

# 天文航法の電算化에 關한 研究

辛永吉\*

Computer Application to Celestial Navigation System

*Young-Gil Shin*

## 目 次

ABSTRACT

記號說明

I. 序 論

II. MODULE 別 數值計算, 設計 및 試驗

A. 天體의 座標計算

B. 天體의 高度改正

C. 天測位置의 決定

III. 實驗 및 考察

A. 實 驗

B. 考 察

IV. 結 論

參 考 文 獻

## ABSTRACT

The computer can be used to display a continuously updated list or plot of vessel position. The computer that accept input data from a number of different navigation systems, .e.g., Loran, Satnav, Radar, Decca, Compass, Sextant with electrical output etc., can compute the position of a vessel relative to prerecorded objects.

The celestial navigation system requires the computer to do not much calculation. Calculations are for trigonometric, linear systems, finding roots of nonlinear equation and least square estimation etc.,.

In order to computerize the celestial navigation system, these calculations must be programmed.

The purpose of this thesis is to study the formulation, the design and the test of calculations of the coordinates of celestial bodies, the altitude correction and the solution of the navigational triangle processes.

\* 正會員, 木浦海洋專門大學

記 號 說 明

- A : 겉보기 반지름 증가율
- Clat : 黃緯(celestial latitude)
- Clng : 黃經(celestial longitude)
- Dec : 赤緯(declination)
- dk : k번째 觀測한 天體의 Dec
- Des : 太陽의 地心距離
- Dol : 變經
- Dm : 달의 地心距離
- E : 黃道傾斜角(obliquity of the ecliptic)
- GHA : Greenwich hour angle
- GHAk : k번째 觀測한 天體의 GHA
- Lm : 中分緯度
- P : 視差(parallax)
- Pm : 赤道水平視差
- RA : 赤經(right ascension)
- re : 지구의 반지름
- Rm : 氣差(refraction)
- rm : 달의 반지름
- rs : 太陽의 반지름
- SD : 地心겉보기반지름
- s' : 實視겉보기반지름
- SHA : 恒星時角(sidereal hour angle)
- GST : 春分時圈(hour circle of equinox)
- h : 天體의 高度
- hk : k번째 觀測한 天體의 高度
- HP : 水平視差(horizontal parallax)
- Jt : 관측일의 0시부터의 경과시간 (日單位)
- l : 變緯
- Sm : 달의 地心겉보기 반지름
- Ss : 太陽의 地心겉보기 반지름
- T : 曆表時(epemeris time)
- Tyr : 世界時로 表示한 經過時間(年單位)

- Z : 觀測者의 天頂(zenith)
- z : 天頂距離(zenith distance)

I. 序 論

전자계산기가 대중화되면서 선박에서도 이의 활용이 보편화되는 추세이고 나아가 항해, 기관, 통신 및 하역관리 등 선박의 각분야에의 전산화 및 자동화를 구축해 가고 있다. 선박의 운항체제중 항해분야를 보면 항해계획, 선위결정, 표시와 기록, 항로 유지 및 자동조선 등으로 나눌 수 있고, 또한 선위 결정시스템은 추측항법, 전파항법(Loran C, Decca 및 위성항법 등) 및 천문항법 등으로 구성될 수 있다. 이 중 천측계산에 계산기를 활용하는 방법에 대한 연구<sup>1)</sup>도 활발하며, 특별히 천측계산전용의 소형 계산기들도 개발 시판되고 있다. 하지만 이 계산기들은 그 조작이 불편하거나, 천측계산의 전과정을 전산화하지 못한 실정이므로 자동항법시스템 등에서 전파항법에 비해 소외되고 있다.

천측위치의 계산은 이론상으로는 位置圖의 교점으로 구한 위치가 가장 정확한 위치를 추정할 수 있지만 그 계산과 작도의 어려움 등의 이유로 高度差法(修正差法)<sup>2)</sup>으로 다음과 같은 과정으로 계산하고 있다.<sup>3)</sup>

- (1) 육분의(sextant)고도에 고도계정을 행하여 관측고도로 개정한다.
- (2) 관측시각에 대한 천체의 좌표를 결정한다.
- (3) 관측자의 동명극, 천체의 위치 및 관측자의 위치로 이루어진 항해삼각형<sup>4)</sup>을 풀어 계산고도와 방위등 위치선의 요소를 구한다.
- (4) 위치선을 결정하고 그 위치선의 교점을 선위로 결정한다.

상기과정은 통상 선박에서 행해지고 있는 과정이며, 천측계산의 전산화를 위한 대부분의 시스템이 이과정을 중심으로 하고 있다.

본 논문에서는 보다 정확한 결과를 얻기 위하여 상기(1)(2)과정과 위치권의 방정식을 풀어 그 교점으로 위치를 구하는 일련의 천측계산을 전산화하기 위하여 그에 따르는 문제점을 해결하는데 주안점을 두고 각 Module별로 분석, 설계 및 태양의 좌표와 고도개정을 중심으로 시험하였으며 또한 각 Module을 통합하여 실험하고 고찰하였다.

설계 방법은 좋은 품질과싼 값의 소프트웨어 시스템 생산의 목적을 가지고 구조적 기법중, 구조도, HIPO diagram 및 Warnier-Orr diagram등과 같이 총체적으로 표현할 수도 있고, 흐름도나 Nassi-Shnederman 도표처럼 세부사항도 표시할 수 있는 Action diagram<sup>(10)</sup>으로 하였다.

설계언어는 Pseudo C로 하였으며 식을 계산하는 경우는 식번호를 기입하여 간단히 하기도 하였고 계산이 복잡하거나 긴 식은 함수로 처리하였다.

## II. MODULE별 數值計算, 設計 및 試驗

### A. 天體의 座標計算

천체의 좌표가 천측력에는 세계시(G. M. T)로 각 정수시에 대하여 항성은 항성시각(sidereal hour angle : SHA) 및 적위(declination : DEC)로 기타의 천체는 본초시각(Greenich hour angle : GHA) 및 Dec 0'.1단 위까지 표시되어 있다. 이를 전산화하기 위

해서 위치계산 약산식<sup>(11)(12)</sup>을 이용하는 것이 적절하다.

### 1. 曆表時(epemeris time : T)의 計算

이 약산식에는 1975년 1월0일0시 T 이후의 경과시간을 365.25일 단위로 표시한 시각이 사용된다.

