

이 논문은 1987년도 문교부 학술연구 조성비에 의하여 연구되었음

## 天測計算의 電算化에 關한 研究

尹 汝 政\*

### A Study on Computerization of the Sight Reduction

Yoon Yeo-Jeong

#### 目 次

Abstract	4. 天測位置의 決定
記號說明	5. 結 論
1. 序 論	參考文獻
2. 달의 座標計算	附 錄
3. 惑星의 座標計算	

#### Abstract

The tedious work, connected to the altitude correction, the computation of altitudes and azimuths and the plotting of the position lines, has been a objection to celestial position fixing method. But using a computer, the severe objection will be practically overruled.

The author had already studied on computerization of the sight reduction partially.

This paper is to confirm reliability of coordinates of the moon and the navigational planets calculated by computer programming, and to suggest a method of calculating ship's position fixed by two position lines.

#### 記 號 說 明

A <sub>c</sub> : 惑星의 地心黃道座標	DL <sub>0</sub> : 變經
B : 惑星의 日心黃緯	ET : 曆表時
B <sub>c</sub> : 惑星의 地心黃道座標	h <sub>k</sub> : 高度
C <sub>c</sub> : 惑星의 地心黃道座標	l : 變緯
C <sub>n</sub> : 針路	R <sub>p</sub> : 惑星의 動經
D <sub>ep</sub> : 惑星의 地心距離	α : 赤經
D <sub>es</sub> : 太陽의 地心距離	β : 黃緯
	δ : 赤緯

\* 正會員, 韓國海洋大學

- $\varepsilon$  : 黃道傾斜角
- $\theta_k$  : 天體의 方位
- $\Delta$  : 惑星의 日心黃經
- $\lambda$  : 黃經
- $\lambda'$  : 光行差를 補正한 惑星의 地心黃經
- $\lambda_k$  : 經度
- $\lambda_s$  : 太陽의 幾何學的黃經
- $\Delta\lambda$  : 惑星의 光行差 補正值
- $\phi_k$  : 緯度

## 1. 序 論

天測位置를 決定하기 위해서는 天體를 觀測한 正確한 時刻과 Sextant 高度로부터 다음과 같은 計算課程을 거쳐야 된다.

- ① Sextant 高度에 高度改正을 行하여 觀測高度로 改正한다.
- ② 觀測時刻에 대한 天體의 座標를 決定한다.
- ③ 觀測者의 同名極, 天體의 位置 및 觀測者의 位置로 이루어진 航海三角形을 풀어 計算高度와 方位 등 位置線의 要素를 구한다.
- ④ 位置線을 決定하고 그 位置線의 交點을 船位로 決定한다.

以上과 같은 天測計算의 全課程을 手作業에 依存하게 되면 많은 時間과 努力이 消費되므로 이것이 天測의 位置決定法의 障害가 되어 왔다.

著者는 天測位置決定法의 全課程을 電算化하기 위하여 이미 모든 高度改正要素의 定式化<sup>1)</sup> 및 太陽과 恒星의 座標計算을 行하고 그 結果에 對한 評價를 내린바 있다.<sup>2)</sup>

本論文에서는 달과 惑星의 座標를 計算하고 그 精度에 대하여 考察함과 아울러 天測位置線의 方程式을 利用한 天測位置의 計算方法을 提示하므로써 天測位置決定의 全課程을 電算化하려는 目的을 두고 있다.

## 2. 달의 座標計算

1980年度 日本水路部發行의 天測曆<sup>3)</sup>에 달의 位置略算式이 發表된 바 있다. 이 略算式은 달의 視黃經은 63個項, 視黃緯는 47個項의 周期項으로 이루어져 있으며 달의 運動의 複雜性에 비추어 볼 때

略算式을 利用한 天體位置計算의 實用性與否는 달의 位置計算의 精密性에 左右된다고 할 것이다.

이 略算式에 使用되는 時刻은 1975年 1月 0日 0時 ET(ephemeris time : 曆表時) 以後의 經過時間을 365.25日單位로 表示한 것으로서 上記한 天測曆에는 이를 구하는 方法도 記載되어 있다.

觀測時刻의 年, 月, 日 및 世界時로 表示한 時, 分, 秒에 對하여

$$W = (\text{年} - 1900) / 4$$

를 計算하여 W를 整數部 [W]와 小數部 F로 區分한다. 즉

$$W = [W] + F \dots\dots\dots (2.1)$$

를 구하고 다음 값들을 計算한다.

$$\left. \begin{aligned} Y &= [1461W] \\ X &= [(月 + 7) / 10] \\ R &= [1 - F] \\ S &= [0.44(月 + 4.4)] \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2.2)$$

단, (2.2)式의 [ ]는 整數部를 의미한다.

$$J = \text{時} / 24 + \text{分} / 1440 + \text{秒} / 86400 \dots (2.3)$$

世界時로 表示한 經過時間은 日單位로 나타내면

$$t = (Z + J) / 365.25$$

이고 이를 다시 曆表時로 換算하면 다음과 같다.

$$T = t + (0.0317t + 1.43) \times 10^{-6} \dots (2.4)$$

(2.4)式으로 表現된 時刻 T에 의하여 달의 位置略算式으로 달의 겉보기의 黃經  $\lambda$ 와 겉보기의 黃緯  $\beta$  및 水平視差  $\pi$ 를 구할수 있다.  $\pi$ 는 달의 座標計算과 直接的인 關係는 없으나 高度改正時의 겉보기 반지름  $S_0$ 의 計算에 利用된다.

한편 黃道傾斜角을  $\varepsilon$ 이라면

$$\varepsilon = 23^{\circ}.44253 - 0^{\circ}.00013T + 0^{\circ}.00256\cos \cdot (249^{\circ} - 19^{\circ}.3T) + 0^{\circ}.00015\cos(198^{\circ} + 720^{\circ}T) \dots\dots\dots (2.5)$$

으로 表示되므로 赤經  $\alpha$  및 赤緯  $\delta$ 는 다음과 같이 座標變換하면 된다.

黃道座標系에서 黃經  $\lambda$ , 黃緯  $\beta$ 로 表示된 달의 方向余弦(direction cosines) (U, V, W)는

$$\left. \begin{aligned} U &= \cos\beta \cos\lambda \\ V &= \cos\beta \sin\lambda \\ W &= \sin\beta \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2.6)$$

이고 赤道座標系에서 赤經  $\alpha$ , 赤緯  $\delta$ 로 表示되는 달의 方向余弦(L, M, N)은

$$\left. \begin{aligned} L &= \cos\delta \cos\alpha \\ M &= \cos\delta \sin\alpha \\ N &= \sin\delta \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2.7)$$

이므로 黃道傾斜角  $\epsilon$ 에 의하여 이들 座標의 關係를 表示하면 다음과 같다.

$$\begin{pmatrix} L \\ M \\ N \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\epsilon & -\sin\epsilon \\ 0 & \sin\epsilon & \cos\epsilon \end{pmatrix} \begin{pmatrix} U \\ V \\ W \end{pmatrix} \dots\dots\dots (2.8)$$

(2.6), (2.7), (2.8)式에서

$$\tan \alpha = \frac{M}{L} = \frac{\cos\beta \sin\lambda \cos\epsilon + \sin\beta \sin\epsilon}{\cos\beta \cos\lambda} \quad (2.9)$$

단,  $\alpha$ 의 象限은 다음과 같이 결정한다.

- (i)  $\tan \alpha \geq 0, \cos \lambda > 0$ 이면 第1象限
- (ii)  $\tan \alpha < 0, \cos \lambda < 0$ 이면 第2象限
- (iii)  $\tan \alpha > 0, \cos \lambda < 0$ 이면 第3象限
- (iv)  $\tan \alpha < 0, \cos \lambda > 0$ 이면 第4象限

$$\sin \delta = V \sin \epsilon + W \cos \epsilon = \cos \beta \sin \lambda \sin \epsilon + \sin \beta \cos \epsilon \quad \dots\dots\dots (2.10)$$

단,  $-90^\circ < \delta < 90^\circ$

天測曆에는 天體의 座標가 GHA로 表示되고 있으므로 赤經  $\alpha$ 를 다음式으로 換算한다.

$$GHA = GST - \alpha \quad \dots\dots\dots (2.11)$$

$$\begin{aligned} GST &= 99^\circ.0356 + 360^\circ.00769t + 360^\circ J \\ &\quad - 0^\circ.0044 \sin(248^\circ.64 - 19^\circ.34t) \\ &\quad - 0^\circ.0003 \sin(198^\circ + 720^\circ t) \quad \dots (2.12) \end{aligned}$$

以上과 같은 過程으로 1983年 每月 1日, 15日의 GMT 0<sup>h</sup> 및 12<sup>h</sup>에 대한 달의 GHA 및 Dec를 單精度 및 倍精度로 計算하고 天測曆<sup>4)</sup>에서 求한 이들 값과 比較하면 2.1 및 2.2表와 같다.

