

天測計算의 電算化에 관한 研究(I)

尹 汝 政*

A Study on Computerization of the Sight Reduction(I)

Yoon Yeo-Jeong

〈 目 次 〉

Abstract

1. 序 論
2. 天文氣差
3. 視 差

4. 절보기 반지름
 5. 金星, 火星의 視差 및 位相差
 6. 結 論
- 參考文獻

Abstract

This paper concerns computerization of the altitude correction in the sight reduction process. To obtain observed altitude, the factors such as refraction, parallax, semidiameter, phase etc, are corrected to sextant altitude. The factors are the arguments into the nautical almanac table from which are extracted values to add to or subtract from the raw sight to obtain corrected value. If the altitude correction is to be done by sophisticated calculator, each factors must be formulated.

The author studies the formulation of above factors, and simply from the date and ephemeris time of the sighting calculate the values of the factors. The calculated values are compared with that from nautical almanac, and it is confirmed that the formulae are practically used.

記 號 說 明

A : 절보기 반지름 증가율
 A_c : 惑星의 地心黃道座標
 B : 惑星의 日心黃緯
 B_c : 惑星의 地心黃道座標
 C_c : 惑星의 地心黃道座標
 D : 天體間의 距離
 D_m : 달의 地心距離
 D_s : 太陽까지의 距離
 D_{e_s} : 惑星의 地心距離

D_{e_s} : 太陽의 地心距離
 ET : 曆表時
 F : 位相差
 HP : 水平視差
 h : 高度
 h : 惑星의 重心에서 절보기의 重心까지 距離
 (分單位)
 P : 視差
 P_m : 달의 視差

* 正會員, 韓國海洋大學

R_m : 平均氣差	δ : 赤緯
R_p : 惑星의 動徑	ε : 黃道傾斜角
r : 天體의 반지름	θ : 惑星과 太陽을 잇는 直線이 惑星의 垂直圈과 惑星의 重心에서 이루는 角
r_e : 地球의 반지름	A : 惑星의 日心黃經
r_m : 달의 반지름	λ : 光行差를 補正하지 않은 惑星의 地心黃經
r_p : 惑星의 반지름	λ' : 光行差를 補正한 惑星의 地心黃經
r_s : 太陽의 반지름	λ_e : 地球의 日心黃經
S : 地心 겉보기 반지름	λ_s : 太陽의 幾何學的 黃經
S' : 實視 겉보기 반지름	λ'_s : 太陽의 視黃經
S_m : 달의 地心 겉보기 반지름	ϕ : 地球中心에서 太陽과 惑星 사이에 이루는 角
S_p : 惑星의 겉보기 반지름	ϕ' : 太陽과 惑星의 黃經差
S_s : 太陽의 地心 겉보기 반지름	ψ : 位相角
z : 頂距	ω : 太陽中心에서 地球와 惑星 사이에 이루는 角
α : 赤經	ω' : 地球와 惑星의 日心黃經差
β : 惑星의 地心黃緯	

1. 序 論

傳統的인 船位決定法인 天測位置 決定法의 가장 큰 障害要因은 天測計算表에 依하여 計算高度와 方位를 算出하는 일과 位置記入圖에 位置線을 作圖하는 일이다. 特히 同時에 여러 개의 天體를 觀測하여 位置線의 要素를 計算할 때에는 位置線의 要素를 計算하는 데 時間이 많이 所要될 뿐만 아니라 各天體觀測時마다 假定位置가 다르게 되어 位置線의 作圖가 번거로운 作業이 된다.

最近 電子計算機가 普及되면서 船艙에서도 이를 利用하는 것이 普遍化되어가는 추세이고 오래 前부터 天測計算에 計算機를 活用하는 方法에 관한 研究¹⁾²⁾가 活潑히 進行되고 있으며 特別히 天測計算專用的 小型計算機들도 開發 市販되고 있다. 그러나 이 計算機들은 天測計算의 全課程을 電算化하는 段階까지 이르지 못하였거나 그 操作이 單純하지 않아 아직은 크게 人氣를 얻지 못하고 있는 實情이다.

從來에는 船艙에서 小型計算機의 利用이 適合한가에 對하여 論難이 있었으나 하아드웨어 및 소프트웨어의 改善과 더불어 이의 効用性을 認定하는 추세이다.

著者は 天測計算에 있어서 高度改正, 天體의 座標, 位置線의 要素인 高度差와 方位등 計算하는 天測計算의 全課程을 電算化하는 獨自的인 소프트웨어의 開發에 目標을 두고 그 第一 段階로 高度改正에 關한 問題들을 檢討하기로 한다.

