

# P. I. D. 型 自動操舵裝置에 對한 若干의 考察

李哲榮\* · 金是和\* · 金煥秀\*

## Some Considerations on the P. I. D. type Autopilot

*Cheol-yeong Lee, Si-hwa Kim, Whan-soo Kim*

### 〈 目 次 〉

#### Abstract

1. 序 論
2. 시스템의 安定性
3. 시스템의 經濟性

#### 4. 시뮬레이션

5. 結 論
- 參考文獻

### Abstract

The purpose of automatic steering system is to keep the ship's course stable with the minimum course error and rudder angle, and there have been a number of studies as to the optimal design and adjustment of the autopilot. Recently, modern control theories are being used widely in analyzing and designing the system.

When a ship is at sea, autopilot installed on the ship plays an important role, particularly in the respect of economic aspects, that is, when the design and the adjustment of adjustable parameters are not conducted perfectly, the amount of loss in energy and the extension of sailing distance become large. Therefore the optimal design and adjustment of a autopilot are very important.

Though P.I.D. type autopilots are widely spread and generally used in modern ships, the suitability and the adjusting method are not clarified.

In this paper the authors considered the stability and the economical efficiency of the P.I.D. type autopilot and investigated various facts which should be considered at the time of designing and using the P.I.D. type autopilot through the digital computer simulation.

### 1. 序 論

船舶의 自動操舵裝置는 船舶의 針路를 自動的으로 維持하게 하는 自動保針機能과 自動的으로 다른 針路로 變針하게 하는 自動變針機能을 가지고 있으며 지금까지 自動操舵裝置를 最適으로 設計 또는 調整하는 問題에 對하여 많은 研究가 行해져 왔다.<sup>1)~2)</sup>

近來에는 自動操舵系의 分析 및 設計時에 現代制御理論이 廣範圍하게 適用되고 있다. 即 파라메타 最適化法이나 適應制御에 基礎를 둔 適應制御系의 設計, 그리고 人間の 經驗을 바탕으로 自動操

\* 正會員, 韓國海洋大學

舵系를 設計하고자 하는 Fuzzy Logic Control 에 依한 操舵系의 制御등이 代表的인 例이다.

實際로 船舶이 大洋上 航海할 때 自動操舵裝置의 役割은, 自動化機器로서 뿐만아니라 經濟的인 側面에서 그 重要性이 強調된다. 現用되고 있는 自動操舵裝置의 境遇 그 制御系의 設計 또는 파라메타 調整이 不安全할 때에는 自動操舵系에 外亂으로 作用하는 風·波浪 等の 影響으로 인해 操舵機의 使用 回數가 不必要하게 增加하게 되고 이로 인해 馬力損失이 發生한다. 同時에 頻繁한 操舵로 인하여 遠心力의 分力, 舵의 抵抗, 斜航을 誘發하게 되어 船體의 抵抗을 增加시키게 되며 지그재그 航海로 인한 航路의 延長을 招來하여 에너지 損失을 가쳐오게 된다. 그러므로 自動操舵裝置를 最適으로 設計 또는 調整한다는 것은 經濟的인 側面에서 대단히 重要하며 實船實驗의 結果에 依하면 自動操舵裝置의 改善으로 空船航海의 境遇 1.5%의 馬力減少와 2.2%의 燃料節約을 할 수 있다는 研究報告<sup>23)</sup>가 있다.

現在, 實船에서는 P.I.D.型 自動操舵裝置가 널리 普及되어 普遍的으로 使用되고 있다. 그러나 P.I.D.型 自動操舵裝置의 適否性이나 積分要素에 對한 파라메타 調整法이 理論的으로 明確하게 說明되어 있지 않은 實情으로 이 問題에 關하여 具體的으로 다루는 일은 매우 意義가 클 것으로 생각된다. 本 論文에서는 이러한 점을 勘案하여 現用되고 있는 P.I.D.型 自動操舵裝置에 對하여 安全性, 經濟性 및 制御特性 等に 關하여 檢討를 行하고, P.I.D.型 自動操舵裝置의 設計 및 使用上의 諸問題點에 對하여 廣範圍한 考察을 하고자 한다.

本 研究에서는 船舶自動操舵系의 非線形의 要素는 無視하였으며 一定 速度로 一定 針路를 航海하는 船舶을 對象으로 하고 外亂은 偏角速度의 量으로 impulse 狀으로 加해지며 그 크기는 微小하다고 假定하였다.

## 2. 시스템의 安定性

船舶自動操舵系를 block 線圖로 圖示하면 Fig. 1과 같다.

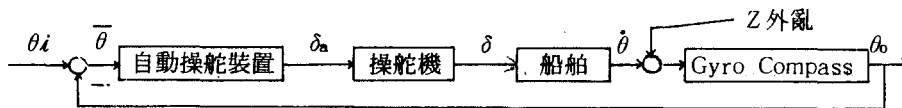


Fig. 1 Block diagram of ship's steering system.

Fig. 1에서  $\theta_i$ 는 命令針路로서 피이드백 制御系의 設定值이며,  $\theta_o$ 는 船舶의 旋回角인 實針路이고  $\dot{\theta}$ 는 偏角이다. 또,  $\delta_a$ 는 命令舵角,  $\delta$ 는 操舵機에 依해 船舶에 實際로 作用되는 操舵角을 나타낸다.

한편, 各 要素의 動特性을 살펴보면 다음과 같다.<sup>23)</sup> 먼저, 船舶의 動特性은 2階線型 微分方程式을 使用하여 表現하면,

$$T_1 T_2 \ddot{\theta} + (T_1 + T_2) \dot{\theta} + \theta = K\delta + K T_2 \dot{\delta} \quad (2-1)$$

操舵機의 境遇에는,

$$\dot{\delta} = \frac{1}{T_E}(\delta_a - \delta) \quad (2-2)$$

但,  $T_E$ : 操舵機의 時定數

로 나타나며, 자이로 콤파스는 船舶의 旋回角速度를 角度로 變換하는 裝置이므로,

$$\theta = \int \dot{\theta} dt \quad (2-3)$$

로 된다. 그리고 自動操舵裝置는 比例·微分·積分形을 採用하고 있으므로,

$$\delta_a = K_p(\theta + K_d \dot{\theta} + K_i \int \theta dt) \quad (2-4)$$

와 같아지며 여기에서  $K_p$ ,  $K_d$ ,  $K_i$  는 各各 比例, 微分, 積分係數를 나타낸다.

