磁気Compass의 信頼度에 関한 考察

李　　相　　鏶

A Study on the Confidence Level of Magnetic Compass

Lee Sangjib

目　次

Abstract
Ⅰ. 序　言
Ⅱ. 磁氣compass의 誤差와 偶然誤差
Ⅲ. 自差測定 및 平均自差
Ⅳ. Fourier 級數로 나타낸 自差
Ⅴ. 最小自乘法에 依한 自差分析
Ⅵ. 標準偏差의 信賴度
Ⅶ. 平均自差의 信賴度
Ⅷ. 結　論
參考文獻

Abstract

Accuracy is the most important of the various properties of the compass, but it is necessary to reafirm what is meant by accuracy and how it is determined. Most definitions of accuracy of the magnetic compass, unless they are suitably qualified, are meaningless.

Therefore, in this paper, the random errors occurred in using magnetic compasses are classified into two groups through the statistical method; one is the difference between the observed figure and the mean calibration curve, and other the difference between the mean curve and the true mean. And from the above mentioned groups of errors two kinds of over all standard deviations are derived and defined.

The errors of standard compass of S/S "Bando", training ship of Korea Merchant Marine College, were examined by taking the bearings of a distant terrestrial object and its 95 percent confidence level was determined by using the quantity of the total over all standard deviations multiplied by 2 and thus an example was given to confirm the standard deviation of each group of errors is regarded as a coefficient from which various confidence levels of errors can be deduced, rather than as an accuracy figure.

A conclusion to be drawn from this experiment is that the double of the total over all

standard deviation indicates that a single observation of a bearing line may be incorrect to the extent of ±38 minutes of arc about the true mean.

This method of determining the extent of errors may be applied to all manners of observations with ship's magnetic compass and the accuracy may vary in accordance with such specific conditions as dynamic or static conditions and so forth.

It is, therefore, always advisable to consider the accuracy figures on a statistical basis, when the users are to make a decision on the safety margin of a bearing line taken from the magnetic compass.

I. 序 言

航海者가 磁氣compass를 使用하여 物標의 方位나 船舶의 針路를 決定할 必要가 있을 때에는 觀測한 方位나 針路에 地磁氣偏差(variation)와 自差(deviation)를 加減하여주면 求하고저 하는 方位나 針路가 바로 決定된다고 생각하는 것이 普通이다. 그러나 이렇게 하여 決定된 方位나 針路를 使用함에 있어서, 이것은 果然 어느정도 精確하며 또 어떠한 範圍內에서 이것을 信賴하는 것이 合理的인 가를 생각해 볼 必要가 있다.

이에 關하여 陸上의 地磁氣偏差 測定用인 Admiralty compass, Pattern 1 및 2의 誤差와 航海用 磁氣compass 誤差에 關한 單純한 實測結果만 있을 뿐 그 具体的이고 理論的인 解析은 없다[1].

本 論文에서는 方位나 針路의 改正時에 加減하여 주어야 하는 改正値인 地磁氣偏差 및 自差 以外에 磁氣compass의 使用時에 隨伴되는 誤差를 可能한 範圍內에서 分類하고 또 그 크기의 限界를 實測으로 求한 自差를 바탕으로 하여 決定하였다.

즉 遠標方位法을 擇하여 船首를 2点 間隔으로 定針하면서 物標의 方位를 測定하였으며, 그 測定回數가 10回 되게 하였다. 이렇게 하여 求한 方位로부터 觀測自差(observed deviation)를 求하고 이 값의 平均値(平均自差 또는 計算自差〈computed deviation〉)를 基準으로 하여 이것과 各 觀測自差와의 差異인 誤差(統計的 意味의 偏差)를 구하고 또 統計的 標本理論(sample theory)을 適用하여 平均自差 自体에 包含되어 있는 誤差를 구하였다[2,3]

이 두 誤差를 各各 分析하고 또주어진 信賴度(confidence level)[4,5]에 該當하는 偶然誤差의 限界를 決定하였다.

이렇게 하여 航海者에게 磁氣compass 使用時에 발생되는 誤差를 分析하고 그 限界를 決定하는 方法을 提示함으로써 磁氣compass의 精確度에 對한 바른 認識을 갖도록 하고, 보다 安全한 航海를 기하는데 參考가 되게 하는 것이 本論文의 目的이다.

II. 磁氣Compass의 誤差 및 偶然誤差

磁氣compass를 使用하여 物標의 方位를 觀測하였을 때 그 測定値에 包含되어 있는 誤差를

分析하고 또 주어진 信賴度에서 觀測値에 包含되어 있는 誤差의 限界를 定하기 위해서 磁氣compass의 誤差와 그 誤差에 包含되어 있는 偶然誤差와의 關係를 먼저 밝혀 두고자 한다.

1. 磁氣compass의 全誤差(total error)를 그 原因別로 分類하여 보면

① 地球磁氣(geo-magnetism)에 依하여 決定되는 地磁氣偏差와

② 自差가 있다. 自差는 다시

(a) 船內磁場(ship's magnetism)에 依하여 決定되는 誤差(狹義的 意味의 自差)

(b) 磁氣compass 自体의 構造上의 缺陷으로 因하여 일어나는 誤差(directional error)[6]

(c) 方位測定에 使用되는 方位器具의 缺陷 및 그 使用過程에서 發生되는 方位誤差(bearing error)[7] 等으로 細分할 수 있다.

2. 다음 自差를 構成하고 있는 誤差를 그 特性別로 分類하면

① 不變差(constant error)가 있다.

이는 船首方位에 關係없이 크기나 符號가 一定한 誤差이며, 自差式에서는 係數 A로서 表示된다. 또 不變差의 原因은

(a) compass의 位置를 基準으로 하여 어느 쪽으로도 對稱이 아닌 船內 平水軟鐵의 誘導磁氣의 影響으로 因한 境遇

(b) 地磁氣偏差의 不正確

(c) 指北裝置(directional system)에 있는 磁針의 合成軸이 card의 南北線과 一致하지 않으므로 일어나는 器差(index error)

(d) 觀測線(line of sight)이 card의 中心을 通過하지 않으므로 일어나는 誤差와 같이 測定過程에서 發生되는 誤差 等으로 나눌 수 있다.

② 系統誤差(systematic error) 또는 規則誤差(regular error)가 있다.

이는 船首方位의 變化에 따라 誤差의 크기나 符號가 週期的으로 一定한 規則에 따라 變化하는 誤差이며 係數 B, C, D, E, …等으로 表示된다. 系統誤差의 原因은

(a) 不變差 A를 構成하는 船內磁氣의 結合狀態를 除外한 船內水平軟鐵의 여러가지 結合에 依한 誘導磁氣의 影響으로 因한 境遇

(b) directional error 中에서 card error (graduation error) 및 離心差(eccentricity error)

(c) bearing error 中에서 pivot의 位置가 正確하게 bowl의 中心과 一致하지 않으므로 일어나는 誤差

(d) 自差修正用 磁石이 compass에 너무 가까울 때 일어나는 六分圓差(sextantal error)

(e) 象限差修正用 軟鐵球가 compass에 가까울 때 磁針으로 因한 磁氣誘導作用에 依하여 일어나는 誘導誤差(induction error)인 八分圓差(octantal error) 等을 들 수 있다.

