Proceedings of the 12th KACC, October 1997

민감도 분석을 이용한 수중운동체의 계수식별

Parameter Identification for an Underwater Vehicle Using a Sensitivity Analysis

°박성택*, 박찬국**, 이장규*, 임경식***, 최중락***

*서울대학교 전기공학부 (Tel: 02-872-8190; Fax: 02-878-8198; E-mail: pst@asrignc3.snu.ac.kr)
**광운대학교 제어계측공학과 (Tel: 02-940-5157; Fax: 02-942-7950; E-mail: cgpark@daisy.kwangwoon.ac.kr)
***국방과학연구소 (Tel: 0553-40-6130; Fax: 0553-42-3737)

Abstracts We consider the problem of identifying an underwater vehicle. It is assumed that a priori information about the parameteric model structure and values of the hydrodynamic coefficients is available from some other schemes. The concept of relative sensitivity is introduced to plan an efficient identification procedure. An analysis of the sensitivity of the overall system to a particular hydrodynamic coefficient provides a tool to evaluate the relative importance of the same coefficient in a particular maneuver. Then it can be made possible to reduce the filter size by selecting some dominant hydrodynamic coefficients as parameters to be estimated for a given maneuver, and this fact may be used for establishing a gradual identification scheme. The main merit of a gradual identification is substantially reduced computer burden with increased numerical stability. An illustrative simulation result is given.

Keywords Underwater vehicle, Hydrodynamic coefficient, System identification, Sensitivity analysis, Extended Kalman filter

1. 서론

제어 및 신호처리를 비롯한 여러 분야에 있어서 실제 현상을 기술하고 이해하기 위해서는 시스템 모델이 절대적으로 필요하게 된다. 시스템의 모델링에는 크게 물리법칙을 이용하여 모델을 구하는 해석적 방법과 실험을 통한 측정 데이타를 이용하여 모델을 세우는 실험적 접근법이 있는데, 후자의 방법을 다루는 영역을 시스템 식별(system identification)이라 한다.

식별시험은 시스템을 자극하여 시간에 따른 입력과 출력의 정보를 얻음으로써 수행되며 이로부터 시스템의 계수 모델(parametric model)을 찾게 된다. 이 과정의 첫 단계는 적합한 모델 구조를 결정하는 것이고, 다음에는 모델의 불확실한 계수값을 추정하는 것이다. 실제에 있어 적합한 모델링을 얻게 될 때까지 모델 구조의 수정과 계수의 추정을 반복하여 수행하여야 한다.

본 논문에서 대상으로 하는 시스템은 수중을 항해하는 운동체이다. 수중운동체가 수중에서 조종자가 원하는 대로 운항하기 위해서는 그 동역학적 특성이 잘 규명되어 제어기 계통에 반영되어야 한다. 이를 위해서는 적절한 운동방정식의 선정과 유체력 계수(hydrodynamic coefficient)들의 정확한 추정이 뒷받침되어야 한다. 계수를 추정하는 알고리즘으로는 비선형필터로 널리 알려져 있는 확장칼만필터(extended Kalman filter)를 고려하기로 한다. 6 개의 자유도를 가지는 수중운동체의 운동을 기술하기 위해서는 비선형의 연립미분방정식을 도입하여야 한다. 이때 수중운동체의 주요 변수를 테일러 급수로 나타낸 식에서 중요한 항을 잘 선택하여 근사화된 계수 모델 구조를 결정해야 하는데, 고려할 수 있는 모델 구조의 경우의 수는 무수히 많다. 다양한 형태의 비선형항을 계수 모델에 많이 포함시킬수록 이론적으로는 보다 복잡하고 특수한 운동을 표현하는 것이 가능하나, 계산량은 차수의 세제곱에 비례하여 증가하게 되므로 추정할 계수의 수를 가능한 한 줄이는 것이 바람직하다.