一般的으로, 自動操舵裝置는 自動的으로 針路를 變更하는 變針機能과 自動的으로 針路를 維持하는 保針機能이 있으나, 遠洋航海의 境遇에는 주로 外亂에 對한 保針機能이 重要 觀心事가 되므로, 外亂을 入力으로 하는 系로 變換하면 Fig. 2와 같아진다.

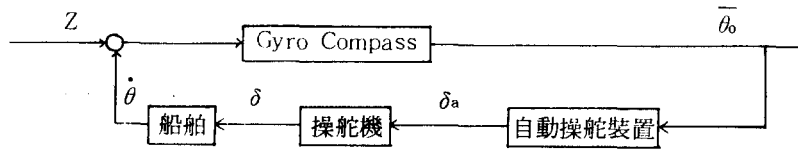


Fig. 2 Another representation of block diagram.

따라서 Fig. 1, 2로부터 船舶自動操舵系의 狀態方程式은 다음과 같이 된다.

$$\begin{aligned} \text{變針系의 境遇, } \quad & \frac{d}{dt} [X] = AX + b \theta_i \\ & Y = CX \end{aligned} \quad (2-5a)$$

$$\begin{aligned} \text{保針系의 境遇, } \quad & \frac{d}{dt} [\bar{X}] = A\bar{X}' + bZ \\ & Y = C'\bar{X}' \end{aligned} \quad (2-5b)$$

$$\text{但, } A = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ -a_5 & -a_4 & -a_3 & -a_2 & -a_1 \end{pmatrix}$$

$$C = (C_4, C_3, C_2, C_1, C_0)$$

$$C' = (C'_4, C'_3, C'_2, C'_1, C'_0)$$

$$b = (0, 0, 0, 0, 1)$$

$$X = (x_4, x_3, x_2, x_1, \theta)$$

$$X' = (x'_4, x'_3, x'_2, x'_1, \theta)$$

$$a_5 = KK_p Ki / T_1 T_2 T_E$$

$$a_4 = KK_p (Ki T_3 + 1) / T_1 T_2 T_E$$

$$a_3 = (KK_p Kd + KK_p T_3 + 1) / T_1 T_2 T_E$$

$$\begin{aligned}
 a_2 &= (T_1+T_2+T_E+T_3KKpKd) / T_1T_2T_E \\
 a_1 &= (T_1+T_2+T_E+T_3KKpKd) / T_1T_2T_E \\
 a_0 &= (T_1T_2+T_ET_1+T_ET_2) / T_1T_2T_E \\
 C_4 &= 0 \\
 C_3 &= 1 / T_1T_2T_E \\
 C_2 &= (T_1+T_2+T_E) / T_1T_2T_E \\
 C_1 &= a_0 \\
 C_0 &= 1 \\
 C'_4 &= KpKi / T_1T_2T_E \\
 C'_3 &= Kp(KiT_1+KiT_2+1) / T_1T_2T_E \\
 C'_2 &= Kp(T_1T_2Ki+Kd+T_1+T_2) / T_1T_2T_E \\
 C'_1 &= (KpT_1T_2+KpKd(T_1+T_2)) / T_1T_2T_E \\
 C'_0 &= KpKdT_1T_2 / T_1T_2T_E
 \end{aligned}$$

한편, 船舶自動操舵系の 安定性은 變針性能 및 保針性能 各各에 對하여 檢討되어야 하므로 Fig. 1, 2로부터 全自動操舵系の 特性은,

$$\theta(s) = F(s) \cdot \theta_i(s) + H(s) \cdot Z(s)$$

로 된다. 여기에서  $F(s)$  및  $H(s)$ 는 各各 變針系 및 保針系の 閉루프 傳達函數이다. 그러나 式(2-5a), (2-5b)로부터 알 수 있는 바와 같이, 行列  $A$ 가 兩系統 모두 同一하므로, 結局 全自動操舵系の 特性을 나타내는 特性方程式은,

$$\begin{aligned}
 \det(sI - A) &= S^5 + (T_1T_2+T_ET_1+T_ET_2) / T_1T_2T_ES^4 \\
 &+ (T_1+T_2+T_E+T_3KKpKd) / T_1T_2T_ES^3 + (KKpKd+KKpT_3+1) \\
 &/ T_1T_2T_ES^2 + KKp(KiT_3+1) / T_1T_2T_ES + KKpKi / T_1T_2T_E
 \end{aligned} \tag{2-6}$$

로 되어 比例, 微分, 積分係數를 파라메타로 하는 方程式이 된다. 實際로 自動操舵系の 安定性이 어떠한 特性을 나타내는가를 살펴보기 위하여 Table. 1에 보이는 바와 같은 船舶들에 對하여 Huriwitz 安定判別法에 依하여 安定性을 調査하였다. 3隻의 船舶은 모두 비슷한 傾向을 보이고 있으므로 Tf 船을 中心으로 그 特性을 살펴보기로 한다.

Table 1. Model ship.

船 舶	積 貨 狀 態	操 縱 性 能 指 數			
		T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>
Tf	滿 載 油 槽 船	90	10	25	0.07
Cf	滿 載 貨 物 船	45	6	10	0.08
Cb	空 船 貨 物 船	12	2	5	0.06

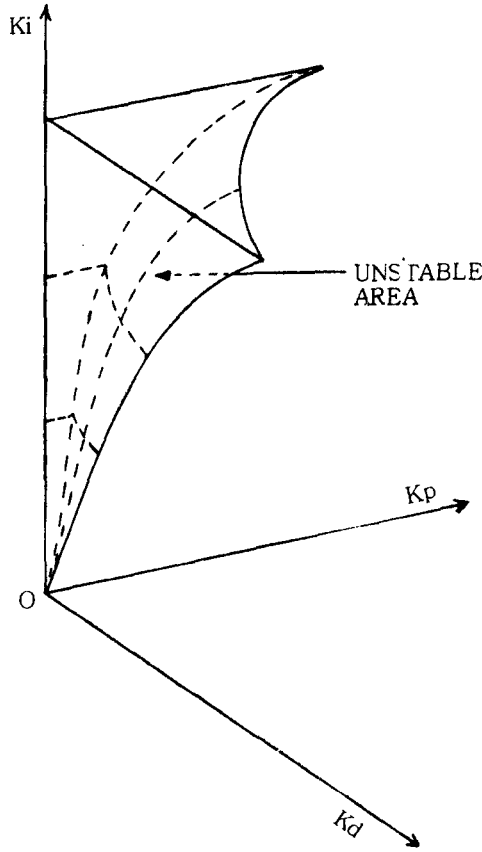


Fig. 3 Stability characteristic.

