

Circular Motion Test 를 이용한 선박의 조종성능 추정에 관한 연구

신현경^{†*}, 정재환*, 이호영*

울산대학교 조선해양공학부*

Prediction of Ship Maneuverability by Circular Motion Test

Hyunkyong Shin^{†*}, Jae-Hwan Jung* and Ho-Young Lee*

School of Naval Architecture and Ocean Engineering, University of Ulsan*

Abstract

Recently, ship maneuverability has been very important issue due to accidents of frequent occurrence at sea. IMO standards for ship maneuverability were applied from January 1, 2004. In this study, maneuverability model tests were considered through a 2m-class KVLCC1 in the Ocean Engineering Wide Tank at University of Ulsan(UOU). Circular Motion Test(CMT) was performed to obtain the maneuvering coefficients by using X-Y Carriage. The trajectories simulated using the coefficients are compared with those of PMM test and free running test.

※Keywords: Maneuverability(조종성능), CMT(Circular Motion Test), PMM Test(PMM 시험), Maneuvring coefficients(조종성 미계수), Whole ship model(급수형 수학모형)

1. 서론

최근 대형 선박의 개발과 조종성능에 대한 관심의 증가에 따라 선박의 조종성능을 추정하기 위해 여러 방법들이 사용되고 있다. 가장 보편적인 방법은 PMM(Planer Motion Mechanism) 시험에 의해 조종운동 방정식의 조종성 미계수를 도출하고, 조종 시뮬레이션을 수행하여 선박의 조종성능을

추정하는 것이다. 최근에는 소프트웨어의 강력한 발전에 힘입어 CFD(Computational Fluid Dynamics)를 이용한 조종성능 추정의 단계까지 이르렀다. 본 논문에서는 선박의 조종성능 추정을 위해 울산대학교 해양공학 광폭구조의 X-Y 전차(Carriage)와 Y 전차 내부의 회전대(Turn Table)를 이용한 Circular Motion Test(이하 CMT)를 실시하여 국내 최초로 이를 이용한 조종 시뮬레이션을 수행하였다. CMT 는 모형선에 일정한 선수동요 각속도를 주어 모형선을 원운동 시키는 실험을 의미한다. 일정한 선수동요 각속도는 선회 반경과 관

접수일: 2008 월 11 월 28 일, 승인일: 2009 년 5 월 26 일

†교신저자: hkshin@mail.ulsan.ac.kr, 052-259-2696

련되기 때문에 울산대학교 해양공학광복수조의 크기(30m x 20m)를 고려하여 2m 급 KVLCC1 모형 선을 사용하였다(ITTC 2008a). 모형 프로펠러 회전 수에 따른 CMT 결과와 조종성 미계수의 차이를 비교해 보고, 조종 시뮬레이션을 실시하였다. 그 결과를 같은 선형으로 모형시험을 수행한 다른 연구 기관의 조종성능 추정 결과와 비교하였다. CMT 를 통해 도출된 조종성 미계수들로 조종 시뮬레이션을 실시하여 CMT 를 이용한 2m 급 모형 선의 조종성능 추정 가능성을 확인하였고, CMT 시험 기법을 정립하였다.

2. 조종 운동방정식

2.1 좌표계

본 논문에서는 선체의 중앙부가 3 자유도 방정식의 원점인 이동 좌표계를 사용하였다. 이때 사용된 좌표계는 Fig. 1 과 같다.

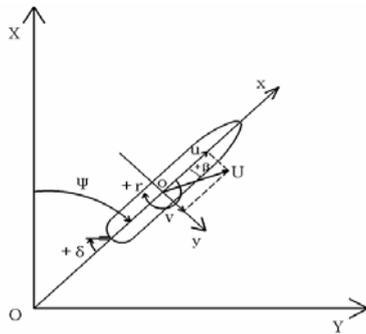


Fig. 1 Coordinate system

2.2 기본 수학적모형

선박의 조종성능 추정을 위해 사용되는 수학적모형에는 여러 가지가 있지만 본 논문에서는 특정한 조건, 즉 정해진 타와 프로펠러를 사용하여 조종성능을 추정하는데 유리한 급수형 수학적모형을 사용하였다(Kim 1988). 저항, 자항 및 프로펠러 추력을 제외한 모든 힘들을 선체에 작용하는 힘만으로 추정을 하는 것이 선체, 프로펠러 및 타의 영향을 분리하여 해석하는 모듈형 수학적모형(Modular Model)과 차이가 있다. 전후동요, 좌우동요, 선수동요의 3 자유도 운동 방정식은 식(1)과

같이 기술 된다

$$\begin{aligned} m'(\ddot{u}' - v' r' - x_G r'^2) &= X' \\ m'(\ddot{v}' + u' r' + x_G r') &= Y' \\ I_{ZZ}' \dot{r}' + m' x'_G (\dot{v}' + r' u') &= N' \end{aligned} \tag{1}$$

