

바람 및 조류에 의한 안벽계류선박의 계류력에 관한 연구

한 길 용* · 김 창 제**

A Study on Mooring Forces of a Moored Vessel due to Wind and Tidal Currents

Gil-Yong Han* · Chang-Je Kim**

Abstract

Moored vessels and harbour mooring facilities must be able to endure effects of wind, current, wave, tidal force and other external environmental forces.

For the last several decades, the studies relating to the problems of a moored vessel in a harbour have not been applied to the practical fields due to the fact that these studies have focused on vessel motion analysis or understanding about each force which act on a moored vessel.

There are several theoretical literatures on a mooring force of a moored vessel pragmatic methods of estimating the real critical mooring situation. However, much more attention has been focused on effects resulting from the force of the wind. Even if the method including all the effective forces, it is an intricate and inconvenient for practical use.

Therefore, this study is aimed at analysing the wind/current force and proposes a more pragmatic method of estimating the mooring force.

This study of analysing the mooring force and applicability of the proposed pragmatic method yields the following results :

- 1) Assessed the mooring force and proposed pragmatic estimating method of critical wind velocity. When the proposed method was applied in normal mooring

* 한국해양대학교 해사수송과학과 석사과정 해사정보공학 전공

** 해양대학교 해사수송과학과 조교수

- condition, the critical wind velocity was 19.5 m/s.
- 2) Wind velocity was the greatest in May with north, south-southwest and southwest wind being predominant in the port of Pusan.
 - 3) The current velocity at low-tide higher than counterpart, nearby T/S "HANARA". In a depth of 2m, the maximum current velocity is approx. 0.8m/s, to the south, during the observation.

1. 서 론

계류선박의 계류시설은 바람, 조류, 파랑, 해류 등에 의한 외력에 충분히 견딜 수 있어야 한다. 방현재, 안벽비트, 계선원치 등을 포함한 계류설비를 설계하기 위해서는 계류력의 정확한 평가방법이 확립되어야 한다. 계류선박에 관한 과거의 연구는, 주로 계류선박의 운동해석에 초점을 맞추거나 또는 계류선박에 작용하는 외력을 독립적으로 파악하고자 한 것이 대부분이기 때문에 실무조선자가 그 결과를 현장에 적용하기에는 무리가 있다. 즉, 실무조선자가 피항 등의 안전조치를 취할 수 있도록 충분한 정보를 제공하지 못하는 실정이다.

계류선박이 어느 정도의 외력에 노출되었을 때 안전조치를 취하여야 하는지를 정량적으로 평가하기 위하여는 계류선박에 작용하는 외력의 종류와 크기를 파악하여야 한다. 계류선박에는 풍력, 조류력, 파력, 해류력 등의 복합 외력이 작용하며, 이러한 외력에 대항하여 선박을 적절한 위치에 유지시키기 위한 반력이 작용한다. 계류선박이 작용외력에 의해 운동을 하면, 동시에 부력분포가 변화하고 복원력이 발생한다. 이러한 과정에서 계류색, 안벽비트 또는 계선원치가 파단되기도 한다. 따라서 계류설비의 위치나 강도 등의 선택은 초기 설계 단계에서 상당히 중요하다.

일반적으로 계류안벽이 위치하는 항만은 차폐된 정온해역 및 천해역이다. 따라서 차폐해역에서는 바람 및 조류에 의한 외력이 계류선박에 탁월하게 작용한다. 지금까지는 주로 풍력만에 의한 계류력이 검토되었으나(岩井, 1962, 本田 等, 1981, 花房 等, 1993), 차폐해역에서는 조류력을 무시할 수 없는 경우가 많다. 또한 모든 작용외력을 취급하여 계류력을 검토한 연구(Chernjowski, 1980, Natarajan and Ganapathy, 1995)는 실용상 복잡하고 적용하기에 불편한 단점이 있다. 따라서 이 연구에서는 안벽 계류한 계류선박을 대상으로, 계류선박에 작용하는 풍력과 조류력에 의한 계류력을 평가하고 계류한계풍속의 산정수법을 제안하고자 한다.

2. 계류선박에 작용하는 외력

계류안벽이 위치하는 곳은 일반적으로 정온해역 및 천해역이다. 계류선박에는 바람, 조류, 파랑, 해류 등에 의한 외력이 작용하지만 정온한 천해역에서는 바람 및 조류에 의한 외력이 탁월하게 작용한다.

2.1 풍력

좌표계로서 Fig. 1에 나타낸 바와 같이 직교좌표계를 사용한다. Fig. 1에서, x 와 y 는 수평축이며 x 축은 선체중앙을 원점으로 하여 선미방향이 양인 축, y 축은 x 축과 직교하는 축이다. 그림에는 나타나 있지 않지만 z 축은 평균해면을 원점으로하여 위방향이 양(+), 아랫방향이 음(-)이다. ϕ 는 x 축과 바람 또는 조류의 방향이 이루는 각도로 반시계방향으로 $0^\circ \sim 360^\circ$ 를 취하며, V 및 W 는 각각 평균해면상 10m에서의 풍속 및 평균해면에서의 조류속이다. 또한 A, B는 각각 선체의 수면상 측면 투영면적 및 수면상 정면 투영면적이다.

