

Manta형 무인잠수정의 조종운동에 영향을 미치는 유체력미계수의 민감도 해석에 관한 연구

손 경호* · 배 준영** · 권 형기**

*한국해양대학교 항해시스템공학부 교수, **한국해양대학교 항해시스템공학과 대학원생

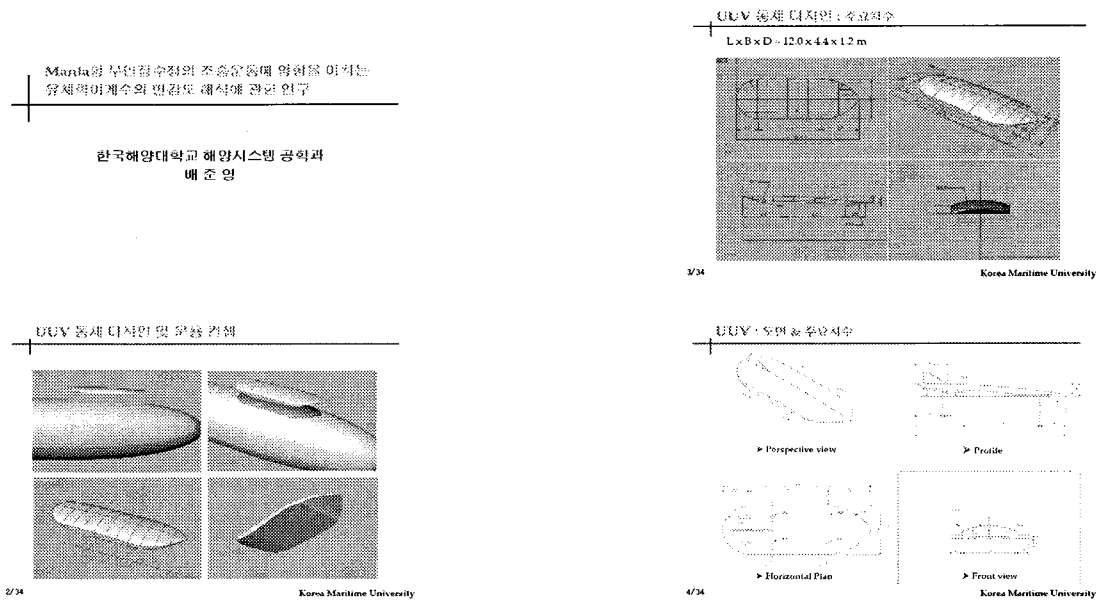
A Study on the Sensitivity Analysis of Hydrodynamic derivatives acting on Manoeuvring Motion of Manta-type Unmanned Undersea Vehicle

Kyoung-Ho Shon · Jun-Young Bae* · Hyung-Ki Kweon**

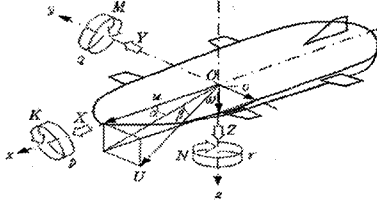
**Division of Ship Operation Systems Engineering, Korea Maritime University, Pusan 606-791, Republic of Korea*

요 약 : 본 연구는 Manta형 무인잠수정(Manta-type Unmanned Undersea Vehicle)의 동안정성을 검토한 후에 이 데이터를 기초로 하여 6자유도 수치 시뮬레이션을 실시하였다. 또한, 수치 시뮬레이션을 통하여 각각의 유체력미계수가 UUV의 6자유도 운동에서 미치는 영향에 대하여 검토하였다. 민감도 해석(Sensitivity Analysis)을 위한 방법은 간접법(Indirect Method)을 사용하였다. 수학모델 및 유체력미계수의 추정은 손경호 등(2006)의 결과를 이용하여 수행하였다. 연구를 통하여 UUV의 조종운동 모델에서 각각의 유체력미계수가 가지는 상대적 중요도를 알 수 있었다.

