



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

석사학위논문

연구조사선 제라호의
횡동요 특성에 관한 연구

제주대학교 산업대학원

어업학과

이승철

2018년 7월

연구조사선 제라호의 횡동요 특성에 관한 연구

지도교수 최 찬 문

이 승 철

이 논문을 수산학 석사학위 논문으로 제출함

2018 년 7 월

이승철의 수산학 석사학위 논문을 인준함

심사위원장 ----- ①인

위 원 ----- ①인

위 원 ----- ①인

제주대학교 산업대학원

2018 년 7 월

목 차

List of Figures	ii
List of Tables	iii
Summary	1
I. 서론	3
II. 재료 및 방법	5
III. 결과 및 고찰	13
IV. 결 론	29
참고문헌	31

List of Figures

Fig. 1. General arrangement of experimental ship "Jera"of jeju national university	5
Fig. 2. Present modeling lines data of the Jera research vessel	6
Fig. 3. Coordinate systems (Left: horizontal plane, Right: body - fixed)	7
Fig. 4. Configuration of Virtual Ship Yard (VSY)	12
Fig. 5. ITTC wave spectrum (Beaufort scale No.3 and No.5)	13
Fig. 6. Photos of Motion editor for Hull input data (Beaufort scale No. 3 and No. 5)	14
Fig. 7. Variations of ship speed for wave directions in Beaufort scale No. 3 and 5	17
Fig. 8. Roll motions in regular at Beaufort scale No.3 and No.5, head sea ·	21
Fig. 9. Roll motions in regular at Beaufort scale No.3 and No.5, beam sea	22
Fig. 10. Roll motions in regular at Beaufort scale No.3 and No.5, follow sea ·	24
Fig. 11. GM fluctuations with respect to waves components= 0, 045, 090, 135, 180°at ship speed 12kn'ts, Beaufort scale No. 3 and 5	25
Fig. 12. GM fluctuations with respect to waves components= 0, 045, 090, 135, 180°at ship speed 12kn'ts with 1kn'ts current Beaufort scale No. 3 and 5	26
Fig. 13. GM fluctuations with respect to waves components= 0, 045, 090, 135, 180°at ship speed 12kn'ts with 2kn'ts Beaufort scale No. 3 and 5 ·	28
Fig. 14. Reproduction of capsizes for reduction of GM in following sea	28

List of Tables

Table 1. Particular of Experimental Jera	6
Table 2. Period and significant of wave in Beaufort scale.	13
Table 3. Mean forces of wind and hydrodynamic of longitudinal, lateral with Beaufort scale No.3 and No.5	15
Table 4. Mean forces of wind and hydrodynamic of longitudinal, lateral with Beaufort scale No.3 and No.5 with current 1kn't.	16
Table 5. Mean forces of wind and hydrodynamic of longitudinal, lateral with Beaufort scale No. 3 and No. 5 with current 2kn'ts	17
Table 6. Average, Significant angles, Encounter periods in Beaufort scale No.3 and No.5 with wave components= 0°, 045°, 090°, 135°, 180°in ship speed 12.0kn'ts	19
Table 7. Average, Significant angles, Encounter periods in Beaufort scale No.3 and No.5 with wave components= 0°, 045°, 090°, 135°, 180°in ship speed 12.0kn'ts with 1kn't current	20
Table 8. Average, Significant angles, Encounter periods in Beaufort scale No.3 and No.5 with wave components= 0°, 045°, 090°, 135°, 180°in ship speed 12.0kn'ts with 2kn't current	21
Table 9. Variations of period in component waves at Beaufort scale No. 3 and 5	24
Table 10. GM fluctuations with respect to waves components= 0, 045, 090, 135, 180°with ship speed and current at Beaufort scale No. 3 and 5.	27

연구조사선 제라호의 횡동요 특성에 관한 연구

A Study on Transverse Motion Characteristics of Research vessel Jera

이승철

제주대학교 산업대학원 어업학과

Summary

By modeling research ship M/V JERAHO from jeju National University, the test ships rolling characteristics were analyzed in wind force level 3 and 5 sea states by the ship's simulator.

If you look at the analysis of the longitudinal and horizontal forces on wind and fluid force, by component wave, when there are and when there are not.

Overall, the larger the wind force scale was, the greater the force received in the winds, the more laterally the power received, and the lesser the force received in the direction of the longitudinal, the more likely it was to decrease from the head sea to the follow sea.

On the other hand, in the wind force scale 5 is lowest in the beam sea, largest in the head sea. longitudinal fluid force was similar to above result.

And lateral forces were shown to be large at both wind force scale 3 and 5, with the wind and fluid forces having the same tendency to be proportional to those that would not account for the flow rates at all.

Ship rolling statistical analysis showed small changes in the effects of current on the whole but big changes in terms of wind force scales.

It was then shown that the mean and significance of the rolling angles were mostly large for the competitors and for the waves, with the mean values being equally distributed.

On the other hand, the rolling angle was not large and the dispersion value was small in the head sea and the follow sea.

In particular, the follow sea showed a tendency to decrease in rolling angles compared to the head sea and the beam sea.

The analysis of the natural cycles for ship rolling at wind force scale 3 and 5

by component wave revealed that the incident wave pattern variation most often occurred at wind force scale 3, with no tidal current remaining at all, and at current speed of 1 and 2 kts. most slow incident wave's priod was 7.792sec on the 1kt current speed.

Overall, the longer the period was left to the follow sea, and the faster the current speed was slow.

And I could see that the wind force 5 had the same tendency as in class 3, and the follow sea had a very slow cycle of more than 12.00sec.

The change in GM according to the incident wave shape and velocity was decreased by the force of the wind system, resulting in a decrease in the incident wave (head, bow, beam, quarter, follow), and the rapid change in the incident wave toward the stern.

In the initial slope test of the m/v jeraho, $GM=0.851m$ and the experimental result values are compared to the additional seeding in wind force scale 5, ship speed 12.0kn't.

And with the same ship speed and current speed of 1kn't, the follow sea and the beam sea in the wind force scale 5.

In addition, it is found that when sailing with the ship speed and current speed of 2 kn't, the wind force scale 5 receives the beam sea, the quarter sea, and the follow sea, GM is lower than before.

Therefore, it is deemed necessary to pay extra attention to the m/v jeraho so that they do not receive the quarter sea even though they do not conduct or navigate in general during wind scale 5.

Based on these data, the more detailed data of the vessel were entered and many ships were modelled to help with the results of the navigation and the forecast is presented in advance.

I. 서론

선박의 6자유도 운동은 선박에 고정된 좌표계에 대한 왕복운동과 회전운동으로 정의되므로, 선박에 대해 진행하는 파도의 방향에 따라 운동의 양상이 다르게 나타난다. 동요특성을 파악하기 위해서는 실선실험을 하는 것이 맞지만, 해면파랑은 재현성이 없는 불규칙변동을 하므로 그 파랑에 의해서 일어나는 선체운동이 동일한 성질을 지니고 있다고 예상할 수 있고, 또 파랑 중 선체동요특성은 복원력, 속도, 입사된 파도의 방향, 속도 등에 의해서 크게 영향을 받아 가속도특성에도 영향을 줄 수 있다.

선박의 운동특성은 내항성과 조종성으로 크게 나눌 수 있다. 이들의 성능에 대해 고도로 정량화하여 나타내는 것이 그렇게 쉽지만 않다 (Nishnokubi, 1983). 항해하는 선박은 파도, 바람 및 조류 등의 외력을 받으며 이에 따라 여러 가지 운동을 하게 되고, 기상이 악화되는 경우에는 파랑 충격, 해수 침입 혹은 과도한 선체 동요에 의해 선체, 화물 등의 손상을 입게 된다. 어선의 해난사고의 대부분은 바람과 파도가 중요한 원인을 되고 있지만, 현실적으로 볼 때 조선자가 어로작업에 더 큰 비중을 두고 어선의 내항성을 무시한 조선이 그 원인이 되는 경우가 많다 (Kang and Park, 2000).

특히, 횡동요의 예측은 선박의 안정성분야에서 중요한 문제 중 하나이다. 그래서 이러한 문제로 최근 국제해사기구(IMO, International Maritime Organization)에서 횡 동요를 포함하는 선박의 동적안정성에 관한 규제를 마련할 계획이다 (Park, Kim and Kim, 2012).

Nayfeh (1988)는 규칙 파랑 중에 횡동요의 발생특성 및 Dunwoody (1989)는 선박의 무게중심점에서 메타센터높이까지의 거리 GM의 변동을 스펙트럼 형태로 이용하여 횡 동요에 적용하여 특성을 연구하였다. 내항성은 이러한 파도를 항해하는 선박의 성능을 나타내는 것으로 일반적으로 파도에 의해 동요가 발생되고 그 동요로 인해 선원 및 승객의 승선 감의 작업능력을 저하시키고 선속이 떨어지며 심한 경우에는 구조적 손상이 일어나고 침몰하기도 한다. 선박의 동요는 파도에 기인한 것이므로, 동요의 특성은 파도의 특성과 공통점을 갖고 있다. 최근

에는 전자계산기 역할을 하는 컴퓨터와 많은 운동성능 연구를 통하여 진보하고 있다. 특히, 연구조사선은 교육 및 조사. 연구를 목적으로 하기 때문에 항해 중 선체동요 및 동요가속도 등은 통상적으로 안전성 및 내항성과 더불어 승선학생의 교육 및 조사, 연구에 직접적으로 밀접한 영향을 줄 수 있다. 그런데 아직까지 수 · 해양계에 설치된 선박조종시뮬레이터를 통해 실습선의 선체운동 특성을 연구한 것은 거의 없는 실증이다. 그래서 본 연구에서는 제주대학교 연구조사선 제라호를 부산에 소재한 마린전자에서 선박의 주요 제원 및 기타 자료를 Virtual Ship Yard(VSY) 프로그램에 입력하여 본 대학에 설치된 선박조종실에서 선박을 운항을 재현하여 운항 중 풍력계급 3 및 5의 유의 파고 값을 성분파별로 선체운동에 미치는 영향 가운데 횡 동요 특성을 분석하여 실질적으로 할 수 없는 상황을 시뮬레이션하여 시험선이 최악의 경우 상태, 도출한 결과의 주기를 통해서 GM변화를 얻어서 어떤 해상상태에서는 항행이 가능하고, 가능한 입사파형 등을 미리 알아서 운항 자에게 알려주므로 보다 더 효율적인 연구, 조사가 이루어지도록 도움을 주고자 하는 데 연구의 목적을 두었다.

