

# 운항조건에서 11,000TEU 컨테이너선의 소요마력 저감을 위한 트림변화 연구

이준형<sup>1</sup> · 천장호<sup>2</sup> · 김명수<sup>1,†</sup> · 박범진<sup>1</sup> · 유용완<sup>2</sup> · 이영연<sup>1</sup> · 안해성<sup>1</sup> · 김영선<sup>3</sup> · 임일진<sup>3</sup>  
한국해양과학기술원 부설 선박해양플랜트연구소<sup>1</sup>  
(주)한진중공업<sup>2</sup>  
에이치엠엠(주)<sup>3</sup>

## A Study on Trim Variation to Reduce the Required Power of 11,000TEU Container Ship in Operation Condition

Joon-Hyoung Lee<sup>1</sup> · Jang-Ho Chun<sup>2</sup> · Myoung-Soo Kim<sup>1,†</sup> · Beom-Jin Park<sup>1</sup> · Yongwan Yu<sup>2</sup> · Young-Yeon Lee<sup>1</sup> · Haeseong Ahn<sup>1</sup> · Youngsun Kim<sup>3</sup> · Iljin Lim<sup>3</sup>  
Korea Research Institute of Ships and Ocean Engineering<sup>1</sup>  
Hanjin Heavy Industries & Construction Co.,Ltd.<sup>2</sup>  
HMM Co.,Ltd.<sup>3</sup>

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

In this paper, the effect of trim variation on the required power of 11,000TEU container ship was investigated under conditions considering the actual operation speed and draft. For each draft condition, the effective power ( $P_E$ ) and delivered power ( $P_D$ ) trends were investigated with changes in trim and ship speed. At this time, the displacement volume was fixed same as the value of the even trim condition and the both sinkage at the fore and after perpendicular are confirmed. The test ship speeds were determined by considering the operating speed. Both numerical and experimental methods were used to analyze the effects of trim variation. Numerical analysis results were used for evaluating the resistance performance, and the self-propulsion performance was estimated using experimental data obtained from model test.

**Keywords** : Operation condition(운항조건), Container ship(컨테이너선), Trim variation(트림변화), Required power(소요마력)

## 1. 서론

국제해사기구인 IMO(International Maritime Organization)는 지구온난화와 같은 환경문제를 개선하고자 해양환경에 영향을 미치는 선박 운항에 대한 규제를 강화해왔다. IMO의 주요 협약 중 하나인 MARPOL(International Convention for the Prevention of Pollution from Ships)은 해양환경의 오염방지를 위한 선박 설계·건조 단계의 규제를 다루고 있다. 특히 MARPOL Annex VI는 선박에서 배출되는 SOx, NOx 등의 GHG(Green House Gas) 배출량을 감소시킴으로써 대기오염을 방지하도록 규제하고 있다.

또한 MEPC(Marine Environment Protection Committee)에

서는 MARPOL 협약을 준수하여 선박의 GHG 배출량 감축을 목표로 하고 있으며, IMO GHG Study는 2008년부터 2018년까지의 선종 별 GHG 배출량 통계 및 규제 적용에 따른 미래의 GHG 배출량 시나리오를 예측하고 있다 (IMO, 2020a). 운항하는 선박에 대한 대표적인 적용 규제로는 EEOI(Energy Efficiency Operational Indicator), SEEMP(Ship Energy Efficiency Management Plan)를 들 수 있으며, 최근에는 EEXI(Energy Efficiency Existing Ship Index)와 CII(Carbon Intensity Indicator)에 대한 적용을 MEPC 75차에서 승인하였고, MEPC 76차에서 채택을 검토 중에 있다 (IMO, 2020b).

위의 규제 및 조약 모두 선박의 GHG 배출량 감소와 에너지 효율 증가를 의무적으로 요구하고 있으며, 이를 충족시키기 위한 연구들이 활발하게 수행되고 있다. 대표적인 방안으로는 선

박에 직접적으로 적용하는 기술적 방안(technical measures), 대체연료 및 에너지원(alternative fuels or energy sources), 유지관리전략(maintenance strategies), 운항적 방안(operational measure), 그리고 선박의 GHG 배출량을 경제적으로 고려하여 적용하는 시장기반방안(MBM, Market Based Measures)이 있으며, Table 1에 각 방안 별 세부적인 사항들에 대해 정리하였다 (GloMEEP, 2018; Jung et al., 2020).

선박에 직접적으로 적용하는 대부분의 방안들은 비용적, 시간적인 경제성 검토 후 나온 제안들이며, 그 중 트림 최적화 (Trim optimization)는 발라스트수의 조절 또는 화물의 배치를 통해 현실적으로 선박에 비교적 쉽게 적용할 수 있는 방법이다. 또한 모든 선박에 적용이 가능하며, 선박의 효율을 높여 연료소비를 줄임으로써 비용적인 부분을 감소시킬 수 있다 (Kishev et al., 2014).

