

선박 복원성 평가에 관한 항해사의 경험적 인지도 분석 연구

김홍범* · 안영중** · 이윤석** · 정창현*** · 공길영**†

* 한국해양수산연수원 교수, ** 한국해양대학교 교수, *** 목포해양대학교 교수

Study on the Empirical Awareness Analysis of Navigational Officers on the Evaluation of Ship Stability

Hong-Beom, Kim* · Young-Joong, Ahn** · Yun-Sok, Lee** · Chang-Hyun, Jung*** · Gil-Young, Kong**†

* Professor, Korea Institute of Maritime and Fisheries Technology, Busan 49111, Korea

** Professor, Korea Maritime & Ocean University, Busan 49112, Korea

*** Professor, Mokpo National Maritime University, Mokpo 58628, Korea

요약 : 선박의 안전운항을 도모하기 위한 필수적 요소 중 하나인 복원성 확보에 대한 항해사의 해기 지식은 선박의 대형화 및 자율운항선박 출현 등 선박 기술의 진보와 더불어 향상되고 개선되어야 한다. 이에 따라 본 연구에서는 항해사를 대상으로 복원성에 관한 설문 조사를 수행하였고, 일반적 특성을 이용하여 경험적 인지도를 통계분석하였다. 분석 결과, 복원성 기준의 이해도에서 상위직급에서는 높은 이해도를 갖고 있었으며, 특정 선종에 대한 특별 기준에 대한 이해는 부족한 것으로 나타났다. 전체 응답자의 87.6%가 복원성 평가의 수단으로 Loading computer를 활용하고 있었다. 현장에서 복원성 평가 방법으로 GM 활용이 평균 3.891/5.000점으로 가장 높았으며, 주로 GM과 복원성 기준으로 복원성 확보여부를 판단하였다. 복원성 부족 시, 항해사는 주로 평형수 보충을 통하여 개선하였으며, 소각도 타각 사용으로 안전을 확보하는 운항적 경향도 있었다. 본 연구 결과는 선박 복원성에 대한 항해사의 경험적 인지도를 평가함으로써, 향후 운항자 중심의 복원성에 관한 교육 개선 및 연구에 중요한 자료로 활용하고자 한다.

핵심용어 : 선박 복원성, 항해사, 경험적 인지도, 복원성 기준, GM, 복원성 부족시 운항

Abstract : The navigational officer's knowledge about securing stability, an essential factor for promoting the safe operation of ships, should be improved along with advancement in ship technology, such as the large-sized ships and the appearance of autonomous ships. Accordingly, this study conducted a survey on stability, targeting navigational officers, and analyzed empirical awareness using general characteristics. Navigational officers had a high level of understanding of the stability criteria for a higher rank, but lacked the understanding of the special criteria for specific ship types. Of the total respondents, 87.6% were using a loading computer to evaluate stability. The GM scored the highest (3.891/5.000 points) as a method of evaluating stability on the ship. Further, whether the stability was secured was determined based on the GM and stability criteria. Most navigational officers replenish additional ballast water to improve the stability and use a small angle of rudder in the case of lacking stability. The results of this study are intended to be used as important data for improving education and research on operator-centered stability in the future by evaluating the empirical awareness of navigational officers on the ship stability.

Key Words : Ship stability, Navigational officer, Empirical awareness, Stability criteria, GM, Ship operation in case of loss of stability

1. 서론

해상에서 선박의 부력과 복원성 부족은 침몰과 전복사고로 이어지며, 선원 및 여객의 해상생존을 위협하는 주요 요인이다(Francescutto, 2016). 선박의 적절한 복원성 확보와 항

해사의 운용 능력을 갖추는 것은 침몰과 전복사고를 예방하고, 나아가 인명·선박의 안전과 환경보호에 매우 중요하다.

국제해사기구(IMO)는 “The International code on Intact Stability, 2008; 2008 IS Code(이하 복원성 기준)”를 제85차 해사안전위원회(MSC)에서 해상인명안전협약의 선박 복원성에 대한 국제적 규정으로 채택하였다(IMO, 2008b). 선박 운항 시 복원성에 대한 지식은 항해사의 해기능력으로 엄격히 요구되며, 정

* First Author : hbkim@seaman.or.kr, 051-620-5795

† Corresponding Author : kong@kmou.ac.kr, 051-410-4273

부, 산업 및 학계에서 해상과 선박의 다양한 조건에 따른 복원성 연구 및 기술 개발 등이 꾸준히 이루어지고 있다.

