

구속모형시험을 이용한 KCS 선형의 조종성능 추정

신현경^{1,†} · 최시훈¹
울산대학교 조선해양공학부¹

Prediction of Maneuverability of KCS Using Captive Model Test

Hyun-Kyoung Shin^{1,†} · Si-Hoon Choi¹
School of Naval Architecture and Ocean Engineering, University of Ulsan¹

Abstract

Recently, ultra large scale of ship is being ordered continuously and because of that, the accurate prediction of ship maneuverability in design stage becomes important matter. The model test like PMM test or CFD analysis are representative methods for predicting the maneuverability of ship. In this study, the captive model tests were carried out for predicting maneuverability of MOERI container ship(KCS) which is opened to the public using X-Y Carriage of Ocean Engineering Wide Tank of University of Ulsan. Considering the dimensions of tank, 2m class model ship was used for captive model test, CMT(Circular Motion Test) was performed for obtaining purer hydrodynamic coefficients related to yawing velocity. For getting hydrodynamic coefficients which cannot be obtained using CMT, PMM test(Planar Motion Mechanism test) were also performed. The maneuverability prediction results by simulation are compared with those of other research institutes.

Keywords : Maneuverability(조종성능), Captive model test(구속모형시험), KCS(KCS), X-Y carriage(X-Y 전차), CMT(선회시험), Hydrodynamic coefficient(유체력 미계수), PMM test(PMM 시험)

1. 서론

최근 초대형 선박의 발주가 계속해서 이어지고 있으며 이에 따라 설계 단계에서의 정확한 조종성능의 추정은 상당히 중요한 사항이 되었다. 선박의 조종성능을 추정하기 위한 방법으로 가장 대표적인 것으로 모형시험과 전산유체역학을 이용한 방법을 들 수 있다. 최근에는 전산유체역학을 이용한 조종성능 추정에 관한 연구가 활발히 진행되고 있으나(Shin & Jung, 2010), 아직도 모형시에 극히 의존적인 것이 사실이다. 조종성능 추정을 위한 모형시험은 크게 구속모형시험과 자유항주시험으로 나눌 수 있는데, 장소의 제약 등으로 인하여 대부분의 조선소와 연구소에서 가장 많이 쓰이는 모형시험이 구속모형 시험에 해당하는 Planar Motion Mechanism(이하 PMM) 시험이다. 최근에는 PMM 시험을 통해서도 시운전 결과와 거의 유사한 조종성능 추정이 가능하지만, 전차 운동의 한계로 선수동요 각속도와 관련된 비선형 조종성 미계수를 정확하게 찾는 데는 어려운 점이 있어, Circular Motion Test(이하 CMT)나 회전팔 시험과 같은 구속모형시험을 이용하여 좀 더 정확한 선수동요 각속도에 대한 비선형 유체력 미계수를 얻음으로써, 상호보완적인 기법을 활용할 수 있다. 국내에서의 CMT를 이용한 조종성능 추정에 관한 연구는 Shin, et al. (2009)과 kim, et al. (2009)에 의해 수행된 바 있으며, 본 연구에서는 CMT를

이용하여 선수동요 각속도와 관련된 유체력 미계수를 획득하고, CMT를 통해 얻을 수 없는 부가질량력과 관련한 유체력 미계수를 PMM 시험의 순수 좌우동요 시험과 순수 선수동요 시험을 통해 얻었으며, 그 외의 모든 유체력 미계수는 정적 시험을 통해 구하여 조종 시뮬레이션을 수행하였다.

모형시험은 울산대학교 해양공학수조에 설치된 X-Y 전차를 이용하여 MOERI container ship (KCS) 모형선에 대해 수행되었다. KCS 이외에도 KVLCC1, KVLCC2 선형의 조종성능 추정이 각 기관에서 수행되어 발표 및 토론하는 워크숍이 SIMMAN 2008이라는 이름으로 개최된 바 있으며, KCS 선형에 대해서는 최근에도 많은 연구가 진행되었다 (kim, et al., 2009; son, et al., 2010). 모형시험으로부터 얻어진 시뮬레이션 결과를 앞서 언급한 다른 연구 기관의 조종성능 추정 결과와 비교하였다.

2. 조종 운동방정식

본 연구에서 사용된 좌표계와 수학모델은 각각 Fig. 1과 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다. 수학모델은 선체와 프로펠러, 러더에 작용하는 유체력을 따로 분리하지 않고 모두 선체에 작용하는 것으로 가정하는 전선 수학 모델을 사용하였다.

식 (1)에서 m' 과 I_z' 은 각각 무차원화된 배수량과 무차원화된 Z축에 관한 관성모멘트를 나타내고 x_G' 은 무차원화된, 선체고정 좌표의 원점으로부터 무게중심까지의 거리를 나타낸다. X' , Y' 그리고 N' 은 각각 무차원화된 X, Y방향으로의 힘과 Z축에 대한 모멘트를 나타내고, 위첨자 \cdot 는 시간에 대한 미분을, 아래첨자 H, P, R은 각각 선체, 프로펠러, 타를 의미한다. 모형시험 시 선체에 작용하는 유체력과 프로펠러에 의한 추력, 그리고 타력은 식 (2)~(4)와 같이 표현할 수 있다. u , v , r , δ 그리고 η 는 각각 종방향 속도, 횡 방향 속도, 선수동요 각속도, 타각, 그리고 전진 비($\eta = u_0/u$)를 나타낸다.