관측시간의 년, 월, 일 및 세계시로 표시한 시, 분, 초에 대하여

$$W = (\text{년} - 1900) / 4 \dots\dots\dots (2.1)$$

를 계산하여 W를 정수부(W)와 수소부 F로 구분한다. 즉,

$$W = (W) + F \dots\dots\dots (2.2)$$

를 구하고 다음 값들을 계산한다.

$$Y = [1461 W], X = ((\text{월} + 7) / 10).$$

$$R = [1 - F], S = [0.44(\text{월} + 4.4)] \dots\dots (2.3)$$

이것으로 관측일의 0시 까지의 경과일수 Z는

$$Z = Y + 31\text{월} + \text{일} + (X - 1)R - XS - 27424 \dots\dots\dots (2.4)$$

로 표시되고, 일(날수)의 끝수를 Jt로 표시하면

$$Jt = \text{시} / 24 + \text{분} / 1440 + \text{초} / 86400 \dots\dots (2.5)$$

로 되며 세계시로 표시한 경과시간은 년 단위로 나타내면

$$Tyr = (Z + Jt) / 365.25 \dots\dots\dots (2.6)$$

이고 이를 다시 曆表時(T)로 환산하면 다음과 같다.

$$T = 1yr + (0.0317 Tyr + 1.43)0.000001 \dots\dots\dots (2.7)$$

이상 설계한 것이 Fig. 2-1이다.

```

/* FUNCTION TIME */*****
input Time: G.M.T.(HH,min,sec);
Jt = HH/24 + min/1440 + sec/86400;
/* SUBFUNCTION TDay() *****
input Date:G.M.T. (MM,DD,YY)
W=(YY - 1900) / 4;
X=(int)((MM + 7) / 10);
S=(int)(0.44 (MM + 4.4));
R=(int)(1 - (W - (int)(W)));
Y=(int)(1461 W);
tday=YY + 31 MM + DD + (X -1) R - S X -27424;
output (tday)

Tday = tday + Jt;
Tyr = Tday / 365.25;
T = Tyr + 0.000001 (0.0317 Tyr + 1.43)
output (Tday,Jt,Tyr,T)
    
```

Fig.2-1 Function time

2. GHA 및 DEC의 計算

(2.7)식으로 표시된 T에 의하여 천체의 위치 계산약산식<sup>11)12)</sup>으로 천체의 겉보기 황경(celestial longitude)과 겉보기의 황위(celestial latitude)를 구할 수 있다.

한편 황도경사각(obliquity of the ecliptic)을 E라 하면  
 $E=23.44253-0.00013T+0.00256\cos(249-19.3T)$   
 $+0.00015\cos(198+720T)\dots\dots(2.8)$

으로 표시되므로 적경(right ascension : RA)과 적위는 다음과 같이 좌표변환 하면 된다.

황도좌표계에서 황경(Clng), 황위(Clat)로 표시되는 천체의 방향여현(direction cosines)(U, V, W)는 다음과 같이 표시된다.<sup>13)</sup>

$$\begin{aligned}
 U &= \cos Clat \cos Clng \\
 V &= \cos Clat \sin Clng \\
 W &= \sin Clat \dots\dots\dots(2.9)
 \end{aligned}$$

또, 적도좌표계에서 적경, 적위로 표시되는 천체의 방향여현(L, M, N)은  
 $L = \cos Dec \sin RA$

$$\begin{aligned}
 M &= \cos Dec \sin RA \\
 N &= \sin Dec \dots\dots\dots(2.10)
 \end{aligned}$$

이므로 황도경사각 E에 의하여 이들 좌표의 관계를 표시하면 다음과 같다.

$$\begin{pmatrix} L \\ M \\ N \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos E & -\sin E \\ 0 & \sin E & \cos E \end{pmatrix} \begin{pmatrix} U \\ V \\ W \end{pmatrix} \dots\dots(2.11)$$

(2.9), (2.10), (2.11)식에서

$$\begin{aligned}
 \tan RA &= M/L \\
 &= (\cos Clat \sin Clng \cos E + \sin Clat \sin E) / \cos Clat \cos Clng \dots\dots(2.12)
 \end{aligned}$$

이며, 직경의 상한은 다음과 같이 결정한다.

- (I)  $\tan RA > 0, \cos Clng > 0$ 이면 제1상한
- (II)  $\tan RA < 0, \cos Clng < 0$ 이면 제2상한
- (III)  $\tan RA > 0, \cos Clng < 0$ 이면 제3상한
- (IV)  $\tan RA < 0, \cos Clng > 0$ 이면 제4상한

$$\begin{aligned}
 \sin Dec &= V \sin E + W \cos E \\
 &= \cos Clat \sin Clng \sin E + \sin Clat \cos E \dots\dots\dots(2.13)
 \end{aligned}$$

단, 태양의 경우는

$$V = \sin C_{\text{lng}} \\ W = 0.0 \dots\dots\dots(2.9)$$

이므로 적경과 적위는 다음과 같다.

$$\tan RA = \sin C_{\text{lng}} \cos E / \cos C_{\text{lng}} \\ = \tan C_{\text{lng}} \cos E \dots\dots\dots(2.12)$$

$$\sin Dec = \sin Clat \dots\dots\dots(2.13)$$

여기서 춘분시권(hour circle of equinox)을 GST라 하면 천측력에는 천체의 좌표가 GHA로 표시되고 있으므로 적경을 다음식으로 환산한다.

$$GST = 99.0356 + 360.00769Tyr + 360Jt -$$

$$0.0044 \sin (248.64 - 19.34 Tyr) \\ - 0.0003 \sin (198 + 720Tyr) \dots\dots(2.14)$$

$$GHA = GST - RA \dots\dots\dots(2.15)$$

항해용항성의 좌표에 관하여는 그 약산식을 설계에서 상세하였다.

이상을 Action diagram으로 나타내면 Fig. 2-2과 같다.

Fig. 2-2를 코딩하여 1989년 매월1일 및 15일의 GMT 0시와 12시에 대한 GHA 및 Dec를 전자계산하여 얻은 계산치와 천측력<sup>14)</sup>에서 구한 것과의 비교하면 Table 2-1과 같다.

```

/** FUNCTION PLACE */*****
input ( T,Tyr, Tday, Jt, Star's Name or No.=SN)
if (SN==sun, moon or planets)
/** FUNCTION CELESTIAL PLACE */*****
switch(SN) {
case(sun):
    FUNCTION SUN PLACE (ET)
    (Clat, Clng)
case(moon):
    FUNCTION MOON PLACE ?(ET)
    ?
    ?(Clat, Clng)
case(planet):
    FUNCTION PLANET PLACE ?(ET)
    ?
    ?(Clat, Clng)
}

/* COMMON FUNCTION COORDINATE */*****
input (Tyr, Jt, Clat, Clng)
GST=.....(2.15)
E=.....(2.8)
if(SN==sun)
    RA=...(2.12), Dec=...(2.13)
else
    RA=...(2.12), Dec=...(2.13)
GHA = GST - RA;

else
/** FUNCTION STAR PLACE */*****
switch(SN) {
case 01(Alpheratz): Esha=?; su=?; Edec=?; v2=?; break;
case 56(Fomalhaut): Esha=?; su=?; Edec=?; v2=?; break;
case 57(Markab) : Esha=?; su=?; Edec=?; v2=?;
}

av=-0.00191sin(249-19.3Tyr)-0.00014sin(201+720Tyr);
bv=-0.00256cos(249-19.3Tyr)-0.00015cos(201+720Tyr);
cv=-0.00522cos(279+360 Tyr+1.9 sin 360 Tyr);
dv=-0.00569cos(279+360 Tyr+1.9 sin 360 Tyr);
am=Esha + sv Tyr; dm=Edec + v2 Tyr;
cl=cos am /cos dm; ck=-sin am sin dm + 0.424 cos dm;
SHA=am+cv sin am tan dm+bu cos am tan dm+cv cl+dv sin am /cos dm
Dec=dm + av cos am - bv sin am +cv ck +dv cos am sin dm;
GST=.....(2.15)
GHA=SHA + GST;

output (GHA, Dec)

