

POD 추진기선의 조종성능 추정 연구

김연규^{†*}, 김선영^{*}, 박영하^{*}, 유병석^{**}, 이석원^{***}

한국해양연구원 해양시스템안전연구소^{*}
주식회사 한진중공업^{**}
대우조선해양 주식회사^{***}

Prediction of Maneuverability of a Ship with POD Propulsion System

Yeon-Gyu Kim^{*}, Sun-Young Kim^{*}, Young-Ha Park^{*}, Byeong-Seok Yu^{**}
and Suk-Won Lee^{***}

Maritime and Ocean Engineering Research Institute / KORDI^{*}
Hanjin Heavy Industry Co. Ltd.^{**}
Daewoo Ship Building and Marine Engineering Co. Ltd.^{**}

Abstract

To improve ship's maneuverability and carry out special goal POD propulsion system was equipped as propulsion and maneuvering system. To predict the maneuverability of a ship with POD propulsion system HPMM tests and POD open water test are carried out. In this paper modular model with 4 degree of freedom of a ship with twin POD propulsion system is presented. To use modular model the forces of POD propulsion system are measured separately from the hull forces. The measured forces and moments are analyzed by using modular model and whole ship model. The simulation results of modular model are compared with those of whole ship model. From the present study it is possible to analyze HPMM tests of a ship with twin POD propulsion system by modular model.

※Keywords: Maneuverability(조종성능), POD propulsion system(POD 추진기), HPMM tests(HPMM 시험), Modular model(모듈형 수확모형), Whole ship model(급수형 수확모형)

접수일: 2005년 11월 20일, 승인일: 2005년 12월 16일

† 주저자, E-mail: ygkim@moeri.re.kr

Tel: 042-868-7262

1. 서언

POD 추진장치를 갖는 선박의 경우에는 POD에 의한 조종제어 성능이 우수한 선박으로 알려져 있다. 그러나 POD 추진기 장착 선박이 바지 형태의 선미 형상을 갖는 경우가 많기 때문에 선형 자체의 직진 성능은 좋지 않아서 IMO 조종성 기준을 만족시키지 못한 사례가 보고되고 있다. 따라서 POD 추진장치를 갖는 선박의 설계 시 이에 대한 검토가 필요하다. 최근 유럽에서는 새로이 건조가 늘어나고 있는 POD 추진기 선박의 조종성능 추정 기술을 확보하기 위한 공동연구가 진행되고 있으며, 국내에서도 이에 대한 연구가 수행되고 있다 (이영연 등 2005).

일반 선박에서 사용하는 타 대신 POD 추진장치에 의해 조종하는 POD 추진기 선박의 조종성능 추정을 위해 POD 추진기에 대한 조종수학모형이 정립되어야 한다. POD 추진기를 갖는 선박은 일반 screw 형 추진기와 타를 갖는 선박과 조종 mechanism이 완전히 다르므로 POD 추진기와 선체의 상호 간섭효과에 대한 모델링이 새로이 이루어져야 하며, 이를 위해 POD 추진기를 갖는 선박에 대한 구속모형시행 기법이 앞서 정립되어야 한다.

일반적으로 HPMM(horizontal Planar Motion Mechanism) 시험에 의하여 POD 추진기선에 대한 조종성능을 추정할 경우 선체에 작용하는 힘만을 이용하여 추정하는 급수형 수학모형(김선영 1988)을 이용하고 있다. 하지만 본 논문에서는 HPMM 시험에서 POD 추진기에 작용하는 힘을 예측하여 모듈형 수학모형을 사용하여 HPMM 시험을 해석하는 것이 가능하였다. 이에 따라 HPMM 시험시 나타나는 POD 추진기의 특성을 살펴보고, 모듈형 수학모형에 의한 해석결과와 기존의 급수형 수학모형에 의하여 해석된 결과를 비교 검토하였다.

2. 수학모형

쌍축 POD 추진기선에 대한 4자유도 모듈형 조종수학모형은 다음과 같다(김선영 등 2005).

2.1 기본 수학모형

임의의 점에 원점을 가진 선박의 4자유도 조종 운동 방정식에 대한 방정식은 다음과 같다. 단 좌표계와 부호 규약은 Fig.1과 같다.