③ 偶然誤差(random error) 또는 不規則誤差(irregular error, casual error, accidental error)가 있다. 이는 確實한 原因을 알 수 없거나 原因을 알더라도 그 크기를 正確히 決定할 수 없기 때문에 消去하기 困難한 誤差를 말하며[9,10,11] 方位觀測時에 일어나는 偶然誤

差의 原因을 살펴 보면

ⓐ 目標物을 잘못 照準하였을 境遇(ill-aiming)에 일어나는 誤差*

ⓑ 方位測定 器具의 프리즘의 不良(skew of prism)으로 因한 誤差*

ⓒ pivot의 摩擦로 因한 誤差

ⓓ shadow pin의 傾斜로 因하여 일어나는 誤差

ⓔ compass液의 隨伴運動으로 因한 旋回誤差(swirl error)[12] 等을 들수 있다.

本 論文에서는 測定回數를 無限히 하여 얻어진 平均自差 즉 모든 不變差와 系統誤差가 精確하게 包含되어 있는 母平均自差를 基準으로 하여 任意 觀測으로 求한 自差를 全量 偶然誤差로 取扱하였다.

Ⅲ. 自差測定 및 平均自差

實測한 값을 基礎資料로 하여 compass의 信賴度를 決定할 目的으로 韓國海洋大學의 練習船을 利用하여 自差測定을 하였다.

1. 實驗에 使用한 磁氣compass

① comass의 種類 : 半島號의 standard compass

② 製作處 : Tokyo Keiki Seizo Sho Ltd.

③ 磁針形式 : two needle system

④ compass의 位置 : 船首에서 42m. flying bridge.

⑤ 摩擦角 : 5° 偏角에서 20′

⑥ 振動週期 : 25 sec.

⑦ 制動率(damping factor) : $\frac{90°-40°}{90°}=0.56$

2. 實驗에 使用한 船舶

① 船名 : 반도호

---

*a와 b로 因한 誤差의 最大許容範圍

British Standard 1966: Part 1: 1966의 "Specification for Magnetic Compass and Binnacles"에 依하면

Azimuth reading error (方位測定誤差)

目標物의 高度	目標物을 正確하게 觀測했을 경우 일어난 誤差의 最大許容 限界	目標物을 잘못 觀測했을 때 일어난 誤差의 最大許容 限界
水平線下 5°에서 水平線上 45°사이 일 때	0.°3	1°
水平線上 45° 以上 일 때	0.°5	1.°5
水平線上 27° 일 때	0.°3	0.°5

[illegible] 船[illegible] [illegible](Fine Estonia)

[illegible] 排水量 [illegible]

[illegible] 長 [illegible] 157.41 m

[illegible] 幅 [illegible]

[illegible] 吃水 [illegible] 12.10 m

3. 自差 [illegible]

測定 [illegible] 1971. 1. 15.

[illegible] 37°02'N, 129°10'E

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible] 1965 [illegible] 76°12'W, 1967 [illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

表 1. 自差와 平均自差

針路											
N	[illegible]	1.2	1.3	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	-1.3	-0.8	[illegible]	[illegible]
NNE	[illegible]	-1.7	-1.3	[illegible]	[illegible]	[illegible]	-1.1	[illegible]	-1.3	-1.7	[illegible]
NE	[illegible]	[illegible]	-2.1	[illegible]	[illegible]	[illegible]	-2.8	[illegible]	[illegible]	-2.1	[illegible]
ENE	[illegible]	[illegible]	-1.3	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
E	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	-1.2	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
ESE	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
SE	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
SSE	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
S	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
SSW	[illegible]	[illegible]	1.2	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
SW	[illegible]	[illegible]	[illegible]	-2.7	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
WSW	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
W	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
WNW	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
NW	[illegible]	[illegible]	0.3	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
NNW	[illegible]	[illegible]	[illegible]	-0.3	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]

Ⅳ. Fourier 級數로 나타낸 自差式

觀測自差로부터 不變差 및 系統誤差를 가려내고 나머지 誤差 즉 偶然誤差에 對한 統計的인 分析을 하기 위하여 不變差와 系統誤差를 表示하는 式으로는 Fourier 級數로 나타낸 自差式을 擇하였으며 이 式의 導出過程을 살펴봄으로써 平均自差에 대한 뜻을 明白히 하고자 하였다.

船內磁場을 表示하는 Poisson의 基本式으로부터

$$\sin\delta = A_0\cos\delta + B_0\sin\varphi + C_0\cos\varphi + D_0\sin(2\varphi+\delta) + E_0\cos(2\varphi+\delta) \quad \cdots\cdots①$$

를 구한다.

但 δ : 自差

φ : 船首의 羅針方位

$$A_0 = \frac{1}{\lambda}\left(\frac{d-b}{2}\right)$$

$$B_0 = \frac{1}{\lambda}\left(c\cdot\tan\theta + \frac{P}{H}\right)$$

$$C_0 = \frac{1}{\lambda}\left(f\cdot\tan\theta + \frac{Q}{H}\right)$$

$$D_0 = \frac{1}{\lambda}\left(\frac{a-e}{2}\right)$$

$$E_0 = \frac{1}{\lambda}\left(\frac{a+b}{2}\right)$$

여기에서 이들에 對하여는 다음과 같은 規約을 適用하기로 한다.

規約 1) 모든 係數는 radian으로 表示한다.

2) 一般的으로 δ, B_0, C_0, D_0는 微小하고 A_0, E_0는 그보다도 더 微小하므로 앞의 것을 各各 1次量으로 뒤의 것을 各各 2次量으로 보기로 한다.

즉 δ, B_0, C_0, D_0는 各各 1次量

A_0, E_0는 各各 2次量

따라서 $\delta\times B_0$, $B_0\times C_0$, $C_0\times D_0$, ……等은 各各 2次量

$A_0\times B_0$, $B_0\times E_0$, ……………等은 各各 3次量

$A_0\times E_0$, E_0^2, ……………等은 各各 4次量으로 된다.

① 式을 展開하면

$$\sin\delta = A_0\cos\delta + B_0\sin\varphi + C_0\cos\varphi + D_0\sin2\varphi\cos\delta + D_0\cos2\varphi\sin\delta + E_0\cos2\varphi\cos\delta - E_0\sin2\varphi\sin\delta \quad \cdots\cdots②$$

가 된다.

한편 sin과 cos의 Maclaurin 級數에 의하면

$$\sin\delta = \delta - \frac{\delta^3}{2\cdot3} + \frac{\delta^5}{2\cdot3\cdot4\cdot5} - \frac{\delta^7}{2\cdot3\cdot4\cdot5\cdot6\cdot7} + \cdots\cdots \fallingdotseq \delta - \frac{\delta_3}{6} \quad \cdots\cdots③$$

$$\cos\delta = 1 - \frac{\delta_2}{2} + \frac{\delta^4}{2\cdot3\cdot4} - \frac{\delta^6}{2\cdot3\cdot4\cdot5\cdot6} + \cdots\cdots \fallingdotseq 1 - \frac{\delta^2}{2} \quad \cdots\cdots④$$

③과 ④를 ②에 代入하여 4次量 以上의 係數가 含包된 項을 無視하면 아래와 같다.

$$\delta(1-D_o\cos2\varphi+E_o\sin2\varphi)=A_o+B_o\sin\varphi+Co\cos\varphi+D_o\sin2\varphi+E_o\cos2\varphi-\frac{1}{2}D_o\delta^2\sin2\varphi+\frac{1}{6}\delta^3 \quad\cdots\cdots(5)$$