單精度로 計算한 結果는 GHA는 0'.4, Dec는 0'.2의 最大誤差가 있음을 볼 수 있고 倍精度로 計算한 結果에 있어서는 GHA는 0'.1, Dec는 0'.2의 最大誤差가 있는 것으로 나타나 있다.

單精度 計算에 있어서는 小數點以下 7자리, 倍精度 計算에 있어서는 15자리까지 計算한 것인데 이들 結果에 비추어 보면 달의 位置略算式을 利用한 座標計算은 大體로 15자리 以上까지 計算하지 않으면 實用上 滿足할만한 結果를 얻을 수 없음을 알 수 있다.

第2·1表 달의 座標(單精度)  
( $\Delta$  = 計算值 - 天測曆值)

月	日	GMT	GHA (天測曆)	GHA (計算值)	$\Delta$	Dec (天測曆)	Dec (計算值)	$\Delta$	月	日	GMT	GHA (天測曆)	GHA (計算值)	$\Delta$	Dec (天測曆)	Dec (計算值)	$\Delta$
1	1	0	335°42.4	335°42.5	+0.1	22°11'3.3N	22°11'3.3N		7	1	0	294°31'1	294°30'9	-0.2	12°21'1.5	12°21.1 S	
		12	148°11.1	148°11.2	+0.1	20°54'3.3N	20°54.3N				12	109°21'8	109°21'9	+0.1	10°08'0.5	10°08.1 S	+0.1
	15	0	168°14.3	168°14.1	-0.2	21°59'7.5	21°59'7.5		15	0	115°11'5	115°11'1	-0.4	6°57'6 N	6°57.5 N	-0.1	
		12	342°27.7	342°27.9	+0.1	20°58'2.5	20°58'3.5	+0.1		12	289°10'4	289°10'2	-0.2	4°05'9 N	4°05.8 N	-0.1	
2	1	0	313°56.3	313°56.4	+0.1	7°00'4.4N	7°00'5.4N	+0.1	8	1	0	283°20'0	283°19'9	-0.1	5°57'6 N	5°57.6 N	
		12	127°51.7	127°51.8	+0.1	4°13'9.9N	4°14'0.9N	+0.1			12	97°59'3	97°59'3		8°28'3 N	8°28.3 N	
	15	0	153°45.4	153°45.2	-0.2	9°22'1.1	9°22'1.1		15	0	99°09'1	99°09'1		13°22'5 S	13°22.6 S	+0.1	
		12	328°30.4	328°30.4		7°02'1.1	7°02'2.5	+0.1		12	273°19'0	273°19'0		15°36'2 S	15°36.2 S		
3	1	0	334°17.3	334°17.1	-0.2	3°47'4.4N	3°47'4.4N		9	1	0	266°15'4	266°15'3	-0.1	21°55'1 N	21°55.1 N	
		12	148°14.4	148°14'5	+0.1	0°55'4.4N	0°55'5.4N	+0.1			12	79°26'8	79°26'5	-0.3	23°07'7 N	23°07.8 N	+0.1
	15	0	172°55.7	172°55.4	-0.3	5°49'7.5	5°49'7.5		15	0	81°28'6	81°28'6		24°24'6 S	24°24.5 S	-0.1	
		12	347°38'5	347°38'2	-0.3	3°19'5.5	3°19'5.5			12	255°18'8	255°18'9	+0.1	24°42'3 S	24°42.3 S		
4	1	0	319°10.7	319°10.6	-0.1	15°08'0.5	15°08'0.5		10	1	0	254°31'7	254°31'7		14°20'9 N	14°20.9 N	
		12	133°15'2	133°15'3	+0.1	17°09'0.5	17°08'9.5	-0.1			12	67°17'1	67°17'1		23°29'4 N	23°29.4 N	
	15	0	158°56.0	158°55.9	-0.1	13°08'0.0N	13°07'9.9N	-0.1	15	0	75°44'0	75°44'0		22°51'0 S	22°51.0 S		
		12	332°49'7	332°49'8	+0.1	15°25'7.4N	15°25'6.4N	-0.1		12	249°57'3	249°57'2	-0.1	21°39'3 S	21°39.3 S		
5	1	0	314°28.3	314°28.6	+0.3	23°11'4.4	23°11'4.4		11	1	0	230°41'5	230°40'9	+0.4	10°20'1 N	10°20.0 N	-0.1
		12	128°18'3	128°18'2	-0.1	23°51'6.5	23°51'7.5	+0.1			12	44°30'9	44°31'9	+0.1	7°27'6 N	7°27.7 N	+0.1
	15	0	150°26.0	150°25.7	-0.3	22°57'4.4	22°57'4.4		15	0	62°52'6	62°52'7	+0.1	9°43'5 S	9°43.6 S	+0.1	
		12	323°09'9	323°10'1	+0.2	23°49'5.5	23°49'6.5	+0.1		12	237°48'4	237°48'5	+0.1	7°18'1 S	7°18.2 S	+0.1	
6	1	0	297°04.3	297°04.2	-0.1	21°39'5.5	21°39'6.5	+0.1	12	1	0	225°07'5	225°07'2	-0.3	5°37'6 S	5°37.7 S	+0.1
		12	111°22'8	111°22'6	-0.2	20°21'4.5	20°21'5.5	+0.1			12	39°17'5	39°17'6	+0.1	8°27'4 S	8°27.3 S	-0.1
	15	0	123°15'4	123°15'3	-0.1	20°02'1.1N	20°02'1.1N		15	0	63°11'1	63°10'9	-0.2	3°39'5 N	3°39.5 N		
		12	296°19'8	296°19'9	+0.1	18°05'2.2N	18°05'3.2N	+0.1		12	237°58'4	237°58'5	+0.1	6°16'7 N	6°16.5 N	-0.2	

第2·2表 달의 座標(倍精度)  
( $\Delta$  = 計算值 - 天測曆值)

月	日	GMT	GHA (天測曆)	GHA (計算值)	$\Delta$	Dec (天測曆)	Dec (計算值)	$\Delta$	月	日	GMT	GHA (天測曆)	GHA (計算值)	$\Delta$	Dec (天測曆)	Dec (計算值)	$\Delta$		
1	1	0	335°42.4	335°42.5	+0.1	22°11.3 N	22°11.3 N		7	1	0	294°31.1	294°31.1		12°21.1 S	12°21.2 S	+0.1		
		12	148°11.1	148°11.2	+0.1	20°54.3 N	20°54.3 N				12	109°21.8	109°21.8		10°08.0 S	10°08.1 S	+0.1		
		15	0	168°14.3	168°14.4	+0.1	21°59.7 S	21°59.7 S				15	0	115°11.5	115°11.5		6°57.6 N	6°57.6 N	
		12	342°27.7	342°27.7		20°58.2 S	20°58.3 S	+0.1			12	289°10.4	289°10.3	-0.1	4°05.9 N	4°05.9 N			
2	1	0	313°56.3	313°56.3		7°00.4 N	7°00.5 N	+0.1	8	1	0	283°20.0	283°20.0		5°57.6 N	5°57.6 N			
		12	127°51.7	127°51.6	-0.1	4°13.9 N	4°14.0 N	+0.1			12	97°59.3	97°59.2	-0.1	8°28.3 N	8°28.3 N			
		15	0	153°45.4	153°45.3	-0.1	9°22.1 S	9°22.1 S				15	0	99°09.1	99°09.1		13°22.5 S	13°22.5 S	
		12	328°30.4	328°30.3	-0.1	7°02.1 S	7°02.2 S	+0.1			12	273°19.1	273°19.1		15°36.2 S	15°36.2 S			
3	1	0	334°17.3	334°17.3		3°47.4 N	3°47.5 N	+0.1	9	1	0	266°15.4	266°15.3	-0.1	21°55.1 N	21°55.1 N			
		12	148°14.4	148°14.4		0°55.4 N	0°55.5 N	+0.1			12	79°26.8	79°26.7	-0.1	23°07.7 N	23°07.7 N			
		15	0	172°55.7	172°55.6	-0.1	5°49.7 S	5°49.8 N			+0.1	15	0	81°28.6	81°28.7	+0.1	24°24.6 S	24°24.5 S	-0.1
		12	347°38.5	347°38.4	-0.1	3°19.5 S	3°19.6 S	+0.1			12	255°18.8	255°18.8		24°42.3 S	24°42.3 S			
4	1	0	319°10.7	319°10.7		15°08.0 S	15°07.9 S	-0.1	10	1	0	254°31.7	254°31.6	-0.1	24°20.9 N	24°20.9 N			
		12	133°15.2	133°15.2		17°09.0 S	17°08.9 S	-0.1			12	67°17.1	67°17.1		23°29.4 N	23°29.4 N			
		15	0	158°56.0	158°56.0		13°08.0 N	13°07.9 S			-0.1	15	0	75°44.0	75°44.0		22°51.0 S	22°51.0 S	
		12	332°49.7	332°49.7		15°25.7 N	15°25.6 N	-0.1			12	249°57.3	249°57.3		21°39.3 S	21°39.3 S			
5	1	0	314°28.3	314°28.3		23°11.4 S	23°11.4 S		11	1	0	230°41.5	230°41.4	-0.1	10°20.1 N	10°20.2 N	+0.1		
		12	128°18.3	128°18.3		23°51.6 S	23°51.6 S				12	44°30.9	44°30.8	-0.1	7°27.6 N	7°27.7 N	+0.1		
		15	0	150°26.0	150°26.1	+0.1	22°57.4 N	22°57.4 N				15	0	62°52.6	62°52.6		9°43.5 S	9°43.6 S	+0.1
		12	323°09.9	323°10.0	+0.1	23°49.5 N	23°49.6 N	+0.1			12	237°48.4	237°48.4		7°18.1 S	7°18.2 S	+0.1		
6	1	0	297°04.3	297°04.4	+0.1	21°39.5 S	21°39.7 S	+0.2	12	1	0	225°07.5	225°07.4	-0.1	5°37.6 S	5°37.6 S			
		12	111°22.8	111°22.8		20°21.4 S	20°21.6 S	+0.2			12	39°17.5	39°17.4	-0.1	8°27.4 S	8°27.4 S			
		15	0	123°15.4	123°15.4		20°02.1 N	20°02.1 N				15	0	63°11.1	63°11.1		3°39.5 N	3°39.4 N	-0.1
		12	296°19.8	296°19.8		18°05.2 N	18°05.3 N	+0.1			12	237°58.4	237°58.4		6°16.7 N	6°16.6 N	-0.1		

