

국내 소형 어선에 대한 IMO 대체 복원성 규정 적용에 관한 연구

김도영[†]

홍익대학교 조선해양공학과 교수

A Study on the Application of IMO Alternative Stability Regulations to Domestic Small Fishing Vessels

Do Young Kim[†]

Professor, Department of Naval Architecture and Ocean Engineering, Hongik University, Sejong 30016, Korea

요 약

국내 어선은 길이가 24 m 이하인 작은 소형 선박이 큰 비중을 차지하고 있다. 소형 어선은 복원성과 관련된 전복 사고가 자주 발생한다. 그러나 현재 국내에는 길이 24 m 이하의 어선에 적용되는 복원성 규정이 없다. 본 논문에서는 소형 어선에 적용되는 IMO 대체복원성 기준을 국내의 길이 24미터 이하의 소형의 어선의 복원성 기준으로 사용하기 위해서 국내 어선 88척의 복원성자료를 분석하였다. 사용된 선박의 폭깊이비(B/D)는 2.36에서 6.45사이에 분포하며 평균은 3.86이다. 흘수깊이비(T/D)는 0.42에서 0.90사이에 분포한다. IMO 대체복원성 기준 계산에 필요한 관성반경계수를 추정하기 위해서 전체 선박과 선형별로 B/D와 T/D의 함수로 선형회귀분석을 수행하여 관성반경계수 추정에 대한 가중치, 편향, 결정계수 및 을 제시하였다. IMO 대체복원성 기준에서는 적용하고 있는 관성반경계수의 값 0.834을 국내 소형 어선에 적용을 하면 관성반경 추정에 큰 편향을 주어 기준 A/B인 경우 88척 중에서 35척이 만족하지 못하여 국내 소형 어선에 대한 수용률이 60.2%로 너무 낮아지게 되어 결과적으로 길이 24 m 이상 어선에 적용되는 국내 어선 복원성 기준보다 오히려 더 엄격한 기준이 된다. 본 연구에서 제시한 소형 어선의 관성반경계수 추정식을 사용할 경우에 IMO 대체복원성 기준 A/B인 경우 95.5% 그리고 기준 C/D인 경우는 98.8%의 수용률을 보여, IMO 대체복원성 기준을 국내에서 운항하는 소형 어선에 적용 가능한 기준으로 활용할 수 있을 것으로 보인다.

Abstract – Most of domestic fishing vessels are small vessels whose length is less than 24 meters. Small fishing vessels are vulnerable to accidents related to capsizing. However, there is currently no stability criteria for fishing vessels less than 24 meters in length. In this research 88 domestic fishing vessels are used to examine stability criteria for small fishing vessels. Breadth depth ratios (B/D) are distributed between 2.36 and 6.45 and draft depth ratios (T/D) are between 0.42 and 0.90. In order to estimate the radius of inertia coefficient required for calculating the IMO alternative stability criteria, linear regression analysis was performed as a function of B/D and T/D for the entire ship and each ship type, and the weights, bias, coefficient of determination, and for the estimation of the radius of inertia coefficient were presented. The IMO alternative stability standard with a value of 0.834 for the radius of inertia coefficient results a large bias in the estimation of the radius of inertia, and in the case of criteria A/B, 35 out of 88 vessels will not meet the criteria, so the acceptance rate for domestic small fishing boats will be too low at 60.2%, which will result in a more stringent standard than the domestic fishing boat stability standard applied to fishing boats over 24 m in length. When the estimation formula for the radius of inertia coefficient of small fishing vessels presented in this study is used, the acceptance rate is 95.5% for the IMO alternative stability criteria A/B and 98.8% for the criteria C/D, indicating that the IMO alternative stability criteria can be utilized as a criterion applicable to small fishing vessels operating domestically.

Keywords: Small fishing vessel (소형어선), Stability(복원성), Linear regression(선형회귀분석), Radius of inertia coefficient(관성반경계수), IMO stability code(IMO 복원성 규정), IMO alternative stability code (IMO 대체복원성 규정)

[†]Corresponding author: dykim@hongik.ac.kr

1. 서 론

해양에서 발생하는 선박 사고 중 소형 어선이 차지하는 비중이 높다. 특히 인명 피해가 많이 발생하는 전복 및 침몰과 같은 사고는 소형 어선일수록 더 심각한 경향을 보인다. 국내의 어선 사고 수는 매년 증가하는 추세를 보이며 2020년 해양수산부 통계에 의하면 사고의 67%가 어선 사고로 보고되고 있다(Oh and Im[2022]).

Kwon과 Lee는 소형 선박에 대한 복원성 기준 연구로 어선 33척, 화물선 25척의 모델 선형을 선정하여 길이 24미터 이상의 소형 선박의 복원 성능 분석에 대한 연구를 수행하였고 복원성 판정기준을 제시하였다(Kwon and Lee[2007]). Oh와 Im(2002)는 2022년에 국제해사기구(IMO)를 포함한 해외 3개국의 어선복원성 기준을 조사하고 비교한 연구가 수행되었다. 그리고 국내 어선 복원성 기준 개정안을 제안하였다. 이 연구에서는 기본적으로 24 m 이상인 선박에 대한 기준이며 제안된 기준은 IMO IS2008 기준을 바탕으로 하고 있다. 24미터 이하 선박에 대해서는 초기 메타센터 높이와, 최대 복원아암(GZ) 값을 갖는 횡경사 각도가 25도 이상을 제안했으며, 최소 GZ 값을 검토하는 기준을 제안하였다.

국내 선박의 복원성 기준은 2023년기준으로 해양수산부가 고시한 국내 선박안전법 제28조(복원성유지) 1호에 선박길이 12미터 이상인 선박에 대해서 복원성을 유지하는 것으로 규정되어 있다(MOF[2023a]). 그러나 국내 어선법 제3조의2(복원성 승인 및 유지) 1호에서 길이 24미터 이상인 어선 또는 최대 승선인원 13명 이상인 낚시어선에 대해서 복원성 승인을 받아야 한다고 규정되어 있으나 24미터 미만 어선에 관한 규정이 없다(MOF[2023b]). 이와 더불어 제4조(만재흡수선의 표시 등)에서도 길이 24미터 이상인 어선에 관해서만 만재흡수선 표시가 규정되어 있다. 선박복원성기준에도 어선에 대한 부분은 포함되어 있지 않다(MOF[2020]). 현재 국내 24미터 이하 소형 어선은 복원성 적용기준이 없어 복원성과 상관없이 경사시험을 한 복원성 계산서를 제출하여 승인받으면 된다. 따라서 복원성 승인 검사가 제외된 길이가 24미터 이하인 소형 어선에 대한 사회적 안전기반 강화를 위한 제도 개선이 필요한 실정이다.