Fig. 3에서 알 수 있는 바와 같이,  $K_i$  값 즉, 積分係數의 값이 커질수록 不安定하게 되는 範圍가 넓어져서 P. D. 型 自動操舵裝置에 比하여 系全體가 不安定해 질 可能性이 크다는 것을 알 수 있다. 즉, P. D. 型 自動操舵裝置에 있어서는  $K_p, K_d \geq 0$  範圍內에서는 不安定한 狀態가 나타나지 않으나  $K_i$ 를 導入하므로써 점점 不安定한 範圍가 넓어져서 일종의 錐形으로 不安定한 範圍가 增加하고 있다. 뿐만아니라, T<sub>f</sub>船과 같은 大型船은 이러한 傾向이 特히 두드러져서 I型을 導入한 自動操舵裝置를 設置하고 있는 船舶에서 特히 注意를 要한다.

그러므로 綿密한 檢討없이 積分要素를 動作시키면 船舶自動操舵系 全體가 不安定하게 되어 船舶이 蛇航하게 됨을 알 수 있으며 이러한 現象은 最近 P. I. D. 型 自動操舵裝置를 設置하고 있는 船舶에서 종종 經驗하고 있는 것과 一致하고 있다.

### 3. 시스템의 經濟性

一般的으로 最適問題에 있어서 基本이 되는 것은 어떠한 評價函數를 採用할 것인가 하는 것이나, 船舶自動操舵系의 境遇 船舶運航의 經濟性이라는 觀點에서 適當한 評價函數가 提案되어 있으므로 아래에서도 提案된 評價函數를 그대로 使用하기로 한다.

$$J = \frac{1}{2} \int_0^t (\theta^2(t) + \lambda \delta^2(t)) dt \rightarrow \min. \quad (3-1)$$

위의 評價函數는 時間領域에서 定義된 것이나, 다루는 對象의 特性에 따라서는 周波數 領域으로 變換하여 다룰 수 있다.

즉,

$$J = \frac{1}{4\pi j} \int_{-j\infty}^{j\infty} (\theta(s)\theta(-s) + \lambda \delta(s)\delta(-s)) ds \rightarrow \min. \quad (3-2)$$

船舶自動操舵系의 境遇에도 系에 加해지는 外亂  $Z$ 를 impulse 型으로 假定하면, 周波數 領域에서 푸는 것이 便利하다. Fig. 1에서  $\theta(s), \delta(s)$ 는 各各

$$\theta(s) = \frac{T_1 T_2 T_E S^4 + \{T_1 T_2 + T_E(T_1 + T_2)\} S^3 + (T_1 + T_2 + T_E) S^2 + S}{\Delta} \quad (3-3a)$$

$$\delta(s) = \frac{KpKdT_1 T_2 S^4 + \{KpT_1 T_2 + KpKd(T_1 + T_2)\} S^3 + Kp(T_1 T_2 Ki + Kd + T_1 + T_2) S^2 + Kp(KiT_1 + KiT_2 + 1) S + KpKi}{\Delta}$$

但,  $\Delta = T_1 T_2 T_E (\det(sI - A))$  (3-3b)

(3-3a, b)를 (3-2)式에 代入하고 Parseval의 定理를 利用하면 式(3-2)는,

$$J = J_1 + \lambda J_2 \quad (3-4)$$

$$\begin{aligned} \text{但, } J_1 &= \frac{1}{\pi} \int_0^{\infty} [G_1(jw) \cdot G_1(-jw)] dw \\ &= \frac{1}{2\delta_5} [C_1 m_0 + (C_3^2 - 2C_2 C_4) m_1 + (C_3^2 - 2C_1 C_3) m_2 + C_1^2 m_3] \\ J_2 &= \frac{1}{\pi} \int_0^{\infty} [G_2(jw) \cdot G_2(-jw)] dw \\ &= \frac{1}{2\delta_5} [e_1 m_0 + (e_3^2 - 2e_2 e_4) m_1 + (e_3^2 - 2e_1 e_3 + 2e_0 e_4) m_2 + (e_1^2 - 2e_0 e_2) m_3 + e_4^2 m_4] \end{aligned}$$

$$m_0 = \frac{1}{d_5} (d_1 m_1 - d_1 m_2)$$

$$m_3 = \frac{1}{d_0} (d_2 m_2 - d_1 m_1)$$

$$m_1 = -d_0 d_3 + d_1 d_2$$

$$m_4 = \frac{1}{d_0} (d_2 m_3 - d_1 m_2)$$

$$m_2 = -d_0 d_5 + d_1 d_4$$

$$\delta_5 = d_0 (d_1 m_4 - d_3 m_3 + d_5 m_2)$$

$$C_1 = 1$$

$$e_0 = KpKi$$

$$C_2 = T_1 + T_2 + T_E$$

$$e_1 = Kp(KiT_1 + KiT_2 + 1)$$

$$C_3 = T_1 T_2 + T_E(T_1 + T_2)$$

$$e_2 = Kp(T_1 T_1 Ki + Kd + T_1 + T_2)$$

$$C_4 = T_1 T_2 T_E$$

$$e_3 = KpT_1 T_2 + KpKd(T_1 + T_2)$$

$$d_0 = KKpKi$$

$$e_4 = KpKdT_1 T_2$$

$$d_1 = KKp(KiT_3 + 1)$$

$$d_2 = KKpKd + KKpT_3 + 1$$

$$d_3 = T_1 + T_2 + T_E + T_3 KKpKd$$

$$d_4 = T_1 T_2 + T_E T_1 + T_E T_2$$

$$d_5 = T_1 T_2 T_E$$

(3-4)式으로부터 評價函數 J는 Kp, Kd, Ki 및 λ의 函數가 됨을 알 수 있다. λ는 航路의 延長에서 오는 損失(J<sub>1</sub>)과 操舵機 驅動에 要하는 馬力에 依한 損失(J<sub>2</sub>)의 比를 나타내는 係數이므로 船舶 運航經費에 있어서의 全般的인 得失을 考慮하여 決定해야 할 定數이다. 實船 實驗結果에 依하면 이 λ의 값이 약 4.0에 達한다는 報告도<sup>21)</sup> 있으나 λ는 船型, 船舶의 狀態등에 따라 달라지므로 便宜상 λ=1로 두어 다루기로 한다. 이렇게 되면 J는 Kp, Kd 및 Ki 만의 函數 즉, J(Kp, Kd, Ki)가 되므로 Kp, Kd, Ki의 最適置는 J(Kp, Kd, Ki)를 Kp, Kd 및 Ki에 關하여 最少化함으로써 求할 수 있다. 그리고 이 最適置는 (3-5)式을 滿足하지 않으면 안된다.

