

CPMC 구속모형시험에 의한 KCS 선형의 조종성능 추정

김연규^{†*}, 여동진*, 김선영*, 윤근항*, 오병익*

한국해양연구원 해양시스템안전연구소*

Prediction of Maneuverability of KCS by CPMC Captive Model Test

Yeon-Gyu Kim^{†*}, Dong-Jin Yeo*, Sun-Young Kim*, Kun-Hang Yun* and
Byeong-Ik Oh*

KORDI/Maritime and Ocean Engineering Research Institute*

Abstract

This paper presents the results of prediction of maneuverability of KCS by CPMC captive model test. The CPMC(Computerized Planar Motion Carriage) with captive model test equipment is installed at Ocean Engineering Tank of MOERI. KCS is the container ship which was open to the world by MOERI. And the test results for the prediction of maneuverability were presented by NMRI in Japan. The research results about the maneuverability of KCS were presented at SIMMAN 2008 Workshop in Denmark. The results of test and simulation of this paper are compared with the results of simulation by MOERI using test results of NMRI and simulation results by NMRI.

※Keywords: CPMC(CPMC), KCS(KCS), Captive model test(구속모형시험), Prediction of maneuverability(조종성능 추정), Comparison of simulation(시뮬레이션결과 비교)

1. 서 언

한국해양연구원 해양시스템안전연구소(MOERI)는 조선해양공학의 발전을 위하여 VLCC 선형인 KVLC1과 KVLC2 선박의 선형자료와 시험결과를 공개한 바 있으며, 또한 컨테이너 선박인 KCS에 대한 선형자료와 시험결과도 공개한 바 있다.

접수일: 2009년 7월 26일, 승인일: 2009년 9월 24일

† 교신저자: ygkim@moeri.re.kr, 042-866-3642

이러한 자료를 이용하여 KVLC1, KVLC2 및 KCS 선형에 대한 CFD 워크숍이 두차례(CFD Workshop TOKYO 2005, 5th Osaka Colloquium) 개최된 바 있다(Kim et al. 2005a). KVLC1, KVLC2 및 KCS 선형에 대한 저항 및 저항 관점에서의 연구이외에도 조종성능 관점에서의 연구가 계속적으로 수행되었으며, 각 선형에 대한 조종성능 추정용 시험결과를 공개하여 발표하고 토론하는 워크숍(SIMMAN2008)이 개최된 바 있다(Kim and Kim 2008). SIMMAN2008에서는 각 기관에서

의 시뮬레이션에 의한 조종성능 추정결과와 비교와 CFD에 의한 조종성능 추정기법에 대한 발표와 토론이 있었다. 이외에도 KVLCC1, KVLCC2 및 KCS 선형에 대한 연구는 많이 수행되었다(Kim et al. 2005b), Kim and Kim 2001, Shin et al. 2009).

본 논문에서는, MOERI의 해양공학수조에 설치되어 있는 대형제어형 예인전차 CPMC (Computerized Planar Motion Carriage)를 이용하여 공개된 선형인 KCS 모형선에 대한 조종성능 추정 시험을 수행하였다. CPMC 구속모형시험장치는 주전차(X 전차)와 부전차(Y 전차) 및 부전차의 회전대(turn table)를 이용하여 수평면상에서 임의의 선운동 및 회전운동을 정밀제어할 수 있는 장비이다(Kim et al. 2006). KCS 선형에 대해서는 일본의 NMRI(National Maritime Research Institute)에서 이미 CPMC 구속모형시험을 수행하여 SIMMAN2008에 공개한 바 있다. MOERI에서도 NMRI의 시험결과를 이용하여 조종성능을 추정하여 SIMMAN2008에 제출한 바 있다.