소형 어선은 대형 선박 보다 상대적으로 복원성 기준을 만족하기가 어려워 IMO에서는 소형어선에 대해서는 복원성기준을 완화하기 위해서 대체 복원성기준 사용을 허용하고 있다. IMO에서는 선박 길이가 15미터와 29미터 사이에 있는 어선 119척에 대해서 복원성을 검토하여 길이 30미터 미만인 어선에 대해서 적용하는 최소 메타센터높이 간이 계산식이 제시되어 있다 (IMO[2008]; IMO[2016]). 그러나 이 식이 적용 되는 선박의 체원 범위가 B (형폭)/ D (형깊이)가 1.75~2.15이고 이 범위를 벗어난 선박에 대한 적용은 특별한 주의가 필요하다고 명시하고 있다. 국내 어선은 대부분 B/D 가 2.15 이상이어서 이 식을 국내 어선에 직접 적용하기가 어렵다.

IMO에서는 배의 길이 12미터 미만 어선에 적용되는 복원성 기준을 제시하였다. 여기서 적용되는 복원성 기준은 복원성을 판단할

자료가 부족하거나, 복원성 조건을 완화하는 것이 가능한 경우에는 대체 복원성 기준 사용을 승인할 수 있다고 규정되어 있다 (IMO[2012]).

대체복원성기준 중 선박의 횡요주기를 알 때에 복원성을 판정하는 방법이 제시되어 있다. 이 방법은 해상상태의 유의파고와 풍속에 따라 4가지의 설계 유형으로 분류하고 필요 메타센터높이(GM_r)를 B , D 와 T (형흘수) 함수로 계산한다. IMO Design Criteria A는 유의파고 4미터 이상, Beaufort Force 8(19 m/s) 이상의 경우, Criteria B는 유의파고 4미터 이하, Beaufort Force 8(19 m/s) 이하의 경우 모든 적하상태에서 필요 메타센터높이(GM_r)는 다음 식을 사용한다(IMO [2012]).

$$GM_r = 0.117B\left(\frac{B}{D}-2.20\right) + \left[1.773\left(\frac{T}{D}\right)^2 - 2.646\frac{T}{D} + 1.016\right]B \quad (1)$$

IMO Design Criteria C는 유의파고 2미터 이하 Beaufort Force 6(12 m/s) 이하에 적용되며, Criteria D는 파고는 0.5미터를 포함하는 유의파고 0.3미터 이하와 Beaufort Force 4(7m/s) 이하에 적용한다. Design Criteria C/D에서는 모든 적하상태에서 필요 메타센터높이(GM_r)는 다음 식으로 계산한다(IMO[2012]).

$$GM_r = \left(0.059B\left(\frac{B}{D}-2.20\right) + \left[2.085\left(\frac{T}{D}\right)^2 - 2.857\frac{T}{D} + 0.990\right]B\right) \quad (2)$$

선박의 메타센터높이는 횡요주기(T_r)를 이용하여 식 (3)으로 계산하며 계산된 값이 식 (1) 또는 (2)의 필요 메타센터높이(GM_r) 보다 크면 복원성을 만족한 것으로 판정한다(IMO[2012]).

$$GM = \left(\frac{0.834B}{T_r}\right)^2 \quad (3)$$

식 (3)에 들어 있는 상수 0.834는 관성반경계수이다. 그러나 IMO 계산식에서 검토된 선박과 국내 선박의 체원이 달라 식 (3)을 국내 소형어선에 적용할 수 있는지 검토하는 것이 필요하다. Choi[2015]는 관성반경의 일반식에 관한 연구를 수행하여, 감쇠가 없는 경우 관성반경계수가 근사적으로 0.802로 추정됨을 보였다.

현재 국내에는 길이가 24미터 이하인 소형 어선에 대한 복원성 기준이 존재하지 않아 소형 어선들은 복원성 관점에서 사각지대에 놓여 있는 현실이다. 그간 소형 어선의 복원성 기준에 대한 연구가 수행되어 왔으나 24미터 이하의 어선에 적용할 수 있는 결과는 거의 없는 현실이다. 해양수산부와 한국해양교통안전공단에서는 길이 24미터 이하 국내 소형 어선에 대해서 국제적으로도 통용되며 현재 등록되어 있는 국내 선박에 대해서 적절한 수용성을 가지는 복원성 기준으로 IMO 대체복원성 기준을 검토하였으나, 국내 어선은 대부분 B/D 가 2.15 이상으로 이 기준을 국내 소형 어선에 그대로 적용하기에 어려움이 있어 실행되지 못하고 있다. 본 연구에서는 길이 24미터 이하인 국내 소형 어선의 복원성 자료를 분석하여 IMO 대체복원성 규정을 적용할 수 있는 방법에 대해서 살펴보고, 이를 국내 소형 어선에 적용하고 수용가능성을 살펴보

고자 한다.

2. 어선 선형 및 특성

2.1 어선 종류

본 연구에서는 한국해양교통안전공단에 등록된 길이 24 m 이하인 총 88척의 국내 소형 어선에 대해서 등록 시 승인된 복원성 계산서 자료를 사용하였다. 복원성계산서에는 선박의 등록명, 제원, 복원성계산, 경사시험 결과 등이 포함되어 있다. 부록에 본 연구에서 사용된 선박의 등록명을 첨부하였다. 사용된 어선의 선종별 분포는 Table 1과 같다. 여기서 선종은 복원성계산서에 표시된 이름을 기준으로 사용하였다.

평균과 중앙값은 큰 차이가 나지 않는다. B/D 평균 값은 선형 B, C가 다른 선형에 비해 크며 선형 D는 작은 것을 볼 수 있다. Fig. 2에 B/D 분포의 히스토그램을 표시하였다. 평균값 근처에서 가장 많은 도수를 가지고 있으며, 왼쪽으로 비대칭성(skew)이 있으며, 상하로 가면서 줄어드는 분포를 하고 있다. Fig. 3에서는 박스플롯(box plot)을 나타내었다. 가운데 상자는 사분위범위(IQR, inter quartile range)를 나타낸다. 중앙값에서 상하로 IQR의 1.5배 범위 밖에 있는 자료는 이상점(outlier)이며 원으로 표시하였다. 위 아래에 표시된

Table 1. Number of fishing vessels by type

Vessel type	Number
fishing boat	44
Offshore longline fishing vessel	14
coastal fishing boat	25
coastal gillnet fishing boat	1
Coastal trap fishing boat	2
coastal fishing boat	2
Total	88

Table 2. Number of fishing vessels by hull shape

Hull type	Number	Shape
A	36	shallow V
B	10	hydroplane
C	5	flat bottom
D	11	sharp V
	26	Not specified
Total	88	

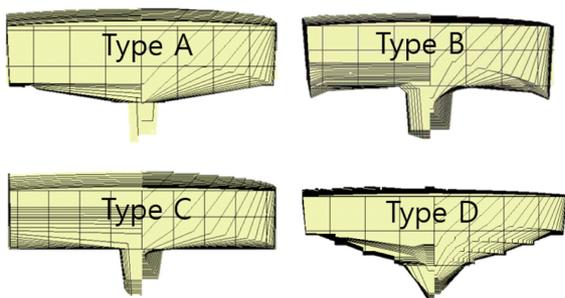


Fig. 1. Schematics of Hull Type.

