

선수동요 동유체력미계수 추정을 위한 시운전 시나리오에 관한 연구

윤현규^{†*}

한국해양연구원 해양운송안전연구본부*

A Study on Sea Trial Test Scenario for Estimation of Hydrodynamic Rotary Derivatives

Hyeon-Kyu Yoon^{†*}

Marine Transportation & Safety Research Department, MOERI/KORDI*

Abstract

Free running model tests gives us only maneuvering indices not hydrodynamic derivatives. For this reason, system identification method has been applied to the measured data to identify mathematical model describing hydrodynamic force. However It is difficult to obtain complete set of maneuvering derivatives because of strong correlation of sway velocity and yaw rate. Therefore, in this paper, we assumed that sway velocity related coefficients would be obtained by oblique towing test, and then proposed new procedure to estimate yaw related coefficients. To do this, correlation and regression analyses were carried out to establish modified model and estimate maneuvering derivatives. Also D-optimal rudder input scenario was found based on the modified model and confirmed the validity of its sufficient richness as a input scenario.

※Keywords: Maneuverability(조종성능), Mathematical model(수학모형), Free running model test(자유항주 모형시험), System identification method(시스템 식별법), Hydrodynamic force(동유체력), Optimal input scenario(최적 입력 시나리오)

1. 서론

최근 선박이 대형화, 고속화됨에 따라 조종성능

이 상당히 중요해지고 있다. 선박의 조종성능은 선회반경, 오버슈트 선수동요각 등의 조종성 지수를 이용하여 평가한다(강창구 1994).

조종성 지수를 획득하는 방법은 여러 가지가 있는데, 정립된 수학모형을 이용하여 시뮬레이션 하는 방법(Kobayashi et al. 1995), 자유항주 모형 시험법으로 구분할 수 있다. 수학모형은 선체, 추

접수일: 2005년 10월 14일, 승인일: 2005년 11월 22일

† 주저자, E-mail: hkyoon@moeri.re.kr

Tel: 042-868-7292

진기, 타에 의한 유체력을 적절한 함수식과 상수들로 구성한 것이다. 선박 및 구성부의 형상 특성에 따라 결정되는 동유체력미계수를 비롯한 상수들은 구속 모형시험 또는 경험식을 이용하여 계산한다. 자유항주 모형시험은 컴퓨터, 통신, 계측장치 및 구동장치 기술의 발전에 따라 최근 들어 많이 수행되고 있다. 자유항주 모형시험은 복잡하면서도 오차가 있는 수학모형 대신에 직접 조종성 지수를 획득할 수 있다는 장점은 있지만, 다양한 조종 운동 시나리오의 모사 및 자동조타기 설계 등에 사용할 운동방정식을 제공할 수 없다는 단점이 있다. 따라서 자유항주 모형시험 시에 계측한 운동값들을 이용하여 수학모형을 추정할 수 있다면 이러한 단점을 극복할 수 있을 것이다.

자유항주 모형시험 또는 실선 시운전에서 계측한 데이터에 시스템 식별법을 적용하여 동유체력미계수를 추정하는 연구는 국내외에서 많이 수행되었다(Hwang 1980, 윤현규와 이기표 2003, 윤현규와 손남선 2004). 또한 식별이 용이한 시운전 시나리오에 대한 연구는 Rhee and Kim(2000), 연성모 등(2004)에 의하여 수행된 바 있다. 시스템 식별법을 선박 조종문제에 적용하는데 가장 어려운 점은 선박이 조종운동 할 때 좌우동요 속도와 선수동요 각속도가 동시에 발생한다는 것이다(Hwang 1980). 이러한 식별성 문제 때문에 안정성 계수인 선형계수 조차도 추정에 어려움이 있고, 이러한 현상은 어떠한 방법론적인 해법으로도 풀 수 없는 본질적인 문제이다.

본 논문에서는 이러한 본질적인 한계를 인정하여, 구속모형시험 중에 편류각 시험으로 좌우동요 동유체력미계수는 구하고, 부가질량계수는 이론식을 이용하여 구한다고 가정하였다. 선수동요 동유체력미계수를 시스템 식별법으로 구하기 위하여 상관관계 해석을 통하여 수학모형을 정립하고, 계수를 구하는 절차에 대하여 제안하였다. 또한 정확도가 높은 동유체력미계수의 추정을 위하여 D-optimal 관점(Goodwin 1977)에서 최적인 타각 입력 시나리오를 도출하는 방법을 제안하고, 그 결과를 적용하였다. 최적 타각 입력 시나리오에 따라 추정된 동유체력미계수는 표준조종시운전 시나리오(강창구 1994)에 의한 것 보다 더욱 향상되었

