

## 초기설계 단계에서 소형 어선의 복원성 추정 방안에 관한 연구

김혜우<sup>\*,\*\*</sup> · 김상현<sup>\*\*\*†</sup> · 이선우<sup>\*\*\*\*</sup> · 이효근<sup>\*\*\*\*</sup> · 김인태<sup>\*\*\*\*\*</sup>\* , \*\*\*\* 인하대학교 대학원 조선해양공학과, \*\* 대한민국 해군, \*\*\* 인하대학교 조선해양공학과 교수,  
\*\*\*\*\* 한화오션(주) 성능평가팀 선임연구원Study on the Stability Estimation Method of Small Fishing Vessels  
at the Initial Design StepHwe-Woo Kim<sup>\*,\*\*</sup> · Sanghyun Kim<sup>\*\*\*†</sup> · Sun-Woo Lee<sup>\*\*\*\*</sup> · Hyogeun Lee<sup>\*\*\*\*</sup> · In-Tae Kim<sup>\*\*\*\*\*</sup>

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

\*\* Republic of Korea Navy, Korea

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

\*\*\*\*\* Senior researchcer, Model basin team of Hanwha Ocean Gyeonggi-do 15011, Korea

**요 약** : 연근해에서의 선박 전복사고는 소형 어선에서 많이 발생한다. 소형 어선의 전복사고를 예방하기 위해서는 초기설계 단계에서부터 복원성을 평가하는 것이 매우 중요하다. 하지만 초기설계 단계에서 확보할 수 있는 정보는 제한적이어서 신뢰성 있는 복원성을 평가하는 데 어려움이 있다. 이에 본 연구에서는 초기설계 단계에서 추정할 수 있는 KM, KG, 트림을 활용하여 소형 어선의 횡메타센터(GM)를 추정하고, 표준어선형의 안전성 평가 기준에서 제시된 최소횡메타센터(GMmin)와의 차이를 비교하여 복원성을 평가하는 방안을 제안하였다. 한국해양안전교통공단에서 제공하는 복원성 평가프로그램인 K-SHIP을 사용한 Hydrostatics 특성 계산에서 요구되는 트림을 도출하기 위해 상용 CFD 프로그램인 STAR-CCM+를 이용하여 어선 선형에 따른 초기 상태 트림을 추정하였으며, K-SHIP을 사용하여 어선 선형에 대한 Hydrostatics 특성을 계산하여 GM을 추정하였다. 그리고 GM과 GMmin의 비교를 통해 만재출항상태의 복원성을 비교하였다. 실적선을 기준선으로 선정하여 본 연구에서 제안한 복원성 평가 방안을 적용해 복원성을 평가하고 그 타당성을 검증하였다. 결과적으로 4.99톤 어선의 대표적인 선형과 이를 활용해 도출한 모듈 선형 9개의 복원성을 평가하였고, 이중 상대적으로 복원성이 우수한 선형을 선정하였다.

**핵심용어** : 소형 어선, 초기설계단계, CFD, 횡메타센터(GM), 복원성

**Abstract** : Ship capsizing accidents are common in coastal waters, particularly involving small fishing boats. To prevent there overturning accidents in small fishing boats, their stabilities must be assessed at the initial design step. However, the available information during the initial design step is limited, posing challenges in performing a reliable stability evaluation. Therefore, this study presents a plan to estimate the transverse metacenter (GM) of small fishing boats using parameters such as KM, KG, and TRIM that can be determined at the initial design step. Stability was evaluated by comparing GM with the minimum transverse metacenter (GMmin) specified in the standard safety evaluation criteria for fishing boats. To calculate the required trim value for hydrostatic characteristics using K-SHIP, a stability assessment program provided by the Korea Maritime Safety and Transportation Corporation, the initial trim state is estimated based on the ship lines using the commercial CFD program STAR-CCM+. GM is then calculated by assessing the hydrostatic characteristics in relation to the boat lines using K-SHIP. Furthermore, the stability of the fully loaded state is compared by subtracting GM from GMmin. One constructed ship is designated as the standard ship, and the stability assessment method proposed in this study is applied to evaluate stability and validate its effectiveness. Consequently, the representative line of a 4.99-ton fishing boat and nine modular lines models derived from it were evaluated, ultimately identifying a relatively superior stability.

**Key Words** : Small Fishing Vessels, Initial Design Step, CFD, Transverse Metacentric-Height (GM), Stability

\* First Author : sbsn1133@gmail.com, 032-860-8812

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

## 1. 서론

한국해양교통안전공단에서 제공하는 통계자료에 따르면 우리나라에서 2022년도에 발생한 전체 해양사고 3,167척 중 어선사고는 1,904척으로 60%를 차지하며, 20톤 미만의 소형 선박에서 발생한 사고는 2,058척으로 전체 사고 선박의 65%를 차지한다(MTSIS, 2022). 선박에서 해양사고가 발생한 원인은 다양하며, 그중 복원력 소실에 의한 전복사고는 98건에 달한다. 복원력의 소실에 의한 전복사고는 지속적으로 발생하고 있을 뿐 아니라 충돌을 비롯한 다른 사고 원인으로 이어지기도 한다.

