

실습선 한나라호에 작용하는 풍압력 및 풍압모우멘트 영향에 관한 연구

† 이 윤 석*

* 한국해양대학교 운항훈련원 교수

A Study on the Effect of Wind Force and Moment Acting on T/S HANNARA

† Yun-Sok Lee*

* Professor, Training Center of Ship Operation, National Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

요 약 : 최근 선박의 대형화와 전용화가 현저하게 진행됨에 따라 갑판 상부의 구조물이 비교적 큰 컨테이너선, LNG 운반선, 자동차운반선, 여객선 등이 출현하여 운항되고 있다. 이러한 선박들이 부두에서 접·이안 또는 항내에서 저속으로 운항할 경우 바람, 조류 등과 같은 외력의 영향을 받기 쉬우며, 외력이 과도할 경우에는 압류나 회두 현상으로 인해 선박 운항에 지장을 초래할 수 있으므로 특정 외력 하에서의 선체 거동에 대한 분석은 선박의 안전운항에 있어서 매우 중요한 자료라 할 수 있다. 본 연구는 수면 상부의 구조물이 상대적으로 큰 실습선 한나라호를 대상으로 정상풍 하에서의 선체에 작용하는 풍압력 및 풍압모우멘트 영향을 분석하였다. 또한 정상풍 하의 선박 운항에 있어 주요한 정보인 표류각과 대응 타각을 상대 풍향과 풍속을 기초로 산출하였고, 풍속·선속비에 따른 조종 한계 풍속, 선속별 풍향에 따른 조종 한계 풍속, 최대 풍압력에 의한 횡경사각 등을 정량적으로 산출하여 제시하였다. 이러한 자료는 한나라호의 입출항 조종 및 태풍 피항을 위한 운항 현장에서 직접 활용될 수 있고, 실선에서 해당 결과를 비교 평가할 수 있으므로 향후 이론식에 대한 수정 및 보완과 함께 교육 자료로 이용될 수 있을 것으로 판단된다.

핵심용어 : 풍압력, 풍압모우멘트, 표류각, 대응타각, 한계풍속, 횡경사각

Abstract : In recent trends of the enlargement and specialization, container ship, LNGC, PCC and passenger ship which have relatively large hull and superstructure above the water line, are already being operated in the world. It is very important information for the safety operation of these vessels to estimate the ship's performance under the specific wind condition while berthing, unberthing or low-speed sailing. In this paper, the effect of wind force and moment acting on the training ship HANNARA is investigated by using the numerical calculations. The results of drift angle and counter rudder angle with the relative wind direction and force, the critical wind velocity with the ratio of wind velocity and ship's speed and maximum heeling angle with the wind velocity are shown. The presented results can be applied directly to T/S HANNARA in berthing maneuver and avoiding typhoons, and utilized as an educational materials.

Key words : Wind force, Wind moment, Drift angle, Counter rudder angle, Critical wind velocity, Maximum heeling angle

1. 서 론

최근 선박의 대형화와 전용화가 급격하게 진행됨에 따라 항만 내에서 갑판 상부의 구조물이 상대적으로 큰 초대형 컨테이너선, 자동차운반선, 대형여객선 등을 쉽게 볼 수 있다. 이러한 선박들이 접·이안 또는 항내에서 저속으로 운항할 경우, 바람·조류 등과 같은 외력이 상대적으로 크게 작용하여 압류나 회두와 같은 현상이 현저하게 나타나 선박 조종에 상당한 지장을 초래하는 경우가 있으므로, 선박운항자는 특정 외력 하에서의 자신의 조종성능을 충분히 숙지하여 선박 운항에 활용하여야 한다. 특히 수면 상부의 풍압 면적이 큰 대형 선박의 경우 항내 저속 항해나 접이안 조종에 있어서 전진 속력에 비해 상대적으로 큰 풍속이나 갑작스런 돌풍이 작용할 경우 풍압력과 풍압모우멘트의 영향으로 표류각에 형성되고, 이에 대응하기 위한 적절한 대응 타각을 적시에 사용하지 못하면 선박의 안전을 위협할 수 있는 위험한 상황에 직면하게 된다.

