

垂直平面에서 潛水艦의 深度變化率에 影響을 주는 諸 要素에 關한 研究

尹 点 東* · 金 宗 勳** · 尹 鍾 輝***

A Study on the Factors that Affect the Submarine's Depth-rate
on the Vertical Plane

Jeom-Dong, Yoon · Jong-Hoon, Kim · Jong-Hooi, Yoon

..... 目 次

Abstract

Nomenclature

1. 序 論

2. 理 論

가. 座標係의 選定

나. 數式理論

(1) 運動方程式

(2) 一定한 Hydroplane角에서의

垂直旋回角速度

(3) 深度變化率과 Critical speed

다. 數值計算

라. 結果 및 檢討

3. 結 論

參考文獻

附 錄

Abstract

The submarine played an active part in military operations during the last of nineteenth century. Today, as an aid to science and technology, the submarine is being utilized in the fields of deep sea investigation and sight-seeing as well as military activities.

When the stability and the maneuverability of a submarine is studied, the problems arise

* 정회원 : 한국해양대학 교수

**정회원 : 한국해양대학 대학원 항해학과

***정회원 : 한국해양대학 교수

on the vertical plane as well as the horizontal plane. However, the horizontal plane has been dealt with in the study of surface vessels.

The author attempts to look into the hydrodynamic directional stability at high speeds (above 10 knots) on the vertical plane, and to clarify the submarine's depth-rate as related to the factors that affect it; the distance from the center of buoyancy to the center of gravity, the speed of the submarine, and the position and the area ratio of hydroplane.

In this study, the author considered the two groups of dimensionless derivatives of submarines.

It is confirmed that the depth-rate of a submarine is decreased when the length of \overline{BG} is increased under the continuous submerging status. But the depth-rate is increased when the area ratio of hydroplane is enlarged.

It is also confirmed that a submarine has only one critical speed in accordance with the shape of its hull, but unconcerned with its speeds.

Nomenclature	
B :	Center of buoyancy
\overline{BG} :	Distance from center of buoyancy and center of gravity
G :	Center of gravity
g :	Gravity acceleration
I_y :	Mass moment of inertia of submarine about y-axis
I'_y :	Non-dimensional $I_y [I_y / (1/2 \rho' L^3)]$
M :	Total moment acting on submarine about y-axis
M_w :	Partial derivative of M with re- spect to $w [\partial M / \partial w]$
M_w' :	Non-dimensional $M_w [M_w / (1/2 \rho L^4 V)]$
$M_{\dot{w}}$:	Partial derivative of M with re- spect to $\dot{w} [\partial M / \partial \dot{w}]$
$M_{\ddot{w}}'$:	Non-dimensional $M_{\dot{w}} [M_{\dot{w}} / (1/2 \rho L^4)]$
M_{δ_H} :	Partial derivative of M with re- spect to $\delta_H [\partial M / \partial \delta_H]$
M_{δ_H}' :	Non-dimensional $M_{\delta_H} [M_{\delta_H} / (1/2 \rho L^4 V^2)]$
M_θ :	Partial derivative of M with re- spect to $\theta [\partial M / \partial \theta]$
M_θ' :	Non-dimensional $M_\theta [M_\theta / (1/2 \rho L^4 V)]$
m :	Mass of submarine
m' :	Non-dimensional mass of submarine [$m / (1/2 \rho' L^3)$]
t :	Time
u :	Component of submarine's speed along x-axis [dx/dt]
\dot{u} :	Component of submarine's acceleration along x-axis [d^2x/dt^2]
V :	Speed of submarine
V_c :	Critical speed of submarine
w :	Component of submarine's speed along z-axis [dz/dt]
\dot{w} :	Component of submarine's acceleration along z-axis [d^2z/dt^2]
X :	Surge force
\overline{x}_H :	Distance from C.G. to after hydroplane
Z :	Heave force
Z_w :	Partial derivative of Z with re- spect to $w [\partial Z / \partial w]$
Z_w' :	Non-dimensional $Z_w [Z_w / (1/2 \rho L^4 V)]$
Z_{δ_H} :	Partial derivative of Z with re-

spect to	
$Z_{\theta H}$:	Non-dimensional $[Z_{\theta H}/(1/2\rho L^3 V^2)]$
Z_θ :	Partial derivative of Z with respect to $\theta [\partial Z / \partial \theta]$
Z_θ' :	Non-dimensional $Z_\theta [Z_\theta / (1/2 \rho L^3 V)]$
Z_θ'' :	Partial derivative of Z with respect to $\theta^2 [\partial^2 Z / \partial \theta^2]$
Z_θ''' :	Non-dimensional $Z_\theta'' [Z_\theta'' / (1/2 \rho L^4)]$
δ_H :	Angle of hydroplane
$\bar{\eta}$:	Distance of neutral point from C. G. $[-M_w/Z_w]$
θ :	Pitch angle
$\dot{\theta}$:	Angular velocity of submarine about y-axis $[d\theta/dt]$
$\ddot{\theta}$:	Angular acceleration of submarine about y-axis $[d^2\theta/dt^2]$
ρ :	Density of gravity $[kg \cdot sec^{-2} / m^3]$
ρ' :	Density of sea water $[kg/m^3]$

1. 序 論

潛水艦이 軍事的 目的을 가지고 처음으로 活動을 始作한 것은 19世紀末로서, 當時의 形態는 半潛水式水上艦艇과 비슷하였다. 科學技術의 發達은 이 部門에 많은 發展을 가져와 오늘날은 軍事活動을 위한 潛水艦은 물론 探查 및 調査, 觀光등의 分野에서도 潛水艦(艇)이 使用되고 있다.

現代兵器의 發達은 또한 潛水艦에 核推進裝置를 適用시켜서 潛航時間은 상당히 向上시켰으며, 이에 따라 作戰上의 隱密性을 要하는 潛水艦의 活動目的을 充分히 發揮할 수 있도록 하였다.¹⁾

水上艦의 安全性 및 操縱性의 問題가 水平面(Horizontal plane)에 對한 2次元的인 것이라면, 潛水艦의 安全性 및 操縱性의 問題는 水平面에 對해서 뿐만 아니라, 垂直平

面(Vertical plane)에 對해서도 問題가 대두된다. 이와 같은 垂直平面上에서의 方向安定性(Directional stability)을 갖고 있지 않은 潛水艦은 자유로운 浮上과 潛航이 쉽지 않을 것이고, 또한 水中音響學的으로 音影區域(Shadow zone)을 提供하여 水上艦艇으로 부터 探知되지 않을 可能性을 높게 하여주는 深度인 層深度(Layer depth)를 維持할 수도 없을 것이다.

本 論文의 目的是 潛水艦이 垂直平面에 대해서 갖는 高速方向安定性을 알아 보고, BG의 크기, 潛水艦의 速力, Hydroplane面積比 및 位置 등이 深度變化率과 어떠한 關係를 갖고 있는가 하는 것을 紹明하는 데 있다.

軍事的 戰略機密上 際限된 資料때문에, 潛水艦에 關한 研究는 國內에서 그다지 활발하지 않은 듯 하다. 潛水艦의 方向安定性을 水上艦의 그것과 比較하여 볼 때 다음의 몇 가지 差異點을 가지고 있다.²⁾

(a) 水中에서의 潛水艦은 重心(G)보다 浮心(B)이 위에 있기 때문에 陽의 靜的 安定性을 갖고 있다.

(b) 水中에서 垂直移動時 潛水艦길이의 2倍~3倍程度의 深度制限을 받는다.

(c) 垂直方向으로의 移動은 潛水艦을 不安定한 狀態로 만든다.

