

CFD를 이용한 트림 최적화 연구

김인철[†]·윤지현·정영준
성동조선해양 기본설계부

A Study on Trim Optimization by using CFD Analysis

In-Chul Kim[†]·Ji-Hyun Yoon·Young-Jun Jeong
Basic Design Department, Sungdong Shipbuilding & Marine Engineering Co., Ltd

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 study reviewed the validity of the estimated optimum trim by the numerical analysis. For this purpose, the numerical analysis of the trim optimization for 6500TEU container carrier and capesize bulk carrier were carried out using Star-CCM+, which results were compared with the results of model tests. The reliability of results of the numerical analysis was confirmed via comparing the resistance determined by the numerical analysis and model test. The performance of self-propulsion at each trim conditions were estimated using the calculated resistance by numerical analysis. The BHP at each trim condition were calculated by estimated performance of self-propulsion, which trend of results were confirmed similar trend of result of model test.

Keywords : Trim Optimization, CFD, Star-CCM+, Resistance, Self-propulsion

1. 서론

최근 선주들은 지구 온난화에 따른 탄소 배출량 규제와 낮은 운임에 따른 채산성 악화로 인하여 운항비를 절감하기 위해 연료소모가 적은 에코선박을 요구하고 있다. 이와 관련하여 연료소모를 줄이기 위한 많은 연구가 수행되고 있으며 관련 연구로 에너지 절감 장치 장착과 운항자세 최적화에 대한 연구가 활발히 진행 중이다(Park, et al. 2013; Park, et al. 2014). 에너지 절감 장치는 선체에 부가물을 부착하여 연료소모를 줄이는 장치로 이를 설치하기 위한 별도의 공정과 추가 건조비가 필요한 반면, 운항자세 최적화는 적재화물의 배치를 조절 함으로서 최적의 트림으로 운항하여 연료소모를 줄이는 방법으로, 다양한 흘수에 대한 최적의 트림정보를 제공해 줄 것을 선주로부터 요구 받고 있다.

최적 트림연구는 모형시험과 수치해석을 통해 수행 할 수 있다. 모형 시험은 해운사와 선주의 신뢰도가 높지만 비용이 많이 들고 모형시험 수조의 일정을 조율하기 어려운 단점이 있다. 반면 수치해석은 수행비용이 저렴하고 고성능 컴퓨터를 통해 비교적 빨리 결과를 얻을 수 있으나, 수치 해석에 대한 신뢰성을 확보 해야 하는 어려움이 있다.

본 연구에서는 효율적인 수치해석을 위해 비교적 많은 시간 소요 대비 높은 정확성을 기대하기 힘든 자항(Self-propulsion) 해석은 수행하지 않고 저항해석만을 이용하여 선박의 성능을 추정하고 이를 모형시험결과와 비교하여 타당성을 검토하였다.

2. 연구수행 방법

본 연구의 대상 선박은 당사의 6500TEU 컨테이너선과 케이프사이즈 벌크선으로 제원과 트림조건은 Table 1과 같다. Table 1에서 트림 조건은 ‘+’는 선수트림, ‘-’는 선미트림, ‘E’는 EVEN, B는 Ballast 상태를 의미한다. 각 선종은 Table 1에 나타냈듯이 각각 두 가지 배수량에 대하여 EVEN상태를 포함한 세 가지 트림조건에 대하여 모형시험과 수치해석을 수행하였다. 모형시험은 KRISO의 예인수조에서 수행하였으며 수치해석은 상용 CFD(Computational Fluid Dynamics)코드인 Star-CCM+를 사용하여 계산하였다.