선박의 초기 복원성은 선형이 형성되면서 자동으로 결정된다. 특히 소형 어선의 설계과정을 살펴보면 조선소에서 경험에 기반해 FRP 선형 틀을 제작할 때 초기 선형이 결정되는 경우가 많다. 따라서 복원성이 우수한 배를 설계하기 위해서는 초기 설계단계에서부터 복원성을 고려하여 설계해야 한다.

한국해양교통안전공단에서는 24m 이하의 어선을 소형 어선으로 이르면 소형 어선의 복원성을 평가하기 위한 다양한 연구를 진행해왔다. 주요연구로는 Park et al.(1999), Oh and Lim(2022), Kwon and Choi(2007)가 있다. 선박의 복원성을 연구한 대부분의 연구는 실적선의 데이터를 기반으로 주요제원의 변화에 의한 회귀 분석을 시행해 복원성을 추정하며, 초기 설계단계로부터 어선들의 복원성을 추정하는 방안은 다루고 있지 않다.

이에 본 연구에서는 한국해양안전교통공단에서 소형선박에 대한 복원성을 평가하기 위해 활용하고 있는 K-SHIP을 활용하여 초기 설계단계에 해당하는 정보들을 확보하여, 이와 같은 정보로부터 복원성을 추정하는 방안을 연구하였다.

## 2. 초기 설계 단계에서의 복원성 평가

### 2.1 복원성

선박의 복원성은 손상 시와 비 손상 시로 구분하며, 비 손상 시 복원성은 다시 정적 복원성과 동적 복원성으로 나누어진다. 본 연구에서는 정적 복원성 중 초기복원성을 이용하여 복원성을 평가하였다.

초기복원성은 경사 각도가 최대 15° 이내 혹은 현단 몰수 각 중 작은 각도로 경사된 경우에 적용된다. 미소 경사각( $\Phi$ )에 대한 횡메타센터(이하 GM)가 매우 작게 이동하기 때문에 GM은 고정되어 있다고 가정한다.

미소 경사각을 라디안(radian)으로 표시하면 초기메타센터는 식(1), (2)와 같다. 식(1)에서 GM은 중심의 높이(KB)와 반경(BM)의 합에서 선저로부터 무게중심까지의 높이(KG)를 뺀 값이다. 식(2)에서 GM은 선저로부터 메타센터까지의 높이(KM)

에서 선저로부터 무게중심까지의 높이(KG)를 뺀 값이다.

복원암(GZ)은 식(3)에 의하여 계산할 수 있다. 이때 미소 경사각에 대한 복원암(GZ)은 식(3)과 같이 표현되므로 GM을 초기횡복원성의 척도로 사용한다.

$$GM = KB + BM - KG \quad (1)$$

$$GM = KM - KG \quad (2)$$

$$GZ \approx GM \sin \Phi \quad (3)$$

### 2.2 국내 어선에 대한 복원성 평가 규정

나라마다 어선의 복원성 평가방법과 적용 범위가 다르다. 우리나라에서는 “어선복원성 및 만재흡수선 기준”에 의해 복원성 평가방법이 정립되었다. Table 1은 해당 기준에서 복원성 관련 중요항목을 발췌하여 정리한 내용이다(Oh and Lim, 2022). Table 2는 국제해사기구(IMO)에서 권고하는 소형 어선에 대한 복원성 규정이며, Oh and Lim(2022)이 이에 대해 보다 자세하게 연구하였다.

Table 1. Korea stability criteria for fishing vessel (Oh and Lim, 2022)

Country	KOREA			
Applicable ship [number of people] / [m]	Fishing boat / Fishery vessel			
	13 or more [people]	24 ~ 40 [m]	40 ~ 70 [m]	70 [m] or more
GoM[m]	Application of criteria for fishing vessel, according to the hull length	GoM <sup>(1)</sup>	0.35 or more	0.15 or more
A <sub> 0° ~ 30° </sub> [m·rad]		-	0.055 or more	
A <sub> 30° ~ 40° </sub> [m·rad]		-	0.030 or more	
A <sub> 0° ~ 40° </sub> [m·rad]		-	0.090 or more	
GZ <sub> 30° or more </sub> [m·rad] GZ <sub>max, occurrence angle</sub> [deg]		-	200 or more	
GZ at $\alpha$ (limited heel angle [deg.]) / at C (immersion angle)	GZ <sub> <math>\alpha</math> </sub> <sup>(2)</sup>	GZ <sub> <math>\alpha</math> </sub> <sup>(3)</sup>		
$\alpha$ (limited heel angle) [deg.]	16° or more, (or) 80%			
$\Phi$   inflow into fish-holds   [deg.]	- (However, the fish-holds equipped with hatch cover.)			
Area   wind   [m·rad]	b > a			
GoM <sup>(1)</sup> = 0.04B + $\alpha$ (B/D) - $\beta$ (40m or less) (The $\alpha$ and $\beta$ are give value on the criteria)				
GZ <sub> <math>\alpha</math> </sub> <sup>(2)</sup> $\geq$ M/W, GZ <sub> <math>\alpha</math> </sub> <sup>(3)</sup> > Mc/W(C=12°)				
80% <sup>(3)</sup> : 80% of the hull side flooding angle				

