

ISO15016:2015에 의한 속력시운전 해석 및 정도검증 (COT, LNGC)

유기범, 한영수, 강대열 (삼성중공업)

1. 서론

해운산업에서 발생하는 온실가스를 감축시키기 위해 국제 해사기구(International Maritime Organization, IMO) 해양환경 보호위원회(Marine Environment Protection Committee, MEPC)에서 몇 가지 규제가 제시되었다. 그 중 선박의 설계, 건조 단계를 대상으로 하는 에너지설계효율지수(Energy Efficiency Design Index, EEDI)가 제시되어, 해양오염방지국제협약(International Convention for the Prevention of Marine Pollution from Ships, MARPOL)의 Annex VI에 추가되었다.

EEDI는 메인엔진, 보조엔진 등 CO₂를 배출하는 기기들의 마력, 연료소비율(Specific Fuel Consumption, SFC), CO₂배출 Factor 값으로 계산되어진 CO₂의 배출량에서 적용된 에너지 효율 기술만큼 공제하여 계산된 총 CO₂의 배출량과 선박의 운항 능력(선속, 재화중량)의 비이며, 2013년 1월 1일 이후 계약되는 총톤수 400톤 이상의 신조선에 강제적으로 적용되고 있다.

EEDI의 계산 및 검증을 위해 IMO 제68차 MEPC에서 속력시운전의 수행 및 해석 방법으로 ISO15016:2015의 적용을 의무화하였다.

본고에서는 ISO15016:2015를 적용하여 속력시운전 결과를 해석할 수 있는 프로그램들과의 비교를 통해 '실선 시운전 EEDI 기준선속 해석 프로그램 개발' 연구사업의 일환으로 개발된 프로그램 i-STAP의 정도를 검증하였다.

2. 배경 연구

2.1 ISO15016:2015

ISO15016은 선박의 속력시운전으로부터 얻은 결과를 해석하는 방법에 관한 국제 표준이다. 이 표준의 목적은 시운전 수행의 기초적인 요구사항을 정의하고, 속력시운전의 평가와 교정을 위해 과학적 근거에 따라 시운전 각 항차와 관련된 모든 영향들을 포함하는 절차를 제공함으로써 선주 등이 최종 결과의 타당성에 신뢰를 가지게 하는 데 있다.

이전 버전인 ISO15016:2002는 해석의 정확성을 위해 다양한 옵션을 제공하였으나, 옵션에 따른 해석 결과의 편차가 심하고 투명성이 떨어져 해운선사의 불만이 많았다. 그에 따라 MARIN사 주도로 개발된 STA-JIP을 기반으로 ITTC 권고안이 작성되었고, 그 내용이 전부 ISO15016:2015에 포함되어 2015년 4월 공표되었다.

이후 2015년 5월에 개최된 IMO 제68차 MEPC에서 개정된 MEPC.254(67)에 따라 강제적으로 2015년 9월 1일 이후 수행되는 시운전의 수행 및 해석 방법으로 ISO15016:2015을 따르도록 규정하고 있다.

2.2 연구 목적

현재 ISO15016:2015에 따라 속력시운전 결과를 해석하는 프로그램은 3가지가 있다.

첫 번째로, STA-Group에서 개발하고, 네덜란드 MARIN사에서 서비스하는 STAIMO가 있다. STAIMO 프로그램은 미국 선급 ABS의 인증을 받았다.



그림 1 STAIMO 프로그램

두 번째로, 일본선급 ClassNK에서 개발, 배포하는 PrimeShip-GREEN/ProSTA가 있다. Microsoft Excel Macro 기반으로 제작되어 있으며, EEDI 계산을 위한 선속(Vref)을 구하는데 특화되어있어 속도 보증을 위한 프로그램으로 사용하기에는 어렵다.

