

선박 조종미계수 식별 시 모델링 전 추정기법과 확장 Kalman 필터에 의한 계수추정법의 비교에 관한 연구

윤현규**, 이기표**

한국해양연구원 해양시스템안전연구소*, 서울대학교 조선해양공학과**

Comparison of the Estimation-Before-Modeling Technique with the Parameter Estimation Method Using the Extended Kalman Filter in the Estimation of Manoeuvring Derivatives of a Ship

H.K. Yoon* and K.P. Rhee**

Marine Safety and Pollution Control Research Laboratory, KRISO/KORDI*
Dept. of Naval Architecture and Marine Eng., Seoul National University**

Abstract

Two methods which estimate manoeuvring derivatives in the model of hydrodynamic force and moment acting on a manoeuvring ship using sea trial data were compared. One is the widely used parameter estimation method by using the Extended Kalman Filter (EKF), which estimates state variables of linearized state space model at every instant after dealing with the coefficients as the augmented state variables. The other one is the Estimation-Before-Modeling (EBM) technique, so called the two-step method. In the first step, hydrodynamic force of which dynamic model is assumed the third-order Gauss-Markov process is estimated along with motion variables by the EKF and the modified Bryson-Frazier smoother. Then, in the next step, manoeuvring derivatives are identified through the regression analysis.

If the exact structure of hydrodynamic force could be known, which was an ideal case, the EKF method would be regarded as being more superior compared to the EBM technique. However the EBM technique was more robust than the EKF method from a realistic point of view where the assumed model structure was slightly different from the real one.

※Keywords: Sea Trial(실선 시운전), Manoeuvring Derivative(조종미계수), System Identification(시스템 식별법), Extended Kalman Filter(확장 칼만 필터), Estimation-Before-Modeling Technique(모델링 전 추정기법), Gauss-Markov Process(가우스-마코프 프로세스)

접수일: 2003년 7월 16일, 승인일: 2003년 8월 21일

†주저자, E-mail : hkyoon@kriso.re.kr

Tel : 042-868-7292

1. 서언

선박의 조종 운동을 모사하기 위하여는 조종 운동 중에 선박에 작용하는 동유체력을 수학적으로 모델링 하여야 한다. 기존에 널리 쓰이고 있는 동유체력 모델은 선박의 형상에 따라 결정되는 조종미계수와 선박 운동의 함수로 구성된다(Hwang 1980, Kobayashi 등 1995). 이러한 조종미계수는 일반적으로 평면운동장치 시험 또는 강제선회시험과 같은 구속 모형시험을 통하여 추정한다(Lewis 1989). 그러나 모형선을 사용함에 따른 척도 효과 때문에, 실선의 시운전 자료를 이용한 시스템 식별법의 사용이 제기되었다(Hwang 1980, 강창구 등 1984, Rhee/Kim 2000).

선박 조종 분야에서 조종미계수를 구하기 위하여 널리 사용된 시스템 식별법은 조종미계수를 새로운 상태변수로 추가하여 확장 Kalman 필터에 의하여 운동 변수들과 함께 추정하는 것이다(Källström 1979, Hwang 1980). 이 방법은 조종미계수를 상태변수에 추가함에 따라 추정해야 하는 상태변수의 개수가 늘어나므로 튜닝 과정이 많이 소요되고, 초기에 가정된 계수값이 참값과 상당히 다른 경우에는 수렴성이 보장되지 않는 단점이 있다. 새로운 방법인 모델링 전 추정기법은 Sri-Jayantha/Stengel(1987)이 비행체의 비선형 공력 계수를 구하기 위하여 적용한 2 단계 방법이다. 1 단계에서 동유체력을 3 차의 Gauss-Markov 프로세스로 가정한 후, 스무더를 이용하여 운동 변수와 함께 추정한다. 다음 단계에서 추정된 동유체력과 운동변수를 이용하여, 회귀 모형으로 변환된 동유체력 모델에 포함된 조종미계수를 회귀분석법으로 추정한다. 선박 조종 분야에서는 윤현규/이기표(2001)가 처음으로 모델링 전 추정기법을 적용하여 선박에 작용하는 동유체력과 조류변수를 추정한 바 있다.

본 논문에서는 두 방법을 적용하여 조종미계수를 구한 후, 비교 연구를 수행하기 위하여, 선박 조종 운동방정식과 실제 시운전시 계측하는 운동 변수에 대한 측정방정식을 정식화하여 각각에 대한 상태 공간 모델을 구성하였다. 시운전 자료는 ITTC 조종성 분과 공시선인 ESSO OSAKA(Crane

1979)의 조종 시뮬레이션을 통하여 획득하였다. 본 논문의 목적이 두 방법의 비교에 있으므로, 시운전 타각 시나리오는 표준 조종 시운전 보다 식별성이 D-최적화 (Goodwin/Payne 1977) 관점에서 우수한 명령 타각과 명령 시간의 조합으로 시뮬레이션을 통하여 결정하였다. 추정하고자 하는 조종미계수는 Hwang(1980)의 동유체력 모델에 포함된 것이고, 두 방법의 비교는 시운전 자료를 얻기 위하여 사용된 동유체력 모델이 Hwang 의 모델과 완벽하게 일치하는 이상적인 경우와, 자료 획득시 사용한 모델이 MMG 모델로써 동유체력 모델 구조를 사전에 완벽하게 알 수 없는 실제 경우에 대하여 수행하였다.

