

## Manta형 무인잠수정의 동안정성 향상을 위한 부가물의 설계 변경에 관한 연구

배준영\*, 손경호†\*, 권형기\*, 이승건\*\*

한국해양대학교 조선해양시스템공학부\*, 부산대학교 조선해양공학과\*\*

### A Study on Changes in Appendage Design for Improvement of Dynamic Stability of Manta-type Unmanned Undersea Vehicle

Jun-Young Bae\*, Kyoung-Ho Sohn†\*, Hyeong-Ki Kwon\* and Seung-Keon Lee\*\*

Korea Maritime University\*, Pusan National University\*\*

#### Abstract

Proposed Manta-type Unmanned Undersea Vehicle(UUV) turned out to have the tendency of dynamic instability in vertical plane, and moreover to have that of so strong dynamic stability in horizontal plane as to cause another problem in turning motion due to negative value of sway damping lever. The authors discussed the changes in appendage design for improvement of dynamic stability of UUV in vertical and horizontal planes. As a result, the dynamic stability in vertical plane was improved by increasing the area of horizontal stern planes, and the dynamic stability in horizontal plane was also improved by removal of lower vertical plate and by adjusting the area and position of upper vertical plate simultaneously.

※Keywords: Unmanned undersea vehicle(무인잠수정), Dynamic stability in vertical plane(수직면 동안정성), Dynamic stability in horizontal plane(수평면 동안정성), Changes in appendage design(부가물 설계 변경)

#### 1. 서 언

최근 해군력 증강을 위한 수중유도무기체계 개발의 일환으로써 다양한 형태의 수중운동체 기술이 발전되고 있다. 특히 국내에서도 수중운동체의 운동특성과 운용시스템에 관련된 연구가 활발하게 수행되고 있다. 김찬기(1998)는 수중운동체의 모형시험 결과를 해석하기 위한 운동방정식의 구조

선택과 유체력미계수의 식별 방법에 관해서 연구하였고, 강주년 등(2001)은 잠수체의 부가물 형상에 따른 조종성미계수에 관한 실험적 연구를 수행하였다. 또한 신용구 등(2005)은 수중운동체의 제어판이 동안정성에 미치는 영향을 고찰하였고, 윤근항 등(2005)은 수중운동체의 목표추적시스템에 적합한 유도론에 관해 연구하였으며, 여동진과 이기표(2005)는 수중운동체의 조종성능에 미치는 유체력미계수의 민감도 해석법에 대한 연구를 수행하였다.

본 연구에서는 모함인 잠수함 동체 상부의 일부

접수일: 2006년 7월 13일, 승인일: 2007년 3월 26일

† 교신저자: sohnkh@hhu.ac.kr, 051-410-4303

로써 장착되어 있다가 필요 시에만 모함으로부터 분리되어 자료 획득 등 작전 수행에 이용되는, 소형의 Manta 형상 무인잠수정(Unmanned Undersea Vehicle, 이하 UUV라 함)의 동안정성 향상을 위한 부가물의 설계 변경에 관해서 검토하였다.

UUV는 수상선박과 달리 수직면과 수평면 내에서의 동안정성을 함께 검토하여야 하며, UUV 동체와 부가물의 초기설계 단계 또는 형상변경 시에는 동안정성의 검토가 필수적이라고 할 수 있다(신용구 등 2005). 본 연구에서 제안된 UUV의 기

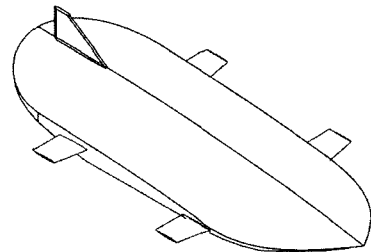
본 형상은 동체와 상, 하부 수직판과 수직타 그리고 4개의 수평타로 구성되어 있으며, 수직면과 수평면 내에서의 동안정성의 문제점이 지적되었다(손경호 등 2006). 따라서 본 연구에서는, 제안된 UUV의 기본 형상을 토대로 동안정성 판별에 필요한 선형유체력미계수에 미치는 부가물의 영향을 고찰하였고, 부가물의 설계 변경에 따른 동안정성의 향상 방안에 대해 검토하였다.