```

Fig.2-2 Function place

Table 2-1 GHA and Dec of the sun in 1989

Mon	Day	Hr.	Min	sec	GHA ( 계산치 )	GHA ( 천측력 )	ΔGHA	DEC ( 계산치 )	DEC ( 천측력 )	ΔDEC
1	1	00	00	00.00	179:09.0	179:08.8	+0.2	23:01.4 S	23:01.4	0.0
1	1	12	00	00.00	359:05.4	359:05.3	+0.1	22:58.9 S	22:58.9	0.0
1	15	00	00	00.00	177:40.2	177:40.1	+0.1	21:10.0 S	21:10.0	0.0
1	15	12	00	00.00	357:37.6	357:37.5	+0.1	21:04.5 S	21:04.5	0.0
2	1	00	00	00.00	176:36.7	176:36.6	+0.1	17:10.0 S	17:10.0	0.0
2	1	12	00	00.00	356:35.6	356:35.6	0.0	17:01.5 S	17:01.5	0.0
2	15	00	00	00.00	176:27.2	176:27.2	0.0	12:45.4 S	12:45.4	0.0
2	15	12	00	00.00	356:27.6	356:27.6	0.0	12:35.1 S	12:35.1	0.0
3	1	00	00	00.00	176:53.3	176:53.3	0.0	7:40.6 S	07:40.6	0.0
3	1	12	00	00.00	356:54.7	356:54.8	-0.1	7:29.2 S	07:29.2	0.0
3	15	00	00	00.00	177:43.8	177:43.9	-0.1	2:13.8 S	02:13.8	0.0
3	15	12	00	00.00	357:45.9	357:46.0	-0.1	2:02.0 S	02:02.0	0.0
4	1	00	00	00.00	178:59.9	179:00.1	-0.2	4:26.9 N	04:26.9	0.0
4	1	12	00	00.00	359:02.1	359:02.3	-0.2	4:38.4 N	04:38.5	-0.1
4	15	00	00	00.00	179:57.8	179:58.0	-0.2	9:40.9 N	09:40.9	0.0
4	15	12	00	00.00	359:59.7	359:59.8	-0.1	9:51.6 N	09:51.6	0.0
5	1	00	00	00.00	180:43.3	180:43.4	-0.1	15:00.3 N	15:00.3	0.0
5	1	12	00	00.00	000:44.2	000:44.	-0.1	15:09.4 N	15:09.4	0.0
5	15	00	00	00.00	180:55.6	180:55.6	0.0	18:48.7 N	18:48.7	0.0
5	15	12	00	00.00	000:55.5	000:55.6	-0.1	18:55.8 N	18:55.7	+0.1
6	1	00	00	00.00	180:34.7	180:34.7	0.0	22:01.4 N	22:01.4	0.0
6	1	12	00	00.00	000:33.5	000:33.5	0.0	22:05.5 N	22:05.5	0.0
6	15	00	00	00.00	179:55.2	179:55.2	0.0	23:18.1 N	23:18.1	0.0
6	15	12	00	00.00	359:53.7	359:53.6	+0.1	23:19.3 N	23:19.3	0.0
7	1	00	00	00.00	179:04.5	179:04.4	+0.1	23:07.6 N	23:07.6	0.0
7	1	12	00	00.00	359:03.0	359:02.9	+0.1	23:05.6 N	23:05.6	0.0
7	15	00	00	00.00	178:31.9	178:31.8	+0.1	21:33.9 N	21:33.9	0.0
7	15	12	00	00.00	358:31.1	358:31.1	0.0	21:29.2 N	21:29.2	0.0
8	1	00	00	00.00	178:25.3	178:25.3	0.0	18:04.8 N	18:04.8	0.0
8	1	12	00	00.00	358:25.8	358:25.7	+0.1	17:57.3 N	17:57.2	+0.1
8	15	00	00	00.00	178:51.9	178:51.9	0.0	14:07.7 N	14:07.7	0.0
8	15	12	00	00.00	358:53.4	358:53.4	0.0	13:58.3 N	13:58.3	0.0
9	1	00	00	00.00	179:58.1	179:58.2	-0.1	8:22.1 N	08:22.1	0.0
9	1	12	00	00.00	000:00.5	000:00.5	0.0	8:11.2 N	08:11.2	0.0
9	15	00	00	00.00	181:09.5	181:09.6	-0.1	3:07.3 N	03:07.2	+0.1
9	15	12	00	00.00	001:12.2	001:12.3	-0.1	2:55.7 N	02:55.7	0.0
10	1	00	00	00.00	182:32.8	182:32.9	-0.1	3:05.6 S	03:05.6	0.0
10	1	12	00	00.00	002:35.2	002:35.3	-0.1	3:17.2 S	03:17.3	-0.1
10	15	00	00	00.00	183:31.6	183:31.7	-0.1	8:25.6 S	08:25.6	0.0
10	15	12	00	00.00	003:33.3	003:33.4	-0.1	8:36.7 S	08:36.7	0.0
11	1	00	00	00.00	184:05.7	184:05.8	-0.1	14:21.2 S	14:21.2	0.0
11	1	12	00	00.00	004:05.9	004:05.9	0.0	14:30.8 S	14:30.8	0.0
11	15	00	00	00.00	183:51.9	183:52.0	-0.1	18:25.4 S	18:25.4	0.0
11	15	12	00	00.00	003:50.7	003:50.7	0.0	18:33.1 S	18:33.1	0.0
12	1	00	00	00.00	182:46.7	182:46.7	0.0	21:46.0 S	21:46.0	0.0
12	1	12	00	00.00	002:43.9	002:43.9	0.0	21:50.7 S	21:50.7	0.0
12	15	00	00	00.00	181:16.0	181:15.9	+0.1	23:15.4 S	23:15.4	0.0
12	15	12	00	00.00	001:12.4	001:12.3	+0.1	23:17.0 S	23:17.0	0.0

B. 天體의 高度改正

육분의 천체를 관측하여 얻은 육분의 고도(sextant altitude : Hs)를 진고도로 고치기 위해서는 육분의오차, 眼高差, 氣差, 視差, 겉보기반지름, 光滲差, 位相등의 개정을 실시하여야 한다.<sup>15)</sup>

1. 眼高差(dip of horizon : Dip)改正

안고차는 선박의 항해기간중 큰 변화가 없이 거의 일정하며, 기포육분의(bubble sextant)를 사용할 경우 이 개정은 필요가 없다.

안고차를 구하는 표준식은

$$\begin{aligned} \text{안고차 개정} &= -1.776 \sqrt{\text{안고(미터)}} \\ &= -0.98 \sqrt{\text{안고(피이트)}} \dots (2.16) \end{aligned}$$

이나 천측력에서는 다음 식에 의거하였다.

$$\begin{aligned} \text{안고차 개정} &= -1.76 \sqrt{\text{안고(미터)}} \\ &= -0.97 \sqrt{\text{안고(피이트)}} \dots (2.16) \end{aligned}$$

2. 視差(parallax : P)를 HP, 고도를 h라고 하면 시차P는

$$P = HP \cos h \dots (2.17)$$

로 표현된다.<sup>16)</sup>

태양의 평균적도수평시차는 8."79이나 현용 천측력에서는 1911년에 채택한 8."80를 그대로 쓰고 있으며 이 값을 써도 정확도상 문제가 없고 또 지구와 태양간의 거리변화에 따른 시차의 변화도 무시할 수 있다.

그러나 달은 지구와의 거리에 따라 53'54" 내지 61'30"까지 변화하므로 관측기에 따라 수평시차를 산출하여야 한다.