3. 惑星의 座標

地球에서 바라 본 惑星의 겉보기 運動은 天球上을 때로는 順行하고 때로는 逆行하고 있어 그 地心座標를 直接 計算하는 代身에 日心座標를 計算하고 太陽의 座標를 利用하여 地心座標로 變換하는 方式을 쓰고 있다.

1978年度 日本天測曆 附錄<sup>5)</sup>에 보면 惑星의 日心黃道座標 略算式이 掲載되어 있다.

이 略算式에 依하여 惑星의 日心黃經  $\Lambda$ , 日心黃緯  $B$  및 動徑  $R_p$ 를 計算할 수 있는데 그 過程은 다음과 같다.

太陽의 幾何學的黃經을  $\lambda_s$ , 太陽의 地心距離를  $D_{es}$ 라 하면 地心黃道直交座標로 表示한 惑星의 位置 ( $A_c, B_c, C_c$ )는

$$\left. \begin{aligned} A_c &= R_p \cos B \cos \Lambda + D_{es} \cos \lambda_s \\ B_c &= R_p \cos B \sin \Lambda + D_{es} \sin \lambda_s \\ C_c &= R_p \sin B \end{aligned} \right\} \dots (2.13)$$

에 의하여 計算된다.

惑星의 地心黃經을  $\lambda$ , 地心黃緯를  $\beta$ 라 하고 惑星의 地心距離를  $D_{ep}$ 라 하면

$$\left. \begin{aligned} D_{ep} &= \sqrt{A_c^2 + B_c^2 + C_c^2} \\ \tan \lambda &= \frac{B_c}{A_c} \\ \sin \beta &= \frac{C_c}{D_{ep}} \end{aligned} \right\} \dots (2.14)$$

단,  $A_c \geq 0$ 이면  $\lambda$ 는 第1, 4象限

$A_c < 0$ 이면  $\lambda$ 는 第2, 3象限

로 計算할 수 있다.

다음에 惑星光行差의 補正值  $\Delta\lambda$ 에 대해서는

$$\begin{aligned} \Delta\lambda &= \frac{-0.0057}{D_{es}} \cos(\lambda - \lambda_s) \\ &\quad - \frac{C}{R_p} \cos(\lambda - \Lambda) \dots (2.15) \end{aligned}$$

로 計算하며  $C$ 는 惑星에 따라 다른 값을 취하는데 다음과 같다.

Venus	0°0.048	Jupiter	0°0.0129
Mars	0°0.0071	Saturn	0°0.0174

赤道座標系에서 赤經  $\alpha$ , 赤緯  $\delta$ 로 表示되는 惑星의 方向余弦 (L, M, N)은

$$\left. \begin{aligned} L &= \cos \delta \cos \alpha \\ M &= \cos \delta \sin \alpha \\ N &= \sin \delta \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2.16)$$

이고 黃道座標系에서 黃經  $\lambda'$ , 黃緯  $\beta$ 로 表示되는 惑星의 方向余弦(U, V, W)는

$$\left. \begin{aligned} U &= \cos \beta \cos \lambda' \\ V &= \cos \beta \sin \lambda' \\ W &= \sin \beta \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2.17)$$

이므로 黃道傾斜角  $\epsilon$ 에 의하여 座標變換하면 다음을 얻는다.

$$\begin{pmatrix} L \\ M \\ N \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \epsilon & -\sin \epsilon \\ 0 & \sin \epsilon & \cos \epsilon \end{pmatrix} \begin{pmatrix} U \\ V \\ W \end{pmatrix} \dots\dots\dots (2.18)$$

故로 (2.16), (2.17), (2.18)式에서

$$\begin{aligned} \tan \alpha &= \frac{M}{L} \\ &= \frac{\cos \beta \sin \lambda' \cos \epsilon - \sin \beta \sin \epsilon}{\cos \beta \cos \lambda'} \end{aligned} \quad (2.19)$$

단,  $\cos \lambda' \geq 0$  이면  $\alpha$ 는 第1, 4象限

$\cos \lambda' < 0$  이면  $\alpha$ 는 第2, 3象限

$$\sin \delta = N = \cos \beta \sin \lambda' \sin \epsilon + \sin \beta \cos \epsilon \dots\dots\dots (2.20)$$

으로 된다.

(2.19), (2.20)式에 의하여 惑星의 光行差를 補正한 黃經  $\lambda'$ 와 黃緯  $\beta$ 로 부터 赤經  $\alpha$ 와 赤緯  $\delta$ 를 求할 수 있다.

天測曆에서의 座標는 그리니치時角(GHA)과 赤緯로써 表示되고 있으므로 赤經  $\alpha$ 는 (2.11), (2.12)式에 의하여 이를 GHA로 換算한다.

以上과 같은 過程으로 1983年 每月 1日, 15日의 GMT 0° 및 12°에 있어서 航海用惑星의 GHA 및 Dec를 單精度로 計算하고 天測曆에서 求한 것과 比較하면 2.3~2.6表와 같다.

以上의 結果를 比較하면 Venus의 경우 GHA의 最大誤差는 0'.3, Dec의 最大誤差는 0'.2이며 Mars, Jupiter, Saturn은 GHA와 Dec의 最大誤差가 0'.1에 不過하다. 그러나 이들을 倍精度로 計算하면 Mars, Jupiter, Saturn의 誤差는 거의 變化가 없으나, Venus의 GHA誤差는 0'.2까지 減小하였다.

第2·3表 Venus의 座標  
( $d$  = 計算值 - 天測曆值)

