

잠수함의 설계 인자들에 대해 안정성 지수가 가지는 민감도 해석

여동진[†]*, 윤현규*, 김연규*, 이창민*

한국해양연구원 해양시스템안전연구소*

Sensitivity Analysis on the Stability of a Submarine Concerning its Design Parameters

Dong Jin Yeo[†]*, Hyeon Kyu Yoon*, Yeon Gyu Kim* and Chang Min Lee*

Maritime and Ocean Engineering Research Institute/KORDI*

Abstract

In this study, we developed a new systematic approach to assess the influence of geometric parameter change on the horizontal and vertical stability indices. To do this, three phases of sensitivity analyses were carried out. First, typical geometric parameters were defined and their effects on hydrodynamic coefficients were assessed by the Sensitivity Analysis (SA) of the indirect method. Second, the effects of hydrodynamic coefficients on the stability indices were calculated. Finally, the sensitivities of geometric parameters on the stability indices were obtained by merging the outputs of two phases using chain rule. The developed approach can contribute to a submarine designer to determine geometric parameters satisfying pre-requirements about stability systematically.

※Keywords: Submarine(잠수함), Stability index(안정성 지수), Sensitivity analysis(민감도 해석)

1. 서론

잠수함 설계의 초기 단계에서는 개략적인 형상 정보를 바탕으로 잠수함의 안정성을 예측해야 할 필요성이 있다. 잠수함의 안정성은 정적 안정성을 나타내는 지수인 안정성 지수가 널리 사용된다.

안정성 측면에서의 설계는 안정성 지수가 최적의 범위 안에 있도록 이루어지므로, 설계자들이

새로운 선형의 설계 또는 설계 변경을 할 때 각 형상 인자들이 안정성에 미치는 영향을 구체적으로 파악할 필요가 있다. 이러한 요구를 충족하는 기술적인 방법이 형상 설계 인자에 대한 안정성 지수의 민감도 해석이다.

선박 및 수중운동체의 조종운동에 대한 민감도 해석법의 적용은 주로 선박 및 수중운동체의 궤적 조종운동의 특성치 또는 운동 상태변수 변화와 동유체력미계수 변화와의 관계를 파악하는 형태로 이루어졌다(Hwang 1980, Rhee and Kim 1999, Sen 2000, Perrault et al. 2003, 여동진과 이기표

접수일: 2006년 5월 18일, 승인일: 2006년 7월 4일

†교신저자: Lonepier@moeri.re.kr, 042-868-7247

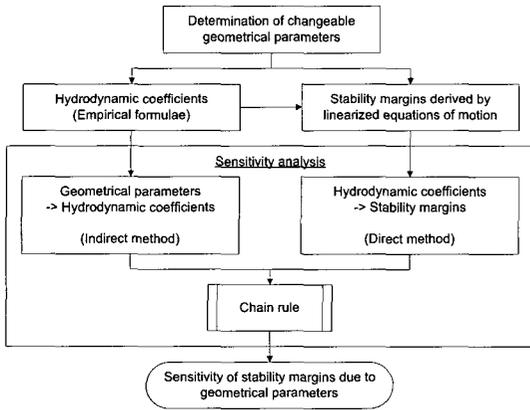


Fig. 1 Flow chart of analyzing procedure

2005, 여동진과 이기표 2006). 이러한 연구들은 조종운동방정식에 포함된 각 동유체력미계수가 조종 성능에 미치는 영향을 파악하는데 있다.

본 연구에서는 Fig. 1의 흐름도에 나타난 것과 같이 잠수함의 형상 설계 인자에 대한 안정성 지수의 민감도 해석 절차를 정립하였다. 이를 위해 먼저 형상 설계 인자들에 대한 동유체력미계수의 민감도를 파악하였다. 동유체력미계수는 형상 설계 인자에 대한 실험도표 형태로 정리되어 있으므로 간접법을 적용하여 민감도 해석을 수행하였다. 두번째로 동유체력미계수에 대한 안정성 지수의 민감도를 해석하였다. 이 과정은 안정성 지수가 동유체력미계수에 대한 함수식으로 표현되므로 직접법을 적용하여 민감도를 얻어냈다. 마지막으로 이 두 과정의 결과를 합쳐서 형상 설계 인자들에 대한 안정성 지수의 민감도를 도출하여 각 인자가 잠수함의 안정성에 미치는 영향을 파악하였다.

