

2축 POD 여객선의 조종운동 수학모형 특성 연구

김연규^{1,†}·윤근항¹·김선영¹·손남선¹
한국해양과학기술원 선박해양플랜트연구소¹

Study of a Characteristics of Maneuvering Mathematical Model of Twin POD Cruise Ship

Yeon-Gyu Kim^{1,†}·Kun-Hang Yun¹·Sun-Young Kim¹·Nam-Sun Son¹
Maritime & Ocean Engineering Research Institute/KIOST¹

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, to improve the safety and maneuverability at fairway around harbor the POD system has been equipped on a ship. And the interest about maneuvering characteristics of a cruise ship has been increasing. In this paper the mathematical model of maneuvering motion of a cruise ship with twin POD system in general speed and slow speed are presented. And the maneuvering coefficients of mathematical model are obtained from the captive model tests using CPMC(Computerized Planar Motion Carriage). Computer simulation using mathematical model in general speed and slow speed are carried out and compared with the results of free running model test with the same model ship. The differences between the mathematical models are compared and discussed. In this paper the mathematical models, the results of captive model test and simulation results are presented.

Keywords : POD(포드 추진기), Cruise ship(여객선), Maneuverability(조종성능), Captive model test(구속모형시험), Computer simulation(시뮬레이션)

1. 서론

항만내에서의 선박의 안전성과 조종성능을 향상하기 위해서 POD 추진기를 갖는 선박에 대한 관심이 증가하고 있고, 에너지 절감 등의 관점에서 전기 추진 선박에 대한 관심도 증가하고 있으며 (Lee, et al., 2005; Kim, et al., 2007), 고부가가치 선박에 대한 설계기술 확보 차원에서 여객선에 대한 관심도 증가하고 있는 실정이다 (Jang, et al., 2003). POD 추진기의 경우 전 방향으로 회전이 가능하여 부두에 이·접안을 할 경우 선수 스러스터와 연계하여 자력으로 이·접안을 할 수 있다는 이점이 있어서 이에 대한 연구도 수행된 바 있으며 (Yeo, 2012), POD 추진기를 이용한 횡동요 제어시스템 구성에 대한 연구도 수행된 바 있다 (Lee, et al., 2012). 이외에도 POD 추진기에 대한 연구는 다수 수행된 바가 있다 (Go, et al., 2005; Kim, et al., 2010). 이렇듯이 POD 추진기를 설치한 선박은 항만내에서의 조종제어 성능이 우수하지만, 바지 형태의 선미 형상을 갖는 경우가 많기 때문에 선형 자체의 직진 성능은 좋지 않아서 IMO 조종성 기준을 만족시키지 못한 사례가 보고되고 있으며, 이에 따라 조종성능 추정에 대한 연구가 수행된 바 있다 (Kim, et al., 2006). Kim, et al. (2006)은 횡동요를 포함한 4자유도 수학모형에 대해서 HPMM(Horizontal

Planar Motion Mechanism) 시험을 수행하여 쌍축 POD 추진기선에 대한 조종성능을 추정한 바 있으며, 모듈형 수학모형과 급수형 수학모형에 대해서 검토한 바 있다.

본 논문에서는 2축 POD 추진기를 갖는 여객선의 조종성능을 추정하였다. 일반적인 중·고속에 대한 수학모형과 저속에 대한 수학모형을 이용하여 추정된 결과를 비교하여 수학모형에 따른 조종성능 특성에 대한 검토를 수행하였다. 조종성능 추정을 위한 조종유체력 계수는 2축 POD 여객선에 대한 CPMC (Computerized Planar Motion Mechanism) 구속모형시험을 수행하여 구하였으며, POD 추진기에 대한 단독시험을 별도로 수행하여 POD 추진기에 대한 모델링을 수행하였다. 본 논문에는 조종성능 추정에 사용된 수학모형, 구속모형 시험결과, 조종성능 추정결과를 정리하였다.

2. 수학모형

2축 POD 추진기선에 대한 3자유도 모듈형 조종수학모형은 다음과 같다. 일반적인 중·고속 (Kim, et al., 2006; Kim, et al., 2009) 및 저속 (Yoshimura, 1988)에 대한 수학모형은 선체에 작용하는 힘과 모멘트에 대한 수학모형만 다르게 적용하였다.

