Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety
Research Paper
Vol. 27, No. 4, pp. 474-482, June 30, 2021, ISSN 1229-3431(Print) / ISSN 2287-3341(Online) https://doi.org/10.7837/kosomes.2021.27.4.474

진해만 태풍 피항 선박의 주묘 한계 풍속에 관한 연구

강병선* · 정창현**† · 박영수*** · 공길영***
* 목포해양대학교 대학원 석사과정, ** 목포해양대학교 교수, *** 한국해양대학교 교수

Minimum Wind Speed of Dragging Anchor for Ships in Jinhae Bay Typhoon Refuge

Byung-Sun Kang* · Chang-Hyun Jung**† · Young-Soo Park*** · Gil-Young Kong***
* Master's course, Graduate School of Mokpo National Maritime University
** Professor, Mokpo National Maritime University
*** Professor, Korea Maritime and Ocean University

요 약 : 우리나라는 지리적 위치와 편서풍의 영향을 받아 필리핀이나 대만 근처에서 전향한 태풍이 매년 평균 2~3개 통과한다. 진해만은 우리나라의 대표적인 태풍 피항지로 알려져 있으며, 태풍 내습 시 피항 선박들로 가득차고 나중에는 주변 항로까지 묘박한 선박들로 포화상태에 이르게 된다. 이로 인하여 묘박중인 선박이 강풍으로 주묘가 발생될 경우에는 선박 간 이격거리가 짧아 충돌사고가 발생될 수 있으므로 진해만의 체계적인 묘박 안전관리가 필요한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 진해만 묘박지 수심에 따른 선박 톤수별 주묘 한계 풍속을 제시하였다. 수심 20 m에서는 묘쇄를 7~9 Shackles 신출하였을 때 주묘 발생 한계 풍속은 48~63 knots, 수심 35 m에서는 46~61 knots, 수심 50 m에서는 39~54 knots로 평가되었다. 수심이 증가하면서 외력에 의해 파주부가 5 m 미만이 되는 상황이 발생하면서 주묘가 발생하는 한계 풍속은 4~8 knots로 큰 차이를 보였다. 또한 고파주력 앵커(AC-14형)가 설치된 선박이 재래형 앵커(ASS형)가 설치된 선박보다 주묘 한계 풍속이 더 크게 평가되었지만, 수심이 50 m로 깊은 곳에서는 고파주력 앵커를 사용하더라도 주묘가 쉽게 발생될 수 있는 것으로 확인되었다.

핵심용어 : 태풍, 진해만, 묘박, 충돌사고, 안전관리, 주묘 한계 풍속

Abstract : *An average of two to three typhoons that occur in the Philippines or Taiwan pass through Korea each year owing to the influence of the geographical location and western winds. Because Jinhae Bay is known as Korea's representative typhoon refuge, it is filled with ships during typhoons and later becomes saturated with ships anchored to the surrounding routes. If a strong wind drags an anchored ship, a collision accident may occur because of the short distance between the ships. Therefore, a systematic anchoring safety management of Jinhae Bay is required. In this study, the minimum wind speeds of a dragging anchor based on the water depths of Jinhae Bay anchorages were investigated. When 7–9 shackles were given, the minimum wind speeds were 48–63, 46–61, and 39–54 knots at depths of 20, 35, and 50 m, respectively. As the water depth increased, the length of the cable laid on the sea bed became shorter than 5 m owing to the external force, and the minimum wind speed showed a significant difference of 4–8 knots. In addition, ships with high holding power anchors (AC-14 type) had higher minimum wind speeds than ships with conventional anchors (ASS type). Finally, it was confirmed that at a depth of 50 m, dragging easily occurred even when a high holding power anchor was applied.*

Key Words : *Typhoons, Jinhae Bay, Ships anchored, Collision accident, Safety management, Minimum wind speed*

* First Author : kbs109011@komsa.or.kr, 061-555-4028
† Corresponding Author : hyon@mmu.ac.kr, 061-240-7182

1. 서 론

우리나라는 지리적 위치와 편서풍의 영향을 받아 필리핀이나 대만 근처에서 전향한 태풍이 매년 평균 2~3개 정도 통과한다. 2020년도에는 태풍 장미, 바비, 마이삭, 하이선 등 총 4개의 태풍이 우리나라를 관통하였고, 그 중 제9호 태풍 마이삭은 중심기압 957 hPa, 최대풍속 45 m/s의 세력으로 1904년 기상관측 이래로 중심기압으로는 3위 그리고 최대풍속으로는 4위에 달하는 역대급 태풍으로 국내에 큰 피해를 가져왔다(KMA, 2020).

The Swedish Club(2019)은 45,000 DWT 탱커선이 접근하는 태풍에 대응하기 위해 9샤클의 묘쇄 신출과 엔진의 사용 및 선수방위를 유지하기 위한 선수 쓰러스터(bow thruster)의 사용을 시도하였으나 실패하여 주묘 후 좌초되는 사건을 소개하였다. 풍속이 강해지면서 선박은 풍압에 밀려 횡방향으로 놓이면서 주묘가 진행되고, 선수 쓰러스터를 사용해도 선수가 풍상측을 향하도록 조선이 어렵다는 사실을 인지하고 양묘를 시도하였으나 결국 실패하였다. 양묘기의 설계하중은 잔잔한 해상에서 앵커와 체인 3샤클(82.5 m)의 무게를 합한 무게를 들어 올릴 수 있는 조건과 유속 2.5 m/s와 풍속 25 m/s의 외력을 이겨낼 수 있는 조건으로 설계된 것이나, 그 당시에는 풍속이 45 m/s로 거의 2배에 달하는 외력이 가해졌기 때문에 양묘가 불가능 했던 것으로 분석되었다.

진해만은 우리나라의 대표적 태풍 피항지로 알려져 있으며, 2020년 태풍 피항 선박은 장미 169척, 바비 184척, 마이삭 166척, 하이선 151척으로 많은 선박이 태풍 피항을 위해 진해만을 이용하였다(Masan VTS, 2020).