또한 본 연구에서는 대상 잠수함을 선정하여 Fig. 1의 흐름도에 정립한 절차대로 민감도 계산을 수행하였다. 그 결과를 토대로 민감도 계산 절차의 타당성을 확인하였다.

2. 잠수함의 운동방정식

2.1 좌표계

잠수함의 조종운동을 기술하기 위하여 Fig. 2와 같이 지구고정좌표계($O-x_0y_0z_0$)와 잠수함고정좌

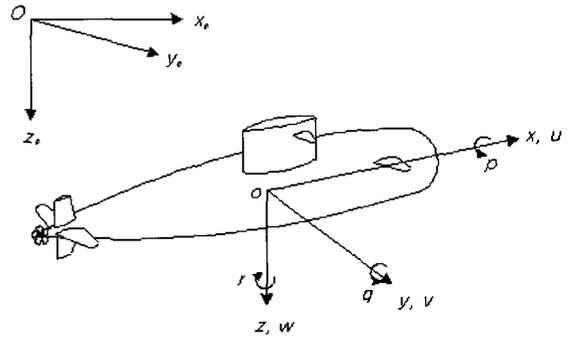


Fig. 2 Coordinate systems

표계($o-xyz$)를 정의하였다.

2.2 운동방정식

잠수함의 6 자유도 운동은 잠수함고정좌표계에 대하여 잠수함 운동변수 벡터 \underline{v} 와 외력 벡터 \underline{f} 를 정의하면, 뉴턴 제 2 법칙에 의해 다음과 같이 기술될 수 있다.

$$M\dot{\underline{v}} = \underline{f}_H + \underline{f}_G + \underline{f}_P + \underline{f}_\delta \quad (1)$$

식(1)에서 M 은 잠수함의 관성행렬이며 우변의 외력 성분들에 대한 하첨자 H, G, P, δ 는 각각 선체에 작용하는 동유체력, 중력 및 정유체력, 추진기에 의한 힘, 제어판에 의한 힘을 나타낸다. 이러한 외력 성분들은 잠수함의 운동변수 및 형상에 따라 표현되는 동유체력미계수들을 이용하여 모델링한다.

3. 안정성 해석

3.1 선형화된 운동방정식

식(1)의 운동방정식은 다음과 같은 가정을 통하여 전후동요, 상하동요, 종동요의 수직면, 좌우동요, 횡동요, 선수동요의 수평면 운동으로 분리한 후 선형화할 수 있다.

- 잠수함은 좌우대칭이고, 수직, 수평면 운동은 각각 서로 다른 방향의 운동에 영향을 주지 않는다.
- 잠수함은 중성부력이고, 작은 전후동요가 다른 운동방향에 영향을 주지 않으며, 다른 방향의

운동도 전후동요에 영향을 주지 않는다. 또한 전후동요는 항상 안정하다.

- 잠수함의 횡동요는 다른 방향의 운동에 영향을 주지 않으며, 무게중심이 상당히 아래에 있어서 충분히 안정하다.

이러한 가정은 제어장치 고정상태에서 안정성을 검토하는 경우와 같이 잠수함이 외부의 작은 교란에 의해서 운동이 작게 일어나는 경우에 유효한 것이다. 앞서의 가정이 성립하는 경우, 수직면, 수평면 운동방정식은 각각 다음과 같이 평형상태에 대한 섭동 상태변수들을 이용하여 선형화 할 수 있다(Burcher and Rydill 1994).

[수직면]

$$\begin{aligned}
 m(\dot{w} - q - x_G \dot{q}) &= Z_w \dot{w} + Z_q \dot{q} + Z_w w + Z_q q \\
 I_y \dot{q} - m x_G (\dot{w} - q) &= M_w \dot{w} + M_q \dot{q} + M_w w \\
 &\quad + M_q q - (z_G W - z_B B) \theta \quad (2) \\
 \dot{\theta} &= q
 \end{aligned}$$

[수평면]

$$\begin{aligned}
 m(\dot{v} + r + x_G \dot{r}) &= Y_v \dot{v} + Y_r \dot{r} + Y_v v + Y_r r \\
 I_z \dot{r} + m x_G (\dot{v} + r) &= N_v \dot{v} + N_r \dot{r} + N_v v + N_r r \quad (3)
 \end{aligned}$$

여기서, 중력 및 정유체력에 의한 힘과 추진기에 의한 힘은 평형상태방정식에만 포함되고, 제어장치 고정상태인 경우이므로 제어판 변화에 의한 힘은 나타내지 않았다. 또한 전후동요, 횡동요는 앞선 가정에 따라 다른 방향 운동과 비연성되며, 항상 안정하므로, 식(2), (3)에 나타내지 않았다. 식(2), (3)의 물리량 및 동유체력미계수는 모두 무차원값이다. 무차원화는 SNAME(1950)에서 제시한 방법을 사용하였다.