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

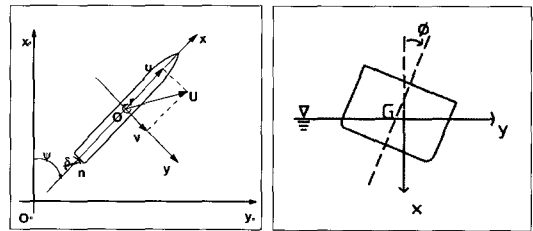


Fig. 1 Coordinates system

식 (1)에서 아래첨자 H, P, R은 각각 선체, 프로펠러, 타에 의한 유체력을 나타내며, 위 첨자 ·는 시간에 대한 미분을 나타내며, 아래첨자 G는 무게중심의 위치를 의미한다. 식 (1)의 각 항을 나타내는 자세한 운동방정식은 다음에 나타나 있다.

2.2 선체에 작용하는 힘과 모멘트

$$\begin{aligned}
 X_H &= X_{\dot{u}} \dot{u} + X_{vr} vr + X(u) + X_{vv} v^2 + X_{rr} r^2 \\
 Y_H &= Y_{\dot{v}} \dot{v} + Y_{\dot{r}} \dot{r} + Y_v v + Y_r r + Y_p \dot{p} \\
 &\quad + Y_{\phi} \phi + Y_{\dot{\phi}} \dot{\phi} + Y_{\dot{u}} \dot{u} + Y_{\dot{v}} \dot{v} + Y_{\dot{r}} \dot{r} + Y_{\dot{p}} \dot{p} + Y_{\dot{\phi}} \dot{\phi} \\
 &\quad + Y_{vrr} vrr + Y_{vvr} vvr + Y_{\dot{u}\dot{v}} \dot{u}\dot{v} + Y_{\dot{u}\dot{r}} \dot{u}\dot{r} \\
 &\quad + Y_{\dot{v}\dot{v}} \dot{v}\dot{v} + Y_{\dot{r}\dot{r}} \dot{r}\dot{r} \\
 K_H &= K_{\dot{p}} \dot{p} + K_p p + K_{\phi} \phi - W GM \phi \\
 &\quad + (Y_v v + Y_{\dot{u}\dot{v}} \dot{u}\dot{v}) (z_Y)_v + (Y_r r + Y_{\dot{u}\dot{r}} \dot{u}\dot{r}) (z_Y)_r \\
 N_H &= N_{\dot{v}} \dot{v} + N_{\dot{r}} \dot{r} + N_v v + N_r r + N_p \dot{p} + N_{\phi} \phi \\
 &\quad + N_{\dot{u}\dot{v}} \dot{u}\dot{v} + N_{\dot{u}\dot{r}} \dot{u}\dot{r} + N_{vrr} vrr + N_{vvr} vvr \\
 &\quad + N_{\dot{u}\dot{v}} \dot{u}\dot{v} + N_{\dot{u}\dot{r}} \dot{u}\dot{r} + N_{\dot{v}\dot{v}} \dot{v}\dot{v} + N_{\dot{r}\dot{r}} \dot{r}\dot{r}
 \end{aligned} \tag{2}$$

$X(u)$: 직진시 선체 저항
 $(z\gamma)_v, (z\gamma)_r$: 사항 및 선회시 선체에 대한 수평 방향 힘 작용점의 z 좌표 값
 W : 선체 중량 (mg)
 GM : 횡메타센타 높이

2.3 프로펠러에 의한 유체력

프로펠러에 의한 유체력은 다음과 같이 표현한다.

$$\begin{aligned} X_P &= (1-t)(T^P + T^S)\cos\delta \\ Y_P &= (1-t)(T^P + T^S)\sin\delta \\ K_P &= -z_R^{PS}(1-t)(T^P + T^S)\sin\delta \\ N_P &= x_P(1-t)(T^P + T^S)\sin\delta \\ &\quad - y_P(1-t)(T^P - T^S)\cos\delta \end{aligned} \quad (3)$$