또 혹성의 경우(특히, 금성과 화성)에는 지심거리를 Des라 하면

$$\sin HP = 6378 / Des \dots (2,18)$$

로 표현된다.<sup>17)</sup> 평균기차의 영향을 氣差(Rm)라 하면 기차(Rm)는 다음 식으로 표현된다.

$$Rm = (60".0615 \tan z' - 0".0841 \tan z') C t C p \dots (2,19)$$

여기서 z는 천정거리(zenith distance)이고,

$$Ct = 273.15 / (273.15 + \text{기온}(^{\circ}C)), \quad C_p = \text{기압}(mb) / 1013.25 \dots (2.20)$$

로 표현되나, 천측력에는 10°C, 1010mb인 대기상태하에서 계산된 것이므로 이를 기준으로 수식화하기 위하여

$$Rm = A1 \tan z + A2 \tan^2 z + A3 \tan^3 z + A4 \tan^4 z + A5 \tan^5 z \dots (2.21)$$

로 놓고, 천측력에서 채택하고 있는 기차를 실측지로 보고 최소 자승법으로 계수를 구하면 다음 수치를 얻는다.

$$\begin{aligned} A1 &= 1'.026195, \quad A2 = -0'.01389411, \quad A3 = -0'.00010108, \\ A4 &= 0'.000000516, \quad A5 = 0'.00000004 \dots (2.22) \end{aligned}$$

Table 2-2는 관측고도 1도 마다의 기차개정치를 나타내었는데 대체로 z가 89도까지는 실측치와 거의 일치하나, z가 90도에 가까워짐에 따라 tan z는 무한대에 가깝게 되어 z>89도에서는 실용상 만족할만한 결과를 기대할 수 없으므로 z가 88도 이상인 경우 즉 고도가 2도 이하인 경우에는 최소자승법으로 계수를 다시 구하였다.

따라서 이때의 계수는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} A1 &= 0'.9660678784326519, \\ A2 &= -1'.408299076914705D-02, \\ A3 &= 9'.591144708245749D-05, \\ A4 &= -2'.598254705591435D-07, \\ A5 &= 1'.770654463678367D-10 \dots (2.23) \end{aligned}$$

이를 이용하여 0'.15마다의 개정치를 구하여 실측자와 비교해 보면 Table 2-3과 같으며 최대 0'.4까지의 오차를 포함하고 있음을 알 수 있다.

기온, 기압의 추가개정 :

$$\begin{aligned} \text{천측력의 기차표는 } 10^{\circ}C, 29.83(\text{inches}) \text{에 대한 것이므로 추가개정량 corr은} \\ \text{corr} = Rm(1 - 17.1 \text{기압} / (460 + \text{기온})) \dots (2.24) \end{aligned}$$



으로 표시되며 천측력에는 A4페이지에 기재되어 있다.

Table 2-2 Refraction A

고 도	기 차계 산치	천 측력 치	차 이
15°	3.63	3.6	0.03
14	3.89	3.8	0.09
13	4.18	4.1	0.08
12	4.51	4.5	0.01
11	4.90	4.9	.
10	5.36	5.3	0.06
9	5.91	5.9	0.01
8	6.57	6.6	- 0.03
7	7.40	7.4	.
6	8.46	8.5	- 0.04
5	9.84	9.9	- 0.06
4	11.73	11.8	- 0.07
3	14.40	14.4	.
2	18.32	18.3	0.02
1	25.08	24.3	0.78

Table 2-3 Refraction B

고 도	기 차계 산치	천 측력 치	차 이
0.00	-34.50	- 34.5	.
0.25	31.40	31.4	.
0.50	28.79	28.7	- 0.1
0.75	25.98	26.4	+ 0.5
1.00	24.47	24.3	- 0.2
1.25	22.82	22.5	- 0.3
1.50	21.16	20.9	- 0.3
1.75	19.60	19.5	- 0.1
2.00	18.20	18.3	+ 0.1
2.25	16.94	17.2	+ 0.3
2.50	15.82	16.1	+ 0.3

3. 겉보기 반지름(apparent semidiameter r : SD)改正

겉보기 반지름에 대한 개정은 태양과 달을 관측할 때에만 필요하다.

지구상의 관측자가 보는 실시 겉보기 반지름을 S', 지구중심에서 본 것으로 가상하였을 때의 지심 겉보기 반지름을 SD, 지구 및 태양(또는 달)의 반지름을 각각 r, r', 겉보기 반지름 증가율을 A라고 하면 이들 사이에는 다음 관계가 성립한다.

$$S' = SD + SD^2 \sin h \sin l' / r' \dots (2.25)$$

$$S' = SD^2 \sin h * \csc l' / r' \dots (2.26)$$

태양의 실시 겉보기 반지름과 지심 겉보기 반지름은 같다고 보아도 되므로 태양의 반지름을 rs, 지심거리를 Des라고 하면 지심 겉보기 반지름 Ss(분단위)는 다음식으로 계산할 수 있다.

$$Ss = 60' \operatorname{asin} (rs / Des) \dots (2.27)$$

또, 달의 지심거리를 Dm, 지구의 적도를 re, 적도수평시차를 Pm라고 하면,

$\sin Pm = re / Dm$ 이므로 달의 지심거리는 다음 식으로 구할 수 있다.

$$Dm = re \operatorname{csc} Pm \dots (2.28)$$

그러므로 달의 반지름을 rm이라면 달의 지심 겉보기 반지름 Sm(분단위)은

$$Sm = 60' \operatorname{asin} (rm \sin (Pm / re)) \dots (2.29)$$

로 표시되고 겉보기 반지름 증가율 A는 다음식으로 된다.

$$A = rm \sin^2 Pm \sin h \operatorname{csc} l' / re \dots (2.30)$$

1989년 매월 1일 및 15일의 GMT 12시에 대한 태양의 겉보기 반지름을 전자계산하여 얻은 계산치와 천측력<sup>14)</sup>에서 구한 것과를 비교한 것이 Table 2-4인데 이를 보면, 계산치를 소수 둘째자리에서 반올림한 것이 천측력치와 일치함을 알 수 있다.

Table 2-4 SD of the sun in 1989

월	일	시	SD 계산치	SD 실측치	천측력개정치
1	1	12	16.29	16.3	16.15
1	15	12	16.28	16.3	"
2	1	12	16.25	16.3	"
2	15	12	16.21	16.2	"
3	1	12	16.16	16.2	"
3	15	12	16.10	16.1	"
4	1	12	16.02	16.0	15.9
4	15	12	15.96	16.0	"
5	1	12	15.89	15.9	"
5	15	12	15.84	15.8	"
6	1	12	15.79	15.8	"
6	15	12	15.77	15.8	"
7	1	12	15.75	15.8	"
7	15	12	15.76	15.8	"
8	1	12	15.78	15.8	"
8	15	12	15.82	15.8	"
9	1	12	15.88	15.8	"
9	15	12	15.93	15.8	"
10	1	12	16.00	16.0	16.15
10	15	12	16.06	16.1	"
11	1	12	16.14	16.1	"
11	15	12	16.19	16.2	"
12	1	12	16.24	16.2	"
12	15	12	16.27	16.3	"

4. 光滲(irradiation : J)과 位相(Phase : F)

광삼은 태양의 상변고도 개정시에만 필요하며 태양광삼 개정량 -0'.6, 수평광삼 개정량 -0'.6을 합친 값을 측고도에 개정하면 된다.

혹성중 지구에서 가까운 금성과 화성은 위상개정이 필요하며 천측력에는 시차와 하나로 묶어서 추가개정치로 나타내고 있다.

천체의 고도개정과정을 Action diagram으로 나타내면 Fig. 2-3과 같다.

