

실습선 한바다호의 강풍시 항내 어프로칭 조선 및 예인선 사용 기준에 관한 연구

정창현* · 공길영** · 이윤석†

*한국해양대학교 한바다호 일등항해사, †, ** 한국해양대학교 교수

Ship's Maneuverability & Required Number of Tug Boat in Strong Winds for the T.S. HANBADA

Chang-Hyun, Jung* · Gil-Young, Kong** · Yun-Sok, Lee†

*Chief Officer, T/S HANBADA, Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea
†, **Professor, Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

요 약 : 실습선 한바다호는 수면 상부의 구조물이 상대적으로 큰 선형으로 풍압력의 영향을 크게 받아 압류나 회두와 같은 현상이 비교적 크게 나타나고, 특히 접이안 또는 항내에서 저속으로 운항할 경우 이러한 외력의 영향이 현저하게 작용한다. 본 논문에서는 파도가 충분히 발달되지 않은 항내 조선을 전제로 한바다호의 풍압력과 풍압모우멘트를 산출하여 상대 풍향과 풍속에 따른 표류각과 대응 타각을 분석하였다. 또한, 실습선 한바다호의 접이안시 예인선의 소요마력 결정을 선체에 작용하는 풍압력을 기초로 산출하였고, Bow Thruster를 이용한 접이안 가능 최대 풍속을 제시하였다. 연구 결과는 풍압력이 크게 작용하는 대형선의 항내조선과 예인선 운용에 큰 도움이 될 것으로 판단된다.

핵심용어 : 풍압력, 풍압모우멘트, 표류각, 대응 타각, 최대풍속, 예인선 운용

Abstract : T.S. HANBADA has a relatively large hull and superstructures above the water line, so she has much of leeway or turning of bow with the effect of winds. Especially on berthing, unberthing and/or sailing on low speed, these effects take place more significant. Therefore, it was carried out the numerical calculation of the wind force and moments acting on the T.S. HANBADA, and then calculated the leeway angle and counter rudder angle with the relative wind direction and velocity. Also, it was suggested the maximum wind velocity which could be berthed or unberthed used by bow thruster and the tugboat operations in strong winds. These results will be great helpful to the vessels with large superstructures on ship's handling in harbour or tugboat operations.

Key words : Wind force and moments, Leeway angle, Counter rudder angle, Maximum wind velocity, Tugboat operations

1. 서 론

선박이 대형화되면서 수면하부의 침수면적보다 수면상부의 구조물이 상대적으로 큰 선박들이 운항되고 있다. 이러한 선박은 접이안 조선이나 항내에서 저속으로 항해할 때 바람과 조류 등 외력의 영향을 상대적으로 크게 받아 압류나 회두와 같은 현상이 현저하게 나타나 선박 조종에 상당한 지장을 초래하는 경우가 있다. 특히, 강풍이나 갑작스런 돌풍이 작용할 경우 풍압력과 풍압모우멘트의 영향으로 표류각이 형성되고, 이에 대응하기 위한 적절한 대응 타각을 적시에 사용하지 못하면 선박은 위험한 상황에 직면하게 된다.

또한, 현행 국내 주요 무역항의 예선운용규칙에 명시된 예선 소요마력 및 운용 척수가 선체에 작용하는 외력의 크기에 의해 결정되지 않고 해당 선박의 톤수에 의해 일률적으로 정

해짐으로써 돌풍 등 강풍이 예상될 경우 예인선 운용을 어떻게 해야 할 것인가에 대한 연구는 아직 부족한 실정이다.

이와 같이 특정 외력이 작용할 경우 표류 또는 압류가 일어나 발생하고 이에 대응하기 위한 대응 타각을 얼마만큼 사용해야 하는지를 정량적으로 판단할 수 있는 평가 방법의 정립이 절실히 요구된다. 또한, 접이안 시 예인선을 사용함에 있어 특정 외력에 따른 예인선 사용 척수 및 마력에 대해서도 명확한 기준을 가지고 운용할 필요가 있다.

항내 조선과 풍압에 관한 연구로는 실습선 한나라호에 작용하는 풍압력 및 풍압모우멘트 영향에 관한 연구(이, 2007), 강풍 하에서의 선박의 조종성능에 관한 연구(Im et al., 2008), 선박 접이안 조종시뮬레이션을 이용한 조종위험도 평가 기법에 관한 연구(양 외, 2005) 등이 선행되었다.

