



# 추진 부하 변화를 고려한 KLNG2 선형의 조종성능 추정 연구

김연규<sup>†</sup> · 김동진 · 황승현 · 윤근항  
한국해양과학기술원 부설 선박해양플랜트연구소

## Study on the Prediction of Maneuverability of KLNG2 with the Variation of Propulsion Loading

Yeongyu Kim<sup>†</sup> · Dongjin Kim · Seunghyun Hwang · Kunhang Yun  
Korea Research Institute of Ships and Ocean Engineering

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Recently the interest on wind assisted propulsion ships is increasing as the interest on eco-friendly ship for carbon neutrality is increasing. Rotor sail, wing sail, soft sail, kite etc. are applied as wind assisted propulsion system for research and adoption to real ship. Wind assisted propulsion ship usually operates in reduced and occasionally over propulsion loading due to additional propulsion force by wind assisted propulsion system. And additional side force by wind assisted propulsion system is acted to the ship, so the ship is operating in maneuvering motion with yaw rate, drift and heel motions during navigation. In this study maneuvering model tests at the towing tank of KRISO were carried out to investigate the effect of variation of propulsion loading on maneuvering coefficients. Target ship is KLNG2(2nd KRISO LNG Carrier), and 4 degree of freedom HPMM(Horizontal Planar Motion Mechanism) tests were carried out on the range of 50% ~ 125% propulsion loading conditions. The maneuverability of KLNG2 for 100% propulsion loading and design draft conditions on the speed of 15 knots of real ship was predicted and compared with free running test results. The predicted results of turning test and zigzag tests are matched very well with free running tests. From the analyzed results of maneuvering coefficients with the variation of propulsion loading, the effect of propulsion loading has significant effect on hull-rudder interaction coefficients and dynamic stability lever. However the effect is not meaningful on the hull maneuvering coefficients. The whole maneuvering coefficients will be used for the navigation simulation of wind assisted propulsion ship.

**Keywords** : Wind assisted propulsion system(풍력추진장치), Variation of propulsion loading(추진 부하 변화), KLNG2(KLNG2), Maneuverability(조종성능), Maneuvering simulation(조종 시뮬레이션), Free running test(자유항주시험)

## 1. 서론

요즘 탄소중립을 위한 친환경선박에 대한 관심이 증대하면서 풍력추진장치를 설치한 선박에 대한 관심도 커지고 있다. 풍력추진장치로는 로터, 날개, 돛, 연 등에 대한 연구 및 실선 장착이 진행되고 있다. 풍력추진장치를 장착한 선박은 풍력추진장치에 의한 추가적인 추력으로 인해 프로펠러의 저부하 상태 또는 일시적인 고부하 상태에서 운항을 하게 되며, 또한 추력 방향 이외에도 선박의 횡방향 힘이 추가로 작용해서 선회각속도, 사향각 및 횡경사각이 발생하게 된다. Sauder and Alterskjaer (2022)는 실시간으로 자유항주모형에 4개의 로터 세일에 의한 힘을 케이블에

의하여 작용하도록 하는 시험을 수행하였으며 추력 계수에 발생하는 영향을 검토하였다. Schot and Eggers (2019)는 풍력추진선박에 생기는 사향 상태에서의 추력 계수 영향을 구속모형시험과 점성 수치해석을 수행하여 비교하였고, Yang et al. (2019)은 사향 상태에서의 추진기 단독시험에 대한 CFD(Computational Fluid Dynamics) 수치해석을 수행하였다. China (IMO, 2018)는 풍력추진선박에 대한 것은 아니지만 저속으로 운항하는 선박에서는 추력 계수들이 중고속 상태와 다른 시험결과를 주는 것에 대해서 IMO(International Maritime Organization)에 문서로 제출한 바 있다. 또한 풍력추진장치가 설치된 상황을 고려한 저부하 및 사향 상태가 추력 계수에 미치는 영향에 대한 연구가 일부 수행

된 바 있다(Kim et al., 2023). 하지만 풍력추진장치 선박의 추력 변화가 조종유체력 계수에 미치는 영향에 대한 연구는 미미한 상황이다.

본 연구에서는 풍력추진장치에 의한 추진 부하 변화가 조종유체력 계수에 미치는 영향을 검토하기 위한 조종시험을 선박해양플랜트연구소(Korea Research Institute of Ships and Ocean engineering, KRISO)의 선형시험수조에서 수행하였다. 이를 위하여 KRISO의 공개선형인 KLNG2(2nd KRISO LNG carrier)에 대해서 실선 속도 15.0 knots에 대한 50% ~ 125% 추진 부하 상태에 대하여 조종시험을 수행하였다. 100% 추진 부하 상태에 대하여 추정된 조종 시뮬레이션 결과는 자유항주 시험결과와 비교하였고, 또한 추진 부하 변화에 의한 조종유체력 계수의 변화를 검토하였다.