2.1 기본 수학모형

임의의 점에 원점을 가진 선박의 3자유도 조종운동에 대한 방정식은 다음과 같다. 단 좌표계와 부호 규약은 Fig.1과 같다.

$$\begin{aligned} m(\dot{u} - rv - x_G \dot{r}^2 + z_G \dot{p}r) &= X_H + X_P + X_R \\ m(\dot{v} + ru - z_G \dot{p} + x_G \dot{r}) &= Y_H + Y_P + Y_R \\ I_{ZZ} \dot{r} + mx_G(\dot{v} + ru) &= N_H + N_P + N_R \end{aligned} \quad (1)$$

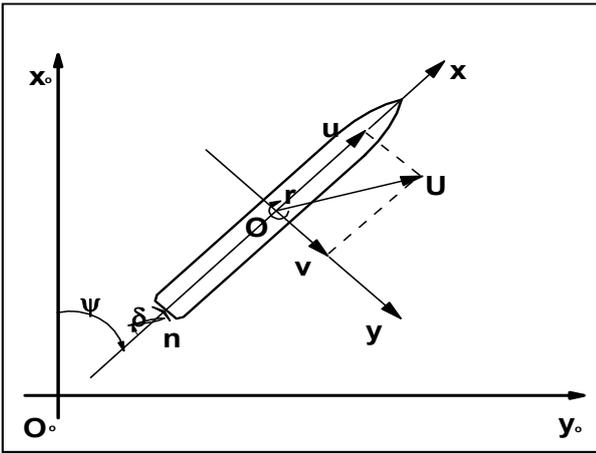


Fig. 1 Coordinates system

식 (1)에서 아래첨자 H, P, R 은 각각 선체, POD의 프로펠러, POD의 스트럿에 의한 유체력을 나타내고, 위 첨자 \cdot 는 시간에 대한 미분을 나타내며, 아래첨자 G 는 무게중심의 위치를 의미한다. 식 (1)의 각 항을 나타내는 자세한 운동방정식은 다음에 나타나 있다.

2.2 선체에 작용하는 힘과 모멘트

- 일반적인 중 고속의 경우

$$\begin{aligned} X_H &= X_u \dot{u} + X_{vr} vr + X(u) + X_{vv} v^2 + X_{rr} r^2 \\ Y_H &= Y_v \dot{v} + Y_r \dot{r} + Y_v v + Y_r r \\ &\quad + Y_{|v|} |v| + Y_{|r|} |r| + Y_{vrr} vrr + Y_{vvr} vvr \\ N_H &= N_v \dot{v} + N_r \dot{r} + N_v v + N_r r \\ &\quad + N_{|v|} |v| + N_{|r|} |r| + N_{vrr} vrr + N_{vvr} vvr \end{aligned} \quad (2)$$

$X(u)$: 직진시 선체 저항

- 저속의 경우

$$\begin{aligned} X_H &= X_u \dot{u} + X_{vr} vr + X(u) + X_{vv} v^2 + X_{rr} r^2 \\ Y_H &= Y_v \dot{v} + Y_r \dot{r} + Y_v v + Y_r r + Y_{|v|} |v| \\ &\quad - \frac{\rho}{2} d C_{D0} \left(\int_{-L/2}^{L/2} |v + C_{rY} r x| (v + C_{rY} r x) dx - Lv |v| \right) \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} N_H &= N_v \dot{v} + N_r \dot{r} + N_v v + N_r |u|r + N_{|v|} |v| \\ &\quad - \frac{\rho}{2} d C_{D0} \int_{-L/2}^{L/2} |v + C_{rN} r x| (v + C_{rN} r x) x dx \end{aligned}$$

d : 흘수, L : 선체 길이

C_{D0} : Crabbing Test에서 구해지는 유체력 계수

C_{rY}, C_{rN} : Still Turn Test에서 구해지는 유체력 계수

2.3 POD의 프로펠러에 의한 유체력

2축 POD 추진기의 프로펠러에 의한 유체력은 다음과 같이 표현한다.

$$\begin{aligned} X_P &= (1-t)(T^P + T^S) \cos \delta \\ Y_P &= (1-t)(T^P + T^S) \sin \delta \\ N_P &= x_P(1-t)(T^P + T^S) \sin \delta \\ &\quad - y_P(1-t)(T^P - T^S) \cos \delta \\ T &= \rho n^2 D_P^4 K_T(J_P, v_P) \\ K_T(J_P, v_P) &= K_{T_0} + K_{T_J} J + K_{T_{JJ}} J^2 + K_{T_{v_P}} \delta_P \\ &\quad + K_{T_{\delta_P}} \delta_P^2 + K_{T_{J\delta_P}} J \delta_P + K_{T_{JJ\delta_P}} J^2 \delta_P \\ &\quad + K_{T_{J\delta_P^2}} J \delta_P^2 + K_{T_{JJ\delta_P^2}} J^2 \delta_P^2 \end{aligned} \quad (4)$$

$$J_P = \frac{u_P}{n D_P}, u_P = (1-w_P) U$$

$$w_P = w_{P0} \exp(-C_P v_P^2)$$

$$v_P = v + x_P r$$

$$\delta_P = \delta - v_P$$

x_P : POD 위치의 x 좌표

위 식에서 위 첨자 P 는 좌현을, S 는 우현을 의미하며, 수학 모형에서는 POD 위치에서의 유속의 방향과 POD의 각도를 고려하였다. 단, 좌현과 우현의 POD는 같은 각도로 작동하는 것으로 하였다.