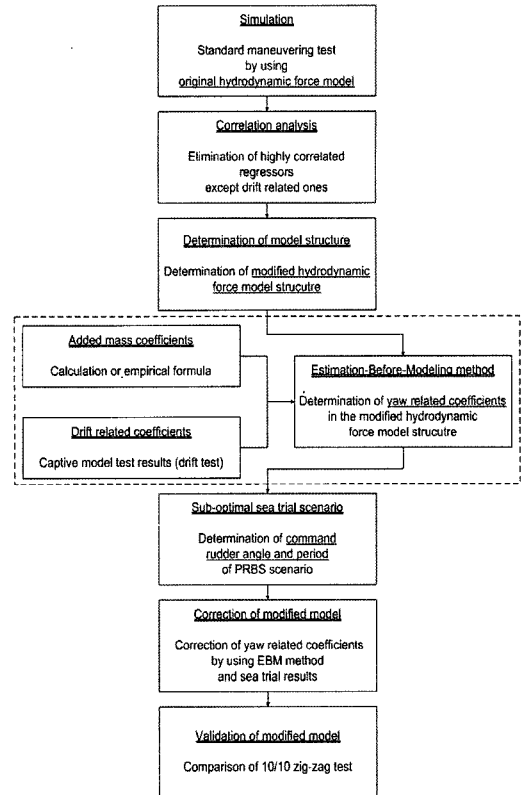


Fig. 1 Flow chart of establishing procedure of hydrodynamic force model

다는 것을 시뮬레이션을 통하여 밝혔다.

Fig. 1은 선수동요 동유체력미계수를 추정하고, 그 유효성을 검증하는 절차에 대한 흐름도이다. 본 논문에서는 대상 선박을 길이 175m 컨테이너 선(Fossen 1994)으로 선정하였고, Fig. 1의 점선 블록으로 나타낸 부분은 이미 수행되었다고 가정하고(윤현규와 손남선 2004), 나머지 항목들에 대하여 절차대로 수행하였다.

2. 운동방정식

선박은 바람, 파도, 조류가 없는 정수 중에서 조종운동을 한다고 가정하면 수평면 운동방정식은 Fig. 2의 좌표계에 대하여, Newton의 제2법칙과 MMG의 표현식에 의하여 식(1)과 같이 나타낼 수 있다.

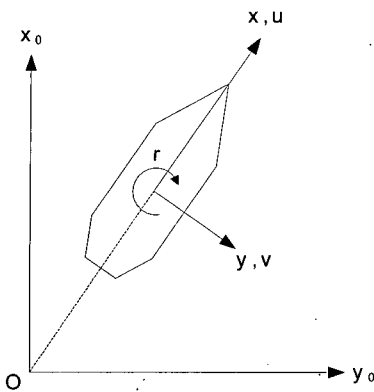


Fig. 2 Coordinate systems and definition of motion variables

$$\begin{aligned}
 m(\ddot{u} - vr - x_G \dot{r}^2) &= X_H + X_P + X_R \\
 m(\ddot{v} + ur + x_G \dot{r}) &= Y_H + Y_R \\
 I_z \dot{r} + mx_G(\dot{v} + ur) &= N_H + N_R
 \end{aligned} \tag{1}$$

식(1)에서 m, I_z, x_G 는 각각 선박 질량, 선수동요축에 대한 질량관성모멘트, 길이 방향의 무게중심의 좌표값을 나타낸다. 또한 운동변수의 상첨자는 시간미분, 하첨자의 하첨자 H, P, R은 각각 선체, 추진기, 타에 의한 힘을 나타낸다.

선체에 작용하는 힘은 선박의 운동변수에 대한 비선형성을 고려하여 다음과 같이 다항식으로 표현한다(Fossen 1994).

$$\begin{aligned}
 X_H &= X_{\dot{u}} \dot{u} + X_{uu} \dot{u}^2 + X_{vr} vr + X_{vv} v^2 + X_{rr} r^2 \\
 Y_H &= Y_{\dot{v}} \dot{v} + Y_{\dot{r}} \dot{r} + Y_v v + Y_r r + Y_{ur} ur \\
 &\quad + Y_{vvv} v^3 + Y_{vvr} v^2 r + Y_{vrr} vr^2 + Y_{rrr} r^3 \\
 N_H &= N_{\dot{v}} \dot{v} + N_{\dot{r}} \dot{r} + N_v v + N_r r \\
 &\quad + N_{vvv} v^3 + N_{vvr} v^2 r + N_{vrr} vr^2 + N_{rrr} r^3
 \end{aligned} \tag{2}$$

식(2)에서 각 방향 힘에 운동변수가 하첨자로 표현된 것들은 동유체력미계수들이며, 그 의미는 운동변수들에 대한 선체에 작용하는 동유체력의 편미분값이다.