2. 만타형 무인잠수정의 기하학적 명세

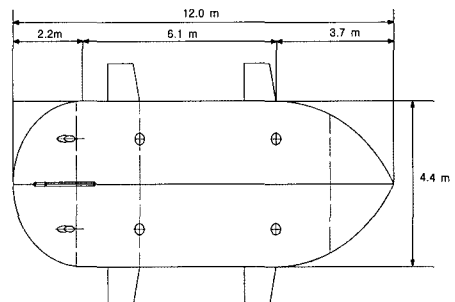
본 연구에서 채택한 UUV의 주요목과 형상은 각각 Table 1, Fig. 1과 같다. 즉, UUV 동체 측면에는 승강 또는 자세 제어를 위해 수평타가 4개 설치되어 있으며, 수평타의 단면은 NACA0008 형상을 취하도록 하였다. 그리고 동체 상부와 하부에는 각각 수직판을 설치하고 있으며, 하부수직판에는 방향 제어를 위해 수직타가 설치되어 있다. 아울러 바닥 4곳에 hovering을 위한 thruster와 후부 2곳에 추진을 위한 thruster가 설치되어 있다.

Table 1 Principal dimensions of Manta-type UUV

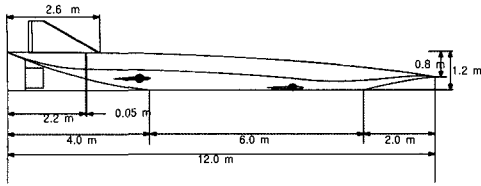
Item	Dimension
Fuselage	
length	$L = 12.0\ m$
breadth	$B = 4.4\ m$
height	$D = 1.2\ m$
disp. vol.	$\nabla = 31.88\ m^3$
centroid	$6.333\ m$ (from nose)
Upper vertical plate	
root chord	$2.0\ m$
tip chord	$0.45\ m$
span	$1.0\ m$
Lower vertical plate	
root chord	$0\ m$
tip chord	$3.5\ m$
span	$0.97\ m$
Horizontal plane	
root chord	$1.0\ m$
tip chord	$0.8\ m$
span	$1.0\ m$
Vertical rudder	
chord	$0.5\ m$
span	$0.6\ m$



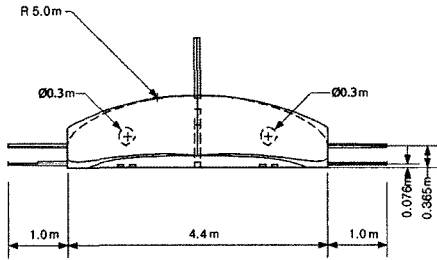
(a) Perspective view



(b) Horizontal plan



(c) Profile



(d) Front view

Fig. 1 Drawings of Manta-type UUV

3. 선형운동방정식 및 동안정성의 판별

UUV를 강체(rigid body)라 가정하고 UUV에 고정된 좌표계(동좌표계)를  $O-xyz$ 라 한다(Fig. 2 참조). 동좌표계의 원점  $O$ 는 UUV 동체 중앙횡단면에서 동체깊이의 중간 위치에 취하기로 하며, 일반적으로 이 점은 무게중심과 일치하지는 않는다. Fig. 2와 같이 좌표원점  $O$ 에 관한 속도벡터  $U$ 와 각속도벡터  $\omega$ 의  $x, y, z$  성분은 각각 다음과 같이 표시된다.

$$U = (u, v, w) \tag{1}$$

$$\omega = (p, q, r) \tag{2}$$

일반적으로 UUV의 동안정 특성을 파악하기 위해서는 선형화된 운동방정식을 이용한다.  $x$ 방향의 속도변화를 무시할 때 종운동군과 횡운동군의 선형연립방정식은 각각 다음과 같이 표시된다(손경호 등 2006). 단, UUV는 좌우대칭 형상을 취하고 있으며 수직면내에서의 운동과 수평면 내에서의 운동은 서로 타 운동에 영향을 주지 않는다고 가정한다. 그리고 UUV의 동안정 특성만을 검토하

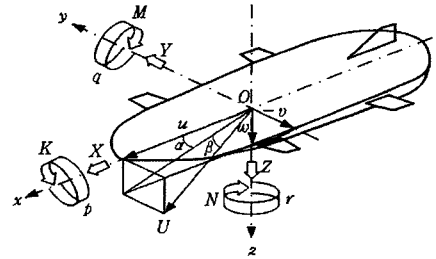


Fig. 2 Coordinate system and notation

기 위해서 제어판(수직타와 수평타)은 고정되어 있다고 가정한다.

