

Manta형 무인잠수정의 조종운동 특성에 미치는 유체력미계수의 민감도 해석에 관한 연구

배준영* · 손경호†

* 한국해양대학교 대학원, † 한국해양대학교 조선해양시스템공학부 교수

Sensitivity Analysis of Hydrodynamic Derivatives on Characteristics of Manoeuvring Motion of Manta-type Unmanned Undersea Test Vehicle

Jun Young Bae* · Kyoung-Ho Sohn†

* Korea Maritime University Graduate school, Busan 606-791, Korea

† Dept. of Naval Architecture and Ocean Systems Engineering, Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

요 약 : Manta형 무인잠수정(Manta-type Unmanned Undersea Test Vehicle, 이하 MUUTV라 함)은 Naval Undersea Warfare Center의 Manta Test Vehicle의 설계 및 운용 개념을 기초로 하여 제안되었다(손 등, 2006). 본 연구에서는 Feldman(1979)과 손 등(2006)의 6자유도 운동 수학모델을 이용하여 MUUTV의 조종운동 특성에 미치는 유체력미계수의 민감도 해석을 수행하였다. 민감도 해석 기법으로는 Sen(2000)이 제안한 방법을 채택하였다. 본 연구를 통하여 각각의 유체력미계수가 MUUTV의 조종운동 특성에 미치는 영향을 정량적으로 파악할 수 있었으며, 상대적으로 영향을 작게 미치는 유체력미계수가 포함된 항을 제거하여 조종운동 수치 시뮬레이션을 수행하여도 운동 추정이 가능함을 알 수 있었다.

핵심용어 : 무인잠수정, 조종운동 특성, 수치 시뮬레이션, 민감도

Abstract : Manta-type Unmanned Undersea Test Vehicle(MUUTV) is based on the same design concept as Unmanned Undersea Vehicle called Manta Test Vehicle(MTV), which was originally built and operated by the Naval Undersea Warfare Center(Lisiewicz et al., 2000, Sirmalis et al., 2001). The authors carried out the sensitivity analysis of the response of manoeuvring motion of MUUTV to changes in hydrodynamic derivatives. In order to calculate the sensitivity indices of hydrodynamic derivatives on MUUTV, the method by Sen(2000) was adopted. Basically the dynamic mathematical model with six degrees of freedom by Feldman(1979) is used but a little revised, referred to Sohn et al.(2006) and some experiment in circulating water channel. Through the present research, some hydrodynamic derivatives of significance are found out, and also the numerical simulation using simplified mathematical model based on result of sensitivity analysis is ascertained to be enough for prediction of manoeuvring characteristics of MUUTV.

Key words : Unmanned undersea vehicle, Manoeuvring motion characteristics, Numerical simulation, Sensitivity analysis

1. 서 론

최근 해저자원의 개발과 생산 활동에 따른 수중작업의 수요 증대와 국방 수중유도무기체계 개발의 일환으로 다양한 형태의 수중운동체 기술이 발전되고 있다. 미래의 해군력 증강을 위한 연구로서 미국의 Naval Undersea Warfare Center(이하 NUWC라 함)에서는 1990년대 후반부터 Manta Test Vehicle(이하 MTV라 함)이라 불리는 무인잠수정에 대한 연구를 수행해 오고 있다. MTV는 NUWC에 의해 설계, 건조 및 시운전되고 있는 독특한 외형을 가진 무인잠수정으로서 평상 시에는 모함의 동체 상부의 일부로 장착되어 있다가 필요 시에만 모함으로부터 분리되어 자료 획득 등 임무 수행에 투입된다(Lisiewicz et al., 2000; Sirmalis et al., 2001). MTV의 설계

및 운용 개념을 기초로 하여 손 등(2006)과 배 등(2007)은 Manta형 무인잠수정(Manta-type Unmanned Undersea Test Vehicle, 이하 MUUTV라 함)에 관한 연구를 수행하였다.

본 연구에서는 Feldman(1979)과 손 등(2006)이 제안한 수학 모델을 이용하여 MUUTV의 조종운동 특성에 영향을 미치는 유체력미계수의 민감도를 해석하였다. 일반적으로 민감도란 대상모델의 입력 정보의 변화에 따른 출력의 변화 정도를 의미한다. 본 연구에서는 Sen(2000)의 방법을 이용하여 민감도를 해석하였다. 민감도 해석 결과, 각각의 유체력미계수들이 조종운동 특성에 기여하는 정도(degree)를 파악할 수 있었으며, MUUTV의 조종운동 특성에 상대적으로 영향을 작게 미치는 항들을 제거한, 간략화된 운동 수학모델에 의해서도 MUUTV의 조종운동 특성 예측이 가능함을 확인할 수 있었다.