항내 저속 항해나 접이안 조종에 있어서 풍압과 관련된 연구로는, 방파제 인근에서 일정 침로로 접근할 경우 외력에 의한 압류 및 회두 현상 분석(이 외, 2005), 저속시 선체에 작용하는 조종유체력과 조종성능에 대한 검토(손, 2001), 강풍 하에서 예선을 이용하는 접이안 조종 작업에 대한 조종위험도 평가 기법 연구(양 외, 2005), 접이안시 선체에 작용하는 유체력에 관한 연구(이, 2003), MMG 모델을 이용한 대형 여객선 및 PCC(Pure Car Carrier)의 강풍 하에서의 정상 항행에 대한 영향 조사(Fujiwara et al, 2006), 풍압 영향 하에서의 어프로칭 운항 지원 정보에 관한 연구(Hara et al., 2006) 등 비교적 활발한 연구가 진행되어 왔다.

본 연구는 항내에서 파고가 충분히 발달되지 않은 상태에서 순간적으로 짧은 시간 동안 불규칙적으로 작용하는 돌풍이나 동계절 저기압 통과 시에 수반되는 강한 풍속이 선체에 미치는 풍압력의 영향을 분석한다. 따라서 수면 상부의 구조물이 상대적으로 큰 실습선 한나라호를 대상으로 정상풍(Steady

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

wind) 하에서 선체에 작용하는 풍압력과 풍압모우멘트를 분석한 후 상대 풍향과 풍속에 따른 표류각과 대응 타각, 풍속·선속비에 따른 선박조종 가능 한계 풍속, 선속별 풍향에 따른 조종 한계 풍속, 최대 풍압력에 따른 횡경사각 등을 산출한다. 이러한 자료는 한나라호의 입출항 조종, 갑작스런 돌풍 및 태풍 피항을 위한 선박 운항 정보로 활용될 수 있고, 또한 본 연구 결과를 실선에서의 운항 자료와 직접 비교분석할 수 있어 향후 이론식에 대한 수정이 가능하다.

2. 운동방정식과 유체력 산출 방법

선박이 바람이나 조류 등과 같은 외력 하에서 항해할 경우 외력이 작용하는 방향과 크기에 따라 영향이 다르지만 일반적으로 선체에 나타나는 현상은 저항 증가로 인한 선속의 감속, 표류각에 의한 압류, 선수 회두, 풍압력의 의한 횡경사 현상 등을 들 수 있다. 이러한 현상 등을 선체 중심을 기준으로 성분별로 분리하면 수면 상부에 작용하는 바람으로 인한 풍압력(Wind force), 표류각에 의해 수면 하부에 작용하는 유체력(Drifting force), 타각 사용에 따른 타력(Rudder force) 등이다. 일반적으로 선박에 외력이 작용하면 선체는 압류되면서 일정 표류각을 갖고 항주하기 때문에 선박이 진행하고자하는 방향과 실제 항적은 Fig. 1과 같이 반드시 일치하지 않는다. 외력에 의해 형성되는 표류각(Drift Angle, β)을 정의하면, 선박은 이러한 표류각에 대응하여 적절한 대응 타각(δ)을 사용하여 균형을 취하면서 항행하게 된다.

외력에 의한 횡압류 성분과 모우멘트 성분을 각각 Y_E, N_E 라 정의하면 다음과 같다.

$$Y_E = Y_a + Y_w + Y_\delta, \quad N_E = N_a + N_w + N_\delta \quad (1)$$

여기서, Y_a, Y_w, Y_δ 는 바람에 의한 풍압력, 표류각에 의한 유체력, 대응 타각에 의한 타력을 의미하고, N 은 해당 요소의 모우멘트를 의미한다. 선박이 풍압력으로 인해 일정한 표류각을 갖고 정상 상태로 항행하기 위해서는 풍압력과 수면 하부의 유체력 및 타각으로 기인되는 유체력이 상호 평형을 유지해야 하므로 $Y_E=0, N_E=0$ 조건을 만족하는 평형방정식(Equilibrium condition)이 다음과 같이 유도된다.

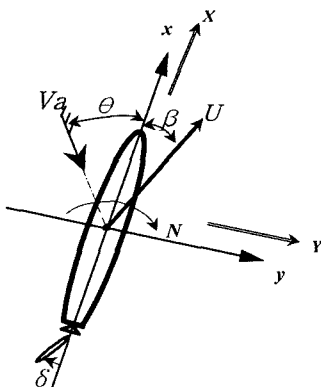


Fig. 1 Coordinate systems

$$Y_a + Y_w + Y_\delta = 0, \quad N_a + N_w + N_\delta = 0 \quad (2)$$

위의 방정식을 이용하면 바람의 영향에 따른 표류각과 대응 타각을 산출할 수 있다.