핵심용어 : Manta형 무인잠수정, 동안정성, 6자유도 수치 시뮬레이션, 민감도 해석, 간접법



* 대표저자 : 배준영 newthousands@bada.hhu.ac.kr



$$M_Y = -(mz_G + A_{15})qw + (mz_G - A_{42})rv + (mx_G + A_{62})pv + (mx_G z_G - A_{46})r^2 - (mx_G z_G - A_{64})p^2 - \{(I_{xx} + A_{44}) - (I_{yy} + A_{66})\}pr - (mz_G - \rho \nabla z_p)g \sin \theta - (mx_G - \rho \nabla x_p)g \cos \phi \cos \theta + M_w u^2 + M_w w + (M_q - mx_G u)q + M_{\delta\delta} \delta b + M_{\delta s} \delta s + M(HT) + M_{NL}(v, q)$$

단, $M_w = M_w^* + (A_{33} - A_{11})u$
 $M_q = M_q^* + A_{55}u$

$$F_X = -(m + A_{33})qw + (m + A_{22})rv + (mx_G - A_{35})q^2 + (mx_G + A_{26})r^2 - (mz_G - A_{24})pr - (m - \rho \nabla)g \sin \theta + X_{uu}u^2 + X_{\delta\delta} \delta^2 + X_{\delta b \delta b} (\delta b)^2 + X_{\delta s \delta s} (\delta s)^2 + (1-t)(T_1 + T_2) + X_{NL}(v, w)$$

$$(m + A_{11})\dot{u} + (mz_G + A_{15})\dot{q} = F_X$$

$$(m + A_{33})\dot{w} - (mx_G - A_{35})\dot{q} = F_Z$$

$$(I_{yy} + A_{55})\dot{q} - (mx_G - A_{53})\dot{w} + (mz_G + A_{51})\dot{u} = M_Y$$

$$F_Z = -(m + A_{22})pv + (mz_G - A_{24})p^2 + (mz_G + A_{15})q^2 - (mx_G + A_{26})pr + (m - \rho \nabla)g \cos \phi \cos \theta + Z_{uu}u^2 + Z_w w + (Z_q + mu)q + Z_{\delta b} \delta b + Z_{\delta s} \delta s + Z(HT) + Z_{NL}(w, q)$$

단, $Z_q = Z_q^* + A_{11}u$

$$(m + A_{22})\dot{v} - (mz_G - A_{24})\dot{p} + (mx_G + A_{26})\dot{r} = F_Y$$

$$(I_{xx} + A_{44})\dot{p} - (mx_G z_G - A_{46})\dot{r} - (mz_G - A_{42})\dot{v} = M_X$$

$$(I_{zz} + A_{66})\dot{r} - (mx_G z_G - A_{64})\dot{p} + (mx_G + A_{62})\dot{v} = M_Z$$

횡방향 운동방정식 (2)

$$F_Y = (m + A_{33})pw - (mx_G - A_{35})pq - (mz_G + A_{15})qr + (m - \rho \nabla)g \sin \phi \cos \theta + Y_v v + (Y_r - mu)r + Y_\delta \delta + Y_{NL}(v, r)$$

$$\text{단, } Y_r = Y_r^* - A_{11}u$$

11/34

Korea Maritime University

비선형 점선 감쇠력 항

$$X_{NL}(v, w) = X_{vv}v^2 + X_{ww}w^2$$

$$Y_{NL}(v, r) = Y_{v|v}|v| + Y_{r|r}|r| + Y_{v|r}|v||r|$$

$$Z_{NL}(w, q) = Z_{w|w}|w| + Z_{q|q}|q| + Z_{w|q}|w||q|$$

$$K_{NL}(v, r) = -z_B Y_{NL}(v, r)$$

$$M_{NL}(w, q) = M_{w|w}|w| + M_{q|q}|q| + M_{q|w}|q||w|$$

$$N_{NL}(v, r) = N_{v|v}|v| + N_{r|r}|r| + N_{v|r}|v||r|$$

14/34

Korea Maritime University

횡방향 운동방정식 (3)