소형선박의 복원성에 대한 연구는 해양수산부 산하 선박 검사기술협회에 의해 수행된 바 있다(Kwon and Choi, 2008). 해당 연구에서는 다양한 길이와 무게의 어선 별로 규정된 복원성 기준과 여러 복원성 평가 규정에서 활용하는 초기횡메타센터를 비롯하여 횡경사모멘트 복원성 곡선의 면적 등 다양한 요소의 적용 범위를 검토하였다. 특히 이 연구에서는 초기횡메타센터를 주요 평가 수단으로 연구하였다.(Kwon and Choi, 2008)

Table 2. IMO stability criteria for fishing vessel (Oh and Lim, 2022)

Institution	IMO	
Applicable ship[m]	12 or more	24 or more
$GM_0$ [m]	0.35 or more	0.35 or more
$A_{ 0^\circ \sim 30^\circ }$ [mrad]	0.055 or more-	0.055 or more
$A_{ 30^\circ \sim 40^\circ }$ [mrad]	0.030 or more	0.030 or more
$A_{ 0^\circ \sim 40^\circ }$ [mrad]	0.090 or more	0.090 or more
$GZ_{ 30^\circ \text{ or more} }$ [mrad]	200 or more	200 or more
$GZ_{\text{max}}$ occurrence angle [deg.]	25° or more	25° or more
$\alpha$ (limited heel angle) [deg.]	-	16° or more, (or) 80% <sup>(1)</sup>
$\Phi$  inflow into fishhols  [deg.]	20° or more	-
A   beam wind	-	b > a

80%<sup>(1)</sup> : 80% of the hull side flooding angle

현재는 소형 어선 중 선체 길이 24m ~ 40m인 어선에 대해서는 초기횡메타센터가 모든 재화 상태에서 초기횡메타센터가 최소횡메타센터(이하 GMmin) 보다 높은 값을 가지도록 규정하고 있다. 하지만 선체 길이 24m 이하인 어선에 대한 복원성 규정은 없어 Oh and Lim(2022)에서 선체 길이 24m ~ 40m인 어선에 적용하는 기준을 선체 길이 24m 이하인 경우에도 적용할 것을 건의한 바 있다.

### 2.3 복원성 평가 프로그램(K-SHIP)

Fig. 1에서 보는 바와 같이 선박의 초기 설계단계에서는 실적선의 자료 등을 참고하여 주요제원과 설계 톤수를 선정하고 일반 배치도를 작성한다. 개략 배치도의 정보만으로는 경사시험이나, 주요 부가물들의 위치선정, 풍압 면적 등 구체적인 데이터를 얻는 데 제한적이므로 초기 설계단계에서는 복원성을 평가하기 위해 실적선 등의 자료 등을 활용하여 추정하고 있다. 이후 중량 중심 추정 및 Hydrostatic table 계산을 통해 복원성을 추정한다.

한국해양안전교통공단에서는 선박의 복원성 평가프로그램으로 ‘K-SHIP’을 개발하여 어선의 복원성 평가에 활용하고 있다. K-SHIP의 복원성 평가 순서는 Fig. 2에서 보는 바와 같이 여러 단계로 이루어진다. ‘DBHULL’은 선박의 선형정보 입력 및 3차원 선형 작성, ‘HYDROT’은 배수량 특성 계산 ‘VOLUME’은 선박의 탱크 체적 계산 프로그램이며, 이후 공선상태에서 경사시험을 통한 무게중심과 트림을 구하고 ‘LOADCD’를 통해 다양한 재화적재상태에서의 무게중심과 트림 데이터를 산출한다. 이어서 풍압면적의 ‘PRWIND’와, 최종 복원성 계산인 ‘STABKG’를 통해서 복원성을 평가한다. 세부적인 내용은 한국해양안전교통공단에서 배포한 K-SHIP 사용자 매뉴얼에서 확인할 수 있다.

본 연구의 초기설계단계에서는 설계가 완성되기전 하부 선형의 정보와 중량정보 추정을 통해 이용하여 K-SHIP에서

DBHULL, HYDROT 프로그램과, CFD를 활용한 트림 정보를 이용하여 초기 설계단계 복원성 평가를 수행하였다.

