

CFD 시뮬레이션 기반 소형 어선의 표준재화상태에 따른 조종성능 평가

이선우* · 김상현**† · 김혜우***,**** · 윤형석*** · 송창우***,**** · 오주형***,****

*, ***, ** 인하대학교 대학원 조선해양공학과 연구원, ** 인하대학교 조선해양공학과 교수, **** 대한민국 해군, **** 삼성중공업 연구원, **** 한국산업기술진흥원 연구원

Evaluation of Maneuverability of Small Fishing Vessels Based on CFD Simulation under Standard Loading Condition

Sun woo Lee* · Sang hyun Kim**† · Hye woo Kim***,**** · Hyung seok Yoon*** · Chang woo Song***,**** · Joo hyung Oh***,****

*, ***, ** Researcher, Inha University, Naval Architecture Ocean Engineering, Incheon 22212, Korea

** Professor, Inha University, Naval Architecture Ocean Engineering, Incheon 22212, Korea

**** Republic of Korea Navy, Korea

**** Researcher, Samsung Heavy Industries Co., Ltd.

**** Researcher, Korea Institute for Advancement of Technology

요약 : 상선에 비해 잦은 변침을 하고 어획물로 인한 중량 및 무게중심의 변화와 같은 다양한 운항조건을 가진 어선의 경우, 조종성능은 선박 운항 시에 매우 중요한 역할을 한다. 소형 어선의 사고는 2022년 기준 전체 해상 사고의 약 60%를 차지하며, 이는 부족한 조종성능으로 인한 충돌과 좌초 사고가 주요 원인이다. 특히 10톤 미만의 소형선박에서 발생한 사고는 전체 사고의 약 65%를 차지하는데, 소형 어선의 조종성능 관련 기준이 부재하여 이를 정확히 평가하기엔 어려움이 있다. 이에 본 연구에서는 4.99톤급 소형 어선을 대상으로 선정하여 3D-CAD로 모델링 한 후, 상용 수치해석 프로그램인 STAR-CCM+를 활용하여 선박의 조종운동 시뮬레이션 환경을 구축하였다. 이를 바탕으로 다양한 표준재화상태와 무게중심을 고려하여 10°/10° 및 20°/20° zigzag test와 35° turning test를 수행하였고, 선체 중량이 증가함에 따라 변침성능이 감소하고 선회성능이 향상되는 경향을 분석하였다. 그 중, 만재출항과 부분만재입항 상태에서는 상대적으로 선회성능이 부족한 결과를 확인하였다. 이를 바탕으로 소형선박의 안전한 운항을 위한 표준재화상태와 무게중심을 고려한 조종성능의 평가 및 그에 상응하는 표준화된 조종성능 평가 기준의 필요성을 제시하였다. 또한, 본 연구의 조종성능 평가 결과가 소형선박의 조종성능 평가 기준 선정을 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

핵심용어 : 조종성능, 소형어선, 표준재화상태, CFD(Computational Fluid Dynamics), 자유 항주 시뮬레이션

Abstract : Maneuvering performance is crucial for fishing vessels, especially under operational conditions that involve frequent course changes and weight variations due to catch. Small vessel accidents account for approximately 60% of maritime incidents as of 2022, mainly attributed to collisions and stranding accidents due to insufficient maneuvering performance. Especially, accidents that occur on small vessels less than 10 tons account for about 65% of all accidents. The absence of international standards presents challenges in accurately evaluating the maneuvering performance of small vessels. In this study, a 4.99-ton small fishing vessel was selected as the target, and a 3d-cad model was created. The commercial numerical analysis program STAR-CCM+ was employed to establish a simulation environment for the vessel's maneuvering motion. Based on this standard loading conditions and weight distribution were considered, 10°/10°, 20°/20° zigzag tests and 35° turning test were conducted. The results revealed a tendency for decreased yaw and course-keeping performance and improved turning performance as the hull weight increased. However, in partial arrival and full load departure condition, the manoeuvring performance were relatively poor. Based on this, the need for evaluation of maneuvering and standardized criteria of maneuvering performance for safe navigation of small vessels is presented. Furthermore, it is expected that the evaluation results of maneuvering performance in this study can serve as fundamental data for establishing criteria for evaluating the maneuvering performance of small vessels.

Key Words : Maneuvering performance, Small fishing vessels, Standard loading condition, CFD, Free running simulation

* First Author : andy3747@gmail.com 032-860-8812

† Corresponding Author : kimsh@inha.ac.kr, 032-860-7344

1. 서론

해양교통안전정보시스템(MTIS, 2022)에서 조사한 2022년도 선박 관련 해양사고의 통계자료에 따르면 전체 해양사고 3,167척 중 약 60%인 1,904척이 어선이고, 10톤 미만의 소형 선박에서 발생한 사고는 2,058척으로 전체 사고 선박의 약 65%를 차지한다. 사고 종류별 발생 건수를 비교해 보았을 때, 조종성능의 부재로 인한 충돌과 접촉, 좌초 사고는 451건에 달한다. 상선에 비해 낮은 변침을 하고, 어획물로 인한 중량변화의 폭이 큰 어선의 조업특성 상, 조종성능은 매우 중요한 요소이다.

운항 중인 선박의 안전 확보를 위해 2002년도에 국제해사기구(International Maritime Organization, IMO)에서 조종성능(선회성능, 변침성능, 침로안정성 등) 기준을 제정하였고, 2004년 이후 100m 이상의 모든 선박은 IMO 조종성능 기준을 충족하여야 한다(IMO, resolution MSC.137[76]). 그러나 전체 사고 선박의 약 65%를 차지하는 10톤 미만의 소형선박에 대해서는 IMO 조종성능 기준이 적용되지 않는 실정이다.