月	日	GMT	GHA (天測曆)	GHA (計算值)	$d$	Dec (天測曆)	Dec (計算值)	$d$	月	日	GMT	GHA (天測曆)	GHA (計算值)	$d$	Dec (天測曆)	Dec (計算值)	$d$			
1	1	0	163°54'.5	163°54'.4	-0'.1	22°32'.5 S	22°32'.5 S		7	1	0	132°46'.3	132°46'.5	+0'.2	14°41'.3 N	14°41'.3 N				
		12	343°43'.8	343°43'.8		22°26'.5 S	22°26'.6 S	+0'.1			12	312°53'.2	312°53'.4	+0'.1	14°30'.3 N	14°30'.4 N	+0'.1			
		15	0 159°23'.1	159°23'.1		18°45'.6 S	18°45'.6 S				15	0 137°36'.6	137°36'.7	+0'.1	9°34'.6 N	9°34'.6 N				
	12	0	339°14'.6	339°14'.6		18°35'.3 S	18°35'.4 S	+0'.1		12	317°51'.3	317°51'.3		9°24'.0 N	9°23'.9 N	-0'.1				
		2	1	0	155°17'.3	155°17'.3		11°53'.6 S		11°53'.6 S		8	1	0	149°38'.0	149°38'.2	+0'.2	4°19'.5 N	4°19'.5 N	
				12	335°11'.4	335°11'.3	-0'.1	11°39'.8 S		11°39'.8 S				12	330°07'.3	330°07'.5	+0'.2	4°12'.5 N	4°12'.5 N	
15	0 152°54'.0			152°53'.9	-0'.1	5°03'.6 S	5°03'.6 S		15	0 166°38'.3	166°38'.4			+0'.1	2°25'.2 N	2°25'.1 N	-0'.1			
12	0	332°49'.6	332°49'.5	-0'.1	4°48'.2 S	4°48'.2 S		12	347°22'.0	347°22'.1	+0'.1	2°24'.9 N	2°24'.8 N	-0'.1						
	3	1	0	151°00'.0	151°00'.0		2°12'.5 N	2°12'.6 N	+0'.1	9	1	0	192°54'.0	192°54'.1	+0'.1	4°27'.4 N	4°27'.4 N			
			12	330°56'.1	330°56'.1		2°28'.2 N	2°28'.2 N				12	13°38'.0	13°38'.1	+0'.1	4°33'.8 N	4°33'.8 N			
15			0 149°07'.6	149°07'.5	-0'.1	9°20'.7 N	9°20'.8 N	+0'.1	15			0 210°06'.7	210°06'.8	+0'.1	7°17'.3 N	7°17'.2 N	-0'.1			
12	0	329°03'.3	329°03'.2	-0'.1	9°35'.5 N	9°35'.5 N		12	30°35'.2	30°35'.5	+0'.3	7°22'.1 N	7°22'.1 N							
	4	1	0	146°17'.3	146°17'.3		17°02'.0 N	17°02'.0 N		10	1	0	221°04'.3	221°04'.3		8°33'.8 N	8°33'.7 N	-0'.1		
			12	326°11'.4	326°11'.4		17°14'.0 N	17°14'.1 N	+0'.1			12	41°17'.6	41°17'.6		8°33'.4 N	8°33'.4 N			
15			0 143°12'.0	143°12'.0		21°54'.6 N	21°54'.7 N	+0'.1	15			0 225°27'.8	225°27'.8		7°24'.3 N	7°24'.4 N	+0'.1			
12	0	323°04'.7	323°04'.6	-0'.1	22°03'.2 N	22°03'.2 N		12	45°33'.7	45°33'.8	+0'.1	7°19'.2 N	7°19'.7 N	+0'.1						
	5	1	0	136°58'.8	136°58'.9	+0'.1	25°13'.3 N	25°13'.4 N	+0'.1	11	1	0	227°26'.6	227°26'.5	-0'.1	3°33'.8 N	3°33'.8 N			
			12	318°50'.6	318°50'.7	+0'.1	25°16'.9 N	25°16'.9 N				12	47°28'.0	47°27'.9	-0'.1	3°25'.0 N	3°25'.0 N			
15			0 135°16'.2	135°16'.2		25°49'.5 N	25°49'.5 N		15			0 227°36'.6	227°36'.6		1°02'.5 S	1°02'.4 S	-0'.1			
12	0	315°08'.9	315°08'.8	-0'.1	25°48'.4 N	25°48'.4 N		12	47°36'.0	47°36'.0		1°13'.3 S	1°13'.3 S							
	6	1	0	131°55'.4	131°55'.5	+0'.1	23°44'.2 N	23°44'.2 N		12	1	0	226°43'.8	226°43'.7	-0'.1	7°06'.8 S	7°06'.8 S			
			12	311°51'.4	311°51'.6	+0'.2	23°38'.0 N	23°38'.1 N	+0'.1			12	46°41'.1	46°41'.0	-0'.1	7°18'.5 S	7°18'.5 S			
15			0 130°59'.7	130°59'.7		20°07'.4 N	20°07'.4 N		15			0 225°01'.8	225°01'.8		12°27'.1 S	12°27'.1 S				
12	0	311°00'.0	311°00'.0		19°58'.2 N	19°58'.2 N		12	44°57'.1	44°57'.1		12°38'.1 S	12°38'.0 S	-0'.1						

第2·4表 Mars의 座標  
( $\Delta$  = 計算值 - 天測曆值)

月	日	GMT	GHA (天測曆)	GHA (計算值)	$\Delta$	Dec (天測曆)	Dec (計算值)	$\Delta$	月	日	GMT	GHA (天測曆)	GHA (計算值)	$\Delta$	Dec (天測曆)	Dec (計算值)	$\Delta$		
1	1	0	140°15'.7	140°15'.6	-0'.1	16°50'.7 S	16°50'.6 S	-0'.1	7	1	0	187°12'.9	187°12'.9		24°06'.8 N	24°06'.8 N			
		12	320°21'.9	320°21'.8	-0'.1	16°43'.3 S	16°43'.2 S	-0'.1			12	7°20'.3	7°20'.3		24°06'.8 N	24°06'.8 N			
	15	0	143°20'.2	143°20'.1	-0'.1	13°08'.9 S	13°08'.8 S	-0'.1		15	0	190°45'.7	190°45'.7		23°48'.6 N	23°48'.6 N			
		12	323°27'.2	323°27'.1	-0'.1	13°00'.5 S	13°00'.4 S	-0'.1		12	10°53'.5	10°53'.5		23°47'.2 N	23°47'.2 N				
	2	1	0	147°31'.2	147°31'.1	-0'.1	8°07'.8 S	8°07'.8 S			8	1	0	195°23'.6	195°23'.6		22°35'.4 N	22°35'.4 N	
			12	327°39'.0	327°38'.9	-0'.1	7°58'.6 S	7°58'.6 S					12	15°32'.1	15°32'.1		22°32'.4 N	22°32'.4 N	
15		0	151°15'.8	151°15'.7	-0'.1	3°45'.1 S	3°45'.0 S	-0'.1	15	0		199°32'.9	199°32'.9		20°57'.5 N	20°57'.5 N			
		12	331°24'.0	331°23'.9	-0'.1	3°35'.6 S	3°35'.5 S	-0'.1	12	19°42'.2		19°42'.1	-0'.1	20°53'.5 N	20°53'.4 N	-0'.1			
3		1	0	155°11'.0	155°11'.0		0°41'.2 N	0°41'.3 N	+0'.1	9		1	0	205°03'.7	205°03'.7		18°20'.4 N	18°20'.4 N	
			12	335°19'.5	335°19'.5		0°50'.7 N	0°50'.7 N					12	25°13'.9	25°13'.9		18°15'.2 N	18°15'.2 N	
	15	0	159°11'.4	159°11'.3	-0'.1	5°02'.6 N	5°02'.7 N	+0'.1	15		0	209°59'.3	209°59'.2	-0'.1	15°45'.5 N	15°45'.5 N			
		12	339°20'.0	339°19'.9	-0'.1	5°11'.8 N	5°11'.8 N		12		30°10'.2	30°10'.2		15°39'.6 N	15°39'.6 N				
	4	1	0	164°02'.5	164°02'.4	-0'.1	10°02'.3 N	10°02'.3 N			10	1	0	216°01'.1	216°01'.0	-0'.1	12°27'.3 N	12°27'.3 N	
			12	344°11'.0	344°10'.9	-0'.1	10°10'.7 N	10°10'.7 N					12	36°12'.7	36°12'.7		12°20'.9 N	12°20'.9 N	
15		0	167°56'.3	167°56'.3		13°46'.0 N	13°46'.1 N	+0'.1	15	0		221°36'.1	221°36'.1		9°21'.1 N	9°21'.1 N			
		12	348°04'.6	348°04'.5	-0'.1	13°53'.5 N	13°53'.6 N	+0'.1	12	41°48'.3		41°48'.3		9°14'.3 N	9°14'.2 N	-0'.1			
5		1	0	172°13'.3	172°13'.2	-0'.1	17°27'.7 N	17°27'.7 N		11		1	0	228°42'.5	228°42'.5		5°25'.9 N	5°25'.9 N	
			12	352°21'.1	352°21'.1		17°33'.9 N	17°33'.9 N					12	48°55'.3	48°55'.3		5°19'.0 N	5°18'.9 N	-0'.1
	15	0	175°47'.9	175°47'.9		20°05'.8 N	20°05'.8 N		15		0	234°47'.1	234°47'.1		2°10'.3 N	2°10'.3 N			
		12	355°55'.4	355°55'.4		20°10'.8 N	20°10'.8 N		12		55°00'.3	55°00'.3		2°03'.4 N	2°03'.4 N				
	6	1	0	179°58'.1	179°58'.1		22°26'.6 N	22°26'.7 N	+0'.1		12	1	0	241°56'.1	241°56'.1		1°29'.4 S	1°29'.4 S	
			12	0°05'.4	0°05'.3	-0'.1	22°29'.9 N	22°29'.9 N					12	62°09'.7	62°09'.7		1°36'.1 S	1°36'.2 S	+0'.1
15		0	183°19'.8	183°19'.7	-0'.1	23°37'.3 N	23°37'.4 N	+0'.1	15	0		248°21'.6	248°21'.6		4°33'.7 S	4°33'.7 S			
		12	3°27'.0	3°26'.9	-0'.1	23°39'.1 N	23°39'.1 N		12	68°35'.5		68°35'.5		4°40'.1 S	4°40'.1 S				