* 대표저자 : 배준영(정회원), newthousands@bada.hhu.ac.kr 051)410-4991

† 교신저자 : 손경호(중신회원), sohnkh@hhu.ac.kr 051)410-4303

2. 조종운동 수학모델 및 수치 시뮬레이션 기법

2.1 좌표계

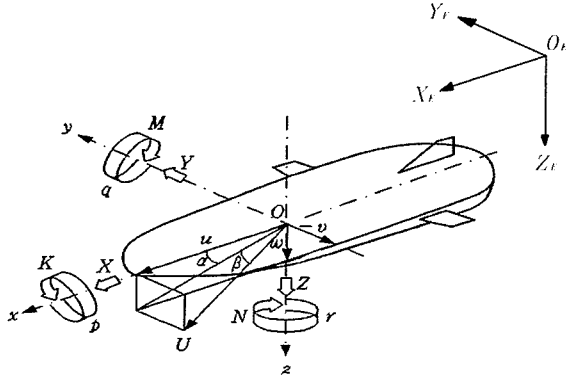


Fig. 1 Coordinate system and notation

MUUTV의 조종운동을 기술하기 위하여 Fig. 1과 같이 동좌표계($O-xyz$)와 공간좌표계($O_E-X_EY_EZ_E$)를 취하였다. 동좌표계의 원점은 MUUTV의 동체 중앙횡단면에서 동체 높이의 중간위치로 취하고, MUUTV의 선수방향을 x , 정횡 우현방향을 y , 선저방향을 z 축의 양(+),의 방향으로 정의하고, 공간좌표계는 MUUTV의 초기 진행방향을 X_E , 지구중심 방향을 Z_E 의 양(+),의 방향으로 정의하였다. 또한 공간좌표계의 원점은 MUUTV의 제어판의 작동 명령시점으로 취하였다.

2.2 6자유도 운동 수학모델

본 연구에서 사용한 MUUTV의 6자유도 운동 수학모델은 Feldman(1979)이 제안한 잠수함의 표준 운동방정식을 기본으로, 손 등(2006)이 제안한 수학모델과 회류수조에서의 모형시험을 통하여 수정 및 보완한 것으로서 식(1)~(6)에 보인다. 여기서 T_{P1} , T_{P2} , T_{H1} , T_{H2} , T_{H3} , T_{H4} 는 각각 선미의 우현과 좌현에 설치된 추진용 thruster와 선저 하부의 4곳에 설치된 hovering thruster에 의한 동유체력을 의미하며, δ_r 과 δ_s 는 각각 수직타(rudder)와 수평타(elevator)의 타각을 나타낸다. 단, 수평타를 반대칭적으로 취할 때에는 η_s 라 표현한다. y_H 는 우현측 hovering thruster의 y 좌표, x_{H1} 과 x_{H3} 는 각각 선수, 선미측 hovering thruster의 x 좌표, y_P 는 우현측 추진용 thruster의 y 좌표이다. 운동변수와 동유체력의 각 성분은 Fig. 1의 기호에 따르며 별도로 언급되지 아니한 기호는 Feldman(1979)의 표기법을 따른다. 유체력미계수에 표시된 위첨자 프라임 기호는 무차원화된 것을 의미하며 힘의 경우 $0.5\rho L^2 U^2$, 모멘트의 경우 $0.5\rho L^3 U^2$ 으로 무차원화 하였다 (단, ρ : 유체의 밀도, L : MUUTV의 길이, U : MUUTV의 속도). 식(7)은 조타기의 수학모델로서 수직타와 수평타에 다 같이 적용된다. 여기서 T_E 는 시정수, δ^* 는 명령타각, δ_{\max} 는 타의 최대 각속도를 의미한다. T_E 는 1 sec, δ_{\max} 는 3 deg/sec로 가정한다.