⑤式에서 3次量 以上의 係數가 包含된 項을 無視하여 다음式을 取한다.

$$\delta=B_o\sin\varphi+C_o\cos\varphi+D_o\sin2\varphi \quad\cdots\cdots(6)$$

⑥을 ⑤에 代入하고 4次量 以上의 係數가 包含된 項을 無視하면 다음과 같이 된다.

$$\begin{aligned}\delta(1-D_o\cos2\varphi+E_o\sin2\varphi)&=A_o+B_o\sin\varphi+C_o\cos\varphi+D_o\sin2\varphi+E_o\cos2\varphi\\&+\frac{1}{6}B_o^3\sin^3\varphi+\frac{1}{2}B_o^2C_o\sin^2\varphi\cos\varphi+\frac{1}{2}B_oC_o^2\sin\varphi\cos^2\varphi-\frac{1}{2}B_oD_o^2\sin^2 2\varphi\\&\sin\varphi+\frac{1}{6}C_o^3\cos^3\varphi-\frac{1}{2}C_oD_o^2\cos\varphi\sin^2 2\varphi-\frac{1}{3}D_o^3\sin^3 2\varphi \quad\cdots\cdots(7)\end{aligned}$$

⑦에서 $\dfrac{I+(D_o\cos2\varphi+E_o\sin2\varphi)}{I-(D_o\cos2\varphi-E_o\sin2\varphi)^2}$를 兩邊에 곱하고 $1-(D_o\cos2\varphi-E_o\sin2\varphi)^2\doteq1$로 두어 4次量 以上의 係數가 包含된 項을 無視하면

$$\begin{aligned}\delta&=A_o+A_oD_o\cos2\varphi+B_o\sin\varphi+B_oD_o\sin\varphi\cos2\varphi+B_oD_o^2\sin\varphi\cos^2 2\varphi-B_oE_o\sin\varphi\sin2\varphi\\&+\frac{1}{6}B_o^3\sin^3\varphi+\frac{1}{2}B_o^2C_o\sin^2\varphi\cos\varphi+\frac{1}{2}B_oC_o^2\sin\varphi\cos^2\varphi-\frac{1}{2}B_oD_o^2\sin\varphi\sin^2 2\varphi\\&+C_o\cos\varphi+C_oD_o\cos2\varphi\cos2\varphi+C_oD_o^2\cos\varphi\cos^2 2\varphi-C_oE_o\cos\varphi\sin2\varphi\\&+\frac{1}{6}C_o^3\cos^3\varphi-\frac{1}{2}C_oD_o^2\cos\varphi\sin^2 2\varphi+D_o\sin2\varphi+D_o^2\sin2\varphi\cos2\varphi+D_o^3\sin2\varphi\cos^2 2\varphi\\&-D_oE_o\sin^2 2\varphi-\frac{1}{3}D_o^3\sin^3 2\varphi+E_o\cos2\varphi+D_oE_o\cos^2 2\varphi \quad\cdots\cdots(8)\end{aligned}$$

을 얻는다.. 이것을 다시 整理하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned}\delta&\doteq A_o+\left[B_o+\frac{1}{8}B_oC_o^2+\frac{1}{8}B_o^3+\frac{1}{4}B_oD_o^2-\frac{1}{2}B_oD_o-\frac{1}{2}C_oF_o\right]\sin\varphi\\&+\left[C_o^2-\frac{1}{2}B_oE_o+\frac{1}{8}B_o^2C_o+\frac{1}{2}C_oD_o+\frac{1}{4}C_oD_o^2+\frac{1}{8}C_o^3\right]\cos\varphi\\&+[D_o]\sin2\varphi+[A_oD_o+E_o]\cos2\varphi\\&+\left[\frac{1}{2}B_oD_o-\frac{3}{8}B_oD_o^2-\frac{1}{24}B_o^3+\frac{1}{8}B_oC_o^2-\frac{1}{2}C_oE_o\right]\sin3\varphi\\&+\left[\frac{1}{2}B_oE_o-\frac{1}{8}B_o^2C_o+\frac{1}{2}C_oD_o+\frac{3}{8}C_oD_o^2+\frac{1}{24}C_o^3\right]\cos3\varphi\\&+\left[\frac{1}{2}D_o^2\right]\sin4\varphi+\left[B_oD_o\right]\cos4\varphi+\left[\frac{3}{8}B_oD_o^2\right]\sin5\varphi\\&+\left[\frac{3}{8}C_oD_o\right]\cos5\varphi+\left[\frac{1}{3}D_o^3\right]\sin6\varphi \quad\cdots\cdots(9)\end{aligned}$$

⑨式에서 變數는 δ, φ이고 [ ] 안의 部分은 一定하다. 여기에 radian으로 表示되어 있는 δ, A_o 및 [ ] 안의 것을 角度의 60分法의 單位로 바꾸어 δ, A, B, C, ……로 交替하면

$$\begin{aligned}\delta&=A+B\sin\varphi+C\cos\varphi+D\sin2\varphi+E\cos2\varphi+F\sin3\varphi\\&+G\cos3\varphi+H\sin4\varphi+K\mathrm{con}4\varphi+L\sin5\varphi+M\cos5\varphi+N\sin6\varphi \quad\cdots\cdots(10)\end{aligned}$$

표 2. 最 小 自 乘 法 에

	1	2	3	4	5	6	7	8
船首方位	平均自差	sin φ	1×2	cos φ	1×4	sin 2φ	1×6	cos 2φ
N	−1°	0° (S_0)	0°	+1° (S_8)	−1°	0° (S_0)	0°	+1° (S_8)
NNE	−1.5	+0.383 (S_2)	−0.575	+0.924 (S_6)	−1.386	+0.707 (S_4)	−1.060	+0.707 (S_5)
NE	−2.5	+0.707 (S_4)	−1.767	+0.707 (S_4)	−1.767	+1 (S_8)	−2.5	0 (S_0)
ENE	−1.5	+0.924 (S_6)	−1.386	+0.383 (S_2)	−0.574	+0.707 (S_4)	−1.767	−0.707 $(-S_4)$
E	−1.0	+1. (S_8)	−1.	0 (S_0)	0	0 (S_0)	0	−1 $(-S_8)$
ESE	−0.5	+0.924 (S_6)	−0.462	−0.383 $(-S_2)$	+0.191	−0.707 $(-S_4)$	+0.353	−0.707 $(-S_4)$
SE	0.0	+0.707 (S_4)	0	−0.707 $(-S_4)$	0	−1 $(-S_8)$	0	0 $(-S_0)$
SSE	+0.5	+0.383 (S_2)	+0.191	−0.924 $(-S_6)$	−0.191	−0.707 $(-S_4)$	−0.353	+0.707 (S_4)
S	+1.0	0. (S_0)	0	−1 $(-S_8)$	−1	0 (S_0)	0	−1 (S_8)
SSW	+1.5	−0.383 $(-S_2)$	−0.589	−0.924 $(-S_6)$	−1.386	+0.707 (S_4)	+1.060	+0.707 (S_4)
SW	+2.5	−0.707 $(-S_4)$	−1.767	−0.707 $(-S_4)$	−1.767	+1 (S_8)	+2.5	0 (S_0)
WSW	−1.5	−0.924 $(-S_6)$	−1.386	−0.383 $(-S_2)$	−0.574	+0.707 (S_4)	+1.767	−0.707 $(-S_4)$
W	+1.0	−1 $(-S_8)$	−1	0 (S_0)	0	0 (S_0)	0	−1.0 $(-S_8)$
WNW	+0.5	−0.924 $(-S_6)$	−0.462	+0.383 (S_2)	+0.191	−0.707 $(-S_4)$	−0.353	−0.707 $(-S_4)$
NW	+0.0	−0.707 $(-S_4)$	0	+0.707 (S_4)	0	−1 $(-S_8)$	0	0 (S_0)
NNW	−0.5	−0.838 $(-S_2)$	+0.419	+0.924 (S_6)	−0.464	−0.707 $(-S_4)$	+0.353	+0.704 (S_4)
	+8.5		+0.610		+0.382		+6.033	+4.826
	−8.5		−10.394		−10.109		−6.033	−4.826
	Total $16A=0$		$8B=-9.784$		$8C=-9.727$		$8D=0$	$8E=0$
	$A=0$		$B=-1.°223$		$C=-1°216$		$D=0$	$E=0$