II. 재료 및 방법

시험선박의 제원

Fig. 1은 시험선박의 일반배치도를 나타낸 것이다. 선박의 특징 및 목적은 21세기 신 해양 개발 전문 인력 양성을 위한 교육용 실습선으로써 제주도 주변 해역을 비롯한 동중국해와 국내 연, 근해의 물리, 화학, 생물, 지질 등 제반 해양연구와 수산생물 및 어업자원 채집과 조사, 해양환경모니터링 등의 역할을 하는 목적으로 2013년 8월14일에 본 대학교에서는 선명 “제라”호로 명명하여 인도하였다.

특징으로는 구상선수 형으로 주기관의 추진효과를 최대한으로 반영한 선형으로 선저는 기관실구역을 제외하고 이 중저 구조, 조타실 전 방향으로 좋은 시야가 확보될 수 있도록 하고, 거주실 및 선체 각 구획은 선체와 추진기로부터 전달되는 소음을 최소화하여 조타실 및 거주실은 65dB, 기관실은 정박 시 70dB 유지하도록 하였다. 그리고 해양조사장비로는 수질 종합 측정 장치, 초음파 전자해류계, 수중입자 크기 분석기, 유산 식 무인 작업 정 해저 지층탐사기 등을 갖추어 종합적인 해양연구를 위한 연구조사선이다.

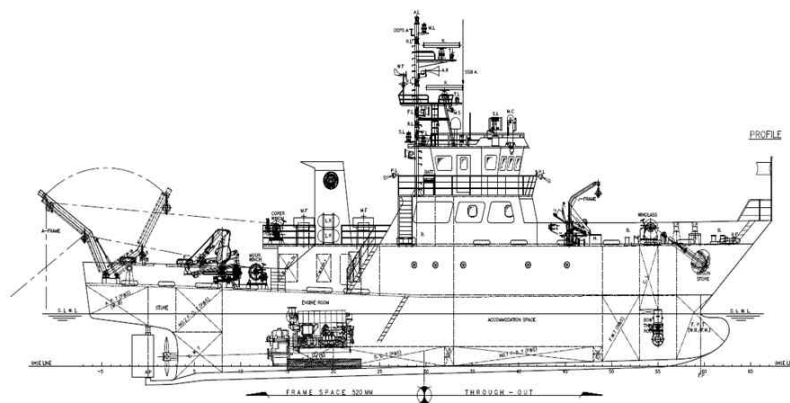


Fig. 1 General arrangement of experimental ship "Jera" of jeju national university

주요제원은 Table 1과 같으며, 전장 및 수선간장은 38.64, 31.00m이며, 총톤수는 161톤, 선폭은 7.50m, 항해속력은 13.30kn'ts, B 는 4.133, 방형비척계수(C_b)는 0.563, $C_b/(L/B)$ 는 0.136, 승선인원은 연구원 17명, 선원 12명 총 29명이 승선하여 해양연구의 기초적인 자료를 얻을 수 있도록 되어 있다. 그리고 Fig. 2는 시험선박의 선도 (Lines)를 나타낸 것으로 배수톤수(Displacement tonnage) 는 357.86 그리고 방형비척계수(C_b :), 주형계수(C_p :), 중앙단면적계수(C_m :)는 각각 0.563, 0.875, 0.669이다.

Gross Ton.	161 tons
Loa	38.64 m
Lbp	31.00m
Breath(MLD)	7.50m
Depth(MLD)	3.30m
Draft(MLD)	2.50m
C_b	0.563
C_w	0.875
C_p	0.669
C_m	0.843
Displacement	357.86
Lcb	-1.96
GM	0.851m

Table 1 Particular of Experimental Jera

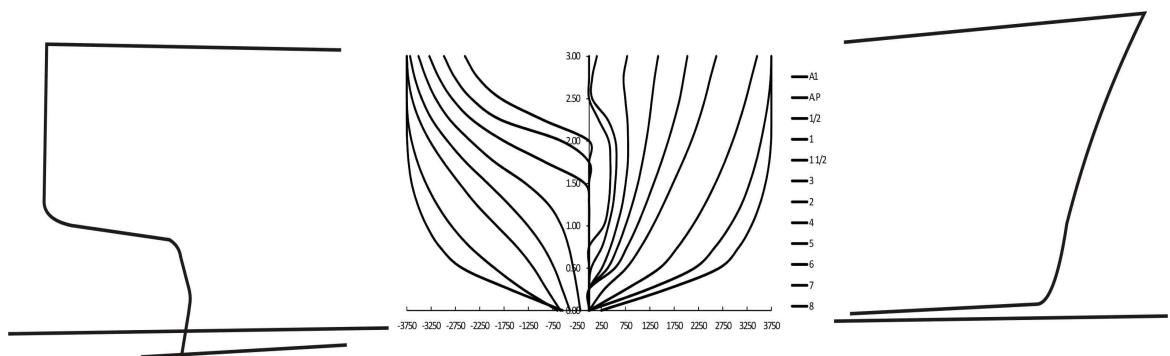


Fig. 2 Present modeling lines data of the Jera research vessel

이론 배경

Fig. 3에서처럼 지구상 고정좌표계 (Earth-fixed system)와 이동하는 선체 중앙 (midship)에 원점을 둔 선체고정좌표계 (Body-fixed)를 나누어서 생각 할 수가 있으며 왼쪽은 2차원 평면, 오른쪽은 3차원으로 각각 나타냈다.

Fig.3에서 X_0, Y_0, Z_0 는 지구고정좌표계, $o-X, Y, Z$ 및 $o-X_1, Y_1, Z_1$ 는 공간 고정좌표계 및 선체고정좌표 각각 나타내고 있다.

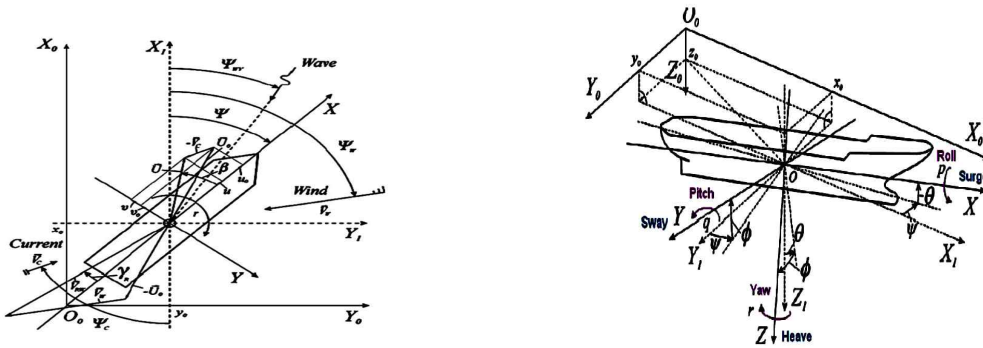


Fig. 3 Coordinate systems (Left: horizontal plane, Right: body - fixed)

지구고정좌표에 대한 운동방정식에서 물체 고정좌표계로 변환하여 roll, pitch, yaw에 대한 각속도를 (1)식처럼 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned}
 p &= \dot{\phi} - \dot{\psi} \sin\theta \\
 q &= \dot{\theta} \cos\phi + \dot{\psi} \cos\theta \sin\phi \\
 r &= -\dot{\theta} \sin\phi + \dot{\psi} \cos\theta \cos\phi \quad \dots\dots\dots(1)
 \end{aligned}$$

방위각 ψ 를 이용하여 선체 고정좌표계로 기술한 배의 속도 $U(u, v, w)$ 를 지구고정좌표계 x_0, y_0, z_0 으로 변환하면 (2)식처럼 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned}
x &= u_0 \cos \psi \cos \theta + v_0 (\sin \phi \cos \psi \sin \theta - \cos \phi \sin \psi) + \omega_0 (\cos \phi \cos \psi \sin \theta + \sin \phi \sin \psi) \\
\dot{y}_0 &= u_0 \sin \psi \cos \theta + v_0 (\sin \phi \sin \psi \sin \theta + \cos \phi \cos \psi) + \omega_0 (\cos \phi \sin \psi \sin \theta - \sin \phi \cos \psi) \\
\dot{z}_0 &= -u_0 \sin \theta + v_0 \sin \phi \cos \theta + \omega_0 \cos \phi \cos \theta \quad \dots\dots\dots(2)
\end{aligned}$$

만약 해류 및 조류가 있다면 유체에 대한 선박의 상대속도의 벡터 량을 (3)식처럼 쓸 수 있으며, v_{cx}, V_{cy}, V_{cz} 는 x, y, z 방향의 유속을 나타낸다.