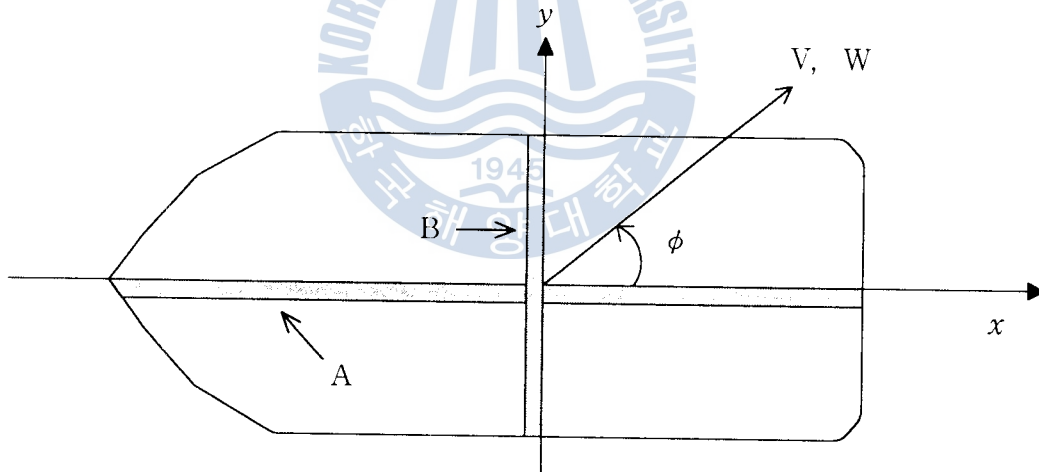


Fig. 1 Coordinate system

선박에 작용하는 풍력의 산정에는 평균해면상 10 m의 풍속을 이용하며 평균해면상 임의높이 z 에서의 풍속 V_z 와 평균해면상 10 m높이에서의 풍속 V 는 다음 식과 같은 풍속분포관계를 가진다.

$$V_z = V \left(\frac{z}{10} \right)^\gamma \quad (2.1)$$

여기서, γ 는 풍속의 분포형을 규정하는 지수이며 일반적으로 해상에서는 1/7을 채

용한다. 또한, 선박에 작용하는 풍력 R_{aH} 의 산정에는 일반적으로 Huges의 식(1930)이 이용된다.

$$R_{aH} = \frac{1}{2} \rho_a C_a V^2 (A \sin^2 \phi + B \cos^2 \phi) \quad (2.2)$$

여기서, ρ_a 는 공기밀도, C_a 는 바람의 합력계수이다.

식(2.2)는 단일외력이 작용하는 경우에 간편하게 적용할 수 있는 식이나 조류력 등의 합성외력이 작용하는 경우에는 실용상 많은 어려움이 따른다. 따라서 풍력이외의 외력이 작용하는 경우를 고려하여 풍력 R_a 를 다음 식과 같이 분력의 합으로 표기한다.

$$R_a = R_{ax}i + R_{ay}j \quad (2.3)$$

여기서 R_{ax} 및 R_{ay} 는 각각 식 (2.4) 및 식 (2.5)에 나타낸 바와 같이 x 및 y 방향의 풍력의 분력이며 i 및 j 는 각각 x 및 y 방향의 단위벡터이다.

$$R_{ax} = \frac{1}{2} \cdot \rho_a \cdot C_{ax} \cdot V^2 \cdot (A \sin \phi \cos \phi + B \cos \phi \cos \phi) \quad (2.4)$$

$$R_{ay} = \frac{1}{2} \cdot \rho_a \cdot C_{ay} \cdot V^2 \cdot (A \sin \phi \sin \phi + B \cos \phi \sin \phi) \quad (2.5)$$

여기서 C_{ax} 및 C_{ay} 는 각각 x 방향 및 y 방향의 바람의 항력계수이다. 식 (2.4) 및 식 (2.5)에서 우변의 괄호안은 각각 수풍면적의 x 항(식 (2.4)) 및 수풍면적의 y 항(식 (2.5))을 나타낸다.

또한, 각 분력(식 (2.4)와 식 (2.5))을 합성하여 풍압력(풍력) R_a 를 얻는다.

$$\begin{aligned} R_a &= |R_a| \\ &= \sqrt{R_{ax}^2 + R_{ay}^2} \\ &= \frac{1}{2} \cdot \rho_a \cdot C_a \cdot V^2 \cdot (A \sin \phi + B \cos \phi) \end{aligned} \quad (2.6)$$

식 (2.6)에서 $C_{ax} = C_{ay} = C_a$ 로 하였다.