수행된 구속모형 시험결과를 이용하여 KCS 선형의 조종성능을 추정하였으며, 추정 결과를 NMRI의 시험결과를 이용하여 MOERI에서 추정한 결과 및 NMRI 자체에서 추정한 결과와 비교하였다. 또한 독일의 SVA(Schiffbau-Versuchsanstalt Potsdam GmbH)와 불가리아의 BSHC (Bulgarian Ship Hydrodynamic Centre)에서 수행한 자유항주시험결과와도 비교하였다(SIMMAN2008).

2. 모형선 및 구속모형시험장치

NMRI와 MOERI에서 시험에 사용된 모형선의 제원은 Table 1에 정리되어 있다. NMRI의 모형선의 경우 MOERI의 모형선에 비하여 약간 작으며, 시험속도도 실선의 18.58 Kts에 해당하는 1.1 m/s에 대해서 수행되었다. MOERI의 경우 시험속도는 실선의 24.0 Kts에 해당하는 1.522 m/s에 대해서 수행되었으며, 프로펠러 rps는 각 속도에서의 모형선 자항점에 해당하는 rps이다. Fig. 1에는 시험에 사용된 모형선의 사진이 나타나 있다.

Table 1 Principal dimensions of model ships

Dimensions	Real Ship	NMRI	MOERI
Scale Ratio	1.0	75.5	65.833
Lpp (m)	230.0	3.0464	3.4937
B (m)	32.2	0.4265	0.4891
D (m)	19.0	0.2517	0.2886
T (m)	10.8	0.1430	0.1641
Displace. (m ³)	52030	0.1209	0.1824
A _T (m ²)	54.45	0.0096	0.01256
D _P (m)	7.9	0.105	0.12
P/D _P (0.7R)	0.8	0.8	0.8
GM _T (m)	0.60	0.097	0.00918
U (m/s)	24.0 Kts	1.1	1.522



Fig. 1 Model ship of MOERI

CPMC 구속모형시험장치에 대한 자세한 내용은 Kim et al.(2006)에 나타나 있으며, Fig. 2에는 구속모형시험장치의 사진이 나타나 있다.



Fig. 2 Captive model test equipment

3. 구속모형시험 및 해석결과

3.1 수학적모형(Kim et al. 2007)

선체 고정 좌표에서의 3자유도 연성 운동방정식은 Fig. 3의 좌표계 하에서 다음과 같다.

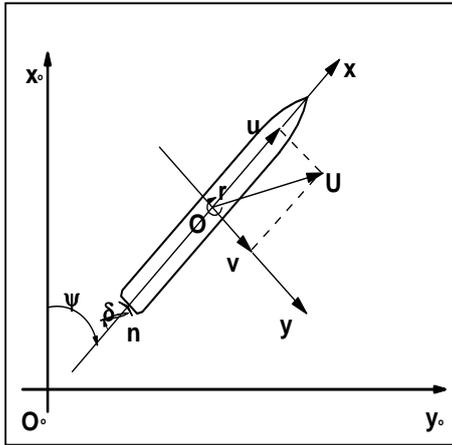


Fig. 3 Coordinates system

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

식 (1)에서 아래첨자 H,P,R은 각각 선체, 프로펠러, 타에 의한 유체력을 나타내고, 위 첨자 · 와 아래첨자 G는 각기 시간에 대한 미분과 무게중심의 위치를 의미한다.

(1) 선체에 작용하는 힘과 모멘트

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

여기에서,

$X(u)$: 직진시 선체 저항

(2) 프로펠러에 의한 유체 동력학적 힘

$$X_P = (1-t)T \tag{3}$$

여기에서,

$$\begin{aligned}
 T &= \rho v^2 D_P^4 K_T(J_P) \\
 J_P &= \frac{u_P}{n D_P} \\
 u_P &= (1-w_P)U \\
 w_P &= w_{P0} \exp\{-C_P v_P^2\} \\
 v_P &= v + x_P r \\
 t &: \text{추력감소계수} \\
 x_P &: \text{프로펠러 위치의 } x \text{ 좌표}
 \end{aligned}$$