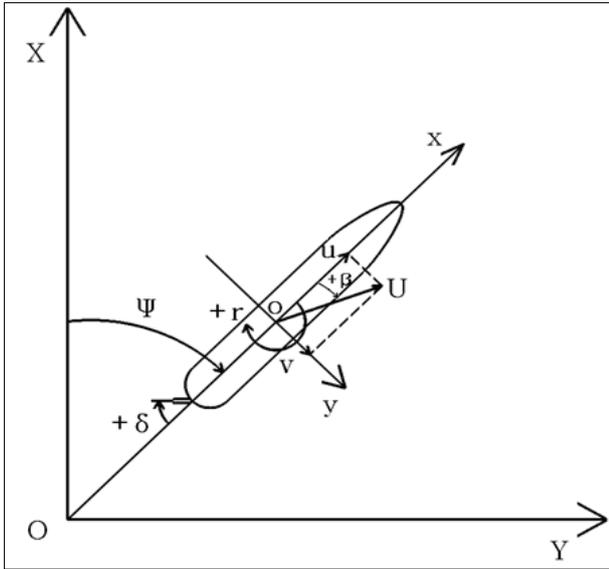


Fig. 1 Coordinate system

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

2.1 선체에 작용하는 힘

$$\begin{aligned} X_H' &= X_u' \cdot \dot{u}' + X_{vv}' \cdot v'^2 + X_{rr}' \cdot r'^2 \\ &\quad + X_{vr}' \cdot v'r' + X'(u) \\ Y_H' &= Y_0' + Y_v' \cdot v' + Y_{vvv}' \cdot v'^3 + Y_r' \cdot r' \\ &\quad + Y_{rrr}' \cdot r'^3 + Y_{rvv}' \cdot r'v'^2 + Y_{vrr}' \cdot v'r'^2 \\ &\quad + Y_\eta'(1-\eta) + Y_{\eta\eta}'(1-\eta)^2 + Y_v' \cdot \dot{v}' \\ &\quad + Y_r' \cdot \dot{r}' \\ N_H' &= N_0' + N_v' \cdot v' + N_{vvv}' \cdot v'^3 + N_r' \cdot r' \\ &\quad + N_{rrr}' \cdot r'^3 + N_{rvv}' \cdot r'v'^2 + N_{vrr}' \cdot v'r'^2 \\ &\quad + N_\eta'(1-\eta) + N_{\eta\eta}'(1-\eta)^2 + N_v' \cdot \dot{v}' \\ &\quad + N_r' \cdot \dot{r}' \end{aligned} \quad (2)$$

여기서 $X(u)'$ 는 저항시험 결과로부터 얻어진다.

2.2 프로펠러 힘

$$\begin{aligned} X_P' &= \frac{(1-t)\rho n^2 D_P^4 K_T(J_P)}{\frac{1}{2}\rho L^2 U^2} \\ Y_P' &= Z_P' = 0 \end{aligned} \quad (3)$$

2.3 타력

$$\begin{aligned} X_R' &= X_{\delta\delta}' \cdot \delta'^2 \\ Y_R' &= Y_0' + Y_\delta' \cdot \delta' + Y_{\delta\delta}' \cdot \delta'^3 + Y_{\delta\eta}'\delta(1-\eta) \\ &\quad + Y_{\delta\eta\eta}'\delta(1-\eta)^2 \\ N_R' &= N_0' + N_\delta' \cdot \delta' + N_{\delta\delta}' \cdot \delta'^3 + N_{\delta\eta}'\delta(1-\eta) \\ &\quad + N_{\delta\eta\eta}'\delta(1-\eta)^2 \end{aligned} \quad (4)$$

3. 구속모형시험

선박의 조종성능을 추정하기 위한 모형시험에는 여러 가지가 있다. 크게 모형선의 6자유도를 모두 구속하지 않은 상태에서 선박의 조종성능 특성을 직접 확인할 수 있는 자유항주시험과 모형선을 예인전차에 구속시켜 예인하면서 모형선에 작용하는 유체력을 계측하여 조종성 미계수를 구해 조종 시뮬레이션을 이용하여 조종성능을 예측하는 구속모형시험으로 나눌 수 있다. 일반적으로 구속모형시험에는 PMM 시험, 회전팔 시험(Rotating Arm Test), CMT 등이 있다. 많은 연구소와 조선소에서 가장 많이 사용하는 방법은 PMM 시험으로, 부가질량력과 감쇠력을 동시에 구할 수 있다는 장점이 있으나, 강제 동요 장치의 운동 진폭의 한계로 인하여 선수동요 각속도와 관련된 비선형 유체력 미계수를 구하는 데에는 한계가 있다. 선수동요 각속도와 관련된 좀 더 정확한 비선형 유체력 미계수를 획득하기 위해서 CMT나 회전팔 시험이 사용된다. 하지만 CMT나 회전팔 시험의 경우 정상선회 운동을 구현하기 때문에 횡 방향 가속도나 선수동요 각속도와 관련된 유체력 미계수를 구할 수 없다는 단점이 있다. 이에 본 연구에서는 CMT를 통해 정도 높은 선수동요 각속도에 대한 비선형 유체력 미계수를 구하도록 하였고, 가속도와 관련된 미계수를 PMM 시험을 통해 구하였다. CMT에 관한 자세한 모형시험 내용은 shin, et al. (2009)에 나타나 있다.

3.1 모형선 및 시험조건

본 연구에 사용된 모형선은 KCS로 수조의 크기를 고려하여 수선간 길이를 2m로 하여 제작되었다. 모형선의 주요 제원은 Table 1에 나타나 있으며, 시험은 프로펠러와 타가 모두 부착된 상태에서 수행되었다 (kim, 1988).

Fig. 2는 조종 시험을 위해 울산대학교 해양공학수조의 X-Y 전차에 모형선이 설치된 모습을 나타내며, 조종 시험을 시행하기에 앞서 경사 시험과 종 관성반경 시험, 자유 횡 동요 감쇠 시험을

통해 모형선의 무게중심과 중 관성반경, 그리고 횡 동요 주기를 대상 선형에 일치시켰다.

Fig. 2는 조종 시험을 위해 울산대학교 해양공학수조의 X-Y 전차에 모형선이 설치된 모습을 나타내며, 조종 시험을 시행하기에 앞서 경사 시험과 중 관성반경 시험, 자유 횡 동요 감쇠 시험을 통해 모형선의 무게중심과 중 관성반경, 그리고 횡 동요 주기를 대상 선형에 일치시켰다.

