

# 磁氣 Compass의 傾船差에 對하여

李 鍾 洛

## On the Heeling Error of the Magnetic Compass

By

J. L. Lee

目	次
1. 序 言	5. 새로운 傾船差의 修正法
2. 普通境遇의 自差	6. 새로운 傾船差修正裝置
3. 傾船差를 생기게 하는 原因과 性質	7. 結 論
4. 主要傾船差의 分解方法	參考文獻

### Abstract

1) When heeling error is corrected by heeling magnets (vertical magnets) used at the present time, continual readjustments are required by reason of its variation due to the variation of induced magnetism with the change of magnetic latitude.

2) Two problems are dealt with in this paper. The first is concerned with the theory of the heeling error (both pitching and rolling errors) in which the author aims to separate principal parts from the coefficients of heeling error when the vessel is on the equator. The second is on the new method of adjusting heeling error.

### 1. 序 言

오늘날 磁氣 Compass의 自差 및 傾船差를 修正함에 있어서 船體永久磁氣는 硬鐵(永久磁石)로, 誘導磁氣는 軟鐵로써 修正하는 것이 原則이다. 그러나 傾船差를 修正함에 있어서는 船體永久磁氣와 誘導磁氣와의 區別없이 이를 모두 永久磁氣로 看做하고 Heeling magnet(永久磁石)로 修正함으로 이 方法으로서는 修正을 行한 그 地點에 있어서는 完全하게 되지만 磁氣緯도가 變化하게 되면 이에 따라 새로운 傾船差가 생기는 것은 當然한 事實이다. 그러므로 오늘날 使用하고 있는 磁氣 Compass의 傾船差修正法은 完全한 修正法이라 할 수 없다. 이를테면 低緯度地方에서 現行修正法으로 傾船差를 修正하였다 하더라도 高緯度地方으로 航行을 하면 船體의 動搖에 依하여 Compass card가 左右로 振搖하여 操舵, 保針 및 方位測定上 不便함을 여러번 經驗하게 된다. 따라서 이런 缺點을 補完한 完全한 磁氣 Compass의 傾船差修正法을 研究할 必要性을 切實하게 느끼게 된다.

이 새로운 完全한 磁氣 Compass의 傾船差修正法을 研究考案하기 爲하여 于先 傾船差를 생기게 하는 原因에 따른 理論式을 展開하여 檢討하고, 다음에 磁氣緯도가 變化하더라도 새로이 傾船差가 생기지 아니하는 새로운 修正法을 提示하기로 한다.

### 2. 普通境遇의 自差

自差를 分類함에 있어서는 그 觀點에 따라 여러가지로 나눌 수 있으나 이를 나타내고 있는 狀況의 觀點에서 살펴보면

① 普通境遇의 自差

② 特別한 境遇와 時日의 經過로 因한 自差의 變化

等으로 나뉘서 考慮함이 大端히 便利하다.

前者는 定해진 場所에서 船舶이 水平狀態를 維持하고 있을 境遇 또는 自差修正을 行할 境遇를 말하며 後者는 半永久磁氣의 變化, Gaussin差, 傾船差, 緯度變化로 因한 自差의 變化, 積荷를 移動하였을 때의 自差의 變化 等을 말한다.

于先 前者의 境遇에서 船內磁場을 Poisson의 方程式에 依하여 다음과 같이 나타낼 수가 있다.

$$\left. \begin{aligned} X' &= X + aX + bY + cZ + P \\ Y' &= Y + dX + eY + fZ + Q \\ Z' &= Z + gX + hY + kZ + R \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(1)$$

但, P, Q 및 R은 船體永久磁氣를 나타내는 常數, a, b, c, d, e, f, g, h 및 k는 軟鐵의 誘導磁氣를 나타내는 常數이다.