2.1 대상 선박(실습선 한나라호) 제원

한국해양대학교 운항훈련원에서 학생 실습 교육용으로 운항하고 있는 한나라호는 1993년 건조되어 최대 202명의 인원이 승선 가능하고 Fig. 2와 같이 실습 학생의 교육을 위해 별도의 training bridge를 갖추고 있다. 또한 수면하부보다 수면상부의 면적이 크기 때문에(중양 흘수 4.5m 기준, 측면 투영면적의 2.4배) 과도한 외력이 작용할 경우 선박조종에 상당한 제한을 받는 경우가 있다. Table 1에 한나라호의 풍압력 및 풍압모우멘트, 표류각 및 타력 등에 이용된 주요 제원에 대한 자료를 제시한다.

Table 1 Principal dimensions of T/S HANNARA

Items	HANNARA
Length, L (m)	LOA: 102.7, LBP: 93.0
Breadth, B (m)	14.5
draft, d (m)	F: 4.0, M: 4.5, A: 5.0
Trim, τ (m)	1.0 by the stern
Block Coefficients, C_b	0.581
KG (m), KB (m), G_0M (m)	5.22, 2.514, 0.867
Displacement, Δ (ton)	3852
Rudder Area ratio (A_R/Ld)	1/47.8
Transverse Projected Area (A_T, m^2)	188.53
Lateral Projected Area (A_L, m^2)	1012.3

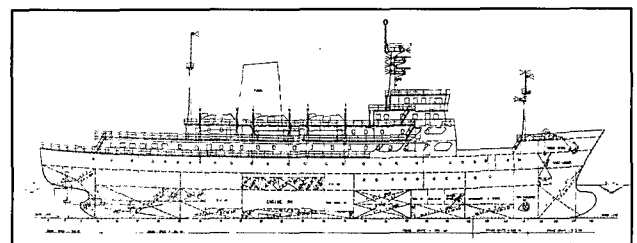


Fig. 2 General arrangement of T/S HANNARA

2.2 바람에 의한 풍압력 및 풍압모우멘트

바람에 의한 풍압력 및 풍압 모우멘트 산출에 있어서 가장 중요한 풍압 계수 결정은 한나라호의 정면 및 측면 풍압면적, 풍압 중심점, 선교 높이 등을 기초로 Fujiwara et al.(1998)에 의해 제안된 추정식에 입력하여 산출하였다.

$$Y_a = \frac{1}{2} \rho_a C_y(\theta) A_L V_a^2 \quad (3)$$

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

단, A_L : 측면풍압면적, V_a : 풍속, ρ_a : 공기밀도,
 $C_N(\theta)$: 측면풍압계수, $C_N(\theta)$: 풍압모우멘트 계수
 θ : 상대 풍향, L_{oa} : 선체 전체 길이(Length over all)

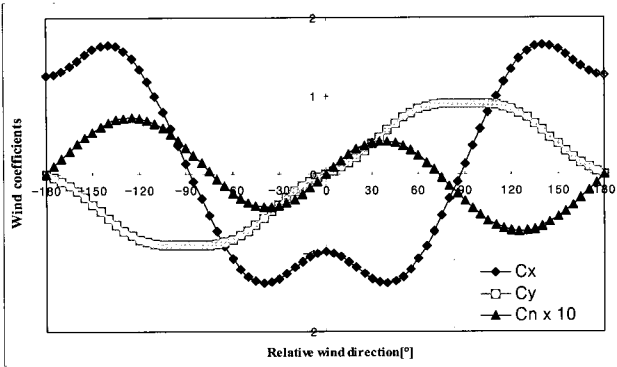


Fig. 3 Wind coefficients and moments with relative wind direction

한나라호의 상대 풍향(좌현 선수 +)에 따른 정면풍압계수 (C_x)와 측면풍압계수(C_y , $\theta=\pm 90^\circ$ 일 경우 최대 ± 0.899) 및 풍압모우멘트 계수(C_N , $\theta=\pm 120^\circ$ 일 경우 최대 ± 0.072)를 Fig. 3에 나타내며, 그림의 풍압모우멘트는 10배 확대한 것이다.

