

海底探查潜水艇의 鉛直平面에서의 方向安定性에 關한 研究

尹 点 東*

A Study about the Pitch Stability of Exploratory Underwater Vehicles

Jeom-Dong Yoon

〈 目 次 〉

Abstract	4. 安定性判別式 및 이의 係數에 대한 檢討
記號說明	Ⅲ. 垂直面에서의 方向安定性에 대한 數值計算
I. 序 論	1. A_i 項의 數值計算
Ⅱ. 理論的인 考察	2. W/Z'_g 값의 範圍에 대한 數值計算
1. 座標의 設定과 垂直方向에 對한 動的인 安定性	3. Z_g 의 값에 따른 限界速力의 計算
2. 運動方程式	Ⅳ. 結 論
3. 動的인 方向安定性에 대한 數式處理	別첨 : 現存하는 여러가지 潜水艇에 關한 資料

Abstract

Nowadays natural resources on shore have been almost exhausted all over the world and mankind is beginning searching for unexploited resources on the bed of deep-sea floor.

In exploring mineral resources and etc. in the ground of sea-bed, a submersible craft is one of the most important tools.

These days, the stage of the techniques of building and operating an exploring submersible craft is almost alike that of building and operating an airplane in the first years of the nineteen-twenties.

At the present time, the problems arising in building and operating a submersible craft can be divided into four parts as follows;

1. How to build a hull that can bear high pressure under deep sea level
2. How to decide the necessary facilities to be put on it
3. How to decide the scope of stabilities and maneuvering characteristics of it
4. On what sea conditions, the devices of launching and recovering it should be designed

* 正會員(會長), 韓國海洋大學

on the mother-ship.

In this paper treating one of the third problems the author made a mathematic formula that can be useful in deciding the scope of dynamic course stability on the vertical plane and actually calculated the onset speed of pitch instability of an exploring craft.

With the above mentioned calculations the author demonstrated that the value of Z_g and the speed of a submerged craft are the most important factors in deciding the scope of dynamic stability on the vertical plane.

記 號 說 明

B : 浮力中心	v : y軸方向의 速度
G : 重心	w : z軸方向의 速度
I_y : 船體質量이 갖는 y軸周圍의 관성모멘트	w' : 無次元化된 w
I'_y : 無次元化된 I_y	\dot{w} : dw'/dt
ℓ : 船體길이	\ddot{w} : 無次元化된 \ddot{w}
m : 船體質量	W : 船體의 무게
m' : 無次元化된 m	W' : 無次元化된 W
m_z : z軸方向의 Virtual mass	Z : z軸方向의 힘
m'_z : 無次元化된 m_z	Z_g : \overline{BG} 의 크기
M : 縱搖모멘트	Z'_g : \overline{BG}/ℓ
M' : 無次元化된 M	Z_q : $\partial z/\partial q$
M'_q : $\partial M'/\partial q'$	Z'_q : 無次元化된 Z_q
$M'_{\dot{q}}$: $\partial M'/\partial \dot{q}'$	$Z_{\dot{q}}$: $\partial z/\partial \dot{q}'$
M'_w : $\partial M'/\partial w'$	$Z'_{\dot{q}}$: 無次元化된 $Z_{\dot{q}}$
$M'_{\dot{w}}$: $\partial M'/\partial \dot{w}'$	Z_w : $\partial z/\partial w$
M'_θ : $\partial M'/\partial \theta$	Z'_{w} : 無次元化된 Z_w
M'_δ : $\partial M'/\partial \delta$	$Z_{\dot{w}}$: $\partial z/\partial \dot{w}$
n_y : y軸周圍의 Virtual mass moment of inertia	Z'_w : 無次元化된 $Z_{\dot{w}}$
n'_y : 無次元化된 n_y	Z_θ : $\partial z/\partial \theta$
q : 縱搖角速度	Z'_θ : 無次元化된 Z_θ
q' : 無次元된 q	Z_δ : $\partial z/\partial \delta$
\dot{q} : dq/dt	Z'_δ : 無次元化된 Z_δ
\dot{q}' : 無次元化된 \dot{q}	θ : 縱搖角
t : 시간	$\dot{\theta}$: $\frac{d\theta}{dt}$
t' : 無次元化된 t	$\ddot{\theta}$: $\frac{d^2\theta}{dt^2}$
u : x軸方向의 速度	δ : 舵角
U : knot單化의 速度	ρ : 물의 密度
	β : $\frac{w}{u}$
	σ : Stability Index

1. 序 論

오늘날 海底探査用 潜水艇의 建造 및 發達段階는 1920年代初의 飛行機의 그것에 比較될 수 있다. 特히 外形과 設備가 基礎的인 理論適用段階를 크게 벗어나지 못하고 있다는 點에서는 더욱 그렇게 말할 수 있다.¹⁾ 現在 潜水艇建造나 運航上의 問題點들을 大別하면 다음의 네 가지로 구별할 수 있다. 즉, 첫째, 깊은 海底에서 큰 水壓을 견디어 낼 수 있는 船體를 建造하는 문제, 둘째, 적절한 設備를 갖추는 문제, 셋째, 어떠한 範圍의 Stability 및 操縱性能을 부여할 것인가 하는 문제, 넷째, 母船에서 이것을 進水하고 回收하는 문제이다.