- 종운동방정식

$$\begin{aligned} (m + A_{33})\ddot{w} - Z_w w - (m x_G - A_{35})\dot{q} \\ - (Z_q + mU)q = 0 \\ (I_{yy} + A_{55})\dot{q} - (M_q - m x_G U)q \\ - (m x_G - A_{53})\dot{w} - M_w w \\ + mg(z_G - z_B)\theta = 0 \end{aligned} \tag{3}$$

- 횡운동방정식

$$\begin{aligned} (m + A_{22})\ddot{v} - Y_v v + (m x_G + A_{26})\dot{r} \\ - (Y_r - mU)r = 0 \\ (I_{zz} + A_{66})\dot{r} - (N_r - m x_G U)r \\ + (m x_G + A_{62})\dot{v} - N_v v = 0 \end{aligned} \tag{4}$$

여기서

- $m$  : 질량,  $\theta$  : 종동요각
- $I_{yy}, I_{zz}$  :  $y, z$  축에 관한 질량관성모멘트
- $x_G, z_G$  : 무게중심의  $x, z$  좌표
- $z_B$  : 부심의  $z$  좌표,  $g$  : 중력가속도
- $A_{ji}$  : 부가질량텐서(added-mass tensor)로서  $i$  방향 운동모드에 기인하는  $j$  방향 부가질량(또는 부가관성모멘트)을

의미한다. 첨자  $i, j$ 의 경우 1, 2, 3은 각각 전후동요(surge), 좌우동요(sway), 상하동요(heave)를, 4, 5, 6은 각각 횡동요(roll), 종동요(pitch), 선수동요(yaw)를 의미한다.

$Z_w, Z_q, Y_v, Y_r, \dots$  : 선형유체력미계수로서 각각  $(\partial Z / \partial w)_{w=0}, (\partial Z / \partial q)_{q=0}, (\partial Y / \partial v)_{v=0}, (\partial Y / \partial r)_{r=0}, \dots$ 를 의미하며,  $Z, Y$  등은 Fig. 2의 정의에 따른다.

식(3)에서  $q = \dot{\theta}, \dot{q} = \ddot{\theta}$ 로 치환하고, 식(3), (4)의 운동변수와 질량, 유체력미계수 등을 무차원화 하여 표시한 후 종운동과 횡운동의 동적 특성을 나타내는 특성방정식(characteristic equation)을 구하면 다음과 같다.

- 종운동의 특성방정식

$$a_0\lambda^3 + a_1\lambda^2 + a_2\lambda + a_3 = 0 \quad (5)$$

- 횡운동의 특성방정식

$$A_0\lambda^2 + A_1\lambda + A_2 = 0 \quad (6)$$

여기서  $\lambda$ 는 고유치를 의미하며, 특성방정식의 각 계수는 다음과 같다. 단, 유체력미계수를 구할 때 힘은  $0.5\rho L^2 U^2$ 으로( $\rho$  : 유체의 밀도), 모멘트는  $0.5\rho L^3 U^2$ 로, 속도는  $U$ 로, 각속도는  $U/L$ 로, 길이는  $L$ 로, 시간은  $L/U$ 로 각각 무차원화 하며, 질량과 부가질량은  $0.5\rho L^3$ , 관성모멘트와 부가관성모멘트는  $0.5\rho L^5$ 으로 무차원화 한다. 그리고 무차원화된 유체력미계수는 프라임 부호(')를 붙여서 표시한다.