$$\begin{aligned}
\vec{U} &= \vec{U}_0 - \vec{V}_c \\
u &= u_0 - V_{cx} \\
v &= v_0 - V_{cy} \\
\omega &= \omega_0 - V_{cz} \quad \dots\dots\dots(3)
\end{aligned}$$

그리고 양각 (Attack angle : α) 및 표류 각 (Drift angle ; β)를 고려한 선체고정 좌표계축 u, v, w 에 대한 상대속도를 (4)식처럼 나낼 수 있다.

$$\begin{aligned}
u &= U \cos \beta \cos \alpha \\
v &= -U \sin \beta \cos \alpha \\
\omega &= -U \sin \alpha \quad \dots\dots\dots(4)
\end{aligned}$$

V_W, γ_{RW} 는 시 풍속 및 시 풍향을 말하며 z 방향에 대해서는 무시하고 x 방향만 생각하면 (5)식처럼 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned}
V_{RW}^{\vec{}} &= -\vec{U}_0 + V_W^{\vec{}} \\
V_{RW}^{\vec{}} &= -v_0 + V_{W_x}^{\vec{}} \\
\overline{V_{RW\gamma}} &= -v_0 + V_{W\gamma} \\
V_{RW} &= \sqrt{V_{RW}^2} + V_{RW}^2
\end{aligned}$$

$$V_{RW_x} = V_{RW} \cos \gamma_{RW} \dots\dots\dots(5)$$

Fig.1에서처럼 방위각 ψ , 선체중심 o 점의 이동궤적을 제외하고는 선체고정좌표계를 이용하여 배의 병진속도 $U(u, v, w)$ 및 회전속도 $\Psi(p, q, r)$ 를 가지고 6자유도 운동 (6 degrees of freedom)을 하므로 이를 Euler 선체운동방식을 (6)식처럼 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} m\dot{u}_0 - v_0r + \omega_0q &= X \\ m\dot{v}_0 + u_0r - \omega_0q &= Y \\ m\dot{\omega}_0 - u_0q + v_0p &= Z \\ I_{xc}\dot{p} + I_{zc} - I_{yc}qr &= K \\ I_{yc}\dot{q} + I_{xc} - I_{zc}rp &= M \\ I_{zc}\dot{r} + I_{yc} - I_{xc}pq &= N \dots\dots\dots(6) \end{aligned}$$

(6)식의 우변은 유체력, 타력, 추력, 풍력 등에 의한 외력 (External Force) 및 이로 인한 모멘트를 말하고 (6)식을 (7)식처럼 나타낼 수 있다

$$\begin{aligned} X &= X_1 + X_H + X_P + X_R + X_T + X_C + X_A + X_W + X_{EXT} \\ Y &= Y_1 + Y_H + Y_P + Y_R + Y_T + Y_C + Y_A + Y_W + Y_{EXT} \\ Z &= Z_1 + Z_H + Z_W + Z_{EXT} \\ K &= K_1 + K_H + K_P + K_R + K_T + K_C + K_A + K_W + K_{EXT} \\ M &= M_1 + M_H + M_P + M_W + M_{EXT} \\ N &= N_1 + N_H + N_P + N_R + N_T + N_C + N_A + N_W + N_{EXT} \dots\dots\dots(7) \end{aligned}$$

여기에서

$X_I, Y_I, Z_I, K_I, M_I, N_I$: 관성력 및 모멘트

$X_H, Y_H, Z_H, K_H, M_H, N_H$: 유체력 및 모멘트

Y_A, K_A, N_A : 풍력 및 모멘트

X_C, Y_C, K_C, N_C : 흐름의 힘 및 모멘트

X_R, Y_R, K_R, N_R : 타력 및 모멘트

X_T, Y_T, K_T, N_T : 추력 및 모멘트

X_P, Y_P, K_P, M_P, N_T : 프로펠러의 힘 및 모멘트

$X_W, Y_W, Z_W, K_W, M_W, N_W$: 파력 및 모멘트

$X_{EXT}, Y_{EXT}, Z_{EXT}, K_{EXT}, M_{EXT}, N_{EXT}$: 그 밖에 힘 및 모멘트를 말한다.

관성력 및 모멘트를 (8)식과 같이 나낼 수 있다.

$$\begin{aligned}
 X_I &= X_u \dot{u} - Y_v vr + Z_\omega \omega q \\
 Y_I &= Y_v \dot{v} - Z_\omega \omega p + X_u ur \\
 Z_I &= Z_\omega \dot{\omega} - X_u uq + Y_v vp \\
 K_I &= K_p \dot{p} + N_r - M_q qr + Z_\omega - Y_v v\omega \\
 M_I &= M_q \dot{q} + K_p - N_r rp + X_u - Z_\omega \omega u \\
 N_I &= N_r \dot{r} + M_q - K_p pq + Y_v - X_u uv \dots\dots\dots(8)
 \end{aligned}$$

그리고 유체력에 대해서는 (9)식처럼 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned}
 X_H &= \frac{\rho}{2} A_C U^2 C_{XH} \\
 Y_H &= \frac{\rho}{2} A_C (U^2 + L^2 r^2) C_{YH} \\
 Z_H &= -N_z w + \rho g A_\varphi z \\
 K_H &= -HG_y Y_H - N_p p + mg GM_T \phi \\
 M_H &= N_p q + mg GM_L \theta \\
 N_H &= \frac{\rho}{2} A_C L (U^2 + L^2 r^2) C_{NH} \dots\dots\dots(9)
 \end{aligned}$$

여기에서 C_{XH}, C_{YH}, C_{NH} 는 유체력 계수와 yaw모멘트, A_C 는 측면 침수면적, N_p

는 횡 동요감쇄계수, $G_z - z_H$ 는 수압중심(中心)과 중심(重心)사이의 거리, GM_T, GM_L 는 횡 및 종 메타센터의 높이, A 는 수선면적을 각각 말한다.

(10)식은 surge, sway, yaw 그리고 roll에 미치는 풍력을 나타낸 것으로 A_T, A_L 는 6m 높이에서 횡, 종 방향의 투영면적, C_{XA}, C_{YA}, C_{NA} 는 방향에 따른 풍력계수를 각각 말한다.

$$\begin{aligned}
 X_A &= C_{XA}(\gamma_R) \frac{\rho_A V_{RW}^2}{2} A_T \\
 Y_A &= C_{YA}(\gamma_R) \frac{\rho_A V_{RW}^2}{2} A_L \\
 N_A &= C_{NA}(\gamma_R) \frac{\rho_A V_{RW}^2}{2} A_L L \dots\dots\dots(10)
 \end{aligned}$$

선박의 전진속도 U , 파 주파수 ω 일 때 조우 주파수 ω_e 는 (11)식처럼 나타낼 수 있다.

$$\omega_e = \omega \left(1 - \frac{\omega}{g U \cos \chi} \right) \dots\dots\dots(11)$$

여기에서 g, χ 는 중력가속도 및 파 입사각을 말한다.

ITTC (International Towing Tank Conference)는 국제수조협회를 말하며 ITTC의 스펙트럼은 Pierson-Moskowitz스펙트럼에서 유래 되어 유의파고와 평균과주기에 관한 Pierson-Moskowitz식과 WMO(World Meteorological Organization)의 세계기상기구 code 1100으로부터 작성된 것이다. 유의파고와 평균주기에 대한 Pierson-Moskowitz식은 (12)식과 같다.

$$T = 3.86 \frac{1}{H_{1/3}} \dots\dots\dots(12)$$

그리고 ITTC스펙트럼은 불규칙해상에서의 파도의 특징을 나타내는 파 스펙트럼

을 1978년에 (13)식처럼 제안하여 해면에 파랑을 근사적으로 나타내고 있다.

$$\omega) = \frac{A}{\omega^5} \exp\left(-\frac{B}{\omega^4}\right) \quad A = 172.75 \frac{H_{1/3}^2}{T^4}, \quad B = \frac{691}{T^4} \quad \dots\dots\dots(13)$$

여기에서 $\omega = \frac{2\pi}{T}$ 는 각 원주파수, T 는 파 평균주기를 말한다.

Fig. 4는 위의 이론적 배경으로 형성된 Virtual Ship Yard (VSY)프로그램의 특징을 나타낸 것으로 크게 9가지 구성요소 즉, Motion Model Editor (MME), Basic Editor, Graphical Spline Editor, Motion Model Auto-tune(MMA), Test Module Scene, Panel Editor and Controls(PEAC), Automatic Test System, Automatic Documentation System, Documentation Support & Quality Control System 등으로 나누어져 각각 시험선박의 주요 제원을 입력하고 시험선을 만들고 이를 수학적으로 모델화 한 후 모델화 된 시험선을 우리 대학에 설치된 선박 조종실에서 여러 가지 상황을 입력하여 시험선의 거동을 보면서 도출된 자료를 분석하였다.

