

저속시 선체에 작용하는 유체력 수학모형 정립을 위한 모형시험 방안 연구

윤현규^{†*}, 김선영^{*}

한국해양연구원 해양안전방제연구본부^{*}

A Study on the Model Test Scheme for Establishing the Mathematical Model of Hydrodynamic Force and Moment Acting on a Slowly Moving Ship

Hyeon Kyu Yoon^{†*} and Sun Young Kim^{*}

Maritime Safety & Pollution Control Laboratory, KRISO/KORDI^{*}

Abstract

The mathematical models of hydrodynamic force and moment acting on a ship at low speed range should be established differently from the ones at nominal cruising speed range since a ship moves with large drift angle or rotates in a stationary position. We modified widely used Yoshimura's cross flow model in order to apply the system identification method to estimate parameters in the model. The apparatus and the procedure of free running model test were suggested so that the parameters in the model be estimated. The validity of our proposing modified model and test procedure was confirmed by comparison with the results of simulated model test.

※Keywords: Low speed(저속), Model test(모형시험), Mathematical model(수학모형), Hydrodynamic force(동유체력), System identification method(시스템 식별법)

1. 서론

일반적인 선박은 화물 또는 승객의 수송을 위하여 바람, 파도, 조류 등의 환경 영향을 받으며 정해진 항로를 따라 운항한다. 이 때 선박은 다양한

형태의 조종운동을 하게 되는데, 이는 항로상에 대하여 항만 내외의 운동으로 구분할 수 있다. 항만 외에서 선박은 설계속도로 침로 변경, 선회 등의 표준 조종운동을 하는데 반하여, 항만 내에서는 아접안, 출발, 정지, 제자리 선회 등의 다양한 조종운동을 하게 된다. 따라서 다양한 선박에 대하여 이러한 운동을 정도 높게 추정할 수 있다면, 운항자에게 사전에 최적의 항만 내 이동 경로를 제시하여 빈번하게 발생하는 선박 충돌 사고를

접수일: 2004년 10월 26일, 승인일: 2004년 12월 13일

†주저자, E-mail: hkyoon@kriso.re.kr

Tel: 042-868-7292

미면에 방지할 수 있으며, 교육 훈련 시뮬레이터 등에 적용하여 운항자의 선박조종 기량을 향상시키는 데 이용할 수 있다.

항만 내에서는 수많은 선박이 밀집해 있으므로 선박은 저속으로 운항하게 되고, 외란의 영향이 적은 대신 천수, 안벽 등의 영향이 나타나게 되므로, 항만 외에서의 조종운동과는 상당히 다른 특성의 운동을 하게 된다. 따라서 기존의 조종운동 중 선박에 작용하는 유체력 모형과 조종계수들을 그대로 적용할 수는 없다. 일본조선학회에서는 저속천수역 조종운동 수학모형 검토 전문위원회(MSS)를 발족하여 항만 내에서와 같이 저속으로 운항하는 선박에 작용하는 유체력에 대하여 연구를 수행하여 수학모형을 제시한 바 있고(MSS 1989), Le and Kose (2000)는 저속운동도 모사할 수 있는 선박 조종시뮬레이터의 수학모형을 제안하였다.

이러한 저속수학모형의 형태는 크게 두 가지로 분류할 수 있다. 첫 번째로는 Oltmann, Yoshimura 등(MSS 1989)이 제안한 Cross flow 항력 모형이다. 선박에 작용하는 유체력을 이상유체력, 양력, 유도 항력, Cross flow 항력으로 구분한 후, Cross flow 항력 성분을 선체 길이 방향의 함수인 2차원 항력계수를 이용하여 길이 방향으로 적분하여 표현하는 방법이다. Cross flow 항력 모형을 사용하기 위해서는 길이 방향의 2차원 항력계수들을 추정하여야 하며, 이는 선체 길이에 대한 다항식 또는 간단하게 모든 단면에 대하여 일정하다고 가정하여 추정한다. 전체 유체력 모형에 포함된 계수들은 모든 범위의 편류각 시험과 2차원 항력계수를 구하는 구속모형시험을 통하여 얻는다. 두 번째 방법은 선체에 작용하는 유체력을 편류각에 대하여 Fourier 급수로 전개하고, 각 항들의 계수들은 선속동요 각속도만의 함수로 표현하는 방법이다(MSS 1989). 편류각을 좌우동요 속도로 변환하면 Fourier 급수 모형은 다항식 형태가 된다. 선속동요 각속도에 대하여 표현한 각 급수의 계수들은 직선수조에서 모형선을 일정한 각속도로 회전시키며 예인하는 Yaw rotating test를 통하여 획득한다.