$$M_X = -(mz_G - A_{24})pw + (mx_G z_G - A_{64})pq - \{(I_{zz} + A_{66}) - (I_{yy} + A_{55})\}qr - (A_{62} + A_{35})qv + (A_{26} + A_{33})rw - (A_{33} - A_{22})vw - (mz_G - \rho \nabla z_B)g \sin \phi \cos \theta + K_p p + K_v v + (K_r + m z_G u)r + K_\delta \delta + K_{\eta b} \eta b + K_{\eta s} \eta s + K_{NL}(v, r)$$

$$\text{단, } K_r = K_r^* + A_{51}u$$

12/34

Korea Maritime University

중운동을 위한 동안정성 지수

$$(m' + A_{33})(z_G' - z_B')m' \left(\frac{gL}{U^2}\right) + Z_w'(M_q' - m'x_G') - M_w'(Z_q' + m') > 0$$

$$G_v = 1 - \frac{l_w'}{l_q'} > 0$$

$$\text{단, } l_w' = M_w' / (-Z_w')$$

$$l_q' = (-M_q' + m'x_G') / (Z_q' + m')$$

15/34

Korea Maritime University

횡방향 운동방정식 (4)

$$M_Z = (mx_G - A_{53})pw - (mx_G z_G - A_{46})qr - \{(I_{yy} + A_{55}) - (I_{xx} + A_{44})\}pq - (A_{51} + A_{24})pu + (A_{15} + A_{32})qv + (mx_G - \rho \nabla x_B)g \sin \phi \cos \theta + N_v v + (N_r - mx_G u)r + N_\delta \delta + (1 - l)(T_2 - T_1)y_p + N_{NL}(v, r)$$

$$\text{단, } N_v = N_v^* - (A_{22} - A_{11})u$$

$$N_r = N_r^* - A_{26}u$$

13/34

Korea Maritime University

횡운동을 위한 동안정성 지수

$$Y_v'(N_r' - m'x_G') - N_v'(Y_r' - m') > 0$$

$$G_h = 1 - \frac{l_v'}{l_r'} > 0$$

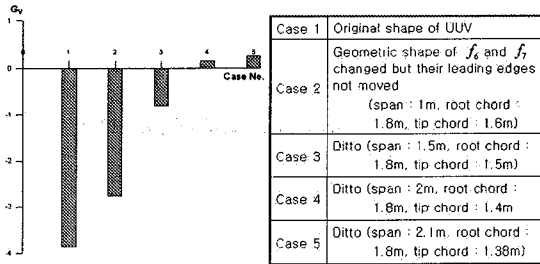
$$\text{단, } l_v' = N_v' / (Y_v')$$

$$l_r' = (N_r' - m'x_G') / (Y_r' - m')$$

16/34

Korea Maritime University

중요동을 위한 부가물의 설계 변경



17/34

Korea Maritime University

수치계산 방법

$$\begin{bmatrix} \dot{X} \\ \dot{Y} \\ \dot{Z} \end{bmatrix} = [E]^T \begin{bmatrix} u \\ v \\ w \end{bmatrix}$$

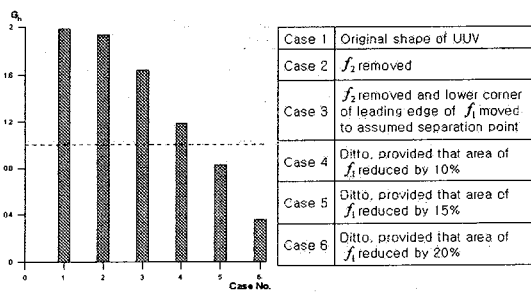
$$\begin{bmatrix} \dot{\phi} \\ \dot{\theta} \\ \dot{\psi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \sin \phi \tan \theta & \cos \phi \tan \theta \\ 0 & \cos \phi & -\sin \phi \\ 0 & \sin \phi \sec \theta & \cos \phi \sec \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p \\ q \\ r \end{bmatrix}$$