식 (2.2)와 식 (2.6)을 무차원하여 식 (2.7) 및 식 (2.8)을 얻는다.

$$\begin{aligned} R_a^* \frac{R_{aH}}{\frac{1}{2} \rho_a C_a V^2 A} &\equiv R_{aH}^* \\ &= \sin^2 \phi + \frac{B}{A} \cos^2 \phi \end{aligned} \quad (2.7)$$

$$\begin{aligned} \frac{R_a}{\frac{1}{2} \rho_a C_a V^2 A} &\equiv R_a^* \\ &= \sin \phi + \frac{B}{A} \cos \phi \end{aligned} \tag{2.8}$$

Fig. 2에 R_{ah}^* 와 R_a^* 를 비교하여 나타낸다. 그림에서 횡축은 풍향 ϕ , 종축은 부차원 풍력 R_{ah}^* 와 R_a^* , ○와 ●는 각각 $B/A = 0$ 인 경우의 R_{ah}^* 와 R_a^* , □와 ■는 각각 $B/A = 1$ 인 경우의 R_{ah}^* 와 R_a^* 를 나타낸다. 일반적으로 $0 < B/A < 1$ 이며 그림에는 양극단을 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 R_a^* 는 R_{ah}^* 보다 항상 큰 값을 나타내며 또한 위험값을 나타낸다.

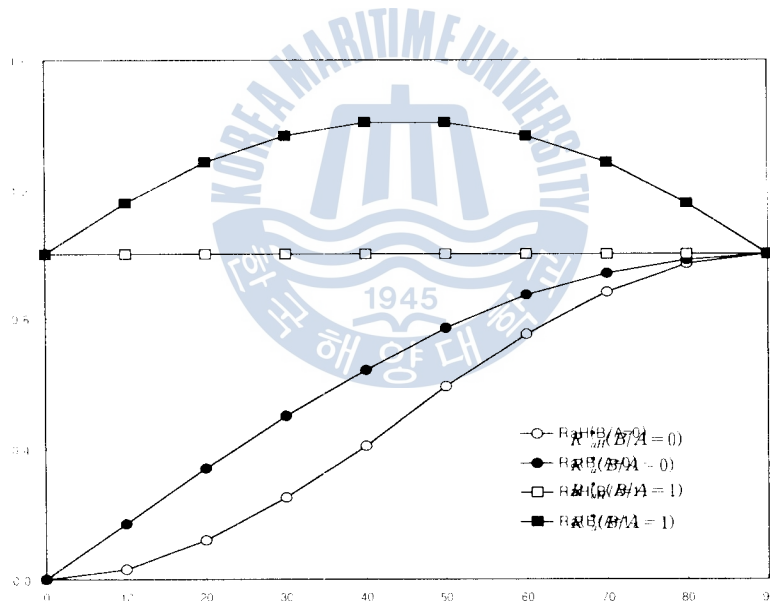


Fig. 2 Comparison of R_{ah}^* and R_a^*

2.2 조류력

선박이 안벽에 계류하는 곳은 일반적으로 천해역이며 천해역에서는 조류가 탁월하다. 특히 대형선일 경우 공선시의 바람보다 만재시의 조류가 계류력에 더 큰 영향을 미친다(윤점동, 1983). 좌표계는 Fig. 1과 동일한 직교좌표계를 사용한다. 즉, Fig. 1에서 설명한 바와 같이 ϕ 는 조류의 방향, W 는 평균해면에서의 조류속이다. 임의수심

z 에서의 조류속 W_z 와 평균해면에서의 조류속 W 는 바람의 경우와 비슷하게 다음 식과 같은 연직분포관계를 가진다.

$$W_z = W \left(1 - \frac{z}{h}\right)^\delta \quad (2.9)$$

여기에서 h 는 평균수심, δ 는 유속의 분포형을 규정하는 지수이며 조류의 경우는 1/7을 채용한다.

조류력 R_w 는 풍력 R_a 의 경우 (식 (2.3))와 비슷하며 다음 식과 같이 분력의 합으로 표기한다.

$$R_w = R_{ux} i + R_{wy} j \quad (2.10)$$

여기서 R_{ux} 및 R_{wy} 는 각각 식 (2.10) 및 (2.11)에 나타낸 바와 같이 x 및 y 방향의 조류력의 분력이다.

$$R_{ux} = \frac{1}{2} \rho_w C_{ux} W^2 (A' \sin \phi \cos \phi + B' \cos \phi \cos \phi) \quad (2.11)$$

$$R_{wy} = \frac{1}{2} \rho_w C_{wy} W^2 (A' \sin \phi \sin \phi + B' \cos \phi \sin \phi) \quad (2.12)$$

여기서 ρ_w 는 해수의 밀도, C_{ux} 및 C_{wy} 는 각각 x 방향 및 y 방향의 해수의 항력계수, A' 및 B' 는 각각 선체의 수면하 측면투영면적 및 정면투영면적이다. 바람의 경우와 마찬가지로 식 (2.11) 과 식 (2.12)의 괄호안은 각각 조류작용면적의 x 항(식 (2.11)) 및 y 항(식 (2.12))을 나타낸다. 또한, 각 분력을 합성하여 조류합력(조류력) R_w 를 얻는다.

$$\begin{aligned} R_w &= |R_w| \\ &= \sqrt{R_{ux}^2 + R_{wy}^2} \\ &= \frac{1}{2} \rho_w C_w W^2 (A' \sin \phi + B' \cos \phi) \end{aligned} \quad (2.13)$$

식 (2.13)에서 바람의 경우와 마찬가지로 $C_{ux} = C_{wy} = C_w$ 로 하였다.

