

내항성능 기반 10톤 미만 어선의 해양활동 기준 마련 기초 연구(I)

최광영* · 송재욱*** · 박영수** · 박준범**

* 한국해양대학교 해사산업연구소 연구교수, ** 한국해양대학교 항해융합학부 교수

Basic Study to Establish Marine Activity Criteria Based on the Seakeeping Performance of Less Than 10-tons Fishing Vessels(I)

Gwang-Young Choi* · Chae-Uk Song*** · Young-Soo Park** · Jun-Bum Park**

* Research Professor, Korea Maritime and Ocean University Research Institute of Maritime Industry, Busan 49112, Korea

** Professor, Division of Navigation Convergence Studies, Korea Maritime and Ocean University, Busan 49112, Korea

요 약 : 본 연구는 10톤 미만 어선의 내항성능 기반의 해양활동 기준 마련을 위한 기초 연구이다. 10톤 미만의 어선은 우리나라 등록어선의 약 95%를 차지하고 있고 항해, 조업 등의 해양활동 중에 사고와 인명손실도 많이 발생하고 있다. 이에 따라 해양수산부에서는 어선 출항통제기준을 정하여 풍랑주의보 발효 시 어선의 운항을 제한하고 있지만 선박톤급과 파고에 따른 기준 없이 동일하게 적용하고 있어 해양활동 시 파고에 의한 선박의 동요에 많은 차이가 있을 수 있다. 파고에 의한 선박의 동요는 승선감 및 장비의 성능을 떨어뜨려 해양사고의 요인이 될 수 있으므로 항해, 조업 등 안전한 해양활동 확보를 위해서 파랑 중 내항성능 검토가 필요하다. 하지만 어선에 대한 내항성능 기반 기준 마련 검토는 부족한 실정이다. 이에 따라 우리나라 연안조업어선 10톤급(G/T 9.77톤) 어선을 대상으로 내항성능을 평가하였고 설정된 내항성능 평가 기준의 Operation과 Survival 기준을 적용하여 유의파고와 선속에 따른 해양활동 충족 정도를 해석하였다. 해석 결과 횡동요는 유의파고 0.4m부터 Operation 기준을 초과하였고 유의파고 2.2m부터 Survival 기준을 초과하는 것으로 나타났다. 종동요는 유의파고 1.7m부터 Operation 기준을 초과하였고 유의파고 3.0m까지 Survival 기준을 넘지는 않았으나 횡동요가 유의파고 2.2m부터 Survival 기준을 초과한 상태로 안전하다고 할 수 없다. 따라서 10톤 미만 어선은 풍랑주의보 발효 전까지 출항은 가능하나 해양활동 관련하여 내항성능 평가 기준에는 충족하지 못한다고 볼 수 있다. 본 연구에서는 10톤급 어선을 대상으로 제한적으로 평가 되었으나 해양활동 기준 마련에 큰 도움이 될 것으로 판단된다.

핵심용어 : 해양활동, 해양사고, 내항성능, 내항성능 기준, 출항통제 기준

Abstract : This is a basic study to establish marine activity criteria based on the seakeeping performance of less than 10-tons fishing vessels. These vessels account for approximately 95% of Korea's currently registered fishing vessels, and accidents and loss of life are also occurring during marine activities such as navigation, and fishing. Accordingly, the Ministry of Oceans and Fisheries has set a regulation of vessel traffic control to restrict the operation of fishing vessels when the high seas watch takes effect, but it is applied equally without criteria according to the ship ton level and wave height; therefore, many differences may exist in ship fluctuations. Because the fluctuation of the ship owing to the wave height can be a factor in marine accidents by reducing the sense of boarding and performance of equipment, the seakeeping performance must be reviewed during waves to secure safe marine activities such as navigation and fishing. However, the review for the fishing vessel of established marine activity criteria based on the seakeeping performance is insufficient. Accordingly, the seakeeping performance was evaluated for a 10-ton class (G/T 9.77 tons) fishing vessel in Korea, and the level of marine activity according to the significant wave height and ship speed was interpreted by applying the operation and survival of the established seakeeping performance criteria. The analysis results indicated that the roll of the ship exceeded the operation criteria from 0.4m and the survival criteria from 2.2m. The pitch of the ship exceeded the operation criteria from 1.7m and did not exceed the survival criteria until 3.0m. However, the rolling exceeding the survival criteria from 2.2m may not be safe. Therefore, fishing vessels with less than 10-tons can leave before the high seas watch takes effect. However, they did not satisfy the criteria for evaluating the performance of the sea in relation to marine activities. Although this study was limitedly evaluated for 10-ton fishing vessels, it is expected to be of great help in preparing marine activity criteria.