$$\frac{\partial J(Kp, Kd, Ki)}{\partial Kp} = \frac{\partial J(Kp, Kd, Ki)}{\partial Kd} = \frac{\partial J(Kp, Kd, Ki)}{\partial Ki} = 0$$

$$\begin{pmatrix} \frac{\partial^2 J}{\partial Kp^2} & \frac{\partial^2 J}{\partial Kd^2} & \frac{\partial^2 J}{\partial Ki^2} \\ \frac{\partial^2 J}{\partial Kp \partial Kd} & \frac{\partial^2 J}{\partial Kd \partial Ki} & \frac{\partial^2 J}{\partial Kp \partial Ki} \\ \frac{\partial^2 J}{\partial Kd \partial Kp} & \frac{\partial^2 J}{\partial Ki \partial Kd} & \frac{\partial^2 J}{\partial Ki \partial Kp} \end{pmatrix} : \text{positive definite} \quad (3-5)$$

그러나 (3-5)식을 理論的으로 求하는 것은 一般的으로 容易하지 않으며 求한다 하더라도 (3-5)식의  $J(Kp, Kd, Ki)$ 가  $Kp, Kd$  및  $Ki$ 에 對해서 單峰性(unimodal)이라는 條件이 없는 限 그것이 眞實한 最適值라는 保障은 없다. 왜냐하면 (3-5)식은 最適值에 對한 必要條件이기 때문이다. Table. 1과 같은 操縱性能指數를 갖는 船舶에 對해  $Kp, Kd$  및  $Ki$ 의 最適值를 數值計算하여, 3隻의 船舶의 最適值가 나타내는 傾向이 비슷하므로, Tf 船의 境遇만 Fig. 4에 보인다.

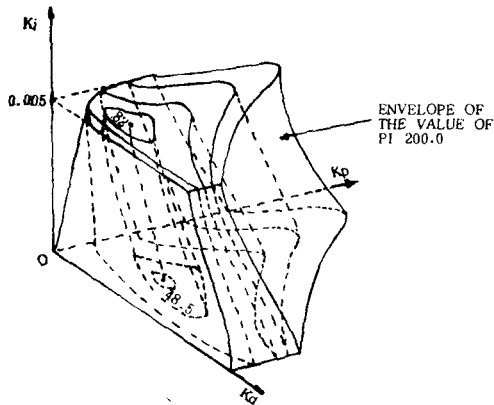


Fig. 4 Characteristic of the values of PI

Fig. 5로부터 알 수 있는 바와 같이,  $Ki$  값이 增加함에 따라 評價函數의 값도 같이 增加하고 있어서, 積分要素를 考慮할수록 船舶運航의 經濟性은 나빠진다는 것을 알 수 있다. 그리고 이러한 現象은 特히 Tf 船과 같은 大型船으로서 操縱性能이 나쁜 船舶의 境遇는 激甚하고 Cb 船과 같은 操縱性能이 優秀한 船舶의 境遇에는 그렇게 큰 차이를 나타내고 있지 않음을 알 수 있다.

그러나 經濟的으로 損害가 가는 일이 있더라도 船舶의 安全運航을 위해서는 積分要素를 導入하지 않으면 안될 境遇도 있다. 即, 不確實한 環境속에서 潮流 等과 같이 性質이 不明確한 外亂이 存在하고, 그러면서도 航海上 危險한 水域 等에서는 經濟性 보

Fig. 4로부터 알 수 있는 바와 같이 最適值는 單峰性을 나타내고 있다. 即,  $Ki$  값을 導入함으로써 不安定하게 되는 錐形部分을 除外한 部分에 最適值가 存在하고 있음을 알 수 있다. 그러나 그 最適值의 값은  $Kp$ - $Kd$  平面 即,  $Ki$ 가 제로가 되는 平面에 存在하고 있어서 에너지 最少 即, 經濟性이란 觀點에서 보면 當然히 積分要素를 導入한 P. I. D. 型이 P. D. 型보다는 나쁘다는 것을 알 수 있다.

以上の 內容을 좀 더 具體的으로 살펴보기 위하여, 最適值인  $Kp, Kd$  組에 對하여  $Ki$ 의 값을 增加시켰을 境遇, 評價函數의 값이 어떻게 變하는가를 보인 것이 Fig. 5이다.

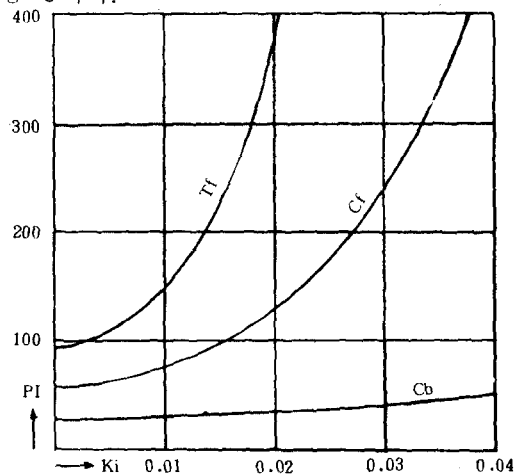


Fig. 5 PI & Ki characteristic of different types of ship.

다는 오히려 上位의 概念인 安全性을 重視하여 積分要素를 作動시켜 可能한 限 針路를 維持하도록 해야 하는 例가 여기에 屬한다. 이러한 境遇에는 當然히 積分要素를 驅動시키면서도 可能한 限 經濟性을 追求하도록 하는 2段의 目的을 滿足하도록 船舶을 運航하지 않으면 안된다. 그리고, 이때에는 어떻게 하면 經濟적으로 最適인 값을 選擇할 것인가 하는 점이 問題로 된다.

