

瘠型船舶과 肥大型船舶의 針路安定性的 比較에 關한 研究

黃海星* · 李東燮** · 尹点東***

A Study on the Comparison of Course Stabilities between
Fine-form Ships and Full-form Ships

Hae-Sung Hwang · Dong-Sup Lee · Jeom-Dong Yoon

〈目 次〉

Abstract

Nomenclature

I. 序 論

II. 運動方程式

III. 航走時的 針路安定性

IV. 瘠型船舶과 肥大型船舶의 安定

指數에 대한 計算 및 比較

4.1 瘠型船 M-60 Model에 대한 計算

4.2 肥大型船 T-80 Model에 대한 計算

IV. 結 論

參考文獻

Abstract

Handling performance of a vessel is greatly related with her steering characteristics which consist of two kinds of motion characteristics ; namely course stability and turning ability.

The correct prediction of these qualities, especially the steering characteristics is as much important in ship handling as in ship design.

It is the purpose of this paper to provide ships handlers better understanding of steering characteristics and then to help them in safe controlling and maneuvering of vessels presenting distinct inherent steering characteristic difference that lies between a fine-form vessel and full-form vessel.

The authors calculated dynamic course stabilities of two kinds of ideal models, one of which represents

* 正會員, 木浦海難審判院

** 正會員, 韓國海洋大學校 大學院 博士過程

*** 正會員, 韓國海洋大學校

a fine-form ship and the other a full-form ship, based on hydrodynamic data of forces and moments obtained by model tests in maneuvering tanks.

The result of calculations indicated that a ship of full-form configuration has inherent course instability. Though significant nonlinearities affect ship motions in maneuvers, application of liner theory is sufficient for prediction of the maneuvering characteristics of vessels on calm waters for handling references.

Nomenclature

G : 선체무게 중심
 h : 船首方向의 速度
 H : 船首方向의 힘
 L : 선체길이
 $G-xy$: 船體固定座標軸
 \dot{y}_o : y_o 軸上의 速度
 \ddot{y}_o : y_o 軸上의 加速度
 I_z : z 軸에 대한 船體의 無次元 慣性 능률
 $[I_z/1/2\rho L^3 d]$
 m : 船體의 質量
 $m'y$: 無次元 橫方向 假想質量 $[=(m'-Y'_i)]$
 N : Yaw모멘트
 X : x 軸方向의 힘
 $N'r$: $\partial N'/\partial r'$
 $N'\dot{r}$: $\partial N'/\partial \dot{r}'$
 $n'z$: z 軸에 대한 無次元 假想慣性 능률 $=(I'z - N'\dot{r})$
 N'_δ : $\partial N'/\partial \delta$ (舵角에 대한 無次元 Yaw모멘트 導函數)
 N'_β : $\partial N'/\partial \beta$
 Y'_i : $\partial Y'/\partial \dot{v}$
 Y'_v : $\partial Y'/\partial v'$
 Y'_β : $\partial Y'/\partial \beta$
 Y'_δ : $\partial Y'/\partial \delta$
 R : 回轉半徑
 r' : 無次元 旋回角速度 $(=rL/U=L/R)$
 \dot{r}' : 無次元 旋回角加速度
 u : x 軸 方向 船速
 v' : v/U

\dot{u} : x 軸 方向 加速度
 β : 偏角
 ρ : 流體密度
 ϕ : Yaw角
 $\dot{\phi}$: Yaw角 速度
 C_b : 方形비척係數
 \ddot{h} : 船首方向의 加速度
 d : 船體의 吃水
 $O-x_o y_o$: 地球固定座標軸
 \dot{x}_o : x_o 軸 方向의 速度
 \ddot{x}_o : x_o 軸 方向의 加速度
 I_z : z 軸에 대한 船體의 慣性 능률
 m' : 無次元 船體의 質量 $[=m/1/2\rho L^3 d]$
 N' : 無次元 Yaw모멘트 $[N/1/2\rho L^3 d U^2]$
 Y : y 軸 方向의 힘
 $N'v$: $\partial N'/\partial v'$
 $N'\dot{v}$: $\partial N'/\partial \dot{v}'$
 $Y'r$: $\partial Y'/\partial r'$
 $Y'v$: $\partial Y'/\partial v'$
 $N'\delta$: $\partial N'/\partial \delta$
 r : 旋回角 速度 $(=d\phi/dt)$
 t : 時間
 t' : 無次元時間 $(=ut/L)$
 v : y 軸 方向 船速
 Y' : 無次元 y 軸 方向의 힘 $[Y/1/2\rho L d U^2]$
 δ : 舵角
 σ : 安定性 指數
 $\ddot{\phi}$: Yaw角 加速度
 R_1, R_2' : r' 一般解의 係數
 V_1, V_2' : v' 一般解의 係數

I. 序 論

最近의 海運界에 있어서의 技術革新의 特色은 船舶의 專用化, 大型化 및 自動化에 있다고 보아진다. 그 중에서도 船舶의 大型化는 船舶의 操縱이라는 觀點에서 볼 때 대단한 問題點을 안고 있다고 볼 수 있다.