다음에 地磁氣水平分力을 H, 船內磁場의 水平分力을 H', 垂直分力을 Z', 船舶의 磁針路를  $\theta_0$ , 羅針路를  $\theta$  및 自差를  $\delta$ 라 한다면

$$X' = H' \cos \theta, \quad Y' = -H' \sin \theta$$

또  $X = H \cos \theta_0 = H \cos(\theta + \delta)$ ,  $Y = -H \sin \theta_0 = -H \sin(\theta + \delta)$ 로 나타낼 수 있으므로 (1)式을 다음과 같이 變形시킬 수 있다.

$$H' \cos \theta = (1 + a)H \cos(\theta + \delta) - bH \sin(\theta + \delta) + cZ + P \dots\dots\dots(2)$$

$$-H' \sin \theta = -(1 + e)H \sin(\theta + \delta) + dH \cos(\theta + \delta) + fZ + Q \dots\dots\dots(3)$$

$$Z' = gH \cos(\theta + \delta) - hH \sin(\theta + \delta) + (1 + k)Z + R \dots\dots\dots(4)$$

(2) 및 (3)式에서 磁東 및 磁北方向으로 나뉘서 求하고 이를 自差  $\delta$ 에 對하여 整理하면 다음의 關係式을 얻을 수 있다.

$$\left. \begin{aligned} H' \sin \delta &= \lambda H (A_1 + B_1 \sin \theta_0 + C_1 \cos \theta_0 + D_1 \sin 2\theta_0 + E_1 \cos 2\theta_0) \\ H' \cos \delta &= \lambda H (1 + B_1 \cos \theta_0 - C_1 \sin \theta_0 + D_1 \sin 2\theta_0 - E_1 \sin 2\theta_0) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(5)$$

$$\text{但, } \lambda = 1 + \frac{1}{2}(a + e), \quad \lambda A_1 = \frac{1}{2}(d - b),$$

$$\left. \begin{aligned} \lambda B_1 &= \frac{P}{H} + c \tan \beta, \quad \lambda C_1 = \frac{Q}{H} + f \tan \beta (\beta; \text{傾差}), \\ \lambda D_1 &= \frac{1}{2}(a - e), \quad \lambda E_1 = \frac{1}{2}(d + b), \dots \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(6)$$

(5)式으로부터 다음의 自差理論公式를 誘導할 수 있다.

1)  $\lambda$ 를 平均指北力이라 한다.

2)  $A_1, B_1, C_1, D_1, E_1, \dots$ 等을 精係數라하고  $A, B, C, D, E, \dots$ 等을 略係數(實用係數)라 하며 이들의 關係는 Radian과 60分法으로 보면 된다. 卽 精係數는 힘의 Dimension을 갖고 略係數는 60分法의 角度的 單位를 갖는다.

$$\tan \delta = \frac{A_1 + B_1 \sin 2\theta + C_1 \cos 2\theta + D_1 \sin 2\theta + E_1 \cos 2\theta}{1 + B_1 \cos 2\theta - C_1 \sin 2\theta + D_1 \cos 2\theta - E_1 \sin 2\theta} \dots (7)$$

(7)式을 分母로써 나누어 整理하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\sin \delta = A_1 \cos \delta + B_1 \sin \theta + C_1 \cos \theta + D_1 \sin(2\theta + \delta) + E_1 \cos(2\theta + \delta) \dots (8)$$

(8)式의 右邊을 展開하여 이를 整理하면 (9)式을 얻을 수 있다.

$$\sin \delta = \frac{B_1 \sin \theta + C_1 \cos \theta + (A_1 + D_1 \sin 2\theta + E_1 \cos 2\theta) \cos \delta}{1 - D_1 \cos 2\theta + E_1 \sin 2\theta} \dots (9)$$

自差  $\delta$ 가  $10^\circ$  以內的 작은 角이면 近似值로서  $\sin \delta \approx \delta$ ,  $\cos \delta \approx 1$ 로 놓을 수 있으므로 (9)式을 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\delta = \frac{A_1 + B_1 \sin \theta + C_1 \cos \theta + D_1 \sin 2\theta + E_1 \cos 2\theta}{1 - D_1 \cos 2\theta + E_1 \sin 2\theta} \dots (10)$$

(10)式을 分母로써 展開하여 整理하면 다음과 같이 된다.

$$\begin{aligned} \delta &= A_1 + B_1 \sin \theta + C_1 \cos \theta + D_1 \sin 2\theta + E_1 \cos 2\theta + A_1 D_1 \cos 2\theta - A_1 E_1 \sin 2\theta \\ &+ B_1 D_1 \sin \theta \cos 2\theta - B_1 E_1 \sin \theta \sin 2\theta + C_1 D_1 \cos \theta \cos 2\theta - C_1 E_1 \cos \theta \sin 2\theta \\ &+ D_1^2 \sin^2 \theta \cos 2\theta - D_1 E_1 \sin 2\theta + D_1 E_1 \cos^2 \theta - E_1^2 \sin 2\theta \cos 2\theta + \dots \end{aligned} \dots (11)$$