이 研究에서 筆者가 다루고져 하는 문제는 셋째번의 事項에 관한 것이다.

水表面에 浮上하는 船舶의 Stability 및 操縱性能의 문제가 水平的인 面에 關한 2次元的인 性質의 것이라면, 潜水艇의 그것들은 3次元的인 것이라 볼 수 있다. 왜냐하면 潜水艇은 水平的인 面에 對하여서 뿐만 아니라 垂直的인 面에 對하여서도 Stability 및 操縱性能을 갖어야 하기 때문이다.

이 研究의 目的은 潜水艇이 垂直面에 對하여 갖는 動的인 方向安全性能이 \overline{GB} 의 크기 및 船速과 어떠한 關係를 갖고 있는가를 규명하는데 있다.

1960年 美國海軍의 軍事用 海底探査潜水艇이 깊이 10,848 미터의 마리아나 海溝海底까지 내려가는데 成功한 以來, 最近 20年間 數 많은 各種의 軍事 및 民間商業用海底探査潜水艇이 여러 가지 目的으로 建造되어 오고 있다.



그림 1. Alvin 호의 T호 탐사광경

最近의 가장 有名한 海底探査는 1986年에 實施한 豪華旅客船 Titanic 號에 關한 것이다. 크기 46,300톤의 T號는 1913年 4月에 北大西洋에서 氷山과 衝突하여 3,800미터의 海底에 沈沒되었고 1,490名의 人命을 喪失하였다.

이 探査는 美海軍의 資金後援으로 潜水艇 Alvin 號에 의하여 實施되었고 A號는 T號의 구석구석과 T號가 있는 周邊海域을 빠짐없이 철저히 探査할 수 있었다.

오늘날 이와 비슷한 海底探査는 여러가지 多樣한 目的아래 수없이 行하여지고 있으며 이러한 目的으로 利用되는 探査用潜水艇의 速力은 2~4 knot 程度가 보통인 것으로 보인다.

그러나 潜水艇이 이러한 海底探査中 一定速力以上으로 航走하면 종종 垂直方向의 方向安定性(Course stability in vertical plane)을 喪失하게 되는 것을 經驗하게 되었는데, 이것은 探査中 安全航走이라는 觀點에서 大端히 重要한 問題가 되는 것이다.

이 研究에서 筆者는 垂直平面에서 潜水艇의 方向安定性을 判別하는 數學 Model을 만들었으며 이것을 利用하여 한 探査船舶의 垂直面에서의 方向安定性에 대한 數值計算을 行하였다.

그 結果 \bar{GB} 의 크기와 探査艇의 海底에서의 速力이 方向安定性을 決定하는 要素가 됨을 確實하게 하였고 安全探査를 위한 航走速力의 上限이 있음을 明白하게 表示하였다.

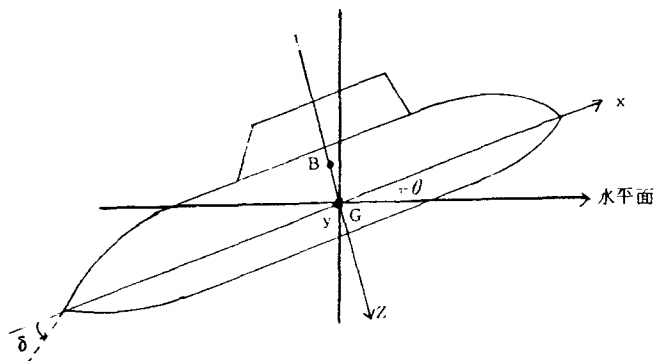
Ⅱ. 理論的인 考察

1. 座標의 設定과 垂直方向에 대한 船體의 動的인 安定性

座標의 原點을 船體의 G點에 取하고 이 G點을 通하여 正船首方向으로 (+) x軸, 右舷正橫方向으로 (+) y軸 및 海底가 있는 船體下方向으로 (+) z軸을 取한다.



(a)



(b)

그림 2. 座標軸의 決定

이렇게 座標를 取하면 縱搖角은 그림 2(b)에서 反時計方向이 (+)記號를 갖게 된다. 즉 xz 面에서는 언제나 反時計方向의 回轉方向이 (+)記號가 된다. 따라서 舵角에 있어서도 海底方向으로 向하는 舵角이 (+)舵角으로 된다. 보통 우리는 水平方向制御를 위한 舵를 Rudder 다 하고 垂直方向制御를 위한 舵를 Elevator 라고 부른다.

그리고 潜水艇이 潜水된 狀態로 水中에 있을 때는 항상 B 點은 G 點의 약간 上方에 있게 된다. 이것은 水表面에 浮上하는 船體의 GM 값에 해당된다.

