

공주대학교 천문대의 경·위도 결정

김희수

공주대학교 과학교육학부 지구과학교육 전공, 314-701 충남 공주시 신관동 182

Determination of Longitude and Latitude of Kongju National University Observatory

Hee-Soo Kim

Earth Science Education Major, College of Education,
Kongju National University, Kongju 314-701, Korea

Abstract: The longitude and latitude of the Kongju National University Observatory was determined by using TM-1A theodolite and GPS(model: 4000SSI, GPS 45). In the observation using theodolite TM-1A observed the meridian transit time(KST) and meridian altitude of the 2 stars, α Aur and α Boo. In the observation using GPS measured the longitude and latitude by receiving data of 6 GPS satellites. The longitude and latitude of the Kongju National University Observatory was determined to $127^{\circ}8'33''.16$ and $36^{\circ}28'14''.20$, respectively.

Key words: longitude, latitude, GPS, theodolite

요약: 본 연구에서는 경위의 TM-1A와 GPS(모델명: 4000SSI, GPS 45 Garmin corporation)를 활용하여 공주대학교 천문대의 위치를 결정하였다. 경위의를 이용한 관측에서는 2개의 별(α Aur, α Boo)을 선정하여 남중시각과 남중고도를 측정한 다음 위도와 경도를 얻어내었다. 또 GPS를 이용한 관측에서는 6개의 GPS 위성에서 보낸 자료를 수신하여 위도와 경도를 측정하였다. 공주대학교 천문대의 위치는 경도 $127^{\circ}8'33''.16$, 위도 $36^{\circ}28'14''.20$ 로 결정되었다.

주요어: 경도, 위도, GPS, 경위의

서론

어떤 지점의 경도와 위도는 지표면의 측량, 지도의 제작, 중력이상 작성 등에 중요한 요소로 활용된다(한옥, 1997; 최광선·박필호·신영홍, 1998). 천문학 영역에서도 경위도의 결정은 필수적인 요소이다. 경위의식 망원경의 경우 경도와 위도를 알아야만 천체를 효과적으로 관측할 수 있고 관측자료를 정확히 분석할 수 있다. 적도의식 망원경을 활용하여 천체를 관측하는 경우에도 관측지점의 경도와 위도가 알려져야만 항성시를 계산할 수 있고, 이로부터 시간각과 투과대기량을 계산할 수 있으며 정확한 천체의 밝기도 얻어낼 수 있다. 그래서 천문대가 세워지기 전후에 그 위치를 정하게 되는 것이다. 그런데 지도상에서 얻을 수 있는 지리학적 경·위도는 천문학적 경·위도와 차이가 있기 때문에 별도로 천문 관측소의 정확한 천문 경·위도를 결정하

여 이용한다(오인환·권석민, 1996).

그동안 천문대(망원경) 위치는 주로 경위의(theodolite)를 활용하여 결정하여 왔다(Kim et al., 1985; 김희수, 1988; 한천수, 1993; 오인환과 권석민, 1998). 그런데 경위의를 활용할 경우 많은 시간과 비용이 많이 들고 0.01"이상의 좌표결정 정밀도를 얻기 어렵기 때문에 최근 들어서는 GPS(Global Positioning System)를 활용하기도 한다. GPS를 이용할 경우 밤낮과 날씨에 상관없이 사용할 수 있다는 장점이 있다. GPS 위성을 이용하여 지상 어디에서나 자신의 3차원 위치(경도, 위도, 고도)를 얻어내는 GPS는 다른 시스템에 비하여 설치가 용이하고 정밀도가 높기 때문에 그 용도가 점점 증가하고 있는 추세이다(한국천문연구원, 1999).

공주대학교 천문대의 위도와 경도 결정은 김희수(1988)에 의해 시도한 바 있으나, 임의적 방법(freehand

curve method)으로 결정한 바 그 부정확도때문에 관측 자료의 처리에 문제점으로 남아있었다. 이에 본 연구에서는 공주대학교 천문대의 위치를 경위의 TM-1A와 GPS 활용하여 정해본 다음 그 차이를 알아보고, 보다 정확한 결과를 향후 천문학 연구과정에 활용하고자 한다.

관측

1) 관측기기

본 연구에서 활용한 관측기기는 경위의 TM-1A(일본 Sokkishada 회사 제품)와 GPS 4000SSI 그리고 GPS 45이다.

Table 1. Specification of Theodolite TM-1A.

길이	상	유효경	배율	시야	측정 정밀도
175cm	직립	40cm	30배	1° 3'	±0"2

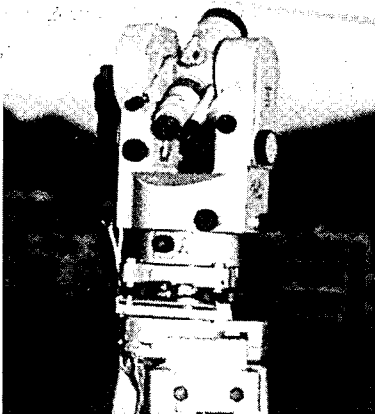


Fig. 1. Theodolite TM-1A.