상대 풍향과 풍속에 따른 풍압력 산출 결과는 Fig. 4와 같고, 일례로 정형풍이 10m/s, 20m/s, 30m/s로 작용할 경우 선체는 각각 5.7tonf, 22.8tonf, 51.2tonf(1tonf=9.8N)의 풍압력을 받는다. 만일 이런 조건 하에서 안전 접이안을 위한 예인선 기준을 설정할 경우 풍속 10m/s 미만의 경우 중마력(1,500HP~2,500HP, 예선의 프로펠러 형태에 따라 다소 차이가 있지만 100HP당 1tonf 정도의 진진 추진력) 예선 1척, 20m/s 이상의 순간적인 돌풍이 작용할 경우에는 중마력 예인선 2척을 운용하는 것이 적정할 것으로 판단된다.

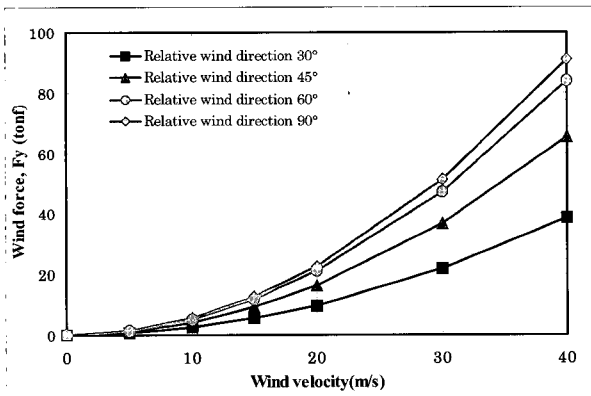


Fig. 4 Wind force with wind velocity and relative direction

2.3 표류각에 의한 유체력

선체에 외력이 작용할 경우 표류각을 형성하게 되므로 수면

하부에 작용하는 힘은 결국 표류각 β 로 표현할 수 있고, 소각도 β 범위의 유체력을 고려하여 제1차 선형만을 고려하면 다음과 같이 표시할 수 있다.

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

$$N_w = N_w(\beta) = \frac{1}{2} \rho_w L^2 d U^2 N'_\beta \beta \quad (6)$$

단, ρ_w : 해수밀도, L : 선체 길이(수선간장), d : 평균흘수,
 β : 표류각, U : 선박의 진행 속도,
 Y'_β : 표류각에 대한 횡방향 유체력 미계수,
 N'_β : 표류각에 대한 선회모우멘트 유체력 미계수

계산에 이용된 유체력 미계수는 선체와 프로펠러의 상호 간섭 현상을 선체 주요 제원만으로 간략하게 산출할 수 있는 Inoue et al.(1981)의 연구에 타와의 상호 간섭을 고려하면 다음과 같이 표시된다.

$$Y'_\beta = \left(\frac{1}{2} \pi \nu + 1.4 C_b \frac{B}{L} \right) \left(1 + \frac{2}{3} \frac{\tau}{d} \right) - Y'_\delta \gamma \quad (7)$$

$$N'_\beta = \nu \left(1 - \frac{0.27}{\kappa} \frac{\tau}{d} \right) - N'_\delta \gamma \quad (8)$$

단, ν : $2d/L$, γ : 정류계수, C_b : 방형계수,
 κ : $\left(\frac{1}{2} \pi \nu + 1.4 C_b \frac{B}{L} \right)$, B : 선폭, τ : 트림,
 Y'_δ & N'_δ : 타각에 의한 유체력 미계수

2.4 타에 의한 유체력

타에 의한 유체력은 타각을 함수로 표현할 수 있고, 유체력 미계수는 타직압력, 타에 유입되는 유효속력, 타 간섭계수, 타면적 등을 이용하여 다음 식에 의해 산출하였다.

$$Y_\delta = Y_\delta(\delta) = \frac{1}{2} \rho_w L d U^2 Y'_\delta \delta \quad (9)$$

$$N_\delta = N_\delta(\delta) = \frac{1}{2} \rho_w L^2 d U^2 N'_\delta \delta \quad (10)$$

$$Y'_\delta = -A_R \left(\frac{U_R}{U} \right)^2 K_r (1 + a_H) \cos \delta \quad (11)$$

$$N'_\delta = -A_R \left(\frac{U_R}{U} \right)^2 K_r (x_R + a_H x_H) \cos \delta \quad (12)$$