## 2. 4자유도 조종 수학적모델

2개의 타와 추진기가 설치된 2축2타선에 대한 4자유도 조종운동 방정식과 좌표계는 아래와 같다(Kim et al., 2007, Kim et al., 2011).

$$\begin{aligned} m(\dot{u} - vr - x_G r^2 + z_G \dot{r}p) &= X_H + X_P + X_R \\ m(\dot{v} + ur - z_G \dot{p} + x_G \dot{r}) &= Y_H + Y_R \\ I_x \dot{p} - mz_G(\dot{v} + ur) &= K_H + K_R \\ I_z \dot{r} + mx_G(\dot{v} + ur) &= N_H + N_P + N_R \end{aligned} \quad (1)$$

여기서,  $H, P, R$ 은 각각 선체, 프로펠러, 타에 작용하는 유체력을 의미한다.

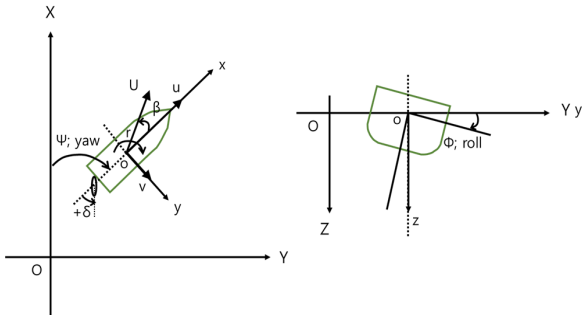


Fig. 1 Coordinates system

Fig. 1에 나타나 있는 4자유도 조종운동 좌표계는 지구고정 좌표계와 선체의 중심선, Midship 및 자유수면에 중심점이 있는 선체-수선면고정 좌표계이다.

### 2.1 선체에 작용하는 유체력

선체에 작용하는 유체력은 아래와 같이 조종유체력 계수로 표현된다(Kim et al., 2007).

$$X_H = X_u \dot{u} + X_{vv} v^2 + X_{vr} vr + X_{rr} r^2 + X_{uu} u^2 + X_{\phi\phi} \phi^2 \quad (2)$$

$$Y_H = Y_v \dot{v} + Y_r \dot{r} + Y_v v + Y_r r + Y_{vvv} v^3 + Y_{rrr} r^3 + Y_{vvr} v^2 r + Y_{vrr} vr^2 + Y_{\phi\phi} \phi + Y_{v|\phi|} v|\phi| + Y_{r|\phi|} r|\phi|$$

$$K_H = K_p \dot{p} + K_v \dot{v} + K_r \dot{r} + K_{\phi\phi} \phi - \Delta GM_T \sin(\phi) - (Y_v v + Y_{vvv} v^3) z Y_v - ((Y_r - mu)r + Y_{rrr} r^3) z Y_r$$

$$N_H = N_v \dot{v} + N_r \dot{r} + N_v v + N_r r + N_{vvv} v^3 + N_{rrr} r^3 + N_{vvr} v^2 r + N_{vrr} vr^2 + N_{\phi\phi} \phi + N_{v|\phi|} v|\phi| + N_{r|\phi|} r|\phi|$$

여기서,  $X_{uu}$ 는 저항시험결과로부터 구해진다.

### 2.2 추진기와 타에 작용하는 유체력

2축2타선의 추진기에 작용하는 유체력은 아래와 같이 조종유체력 계수로 표현된다(Kim et al., 2007).

$$X_P = (1-t)\rho n^2 D^4 \{K_{T_{PT}}(J_{P_{PT}}) + K_{T_{SB}}(J_{P_{SB}})\} \quad (3)$$

$$N_P = y_P(1-t)\rho n^2 D^4 \{K_{T_{PT}}(J_{P_{PT}}) - K_{T_{SB}}(J_{P_{SB}})\}$$

여기서,

$$J_P = u(1-w_p)/(nD)$$

$$w_p = w_{p0} \exp(-C_P v_p^2), \quad v_p = v + x_P r$$

$$C_P = \begin{cases} C_P^+ & \text{when } v_p \geq 0 \\ C_P^- & \text{when } v_p < 0 \end{cases}$$

PT : port, SB : starboard, n : rps

$x_P$  : x coordinate of propeller

$y_P$  : y coordinate of propeller

2축2타선의 타에 작용하는 유체력은 아래와 같이 조종유체력 계수로 표현된다(Kim et al., 2007).

$$X_R = -(1-t_R)(F_{N_{PT}} + F_{N_{SB}})\sin\delta \quad (4)$$

$$Y_R = (1+a_H)(F_{N_{PT}} + F_{N_{SB}})\cos\delta$$

$$K_R = z_R(F_{N_{PT}} + F_{N_{SB}})\cos\delta$$

$$N_R = (x_R + a_H x_H)(F_{N_{PT}} + F_{N_{SB}})\cos\delta - y_R(1-t_R)(F_{N_{PT}} - F_{N_{SB}})\sin\delta$$