以上の 問題에 對한 하나의 解決策을 제시하기 위하여, Fig.6에  $T_f$ ,  $C_f$ ,  $C_d$  各 船舶의 境遇 積分係數를 일정하게 固定한 境遇의 評價函數의 값을 보인다. 그림으로 부터 알 수 있는 바와 같이  $K_i$ 가 一定한 境遇, 固定된  $K_i$ 下에서도 評價函數를 最少로 하는  $K_p$ ,  $K_d$ 組가 存在하고 있음을 알 수 있다. 물론, 이 最適의 組는  $K_i$ 의 값에 따라 크게 影響을 받기는 하나,  $K_i$  값의 變化에 對應하

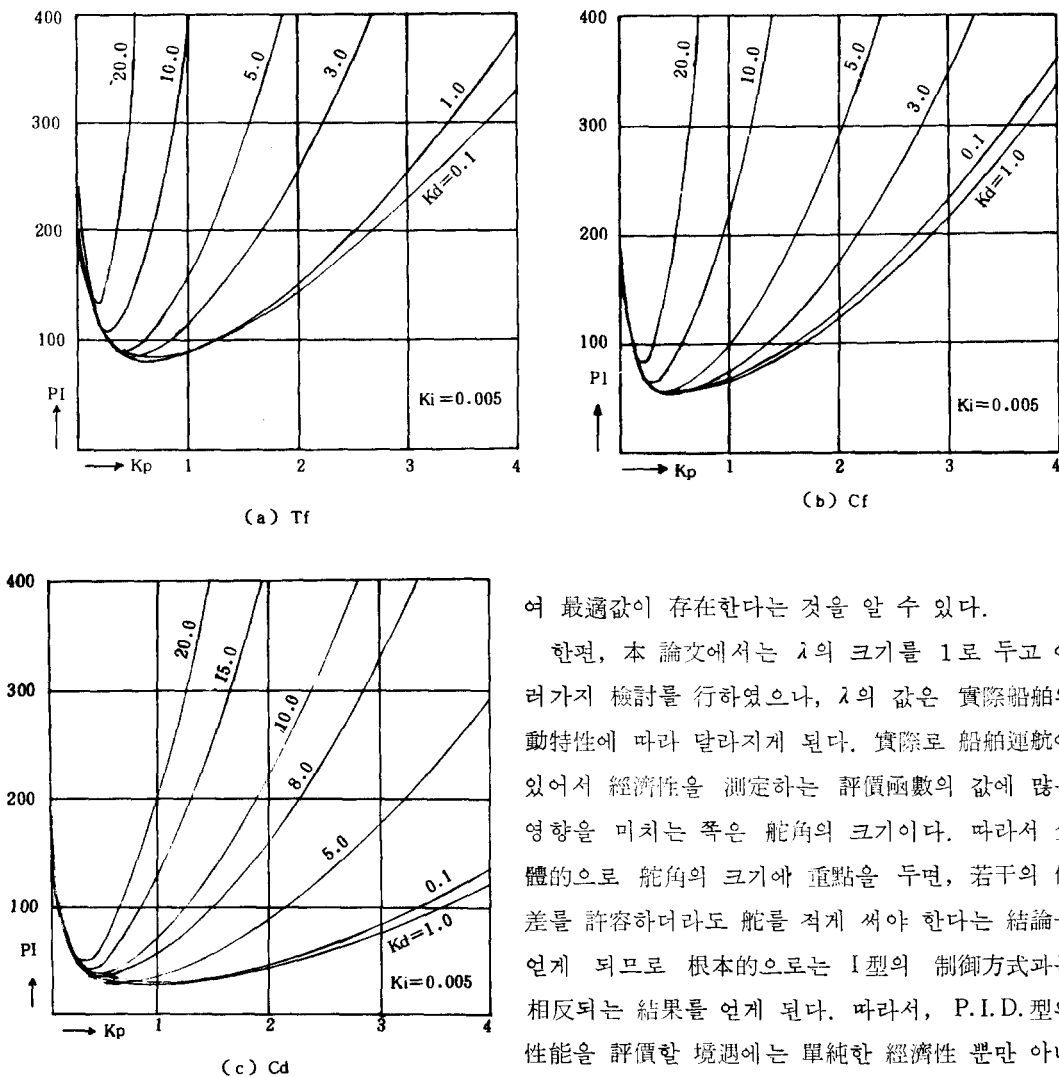


Fig. 6 The values of performance function( $K_i$ =constant)

여 最適값이 存在한다는 것을 알 수 있다.

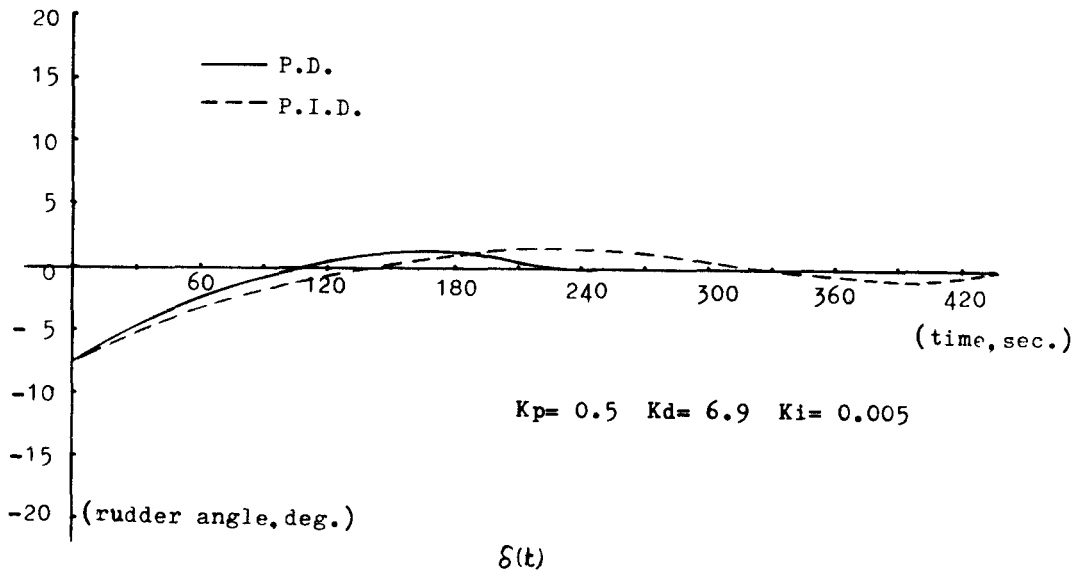
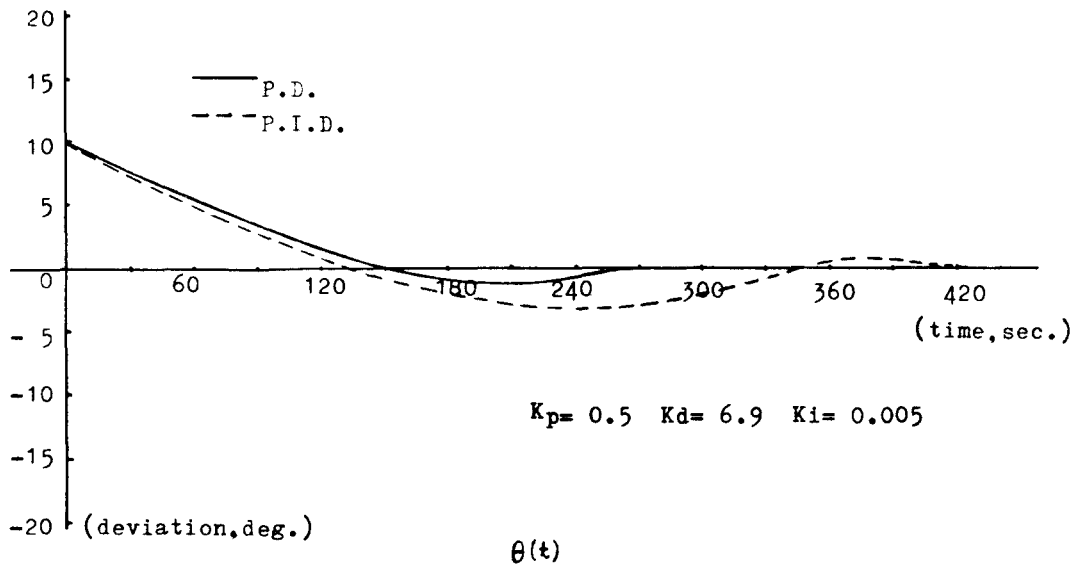
한편, 本論文에서는  $\lambda$ 의 크기를 1로 두고 여러가지 檢討를 行하였으나,  $\lambda$ 의 값은 實際船舶의 動特性에 따라 달라지게 된다. 實際로 船舶運航에 있어서 經濟性을 測定하는 評價函數의 값에 많은 影響을 미치는 쪽은 舵角의 크기이다. 따라서 全體적으로 舵角의 크기에 重點을 두면, 若干의 偏差를 許容하더라도 舵를 적게 써야 한다는 結論을 얻게 되므로 根本적으로는 I型의 制御方式과는 相反되는 結果를 얻게 된다. 따라서, P.I.D.型의 性能을 評價할 境遇에는 單純한 經濟性 뿐만 아니라 安全性의 問題를 考慮한 새로운 形式의 評價函數의 採用이 必要할 것으로 생각된다.