단, $[E]^T$: $[E]$ 의 변환 행렬

20/34

Korea Maritime University

항운동을 위한 부가물의 설계 변경

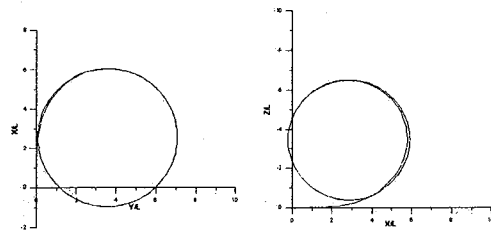


18/34

Korea Maritime University

조종 시뮬레이션 결과 (1)

> 선회운동 함적



> Vertical Rudder Angle 30°

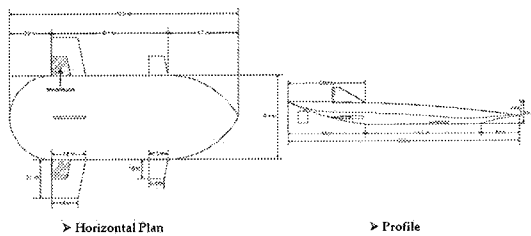
> Horizontal Planes(twin) Angle 5°

21/34

Korea Maritime University

조종 시뮬레이션을 위한 UUV

> 부가물이 변경된 UUV의 새로운 도면



> Horizontal Plan

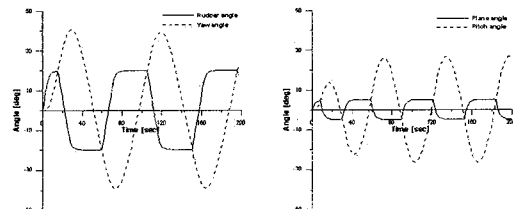
> Profile

19/34

Korea Maritime University

조종 시뮬레이션 결과 (2)

> 지그재그운동 함적



> 20°/20° Horizontal Motion

> 5°/5° Vertical Motion

22/34

Korea Maritime University

민감도 해석 (1)

$$S = \frac{(R-R^*)/R^*}{(H-H^*)/H^*} = \frac{\Delta R/R^*}{\Delta H/H^*}$$

단, R : 출력 값

H : 입력 값

* : 변화시키기 전의 입/출력 값

23/34

Korea Maritime University

민감도 해석 결과 : 수평 선회운동(1)

Horizontal Tuning Test (Original T.D. = 6.9791)								
ITEM	T.D.		ITEM	T.D.		ITE M		
	K=0.75	K=1.25		K=0.75	K=1.25			
Xuu	6.9628	6.9825	Mzz	6.9791	6.9791	Nvv	6.9791	6.9791
Xuv	6.9827	6.9774	Mqw	6.9791	6.9791	Nj	6.6003	6.8902
Xuw	6.9628	6.9825	Mds	6.9791	6.9791	A11	6.9794	6.9977
Xud	6.9809	6.9793	Yv	6.9689	6.9691	A22	6.9757	6.9839
Xuds	6.9791	6.9791	Yr	7.1017	6.8687	A33	6.9788	6.9813
Zuu	6.9831	6.9789	Yvw	7.252	6.7383	A44	6.9792	6.9791
Zuv	6.9747	6.982	Yn	6.9903	6.9988	A55	6.9828	6.9825
Zu	6.9794	6.9788	Yr	6.9791	6.9791	A66	6.9892	6.9719
Zuv	6.9791	6.9791	Yd	6.7601	7.2195	A15	6.9791	6.9791
Zuz	6.9791	6.9791	Kv	6.9791	6.9791	A24	6.9823	6.9779
Zuv	6.9791	6.9791	Kr	6.9791	6.9791	A26	6.9689	6.9846
Zds	6.9791	6.9791	Kp	6.9785	6.9796	A35	6.9795	6.9787
Muu	6.9792	6.9791	Nv	7.0296	6.9308	A46	6.9791	6.9791
Muv	6.984	6.9754	Nr	6.1228	7.8714	ix	6.9791	6.9791
Mq	6.9783	6.9817	nvv	6.0152	7.8985	ivy	6.9792	6.9791
Muv	6.9791	6.9791	nrr	6.9167	7.0426	lzz	6.9976	6.9646