그러나 이와 같은 船舶의 急速한 大型化는 造船側面의 技術만을 강조한 결과를 가져왔고 水路와 港灣施設의 擴張 및 改善이라는 操船側面의 考慮는 相當히 등한시 되었으며 심지어는 操船技術의 개발내지 보급에 대하여도 政府의인 次元에서의 支援은 全無하였다고 볼 수 있다. 그 결과 우리나라에서도 VLCC의 操船技術 未熟으로 大型海難事故가 빈번히 發生하였다.

操船에 관한 學門의인 基礎는 力學, 流體力學, 氣象學, 海洋學 및 造船工業등의 넓은 分野에 걸쳐 있고 船舶을 操縱한다는 것은 操縱技術의인 判斷이 瞬時性을 要求하기 때문에 또한 學門의인 바탕이 經驗的인 바탕과 충분히 配合 및 調和를 이루어야 하는 것이다.

그러므로 超大型船舶의 安全運航 問題는 大端히 重要한 問題로 대두되었고 그러한 船舶의 運動性能에 대한 操縱上의 檢討는 重要한 意味를 갖게 되었다.

이 論文의 目的은 操船者들에게 VLCC라는 肥大型 船型에서 생기는 針路安定性的 特徵을 明白히 알림으로써 超大型船舶의 安全運航을 도모하는데 있다.

本 論文에서는 橢形船型의 代表的인 Model과 VLCC라는 代表的인 Model을 골라서 이들의 動的인 針路安定性을 計算하였다. 그 結果 肥大型船舶은 船型에서 由來하는 針路安定性이 있음을 明白히 알 수 있었고 이러한 船舶들이 狹水路 또는 港灣等の 水路에 極微速의 낮은 速力으로 進入할때는 事전에 操船補助用 曳船을 充分히 準備하여 미리미리 操船補助에 임하게 할 必要가 있음을 알게 되었다.

II. 運動方程式

Fig. 1과 같이 固定座標를 0점에 잡고 어떤 순간에 한 船舶의 位置가 이 座標上에서 (x_{01}, y_{01}) 에 있는 P_1 점 이라고 하자. 이 船舶의 다음 순간에 船着 方向인 H (heading)方向으로 거리 H_0 만큼 移動하여 그 位置가 $P_2(x_{02}, y_{02})$ 로 옮겨졌다고 하면 이 船舶은 x_0 軸 方向으로 $x_{02} - x_{01} = H_0 \cos \phi$, y_0 軸 方向으로 $y_{02} - y_{01} = H_0 \sin \phi$ 거리만큼 移動한 것이다.

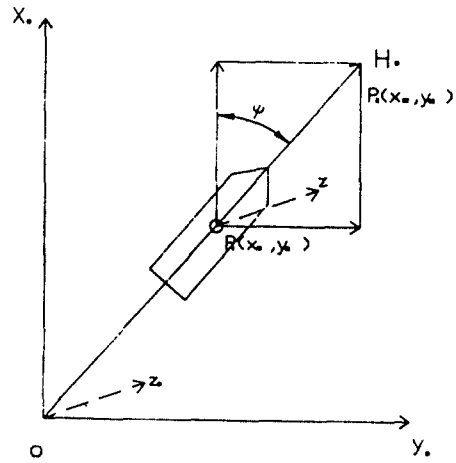


Fig 1. Coordinate System(Space Axes)

이때의 船着方向 H 를 향한 速度를 \dot{h} 라고 하면 \dot{h} 는 \dot{x}_0 와 \dot{y}_0 로 나누어 생각할 수 있고,

$$\begin{aligned} \dot{x}_0 &= \dot{h} \cos \phi \\ \dot{y}_0 &= \dot{h} \sin \phi \end{aligned} \quad (1)$$