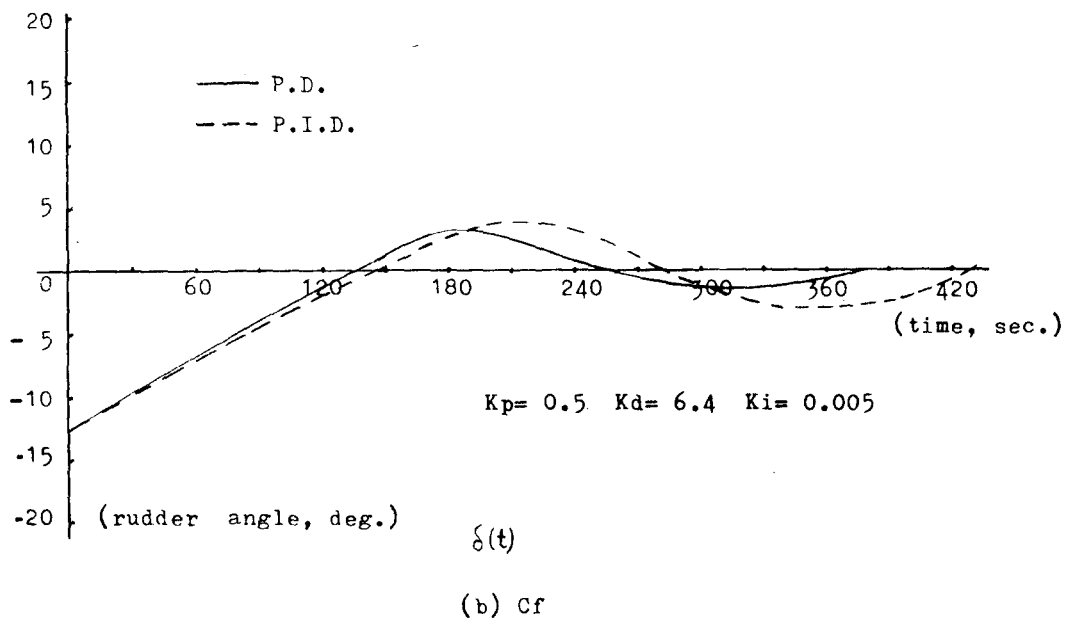
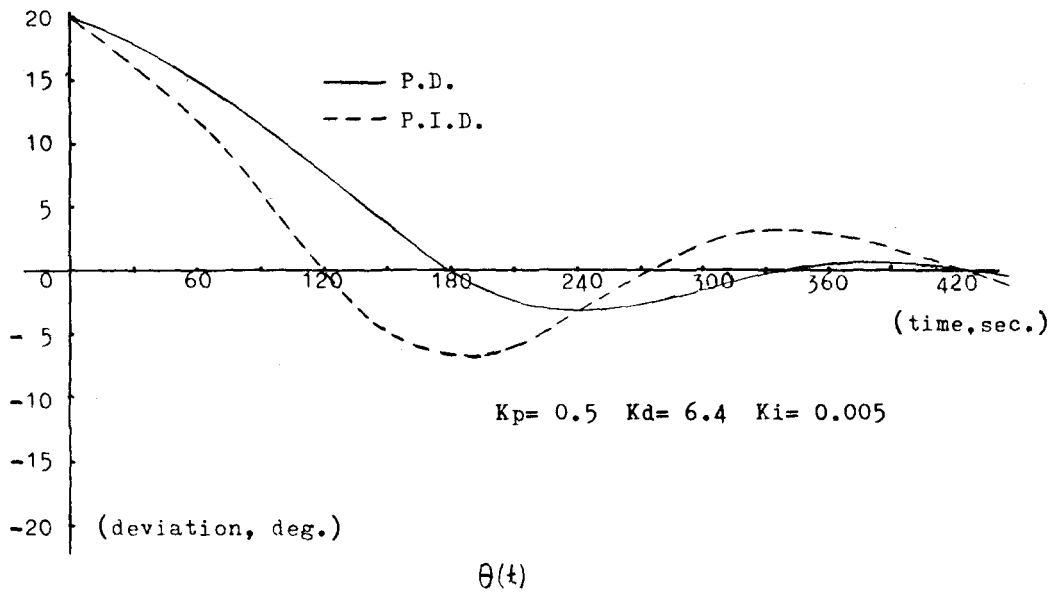


### 4. 시뮬레이션

$K_p$ ,  $K_d$  및  $K_i$ 의 最適值에 對한 應答은 實船實驗을 通하여 檢討하는 것이 바람직하겠으나 實船의 動員에는 莫大한 經費가 所要되므로 計算機를 利用한 시뮬레이션으로 應答波形을 調査하여 比較·分析해 보기로 한다.