26/34

Korea Maritime University

민감도 해석 (2)

$$H = \{h_j\}, R = \{r_j\}$$

단, i 는 민감도 해석을 하고자 하는 조종운동의 종류를 나타냄

$$[h_j] = [h^*] \cdot [c_m]$$

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

$$\therefore S_{ij} = \frac{(r_j - r_i^*)/r_i^*}{k/100}$$

24/34

Korea Maritime University

민감도 해석 결과 : 수평 선회운동(2)

Horizontal Tuning Test (Original T.D. = 6.9791)								
ITEM	S.I.		ITEM	S.I.		ITE M		
	K=0.75	K=1.25		K=0.75	K=1.25			
Xuu	-0.0031	0.0015	Maa	0.0000	0.0000	Nvv	0.0000	0.0000
Xuv	0.0007	-0.0002	Maw	0.0000	0.0000	Nj	0.3286	-0.1248
Xuw	-0.0031	0.0015	Mss	0.0000	0.0000	A11	0.0001	0.0002
Xud	0.0002	0.0000	Yv	0.3071	-0.1123	A22	-0.0006	0.0006
Xuds	0.0000	0.0000	Yr	0.0234	-0.0138	A33	-0.0001	0.0003
Zuu	0.0008	-0.0003	Yvw	0.0521	-0.0278	A44	0.0000	0.0000
Zuv	-0.0002	0.0004	Yn	0.0021	-0.0011	A55	-0.0031	0.0015
Zu	0.0001	0.0000	Yr	0.0000	0.0000	A66	0.0019	-0.0008
Zuv	0.0000	0.0000	Yd	-0.0418	0.0274	A15	0.0000	0.0000
Zuz	0.0000	0.0000	Kv	0.0000	0.0000	A24	0.0006	-0.0001
Zuv	0.0000	0.0000	Kr	0.0000	0.0000	A26	-0.0023	0.0018
Zds	0.0000	0.0000	Kp	-0.0001	0.0001	A35	0.0001	0.0000
Muu	0.0000	0.0000	Nv	0.0096	-0.0055	A46	0.0000	0.0000
Muv	0.0009	-0.0004	Nr	-0.1636	0.1023	ix	0.0000	0.0000
Mq	-0.0002	0.0003	nvv	-0.1841	0.1054	ivy	0.0000	0.0000
Muv	0.0000	0.0000	nrr	-0.0118	0.0073	lzz	0.0035	-0.0017

27/34

Korea Maritime University

민감도 해석 (3)

$$S_{ij} = \frac{(T.D_{ij} - T.D_i^*)/T.D_i^*}{k/100}$$

단, $i = 1$ 일 때는 수평 선회운동, $i = 2$ 일 때는 수직 선회운동을 나타냄

$$S_{ij} = \frac{(\psi_{ij} - \psi_i^*)/\psi_i^*}{k/100}$$

단, $i = 3$ 일 때는 수평 지그재그운동, $i = 4$ 일 때는 수직 지그재그운동을 나타냄

25/34

Korea Maritime University

민감도 해석 결과 : 수평 지그재그운동(1)