식(1)에서 X, Y 그리고 N 은 X, Y 방향으로의 힘과 Z 축에 대한 모멘트를 의미한다. 위 첨자 ' 는 무차원 계수를 나타내고, · 은 시간에 대한 미분을 나타낸다. 무차원화는 선박의 길이 (L)와 속도(U)로 식(2)와 같이 하였고, u, v, r , δ, 그리고 η 은 X, Y 방향으로의 속도, 선수동요 각속도, 타각, 그리고 η = u₀/u (u₀=설계속도)를 나타낸다.

$$\begin{aligned} X', Y' &= X, Y / (\frac{1}{2} \rho L^2 U^2) \\ N' &= N / (\frac{1}{2} \rho L^3 U^2) \\ u', v' &= u, v / (U) \\ r' &= r / (\frac{U}{L}) \end{aligned} \tag{2}$$

동력학적 변위에 대한 힘과 모멘트의 편미분 계수(조종성 미계수)는 식(3)과 같은 첨자로 표기 하였다. 모형시험 시 프로펠러에 의한 추력과 타에 의해 선체에 작용하는 선체 길이 방향 (X'), 횡 방향 힘(Y')과 선수동요 방향 모멘트 (N')는 식(4)과 같이 표현된다.

$$\frac{\partial Y'}{\partial v'} = Y'_v \quad \frac{\partial N'}{\partial v' \partial r'^2} = N'_{vrr} \quad etc. \tag{3}$$

$$\begin{aligned} X' &= X'_u \dot{u}' + X'_{vv} v'^2 + X'_{rr} r'^2 + (X'_{vr} - Y'_{v'}) v' r' + X'(u) \\ &\quad + (1-t) \rho^2 D_p^4 K_T (J_P) / (\rho L^2 U^2 / 2) + X'_{\delta\delta} \delta^2 \end{aligned} \tag{4}$$

$$\begin{aligned} Y' &= Y'_0 + Y'_v \dot{v}' + Y'_r \dot{r}' + Y'_v v' + Y'_{vvv} v'^3 \\ &\quad + (Y'_r + X'_{uu}) r' + Y'_{rrr} r'^3 + Y'_{rvv} r' v'^2 + Y'_{vrr} v' r'^2 \\ &\quad + Y'_{\delta\eta} \delta(1-\eta) + Y'_{\delta\eta\eta} \delta(1-\eta)^2 \\ &\quad + Y'_{\eta} (1-\eta) + Y'_{\eta\eta} (1-\eta)^2 + Y'_{\delta} \delta + Y'_{\delta\delta\delta} \delta^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 N' = & N'_0 + N'_v \dot{v} + N'_r \dot{r} + N'_v v' + N'_{vvv} v'^3 \\
 & + N'_r r' + N'_{rrr} r'^3 + N'_{rvv} r' v'^2 + N'_{vrr} v' r'^2 \\
 & + N'_\eta (1-\eta) + N'_{\eta\eta} (1-\eta)^2 + N'_\delta \delta + N'_{\delta\delta\delta} \delta^3 \\
 & + N'_{\delta\eta} \delta(1-\eta) + N'_{\delta\eta\eta} \delta(1-\eta)^2
 \end{aligned}$$

3. Circular Motion Test (CMT)

일반적으로 조종성능 추정을 위한 모형시험으로 PMM 시험, 회전팔 시험, 그리고 CMT(Circular Motion Test) 등과 같은 구속모형 시험과 자유 항주시험(Free Running Test)이 있다. 가장 많이 사용되는 방법은 PMM 시험으로 부가 질량력과 감쇠력을 동시에 구할 수 있는 장점이 있지만, 강제 동요 장치의 운동 진폭의 한계 때문에 비선형 유체력을 구하는 데는 한계가 있다. 좀 더 정확한 비선형 유체력의 획득을 위해 CMT 나 회전팔 시험이 사용된다(Lee 1997).

CMT 는 X-Y Carriage 와 회전대를 이용하여 모형선을 예인하는 동시에 선수각을 변화시켜 모형선의 정상 선회 운동을 구현하는 시험 방법이다. 모형선은 Y Carriage 와 회전대의 중앙에 PMM 시험장비와 동일하게 짐벌(gimbal)과 로드셀(Loadcell)이 부착된 3 개의 지지대와 연결된다. 선회운동 중 모형선에 작용하는 횡 방향 힘 (Y')과 선수동요 방향 모멘트 (N')를 로드셀을 통해 계측한다. 로드셀을 통해 계측된 신호는 정적 시험과 동일한 방식으로 등속 구간의 힘의 평균값으로 간단하게 해석된다.