(3) 타에 의한 유체력

$$\begin{aligned}
 X_R &= -(1-t_R)F_N \sin \delta \\
 Y_R &= (1+a_H)F_N \cos \delta \\
 N_R &= (x_R + a_H x_H)F_N \cos \delta
 \end{aligned} \tag{4}$$

여기에서,

$$\begin{aligned}
 F_N &= \frac{1}{2} \rho u_R^2 A_R f_{\alpha} \sin \alpha_R \\
 u_R &= \epsilon u_p \sqrt{\eta \left\{ 1 + \kappa \left(\sqrt{1 + \frac{8K_T}{\pi J_P^2}} - 1 \right) \right\}^2 + (1-\eta)} \\
 \eta &= \frac{D_P}{H_R} \\
 \alpha_R &= (\delta - \delta_0) - \gamma_R (v' + l_R r') \left(\frac{U}{u_R} \right)
 \end{aligned}$$

$$l_R = 2x_R$$

$(1-t_R)$: 타에 의하여 생기는 저항감소

$a_H x_H$: 타에 의하여 선체에 작용하는 간섭 효과

x_R : 타 위치의 x 좌표

D_P, H_R : 프로펠러의 직경과 타의 높이

3.2 구속모형시험

KCS 선형에 대한 구속모형 시험조건은 Table 2에 정리되어 있다. Fig. 4에는 구속모형시험중인 사진이 나타나 있다. 저항시험은 1.522 m/s에서 수행되었으며, 모형선 저항점에 해당하는 프로펠러 rps는 15.8이었다. 그리고 부가질량계수를 구하기 위하여 동적시험이 수행되었다.

Table 2 Test conditions

Test Item	Test Condition
Resistance	$U = 0.5, 0.7, 0.9, 1.1, 1.3, 1.5, 1.522, 1.6$ m/sec
Self Propulsion	rps = 15.0, 13.0, 17.0, 16.0, 15.8
Static Rudder	$\delta = 0^\circ, \pm 5^\circ, \pm 10^\circ, \pm 15^\circ, \pm 20^\circ, \pm 30^\circ$
Rudder & Drift & Turning	$\beta = 0^\circ, \pm 3^\circ, \pm 6^\circ, \pm 10^\circ, \pm 15^\circ, \pm 20^\circ$ $r' = \pm 0.15, \pm 0.3, \pm 0.5$ $\delta : 3 \sim 4$ Rudder Angles
Static Drift	$\beta = 0^\circ, \pm 2^\circ, \pm 4^\circ, \pm 6^\circ, \pm 8^\circ, \pm 12^\circ, \pm 16^\circ, \pm 20^\circ$
Turning	$r' = \pm 0.15, \pm 0.2, \pm 0.3, \pm 0.4, \pm 0.5, \pm 0.6, \pm 0.7$
Drift & Turning	$\beta = 4^\circ, 8^\circ, 12^\circ, 16^\circ$ $r' = \pm 0.2, \pm 0.4, \pm 0.6$
Pure Sway	$\dot{v}' = -0.08, -0.12, -0.16$
Pure Yaw	$\dot{r}' = -0.12, -0.24, -0.36, -0.48$



Fig. 4 Photograph of CPMC captive model

3.3 해석결과

구속모형 시험결과를 수학적 모형의 조종유체력 계수들을 구하기 위하여 해석하였다. 계측된 힘과 모멘트는 다음 식과 같이 무차원화하였다.

$$Force' = \frac{Force}{0.5\rho U^2 L^2}, \quad Moment' = \frac{Moment}{0.5\rho U^2 L^3} \quad (5)$$

Fig. 5에는 사향 시험에서 계측된 결과를 NMRI의 시험결과와 비교한 그림이 나타나 있다. Fig. 5는 타에 의한 힘과 모멘트를 제거하고 비교한 횡방향 힘과 선수동요 모멘트의 그림이다. 타에 의

한 힘과 모멘트를 제거하기 위해서 정적 타각 시험에 의한 결과가 이용되었다. 단 NMRI의 시험결과는 실선의 18.58 Kts에 해당하는 모형선 속도인 1.1 m/s에 대한 결과이다. 비교결과로부터 횡방향 힘의 경우 NMRI의 결과와 잘 일치하는 것을 볼 수 있는 반면에 선수동요 모멘트의 경우 사향각이 큰 부분에서 약간의 차이를 보이는 것을 볼 수 있다. 이것은 모형선 크기 및 시험 속도에 따른 차이라고 판단된다.

