

GPS에 의한 보현산 천문대의 정밀좌표 결정

박 필 호 · 박 종 옥
한국표준과학연구원 천문대

THE DETERMINATION OF PRECISE COORDINATES FOR BOHYUNSAN OPTICAL ASTRONOMY OBSERVATORY BY GPS

Pil-Ho Park and Jong-Uk Park

Korea Astronomy Observatory, Taejon, 305-348
e-mail: phpark@daen.kaist.ac.kr, parkju@daen.kaist.ac.kr

(Received May 6, 1995; Accepted May 22, 1995)

요 약

GPS를 이용하여 보현산 천문대 2지점의 3차원 정밀좌표를 WGS 84 측지좌표계상에서 결정하였다. 보현산 천문대 2지점에서 1지점은 1.8m 망원경의 받침대 중앙이고 나머지 1지점은 1.8m 망원경 돔 옆의 언덕에 위치해 있다. 이 연구를 위해서 1993년 12월18일부터 12월22일까지 5일 동안 천문대 GPS 관측소와 보현산 천문대 2지점에서 동시에 GPS 관측을 실시하였다. 관측에 사용한 장비는 천문대에서 보유하고 있는 3대의 Trimble 4000SST GPS 수신기이다. 관측자료는 Trimble의 자료처리 소프트웨어인 TRIMVEC-PLUS의 MBPS 방식에 의하여 Triple Difference L1/L2 ION Free 기법으로 처리되었다. 이 연구를 통하여, 보현산 천문대 1.8m 망원경 축의 WGS 84 좌표값은 위도, 경도, 높이 각각 $36^{\circ} 9' 53''.1943N \pm 0''.0018$, $128^{\circ} 58' 35''.6829E \pm 0''.0029$, $1162.47m \pm 0.04m$ 로 결정되었다.

ABSTRACT

We determined three dimensional precise WGS 84 coordinates of two points in Bohyunsan Optical Astronomy Observatory using the GPS. One of the two points is the center on the top of pier for 1.8m telescope, and the other one is placed on the hill beside the dome of 1.8m telescope. We performed the simultaneous GPS observation at the KAO GPS station and Bohyunsan Observatory for 5 days from December 18 to 22, 1993. We employed three Trimble 4000SST receivers for these observations. The observed data were processed

by TRIMVEC-PLUS software of Trimble with the MBPS method and the Triple Difference L1/L2 ION free technique. Through this research, we determined WGS 84 latitude, longitude and height of 1.8m telescope in Bohyunsan Optical Astronomy Observatory with the values of $36^{\circ}9'53''.1943N \pm 0''.0018$, $128^{\circ}58'35''.6829E \pm 0''.0029$, $1162.47m \pm 0.04m$, respectively.

1. 서 론

우리나라에서는 구경이 제일 큰 1.8m 반사 망원경을 보유하고 있는 보현산 천문대가 건설되었다. 이 망원경은 경위의식으로서 광전관측은 물론 분광관측 및 CCD 관측 등에 사용될 예정이며 컴퓨터에 의하여 망원경의 운용이 거의 자동화 될 전망이다. 자동화된 망원경으로 별을 찾고 추적하는 것은 물론 관측된 자료를 정밀하게 처리하고 분석하기 위해서는 망원경의 좌표가 정밀하게 결정되어야만 한다. 특히 경위의식의 망원경인 경우 좌표의 정확한 결정은 망원경 운용에 있어 필수적이다. 망원경의 위치는 망원경이 설치되기 이전에 결정하는 것이 상례이며, 이제까지는 천문대의 위치결정을 위하여 T4 theodolite와 같은 천문측량 장비를 이용하여 왔다. 이러한 방법으로 망원경의 좌표를 결정할 경우 장기간이 소요될 뿐만 아니라 비용도 많이 들고 경위도로 0.01초 이상의 좌표결정 정밀도를 얻기 힘들며 천문대의 3차원 위치를 결정할 수 없다 (Choi and Shin 1976, Kim *et al.* 1985).