어선의 조종성능 특성에 관한 연구(Lee et al., 2018)에 따르면 경험식을 통해 어선의 조종성능 추정을 진행하였고, 실선 선회 운동 결과와 차이가 있음을 확인하였다. 이는 상선의 선형 특성에 따른 경험식을 사용하여 조종성능을 추정하였고, 어선의 형상 및 운동 특성을 고려한 파라미터가 필요함을 제시하였다. 또한, 크레인 교체에 따른 표준재화 상태에서의 소형 어선의 복원성 특성(Kang et al., 2020)에서는 어획량에 따라 최대 2배 이상 선체 중량에 차이가 있는 어선의 경우, 각 표준재화 상태별 복원성 계산을 진행하였고, 인양 하중이 3% 이상 차이 나는 것을 확인하였다.

이에 본 연구에서는 선박의 조종성능 평가 기법에 관해 설명하고, RANS 기반 CFD 시뮬레이션 툴인 STAR-CCM+를 활용하여 선박의 조종운동 시뮬레이션을 구축하였다. 구축한 시뮬레이션을 바탕으로 다양한 중량조건(표준재화상태)에 따른 대상선의 변침성능 및 침로안정성과 선회성능을 평가하였으며, 추가적인 검증으로 무게중심의 위치를 달리하여 조종성능을 평가하였다. 이를 바탕으로, 그 결과를 비교하여 표준재화상태와 무게중심의 위치가 조종성능에 미치는 영향을 관찰하고자 하였다.

2. 선박의 조종성능 평가 기법

2.1 변침성능 및 침로안정성 평가

조종성능 중 변침성능이란 타를 틀었을 때 얼마나 신속하게 새로운 항로로 방향을 바꾸는가 하는 능력으로, Zig-Zag Test를 행하여 첫 번째 과도 선수각(1st Overshoot angle)과 두 번째 과도 선수각(2nd Overshoot angle)의 크기로써 판단한다.

조종성능 중 침로안정성(보침성)이란 직진 중인 선박에 외란이 작용할 경우 선박이 원래 침로를 유지할 수 있는 능력이다. 1축선의 경우 타가 중립각일 때, 프로펠러가 한 방향으로 회전하므로 그 반력으로 인해 기울어져 운항하게 되는데, 따라서 선박을 직진시키려면 타각을 틀어놓아야 한다.

Fig. 1은 10°/10° Zig-Zag Test 중 타각(δ)과 선체 방위각(ψ)을 나타낸 그래프이다. 직진 중인 선박의 δ 를 10° 틀어 ψ 이 10°가 될 때까지 기다렸다가, $\delta = \psi$ 가 되면 δ 를 반대로 -10° 틀어 방위각이 -10°가 될 때까지 시험을 반복한다. 이때, 1st Overshoot angle과 2nd Overshoot angle을 계측하여 그 값이 작을수록 선박의 변침 성능과 침로안정성이 좋다고 판단한다.

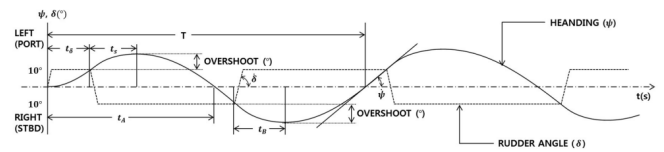


Fig. 1. Time trace of Zigzag manoeuvre parameters.

2.2 선회성능 평가

조종성능 중 선회성능이란 가능한 작은 선회반경으로 배가 선회할 수 있는 능력으로, Turning Test를 행하여 전술선회경(Tactical diameter)의 크기와 선회중거(Advance)의 거리로써 판단한다.

Fig. 2는 Turning Test 중 그 파라미터를 나타낸 그래프이다. Turning Test는 직진하는 선박에 최대 타각(35°)를 발령하여 ψ 이 180° 변할 때까지 선체를 움직이며 진행한다. 그래프와 같이 횡으로 움직인 거리를 전술선회경(Tactical diameter)이라고 하고, 타각 발령 후 $\psi=90^\circ$ 일 때 앞으로 나간 거리를 선회중거(Advance), 횡방향으로 이동한 거리를 선회횡거(Transfer)라고 한다. 이때, 각 파라미터를 계측하여 그 값이 작을수록 선회성능이 좋다고 판단한다.

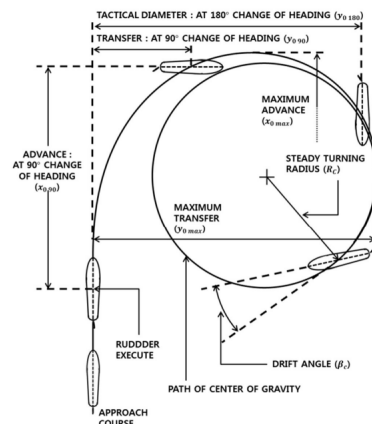


Fig. 2. Definitions of Turning Test.

2.3 조종성능 평가에 대한 IMO 규정

100m 이상의 모든 선박에 대한 10°/10° Zig-Zag Test와 20°/20° Zig-Zag Test의 1st Overshoot angle과 2nd Overshoot angle, Turning Test의 Advanced length와 Tactical diameter에 대한 IMO 조종성능 기준은 Table 1과 같다.

대상선 및 기타 소형 어선에 대한 조종성능 기준은 확립되지 않은 실정이지만 그 유효성을 검증하기 위해 본 연구에서는 IMO 조종성능 기준을 활용하여 대상선의 조종성능을 계측하였다.