2.4 POD의 스트럿에 의한 유체력

2축 POD 추진기의 스트럿에 의한 유체력은 스트럿에 작용하는 직압력 F_N 을 이용하여 다음의 식과 같이 구한다.

$$\begin{aligned} \mathbf{X}_R &= \mathbf{X}_R^P + \mathbf{X}_R^S \approx -(1-t_R^{PS}) (F_N^P + F_N^S) \sin \delta \\ Y_R &= Y_R^P + Y_R^S \approx (1+a_H^{PS}) (F_N^P + F_N^S) \cos \delta \\ N_R &= N_R^P + N_R^S + N_{X_R} \\ &\quad \approx (x_R + a_H^{PS} x_H^{PS}) (F_N^P + F_N^S) \cos \delta + N_{X_R} \\ N_{X_R} &\approx -y_R(1-t_R^{PS}) (F_N^P - F_N^S) \sin \delta \end{aligned} \quad (5)$$

$$F_N^{P,S} = \frac{\rho}{2} A_R (U_R^{P,S})^2 f_\alpha \sin \alpha_R^{P,S} \quad (6)$$

$$U_R^{P,S} = \sqrt{(u_R^{P,S})^2 + (v_R^{P,S})^2}$$

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

$$u_P^{P,S} = (1 - w_P^{P,S}) u$$

$$w_P^{P,S} = w_{P_0} \exp(-C_{P(+,-)}^{P,S} v_P^2)$$

$$v_R^{P,S} = -\gamma_R^{P,S} (v + l_R r)$$

$$\alpha_R^{P,S} = \delta - \delta_0^{P,S} + \frac{v_R^{P,S}}{u_R^{P,S}}$$

2.5 2축 선형의 대칭특성을 이용한 관계식

2축 선형의 POD와 선체의 간섭계수는 2축 선형의 선체, POD의 대칭 특성에 의해서 좌현 POD에 대한 선체-POD 간섭계수들을 우현 POD의 선체-POD의 간섭계수들을 이용해서 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\beta_R^P \text{에서의 } \gamma_R^P = -\beta_R^S \text{에서의 } \gamma_R^S \quad (7)$$

$$\delta_0^P = -\delta_0^S$$

$$\epsilon^P = \epsilon^S, \kappa^P = \kappa^S$$

$$C_{P+}^P = C_{P-}^S, C_{P-}^P = C_{P+}^S$$

3. 구속모형시험 및 해석결과

3.1 대상 선형

구속모형시험에 사용된 대상 선형은 여객선으로 선박의 제원은 Table 1에 자세히 나와 있고, Fig. 2에는 모형선 사진이 실려 있다. 모형선의 축척비는 52.00이었으며, 시험은 한국해양과학기술원 선박해양플랜트연구소가 보유하고 있는 해양공학수조에서 수행되었다 (Kim, et al., 2009).



Fig. 2 Photographs of a model ship and POD

Table 1 Principal dimensions of a cruise ship

Item	Ship	Model
L_{PP}	243.0m	4.673m
Breadth	36.0m	0.692m
Draft	8.3m	0.160m
Design Speed	22.5kts	1.605m/s
Test Speed	8.0kts	0.571m/s

3.2 POD각이 있는 상태에서의 POD 단독시험

POD 여객선에 대한 조종성능을 추정하기 위해서 POD각이 있는 상태에서 POD 추진기에 대한 단독시험을 수행하였다. Fig. 3에 단독시험 준비중인 사진이 실려 있다. POD는 선체설치 깊이와 동일한 깊이에 설치 후 수행되었으며, POD각 $-30^\circ \sim 180^\circ$ 에 대해서 수행하여 항내에서의 운항상태를 묘사할 수 있도록 하였으며, POD의 프로펠러가 한 쪽으로 회전하기 때문에 좌우 비대칭 특성이 있지만, 시험조건이 너무 많아지는 것을 방지하고, 좌우비대칭 특성을 어느 정도 고려하기 위하여 이와 같은 시험조건을 선정하였다. Fig. 4에는 POD각이 0도인 경우에 대한 추력계수의 해석결과가 나타나 있고, Fig. 5에는 POD각에 대한 추력계수를 해석한 결과가 나타나 있다. Table 2에는 해석된 계수가 실려 있다. 계수의 경우 v_P 가 POD각에 해당한다.