Horizontal Zigzag Test (Original O.A. = 20.4140)								
ITEM	O.A.		ITEM	O.A.		ITE M		
	K=0.75	K=1.25		K=0.75	K=1.25			
Xuu	20.4111	20.4192	Maa	20.414	20.414	Nvv	20.414	20.414
Xuv	20.4202	20.4079	Maw	20.414	20.414	Nj	17.4348	23.001
Xuw	20.4111	20.4192	Mds	20.414	20.414	A11	20.3945	20.4326
Xud	20.4583	20.3699	Yv	16.5149	23.6404	A22	20.3126	20.4483
Xuds	20.414	20.414	Yr	19.9695	26.7753	A33	20.4172	20.4111
Zuu	20.4161	20.4123	Yvw	20.0204	20.6791	A44	20.4149	20.4192
Zuv	20.4113	20.4183	Yn	20.3887	20.5414	A55	20.4153	20.4129
Zu	20.4145	20.4136	Yr	20.414	20.414	A66	19.8394	20.2853
Zuv	20.414	20.414	Yd	20.7831	20.0972	A15	20.414	20.414
Zuz	20.414	20.414	Kp	20.4143	20.4148	A24	20.4502	20.3076
Zuv	20.414	20.414	Kv	20.414	20.414	A26	20.5714	20.1985
Zds	20.414	20.414	Kr	20.414	20.414	A35	20.4198	20.4124
Muu	20.414	20.414	Nv	20.2205	20.6999	A46	20.414	20.414
Muv	20.4111	20.4149	Nr	24.9622	17.0885	ix	20.4141	20.4139
Mq	20.4111	20.4141	nvv	23.07	18.2331	ivy	20.4145	20.4136
Muv	20.414	20.414	nrr	20.6627	20.2633	lzz	20.4111	21.2749

28/34

Korea Maritime University

민감도 해석 결과 : 수직 지그재그운동(2)

ITEM	S.I.		ITEM	S.I.		ITE M	S.I.	
	K=0.75	K=1.25		K=0.75	K=1.25		K=0.75	K=1.25
	Xuu	-0.0002		0.0002	Maq		0.0000	0.0000
Xvv	0.0004	-0.0002	Maw	0.0000	0.0000	Nd	-0.1945	0.1040
Xvw	-0.0002	0.0002	Mds	0.0000	0.0000	A11	-0.0013	0.0007
Xud	0.0028	-0.0017	Yv	-0.2547	0.1264	A22	-0.0086	0.0013
Xuds	0.0000	0.0000	Yr	-0.0290	0.0142	A33	0.0002	-0.0001
Zuu	0.0001	-0.0001	Yw	-0.0257	0.0182	A44	-0.0001	0.0000
Zw	-0.0002	0.0001	Yr	-0.0018	0.0011	A55	0.0001	0.0000
Zq	0.0000	0.0000	Yr	0.0000	0.0000	A66	-0.0375	0.0185
Zww	0.0000	0.0000	Yd	0.0241	-0.0124	A15	0.0000	0.0000
Zqq	0.0000	0.0000	Kp	0.0000	0.0000	A24	0.0011	-0.0006
Zwq	0.0000	0.0000	Kv	0.0000	0.0000	A26	0.0103	-0.0084
Zds	0.0000	0.0000	Ki	0.0000	0.0000	A35	0.0001	-0.0001
Muu	0.0000	0.0000	Nv	-0.0126	0.0112	A46	0.0000	0.0000
Mw	-0.0002	0.0000	Nr	0.2884	-0.1303	bx	0.0000	0.0000
Mq	-0.0002	0.0000	Nrv	0.1735	-0.0885	by	0.0000	0.0000
Mww	0.0000	0.0000	Nr	0.0162	-0.0060	tz	-0.0002	0.0037

29/34

Korea Maritime University

민감도 해석 결과 : 수직 지그재그운동(1)