高度改正을 電算處理하기 위해서는 먼저 高度改正要素들을 數式化할 必要가 있으므로 數式化에 問題가 있는 것들에 對하여 檢討한다.

2. 天文氣差

天文氣差는 一般的으로 다음 形式으로 表現된다.³⁾

$$R_m = A_1 \tan z - A_2 \tan^3 z + A_3 \tan^5 z - A_4 \tan^7 z + \dots \quad (2.1)$$

(단, R_m : 平均氣差, z : 절보기 頂距)

(2.1) 式은 z 가 75° 以下이면

$$R_m = A_1 \tan z - A_2 \tan^3 z \dots \quad (2.2)$$

로 表現할 수 있으며 氣溫과 氣壓 등에 따라 決定되는 係數 A_1, A_2 는 Cassini 에 의하면 氣溫 10°C , 氣壓 1010mb 인 大氣狀態下에서 $A_1 = 58''.294, A_2 = 0''.067$ 이다. 故로

$$R_m = 58''.294 \tan z - 0''.067 \tan^3 z \dots \quad (2.3)$$

를 써서 平均氣差를 計算할 수 있다.

天測計算에 있어서 天文氣差는 0.1 單位까지 計算하므로 (2.3) 式은 大體로 $z < 80^\circ$ 에 對해서는 正確한 結果를 얻을 수 있고 特히 $z < 70^\circ$ 이면 第2項을 無視한 다음 式으로도 滿足스런 結果를 期待할 수 있다.⁵⁾

$$R_m = 58''.294 \tan z \dots \quad (2.4)$$

그러나 z 가 80° 를 넘으면 (2.3) 式으로 求한 天文氣差는 誤差가 커서 쓸모가 없게 된다.

一般的으로 z 가 큰 경우에는 觀測의 結果를 土臺로 作成된 氣差表를 利用하며 이러한 氣差表에는 여러 종류가 있으나 現在 우리들이 使用하고 있는 天測曆에 記載된 氣差表를 基準하여 이를 數式化하기로 한다.

氣差를 (2.1) 式으로 나타낼 경우 그 項數를 늘릴수록 精度가 높아지겠으나 z 가 90° 에 가까워짐에 따라 $\tan z$ 는 無限大에 가깝게 되어 計算에 어려움이 따른다. 그러므로 (2.1) 式 代身에

$$R_m = A_1 \tan z + A_2 \tan^3 z + A_3 \tan^5 z + A_4 \tan^7 z + A_5 \tan^9 z \dots \quad (2.5)$$

로 놓고 天測曆에서 採擇하고 있는 氣差를 實測值로 보고 最小自乘法으로 係數를 求하면 다음 式을 얻는다.

$$R_m = 1.026195 \tan z - 0.01389411 \tan^3 z - 0.00010108 \tan^5 z + 0.00000516 \tan^7 z - 0.00000004 \tan^9 z \dots \quad (2.6)$$

(2.6) 式으로 計算한 計算値는 $z = 80^\circ \sim 89^\circ$ 범위에서 標準偏差 0.05 으로 實測值와 一致하나 $z < 89^\circ$ 에서는 그 誤差가 현저히 크게 된다. 現在 使用되고 있는 計算機는 보통 10자리 程度의 數밖에 計算할 수 없는데 $z > 89^\circ$ 인 경우에는 $\tan z$ 의 값을 이보다 훨씬 많은 자리까지 計算하지 않으면 精度改善이 어렵다. 그러므로 氣差의 計算에 있어서는 現實의으로 z 에 限界를 두지 않을 수 없으며 89° 를 그 限界로 보는 것이 適當하다고 생각한다.

(2.6) 式으로 計算한 氣差는 (2.3) 式에 의한 것보다 현저히 改善되어 0.1 單位로 나타낸 結果는 $z < 89^\circ$ 범위에서는 實測值와 거의 一致함을 볼 수 있었는데 이들을 比較하면 第1表와 같다.

以上の 結果를 綜合컨대 (2.6) 式으로도 $z > 89^\circ$ 에서는 實用上 滿足할만한 結果를 期待할 수 없으므로 z 의 限界를 89° 로 定하고 $0^\circ \leq z \leq 80^\circ$ 에서는 (2.3) 式을, $80^\circ < z \leq 89^\circ$ 인 경우에는 (2.6) 式을 써서 天文氣差를 算出하도록 한다.