추진기에 의한 힘은 추진기 위치에서의 유속을 고려한 전진비에 대한 추력계수를 이용하여 표현하였으며, 타에 의한 힘은 타직압력과 유효영각을 고려하여 계산하였다. 각각의 표현식은 Fossen

(1994)에 잘 기술되어 있으므로 본 논문에서는 생략하기로 한다.

3. 수학모형 구조 결정

식(2)의 선체에 작용하는 힘에 포함된 동유체력미계수들 중에 속도에 관련된 계수들과 부가질량 계수들은 선수동요 각속도와 좌우동요 속도 간의 상관관계(Hwang 1980)와 식별성 문제(김찬기 1994) 때문에, 시운전 결과에 시스템 식별법을 적용하여 구하는 것이 매우 어렵다. 또한 추진기 및 타에 의한 힘은 비선형 함수식에 의하여 표현되므로, 그 안에 포함된 매개변수들을 추정하기도 쉽지 않다. 일반적으로 상선의 경우에 저항과 추진 시험은 필수적으로 수행되므로, 추진기에 의한 힘은 그 시험결과를 통하여 얻을 수 있다. 또한 Fig. 1의 흐름도에 나타난 것과 같이 편류각 시험만을 수행하여 좌우동요 동유체력미계수들을 구할 수 있다고 가정하였다. 새로운 수학모형에서는 타에 의한 힘은 타각에 대한 다항식(Abkowitz 1969) 형태로 단순하게 표현하기로 한다. 부가질량 계수도 이론적 계산식이나 경험식을 통하여 정도 높게 구할 수 있다고 가정하였다.

본 절에서는 식(2)의 수학모형과 타에 의한 힘에 대한 다항식 모형에 대하여 상관관계 해석을 수행하여, 현실적으로 식별 가능한 동유체력미계수들로 구성된 수학모형을 선정하기로 한다.

3.1 상관관계 해석

선박의 조종성능을 평가하기 위하여 대표적으로 수행하는 시험은 35° 좌우현 선회시험, 10°-10°, 20°-20° 지그재그 시험이다. 자유항주 모형시험 결과나 실선 시운전 결과에 시스템 식별법을 적용하는 경우에 10°-10° 지그재그 시험 결과는 식별 모형의 검증에 사용하므로, Table 1~2에 나머지 시험들을 혼합하여 얻어진 운동변수들 간의 상관관계값을 나타내었다. 선수동요의 수학모형은 ur 을 제외한 운동변수들에 대하여 좌우동요와 형태가 동일하므로 Table 2의 결과에 포함된다.

Table 1~2에서 음영으로 표시한 항들은 상관관계가 0.95 이상인 것들이다. 이러한 항들처럼 상

Table 1 Correlation coefficients of motion variables describing surge external force

	<i>uu</i>	<i>vv</i>	<i>vr</i>	<i>rr</i>	$\delta\delta$
<i>uu</i>	1.00	0.75	-0.75	0.78	0.85
<i>vv</i>		1.00	-0.99	0.97	0.85
<i>vr</i>			1.00	-0.99	-0.86
<i>rr</i>				1.00	0.88
$\delta\delta$					1.00

Table 2 Correlation coefficients of motion variables describing sway external force

	<i>v</i>	<i>r</i>	<i>ur</i>	<i>vvv</i>	<i>vvr</i>	<i>vrr</i>	<i>rrr</i>	δ	$\delta\delta\delta$
<i>v</i>	1.00	-0.96	-0.96	0.90	-0.89	0.89	-0.88	-0.81	-0.80
<i>r</i>		1.00	1.00	-0.86	0.87	-0.87	0.88	0.92	0.85
<i>ur</i>			1.00	-0.86	0.86	-0.87	0.88	0.92	0.85
<i>vvv</i>				1.00	-1.00	0.99	-0.97	-0.74	-0.80
<i>vvr</i>					1.00	-1.00	0.99	0.75	0.81
<i>vrr</i>						1.00	-1.00	-0.76	-0.81
<i>rrr</i>							1.00	0.78	0.82
δ								1.00	0.92
$\delta\delta\delta$									1.00

관관계가 크면, 최소자승법과 같은 일반적인 회귀 분석 방법에 의하여 구한 계수들의 분산이 상당히 커지므로, 유효성을 보장할 수 없다. 이러한 경우에 능형회귀분석(Hoerl and Kennard 1970)과 같이 계수에 편향된 오차를 허용하는 방법으로 추정하여야 하는데, 이것 또한 상관관계가 Table 1~2와 같이 큰 경우에는 크게 개선된 결과를 주지 못한다(윤현규 2003).