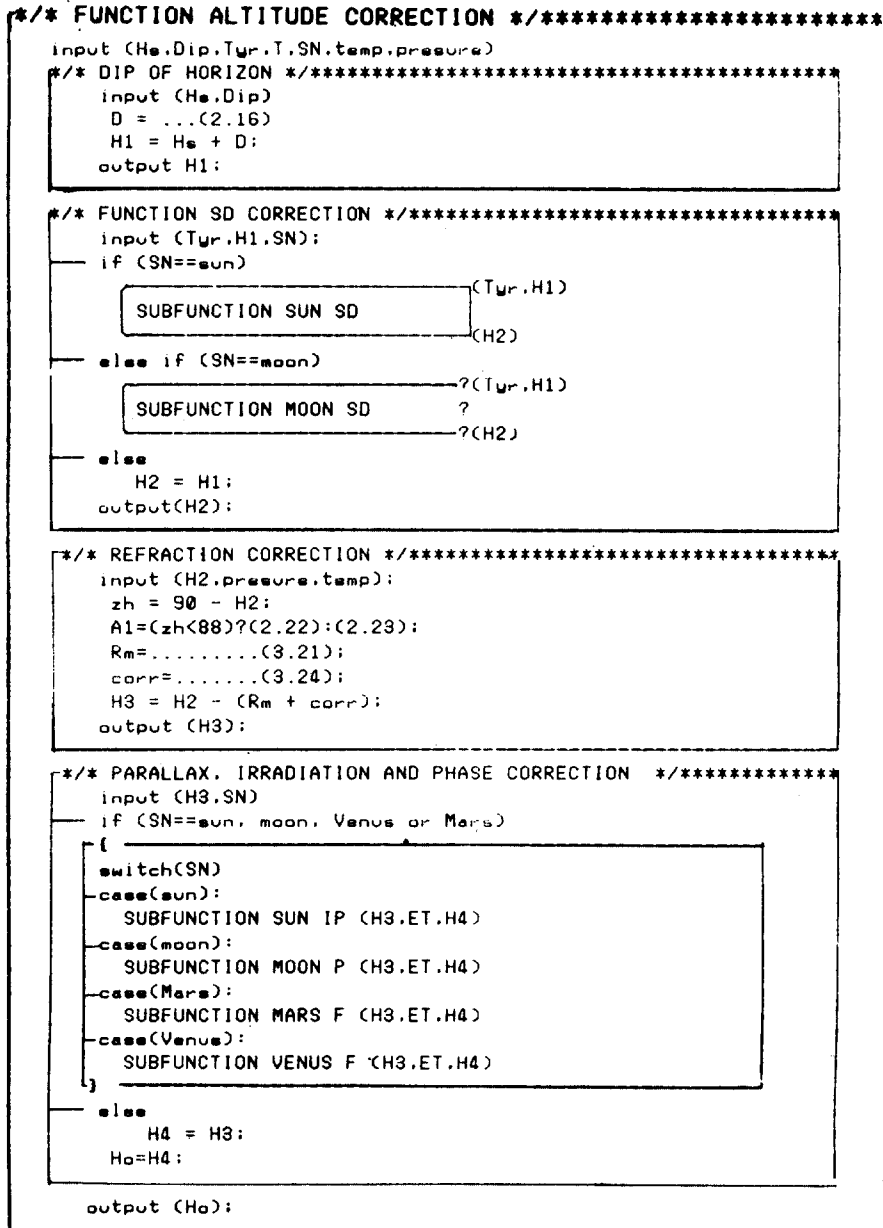


Fig. 2-3 Function altitude correction

C. 天測位置 決定

1. 位置圈의 方程式

구면(지구표면)상에서 위치권은 소권으로 표현된다.<sup>18)19)</sup>

적위를 Dec 관측자의 지구표면상에서의 적도좌표를 위도(L) 및 경도(Long)로 표시하며, Long은 동경이면 -, 서경이면 +라고 가정한다.

Fig. 2-4에서 Z를 관측자의 天頂, P를 지구상 관측자의 위도와 동명인 극, M를 천체,  $m = \text{GHA} - \text{Long}$ 이라고 하면 항해삼각형 PMZ에 Cosine법칙을 적용하여

$$\sin h = \sin \text{Dec} \sin L + \cos \text{Dec} \cos L \cos (\text{GHA} - \text{Long}) \dots \dots \dots (2.31)$$

를 얻는다.

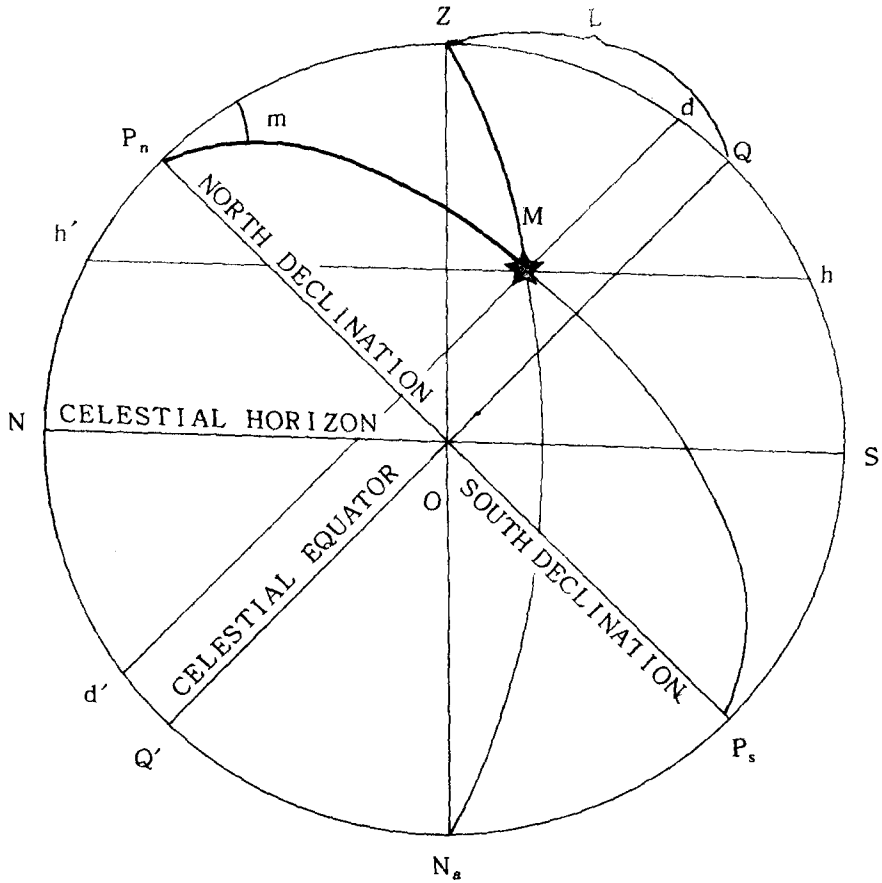


Fig. 2-4 The navigational triangle

(2.31)식은 구면상에서의 위치권의 방정식이며 L과 Long를 변수로 하는 곡선을 그리면 구면상에서의 위치권이 된다.