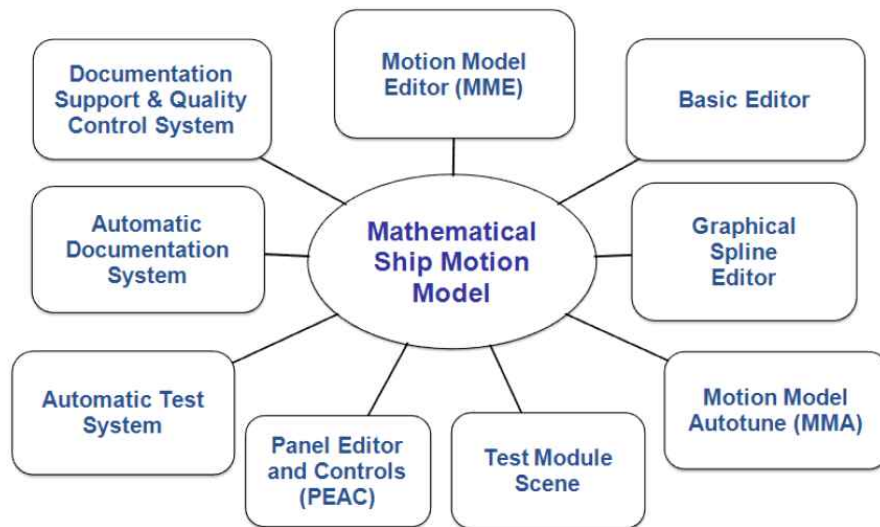


Fig. 4 Configuration of Virtual Ship Yard (VSY)

III. 결과 및 고찰

Table 2는 유의파고와 평균 파주기에 관한 Pierson-Moskowitz식 (1964)과 WMO (World Meteorological Organization)의 세계기상기구 code 1100에 의거 산출한 것으로 풍력계급 3 및 5에서의 유의 파고 및 평균 주기는 0.6m, 2.99sec 및 2.0m, 5.46sec 각각 보였다.

Table 2 Period and significant of wave in Beaufort scale.

Beaufort No. (wind scale)	m/sec	$H_{/3} (m)$	$T(sec)$	Description
1	0.95	0.1	1.22	Light air
2	2.50	0.2	1.73	Light breeze
3	4.45	0.6	2.99	Gentle breeze
4	6.75	1.0	3.86	Moderate breeze
5	9.40	2.0	5.46	Fresh breeze
6	12.35	3.0	6.69	Strong breeze
7	15.55	4.0	7.72	Moderate gale
8	19.00	5.5	9.05	Fresh gale
9	22.65	7.0	10.21	Strong gale
10	26.50	9.0	11.58	Whole gale
11	30.60	11.5	13.09	Storm
12	34.85	14.0	14.44	Hurricane

국제수조 (ITTC :International Towing Tank)협회에서의 스펙트럼은 Pierson-Moskowitz식에 유래된 것으로 Fig. 5는 (13)식에 의해서 풍력계급 3 (유의파고 0.6m, 평균주기 2.99sec), 5(유의파고 2.0, 평균주기 5.46)일 때 파 스펙트럼 밀도 함수으로써 파랑 및 선체동요에 대한 특성을 알기 위해서는 풍력계급 3 및 5에 대해 규칙파에서 파의 스펙트럼을 계산한 결과를 나타낸 것으로 풍력계급 3 및 5일 때의 최대스펙트럼을 보인 파 주파수는 (wave frequency : w) 1.6 rad/sec 및 0.9rad/sec에서 peak를 보였다.

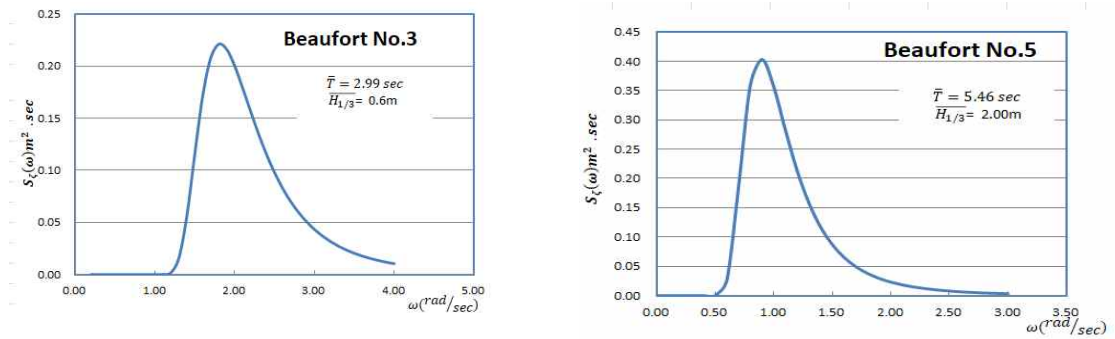


Fig. 5 ITTC wave spectrum (Beaufort scale No.3 and No.5)

Fig. 6 풍력계급 3 및 5였을 때의 시뮬레이션 결과를 영상으로 나타낸 것으로 육안으로 파고가 큰 차이가 있음을 알 수 있었다.



Fig. 6 Photos of Motion editor for Hull input data (Beaufort scale No. 3 and No. 5)

Table 3은 선속 12.0 kn'ts 전혀 조류를 고려하지 않았을 때 풍력계급 3 (4.12m/s) 및 5 (9.77m/s) 일 때 선수파 (Head sea), 횡파 (Beam sea), 추종파 (Follow sea)별로 외력인 풍력 (Wind force) 및 가속도와 속도가 생길 때 수면 하 선체에 작용하는 유체력 (Hydrodynamic force)이 선박의 종 및 측면방향으로 미치는 힘의 결과를 나타낸 것으로 - 부호는 선미 혹은 좌현 쪽을 말하며, 힘의 단위는 newton (tf)이다.

풍력계급 3일 때 평균 풍력은 선수, 횡, 추종 파에서의 종 방향 (longitudinal force), 및 측면 방향 (lateral force)으로 받은 힘은 각각 -0.328, -0.149, -0.020

및 0.000, -0.430, 0.000이었으며, 반면에 이때의 유체력은 -7.715, -7.767, -7.849 및 0.002, -0.136, 0.000로 나타났다.

풍력계급 5일 때 평균 유체력은 선수, 횡, 추종 파에서의 종 방향 (longitudinal force) 및 측면 방향 (lateral force)으로 받은 힘은 각각 -0.629, -0.146, 0.020 및 0.009, -1.331, 0.000이었으며, 반면에 이때의 유체력은 -8.128, -7.766, -7.774 및 0.019, -1.710, -0.002이었다.

이상의 결과를 살펴보면 풍력계급 3 및 5일 때의 풍력 및 유체력은 종 방향이 횡 방향에 미치는 영향 더 크고 선미 쪽으로 갈수록 감소하고 아울러 각각 차이가 있음을 알 수 있었으며 특히, 풍력계급 5일 때 추 종파에서 풍력이 선수방향으로 작용하고 있었다.

Table 3 Mean forces of wind and hydrodynamic of longitudinal, lateral with Beaufort scale No.3 and No.5

		Wind force		Hydrodynamic force		True wind speed (m/s)
		Longi.(tf)	Lateral(tf)	Longi.(tf)	Lateral(tf)	
Force No.3	Head	-0.328	0.000	-7.715	0.002	4.12
	Beam	-0.149	-0.430	-7.767	-0.136	4.12
	Follow	-0.020	0.000	-7.849	0.000	4.12
Force No.5	Head	-0.629	0.009	-8.128	0.019	9.77
	Beam	-0.146	-1.331	-7.766	-1.710	9.77
	Follow	0.020	0.000	-7.774	-0.002	9.77

Table 4는 선속 12.0kn'ts 및 유속 1kn't로 하였을 때 풍력계급 3 (4.12m/s) 및 5 (9.77m/s) 일 때 선수파 (Head sea), 횡파 (Beam sea), 추종파 (Follow sea)별로 외력인 풍력 (Wind force) 및 가속도와 속도가 생길 때 수면 하 선체에 작용하는 유체력 (Hydrodynamic force)이 선박의 종 및 측면방향으로 미치는 힘의 결과를 나타낸 것이다.

풍력계급 3일 때 평균 풍력은 선수, 횡, 추종 파에서의 종 방향 (longitudinal force) 및 측면 방향 (lateral force)으로 받은 힘은 각각 -0.360, -0.168, -0.039 및 -0.010, -0.450, 0.000이었으며, 반면에 이때의 유체력은 -7.756, -7.972, -8.074 및 -0.005, -0.119, 0.004이었다.

풍력계급 5일 때 평균 유체력은 선수, 횡, 추종 파에서의 종 방향 (longitudinal force), 및 측면 방향 (lateral force)으로 받은 힘은 각각 -0.684, -0.155, 0.010 및 -0.030, -1.360, 0.000이었으며, 반면에 이때의 유체력은 -8.263, -7.850, -7.965 및 -0.054, -1.695, 0.017이었다.

Table 4 Mean forces of wind and hydrodynamic of longitudinal, lateral with Beaufort scale No.3 and No.5 with current 1kn't.

		Wind force		Hydrodynamic force		True wind speed
		Longi.(tf)	Lateral(tf)	Longi.(tf)	Lateral(tf)	(m/s)
Force	Head	-0.360	-0.010	-7.756	-0.005	4.12
	Beam	-0.168	-0.450	-7.972	-0.119	4.12
	No.3 Follow	-0.039	0.000	-8.074	0.004	4.12
Force	Head	-0.684	-0.030	-8.263	-0.054	9.77
	Beam	-0.155	-1.360	-7.850	-1.695	9.77
	No.5 Follow	0.010	0.000	-7.965	0.017	9.77

Table 5는 선속 12.0kn'ts 및 유속 2kn't로 하였을 때 풍력계급 3 (4.12m/s) 및 5 (9.77m/s) 일 때 선수파 (Head sea), 횡파 (Beam sea), 추종파 (Follow sea)별로 외력인 풍력 (Wind force) 및 가속도와 속도가 생길 때 수면 하 선체에 작용하는 유체력 (Hydrodynamic force)이 선박의 종 및 측면방향으로 미치는 힘의 결과를 나타낸 것이다.