선박의 저항 및 추진성능 분석에 수치해석의 활용이 점차 증가하고 있다. 더불어, 지속적인 컴퓨팅 파워와 병렬처리 기술의 발달로 수치해석을 이용한 선박의 성능평가에 대한 신뢰도는 모형시험 수준에 이르고 있다. 수치해석은 모형시험을 통해 얻는데 한계가 있는 국부 영역에 대한 추가 정보 획득과 함께 모사대상 영역 전역 전역에 걸친 유동장의 가시화가 가능한 장점이 있다. 그러나 추진성능 평가에 있어 수치해석은 프로펠러를 직접 모사(direct numerical simulation)하거나 동체력(body force)을 활용하여 모사하는 등의 기법이 존재하나, 직접 모사하는 방법은 현업에서 활용하기에 막대한 계산 시간(computing time)이 필요하고, 동체력을 활용하는 방법은 트림 변화와 같이 미소한

계산 조건 변화에 따른 모사 결과의 변별력을 기대하기 어렵다. 이에 따라 모형시험과 수치해석의 장점을 활용하여 속도마력 성능을 추정하는 연구를 수행하였다.

선박의 트림변화는 선체의 저항에 영향을 미치며, 선체의 저항은 선박의 소요동력과 높은 상관관계가 있다 (Park et al., 2014). 따라서 저항성능 분석에 대하여 모형시험 (Iakovatos et al., 2013; Liarokapis et al., 2017)과 수치해석 (Seo et al., 2015; Islam & Soares, 2019; Gao et al., 2019)을 이용한 많은 연구가 수행되었다. 이 연구들은 저항성능 분석을 통해 트림 변화에 따른 선체의 저항, 자세, 파형의 변화를 언급하였으며, 더 나아가 수치해석을 이용하여 저항을 성분 별로 분류하여 검토한 바 있다 (Park et al., 2013; Han et al., 2015). 선박의 소요마력을 분석하기 위한 연구도 많이 수행되었는데, 이는 모형시험을 활용하거나 (Sogihara et al., 2018; Alexandrina, 2015), 수치해석의 저항결과와 모형시험의 저항결과를 함께 활용하여 분석을 수행하였다 (Kim et al., 2015).

본 연구에 사용된 대상선은 11,000TEU 컨테이너선으로 실 운항에서의 연비효율 등을 고려하여 설계 속도에 비하여 저속으로 운항 중이다. 대상선을 보유 및 관리하는 선사의 제공 자료를 바탕으로 실제 운항 조건을 반영한 흡수 및 속도를 연구 수행 조건으로 선정하였다.

각 흡수에 대해 초기 트림상태의 배수량을 유지한 상태에서 선수 및 선미트림을 고려하였으며, 실제 운항 조건인 저속 범위에서 연구를 수행하였다. 대상선의 소요마력에 미치는 영향 분석에 있어 저항성능 분석은 수치해석을, 추진성능 분석은 모형 시험과 수치해석을 이용하였다.

Table 1 Detail methods to improve energy efficiency and reduce GHG emission

Type of measure	Detail methods
Technical measures	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Optimization of hull form</li> <li>- Propeller modifications</li> <li>- Engine modifications</li> <li>- Air lubrication</li> <li>- Energy saving devices</li> <li>- Waste heat recovery ...</li> </ul>
Alternative fuels or energy sources	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Biofuels</li> <li>- LNG</li> <li>- Hydrogen</li> <li>- Fuel cell</li> <li>- Solar</li> <li>- Wind ...</li> </ul>
Maintenance strategies	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Hull and propeller cleaning</li> <li>- Hull surface coating(anti-fouling paint) ...</li> </ul>
Operational measures	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Voyage route optimization</li> <li>- Weather routing</li> <li>- Speed reduction</li> <li>- Trim optimization ...</li> </ul>
Market based measures	<ul style="list-style-type: none"> <li>- GHG fund</li> <li>- Emission trading system(ETS)</li> <li>- Emission incentive system(EIS) ...</li> </ul>

## 2. 대상선

대상선은 2018년 건조하여 현재까지 운항을 하고 있는 선박으로 주요제원은 Table 2와 같다.

Table 2 Principal particulars for target vessel

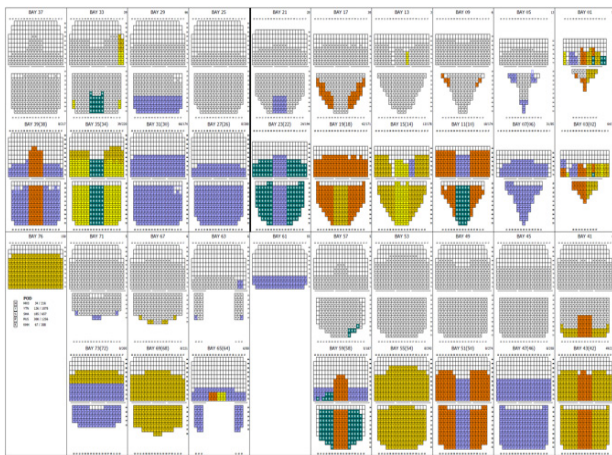
Item	Ship	Model	
Scale ratio	[-]	1/38.8	
Length between perpendiculars(LPP)	[m]	316.4	8.155
Breadth(B)	[m]	48.2	1.242
Depth(D)	[m]	27.2	0.701