2. 運動方程式

(1) Pitch equation

$$\begin{aligned} I'_y \dot{q}' &= M'(\dot{w}', w', \dot{q}', q', \theta, \delta) \\ &= M'_{w'} \dot{w}' + M'_{ww'} w' + M'_{q'} \dot{q}' + M'_{qq'} q' + M'_{\theta} \theta + M'_{\delta} \delta \\ (I'_y - M'_{\dot{q}'}) \dot{q}' - M'_{qq'} q' - M'_{\theta} \theta - M'_{w'} \dot{w}' - M'_{ww'} w' &= M'_{\delta} \delta \end{aligned}$$

에서 다음과 같이 배열한다.

$$-M'_{\dot{w}'} \dot{w}' - M'_{ww'} w' + (I'_y - M'_{\dot{q}'}) \dot{q}' - M'_{qq'} q' - M'_{\theta} \theta = M'_{\delta} \delta \dots \dots \dots (1)$$

(2) Heave equation

$$\begin{aligned} m'(\dot{w}' - q') &= Z'(\dot{w}', w', \dot{q}', q', \theta, \delta) \\ &= Z'_{w'} \dot{w}' + Z'_{ww'} w' + Z'_{\dot{q}'} \dot{q}' + Z'_{qq'} q' + Z'_{\theta} \theta + Z'_{\delta} \delta \end{aligned}$$

에서 다음과 같이 배열한다.

$$(m' - Z'_{\dot{w}'}) \dot{w}' - Z'_{ww'} w' - Z'_{\dot{q}'} \dot{q}' - (m' + Z'_{q'}) q' - Z'_{\theta} \theta = Z'_{\delta} \delta \dots \dots \dots (2)$$

3. 動的인 方向安定性에 대한 數式處理

(1)과 (2)式에서 Elevator 角 δ 를 Zero로 두면 다음의 式을 얻는다.

$$\left. \begin{aligned} (m' - Z'_{\dot{w}'}) \dot{w}' - Z'_{ww'} w' - Z'_{\dot{q}'} \dot{q}' - (m' + Z'_{q'}) q' - Z'_{\theta} \theta &= 0 \\ -M'_{\dot{w}'} \dot{w}' - M'_{ww'} w' - (I'_y - M'_{\dot{q}'}) \dot{q}' - M'_{qq'} q' - M'_{\theta} \theta &= 0 \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (3)$$

$$\left. \begin{aligned} a_{11} \dot{w}' + a_{12} w' + a_{13} \dot{q}' + a_{14} q' + a_{15} \theta &= 0 \\ a_{21} \dot{w}' + a_{22} w' + a_{23} \dot{q}' + a_{24} q' + a_{25} \theta &= 0 \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (3-1)$$

단,

$$\begin{aligned} a_{11} &= m' - Z'_{\dot{w}'} = m'_{z'}, & a_{12} &= -Z'_{w'}, & a_{13} &= -Z'_{\dot{q}'} \approx 0 \\ a_{14} &= -(m' + Z'_{q'}), & a_{15} &= -Z'_{\theta} \approx 0 \\ a_{21} &= -M'_{\dot{w}'} \approx 0, & a_{22} &= -M'_{w'}, & a_{23} &= (I'_y - M'_{\dot{q}'}) = n'_y \\ a_{24} &= -M'_{q'}, & a_{25} &= -M'_{\theta} \end{aligned}$$

여기서 우리는 實際의 경우에 대단히 흡사한 다음의 假定을 한다.

$$\left. \begin{aligned} w' &= w'_0 e^{\sigma t'} \\ \theta &= \theta_0 e^{\sigma t'} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4)$$

그러므로 (4)式으로부터 다음을 얻는다.

$$\left. \begin{aligned} \dot{w}' &= \sigma w'_0 e^{\sigma t'} \\ q' &= \sigma \theta_0 e^{\sigma t'} \\ \dot{q}' &= \sigma^2 \theta_0 e^{\sigma t'} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4-1)$$

(4-1)式을 (3-1)式에 代入하면 (5)式을 얻는다.

$$\left. \begin{aligned} (a_{11}\sigma + a_{12})w'_0 e^{\sigma t'} + (a_{13}\sigma^2 + a_{14}\sigma + a_{15})\theta_0 e^{\sigma t'} &= 0 \\ (a_{21}\sigma + a_{22})w'_0 e^{\sigma t'} + (a_{23}\sigma^2 + a_{24}\sigma + a_{25})\theta_0 e^{\sigma t'} &= 0 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (5)$$

$$\left. \begin{aligned} (a_{11}\sigma + a_{12})w' + (a_{13}\sigma^2 + a_{14}\sigma + a_{15})\theta &= 0 \\ (a_{21}\sigma + a_{22})w' + (a_{23}\sigma^2 + a_{24}\sigma + a_{25})\theta &= 0 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (5-1)$$

式(5-1)에서 w' 와 θ 에 대한 解는 微係數들로 이루어지는 다음의 行列式이 Zero 가 될 때 얻어진다.

$$\Delta = \begin{vmatrix} (a_{11}\sigma + a_{12})(a_{13}\sigma^2 + a_{14}\sigma + a_{15}) \\ (a_{21}\sigma + a_{22})(a_{23}\sigma^2 + a_{24}\sigma + a_{25}) \end{vmatrix} = 0 \dots\dots\dots (6)$$

$$\Delta = A_3\sigma^3 + A_2\sigma^2 + A_1\sigma + A_0 = 0 \dots\dots\dots (6-1)$$