$$T = \rho n^2 D_P^4 K_T (J_P, v_P)$$

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

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

$$v_P = v + x_P r$$

x_P : POD 위치의 x 좌표

z_R^{PS} : POD 추진기에 의해서 작용하는 y 방향 힘의 연직 방향 위치

2.4 스트럿에 의한 유체력

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

$$\begin{aligned} X_R &= X_R^P + X_R^S \approx -(1-t_R^{PS})(F_N^P + F_N^S)\sin\delta \\ Y_R &= Y_R^P + Y_R^S \approx (1+a_H^{PS})(F_N^P + F_N^S)\cos\delta \\ K_R &= K_R^P + K_R^S \approx -z_R^{PS}(Y_R^P + Y_R^S) = -z_R^{PS} Y_R \\ N_R &= N_R^P + N_R^S + N_{X_R} \\ &\approx (x_R + a_H^{PS} x_H^{PS})(F_N^P + F_N^S)\cos\delta + N_{X_R} \\ N_{X_R} &\approx -y_R(1-t_R^{PS})(F_N^P - F_N^S)\sin\delta \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} F_N^{P,S} &= \frac{\rho}{2} A_R (U_R^{P,S})^2 f_a \sin\alpha_R^{P,S} \\ U_R^{P,S} &= \sqrt{(u_R^{P,S})^2 + (v_R^{P,S})^2} \end{aligned} \quad (5)$$

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

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

$$w_P^{P,S} = w_{P0} \exp(-C_{P(+,-)}^{P,S} v_P^2)$$

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

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

P : Port, S : Starboard

2.5 쌍축선형의 대칭특성을 이용한 관계식

쌍축 선형의 POD와 선체의 간섭계수는 쌍축 선형의 선체, POD의 대칭 특성에 의해서 좌현 POD에 대한 선체-POD 간섭계수들을 우현 POD의 선체-POD의 간섭계수들을 이용해서 다음과 같이 구할 수 있다(김연규 등 2004).

$$\begin{aligned} \beta_R \text{에서의 } \gamma_R^P &= -\beta_R \text{에서의 } \gamma_R^S \\ \delta_0^P &= -\delta_0^S \\ \epsilon^P &= \epsilon^S, x^P = x^S \\ C_{P+}^P &= C_{P-}^S, C_{P-}^P = C_{P+}^S \end{aligned} \quad (6)$$

3. 시험 및 해석

3.1 대상 선형

HPMM 시험에 사용된 대상 선형은 쇠빙선(이춘주 등 2005)으로 선박의 제원은 Table 1에 자세히 나와 있고, Fig. 2에는 모형선 사진과 POD 추진기 사진이 실려 있다. 모형선의 축척비는 16.7이었으며, 시험은 해양시스템안전연구소가 보유하고 있는 예인수조에서 수행되었다(김은찬과 양승일 1987).

Table 1 Principal dimensions of POD ship

$L_{PP}(m)$	95.0	$D_P(m)$	4.2
$B(m)$	19.0	$y_P(m)$	5.0
$T(m)$	7.5	$A_R(m^2)$	8.66
$Trim(m)$	0.0	$y_R(m)$	5.0
$LCG/L(\%)$	1.44	C_B	0.64
$GM_T(m)$	1.32	$KG(m)$	8.45

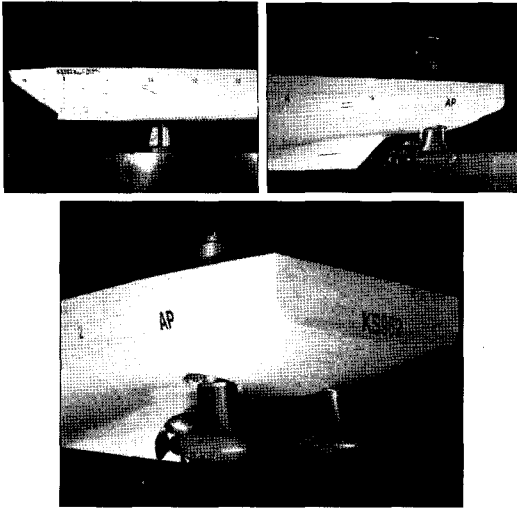


Fig. 2 Photographs of model ship and POD



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

3.2 사향각이 있는 상태에서의 POD 단독시험
 POD 추진기선에 대한 조종성능을 추정하기 위해서 사향각이 있는 상태에서 POD 추진기에 대한 단독시험을 수행하였다. Fig. 3에 단독시험 준비중인 사진이 실려 있다. 단독시험은 사향각 -25~25도에 대해서 5도 간격으로 수행되었다. Fig. 4, Fig. 5 및 Fig. 6에는 각각 사향각에 대한 추력계수, 토크계수 및 단독효율이 나타나 있다. 이 시험결과는 POD 추진기선의 조종유체력계수를 해석하는데 사용된다. J , K_{TV} , $10K_Q$ 에 대한 정의는 다음과 같다.

$$J = \frac{U}{nD_P}, K_{TV} = \frac{Thrust}{\rho n^2 D_P^4}, 10K_Q = \frac{Torque}{\rho n^2 D_P^5} \times 10 \quad (7)$$