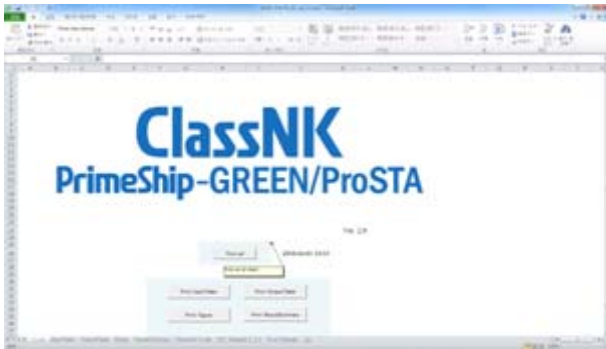


그림 2 PrimeShip-GREEN/ProSTA 프로그램

마지막으로, 선박해양플랜트연구소 (Korea Research Institute of Ship & Ocean Engineering, KRISO)에서 개발한 i-STAP이 있다.



그림 3 i-STAP 프로그램

앞으로 ISO15016:2015에 따라 수행된 실선 속력시운전의 결과 해석을 위해 사용하게 될 i-STAP의 정도를 확인하기 위해 나머지 2종의 S/W를 사용한 해석 결과와 비교하는 테스트를 수행하였다.

3. i-STAP 검증

3.1 검토를 위한 계산 기준

기 인도된 실적 호선 중 COT 9척과 LNGC 9척의 시운전 결과를 이용하여 해석을 수행하였다. 다양한 크기의 호선을 이용해 테스트를 수행하였으며 상세한 내용은 아래와 같다.

표 1 계산에 사용된 호선

선종	크기
COT	Aframax (4), Suezmax (5)
LNGC	266K (2), 170K (4), 160K (2), 145K (1)

3.2 검증 수행 구성

선박의 3대 보증 중 속력 보증 및 EEDI 계산을 위한 선속을 구하기 위해 계약 시 수행 한 모델테스트와 시운전 시의 외력 상황이 다르기 때문에 시운전 결과에 대한 해석이 필요하며 ISO15016:2015 에서는 아래와 같이 해석을 수행하게 된다.

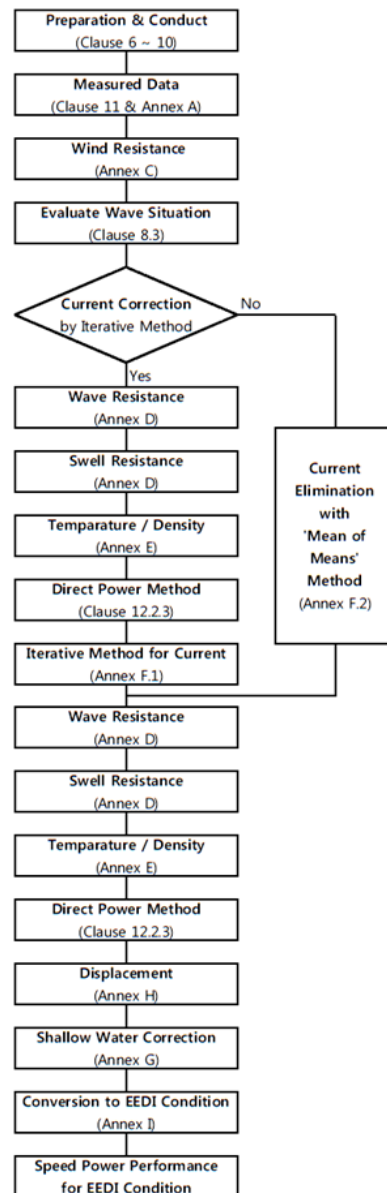


그림 4 ISO15016:2015 Flow Chart of Analysis

ISO15016:2015에서 바람 저항은 Fujiwara 회귀식, STA차트 또는 풍동시험 결과를 사용할 수 있으며, 본고에서는 풍동시험 결과를 사용하였다.

계측된 Double Run 각 항차의 True Wind의 벡터 평균을 사용하도록 한 ISO15016:2015 표준대로 Double Run Average를 사용하여 계산을 수행하였다.