CMT 에서 선수동요 각속도(r)와 선회 반경(R)과의 관계는 식(5)와 같다(SNAME 1989).

$$r' = \frac{L}{R} \quad r = \frac{U}{R} \quad (5)$$

무차원화 된 선수동요 각속도(r')를 0.1~0.5 구간에서 0.1 단위로 변화시키면 식(5)에 의해 선회반경이 결정되고 또한 식(2)에 의해 회전대의 회전 각속도가 정해진다. 즉, X,Y 방향으로의 이동과 동시에 회전대가 회전함에 따라 초기

편류각(β)이 0 이면 모형선은 항상 선회 궤적에 접하면서 선회하게 된다.

무차원화 된 힘과 모멘트는 최소 자승법에 의해 r' 에 대한 Y', N' 등의 관계로 곡선근사 하여 선수동요 각속도에 관련되는 조종성 미계수, $N_r, Y_r, N_{rrr}, Y_{rrr} \dots$ 등을 얻을 수 있다. 그리고 모형선이 선회할 때 초기 편류각(β)이 정해지면, 선회운동 기간 동안 일정한 편류각으로 선회 운동이 가능하다. 이 시험을 통해 좌우동요 속도와 선수동요 각속도가 연성된 조종성 미계수 획득도 가능하다. 즉, PMM 시험의 동적 시험 항목 중 선수동요/ 편류각 조합시험을 통해서 얻을 수 있는 $N_{vrr}, Y_{vrr}, N_{rvv}, Y_{rvv}$ 과 같은 비선형 감쇠력 계수를 정확하게 얻을 수 있다(Sung and Rhee 2004). 적절한 선수동요 각속도와 편류각의 변화에 따라 계측되는 힘은 식(6)으로 표현될 수 있다.

$$\begin{aligned}
 Y_{R'} = & Y'_o + Y'_v v' + Y'_r r' + Y'_{vvv} v'^3 + Y'_{vrr} v' r'^3 \\
 & + Y'_{vrr} v' r'^2 + Y'_{vrr} v' r'^2 r' + \dots \quad (6)
 \end{aligned}$$

3.1 모형선

CMT 에는 광범위한 선수동요 각속도의 범위에서의 선회 운동 구현과 수조의 크기(30m x 20m)를 고려하여 2m 급 모형선 KVLCC1 을 사용하였다(ITTC 2008a). CMT 에 사용 된 모형선, 타 그리고 모형 프로펠러는 $\lambda = 1/160$ 의 축척 비로 제작되었으며 자세한 KVLCC1 의 제원은 Table 1 과 같다.

Table 1 Principal particulars of MOERI 300K VLCC (KVLCC1)

	Ship	Model(UOU)
Scale Ratio	160	
Speed	15.5knots	0.63 m/s
Lpp(m)	320	2
B (m)	58	0.3625
T (m)	20.8	0.13
C_b	0.8101	

3.2 시험 조건

CMT 는 프로펠러와 타가 부착된 모형선을 이용하여 실시되었다(Kim 1988). 모형 시험 전 경사 시험과 종 관성 반경 시험을 통해 모형선의 무게 중심과 관성 반경을 실선의 해당 위치와 일치시켰다. 모형 프로펠러의 회전수는 모델 자항점(Model Self Propulsion Point, 이하 MSPP)과 실선 자항점(Ship Self Propulsion Point, 이하 SSPP)에 대한 값으로 각각 설정하고 모형 시험을 실시하였다. 구속 모형 시험의 경우 모형 시험을 실시하는 기관의 모형 프로펠러 회전수 설정 방법에 따라 차이가 있다. 하지만 국제 수조회의(ITTC)에서 권고하는 구속 모형시험 가이드 라인에도 명확한 규정이 없다(ITTC 2005). 본 논문에서는 모형 프로펠러의 회전수(자항점)에 따라 작은 모형선을 사용하는 CMT 결과에 어떤 차이가 발생하는지 확인하기 위해 두 가지 경우에 대해 모두 시험을 실시하였다. 그리고 프로펠러와 타는 모형선 내에 구축된 자유 항주 시스템을 이용하여 구동하였다(Shin and Kim 2008). 모형시험은 상하동요(Heave), 종동요(Pitch), 횡동요(Roll)가 모두 구속되지 않은 상태로 수행하여 실제 선박의 선회 조건을 재현하였다. CMT 를 위한 모형선 설치 모습은 Fig. 2 와 같다.



Fig. 2 Photograph of circular motion test

3.3 시험 항목

Tables 2~3 에는 조종성능 추정을 위한 CMT 항목을 나타내었다. 그리고 모형 시험은 모형 프로펠러 회전수를 실선 자항점과 모델 자항점에 대한 값으로 설정하여 두 번에 걸쳐 실시되었다.

