

카페리어객선 제주항 입출항 시 예선 사용 기준에 관한 연구 - 카페리어객선 H호를 중심으로 -

강병선* · 정창현***

* 한국해양교통안전공단 운항관리자, ** 국립목포해양대학교 교수

A Study on the Required Horsepower of Tugboats at Jeju Port for Car Ferries - Focusing on Car Ferry H -

Byung-Sun Kang* · Chang-Hyun Jung***

* Passenger Ship Safety Inspector, Korea Maritime Transportation Safety Authority

** Professor, Mokpo National Maritime University

요 약 : 연안여객선 현대화계획에 따라 건조된 카페리어객선이 제주항 입항 시 다른 선박과 충돌 또는 부두와 접촉한 사고가 2020~2022년 사이에 4건 발생하였다. 사고는 주로 예선 없이 선수 및 선미 스러스터를 이용한 자력도선 중 조선 부주의와 바람에 의한 선박의 압류로 발생하였다. 이에 본 연구에서는 카페리어객선 H호를 중심으로 충돌사고를 분석하고, 선박이 접안 중 발생하는 외력과 모멘트에 따라 선박이 예선 없이 자력으로 부두와 평행하게 접안하기 위한 스러스터 및 엔진의 소요출력을 기반으로 자력으로 선박을 제어할 수 없는 한계풍속과 풍속 증가에 따른 추가적인 예선의 운영방안을 제시하였다. H호의 적재상태, 접안속도에 따른 자력 또는 예선 사용 시 한계풍속을 상대풍향별로 분석한 결과, 제주항 접·이안 시 횡방향 풍속이 10m/s 이상일 때 예선 1척을 선미에 사용하고, 횡방향 풍속이 14m/s 이상일 때에는 예선 2척을 사용 것이 타당할 것으로 판단된다.

핵심용어 : 카페리어객선, 제주항, 해양사고, 예선, 소요출력

Abstract : Four accidents occurred between 2020 and 2022 after car ferries built according to a coastal passenger ship modernization plan collided with other ships or came into contact with the dock when entering Jeju Port. Accidents primarily occurred owing to careless ship handling and drift by wind during ship handled by herself using bow and stern thrusters without tugboats. Accordingly, in this study, we analyzed the collision accident focusing on car ferry H and the critical wind speed at which the ship cannot be controlled using its own power, tugboat operation plan in increasing wind speed were proposed based on the power required for the ship to berth parallel to the pier without a tugboat considering the external force and moment generated while the ship is berthing. A analysis of the critical wind speed of car ferry H by relative wind direction when using tugboats or not according to the loading status and the berthing speed, showed that one tugboat should be used at the stern when the lateral wind speed is over 10 m/s and two tugboats should be used when the lateral wind speed is over 14m/s berthing at Jeju port.

Key Words : Car ferry, Jeju port, Marine accident, Tug boat, Required tugboat's power

1. 서론

우리나라 인천, 목포, 완도, 고흥, 여수, 부산 등에서 제주도를 오가는 카페리어객선은 2016년 기준 대부분 일본 조선소에서 건조된 중고선으로 평균 선령은 약 23년이었다. 연안

여객선사는 영세성, 수익성 저하에 따라 여객선 건조를 위한 투자가 어려운 상황으로 선박의 노후화가 일반적이었다 (Kim et al., 2020). 세월호 침몰사고 이후 여객선에 대한 선령 제한이 최대 30년에서 25년으로 강화되면서 새롭게 선박을 건조하거나 선령이 비교적 작은 중고선 투입이 필요하게 되었다. 그리하여 해양수산부에서는 연안여객선의 안전성을 강화하고 국내 조선산업을 활성화하기 위해 2016년부터 연안여객선 현대화계획을 수립·시행하였고, 그 결과 2021년 기

* First Author : kbs109011@komsa.or.kr, 061-662-9715

† Corresponding Author : hyon@mmu.ac.kr, 061-240-7182

준 제주도를 운항하는 카페리어객선 5척이 국내에서 건조 및 투입되어 평균 선령은 약 8년으로 크게 감소하였다(MOF, 2016).

새롭게 건조된 선박들은 기존 선박들보다 크기가 커지면서 제주항 입항 시 다른 선박과 충돌 또는 부두와 접촉한 사고가 2020~2022년 사이 4건 발생하였다(KOMSA, 2023a). 사고는 주로 예선 없이 선수 및 선미 스러스터를 이용한 자력도선 중 조선 부주의와 바람에 의한 선박의 압류로 발생하였다.

접안 중 선체에 가해지는 외력에 대한 연구로는 선박에 대한 횡이동 실선실험을 통하여 수심/흘수비에 따른 유압항력계수를 비교·평가한 연구(Jung and Nam, 2016)가 있었고, 선박의 접안과정 중 선체에 작용하는 풍압력, 유압력 그리고 그에 따른 회두 모멘트를 분석하고 선박의 자동접안을 위한 스러스터 출력과 출력각을 계산한 연구가 있다(Kang and Jung, 2023).