이와 같이 진해만은 태풍 내습 시 피항 선박들로 가득차고 나중에는 주변 항로까지 점령하여 투묘함으로써 진해만 인근은 묘박한 선박들로 포화상태에 이르게 된다. 이로 인하여 묘박중인 선박이 강풍으로 주묘가 발생될 경우에는 선박 간 이격거리가 짧아 충돌사고가 발생될 수 있고, 나아가 해양오염사고로 이어질 수 있으므로 진해만의 체계적인 묘박 안전관리가 필요한 실정이다.

Jung and Kong(2009a; 2009b)은 A호의 묘박 지침 개발에 관한 연구에서 외력과 파주력을 수치적으로 계산하여 외력의 크기에 따른 주묘 시점을 제시하였으며, 실선계측을 통한 묘박중인 선박의 풍압력 적용에 관한 연구에서는 스윙현상이 발생할 경우에는 정면풍압면적의 2배 적용을 주묘 사례를 통해 확인하였다. 또한 Jung et al.(2011)은 주묘 사례를 통한 AC-14형과 ASS형 앵커의 파주계수 비교에 관한 연구에서 두 형태의 앵커를 장착한 실선의 주묘 사례를 통해 해저저질에 따른 파주계수를 확인하였다.

그리고 Kim et al.(2018)는 선박의 항해사나 VTS 관제사가 정박 중인 선박의 주묘로 인한 해양사고를 사전에 예방할 수 있도록 현장의 외력 환경을 고려하여 주묘 위험성을 손쉽게 판단할 수 있는 주묘 위험성 판단 프로그램을 개발하였으며, 실제로 주묘가 발생된 3척의 사례를 통하여 프로그램의 신뢰성을 검증하였다.

하지만 이와 같은 기존 연구에서는 주묘 사례를 바탕으로 파주력과 외력을 상호비교 분석하여 이론식의 적용 신뢰성을 향상시키는데 중점을 두고 있다.

따라서 본 연구에서는 태풍 내습 시 피항 선박들로 포화상태에 이르고 선박 간 이격거리가 짧아 묘박중인 선박이 주묘가 발생될 경우 엄청난 피해와 혼란이 발생할 것으로 예상되는 진해만을 대상으로 선박의 주묘에 가장 큰 영향을 주는 수심에 따른 파주력을 계산함으로써 진해만에서의 수심별 및 선박 톤수별 주묘 한계 풍속을 제시하고자 한다.

2. 진해만 태풍 피항 현황

2.1 진해만 정박지 현황

마산항 항만시설 운영세칙 및 경상남도 항만시설 운영세칙에 따른 진해만 인근 정박지 현황은 Table 1~Table 3과 같고(Masan Regional Office of Oceans and Fisheries, 2021; Gyeongnam, 2018), 진해만 인근의 해도정보는 Fig. 1과 같다. 태풍 피항 시에는 다수의 선박들이 마산항(A), 진해항(B), 고현항(F) 정박지와 진해만 피항지 C, D, E 구역을 포화상태로 이용하고 있다. Fig. 2는 2019년 제 13호 태풍 링링 내습 시 진해만 인근의 정박된 선박 현황을 보여주고 있다(Masan VTS, 2020).

Table 1. Anchorage of Masan port

Name	Position	Depth (m)	Turning Radius (m)	Capacity (GT)
A-2	N 35° 11' 35" E 128° 34' 56"	6.5	250	< 7,000
A-4	N 35° 11' 18" E 128° 34' 56"	6.8	250	
A-6	N 35° 10' 57" E 128° 34' 57"	7.8	250	
A-7	N 35° 09' 30" E 128° 36' 09"	11.9	300	≥ 7,000

Table 2. Anchorage of Jinhae port

Name	Position	Depth (m)	Turning Radius (m)	Capacity (GT)
J-1	N 35° 07' 36" E 128° 41' 12"	7.9	335	≤ 10,000
J-3	N 35° 07' 10" E 128° 41' 15"	8.0	335	

Table 3. Anchorage of Gohyeon port

Name	Position	Depth (m)	Capacity (GT)
Sector1	Inside Joined line N 34° 54' 37" E 128° 36' 21" N 34° 54' 50" E 128° 36' 33"	10.0	≤ 5,000
Sector2	Joined Area below 5 Points N 34° 55' 09" E 128° 36' 32" N 34° 55' 29" E 128° 36' 13" N 34° 54' 49" E 128° 35' 18" N 34° 54' 37" E 128° 36' 21" N 34° 54' 50" E 128° 36' 33"	13.0	≤ 30,000
Sector3	Joined Area below 5 Points N 34° 56' 37" E 128° 35' 17" N 34° 54' 54" E 128° 33' 50" N 34° 54' 25" E 128° 34' 14" N 34° 55' 29" E 128° 36' 13" N 34° 54' 49" E 128° 35' 18"	16.0	≤ 30,000

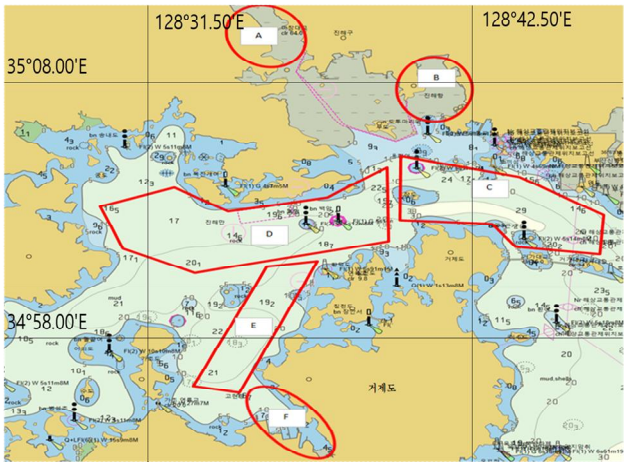


Fig. 1. Chart overview near Jinhae Bay.