Table 2 Test program : rudder angle test

Towing Speed [m/s]	Yaw rate(r') [-]	Drift Angle(β) [deg]	Rudder Angle (δ) [deg]
0.63	0	0	-15~20
0.42	0	0	-15~20
0.315	0	0	-15~20

Table 3 Test program : Circular motion test

Towing Speed [m/s]	Yaw rate(r') [-]	Drift Angle(β) [deg]	Rudder Angle (δ) [deg]
0.63	-0.5 ~ -0.1	0	0
0.63	0	$\pm 24, \pm 20, \pm 16, \pm 12, \pm 10, \pm 8, \pm 6, \pm 4, \pm 2, 0$	0
0.63	0.1	0	0
0.63	0.2~0.5	-20, -10, 0, 10, 20	0

3.4 모형 시험 결과

CMT 항목 중에서는 먼저 편류각이 0 인 상태로 모형선이 선회 궤적에 접하면서 선회하는 시험을 실시한다. 이 시험을 통해 일정한 선속 각속도에 따른 선체에 작용하는 유체력을 측정할 수 있으며, $N_r, Y_r, N_{rrr}, Y_{rrr}$ 와 같은 선속동요 각속도(r)과 관련된 조종성 미계수를 얻을 수 있다. Fig. 3 은 모형선의 무차원화된 선속동요 각속도(r')에 따른 모형선의 궤적을 나타낸다. 울산대 해양공학수조의 X-Y Carriage 구동 범위에 맞는 선회 운동을 구현하였고, 무차원화된 선속 동요 각속도(r')와 선회 반경(R)은 반비례의 관계가 있음을 확인할 수 있다. 무차원화 된 선속동요 각속도가 0.3 이하에서는 완전한 원운동 구현이 어렵고 반원 궤적을 그리며 선회하였다. 각각의 선회 운동은 계속 신호의 평균값 이용을 위해 20 초 이상의 등속구간을 갖도록 하였다.

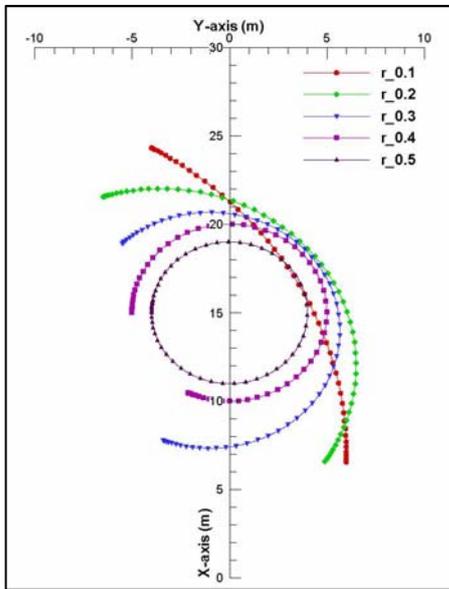


Fig. 3 Trajectory of CMT

Fig. 4 는 타각을 변화 시켜가면서 모형선을 직선으로 예인할 때 선체에 작용하는 횡 방향 힘 (Y')과 선수동요 방향 모멘트(N')를 곡선 근사 결과와 함께 나타낸 결과이다. 실선 자항점보다 모델 자항점에서 프로펠러의 빠른 회전에 의해 타력이 선체에 많이 작용한 것을 확인할 수 있다. Fig. 5 는 무차원화 된 선수동요 각속도에 따른 선회 운동 시 선체에 작용하는 무차원화 된 횡 방향 힘(Y')과 선수동요 방향 모멘트(N')를 곡선근사 결과와 함께 나타낸 것이다. 편류각이 0 인 선회 운동은 선수동요 각속도가 양의 방향뿐 아니라 음의 방향의 경우에 대해서도 실시하였다.

실선 자항점에서 선회운동을 할 경우가 모델 자항점에서의 결과보다 좀 더 선형적으로 횡 방향 힘(Y')과 선수동요 방향 모멘트(N')가 변하는 것을 확인할 수 있다. 그리고 실선 자항점에서 횡 방향 힘(Y')은 선체에 더 크게 작용하고 선수동요 방향 모멘트(N')는 더 작게 작용하는 것을 확인할 수 있다. 자항점의 차이에 따라 선체에 작용하는 횡 방향 힘(Y')과 선수동요 방향 모멘트(N')의 결과에 차이를 발생 시키는 것을 확인할 수 있다. 이것은 모형선의 선회 운동 중, 선체에 작용하

는 프로펠러의 회전력의 차이에 의한 것으로 추정할 수 있다. 또한 모형선의 횡동요가 구속되어 있지 않아서 모형선의 선회 방향과 프로펠러의 회전 방향이 같을 때와 다를 경우, 프로펠러의 빠른 회전력이 선체에 작용하는 힘이 두 가지 경우의 모형 시험 결과에 차이를 발생시킨 것으로 추정할 수 있지만 향후 선회운동 시 횡동요의 영향에 관한 추가적인 연구가 필요하다.