제주특별자치도 예선운영세칙을 살펴보면 선박의 총톤수에 따라 예선의 소요마력 및 운용 척수가 지정되어 있지만 이는 일반적으로 풍속 10m/s 이하를 기준으로 정해진다. 여객선의 경우 그 이상의 풍속에서도 접안이 이루어지고 있지만, 풍속 증가에 따른 명확한 운영 기준이 없어 풍속에 따른 예선 운용에 관한 기준을 정할 필요가 있다.

본 연구에서는 H호가 제주항 입항 중 접안 과정에서 강풍으로 인하여 계류된 인근 선박과 충돌한 H호의 해양사고를 분석하고, 선박의 접안과정 중 작용하는 외력과 회두모멘트에 대항하여 선수와 선미 스러스터, 주기관 등 자력으로 선박을 제어할 수 없는 한계풍속을 제시하고, 또한 풍속 증가에 따른 추가적인 예선의 운영방안을 제시하고자 한다.

2. H호 사고분석

2.1 사고개요

2022년 3월 19일(토) 10시13분경 여수~제주 항로를 운항하는 카페리어객선 H호가 제주항 입항 중 강풍으로 압류되어 제7부두에 계류 중이던 N호와 충돌사고가 발생하였다.

2.2 선박제원

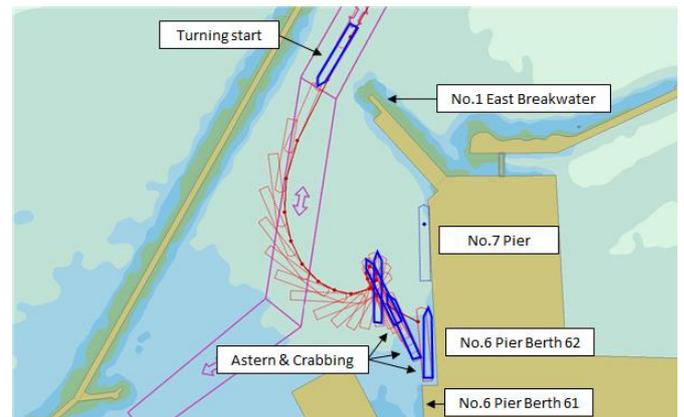
H호는 연안여객선 현대화계획에 따라 건조된 2번째 선박으로 2020년에 건조되었으며, 선박제원은 Table 1과 같다. H호는 2대의 주기관 외에 선수와 선미에 스러스터가 설치되어 있어 통상 예선의 도움 없이 자력으로 제주항을 입·출항하고 있다.

Table 1. General particulars of car ferry H

Item	Value	
Gross tonnage(ton)	21,989	
LOA(m)	160	
LBP(m)	148	
Breadth(m)	24.8	
Draft(m)	5.8	
Main engine	Type	CPP
	Power(kW)	9,280 × 2
Thruster power(kW)	Bow	1,350
	Stern	1,000

2.3 원인분석

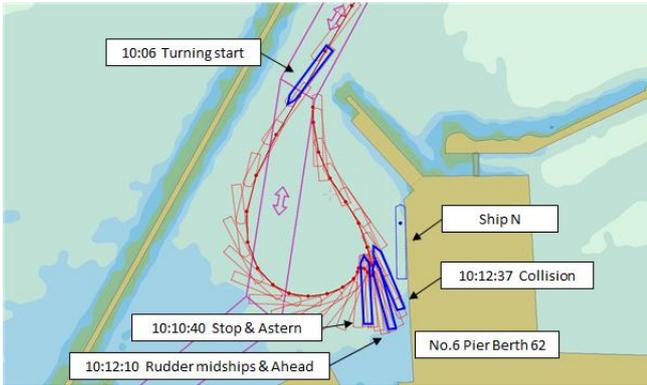
H호는 Fig. 1과 같이 제주항 입항 시 제6부두 62번 선석에 우현 접안하는데, 제1동방파제 끝단 통과 시 좌선회를 시작하여 제7부두와 평행한 상태로 정선 후, 61번 선석을 향해 후진하다가 선수와 선미 스러스터, 주기관을 이용하여 부두에 접안한다(Mokp Regional Maritime Safety Tribunal Decision, 2023).



Source: Mokpo Regional Maritime Safety Tribunal Decision(2023)

Fig. 1. Berthing process of car ferry H at Jeju port.

사고 당일에도 동일한 접안과정에 따라 좌선회하여 후진으로 접안 시도하였지만 항내 바람이 북서풍으로 약 15m/s로 불어 Fig. 2와 같이 제7부두에 계류 중이던 뉴스타호 쪽으로 밀리는 것을 주기관 등으로 이겨내고 못하고 H호의 우현 중앙부와 N호의 좌현 선미부가 충돌하였다. 카페리어객선은 수면상부의 풍압면적이 크기 때문에 바람에 의한 영향을 많이 받는다. 하지만 사고 당시 바람이 강하게 불었고 제주항 VTS로부터 예선 사용을 권고받았음에도 불구하고 예선을 사용하지 않고, 무리하게 접안을 시도한 것이 이 사고의 주요 원인으로 볼 수 있다(Mokp Regional Maritime Safety Tribunal Decision, 2023).