Table 1. Conditions of trim optimization and dimensions of ship

Item	6500TEU CC	Capesize BC
LPP	288.5m	283.5m
B	40.0m	45.0m
Draft	T1	10.0m / 10.0m
	T2	14.5m / 14.5m
Trim Condition	+1.0m	+1.0m
	+0.5m	B, E
	E	-1.0m
	-1.0m	-2.0m

[†] 교신저자 : kic0314@isungdong.com, 010-6601-7379

3. 모형시험

트림 최적화를 위한 모형시험은 저항시험과 자항시험으로 수행되며 당사 실적선 6500TEU 컨테이너선의 경우 저항시험과 자항시험으로 트림 최적화 모형시험을 수행하였고 케이프사이즈 벌크선의 경우 자항시험으로 트림 최적화 모형시험을 수행하였다. 본 연구에서는 6500TEU 컨테이너선과 케이프사이즈 벌크선의 모형시험에서 계속된 저항과 수치해석으로 계산된 저항을 비교하여 수치해석 계산결과의 신뢰성을 검증하고 모형시험의 BHP와 수치해석 저항계산 결과로부터 추정된 BHP의 경향 비교를 통해 수치해석의 타당성을 검토할 것이다. Table 2, Table 3는 두 선박에 대한 모형시험 결과이다.

Table 2. Results of model test for 6500TEU CC

		T1	T2
Trim Condition	Speed (knots)	BHP (%)	BHP (%)
+1.0m	20.0	-3.8	-3.5
	21.5	-4.0	-4.9
	23.0	-4.3	-5.6
+0.5m	20.0	-2.2	-3.0
	21.5	-2.4	-4.2
	23.0	-2.6	-5.0
E	20.0	-	-
	21.5	-	-
	23.0	-	-
-1.0m	20.0	+2.7	+6.7
	21.5	+2.6	+4.8
	23.0	+1.9	+4.2

Table 3. Results of model test for Cape size BC

		T1	T2
Trim Condition	Speed (knots)	BHP (%)	BHP (%)
+1.0m	13.0	-0.9	-2.6
	14.0	-0.4	-1.8
	15.0	-0.1	-0.8
B, E	13.0	-	-
	14.0	-	-
	15.0	-	-
-1.0m	13.0	-0.2	+2.5
	14.0	-0.3	+2.8
	15.0	+0.1	+3.1
-2.0m	13.0	+0.5	+3.6
	14.0	+0.5	+4.0
	15.0	+0.5	+4.5

4. 수치해석

수치해석을 위해 Fig. 1과 같이 좌표계와 해석영역을 설정하였다. 본 수치해석에 적용된 좌표계는 x, y, z축에 대하여 각각 유동의 반대방향, 선박의 좌현방향, 자유수면의 연직 상 방향을 양(+)의 방향으로 하였다. 좌표계의 원점은 선박의 선미수선과 선저기선의 교차점에 위치한다. 수치해석영역은 좌표원점을 기준으로 선수방향으로 2.0LPP, 선미방향으로 2.0LPP, 좌현방향으로 1.5LPP, 상부 면까지 1.0LPP, 바닥 면까지 1.5LPP이다. 저항해석을 위해 Star-CCM+에서 제공하는 비정렬 Trimmer 격자와 벽면에 대하여 Prism layer를 사용하였으며 영역별 격자의 크기를 조절하기 위해 Volume 형상을 생성하여 격자에 적용하였다(Jun, et al. 2011). 두 선박에 대한 격자의 수는 약 160만개이며 격자의 구성은 Fig. 2와 같다. 수치해석에서 선체의 움직임은 배제하였으며, 자유수면의 고려를 위하여 VOF(Volume Of Fluid)기법을 적용하였고 난류모델은 RSM(Reynolds Stress Model)을 사용하였다.