우주기술이 발달함에 따라 오늘날은 지상의 위치를 정확하게 결정하기 위하여 인공위성을 이용한다. 미 국방성이 군사목적으로 개발하여 민간에 상업용으로 개방한 GPS (Global Positioning System)는 인공위성을 이용하여 지상의 위치를 수 cm의 정확도로 결정할 수 있는 전천후 위치결정 시스템이다. GPS를 이용하면 불과 몇 시간 안에 3차원 위치를 비교적 정밀하게 결정할 수 있으므로 시간절약면에서나 비용은 물론 정밀도에서 전통적인 측량방법을 능가한다. 그리고 GPS는 지구의 극측 및 경도원점과 일치하는 WGS 84 (World Geodetic System 1984)라는 세계 공통 좌표계를 채택하고 있어 GPS로 결정된 좌표는 국부적인 타원체에 입각한 좌표나 천문좌표 보다 천문관측에 있어 더 유용하고 실용적이다.

천문대에서는 1989년 10월에 국내에서는 최초로 GPS 수신기 3기를 도입하여 운용하여 왔으며 그 동안 GPS를 이용한 위치결정 기술을 축적하여 왔다. 따라서 이번에 건설된 보현산 천문대의 망원경 위치를 종래의 측량방법이 아닌 GPS를 이용하여 정밀하게 결정하고자 이 연구를 수행하였다.

2. WGS 84 측지좌표계

GPS는 WGS 84라고 불리우는 측지좌표계를 사용한다. 즉, GPS에 의한 모든 위치결정은 WGS 84 상에서 구현된다. WGS 84는 여러가지 관측장비를 가지고 전세계적으로 측정해온 지

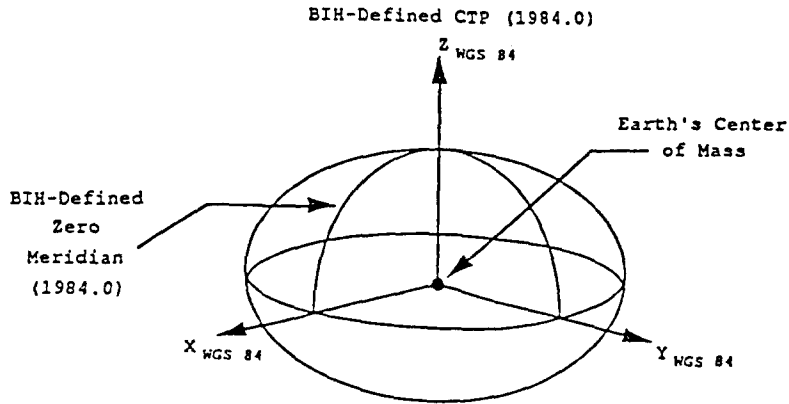


그림 1. WGS 84 측지 좌표계.

구의 중력장과 지구모양을 근거로 해서 1984년에 만들어진 지구중심, 지구고정 (ECEF: earth-centered, earth-fixed) 좌표계로서 지구 전체를 대상으로 하는 세계공통 좌표계이다. WGS 84는 그림 1에서와 같이 지구의 질량중심에 위치한 좌표원점과 X, Y, Z 축으로 정의되는 좌표계이다. 여기서 Z축은 1984년에 국제시보국(BIH)에서 채택한 지구 자전축과 평행하며, X축은 국제시보국에서 1984년에 정의한 본초 자오선과 평행한 평면이 지구의 적도면과 교차하는 선이고 Y축은 X축과 Z축이 이루는 평면에 동쪽으로 수직인 방향으로 정의된다. WGS 84 좌표계의 원점과 축은 WGS 84 측지타원체의 기하학적 중심과 X, Y, Z 축으로 쓰인다. 예를 들면 WGS 84 측지좌표계의 Z축은 WGS 84 측지타원체의 회전축이다. WGS 84 측지타원체의 장반경(a)과 편평율(f)은 각각 6378137m와 1/298.257223563이다 (Defense Mapping Agency 1991).