Source: Mokpo Regional Maritime Safety Tribunal Decision(2023)
Fig. 2. Berthing track of car ferry H at Jeju port.

2.4 재발방지대책

충돌사고 이후 여객선사는 예선 사용기준을 명확하게 하기 위해서 운항관리규정에 제주항 접·이안 시 풍속 10~15m/s 인 상태에서는 예선 1척, 풍속 16m/s 이상인 상태에서는 예선 2척을 사용토록 명시하였다(KOMSA, 2023b). 하지만 이는 접안 중 선박에 가해지는 외력과 주기관, 선수와 선미 스텐더의 출력에 대한 검토 없이 운항자의 경험에 의존하여 수립된 기준이었다.

3. 접안 중 선체에 작용하는 힘

선박이 부두에 접안할 때, 바람이나 조류 등과 같은 외력을 받게 되면 선체의 압류나 회두 등의 현상이 발생한다. 이러한 현상은 수면 상부에 작용하는 풍압력과 조류 및 선박의 횡이동으로 인한 수면 하부에 작용하는 유체력이 주요 원인이며, 선체 무게중심을 기준으로 선수를 회전시키는 모멘트를 발생시킨다. 파랑에 의한 힘과 모멘트는 대상 부두 전면에서 파도가 발달되지 않아 고려하지 않았다.

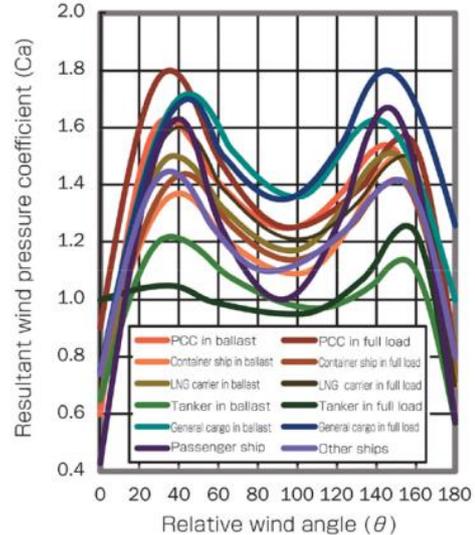
3.1 풍압력 및 풍압모멘트

접안 중 선체에 작용하는 풍압력(F_W)은 식(1)과 같이 풍압면적을 기초로 선형과 풍향각에 따라 산출되는 Hughes의 실험식이 보편적으로 사용된다(Hughes, 1930).

$$F_W = \frac{1}{2} \rho_a C_a (A_T \cdot \cos^2 \theta + A_L \cdot \sin^2 \theta) V_a^2 \times \frac{1}{1000} \quad (1)$$

여기서, ρ_a : 공기밀도(kg·sec²/m⁴), C_a : 풍압합력계수,
 A_T : 정면 풍압면적(m²), A_L : 측면 풍압면적(m²),
 θ : 상대풍향(deg), V_a : 풍속(m/s)

풍압합력계수는 풍동실험에 의해 결정되지만, 본 연구에서는 Fig. 3과 같이 Inoue(2013)가 제시한 선종별 풍압합력계수를 사용하였다.



Source: Inoue(2013), Theory and Practice of Ship Handling
Fig. 3. Resultant wind pressure coefficient.

풍압력의 횡요소는 선체 무게중심 주변에 회두모멘트를 형성하여 선수를 회두시킨다. 풍압중심(a)는 식(2)와 같이 대략적으로 위치를 추론할 수 있고, 풍압모멘트(M_W)는 식(3)과 같이 계산될 수 있다(Inoue, 2013).

$$a = (0.291 + 0.0023\theta) L \quad (2)$$

$$M_W = F_W \cdot \sin \theta \times (0.5L - a) \quad (3)$$

여기서, θ : 상대풍향(deg), L : 선체 길이(LOA, m)

3.2 유압력 및 유압모멘트

접안 중 선체에 작용하는 유압력은 식(4)와 같이 조류에 의한 유압력(F_C)과 접안속도에 따른 유압력(F_U)이 복합적으로 작용하며, 각 유압력에 따른 유압모멘트(M_C , M_U)는 식(5)와 같이 산출된다.