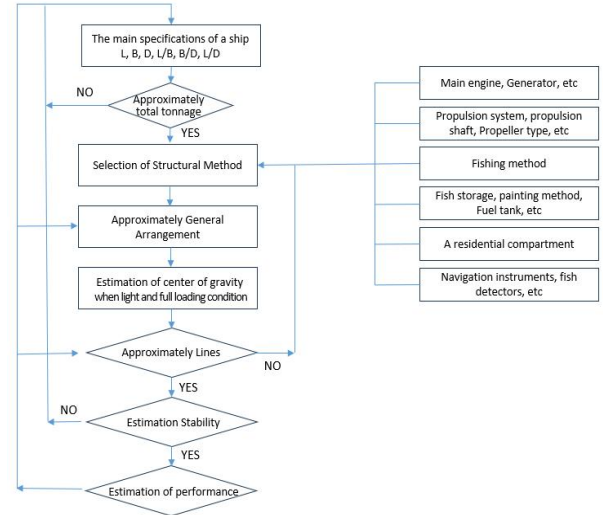


Fig. 1. Flow chart basic design of a small fishing vessel (Park, 1998).

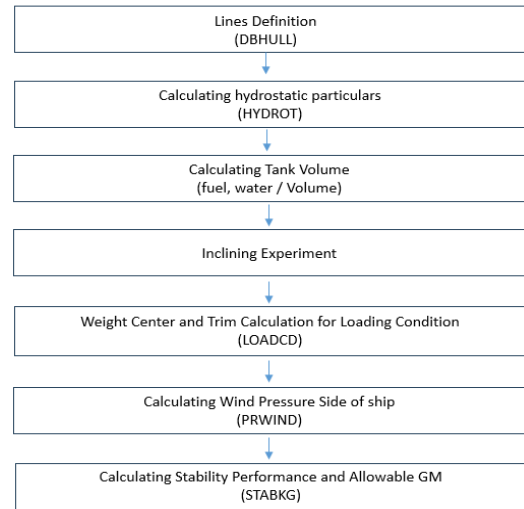


Fig. 2. Stability evaluation procedure using K-SHIP.

### 2.4 표준어선형 어선의 복원성 평가

해양수산부에서는 어선에 대한 안전복지를 강화한 표준어선형에 관한 기준을 따로 두고 있으며, 현재 24m 이하의 소형 어선 중 표준어선 형태를 따르는 어선은 해당 규정을 따르도록 권고하고 있다. 이 중 초기횡메타센터는 모든 적재상태에서 다음 계산식에 따른 값인 GMmin 이상을 가지도록 규정하고 있다.

$$0.117B\left(\frac{B}{D}-2.20\right)+\left[1.773\left(\frac{T}{D}\right)^2-2.646\frac{T}{D}+1.016\right]B \quad (4)$$

이 식에서 B는 「어선법」에 따른 배의 너비(m), D는 어선 구조기준에 따른 배의 깊이(m), T는 재화 상태에서의 흘수(m)를 의미한다. B/D가 2.2 이하인 경우 2.2를, T/D가 0.5 이하인 경우 0.5를 적용한다.

어선의 안전성 및 적재 기준에서 표준어선형의 표준재화 상태는 Table 3과 같으며, 표준어선형 어선은 모든 재화 상태에서 초기횡메타센터가 GMmin보다 큰 값을 가지도록 하고 있다.

Table 3. 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.

### 3. 어선의 트림 추정

어선의 트림은 건조 후 경사시험을 통해 선수 흘수와 선미 흘수의 차이로 측정한다. 어선의 경사시험은 주로 경하 상태를 기준으로 이루어진다. 경사시험을 한 어선의 선형 정보를 K-SHIP에 입력했을 때 선박의 적재 기준에 부합하는 상태로 적재를 가정했을 때 트림값을 계산해 준다. 이때 적

재 상태는 표준재화 상태라 하며, 표준재화 상태는 만재 출항, 어장발, 만재입항, 부분만재입항으로 나뉜다.

어선의 초기 설계단계에서는 트림을 측정하기 위해 경사 시험을 할 수 없으므로 트림을 추정하기 위해 ‘OPT-Hull’, ‘Rihno’를 이용하여 선형을 3d-cad 형태로 모델링하고, 상용 CFD 프로그램인 STAR-CCM+를 활용해 트림을 계산하였다.

#### 3.1 트림 계산 도메인 및 경계조건

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 모델링을 통해 Fig. 4와 같이 선형을 제작하였고 모델의 제원은 Table 4와 같다.



Fig. 4. Criteria ship (4.99ton) shape.