Table 1. Manoeuvrability Criteria of Turning, Course-keeping and Yaw-checking ability (IMO, resolution MSC. 137[76])

Ability	IMO Criteria		
Turning ability [L, ship length]	Advanced length	A.L < 4.5 L	
	Tactical diameter	T.D < 5.0 L	
Course-keeping & Yaw-checking ability [V, ship velocity]	10°/10° zig-zag Test	1 st Overshoot angle	10° (L/V<10s) 30° (L/V<30s) (5+1/2(L/V)) (10° < L/V < 30°)
		2 nd Overshoot angle	25° (L/V<10s) 40° (L/V<30s) (17.5+0.75(L/V)) (10° < L/V < 30°)
	20°/20° zig-zag Test	1 st Overshoot angle	1 st O.A. < 25°

3. 자유항주 시뮬레이션

표준재화상태에 따른 선박의 변화된 조종성능을 추정하기 위하여 상용 수치 해석 프로그램인 STAR-CCM+(version 18.06.007)를 활용하여 자유항주 시뮬레이션을 수행하였다.

대상선의 model scale(1/11)에 대하여, 설계 선속인 15.6노트의 대응 속도로 35° Turning test와 10°/10°, 20°/20° Zig-zag test를 표준재화상태 별 무게와 무게중심 변경 조건에서 수행하였다.

3.1 대상 선형

본 연구에서는 4.99톤급 어선을 대상선으로 선정하였으며, 시제선은 개정된 어선법에 따른 톤수를 가지도록 설계한 선형으로 Fig. 3과 같다. 선체 도면자료는 조선소의 협조를 받아 설계사로부터 입수하였으며, 선박의 3D-CAD 모델을 통해 Fig. 4와 같이 선형을 제작하였고 모델의 제원과 러더 형상은 Table 2, Table 3과 같다.



Fig. 4. Fishing vessel (4.99ton) shape.

Table 2. 4.99ton fishing vessel ship Specifications

Division	Full Scale	Model
Scale ratio	1	11
Designed speed, Vs[knot]	15.60	4.70
Desinged speed, Vs[m/s]	8.03	2.42
Draft, T[m]	0.65	0.06
Length overall, LoA[m]	15.60	1.42
Registered length, Lt[m]	12.20	1.11
Length between perpendiculars, Lpp[m]	11.17	1.02
Breadth, B[m]	3.15	0.29
Depth, D[m]	0.770	0.07

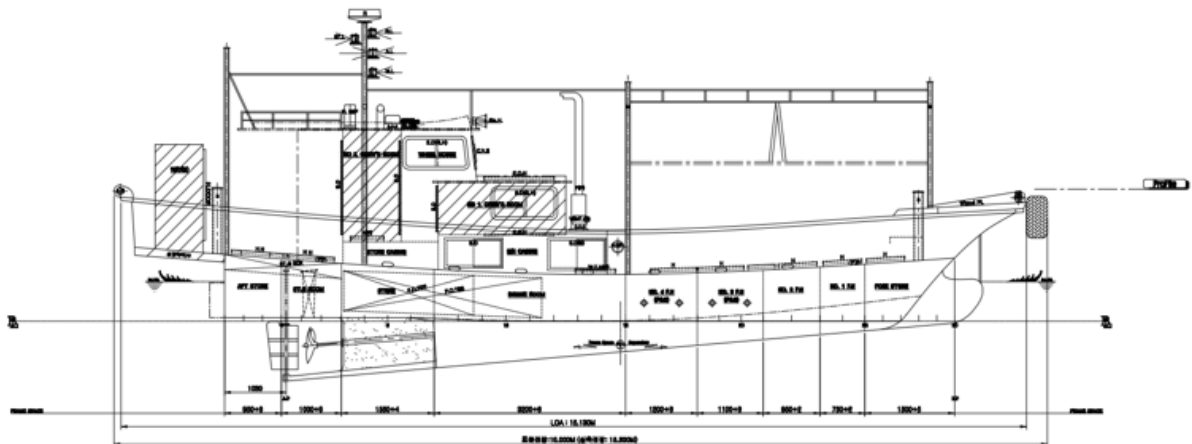



Fig. 3 Profile of 4.99 ton class coastal fishing boat.

Table 3. Principal Dimensions of plate Rudder (Full-scale)

Plate Rudder	Item	Value
	Chord mean [m]	0.495
	Span [m]	1.118
	Aspect Ratio [-]	2.260
	Thickness [m]	0.033
	A_R [m^2]	0.553
	A_R/A [%]	6.500

3.2 자유항주 시뮬레이션 수치해석 조건

RANS(Reynolds Average Navier-Stokes) 기반 수치해석 프로그램인 STAR-CCM+(version 18.06.007)를 사용하였고, STAR-CCM+에서 제공하는 DFBI(Dynamic Fluid Body Interaction)와 중첩격자기법을 활용하여 자유항주 시뮬레이션을 구현하여 실행하였다. 대상선의 동적 자세 변화를 계산하기 위하여 DFBI 기법을 사용하였고, 타각 제어와 대상선의 자세 변화를 고려하기 위해 선체와 타각 계산영역과 별도로 움직이도록 중첩격자기법 중 Overset mesh 기법을 적용하였다. 자유수면을 구현하기 위해 VOF(Volume of Fluid) 기법을 활용하여 다상 유동을 구현하였고(Kim et al., 2016), 난류 모델로는 Realizable k-ε 모델을 벽면함수(Wall function) 기법과 함께 사용하였다.