본 논문에서는 위의 관련 연구를 기초로 조류의 영향이 적

* 대표저자 : 정창현(중신회원), hyon@hhu.ac.kr 051)410-4206

** 중신회원, gykong@hhu.ac.kr 051)410-4273

† 교신저자 : 이윤석(중신회원), lys@hhu.ac.kr 051)410-4204

고 파도가 충분히 발달되지 않은 항내 조선을 전제로 상대 풍향과 풍속에 따른 표류각과 대응 타각을 분석하였다. 또한, 실습선 한바다호의 접이안 조선시의 예인선 소요마력 결정에 있어서는 해당 선박의 접이안 특성(횡이동 거리가 짧고, 횡이동 속도가 매우 작음)을 충분히 고려하여 풍압력만을 바탕으로 Bow Thruster를 이용한 접이안 가능 최대 풍속을 제시하였고, 외력이 강하게 작용할 경우 예인선 운용에 대한 정량적인 기준도 검토하였다. 이러한 결과는 상대적으로 풍압력이 크게 작용하는 대형선의 항내조선과 예인선 운용에 큰 도움이 될 것으로 판단된다.

2. 대상선박의 제원

본 연구의 대상 선박인 한바다호는 한국해양대학교의 실습선으로서, 선박 조종성능 계측 시스템(Ship's Maneuverability Measuring System), 선체응력 감시 시스템(Hull Stress Monitoring System), 엔진성능 측정 시스템(M.I.P & Ship Performance System), 배기가스 분석 시스템(Emission Analyzer System) 등 다양한 연구시설이 설치되어 있다. Table 1은 한바다호의 주요 제원을 나타내고, Fig.1은 Body Plan을 나타내고 있다.

Table 1 General particulars of T.S. HANBADA

ITEMS	DIMENSIONS
LOA / LBP	117.20 m / 104.00 m
Breadth(B)	17.80 m
Mean Draft	5.915 m
Service Speed / Maximum Speed	17.5 kts / 19.0 kts
Displacement	6,434.6 ton
Block Coefficient(C_b)	0.5719 at 5.915 m
L.C.G / V.C.G	-1.955 / 6.551 m
G_0M	1.931 m
Rudder Area ratio (A_R/L_d)	1/43.94
Transverse Projected Area (A_T)	287 m ²
Lateral Projected Area (A_L)	1,430 m ²

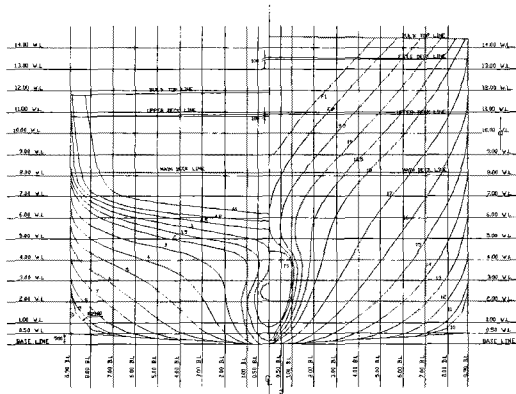


Fig. 1 Body Plan of T.S. HANBADA

3. 항내 어프로칭 및 접이안 조선의 조건

해상에서 선박은 바람, 파도, 조류 등 다양한 외력에 의해 복잡하고 불규칙적인 운동을 하게 되며, 이러한 외력을 모두 고려하여 선체운동을 정확히 파악하는 것은 상당히 곤란한 경우가 많다.

따라서 본 논문에서는 Fig.2에서와 같이 선박이 항내에 진입하여 파도, 조류 등의 외력은 무시할 수 있고, 단지 풍압력만이 고려되는 상황에서 선박이 일정한 대응타각을 사용하여 보침할 수 있는 조건을 계산하였다.

또한, 실습선 한바다호의 경우 일반적으로 부두 근처 전방에서 선회하여 후진하면서 선체가 부두에 5m이내까지 근접한 후 극미속(5cm/s이하)으로 횡 이동하여 접안하므로 선체 횡 이동에 따른 수면하부의 유압력은 거의 무시할 수 있다.

이러한 항내 조선의 조건을 감안하여 A의 어프로칭 조선에서의 표류각과 대응타각, 그리고 B의 접이안 조선에서의 Bow Thruster 및 예인선 사용 기준에 대하여 분석하였다.