3.2 안정성 지수

식(2)의 수직면 운동방정식에서 평형상태의 속도가 변화에 따라 변하는 것은 무차원 중량과 부력이 된다. 따라서 그 외의 무차원 동유체력미계수는 항상 일정하다고 가정하면, 잠수함의 안정성

은 속도의 함수가 된다. 종동요 운동방정식에서 중력과 부력에 의한 항은 복원모멘트로 작용하므로, 그 값은 안정성에 기여하는 항이 된다. 따라서 속도가 무한히 큰 경우에는 그 성분이 작아져서 안정성이 나빠지게 된다. 따라서 본 연구에서는 수직면 경우에는 안정성 측면에서 가장 나쁜 경우에 대하여 수직면 안정성 지수를 정의하기로 한다. 이러한 경우, 종동요 운동방정식에서 종동요각이 포함된 항은 소거되며, 수직면 운동방정식은 상동요 속도와 종동요 각속도만으로 표현된다.

수직면, 수평면 1 차 미분방정식 시스템의 특성방정식은 고유치에 대한 2 차 방정식 형태로 표현된다. 이 때 안정성 지수는 상수항에 해당하는 값이고, 이것들을 수식적으로 표현하면 다음과 같다.

$$G_v = 1 - \frac{M_w(Z_q + m)}{Z_w(M_q - m x_G)} \quad (4)$$

$$G_h = 1 - \frac{N_v(Y_r - m)}{Y_v(N_r - m x_G)} \quad (5)$$

특성방정식의 2 차항의 계수가 양인 경우에 식(4), (5)가 양이면 정적 안정성이 보장된다. 또한 일반적인 잠수함 경우에는 1 차항의 계수인 감쇠 성분도 양이므로, 특성방정식의 해가 항상 음수이기 위해서는 상수항도 양이어야 한다. 이 경우에 동적 안정성도 보장된다. 따라서 G_v , G_h 는 양수이어야 하며, 잠수함 설계 관점에서의 적당한 크기 범위는 다음과 같다(HDW Report 2002).

$$\begin{aligned}
 0.5 < G_v < 0.8 \\
 0.2 < G_h < 0.4
 \end{aligned} \quad (6)$$

4. 민감도 해석

잠수함의 안정성은 선체의 주요 제원과 제어판의 형상 및 위치에 따라 영향을 받게 된다. 개념 설계 단계에서 이러한 설계 인자의 변화에 대한 안정성의 정량적인 민감도를 알 수 있다면, 설계 변경사항이 발생하는 경우에도 안정성의 보장 여부를 손쉽게 검토할 수 있다. 3 장에 나타난 바와

같이 잠수함의 안정성을 나타내는 간단한 지수인 안정성 지수들은 동유체력미계수들과 잠수함 무게, 무게중심 위치로 표현된다. 또한, 동유체력은 잠수함이 운동을 하는 경우에 주변 유체가 작용하는 힘이므로, 형상 인자의 함수가 된다. 따라서 안정성 지수는 형상 인자의 함수가 되며, 다음과 같이 형상 인자에 대한 잠수함 안정성 지수의 민감도를 2 개의 부분 민감도 함수를 이용하여 정의할 수 있다.

$$S_G^S = S_H^S S_G^H \quad (7)$$

여기서, S, H, G는 각각 안정성 지수, 동유체력미계수, 기하학적 형상 인자를 나타내고, 민감도 함수 S의 하첨자는 입력이고, 상첨자는 출력이다. S_H^S, S_G^H 는 각각 동유체력미계수에 대한 안정성 지수의 민감도, 기하학적 형상 인자에 대한 동유체력미계수의 민감도이다. 이는 수학적 의미에서는 입력의 미소변화가 출력에 미치는 영향으로써 Jacobian 행렬과 각 입출력변수들의 공칭값들로 정규화 한 값이다. 따라서 어떠한 설계점에서 입력이 작게 변화하는 경우만 유효하다. 이때 Jacobian 행렬의 인자들은 각각의 입력 변수에 대한 출력 변수들의 개별 민감도 지수가 된다. 또한 정규화된 민감도를 정의함에 따라 서로 다른 변수들을 함께 비교할 수 있는 장점이 있다. 식(7)은 수직면, 수평면 안정성 지수의 민감도를 합쳐서 나타낸 것인데, 이를 구분하여 기술하면 다음과 같다.