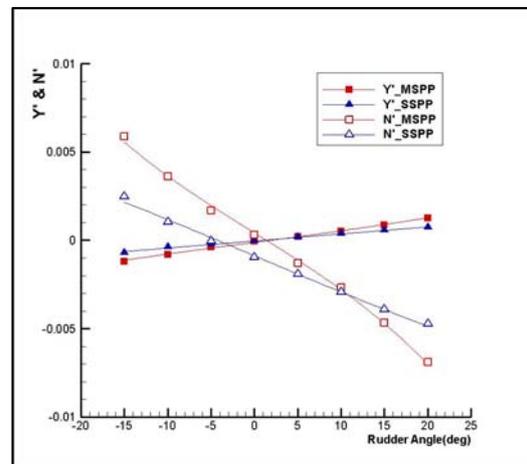


Fig. 4 Variation of lateral force (Y') and yaw moment (N') with rudder angle(δ)

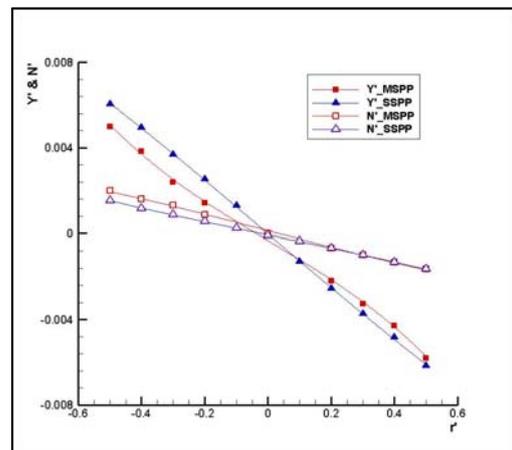


Fig. 5 Variation of lateral force (Y') and yaw moment (N') with yaw rate(r')

Fig. 6은 편류각에 따른 횡 방향 힘(Y')과 선수 동요 방향 모멘트(N')를 곡선근사 결과와 함께 나타낸 것이다. 편류각 시험에서는 실선 자항점과 모델 자항점에서의 시험 결과는 횡 방향 힘(Y')과 선수동요 방향 모멘트(N')에서 큰 차이를 보이지 않음을 확인할 수 있다.

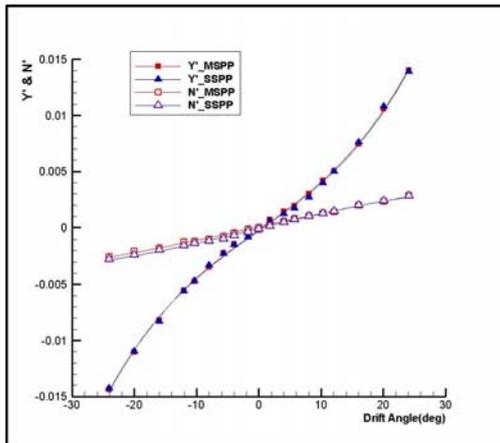


Fig. 6 Variation of lateral force (Y') and yaw moment (N') with drift angle (β)

3.5 조종성 미계수

모형 프로펠러의 회전수에 따른 타각 시험, 편류각 시험, 그리고 CMT 결과로 얻어진 조종성 미계수를 비교하였다. 두 경우의 모형 시험을 통해 도출된 무차원화 된 조종성 미계수는 Table 4와 같다.

Table 4 Comparison of non-dimensional hydrodynamic coefficients from model test

Condition Coefficient	MSPP	SSPP
$Y'_{\delta} \times 10^5$	350.67	219.94
$N'_{\delta} \times 10^5$	-166.33	-111.605
$Y'_v \times 10^5$	-2201.55	-2170.30
$N'_v \times 10^5$	-679.10	-753.75
$(Y'_r - m') \times 10^5$	-843.07	-1251.71
$N'_r \times 10^5$	-359.43	-300.10

모델 자항점에서의 빠른 프로펠러 회전수에 의해 타에 관련된 조종성 미계수가 실선 자항점에서의 결과보다 크게 추정 된 것을 확인할 수 있다. 그리고 선수동요 각속도(r)에 관련된 조종성 미계수에서도 차이가 큰 것을 확인할 수 있다.