$$\begin{aligned} a_0 &= (m' + A_{33}')(I_{yy}' + A_{55}') \\ &\quad - (m'x_G' - A_{53}')(m'x_G' - A_{35}') \\ a_1 &= -(m' + A_{33}')(M_q' - m'x_G') \\ &\quad - Z_w'(I_{yy}' + A_{55}') \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &- M_w'(m'x_G' - A_{35}') \\ &- (m'x_G' - A_{53}')(Z_q' + m') \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a_2 &= (m' + A_{33}')(z_G' - z_B')m' \left( \frac{gL}{U^2} \right) \\ &\quad + Z_w'(M_q' - m'x_G') - M_w'(Z_q' + m') \\ a_3 &= -Z_w'(z_G' - z_B')m' \left( \frac{gL}{U^2} \right) \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} A_0 &= (m' + A_{22}')(I_{zz}' + A_{66}') \\ &\quad - (m'x_G' + A_{26}')(m'x_G' + A_{62}') \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_1 &= -(m' + A_{22}')(N_r' - m'x_G') \\ &\quad - Y_v'(I_{zz}' + A_{66}') \\ &\quad + N_v'(m'x_G' + A_{26}') \\ &\quad + (m'x_G' + A_{62}')(Y_r' - m') \\ A_2 &= Y_v'(N_r' - m'x_G') \\ &\quad - N_v'(Y_r' - m') \end{aligned} \quad (8)$$

식(5), (6)에서  $\lambda$ 의 근의 실수부가 모두 음(-)의 값을 가질 때에 종운동군과 횡운동군은 각각 동안정성 경향을 보이게 되는데,  $\lambda$ 의 근을 직접 구하지 않고 동안정성을 판별할 수 있는 방법은 Routh-Hurwitz의 안정 조건을 적용하는 것이다(Kuo 1967). 식(5), (6)에 대한 Routh-Hurwitz의 안정 조건은 각각 다음과 같다.

- 종운동의 안정 조건

$$\begin{aligned} a_0 > 0, a_1 > 0, a_2 > 0, a_3 > 0 \\ a_1 a_2 - a_0 a_3 > 0 \end{aligned} \quad (9)$$

- 횡운동의 안정 조건

$$A_0 > 0, A_1 > 0, A_2 > 0 \quad (10)$$

초기 평형상태로 운동 중인 UUV에 미소 교란이 작용한 경우 교란이 제거되고 난 이후 시간이 무한히 경과했을 때 종운동의 경우 동안정성은

$w \rightarrow 0$ ,  $\theta \rightarrow 0$  에 수렴하는 것을 의미하므로 이것은 방향안정성(directional stability)을 나타낸다. 즉, 원래의 침로와 다른 깊이에서 새로운 수평침로로 복귀한다는 것을 의미한다. 횡운동의 경우 동안정성은  $v \rightarrow 0$ ,  $r \rightarrow 0$  에 수렴하는 것을 의미하므로 이것은 직선운동안정성(straight-line stability)을 나타낸다.

한편, 본 연구에서 채택한 UUV는 안정한 유체 정역학적 복원모멘트를 가지는 경우로서, 부심이 무게중심 위쪽 0.2m 높이에 위치한다고 가정할 때 종운동의 안정 조건(식(9)) 중  $a_0 > 0$ ,  $a_1 > 0$ ,  $a_3 > 0$  의 조건은 항상 만족되고 있다. 그리고  $a_1 a_2 - a_0 a_3 > 0$  의 조건을 만족하면  $a_2 > 0$  도 만족된다. 따라서 동안정의 조건은 최종적으로 다음과 같이 정리된다.

$$G_v = \frac{a_1 a_2}{a_0 a_3} - 1 > 0 \quad (11)$$

식(11) 우변 첫항에서  $a_2$ ,  $a_3$  는 UUV의 속도  $U$ 의 함수로써 표시되므로  $G_v$ 도  $U$ 의 함수로써 주어진다. 그리고  $G_v$ 를 종운동의 동안정성지수라 정의한다.

다음으로 횡운동의 경우에는 UUV의 무게중심이 동체중앙 부근에 있다고 가정하면 동안정성의 조건 중  $A_0 > 0$ ,  $A_1 > 0$  은 항상 만족되고 있다. 따라서 동안정의 조건은  $A_2 > 0$  에 귀착되며, 식(8)의 우변 첫항은 항상 양(+)의 부호를 취하므로 다음과 같이 동안정의 조건을 나타낼 수 있다.

$$G_h = 1 - \frac{l'_v}{l'_r} > 0 \quad (12)$$

단,  $l'_v = N'_v / Y'_v$

$$l'_r = (N'_r - m' x'_G) / (Y'_r - m')$$

여기서  $G_h$ 를 횡운동의 동안정성지수라 정의한다. 그리고  $l'_v$ 와  $l'_r$ 는 각각 sway damping lever와 yaw damping lever의 무차원값을 의미하며 yaw damping 착력점이 sway damping 착력점보다 앞