## 3. 실제운항조건 및 트림조건

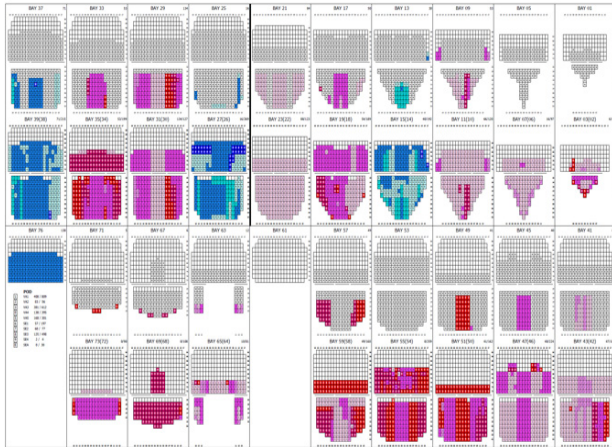
대상선의 Stowage plan, Trim and Stability Booklet 등의 선사에서 제공한 자료를 바탕으로 연구 수행 조건을 구체화하였다. T1과 T2의 두 개 흡수를 선정하였으며, Fig. 1에 각 흡수에서의 Stowage plan을 나타내었다. 대상선의 선수 및 선미에서

의 각 흘수의 높이를 Fig. 2에 나타내었으며, T2 흘수의 경우 Even 상태에서 대상선의 선수벌브 상단이 수면위로 돌출됨을 확인할 수 있다.

실제운항조건을 반영한 T1과 T2의 두 개의 흘수에 대하여 트림변화에 따른 저항추진성능 변화를 분석하였다. 트림은 FP 흘수에서 AP 흘수를 뺀 값( $T_{FP}-T_{AP}$ )으로 정의하였으며, Fig. 3과 같이 선수트림은 양의 값(+), 선미트림은 음의 값(-)으로 정의하였다. 각 흘수에서의 배수량은 트림에 관계없이 Even 상태의 배수량과 동일하게 적용하였다.



(a) T1



(b) T2

Fig. 1 Stowage plan of target vessel

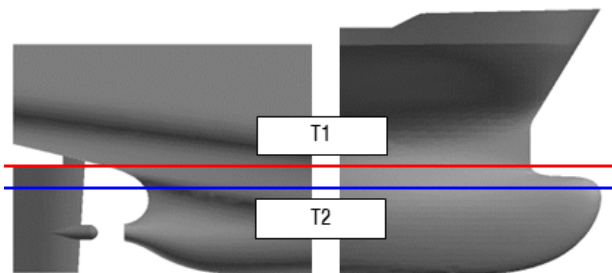


Fig. 2 Schematic configuration of T1 and T2 at bow and stern

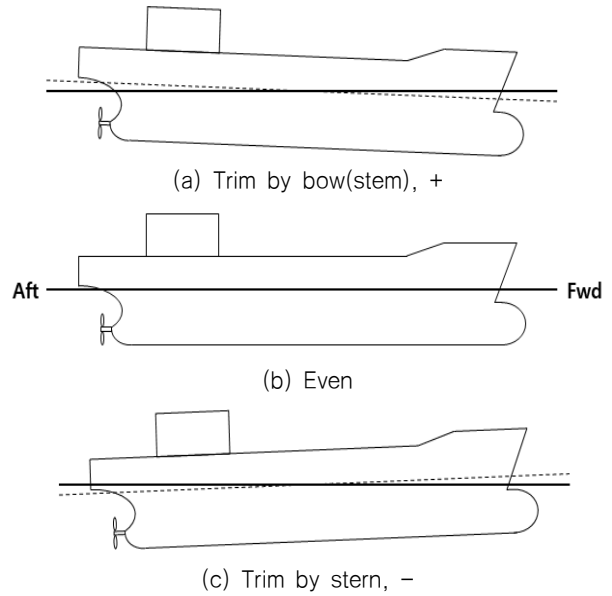


Fig. 3 Definition of trim

Table 3 Analysis conditions

Draft condition	[-]	T1	T2
Froude number	[-]	about 0.11, 0.14, 0.16	
Trim( $T_{FP}/T_{AP}$ )	[m]	-1	
		12.46/13.46	10.48/11.48
		0(Even)	
		13.00/13.00	11.00/11.00
		+1	
		13.54/12.54	11.52/10.52
		+2	
		14.07/12.07	12.04/10.04

또한, 대상선은 실제 설계 속도보다 낮은 속도로 운항하기 때문에, 저속운항 조건을 포함한 범위에서 연구를 수행하였다. Table 3에 본 연구의 모형시험 및 수치해석을 위한 연구 수행 조건을 요약하여 나타내었다. 모형시험 및 수치해석 결과를 활용하여 트림변화에 따른 저항추진 성능을 Even 상태에서의 성능과 비교하여 분석하였다.

#### 4. 모형선-실선 성능 확장방법

본 연구에서는 2차원 ITTC 1978 해석법을 사용하여 모형선 결과를 실선 결과로 확장하였으며, Table 4에 저항 및 추진성능 분석에 사용되는 대표적인 식과 각 식에 사용되는 물리량에 대하여 파란색(모형시험)과 빨간색(수치해석)으로 구분하여 정리하였다. 한정된 자원 등의 현실적인 상황 및 해당 방법의 신뢰도를 고려하여 저항성능 분석에는 수치해석 결과를 이용하였으며, 추진성능 분석에는 수치해석 및 모형시험 결과를 이용하였다.