(d) 潛水艦은 機載된 彈藥, 燃料油, 補給品 등의 消耗로 인하여 重力과 浮力사이의 正確한 平衡狀態를 유지하기가 매우 어렵다.

위에 例를 든 差異點들 중에서 (a), (b)를 考慮하면, (c)과 (d)는 Hydroplane (Control Surface)을 利用하여 潛水艦에 對해作用하는 上·下方向의 힘과 Moment를 賦與하므로써 쉽게 處理할 수 있다.

一般的으로 水上艦은 方向制御를 위해 Rudder를 使用하지만 潛水艦은 Hydroplane

을 前·後部에 設置하여 深度調節을 하게 된다. 前部Hydroplane은 潛水艦의 両側中 心附近에 설치되며, 後部Hydroplane은 推 進器後方에 設置된다.³⁾ 따라서 潛水艦의 操 縱은 주로 後部Hydroplane을 利用하여 이 루어 진다고 생각할 수 있다.

潛水艦操縱上의 特殊한 用語로서 Level trim과 Critical speed를 들 수 있다.

前者는 潛水艦의 船體外部에 設置된 Hydroplane들을 使用하지 않고도 機關만을 使用하여 水平面과 平行되게 前進할 수 있는 狀態로, 水上艦에 對해서 말하는 Trim condition의 概念과는 다르며, 따라서 Level trim 狀態의 潛水艦은 어떤 姿勢角을 갖게 된다. 또한, 後者는 潛水艦의 Hydroplane使用과 無關하게 深度變化 調節의 이루어지는 臨界速力이라고 할 수 있다.

本論文에서는 두가지 種類의 潛水艦無 次元微係數(Dimensionless derivative)를 想定하여 이들의 方向安定性과 深度變化率을 高速(10knots 以上)에서 考察하였고, 모든 數值計算은 電算處理하였다.

그 結果로 安定性을 判別할 수 있었으며, \bar{BG} 의 크기와 Hydroplane의 位置에 따른 深度變化率을 알아 볼 수 있었고, Critical speed는 潛水艦의 形態에 따라 固有한 値을 갖는다는 것을 알았다.

2. 理 論

가. 座標係의 選定

Fig. 1 과 같이, 潛水艦은 空間座標係내에서 運動한다고 假定하고, 潛水艦船體中心에 對해 移動座標係의 原點(o)을 잡는다. 潛水艦의 正船首方向을 (+)x軸, 右舷正橫方向을 (+)y軸으로 하고, o-xy平面에 垂直이면서 o點을 지나 아래方向으로 (+)z軸을 設

定한다. 또한, Hydroplane使用角(δ_H)은 縱搖角(Pitch angle; θ)과 같이 反時計方向을 (+)方向으로 생각한다. 即, o-xz平面에 對해 反時計方向의 回轉方向이 (+)가 된다.

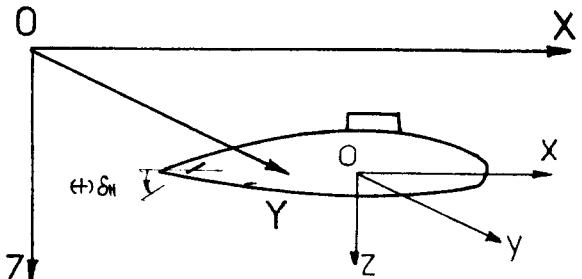


Fig. 1. Coordinate system

나. 數式理論

(1) 運動方程式

基本의 運動方程式은 아래와 같다.⁴⁾

$$\begin{aligned} m(\dot{u} + w\dot{\theta}) &= X \\ m(\dot{w} - u\dot{\theta}) &= Z \\ I_y\ddot{\theta} &= M \end{aligned} \quad (2.1)$$

여기서 부터 Heave 및 Pitch運動方程式을 구할 수 있다. 즉,

$$\begin{aligned} Z &= Z(\dot{\theta}, \theta, \dot{\theta}, \dot{w}, w, \delta_H) \\ &= Z_\theta\ddot{\theta} + Z_\theta\dot{\theta} + Z_\theta\theta + Z_w\dot{w} + Z_{wH}\delta_H \\ &= m(\dot{w} - u\dot{\theta}) \quad (2.2) \\ M &= M(\dot{\theta}, \theta, \dot{\theta}, \dot{w}, w, \delta_H) \\ &= M_\theta\ddot{\theta} + M_\theta\dot{\theta} + M_\theta\theta + M_w\dot{w} + M_ww + M_{wH}\delta_H \\ &= M_\theta\ddot{\theta} + M_\theta\dot{\theta} - mg\bar{BG}\theta + M_w\dot{w} \\ &\quad + M_ww + M_{wH}\delta_H \\ &= I_y\ddot{\theta} \quad (2.3) \end{aligned}$$

가 되고 θ 가 적을 때 $Z_\theta\ddot{\theta}$, $Z_\theta\dot{\theta}$ 그리고 $M_w\dot{w}$ 는 거의 0에 가까우므로 위式을 다시 整理하면 다음과 같다.

$$(m - Z_w)\dot{w} = Z_\theta\dot{\theta} + mu\dot{\theta} + Z_ww + Z_{wH}\delta_H \quad (2.2a)$$

$$(I_y - M_\theta)\ddot{\theta} = M_\theta\dot{\theta} - mg\bar{BG}\theta + M_w\dot{w} + M_{wH}\delta_H \quad (2.3a)$$

그런데, 正常狀態(Steady state)에서는

$$Z_\theta \dot{\theta} + mu\dot{\theta} + Z_w w + Z_{\delta H} \delta_H = 0 \quad \dots\dots\dots (2.2b)$$

$$M_\theta \ddot{\theta} - mg\bar{B}\bar{G}\theta + M_w w + M_{\delta H} \delta_H = 0 \quad \dots\dots\dots (2.3b)$$

가 成立되고, 위의 式(2.2b)와 式(2.3b)에서 z 方向의 速度(w)項을 소거하여 θ' 에 對해 쓰면.

$$\theta' = \frac{(M_{\delta H} Z_w - M_w Z_{\delta H}) \delta_H - mg BG Z_w \theta}{M_w (Z_\theta + mu) - Z_w M_\theta} \quad \dots\dots\dots (2.4)$$

이다. 潛水艦의 速力이 10knots 以上에서는 流體靜力學의 힘보다 流體動力學의 힘이 優勢하므로⁵⁾ 위式(2.4)에서 流體靜力學의 結果인 $mg BG\theta$ 項은 無視해도 된다. 따라서, 潛水艦이 10knots 以上의 速力으로 定常旋回時에는 다음式이 成立한다.

$$\frac{\theta}{\delta_H} = \frac{M_w Z_{\delta H} - M_{\delta H} Z_w}{M_\theta Z_w - M_w (Z_\theta + mu)} \quad \dots\dots\dots (2.5)$$

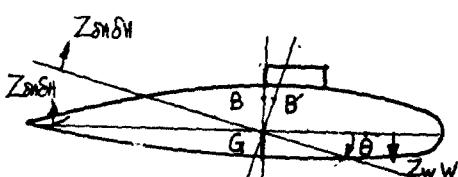


Fig. 2. Forces on Submarine

여기서' 微係數들의 附號를 살펴보면

$$M_w = (+), Z_w = (-)$$

$$M_{\delta H} = (-), Z_{\delta H} = (-) \quad \dots\dots\dots (2.5a)$$

이므로 Hydroplane角, δ_H 를 주었을 때 潛水艦이 高速(10knots以上)에서 方向安定性을 갖기 위한 條件은

$$M_\theta Z_w - M_w (Z_\theta + mu) > 0 \quad \dots\dots\dots (2.6)$$

이다. 결국, 式(2.6)은 高速에서 潛水艦에 對한 方向安定性의 判別式이다.

