

자이로컴파스 追從系統 偏角檢出器에 관한 研究

李相鍊* · 李段邦*

The Sensitivity Enhancement for the Deflection Sensor of the Marine Gyrocompass Follow-up System

Lee Sang-jib · Lee Eun-bang

目 次

Abstract	3-2. 實驗結果 및 數值計算
記號說明	4. 모델의 Simulation
1. 序 論	4.1. 內球의 移動距離와 感度
2. 追從部의 系統構成과 理論	4.2. 基準偏角 變動에 대한 感度
2.1. 追從部의 系統構成	4.3. 內球와 外球의 크기에 대한 感度
2.2. 偏角檢出器의 理論	4.4. 內球와 外球의 크기差에 대한 感度
2.2. 偏角檢出器의 모델	5. 結 論
3. 모델의 檢證	參考文獻
3.1. 實驗裝置 構成	附 錄

Abstract

As a basic study for enhancing the sensitivity of the follow-up system of the marine gyrocompass, the geometric characteristics of the deflection sensor were investigated and the theoretical model of it was formulated.

The output signal voltage of the deflection sensor was examined by changing the attitude of gyrosphere against follow-up container. The characteristics of the output are found to be identical with those of the distance difference versus the relative azimuthal deflection of the gyrosphere against the follow-up container.

On the base of the theoretical model, some useful points for the design of the deflection sensor are suggested as following :

1. When the difference between semidiameter of gyrosphere and that of the follow-up container decreases, the sensitivity of deflection sensor increases.
2. If the semidiameter difference of two spheres is constant, the sensitivity of deflection sensor is proportional to the magnitude of the semidiameter of each sphere.

* 正會員, 韓國海洋大學

3. The farther the gyrosphere is deviated from the center of follow-up container, the higher the sensitivity of deflection sensor is.
4. It is recommendable that the value of the datum deflection of the electrodes on the gyrosphere should be within the range between 4° and 16° deviated from north-south line.

記 號 說 明

- a : semidiameter of follow-up container
b : semidiameter of gyrosphere
 d_1 : resistance of supporting liquid between e and E
 d_2 : resistance of supporting liquid between w and W
 D_1 : distance between e and E
 D_2 : distance between w and W
 D_3 : $| D_1 - D_2 |$
e, w : follow-up electrodes on gyrosphere
E, W : follow-up electrodes on follow-up container
K : $| a - b |$
 V_c : control voltage
 V_{cc} : supply voltage
 V_i : signal voltage versus deflection angle
 V_o : output voltage of addition circuit
x : gyrosphere's moved distance along the orthogonal direction to the electrodes E and W
y : gyrosphere's moved distance along the direction to the electrode E and W
 α : deflection angle
 Δ : datum deflection angle

1. 序 論

運航中에 船舶에서 方位情報은 位置決定, 針路維持, 操船者의 狀況判斷·意思決定에 必要한 基本情報가 되며, 그 正確度는 船舶의 經濟的 運航과 航海安全에 直接的인 影響을 준다. 이러한 方位情報은 自力으로 北을 찾아 收斂하는 gyrocompass에 依存하는 경우가 많다.

船舶用 gyrocompass의 주요 稼動部는 主動部 (sensitive part)와 追從部 (follow-up part)로 構成되어 있다. 主動部는 船舶의 稼動, 搖動등과 같은 運動이 일어나더라도 地球表面에 對하여 일정한 關係를 維持하는 指北機能을 가지고 있고 追從部는 主動部를 摩擦이 작은 方便으로 支持하며, 船體運動 또는 主動部 動作으로 主動部에 對한 相對

的인 偏角變位가 생기면 그것이 最小가 되도록 하는 追從制御 機能을 가지고 있다. 그러므로 gyrocompass의 精確성은 主動部의 動力制御方式, 動心點支持方式 및 船體運動으로 인한 誤差防止裝置¹⁾ 등이 多樣하게 開發되어 指北機能이 크게 向上되었다. 追從部는 主動部에 따라 몇가지 다른 형식이 開發된 것이 있으나 追從制御機能 向上이나 製品改良을 위한 연구 결과는 혼하지 않은 듯 하다. 다만 최근에 追從系統의 利得調整을 통하여 追從制御系統의 安定性을 確保하는 문제를 다룬 바가 있다.²⁾ 그러나 船體의 搖動이나 回轉運動이 심한 경우 追從部의 動作이 遲延되면 主動部에 비틀림이나 마찰이 주어져 指北機能을 상실하는 수가 흔히 있다.