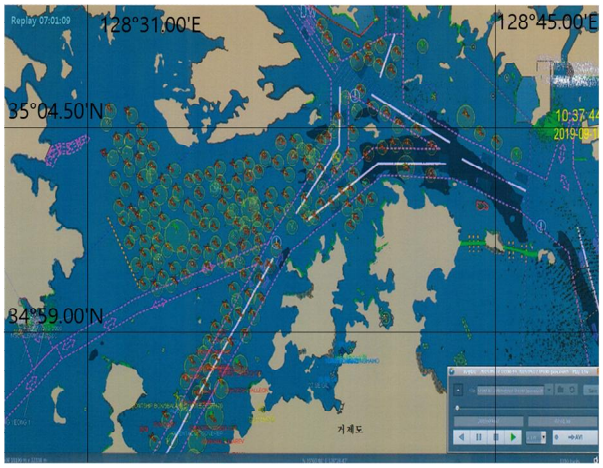


Fig. 2. Ships anchored to avoiding Typhoon in Jinhae Bay.

2.2 진해만 태풍피항 척수

2020년 우리나라를 통과한 4개의 태풍 내습 시 진해만으로 피항한 선박 척수는 Table 4와 같다. 진해만 정박지(A, B, F)로 피항한 선박은 117척(마이삭), 87척(하이선), 82척(바비), 69척(장미)으로 태풍 마이삭 통과 시 가장 많았으며, 진해만 피항지(C, D, E)로 피항한 선박은 184척(바비), 169척(장미), 166(마이삭), 151척(하이선)으로 태풍 바비 통과 시 가장 많았다(Masan VTS, 2020).

진해만 피항지(C, D, E)로 피항한 선박을 총톤수(Gross tonnage)로 분류하면 Fig. 3과 같다. 총 670척 중 총톤수가 1,000 ~ 3,000톤인 선박이 261척, 총톤수가 1,000톤 미만인 선박이 135척, 총톤수가 3,000 ~ 5,000톤인 선박이 127척, 총톤수가 5,000 ~ 7,000톤인 선박이 65척, 총톤수가 7,000 ~ 10,000톤인 선박이 24척, 총톤수가 10,000톤 이상인 선박이 5척으로 총톤수가 1,000 ~ 3,000톤인 선박이 가장 많이 진해만 피항지를 이용하였다.

Table 4. Number of vessels anchored at Jinhae bay in 2020

Typhoon	Area (A, B, F)	Area (C, D, E)	total
Jangmi	69	169	238
Bavi	82	184	266
Maysak	117	166	283
Haishen	87	151	238
total	355	670	1,025

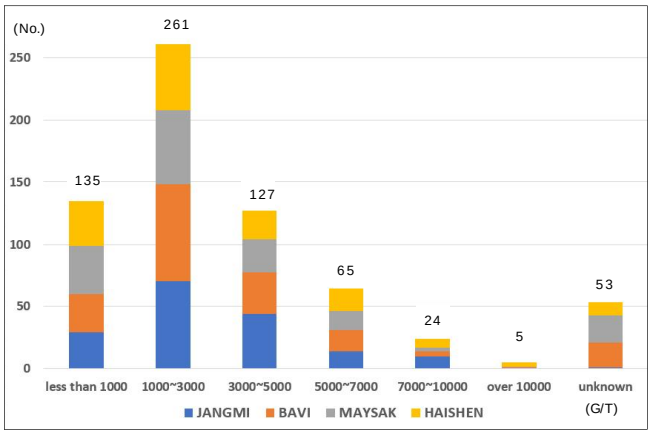


Fig. 3. Gross Tonnage of Ships avoiding Typhoon in Jinhae bay.

2.3 진해만 주요 사고 사례

2020년 9월 3일 새벽 1시경 태풍 마이삭 접근으로 진해만에 피항 중이던 RISUN호가 태풍의 영향으로 Fig. 4와 같이 주묘가 발생하였으며, RISUN호는 엔진이 작동하지 않아 인근 해안에 좌초한 사고가 발생하였다. 당시 풍속은 30 ~ 35 m/s,

파고 2 m로 태풍 마이삭이 해당지역을 최근접하여 통과한 시점으로 진해만 전체 피항선박 166척 중 122척(67 %)도 동시다발적으로 조금씩 주묘가 발생한 것으로 확인되었다(Masan VTS, 2020).

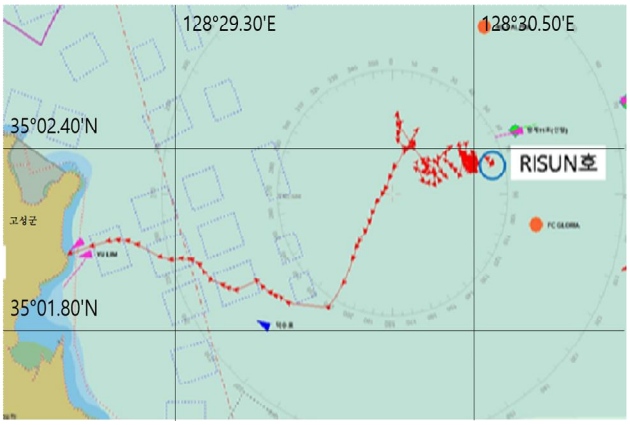


Fig. 4. Dragging track of RISUN.

3. 주묘 위험성 평가

3.1 외력요소

묘박 중인 선박에 작용하는 외력으로는 바람에 의한 수면 상부에 작용하는 풍압력(F_W), 수면하 선체 표면에 작용하는 유체의 마찰력(F_C) 그리고 파도의 충격에 의한 표류력(F_D)의 총합으로 계산된다(Kim et al., 2018).

1) 풍압력

바람에 의한 풍압력(F_W; Force by wind)은 식(1)을 이용하여 산출하였으며, 정면 풍압계수는 Fujiwara et al.(1998)가 제안한 추정식을 이용하였다.

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

여기서, F_W: 풍압력(t·f), ρ_a: 공기밀도(kg·sec^2/m^4),
C_a: 정면 풍압계수, A_T: 정면 풍압면적(m^2),
V_a: 풍속(m/s)

2) 마찰력

마찰력의 계산은 식(2)와 같고, 마찰저항계수는 Reynold number에 따른 Schoenherr 곡선 및 ITTC 1957 모형선-실선 상관곡선을 이용하였다(Ship resistance and propulsion, 2012).