第1表 實測値와 計算値의 比較

z	實 測 値	計 算 値(2·6)式	計 算 値(2·3)式
89°	24'3	24'3	--154'3
88°	18'3	18'3	1'6
87°	14'4	14'4	10'8
86°	11'8	11'7	10'6
85°	9'9	9'8	9'4
84°	8'5	8'5	8'3
83°	7'4	7'4	7'3
82°	6'6	6'6	6'5
81°	5'9	5'9	5'9
80°	5'3	5'4	5'3

3. 視 差

水平視差를 HP , 高度를 h 라고 하면 視差 P 는

$$P = HP \cos h \dots\dots\dots(3\cdot1)$$

로 표현된다.

太陽의 平均赤道水平視差는 $8''.79$ 이나 現用 天測曆에서는 1911년에 採擇한 $8''.80$ 를 그대로 쓰고 있으며 이 값을 써도 精度上 問題가 없고 또 地球와 太陽間의 거리 變化에 따른 視差의 變化도 無視할 수 있다. 그러므로 (3·1)식의 HP 를 $8''.80$ 로 보고 計算한 P 를 改正하면 된다.

그러나 달에 있어서는 地球와 달의 거리에 따라 $53'54''$ 내지 $61'30''$ 까지 變化하므로 觀測時機에 따라 水平視差를 算出하여야 한다.

달의 水平視差 P_m 은 다음 式으로 略算할 수 있다.⁶⁾

$$\begin{aligned} \sin P_m = & \frac{\pi}{180} [0.9507 + 0.0518 \cos(338.92 + 4771.989 T) \\ & + 0.0095 \cos(287.2 - 4133.35 T) + 0.0078 \cos(51^\circ.7 + 8905^\circ.34 T) \\ & + 0.0028 \cos(317^\circ.8 + 9543^\circ.98 T) + 0.0009 \cos(31^\circ + 13677^\circ.3 T) \\ & + 0.0005 \cos(305^\circ - 8545^\circ.4 T) + 0.0004 \cos(284^\circ - 3773^\circ.4 T) \\ & + 0.0003 \cos(342^\circ + 4412^\circ.0T)] \dots\dots\dots(3\cdot2) \end{aligned}$$

(3·2)式中 T 는 曆表時(Ephemeris Time)로서 1975年 1月 0日 0時 ET로 부터의 經過時間을 365.25日을 單位로 表示한 것인데 1983年 每月 1日 및 15日 GMT 12^h에 對한 ET 및 (3·2)式으로 計算한 달의 水平視差와 天測曆에 記載되어 있는 달의 水平視差는 第2表와 같다.

第2表에 의하면 略算式인 (3·2)式으로 實用上 滿足한 結果를 얻을 수 있음을 알 수 있다.

第2表 略算式에 의한 달의 水平視差

世界時				曆表時	sin P _m	달의 水平視差(HP)	
年	月	日	GMT	75年 1月 0日 0時 ET基準		計算值	天測曆
83	1	1	12 ^h	8.004108460	0.017752165	61'03	61'0
		15	"	8.042438372	0.015710782	54'01	54'0
	2	1	"	8.088981836	0.017186427	59'09	59'1
		15	"	8.127311749	0.016038827	55'14	55'1
	3	1	"	8.165641661	0.017196659	59'12	59'2
		15	"	8.203971574	0.016212611	55'74	55'7
	4	1	"	8.250515039	0.016399515	56'38	56'4
		15	"	8.288844950	0.016878711	58'03	58'0
	5	1	"	8.332650565	0.015988861	54'97	55'0
		15	"	8.370980477	0.017333368	59'59	59'6
	6	1	"	8.417523942	0.015765132	54'20	54'2
		15	"	8.455853854	0.017430196	59'92	59'9
	7	1	"	8.499659468	0.015859130	54'52	54'5
		15	"	8.537989380	0.017190907	59'10	59'1
	8	1	"	8.584532845	0.016348880	56'21	56'2
		15	"	8.622862757	0.016495275	56'71	56'7
	9	1	"	8.669406222	0.017034857	58'56	58'6
		15	"	8.707736134	0.015930618	54'77	54'8
	10	1	"	8.751541748	0.017328126	59'57	59'6
		15	"	8.789371661	0.015775454	54'23	54'2
	11	1	"	8.836415126	0.017342452	59'62	59'6
		15	"	8.874745038	0.015907202	54'69	54'7
	12	1	"	8.918550652	0.016941967	58'24	58'2
		15	"	8.956880564	0.016247006	55'86	55'9

4. 겉보기 반지름

겉보기 반지름에 對한 改正은 太陽과 달을 觀測할 때에만 必要하다.