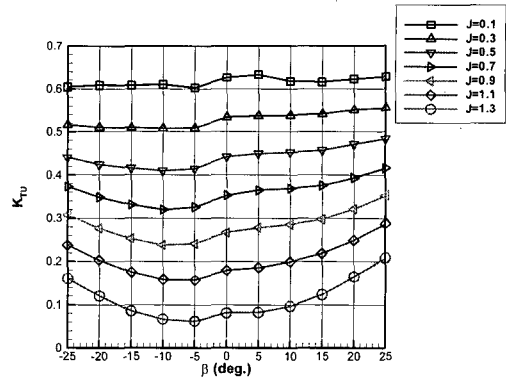


Fig. 4 Thrust coefficients with drift angles

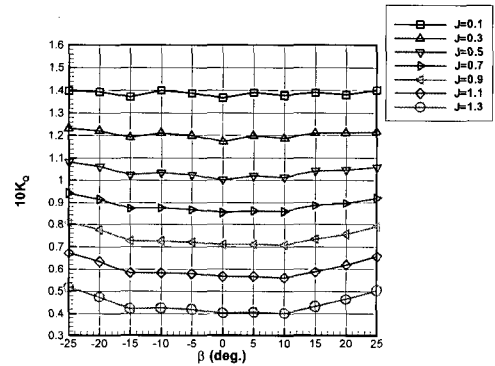


Fig. 5 Torque coefficients with drift angles

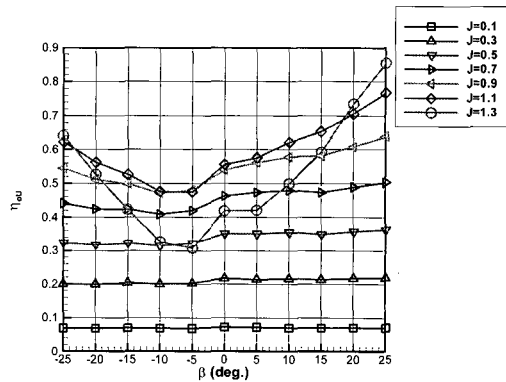


Fig. 6 Propeller open water efficiency with drift angles

3.3 HPMM 시험 및 해석 결과

모형시험은 Scantling 상태에서 실선 속도 12.0 Knots($V_m = 1.43$ m/sec)에서 실선자항점에 해당

하는 프로펠러 회전수(5.61 rps)로 POD를 구동시켜서 모형선에 작용하는 힘과 POD에 작용하는 힘을 계측하였다. Fig. 7은 HPMM 시험 사진이다.

POD 추진기선에 대해서 정적 시험과 동적 시험을 포함한 HPMM 시험을 수행하였으며, 선체 및 타에 작용하는 힘과 모멘트는 다음과 같이 무차원화하였다.

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

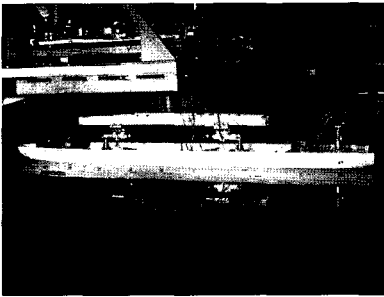


Fig. 7 Photograph of HPMM test

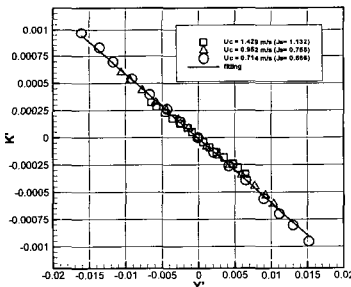


Fig. 8 Static rudder test: K moments with Y forces

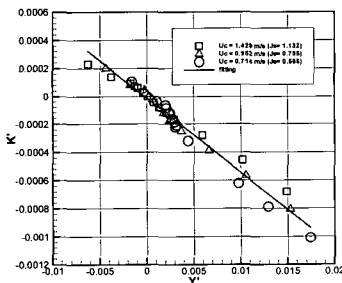


Fig. 9 Static drift test: K moments with Y forces

Fig. 8과 9는 각각 Static Rudder 시험과 Static Drift 시험에서 계측된 횡동요 모멘트를 횡방향 힘에 대해서 해석한 그림이고, Fig. 10은 정류 계수 γ_R 를 구하기 위해서 수행된 Static Drift and Rudder 시험에서 계측된 편류각에 따른 중립타각의 그림이다. 왼쪽에 있는 그림은 사향각 30도까지 시험을 수행하여 해석한 그림이고, 오른쪽에 있는 그림은 사향각 15도까지의 결과를 이용하여 해석한 그림이다.

