

## 천수 영역에서 저속 운항하는 선박의 조종성능 추정에 관한 연구

김세원<sup>†\*</sup>, 여동진<sup>\*\*</sup>, 이기표<sup>\*\*\*</sup>, 김동진<sup>\*\*\*</sup>

대우조선해양<sup>\*</sup>  
한국해양연구원 해양시스템안전연구소<sup>\*\*</sup>  
서울대학교 조선해양공학과<sup>\*\*\*</sup>

### Prediction of Manoeuvrability of a Ship with Low Forward Speed in Shallow Water

Se Won Kim<sup>†\*</sup>, Dong Jin Yeo<sup>\*\*</sup>, Key Pyo Rhee<sup>\*\*\*</sup> and Dong Jin Kim<sup>\*\*\*</sup>

Daewoo Shipbuilding & Marine Engineering Co., Ltd.<sup>\*</sup>  
Maritime and Ocean Engineering Research Institute/KORDI<sup>\*\*</sup>  
Dept. of naval Architecture and Ocean Engineering, Seoul National University<sup>\*\*\*</sup>

#### Abstract

In this paper, a mathematical model for a ship manoeuvring with low forward speed in shallow water was suggested. Based on the cross flow model with low forward speed in deep sea, hull, propeller and rudder models were modified to consider the shallow water effects. Static drift and PMM tests were performed to obtain the cross flow drag coefficients and hydrodynamic coefficients. To validate suggested mathematical model, numerical simulation results were compared with those of sea-trials. Through comparisons, it was concluded that suggested mathematical model could give proper estimation on turning test results.

※Keywords: Mathematical model(수학 모델), Slow forward speed(저속), Shallow water(천수), Cross flow model(횡류 모델), PMM test(PMM 시험)

#### 1. 서론

선박이 입·출항을 하거나 수로를 항해하는 경우

에는 대양에서의 항해보다 지형이 복잡하고 근거리 항해하는 선박이 많은 천수 영역을 저속으로 항행하게 된다. 이러한 천수역의 저속 운동에 있어 선박의 조종성능은 선박의 안전과 직결된다. 그러나, 천수역 저속 항해시의 조종성능에 대한 연구는 심수역 중고속 항해시의 조종성능 연구에

접수일: 2007년 6월 19일, 승인일: 2008년 4월 14일

†교신저자: same1020@hanmail.net, 011-9906-7176

비해 많이 수행되지 않은 실정이다.

본 논문에서 천수역에서의 저속 항해 상황에 대해 조종 성능을 추정할 수 있는 조종운동방정식 모델을 제안하였다. 이러한 조종운동방정식에서 선박의 초기 설계 정보만으로도 천수역에서 저속 항해시의 조종성능을 추정할 수 있어야 하며 다양한 선종에 대한 적용이 가능해야 한다.

본 논문에서는 먼저 MMG 모델을 바탕으로 저속, 심수에 대한 cross flow 형태의 조종운동방정식을 고려한 후, 선박의 선수와 선미 형상을 고려할 수 있도록 cross flow drag 계수를 수식화 하고, PMM 시험의 결과를 바탕으로 최종적인 계수를 결정하였다. 또한 방정식의 조종성 계수에 천수 영향을 고려하는 인자를 포함하여 저속, 천수에서의 조종 운동 방정식을 완성하였다. 마지막으로, 본 논문에서 제안된 저속, 천수역의 선박에 대한 조종 운동 방정식을 바탕으로 수치모사를 시행하고 그 결과를 선행 연구 결과들과 비교하여 조종성능 추정도가 향상됨을 확인하였다.

## 2. 조종운동방정식

### 2.1 저속, 천수의 정의

Yoshimura(1988)는 저속을 선박의 전진 속도와 횡방향 속도의 order 가 같은 상태라고 정의하였으며, 제 23 차 ITTC Manoeuvring committee report(2003)에서는 천수와 심수에 대하여 천수란 수심/흘수가 1.5 보다 작은 영역이며, 심수란 수심/흘수가 3.0 보다 큰 영역이라고 정의하였다.