이때 H 方向으로 加速度 \ddot{h} 가 생겨 있다면 \ddot{h} 와 \ddot{x}_0 와 \ddot{y}_0 로 나누어서 생각할 수 있고,

$$\begin{aligned} \ddot{x}_0 &= \ddot{h} \cos \phi \\ \ddot{y}_0 &= \ddot{h} \sin \phi \end{aligned} \quad (2)$$

가 된다. 이러한 加速度 \ddot{h} 를 내는 힘을 H 라고 하면, $H = m \ddot{h}$ 가 되고 힘 H 는 x_0 및 y_0 의 方向으로 나누어서 생각할 수 있고,

$$\begin{aligned} X_o &= H \cos \varphi \dots\dots\dots (3) \\ Y_o &= H \sin \varphi \end{aligned}$$

이때 x_o 軸 및 y_o 軸上의 直線運動方程式은,

$$\begin{aligned} X_o &= m \ddot{x}_o \cos \varphi \dots\dots\dots (4) \\ Y_o &= m \ddot{y}_o \sin \varphi \end{aligned}$$

가 된다.

그리고 本船의 G點을 通하여 Z軸에 平行인 垂直軸 方向을 Z라 하고 軸 周圍의 moment를 N라고 하면, 固定軸 x_o, y_o 上에서의 直線運動과 本船을 통하여 垂直軸 周圍의 回轉運動은,

$$\begin{aligned} X_o &= m_o \ddot{x}_o \\ Y_o &= m_o \ddot{y}_o \dots\dots\dots (5) \\ N &= I_z \ddot{\varphi} \end{aligned}$$

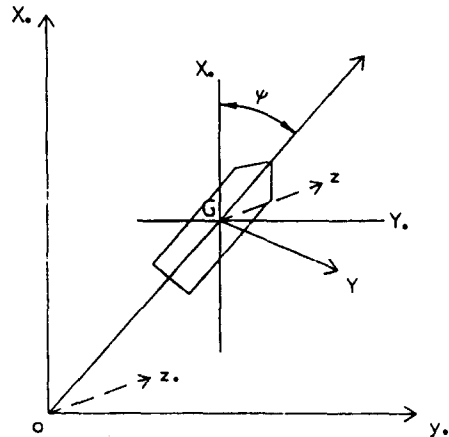
로 表示된다.

이러한 運動方程式은 運動物體의 方向指向性을 無視하고 物體의 質點 G가 地上에서 어떤 經路를 거쳐서 移動하고 있는가를 알아 보는데 매우 有利하다. 그러나 이러한 運動方程式은 方向性을 지닌 運動物體가 運動하는 과정에서 그 方向性으로 인하여 자체의 運動軸 周圍에 어떤 變化를 일으킬 것인가를 調査하는데는 適合하지 않다. 왜냐하면 固定座標系에 의한 運動方程式은 質點의 指標上의 移動를 알아보는것, 예를 들면 Tropical Cyclone이 北上을 할때 어떤 經路를 취하고 있는가 등의 航海學의 內容을 表示할 뿐이기 때문이다.

이것은 運動物體의 강한 方向性이 자체軸 周圍에 어떤 힘을 미치게 될 것인가 등의 Dynamic Effect를 일으키는 Term이 모두 Static Point만을 表示하는 x_o 와 y_o 의 Term에 埋沒되어 버리기 때문이다. 따라서 船體가 航海中에 x軸 周圍의 回轉運動 때문에 전복되어 버릴 것인가 또는 z軸 주위의 回轉性 때문에 航海 자체가 不可能할 것인가 등을 調査할 때는 固定座標系에 따른 運動方程式으로는 調査가 不可能하고 移動座標系를 運動物體에 設定하여야 한다. 왜냐하면 x_o, y_o 를 아는 것은 航海學上의 問題이고 Rolling角度, 針路上에서의 方向安定性 등을 따지는 것은 運用學上의 調査이기

때문이다.

여기서는 x_o, y_o 의 point를 알아 보는 것은 全的으로 無意味한 것이다.