4.99ton급 소형 어선형의 격자계 구성조건은 Fig. 5와 같으며, CFD 계산에 사용된 경계 조건과 Overset grid system은 Fig. 6, Fig. 8과 같다. 선체 표면 및 공간 격자는 STAR-CCM+에서 제공하는 Trimmed mesh와 Prism layer를 사용하여 $y^+ = 40\sim70$ 의 범위를 만족시켰다. 생성된 전체 격자 수는 약 117만 개며, 선체 주위와 자유수면 주위에 격자를 더 많이 배치하였다(Kim, 2017). 또한, 프로펠러 추진을 구현하기 위해 가상 디스크(Virtual Disk)기법을 사용하였고, Table 4은 프로펠러 모델에 대한 파라미터를 나타낸다. Virtual Disk 추력과 토크는 자항(Self-Propulsion) 시뮬레이션을 이용하여 대상선의 자항점에서의 추력과 토크를 사용하였다. 또한, 반류의 비대칭성이 적은 대상선의 선형 특성을 고려하여 Goldstein 최적 분포를 사용하여, 프로펠러 하중이 반경 방향에 따른 하중 분포만 적용되도록 하였다. Fig. 7은 시뮬레이션 구동 장면 중 일부이다.



Fig. 5. Fishing vessel (4.99ton) Mesh Grid.

Table 4. Parameters of Virtual Disk propeller method

Item	Applied method/value
Virtual Disk method	Body-forced propeller method
Thrust/torque specification	Goldstein's optimum distribution
Thickness	0.1D
Radial distribution option	Same distribution
Inflow specification method	Sampled velocity plane
Propeller handedness option	Right-handed

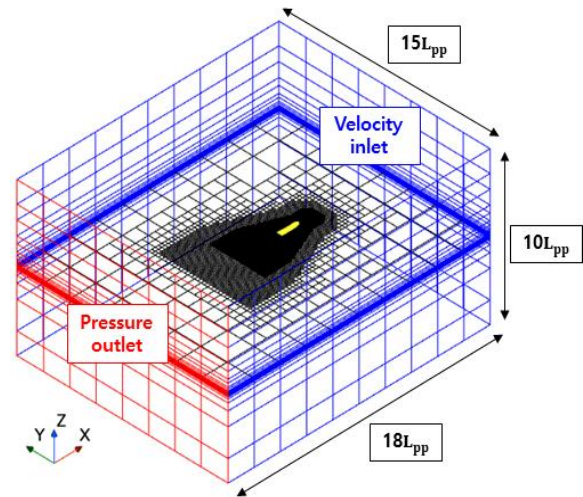


Fig. 6. Boundary condition of Simulation.

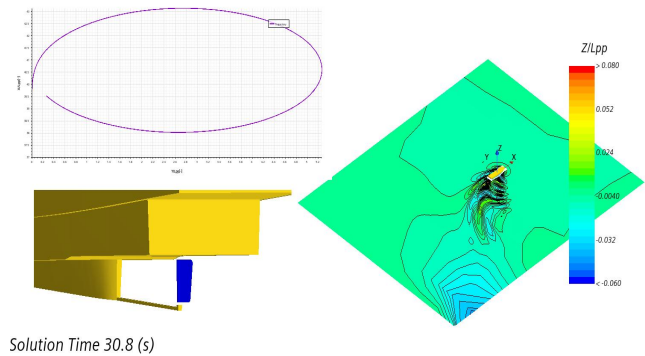


Fig. 7. Simulation Scene.

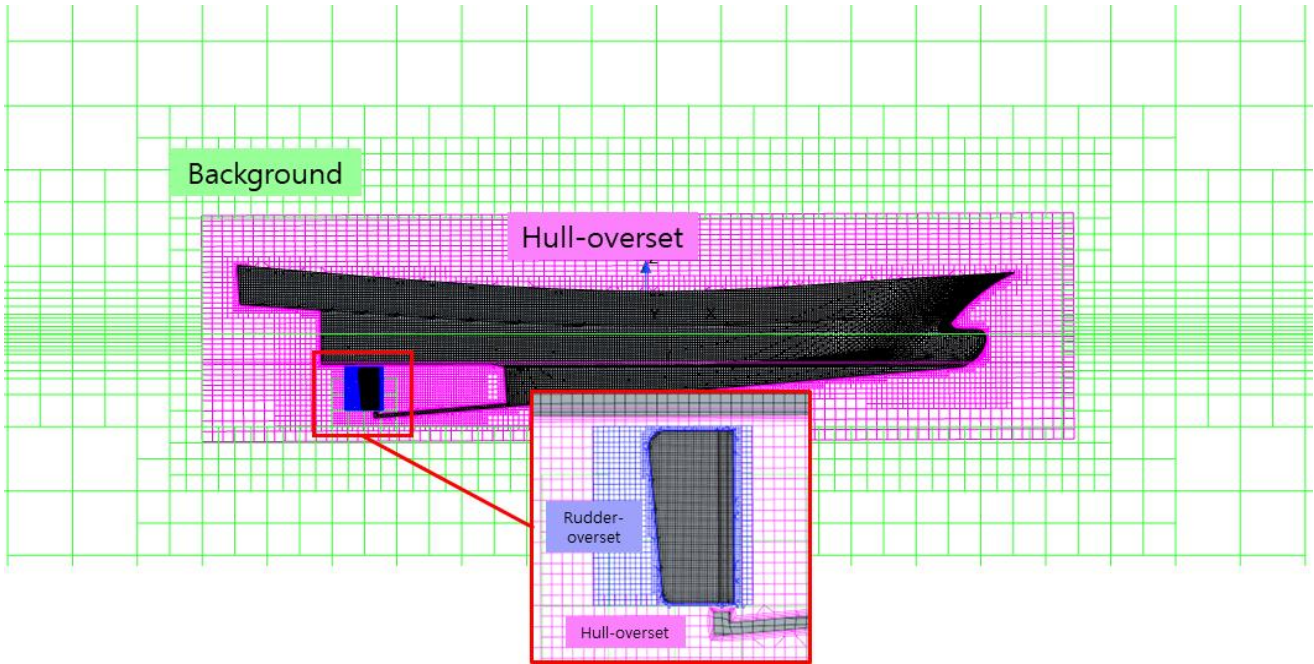


Fig. 8. Multi-level overset grid system.