本 研究은 gyrocompass 追從部 制御動作의 正

確性和 迅速性 向上을 위한 基礎研究의 一環으로 서 電力增幅器의 入力端 信號의 感度를 높이는 方案을 모색하는데 그 目的을 두고 있다. 主動部에 對한 追從部의 기계적인 角變位를 電氣的인 信號로 變換하는 偏角檢出器(deflection sensor)의 出力은 追從動作의 正確性 및 신속성과 直結되므로 주어진 偏角과 電壓에서 出力信號를 높이는 方案을 모색하였다. 즉, 追從球가 支持液으로 主動部를 支持하고 있는 球形 gyrocompass에 있어서 偏角檢出器의 理論과 幾何學의 特性을 調査·分析하여 모델링을 하고, 實驗과 理論的인 計算을 통하여 제안한 model 式의 妥當性을 立證한 다음 本 model 式을 利用하여 基準偏角, 偏角, 자이로球와 追從外球의 半徑, 두 球의 半徑差 및 자이로球의 위치등과 같은 要素를 變動시켜 각 경우에 發生하는 偏角信號의 出力特性을 simulation 하고, 그 結果에 根據하여 偏角檢出器의 感度를 높이는 方案을 모색하기

로 한다.

2. 追從部의 系統構成과 理論

2.1. 追從部의 系統構成^{3), 4), 5)}

gyrocompass 主動部가 指北動作으로 運動하거나 船體가 回轉·搖動과 같은 運動을 하면 主動部와 追從部간에 相對的인 角變位가 생긴다. 水銀과 支持液의 浮力 및 中心軸등으로 主動部를 支持하는 球形 gyrocompass에서는 이 角變位가 신속히 소멸되어야 한다. 만약 追從動作이 지연되어 角變位가 존속하면 비틀림이나 마찰로 인한 토오크가 主動部에 주어져서 指北機能이 저해되기 때문이다.

Fig. 1. 은 追從系統을 block diagram 으로 나타낸 것이며 각 要素들의 役割은 다음과 같다.

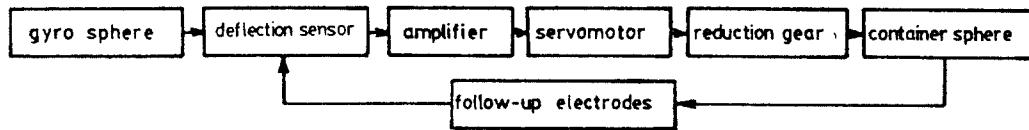


Fig. 1. Over-all block diagram of the follow-up system.

① 主動部 또는 追從部가 垂直軸 周圍로 回轉되 는 相對的인 角變位가 생기면 그것에 相應하는 電氣的 信號(이하 偏角信號라 한다.)를 發生하는 偏角檢出部(deflection sensor), ② 偏角信號를 增幅하여 制御電力을 出力하는 增幅部(amplifier), ③ 制御電壓에 따라 作動하고 減速기어를 通하여 azimuth gear 를 回轉시키는 追從電動機(servomotor), ④ 追從電動機에 加해지는 負荷토오크를 輕減하고 追從環을 回轉시키는 減速기어(reduction gears), ⑤ 發信機(transmitter)의 톱니바퀴를 回轉시켜 repeater 에 方位情報를 傳途하는 追從球(container sphere)등으로 構成되어 있다.

追從系統의 흐름도는 Fig. 2와 같으며 그것은 다음과 같이 동작한다. 追從球가 追從動作을 完了한 경우에는 $d_1 = d_2$ 이다. 그러나 追從球가 자이로球에 대하여 回轉된 경우에는 $d_1 = d_2$ 가 되며, 回轉方向은 偏角信號의 位相에 의해 決定된다.

位相이 決定된 信號는 增幅器를 거쳐서 追從電動機를 動作시키는 驅動力(V_c)이 되며, 追從電動機는 減速기어를 通하여 追從球를 船體의 回轉方向과 反對方向으로 回轉시켜 偏角信號가 消滅될 때까지 作動한다.

2.2. 偏角檢出器의 理論

追從部 偏角檢出器는 主動部와 追從外球간의 相對的인 角變位(偏角)을 檢出하고 이것을 電壓으로 變換한다. 그 形式으로는 對應하는 ① 두 coil의 相互 誘導作用을 利用한 電磁誘導型, ② 主動部에 附着된 trolley 를 利用한 回路接點型, ③ 主動部の rotor 回轉으로 생긴 壓縮空氣를 利用한 空氣噴射型, ④ 支持液의 可變抵抗을 利用한 wheaston bridge 型 등이 있다.⁶⁾