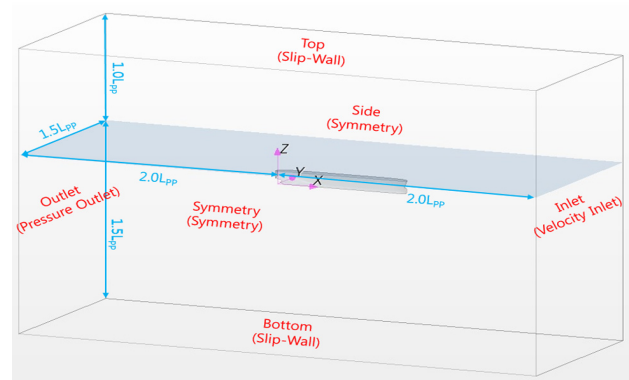


Fig. 1 Coordinate system and computational domain

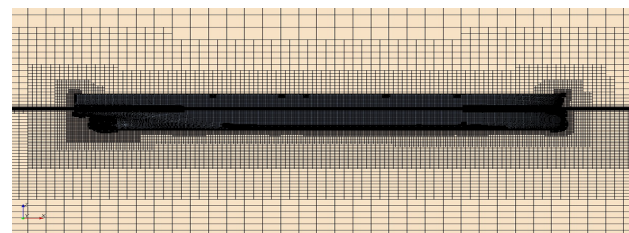


Fig. 2 Grid system for numerical analysis

5. 자항성능 추정

본 연구에서는 수치해석을 이용해 저항 성능만을 계산하였다. 따라서 트림 조건에 따른 성능을 추정하기 위해서는 자항요소에 대한 추정이 추가로 필요하다. 수치해석을 이용한 자항성능 추정에는 많은 시간과 자원이 필요한 반면 정량적인 정도에 대한 신뢰성이 부족하다. 이에 본 연구에서는 모형시험 결과를 바탕으로 수치해석으로 추정된 트림 조건 별 저항의 변화량에 따른

Table 4 Estimation of Self-Propulsion for 6500TEU CC

Trim Condition	Speed	T1			T2		
		TM (%)	QM (%)	NM (%)	TM (%)	QM (%)	NM (%)
+1.0m	20.0	-0.9	-0.9	-0.6	-3.6	-3.6	-1.8
	21.5	-1.4	-1.4	-0.9	-3.7	-3.7	-1.8
	23.0	-1.6	-1.6	-1.0	-3.8	-3.7	-1.8
+0.5m	20.0	0.0	0.0	0.0	-2.2	-2.3	-1.2
	21.5	-0.5	-0.6	-0.4	-2.3	-2.3	-1.2
	23.0	-0.7	-0.7	-0.4	-2.4	-2.3	-1.1
E	20.0	-	-	-	-	-	-
	21.5	-	-	-	-	-	-
	23.0	-	-	-	-	-	-
-1.0m	20.0	+2.3	+2.4	+1.5	+4.0	+4.0	+2.5
	21.5	+1.8	+1.9	+1.2	+4.2	+4.2	+2.6
	23.0	+1.8	+1.9	+1.1	+4.2	+4.1	+2.7

Table 5. Estimation of Self-Propulsion for Cape size BC

Trim Condition	Speed	T1			T2		
		TM (%)	QM (%)	NM (%)	TM (%)	QM (%)	NM (%)
+1.0m	13.0	-0.1	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
	14.0	-0.3	-0.3	-0.1	0.0	0.0	0.0
	15.0	-0.3	-0.3	-0.2	0.0	0.0	0.0
B, E	13.0	-	-	-	-	-	-
	14.0	-	-	-	-	-	-
	15.0	-	-	-	-	-	-
-1.0m	13.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	14.0	-0.1	-0.2	-0.2	0.0	0.0	0.0
	15.0	-0.1	-0.1	-0.1	0.0	0.0	0.0
-2.0m	13.0	+0.1	+0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
	14.0	-0.2	-0.2	-0.1	0.0	+0.1	0.0
	15.0	-0.1	-0.1	-0.1	0.0	+0.1	0.0

