

# 救命艇에서의 緯度 및 經度 算出에 關한 研究

尹 汝 政 • 朴 洋 基 \*

## Finding Latitude and Longitude on the Life Boat

Yoon Yeo-Jeong • Park Yang-Kee

### 目 次

Abstract	Ⅲ. 數值計算 및 檢討
I. 序 論	(1) 計算資料 및 處理
Ⅱ. 理論的인 考察	(2) 標準誤差
(1) 緯度 및 經度 算出式	Ⅳ. 結 論
(2) 位置角에 對한 檢討	參考文獻

### Abstract

This paper deals with a method of finding latitude and longitude on a life boat by sun sighting, using a simple calculator.

With full equipment, life boat navigation differs little from that aboard ship. If the navigator can not use any land mark, he must determine the fix with a sight reduction. Sun sight is more useful than sights of stars and planets which are possible only in the twilights.

On a life boat the navigator uses any one or combination of possible techniques to obtain lines of position. But in life boat navigation, there seems to exist much limitation which is due to the special circumstances concerned such as the lack of full sets of reduction tables or the lack of plotting tables and sheets.

This paper presents a simple method of finding latitude and longitude from two or three sun sightings within a few minutes. This method obviates the plotting and reduction tables and directly yields the position by simple calculation.

The only ones necessary are the long term almanac, sextant, simple calculator and GMT, the latter of which may be available by a wrist watch or a simple radio receiver.

\* 海軍士官學校 教官

In order to test this method, the latitudes and longitudes were obtained using the proposed for the range of latitude  $0^{\circ}$ — $60^{\circ}$ , declination  $25^{\circ}$ N— $25^{\circ}$ S and altitude from  $10^{\circ}$  up to an altitude where meridian angle was  $10^{\circ}$ .

The results were compared with those of H. O. 214 and discrepancy was analyzed. Median error of computed latitude was one mile and that of computed longitude was 0.8 mile.

Because of the complicated calculation necessary to compensate the effect of ships run during successive sightings, this method seems not good enough to be used aboard a high speed ship but the briefness this method gives to position determination is expected to render much usefulness to it especially for life boat navigation.

### 記號說明

$L$ : 緯度	$M, M_1, M_2, M_3$ : 太陽의 地位
$L_c$ : 算出緯度	$X$ : 位置角
$\lambda_c$ : 算出經度	$\alpha$ : 一次, 二次 觀測時間의 太陽의 子午線角 變化
$t$ : 子午線角	$h_1$ : 一次 觀測高度
$t_c$ : 算出子午線角	$h_2$ : 二次 觀測高度
$d$ : 赤緯	$h_3$ : 三次 觀測高度
$P_n$ : 北極	$\Delta t$ : 1次, 二次 觀測時間差
$Z$ : 天頂	$\Delta h$ : 二次, 二次 觀測間의 高度差

## I. 序 論

現在와 같이 高度로 發達된 航海計器를 利用하는 船舶과는 달리 救命艇에서는 이를 利用할 수 없으므로 陸上物標를 觀測할 수 없는 大洋에서의 位置 決定方法은 天體觀測에 依存하지 않을 수 없으며 恒星과 惑星은 薄明時에만 觀測이 可能하게 되어 주로 太陽을 利用하는 機會가 많게 된다. 救命艇 航海時의 推測航法은 가장 重要한 位置 決定方法이기는 하나 時間이 經過하면 바람과 海潮流의 影響으로 信賴度가 떨어지게 되어 位置 確認이 要求되고, 天體觀測方法만이 唯一한 位置 決定手段이 된다.<sup>1)</sup> 그러나 救命艇에서의 天體觀測方法으로 位置를 求하기 爲해서는 船舶에서와 같이 六分儀, 時辰儀, 天測曆, 計算高度方位角表, Plotting sheet 그리고 Divider 등 대부분 航海用具가 必要하게 되며 退船하는 危急한 狀況에서 이들 중에 한 가지라도 잊어버리면 位置決定에 隘路가 따르게 된다. 그리고 狹小하고 動搖가 심한 救命艇에 水路圖誌와 航海用具를 비치하고 位置를 作圖한다는 것은 거의 不可能한 實情이다. 이러한 어려움 때문에 六分儀(分度器 혹은 十字杆)으로 太陽의 子午線 高度나 北極星高度를 觀測하여 緯度測定法으로 緯度를 求할 수 밖에 없다.<sup>2)</sup>

本 研究는 六分儀, 携帶用計算器, Long term almanac (또는 天測曆) 그리고 손목時計 (또는 라디오)를 利用하여 短時間內에 太陽을 2回 觀測한 高度로써 測者의 緯度와 經度를 計算으로 求하는 方法을 提示한 것이며, 이 方法으로 求한 緯度와 經度의 信賴度는 計算高度方位角表에서 얻은 그것과 比較함으로써 考察하였다.