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

여기서, F_C: 마찰저항(t·f), ρ_w: 해수밀도(kg·sec^2/m^4),
C_f: 마찰저항계수, S: 침수표면적(m^2),
h_c: 유속(m/s)

그리고 침수표면적(S)은 식(3)과 같이 계산되어 식(2)에 적용된다.

$$S = (1.7d + C_b \cdot B)L \quad (3)$$

여기서, d: 흘수(m), C_b: 방형비척계수,
B: 선폭(m), L: 수선간장(m)

3) 표류력

파랑에 의해 발생하는 표류력은 규칙성분과 불규칙 성분으로 나눌 수 있으며, Hirano(1995)에 의하면 규칙성분인 정상표류력은 상대파향과 파장/선장비(λ/L)로 결정되는 표류계수와 파 진폭을 변수로 식(4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$F_D = \frac{1}{2}\rho_w C_w g L h_c^2 \times \frac{1}{1000} \quad (4)$$

여기서, F_D: 표류력(t·f), ρ_w: 해수밀도(kg·sec^2/m^4),
C_w: 표류계수, g: 중력가속도(m/sec^2),
L: 선체길이(m), h_c: 파 진폭(m)

3.2 파주력

묘박 중인 선박에 작용하는 외력에 대응하는 파주력은 앵커와 앵커체인의 파주력의 합으로 계산된다.

1) 파주력

파주력의 계산은 식(5)와 같고, 앵커 및 앵커체인의 파주력 계수는 Table 5와 같다.

$$P_T = P_a + P_c = w_a\lambda_a + w_c\lambda_c l \quad (5)$$

여기서, P_T: 앵커와 체인의 총 파주력(t·f),
P_a: 앵커의 파주력(t·f), P_c: 체인의 파주력(t·f),
λ_a: 앵커의 파주계수, λ_c: 체인의 파주계수,
w_a: 앵커의 중량(t), w_c: 체인의 수중중량(t),
l: 해저에 깔린 체인의 길이(m)

Table 5. Holding power coefficient with seabed

	mud	sand	gravel	rock	dragging
λ_a(AC-14)	10	8	8	2.5	2
λ_a(JIS)	4	3.5	3	2	1.5
λ_c	1	1	0.8	0.8	0.5

2) 현수부 및 파주부 길이

현수부의 길이 계산은 식(6)와 같고, 파주부의 길이 계산은 식(7)과 같다.

$$S = \sqrt{h\left(h + \frac{2H}{w_c}\right)} \tag{6}$$

여기서, h: 묘쇄공에서 해저까지의 높이(m),
w_c: 1m에 해당되는 체인의 수중무게(t),
H: 외력에 의해 체인에 작용하는 장력(t·f)

$$l = F - S \tag{7}$$

여기서, F: 체인의 총 신출길이(m),
S: 현수부의 길이(m)

3.3 주묘위험성 평가

주묘 위험성을 판단하기 위한 계산 과정은 Fig. 5와 같다. 우선 외력의 총합을 계산한다(total external forces). 그리고 외력에 따른 파주부의 길이를 계산하고(holding part), 앵커 및 파주부 길이에 따른 체인의 파주력 총합을 계산한다(total holding power). 마지막으로 외력과 파주력의 총합을 상호 비교한다.

주묘 위험성이 있다고 판단되는 경우는 외력의 합이 파주력의 합보다 큰 경우 그리고(또는) 앵커 체인의 파주부 길이가 5미터 미만인 경우이다. 파주부의 길이가 5미터 미만인 경우에는 악천후로 인한 선체의 상하운동으로 현수부에 해당되는 체인이 흔들리면서 앵커의 파주력에 영향을 줌으로써 파주력이 급격히 감소될 수 있기 때문이다(Jung et al., 2009).

진해만 태풍 피항지 C, D, E 구역의 저질은 펄(mud)이며, 조류는 0.3 ~ 2.0 knots로 확인되었다. 주묘위험성 평가에서는 유속은 최대값 2 knots를 적용하고, 파고는 태풍 마이삭 통과 시 잠도 파고 부이에서 관측된 최대값 3 m를 적용하였다. 또한 진해만 피항지의 수심은 Table 6에서와 같이 15 ~ 50 m이므로 주묘 위험성 평가는 수심 20 m, 35 m, 50 m로 구분하여 평가하였다.

주묘 위험성 평가 대상선박은 Fig. 3에서와 같이 진해만 피항지를 이용하는 총톤수 3천톤급 ~ 9천톤급에 해당되는 풍압면적이 큰 여객선형의 선박 4척을 대상으로 하였으며, 대상선박의 주요 제원은 Table 7과 같다. A와 B선박은 재래형 앵커(ASS type)가 설치되었고, C와 D선박은 고파주력 앵커(AC-14 type)가 설치된 선박이다.

External forces	wind force (A)	formula (1)
	frictional force (B)	formula (2)
	drift force (C)	formula (3)
	total external forces (A+B+C)	
⬇		
Statement of anchor chain	catenary part (S)	formula (6)
	holding part (l)	formula (7)
⬇		
Holding power	anchor (D)	formula (5)
	chain (E)	
	total holding power (D+E)	
⬇		
Judgment of dragging anchor	compare 'total external forces (A+B+C)' with 'total holding power (D+E)'	
	residuary holding part of anchor chain	

Fig. 5. Procedure of calculation.

Table 6. Anchorage of Jinhae bay

Name	Depth (m)	Seabed
C	20~50	mud
D	15~20	
E	20	

Table 7. General particulars of target vessels

item	Vessel A	Vessel B	Vessel C	Vessel D
Gross tonnage (t)	3,644	4,700	6,686	9,196
LBP (m)	93	94	104	120
Breadth (m)	14.5	15.6	17.8	19.4
Draft (m)	9.5	9.9	10.9	11.05
Cb	0.598	0.5651	0.5522	0.5929
Height from hawse pipe to bottom (m)	10.7	9.7	9.9	11.1
Anchor weight (t)	2.85	2.85	2.475	3.0375
Anchor chain wight per 1m (t)	0.0386	0.0386	0.046	0.0548
Anchor type	ASS	ASS	AC-14	AC-14
Transverse projected area (m^2)	160	192	245	300

4. 주묘 위험성 분석

4.1 수심별 주묘 위험성 분석

1) 정박지 수심 20 m

정박지 수심 20 m에서의 대상선박 4척에 대한 주묘 위험성 평가 결과는 Fig. 6과 같다. 대상 선박 A는 묘쇄를 각각 7, 8, 9 Shackle 신출하였을 때 풍속이 53, 54, 56 knots에서 외력이 파주력을 초과하기 시작하였고, 대상 선박 B는 묘쇄를 각각 7, 8, 9 Shackle 신출하였을 때 풍속이 48, 50, 51 knots에서 외력이 파주력을 초과하기 시작하였다.