따라서 다음절에서 앞선 가정과 상관관계 해석 결과를 바탕으로 시스템 식별법으로 식별 가능한 수학모형을 제시하기로 한다.

3.2 수학모형 구조 선정

극단적인 경우로 상관관계가 1인 경우는 한 운동변수항을 다른 항이 모두 나타낼 수 있다는 것을 의미하므로, 둘 중에 하나는 소거할 수 있다. 그러나 상관관계가 완전히 선형종속 관계는 아니고, 조종운동 초기에 선수동요 각속도와 좌우동요 속도항이 모두 역할을 하게 되므로, 일방적으로 한 항을 소거할 수는 없다.

앞선 가정에 따라 전후동요와 좌우동요 속도 만에 관련한 항은 저항시험과 편류각 시험을 통하여 구할 수 있다. Table 1~2에 의하면 좌우동요 속도와 선수동요 각속도 연성항들 간에는 상관관계가 매우 크므로, 선수동요 각속도 관련항들이 이러한 연성항을 대표할 수 있을 것이다. 식(1)에서 타에 의한 동유체력은 타 위치에서의 유입속도 등을 고려한 단독 날개에 대한 양력식과 선체와 타간의 간섭 영향 등을 고려하여 복잡하게 모델링한다(Kobayashi et al. 1995). 하지만 이러한 타에 의한 동유체력의 수학모형은 시스템 식별에 용이한 형태가 아니므로, 타각에 대한 2차 또는 3차의 다항식으로 모델링하기로 한다(Abkowitz 1969). 다음식은 부가질량항을 제외한 선체와 타에 작용하는 힘에 대한 수정된 수학모형이다.

$$\begin{aligned}
 X_{HR}^V &= X_{uu}u^2 + X_{vv}v^2 + X_{rr}r^2 + X_{\delta\delta}\delta^2 \\
 Y_{HR}^V &= Y_vv + Y_r r + Y_{vvv}v^3 + Y_{vrr}r^3 \\
 &\quad + Y_{\delta\delta}\delta + Y_{\delta\delta\delta}\delta^3 \\
 N_{HR}^V &= N_vv + N_r r + N_{vvv}v^3 + N_{vrr}r^3 \\
 &\quad + N_{\delta\delta}\delta + N_{\delta\delta\delta}\delta^3
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

여기서, 하첨자 HR은 선체와 타를 의미하며, 상첨자 *v*는 선박속도에만 관련된 동유체력 성분을 나타낸다.

3.3 수정 수학모형 검증

식(3)으로 선정된 수학모형의 검증을 위하여 선박의 조종운동시 작용하는 유체력을 완벽하게 나타내는 식(2)와 추진기, 타에 의한 힘 표현식과 식(3)의 수정 수학모형을 이용하여 10°-10° 지그재그시험 시뮬레이션을 각각 수행하였다. 이 때 식(3)의 동유체력미계수는 식(2)의 수학모형을 이용하여 표준조종시운전 시뮬레이션을 수행한 후, 그 결과를 적용하여 획득하였다. Fig. 3에 시뮬레이션 결과를 도시하였다.

Fig. 3에 의하면 수정 수학모형에 의한 운동 시뮬레이션 결과가 실제모형에 의한 것 보다 약간 작게 추정되는 것을 알 수 있다. 지그재그 시험은 선수동요각이 10°가 되었을 때 타를 반대방향으로 변경하므로, 선수동요각의 오차는 시간이 지남에