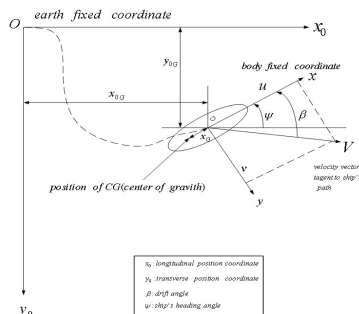


Fig. 1 Coordinates system

## 2.2 좌표계

선박의 운동을 기술하기 위해 공간 고정 좌표계  $O-x_0y_0z_0$ 와 선체 고정 좌표계  $o-xyz$ 를 사용하였다. Fig. 1은 본 논문에서 사용된 좌표계를 도시한 그림이다.

## 2.3 운동방정식

본 논문에서 제안된 조종운동방정식은 MMG 모델을 기반으로 하며 MMG 모델의 대표적인 조종 운동방정식은 다음과 같이 기술된다.

$$\begin{aligned}
 m(\dot{u} - vr - x_G r^2) &= X_H + X_P + X_R \\
 m(\dot{v} + ur + x_G \dot{r}) &= Y_H + Y_R \\
 I_{ZZ} \dot{r} + m x_G (\dot{v} + ur) &= N_H + N_R \\
 X_H, Y_H, N_H &: \text{Hull force} \\
 X_R, Y_R, N_R &: \text{Rudder force} \\
 X_P &: \text{propeller force}
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

## 2.4 Hull force

### 2.4.1 저속 심수역에서 선체에 작용하는 힘

저속 심수역에 적용 가능한 조종운동방정식에 천수 영향을 고려하여 저속 천수역에서의 선체에 작용하는 유체력 모델을 작성하였다. 기본이 되는 저속 심수역의 조종운동방정식은 Kim and Lee(1992), Yoon and Kim(2005)의 연구를 참고하여 식 (2)와 같은 cross flow 모델을 사용하였다.

$$\begin{aligned}
 X_H &= X_{uu} u^2 + X_{vv} v^2 + X_{rr} r^2 \\
 Y_H &= Y_r r + Y_v v + Y_{\dot{v}} \dot{v} + Y_{cross} \\
 N_H &= N_r r + N_v v + N_{\dot{r}} \dot{r} + N_{cross}
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

식 (2)에 포함된 cross flow drag 성분은 다음과 같이 계산된다.

$$\begin{aligned}
 Y_{cross} &= \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} C_D(x) |v + rx| (v + rx) dx \\
 N_{cross} &= \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} C_D(x) |v + rx| (v + rx) x dx
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

여기에서 cross flow drag 계수  $C_D(x)$ 는 선체의 길이 방향 단면 변화에 따른 계수이다. 각 단면에 대해서 이러한 cross flow drag 계수를 정확하게

구하는 것은 매우 복잡하며 많은 계산 시간이 소요되므로, 본 연구에서는 선수, 선미부를 뺀 형으로 가정하여 길이 방향에 따른 각 단면의 cross flow drag 계수 식을 결정한 뒤, 실험을 통해 계수를 구하였다.

Oltmann and Sharma(1984)은 길이 방향으로 분포하는 cross flow drag 계수를 식 (4)와 같이 제안하였다.  $x$  는 선박의 길이 방향 위치,  $l$  은  $\frac{L}{2}$  이다.

$$C_D = a_0 + a_7\left(\frac{x}{l}\right)^7 + a_8\left(\frac{x}{l}\right)^8 + a_9\left(\frac{x}{l}\right)^9 \quad (4)$$

Oltmann and Sharma (1984)에 의하면 일반적인 선박을 대상으로 한 길이 방향의 cross flow drag 계수 분포는 Fig. 2 와 같다.

본 연구에서는 이러한 cross flow drag 에 대하여 선수, 선미부에서의 cross flow drag 계수를 길이 방향 좌표  $x$  에 관한 일차식으로 근사하고 중앙 평행부에서는 일정한 상수 값을 가지는 것으로 가정하였다. 횡단면이 일정한 중앙평행부의 양단에서 선박의 전후 끝까지를 선수부와 선미부라고

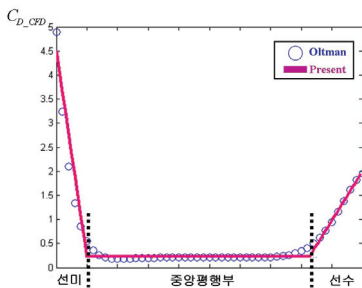


Fig. 2 Cross flow drag coefficients distribution

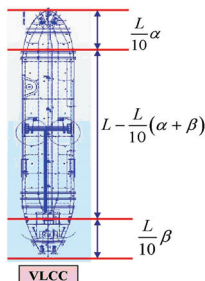


Fig. 3 Partition of the length of ship

할 때 각각의 길이를  $\frac{L\alpha}{10}$ ,  $\frac{L\beta}{10}$  로 가정하고 해당

구역에서의 cross flow drag 식을 구성하였다. Fig. 3 은 선수부, 중앙평행부, 선미부의 구분을 나타낸 그림이다.