Table 4 Formulas of full scale prediction

Resistance
$C_{TM} = R_{TM} / 0.5\rho_M V_M^2 S_M$
$C_R = C = C_{TM} - C_{EM} = C_{RS}$
$C_{TS} = C_{FS} + C_R + C_A$
$R_{TS} = 0.5\rho_S V_S^2 S_S C_{TS}$
$P_E = R_{TS} V_S$
Propeller Open Water
$J = V_A / nD$
$K_T = T / \rho n^2 D^4$
$K_Q = Q / \rho n^2 D^5$
Propulsion
$R_C = R_{TM} (C_{FMC} + C_R) / (C_{FM} + C_R)$
$t = (T_M + F_D - R_C) / T_M$
$w_{TS} = (t + 0.04) + (w_{TM} - t - 0.04) \frac{C_{FS} + C_A}{C_{FM}}$
$K_T / J^2 = \frac{S_S}{2D^2} \frac{C_{TS}}{(1-t)(1-w_{TS})^2} \rightarrow J_{TS}, K_{QTS}$
$n_S = (1 - w_{TS}) V_S / J_{TS} D$
$P_D = 2\pi\rho D^5 n_S^3 K_{QTS} / \eta_R$
$\eta_D = P_E / P_D$
$\eta_H = (1-t) / (1-w)$
$\eta_R = Q_O / Q$

## 5. 저항성능 분석

### 5.1 수치해석

수치해석에는 상용 CFD 수치해석 코드인 STAR-CCM+ v13.06을 사용하였으며, 모형시험 결과와의 비교, 분석을 위해 축척비 38.8의 모형 스케일을 고려하였다. 지배방정식은 연속 방정식과 RANS(Reynolds Averaged Navier-Stokes) 방정식으로 지배방정식의 대류항과 확산항은 2차 정확도를 가진다. 난류 모델은 RSM(Reynolds Stress Model)이며, 시간과 공간에 대해 각각 1차, 2차 정확도의 차분을 적용하였다. 자유수면을 고려하기 위해 VOF(Volume of Fluid) 방법을 적용하였다. 또한 모형 시험과 동일한 Pitch 및 Heave 거동을 모사하기 위해 2자유도 운동을 고려하였다.

수치해석 영역은 FP를 기준으로 선수 방향으로 1.0L<sub>pp</sub>, 선미 방향으로 3.0L<sub>pp</sub>, 폭 방향으로 1.5L<sub>pp</sub>이며, 자유수면을 기준으로 상부면까지 1.0L<sub>pp</sub>, 바닥면까지 1.5L<sub>pp</sub>를 적용하였다. Fig. 4에 수치해석영역 및 경계조건을 나타내었다.

격자구성에는 Trimmer mesh를 적용하였으며, 선체표면 및 벽 근방의 경계층을 비교적 정확히 묘사하기 위해 Prism layer를 적용하였다. 각 흡수의 높이가 선수밸브에 근접하므로 선수파

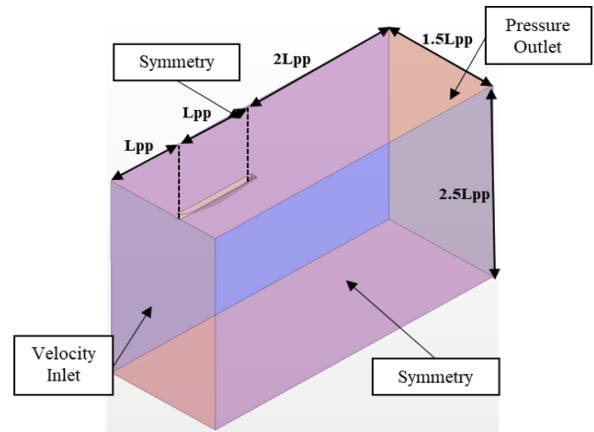
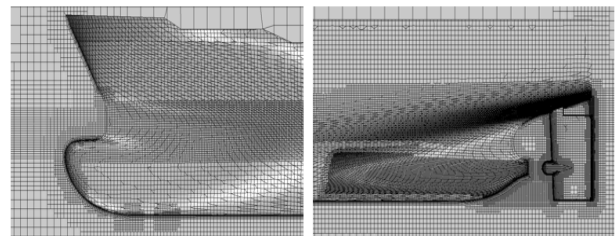


Fig. 4 Computational domain and boundary condition



(a) Bow (b) Stern

Fig. 5 Grid distribution at bow and stern

및 선수파에 의한 선체 거동이 클 것으로 예상되어 세밀한 격자를 자유수면 근처에 넓게 분포시켰다. 또한, 선미 형상에 의해 발생하는 와류(vortex) 유동을 고려하여 선미부에도 조밀한 격자를 분포시켰다. 수치해석에 사용된 격자수는 반폭 기준으로 약 2.6백만 개이며, Fig. 5에 선수 및 선미부 근처의 격자구성을 나타내었다.

### 5.2 수치해석 유효성 검토

수치해석 결과의 유효성을 검토하기 위해 Even 상태에서의 저항추진성능 결과를 모형시험 결과와 비교하였으며, 모형시험 결과를 기준으로 오차를 Table 5에 정리하였다.

저항성능 비교 결과, T1 흡수의 Fn=0.11 조건에서 모형시험 결과와 R<sub>TM</sub> 약 1.7%, P<sub>E</sub> 약 3.5%의 오차를 확인하였다. 그러나 추진성능 비교 결과, 동일 조건에서의 오차가 P<sub>D</sub> 약 1.2%로 감소하였음을 확인하였으며, 전달요구마력에 있어서는 모든 조건에서 1.2% 이내의 오차를 보여 본 연구와 같은 저항추진성능 분석의 유효성을 확인하였다.