第2·5表 Jupiter의 座標  
( $\Delta$  = 計算值 - 天測曆值)

月	日	GMT	GHA (天測曆)	GHA (計算值)	$\Delta$	Dec (天測曆)	Dec (計算值)	$\Delta$	月	日	GMT	GHA (天測曆)	GHA (計算值)	$\Delta$	Dec (天測曆)	Dec (計算值)	$\Delta$		
1	1	0	220°51'.4	220°51'.4		19°35'.5 S	19°35'.5 S		7	1	0	38°08'.0	38°08'.0		19°49'.0 S	19°49'.1 S	+0'.1		
		12	41°14'.9	41°14'.8	-0'.1	19°36'.7 S	19°36'.7 S				12	218°40'.1	218°40'.1		19°48'.7 S	19°48'.7 S			
	15	0	231°55'.7	231°55'.7		20°05'.7 S	20°05'.8 S	+0'.1		15	0	52°51'.6	52°51'.6		19°41'.5 S	19°41'.5 S			
		12	52°19'.7	52°19'.7		20°06'.7 S	20°06'.8 S	+0'.1		12	233°22'.5	233°22'.5		19°41'.3 S	19°41'.4 S	+0'.1			
	2	1	0	245°46'.5	245°46'.5		20°34'.6 S	20°34'.6 S			8	1	0	69°56'.4	69°56'.4		19°41'.7 S	19°41'.7 S	
			12	66°11'.4	66°11'.4		20°35'.3 S	20°35'.4 S		+0'.1			12	250°25'.7	250°25'.7		19°41'.8 S	19°41'.9 S	+0'.1
15		0	257°36'.7	257°36'.7		20°51'.9 S	20°51'.9 S		15	0		83°19'.3	83°19'.3		19°49'.7 S	19°49'.8 S	+0'.1		
		12	78°02'.6	78°02'.6		20°52'.4 S	20°52'.4 S		12	263°47'.3		263°47'.3		19°50'.1 S	19°50'.2 S	+0'.1			
3		1	0	269°56'.2	269°56'.2		21°03'.6 S	21°03'.6 S		9		1	0	98°46'.8	98°46'.8	+0'.1	20°08'.1 S	20°08'.2 S	+0'.1
			12	90°23'.2	90°23'.2		21°03'.9 S	21°03'.9 S					12	279°13'.4	279°13'.4		20°08'.8 S	20°08'.8 S	
	15	0	282°49'.7	282°49'.7		21°09'.8 S	21°09'.9 S	+0'.1	15		0	110°55'.5	110°55'.5		20°28'.8 S	20°28'.8 S			
		12	103°18'.0	103°18'.0		21°09'.9 S	21°10'.0 S	+0'.1	12		291°21'.0	291°21'.0		20°29'.6 S	20°29'.6 S				
	4	1	0	299°19'.7	299°19'.7		21°10'.6 S	21°10'.6 S			10	1	0	124°14'.7	124°14'.8	+0'.1	20°56'.2 S	20°56'.2 S	
			12	119°49'.7	119°49'.7		21°10'.5 S	21°10'.6 S	+0'.1				12	304°39'.2	304°39'.2		20°57'.1 S	20°57'.1 S	
15		0	313°37'.9	313°37'.9		21°05'.8 S	21°05'.9 S	+0'.1	15	0		135°29'.3	135°29'.3		21°21'.6 S	21°21'.7 S	+0'.1		
		12	134°09'.2	134°09'.2		21°05'.6 S	21°05'.6 S		12	315°53'.0		315°53'.0		21°22'.6 S	21°22'.6 S				
5		1	0	330°41'.9	330°41'.8	-0'.1	20°54'.7 S	20°54'.7 S		11		1	0	148°43'.5	148°43'.5		21°51'.9 S	21°51'.9 S	
			12	151°14'.5	151°14'.5		20°54'.3 S	20°54'.3 S					12	329°06'.5	329°06'.5		21°52'.8 S	21°52'.8 S	
	15	0	346°06'.6	346°06'.6		20°40'.8 S	20°40'.8 S		15		0	159°21'.9	159°21'.9		22°14'.7 S	22°14'.7 S			
		12	166°40'.0	166°40'.0		20°40'.2 S	20°40'.3 S	+0'.1	12		339°44'.5	339°44'.5		22°15'.4 S	22°15'.5 S	+0'.1			
	6	1	0	5°06'.8	5°06'.7	-0'.1	20°20'.7 S	20°20'.8 S	+0'.1		12	1	0	171°19'.8	171°19'.8		22°36'.7 S	22°36'.7 S	
			12	185°40'.3	185°40'.3		20°20'.1 S	20°20'.2 S	+0'.1				12	351°42'.1	351°42'.1		22°37'.3 S	22°37'.3 S	
15		0	20°42'.1	20°42'.1		20°04'.2 S	20°04'.3 S	+0'.1	15	0		181°42'.2	181°42'.2		22°51'.5 S	22°51'.6 S	+0'.1		
		12	201°15'.3	201°15'.3		20°03'.7 S	20°03'.7 S		12	2°04'.4		2°04'.4		22°52'.0 S	22°52'.0 S				

第2·6表 Saturn의 座標  
( $\Delta$  = 計算值 - 天測曆值)

月	日	GMT	GHA (天測曆)	GHA (計算值)	$\Delta$	Dec (天測曆)	Dec (計算值)	$\Delta$	月	日	GMT	GHA (天測曆)	GHA (計算值)	$\Delta$	Dec (天測曆)	Dec (計算值)	$\Delta$
1	15	0	248°33.2	248°33.2		10°13.6 S	10°13.6 S		7	15	0	71°49.1	71°49.0	-0.1	8°17.1 S	8°17.1 S	
		12	69°00.8	69°00.7	-0.1	10°14.2 S	10°14.2 S				12	252°18.7	252°18.7		8°17.2 S	8°17.2 S	
		0	261°32.4	261°32.4		10°27.4 S	10°27.4 S				0	85°29.9	85°29.8	-0.1	8°23.7 S	8°23.8 S	+0.1
		12	82°00.6	82°00.5	-0.1	10°27.8 S	10°27.8 S				12	265°58.8	265°58.8		8°24.1 S	8°24.1 S	
2	15	0	277°42.5	277°42.5		10°35.2 S	10°35.2 S		8	15	0	101°42.5	101°42.5		8°40.8 S	8°40.8 S	
		12	98°11.5	98°11.4	-0.1	10°35.3 S	10°35.3 S				12	282°10.7	282°10.7		8°41.4 S	8°41.4 S	
		0	291°22.9	291°22.9		10°34.0 S	10°34.0 S				0	114°45.2	114°45.1	-0.1	9°01.2 S	9°01.2 S	
		12	111°52.6	111°52.5	-0.1	10°33.9 S	10°33.9 S				12	285°12.8	285°12.8		9°02.0 S	9°02.0 S	
3	15	0	305°22.9	305°22.9		10°26.2 S	10°26.2 S		9	12	0	130°15.9	130°15.8	-0.1	9°32.4 S	9°32.4 S	
		12	125°53.3	125°53.2	-0.1	10°25.8 S	10°25.8 S				12	310°42.9	310°42.9		9°33.4 S	9°33.4 S	
		0	319°41.2	319°41.1	-0.1	10°12.5 S	10°12.5 S				0	142°48.8	142°48.7	-0.1	10°02.1 S	10°02.1 S	
		12	140°12.1	140°12.1		10°11.9 S	10°11.9 S				12	323°15.4	323°15.4		10°03.2 S	10°03.3 S	+0.1
4	15	0	337°23.2	337°23.2		9°49.8 S	9°49.7 S	-0.1	10	15	0	156°57.5	156°57.4	-0.1	10°39.0 S	10°39.0 S	
		12	157°54.7	157°54.6	-0.1	9°49.0 S	9°49.0 S				12	337°23.9	337°23.9	-0.1	10°40.2 S	10°40.2 S	
		0	352°08.5	352°08.5		9°28.1 S	9°28.1 S				0	169°12.8	169°12.7	-0.1	11°12.5 S	11°12.5 S	
		12	172°40.3	172°40.2	-0.1	9°27.3 S	9°27.3 S				12	349°38.9	349°38.9		11°13.7 S	11°13.7 S	
5	15	0	9°04.0	9°04.0		9°03.2 S	9°03.2 S		11	12	0	184°00.5	184°00.5		11°53.1 S	11°53.1 S	
		12	189°35.7	189°35.7		9°02.5 S	9°02.5 S				12	4°26.6	4°26.5	-0.1	11°54.2 S	11°54.2 S	
		0	23°48.9	23°48.8	-0.1	8°43.7 S	8°43.7 S				0	196°10.9	196°10.8	-0.1	12°25.2 S	12°25.1 S	-0.1
		12	204°20.3	204°20.3		8°43.1 S	8°43.1 S				12	16°37.0	16°36.9	-0.1	12°26.3 S	12°26.2 S	-0.1
6	15	0	41°30.4	41°30.3	-0.1	8°26.0 S	8°26.0 S		12	15	0	210°08.8	210°08.8		12°59.0 S	12°59.0 S	
		12	222°01.3	222°01.2	-0.1	8°25.6 S	8°25.6 S				12	30°35.1	30°35.1		13°00.0 S	13°00.0 S	
		0	55°48.8	55°48.8		8°17.9 S	8°17.9 S				0	222°28.5	222°28.5		13°25.1 S	13°25.1 S	
		12	236°19.2	236°19.1	-0.1	8°17.8 S	8°17.8 S				12	42°55.1	42°55.0	-0.1	13°25.9 S	13°25.9 S	

4. 天測位置의 決定

天測位置線은 推測位置 또는 假定位置에 對한 高度와 方位에 依하여 決定되는데 位置線의 精度를 높이기 위해서는 推測位置에 對하여 計算할 必要가 있다. 觀測時刻  $t_k$ 에 있어서 推測位置의 緯度, 經度를 各各  $\varphi_k, \lambda_k$ 라 하고 이에 對한 高度差  $a_k$  및 方位  $\theta_k$ 가 算出되었다면 그에 對應하는 漸長圖에서의 位置線은 第1圖와 같이 表現된다.

