

진해만 태풍 피항지 정박 선박간 이격거리 설정에 관한 연구

강원식* · 김지윤** · 김대원****

* 제주대학교 교수, ** 한국해양대학교 대학원, *** 한국해양대학교 교수

Study on the Establishment of the Separation Distance between Anchored Ships in Jinhae Bay Typhoon Refuge

Won-Sik Kang* · Ji-Yoon Kim** · Dae-Won Kim****

* Professor, Jeju National University, Je-ju 63243, Korea

** Graduate School, Korea Maritime Ocean University, Busan 49112, Korea

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

요약 : 진해만은 태풍 내습 시 피항 선박이 폭주하고 강한 바람 등의 영향으로 주묘가 자주 발생하며 이에 따른 선박 간 충돌 및 좌초 등 해양사고 발생 개연성이 매우 높다. 본 연구에서는 우리나라 해역 특성에 맞는 진해만 정박지의 선박 간 안전이격거리 설정을 위한 연구를 수행하였다. 진해만 태풍 피항지에는 태풍 내습 시 평균 100 ~ 200여척의 선박이 정박을 하고 있으며 풍속이 25m/s 이상되는 강한 외력에서 전체 선박의 약 70%에 주묘가 발생하는 상황인 것으로 분석되었다. 본 연구에서는 국내외 설계기준 상 제시된 황천 시 정박 선박간 이격거리, 실제 피항지로서 사용된 진해만 피항선박 간 이격거리, 강한 외력에 따른 선박 표류 시 적정 안전거리 등을 분석하여 제시하였다. 그 결과 설계기준 상의 최소 기준과 비상조치 시간을 고려하여 약 400~900m의 안전이격거리가 필요하며, 공간상의 여유가 있는 경우에는 700~900m 이격거리 설정이 필요한 것으로 도출하였다. 본 연구의 결과는 향후 진해만 피항지를 이용하는 선박에 대해 선박 간 안전 이격거리를 위한 지침 수립 시 활용이 가능할 것으로 기대된다.

핵심어 : 태풍, 정박지, 안전이격거리, 주묘, 충돌사고

Abstract : Jinhae Bay, characterized by frequent runaway ships and strong winds during typhoon attacks, poses a high risk of maritime accidents such as ship collisions and groundings. This study aims to determine a safe separation distance between ships in the Jinhae Bay anchorage, considering the unique environmental characteristics of the Korean sea area. Analysis revealed that an average of 100-200 ships anchor in the typhoon avoidance area in Jinhae Bay during typhoon attacks, with approximately 70% of ships experiencing anchor dragging owing to strong external forces exceeding 25 m/s wind speeds. In this study, we analyzed and presented the separation distances between ships during anchoring operations based on domestic and international design standards, separation distances between ships used as actual typhoon shelters in Jinhae Bay, and appropriate safe distances for ships drifting under strong external forces. The analysis indicated that considering the minimum criteria based on the design standards and emergency response time, a minimum safe distance of approximately 400-900 m was required. In cases where ample space was available, the separation distance was recommended to be set between 700 to 900 m. The findings of this study are anticipated to contribute to the development of guidelines for establishing safe separation distances between ships seeking refuge from typhoons in Jinhae Bay in the future.

Key Words : Typhoons, Anchorage, Safety separation distance, Dragging anchor, Collision accident

1. 서론

우리나라는 지리적 위치에 따라 매년 10여개의 태풍의 영향권 안에 들어가고 그 중 평균 2~3개의 태풍이 한반도를

직접 통과한다(Kang et al., 2021). 진해만은 북쪽으로 고성, 창원, 진해 등 육지와 거제 북부 해안 등에 둘러싸여 있어서 태풍 내습 시 바람과 파랑 등의 영향이 적다. 수심과 저질도 투묘에 적합하여 많은 선박이 태풍 내습 시 진해만을 피항지로 활용하고 있다(Park et al., 2012; Kim et al., 2022). 특히, 진해만은 인근에 마산항, 울산항, 부산신항 등 대형 항만이

* First Author : wskang@jejunu.ac.kr, 064-754-3416

† Corresponding Author : dwkim@kmou.ac.kr, 051-410-4641

존재하기 때문에 태풍 내습 시 피항 선박이 폭주하고 강한 바람 등의 영향으로 주묘에 따른 충돌, 좌초 등 해양사고가 빈번하게 발생한다(Masan VTS, 2020).

강한 풍속으로 인해 선박에 갑작스러운 주묘가 발생할 경우 충돌 및 좌초 등의 해양사고가 발생 할 수 있고 이를 예방하기 위해서는 해당 묘박지와 본선의 특성에 맞는 주묘 한계 풍속을 인지하고 환경 요건과 선박의 조종성 등을 고려하여 선박, 압초, 저주심 구역 등과 충분한 이격거리를 유지해야 하여야 한다.

Ge et al.(2021)은 가상의 태풍에 의한 어항의 접안 능력, 계류 선박의 영향성 등을 연구하였다. Park(2016)은 묘박 중인 선박의 안전을 고려한 정박지의 용량에 대해서 평균 점유 용량과 점유 용량에 미치는 요소 등을 고려하여 시뮬레이션 모델을 통한 정박지 용량 설계에 관한 연구를 수행하였다. Lee et al.(2021)은 정박지에서 발생하는 충돌 사고 중 정박지 사이를 통항하는 선박에 대해서 충돌 위험 모델 개발에 관한 연구를 수행하였다. Kang et al.(2021)은 진해만 태풍 피항지에 대해 수심별, 선박톤수별 주요 한계 풍속을 제시하였다. Kim et al.(2022)는 태풍 내습 시 진해만 피항지에 대해서 VTS 관제사 등의 설문문을 통한 안전 확보 및 효율적인 관리방안 마련에 대한 연구를 수행하였다.

이와 같이, 일반적인 상황에서 정박지 용량에 관한 연구, 진해만에 태풍 내습 시 주묘가 발생하는 한계 풍속, 진해만 피항지 안전대책 등에 관한 연구는 수행이 되었으나 실제적으로 피항지를 이용하는 선박간의 적정 이격거리에 대해서는 기준이 아직 없고 연구도 부족한 실정이다. 본 연구에서는 우리나라 해역 특성에 따라서 진해만 피항지에 적용할 수 있는 태풍 내습 시 선박 간 안전 이격거리 설정에 대한 연구를 수행하고자 한다.

