

太陽의 方位角變化率

尹 汝 政

A Study on the Azimuth Change Rate of the Sun

Yoon Yeo- Jeong

〈目 次〉

- | | |
|------------------|--------------------|
| 1. 緒 論 | 3. 太陽의 方位角을 測定할 時機 |
| 2. 方位角變化의 最小인 時機 | 4. 結 論 |

Abstract

If we want to check the compass error correctly, it is necessary to observe a celestial body whose change rate of azimuth is slow.

The author studied the change rate of azimuth of the sun, especially in case that latitude is the same name as declination of the sun and is greater than declination.

Actually minimum azimuth change rate occurs between the time of rising or setting of the sun and the time on the prime vertical circle.

Assuming that the time of minimum azimuth change rate is an average between the time of rising or setting and the time on the prime vertical circle, the author computed the mean azimuth change rate for the time by means of using following formula:

$$4Z = \sin^{-1}\left(\frac{\sin l \cdot \cos d}{\cos h}\right) - \sin^{-1}\left(\frac{\sin t_m \cdot \cos d}{\cos h_m}\right)$$

As its change rate of azimuth is less than $0^{\circ}.22/\text{min}$, if latitude is under 60° , we can regard the average time as a suitable time for observing the sun.

1. 緒 論

天測에 의한 船位決定法은 電波를 利用한 方法으로 代替되어가고 있으나 方位角測定法은 人工衛星을 利用한 方法이 實驗段階에 있을 뿐이며 大洋에서 Compass 誤差를 測定하려면 天體를 利用하는 수밖에 다른 適當한 方法이 없다.

天體를 利用하여 Compass의 誤差를 測定하는 方法으로는 從來부터 出沒方位角法, 高度方位角法, 時辰方位角法, 北極星方位角法 등이 利用되어 왔음은 周知의 事實이다.

이 방법들중에서 出沒方位角法은 太陽의 出沒時에 限하여만 實施될 수 있고 北極星方位角法은 北半球의 中緯度地方에서나 利用할 수 있으며 高度方位角法은 一一히 對數計算을 行하여야 하는 등의 不便이 있다. 그러나 時辰方位角法은 理論上 觀測時機, 天體의 種類 등 어느 것에도 制約을 받지 않고 實施할 수 있는 唯一한 方法이다.

方位角法의 根本目的은 Compass의 誤差測定에 있기 때문에 觀測時機에 대한 天體方位角을 正確히 計算하는 것과 더불어 天體의 方位角을 正確히 測定할 수 있어야 된다.

이와 같은 觀點에서 볼 때 Compass의 誤差測定을 위한 方位角法의 實施時機는 可及的 天體의 方位角變化가 緩慢한 時機를 擇할 必要가 있다.

方位角의 變化가 가장 緩慢한 時機는 理論上 位置角이 90°인 때이나 이 時機는 觀測者의 緯度와 天體의 赤緯와의 關係에 따라 다르게 된다.

本稿는 特別히 太陽의 方位角變化가 가장 緩慢한 時機에 대하여 考察하므로써 時辰方位角法에 의하여 測定한 Compass 誤差의 精度向上에 寄與코자 한다.

2. 方位角變化가 最小인 時機

天體의 方位角變化率 $\frac{dZ}{dt}$ 는

$$\frac{dZ}{dt} = \frac{\cos d \cdot \cos X}{\cos d} \dots \dots \dots (2.1)$$

또는

$$\frac{dZ}{dt} = \frac{\sin Z \cdot \cos X}{\sin t} \dots \dots \dots (2.2)$$

로 주어지며 位置角 $X=90^\circ$ 인 경우에는 方位角變化率이 0이므로 理論上 $X=90^\circ$ 인 때에 方位角을 測定하는 것이 가장 精確하다고 할 수 있다.

그런데 緯度(L)와 赤緯(d)의 大小와 符號에 따라 方位角變化가 달라지므로 이들의 關係에 따라 分類하면

- ① L, d가 同名이고 $L > d$ 인 경우
- ② L, d가 同名이고 $L < d$ 인 경우
- ③ L, d가 異名인 경우

등 3가지 경우가 있다.

이들 중에서 ②의 경우에는 반드시 $X=90^\circ$ 인 경우가 존재하며 이 때의 方位角은

$$\sin Z = \cos d \cdot \sec L \dots \dots \dots (2.3)$$

이므로 天體의 方位角이 (2.3)식으로 구한 것과 같게 되는 때에 測定하거나, 位置角 $X=90^\circ$ 인 때의 子午線角은

$$\sin t = \tan L \cdot \tan d \dots \dots \dots (2.4)$$

이므로 天體의 子午線角이 (2.4)식으로 구한 것과 같게 되는 時刻에 觀測하면 된다.