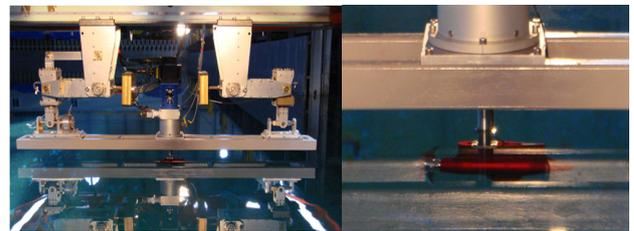


Fig. 3 Photograph of POD open water test with POD angles

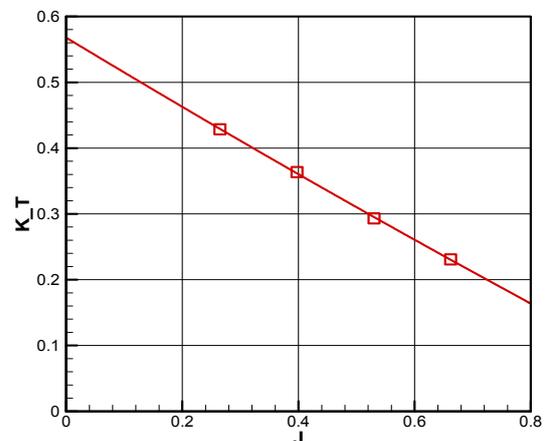


Fig. 4 POD open water test with $\delta=0$

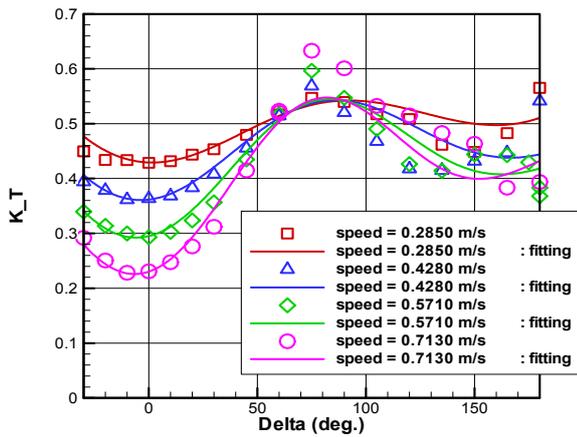


Fig. 5 POD open water test with variation of δ

Table 2 Coefficients of POD open water test

K_{T_0}	0.56784	K_{T_j}	-0.53257
$K_{T_{jj}}$	0.03434		
$K_{T_{v_p}}$	-0.09462	$K_{T_{v_p v_p}}$	0.04984
$K_{T_{j v_p}}$	0.37580	$K_{T_{j j v_p}}$	-0.17932
$K_{T_{j v_p v_p}}$	0.06135	$K_{T_{j j v_p v_p}}$	0.16908

3.3 구속모형시험 및 해석결과

모형시험은 설계흘수에서 실선 속도 8.0 Knots(모형선 속도 0.571 m/sec)에서 실선자항점에 해당하는 프로펠러 회전수(7.78 rps)로 POD를 구동시켜서 모형선에 작용하는 힘과 POD에 작용하는 힘을 계측하였다. Fig. 6은 구속모형시험 사진이다.



Fig. 6 Photographs of captive model test

POD 여객선에 대해서 정적 시험과 동적 시험을 포함한 CPMC 구속모형시험을 수행하였으며, Table 3에 수행된 시험항목과 시험조건이 정리되어 있다. 선체 및 POD에 작용하는 힘과 모멘트는 다음과 같이 무차원화하였다.

$$Force' = \frac{Force}{0.5\rho L^2 V^2}, \quad Moment' = \frac{Moment}{0.5\rho L^3 V^2} \quad (8)$$

POD의 스트럿에 의한 직압력은 Fujii 식에 의하여 다음과 같이 구하였다.