- X : 船首方向 x로 作用하는 힘
- Y : 正橫方向 y로 作用하는 힘
- X_o : 固定軸 x_o 方向으로 作用하는 힘
- Y_o : 固定軸 y_o 方向으로 作用하는 힘

Fig 2. Coordinate System(Body Axes)

移動軸을 기준으로한 運動方程式은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} X &= m(\dot{u} - v\dot{\varphi}) \\ Y &= m(\dot{u} + v\dot{\varphi}) \dots\dots\dots (6) \\ N &= I_z \ddot{\varphi} \end{aligned}$$

(6)式에서 X, Y 및 N은 船體의 運動 및 操舵動作으로 因하여 發生하는 流體力를 表示하게 된다. 그러므로 이러한 힘들은 (7)式과 같이 表示될 수 있다.

$$\begin{aligned} X &= F_x(u, \dot{u}, v, \dot{v}, \dot{\varphi}, \ddot{\varphi}, \delta, \dot{\delta}) \quad ① \\ Y &= F_y(u, \dot{u}, v, \dot{v}, \dot{\varphi}, \ddot{\varphi}, \delta, \dot{\delta}) \quad ② \dots\dots\dots (7) \\ N &= F_N(u, \dot{u}, v, \dot{v}, \dot{\varphi}, \ddot{\varphi}, \delta, \dot{\delta}) \quad ③ \end{aligned}$$

一般的으로 操縱運動에서 精밀한 運動量을 計算하는 境遇를 제외하고 大略의 運動性能과 그 結果를 點檢하는 경우에는 (7)식에서 제 ①式은 聯成에서 제외하고 제 ②式 및 제 ③式을 聯成하여 數

式을 처리한다.

이러한 경우에 聯成의 解를 얻기 위하여는 方程式을 無次元化 하여 처리하는 것이 옳고 그러한 處理結果는 (8)式과 같다.

$$\begin{aligned}
 m' \ddot{v}' + m' r' &= \\
 Y_v' v' + Y_v' \dot{v}' + Y_r' r' + Y_r' \dot{r}' + Y_\delta' \delta' + Y_\delta' \dot{\delta}' & \\
 I_z' \dot{r}' = N_v' v' + N_v' \dot{v}' - N_r' r' + N_r' \dot{r}' + N_\delta' \delta' + N_\delta' \dot{\delta}' & \\
 \dots\dots\dots & \dots\dots\dots (8)
 \end{aligned}$$

III. 航走時의 針路 安定性 (Dynamic Stability)

船舶의 航走時의 針路安定性은 작은 初期攪亂으로 誘發된 Yaw(船首回頭)와 Sway(橫方向移動)의 크기에 直接的으로 關聯된다.

線形運動方程式은 이러한 처리에 有用하게 適用될 수 있다.

만약 타(舵) 中央位置를 假定하면 다음과 같은 常數係數를 가진 等差微分方程式이 얻어진다.

$$\begin{aligned}
 n' \dot{r}' - N_r' r' - N_v' \dot{v}' - N_v' v' &= 0 \dots\dots\dots (9) \\
 m' \dot{v}' - Y_v' v' - Y_r' \dot{r}' + (m' - Y_r') &= 0
 \end{aligned}$$

Yaw와 Sway運動의 線形方程式은

$$\begin{aligned}
 a_{11} \dot{r}' + a_{12} r' + a_{13} \dot{v}' + a_{14} v' &= 0 \dots\dots\dots (10) \\
 a_{21} \dot{r}' + a_{22} r' + a_{23} \dot{v}' + a_{24} v' &= 0
 \end{aligned}$$

에서

$$\begin{aligned}
 a_{11} = n' &= I_z' - N_r' \approx 2I_z' & a_{21} &= -Y_r' \approx 0 \\
 a_{12} &= -N_r' & a_{22} &= -(Y_r' - m') \\
 a_{13} &= -N_v' \approx 0 & a_{23} &= m'_y \approx 2m' \\
 a_{14} &= -N_v' & a_{24} &= -Y_v'
 \end{aligned}$$

方程式(10)은 常數係數를 가진 等差線形微分方程式 形式이며 이러한 形式의 一般解는 指數項의 疊으로 이루어지고 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 r' &= R_1 e^{\sigma_1 t'} + R_2 e^{\sigma_2 t'} = R' e^{\sigma' t'} \\
 v' &= V_1 e^{\sigma_1 t'} + V_2 e^{\sigma_2 t'} = V' e^{\sigma' t'} \dots\dots\dots (11)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \dot{r}' &= R' \sigma' e^{\sigma' t'} \\
 \dot{v}' &= V' \sigma' e^{\sigma' t'}
 \end{aligned}$$

方程式(10)에 方程式(11)을 代入하면 다음 方程式이 얻어진다.

$$\begin{aligned}
 (a_{11} \sigma' + a_{12}) R' + (a_{13} \sigma' + a_{14}) V' &= 0 \dots\dots\dots (12) \\
 (a_{21} \sigma' + a_{22}) R' + (a_{23} \sigma' + a_{24}) V' &= 0
 \end{aligned}$$