Table 4에서 확인할 수 있듯이, 모형선-실선 확장에 있어 수치해석의 저항 결과(R<sub>TM</sub>)와 모형시험의 프로펠러단독(T<sub>O</sub>, Q<sub>O</sub>) 및 저항 결과(n, T, Q)를 사용하였다. 실선 성능으로 확장하는 과정에서 수치해석과 모형시험 간의 R<sub>TM</sub> 오차가 t, w<sub>TS</sub>, K<sub>T</sub>/J<sup>2</sup>에 영향을 주게 된다. 이로 인해 실선의 효율 및 동력에 상관관계가 높은 J<sub>TS</sub>의 오차가 감소하였고, 결과적으로 추진성능의 오차가 줄어들게 되었다.

Table 5 Difference between CFD and model test at even condition

		Difference (CFD - Model test)/(Model test)[%]								
		$F_n$	$R_{TM}$	$C_{TS}$	$P_E$	$J_{TS}$	$\eta_H$	$\eta_O$	$\eta_D$	$P_D$
T1		0.11	1.7	3.5	3.5	1.5	1.2	1.1	2.3	1.2
		0.14	0.0	0.1	0.1	0.0	0.1	0.2	0.3	-0.2
		0.16	-1.0	-2.0	-2.0	-0.7	-0.7	-0.3	-1.1	-1.0
T2		0.11	-0.6	-1.0	-1.1	-0.4	-0.4	-0.3	-0.5	-0.6
		0.14	-0.5	-0.9	-0.9	-0.3	-0.3	-0.3	-0.5	-0.5
		0.16	-0.4	-0.7	-0.7	-0.3	-0.3	-0.1	-0.3	-0.4

### 5.3 수치해석 결과

대상선의 트림변화에 따른 성능 변화를 유효동력 기준으로 비교하여 Fig. 6 및 Fig. 7에 나타내었다. T1 흘수의 경우,  $F_n=0.11$ 의 저속상태를 제외하면, Even 상태의 유효동력이 작게 요구되는 경향을 보였다. 저속상태는 운항 빈도가 낮고, 절대적인 FOC(Fuel Oil Consumption)가 상대적으로 작아, 트림 변화에 따른 요구되는 유효동력의 차이는 다른 속도 조건에 비해 작을 것이다. T2 흘수의 경우, 모든 조건에서 선수트림이 증가할수록 유효동력이 크게 감소하는 경향을 확인하였다.

Fig. 8은  $F_n=0.14$  조건에서 각 흘수별 트림변화에 따른 선수 측면에서의 파형분포를 보여준다. T1 흘수의 경우, 트림변화에 따른 파형분포가 유사하나 선수트림이 증가할수록 파고가 낮아지는

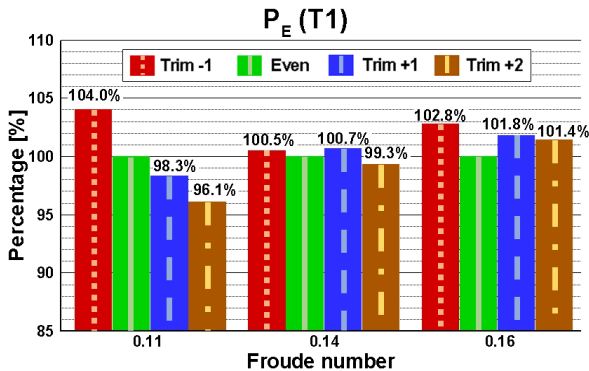


Fig. 6 Relative comparison of effective power at T1

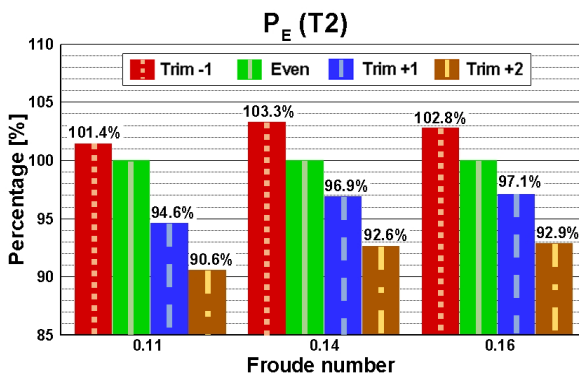
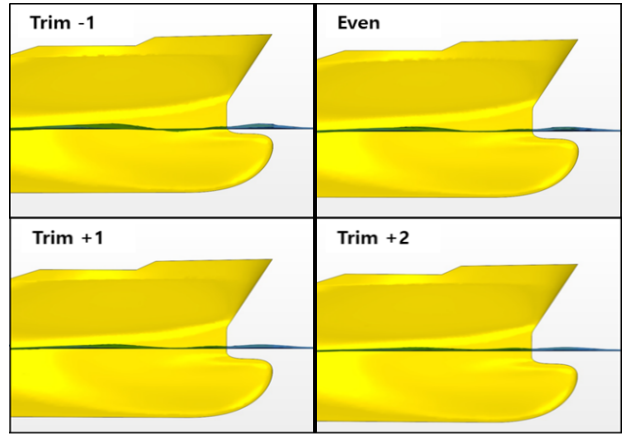
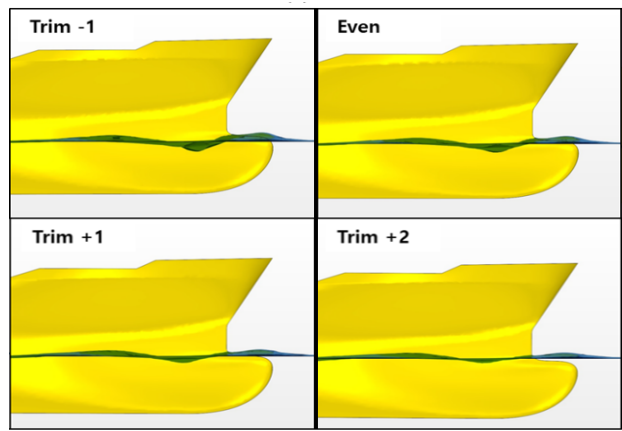


