

船型에 따른 船舶의 針路 安定性에 關한 研究

權 種 浩*

A Study on Course Stability in Accordance with Configuration of Ships

Jong-Ho Gwon

〈 目 次 〉

Abstract	安定性에 미치는 影響
Nomenclature	4·2 船體길이에 대한 船幅의 比(L/B)가 針路安定性에 미치는 影響
1. 序 論	4·3 船體길이에 대한 吃水의 比(L/T)가 針路安定性에 미치는 影響
2. 理 論	4·4 舵面積比(R_A')가 針路安定性에 미치는 影響
2·1 線形運動方程式	5. 結 論
2·2 動的 針路安定性	參考文獻
3. 針路安定性 Simulation	
4. 結果 및 考察	
4·1 方形肥瘠係數(C_A)의 크기가 針路	

Abstract

Ship's maneuverability is very important factor in safe ship handling and economical ship operation. Steering characteristics are consisted of course stability and maneuverability. Today in many advanced ship-building countries, they study ship's course stability, using model ship tests, such as straight line tests, rotating arm tests and Planar Motion Mechanism (PMM) etc., in towing tanks.

It is the purpose of this paper to provide ship's handlers with better understanding of steering characteristics and to help them in safe controlling and maneuvering. In this paper, the author simulated response of various vessels, running straight course with constant speed, and they are disturbed by small external disturbance of one degree yaw angle with no angular velocity. The author used the hydrodynamic derivatives resulted at tests of Davidson's laboratory in Stevens Institute of Technology, New Jersey, U.S.A. Course stability was evaluated and analyzed in various respects, such as block-

* 正會員, 韓國海洋大學

coefficient, ratio of ship's length to beam, draft and rudder area ratio etc.

The obtained results are as follows;

- (1) The ship's course stability is affected by magnitude of block coefficient greatly. In case that the block coefficient is more than 0.7, the deviation varies at nearly same rate but the requisite time to reach the steady course is different.
- (2) The ship's course stability is affected by magnitude of L/B. When the dimensionless time reaches about 3, the deviation and requisite time to reach the steady course are influenced nearly same. After the dimensionless time is about 3, they change on invariable ratio.
- (3) The effect to course stability by L/T and R_A' can be neglected.
- (4) The reason why thy VLCC and container feeder vessel are unstable on their courses is that their block coefficient is generally more than 0.8 and the ratio of ship's length to beam is about 6.0.

Nomenclature

B	: Ship's breadth
C_b	: Block coefficient
G	: Center of gravity
I_z	: Moment of inertia about z-axis
I_z'	: Dimensionless moment of inertia about z-axis ($=I_z / \frac{1}{2} \rho L^3 T$)
L	: Ship's length
m	: Mass of a ship
m'	: Dimensionless mass of a ship ($=m / \frac{1}{2} \rho L^3 T$)
m_y	: Virtual mass of a ship to the direction of y-axis ($=m - Y_{\dot{v}}$)
m'_y	: Dimensionless virtual mass of a ship to the direction of y-axis ($=m' - Y'_{\dot{v}} = 2m'$)
N	: Total yaw moment
N'	: Dimensionless total yaw moment ($=N / \frac{1}{2} \rho L^3 T U^2$)
N_r	: $\partial N / \partial r$
N'_r	: $\partial N' / \partial r'$
N_v	: $\partial N / \partial v$
N'_v	: $\partial N' / \partial v'$ ($= -N'_p$)
n_z	: Virtual moment of inertia about z-axis ($=I_z - N_r$)
n_z'	: Dimensionless virtual moment of inertia about z-axis ($=I_z' - N'_r' = \frac{1}{8} m'$)
r	: Turning rate ($=d\Psi/dt$)
\dot{r}	: dr/dt
r'	: Dimensionless turning rate ($=rL/U = L/R$)
R_a	: Rudder area
R'_a	: Rudder area ratio ($=R_a/LT$)
t	: Time

- t' : Dimensionless time ($= Ut/L$)
- T : Ship's draft
- u : Component of ship's speed in x -axis direction
- \dot{u} : du/dt
- U : Ship's speed ($= (u+v)^{\frac{1}{2}}$)
- v : Component of ship's speed in y -axis direction
- \dot{v} : dv/dt
- v' : v/U
- X : Total force in x -axis direction
- Y : Total lateral force
- Y' : Dimensionless total lateral force ($= Y/\frac{1}{2}\rho LTU^2$)
- Y_r : $\partial Y/\partial r$
- $Y_{r'}$: $\partial Y'/\partial r'$
- $Y_{\dot{r}'}$: $\partial Y'/\partial \dot{r}'$
- Y_v : $\partial Y/\partial v$
- $Y_{v'}$: $\partial Y'/\partial v'$ ($= -Y'_\beta$)
- $Y_{\dot{v}'}$: $\partial Y'/\partial \dot{v}'$
- β : Drift angle ($= \sin^{-1} v/U$)
- δ : Rudder angle
- ρ : Density of water
- σ : Stability index
- Ψ : Yaw angle
- $o-\xi\eta$: Axis fixed in the earth
- $G-xy$: Axis fixed in ship

1. 序 論

船舶의 完全航海 및 經濟的인 運航의 側面에서 매우 重要한 影響을 미치는 要素中의 하나인 操縱性能을 推定하는데 있어서 從來에는 衝突回避를 위한 目的에서 旋回性能을 重要視하여 왔으나, Davidson의 論文 發表이후 針路保持性能도 旋回성과 함께 重要한 性能으로 認識되고 있다.

過去에는 船舶의 設計部門에 있어서 이미 建造된 船舶의 試驗實績을 근거로 하여 計劃船의 旋回性能을 推定하고 그에 알맞는 舵面積을 結定하였으나, 점차 模型試驗法과 함께 理論計算에 의한 推定法이 發展되었다.

최근에는 操縱運動을 記述하는 數學모델을 設定하고 이것을 여러가지 拘束模型試驗에 의하여 具體化시키는 研究가 進行되어 複雜한 問題들도 쉽게 처리할 수 있게 되었다.

船舶의 針路安定性에 對하여 世界의 先進造船國에서 造船設計者를 위한 研究는 活發하게 進行되어 왔으나 操船者의 側面에서의 研究는 거의 없었다.

本論文에서는 造船關係者 및 操船者에게 도움을 줄 수 있도록 操船者의 側面에서 여러가지 船型의 模型船들에 대한 針路安定性에 關하여 考察하였다. 研究方法은 여러가지 船型의 模型船이 一定한 速度로 直進하고 있을 때 微小한 初期外亂을 加하여 이에 대한 船體應答 시뮬레이션을 行하고, 이 結果를 方形迴捲係數(C_t), 船體길이에 대한 船幅의 比(L/B), 船體길이에 대한 吃水의 比(L/T), 舵面積比(R_A')別로 區分하여 이들이 針路安定性에 미치는 影響을 檢討하였다.

2. 理 論

2.1 線形運動方程式

一般的으로 船體의 運動을 취급하는데 空間固定座標系와 船體固定座標系를 使用하는 方法이 있으며, 靜水中의 操縱運動을 다루기 위하여 船體固定座標系를 使用하였다.

船體重心 G 에 原點을 固定시키고 船體길이 方向을 x 軸, 左右舷水平方向을 y 軸, 鉛直上下方向을 z 軸으로 하는 船體固定座標系를 Fig. 2-1에 나타내고 있다.