풍력계급 3일 때 평균 풍력은 선수, 횡, 추종 파에서의 종 방향 (longitudinal force), 및 측면 방향 (lateral force)으로 받은 힘은 각각 -0.389, -0.150, -0.049 및 -0.010, -0.581, 0.000이었으며, 반면에 이때의 유체력은 -7.718, -8.011, -8.048 및 -0.004, -0.041, 0.004였다.

풍력계급 5일 때 평균 유체력은 선수, 횡, 추종 파에서의 종 방향 (longitudinal force), 및 측면 방향 (lateral force)으로 받은 힘은 각각 -0.726, -0.172, 0.010 및 -0.030, -1.416, 0.000이었으며, 반면에 이때의 유체력은 -8.230, -7.818, -7.977 및 -0.060, -1.655, 0.021, 였다.

Table 5 Mean forces of wind and hydrodynamic of longitudinal, lateral with Beaufort scale No. 3 and No. 5 with current 2kn'ts.

		Wind force		Hydrodynamic force		True wind speed
		Longi.(tf)	Lateral(tf)	Longi.(tf)	Lateral(tf)	(m/s)
Force No.3	Head	-0.389	-0.010	-7.718	-0.004	4.12
	Beam	-0.150	-0.581	-8.011	-0.041	4.12
	Follow	-0.049	0.000	-8.048	0.004	4.12
Force No.5	Head	-0.726	-0.030	-8.230	-0.060	9.77
	Beam	-0.172	-1.416	-7.818	-1.655	9.77
	Follow	0.010	0.000	-7.977	0.021	9.77

이상의 풍력 및 유체력에 대한 중, 횡 방향의 힘에 대해서 조류가 있을 때와 없을 때를 성분과별로 분석한 결과를 살펴보면 전반적으로 풍력계급이 클수록 풍력에 대한 중, 횡 방향으로 받은 힘은 컸고, 종 방향의 힘은 선수파에서 선미파로 갈수록 감소 경향을 보였으며 반면 풍력계급 5일 때의 추종 파에서는 반대방향으로 전환된 것을 볼 수 있었다.

종 방향의 유체력은 풍력과 비슷한 경향이 보여 선수파에서 가장 크고, 횡파에서는 낮은 편이다. 그리고 횡 방향의 힘은 3, 5계급 공히 횡파에서 크게 나타났으며, 유속의 변화를 주었을 때 풍력 및 유체력은 유속을 전혀 고려하지 않았을 때와 동일한 경향을 보였지만, 아울러 유속에 비례하여 힘을 크게 받고 있음을 알 수 있었다.

Fig. 7은 위에서와 같이 동일한 방법으로 풍력계급 3 및 5 조건으로 주어졌을 때 성분과별 선속의 변화를 나타낸 것이다.

풍력계급 3일 때 성분과 정선수 (Head sea), 선수 (Bow sea), 횡 (Beam sea), 선미 (Quartering sea), 추종 (Follow sea)파별 평균 선속은 전혀 유속을 고려하지 않았을 때는 13.34, 13.47, 13.68, 13.86, 13.89이고, 유속 1 및 2 kn'ts일 때는 14.37, 14.51, 14.87, 15.05, 15.09 및 15.33, 15.47, 15.30, 16.01 16.06 kn'ts의 선속을 각각 보였다.

풍력계급 5일 때 성분과 정선수 (Head sea), 선수 (Bow sea), 횡 (Beam sea), 선미 (Quartering sea), 추종 (Follow sea)파별 평균 선속은 전혀 유속을 고려하지 않았을 때는 10.69, 11.40, 12.79, 13.62, 13.81이고, 유속 1 및 2 kn'ts일 때는 11.97, 12.53, 13.79, 14.60, 14.93 및 12.90, 13.38, 14.79, 15.55, 15.90kn'ts의 선속을

각각 보였다.

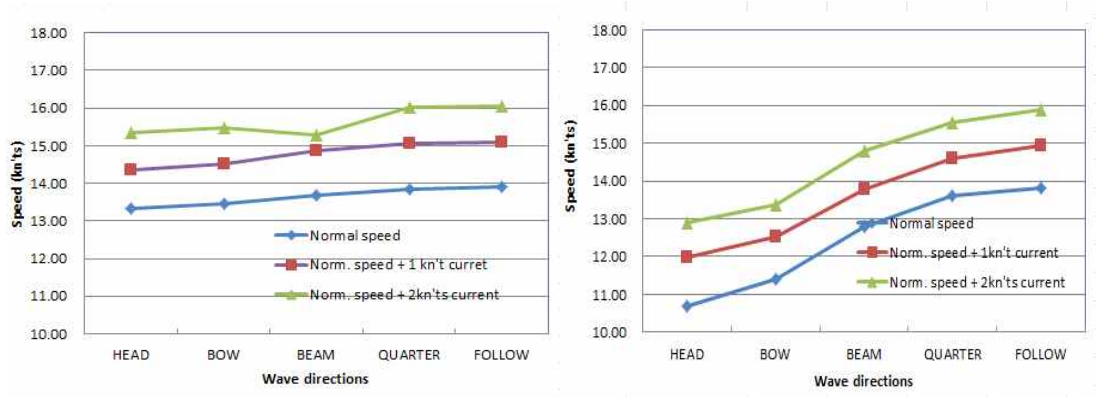


Fig. 7 Variations of ship speed for wave directions in Beaufort scale No. 3 and 5

이상 선속변화의 결과를 살펴보면 정 선수파에서 추종파로 갈수록 선속이 빨라짐을 알 수 있었다.

Table 6은 풍력계급 3 및 5, 선속 12kn/ts, 유속을 전혀 고려하지 않고 항주했을 때 규칙파랑 중에 입사 파형별로 횡 동요 각에 대해서 통계 분석한 결과를 나타낸 것이다.

해면의 특정위치에서 일정시간 10분 동안에 성분파별로 일어난 횡 동요 각 (rolling angle)를 측정 한 후 평균, 측정자료 전체를 파고가 높은 것부터 순서대로 나열했을 때 전체 측정 자료수의 1/3에 해당하는 등수에 놓이는 파고까지의 파고를 총합하여 이를 평균값인 유의 횡 동요각 (Significant angle: $\frac{1}{3}$) 및 분산값은 풍력계급 3일 때 정 선수 및 선수파인 경우 1.554°, 1.732°, 0.007 및 5.315°, 5.607°, 0.017 그리고 횡, 선미 및 추종파에서는 5.482°, 5.845°, 0.027°, 3.222°, 3.539°, 0.037 및 1.585°, 1.846°, 0.014로 각각 나타났고 반면에 풍력계급 5일 때 평균 및 유의 평균 횡 경사각 및 분산 값은 정 선수 및 선수파인 경우 1.796°, 2.589°, 0.136 및 20.436°, 22.256°, 0.648 횡, 선미 및 추종파에서는 21.347°, 22.743°, 0.413, 9.710°, 10.429°, 0.594 및 1.891°, 2.977°, 0.242로 각각 보여 풍력

계급 3 및 5에서는 선수 및 횡과의 영향이 매우 커 횡동요 각이 컸다.

Table 6 Average, Significant angles, Encounter periods in Beaufort scale No.3 and No.5 with wave components= 0°, 045°, 090°, 135°, 180°in ship speed 12.0kn'ts

Wave directions	Average angle(°)		Significant angle /3 (°)		Variance	
	Beaufort scale		Beaufort scale		Beaufort scale	
	No.3	No.5	No.3	No.5	No.3	No.5
Head	1.554	1.796	1.732	2.589	0.007	0.136
Bow	5.315	20.436	5.607	22.256	0.017	0.648
Beam	5.482	21.347	5.845	22.743	0.027	0.413
Quater	3.222	9.710	3.539	10.429	0.037	0.594
Follow	1.585	1.891	1.846	2.977	0.014	0.242

Table 7은 풍력계급 3 및 5, 선속 12kn'ts, 유속을 $kn't$ 로 항주했을 때 규칙 파랑 중에 입사 파형별로 횡 동요 각에 대해서 통계 분석한 결과를 나타낸 것이다.

풍력계급 3일 때 정 선수 및 선수파인 경우 1.717°, 1.894°, 0.007 및 5.546°, 5.849°, 0.019 그리고 횡, 선미 및 추종파에서는 1.033°, 1.963°, 0.029, 3.305°, 3.651°, 0.024 및 1.607°, 1.872°, 0.014로 각각 나타났고, 반면에 풍력계급 5일 때 평균 및 유의 평균 횡 경사각 및 분산 값은 정 선수 및 선수파인 경우 2.612°, 3.419°, 0.142 및 21.886°, 23.644°, **1.247** 횡, 선미 및 추종파에서는 21.715°, 23.176°, 0.422, 9.109°, 10.376°, 9.352 및 1.825°, 2.956°, 0.267로 각각 보였으며 유속 1kn't가 있을 경우에는 선수 및 선미파에서 횡 동요 영향을 많이 받았다.

Table 7 Average, Significant angles, Encounter periods in Beaufort scale No.3 and No.5 with wave components= 0°, 045°, 090°, 135°, 180°in ship speed 12.0kn'ts with 1kn't current

Wave directions	Average angle(°)		Significant angle /3 (°)		Variance	
	Beaufort scale		Beaufort scale		Beaufort scale	
	No.3	No.5	No.3	No.5	No.3	No.5
Head	1.717	2.612	1.894	3.419	0.007	0.142
Bow	5.546	21.886	5.849	23.644	0.019	1.247
Beam	1.033	21.715	1.963	23.176	0.029	0.422
Quater	3.305	9.109	3.651	10.376	0.024	9.352
Follow	1.607	1.825	1.872	2.956	0.014	0.267

Table 8은 풍력계급 3 및 5, 선속 12kn'ts, 유속을 $kn'ts$ 로 항주했을 때 규칙파랑 중에 입사 파형별로 횡 동요 각에 대해서 통계 분석한 결과를 나타낸 것이다.