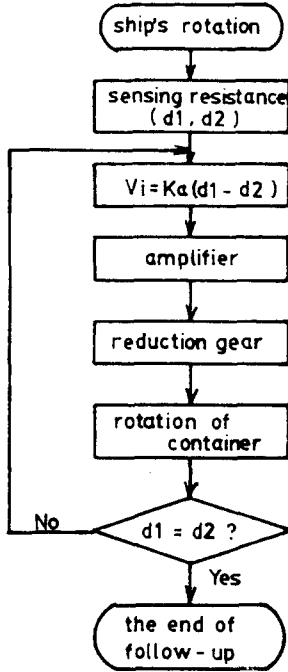
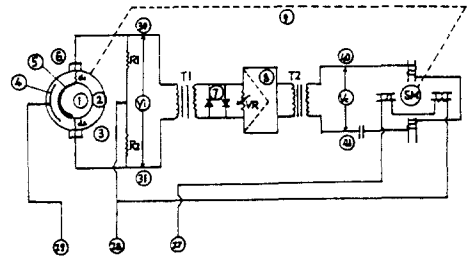


Fig. 2. The signal flow chart of follow-up system.

이들중 wheaston bridge (fig. 4.)형을 이용한 偏角檢出器에 관한 이론을 개관하면 다음과 같다.^{7), 8), 9)}
 追從部の 構成圖(Fig. 3.)에서 支持液으로 된 液體可變抵抗 d_1, d_2 와 두개의 동일한 固定抵抗 R_1, R_2 및 變壓器 T_1 의 1次 coil 등으로 wheaston bridge 回路가 構成된다.



1.gyrosphere 2.supporting liquid 3.follow-up sphere
 4.electrode of follow-up sphere 5.electrode of gyrosphere 6.follow-up electrode 7.double clipper
 8.amplifier 9.reduction gears(V_i) signal voltage (V_c) control voltage

Fig. 3. Follow-up system on the marine gyrocompass.

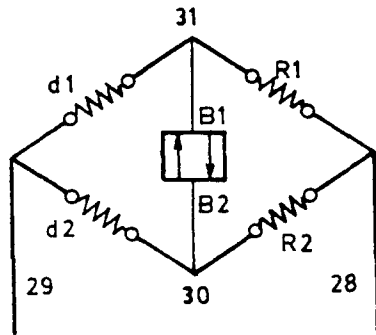


Fig. 4. wheaston bridge

단자 ③① 사이의 電流(I_g)는 다음과 같이 表現된다.¹⁰⁾

$$I_g = \frac{(d_1 - d_2) \cdot R \cdot E}{X_L (d_1 + R) (d_2 + R) + d_1 \cdot R (d_2 + R) + d_2 \cdot R (d_1 + R)} \dots\dots\dots (1)$$

단, X_L : T의 reactance

d_1, d_2 : 支持液의 可變抵抗 (追從電極間的 距離에 따라 變함)

E : 電源電壓

$R = R_1 = R_2$

(1) 式에서 主動部에 대한 追從部の 偏角이 없으면 $d_1 \approx d_2$ 로 되어 ③① 사이의 電流 I_g 는 흐르지 않는다. 그러나, 偏角이 생기면 양쪽의 液體

可變抵抗은 各各 $d_1 = d + \Delta d, d_2 = d - \Delta d$ 로 變한다고 생각할 수 있다.

이 關係를 (1) 式에 代入하면

$$I_g = \frac{2 \cdot E \cdot R \cdot \Delta d}{X_L \{ (d+R)^2 - (\Delta d)^2 \} + 2 \cdot R \{ d^2 + Rd - (\Delta d)^2 \}} \dots\dots\dots (2)$$

가 된다. Δd 가 미소하므로 $(\Delta d)^2$ 항을 무시하면

$$I_g \approx \frac{2 \cdot E \cdot R \cdot \Delta d}{X_L (d+R)^2 + 2 \cdot d \cdot R (d+R)} \dots (3)$$

로 表現된다.

그러므로 ③, ③'사이의 偏角信號電壓 V_i 은

$$V_i = \frac{2 \cdot E \cdot X_L \cdot R}{X_L (d+R)^2 + 2 \cdot d \cdot R (d+R)} \cdot$$

$$\Delta d = K \cdot \Delta d$$

$$\left(K = \frac{2 \cdot E \cdot R \cdot X_L}{X_L (d+R)^2 + 2 \cdot d \cdot R (d+R)} \right) \dots (4)$$

가 된다.

2. 3. 偏角檢出器의 모델

式(4)에서 보듯이 偏角信號電壓 (V_i)은 液體抵抗 變化量 Δd 에 比例하며 支持液은 均等한 매질로 되어 있어서 그 抵抗은 電極間的 距離變化量에 비례한다.