方程式(12)는 係數行列이 Zero일때만 R'와 V'에 대한 唯一解(Non-trivial Solution)를 가지며 먹지수 σ' 에 대한 特性方程式은 다음과 같다.

$$\Delta = \begin{vmatrix} (a_{11} \sigma' + a_{12})(a_{13} \sigma' + a_{14}) & A \sigma'^2 + B \sigma' + C = 0 \\ (a_{21} \sigma' + a_{22})(a_{23} \sigma' + a_{24}) & \dots\dots\dots \end{vmatrix} \dots\dots\dots (13)$$

여기에서

$$\begin{aligned}
 A &= a_{11} a_{23} - a_{21} a_{13} = n'_y m_y \\
 B &= \begin{vmatrix} a_{11} a_{14} \\ a_{21} a_{24} \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} a_{12} a_{13} \\ a_{22} a_{23} \end{vmatrix} = a_{11} a_{24} + a_{11} a_{23} = n'_y v' - m'_y N_r' \\
 C &= a_{12} a_{24} - a_{22} a_{14} = N_r' Y_v' - N_v' (Y_r' - m')
 \end{aligned}$$

가 되고,

方程式(13)은 두 根 σ_1' 및 σ_2' 를 가진다.

方程式(12)의 R'와 V'의 값은 初期運動條件에 依存하지만 安定性은 微分方程式(12)의 性質에만 依存하고 먹지수 σ' 로부터 推論할 수가 있다.

따라서 σ_1' 와 σ_2' 의 實數가 모두 陰이라면 식(12)에서 주어진 解와 r'와 v'는 初期條件에 關係없이 t'가 無限大에 接近할 때에, Zero에 接近할 것이다. 이 경우에 船體의 運動은 船舶이 소량의 임의의 初期攪亂에 따라 새로운 直線針路(Straight Course)로 돌아오는 면에서 運動은 安定的이다.

반면에 약 σ_1' 이나 σ_2' 의 둘중의 하나가 陽의 實數部를 가지면 수식은 時間 t'의 흐름과 함께 r'와 v'치가 增加하도록 展開될 것이며 結果的으로 그 運動은 螺旋型으로 점점 커진다.

이 경우에 運動은 작은 임의의 初期攪亂후에 操舵를 하지 않고는 直線針路가 確保되지 않는다는 면에서 運動이 不安定하다.

方程式(13)의 解는

$$\sigma_{1,2} = \frac{-B \pm (B^2 - 4AC)^{1/2}}{2A} \dots\dots\dots (14)$$

方程式(14)에 따라 $\sigma_{1,2}$ 의 값이陰이고 그래서 運動이 安定한 必要充分條件은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} A > 0 \\ B > 0 \dots\dots\dots (15) \\ C > 0 \end{aligned}$$

實際 모든 船舶에 있어서 A 및 B의 値는 언제나 陽이다.

따라서 $C > 0$ 만이 直線針路의 安定性에 대한 基準이 되고 그것은 다음과 같다.

$$N'v_r - N'_r(Y'_r - m') > 0 \dots\dots\dots (16)$$

$\sigma_{1,2}$ 의 性質에 따른 船體 運動을 調査하여 보면 다음과 같다.

1. $\sigma_{1,2}$ 의 값이 (-)일때

(1) $\sigma_{1,2} < 0$ or $C > 0$

이것은 針路不安定船의 例이다.

이때는 橫方向移動이나 角速度는 指數函數의 으로 감쇄한다.

(2) $\sigma_{1,2} > 0$ or $C < 0$

이것은 針路不安定船의 例이다.

橫方向移動이나 角速度는 時間 경과와 함께 指數函數의 으로 增加한다.

위의 結果는 한 船舶이 針路安定船인지 아닌지 를 決定하는 明確한 기준을 提示하고 있다.

만약 船舶이 直線針路나 直線에 가깝게 진행하면 針路安定이고, 반면에 어느 方向으로 圓을 그리게 된다면 針路不安定이다.

$\sigma_{1,2}$ 의 값이 複素數일때

이것은 針路安定에 필요한 것보다 더 큰 靜的安定이 存在할 때에 發生한다.

初期 Yaw角에 뒤이은 運動이 振動함을 알 수 있으나 실제로는 이러한 船舶은 없다.