$$\therefore\ \delta_m=-1.223\sin\varphi-1.216\cos\varphi-0.423\sin 3\varphi+0.279\cos 3\varphi+0.375\sin 4\varphi$$

付 記 自 差 分 析

9	10		11	12		13	14	15	16	17
1×8	sin 3φ		1×10	cos 3φ		1×12	sin 4φ	1×14	cos 4φ	1×16
−1	0	(S)	0°	+1	(S)	−1°	0°	0°	+1°	−1°
−1.00[illegible]	−0.924	(S)	−1.386	+0.383	(S)	−0.574	+1	−1.5	0	0
0	+0.707	(S)	−1.767	−0.707	(−S)	+1.767	0	0	−1	+2.5
+1.00[illegible]	−0.383	(−S)	+0.574	−0.924	(−S)	+1.386	−1	+1.5	0	0
+1	−1	(−S)	+1	0	(S)	0	0	0	+1	−1
+0.353	−0.353	(−S)	+0.192	+0.924	(S)	−0.462	+1	−0.5	0	0
0	+0.707	(S_4)	0	+0.707	(S_4)	0	0	0	−1	0
+0.2[illegible]	−0.924	(S)	−0.462	−0.384	($-S_2$)	+0.191	−1	−0.5	0	0
+1	0	(S)	0	−1	(−S)	−1	0	0	+1	−1
+1.00[illegible]	−0.924	(−S)	−1.386	−0.383	(−S)	−0.574	+1	+1.5	0	0
0	−0.707	($-S_4$)	−1.767	+0.707	(S)	−1.767	0	0	−1	−2.5
−1.000	−0.383	(S_2)	−0.574	+0.924	(S_6)	+1.386	−1	+1.5	0	0
−1	+1	(S)	+1	0	(S_0)	0	0	0	+1	+1
−0.353	−0.383	(S_2)	−0.192	−0.924	($-S_6$)	−0.461	+1	+0.5	0	0
0	−0.707	(−S)	0	−0.707	(S_4)	0	0	0	−1	0
−0.353	−0.924	(−S)	+0.462	+0.383	(S_2)	−0.191	−1	+0.5	0	0
			+3.6[illegible]			+6.497		+5.5		+4.5
			7.072			−4.262		−2.5		−4.5
			$8F=-3.382$			$8G=+2.235$		$8H=+3$		$8K=0$
			$F=-0.°423$			$G=+0.°279$		$H=+0.°375$		$K=0$

으로 되며 ⑩式은 3次 以下의 項만을 取하였을 때의 Fourier級 數로 나타낸 自差式이다.

勿論 ③과 ④에서 項數를 더 많이 取할수록, 또 各 段階의 計算過程에서 次數의 選擇限界를 높일수록 위의 式은 項數가 길어질 것이다.

普通 自差의 精密分析에서도 A, …, K 까지의 項만을 取한 式을 利用한다.

以上의 公式 導出過程을 通하여 보면 ⑩式에 包含되어 있는 係數 A, …, N는 船內磁場을 表示하는 係數 A_0, ……, E_0의 多樣한 結合에 依하여 定하여지므로, 이 式은 自差修正을 爲한 實用公式과는 그 使用目的이 區分되어야 한다는 것을 알수 있다. 普通 自差修正 後에 殘存自差의 精密分析時에 이 式을 使用한다. 本 論文에서는 各船首方向에 對한 自差의 크기가 2.°8 以內인 것을 分析하고 不變差와 系統誤差로 構成되는 平均自差式을 求하는 데 이 式을 使用하기로 한다.

V. 最小自乘法에 依한 自差計算

위와 같은 方法에 依하여 求한 自差公式을 利用하여 觀測自差로부터 不變差와 系統誤差의 크기를 表示하는 自差係數를 決定하기 위해서 最小自乘法을 適用한다.

本章에서는 그 自差計算法의 導出過程을 살펴봄으로써 平均自差式에서 各 係數가 갖는 뜻을 分明히 하고 이 公式에 依據하여 各 係數를 決定하였으며 不變差와 系統誤差를 把握하여 表 2를 作成하였다.

어떤 觀測對象의 참값(true value)을 求하기 위하여 數回에 걸쳐서 觀測을 했을 때 그 各觀測値를 m_1, m_2, …, m_n 이라 하고, 이 때의 各 誤差를 x_1, x,…, x_n 이라고 하면 이들 誤差가 同時에 發生할 確率 P는

$$P \propto e^{-h^2(x_1^2+x_2^2+\cdots+x_n^2)} \quad \cdots\cdots⑪$$

P의 값이 크게 될수록 참값에 가까운 最確値(the most probable value)가 되며 ⑪式에서 $(x_1^2+x_2^2+\cdots+x_n^2)$을 最小로 하는 값이 곧 最確値이다. 또 一般的으로 觀測回數가 많고 注意깊게 測定했을 경우에는 참값과 觀測値(observed value)와의 差異인 誤差대신 最確値와 觀測値와의 差異인 殘差(residual)를 代用하여 最確値를 求할 수 있다. 즉

$$x_1^2+x_2^2+\cdots+x_n^2=v_n^2+v_2^2+\cdots+v_n^2 \quad \cdots\cdots⑫$$

但 : v_1, v_1, …, v_n은 殘差

지금 z_1, z_2, z_3,……, z_n을 求하고자 하는 未知數(구하고자 하는 最確値), a_i, b_i, c_i,…, n_i를 이들 未知數인 最確値의 常數라 하면 그 觀測方程式(observation equation)은

$$\left.\begin{array}{l} a_1z_1+b_1z_2+c_1z_3+\cdots\cdots+n_1z_n=m_1 \\ a_2z_1+b_2z_2+c_2z_3+\cdots\cdots+n_2z_n=m_2 \\ \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \\ \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \\ a_nz_1+b_nz_2+c_nz_3+\cdots\cdots+n_nz_n=m_n \end{array}\right\} \quad \cdots\cdots⑬$$

으로 되며

그 殘差方程式(residual equation)은

$$\left.\begin{array}{l} a_1z_1+b_1z_2+c_1z_3+\cdots\cdots+n_1z_n-m_1=v_1 \\ a_2z_1+b_2z_2+c_2z_3+\cdots\cdots+n_2z_n-m_2=v_2 \\ \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \\ \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \\ a_nz_1+b_nz_2+c_nz_3+\cdots\cdots+n_nz_n-m_n=v_n \end{array}\right\} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \text{[illegible]}$$

로 된다.