단, Y'_δ : 타각에 의한 횡방향 유체력 미계수,
 N'_δ : 타각에 의한 모우멘트 유체력 미계수,
 $K_r = 6.13 \lambda / (\lambda + 2.25)$, λ : 타의 종횡비,
 U_R : 타유효유입속도, A_R : 타면적,
 x_R : 중심에서 타까지의 길이
 a_H, x_H : 타각에 따른 선체와 프로펠러의 간섭계수

3. 표류각 및 대응타각 산출

평형방정식에 대입되어야 할 각 유체력 요소에 대한 산출 식인 (5)식에서 (12)식까지를 식(2)에 대입한 후 $1/2\rho_w LdU^2$ 로 정리하면 다음과 같다.

$$Y'_\beta \beta + A_1 A_R C_y \left(\frac{V_a}{U}\right)^2 + Y'_\delta \delta = 0 \quad (13)$$

$$N'_\beta \beta + A_1 A_2 A_R C_N \left(\frac{V_a}{U}\right)^2 + N'_\delta \delta = 0 \quad (14)$$

단, $A_1 : \rho_a / \rho_w$, $A_2 : L_{\alpha} / L$ (전장/수선간장),
 A_R : 타면적 비율, V_a / U : 풍속 · 선속비

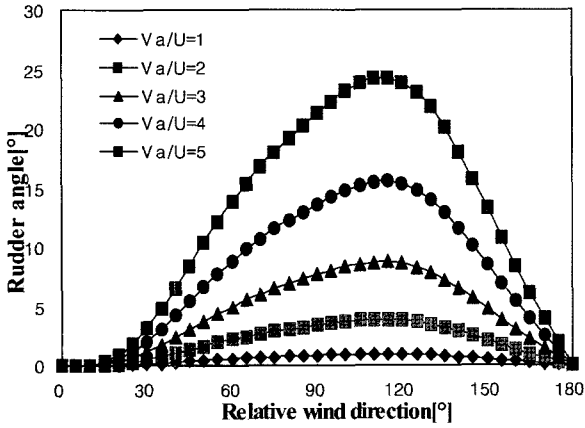


Fig. 5 Counter rudder angle with relative wind direction

위의 식(13)과 식(14)를 연립하여 풍속 · 선속비와 상대 풍향에 대한 대응타각과 표류각을 산출하면 Fig. 5 및 Fig. 6과 같다. 대응타각의 경우 상대 풍향이 120° 부근에서 작용할 풍압모우멘트가 최대가 되기 때문에 가장 크며, 풍속 · 선속비가 2와 3일 경우 각각 4°와 9°도 정도가 된다.

반면 Fig. 6의 표류각은 약 70° 전후에서 최대 값을 나타내며 풍속 · 선속비가 1, 2, 3일 경우 각각 0.3°, 1.3°, 2.9°로 계산되었다.

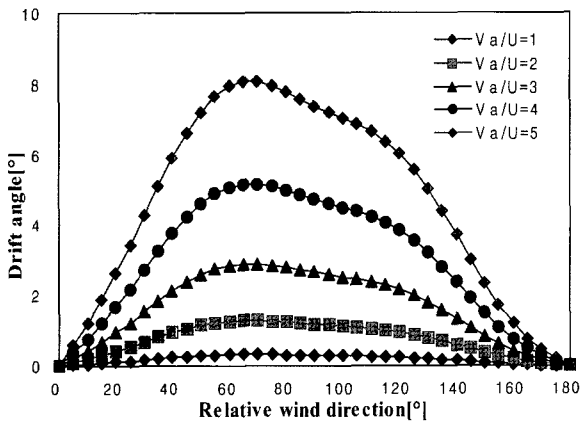


Fig. 6 Variation of drift angle with relative wind direction

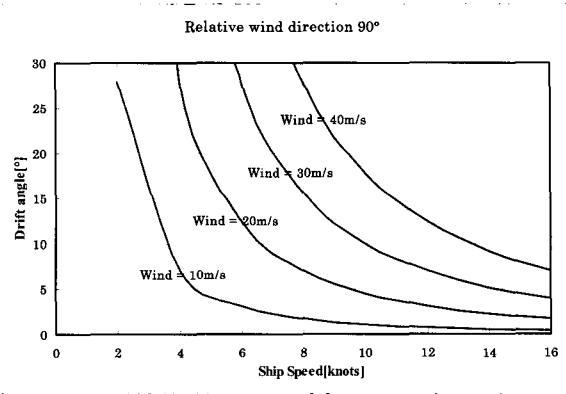


Fig. 7 Variation of drift angle with ship speed ($\theta = 90^\circ$)