그리고 대상 선박 C는 묘쇄를 각각 7, 8, 9 Shackle 신출하였을 때 풍속이 61, 62, 63 knots에서 외력이 파주력을 초과하기 시작하였고, 대상 선박 D는 묘쇄를 각각 7, 8, 9 Shackle 신출하였을 때 풍속이 61, 62, 63 knots에서 외력이 파주력을 초과하기 시작하였다.

2) 정박지 수심 35 m

정박지 수심 35 m에서의 주묘 위험성 결과는 Fig. 7과 같다. 대상 선박 A는 묘쇄를 각각 7, 8, 9 Shackle 신출하였을 때 풍속이 50, 52, 54 knots에서 외력이 파주력을 초과하기 시작하였고, 대상 선박 B는 묘쇄를 각각 7, 8, 9 Shackle 신출하였을 때 풍속이 46, 48, 49 knots에서 외력이 파주력을 초과하기 시작하였다.

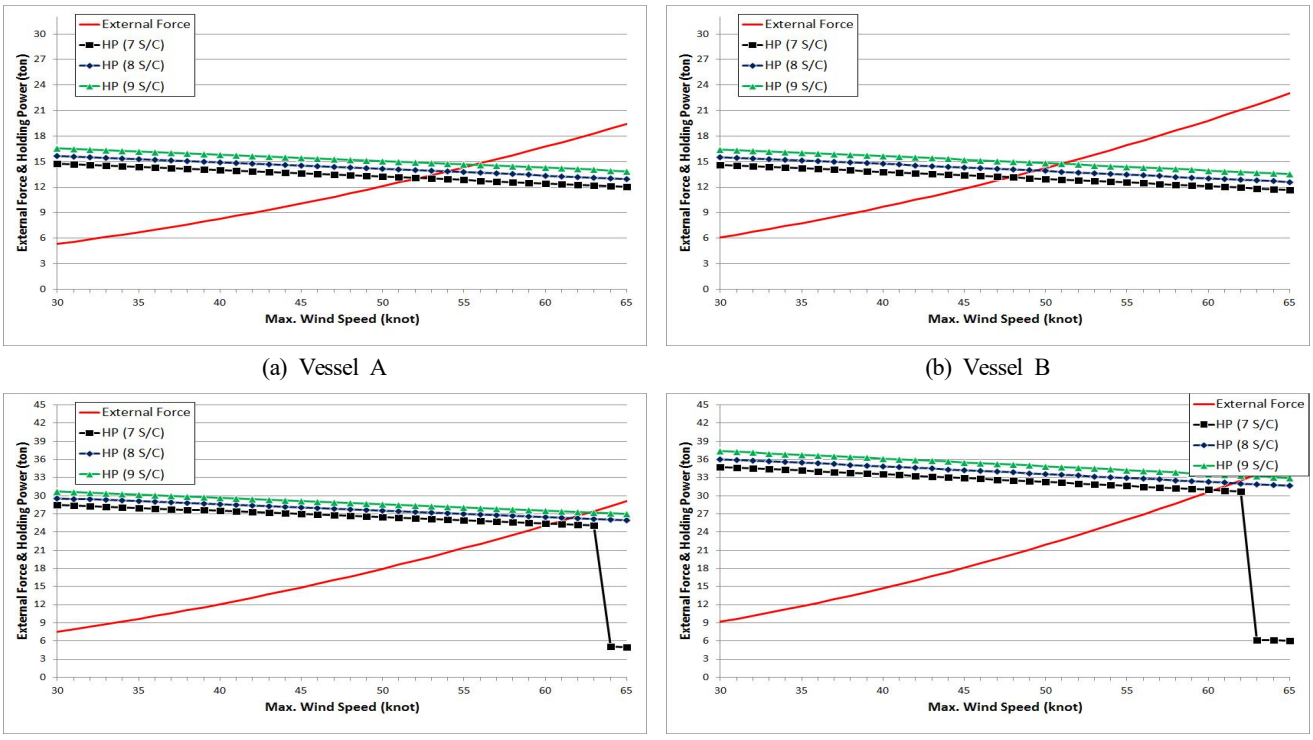
그리고 대상 선박 C는 묘쇄를 7 Shackle 신출하였을 때 풍속 49 knots에서 파주부가 5 m 미만이 되어 파주력이 급감하여 외력이 파주력을 초과하였고, 묘쇄 8 Shackle의 경우 풍속 57 knots에서 파주부가 5 m 미만이 되어 파주력이 급감하여 외력이 파주력을 초과하였으며, 묘쇄 9 Shackle의 경우 풍속 61 knots에서 외력이 파주력을 초과하기 시작하였다.

대상 선박 D는 묘쇄를 7 Shackle 신출하였을 때 풍속 48 knots에서 파주부가 5 m 미만이 되어 파주력이 급감하여 외력이 파주력을 초과하였고, 묘쇄 8 Shackle의 경우 풍속 56 knots에서 파주부가 5 m 미만이 되어 파주력이 급감하여 외력이 파주력을 초과하였으며, 묘쇄 9 Shackle의 경우 풍속 61 knots되면서부터 외력이 파주력을 초과하기 시작하였다.

3) 정박지 수심 50 m

정박지 수심 50 m에서의 주묘 위험성 결과는 Fig. 8과 같다. 대상 선박 A는 묘쇄를 7 Shackle 신출하였을 때 풍속 44 knots에서 파주부가 5 m 미만이 되어 파주력이 급감하여 외력이 파주력을 초과하였고, 묘쇄 8, 9 Shackle 경우 풍속이 각각 50, 52 knots에서 외력이 파주력을 초과하기 시작하였다.