단,

$$A_3 = \begin{vmatrix} a_{11}a_{13} \\ a_{21}a_{23} \end{vmatrix} = a_{11}a_{13} - a_{14}a_{21} = a_{11}a_{23}$$

$$A_2 = \begin{vmatrix} a_{11}a_{14} \\ a_{21}a_{24} \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} a_{12}a_{13} \\ a_{22}a_{23} \end{vmatrix} = a_{11}a_{24} - a_{14}a_{21} + a_{12}a_{23} - a_{13}a_{22} \\ = a_{11}a_{24} + a_{12}a_{23}$$

$$A_1 = \begin{vmatrix} a_{11}a_{15} \\ a_{21}a_{25} \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} a_{12}a_{14} \\ a_{22}a_{24} \end{vmatrix} = a_{11}a_{25} - a_{15}a_{21} + a_{12}a_{24} - a_{14}a_{22} \\ = a_{11}a_{25} + a_{12}a_{24} - a_{14}a_{22}$$

$$A_0 = \begin{vmatrix} a_{12}a_{15} \\ a_{22}a_{25} \end{vmatrix} = a_{12}a_{25} - a_{15}a_{22} = a_{12}a_{25}$$

安定性判定値로서 σ 가 方程式에서 3 제곱으로 나타나는 것은 潜水艇에서는 水表面에 浮上하는 船艙에서 볼 수 없는 Pitch angle 이 運動方程式에 加하여지기 때문이다.

4. 安定性判別式 및 이의 係數에 대한 檢討

式(6-1)을 滿足시키는 Routh-Harwitz's criteria 는 다음과 같다.

$$\left. \begin{array}{l} A_i > 0 \\ A_2 A_1 - A_3 A_0 > 0 \end{array} \right\} \dots\dots\dots (7)$$

(1) 係數 A_i 에 대한 檢討

① 係數 A_3

$$A_3 = m'_z n'_y$$

z 軸方向에 대한 船舶의 Virtual mass 및 y 軸에 대한 Virtual mass moment of inertia 로 이루어지므로 A_3 의 부호는 항상 正이다. 즉, $A_3 > 0$ 는 항상 成立한다.

② 係數 A_2

$$A_2 = m'_z (-M'_q) + (-Z'_w) n'_y$$

m'_z 는 항상 正이고 Pitching 角速度가 유발하는 모멘트는 그 自體가 負의 부호를 가지므로 $(-M'_q)$ 는 正의 부호이다. z 軸方向의 移動速度가 일으키는 流體力은 그 自體가 負의 부호를 가지므로 $(-Z'_w)$ 는 正의 부호이고, n'_y 또한 正의 부호이다.

그러므로 $A_2 > 0$ 는 항상 成立한다.

③ 係數 A_1

$$\begin{aligned} A_1 &= m'_z (-M'_\theta) + (-Z'_w) (-M'_q) - [(m' + Z'_q) (-M'_w)] \\ &= -m'_z M'_\theta + Z'_w M'_q - (m' + Z'_q) M'_w \end{aligned}$$

m'_z 는 항상 正이다. M'_θ 는 潜水艇이 θ 角度로 縱傾斜할 때 생기는 모멘트係數이므로 $M'_\theta \theta = -W' Z'_g \theta$ 로 表示된다.

여기서 $Z'_g = Z_g / \ell$, $W' = W / \frac{1}{2} \rho A u^2$ 이고 $A = B \ell$ 이다.

그러므로 $(-m'_z M'_\theta)$ 의 부호는 항상 正이다.

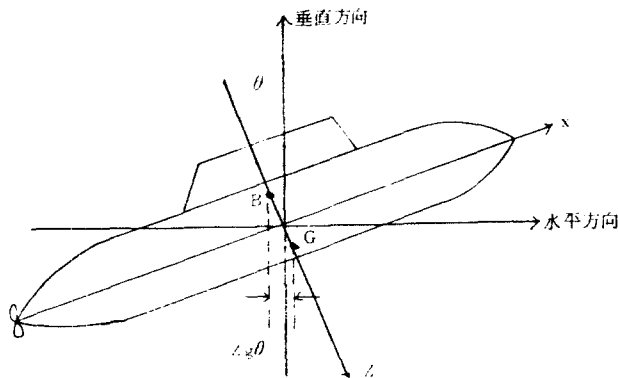


그림 3. $Z_g = \overline{BG}$ 의 역할

Z'_w 및 M'_q 는 모두 그 自體가 負의 부호를 갖고 있으므로 $(Z'_w M'_q)$ 의 부호는 항상 正이다.

M'_w 는 항상 正의 부호를 갖게 되므로 $[(m' + Z'_q) M'_w]$ 항은 항상 負의 부호를 갖는다.

Z'_q 의 부호는 潜水艇體의 形狀에 따라서 決定되는데 G 點 前方에서 생기는 動力學的인 힘의

G點 後方의 그것보다 클 때 이 係數의 부호는 正이 되며 反對인 경우는 負가 된다. 이 係數가 正의 부호를 갖일 때 $[-(m'+Z'_q)M'_w]$ 項은 負의 큰 값을 갖게 되므로 A_1 項은 대단히 적은 正의 값이 되거나 경우에 따라서는 A_1 項 全體의 값이 負로 될 수 있고, 이러한 경우는 船體가 垂直方向에서 方向安定性을 상실하게 된다. 이러한 경우에 船體에 垂直方向의 方向安定性을 부여 하기 위하여는 큰 面積의 Elevator를 달아야 한다.