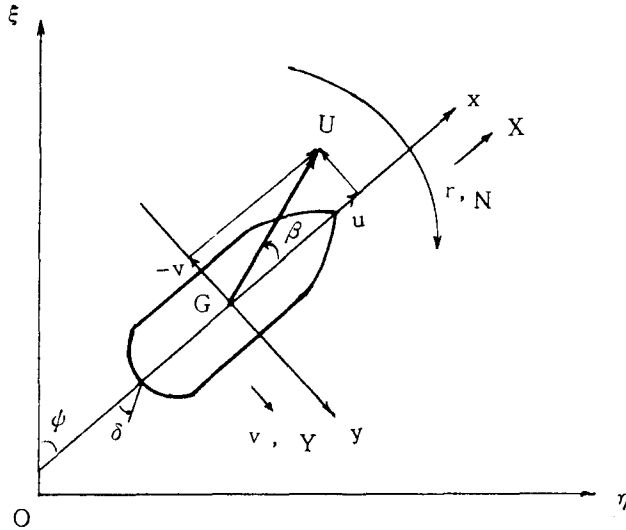


Fig. 2-1 Coordinate system

x, y, z 軸方向의 並進速度成分을 u, v, w 角速度成分을 \dot{p}, q, r 로 表示하고, x, y, z 軸을 慣性主軸으로 가정하여 x, y, z 軸의 船體慣性 moment를 I_x, I_y, I_z 로 나타낸다. 그리고, x, y, z 軸方向의 船體에 作用하는 外力을 x, y, z , moment를 K, M, N 으로 表示한다.

또, U 는 進行速度, 偏角 β 는 船首에서 U 方向으로 反時針方向을 (+)로 잡고, 舵角 δ 는 反時針方向을 (+)로 하며, r, N 는 時針方向을 (+)로 잡는다. m 은 船體의 質量이다. 運

動方程式은 Newton의 法則에 의해 다음과 같이 表示된다.

$$\left. \begin{aligned} X &= m(\dot{u} - vr) \\ Y &= m(\dot{v} + ur) \\ N &= I_z \dot{r} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2-1)$$

한편, 靜水中에서 速度 U 로 運動하고 있는 船體에 作用하는 流體力 및 모멘트는, 船體中央에 두었을 때 다음과 같이 表示된다.

$$\left. \begin{aligned} Y &= Y(v, r, \dot{v}, \dot{r}) \\ N &= N(v, r, \dot{v}, \dot{r}) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2-2)$$

(2-2)式을 Taylor 전개하여 線形項만 表示하면 다음과 같다.

$$\left. \begin{aligned} Y &= Y_v v + Y_\delta \dot{v} + Y_r r + Y_{\dot{r}} \dot{r} \\ N &= N_v v + N_\delta \dot{v} + N_r r + N_{\dot{r}} \dot{r} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2-3)$$

(2-1)式과 (2-3)式으로부터

$$\left. \begin{aligned} (m - Y_\delta) \dot{v} &= Y_v v + (Y_r - mu) r + Y_{\dot{r}} \dot{r} \\ (I_z - N_\delta) \dot{r} &= N_v v + N_r r \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2-4)$$

이 되고

$-Y_\delta$ 는 y 軸方向의 附加質量-, N_δ 는 z 軸에 關한 附加慣性 모멘트이므로 $m - Y_\delta = m_y$, $I_z - N_\delta = n_z$ 라고 놓으면 (2-4)式은 다음과 같다.

$$\left. \begin{aligned} m_y \dot{v} &= Y_v v + (Y_r - mu) r + Y_{\dot{r}} \dot{r} \\ n_z \dot{r} &= N_v v + N_r r \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2-5)$$

前進速度 U 가 橫方向速度 v 보다 매우 클 경우 $U \cong u$ 가 되며, (2-5)式을 無次元化시키면 다음과 같다.

$$\left. \begin{aligned} m_y' \dot{v}' - Y'_{\dot{r}} v' + (m' - Y'_r) r' - Y'_{\dot{r}} \dot{r}' &= 0 \\ n'_z \dot{r}' - N'_{\dot{v}} v' - N'_{\dot{r}} \dot{r}' - N'_{rr} r' &= 0 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2-6)$$

한편, 편각 β 는 橫方向速度 v 와 다음과 같은 關係가 있다.

$$V = -U \sin \beta \cong -U\beta$$

따라서 $v' = -\beta'$ $\dots\dots\dots (2-7)$

가 된다.

2·2 動的 針路安定性

船舶의 動的 針路安定性은 船舶이 微小한 初期外亂을 받았을 때 船體의 應答이 어떻게 나타나는가를 考察함으로써 評價할 수 있으며, 이를 위하여 Sway 및 Yaw 運動方程式 (2-6) 式의 解를 求한다.

(2-6)式은 齊次 微分方程式이며 그 解는 다음과 같은 形式으로 表示된다.

$$\left. \begin{aligned} u' &= V'e^{\sigma' t} \\ r' &= R'e^{\sigma' t} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(2-8)$$

그런데, (2-6)式에서 $Y'_r r'$, $N'_y y'$ 項은 극히 微小한 값이므로 무시하고, (2-8)式을 利用하여 (2-6)式을 整理하면 다음 式이 된다.

$$\left. \begin{aligned} (m'_y \sigma' - Y'_r) V' - (Y'_r - m') R' &= 0 \\ -N'_r V' + (n'_z \sigma' - N'_r) R' &= 0 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(2-9)$$

上記式이 解(Non-trivial Solution)를 가지기 위해서는 V' , R' 係數의 行列式이 0(Zero)이 되어야 한다.

따라서, 行列式을 풀면 2次方程式이 된다.

$$A\sigma'^2 + B\sigma' + C = 0 \dots\dots\dots(2-10)$$

$$\text{단, } \begin{cases} A = m'_y n'_z \\ B = -N'_r m'_y - Y'_r n'_z \\ C = Y'_r N'_r + N'_r (m' - Y'_r) \end{cases}$$

또, 上 式의 解는 다음과 같다.

$$\sigma'_1, \sigma'_2 = \frac{-B \pm (B^2 - 4AC)^{\frac{1}{2}}}{2A} \dots\dots\dots(2-11)$$

한편, (2-10)式에 對한 Routh-Hurwitz의 安定條件은 $\frac{B}{A} > 0$, $\frac{C}{A} > 0$ 이어야 한다.

普通의 船船에 있어서 A, B 의 값은 항상 (+)값이므로 結局, 安定하기 위한 條件은 C 값이 (+)가 되어야 한다.

$$\text{즉, } Y'_r N'_r + N'_r (m' - Y'_r) > 0 \dots\dots\dots(2-12)$$

이다.

C 값 및 σ'_1, σ'_2 값에 의한 船體運動의 特性을 分析하면,

- 1) σ'_1, σ'_2 값이 實數일 때
 - i) $\sigma'_1, \sigma'_2 < 0$, $C > 0$ 일 때

(2-8)式의 橫方向速度 v' 및 Yaw 角速度 r' 가, 時間이 지남에 따라 指數部가 Zero에 수렴하게 되므로 零에 가까워진다. 따라서 動的으로 安定하게 되며 時間이 지남에 따라 直進하거나 거의 直進하게 된다.