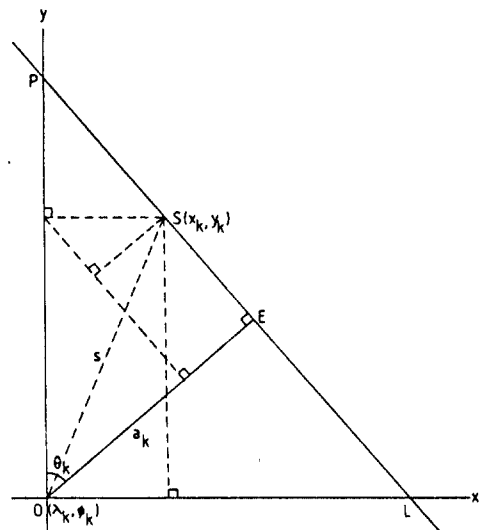
여기에서 位置線 PL이 正確하면 眞位置 S는 PL에 存在하므로 眞位置 S와 推測位置 O사이의 經度差와 緯度差를 各各  $x_k, y_k$ 라하면 位置線의 方程式은 다음과 같다. 이 때  $x_k, y_k$ 는 各各 E, N 일때 +이고, 方位는 360°式으로 表現한다.

$$x_k \sin\theta_k \cos\varphi_k + y_k \cos\theta_k = a_k \dots\dots\dots (4.1)$$

그러나 測定된 高度差에는 誤差가 包含되게 마련이므로 이 誤差를  $\zeta_k$ , 測定된 高度差를  $z_k$ 라고 하면,

$$x_k \sin\theta_k \cos\varphi_k + y_k \cos\theta_k + \zeta_k = z_k \dots (4.2)$$

가 成立한다.



第1圖 位置線의 方程式

(4.2)式中  $\zeta_k$ 는 一般的으로 그 크기나 符號를 알 수 없으므로 두 줄 以上의 位置線들의 交點을 船位로 決定하는 경우 最近似位置를 定하는 問題는

오랜 課題로 되어 왔다. 이와 關聯하여 DeWIT<sup>6)</sup>의 最尤推定法, MORRISON<sup>7)</sup>의 最小自乘法, 著者が 提示한 Kalman Filter를 適用한 最適位置推定法<sup>8)</sup> 등이 活用될 수 있을 것으로 생각된다.

$\zeta_k$ 의 處理方法은 本論文에서의 研究範圍를 벗어 나므로 2位置線에 依한 船位決定에만 局限하고 單純히 位置線의 方程式을 (4.1)式으로 取扱하기로 한다. 同時觀測인 경우 第1, 2次觀測에 依한 位置線들이 交叉하면 第1次 觀測時의 位置線은

$$x_k \sin\theta_1 \cos\varphi_k + y_k \cos\theta_1 = a_1 \dots\dots\dots (4.3)$$

第2次觀測時의 位置線은

$$x_k \sin\theta_2 \cos\varphi_k + y_k \cos\theta_2 = a_2 \dots\dots\dots (4.4)$$

로 表現된다. 第1次 및 第2次觀測時  $t_1, t_2$ (同時觀測時에는  $t_1 = t_2$ )에 對한 觀測天體들의 GHA( $g$ 로 표시), Dec( $\delta$ 로 표시)를 計算하고 다음 式에서 計算高度  $h_k$ 와 方位角  $\theta_k$ 를 구할 수 있다.

$$\sin h_k = \sin\varphi_k \sin\delta_k + \cos\varphi_k \cos\delta_k \cos(g_k + \lambda_k) \dots\dots\dots (4.5)$$

$$\sin \theta_k = \sin(g_k + \lambda_k) \cos \delta_k \sec h_k \dots (4.6)$$

한편 觀測한 天體의 Sextant 高度에 高度改正을 行하고 觀測高度를 구하여 (4.5)式으로 구한 計算高度와 比較하므로써 高度差  $a_k$ 를, (4.6)式으로 부터는 方位角  $\theta_k$ 를 算出한다.

이들  $a_k$  및  $\theta_k$ 를 各各 (4.3), (4.4)式에 代入하면 天測位置는  $x_k, y_k$ 에 關한 2元1次方程式의 解로 歸着된다.

隔時觀測인 경우에는 觀測時刻  $t_1$ 에서  $t_2$ 까지의 航程만큼 針路의 方向으로 第1位置線을 轉位하여 交點을 구해야 한다.

이 計算에는 中分緯度航法이나 漸長緯度航法을 適用할 수 있겠으나 漸長緯度航法을 適用하려면 漸長緯度의 計算까지 프로그램하여야 되는 번거로움이 있고, 一般的으로 轉位航程이 비교적 짧은 點을 考慮하면 中分緯度航法을 適用하는 것이 便利하리라 判斷된다.

船速을  $S$ 노트, 針路를  $C_n$ 이라하면  $t_1$ 에서  $t_2$ 까지의 航程은  $\frac{S}{60}(t_2 - t_1)$ 마일이므로 第1次 觀測時의 推測位置  $\varphi_1, \lambda_1$ 을  $C_n$ 의 方向으로  $\frac{S}{60}(t_2 - t_1)$ 마일 轉位한 경우의 變緯  $l$ , 變經  $DL_0$ 을 中分緯度航法으로 구한다. 단,  $t_2 - t_1$ 는 分단위임.

第1位置線을 第2觀測時까지 轉位한 位置線의 方

程式은 다음과 같이 된다.

$$(x_k - DL_0) \sin \theta_1 \cos \varphi_2 + (y_k - l) \cos \theta_1 = a_1 \dots\dots\dots (4.7)$$

그러므로 이 경우의 船位는 (4.4)式 및 (4.7)式을 풀면 된다.

## 5. 結 論

航海用天體들 가운데 比較的 誤差가 클 것으로 豫想되는 달과 惑星의 座標를 略算式으로 計算하여 天測曆에서 求한 것과 比較 檢討하였다. 原來 天測曆 自體에 誤差가 包含되어 있으므로 이것과의 比較만으로 計算值의 誤差의 크기를 判斷할 수는 없다. 그러나 이들 比較值의 誤差가 모든 天體에 對하여 GHA, Dec 모두 0.2 以下인 點과 天測曆을 使用하는 경우에는 中間時刻에 있어서는 時間當 GHA와 Dec의 增加量인  $v$ 와  $d$ 에 對한 改正을 하여야 하고 그로 因하여 誤差가 생기는 點等을 考慮에 넣는다면 0.2程度의 差異가 實用上에 問題가 되지 않는다는 것은 明白하다.

本論文에서 提示한 船位計算法은 同時觀測과 隔時觀測을 莫論하고 그 位置線에 依하여 船位의 緯度와 經度を 計算하는 方法이다. 다만 여기에서는 2位置線에 限定하였고 3位置線의 경우에 最確位置決定法까지는 다루지 못한 아쉬움이 있다.

## 參 考 文 獻

- 1) 尹汝政 : 天測計算의 電算化에 關한 研究(I), 韓國航海學會誌 第8卷, 第2號, 1984, pp.1-13.
- 2) 尹汝政 : 天測計算의 電算化에 關한 研究(II), 韓國航海學會誌 第9卷, 第2號, 1985, pp.1-12.
- 3) 日本海上保安廳水路部編, 天測曆, 1980.
- 4) 大韓民國水路局 : 天測曆, 1983.
- 5) 日本海上保安廳水路部編, 天測曆, 1978.
- 6) C. DeWIT : Optimal Estimation of a Multistar Fix, Journal of The Institute of Navigation, Vol. 21, No. 4, 1974~1975.
- 7) G. D. MORRISON : Most Probable Fix Position Reduction, Journal of The Institute of Navigation, Vol. 28, No. 1, 1981.
- 8) 尹汝政 : 實測船位의 精度改善에 關한 研究, 韓國航海學會誌 第6卷, 第2號, pp.1-12.