- Surge force equation

$$m[\dot{u} - vr + wq - x_G(q^2 + r^2) + z_G(pr + \dot{q})] = \frac{\rho}{2} L^4 [X_{qq}' \dot{q}^2 + X_{rr}' r^2 + X_{pr}' pr] + \frac{\rho}{2} L^3 [X_{u'}' \dot{u} + X_{vr}' vr + X_{wq}' wq] + \frac{\rho}{2} L^2 [X_{uu}' u^2 + X_{vv}' v^2 + X_{uw}' uw + X_{ww}' w^2] + \frac{\rho}{2} L^2 [X_{\delta r}' u^2 \delta r^2 + X_{\delta s}' u^2 \delta s^2 + X_{\eta s}' u^2 \eta s^2] + (T_{P1} + T_{P2}) - (W - B) \sin \theta \quad (1)$$

- Sway force equation

$$m[\dot{v} - wp + ur + z_G(qr - \dot{p}) + x_G(pq + \dot{r})] = \frac{\rho}{2} L^4 [Y_r' \dot{r} + Y_p' \dot{p} + Y_{p|p}' p|p| + Y_{pq}' pq] + \frac{\rho}{2} L^3 [Y_v' \dot{v} + Y_{wp}' wp + Y_r' ur + Y_p' up] + \frac{\rho}{2} L^2 [Y_v' uv + Y_{vv}' \frac{v^3}{U} + Y_{\delta r}' u^2 \delta r] + (W - B) \cos \theta \sin \phi \quad (2)$$

- Heave force equation

$$m[\dot{w} - uq + vp - z_G(p^2 + q^2) + x_G(pr - \dot{q})] = \frac{\rho}{2} L^4 [Z_q' \dot{q} + Z_{pp}' p^2 + Z_{pr}' pr] + \frac{\rho}{2} L^3 [Z_w' \dot{w} + Z_{vp}' vp + Z_{uq}' uq] + \frac{\rho}{2} L^2 [Z_u' u^2 + Z_{uw}' uw + Z_{ww}' w^2 + Z_{ww}' \frac{w^3}{U}] + \frac{\rho}{2} L^2 [Z_{\delta s}' u^2 \delta s] - (T_{H1} + T_{H2} + T_{H3} + T_{H4}) + (W - B) \cos \theta \cos \phi \quad (3)$$

- Roll moment equation

$$I_{xx} \dot{p} + (I_{zz} - I_{yy})qr - m[z_G(\dot{v} - wp + ur) + x_G z_G(\dot{r} + pq)] = \frac{\rho}{2} L^5 [K_p' \dot{p} + K_r' \dot{r} + K_{qr}' qr + K_{p|p}' p|p|] + \frac{\rho}{2} L^4 [K_p' up + K_r' ur + K_v' \dot{v} + K_{wp}' wp + K_{vq}' vq + K_{wr}' wr] + \frac{\rho}{2} L^3 [K_v' uv + K_{vw}' vw + K_{\delta r}' u^2 \delta r + K_{\eta s}' u^2 \eta s] - (T_{H1} - T_{H2} + T_{H3} - T_{H4}) y_H - (z_G W - z_B B) \cos \theta \sin \phi \quad (4)$$

- Pitch moment equation

$$I_{yy} \dot{q} + (I_{xx} - I_{zz})pr + m[z_G(\dot{u} - vr + wq) - x_G(\dot{w} - uq + vp) + x_G z_G(p^2 - r^2)] = \frac{\rho}{2} L^5 [M_q' \dot{q} + M_{pr}' pr + M_{rr}' r^2 + M_{pp}' p^2] + \frac{\rho}{2} L^4 [M_w' \dot{w} + M_q' uq + M_{vr}' vr + M_{vp}' vp] + \frac{\rho}{2} L^3 [M_w' u^2 + M_w' uw + M_{ww}' w^2 + M_{ww}' \frac{w^3}{U}] + \frac{\rho}{2} L^3 [M_{\delta s}' u^2 \delta s] + (T_{H1} + T_{H2}) x_{H1} + (T_{H3} + T_{H4}) x_{H3} - (x_G W - x_B B) \cos \theta \cos \phi - (z_G W - z_B B) \sin \theta \quad (5)$$

- Yaw moment equation

$$\begin{aligned}
 I_z \dot{r} + (I_{yy} - I_{xx})pq + m[x_G(\dot{v} - wp + ur) + z_G x_G(qr - \dot{p})] = \\
 + \frac{\rho}{2} L^5 [N_r' \dot{r} + N_p' \dot{p} + N_{pq}' pq + N_{qr}' qr] \\
 + \frac{\rho}{2} L^4 [N_v' \dot{v} + N_r' ur + N_p' up + N_{vp}' vp + N_{rq}' rq] \\
 + \frac{\rho}{2} L^3 [N_c' uv + N_{rr}' \frac{v^2}{U} + N_{\delta r}' u^2 \delta r] \\
 + (T_{P2} - T_{P1})y_P + (x_G W - x_B B) \cos \theta \sin \phi \quad (6)
 \end{aligned}$$