- ii) $\sigma'_1, \sigma'_2 > 0$, $C < 0$ 일 때

時間이 지남에 따라 指數部가 커지게 되므로 v' , r' 가 증가하여 動的으로 不安定하게 된다. 따라서 針路不安定한 船船은 時間이 경과함에 따라 原針路에서 벗어나 계속해서 回頭하여 圓을 그리게 된다.

- 2) σ'_1, σ'_2 값이 複素數일 때
 - $\sigma'_1, \sigma'_2 = a + ib$ 의 형태를 취한다.

따라서, $e^{\sigma' t'} = e^{(a+ib)t'} = e^{at'} (\cos bt' + i \sin bt')$ 가 되며 安定하기 위해서는 實數部 a 가 음(-)이어야 한다.

虛數部가 존재하면 針路 위에서 反復的인 Yaw 運動을 하게 되어 있으나 실제 船舶이 이렇게 되는 경우는 거의 없다.

3. 針路安定性 Simulation

舵를 中央(midship)에 두고 一定한 速度로 直進하고 있는 船舶이 갑자기 yaw 角 1° 의 初期外亂을 받았을 때 (角速度는 없음) 船體의 應答에 對한 評價를 하기 위하여 r', v', ψ 가 時間이 지남에 따라 어떻게 變化하는가를 Simulation 한다.

運動方程式 (2-6)式的 解는 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\left. \begin{aligned} v'(t') &= V_1' e^{i\sigma_1' t'} + V_2' e^{\sigma_2' t'} \\ r'(t') &= R_1' e^{i\sigma_1' t'} + R_2' e^{\sigma_2' t'} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(3-1)$$

(2-7)式에서 $t'=0$ 때 初期外亂을 yaw 角 1° 만큼 加하였을 때

$$v' = -\beta' = -1^\circ \times \frac{\pi}{180} = -0.01745 \text{ radian} \dots\dots\dots(3-2)$$

따라서, $t'=0$ 때 (3-1)式은 다음과 같이 된다.

$$\left. \begin{aligned} V_1' + V_2' &= -0.01745 \\ R_1' + R_2' &= 0 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(3-3)$$

또, (2-6)式을 \dot{v}', \dot{r}' 에 관한 式으로 整理하면 다음과 같이 表示된다.

$$\left. \begin{aligned} \dot{v}' &= \frac{Y_v' v' + (Y_r' - m') r'}{m_y'} \\ \dot{r}' &= \frac{N_v' v' + N_r' r'}{n_2'} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(3-4)$$

(3-1)式을 時間에 對하여 微分하여 $t'=0$ 일 때의 式으로 表示하면

$$\left. \begin{aligned} \dot{v}'_{(0)} &= \sigma_1' V_1' + \sigma_2' V_2' \\ \dot{r}'_{(0)} &= \sigma_1' R_1' + \sigma_2' R_2' \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(3-5)$$

이 되며, (3-4)式에서 求한 \dot{v}', \dot{r}' 의 값을 (3-5)式에 代入하고, σ_1, σ_2' 의 값은 (2-11)式에서 求한다.

(3-3)式과 (3-5)式을 利用하여 連立方程式을 풀면 係數 V_1', V_2', R_1', R_2' 의 값이 求해진다.

따라서 上記 係數들의 값을 (3-1)式에 代入하면 v', r' 의 式이 얻어진다.

한편, 回頭角 ψ 에 관한 式은 (3-1)式的 r' 을 積分하면 求해진다.

$$\Psi(t') = \int r'(t') dt' = \frac{R_1'}{\sigma_1'} e^{\sigma_1' t'} + \frac{R_2'}{\sigma_2'} e^{\sigma_2' t'} + C_0 \dots\dots\dots (3-6)$$

$$\text{단, } C_0 = \Psi_{(0)} - \left(\frac{R_1'}{\sigma_1'} + \frac{R_2'}{\sigma_2'} \right)$$

(3-1)식과 (3-6)식을 利用하여 v', r', Ψ 의 時間경과에 따르는 變化를 數值計算한다.

數值計算에 使用한 名 模型船의 特性은 表 3-1과 같고 v', r', Ψ 의 값을 計算하는데 使用한 各 모델의 流體力微係數들의 값은 表 3-2와 같으며, 이 表는 美國의 Davidson 研究所에서 測定하였던 結果이다.

단, m_y', n_z' 는 다음과 같이 計算하여 表示하였다.

$$\left. \begin{aligned} m_y' &= m' - Y_{\dot{\theta}}' \cong 2m' \\ n_z' &= I_z - N_{\dot{\theta}}' = 2I_z' = \frac{1}{8} m' \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3-7)$$

그리고, (2-11)식에 의해 計算한 各 模型船의 安定性 指數는 表 3-3과 같다.

그림 3-1과 그림 3-2는 表 3-1의 各 模型船의 回頭角速度 r' , 橫方向速度 v' 및 回頭角 Ψ 가 時間 t' 의 增加에 따라 變化하는 것을 컴퓨터를 利用하여 그린 것이다.

여기서 r', v' 은 r, v 를 無次元化한 것이고, Ψ 의 單位는 라디안(radian), t' 은 船舶의 길이만큼 前進하는데 걸리는 時間이다.

Table 3-2. Hydrodynamic derivatives of models

특 성 / 모 델	M 111	M 211	M 212	M 213	M 311	M 411	M 511	M 611	M 711	M 811	T 80
Length, L ; ft	5.0										5.16
Beam, B, ft	0.714				0.833	0.625	0.714				0.806
Draft, T, ft	0.267						0.2175	0.345	0.267		0.311
Prismatic Coefficient C_p	0.614						0.616	0.614	0.713	0.807	0.834
Block Coefficient C_b	0.600								0.700	0.800	0.830
L/B	7.0				6.0	8.0	7.0				6.4
L/T	18.75						23.00	14.50	18.75		16.6
B/T	2.68				3.12	2.34	3.28	2.07	2.68		2.59
Rudder, span	0.200	.	0.200				0.164	0.258	0.200		0.253
Rudder, chord	0.105	.	0.167	0.080	0.105						0.108
Rudder, aspect ratio	1.90	.	1.20	2.50	1.90		1.56	2.46	1.90		2.34
乾面積比, R_s'	0.016	.	0.025	0.012	0.016						0.017

Table 3-2. Hydrodynamic derivatives of models

모형 \ 미계수	M111	M211	M212	M213	M311	M411	M511	M611	M711	M811	M80
Y_v'	-0.305	-0.245	-0.311	-0.293	-0.308	-0.283	-0.260	-0.349	-0.324	-0.354	-0.01650
N_v'	-0.095	-0.114	-0.081	-0.100	-0.089	-0.091	-0.075	-0.133	-0.104	-0.086	-0.00600
Y_r'	0.090	0.070	0.096	0.082	0.089	0.088	0.094	0.099	0.083	0.085	0.00395
N_r'	-0.070	-0.055	-0.076	-0.073	-0.075	-0.066	-0.057	-0.081	-0.068	-0.060	-0.00310
m'	0.071	0.071	0.071	0.071	0.200	0.150	0.171	0.171	0.200	0.229	0.01370
N_z'	0.021	0.021	0.021	0.021	0.025	0.019	0.021	0.021	0.025	0.029	0.00152
m_y'	0.342	0.342	0.342	0.342	0.400	0.300	0.342	0.342	0.400	0.458	0.02460