경위의 TM-1A는 Fig. 1과 같이 그 주체로 되어있는 망원경에 직각-수평 방향으로 회전축이 있고, 망원경의 시야에는 원과 함께 십자선(reticle)이 장치되어 있다. 이 경위의의 기본 사양을 보면 Table 1과 같다.

접안렌즈에 있는 십자선은 그 상하 좌우에 단선과 복선이 있다. 그리고 그 선에는 틱(tick) 마크가 있고, 상하-좌우의 시각의 크기는 34'이다. 이는 태양과 달의 시직경이 약 32'이기 때문에 이 두 천체를 관측하기 편리하도록 하기 위한 것이다. 야간에 희미한 별을 관측할 때를 위해서 단선보다 복선을 이용할 수 있도록 망원경을 상하 또는 좌우로 회전시키도록 되어있다.

천체를 망원경의 중앙에 위치시키고 난 다음에는 방위각과 고도로 그 위치를 읽는다. 이를 위해 접안경 우측에 미시측정계(Micrometer)의 눈금을 읽을 수 있는 작은 접안경이 부착되어 있다. 이곳에서 읽을 수 있는 정확도는 0.2"이다.

GPS는 미국 TRIMBLE사의 4000SSI 수신기 2대(한국 천문연구원 국제 GPS 기준점, 공주대학교 천문대 GPS 기준점)를 활용하였다. 이 수신기는 L1/L2 2주파 수신기로서 동시에 18채널 수신이 가능하다. 따라서, 동시에 9개 위성으로부터 GPS 정보를 수신할 수 있다. 그리고 한국천문연구원에서는 Choke-ring 안테나를 활용하였고, 공주대학교에서는 지표면과 함께하는 Compact L1/L2 안테나를 활용하였다.

또 휴대용 GPS 45(Garmin corporation, 측정의 정밀도 ±15m)를 활용하여 함께 측정하였다. 이 GPS는 위도와 경도, 해발고도, 시각 등을 알려준다. 이것을 활용해본 이유는 휴대용 망원경으로 임의의 위치에서 관측한 자료를 보정할 때 GPS 45를 통해 측정된 위치 값을 이용해도 문제가 없는지를 확인해 보기 위해서였다.



Fig. 2. GPS 4000SSI.

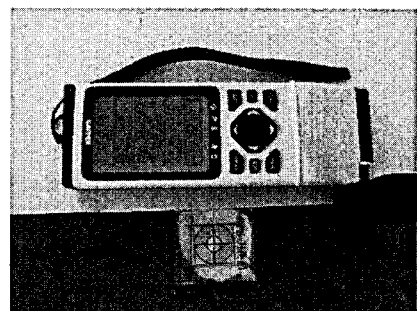


Fig. 3. GPS 45.

Table 2. Observing star.

Stars	α Aur	α Boo
H.R. No	HR1707	HR5340
적경(α)	+05 ^h 16 ^m 41 ^s .0	+14 ^h 15 ^m 38 ^s .3
적위(δ)	+46° 0' 0"	+19° 11' 09"
등급(V)	0 ^m .08	-0 ^m .04
B-V	+0.80	+1.23
분광형	G6III	K1.5III

2) 관측성의 선정

관측성은 TM-1A 경위의를 활용할 때 이용되는 천체를 말한다. 이러한 관측성은 관측과정에서 발생될 수 있는 오차를 최소화할 수 있고 관측하고자 하는 계절에 관측할 수 있는 천체이어야 한다. 이를 위해서는 계절과 날씨의 청명도, 관측기기의 여건, 관측 예상 시간, 관측에 유리한 관측성의 밝기 등을 고려하여야 한다. 천체의 선정에서 행성은 피한다. 이러한 조건을 만족하는 천체를 정하기 위해 Dorrit and Calros(1982)의 'Bright Star Catalogue'와 천문대(1998, 1999)의 '역서'를 참고하여 Table 2와 같이 정하였다. 그리고 관측천체의 위치(적경, 적위)를 관측한 날의 위치로 정하기 위해서 EZcosmos(1990)을 활용하였다.

3) 관측

① TM-1A 경위의를 활용한 관측

TM-1A 경위의를 활용한 관측은 1998년에 1회, 1999년에 2회를 실시하였다. 그 관측 과정은 다음과 같다. 먼저 삼각대 위에 경위의를 고정시키고 수준기를 보면서 경위의의 수평을 맞춘다. 그리고 추가 중력 방향에 수직이 되도록 경위의 옆에 붙어있는 작은 망원경을 보

면서 조정한다. 경위의 설치가 끝났으면 0.01초까지 읽을 수 있는 디지털 시계, 디지털 온도계 그리고 기압계를 준비하여 두고 본격적인 관측에 들어간다. 디지털 시계에 한국표준시를 동기화시킬 때는 한국표준과학연구원에서 제공하는 인터넷을 이용한 시각동기 프로그램인 "UTCk" (<http://kriss.re.kr/time/PC7.html>)를 다운 받아 PC에 설치한 다음, 다시 디지털 시계에 맞추어 활용하였다.