본 논문에서는 시스템 식별을 위해 선정된 각각의 입력 궤적에 대해 식별 계수군에 포함시켜야 할 최소한의 계수항들을 선정할 수 있는 방법을 제시한다. 이를 위해 먼저 계수에 대한 시스템의 민감도를 정의할 것이며, 이 지표를 이용함으로써 복잡한 계수항들을 포함하고 있는 대략적인 수학적 모델로부터 필요한 계수군을 선정할 수 있는 절차를 제시하도록 한다. 이때 대상 시스템의 대략적인 수학적 모델은 사전에 식별법이 아닌 다른 방법에 의해 주어져 있다고 가정한다. 이는 선체 외형과 무게중심 위치 등의 설계 조건으로부터 시스템의 수학적 모델을 대략적으로 계산할 수 있는 방법이 이미 사용되고 있으므로 현실적인 가정이다. 한편, 식별을 위한 입력 궤적의 선정 과정에서 위 방법을 이용함으로써 계수항들을 단계적으로 식별할 수 있는 순차적 식별 계획을 수립할 수 있을 것이다.

2. 수중운동체의 운동방정식 및 모델

2.1 운동방정식

일반적으로 6 개의 자유도(degree of freedom)를 가지는 수중운동체를 12 개의 상태변수를 사용하여 다음과 같이 비선형 미분방정식으로 표시할 수 있다[1, 2].

$$m[\dot{\underline{v}}^B + \underline{\omega}^B \times \underline{v}^B + \dot{\underline{\omega}}^B \times \underline{r}_{cg} + \underline{\omega}^B \times (\underline{\omega}^B \times \underline{r}_{cg})] = \underline{F}_0 \tag{1}$$

$$\dot{\underline{r}}^I = C_B^I \underline{v}^B \tag{2}$$

$$\frac{d}{dt}\left\{\left(I_N - m\begin{bmatrix} y_G^2 + z_G^2 & 0 & 0 \\ 0 & z_G^2 + x_G^2 & 0 \\ 0 & 0 & x_G^2 + y_G^2 \end{bmatrix}\right)\cdot \underline{\omega}^B\right\} + \underline{r}_{cg} \times m(\underline{v}^B + \underline{\omega}^B \times \underline{r}_{cg}) = \underline{M}_0 \tag{3}$$

$$\dot{\underline{v}}^I = \begin{bmatrix} 1 & \sin\phi\tan\theta & \cos\phi\tan\theta \\ 0 & \cos\phi & -\sin\phi \\ 0 & \sin\phi/\tan\theta & \cos\phi/\cos\theta \end{bmatrix}\cdot \underline{\omega}^B \tag{4}$$

이 상태방정식에서 사용된 기호의 정의는 다음과 같다.

$\underline{v}^B = [u \quad v \quad w]^T$: 동체좌표계로 표시된, 관성좌표계에서의 항체의 속도

$\underline{r}^I = [x \quad y \quad z]^T$: 관성좌표계에서의 무게중심 위치벡터

$\underline{\omega}^B = [p \quad q \quad r]^T$: 동체좌표계로 표시된, 관성좌표계에 대한 동체좌표계의 회전각속도

$\underline{v}^B = [\phi \quad \theta \quad \psi]^T$: 관성좌표계에 대한 동체좌표계의 오일러각

$\underline{r}_{cg} = [x_G \quad y_G \quad z_G]^T$: 동체좌표계에서의 무게중심 위치벡터

$I_N = \begin{bmatrix} I_x & I_{xy} & I_{xz} \\ I_{xy} & I_y & I_{yz} \\ I_{xz} & I_{yz} & I_z \end{bmatrix}$: 관성 행렬(inertia matrix)

$\underline{F}_0$: 항체에 작용하는 힘벡터
$\underline{M}_0$: 항체에 작용하는 모멘트벡터
m : 동체의 질량
C_B^I : 좌표계의 변환 행렬

관성 행렬을 I_y 와 I_z 가 동일한 대각 행렬로 가정하고 또 y_G 가 0 이 되게 함으로써 식 (1)과 (3)을 다음처럼 간략화된 식으로 나타낼 수 있다.