$A_1$  및  $E_1$ 는 代表軟鐵  $b$  및  $d$ 에 依한 것인데 一般的으로 船舶에서는  $b$  및  $d$ 의 配置를 갖고 있는 軟鐵材가 比較的 적으므로  $A_1$  및  $E_1$ 의 값은 極히 小하다. 따라서  $B_1 D_1$ ,  $C_1 D_1$ ,  $D_1^2$  以外의 項의 形式은 無視하여도 實用上 아무런 支障이 없다. 또 (11)式을 整理하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \delta &= A_1 + B_1 \sin \theta + C_1 \cos \theta + D_1 \sin 2\theta + E_1 \cos 2\theta + \frac{1}{2} B_1 D_1 (\sin 3\theta - \sin \theta) + \frac{1}{2} C_1 D_1 (\cos 3\theta + \cos \theta) \\ &+ \frac{1}{2} D_1^2 \sin 4\theta + \dots \\ &\approx A_1 + (B_1 - \frac{1}{2} B_1 D_1) \sin \theta + (C_1 + \frac{1}{2} C_1 D_1) \cos \theta + D_1 \sin 2\theta + E_1 \cos 2\theta + \frac{1}{2} B_1 D_1 \sin 3\theta \\ &+ \frac{1}{2} C_1 D_1 \cos 3\theta + \frac{1}{2} D_1^2 \sin 4\theta + \dots \end{aligned} \dots (12)$$

但,  $B_1 - \frac{1}{2} B_1 D_1 = B_1'$ ,  $C_1 + \frac{1}{2} C_1 D_1 = C_1'$ ,

$$\frac{1}{2} B_1 D_1 = F_1, \quad \frac{1}{2} C_1 D_1 = G_1,$$

$$\frac{1}{2} D_1^2 = H_1,$$

라 놓으면 (12)式은 다음과 같이 나타내어 진다.

$$\delta = A_1 + B_1' \sin \theta + C_1' \cos \theta + D_1 \sin 2\theta + E_1 \cos 2\theta + F_1 \sin 3\theta + G_1 \cos 3\theta + H_1 \sin 4\theta + \dots (13)$$

(13)式은 쉽게 實用될 수 없으므로 이를 60分法으로 나타내기 위하여 (13)式의 兩邊에  $\frac{\pi}{180}$ 를 곱하고 또 그 값이 極히 微少한 6分圓差 以下를 省略하면 다음과 같은 形式의 實用公式가 求해진다.

$$\delta^\circ = A + B \sin \theta + C \cos \theta + D \sin 2\theta + E \cos 2\theta \dots (14)$$

### 3. 傾斜差發生기 하는 原因과 性質

船體가 傾斜하게 되면 水平狀態의 境遇에 比하여 多少 關係가 複雜하여 진다.

(4)

1973年 4月 韓國海洋大學論文集 第 8 輯

即 船體가 傾斜하게 되면 水平狀態에 있어서의 各常數( $P, Q, R$  및  $a, b, c, d, e, f, g, h, k$ )가 傾斜軸에 對하여 變化하게 된다.

傾斜角  $i$ 인 때 傾斜軸에 對한 船首方向, 右舷方向 및 直下方向의 船內磁場을 各各  $X', Y', Z'$ 라 하면 다음의 關係式을 얻을 수 있다.

$$\left. \begin{aligned} X' &= X_i \cos i \pm Z_i \sin i \\ Y' &= Y_i \\ Z' &= Z_i \cos i \mp X_i \sin i \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(15)$$

(符號는 船尾側, 船首側으로의 傾斜順임)

다음에 傾斜軸에 對한 地磁氣의 各分力을  $X_i, Y_i,$  및  $Z_i$ 라하고 傾斜하였을 때의 磁針路 및 羅針路를  $\theta_i$  및  $\theta_i'$ 라 하면  $\theta_i' = \theta_i + \delta_i = \theta + \delta = \theta_0$ 가 되므로 다음의 關係式이 成立한다.

$$\left. \begin{aligned} X_i &= X \cos i \mp Z \sin i \\ Y_i &= Y \\ Z_i &= Z \cos i \pm X \sin i \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(16)$$

