

# 천문 경위도 결정에 있어서 GPS의 응용 가능성 검토

## A Examination about Application Possibility of GPS in Determination of Astronomic Latitude and Longitude

강 준 목*	오 원 진**	손 흥 규***	이 용 옥****
KANG, Joon-Mook	OH, Won-Jin	SOHN, Hong-Gyoo	LEE, Young-Wook

### 要 旨

천문 경위도는 그 동안 애스트로레이브, 테오돌라이트 등을 이용한 천문 측량에 의해 결정되어 왔다. 그러나 천문 측량 방법은 기상 조건에 많은 영향을 받음은 물론 보정 과정이 복잡하여 많은 시간과 비용이 소요되므로 보다 효율적 기법의 연구가 요망되고 있다.

본 연구에서는 GPS 성과와 기존의 정표고 성과를 조합하여 천문 경위도를 산출하는 방법을 제시하고자 한다. 천문 경위도 결정에 많은 영향을 미치는 정표고는 GPS/leveling 방법 지구 중력장 모델을 사용한 DMA 방법 및 OSU91A 방법으로 도출하였으며 이를 근거로한 각 기법별 천문 경위도를 기존 천문 측량 성과와 비교하였다.

연구 결과 두 성과는 1~3초 정도의 차이를 나타냈으며 정표고의 정확도가 천문 경위도 결정에 큰 영향을 미치므로 보다 이상적인 지오이드 모델이 개발된다면 GPS 관측만으로도 천문 경위도를 효율적으로 산정할 수 있을 것으로 기대된다.

### ABSTRACT

The calculation of astronomic latitude and longitude have been carried by astrolabe, theodolite. Conventional procedures to determine it require clear weather conditions, time high cost. So we need more effective method to decide them.

The objective here is to present method to computate astronomic latitude and longitude by mixing GPS observation result and geodetic height. Also to decide geodetic height we used GPS/leveling, DMA(n=m=180) and OSU91A(n=m=360) methods.

Compared to conventional procedures we could obtain astronomic latitude and longitude using GPS by 1~3" difference. If the precise geoid model of Korea will be developed, we can compute astronomic latitude and longitude effectively using GPS observation only.

\* 충남 대학교 토목공학과 교수

\*\* 충청 전문대학 지적과 조교수

\*\*\* 美 The Ohio State Univ. 박사과정

\*\*\*\* 충남 대학교 대학원 석사 과정

## 1. 서론

천문측량은 태양이나 별을 이용하여 임의 점의 천문 좌표를 구하는 것으로 다른 지점과 관계 없이 위치를 결정할 수 있는 방법이다. 이렇게 구한 천문 좌표는 관측 지점의 지오이드에 대한 법선인 연직선을 기준으로 하고 있지만 측지 좌표는 준거 타원체의 법선을 기준으로 하고 있어, 이 두 법선 간에는 연직선 편차가 발생하며 이는 각 지역마다 다르게 나타난다. 이러한 연직선 편차를 통해 지오이드 기복과 정확한 지구 형상을 결정할 수 있으며 천문 측량을 통해 연직선 편차를 구할 수 있으므로 천문측량은 측지 분야에 중요한 역할을 한다. 그러나 천문 측량은 기상 여건에 많은 영향을 받을 뿐만 아니라 많은 인원과 관측시간, 비용등이 요구되므로 보다 효율적으로 천문 경위도를 결정할 수 있는 기법이 요구되어 왔다.