본 연구에서는 저속시 선체에 작용하는 유체력

의 수학모형을 정립하기 위하여 Yoshimura(MSS 1989)가 제안한 Cross flow 항력모형을 기본 모형구조로 선택하였다. 수학모형에 포함된 계수들은 자유항주 모형시험 결과와 시스템 식별법(윤현규와 이기표 2003)을 이용하여 추정한다. 기존 Yoshimura의 수학모형은 선체 길이방향의 적분식 안에 구하고자 하는 항력계수가 포함되어 있으므로, 시스템 식별법의 적용에 어려움이 있다. 따라서 시스템 식별법을 적용하기 적절한 수정 수학모형을 제안하고, 기존 수학모형에 의한 결과와 비교를 수행하였다. 근래에 들어 선박의 조종성 평가를 위하여 자유항주 모형시험(김선영 등 2004)을 많이 수행하는 실정으므로, 기존의 자유항주 모형 시스템에 다양한 운동을 가할 수 있는 공기팬을 설치하여 조종계수를 식별할 수 있는 모형시험법을 제안하기로 한다. 자유항주 모형시험에 대한 시뮬레이션 결과를 통하여 본 연구에서 제안하고 있는 수학모형 및 모형시험법에 대한 검증을 수행하기로 한다.

2. 저속시 유체력 수학모형

1장에서 언급한 바와 같이 저속시 선체에 작용하는 유체력의 대표적인 수학모형은 2차원 Cross flow 항력을 선체 길이 방향으로 적분한 표현식인 식(1)의 Yoshimura 모형과 편류각에 대한 Fourier 급수 형태로 표현한 Takashina의 모형이 있다(MSS 1989). 본 연구에서는 Yoshimura의 수학모형을 기반으로 하여 수정된 모형을 정립할 것이므로 식(1)에 Yoshimura 수학모형을 나타내었다.

$$\begin{aligned}
 X_H &= X_{vr} + X_H^0 \\
 Y_H &= Y_{ur} + Y_H^0 + \frac{\rho}{2} L d C_{D0} u |u| \\
 &\quad - \frac{\rho}{2} d C_{D0} \int_{-L/2}^{L/2} |v + C_{rv} x| (v + C_{rv} x) dx \\
 N_H &= N_{|u|} |u| r + N_H^0 \\
 &\quad - \frac{\rho}{2} d C_{D0} \int_{-L/2}^{L/2} |v + C_{rv} x| (v + C_{rv} x) x dx
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

식(1)에서 부가질량 및 부가관성모멘트에 의한 성분은 운동방정식에서 관성력 성분에 포함할 것

이므로 제외하고 표현하였다. 식(1)의 하첨자 H와 상첨자 0는 각각 순수 선체에 작용하는 유체력과 선수동요 각속도가 없는 경우의 유체력을 의미하며, v , r 은 각각 좌우동요 속도, 선수동요 각속도이다. C_{D0} , C_{rY} , C_{rN} 은 각각 대표 2차원 Cross flow 항력계수와 각 하첨자 방향의 보정계수들을 나타낸다.

식(1)에서 알 수 있듯이 항력계수에 대한 보정계수들이 적분식 안에 있고, 또한 적분식의 형태는 절대값으로 표현되어 있기 때문에 비록 C_{rY} , C_{rN} 이 일정상수라고 하여도, 모형시험을 통한 계수추정에 어려움이 있다. 따라서 본 연구에서는 보정계수에 대한 선체 길이 방향의 영향은 수선면에서의 선형 정보를 이용하여 고려하고, 그 절대크기는 대표 항력계수 C_{D0} 에 포함하는 방법으로 Y_H , N_H 에 대한 수정 수학모형을 식(2)와 같이 제안한다.