$$f_\alpha = \frac{6.13 \times \lambda}{\lambda + 2.25} = 1.9603 \quad (9)$$

λ : 타의 Aspect ratio

Table 3 Test conditions

	Test Item	Test Conditions
Hull	Resistance Test	$V_s = -8, -6, -3, 3, 6, 8, 10$ kts
	Drift Test	$V_s = 8$ kts $\beta = -6^\circ, -4^\circ, -2^\circ, 0^\circ, 2^\circ, 4^\circ, 6^\circ, 10^\circ, 15^\circ, 20^\circ$
	Crabbing Test	$V_m = 0.2, 0.3, 0.4$ m/s, $\beta = 90^\circ$
	Still Turn Test	$V_m = 0$ m/s, $r = 2, 4, 6$ o/s
	CMT (Circular Motion Test)	$V_s = 8$ kts $r' = 0.1, 0.2, 0.3, 0.45, 0.6, 0.8, 1.0$
	CMT with Drift	$V_s = 5$ kts $r' = 0, 1, 2, -1, -2$ $\beta = 0^\circ, 10^\circ, 20^\circ, 30^\circ$
Hull + POD	Propulsion Test	$V_s = 8$ kts, rps 변화
	POD Test	$V_s = 4, 6, 8$ kts $\delta = -30^\circ, -20^\circ, 0^\circ, 10^\circ, 20^\circ$
	POD with Drift Test	$V_s = 8$ kts $\beta = -30^\circ, -20^\circ, -10^\circ, 0^\circ, 10^\circ, 20^\circ, 30^\circ, 40^\circ$ δ 변화
	POD with Turn Test	$V_s = 8$ kts $r' = 0.2, 0.45, 0.6, 0.8, \delta$ 변화
	Pure Sway Test	$V_s = 8$ kts, $\dot{v}' = -0.2, -0.3, -0.4$
	Pure Yaw Test	$V_s = 8$ kts, $\dot{r}' = -0.7, -1.0, -1.6, -2.2$

Fig. 7에는 Drift test 해석결과가 실려 있고, Fig. 8에는 CMT 해석결과가 실려 있다. Fig. 7과 Fig. 8의 해석결과는 선체에 대해서 수행된 구속모형시험으로부터 얻어진 해석결과이다. 저속 수학적모형을 위한 해석결과는 Fig. 9에 나타나 있다. Crabbing test로부터 C_{D0} 를 구한 후에, 구해진 C_{D0} 와 제자리에서 선회하는 Still turn test 결과로부터 C_{rY} 와 C_{rN} 을 구하였다. Table 4에 구해진 조종유체력 계수들이 정리되어 있다.