IV. 瘠型船舶과 肥大型船舶의 安定 指數에 대한 計算 및 比較

이 章에서는 60-Series의 瘠型船舶의 代表的인 M-60과 肥大型 模型인 T-80의 安定指數値를 角速度없이 순간 Yaw攪亂 1度에 대한 Yaw반응을 計算하였다. 아래의 Table-1은 각각 模型船들의 流體動力學的의 微係數(Hydrodynamic Coefficients)이다.

Table-1 Hydrodynamic Coefficient

M - 60	T - 80
$m'_r = 0.1500$ $Y'_v = -0.3020$	$m'_r = 0.229$ $Y'_v = -0.3090$
$m'_y = 0.3000$ $Y'_r - m'_r = -0.1080$	$m'_y = 0.458$ $Y'_r - m'_r = -0.179$
$m'_z = 0.0200$	$n'_z = 0.028$
$N'_v = -0.1160$	$N'_v = -0.093$
$N'_r = -0.0590$	$N'_r = -0.052$

4.1. 瘠型船 M-60 Model에 대한 計算

4.1.1. 安定性指數

$$\begin{aligned} 0.02 \dot{r}' + 0.059 r' + 0.116 v' &= 0 \\ 0.108 \dot{r}' + 0.300 \dot{v}' + 0.302 v' &= 0 \end{aligned} \dots\dots\dots (17)$$

方程式(17)에서 다음과 같은 安定性指數를 얻는다.

$$\sigma_{1,2} = \frac{-B \pm (B^2 - 4AC)^{1/2}}{2A}$$

A = 0.006
B = 0.02374
C = 0.00529

$$\begin{aligned} \sigma_1 &= -0.237 \\ \sigma_2 &= -3.72 \end{aligned}$$

$C > 0$ 이면, 이 船舶은 航走時 針路安定性을 갖는다. $|1/\sigma_1|$ 은 初期攪亂이 지수함수적으로 감소 또는 증가함을 뜻하고 선체길이의 몇 倍數로 進行한 것인가를 나타내는 物理的 意味를 갖는 것이다.

왜냐하면 上記의 瘠型船舶은 $|\sigma_1| = 0.237$ 에서 $1/0.237$ 은 4倍로서 이것은 舵中央에서 船舶이 선체길이의 4倍 進行후에는 初期攪亂이 거의 사라질 것임을 뜻한다.

4.1.2. Yaw 應答

安定性指數値가 計算되면 Yaw와 Sway 運動方程式의 解는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} r'(t) &= R_1'e^{-0.237t} + R_2'e^{-3.72t} \\ v'(t) &= V_1'e^{-0.237t} + V_2'e^{-3.72t} \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (18)$$

주어진 初期條件 $t'=0$ 에서 $r'(0)=0$ 및 $v'(0)=\pi/180$ 로부터 R' 値와 v' 値를 計算할 수 있다.

$-v' = +\beta$ 이므로 $v'(0)$ 値는 -0.01745 이다.

$$\begin{aligned} R'_1 + R'_2 &= 0 \\ V'_1 + V'_2 &= -0.01745 \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (19)$$

初期條件을 方程式(9)에 適用하면 다음 값이 얻어진다.

$$\begin{aligned} r'(0) &= \frac{N'_v V'(0)}{n'_z} = \frac{0.116 \times 0.01745}{0.02} = 0.10121 \\ v'(0) &= \frac{Y'_v V'(0)}{m'_y} = \frac{0.302 \times 0.01745}{0.30} = 0.01757 \end{aligned}$$

(18)式을 微分하여 정리하면 上記의 값으로부터 다음 式이 얻어진다.

$$\begin{aligned} -0.237R'_1 - 3.72R'_2 &= 0.10121 \\ -0.237V'_1 - 3.72V'_2 &= 0.01757 \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (20)$$

方程式(19)와 (20)에서 다음값이 구해진다.

$$\begin{aligned} R'_1 &= 0.029 & V'_1 &= -0.01363 \\ R'_2 &= -0.029 & V'_2 &= -0.00382 \end{aligned}$$

이제 Yaw와 Sway運動의 最終的인 解로서 다음 方程式을 얻는다.

$$\begin{aligned} r'(t) &= 0.029e^{-0.237t} - 0.029e^{-3.72t} \\ v'(t) &= -0.01363e^{-0.237t} - 0.00382e^{-3.72t} \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (21)$$

Yaw角 $\phi(t')$ 는 $r'(t')$ 를 積分하여 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} \phi(t') &= \int r'(t') dt \\ &= -0.1224e^{-0.237t'} + 0.0078e^{-3.72t'} + C_0 \end{aligned}$$

여기서 C_0 는 初期條件 $\phi(0)=0.01745(=1 \text{ 度})$ 에서 計算한 것이다.

$$\phi(t') = -0.1224e^{-0.237t'} + 0.0078e^{-3.72t'} + 0.13205 \quad \dots\dots\dots (22)$$

Yaw應答의 數値와 時刻歷의 圖示는 Table-2과 Fig-3이다.