그러므로 V_i 는 對應하는 追從電極間的 距離變化量에 비례한다고 할 수 있다. 따라서 V_i 特性은 地球의 相對的인 姿勢變動이 있을때 追從電極間的 距離差가 어떻게 변하는가에 따라 결정된다. 이러한 점에 着眼하여 追從電極間的 距離差를 표시하는 幾何學的 모델을 구성하기로 한다.¹¹⁾

(1) 자이로球가 追從電極 (E, W)과 같은 方向으로 y 만큼 移動한 경우 (Fig. 5.)

$$a_1 = \sqrt{a^2 + y^2 - 2ay \cos \alpha}$$

$$a_2 = \sqrt{a^2 + y^2 + 2ay \cos \alpha}$$

$$\alpha' = \sin^{-1} \left(\frac{a}{a_1} \sin \alpha \right)$$

$$\alpha'' = \sin^{-1} \left(\frac{a}{a_2} \sin \alpha \right)$$

$$\theta_a = \cos^{-1} \left(\frac{b}{a_1} \right)$$

$$\theta_b = \cos^{-1} \left(\frac{b}{a_2} \right)$$

1) D_1 을 구하는 計算式

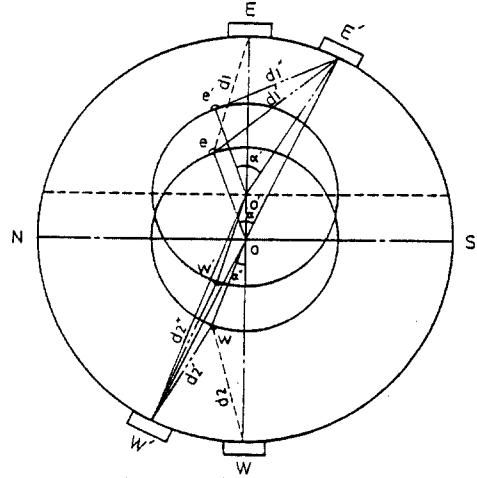


Fig. 5. Schematic diagram showing the relationships between follow up electrodes (y direction).

① $\Delta + \alpha' > \theta_a$

$$D_1 = \sqrt{a_1^2 - b^2} + b\pi (\Delta + \alpha' - \theta_a) / 180$$

② $\Delta + \alpha' = \theta_a$

$$D_1 = \sqrt{a_1^2 - b^2}$$

③ $\Delta + \alpha' < \theta_a$

$$D_1 = \sqrt{a_1^2 + b^2 - 2a_1b \cos(\Delta + \alpha')}$$

2) D_2 를 구하는 計算式

① $\alpha'' > \Delta$

i) $\alpha'' - \Delta > \theta_b$

$$D_2 = \sqrt{a_2^2 - b^2} + b\pi (\alpha'' - \Delta - \theta_b) / 180$$

ii) $\alpha'' - \Delta = \theta_b$

$$D_2 = \sqrt{a_2^2 - b^2}$$

iii) $\alpha'' - \Delta < \theta_b$

$$D_2 = \sqrt{a_2^2 + b^2 - 2a_2b \cos(\alpha'' - \Delta)}$$

- ② $\alpha'' = \Delta$
 - i) $D_2 = a_2$
- ③ $\alpha'' < \Delta$
 - i) $\Delta - \alpha'' > \theta_b$

$$D_2 = \sqrt{a_2^2 - b^2} + b \pi (\Delta - \alpha'' - \theta_b) / 180$$
 - ii) $\Delta - \alpha'' = \theta_b$

$$D_2 = \sqrt{a_2^2 - b^2}$$
 - iii) $\Delta - \alpha'' < \theta_b$

$$D_2 = \sqrt{a_2^2 + b^2 - 2a_2b \cos(\Delta - \alpha'')}$$

3) D_3 를 구하는 計算式

$$D_3 = |D_1 - D_2|$$

위의 모델식과 수치 계산의 절차를 표시하면 Fig. 6.과 같다.

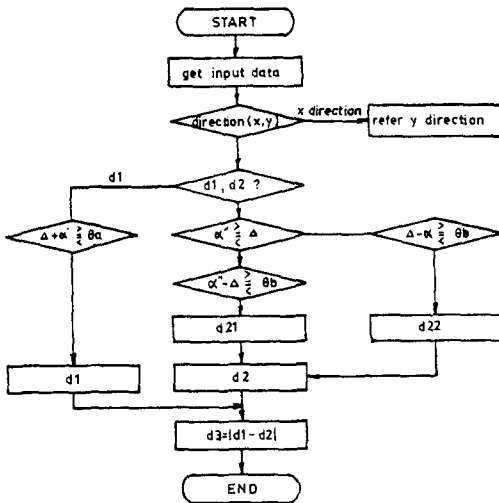


Fig 6. The flow chart of numerical calculation.

(2) 자이로球가 追從電極과 直角方向으로 x 만큼 移動한 경우는 Fig. 7.과 같이 표시되고 모델식과 수치 계산 절차는 (1) 과 같은 방법으로 구성된다.