3.3 자유항주 시뮬레이션 검증

3.3.1 시뮬레이션 불확실성 추정

본 연구에서는 시뮬레이션의 불확실성을 추정하기 위해 GCI(Grid Convergence Index) 기법을 사용하였다(Celik et al., 2008). 각각 격자계 구성 기본 크기와 시뮬레이션 시간 단위에 따라 GCI 기법이 사용되었다.

불확실성 계산을 위한 핵심 변수로 대상선의 10°/10° zigzag test의 1st Overshoot angle을 선정하였고, 그 결과는 Table 5, Table 6와 같다. 격자의 Base size를 다르게 하여 격자수에 따른 불확실성을 추정하였고, 최적 격자 개수인 미세 격자 조건에서 시간 간격에 따른 독립성을 확인하였다. 표에 나타난 바와 같이 미세(fine) 격자와 미세 시간 단위에서 각각 0.099%, 0.040%의 불확실성을 산출하였고, 이후 연구에 진행된 시뮬레이션에서는 미세 격자 및 미세 시간 단위를 사용하였다.

Table 5. Uncertainty estimations from spatial convergence study

Spatial convergence	No. Cells	10°/10° zigzag 1 st overshoot angle [deg]	Uncertainty
Coarse	540,922	12.61	$U_{grid}(\text{Fine}) = 0.099\%$
Medium	776,385	13.79	
Fine	1,172,594	13.92	

Table 6. Uncertainty estimations from temporal convergence study

Temporal convergence	Δt [s]	10°/10° zigzag 1 st overshoot angle [deg]	Uncertainty
Coarse	0.04	12.74	$U_{\Delta t}(\text{Fine}) = 0.040\%$
Medium	0.02	13.92	
Fine	0.01	13.85	

3.3.2 시뮬레이션 (모델) 유효성 검증

본 연구에서는 자유항주 시뮬레이션을 수행하기에 앞서 시뮬레이션 모델에 대한 검증으로, 대상선과 동일한 톤급인 다른 선형의 어선 저항 시뮬레이션의 결과와 비교하였다(Choi, 2023). 대상선은 본 연구를 위해 초기 설계 단계에서 개발된 선형으로, 검증을 위한 비교군(모형시험 결과 등)이 없어 선행 연구 중, 대상선과 선수 형상이 같은 Bulbous bow 형상의 선형에 대해 동일 시뮬레이션을 적용하여 선체 저항 계산을 진행하였고, 그 결과는 Table 7와 같다. Table 7에서 모형선박의 전체 저항을 무차원화하여 C_{TM} 으로 기술하였고, 이는 Eq. (1)을 통해 계산하였다. Eq. (1)에서 R_T, V, ρ, A_w 는 각각 선박의 전저항, 설계 속도, 물의 밀도, 선박의 접수 표면적을 나타낸다.

$$C_{TM} = \frac{R_T}{0.5\rho A_w V^2} \quad (1)$$

Table 7. Comparisons of C_{TM} of vessels from CFD simulation

	C_{TM} (Present CFD)	C_{TM} (CFD, (Choi, 2023))	Discrepancy
Bulbous Bow	12.42E-03	12.47E-03	-0.4%

4. 표준재화상태에 따른 조종성능 평가

4.1 표준재화상태

Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs(2013)의 제8 조에서 어선의 표준재화상태를 만재 출항, 어장발, 만재입항, 부분만재입항 네 가지 상태로 분류하였다. 그에 따른 어선의 안전성 및 적재 기준에서 표준어선형의 표준재화상태는 Table 8, 그에 따른 배수톤수 및 무게중심의 변화는 Table 9과 같다. 또한, 본 연구에서 수행하게 될 조종 시뮬레이션의 조건은 Table 10와 같다.

Table 8. Loading standards according to standard goods status classification

Loading condition	Payloads
Full load departure	- Consumables such as fuel, fresh water, provision are fully loaded
Fishing ground departure	- 75% of consumables such as fuel, fresh water, provision are used. - Fishes are fully loaded.
Full load arrival	- 90% of consumables such as fuel, fresh water, provision are used. - Fishes are fully loaded.
Partial arrival	- 90% of consumables such as fuel, fresh water, provision are used. - 20%(or 40%, if unusual operation) of fishes are loaded.

Table 9. Initial conditions according to loading conditions model-scale

Loading condition	Displacement [kg]	Draft [m]	CoG(x,y,z) [m]
Full load departure	11.44	0.037	(0.393,0.000,0.077)
Fishing ground departure	13.97	0.065	(0.469,0.000,0.066)
Full load arrival	13.70	0.064	(0.472,0.000,0.067)
Partial arrival	12.60	0.051	(0.456,0.000,0.069)

Table 10. Simulation conditions

Types	Full Scale Model	
10° /10° Zigzag Test	Full load departure, Fishing ground departure, Full load arrival, Partial arrival	
20° /20° Zigzag Test	Full load departure, Fishing ground departure, Full load arrival, Partial arrival	
35° Turning Test	Starboard Turning	Full load departure, Fishing ground departure, Full load arrival, Partial arrival
	Portside Turning	

4.2 조종성능 평가

4.2.1 10° /10° Zigzag Simulation

표준재화상태에 따른 변침성능을 평가하기 위해 10° /10° zigzag simulation을 수행하였다. 시뮬레이션 결과는 Fig. 9와 Table 11에 정리하였으며, 1st Overshoot angle은 가장 선체 중량이 큰 어장발 상태에서 가장 작은 값이 측정되었다. 그러나 2nd Overshoot angle은 어장발 상태에서 가장 큰 값이 측정되었고, 그 외에는 선체 중량이 큰 순으로 비슷한 경향을 보이는 것을 확인하였다.