선수, 선미부 cross flow drag 계수의 기울기는 Oltman 의 추정식을 미분하여 구하였으며, 중앙평행부의 cross flow drag 계수는 Hoerner(1965)의 연구를 참고하여 다음 식 (5)와 같이 정리하였다. Fig. 2 에서 실선으로 표현된 것이 본 연구에서 사용한 cross flow drag 계수이다.

$$C_D(x) = \text{상수} \times (T/B) \quad (5)$$

위 식에서 B 는 선박의 폭, T 는 흘수를 의미한다.

이러한 일련의 과정을 통해 선체의 길이 방향 위치에 따른 cross flow drag 계수는 다음 식 (6~8)과 같이 결정될 수 있다.

i) 선수부  $(\frac{L}{2} - \frac{L\alpha}{10}) < x < \frac{L}{2}$

$$C_D(x) = C_{D1}(x) = \{7a_7(L - \frac{L\alpha}{10})^6 + 8a_8(L - \frac{L\alpha}{10})^7 + 9a_9(L - \frac{L\alpha}{10})^8\} (x - \frac{L}{2} + \frac{L\alpha}{10}) + C_{D2} \quad (6)$$

ii) 중앙 평행부  $(-\frac{L}{2} + \frac{L\beta}{10}) < x < (\frac{L}{2} - \frac{L\alpha}{10})$

$$C_D(x) = C_{D2}(T/B) \quad (7)$$

iii) 선미부  $(-\frac{L}{2} < x < (-\frac{L}{2} + \frac{L\beta}{10}))$

$$C_D(x) = C_{D3}(x) = \{7a_7(\frac{L\beta}{10} - L)^6 + 8a_8(\frac{L\beta}{10} - L)^7 + 9a_9(\frac{L\beta}{10} - L)^8\} (x + \frac{L}{2} - \frac{L\beta}{10}) + C_{D2} \quad (8)$$

2.4.2 천수 영향의 고려

저속 침수역 모델에 대하여 천수 상태에서의 영향을 고려하기 위하여 Yoo(2000)의 연구 결과를 바탕으로 식(9)처럼 조종성 계수에 수심에 따른 영향을 포함시켰다. Yoo(2000)에 의하면 Fig.4 와 같이 수심이 알아짐에 따라 조종성 계수가 증가하고 그 증가 경향은 지수함수로 표현된다.

식(9)에서 각 계수에 대한 천수 영향을 결정하는 상수인  $C_{S1}, C_{S2}$  는 Table 1 과 같이 결정하였다.

$$\begin{aligned} Y_{*_{shallow}} &= Y_{*_{deep}} \times f_*(h/T) \\ N_{*_{shallow}} &= N_{*_{deep}} \times f_*(h/T) \\ f_*(h/T) &= C_{S1}(h/T)^{C_{S2}} \end{aligned} \quad (9)$$

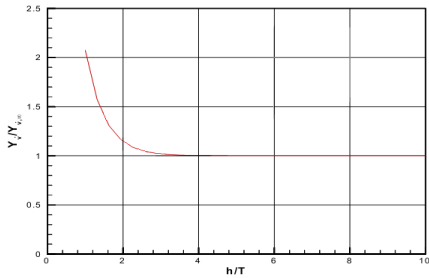


Fig. 4 Ratio of  $Y_v$  in deep and shallow water

Table 1 Shallow water effect coefficients

	$C_{S1}$	$C_{S2}$
$Y_v$	4.0216	-0.6702
$Y_r$	3.4555	-0.5869
$Y_{\dot{v}}$	1.2929	-0.1366
$Y_{cross}$	3.0372	-0.5244
$N_v$	2.5457	-0.4494
$N_r$	2.2303	-0.4055
$N_{\dot{r}}$	1.1213	-0.0622
$N_{cross}$	2.1413	-0.3356