3. 관 측

이 연구를 위해 대덕연구단지내의 천문대 GPS 관측소와 보현산 천문대의 2지점에서 GPS 관측을 동시에 수행하였다. 천문대 GPS 관측소는 현재 국제공동 GPS 관측망 (IGS: International GPS and Geodynamics Service)에 “DAEN”이라는 이름으로 가입되어 우리나라를 대표하는 GPS 관측소로 활동하고 있으며, WGS 84 측지좌표계상에서의 정밀위치가 이미 결정되어 있다. 보현산 천문대의 2지점 중에서 영문약자 “TLTL”로 표시한 1지점의 위치는 1.8m 망원경의 축에서 수직으로 4.095m 아래 부분에 위치한 망원경 받침대 중앙으로서 그림 2에 표시하였다. 한편, 영문약자 “BHBH”로 표시한 다른 1지점은 1.8m 망원경 돔 옆의 언덕의 정상에 위치해 있으며, 이 지점은 보현산 천문대내의 다른 망원경의 정밀좌표를 산출할 때 측지기준점으로 사용할 목적으로 그림 3과 같이 새롭게 설치한 것이다. 관측에 사용한 GPS 장비는 천문대가 보유하고 있는

표 1. 날짜별 관측시간과 관측지점.

날 짜	관측시간(UTC)	세션	관측지점
1993.12.18	06:00 - 09:00	3522	DAEN-BHBH-TLTL
	09:00 - 12:00	3523	
	12:00 - 15:00	3524	
	15:00 - 18:00	3525	
	18:00 - 21:00	3526	
1993.12.19	09:00 - 12:00	3533	DAEN-BHBH-TLTL
	12:00 - 15:00	3534	
	15:00 - 18:00	3535	
	21:00 - 24:00	3537	
1993.12.20	06:00 - 09:00	3542	DAEN-BHBH-TLTL
	09:00 - 12:00	3543	
	12:00 - 15:00	3544	
	15:00 - 18:00	3545	
	18:00 - 21:00	3546	
1993.12.21	21:00 - 24:00	3547	DAEN-BHBH-TLTL
	12:00 - 15:00	3554	
	15:00 - 18:00	3555	
	18:00 - 21:00	3556	
1993.12.22	21:00 - 24:00	3557	DAEN-BHBH-TLTL
	09:00 - 12:00	3563	
	12:00 - 15:00	3564	
	15:00 - 18:00	3565	
	21:00 - 24:00	3567	

Trimble 4000SST 수신기 3대이며, 관측시 지평면 고도 10도 이상인 위성으로부터 L1과 L2의 주파수를 모두 수신하도록 하였다. GPS의 관측은 1993년 12월 18일부터 12월 22일까지 5일동안, 3시간씩 나누어 측정점 TLTL과 BHBH에서 각각 23회 반복하여 세션 (session) 별로 실시하였다. 측정점들의 날짜별 관측시간은 표 1과 같다.

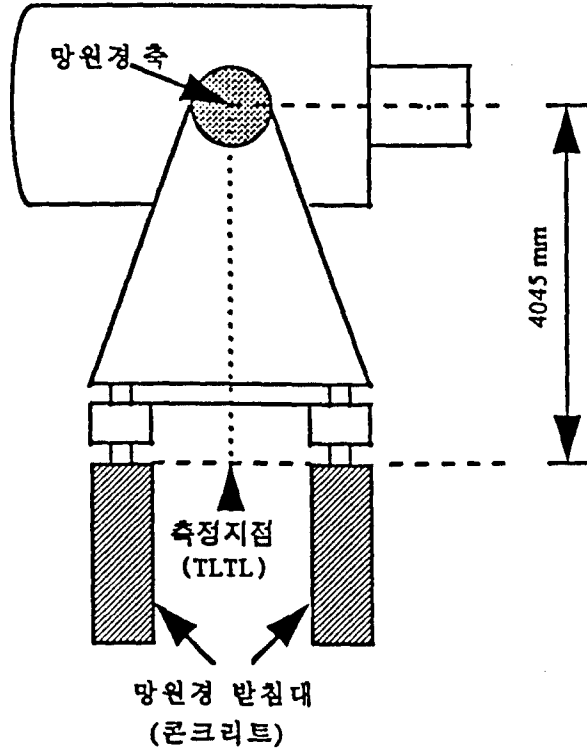


그림 2. GPS로 측정한 1.8m 망원경 받침대 (TLTL)의 위치.