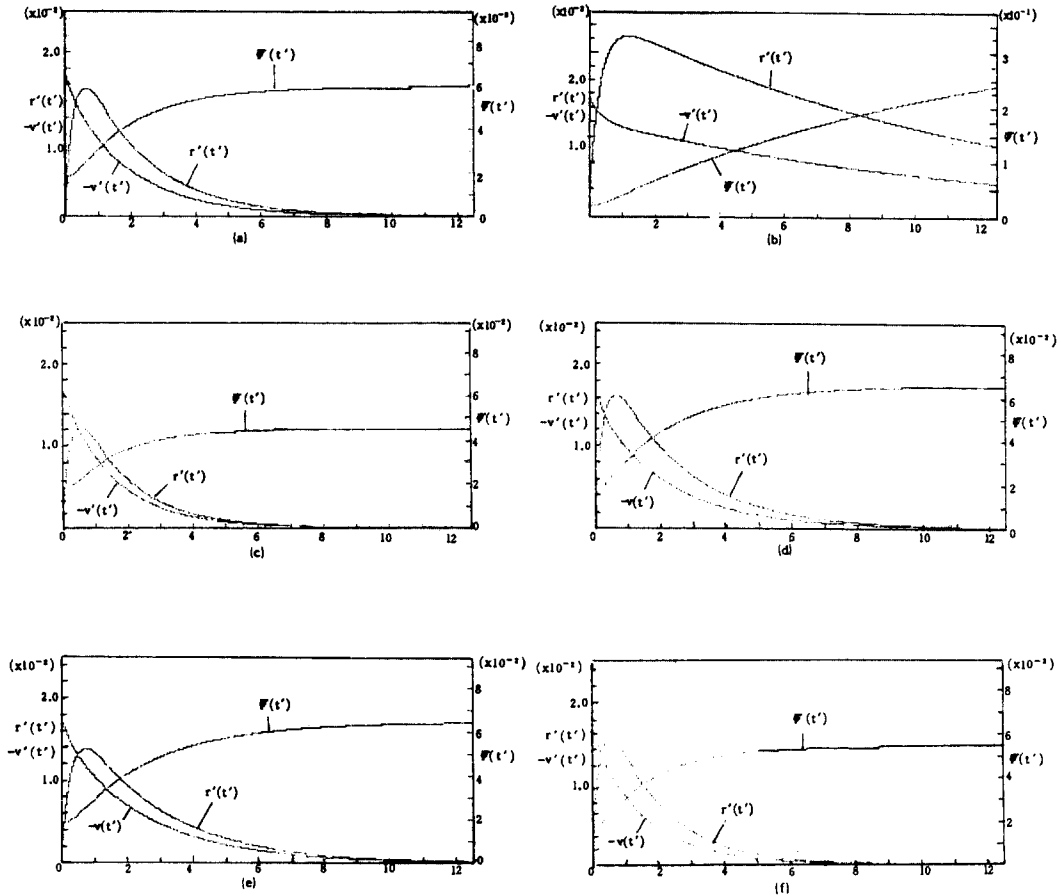


Fig. 3-1 Responses of various models to initial external disturbance of 1° yaw angle with no angular velocity and rudderamidships.

(a)M111 (b)M211 (c)M212 (d)M213 (e)M311 (f)M411

Table 3-3. Calculated stability indices of models

구분	M111	M211	M212	M213	M311	M411	M511	M611	M711	M811	T80
σ_1'	-0.512	-0.084	-0.627	-0.448	-0.391	-0.599	-0.411	-0.616	-0.303	-0.258	-0.071
σ_2'	-3.713	-3.252	-3.902	-3.885	-3.379	-3.818	-3.063	-4.268	-3.224	-2.584	-2.781

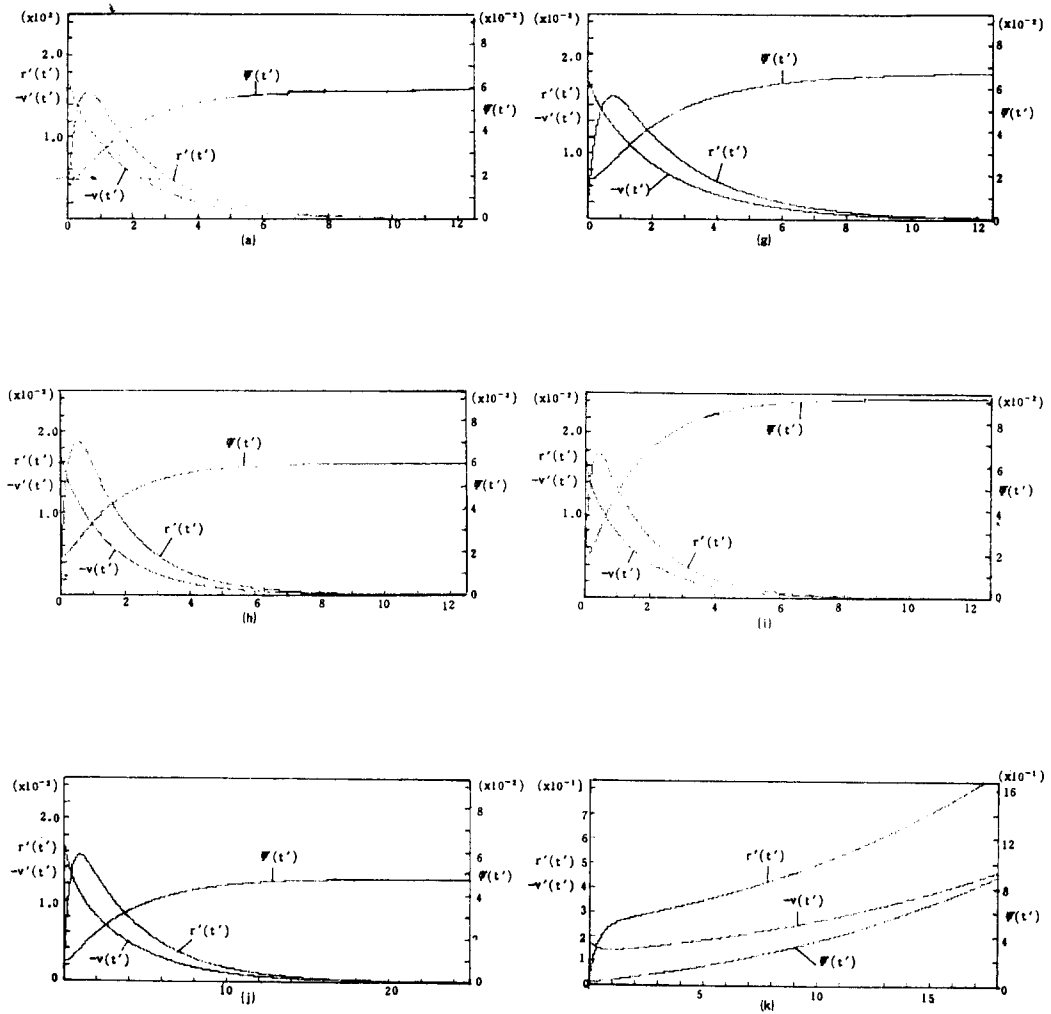


Fig. 3-2 Responses of various models to initial external disturbance 1° yaw angle with no angular velocity and rudder amidships.
 (a)M111 (g)M511 (h)M611 (i)M711 (j)M811 (k)T80

4. 結果 및 考察

그림 1-3과 3-2의 計算結果를 보면, r' 은 0.5~1.2 t' 에서 最大값을 가지며, 그 最大값은 $1.22 \times 10^{-2} \sim 2.62 \times 10^{-2}$ 사이로 나타나고 7.3~19.0 t' 가 경과한 후 r' 의 값이 零이 된다.

v' 은 1°의 外亂時 1.75×10^{-2} 이고 時間이 경과함에 따라 減少하는데 7.4~17.0 t' 정도 지나야만 零이 된다.