$$m[\dot{u} + qw - rv - x_G(q^2 + r^2) + z_G(pr + \dot{q})] = \sum X \tag{5}$$

$$m[\dot{v} + ru - pw + x_G(pq + \dot{r}) + z_G(qr - \dot{p})] = \sum Y \tag{6}$$

$$m[\dot{w} + pv - qu + x_G(rp - \dot{q}) - z_G(p^2 + q^2)] = \sum Z \tag{7}$$

$$I_x\dot{p} + (I_z - I_y)qr - mz_G(\dot{v} - wp + ur) = \sum K \tag{8}$$

$$I_y\dot{q} + (I_x - I_z)rp + m[-x_G(\dot{w} - uq + vp) + z_G(\dot{u} - vr + wq)] = \sum M \tag{9}$$

$$I_z\dot{r} + (I_y - I_x)pq + mx_G(\dot{v} - wp + ur) = \sum N \tag{10}$$

위 식들의 우측 항들은 항체에 작용하는 힘벡터 $\underline{F}_0$ 및 모멘트벡터 $\underline{M}_0$ 의 각 방향 성분을 나타내고, 이들 항의 모델링에 유체력 계수들이 포함된다.

2.2 식별계수모델

식 (5)~(10)의 우변 항들에 대한 계수 모델은 다음과 같이 구성된다.

$$\begin{aligned}\sum X = {} & \frac{\rho}{2}l^4[X_{qq}q^2 + X_{rr}r^2 + X_{rp}rp] + \frac{\rho}{2}l^3[X_{\dot{u}}\dot{u} + X_{vr}vr + X_{wq}wq] \\ & + \frac{\rho}{2}l^2[X_{uu}u^2 + X_{vv}v^2 + X_{ww}w^2] + \frac{\rho}{2}l^2u^2F_{vp}(\eta) - (W - B)\sin\theta \\ & + \frac{\rho}{2}l^2[X_{\delta r\delta r}\delta r^2 + X_{\delta s\delta s}\delta s^2 + X_{\delta b\delta b}\delta b^2]\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sum Y = {} & \frac{\rho}{2}l^4[Y_{\dot{r}}\dot{r} + Y_{\dot{p}}\dot{p} + Y_{p|p|}p\,|\,p\,| + Y_{pq}pq + Y_{qr}qr] \\ & + \frac{\rho}{2}l^3[Y_{\dot{v}}\dot{v} + Y_{wp}wp + Y_r ur + Y_p up + Y_{v|r|}\frac{v}{|v|}\sqrt{v^2 + w^2}\,|r|] \\ & + \frac{\rho}{2}l^2[Y_v uv + Y_{v|v|}v\sqrt{v^2 + w^2}] + (W - B)\cos\theta\sin\phi \\ & + \frac{\rho}{2}l^2u^2[Y_{\delta r} + Y_{\delta r\eta}(\eta - 1)]\delta r\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sum Z = {} & \frac{\rho}{2}l^4 Z_{\dot{q}}\dot{q} \\ & + \frac{\rho}{2}l^3[Z_{\dot{w}}\dot{w} + Z_{vp}vp + Z_q uq + Z_{w|q|}\frac{w}{|w|}\sqrt{v^2 + w^2}\,|q| + Z_{rp}rp] \\ & + \frac{\rho}{2}l^2[Z_w uw + Z_{w|w|}w\sqrt{v^2 + w^2}] + (W - B)\cos\theta\cos\phi \\ & + \frac{\rho}{2}l^2u^2[Z_{\delta s} + Z_{\delta s\eta}(\eta - 1)]\delta s + \frac{\rho}{2}l^2u^2 Z_{\delta b}\delta b\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sum K = {} & \frac{\rho}{2}l^5[K_{\dot{p}}\dot{p} + K_{\dot{r}}\dot{r} + K_{qr}qr + K_{pq}pq] \\ & + \frac{\rho}{2}l^4[K_p up + K_r ur + K_{\dot{v}}\dot{v} + K_{vq}vq + K_{wp}wp + K_{wr}wr] \\ & + \frac{\rho}{2}l^3[K_v uv + K_{vw}vw] \\ & + (y_G W - y_B B)\cos\theta\cos\phi - (z_G W - z_B B)\cos\theta\sin\phi\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sum M = {} & \frac{\rho}{2}l^5[M_{\dot{q}}\dot{q} + M_{rp}rp] \\ & + \frac{\rho}{2}l^4[M_{\dot{w}}\dot{w} + M_{vr}vr + M_{vp}vp + M_q uq + M_{|w|q}\sqrt{v^2 + w^2}\,q] \\ & + \frac{\rho}{2}l^3[M_{\cdot}u^2 + M_w uw + M_{w|w|}w\sqrt{v^2 + w^2}] \\ & + (y_G W - y_B B)\cos\theta\cos\phi - (z_G W - z_B B)\cos\theta\sin\phi \\ & + \frac{\rho}{2}l^3u^2[M_{\delta s} + M_{\delta s\eta}(\eta - 1)]\delta s + \frac{\rho}{2}l^3u^2 M_{\delta b}\delta b\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sum N = {} & \frac{\rho}{2}l^5[N_{\dot{r}}\dot{r} + N_{\dot{p}}\dot{p} + N_{pq}pq + N_{qr}qr] \\ & + \frac{\rho}{2}l^4[N_{\dot{v}}\dot{v} + N_{wp}wp + N_{vq}vq + N_p up + N_r ur + N_{|v|r}\sqrt{v^2 + w^2}\,r] \\ & + \frac{\rho}{2}l^3[N_v uv + N_{v|v|}v\sqrt{v^2 + w^2}] \\ & + (x_G W - x_B B)\cos\theta\sin\phi + (y_G W - y_B B)\sin\theta \\ & + \frac{\rho}{2}l^3u^2[N_{\delta r} + N_{\delta r\eta}(\eta - 1)]\delta r\end{aligned}$$