3. 계류선박에 작용하는 계류력

안벽계류일 경우 계류현쪽이 안벽이므로 계류현 반대쪽에서 계류현쪽으로 작용하는 외력은 계류력에 큰 영향을 미치지 못한다. 계류선에 작용하는 계류력(장력)을 T라 할

때 (Fig. 4 참조)수평계류력 H 를 분력의 합으로 표기하여 다음 식을 얻는다.

$$H = H_x i + H_y j \quad (3.1)$$

여기서 H_x 및 H_y 는 각각 x 방향 및 y 방향의 계류력의 분력이며 식 (3.2) 및 식 (3.3)으로 나타낸다. Fig. 3 및 Fig. 4에서 α ($\angle PSQ$)는 선상의 계류점 P의 수평면과 계류선이 이루는 각(부각)이며 β 는 선체에서 계류현쪽으로 배치된 계류선이 선수미선과 이루는 각(사출각)이다.

$$H_x = T \cos \alpha \sin \beta \quad (3.2)$$

$$H_y = T \cos \alpha \cos \beta \quad (3.3)$$

계류력 H 는 다음 식과 같이계류분력 H_x 와 H_y 를 합성하여 구해진다.

$$\begin{aligned} H &= |H| \\ &= \sqrt{H_x^2 + H_y^2} \\ &= T \cos \alpha \end{aligned} \quad (3.4)$$

풍력, 조류력 및 계류력은 평형을 이루며 x 및 y 방향의 평형식은 각각 식 (3.5) 및 식 (3.6)이 된다.

$$\begin{aligned} &\frac{1}{2} \rho_a C_{ax} V^2 (A \sin \phi \cos \phi + B \cos \phi \cos \phi) \\ &+ \frac{1}{2} \rho_w C_{wx} W^2 (A' \sin \phi \cos \phi + B' \cos \phi \cos \phi) \\ &= T \cos \alpha \sin \beta \end{aligned} \quad (3.5)$$

$$\begin{aligned} &\frac{1}{2} \rho_a C_{ay} V^2 (A \sin \phi \sin \phi + B \cos \phi \sin \phi) \\ &+ \frac{1}{2} \rho_w C_{wy} W^2 (A' \sin \phi \sin \phi + B' \cos \phi \sin \phi) \\ &= T \cos \alpha \cos \beta \end{aligned} \quad (3.6)$$