따라서 傾斜軸의 船內磁場에 對하여 考慮하면 (1)式의 左邊은 (15)式의 右邊과 같으므로  $X', Y',$  및  $Z'$ 로서 나타낼 수 있고 또 이  $X', Y',$  및  $Z'$ 를 (1)式의  $X, Y$  및  $Z$  代身에  $X_i, Y_i$  및  $Z_i$ 로써 나타내려면 (16)式의 關係를 代入하면 되므로 結局  $X, Y, Z$ 로 나타내어지며  $X, Y, Z$ 에 對하여 整理하면 傾斜時의 各常數  $P, Q, R,$  및  $a, b, c, d, e, f, g, h, k,$ 는 다음과 같이 나타내어진다.

$$\left. \begin{aligned} a &= a \cos^2 i \pm c \sin i \cos i \pm g \sin i \cos i + k \sin^2 i \\ b &= b \cos i \mp h \sin i \\ c &= c \cos^2 i \mp a \sin i \cos i \pm k \sin i \cos i - g \sin^2 i \\ d &= d \cos i \pm f \sin i \\ e &= e \\ f &= f \cos i \mp d \sin i \\ g &= g \sin^2 i \mp a \sin i \cos i \pm k \sin i \cos i - c \sin^2 i \\ h &= h \cos i \mp b \sin i \\ k &= k \cos^2 i \mp c \sin i \cos i \mp g \sin i \cos i + a \sin^2 i \\ P_i &= P \cos i \pm R \sin i \\ Q &= Q \\ R_i &= R \cos i \mp P \sin i \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(17)$$

船體가 傾斜하여도 Compass bowl은 水平狀態를 維持하므로  $\lambda$  및 精係數를  $\lambda, A_0, B_0, C_0, D_0, E_0,$ 라 하고 (17)式의 關係를 (6)式에 代入하면 特히 이 때  $i$ 의 값이 充分히 작으면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\left. \begin{aligned} \lambda_i &\doteq \lambda, & \lambda_i A_{0i} &\doteq \lambda A_0 \pm \frac{1}{2} (f-h) i, \\ \lambda_i C_{0i} &\doteq \lambda C_0, & \lambda_i E_{0i} &\doteq \lambda E_0 \pm \frac{1}{2} (f+h) i, \\ \lambda_i D_{0i} &\doteq \lambda D_0, & \lambda_i B_{0i} &\doteq \lambda B_0 \pm \left\{ \frac{R}{H} + (k-a) \tan \beta \right\} i \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(18)$$

船體가 Rolling할 境遇에는 左舷側 또는 右舷側으로 나뉘서 考慮하며 傾斜角을  $j$ 라 하면 Pitching

의 境遇와 같은 方法으로 다음의 關係가 成立한다.

(符號는 左舷側, 右舷側으로의 傾斜順임)

$$\left. \begin{aligned} X' &= X_j' \\ Y' &= Y_j' \cos j \pm Z_j' \sin j \\ Z' &= Z_j' \cos j \mp Y_j' \sin j \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(19)$$

$$\left. \begin{aligned} X_j &= X \\ Y_j &= Y \cos j \mp Z \sin j \\ Z_j &= Z \cos j \pm Y \sin j \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(20)$$

傾斜軸에 對한 常數를 各各  $P_j, Q_j, R_j$  및  $a_j, b_j, c_j, d_j, e_j, f_j, g_j, h_j, k_j$  라 하면 Pitching 의 境遇와 같은 方法으로 다음의 關係를 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} a_j &= a \\ b_j &= b \cos j \pm c \sin j \\ c_j &= c \cos j \mp b \sin j \\ d_j &= d \cos j \pm g \sin j \\ e_j &= e \cos^2 j \pm f \sin j \cos j \pm h \sin j \cos j + k \sin^2 j \\ f_j &= f \sin^2 j \mp e \sin j \cos j \pm k \sin j \cos j - h \sin^2 j \\ g_j &= g \cos j \pm d \sin j \\ h_j &= h \cos^2 j \mp e \sin j \cos j \pm k \sin j \cos j - f \sin^2 j \\ k_j &= k \cos^2 j \mp f \sin j \cos j \mp h \sin j \cos j + e \sin^2 j \\ P_j &= P \\ Q_j &= Q \cos j \pm R \sin j \\ R_j &= R \cos j \mp Q \sin j \end{aligned} \dots\dots\dots(21)$$

Pitching 의 境遇와 같이  $\lambda$  및 精係數를 各各  $\lambda_j, A_{0j}, B_{0j}, C_{0j}, D_{0j}, E_{0j}$  라 하고  $j$  가 充分히 작으면 다음과 같이 나타내어진다. 一般적으로  $20^\circ$  範圍內에서는 (22)式이 成立한다.