地球 L의 觀測者가 보는 實視 겉보기 반지름을 S', 地球中心에서 본 것으로 假想하였을 때의 地心 겉보기 반지름을 S 地球 및 太陽(또는 달)의 반지름을 各各 r, r'라고 하면 이들 사이에는 다음 관계가 성립한다.

$$S' = S + \frac{r}{r'} S^2 \sin h \sin 1' \dots\dots\dots (4.1)$$

(4.1)式에서

$$A = \frac{r}{r'} S^2 \sin h \sin 1' \dots \dots \dots (4.2)$$

이다 놓고 太陽이나 달까지의 地心距離를 D 라 하면 A 는 다음과 같이 표현된다.

$$A = \frac{r r'}{D^2} \sin h \csc 1' \dots \dots \dots (4.3)$$

(4.3)式으로 表示된 A 가 日보기 반지름 증가율이며 달을 관측할 때에만 改正할 값이다.

(1) 太陽의 겉보기 반지름

太陽의 地心距離를 D_{es} 라하면 이는 다음 式으로 計算할 수 있다.⁹⁾

$$D_{es} = 10^7 \left\{ \begin{aligned} & q = (-0.007261 + 0.0000002T) \cos(350^\circ.53 + 359^\circ.991T) \\ & + 0.000030 - 0.0000091 \cos(353^\circ.1 + 719^\circ.98T) \\ & + 0.000013 \cos(205^\circ.8 + 4452^\circ.67T) \\ & + 0.000007 \cos(62^\circ + 450^\circ.4T) \\ & + 0.000007 \cos(105^\circ + 329^\circ.6T) \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (4.4)$$

太陽의 實視 겉보기 반지름과 地心 겉보기 반지름은 같다고 보아도 되므로 太陽의 반지름을 r_s 라고 하면 地心 겉보기 반지름 S_s (분 단위)는 다음 式으로 計算할 수 있다.

$$S_s = 60' \sin^{-1} r_s / D_s \dots \dots \dots (4.5)$$

1AU를 149,500,000km, r_s 를 696,500km로 하고 1983年 每月 1日 및 15日 GMT 12^h에 對한 太陽의 地心距離, 겉보기 반지름의 計算值 및 天測曆에서 求한 값은 第3表와 같다.

第3表 略算式에 의한 太陽의 겉보기 반지름

世 界 時				曆 表 時		太陽의 겉보기 반지름	
年	月	日	GMT	(ET)	太陽의 地心距離(AU)	計算值	天測曆
83	1	1	12 ^h	8.004108460	0.983264643	16'29	16'3
		15	"	8.042438372	0.983667089	16'28	16'3
	2	1	"	8.088981836	0.985341222	16'25	16'3
		15	"	8.127311749	0.987637329	16'22	16'2
	3	1	"	8.165641661	0.990826959	16'16	16'2
		15	"	8.203971574	0.994515252	16'10	16'1
	4	1	"	8.250515039	0.999269081	16'03	16'0
		15	"	8.288844950	1.003320368	15'96	16'0
	5	1	"	8.332650565	1.007669691	15'89	15'9
		15	"	8.370980477	1.010939667	15'84	15'8
	6	1	"	8.417523942	1.014063500	15'79	15'8
		15	"	8.455853854	1.015824424	15'77	15'8

7	1	"	8.499659468	1.016690643	15'75	15'8
	15	"	8.537989380	1.016497819	15'76	15'8
8	1	"	8.584532845	1.014988102	15'78	15'8
	15	"	8.622862757	1.012821534	15'81	15'8
9	1	"	8.669406222	1.009223051	15'87	15'9
	15	"	8.707736134	1.005636593	15'93	15'9
10	1	"	8.751541748	1.001169351	16'00	16'0
	15	"	8.789871661	0.997126472	16'06	16'1
11	1	"	8.836415126	0.992493718	16'14	16'1
	15	"	8.874745038	0.989078484	16'19	16'2
12	1	"	8.918550652	0.986041239	16'24	16'2
	15	"	8.956880564	0.984187223	16'27	16'3

(주) 1. 1AU = 149,500,000km

2. 太陽의 반지름 = 696,500km

天測曆의 高度改正表에는 10月부터 3月까지는 16'15을, 4月부터 9月까지는 15'9을 平均値로 採擇하여 改正値로 包含시키고 있으므로 第3表에 보인 것과 같은 觀測기 반지름의 計算値를 觀測時마다에 對하여 改正하면 觀測高度의 精度는 向上된다.