복원성 관련 연구동향은 바람, 파랑의 해상환경 조건을 고려한 IMO 2세대 복원성 기준과 관련된 순수복원성 상실(Pure loss of stability), 파라메트릭 롤(Parametric roll), 서프라이딩(Surf-riding), 과도한 복원 과속(Excessive accelerations), 기관제어 불능 상태(Dead ship condition)의 연구가 주를 이루고 있다(Lee and Moon, 2022; Bulian and Orlandi, 2022; Liu et al., 2022). 국내에서는 전복사고 예방을 위한 원인 분석, 복원성능 지수화 등의 복원성 확보를 위한 연구가 수행되었다(Im and Choe, 2021; Lee et al., 2022; Oh and Im, 2022). 2세대 복원성능 기준을 중심으로한 모형 실험, 시뮬레이션, 환경적 분석 등의 성능 기준의 개선과 선박 자체의 연구가 주로 수행되었고, 운항자적 관점에서의 복원성 연구가 일부 있었으나, 실제 현장에서 선박을 운항하는 항해사들의 경험에 기반한 복원성 인식, 평가 방식의 선호 등에 대한 연구는 없었다.

최근 선박에서는 건조 기술 발달, 국제적 규제 강화 등의 연구 수행으로 선박의 구조적 안전성은 상당히 개선되었다(Choi and Choi, 2020). 그러나 국내 해양사고 통계(2018~2022년)에 따르면 인명피해(안전사고 제외)는 전복사고가 20.0%로 가장 높게 나타났다(KMST, 2023). 이러한 전복사고에서는 구조적 결함보다는 선박 운항자의 부적절한 화물 관리, 해상 조건과 선박의 복원성 관련 운항 컨디션을 간과한 선박의 운항이 주요원인으로 언급되고 있다(KMST, 2014; KMST, 2021).

전복사고를 예방하기 위해서는 선박의 구조적, 성능적 안정성 확보와 운항자의 충분한 해기능력을 갖추는 것이 매우 중요하다. 이에 본 연구에서는 항해사를 대상으로 복원성의 성능기준, 측정 수단, 평가 방법, 복원성 부족시 조치사항 등에 대한 설문조사를 수행하였다. 이를 통하여 운항자 관점에서의 복원성에 관한 경험적 인지도를 분석하고, 향후 교육 및 운항적 개선방안을 도출하고자 한다.

2. 연구방법

2.1 설문조사

설문조사는 2020년 10월부터 2021년 4월까지 6개월간 수행되었으며, 복원성 관련 업무를 담당하는 항해사를 대상으로 조사가 이루어졌다. 설문조사는 대면 설문과 온라인 설문을 병행하였다. 대면 설문조사는 300명을 대상으로 실시되었고, 설문문항에 대한 응답이 모두 채워지지 않은 34부의 설문지는 분석에서 제외하였다. 추가적으로 155명의 온라인 설문 응답까지 총 421부의 설문지가 본 연구에 활용되었다.

설문 응답자의 일반적 특성에 대한 빈도분석 결과는 Table 1과 같다. 응답자 421명 중 선장 경력자는 20.4%(N=86),

1등 항해사는 34.7%(N=146)로 복원성과 관련하여 직접적인 업무를 수행하는 고급 사관(Senior officer)의 총 비율이 55.1%로 나타났다. 응답자의 승선 선종은 화학제품운반선(N=82명) > 컨테이너선(N=80) > 벌크선(N=75) 순으로 조사되었다. 상갑판(Upper deck) 적재 화물이 많거나, 상부 구조물의 형성으로 풍압 면적이 넓어서 복원성에 대한 특별한 주의가 요구되는 자동차운반선, 컨테이너선, 여객선에 승선한 항해사의 비율은 전체 응답자의 36.3%로 나타났다.

Table 1. General Characteristics

Division	Item	Responder(N)	Percentage(%)
Rank	Captain	86	20.4
	Chief Officer	146	34.7
	2 nd Officer	123	29.2
	3 rd Officer	66	15.7
Certificate	1 st class	112	26.6
	2 nd class	151	35.9
	3 rd class	133	31.6
	4 th class	25	5.9
Ship's type	Bulk carrier	75	17.8
	Car carrier	38	9.0
	Container ship	80	19.0
	Crude oil carrier	42	10.0
	Chemical-Product tanker	82	19.5
	Liquefied Gas carrier	47	11.2
	Passenger ship	35	8.3
Etc	22	5.2	
Years of experience on board	Less than 1 year	38	9.0
	1 - 3 years	74	17.6
	3 - 5 years	89	21.1
	5 - 7 years	70	16.6
	7 - 10 years	37	8.8
	More than 10 years	113	26.8

2.2 문항 구성

본 연구에 활용된 설문지는 목적에 부합되도록 5년 이상의 승선 경험과 선체운동 및 선박조종 관련 교육을 수행하는 전문가 5명 의견을 청취하여 복원성 기준을 중심으로 설계하였다. 측정 방법은 리커트 5점 척도를 사용하였으며, 1점(전혀 그렇지 않다)부터 5점(매우 그렇다)까지 측정하였다.