시뮬레이션은, 各 船舶의 境遇, 最適值인  $K_p$ - $K_d$  값에 對한 境遇와, 작은 값의  $K_i$ 를 導入한 P.I.D.인 境遇에 對하여 施行하였다.





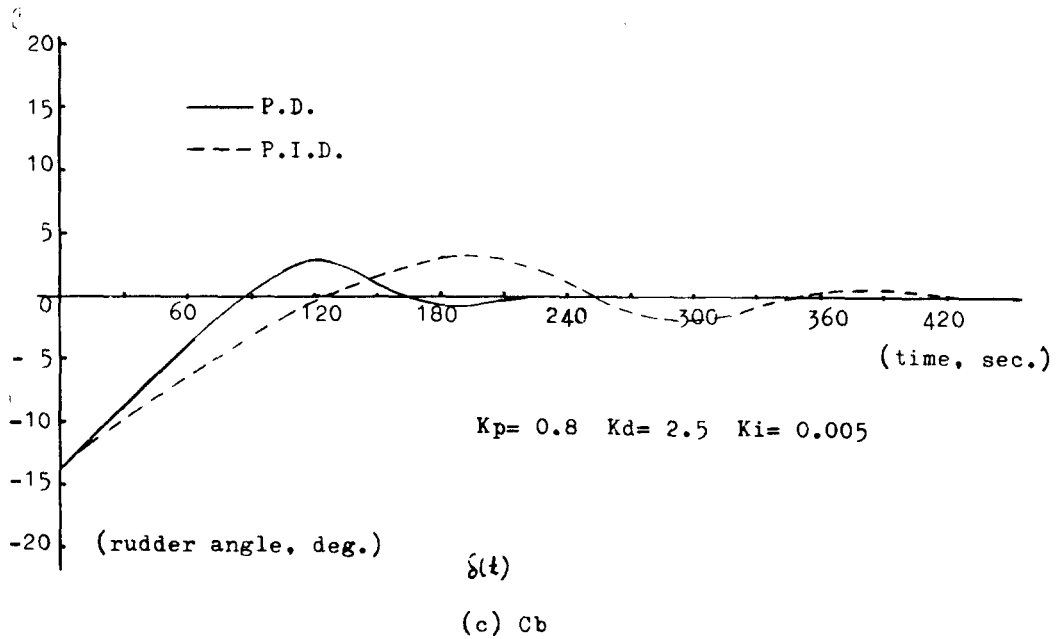
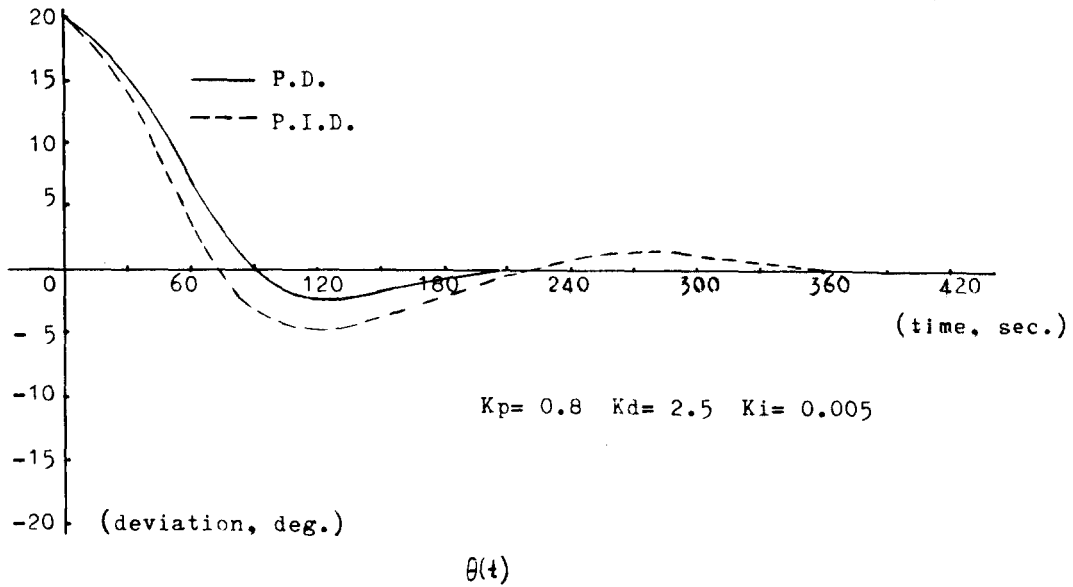


Fig. 7 Results of simulation.

式(2-5z)가 船舶自動操舵系의 一般的인 狀態方程式이므로, 시뮬레이션은 이 方程式을 使用하여 計算機로 實施하였으며, 이 시뮬레이션에 있어서는 자이로 콤파스의 出力인 偏角을 誤差로 採用하였다.

그리고 시뮬레이션 時間은 480 秒를 基準으로 하고, 初期條件으로서 Tf 船의 境遇는 巨大船이며 應答速度가 느린 點을 勘案하여 10°를, Cf 船과 Cb 船의 境遇는 各各 20°를 採用하였으며, 外亂은 作用하지 않는 것으로 假定하였다. 이는 第2節에서 지적한 바와 같이 保針의 境遇나 變針의 境遇 船舶自動操舵系의 動特性이 거의 비슷하기 때문이었다.

Fig. 7로부터 알 수 있는 바와 같이, 어느 船舶의 境遇나 I 型을 導入한 便이 P.D. 型에 比하여 應答特性이 나쁘다는 것을 알 수 있으며, 制御面積 計算에 基礎가 되는 偏角 및 舵角의 크기도 크다는 것을 알 수 있다.

## 5. 結 論

지금까지 P.I.D. 型 自動操舵裝置의 特性에 對하여 分析, 考察한 結果, 다음의 事項을 確認하였다.

1) P.I.D. 型 自動操舵裝置는 P.D. 型에 比하여 制御裝置로서는 高級이고 普遍的인 形態라고 할 수 있으나, 安定성이 매우 나빠지는 缺點을 지니고 있다. 따라서 無批判的으로 I 型을 船舶自動操舵裝置에 導入하는 問題는 設計過程에서 慎重히 檢討되어야 한다.