- 조타기의 수학모델

$$\begin{aligned}
 T_E \dot{\delta} + \delta = \delta^* \\
 : (|\delta^* - \delta| \leq T_E |\dot{\delta}_{\max}|) \\
 \delta = \text{sign}(\delta^* - \delta) |\delta_{\max}| \\
 : (|\delta^* - \delta| > T_E |\dot{\delta}_{\max}|) \quad (7)
 \end{aligned}$$

2.3 수치 시뮬레이션 기법

Fig. 1에 정의한 공간좌표계와 동좌표계 사이에는 다음 관계가 성립된다.

$$\begin{bmatrix} \dot{X}_E \\ \dot{Y}_E \\ \dot{Z}_E \end{bmatrix} = [E]' \begin{bmatrix} u \\ v \\ w \end{bmatrix} \quad (8)$$

여기서 $[E]'$ 는 공간좌표계를 동좌표계로 바꾸어 주는 변환행렬 ($[E]$ 의 전치행렬(transposition matrix)이다(Abkowitz, 1969). 그리고 Euler 각속도와 동좌표계에서의 각속도 사이에는 다음 관계가 성립된다.

$$\begin{bmatrix} \dot{\phi} \\ \dot{\theta} \\ \dot{\psi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \sin \phi \tan \theta & \cos \phi \tan \theta \\ 0 & \cos \phi & -\sin \phi \\ 0 & \sin \phi \sec \theta & \cos \phi \sec \theta \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} p \\ q \\ r \end{bmatrix} \quad (9)$$

식(1)~(6)으로부터 $\dot{u}, \dot{v}, \dot{w}, \dot{p}, \dot{q}, \dot{r}$ 을 구해 이들을 각각 수치적분법에 의해 운동변수의 시간이력 u, v, w, p, q, r 을 구하고 식(8)과 식(9)로부터 운동궤적의 공간좌표(X_E, Y_E, Z_E)와 Euler 각(ϕ, θ, ψ)을 구하는 순서로 수치 시뮬레이션이 수행된다.

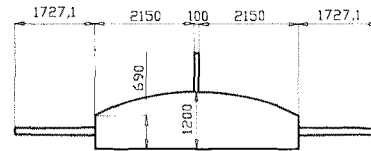
3. MUUTV의 주요목과 유체력미계수 등

3.1 MUUTV의 주요목

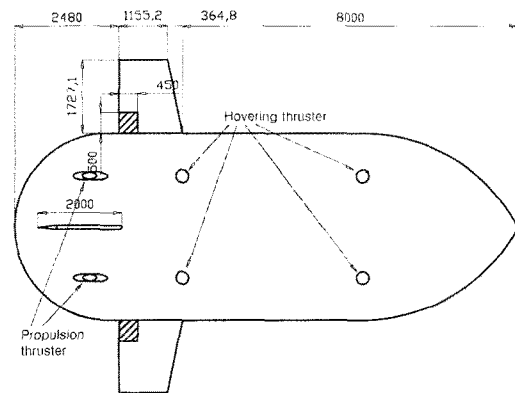
배 등(2007)의 연구를 토대로 본 연구에서 채택된 MUUTV의 주요목과 형상을 Table 1과 Fig. 2에 보인다. Fig. 2의 (b)와 (c)에서 빗금친 부분은 각각 수평타와 수직타를 나타낸다.

Table 1 Principal dimensions of MUUTV

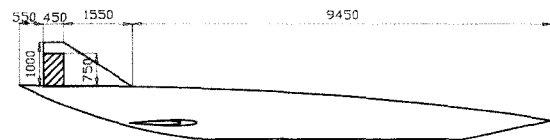
Item	Dimension
Fuselage	
length	L = 12.0 m
breadth	B = 4.4 m
height	D = 1.2 m
disp. vol.	$\nabla = 31.88 \text{ m}^3$
centroid from nose	6.333 m
Horizontal plate (2)	
root chord	1.52 m
tip chord	1.1552 m
span	1.7271 m
Elevator (2)	
root chord	0.45 m
tip chord	0.45 m
span	0.50 m
Upper vertical plate	
root chord	2.00 m
tip chord	0.45 m
span	1.00 m
Rudder	
root chord	0.45 m
tip chord	0.45 m
span	0.75 m
Propulsion thruster (2)	
propeller diameter	0.60 m
pitch ratio	1.20
blade area ratio	0.75
number of blades	5
turning direction(looking from stern) outboard	
Hovering thruster (4)	