$$\left[S_G^S \right]_v = \left[S_H^S \right]_v \left[S_G^H \right]_v \quad (8)$$

$$\left[S_G^S \right]_h = \left[S_H^S \right]_h \left[S_G^H \right]_h \quad (9)$$

where,

$$\left[S_G^S \right]_v = \frac{1}{G_{v0}} \frac{\partial G_v}{\partial x_v} N_{xv}, \quad \left[S_G^S \right]_h = \frac{1}{G_{h0}} \frac{\partial G_h}{\partial x_h} N_{xh},$$

$$\left[S_H^S \right]_v = \frac{1}{G_{v0}} \frac{\partial G_v}{\partial H_v} N_{Hv}, \quad \left[S_H^S \right]_h = \frac{1}{G_{h0}} \frac{\partial G_h}{\partial H_h} N_{Hh},$$

$$\left[S_G^H \right]_v = N_{Hv}^{-1} \frac{\partial H_v}{\partial x_v} N_{xv}, \quad \left[S_G^H \right]_h = N_{Hh}^{-1} \frac{\partial H_h}{\partial x_h} N_{xh}.$$

식(8), (9)에서 동유체력미계수 벡터 \underline{H} 는 식(4), (5)의 안정성 지수 계산식에 포함된 계수들로

식(10), (11)과 같이 나타내며, N_x, N_H 는 각각 설계점에서의 형상 인자 벡터, 동유체력미계수 벡터의 절대값을 대각 성분으로 하는 대각행렬이다. 마찬가지로 G_0 는 설계점에서의 안정성 지수이다.

$$\underline{H}_v = \left[Z_w \quad Z_q \quad M_w \quad M_q \right]^T \quad (10)$$

$$\underline{H}_h = \left[Y_v \quad Y_r \quad N_v \quad N_r \right]^T \quad (11)$$

설계단계에서 변경 가능한 기하학적 형상 인자 벡터 \underline{x} 는 상황에 따라 다르게 설정할 수 있으며, 본 연구에서 설정한 것들은 5.2 절에 나타내기로 한다.

식(4), (5)의 안정성 지수는 잠수함의 질량, 무게중심 위치, 동유체력미계수들에 의하여 함수식으로 기술되므로, S_H^S 는 식(12)와 같이 함수식으로 유도할 수 있다. 하지만 기하학적 형상 인자에 대한 동유체력미계수값은 다양한 실험도표, 비선형 곡선맞춤식 등에 의하여 얻어지므로, S_G^H 를 함수식으로 유도할 수는 없다. 따라서 간접법을 이용하여 Jacobian 행렬을 구성하여야 하며, 그 값들은 대상 잠수함의 설계변수값에 따라 달라진다. 본 연구의 대상 잠수함에 대한 S_G^H 계산값은 5.3 절에 나타내기로 한다. 다음은 S_H^S 의 Jacobian 행렬 계산식이다.

$$\frac{\partial G_v}{\partial \underline{H}_v} = \begin{bmatrix} \frac{M_w(Z_q + m)}{Z_w^2(M_q - mx_G)} \\ -\frac{M_w}{Z_w(M_q - mx_G)} \\ -\frac{Z_w(M_q - mx_G)}{Z_q + m} \\ -\frac{Z_w(M_q - mx_G)}{M_w(Z_q + m)} \\ \frac{M_w(Z_q + m)}{Z_w(M_q - mx_G)^2} \end{bmatrix}^T, \quad \frac{\partial G_h}{\partial \underline{H}_h} = \begin{bmatrix} \frac{N_v(Y_r - m)}{Y_v^2(N_r - mx_G)} \\ -\frac{N_v}{Y_v(N_r - mx_G)} \\ -\frac{Y_v(N_r - mx_G)}{Y_r - m} \\ -\frac{Y_v(N_r - mx_G)}{N_v(Y_r - m)} \\ \frac{Y_v(N_r - mx_G)^2}{Y_v(N_r - mx_G)^2} \end{bmatrix}^T \quad (12)$$

5. 계산 결과 및 고찰

5.1 대상 잠수함

본 연구에서 대상으로 하는 잠수함의 주요 제원과 선미 승강타(stern stabilizer) 및 상방향타(upper rudder)에 대한 제원을 Table 1~3에 나타내었다. 대상 잠수함의 부가물은 순수 선체에 선

수 승강타, 선미 승강타, 상하부 방향타, 추진기이다. 여기서, 무게중심 및 부가물 전부의 길이방향 좌표값은 선체 중앙을 원점으로 하고 양의 방향은 선수 방향이다. Table 1~3 에서 상첨자 ss, urd 는 각각 선미 승강타, 상방향타를 나타낸다.