여기서 사용된 기호의 정의는 다음과 같다.

u_c : 지시속도
$\eta = u_c / u$
ρ : 물의 밀도
l : 동체의 전체 길이
δr : 선미수평타의 각
δb : bow plane의 각변위
δs : stern plane의 각변위
x_B, y_B, z_B : 동체좌표계에서의 부력중심 위치좌표

항체 특성에 부합되는 적절한 계수 모델의 선정은 적절한 식별 기법의 선정 못지 않게 효율적으로 계수식별을 수행하기 위한 중요한 요소이다. 항체가 가지는 미세한 형상에 의한 운동 효과를 식별계수 모델에 반영하기 위해서는 고차항이나 연성항(coupled term) 등과 같은 가능한 한 다양한 계수항을 고려하여야 한다. 그러나, 식별해야 할 계수 모델이 복잡해질수록 많은 계산 시간이 요구될 뿐만 아니라, 연성 효과로 인하여 수렴성 등에 있어서의 식별 성능의 저하를 가져올 수 있으므로, 식별된 계수 모델의 이용 목적에 부합되는 범위 안에서 대상 항체의 외관이나 기타 특성을 반영할 수 있는 적절한 수의 계수항들로서 계수 모델을 구성하는 것이 바람직하다.

3. 유체력 계수의 가식별성 및 민감도

일반적으로 주어진 시스템에 대하여 모든 계수들이 입출력 관계로부터 유일하게 식별될 수 있을 때 이 계수 모델은 "식별 가능하다"라고 말한다. 가식별성(identifiability)은 선형 시스템의 경우 수학적으로 명확하게 정의될 수 있는 개념인데 반해, 비선형 시스템에 대해서는 그것을 정의하거나 판정하기가 용이하지 않다.