또 $z_1, z_2, \cdots, z_n$에 對한 正規方程式은

$$\left.\begin{array}{l} [aa]z_1+[ab]z_2+[ac]z_3+\cdots\cdots+[an]-[am]=0 \\ [ab]z_1+[bb]z_2+[bc]z_3+\cdots\cdots+[bn]-[bm]=0 \\ \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \\ \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \\ [an]z_1+[bn]z_2+[cn]z_3+\cdots+[nn]-[nm]=0 \end{array}\right\} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \text{[illegible]}$$

$$\text{但 } [aa]=a_1a_1+a_2a_2+\cdots\cdots+a_na_n$$
$$[ab]=a_1b_1+a_2b_2+\cdots\cdots+a_nb_n$$
$$\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots$$
$$\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots$$
$$[an]=a_1n_1+a_2n_2+\cdots\cdots+a_nn_n$$

이다. [illegible]式[illegible] $z_1, z_2, \cdots\cdots, z_n$ [illegible]

2式 [illegible] 觀測値 [illegible] 平均値 [illegible] 利用하여 最確値 [illegible] $A, B, C, \cdots$ [illegible] 公式 10에 觀測値 $\delta_0, \delta_2, \delta_4 \cdots \delta_{30}$ 을 使用하여 [illegible] 誤差方程式을 [illegible]

$$\left.\begin{array}{l} \delta_0=A+B\sin\varphi_0+C\cos\varphi_0+D\sin2\varphi_0+E\cos2\varphi_0+F\sin3\varphi_0+G\cos3\varphi_0+H\sin4\varphi_0+K\cos4\varphi_0 \\ \delta_2=A+B\sin\varphi_2+C\cos\varphi_2+D\sin2\varphi_2+E\mathrm{con}2\varphi_2+F\sin3\varphi_2+G\cos3\varphi_2+H\sin4\varphi_2+K\cos4\varphi_2 \\ \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \\ \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \\ \delta_{30}=A+B\sin\varphi_{30}+C\cos\varphi_{30}+D\sin2\varphi_{30}+E\cos2\varphi_{30}+F\sin3\varphi_{30}+G\cos3\varphi_{30}+H\sin4\varphi_{30}+K\cos4\varphi_{30} \end{array}\right\}$$

$$\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots$$

여기서 計算의 便宜[illegible]

$$\sin\varphi_0=\sin(11°15'\times0)=S_0 \qquad \cos\varphi_0=\cos(11°15'\times0)=S_8$$
$$\sin\varphi_2=\sin(11°15'\times2)=S_2 \qquad \cos\varphi_2=\cos(11°15'\times2)=S_6$$
$$\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots$$
$$\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots$$
$$\sin\varphi_{30}=\sin(11°15'\times30)=-S_2 \qquad \cos\varphi_{30}=\cos(11°15'\times30)=S_6$$
$$\sin2\varphi_0=\sin(2\times11°5'\times30\times0)=S_0 \qquad \cos2\varphi_0=\cos(2\times11°15'\times0)=S_8$$
$$\sin2\varphi_2=\sin(2\times11°15'\times2)=S_4 \qquad \cos2\varphi_2=\cos(2\times11°15'\times2)=S_4$$
$$\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots$$
$$\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots$$
$$\sin2\varphi_{30}=\sin(2\times11°15'\times30)=-S_4 \qquad \cos2\varphi_{30}=\cos(2\times11°15'\times30)=S_4$$

$$\left\{\begin{aligned}&\sin 3\varphi_0=\sin(\times 11°15'\times 0)=S_0\\&\sin 3\varphi_2=\sin(3\times 11°15'\times 2)=S_6\\&\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\\&\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\\&\sin 3\varphi_{30}=\sin(3\times 11°15'\times 30)=-S_6\end{aligned}\right.\qquad\left\{\begin{aligned}&\cos 3\varphi_0=\cos(3\times 11°15'\times 0)=S_8\\&\cos 3\varphi_2=\cos(3\times 11°15'\times 2)=S_2\\&\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\\&\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\\&\cos 3\varphi_{30}=\cos(3\times 11°15'\times 30)=S_2\end{aligned}\right.$$

$$\left\{\begin{aligned}&\sin 4\varphi_0=\sin(4\times 11°15'\times 0)=S_0\\&\sin 4\varphi_2=\sin(4\times 11°15'\times 2)=S_8\\&\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\\&\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\\&\sin 4\varphi_{30}=\sin(4\times 11°15'\times 30)=-S_8\end{aligned}\right.\qquad\left\{\begin{aligned}&\cos 4\varphi_0=\cos(4\times 11°15'\times 0)=S_8\\&\cos 4\varphi_2=\cos(4\times 11°15'\times 2)=S_0\\&\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\\&\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\\&\mathrm{ccs}\, 4\varphi_{30}=\cos(4\times 11°15'\times 30)=S_6\end{aligned}\right.$$

等과 같은 形式으로 바꾸어 놓으면 ⑯式은 다음과 같이 된다.

$$\left.\begin{aligned}
\delta_0&=A+B(+S_0)+C(+S_8)+D(+S_0)+E(+S_8)+F(-S_0)+G(+S_8)+H(+S_0)+K(+S_8)\\
\delta_2&=A+B(+S_2)+C(+S_6)+D(+S_4)+E(+S_4(+F(+S_6)+G(+S_2)+H(+S_8)+K(+S_0)\\
\delta_4&=A+B(+S_4)+C(+S_4)+D(+S_8)+E(+S_0)+F(+S_4)+G(-S_4)+H(-S_0)+K(-S_8)\\
\delta_6&=A+B(+S_2)+C(+S_2)+D(+S_4)+E(-S_4)+F(-S_2)+G(-S_6)+H(-S_8)+K(-S_0)\\
\delta_8&=A+\mathrm{B}(+S_8)+C(+S_0)+D(-S_0)+E(-S_8)+F(-S_8)+G(+S_0)+H(+S_0)+K(+S_8)\\
\delta_{10}&=A+B(+S_6)+C(-S_2)+D(-S_4)+E(-S_4)+F(-S_2)+G(+S_6)+H(+S_8)+K(+S_0)\\
\delta_{14}&=A+B(+S_4)+C(-S_4)+D(-S_8)+E(-S_0)+F(+S_4)+G(+S_4)+H(-S_0)+K(-S_8)\\
\delta_{12}&=A+B(+S_2)+C(-S_6)+D(-S_4)+E(+S_4)+F(+S_6)+G(-S_2)+H(-S_8)+K(-S_0)\\
\delta_{16}&=A+B(-S_0)+C(-S_8)+D(+S_0)+E(+S_8)+F(+S_0)+G(-S_8)+H(+S_0)+K(+S_8)\\
\delta_{18}&=A+B(-S_2)+C(-S_6)+D(+S_4)+E(+S_4)+F(-S_6)+G(-S_2)+H(+S_8)+K(+S_0)\\
\delta_{20}&=A+B(-S_4)+C(-S_4)+D(+S_8)+E(+S_0)+F(-S_4)+G(+S_4)+H(-S_0)+K(-S_8)\\
\delta_{22}&=A+B(-S_6)+C(-S_2)+D(+S_4)+E(-S_4)+F(+S_2)+G(+S_6)+H(-S_8)+K(-S_0)\\
\delta_{24}&=A+B(-S_8)+C(-S_0)+D(-S_0)+E(-S_8)+F(+S_8)+G(-S_0)+H(+S^0)+K(+S_8)\\
\delta_{26}&=A+B(-S_6)+C(+S_2)+D(-S_4)+E(-S_4)+F(+S_2)+G(-S_6)+H(+S_8)+K(+S_0)\\
\delta_{28}&=A+B(-S_4)+C(+S_4)+D(-S_8)+E(-S_0)+F(-S_4)+G(-S_4)+H(-S_0)+K(-S_8)\\
\delta_{30}&=A+B(-S_2)+C(+S_6)+D(-S_4)+E(+S_4)+F(-S_6)+G(+S_2)+H(-S_8)+K(-S_0)
\end{aligned}\right\}$$

……………………………………………………………………⑰

左右邊을 邊邊 더하면

$$16A=\delta_0+\delta_2+\delta_4+\cdots\cdots+\delta_{30} \quad\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots⑱$$

式으로 된다.