Table 2에는 HPMM 시험에 의해서 구해진 선형 계수들과 안정성 지수가 실려 있다. 선형 계수는 POD를 포함한 선체 전체에 작용한 힘을 이용해서 구해진 값이다. 안정성 지수를 보면 다른 선박에 비하여 직진성능은 좋은 것으로 판단된다.

비교 및 검토를 위하여 기존의 수학적 모형인 급수형 수학적 모형(김선영 1988)을 이용하여 해석을 수행하였으며, 시뮬레이션 결과를 비교하였다.

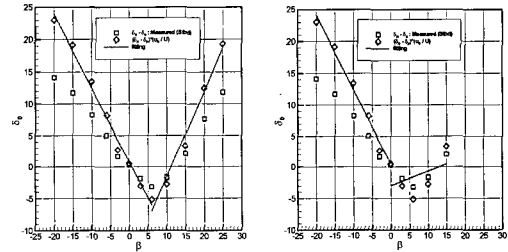


Fig. 10 Drift and rudder test: neutral rudder angle with drift angles

Table 2 Linear hydrodynamic derivatives and stability indices

Y_v'	-0.023762
N_v'	-0.008940
Y_r'	0.008405
N_r'	-0.003783
l_v'	0.3762
l_r'	0.3414
$l_d' (= l_r' - l_v')$	-0.0348

4. 시뮬레이션 결과

이상과 같이 해석되어진 결과를 이용하여 시뮬레이션을 수행하였으며, 기존의 수확모델인 급수형 수확모형을 이용한 결과와 비교한 결과가 Table 3과 Fig. 11 ~ 13에 나타나 있다.

Fig. 11은 10°/10° Zig-Zag 시험을, Fig. 12는 20°/20° Zig-Zag 시험을 시뮬레이션한 것으로, Table 3과 그림을 보면 POD 추진기선의 Yaw Checking 성능도 IMO 규정을 만족하는 것을 알 수 있다. 단지 20°/20° Zig-Zag 시험의 1st Overshoot 각이 IMO 기준에 근접한 추정 결과를 주고 있다. 이에 대해서는 추가적으로 검토가

Table 3 Linear hydrodynamic derivatives and stability indices

Maneuver Item	Modular	Whole Ship	IMO Standards
35° Turing Circle			
Advance	2.1 L	2.1 L	4.5 L
Tact. Diam.	1.8 L	1.7 L	5.0 L
10°/10° Zig-Zag			
1st overshoot	11.0°	10.8°	12.7°
2nd overshoot	13.6°	15.6°	29.0°
20°/20° Zig-Zag			
1st overshoot	23.7°	22.7°	25.0°

필요하다. Fig. 13에는 좌현 35° 선회시험을 시뮬레이션한 결과가 실려있는데, POD 추진기선의 특성을 보여주듯이 선회성능은 매우 우수한 것을 볼 수 있다. 일반적으로 POD 추진기선의 경우 선미 형상이 바지선과 비슷한 형상을 갖는 경우가 많았으나, 그럴 경우 조종성능이 나빠진다는 것이 알려지게 되면서 선미 부분에 스के그를 설치하는 경우가 증가하고 있어서 선회성능도 좋으면서 Yaw Checking 성능도 어느 정도 만족하는 것을 볼 수 있다.