수중 운동체의 경우, 운동방정식의 모든 유체력 계수가 가식별성을 가지지는 못한다. 수중운동체의 운동방정식의 좌변에 나타나는 관성력 및 부가질량항(inertial and added mass term)들을 운동방정식의 우변에 나타나는 유체력 계수들과 동시에 식별하는 것은 운동방정식을 이루는 수식의 구조상 매우 어렵다. 이들 계수들은 구속모형시험 등과 같은 다른 방법을 이용하여 비교적 정확하게 추정할 수 있으므로 본 논문에서 관성력 및 부가질량항 계수들은 식별 대상에서 제외한다.

한편, 어떤 가속도에 비례하는 항과 이에 해당하는 속도에 비례하는 유체력 계수 사이에서나, 동일한 상태변수에 비례하는 유체력 계수 사이에서는 어떤 연관 관계를 가지고 동시에 편향된 값으로 수렴하는 이른바 동시편류(simultaneous drift) 현상이 발생한다는 것이 알려져 있다. 이는 연성된 유체력 항들이 서로 상쇄되어 잘못 평가됨으로써 발생하는 문제이다. 이를 해결하기 위해 병렬 처리(parallel processing), 과대 과소 초기추정(exaggerated over- and under-estimated initial guess), 매개변수 변환(parameter transformation) 등의 기법이 제시되어 왔으나, 이 방법들 모두가 부분적으로 개선된 추정 결과를 줄 수 있을 뿐이며 근본적인 해결책이 되지는 못한다[3].

가식별성과는 별개의 개념으로써 특정한 조정에 대하여 특정한 계수가 가지는 상대적 중요도를 나타내는 지표로서 민감도

(sensitivity)를 정의할 수 있다. 여기서 민감도란 특정한 유체력 계수값의 변화에 대해서 전체 시스템이 얼마나 민감하게 변화하는가를 의미한다. 민감도의 분석은 어떤 계수가 특정한 조종에 얼마나 중요한 역할을 하는지 정량적으로 이해하는 데 도움을 준다. 그리고 그 결과를 토대로 불확실한 계수들을 체계적이고 효율적인 방법으로 추정하기 위한 적절한 변수화 방법을 계획할 수 있다.

일반적으로 가식별성이 좋지 않더라도 민감도가 큰 계수가 존재할 수 있으나, 민감도가 작은 계수는 시스템이 민감하지 않는 계수이므로 식별이 불가능하다고 판정할 수 있다. 민감도가 작을 경우 불확실한 식별을 피하기 위하여 사전 정보에 의한 대략적인 상수값으로 고정시키거나 계수 모델에서 제외시켜도 무방하다. 운동방정식에 나타나는 모든 계수를 동시에 추정할 경우 계산량이 많아질 뿐 아니라 수치적 연산 오차나 연성 효과 등에 의한 식별 성능의 저하가 유발될 수 있다. 따라서, 특수한 운항 조건을 만들어 주어 이에 대하여 중요하게 작용하는 계수들만의 조합을 식별 대상으로 고려함으로써 전체 계수의 일부분씩을 단계적으로 식별해 나가는 것이 유리할 것이다.

본 논문에서 각 계수에 대한 상대적 민감도(relative sensitivity)는 다음과 같은 절차에 의해 계산하였다.

단계 1: 주어진 입력 시나리오에 대하여 시스템 모델의 가속도 및 각속도의 궤적을 구한다.

단계 2: 임의의 한 계수에 대해 그 계수값을 20% 증가시켜 궤적을 구한 뒤 위 단계에서 구한 궤적과의 차이를 정량화한다. 이 과정을 모든 계수에 대하여 수행한다.

단계 3: 가속도와 각속도에 대하여 전체 계수의 궤적차의 합에 대한 각 계수의 궤적차의 비를 구한다.

단계 4: 가속도와 각속도별로 구한 앞의 값들을 계수별로 합산하여 이를 그 계수의 상대적 민감도로 정의한다.

이상과 같이 상대적 민감도를 계산하여 고찰함으로써 특정한 입력 유형에 대해 시스템에 영향을 크게 미치는 계수항들과 그 영향이 미소한 계수항들을 분류할 수 있다. 민감도가 낮은 계수항들을 식별할 계수에서 제외시킴으로써 앞에서 기술한 것처럼 효과적인 계수식별을 수행할 수 있게 된다.