본 연구에서는 GPS를 이용하여 천문 경위도를 보다 쉽게 결정할 수 있는 방법을 제시하는데 그 목적을 두고 천문 경위도 산정식을 유도한 다음 이에 따른 관측 방정식을 형성하였다. 실험 지역은 기존의 천문 측량이 수행된 지점들을 선별하여 천문점을 고정점으로 하고 보조점은 천문점 중심의 3, 4등 삼각점을 동서 남북 4개 상한에 고르게 분포되도록 5~6개의 측점을 선정하였으며 기선길이는 5km 미만으로 설정하였다. 관측 방정식에 적용되는 정표고는 GPS/leveling 방법<sup>3)</sup>, 지구 중력장 모델을 사용한 OSU91A 이용한 방법과 DMA 방법<sup>10)11)</sup>을 사용하였다. 이와 같이 구한 정표고와 GPS 성과를 통해 관측 지역의 WGS 84 타원체에 대한 연직선 편차를 산출하고 이에 따른 천문 경위도를 구하였으며 천문 측량을 통해 구한 연직선 편차와 천문 경위도를 각각 비교 분석하여 그 타당성을 검토하였다.

## 2. 천문 경위도 산정의 기본식 유도

연직선 편차는 타원체의 법선과 지오이드의 법선이 이루는 편차로 지구 중력으로 인한 차이이다. 이 연직선

편차를 구하기 위해서 지오이드 고의 차를 구하여야 하고 이는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\Delta N = N_2 - N_1 \quad (2.1)$$

여기서,  $N_1, N_2$  : 두 지점의 지오이드 고

식 2.1은 그림 2.1에서 나타난 바와 같이 정표고와 타원체고의 형태로 표현될 수 있다.

$$\Delta N = \Delta h - \Delta H \quad (2.2)$$

여기서,  $\Delta h = h_2 - h_1$ ,  $\Delta H = H_2 - H_1$

( $h_1, H_1$  : 1지점의 타원체고, 정표고)

$h_2, H_2$  : 2지점의 타원체고, 정표고)

그림 1.1에서 나타난 바와 같이 연직선 편차  $\epsilon$ 는 두 지점의 거리를 지오이드고의 변화로 나눈 식 2.3과 같이 된다.<sup>5)</sup>

$$-\epsilon = \frac{\Delta h - \Delta H}{\Delta S}, \quad \epsilon = \frac{\Delta H - \Delta h}{\Delta S} \quad (2.3)$$

또한 연직선 편차는 식 2.4와 같이 남북 방향의 편차  $\xi$  성분과 동서 방향의 성분  $\eta$  로 표현된다.

$$\epsilon = (\cos \alpha) \xi + (\sin \alpha) \eta \quad (2.4)$$

식 2.4를 식 2.3에 대입하면 식 2.5와 같이 된다.

$$\Delta h - \Delta H + \Delta S(\cos \alpha) \xi + \Delta S(\sin \alpha) \eta = 0 \quad (2.5)$$

( $\alpha$  : 방위각,  $\Delta S$  : 두 지점의 기선거리)

타원체고, 기선거리 및 방위각은 GPS 성과로부터 구할 수 있으므로 식 2.5로부터 연직선 편차 성분인  $\xi$ ,  $\eta$ 를 구할 수 있게된다.

또한 연직선 편차는 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$\xi = \Phi - \varphi \quad (2.6)$$

$$\eta = (A - \lambda) \cos \varphi \quad (2.7)$$

$A, \Phi$  : 천문 경위도  $\lambda, \varphi$  : 측지 경위도

따라서 연직선 편차와 측지 경위도 성과를 알고 있다면 식 26, 27로부터 천문 경위도를 도출할 수 있다.<sup>12)</sup>

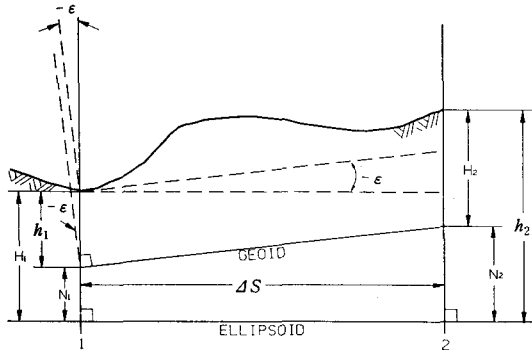


그림 2.1 관측지역

### 3. 관측 및 자료 분석

GPS 관측은 천문측량이 수행된 용인, 전주, 아산, 한산점을 고정점으로 하고 보조점은 천문점을 중심으로 5km 이내에 분포된 삼각점을 4개 상한에 고르게 분포되도록 선정하였으며 측점수는 총 32점으로 하였다. 관측지역은 그림 3.1과 같다.