(a) Front view



(b) Horizontal plan



(c) Profile

Fig. 2 Drawings of MUUTV

3.2 유체력미계수 등

2.2절의 운동 수학모델에서 필요로 하는 유체력미계수와 그의 필요한 계수들을 구하여 Table 2에 나타낸다. 질량, 질량관성모멘트 및 부심의 위치는 상용 프로그램인 Catia를 이용하여 구하였으며, 무게중심은 부심보다 0.2m 아래(실물 기준)에 있는 것으로 가정하였다. 그리고 유체력미계수는 손 등(2006)이 제안한 이론추정법과 회류수조에서 실시한 구속모형시험을 통하여 구하였으며, 프로펠러 추력계수는 B-Screw Series의 프로펠러 특성(van Lammeren, 1969)으로부터 구하였다.

4. 민감도 해석

4.1 민감도 해석 기법

민감도(sensitivity)란 대상모델의 입력 정보의 변화에 따른 출력의 변화 정도를 나타내는 것으로, 각각의 계수들이 전체 시스템에 기여하는 정도를 파악하기 위해 민감도 해석이 필요하다. 본 연구에서는 각각의 입력변수를 일정비율로 변화시킨 후 얻어지는 출력의 변화를 확인하는 Sen(2000)의 방법을 채택하였으며, 입력 정보로는 유체력미계수의 값을, 출력으로는 선회운동과 지그재그운동의 수치 시뮬레이션의 결과로부터 얻을 수 있는 주요 특성값을 채택하였다. 민감도 지수(sensitivity index) S 는 식(10)과 같이 정의된다(Sen, 2000).

$$S = \frac{|R - R^*|/R^*}{|H - H^*|/H^*} \quad (10)$$

여기서 H 는 입력 정보를, R 은 출력 정보를 나타내며 위 첨자 * 표시는 변화시키기 전의 기본값을 의미한다. H 와 R 은 각각 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$H = \{h_j\}, R = \{r_j\} \quad (11)$$

$$\{h_j\} = \{h^*\} \cdot \{c_m\} \quad (12)$$

$$c_m = \begin{pmatrix} 1 & m \neq j \\ (1 + k/100) & m = j \end{pmatrix} \quad (13)$$

여기서 j 는 민감도 해석을 수행하기 위해 변화시킨 유체력미계수의 순번을 의미한다($j = 1, 2, \dots, M$ 단, M 은 수학모델에서 유체력미계수의 총개수). 그리고 k 는 j 번째 유체력미계수의 변화율(%)을 나타내며, 식(10)~(13)을 이용하여 j 번째 유체력미계수 변화에 대한 조종운동 특성값 r_j 의 변화를 나타내는 민감도 지수 S_j 는 다음과 같이 표현된다.

$$S_j = \frac{|r_j - r^*|/r^*}{c_j - 1} = \frac{|r_j - r^*|/r^*}{k/100} \quad (14)$$

Table 2 Hydrodynamic derivatives and other coefficients for numerical simulation

Der.	Value	Der.	Value
m'	0.036854	Z'_{uw}	-0.515486
I'_{xz}	0.000341	Z'_{uvw}	-2.299410
I'_{yy}	0.001699	Z'_q	-0.012499
I'_{zz}	0.002003	$Z'_{\delta s}$	0.004803
x'_G	-0.027659	K'_p	-0.001594
z'_G	0.025691	K'_r	0.000000
x'_B	-0.027659	K'_v	-0.000338
z'_B	0.009025	$K'_{y p }$	0.000000
x'_H	0.191667	K'_{wp}	0.000338
x'_{HB}	-0.166667	K'_{qr}	0.003445
y'_H	0.100000	K'_{vq}	-0.004999
y'_P	0.100000	K'_{wr}	0.004999
X'_u	-0.001843	K'_{wu}	-0.078608
X'_{wq}	-0.097472	K'_p	-0.005973
X'_{vr}	0.018864	K'_v	0.000055
X'_{vq}	-0.007301	K'_r	-0.000004
X'_{rr}	-0.002301	$K'_{\delta r}$	-0.000408
X'_{pr}	0.000338	$K'_{\eta s}$	0.000981
X'_{vu}	-0.004530	M'_q	-0.004611
X'_{vv}	-0.019240	M'_w	-0.007301
X'_w	0.013557	M'_{vr}	-0.000338
X'_{ww}	-0.032369	M'_{vp}	-0.002301
$X'_{\delta r \delta r}$	-0.002278	M'_{rr}	0.000000
$X'_{\delta s \delta s}$	-0.002350	M'_{pp}	0.000000
$X'_{\eta s \eta s}$	-0.002350	M'_{pr}	-0.001129
Y'_v	-0.018864	M'_z	0.004986
Y'_p	-0.000338	M'_w	0.064231
Y'_r	0.002301	M'_{uw}	-0.057700
$Y'_{ p }$	0.000000	M'_{uvw}	0.261903
Y'_{wp}	0.097472	M'_q	-0.007865
Y'_{vq}	0.007301	$M'_{\delta s}$	0.001319
Y'_p	0.000000	N'_r	-0.001165
Y'_r	0.008262	N'_p	0.000000
Y'_v	-0.040476	N'_v	0.002301
Y'_{vvp}	-0.052331	N'_{wp}	-0.007301
$Y'_{\delta r}$	-0.005016	N'_{qr}	0.000000
Z'_w	-0.097472	N'_{pq}	-0.003016
Z'_q	-0.007301	N'_p	-0.000338
Z'_{vp}	-0.018864	N'_{vq}	0.000338
Z'_{vr}	-0.000338	N'_v	0.002873
Z'_{pr}	0.002301	N'_{vv}	0.016060
Z'_z	0.026419	N'_r	-0.002777
Z'_w	-0.673837	$N'_{\delta r}$	0.002184