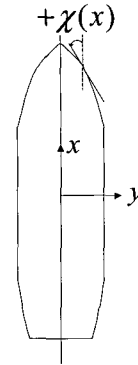


Fig. 1 Definition of $\chi(x)$ in (2)

$$\begin{aligned}
 Y_H &= Y_{ur}ur + Y_H^0 \\
 &+ \frac{\rho}{2} dC_{Dv} \int_{-L/2}^{L/2} v|v| \cos \chi(x) dx \\
 &- \frac{\rho}{2} dC_{Dv} \int_{-L/2}^{L/2} |v+rx|(v+rx) \cos \chi(x) dx \\
 N_H &= N_{|u|} |u| r + N_H^0 \\
 &+ \frac{\rho}{2} dC_{Dn} \int_{-L/2}^{L/2} v|v| x \cos \chi(x) dx \\
 &- \frac{\rho}{2} dC_{Dn} \int_{-L/2}^{L/2} |v+rx|(v+rx) x \cos \chi(x) dx
 \end{aligned} \tag{2}$$

식(1)의 선체 길이방향의 선수동요 각속도에 대한 항력 보정계수 C_{rY} , C_{rN} 은 길이 방향의 위치에서 유입류의 법선 방향 성분 크기에 따라 변한다고 가정하면 선체 수선면의 투영면적 변화로 표현할 수 있다. 수선면의 길이방향 기울기 $\chi(x)$ 는 Fig. 1에 정의하였고, $\chi(x)$ 의 범위는 $-\pi/2 \sim \pi/2$ 이다.

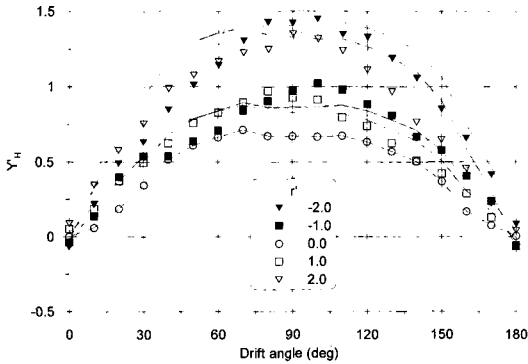
식(1)의 Yoshimura 수학모형에서는 Y_H , N_H 표현식들에 항력계수 C_{D0} 가 동일하고, 보정계수들에 각각의 차이를 두어 고려한 반면, 식(2)에서 제안하는 수학모형에서는 보정계수들을 선체 형상에 대한 $\cos \chi(x)$ 로 동일하게 적용하였으므로 항력계수로 나타낼 수는 있는 C_{D0v} , C_{D0n} 을 상이

하게 모델링 하였다. 식(2)와 같이 수학모형을 정립하면 Cross flow 항력을 나타내는 적분식 안에 구하고자 하는 계수가 없으므로, 자유항주 모형시험과 시스템 식별법을 통한 계수 추정이 식(1)에 비해 용이하다는 장점이 있다.

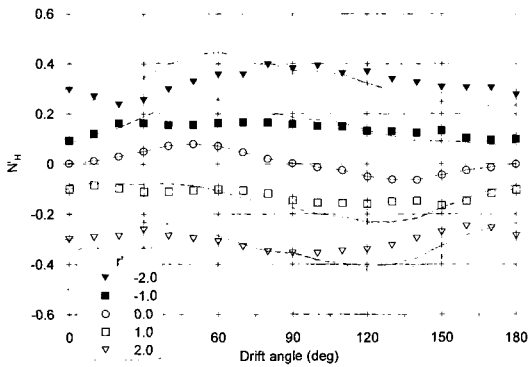
식(2)의 수정 수학모형의 검증은 위하여 모형시험 및 Yoshimura 수학모형으로부터 계산한 결과(MSS 1989)와 비교를 수행하였다. 계산에 사용한 모형선의 수면 반폭형상은 단순하게 3구간에서 $\cos \chi(x)$ 의 변화가 있는 쌍기형이라고 가정하였다. 모형선의 길이, 폭 등은 모형시험시 사용한 선박과 동일하다. 식(1)과 식(2)의 수학모형들에서의 항력계수들과 보정계수들은 각각 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 C_{D0} &= 0.7, \quad C_{rY} = 1.8, \quad C_{rN} = 1.5 \\
 C_{D0v} &= 2.3, \quad C_{D0n} = 1.2
 \end{aligned} \tag{3}$$

Fig. 2에 선체에 작용하는 좌우동요 무차원 유체력과 유체모멘트를 도시하였다. 실선은 식(2)의 수정 수학모형으로 계산한 것이고, 점선은 식(1)의 Yoshimura 수학모형으로 계산한 것이다. 계산 결과를 보면, 수정 수학모형으로도 Cross flow 항력 성분을 충분히 표현할 수 있다고 사료된다. 만약 선형에 대한 값이 정확하게 입력으로 주어진다면 수정 수학모형으로 좀더 유체력을 잘 표현할 수 있을 것으로 기대된다.