설문 항목은 IMO 복원성 기준 이해, 복원성 계산서 및 적화 프로그램>Loading computer)의 활용, 복원성 확보 여부 평가, 복원성 부족 시 운항 중 조치사항 등이며, 총 15개의 세부 항목이 연구에 사용되었다. 설문 항목별 일관성을 확인하기 위하여 Cronbach's α 를 수행하였으며, 그 결과는 Table

2와 같다. 전체 문항의 응답결과에 대한 Cronbach's α 는 0.868로 신뢰 가능한 수준이다(Nunnally, 1978).

Table 2. Composition of questionnaire

Item	N of question	Cronbach's α
Understanding Intact stability criteria	4	.831
Use of stability booklet and Loading computer	4	.743
Method of Stability evaluation	4	.755
Actions in case of loss of stability	3	.601

2.3 분석 방법

연구에 활용된 설문 자료는 SPSS 통계프로그램을 이용하여 분석하였으며, 설문 결과에 대한 통계검정은 유의수준 0.05 이하에서 실시하였다.

직급별 복원성 이해도와 현장에서 복원성 평가방법을 확인하기 위하여 세 개 이상 모집단의 평균값 차이를 검증하는 일원분산분석(One-way ANOVA)을 수행하였으며, Scheffé test로 사후 검정하였다. 등분산 가정이 유의하지 않을 경우에는 Welch's test로 분석하고, Games-Howell test로 사후 검정하였다. 복원성 계산서와 Loading computer 활용도는 응답자 중 Loading computer의 미운용자가 있었기에 교차분석과 카이제곱 검정(Chi-Square test)하였다. 복원성 부족 시 운항 중 조치사항에 일반적 특성이 미치는 영향을 분석하기 위하여 상관분석(Pearson's correlation)과 다중회귀분석(Multiple regression analysis)을 수행하였다.

3. 연구결과

3.1 복원성 기준의 이해도 분석

복원성 기준은 선박의 안전한 운항을 보장하고 해상으로부터 전복의 위험을 최소화하기 위한 기준 및 조치사항을 제시하고 있다. 출항 전, 항해사는 복원성 기준을 충족시키고 복원성을 확보하기 위하여 적절한 화물의 배치, 고박 및 평형수 관리 등의 업무를 수행한다.

항해사 직급별 복원성 기준에 대한 이해도 검토를 위해 일원분산분석을 실시하였다. 날씨 기준(U2)과 특정 선종에 대한 특별 기준(U3)은 등분산 가정이 유의하여 분산분석 후 Scheffé test로 사후 검정하였으며, 복원성곡선 특성 기준(U1)과 전복방지를 위한 운항요건(U4)은 등분산 가정이 유의하지 않아 Welch's test 분석 후, Games-Howell test로 사후 검정하였다. 그 결과는 Table 3과 같다.

복원성 기준에 대한 항목별 이해도는 전복방지를 위한 운항요건(평균 3.808점) > 복원성곡선 특성 기준(평균 3.608점) > 날씨 기준(평균 3.390점) > 특정선종에 대한 특별 기준(평

균 2.841점) 순으로 측정되었다. 대체적으로 직급이 높을수록 복원성 기준에 대한 이해도는 높게 측정이 되었으며, 직급에 따라 복원성곡선 특성 기준($F=18.551, p=.000$), 날씨 기준($F=18.980, p=.000$), 특정 선종에 대한 특별 기준($F=8.857, p=.000$), 전복방지를 위한 운항요건($F=14.664, p=.000$)은 유의한 차이를 보이는 것으로 나타났다. 사후 검정 결과 복원성곡선 특성 기준은 선장 > 1등 항해사 > 2등 항해사 및 3등 항해사 세 개의 소그룹을 형성하였다. 날씨 기준은 선장 > 1등 항해사 > 3등 항해사로 세 개의 소그룹이었으며, 2등 항해사는 1등 항해사 그룹과 3등 항해사 그룹에 각각 차이가 없는 것으로 사후검정 되었다. 특정 선종에 대한 특별 기준과 전복방지를 위한 운항요건은 선장과 1~3등 항해사 그룹으로 두 개의 소그룹이 형성되었다.

Table 3. One-way ANOVA of understanding stability criteria

Variables	Rank	M±SD	F(p) Post hoc test
U1	Captain ^a	4.093±.806	18.551(<.001) a > b > c, d [†]
	Chief officer ^b	3.726±.810	
	2 nd officer ^c	3.407±.904	
	3 rd officer ^d	3.091±1.019	
U2	Captain ^a	3.930±.905	18.980(<.001) a > b > d [§]
	Chief officer ^b	3.507±.896	
	3 rd officer ^d	2.970±1.037	
U3	Captain ^a	3.326±1.100	8.857(<.001) a > b, c, d [§]
	Chief officer ^b	2.842±1.055	
	3 rd officer ^d	2.652±1.130	
U4	Captain ^a	4.279±.730	14.664(<.001) a > b, c, d [†]
	Chief officer ^b	3.795±.830	
	3 rd officer ^d	3.561±1.025	