2. 진해만 피항지 현황 분석

2.1 진해만 태풍 현황 분석

진해만은 지리적으로 우리나라 동남쪽에 위치하고 거제도 북쪽 해안과 맞은편 육지로 둘러싸여 있는 해역이다(Choi et al., 2014). 진해만 입구 부근에 있는 잠도를 기준으로 북쪽에는 마산항과 진해항이 위치해 있고 서쪽으로는 고현항, 안전항 등과 견내량 해협을 지나 남해로 연결되어 있다. 본장에서 진해만 피항지의 현황을 분석하기 전에 진해만에 있는 정박지, 항로 및 태풍 현황 등 진해만 피항지의 일반 현황을 분석하고자 한다.

2.1.1 정박지 및 항로 현황 분석

진해만은 진해만 입구에 부산신항, 진해만 북측에 마산항

과 진해항, 서측으로 안전항과 고현항, 견내량 해협을 지나 통영항 등이 위치하여 해당 항만들을 이용하는 선박들과 예부선 및 어선들이 다수 운항한다.

진해만 인근에 정박지는 마산항 항만시설 운영세칙 및 경상남도 항만시설 운영세칙에 따라서 마산항, 진해항 및 고현항 인근에 지정이 되어 있다(Masan Regional Office of Oceans and Fisheries, 2021; Gyeongnam, 2018). 마산항, 진해항 및 고현항 등 항만을 진입하기 위한 항로 외에 선박 통항을 위해 지정된 항로는 진해만 및 부근 수역의 항행안전에 관한 고시에 따라 가덕수도, 마산항로, 진해항로, 고현항로, 원전항로, 안전항로, 장좌항로 및 내산항로 등이 있다(Masan Regional Office of Oceans and Fisheries, 2022).

Fig. 1은 진해만 인근의 항로 현황을 나타낸 것이다.

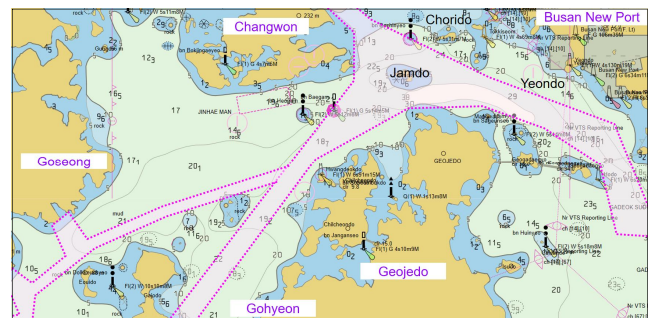


Fig. 1. Status of Fairways in Jinhae Bay.

태풍 내습 시 진해만을 피항지로 이용하기 위해 선박이 밀집되고 정박이 가능한 대부분의 수역에 묘박을 한다. 초리도, 잠도, 연도 인근 해역과 고현 지역, 창원 지역 인근 해역을 포함하여 마산항로, 진해항로, 고현항로 등도 점유를 하고 있는 것으로 분석된다(Kang et al., 2021).

2.1.2 진해만 영향을 미친 태풍 현황 분석

우리나라는 지리적 위치로 인해 직·간접적인 태풍의 영향을 받는다. 2019년과 2020년에 북서태평양에는 각각 29개와 23개의 태풍이 발생하였으며 그 중 2019년에 6개, 2020년에 4개가 우리나라에 직접적인 영향을 주었다(KMA, 2020).

Table 1은 2019년~2020년 우리나라에 직접적인 영향을 준 태풍의 세기, 진해만 통과 이격거리 등을 나타낸 것이다.

진해만 인근 관측소에서 관측된 태풍 TAPAH, MAYSAC과 HAISHEN의 순간최대풍속은 25 m/s 이상 또는 그에 가까운 매우 강한 태풍이었다. IACS(국제선급연합회)에 따라 선박의 anchor는 차폐된 해역의 해면에서 최대풍속 25 m/s, 최대 유속 2.5 m/s를 기준으로 설계가 되었기 때문에 이를 초과하는 외력이 존재할 경우 주묘 등이 발생할 가능성이 매우 높아진다(IACS, 2017).

Table 1. Typhoons affected Jinhae Bay (2019~2020)

Typhoon	Dist. from Jinhae Bay (NM)	Max. Wind Speed (m/s)	Central Pressure (hPa)	Type	
2019	DANAS	88.1	24	998	TS
	FRANCISCO	13.7	32	1,000	STS
	KROSA	187.0	43	975	TY
	LINGLING	183.6	47	965	TY
	TAPAH	64.6	37	980	TY
	MITAG	44.3	37	992	TY
2020	JANGMI	17.3	19	998	TS
	BAVI	202.8	45	955	TY
	MAYSAK	21.8	49	960	TY
	HAISHEN	32.6	55	955	TY

2.2 진해만 선박 피항 현황 및 해양사고 위험성 분석

2.2.1 피항 선박 분석

태풍 내습 시 진해만으로 피항하는 선박의 현황을 분석하기 위해 2019년~2020년 진해만에 영향을 미친 10개 태풍을 대상으로 해당 날짜에 진해만으로 피항한 선박의 AIS 항적을 분석하였다. 해당 기간에 마지막 피항선박이 입항한 일자의 AIS의 항적정보를 이용하여 피항선박을 식별하였으며, 선종별 피항선박 척수 및 선박규모별 피항선박 척수 등을 분석하였다.

Table 2. The Number of Ships by Ship's Type

Typhoon (Max. Wind Speed)	Tanker	Cargo	Passenger	Tug	Etc.	TTL
DANAS (24 m/s)	67	65	0	8	36	176
FRANCISCO (32 m/s)	51	62	0	10	48	171
KROSA (43 m/s)	26	35	0	0	11	72
LINGLING (47 m/s)	71	81	0	4	45	201
TAPAH (37 m/s)	50	80	0	13	62	205
MITAG (37 m/s)	59	105	0	21	55	240
JANGMI (19 m/s)	53	58	0	11	21	143
BAVI (45 m/s)	72	68	1	20	38	199
MAYSAK (49 m/s)	49	57	0	26	36	168
HAISHEN (55 m/s)	41	47	0	24	41	153
Total	539	658	1	137	393	1,728

태풍 내습 시 피항선박 척수를 분석한 결과, 총 1,728척의 선박이 진해만 피항지에 피항한 것으로 식별되었다. 그 중 태풍 MITAG 내습 시 240척이 피항하여 가장 많은 척 수를 보였고 태풍 KROSA 내습 시 72척으로 가장 적은 수의 선박이 피항한 것으로 분석되었다.

Table 2와 Table 3은 각각 태풍에 대한 선박 종류별 선박 규모별 피항 척수를 나타낸 것이다. 여기에서 기타선박은 어선과 관공선, 기타 미식별 선박이 포함된 것이다.