2. 조종 운동방정식 및 측정방정식

선박의 조종 운동을 기술하기 위하여 Fig.1 과 같이 선체고정좌표계($O-xy$)와 공간좌표계($o-x_b y_b$)를 정의하였다.

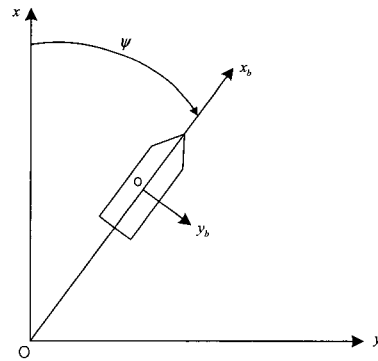


Fig. 1 Coordinate systems

조종 운동 중에 발생하는 횡동요의 영향은 무시할 수 있다고 가정하면, 수평면 조종 운동방정식은 Fig.1 의 선체고정좌표계에 대하여 식(1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned}
 m(\dot{u} - vr - x_G r^2) &= X \\
 m(\dot{v} + ur + x_G \dot{r}) &= Y \\
 I_z \dot{r} + m x_G (\dot{v} + ur) &= N
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

여기서 x_G 는 선체고정좌표계의 원점으로부터 무게중심까지의 x_b 좌표값이고, X, Y, N 은 각각 x_b, y_b, z_b 방향으로 선박에 작용하는 동유체력과 동유체모멘트이다. 조류, 파도, 바람과 같은 외란은 고려하지 않았으며, 동유체력 모델로는 Abkowitz 의 회귀 모델을 ESSO OSAKA 의 실선 시운전 결과를 이용하여 소폭 수정한 Abkowitz /Hwang 모델을 사용하였다(Hwang 1980).

운동학적 조건식인 공간좌표계에 대한 선박의 위치 및 선수동요각의 시간 변화율은 식(2)와 같다.

$$\begin{aligned} \dot{x} &= u \cos \psi - v \sin \psi \\ \dot{y} &= u \sin \psi + v \cos \psi \\ \dot{\psi} &= r \end{aligned} \quad (2)$$

상태 공간 모델은 상태방정식과 측정방정식으로 구성되는데, 상태방정식은 어떤 추정 기법을 사용하는가에 따라 다르게 되므로 3 절에서 나타내기로 한다.

실제 실선 시운전시에 예측하는 값을 식(1), (2) 의 운동 변수들로 표현하면 측정방정식을 구성할 수 있다. 시운전시에 예측값은 공간좌표계에 대한 DGPS 안테나 좌표값과 그것들의 시간 변화율, 자이로컴퍼스에 의한 선수동요각, speed-log 에 의한 대수속도이다. 여기서 안테나 좌표값의 시간 변화율은 실제로 예측하는 것이 아니라 예측 시스템의 내장 루틴에서 계산하여 출력해주는 값이지만 예측값이라고 가정하였다. 측정방정식은 식(3)으로 표현된다.

$$z = h(x, t) \quad (3)$$

여기서,

$$h(x, t) = \underline{h}(x) = \begin{bmatrix} x + x_{D_b} \cos \psi - y_{D_b} \sin \psi \\ y + x_{D_b} \sin \psi + y_{D_b} \cos \psi \\ (u - y_{D_b} r) \cos \psi - (v + x_{D_b} r) \sin \psi \\ (u - y_{D_b} r) \sin \psi + (v + x_{D_b} r) \cos \psi \\ \psi \\ u - y_{S_b} r \end{bmatrix}$$

x 는 상태변수 벡터, $(x_{D_b}, y_{D_b}), y_{S_b}$ 는 각각 선체고정좌표계에 대한 DGPS 안테나와 speed-log 의 좌표값을 나타낸다. 예측값은 1 초의 시간 간격에 따라 측정된다고 가정하였다.

3. 조종미계수 추정

본 논문에서 조종미계수를 추정하기 위하여 사용하는 모델링 전 추정기법과 확장 Kalman 필터에 의한 계수추정법은 모두 확장 Kalman 필터를 사용하게 된다. 또한 모델링 전 추정기법의 1 단계에서는 값이 일정한 계수를 추정하는 것이 아니라 시간에 따라 변하는 동유체력을 추정하게 되므로 추정 정도가 높은 수정 Bryson-Frazier 스무더를 사용한다. 확장 Kalman 필터와 수정 Bryson-Frazier 스무더의 순환 알고리즘은 윤현규/이기표 (2001)의 논문에 잘 정리되어 있으므로 본 절에서는 추정방법에 따른 상태방정식만을 구성하기로 한다.

3.1 모델링 전 추정기법

모델링 전 추정기법은 기존의 확장 Kalman 필터에 의한 계수추정법이 한번에 계수를 식별하는 방법임에 반하여, 1 단계에서 상태추정자(필터 또는 스무더)를 이용하여 동유체력을 추정하고, 2 단계에서 회귀분석법을 적용하여 계수를 추정하는 방법이다.