여기서,

$$F_N = \frac{1}{2} \rho A_R U_R^2 f_\alpha \sin\alpha_R$$

$A_R$  : rudder area,  $U_R$  : effective inflow velocity

$\alpha_R$  : effective inflow angle

$$U_R = \sqrt{u_R^2 + v_R^2}$$

$$u_R = \epsilon u_P \sqrt{\eta \left\{ 1 + \kappa \left( \sqrt{1 + \frac{8K_T}{\pi J^2}} - 1 \right) \right\}^2} + (1 - \eta)$$

$$v_R = \gamma_R (v + l_R r)$$

$$u_P = (1 - w_P) u$$

$$\alpha_R = \delta - \delta_0 - \tan^{-1} \frac{v_R}{u_R} \approx \delta - \delta_0 - \frac{v_R}{u_R}$$

$\eta$  : ratio of propeller diameter to rudder height

$\epsilon, \kappa$  : coefficients representing propeller slip stream

$f_\alpha$  : rudder normal force coefficient

$\delta_0$  : neutral rudder angle

$\gamma_R$  : flow straightening coefficient

$$\gamma_R = \begin{cases} \gamma_R^+ & \text{when } (v + l_R r) \geq 0 \\ \gamma_R^- & \text{when } (v + l_R r) < 0 \end{cases}$$

$$l_R : \approx 2x_R$$

$x_R$  : x coordinate of rudder

$y_R$  : y coordinate of rudder

### 3. 조종시험 및 조종유체력계수 해석

#### 3.1 대상선형

대상선형은 국내 대형 조선소의 주력선종인 LNG 운반선으로 하였으며, KRISO의 공개선형인 KLNG2로 선정하였다. KLNG2 선형의 설계속도는 19.5 knots이지만, 평균 운항속도에서의 풍력 추진장치를 포함한 시뮬레이션을 수행하기 위해서 LNG 운반선의 평균 운항속도와 유사한 15.0 knots를 시험 속도로 하였으며 (Asiasis, 2025), KLNG2 선형의 주요치수는 Table 1에 정리되어 있다(Oh et al., 2026).

선형시험수조에서의 조종시험을 위하여 1/41.0 크기의 모형선을 제작하였으며, 빌지킬이 없는 상태에서 시험이 수행되었다. Fig. 2에 모형선 사진이 실려 있다.

#### 3.2 저항/추진 시험결과

실선 속도 13, 15, 19.5 knots에서 저항/추진 모형시험을 수

Table 1 Principal dimensions of KLNG2

Hull		Propeller	
Lpp(m)	286.0	No. of blades	4
B(m)	46.2	D(m)	8.2
T(m)	11.5	P(0.7R)(m)	7.880
Trim(m)	0.0	Rudder	
$\nabla$ (m <sup>3</sup> )	113964.0	Span(m)	7.600
S(m <sup>2</sup> )	16634.4	AT(m <sup>2</sup> )	39.52
VCG(m)	18.5	Mean chord(m)	5.200
GM <sub>T</sub> (m)	3.554	Aspect ratio	1.46



Fig. 2 Photographs of model ship

행하였다. 모형시험 결과해석 시 2차원해석이 적용된 1978 ITTC 성능추정방법(ITTC, 2021)을 활용하였으며, 그 결과는 Table 2와 같다.

Table 2 Resistance and propulsion test results

Vs(knots)	Cr	Wtm	Thdf	$\eta_R$
13.0	0.611	0.301	0.169	0.987
15.0	0.711	0.301	0.168	0.997
19.5	0.765	0.301	0.167	1.006

Cr : 잉여저항 계수 (residuary resistance coefficient)

Wtm : 모형선 반류비 (model wake fraction)

Thdf : 추력감소 계수 (thrust deduction factor)

$\eta_R$  : 상대 회전효율 (relative rotative efficiency)

평균운항속도인 실선 속도 15.0 knots에서는 추진 부하 변경 시험을 추가로 수행하였다. 아래 식을 활용하여 실선 저항 50% ~ 125% 범위에 상응하는 예인력이 부가되도록 프로펠러 회전수를 조절하여 시험을 수행하였다(ITTC, 2021).

$$\frac{\Delta R}{R_0} = [-0.5, -0.25, 0, 0.25] \quad (5)$$

$$F_X = F_D - \Delta R \frac{\rho_M}{\rho_S} \frac{1}{\lambda^3}$$

여기서,

$\Delta R$ : resistance increase

$R_0$ : full scale resistance without propulsion loading variation

$F_X$ : external tow force measured during propulsion loading variation test

$F_D$ : skin friction correction force

$\lambda$ : ship to model scale ratio

$\rho_S$ : water density in full scale

$\rho_M$ : water density in model test

실선 속도 15.0 knots에서 실선 저항의 50%, 75%, 100%, 125%에 상응하는 모형선 프로펠러 회전수는 Table 3과 같이 도출되었다. 좌우현 프로펠러의 회전수는 동일하다.