(a) Sway hydrodynamic force



(b) Yaw hydrodynamic moment

Fig. 2 Hydrodynamic force and moment acting on a bare hull

3. 모형시험 방안

본 연구의 목적이 저속 조종운동 중인 순수 선체에 작용하는 유체력 성분을 모델링하는 것이므로 추진기나 타는 고려하지 않는다. 또한 많은 회수의 시험이 필요한 구속모형시험 대신 몇 번의 단순한 시험을 통하여 식(2)의 모든 계수를 구할 수 있는 자유항주 모형시험을 수행하기로 한다.

추진기와 타가 없으므로 Le and Kose(2000)가 수행한 것과 같이 3개의 팬(fan)을 이용하여 수면하의 유동 흐름이 부가물에 의하여 교란되는 것을 방지하면서 선박이 주어진 운동을 할 수 있도록 장치를 구성하였다. Le and Kose(2000)는 제어 가능한 팬들을 이용하여 자유항주 편류각 시험 및 선회시험을 수행한 반면 본 연구에서는 팬들에 의한 힘을 조화함수 형태로 발생시켜서 편류각과 선

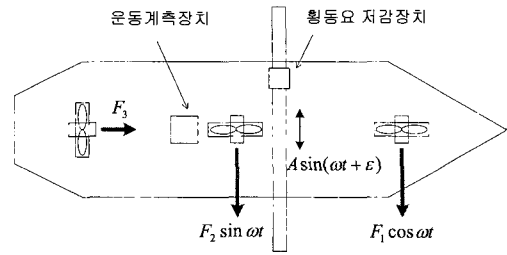


Fig. 3 Conceptual configuration of free running model

수동요 각속도가 동시에 일어나도록 구성하였다. Fig. 3에 자유항주모형 구성도를 도시하였다.

Fig. 3에서 선수부, 중앙부 팬들은 좌우동요와 선수동요를 발생시키고, 선미부 팬은 추력을 발생한다. 후진하는 경우는 선수부, 선미부 팬을 Fig. 3의 방향에서 90° 회전시킨다. 선수부와 중앙부 팬들이 발생하는 힘간에 90°의 위상차를 두는 이유는 좌우동요 속도와 선수동요 각속도가 선형 종속이 되지 않도록 하기 위함이다.

팬들은 상하방향 무게중심 보다 높게 설치될 것이므로 좌우동요와 함께 반드시 횡동요가 동시에 발생하게 된다. 큰 편류각을 얻기 위해서는 선수부와 중앙부 팬들이 발생시키는 힘도 커야 하기 때문에 횡동요도 크게 일어나게 된다. 따라서 팬들이 발생시키는 횡동요 모멘트를 보상하기 위한 횡동요 저감장치를 설치한다. 횡동요 저감장치는 능동 이동질량 감요장치(윤현규 등 2004)로써 선형 서보모터를 이용하여 이동질량을 움직이면서 관성력과 중력에 의한 횡동요 모멘트를 발생시킨다. 이동질량의 질량과 Fig. 3에 나타낸 위상각은 선수부, 중앙부 팬들이 발생하는 힘의 크기에 의하여 식(4)와 같이 계산할 수 있다.

$$m_m = \frac{\sqrt{F_1^2 + F_2^2}}{gA} \tag{4}$$

$$\epsilon = \tan^{-1} \frac{F_1}{F_2}$$

식(4)에서 g 는 중력가속도를 나타내고, 나머지 기호들은 Fig. 3에 나타내었다.