동적 상태추정자를 이용하여 상태변수를 추정하기 위하여는 상태변수의 동적 모델이 필요하다. 운동변수들에 대한 동적 모델은 식(1),(2)의 운동방정식과 운동학적 조건식이 된다. 또한 동유체력을 추정하고자 하는 상태변수로 추가함에 따라 동적 모델이 필요하게 된다. 동유체력의 동적 모델은 식(4)와 같이 3 차의 Gauss-Markov 프로세스로 가정한다.

$$\begin{aligned} \ddot{X}(t) &= w_X(t) \\ \ddot{Y}(t) &= w_Y(t) \\ \ddot{N}(t) &= w_N(t) \end{aligned} \quad (4)$$

여기서, $w_X(t), w_Y(t), w_N(t)$ 는 정규백색잡음

프로세스이다.

모델링 전 추정기법의 1 단계에서 추정하고자 하는 상태변수 벡터는 식(5)와 같다.

$$\underline{x} = \begin{bmatrix} \underline{x}_1^T & \underline{x}_2^T \end{bmatrix}^T \quad (5)$$

여기서,

$$\begin{aligned} \underline{x}_1 &= [u \ v \ r \ x \ y \ \psi]^T, \\ \underline{x}_2 &= [X \ \dot{X} \ \ddot{X} \ Y \ \dot{Y} \ \ddot{Y} \ N \ \dot{N} \ \ddot{N}]^T \end{aligned}$$

이다.

상태 공간 모델은 식(1),(2),(4)의 상태변수들의 동적 모델과 식(3)의 측정방정식에 각각 공정 오차와 측정오차를 추가하여 식(6)과 같이 구성된다.

$$\begin{cases} \dot{\underline{x}}(t) = M^{-1} \underline{f}(\underline{x}(t)) + \underline{w}(t) \\ \underline{z}(k) = \underline{h}(\underline{x}(k)) + \underline{v}(k), \text{ at } t = t_k \end{cases} \quad (6)$$

여기서, M 은 부가질량계수를 포함한 관성행렬이고, 상태방정식은 연속시스템, 측정방정식은 이산시스템으로 가정하였다.

모델링 전 추정기법의 2 단계에서는 Hwang(1980)의 동유체력 모델에서 부가질량항을 제외하고 식(7)과 같이 회귀식을 구성한다.

$$\begin{aligned} \underline{X} &= H_X \underline{\theta}_X + \underline{\varepsilon}_X \\ \underline{Y} &= H_Y \underline{\theta}_Y + \underline{\varepsilon}_Y \\ \underline{N} &= H_N \underline{\theta}_N + \underline{\varepsilon}_N \end{aligned} \quad (7)$$

여기서, $\underline{X}, \underline{Y}, \underline{N}$ 과 H_X, H_Y, H_N 은 각각 1 단계에서 추정한 동유체력과 운동변수들의 함수이다. $\underline{\theta}_X, \underline{\theta}_Y, \underline{\theta}_N$ 은 구하고자 하는 조종미계수로써 식(8)과 같다.

$$\begin{aligned} \underline{\theta}_X &= [\eta_r \ \eta_b \ \eta_\delta \ X_{vv} \ X_{vr} \ X_{rr} \ X_{vvr} \ X_{eed}]^T \\ \underline{\theta}_Y &= [Y_0 \ Y_v \ Y_r \ Y_{vv} \ Y_{vr} \ Y_{rr} \ Y_\delta \ Y_{eed}]^T \\ \underline{\theta}_N &= [N_0 \ N_v \ N_r \ N_{vv} \ N_{vr} \ N_{rr} \ N_\delta \ N_{eed}]^T \end{aligned} \quad (8)$$

여기서 ‘ ’ 은 무차원 조종미계수를 의미한다.

식(7)의 회귀식에 회귀분석법을 적용하면 식(8)의 계수를 얻을 수 있다.

3.2 확장 Kalman 필터에 의한 계수추정법

기존의 확장 Kalman 필터에 의한 계수추정법은 추정하고자 하는 식(8)의 무차원 조종미계수를 새로운 상태변수로 추가한 후, 확장 Kalman 필터를 적용하여 구하는 방법이다. 상태변수 벡터는 식(9)와 같다.

$$\underline{x} = \begin{bmatrix} \underline{x}_1^T & \underline{x}_2^T & \underline{x}_3^T & \underline{x}_4^T \end{bmatrix}^T \quad (9)$$

여기서, \underline{x}_1 은 식(5)의 \underline{x}_1 과 동일하고, $\underline{x}_2, \underline{x}_3, \underline{x}_4$ 는 각각 식(8)의 $\underline{\theta}_X, \underline{\theta}_Y, \underline{\theta}_N$ 과 동일하다.

모델링 전 추정기법과 마찬가지로 상태추정자를 이용하여 식(9)의 상태변수를 추정하기 위하여는 조종미계수인 $\underline{x}_2, \underline{x}_3, \underline{x}_4$ 의 동적 모델이 필요하다. 무차원 조종미계수는 일정하다고 가정하면 그것들의 동적 모델은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \dot{\underline{x}}_2 &= \underline{0} \\ \dot{\underline{x}}_3 &= \underline{0} \\ \dot{\underline{x}}_4 &= \underline{0} \end{aligned} \quad (10)$$

상태방정식은 식(1),(2),(10)으로 구성되고, 상태 공간 모델은 모델링 전 추정기법과 마찬가지로 식(6)의 형태로 표현된다.