본 연구에서 수행한 구속모형시험은 크게 정적 시험, CMT, 그리고 조화 운동 시험 이렇게 세 가지로 분류할 수 있다. 정적 시험은 다시 타각 시험과 편류각 시험으로 나눌 수 있고, CMT는 편류각의 존재 여부에 따라 두 종류로 분류할 수 있다. 조화 운동 시험은 모형선을 조화 함수 형태의 강제동요를 가하고 예인하면서 유체력을 계측하는 시험으로, 순수 좌우동요 시험과 순수 선수동요 시험이 있다. CMT를 포함한 정적 시험에서는 유체력 계측을 위하여 전후 동요(Surge), 좌우 동요(Sway), 그리고 선수 동요(Yaw)만을 구속하여 시험을 수행하였으며, 조화 운동 시험에서는 선박의 전복을 고려하여 횡 동요(Roll) 또한 구속한 상태로 진행하였다. 모형선 프로펠러의 회전수는 모형선 자항점에 일치시켰으며, 이때의 회전수는 19.8rps이다. 모형선 프로펠러와 러더는 울산대학교 해양공학수조에서 보유하고 있는 자유항주시스템을 이용하여 구동하였으며, 자유항주시스템에 대한 자세한 내용은 shin and kim (2008)에 나타나 있다.

Table 2~4에는 수행된 정적 시험, CMT, 그리고 조화 운동 시험 조건들을 정리하여 나타내었다.

Table 1 Principal dimensions of KCS

	Prototype	Model
Scale	1	115
Lpp(m)	230	2
B(m)	32.2	0.28
T(m)	10.8	0.0939
CB	0.651	
GM(m)	0.6	0.00522
Speed	24 knots	1.1512 m/s

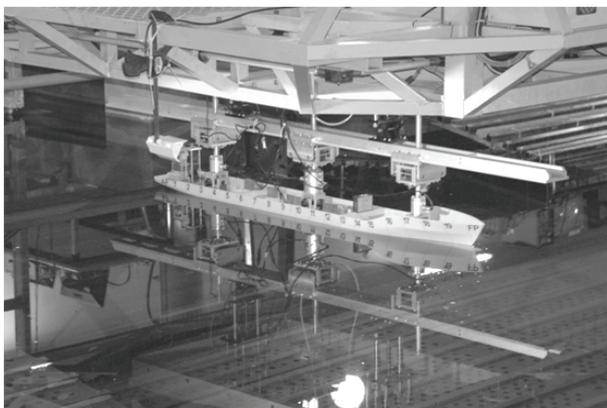


Fig. 2 Installed model ship at X-Y Carriage

Table 2 Test program-Static test

Type of test	Yaw rate [-]	Drift Angle [deg]
Static Rudder	0	0
Speed and Rudder	0	0
Static Drift	0	$\pm 24, \pm 20, \pm 16, \pm 12, \pm 10, \pm 8, \pm 6, \pm 4, \pm 2, 0$

Table 3 Test program-Circular Motion Test

Type of test	Yaw rate [-]	Drift Angle [deg]	Rudder Angle [deg]	Model Speed [m/s]
CMT	$\pm 0.4, \pm 0.3, \pm 0.2, \pm 0.1$	0	0	1.1512
CMT with Drift	0.2~0.4	$\pm 10, \pm 20$	0	1.1512

Table 4 Test program-Harmonic motion test

Type of test	Drift Angle [deg]	Rudder Angle [deg]	Independent variable (Non-dim.)	Model Speed [m/s]
Pure Sway	0	0	$-v'$ 0.1~0.5	1.1512
Pure Yaw	0	0	$-r'$ 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.7	1.1512

3.2 정적 시험 결과

정적 시험의 경우, 예인 전차의 등속 구간에서 얻어진 유체력을 시간 평균화 작업을 하여 간단하게 신호해석을 하게 된다. 이 같은 시간 평균화 작업을 거친 유체력을 무차원화한 이후, 최소 자승법을 이용해 곡선근사하여 최종적으로 유체력 미계수들을 획득하게 된다. Fig. 3~5는 타각 시험을 통해 얻어진 무차원화된 횡 방향 힘과 선수동요 방향 모멘트를 곡선근사 결과와 함께 나타낸 그래프이며, Fig. 6에서는 정적 편류각 시험을 통해 얻어진 결과를 나타냈다.

3.3 Circular Motion Test 결과

CMT 역시 정적 시험과 마찬가지로 등각속도 구간에서 얻어진 유체력을 시간 평균화 작업을 통하여 간단하게 신호해석을 하게 된다. Fig. 7에서는 편류각이 없는 상태에서 CMT를 수행했을 때의 횡 방향 힘과 선수동요 방향 모멘트를 곡선근사와 함께 나타내었고, Fig. 8과 9에서는 각각 편류각이 있는 상태에서의 횡 방향 힘과 선수동요 방향 모멘트를 마찬가지로 곡선근사와 함께 표현하였다.