Key Words : Marine activity, Marine accidents, Seakeeping performance, Seakeeping performance criteria, Regulation of vessel traffic control

* First Author : warriorchoi@hanmail.net, 051-410-4272

† Corresponding Author : songcu@kmou.ac.kr, 051-410-4272

1. 서론

국내에서 발생하고 있는 해양사고와 인명피해는 매년 증가 추세이고 해양사고 대부분이 어선에서 발생하고 있으며 이러한 사고는 인적 요인, 교통 환경적인 요인, 선박 자체적인 요인 등에 의해 발생하고 있다. 이와같은 여러 요인 중 선박 내항성능과 관련이 있는 전복, 침몰 사고 대부분도 30톤 미만의 어선에서 발생(전복 93%, 침몰 79%)하였고 특히 10톤 미만 어선에서 가장 많이 발생(전복 89%, 침몰 70%)하였으며 이러한 전복, 침몰 사고는 타 사고에 비해 인명 치사율도 매우 높았다(KMST, 2021).

이에 따라 해양수산부에서는 어선안전조업법에 풍랑주의보 발효 시 30톤 미만 출항금지 등을 주요내용으로 하는 어선 출항통제기준을 정하여 어선의 운항을 제한하고 있다. 하지만 어선 출항통제기준은 30톤 미만의 어선에 대해 톤급 구분없이 동일하게 적용하고 있고 30톤 미만의 어선은 길이 24m(50톤급) 미만으로 복원성 승인 및 검사가 제외되어 폐선 시까지 선박 내항성능에 대한 검토가 이루어지지 않은 채 운항되고 있어 어선 해양사고의 위험은 줄어들지 않고 있는 것으로 판단된다.

어선은 대형선에 비해 파도와 바람의 영향을 많이 받고 열악한 운항환경으로 해양활동 중에 보다 강화된 안전대책이 필요하다. 따라서 어선의 해양사고 예방과 관련하여 제도적 연구와 어선 내항성능과 관련한 연구도 다양하게 이루어져 왔다.

어선 내항성능과 관련한 많은 연구 중 일부 국내·외 연구로는 Kim et al.(1994), Jung and Kong(2008), Kang et al.(2007), Gómez Rojas(2021), Tello et al.(2011) 등이 있으며 이와 같은 어선 내항성능과 관련한 국내·외 연구 내용들은 해양사고를 감축하고 예방하기 위한 목적은 같으나 대상선박이 컨테이너선형, 여객선형, 트롤어선 등 본 연구 대상의 어선보다 큰 선박이 많았고 연구내용도 선박종류별 특성 파악 및 내항성능 평가요소들의 영향 분석을 통한 평가방법 개발, 어선의 횡동요 특성 파악을 통한 운항 조언, 내항성능 요소별 운항을 제한하는 항해 조건과 선박상태 식별 등이 많았으며 평가 및 분석한 내항성능을 기반으로 하여 10톤 미만 어선에 대한 해양활동 기준 마련 연구는 없었다.

따라서 10톤 미만 어선의 해양사고를 감축 및 예방하고 안전한 해양활동을 위해 10톤급(G/T 9.77톤) 어선의 내항성능을 평가 하였고 내항성능을 기반으로 하는 해양활동 기준 마련을 위한 기초 연구를 하였다.

2. 어선 해양사고 현황

중앙해양안전심판원에서 발표한 2016년부터 2020년까지

최근 5년간 해양사고 현황에 대해 살펴보았다(KMST, 2021). Table 1은 어선의 해양사고 현황으로 2016년에 1,794척에서 2020년에 2,331척으로 537척(+30%)으로 매년 증가하고 있으며 해양사고의 68%, 인명피해 75%가 어선에서 발생하였으며 Table 2는 10톤 미만 어선의 해양사고가 전체 사고의 72.4%로 많은 부분을 차지하고 있음을 보여주고 있다.

Table 1. Number of Marine accidents

Classification	Fishing Vessel	Non Fishing Vessel	Total
2016	1,794	755	2,549
2017	1,939	943	2,882
2018	2,013	955	2,968
2019	2,134	1,140	3,274
2020	2,331	1,204	3,535

Table 2. Number of Fishing Vessel accidents

Classification	Less than 10 G/T	10 G/T ~ 15 G/T	15 G/T ~ 30 G/T	30 G/T Above
ships	7,411	113	1,113	1,569
Percentage	72.4	1.2	11	15.4

Table 3은 인명피해 현황으로 어선의 인명피해는 2016년 324명에서 2020년 451명으로 127명 증가(40%)하였고 전체 인명피해의 76%를 차지하고 있으며 이는 비어선 인명피해보다 약 3배 이상 높았다.

Table 3. Number of Personnel casualties

Classification	Fishing Vessel	Non-fishing Vessel	Total
2016	324	87	411
2017	353	171	523
2018	303	152	455
2019	450	97	547
2020	451	102	553

Table 4는 어선의 해양사고 중 전복 및 침몰사고 현황으로 대부분 30톤 미만의 어선에서 발생(전복 93%, 침몰 79%)하였고 특히 10톤 미만 어선에서 가장 많이 발생(전복 89%, 침몰 70%)하였다.