Table 4. Criteria ship Specifications

Division	Full Scale	Model
Scale ratio	1	11
Designed speed, Vs[knot]	15.6	4.70
Desinged speed, Vs[m/s]	8.025	2.42
Draft, T[m]	0.650	0.059
Length overall, LoA[m]	15.13	1.38
Registered length, Lt[m]	12.2	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

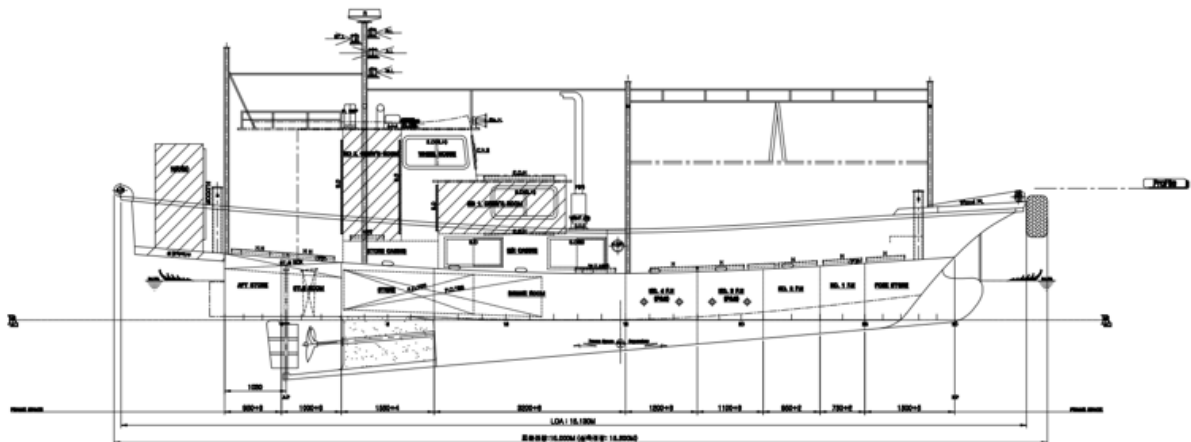


Fig. 3. Profile of 4.99 ton class coastal fishing boat.

수치 시뮬레이션을 위한 계산영역은 Fig. 5와 같이 각각 길이 방향 5.0LPP, 두께 방향 2.0L, 그리고 높이 방향 4.0L로 설정하였다.

각 영역의 경계조건은 상용 소프트웨어 STAR-CCM+에서 제공하는 경계조건을 이용하여 Fig. 5와 같이 입구경계에는 속도유입조건인 Velocity Inlet 조건을, 출구경계에는 유출조건인 Velocity Outlet 조건을, 중심면은 Symmetry 조건을 설정하고, 자유표면의 모사를 위해 VOF(Volume of Fluid) 방법을 이용하였다.

수치 시뮬레이션을 위한 격자계는 STAR-CCM+에서 제공하는 자동격자 생성 방법인 Surface Remesher, Prism Layer 그리고 Trimmer 격자를 이용하여 약 140만 개의 격자를 생성하였다. 이때 자유표면 부근에 격자를 조밀하게 배치하여 자유표면의 정확도를 고려하였다.

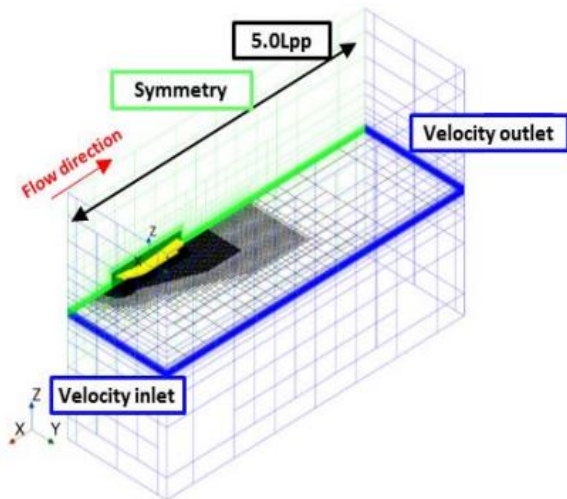


Fig. 5. Analysis domain grid and boundary conditions.

### 3.2 트림 수치 시뮬레이션 결과

선박의 트림에 대한 수치 시뮬레이션 결과는 Fig. 6과 같다. 가로축은 시간, 세로축은 선박의 트림이다. 약 30초 이후부터는 트림이 일정한 값으로 수렴되는 것을 확인할 수 있었다.

2.3절에서 알아본 표준재화 상태에서 어선의 트림을 추정 한 결과는 Fig. 6과 같으며 범례를 경하 상태(Condition 1), 만재출항 상태(Condition 2), 어장발 상태(Condition 3), 만재입항 상태(Condition 4), 부분만재입항 상태(Condition 5)로 표기하였다.

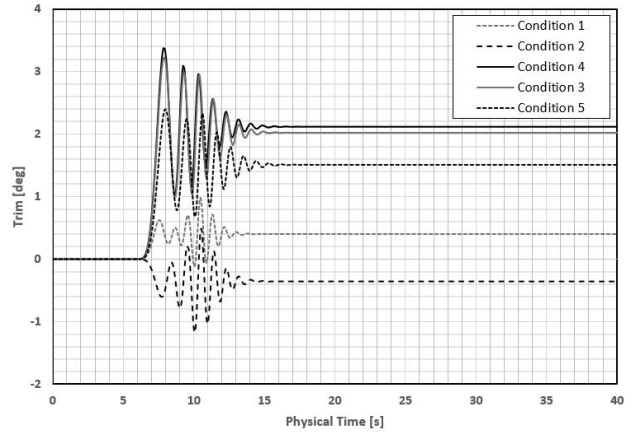


Fig. 6. Astimation trim using CFD (Star-ccm+).