③의 경우에는 $X=90^\circ$ 되는 時機가 없고 (2.1)식에 의하면 高度 $h=0^\circ$ 인 때 즉 天體의 出沒時에 方位角變化率이 最小이므로 이 때에는 出沒時에 觀測하면 된다.

④의 경우에는 $X=90^\circ$ 인 경우가 있으며 方位角變化가 最小인 時機를 간단히 計算할 수 없으므로 (2.1)식에

$$\cos X = \frac{\sin L - \sin d \cdot \sin h}{\cos d \cdot \cos h}$$

를 代入하여 얻은

$$\frac{dZ}{dt} = \frac{\sin d \cdot \sin h - \sin L}{\cos h} \dots\dots\dots(2.5)$$

에서 L, d 를 상수로 보고 우변을 h 에 관하여 微分하여 $\frac{dZ}{dt}$ 가 最小인 h 를 구하면

$$\sin h = \frac{\sin L - \sqrt{\sin^2 L - \sin^2 d}}{\sin d} \dots\dots\dots(2.6)$$

(단, $L > p$ 이면 $h \geq L - p$)

으로 된다. 그리고 (2.6)식에 의한 高度는 天體가 東西圈上에 있을 때의 高度보다 작으므로 方位角變化는 出沒時와 東西圈通過時의 사이에서 最小임을 알 수 있다.

3. 太陽의 方位角을 測定할 時機

緯度와 赤緯가 同名이고 緯度가 赤緯보다 큰 경우에는 出沒時와 東西圈通過時의 사이에서 方位角變化率이 最小이 밝혀졌으며 이 時機를 決定하자면 (2.6)식으로 高度 h 를 구한 다음 이를

$$\cos t = \frac{\sin h - \sin L \cdot \sin d}{\cos L \cdot \cos d} \dots\dots\dots(3.1)$$

에 代入하여 子午線角 t 를 구하고, 太陽의 子午線角이 위의 t 와 같게 되는 時刻를 구하면 된다.

그러나 이와 같은 方法으로 方位角變化率이 最小인 時機를 決定한다는 것은 번거로워 不適當하므로 實用上 觀測時機를 간단히 알아낼 수 있는 方法이 必要하다.

이 時機의 決定을 위하여 方位角變化率이 最小인 時機를 出沒時와 東西圈通過時의 中間으로 보고 이 때의 子午線角을 t_m 라 하면 이 때의 高度 h_m 은

$$\sin h_m = \sin L \cdot \sin d + \cos L \cdot \cos d \cdot \cos t_m \dots\dots\dots(3.2)$$

으로 구할 수 있다.

또 方位角變化率이 最小인 時機로부터 出沒時와 東西圈通過時의 中間時까지의 子午線角變化量을 Δt , 方位角變化量을 ΔZ 라면

$$\Delta t = (t_m - t) \times 4 \dots\dots\dots(3.3)$$

(단, Δt 는 時間의 分單位)

$$\Delta Z = \sin^{-1}\left(\frac{\sin t \cdot \cos d}{\cos h}\right) - \sin^{-1}\left(\frac{\sin t_m \cdot \cos d}{\cos h_m}\right) \dots\dots\dots(3.4)$$

(단, ΔZ 는 度單位)

로 표현되며 그 동안의 方位角平均變化率 $\frac{\Delta Z}{\Delta t}$ 를 緯度와 赤緯別로 계산하면 다음 第1表와 같다.

제1표 出沒時와 東西圈通過時의 中間에서의 方位角平均變化率

L d	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°	55°	60°
1°	.022	.043	.065	.085	.106	.125	.143	.161	.177	.191	.205	.216
2°	.021	.043	.064	.085	.105	.125	.143	.161	.177	.191	.205	.216
3°	.020	.042	.064	.085	.105	.125	.143	.160	.177	.191	.205	.216
4°	.017	.042	.064	.085	.105	.124	.143	.160	.176	.191	.204	.216
5°		.040	.063	.084	.105	.124	.143	.160	.176	.191	.204	.216
6°		.039	.062	.083	.104	.124	.142	.160	.176	.191	.204	.216
7°		.037	.061	.083	.103	.123	.142	.159	.175	.190	.204	.215
8°		.035	.060	.082	.103	.123	.141	.159	.175	.190	.203	.215
9°		.031	.058	.081	.102	.122	.141	.158	.175	.189	.203	.215
10°			.056	.080	.101	.121	.140	.158	.174	.189	.202	.214
11°			.054	.078	.100	.120	.139	.157	.173	.188	.202	.214
12°			.052	.077	.099	.119	.139	.156	.173	.188	.201	.213
13°			.048	.075	.098	.118	.138	.156	.172	.187	.201	.213
14°			.044	.073	.096	.117	.137	.155	.171	.187	.200	.212
15°				.071	.095	.116	.136	.154	.171	.186	.200	.212
16°				.068	.093	.115	.135	.153	.170	.185	.199	.211
17°				.065	.091	.113	.133	.152	.169	.184	.198	.210
18°				.061	.089	.112	.132	.151	.168	.183	.197	.210
19°				.056	.087	.110	.131	.150	.167	.182	.196	.209
20°					.084	.108	.129	.148	.166	.181	.195	.208
21°					.081	.106	.128	.147	.165	.180	.194	.207
22°					.078	.104	.126	.146	.163	.179	.193	.206
23°					.074	.102	.124	.144	.162	.178	.192	.205
24°					.068	.099	.122	.143	.161	.177	.191	.204