식(2)에서 Y_H^0, N_H^0 는 Yoshimura가 제안한 0~180°의 편류각 시험 결과를 사용하는 대신 자유항주 모형시험 결과를 통하여 추정할 것이므로 다항식 형태로 풀어서 표현하기로 한다. 또한 팬들에 의한 횡동요 모멘트는 횡동요 저감장치를 이용하여 보상하지만 좌우동요 유체력에 의한 횡동요 성분은 고려하여 주어야 한다. 식(2)를 기반으로, 횡동요를 고려한 선체에 작용하는 유체력 수학적모형을 식(5)에 나타내었다.

$$\begin{aligned}
 X_H &= X_{ud}ud + X_{vr}vr + X_{\alpha}\alpha + X_{d\alpha}d\alpha \\
 &\quad + X_{\phi\phi}\phi^2 \\
 Y_H &= Y_{ur}ur + Y_{\beta}\beta + Y_{\beta\beta}\beta\beta + Y_{p}p + Y_{\phi}\phi \\
 &\quad + \frac{\rho}{2} dC_{Dv} \int_{-L/2}^{L/2} u|u| \cos \chi(x) dx \\
 &\quad - \frac{\rho}{2} dC_{Dv} \int_{-L/2}^{L/2} |v+rx|(v+rx) \cos \chi(x) dx \\
 N_H &= N_{ud}udr + N_{\alpha}\alpha + N_{d\alpha}d\alpha + N_{p}p + N_{\phi}\phi \\
 &\quad + \frac{\rho}{2} dC_{Dn} \int_{-L/2}^{L/2} u|u|x \cos \chi(x) dx \\
 &\quad - \frac{\rho}{2} dC_{Dn} \int_{-L/2}^{L/2} |v+rx|(v+rx)x \cos \chi(x) dx \\
 K_H &= K_p p + K_{\phi}\phi - z_Y Y_H - \Delta \overline{GM} \sin \phi
 \end{aligned} \tag{5}$$

여기서, $\beta = \tan^{-1}\left(\frac{-v}{u}\right)$, $-\pi \leq \beta < \pi$
 $\alpha = \beta - \text{sign}(\beta)\alpha_0$

식(5)에서 p, ϕ, z_Y 는 각각 횡동요 각속도와 횡동요각, 좌우동요 유체력 작용점까지의 z 거리를 나타낸다. α_0 는 좌우동요방향 운동시 선체에 작용하는 유체력에 의한 선수동요 모멘트가 0이 되는 편류각이다. 만약 선박이 전후대칭이라면 α_0 는 $\pi/2$ 가 된다. Fig. 2(b)에서 볼 수 있듯이 같은 v 에서도 β 가 1 또는 2사분면 어디에 있느냐에 따라 선수동요 유체모멘트가 달라진다. 또한 그 값은 거의 90°에서 기함수 형태가 되므로 β 를 α_0 만큼 평행 이동한 각 α 를 정의하였다.

식(5)는 후진시에도 적용할 수 있도록 정립하였

으므로, 좌우동요에 의한 성분을 v 로 표현하는 것 보다 β 로 표현하는 것이 u, v 에 대한 모든 사분면 값을 고려할 수 있어서 적절하다.

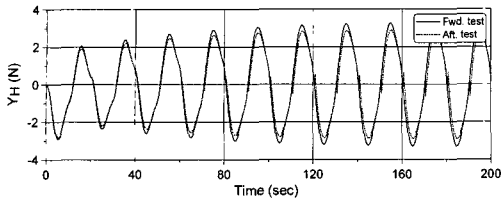
전진 및 좌우방향 변위, 횡동요 및 선수동요각 또는 각속도를 계속하면 Newton 제 2법칙을 통한 4자유도 운동방정식과 시스템 식별법(윤현규와 손남선 2004)을 적용하여 운동변수와 유체력을 포함한 팬과 횡동요 저감장치가 발생하는 전체 힘과 모멘트를 추정할 수 있다. Fig. 3의 팬들이 발생시키는 힘을 각각의 위치에서 계속하고, 이론적으로 횡동요 저감장치에 의한 모멘트를 계산한 후 전체 힘에서 보정하여 주면 식(5)의 중력을 포함한 유체력 성분만을 얻을 수 있다.

식(5)를 추정된 운동변수와 유체력을 이용하여 선형회귀모형으로 표현한 후 회귀분석법을 이용하여 각각의 조종계수를 구하고, 횡동요 성분을 제외하면 지속시 순수 선체에 작용하는 유체력의 수학적모형을 정립할 수 있다.