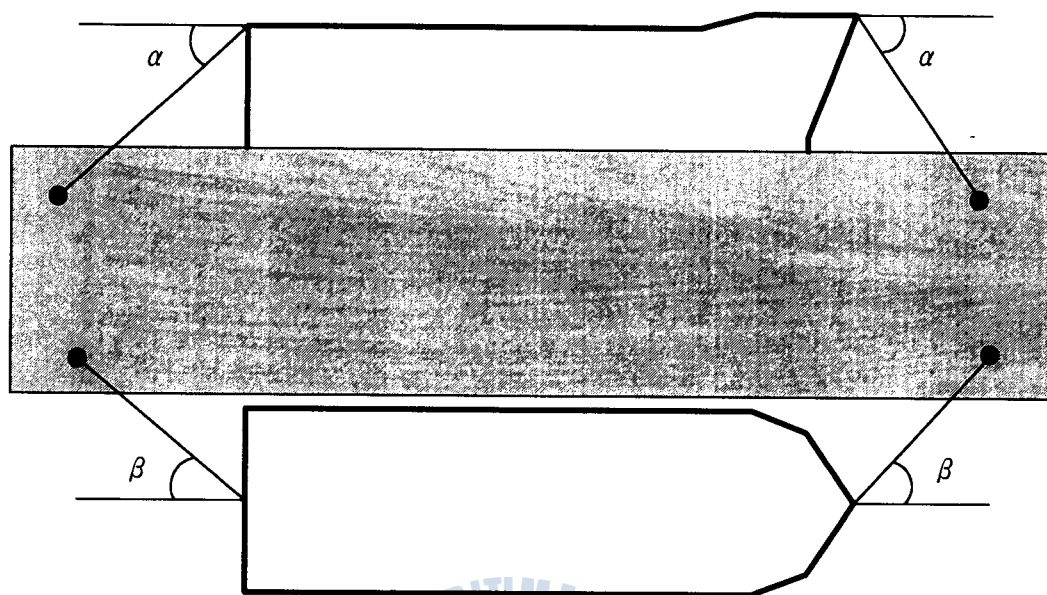


Fig. 3 Angles of mooring lines

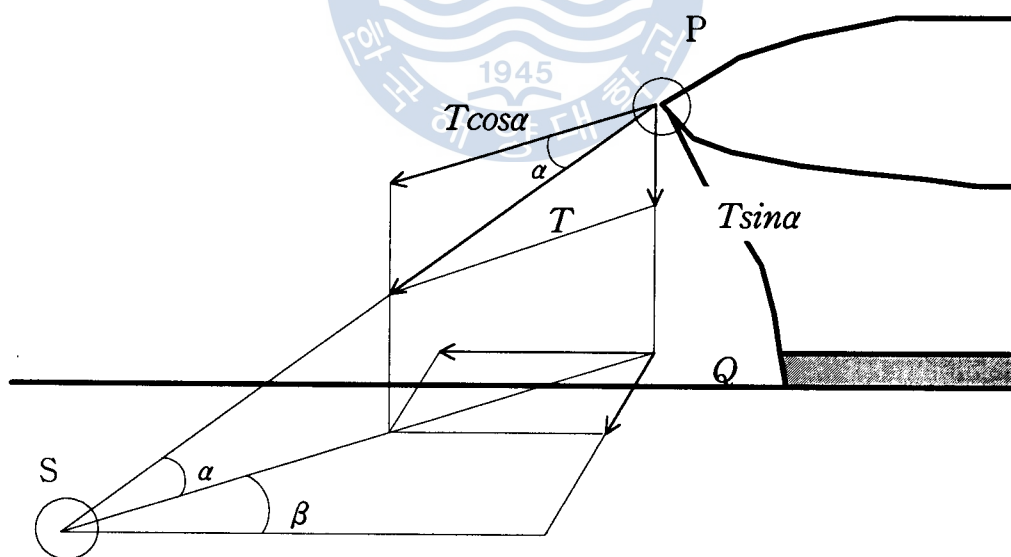


Fig. 4 Forces acting on a moored vessel

바람은 선체정횡 계류현쪽에서 불고 ($\phi=90^\circ$) 조류는 선수에서 선미쪽으로 흐를 때 ($\phi=0^\circ$)를 가정하면 식 (3.5) 및 식 (3.6)에서 각각 식(3.7) 및 식 (3.8)을 얻는다.

$$T \cos \alpha \sin \beta = \frac{1}{2} \rho_w C_{wx} W^2 B' \quad (3.7)$$

$$T \cos \alpha \cos \beta = \frac{1}{2} \rho_a C_a V^2 A \quad (3.8)$$

식(3.7)과 식(3.8)을 제곱하여 합성하면 수평계류력 $T \cos \alpha (=H)$ 를 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} T \cos \alpha &= H \\ &= \sqrt{\left(\frac{1}{2} \rho_a C_a V^2 A\right)^2 + \left(\frac{1}{2} \rho_w C_w W^2 B'\right)^2} \quad (3.9) \end{aligned}$$

4. 실 험

이 장에서는 한국에서 물동량이 가장 많은 부산항을 채택하여 현장에서의 바람 및 조류의 특성을 파악하고자 한다.

4.1 풍속 및 풍향

풍속 및 풍향은 최근 1년간 (1997년)의 기상청자료를 참조하였다. Fig. 5는 부산의 매월 최대풍속을 나타낸다. 이 기간 중에 5월 최대풍속은 약 21m/s로 가장 강했으며, 12월의 최대풍속은 약 12m/s로 가장 약했던 것으로 보아 비교적 현저한 강풍은 관측되지 않았음을 알 수 있다. 실제로 태풍이 부산근교를 통과할 때는 풍속은 30m/s 이상이며, 1987년 태풍 다이아나가 통과할 때 30m/s 이상의 풍속이 관측되었다(한국해양대학교, 1988). Fig. 5는 풍향의 방향별 빈도를 나타낸다. 이 기간중, 북동, 남남서 및 남서풍이 탁월하였음을 알 수 있다. 특히, 남남서풍은 한나라호에 대해 부두쪽에서 부는 정횡풍이며, 여름에 탁월하다.

4.2 조류속 및 유향

음향도플러 유속계(ADP : Nortek AS)를 한나라호 선수부근의 수심 $h=-8.1\text{m}$ 해저(ADP는 해저에서 0.7m지점)에 설치하여 조류속과 유향을 관측하였다.