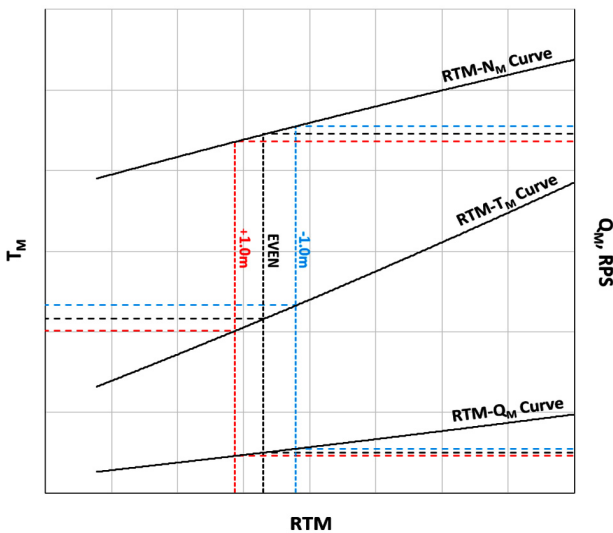


Fig. 3 Estimation of Self-Propulsion Components from Model Test

자항요소의 변화 량을 추정하여 소요마력 추정에 반영하는 방법을 사용하였다. 대상 선박에 대한 모형시험의 자항시험 결과로부터 저항-추력(TM), 저항-토크(QM), 저항-회전수(NM) 곡선을 작성하고, 각 곡선에서 수치해석으로 추정된 각 트림조건에 대한 저항에 대응하는 추력, 토크, 회전수를 찾았다. Fig. 3은 각 관계 곡선으로부터 자항요소를 추정한 예이다. 본 방법은 트림 조건이 변화하여도 각 조건에 따른 자항요소들이 선속 변화에 따라 변화하는 경향이 크게 바뀌지 않는다는 가정하에 적용할 수 있다. 이와 같은 방법으로 추정한 자항요소를 Table 4, Table 5에 나타내었다.

6. 결과분석

6.1 모형시험과 수치해석의 저항 비교

6500TEU 컨테이너선과 케이프사이즈 벌크선의 수치해석 결과의 신뢰성 검토를 위해 수치해석으로 계산된 저항을 모형시험에서 예측된 저항과 비교하였다. 6500TEU 컨테이너선의 경우 수치해석의 저항계산결과가 모형시험 대비 트림상태와 속도에 따라 -1.5~+1.5%의 오차를 보임을 확인하였으며 케이프사이즈 벌크선의 경우 속도에 따라 +0.4%~+3.6%의 오차를 보임을 확인하였다. Table 6, Table 7은 두 선박의 수치해석으로 계산한 저항을 모형시험의 EVEN과 Ballast의 저항을 기준으로 비율로 나타낸 결과이다. 두 선박에 대한 모형시험과 수치해석의 저항비교를 통해 수치해석으로 계산한 저항이 높은 신뢰도를 보임을 확인할 수 있다.

Table 6. Comparison of RTM for 6500TEU CC

Trim	Speed	RTM			
		T1		T2	
		Exp.(%)	CFD(%)	Exp.(%)	CFD(%)
+1.0m	20.0	-2.0	-1.5	-2.9	-4.3
	21.5	-2.1	-1.8	-3.3	-4.3
	23.0	-2.1	-1.7	-3.7	-4.2
+0.5m	20.0	-0.8	-0.6	-2.8	-3.1
	21.5	-0.9	-0.8	-2.9	-3.1
	23.0	-0.9	-0.7	-3.2	-3.0
E	20.0	-	-0.5	-	-1.1
	21.5	-	-0.2	-	-1.1
	23.0	-	0.0	-	-0.9
-1.0m	20.0	+0.9	+2.1	+2.2	+2.5
	21.5	+0.8	+1.9	+1.7	+2.6
	23.0	+0.4	+1.9	+1.3	+2.7