2. 天測位置의 決定

식(2.31)에서  $\cos(GHA-Long) = \cos GHA \cos Long + \sin GHA \sin Long$ 으로 놓으면 同時觀測의 경우 제1, 2차관측에 의한 위치선들이 교차하면 제1차관측시의 위치선은

$$\sin h_1 = \sin d_1 \sin L + \cos d_1 \cos L \cdot \cos GHA_1 \cos Long + \cos d_1 \cos L \sin GHA_1 \sin Long \dots (2.32)$$

이 되고, 제2차관측시의 위치선은

$$\sin h_2 = \sin d_2 \sin L + \cos d_2 \cos L \cos GHA_2 \cos Long + \cos d_2 \cos L \sin GHA_2 \sin Long \dots (2.33)$$

로 표현된다. 따라서 연립방정식(2.32)과 (2.33)식을 풀면 된다.

隔時觀測인 경우에는 관측시간 t1에서 t2까지의 항정만큼 침로의 방향으로 제1위치선을 轉位하여 교점을 구하여야 한다.

제1관측시의 위치권을 제2관측시까지 선박이 이동한 變緯(ℓ), 변경(Dlo)만큼(즉, 침로 Co 방향으로 항정 D만큼)평행이동시켜야 한다.

선속을 V노트, 침로를 Co라고 하면 t1에서 t2까지의 항정은 V/60(t2-t1)마일이므로 제1차 관측시의 추측위치 L1, Long1을 Co의 방향으로 V/60(t2-t1)마일 轉位한 경우의 變位 ℓ(위도상의 변화량), 變經Dlo(경도상의 변화량)를 구면삼각형을 풀어 구한다.

$$\sin \ell = \sin(180-D) \sin(180-Co) \dots (2.34)$$

으로 變位를 구하며, 變經은

$$\tan Dlo = \cos(180-C) \tan(180-D) \dots (2.35)$$

이나, 이는 적도상에서의 弧이므로 추측 위도에 대하여 계산하면 식(2.35)으로 구한

Dlo에 sec Lm을 곱한다. (단, Lm=(L1+L2)/2이며, L2=L1+ℓ임)

$$Dlo = \text{atan}(\cos(180-C) \tan(180-D)) \sec Lm \dots (2.35)'$$

제1위치권을 제2관측시까지 轉位한 위치권의 방정식은

$$\sin h_1 = \sin(d_1 - \ell) \sin L + \cos(d_1 - \ell) \cos L \cos(GHA_1 - Dlo) \cos Long + \cos(d_1 - \ell) \cos L \sin(GHA_1 - Dlo) \sin Long \dots (2.32)'$$

로 표현할 수 있다.

그러므로 隔時觀測의 경우에는(2.32)'식 및 (2.33)식을 풀면된다.

위치권이 세개 이상인 경우에는 최소자승법등을 이용하면 될 것이며, 세개인 경우에는 C.FOX<sup>3)</sup>의 알고리즘을 이용할 수도 있다. 위치권이 세개 이상인 경우에 관측자의 위치(L, Long)를 최소자승법을 응용하여 구하기도 한다.

식(2.32)에서

$$m = \sin h, \quad n = \sin Dec, \quad p = \cos Dec \cos GHA, \quad q = \cos Dec \sin GHA, \\ x = \sin L, \quad y = \cos L \cos Long, \quad z = \cos L \sin Long \dots (2.36)$$

로 놓고, 관측회수가 k회라고 하면 위치권의 방정식들은 다음과 같이 나타낼수 있다.

$$m_1 = n_1 x + p_1 y + q_1 z \\ m_2 = n_2 x + p_2 y + q_2 z \\ m_3 = n_3 x + p_3 y + q_3 z \\ m_4 = n_4 x + p_4 y + q_4 z \\ \vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \\ m_k = n_k x + p_k y + q_k z \dots (2.32)$$

여기서 최소자승해를  $S=(s_1, s_2, s_3)$ 라 하면 다음식을 만족하여야 한다.

$$\begin{pmatrix} n_1 & n_2 & n_3 & \cdots & n_k \\ p_1 & p_2 & p_3 & \cdots & p_k \\ q_1 & q_2 & q_3 & \cdots & q_k \end{pmatrix} \begin{pmatrix} n_1 & p_1 & q_1 \\ n_2 & p_2 & q_2 \\ n_3 & p_3 & q_3 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ n_k & p_k & q_k \end{pmatrix} \begin{pmatrix} s_1 \\ s_2 \\ s_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} n_1 & n_2 & n_3 & \cdots & n_k \\ p_1 & p_2 & p_3 & \cdots & p_k \\ q_1 & q_2 & q_3 & \cdots & q_k \end{pmatrix} \begin{pmatrix} m_1 \\ m_2 \\ m_3 \\ \vdots \\ m_k \end{pmatrix} \cdots \cdots (2.37)$$

위식을 간단히 하기 위하여

$$\begin{aligned} NN &= n_1 n_1 + n_2 n_2 + \cdots + n_k n_k, & NP &= n_1 p_1 + n_2 p_2 + \cdots + n_k p_k, & NQ &= n_1 q_1 + n_2 q_2 + \cdots + n_k q_k \\ PP &= p_1 p_1 + p_2 p_2 + \cdots + p_k p_k, & PQ &= p_1 q_1 + p_2 q_2 + \cdots + p_k q_k, & QQ &= q_1 q_1 + q_2 q_2 + \cdots + q_k q_k \\ NM &= n_1 m_1 + n_2 m_2 + \cdots + n_k m_k, & PM &= p_1 m_1 + p_2 m_2 + \cdots + p_k m_k, & QM &= q_1 m_1 + q_2 m_2 + \cdots + q_k m_k \end{aligned} \cdots \cdots (2.38)$$

로 놓고 식(2.37)을 간단히 하면

$$\begin{pmatrix} NN & NP & NQ \\ NP & PP & PQ \\ NQ & PQ & QQ \end{pmatrix} \begin{pmatrix} s_1 \\ s_2 \\ s_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} NM \\ PM \\ QM \end{pmatrix} \cdots \cdots (2.39)$$

이 되어 3원연립 1차방정식의 꼴이 된다. 이를

$$A = \begin{pmatrix} NN & NP & NQ \\ NP & PP & PQ \\ NQ & PQ & QQ \end{pmatrix} \quad S = \begin{pmatrix} s_1 \\ s_2 \\ s_3 \end{pmatrix} \quad B = \begin{pmatrix} NM \\ PM \\ QM \end{pmatrix}$$

로 놓고 Cramer의 법칙으로 풀면,

$$s_1 = \frac{\begin{vmatrix} NM & NP & NQ \\ NM & PP & PQ \\ NM & PQ & QQ \end{vmatrix}}{|A|}, \quad s_2 = \frac{\begin{vmatrix} NN & NM & NQ \\ NP & PM & PQ \\ NQ & QM & QQ \end{vmatrix}}{|A|}, \quad s_3 = \frac{\begin{vmatrix} NN & NP & NM \\ NP & PP & PM \\ NQ & PQ & QM \end{vmatrix}}{|A|} \cdots \cdots (2.40)$$

이되며 여기서  $s_1, s_2, s_3$ 가 구해진다.

그런데 원하는 위치는  $x = \sin L, y = \cos L \cos \text{Long}, z = \cos L \sin \text{Long}$ 이므로 구하고자 하는 위도와 경도는

$$\begin{aligned} z/y &= \cos L \sin \text{Long} / \cos L \cos \text{Long} \\ &= \sin \text{Long} / \cos \text{Long} \\ &= \tan \text{Long} \end{aligned}$$

이므로

$$\begin{aligned} L &= \text{asin}(x) \\ \text{Long} &= \text{atan}(z/y) \dots \dots \dots (2.41) \end{aligned}$$

으로 할 수 있다.