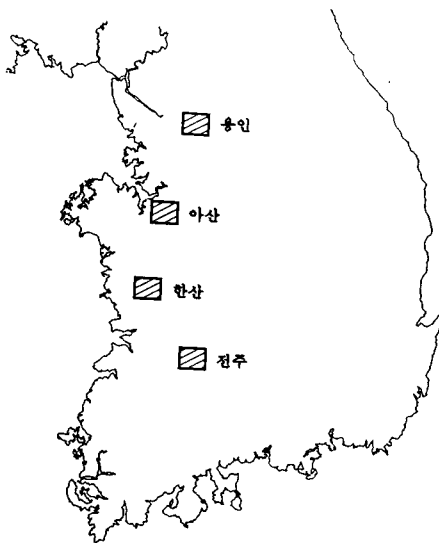


그림 3.1 관측 지역

GPS 관측은 Trimble 4000SE single frequency 수신기 3대를 이용하여 위성 시계와 기하학적 분포가 양호한 시간을 택하여 각 session 당 1시간씩 수행하였다. 관측 위성의 수는 최소 4개로 하여 고도 10° 이상의 위성으로부터 데이터를 수신하도록 하였다. 자료 처리는 TRIMVEC-PLUS software의 MBP(Multi Baseline Processing) 방식에 의해 처리하였으며 baseline processing에서 결정된 최적의 성과를 기본 자료로 하여 내부 구속 조건에 의한 조정 결과를 3차원 오차 타원에 의해 검토하고 기선 길이, 방위각, 높이의 표준 오차와 잔차에 대한  $\tau$ -검정을 실시하였다. 3차원 관측 자료의 과대 오차 유무를 히스토그램 상에서  $\tau$ -검정 영역의 상·하한선으로 확인하여 과대 오차가 내포된 측점의 기선, 방위각, 높이 벡터를 검출한 후 재조정하였다. 조정의 적합성을 판단하기 위하여 경중률의 변화에 따른 reference factor를 검토하고 최종적으로  $\chi^2$ 검정이 채택되게 함으로써 WGS 84 좌표계의 3차원 좌표를 결정하였다. 또한 WGS 84 성과 내에 포함되어 있는 우연 오차를 오차 타원으로 도시하여 정밀도를 분석하였다. 이를 통해 구한 각 측점의 WGS 84 좌표값은 표 3.5와 같다.<sup>47)</sup> 각 관측지역의 기준점으로부터 보조점까지의 기선거리( $\Delta S$ ) 및 방위각( $\alpha$ )은 표 3.1, 3.2, 3.3, 3.4와 같다.

표 3.1 용인지역의 기준점으로 보조점까지의 기선 거리 및 방위각

관측점	406	407	408	409	412	414
$\Delta S(m)$	2157.	3393.	3381.	2465.	2830.	4381.
	7939	1373	8332	9790	1428	3918
$\alpha$	230	328	193	35	96	127
	34	41	07	32	02	11
	41.45	20.69	7.72	51.85	44.78	7.54

표 3.2 전주지역의 기준점으로 보조점까지의 기선 거리 및 방위각

관측점	309	411	412	414	417
ΔS(m)	3806.	3071.	3834.	1509.	2630.
	5553	2781	2467	3738	0477
α	182	310	210	0	87
	16	06	10	11	52
	57.0448	55.6065	07.5670	58.2296	14.2384

표 3.3 한산지역의 기준점으로 보조점까지의 기선 거리 및 방위각

관측점	HS01	WW	AA03	HG	JL
ΔS(m)	1694.	2410.	800.	897.	1966.
	2068	9615	1319	1941	1405
α	227	172	107	52	357
	02	05	35	25	29
	23.2546	05.2495	48.8667	28.9787	35.0690