전복 및 침몰사고는 치사율(발생척수 대비 사망자 및 실종자)도 타 사고보다 높게 나타났으며 특히 전복사고 치사율은 좌초 사고에 비해 약 28.3배 높으며, 접촉사고에 비해 약 27.7배, 화재·폭발 사고에 비해 약 3.6배 높은 것으로 나타났다(Yoo and Jung, 2018).

Table 4. Number of Fishing Vessel capsized and sinking

Classification	Less than 10 G/T	10 G/T ~ 15 G/T	15 G/T ~ 30 G/T	30 G/T Above
capsized(%)	353(89)	3(1)	12(3)	28(7)
sinking(%)	165(70)	8(3)	13(6)	50(21)

이와 같은 해양사고 대부분은 원인과 대책이 명백한 것들로 반복적으로 발생하고 있고 인적과실이 약 83 %로 조사되었다(KMST, 2021). 특히 내항성능과 관련이 많은 전복, 침몰 사고가 소형어선 일수록 많이 발생하였고 인명 치사율도 타 사고에 비해 높은 것을 알 수 있었다.

내항성능에 맞지 않는 무리한 해양활동은 지속적인 선박의 동요에 의해 인간의 활동 능력과 장비의 성능은 떨어지게 되고 동작유도 중단 등으로 인해 항해 및 장비조작 미숙 등 승조원의 임무수행능력이 떨어지게 되며 이는 해양사고의 많은 부분을 차지하는 인적과실의 주요 원인으로 이어질 수 있다. 또한 어선은 일반적으로 어획물이 상부 갑판상에 적재되어 무게 중심이 높아 선체가 불안정한 상태로 높은 파고로 인한 횡경사로 인해 어획물이 한쪽으로 치우쳐 전복, 침몰될 가능성이 높다.

따라서 어선의 해양사고를 줄이고 예방하기 위해서는 톤급(크기)에 따른 내항성능과 기준에 맞게 해양활동하는 것이 무엇보다 중요하다고 판단된다.

3. 내항성능과 인간의 활동 능력

내항성능이란 “어떤 사명을 부여받은 선박이 예정된 취항항로 혹은 해역을 항해함에 있어, 해상 조건에 관계없이 승무원의 안전은 물론이고 선체에 탑재된 장비, 설비 등의 기능 및 성능의 저하 없이, 그 사명을 수행하는데 요구되는 성능”을 말한다(Vessel terminology dictionary, 2022). 이는 선박의 과량 중 성능뿐만 아니라 인간과 선체/장비와의 시스템적인 기능과 성능을 포함하는 것으로 볼 수 있다.

따라서 국내·외 선박의 운용기준을 살펴보고 내항성능 해석요소별 선박과 승조원에 미치는 영향이 해양사고와 어떻게 연관되어지는지를 알아보려고 한다.

3.1 내항성능 국내·외 기준 검토

국외 내항성능 기준은 NORDFORSK(북유럽응용협력기구) 1987과 NATO STANAG(표준화협정) 4154가 많이 인용된다. Table 5는 NORDFORSK 1987 기준으로 선박을 Merchant ships, Naval vessels, Fast small craft 3종으로 구분하여 기준이 설정되어 있다.

Table 5. General operability limiting for ship's Criteria of NORDFDRSK 1987

Ref. criterion	Units	Merchant ships	Navy Vessel	Fast Small Craft
Roll	RMS(°)	6	4.0	4.0
VER acc. at forward perpendicular	RMS(g)	0.275(L≤100m) or 0.05(L≥330m)	0.275	0.65
VER acc. at bridge	RMS(g)	0.15	0.2	0.275
LAT acc. at bridge	RMS(g)	0.12	0.1	0.275
Slamming	No./h	0.03(L≤100m) 0.01(L≥330m)	0.03	0.03
Deck wetness	No./h	0.05	0.05	0.05

RMS : Root Mean Square

Table 6은 NATO STANG 4154 기준으로 4가지 조건(Roll, Pitch, Vertical acceleration, Lateral acceleration)에 대해 기준이 설정되어 있다.

이와 같은 국외 기준은 군함 및 대형선 위주로 설정되어 있어 어선에 적용하기에는 무리가 있을 것으로 판단된다.