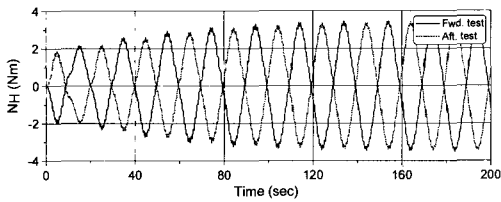
4. 모형시험법 검증 시뮬레이션

3장에서 제안한 모형시험법을 시뮬레이션을 통하여 검증하였다. 모형시험을 통하여 구하고자 하는 조종계수는 식(5)에 포함된 계수들이다. 시뮬레이션시 작용하는 유체력 모형은 식(1)을 사용하였고, 식(1)에 없는 횡동요 관련 계수들은 적절하게 가정하였다.

모형시험은 전진 및 후진시험을 각각 1회씩 수행하고, 전·후진 방향 팬들의 추진력은 0.1 N으로 설정하였다. 또한 좌우방향 팬들은 5 N, 0.05 Hz로 설정하였다. 팬에 의한 힘을 제외한 외력이 없고, 선박의 운동궤적을 계속할 수 있다면 선체에 작용하는 유체력과 팬이 가해준 힘은 윤현규와 이기표(2003)가 제안한 모델링 전 추정기법을 통하여 추정할 수 있다. 또한 각각의 팬에 의한 추진력을 계속할 수 있다면 추정된 전체 힘에서 그 영향을 보정하여 선체에 작용하는 순수 유체력을 추정할 수 있다. Fig. 4에 시뮬레이션을 통하여 계산된 선체에 작용하는 좌우동요방향 유체력과 선수동요방향 유체모멘트를 도시하였다.



(a) Sway hydrodynamic force



(b) Yaw hydrodynamic moment

Fig. 4 Simulated hydrodynamic force and moment acting on a bare hull in free running model test

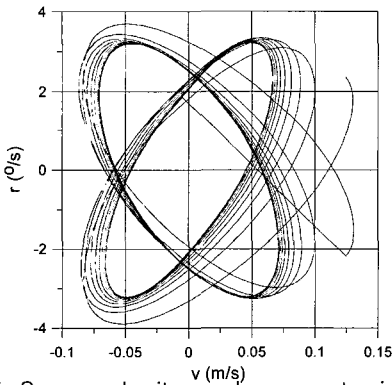


Fig. 5 Sway velocity and yaw rate in free running model test

Fig. 5와 Table 1 ~ 2에 각각 모형선의 좌우동요 속도와 선수동요 각속도의 분포와 식(5)의 각종계수들에 대한 조합운동변수들의 상관관계를 나타내었다. Fig. 5에 의하면 일반적인 선박의 조종운동에서 발생하는 좌우동요 속도와 선수동요 각속도가 선형 종속적으로 일어나는 동시표류현상(Hwang 1980)은 없는 것을 알 수 있다. Table 1 ~ 2에 의하면 β , $\beta\beta$ 와 α , $d\alpha$ 에 의한 상관관계가 매우 크지만 다른 조합운동변수들 간에는 비교적 작은 상관관계를 보이고 있다.

Table 1 Correlations of composite motion variables in sway hydrodynamic force model

	Y_{wr}	Y_{β}	Y_{ρ}	Y_{ϕ}	$Y_{\beta\beta}$	$C_{D\gamma}$
Y_{wr}	1.00	-0.42	0.02	-0.91	-0.37	-0.78
Y_{β}		1.00	-0.07	0.31	0.99	0.50
Y_{ρ}			1.00	-0.01	-0.06	-0.05
Y_{ϕ}				1.00	0.28	0.64
$Y_{\beta\beta}$					1.00	0.45
$C_{D\gamma}$						1.00

Table 2 Correlations of composite motion variables in yaw hydrodynamic moment model

	N_{wr}	N_{α}	N_{ρ}	N_{ϕ}	$N_{d\alpha}$	$C_{D\delta}$
N_{wr}	1.00	0.58	0.00	-0.03	0.55	-0.84
N_{α}		1.00	0.00	-0.06	0.99	-0.55
N_{ρ}			1.00	-0.01	-0.00	0.00
N_{ϕ}				1.00	-0.06	0.03
$N_{d\alpha}$					1.00	-0.50
$C_{D\delta}$						1.00