Table 3. Distribution of B/D

B/D	Min	Max	Ave	Med	Std
All	2.36	6.45	3.86	3.74	0.93
A	2.43	6.45	3.85	3.60	0.96
B	4.12	5.69	4.86	4.90	0.61
C	4.51	5.55	4.91	4.78	0.39
D	2.47	5.13	3.54	3.33	0.69

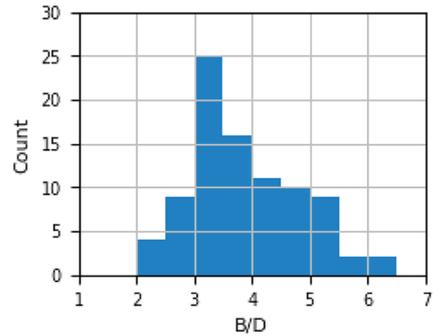


Fig. 2. B/D distribution.

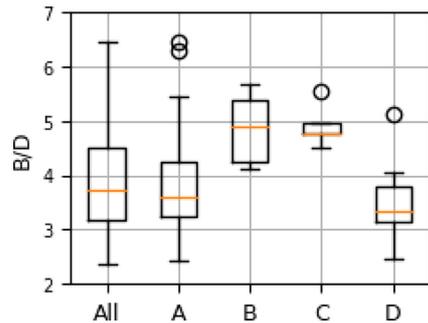


Fig. 3. Boxplot of B/D.

선은 이상점 이내의 최대, 최소이다. 선형 A는 상한 쪽에 2개, C와 D에 각 1개의 이상점이 있는 것을 볼 수 있다. 선형 B, C의 중앙값이 다른 선형에 비해 큰 것을 잘 볼 수 있다.

본 연구에서 사용한 선박은 최소 B/D 가 2.36이다. 이것은 1절에서 언급한 바와 같이 B/D 가 1.75 ~ 2.15인 선박에 대해서 적용할 수 있는 IMO 간이 최소메터 계산식은 국내 어선에 그대로 적용할 수 없다는 것을 확인할 수 있다.

자료 선박의 T/D 의 분포는 Table 4에 표시하였고 Fig. 4에 히스토그램을 Fig. 5에는 박스플롯을 표시하였다. 히스토그램은 2개의 피크를 가지고 있으며 상하로 가면서 줄어드는 것을 볼 수 있다. 전

Table 4. Distribution of T/D

T/D	Min	Max	Ave	Med	Std
All	0.42	0.90	0.72	0.72	0.11
A	0.49	0.86	0.72	0.72	0.09
B	0.52	0.89	0.71	0.75	0.13
C	0.68	0.85	0.79	0.78	0.07
D	0.42	0.77	0.61	0.64	0.10

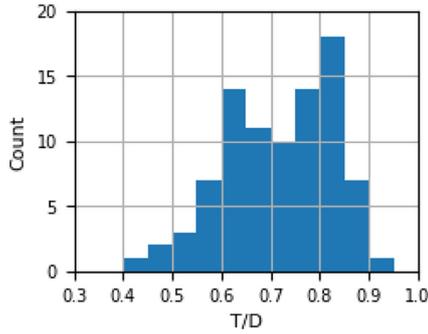


Fig. 4. Distribution of T/D.

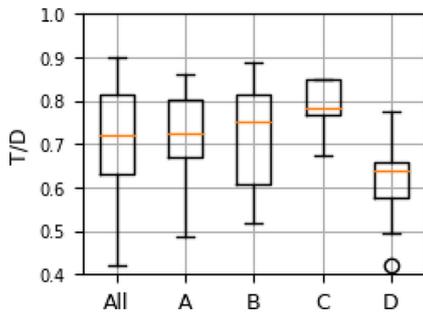


Fig. 5. Box plot of T/D.

Table 5. Distribution of B/T

B/T	Min	Max	Ave	Med	Std
All	2.71	10.95	5.53	5.53	1.59
A	3.27	10.95	5.48	4.90	1.75
B	5.34	8.09	6.93	6.81	0.96
C	5.62	6.68	6.27	6.32	0.41
D	4.78	7.95	5.67	5.93	0.60

체 선박의 T/D 는 최소값이 0.42, 최대값이 0.90이며, 평균은 0.72, 중앙값은 0.72, 표준편차는 0.11이다. 평균과 중앙값은 동일하다. T/D 평균 값은 선형 D를 제외하고는 비슷한 값을 가진다. 선형 D에서 하위 쪽에 이상점이 한 개 존재하는 것을 볼 수 있다.

선박의 B/T 의 분포는 Table 5에 표시하였고 Fig. 6에 히스토그램을 Fig. 7에는 박스플롯을 표시하였다. 히스토그램은 평균보다

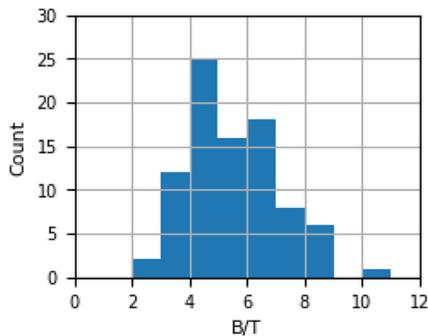


Fig. 6. Distribution of B/T.

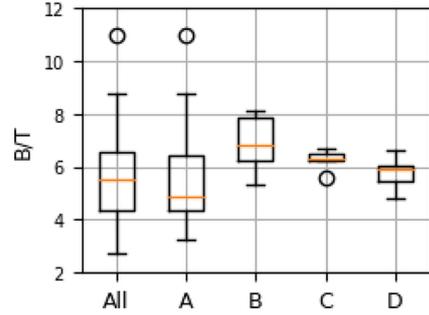


Fig. 7. Box plot of B/T.

약간 작은 쪽에 피크를 가지고 약간 왼쪽으로 비대칭성(skew)이 있으며 상하로 가면서 줄어드는 것을 볼 수 있다. 전체 선박의 B/T 는 최소값이 2.71, 최대값이 10.95이며, 평균은 5.53, 중앙값은 5.53, 표준편차는 1.59이다. 평균과 중앙값은 동일하다. B/T 평균 값은 선형 B가 가장 크다. 전체 선형에서 상한 쪽에 한 개의 이상점이 존재한다. 히스토그램에서도 이것을 확인할 수 있으며 선형 A에 나타나는 이상점과 동일한 선박이다.

본 연구에서 사용한 선박 자료의 B/D , T/D 와 T/D 분포가 평균 값 근처에서 많이 분포하고 평균에서 멀어질수록 수가 감소하는 분포를 하고 있다. 선박의 자료는 국내 소형 어선에 전체적인 경향을 파악하기에 적절한 자료인 것으로 보인다.