TM-1A에는 두 개의 접안경이 있다. 하나는 천체를 경위의 중앙에 위치시키는 접안경이고 나머지 하나는 천체의 위치를 방위각과 고도의 숫자로 읽어내는 미세 측정기이다. 관측 천체를 보다 쉽게 찾아내기 위해 경위의에 부착되어 있는 작은 망원경(peep sight)을 이용하여 천체를 망원경에 넣은 다음, 망원경의 접안렌즈를 보면서 천체를 중앙에 위치시키고 초점도 맞춘다. 그리고 나서 천체의 고도를 읽어내는 미세 측정기를 보면서 천체의 고도를 읽어낸다. 본 미세 측정기는 $\pm 0.2''$ 까지 목측이 가능하다. 이와 같이 천체의 고도를 측정하면서 미리 준비한 시계를 활용하여 관측시각과 그 때의 기압 및 기온을 측정하여 기록한다.

관측자료의 남중 시각과 남중고도를 얻어내기 위해 관측자료를 2차 회귀곡선으로 얻어낼 때는 Sigmaplot (1997) 소프트웨어를 활용하였다. 이 과정에서 자료점과 2차 회귀선이 정확히 일치되지 않는 경우가 나타났다. 이 경우 관측자료를 모두 이용하는 것보다 남중 부근의 자료를 활용하여 2차 회귀곡선의 방정식을 얻어내는 것이 정확도를 높일 수 있었다. Fig. 4, 5, 6은 그 결과이며 Table 3은 관측자료와 관측자료로부터 얻은 2차 선형회귀 결과이다.

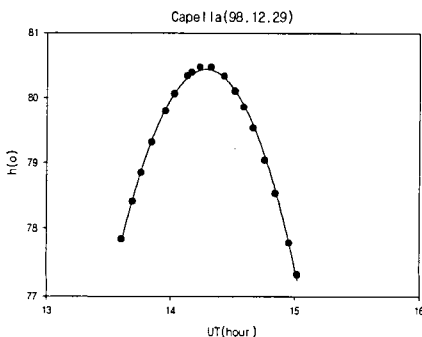


Fig. 4. Time-Altitude of α Aur.

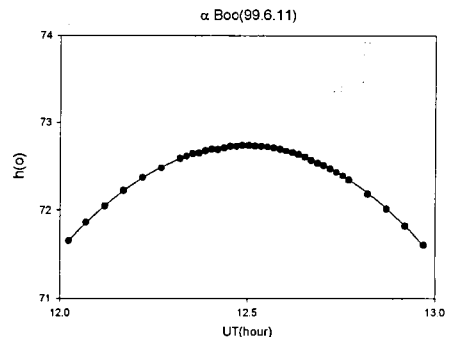


Fig. 5. Time-Altitude of α Boo(99,6,11).

Table 3. The Results of regression of observed data.

별이름	$y=a+bt+ct^2$			$t(UT)$ (남중시각 $h-m-s$)	h ($''$)	온도 ($^{\circ}C$)	기압 (hPa)	관측일
	a	b	c					
α Aur	-1107,26	166,35	-5,82	14 16 46,97	80 26 37,43	-3,0	1019,4	98,12,29
α Boo	-692,59	122,53	-4,90	12 29 32,07	72 43 57,79	21,0	1008,5	99,6,11
	-689,95	124,11	-5,05	12 17 26,08	72 43 51,49	24,0	.1007,4	99,6,14

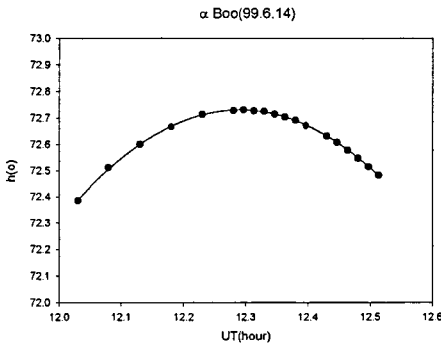


Fig. 6. Time-Altitude of α Boo(99.6.14).

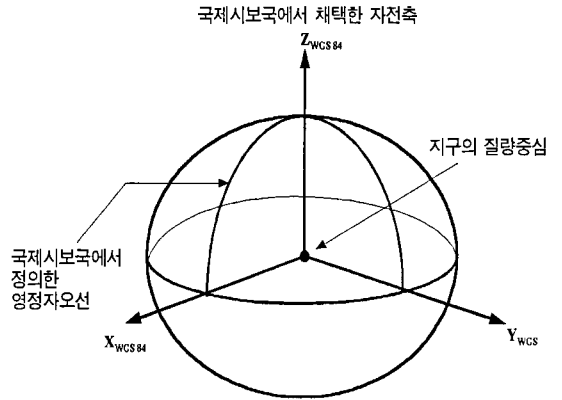


Fig. 7. WGS 84 coordinate.