§ Scheffé post hoc test

† Variance of welch analysis, Games-Howell post hoc test

3.2 복원성 계산서 및 Loading computer 활용도 분석

복원성 계산서(Stability booklet)는 선박이 안전하게 운항할 수 있도록 복원성 확보에 필요한 정보를 포함하며, 주관청 승인이 필요하다. Loading computer(Stability instrument)는 복원성 계산서에 제시된 자료를 바탕으로 제작되며(IMO, 2008a), 다양한 적화상태에서의 복원성 계산이 가능하여 항해사의 복원성 평가에 도움을 준다. 복원성 평가의 도구로서 복원성계산서와 Loading computer가 이용되는데, 이러한 평가 도구에 대한 항해사의 활용도를 선종별 응답자 비율로 교차분석한 결과는 Table 4와 같다.

Table 4. Practical use of stability instrument

Vari-ables	Ty-pe	←—————→					Total (100%)	χ^2 (p)
		Most Disagree				Most agree		
I1	S1	3(4.0)	8(10.7)	11(14.7)	27(36.0)	26(34.7)	75	49.489 (.007)
	S2	1(2.6)	3(7.9)	10(26.3)	19(50.0)	5(13.2)	38	
	S3	6(7.5)	20(25.0)	17(21.3)	15(18.8)	22(27.5)	80	
	S4	2(4.8)	10(23.8)	11(26.2)	13(31.0)	6(14.3)	42	
	S5	9(11.0)	20(24.4)	19(23.2)	20(24.4)	14(17.1)	82	
	S6	1(2.1)	11(23.4)	9(19.1)	19(40.4)	7(14.9)	47	
	S7	3(8.6)	3(8.6)	4(11.4)	16(45.7)	9(25.7)	35	
	S8	1(4.5)	1(4.5)	6(27.3)	9(40.9)	5(22.7)	22	
Sum		26(6.2)	76(18.1)	87(20.7)	138(32.8)	94(22.3)	421	
I2	S1	1(1.6)	2(3.2)	3(4.8)	15(23.8)	42(66.7)	63	55.035 (.002)
	S2	0(0.0)	1(2.8)	5(13.9)	12(33.3)	18(50.0)	36	
	S3	0(0.0)	1(1.3)	1(1.3)	27(35.5)	47(61.8)	76	
	S4	0(0.0)	0(0.0)	3(7.3)	13(31.7)	25(61.0)	41	
	S5	1(1.3)	2(2.7)	6(8.0)	22(29.3)	44(58.7)	75	
	S6	2(4.3)	1(2.2)	1(2.2)	17(37.0)	25(54.3)	46	
	S7	3(8.8)	1(2.9)	6(17.6)	10(29.4)	14(41.2)	34	
	S8	1(6.3)	2(12.5)	5(31.3)	5(31.3)	3(18.8)	16	
Sum		8(2.1)	10(2.6)	30(7.8)	121(31.3)	218(56.3)	387	
I3	S1	3(4.8)	10(15.9)	3(4.8)	23(36.5)	24(38.1)	63	63.280 (.000)
	S2	1(2.8)	7(19.4)	12(33.3)	8(22.2)	8(22.2)	36	
	S3	3(3.9)	31(40.8)	12(15.8)	11(14.5)	19(25.0)	76	
	S4	5(12.2)	7(17.1)	10(24.4)	7(17.1)	12(29.3)	41	
	S5	8(10.7)	18(24.0)	15(20.0)	18(24.0)	16(21.3)	75	
	S6	2(4.3)	9(19.6)	8(17.4)	12(26.1)	15(32.6)	46	
	S7	3(8.8)	2(5.9)	10(29.4)	10(29.4)	9(26.5)	34	
	S8	2(12.5)	0(0.0)	8(50.0)	4(25.0)	2(12.5)	16	
Sum		27(7.0)	84(21.7)	78(20.2)	93(24.0)	105(27.1)	387	
I4	S1	4(5.3)	10(13.3)	24(32.0)	25(33.3)	12(16.0)	75	48.508 (.009)
	S2	0(0.0)	2(5.3)	13(34.2)	18(47.4)	5(13.2)	38	
	S3	4(5.0)	23(28.8)	25(31.3)	17(21.3)	11(13.8)	80	
	S4	3(7.1)	5(11.9)	7(16.7)	15(35.7)	12(28.6)	42	
	S5	5(6.1)	15(18.3)	24(29.3)	26(31.7)	12(14.6)	82	
	S6	2(4.3)	5(10.6)	12(25.5)	20(42.6)	8(17.0)	47	
	S7	4(11.4)	1(2.9)	6(17.1)	13(37.1)	11(31.4)	35	
	S8	4(18.2)	2(9.1)	5(22.7)	8(36.4)	3(13.6)	22	
Sum		26(6.2)	63(15.0)	116(27.6)	142(33.7)	74(17.6)	421	