本 研究에서 提示한 方法에 依하면 短時間內에 位置가 決定될 것이고 位置線을 作圖할 必要가 없게 되며 比較的 簡單한 航海用具만으로 救命艇 航海時에 效果的인 位置決定을 할 수 있을 것으로 期待한다.

II. 理論的인 考察

(1) 緯度 및 經度 算出式

航海士가 救命艇에서 太陽을 同一한 時間間隔으로 短時間內에 3回 觀測한다고 假定하면, 赤緯 및 觀測緯度の 變化가 거의 없으므로 그림 1과 같은 餘緯度, 餘赤緯가 같은 3個의 航海三角形이 決定된다.

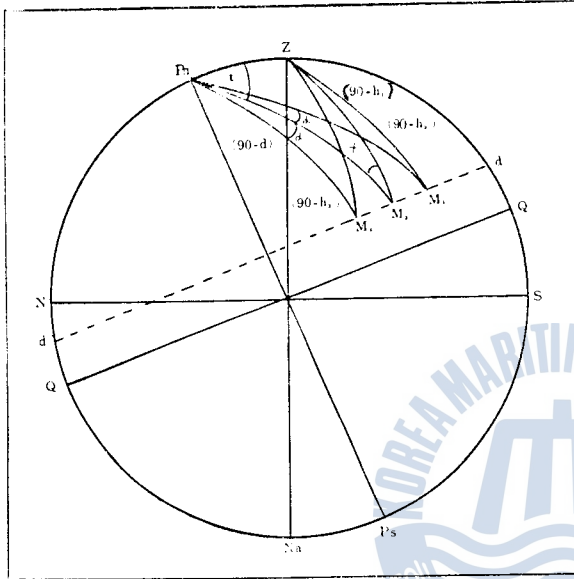


그림 1. 位置角 算出式 說明圖

$\triangle P_n Z M_2$ 에서 얻어진  $\sin h_2 = \sin L \sin d + \cos L \cos d \cos t$ 의 全微分은 本章 序頭의 假定에서 緯度 및 赤緯增分이 變化가 없으므로  $\cosh_2 dh = -\cos d \cos L \sin t dt$ 가 되고 이 式에 sine 法則을 適用하여 變型하면 (2)式을 얻는다.

$$\sin X = -\frac{dh}{dt \cos d} \dots\dots\dots (2)$$

(1), (2)式은 같으므로 (2)式을 利用하면 位置角이 간단하게 算出된다.  $dh$ 와  $dt$ 는 觀測高度와 子午線角의 變化量이므로  $dt$ 를 時間으로 고쳐 이들을 分單位로 一致시키고 絶對值로 表示하면 位置角은 다음과 같이 表現된다(단,  $X$ 의 두 값중 어느 것을 택하는가는 다음 節에서 論한다)

$$X = \sin^{-1} \left( \frac{dh}{15 dt \cos \alpha} \right) \dots\dots\dots (3)$$

(3) 緯度 算出式

$\triangle P_n Z M_2$ 에서 位置角이 算出되면 緯度가 求해지고, 緯度와 赤緯가 同名인가 異名인가에 따라 緯度算出式이 區分된다.

$$L_c = \sin^{-1} (\pm \sin d \sin h_2 + \cos d \cos h_2 \cos X) \dots\dots\dots (4)$$

(단,  $L$ 과  $d$ 가 同名이면 +, 異名이면 -)

(4) 經度 算出式

$\triangle P_n Z M_2$ 에서 緯度가 算出되면  $t_c$ 는 求해지고 太陽의 GHA에  $t_c$ 를 加減하면 經度가 求해지며, 緯度와 赤緯가 同名인가, 異名인가에 따라 經度算出式이 區分된다.

이 때 太陽을 觀測한 GMT로써 太陽의 赤緯와 GHA가 決定되고  $\triangle P_n Z M_1$  및  $\triangle P_n Z M_3$ 에서  $\triangle P_n Z M_2$ 의 位置角을 求할 수 있게 되어 救命艇의 位置가 되는  $\triangle P_n Z M_2$ 의 Z點의 緯度와 經度가 算出된다.