Table 7 Comparison of RTM for Cape size BC

Trim	Speed	RTM			
		T1		T2	
		Exp.	CFD(%)	Exp.	CFD(%)
B, E	13.0	-	+2.1	-	+0.4
	14.0	-	+3.3	-	+0.4
	15.0	-	+3.6	-	+1.4

6.2 성능 추정

위에서 제안한 자항성능 추정법으로 추정된 자항요소를 이용하여 두 선박의 성능을 추정하였다. Fig. 4~7은 두 선박에 대한 모형시험 BHP와 수치해석 추정 BHP를 속도와 트림에 따라 나타내었다. 그림에 나타냈듯이 수치해석으로 추정된 선박의 성능이 모형시험으로 얻은 성능과 유사한 경향을 보임을 확인할 수 있다.

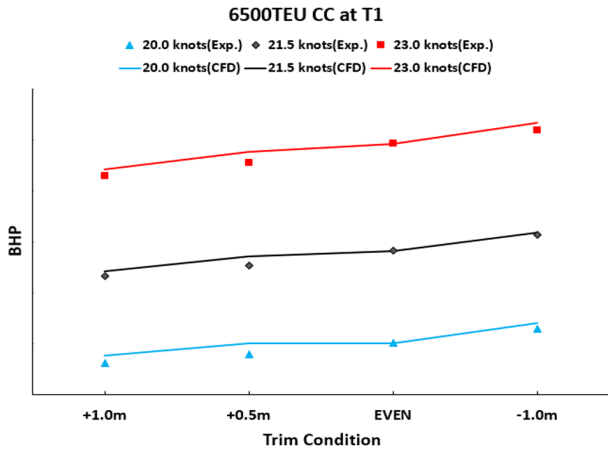


Fig. 4 Trim Performance at T1 for 6500TEU CC

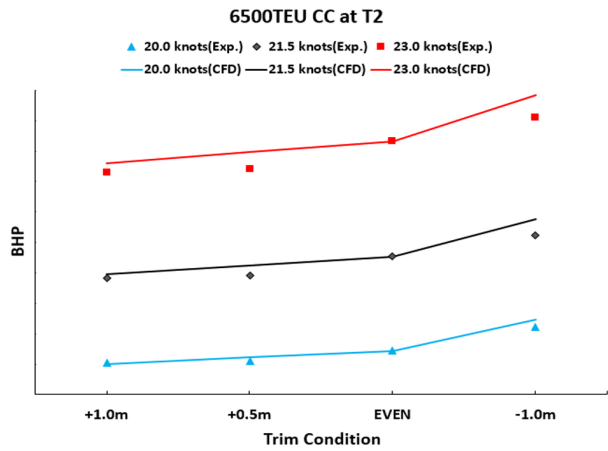


Fig. 5 Trim Performance at T2 for 6500TEU CC