2.5 Rudder model

MMG 모델에서 타에 의한 힘과 모멘트는 다음과 같이 표현된다(Kijima et. al. 1987).

$$\begin{aligned} X_R &= -(1-t_R)F_N \sin \delta \\ Y_R &= -(1+a_H)F_N \cos \delta \\ N_R &= -(x_R + a_H x_H)F_N \cos \delta \end{aligned} \quad (10)$$

$x_H, a_H$  에 대하여 천수 영향을 고려한 식은 다음과 같이 정리된다(Yasukawa 1998).

$$\begin{aligned} a_{H_{shallow}} &= a_{H_{deep}} \times c_1(h/T)^{c_2} \\ c_1 &= 2.4316, \quad c_2 = -1.121 \\ x_{H_{shallow}} &= x_{H_{deep}} \times (c_3 \ln(h/T) + c_4) \\ c_3 &= 0.5063, \quad c_4 = 0.2055 \end{aligned} \quad (11)$$

2.6 Propeller model

MMG 모델에서 프로펠러의 추력은 다음과 같이 표현된다(Kijima et al. 1987).

$$X_P = (1-t_{P_0})K_T \rho n^2 D_P^4 \quad (12)$$

Yasukawa(1998)는 천수에서 추력의 변화를 반류 계수  $w$  의 변화로 제안하였으며 그 식은 다음과 같다. 이 식은  $T/h > 0.5$  일 때 적용된다.

$$\begin{aligned} \frac{w_{shallow}}{w_{deep}} &= 1 + a(C_B) \cdot (T/h - 0.2)^{b(C_B)} \\ a(C_B) &= 6.6 - 7.0C_B, \quad b(C_B) = 5.4C_B - 2.2 \end{aligned} \quad (13)$$

3. Model Test

저속, 심수역 상태에 대한 Cross flow drag 계수와 조종성 계수에 대한 추정을 위해 모형 시험을 수행하였다. Static drift test 는 0.1~0.5m/s 속도에서 0°에서 90°까지의 편류각에 대해 실시하였고, pure sway, pure yaw test 는 0.2m/s 예인 속도 조건에서 각각 실시하였다.

3.1 모형선

모형 시험에는 300K KVLCC와S-175 Container 선이 사용되었다. KVLCC와S-175의 제원은 Table 2~3 과 같다.

Table 2 Principal particulars of KVLCC

	Ship	Model
Scale ratio	1	100
Lpp(m)	320	3.2
B	58.0	0.58
T	20.8	0.208
Cb	0.8101	0.8101

**Table 3** Principal particulars of S-175

	Ship	Model
Scale ratio	1	64
Lpp	175	2.78
B	25.4	0.4
T	9.5	0.148
Cb	0.57	0.57

**3.2 Cross flow drag 계수 및 조종성 계수**

식 (6)~(8)의 중앙 평행부의 cross flow drag 계수는 식 (5)의 Hoerner 추정식으로 계산하였다. 각 계수에 포함된  $a_7, a_8, a_9$ 은 KVLCC 와 S-175 에 대한 실험 결과와 Yoshimura(1988)의 PCC 실험 결과를 토대로 최소자승법을 이용하여 식 (2)의 미계수를 찾는 과정에서 cross flow drag 항의 계수 를 식 (4)와 같이 구하였다.

$$C_D(x) = C_{D2r} = 0.588(T/B) \tag{14}$$

$$= C_{D2N} = 0.421(T/B)$$

$$a_7 = 5.31, a_8 = 10.218, a_9 = -8.732 \tag{15}$$

PMM 시험으로 구한 KVLCC 와 Container 선의 조종성 계수는 각각 Table 4 및 5 와 같다.