$$\left. \begin{aligned} \lambda_j &\doteq \lambda, & \lambda_j A_{0j} &\doteq \lambda A_0 \mp \frac{1}{2}(c-g)j \\ \lambda_j B_{0j} &\doteq \lambda B_0, & \lambda_j E_{0j} &\doteq \lambda E_0 \pm \frac{1}{2}(c+g)j \\ \lambda_j D_{0j} &\doteq \lambda D_0, & \lambda_j C_{0j} &\doteq \lambda C_0 \pm \left\{ -\frac{R}{H} + (k-e) \tan \beta \right\} j \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(22)$$

다음, (10)式에서  $\delta$ 의 값이 작을 때에는 船體水平時의 關係를 다음과 같이 簡單한 形式으로 變形시킬 수 있다.

$$\delta(1 - D_0 \cos 2\theta) = A_0 + B_0 \sin \theta + C_0 \cos \theta + D_0 \sin 2\theta + E_0 \cos 2\theta \dots\dots\dots(23)$$

船體가 傾斜角  $i$  또는  $j$ 만큼 Pitching이나 Rolling을 하였을 때에는 (23)式과 全혀 같은 形式인 (24)式으로 나타내어진다.

$$\left. \begin{aligned} \delta_i(1 - D_{0i} \cos 2\theta) &= A_{0i} + B_{0i} \sin \theta + C_{0i} \cos \theta + D_{0i} \sin 2\theta + E_{0i} \cos 2\theta \\ \delta_j(1 - D_{0j} \cos 2\theta) &= A_{0j} + B_{0j} \sin \theta + C_{0j} \cos \theta + D_{0j} \sin 2\theta + E_{0j} \cos 2\theta \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(24)$$

$\delta_i$  및  $\delta_j$ 는 傾斜角  $i$  및  $j$ 만큼 Pitching 및 Rolling 하였을 때의 自差이다.

다음, (24)式에서 (23)式을 빼고 (17), (22)式과 (6)式의 關係를 代入하면 다음과 같이 된다.

$$(\delta_i - \delta)(1 - D_0 \cos 2\theta) = (A_{0i} - A_0) + (B_{0i} - B_0) \sin \theta + (E_{0i} - E_0) \cos 2\theta$$

$$= \pm \frac{1}{\lambda} \left\{ \frac{R}{H} + (k-a)\tan\beta \right\} i\sin\theta \mp \frac{1}{\lambda} (h\sin^2\theta - f\cos^2\theta)i$$

$$(\delta_i - \delta)(1 - D_0\cos 2\theta) = (A_{0j} - A_0) + (B_{0j} - B_0)\sin\theta + (E_{0j} - E_0)\cos 2\theta$$

$$= \pm \frac{1}{\lambda} \left\{ \frac{R}{H} + (k-e)\tan\beta \right\} j\cos\theta \mp \frac{1}{\lambda} (c\sin^2\theta - g\cos^2\theta)j$$

一般的으로 船舶에 있어서는  $D_0$ 는 거의 0으로 되며  $c, g, f, h$ 도 極히 적은 값이므로 위식은 다음과 같이 나타내어 진다.

$$\left. \begin{aligned} \delta_i - \delta &= \pm \frac{1}{\lambda} \left\{ \frac{R}{H} + (k-a)\tan\beta \right\} i\sin\theta = \pm I \cdot i\sin\theta \\ \delta_j - \delta &= \pm \frac{1}{\lambda} \left\{ \frac{R}{H} + (k-e)\tan\beta \right\} j\cos\theta = \pm J \cdot j\cos\theta \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (25)$$

$$\left. \begin{aligned} \text{但, } I &= \frac{1}{\lambda} \left\{ \frac{R}{H} + (k-a)\tan\beta \right\} \\ J &= \frac{1}{\lambda} \left\{ \frac{R}{H} + (k-e)\tan\beta \right\} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (26)$$

다음, 船內磁場의 垂直分力은 (4)式으로 나타내었으나, 이것을  $Z = H\tan\beta$ 로서 兩邊을 나누면  $\frac{Z'}{Z}$ 의 平均値를 求할 수 있고  $\mu$ 를 垂直分力의 平均値라 하면 다음의 關係式이 成立한다.

$$\mu = \frac{Z'}{Z} = 1 + k + \frac{R}{Z} \dots\dots\dots (27)$$

또 (6)式에서  $a = \lambda(1 + D_0) - 1$ ,  $e = 2(1 - D_0) - 1$ 이므로 이것과 (27)式을 (26)式에 代入하면

$$\left. \begin{aligned} I &= \left( \frac{\mu}{\lambda} - 1 - D_0 \right) \tan\beta \\ J &= \left( \frac{\mu}{\lambda} - 1 + D_0 \right) \tan\beta \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (28)$$

로도 나타낼 수 있다.