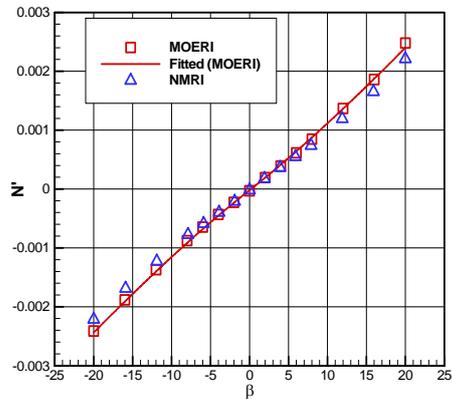
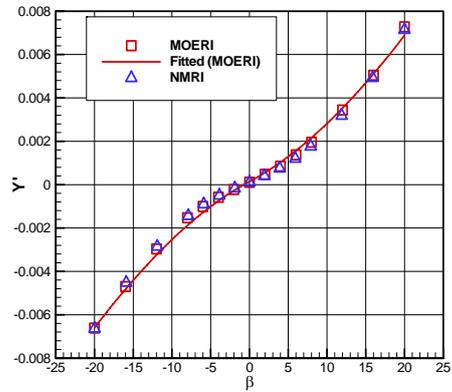


Fig. 5 Comparison results of static drift test (H+P)

Fig. 6에는 사향각과 선회 각속도를 고려하여 Neutral 타각을 구한 결과를 구한 것이다. 일반적으로 식(4)처럼 l_R 은 $2.0x_R$ 을 사용하지만 본 시험결과로부터 구해진 l_R 은 $1.34x_R$ 이었다.

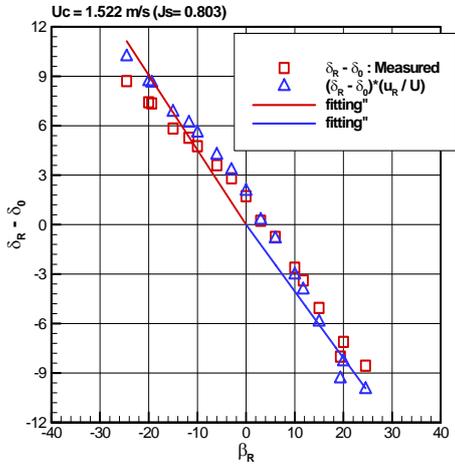


Fig. 6 Neutral rudder angles at test with drift angle and yaw rate

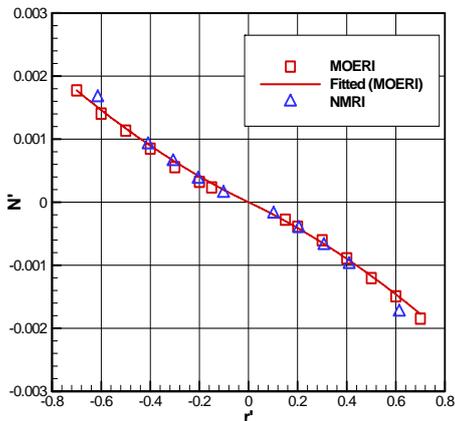
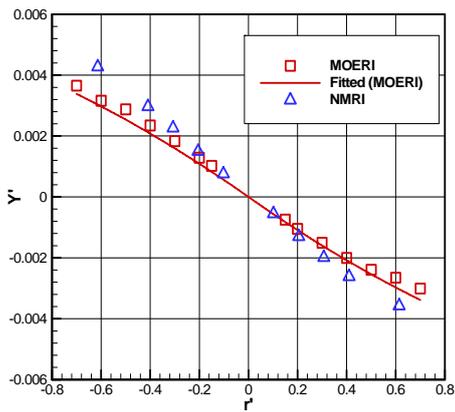