1st Overshoot angle의 변동 폭은 2.92° 에서 3.85° 이고, 2nd Overshoot angle의 변동 폭은 4.79° 에서 4.34° 로, 1st Overshoot angle에서의 변동 폭이 비교적 큰 것을 확인하였다.

대상선의 L/V는 1.39[s]이며, Table 1에 따라 IMO 조종성능 기준을 만족하는 것을 확인하였다.

4.2.2 20° /20° Zigzag Simulation

10° /10° zigzag simulation에 이어 20° /20° zigzag simulation을 수행하였다. 시뮬레이션 결과는 Fig. 10과 Table 12에 정리하였으며, 1st Overshoot angle은 가장 선체 중량이 큰 어장발 상태에서 가장 작은 값이 측정되었다.

10° /10° zigzag simulation 결과와 같이 2nd Overshoot angle 또한 어장발 상태에서 가장 큰 값이 측정되었고, 그 외에는 선체 중량이 큰 순으로 비슷한 경향을 보이는 것을 확인하였다.

1st Overshoot angle의 변동 폭은 9.58° 에서 10.98° 이고, 2nd Overshoot angle의 변동 폭은 12.06° 에서 14.90° 로, 2nd Overshoot angle에서의 변동 폭이 비교적 큰 것을 확인하였다.

대상선의 L/V를 기준으로, Table 1에 따라 IMO 조종성능 기준 또한 만족하는 것을 확인하였다.

Table 11. Comparisons of 1st and 2nd Overshoot angle (10° /10° zigzag simulation)

Loading condition	1 st Overshoot angle [deg]	2 nd Overshoot angle [deg]
Full load departure	3.85	4.34
Fishing ground departure	2.92	4.79
Full load arrival	3.46	4.51
Partial arrival	3.63	4.54

Table 12. Comparisons of 1st and 2nd Overshoot angle (20° /20° zigzag simulation)

Loading condition	1 st Overshoot angle [deg]	2 nd Overshoot angle [deg]
Full load departure	10.98	12.06
Fishing ground departure	9.58	14.90
Full load arrival	10.04	14.08
Partial arrival	10.67	12.57

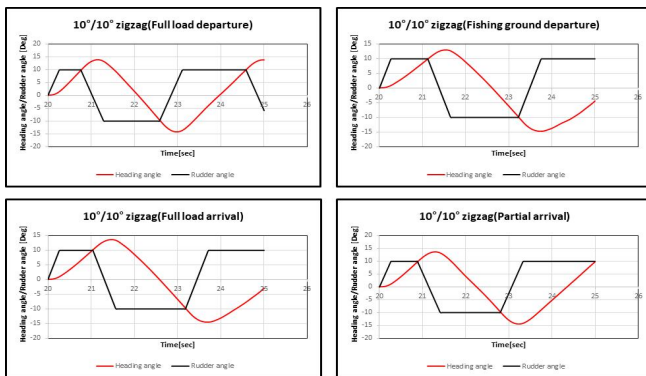


Fig. 9. Heading angle/Rudder angle in 10° /10° zigzag simulation.

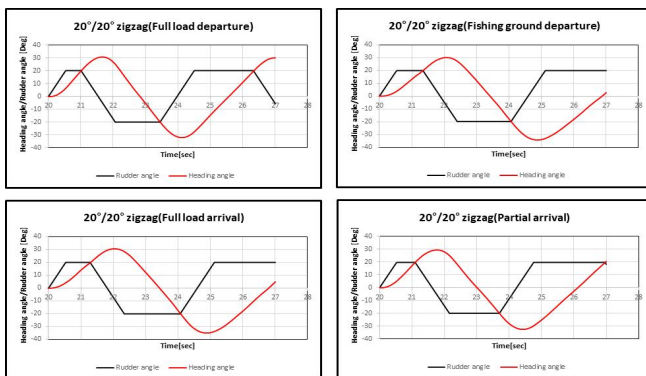


Fig. 10. Heading angle/Rudder angle in 20° /20° zigzag simulation.

4.2.3 35° Starboard Turning Simulation

표준재화상태에 따른 선회성능을 평가하기 위해 35° starboard turning simulation을 수행하였다. 시뮬레이션 결과는 Fig. 11과 Table 13에 정리하였으며, 만재입항 상태에서의 Advance와 Tactical diameter가 가장 작은 값을 보였다. 그 후로는 선체 중량이 큰 순으로 두 값이 작은 경향을 보인다.

Advance의 변동 폭은 4.08 Lpp에서 4.91 Lpp이고, Tactical diameter의 변동 폭은 5.04 Lpp에서 6.66 Lpp로, 각 재화상태에 따른 크기 변화의 폭은 Tactical diameter에서 비교적 명확히 확인할 수 있다.

대상선의 Length(Lpp)를 기준으로, 어장발 상태와 만재입항 상태에서의 Advance를 제외하고, 다른 중량 상태에서의 Advance와 모든 중량 상태에서의 Tactical diameter는 Table 1의 IMO 조종성능 기준을 불만족하는 것을 확인하였다.

어장발 상태에서의 중량이 가장 크지만 그 차이가 크지 않고, 만재입항 상태에서의 종방향 무게중심의 위치가 어장발 상태보다 선수부에 위치하여 결과적으로 Advance와 Tactical diameter가 가장 작은 것으로 판단된다. 이에 따라 종방향 무게중심의 위치가 조종성능에 미치는 영향에 대한 추가적인 검토가 필요하였고, 이를 4.3절에 후술하였다.