4.2 조종운동 특성값의 정의

민감도를 해석하기 위하여 수평운동의 경우에는 선회운동과 지그재그운동, 수직운동의 경우에는 지그재그운동의 수치 시뮬레이션을 수행하였다. 그리고 실선의 조종시험에서는 수행하지 않는 것이지만 횡동요와 관련된 조종운동에 영향을 미치는 유체력미계수들의 중요도를 파악하기 위하여 횡동요 지

그재그운동의 수치 시뮬레이션도 수행하였다. 단, 수직 지그재그운동과 횡동요 지그재그운동의 수치 시뮬레이션 시에 중성평형(neutral equilibrium) 상태로 간주하여 종방향 및 횡방향의 유체정역학적 모멘트를 고려하지 않았다. 수치 시뮬레이션 결과로부터 선회운동의 경우에는 전술직경(tactical diameter)을, 지그재그운동에서는 오버슈트각(1st overshoot angle)을 민감도 해석을 위한 출력인자, 즉 특성값으로 사용하였다. Table 3은 민감도 해석에 이용된 조종운동의 종류를 보이고 있다. 유체력미계수 변화율(k)은 20%로 일정하게 취하였으며 이것은 Sen(2000)의 연구 결과에 따른 것이다. 초기속도는 5 kt로 가정하였으며 이에 대응하는 프로펠러 회전수는 5.66 rps이다. 그리고 타각은 Table 3에 나타낸 범위에서 5° 간격으로 변경하여 수치 시뮬레이션을 수행하였다. 수직타는 우현방향을 양(+)의 방향, 수평타는 상방향을 양(+)의 방향으로 정의한다. 횡동요 제어 시에는 좌우 수평타를 반대칭적으로 취함으로써 횡동요 모멘트를 발생시킨다.

Table 3 Manoeuvring parameters for sensitivity analysis

Manoeuvre	Range of rudder/elevator (deg)
Horizontal turning	5 ~ 30
Horizontal zigzag	5 ~ 20
Vertical zigzag	5 ~ 10
Roll zigzag	±5 ~ ±10

4.3 민감도 해석 결과

(1) 수평운동

Table 4는 수평운동의 민감도 해석 결과로서 민감도 지수의 최대값을 조종운동의 종류에 따라 큰 순서대로 나타낸 것이다. 여기서 Max. S.는 민감도 지수의 최대값을 의미한다. 선회운동에서는 N_r' , N_{δ_r}' , Y_v' 등 감쇠유체력미계수들이 상대적으로 큰 영향을 미치고 있으며 부가질량과 관련된 항들은 크게 영향을 미치지 않고 있다는 것을 알 수 있다. 또한 지그재그운동에서도 선회운동에서와 비슷한 경향을 보이고 있다는 것을 알 수 있다.

(2) 수직 지그재그운동

Table 5의 좌측 표는 수직 지그재그운동의 민감도 해석 결과로서 M_w' , M_q' , Z_w' 등 감쇠유체력미계수들이 상대적으로 큰 영향을 미치고 있으며, 수평운동에서와 마찬가지로 비선형 유체력미계수들과 부가질량과 관련된 항들의 영향은 크지 않다는 것을 알 수 있다.