Table 3. The Number of Ships by Ship's Size

Typhoon (Max. Wind Speed)	~1K ton	1K~5K ton	5K~10K ton	10K~ ton	Un-known	TTL
DANAS (24 m/s)	24	97	40	7	8	176
FRANCISCO (32 m/s)	29	93	32	9	8	171
KROSA (43 m/s)	5	49	13	3	2	72
LINGLING (47 m/s)	28	105	47	13	8	201
TAPAH (37 m/s)	40	88	56	12	9	205
MITAG (37 m/s)	57	94	68	8	13	240
JANGMI (19 m/s)	16	67	46	8	6	143
BAVI (45 m/s)	28	94	46	12	19	199
MAYSAK (49 m/s)	39	77	33	5	14	168
HAISHEN (55 m/s)	33	67	34	6	13	153
Total	299	831	415	83	100	1,728

선종별 분석 결과, 화물선, 탱커선, 기타선, 예부선, 여객선의 순으로 나타나 주로 화물선과 탱커선의 피항이 많이 이루어지는 것으로 나타났다. 선박 규모별 분석 결과, 1,000~5,000톤, 5,000~10,000톤, 1,000톤 미만, 10,000톤 이상 등의 순으로 나타나 피항선박의 규모는 주로 1,000~10,000톤으로 분석되었다.

2.2.2 피항 해역 분석

앞서 진해만 인근 해역의 정박지 현황을 조사한 바와 같이 지정된 정박지는 마산항, 진해만, 고현항 등 항만 내에 있는 정박지 뿐이다. 다만, 태풍 내습 시에 집중되는 선박의 안전성을 향상 시키기 위해 임의로 초리도, 연도, 잠도, 고현항 및 진해만 안쪽 넓은 수역에 선박이 정박할 수 있도록 유도하고 있다(Kim et al., 2022).

Fig. 2는 피항 선박의 AIS 항적 분석 결과에 따라 도출된 대략적인 피항 해역을 나타낸 것이다.

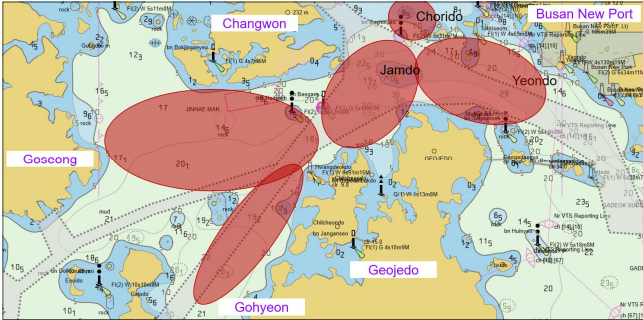


Fig. 2. Analysis of Typhoon Shelter in Jinhae Bay.

2.2.3 사례 기반 해양사고 위험성 분석

진해만 피항지가 태풍 내습 시에 비교적 안전한 해역이라 볼 수 있지만, 피항지 이용에 관한 안전대책이나 최소 이격거리와 관련한 규정 등이 명확하지 않기 때문에 강한 외력에 의한 주요와 그로 인한 충돌 및 좌초 사고 등이 발생할 수 있다. 2019년~2020년 태풍 내습 시에 진해만에서는 투묘를 위해 이동하던 선박과 투묘 중이던 선박이 충돌한 사고, 투묘중이던 선박이 주요되어 표류하다가 좌주된 사고 등이 있었다. 선박의 anchor는 최대풍속 25 m/s, 최대 유속 2.5 m/s를 기준으로 설계가 되기 때문에 2020년에 발생한 태풍 중 MAYSACK 등 최대풍속이 25 m/s를 초과하는 태풍에서는 주요 가능성이 매우 높아진다(IACS, 2017).

Table 4는 2020년 진해만에 영향을 미친 4개의 태풍에 대한 피항선박 대비 주요선박을 나타낸 것이다(Masan VTS, 2021).

Table 4. The Number of Dragging Vessels on Typhoon Shelter in Jinhae Bay

Typhoon	Anchored Vessel	Dragging Vessel	The Rate of Dragging
JANGMI	169	36	21.3%
BAVI	180	21	11.7%
MAYSACK	166	154	92.8%
HAISHEN	153	108	70.6%
Total	668	319	47.8%

2020년에 4개의 태풍이 내습했을 때 진해만으로 피항한 선박은 총 668척이며 그 중에 319척(47.8%)이 주요가 된 것으로 분석되었다.

특히, 최대풍속이 25 m/s를 초과하거나 그에 가까운 MAYSACK과 HAISHEN은 그 비율이 나머지 두 태풍보다 높았는데 MAYSACK의 경우 총 피항선박 166척 중 92.8%인 154척

에서 주요가 발생한 것으로 분석되어 대부분에 선박에서 주요가 발생하였다. HAISHEN의 경우에도 전체 피항선박 153척 중 약 70.6%인 108척에서 주요가 발생하였다. 반면 JANGMI와 BAVI의 경우에는 전체 피항 선박 중 각각 21.3%와 11.7%의 낮은 비율로 주요가 발생하였다.

3. 태풍 피항지 안전성 검토

진해만 태풍 피항지는 태풍 내습 시 피항지로 이용이 되고 있는 비교적 안전한 피항지 임에도 불구하고 강한 태풍에는 주요가 다수 발생한다. 하지만 주요가 발생하더라도 선박간 충분한 이격거리를 두어 대처할 시간이 충분하다면 충돌이나 좌초 등의 해양사고로 이어지지 않을 수 있다. Kang et al.(2021)은 진해만에서 선박이 태풍을 피항할 때 수심과 anchor의 특성에 따라서 각각 주요의 한계 풍속이 어느 정도인지 연구를 수행하였다. 본 장에서는 설계기준에 따른 정박지의 면적, 태풍 피항지에 대한 최소이격거리, 그리고 선행연구에서 분석한 진해만 주요 한계 풍속 등에 대해서 분석하고자 한다.

3.1 국내외 피항지 설계 관련 지침 분석

우리나라에서 고시된 항만 및 어항설계기준-해설은 양호한 저질, 충분한 수면적과 정온도 등을 고려하고 있으며 통상적으로 Table 5와 같이 선박 길이(Length Overall)와 수심(Depth)을 기준으로 제시한다(MOF, 2017). 다만, 태풍 피항 등의 상황에 대해서는 구체적인 지침을 제시하고 있지 않다.