4. 계산 결과 및 고찰

계산에 사용한 대상 선박은 ITTC 조종성 분과 공시선이 ESSO OSAKA(Crane 1979)로 하였다.

시운전 자료 생성과 추정에 사용한 동유체력 모델에 따라 Table 1 과 같이 구분하여 두 추정기법을 비교하였다.

Table 1 Hydrodynamic model

Case	Sea trial data	Estimation
Ideal	Abkowitz/Hwang	Abkowitz/Hwang
Realistic	MMG	Abkowitz/Hwang

확장 Kalman 필터에 의한 계수추정법을 적용하는 경우는 계수들에 대한 초기값이 필요하다. Table 1의 두 경우에 대하여 초기값 오차 특성에 따른 계산 조건을 Table 2에 나타내었다.

Table 2 Initial values of coefficients in case of estimating coefficients using EKF

Case	EKF1(Small error)	EKF2(Large error)
Ideal	1.2×(참값)	0
Realistic	Abkowitz/Hwang 모델 계수의 참값	Abkowitz/Hwang 모델 계수의 참값

계수들의 초기값 오차의 표준 편차에 대해서는 두 경우 모두 EKF1에서는 선형계수의 0.2 배, 비선형계수의 1 배로 가정하였고, EKF2에서는 모든 계수의 5 배로 가정하였다. 여기서 실제 경우는 계수들의 참값을 알 수 없으므로, Abkowitz/Hwang 모델의 계수에 대하여 오차값을 설정하였다.

4.1 조종 시운전 시나리오

본 논문의 목적이 두 추정방법의 비교에 있으므로, 지그재그 시험이나 선회시험과 같은 표준 조종시운전 결과 보다 식별성이 우수한 시운전 시나리오를 선정하였다. 최적 조건으로서는 식(7)의 회귀식에서 H_y 행렬을 단위 길이 차원화하여 얻어지는 W_y 의 D-최적화 관점에서의 조건식인 $|W_y^T W_y|$ 로 설정하였고, 타 명령 형태는 MA(Moving Average) 모델에서 최적 입력인 PRBS(Pseudo-Random Binary Sequence)로 하였다(Goodwin 1977). 입력 조건을 결정하는 변수는 PRBS 명령 최대 타각과 명령 주기로 설정하였다. Fig.2에 입력 조건에 따른 $|W_y^T W_y|$ 를 도시하였다.

최대 타각은 크게 하고, 선박이 변화된 타각에 어느 정도 반응하는 시간이 고려된 (35°,105 초) 조합이 가장 풍부한 입력 조건인 것을 알 수 있다. Fig.3에 (35°,105 초) 조합의 PRBS 타각 명령에 대한 실제 타각의 작동 시나리오를 도시하였다.

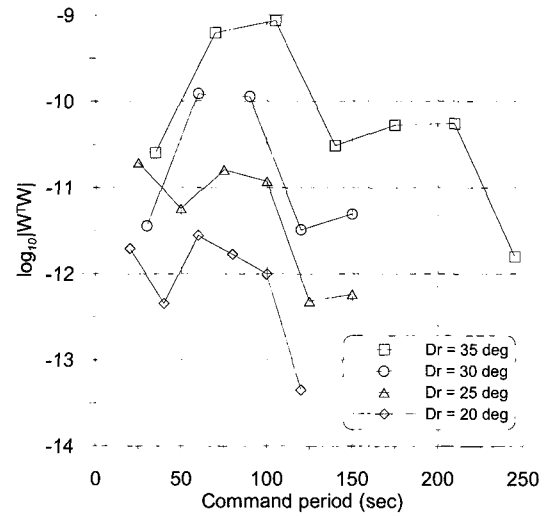


Fig. 2 D-optimality criteria depending on command rudder angle and period of PRBS input

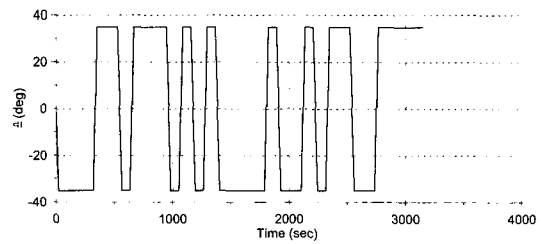


Fig. 3 Time history of rudder angle for sufficient rich PRBS rudder command

4.2 이상적인 경우

Fig.4에 모델링 전 추정기법의 1 단계에서 추정된 동유체력을 참값과 비교하여 도시하였다. 추정된 동유체력은 타각이 변경되는 시점, 즉 동유체력이 급격하게 변하는 부근에서는 동적 모델에 대한 3 차의 Gauss-Markov 프로세스의 가정 때문에 약간의 추정 오차가 발생하지만 대체적으로 참값과 잘 일치하고 있다.

Fig.5에는 확장 Kalman 필터에 의한 계수추정법으로 추정된 대표적인 선형 미계수 Y'_v, N'_r 와 비선형미계수 $X'_{vr}, Y'_{vvv}, N'_{rrr}$ 의 수렴 시간 이력을 도시하였다. 초기 오차가 큰 경우에도 참값에 잘 수렴하고 있는 것을 볼 수 있다.