Table-2 Yaw應答의 計算치(M-60)

t' (期間)	0	1	2	4	5	10	15	∞
$e^{-0.237t'}$	1	0.79	0.62	0.39	0.31	0.09	0.03	0.0
$e^{-3.72t'}$	1	0.02	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
$r'(t') \times 10_2$	0	2.22	1.80	1.13	0.90	0.26	0.0	0.0
$-v'(t') \times 10_2$	1.75	1.08	0.85	0.53	0.42	0.12	0.04	0.0
$\phi(t') \times 10$	0.17	0.36	0.56	0.84	0.94	1.21	1.28	1.32

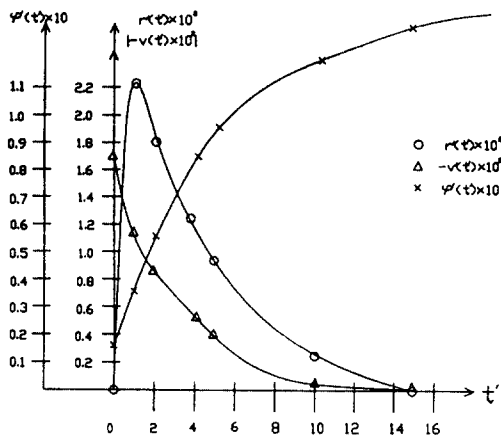


Fig.3 Yaw Response of M-60

4.2. 肥大型船 T-80 Model에 대한 計算

4.2.1 安定性 指數

$$\begin{aligned} 0.028r' + 0.052r' + 0.093v' &= 0 \\ -0.179r' + 0.458v' + 0.309v' &= 0 \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (23)$$

方程式 (23)에서 安定性 指數가 구해진다.

$$\sigma'_{1,2} = \frac{-B \pm (B^2 - 4AC)^{1/2}}{2A}$$

$$\begin{aligned} \sigma'_1 &= 0.036 & \text{에서 } A &= 0.013 \\ \sigma'_2 &= -2.531 & B &= 0.032, & C &= -0.000579 \end{aligned}$$

C < 0이면, 이 船舶은 航走時 針路不安定船이다. 이 船舶은 直線針路를 따르지 않으며 舵角을 使用하지 않아도 원을 그리며 旋回함을 의미한다.

4.2.2. Yaw 應答

初期條件으로 부터 다음 값이 얻어진다.

$$r'(0) = R'_1 + R'_2 = 0 \quad \dots\dots\dots (24)$$

$$v'(0) = V'_1 + V'_2 = -0.01745$$

$$r'(0) = 0.058 \quad v'(0) = 0.012$$

$$0.036 R'_1 - 2.531 R'_2 = 0.058 \quad \dots\dots\dots (25)$$

$$0.036 V'_1 - 2.531 V'_2 = 0.012$$

$$R'_1 = 0.023 \quad V'_1 = 0.013$$

$$R'_2 = -0.023 \quad V'_2 = -0.005$$

方程式(24)와 (25)로부터 다음식이 구해진다.

$$r'(t) = 0.023 e^{0.036t} - 0.023 e^{-2.531t} \quad \dots\dots\dots (26)$$

$$v'(t) = 0.0133 e^{0.036t} - 0.005 e^{-2.531t}$$

$$\sigma(t) = 0.639 e^{0.036t} + 0.009 e^{-2.531t} + C_0 \quad \dots\dots\dots (27)$$

$$\sigma(t) = 0.639 e^{0.036t} + 0.009 e^{-2.531t} - 0.63055$$

Yaw應答의 계산치와 時間履歷의 圖示는 Table -3과 Fig-4와 같다.