Table 5. Anchorage Range according to Korean Design Standards

Method	Sea bad & Wind Condition	Anchorage Radius
Single Anchor	Good for Anchoring	L+6D
	Bad for Anchoring	L+6D+30
Two Anchor	Good for Anchoring	L+4.5D
	Bad for Anchoring	L+4.5D+25

L: Length Overall(m), D: Depth(m)

국제수상교통시설협회(PIANC)는 Harbour Approach Channels Design Guidelines을 통해 기상 및 저질이 양호한 경우의 최소 묘박지 반경을 식(1)과 같이 권고한다(PIANC, 2014). 이 식에서 추가 반경 30m는 주요에 대비한 여유수역을 의미한다. 마찬가지로 태풍 피항 등의 상황에 대해서는 구체적인 지침을 제시하고 있지는 않다.

$$R_a [m] = L_{OA} + 5h + 30 \tag{1}$$

여기서,

R_a : 묘박지 반경(m), L_{OA} : 선박의 길이(m)

h : 묘박지의 수심(m)

일본 해상보안청에서는 황천 시 주묘에 의한 사고 등을 방지하기 위해 기상조건에 따라 체인 신출량을 달리 설정하는 안을 제시하였으며 선박길이와 수심을 기준으로 하는 것은 동일하고 체인 길이에 따른 여유수역을 추가하였다.

통상시에는 선박길이(L)와 수심의 3배($3D$) 그리고 여유수역 90m를 두어 $L + 3D + 90m$ 를 반경으로 하는 묘박지를 설정할 수 있고 황천시에는 선박길이(L)와 수심의 4배($4D$) 그리고 여유수역 145 m를 두어 $L + 4D + 145m$ 를 반경으로 하는 묘박지를 설정한다(Japan Coast Guard, 2020).

스페인에서는 투묘 방법과 환경 조건 등에 따라서 묘박 면적을 산정하도록 하고 있으며 투묘 방법 중 가장 넓은 면적을 요구하는 단묘박 시 산정기준은 식(2)와 같다(Ministry of Public Works and Transport, 2007).

$$R[m] = P_i + W + C_i + L_{OA} + S_c \quad (2)$$

여기서,

P_i : 위치 및 시간 측정 방법 등에 의하여 발생하는 투묘 지점 오차. 선박길이의 25~50%를 적용

W : 기상조건에 대한 보정 값으로 저질과 풍속에 따라 최대 210 m까지 적용

C_i : 체인 신출량, L_{OA} : 선박의 전장(m)

S_c : 사고예방을 위한 여유 안전반경으로 선박길이의 10% 또는 20 m 중 큰 값으로 적용

스페인에서 적용하고 있는 설계기준에서는 풍속과 묘박지의 저질에 따른 보정값이 존재하는데 풍속은 10 m/s 이하, 10 m/s~20 m/s, 20 m/s~30 m/s, 30 m/s 초과로 구분하며 저질이 양호할 경우 각 풍속당 0 m, 60 m, 120 m, 180 m를 적용하고 저질이 불량할 경우 각 풍속당 30 m, 90 m, 150 m, 180 m를 적용한다.

3.2 진해만 주요 위험성 검토

2장에서 분석한 바와 같이 진해만이 태풍 내습 시 비교적 안전한 피항지임에도 불구하고 높은 풍속에 의해서는 선박의 주묘가 다수 발생한다는 것을 알 수 있다. 따라서 우선 주묘를 예측할 수 있는 한계 풍속 등을 먼저 파악하여 한계 풍속 이상의 풍속이 예상될 경우에는 곧바로 엔진을 사용하여 충돌 등의 사고를 예방하도록 지침이 필요하다. 또한 주

묘가 발생했을 때에 어느 정도 조치를 취할 수 있는 시간을 벌어주기 위한 최소 안전이격거리의 설정이 필요하다.

Kang et al.(2021)은 진해만 태풍 피항지에서 묘박지 수심에 따른 선박 톤수별 주요 한계 풍속을 제시하였다. 본 장에서는 해당 연구의 주요 결과를 분석하여 진해만 피항지의 위험성을 검토하고자 한다.

3.2.1 Anchor와 Anchor chain의 파주력 개요

주요 위험성 판단은 외력의 총합, 외력에 따른 파주부의 길이, anchor 및 파주부 길이에 따른 체인의 파주력 총합 등을 계산하고, 외력과 파주력의 총합을 비교하여 판단한다.

Kang et al.(2021)은 바람에 의한 풍압력을 식(3) 이용하여 도출하였고 풍압계수는 Fujiwara et al.(1998)가 제안한 추정식을 이용하였다.

$$F_W = \frac{1}{2} p_a C_a A_T V_a^2 \times \frac{1}{1000} \quad (3)$$

여기서,

F_W : 풍압력(t·f), p_a : 공기밀도(kg·sec²/m⁴),

C_a : 정면 풍압계수, A_T : 정면 풍압면적(m²),

V_a : 풍속(m/s)

식(4)는 마찰력에 대한 계산이다(Ship resistance and propulsion, 2012; Kang et al., 2021).

$$F_C = \frac{1}{2} p_w C_f S V^2 \times \frac{1}{1000} \quad (4)$$

여기서,

F_C : 마찰저항(t·f), p_w : 해수밀도(kg·sec²/m⁴),

C_f : 마찰저항계수, S : 침수표면적(m²),

V : 유속(m/s)

여기에서 침수표면적(S)은 식(5)와 같이 계산된다(Ship resistance and propulsion, 2012).

$$S = (1.7d + C_b \cdot B)L \quad (5)$$

여기서,

d : 흘수(m), C_b : 방형비척계수,

B : 선폭(m), L : 수선간장(m)

외력에 대한 파주력은 anchor와 anchor chain 파주력의 합으로 계산하며 식(6)은 파주력의 계산식을 나타낸 것이다 (Kang et al., 2021).

$$P_T = P_a + P_c = w_a \lambda_a + w_c \lambda_c l \quad (6)$$

여기서,

P_T : anchor와 chain의 총 파주력(t-f),

P_a : anchor의 파주력(t-f), P_c : chain의 파주력(t-f),

w_a : anchor의 중량(t), λ_a : Anchor의 파주계수,

w_c : chain의 수중중량(t), λ_c : chain의 파주계수,

l : 해저에 깔린 체인의 길이(m)

3.2.2 진해만 피항지 주요 위험성 검토

진해만의 저질은 대부분 펄(mud)이며, 조류는 0.3~2.0 knots이다. 파고는 태풍 통과시 관측된 최대 값인 3 m를 적용하였다. 진해만 수심은 15~50 m이므로 평가에서는 수심 20 m, 30 m, 40 m, 50 m로 구분하여 수행하였다. Kang et al.(2021)은 대상선박으로 풍압면적이 큰 3,000톤급~9,000톤급 여객선형 4척이며 재래형 anchor(ASS type)와 고파주력 anchor(AC-14 type)을 적용하였다. 묘쇄는 통상적으로 적용하는 7~9 shackle을 신출하는 것으로 적용하였다. 저질에 따른 파주계수로 고파주력 anchor(AC-14 type)는 mud에서 10, 재래형 anchor(ASS type)는 4, chain의 경우에는 파주계수 1을 적용하였다.