Ψ 의 變化를 보면, 6.0~17.0만큼 時間이 경과한 후 定針할 수 있고 그때 船首는 4.5×10^{-2} (약 2.6°)~ 9.5×10^{-2} (약 5.5°)정도 原針路에서 벗어나 있음을 알 수 있다.

模型船 M211은 舵가 없기 때문에 r' 은 다른 船型에 比하여 가장 큰 最大値를 보이며 減少는 서서히 이루어지고 v' 역시 느린 減少현상을 보이므로 回頭角은 계속 增加하게 된다.

그리고, 大型 肥大油槽船模型인 T80은 r', v', Ψ 모두 增加發散하므로 舵를 使用하지 않으면 微小한 外亂에도 針路를 維持하기 困難하다.

이와 같이 各 船型에 따라서 應答持性이 다르게 나타나므로 方形肥瘠係數(C_b), 船體길이에 대한 船幅의 比(L/B), 船體길이에 대한 吃水의 比(L/T) 및 舵面積比(R_d')가 針路安定性에 어떠한 影響을 미치는가 보기 위하여 各各에 對하여 r', v', Ψ 의 變化를 計算하고 考察하여 보았다.

4.1 方形肥瘠係數(C_b)의 크기가 針路安定性에 미치는 影響

Fig. 4-1은 方形肥瘠係數(C_b)가 標準船 M111이 가지고 있는 0.6보다 增加할 경우 針路安定性에 어떠한 差異가 있는가를 나타내고 있는 그래프들이다.

(a)의 그래프는 回頭角速度 r' 의 變化를 나타내고 있으며 標準船 M111은 $C_b=0.6$ 일 때 $t'=9.7$ 정도에서 零의 값이 되고, $C_b=0.7$ 인 경우 $t'=16$ 부근, $C_b=0.8$ 인 경우는 $t'=19$ 부근에서 零에 가까워진다.

(b)의 그래프는 橫方向速度 v' 의 變化를 表示하며, $C_b=0.6$ 인 標準船은 $t'=9$, $C_b=0.7$ 인 船은 $t'=14$, $C_b=0.8$ 인 船舶은 $t'=17$ 부근에서 零에 가까워지고 있다.

(c)의 그래프는 回頭角 Ψ 의 變化를 나타낸다. 標準船 $C_b=0.6$ 인 船舶은 $t'=7$ 부근에서 一定針路에 이르기 시작하여 $t'=10.5$ 부근에서는 5.9×10^{-2} rad. (약 3.4°)에 도달하여 直進하게 된다.

$C_b=0.7$ 인 船舶은 $t'=14.5$ 부근에서 약 9.1×10^{-2} rad. (약 5.2°)의 값을 가지며 定針한다.

$C_b=0.8$ 인 船舶은 $t'=16$ 부근에서 9.5×10^{-2} rad. (약 5.5°)의 값을 가지며 그 이후는 계속 같은 값을 가진다.

以上을 綜合하여 考察해 보면 다음과 같다.

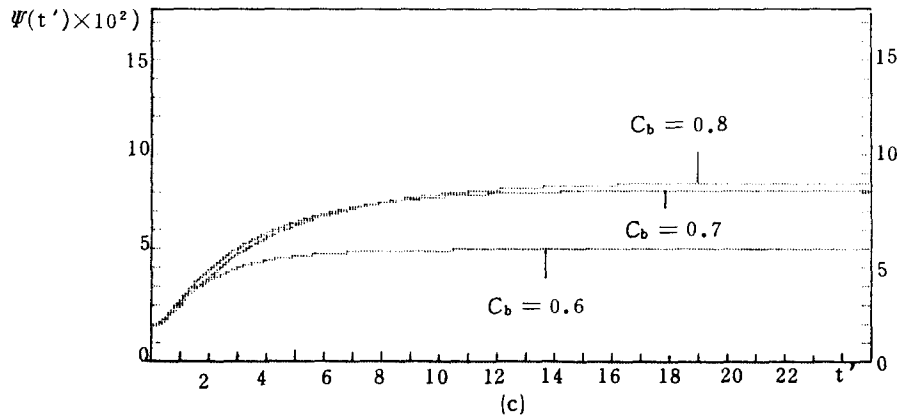
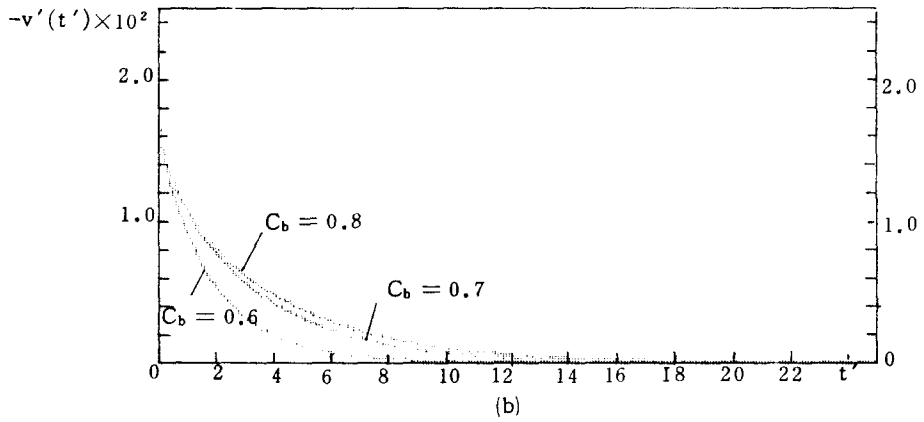
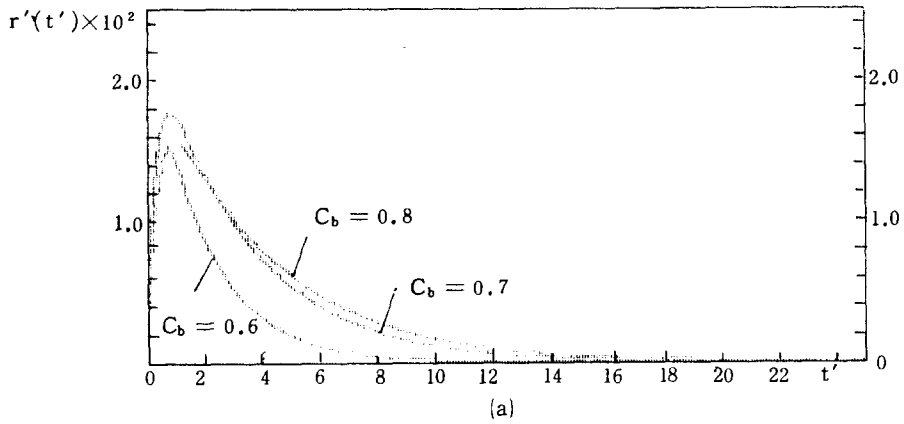


Fig. 4-1 Comparison of variations of $r'(a)$, $v'(b)$, $\Psi(c)$, in accordance with magnitude of block coefficient, C_b .