Δt 및 ΔZ 는 다같이 赤緯가 클수록 커지나 第1表에서 알 수 있는 바와 같이 方位角平均變化率은 오히려 赤緯가 작을수록 커지고 또 緯度가 높을수록 커지며 緯度 60°以下에서는 0°.22未滿이다.

方位角法에 있어서 Compass의 誤差測定은 實用上 0°.5未滿의 精密性이 要求되는데 위의 結果는 이보다 작으며 또 實際로 方位角測定에 所要되는 時間은 1分以內라는 것을 감안한다면 方位角測定時에 包含되는 誤差가 0°.22보다 작으리라는 것을 推定하기는 어렵지 않다.

그러므로 實用上은 出沒時와 東西圈通過時를 各各 求하여 그 中間時機를 方位角測定時機로 잡는 것이 便利할 뿐 아니라 精度를 높이는데 도움을 줄 것으로 생각된다.

이 때 出沒時는 天測器에 의하여 구할 수 있고 東西圈通過時는 航海表 第25表 “東西圈通過時의 子午線角과 高度表”에 의하여 간단히 구할 수 있다.

[例] 1980年 6月 1日 Lat 35°05'.5 N, Long 129°10'.0 E인 지점에서 午前中 太陽에 의한 時辰方位角法을 實施할 時機를 韓段標準時로 구하라.

[解]

Sunrise		Prime Vertical Passage	
35°N	0447	<i>t</i>	54°.9E
TI	0	LHA	305°.1
LMT	0447	λ	129°.2E
<i>d</i> λ	(+)23	GHA	175°.9
KST	0510	23 ^h	165°.6
<i>d</i>	22° N	41 ^m	10°.3
L	35°.1N	GMT	2341 May 31
	<i>t</i> 54°.9E		(--)9 (rev)
		KST	0841 June 1

$$\therefore \frac{1}{2}(0510 + 0841) = 06^h55^m$$

4. 結 論

(1) 太陽의 赤緯와 觀測者의 緯도가 同名이고 緯도가 赤緯보다 큰 경우의 方位角變化率은 午前에는 出沒時와 東西圈通過時의 中間時刻 以後에, 午後에는 出沒時와 東西圈通過時의 中間時刻 以前에 最小로 되며 그 사이의 時間 Δt 는 緯도와 赤緯의 關係에 따라 다르나 大體로 緯도와 赤緯의 差가 작을수록 커지는 傾向이 있으며 最大 60分 정도에 達하는 것을 알 수 있다.

(2) 方位角變化率이 最小인 時機는 (2·6)식에 의한 高度를 (3·1)식에 代入하여 *t*를 구하고 다음과 같은 순서로 船內使用時인 帶時(ZT)로 환산하여 利用할 수 있다.

$$\text{즉 } t \rightarrow \text{LHA} \pm \lambda \rightarrow \text{GHA} \rightarrow \text{GMT} \pm \text{ZD} \rightarrow \text{ZT}$$

(3) 方位角變化率이 最小인 時機로부터 出沒時와 東西圈通過時의 中間時刻까지 사이의 方位角變化率은 緯度 60°以內에서는 最大 0°.22를 넘지 않으므로 實用上은 出沒時와 東西圈通過時의 中間時機를 觀測時機로 選定하는 것이 便利하다.

(4) 以上の 結果는 太陽에 限하지 않고 緯도와 赤緯의 關係만 일치한다면 余他の 天體觀測에도 그 대로 適用될 수 있다.

參 考 文 獻

1. J. R. Albertine, An Azimuth Determination System Utilizing the Navy Navigation Satellites, *Navigational*, Vol. 21, No. 1, Spring 1974.
2. 上坂太郎, 天體方位의 變化率, 航海誌 第6號, 1957, pp. 33~35.
3. 岩永道臣·橋美幸雄, 天文航法(下卷), 成山堂, 1966.