Table 3 Model propeller rotation rate by propulsion loading variation

Vs(knots)	Propulsion loading ratio(%)	Propeller rotation rate(rev/s)	
		Left	Right
15	50%	5.03	
	75%	5.41	
	100%	5.80	
	125%	6.19	



Fig. 3 Photograph of HPMM test

### 3.3 조종시험 조건

KRISO의 HPMM(Horizontal Planar Motion Mechanism) 장비를 이용하여 조종시험을 수행하였다. Fig. 3에는 횡경사각과 방향각이 있는 상태에 대한 조종시험 사진이 실려 있다.

조종시험은 실선 속도 15.0 knots에 해당하는 모형선 속도 1.205 m/s에 대해서 수행되었으며, Table 4에 상세 시험조건이 나타나 있다. Table 4의 시험조건은 50%, 75%, 100%, 125% 추진 부하 상태에 대해서 동일하게 적용되었다.

### 3.4 조종유체력 계수 해석

각각의 부하상태에 대해서 조종유체력 계수를 해석하였다.

Table 4 HPMM test conditions

Test Type	Test Conditions
Static rudder	Rudder angle = $-30^{\circ} \sim +30^{\circ}$
Static drift	Drift angle = $-20^{\circ} \sim +20^{\circ}$
Drift & rudder	Drift angle = $-20^{\circ} \sim +20^{\circ}$ , 3 rudder angles
Static heel	Heel angle = $3^{\circ}, 6^{\circ}, 9^{\circ}$
Drift & heel	Drift angle = $-16^{\circ} \sim +16^{\circ}$ , Heel angle = $3^{\circ}, 6^{\circ}, 9^{\circ}$
Pure sway	$\dot{v}' = -0.04 \sim -0.16$
Pure yaw	$r' = 0.15 \sim 0.6$
Yaw with drift	$r' = 0.15 \sim 0.6$ , Drift angle = $6^{\circ}, 12^{\circ}, 18^{\circ}$
Yaw with heel	$r' = 0.15 \sim 0.6$ , Heel angle = $3^{\circ}, 6^{\circ}, 9^{\circ}$
Free roll decay	1.205 m/s (100% loading only)

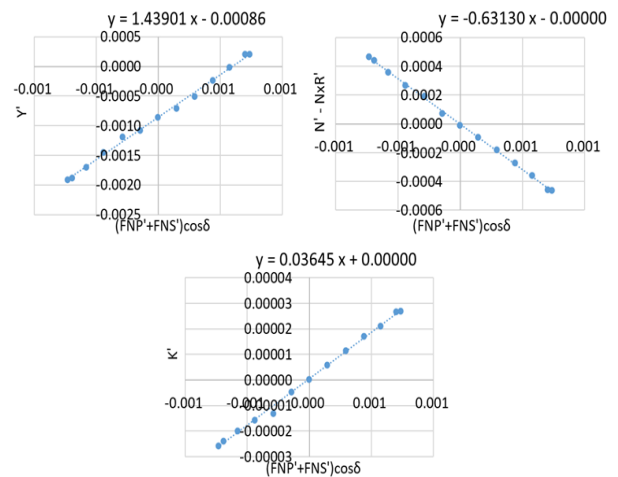


Fig. 4 Results of static rudder test(100% loading condition)

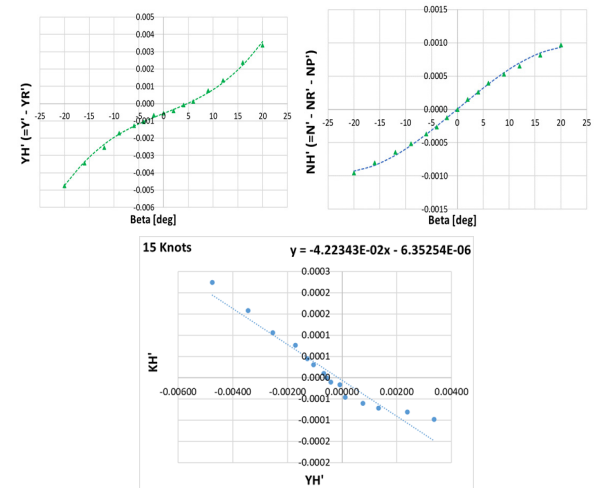


Fig. 5 Results of static drift test(100% loading condition)

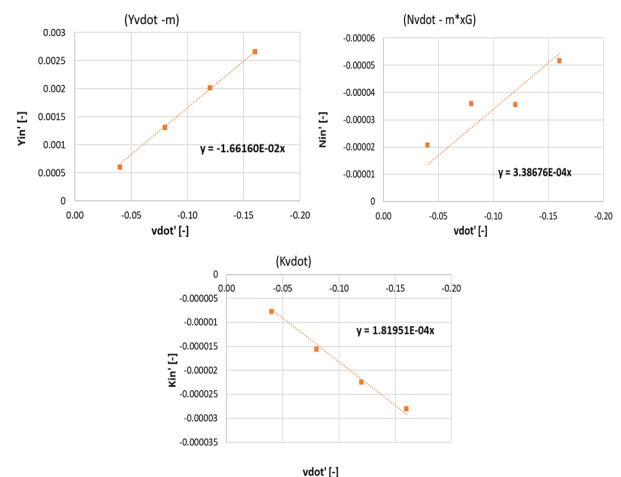


Fig. 6 Results of pure sway test(100% loading condition)