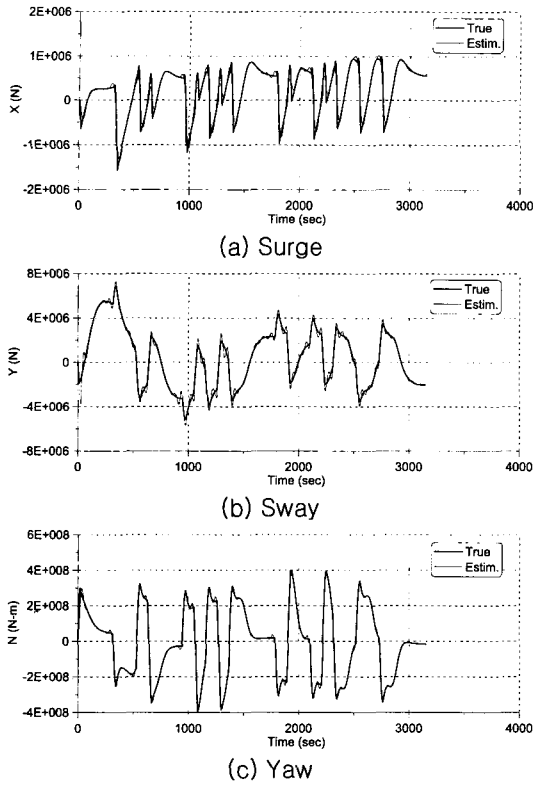


Fig. 4 Estimated hydrodynamic force and moment in the first-step of the EBM technique (Ideal case)

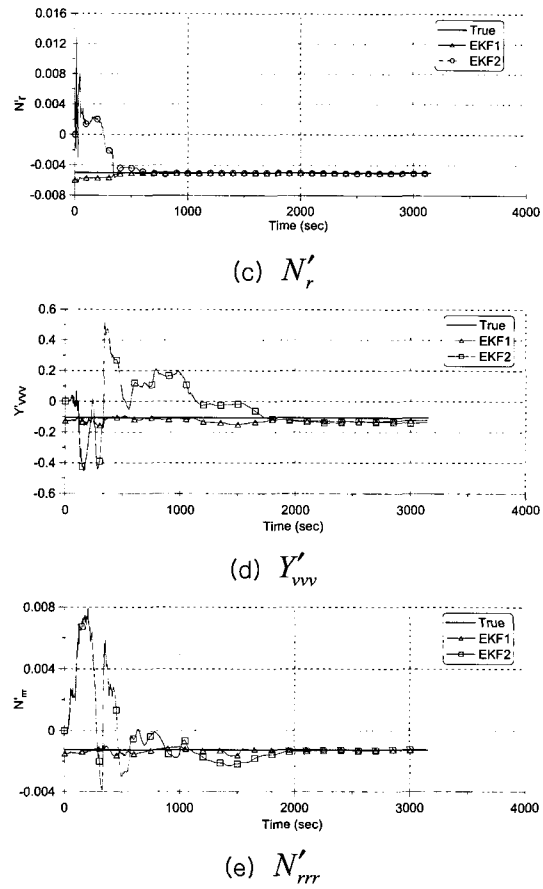


Fig. 5 Converging time histories of estimated coefficients by using the EKF (Ideal case)

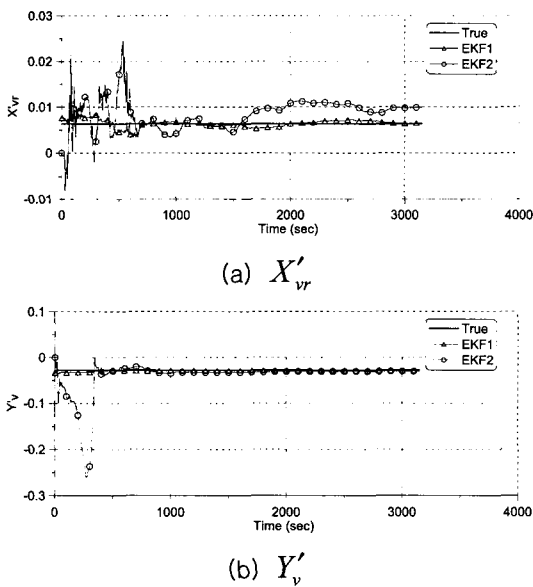


Table 3 Estimated sway manoeuvring derivatives (Ideal case)

미계수	참값	EBM	EKF1	EKF2
Y'_0	1.90(-6)	-1.48(-5)	2.81(-6)	2.30(-5)
Y'_v	-2.83(-2)	-2.44(-2)	-2.85(-2)	-3.05(-2)
Y'_r	3.91(-3)	6.17(-3)	4.01(-3)	4.17(-3)
Y'_{vvv}	-1.06(-1)	-1.29(-1)	-1.22(-1)	-1.36(-1)
Y'_{vvr}	-1.15(-2)	-3.27(-2)	-2.86(-2)	-4.86(-2)
Y'_{vrr}	-4.13(-2)	-5.06(-2)	-4.65(-2)	-5.01(-2)
Y'_{rrr}	-5.19(-3)	-6.11(-3)	-5.55(-3)	-5.17(-3)
Y'_δ	5.08(-3)	5.67(-3)	5.17(-3)	5.53(-3)
$Y'_{\delta\delta}$	-1.85(-3)	-2.56(-3)	-2.04(-3)	-2.74(-3)

여기서 괄호 안의 숫자는 10의 멱을 의미한다.