S1 : Bulk carrier, S2 : Car carrier, S3 : Container ship
 S4 : Crude oil carrier, S5 : Chemical-Product tanker
 S6 : Liquefied Gas carrier, S7 : Passenger ship, S8 : ETC

대체로 그렇다(4점) 이상 기준으로, 선종별 복원성 계산서의 활용(I1)은 여객선(71.4%)과 벌크선(70.7%)로 높게 응답되었으며, 컨테이너선(46.2%), 유조선(45.2%), 화학제품운반선(41.5%) 낮은 비율을 차지하였다. 또한, Loading computer의 경험이 없는 응답자에 대하여 결측처리가 되었으며, Loading computer활용(I2)은 컨테이너선(97.4%)이 가장 높은 응답률을 기록했다. 화물선의 대부분은 80% 이상의 높은 활용도를 나타냈다. 또한 전체 응답자 중 55.1%가 복원성 계산서를 활용하는 반면, Loading computer는 87.6%로 높게 나타났다.

Loading computer가 탑재된 선박에서 복원성 계산서의 활용(I3)은 벌크선(74.6%), 액화가스운반선(58.7%), 여객선(55.8%) 순으로 나타났으며, 전체 응답자 중 51.1%의 비율로 나타났다. 복원성 계산서에 제시된 표준적화상태(Standing loading condition)는 다양한 적화상태의 시뮬레이션 결과로서 선박의 운항 상태에 따른 비교를 빠르고 간편하게 수행할 수 있기에 매우 중요한 요소이다. 표준적화상태 활용도(I4)는 여객선(68.6%)이 가장 높게 나타난 반면, 컨테이너선(35.0%)은 가장 낮은 응답으로 기록되었으며, 전체 표준적화상태 활용의 비중은 51.3%이었다. 복원성 계산서와 Loading computer의 활용은 선종별로 통계적 유의한 차이가 나타났다.

3.3 현장에서 복원성 평가 방법의 선호도 분석

복원성은 중력과 부력의 짝힘(Couple of force)에 의해서 발생하며, 선박의 배수량은 중력과 부력에 모두에 영향을 미치기 때문에 복원정(Rigting lever)의 크기가 매우 중요하다. 항해사는 경심이 거의 움직이지 않는 소각도에서 복원정 계산에 GM을 주로 이용하며, 복원성 성능 기준 등으로 복원성 확보 여부를 평가하는 수단으로 활용한다. 이에 현장에서 항해사가 복원성을 평가하는 대표적인 요소로 GM(E1), 복원정 곡선도(E2), 복원성 성능 기준(E3), 횡요주기(E4)에 대하여 면허 급수별 평가 방법의 선호도를 분석하였으며, 그 결과는 Table 5와 같다.

네 가지 평가방식에 대한 선호도는 GM($F=15.588, p=.000$)이 평균 3.891점으로 가장 높았으며, 복원성 성능 기준($F=7.033, p=.000$)은 평균 3.677점, 복원성 곡선도($F=15.385, p=.000$)는 평균 3.309점, 횡요주기($F=8.504, p=.000$)는 평균 2.981점 순으로 분석되었다. 네 개의 질문에 대하여 1급 면허 소지자부터 4급 면허소지자 순으로 선호도의 순위를 나타냈으며, 면허 급수별 그룹 간에 복원성 평가 선호도는 통계적으로 유의한 차이를 나타냈다. 사후분석 결과 GM, 복원정 곡선도는 세 개의 소그룹을 형성한 반면, 복원성 성능 기준과 횡요주기 두 개의 소그룹을 형성하였다.

Table 5. One-way ANOVA of Method of Stability evaluation

Variables	Rank	M±SD	F(p) Post hoc test
E1	1 st class ^a	4.259±.768	15.588(<.001) a > b > c, d [‡]
	2 nd class ^b	3.980±.905	
	3 rd class ^c	3.617±.951	
	4 th class ^d	3.160±1.106	
	Total	3.891±.947	
E2	1 st class ^a	3.804±1.003	15.385(<.001) a > c > d [§]
	2 nd class ^b	3.265±1.031	
	3 rd class ^c	3.068±.986	
	4 th class ^d	2.640±.952	
	Total	3.309±1.055	
E3	1 st class ^a	3.964±.869	7.033(<.001) a, b > d [§]
	2 nd class ^b	3.682±.828	
	3 rd class ^c	3.489±.926	
	4 th class ^d	3.360±1.036	
	Total	3.677±.902	
E4	1 st class ^a	3.348±.877	8.504(<.001) a, b, c > d [§]
	2 nd class ^b	2.868±.964	
	3 rd class ^c	2.981±.909	
	4 th class ^d	3.561±.987	
	Total	2.981±.948	

§ Scheffé post hoc test

‡ Variance of welch analysis, Games-Howell post hoc test

3.4 복원성 부족 시 운항 경향 분석

항해사가 선박의 복원성이 부족할 경우 운항 중 조치가능한 방법으로는 평형수 추가확보(A1), 선박 성능을 고려한 소각도 타사용(A2), 감속(A3)을 응답으로 제시하였다. 응답 결과에 대하여 항해사의 대표적인 특성인 직급, 선종, 승선기간을 독립변수로 하여 영향력을 분석하였다.