Figs. 4 ~ 8에는 100% 추진 부하에 대한 대표적인 조종유체력 계수 해석결과가 나타나 있다. Fig. 4에는 Static rudder test 해석결과가, Fig. 5에는 Static drift test 해석결과가, Fig. 6에는

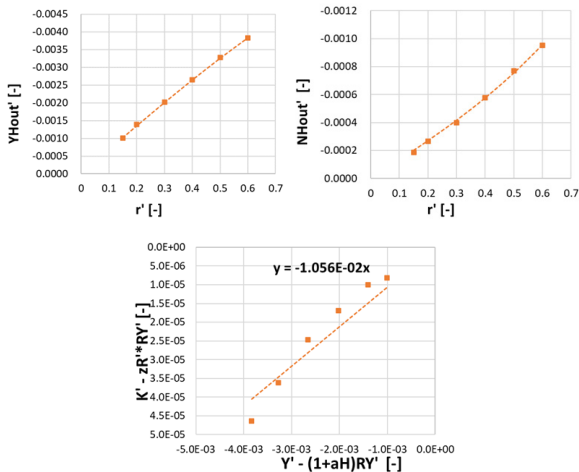


Fig. 7 Results of pure yaw test(100% loading condition)

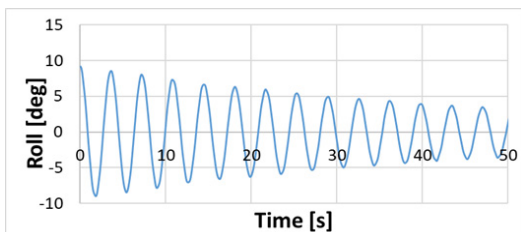


Fig. 8 Results of free roll decay test(100% loading condition)

Pure sway test 해석결과가, Fig. 7에는 Pure yaw test 해석결과가, Fig. 8에는 Free roll decay test에서의 횡동요 각도 예측결과가 각각 실려 있다. 조종유체력 계수 해석을 위한 힘과 모멘트는 다음 식에 의하여 무차원화하였다.

$$Force' = \frac{Force}{1/2 \rho L^2 U^2}, \quad Moment' = \frac{Moment}{1/2 \rho L^3 U^2} \quad (6)$$

## 4. 자유항주시험과의 비교

### 4.1 자유항주시험

KLNG2 선형에 대하여 1/80 크기의 모형선으로 KRISO의 해양공학수조에서 자유항주시험을 수행하였다. 실선 속도 15 knots 조건에서 35° 선회시험, 20°/20°, 10°/10° 지그재그시험이 수행되었으며, Fig. 9에 자유항주 모형선 사진이 실려 있다.

### 4.2 조종 시뮬레이션 결과 비교

실선의 100% 추진 부하 상태, 15 knots 선속에 대하여 조종 시뮬레이션 결과를 자유항주시험과 비교하였다. 조종 시뮬레이션은 3자유도와 횡동요를 포함한 4자유도에 대해서 수행하였으며, Figs. 10 ~ 12에 35° 우현 선회시험, 20°/20° 지그재그시험, 10°/10°