파랑 저항은 STA-JIP에 의해 제시된 STAWAVE-1, STAWAVE-2법과 Seakeeping Model Test 결과를 이용해 부가저항을 추정하는 방법, 일본 NMRI에서 개발한 Hybrid법을 사용할 수 있다. 이 중 Hybrid법은 i-STAP에서만 제공하기 때문에 비교에 사용할 수 없었고, 선수 수직가속도 계측 기록이 없기 때문에 STAWAVE-2법으로 파랑 저항을 계산하였다.

조류 보정은 Iterative, Mean of Means 방법이 있으며, 주로 사용하게 될 것이라 예상되는 Iterative 방법으로 보정을 실시하였다.

선종별로 3가지의 프로그램을 사용해 해석하여 선속, Wind 저항, Wave 저항을 각각 비교하였으며, 각 프로그램의 구동 시간도 비교하여 보았다.

테스트에 적용한 보정 방법을 아래 표 2에 정리하였다.

보정 항목	보정 방법
Wave Correction	STAWAVE-2
Wind Correction	Double Run Average
	Wind Tunnel Test
Current Correction	Iterative Method

추가로 각 보정항목별로 보정방법이 선속에 미치는 영향을 알아보기 위해 i-STAP을 이용하여 Wave 보정 방법(STA법), Current 보정 방법에 따른 선속 비교와 Load Variation 적용에 따른 선속 비교를 수행하였다.

4. 검토 결과

4.1 프로그램 해석 결과 비교

i-STAP을 기준으로 타 프로그램과의 차이를 비교하였으며 저항(kN)은 출력(kW)으로 환산하여 NCR Power 대비 %로 비교하였다. NK사의 프로그램 PrimeShip-GREEN/ProSTA는 표 기상의 편의를 위해 NK로 나타내었다.

4.1.1 선속 해석 결과 비교

그림 5는 COT의 선속 해석 결과를 비교해놓은 차트이다. i-STAP을 기준으로 STAIMO는 평균 0.02knots의 차이를 보였으며, 최대차이는 0.06knots로 확인되었다. NK는 평균

0.01knots의 차이를 보였으며, 최대 차이는 0.02knots로 확인되었다.

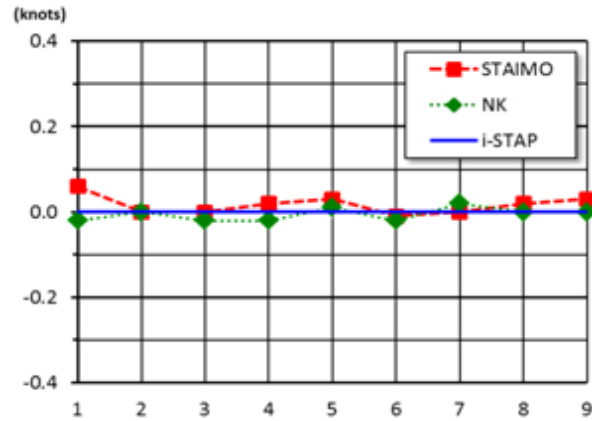


표 5 COT 선속 해석 결과 비교

그림 6은 LNGC의 선속 해석 결과를 비교해놓은 차트이다. i-STAP을 기준으로 STAIMO는 평균 0.05knots의 차이를 보였으며, 최대차이는 0.1knots로 확인되었다. NK는 평균 0.01knots의 차이를 보였으며, 최대 차이 또한 0.01knots로 확인되었다.

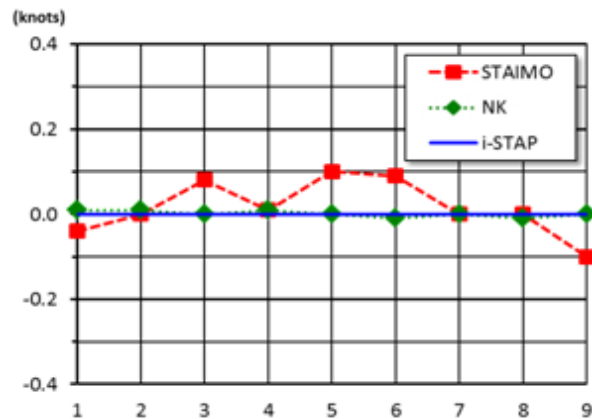


그림 6 LNGC 선속 해석 결과 비교

선속 해석 비교 결과를 아래 표 3에 정리하였다.

i-STAP 대비	COT		LNGC	
	평균	최대	평균	최대
STAIMO	0.02	0.06	0.05	0.1
NK	0.01	0.02	0.01	0.01

i-STAP 해석 결과 대비 STAIMO의 해석 결과가 NK 해석 결과에 비해 차이가 크을 알 수 있다.