쪽에 있을 때  $G_h > 0$  이 되어 동안정성 경향을 보인다. 횡운동의 경우 일반적으로  $l'_v$ 는 항상 양(+)의 부호를 취하는 반면에  $l'_r$ 는  $N'_v > 0$  일 때에는 음(-)의 부호를 취하게 되어  $G_h$ 값이 1보다 커지게 된다. 이 상태에서는 수평사향각  $\beta$ 를 감소시키려는 모멘트가 작용하게 되어 수평면내에서의 회전운동이 어렵게 되므로 조종성능의 관점에서 바람직한 현상이라고는 볼 수 없다. 따라서 바람직한 동안정의 조건은  $0 < G_h < 1$  이라고 할 수 있다.

#### 4. 동안정성 향상을 위한 부가물의 설계 변경

##### 4.1 유체력미계수에 미치는 부가물의 영향 계산법

UUV의 동안정성 판별에 필요한 것은 감쇠유체력미계수이다. UUV에 작용하는 감쇠유체력미계수는 UUV 동체와 부가물에 작용하는 각각의 감쇠유체력미계수를 구해 이들을 단순 합성함으로써 구해질 수 있다고 가정하면 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} Y'_v &= (Y'_v)_h + \sum_{i=1}^3 (Y'_v)_{fi} \\ N'_v &= (N'_v)_h + \sum_{i=1}^3 (Y'_v)_{fi} \cdot x'_{fi} \\ Y'_r &= (Y'_r)_h + \sum_{i=1}^3 (Y'_v)_{fi} \cdot x'_{fi} \\ N'_r &= (N'_r)_h + \sum_{i=1}^3 (x'_{fi})^2 \cdot (Y'_v)_{fi} \\ Z'_w &= (Z'_w)_h + \sum_{i=4}^7 (Z'_w)_{fi} \\ M'_w &= (M'_w)_h - \sum_{i=4}^7 (Z'_w)_{fi} \cdot x'_{fi} \\ Z'_q &= (Z'_q)_h - \sum_{i=4}^7 (Z'_w)_{fi} \cdot x'_{fi} \\ M'_q &= (M'_q)_h + \sum_{i=4}^7 (x'_{fi})^2 \cdot (Z'_w)_{fi} \end{aligned} \quad (13)$$

여기서 첨자  $h$ 는 동체, 첨자  $fi$ 는  $i$ 번째 부가물,  $x'_{fi}$ 는  $i$ 번째 부가물의 중심위치의  $x$  좌표를

나타낸다.  $f_1$ 은 상부수직판,  $f_2$ 는 하부수직판,  $f_3$ 은 수직타,  $f_4$ 는 선수우현수평타,  $f_5$ 는 선미좌현수평타,  $f_6$ 은 선미우현수평타,  $f_7$ 은 선미좌현수평타를 의미한다. UUV 동체에 작용하는 감쇠유체력미계수는 세장체이론(slender body theory)에 의해 구하기로 하며, 계산법은 문헌(손경호 등 2006)에 상세하게 기술되어 있다. 그리고 부가물  $f_i$ 에 작용하는 횡방향 유체력미계수  $(Y_v')_{f_i}$ 와 종방향 유체력미계수  $(Z_w')_{f_i}$ 는 각각 다음 식으로 표현된다(Lewis 1989).

$$(Y_v')_{f_i} = -\left(\frac{A_{f_i}}{L^2}\right)\left(\frac{\partial C_L}{\partial \beta}\right)_{f_i} \quad (14)$$

단,  $i = 1 \sim 3$

$$(Z_w')_{f_i} = -\left(\frac{A_{f_i}}{L^2}\right)\left(\frac{\partial C_L}{\partial \alpha}\right)_{f_i} \quad (15)$$

단,  $i = 4 \sim 7$

여기서  $A_{f_i}$ 는  $i$ 번째 부가물의 측면적,  $C_L$ 은 양력계수,  $\alpha$ ,  $\beta$ 는 각각 수직양각, 수평사향각을 나타낸다. 그리고 양력계수의 경사는 다음 식으로 주어지는 Whicker and Fehlner의 추정식에 의해 구한다(Lewis 1989).