## 附 錄

## 1. 달

```

double precision aa(70,3),bb(70,3),v1(70,3),v2(70,3),
1x(3,3),y(3),z(3)
double precision rad,deg,w,zz,t1,t2,t,sum,r,alamda
1  ,beta,tk,tu,eps,alpa,dec,gst,ghaa,gha,p,q,sp,dem,tau
rad(p)=p/180.0d 00*3.14159265359d00
deg(q)=q*180.0d 00/3.14159265359d00
read(5,*) n,m
do 1 j=1,3
read(5,*)(v1(i,j),i=1,n)
1 continue
read(5,*)((aa(i,j),j=1,3),i=1,4)
do 2 j=1,3
read(5,*)(v2(i,j),i=1,m)
2 continue
read(5,*)((bb(i,j),j=1,3),i=1,5)
iyear=1983
minute=0
isec=0
write(6,300) iyear
300 format(2(/),15x,'year',i6/15x,'month',7x,'day',
16x,'hour',12x,'dec',12x,'gha'/)
do 51 month=1,12
w=(iyear-1900)/4.0
iy=1461*w
ix=(month+7)/10
ir=1-(w-idint(w))
is=0.44*(month+4.4)
do 50 iday=1,15,14
zz=iy+31*month+iday+(ix-1)*ir-ix*is-27424
do 50 ihou=1,13,12
ihour=ihou-1
t1=(float(ihour)/24.)+(minute/1440.)+(isec/86400.0)
t2=(zz+t1)/365.25d 00
t=t2+(0.0317d 00*t2+1.43d 00)*1.0d-06
c sp=0.9507d 00+0.0518d 00*dcos(rad(338.92d 00+4771.989d 00*t))
c 1 +0.0095d 00*dcos(rad(287.2d 00-4133.35d 00*t))
c 2 +0.0078d 00*dcos(rad(51.7d 00+8905.34d 00*t))
c sp=sp+0.0028d 00*dcos(rad(317.8d 00+9543.98d 00*t))
c 1 +0.0009d 00*dcos(rad(31.0d 00+13677.3d 00*t))
c 2 +0.0005d 00*dcos(rad(305.0d 00-8545.4d 00*t))
c sp=sp+0.0004d 00*dcos(rad(284.0d 00-3773.4d 00*t))
c 1 +0.0003d 00*dcos(rad(342.0d 00+4412.0d 00*t))
call lamda(aa,sum,t,4)
r=338.915d 00+4771.9886d 00*t
alamda=(124.8754d 00+4812.67881d 00*t)

```

```

1      +6.2887d 00*dsin(rad(r+sum))
      call lamda(v1,sum,t,n)
      alamda=alamda+sum
      call lamda(bb,sum,t,5)
      r=236.231d 00+4832.0202d 00*t
      beta=5.1282d 00*dsin(rad(r+sum))
      call lamda(v2,sum,t,m)
      beta=beta+sum
      alamda=rad(alamda)
      beta=rad(beta)
      y(1)=dcos(beta)*dcos(alamda)
      y(2)=dcos(beta)*dsin(alamda)
      y(3)=dsin(beta)
      eps=(23.44253d 00-0.00013d 00*t)+0.00256d 00*dcos(rad(249.0d 00-
1 19.3d 00*t))
1 +0.00015d 00*dcos(rad(198.0d 00+720.0d 00*t))
      eps=rad(eps)
      x(1,1)=1.0
      x(1,2)=0.0
      x(1,3)=0.0
      x(2,1)=0.0
      x(2,2)=dcos(eps)
      x(2,3)=-dsin(eps)
      x(3,1)=0.0
      x(3,2)=dsin(eps)
      x(3,3)=dcos(eps)
      do 10 i=1,3
      z(i)=0.
      do 10 j=1,3
10      z(i)=z(i)+x(i,j)*y(j)
      continue
      alpa=datan(z(2)/z(1))
      alpa=deg(alpa)
      if(z(2)/z(1).ge.0.0.and,z(1).lt.0.0) alpa=180.0+dabs(alpa)
      if(z(2)/z(1).lt.0.0.and,z(1).gt.0.0) alpa=360.0-dabs(alpa)
      if(z(2)/z(1).lt.0.0.and,z(1).lt.0.0) alpa=180.0-dabs(alpa)
      dec=datan(z(3)/dsqrt(1.0d 00-z(3)**2))
      dec=deg(dec)
      gst=(99.0356d 00+360.00769d 00*t2)+360.0d 00*t1-0.0044d 00*dsin
1 (rad(248.64d 00 -19.34d 00*t2))-0.0003d 00*dsin(rad(198.0d 00+
2 720.0d 00*t2))
c      gst=99.0356d 00+360.00769d 00*t2+360.0d 00*t1+0.0044d 00*dsin
c 1 (rad(68.64d 00-19.34d 00*t2))+0.0003d 00*dsin(rad(18.0d 00+
c 2 720.0d 00*t2))
      ie=gst/360.0d 00
      gst=gst-dfloat(ie)*360.0d 00
      ghaa=gst
      if(ghaa-alpa) 70,60,60

```

```

60  gha=ghaa-alpa
    go to 80
70  gha=ghaa-alpa+360.0d 00
80  continue
    ll=dec
    dec=dabs((dec-dfloat(ll))*60.0d 00)
    nn=gha
    gha=dabs((gha-dfloat(nn))*60.0d 00)
    write(6,301) month,iday,ihour,ll,dec,nn,gha
301 format(10x,3i10,2(i9,1x,f5.2))
50  continue
    write(6,*)
51  continue
    stop
    end

subroutine lamda(x,sum,t,n)
double precision x(70,3),sum,t,w
sum=0.0
do 10 i=1,n
w=x(i,2)+x(i,3)*t
w=w/180.0d 00*3.141592653590d 00
sum=sum+x(i,1)*dsin(w)
10  continue
return
end

```

## 2. 惑星

```

integer*4 iyear
common v1(50,3),v11(50,3),v2(50,3),v22(50,3)
dimension x(3,3),y(3),z(3)
character aname*8
rad(p)=p/180.0*3.14159265359d00
deg(q)=q*180.0/3.14159265359d00
read(5,*) id,n,m,c,aname
do 1 j=1,3
read(5,*) (v1(i,j),i=1,n)
1  continue
do 2 j=1,3
read(5,*) (v11(i,j),i=1,m)
2  continue
if(id.eq.1) go to 6
3  read(5,*) id,n,m,c,aname
    if(id.eq.0) stop
    do 4 j=1,3
read(5,*) (v2(i,j),i=1,n)

```

```

4      continue
      do 5 j=1,3
      read(5,*) (v22(i,j),i=1,m)
5      continue
6      continue
      iyear=1983
      minute=0
      isec=0
      write(6,300) aname,iyear
300    format(1h1,///,25x,a8,16x,'year',i6/15x,'month',7x,'day',
1      6x,'hour',12x,'gha',12x,'dec'//)
      do 51 month=1,12
      w=(iyear-1900)/4.0
      iy=1461*w
      ix=(month+7)/10
      ir=1-(w-ifix(w))
      is=0.44*(month+4.4)
      do 50 iday=1,15,14
      zz=iy+31*month+iday+(ix-1)*ir-ix*is-27424
      do 50 ihou=1,13,12
      ihour=ihou-1
      t1=(float(ihour)/24.0)+(minute/1440.)+(isec/86400.)
      t2=(zz+t1)/365.25
      t=t2+(0.0317*t2+1.43)*1.0e-06
      call place(id,n,m,c,alamda,beta,eps,t)
      if(id.ne.1) go to 7
      y(1)=cos(alamda)
      y(2)=sin(alamda)
      y(3)=0.0
      go to 8
7      continue
      y(1)=cos(beta)*cos(alamda)
      y(2)=cos(beta)*sin(alamda)
      y(3)=sin(beta)
8      continue
      x(1,1)=1.0
      x(1,2)=0.0
      x(1,3)=0.0
      x(2,1)=0.0
      x(2,2)=cos(eps)
      x(2,3)=-sin(eps)
      x(3,1)=0.0
      x(3,2)=sin(eps)
      x(3,3)=cos(eps)
      do 10 i=1,3
      z(i)=0.
      do 10 j=1,3
      z(i)=z(i)+x(i,j)*y(j)