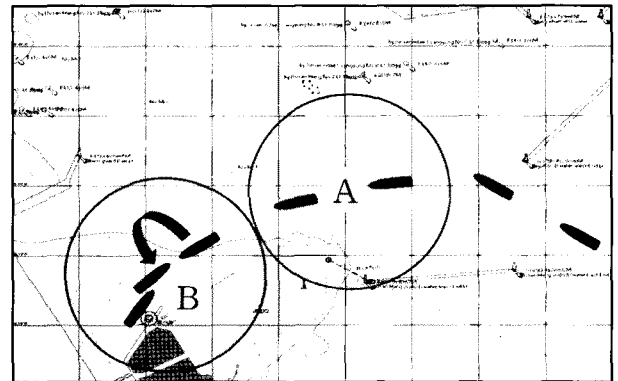


Fig. 2 Approaching and berthing of T.S. HANBADA

4. 강풍시 항내 어프로칭 조선

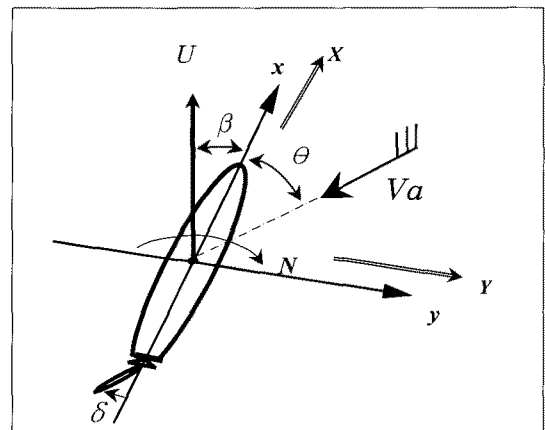


Fig. 3 Coordinate systems

선박이 풍압력을 받으면 일반적으로 나타나는 현상은 저항 증가로 인한 선속 감소, 전후·좌우 운동, 압류에 의한 표류각

형성, 선수 회두, 풍압력에 의한 횡경사 등을 들 수 있다. 이러한 현상을 선체 중심을 기준으로 성분별로 분리하면 수면 상부에 작용하는 풍압력(Wind force), 표류에 의한 수면 하부에 작용하는 유체력(Drifting force), 타각 사용에 따른 타력(Rudder force) 등이다.

일반적으로 선박은 Fig. 3과 같이 풍압력이 작용하면 선수 회두가 발생하고, 이를 억제하기 위해 일정 타각(δ)을 사용하여 침몰을 유지한다. 하지만, 선체는 β 만큼의 일정한 표류각(Leeway angle)이 형성되기 때문에 선박이 진행하고자 하는 방향과 실제 항적은 반드시 일치하지는 않는다.

선박이 풍압력에 의해 일정 표류각을 갖고 보침 항해하기 위해서는 풍압력과 수면 하부의 유체력 및 타각으로 기인되는 유체력이 상호 평형을 유지해야 하므로 다음과 같은 평형방정식이 유도된다. 여기서, Y_a, Y_d, Y_δ 는 바람에 의한 풍압력, 표류에 의한 유체력, 대응타각에 의한 타력을 의미하고, N 은 해당 요소의 모우멘트를 의미한다.

$$Y_a + Y_d + Y_\delta = 0, N_a + N_d + N_\delta = 0 \quad (1)$$

4.1 풍압력

바람에 의한 풍압력 및 풍압 모우멘트는 식(2) 및 (3)에 의하여 산출하였으며, 여기에서 가장 중요한 풍압 계수 결정은 한바다호의 정면 및 측면 풍압면적, 풍압 중심점, 선교 높이 등을 기초로 Fujiwara et al.(1998)에 의해 제안된 추정식에 입력하여 산출하였다.

$$Y_a = \frac{1}{2} \rho_a C_y(\theta) A_L V_a^2 \quad (2)$$

$$(4-2) N_a = \frac{1}{2} \rho_a C_N(\theta) A_L V_a^2 L_{oa} \quad (3)$$

단, A_L : 측면풍압면적, V_a : 상대풍속, ρ_a : 공기밀도
 $C_y(\theta)$: 측면풍압계수, $C_N(\theta)$: 풍압모우멘트 계수
 θ : 상대풍향, L_{oa} : 선박의 전체 길이

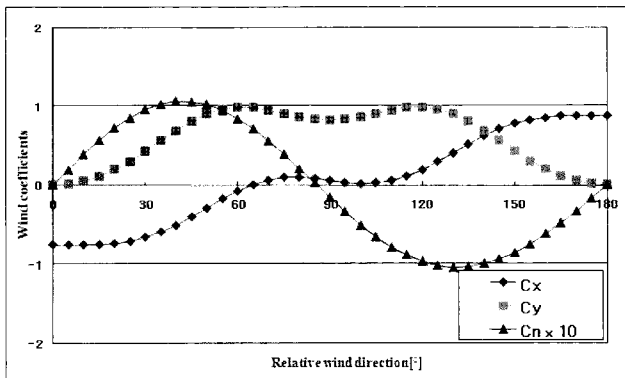


Fig. 4 Wind coefficients and moments with relative direction

한바다호의 상대 풍향(우현 +)에 따른 정면풍압계수(C_x)와 측면풍압계수(C_y) 및 풍압모우멘트계수(C_n)를 계산하면 Fig. 4와 같고, 그림의 풍압모우멘트는 10배 확대한 것이다.