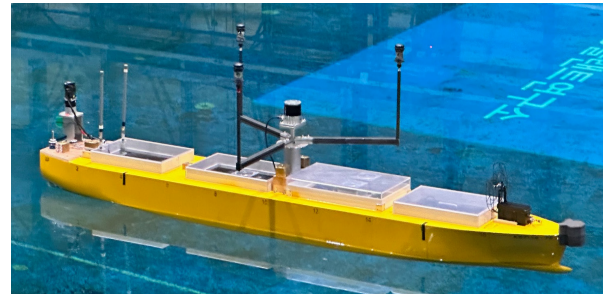


Fig. 9 Photograph of free running model

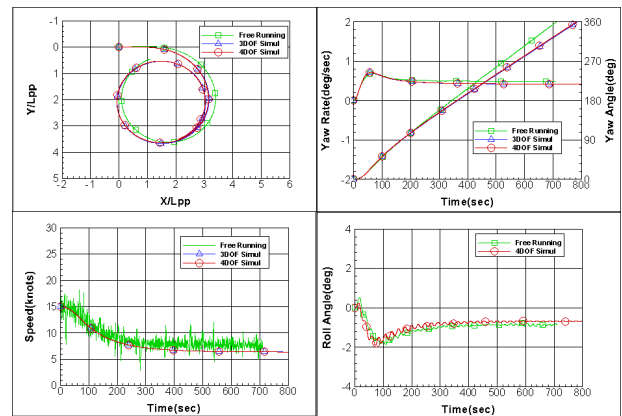


Fig. 10 Comparison results of 35° starboard turning test

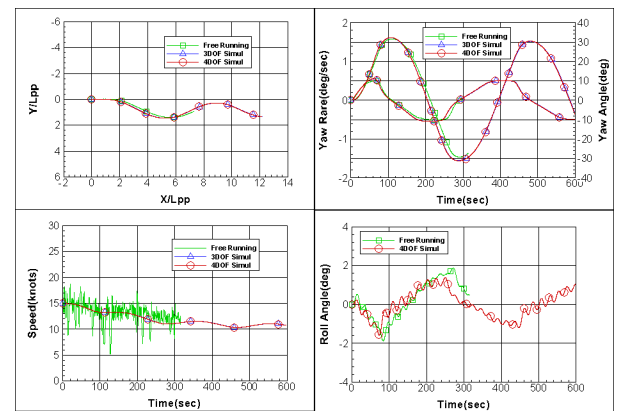


Fig. 11 Comparison results of 20°/20° zigzag test

지그재그시험 결과를 자유항주시험과 비교한 결과가 실려 있다. 35° 우현 선회시험과 20°/20° 지그재그시험의 경우 전체적으로 자유항주시험과 잘 일치하고 있으며, 10°/10° 지그재그시험에서도 선수요 각도의 크기는 잘 일치하고 있는 것을 볼 수 있고, 단지 시간적으로 시뮬레이션이 조금 빠르게 진행되고 있는 것을 볼 수 있다. KLNG2 선형의 경우 횡 메타센터 높이  $GM_T$ 가 커서 3자유도와 4자유도 시뮬레이션의 차이가 매우 작게 추정되고 있으며, 시뮬레이션과 자유항주시험에서 횡동요에 작은 진동이 발생한 것은 빌지킬이 없는 상태에서 조종시험과 자유항주시험이 수행되어, 횡동요 감쇠가 작아서 횡동요에 작은 진동이 생기는 것으로 생각된다. 전체적으로 횡경사도 시뮬레이션이 잘 추정하고 있는 것으로 생각되며, 다만 진동의 크기가 시뮬레이션에서 조금

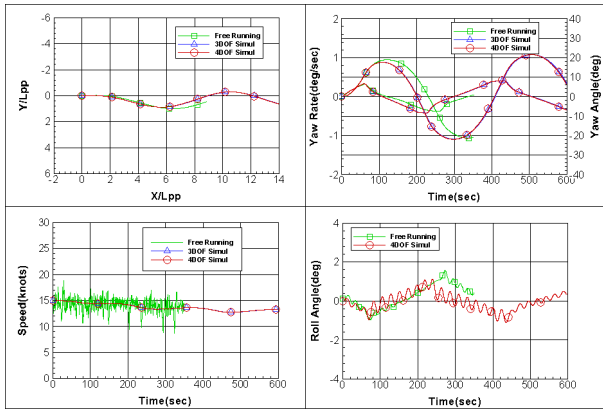


Fig. 12 Comparison results of 10°/10° zigzag test

Table 5 Comparison results of maneuvering indices

	35° Turn (Advance)	35° Turn (Transfer)	35° Turn (Tact. Diam.)
Free running	3.29L	1.37L	3.59L
3DOF	3.06L	1.38L	3.58L
4DOF	3.05L	1.38L	3.56L
	10/10 zigzag (1st OSA)	10/10 zigzag (2nd OSA)	20/20 zigzag (1st OSA)
Free running	8.43°	11.97°	11.43°
3DOF	7.69°	11.85°	12.16°
4DOF	7.68°	11.91°	12.28°

OSA: 과도 선수요 각도(Overshoot Angle)

더 크게 나타나고 있는 것을 볼 수 있다. 전체적으로 시뮬레이션 결과가 자유주 시뮬결과와 잘 일치하고 있으므로 본 조종유체력 계수를 풍력추진선박의 운항 시뮬레이션에 사용하는데 문제가 없을 것으로 판단된다. Table 5에는 조종성능 지수가 비교/정리 되어 있다.

### 5. 추진 부하 변화 영향 검토

풍력추진선박은 풍력추진장치에 의한 추력이 수시로 변화하는 상태에서 운항을 하게 된다. 이러한 특성을 운항 시뮬레이션에서 고려하기 위해서 조종유체력 계수에 추진 부하 변화가 미치는 영향을 검토하였다. 추진 부하 변화는 100% 부하를 0으로 해서 125% 부하는 +25%, 50% 부하는 -50%로 정리하였다.

Fig. 13에는 추진 부하가 직진안정성 지수에 미치는 영향을 검토한 결과가 실려 있다. 선체, 프로펠러, 타를 모두 포함한 유체력에 대한 선형 계수로 이루어진 선형 운동방정식으로부터 구해진 직진안정성 지수의 식은 (7)과 같다. 일반적으로 직진안정성 지수  $l_d$ 가 양의 값을 가지면 직진안정성을 가진다고 알려져 있으며, Fig. 13을 보면 추진 부하가 커질수록 직진안정성이 좋아지는 일반적인 경향을 보여주고 있다.