4. 시뮬레이션 및 결과

수중운동체의 조종에는 지그재그 운항, 정상 선회(steady turn) 운항, 가감속 운항 등 특정한 운동 형태나, 또는 급격한 조종과 완만한 조종 등을 기준으로 한 여러 가지 조종 형태가 존재한다. 본 논문에서는 수평면 동요 및 수직면 동요에 의한 지그재그 조종의 경우만을 고찰하기로 한다. 민감도 분석 및 계수식별에 사용된 입력 시나리오를 그림 1에 도시하였다

앞 절에서 기술한 방법에 따라 2.2 절의 계수 모델식에 나타난 각 계수들에 대해 상대적 민감도를 구해 보았다. 그 중 상하동요 및 선수요 계수항들에 대한 결과를 그림 2에 나타내었다. 수직 동요, 수평 동요 및 두 가지 동요의 혼합 동요에 대응하는 결과를 막대 그래프로 도시하였는데, (a)의 경우에는 수평 동요에 대하여, (b)에서는 수직동요에 대하여 민감도가 매우 낮아 해당 막대가 나타나지 않았다. 그림에서 볼 수 있듯이 나타난 것과 같이 상하동요 계수들 중에서는 ZQ, ZW, ZWAW, ZDS 등이, 그리고 선수요 계수들 가운데는 NP, NR, NV, NDR 등이 주요한(dominant) 계수들로 작용한다는 사실을 알 수 있다. 또한, 이들을 제외한 나머지 계수들은 주어진 지그재그 조종에 있어 무시하거나 근사값을 사용하여도 수중운동체의 운항 궤적에 큰 영향을 미치지 않을 것임을 예측할 수 있다.

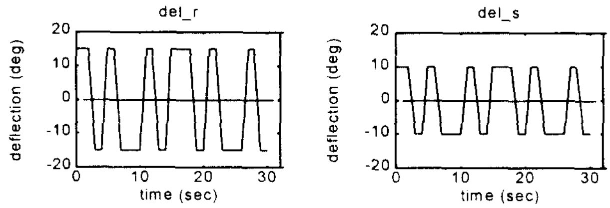
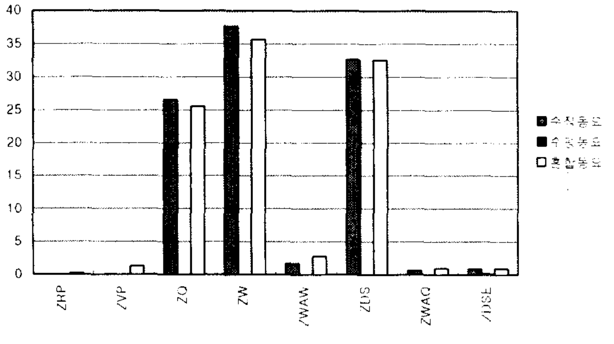
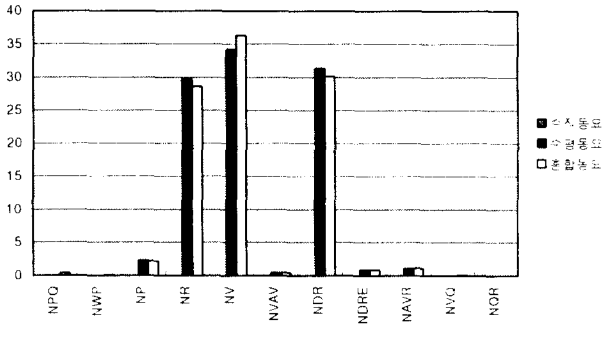


그림 1 계수식별에 사용된 입력시나리오

Fig. 1 Input scenario used for parameter estimation



(a)



(b)

그림 2 지그재그 조종에 대한 상대적 민감도

Fig. 2 Relative sensitivity in the given maneuver

이처럼 민감도 분석에 의해 선정된 주요 계수들만을 상태변수에 추가하여 식별을 수행시 식별 결과의 타당성을 살펴 보기 위하여 다음과 같은 일련의 과정을 수행하였다.