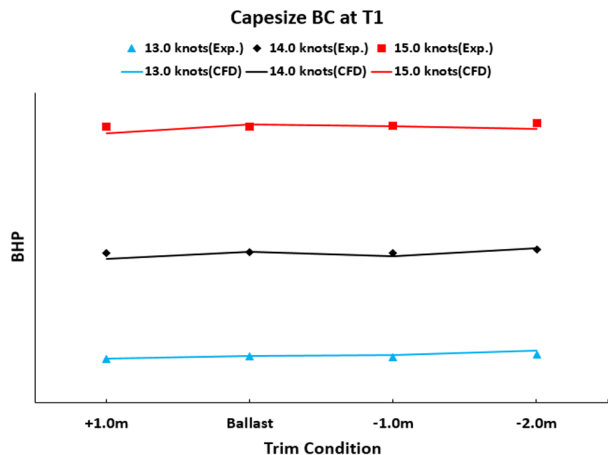


Fig. 6 Trim Performance at T1 for Cape size BC

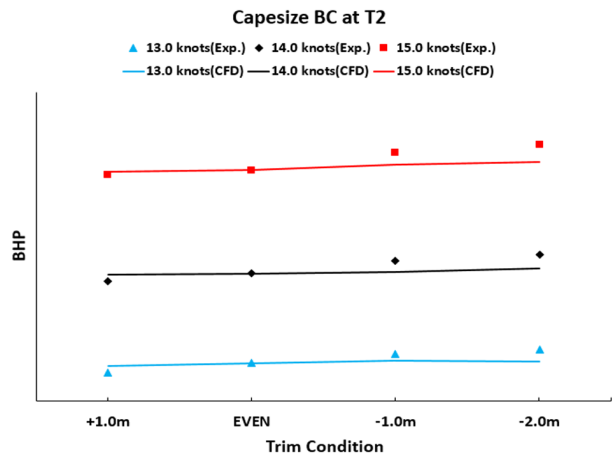


Fig. 7 Trim Performance at T2 for Cape size BC

6.3 최적트림 검토

지금까지 수치해석을 이용해서 6500TEU 컨테이너선과 케이프사이즈 벌크선의 트림에 따른 성능을 추정하였다. 두 선박의 트림에 따른 성능을 보면 두 선박의 T1, T2 흡수 모두 +1.0m 트림조건에서 모형시험과 수치해석의 BHP가 가장 낮았다.

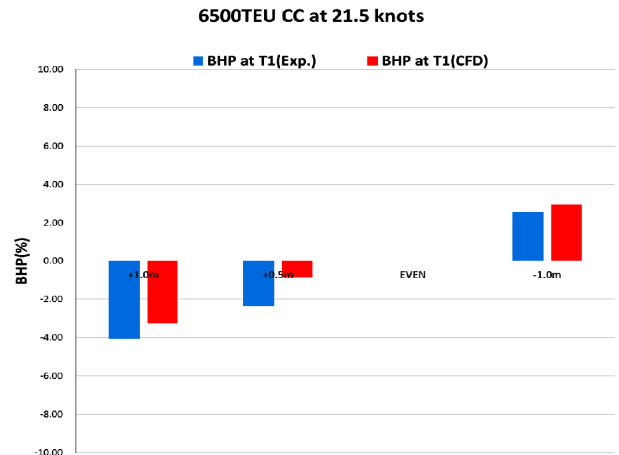


Fig. 8 Optimum Trim at T1 for 6500TEU CC (V = 21.5 knots)

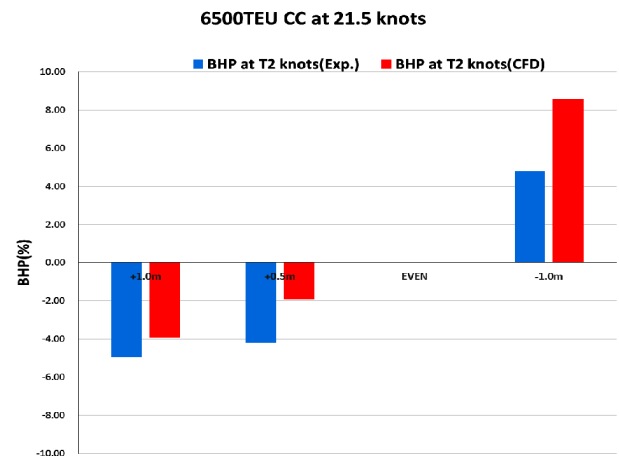


Fig. 9 Optimum Trim at T2 for 6500TEU CC (V = 21.5 knots)