(2) 달의 겉보기 반지름

달의 地心距離를 D_m , 地球의 赤道 반지름을 r_e 라고 하면 (3·2)式的 P_m 은 赤道水平視差로서

第4表 略算式으로 計算한 달의 겉보기 반지름

世界時				달의 겉보기 반지름		世界時				달의 겉보기 반지름	
年	月	日	GMT	計算值	天測曆	年	月	日	GMT	計算值	天測曆
83	1	1	12 ^h	16'63	16'6	83	7	1	"	14'90	14'9
		15	"	14'72	14'7			15	"	16'10	16'1
	2	1	"	16'10	16'1		8	1	"	15'31	15'3
		15	"	15'02	15'0			15	"	15'45	15'5
	3	1	"	16'11	16'1		9	1	"	15'96	16'0
		15	"	15'19	15'2			15	"	14'92	14'9
	4	1	"	15'36	15'4		10	1	"	16'23	16'2
		15	"	15'81	15'8			15	"	14'77	14'8
	5	1	"	14'98	15'0		11	1	"	16'25	16'2
		15	"	16'24	16'2			15	"	14'90	14'9
	6	1	"	14'77	14'8		12	1	"	15'87	15'9
		15	"	16'33	16'3			15	"	15'22	15'2

$$\sin P_m = r_e / D_m$$

이므로 달의 地心距離는 다음 式으로 求할 수 있다.

$$D_m = r_e \csc P_m \dots \dots \dots (4.6)$$

故로 달의 반지름을 r_m 이라면 달의 地心 겉보기 반지름 S_m (分單位) 은

$$S_m = 60' \sin^{-1}(r_m \sin P_m / r_e) \dots \dots \dots (4.7)$$

로 表示되고 겉보기 반지름 증가율 A 는 (4.6) 式과 (4.3) 式의 關係에서 다음 式으로 表示된다.

$$A = r_m \sin^2 P_m \sin h \csc 1' / r_e \dots \dots \dots (4.8)$$

第5表 달의 겉보기 반지름 증가율

世 界 時				달의 겉보기 반지름 증가율								
年	月	日	GMT	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
83	1	1	12 ^h	0'05	0'10	0'15	0'19	0'23	0'26	0'28	0'29	0'30
		15	"	0'04	0'08	0'12	0'15	0'18	0'20	0'22	0'23	0'23
	2	1	"	0'05	0'09	0'14	0'18	0'21	0'24	0'26	0'27	0'28
		15	"	0'04	0'08	0'12	0'15	0'18	0'21	0'23	0'24	0'24
	3	1	"	0'05	0'09	0'14	0'18	0'21	0'24	0'26	0'27	0'28
		15	"	0'04	0'08	0'12	0'16	0'19	0'21	0'23	0'24	0'25
	4	1	"	0'04	0'09	0'13	0'16	0'19	0'22	0'24	0'25	0'25
		15	"	0'05	0'09	0'13	0'17	0'20	0'23	0'25	0'26	0'27
	5	1	"	0'04	0'08	0'12	0'15	0'18	0'21	0'23	0'24	0'24
		15	"	0'05	0'10	0'14	0'18	0'22	0'24	0'26	0'28	0'28
	6	1	"	0'04	0'08	0'12	0'15	0'18	0'20	0'22	0'23	0'23
		15	"	0'05	0'10	0'14	0'18	0'22	0'25	0'27	0'28	0'28
	7	1	"	0'04	0'08	0'12	0'15	0'18	0'20	0'22	0'23	0'24
		15	"	0'05	0'09	0'14	0'18	0'21	0'24	0'26	0'27	0'28
	8	1	"	0'04	0'09	0'13	0'16	0'19	0'22	0'24	0'25	0'25
		15	"	0'04	0'09	0'13	0'16	0'20	0'22	0'24	0'25	0'25
	9	1	"	0'05	0'09	0'14	0'17	0'21	0'24	0'26	0'27	0'27
		15	"	0'04	0'08	0'12	0'15	0'18	0'21	0'22	0'23	0'24
	10	1	"	0'05	0'10	0'14	0'18	0'22	0'24	0'26	0'28	0'28
		15	"	0'04	0'08	0'12	0'15	0'18	0'20	0'22	0'23	0'23
	11	1	"	0'05	0'10	0'14	0'18	0'22	0'24	0'26	0'28	0'28
		15	"	0'04	0'08	0'12	0'15	0'18	0'21	0'22	0'23	0'24
	12	1	"	0'05	0'09	0'13	0'17	0'21	0'23	0'25	0'26	0'27
		15	"	0'04	0'08	0'12	0'16	0'19	0'21	0'23	0'24	0'25

地球의 赤道 半徑을 6,378,388km, 달의 半徑을 1,738km로 하여 (4.7)式으로 달의 地心 겹보기 半徑을 計算하면 第4表와 같고, 高度 10°마다에 對하여 (4.8)式으로 計算한 달의 겹보기 半徑 증가율은 第5表와 같다.