다음에 係數 B를 求하기 위하여 ⑰의 各 式에서 B의 乘數를 兩邊에 곱한 다음 邊邊더 하면

$$\begin{aligned}8B=&\delta_0(S_0)+\delta_2(S_2)+\delta_4(S_4)+\delta_6(S_6)+\delta_8(S_8)+\delta_{10}(S_6)+\delta_{12}(S_4)+\delta_{14}(S_2)+\delta_{16}(-S_0)\\&+\delta_{18}(-S_2)+\delta_{20}(-S_4)+\delta_{22}(-S_6)+\delta_{24}(-S_8)\delta_{26}(-S_6)+\delta_{28}(-S_4)+\delta_{30}(-S_2)\end{aligned}$$

……………………………………………………………………⑲

를 얻는다. 같은 方法으로 다음 式을 얻는다.

$$\begin{aligned}8C=&\delta_0(S_8)+\delta_2(S_6)+\delta_4(S_4)+\delta_6(S_2)+\delta_8(S_0)+\delta_{10}(-S_2)+\delta_{12}(-S_4)+\delta_{14}(-S_6)\\&+\delta_{16}(-S_8)+\delta_{18}(-S_6)+\delta_{20}(-S_4)+\delta_{22}(-S_2)+\delta_{24}(+\delta_0)+\delta_{26}(S_2)+\delta_{28}(S_4)\\&+\delta_{30}(S_6)\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots⑳\end{aligned}$$

$$8D=\partial_0(S_{[illegible]})+\partial_2(S_4)+\partial_4(S_8)+\partial_6(S_4)+\partial_8(S_0)+\partial_{10}(-S_4)+\partial_{12}(-S_8)+\partial_{14}(-S_4)$$
$$+\partial_{16}(S_0)+\partial_{18}(S_4)+\partial_{20}(S_8)+\partial_{22}(S_4)+\partial_{24}(S_0)+\partial_{26}(-S_4)+\partial_{28}(-S_8)$$
$$+\partial_{30}(-S_4) \quad \cdots\cdots 21$$

$$8E=\partial_0(S_8)+\partial_2(S_4)+\partial_4(S_0)+\partial_6(-S_4)+\partial_8(-S_8)+\partial_{10}(-S_4)+\partial_{12}(S_0)+\partial_{14}(S_4)$$
$$+\partial_{16}(S_8)+\partial_{18}(S_4)+\partial_{20}(S_0)+\partial_{22}(-S_4)+\partial_{24}(-S_8)+\partial_{26}(-S_4)+\partial_{28}(S_0)$$
$$+\partial_{30}(S_4) \quad \cdots\cdots 22$$

$$8F=\partial_0(S_0)+\partial_2(S_{[illegible]})+\partial_4(S_4)+\partial_6(-S_{[illegible]})+\partial_8(-S_{[illegible]})+\partial_{10}(-S_{[illegible]})+\partial_{12}(S_4)+\partial_{14}(S_{[illegible]})$$
$$+\partial_{16}(S_{[illegible]})-\partial_{18}(-S_8)+\partial_{20}(-S_4)+\partial_{22}(S_{[illegible]})+\partial_{24}(S_{[illegible]})+\partial_{26}(S_{[illegible]})+\partial_{28}(-S_4)$$
$$+\partial_{30}(-S_{[illegible]}) \quad \cdots\cdots 23$$

$$8G=\partial_0(S_{[illegible]})+\partial_2(S_{[illegible]})+\partial_4(-S_4)+\partial_6(-S_8)+\partial_8(S_{[illegible]})+\partial_{10}(S_0)+\partial_{12}(S_4)+\partial_{14}(-\partial_{[illegible]})$$
$$+\partial_{16}(-S_8)+\partial_{18}(-S_{[illegible]})+\partial_{20}(S_4)+\partial_{22}(S_0)+\partial_{24}(S_{[illegible]})+\partial_{26}(-S_{[illegible]})+\partial_{28}(-S_4)$$
$$+\partial_{30}(S_{[illegible]}) \quad \cdots\cdots 24$$

$$8H=\partial_2-\partial_6+\partial_{10}-\partial_{14}+\partial_{18}-\partial_{[illegible]}+\partial_{[illegible]}-\partial_{30} \quad \cdots\cdots 25$$

$$8K=\partial_0-\partial_4+\partial_8-\partial_{[illegible]}+\partial_{16}-\partial_{[illegible]}+\partial_{24}-\partial_{28} \quad \cdots\cdots 26$$

[illegible] 式을 [illegible]

$$nA=\Sigma\partial_i$$
$$\frac{1}{2}nB=\Sigma\partial_i\sin\chi_i$$
$$\frac{1}{2}nC=\Sigma\partial_i\cos\chi_i$$
$$\frac{1}{2}nD=\Sigma\partial_i\sin2\chi_i$$
$$\frac{1}{2}nE=\Sigma\partial_i\cos2\chi_i \quad \cdots\cdots 27$$
$$\frac{1}{2}nF=\Sigma\partial_i\sin3\chi_i$$
$$\frac{1}{2}nG=\Sigma\partial_i\cos3\chi_i$$
$$\frac{1}{2}nH=\Sigma\partial_i\sin4\chi_i$$
$$\frac{1}{2}nK=\Sigma\partial_i\cos4\chi_i$$

[illegible] 式[illegible] 各 [illegible] A, B, …, K[illegible] 決定[illegible] 正規方程式[illegible].

[illegible] 正規方程式[illegible] 自差分析[illegible] 表 2[illegible] 信賴[illegible] 磁氣compass[illegible] 全在[illegible] 1[illegible] 2[illegible] 定義[illegible] 自差[illegible] 不變[illegible] 系統誤差[illegible] 決定[illegible]. [illegible] 表 2-1 計算[illegible] 適[illegible] 各係數[illegible] 一般的[illegible] 意味[illegible] 自差修正[illegible] 係數[illegible] 目的[illegible] [illegible] compass[illegible] 不變差[illegible] 系統誤差[illegible] 決定[illegible], 使用途中[illegible]

偶然誤差의 크기를 알아내는 基準으로서 使用하고자 함에 그 目的이 있다.