4. 자료 처리

관측된 자료는 Trimble의 자료처리 소프트웨어인 TRIMVEC-PLUS의 MBPS(Multi Baseline Processing Single) 방식에 의하여 Triple Difference L1/L1 ION Free 기법으로 처리되었다. 자료처리시 고정점으로 사용한 기준점은 천문대 GPS 관측소이며, 그림 4와 같이 이 기준점으로부터 각 지점까지의 거리를 비롯한 상대좌표 (DX, DY, DZ)를 측정하여 각 지점의 WGS 84 좌표를 결정하였다. 기준점으로 사용된 천문대 GPS 관측소의 정밀좌표는 1991년에 일본과의 GPS 공동관측을 통하여 박필호 등 (1991)이 결정한 것을 사용하였으며 그 좌표값과 정밀도는 표 2와 같다(박필호 등 1992, 박필호 등 1993). 표 2에서 X, Y, Z 좌표는 지구중심으로부터 켈 성분별 거리이고, 높이 H는 WGS 84 측지타원체면으로부터 법선방향의 거리이다.



그림 3. GPS로 측정한 BHBH의 위치.

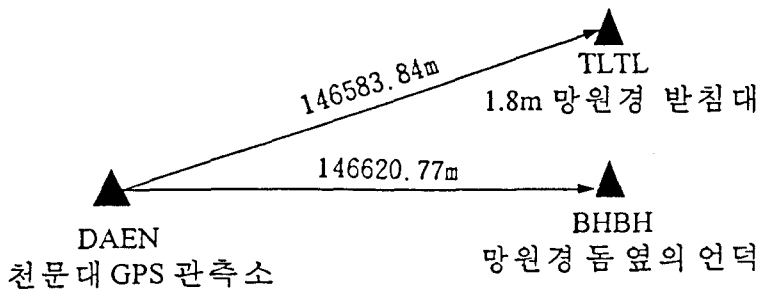


그림 4. 상대위치 측정의 개략도.

표 2. 천문대 GPS 관측소 (DAEN)의 WGS 84 좌표값과 정밀도.

	ϕ (도 분 초)	λ (도 분 초)	H (m)	X (m)	Y (m)	Z (m)
좌표값	36 22 27.9145	127 21 57.8788	77.61	-3120422.95	4086355.68	3761769.61
정밀도	± 0.0017	± 0.0028	± 0.03	± 0.059	± 0.039	± 0.062

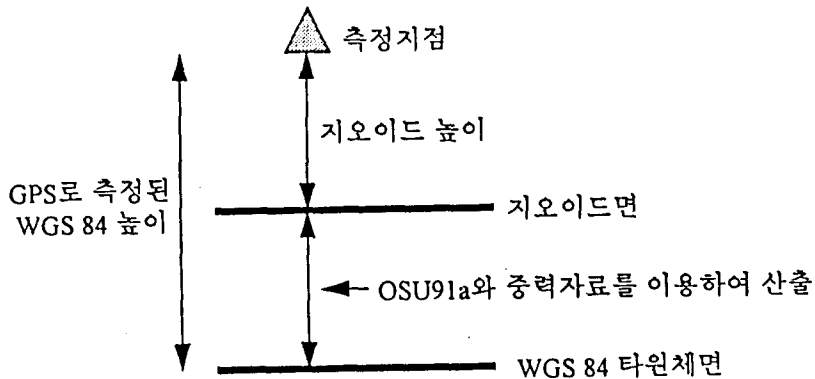


그림 5. 측지타원체 높이와 지오이드 높이의 관계.

5. 처리결과와 검토

GPS의 관측자료를 처리하여 구한 DAEN으로부터 각 지점까지의 거리 및 상대좌표는 표 3과 같다. 표 2에 표시된 DAEN의 절대좌표 (X,Y,Z)에 GPS로 측정된 표 3의 상대좌표 (DX, DY, DZ)를 더해주면 보현산 천문대 2지점의 WGS 84 절대좌표를 구할 수 있고 그 결과는 각각 표 4, 표 5와 같다. 표 4와 표 5에서의 높이 H는 WGS 84 타원체면에서 법선방향으로 잰 거리다. 표 3에 있는 상대좌표의 표준편차가 표 4, 5에 있는 X, Y, Z 절대좌표의 표준편차와 일치하는 양상을 보이는 것은 당연한 결과이다. 왜냐하면 GPS를 측량에 사용하는 경우 기준점과 각 지점을 잇는 기선의 상대좌표를 측정하여 기준점의 절대좌표에 더해주기 때문에 GPS로 측정한 상대좌표의 표준편차가 각 지점의 절대좌표에 그대로 반영된다. 표 3, 4, 5에서 보듯이 이 연구에서는 각 기선의 상대좌표가 TTL의 경우 2cm, BMBM의 경우 3cm의 표준편차를 가지고 측정되었다.