각 방향별 계수값의 특성을 살펴보면 C_x 의 최대값은 180°(선미방향)인 경우가 0.878이며, C_y 의 최대값은 060° 및 120°인 경우가 0.986이고, $C_n \times 10$ 의 최대값은 040°인 경우로 나타났다.

풍압력에 의한 횡방향 압류는 측면풍압계수의 최대값에 해당하는 상대풍향 060° 및 120° 부근에서 크게 발생할 것으로 예상되며, 선수 회두 현상은 풍압모우멘트계수가 최대인 상대풍향 040° 및 130° 부근에서 크게 발생할 것으로 사료된다.

상대 풍향과 풍속에 따른 횡방향 풍압력 산출 결과는 Fig. 5와 같고, 가장 풍압력이 크게 작용하는 상대풍향은 정횡방향(090°)이 아닌 060° 및 120° 방향으로 확인되었으며, 풍속이 각각 10m/s, 15m/s, 20m/s로 작용하면 선체는 각각 8.82tonf, 19.84tonf, 35.27tonf(1tonf=9.8kN)의 풍압력을 받는 것으로 계산되었다.

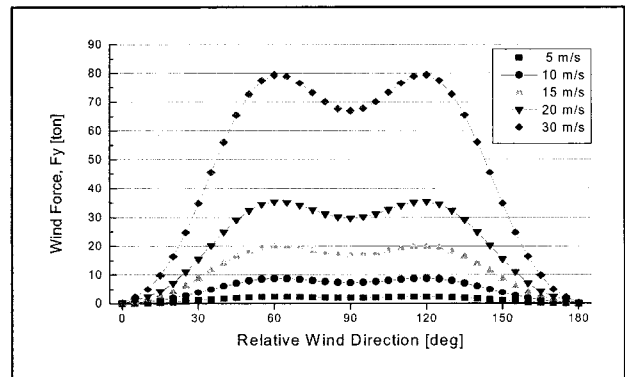


Fig. 5 Wind force with wind velocity and direction

4.2 표류각에 대한 유체력

선체가 외력에 의해 표류하게 되면 수면하부에는 유체력이 형성된다. 수면 하부에 작용하는 힘은 표류각 β 로 표현할 수 있고, 소각도 β 범위의 유체력을 고려하여 제1차 선형만을 고려하면 다음과 같이 표현할 수 있다.

여기에서 사용된 유체력 미계수는 선체와 프로펠러의 상호 간섭 현상을 선체의 주요 제원만으로 간략하게 산출할 수 있는 Inoue et al.(1981)의 추정식을 사용하였다.

$$Y_d = Y_d(\beta) = \frac{1}{2} \rho_w L d U^2 Y'_\beta \quad (4)$$

$$N_d = N_d(\beta) = \frac{1}{2} \rho_w L^2 d U^2 N'_\beta \quad (5)$$

단, ρ_w : 해수밀도, L : 선박의 길이(수선간장)

d : 평균흘수, β : 표류각, U : 선박의 진행 속도

Y'_β : 표류각에 대한 횡방향 유체력 미계수

N'_β : 표류각에 대한 선회모우멘트 유체력 미계수

4.3 타각에 의한 유체력

타에 의한 유체력은 타각을 함수로 다음과 같이 표현할 수 있고, 여기에서 사용된 유체력 미계수는 타직압력, 타에 유입되는 유효속력, 타 간섭계수, 타면적 등을 이용하여 산출하였다.

$$Y_{\delta} = Y_{\delta}(\delta) = \frac{1}{2}\rho_w L d U^2 Y'_{\delta} \delta \quad (6)$$

$$N_{\delta} = N_{\delta}(\delta) = \frac{1}{2}\rho_w L^2 d U^2 N'_{\delta} \delta \quad (7)$$