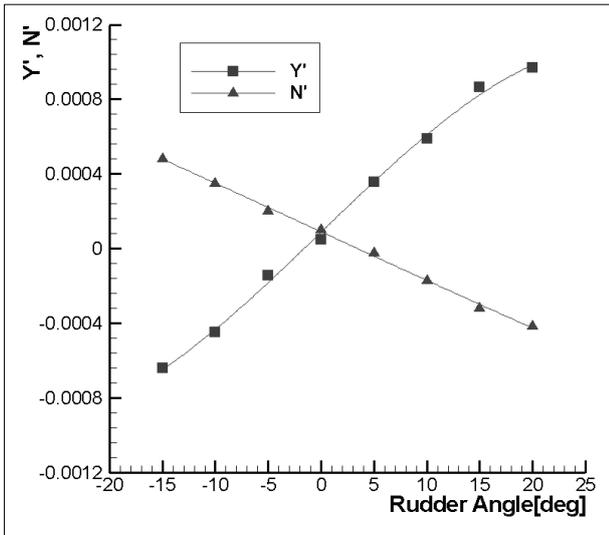


Fig. 3 Y' and N' with respect to δ variation at $\eta=1$

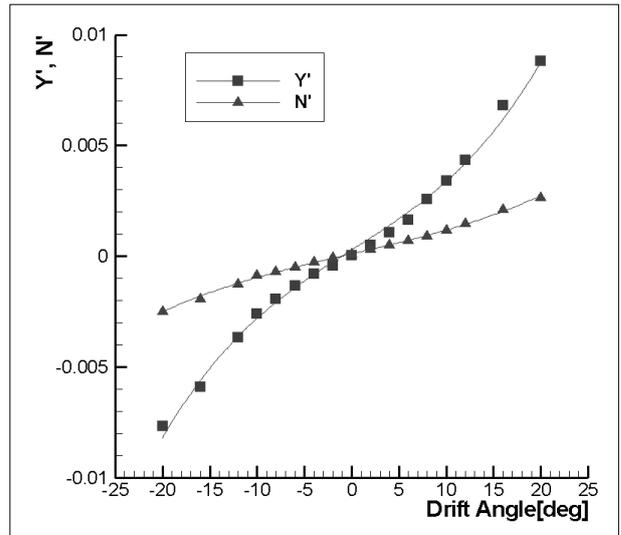


Fig. 6 Y' and N' with respect to β variation

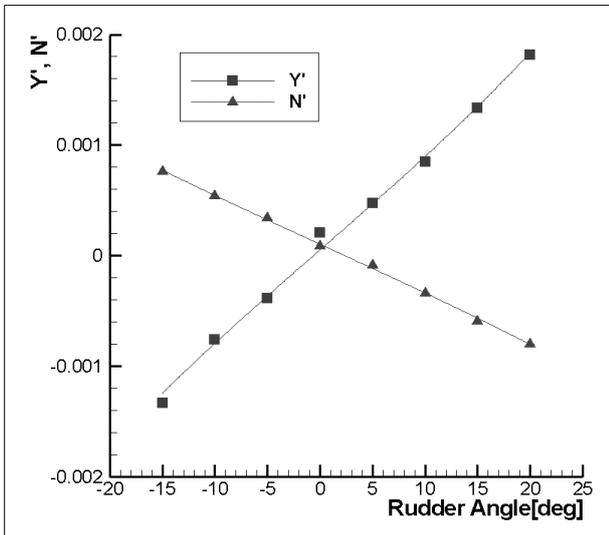


Fig. 4 Y' and N' with respect to δ variation at $\eta=1.5$

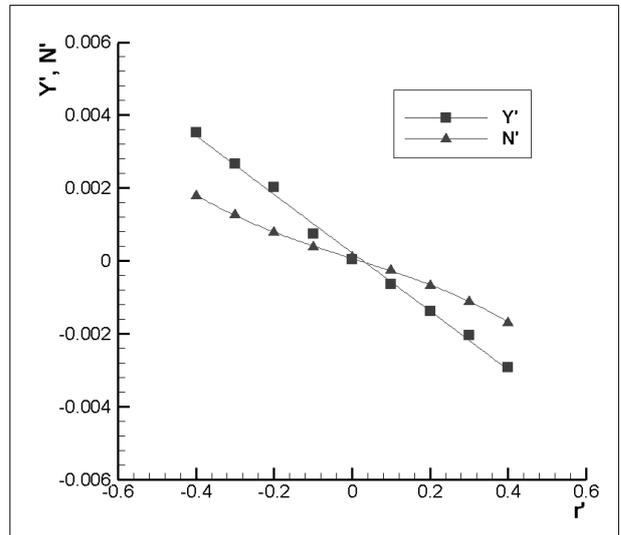


Fig. 7 Y' and N' with respect to r' variation

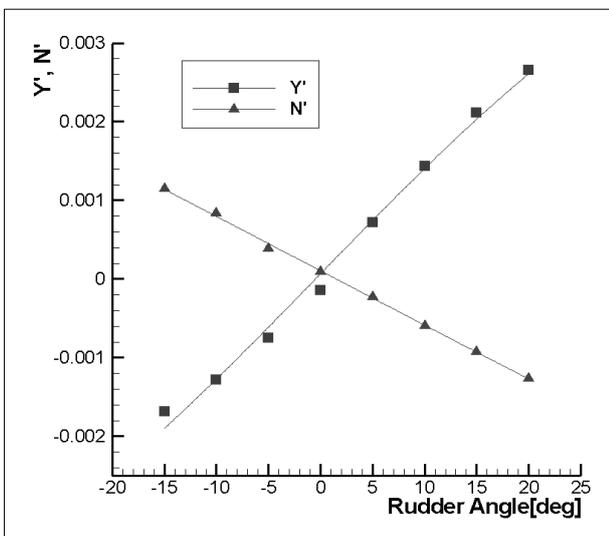


Fig. 5 Y' and N' with respect to δ variation at $\eta=2$

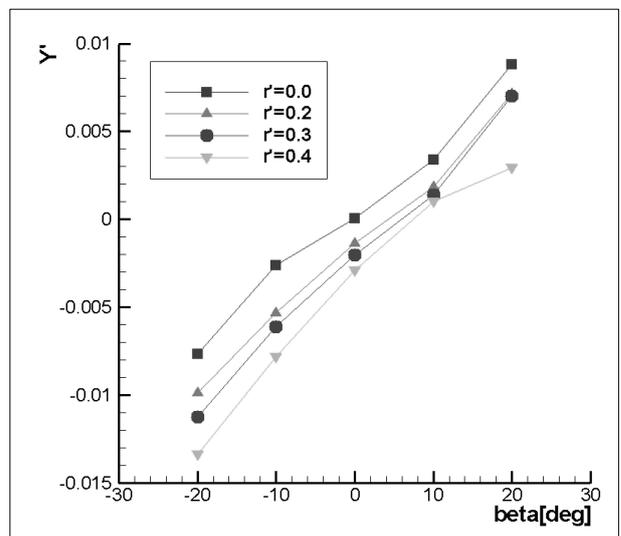


Fig. 8 Y' with respect to r' and β variation

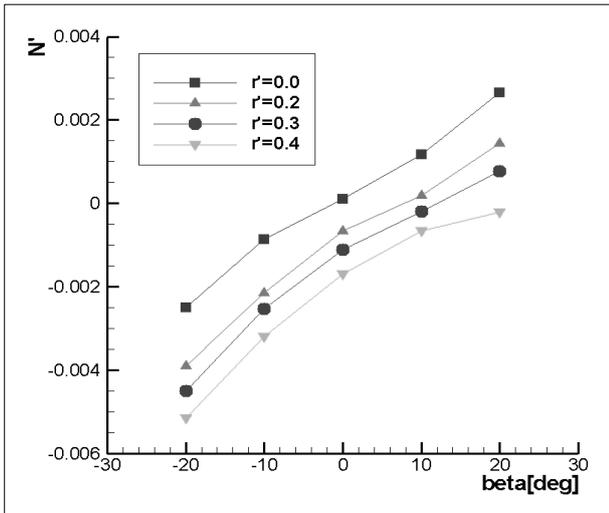


Fig. 9 N' with respect to r' and β variation

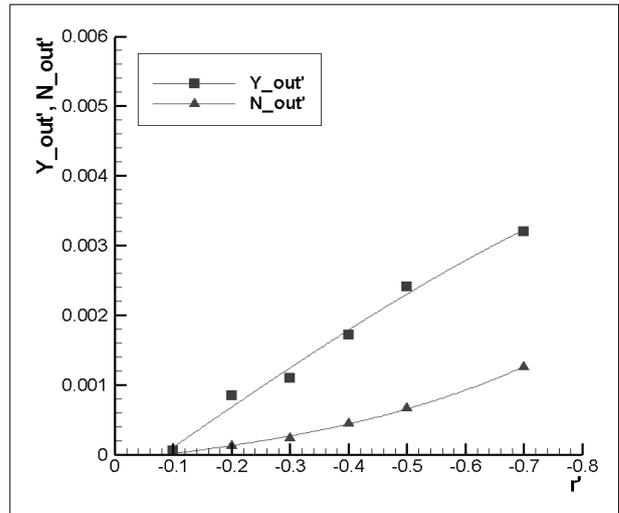


Fig. 12 Out-of-phase component of Y' and N' with respect to r' variation

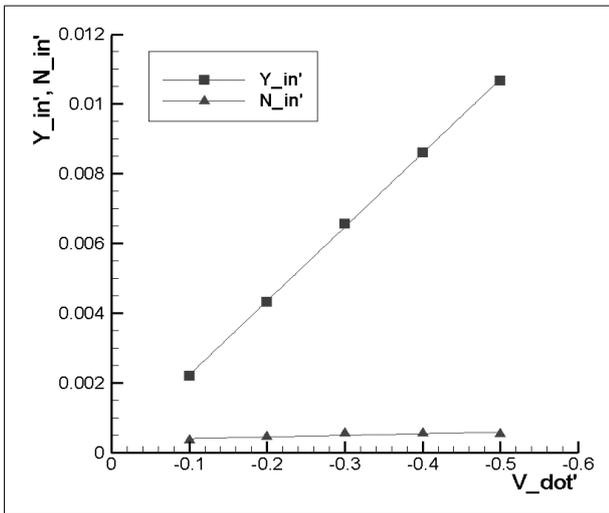


Fig. 10 In-phase component of Y' and N' with respect to v' variation