풍력계급 3일 때 정 선수 및 선수파인 경우 1.725°, 1.906°, 0.007 및 5.670°, 5.959°, 0.017 그리고 횡, 선미 및 추종파에서는 6.553°, 6.940°, 0.029, 3.400°, 3.725°, 0.022 및 1.616°, 1.874°, 0.014로 각각 나타났고, 반면에 풍력계급 5일 때 평균 및 유의 평균 횡 경사각 및 분산 값은 정 선수 및 선수파인 경우 2.648°, 3.453°, 0.136 및 21.812°, 23.806°, 0.787 횡, 선미 및 추종파에서는 22.076°, 23.589°, 0.487, 9.710°, 10.429°, 0.334 및 1.821°, 2.836°, 0.211로 각각 보였고 선수 및 횡파에서는 많은 영향을 받았지만 추종파에서는 가장 약했다.

Table 8 Average, Significant angles, Encounter periods in Beaufort scale No.3 and No.5 with wave components= 0°, 045°, 090°, 135°, 180°in ship speed 12.0kn'ts with 2kn't current

Wave directions	Average angle(°)		Significant angle /3 (°)		Variance	
	Beaufort scale		Beaufort scale		Beaufort scale	
	No.3	No.5	No.3	No.5	No.3	No.5
Head	1.725	2.648	1.906	3.453	0.007	0.136
Bow	5.670	21.812	5.959	23.806	0.017	0.787
Beam	6.553	22.076	6.940	23.589	0.029	0.487
Quater	3.400	9.170	3.725	10.429	0.022	0.334
Follow	1.616	1.821	1.874	2.836	0.014	0.211

이상의 횡 동요 통계분석결과 전반적으로 조류의 영향에서는 미미한 변화를 보였으나, 풍력계급에 따른 큰 변화를 보였다. 그리고 횡 동요각의 평균 및 유의평균값은 선수 및 횡파에서 대부분 크고, 동일하게 분산 값도 컸음을 알 수 있었으며 반면에 정 선수 및 추종파에서는 횡 동요각이 크지 않고 분산 값 역시 적었다. 특히, 선미파에서는 선수 및 횡파에 비해 횡 동요 각이 감소하는 경향을 나타냈다.

Fig. 8은 풍력계급 3 및 5, 선속 12kn'ts, 조류를 전혀 고려하지 않고 규칙파랑 중에 정 선수파 (Head sea)를 받고 항주 했을 때 횡 동요 각 주기를 나타낸 것이다.

같은 방법으로 항해 중 풍력계급 3 및 5에서 10분간 정 선수방향으로 파를 받았을 때의 횡 방향 선체운동의 횡 동요 각 (roll angle) 및 고유주파수, 주기를 MatLab 프로그램에 의해서 분석결과를 나타낸 것으로 어떤 시간 영역에서는 횡 동요 각이 큰 경우도 있고 다른 시간영역에서는 횡 동요가 거의 없는 것을 볼 수 있었다.

풍력계급 3 및 5의 고유주기는 3.550sec, 5.455sec로 보였고, 그리고 동일한 선속(12kn'ts), 조류 방향 및 유속 00, 1kn'ts 및 000°, 2kn'ts로 하였을 때 풍력계급 3 및 5에서의 주기는 3.529, 5.357 및 3.750, 5.217sec로 각각 나타났다.

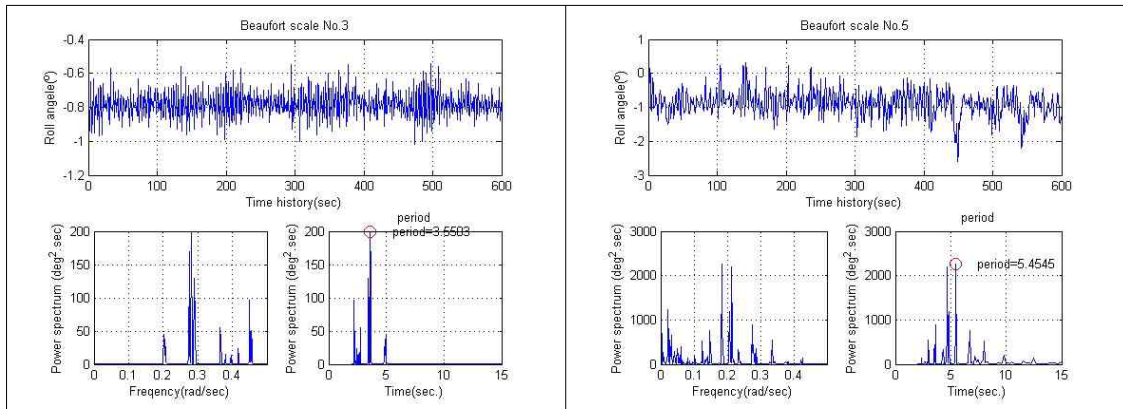


Fig. 8 Roll motions in regular at Beaufort scale No.3 and No.5, head sea

Fig. 9는 풍력계급 3 및 5, 선속 12kn'ts, 조류 방향 및 유속을 00°, 1kn't로 항주 하였을 때 규칙파랑 중에 횡파 (Beam sea)를 받았을 때 횡 동요 각 주기 및 횡 동요 각을 나타낸 것이다.

풍력계급 3 및 5의 고유주기는 3.333sec, 8.451sec로 보였고, 그리고 동일한 선속(12kn'ts), 조류를 전혀 고려하지 않을 때와 조류 방향 및 유속 000°, 2kn'ts로 하였을 때 풍력계급 3 및 5에서의 주기는 3.209, 4.762 및 6.452, 8.955sec로 각각 보였다

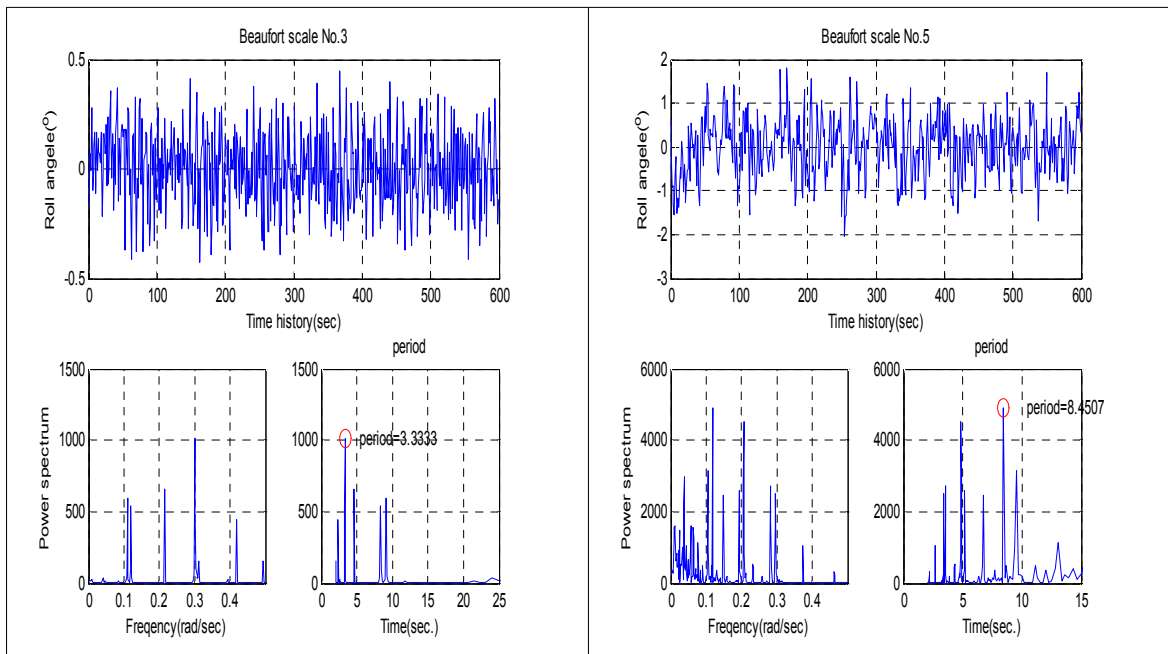


Fig. 9 Roll motions in regular at Beaufort scale No.3 and No.5, beam sea

Fig. 10는 풍력계급 3 및 5, 선속 12kn'ts, 조류 방향 및 유속을 00°, 2kn'ts로 항주하였을 때 규칙파랑 중에 추종파 (Follow sea)를 받았을 때 횡동요 각 주기 및 횡동요 각을 나타낸 것이다.

풍력계급 3 및 5의 고유주기는 6.667sec, 14.053sec로 보였고, 그리고 동일한 선속(12kn'ts), 조류를 전혀 고려하지 않을 때와 조류 방향 및 유속 000°, 1kn'ts로 하였을 때 풍력계급 3 및 5에서의 주기는 5.941, 12.400 및 6.250, 13.636sec로 각각 보였다.