```

```

10      continue
        alpa=atan(z(2)/z(1))
        alpa=deg(alpa)
        if(z(2)/z(1).ge.0.0.and.z(1).lt.0.0) alpa=180.0+abs(alpa)
        if(z(2)/z(1).lt.0.0.and.z(1).gt.0.0) alpa=360.0-abs(alpa)
        if(z(2)/z(1).lt.0.0.and.z(1).lt.0.0) alpa=180.0-abs(alpa)
        if(id.ne.1) go to 20
        dec=deg(beta)
        go to 30
20      dec=deg(atan(z(3)/sqrt(1.0-z(3)*z(3))))
30      continue
        gst=99.0356+360.00769*t2+360.*t1+0.0044*sin(rad(
1      68.64-19.34*t2))
2      +0.0003*sin(rad(18.0+720.0*t2))
        ie=gst/360.
        gst=gst-float(ie)*360.
        ghaa=gst
        if(ghaa-alpa) 70,60,60
60      gha=ghaa-alpa
        go to 80
70      gha=ghaa-alpa+360.0
80      continue
        ll=dec
        dec=abs((dec-ll)*60.0)
        nn=gha
        gha=abs((gha-nn)*60.0)
        write(6,301) month,iday,ihour,nn,gha,ll,dec
301     format(10x,3i10,2(i9,1x,f5.2))
50      continue
        write(6,302)
302     format(1h )
51      continue
        go to 3
        stop
        end

subroutine place(id,n,m,c,hlamda,beta,eps,t)
common v1(50,3),v11(50,3),v2(50,3),v22(50,3)
rad(p)=p/180.0*3.14159265359d00
deg(q)=q*180.0/3.14159265359d00

c      sun
        r=356.531+359.991*t
        alamda=(279.0358+360.00769*t)+(1.9159-0.00005*t)*sin(rad(r))
        call lamda(v1,sum,t,18)
        alamda=alamda+sum
        slamda=rad(alamda+0.0057)
        hlamda=rad(alamda)

```

```

r=356.53+359.991*t
q=(-0.007261+0.0000002*t)*cos(rad(r))+0.00003
call rsq(v11,sum,t,4)
q=q+sum
rs=10.0
rs=rs**q
eps=23.44253-0.00013*t+0.00256*cos(rad(249.0-19.3*t))
1 +0.00015*cos(rad(198.0+720.0*t))
eps=rad(eps)
beta=sin(hlamda)*sin(eps)
go to (60,10,20,30,40),id

```

```

c      venus
10     continue
      x1=178.954+585.178*t
      hlam1=(0.7775-0.00005*t)*sin(rad(x1))
      call lamda(v2,sum,t,n)
      hlam1=hlam1+sum
      x1=107.44+1170.37*t+2.0*hlam1
      x2=248.6-19.34*t
      x3=198.0+720.0*t
      hlam0=(310.1735+585.19212*t)-0.0503*sin(rad(x1))
1     -0.0048*sin(rad(x2))-0.0004*sin(rad(x3))
      hlamda=rad(hlam0+hlam1)
      bv=0.05922*sin(rad(233.72+585.183*t+hlam1))
      bv=atan(bv/sqrt(1.0-bv*bv))
      bv=deg(bv)
      x1=-0.002947+0.00000021*t
      x2=178.954+585.178*t
      q=x1*cos(rad(x2))-0.140658
      call rsq(v22,sum,t,m)
      q=q+sum
      rv=10.0**q
      go to 50

```

```

c      mars
20     continue
      x1=273.768+191.399*t
      hlam1=(10.6886+0.0001*t)*sin(rad(x1))
      call lamda(v2,sum,t,n)
      hlam1=hlam1+sum
      x1=40.01+382.819*t+2.0*hlam1
      x2=248.6-19.34*t
      x3=198.0+720.0*t
      hlam0=(249.3542+191.41696*t)-0.0149*sin(rad(x1))
1     -0.0048*sin(rad(x2))-0.0004*sin(rad(x3))
      hlamda=rad(hlam0+hlam1)
      bv=0.03227*sin(rad(200.0+191.409*t+hlam1))

```

```

bv=atan(bv/sqrt(1.0-bv*bv))
bv=deg(bv)
x1=-(0.040421+0.00000039*t)
x2=273.768+191.399*t
q=x1*cos(rad(x2))+0.183844
call rsq(v22,sum,t,m)
q=q+sum
rv=10.0**q
go to 50

c      jupiter
30     continue
      x1=341.5208+30.34907*t
      x2=245.94-30.349*t
      x3=162.78+0.38*t
      an=x1+(0.035+0.00028*t)*sin(rad(x2))+0.0004
1      -(0.0019+0.00002*t)*sin(rad(x3))
      call lamda(v2,sum,t,n)
      an=an+sum
      ff=an+5.528*sin(rad(an))+0.1666*sin(rad(2.0*an))
1      +0.007*sin(rad(3.0*an))+0.0003*sin(rad(4.0*an))
      hlam0=0.0075*sin(rad(2.0*ff+5.94))
      hlamda=ff+hlam0+13.6526+0.01396*t
      hlamda=rad(hlamda)
      x1=0.022889*sin(rad(ff+272.975))
      bv=atan(x1/sqrt(1.0-x1*x1))
      bv=deg(bv)
      x1=ff+35.52
      x2=291.9-29.94*t
      x3=196.0-24.0*t
      bv=bv+(0.0128+0.0001*t)*sin(rad(x1))
1      +0.001*sin(rad(x2))+0.0003*sin(rad(x3))
      x1=245.93-30.349*t
      q=(0.000132+0.0000011*t)*cos(rad(x1))
      call rsq(v22,sum,t,m)
      q=q+sum
      rv=10.0**q
      rv=rv*5.190688/(1.0+0.048254*cos(rad(ff)))
c      rv=f(rv)
      go to 50

c      saturn
40     continue
      x1=250.29+12.221*t
      x2=265.8-11.81*t
      x3=162.7+0.38*t
      x4=262.0+24.44*t
      x1=(0.0934+0.00075*t)*sin(rad(x1))

```

```

x2=(0.0057+0.00005*t)*sin(rad(x2))
x3=(0.0049+0.00004*t)*sin(rad(x3))
x4=(0.0019+0.00002*t)*sin(rad(x4))
an=(12.3042+12.22117*t)+x1+x2+x3+x4
call lamda(v2,sum,t,n)
an=an+sum
ff=an+6.4215*sin(rad(an))+0.2248*sin(rad(2.0*an))
1 +0.0109*sin(rad(3.0*an))+0.0006*sin(rad(4.0*an))
hlam0=0.0272*sin(rad(2.0*ff+135.53))
hlamda=ff+hlam0+91.856+0.01396*t
hlamda=rad(hlamda)
x1=0.043519*sin(rad(ff+337.763))
bv=atan(x1/sqrt(1.0-x1*x1))
bv=deg(bv)
x1=ff+77.06
x2=3.9-11.81*t
x3=269.0-5.9*t
x4=135.0-30.3*t
bv=bv+(0.0286+0.00023*t)*sin(rad(x1))+0.0024*sin(rad(x2))+
1 0.0008*sin(rad(x3))+0.0005*sin(rad(x4))
x1=70.28+12.2*t
x2=265.8-11.81*t
q=(0.000354+0.0000028*t)*cos(rad(x1))+0.000183+
1 (0.000021+0.0000002*t)*cos(rad(x2))
call rsq(v22,sum,t,m)
q=q+sum
rv=10.0**q
rv=rv*9.508863/(1.0+0.056061*cos(rad(ff)))
c rv=f(rv)
50 continue
ac=rv*cos(rad(bv))*cos(hlamda)+rs*cos(slamda)
bc=rv*cos(rad(bv))*sin(hlamda)+rs*sin(slamda)
cc=rv*sin(rad(bv))
dep=sqrt(ac*ac+bc*bc+cc*cc)
dlamda=deg(atan(bc/ac))
if(bc/ac.ge.0.0.and.ac.lt.0.0) dlamda=180.0+abs(dlamda)
if(bc/ac.ge.0.0.and.ac.ge.0.0) dlamda=abs(dlamda)
if(bc/ac.lt.0.0.and.ac.ge.0.0) dlamda=360.0-abs(dlamda)
if(bc/ac.lt.0.0.and.ac.lt.0.0) dlamda=180.0-abs(dlamda)
dlamda=rad(dlamda)
delta=-0.0057/rs*cos(dlamda-slamda)-c/rv*cos(dlamda-hlamda)
hlamda=deg(dlamda)+delta
hlamda=rad(hlamda)
beta=cc/dep
60 continue
beta=atan(beta/sqrt(1.0-beta*beta))
return
end

```



```
subroutine lamda(x,sum,t,n)
dimension x(50,3)
sum=0.0
do 10 i=1,n
w=x(i,2)+x(i,3)*t
w=w/180.0*3.14159265359d00
sum=sum+x(i,1)*sin(w)
10 continue
return
end
subroutine rsq(x,sum,t,n)
dimension x(50,3)
sum=0.0
do 10 i=1,n
w=x(i,2)+x(i,3)*t
w=w/180.0*3.14159265359d 00
sum=sum+x(i,1)*cos(w)
10 continue
return
end
```