4. 조종 성능 추정

4.1 부가질량 관련 미계수

CMT 시에 모형선은 일정한 선수동요 각속도로 선회 운동을 하므로 가속도에 관계되는 유체력과 그에 따른 미계수를 얻을 수 없다는 단점이 있다. 본 논문에서는 조종 시뮬레이션을 위하여 부가 질량 관련 미계수들을 식(7)과 같은 경험식을 사용하여 구하였다(Hooft and Pieffers 1988).

$$X'_{\ddot{u}} = -\frac{2.7\rho(C_B LBT)^{5/3}}{L^2} \tag{7}$$

$$Y'_{\ddot{v}} = -\frac{\pi}{2} \rho L T^2 \left[1 + 0.16 \frac{C_B B}{T} - \frac{5.1}{(L/B)^2} \right]$$

$$Y'_{\dot{r}} = -\frac{\pi}{2} \rho L^2 T^2 \left[\frac{0.67}{(L/B)} - 0.0033(B/T)^2 \right]$$

$$N'_{\ddot{v}} = -\frac{\pi}{2} \rho L^2 T^2 \left[\frac{1.1}{(L/B)} - 0.041(B/T) \right]$$

$$N'_{\dot{r}} = -\frac{\pi}{24} \rho L^3 T^2 \left[1 + 0.20 \frac{C_B B}{T} - \frac{4}{(L/B)} \right]$$

4.2 조종 시뮬레이션 결과

CMT 를 통해 얻은 조종성 미계수들과 경험식을 이용한 미계수들을 이용하여 조종 시뮬레이션을 실시하였다. 조종 시뮬레이션에 필요한 저항, 자항시험 및 프로펠러 단독 시험 자료는 한국해양연구원 해양시스템안전연구소의 모형시험 결과를 사용하였다(ITTC 2008a). 모델 자항점과 실선 자항점에서의 CMT 시뮬레이션 결과를 같은 선형의 모형선으로 수행한 타 기관의 조종 성능 추정 결과

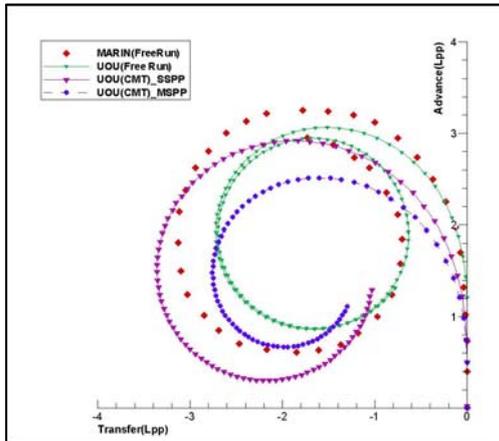


Fig. 7 Turning trajectory for port 35° rudder (Free running test based)

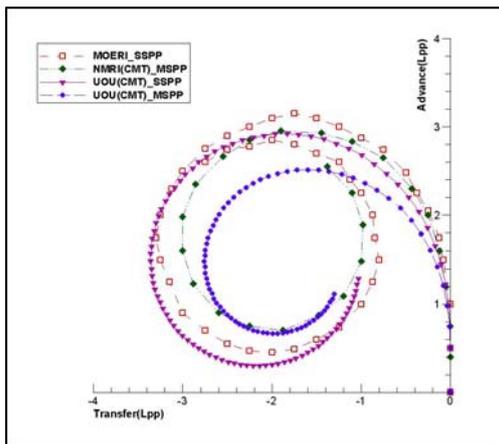


Fig. 8 Turning trajectory for port 35° rudder (PMM and CMT based)

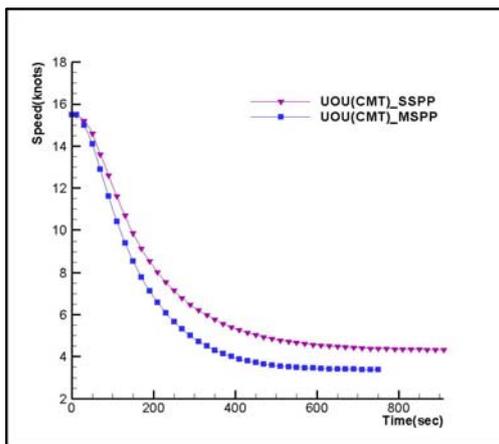


Fig. 9 Turning speed for port 35° rudder

와 비교하였고(ITTC 2008b), 울산대학교 해양공학 광복 수조에서 같은 모형선을 이용한 자유항주시험 결과와도 비교하였다(Shin and Kim 2008).

Fig. 7 은 CMT 를 이용한 좌현 35° 선회시험의 시뮬레이션 결과와 자유항주시험 결과들과의 비교를 나타낸다. Fig. 8 은 타 기관의 PMM 시험과 CMT 등 구속 모형 시험을 기반으로 한 조종시뮬레이션 결과와 비교를 나타낸다. Fig. 9 는 좌현 35° 선회시험의 모델 자항점과 실선 자항점의 시뮬레이션 결과에 따른 속도변화를 나타낸다.

Figs. 7-8 의 좌현 35° 선회시험 시뮬레이션 결과에서 모델 자항점에서의 시뮬레이션 결과와 실선 자항점에서의 결과가 큰 차이를 보였다. 모델 자항점에서 프로펠러를 구동한 시험에서 전진거리(Advance)와 전술 직경(Tactical Diameter)이 실선 자항점에서의 결과보다 작게 추정되었다.