대응타각과 표류각을 이용하여 선속에 따른 표류각을 산출하면 Fig. 7과 같이 선박의 속력이 빠를수록 표류각이 적어지고 풍속이 높을수록 표류각이 커지는 것을 알 수 있다. 일례로 한나라호가 Half Speed(8.0knots)로 항해하면서 정형 방향에서 풍속을 5m/s, 10m/s, 15m/s로 받을 경우 각각 0.4°, 1.7°, 3.9° 정도의 표류각이 나타나게 된다.

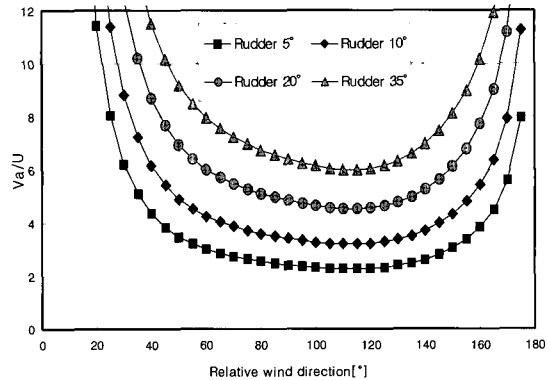


Fig. 8 Wind velocity · ship speed ratio under the certain counter rudder angle with relative wind direction

4. 침로 유지가 가능한 선박조종 한계 풍속

횡방향 유체력과 모우멘트에 대한 운동방정식인 식(13)과 식(14)를 연립하여 선박이 일정한 크기의 대응타각(δ_e)을 사용할 경우 풍속 · 선속비와 표류각(β_e)을 산출하면 다음과 같다. 이는 상대풍속별 대응타각에 따른 풍속 · 선속비가 산출 가능하므로, 특정 풍속 풍향 하에서 선박이 보침 가능한 한계 풍속을 산출할 수 있다.

$$\frac{V_a}{U} = \sqrt{\frac{(Y'_\beta N'_\delta - Y'_\delta N'_\beta) \delta_e}{A_1 A_R (C_y N'_\beta - Y'_\beta A_2 C_N)}} \quad (15)$$

$$\beta_e = \frac{(N'_\delta C_y - A_2 Y'_\delta C_N) \delta_e}{A_2 Y'_\beta C_N - N'_\beta C_y} \quad (16)$$

특정 타각에 의한 풍향별 풍속·선속비의 산출 결과를 Fig. 8에 제시하며, 결과로부터 타각 35°를 사용하여도 선박이 침로를 유지하지 못하는 한계 풍속·선속비는 상대 풍향이 120° 전후일 경우 풍속·선속비는 약 6 이상이다. 그리고 상대 풍속에 따른 표류각과 타각 35°에 대한 선박 조종 불가능 영역을 나타낸 것이 Fig. 9이며, 한나라호는 상대 풍향이 정횡에서 선미 방향으로 작용할 경우의 최소 한계 풍속·선속비는 대략 5-6 정도인 것으로 분석되었다.

또한 타각 15°와 35°를 사용할 경우 보침 가능한 한계 풍속을 선속을 기준으로 산출한 결과를 Fig. 10과 Fig. 11에 구체적으로 제시한다. 한나라호가 Sea Speed(15knots)로 항행할 경우의 타각 15°와 35°로 보침 가능한 한계 풍속은 풍향이 120°일 때 풍속 30m/s와 45m/s로 나타났다. 따라서 강한 바람을 동반하는 돌풍이나 태풍 내습이 예상될 경우 충분한 시간적 여유를 두고 출항하여 충분한 선속을 유지하지 못하면 최대 타각을 사용하더라도 선박조종이 불가능하게 될 가능성이 있음을 시사하고 있다.