단, ρ_w : 해수밀도, L : 선박의 길이(수선간장)

d : 평균흘수, δ : 타각, U : 선박의 진행속도

Y'_{δ} : 타각에 의한 횡방향 유체력 미계수

N'_{δ} : 타각에 의한 선회모우멘트 유체력 미계수

4.4 표류각 및 대응타각

평형방정식에 대입되어야 할 풍압력과 각 유체력 요소에 대한 산출 식인 (2)식에서 (7)식까지를 식(1)에 대입한 후 $1/2\rho_w L d U^2$ 로 정리하면 다음과 같다.

$$Y'_{\beta} \beta + A_1 A_R C_y(\theta) \left(\frac{V_a}{U}\right)^2 + Y'_{\delta} \delta = 0 \quad (8)$$

$$N'_{\beta} \beta + A_1 A_2 A_R C_N(\theta) \left(\frac{V_a}{U}\right)^2 + N'_{\delta} \delta = 0 \quad (9)$$

단, A_1 : ρ_a/ρ_w , A_2 : L_{oa}/L

A_R : 타의 측면적, V_a/U : 풍속 · 선속비

위의 식(8)과 식(9)을 연립하여 특정한 풍속 · 선속비와 상대 풍향에 대해 표류각과 대응타각으로 산출하면 Fig. 6 및 Fig. 7과 같다.

Fig. 6에서 알 수 있듯이 실습선 한바다호의 경우 표류각은 풍압중심을 고려하면 측면 풍압계수가 최대인 상대풍향 060° 부근에서 최대값을 나타내며, 풍속 · 선속비가 2, 3, 4일 경우 각각 1.3°, 3.0°, 5.4°로 계산되었다.

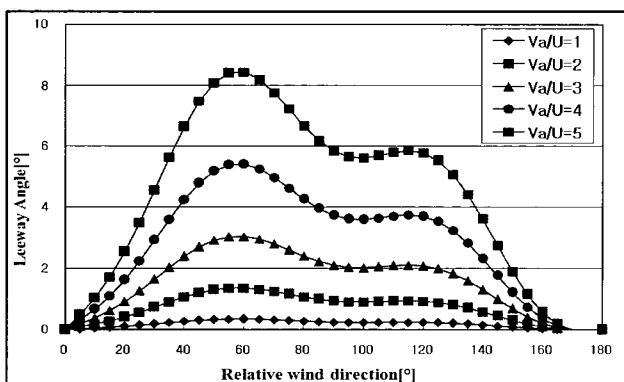


Fig. 6 Leeway angle with relative wind direction

반면, Fig. 7에서 알 수 있듯이 대응타각의 경우 상대풍향이 120° 부근에서 최대값을 나타내고 있다. 이는 횡방향의 횡압력에 의한 표류보다는 풍압중심이 선미방향으로 이동하면서 선수 회두(향풍성)가 강하게 발생하여 이를 억제하기 위한 대응타각으로 판단된다. 실습선 한바다호는 풍속 · 선속비가 2, 3, 4일 경우 대응타각이 각각 4.5°, 10.3°, 18.3°도 정도가 된다.

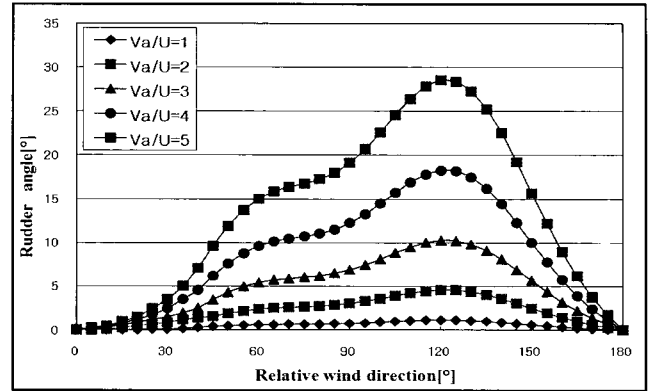


Fig. 7 Counter rudder angle with relative wind direction

Fig. 8은 실습선 한바다호가 항내에서 선속 약 8kts로 항해 중일 때 상대풍향 30°부근에서 상대풍속 36kts로 바람이 불 때의 대응타각을 실측한 것이다. 이는 Fig. 7의 상대풍향 30°에서 풍속 · 선속비가 4배 일 경우 약 3°로 계산된 대응타각과 유사한 결과이다.