② GPS를 활용한 관측

미국방성의 군사목적으로 개발하여 민간에 상업용으로 개방된 GPS는 인공위성을 이용하여 지상의 위치를 수 cm~수 mm의 정확도까지 결정할 수 있는 전천후 시스템이며 불과 몇 시간 안에 3차원 위치를 결정할 수 있다. GPS는 1984년에 채택한 지구극축 및 경도 원점과 일치하는 WGS 84(World Geodetic System 84)라는 세계 공통 좌표계를 채택하고 있어 GPS로 결정된 좌표는 국부적인 타원체에 입각한 좌표나 천문좌표보다 천문관측에 더 유용하고 실용적으로 활용되고 있다(과학기술처, 1992). GPS에서 채택하고 있는 기준 좌표계, 측정원리 그리고 관측결과는 다음과 같다.

-GPS 기준좌표계인 WGS 84 좌표계

GPS의 좌표계는 WGS 84라고 정의되는 기준좌표계를 사용한다. 따라서 GPS 관측에 의하여 얻어진 모든 좌표는 WGS 84 좌표계 기준으로 나타낸다. 이러한 WGS 84는 여러 관측장비를 활용하여 전세계적으로 측정해 온 지구의 중력장과 지구모양을 근거로 해서 1984년에 만들어진 지구중심지구고정 좌표계이며, 지구 전체를 대상으로 하는 세계공통 좌표계이다. WGS 84는 Fig. 7에서와 같이 지구의 질량중심에 위치한 좌표

원점과 X, Y, Z 축으로 정의되는 좌표계이다. 여기서 X 축은 국제시보국에서 1984년에 정의한 본초 자오선과 평행한 평면이 지구의 적도면과 교차하는 선이고, Z 축은 1984년에 국제시보국에서 채택한 지구 자전축과 평행하며, Y 축은 X 축과 Z 축이 이루는 평면에 동쪽으로 수직인 방향으로 정의된다. WGS 84 좌표계의 원점과 축은 WGS 84 타원체의 기하학적 중심과 X, Y, Z 축으로 쓰인다(과학기술처, 1992).

-GPS의 위치측정 원리

GPS의 위치 측정 개념은 단순하다. 기본적으로 GPS는 삼각측량 원리를 사용하는데 전형적인 삼각 측량에서는 알려지지 않은 지점의 위치가 그 지점을 제외한 두각의 크기와 그 사이 변의 길이를 측정함으로써 결정되는데 반하여, GPS에서는 알고 싶은 점을 사이에 두고 있는 두 변의 길이를 측정함으로써 미지의 점의 위치를 결정한다는 것이 삼각측량과의 차이라고 할 수 있다.

GPS를 이용하여 관측지점의 위치를 순간적으로 얻는 기본원리를 Fig. 8에 나타내었다. Fig. 8에서 r은 지구중심으로부터 위성까지의 거리인 위성의 위치벡터로서 위성에서 보내오는 위성의 항법메시지를 수신하여 알 수

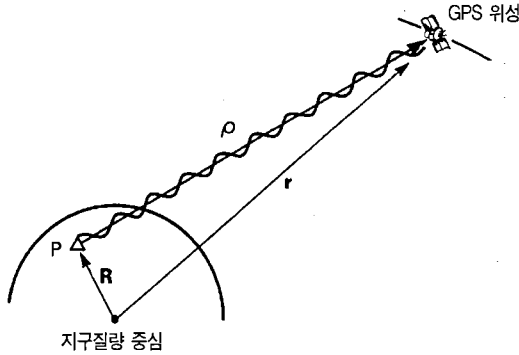


Fig. 8. The concept of position measuring of GPS.

있고, ρ 는 인공위성으로부터 수신기까지의 거리로서 각 위성에서 발생시키는 부호신호의 발생 시점과 수신 시점의 시간 차이를 측정하여 빛의 속도를 곱하여 얻을 수 있다. 그러므로 지구중심에서 관측지점까지의 위치벡터 R 은 다음과 같이 결정할 수 있다.

$$R = r - \rho$$

하지만 관측자는 수신기에서 위성까지의 거리 ρ 를 정확하게 측정할 수 없다. 왜냐하면 수신기에서 전파가 도달하는데 걸리는 시간을 측정할 경우에 이 측정값에는 수신기와 위성의 시각오차를 비롯한 여러 가지 시간 오차가 포함되어 있기 때문이다. 따라서 실제의 위치결정 과정에서는 수신기 시계의 오차, 위성시계의 오차 그리고 이온층과 대류층에 의해 전파가 지연되는 효과 등을 보정하게 된다.

-GPS를 활용한 관측

GPS의 관측은 2000년 2월 9일(4000SSI 수신기)과 2000년 2월 28일(GPS 45)에 실시되었다. GPS를 활용한 위치 측정에서는 먼저 기준점을 정하고 나서 삼각대 위에 안테나를 설치하고 4000SSI 수신기로 관측자료를 수신하였다. 여기서는 대덕연구단지내 “한국천문연구원 GPS 기준점(DAEJ)”과 “공주대학교 천문대 GPS 기준점(KNU)”에서 동시에 GPS 관측을 실시하여 기준점인 DAEJ의 정밀좌표로부터 상대적으로 기선벡터를 측정하여 KNU의 정밀좌표를 결정하였다. 4000SSI 수신기를 활용한 관측시간은 약 2시간 정도였다. GPS 45을 활용한 관측시간은 약 1시간 정도였으며 6개의 인공위성을 통한 수신 결과를 20회 측정하여 활용하였다.