$$\begin{aligned} & \left(\frac{\partial C_L}{\partial \alpha}\right) \text{ 또는 } \left(\frac{\partial C_L}{\partial \beta}\right) \\ &= \frac{0.9 \times 2\pi \times a}{\cos \theta \sqrt{\frac{a^2}{\cos^4 \theta} + 4 + 1.8}} \end{aligned} \quad (16)$$

단,  $a$ : 유효종횡비,  $\theta$ : 1/4코드선의 후퇴각

4.2 부가물의 설계 변경에 따른 동안정성 검토  
본 연구에서 채택한 UUV 형상(Fig. 1 참조)에 대한 유체력미계수의 모형시험 결과(손경호 등 2006)와 4.1 절에서 언급된 이론계산법에 의한 결과를 Table 2에 보인다.

Table 2에 의하면 유체력미계수의 실험치와 계산치 사이에 약간의 차이는 있으나, 본 연구의 목

적이 부가물의 설계 변경에 따른 동안정성 향상 방안 검토에 있으므로 4.1절에 언급된 이론계산법에 따라 유체력미계수를 추정하여 부가물의 설계 변경을 검토하기로 한다. 먼저 Table 2에 보인 유체력미계수(이론계산치)를 사용하여 UUV의 동안정성을 검토한 결과는 다음과 같다. 종운동의 경우에는 UUV의 속도가 0.87 m/sec 이상의 속도 영역에서  $G_v < 0$  즉, 동적 불안정 경향을 보이고 있다. 그리고 횡운동의 경우에는

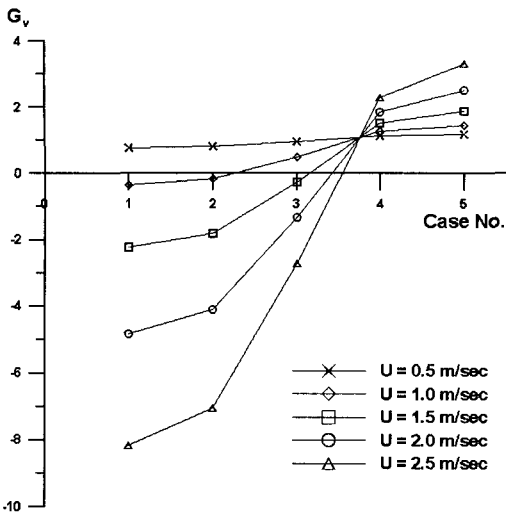
$G_h = 1.98 > 0$ 로써 동안정성이 너무 강해 선회 운동에 문제가 있으며, 이것은  $N_v'$ 의 부호가 양(+)인 것에 기인하고 있다. 따라서 부가물의 설계 변경을 통해 UUV의 동안정성 향상의 필요성이 대두된다. UUV의 동안정성에 미치는 각각의 부가물의 영향을 시행착오(trial and error)를 거치면서 종합적으로 고찰해 본 결과, 종운동의 경우에는 선미수평타의 크기를 증가시킴으로써 종안정성 향상을 도모하고자 하며, 횡안정성의 경우에는  $N_v'$ 의 부호를 음(-)으로 바꾸어 주기 위해 하부수직판을 제거한 상태에서 상부수직판을 선수쪽으로 약간씩 이동시키면서 크기를 조정하기로 한다.

Fig. 3, Fig. 4는 각각 부가물의 설계 변경에 따른 종안정성지수  $G_v$ 와 횡안정성지수  $G_h$ 의 변화를 나타내고 있다.

Fig. 3에 의하면 선미수평타( $f_6$ 과  $f_7$ )의 면적을 증가시킴으로써 안정화( $G_v > 0$ )에 기여하

Table 2 Theoretical calculation results of linear hydrodynamic derivatives acting on original UUV model and comparison of some of them with static experiment results

Derivatives	Calculation	Experiment
$Y_v'$	-0.051282	-0.048187
$N_v'$	0.006448	0.005821
$Y_r'$	0.009755	
$N_r'$	-0.004668	
$Z_w'$	-0.487901	-0.475054
$M_w'$	0.106493	0.085083
$Z_q'$	0.048975	
$M_q'$	-0.005018	