유속 측정기간은 1998. 8. 7~8.27, 1998. 9. 21~9. 28이며 이 기간중 2분간격으로 수

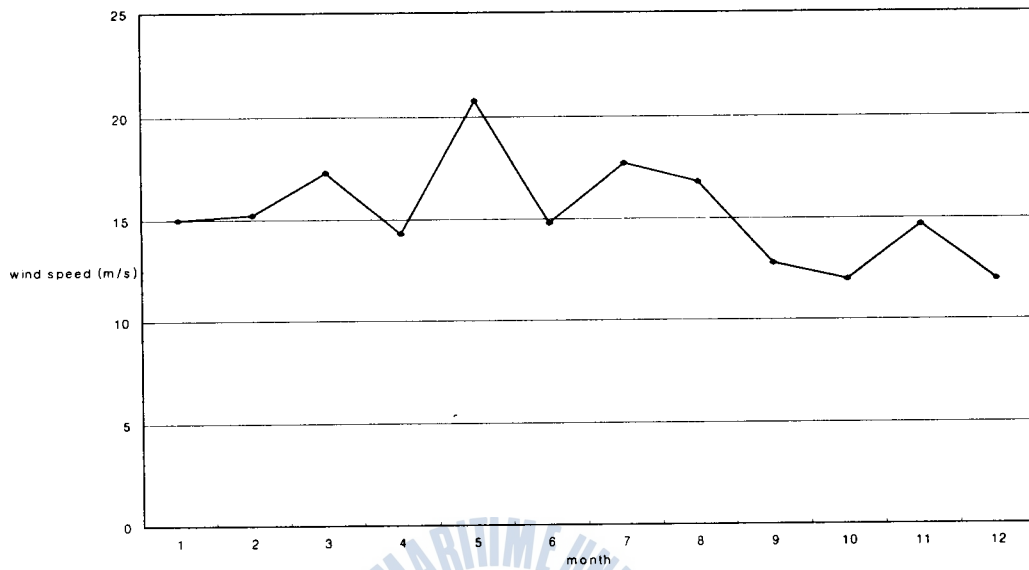


Fig. 5 Maximum wind speed per each month during 1997

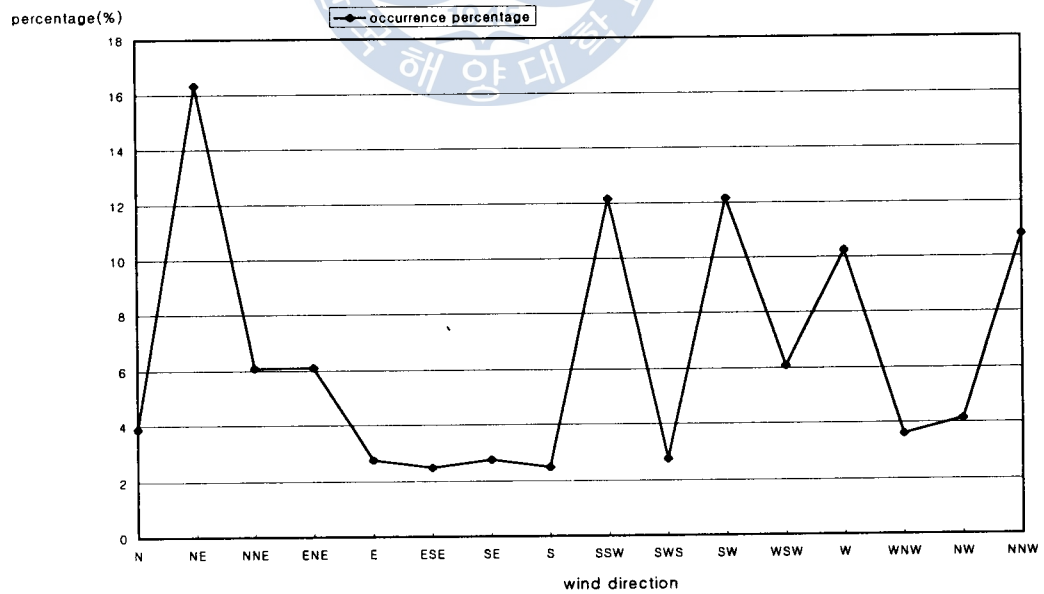


Fig. 6 Occurrence percentage per each wind direction

심을 10층으로 분할하여 유속 및 유향을 연속측정하였다. 동시에 수위계(WTR9, ANNDERAA, Model 730 : VELEPORT)를 설치하여 수위를 측정하였다.

부산항의 조석은 뚜렷한 일조부등을 보이며, 조차는 약 0.8m이다. 수심 약 2m의 조류속이 다른 깊이에서의 유속보다 대체로 크며, 그림에는 나타나 있지 않지만 수심 4m이상의 조류속은 매우 약하다. 또한 최대유속도 수심약 2m에서 약 0.8m/s(1.5노트)이며 일반적으로 매우 약하고, 저조시의 유속은 강하다. 유향은 대부분이 한나라호의 선수방향에서 선미방향으로 흐르는 남향류이다.

수심약 2m의 유속이 크고 유향은 양의 방향 즉, 211°로 흐르는 흐름이 탁월함을 알 수 있으며, 최대유속은 약 0.8m/s(1.5노트)이다.

5. 계류한계풍속

계류선박이 외력을 견딜 수 없을 경우, 계류색을 보강하거나 피항을 하는 등 안전조치를 취한다. 이 장에서는 실무조선자가 간편하게 적용할 수 있는 계류한계풍속을 유도하고 예시하고자 한다.

식 (3.9)를 풍속 V 에 대해서 정리하여 다음 식 (5.1)를 얻는다.

$$V = 3.38 \left(\frac{T^2 \cos^2 \alpha}{A^2} - 13.4 W^4 \right)^{\frac{1}{4}} \quad (5.1)$$

식 (5.1)은 식 (3.9)에서 $\rho_a=0.125 \text{ kgf} \cdot \text{s}^2 / \text{m}^4$, $\rho_w=104.6 \text{ kgf} \cdot \text{s}^2 / \text{m}^4$, 및 $B'=0.07A$ 를 적용하였다. 또한 C_a 및 C_w 는 각각 안전측면을 고려하여 1.4 및 1.0을 적용하였다 (Natarajan and Ganapathy, 1995).