Kang et al.(2021)의 결과에 따르면 각 수심 20 m, 30 m, 40 m, 50 m에 따른 주요 한계 풍속은 고파주력 anchor(AC-14형)가 설치된 선박이 재래형 anchor(ASS형)가 설치된 선박보다 더 높은 것으로 분석되었다. 수심 20 m인 경우, 주요 발생 한계 풍속은 44~61 knots, 수심 30 m인 경우에는 주요 발생 한계 풍속이 43~59 knots인 것으로 분석되었다. 다만, AC-14형 anchor 탑재 선박의 경우, 묘쇄를 7 Shackles 신출했을 때 파주부가 5 m 미만이 되고 anchor shank가 들리는 시점에 도달하여 재래형 anchor를 사용한 선박과 비슷한 결과가 나타나는 것으로 분석되었다. 수심 40 m의 경우, 주요 한계 풍속은 41~58 knots, 수심 50 m의 경우에는 한계 풍속이 37~52 knots로 나타났다. 깊은 수심(50 m)의 조건에서는 대상선박 모두 파주부가 5 m 미만이 되면서 조기에 주요가 발생하는 것으로 분석되었다. 파주력은 신출된 chain의 파주부가 작아지고 외력이 강해지므로 깊은 수심일수록 급격하게 감소하는 것으로 분석되었다. 따라서, 깊은 수심에서는 chain 신출량의 영향을 많이 받기 때문에 강한 외력에서는 chain을 최대한 신출하는 것이 유리하다.

4. 진해만 피항 이격거리 설정

정박 중인 선박에 발생하는 사고는 주요 뿐 아니라 주요 이후의 충돌 또는 좌초 등이 있다(Kim et al., 2018). 이에 본 장에서는 국내의 관련 기준에 따른 정박선의 이격거리와 실제 진해만 피항지 정박선간의 이격거리 분석결과를 비교하고, 이를 통하여 효율적이고 안전한 피항지 운영을 위한 선박별 적정 이격거리를 설정하고자 한다.

4.1 관련 지침에 따른 선박별 이격거리 분석

Table 6은 우리나라 항만 및 어항설계기준 등 3장에서 검토한 국내의 설계기준에 따른 선박규모별 투묘 면적(정박지의 직경)을 나타낸 것이다.

Table 6. Estimated Ship Anchoring Area (Diameter) by Ship's Tonnage according to Various Standards

Standard	(Unit : m)					
	~1K	1K~3K	3K~5K	5K~7K	7K~10K	10K~
L+6D	180	205	220	235	250	285
L+6D+30	210	235	250	265	280	315
L+5D+30	190	215	230	245	260	295
L+3D+90	210	235	250	265	280	315
L+4D+145	285	210	325	340	355	390
0.5L+60+9x27.5+L+20	418	455	478	500	523	575
0.5L+120+9x27.5+L+20	478	515	538	560	583	635
0.5L+180+9x27.5+L+20	538	575	598	620	643	695

L: Length Overall, D: Depth

선박 규모는 진해만 피항지를 이용하는 선박의 특성을 고려하여 1천톤(1K) 이하 선박에서 1만톤(10K) 초과 선박까지 6개의 분류로 구분하였다. 진해만 피항지 이용 현황 조사 당시 선박의 크기를 톤수로 구분하였으나, 국내의 설계 기준에서는 선박의 길이를 크기 분류 기준으로 사용하기 때문에 선박의 크기에 따른 정박지 반경에 대한 연구를 수행하기 위하여 6개의 그룹별로 대표 톤수를 설정하고 이를 다시 추정 LOA로 환산하였다. 톤수에서 길이의 환산은 Restrepo(2013)의 연구 결과를 활용하였다. 해당 연구는 최대 1만4천톤급 선박 약 1만척의 톤수 및 길이 데이터를 활용하여 회귀분석을 통해 톤수와 길이 사이의 상관관계를 식(7)로 나타내었으며, 해당 표본이 진해만 피항지를 주로 사용하는 1만톤 이하의 선박 중심으로 구성되어 있어 본 연구에 적용할 수 있을 것으로 판단하였다.

$$In(LOA) = (In(GT) + 5.062) \div 2.935 \quad (7)$$

국내의 항만 및 어항설계기준에서 제시하는 단묘박과 쌍묘박 중 일반적으로 사용하는 단묘박을 기준으로 저질이 좋을 때(L+6D)와 좋지 않을 때(L+6D+30)를 적용하였다. 선박 길이의 환산 데이터를 적용할 경우, 180~315m의 범위까지 나타나는 것으로 분석되었다.

PIANC에서 제시하는 정박지 설계 기준으로는 선박 길이와 수심의 5배의 합에 여유 수역 30m를 더한 값으로 선박 길이의 환산 데이터를 적용할 경우, 190~295m의 범위까지 나타나는 것으로 분석되었다.

일본의 설계기준에 따라서는 일반적인 상황에서 $L + 3D + 90m$, 황천 시에는 $L + 4D + 145m$ 를 적용할 수 있으며 선박 길이의 환산 데이터를 적용할 경우, 210~390m의 범위까지 나타나는 것으로 분석되었다.

스페인의 설계기준에서는 선박길이의 50%, 기상조건의 보정 값으로 각각 60m, 120m, 180m를 추가한 값, 체인 신출량은 9 shackle을 적용하고 여유 안전반경으로 20m를 추가하는 경우로 적용하였다. 선박 길이의 환산 데이터를 적용할 경우, 418~695m의 범위까지 나타나는 것으로 분석되었다.

4.2 AIS 위치정보 기반 선박 간 이격거리 분석

과거 진해만 피항지 이용 선박 간 이격거리 분석을 위하여 2019년 및 2020년 2개년간 진해만 일대 10개 태풍 내습 기간의 AIS 항적 정보를 이용하여 피항선박을 식별하였으며, 이를 이용하여 피항선박 전체, 선종별, 규모별 및 해역별 평균 이격거리를 분석하였다. Fig. 3은 피항선박 이격거리 측정방식을 그림으로 요약한 것이다.