표 3. 기준점 DAEN으로부터 각 지점까지 측정된 거리와 상대위치.

세션	DAEN → TLTL				DAEN → BHBH			
	거리(m)	DX(m)	DY(m)	DZ(m)	거리(m)	DX(m)	DY(m)	DZ(m)
	146583+	-122810+	-77930+	-18110+	146620+	-122840+	-77960+	-18110+
352-2	0.83	-9.07	-6.07	-8.03	0.76	-7.52	-0.66	-8.23
352-3	0.85	-9.10	-6.07	-8.04	0.78	-7.55	-0.66	-8.24
352-4	0.86	-9.07	-6.13	-8.05	0.77	-7.52	-0.68	-8.23
352-5	0.84	-9.08	-6.07	-8.03	0.76	-7.53	-0.65	-8.23
352-6	0.83	-9.07	-6.08	-8.05	0.74	-7.50	-0.65	-8.23
353-3	0.84	-9.11	-6.04	-8.01	0.76	-7.57	-0.58	-8.20
353-4	0.84	-9.06	-6.10	-8.03	0.77	-7.53	-0.66	-8.21
353-5	0.86	-9.12	-6.06	-8.02	0.77	-7.55	-0.64	-8.22
353-7	0.86	-9.11	-6.09	-8.01	0.79	-7.55	-0.68	-8.21
354-2	0.80	-9.04	-6.06	-8.06	0.73	-7.48	-0.66	-8.25
354-3	0.84	-9.07	-6.09	-8.06	0.77	-7.53	-0.66	-8.26
354-4	0.86	-9.11	-6.08	-8.02	0.79	-7.56	-0.65	-8.22
354-5	0.86	-9.11	-6.06	-8.01	0.79	-7.56	-0.64	-8.20
354-6	0.82	-9.08	-6.06	-8.02	0.78	-7.54	-0.67	-8.22
354-7	0.84	-9.10	-6.07	-8.00	0.78	-7.54	-0.66	-8.21
355-4	0.83	-9.05	-6.11	-8.05	0.76	-7.49	-0.69	-8.25
355-5	0.84	-9.07	-6.10	-8.05	0.74	-7.49	-0.66	-8.25
355-6	0.81	-9.05	-6.06	-8.01	0.71	-7.49	-0.62	-8.20
355-7	0.85	-9.08	-6.10	-8.03	0.79	-7.52	-0.71	-8.23
356-3	0.86	-9.07	-6.12	-8.06	0.79	-7.53	-0.69	-8.26
356-4	0.84	-9.07	-6.10	-8.03	0.80	-7.54	-0.70	-8.24
356-5	0.84	-9.08	-6.08	-8.04	0.73	-7.49	-0.65	-8.24
356-7	0.84	-9.10	-6.04	-8.02	0.76	-7.53	-0.64	-8.22
평균	0.84	-9.08	-6.08	-8.03	0.77	-7.53	-6.59	-8.23
σ_s	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.02
σ_m	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.006	0.006	0.004

표 4. TLTL의 WGS 84 좌표와 표준편차.

세션	ϕ (") 36°9'	λ (") 128°58'	H (m) 1158+	X (m) -3243240+	Y (m) 4008410+	Z (m) 3743650+
352-2	53.1942	35.6823	0.42	-2.02	9.61	1.58
352-3	53.1939	35.6832	0.43	-2.05	9.61	1.58
352-4	53.1947	35.6837	0.37	-2.02	9.55	1.56
352-5	53.1941	35.6827	0.42	-2.03	9.61	1.58
352-6	53.1940	35.6826	0.40	-2.02	9.60	1.56
353-3	53.1940	35.6827	0.46	-2.06	9.63	1.60
353-4	53.1948	35.6829	0.40	-2.02	9.58	1.58
353-5	53.1939	35.6836	0.45	-2.07	9.62	1.59
353-7	53.1947	35.6840	0.44	-2.06	9.59	1.60
354-2	53.1940	35.6811	0.39	-2.00	9.61	1.55
354-3	53.1940	35.6830	0.39	-2.02	9.58	1.56
354-4	53.1942	35.6838	0.43	-2.06	9.60	1.59
354-5	53.1942	35.6835	0.45	-2.06	9.61	1.60
354-6	53.1943	35.6821	0.43	-2.03	9.62	1.59
354-7	53.1947	35.6832	0.45	-2.05	9.61	1.61
355-4	53.1947	35.6827	0.36	-2.00	9.56	1.56
355-5	53.1941	35.6831	0.39	-2.03	9.58	1.56
355-6	53.1949	35.6816	0.43	-2.01	9.62	1.60
355-7	53.1948	35.6834	0.41	-2.03	9.58	1.59
356-3	53.1941	35.6836	0.37	-2.03	9.56	1.55
356-4	53.1948	35.6831	0.39	-2.02	9.57	1.58
356-5	53.1941	35.6829	0.41	-2.03	9.60	1.57
356-7	53.1939	35.6826	0.46	-2.05	9.63	1.59
평균	53.1943	35.6829	0.42	-2.03	9.60	1.58
σ_s	0.0004	0.0007	0.03	0.02	0.02	0.02