Fig. 7 Comparison results of CMT (H+P)

Fig. 7은 CPMC를 이용하여 수행된 선회시험 결과를 NMRI의 선회시험 결과와 비교한 그림이다. 횡과 모멘트는 타에 의한 성분을 제거한 값이다. 횡방향 힘의 경우 전반적으로 차이를 보여주고 있지만 선수동요 모멘트의 경우 매우 잘 일치하는 것을 볼 수 있다. 횡방향 힘의 차이에 대해서는 추가적인 검토가 필요하다.

Fig. 8은 사향각과 선회각속도가 있는 상태에서 예측된 종방향 힘에 대해서 해석한 결과를 보여주고 있다. 각 선회 각속도에 대해서 사향각에 따른 종방향 힘의 변화가 잘 해석된 것으로 판단된다.

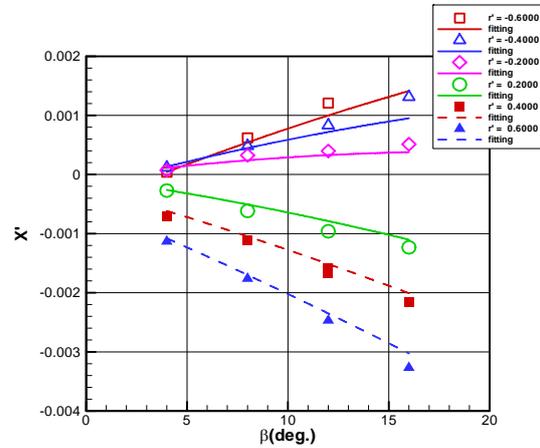


Fig. 8 Results of yaw with drift test

4. 시뮬레이션 결과

Figs. 9~12에는 MOERI의 시험결과를 이용하여 MOERI가 추정한 시뮬레이션 결과와 NMRI의 시험결과를 이용하여 MOERI가 추정한 시뮬레이션 결과를 비교한 그림이 실려 있다. 시뮬레이션은 모형선에 대해서 수행되었으며, 시뮬레이션 결과를 비교하기 위해서 NMRI의 시험결과를 이용한 시뮬레이션 결과를 MOERI의 모형선 크기에 맞추어서 그림을 그렸다. 모형선 크기의 비를 λ라고 할 때 시뮬레이션 결과를 맞추는 방법은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 \text{시간: } t_s &= \sqrt{\lambda} t_m & \text{길이: } L_s &= \lambda L_m & (6) \\
 \text{거리: } x_s &= \lambda x_m, y_s &= \lambda y_m \\
 \text{각도: } \psi_s &= \psi_m, \delta_s &= \delta_m
 \end{aligned}$$

속도: $U_s = \sqrt{\lambda} U_m$ 각속도: $\dot{\psi}_s = \frac{\dot{\psi}_m}{\sqrt{\lambda}}$

Fig. 9와 10에는 타각 35도에 대한 좌우현 선 회시험 결과가 실려 있다. 선 회 시험의 경우 MOERI의 결과가 선 회 성능이 더 좋게 추정된 것을 볼 수 있으며, 그 차이는 선 회 각속도가 MOERI의 결과가 초기에 약간 크게 추정되면서 전반적으로 선 회가로이동거리(Transfer)가 줄어들어서 생긴 현 상으로 생각된다.