이것은 타와 관련된 유체력 미계수 비교에서도 알 수 있듯이 모델 자항점에서의 빠른 프로펠러 회전수에 의해 타 효율이 매우 높게 추정되었기 때문이다. 본 논문에서는 실선과 모형선의 척도 효과 고려 방법인 타에 유입되는 속도에 대한 수정이 고려되지 않았다(Lee et al 1997). 즉, 프로펠러 슬립비와 반류에 대한 수정이 이루어지지 않아 조종 성능 추정 결과가 타 기관의 결과와 차이가 발생한 것으로 판단된다. CMT 에 대한 조종 시뮬레이션의 결과에 척도 효과를 고려한다면 좀 더 정도 높은 추정 결과가 도출 될 것으로 예상된다.

Fig. 10 은 CMT 를 이용한 20° /20° Zig-Zag 시험 시뮬레이션 결과와 자유항주시험 결과들과의 비교를 나타낸다. Fig. 11 은 타 기관의 구속 모형 시험을 기반으로 한 조종시뮬레이션 결과와 비교를 나타낸다.

20° /20° Zig-Zag 시험의 시뮬레이션 결과에서도 동일하게 실선 자항점에서의 1st Overshoot angle 과 2nd Overshoot angle 이 모델 자항점에서의 결과보다 크게 추정 된 것을 확인할 수 있다. 이것 역시 타 효율의 차이가 그 원인이다. 모델 자항점에서의 결과는 높은 타 효율의 영향으로 Overshoot Angle 이 너무 작게 추정된 것을 확인할 수 있다.

Figs. 7-11 의 Marin (Maritime Research

Institute Netherlands) 과 NMRI (National Maritime Research Institute)는 각각 네덜란드와 일본에 위치한 수조시험 전문 연구기관이다. 그리고 MOERI 와 UOU 는 한국해양연구원 해양시스템안전 연구소와 울산대학교 해양공학 수조를 의미한다.

CMT 를 이용한 작은 모형선의 조종성능 추정에서는 자항점의 차이가 모형 시험 결과와 시뮬레이션 결과에 큰 영향을 차지하는 것을 확인할 수 있었다. 자항점 차이에 따른 영향에 대한 추가적인 연구를 통해 좀 더 정도 높은 조종성능 추정이 가능할 것이다.

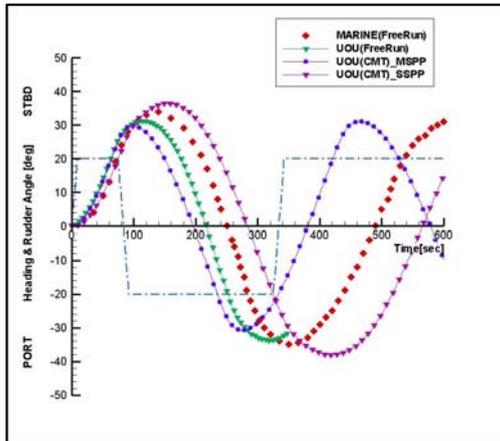


Fig. 10 Zig-zag trajectory for 20° rudder (Free running test based)

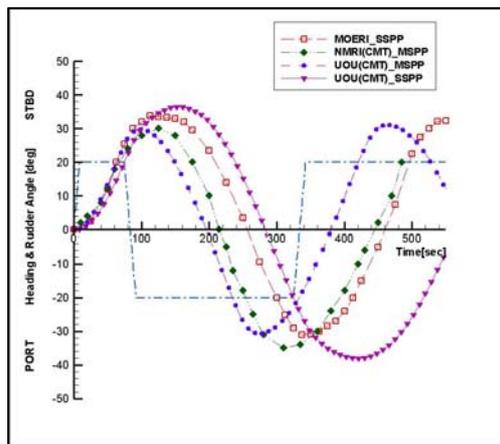


Fig. 11 Zig-zag trajectory for 20° rudder (PMM and CMT based)

5. 결론

본 논문에서는 선박의 조종성능 추정을 위해 X-Y Carriage 를 이용한 2m 급 모형선의 Circular Motion Test 를 울산대학교 해양공학 광폭수조에서 실시하여 국내 최초로 이를 이용한 조종 시뮬레이션을 수행하였다.

작은 모형선을 사용하였을 때, 프로펠러 회전수에 따른 선체가 받는 유체력의 차이를 확인하기 위해 모델 자항점에서의 프로펠러 회전수와 실선 자항점에서의 프로펠러 회전수에서 각각 CMT 를 실시하였다. 모형시험에서 도출된 조종성 미계수를 비교해 본 결과 모델 자항점에서의 빠른 프로펠러 회전수에 의해 타 효율이 매우 높게 추정되었고, 선회 운동 중 선체에 영향을 주는 것을 확인하였다.