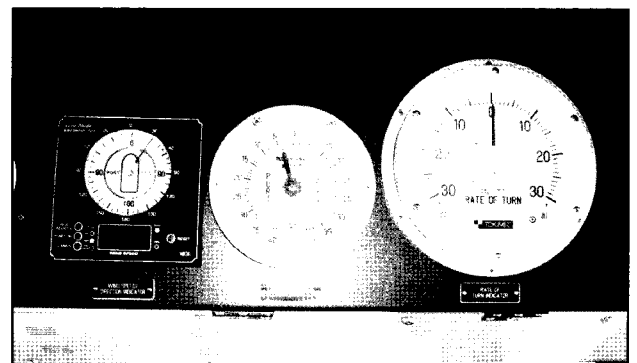


Fig. 8 Counter rudder angle with relative wind direction

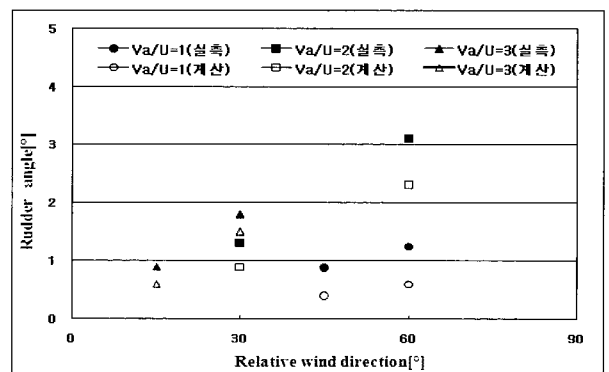


Fig. 9 Counter rudder angle with relative wind direction

또한 Fig. 9는 실습선 한바다호가 외해에서 선속 약 16kts로 항해 중일 때 실측한 최대 대응타각을 나타낸 것이다. 실측치와 이론치에 대한 비교 결과, 실측값이 이론계산 값보다 최대 2배 정도 크게 나타났다. 이는 외해에서 선체가 받는 외력으로 바람에 의한 풍압력뿐만 아니라 파도에 의한 유압력의 영향이 있기 때문인 것으로 판단된다. 향후 항내 또는 외해에서의 지속적인 실측 결과를 정량적으로 분석하여 불규칙 파랑 하에서의 조종 특성에 대한 연구를 진행할 예정이다.

5. 안전 접이안을 위한 예선 운용 기준

일본의 해난방지협회에서는 평균풍속이 9m/s이하인 비교적 양호한 기상에서의 예선의 사용 척수 및 마력을 제시하고 있으며(윤, 2002), 우리나라에서는 Table 2와 같이 주요항구마다 항만법에 따라 예선 사용 세칙을 제정하여 시행하고 있다(부산지방해양항만청).

Table 2 Required capacity and number of tug boat with ship's tonnage in Busan

Size of Ship	Horse Power & Number of Tug Boat
Under G/T 5,000	저마력 × 1
G/T 5,000 ~ 10,000	저마력 × 1, 중마력 × 1
G/T 10,000 ~ 20,000	중마력 × 2
G/T 20,000 ~ 40,000	고마력 × 2
G/T 40,000 ~ 70,000	중마력 × 1, 고마력 × 1, 대마력 × 1
G/T 70,000 ~ 100,000	중마력 × 1, 고마력 × 1, 대마력 × 2
Over G/T 100,000	고마력 × 2, 대마력 × 2

* 저마력 : Under 1,500 HP, 중마력 : 1,500~2,500HP
 고마력 : 2,500~3,200 HP, 대마력 : Over 3,200HP

위의 예선 운영 규칙은 양호한 기상 조건 하에서 선박의 톤수만을 고려하여 설정된 기준으로, 향후 선박의 특성, 접이안 형태, 풍속의 변화 등과 같은 요소들을 종합적으로 고려한 운용 규칙에 대한 검토가 필요하다. 본 연구에서는 갑작스런 돌풍 및 강풍 하에도 안전 접이안이 가능한 예인선 사용 기준을 실습선 한바다호를 대상으로 산출하여 제시하고자 한다.

예인선의 소요 마력 결정은 갑작스런 돌풍에 의한 풍압력의 변화와 예상치 못한 상황에 대비하여 일반적으로 수면상부의 풍압력과 수면하부의 접안속도에 따른 유압력 등의 외력의 합에 1.5배 정도를 상향하여 설정하고 있다.