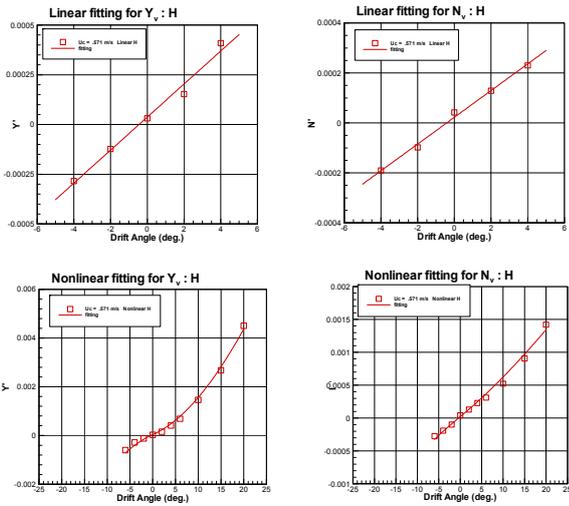


Fig. 7 Results of drift test : Y Forces & N Moments

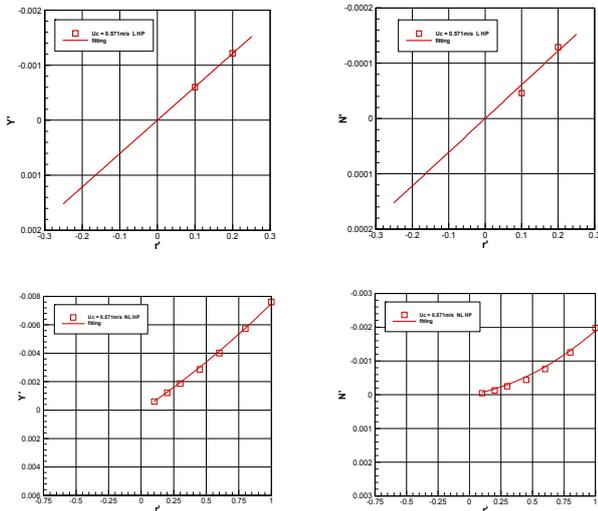


Fig. 8 Results of CMT : Y forces & N moments

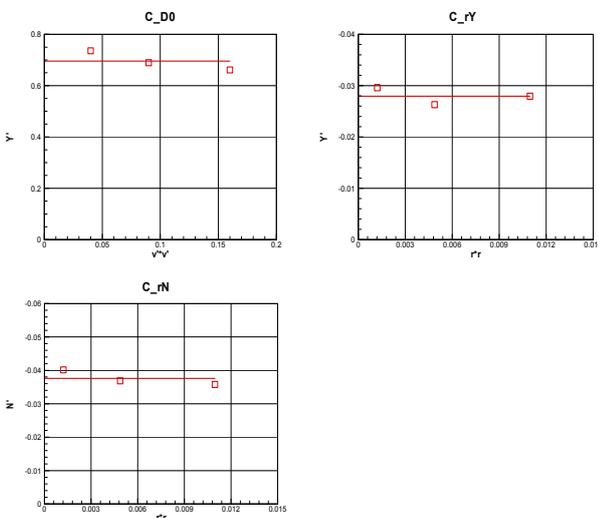


Fig. 9 Results of crabbing & still turn test : Y forces & N moments

Table 4 Hydrodynamic coefficients

X_{vv}	-0.000545	X_{rr}	0.000109
X_{vr}	0.003180	t_{R0}	0.03033
Y_v	-0.004761	$Y_{v v }$	-0.023139
N_v	-0.003068	$N_{v v }$	-0.002323
Y_r	0.000924	$Y_{r r }$	-0.001428
N_r	-0.000993	$N_{r r }$	-0.001286
Y_{vvr}	0.002684	Y_{vrr}	-0.003524
N_{vvr}	-0.000477	N_{vrr}	0.000235
Y_v	-0.004940	N_v^s	0.000024
Y_r	-0.000355	N_r^s	-0.000127
κ	0.764511	ϵ	0.777159
a_H	0.7785	x_H	-0.4424
C_{D0}	0.69537	C_{rY}	1.13405
C_{rN}	1.31550		

4. 조종성능 추정 결과

이상과 같이 해석되어진 결과를 이용하여 실선 속도 8kts에 해당하는 모형선 속도 1.11kts에 대해서 시뮬레이션을 수행하였으며, 일반적인 중·고속에 대한 수학모형을 이용한 시뮬레이션 결과와 저속 수학모형에 대한 결과를 비교하였다. Fig. 10은 좌현 35° POD각에 대한 선회시험을 시뮬레이션한 그림이고, Fig. 11은 10°/10° Zig-Zag 시험을, Fig. 12는 20°/20° 지그재그 시험을 시뮬레이션한 것이다.

Fig. 10을 보면 저속 수학모형에 의한 시뮬레이션의 선회각속도가 일반 중·고속 수학모형에 의한 결과보다 크게 계산되어서 전반적으로 선회반경이 작아지는 특성을 보여주고 있다. 하지만 사향각과 선속에 있어서의 차이는 그다지 크지 않은 것으로 보아 수학모형의 차이가 선회각속도에 미치는 영향이 상대적으로 크다고 판단된다. Fig. 11과 Fig. 12의 지그재그 시험의 결과도 비슷한 경향을 보여주고 있다. 즉, 저속 수학모형에 의한 선회각속도가 피크 부분에서 일반 중·고속 수학모형에 의한 결과보다 크게 계산되고 있다. 이에 따라 시간적으로도 저속 수학모형에 의한 결과가 약간 앞서고 있는 현상을 볼 수 있다. Fig. 11의 10°/10° Zig-Zag 시험 결과에서 선회각속도의 변화는 Fig. 12의 20°/20° Zig-Zag 시험 결과와 다른 특성을 보여주고 있다. 10°/10° Zig-Zag 시험에서는 선회각속도가 완만하게 감소하다가 선수각이 10°가 되면서 POD가 반대 방향 10°로 바뀌면서 선수각속도가 급격하게 반대 방향으로 증가하는 특성을 보이고 있다. 그 이후에는 같은 특성을 보이면서 POD 각도의 변화에 따라 선수각속도가 완만함과 급격한 변화를 보여준다. 이러한 특성은 20°/20° Zig-Zag 시험에서는 나타나지 않는 것을 보면 POD 각도 10° 근처에서 보이는 특성으로 생각된다.