표 3.4 아산지역의 기준점으로 보조점까지의 기선 거리 및 방위각

관측점	315	445	448	447	450	A04	A01	A02	A05	A06	A07	A08
ΔS(m)	4060.667	2473	3922	3306	2370.791	5088.705	1447.894	1600.829	1267.376	2169.042	6599.260	4906.143
		.7867	.327	.657								
α	261	298	12	209	136	125	326	142	181	81	234	83
	51	26	15	16	15	18	54	18	27	10	45	05
	20.37	49.08	01.83	37.16	36.57	14.35	50.35	49.30	48.68	41.49	54.82	47.39

관측 지역	측점	위도( ' ' ' )	경도( ' ' ' )	높이(m)
용인	406	37 12 13.247190	127 02 50.134926	125.7939
	407	37 14 48.349170	127 02 33.519879	48.9551
	408	37 11 10.856228	127 03 26.600713	116.0103
	409	37 14 02.772847	127 04 55.883351	162.5462
	412	37 12 48.009509	127 05 51.866605	115.2095
	414	37 11 31.771722	127 06 19.251436	96.5170
	21	37 12 57.693815	127 03 57.720870	146.4256
전주	309	35 54 56.191282	127 07 04.632792	43.4708
	411	35 58 03.791239	127 05 36.938100	72.6402
	412	35 55 19.159874	127 05 40.418967	67.5036
	414	35 57 48.566997	127 07 10.889218	103.3891
	417	35 57 02.754033	127 08 55.552726	74.1597
	21	35 56 59.596289	127 07 10.679467	147.9322
	한산	AA03	36 11 34.392990	126 53 24.326044
HG		36 11 59.991147	126 53 22.262618	68.1399
HS01		36 11 04.780429	126 52 04.178700	35.2997
HS11		36 11 42.241946	126 52 53.799266	239.0794
JG		36 12 45.968989	126 52 50.356268	64.0707
WW		36 10 24.767118	126 53 07.084621	37.4352

표 3.5 의 계속

아산	315	36 46 31.966478	126 52 53.356926	163.9223
	445	36 47 28.875811	126 54 07.718441	114.6506
	447	36 45 17.086294	126 54 30.257377	111.0880
	448	36 48 55.000001	126 56 09.028416	99.0820
	450	36 45 55.087329	126 56 41.539835	128.3550
	A04	36 45 15.223960	126 58 22.871521	48.5229
	A01	36 47 30.010731	126 55 03.568914	44.9934
	A02	36 46 09.559505	126 56 14.910916	72.7404
	A05	36 46 09.557594	126 55 34.144037	95.9613
	A06	36 47 01.440554	126 57 01.892311	58.8159
	A07	36 44 47.093232	126 51 58.165030	40.0722
	A08	36 47 09.743217	126 58 51.886360	37.0699
	21	36 46 50.658108	126 55 35.449250	208.0831

각 방법별로 결정된 지오이드고와 관측된 WGS 84 타원체고를 이용하여 각 지역에 대한 정표고를 산출해보면 표 4.1, 4.2, 4.3, 4.4와 같다.

표 4.1 전주 지역의 정표고 성과

관측점	309	411	412	414	417	21
삼각점 표고(m)	17.31	46.64	41.00	76.94	47.90	122.96
GPS/leveling (m)	18.16	47.42	42.25	78.11	48.80	122.64
OSU91A (m)	17.93	47.25	42.05	77.90	48.56	122.43
DMA(m)	19.61	48.49	43.71	79.53	50.22	124.07

표 4.2 용인 지역의 정표고 성과

관측점	406	407	408	409	412	414	21
삼각점 표고 (m)	102.01	25.01	92.37	138.55	92.19	78.62	122.60
GPS/ leveling (m)	101.60	24.81	91.79	138.31	90.92	72.19	122.39
OSU91A (m)	101.79	25.00	91.97	138.48	91.09	73.36	122.38
DMA (m)	102.55	25.71	92.74	138.19	91.82	73.11	123.12

#### 4. 비교 분석

GPS관측을 통해 구한 성과를 GPS/leveling 방법, DMA 방법 및 OSU91A 방법을 이용하여 관측 지역의 지오이드고를 구한 결과는 그림 3과 같으며 GPS/leveling 방법과 OSU91A 방법은 23.7m~25.5m 정도의 분포를 나타내지만 DMA 방법은 22.8m~23.9m 정도의 분포를 나타내고 있다.