- 1) 方形肥楮係數(C_b)가 增加하면 外亂을 받은 후 新針路에 도달하는데 걸리는 時間이 길어지고, 原針路에서부터 回頭角도 增加하여 針路 不安定하게 되는 主要原因이 되고 있다.
- 2) $C_b=0.6$ 인 標準船보다 C_b 가 0.1 增加하면 離路(回頭角) 및 定針하는데 要하는 時間은 標準船보다 約 1.5倍 增加하며, C_b 가 0.2 增加할 경우는 回頭角 및 時間이 標準船의 約 1.6倍 增加한다.

4·2 船體길이에 對한 船幅의 比(L/B)가 針路安定性에 미치는 影響

Fig. 4-2는 船幅에 對한 船體길이의 比(L/B)가 變化함에 따라 針路安定性에 어떠한 影響을 미치는가를 나타내고 있는 그래프들이다.

(a)의 그래프는 回頭角速度 r' 의 變化를 나타낸다. $L/B=6.0$ 인 船舶은 $t'=12.3$ 부근에서, $L/B=7.0$ 인 船舶은 $t'=9.7$ 부근, $L/B=8.0$ 인 船舶은 $t'=8.5$ 부근에서 回頭角速度 r' 이 零에 가까와지고 있다.

(b)의 그래프는 橫方向速度 v' 의 變化를 나타낸다. $L/B=6.0$ 인 船舶은 $t'=11.5$ 부근에서, $L/B=7.0$ 인 船舶은 $t'=8.8$ 부근, $L/B=8.0$ 인 船舶은 $t'=7.5$ 부근에서 零에 가까와지고 있다.

(c)의 그래프는 回頭角 ψ' 의 變化를 나타낸다. $L/B=6.0$ 인 船舶은 $t'=11.5$ 부근에서 6.4×10^{-3} rad.(약 3.7°) 정도 벗어나며, $L/B=7.0$ 인 船舶은 $t'=10.5$ 부근에서 5.9×10^{-2} rad.(약 3.4°)의 離路를 가지며, $L/B=8.0$ 인 船舶은 $t'=6.5$ 부근에서 角度的 變化가 줄어들기 시작하여 $t'=8.8$ 부근에서 5.4×10^{-3} rad(약 3.1°)의 값을 가진다.

以上을 綜合하면 다음과 같다.

船體길이에 대한 船幅의 比(L/B)가 커지면 定針하는데 要하는 時間이 짧아지고 離路도 減少하여 針路安定性이 좋아진다.

4·3 船體길이에 대한 吃水의 比(L/T)가 針路安定性에 미치는 影響

Fig. 4-3은 吃水에 對한 船體길이의 比(L/T)가 變化함에 따라 針路安定性에 미치는 影響을 보여주는 그래프들이다.

(a)의 그래프는 回頭角速度 r' 의 變化를 나타내고 있다. L/T 가 14.5인 船舶은 $t'=8.5$ 부근에서, $L/T=18.75$ 인 船舶은 $t'=9.8$ 부근에서, $L/T=23.0$ 인 船舶은 $t'=10.5$ 부근에서 r' 이 零에 가까와지고 있다.

(b)의 그래프는 橫方向速度 v' 의 變化를 나타낸다. $L/T=14.5$ 인 船舶은 $t'=7.5$ 부근에서, $L/T=18.75$ 인 船舶은 $t'=9.0$ 부근에서, $L/T=23.0$ 인 船舶은 $t'=11.0$ 정도에서 없

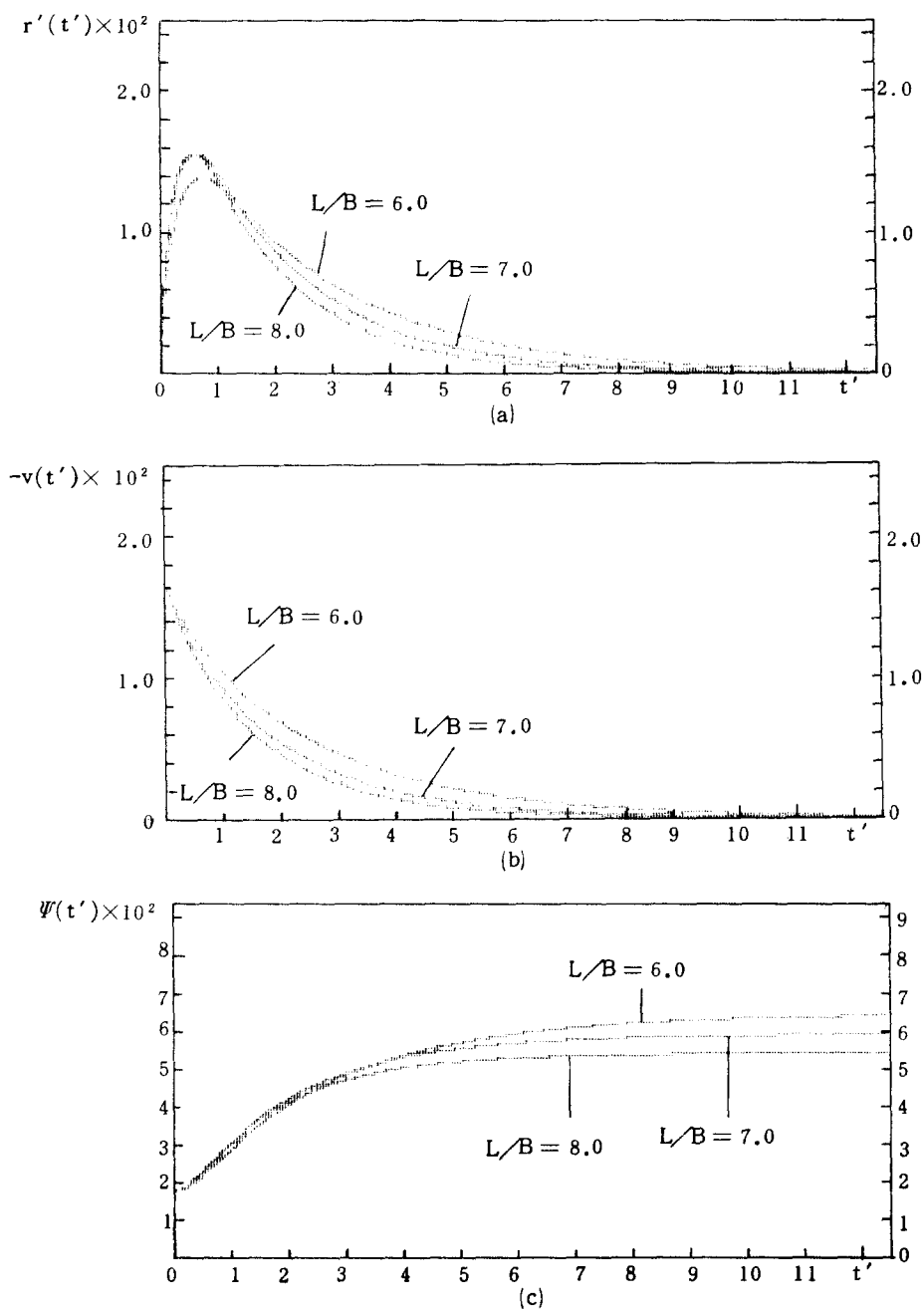


Fig. 4-2 Comparison of variations of $r'(a)$, $v(b)$, $\Psi(c)$ in accordance with magnitude of ratio of ship's length to beam, L/B .