5.2 형상 설계 인자 선정

잠수함의 개념설계 단계에서는 선체, 제어판, Bridge fairwater 와 같은 부가물의 형상 변화가 상세설계 단계에서 보다는 비교적 자유로울 수 있다. 잠수함은 수많은 구성부들이 종합되어 건조되는 것이므로 설계단계에서 각 구성부 세부 설계자들에 의하여 서로 상충되는 요구가 발생할 수 있다. 이때 잠수함의 성능 또는 운용 개념을 특징 짓는 여러 가지 관점에 따라 형상 변경 설계를 하게 된다. 본 연구에서는 잠수함의 안정성 측면에서 형상 변화의 영향을 분석하고자 한다.

Table 1 Principal dimensions of object submarine

Item	Symbol	Value
Length	L	61.0 m
Breadth	B	7.3 m
Height	H	8.3 m
Displacement	Δ	2153 tons
Longitudinal C.G.	x_G	4.0 m

Table 2 Geometrical parameters of stern stabilizer

Item	Symbol	Value
Span	b^{ss}	4.75 m
Root chord	c_r^{ss}	4.00 m
Tip chord	c_t^{ss}	2.75 m
x of leading edge	x^{ss}	-23.8 m

Table 3 Geometrical parameters of upper rudder

Item	Symbol	Value
Span	b^{urd}	4.60 m
Root chord	c_r^{urd}	4.00 m
Tip chord	c_t^{urd}	2.50 m
x of leading edge	x^{urd}	-23.8 m

잠수함의 형상 설계 변수는 무수히 많지만, 이것들 모두에 대한 안정성의 민감도 분석은 현실적으로 불가능하다. 따라서 본 연구에서는 개념설계 또는 기본설계 단계에서 형상 변경을 비교적 손쉽게 수행할 수 있는 설계 인자들을 정의하여, 이것들에 대한 민감도 지수를 계산하기로 한다. 미소운동을 가정하는 경우, 수직면, 수평면 각각의 운동에 영향을 미치는 형상 인자들이 구분될 수 있으므로, 식(13), (14)와 같이 수직면, 수평면 형상 변수 벡터들을 정의하였다.

$$\underline{x}_v = [B \quad b^{bp} \quad c_r^{bp} \quad x^{bp} \quad b^{ss} \quad c_r^{ss} \quad c_t^{ss} \quad x^{ss}]^T \quad (13)$$

$$\underline{x}_h = [H \quad b^{bf} \quad c_r^{bf} \quad c_t^{bf} \quad x^{bf} \quad b^{urd} \quad c_r^{urd} \quad c_t^{urd} \quad x^{urd}]^T \quad (14)$$

식(13), (14)에서 상첨자 bp, bf 는 각각 선수 승강타 (bow plane), Bridge fairwater 를 나타낸다. 일반적인 잠수함에서 상하 방향타는 형상이 다르지만 횡동요를 고려하지 않을 경우 각각의 형상 변화가 수평면 안정성에 미치는 영향은 거의 동일할 것이므로 본 연구에서는 식(14)와 같이 상방향타의 형상 변화만을 고려하였다.

Table 4 에는 Table 1~3 에 나타난 형상 인자들에 대한 설계점에서의 수직면, 수평면 동유체력미계수를 나타내었다. 동유체력미계수 계산은 잠수함 선체를 등가의 날개 등으로 치환했을 때의 경험식을 사용하였다(HDW Report 2002).