Table 3 에 모델링 전 추정기법의 2 단계에서 회귀분석법을 통하여 추정된 좌우동요 조종미계수와 확장 Kalman 필터에 의한 계수추정법으로 추정된 것들을 참값과 비교하여 나타내었다.

Table 1 의 이상적인 경우는 계수에 대한 초기값 오차가 크더라도 모델링 전 추정기법 보다는 확장 Kalman 필터에 의한 계수추정법이 좀 더 우수한 결과를 주고 있다. 그 이유는 모델링 전 추정기법에서는 동유체력의 추정을 위하여 동적 모델에 대한 한번의 가정이 추가로 필요한 반면 확장 Kalman 필터에 의한 계수추정법에서는 그러한 가정 없이 운동변수와 조종미계수를 동시에 추정하기 때문이다.

4.3 실제 경우

Table 1 에 나타낸 바와 같이 시운전 자료를 얻기 위하여 사용된 동유체력 모델과 추정에 사용된 동유체력 모델이 다른 실제 경우에 대하여 두 방법을 적용하여 보았다. Fig.6 에 모델링 전 추정기법의 1 단계에서 추정한 동유체력을 참값과 비교하여 도시하였다. Fig.4 의 이상적인 경우와 마찬가지로 동유체력이 급격하게 변화하는 타각 변경시점을 제외하고는 모델링 전 추정기법의 1 단계에서 추정된 동유체력은 참값과 대체적으로 잘 일치하고 있다.

Fig.7 에는 확장 Kalman 필터에 의한 계수추정법으로 추정한 대표적인 계수 $X'_{vr}, Y'_v, N'_v, N'_r, Y'_{vv}, N'_{rrr}$ 의 수렴 시간 이력을 도시하였다. 여기서 EKF3 은 확장 Kalman 필터가 초기값에 민감하다고 알려져 있으므로, EKF1 의 결과를 초기조건으로 하여 다시 한번 추정한 결과이다.

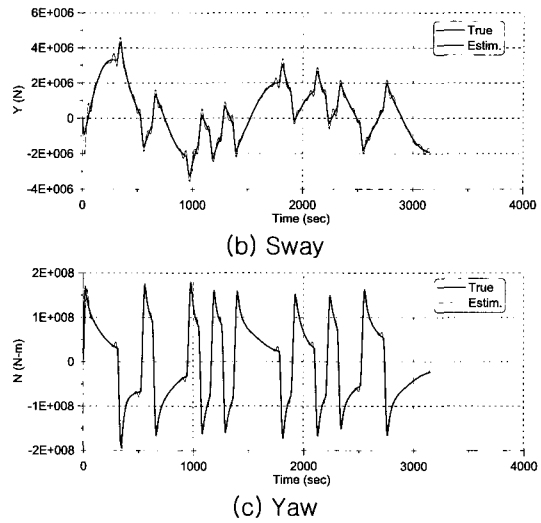
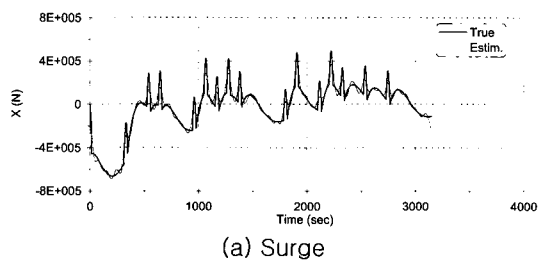
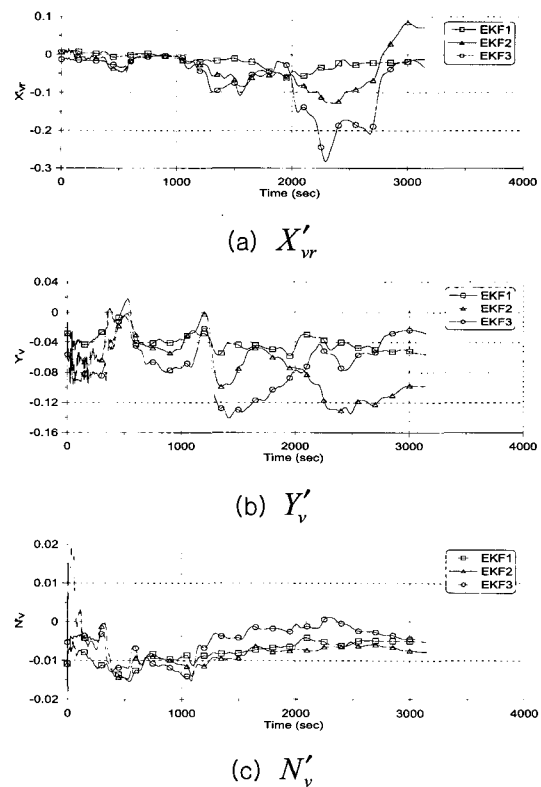


Fig. 6 Estimated hydrodynamic force and moment in the first-step of the EBM technique (Realistic case)