3. 관성반경계수의 분석

3.1 관성반경계수

선박의 메타센터높이는 다음식으로 표시된다.

$$GM = \left(\frac{\alpha_R B}{T_r} \right)^2 \quad (4)$$

여기서 관성반경계수(radius of inertia coefficient, α_R)는 선박의 횡동요 고유진동수를 결정하는 계수로, 선박의 횡동요 관성 모멘트와 선박의 동유체력 계수인 부가관성모멘트의 영향이 합쳐진 최종 관성모멘트에 대한 회전반경을 의미한다.

본 연구는 어선의 횡복원력에 대한 분석이어서 관성반경계수는 롤운동의 관성반경계수를 지칭한다. 선박의 고유주기를 이용해서 GM을 계산할 때 관성계수의 값을 정확하게 결정하는 것이 중요하다. IMO에서는 GM 계산식인 식 (3)과 비교해 보면 관성반경계수를 0.834로 사용한 것을 알 수 있다. 그러나 국내 어선은 선형이 국외 어선과 달라서 국내 어선에 대한 수용성은 보장할 수 없다.

3.2 관성반경계수의 선형회귀 분석

본 연구에서는 어선들의 각종 적하상태(경하, 만재출항, 어장발, 만재입항, 부분만재입항) 별 선박의 복원성 자료의 GM 값을 분석하여 추정된 GM 값이 오차가 최소가 되는 관성반경계수를 최소자승법을 이용하여 계산하였다.

어선 자료에서 계산한 관성반경계수를 B/D 와 T/D 를 특성(feature)으로 선형회귀분석을 수행하여 관성반경계수 예측모델의 가중치(weight) w 와 편향(bias) b 를 계산하였다. 식 (5)에서 가중치는 회귀직선(regression line)의 기울기(slope)이며 편향은 절편(intercept)이 된다. 예측모델의 정확도는 결정계수 R^2 (coefficient of determination)과 평균제곱근오차(root mean square error, rmse), 그리고 평균절대오차(mean absolute error, mae)로 평가할 수 있다.

$$\alpha_R = w_1\left(\frac{B}{D}\right) + b_1, \quad \alpha_R = w_2\left(\frac{T}{D}\right) + b_2 \quad (5)$$

자료의 전처리, 예측모델 계산 및 분석에는 파이썬(Python) 버전 3.9.13과 데이터 처리 패키지 판다스(Pandas) 버전 1.4.4, 그리고 파이썬 머신러닝 패키지 싸이킷런(scikit-learn) 버전 1.3.1을 사용하였다. 전체 선박과 선형 별로 선형회귀분석을 수행하였고 가중치, 편향, 결정계수와 평균제곱근오차 및 평균절대오차의 결과를 Table 6과 7에 표시하였다.

Fig. 8에 전체 선박을 대상으로 계산한 관성반경계수와 B/D 의 산포도와 회귀직선을 표시하였다. 관성반경계수는 B/D 가 증가하면 커지는 강한 양의 상관관계를 가지며, 회귀직선의 상관계수가 0.6573 기울기는 0.0878 절편은 0.7234이다. 평균제곱근오차는 0.0034이

Table 6. Fitted coefficients of radius of inertia coefficient vs. B/D

Type	w_1	b_1	R^2	rmse	mae
All	0.0878	0.7234	0.6573	0.0034	0.0455
A	0.1106	0.6340	0.8179	0.0025	0.0694
B	-0.0425	1.3695	0.1796	0.0027	0.0503
C	0.0631	0.7770	0.3315	0.0010	0.0271
D	0.0224	0.9795	0.1982	0.0009	0.0245

Table 7. Fitted coefficients of radius of inertia coefficient vs. T/D

Type	w_2	b_2	R^2	rmse	mae
All	-0.4498	1.3845	0.2415	0.0076	0.0694
A	-0.6810	1.5504	0.2961	0.0095	0.0730
B	-0.3989	1.4475	0.7278	0.0009	0.0212
C	-0.0791	1.1487	0.0176	0.0014	0.0317
D	-0.0492	1.0889	0.0194	0.0011	0.0271

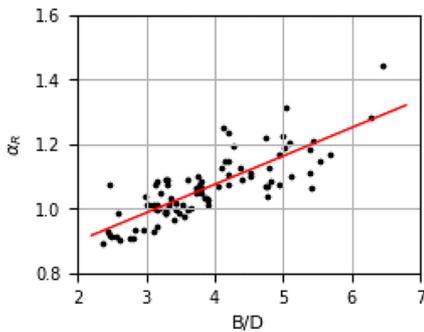


Fig. 8. Regression line (α_R) based on B/D (All type).

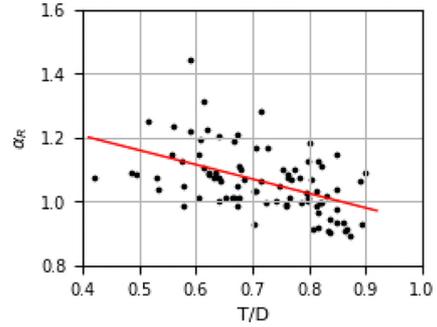


Fig. 9. Regression line (α_R) based on T/D (All type).

고 평균절대오차는 0.0455이다. Fig. 9에서 T/D 가 증가하면 관성반경계수가 감소하는 음의 상관관계를 볼 수 있다. 전체 선박을 대상으로 했을 때 B/D 에 의한 회귀직선이 T/D 에 의한 회귀직선보다 좋은 결과를 준다.

Fig. 10에서 Fig. 17까지 선형별 결과를 표시하였다. 선형 A 선박은 전체 선박과 비슷한 경향을 보인다. 그러나 선형 B는 B/D 가 증가하면 관성반경계수가 작아지는 약한 음의 상관관계를 가지며, T/D 를 사용하는 회귀직선이 더 좋은 결정계수 값을 가진다. 선형 C에서는 B/D 와 약한 양의 상관관계를 T/D 에 대해서는 아주 약한 음의 상관관계를 보이며 전체적으로 1.0에서 1.2 사이의 값을 가진다. 선형 D에서는 관성반경계수가 B/D 와 약한 양의 상관관계를 T/D 에 대해서는 아주 약한 음의 상관관계를 보이며, 관성반경계수

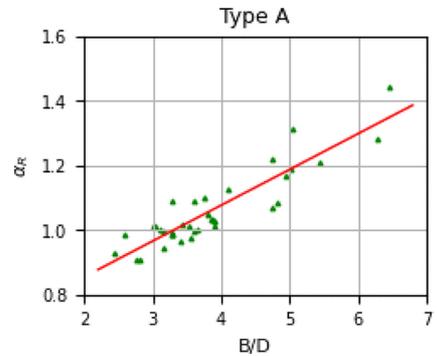


Fig. 10. Regression line (α_R) based on B/D (Type A).