$$F_C = \frac{1}{2} \rho_w C_{yc} L d V_c^2 \times \frac{1}{1000} \quad (4)$$

$$F_U = \frac{1}{2} \rho_w C_{yc} L d U^2 \times \frac{1}{1000}$$

$$M_C = \frac{1}{2} \rho_w C_{mc} L^2 d V_c^2 \times \frac{1}{1000} \quad (5)$$

$$M_U = \frac{1}{2} \rho_w C_{mc} L^2 d U^2 \times \frac{1}{1000}$$

여기서, ρ_w : 해수밀도($\text{kg}\cdot\text{sec}^2/\text{m}^4$), C_{yc} : 유압횡력계수,
 C_{mc} : 유압모멘트계수, L : 선체 길이(LBP, m),
 d : 흘수(m), V_c : 유속(m/s),
 U : 접안속도(m/s)

$$F_F = \frac{1}{2} \rho_w C_F S V_c^2 \times \frac{1}{1000} \quad (7)$$

여기서, ρ_w : 해수밀도($\text{kg}\cdot\text{sec}^2/\text{m}^4$), C_F : 마찰저항계수,
 S : 침수표면적(m^2), V_c : 유속(m/s)

그리고 침수표면적(S)은 식(8)과 같이 계산되어 식(7)에 적용된다.

$$S = (1.7d + C_b \cdot B) L \quad (8)$$

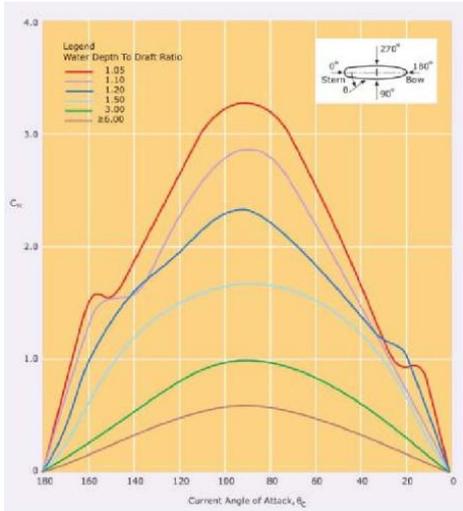
여기서, d : 흘수(m), C_b : 방형비척계수,
 B : 선폭(m), L : 선체 길이(LBP, m)

유압횡력계수는 수심/흘수비(h/d)에 따라 크게 달라지고 UKC가 작아질수록 선체를 횡으로 이동시키는데 보다 큰 힘이 필요하다. OCIMF에서는 Tanker에 대한 모형시험을 실시하고 그에 따른 유압횡력계수를 Fig. 4와 같이 제시하고 있다(OCIMF, 2008). 또한, Inoue(2013)는 VLCC에 대한 유압횡력계수 및 유압모멘트계수 계산식을 식(6)과 같이 제시하고 다른 선종에 대해서는 결과값의 90%(LNG선), 85%(컨테이너선), 75%(PCC)를 적용하고 있다. 본 연구에서는 Inoue(2013)가 제시한 유압횡력계수와 유압모멘트계수를 사용하였다.

4. 외력에 따른 추력 계산

4.1 좌표계

본 연구에서 사용된 좌표계는 Fig. 5와 같다. 지구고정좌표계는 북쪽을 X_0 축, 동쪽을 Y_0 축으로 하고, 선박고정좌표계는 선박의 길이방향을 X 축, 선박의 횡방향을 Y 축으로 한다. 선박이 일정속도(U)로 접안하기 위해서는 접안 중 작용하는 바람(V_a)과 조류(V_c)에 의한 외력 및 모멘트를 계산하고, 그에 대응하는 선수와 선미 스러스터(F_{TF} , F_{TA}), 주기관 출력 값(F_M)을 산출해야 한다. 이때 외력을 식(9)와 같이 선박의 종방향(F_X), 횡방향(F_Y)으로 분리할 수 있고 회두모멘트(M)의 총합은 식(10)과 같다.



Source: OCIMF(2008), Mooring Equipment Guidelines
 Fig. 4. Lateral Current Force Coefficient(loaded tanker).

$$C_{yc} = \left(\frac{0.75}{\frac{h}{d} - 0.9} + 1 \right) \sin \beta \quad (6)$$

$$C_{mc} = \left(\frac{0.075}{\frac{h}{d} - 0.9} + 0.1 \right) \sin (2\beta)$$

여기서, h : 수심(m), d : 흘수(m), β : 입사각(deg)

조류는 선체에 횡방향으로 작용할 경우에는 횡유압력을 발생시키지만, 길이방향으로는 선체 수면하 표면적에 마찰력이 작용한다. 마찰력(F_F) 계산은 식(7)과 같고, 마찰저항계수는 Reynold number에 따른 Schoenherr 곡선 및 ITTC 1957 모형선-실선 상관곡선을 이용하였다(Ship resistance and propulsion, 2012).