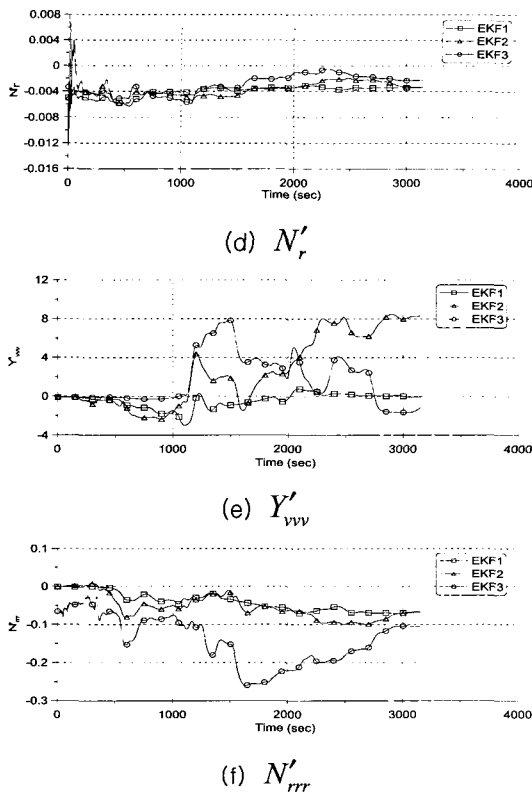


Fig. 7 Converting time histories of estimated coefficients by using the EKF (Realistic case)

Fig.7 에 의하면 동유체력 모델이 실제 선박에 작용하는 동유체력을 완벽하게 표현하지 못하는 경우는 Fig.5 와 같은 이상적인 경우에 비하여 계수들의 수렴 정도가 떨어지는 것을 볼 수 있다. 비록 참값은 아니더라도, Abkowitz/Hwang 모델의 계수들을 초기값으로 하는 경우가 수렴 정도가 좋은 것을 알 수 있다. 또한 선박 조종 운동의 특성상 N'_v, N'_r 계수를 추정할 경우 추정 시간에 따라 두 계수가 동시에 흘러가는 동시표류현상 (Hwang 1980)이 존재함을 Fig.7 (c), (d)를 통하여 확인할 수 있다.

Table 4, 5 에 모델링 전 추정기법의 2 단계에서 회귀분석법을 통하여 추정된 좌우동요, 선수동요 조종미계수와 확장 Kalman 필터에 의한 계수추정법으로 추정된 것들을 비교하여 나타내었다.

Table 4 와 Table 5 의 선형계수를 비교하여 보

면 모델링 전 추정기법에 의하여 추정된 값이 Table 3 의 참값과 비슷한 값으로 추정되는 것을 볼 수 있다. Abkowitz/Hwang 모델과 MMG 모델의 조종미계수값은 다르지만, 선박이 같다면 비슷한 값일 것이다. 확장 Kalman 필터에 의한 계수 추정법으로 조종미계수를 추정하는 경우에 좌우동요 선형미계수는 EKF3 이 EBM 과 유사한 값으로 수렴하고 있으며, 선수동요 경우는 비선형계수까지도 EBM 과 비슷한 값으로 수렴하고 있다. 따라서 확장 Kalman 필터에 의한 계수추정법도 좀더 많은 튜닝 과정을 거치면 실제값에 가까운 계수 추정이 가능하리라고 생각된다. 실제 경우와 같이 조종미계수의 참값을 모르는 경우는 모델링 전 추정기법을 적용하면 많은 튜닝 과정이 필요 없이 쉽게 정도 높은 계수를 추정할 수 있다는 것을 알 수 있다.

Table 4 Estimated sway manoeuvring derivatives (Realistic case)

미계수	EBM	EKF1	EKF2	EKF3
Y'_0	2.50(-5)	-6.33(-5)	2.08(-4)	3.58(-4)
Y'_v	-2.86(-2)	-5.63(-2)	-9.77(-2)	-2.80(-2)
Y'_r	6.29(-3)	-1.10(-2)	-1.84(-2)	-1.46(-3)
Y'_{vvv}	-3.18(-1)	-6.91(-2)	8.30(+0)	-1.12(+0)
Y'_{vvr}	3.81(-1)	2.96(-1)	1.025(+1)	-7.64(-1)
Y'_{vrr}	3.40(-1)	3.30(-1)	4.37(+0)	-1.42(-1)
Y'_{rrr}	8.83(-2)	1.15(-1)	6.38(-1)	2.44(-2)
Y'_δ	2.28(-3)	-1.22(-3)	3.06(-4)	-1.24(-3)
Y'_{eee}	-9.09(-4)	3.06(-3)	-1.68(-4)	6.31(-3)

Table 5 Estimated yaw manoeuvring derivatives (Realistic case)

미계수	EBM	EKF1	EKF2	EKF3
N'_0	-3.39(-6)	-2.06(-5)	9.71(-7)	1.21(-4)
N'_v	-5.86(-3)	-5.30(-3)	-7.83(-3)	-4.41(-3)
N'_r	-2.29(-3)	-3.32(-3)	-3.30(-3)	-2.21(-3)
N'_{vvv}	-6.18(-1)	1.71(-1)	1.50(-1)	-4.19(-1)
N'_{vvr}	-1.11(+0)	-3.67(-1)	-4.66(-1)	-1.04(+0)
N'_{vrr}	-5.81(-1)	-3.17(-1)	-3.48(-1)	-5.87(-1)
N'_{rrr}	-1.06(-1)	-6.53(-2)	-6.81(-2)	-1.04(-1)
N'_δ	-8.49(-4)	-1.43(-3)	-1.10(-3)	-1.03(-3)
N'_{eee}	-7.89(-5)	1.30(-3)	5.28(-4)	3.92(-4)