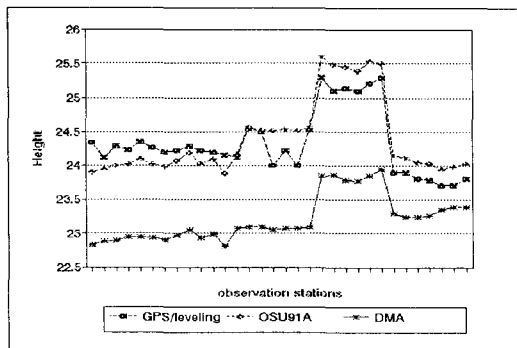


그림 3 관측 지역의 각 기법별 Geoid Height

표 4.3 한산 지역의 정표고 성과

관측점	HS01	WW	AA03	HG	HS11	JL
GPS/lev eling(m)	10.76	12.84	21.72	43.56	214.51	39.52
OSU91A (m)	10.78	12.86	21.74	43.58	214.53	39.54
DMA (m)	12.25	14.33	23.20	45.04	215.99	40.99

표 4.4 아산 지역의 정표고 성과

관측점	315	445	447	448	450	21	A02	A04	A05	A06	A07	A08	A01
삼각점표고	140.18	89.96	87.19	75.18	104.46	184.27							
GPS/leveling(m)	139.79	90.48	86.88	74.86	104.07	183.85	48.48	24.17	71.72	34.53	15.95	12.72	20.79
OSU91A(m)	140.02	90.71	87.09	75.07	104.26	184.06	48.63	24.34	71.92	34.72	16.18	12.89	21.01
DMA(m)	141.09	91.77	88.18	76.13	105.36	185.14	49.77	25.46	73.01	36.00	17.26	13.99	22.08

각 지역 관측점들의 삼각점 표고 성과와 각 기법별로 구한 정표고와의 차이를 비교하면 GPS/leveling 방법과 OSU91A 방법이 2등 삼각점 표고 성과와는 30cm 정도의 차이를 나타내고 있지만 3,4등 삼각점의 경우에 있어서는 1~2m 정도의 차이를 나타내고 있다. 특히 용인 지역의 414 삼각점 표고 성과와의 차이는 5~6m 정도로 크게 나타나고 있었다.

정표고 성과와 GPS 측량 성과를 통해 구한 기선 거리, 방위각 및 타원체고를 식 2.5에 대입하여 WGS 84타원체에 대한 연직선 편차를 구하면 표 4.5와 같다.

표 4.5 WGS 84 타원체의 연직선 편차

관측지역	정표고	삼각점표고	GPS/leveling	DMA	OSU91A
전주	$\xi(")$	0.6732	-0.0252	-0.0108	-0.043200
	$\eta(")$	-0.0432	0.0900	0.1152	0.133200
용인	$\xi(")$	1.2312	-0.0720	0.3816	-0.000006
	$\eta(")$	-1.7028	0.1404	0.3888	0.000030
아산	$\xi(")$	0.1908	-0.0255	-0.0108	-0.032400
	$\eta(")$	-0.3888	0.0900	0.0972	0.115200
한산	$\xi(")$		-0.0252	-0.0144	-0.028800
	$\eta(")$		0.0900	0.0972	0.097200

천문 측량을 통해 구한 천문점의 Bessel 타원체에 대한 연직선 편차는 표 4.6과 같으며 WGS 84 타원체에 대한 연직선 편차 보다 비교적 큰 값으로 나타났다.