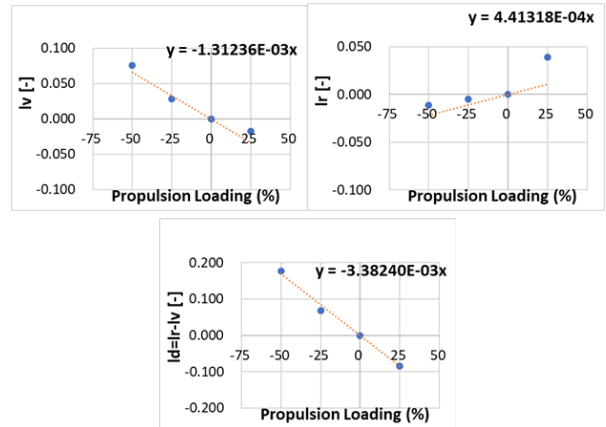


Fig. 13 Effect on dynamic stability indices by variation of propulsion loading

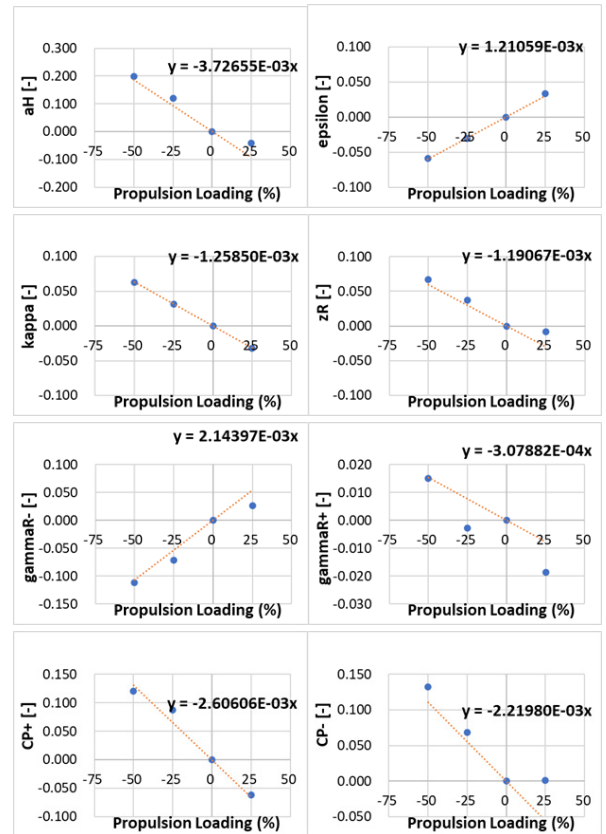


Fig. 14 Effect on rudder-hull interaction coefficients by variation of propulsion loading

$$l_v = \frac{N_v}{Y_v} \tag{7}$$

$$l_r = \frac{N_r - m x_G}{Y_r - m}$$

$$l_d = l_r - l_v$$

추진 부하에 의한 영향을 계수 형태로 해석하였으며 식 (8)과 같이 나타내었다.

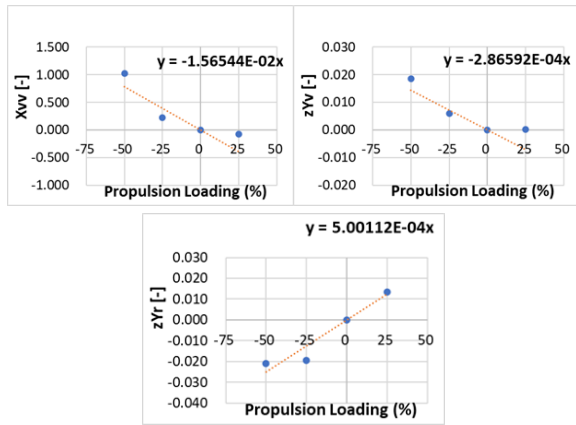


Fig. 15 Effect on hull maneuvering coefficients by variation of propulsion loading

Table 6 Effect on maneuvering coefficients by variation of propulsion loading

Coefficient	Effect Coef.	Coefficient	Effect Coef.
$a_H$	-3.727E-3	$C_P^+$	-2.606E-3
$\epsilon$	1.211E-3	$C_P^-$	-2.220E-3
$\kappa$	-1.259E-3	$X_{vv}$	-1.565E-2
$z_R$	-1.191E-3	$zY_v$	-2.866E-4
$\gamma_R^+$	2.144E-3	$zY_r$	5.001E-4
$\gamma_R^-$	-3.079E-4		

$$Effect\ Coef. = \frac{Each\ loading\ condition}{100\% \ loading\ condition} - 1 \quad (8)$$

타와 선체 상관계수에 대해서 Fig. 14에 추진 부하에 대한 영향을 검토한 결과가 실려 있다. 타는 추진기 후류에 존재하여 추진 부하 영향을 직접 받으므로 타와 선체 상관계수는 그 영향이 잘 나타나고 있는 것을 볼 수 있다.