即 傾船差를 傾斜角  $i$  또는  $j$ 만큼 Pitching 또는 Rolling 하였을 때에 (25)式으로 나타낼 수 있고 이 때에 針路의 Sin 또는 Cos에 比例해서 變化한다.

또  $I$  및  $J$ 는 傾船差係數로서 傾船差를 생기게하는 直接的인 原因이 되며 Pitching의 境遇 船尾側 또는 船首側으로 傾斜하였을 때  $+I$  또는  $-I$ 로 變化하고, Rolling의 境遇 左舷側 또는 右舷側으로 傾斜하였을 때  $+J$  또는  $-J$ 로 變化하게 된다.

#### 4. 主要傾船差의 分解方法

第1地點에 있어서의 地磁氣水平力을  $H_1$ , 垂直分力을  $Z_1$ , 傾差를  $\beta_1$ 으로 測定하고 自差修正을 行한 後의 磁針의 平均指北力 및 平均垂直力을  $\lambda_1, \mu_1$ , 傾船差係數를  $J_1$ 이라 하면 修正後에는  $J_1 = 0$ 으로 된다.

그 後 第2地點으로 航行하였을 때 위의 諸要素가  $H_2, Z_2, \mu_2$  및  $J_2$ 로 되었다면 (26)式으로부터 다음과 같이 나타낼 수가 있다. (但,  $\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda$ )

$$I_1 = -\frac{1}{\lambda} \left\{ \frac{R}{H_1} + (k-a)\tan\beta_1 \right\}, \quad J_1 = \frac{1}{\lambda} \left\{ \frac{R}{H_1} + (k-e)\tan\beta_1 \right\}$$

$$I_1 = \frac{1}{\lambda} \left\{ \frac{R}{H_1} + (k-a)\tan\beta_1 \right\}, \quad J_1 = \frac{1}{\lambda} \left\{ \frac{R}{H_2} + (k-e)\tan\beta_2 \right\}$$

먼저 J부터 分解하여 보기로 한다.

위의 右側 2式에서

$$R = -\lambda H_1 \cdot \frac{Z_1}{Z_2 - Z_1} \left\{ J_1 - J_1 \frac{\tan\beta_1}{\tan\beta_2} \right\}$$

으로 나타낼 수가 있으나 第1地點에 있어서는  $J_1 = 0$ 이므로 式은

$$R = -\lambda H_1 \frac{Z_1}{Z_2 - Z_1} J_1$$

로 되나 여기에 (28)式의 關係를 代入하고 第1地點에 있어서  $D_1 = 0$ 이라 하면 第2地點에 있어서도 不變하므로 式은 다음과 같이 나타내어 진다.

$$R = -\frac{Z_1 Z_2}{Z_2 - Z_1} (\mu_2 - \lambda) \dots \dots \dots (29)$$

또 같은 方法으로 다음 式도 求해 진다.

$$k - e = \frac{\lambda H_1}{Z_2 - Z_1} \left( J_1 - J_1 \frac{H_1}{H_2} \right)$$

$$\therefore k - e = \frac{Z_1}{Z_2 - Z_1} (\mu_2 - \lambda) \dots \dots \dots (30)$$

I를 分解할 境遇에도 R은 (29)式과 같은 方法으로,  $k - a$ 는 (30)式의 右邊과 같은 方法으로  $k - a$ 는 (30)式의 右邊과 同一하게 된다.

다음에 傾船差를 修正하기 爲하여는 (28)式에서  $D_1 = 0$  또는  $\lambda = \mu$ 가 되면  $I = J = 0$ 가 되어 傾船差는 修正이 된 것이다.

다시 말해서 (6)式과 (27)式에서  $a = e = k$  또는  $R = 0$ 일 때  $I = J = 0$ 로 되는 것이 分明하다. 또한 第2地點에 있어서  $\mu_2 = \mu_1 = \lambda$ 가 되면 傾船差는 修正이 되어진 것이다.