선속의 차이가 크게 나지 않지만, 차이가 나는 이유에 대해 알아보기 위해 Wind 저항과 Wave 저항 해석 결과 또한 비교 해 보았다. 같은 표준을 참조하여 제작된 프로그램들이므로 결과 차이가 크게 나지 않을 것으로 예상하였다.

4.1.2 Wind 저항 결과 비교

그림 7은 COT의 Wind 저항 해석 결과를 비교해놓은 차트이다. i-STAP을 기준으로 STAIMO는 평균 0.01%의 차이를 보였으며, 최대차이는 0.05%로 확인되었다. NK는 평균 0.02%의 차이를 보였으며, 최대 차이는 0.06%로 확인되었다.

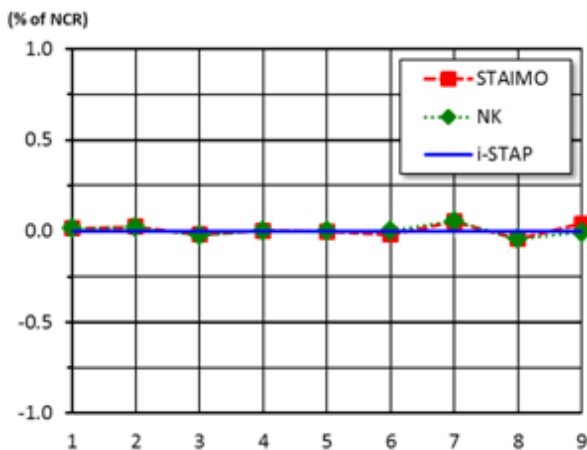


그림 7 COT Wind 저항 해석 결과 비교

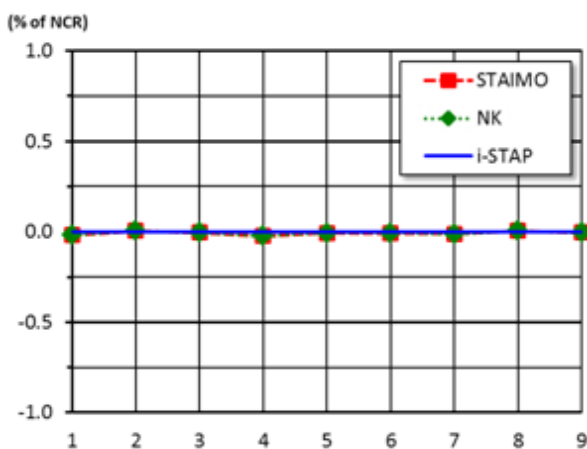


그림 8 LNGC Wind 저항 해석 결과 비교

그림 8은 LNGC의 Wind 저항 해석 결과를 비교해놓은 차

트이다. i-STAP을 기준으로 STAIMO는 평균 0.01%의 차이를 보였으며, 최대차이는 0.02%로 확인 되었다. NK 프로그램도 마찬가지로 평균 0.01%의 차이를 보였으며, 최대차이는 0.02%로 확인되었다.

Wind 저항 비교 결과를 아래 표 4에 정리하였다.

표 4 Wind 저항 해석 결과 차이 (단위 : %)

i-STAP 대비	COT		LNGC	
	평균	최대	평균	최대
STAIMO	0.01	0.05	0.01	0.02
NK	0.02	0.06	0.01	0.02

예상했던 것처럼 세 프로그램의 Wind 저항 결과는 크게 차이가 나지 않았다. 입력한 풍동시험 결과를 가지고 각 항체에 적용할 Wind 저항 계수 (CAA)를 계산한 결과도 세 프로그램이 거의 같게 해석되었으며 각 프로그램의 결과보고서 내 Wind 저항 계산 부분에 나오는 True wind velocity 및 direction의 계산치도 거의 같게 계산되었다.