5. 金星, 火星의 視差 및 位相差

金星과 火星은 他惑星에 比하여 距離가 가까우므로 視差 및 位相差의 改正이 必要하다. 天測曆을 使用하는 경우 이들 두 改正値를 하나로 묶어서 追加改正値로 나타내고 있다.

(1) 視 差

視差는 (3.1)式으로 表現되며 HP 는 地心距離와 地球의 半徑에 의하여 決定된다.

지금 太陽의 幾何學的 黃經을 λ_s , 地心距離를 D_{es} 라 하고 惑星의 日心黃經을 A , 日心黃緯를 B , 動徑을 R_p 라고 하면 地心黃道座標系에 의한 惑星의 位置(A_c, B_c, C_c)는

$$\left. \begin{aligned} A_c &= R_p \cos B \cos A + D_{es} \cos \lambda_s \\ B_c &= R_p \cos B \sin A + D_{es} \sin \lambda_s \\ C_c &= R_p \sin B \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (5.1)$$

로 計算되며 地心으로부터 惑星까지의 距離를 D_{ep} 라하면

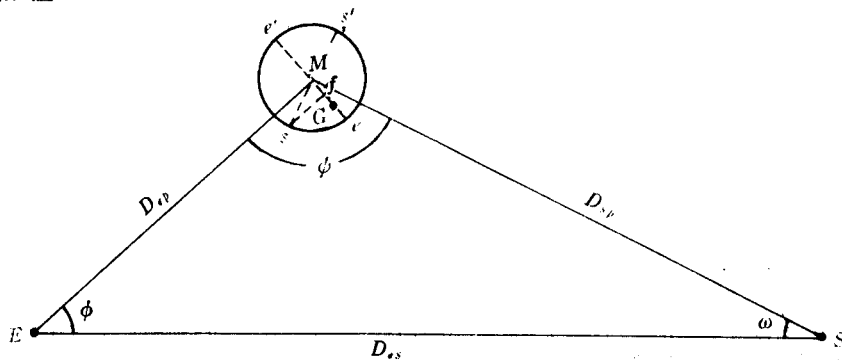
$$D_{ep} = \sqrt{A_c^2 + B_c^2 + C_c^2} \dots\dots\dots (5.2)$$

이 된다. 故로 惑星의 赤道水平視差는 地球 半徑 r_e 에 赤道 半徑 6,378km를 代入하여

$$\sin HP = \frac{6378}{D_{ep}} \dots\dots\dots (5.3)$$

에 의하여 구할 수 있다.

(2) 位 相 差



<第1圖>

第1圖에서 惑星의 重心 M 과 地球 E 및 太陽 S 의 各重心을 연결하는 直線이 惑星에서 이루는 角을 ϕ 라 하고 이 角을 位相角이라 부르기로 하면 地球에서 보는 惑星의 겹보기의 重心은 이 位相角에 따라 다르게 된다.

$EM \perp ee'$, $SM \perp ss'$ 되게 ee' , ss' 를 긋고 $sf \perp ee'$ 되게 f 를 잡으면 地球에서 보는 惑星의 重心位置는

eM 의 中點 G 이다. 惑星의 遠지점 반지름을 S_p , $GM=k$ 라 놓으면 S_p 와 k 는 다음과 같다.

$$S_p = \sin^{-1} r_p / D_{ep} \dots \dots \dots (5.4)$$

(단, r_p 는 惑星의 반지름)

$$k = \left(\frac{1 - \cos \phi}{2} \right) \cdot S_p \dots \dots \dots (5.5)$$

한편 位相角 ϕ 는 다음과 같이 구한다.

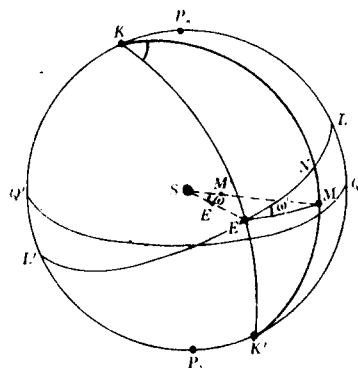
第2圖는 日心天球上에 地球 E 와 惑星 M 의 位置를 나타낸 것이며 地球와 惑星의 日心黃經을 各各 λ_e , λ_m 라 하고 그 差를 ω' 라 하면

$$\omega' = \lambda_m - \lambda_e, \lambda_e = \lambda_s \pm 180^\circ \text{이다.}$$

그런데 球面三角形 EMN 에서 $EN \perp MN$ 이고 MN 은 惑星의 日心黃緯 B 이므로 $EM = \omega$ 라면

$$\cos \omega = \cos \omega' \cos B \dots \dots \dots (5.6)$$

이다.