故로 表 2에 나타난 係數 B 및 C의 값에는 船內磁場으로 因한 誤差 以外에 compass의 card error, card의 離心差, bowl 中心에 對한 pivot의 離心差 等과 같은 誤差도 包含되어 있다고 보아야 한다. 또 F, G 즉 六分圓差에는 磁針의 配置方法에 따라서 생기는 誤差 또는 compass 周圍의 磁場에 比하여 磁針의 길이가 길 경우 發生하는 誤差 및 修正用 磁石이 compass에 가깝기 때문에 생기는 誘導誤差 等이 包含되어 있는 것으로 보아야 한다.

表 2에서는 $A=0$ 즉 不變差는 없고, $B=-1.°223$, $C=-1.°216$, $D=0$, $E=0$, $F=-0.°423$, $G=+0.°279$, $H=+0.°375$. $K=0$인 系統誤差를 갖는 것을 보였다.

VI. 標準偏差와 信賴度

各 船首方位의 平均自差와 그 各 船首方位에 對하여 測定한 每觀測自差와의 差는 前記한 平均自差式 ㉖과 ㉗에서 明白한 바와 같이 偶然誤差로 볼 수 있다. 그러므로 表 3에 나타낸 偏差(deviation: ∂)는 磁氣子午線을 基準으로 한것이 아니고 不變差와 系統誤差가 包含되어져 있는 平均自差를 基準으로 하여 구한 偶然誤差라고 할 수 있다.

各 船首方位의 偏差에 關한 誤差의 分散(variance) σ^2 및 標準偏差(standard deviation) σ는 다음과 같이 表示된다.

$$\sigma^2=\frac{\Sigma(\delta_i-\delta_m)^2}{n}=\frac{\Sigma\partial^2}{n}$$

$$\sigma=\sqrt{\frac{\Sigma\partial^2}{n}} \quad \cdots\cdots ㉘ [22, 23]$$

但 δ_i: 各 船首方位에 對하여 測定한 每觀測自差

δ_m: 各 船首方位에 對하여 測定한 每觀測自差의 平均値

∂: 每觀測自差의 平均値에 對한 偏差

n: 觀測回數

또 모든 船首方向에서의 總分散(over all variance) σ_s^2 및 그 總標準偏差(over all deviation) σ_s는

$$\sigma_s^2=\frac{\Sigma\Sigma\partial^2}{16\times10}$$

$$\sigma_s=\sqrt{\frac{\Sigma\Sigma\partial^2}{160}} \quad \cdots\cdots ㉙$$

但 16 : 1回의 旋回中에 定針한 數

10 : 旋回 回數

160 : 總觀測 回數

또 觀測値의 信賴度(confidence level)에 對하여는 다음과 같이 생각하였다.

觀測自差와 平均自差와의 差가 偶然誤差이니 이 誤差의 度數分布는 平均自差 δ_m를 平均値로

Ⅲ. 平均目差의 信賴度

表 3. 平均自差와 各 觀測自와의 差 및 그 統計的 分析

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	$\Sigma\partial^2$	$(\pm)\sigma$	$\sigma/\sqrt{10}$	(∂^2_{max})
N	+0.4° 0.16	−0.2° 0.04	−0.3° 0.09	0.0° 0.00	−0.3° 0.09	−0.2° 0.04	+0.1° 0.01	−0.3° 0.09	+0.2° 0.04	0.0° 0.00	0°.58	0°.24	0°.08	0°.16
NNE	+0.2 0.04	−0.2 0.04	+0.2 0.04	−0.4 0.16	−0.2 0.04	+0.1 0.01	+0.4 0.16	−0.1 0.01	+0.2 0.04	−0.2 0.04	0.56	0.56	0.24	0.16
NE	0.0 0.00	+0.2 0.04	−0.4 0.16	−0.2 0.04	0.0 0.0	−0.4 0.16	−0.3 0.09	+0.2 0.04	0.0 0.0	+0.1 0.01	0.54	0.23	0.08	0.16
ENE	+0.2 0.04	−0.3 0.09	−0.1 0.01	+0.1 0.01	−0.1 0.01	+0.1 0.01	+0.2 0.04	−0.2 0.04	+0.4 0.16	−0.3 0.09	0.50	0.22	0.07	0.16
E	+0.1 0.01	+0.1 0.01	+0.4 0.01	−0.4 0.16	−0.2 0.16	+0.2 0.04	+0.2 0.04	−0.4 0.16	+0.1 0.01	+0.1 0.01	0.64	0.25	0.08	0.16
ESE	−0.2 0.04	+0.1 0.01	+0.1 0.01	−0.4 0.16	+0.2 0.04	+0.3 0.09	−0.1 0.01	−0.2 0.04	+0.3 0.09	+0.1 0.01	0.50	0.22	0.07	0.16
SE	+0.3 0.09	+0.2 0.04	0.0 0.0	−0.3 0.09	−0.2 0.04	+0.2 0.0	+0.2 0.09	−0.4 0.04	+0.1 0.04	−0.1 0.04	0.52	0.23	0.08	0.16
SSE	+0.4 0.16	−0.1 0.01	−0.3 0.09	+0.1 0.01	+0.1 0.01	+0.1 0.01	−0.2 0.04	−0.5 0.25	+0.1 0.01	+0.3 0.09	0.68	0.26	0.09	0.25
S	0.0 0.0	0.0 0.0	−0.3 0.09	+0.1 0.01	+0.3 0.09	−0.2 0.04	+0.2 0.04	−0.3 0.09	+0.4 0.16	−0.2 0.04	0.56	0.24	0.08	0.16
SSW	+0.2 0.04	−0.2 0.04	−0.3 0.09	+0.2 0.04	+0.1 0.01	+0.3 0.09	−0.2 0.04	−0.4 0.16	+0.1 0.01	+0.2 0.04	0.56	0.24	0.08	0.16
SW	−0.2 0.04	+0.3 0.09	−0.4 0.16	+0.2 0.04	+0.3 009	+0.3 0.09	−0.2 0.04	−0.1 0.01	+0.3 0.09	−0.1 0.01	0.66	0.25	0.08	0.16
WNW	+0.3 0.09	+0.2 0.04	−0.3 0.09	−0.3 0.09	+0.2 0.04	+0.1 0.01	−0.2 0.04	−0.2 0.04	0.0 0.00	+0.2 0.04	0.48	0.21	0.07	0.09
W	−0.2 0.04	+0.2 0.04	+0.3 0.09	+0.1 0.01	−0.2 0.04	−0.2 0.04	+0.3 0.09	−0.1 0.01	+0.2 0.04	+0.2 0.04	0.44	0.21	0.07	0.09
WNW	+0.2 0.04	+0.3 0.09	−0.4 0.16	−0.1 0.01	−0.2 0.04	+0.2 0.04	−0.2 0.01	+0.1 0.01	+0.3 0.04	−0.2. 0.04	0.56	0.24	0.08	0.16
NW	+0.3 0.09	+0.3 0.09	−0.3 0.09	−0.2 0.04	−0.2 0.04	+0.2 0.04	+0.1 0.01	−0.2 0.04	+0.2 0.04	−0.2 0.04	0.52	0.23	0.08	0.09
NNW	−0.2 0.04	+0.3 0.09	−0.3 0.09	0.2 0.04	+0.3 0.09	+0.3 0.09	−0.3 0.09	0.3 0.09	−0.1 0.01	+0.1 0.01	0.64	0.25	0.08	0.09
										Sum	8.940			2.37
										mean		0.235	0.078	

1) 平均自差에 對한 任意殘差의 分布의 總標準偏差

$\sigma_s = \pm\sqrt{(\overline{\Sigma\Sigma\partial^2/160})} = \pm 0.°23 \fallingdotseq \pm 14'$

2) 標本平均値의 總標準偏差 : $\sigma_m \fallingdotseq \sigma/\sqrt{10}$의 平均値 $= 0.°08 = 4'.8$

3) 概略的인 95% 信頼度 : $\pm\sqrt{(\overline{\Sigma\partial^2_{max}/16})} = \pm 0.°4 = \pm 24'$

4) 1)에 依하여 求한 95% 信賴度 : $\pm 2\times 14' = +28'$

[illegible] 標本平均値의 誤差 즉 平均自差의 母平均自差에 對한 標準誤差 (standard error of the mean)은 $\frac{\sigma_T}{\sqrt{10}}$로 된다. 그런데 $\sigma_T \fallingdotseq \sigma$ 이므로 任意 船首方位에서 平均自差가 [illegible] 誤差의 總標準誤差 σ_m은

$$\sigma_m = \sqrt{\frac{\sum\sigma^2}{160}}$$

로 表示된다.