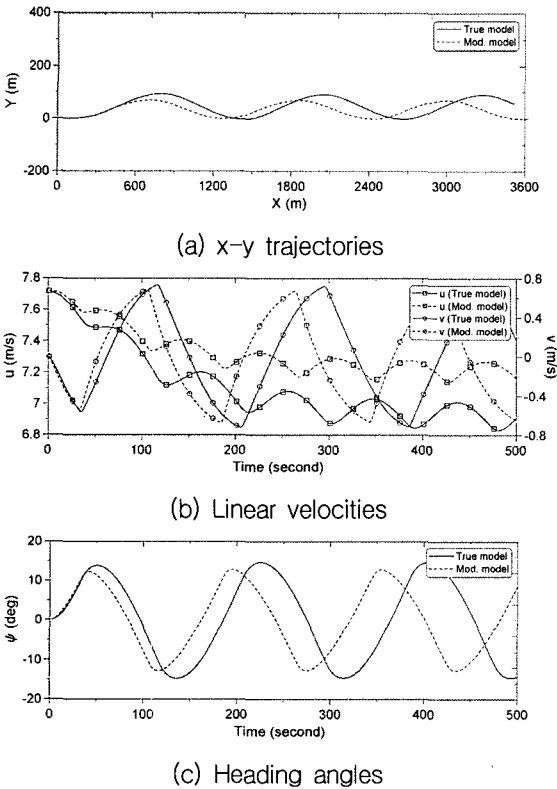


Fig. 3 Comparison of motion time histories simulated by using true model and modified model in case of 10-10 zig-zag test

따라 커지는 것을 Fig. 3에서 볼 수 있다. 수정 수학모형은 실제모형의 근사형태이므로 Fig. 3의 오차 정도는 피할 수 없지만, 수정 수학모형도 지그재그 시험의 특성을 어느 정도는 모사하고 있는 것을 알 수 있다. 따라서 선정된 수정 수학모형의 형태는 적합하다고 판단되며, 동유체력미계수의 정확도는 좀더 요구된다.

4. 입력 시나리오 결정

4.1 방법

선박에서 추진기 회전수를 일정하게 유지하면서, 운동을 변화시킬 수 있는 장치는 타 밖에 없다. 따라서 입력 시나리오는 “타각을 언제, 어느 정도 변화시켜야 하는가?” 하는 문제로 귀결된다. 또한 타각 변경 시나리오를 결정했다면, 그것이

입력 시나리오로서 어느 정도 잘 정해졌는지에 대한 기준이 필요하다.

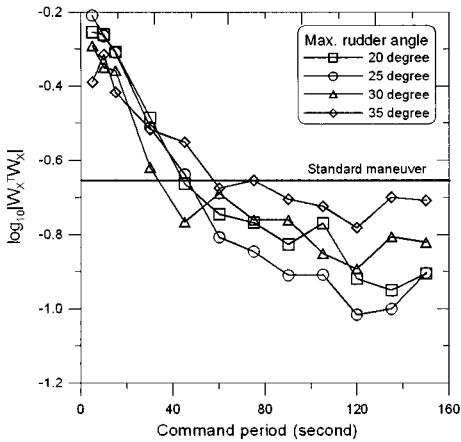
본 논문에서는 타각의 변경 시점을 결정하기 위하여 변경 형태를 PRBS(Pseudo Random Binary Sequence) 형태로 가정하였다. PRBS 형태는 타각 입력을 선박의 운동 응답을 유발하는 잡음이라고 가정했을 때, MA(Moving Average) 모형의 최적 입력 형태가 된다(Goodwin 1977). PRBS 형태의 타각 시나리오는 정해진 명령 주기마다 무작위로 정해진 양과 음의 최대 타각 명령을 생성한다. 명령 주기, 최대 타각을 시나리오 결정의 입력 변수로 설정하였다.

생성된 입력 시나리오를 이용하여, 시뮬레이션 또는 자유항주 모형시험을 수행하면, 운동변수들의 시계열을 얻을 수 있다. 운동변수들의 시계열은 식(3)을 기반으로 정립된 회귀모형의 독립변수들로 사용된다. 독립변수들로 형성된 회귀행렬을 단위길이 차원화(Unit length scaling, Montgomery and Peck 1982) 하면, 독립변수행렬 W_X , W_Y 를 구성할 수 있다. 선수동요 경우는 좌우동요 경우와 동일하므로, W_N 은 W_Y 와 같다. 최적화 조건은 여러 가지가 있지만, 본 논문에서는 $|W_X^T W_X|$, $|W_Y^T W_Y|$ 를 최대화 하는 D-optimal 기준을 적용하였다. $W_X^T W_X$ 는 3장의 상관관계 행렬과 동일하므로, D-optimal 기준은 최대한 직교성이 좋은 입력 시나리오를 설계한다는 의미가 내포되어 있다.