Fig. 7 Relative comparison of effective power at T2



(a) T1



(b) T2

Fig. 8 Wave pattern at bow ( $F_n=0.14$ )

경향을 확인하였다. T2 흘수의 경우, T1흘수와 동일한 경향을 보이나, 트림변화에 따른 선수별브 상단의 수면 위 돌출정도가 파형분포에 큰 변화를 가져와 유효동력에 영향을 미쳤음을 확인하였다. 이는 선수별브가 상대적으로 많이 돌출되는 조건에서 트림변화가 매우 유의한 결과를 제공할 수 있음을 의미한다.

## 6. 추진성능 분석

### 6.1 모형시험

모형시험을 이용하여 트림별 추진성능 분석을 위한 자항요소 및 추진효율 획득을 위해, 수치해석과 동일한 트림 및 속도 조건에서 자항시험을 수행하였다. 모형시험은 Fig. 9와 같이 길이 200m, 폭 16m, 깊이 7m의 KRISO 선형시험수조에서 수행하였으며, 제작된 모형선과 모형시험 수행 장면은 Fig. 10과 같다.

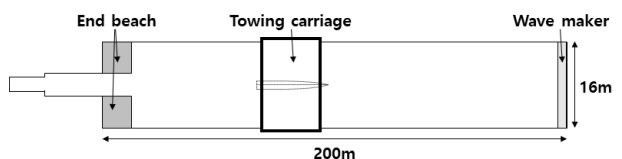


Fig. 9 Schematic of KRISO towing tank



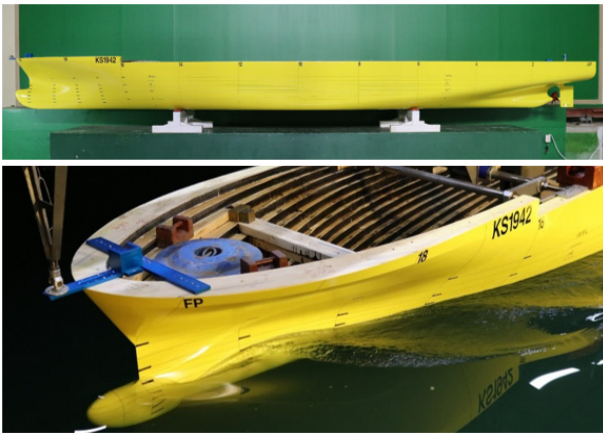


Fig. 10 Model ship and model test at T2, trim +1

### 6.2 모형시험 결과

수치해석을 통해 얻어진 결과와 자항시험 및 프로펠러단독시험을 통해 얻어진 물리량을 이용하여 대상선의 추진성능을 분석하였으며, 준추진효율 및 전달동력 기준으로 비교하여 Fig. 11~Fig. 14에 그 결과를 나타내었다.

T1 흡수의 경우,  $Fn=0.16$  및 Trim +2 조건에서 준추진효율이 0.4%의 증가를 보이지만, 나머지 조건에서는 Even 상태에서 효율이 가장 높음을 확인하였다. T2 흡수의 경우,  $Fn=0.16$ 의 Trim +1과 Trim +2 조건에서 준추진효율이 각각 0.1%, 0.7%의 증가를 보이지만, 나머지 조건에서는 T1 흡수와 마찬가지로 Even 상태에서 가장 효율이 높음을 확인하였다.

전달동력의 경우, T1 흡수에서는 Even 상태에서 가장 작음을 확인하였다. T2 흡수에서는 유효동력 경향과 동일하게 선수트림이 증가할수록 감소하는 경향이 있음을 확인하였다.

그러나 T2 흡수는 Fig. 2에 보인바와 같이, Even 상태에서 선수벌브 상단이 돌출될 정도로 낮은 흡수로서, Trim +2에 해당하는 조건에서는 프로펠러 날개 끝과 수면 간 여유치가 약 30cm 정도로 매우 근접해 있다. 따라서 이 이상의 선수트림 조건에서는 프로펠러 날개 끝이 수면위로 돌출되어 프로펠러 성능이 저하될 우려가 있으므로 (Paik, 2017; Carlton, 2018), 과도한 선수트림은 지양하여 운항해야 한다.