식 (5.1)은 단일 계류색일 경우의 관계이며, 계류색이 다수일 때는 다음식이 된다

$$V = 3.38 \left(\frac{\sum_{i=1}^N T_i^2 \cos^2 \alpha_i}{A^2} - 13.4 W^4 \right)^{\frac{1}{4}} \quad (5.2a)$$

각 계류색에 작용하는 장력과 부각이 동일하다면 식 (5.2a)는 식 (5.2b)가 된다.

$$V = 3.38 \left(\frac{N T^2 \cos^2 \alpha}{A^2} - 13.4 W^4 \right)^{\frac{1}{4}} \quad (5.2b)$$

식(5.2a) 및 식(5.2b)에서 계류색의 장력 T 를 계류색의 안전사용하중 T_s 로 바꾸어 주변 계류한계풍속 V_{crit} 를 얻을 수 있다.

$$V_{\text{crit1}} = 3.38 \left(\frac{\sum_{i=1}^N T_{s_i}^2 \cos^2 \alpha_i}{A^2} - 13.4 W^4 \right)^{\frac{1}{4}} \quad (5.3a)$$

$$V_{\text{crit2}} = 3.38 \left(\frac{N T_s^2 \cos^2 \alpha}{A^2} - 13.4 W^4 \right)^{\frac{1}{4}} \quad (5.3b)$$

또한 실용목적상 각 계류색에 작용하는 장력과 부각이 동일하다는 조건으로 식(5.3b)를 적용하면 좋다.

안벽계류한 선박으로서 한나라호의 계류한계풍속에 대해서 고찰해보면 다음과 같으며, 한나라호의 관련제원 및 계류색 파단하중을 Table 2에 나타낸다.

Table 1. Principal dimensions of T/S Hannara

전 장	102.7 m	수면상 정면투영면적	438.0 m ²
수면간장	93.0 m	수면상 측면투영면적	1009.6 m ²
형 폭	14.5 m	수면하 정면투영면적	68.2 m ²
형 깊이	9.5 m	수면하 측면투영면적	429.7 m ²
흘 수	5.4 m	계류색 파단하중	43.1 tonf

Table 2~5에 계류색 수 N , 계류색의 부각 α 및 조류속 W 의 변화에 따른 한계 풍속을 나타내며, 표에서 V^* 는 돌풍을 고려할 때의 평균풍속이다.

6. 결 론

이상에서 살펴본 바와 같이 이 연구에서는 계류력을 유도하고, 실용상 간편한 계류 한계풍속을 고찰하였다. 그 결과를 요약하여 정리하면 다음과 같다.

- 1) 계류력을 평가하고 실용상 간편한 계류한계풍속의 산정방법을 제안하였으며, 일반적인 계류일 경우(계류색수 12, 부각 30°, 조류속 1m/s) 한나라호의 계류한계 풍속은 19.5m/s이다.
- 2) 부산항의 풍속은 5월에 가장 크며, 북동, 남남서 및 남서풍이 탁월하다.
- 3) 관측중 한나라호 부근의 유속은 고조시에 작으며, 저조시에 크다. 또한 최대유속은 수심 2m에서의 약 0.8m/s(1.5노트)로 남향류가 탁월하다.

앞으로 이 연구를 확장 전개하여 바람 및 조류의 영향 뿐만아니라 파랑의 영향을 고려한 계류력의 간편한 산정수법이 필요하다.

Table 2. Calculation results(T/S Hannara)

N = 10, W = 1.0 m/sW			N = 10, W = 1.5 m/s			N = 10, W = 2.0 m/s		
α ($^{\circ}$)	V_{crit2} (m/s)	V^* (m/s)	α ($^{\circ}$)	V_{crit2} (m/s)	V^* (m/s)	α ($^{\circ}$)	V_{crit2} (m/s)	V^* (m/s)
0	20.054	13.36948	0	19.830	13.22017	0	19.186	12.79087
5	20.016	13.34374	5	19.790	13.19355	5	19.142	12.76146
10	19.900	13.26642	10	19.670	13.11353	10	19.009	12.67292
15	19.706	13.13718	15	19.469	12.97962	15	18.786	12.52421
20	19.433	12.95543	20	19.186	12.79097	20	18.470	12.3135
25	19.080	12.72028	25	18.819	12.54628	25	18.057	12.03788
30	18.646	12.43048	30	18.365	12.24363	30	17.539	11.6929
35	18.126	12.08425	35	17.820	11.88031	35	16.908	11.27178
40	17.519	11.67916	40	17.179	11.4524	40	16.146	10.76387
45	16.818	11.21183	45	16.431	10.95414	45	15.227	10.15147
50	16.016	10.67746	50	15.565	10.37677	50	14.104	9.402516
55	15.104	10.06906	55	14.559	9.706218	55	12.674	8.449497
60	14.064	9.376033	60	13.377	8.917849	60	10.655	7.103485

Table3. Calculation results(T/S Hannara)