(2) 一定한 Hydroplane 角에서의 垂直旋回角速度

式(2.3a)는

$$(I_y - M_\theta) \dot{\theta} = (I_y + i_y) \dot{\theta} = M \cdot \delta_H - N \cdot \\ \theta - mg \bar{B} \bar{G} \theta \quad \dots\dots\dots (2.7)$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{단, } M \cdot \delta_H = M_{\delta H} \delta_H + M_w w \\ N \cdot \theta = -M_\theta \theta \end{array} \right\}$$

로 쓸 수 있다. 또한, 위式을 整理하면 아래와 같이 表現할 수 있다.

$$T \cdot \dot{\theta} + \theta + C \cdot \theta = K \cdot \delta_H \quad \dots\dots\dots (2.7a)$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{단, } T = \frac{I_y + i_y}{N} \\ C = \frac{mg \bar{B} \bar{G}}{N} \\ K = \frac{M}{N} \end{array} \right\}$$

이를 Laplace變換하여^{5j} θ 에 對하여 풀면 다음式과 같이 展開시킬 수 있다.

$$\theta(t) = \frac{K \delta_H}{C} \cdot \left\{ 1 - \frac{1}{A} \cdot e^{-\frac{t}{2T}} \left(\frac{1}{2T} \cdot \sin At + A \cdot \cos At \right) \right\} \quad \dots\dots\dots (2.8)$$

$$\left[\text{단, } A = \sqrt{\frac{C}{T} - \frac{1}{4T^2}} \right]$$

$$\therefore \theta(t) = \frac{K \delta_H}{C} = \frac{M_{\delta H} \delta_H + M_w w}{w g B G} = \theta_o \quad \dots\dots\dots (2.8a)$$

$$\therefore \lim_{t \rightarrow \infty} \theta(t) = 0 \quad \dots\dots\dots (2.8b)$$

이다. 그런데 여기서 式(2.3b)를 時間(t)에 對해 微分하면

$$M_\theta \ddot{\theta} - mg \bar{B} \bar{G} \dot{\theta} + M_w \dot{w} + M_{\delta H} \dot{\delta}_H = 0$$

$$\dots\dots\dots (2.3c)$$

이 되는데, 定常旋回時에는 $\dot{w} = \dot{\theta} = \dot{\delta}_H = 0$ 이므로 $\bar{B} \bar{G} \neq 0$ 이면, 반드시 $\theta = 0$ 을 滿足시켜야 한다. 따라서 定常旋回時 式(2.2b)는 다음과 같이 쓸 수 있다.

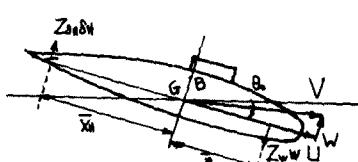


Fig. 3. Neutral point

$$Z_w w + Z_{\delta H} \delta_H = 0$$

$$\therefore w = -\frac{Z_{\delta H}}{Z_w} \delta_H \quad \dots \dots \dots \quad (2.2c)$$

이를 式(2.8a)에 代入하면

$$\begin{aligned} \theta(t) = \theta_0 &= \frac{M_{\delta H} \delta_H - \frac{M_w}{Z_w} \cdot Z_{\delta H} \delta_H}{mg \bar{B}G} \\ &= \frac{Z_{\delta H} \delta_H \cdot (\bar{x}_H + \bar{\eta})}{mg \bar{B}G} \quad \dots \dots \dots \quad (2.9) \end{aligned}$$

단, \bar{x}_H : 船體中心(G)으로부터 後部 Hydro plane 壓力作用點까지의 거리

$\bar{\eta}$: G점으로부터 中立點(Neutral point;
 $-M_w/Z_w$)까지의 거리

로 表示할 수 있다.

(3) 深度變化率과 Critical speed

Fig. 4. 에서 w 가 작다면 深度變化率(Dr)은

$$D_r = V \cdot \left(\theta - \frac{w}{V} \right) = V \cdot \theta - w \quad \dots \dots \dots \quad (2.10)$$

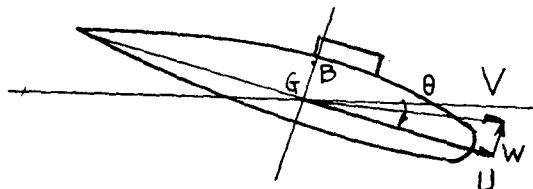


Fig. 4. Velocity components of Submarine
이 된다. 式(2.2c)와 式(2.9)를 윗式에
代入하면

$$\begin{aligned} V \cdot \theta - w &= V \cdot \frac{\delta_H \left(M_{\delta H} - \frac{Z_{\delta H}}{Z_w} \cdot M_w \right)}{mg \bar{B}G} + \delta_H \cdot \\ &\quad \frac{Z_{\delta H}}{Z_w} \quad \dots \dots \dots \quad (2.10a) \end{aligned}$$

이고 Hydroplane角에 對한 深度變化率은 다음과 같다.

$$\frac{D_r}{\delta_H} = \frac{V \cdot M_{\delta H} - V \cdot M_w \cdot \frac{Z_{\delta H}}{Z_w} + mg \bar{B}G \cdot \frac{Z_{\delta H}}{Z_w}}{mg \bar{B}G} \quad \dots \dots \dots \quad (2.11)$$

여기서, 潛水艦의 速力이

$$V = \frac{mg \bar{B}G}{M_w - M_{\delta H} \cdot \frac{Z_w}{Z_{\delta H}}} = V_c \quad \dots \dots \dots \quad (2.11a)$$

인 경우, 潛水艦은 Hydroplane使用과 無關하게 深度操縱이 願하는 바 대로 이루어지지 않는다. 이때의 速力を 臨界速力(Critical speed; V_c)이라고 한다.²⁾ 다시 말하면, 潛水艦의 速力(V)이 臨界速力(V_c)附近에서는 Hydroplane 使用意圖와는 關係없이 浮上 또는 潛航 될 수 있으며, 臨界速力에서는 深度變化가 없다.

다. 數值計算

潛水艦이 Level trim의 狀態로 前進하면서 Hydroplane角을 0으로 하면 潛水艦은 一定한 深度를 유지하면서 水平面에 平行하게 전진한다. 이때 Hydroplane을 作動하면 水平面上에서 1回轉의 定常旋回를 하는 水上艦과 달리 式(2.8a), 式(2.8b), 式(2.9)에서 보듯이 垂直平面上에서 定常旋回의 軌跡을 그리지 못하고, 時間이 經過하면 一定한 縱搖角(θ)을 갖고 潛航 또는 浮上하게 된다. 그런데,

$$M_w w + M_{\delta H} \delta_H = 0 \quad \dots \dots \dots \quad (2.3c)$$

는 定常旋回時 縱搖角을 形成시키지 않기 위한 條件이 된다. 式(2.2c)를 윗式에 代入하면 다음과 같다.

$$\frac{M_{\delta H}}{Z_{\delta H}} = \frac{M_w}{Z_w} \quad \dots \dots \dots \quad (2.12)$$

따라서 潛水艦이 作戰上 Level trim을 維持한 채 潛航 또는 浮上하고자 할 때는 式(2.12)를 滿足시키도록 操縱하면 된다.

式(2.11)에서 考察하였듯이 潛水艦의 深度變化率은 一定한 Hydroplane角을 使用하였을 때 潛水艦의 速力 및 $\bar{B}G$ 와 微係數等에 의해 決定되고, Critical speed는 $\bar{B}G$ 와 微係數에 의해 決定되어 짐을 알 수 있다.