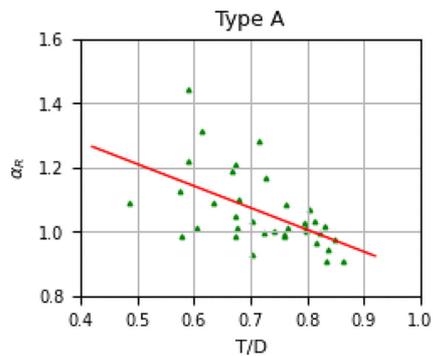


Fig. 11. Regression line (α_R) based on T/D (Type A).

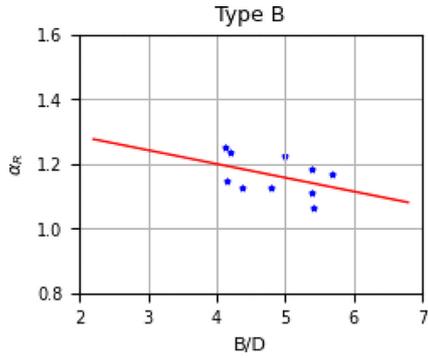


Fig. 12. Regression line (α_R) based on B/D (Type B).

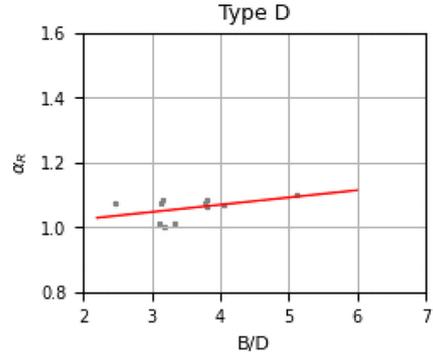


Fig. 16. Regression line (α_R) based on B/D (Type B) B/D (Type D).

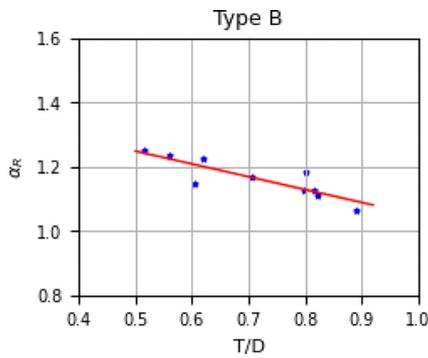


Fig. 13. Regression line (α_R) based on T/D (Type B).

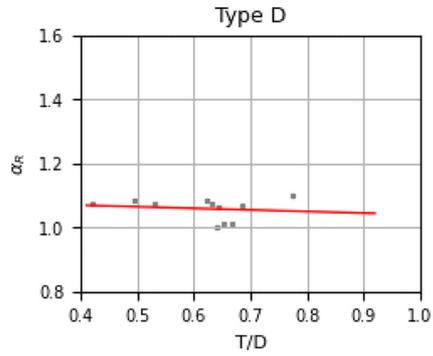


Fig. 17. Regression line (α_R) based on B/D (Type B) T/D (Type D).

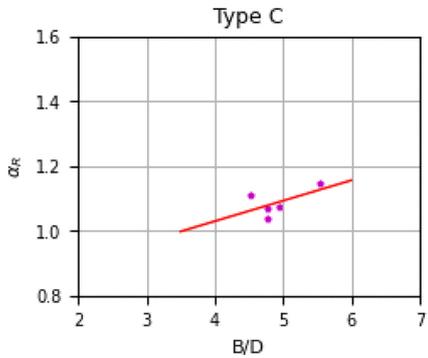


Fig. 14. Regression line (α_R) based on B/D (Type C).

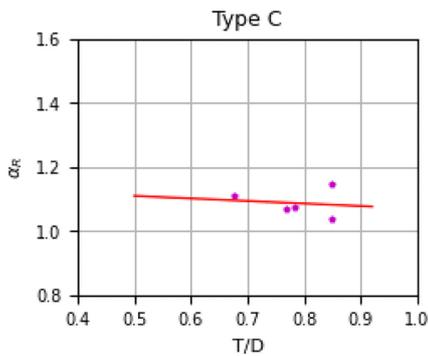


Fig. 15. Regression line (α_R) based on T/D (Type C).

는 전체적으로 1.0에서 1.1 사이의 값을 가진다.

3.3 관성반경계수의 다중 선형회귀 분석

앞 절에서 수행한 선형회귀분석은 독립변수가 B/D나 T/D 한 개를 사용하였다. 한 개의 변수를 사용할 때 각 변수에 대한 경향을 쉽게 분석할 수 있다. 그러나 관성반경계수는 B/D나 T/D에 대한 상관관계가 있어 두 변수를 사용한 다중 선형회귀 분석을 한다면 더 좋은 회귀 결과를 기대할 수 있다. 식 (6)에서 두 개의 가중치와 는 회귀직선(regression line)의 기울기(slope)이며 편향은 절편(intercept)이다.

$$\alpha_R = w_1 \left(\frac{B}{D} \right) + w_2 \left(\frac{T}{D} \right) + b \quad (6)$$

전체 선박과 선형 별로 가중치, 편향, 결정계수와 평균제곱근오차 및 평균절대오차의 결과를 Table 8에 표시하였다. 모든 경우에서 상관계수가 증가하였고 오차가 줄어들 결과로 향상된 것을 볼 수 있다.

Table 8. Fitted coefficients of radius of inertia coefficient vs. B/D

Type	w_1	w_2	b	R^2	$rmse$	mae
All	0.0853	-0.4135	1.0290	0.8609	0.0014	0.0265
A	0.1006	-0.4418	0.9908	0.9358	0.0009	0.0220
B	0.0202	-0.4589	1.3923	0.7518	0.0008	0.0235
C	0.1437	-0.6269	0.8733	0.8951	0.0002	0.0117
D	0.0846	-0.5365	1.0886	0.9611	0.0000	0.0058

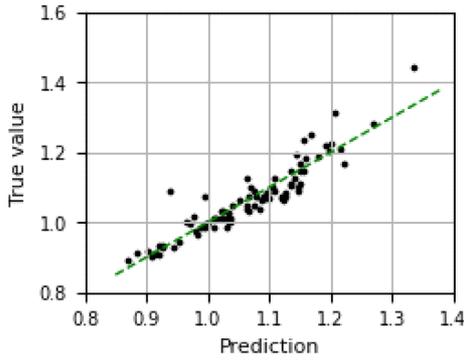


Fig. 18. Comparison of predicted value of radius of inertia coefficient (All type).

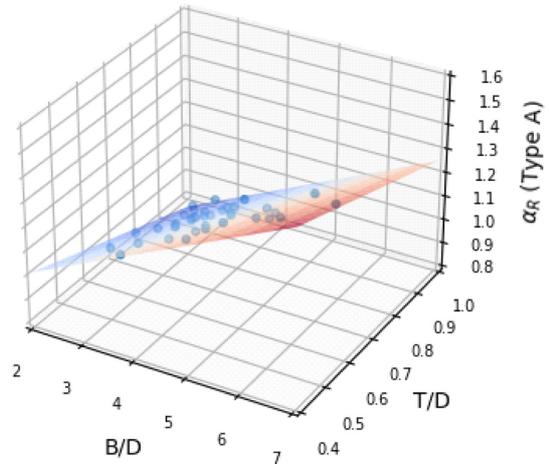


Fig. 21. Regression plane (α_R) based on B/D and T/D (Type A).