Table 3 Estimated hydrodynamic coefficients

계수	참값	추정값	계수	참값	추정값
Y_{wr}	1.3(-3)	1.3(-3)	N_{wr}	-2.3(-3)	-2.6(-3)
Y_{β}	4.1(-2)	4.2(-2)	N_{α}	-7.4(-3)	-6.7(-3)
Y_{ρ}	0.0	-2.1(-6)	N_{ρ}	2.1(-4)	2.2(-4)
Y_{ϕ}	-6.3(-5)	7.4(-4)	N_{ϕ}	-1.4(-4)	-1.2(-3)
$Y_{\beta\beta}$	-1.3(-2)	-1.3(-2)	$N_{d\alpha}$	4.9(-3)	4.3(-3)
$C_{D\gamma}$	1.1(-1)	8.4(-2)	$C_{D\delta}$	5.5(-2)	5.4(-2)

Table 3에는 최소자승법으로 추정된 좌우동요 동유체력과 선수동요 동유체모멘트의 조종계수들을 참값과 비교하여 나타내었다. 앞서 상관관계 해석에서 언급한 바와 같이 편류각들에 대한 운동변수들 간에 상관관계가 큼에도 불구하고, 다른 조합변수들간에는 큰 상관관계가 없으므로 좌우동요, 선수동요 조종계수들을 구하기 위한 정보행렬

의 조건수가 각각 1612, 1468 정도로 크지 않았다. 따라서 중요계수들을 잘 추정하고 있는 것을 볼 수 있다. 모형시험 결과를 얻기 위한 시뮬레이션은 식(1)의 수학모형을 사용하였으므로 Table 3의 $C_{D0,y}$, $C_{D0,x}$ 값은 식(3)에서 나타낸 값을 흘수 대신 길이 차원으로 무차원화 한 값이고, 괄호 안의 숫자는 10의 역을 나타낸다.

5. 결론

본 연구에서는 저속시 순수 선체에 작용하는 유체력 수학모형으로 널리 사용되는 Yoshimura (MSS 1989)의 수학모형을 시스템 식별법을 적용하기 용이하도록 선체 형상정보를 이용하여 수정·보완하였다. 수정된 수학모형은 모형시험결과와도 잘 일치하는 것을 확인하였다. 또한 수정된 수학모형에 포함된 조종계수들을 몇 번의 단순한 자유항주 모형시험을 통하여 구할 수 있도록 시험장치 및 시험방법을 제안하였다. 시험장치는 Le and Kose(2000)가 제안한 바와 같은 3개의 팬을 이용하고 조종운동은 좌우동요 속도와 선수동요 각속도를 조화적으로 발생시키고, 필연적으로 수반되는 횡동요를 저감할 수 있도록 구성하였다. 시뮬레이션을 통한 모형시험 결과를 이용하여 조종계수를 추정한 결과 참값과 잘 일치하는 결과를 도출할 수 있었다.

본 연구에서 제안한 시험방법을 통하여 얻은 편류각 관련 운동변수들 간에 상관관계가 매우 크게 나타났는데, 이를 줄이기 위한 시험 시나리오에 대한 연구와 실제 모형시험을 통한 적용 가능성 검토가 추후 이루어져야 한다.

후 기

본 논문은 기본연구사업 “해양위해도 통합관리 시스템 기반기술 개발(III)” 과제에서 지원하여 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- 김선영, 이석원, 박광동 외, 2004, “차세대 선박의 조종성/안전성 평가기술 개발 (II),” KRISO 연구보고서, UCN00370-2433
- 윤현규, 손남선, 2004, “시스템 식별법을 이용한 선박의 횡동요 계수 추정,” 대한조선학회 논문집, 제 41권, 제 4호, pp. 55-60.
- 윤현규, 이경중, 이창민, 2004, “자세제어장비를 장착한 선박의 파랑중 운동 모델링 및 시뮬레이션,” 한국항해항만학회지, 제 28권, 제 5호, pp. 347-352.
- 윤현규, 이기표, 2003, “모델링 전 추정기법을 이용한 조종시운전시의 외력 및 조류 변수 추정,” 대한조선학회 논문집, 제 38권, 제 4호, pp. 30-38.
- 저속천수역 조종운동 수학모델 검토 전문위원회 (MSS), 1989, “저속시의 조종운동모델의 실용화 - MSS 보고 IV”, 일본조선학회지, 제721호, pp. 9-17.
- Hwang, W., 1980, Application of System Identification to Ship Maneuvering, Ph.D Thesis, MIT
- Le, M.D. and Kose, K., 2000, "Estimation of Ship Hydrodynamic Coefficients at Low Speed Range and Application to Control Ships," The Journal of Japan Institute of Navigation, Vol.103, pp.33-39.



< 윤 현 규 >



< 김 선 영 >