數值計算에 使用된 潛水艦의 微係數는

[Table 1]과 같다. 그리고, 潜水艦의 無次元化方法에 있어서는, 水上艦의 無次元化方法과 달리 다음의 [Table 2]와 같은 方法을

擇하였다.⁷⁾ 그 理由는 潜水艦의 潜航狀態에서 確實하게 나와 있는 Dimension은 길이(L)밖에 없기 때문이다.

[Table 1] Non-dimensional derivatives of submarine
(N. D. : Non-dimensional derivative)

N. D.	Hull type	A	B
m'		0.030	0.024
Z_w'		-0.030	-0.023
M_w'		0.012	0.0105
Z_θ		-0.015	-0.0115
M_θ'		-0.008	-0.00575

[Table 2] Non-dimensional method of submarine
(N. D. : Non-dimensional derivative)

N. D.	Method	N. D.	Method
m'	$m/(1/2\rho'L^3)$	I_y'	$I_y/(1/2\rho'L^3)$
X_u'	$X_u/(1/2\rho L^2 V)$	Z_w'	$Z_w/(1/2\rho L^2 V)$
Z_θ'	$Z_\theta/(1/2\rho L^3 V)$	M_w'	$M_w/(1/2\rho L^3 V)$
Z_θ'	$Z_\theta/(1/2\rho L^4)$	M_w'	$M_w/(1/2\rho L^4)$
$Z_{\delta H}'$	$Z_{\delta H}/(1/2\rho L^3 V^2)$	$M_{\delta H}'$	$M_{\delta H}/(1/2\rho L^3 V^2)$
M_θ'	$M_\theta/(1/2\rho L^4 V)$		

따라서, [Table 1]과 [Table 2]를 利用하기 위해 힘과 Moment의 計算은 다음과 같은 式을 適用하여 行할 수 있다.

$$Z_w = Z_w' \cdot (1/2\rho L^2 V), \quad M_w = M_w' \cdot (1/2\rho L^3 V)$$

$$Z_\theta = Z_\theta' \cdot (1/2\rho L^3 V), \quad M_\theta = M_\theta' \cdot (1/2\rho L^4 V)$$

$$m = m' \cdot (1/2\rho'L^3)$$

$$Z_{\delta H} = 1/2\rho A V^2, \quad M_{\delta H} = Z_{\delta H} \cdot L \cdot \bar{x}_H$$

.....(2.13)

단, L : 潜水艦의 길이,
 V : 潜水艦의 速力

ρ : 힘의 密度, ρ' : 海水 密度

A : Hydroplane面積

x_H : G點으로 부터 後部Hydroplane

壓力作用點까지의 거리

電算處理時 潛水艦의 길이는 100m, 200m로 區分하였고, 폭은 길이의 1/7倍로 보았다.⁵⁾ 그리고, Hydroplane面積比는 1/60부터 1/20까지 想定하여 解析하였으며, 그位置를 潛水艦中心으로 부터 길이의 0.2倍에서 0.5倍까지 考慮하였다. \overline{BG} 는 主로 0.3m부터 0.6m까지 考慮하였고,⁵⁾ C_B 는 0.75로 處理하였다.

라. 結果 및 檢討

數值計算의 結果는 附錄과 같으며, 이를 가운데에서 重要한 것을 拔萃하여 檢討하면 다음과 같다.

(1) \overline{BG} 의 크기에 따른 深度變化率

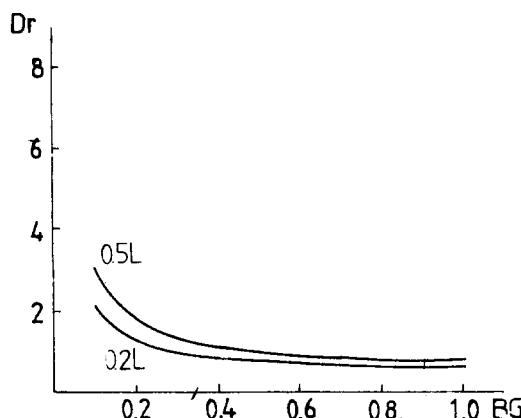


Fig. 5. Variation of Depth-rate of A type in (Table 1) with \overline{BG} ($V=15$ knots, A -ratio=1/60)

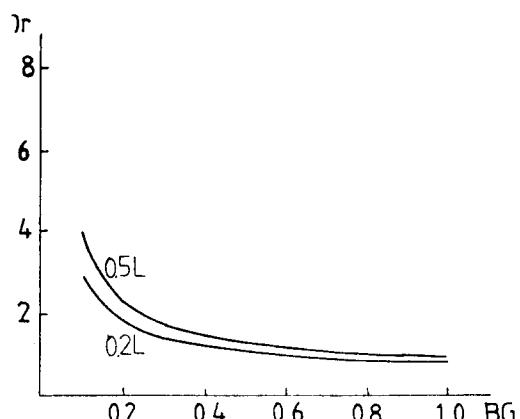


Fig. 6. Variation of Depth-rate of B type in (Table 1) with \overline{BG} ($V=15$ knots, A -ratio=1/60)

Fig. 5. 와 Fig. 6. 은 각각 [Table 1]의 Hull type A와 Hull type B의 潛水艦이 모두 速力 15knots이고, Hydroplane 面積比가 1/60일 때 \overline{BG} 의 크기와 Hydroplane 位置에 따른 深度變化率을 計算한 結果이다. 여기서 보면 \overline{BG} 가 커질 수록 深度變化率은 減少됨을 알 수 있다. 水上艦과 달리 潛水艦은 重心(G)이 浮心(B)보다 아래에 있으므로 水面에 떠 있던 潛水艦이 潛航하게 되면 B點은 水面에 떠 있었을 때 보다 G點으로 부터 더 위로 올라가게 된다. 따라서, 潛水艦이 水面에서 航海하다가 一定한 Hydroplane 角을 使用하여 潛航하는 過程에서 時間이 지남에 따라 初期보다 後期의 深度增加率은 작아지고, 反對로 一定潜航深度에서 航海하다가 浮上할 때에는 初期보다 末期의 深度變化率이 더 크다.

(2) Hydroplane 位置에 따른 深度變化率

Fig. 7. 과 Fig. 8. 은 각각 [Table 1]의 A type, B type 潛水艦이 모두 \overline{BG} 0.5m를 가지고 15knots의 速力으로 航走時 Hydroplane 位置에 따른 深度變化率을 計算한 結果이다. 여기서는 Hydroplane 位位置가 潛水艦의 船體中心에서 부터 潛水艦船尾

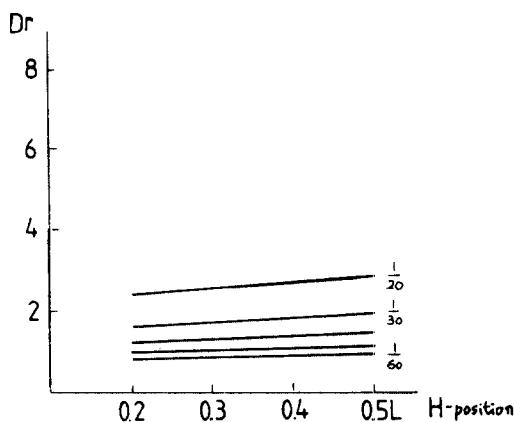


Fig. 7. Variation of Depth-rate of A type in (Table 1) with Hydroplane position ($BG=0.5m$, $V=15$ knots)

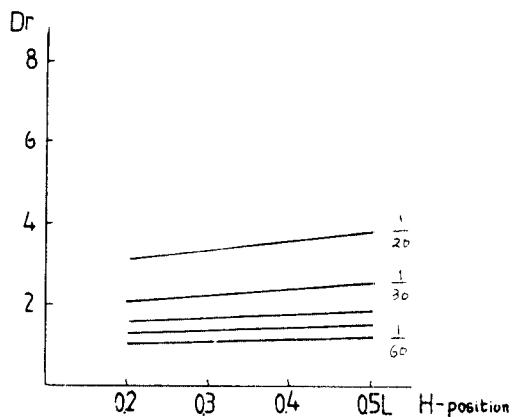


Fig. 8. Variation of Depth-rate of B type in (Table 1) with Hydroplane position ($BG=0.5m$, $V=15$ knots)

쪽으로 갈 수록 深度變化率은 낮은 增加率을 나타내고 있다. 그러나, 潛水艦船尾附近에 Hydroplane이 位置하고 있다면, Hydroplane角을 주었을 때 發生하는 Moment는 Hydroplane이 潛水艦船體中心에 가까울 때 보다 더 클 것이다.