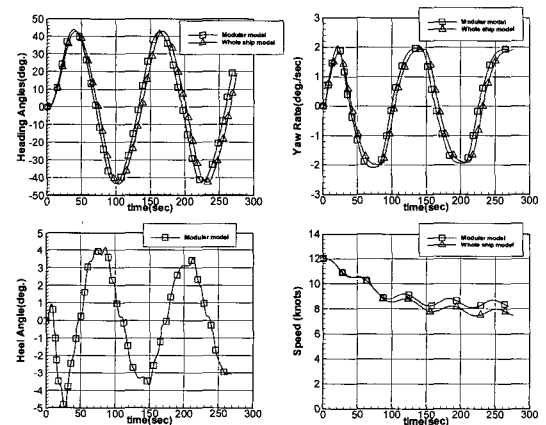


Fig. 12 Simulation results of 20°/20° zig-zag test

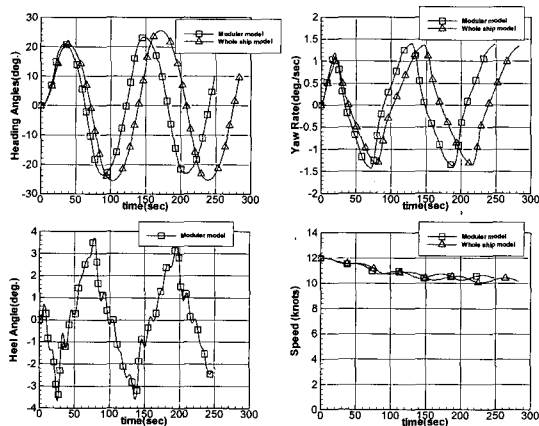


Fig. 11 Simulation results of 10°/10° zig-zag test

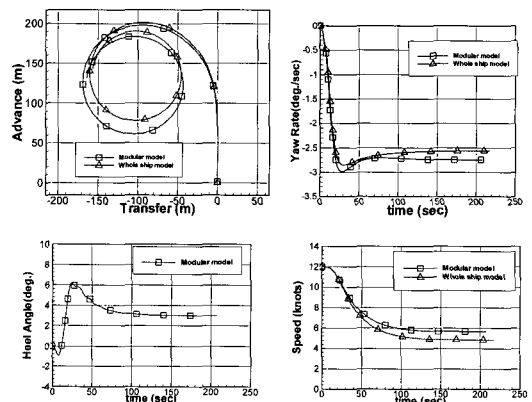


Fig. 13 Simulation results of 35° Port Turning Test

5. 결 언

본 논문에서는 조종성능을 향상시키기 위해서 적용하는 쌍축 POD 추진기선에 대한 4자유도 모듈형 수학모형을 제시하였고, 쌍축 POD 추진기를 적용한 쇄빙선에 대해서 HPMM 시험을 수행하여 조종성능을 추정하였다. 모듈형 수학모형을 이용하여 수행된 시뮬레이션 결과를 기존의 해석 방법인 급수형 수학모형을 이용한 시뮬레이션 결과와 비교하였으며, 시뮬레이션을 수행한 결과 선회성능은 매우 우수하고, Yaw Checking 성능도 IMO 규정을 만족하는 것을 알 수 있었다. 단지 20°/20° Zig-Zag 시험의 1st Overshoot 각이 약간 크게 추정된 것에 대해서는 추가적으로 검토가 필요하다. 이러한 결과로부터 본 논문에서 제시된 모듈형 수학모형을 이용하여 POD 추진기에 대한 해석을 수행하는 것이 가능하다고 생각된다.

추후에 쇄빙선에 대한 자유항주시험이 계획되어 있으며, 본 시뮬레이션 결과를 검증할 수 있는 자료를 획득할 수 있을 것으로 생각된다.

후 기

본 논문의 내용은 산업자원부에서 지원하고 해양시스템안전연구소와 대우조선해양 및 한진중공업이 공동으로 수행한 “차세대 선박의 조종성/안정성 평가기술 개발” 과제의 연구결과의 일부이다.

참 고 문 헌

- 김선영, 1988, 조종성능 추정기법 개발, 한국기계연구소 보고서 UCE337-1082.D.

- 김선영 등, 2005, 차세대 선박의 조종성/안전성 평가기술 개발(최종보고서), 한국해양연구원 보고서 M1-0117-01-0002.
- 김연규, 김선영, 유병석, 이석원, 2004, “쌍축 컨테이너선의 조종성능 특성 연구,” 대한조선학회 추계 학술대회 논문집, pp. 37-43.
- 김은찬, 양승일, “저항, 저항시험 해석 프로그램 개발,” 한국기계연구소, 소보, Vol.17, pp. 133-144.
- 이영연, 반석호, 이춘주, 박재상, 박노준, 2005, “전기추진 삼동선의 설계 및 저항성능에 관한 연구,” 대한조선학회 춘계학술대회 논문집, pp. 543-547.
- 이춘주, 고창두, 이영연, 박일룡, 2005, “쇄빙기능 해양과학조사선의 선형개발과 빙저항추진성능 고찰,” 대한조선학회 춘계학술대회 논문집, pp. 528-533.



< 김 연 규 >



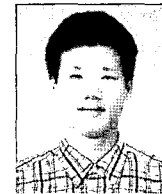
< 김 선 영 >



< 박 영 하 >



< 유 병 석 >



< 이 석 원 >