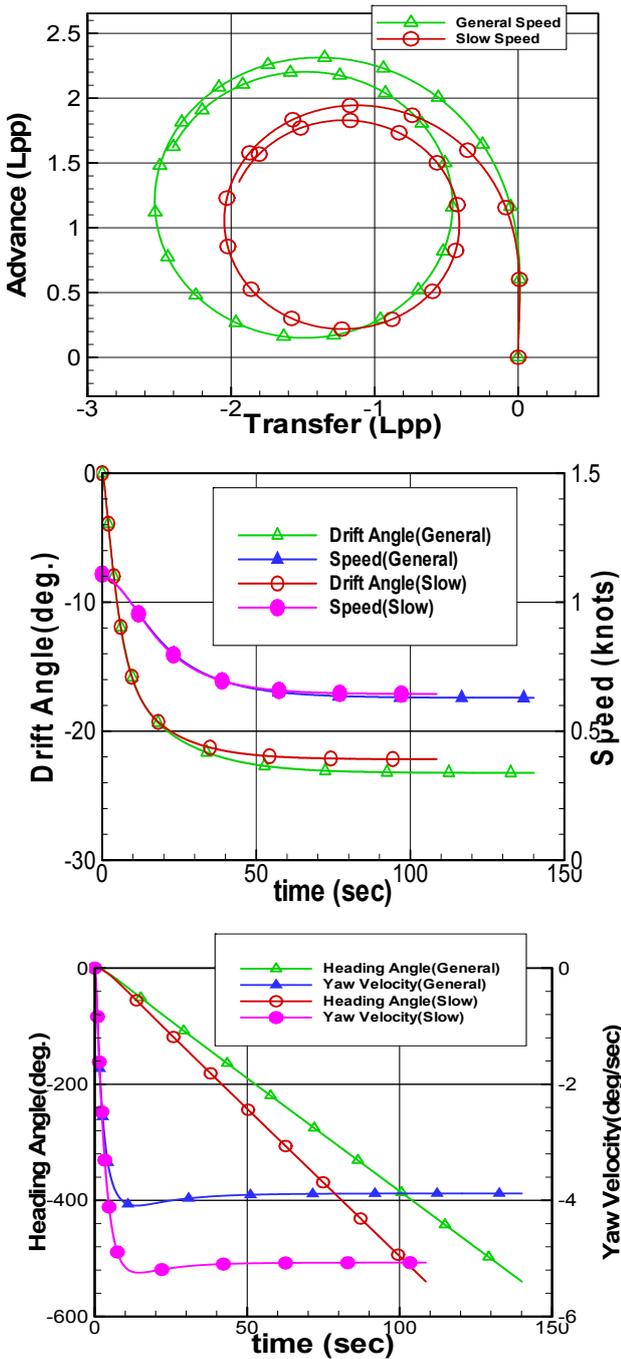


Fig. 10 Simulation results of 35° port turning test

그리고 시뮬레이션 결과를 실선 속도 16kts에 해당하는 모형선 속도 2.22kts에 대한 자유항주시험결과와도 비교한 결과가 Table 5에 정리되어 있다. 자유항주시험은 구축모형시험과 마찬가지로 한국해양과학기술원 선박해양플랜트연구소가 보유하고 있는 해양공학수조에서 구축모형시험과 같은 모형선을 이용하여 수행되었다. 단, 구축모형시험은 실선 속도 8kts에 대해서 수행되었다. Table 5의 시뮬레이션 결과는 자유항주시험결과와 비교하기 위하여 모형선 속도 2.22kts에 대해서 수행한 결과이다. 시뮬레이션 결과는 좌현과 우현에 대해서 대칭이므로 같은 값이 나오지만, 자유항주시험은 시험 특성상 좌현과 우현에 대한 결과가

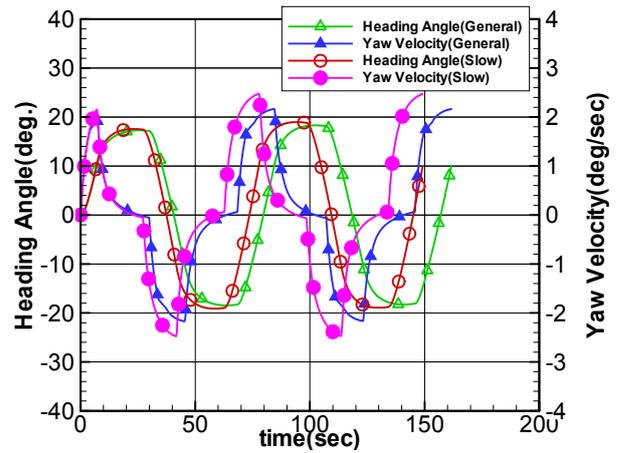


Fig. 11 Simulation results of 10°/10° zig-zag test

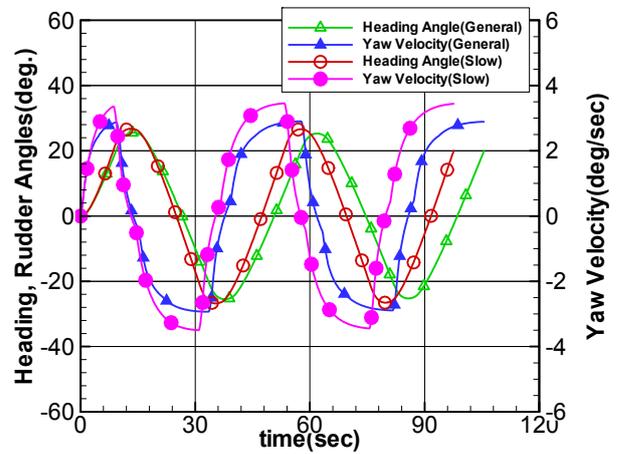


Fig. 12 Simulation results of 20°/20° zig-zag test

약간의 차이를 보인다. 따라서 본 비교결과에서는 자유항주시험 결과의 경우 좌현과 우현에 대한 값의 평균값을 이용하였다. 자유항주시험의 경우 횡동요가 포함된 시험이어서 횡동요가 포함되지 않은 시뮬레이션 결과에 비하여 선회성능은 우수하고, 지그재그 성능은 나쁘게 추정할 수가 있다. 모든 것을 감안해도 일반 중·고속 수학모형에 의한 결과가 저속 수학모형에 의한 결과보다 자유항주시험결과에 근사하고 있는 것을 알 수 있다.