ITEM	O.A.		ITEM	O.A.		ITE M	O.A.	
	K=0.75	K=1.25		K=0.75	K=1.25		K=0.75	K=1.25
	Xuu	9.1602		9.1438	Mqq		9.3624	8.9577
Xvv	9.1518	9.1518	Mqw	9.1518	9.1518	Nd	9.1518	9.1518
Xvw	9.1549	9.1486	Mds	8.9744	9.8574	A11	9.1530	9.1505
Xud	9.1518	9.1518	Yv	9.1518	9.1518	A22	9.1518	9.1518
Xuds	9.1075	9.0868	Yr	9.1518	9.1518	A33	9.2247	9.0883
Zuu	9.1518	9.1518	Yw	9.1518	9.1518	A44	9.1518	9.1518
Zw	13.7897	7.1691	Yr	9.1518	9.1518	A55	8.9442	9.2855
Zq	9.2521	10.428	Yv	9.1518	9.1518	A66	9.1518	9.1518
Zww	9.1803	9.1232	Yd	9.1518	9.1518	A15	9.1518	9.1518
Zqq	9.1690	9.1342	Kp	9.1518	9.1518	A24	9.1518	9.1518
Zwq	9.1518	9.1518	Kv	9.1518	9.1518	A26	9.1518	9.1518
Zds	8.7803	9.6179	Ki	9.1518	9.1518	A35	9.2321	9.1241
Muu	9.1518	9.1518	Nv	9.1518	9.1518	A46	9.1518	9.1518
Mw	8.7858	12.9847	Nr	9.1518	9.1518	bx	9.1518	9.1518
Mq	9.1602	9.1438	Nrv	9.1518	9.1518	by	9.1200	9.2352
Mww	9.1432	9.1603	Nr	9.1518	9.1518	tz	9.1518	9.1518

32/34

Korea Maritime University

민감도 해석 결과 : 수직 선회운동(1)

ITEM	T.D.		ITEM	T.D.		ITE M	T.D.	
	K=0.75	K=1.25		K=0.75	K=1.25		K=0.75	K=1.25
	Xuu	-6.4403		-6.5414	Mqq		-6.1147	-6.8617
Xvv	-6.4977	-6.4977	Mqw	-6.4977	-6.4977	Nd	-6.4977	-6.4977
Xvw	-6.4859	-6.5038	Mds	-7.3161	-5.8832	A11	-6.495	-6.5008
Xud	-6.4977	-6.5414	Yv	-6.4977	-6.4977	A22	-6.4977	-6.4977
Xuds	-6.545	-6.7625	Yr	-6.4977	-6.4977	A33	-6.4971	-6.4991
Zuu	-6.4977	-6.4977	Yw	-6.4977	-6.4977	A44	-6.4977	-6.4977
Zw	-4.4103	-8.6787	Yr	-6.4977	-6.4977	A55	-6.4195	-6.5822
Zq	-7.3954	-5.7376	Yv	-6.4977	-6.4977	A66	-6.4977	-6.4977
Zww	-6.4365	-6.5877	Yd	-6.4977	-6.4977	A15	-6.4977	-6.4977
Zqq	-6.4623	-6.5334	Kp	-6.4977	-6.4977	A24	-6.4977	-6.4977
Zwq	-6.4977	-6.4977	Kv	-6.4977	-6.4977	A26	-6.4977	-6.4977
Zds	-6.8734	-6.1715	Ki	-6.4977	-6.4977	A35	-6.477	-6.5188
Muu	-6.4977	-6.4977	Nv	-6.4977	-6.4977	A46	-6.4977	-6.4977
Mw	-9.4551	-4.64	Nr	-6.4977	-6.4977	bx	-6.4977	-6.5414
Mq	-4.2251	-9.8194	Nrv	-6.4977	-6.4977	by	-6.4679	-6.5268
Mww	-6.5138	-6.4817	Nr	-6.4977	-6.4977	tz	-6.4977	-6.4977

30/34

Korea Maritime University

민감도 해석 결과 : 수직 지그재그운동(2)