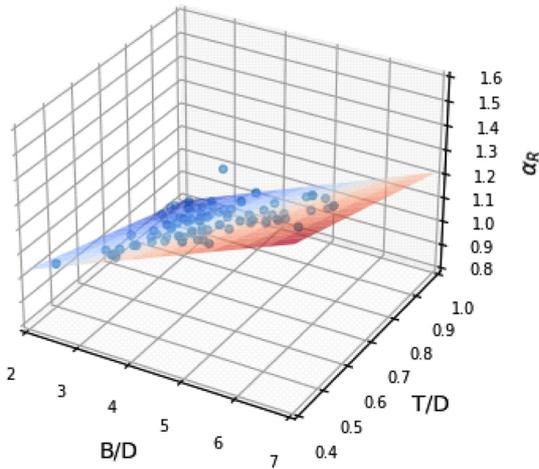


Fig. 19. Regression plane (α_R) based on B/D and T/D (Type All).

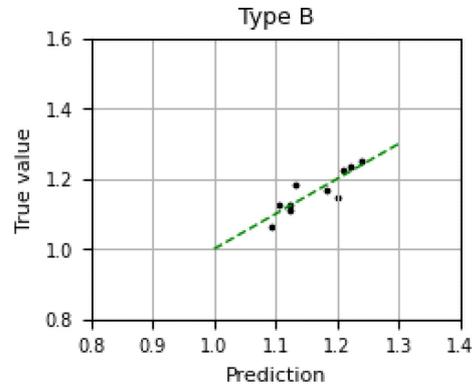


Fig. 22. Comparison of predicted value of radius of inertia coefficient (Type B).

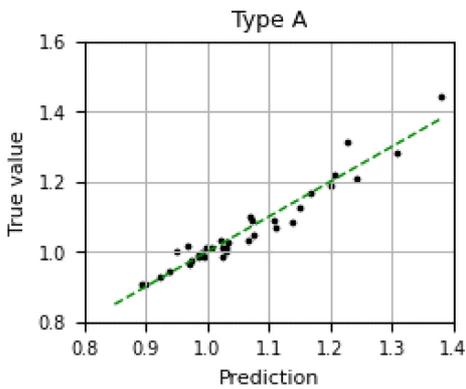


Fig. 20. Comparison of predicted value of radius of inertia coefficient (Type A).

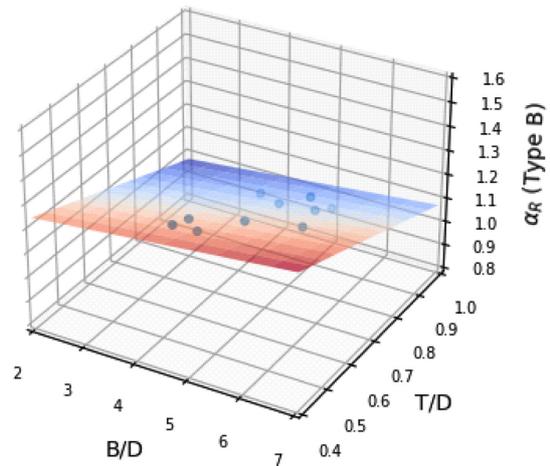


Fig. 23. Regression plane (α_R) based on B/D and T/D (Type B).

Fig. 18~27에는 다중선형회귀식으로 계산한 결과를 실제와 비교한 것과 관성반경의 B/D와 T/D 관계를 그래프로 표시하였다. Fig. 19과 Fig. 21에서 전체 선박과 Type의 회귀평면의 형상은 비슷한 경향을 보이는 것을 볼 수 있으며, Fig. 23에 표시된 Type B는 B/D에 대한 가중치가 0.02로 0에 가까워서 다른 Type과 달리 2차원적인 경향을 보인다.

IMO 대체 복원성기준에서 고려한 선박은 B/D가 1.75에서 2.15이며 관성반경계수는 0.834이다. 국내 선박은 B/D가 2.36에서 6.45 분포를 하고 있으며 관성반경계수는 0.890에서 1.444 사이에 분포를 한다. 관성반경계수의 분포에서 0.834는 B/D = 2.15에 해당

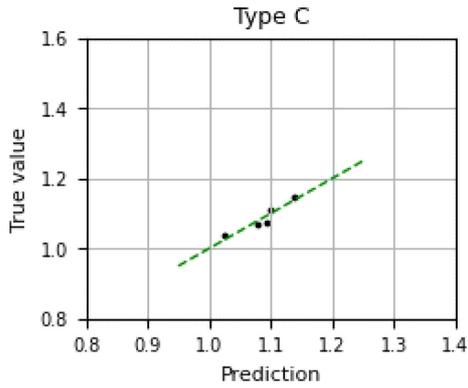


Fig. 24. Comparison of predicted value of radius of inertia coefficient (Type C).

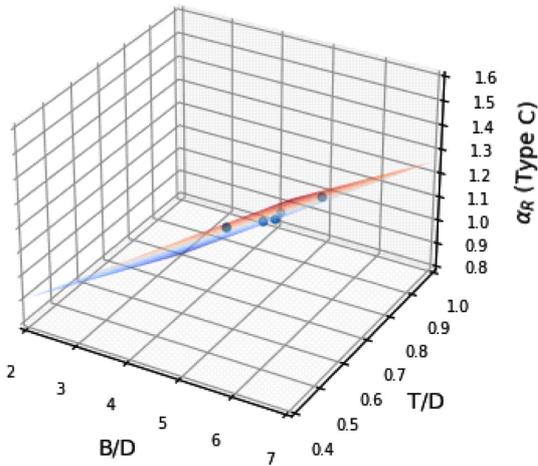


Fig. 25. Regression plane (α_R) based on B/D and T/D (Type C).

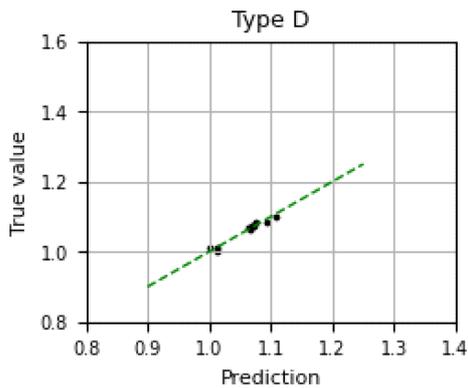


Fig. 26. Comparison of predicted value of radius of gyration (Type D).

하는 값이 된다. 관성반경은 선박의 체원에 따라 달라지므로 관성 반경계수를 하나의 상수로 사용하는 것은 복원성 판정 시 선박별 편향이 크게 발생할 수 있다.