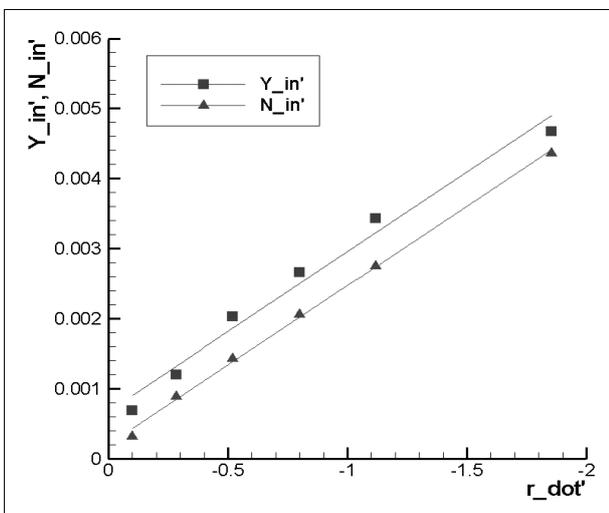


Fig. 11 In-phase component of Y' and N' with respect to r' variation

3.4 조화 운동 시험 결과

PMM 시험 중 조화 운동 시험의 경우에는 검력계로부터 계측된 신호를 0차 및 1차 푸리에 적분 값을 사용하게 되는데, 이는 검력계로 계측한 신호가 모형선에 작용하는 부가 질량력과 감쇠력을 함께 포함하고 있기 때문이다. 이 때문에 푸리에 적분을 통해서 이 값들을 분리해냄으로써 유체력 미계수를 획득하게 된다. Fig. 10에서는 무차원화된 횡 방향 가속도에 따른 횡 방향 힘과 선수동요 방향 모멘트의 in-phase 성분을 곡선근사와 함께 나타냈고, Fig. 11과 Fig. 12는 무차원화된 선수동요 속도에 따른 횡 방향 힘과 선수동요 방향 모멘트의 in-phase 성분과 out-of-phase 성분을 나타낸다.

4. 조종 시뮬레이션

PMM 시험과 CMT를 통해 얻어진 조종성 미계수를 이용하여 KCS 선형의 조종성능 추정을 위한 조종 시뮬레이션을 수행하였다. 조종 시뮬레이션에 필요한 저항, 자항 및 프로펠러 단독 시험 자료는 NMRI와 한국해양연구원 해양시스템안전연구소의 모형시험 결과를 사용하였다. 조종 시뮬레이션 결과는 같은 선형으로 모형시험을 실시한 타 기관에서의 추정 결과들과 비교하였다.

4.1 선회성능

Fig. 13과 14에는 각각 타를 우현으로 35도 회전하였을 때의 선회 궤적을 자유항주시험과 구속모형시험과 비교하여 나타내었고, Fig. 15와 16에서는 전진거리와 전술선회경을 비교하여 나타내었다. FRT는 자유항주시험을 나타내고 M은 모형선 자항점을 나타내며 S는 실선 자항점을 나타낸다. 구속모형시험의 경우 모두 모형선 자항점에서 실시되었다.