Table 5 Simulation results ($V_m=2.22kts$)

Parameter	General Speed	Slow Speed	Free Running
35° Turning			
Advance	2.28 L	1.93 L	2.25 L
Tact. Diam.	2.44 L	1.98L	2.20 L
10°/10° zig-zag			
1st overshoot angle	8.24°	8.58°	5.0°
2nd overshoot angle	9.22°	10.02°	7.25°
20°/20° zig-zag			
1st overshoot angle	7.35°	8.80°	9.95°
2nd overshoot angle	7.14°	8.74°	9.95°

5. 결 언

본 논문에서는 2축 POD 추진기를 갖는 여객선의 조종성능을 추정하였다. 일반적인 중·고속에 대한 수학모형과 저속에 대한 수학모형을 이용하여 추정한 결과를 비교하여 수학모형에 따른 조종성능 특성에 대한 검토를 수행하였다. 이를 위하여 CPMC (Computerized Planar Motion Mechanism) 구축모형시험을 수행하여 수학모형을 구성하는 조종유체력 계수들을 구하였으며, POD 추진기에 대한 단독시험을 별도로 수행하여 POD 추진기에 대한 모델링을 수행하였다.

자유항주시험 결과와 비교한 결과 일반적인 중·고속 조종운동 수학모형에 의한 결과보다 저속 수학모형에 의한 결과가 선회각 속도를 크게 추정해주는 경향을 알 수 있었다.

추후 다른 형태의 저속 수학모형에 대한 연구와 중·고속 조종 운동뿐만 아니라 저속 조종운동에 대한 상호비교가 필요하다고 생각된다.

후 기

본 논문의 내용은 지식경제부에서 지원한 “차세대 고부가가치 선박의 기반기술 개발”과제와 한국해양과학기술원의 주요사업인 “제한수역에서의 선박 운항 시뮬레이션 기술 고도화”과제의 연구 결과의 일부이다.

References

Go, S.C. Seo, H.W. & Chang, B.J., 2005. On the Model Tests for POD Propulsion Ships. *Journal of Ships and Ocean Technology*, 9(1), pp.1-10.

Jang, H.S. Lee, H.J. Joo, Y.R. & Chun, H.H., 2003. Review on the Hull Form Characteristics of a High-Speed Passenger Ferry. *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 40(4), pp.1-7.

Kim, M.C. Park, W.G. Chun, H.H. & Jung, U.H., 2010. Comparative study on the performance of POD type waterjet by experiment and computation. *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*, 2(1), pp.1-13.

Kim, S.Y. Youn, Y.D. & Sul, S.K., 2007. Suppression of the Thrust Loss for the Maximum Thrust Operation in the Electric Propulsion Ship. *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 44(3), pp.238-247.

Kim, Y.G. Kim, S.Y. Park, Y.H. Yu, B.S. & Lee, S.W., 2006. Prediction of Maneuverability of a Ship with POD Propulsion System. *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 43(2), pp.164-170.

Kim, Y.G. Yeo, D.J. Kim, S.Y. Yun, K.H. & Oh, B.I., 2009. Prediction of Maneuverability of KCS by CPMC Captive Model Test. *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 46(6), pp.553-561.

Lee, S.K. Lee, J.H. Rhe, K.P. & Choi, J.W., 2012. The Effect of the Turning Rate of the Pod Propeller on the Roll Control System of the Cruise Ship. *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 49(1), pp.14-25.

Lee, Y.Y. Van, S.H. Lee, C.J. Park, J.S. & Park, N.J., 2005. A study on design and resistance performance of a trimaran with POD. *Proceedings of the Annual Spring Meeting of the Society of Naval Architects of Korea*, pp.543-547.

Yeo, D.J., 2012. On the Crabbing Tests of Cruise Vessel Equipped with Bow Thrusters and POD System. *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 49(4), pp.327-332.

Yoshimura, Y., 1988. Mathematical Model for the Manoeuvring Ship Motion in Shallow Water (2nd Report) – Mathematical Model at Slow Forward Speed. *Journal of the Kansai Society of Naval Architects, Japan*, 210, pp.77-84.