4.1.3 Wave 저항 결과 비교

그림 9는 COT의 Wave 저항 해석 결과를 비교해놓은 차트이다. i-STAP을 기준으로 STAIMO는 평균 0.14%의 차이를 보였으며, 최대차이는 0.33%로 확인되었다. NK는 평균 0.12%의 차이를 보였으며, 최대 차이는 0.27%로 확인되었다.

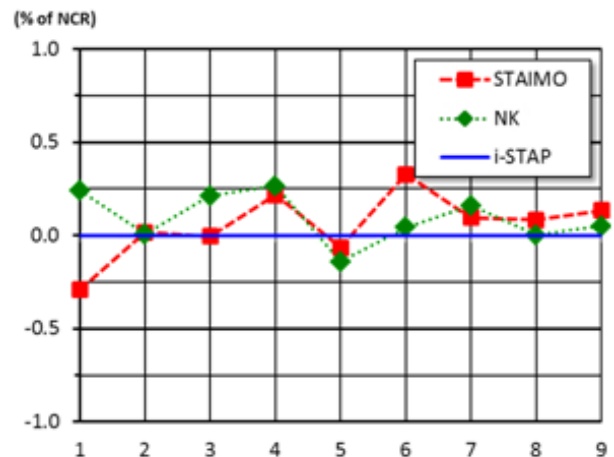


그림 9 COT Wave 저항 해석 결과 비교

그림 10은 LNGC의 Wave 저항 해석 결과를 비교해놓은 차

트이다. i-STAP을 기준으로 STAIMO는 평균 0.05%의 차이를 보였으며, 최대차이는 0.19%로 확인되었다. NK는 평균 0.00%의 차이를 보였으며, 최대 차이는 0.04%로 확인되었다.

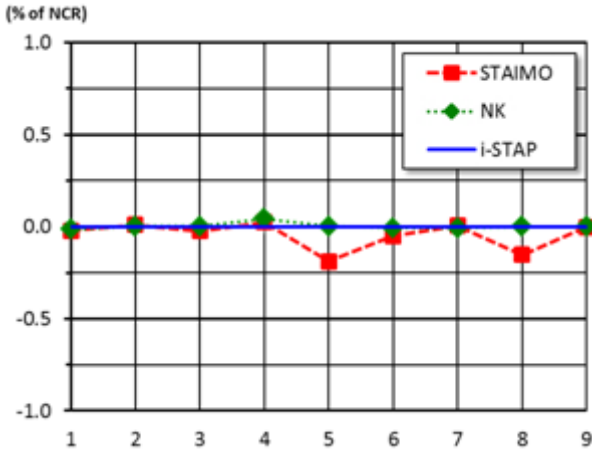


그림 10 LNGC Wave 저항 해석 결과 비교

Wave 저항 비교 결과를 아래 표 5에 정리하였다.

표 5 Wave 저항 해석 결과 차이 (단위 : %)

i-STAP 대비	COT		LNGC	
	평균	최대	평균	최대
STAIMO	0.14	0.33	0.05	0.19
NK	0.12	0.27	0.00	0.04

Wave 저항은 Wind 저항과 다르게 조금 차이를 보였다. Wind 저항은 간단한 계산식으로, 프로그램 결과 보고서에도 자세한 계산 과정이 나오는 반면, Wave저항은 계산과정이 매우 복잡하고 계산 과정 없이 결과만 나타나 있다.

같은 보정법을 선택했음에도 차이가 나는 이유는 Swell 계산 차이에 의한 것으로 보이며, 근거로 '실선 시운전 EEDI 기준선속 해석 프로그램 개발' 연구사업의 최종 보고서(KRISO, 신명수 외, 2015)에 따르면, i-STAP은 Wind wave의 경우 Modified Pierson-Moskowitz 스펙트럼을 사용하고, Swell의 경우 JONSWAP 스펙트럼을 사용하는 반면 NK와 STAIMO의 경우에는 Swell도 Wind wave와 마찬가지로 Modified Pierson-Moskowitz 스펙트럼을 사용하여 계산한다.