또한 前進速力이 큰 範圍에서는 M'_w 項이 비교적 커질 수 있고, 이것이 또한 船體의 方向不安定을 갖어 올 수 있다.

④ 係數 A_0

$$A_0 = (-Z'_w)(-M'_\theta) = Z'_w M'_\theta$$

Z'_w 및 M'_θ 는 前述한 바와 같이 그 自體가 負의 부호를 갖고 있으므로 $A_0 > 0$ 는 항상 成立한다.

(2) 判別式 $A_2 A_1 - A_3 A_0 > 0$ 에 대한 檢討

$A_2 A_1 - A_3 A_0 > 0$ 은 다음과 같다.

$$[|m'_z M'_q| + |Z'_w n'_y|][|m'_z M'_\theta| + |Z'_w M'_q| - |(m'+Z'_q)M'_w|] - (m'_z n'_y)[|Z'_w M'_\theta|] > 0 \dots\dots\dots(7-1)$$

A_3, A_2 및 A_0 項은 前述한 바와 같이 언제나 正의 부호이다. A_1 項은 項全體가 負의 값이 될 수도 있고, 正의 값이 되더라도 대단히 적은 값이 될 수 있다.

A_1 이 負의 부호를 갖일 때는 $A_2 A_1 - A_3 A_0 > 0$ 은 절대로 成立될 수 없고 따라서 船體는 動的으로 垂直方向에서 不安定하게 된다. 또 다른 경우는 A_1 의 값이 비록 正의 부호를 갖는다 하더라도 그 값이 극히 적으므로 $A_2 A_1 - A_3 A_0 > 0$ 이 成立될 수 없고 船體는 動的으로 垂直方向에서 不安定하게 된다.

따라서 船體의 垂直方向에서의 動的인 安定·不安定은 A_1 項의 값에 따라 決定되는 것이다.

Ⅱ. 垂直面에서의 方向安定性에 대한 數值計算

式(7-1)에서 檢討한 바와 같이 潛水艇이 어느 一定한 速力以上으로 航走하게 되면 M'_w 의 값이 대단히 크게 되어 垂直方向針路가 不安定하게 되고 船首가 上下로 振動 Curve를 그리면서 進行하게 된다. 이러한 現象은 潛水艇의 安全運航을 위태롭게 만드는 것으로 이러한 速力을 Onset speed of pitch instability라고 한다.

이러한 限界速力은 潛水艇이 갖는 Z_g 의 값과 큰 關係가 있다. 이러한 關係를 明白히 나타내기 위하여 質量, 慣性모멘트, 기타 치수 및 微係數들에 대한 無次元化값이 표1의 數值들을 갖는 潛水艇에 대하여 Onset speed of pitch instability에 대한 數值計算을 하고 그것을 그림 4로 表示한다.

표 1

$W=26,000$ lbs	$Z'_w = -1.3$	$M'_w = 0$	$m' = 1.3$
$A=30$ ft ²	$Z'_u = -1.2$	$M'_u = 1.0$	$I'_v = 0.06$
$l=24$ ft	$Z'_q = 0$	$M'_q = -0.06$	$\rho = 1.9905$
$Z_g = 1/2.86$ ft	$Z'_g = -0.055$	$M'_g = -0.22$	(slug)

1. A_i 項의 數值計算

$$A_0 = (m' - Z'_w)(I'_y - M'_q) = (1.3 + 1.3)(0.06 + 0.06) = 0.312 > 0$$

$$A_1 = (m' - Z'_w)(-M'_q) + (I'_y - M'_q)(-Z'_u) = (1.3 + 1.3)(0.22) + (0.06 + 0.06)(1.2) = 0.572 + 0.144 = 0.716 > 0$$

$$A_2 = (m' - Z'_w)(-M'_g) + Z'_u M'_q - (m' + Z'_q)M'_w = (1.3 + 1.3)W'Z'_g + (-1.2)(-0.22) - (1.3 - 0.055)(1.0) = 2.6W'Z'_g + 0.264 - 1.245 = 2.6W'Z'_g - 0.981 > 0$$

$$A_3 = Z'_w M'_g = (-1.2)(-W'Z'_g) = 1.2W'Z'_g > 0$$

2. $W'Z'_g$ 값의 範圍에 對한 數值計算

$A_1 = 2.6W'Z'_g - 0.981 > 0$ 로부터
 $W'Z'_g > 0.3773$ (8)

의 式을 얻는다.

$$A_2 A_1 - A_3 A_0 = 0.716(2.6W'Z'_g - 0.981) - 0.312(1.2W'Z'_g) = 1.8616W'Z'_g - 0.7024 - 0.3744W'Z'_g = 1.4872W'Z'_g - 0.7024 > 0$$

$$W'Z'_g > 0.4723$$
(9)

따라서 $W'Z'_g$ 의 값은 (9)式을 滿足시키는 값이 되어야 한다.