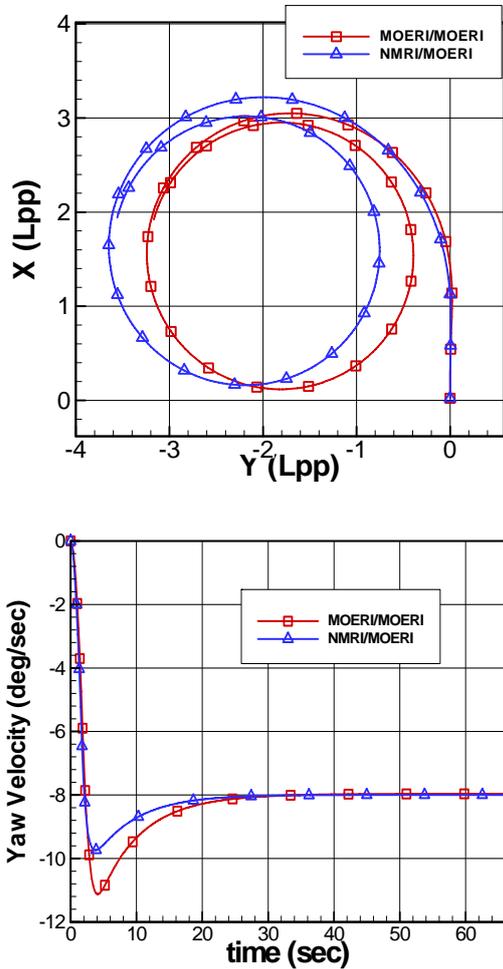


Fig. 9 Simulation results of 35° port rudder turning test

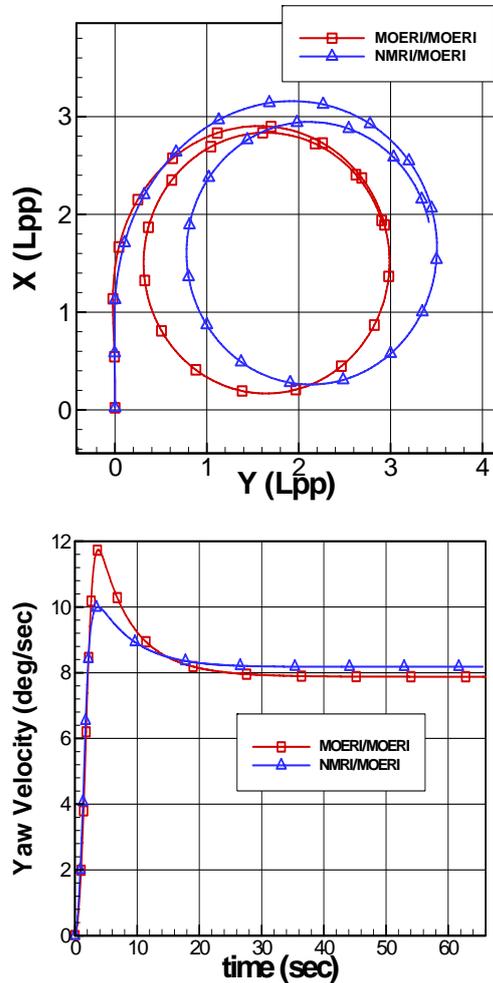


Fig. 10 Simulation results of 35° starboard rudder turning test

Fig. 11과 12에는 지그재그시험에 대해서 시뮬 레이션한 결과가 나타나있다. 그림으로부터 MOERI의 시험결과를 이용한 추정결과가 NMR의 시험결과를 이용한 추정결과보다 변침성능이 좋지 않은 것을 알 수 있다. 일반적으로 선 회 성능이 좋은 선박은 상대적으로 선 회 성능이 나쁜 선박에 비 하여 변침성능이 나쁘다고 알려져 있으며, 이러한 특성이 보여진 것으로 판단된다. 하지만 비교결과 를 보면 그 차이는 그다지 크지 않은 것으로 생각 된다.