조종성 미계수를 이용한 시뮬레이션 결과를 국제수조회의(ITTC) 조종성 분과의 SIMMAN 2008 워크샵을 통해 공시된 각 기관의 시뮬레이션 결과와 비교하였다. 조종 성능 추정 시뮬레이션 결과, 모델 자항점의 높은 타 효율에 의해 모델 자항점에서의 결과가 실선 자항점에서의 결과 보다 조종 성능이 매우 좋게 추정되었다. 작은 모형선의 모델 자항점에서의 실험에서는 빠른 프로펠러 회전수에 의한 타 효율의 정확한 추정이 필요한 것을 확인하였다. 그리고 실선과 모형선의 축척비에 따른 척도효과와 수정이 정확히 이루어 진다면 좀 더 정도 높은 조종 성능 추정이 가능할 것으로 예상된다. 작은 모형선을 이용하여 CMT 를 수행한 후 조종성능을 추정하는 경우에는 타 영향의 좀 더 정확한 분석을 위해 선체, 프로펠러 및 타의 영향을 따로 분리하여 해석하는 모듈 형 수학기모델 (Modular Model)의 적용에 대한 추가적인 연구가 필요한 것을 확인하였다. 그리고 다른 여러 선형에 대한 추가적인 모형시험을 통해 정도 높은 CMT 모형시험 기법의 정립과 CMT 로는 얻을 수 없는 부가 질량에 관련된 조종성 미계수들의 획득을 위한 PMM 시험과의 병행으로 조종성능 추정의 정도를 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- Hooft, J.P. and Pieffers, J.B.M., 1988, "Maneuverability of Frigates in Wave," Marine Technology Vol. 25, pp. 262-271.
- International Towing Tank Conference, 2008a, "Workshop on Verification and Validation of Ship Maneuvering Simulation Methods SIMMAN 2008" .
<http://www.simman2008.dk/index.html>
- International Towing Tank Conference, 2008b, "Final Report and Recommendation to the 25th ITTC," Proceedings of 25rd ITTC, Vol. 1, pp. 161-167.
- ITTC Recommended Procedures and Guidelines, 2005, "Testing and Extrapolation Methods Maneuverability Captive Model Test Procedures" .
- Kim, S.Y., 1988. Development of Maneuverability Prediction Technique, Korea Institute of Machinery & Materials Report UCE337-1082.D.
- Lee, H.Y., Yum, D.J., Shin, S.S. and Lee, T.I., 1997, "Prediction of Maneuverability using PMM Model Tests-Comparative Study of Mathematical Models," Journal of the SNAK, Vol. 34, No. 2, pp. 48-55.
- Lee, S.K., 1997, Ship Motion and Maneuverability Pusan National University Press.
- Shin, H.K. and Kim, M.S., 2008, "Development of Free Running System for 2m-class Ship Models," Journal of the SNAK, Vol. 45, No. 3, pp. 247-257.
- SNAME, 1989, Principle of Naval Architecture, Vol. III, pp. 222-224.
- Sung, Y.J. and Rhee, K.P., 2004, "A Design of PMM Test Scenario for the Estimation of Ship Maneuvering Coefficients," Proceedings of The 2nd Asia-Pacific Workshop on Marine Hydrodynamics, pp. 285-292.

부록: 모형선-실선에 대한 척도 효과 고려
(급수형 수학 모델)

척도효과에 대한 수정은 타에 유입되는 속도에 대한 수정으로 프로펠러 슬립비와 반류에 대한 수정을 고려하고 나머지 선체에 관련된 항은 무시할 수 있다. 수정인자(F_1)는 다음과 같은 식으로 정의되고, 타각 및 타각-속도시험에서 힘과 모멘트를 수정해 줄 수 있다(Lee et al 1997).

$$F_1 = \frac{(U_R/U)^2_M}{(U_R/U)^2_S} = e_i^2 \left\{ \frac{1 + \chi \frac{8}{\pi} (K_T/J_P^2)_M e_i^2}{1 + \chi \frac{8}{\pi} (K_T/J_P^2)_M} \right\}$$

여기서 $e_i = \frac{1 - \omega_M}{1 - \omega_S}$: 반류 상관계수

타각 및 타각-속도시험을 통해 예측된 Y, N 에 수정인자(F_1)를 곱하여 곡선 근사하여 미계수를 추정한다. 실선 자항점에서의 시험에서는 수정인자(F_1)의 값이 1 보다 커서 타 효율이 보다 높게 추정되므로 조종성능 시뮬레이션 결과 조종성능이 조금 더 좋게 추정될 수 있다.



< 신 현 경 > < 정 재 환 > < 이 호 영 >