4.2.4 35° Portside Turning Simulation

35° starboard turning simulation에 이어서 35° portside turning simulation을 수행하였다. 시뮬레이션 결과는 Fig. 12와 Table 14에 정리하였으며, 전체적으로 starboard turning simulation보다 작은 값이 예측되는데, 이는 계산 조건에서 프로펠러 회전을 right-handed로 설정했기 때문이다. Portside Simulation 또한 선체 중량이 큰 순으로 Advance와 Tactical diameter가 작은 경향을 보였다.

Advance의 변동 폭은 3.49 Lpp에서 4.07 Lpp이고, Tactical diameter의 변동 폭은 3.80 Lpp에서 4.81 Lpp로, 각 재화상태에 따른 크기 변화의 폭은 starboard turning simulation과 동일하게 Tactical diameter에서 비교적 명확히 확인할 수 있다.

대상선의 Length를 기준으로, Table 1에 따라 IMO 조종성능 기준을 만족하는 것을 확인하였다.

4.3 종방향 무게중심 위치에 따른 조종성능 평가

4.2.3의 결과를 명확히 확인하기 위하여 종방향 무게중심의 위치에 따른 선회반경의 크기를 검증하였다. 어장발 상태의 선박의 무게중심 위치를 종방향으로 전체 선박 길이의 ±5%씩 이동하여 Starboard Turning Simulation을 수행하였다. 이때의 무게중심 위치는 종방향으로만 차이를 두었고, 그에 따른 관성모멘트는 시뮬레이션마다 다른 값을 적용하였다.

CFD 시뮬레이션 기반 소형 어선의 표준재화상태에 따른 조종성능 평가

시뮬레이션 결과는 Fig. 13과 Table 15에 정리하였으며, 4.2.3에서의 결과와 같이 선수부에 무게중심이 위치하는 경우, 해당 선박의 Advance와 Tactical diameter가 작은 것을 확인하였다. 이는 선수부에 무게중심이 위치할 경우, 선수 트림(trim by the head : B/H)이 발생하여 부심의 위치가 선수쪽으로 이동하게 되고, 선박의 중심이 선회모멘트를 발생시키는 선박의 타와 멀어지며 선회 성능을 향상시키기 때문이다.

Table 13. Comparisons of advance and tactical diameter (35° starboard turning simulation)

Loading condition	Advance [Lpp]	Tactical diameter [Lpp]
Full load departure	4.91	6.66
Fishing ground departure	4.27	5.36
Full load arrival	4.08	5.04
Partial arrival	4.69	6.11

Table 14. Comparisons of advance and tactical diameter (35° portside turning simulation)

Loading condition	Advance [Lpp]	Tactical diameter [Lpp]
Full load departure	4.07	4.81
Fishing ground departure	3.49	3.80
Full load arrival	3.50	3.88
Partial arrival	3.76	4.23

Table 15. Comparisons of advance and tactical diameter (35° starboard turning simulation with different LCG conditins)

LCG condition	Trim [deg]	Advance [Lpp]	Tactical diameter [Lpp]
-5%	3.36	4.43	5.83
0%	0.20	4.27	5.36
5%	-2.32	3.85	4.68

* -(minus) trim means trim by the head(B/H)

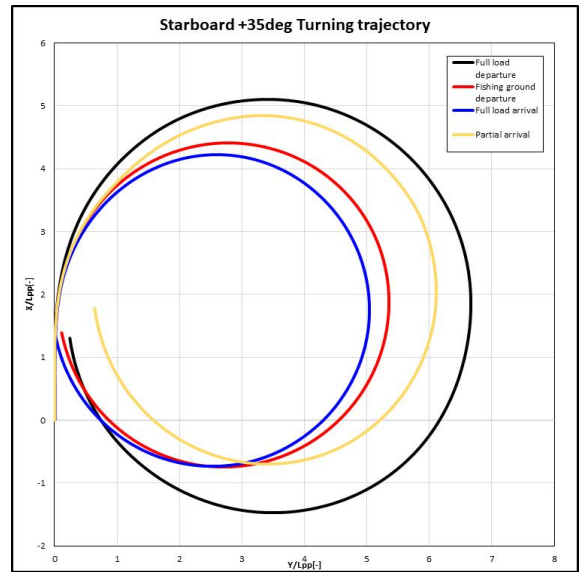


Fig. 11. Trajectory in 35° starboard turning simulation.

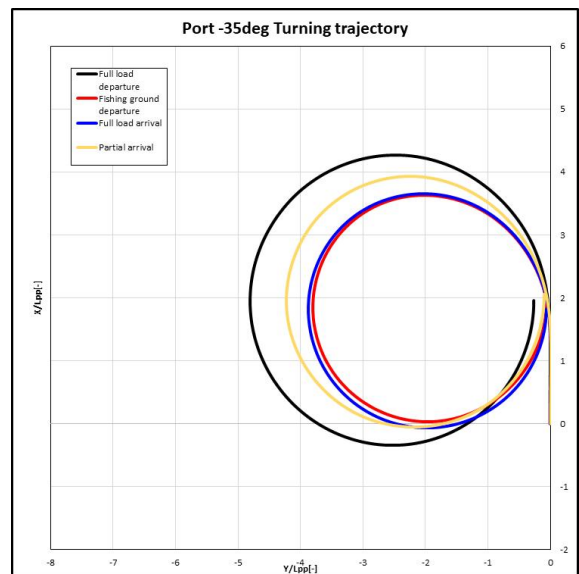


Fig. 12. Trajectory in 35° portside turning simulation.