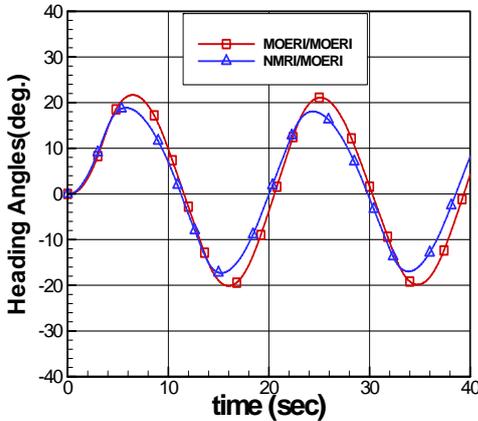


Fig. 11 Simulation results of 10°/10° zig-zag test

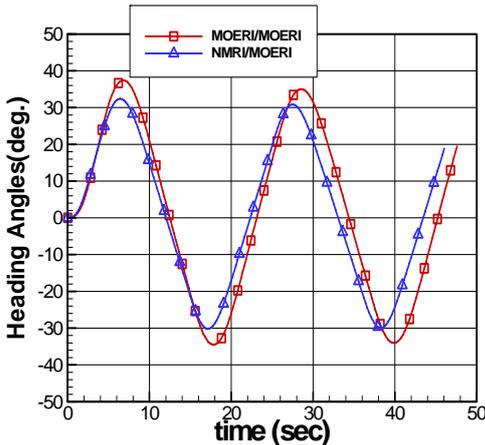


Fig. 12 Simulation results of 20°/20° zig-zag test

Table 3에는 추정된 조종성능 지수들을 정리하여 나타내었다. MOERI/MOERI는 MOERI의 시험결과를 이용하여 MOERI가 추정한 결과를, NMRI/NMRI는 NMRI의 시험결과를 이용하여 NMRI가 추정한 결과를, 그리고 NMRI/MOERI는 NMRI의 시험결과를 이용하여 MOERI가 추정한 결과를 의미한다. 표로부터 선회성능은 MOERI/MOERI가 가장 좋게 추정하고 있으며, 변침성능은 NMRI/MOERI가 가장 좋게 추정하고 있는 것을 볼 수 있다. 같은 시험결과를 이용하여 추정한 NMRI/NMRI와 NMRI/MOERI도 차이를 보여주는 것을 볼 수 있다. 이러한 현상은 SIMMAN2008에

서도 발표되었으며, 시험결과가 공개된 KVLC1, KVLC2 및 KCS 선형에 대해서 각 기관에서 추정한 조종성능 결과가 상당히 다르다는 것이 알려졌다. 추후 이에 대한 논의가 진행될 예정이다.

Table 3 Maneuverability indices (simulation)

	MOERI/ MOERI	NMRI/ NMRI	NMRI/ MOERI
35° Turn Advance Tac. Dia.	3.01 L 3.19 L	3.30 L 3.43 L	3.19 L 3.61 L
-35° Turn Advance Tac. Dia.	2.86 L 2.94 L	3.18 L 3.21 L	3.12 L 3.47 L
10°/10° ZigZag 1st OSA 2nd OSA	11.31° 10.78°	6.9° 10.6°	7.71° 7.90°
20°/20° ZigZag 1st OSA 2nd OSA	16.95° 14.99°	14.6° 14.3°	11.86° 10.78°

Table 4에는 KCS 선형에 대하여 독일의 SVA와 불가리아의 BSHC에서 수행한 자유항주시험결과가 실려 있다. SVA와 BSHC에서 사용한 모형선의 크기는 4.37 m 이었다. 자유항주시험결과를 시뮬레이션에 의한 추정결과와 비교하여보면 MOERI/MOERI가 가장 잘 맞는 것을 볼 수 있으며, 10°/10° 지그재그시험의 제2오버슈트각(2nd Overshoot Angle)을 제외하고는 매우 잘 일치하는 것을 볼 수 있다. 추후 MOERI에서는 구속모형 시험에 사용된 모형선을 사용하여 자유항주시험을 계획하고 있으며, 구속모형시험에 의한 추정결과와 비교할 계획이다.