CFD를 이용한 수치 시뮬레이션으로 추정된 선박의 트림과, 선박 설계사무소에서 경사시험 이후 평가한 기준선의 자세를 비교해 Fig. 7과 같은 결과를 얻었으며, K-SHIP으로 평가한 트림과 CFD로 계산한 트림의 경향성과 수치가 잘 일치하는 것을 확인할 수 있었다.

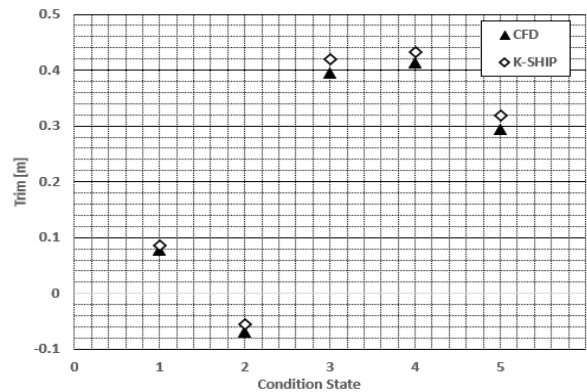


Fig. 7. Trim(deg) using CFD(Star-ccm+), K-SHIP.

## 4. 복원성 평가

### 4.1 복원성 평가방안의 검증

본 연구에서 제안하는 복원성 평가방안을 검증하기 위해 선박설계사무소에서 어선의 경사시험을 통해 얻은 실적선의 완전복원성평가 결과를 이용하였다. 설계사무소에서 수행한 완전복원성평가에서는 건조를 마친 이후에 어선에 대한 경사시험을 통해 무게중심의 위치와 트림을 확인하고 이후 표준재화 상태별 GM을 구한 결과를 의미한다. 그리고 본 연구의 3.2절에서 제시한 선박의 재화 상태별 트림 시뮬레이션을 통해 계산한 GM을 비교하는 방식으로 검증하였으며



그 결과는 Fig. 8과 같다.

Fig. 8은 선박설계사무소에서 평가한 완전복원성평가서 결과에 따른 표준재화 상태별 GM과 2.4.2절에서 제시한 선박의 재화 상태별 트림 시뮬레이션을 통해 얻은 데이터를 이용하여 얻은 GM을 비교한 결과이다. 그 결과, 선박 설계 사무소에서 경사시험을 통해 평가한 GM과 최대 오차율 3%로 유사한 결과를 얻을 수 있었다.

2.3절에서 언급한 바와 같이 기준선은 표준어선형이므로 GMmin을 계산했을 때 기준선은 모든 재화 상태에서 표준어선형 어선 기준에 의거하여 복원성 기준을 만족하는 것을 알 수 있다.

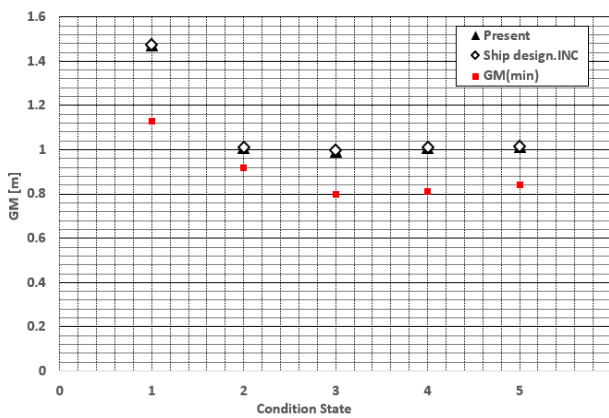


Fig. 8. Transverse metacenter height.

#### 4.2 어선의 복원성 평가

##### 4.2.1 대상 선형의 선정

‘Rhino7’ 프로그램을 이용해서 주요제원 변경에 따른 다양한 선형을 제작하였으며 Fig. 9는 그중 일부를 나타낸다. 대상 선형들의 선정 방식은 각 해역에서 선호하는 설계조건(주요제원과 상부구조 등)을 고려하여 CAD 시스템을 통한 자동 선형 생성 기술을 개발하고 그에 따라 생성된 선형들에 대한 성능을 비교하여 각 해역별로 선주들의 원하는 최적 선형의 설계와 해당선형의 성능에 대한 평가를 자동화하기 위한 과정이며 본 연구에서 주된 관심사는 소형어선의 복원성에 가장 크게 영향을 미치는 하부 선형들에 대한 복원성을 비교하는 것이다.

소형선박의 복원성 기준에 관한 연구(Kwon and Choi, 2008)에서 GM의 크기에 따라 소형어선의 복원성이 상대적으로 우수하다고 평가하였으므로 각 선형마다 GM을 구하여 복원성을 비교하였다. Table 5는 복원성을 비교하고자 하는 대상 선형들의 주요제원을 나타내며 여기서 Area는 어선의 조업 해역별로 선호하는 대표적인 제원을 의미한다.