Table 6. General operability limiting for ship's Criteria of NATO STANG 4154

Ref. criterion	Roll	Pitch	VER acc. at forward perpendicular	VER acc. at bridge	LAT acc.
Units (SSA)	8.0°	3.0°	0.4g	0.2g	0.2g

VER acc. : Vertical acceleration

LAT acc. : Lateral acceleration

SSA : Significant Single Amplitude

국내 내항성능 기준은 Seakeeping criteria of naval ship (Kim et al., 2019)과 대한민국 해군 내항성능 설계기준 지침 (Naval-ship design&construction criteria : Guideline for seakeeping) (ROKN, 2004)이 있으며 국내 내항성능 기준도 NORDFORSK (북유럽응용협력기구) 1987과 NATO STANAG(표준화협정) 4154를 참고하여 작성된 것이다. Table 7은 Seakeeping criteria of naval ship으로 우리나라 해양경찰에서 현재 운용중인 14M급 RIB 타입의 연안구조정을 대상으로 소형 고속정의 운항한계에 대한 연구(Bae, 2015)와 하이브리드 방법을 사용한 고속 활주정의 내항성능평가 절차 개발(Kim et al., 2019)

에 적용하여 평가 되었다.

하지만 대한민국 해군 내항성능 설계기준 지침은 해군 함정 임무와 함정 특성에 맞게 기준이 설정되어 있어 어선에 적용하기에는 무리가 있으며 참고용으로 활용은 가능하다.

따라서 14M급 RIB 타입의 연안구조정과 어선의 선체유형 및 재질 등의 차이는 있을 수 있으나 현재까지 10톤 미만의 어선에 적용할 수 있는 적합한 기준이다.

Table 7. Seakeeping criteria of naval ship

Motion response	Units	Criteria level	
		Operation	Survival
Roll	SSA(°)	8.0	30
Pitch	SSA(°)	4.8	8.0
VER acc.	SSA(g)	0.4	0.8
LAT acc.	SSA(g)	0.2	0.4
Deck wetness	No./h	30	50
Slamming	No./h	20	50

3.2 내항성능과 인간의 활동능력 기준 검토

Table 8은 대한민국 해군 내항성능 설계기준 지침의 내항성능 해석요소들이 선박과 인간에 미치는 영향(ROKN, 2004)을 설명한 것으로 선박의 지속적인 동요는 인간의 활동능력을 제한하고 상해를 입힐 수도 있으며 각종 장비의 성능을 떨어뜨리는 요인이 될 수도 있음을 알 수 있다.

특히, 횡동요가 8°를 넘게 되면 승조원들의 임무수행능력이 급격히 떨어지게 되며, 인간이 서서 버틸 수 있는 최대 횡동요각은 14° 정도 이고 종동요가 4.8°를 넘으면 승조원 작업능률은 60% 이하로 감소하는 것으로 알려져 있다(ROKN, 2004).

Table 8. Effect by Seakeeping performance elements

Elements	Units	Effects on Vessels and Crews
Roll	degree	Reduced human work efficiency and damage
Pitch	degree	Reduced human work efficiency and damage
VER acc.	g	· Increased human fatigue and Reduced human work efficiency
LAT acc.	g	· Reduced human and equipment work efficiency
Slamming	No./h	· Reduced equipment work efficiency · The bows bottom of a ship damage
Deck wetness	No./h	· Human injury and drowning accident · Deck equipments damage

선박에서의 인간의 활동 능력과 관련한 기준을 살펴보면 국외 기준은 군함 및 대형선 기준으로 설정 되어 있으며 Table 9는 NORDFORSK 1987에서 제시한 내항성능에 따른 작업수준을 구분하여 주고 있다.

Table 9. Limiting Criteria with regard to accelerations (vertical and lateral) and roll motion of NORDFORSK 1987

Description	Units	VER acc.	LAT acc.	Roll Motion
Light manual work	RMS(g)	0.20	0.10	6.0
Heavy manual work	RMS(g)	0.15	0.07	4.0
Intellectual work	RMS(g)	0.10	0.05	3.0
Transit passenger	RMS(g)	0.05	0.04	2.5
Cruise liner	RMS(g)	0.02	0.03	2.0

Table 10은 NATO STANAG 4154에서 제시한 MII(Motion Induced Interruption, 동작유도중단) 수준으로 분당 동작유도 횟수에 따른 위험정도를 나타내고 있다.

동작유도중단은 선박 작업 중 또는 단순히 서 있을 때 부상위험을 최소화하기 위한 적절한 행동으로 발생률이 높을 수록 임무수행능력이 떨어지며 움직이는 환경에서 작업하는 개인의 능력에 가장 심각한 영향을 미친다(Crossland et al., 2007).

Table 10. MII risk level of NATO STANG 4154

Risk level	MI(No./min)
Possible	0.1
Probable	0.5
Serious	1.5
Severe	3.0
Extreme	5.0

국내 기준으로 대한민국 해군 내항성능 설계기준 지침이 있으나 함정 임무와 함정 특성을 고려하여 임무효율성을 중점으로 설정되어 있어 어선 특성에 맞게 기준 설정이 필요하며 동작유도중단에 대해서는 추가적인 연구가 필요하다.