이와 같은 문제가 생긴 이유로 ISO15016:2015 내 Annex D를 보면, Wind wave의 경우 Modified Pierson-Moskowitz 스펙트럼을 사용하도록 식이 제공되어 있으며, Narrow band

wave의 경우 JONSWAP 스펙트럼을 사용하도록 식이 제공되어 있다. 하지만, ISO15016:2015의 근간이 되는 ITTC 절차서에는 JONSWAP 스펙트럼에 관한 식은 나오지 않으며, Modified Pierson-Moskowitz 스펙트럼을 사용하도록 되어 있다. 또한, ISO15016:2015에 STAWAVE-2법을 설명한 Annex D.2를 보면 Wave 저항을 계산하는 마지막 식 D.23의 각 항에 대한 설명에 modified Pierson-Moskowitz 스펙트럼이 명시되어 있다. NK와 STAIMO의 경우 이를 따라서 Wind wave와 Swell 모두 Modified Pierson-Moskowitz 스펙트럼을 사용하는 것으로 보인다.

하지만, ISO15016:2015 Annex D에 Narrow band wave 스펙트럼에 대해 JONSWAP 스펙트럼이 일반적으로 적용된다고 명시되어 있으므로 장주기인 Swell은 JONSWAP 스펙트럼을 사용하여 계산하는 i-STAP이 더 타당한 해석 방법이라고 보인다.

4.1.4 해석 소요 시간 비교

3가지 프로그램의 Running Time을 계측하여 비교하였다. 비교는 해석을 총 5번을 수행한 결과를 이용하여 표 6에 나타내었다.

표 6 프로그램 별 Running Time 비교 (단위 : 초)

Case	i-STAP	STAIMO	NK
Case 1	1	162	30
Case 2	1	144	20
Case 3	2	150	36
Case 4	1	142	21
Case 5	2	150	26
Average	1	150	27

Data를 입력하는 프로그램 안에 해석을 하는 프로그램이 따로 존재하는 STAIMO와 엑셀 매크로 기반으로 제작된 NK에 비해 i-STAP이 해석 수행 속도가 월등히 빠르며, 다양한 조건의 검토에 매우 용이함을 알 수 있다.

4.2 해석 방법에 따른 결과 비교

ISO15016:2015를 적용하여 시운전 결과를 해석해야 함에 따라 각 보정 항목에 대해 제공되는 보정 방법이 선속에 미치는 영향을 비교해보고자 수행하였다. 조류보정방법 Iterative method와 Mean of Means method 적용에 따른 선속 비교와

Wave 보정 방법 STAWAVE-1과 STAWAVE-2 적용에 따른 선속 비교, Load Variation 적용에 따른 선속 비교를 수행하였다. 보정 방법 이외의 모든 입력 데이터는 동일하게 입력하였다.

4.2.1 조류 보정 방법에 따른 결과 비교

조류는 측정된 각 항차의 선속으로부터 추정되며 ISO15016:2015에서는 두 가지 보정 방법을 제공한다. Iterative method의 경우 예측된 선속과 동력을 이용하여 최소제곱법을 이용해 반복 계산하여 수렴 값을 찾아내는 방법으로 계산한다. Mean of Means method의 경우 조류속도를 시간의 함수로 정의해 놓고 각 항차의 시간 간격과 동력 설정의 평균값을 사용해 계산을 수행한다.

조류 보정법 선택에 따라 수행해야 하는 시운전 Double run의 수가 달라진다. 신조선의 경우 Iterative method를 사용하면 EEDI 파워(75%)에서 2회의 Double run, EEDI 파워 이상 및 이하에서 각 1회의 Double run, 총 4회를 수행하여야 하고, Mean of Means method를 사용하면 각 파워에 대해 2회의 Double Run, 총 6회를 수행하여야 한다. 더불어, Means of Method의 경우 제약 조건이 더 까다롭다. Double Run의 각 항차의 시간 간격을 25%까지만 허용하며, 각 항차의 조류 속도 차이가 0.2knots 이상일 경우 Double run 1회를 더 수행하여야 한다.