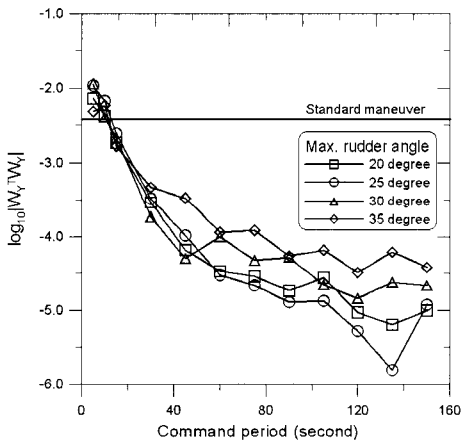
4.2 결과 및 고찰

Fig. 4에 명령 주기, 최대 명령 타각에 대하여 식(3)의 수정 수학모형 회귀식으로 계산된 D-optimal 기준을 표준조종시운전 시나리오에 대한 기준과 함께 도시하였다.

Fig. 4에 의하면 PRBS 시나리오가 표준조종시운전 시나리오 보다는 전후동요에 있어서는 상당히 개선되고, 좌우동요도 소폭 우수하다는 것을 알 수 있다. PRBS 입력 시나리오에서 그 우수성은 최대 타각 보다는 명령 주기에 좌우된다는 것을 알 수 있다. 그 이유는 PRBS 입력 형태가 타각 변경 명령을 발생하는 경우에 변경 또는 유지의 이진값을 생성하는 것이므로, 명령주기가 짧더



(a) Surge



(b) Sway

Fig. 4 D-optimal criteria depending on command period and maximum angle of rudder

라도, 계속해서 유지 명령이 생성된다면, 명령 주기가 긴 조건도 포함할 수 있기 때문이다. 하지만 본 논문에서 적용한 최대 타각속도 보다 작다거나, 타각 변화에 대한 선박의 응답이 느리다면, 명령 주기가 극도로 작은 것은 오히려 기준값이 작아질 수 있을 것이다.

최대 타각의 영향은 명령 주기가 어느 정도 큰 경우에 나타난다. 최대 타각이 크면 발생하는 운동값이 커지게 되어 입력 시나리오로써 좀더 우수하게 된다.

D-optimal 기준은 명령 주기가 작은 경우에,

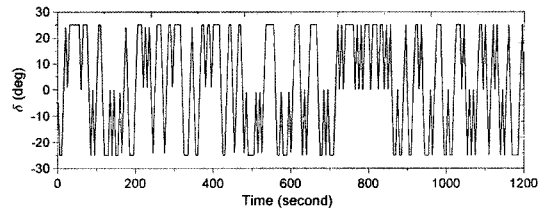


Fig. 5 D-optimal rudder input scenario

최대 타각에 따라 큰 변화가 없고, 명령 주기가 큰 경우 보다 우수하다. 따라서 최적의 입력 시나리오는 명령 주기와 최대 타각이 각각 5초, 25°인 경우로 선정하였다. 이 때 타각 입력 시나리오를 Fig. 5에 도시하였다. Fig. 5에 의하면 타각속도가 5°/s 이므로, 5초에 한번씩 반대 타각으로 변화하는 명령이 나가는 경우에 미처 최대값으로 가지 못하고, 0 근처의 값에서 변경되는 것을 볼 수 있다.

5. 입력 시나리오 적용

5.1 동유체력미계수 추정

Fig. 5의 타각 입력 시나리오에 해당하는 시운전 결과를 확보하기 위하여, 식(2)의 실제 수학모형을 적용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 그 결과를 적용하여 식(3)의 수정 수학모형에 대한 동유체력미계수를 최소자승법을 이용하여 구하였다 (Table 3~5). 여기서 동유체력미계수들 우측의 '는 무차원 계수를 나타낸다.

Table 3~5에 의하면, 추정된 선형 동유체력미계수들의 표준 오차(Standard error)가 1% 내외이므로, 각 계수들에 해당하는 독립변수들은 직교성이 어느 정도 보장되는 것을 알 수 있다. 계수값들은 어떤 시나리오를 적용하는가에 따라 소폭 변하고 있다.