이와 같이 지속적인 선박의 동요에 의해 인간의 활동 능력과 장비의 성능은 떨어지게 되고 동작유도 중단 등으로 인해 항해 및 장비조작 미숙 등 승조원의 임무수행능력이 떨어지게 되며 이는 해양사고의 대부분을 차지하는 인적과실의 주요 원인으로 이어질 수 있음을 알 수 있었다.

4. 내항성능 평가

4.1 대상 선박 제원

본 연구에서는 대표적인 연안어선 G/T 9.77톤급을 선정하였다. Table 11은 대상 선박의 제원이며, Fig. 1은 대상 선박의 측면 배치도를 나타낸다.

Table 11. Principle particulars of the target ship

Particular	Model ship
LOA(m)	19.4
LBP(m)	14.88
Beam(m)	4.1
Depth(m)	1.080
Draft(m)	0.8
G/T(ton)	About 9.77 ton class

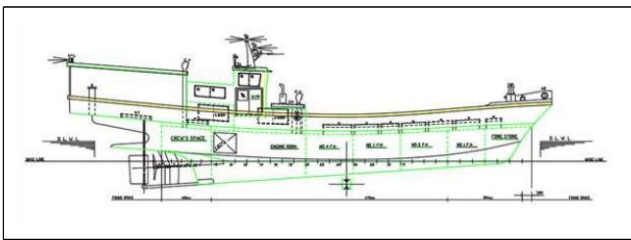


Fig. 1. Profile of the target ship.

4.2 운동해석 조건

본 어선의 경우 불규칙파 중 선체운동응답은 규칙파 중 선체운동응답으로부터, St.Denis와 Pierson의 선형중첩이론에 의해 추정되며, 운동응답함수(Response Amplitude Operator, RAO)에 의해 특정 해상상태에 해당하는 파랑 스펙트럼을 곱하여 운동 스펙트럼을 구하고 운동 스펙트럼으로부터, Rayleigh 분포 가정 하에 유의값을 계산한다.

응답의 정도는 파고에 선형적으로 비례한다고 가정한다. 선형역학시스템의 특성은 가진 크기보다 가진 주파수에 의해 큰 영향을 받기 때문에 본 해석에서 사용한 방법은 응답이 강한 비선형성을 나타내지 않는다면 신뢰성을 가진다. 규칙파 중에 선체운동응답의 유기진폭 함수와 파랑스펙트럼의 관계를 이용하여 선체운동 에너지 스펙트럼을 구하여 적용한다.

Table 12는 선체 내항성능해석을 위한 무게중심(Center of Gravity), 종동요 회전반경(Pitch Gyradius), 횡동요 회전반경(Roll Gyradius)과 스트립 이론(Strip Theory)에 사용된 정보(Number of mapped sections, Maximum number of mapping)를 나타낸 것이다.

Table 12. Seakeeping Conditions of the target ship

Items	Units	Units
Number of mapped sections	(-)	30
Maximum number of mapping	(-)	7
Pitch gyradius(% LOA)	(%)	25(4.85m)
Yaw gyradius(% LOA)	(%)	25(4.85m)
Roll gyradius(% BOA)	(%)	40(1.896m)
V.C.G.(m)	(m)	1.2
Water Depth	(-)	Deep Water

Table 13은 어선이 운용될 해상의 상태를 나타낸 것으로 대한민국 해군 내항성능 설계기준 지침을 참고하였다.

내항성능 해석조건으로 해석요소는 횡동요(Roll)와 종동요(Pitch)를 적용 하였고 파고는 유의파고 0.1 m에서 3.0 m까지 0.1 m 단위로 30개 구간으로 설정하였으며 속력은 5 kts에서 30 kts까지 5 kts 간격으로 6개 구간으로 설정하였고 파랑의 방향은 180°(Head sea), 090°(Beam sea) 2개 방향으로 설정하였다.

1978 ITTC 불규칙 파랑 스펙트럼에 제한된 해상상태에 대한 내항성능해석을 수행하였으며, 1978 ITTC 불규칙 파랑 스펙트럼의 이론은 불규칙한 해상상태를 해석하기 위하여 일반적으로 일정한 주기로 측정된 파면의 분포는 정규분포를 따르며, 불규칙파의 파형은 서로 다른 파장과 파고를 가진 여러 규칙파의 중첩으로 가정하였다.