(3) Critical speed에 對한 檢討

Fig. 9. 와 Fig. 10. 은 [Table 1]의 資料를 利用하여 潛水艦 形態에 따른 Critical speed

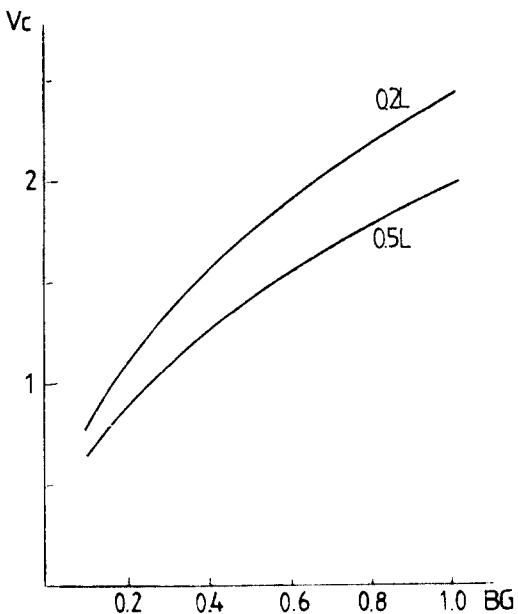


Fig. 9. Variation of Critical Speed of A type in (Table 1) with BG ($L=100m$)

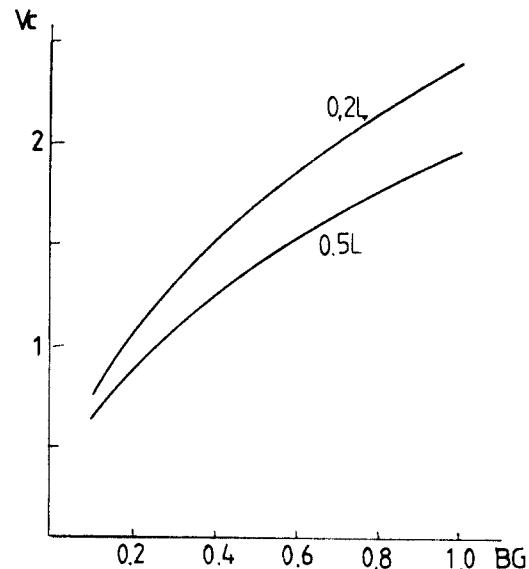


Fig. 10. Variation of Critical Speed of B type in (Table 1) with BG ($L=100m$)

를 計算한 結果이다. 이를 計算結果를 보면 Critical speed는 潛水艦의 速力에 關係

없이 潛水艦의 形態에 따라 固有한 値을 갖는다는 것을 알 수 있다.

3. 結 論

計算에 使用된 資料와 電算處理結果로 부터 潛水艦이 10knots以上의 速力으로 活動하고 있을 때 垂直平面上에서의 深度變化率, 그리고 Critical speed에 對하여 다음과 같은 結論을 얻었다.

(1) δ_H 에 對한 深度變化率은 同一條件 아래서는 潛水艦의 길이에 無關하다.

(2) 深度變化率은 Hydroplane面積比가 增加할 수록, \bar{BG} 가 작을 수록 增加한다. 따라서水面에 浮上해 있던 潛水艦이 潛航하여 深度가 增加하고 \bar{BG} 의 値이 變할 때에는, 同一한 δ_H 에 對해서 初期보다 時間이 지남에 따라 深度增加率은 작아진다.

(3) Critical speed는 潛水艦의 速力에 關係없이 Hydroplane位置 및 面積比, BG 의 크기에 따라서 定하여 진다. 即, 潛水艦의 形態에 의하여 固有의 値을 갖는다.

參 考 文 獻

- Thomas C. Gillmer and Bruce Johnson, "Instroduction to Naval Architecture", U.S. Naval Institute, Anapolis Maryland U.S.A., p246, (1984)

- K. J. Rawson and E.C. Tupper, "Basic ship theory", Longman Inc, New York U.S.A., pp77, 572, (1984)
- R.S. Crenshaw, "Naval Shiphandling", U.S. Naval Institute, Anapolis Maryland U.S.A., p239, (1965)
- Martin A. Abkowitz, "Stability and Motion Control of Ocean Vehicles", Massachusetts Institutte of Technology, Cambridge Massachusetts U.S.A., pp I-7, I-8, (1972)
- B.R. Clayton and R.E.D. Bishop, "Mechanics of Marine Vehicles", J.W. Arrowsmith Ltd., Bristol Great Britain, pp77, 421, (1982)
- 島付 敏, "基礎 ラプラス變換", コロナ社, 東京 日本, pp133-140, (1981)
- Philip Mandel etc., "Principles of Naval Architecture", SNAME, New York U.S.A., p469, (1967)
- Thomas C. Gillmer, "Modern Ship Design", U.S. Naval Institute, Anapolis Maryland U.S.A., p114, (1981)
- 尹点東, "海底探査 潜水艇의 鉛直平面에서의 方向安定性에 關한 研究", 韓國航海學會誌, 第11卷 第1號, 釜山 韓國, pp73-106, (1989.3)

附 錄

다음의 그림들은 本 論文의 數值計算結果
를 나타낸 것 들이다.

各各의 Dimension은 아래와 같다.

\overline{BG} :[m]

Dr :[m/rad]

V :[knot]

Vc :[knot]

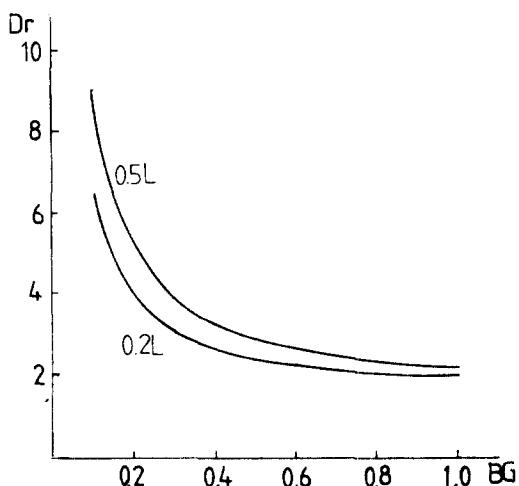


Fig. 11. Variation of Depth-rate of A type in (Table 1) with \overline{BG} ($V=15$ knots, A-ratio=1/20)