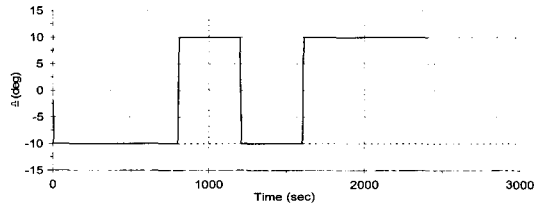
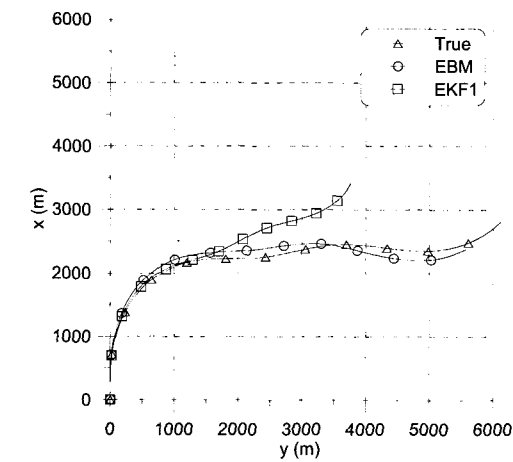
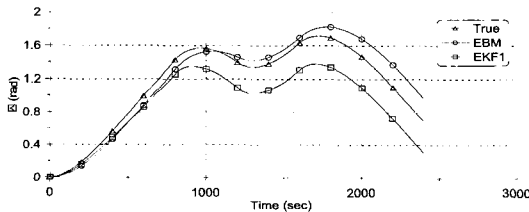


Fig. 8 Time history of rudder angle to compare the EBM with the EKF



(a) x-y trajectories



(b) Heading angle

Fig. 9 x-y trajectories and heading angles simulated by estimated manoeuvring derivatives through the EBM and the EKF

두 방법에 의하여 추정된 조종미계수들을 이용하여 Fig.8 의 타각에 대한 조종 시뮬레이션 궤적 및 선수동요각 변화를 Fig.9 에 도시하였다.

Fig.9 에 의하면 모델링 전 추정기법에 의하여 추정된 조종미계수가 확장 Kalman 필터에 의한 계수추정법에서 추정한 계수 보다 다른 조종 운동

을 잘 모사하는 것을 볼 수 있다.

5. 결론

본 논문에서는 선박의 조종미계수 추정을 위한 시스템 식별법 중에 기존에 널리 사용되고 있는 확장 Kalman 필터에 의한 계수추정법과 새로운 방법인 모델링 전 추정기법을 비교하였다

두 방법을 적용하기 위하여, 각 방법에 대한 적절한 상태변수를 선정하여 상대공간 모델을 구성하였다. 상대공간 모델을 구성하는 측정방정식은 실제 선박의 조종 시운전시 계측하는 값들로 표현하였다.

비교 결과, 특정 선박에 작용하는 동유체력의 모델 구조를 완벽하게 알고 있는 이상적인 경우에는 확장 Kalman 필터에 의한 계수추정법이 모델링 전 추정기법 보다 약간 우수하였다. 하지만 실제 경우인 동유체력 모델을 완전하게 알지 못할 때는 모델링 전 추정기법에 의한 결과가 보다 신뢰성 있는 계수값을 추정하였다. 또한 확장 Kalman 필터에 의한 계수추정법에서는 계수의 초기값과 초기 오차에 대한 가정에 따라 최종 추정값이 다른 값으로 수렴하므로, 정확한 계수들을 얻기 위하여는 많은 튜닝 과정이 필요함을 확인하였다.

참 고 문 헌

- 강창구, 서상현, 김재신 1984 "시스템 검증법에 의한 조종성능 해석," 대한조선학회지, 제 31 권 제 4 호, pp. 26-28
- 윤현규, 이기표 2001 "모델링 전 추정기법을 이용한 조종시운전시의 외력 및 조류 변수 추정," 대한조선학회지, 제 38 권 제 4 호, pp. 30-38
- Rhee, K.P., Kim, K.H. 2000 "A new sea trial method for estimating hydrodynamic derivatives," SOTTECH, Vol. 3, No. 3, pp. 25-45
- Crane, C.L. 1979 "Maneuvering trials of a 278,000-DWT tanker in shallow and deep

- waters," SNAME Trans. Vol. 87, pp. 251-283.
- Goodwin, G.C, Payne, R.L. 1977 "Dynamic System Identification – Experimental Design and Data Analysis, " Academic Press, pp. 127-133.
 - Kobayashi, E., Kagemoto, H., Furukawa, Y., 1995 "Research on ship manoeuvrability and its application to ship design, chapter 2: mathematical models of manoeuvring motions," the 12th Marine Dynamic Symposium, pp. 23-90.
 - Hwang, W. 1980 "Application of system identification to ship maneuvering," Ph.D thesis, Massachusetts Institute of Technology
 - Källström, C.G. 1979 "Identification and adaptive control applied to ship steering," Ph.D thesis, Lund Institute of Technology
 - Lewis, E.V. 1989 "Principles of Naval Architecture 2nd Ed.," SNAME, Vol. 3, pp. 221-227.



< 윤현규 >



< 이기표 >