Table 13. Sea states for Fishing Vessel

Sea states	Significant Wave Hight(m)		Wind speed(kts)		Wave period(sec)	
	range	average	range	average	range	average
0-1	0-0.1	0.05	0-3	1.5	-	-0.1
2	0.1-0.5	0.30	4-7	5.5	3.1-12.8	7.5
3	0.5-1.25	0.88	8-18	13.0	5.0-14.8	7.5
4	1.25-2.5	1.88	19-24	21.5	7.1-15.2	8.8
5	2.5-4	3.25	25-38	31.5	8.3-15.5	9.7
6	4-6	5.00	39-46	42.5	9.8-17.2	12.4
7	6-9	7.50	47-54	50.5	11.8-18.5	15.0
8	9-14	11.50	55-63	59.0	14.2-18.6	17.4
>8	>14	>14	>63	>63	18.0-23.7	20.0

어선의 내항성능해석에서 이러한 불규칙 파랑에 대한 유의파고 함수로 표시하는 파랑에너지 스펙트럼 1978 ITTC 스펙트럼은 아래와 같은 식으로 정의되어진다.

$$s(w) = \frac{A}{w^5} \exp\left(-\frac{B}{w}\right) \quad (1)$$

여기서,

$$A = 124 \frac{H^{2\frac{1}{3}}}{T_0^4} = 172.75 = \frac{H^{2\frac{1}{3}}}{T_1^4} \quad (2)$$

$$B = 497 \frac{1}{T_0^4} = 691 \frac{1}{T_1^4} \quad (3)$$

$H^{\frac{1}{3}}$: Significant wave height(m) = $4\sqrt{m_0}$

T_0 : Average Zero-upcrossing Period(sec) = $2\pi\sqrt{\frac{m_0}{m_2}}$

T_1 : Average Period(sec) = $2\pi\frac{m_0}{m_1} = 1.806T_0$

T_m : Modal Period(sec) = $1.408T_0$

m_n : Moment of Degree $n = \int_0^\infty S(w)w^n dw, n = 0,1,2 \dots$

w : Wave Frequency(rad/sec)

4.3 내항성능 평가결과

내항성능 해석 기준은 Table 7 “Seakeeping criteria of naval ship” 의 Operation과 Survival 기준을 적용하였고, 대한민국 해군함정 내항성능 설계기준 지침에 있는 내항성능 요소별 선박과 인간에 미치는 영향을 바탕으로 해석하였다.

Fig 2에서부터 Fig 7까지는 선속 5 kts부터 30 kts까지 해석 결과를 보여주고 있으며 횡동요(Roll)는 파랑방향이 정횡, 종동요(Pitch)는 파랑방향이 선수인 상태에서 평가된 최대값을 의미한다. 횡동요는 선속 5 kts에서 30 kts까지 모든 구간에서 동일하게 유의파고 0.4 m부터 Operation 기준인 8°를 초과하였고 유의파고 2.2 m부터 Survival 기준인 30°를 초과하는 것으로 나타났다.

종동요는 선속 5 kts 유의파고 1.7 m에서 Operation 기준인 4.8°를 초과하였고 선속이 증가함에 따라 최대 2.9 m까지 초과지점도 높아졌다. 종동요가 유의파고 3 m까지 Survival 기준인 8.0°를 초과하지는 않았으나 작업능률이 60% 이하로 감소하는 상태이고 유의파고 0.8 m부터는 인간이 서서 버틸 수 있는 최대 횡동요각인 14°를 넘어섰으며 유의파고 2.2 m부터 횡동요 Survival 기준인 30°를 초과한 상태로 안전하다고 볼 수 없다.

따라서 10톤 미만의 어선은 풍랑주의보 발효 전까지 어선 안전조업법의 어선출항 통제 기준에 따라 출항은 가능하나 해석결과를 비추어 볼 때 해양활동 관련 내항성능 평가 기준에는 충족하지 못하였다.

또한 유의파고와 최대파고와의 관계(Harbour and Fishery Design Criteria, 2017)를 비추어볼 때 유의파고의 1.6~2배 이상의 높은 파고와 조우할 수 있기 때문에 해석한 결과보다 더 위험한 상황에 직면할 수 있다.

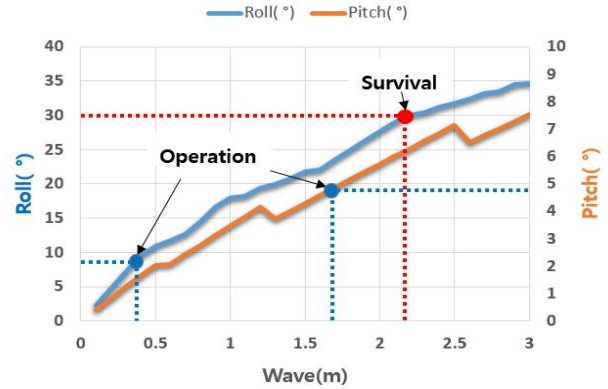


Fig. 2. Roll and Pitch motion at 5kts.