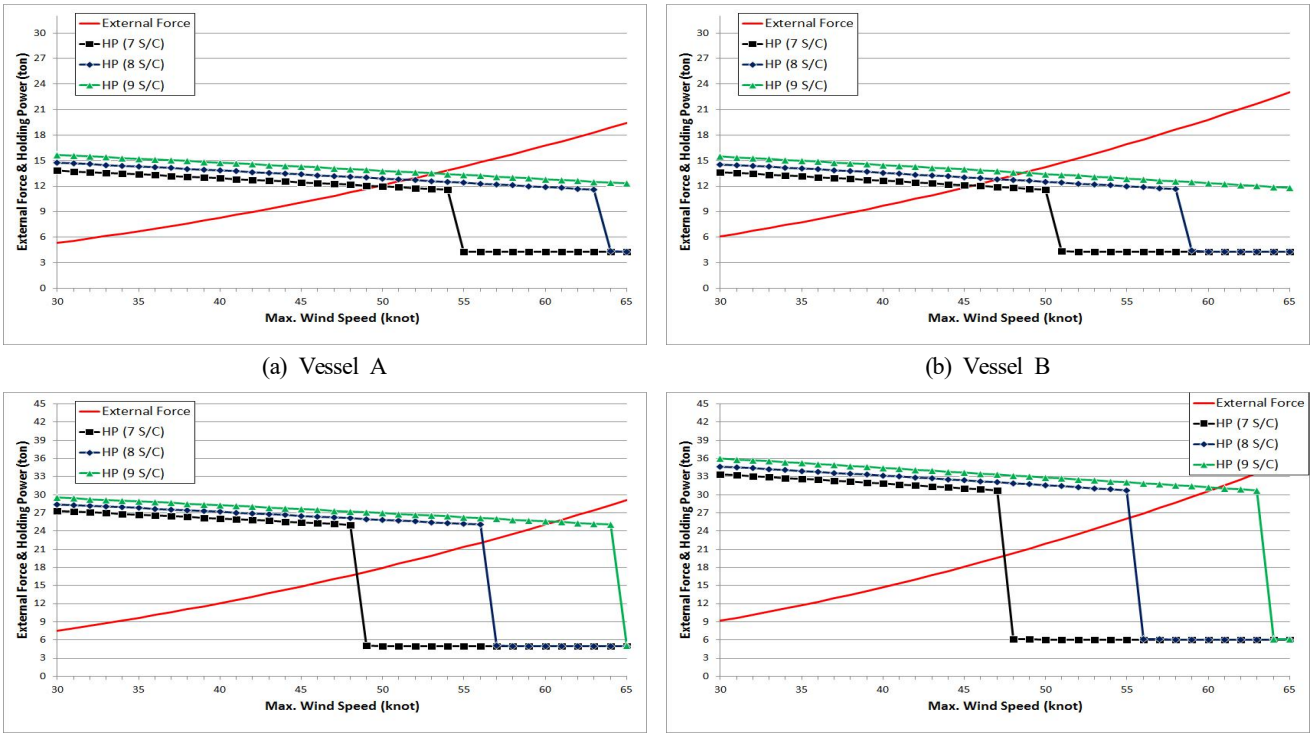
대상 선박 B는 묘쇄를 7 Shackle 신출하였을 때 풍속 41 knots에서 파주부가 5 m 미만이 되어 파주력이 급감하여 외



(a) Vessel A (b) Vessel B

(c) Vessel C (d) Vessel D

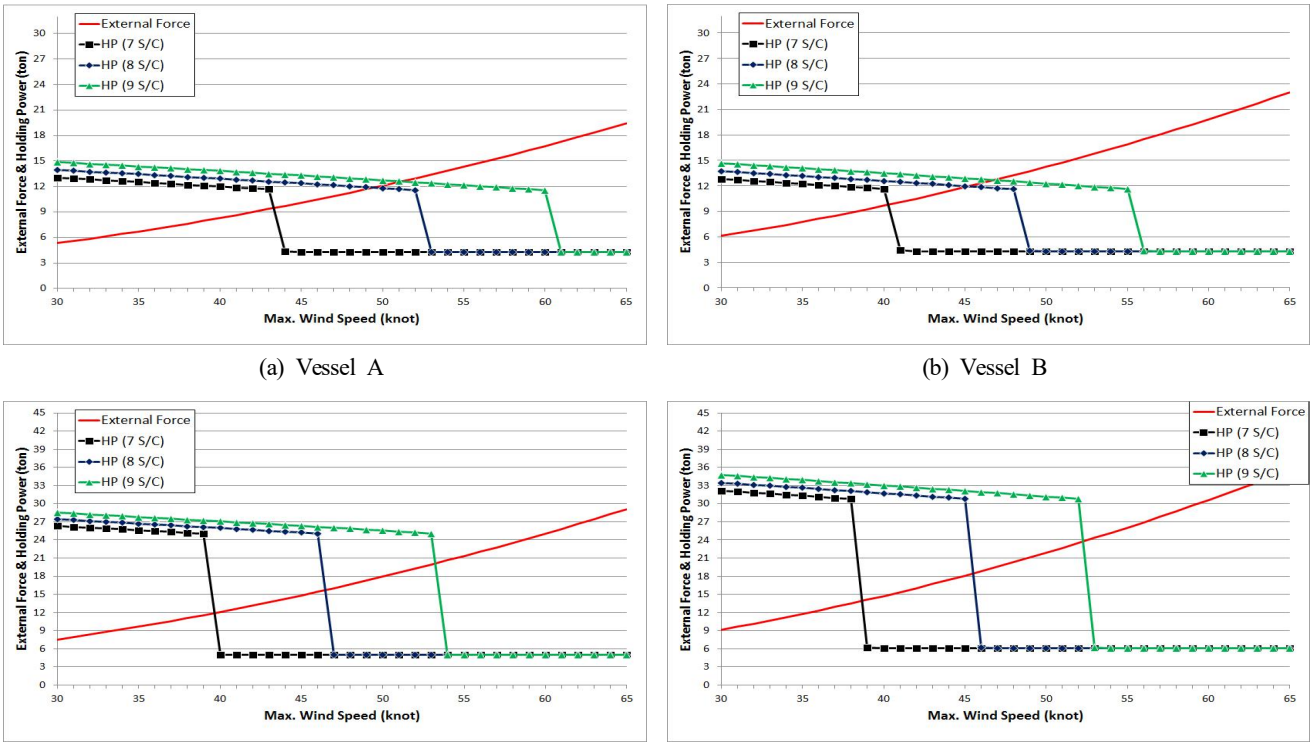
Fig. 6. Risk Assessment of Dragging anchor in depth of 20 m.