5.3 형상 인자에 대한 동유체력미계수의 민감도

Fig. 3~4 에는 각각 수직면, 수평면의 안정성에 영향을 미치는 형상 인자에 대한 동유체력미계수의 민감도 계산 결과를 도시하였다. 여기에 나타난 민감도값들은 모두 절대값이다. Table 5~6 에

Table 4 Nominal hydrodynamic coefficients

Coeff.	Value	Coeff.	Value
Z_w	-3.7064E-2	Y_v	-8.4643E-2
Z_q	-5.9432E-3	Y_r	1.3450E-3
M_w	1.2014E-2	N_v	-2.1708E-2
M_q	-6.7756E-3	N_r	-4.7766E-3

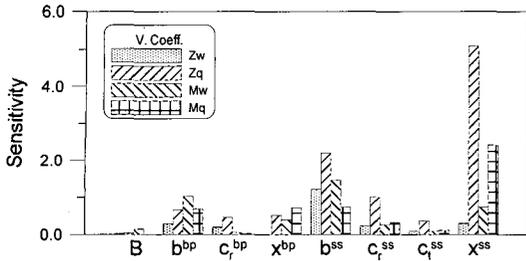


Fig. 3 Absolute sensitivities of vertical hydrodynamic coefficients due to geometrical parameters

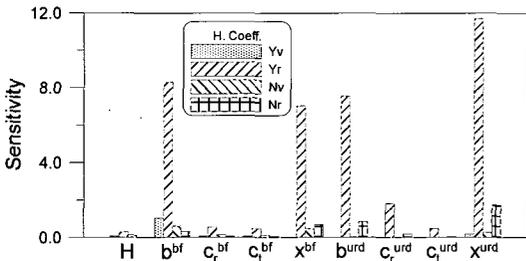


Fig. 4 Absolute sensitivities of horizontal hydrodynamic coefficients due to geometrical parameters

Table 5 Sensitivities of vertical hydrodynamic coefficients due to geometrical parameters

Param.	Z_w	Z_q	M_w	M_q
B	0.014	-0.040	-0.154	0.010
b^{bp}	-0.297	0.674	1.024	-0.694
c_r^{bp}	-0.201	0.455	0.054	0.019
x^{bp}	0.000	0.515	0.391	-0.728
b^{ss}	-1.209	-2.199	-1.461	-0.742
c_r^{ss}	-0.239	-1.008	-0.266	-0.334
c_t^{ss}	-0.098	-0.368	-0.100	-0.114
x^{ss}	0.298	5.095	0.737	2.406

는 Fig. 3~4 에 나타낸 민감도값들을 부호를 포함한 수치로 나타내었다.

Fig. 3~4 에 의하면, 교차항인 Z_q , Y_r 계수들이 다른 계수들에 비하여 민감도가 높다. 또한 제어판의 스펠이나 루트 코드를 크게 하면 면적 증가 효과에 의하여 계수들이 크게 변화한다. M_q ,

Table 6 Sensitivities of horizontal hydrodynamic coefficients due to geometrical parameters

Param.	Y_v	Y_r	N_v	N_r
H	-0.073	-0.290	-0.134	-0.012
b^{bf}	-1.041	-8.301	-0.603	-0.316
c_r^{bf}	-0.067	-0.539	-0.143	-0.062
c_t^{bf}	-0.059	-0.476	-0.127	-0.054
x^{bf}	0.000	-7.052	-0.461	-0.691
b^{urd}	-0.025	7.558	0.025	-0.838
c_r^{urd}	-0.015	1.814	0.016	-0.191
c_t^{urd}	-0.004	0.483	0.002	-0.045
x^{urd}	-0.177	-0.117	0.258	1.746

N_r 계수들은 원점에서 멀리 있는 선미 승강타와 상방향타의 위치에 민감하게 반응한다. 여기서, 어떤 형상 인자에 대한 Z_q , Y_r 의 민감도가 크더라도, 이 계수들에 대한 안정성 지수의 민감도가 작다면, 최종 영향은 작을 수 있다.

선미 승강타와 상방향타의 위치가 앞으로 미소 이동하였을 때 상방향타 경우에는 Bridge fairwater 에서 발생한 보오텍스 영향 때문에 오히려 N_v 계수가 커져서 안정성에 유리하게 되는 반면에 수직면에서는 그러한 영향이 나타나지 않는다.

5.4 동유체력미계수에 대한 안정성 지수의 민감도

동유체력미계수에 대한 안정성 지수의 민감도는 식(12)에 나타낸 바와 같이 함수식으로 표현된다. Fig. 5~6 에는 식(12)에 Table 1, 4 의 잠수함 제원 및 동유체력미계수의 공칭값을 대입하여 계산한 동유체력미계수에 대한 안정성 지수의 민감도를 나타내었다. 민감도 막대값 위의 부호는 동유체력미계수가 양의 방향으로 변화할 때 안정성 지수의 변화 방향을 나타낸다.