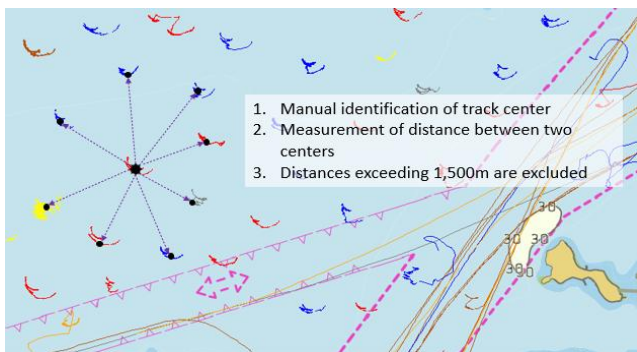


Fig. 3. Example of distance measurement between two ships.

태풍별 이격거리 측정에는 관제 기록상 마지막 피항선박의 투묘 완료 후 24시간 동안의 위치정보를 기준으로 실시하였다. 선박 간 이격거리는 전자해도상에 표시된 선박 항적의 중심 간 거리를 수동으로 측정하였으며, 수동 측정의 오차

를 줄이기 위하여 10m 이하 값은 반올림하였다. 또한 Table 6에서 제시한 최대 반경 700m를 참고하여 1,500m를 초과하는 이격거리는 측정 결과에서 제외하였다.

Table 7은 태풍별 전체 피항선박의 이격거리 분석결과를 나타낸다. 이 중 평균 이격거리는 조사기간 중 피항척수가 66척으로 가장 적은 태풍 크로사(KROSA)의 941.98m, 최댓값은 피항 척수가 236척으로 가장 많은 태풍 미탁(MITAG)의 780.20m로 분석되었다.

Table 7. Distances between Ships due to Typhoon Effects

Typhoon (2019 ~2020)	Min. (m)	Max. (m)	Aver. (m)	Standard Deviation
DANAS	310	1,470	854.88	242.57
FRANCISCO	270	1,470	847.51	262.57
KROSA	360	1,460	941.98	249.50
LINGLING	300	1,500	800.98	224.90
TAPAH	210	1,480	840.06	249.18
MITAG	160	1,480	780.20	253.74
JANGMI	270	1,470	869.82	265.93
BAVI	200	1,480	784.29	245.27
MAYSAK	180	1,480	816.27	259.07
HAISHEN	310	1,420	893.92	235.92

Table 8에서는 2019년~2020년 태풍 내습 시 피항선박의 이격거리를 100m 구간별로 구분하여 측정횟수를 분석하였다. 100m 구간의 이격거리를 가지는 선박은 식별되지 않았으며, 이격거리 700m 구간은 601회, 800m 구간은 595회, 900m 구간은 575회, 1,000m 구간은 493회 등의 순서로 분석되었다.

Table 8. Number of ships by average separation distance

Typhoon (2019~2020)	~ 500m	500~ 600m	600~ 700m	700~ 800m	800~ 900m	900~ 1000m	1000~ 1100m	1100~ 1200m	1300m ~
DANAS	6	19	38	71	59	57	59	38	71
FRANCISCO	12	25	43	70	57	60	48	39	80
KROSA	1	4	8	17	25	20	20	22	45
LINGLING	10	29	64	76	83	74	52	44	50
TAPAH	19	21	54	57	74	78	73	50	70
MITAG	29	39	65	95	98	73	66	33	66
JANGMI	8	11	24	45	38	36	35	27	60
BAVI	22	29	45	82	72	60	50	47	41
MAYSAK	16	24	37	57	54	56	43	37	49
HAISHEN	9	12	16	31	35	61	47	37	66
Total	132	213	394	601	595	575	493	374	598
Ratio[%]	3.32	5.36	9.91	15.12	14.97	14.47	12.40	9.41	15.04

AIS 위치정보 기반 과거 진해만 피항선박 간 이격거리 측정 결과를 분석한 결과, 이격거리의 상당수가 700 m~1,100 m 구간에 해당하는 것을 확인할 수 있었다. 이를 반영할 수 있는 국내·외 지침상 최소 투묘반경은 존재하지 않는 것으로 보이나, 국외지침 중 일본 황천시 투묘반경이 기상조건 등을 종합적으로 고려하는 동시에 유사한 수준의 선박간 이격거리를 요구하는 것으로 판단된다.

4.3 주요 속도에 따른 이격거리

3장에서 검토된 진해항 피항지 주요 위험성 검토의 결과에 따라서 선박이 정박하고 있을 때 한계풍속을 초과하게 되면 왜곡된 스윙 운동을 시작하고 주묘가 시작되며 풍속이 계속해서 증가할 경우 선박은 풍하측으로 일정한 속도를 보이며 표류하게 된다.

앞서 언급한 바와 같이 선박의 갑작스러운 주묘로 인한 사고를 예방하기 위해서는 주요 한계 풍속을 인지하고 강한 풍속이 예상되는 경우에는 기관 사용 등을 준비해야 한다. 그리고 환경 요건과 선박의 조종성 등을 고려하여 주변 선박, 구조물, 장애물 등과의 충분한 이격거리를 유지해야 한다.

4.3.1 표류 속도

Fig. 4는 일반적으로 적용하는 주요 후 풍하측 표류 속도를 나타낸 그래프이다(Inoue, 2011).

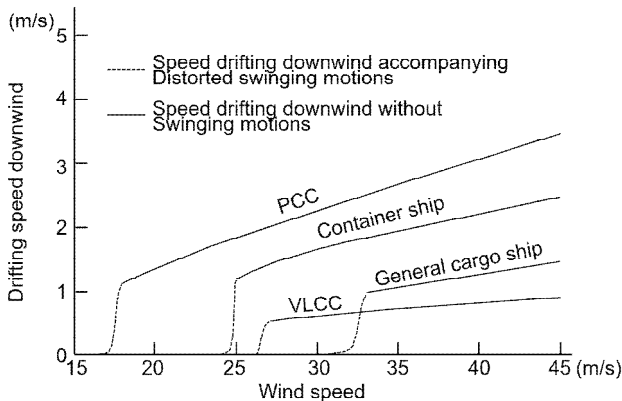


Fig. 4. Dragging Vessel's Drifting Speed downwind.

풍속 16~18 m/s 일 때 Swing 운동과 함께 주묘가 시작되어, 풍속이 강해짐에 따라 일정하게 표류한다. 풍압면적이 넓은 자동차운반선(PCC)의 경우 풍속이 20~25 m/s일 때 약 3 knots의 속력으로 표류가 예상된다. 컨테이너선의 경우 풍속이 25~30 m/s일 때 약 1.3 m/s의 속력으로 표류, 유조선(VLCC)의 경우에는 풍속이 25~30 m/s일 때 약 0.5 m/s의 속력

으로 표류, 일반화물선(General cargo ship)의 경우에는 30~35 m/s일 때 약 1.1 m/s의 속력으로 표류가 예상된다.