Case 1	Original shape of UUV
Case 2	Geometric shape of $f_6$ and $f_7$ changed but their leading edges not moved (span:1m, root chord:1.8m, tip chord:1.6m)
Case 3	Ditto (span:1.5m, root chord:1.8m, tip chord:1.5m)
Case 4	Ditto (span:2m, root chord:1.8m, tip chord:1.4m)
Case 5	Ditto (span:2.1m, root chord:1.8m, tip chord:1.38m)

Fig. 3 Variation in dynamic stability index in vertical plane with parameter of appendage changes

고 있음을 알 수 있다. 단,  $f_6$ 과  $f_7$ 의 형상을 변화시킬 때에 동체 후부 형상을 고려하여 root chord의 길이는 1.8m로 동일하게 하고, leading edge의 위치와 후퇴각은 바뀌지 않는 것으로 하였다.  $f_6$ 과  $f_7$ 의 span 길이 증가에 따라 안정화 경향이 현저하게 나타나며, case 4의 경우 비로소 모든 속도영역에서  $G_v$ 값이 양(+)이 되어 동적 안정화 경향을 보인다는 것을 알 수 있다. case 3의 경우에는 UUV가 1.35 m/sec 이하의 속도영역에서만 동적 안정화 경향을 보인다. 따라서 최종적인 부가물의 치수는 UUV의 운항 속도영역을 고려하여 결정되어야 할 것이며, 또한 심도변경 시

에 과도한 제어력이 발생되지 않도록 선미수평타중 타면적의 일부분만이 가동부(movable part)로 작용하도록 하고 나머지 부분은 고정판으로 할 필요가 있을 것이다.

한편,  $G_v > 0$  이면 UUV가 수직평면 내에서 동적 안정화 경향을 보인다는 것을 알 수 있지만, 안정의 정도가 너무 강하면 UUV의 심도변경에 문제가 있을 수 있다. 따라서  $G_v > 0$ 의 조건 이외에 횡운동에서와 마찬가지로 종운동에서도 다음과 같은 추가 조건을 만족하는 것이 바람직하다.

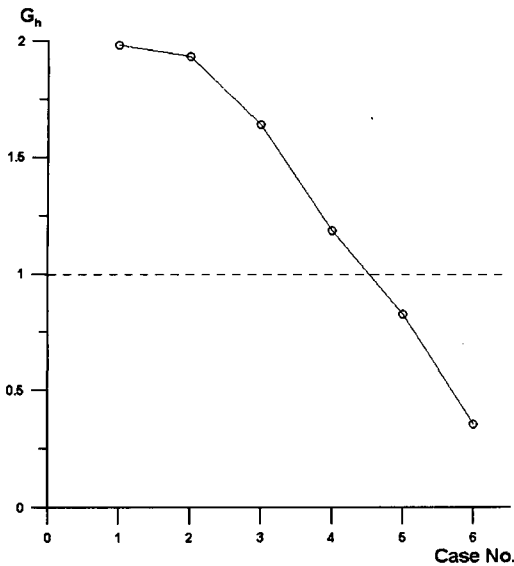
$$G_{v1} = 1 - \frac{l_w'}{l_q'} < 1 \quad (17)$$

$$\text{단, } l_w' = M_w' / (-Z_w')$$

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

여기서  $l_w'$ 와  $l_q'$ 는 각각 heave damping lever와 pitch damping lever의 무차원치를 의미한다. Fig. 3에서 언급된 5가지 case에 대해  $G_{v1}$  값을 계산해 보면 모두 식(17)의 조건을 만족하고 있다는 것을 알 수 있다.