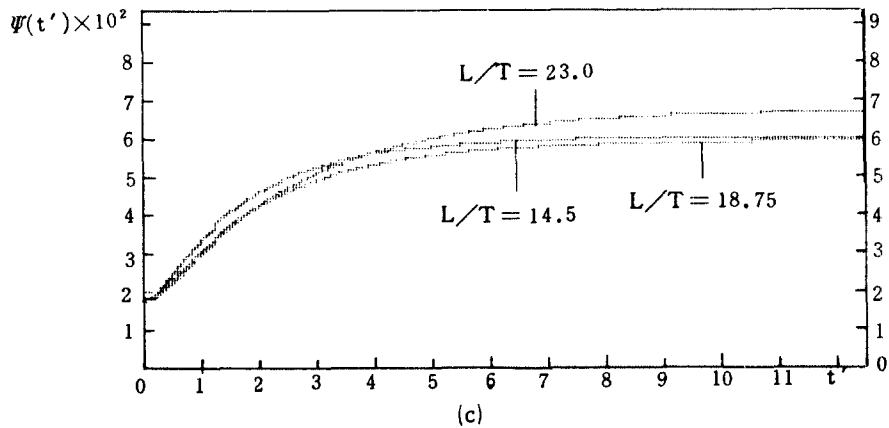
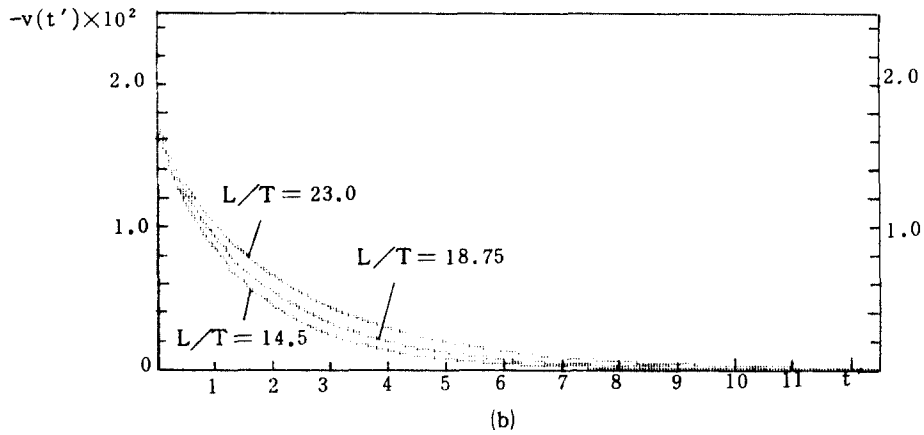
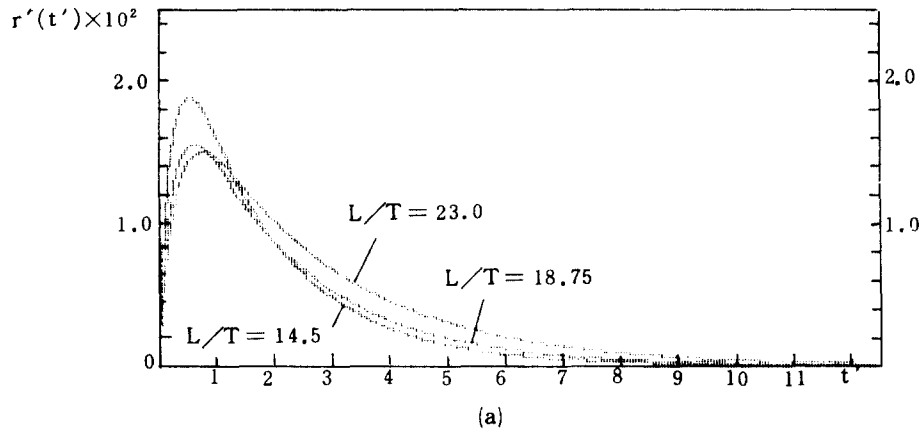


Fig. 4-3 Comparison of variations of $r'(a)$, $v'(b)$, $\Psi(c)$ in accordance with magnitude of ratio of ship's length to draft, L/T .

어지고 있다.

(c)의 그래프는回頭角 Ψ 의變化를 나타낸다. $L/T=14.5$ 인 船舶은 $t'=6.0$ 부근에서 角度的變化가 줄어들기 시작하여 $t'=7.5$ 부근에서 6.1×10^{-2} rad(약 3.5°) 정도 벗어나며 $L/T=18.75$ 인 船舶은 $t'=10.5$ 부근에서 6.7×10^{-2} rad.(약 3.8°)의 값을 가진다.

以上에서 L/T 는 針路安定性에 미치는 影響이 微小함을 알 수 있다.

4.4 舵面積比(R_A')가 針路安定性에 미치는 影響

Fig. 4-4는 舵面積比가 變化함에 따라 선박의 針路安定性에 어떠한 影響을 미치고 있는가를 나타내는 그래프들이다.

(a)의 그래프는回頭角速度 r' 의變化를 나타낸다. $R_A'=0.012$ 인 船舶은 $t'=10.7$ 부근에서, $R_A'=0.016$ 인 船舶은 $t'=8.0$ 부근에서, $R_A'=0.025$ 인 船舶은 $t'=7.3$ 정도에서 零에 가까워지고 있으며, $R_A'=0.0$ 즉 舵가 없는 선박은 時間이 지남에 따라 줄어들고는 있으나 r' 의 값이 0에 收斂하려면 상당한 時間이 要求된다.

(b)의 그래프는 橫方向速度 v' 의變化를 나타낸다. $R_A'=0.012$ 인 船舶은 $t'=10.0$ 부근에서, $R_A'=0.016$ 인 船舶은 $t'=7.6$ 부근, $R_A'=0.025$ 인 船舶은 $t'=7.3$ 부근에서 零에 수렴하고 있으며, $R_A'=0.0$ 인 船舶은 減少하기는 하지만 時間이 오래 경과해도 쉽게 零에 가까워지지 않는다.

(c)의 그래프는回頭角 Ψ 의變化를 나타낸다. $R_A'=0.012$ 인 船舶은 $t'=6.5$ 정도에서 角度的變化가 줄어들기 시작하여 $t'=9.5$ 부근에서 6.5×10^{-2} rad.(約 3.7°) 정도 벗어나며 $R_A'=0.016$ 인 船舶은 $t'=8.0$ 정도에서 5.9×10^{-2} rad.(約 3.4°), $R_A'=0.025$ 인 船舶은 $t'=6.5$ 부근에서 4.5×10^{-2} rad.(約 2.6°) 정도의 針路離脫을 보여준다.

$R_A'=0.0$ 인 船舶은 t' 가 變化해도 어느 一定한 角度에서 定針하지 않고 계속 돌아버린다.