자료의 처리

1) TM-1A 관측결과와 자료처리

어떤 지방의 위치(경위도)를 보다 정확히 정하기 위해서는 우선 관측자료의 정밀도가 높아야 하지만 자료 보정 과정에 필요한 별의 적경·적위, 관측시의 온도, 기압 등도 잘 정리되어야 한다. 본 연구에서는 이를 위하여 관측 천체의 세차보정 및 고유운동 보정, 대기 굴절 보정, 지심시차 보정, 고도 보정, 광행차 보정 등을 실시하였다.

① 경도

경도는 그리니치에서의 항성시와 관측 지점에서의 항성시의 차이이다. 이것을 정리해보면 다음과 같다.

$$\text{지방항성시(LST)} = \alpha(\text{남중환 별의 적경})$$

$$\text{그리니치 지방항성시(GMST)} +$$

$$\lambda(\text{관측 지점의 경도}) = \text{LST}$$

따라서

$$\lambda = \alpha - \text{GMST}$$

가 얻어진다. 여기서 어떤 날 어떤 시각의 평균항성시(GMST)는

$$\text{GMST} = (T-9) \times 1.002737909265 + 0^h \text{UT}$$

이다. 여기서 (T-9)는 한국표준시를 기준으로 하여 관측한 시각(T)을 세계시(UT)로 변환한 것이며, 1.002737909265는 실제 관측 시각인 태양시를 항성시로 바꾼 항이다. 0^hUT 는 관측날 $\text{UT} = 0^h$ 에서의 그리니치 평균항성시이다. 관측한 날의 $\text{UT} = 0^h$ 에서의 그리니치 평균항성시는 Astronomical Almanac(1998, 1999)의 자료를 활용하였다.

한편 Graph에서 얻은 천체의 자오선 통과시각 T'는 일주 광행차로 인해서 영향을 받게 된다. 그 보정치를 ΔT 라 할 때 실제 통과 시각 T는

$$T = T' - \Delta T = T' - 0^s.021 \cos \psi \cos \delta$$

로 표시된다(Lang, 1978). 본 연구에서는 이 식을 활용하여 광행차를 보정하였다.

확률오차(Probable Error: Henden and Kaitchuck, 1982)는 다음과 같은 식에 따라 계산하였다.

$$e_\lambda = \pm 0.6745 \sqrt{\frac{\sum (\lambda_i - \bar{\lambda})^2}{n(n-1)}}$$

Table 4. Longitude obtained from observing results.

별이름	UT (남중시각: 태양시)	광행차 보정된 UT	ST (항성시)	UT 0 ^h 의 GMST	GMST	α	λ	관측일
α Aur	14 16 46,97	14 16 46,96	14 19 7,72	06 28 59,89	20 48 07,61	05 16 41,0	29 16 41,0	127 08 20,76
α Boo	12 29 32,07	12 29 32,05	12 31 35,18	17 15 34,98	29 47 10,16	14 15 38,3	38 15 38,3	127 07 01,92
	12 17 26,08	12 17 26,06	12 19 27,19	17 27 24,64	29 46 51,83	14 15 38,3	38 15 38,3	127 11 36,78

최종적으로 경위의로 측정한 공주대학교 경도

$$\lambda = 127^{\circ} 08' 59'' 82 \pm 17''.62$$

로 결정되었다.

이러한 경도에 직접적인 영향을 주는 정확한 시각을 읽을 수 있는 시계의 활용이 필수적이다. 따라서 100분의 1초의 정확도를 나타내는 시계를 활용하는 것이 경도 오차를 줄일 수 있다. 그리고 천체의 적경과 적위값이 경도와 위도에 직접적인 영향을 주기 때문에 가급적 세차보정은 물론이고 고유운동 보정까지 필요하다고 보아졌다.

② 위도

본 연구에서는 자오선 고도법(Meridian Altitude)을 활용하여 위도(ϕ)를 구하였다. 이 방법은 관측성의 시각-고도의 그래프를 그린 다음 2차 회귀방정식을 얻어 내고 자오선상의 고도나 천정거리(Z_m)를 구하여 위도를 결정하는 방법으로서 자오선상의 관측성(적위: δ)이 남천에 있을 때와 북천에 있을 때에 따라 다음과 같은 식을 적용하였다(오이환과 권석민, 1998).

$$\phi = Z_m + \delta \text{ (관측성 위치: 남천, 관측성 } \delta \text{ 북위)}$$

$$\phi = Z_m - \delta \text{ (관측성 위치: 남천, 관측성 } \delta \text{ 남위)}$$

—대기의 굴절 보정

별빛은 지구 대기에 의해 굴절되어 Fig. 9의 S위치의 천체가 S'에 있는 것처럼 관측된다. 따라서 실제의 천정거리 Z는 다음과 같이 관측에서 얻어진 Z'에 굴절효과를 보정하여 얻었다(Green 1993).

$$Z = Z' + r$$

$$r = 60'' \cdot 43 + \left(\frac{p}{1013} \right) \left(\frac{273}{T + 273} \right) \times \tan Z'$$

여기서 대기 굴절각 r은 천체의 자오선 통과시 기압 P(hPa)와 기온 T($^{\circ}$ C), 그리고 천정거리 Z'를 알면 구할 수 있다.