(3) 횡동요 지그재그운동

Table 5의 우측 표는 횡동요 지그재그운동의 민감도 해석 결과로서 M_{pr}' , M_{vp}' , Y_p' , K_p' 등 부가질량과 관련된 항들과 횡동요 감쇠계수가 상대적으로 큰 영향을 미치고 있음을 알

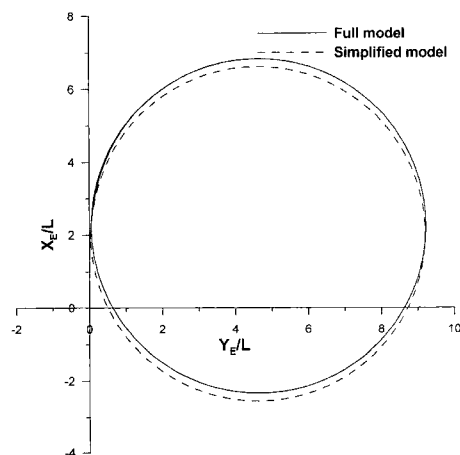
수 있다. 이러한 경향은 다른 조종운동에서와의 차이를 보이는 것으로서 횡동요 운동에서는 K_p' 를 제외한 다른 감쇠유체력미계수의 영향이 상대적으로 미소하기 때문이라고 사료된다.

Table 4 Maximum sensitivity indices in horizontal manoeuvres

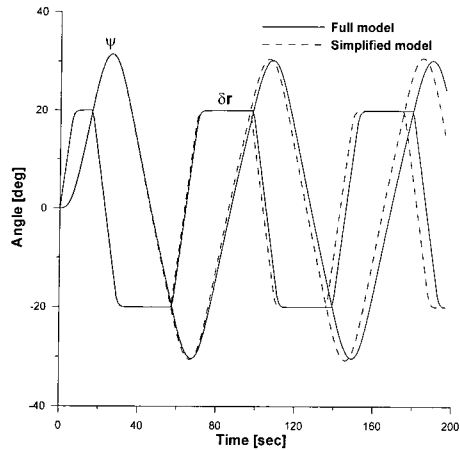
Horizontal turning		Horizontal zigzag	
Derivative	Max. S.	Derivative	Max. S.
N_r'	1.53	N_r'	5.33
N_{δ_r}'	0.55	N_{δ_r}'	1.34
Y_v'	0.42	Y_v'	1.22
X_u'	0.39	N_r'	0.87
N_{rrr}'	0.22	Y_{δ_r}'	0.74
N_v'	0.18	N_r'	0.54
N_v'	0.07	N_v'	0.30
Y_{δ_r}'	0.05	Y_r'	0.27
Y_r'	0.05	Y_r'	0.11
Y_{ooo}'	0.05	N_p'	0.03

Table 5 Maximum sensitivity indices in vertical and roll zigzag manoeuvres

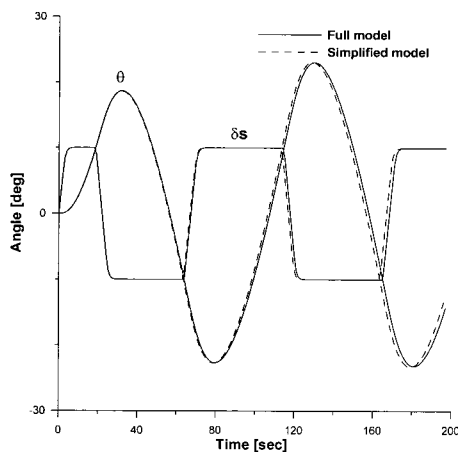
Vertical zigzag		Roll zigzag	
Derivative	Max. S.	Derivative	Max. S.
M_w'	1.49	M_{pr}'	2.69
M_q'	1.01	M_{vp}'	1.01
Z_w'	0.77	Y_p'	0.75
Z_q'	0.48	K_p'	0.70
M_{δ_s}'	0.19	Z_{pp}'	0.68
Z_{δ_s}'	0.13	Y_v'	0.61
N_{dr}'	0.07	M_w'	0.60
N_r'	0.07	Y_v'	0.50
M_{ww}'	0.04	Z_{vp}'	0.43
Z_{ww}'	0.02	M_w'	0.35