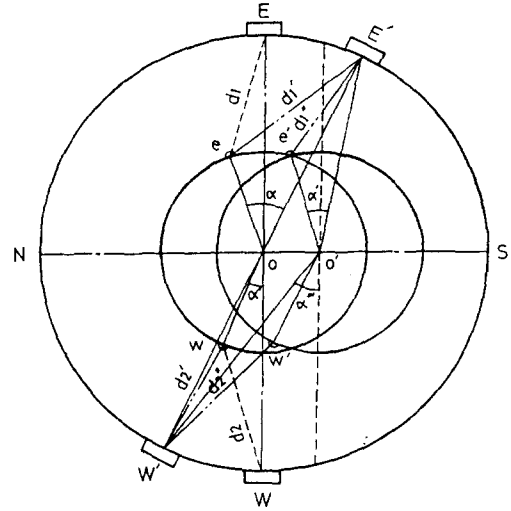


Fig. 7. Schematic diagram showing the relationships between follow-up electrodes (x direction).

3. 모델의 檢證

3.1. 實驗裝置 構成

球形 gyrocompass (Hokushin D-1) 主動部를 支持液이 充만된 플라스틱 용기에 넣어 主動部의 자세를 변경 시켜 가면서 偏角檢出器의 電壓特性을 調査하였다. 半徑이 각각 146mm, 200mm, 225 mm 의 플라스틱 容器에 抵抗을 무시할 수 있는 均一한 구리판으로된 追從電極을 配列하여 서로 電流가 흐르도록 設計하였다. 클라ستيك 통에는 증류수 1.5 l , glycerin 0.1 l , benzeiacid 3.2g의 比率로 支持液을 만들어 채웠다.

Fig. 8. 는 자이로球의 두 電極 (E, W)을 電線으로 연결하여 追從球의 두 電極 (E, W)에 直流電源 (Vcc)을 供給하고, 加算回路 (μA741)를 사용하여 저항 d_1 과 d_2 에 걸리는 두 電壓의 差를 구하는 回路圖이다. 追從球의 두 電極 (E, W)에 직류 전원을 供給하면 支持液의 저항 d_1 과 d_2 에는 각각 $V_1 = 0 \sim +V_{cc}$, $V_2 = 0 \sim -V_{cc}$ 인 전압이 나타난다. 이것이 加산회로를 통과하면 $V_0 = V_1 + V_2$ 가 되어 支持液저항 d_1, d_2 사이의 電極差가 된다.

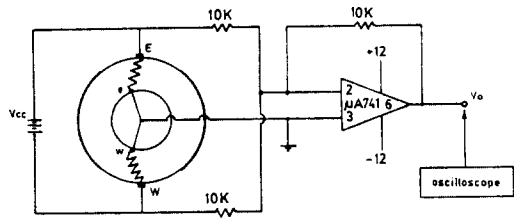


Fig. 8. The schematic wiring diagram for measuring the voltage difference between two sets of follow-up electrodes.

3. 2. 實驗結果 및 數值計算

Vcc에 直流電源 공급하고 자이로球를 서서히 回轉하여 偏角을 점차로 증가하였을 때 나타나는 전압 V_o을 oscilloscope 로 測定한 결과 Fig. 9. 과 같이 偏角이 미소할 때는 偏角에 對한 出力特性은 線形的이다. 한편 모델식에서 자이로球의 移動距離 (x, y)를 0으로 하고 基準偏角 (△)을 4°로 하여 偏角 (α)을 점차로 증가하였을 때 距離差의 變動特性은 Fig. 10 과 같다. 이것은 Fig. 9. 과 같은 경향을 나타내고 있다.

또한 크기가 다른 플라스틱 용기를 이용하여 동일한 실험을 실시하였던바 그 결과는 Fig. 11. 와 같이 용기의 지름이 작을수록 出力感도가 좋아지는 경향이 나타났다.

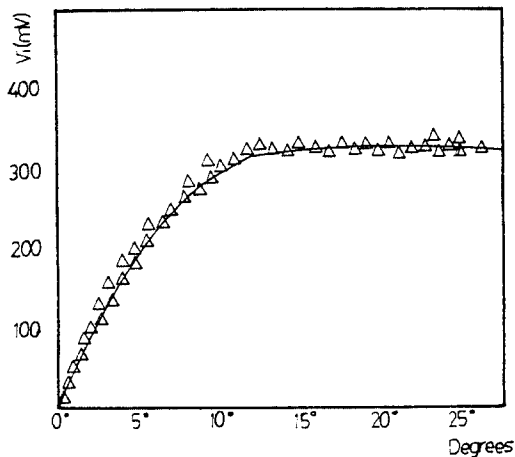


Fig. 9. The voltage difference between electrodes versus deflection angles.

