야 한다.

- (1) 선박 저항(총 저항, 점성저항, 압력저항)
- (2) 추력감소계수($1-t$)
- (3) 유효반류계수($1-w$)
- (4) 프로펠러 추력계수(K_t)
- (5) 프로펠러 토크계수($10K_Q$)
- (6) 프로펠러 단독효율(η_O)
- (7) RPM
- (8) 전달동력(DHP)

9. 검증평가(Validation Assessment)

- (1) 이 장은 계산된 값이 합리적이고 기대한 값 이내임을 증명하기 위함이다. 목적은 결과에 포함된 절대 값을 엄격하게 검증하는 것이 아니라 얻은 최종 값과 유동의 흐름 패턴이 물리적 현실과 일치하는지 검증하는 것이다.
- (2) 결과의 정성적 평가와 구해진 정량적 기준 값을 증빙 자료로 사용한 검증을 통해 적절히 이뤄져야 한다.
- (3) 결과의 하위 집합(그래픽 및 수치)을 적절히 사용하여 어떻게 해석결과들이 “예상대로”의 합리적 결과인지를 증명할 수 있다.

발 행 2023년 02월 01일

EEXI 대표선속(Vref) 도출을 위한 수치계산 지침서

발행인 이 형 철
발행처 한 국 선 급
부산광역시 강서구 명지오션시티 9로 36
전 화 : 070-8799-7114
FAX : 070-8799-8999
Website : <http://www.krs.co.kr>

신고번호 : 제 2014-000001호 (93. 12. 01)

Copyright© 2023, KR

이 지침서의 일부 또는 전부를 무단전재 및 재배포시 법적제재를 받을 수 있습니다.