ITEM	S.I.		ITEM	S.I.		ITE M	S.I.	
	K=0.75	K=1.25		K=0.75	K=1.25		K=0.75	K=1.25
	Xuu	0.00122		-0.0007	Mqq		0.0307	-0.018
Xvv	0	0	Mqw	0	0	Nd	0	0
Xvw	0.00045	-0.0003	Mds	-0.0258	0.018	A11	0.0002	-1E-04
Xud	0	0	Yv	0	0	A22	0	0
Xuds	-0.00645	-0.0057	Yr	0	0	A33	0.0106	-0.006
Zuu	0	0	Yw	0	0	A44	0	0
Zw	0.87701	-0.1733	Yr	0	0	A55	-0.0302	0.0117
Zq	-0.13108	0.11156	Yv	0	0	A66	0	0
Zww	0.00415	-0.0025	Yd	0	0	A15	0	0
Zqq	0.00251	-0.0015	Kp	0	0	A24	0	0
Zwq	0	0	Kv	0	0	A26	0	0
Zds	-0.05404	0.04074	Ki	0	0	A35	0.0004	-0.002
Muu	0	0	Nv	0	0	A46	0	0
Mw	-0.35058	0.32505	Nr	0	0	bx	0	0
Mq	0.00122	-0.0007	Nrv	0	0	by	-0.0345	0.0117
Mww	-0.00125	0.00074	Nr	0	0	tz	0	0

33/34

Korea Maritime University

민감도 해석 결과 : 수직 선회운동(2)

ITEM	S.I.		ITEM	S.I.		ITE M	S.I.	
	K=0.75	K=1.25		K=0.75	K=1.25		K=0.75	K=1.25
	Xuu	-0.0118		0.0054	Mqq		-0.0785	0.0461
Xvv	0.0000	0.0000	Mqw	0.0000	0.0000	Nd	0.0000	0.0000
Xvw	-0.0022	0.0014	Mds	0.1679	-0.0757	A11	-0.0006	0.0004
Xud	0.0000	0.0054	Yv	0.0000	0.0000	A22	0.0000	0.0000
Xuds	0.0302	0.0326	Yr	0.0000	0.0000	A33	-0.0001	0.0002
Zuu	0.0000	0.0000	Yw	0.0000	0.0000	A44	0.0000	0.0000
Zw	-0.4283	0.2885	Yr	0.0000	0.0000	A55	-0.0160	0.0104
Zq	0.1781	-0.0936	Yv	0.0000	0.0000	A66	0.0000	0.0000
Zww	-0.0126	0.0074	Yd	0.0000	0.0000	A15	0.0000	0.0000
Zqq	-0.0073	0.0044	Kp	0.0000	0.0000	A24	0.0000	0.0000
Zwq	0.0000	0.0000	Kv	0.0000	0.0000	A26	0.0000	0.0000
Zds	0.0771	-0.0402	Ki	0.0000	0.0000	A35	-0.0042	0.0026
Muu	0.0000	0.0000	Nv	0.0000	0.0000	A46	0.0000	0.0000
Mw	0.0069	-0.2287	Nr	0.0000	0.0000	bx	0.0000	0.0064
Mq	-0.4863	0.4030	Nrv	0.0000	0.0000	by	-0.0061	0.0059
Mww	0.0023	-0.0020	Nr	0.0000	0.0000	tz	0.0000	0.0000

31/34

Korea Maritime University

결론

- ▶ Manta형 UUV의 기본 형상을 토대로 부가물의 설계 변경에 따른 동안정성 향상방안 제시
- ▶ UUV의 6자유도 수치 시뮬레이션을 위한 운동수학 모델의 검토
- ▶ 유체력미계수의 민감도 해석을 통하여 조종운동 모델에서의 각각의 유체력미계수가 가지는 상대적 중요도 검토

34/34

Korea Maritime University