(a) Vessel A (b) Vessel B

(c) Vessel C (d) Vessel D

Fig. 7. Risk Assessment of Dragging anchor in depth of 35 m.



(a) Vessel A (b) Vessel B

(c) Vessel C (d) Vessel D

Fig. 8. Risk Assessment of Dragging anchor in depth of 50 m.

력이 파주력을 초과하였고, 묘쇄 8, 9 Shackle 경우 풍속이 각각 46, 47 knots에서 외력이 파주력을 초과하기 시작하였다.

대상 선박 C는 묘쇄를 7 Shackle 신출하였을 때 풍속 40 knots에서 파주부가 5 m 미만이 되어 파주력이 급감하여 외력이 파주력을 초과하였고, 묘쇄 8 Shackle의 경우 풍속 47 knots에서 파주부가 5 m 미만이 되어 파주력이 급감하여 외력이 파주력을 초과하였으며, 묘쇄 9 Shackle의 경우 풍속 54 knots에서 파주부가 5 m 미만이 되어 파주력이 급감하여 외력이 파주력을 초과하였다.

대상 선박 D는 묘쇄를 7 Shackle 신출하였을 때 풍속 39 knots에서 파주부가 5 m 미만이 되어 파주력이 급감하여 외력이 파주력을 초과하였고, 묘쇄 8 Shackle의 경우 풍속 46 knots에서 파주부가 5 m 미만이 되어 파주력이 급감하여 외력이 파주력을 초과하였으며, 묘쇄 9 Shackle의 경우 풍속 53 knots에서 파주부가 5 m 미만이 되어 파주력이 급감하여 외력이 파주력을 초과하였다.

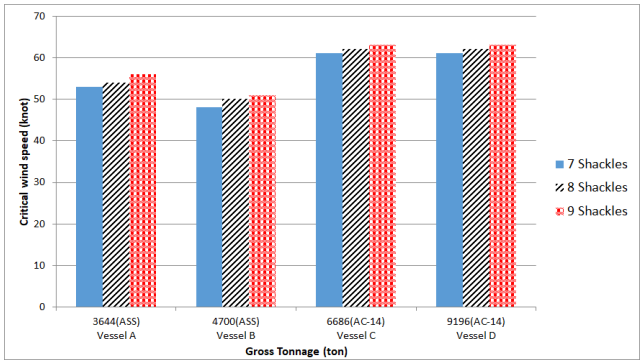
4.2 주묘 한계 풍속 분석

진해만 피항지의 수심에 따른 주묘 한계 풍속은 Fig. 9와 같다. 수심 20 m인 경우에는 묘쇄를 7~9 Shackles 신출하였을 때 주묘 발생 한계 풍속은 48~63 knots로 평가되었고, 고파주력 앵커(AC-14형)가 설치된 선박이 재래형 앵커(ASS형)가 설치된 선박보다 주묘 한계 풍속이 더 크게 평가되었다.

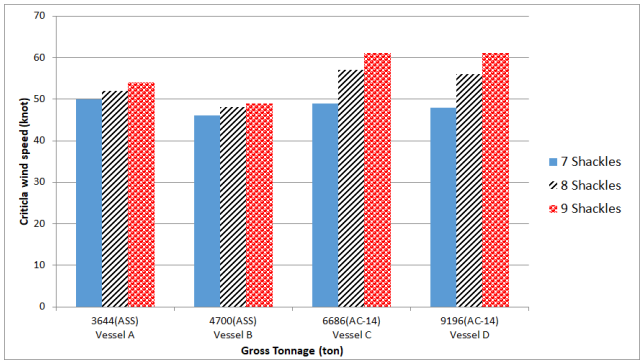
수심 35 m에서는 묘쇄를 7~9 Shackles 신출하였을 때 주묘 발생 한계 풍속은 46~61 knots로 평가되었고, 대상 선박 C와 D의 경우 묘쇄를 각각 7, 8, 9 Shackles 신출하였을 때 외력에 의해 파주부가 5 m 미만이 되는 상황이 발생하면서 주묘가 발생하는 한계 풍속은 4~8 knots로 큰 차이를 보였다. 또한 파주력이 큰 AC-14형 앵커를 사용하더라도 묘쇄를 7 Shackels 신출할 경우에는 ASS형 앵커를 사용한 선박보다 먼저 주묘가 발생하는 것으로 평가되었다.

수심 50 m에서는 묘쇄를 7~9 Shackles 신출하였을 때 주묘 발생 한계 풍속은 39~54 knots로 평가되었고, 묘쇄를 각각 7, 8, 9 Shackles 신출하였을 때 모든 선박이 외력에 의해 파주부가 5 m 미만이 되는 상황이 발생하면서 주묘가 발생하는 한계 풍속은 5~7 knots로 큰 차이를 보였다.

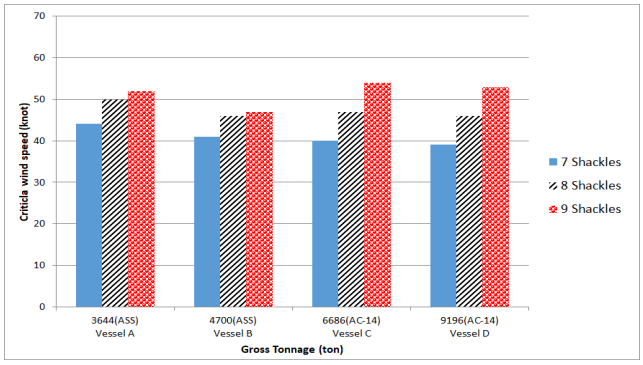
이와 같이 파주력은 수심이 증가할수록 작아지는 결과를 나타낸다. 그 이유는 수심이 증가할수록 신출된 체인의 현수부는 커지고 파주력을 형성하는 체인의 파주부가 작아지고, 외력이 점점 더 강해짐에 따라 결국 남아 있던 파주부가 없어져 앵커의 샹크(shank)가 들리면서 파주력이 급격하게 감소되기 때문이다. 또한 수심이 깊어질수록 체인 신출량의 영향을 크게 받기 때문에 태풍 피항 등 강한 외력 상황에서는 체인의 신출량을 최대로 신출하는 것이 유리하다.