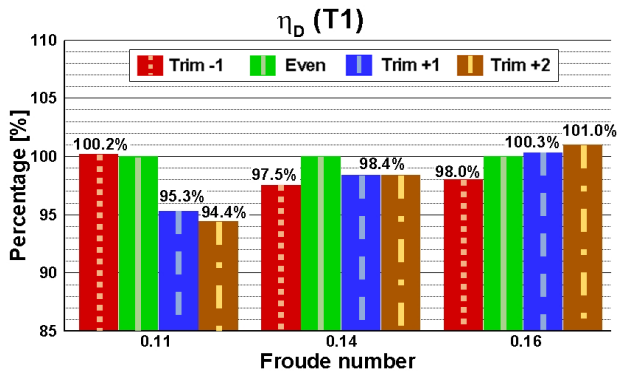


Fig. 11 Relative comparison of quasi-propulsive efficiency at T1

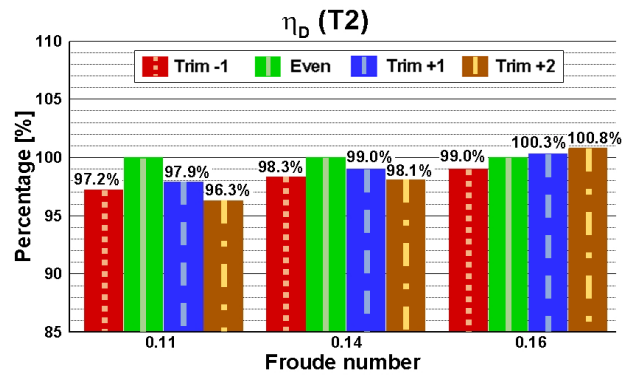


Fig. 12 Relative comparison of quasi-propulsive efficiency at T2

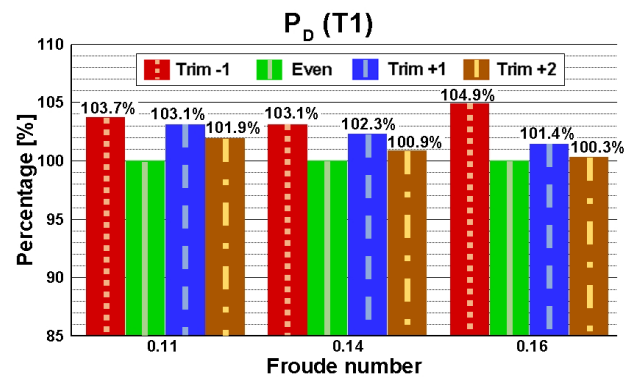


Fig. 13 Relative comparison of delivered power at T1

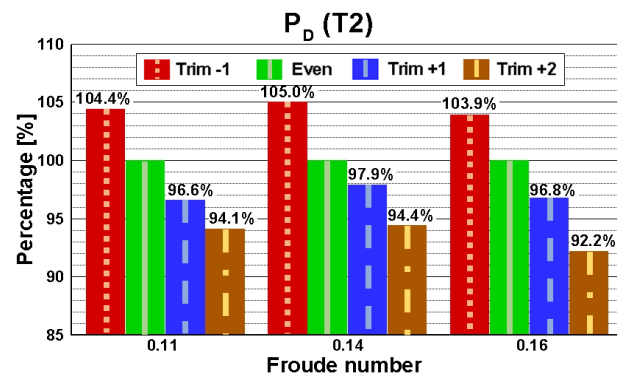


Fig. 14 Relative comparison of delivered power at T2

본 연구의 T1과 T2 두 흡수에서 유효동력과 전달동력의 경향을 비교해보면, 일부 조건(T1 /  $Fn=0.11, 0.14$ )을 제외하고 전반적으로 유사한 경향이 보임을 확인하였다. 이는 트림변화에 따른 유효동력과 전달동력이 매우 높은 상관관계를 가지고 있음을 의미하며, Park et al. (2014)의 언급된 내용과도 잘 일치한다.

## 7. 결론

11,000TEU 컨테이너선을 대상으로 트림변화에 따른 소요마력의 변화를 분석하였다. 선사의 제공 자료를 바탕으로 상대적으로

빈도가 높은 실제운항조건을 반영하였으며, 선수트림을 양의 값으로 하여 선수 및 선미트림을 고려하였다. 위의 조건들을 적용하여 대상선의 트림변화에 따른 저항성능 및 추진성능을 분석하였으며, 2차원 ITTC 1978 해석법을 사용하여 실선의 속도-마력성능을 분석하였다. 이 때, 저항성능 분석은 상용 수치해석 코드인 STAR-CCM+ v13.06을 이용한 수치해석 결과를 바탕으로 수행하였다. 그리고 추진성능 분석에는 수치해석 결과와 KRISO 선형시험수조에서 수행한 저항시험 결과를 바탕으로 수행하였다. 다음은 본 연구의 전반적인 내용을 요약하여 나타내었다.

1) 선사의 제공 자료를 바탕으로 실제 운항 조건을 반영한 흘수(T1, T2) 및 속도(Fn=0.11, 0.14, 0.16)를 선정하였다. 트림은 선수트림을 양의 값으로 하여 선수 및 선미트림을 고려하였으며, 배수량은 Even 상태와 동일하게 적용하였다.

2) 한정된 자원 등의 현실적인 상황 및 해당 방법의 신뢰도를 고려하여 저항성능 분석에는 수치해석 결과를 이용하였으며, 추진성능 분석에는 수치해석 및 모형시험 결과를 이용하였다. 결과적으로 수치해석을 통해 유효동력을, 모형 저항시험을 활용하여 추진효율을 얻어 소오마력을 계산하였다.

3) 저항성능의 경우, 전반적으로 선수트림이 증가할수록 유효동력이 작아지는 경향을 확인하였다. 단, 설계흘수인 T1 흘수에서는 even 상태가 작은 경향을 보이는 속도가 Fn=0.14, 0.16에서 나타났다. Off-design 조건이었던 T2 흘수에서는 트림변화에 따른 선수벌브 상단의 돌출정도가 선수 파형 분포의 변화를 가져오며, 이는 결과적으로 유효동력에 영향을 미쳤음을 확인하였다.