$$T = 1.5 \times (Y_a + Y_w) \tag{10}$$

$$Y_w = \frac{1}{2} \rho_w L d V_s^2 C_{yw} \tag{11}$$

단, T : 총 예인 소요마력, Y_a : 풍압력

Y_w : 선체를 횡방향으로 이동시키기 위한 유체력
 V_s : 선체의 횡이동 속도, C_{yw} : 유압 횡력 계수

실습선 한바다호의 접이안 과정을 살펴보면, 후진타력으로 접안부두 횡방향 5m 이내까지 근접한 후 부두방향으로 횡 이동하므로, 횡 이동거리가 짧고 속도가 매우 작다($V_s \approx 0$). 본 연구에서는 한바다호의 이러한 접이안 특성을 고려하여 횡 이동에 따른 유압력 성분은 무시하고($Y_w \approx 0$), 풍압력 성분만을 고려하였다. 따라서 실습선 한바다호의 접이안 조선에 활용되는 예인선과 Bow Thruster의 소요마력 및 풍압력과의 관계는 다음과 같이 유도된다.

$$T_{Tug} + T_{Bow Thruster} > 1.5 \times Y_a \tag{12}$$

단, T_{Tug} : 예인선의 예인력

$T_{Bow Thruster}$: 선수 쓰러스터의 예인력

Table 3은 실습선 한바다호에 장착된 Bow Thruster의 사양을 나타내고 있으며, Fig. 10은 선박의 무게중심(LCG)을 기준으로 선수의 Bow Thruster와 선미의 Tug Boat 위치에서의 작용 모우먼트 레버의 길이를 나타내고 있다.

Table 3 General particulars of bow thruster

ITEMS	DIMENSIONS
Model	KT-55B1
Maker	Kawasaki Heavy Inc., Ltd.
Number of Units	1 unit
Type of Propeller	4 blade, CPP
Propeller Diameter	1,300 mm
Maximum Thrust	67.8 kN (6.9 ton)

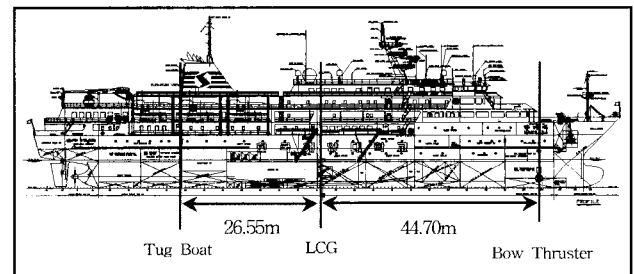


Fig. 10 Moment lever of each point

Fig. 11은 Bow Thruster를 이용하여 접이안 작업이 가능한 한계풍속을 산출한 결과이다. 최종적인 접이안 작업이 부두와 평행하게 이루어진다고 가정할 때(전진 중에는 효율이 크게 저하 됨), 선수에서 Bow Thruster 최대 출력인 6.9톤이 작용하게 되면, 평행을 유지하기 위해서는 선미의 Tug Boat에서는 11.6톤의 힘으로 끌거나 당기게 된다. 이 때 선체는 18.5톤의 힘을 받으며 횡 이동하게 된다. 만약 Bow Thruster가 5톤

의 출력을 낸다면 선미의 Tug Boat에서는 8.4톤의 출력으로 예인하여야 하며, 이 때 선체는 13.4톤의 힘을 받게 된다.

따라서, 풍속이 5m/s, 10m/s, 15m/s로 선체에 작용할 때 실습선 한바다호가 받는 1.5배 풍압력은 각각 3.3tonf, 13.2tonf, 29.7tonf이므로, 선수에 Bow Thruster를 사용하고 선미에 ZDP 중마력 예인선 1척만을 사용하여 접이안이 가능한 풍속은 10m/s까지이다. 만약 풍속이 15m/s 이상이 되면 선수에도 예인선을 1척 추가하여 운용하는 것이 바람직하다.

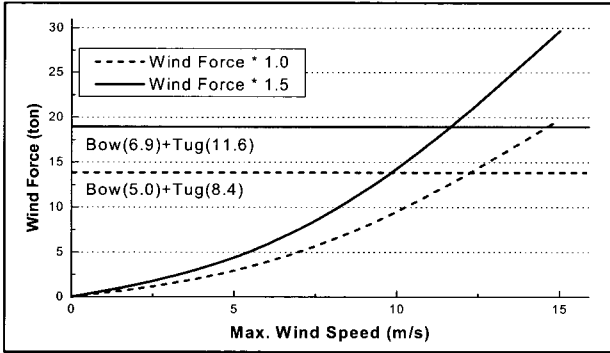


Fig. 11 Berthing and unberthing with bow thruster

또한, 강풍으로 인하여 외력이 점점 강해지면 예인선을 선수 및 선미에 각각 사용하게 되는데, 현재 대부분의 항만에서 사용되고 있는 ZDP 예인선을 기준으로 실습선 한바다호에 작용하는 다양한 풍속에 따른 예인선 사용 척수 및 마력을 산출하면 Table 4와 같다. 단, ZDP 예인선의 예인력은 일반적으로 15ton/1000HP이다(윤, 2002).