Fig. 5 에 의하면 수직면 경우는 모든 계수가 현재 값 보다 음의 방향으로 커지게 되면 안정성이 더 보장되는 것을 알 수 있다. 또한 수직면 안정성을 증가하기 위해서는 Z_w , M_w 계수들을 변화시킬 수 있는 형상 인자가 더욱 효과적이라는 것

을 알 수 있다. Fig. 6 에 의하면 수평면 안정성도 수직면과 마찬가지로 Y_v , N_v 와 같은 속도 관련 계수들에 대하여 민감하다. Fig. 4 에 의하면 형상 인자에 Y_r 계수가 민감하지만, Y_r 계수에 안정성 지수는 그렇지 않다. 따라서 최종 안정성 지수에 영향을 미치는 형상 인자는 Y_r 계수를 크게 변화시키는 것이 아닐 수 있다. 전체 형상 인자의 변화에 대한 안정성 지수의 민감도는 다음절에 나타내기로 한다.

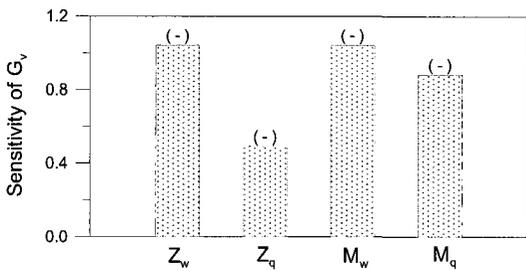


Fig. 5 Sensitivities of vertical stability index due to hydrodynamic coefficients

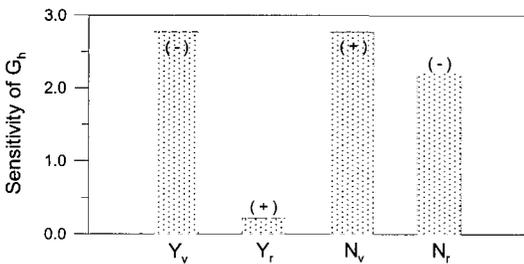


Fig. 6 Sensitivities of horizontal stability index due to hydrodynamic coefficients

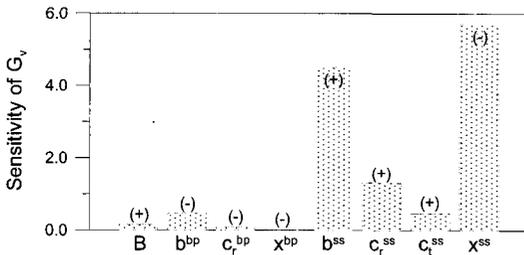


Fig. 7 Sensitivity of vertical stability index due to geometrical parameters

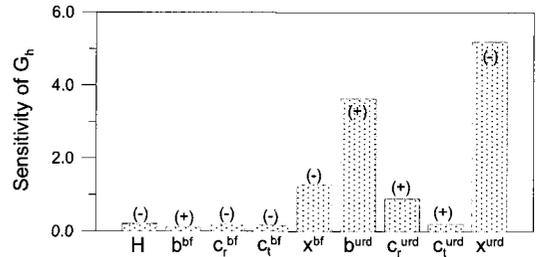


Fig. 8 Sensitivity of horizontal stability index due to geometrical parameters

5.5 최종 민감도

5.3~4 절에서 각각 식(8), (9)의 부분 민감도 함수 $[S_G^H]_v$, $[S_H^S]_v$ 와 $[S_G^H]_h$, $[S_H^S]_h$ 를 구하였다. 이것에 식(8), (9)를 적용하면 형상 인자에 대한 안정성 지수의 민감도를 얻을 수 있다. 그 결과를 Fig. 7~8 에 나타내었다.