추정된 동유체력미계수들의 정확도를 평가하기 위하여 Table 6에 추정된 식(3)의 선형계수들을 시운전 데이터를 얻기 위하여 사용된 식(2)의 수학모형 계수들과 비교하여 나타내었다. 수학모형을 식(3)과 같이 수정하였으므로, 식(2)와 식(3)의 선형계수가 정확하게 일치하지는 않겠지만, 선형계수들은 대상선박의 조종운동 특성을 물리적으

Table 3 Estimated maneuvering derivatives of surge motion

Coeff.	Standard maneuver		Optimal input	
	Value	Std. Error (%)	Value	Std. Error (%)
X_{rr}'	-1.41e-3	0.80	-1.22e-3	1.37
$X_{\delta\delta}'$	6.32e-5	10.72	5.42e-5	12.36

Table 4 Estimated maneuvering derivatives of sway motion

Coeff.	Standard maneuver		Optimal input	
	Value	Std. Error (%)	Value	Std. Error (%)
Y_r'	5.10e-3	1.27	2.40e-3	1.61
Y_{rrr}'	-2.02e-3	10.71	2.16e-3	2.23
Y_{δ}'	-4.83e-3	1.08	-3.97e-3	0.82
$Y_{\delta\delta\delta}'$	5.73e-3	2.31	2.26e-3	8.37

Table 5 Estimated maneuvering derivatives of yaw motion

Coeff.	Standard maneuver		Optimal input	
	Value	Std. Error (%)	Value	Std. Error (%)
N_r'	-3.71e-3	0.87	-2.37e-3	0.82
N_{rrr}'	2.18e-3	4.95	-9.32e-3	2.59
N_{δ}'	2.40e-3	1.08	1.96e-3	0.84
$N_{\delta\delta\delta}'$	-2.87e-3	2.31	-1.13e-3	8.44

Table 6 Estimated linear maneuvering derivatives of sway and yaw motion

Coeff.	Standard maneuver	Optimal input	True
Y_r'	5.10e-3	2.40e-3	2.42e-3
N_r'	-3.71e-3	-2.37e-3	-2.22e-3

로 표현하는 성분이므로, 비슷한 값이 얻어져야 한다.

Table 6에서 최적 입력 시나리오를 적용함으로써, 추정된 계수값이 실제 계수값과 상당히 비슷한 것을 볼 수 있다. 특히 N_r 은 제어기 설계 등

을 수행할 때 중요한 계수이므로, 이에 대한 정확한 추정을 위해서는 최적 입력 시나리오를 사용할 필요가 있다.

5.2 수정 수학모형 검증

최적 입력 시나리오를 적용하여 추정된 동유체력미계수들로 10°-10° 지그재그시험 시뮬레이션을 수행하였다. 속도 및 각속도의 시계열을 Fig. 6에 도시하였다.

Fig. 6에 의하면, 최적 입력 시나리오로 추정된 계수를 사용하는 것이 표준조종시운전 결과를 적용한 경우 보다 전후동요 속도에서 상당히 개선되었다. 좌우동요 속도와 선수동요 각속도 모사 결과도 소폭 향상되었다.

앞서 언급한 바와 같이 지그재그시험은 오차가 계속 누적되므로, 시계열의 직접적인 비교 보다 1, 2차 오버슈트 선수동요각과 같은 조종성 지수

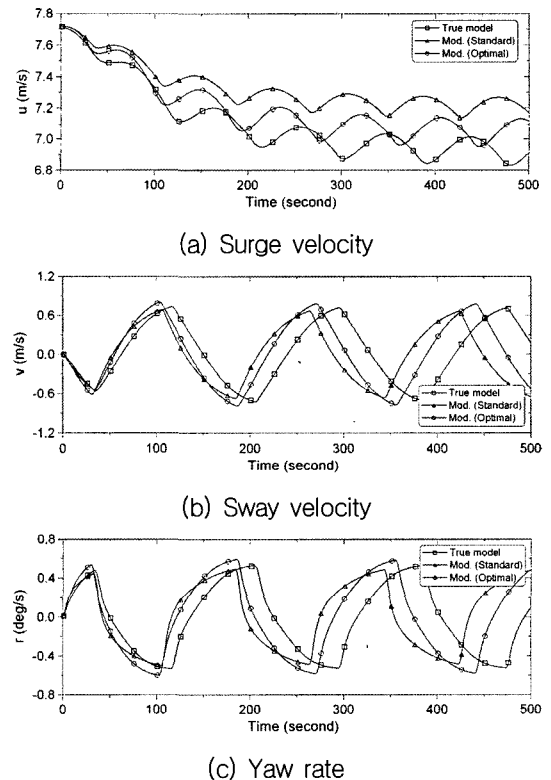


Fig. 6 Confirmation results of estimated maneuvering derivatives (10-10 zig-zag test)

Table 7 1st and 2nd overshoot yaw angle in case of 10-10 zig-zag test

Model	Overshoot yaw angle (deg)	
	1st	2nd
Standard	2.21	2.79
Optimal	3.86	5.16
True	3.79	4.69

를 비교하는 것이 더 타당할 수 있다(Table 7). Table 7에 의하면 오버슈트 선수동요각은 수학모형의 구조 차이 때문에 참값과 정확하게 일치하지 않지만 최적 입력 시나리오로 추정된 동유체력미계수를 사용하면 상당히 참값에 근사해짐을 알 수 있다.