표 4.6 Bessel 타원체의 연직선 편차

전주	$\xi(")$	10.590
	$\eta(")$	-15.085
용인	$\xi(")$	11.487
	$\eta(")$	-14.071
아산	$\xi(")$	14.175
	$\eta(")$	-13.339
한산	$\xi(")$	11.665
	$\eta(")$	-12.152

WGS 84 타원체의 연직선 편차와 경위도를 식 2.6과 식 2.7에 대입하여 천문 경위도를 산출하면 표 4.7과 같다.

표 4.7 관측지역의 각 기법별 천문 경위도

관측지역	정표고	삼각점표고	GPS/leveling	DMA	OSU91A
		고	ng		
전주	위도	35 57	35 56	35 56	35 56
	( $^{\circ}$ ' ")	00.2691	59.5707	59.5891	59.5527
	경도	127 07	127 07	127 07	127 07
	( $^{\circ}$ ' ")	00.219	00.384	00.415	00.438
용인	위도	37 12	37 12	37 12	37 12
	( $^{\circ}$ ' ")	57.925	57.6217	58.0753	57.6721
	경도	127 03	127 03	127 03	127 03
	( $^{\circ}$ ' ")	45.183	47.491	47.802	47.449
아산	위도	36 46	36 46	36 46	36 46
	( $^{\circ}$ ' ")	50.849	50.633	50.647	50.626
	경도	126 55	126 55	126 55	126 55
	( $^{\circ}$ ' ")	24.561	25.156	25.165	25.186
한산	위도		36 11	36 11	36 11
	( $^{\circ}$ ' ")		42.2166	42.2274	42.213
	경도		126 52	126 52	126 52
	( $^{\circ}$ ' ")		56.790	56.634	56.799

이와 같이 산출한 천문 경위도와 기존의 천문 측량을 통해 구한 성과의 차이를 나타내면 그림 41, 그림 42, 그림 43, 그림 44와 같다. 여기서 TPH (Triangulation Point Height)는 삼각점 표고 성과를 대입하여 구한 천문 경위도 성과이다.

한산 지역을 제외한 나머지 지역에 있어서 삼각점 표고 성과를 대입하여 천문 경위도를 산출한 값과 각 기법별로 산출한 천문 경위도가 약간의 차이를 나타내고 있었다. 전주 지역에서는 천문 경위도에서 1초미만의 차이를 보였고 용인 지역의 경우는 천문 위도에서는 1초 정도의 차이를 나타내고 있었고 경도에서는 1초미만의 차이를 나타내고 있었다. 그러나 삼각점 표고를 사용한 경우에 있어서는 천문 위도에서 2초 정도의 차이를 보이고 있는데 이는 414점의 표고 오차에서 기인하는 것으로 사료된다. 아산 지역에서는 천문 위도에서 다른 지역의 경우와 달리 천문 측량에

의해 구한 성과와 모든 기법들이 3초 정도의 차이를 보였다. 한산 지역에 대해서는 삼각점 표고성과를 사용하지 않고 임의 지점에 GPS관측을 통해 각 기법별로 정표고를 산출하여 기본 방정식에 대입하여 천문 경위도를 구하였으며 두 성과의 차이는 천문 위도에서 1초 정도의 차이를 나타냈고 경도에서는 2초 정도의 차이를 나타냈다. 이와 같이 각 지역에 대해 천문 측량을 통해 구한 성과와 차이를 구하였을 때 1~3초 정도의 차이를 나타냈다.