(1) 赤緯 및 GHA 算出

太陽을 觀測한 GMT로써 天測曆에서, 天測曆이 없을 境遇는 Long term almanac에서 太陽의 赤緯와 GHA를 算出한다.

(2) 位置角 算出式

$\triangle P_n Z M_1$ ,  $\triangle P_n Z M_2$ ,  $\triangle P_n Z M_3$ 에서  $\triangle P_n Z M_1$ 과  $\triangle P_n Z M_3$ 의 高度에 對한 第一 cosine 法則과 三角法의 加減法 公式를 聯立하여 풀고  $\triangle P_n Z M_2$ 의 sine 法則을 代入하면 다음 式을 얻는다.

$$\sin X = \frac{\sin h_1 - \sin h_3}{2 \sin \alpha \cos d \cos h_2} \dots\dots\dots (1)$$

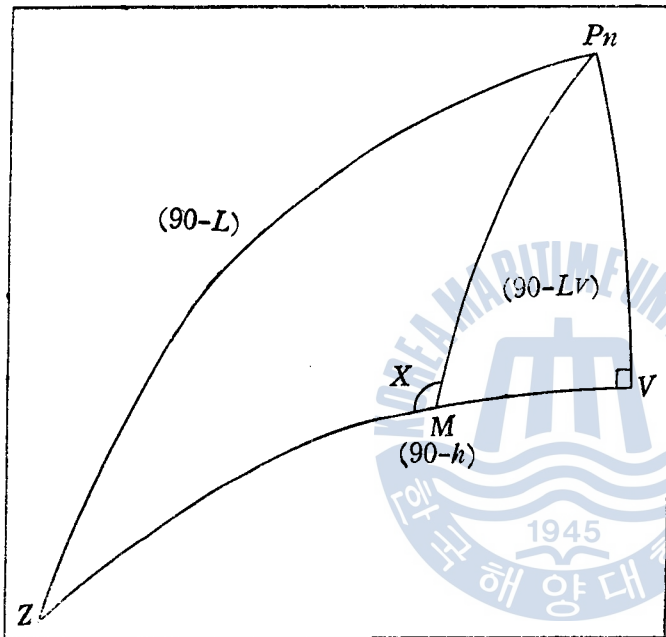
$$t_c = \cos^{-1} \left( \frac{\sin h_2 \pm \sin d \sin L_c}{\cos d \cos L_c} \right) \dots\dots\dots(5)$$

(단,  $L$ 과  $d$ 가 同名이면 -, 異名이면 +)

그리고 太陽의 GHA를  $H(M_2)$ 라고 하면  $H(M_2)$ 에 正中前 觀測時는  $t_c$ 를 加하고 正中後 觀測時는 減하여 經度를 구한다.

$$\lambda_c = H(M_2) \pm t_c \dots\dots\dots(6)$$

[2] 算出式에 對한 檢討



前節의 (3)式에서  $X$ 가 취할 수 있는 두 값중 緯度와 赤緯가 異名이거나, 同名이라도 緯度가 赤緯보다 큰 境遇는 恒常 位置角은  $90^\circ$ 보다 작은 값을 갖는다.

그런데 緯度와 赤緯가 同名이고 赤緯가 큰 境遇는 位置角이  $90^\circ$ 보다 크거나 작을 때가 있으므로 이를 確認하여야 한다. 位置角이  $90^\circ$ 보다 큰 境遇는 그림 2의 航海三角形에 表示한 바와 같이 地位가  $ZV$ 線上에 있을 때에 한한다. 頂点  $V$ 의 緯度를  $L_v$ 라 하면  $\triangle P_nVM$ 와  $\triangle P_nVZ$ 는 直角球面三角形이므로  $\sin(90-L_v) = \sin(90-d) \sin X$ 가 되고  $\cos(90-L) = \cos(90-L_v) \cos ZV$ 가 되므로 두式을 聯立하여 풀면  $VZ = \cos^{-1} \left\{ \frac{\sin L}{\sin \{ \cos^{-1}(\cos d \sin X) \}} \right\}$ 가 된다. 觀測餘高度가  $VZ$ 보다 작으면 位置角이  $90^\circ$ 보다 크고, 觀測餘高度가  $VZ$ 보다 크면 位置角은  $90^\circ$ 보다 작다.

그림 2. 緯度 및 赤緯가 同名이고 赤緯가 큰 航海三角形 이상 檢討한 算出式을 各 境遇別로 나타내면 表 1과 같다.