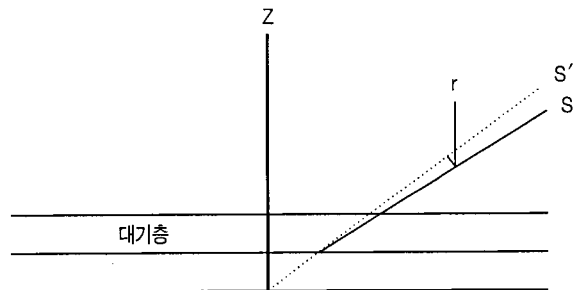


Fig. 9. The effect of refraction by Earth atmosphere.

Table 5. Correction value on latitude determination.

별이름	적위(δ) ° ' "	Z ° ' "	온도 ($^{\circ}$ C)	기압 (hPa)	대기굴절 보정치(r'')	지심시차 보정치(p'')	고도보정치 (ϕ')	결정된 위도 ° ' "
α Aur	46 0 0	09 33 22,57	-3,0	1019,4	10,33	1,46	0,012	36 26 28,56
α Boo	19 11 09	17 15 02,21	21,0	1008,5	17,35	2,61		36 26 25,93
		17 15 08,51	24,0	1007,4	17,15	2,61		36 26 32,02

-지심 시차의 보정

지심시차는 관측별과 관측지점, 관측별과 지구중심을 잇는 선 사이의 각을 말한다. 지심시차는 다음식을 이용하여 보정하였다(Green, 1993).

$$h = h' + 8'' \cdot 8 \cos h'$$

여기서 h는 지심시차가 보정된 남중고도이고 h'는 관측된 남중고도를 의미한다.

-고도보정

천문위도는 평균해수면을 기준으로 한다. 고도보정은 다음과 같이 지도에서 가정한 위도(ϕ)와 해발고도(h: 단위 m)와의 관계식으로 주어진다(Lang, 1978).

$$\Delta\phi = -1.72 \times 10^{-4} h \times \sin 2\phi$$

이 식을 이용하여 얻은(공주대학교 천문대의 해발고도: 약 74m, 지도상의 위도: 36°28') 보정값은 -0.012"이다.

한편 경위의를 활용하여 얻는 확률오차(Probable Error: Henden and Kaitchuck, 1982)는 다음과 같은 식을 활용하였다.

$$e_{\phi} = \pm 0.6745 \sqrt{\frac{\sum(\phi_i - \bar{\phi})^2}{n(n-1)}}$$

최종적으로 TM-1A경위의를 활용하여 얻은 위도와 그 오차는 다음과 같다.

$$\phi = 36^{\circ}26'28''.84 \pm 1''.19$$

이러한 위도의 결정과정에서 가장 중요한 것은 관측 천체의 남중고도를 얻는 일이다. 그런데 남중고도를 얻는 과정에서 동쪽 및 서쪽 하늘의 대거 상태의 차이에 따라 시각-고도의 그래프가 2차 곡선의 형태로 정확히 일치하지 않은 경우도 나타난다. 이러한 경우 극대점 부근의 자료를 중심으로 2차 선형회귀하여 남중시각과 남중고도를 추정하는 것이 바람직하다고 보여졌다. 그리고 보다 정확한 위도를 정하기 위해서는 대기효과를 적게 받는 천체를 다수 선정하여 관측하여야 한다고 판단되었다.

2) GPS 관측자료로 얻은 경위도

GPS 관측자료는 미국 TRIMBLE사의 자료처리 소프트웨어인 GPSURVEY(Ver 2.30)를 이용하였는데 이 소

프트웨어는 상용 S/W로서 모든 종류의 후처리방식 GPS 관측데이터의 자료처리에 사용된다. 실제 자료처리 과정에서는 2주파 수신기를 사용한 L1/L2 ION FREE 기법(과학기술처, 1992)으로 처리하였다. 측정정밀도 검증을 위해서 3회 이상 반복처리하여 표준편차 산출하였으며, 7-매개변수 방법을 이용하여 Bessel1841 타원체상의 좌표도 산출하였다. 정밀도는 대개 기선거리가 길어짐에 따라 정밀도는 떨어진다(수평성분: 0.1-1.0ppm, 수직성분: 0.3-3.0ppm; 참고로 ppm은 part per million 즉, 1ppm은 1mm/km). 자료처리 순서를 간략히 요약하면 다음과 같으며, 보다 구체적인 자료 처리 과정은 과학기술처(1992)에 자세히 기술되어 있다.