선체관련 조종유체력 계수는 추진 부하에 의한 영향이 작아서 그 영향이 명확하게 보이는 계수가 많지 않다. 일반적으로 본 연구에서와 같이 모듈형 조종 수학모델을 사용할 경우 추진기에 대한 계수를 분리하여 사용하나 추진기에 작용하는 횡방향 유체력을 예측하기 어려운 점이 있어서 선체에 작용하는 유체력에 포함이 되어서 해석된다. 하지만 그 유체력이 매우 작아서 전체적으로 무시되는 경향이 있다. 이러한 특성이 추진 부하 변화에 의한 조종유체력 계수 변화에도 나타나고 있다. Fig. 15에 대표적인 추진 부하 변화에 따른 조종유체력 계수의 변화가 실려 있다.

추진 부하 변화에 의한 영향을 고려할 조종유체력 계수와 그 영향 계수를 정리하면 Table 6과 같다. 그 이외의 조종유체력 계수들은 그 영향이 작아서 100% 부하 상태의 계수를 그대로 사용해도 문제가 없을 것으로 판단된다.

## 6. 결론

풍력추진장치에 의한 추진 부하 변화를 고려하기 위한 조종시험이 K LNG2 선형에 대하여 수행되었다. 조종시험결과를 이용해서 50%, 75%, 100%, 125% 추진 부하에 대한 조종유체력 계수가 해석되었으며, 100% 추진 부하에 대한 조종 시뮬레이션 결과를 자유항주 시험결과와 비교하였다. 또한 조종유체력 계수에 대하여 추진 부하 변화가 미치는 영향을 검토하였다.

- 100% 추진 부하 상태에 대한 조종성능 추정 결과는 선회성능 및 지그재그성능의 경우 자유항주시험과 매우 유사하게 추정하고 있는 것을 확인하였다.

- 추진 부하 변화가 직진안정성에 미치는 영향은 추진 부하가 클수록 직진안정성이 좋아지는 일반적인 경향을 확인하였다.

- 타-선체 간섭계수에는 추진 부하가 큰 영향을 미치지만, 선체 조종유체력 계수에는 그 영향이 크지 않다는 것을 알 수 있었다. 그러므로 일부 계수에만 추진 부하 변화를 고려하여도 문제가 없다고 생각된다.

본 연구에서 구해진 조종유체력 계수와 추진 부하 변화 영향은 추후 풍력추진장치가 설치된 풍력추진선박의 운항 시뮬레이션에 활용될 예정이다.

## 후 기

이 연구는 2026년도 산업통상부 및 산업기술기획평가원(KEIT) 연구비 지원에 의한 연구임(풍력 보조추진시스템 적용 선박 성능 평가 및 제어 기술개발, RS-2024-00424392, PNS5690).

## References

Asiasis Daily Report, 2025. *Record low in voyage speed of major ship types.* <https://asiasis.com/>, [Accessed 12 March 2025].

IMO, 2018. Proposed Amendments to the 2013 Interim guidelines for determining minimum propulsion power to maintain the manoeuvrability of ships in adverse conditions. *IMO MEPC 72/5/9, Submitted by China.* 2 February 2018.

ITTC, 2021. *1978 ITTC Performance Prediction Method. Recommended Procedures and Guidelines 7.5-02-03-01.4.* 2021.

Kim, Y.G., Kim, S.Y., Kim, H.T., Lee, S.W. and Yu, B.S., 2007. Prediction of the maneuverability of a large container ship with twin propellers and twin rudders. *Journal of Marine Science and Technology*, 12(3), pp.130-138.

Kim, Y.G., Kwon, C.S., Lee, Y.Y., Kim, D.J. and Yun, K.,

2023. Study on the effect of propulsive factors for wind propulsion ships by reduced propeller loading and drift motion. *Proceedings of SNAK Autumn Conference*, November 2023.

Kim, Y.G., Yeo, D.J., Son, N.S., Kim, S.Y., Yun, K. and Oh, B.I., 2011. Prediction of maneuverability of KCS with 4 degrees of freedom. *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 48(3), pp.267–274.

Oh, S.H., Kim, J.J., Kim, K.S., Moon, I.S., Kwon, C.S., Hwang, S.H., Ahn, H.S. and Lee, Y.Y., 2026. Development of open standard hullform for KRISO 170K CBM class twin-skeg LNG carrier (KLNG2), *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 63(2), pp.115–123.

Sauder, T. and Alterskjaer, S.A., 2022. Hydrodynamic testing of wind-assisted cargo ships using a cyber-physical method. *Ocean engineering*, 243, 110206, pp. 1–16.

Schot, J.J.A. and Eggers, R., 2019. The Effect of leeway angle on the propeller performance. *Wind Propulsion (London, UK)*, pp.31–39, October 2019.

Yang, K.K., Kim, Y.C., Kim, K.S. and Kim, J., 2019. RANS Analysis of propeller open water characteristics in oblique flow. *Proceedings of SNAK Autumn Conference*, October 2019.

## Authorship Contribution Statement

**Yeongyu Kim:** Conceptualization, Data acquisition, Formal analysis, Software, Writing all draft; **Dongjin Kim:** Software, Formal analysis; **Seunghyun Hwang:** Data acquisition, Formal analysis; **Kunhang Yun:** Investigation, Validation, Project administration