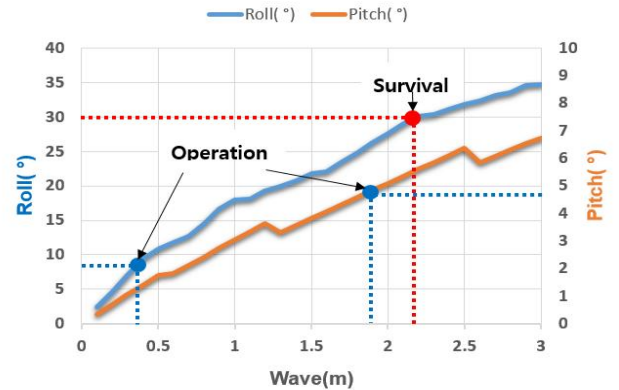


Fig. 3. Roll and Pitch motion at 10kts.

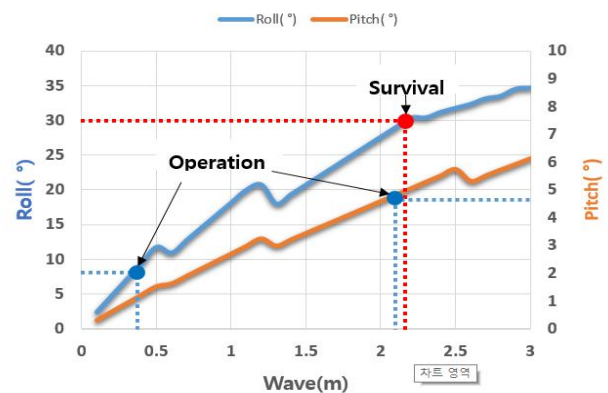


Fig. 4. Roll and Pitch motion at 15kts.

내항성능 기반 10톤 미만 어선의 해양활동 기준 마련 기초 연구(I)

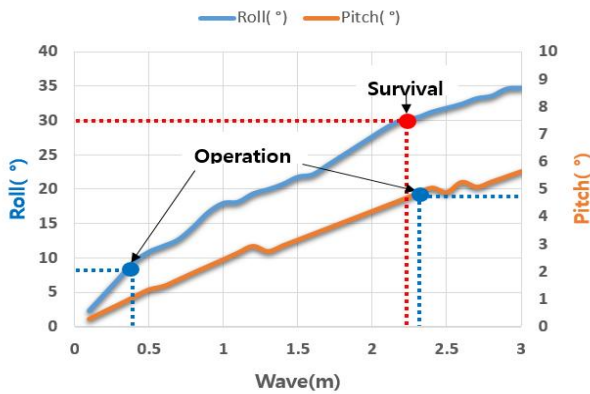


Fig. 5. Roll and Pitch motion at 20kts.

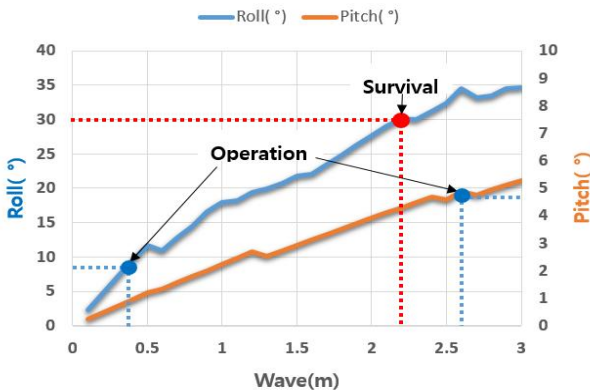


Fig. 6. Roll and Pitch motion at 25kts.

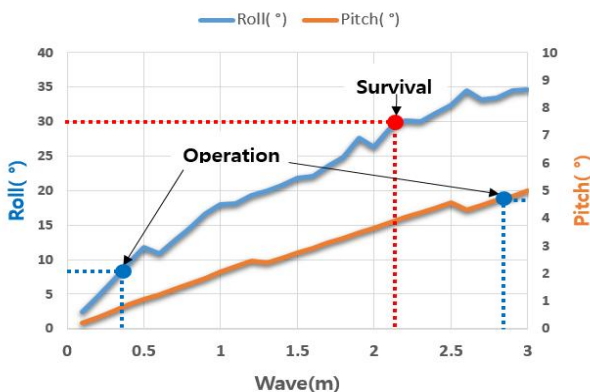


Fig. 7. Roll and Pitch motion at 30kts.

5. 결론

본 연구는 내항성능을 기반으로 하여 10톤 미만 어선의 해양활동 기준 마련을 위한 기초 연구로서 국내 연안어선 10톤급(GT 9.77톤)을 대상으로 내항성능을 평가하였고 “Seakeeping

criteria of naval ship” 내항성능 평가 기준의 Operation(활동가능)과 Survival(생존) 기준을 적용하여 해양활동 충족 정도를 해석하였다.