- ① 수신기로부터 GPS 관측데이터를 다운로드한다. 단, 수신기와 자료처리 S/W간 호환이 되지 않을 경우에는 RINEX(Receiver INdependent EXchange) 형식으로 변환한다.
- ② 자료처리에 필요한 일반상수 및 입력데이터 정의한다. 예) 기준점 좌표, Mask angle cutoff, 기준 궤도 화일 등
- ③ 결정하고자 하는 위치(KNU)의 GPS 관측데이터를 읽어들인다.
- ④ 공주대학교 천문대에서의 위성의 위치를 계산(단, 정밀궤도력을 기준궤도화일로 사용할 경우 이 과정은 생략한다.)한다.
- ⑤ 공주대학교 천문대에 설치된 수신기의 시계오차 및 수신기간 공동오차를 제거한다. 여기서는 위상 차분법(Phase Difference Method)을 이용한다.
- ⑥ 관측환경에 의한 순간 미포착 신호(Cycle Slip) 제거한다.
- ⑦ 위성과 수신기간 반송파 파장의 정수치를 결정한다. 여기서는 추정기법(Estimation Technique; Kalman Filtering)을 이용한다.
- ⑧ DAEJ와 KNU간 의사거리(Pseudo range)를 계산한다.
- ⑨ DAEJ-KNU간 상대벡터 결정한다.
- ⑩ KNU의 WGS84 좌표 결정한다.

한편 GPS45 모델을 이용한 휴대용 GPS를 활용하여 공주대학교 천문대의 위치를 정보보았다. GPS45 화면 상에 나타난 경도, 위도, 고도 값 등을 직접 반복적으로 읽은 다음 평균하여 경도와 위도를 정하였다.

Table 6. The longitude and Latitude determined to topographical chart and instruments.

지형도와 측정기기		$\lambda \pm p.e.$	$\phi \pm p.e.$	참고
지형도(축척 1:5000)		127°08'40".51 ±0.5"	36°28'05".02 ±0.5"	도엽번호 NJ52-13-19-016
TM-1A	1998년, 1999년 결과	127°08'59".82 ±17".62	36°26'28".84 ±1".19	
	1988 결과	127°08'26".7 ±40"	36°28'29".5 ±2"	
GPS 45 (Garmin사)		127°08'33".12 ±0".01	36°28'14".16 ±0".01	고도(m) 102 ±27
GPS 4000SSI	WGS84 좌표	127°8'33".155393 ±0".000108	36°28'14".197694 ±0".000058	고도(m) 98,486 ±.006
	Bessel1841 좌표	127° 08'40".7355 ±0".0040	36°28'03".6678 ± 0".0034	고도(m) 73,598 ±0.26

3) 위도와 경도의 결정

TM-1A와 두 종류의 GPS를 이용하여 결정한 공주대학교 천문대의 경· 위도는 Table 6과 같다.

지형도에서 읽은 공주대학교 천문대의 위치는 $\frac{1}{5000}$ 지형도에서 공주대학교 천문대의 위치를 내삽법을 활용하여 5회 읽어 평균하였다.

경위의 TM-1A를 활용한 관측에서는 1998~1999년의 경도 결과와 1988년의 경도 결과 사이에 약 33"의 차이를 보인 것처럼 관측시각을 측정할 때 활용되는 시계의 정확도에 따라 민감한 차이를 보였다. 위도는 경도보다 오차의 크기는 작았지만 지형도상의 결과나 GPS의 결과와 비교해 볼 때, 약 2' 정도의 체계적인 차이를 보여 직접적으로 활용하기에는 문제가 있다고 판단되었다. 이것은 관측천체의 선정과정에서 대기의 효과를 적게 받는 즉, 적위가 큰 천체를 정하지 않은 이유로 보아졌다.

따라서 본 연구에서는 GPS의 측정결과가 경위의를 활용한 결과보다 높은 정밀도를 보인 점과 최근의 국제적으로 WGS84 좌표계를 기준으로 채택하고 있는 점을 고려하여 GPS 4000SSI로 얻은 결과를 공주대학교 천문대의 위치로 정하기로 하였다.

결론 및 토의

지구과학 연구 과정에서 자료를 취득하고 보정할 때 그 지역의 경도와 위도를 알아야 하는 것은 필수적이다. 본 연구에서는 공주대학교 천문대의 경도와 위도를 관측하기 위하여 경위의 TM-1A와 GPS(모델명: 4000SSI, GPS 45 Garmin corporation)를 활용하였다. 경위의 관측에서는 2개의 별(α Aur, α Boo)을 선정하여

남중시각과 남중고도를 측정하였으며, 남중시각을 이용하여 경도를 결정하였고 남중고도를 이용하여 위도를 결정하였다. 또 GPS 4000SSI와 GPS 45를 활용한 관측에서는 공주대학교 천문대에 GPS 기준점을 잡은 다음, 그곳에 GPS를 설치하여 6개의 인공위성에서 보낸 자료를 수신하여 경도와 위도를 결정하였다.