3. Z_g 의 값에 따른 限界速力의 計算

$$W' = W / \frac{\rho}{2} Au^2 = 26000 / (0.5)(1.9905)(30)u^2 = 870.8 / u^2$$

$$W'Z'_g = (870.8 / u^2)Z_g / 24 = 36.283Z_g / u^2$$

또한 u 를 knot 單位의 速力 U 로 바꾸면

$$1 \text{ knot} = (1852 / 0.305) / 3600 = 1.6867 \text{ ft/sec 이므로}$$

$$W'Z'_g = 36.283 Z_g / (1.6867 U)^2 = 12.7534 Z_g / U^2$$

그러므로 (9)式으로부터 $12.7534Z_g/U^3 > 0.4723$ 을 얻고 다음의 式을 얻는다.

$$U^2 < 27.00Z_g \dots\dots\dots(10)$$

표 2

Z_g	(ft)	0	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40
	(cm)	0	1.53	3.05	4.58	6.10	7.63	9.15	10.68	12.20
U	(knot)	0	1.16	1.64	2.00	2.32	2.60	2.85	3.07	3.29
	(m/sec)	0	0.60	0.84	1.03	1.19	1.34	1.46	1.58	1.69

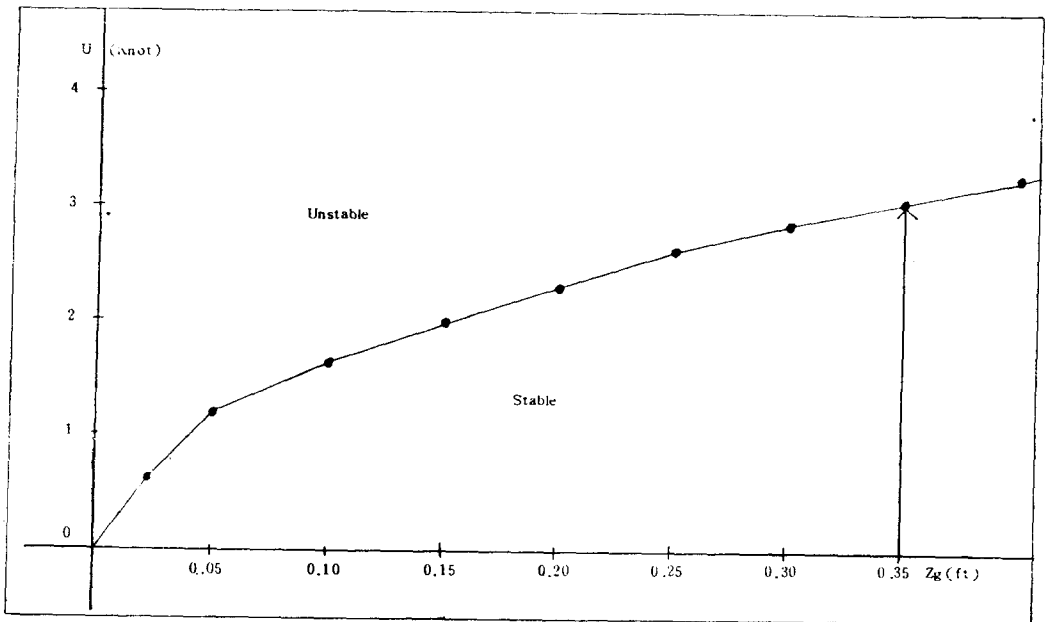


그림 4. Z_g 에 따른 速度限界

IV. 結 論

以上과 같이 海底探查를 目的으로 하는 潜水艇의 垂直面(xz plane)에서의 動的인 方向安定性에 關하여 研究檢討한 結果 다음과 같은 結論을 얻었다.

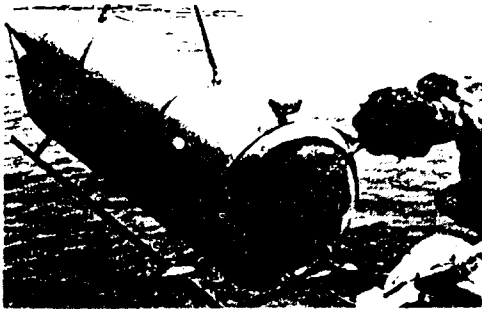
1. 方向安定의 條件인 $A_1 > 0$ 에서 A_2, A_3 및 A_4 는 항상 正의 부호를 갖기므로 安定의 條件은 A_1 의 값에 따라서 決定된다.
2. Z_g 의 값이 正의 부호를 갖게 되거나 M_w 의 값이 크면 A_1 의 값은 아주 적은 값이 되거나 負의 값이 되어 潜水艇은 垂直面에서 方向이 不安定하게 된다.
3. Z_g 값의 크기는 垂直面에서의 方向安定性을 決定하는데 대단히 重要한 要件이 되고 限界

速力은 Z_g 의 값에 따라서 決定된다.