Table 5. Main specifications of designed ships

NO.	Area	Lt(m)	Bt(m)	Dm(m)
1	Eastsea	11.222	3.16	0.83
2		11.342	3.02	0.87
3		11.187	3.06	0.87
4	Westsea	11.113	3.09	0.87
5		11.11	2.92	0.93
6		11.191	2.95	0.91
7	Southsea	11.377	3.07	0.85
8		11.393	3.04	0.86
9		11.272	3.15	0.83



< Eastsea-1 >



< Eastsea-2 >



< Eastsea-3 >

Fig. 9. Designed fishing boat 3d cad view.

K-SHIP 프로그램에 생성된 가상 모델 선형의 선형 데이터와 트림 정보를 입력하여 ‘Hydrostatic particulars’를 계산하면 Fig. 10과 같은 결과를 얻을 수 있으며, 이를 통해 모델 선형들의 선저로부터 메타센터까지의 높이를 구하고, 식(2)를 이용해 GM을 구하였다.

Fig 10에서 Draft는 흘수(용골에서 흘수 깊이, m), Dispt는 배수량(ton), MTC는 트림 1m 변화당 모멘트(ton × m), KMT는 메타센터(m), LCB는 선박의 중 부력중심(m), LCF는 선박의 부면심(m), KB는 부심의 높이, Wet.surf는 침수면적을 의미한다.

```

*****
* HYDROSTATIC PARTICULARS - TRIMMED *
*****
TRIM : 0.214 M BY STERN

-----
DRAFT  DISPT  M.T.C  R.M.T  L.C.B  L.C.F  R.B  WET S.
B.O.K  TON  M*TON  M  M  M  M  M**2
-----
0.90  11.93  0.23  2.054  -1.229  -1.245  0.335  39.1
0.91  12.23  0.23  2.024  -1.230  -1.244  0.342  39.4
0.92  12.52  0.23  1.995  -1.230  -1.243  0.347  39.7
0.93  12.82  0.24  1.967  -1.231  -1.241  0.353  39.9
0.94  13.12  0.24  1.940  -1.231  -1.238  0.359  40.2

0.95  13.42  0.24  1.914  -1.231  -1.232  0.365  40.4
0.96  13.72  0.24  1.888  -1.231  -1.226  0.371  40.6
0.97  14.02  0.24  1.864  -1.230  -1.221  0.377  40.9
0.98  14.32  0.24  1.841  -1.230  -1.215  0.382  41.1
0.99  14.62  0.24  1.819  -1.230  -1.210  0.388  41.3

1.00  14.93  0.24  1.798  -1.229  -1.205  0.394  41.6
1.01  15.23  0.24  1.778  -1.229  -1.200  0.400  41.8
1.02  15.53  0.24  1.759  -1.228  -1.195  0.405  42.0
1.03  15.83  0.24  1.741  -1.228  -1.190  0.411  42.2
1.04  16.14  0.25  1.723  -1.227  -1.185  0.416  42.5

1.05  16.44  0.25  1.707  -1.226  -1.181  0.422  42.7
1.06  16.74  0.25  1.691  -1.225  -1.176  0.428  42.9
1.07  17.05  0.25  1.676  -1.224  -1.172  0.433  43.2
1.08  17.35  0.25  1.662  -1.223  -1.168  0.439  43.4
1.09  17.66  0.25  1.642  -1.222  -1.163  0.444  43.7

1.10  17.96  0.25  1.607  -1.221  -1.159  0.450  44.3
1.11  18.26  0.25  1.574  -1.220  -1.154  0.455  44.9
1.12  18.56  0.25  1.541  -1.219  -1.150  0.460  45.5
1.13  18.86  0.25  1.510  -1.218  -1.145  0.466  46.1
1.14  19.15  0.25  1.468  -1.217  -1.140  0.471  47.0
    
```

Fig. 10. Hydrostatic particulars (trim = 0.214m, STERN).

#### 4.2.2 대상 선형의 복원성 평가

대상 선형들의 복원성 평가와 비교를 위해 Fig. 8에서 GM과 GMmin의 차이가 최소가 되는 시점인 만재출항상태를 적재 상태의 기준으로 두고 평가 및 비교하였다. 대상 어선의 무게중심은 제원 변화에 따른 비율로 추정하였으며, 이를 기반으로 CFD 수치 시뮬레이션을 통해 트림을 계산한 후 K-SHIP을 이용하여 초기형메타센터 값을 계산하였다. Fig. 10은 2장에서 서술한 복원성의 평가와 비교방안을 그대로 적용하여 대상 선형의 복원성을 평가한 결과이다.

결과를 통해 모든 어선 선형들이 표준어선형 안전성 기준에서 제시한 GMmin 기준을 만족하고 있는 것을 확인하였다. GM과 GMmin의 차이를 복원성능의 평가 요소라 할 때, 그 차이에 따라 대상 선형의 복원성능을 비교할 수 있으며 Table 6과 Fig. 11은 그 비교 결과이다.