실습선 한바다호의 경우 20m/s 이하의 풍속이 예상되면 저마력 및 중마력의 예인선을 각각 1척 사용해야 하며, 25m/s 이상의 강풍이 예상되면 고마력의 예인선을 2척 사용해야 하는 것으로 분석되었다.

Table 4 Required capacity and number of tug boat with wind velocity

풍 속	10m/s	15m/s	20m/s	25m/s	30m/s
풍압력×1배 (ton)	8.8	19.8	35.3	55.1	79.4
풍압력×1.5배 (ton)	13.2	29.7	52.9	82.6	119.1
총 소요마력 (HP)	880	1980	3526	5506	7940
사용 예선 (척)	저마력 1	저마력 2	저마력 1 중마력 1	고마력 2	고마력 2 중마력 2

6. 결 론

항내 어프로칭 조선시에 선체에 작용하는 풍압력을 실습선 한바다호를 대상으로 분석하여 상대 풍향과 풍속에 따른 표류 각과 대응 타각을 산출하였다. 또한, Bow Thruster를 이용하여 접이안이 가능한 최대 풍속을 제시하였고, 외력이 강하게

작용할 경우 예인선 운용에 대한 정량적인 기준도 검토하였다. 본 연구의 주요 결과만을 종합하여 정리하면 다음과 같다.

- (1) 풍압력이 가장 크게 작용하는 상대풍향 060° 방향에서 풍속이 10m/s, 15m/s, 20m/s일 경우 선체는 각각 8.82tonf, 19.84tonf, 35.27tonf의 풍압력을 받는 것으로 확인되었다.
- (2) 표류각은 상대풍향이 060° 부근에서 최대값을 나타내며, 풍속·선속비가 2, 3, 4일 경우 각각 1.3°, 3.0°, 5.4°로 계산되었다.
- (3) 대응타각의 경우 상대풍향이 120° 부근에서 최대값을 나타내며, 풍속·선속비가 2, 3, 4일 경우 대응타각이 각각 4.5°, 10.3°, 18.3°로 분석되었다.
- (4) 선수 Bow Thruster를 사용하고 선미에 ZDP 중마력 예인선 1척만을 사용하여 접이안이 가능한 풍속은 10m/s까지로 검토되었다.
- (5) 한바다호의 경우 20m/s 이하의 풍속이 예상되면 저마력 및 중마력의 예인선을 각각 1척 사용해야 하고, 25m/s 이상의 강풍이 예상되면 고마력의 예인선을 2척을 운용하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

향후에는 풍압면적이 상이한 다양한 대표 선형을 대상으로 다양한 외력 조건 하에서 선박의 조종 특성을 분석하여 일반화하는 연구와 함께 특정 부두를 대상으로 기상 상태별 적정 예선 운용 기준에 대한 연구를 수행하고자 한다.

참 고 문 헌

- [1] 부산지방해양항만청, “부산항 예선운영 세칙”, <http://www.portbusan.go.kr>
- [2] 양승열, 손경호, 이희용, 하문근, 김현수, 이진호, 임남균 (2005), “선박 접이안 조종시물레이션을 이용한 조종위험도 평가 기법에 관한 연구”, 한국항해항만학회지, 제29권, 제3호, pp.189-194
- [3] 윤점동(2002), “선박조종의 이론과 실무”, 세종출판사
- [4] 이운석(2007), “실습선 한나라호에 작용하는 풍압력 및 풍압모우먼트 영향에 관한 연구”, 한국항해항만학회지, 제31권, 제3호, pp.223-228
- [5] Fujiwara, T., Ueno, M., and Nimura, T.(1998), “Estimation of Wind Force and Moments Acting on Ships”, The Japan Society of Naval Architects, vol.183, pp.77-90
- [6] Im, N. K. and Tran, V. L.(2008), “Ship’s maneuverability in strong wind”, Journal of Navigation and Port Research, vol.32, No.2, pp.115-120
- [7] Inoue, S., Hirano, M., and Kijima, K.(1981), “Hydrodynamic Derivatives on Ship Maneuverability”, ISP, vol.28, No.320

원고접수일 : 2008년 5월 19일
 심사완료일 : 2008년 9월 1일
 원고채택일 : 2008년 9월 4일