<第2圖>

第3圖는 地心天球上에 太陽 S 와 惑星 M 을 나타낸 것이며 太陽과 惑星의 黃經의 差를 ϕ' 라 하면 地球中心에서 太陽과 惑星 사이에 이루는 角 ϕ 는 다음과 같이하여 구할 수 있다.

球面三角形 MSX 에서 $SX \perp MX$ 이고 MX 는 地球에서 본 惑星의 黃緯이므로 이를 β 라하면

$$\cos \phi = \cos \phi' \cos \beta \dots \dots \dots (5.7)$$

故로 ϕ 는 (5.6), (5.7)式에서 ω 와 ϕ 를 구할 수 있으므로 다음과 같이 計算된다.

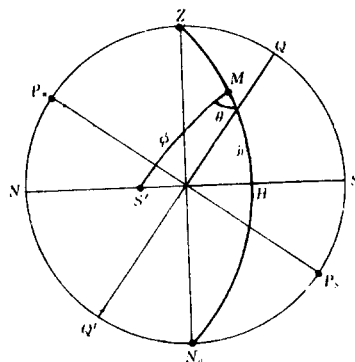
$$\phi = 180^\circ - (\omega + \phi) \dots \dots \dots (5.8)$$

位相差 F 는 惑星과 太陽을 잇는 直線이 惑星의 垂直圈으로 이루어지는 平面과 이루는 角을 θ 라 하면 다음과 같이 表現된다.

$$F = k \cos \theta \dots \dots \dots (5.9)$$

第4圖는 이 θ 를 子午線面圖에 表示한 것으로서 $S'M$ 은 惑星과 太陽을 잇는 直線을 天球上에 投影한 大圈이 되므로 第1圖의 ϕ 와 같고 MH 는 惑星의 高度이다.

θ 는 ϕ 가 一定하여도 太陽의 高度에 따라 變하지만 惑星觀測은 薄明中에 이루어지므로 그 概略值을 구하기 위하여 太陽의 高度를 0° 로 가정하면 直角



<第4圖>

球面三角形 $S'MH$ 에서 θ 는 다음 式으로 구할 수 있다.

$$\cos \theta = \tan k \cot \phi \dots\dots\dots(5.10)$$

(3) 計 算 例

앞에서의 方法에 따라 1983年 1月 1日과 9月 1日의 金星의 視差와 位相差를 구하기로 한다.

(가) 1月 1日 金星의 視差와 位相差

1月 1日 GMT 12^h에 對한 太陽의 視黃經 λ'_s , 幾何學의 黃經 λ_s , 地心距離 D_{es} , ET 는 各各 다음과 같이 計算된다.⁷⁾

$$\begin{aligned} ET &= 8.00410846 \\ \lambda'_s &= 280^\circ.499816 \\ \lambda_s &= \lambda'_s + 0^\circ.0057 = 280^\circ.505516 \\ D_{es} &= 0.983264643 \text{ AU} \end{aligned}$$

1月 1日 金星의 日心黃經 A , 日心黃緯 B 및 動徑 R_p 를 計算하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} A &= 314^\circ.022886 \\ B &= -2.864348 \\ R_p &= 0.728235758 \text{ AU} \end{aligned}$$

日心黃道座標를 地心黃道座標(A_c , B_c , C_c)로 變換하면

$$\begin{aligned} A_c &= 0.684731 \\ B_c &= 1.489776 \\ C_c &= -0.036391 \end{aligned}$$

故로 地心에서 Venus까지의 거리 D_{ep} 는

$$D_{ep} = \sqrt{A_c^2 + B_c^2 + C_c^2} = 1.640004 \text{ AU}$$

이다.

惑星의 光行差를 補正한 惑星의 地心黃經 λ' , 地心黃緯 β 및 黃道傾斜角 ϵ 은

$$\begin{aligned} \lambda' &= 294^\circ.672624 \\ \beta &= -1^\circ.271474 \\ \epsilon &= 23^\circ.441147 \end{aligned}$$

이므로 이들을 써서 金星의 赤經 α , 赤緯 δ 를 計算하면

$$\begin{aligned} \alpha &= 296^\circ.841766 \\ \delta &= -22^\circ.442698 \end{aligned}$$

로 된다.

以上으로 金星의 視差와 位相差를 計算하기 위한 준비가 完了되었다.