4.3.2 주요 사례에 따른 표류 형태

Jung et al.(2011)은 실제 선박이 주묘시에 어떠한 형태를 보이고 어느 정도 주묘가 발생하는지 실제 선박의 사례를 분석하였다. 해당 선박은 길이 약 100미터의 실습선이며 부산항과 감천항 사이 저질은 Mud이며 수심이 약 57m로 비교적 깊은 투묘지에 투묘를 한 선박의 주요 상황이다. 당시 상황을 살펴보면 풍속 22 m/s로 강한 바람이 불기 시작한 06:30 분경부터 주묘가 시작되었고, 07:40분경부터 풍속이 15 m/s 이하로 다소 약해졌음에도 주묘는 계속 되었다. 이는 파주계수가 1/5로 감소되기 때문에 파주력이 급격하게 감소한 것으로 판단된다.

외력이 작용하는 북쪽 방향으로 이동한 거리는 약 230 m 이고 선체가 좌우로 약 150 m 움직이며 이동하였다. 선박의 항적이 좌우로 이동할 때 주묘가 발생하였고 선수방위도 크게 변화하였음을 알 수 있다.

주묘는 강한 외력이 존재한 약 1시간 30분 동안 계속되었고 후방으로 약 230 m 이동하여 주묘 속도는 0.08 kts 임을 확인할 수 있었다.

4.3.3 주요에 따른 이격거리 산출

주묘로 인한 사고를 예방하기 위해서는 환경 요건과 선박의 조종성 등을 고려하여 주변 선박, 구조물, 장애물 등과의 충분한 이격거리를 유지해야 한다. 이에 대한 정량적 기준은 존재하지 않지만 선종, 선박의 규모, 신출된 체인량 및 선박 밀집도 등 선박과 환경의 특성에 따라서 필요한 최소한의 안전거리를 확보하여야 한다.

앞서 분석한 일반적인 표류 속도(1~3 knots)와 실제 주요 사례에서의 주묘 속도(0.1 knots)는 다소 차이가 있지만 단순한 이격거리 산출에는 도움이 될 것으로 생각이 된다.

마산항 VTS 및 예선업체 현장 인터뷰를 통해 식별한 진해만까지의 예선 긴급지원 소요시간인 30분을 고려할 경우, 주묘에 의한 표류 속도 1 knots 조건에서 0.5 miles (약 900 m) 정도의 여유를 확보하는 것이 적절한 것으로 판단된다.

4.4 소결론

태풍 내습 시 진해만에 집중되는 피항 선박의 안전성을 확보하기 위해서는 선박 간 적정 이격거리 설정이 매우 중요하다. 이격거리의 적정성을 고려하기 위해서 ① 국내의 설계기준에 따른 이격거리 분석, ② 실제 진해만 피항지 이용 선박 간 AIS 항적정보 분석, ③ 주묘에 따른 일반적인 표류 속도 분석 그리고 ④ 실제 사례를 통한 주묘 속도 분석 등을

수행하였다.

일반적인 상황이 아닌 황천 시에 정박지 설계기준을 제시하고 있는 일본과 스페인의 설계기준을 분석한 결과, 일본의 사례에서는 210~390 m, 스페인의 사례에서는 418~695 m의 수역이 필요한 것으로 분석되었다. 설계기준은 일반적으로 최소 기준을 제시한 것이므로 최소 210~695 m 이상의 이격거리는 반드시 확보되어야 할 것으로 판단된다.

실제 진해만 피항지 이용 선박의 AIS 항적 정보를 바탕으로 이격거리를 분석한 결과, 최소 160 m에서 최대 1,500 m, 평균 800 m 전후의 큰 이격거리의 차이를 보였으나 전체 선박의 50% 이상이 700~1,100 m 구간에 있는 것으로 분석되어 선박 자체적으로 안전 이격거리를 700~1,100 m 정도로 정하고 있음을 알 수 있다.

주요시에 표류 속도를 고려한 이격거리의 경우, 일반적으로 적용하는 주요 후 풍하측 표류 속력은 1~3 kts이며, 실제 주요 사례에 대한 case study 분석 결과 주요 속도는 0.1 kts로 일반적인 표류 속도와는 다소 차이가 있다. 하지만, 표류로부터 약 30분 정도의 여유 시간을 고려할 경우에는 1 kts의 속도를 기준으로 0.5 miles (약 900 m) 정도의 여유를 확보하는 것이 적절한 것으로 판단된다.

이를 종합하면, 최소 이격거리를 제시한 설계기준과 실제 피항지 이용선박이 설정하고 있는 약 400~700 m와 표류 시 비상조치를 취할 수 있는 여유거리를 반영한 약 900 m, 즉 400~900 m의 안전 이격거리 설정이 필요하며 공간상의 여유가 있다면 700~900 m 정도의 이격거리 설정이 필요할 것으로 판단된다.

5. 결론

우리나라의 주요 태풍 피항지로 사용되고 있는 진해만은 태풍 내습 시 피항 선박이 폭주하고 강한 바람 등의 영향으로 주요 등으로 충돌, 좌초 등과 같은 해양사고 개연성이 매우 높은 해역이다. 본 연구에서는 우리나라 해역 특성에 따라 진해만 피항지에 적용할 수 있는 태풍 내습 시 선박 간 안전이격거리 설정을 위한 연구를 수행하였다. 2019년~2020년 진해만에 영향을 미친 10개 태풍 내습 시 총 1,728척의 선박이 피항한 것으로 분석되었고 주로 1,000~10,000톤 규모의 선박이 피항하는 것으로 분석되었다. 이 중 최대 풍속이 25 m/s를 초과하거나 근접한 태풍에서 전체 선박의 약 70% 이상이 주요가 된 것으로 분석되었다. 또한, 선행연구에 따른 주요 한계 풍속을 고려해 보았을 때 20 m/s 이상의 강한 외력에서는 주요 발생 확률이 높아지므로 피항지에서 선박 간 이격거리에 주요 상황을 고려해야 하는 것으로 분석되었다.

이와 같은 현황 분석 결과를 바탕으로 선박 간 적정 이격거리 설정을 위한 고려사항으로, ① 국내의 설계기준에 따른 이격거리 분석, ② 실제 진해만 피항지 이용 선박 간 AIS 항적정보 분석, ③ 주요에 따른 일반적인 표류 속도 분석 그리고 ④ 실제 사례를 통한 주요 속도 분석 등을 종합하였다. 황천 시 묘박지 설계기준으로 제시된 사례에서는 최소 210 m에서 최대 695 m의 수역이 필요한 것으로 분석되었다. 실제 태풍 피항 시 선박의 AIS 항적 정보를 바탕으로 분석한 결과, 전체 선박의 50% 이상이 700~1,100 m 구간에 있는 것으로 분석되었다. 또한, 주요 시에 표류 속도를 고려한 이격거리는 일반적인 상황과 실제 사례가 약간 상이하게 나타나, 비상조치 시간 등을 고려할 때 0.5 miles (약 900 m) 이상의 이격거리가 필요한 것으로 분석되었다. 따라서, 진해만 태풍 피항지에서 정박 이격거리는 약 400~900 m의 정도로 설정이 필요할 것으로 판단되며 공간상의 여유가 있다면 700~900 m 정도의 이격거리 설정이 필요할 것으로 도출되었다.