여기서 위도의 부호는 L이 양수일 때 'N' 음수가 될때는 'S'를 붙이고 경도의 부호는  $z/y$ 의 값이 음수이면 'E'를, 양수이면 'W'를 붙이고, 0°에서 180°까지의 각으로 나타낸다. 본 실험에서는 C언어의 함수<sup>20)</sup> 중  $\text{atan } 2(b/a)$ 를 이용하여 -180°에서 180°까지 값이 반환 되도록 하여 Long이 양수이면 'W'를 붙이고 음수이면 'E'를 붙였다.

이상의 위치결정과정을 설계한 것이 Fig. 2-5이다.

```

/** PROCEDURE FINDING SHIP'S POSITION */*****
/** PROCEDURE LEAST SQUARE METHOD */*****
input (k)
  for (i=0; i<k; i++) {
    input(OHAC[i], Dec[i], Ho[i]);
    m[i] = ... o[i] = ... p[i] = ... q[i] = ... (3.36);
    a [3][3] = ..... b [3] = ..... (3.39);
  }
  output (a [3][3], b [3], a [3])

/** FUNCTION CRAMERS LAW */*****
input (k, (a[i][j])kxk, (b[i])k)
- call SUBFUNCTION DETERM(k, (a[i][j])kxk, (b[i])k)
  for (i=0; i<n; i++) {
    for (k=0; k<n; k++) {
      set a[k][i] = b[k];
      call SUBFUNCTION DETERM(k, (a[i][j])kxk, (b[i])k);
      x[i] = a[i]/e;
    }
  }
  output (x[i])k;

/** FINDING POSITION */*****
l = asin (a[0]);
lng = atan2 (a[2]/a[1]);
Lat = 180 l / π
Long= 180 lng/π;

output(Lat,Long);

/** SUBFUNCTION DETERM */*****
input (n, (a[i][j])kxk, (b[i])k):
  for (i=0; i<n-1; i++)
    for (k=i+1; k<n; k++)
      for (j=i; j<n; j++)
        a[k][j]=a[k][j]-(a[k][i]/a[i][i])a[i][j]

  for (i=0, e=1; i<n; i++)
    e = e a[i][i]

  output e;

```

Fig. 2-5 Finding ship's position by computer



### III. 實驗 및 考察

#### A. 實 驗

여기서 천측계산의 전과정을 전산화하기 위하여 전장에서 중요 module별로 분석하고 설계 및 실험을 해온 것들의 통합에 필요한 절차를 수행하여 통합시켜서 실제 항해중 관측자료를 들어 종합적으로 실험해 보고자 한다.

통합 및 실험을 위하여 고려할점

(1) 안고차, 침로, 속력등은 관측시간동안 일정하다고 가정한다.

(2) 항해중 선박의 위치를 얻기 위하여 천체를 관측했을때 이들의 관측시간이 각각 다르면, 위치를 구하기 원하는 시간과 각각 관측시간과의 시간 차이만큼 침로방향으로 항해한 거리를 轉位시켜 주어야 한다.

(3) 轉位時 變經(Dlo)은 위도에 따라 다르므로 대략의 추정위도를 주어서 이를 계산하도록 한다.

(4) 관측한 천체의 위치권들의 오차삼각형에 대하여는 고려하지 않는다.

(5) 기압과 기온은 표준 상태로 가정한다.

(6) 위치를 구하기 원하는 시간과 관측시간은 각각 G. M. T로 통일하며 같은 날에 관측하여 위치를 구하는 것으로 한다.

(7) 입력시 입력할 요소와 형식을 나타나게 하여 대화식으로 입력하도록 한다.

(8) 최소필요 요소만 입력하고 중간계산과정은 나타내지 않으며 결과치로는 위치만을 나타나게 한다.

(9) 출력은 위도, 경도 모두 소수 첫째자리(분단위)까지 구한다.

이상을 감안하여 총체적인 설계를 한 것이 Fig. 3-1이다.

Table 3-1은 이를 코딩하여 어떤 선박의 항해중 천측한 자료로서 실험하여 얻은 것

으로 중간결과치를 천측력<sup>21)</sup>치와 비교한 것이다.

#### B. 考 察

먼저 코딩을 위한 설계단계에서 Action diagram으로 하였는데 그리기 및 수정하기가 빠르고 쉬웠으며, 하향식 설계를 하였던바 총체적 설계에서 코딩단계로 까지 극한 분해 적용이 가능하였다.

천체의 좌표계산에서 시험하여 얻은 Table 2-1을 보면 천측력과 계산치의 차이가 GH A의 경우는 최대 0.2, Dec의 경우 최대 0.1이므로 정확도면에서는 종래의 천측력에서 직접 구하는 방법에 미치지 못하는 결점이 있으나 천측계산의 완전 전산화라는 편리성을 감안한다면 결코 이 정도의 오차가 크게 문제되지 않을 것이다.

천체의 고도개정에서 주로 문제가 되는 기차는 (2.21)식에 계수를 (2.22)로 하여 계산하면 천측치를 실측치로 보았을때 Table 2-2에서 보는 것처럼 고도가 2도까지는 오차가 0.1이내로 되어 실용상 별로 지장이 없으나 고도가 그 이하인 경우에는 오차가 급격히 커져서 사용할 수 없으므로 계수를 (2.22)로 하여 재계산하였지만 Table 2-3을 보면 이보다 높은 고도일 때보다는 많은 오차를 포함하고 있어 저고도일수록 기차개정에 오차가 많이 포함될 수 있음을 알 수 있다.

결보기 반지름에 대한 개정은 태양과 달에만 해당되는데 태양의 경우 Table 2-4를 보면 계산치와 천측력치가 일치하였다. 그런데 천측력의 고도개정표에는 10월부터 3월까지지는 16'.15을, 4월부터 9월까지지는 15'.9을 평균치로 채택하여 개정치로 포함시키고 있으므로 이 계산치를 관측시마다에 대하여 개정하면 관측고도의 정확도는 향상될 수 있음을 알 수 있다.

```

**/ FUNCTION FINDING POSITION **/*****
input (DATE, TIME, k, Dip, Co, Speed, D, R, Lat);
  tday = TDay(DATE);
  Jf = ....(3.5);
  Tf = tday + Jf;
  D = ....(3.16);
  for (i=0; i<k; i+):
    input ( time[i], SNE[i], Hs[i] );

    FUNCTION TIME
    time[i].tday
    Tday[i].Jt[i]
    Tur[i].TE[i]
    TE[i].SNE[i]
    Tday[i].Jt[i]

    FUNCTION PLACE
    GHAC[i].Dec[i]
    Hs[i].SNE[i]
    Tur[i].D

    FUNCTION ALTITUDE CORRECTION
    Ho[i]

    **/ FUNCTION TRANSFER **/*****
    Td[i] = (Tf - Tday[i]) * 24;
    s[i] = Speed * Td[i] / 60;
    l = asin(....(3.34));
    Dlo = atan (...(3.35)');
    Dec[i]' = Dec[i] + l ;
    GHAC[i]' = GHAC[i] + Dlo ;

    GHAC[i]'.Dec[i]
    GHAC[i]'.Ho[i]
    Dec[i]'.n

    **/ PROCEDURE LEAST SQUARE METHOD **/
    .....(3.36)
    ....(3.39)

    a [3][3].b [3]

    FUNCTION CRAMER
    a [3]
    a [3]

    PROCEDURE FINDING POSITION
    Lat, Long

output (Lat, Long);