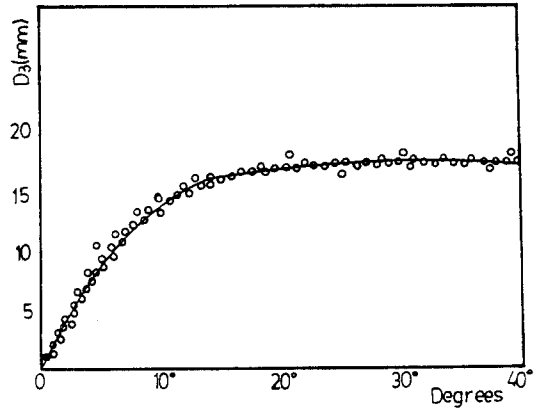


Fig. 10. Distance difference between electrodes versus deflection angles.

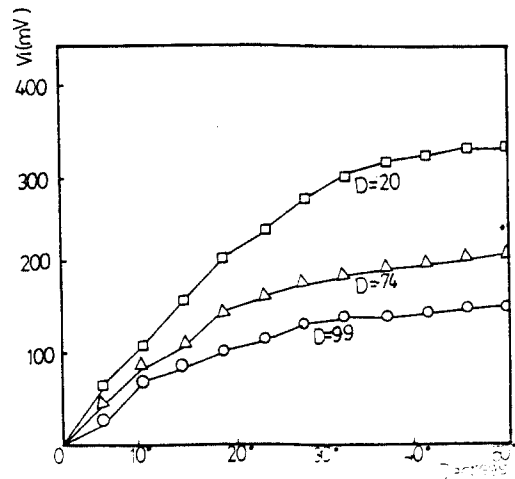


Fig. 11. The voltage difference between electrodes versus deflection angles under the given semidiameter.

한편 모델식에서 자이로球의 移動距離 (x, y)를 0으로 하고 基準偏角 (△)을 4°로 하여 두 球의 半徑差 (D)를 20mm, 74mm, 99mm로 변경하였을 때 偏角 (α)에 따른 距離差의 變動特性은 Fig. 12. 과 같다.

즉, 두 球의 半徑差가 작을수록 出力感도가 좋아지고 電極間의 距離差 變動율도 커진다.

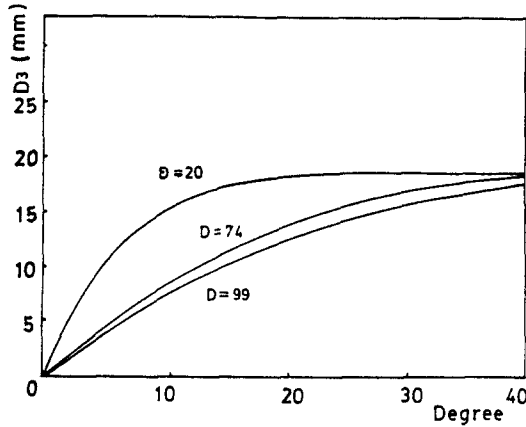


Fig. 12. Distance difference between electrodes versus deflection angles under the given semidiameter.

이상의 實驗結果와 모델式에 의한 計算結果를 요약하면 다음과 같다.

- ① 偏角에 對하여 測定된 出力特性和 計算으로 得인 追從電極間의 距離差 特性은 일치한다.
- ② 偏角이 미소할 때는 偏角에 對한 出力特性和 偏角에 對한 追從電極間의 距離差의 特性은 各 各 線形的이다.
- ③ 두 球의 半徑差가 작을수록 偏角에 對한 出力 感도가 높고 偏角에 對한 距離差 變動율이 커진다.

즉, 出力特性和 電極間의 距離差 特性이 같은 경향으로 변하고 있어 設定한 모델식이 타당하는 것이 입증되고 있다.

4. 모델의 Simulation

偏角檢出機의 幾何學的인 모델의 타당성이 입증 되었으므로 檢出器의 出力感도를 높이는 문제는 모델식을 이용하여 두 電極間의 距離差 變動율이 높은 것을 탐색하는 방법으로 해결하기로 한다. 電極間의 距離差에 영향을 주는 요소는 偏角變動 이외의 ① 자이로球에 配列된 두 追從電極이 0°~180°線으로 부터 각각 어긋난 基準偏角, ② 追從球와 자이로球의 半徑, ③ 두 球의 半徑差, ④ 球의 移動方向과 距離등이므로 이러한 요소를 변경시켰을 때 出力特성을 조사하였다.

4. 1. 內球의 移動距離와 感度

(1) 두 球의 半徑, 半徑差(K), 基準偏角(Δ)을 一定하게 하고 자이로구가 電極(E, W)方向으로 移動하였을 때 偏角에 따른 電極間의 距離次(D_3)의 變動特性은 Fig. 13. 와 같다.