<表 1> 緯度 및 經度 算出式

緯度 및 赤緯	算 出 式	備 考
同 名	$L_c = \sin^{-1}(\sin d \sin h_2 + \cos d \cos h_2 \cos X)$	
	$\lambda_c = H(M_2) \pm \cos^{-1} \left( \frac{\sin h_2 - \sin d \sin L_c}{\cos d \cos L_c} \right)$	正中前 + 正中後 -
異 名	$L_c = \sin^{-1}(-\sin d \sin h_2 + \cos d \cos h_2 \cos X)$	
	$\lambda_c = H(M_2) \pm \cos^{-1} \left( \frac{\sin h_2 + \sin d \sin L_c}{\cos d \cos L_c} \right)$	正中前 + 正中後 -

### Ⅲ. 數值計算 및 檢討

前章에서 (3)式의  $\frac{dh}{dt}$ 를 알면  $X$ 가 求해지고 緯度 및 經度가 算出됨을 보였으나 現實的으로 그 觀測은 不可能하므로 짧은 時間 동안의 高度變化率  $\frac{dh}{dt}$ 로써 近似化하기로 한다.

이 境遇 近似式의 使用으로 因한 誤差의 범위를 糾明하고 實用性 여부를 檢討한다.

그 方法으로 計算高度方位角表에 記載된 子午線角 變化에 따른 高度變化를 써서 前章의 式을 使用하여 緯度와 子午線角을 計算하고 그 結果를 計算高度方位角表에 記載된 緯度 및 子午線角과 比較한다.

#### [1] 計算資料 및 處理

計算高度 方位角表에서 算出式에 利用할 資料는 다음과 같은 方法으로 拔萃한다. 緯度는  $0^\circ$ 에서  $60^\circ$ 까지 每  $10^\circ$ 마다, 赤緯는  $0^\circ$ 에서 南北으로  $25^\circ$ 까지 每  $5^\circ$ 마다,

子午線角은 高度  $10^\circ$ 부터 始作하여 子午線角이  $10^\circ$ 될 때까지 每  $10^\circ$ 마다 拔萃한다.

$\Delta t$ 는 子午線角에 對한 補間을 피하기 爲하여 子午線角이  $1^\circ$ 變하는 時間間隔인 4分을 취한다.

$\Delta h$ 는  $\Delta t$ 동안의 高度差로 한다.

이렇게 얻은 資料로 Wang Computer를 利用하여  $L_c$ 와  $t_c$ 를 算出하였다.

算出된 緯度와 經度는 各各 496個이며 誤差分布曲線은 그림 3, 4와 같은 正規分布가 된다. 經度는 太陽의 GHA에 子午線角을 加減하여 求하므로 GHA에 誤差가 없으면  $t_c$ 의 誤差가 經度 誤差로 된다.

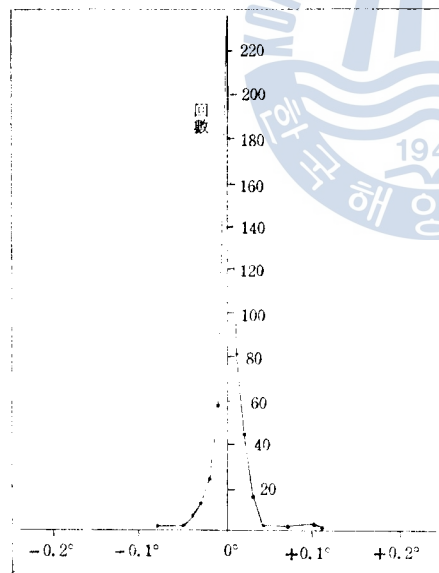


그림 3. 緯度誤差 分布曲線

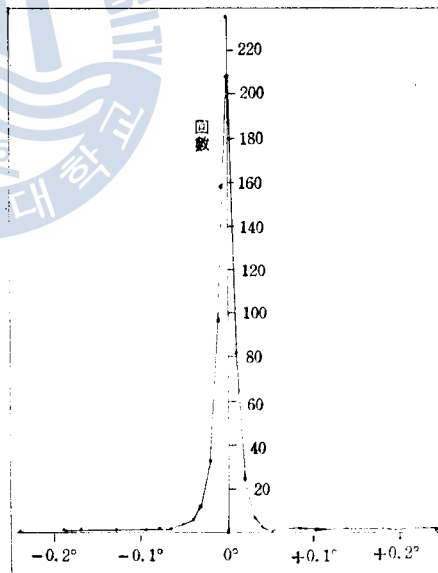


그림 4. 經度誤差 分布曲線

#### [2] 標準誤差

[1]에서의 資料를 利用하여 算出한 緯度와 經度의 中央誤差와 標準誤差는 表 2와 같고 緯度別 經緯度의 標準誤差는 表 3과 같다.