(i) 2.2 절에 나타난 계수 모델에 대해 그림 1의 입력 시나리오로부터 세 축 방향의 가속도 및 각속도, 깊이, 전진방향 속도 등의 측정데이타를 발생시킨다.

(ii) 주요 계수만을 상태변수에 추가하여 확장칼만필터 기법을 적용, (i)의 측정데이타로부터 계수 추정치를 구한다. 이로부터 식별 계수들로 구성된 식별 모델을 얻을 수 있다.

(iii) (ii)에서 구한 식별 모델에 대해 식별시 사용한 것과 다른 입력 시나리오를 사용하여 상태변수의 궤적을 얻는다.

(iv) 2.2 절의 참모델에 대해서도 위와 동일한 방법으로 상태변수의 궤적을 발생시킨다.

(v) (iii)과 (iv)에서 구한 상태변수의 궤적을 함께 도시하여 비교해 본다.

위에서 (iii)~(v)는 식별된 모델의 타당성을 검증하기 위한 과정으로서 (v)에서 두 대응하는 상태변수 궤적이 서로 일치할수록 식별 모델이 수중운동체의 운동을 적절히 표현하는 타당한 모델임을 확

인할 수 있다. 본 연구에서, 주어진 전체 59 개의 유체력 계수 중 민감도 분석으로부터 주어진 입력 시나리오에 대해 28 개의 유체력 계수를 주요한 계수로 선정하였다. 모델 검증을 위해 그림 3 의 입력 시나리오를 사용하였다. 일부 상태변수들에 대해, 계수 식별을 수행하기 전의 계수값들을 사용한 모델에 대한 궤적비교 결과를 그림 4 에 도시하였고, 식별된 계수 모델에 대한 궤적비교 결과가 그림 5 에 나타나 있다. 비교를 통해 식별된 계수 모델이 대체로 주어진 수중시스템의 동특성을 잘 반영하고 있음을 확인할 수 있다.

이상의 고찰이 비록 한 가지 운동 형태에 대한 제한적인 결과이나, 특정한 조종에 대하여 대응하는 중요 계수들을 민감도 분석을 통해 선별함으로써 식별해야 할 계수의 수를 줄일 수 있음을 보여 준다. 이는 항체의 운동 형태를 적절히 계획함으로써 관계되는 미지 계수의 수를 감소시킬 수 있음을 의미한다. 이를 이용하여 운동방정식을 이루는 전체 유체력 계수를 순차적이고 단계적으로 식별하는 식별 방법이 수립 가능하다.