컨테이너선의 경우 GM 값이 작기 때문에 선회 시 횡 동요가 크게 일어나며, 일반적으로 횡 동요가 큰 선박일수록 선박의 선회성능이 좋아지는 효과가 나타난다 (Sohn & Kim, 2003). 본 연구 결과 역시 IMO 기준 (전진거리 : 4.5Lpp, 전술선회경 : 5.0Lpp)보다 상당히 작은 값을 추정하고 있다. IH의 경우 설계 속도인 24knots보다 작은 값인 18.6knots에서 실험을 수행하였으며, GM 값 또한 실선 기준으로 5.126m에 해당하는 값을 사용하여 자유항주시험 시 횡 동요가 상당히 작게 나타났을 것으로 예상된다. 때문에 선회성능이 상대적으로 나쁘게 추정된 것으로 판단할 수 있다.

전진거리의 경우, 본 연구를 비롯하여 대부분의 연구기관에서 수선 간 길이의 3배 정도에 해당하는 추정 결과를 가져왔다. 전술선회경의 경우 NMRI의 추정 결과가 다소 선회성능이 좋지 못한 것으로 나타났다. NMRI의 경우 또한 GM 값을 실선 기준으로 7.326m에 해당하는 큰 값을 사용하였기 때문에 상대적으로 선회성능이 나쁘게 추정된 것으로 판단할 수 있다. 본 연구결과는 MOERI의 3자유도와 4자유도 추정 결과보다 전진거리 값을 크게 추정하고 있는데, 이는 본 연구에서 사용한 시뮬레이션이 실선 스케일에서의 시뮬레이션이므로 타각 회전속도가 작기 때문에 나타난 결과로 판단할 수 있으며, 전술선회경과 이전거리 값은 상당히 좋은 일치를 보여주고 있다. NMRI/NMRI는 NMRI에서 시험과 조종 시뮬레이션을 수행한 결과이고, NMRI/MOERI는 NMRI에서의 시험 결과로 얻어진 유체력 미계수를 이용하여 MOERI에서 시뮬레이션을 한 결과이다. 이 결과를 통해서 같은 시험결과를 이용하여 조종 시뮬레이션을 하더라도 각 기관마다 그 정도가 차이가 있는 것을 알 수 있다. 이러한 현상은 SIMMAN2008에서도 발표된 바가 있다 (kim, et al., 2009).

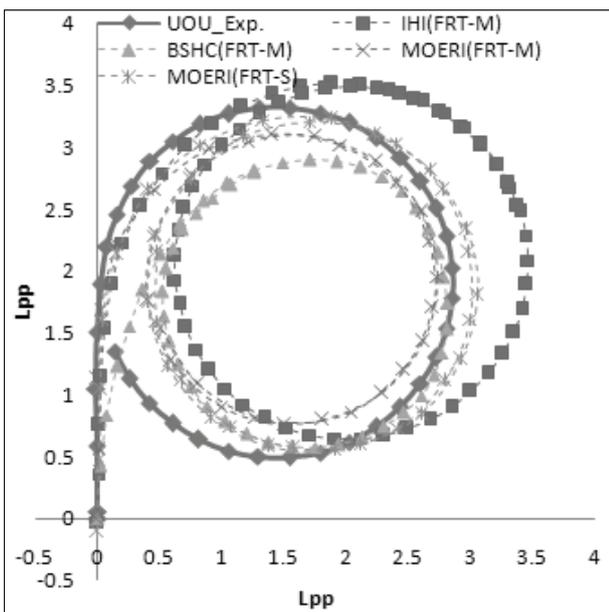


Fig. 13 Comparison of 35° starboard turning trajectory (free-running test based)

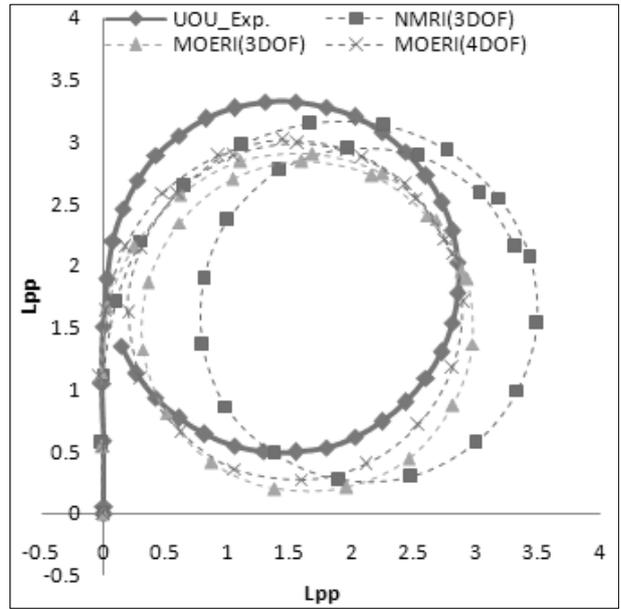


Fig. 14 Comparison of 35° starboard turning trajectory (captive model test based)