2) I 型을 導入함으로써 安定성이 沮害되는 程度는 對象船舶이 大型일수록 크다. 이는 大型船일수록 船舶의 操縱성이 緩漫하여 定常狀態에 到達하는데에 時間이 많이 걸리기 때문인 것으로 생각된다.

3) 시뮬레이션의 結果, 比例, 微分, 積分係數 中 自動操舵系의 制御性能에 가장 큰 影響을 미치는 것은 積分係數이다. 따라서 實際船舶에서 積分機能을 作動할 境遇에는, 海潮流 等の 外亂의 影響으로 船舶의 安全性이 매우 沮害될 것이라고 豫想되는 狀況에 限할 것이며, 作動한 後에도 船舶의 學動에 注意하여야 한다.

4) 經濟性이란 觀點에서 보면 P.I.D. 型은 P.D. 型보다는 나쁘다. 따라서 積分要素를 動作시킬 때에는 이러한 點을 充分히 考慮하여야 하며, 各 積分係數의 값에 따라 評價函數를 最少로 하는 最適值가 存在하므로 積分要素의 動作時에는 係數의 再調整을 實行하여야 한다.

5) 積分係數는 現在 採用되고 있는 on-off 型의 制御方式보다 微細調整이 可能한 型으로 轉換되는 것이 바람직하며, 그 調整範圍는 各 船舶의 動特性을 考慮하여 可變할 수 있도록 設計 時에 考慮하여야 한다.

6) 一般的으로 偏差와 舵角만을 考慮한 評價函數는 經濟性에 注目하고 있는 것이므로, P.I.D. 型의 操舵裝置를 評價할 境遇에는 安全性을 考慮한 보다 擴張된 形態의 評價函數를 導入할 必要가 있다.

## 參 考 文 獻

1. 野本謙作：自動操舵系の安定性に就いて，造船協會論文集，第104號，1958.
2. 野本謙作，元山登雄：船首搖れにもとづく推進馬力の損失について，造船協會論文集，第120號，1966.
3. 小山健夫：外洋航行中の船の最適自動操舵系に関する研究，造船協會論文集，第122號，1967.
4. K. Hasegawa; On a performance criterion of autopilot navigation, J. of Kansai SNA, Japan, No, 178, 1980.
5. 市川，田村：船の最適操舵法について，日本機械學會論文集第一部，34，266，pp. 1732/1747，(昭43-10).
6. 千原，櫻井：船の閉ループ最適操舵系の設計法，計測自動制御學會論文集，8，3，pp. 369/377，(昭47-6).
7. 小瀬邦治，佐佐木直人：保針操舵の評価函数について，西部造船會技術委員會性能部會(第68回)資料，1976.
8. D. Clarke; Development of a cost function for autopilot optimisation, Proc. of Symp. on Ship Steering Automatic Control, Genova, June, 1980.
9. Y. D. Landau; Adaptive control-The model reference approach, Control and Systems Theory Vol. 8, Marcell Dekker, 1979.
10. K. J. Åström; Why use adaptive techniques for steering large tankers, Int. J. Control, Vol. 32, No. 4, pp. 689-708, 1979.
11. J. Amerongen and A. J. Udink Cate; Model reference adaptive autopilots for ships, Automatica, Vol. 11, pp. 441-449, 1975.
12. J. Van Amerongen and H. R. Lemke; Experiences with a digital model reference adaptive autopilot, Proceed. of ISSOA-79, 1979.
13. J. Van Amerongen and E. F. A. Land; An adaptive autopilot for track keeping, Proceed. of ISSOA-79, 1979.
14. C. G. Källström, K. J. Åström, et al.; Adaptive autopilots for tankers, Automatica, Vol. 15, pp. 241-254, 1979.
15. 廣田 實：保針操舵の評価関數(その1)，日本造船協會論文集 135, pp. 129/138, 1974.
16. H. F. Millers; Modern Control Theory Applied to Ship steering, Proc. IFAC/IFIP Symp. on ship operation and Automation (Abbr. P. IFAC/IFIP Symp.), paper 9-2, 1973.
17. D. L. Brook; The Design of a New Automatic Pilot for the Commercial Ship, P. IFAC/IFIP Symp., paper 9-4, 1974.
18. D. P. Leccisi et al; "PROGETTO ETQUIUNO", An Experiment About an Optimal Gyro Pilot, P. IFAC/IFIP Symp., paper 8-4, 1973.
19. J. Gocłowski et al; Dynamics of an Automatic Ship Steering System, IEEE Trans. Automatic Control, Vol. AC-11, No. 5, pp. 513/524, 1966.
20. A. W. Brink et al; Adaptive Automatic Coursekeeping Control of a Supertanker and a Container Ship (a Simulation Study), International Shipbuilding Progress, Vol. 26, No. 301, 1979.
21. K. Ohtsu, M. Horigome, G. Kitawaga; A new ship's autopilot design through a stochastic model, Automatica, Vol. 15-3, 1979.
22. 大津皓平，堀籠教夫，北川源四郎：保針運動の統計的同定と最適制御，造學論，139號，同上(續)，造學論，143號，1978.
23. H. Kanamaru, and T. Sato; Adaptive autopilot system with minimum propulsive energy consumption, Proceed. of the 3rd ISSOA Symp, 79, 1979.
24. 李哲榮; Optimal Design of Automatic Steering System of Ships at Sea, Journal of Institute of

14 韓國航海學會誌 第9卷 第2號, 1985

Navigation, Vol. 2, No. 1, pp.35/47, 1978.

25. 李哲榮 : Optimal Control System with Consideration of Sensitivity When Some of Variables are not Measurable, Journal of K. M. M. C. Vol. 13, pp.167/177, 1978.

26. 河注植, 李哲榮 : “船舶의 自動操航系統에 있어서 最適利得 및 最適微分時間 決定에 관한 研究(1)”, 韓國海洋大學論文集 第8輯, pp.68~81, 1973.

27. 李哲榮 : “船舶自動操航系統의 最適調整에 關하여”, 韓國海洋大學論文集 第7輯, pp.1~14, 1972.

28. 李哲榮 : “船舶自動操航系統의 最適調整에 관한 研究(2)”, 韓國海洋大學論文集 第9輯, pp.63~69, 1974.

29. 李哲榮 : “船舶自動操航裝置의 實際와 理論”, 韓國海洋大學海事圖書出版部, pp.164~169, 1983.