그리고 (29)式 및 (30)式의 H 및 Z는 磁氣要素圖를 利用하나 그 以外의 方法으로 求할 수 있고  $\lambda$  및  $\mu$ 는 水平指力計, 偏針儀 및 傾針儀 등을 使用하면 測定이 可能하므로 比較的 簡單하게 分解된다. 따라서 이들에 依한 分解 및 修正은 充分히 實用될 수 있다.

### 5. 새로운 傾船差修正法

먼저 第1地點에 있어서 從來로부터 行하든 修正法 即 Heeling magnet를 使用해서 修正을 行한다.

다음에 第2地點에 있어서 (29), (30)式에 依하여 R과 k와의 分解를 行하며  $\mu_2$ 와  $\lambda$ 와의 差를 傾針儀에 依해서 比例配分를 하면 된다. 이 때에 Rolling에 對한 k修正을 行하고 一旦 이것을 들어 낸 然後에 이것과 同量의 Pitching에 對한 k修正을 行하고 다시 Rolling에 對한 k修正을 挿入한다.

萬若 第2地點을 磁氣赤道上的 地點으로 選擇하면 磁氣赤道에서는 地磁氣垂直分力의 零이므로 船體永久磁氣의 垂直分力 R을 修正하고 그 後 磁氣赤道 以外의 地點으로 航行하였을 때에 生긴 傾船差는 Compass 直下의 垂直軟鐵의 誘導磁氣(k)에 依한 것이므로 이를 修正하면 된다.

이렇게 하여 一旦 修正이 完了되면 磁氣緯도가 變化하여도 傾船差는 거의 變化하지 아니한다.

## 6. 새로운 傾船差 修正裝置

修正裝置에 對하여 說明하기로 한다.

(a) 船體永久磁氣의 垂直分力  $R$ 의 修正裝置 :

$R$ 의 修正에는 從來의 Heeling magnet를 그대로 使用한다.

(b) Compass直下의 垂直軟鐵의 誘導磁氣  $k$ 의 修正裝置 :

(1) Rolling時... 左右兩舷側(從來의  $D$ 修正裝置의 位置)에 垂直인 Supper permalloy棒으로 修正한다.

이 裝置는 Rolling時에만 그 傾斜角만큼 傾斜하나 Pitching時에는 傾斜하지 않으므로 Rolling時에는 修正이 되나 Pitching에는 아무런 影響을 미치지 않는다. [그림의 (1)裝置 參照]

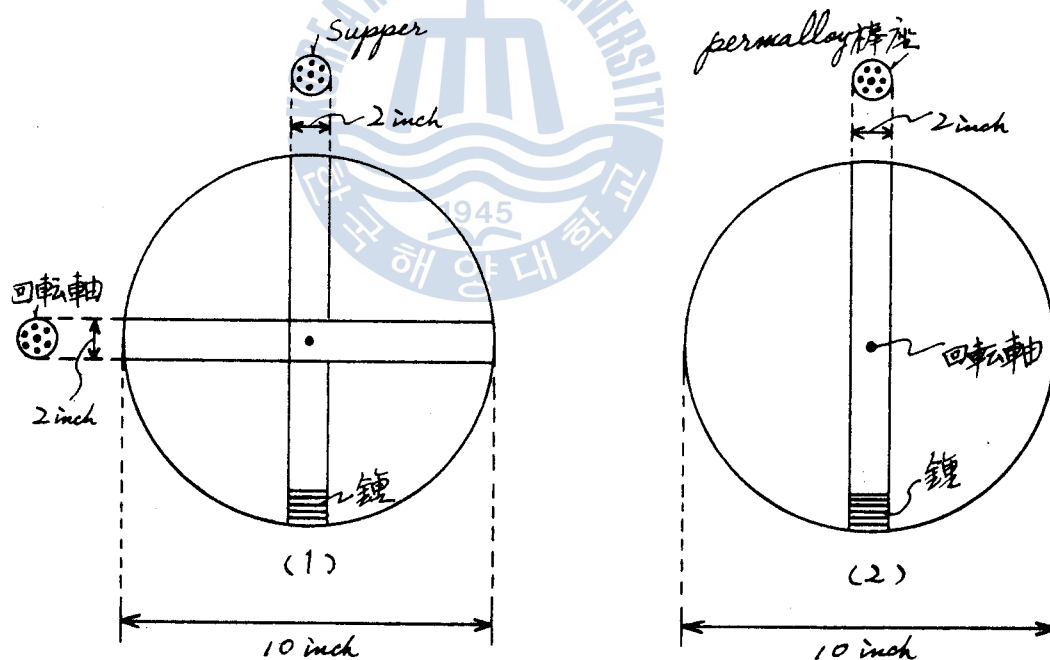
(2) Pitching時... Flinders bar의 反對側에 垂直인 Supper permalloy棒으로 修正한다.