여기서 舵面積比(R_A')가 增加할수록 r', v' 및 定針하는데 要하는 時間은 짧아지고, 離路의 크기는 減少하게 됨을 알 수 있으나 舵面積比(R_A')를 決定하는 데는 여러가지 制約條件이 많아서 실제로 針路安定性만을 위하여 舵를 크게 할 수는 없으므로 사실상 針路安定性에 미치는 R_A' 의 影響은 고려하기가 힘들다.

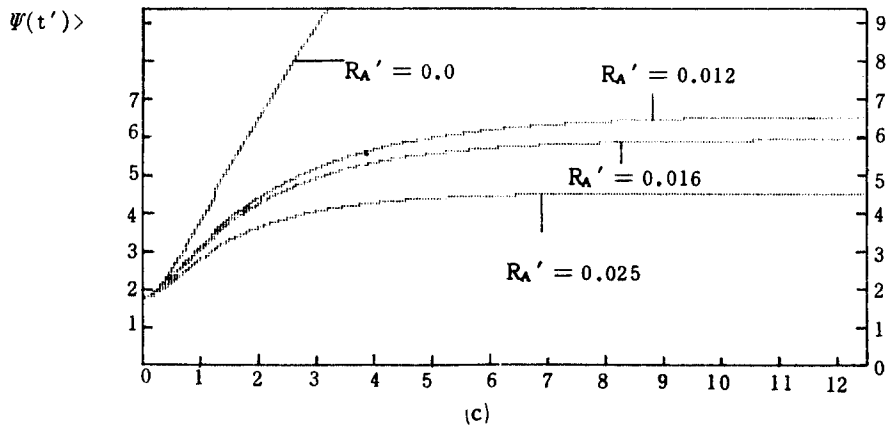
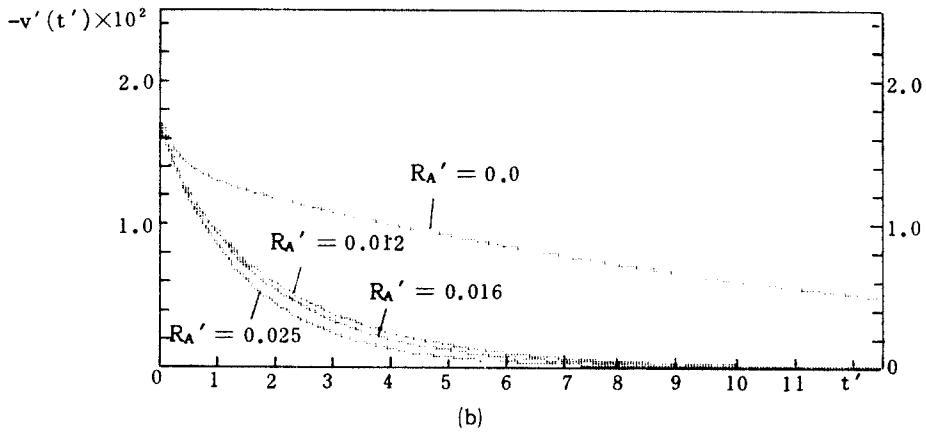
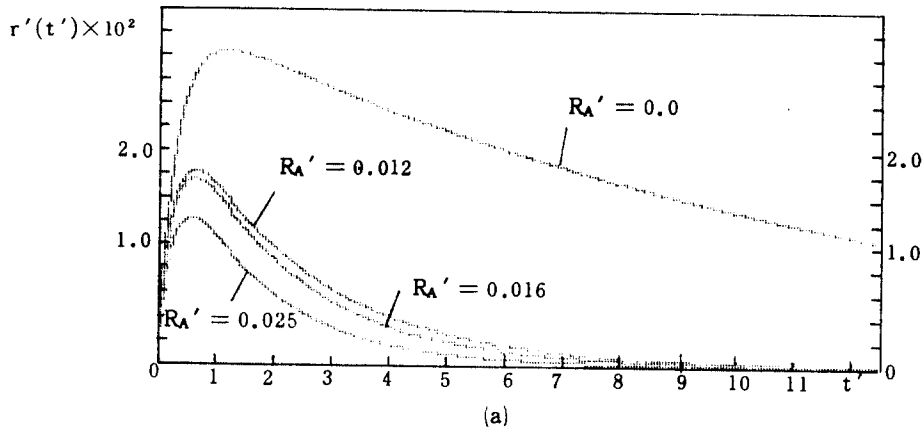


Fig. 4-4 Comparison of variations of r' (a), v' (b), Ψ (c) in accordance with magnitude of rudder area ratio, R_A' .

5. 結 論

以上과 같이 各種 船型에 따른 針路安定性에 對한 研究를 위하여 理論考察과 數值計算을 行하고 다음과 같은 結論을 얻었다.

- 1) 方形肥裕係數(C_b)의 크기는 船舶의 針路安定性에 크게 影響을 미치며, C_b 가 0.7 以上이면 離路의 差異는 거의 없으나 定針하는데 걸리는 時間은 差異가 있다.
- 2) 船體길이에 對한 船幅의 比(L/B)의 크기는 針路安定性에 影響을 미치며, 짧은 時間 ($t'=3$ 정도) 동안에는 거의 같은 影響을 받다가 時間이 더욱 增加하면 離路 및 定針하는데 要하는 時間이 거의 線形的으로 變化한다.
- 3) 船體길이에 對한 吃水의 比(L/T) 및 舵面積比(R_A')가 針路安定性에 미치는 影響은 거의 無視할 수 있다.
단, 舵를 크게 했을 경우 針路安定性은 좋아지나 실제로 大型舵의 設置가 不可能하므로 舵의 影響은 거의 同一하다고 볼 수 있다.
- 4) VLCC 나 Container feeder 船이 針路不安定한 原因은 方形肥裕係數(C_b)가 0.8 以上이고, 船幅에 對한 船體길이의 比(L/B)가 6.0 정도의 값을 가지기 때문이다.

參 考 文 獻

- 1) K. S. M. DAVISON : Turning and Course Keeping Qualities, Transactions Vol. 54, 1946. SNAME
- 2) H. Eda : Directional Stability and Control of Ships in Restricted channels, Transactions Vol. 79, 1971 SNAME
- 3) P. Mandel : Principles of Architecture, ChapterⅢ, pp. 463-606. 1966 SNAME
- 4) 元良誠三 : 船體と海洋構造物の運動學, 成山堂, pp. 227-258, 1982.
- 5) M. A. Abkowitz : Lectures on ship Hydrodynamics, Steering and Maneuverability, Report Hy-5, 1964.
- 6) 操縱性能推定專門委員會 : 船の操縱性能の推定特集, 日本造船學會, 1985.
- 7) 藤井齊・野本謙 : 操縱性試驗法, 日本造船學會, 第一回操縱性シンポジウム, 1970.
- 8) J. D. Yoon : Inherent Steering Characteristics Coming from the Configuration of a vessel, Transactions Vol. 8, 1984.
- 9) 尹点東 : 船舶運用的 理論과 實務, 第一文化社, 釜山, pp. 22-61, 1982.
- 10) 尹点東 : 巨大型船操船論, 亞成出版社, 釜山, pp. 22-61, 1983.
- 11) 孫景浩 : 船舶操縱運動의 力學的 構造, 韓國造船學會, Work Shop, 1984.