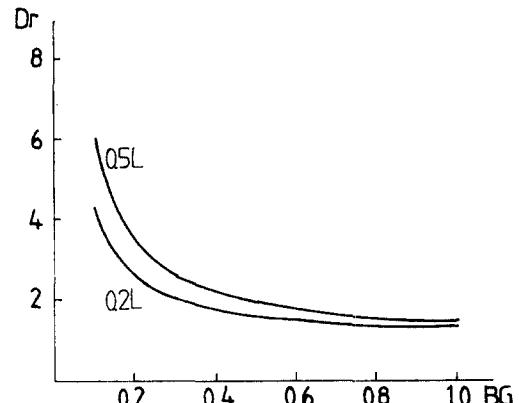


Fig. 12. Variation of Depth-rate of A type in (Table 1) with \overline{BG} ($V=15$ knots, A-ratio=1/30)

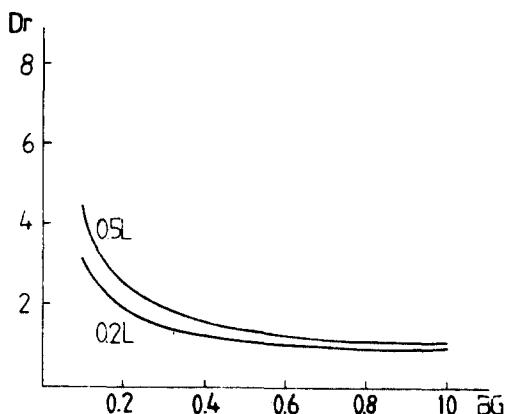


Fig. 13. Variation of Depth-rate of A type in (Table 1) with \overline{BG} ($V=15$ knots, A-ratio=1/40)

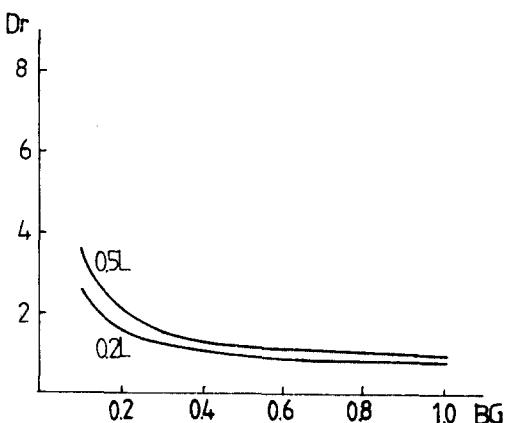


Fig. 14. Variation of Depth-rate of A type in (Table 1) with \overline{BG} ($V=15$ knots, A-ratio=1/50)

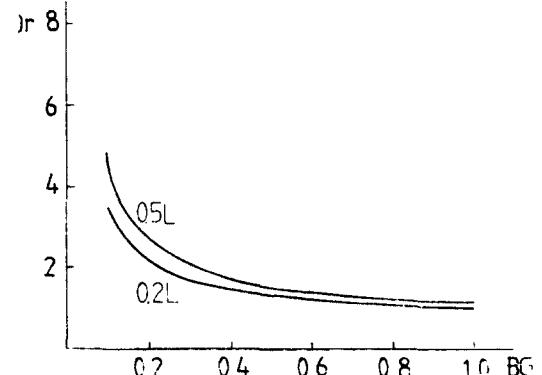


Fig. 15. Variation of Depth-rate of B type in (Table 1) with \overline{BG} ($V=15$ knots, A-ratio=1/50)

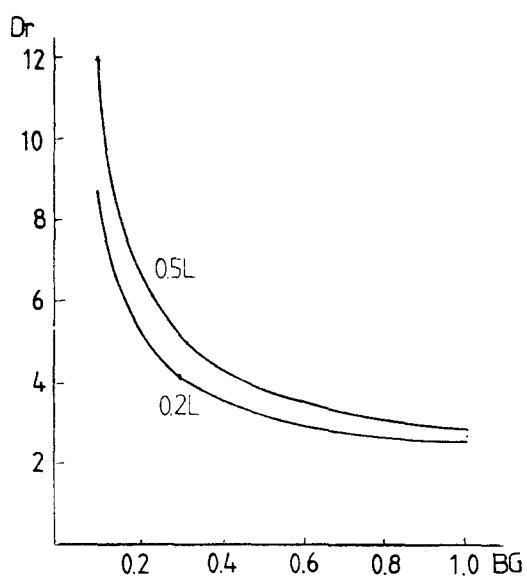


Fig. 16. Variation of Depth-rate of B type in [Table 1] with \bar{BG} ($V=15$ knots, A-ratio=1/20)

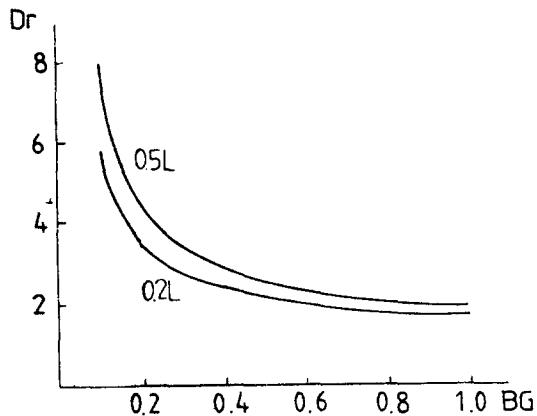


Fig. 17. Variation of Depth-rate of B type in [Table 1] with \bar{BG} ($V=15$ knots, A-ratio=1/30)

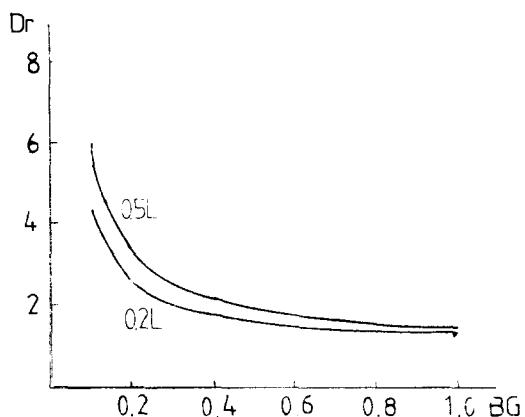


Fig. 18. Variation of Depth-rate of B type in [Table 1] with \bar{BG} ($V=15$ knots, A-ratio=1/10)

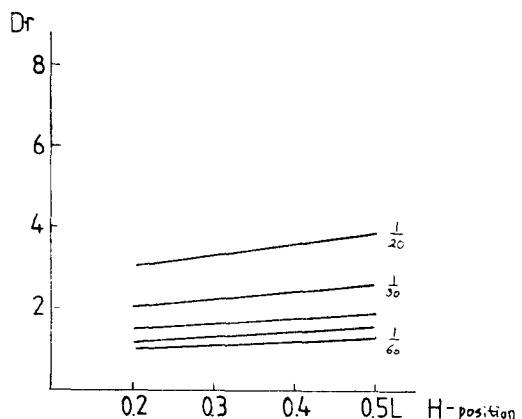


Fig. 19. Variation of Depth-rate of A type in [Table 1] with Hydroplane position ($\bar{BG}=0.3$ m, $V=15$ knots)

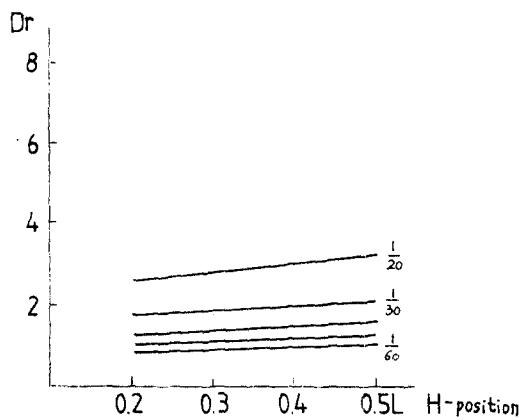


Fig. 20. Variation of Depth-rate of A type in (Table 1) with Hydroplane position ($\overline{BG}=0.4m$, $V=15kn$)