GPS 4000SSI로 결정된 값은 경위의 TM-1A로 측정된 것과는 허용오차를 벗어날 만큼의 차이를 보였고, 국립지리원에서 발간한 공주지역 5000분의 1 지형도에서 내삽하여 얻은 결과와는 경도에서 약 7", 위도에서는 약 9"의 차이를 보였다. 이를 지표에서의 거리로 나타내면 1"가 약 31m를 나타내므로 각각 약 220m와 280m 정도의 차이가 된다.

최종적으로 정한 공주대학교 천문대의 위치는 경도 127°8'33".16, 위도는 36°28'14".20로서 최근 국제적으로 활용되는 기준 좌표가 거의 WGS 84라는 점과 정밀도가 높은 GPS 4000SSI 결과를 활용한다는 점을 고려하여 정확도가 높은 GPS 4000SSI의 결과를 활용하기로 하였다. 이러한 결과는 쌍성, 성단 등의 다양한 천체 관측자료들을 보다 정확히 분석할 수 있는 기초자료가 될 것이다.

한편 경위의를 활용한 위치의 측정은 지구과학 관련 분야의 실습, 예를 들면 천체관측, 지질학 표본 채취, 해양학 표본 채취, 지구물리학 중력 측정 과정에서 필수적으로 함께 수행되어야 할 과정으로서 중·고등학교뿐만 아니라 대학교 수준에서도 지구과학 탐구학습에 좋은 주제가 될 수 있다고 판단된다.

또 휴대용 GPS 45와 같이 수십 만원 정도의 저렴한 GPS도 GPS 4000SSI로 측정된 것과 약 10m 내의 오차

를 보였다. 그리고 그 동안 미국 정부가 1990년 3월부터 GPS를 군사목적으로 전용되는 것을 막기 위해 GPS 신호에 방해전파를 보내어 그 정확도가 수십m까지 떨어졌으나, 2000년 5월 1일 자정부터 이를 철폐함으로써 GPS의 대중화 시대가 열렸다고 볼 수 있다(조선일보, 2000년 5월 10일자).

따라서 앞으로 각 중·고등학교나 대학에서도 이러한 휴대용 GPS를 활용하면 학교의 위치, 학교 천문대의 위치, 야외 실습 시 표본 채취 지역의 위치 표시 등을 할 때 손쉽게 정확한 위치를 얻을 수 있게 될 것이다.

감사의 글

본 연구는 공주대학교 1999년 학내연구비 지원을 받아 수행되었습니다. 그리고 GPS 관측에 도움을 준 한국천문연구원 박필호, 조정호 연구원께 감사드립니다.

참고문헌

과학기술처, 1992, GPS를 이용한 1.8m 중형망원경천문대의 좌표결정 기술개발, 천문대.
 국립지리원, 1998, 5000분의 1 지형도(공주016), 도엽번호 NJ52-13-19-016.
 김희수, 1988, 공주사범대학 천문대의 천문학적 경위도의 예비관측, 공주사범대학 교육연구소보, 5, 71-82.
 오이환·권석민, 1998, 원주고등학교 교내 관측소의 천문 경위도 결정, 한국지구과학회지, 19, 85-91.

조선일보, 2000년 5월 10일자 19면, 규제풀린 위성항법 시스템(GPS) 교통-물류-통신 대혁명은다.
 천문대, 1998, 역서, 남산당. 137-139.
 천문대, 1999, 역서, 남산당. 136-138.
 최광선·박필호·신영홍, 1998, GPS를 이용한 중력측정. 한국지구과학회지 19, 120-126.
 한국표준과학연구원, <http://kriss.re.kr/time/PC7.html>.
 한국천문연구원, 1999, KAO Newsletter 17.
 한옥, 1997, 지구과학 연구를 위한 GPS 활용, 한국지구과학회지 18, 1-3.
 한천수, 1993, 한국교원대학교 청암천문대의 천문학적 경위도 결정, 석사학위 논문, 47 p.
 Astronomical Almanac for the Year 1998, U.S. Government Printing Office, Washington.
 Astronomical Almanac for the Year 1999, U.S. Government Printing Office, Washington.
 Dorrit, H. and Carlos, J., 1982, The Bright Star Catalogue, Yale University. Observatory.
 EZCosmos(Version 3.0), 1990, Astrosoft, Inc..
 Henden, A.A. and Kaitchuck, R.H., 1982, Astronomical photometry. 65-66.
 Green, R.M., 1993, Spherical astronomy. Cambridge University. Press, Cambridge, 83-85, 101-105.
 Kim, H.G., Auh, B.R., Kwon, S.M., and Park, J.W. 1985, Observation of astronomical longitude and latitude of Daeduk Radio Observing Station. Publ. Korean Nat'l Astron. Obs., 7, 31.
 Lang, K.R., 1978, Astrophysical Formulae. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, 497 p.
 Sigmaplot(Version 4.0), 1997, SPSS Inc..

2000년 5월 15일 원고 접수
 2000년 8월 4일 원고 채택