(a) Depth 20 m



(b) Depth 35 m



(c) Depth 50 m

Fig. 9. Critical wind speed for dragging anchor.

4.3 태풍 강도에 따른 진해만 주묘 위험성 분석

우리나라 기상청에서는 태풍의 강도를 중심 부근의 최대 풍속에 따라 약(34~48 kts), 중(48~64 kts), 강(64~85 kts), 매우 강(85~105 kts), 초강력(105 kts 이상)으로 분류하고 있다(KMA, 2021).

진해만의 해저 저질과 조류의 세기는 거의 동일한 조건에 해당되므로 선박의 주묘 한계 풍속에 가장 큰 영향을 주는 요소는 수심인 것으로 확인되었다. 태풍의 강도가 '약'일 경우에는 체인을 9 Shackles 이상 신출할 경우 진해만의 모든 수심 구역이 피항지로 적합한 것으로 평가된다. 하지만 태풍의 강도가 '중'이상이 되면 수심, 앵커의 종류, 체인의 신

출량 등에 따라 주묘가 발생될 수 있으므로 수심이 50 m에 가까운 C 구역의 일부 구역은 정박지로서 부적합할 것으로 판단된다. 또한 수심이 20 m 전후로 비교적 양호한 위치에 정박한 선박들도 풍속이 점점 강해짐에 따라 주묘 위험성을 내포하게 되므로 두 번째 앵커의 사용(riding to two anchors), 기관의 사용 등 비상대응 조치가 필요할 것으로 판단된다.

5. 결 론

진해만은 태풍 내습 시 수많은 선박들의 피항지로 이용되고 있다. 하지만 선박들이 포화상태로 정박하여 주묘가 발생될 경우 선박간 충돌사고 또는 좌초사고의 위험이 존재한다. 따라서 태풍 피항 선박을 대상으로 앵커체인의 신출량과 수심에 따른 주묘 위험성을 평가하였다.

첫째, 수심 20 m인 경우에는 묘쇄를 7 ~ 9 Shackles 신출하였을 때 주묘 발생 한계 풍속은 48 ~ 63 knots, 수심 35 m에서는 46 ~ 61 knots, 수심 50 m에서는 39 ~ 54 knots로 평가되었다.

둘째, 수심이 증가하면서 묘쇄를 각각 7, 8, 9 Shackles 신출하였을 때 외력에 의해 파주부가 5 m 미만이 되는 상황이 발생하면서 주묘가 발생하는 한계 풍속은 4 ~ 8 knots로 큰 차이를 보였다.

셋째, 고파주력 앵커(AC-14형)가 설치된 선박이 재래형 앵커(ASS형)가 설치된 선박보다 주묘 한계 풍속이 더 크게 평가되었다. 하지만 수심이 50 m로 깊은 곳에서는 고파주력 앵커를 사용하더라도 묘쇄를 7 Shackels 신출할 경우에는 주묘가 쉽게 발생될 수 있는 것으로 확인되었다.

넷째, 수심이 깊어질수록 체인의 신출량 영향을 크게 받기 때문에 태풍 피항 등 강한 외력 상황에서는 체인의 신출량을 최대로 신출하는 것이 유리하다.

태풍의 강도가 비교적 약한 풍속 50 kts 미만일 경우에는 체인을 9 Shackles 이상 신출한다면 진해만은 모든 수심에서 피항지로 적합한 것으로 평가된다. 하지만 풍속 50 kts 이상의 비교적 강한 태풍일 경우에는 수심과 앵커의 종류, 체인의 신출량에 따라 주묘가 발생할 것으로 판단된다.

진해만 피항지의 주묘 위험성 평가 결과 수심이 주묘에 큰 영향을 미치는 것으로 판단되고, 비교적 수심이 깊은 C 구역에 정박할 경우에는 적절한 파주부를 유지하기 위해 충분히 체인을 신출할 필요가 있다. 향후 주묘 위험성 평가 결과를 바탕으로 진해만 태풍피항 선박의 효율적 관리방안에 대한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

References

[1] 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.

[2] Gyeongnam(2018), Gyeongsangnam-do Port Facility Operation Rules, pp. 12-14.

[3] Hirano, M.(1995), The Application of Maneuvering Study to Ship's Design, The Society of Naval Architecture of Japan, pp. 48-50.

[4] Jung, C. H. and G. Y. Kong(2009a), A Study for the Evaluation of the Force by the Wind on the Ship at Anchoring, Journal of the Korean society of marine evironment & safety, Vol. 15, No. 3, pp. 223-228.

[5] Jung, C. H. and G. Y. Kong(2009b), A Study on the development of anchoring manual for T.S. HANBADA, Journal of the Korean society of marine evironment & safety, Vol. 15, No. 1, pp. 49-55.

[6] Jung, C. H., G. Y. Kong, B. D. Bae, and Y. S. Lee(2009), Analysis on the Pattern of Dragging Anchor in Actual Ship, Journal of Korean Navigation and Port Research, Vol. 33, No.8, pp. 505-511.

[7] 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 Korean Navigation and Port Research, Vol. 35, No. 8, pp. 613-618.

[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] KMA(2020), Korea Meteorological Administration, Typhoon impact analysis report on the Korean peninsula 2020, pp. 8-9.

[10] Masan Regional Office of Oceans and Fisheries(2021), Masan Port Facility Operation Rules, attached table, p. 1.

[11] Masan VTS(2020), Analysis of the emergency control operation in response to typhoons, pp. 3-24.

[12] Ship resistance and propulsion(2012), p. 72.

[13] Swedish Club(2019), Monthly Safety Scenario, pp. 1-2.

Received : 2021. 04. 12.
Revised : 2021. 05. 10. (1st)
: 2021. 05. 24. (2nd)
Accepted : 2021. 06. 28.