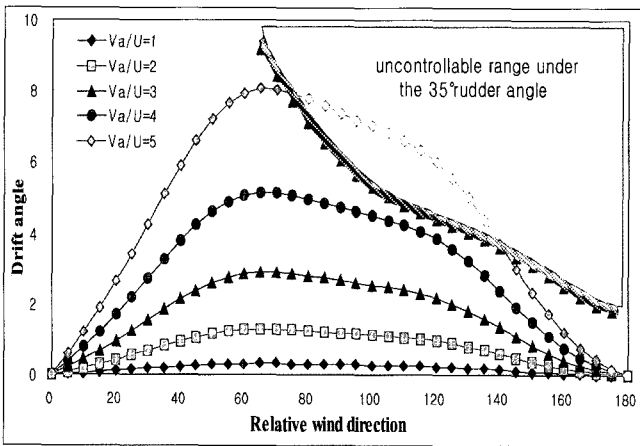


Fig. 9 Uncontrollable range with drift angle and Va/U

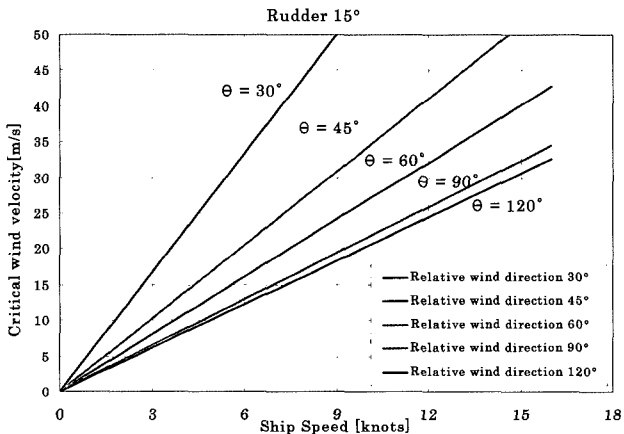


Fig. 10 Critical wind velocity with ship speed(Rudder angle 15°)

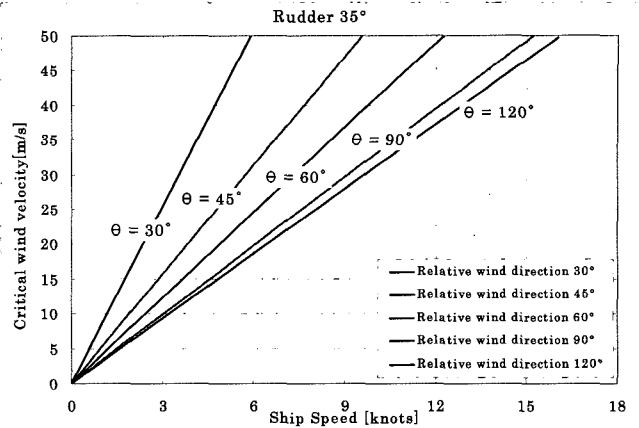


Fig. 11 Critical wind velocity with ship speed(Rudder angle 35°)

5. 풍압력에 의한 최대 횡경사

한나라호가 전진 속력이 없는 정선 중에 특정 방향에서 풍압력을 받을 경우의 최대 횡경사각은 풍압 경사모우멘트와 선박의 복원모우멘트와의 관계를 이용하여 다음과 같이 산출할 수 있다.

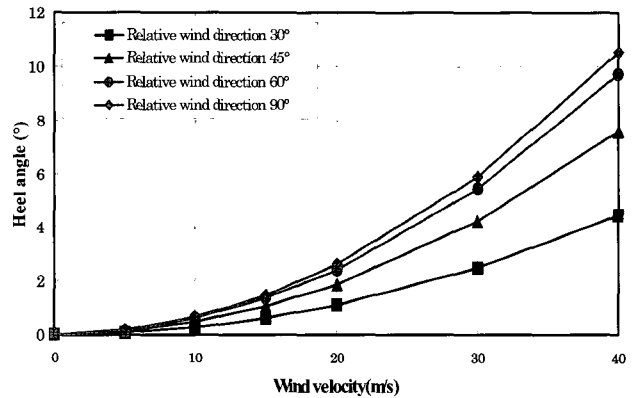


Fig. 12 Maximum heel angle with wind speed

$$G_0 M \sin \phi \Delta = \frac{1}{2} \rho_a C_y(\theta) A_L V_a^2 h \quad (17)$$