**Table 4** Hydrodynamic derivatives of KVLCC

$X'_{uu}$	$X'_{vv}$	$X'_{rr}$	$Y'_v$	$Y'_r$
-0.116	0.063	-0.0823	-0.408	-0.065
$Y'_v$	$N'_v$	$N'_r$	$N'_r$	
0.212	-0.156	-0.035	-0.042	

**Table 5** Hydrodynamic derivatives of container

$X'_{uu}$	$X'_{vv}$	$X'_{rr}$	$Y'_v$	$Y'_r$
-0.154	0.174	-0.152	-0.281	-0.029
$Y'_v$	$N'_v$	$N'_r$	$N'_r$	
0.194	-0.108	-0.014	-0.039	

**3.3 저속, 심수역 상태에 대한 조종성 계수추정식**  
초기 설계 단계에서는 선박의 기본 제원만이 주

어지므로 이 정보만으로 선박에 대한 조종성능을 추정하기 위하여 조종성 계수의 경험식을 사용한다. 저속, 천수역에서의 조종성능 추정에 있어서도 조종성 계수가 이러한 경험식 형태로 주어진다면 초기 설계 단계에서 선박의 조종특성 파악이 가능할 것이다. 본 연구에서는 선박의 통상적인 운항 속도 및 심수역 상태에서의 조종성 계수에 대한 Kijima et al.(1987)의 경험식을 바탕으로, PMM 시험의 결과 얻어진 저속, 심수역 상태에서의 조종성 계수 결과를 고려하여 저속, 심수역의 조종성 계수에 대한 경험식을 작성하였다. Kijima et al. (1987)이 제시한 통상 운항속도 및 심수역 상태의 조종성 계수 경험식은 식 (16)과 같다.

$$Y'_v = -(\pi(T/L) + 1.4C_B B/L)$$

$$Y'_r = -1.5C_B B/L + (m' + mx') \tag{16}$$

$$Y'_v = 1 + 0.16C_B B/T - 5.1/(L/B)^2$$

$$N'_v = -2(T/L)$$

$$N'_r = -0.54(T/L) + (T/L)^2$$

$$N'_r = 1 + 0.2C_B B/T - 4/(L/B)$$

Table 6~7 은 저속, 심수역 상태에 대한 PMM 실험을 수행하여 조종성 계수를 구한 결과와 Kijima et al.(1987)에 제시한 통상 운항속도 및 심수역 상태의 조종성 계수 추정식의 값을 비교한 것이다. 표에서 괄호로 표시된 값이 경험식에 의한 값이다. 표에서 알 수 있는 것과 같이 조종성 계수 중  $Y'_v, Y'_v, N'_v$  와 같이 좌우동요에 관련된 계수는 실험에서 추정된 결과와 추정식이 유사하지만  $Y'_r, N'_r, N'_r$  와 같이 선수동요에 관련된 계수는 두 결과에 차이가 있는 것을 확인할 수 있다.

**Table 6** Comparison of experimental and estimated values of KVLCC

$Y'_v$	$Y'_r$	$Y'_v$
-0.4082 (-0.4089)	-0.0659 (-0.2202)	0.2122 (0.2208)
$N'_v$	$N'_r$	$N'_r$
-0.1567 (-0.1553)	-0.0355 (-0.0533)	-0.0422 (-0.08317)

**Table 7** Comparison of experimental and estimated values of container

$Y'_v$	$Y'_r$	$Y'_f$
-0.2816 (-0.2821)	-0.0297 (-0.1230)	0.1944 (0.1908)
$N'_v$	$N'_r$	$N'_f$
-0.1085 (-0.1065)	-0.0140 (-0.0462)	-0.0397 (-0.121)

**Table 8** Modified coefficients

$C_1$	$C_2$	$C_3$
0.2	0.5	0.4

따라서, 선수동요와 관련된 조종성 계수의 경우 보정 계수를 추가하여 다음과 같은 형태의 조종성 계수 추정식을 작성하였다.  $C_1, C_2, C_3$ 는 Table 8 과 같다.

$$\begin{aligned}
 Y'_v &= -(\pi(T/L) + 1.4C_B B/L) \\
 Y'_r &= C_1(-1.5C_B B/L + (m' + m\alpha')) \\
 Y'_f &= 1 + 0.16C_B B/T - 5.1/(L/B)^2 \\
 N'_v &= -2(T/L) \\
 N'_r &= C_2(-0.54(T/L) + (T/L)^2) \\
 N'_f &= C_3(1 + 0.2C_B B/T - 4/(L/B))
 \end{aligned}
 \tag{17}$$

추정식 작성에 사용된 시험의 회수가 다소 적지만 추후 수치모사 결과에서 보여지는 것과 같이 본 추정식의 사용으로 대상 선박의 조종성능을 잘 예측할 수 있음을 확인하였다. 또한, 향후 보다 많은 자료를 확보한다면 추정식의 보다 정밀한 수정이 가능할 것으로 생각된다.