Table 6. Initial transverse metacenter height results for designed ships

No.	Area	GM	GMmin	GM-GMmin
1	Eastsea	1.298	0.70	0.594
2		1.115	0.57	0.546
3		1.103	0.59	0.516
4	Weatsea	0.955	0.60	0.360
5		0.968	0.47	0.493
6		1.026	0.50	0.523
7	Southsea	1.182	0.62	0.563
8		1.131	0.59	0.541
9		<b>1.322</b>	<b>0.70</b>	<b>0.622</b>

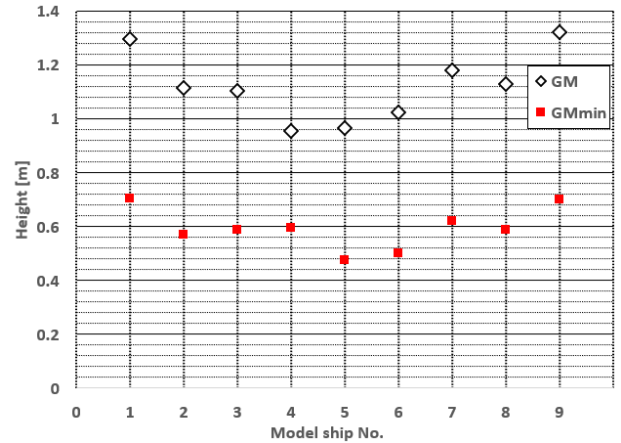


Fig. 11. GM, GMmin comparison results of designed ships.

## 5. 결론

본 연구는 초기 설계단계에서 더 우수한 복원성을 가진 선박을 설계하기 위하여 주요제원의 변화에 따른 GM을 비교하는 방안을 모색했다.

연구방법으로는 설계하고자 하는 소형 어선의 기준선을 설정하고, 해당 어선을 3D-cad로 모델링한 뒤 주요제원의 변화에 따라 선형을 추출하였다. 그 후 KOMSA에서 복원성 평가를 위해 배포한 K-SHIP을 활용하고, 복원성 평가를 위해 필요한 선박의 자세를 구하기 위해 상용 CFD 프로그램인 STAR-CCM+을 활용하여 선박의 자세를 추정하였다.

본 연구 방법에 따라 기준선의 특정 재화 상태를 기준으로 모델 선형들의 GM을 산출할 수 있었으며, 표준어선형 안전성 기준에서 제시한 GMmin을 만족하는지 검토한 결과 또한 모두 만족하였으며, 제시된 선형 9종 중에서 남해 해역에서 대표적으로 활용되는 선형 중 9번 선형이 가장 우수한 복원성을 가질 것을 예측할 수 있었다.

본 연구에서는 기준선에서 하부 선형만을 가지고 모델 선형을 모델링하였다. 하지만 상부 구조물의 형태나 크기 등에 따라 무게중심이 변화할 수 있으므로, 차후 연구에서는 상부 구조물들의 다양한 종류에 따른 무게중심을 바탕으로 복원성을 평가하는 연구가 필요하다.

## 후 기

이 논문은 2023년도 해양수산부 재원으로 해양수산과학기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임(20220210, AI 기반 스마트 어업관리 시스템 개발).

## References

- [1] Government of Korea(2019), Fishing Vessel Stability and Load Line Criteria, Ministry of Oceans and Fisheries Notice, No. 2019-86.
- [2] MTSIS(2022), Maritime Transportation Safety Information System) 2022 Marine Accident Status Statistics, Available at: <https://mtis.komsa.or.kr/ana/accTypeStat#top>
- [3] Oh, K. G. and N. K. Lim(2022), Analysis of Domestic Fishing Vessel Stability Regulations and Research on their Criteria Amendment for Improvement, Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety, Vol. 28, No. 2, pp. 290-296.
- [4] Park, J. W., H. J. Lee, and J. N. Kim(1998), Development on Evaluation Technique of Stability for Safety Elevation in Fishing(Stow-Neting)Vessel, Journal of the Society of Maritime Safety, Vol. 4, No. 2, pp. 53-62.
- [5] Park, J. W., J. N. Kim, and J. H. Heo(1999), A Study for Stability Criteria of Small Fishing Vessel, Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety, Vol. 5, No. 2, pp. 45-55.
- [6] Kwon, S. Y. and H. K. Choi(2007), Study on the Stability Criteria for Small Fishing Vessels and Cargo Ships, The Journal of Korean Society of Ship Inspection & Technology, Vol. 22, No. 5, pp. 19-33.
- [7] Kwon, S. Y. and H. K. Choi(2008), Study on the Stability Criteria for Fishing Vessels, Journal of the Korea Ship Safety Technology Authority, No. 5, pp. 21-38.

---

Received : 2023. 11. 10.

Revised : 2023. 12. 12. (1st)

: 2023. 12. 14. (2nd)

Accepted : 2023. 12. 29.