그렇기 때문에, 자주 사용하게 될 Iterative Method를 기준으로 Mean of Means Method를 비교해 보았다. Wave의 해석 및 보정은 STAWAVE-2법을 이용하여 수행하였으며, 최대 0.12knots의 차이를 보였다.

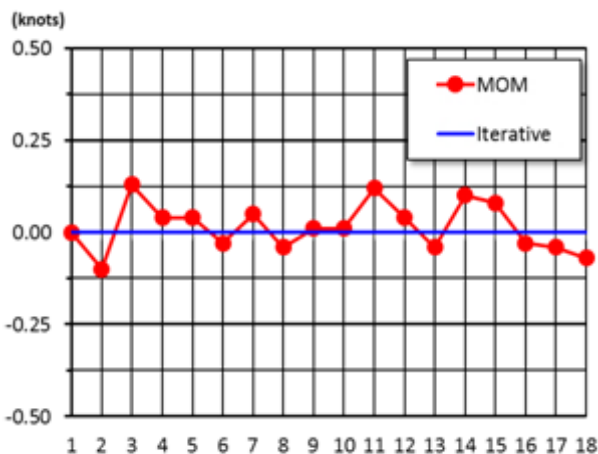


그림 11 조류 보정 방법에 따른 선속 비교 결과

4.2.2 Wave 저항 보정 방법에 따른 결과 비교

STAWAVE-1법의 경우 선박의 운동이 작을 경우 사용할 수 있는 단순한 수식으로 Wave 저항을 계산하도록 되어 있다. 사용하기 위해서는 선수 수직가속도를 측정하여야 하며, 선수 수직가속도가 0.05g 이하일 경우에만 사용할 수 있다.

STAWAVE-2법은 제공하는 실험식과 파 스펙트럼을 이용하여 계산을 수행하게 된다.

각 선종당 3척씩 총 6척으로 비교를 수행하였다. Current 보정은 Iterative Method를 이용하여 수행하였으며, 선속은 최대 0.014knots의 차이를 보였다.

타 선종에 비해 선속이 느리고 방형계수가 커서 상대적으로 Wave 저항의 영향을 많이 받는 COT가 포함된 결과임에도 두 해석법의 선속 차이가 크지 않음을 알 수 있다.

따라서 시운전 출항 전 선수 수직가속도 측정을 위한 장비를 설치하지 않고 STAWAVE-2를 적용하여 Wave를 보정하는 것이 더 적절하다고 판단된다.

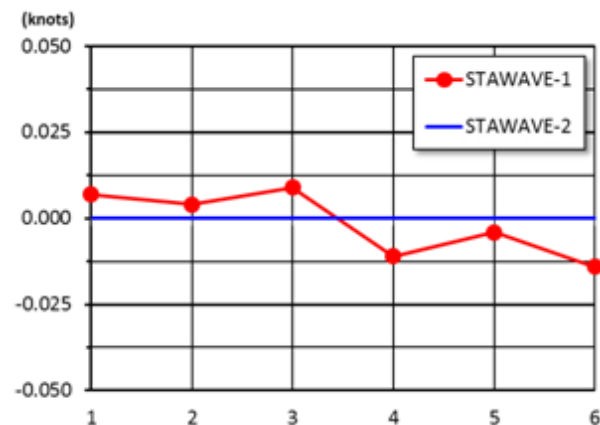


그림 12 Wave 보정 방법에 따른 선속 비교 결과

4.2.3 Load Variation Variable 적용 결과 비교

Load Variation Test를 수행한 자료가 없으므로, 세 프로그램 간의 차이를 비교한 본 테스트에서는 하중 변동 계수를 0으로 적용하여 선속 비교를 수행하였다. 이후 Load Variation Test를 수행하게 되고, 적용하게 될 경우를 생각하여 선속에 영향을 미치는 하중 변동 계수 ξ_p 를 -0.10이라 가정하고 해석을 수행하였다.