N = 12, W = 1.0 m/sW			N = 10, W = 1.5 m/s			N = 10, W = 2.0 m/s		
α ($^{\circ}$)	V_{crit2} (m/s)	V^* (m/s)	α ($^{\circ}$)	V_{crit2} (m/s)	V^* (m/s)	α ($^{\circ}$)	V_{crit2} (m/s)	V^* (m/s)
0	20.999	13.99927	0	20.804	13.86959	0	20.252	13.50111
5	20.959	13.97237	5	20.763	13.84193	5	20.207	13.4711
10	20.837	13.89155	10	20.638	13.75877	10	20.071	13.3808
15	20.635	13.75647	15	20.430	13.61967	15	19.844	13.22929
20	20.350	13.56653	20	20.136	13.42377	20	19.522	13.01496
25	19.981	13.32081	25	19.755	13.16982	25	19.103	12.73523
30	19.527	13.01801	30	19.284	12.85597	30	18.579	12.38627
35	18.984	12.65633	35	18.719	12.47959	35	17.943	11.96228
40	18.350	12.23327	40	18.055	12.03694	40	17.182	11.45435
45	17.618	11.74537	45	17.284	11.52257	45	16.272	10.84817
50	16.782	11.18776	50	16.392	10.92831	50	15.178	10.11899
55	15.830	10.55336	55	15.362	10.24127	55	13.828	9.218593
60	14.747	9.831513	60	14.159	9.439465	60	12.047	8.031497

Table 4. Calculation results(T/S Hannara)

N = 14, W = 1.0 m/s			N = 14, W = 1.5 m/s			N = 14, W = 2.0 m/s		
α ($^{\circ}$)	V_{crit2} (m/s)	V^* (m/s)	α ($^{\circ}$)	V_{crit2} (m/s)	V^* (m/s)	α ($^{\circ}$)	V_{crit2} (m/s)	V^* (m/s)
0	21.831	14.55397	0	21.658	14.4388	0	21.171	14.1142
5	21.789	14.52604	5	21.615	14.41019	5	21.125	14.08356
10	21.663	14.44213	10	21.486	14.32421	10	20.987	13.99139
15	21.453	14.30189	15	21.271	14.18041	15	20.755	13.83684
20	21.157	14.10469	20	20.967	13.97795	20	20.428	13.61843
25	20.774	13.8496	25	20.573	13.7156	25	20.001	13.33383
30	20.303	13.5353	30	20.087	13.39153	30	19.469	12.97956
35	19.740	13.15991	35	19.505	13.00319	35	18.826	12.55043
40	19.081	12.72091	40	18.820	12.54693	40	18.058	12.03862
45	18.322	12.21475	45	18.026	12.0175	45	17.148	11.43178
50	17.455	11.63647	50	17.111	11.4071	50	16.064	10.70922
55	16.468	10.97889	55	16.055	10.70357	55	14.749	9.832576
60	15.347	10.23126	60	14.830	9.886626	60	13.076	8.717652

Table 5. Calculation results(T/S Hannara)

N = 16, W = 1.0 m/s			N = 16, W = 1.5 m/s			N = 16, W = 2.0 m/s		
α ($^{\circ}$)	V_{crit2} (m/s)	V^* (m/s)	α ($^{\circ}$)	V_{crit2} (m/s)	V^* (m/s)	α ($^{\circ}$)	V_{crit2} (m/s)	V^* (m/s)
0	22.577	15.05164	0	22.422	14.94768	0	21.985	14.65643
5	22.534	15.02278	5	22.377	14.91821	5	21.938	14.62517
10	22.404	14.93609	10	22.244	14.82966	10	21.797	14.53111
15	22.187	14.7912	15	22.022	14.68156	15	21.560	14.37349
20	21.881	14.58747	20	21.710	14.4731	20	21.226	14.15091
25	21.486	14.32395	25	21.305	14.20304	25	20.792	13.86119
30	20.999	13.99927	30	20.804	13.86959	30	20.252	13.50111
35	20.417	13.61154	35	20.205	13.47023	35	19.599	13.06589
40	19.737	13.15816	40	19.502	13.00137	40	18.823	12.54841
45	18.953	12.63552	45	18.687	12.45789	45	17.906	11.93762
50	18.058	12.03857	50	17.748	11.83222	50	16.823	11.21539
55	17.040	11.36001	55	16.669	11.11272	55	15.524	10.34924
60	15.883	10.58898	60	15.420	10.28022	60	13.908	9.271844

참 고 문 헌

1. 기상연보, 기상청, 1997.
2. 윤점동 거대형선 조선론, 아성출판사, 부산, 1983.
3. 韓國海洋大學颱風被害恒久復舊工事 設計用役報告書, 韓國海洋大學教, 1988.
4. Chernjowski Michael, Mooring of Surface Vessels to Piers, Marine Technology, 1980.
5. Hughes G., The Air Resistance of Ships, Hull with Various Types and Distribution of Superstructure, T.I.T & S. in Scot, 1930.
6. Natarajan R. and C.Ganapathy, Analysis of Moorings of a Berthed Ship, Marine Structurers, 1993
7. 木田啓之輔・松本 哲・井上欣三, 接岸避泊に關する模型實驗, 日本航海學會論文集第57号, 1981.
8. 福田 功・柳生忠彦, 係船柱にかかるけん引力について, 港灣技研資料 No.427, 1982.
9. 岩井 聰・尖島澄夫, 係泊船に働く風壓力について, 日本航海學會論文集第26号, 1962.
10. 花房 元顯, 井上 欣三, 水間 範夫, 安樂 俊彦, 係留限界風速計算圖表の作成, 1993.