앞 절에서 수행한 선형회귀분석을 기반으로 소형 어선의 관성반경계수(α_R) 추정식을 다음과 같이 표시할 수 있다. 이 식의 도출하는데 사용한 어선의 B/D의 범위는 2.36~6.45이고 T/D는 0.42~0.90

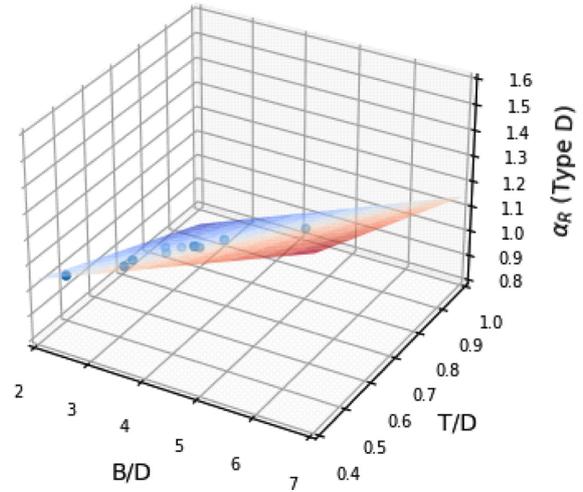


Fig. 27. Regression plane (α_R) based on B/D and T/D (Type D).

이다.

$$\alpha_R = 0.0853\left(\frac{B}{D}\right) - 0.4135\left(\frac{T}{D}\right) + 1.0290 \quad (7)$$

선형에 대한 정보가 있을 때 Table 8에 있는 선형 별 가중치와 편향을 사용하면 더 정밀한 예측치를 계산할 수 있다.

4. 복원성 기준

소형 어선의 복원성을 비교하기 위해서 2장에서 제시한 소형어선 88척에 대해서 IMO 복원성 기준(IS2008)과 24m이상 40m 미만인 어선 또는 13인 이상 이 승선하는 낚시어선에 적용되는 기준과 식 (1)과 (2)에서 제시한 IMO 대체복원성 기준 A/B와 C/D, GM 계산에 식 (4)에서 관성반경을 0.835 단일 값을 사용한 경우와 식 (7)로 개별 관성반경을 추정하여 사용한 기준의 만족 여부를 살펴보기로 한다.

Table 9에는 IS2008의 각 세부 규정별로의 만족 여부를 표시하였다. 88척 모두 초기 G_0M 은 만족을 하고 있다. 가장 많이 만족하지 못한 규정은 GZ_{max} 가 25도 이상에서 발생하는 조건이다. 25척만이 이 조건을 만족하였고, 만족하지 못한 선박 중 50척은 20도에서 25도 미만 값을 가졌으며 3척은 20도 미만이었다. 모든 규정을 만족한 선박은 23척이다. 모든 IS2008 규정을 만족한 선박은 23척

Table 9. IMO stability criteria (IS2008)

Criteria	Yes	No
$G_0M > 0.35$	88	0
$A(0-30) > 0.055$	81	7
$A(30-40) > 0.030$	55	33
$A(0-40) > 0.090$	74	14
GZ_{max} at $>25^\circ$	25	63
$GZ_{30} > 0.20$	58	30
All criteria	23	65

Table 10. Stability criteria for fishing vessels $24\text{ m} < L < 40\text{ m}$ (Korea)

Criteria	Yes	No
G_oM	71	17
$G_oM \geq 0.04 B + \alpha (B/D) + \beta$		

Table 11. IMO alternative stability criteria for fishing vessels with $\alpha_R = 0.834$

Criteria	Yes	No
$GM_r A/B$	53	35
$GM_r C/D$	85	3

Table 12. IMO alternative stability criteria for fishing vessels with individual α_R

Criteria	Yes	No
$GM_r A/B$	84	4
$GM_r C/D$	87	1

으로 26.1%의 수용률을 보인다. Table 10에서는 국내 어선 복원성 규정을 적용한 결과를 나타내었다, 여기서 α 는 강선과 FRP선에 있어서는 0.54이며 β 는 $F(\text{건현})/D$ 의 함수로 주어지며 0.881에서 1.051 사이의 값을 가진다. 총 71척이 규정을 만족하였고, 17척이 만족하지 못하여 80.7%의 수용률을 보인다. Table 11에는 $\alpha_R = 0.834$ 인 IMO 대체 복원성기준 만족 여부를 표시하였다. 기준 A/B인 경우는 53척이 만족 35척이 불만족하여 39.8%의 선박이 기준을 만족하지 못하여 수용률 60.2%를 보이며, 기준 C/D인 경우는 85척이 만족, 3척이 불만족하여 3.4%의 선박이 기준을 만족하지 못해 수용률 96.6%를 보인다. Table 12에는 관성반경 추정식을 이용하여 IMO 대체 복원성기준을 사용한 경우에 복원성 만족 여부를 나타내었다. 기준 A/B인 경우 84척이 만족, 4척이 불만족하여 95.5%의 수용률을 보이며 기준 C/D인 경우는 87척이 만족 1척이 불만족으로 98.8%의 수용률을 보인다.

이 결과를 바탕으로 복원성 규정이 엄격한 순서로 IMO IS2008, IMO 대체복원성기준 A/B($\alpha_R=0.834$), 국내 어선 규정(24 m 이상 선박에 적용), 개별 α_R 적용 IMO 대체복원성기준 A/B, MO 대체복원성기준 C/D($\alpha_R=0.834$) 그리고 개별 α_R 적용 IMO 대체복원성기준 C/D이다.

IMO 대체복원성 기준에서 고려된 어선은 $1.75 < B/D < 2.15$ 인 반면, 국내 어선은 $2.36 < B/D < 6.45$ 이다. 그리고 국내 소형 어선의 관성반경은 $0.890 < \alpha_R < 1.444$ 를 나타내고 있어 IMO 대체 복원성기준에서 $\alpha_R=0.834$ 를 적용하는 것은 국내 소형 어선에 대해서는 큰 편향을 주어 현재 24 m 이상에 적용되는 국내 어선 복원성 기준보다 더 엄격한 기준이 되어 현재 운영되고 있는 어선에 대한 수용률이 너무 낮아지는 것을 볼 수 있다.

IMO 대체 복원성기준을 24 m 이하의 국내 소형 어선에 적용 시 개별 관성반경을 사용한다면 현재 국내에서 운영되고 있는 어선을 수용할 수 있는 기준으로 사용할 수 있을 것으로 생각된다.

5. 결 론

IMO에서는 소형어선에 대해서는 복원성기준을 완화하기 위해서 대체 복원성기준 사용을 허용하고 있다. 본 논문에서는 소형 어선에 적용되는 IMO 대체복원성 기준을 국내의 길이 24미터 이하의 소형의 어선의 복원성 기준으로 사용하기 위해서 국내 어선 88척의 복원성자료를 분석하였다. 선박의 B/D 는 2.36에서 6.45에 분포하며 평균이 3.86이다. T/D 는 0.42에서 0.90 사이에 분포하며 평균은 0.72이다. IMO 대체복원성 기준에서는 검토된 어선은 B/D 가 1.75~2.15로 국내 어선에 IMO 대체복원성 기준을 직접 적용하기에 주의가 필요하다.