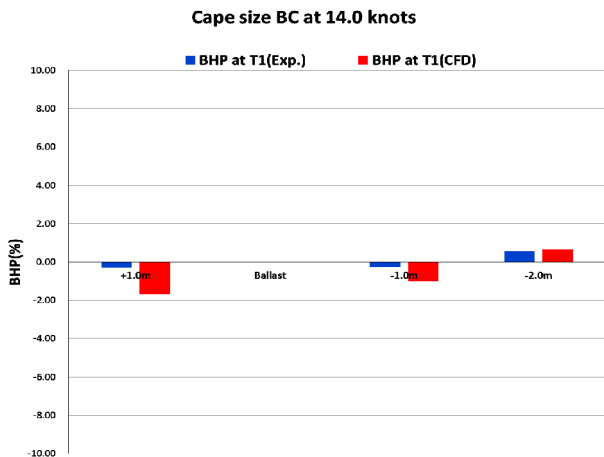


Fig. 10 Optimum Trim at T1 for Cape size BC (V = 14.0 knots)

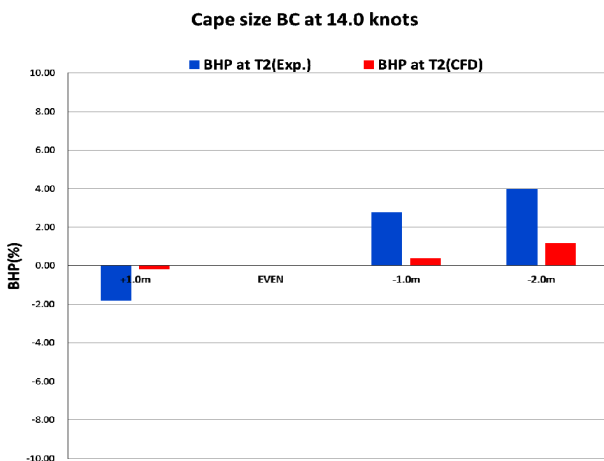


Fig. 11 Optimum Trim at T2 for Cape size BC (V = 14.0 knots)

Fig. 8~11은 두 선박의 운항속도인 21.5 knots와 14.0 knots에서의 각 트림에 따른 모형시험과 수치해석의 BHP를 EVEN과 Ballast의 BHP를 기준으로 하여 비율로 표시한 그래프이다. 6500TEU 컨테이너선과 케이프 사이즈 벌크선의 모형시험결과와 수치해석결과가 정량적으로 차이가 있으나 정성적으로 유사함을 보인다.

7. 결론

본 연구에서는 다양한 흘수 및 트림 조건에서 수치해석을 수행하여 수치해석으로 추정된 최적트림의 타당성 여부를 확인하고자 하였다. 이를 위해 모형시험과 수치해석의 저항을 비교하였으며 수치해석 저항 결과로부터 저항성능의 추정을 통해 BHP를 계산하여 모형시험의 결과와 경향을 비교하였다. 분석 결과 수치해석으로 계산한 저항의 높은 신뢰도를 확인하였고, BHP의 추정을 통해 수치해석으로 추정된 BHP와 모형시험의 BHP가 정성적으로 유사한 경향을 보임을 확인하였다. 또한 수치해석으로 추정된 최적트림이 모형시험의 최적 트림과 같음을 확인하였다.

이번 연구에서는 선박을 고정하여 트림과 Sinkage를 억제한 후 수치해석을 수행하였다. 항 후 트림과 Sinkage를 고려한 2DOF(Degree Of Freedom)를 적용하여 수치해석을 수행한다면 저속비대선의 결과를 정량적으로 보다 정확히 추정할 수 있을 것이라 기대된다.

References

- Park, D. W. Lee, S. B. Chung, S. S. Seo, H. W. Kwon, J. W., 2013. Effects of Trim on Resistance Performance of a Ship. *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 50(2) pp.88-94.
- Park, S. H. Lee, S. B. Lee, Y. M., 2014. Study on the Estimation of the Optimum Trims in Container Carriers by using CFD Analysis of Ship Resistances. *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 51(5) pp.429-434.
- Jun, J. H. Lee, S. L. Kwon, J. W. Son, J. W., 2011. ANALYSIS OF FLOW AROUND SHIP USING UNSTRUCTURES GRID. *Korean Society for Computational Fluids Engineering*, 26 May, 2011.



김인철

윤지현

정영준