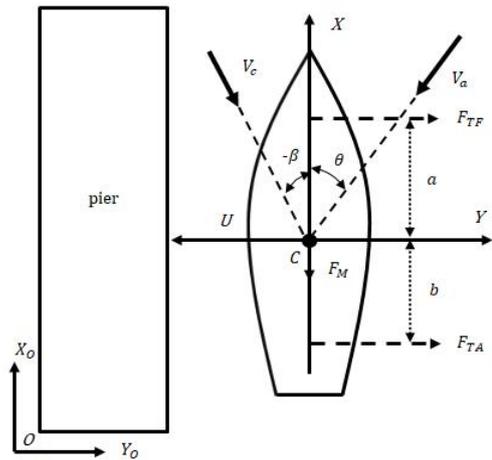


Fig. 5. Coordinate system.

$$F_X = F_W \cdot \cos \theta + F_F \cdot \cos \theta \quad (9)$$

$$F_Y = F_W \cdot \sin \theta + F_C + F_U$$

$$M = M_W + M_C + M_U \quad (10)$$

4.2 추력 계산

선박의 선수와 선미 스러스터와 주기관 출력은 선박이 U 의 속도로 접안할 때 작용하는 외력과 상호 평형을 유지해야 하므로 식(11)과 같이 평형방정식이 유도된다. 회두모멘트를 고려하여 선박을 부두와 평행한 상태로 유지하기 위한 선박의 무게 중심(C)으로부터 a , b 만큼 떨어진 선수와 선미 스러스터의 출력은 식(12)와 같다.

$$\begin{aligned} F_X - F_M &= 0 \\ F_Y + F_{TF} + F_{TA} &= 0 \end{aligned} \quad (11)$$

$$M + aF_{TF} - bF_{TA} = 0 \quad (12)$$

여기서, a : 무게중심과 선수 스러스터 간 거리(m),
 b : 무게중심과 선미 스러스터 간 거리(m),
 F_M : 주기관 출력, F_{TF} : 선수 스러스터 출력,
 F_{TA} : 선미 스러스터 출력

이때, a , b 는 미리 알 수 있으므로 F_{TF} , F_{TA} 은 식(13)과 같이 계산된다. 그리고 F_{TF} , F_{TA} 는 1.0t·f당 100마력 또는 1.5t·f당 100kW로 환산하여 나타낼 수 있다(Inoue, 2013).

$$\begin{aligned} F_{TF} &= \frac{-M - bF_Y}{a + b} \\ F_{TA} &= -F_Y - F_{TF} \end{aligned} \quad (13)$$

5. 풍속에 따른 예선운용 기준 검토

5.1 검토절차

풍속에 따른 예선운용 기준의 검토 절차는 Fig. 6과 같다. 먼저 주어진 외력 환경에서 원하는 접안속도로 선박이 접안 시 풍향·풍속별 선체에 작용하는 외력을 계산하고(External forces), 외력에 의해 발생하는 회두모멘트(Turning moments)를 계산한다. 그리고 작용하는 힘의 총합을 선박 종방향과 횡방향으로 분리한다(Division of forces). 선체에 작용하는 힘과 회두모멘트를 고려한 선수와 선미 스러스터, 주기관 출력을 계산한다(Thruster power). 그리고 주어진 조건에서 필요한 선수와 선미의 스러스터 출력 요구량이 해당 기기의 출력량보다 높아지는 순간이 자력으로 선박을 조종하기 어려운 한계 풍속(Critical wind speed)이 되고 이를 기준으로 예선운용 기준을 정할 수 있다.

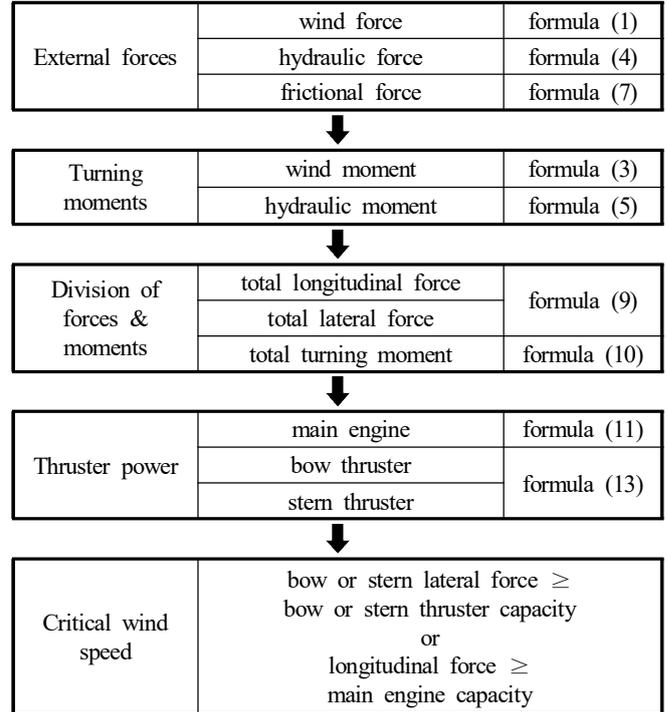


Fig. 6. Procedure of evaluation.