**4. 수치모사**

본 논문에서 제안한 조종 운동 방정식을 바탕으로 수치모사를 실시하여 속도 및 수심에 대한 기존의 연구 결과와 비교하였다.

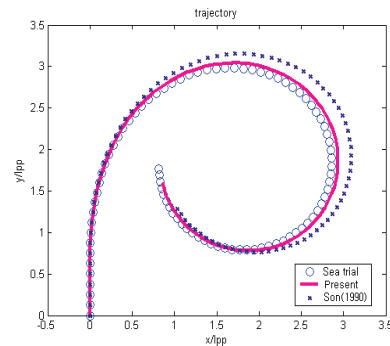
**4.1 심수역 조종성능 예측성능 검증**

심수역 상태에 대한 수치모사는 Sohn(1992)의 연구 결과와 비교하였다. Sohn(1992)의 연구는 VLCC 를 대상으로 수행되었으며 연구에 사용된 VLCC 의 제원은 Table 9 와 같다.

Fig. 5 는 Sohn(1992)에서 제시된 실선 시운전 결과와 본 연구에서 수행한 수치모사 결과이다. 초기 속도 8m/s 일 때 실선 시운전 결과와 같은 속도에서의 수치모사 결과를 비교하였다. 본 연구에서 제시된 수학 모형이 실선 시운전 결과를 잘 예측하고 있는 것을 확인할 수 있다.

**Table 9** Principal particulars of VLCC

Hull		Rudder	
$L_{PP}$ (m)	318	$A_R / Ld$	1/58.6
B(m)	56	$\Lambda$	1.55
D(m)	20.5	Propeller	
$C_B$	0.827	$D_P$	8.8
		$\eta$	0.7



**Fig. 5** 35°starboard turning test of VLCC

**4.2 저속, 천수역 상태에 대한 조종성능 예측성능 검증**

저속 천수에서의 조종 운동 방정식 수치 해석 결과는 Yoshimura(1988)의 연구 결과와 비교하였다. Yoshimura(1988)의 연구는 PCC 모형선의 자유항주 시험을 대상으로 저속 천수에서 수행되었으며, 연구에 사용된 PCC 모형선의 제원은 Table

Table 10 Principal particulars of PCC

Hull		Rudder	
$L_{pp}$ (m)	3.00	$A_R / L_d$	1/39.38
B(m)	0.5367	$\Lambda$	1.177
D(m)	0.1367	Propeller	
$x_G$ (m)	-0.0422	$D_p$	0.095
$C_B$	0.547	$\eta$	0.794
		$P / D_p$	0.0775

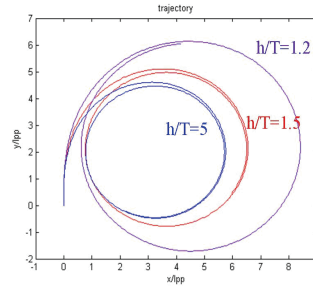


Fig. 7 35° starboard turning of KVLCC

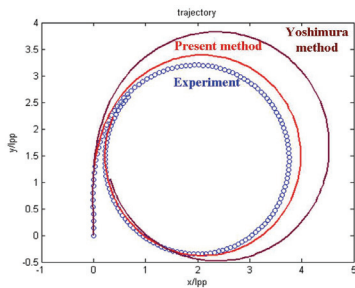


Fig. 6 35° starboard turning of a model PCC

10 과 같다.

Fig. 6 은 Yoshimura(1988)에서 제시된 자유항주 모형시험 결과와 본 연구에서의 수치모사 결과를 비교한 그림이다. 본 연구에서 제시된 수학적 모형과 자유항주 모형 시험 간에 약간의 차이는 보여지나 Yoshimura(1988)의 방법에 비해 자유항주 시험의 결과를 보다 정도 높게 예측하고 있는 것을 확인할 수 있다.

4.3. 조종성능에 대한 심도의 영향

PMM 시험을 수행한 KVLCC 선형에 대하여 본 연구에서 제시된 조종운동방정식을 이용, 운항 해역의 심도에 변화를 주며 조종성능 변화를 확인하였다. Fig. 7 은 운항 해역의 심도 변화에 따른 선회 반경 변화를 나타낸 그림이다.