6. 결론

본 논문에서는 자유항주 모형시험이나 실선 시운전 결과에 시스템 식별법을 적용하여 선수동요 동유체력미계수를 구할 수 있는 방법을 제안하였다. 또한 정확도 높은 동유체력미계수의 추정을 위하여 D-optimal 관점에서 최적인 타각 입력 시나리오를 구성하는 방법을 정립하고, 대상 선박에 대하여 계산을 수행하였다.

시스템 식별법의 적용이 용이하고, 식별성이 보장되는 수정 수학모형은 충분히 선박의 조종성능 평가에 적용할 수 있다는 것을 시뮬레이션을 통하여 알 수 있었다. 또한 제안하고 있는 방법으로 타각 입력 시나리오를 적용함으로써, 선형계수의 정확한 추정도 가능하다는 것을 확인하였다. 구속 모형시험 중에 편류각 시험은 선수동요시험에 비하여 시험장치를 단순하게 구성할 수 있으며, 시험도 용이하므로, 본 논문에서 제안하는 방법을 적용하면, 구속모형시험에 소요되는 노력을 상당히 절감할 수 있다. 또한 실선 시운전 결과에 적용한다면 척도 효과가 없는 동유체력미계수를 얻을 수 있다.

본 논문에서 사용한 시운전 데이터는 모두 시뮬레이션 결과를 이용한 것이므로, 추후에 자유항주 모형시험이나 실선 시운전 결과를 적용하여 제안한 절차를 확인하는 작업이 필요하다.

후 기

본 논문은 한국해양연구원의 정책지원사업인 “선박 조종운동 수학모형 식별을 위한 통합 계측 장치 패키지 구성 및 자유항주 모형시험 시나리오 설계” 과제에서 지원하여 수행되었다.

참 고 문 헌

- 강창규, 1994, “선박조종성 시운전 해석법,” 대한조선학회 학회지, 제 31권, 제 4호, pp. 26-28.
- 김찬기, 1996, 계수식별법에 의한 물수체의 조종계수 추정, 공학박사학위논문, 서울대학교.
- 연성모, 이기표, 여동진, 김선영, 윤현규, 2004, “저속 수학모형 정립을 위한 자유항주 시험 시나리오 설계,” 대한조선학회 ‘05 추계학술대회 논문집, pp. 800-805.
- 윤현규, 2003, 모델링 전 추정기법을 이용한 선박의 동유체력미계수 추정, 공학박사학위논문, 서울대학교.
- 윤현규, 손남선, 2004, “시스템 식별법을 이용한 선박의 횡동요 계수 추정,” 대한조선학회 논문집, 제 41권, 제 4호, pp. 53-58.
- 윤현규, 이기표, 2003, “선박 조종미계수 식별 시 모델링 전 추정기법과 확장 Kalman 필터에 의한 계수추정법의 비교에 관한 연구,” 대한조선학회 논문집, 제 40권, 제 5호, pp. 43-52.
- Abkowitz, M.A., 1969, Stability and Motion Control of Ocean Vehicles, MIT Press.
- Fossen, T.I., 1994, Guidance and Control of Ocean Vehicles, John Wiley & Sons.
- Goodwin, G.C., 1977, Dynamic System Identification - Experimental Design and Data Analysis, Academic Press.
- Hoerl, A.E. and Kennard, R.W., 1970, “Ridge regression: Biased Estimation for Nonorthogonal Problems,” Technometrics, Vol. 12, pp. 55-67.
- Hwang, W., 1980, Application of System Identification to Ship Maneuvering, Ph.D Thesis, MIT.

- Kobayashi, E., Kagemoto, H., and Furukawa, Y., 1995, "Research on ship manoeuvrability and its application to ship design, chapter 2," The 12th Marine Dynamic Symposium, pp. 23-90.
- Montgomery, D.C. and Peck, E.A., 1982, Introduction to Linear Regression Analysis, John Wiley & Sons.
- Rhee, K.P. and Kim, K.H., 2000, "A new sea trial method for estimating hydrodynamic derivatives," SOTECH, Vol. 3, No. 3, pp. 25-45.



< 윤현규 >