5.2 계산조건

H호의 풍속에 따른 예선운용 기준을 Fig. 6에 따라 수립하기 위한 선박 및 환경정보는 Table 2와 같다. 선박이 공선상태와 만재상태에 따라 접안 중 선박에 작용하는 외력에 차이가 있을 것으로 판단되어 홀수, 방형비척계수, 정면풍압면적, 측면풍압면적을 공선상태와 만재상태로 구분하였다. 해도상 확인된 제주항 입구의 조류는 225°, 0.7knot였으나, 방과제로 갠한 제주항 특성상 부두 전면의 조류는 미미할 것으로 판단되어 조류는 225°, 0.1knot를 적용하였고 제6부두 62번 선석의 수심은 8m였다. 선박의 접안속도는 부두와의 거리에 따라 다소 차이가 있지만 항만 및 어항 설계기준에서 제시하고 있는 접안속도는 통상 10~15cm/s 이다(Ministry of Oceans and Fisheries, 2023). 따라서 본 연구에서는 선박이 부두와 평행한 상태에서 접안속도가 10cm/s(공선/만재), 15cm/s(공선/만재)인 경우를 Case A, Case B, Case C, Case D로 구분하여 실험하였다.

Table 2. Input data

Input data	Ballast	Laden
LOA(m)	160	
LBP(m)	148	
Breadth(m)	24.8	
Draft(m)	5.329	5.8
C_b	0.5641	0.5848
Transverse projected area(m ²)	557.3	545.6
Lateral projected area(m ²)	3030.6	2957.8
Water depth(m)	8	
Current speed(knot)	0.1	
Relative current angle(degree)	225	
Berthing speed(cm/s)	10, 15	
Air density(kg·sec ² /m ⁴)	0.125	
Water density(kg·sec ² /m ⁴)	104.6	

H호의 주기관은 가변피치 프로펠러로 입·출항 시에는 엔진의 RPM을 168로 고정하고 프로펠러 피치각을 조정하여 출력을 만드는 Constant mode로 운용된다. Constant mode일 때 Telegraph order에 따른 피치각과 그에 따른 출력은 Table 3과 같다.

Table 3. Main engine power at Constant mode

Telegraph order	Pitch		Power(kW)
	Deg.	%	
Full	21.3	71	9,280
Half	16.9	57	5,800
Slow	10.4	36	2,600
D.Slow	3.9	14	1,450

주기관 출력은 선체 종방향 외력만큼 필요하나 주기관 출력을 제한하지 않고 Full까지 사용한다면 선수미 방향으로부터 불어오는 바람에 한계풍속이 과도하게 높아질 우려가 있고, 선수와 선미 스러스터의 출력에 영향을 줄 것으로 판단되어 본 연구에서는 주기관 출력을 D.Slow까지로 제한하였다. 선수와 선미 스러스터 출력은 각각 1,350kW, 1,000kW이며, 무게중심으로 떨어진 거리는 각각 80.0m, 59.2m이다. 제주항에서 카페리어객선 입·출항 시 사용가능한 예선은 총 2척이며 마력은 3,600PS으로 동일하다.

5.3 계산결과

Case A, Case B, Case C, Case D에 대한 H호의 접안 중 자력으로 선박을 조종하기 어려운 한계풍속을 상대풍향별로 나타내면 Fig. 7과 같다. 선박 자체의 스러스터만으로 선박을 제어할 수 있는 한계풍속(0 Tug), 예선 1척이 선수에 붙고 선수 스러스터 없이 예선과 선미 스러스터로 접안할 수 있는 한계풍속(1 TugF), 예선 1척이 선미에 붙고 선미 스러스터 없이 예선과 선수 스러스터로 접안할 수 있는 한계풍속(1 TugA), 그리고 예선 2척이 선수와 선미에 각각 붙은 상태에서 예선과 선수, 선미 스러스터를 함께 사용하여 접안할 수 있는 한계풍속(2 Tug)으로 구분하여 나타냈다. 바람이 선수미 방향에서 불어오면 접안에 필요한 선수와 선미 스러스터 출력에는 영향을 적게 받고 선체 종방향 외력으로 주기관 출력의 영향을 받아 한계풍속이 상당히 높은 것으로 나타났고, H호 운항관리규정 출항통제기준(최대풍속 21m/s, 유의파고 5m, 시정 1km)를 고려하여 Fig. 7에는 한계풍속이 25m/s를 초과한 경우는 표시하지 않았다.

풍압력은 상대풍향 060°에서 가장 크게 작용함에서도 Case A, Case B, Case C, Case D 모두 정횡방향 바람에 0 Tug, 1 TugF, 1 TugA의 한계풍속이 가장 낮은 것으로 평가되었는데, 이는 풍압력을 선체 종방향과 횡방향으로 나누어 고려함으로써 선체 종방향 외력은 주기관 출력으로 상쇄시켜 주는데 정횡방향 바람에는 선수와 선미 스러스터 출력만으로 외력에 대항하기 때문으로 판단된다. 반면, 2 Tug의 한계풍속은 상대풍향 045°와 135°에서 가장 낮았다. 모든 Case에 대한 가장 낮은 한계풍속과 그 때의 상대풍향을 정리하면 Table 4와 같다.