먼저, 선박의 운항 중 조치사항과 항해사 특성 간 상관관계를 분석하였으며, 그 결과는 Table 6과 같다. 직급에 따른 조치사항은 유의한 음의 상관관계($r=-.290, p=.000$), 승선기간은 유의한 양의 상관관계($r=.250, p=.000$)를 나타냈다. 하지만 선종과의 상관관계는 통계적으로 유의미하지 않은 것으로 분석되었다.

Table 6. Correlation between characteristics of action methods

Variables	(Unit : r, p-value)			
	1	2	3	4
1. Rank	1	-.016	-.776 ^{***}	-.290 ^{***}
2. Ship's type	-.016	1	.081	.030
3. Onboard	-.776 ^{***}	.017	1	.250 ^{***}
4. Taken action	-.290 ^{***}	.030	.250 ^{***}	1

* $p<.05$, ** $p<.01$, *** $p<.001$

항해 중 부족한 복원성 발생 시 조치사항(A1, A2, A3)에 대한 직급, 승선기간이 미치는 영향력을 확인하기 위하여 다중회귀분석을 시행하였으며, 분석결과는 Table 7과 같다.

회귀모형은 통계적으로 유의하게 나타났으며($F=9.454\sim 14.625, p=.000$), 잔차의 독립성 가정을 검정(Durbin-Watson)한 결과 1.850~1.915로 2에 근사했으며, 분산 팽창 지수(Variance inflation factor)는 2.516이었으며, 10 미만으로 작게 나타나 다중공선성 문제는 없는 것으로 평가되었다. 또한 전체 변수의 설명력(Adj. R²)은 3.9~6.1%로 나타났다.

복원성 부족시 직급에 따라 평형수 확보($\beta=-.327, p=.000$)과 소각도 타각 사용($\beta=-.171, p=.025$)은 '부'의 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 승선경력은 감속 운항($\beta=.168, p=.027$)에 '정'의 영향을 미치는 것으로 검증되었다.

Table 7. Associated factors on taken action in insufficient stability

Variables	B	SE	β	t	p	
(constant)	5.042	.279	-	18.092	.000	
A1	Rank	-.277	.064	-.327	-4.366	.000
	On board	-.051	.037	-.103	-1.376	.170
	R ² =.065, Adj. R ² =.061, F=14.625 ^{***} , D-W=1.905					
(constant)	4.205	.295	-	14.267	.000	
A2	Rank	-.152	.067	-.171	-2.256	.025
	On board	.023	.039	.045	.593	.554
	R ² =.043, Adj. R ² =.039, F=9.454 ^{***} , D-W=1.850					
(constant)	2.525	.359	-	7.038	.000	
A3	Rank	-.079	.082	-.073	-.970	.333
	On board	.106	.048	.168	2.226	.027
	R ² =.053, Adj. R ² =.048, F=11.636 ^{***} , D-W=1.915					

** $p<.05$, ** $p<.01$, *** $p<.001$

4. 논 의

본 연구는 선박에서 복원성 업무를 수행하는 항해사를 대상으로 복원성에 관한 인식도를 확인하고자 설문조사를 실시하였으며, 통계분석 결과를 바탕으로 논의한 결과는 다음과 같다.

첫째, 직급별 복원성 기준의 이해도는 통계적으로 유의한 차이가 있었으며, 선장 > 1등 항해사 > 2등 항해사 > 3등 항해사 순으로 이해도가 높았다. 화물의 적·양화 등 선체 감항성 실무는 1등 항해사가 담당하며, 선장은 감항성 확보에 따른 운항 결정과 모니터링 등을 수행하는데, 직급별 업무 특성이 복원성 이해도에 영향을 미쳤다는 것을 알 수 있다. 또한 선장은 복원성 기준에 만족할지라도 기상과 해상을 고려

한 적절한 선박운용술을 발휘하고, 비상 상황을 극복할 수 있도록 적절한 조치 등의 일반적 주의를 갖고 있기 때문에 높은 이해도를 갖는 것으로 분석된다(Chae et al.; 2019, IMO, 2008a; KMST, 2019). 세부 항목별로 분석한 결과, 전복방지를 위한 운항요건으로 가장 높게 제시된 이유로 만재할수선을 고려한 화물 적재 및 고박, 화물별 특성을 고려한 복원성에 부정적 영향을 주는 요소 제거 및 최소화, 수밀 상태 유지, 황천 항해 시 감속 및 소각도 타각 사용 등이 지정교육기관에서 초급 해기사 교육, 면허취득교육, 직무교육에서 복원성 교과목 이외에도 선박운용과 관련된 교과목에서 전반적으로 다루어진 결과로 분석된다. 또한 특정 선종에 대한 특별 기준은 평균 2.841점으로 보통 이하로 분석되었는데 이는 선종별 교육 중 해당 복원성 내용을 강화할 필요성을 시사한다.