표 5. BHBH의 WGS 84 좌표와 표준편차.

세션	ϕ (") 36°9'	λ (") 128°58'	H (m) 1157+	X (m) -3243270+	Y (m) 4008390+	Z (m) 3743650+
352-2	53.2124	37.1857	0.32	-0.47	5.02	1.38
352-3	53.2119	37.1866	0.32	-0.50	5.02	1.37
352-4	53.2127	37.1862	0.30	-0.47	5.00	1.38
352-5	53.2121	37.1858	0.32	-0.48	5.03	1.38
352-6	53.2127	37.1850	0.31	-0.45	5.03	1.39
353-3	53.2115	37.1853	0.40	-0.52	5.10	1.41
353-4	53.2129	37.1862	0.33	-0.48	5.01	1.40
353-5	53.2121	37.1860	0.35	-0.50	5.04	1.39
353-7	53.2130	37.1872	0.33	-0.50	5.00	1.40
354-2	53.2123	37.1846	0.28	-0.43	5.02	1.36
354-3	53.2117	37.1861	0.30	-0.48	5.02	1.35
354-4	53.2123	37.1868	0.34	-0.51	5.02	1.40
354-5	53.2124	37.1867	0.36	-0.51	5.04	1.41
354-6	53.2128	37.1867	0.32	-0.49	5.00	1.40
354-7	53.2127	37.1865	0.33	-0.49	5.02	1.40
355-4	53.2127	37.1858	0.26	-0.44	4.98	1.36
355-5	53.2125	37.1849	0.29	-0.44	5.02	1.37
355-6	53.2130	37.1839	0.34	-0.44	5.06	1.41
355-7	53.2132	37.1872	0.28	-0.47	4.96	1.38
356-3	53.2123	37.1868	0.28	-0.48	4.98	1.36
356-4	53.2127	37.1874	0.29	-0.49	5.00	1.38
356-5	53.2124	37.1847	0.30	-0.44	5.03	1.37
356-7	53.2123	37.1857	0.34	-0.48	5.04	1.39
평균	53.2125	37.1860	0.32	-0.48	5.02	1.38
σ_s	0.0004	0.0009	0.03	0.03	0.03	0.02

표 6. OSU 91a와 지형보정에 의한 지오이드 높이의 계산결과.

측정지점	WGS 84 높이 (1)	OSU 91a (2)	지형보정 (3)	GEOID-WGS84 (4)=(2)+(3)	GEOID 높이 (5)=(1)-(4)
TLTL	1158.42m	29.37m	0.39m	29.76m	1128.66m
BHBH	1157.32m	29.37m	0.39m	29.76m	1127.56m

표 7. GPS로 결정된 1.8m 망원경 축의 정밀좌표와 정밀도.