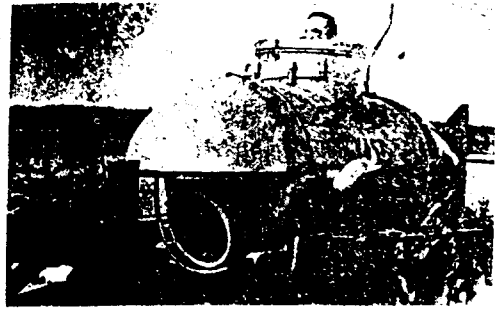
參 考 文 獻

1. William Watson : "The Design, Construction, Testing and Operation of a Deep-Diving Submersible for Ocean Floor Exploration", SNAME Transaction Vol. 79(1971), pp. 405~439.
2. J. D. Yoon : "Inherent Steering Characteristics Coming from the Configuration of a Vessel", 韓國航海學會誌 第 8 卷(1984. 12), pp. 71~80.
3. Cover Story : "Down into the Deep", Tirme No. 32(1986. August 11), pp. 42~48.
4. B. R. Clayton : "Mechanics of Marine Vehicles" Gulf Publishing Company, London(1981. 5), pp. 421~431.
5. K. J. Rawson : "Basic Ship Theory Vol. 2" Longman, London(1977), pp. 511~515.
6. Thomas C & Bruce Johnson : "Introduction to Naval Architecture", Naval Institute Press, Anapolis U. S. A. (1984), pp. 286~288.
7. R. C. Dehart : "Handbook of Ocean and Underwater Engineering" Mcgraw-Hill Book Company, New York(1970), pp. 9-64~9-82.
8. 藤野正隆 : "船體と海洋構造物の運動學", 成山堂, 東京(1982), pp. 235~239.

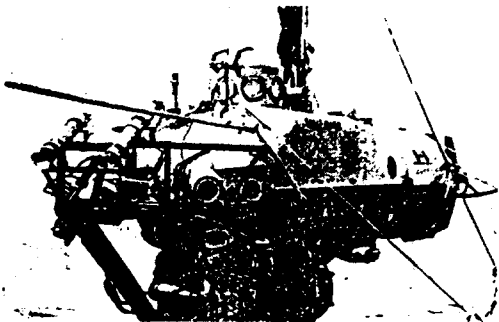
별첨 : 現存하는 여러 가지의 潛水艇에 關한 資料



(1) *Doppingen*: crew=1; max depth=250 ft; length=10 ft; battery powered—endurance 2 hr at 4 kt, 7 hr at 2 kt.



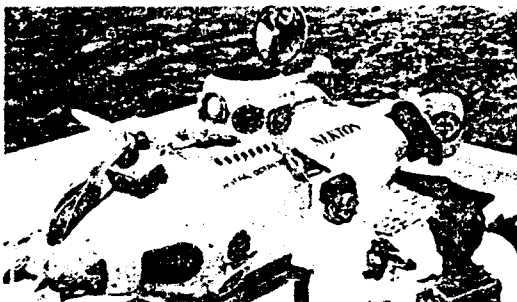
(2) *Vast*: crew=1; max depth=250 ft; length=10.5 ft; battery powered—endurance 8 hr at 3 kt.



(3) *Sbelf Diver*: crew=4; max depth=800 ft; length=23 ft; battery powered—endurance 1 hr at 3 kt, 12 hr at 1 kt.



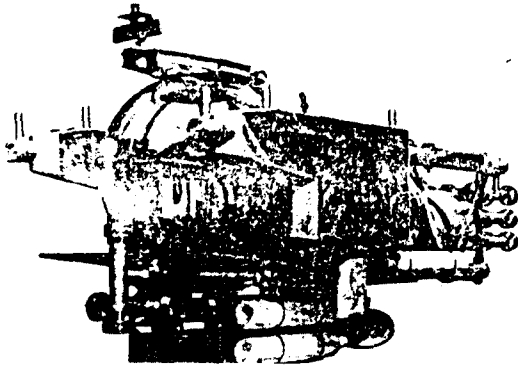
(4) *Guppy*: crew=2; max depth=1000 ft; length=11 ft; surface generator powered—unlimited endurance at 1 to 3 kt.



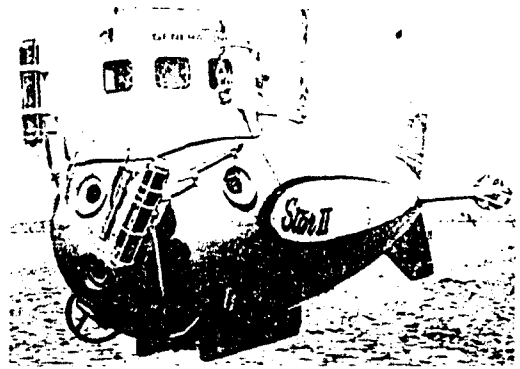
(5) *Nekton*: crew=2; max depth=1000 ft; length=15 ft; battery powered—endurance 5 hr at 2 kt.



(6) *SURV*: crew=2; max depth=1000 ft; length=12 ft; battery powered—endurance 36 hr at 2.5 kt.



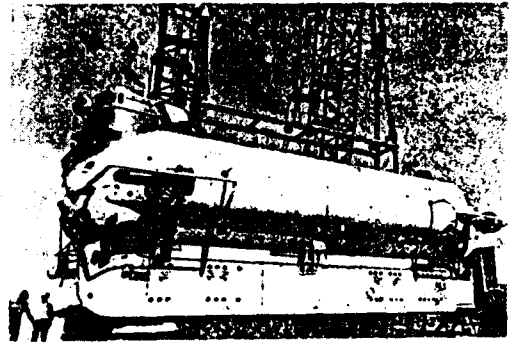
(7) *Johnson Sea Link*: crew=5; max depth=1000 ft; length=23 ft; battery powered—endurance 48 hr at 4 kt max.