Fig. 4에 의하면 하부수직판( $f_2$ )이 제거된 상태에서 상부수직판( $f_1$ )의 면적을 감소시킴으로써  $0 < G_h < 1$ 의 조건 만족에 기여하고 있음을 알 수 있다. 단,  $f_1$ 의 면적 감소 시에 span 길이와 chord 길이를 동일 비율로 축소시킴으로써 aspect ratio를 일정하게 하였다. 그리고  $f_1$ 의 leading edge와 동체상부와의 만나는 점을 횡운동에서의 가상박리점 위치( $x_0' = -0.167$ )까지 앞으로 이동시켰다.  $f_1$ 의 면적 감소에 따라  $G_h$ 값이 점점 작아지는 경향을 보이는데,  $f_1$ 의 면적을 15% 감소시켰을 때 비로소  $G_h$ 값이 1보다 작아짐을 알 수 있다(case 5). 한편,  $G_v$ 와  $G_h$ 값을 계산할 때 부가물의 형상 변화 또는 위치 변화에 따라 UUV의 질량계수  $m'$ 와 무게중심의 좌표  $x_G'$ 는 변화하지 않는 것으로 가정하였으며, 가상박리점은 UUV 동체측면도에서 동체깊이가 최대가 되는 최후위치의  $x$  좌표를  $x_0$ 로 취하였다.



Case 1	Original shape of UUV
Case 2	$f_2$ removed
Case 3	$f_2$ removed and lower corner of leading edge of $f_1$ moved to assumed separation point
Case 4	Ditto, provided that area of $f_1$ reduced by 10%
Case 5	Ditto, provided that area of $f_1$ reduced by 15%
Case 6	Ditto, provided that area of $f_1$ reduced by 20%

Fig. 4 Variation in dynamic stability index in horizontal plane with parameter of appendage changes

### 5. 결론

본 연구에서는 Manta형 UUV의 기본 형상을 토대로 부가물의 설계 변경에 따른 동안정성 향상 방안을 검토해 본 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) UUV 부가물의 형상변경에 따른 선형유체역학계수의 추정법과 동안정성의 검토 방법을 제시하였다.

(2) UUV의 기본 형상은  $0.87\text{ m/sec}$  이상의 속도영역에서 종운동의 동적 불안정 경향을 보이며, 선미수평타의 크기를 적절히 증가시킴으로써 동안정성이 개선된다는 것을 알 수 있었다. 그리고 선미수평타의 크기와 형식 등은 UUV의 운항 속도영역과 제어력의 강도 등을 고려하여 적절히 결정되어야 할 것이다.

(3) UUV의 기본 형상은 수평면 내에서의 동안정성이 너무 강해 선회운동에 문제가 있으며, 하부 수직판을 제거한 상태에서 상부수직판의 면적을 약간 감소시킴과 동시에 위치를 선수방향으로 약간 이동시킴으로써 동안정성이 개선된다는 것을 알 수 있었다.

### 후 기

본 연구는 방위사업청/국방과학연구소에 의해 한국해양대학교에 설치된 수중운동체특화연구센터의 연구비 지원으로 수행되었음.

### 참 고 문 헌

- 강주년, 윤현규, 성영재, 이기표, 2001, “잠수체의 부가물 형상에 따른 조종성미계수에 관한 실험적 연구,” 대한조선학회 춘계학술대회 논문집, pp. 173-177.
- 김찬기, 1998, “물수체 모형시험 해석을 위한 운동방정식의 구조 선택 및 계수 식별 결합법,” 대한조선학회 논문집, 제 35권, 제 2호, pp. 20-28.
- 손경호, 이승건, 하승필, 2006, “Manta형 무인잠수정의 6자유도 운동 수학모델 및 조종응답 특성,” 대한조선학회 논문집, 제 43권, 제 4호, pp. 399-413.
- 신용구, 임경식, 이승건, 2005, “수중함의 항미타 효율 추정을 위한 수학모델링에 관한 연구,” 대한조선학회 논문집, 제 42권, 제 3호, pp. 190-196.
- 여동진, 이기표, 2005, “수중운동체의 조종성능에 대한 민감도 해석법의 적용,” 대한조선학회

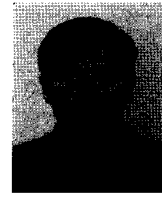


논문집, 제 42권, 제 5호, pp. 458-465.

- 윤근항, 이기표, 여동진, 2005, “수중운동체의 목표추적시스템에 적합한 유도론 선정에 대한 연구,” 대한조선학회 논문집, 제 42권, 제 4호, pp. 299-306.
- Kuo, B.C., 1967, Automatic Control Systems, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N. J.
- Lewis, E.V., 1989, Principles of Naval Architecture, Vol. III, 2nd Revision, The Society of Naval Architects and Marine Engineers, Jersey City.



< 배 준 영 >



< 손 경 호 >



< 권 형 기 >



< 이 승 건 >