마찬가지로 각 선종당 3척씩 총 6척으로 비교를 수행하였고, 하중 변동 계수 외의 데이터는 모두 동일하게 적용하였다. 선속은 평균 0.03knots 증가하였으며, 최대 0.05knots가 증가하였다.

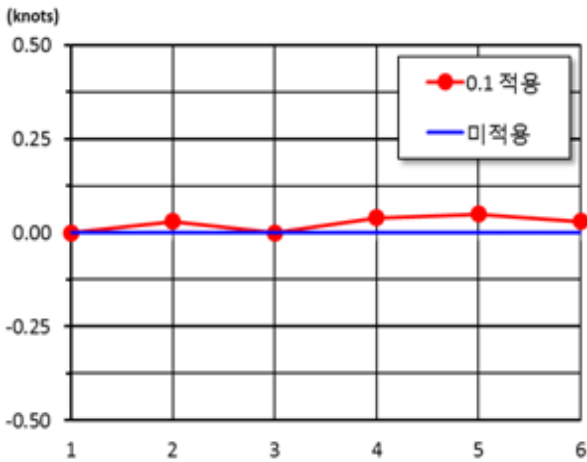


그림 13 Load Variation에 따른 선속 비교 결과

5. 결론

i-STAP과 PrimeShip-GREEN/proSTA의 선속 비교 결과 최대 0,04knots의 차이를 보였으며, STAIMO와의 비교 결과 최대 0,1knots의 차이를 보였다. Wind 저항, Wave 저항 등 각 외력에 대한 보정량의 차이는 최대 0,3% of NCR(100kW 미만)로 결과에 큰 영향을 주지 않았다.

세 프로그램 간의 약간의 결과 차이는 Wave 저항 보정 시 STAWAVE-2의 Swell 보정 방법 적용에 따른 차이이며, 세 프로그램 모두 결과가 크게 차이가 나지 않으므로 EEDI 계산에 사용하기에 적합하다.

타 프로그램에 비해 i-STAP이 구동 속도가 월등히 빨라 다양한 조건의 검토에 매우 용이하였으며, 데이터 입력 및 결과 보고서가 더 직관적이고 사용자 친화적이다.

참고 문헌

ISO, ISO15016:2015 Ships and marine technology - Guidelines for the assessment of speed and power performance by analysis of speed trial data

IMO Resolution MEPC,245(66) - 2014 Guidelines on the method of calculation of the attained Energy Efficiency Design Index(EEDI) for new ships

IMO Resolution MEPC,254(67) - 2014 Guidelines on survey and certification of the Energy Efficiency Design Index(EEDI)

IMO Resolution MEPC,261(68) - Amendments to the 2014 Guidelines on survey and certification of the Energy Efficiency Design Index(EEDI)

KRISO (2015), '실선 시운전 EEDI 기준선속 해석 프로그램 개발'

ITTC, Recommended Procedure and Guidelines 7.5-04-01-01.1 'Preparation and Conduct of Speed/Power Trials'

ITTC, Recommended Procedure and Guidelines 7.5-04-01-01.2 'Analysis of Speed/Power Trial Data'



유기범

- 1989년생
- 2015년 인하대학교 조선해양공학과 학사
- 현 재 : 삼성중공업 기본종합설계 사원
- 관심분야 : Hydrostatic, Stability
- 연락처 : ***-****-****
- E-mail : gibeom.yoo@samsung.com



한영수

- 1981년생
- 2010년 인하대학교 조선해양공학과 석사
- 현 재 : 삼성중공업 기본종합설계 대리
- 관심분야 : Naval Architecture, CAD
- 연락처 : ***-****-****
- E-mail : ys80.han@samsung.com



강대열

- 1967년생
- 1993년 부경대학교 조선공학과 학사
- 현 재 : 삼성중공업 기본종합설계 부장
- 관심분야 : 시운전, Stability
- 연락처 : ***-****-****
- E-mail : dy29.kang@samsung.com