4) 준추진효율의 경우, T1 흘수에서는 Fn=0.16 & Trim +2m 조건의 준추진효율이 가장 크게 나타났으나, Even 상태와의 변별력이 없었다. 이 외의 속도조건에서는 Even 상태의 준추진효율이 가장 높음을 확인하였다. T2 흘수에서는 Fn=0.16 & 선수트림 일 때 준추진효율의 미소한 증가를 보이지만, 이 외의 속도 조건에서는 Even 상태의 준추진효율이 가장 높음을 확인하였다.

5) 전달동력의 경우, T1 흘수에서는 Even 상태에서 전달동력이 가장 작음을 확인하였고, T2 흘수에서는 동일속도에서 선수트림이 증가할수록 전달동력이 작아지는 경향을 확인하였다.

6) T2 흘수는 선수벌브 상단이 돌출될 정도로 낮은 흘수이므로 수면과 프로펠러 사이의 여유가 충분하지 않다. 분석결과에 따르면 선수트림이 증가할수록 전달동력이 작아지는 경향을 보였으나, 과도한 선수트림에서는 프로펠러가 수면으로 돌출되어 프로펠러 성능이 급격히 저하될 우려가 있다.

7) 전반적으로 T1과 T2 두 흘수 모두 유효동력과 전달동력이 유사한 경향을 보였고, 두 동력 간에는 높은 상관관계를 가지고 있음을 확인하였다.

## 후 기

본 연구는 산업통산자원부의 조선해양핵심기술개발사업(2008690)의 지원으로 수행된 연구결과 중 일부임을 밝힙니다.

## References

- Alexandrina, V., 2015. Study of the Effect of Trim on Ship Powering Performance. *XXIII International Scientific-technical Conference, trans & MOTAUTO'15 proceedings*, Varna, Bulgaria, 24-27 June 2015, pp.151-154.
- Carlton, J., 2018. *Marine propeller and propulsion*, Fourth edition, Butterworth-Heinemann, pp.137-138.
- Gao, X. et al., 2019. Research on Influence of Trim on a Container Ship's Resistance performance. *3rd International Conference on Fluid Mechanics and Industrial Applications(FMIA 2019)*, Journal of Physics: Conference Series Volume 1300, Taiyun, China, 29-30 June 2019.
- GloMEEP, 2018. *Ship Emissions Toolkit, Guide No.3: Development of a national ship emissions reduction strategy*, GEF-UNDP-IMO GloMEEP Project and IMarEST.
- Han, K.M., Park, H.S. & Seo, D.W., 2015. Study on Resistance Component of Container Ship According to Trim Conditions. *Journal of Ocean Engineering and Technology*, 26(6), pp.411-417.
- Iakovatos, M.N., Liarokapis, D.E. & Tzabiras, G.D., 2013. Experimental investigation of the trim influence on the resistance characteristics of five ship models, *Developments in Maritime Transportation and Exploitation of Sea Resources*, pp 23-32.
- IMO, 2020a. *Reduction of GHG emissions from ships, fourth IMO GHG study 2020 final report*, MEPC 75/7/15.
- IMO, 2020b. *Report of the marine environment protection committee on its seventy-fifth session*, MEPC 75/18.
- Islam, H. & Soares, C.G., 2019. Effect of trim on container ship resistance at different ship speeds and drafts. *Ocean Engineering*, volume 183, pp.106-115.
- Joung, T.H., Kang, S.G., Lee J.K. & Ahn J.K., 2020. The IMO initial strategy for reducing Greenhouse Gas(GHG) emissions, and its follow-up actions towards 2050. *Journal of International Maritime Safety, Environmental Affairs, and Shipping*, 4(1), pp.1-7.
- Kim, I.C., Yoon, J.H. & Jeong, Y.J., 2015. A study on trim optimization by using CFD analysis. *Special Issue of the Society of Naval Architects of Korea*, pp.41-45.
- Kishev, R. et al., 2014. Global view on ship trim optimization. In: Alkan, A.D., *2nd International Symposium on Naval Architecture and Maritime Proceedings (INT-NAM 2014)*, Istanbul, Turkey, 23-24 October 2014, pp.223-234.
- Liariokapis, D.E., Kozadinos, G.E., Trachanas, J.P. &

Tzabiras, G.D., 2017. Experimental investigation of the trim influence on the resistance characteristics of a passenger ship model. *The 5th International Conference on Advanced Model Measurement Technology for the Maritime Industry (AMT'17)*. Glasgow, United Kingdom, 11–13 October 2017.

Park, D.W. et al., 2013. Effect of trim on resistance performance of a ship. *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 50(2), pp. 88–94.

Paik, K.J., 2017. Numerical study on the performance of a partially submerged propeller in bollard condition. *Fifth International Symposium on Marine Propulsors (SMP'17), Session 11C*. Espoo, Finland, 12–15 June 2017, pp.723–730.

Park, S.H., Lee S.B. & Lee Y.M., 2014. Study in the estimation of the optimum trims in container carriers by using CFD analysis of ship resistance. *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 51(5), pp.429–434.

Seo, D.W., Park, H.S. & Han, K.M., 2015. Analysis of resistance performance for various trim conditions on container ship using CFD. *Journal of Ocean Engineering and Technology*, 29(3), pp.224–230.

Sogihara, N., Tsujimoto, M., Fukasawa, R. & Ohba, H., 2018. Investigation on trim optimization to enhance the propulsive performance of fine ships. *Journal of the Japan Society of Naval Architects and Ocean Engineers*, 27, pp.15–22.