	ϕ (")	λ (")	$H_{WGS\ 84}$ (m)	H_{geoid} (m)	X (m)	Y (m)	Z (m)
	36°9'	128°58'	1162+	1132+	-3243244+	40084122+	3743653+
좌표값	53.1943	35.6829	0.47	0.71	0.09	0.14	0.97
정밀도	±0.0018	±0.0029	±0.04	±0.13	±0.06	±0.04	±0.07

거리 측정의 정밀도를 “표준편차/기선”의 길이로 나타낼 때 약 $0.1 \times 10^{-6} = 0.1$ ppm (parts per million)의 정밀도를 보였다. 여기에서 사용한 표준편차 σ_s 는 다음의 식으로 계산된 것이다. 아래의 식에서 x_i 는 각각의 측정치, \bar{x} 평균, n 은 측정횟수를 의미한다.

$$\sigma_s = \sqrt{\frac{1}{(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (1)$$

우리나라의 지도에서 표시하고 있는 높이는 우리나라의 평균해수면 즉, 지오이드면에서부터 잴 높이이다. 따라서 측정지점들의 평균해수면 높이를 구하기 위하여는 GPS로 측정된 WGS 84 높이로부터 지오이드 높이를 계산할 필요가 있다. 이를 위하여 미국의 Ohio 주립대학에서 개발한 OSU91a 지오이드 모델로 WGS 84 측지타원체면과 지오이드면간의 거리를 계산하였고 우리나라 중력측정 데이터를 이용한 지형보정을 해준 후, 측정된 WGS 84 높이에서 빼주었으며 그 결과는 표 6과 같다. 표 6에 표시된 지오이드 높이의 rms 오차는 약 ±14cm이다 (최광선과 박필호 1994). WGS 84 측지 타원체 높이와 지오이드 높이의 관계는 그림 5와 같다.

1.8m 망원경으로 별을 추적하거나 관측된 자료를 처리하기 위하여 망원경의 좌표를 이용할 경우에는 망원경 축에서의 좌표가 입력되어야 한다. 따라서 그림 2에서 나타낸 바와 같이 망원경 받침대와 망원경 축간의 거리 4.045m 만큼을 표 4에 수록한 TLTL의 평균 높이값에 더해 주어 1.8m 망원경 축에서의 절대좌표를 표 7과 같이 결정하였다. 표 7에서 절대좌표의 정밀도는 표

2에 표시된 기준점 좌표의 정밀도에 표 4에 표시된 기선 측정의 평균오차 σ_m 을 더해 준 것이다. σ_m 은 평균값의 오차를 의미하며 (2)식에 의하여 계산된다. 표 7에서 보듯이 이 연구를 통하여 1.8m 망원경 축의 3차원 WGS 84 절대좌표가 X, Y, Z 성분별로는 각각 6cm, 4cm, 7cm 전체적으로 볼 때는 rms 오차 6cm의 정밀도로 결정되었다.

$$\sigma_m = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (2)$$

6. 결 론

GPS를 이용하여 천문대 GPS 관측소로부터 보현산 천문대의 2지점까지 거리를 약 0.1 ppm의 정밀도로 측정할 수 있었고 상대좌표는 TLTL의 경우 2cm, BHBH의 경우 3cm의 표준편차를 가지고 측정할 수 있었다. 이와 같이 측정된 상대좌표를 이용하여 보현산 천문대 1.8m 망원경 축의 3차원 절대좌표를 WGS 84 좌표계상에서 rms 오차 6cm의 정밀도로 결정할 수 있었다. Kim *et al.* (1985)이 천문관측을 통하여 결정된 대덕전파 천문대의 위도와 경도의 오차가 각각 0''.06, 0''.17인 점을 감안할 때, GPS를 이용함으로써 천문측량에 의한 방법보다 정밀도면에서 훨씬 좋은 좌표를 단기간에 산출할 수 있었다. 이 좌표는 보현산 천문대에서 1.8m 망원경으로 별을 찾고 추적하는 것은 물론 관측된 자료를 정밀하게 처리하고 분석하는데 있어 기준이 되는 정밀좌표로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

참고 문헌

- 박필호, 한인우, 김천휘, 강준목 1991, 한국측지학회지, 9(1), 37
 박필호, 한인우, 이정숙, 심경진 1992, 기본연구 보고서(92-5100-002), 과학기술처
 박필호, 박종욱, 강준목 1993, 한국측지학회지, 11(1), 37
 최광선, 박필호 1994, 대한토목학회 1994년 추계 학술발표회 논문집, 439
 Defense Mapping Agency 1991, DMA TR 8350.2, 2nd Edition, 1991
 Choi, C. H. & Shin, G. H. 1976, Pub. Korean Nat'l Astro. Obs. 1, 13
 Kim, H. G., Auh, B. R., Kwon, S. M. & Park, J. W. 1985, Pub. Korean Nat'l Astro. Obs. 7, 31