본 연구에서는 선형회귀분석을 이용하여 국내 소형 어선에 적용할 수 있는 관성반경계수 추정식에 대한 가중치, 편향, 결정계수 및 오차를 제시하였다. 관성반경계수는 B/D 와 T/D 의 함수로 표시하였다. 선형이 특정된 경우는 선형 별 추정식을 사용하면 더 정확하게 관성반경계수를 추정할 수 있다.

IMO 대체 복원성 기준에서 복원성을 판정하기 위해서는 관성반경계수 값이 필요하며 IMO 대체 복원성 기준에서는 0.834를 적용하고 있다. 그러나 이 값을 국내 소형 어선에 그대로 적용을 하면 관성반경계수 추정에 큰 편향을 주어 대체 복원성기준 A/B인 경우 88척 중에서 35척이 만족하지 못하여 본 연구에서 검토된 국내 소형 어선에 대한 수용률이 60.2%로 너무 낮아지게 된다. 결과적으로 길이 24미터 이하에 적용하려는 대체복원성 기준이 길이 24 m 이상에 적용되는 국내 어선 복원성 기준보다 오히려 더 엄격한 기준이 된다.

본 연구에서 제시한 소형 어선의 관성반경계수 추정식을 사용할 경우에 IMO 대체 복원성기준 A/B인 경우 95.5% 그리고 기준 C/D인 경우는 98.8%의 수용률을 보여, IMO 대체 복원성 기준을 국내에서 운항하는 소형어선을 적용하는 기준으로 활용하여 국내 소형 어선의 안전성을 확보해 사회적 안전기반 강화를 하는 데 중요한 기여를 할 수 있을 것으로 보인다.

References

- [1] Kwon, S.Y. and Lee, H.J., 2007, A Study on the Stability Criteria of Small Vessels., K. Soc. Naval Arch. Korea, 44(3), 285-295.
- [2] Choi, S., 2015, A General Formula for Calculating the Value of Transverse Moment of Inertia by Observing the Roll Motion of Ships., J. Korean Soc. Marine Marine Environ. & Safety 21(5), 538-542.
- [3] IMO (International Maritime Organization), 2008, MSC.1/Circ. 1281, 1281 Explanatory notes to the international code on intact stability 2008.
- [4] IMO, 2012, Safety Recommendations for Decked Fishing Vessels of Less than 12 metres in Length and Undecked Fishing Vessels. Rome.
- [5] IMO, 2016, International Code on Intact Stability 2008 (IS2008)

- 2016 Amend/Part B.
- [6] KOMSA (Korea Maritime Transportation Safety Authority) 2024, https://www.komsa.or.kr/prog/fitVessel/kor/sub03_0101/form.do.
- [7] MOF (Ministry of Ocean and Fisheries, Korea), 2023a, Safty Regulation of Ships.
- [8] MOF (Ministry of Ocean and Fisheries, Korea), 2023b, Fishing Vessel Regulation.
- [9] MOF (Ministry of Ocean and Fisheries, Korea), 2020, Criteria of Ship Stability.
- [10] Oh, K. and Im, N., 2022, Analysis of Domestic Fishing Vessel Stability Regulations and Research on their Criteria Amendment for Improvement., J. Korean Soc. Marine Environ. & Safety 28(2), 290-296.

Received 22 January 2025

1st Revised 27 January 2025, 2nd Revised 4 February 2025

Accepted 4 February 2025

부 록

분석에 사용된 어선 88척(한국해양교통안전공단 등록)

번호	등록명	어선종류	선형	번호	등록명	어선종류	선형
1	대승호	낙시어선	A	45	제33만성호	연안어선	B
2	신생호	연안어선	A	46	썬스타호	낙시어선	D
3	원흥호	낙시어선	A	47	수지호	낙시어선	-
4	억금호	낙시어선	A	48	종진호	어선	-
5	5대승호	연안어선	A	49	제3동일호	연안어선	A
6	대림호	연안어선	A	50	동명호	연안어선	A
7	제206분도호	연안어선	A	51	용창호	연안어선	B
8	3장미호	연안어선	A	52	나경호	낙시어선	A
9	제502남양호	연안어선	A	53	대성호	낙시어선	D
10	장성호	연안어선	B	54	선인호	연안어선	A
11	덕성호	연안어선	A	55	씨앤미호	낙시어선	A
12	제237서창호	연안어선	B	56	해양호	낙시어선	D
13	연정호	연안자망어선	C	57	힐링호	낙시어선	D
14	제77태광호	연안어선	C	58	블루밍피싱호	낙시어선	D
15	계룡호	연안어선	A	59	해풍1호	낙시어선	D
16	충만호	연안어선	A	60	아라호	낙시어선	A
17	뉴제일호	낙시어선	A	61	우영호	낙시어선	A
18	탐라호	낙시어선	A	62	승리호	낙시어선	A
19	금성호	낙시어선	D	63	제1태양호	낙시어선	B
20	제2천광호	낙시어선	-	64	글로벌호	연안어선	A
21	제2황덕호	낙시어선	-	65	대광호	연안어로어선	B
22	포리호	낙시어선	A	66	일오삼호	연안자망선	A
23	명성1호	낙시어선	-	67	성덕호	연안어선	C
24	제101수성호	낙시어선	B	68	제107풍양호	연안어선	B
25	이어도호	낙시어선	-	69	대물호	낙시어선	C
26	라마르호	낙시어선	D	70	한진호	연안어선	A
27	뉴정환호	낙시어선	D	71	제337태양호	연안어선	-
28	현주호	낙시어선	-	72	새벽바다호	연안어선	A
29	성진5호	낙시어선	A	73	수길3호	연안어선	A
30	제2진양호	낙시어선	-	74	곰섬해상호	낙시어선	D
31	청해1호	낙시어선	D	75	제109안성호	근해연승어선	-
32	신성호	낙시어선	A	76	제201태근호	근해연승어선	-
33	영환호	낙시어선	A	77	행운호	근해연승어선	-
34	예산호	낙시어선	A	78	동원호	근해연승어선	-
35	청진3호	낙시어선	-	79	행운호	근해연승어선	-
36	강룡호	낙시어선	B	80	부성호	근해연승어선	-
37	태평호	낙시어선	-	81	제3은성호	근해연승어선	-
38	태성호	연안통발어선	A	82	해양호	근해연승어선	-
39	제2015대승호	낙시어선	A	83	해운호	근해연승어선	-
40	혜성호	연안어선	C	84	영재호	근해연승어선	-
41	신화호	낙시어선	B	85	제703용진호	근해연승어선	-
42	심창9호	낙시어선	A	86	대경호	근해연승어선	-
43	성훈호	연안어로선	-	87	제2014뉴광동호	근해연승어선	-
44	진주호	낙시어선	A	88	제88한진호	근해연승어선	-