기존의 연구 결과들에서 알려진 것과 유사하게 운항 해역의 심도가 알아질수록 선회 반경이 커지는 결과를 보이는 것을 확인할 수 있으며 선회 반경

의 증가율은 심도가 알아질수록 확연히 커지는 것을 확인할 수 있다.

5. 결론

본 논문에서는 입출항 및 수로 항해시 선박의 안전성을 확인하기 위하여 저속, 천수역 상태의 조종성을 추정할 수 있는 조종 운동 방정식을 제안하였다.

저속, 천수역 상태에 대한 조종운동방정식을 구성하기 위하여 먼저 심수역 상태에 대한 MMG의 조종운동방정식 모델을 기본으로 하고, 유체력 계수에 천수 영향을 고려하여 저속 천수에서의 조종 운동 방정식을 제시하였다. 방정식의 모델링 과정에서 cross flow drag 계수도 선박의 기본 제원으로 추정할 수 있도록 하였다.

KVLCC 및 S-175 선형에 대한 저속, 심수역 상태의 PMM 시험 결과를 바탕으로 해당 상태의 조종운동방정식에 포함되는 계수를 추정하였으며, 통상의 운항속도 및 심수 상태에 대한 조종성 계수 경험식과 비교하여 저속, 심수역 상태에서 선박의 기본 제원으로 조종성 계수를 얻을 수 있는 추정식을 제시하였다. 추정식 작성에 사용된 시험의 회수가 다소 적지만 본 추정식의 사용으로 속도 영향을 반영할 수 있는 것을 확인할 수 있었으며, 향후 보다 많은 자료를 확보한다면 추정식의 보다 정밀한 수정이 가능할 것으로 생각된다.

본 연구에서 제안한 조종 운동 방정식을 바탕으로 수치모사를 실시하여 속도 및 수심에 대한 기

존의 연구 결과와 비교한 결과 본 논문에서 제안된 조종 운동 방정식이 기존의 저속 심수, 저속 천수에서의 조종 운동 방정식과 비교하여 실선 시 운전 및 자유 항주 시험 결과에 보다 근접한 결과를 주는 것을 확인할 수 있었다.

후 기

본 연구의 일부는 서울대학교 BK21 해양기술인력양성사업단의 지원으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- Hoerner, 1965, Fluid-Dynamic Drag, Brick Town, Great Britain.
- International Towing Tank Conference, 2003, "Manoeuvring in Shallow and Confined Water," Proceedings of 23<sup>rd</sup> ITTC, Vol. 1, pp. 201-209.
- Kijima, K., Yoshimura, Y. and Fukasawa, T., 1987, "Manoeuvring Characteristics in Shallow Water and at Slow Speed," Proceedings of the 4th Symposium on JMDC, pp.133-189.
- Kim, J.A. and Lee, S.K., 1992, "Mathematical Model for the Hydrodynamic Forces in Forward or Backward Low Speed Maneuvering," Journal of the SNAK, Vol. 29, No. 3, pp. 45-52.
- Oltmann, P. and Sharma, S.D., 1984, "Simulation of Combined Engine and Rudder Maneuvers using an Improved Model of Hull-Propeller-Rudder Interactions," Proceedings of the 15th Symposium on Naval Hydrodynamics, pp. 83-108.

- Sohn, K.H., 1992, "Hydrodynamic Forces and Maneuvering Characteristics of Ships at Low Advance Speed," Journal of the SNAK, Vol. 29, No. 3, pp. 90-101.
- Yasukawa, 1998, "Computation of Effective Rudder Forces of a Ship in Shallow Water," MAN' 98, pp. 125-133.
- Yoo, W.J., 2000, "An Experimental Research on the Maneuvering Derivatives of a Twin-screw Ferry for Berthing and Unberthing," Seoul National University.
- Yoon, H.K. and Kim, S.Y., 2005, "A Study on the Model Test Scheme for Establishing the Mathematical Model of Hydrodynamic Force and Moment Acting on a Slowly Moving Ship," Journal of the SNAK, Vol. 42, No. 2, pp. 98-104.
- Yoshimura, Y., 1988, "Mathematical model for the Manoeuvring Ship Motion in Shallow Water-Mathematical Model at Slow Forward Speed," Journal of Kansai Society of Naval Architects of Japan, Vol. 210, pp. 77-84.



< 김 세 원 >



< 여 동 진 >



< 이 기 표 >



< 김 동 진 >