둘째, 선종별 복원성 계산서와 Loading computer의 활용도를 응답에 대한 비율로 카이제곱 검정하였으며, 대체로 그렇다(4점)를 기준으로 분석하였다. 복원성 계산서의 활용은 여객선과 벌크선이 가장 높은 응답률을 나타냈다. 여객선은 여객과 화물을 같이 운송하는 형태가 많으며, 다양한 포장 형태의 화물을 적재하는 특징이 있기 때문에 복원성 계산서를 이용한 표준적화상태 비교 및 계산에 의한 활용도가 높다. 벌크선은 1등 항해사가 화물 적부도>Loading sequence)를 직접 수립하고 화물을 선적하며, 화주측 검사관과 복원성계산서를 이용한 수기 계산도 직접 수행하기에 복원성 계산서의 높은 활용도를 나타낸다. Loading computer의 활용도는 전체 응답자의 평균 87.6%가 대체로 활용한다고 응답하였으며, 특히 컨테이너선은 97.4%로 Loading computer를 이용하여 복원성을 평가하고 있다. 대부분의 항해사가 복원성 평가 수단으로 Loading computer 활용한다는 점은 Loading computer의 실습 교육 확대 등 복원성 교육방식의 개선이 필요함을 시사하고 있다.

셋째, 복원성 평가 선호도는 GM > 복원성 성능 기준 > 복원성 곡선도 > 횡요주기 순이었으며, 면허 급수 별로 통계적 유의한 차이가 나타났다. Kuo and Gordon(1975)의 연구에서도 복원성 전문가 응답자 대부분은 GM(Metacentric height)이 매우 중요하다고 응답되었으며, 본 연구의 결과로서 나타난 바와 같이 항해사의 GM 활용이 높다는 점은 복원성에서 GM에 대한 인식이 높다는 것을 의미한다. 횡요주기의 선호도는 평균 2.981점(보통 이하)으로 가장 낮았다. 횡요주기에 의한 GM 계산을 위해서는 흘수에 따른 C상수를 산출해야 하고, 해상의 외력을 고려해야 한다는 현장의 실무적 어려움이 있다(Choi and Choi, 2020). 또한 대부분의 선박이 Loading computer를 활용하여 GM 계산과 복원성 기준 충족여부를 쉽게 확인하기 때문에 횡요주기의 선호도가 떨어진 것으로 분석된다.

넷째, 복원성 부족 시 운항 중 조치사항으로 평형수 추가 확보, 조종 성능을 고려한 소각도 타각 사용에 대하여 항해사 특성을 대표하는 직급, 선종, 승선기간의 영향력을 분석하였다. 상관분석을 통하여 선종은 운항 중 조치사항과 관계가 통계적으로 유의하지 않았으며, 직급, 승선기간은 다중회귀모형이 통계적으로 유의하였으나, Adj. R²은 3.9-6.1%로 매우 낮은 설명력을 나타냈다. 응답자는 평형수 확보에 대하여 평균 4.183(±.8323)점, 소각도 타각 사용은 평균 3.929(±.870)점, 감속은 평균 2.736(±1.064)점으로 측정되었다. 응답 결과를 바탕으로 항해사는 복원성이 부족하다고 느끼면 평형수 추가확보와 소각도 타각 사용에 대해서는 적극적인 경향을 갖는 반면, 선박 엔진을 사용한 감속은 보통 이하로 분석되었다. 전복 방지를 위한 운항요건에 대한 이해도는 높지만, 항해사의 운항 패턴은 소각도 타각 사용은 높지만 감속은 낮게 나타났다. 따라서 Kang et al.(2022)의 제안처럼 타각 사용과 조종 속력에 대한 정보 제공이 필요하다.

5. 결 론

선박의 안전한 운항을 도모하기 위한 필수적 요소인 복원성 확보는 선박 기술의 진보와 함께 항해사의 해기능력도 발맞추어 향상되고 개선되어야 한다. 이를 위하여 본 연구에서는 항해사를 대상으로 복원성에 관한 설문조사를 수행하여 경험적 인지도를 분석하였다. 본 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 복원성 기준은 상위직급일수록 높은 이해도를 갖고 있었으나, 특정 선종에 요구되는 특별 기준에 대한 이해도가 부족하였기에 선종별 복원성 교육의 강화될 필요성을 확인하였다.