선박의 접안속도와 적재상태는 한계풍속의 변화에 큰 영향을 주지 않은 것으로 나타났는데, 이는 H호의 공선상태와 만재상태에서의 풍압력의 차이가 크지 않고 선박의 접안속도로 인한 유압력의 영향이 미미하여 한계풍속에 영향을 적게 미치기 때문인 것으로 판단된다. 특히, 0 Tug의 한계풍속과 1 TugF의 한계풍속은 10~11m/s로 동일하였는데, 이는 예선이 선수에 붙을 경우 선박을 부두면과 평행하게 접안하기 위한 선미 스러스터 요구출력이 출력량보다 높아지는 상태가 먼저 발생하기 때문이다. 반면, 예선이 선미에 붙은 1 TugA의 한계풍속은 14m/s로 증가하였고, 2 Tug의 한계풍속은 19~20m/s로 나타났다.

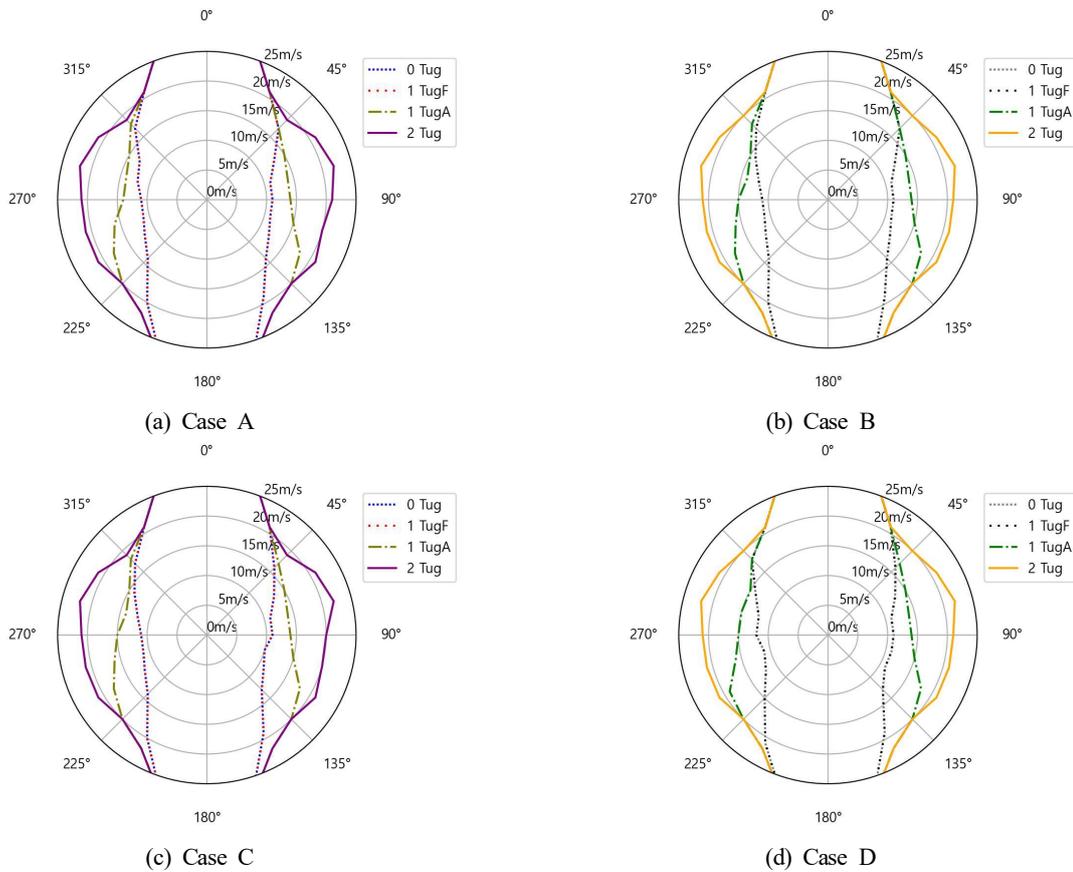


Fig. 7. Critical wind speed for berthing using tug boats.

Table 4. Critical wind speed of all Cases

Case	Critical wind speed(m/s)			
	0 Tug	1 TugF	1 TugA	2 Tug
A	11		14	19
B				20
C	10			19
D	11			20
Case	Relative wind angle(°)			
	0 Tug	1 TugF	1 TugA	2 Tug
All	75 ~ 105, 225 ~ 270		75 ~ 90, 270 ~ 285	45, 135, 225, 315

6. 결론

연안여객선 현대화계획에 따라 건조된 카페리여객선 5척이 제주항 입항 시 다른 선박과 충돌 또는 부두와 접촉한 사고가 2020년~2022년 사이 4건 발생하였다. 사고는 주로 예선

없이 선수 및 선미 스러스터를 이용한 자력도선 중 조선 부주의와 바람에 의한 선박의 압류로 발생하였다. 이에 본 연구에서는 카페리여객선 H호를 중심으로 충돌사고를 분석하고 선박이 접안 중 발생하는 외력과 모멘트에 따라 선박이 예선 없이 자력으로 부두와 평행하게 접안하기 위한 소요출력을 기반으로 자력으로 선박을 제어할 수 없는 한계풍속과 풍속 증가에 따른 추가적인 예선의 운영방안을 제시하였다.