이 裝置는 Pitching時에만 그 傾斜角만큼 傾斜하게 되어있으므로 Pitching時에는 修正되나 Rolling時에는 아무런 影響을 미치지 않는다. [그림의 (2)裝置 參照]

(c)  $D$ 의 修正裝置 :

從來의 軟鐵球 또는 Supper permalloy 板으로서 修正하였으나 이 代身에 그림에서와 같이 水平인 正橫方向의 Supper permalloy 棒을 使用한다. ”

以外的 修正裝置에는 變化가 없다.



傾船差 修正 裝置圖

- 1) 設置할 때는 回轉軸이 Compass의 磁針과 同一水平面에 있어야 한다.
  - 2)  $D$ 修正用 Supper permalloy棒의 길이는 10inch 그 以外的 것은 5inch로서 回轉軸의 上方에만 挿入한다.
  - 3) 材料는 非磁性體(不鐵)로 한다.
- 
- 2)  $k$ 의 값을 測定하면 0.7~0.95이므로 이는 Compass 周圍에 있어서도 磁氣遮斷의 作用이 多少있음을 말한다. 그러나 오늘날 船舶이 大型化함에 따라 그 값이 1에 가까워지므로 Supper permalloy 棒으로 修正하여도 實用上 支障이 없을 것으로 본다.



## 7. 結 論

以上에서 說明한 바와 같이 傾船差를 Pitching과 Rolling의 境遇로 各各 分析한 理論에 依據한 自差修正의 原則에 따라 修正法을 完全히 改善한 것은 아니나 實用上 거의 問題가 되지 않으므로 本修正法으로 傾船差의 修正을 行하면 磁氣緯도가 變化하더라도 새로운 傾船差는 거의 생기지 않을 것으로 생각한다.

本修正法의 裝置를 一般船舶에 設置함에는 여러가지의 未備點과 어려움이 있어 乘船實驗은 다음 機會로 미루는 바이다.

## 參考文獻

- 1) 李鍾洛 ; 航海計器(第1卷).
- 2) 高木二郎 ; 磁氣コンパス의 理論と 自差修正.
- 3) 航海科要諦
- 4) T. H. O' Beiren: J. Inst. Navigation Vol. 2.
- 5) T. S. Arnold: Rev. of Scientific Instruments.



(1)

# 船舶의 自動操舵系統에 있어서 最適利得 및 最適微分時間決定에 關한 研究 (I)

河 注 植  
李 哲 榮

## A Study on the Determination of the Optimal Gain and Differential Time in the Automatic Control System of Ships

By  
JOOSHIK HA  
CHEOLYEONG LEE

### 目 次

- |                        |                                 |
|------------------------|---------------------------------|
| 1. 序 論                 | (2) 最適퍼래미터의 計算                  |
| 2. 船舶自動操舵系의 傳達函數와 定常特性 | 4. 最適퍼래미터의 數值計算例                |
| (1) 브루크線圖              | 5. 最適퍼래미터에 對한 檢討                |
| (2) 定常特性               | (1) 周波數應答의 共振值( $M_r$ 值)에 依한 檢討 |
| 3. 船舶自動操舵系의 最適調整       | (2) 아나로구 시뮬레이션에 依한 應答波形檢討       |
| (1) 評價函數의 選定           | 6. 結 論                          |
|                        | 參考文獻                            |

### Abstract

It has been considered that the primary purpose of the automatic steering system is to keep the prescribed ship's heading as correctly as possible.

But, however correct the ship's heading is, in a practical engineering sense, it is meaningless if the energy required to control the ship's heading is too much.

Therefore, it can be said that the purpose of automatic steering system is to keep the ship's course stable with the minimum ship's course error (deviation) and the minimum rudder angle.

In this paper, for the optimal determination of adjustable parameters (gain and differential time) of automatic steering system, the authors define a new type of the performance function which is composed of square integral of deviation and of rudder angle as following;