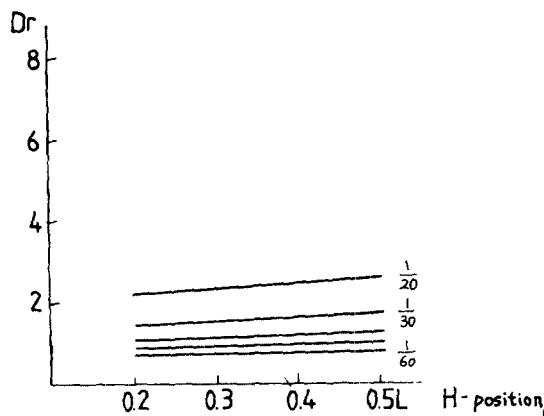


Fig. 21. Variation of Depth-rate of A type in (Table 1) with Hydroplane position ($\overline{BG}=0.6m$, $V=15kn$)

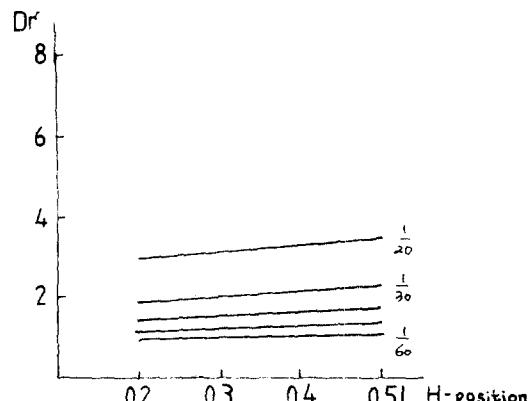


Fig. 22. Variation of Depth-rate of B type in

(Table 1) with Hydroplane position ($\overline{BG}=0.6m$, $V=15kn$)

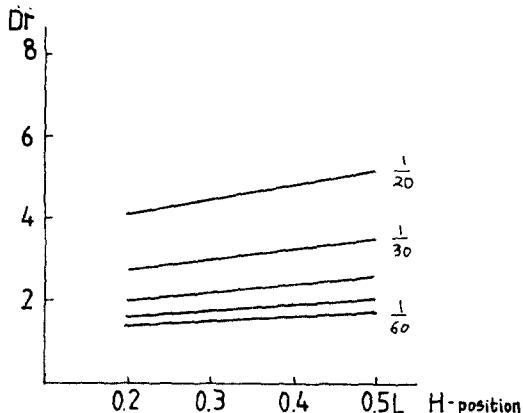


Fig. 23. Variation of Depth-rate of B type in (Table 1) with Hydroplane position ($\overline{BG}=0.3m$, $V=15kn$)

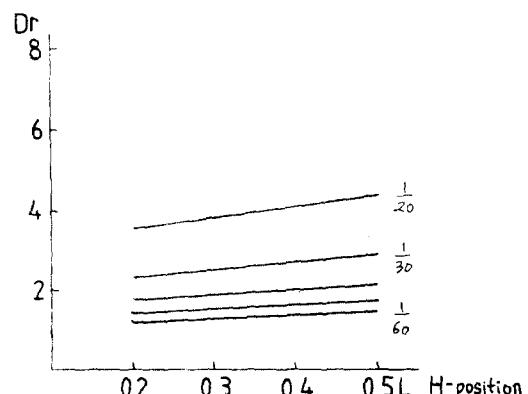


Fig. 24. Variation of Depth-rate of B type in (Table 1) with Hydroplane position ($\overline{BG}=0.4m$, $V=15kn$)

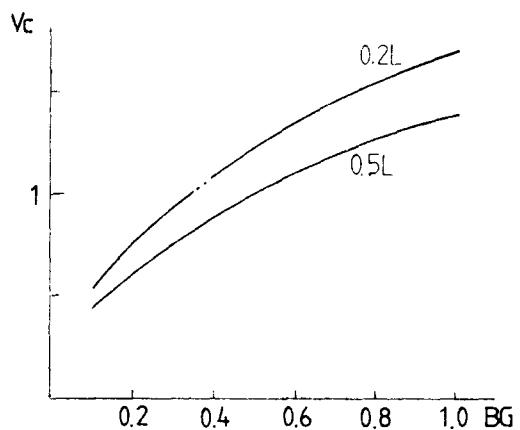


Fig. 25. Variation of Critical Speed of A type
in (Table 1) with \overline{BG} ($L=200m$)

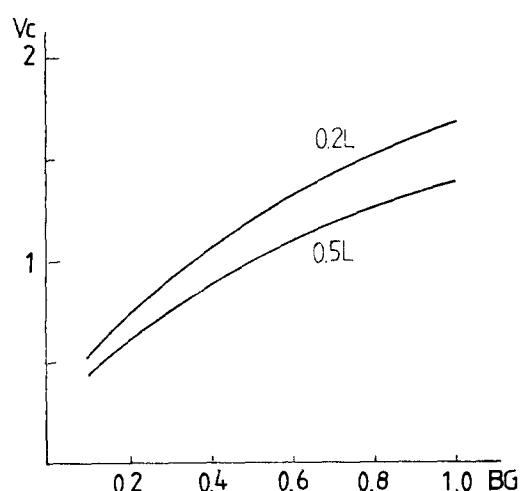


Fig. 26. Variation of Critical Speed of B type
in (Table 1) with \overline{BG} ($L=200m$)

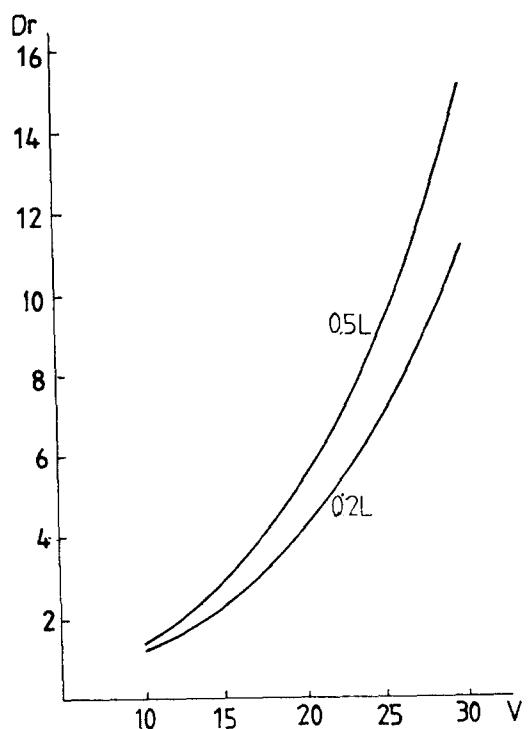


Fig. 27. Variation of Depth-rate of A type in
(Table 1) with Submarine's speed ($\overline{BG}=0.5m$,
A-ratio=1/20)

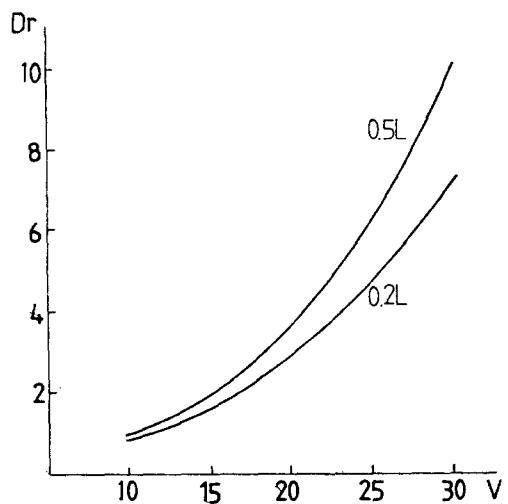


Fig. 28. Variation of Depth-rate of A type in
(Table 1) with Submarine's speed ($BG=0.5m$,
A-ratio=1/30)