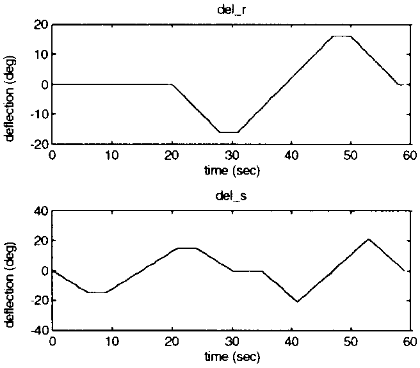


그림 3 궤적비교에 사용된 입력시나리오

Fig. 3 Input scenario used for trajectory comparison

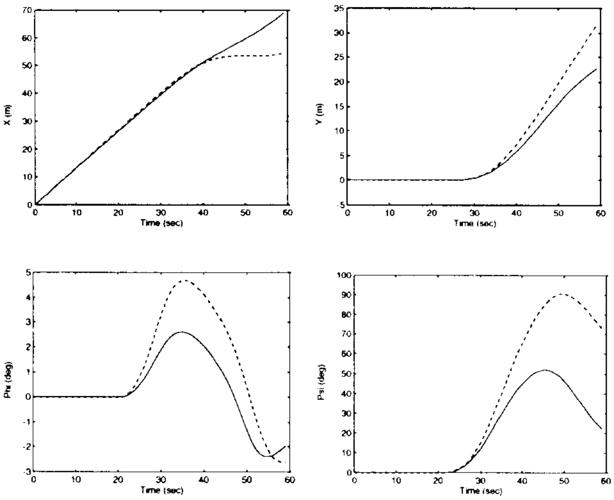


그림 4 계수 초기치를 사용한 궤적비교 결과

Fig. 4 Trajectory comparison using initial parameter estimates

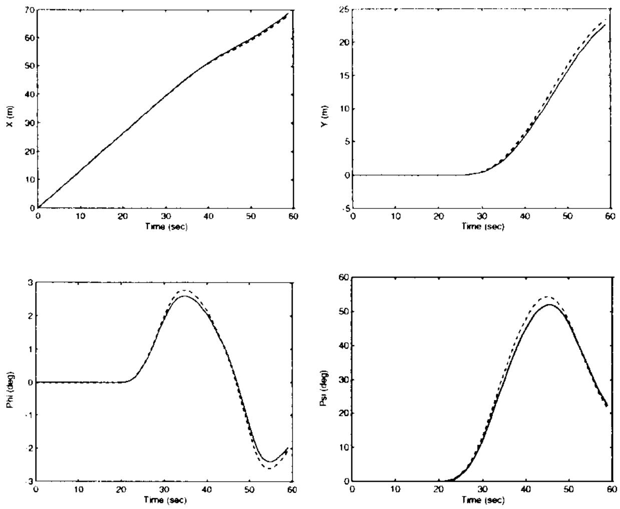


그림 5 계수 추정치를 사용한 궤적비교 결과

Fig. 5 Trajectory comparison using final parameter estimates

5. 결론

본 논문에서는 특정한 조종에 대하여 운동방정식을 구성하는 각각의 유체 계수가 가지는 상대적 중요도를 나타내는 지표로 민감도를 정의하였다. 이 민감도는 어떤 계수가 특정한 조종에 얼마나 중요한 역할을 하는가에 대해 정량적으로 평가하는 척도가 된다. 수중운동체에 대해 민감도 분석을 토대로 불확실한 유체 계수들을 체계적이고 효율적인 방법으로 추정하기 위한 변수화 방법을 제시하였다. 일반적으로 가식별성이 좋지 않더라도 민감도가 큰 계수가 존재할 수는 있으나, 민감도가 작은 계수는 시스템에 민감하지 않는 계수이므로 식별이 불가능하다고 판정할 수 있다. 특정한 운항조건에 대하여 중요하게 작용하는 계수들만의 조합을 식별 대상으로 고려함으로써 전체 계수의 일부분씩을 순차적으로 식별하는 방법을 제시하였다. 이와 같은 부분적이고 단계적인 식별 수행이 주는 장점은 불필요한 계수의 불확실한 추정을 피하게 됨과 동시에 상태변수에 추가되는 계수의 수를 줄임으로써 식별에 요구되는 계산 시간을 줄일 수 있다는 점, 그리고 계산적인 측면에서 수치적인 안정성을 도모할 수 있다는 점 등이다. 또한, 수행된 계수 식별의 결과를 설명하는 데에도 민감도 분석 결과가 유용하게 이용될 수 있을 것이다.

후기

본 연구는 국방과학연구소의 연구 지원에 의한 연구 결과입니다.

참고문헌

[1] B.R. Groves, J.T. Dorsey, and D. Tucker, *Advanced Submarine Systems Equations Study*, Goodyear Aerospace Corporation, Report No. NAVTRADEVCEN 68-C-0050-1, 1970.

[2] 박성택, "확장칼만필터를 이용한 수중운동체의 유체계수 식별," 공학석사학위논문, 서울대학교, 1993.

[3] 양승일, "선박조종해석에 시스템검증법 적용," 한국기계연구소, 연구보고서, 1982.