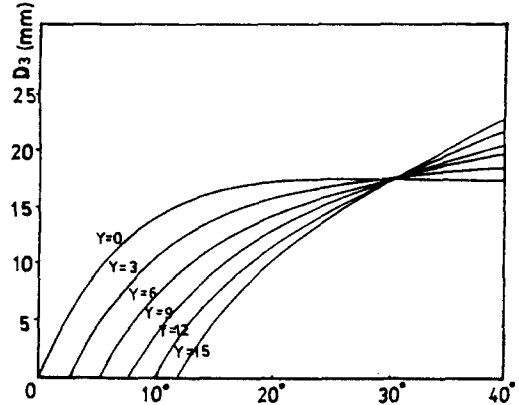


Fig. 13. Distance difference between electrodes versus deflection angles under the given deviation (y).

(2) 두 球의 半徑, 半徑差, 基準偏角을 一定하게 하고 자이로 구가 電極方向과 直角方向(N, S)으로 移動하였을때 偏角에 따른 電極間 距離差(D_3)의 變動特性은 Fig. 14. 와 같다.

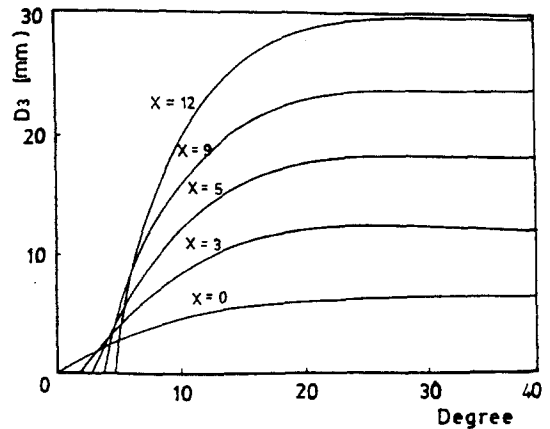


Fig. 14. Distance difference between electrodes versus deflection angles under the given deviation(x).

4. 2. 基準偏角과 感度

두 球의 半徑을 一定하게 하고 자이로球를 電極 方向과 같은 方向(y)으로 移動하여, 基準偏角을 0°~20°까지 變化하였을 때 偏角에 따른 電極間의 距離差(D₃)의 變動特性은 Fig. 15.과 같다.

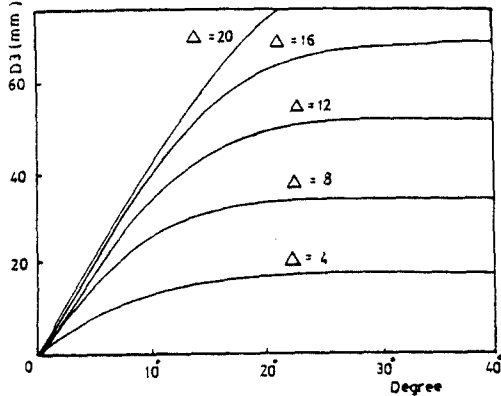


Fig. 15. Distance difference between electrodes versus deflection angles under the given datum angles (Δ).

4. 3. 內球와 外球의 크기에 대한 感度

基準偏角, 두 球의 半徑差 및 移動距離(y)를 一定하게 하고 두 球의 半徑을 變경시켰을 때 半徑 크기에 따른 電極間 距離差(D₃)의 變動特性은 Fig. 16.과 같다.

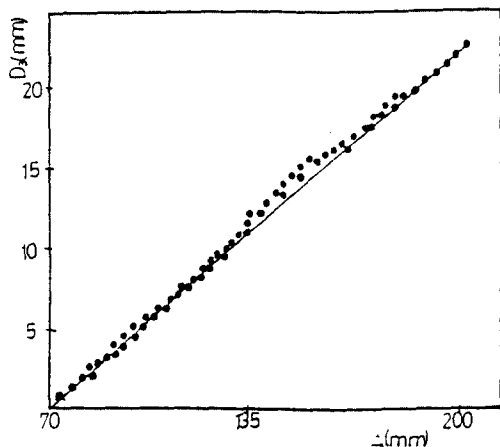


Fig. 16. Distance difference between electrodes versus various size of two spheres under the constant difference in semidiameter.

4. 4 內球와 外球의 크기差에 대한 感度

基準偏角, 移動距離(y)등을 一定하게 하고 두 球의 半徑差를 變化하였을 때 두 電極間의 距離差(D₃)의 變動特性은 Fig.17. 과 같다.