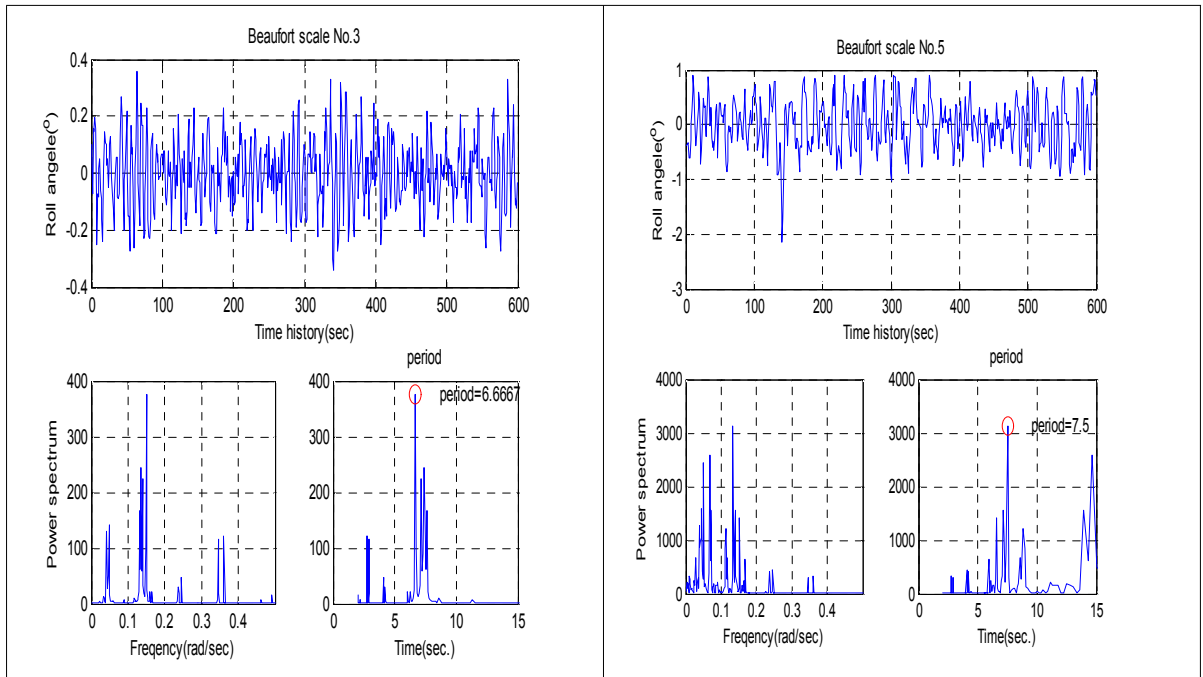


Fig. 10 Roll motions in regular at Beaufort scale No.3 and No.5, follow sea

Table 9는 성분파별로 풍력계급 3 및 5에서 횡동요 고유주기를 분석한 결과를 나타낸 것으로 풍력계급 3에서 전혀 조류가 없을 때와 유속 1 및 2kn'ts일 때의 입사파형별 주기변화는 가장 느린 입사파는 유속 1kn't 선미파에서 주기가 7.792sec이었고, 전반적으로 선미파로 갈수록 주기가 길어지고 유속이 없을수록 빨랐다. 그리고 풍력계급 5에서는 계급 3에서와 같은 경향이고 추종파에서는 12.000sec 이상 주기가 매우 느린 것을 알 수 있었다. Maron A, et al(2006)의 연구 결과에서도 추종파에서는 주기 늦어지는 것과 동일한 결과 얻었다.

Beaufort scale	Ship speed	Current	Period (sec.)				
			Directional wave				
			Head	Bow	Beam	Quarter	Follow
No. 3	12kn'ts	Null	3.550	3.410	3.209	2.120	5.941
		1kn't	3.529	3.550	3.333	7.792	6.250
		2kn'ts	3.750	3.571	6.452	3.093	6.667
No. 5		Null	5.455	6.741	4.762	7.229	12.500
		1kn't	5.357	5.042	8.451	7.792	13.636
		2kn'ts	5.217	5.042	8.955	8.219	14.053

Table 9 Variations of period in component waves at Beaufort scale No. 3 and 5

Fig. 11는 횡 동요에서 스펙트럼분석에 의한 입사파형별 (wave components)로 시험선의 고유 주기를 Hind (1982)의 식에 의해 운항 중 GM (gravity metacenter)변화를 나타낸 것으로 풍력계급 3 및 5일 때 유의파고 (Significant height $H_{1/3}$)는 0.6m, 2.0m 그리고 선속은 12kn'ts이다.

풍력계급 3 및 5 일 때의 입사파형별 즉 정 선수파 (Head sea), 선수파 (Bow sea), 횡파 (Beam sea), 선미파 (Quarter sea), 추종파 (Follow sea)의 GM은 각각 1.302, 1.328, 1.369, 1.684, 1.006m 및 1.050, 0.945, 1.124, 0.912, 0.694m 이었다.



Fig. 11 GM fluctuations with respect to waves components= 0, 045, 090, 135, 180°at ship speed 12kn'ts, Beaufort scale No. 3 and 5

Fig. 12는 횡 동요에서 스펙트럼분석에 의한 입사파형별 (wave components)로 시험선의 고유 주기를 Hind (1982)의 식에 의해 운항 중 GM (gravity metacenter)변화를 나타낸 것으로 풍력계급 3 및 5일 때 유의파고 (Significant height $H_{1/3}$)는 0.6m, 2.0m 그리고 선속 및 유속은 12kn'ts, 1kn't이다.

풍력계급 3 및 5 일 때의 입사파형별 즉 정 선수파 (Head sea), 선수파 (Bow sea), 횡파 (Beam sea), 선미파 (Quarter sea), 추종파 (Follow sea)의 GM은 각각 1.307, 1.302, 1.343, 0.879, 0.981m 및 1.060, 1.092, 0.844, 0.879, 0.664m 이었다.



Fig. 12 GM fluctuations with respect to waves components= 0, 045, 090, 135, 180°at ship speed 12kn'ts with 1kn'ts current Beaufort scale No. 3 and 5

Fig. 13는 횡 동요에서 스펙트럼분석에 의한 입사파형별 (wave components)로 시험선의 고유 주기를 Hind (1982)의 식에 의해 운항 중 GM (gravity metacenter)변화를 나타낸 것으로 풍력계급 3 및 5일 때 유의파고 (Significant height $H_{1/3}$)는 0.6m, 2.0m 그리고 선속a및 12kn'ts, 2kn'ts이다.

풍력계급 3 및 5 일 때의 입사파형별 즉 정 선수파 (Head sea), 선수파 (Bow sea), 횡파 (Beam sea), 선미파 (Quarter sea), 추종파 (Follow sea)의 GM은 각각 1.266, 1.298, 0.966, 1.395, 0.950m 및 1.074, 1.092, 0.820, 0.855, 0.654m 이었다.

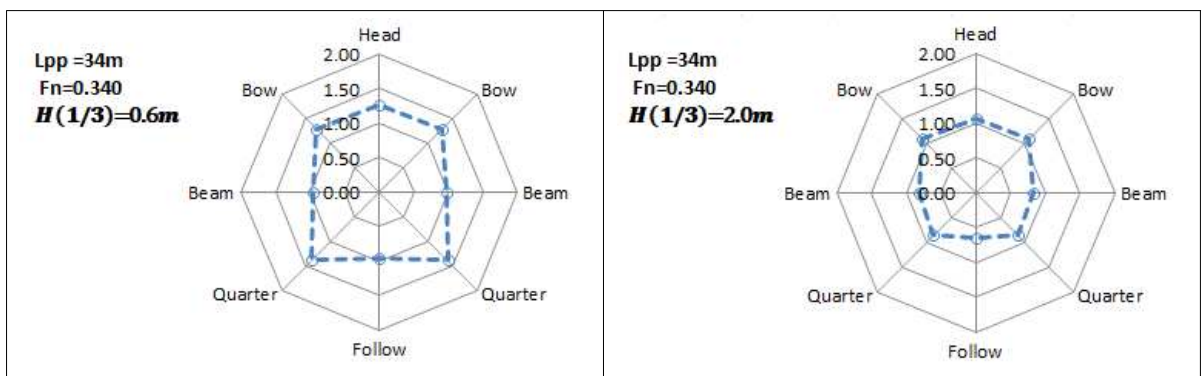


Fig. 13 GM fluctuations with respect to waves components= 0, 045, 090, 135, 180°at ship speed 12kn'ts with 2kn'ts Beaufort scale No. 3 and 5

Table 10는 풍력계급 3 및 5 일 때 입사파형별 및 유속변화에 따른 GM변화량을 나타낸 것이다.

조류(Current)에 대한 유속이 전혀 없고 선속 12.0kn'ts만 유지 했을 때 풍력계급 3 및 5에서의 GM변화량을 살펴보면 전반적으로 추종파로 갈수록 GM의 감소량이 크고 그리고 풍력계급에 따른 GM감소량의 차이는 횡파일 때 0.245로 가장 적고, 선미파에서 0.313으로 가장 큰 값을 보였다.

선속 12.0kn'ts, 유속 1kn't에서도 유속이 없을 때와 같은 경향을 보였으며, 풍력계급에 따른 GM감소량의 차이는 선미파일 때 0.000로 가장 적고, 횡파에서 0.500으로 가장 큰 값을 보였다.

선속 12.0kn'ts, 유속 2kn't에서도 유속이 없을 때와 같은 경향을 보였으며, 풍력계급에 따른 GM감소량의 차이는 선수파일 때 0.206로 가장 적고, 선미파에서 0.539으로 가장 큰 값을 보였다.

Table 10 GM fluctuations with respect to waves components= 0, 045, 090, 135, 180°with ship speed and current at Beaufort scale No. 3 and 5.