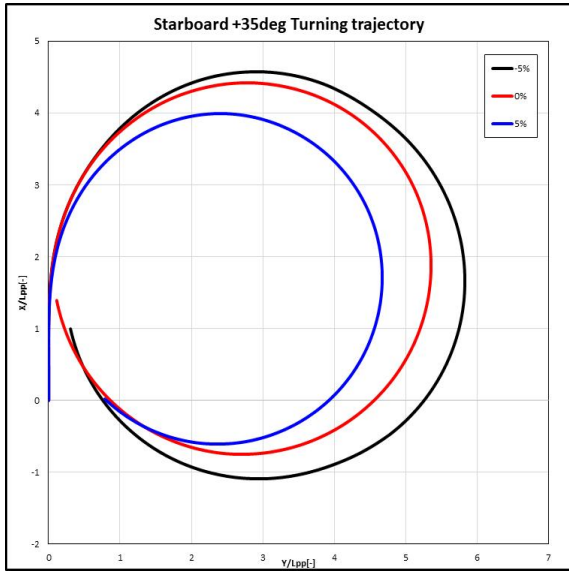


Fig. 13. Trajectory in 35° Starboard turning simulation with different LCG conditions.

5. 결론

본 연구는 소형 어선의 표준재화상태에 따른 조종성능의 변화를 연구하기 위해 선체 중량과 무게중심을 각 표준재화 상태마다 다르게 하여 자유항주 시뮬레이션을 수행하였다.

연구방법으로는 조종성능을 평가하는 소형 어선의 기준선을 설정하고, 해당 어선을 3D-CAD로 모델링한 뒤 상용 수치해석 프로그램인 STAR-CCM+를 활용하여 자유항주 시뮬레이션 환경을 구축하였다. 그 후 각 표준재화상태별로 자유항주 시뮬레이션을 수행하여 선박의 조종성능 평가를 위한 파라미터를 계측하여 선박의 조종성능을 추정하였다.

본 연구 방법에 따라 대상선의 표준재화상태를 기준으로 모델 선형의 Overshoot angle, Advance, Tactical diameter를 산출할 수 있었으며, 그 변동폭을 확인하여 특정 재화 상태간의 조종성능의 차이를 확인할 수 있었다. IMO 조종성능 기준에서 제시한 최소 기준을 만족하는지 검토한 결과 starboard turning Simulation 중, 어장발과 만재입항 상태에서의 advance를 제외하고 모두 불만족하였다. 이를 바탕으로 소형선박의 설계단계에서 조종성능을 추정하기 위해 이에 대한 명확한 기준이 필요할 것으로 보인다.

본 연구에서는 시뮬레이션 결과를 바탕으로 소형 어선의 표준재화 상태에 따른 조종성능 상관관계를 도출하였다. 선체 중량이 클수록 변침성능은 저하되나, 선회성능은 향상되는 것을 확인하였고, 중량이 비슷한 경우, 무게중심의 위치에 따라 선회성능이 결정되는 것을 확인하였다. 또한, IMO

기준에 해당하지 않는 100m 미만의 소형선박에 관한 추가적인 연구를 바탕으로 해당 선박의 조종성능 평가 기준을 확립하기 위한 기초자료를 제시하였다.

향후에는 리더 형상 및 제원, 표준재화상태 별 프로펠러 회전수 및 선속이 소형선박의 조종성능에 미치는 영향에 대한 수치 시뮬레이션과 모형 실험을 이용한 연구가 필요할 것이다.

후 기

이 논문은 2024년도 해양수산부 재원으로 해양수산과학기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임(RS-2022-KS221571, AI기반 어선안전 설계 데이터플랫폼 개발 및 실증)

References

- [1] Celik, I. B., U. Ghia, P. J. Roache, C. J. Freitas, H. Coleman, and P. E. Raad(2008), Procedure for estimation and reporting of uncertainty due to discretization in CFD applications, ASME J. Fluids Eng., Vol. 130, p. 078001 (4 pages).
- [2] Choi, H. S.(2023), Study on the Manoeuvring Performance of a Fishing Vessel Based on CFD Simulation of the Hull forms and Rudder Shapes, Journal of Ocean Engineering and Technology 37(4), pp. 129-136.
- [3] IMO MSC 76/23(2002), Resolution MSC 137(76), "Standards for Ship Manoeuvrability" Report of the maritime safety committee on its 76th Session-Annex 6, pp. 1-6.
- [4] Kang, D. K., G. G. Lee, J. H. Lee, and S. H. Han(2020), Stability Characteristics based on Crane Weight of Small Fishing Vessels Under Standard Loading Conditions. Investigation Report of the Capsized Accident at Goseong Port.
- [5] Kim, D. Y.(2017), A study on the analysis method of ship maneuverability in waves considering the wave drift force. master's thesis, Inha university, pp. 1-156.
- [6] Kim, D. Y., I. T. Kim, J. S. Han, S. J. Kim, and S. H. Kim (2016), A study on the hydrodynamic derivatives estimation of KVLCC2 using virtual captive model test. Proceedings of KAOSTS Academic Conference, Pusan, Korea, 15-20 May 2016, SNAK, pp. 510-513.
- [7] Lee, C. K., S. H. Kim, J. G. Lee, and M. S. Kim(2018), A study on the characteristics of manoeuvrability of fishing vessel, Journal of Korean Society of Fisheries Ocean Technology, 54(3), pp. 239-245.

CFD 시뮬레이션 기반 소형 어선의 표준재화상태에 따른 조종성능 평가

- [8] Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs(2013),
Standard of Stability and Full Load Draft Line of Fishing
Vessels, 2013-164.
- [9] MTIS(2022), Maritime Transportation Safety Information
System) 2022 Marine Accident Status Statistics, Available at:
<https://mtis.komsa.or.kr/ana/accTypeStat#top>.

Received : 2024. 03. 19.

Revised : 2024. 05. 01. (1st)

: 2024. 06. 20. (2nd)

Accepted : 2024. 06. 27.