진해만 태풍 피항지는 마산항, 울산항, 부산 신항 등 인근 항만 이용 선박 뿐 아니라 인근 해역을 이용하는 선박이 비상시에 활용하는 중요한 피항지임에도 불구하고 정확한 피항 해역 범위, 피항 선박 간 최소 이격거리 등 피항지 운영과 관련한 세부 지침이 부재한 상태에서 운영이 되고 있다. 이에 본 연구에서는 진해만 정박지의 효율적이고 안전한 운영을 위한 기초 연구로써 과거 2년간 진해만 정박지 이용 현황을 분석하고 이를 기존 유사 규정과 비교하였다. 다만, 국내·외 규정의 경우 대부분 항만 시설 설계를 위한 규정인 관계로 본 연구의 목적인 피항지 안전 운영에 적용하기에는 한계가 있었다. 본 연구의 결과를 활용하여 향후 진해만 피항지를 이용하는 선박 간 이격거리 설정과 관련한 지침을 수립하고 피항지 운영 및 안전관리방안 등에 대한 지속적인 연구를 통해 해양사고 예방 및 안전한 피항지 운영이 될 수 있도록 노력하여야 할 것이다.

사 사

본 논문은 “남해지방해양경찰청 진해만 태풍 피항지 안전관리 연구용역”의 일환으로 수행되었습니다.

References

- [1] Kang, B. S., C. H. Jung, Y. S. Park, and G. Y. Kong(2021), Minimum Wind Speed of Dragging Anchor for Ships in Jinhae Bay Typhoon Refuge, Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety, Vol. 27, No. 4, pp.

- 474-482.
- [2] Jung, C. H., Y. S. Lee, J. S. Kim, and G. Y. Kong(2011), A Study on the Holding Power Coefficient of AC-14 type and ASS type Anchor in Actual Ships, *Journal of Navigation and Port Research*, Vol. 35, No. 8, pp. 613-618.
- [3] Fujiwara, T., M. Ueno, and T. Nimura(1998), The Estimation of Wind Force and Moments Acting on Ships, *The Society of Naval Architecture of Japan*, No. 183, pp. 77-90.
- [4] Gyeongnam(2018), *Gyeongsangnam-do Port Facility Operation Rules*, pp. 12-14.
- [5] Hongli Ge, Zhenlu Wang, Bingchen Liang, Zhaozi Zhang, Zhiduo Yan and Ziwang Li(2021), A Systematic Study on Berthing Capacity Assessment of Sanya Yazhou Fishing Port by Typhoon Prediction Model, *Journal of Marine Science and Engineering*, 9, 1380, pp. 1-14.
- [6] IACS(2017), *International Association of Classification Societies, Classification Technical Rules - Anchoring equipment*, A1.1.4.
- [7] Park, J. M.(2016), A Study on the Design Criteria of Anchorage Volume Considering the Safety in a Anchoring Ship, *Graduate School of Korea Maritime and Ocean University Ph.D thesis*.
- [8] Kim, J. S., J. M. Park, and C. H. Jung(2018), The Development of the Anchor Dragging Risk Assessment Program, *Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety*, Vol. 24, No. 6, pp. 646-653.
- [9] Lee, J. S., Y. M. Kwon, and J. S. Choi(2021), Basic Research for the Development of Collision Risk Model of Passing Vessels at an Anchorage (Safety Domain), *Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety*, Vol. 27, No. 1, pp. 67-73.
- [10] Japan Coast Guard(2020), *Final Report for Experts Meeting on Prevention for Accidents Caused by Dragging Anchor in Rough Weather*, Japan.
- [11] Inoue, K.(2011), *Theory and Practice of Ship Handling (Japanese Verstion)*, Seizando-Shoten Publishing, pp. 223-225.
- [12] KMA(2020), *Korea Meteorological Administration, Typhoon impact analysis report on the Korean peninsula 2020*, pp. 8-9.
- [13] Park, M. J., S. H. Ji, and U. H. Kim(2012), VTS Measures to reduce Typhoon Evacuation and Accidents in Jinhae Bay, *Proceedings of the Korean Institute of Navigation and Port Research Conference*, pp. 591-593.
- [14] Masan Regional Office of Oceans and Fisheries(2022), *Rules for Safety of navigation in waters near Jinhae Bay and Geoje*, attached table, p. 1-5.
- [15] Masan Regional Office of Oceans and Fisheries(2021), *Masan Port Facility Operation Rules*, attached table, p. 1.
- [16] Masan VTS(2021), *Internal Report for Jinhae Bay Shelter in 2020*.
- [17] Masan VTS(2020), *Analysis of the Emergency Control Operation in Response to Typhoons*, pp. 1-39.
- [18] Ministry of Public Works and Transport(2007), *Design of the maritime configuration of ports, approach channels and harbour basins*, Spain.
- [19] MOF(2017), *Ministry of Oceans and Fisheries, Port and fishing port design standards and commentary 2017*, Ch.4.2, pp. 12-14.
- [20] Kim, N. E., M. K. Lee, G. Camliyurt, D. H. Park, D. W. Kim, and Y. S. Park(2022), A Study on the Safety Measures for Typhoon Shelter in Jinhae Bay Based on AHP Assessment, *Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety*, Vol. 28, No. 4, pp. 507-514.
- [21] PIANC(2014), *Permanent International Association of Navigation Congress, Harbour approach channels design guidelines*, Bruxelles: PIANC MARCOM.
- [22] *Ship resistance and propulsion*(2012), p. 72.
- [23] Choi, T. J., J. N. Kwon, J. H. Lim, and S. M. Kim(2014), Temporal and Spatial Variability of Nutrients Variation in Bottom Layer of Jinhae Bay, *Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety*, Vol. 20, No. 6, pp. 627-639.
- [24] Restrepo, V.(2013), *Relationship between Gross Tonnage and Overall Length for vessels on the ICCAT Record: Implications for Unique Vessel Identifiers*, ISSF Technical Report 2013-08, pp. 1-6.

Received : 2023. 05. 19.

Revised : 2023. 06. 12.

Accepted : 2023. 06. 27.