단, $G_0 M$: 유동수 영향을 고려한 GM,

ϕ : 횡경사각, Δ : 배수량, $C_y(\theta)$: 측면풍압계수
 h : 수면 상부의 풍압 중심점과 수면 하부의 중심점과의 거리(m)

Fig. 12에 한나라호의 일반적인 운항 상태($d=4.5m$)에 대한 최대 경사각을 풍속과 풍향에 따라 제시하였다. 결과를 분석하여 보면 정횡 방향에서 풍속이 10m/s, 20m/s로 작용할 경우 최대 횡경사는 각각 0.7°와 2.6°로 분석되었다. 따라서 선박 운항자는 실제 해상에서 풍속이 강하게 작용할 경우 바람에

의한 횡 경사각을 충분히 고려하여 적절한 운항 상태(화물, 청수, 유류 등의 적재 상황)를 유지해야 할 것이다.

6. 결 론

실습선 한나라호에 작용하는 풍압력 및 풍압모우멘트의 영향을 분석하여 상대 풍향과 풍속에 따른 표류각과 대응 타각, 풍속·선속비에 따른 선박조종 한계 풍속, 선속별 한계 풍속 등을 검토하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- ① 정횡 방향에서 풍속이 10m/s, 20m/s, 30m/s이 작용하면 한나라호는 각각 5.7tonf, 22.8tonf, 51.2tonf의 풍압력을 받고, 이를 기초로 안전 접이안을 위한 예선 운용을 설정할 경우 10m/s 미만은 중마력 예선 1척, 20m/s 이상이면 중마력 예선 2척을 이용하는 것이 적당할 것으로 판단된다.
- ② 한나라호가 Half Speed(8.0knots)로 항행하면서 정횡 방향에서 풍속을 5m/s, 10m/s, 15m/s로 바람을 받을 경우 각각 0.4°, 1.7°, 3.9°의 leeway가 형성되는 것으로 분석되었다.
- ③ 풍향이 한나라호 정횡에서 선미 방향으로 작용할 경우 전타(Hard port/stb'd)로 보침이 가능한 최소 풍속·선속비는 5에서 6 정도로 분석되었다.
- ④ 한나라호가 해상에서 Sea speed(15knots)로 항행 중에 타각 15°와 35°로 보침 가능한 한계 풍속은 풍향이 120°일 때 풍속 30m/s와 45m/s로 분석되었다.
- ⑤ 정횡 방향에서 풍속 10m/s, 20m/s가 작용할 경우 최대 횡경사는 각각 0.7°와 2.6°로 분석되어, 실제 해상에서 강한 돌풍이 작용할 경우 이보다 큰 횡경사가 발생할 수 있음을 인지하여 적절한 운항 상태를 유지해야 한다.

참 고 문 헌

- [1] 이윤석, 김철승, 공길영, 임남균, 이충로(2005), "부산항과 감천항 방파제 인접 항로에서 선체에 작용하는 횡압류 현상에 관한 연구", 한국항해항만학회지, 제29권 제1호, pp. 1-7.
- [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] 손경호(2001), "저속시 선체에 작용하는 조종유체력 및 조종성능에 관한 연구", 한국항해항만학회지, 제15권 제4호, pp. 27-39.
- [4] Lee, Y. S.(2003) "The Safety of Maneuverability based on the Hydrodynamic Forces Acting on Ship Hull under the Lateral Berthing", Korean Institute of Navigation And Port Research, Vol. 27, No. 6, pp. 625-630.
- [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] Fujiwara, T., Ueno, M., and Ikeda, Y.,(2006) "Cruising performance of ships with large superstructures in heavy sea", The Japan Society of Naval Architects and Ocean Engineers, Vol. 2, pp. 257-269.
- [7] Hara, D., Park, Y. S., and Sakurai, M.(2006), "A Study on the Supporting Information in Approaching Maneuver under Wind Effect", The Japan Institute of Navigation Vol. 115, pp. 31-38.
- [8] Inoue, S., Hirano, M., and Kijima, K.,(1981), "Hydrodynamic Derivatives on Ship Manoeuvrability", ISP, Vol. 28, No. 320.

원고접수일 : 2007년 3월 12일

원고채택일 : 2007년 4월 16일