```

Fig.3-1 Function finding position

Table 3-1 Finding Position

	입 . 출력	Data		중간계산치	천측력치	차이	
입 력	Date	1,25,1988	SD(SUN)	16.27	16.3		
	Fix time	3:00:00					
	안 고	23.5 M	Dip	8.61	8.6		
	Co.	154.9					
	Speed	15					
	D.R. Lat.	22:30.0					
	관측회수	6					
	제 1 회	관측시각	00:05:58.0	GHA	178:28.23	178:28.2	
		관측천체	sun (00)	Dec	S 19:12.28	S 19:12.2	- 0.1
		고 도	27:44.8	기차 (Rm)	-1.88	-1.8	+0.1
제 2 회	관측시각	00:30:11.0	GHA	184:31.42	184:31.5	+0.1	
	관측천체	sun (00)	Dec	S 19:12.04	S 19:12.0		
	고 도	32:06.7	기차 (Rm)	-1.58	-1.5	+0.1	
제 3 회	관측시각	01:00:06	GHA	192:00.09	192:00.0	- 0.1	
	관측천체	sun (00)	Dec	S 19:11.74	S 19:11.7		
	고 도	37:00.7	기차 (Rm)	-1.32	-1.3		
제 4 회	관측시각	01:30:04.0	GHA	199:29.52	199:29.5		
	관측천체	sun (00)	Dec	S 19:11.43	S 19:11.4		
	고 도	41:21.0	기차 (Rm)	-1.14	-1.1		
제 5 회	관측시각	02:00:04.0	GHA	206:59.44	206:59.4		
	관측천체	sun (00)	Dec	S 19:11.14	S 19:11.1		
	고 도	44:51.2	기차 (Rm)	-1.01	-1.0		
제 6 회	관측시각	02:31:19.0	GHA	214:48.11	214:48.2	+0.1	
	관측천체	sun (00)	Dec	S 19:10.82	S 19:10.8		
	고 도	47:29.7	기차 (Rm)	-0.92	-0.9		
출 력	위 도	21:28.5 N					
	경 도	134:37.8 E					

천측위치는 위치권의 방정식을 풀어 결정 하였으므로 단지 관측천체의 고도, GHA 및 Dec만 있으면 되었고, 3개 이상의 천체를 관측하였을 시에는 최소자승법으로 그 해를 구할 수 있었다.

그러나 3개이상의 천측위치권이 한 점에서 일치하지 않고 오차삼각형을 형성할 경우 이의 해석과 선위결정계산과정에 미치는 영향에 대하여는 살펴보지 못하였다.

그리고 실험에서 각 Module을 통합시켜 항해중 천체를 관측한 자료로서 실행시켜 보았다.

Table 3-1에서 보는 것처럼 입력요소는 전위 및 고도개정에 필요한 요소들과 관측 천체의 고도, 관측시간과 천체명(혹은, 식별번호)을 입력 시키면 최종결과치를 바로 경위도로 구할 수 있었으며 또 중간계산결과를 당시 천측력에 의한 계산치와 비교하면 천체의 좌표는 최대 0'.1의 차이를 보였고, 기차도 최대 0'.1이내였으며 SD개정치는 16'.27로 천측력개정치에서 적용하고 있는 당시의 표준치인 16.15에 비해 약 0'.1 정도 그 정확도가 향상되었음을 알 수 있다.

#### IV. 結 論

본 논문에서는 보다 신속하고 정확한 천측위치를 구하기 위해 천측계산을 전산화하였으며, 선위계산방법에서 종래의 고도차법이 아닌 위치권에 의한 방법을 택하였다.

천체의 좌표계산은 천측력치에 비해 GH A의 경우 최대 0'.2, Dec의 경우 최대 0'.1의 차이가 있으나 신속한 결과치를 얻을 수 있다.

천체의 고도개정에서 기차는 고도가 2도 이상에서 0'.1이내의 오차를 보였지만 태양의 겉보기반지름 개정에서는 관측시마다 정

확한 개정치가 산출되므로 천측력 개정치에 비해 그 정확도가 향상 되었다.

또 천측위치계산과 실험에서 전위 및 고도개정요소와 관측자료만으로써 바로 최종 결과치를 얻을 수 있으며, 고도차법에서 필요한 추정위치는 필요하지 않았다.

앞으로 다수의 위치권들이 이루는 오차나 각형에 관한 연구와, 나아가 본선계기들과 접속된 전자계산기를 디지털 및 전기적 출력력이 가능한 육분의<sup>22)</sup>에 연결시켜 관측자료가 자동입력되게 하고, 일련의 천측계산의 전과정을 처리하도록 하여 전파항법등과 더불어 보다 나은 항해정보 시스템을 구축하는 연구가 계속되어야 할 것이다.

#### 參 考 文 獻

1. S. Rigby : The use of the HP-35 Calculator for Sight Reduction, Journal of the Navigation, Vol. 21, No.1, pp. 44-45, Spring 1974.
2. K.E. Newcomer : Navigation Application of the HP-65 Calculator, Ibid, Vol. 22, No. 2, pp.152-157, Summer 1975.
3. C. Fox : Finding Latitude and Longitude by Calculators, Ibid, Vol. 22, No. 4, pp. 293-301, Winter 1976-77.
4. P.K. Seidelmann, P.M. Janiczek, and R.F. Haupt : The Almanacs - Yesterday, Today and Tomorrow, Ibid, Vol. 22, No. 4, pp. 303-312, Winter 1976-77.
5. P.K. Seidelmann, P.M. Janiczek, and L.E. Dogget : Algorithms, Calculator, and Computers for Celestial Navigation, Proceeding of

- the IEEE, Vol.71, No.10,  
pp.310-322; October. 1983
6. K. E. Newcommer : computers for Navigation, Ibid, Vol. 71, No.10, pp.1205-1207 October 1983.
  7. 尹汝政 : 天文航海學, 釜山 : 亞成出版社, 1973, pp.271-276.
  8. 尹汝政 : 天測計算의 電算化에 關한研究, 韓國航海學會誌, 第12卷, 第1號, 1988.
  9. D. M. A. : AMERICAN PRACTICAL NAVIGATOR Vol. 2, 1981, pp.710-723.
  10. 禹治水 : 構造的 技法 소프트웨어 工學, 서울 : 尙潮社. 1987, pp.259-263
  11. 天測曆, 日本海上保安廳水路部編, 1978.
  12. 天測曆, 日本海上保安廳水路部編, 1980.
  13. 長澤 工 : 天體の位置計算 東京 : 地人書館, 1987, pp.34-112
  14. 천측력, 대한민국 수로부, 1989.
  15. 尹汝政 : 前掲書, pp.57-96.
  16. 尹汝政 : “天測計算의 電算化에 關한研究(1)”, 韓國航海學會誌, 第8卷, 第2號, p3, 1984.
  17. 長澤 工 : 前掲書, pp.96-103.
  18. 尹汝政 : 前掲書, pp.263-271.
  19. 金相輪 : 球面三角法, 釜山 : 亞成出版社, 1969, pp.44-163.
  20. Borland International : Turbo C version 1.5 Reference manual, 1987.
  21. 대한민국 수로부 : 천측력 1988.
  22. SIDNEY FELDMAN : A Digital Read-out Day and Night Marine Sextant, Journal of NAVIGATION, Vol. 18, No. 4, pp.402-408, Winter 1972-73.