(2) 복원성을 평가하는 수단으로 Loading computer의 활용도가 87.6%로 매우 높았으며, 여객선과 벌크선의 경우 복원성 계산서의 활용도가 높은 특징이 있었다.

(3) 복원성을 평가하는 요소로는 GM이 평균 3.891점으로 가장 높았으며, GM과 복원성 기준으로 복원성 확보여부를 평가하는 경향을 확인하였다.

(4) 복원성이 부족할 경우 조치사항으로는 평형수 추가 확보 및 소각도 타각 사용 경향을 갖고 있었으며, 타각 사용과 조종속력에 대한 정보제공이 필요함을 도출하였다.

기존 복원성 연구의 대부분은 선박 설계와 복원성 기준 향상에 대한 연구로 이루어진 반면, 본 연구는 운항자 관점에서 복원성 확보를 위한 지식, 복원성 평가 수단 및 방법, 복원성 부족 시 운항 경향에 대한 통계적인 분석을 통하여 항해사의 복원성에 대한 경험적 인식을 파악하여 개선사항을 도출하는데 그 의미가 있었다.

본 연구는 국내의 항해사를 대상으로 수행하였기에 측정 대상에 대한 한계점은 있었다. 향후 설문 대상을 국제적으로 확대한다면 항해사로 일반화시킬 수 있을 것이다. 본 연구 결과는 전복·침몰 사고 예방을 위한 운항자 관점에서 복원성 연구, 교육 개선의 기초자료로 활용되길 기대한다.

References

- [1] Bulian, G. and A. Orlandi(2022), Effect of environmental data uncertainty in the framework of second generation intact stability criteria, *Ocean Engineering*, Vol. 253, 111253.
- [2] Chae, C. J., Y. S. Park, S. H. Jo, S. Y. Kang, H. Lee, and H. B. Kim(2019), A Study on the Emergency Response Empowerment for Captain Based on the Analysis of Maritime Accidents, *Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety*, Vol. 25, No. 4, pp. 413-422.
- [3] Choi, H. S. and K. Y. Choi(2020), *Practice of Ship Stability*, Korea Shipmasters Forum, pp. 69-70.
- [4] Francescutto, A.(2016), Intact stability criteria of ships - Past, present and future, *Ocean Engineering*, Vol. 120, pp. 312-317.
- [5] Im, N. K. and H. Choe(2021), Development of Stability Index for Vessel Operators Support System, *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*, pp. 11-19.
- [6] IMO(2008a), *International Code on Intact Stability*, 2008.
- [7] IMO(2008b), Report of The Maritime Safety Committee on its Eighty-fifth session, *Maritime Safety Committee*, p. 23.
- [8] Kang, S. Y., Y. J. Ahn, Y. U. Yu, and Y. S. Lee(2022), Study on the Identification of Ship Maneuverability Required for Navigational Officers based on AHP Analysis, *Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety*, Vol. 28, No. 5, pp. 800-808.
- [9] KMST(2014), *Safety Investigation Report of Marine accident -Capsizing of Passenger ship Sewol*, KMST, pp. 117-121.
- [10] KMST(2019), *Emergency Response Manual for Captain*, KMST, pp. 5-6.
- [11] KMST(2021), *Safety Investigation Report of Marine accident -Capsizing of Roll-on/Roll-off Vehicle Carrier Golden Ray*, KMST, pp. 42-55.
- [12] KMST(2023), *Statics of Marine Accident in 2021*, KMST, pp. 134.
- [13] Kuo, C. and A. W. Gordon(1975), Survey of Delegates' Opinion on Stability, *Proceedings of the International Conference on Stability of Ships and Ocean Vehicles*, pp. 11-18.
- [14] Lee, S. B. and B. Y. Moon(2022), An Experimental Study on IMO 2nd Generation Stability Assessment in Dead Ship Condition of 13K Chemical Tanker, *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, Vol. 59, No. 2, pp. 89-95.
- [15] Lee, L. N., C. H. Lee, and S. W. Ohn(2022), Study on Cause Analysis of Capsizing Accident in Fishing Boat No. 66 Poongsung, *Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety*, Vol. 28, No. 6, pp. 955-964.
- [16] Liu, L., C. Yao, D. Feng, X. Wang, J. Yu, and M. Chen(2022), Numerical study of the interaction between the pure loss of stability, surf-riding, and broaching on ship capsizing, *Ocean Engineering*, Vol. 266, 112868.
- [17] Nunnally, J. C.(1978), *Psychometric theory*(2nd ed.), McGraw Hill, New York(USA), p. 269.
- [18] Oh, K. G. and N. K. Im(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.

Received : 2023. 05. 02.

Revised : 2023. 05. 30.

Accepted : 2023. 06. 27.