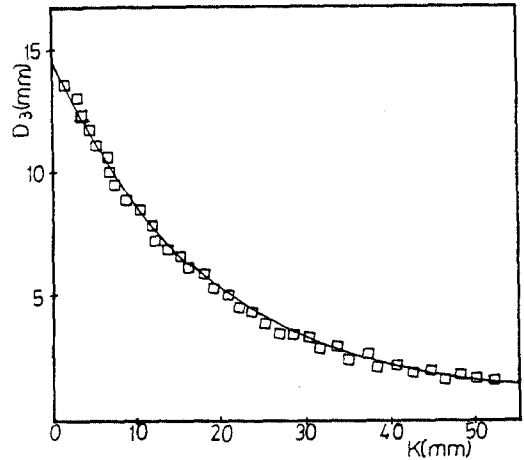


Fig.17. Distance difference between electrodes versus semidiameter difference (K).

以上의 Simulation 를 통하여 다음과 같은 것이 규명되었다.

- (1) 內球가 外球의 中心에서 移動할수록 電極間 距離差(D₃)의 增加率이 커진다. 小角度 偏角下에서는 內球가 電極方向으로 移動한 경우가 電極方向과 直角方向으로 移動한 경우보다 距離差의 增加率이 크다.
- (2) 基準偏角이 4°~16° 범위에서는 偏角이 커지면 電極間의 距離差의 增加率이 커진다.
- (3) 內球가 外球의 半徑差는 작을수록 電極間 距離差(D₃)의 增加率이 커진다.
- (4) 두 球의 半徑差가 같은 경우에는 두 球의 크기가 클수록 距離差(D₃)의 增加率이 커진다.

5. 結 論

海上의 船體가 搖動, 變針과 같은 運動을 하더라도 主動部에 의한 方位情報가 精確하게 傳達되고 主動部에 비틀림이나 마찰이 주어지지 않도록 追從部가 精確· 신속하게 動作하여야 하므로 그

追從系統의 感度を 높이는 문제는 重要視되고 있다. 追從系統動作의 精確성과 신속성은 電力增幅器의 利得調整으로 높일 수도 있다. 그러나 利得을 지나치게 높이면 系統의 安定度가 오히려 나빠져서 持續抵動이 隨伴되는 수가 있다. 따라서 증폭기의 입력단에 偏角檢出器를 設計할 必要가 있다.

本 研究에서는 主動部가 球形으로된 gyrocompass의 追從部 制御系統의 構成要素인 偏角檢出器의 幾何學의 特性을 分析, 檢討하여 模型을 構成하고 實驗과 수치계산을 통하여 模型의 妥當性을 立證하였다. 그리고 이 模型을 바탕으로 다양한 조건하에서 얻어지는 出力特性을 조사하였다.

그 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 追從球内の 支持液 抵抗은 距離差에 比例한다.

(2) 10°미만인 偏角이 주어질때 偏角에 對한 追從電極間의 距離差의 變動特性과 偏角에 對한 出力電壓特性은 各各 線形的이다.

(3) 基準偏角을 크게 할수록 偏角檢出器의 感도가 좋아지고 16°이상의 경우에는 크게 하여도 感도가 크게 改善되지 않고 이 角을 4°以下로 하면 感도가 아주 나빠진다.

(4) 追從外球와 자이로球의 半徑差는 작을수록 感도가 높아진다.

(5) 두 球의 半徑差가 같은 경우에는 두 球의 크기가 클수록 感도가 높아진다.

(6) 자이로球가 追從外球 中心에서 부터 移動한 距離가 클수록 感도는 높아진다.

本 研究에서는 (1)~(6)의 各各의 경우를 獨立的으로 분리해서 고찰하였다. 그러므로 各 경우가 복합적으로 일어날 때의 出力特性은 계속 研究되어야 할 것으로 思料된다.

參 考 文 獻

1. 李相鏞 : 자이로기기 해설, 亞成出版社, pp. 54~59, 97~105, 1984.
2. Lee, S. J : System Representation for the control system of the follow-up Mechanism on the Marine Gyro compass, the Korean Institute of navigation, pp.

31-50, 1980.

3. 河注植 : 自動制御工學, 海事圖書出版部, pp. 62-71, 1983.
4. Kiltzu : Gyrocompass (in Japanese) 2, Sung san book 10, pp.1-17, 1980.
5. A. Frost : Marine Gyrocompass for ship's officers, pp.118-132, 1982.
6. 前掲書(1)의 pp.55-57.
7. Hokshin electric works co : operational manual for Hokshin D-1 gyrocompass, pp.4-88, 1978.
8. Maefadake : Control system for navigation (in Japanese) Haemoon book co, pp.28-29, 1970.
9. Mozaitorai : Compass, Gyro Theory and Applications (in Japanese), Haemoon book co. pp.175-176, 1979.
10. 千熙英, 朴貴泰 : 電氣, 電子計測, 普成文化社, pp.153-167, 1985.
11. 李炳昊 : 動力學特論, 民音社, pp.87-147, 1981.