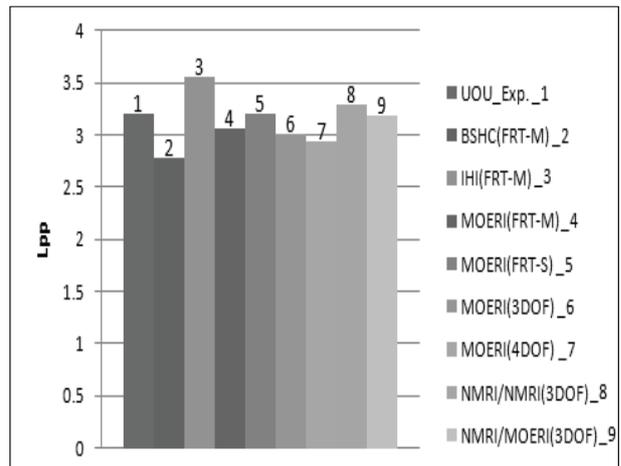


Fig. 15 Comparison of advance of 35° starboard turning

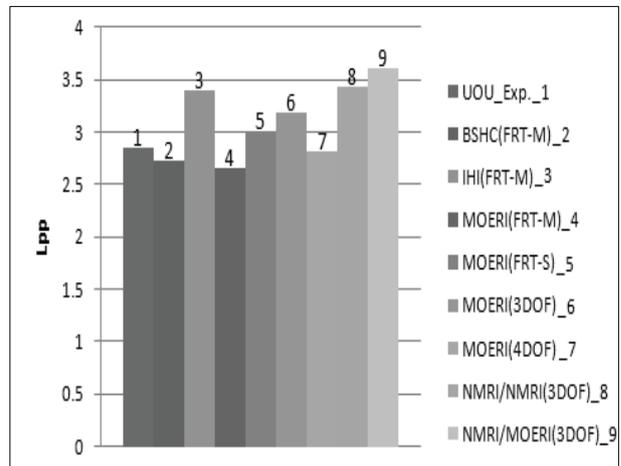


Fig. 16 Comparison of tactical diameter of 35° starboard turning

4.2 지그재그 성능

Fig. 17과 18은 각각 자유항주시험과 구속모형시험의 지그재그 성능 궤적을 비교한 그래프이고 Fig. 19와 20은 각 기관별 오버슈트각 추정 결과를 그래프로 도시한 것이다. 각 기관별, 모형시험 종류별 차이가 선회성능에서보다 더욱 크게 나타났고, 특히, 본 연구에서 추정한 제1오버슈트각(1st Overshoot Angle)의 경우 타 기관들의 결과보다 다소 크게 추정하고 있으며, MOERI에서 수행한 실선 자항점에서의 자유항주시험 결과와 같이 IMO 기준인 25도를 약간 넘어서고 있다. 다른 기관들과의 차이가 생기는 원인으로는 모형선 자항점의 차이, 모형선 크기의 차이에 의한 유체력 미계수 차이, 횡 동요 중심의 위치 오차 등이 있을 수 있다. 또한, 본 연구는 실선으로의 확장으로 시뮬레이션을 수행하였지만, Fig. 18에 나타난 타 기관들의 경우 모형 스케일로 시뮬레이션을 수행함으로써 타 회전율이 크기 때문에 이에 의하여 오버슈트각이 작게 추정될 수 있다. 한편, 일반적으로 횡 동요 운동이 발생할 경우 선회성능이 좋아지는 반면 지그재그 성능은 나빠지는 것으로 알려져 있으며(kim, et al., 2010), 이와 같은 특성이 잘 나타난 것을 확인할 수 있다. 이처럼 횡 동요가 큰 선박일수록 이에 의한 영향이 조종성능에 미치는 영향이 크기 때문에 횡 동요를 포함한 4자유도 조종성능 추정을 통해 본 연구와 비교하는 것이 필요할 것으로 생각된다. 앞서 언급한 것과 마찬가지로 같은 시험결과를 이용하여도 기관마다 시뮬레이션 방법의 차이로 인해 조종성능 추정 결과가 다르게 나타나는 것을 확인할 수 있으며, KCS 뿐만 아니라 시험 결과가 공개된 KVLCC1과 KVLCC2 또한 각 기관에서 추정한 결과 또한 상당히 차이가 있는 것이 알려졌다. 추후 이에 대한 논의가 진행될 예정이다 (kim, et al., 2009).

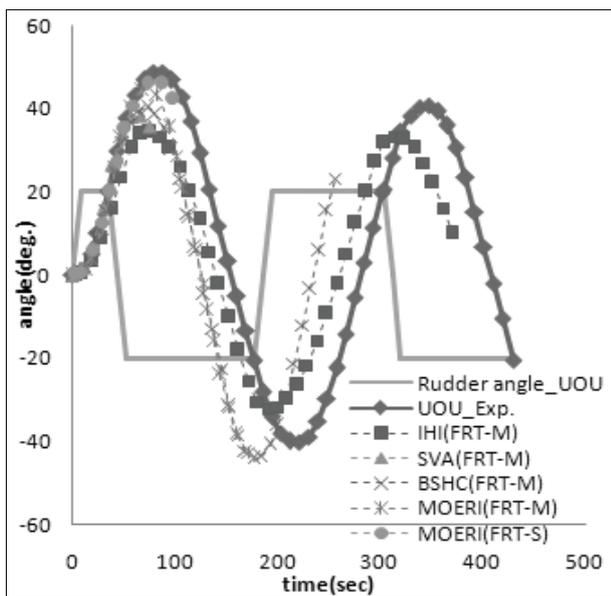


Fig. 17 Comparison of 20° zig-zag trajectory (free-running test based)

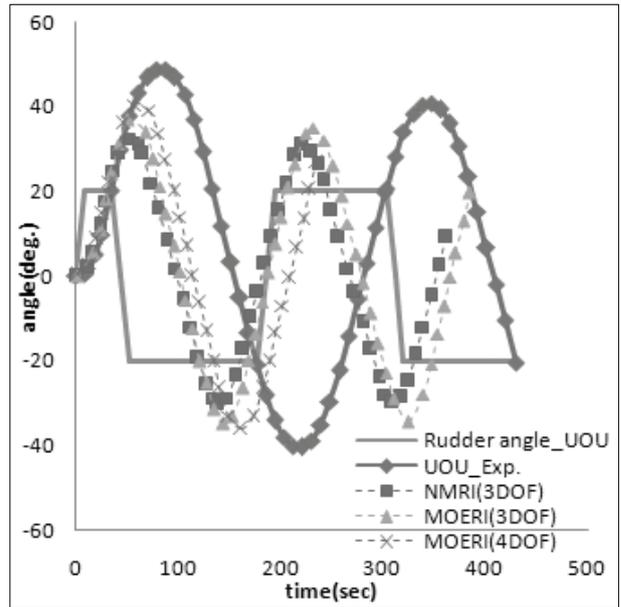


Fig. 18 Comparison of 20° zig-zag trajectory (captive model test based)