Table -3 Yaw應答의 계산치 (T-80)

t'(期間)	0	1	2	4	5	10	15	∞
$e^{0.036t}$	1	1.04	1.08	1.16	1.20	1.43	1.72	∞
$e^{-2.531t}$	1	0.08	0.01	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
$r'(t) \times 10_2$	0	2.20	2.46	2.66	2.75	3.30	3.95	∞
$-v'(t) \times 10_2$	0.80	1.31	1.39	1.50	1.56	1.86	2.23	∞
$\phi(t) \times 10$	0.17	0.33	0.56	1.08	1.34	2.85	4.66	∞

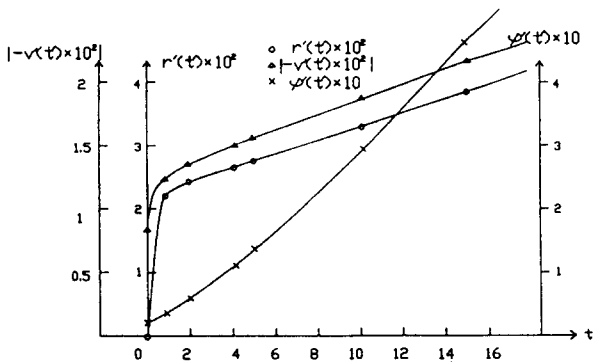


Fig.4 Yaw Response of T-80

Fig-3과 4을 比較하면 M-60의 運動은 收斂하고 T-80의 運動은 점점 크게 發散함을 알 수 있다.

V. 結 論

이 論文의 한가지 目的은 操船者들에게 船型에 따른 船舶의 操縱運動의 重要한 特性을 提示하는데 있는 것이지만 보다 重要한 點은 肥大型船舶인 VLCC를 操船하는 경우에 이러한 船舶이 通常의 瘠型船舶과 비슷한 操縱pattern을 따라 주리라 생각하고 港內 操船에 임하는 것은 큰 海難을 誘發할 수 있는 原因이 된다는 것을 理解시키는데 있고 結論은 다음과 같다.

1. 一般的으로 말하여 瘠型船舶은 針路安定성을 갖게 되는 것이 보통이지만 肥大型船舶은 그 크기에 상관 없이 針路不安定한 船舶이 되기 쉽다.
2. 瘠型船舶에 誘發된 運動소멸과 肥大型船舶의 回頭運動은 빠르기는 $|1/\sigma'_1|$ 의 값에 따라 決定된다. 이 論文에서 瘠型船舶 M-60의 $|1/\sigma'_1|$ 의 값은 約 4인데, 이것은 이 船舶의 배 길이의 約 4 배 정도 움직였을 때 거의 똑바른 針路로 定針됨을 의미하고 있으며, 肥大型船舶 T-80의 $|1/\sigma'_1|$ 값이 約 28인데 이것은 이 船舶이 배 길이의 約 28배 정도 航走하였을 때 상당히 심하게 回頭하게 되는 것을 뜻하고 있다.
3. VLCC의 操船에 있어서 淺水와 岸壁影響이 固有의 針路不安定성과 함께 結合될 때는 보통의 貨物船보다 安全操船이 훨씬 어렵게 된다.
4. VLCC와 같은 肥大型船이 狹水路를 通過하거나 港灣에 進入할 때는 事前에 操船補助用 曳船을 充分히 準備하여 同行하면서 航行의 安全을 補助토록 하여야 한다.

參考文獻

1. 尹点東：船舶運用의 理論과 實務, 第一文化史, 釜山 pp.33-56(1982)

2. 尹点東：巨大型船 操船論 亞成出版社, 釜山 pp.22-74, 115-128 (1983)
3. Philip Mandel etc. : Principles of Naval Architecture, SNAME, New York, pp.466-486.
4. Kenneth S.M.Davidson : Turning and Course-Keeping Qualities, Transaction Vol. 54, 1946, SNAME, New York, p.152-200
5. W.R.Jacobs : Estimation of Stability Derivatives and Indices of Various ship Forms, and Comparison with Experimental Results, Journal of ship research, September 1966, pp.135-163.
6. Haruzo Eda : Steering Characteristics of ship in calm water and waves, Transactions Vol. 73, 1965, SNAME, pp.135-177.
7. Haruzo Eda : Directional Stability and Control of Ships in Restricted Channel, Transactions Vol. 79, 1971, SNAME, pp.71-116
8. Haruzo Eda : Ship Maneuvering Safety Studies, Transactions Vol. 87, 1979, SNAME, pp.229-250.
9. J.D.Yoon : Inherent steering Characteristics coming fom the configuration of a Vessel, Transactions, Vol.8, J. of the Korean Institute of Navigation. pusan. (1984)
10. 中央海難審判院：海難審判事例集, 서울, 1983年度, 1988年度
11. 小山建夫 前田久明共著：船體와 海洋構造物の運動學, 淵鏡文化社譯, pp.239-274. (具鐘道, 朴魯植 譯)