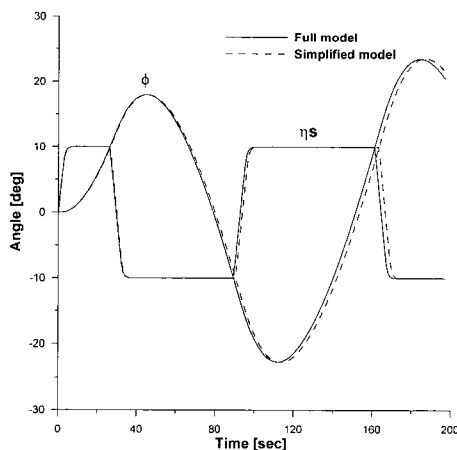
(a) Horizontal turning manoeuvre



(b) Horizontal zigzag manoeuvre



(c) Vertical zigzag manoeuvre



(d) Roll zigzag manoeuvre

Fig. 3 Comparison of manoeuvring motion simulation results using Full model and Simplified model

(4) 간략화된 수학적모델을 이용한 조종운동 시뮬레이션 결과 민감도 해석 결과 민감도 지수가 0.005 이상인 유체력미계수들로 이루어진 운동 수학적모델(이하 Simplified model이라 함)과 2.2절에서 언급한 운동 수학적모델(이하 Full model이라 함)로 각각 조종운동 수치 시뮬레이션을 수행하여 결과를

Fig. 3에 나타낸다. Simplified model은 Full model에 비해 운동 변수의 개수가 약 2/3 정도 밖에 되지 않지만 양 모델을 이용한 조종운동 수치 시뮬레이션 결과에는 유의한 차이를 보이지 않는다는 것을 알 수 있다. 따라서 특정한 운동을 다룰 경우 이에 상응하는 민감도 해석 결과를 이용함으로써 운동방정식을 간략화 할 수 있을 것이다.

5. 결론

본 연구에서는 Feldman(1979)과 손 등(2006)이 제안한 수학적모델을 이용하여 MUUTV의 조종운동 특성에 미치는 유체력미계수의 민감도 해석을 수행하였다. 그 결과 각각의 유체력미계수가 조종운동 특성에 기여하는 정도를 정량적으로 파악할 수 있었다. 조종운동 특성에 크게 영향을 미치는 유체력미계수 추정 시에는 상당한 주의가 요망되며, 상대적으로 작게 영향을 미치는 유체력미계수가 포함된 운동변수 항들은 무시되어도 조종운동 특성에는 영향을 미치지 않는다는 것을 알 수 있었다. 그러나 민감도 해석은 조종운동 종류에 따라 민감도 지수가 달라지기 때문에 이 결과를 적용할 때 많은 주의가 요망된다.

후 기

본 연구는 방위사업청/국방과학연구소에 의해 한국해양대학교에 설치된 수중운동체특화연구센터(UVRC)의 연구비 지원으로 수행되었음.

참 고 문 헌

- [1] 배준영, 손경호, 권형기, 이승건(2007), "Manta형 무인잠수정의 동안정성 향상을 위한 부가물의 설계 변경에 관한 연구", 대한조선학회 논문집, 제 44권, 제 3호, pp. 323-331.
- [2] 손경호, 이승건, 하승필(2006), "Manta형 무인잠수정의 6자유도 운동 수학적모델 및 조종응답 특성", 대한조선학회 논문집, 제 43권, 제 4호, pp. 399-413.
- [3] Abkowitz, M. A.(1969), "Stability and Motion Control of Ocean Vehicles", The MIT Press, Cambridge.
- [4] Feldman, J.(1979), "DTNSRDC Revised Standard Submarine Equations of Motion", Report No. DTNSRDC/SPD-0393-09, Washington, D.C.
- [5] Lisiewicz, J. S. and French, D. W.(2000), "Manta Test Vehicle At-Sea Test Results and Technology Demonstration Plans", Proceedings, Undersea Defense Technology Conference, Europe.
- [6] Sen, D.(2000), "A Study on Sensitivity of Maneuverability Performance on the Hydrodynamic Coefficients for Submerged Bodies", Journal of Ship

- Research, Vol. 44, No. 3, pp. 186-196.
- [7] Sirmalis, J. E.(2001), "Pursuing the MANTA Vision : Recent At-Sea Technology Demonstration Results", Proceedings, Undersea Defense Technology Conference, Hawaii.
- [8] Van, L., W.P.A.(1969), "The Wageningen B-Screw Series", Transaction of SNAME, Vol. 77, pp. 269-317.
-

원고접수일 : 2008년 9월 19일

심사완료일 : 2008년 10월 9일

원고채택일 : 2008년 10월 23일