Fig. 7~8 의 결과는 형상 인자의 공칭값에서 무조건 양의 값 방향으로 인자를 변화하는 경우에 안정성 지수의 민감도를 정의한 것이다. 결과적으로 수직면, 수평면 구분 없이 거의 비슷한 결과를 주는 것을 볼 수 있다. 즉 안정성을 더 크게 하기 위해서는 선미에 있는 제어판의 면적을 크게 하던가, 원점과의 거리를 더 크게 하면 된다. 또한 면적의 증가 보다는 위치의 변경이 보다 효과적이라는 것도 확인할 수 있다. Fig. 5~6 에 의하면, 수직면에 있어서 다른 계수들과 비교할 경우, Z_q 에 대한 상대적인 민감도가 수평면에 있어서 Y_r 에 대한 경우 보다는 큰 것을 확인할 수 있다. 따라서 Fig. 3 의 Z_q , M_q 의 민감도를 높게 하는 형상 인자가 안정성 지수의 민감도도 높다. 반면에 Fig. 6 에 의하면, 수평면 경우에는 Y_r 에 대한 안정성 지수의 민감도가 작으므로 Y_r 을 크게 하는 형상 인자가 안정성 지수에 큰 영향을 미치는 인자와 동일하지는 않다.

6. 결론

본 연구에서는 잠수함의 초기설계 단계에서 변경 가능한 형상 인자들에 대한 수평면, 수직면 안정성 지수의 민감도 계산 절차를 정립하였다. 형상 인자는 동유체역미계수에 영향을 미치고, 동유

체력미계수는 안정성 지수를 정의하는 식에 인자가 된다. 따라서 최종 민감도는 각각에 대한 부분 민감도를 계산한 후, 두 개를 합쳐주어 계산하게 된다. 안정성 지수의 민감도 계산에 있어서, 형상 인자에 대한 동유체력미계수의 민감도는 간접법을 적용하고, 동유체력미계수에 대한 안정성 지수의 민감도는 직접법을 적용하였다.

대상 잠수함에 관해서 변경 가능한 형상 인자들을 정의하여 안정성 지수의 민감도 계산을 수행하였다. 계산 결과에 의하면 안정성 증가를 위해서 가장 효과적인 방법은 선미 승강타와 상방향타의 면적을 넓히거나, 위치를 선미쪽으로 변경시켜야 함을 알 수 있었는데 이는 일반적으로 알려진 결과와 일치하므로, 정립된 절차는 타당하다고 사료된다. 본 연구에서 제시된 방법으로 민감도를 정량적으로 계산함으로써, 설계 변경시에 어느 인자를 변경하는 것이 우수함을 판단하는데 도움을 줄 수 있을 뿐만 아니라 그 변화 정도를 어느 정도 하여야 하는지에 대한 지침도 줄 수 있다는 것을 확인하였다. 또한 두 단계로 구분하여 민감도 계산을 수행함으로써, 각 세부 단계에서의 부분 민감도 계산 결과도 제공할 수 있는 장점이 있다. 이를 통하여 동유체력미계수로 표현되는 조종성능에 형상 인자가 미치는 영향을 간접적으로 분석할 수 있다.

후 기

본 논문은 한국해양연구원의 “LSF-II Digital Mock-Up 제작 및 설계자료 DB 구축”과제에서 지원하여 수행되었다.

참 고 문 헌

- 여동진, 이기표, 2005, “수중운동체의 조종성능에 대한 민감도 해석법의 적용,” 대한조선학회 논문집, 제 42 권, 제 5 호, pp. 448-455.
- 여동진, 이기표, 2006, “유전 알고리즘을 이용한 수중운동체 조종성미계수의 민감도 최대화 입력 설계,” 대한조선학회 논문집, 제 43 권, 제 2 호, pp.156-163.
- Burcher, R. and Rydill, L, 1994, Concepts in

Submarine Design, Cambridge University Press pp. 160-169.

- HDW, 2002, Course 14 Manoeuvrability of Submarines, Howaldtswerke-Deutsche Werft AG Report.
- Hwang, W.Y., 1980, Application of System Identification to Ship Maneuvering, Ph. D. Thesis, M.I.T.
- Perrault, D., Bose, N., O’ Young, S., and Williams, C.D., 2003, “Sensitivity of AUV Response to Variations in Hydrodynamic Parameters,” Ocean Engineering, Vol. 30, Issue 6, pp. 779-811.
- Rhee K.P. and Kim, K., 1999, “A New Sea Trial Method for Estimating Hydrodynamic Derivates,” Ship & Ocean Technology, Vol. 3, No. 3, pp. 25-44.
- 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.
- SNAME, 1950, “Nomenclature for Treating the Motion of a Submerged Body Through a Fluid,” The Society of Naval Architecture and Marine Engineers Technical and Research Bulletin, No. 1-5.



< 여 동 진 >



< 윤 현 규 >



< 김 연 규 >



< 이 장 민 >