따라서 σ_m은 Ⅵ에서 [illegible] 平均自差의 母平均自差에 對한 信賴度를 [illegible]

[illegible] 平均自差에 對한 觀測自差의 總標準偏差 σ_s와 母平均自差에 對한 平均自差의 總標準偏差 σ_m이 成立을 [illegible] 수 있다.

[illegible] 標準偏差를 考慮하였을 때 任意 觀測自差 δ_i와 母平均自差 δ_T와의 關係는 [illegible] 表示할 수 있다.

68% 信賴度에서는

$$\delta_i - \sigma_s \leq \delta_m \leq \delta_i + \sigma_s$$

$$\delta_m - \sigma_m \leq \delta_T \leq \delta_m + \sigma_m$$

$$\delta_i - (\sigma_s + \sigma_m) \leq \sigma_T \leq \delta_i + (\sigma_s + \sigma_m)$$

[illegible] 成立되고 95% 信賴度에서는

$$\delta_i - 2(\sigma_s + \sigma_m) \leq \delta_T \leq \delta_i + 2(\sigma_s + \sigma_m)$$

[illegible] 成立된다.

表 3은 表 1을 基礎로 Ⅵ [illegible] Ⅶ의 方法에 依하여 觀測自差의 平均自差에 對한 偏差 δi [illegible] 各 船首方位에 있어서 平均自差에 對한 標準偏差 σ, [illegible] 平均自差의 精確度 [illegible] $\frac{\sigma}{\sqrt{10}}$ 및 總標準偏差 σ_s를 표시한 것이다.

[illegible] 各 船首方位에서의 觀測値의 偏差 [illegible] δi의 最大値 즉 δi_{max} [illegible] $\sqrt{\sum\delta i^2_{max}/16}$ [illegible] 理論的인 計算에 依한 $2\sigma_s$ [illegible] 95% 信賴度 [illegible] 比較 [illegible]

Ⅷ. 結　　論

[illegible] 磁氣Compass [illegible] 發生 [illegible] 誤差 [illegible] 觀測自差 [illegible] 誤差, 平均自差의 母平均自差에 對한 標準誤差 [illegible] 觀測値의 信賴度 [illegible] 使用 [illegible]

1. 本實驗에 使用한 磁氣Compass는 平均自差에서 [illegible] 存在 [illegible] ($A=0°$)

2. [illegible]

③ 四分圓差(quadrantal deviation)는 存在하지 않음을 보였다.

④ 平均自差에 對한 總標準偏差는 0.°23(14′)이 었다. 故로 任意觀測時에 包含되는 平均自差에 對한 偶然誤差의 크기는 $2\sigma_s=\pm 28'$으로 보면 그 信賴度는 95%가 된다.

⑤ 各船首方位의 觀測自差의 平均自差에 對한 標準偏差는 平均値 0.°235, 平均自差의 母平均自差에 對한 標準偏差는 平均値 0.°078를 各各 中心으로 하여 크게 變動하지 아니함을 알았다.

이것을 通하여 方位의 基準이 磁氣子午線이므로 船首方位에 關係없이 偶然誤差의 크기는 거의 等量的이라는 것을 알 수 있었다.

⑥ 平均自差에 對한 95% 信賴度인 觀測自差의 誤差는 略算에 依한 값은 $\sqrt{\Sigma\delta^2_{max}/16}=\pm 0.°4$ (24′)이고 理論的인 計算에 依한 값은 $2\sigma_s=\pm 28'$ 임을 보였다.

⑦ 本實驗에서는 磁氣compass를 使用하여 方位를 觀測하였을 때 그 測定値에 包含되어 있는 偶然誤差의 크기는 95% 信賴度에서 平均自差에 對한 값은 ±28′이고 또 平均自差의 標本誤差의 크기는 95% 信賴度에서는 ±9′.6 임을 알수 있었다.

즉 物標의 羅針方位에 地磁氣偏差와 自差를 加減하여 求한 改正方位는 精確한 方位가 되는 것이 아니고 이 改正方位에는 偶然誤差와 標本誤差가 包含되어 있음을 알 수 있다.

이 두 誤差는 消去하기 困難하므로 이들 誤差의 限界를 餘裕있게 定하여 두고 方位나 針路를 決定할 때나 安定圈(safety margin)[30),31)]을 決定함에 있어서는 이를 考慮함이 바람직 하다.

本實驗에서는 95% 信賴度에서 이 두 誤差를 考慮하였을 때 그 限界는 ±(28′+9′6)≒±38′임을 보여주고 있다.

參考文獻

1) Alfred Hine B.S., Magnetic Compasses and Magnetometers, pp. 115～116, (1968)

2) 鄭英鎭, 近代統計學의 理論과 實際, 寶晋齊, 서울, p.35 (1973)

3) 姜五佺, 統計學, 博英社, 서울, pp.183～193(1970)

4) 金喜澈, 機器의 信賴性에 關하여(Ⅱ), 韓國海洋大學論文集, pp.5, 306(1971)

5) 前揭書 1, p.321, (1968)

6) 前揭書 1, p.322, (1968)

7) 李鍾洛, 航海計器Ⅰ, 海事圖書出版部, 釜山, pp.126～139, (1970)

8) 前揭書 1, p.352, (1968)

9) 尹汝政, 地文航海學, 海事圖書出版部, 釜山, p.215, (1969)

10) G.L, Hosmer, Geodesy, pp.351～355, (1946)

11) B.G. Bomford, Geodesy, pp.507～509, (1965)

12) 前揭書 7, p.14, (1970)

13) 前揭書 7, p.130, (1970)

14) Charles H. Brown, the Deviation and the Deviascope, pp.171～173, (1961)

17) W. Denne, Magnetic Compass Deviation and Correction, pp. [illegible]
17) [illegible]
17) [illegible]
18) [illegible] pp. 723~725, [illegible]
19) [illegible]
20) [illegible] p. 175, (1967)
21) [illegible]
22) [illegible]
23) [illegible]
24) [illegible]
25) [illegible]
26) [illegible]
27) [illegible]
28) [illegible] Elementary Statistical Procedures, pp. 12~108 (1967)
29) [illegible]
30) [illegible]
31) Captain Robert M. Black, Yesterday's Training-Tomorrow's Ships, the Institute of Navigation Proceedings [illegible] Annual Meeting, New York, [illegible]