表 3에서  $L_c$ 는 測者의 緯度가 커감에 따라 誤差가 작아지고  $\lambda_c$ 는 中緯度附近에서 작아지는 것을 알 수 있다. 그리고 특히 位置角이  $90^\circ$ 에 가까운 때 誤差가 크게 된다는 것을 알 수 있다.

그런데 實際問題에서는  $L_c$ 를 算出할 때에는  $M$ 와  $Mh$ 만 利用되나  $\lambda_c$ 는 太陽의 GHA에  $t_o$ 를 加減하므로 GMT의 誤差도  $\lambda_c$ 에 包含된다. 이 때  $M$ 는 正確히 求할 수 있으나  $Mh$ 는 實際 六分儀로 高度를 觀測할 때에는 分單位로 小數點 아래 한자리까지 高度를 測定하게 되므로 이 誤差도  $L_c$ 와  $\lambda_c$ 의 誤差에 包含되고 또 船舶의 移動으로 因한 誤差도 包含되어 全 誤差는 더 크게 될 것으로 생각된다.

〈表 2〉  $L_c$  및  $\lambda_c$ 의 誤差

	中央 誤差	標準 誤差
算 出 緯 度	1'0010939	1'4842009
算 出 經 度	0'8060878	1'1950895

〈表 3〉 緯度別 標準誤差

緯 度	赤 緯	算出緯度標準誤差	算出經度標準誤差
0°	N	1'611	1'726
10°N	N	3'944	1'481
	S	1'061	0'746
20°N	N	1'448	0'479
	S	1'026	1'053
30°N	N	0'932	0'645
	S	0'854	1'145
40°N	N	0'435	0'564
	S	0'493	0'990
50°N	N	0'355	0'608
	S	0'458	1'305
60°N	N	0'338	1'571
	S	0'328	1'538
$L, d$ 同名	$d > L$	3'715	1'882
	$d < L$	0'600	0'861

#### IV. 結 論

以上の 理論 및 結果의 檢討에 依하여 다음과 같은 結論을 내릴 수 있다.

本 研究에서 提示한 位置 決定方法으로 求한 緯度와 經度의 中央誤差는 緯度가 約 1mile, 經度가

約 0.8mile인 것으로 確認되었다. 그리고 測者의 緯度가 赤道에서 멀어지면 算出緯度의 信賴度가 높아지는 것 과는 달리 算出經度는 中緯度 附近에서 信賴度가 높아지는 것을 알 수 있다.

한편 位置角이  $90^{\circ}$ 에 가까운 時期에는 緯度와 經度의 標準誤差가 다같이 커지므로 緯度와 赤緯가 큰 境遇에는 高度의 觀測時間의 選擇에 특별한 注意를 要한다.

實際로는 2回의 高度觀測 期間 동안의 船舶의 移動에 依한 影響은 速力이 느린 救命艇에서는 問題가 되지 않는다.

本 研究의 位置 決定方法은 短時間內에 太陽을 2回 觀測하여 緯度와 經度를 決定하고, 位置線을 作圖하는 過程이 必要 없으며 比較의 簡單한 航海用具만을 利用하게 될 뿐 아니라 救命艇에서 要求되는 精度를 充足하는 船位를 얻을 수 있으므로 救命艇 航海를 하게 될 航海士를 爲해 効果的인 位置 決定方法이 될 것으로 생각한다.

### 參 考 文 獻

1. Bowditch: American Practical Navigator, H. O. 9, pp. 645—660(1966)
2. Dutton: Navigation and Piloting, U. S. N. Institute, pp. 607—627(1969)
3. 金相翰: 球面三角法, 海軍圖書出版部, 釜山, pp. 74—96(1969)
4. 鯨島直人: 船位誤差論, 天然社, 東京, pp. 210—246(昭和 33年).
5. 尹汝政: 地文航海學, 海軍圖書出版部, 釜山, pp. 191—230(1975).
6. 尹汝政: 天文航海學, 海軍圖書出版部, 釜山, pp. 180—192(1976).
7. The Table of Computed Altitude and Azimuth Vol. I, II, III, IV, V, VI, VII, U. S. Navy Department Hydrographic Office.
8. 平岩 節: 船位論, 成山堂書店, 東京, pp. 8—14(昭和 46年).