Ship speed	Beaufort Scale	Current	GM fluctuations with respect to waves components (unit : m)				
			Head	Bow	Beam	Quarter	Follow sea
12kn'ts	No. 3	0kn't	1.302	1.328	1.369	1.684	1.006
	No. 5		1.050	0.945	1.124	0.912	0.694
	Diff.		0.252	▽0.384	▽0.245	▽0.772	▽0.313
	No. 3	1kn't	1.307	1.302	1.343	0.879	0.981
	No. 5		1.060	1.092	0.844	0.879	0.664
	Diff.		▽0.247	▽0.209	▽0.500	▽0.00	▽0.317
	No. 3	2kn'ts	1.266	1.298	0.966	1.395	0.950
	No. 5		1.074	1.092	0.820	0.855	0.654
	Diff.		▽0.193	▽0.206	▽0.146	▽0.539	▽0.296

이상결과에서 입사파형별 및 유속의 변화에 따른 GM의 변화량은 풍력계급이 클수록 전 입사파(정 선수, 선수, 횡, 선미, 추종)에서 감소하고 입사파가 선미 쪽으로 갈수록 그리고 유속변화에서도 동일한 경향으로 유속이 빠를수록 GM의 감소량이 큰 것으로 판단되었다. 이러한 결과는 모형선실험을 통해 추종파에서 GM이 감소하여 전복을 일으키는 원인 같은 경향을 보였다. (Umeda N et al, 1995)

그래서 최초 경사시험에서의 $GM=0.851m$ 와 실험결과 값과 비교했을 때 선속 $12.0kn/t$ 에서는 풍력계급 5에서는 추종파, 그리고 동일한 선속과 유속 $1kn/t$ 일 때는 풍력계급 5에서는 횡파, 추종파 또한 동일한 선속과 유속 $2kn/ts$ 일 때는 풍력계급 5에서는 횡파, 선미파, 추종파를 각각 받고 항행 했을 때가 기존의 GM 보다는 낮은 것으로 나타나 시험선인 경우는 풍력계급 5에서는 전반적으로 항행을 자제하고 항행하더라도 선미 사과를 받지 않도록 주의를 기울려야 할 것으로 판단된다. 그리고 횡 동요의 응답특성은 횡파와 추사파에서 컸다는 연구결과와 거의 일치하였다. (Kang I.K and Park B.S, 2000)

풍력계급 3 및 5에서 선속 및 유속변화에 따른 GM 감소 변화에서 Fig. 14와 같이 선박 전복되는 현상은 선미파를 받으면 파도를 만나는 주기가 길어져 이따금씩 만나지만 일단 만나면 파도위에 올려지는 (파도와 함께 가므로) 시간이 길어진다는 것이다. 그런데 선미파를 받는 경우에는 대부분의 경우 선속이 파속보다 빨라 파도를 추월하는 상태가 되어 설사 파정위에 얹히더라도 조타력이 유지되겠지만 미속으로 항해하면서 선미파를 받은 때에는 선속이 파도와의 속도차가 거의 적은데다 극히 미속 운항 중일 때는 조타력까지 약해, 선체가 후방에서 접근하는 파도의 파정의 앞쪽 또는 뒤쪽 면에 비스듬히 놓이면 마치 경사진 눈길에서 차가 미끄러지는 것과 흡사하게 선체가 방향성을 잃고 미끄러지면서 전복되는 상황을 생각할 수 있었고, GM 감소가 Broaching의 하나의 원인됨을 알 수 있었다.

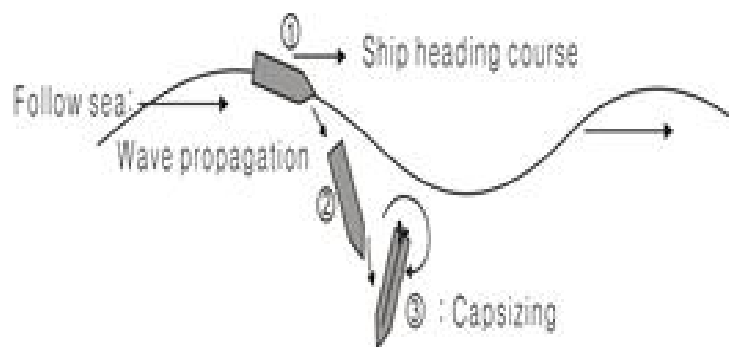


Fig. 14 Reproduction of capsizing for reduction of GM in following sea

IV. 결 론

제주대학교 연구 조사선 제라호를 모델화하여 선박조종실에서 풍력계급 3 및 5 해상조건에서 시험선의 횡 동요 특성을 분석을 통해 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

풍력 및 유체력에 대한 종, 횡 방향의 힘에 대해서 조류가 있을 때와 없을 때를 성분과별로 분석한 결과를 살펴보면 전반적으로 풍력계급이 클수록 풍력에 대한 종, 횡 방향으로 받은 힘은 컸고, 종 방향의 힘은 선수파에서 선미파로 갈수록 감소 경향을 보였으며 반면에 풍력계급 5일 때의 추종 파에서는 반대방향으로 전환된 것을 볼 수 있었고 종 방향의 유체력은 풍력과 비슷한 경향이 보여 선수 파에서 가장 크고, 횡파에서는 낮은 편이다. 그리고 횡 방향의 힘은 3, 5계급 공히 횡파에서 크게 나타났으며, 유속의 변화를 주었을 때 풍력 및 유체력은 유속을 전혀 고려하지 않았을 때와 동일한 경향을 보였고, 유속에 비례하여 힘을 크게 되는 것을 알 수 있었다.

횡 동요 통계분석결과 전반적으로 조류의 영향에서는 미미한 변화를 보였으나, 풍력계급에 따른 큰 변화를 보였다. 그리고 횡 동요각의 평균 및 유의 평균값은 선수 및 횡파에서 대부분 크고, 동일하게 분산 값도 컸음을 알 수 있었으며 반면에 정 선수 및 추종파에서는 횡 동요각이 크지 않고 분산 값 역시 적었다. 특히, 선미파에서는 선수 및 횡파에 비해 횡 동요 각이 감소하는 경향을 나타냈다.

성분과별로 풍력계급 3 및 5에서 횡 동요 고유주기를 분석한 결과에서는 풍력계급 3에서 전혀 조류가 없을 때와 유속 1 및 2kn'ts일 때의 입사파형별 주기변화는 가장 느린 입사파는 유속 1kn't 선미파에서 주기가 7.792sec이었고, 전반적으로 선미파로 갈수록 주기가 길어지고 유속이 없을수록 빨랐다. 그리고 풍력계급 5에서는 계급 3에서와 같은 경향이고 추종파에서는 12.000sec 이상 주기가 매우 느린 것을 알 수 있었다.

입사파형별 및 유속의 변화에 따른 GM의 변화량은 풍력계급이 클수록 전 입사파(정 선수, 선수, 횡, 선미, 추종)에서 감소하고 입사파가 선미 쪽으로 갈수록 그

리고 유속변화에서도 동일한 경향으로 유속이 빠를수록 GM의 감소량이 큰 것으로 판단되었다.

시험선의 최초 경사시험에서 $GM=0.851m$ 와 실험결과 값과 비교했을 때 선속 $12.0kn/t$ 에서는 풍력계급 5에서는 추종파, 그리고 동일한 선속과 유속 $1kn/t$ 일 때는 풍력계급 5에서는 횡파, 추종파 또한 동일한 선속과 유속 $2kn/ts$ 일 때는 풍력계급 5에서는 횡파, 선미파, 추종파를 각각 받고 항행 했을 때가 기존의 GM보다는 낮은 것으로 나타나 시험선인 경우는 풍력계급 5에서는 전반적으로 항행을 자제하고 항행하더라도 선미 사과를 받지 않도록 주의를 기울려야 할 것으로 판단되고, 향후 이를 근간으로 보다 더 세밀한 선박의 자료를 입력하고 많은 선박을 모델화하여 그 결과를 도출하고 실제로 항행한 것과 비교하여 항해하기 전에 일기예보를 보면서 시뮬레이션을 통해 미리 운항 계획을 세우는 데 도움이 되었으면 한다.

참고문헌

- Dunwoody AB. 1989. Roll of a ship in astern seas-Metacentric spectra. Journal of ship research 33(3) pp 221-228.
- Hind JA. 1982. Stability and trim of fishing vessels. Coward & gerrish LTD., Larkhall, Bath, England, pp 77-96.
- Kang IK and Park BS. 2000. The characteristics of motion response of stern trawlers according to the wave height and the ship's speed in the sea, Jour. Fish. Mar.Sci.Edu., 12(2), pp 77-90.
- Lloyd A.R.J.M., 1989. Sea-keeping(ship behaviour in rough weather), Ellis Horwood Limited, pp 234-262
- Maron A, Carrillo E, Prieto ME, Gonzalez C and Taboada M, 2006. Investigation on the capsizing of small fishing vessel in following seas. Trabajo presentado en el simposium MADRID SEPTIMBRE 2006, pp 1-6.
- Nayfeh AH. 1988. On the undesirable roll characteristics of ships in regular seas, Journal of ship research 32(2) pp 92-100.
- Nishnokubi H. 1983. Studies of the sea-keeping qualities of bull trawler by means of field measurements, NAOSITE (Nagasaki University's Academic Output SITE) Vol. 54, pp 61-131.
- Park DM. Kim TY and Kim YW. 2012. Study on numerical sensitivity and uncertainty in the analysis of parametric roll, Journal of SNAK 49(1), pp60-67.
- Umeda N. Hamamoto M. Takaishi Y. Chiba Y. Matsuda A. Sera W. Suzuki S. Spyrou K. and Watanabe K., 1995. Model experiments of ship capsize in astern seas, Journal of The Society of Naval Architects of Japan, Vol. 177, pp207-217.