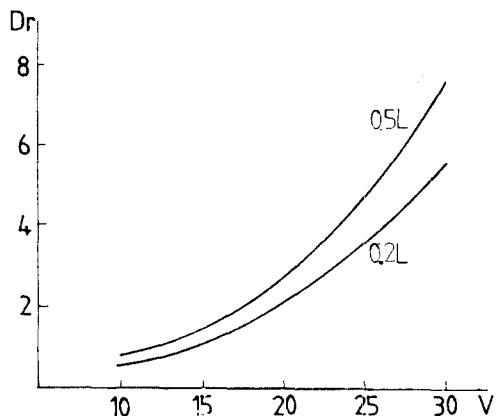


Fig. 29. Variation of Depth-rate of A type in (Table 1) with Submarine's speed ($BG=0.5m$, A-ratio=1/40)

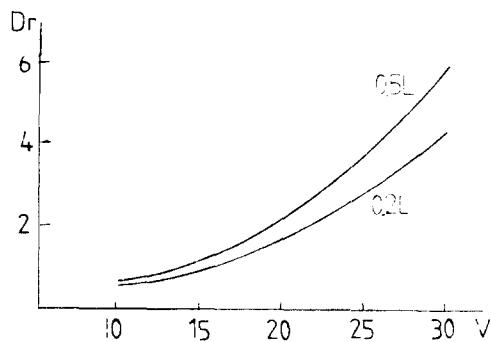


Fig. 30. Variation of Depth-rate of A type in (Table 1) with Submarine's speed ($BG=0.5m$, A-ratio=1/50)

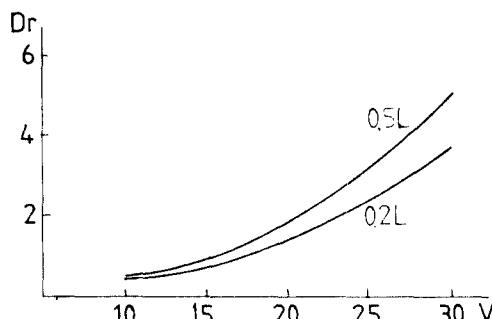


Fig. 31. Variation of Depth-rate of A type in (Table 1) with Submarine's speed ($BG=0.5m$, A-ratio=1/60)

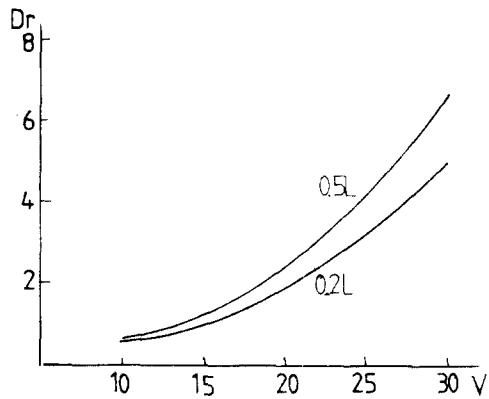


Fig. 32. Variation of Depth-rate of B type in (Table 1) with Submarine's speed ($BG=0.5m$, A-ratio=1/60)

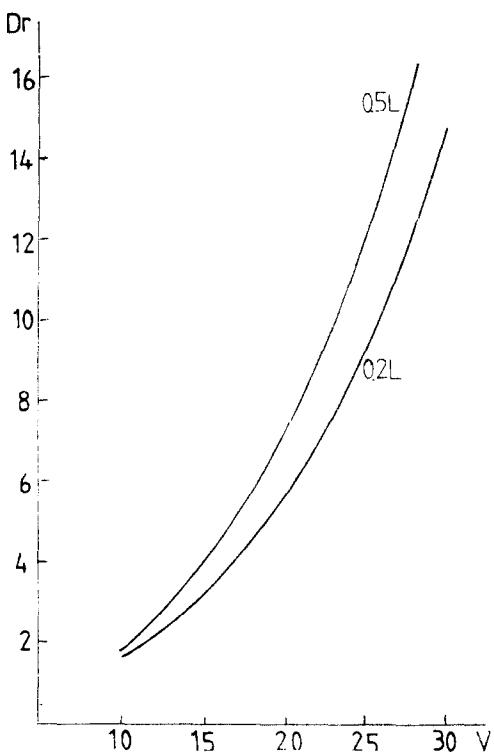


Fig. 33. Variation of Depth-rate of B type in (Table 1) with Submarine's speed ($BG=0.5m$, A-ratio=1/20)

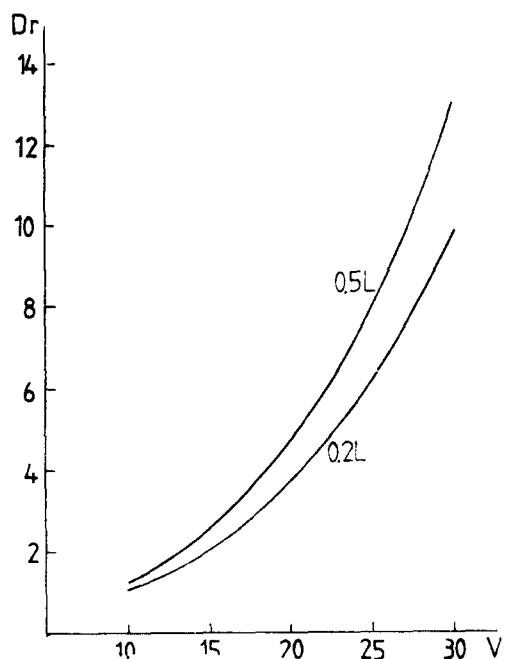


Fig. 34. Variation of Depth-rate of B type in [Table 1] with Submarine's speed ($\overline{BG}=0.5m$, A-ratio=1/30)

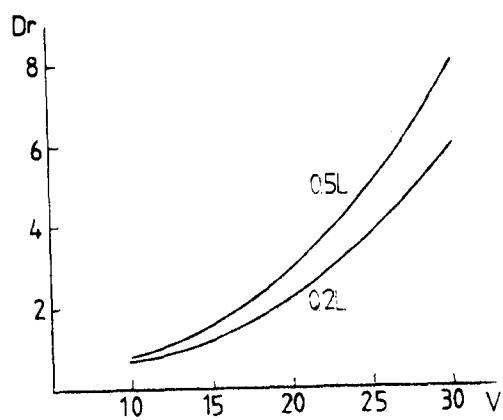


Fig. 36. Variation of Depth-rate of B type in [Table 1] with Submarine's speed ($\overline{BG}=0.5m$, A-ratio=1/50)

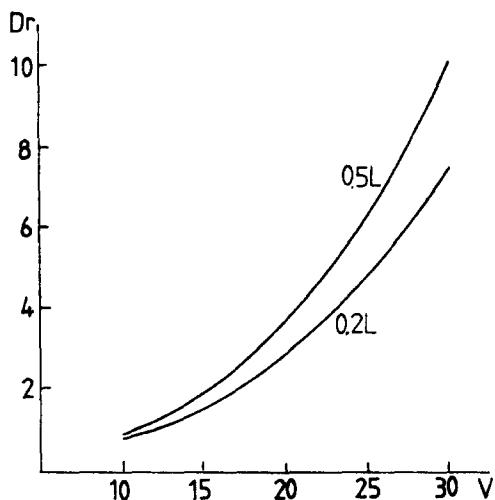


Fig. 35. Variation of Depth-rate of B type in [Table 1] with Submarine's speed ($\overline{BG}=0.5m$, A-ratio=1/40)