① 視差의 計算

$$\sin HP = \frac{r_e}{D_{ep}} = \frac{6378}{1.640004 \times 149500000} = 0.000026013477$$

$$\therefore HP = 0'.089428 = 5''.365665$$

② ω 의 計算

第 1 圖에서 ω' 는 다음과 같이 計算된다.

$$\begin{aligned} \lambda_e &= \lambda_s \pm 180^\circ = 280^\circ.505516 - 180^\circ \\ &= 100^\circ.505516 \\ \omega' &= A - \lambda_e = 314^\circ.022886 - 100^\circ.505516 \\ &= 213^\circ.517370 \\ \cos \omega &= \cos 213^\circ.517370 \cos (-2^\circ.864348) \\ &= -0.832676846 \end{aligned}$$

$$\therefore \omega = 146^\circ.374705$$

③ ϕ, ψ 의 計算

$$\begin{aligned} \phi' &= \lambda' - \lambda_s = 294^\circ.672624 - 280^\circ.505516 \\ &= 14^\circ.167108 \\ \cos \phi &= \cos 14^\circ.167108 \cos (-1^\circ.271474) \\ &= 0.969347284 \end{aligned}$$

$$\therefore \phi = 14^\circ.222887$$

$$\therefore \psi = 180^\circ - (\phi + \omega) = 19^\circ.402408$$

④ S_p 의 計算

$$\begin{aligned} \sin S_p &= \frac{r_p}{D_{ep}} = \frac{6096}{1.640004 \times 149500000} \\ &= 0.000024863305 \end{aligned}$$

$$\therefore S_p = 0'.085474 = 5''.128425$$

⑤ k 의 計算

$$\begin{aligned} k &= \left(\frac{1 - \cos \phi}{2} \right) S_p = \left(\frac{1 - \cos 19^\circ.402408}{2} \right) \\ &\quad \times 0'.085474 = 0'.002427 \end{aligned}$$

⑥ θ, F 의 計算

(5·10)式에 의하여 θ 와 F 를 計算하고 F 와 P 에 의하여 金星의 追加改正値(add'l corr.)을 구하면 第 6 表와 같다.

第 6 表 金星의 追加改正値(1983. 1. 1.)

h	θ	F	P	add'l corr.
0°	90°.00	0'.0000	0'.0894	0'.1
2°	82°.08	0'.0003	0'.0893	↑
4°	73°.99	0'.0007	0'.0892	↑
6°	65°.50	0'.0010	0'.0889	↑
8°	56°.33	0'.0013	0'.0885	↑
10°	45°.92	0'.0017	0'.0880	↑
12°	33°.01	0'.0020	0'.0874	↑
14°	10°.36	0'.0024	0'.0867	0'.1

(나) 9月 1日 金星의 視差와 位相差

以上の 方法으로 9月 1日 金星의 視差, 位相差 및 追加改正値를 구하면 第 7 表와 같이 된다.
(計算省略)

第7表 金星의 追加改正値(1983. 9. 1.)

h	θ	F	P	add'l corr
0°	90°.00	0.0000	0.4986	0.5
2°	82°.01	0.0643	0.4983	0.6
4°	73°.85	0.1287	0.4974	0.6
6°	65°.28	0.1934	0.4959	0.7
8°	56°.00	0.2586	0.4938	0.8
10°	45°.45	0.3245	0.4910	0.8
12°	32°.26	0.3911	0.4877	0.9
14°	7°.26	0.4588	0.4838	0.9

5. 結 論

本論文에서는 天測計算에 있어서 高度改正에 關하여 다루었는 바 眼高差와 같이 標準式이 確定되어 있는 것을 除外한 高度改正 要素들에 對하여 電算化에 따르는 問題點들을 解決하는 데 主眼點을 두었다.

이들 要素들 가운데 金星과 火星의 追加改正值인 視差와 位相差는 太陽의 座標와 惑星의 座標를 모두 決定한 然後에야 決定된다는 것을 알 수 있다.

이들 天體의 座標決定은 다음 機會에 檢討할 豫定이므로 本稿에서는 結果만을 引用하였다.

參 考 文 獻

1. S. Rigby : The Use of the HP-35 Calculator for Sight Reduction, Journal of The Institute of Navigation, Vol 21, No. 1, 1974.
2. S. Kotlaric : K-12 Method by Calculator : A Single Program for All Celestial Fix, Directly or by Position Lines, Journal of The Institute of Navigation, Vol. 28, No.1, 1981.
3. A. Bralove : Hand Held Calculators-An Evaluation of Their Use for Celestial Navigation, Journal of The Institute of Navigation, Vol. 25, No. 4, 1978-1979.
4. Ivan J. Mueller : Spherical and Practical Astronomy as Applied to Geodesy, Frederick Ungar Publishing Co., New York, 1969, pp. 103~109.
5. 酒井 進 : 天文航法, 海文堂, 1962, p. 25.
6. 長澤 工 : 天體의 位置計算, 地人書館, 1981, p. 204.
7. 前掲書, p. 206.
8. 前掲書, pp. 208~216.