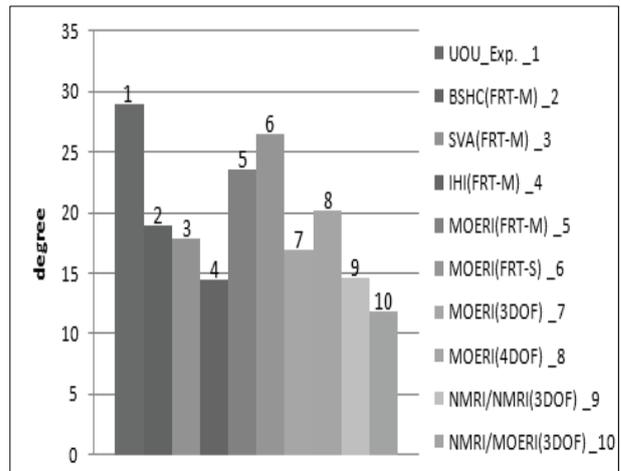


Fig. 19 Comparison of 1st overshoot angle of 20° zig-zag

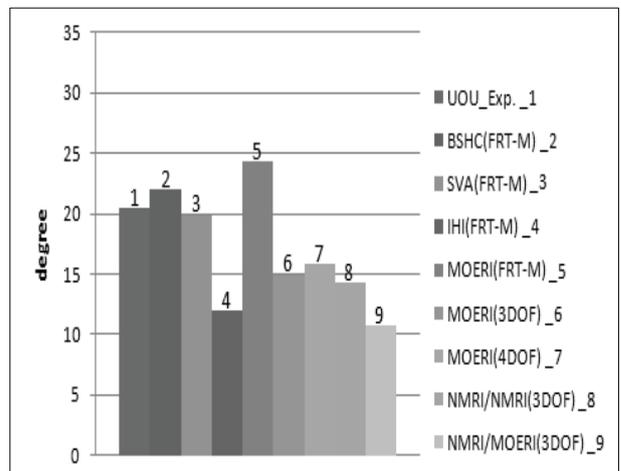


Fig. 20 Comparison of 2nd overshoot angle of 20° zig-zag

5. 결론 및 향후과제

본 연구에서는 공개된 KCS 선형에 대하여 구속모형시험을 통해 조종성능을 추정하였다. 추정 결과는 타 연구 기관들에서의 결과들과 비교하였고, 그 추정 정도에서 다소 차이가 있음을 확인할 수 있었다. 선회성능의 경우 MOERI의 자유항주시험과 유사한 결과를 보였으며, 20° 지그재그 성능에서 제1오버슈트각에서는 역시 MOERI 실선 자항점에서의 자유항주시험과 좋은 일치를 보여주고 있다. 앞서 언급한 바와 같이 기관마다 조종성능 추정 정도가 상당히 다른 것을 볼 수 있으며, 이에 대해서는 추가적인 연구와 논의가 필요하다.

실제로 시험을 수행할 때 검력계의 횡 동요 중심을 선박의 횡 동요 운동중심에 두기 위하여 노력하였지만, 일반적으로 선박의 운동중심은 대략 무게 중심에서 수면 사이에 있는 것으로 알려져 있고, 이를 정확히 찾는다는 것은 굉장히 힘들기 때문에 이에 의해서 횡 동요의 정도가 왜곡될 가능성이 존재한다. 또한, 본 연구를 수행할 때 조화 운동 시험을 제외하고는 모두 횡 동요를 구속하지 않은 상태에서 진행하였기 때문에 횡 동요의 영향이 어느 정도 포함되어 있다고 할 수 있으나, 시뮬레이션 과정에서 횡 동요의 영향을 고려할 수 없기 때문에 추후 4자유도 방정식을 이용한 조종성능 추정이 필요할 것으로 생각된다. 또한, 본 연구에서는 실선으로의 확장으로 시뮬레이션을 수행하였다. 향후, 모형선 스케일에서의 시뮬레이션을 통하여 타 기관과의 비교를 시도할 것이다.

한편, 자항점에 따른 조종성능 변화는 아직도 연구 과제로 남아있으며, 여러 자항점에서 조종성능이 어떻게 변화하는가에 대한 연구가 필요할 것으로 생각한다. 또한, 본 연구에서는 모형선 자항점에서 시험을 수행하였기에 추후 저항, 자항 및 프로펠러 단독 시험을 수행하여 실선 자항점에서의 시험 결과를 비교할 것이다.

참고 문헌

Kim, S.Y., 1988. Development of Maneuverability Prediction Technique. *Korea Institute of Machinery & Materials Report UCE337-1082.D*.

- Kim, Y.G. et al., 2009. Prediction of Maneuverability of KCS by CPMC Captive Model Test. *Journal of Society of Naval Architects of Korea*, 46(6), pp.553-561.
- Kim, Y.G. et al., 2010. Prediction of Maneuverability of KCS about 4 Degree of Freedom. *2010 The Korea Association of Ocean Science and Technology Societies*, Jeju, Republic of Korea, 2000-2008 June 2010.
- Sohn, K.H. & Kim, Y.M., 2003. A Study on New Mathematical Model of Ship Manoeuvring Motion Taking Coupling Effect of Roll into Consideration. *Journal of Korean Navigation and Port Research*, 27(5), pp.451-458.
- Son, N.S. Kim, S.Y. Kim, Y.G. & Oh, B.E., 2010. On the Propulsion Support System for Free Running Model Test in the Propulsion Point of Real Ship. *2010 The Korea Association of Ocean Science and Technology Societies*, Jeju, Republic of Korea, 2035-2043 June 2010.
- Shin, H.K. & Kim, M.S., 2008. Development of Free Running System for 2m-class Ship Models. *Journal of Society of Naval Architects of Korea*, 45(3), pp.247-257.
- Shin, H.K. & Jung, J.H., 2010. Circular Motion Test Simulation of KVLCC1 Using CFD. *Journal of Society of Naval Architects of Korea*, 47(3), pp.377-387.
- Shin, H.K. Jung, J.H. & Lee, H.Y., 2009. Prediction of Ship Maneuverability by Circular Motion Test. *Journal of Society of Naval Architects of Korea*, 46(3), pp.259-267.



신현경

최시훈