H호의 접안속도 10cm/s(공선/만재), 15cm/s(공선/만재)인 경우를 Case A, Case B, Case C, Case D 구분하고 접안 중 자력으로 선박을 조종하기 어려운 한계풍속을 상대풍향별로 계산하여 자력으로 선박을 제어할 수 있는 한계풍속(0 Tug), 예선 1척이 선수에 붙고 선미 스러스터 없이 예선과 선미 스러스터로 접안할 수 있는 한계풍속(1 TugF), 예선 1척이 선미에 붙고 선미 스러스터 없이 예선과 선수 스러스터로 접안할 수 있는 한계풍속(1 TugA), 그리고 예선 2척이 선수와 선미에 각각 붙은 상태에서 예선과 선수, 선미 스러스터를 함께 사용하여 접안할 수 있는 한계풍속(2 Tug)으로 구분하여 나타냈다.

H호는 공선상태와 만재상태에서의 흘수차이가 크지 않고

선박의 접안속도로 인한 유압력이 미미하여 한계풍속에 미치는 영향이 적기 때문에 접안속도와 적재상태 차이에 상관없이 정횡방향의 바람에 0 Tug, 1 TugF의 한계풍속이 10~11m/s로 동일한 반면, 예선이 선미에 붙은 1 TugA의 한계풍속은 14m/s로 증가하였고, 2 Tug의 한계풍속은 19~20m/s로 나타났다. H호 충돌사고 당시에 북서풍이 15m/s로 불고 있었고 상대풍속 310°~320°일 때 0 Tug의 한계풍속이 15m/s~19m/s인 것으로 비교해보면 사고내용과 계산결과가 유사함을 알 수 있었다. 따라서, H호는 제주항 접·이안 시 풍속이 10~11m/s 이상일 때 예선 1척을 선미에 사용하고, 14m/s 이상일 때에는 예선 2척을 사용하되 풍향에 따라 예선 사용 척수를 운항자가 판단하는 것이 타당할 것으로 판단된다.

선박의 운동성능은 모델 테스트, 포텐셜 유동 또는 전산 유체역학 등을 통하여 그 신뢰도를 보다 향상시킬 수 있다. 향후 다양한 평가방법들을 사용하여 비교 평가함으로써 평가의 신뢰성을 높이고 카페리어객선에 보편적으로 적용될 수 있는 풍속에 따른 예선운영 기준을 수립하기 위한 후속 연구가 필요하다.

References

- [1] Hughes, G.(1930), Model Experiments on the Wind Resistance of Ships, Transactions of the Institute of Naval Architects, Vol. 72.
- [2] Inoue, K.(2013), Theory and Practice of Ship Handling, Sanghakdang, p. 149-197.
- [3] Jung, C. Y. and T. K. Nam(2016), The Lateral Current Force Coefficient in the Real Ship Towing Test, Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety, Vol. 22, No. 5, pp. 373-379.
- [4] Kang, B. S. and C. H. Jung(2023), A Study on the Concept Design of Automatic Vessel Berthing Program, Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety, Vol. 29, No. 7, pp. 857-862.
- [5] Kim, T. I., S. H. Park, and H. Y. Ryu(2020), Policy Development for Efficiency Improvement of Domestic Passenger Shipping in Korea, Korea Maritime Institute, pp. 15-33.
- [6] Korea Maritime Transportation Safety Authority(KOMSA), (2023a), Maritime Transportation Safety Information System (MTIS), <https://mtis.komsa.or.kr/mn/view> (Accessed: 10th Jan 2024).
- [7] Korea Maritime Transportation Safety Authority(KOMSA) (2023b), https://www.komsa.or.kr/bbs/BBSMSTR_00000000731/view.do (Accessed: 10th Jan 2024).
- [8] Ministry of Oceans and Fisheries(MOF)(2016), The 1st Coastal Passenger Ship Modernization Plan, pp. 3-17.
- [9] Ministry of Oceans and Fisheries(2023), Harbor and Fishery Design Criteria
- [10] Mokpo Regional Maritime Safety Tribunal Decision(2023), No. 2023-045.
- [11] OCIMF(2008), Mooring Equipment Guidelines 3rd Edition, Witherby Seamanship International, pp. 179-196.
- [12] Ship resistance and propulsion(2012), p. 72.

Received : 2024. 02. 13.

Revised : 2024. 03. 28.

Accepted : 2024. 04. 26.