(8) *Star II*: crew=2; max depth=1200 ft; length=17.7 ft; battery powered—endurance 2 hr at 3 kt, 10 hr at 1 kt.



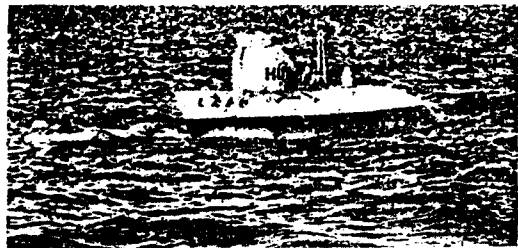
(9) *Deepstar 2000*: crew=3; max depth=2000 ft; length=20 ft; battery powered; speed 1–3 kt.



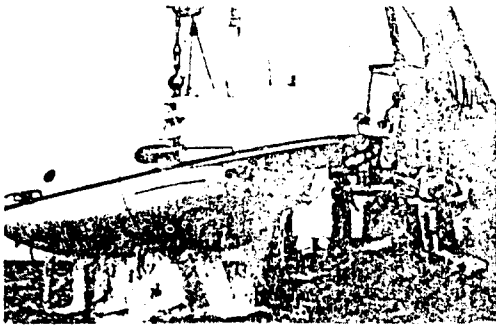
(10) *Ben Franklin*: crew=6; max depth=2000 ft; length=48.8 ft; battery powered; speed 1–4 kt.



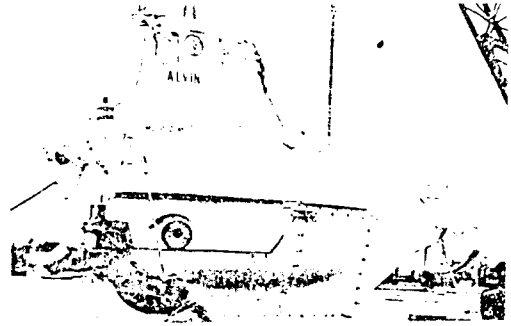
(11) *Beaver Mk. IV*: crew=2; max depth=2000 ft; length=25 ft; battery powered—endurance 2.5 hr at 5 kt, 12 hr at 2.5 kt.



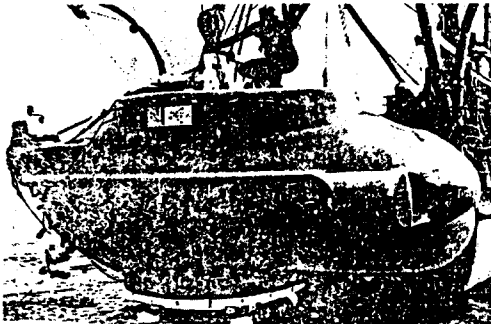
(12) *Shinkai*: crew=4; max depth=2000 ft; length=54.2 ft; battery powered—endurance 4 hr at 2.5 kt, 10 hr at 1.5 kt.



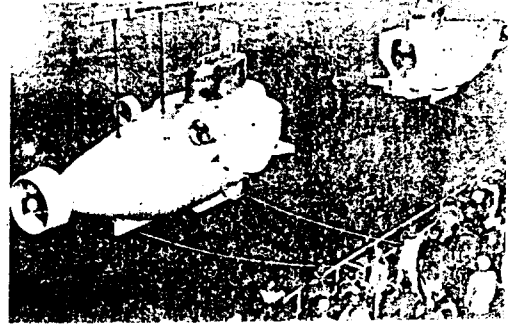
(13) *Deepstar 4000*: crew=3; max depth=4000 ft; length=18 ft; battery powered—endurance 6 hr at 3 kt, 12 hr at 1 kt.



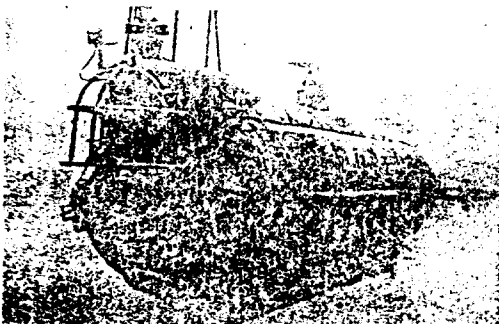
(14) *Alvin*: crew=3; max depth=6000 ft; length=23 ft; battery powered—endurance 8 hr at 1.5 kt.



(15) *Dowb*: crew=3; max depth=6500 ft; length=17 ft; battery powered—endurance 10 hr at 2 k.



(16) *Autec I and Turtle*: crew=3; max depth=6500 ft; length=26 ft; battery powered—endurance 8 hr at 1 kt; max speed=2.5 kt.



(17) *Aluminaut*: crew=3-4; max depth=15,000 ft; length=51 ft; battery powered—endurance 32 hr at 3 kt.



(18) *Arcbimede*: crew=3; max depth=36,000 ft; length=69 ft; battery powered; speed 0.5-2.5 kt.