Table 4 Maneuverability indices (free running test)

	SVA	BSHC
-35° Turn Advance Tac. Dia.	-	2.78 L 2.72 L
10°/10° ZigZag 1st OSA 2nd OSA	11.0° 18.6°	10.8° 21.0°
20°/20° ZigZag 1st OSA 2nd OSA	17.8° 19.9°	19.0° 22.0°

5. 결 언

한국해양연구원 해양시스템안전연구소(MOERI)에서 공개한 KCS 선형에 대하여 CPMC 구속모형시험을 수행하여 조종성능을 추정하였다. 그리고 그 추정결과를 NMRI의 시험결과를 이용하여 추정한 결과와 비교하였다. 추정결과는 서로 약간의 차이를 보여주고 있는 것을 알 수 있었다.

- 선회성능은 MOERI의 시험결과를 이용한 추정결과가 더 좋다.
- 변침성능은 NMRI의 시험결과를 이용한 추정결과가 더 좋다.

또한 독일의 SVA와 불가리아의 BSHC에서 수행한 자유항주시험결과와도 비교하였다.

- MOERI의 시험결과를 이용한 추정결과는 자유항주시험결과와 $10^\circ/10^\circ$ 지그재그시험의 제 2오버슈트각(2nd Overshoot Angle)을 제외하고는 매우 잘 일치하고 있다.

추후 구속모형시험 모형선을 이용하여 자유항주시험을 수행할 계획이며, 구속모형시험결과를 이용한 추정결과와 비교 및 검토할 계획이다.

후 기

본 논문은 한국해양연구원 해양시스템안전연구소에서 기본과제로 수행한 “선박의 자유항주 시뮬레이션 및 검증용 계측시스템 개발” 과제에 대한 연구결과의 일부이다.

참 고 문 헌

- Kim, J., Park, I.R. and Van, S.H., 2005a, “RANS Computations for KRISO Container Ship and VLCC Tanker using the WAVIS Code,” Proceeding of CFD Workshop Tokyo 2005, pp. 542-547.
- Kim, J., Park, I.R., Kim, K.S. and Van, S.H.,

2005b, “RANS Simulations for KRISO Container Ship and VLCC Tanker,” Journal of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 42, No. 6, pp. 592 -600.

- Kim, S.Y. and Kim, Y.G., 2001, “Computation of Viscous Flows around a Ship with a Drift Angle and the Effects of Stern Hull Form on the Hydrodynamic Forces,” Journal of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 38, No. 3, pp. 1-13.
- Kim, S. and Kim, Y., 2008, “Prediction of Maneuvering Performance for KVLCC1 & KVLCC2 Based on PMM Data,” Proceeding of SIMMAN2008, pp. E22-E27.
- Kim, S.Y., Kim, Y.G., Son, N.S., Kang, N.S., Kim, J.H., Kim, Y.S. and Hong, S.W., 2006, “Introduction of CPMC in Ocean Engineering Tank of MOERI,” 46th KTTC Joint workshop, pp. 59-69.
- Kim, Y.G., Kim, S.Y., Son, N.S., Kim, Y.S. and Kang, N.S., 2006, “Captive Model Test Using CPMC,” Proceedings of the Annual Spring Meeting of the Society of Naval Architects of Korea, pp. 670-676.
- Kim, Y.G., Kim, S.Y., Yang, Y.H. and Son, N.S., 2007, “4-DOF Captive Model Test Using CPMC,” Proceedings of the Annual Spring Meeting of the Society of Naval Architects of Korea, pp. 924-930.
- Shin, H.K., Yoon, J.H. and Lee, H.Y., 2009, “Prediction of Ship Maneuverability by Circular Motion Test,” Journal of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 46, No. 3, pp. 259-267.
- Proceedings of 5th Osaka Colloquium.
- Proceedings of CFD Workshop Tokyo 2005.
- Proceedings of SIMMAN2008 Vol. 1 & 2.



< 김 연 규 > < 여 동 진 > < 김 선 영 >



< 윤 근 항 > < 오 병 익 >