해석결과 횡동요는 속력 5 kts에서 30 kts까지 모든 구간에서 동일하게 유의과고 0.4 m부터 Operation 기준(8.0°)을 초과하였고 유의과고 2.2 m부터 Survival 기준(30°)을 초과하는 것을 알 수 있었으며 종동요는 속력 5 kts에서 유의과고 1.7m부터 Operation 기준인 4.8°를 초과하였으나 30 kts까지 Survival 기준인 8.0°를 넘지는 않았다. 하지만 횡동요가 2.2m부터 Survival 기준(30°)을 초과하였고 인간이 서서 버틸 수 있는 최대 횡동요각인 14°를 유의과고 0.8m부터 넘어섰으며 종동요가 4.8°를 넘으면 승조원 작업능률은 60% 이하로 감소하는 상태로서 해양활동관련 내항성능 평가 기준에는 충족하지 못한다고 볼 수 있다.

따라서 10톤 미만의 어선은 풍랑주의보 발효 전까지 어선 안전조업법의 어선출항 통제 기준에 따라 출항은 가능하나 해양활동에 많은 제한이 발생할 수 있고 유의과고의 1.6~2배 이상의 높은 과고와 조우할 수 있기 때문에 해석한 결과보다 더 위험한 상황에 직면할 수도 있으므로 안전한 해양활동을 위해 톤급(크기)에 따른 내항성능 평가와 기준 마련이 필요할 것으로 판단된다.

본 연구는 기초 연구로서 10톤급 어선에 대해서만 극히 제한적으로 평가 및 해석 되었다. 추후 표준어선형을 포함하여 어선의 다양한 선종 및 톤급(크기)에 대한 전문적인 평가를 통한 해양활동 기준 마련 검토가 필요할 것으로 사료된다.

후 기

본 연구는 2022년 해양수산부 재원으로 해양수산과학기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구입니다(해양 디지털 항로표지 정보협력시스템 개발(2/5) (20210650).

References

- [1] Bae, J. Y.(2015), A Study on Operating Limit Analysis for Small High-speed Boat, Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety, Vol. 21, No. 6, pp. 784-789.
- [2] Crossland, P., M. J. Evans, D. Grist, M. Lowten, H. Jones, and R. S. Briger(2007), Motion-Induced Interruptions Aboard: Model Development and Application to Ship Design, Occupational Ergonomics, Vol. 7, No. 3, pp. 183-199.
- [3] Gómez Rojas, Nestor Juhan de Dios(2021), Design criteria for seakeeping and stability of fishing vessels in regular waves,

Chalmers University of Technology.

- [4] Jung, C. H. and G. Y. Kong(2008), Evaluation of Seakeeping Performance for Regulation of Vessel Traffic Control(I), Journal of Navigation and Port Research, Vol. 32, No. 10, pp. 785-791.
- [5] Kang, I. K., H. S. Kim., M. S. Kim., Y. W. Lee., J. C. Kim., H. J. Jo., and C. K. Lee(2007), Characteristics on the rolling response of a small fishing boat according to the waves and the ship's speed, J. Kor. Soc. Fish. Tech, Vol. 43(1), pp. 62-70.
- [6] Kim, S. K., M. S. Park, and G. Y. Kong(1994), A Study on the Evaluation of Seakeeping Performance with Ship Types, Journal of Navigation and Port Research, Vol. 18, No. 2, pp. 19-40.
- [7] Kim, Y. R., J. B. Park, J. C. Park, S. K. Park, and W. M. Lee(2019), Development of an Evaluation for Seakeeping Performance of High-speed Planning Hull using Hybrid Method, Journal of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 56, No. 3, pp. 200-210.
- [8] Korea Maritime Safety Tribunal(KMST)(2021), 2020 Marine Accidents Statistics.
- [9] Ministry of Oceans and Fisheries(MOF)(2017), Harbour and Fishery Design Criteria.
- [10] NORDFORSK(1987), Assessment of ship performance in a seaway. Nordic cooperative Project : Seakeeping performance of ships, Copenhagen, Denmark.
- [11] North Atlantic Treaty Organization(NATO)(2000), Common Procedures for Seakeeping in the Ship Design Process STANG 4154, 3rd Ed.
- [12] Republic of Korea Navy(ROKN)(2004), Naval-ship design& construction criteria : Guideline for seakeeping
- [13] Tello, M., S. Ribeiro e Silva, and C. Guedes Soares(2011), Seakeeping performance of fishing vessels in irregular waves, Ocean Engineering, Vol. 38, No. 5-6, pp. 763-773.
- [14] Yoo, S. R. and C. Y. Jung(2018), A Suggestion on the improvement of the Departure Control Regulation of Fishing Vessels, Journal of Korea Maritime Police Science, Vol. 18, No. 3, pp. 1-14.

Received : 2022. 09. 07.

Revised : 2022. 10. 14. (1st)

: 2022. 10. 20. (2nd)

Accepted : 2022. 10. 28.