### 5. 결론

천문 경위도 결정에 있어서 GPS의 응용 가능성을 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) GPS 성과와 정표고 성과의 조합에 의해 WGS 84

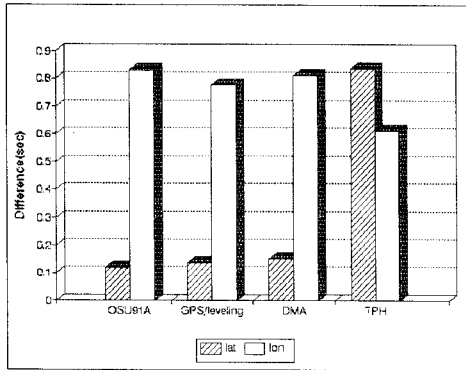


그림 41 천문 측량 성과와의 차 (전주)

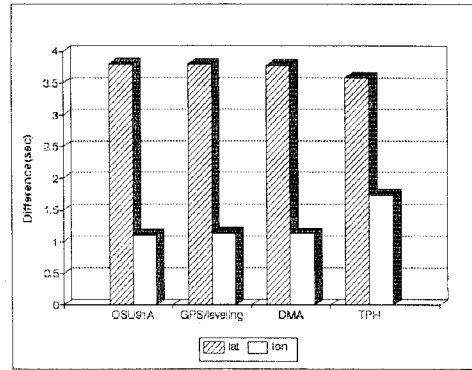


그림 43 천문 측량 성과와의 차 (아산)

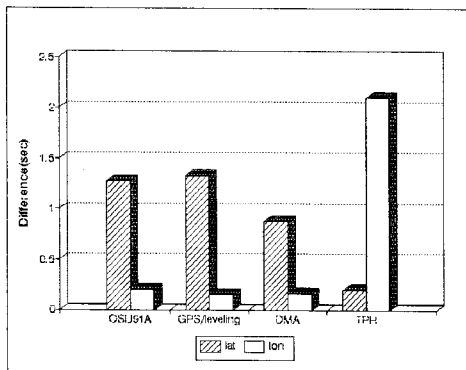


그림 42 천문 측량 성과와의 차(용인)

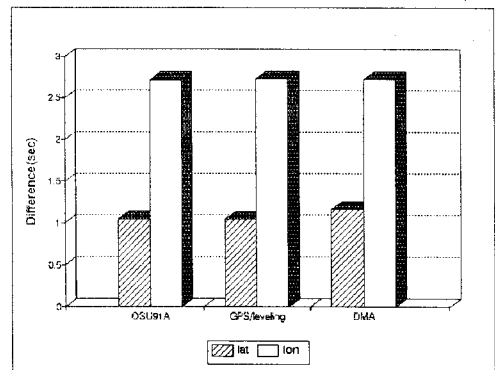


그림 44 천문 측량 성과와의 차 (한산)

타원체의 연직선 편차와 천문 경위도를 산정한 결과 정표고 성과가 연직선 편차와 천문 경위도에 영향을 미침을 알았다.

- (2) WGS 84 타원체의 연직선 편차는 천문 측량을 통해 얻은 Bessel 타원체의 연직선 편차보다는 비교적 작은 값을 나타내었다.
- (3) 기존 천문측량 성과와 GPS에 의한 천문 경위도 성과를 비교한 결과 1~3" 차이로 접근하였으므로 GPS에 의해서도 천문 경위도 결정이 가능할 것으로 사료된다.
- (4) 이상적인 지오이드 모델이 개발된다면 정밀 천문 측량에 의하지 않고 GPS 성과만으로도 천문 경위도를 효율적으로 결정할 수 있을 것으로 기대된다.

### 감사의 글

본 연구는 93년도 한국과학재단 연구비 지원(과재번호 93-08-00-05)에 의한 연구의 일부로서 한국과학재단에 깊이 감사드립니다.

### 참고 문헌

1. Bomford, Geodesy, Third Edition, 1971, pp. 447-556.
2. Peter VANICEK & Edward J. KRAKIWSKY, Geodesy The Concepts, 1982, pp. 97-117.
3. 강준목, 'GPS에 의한 Geoid Height 결정' 한국학술진흥재단, 1991.
4. Allision MT. 'Multi-Observable Processing Techniques for Precise Relative Positioning In', Proceedings of ION GPS 91, The Fourth International Technical Meeting of the Satellite Division of the US Institute of Navigation, Albuquerque, New Mexico, Sept 11-13, 1991, pp. 715-726.
5. EVANS Alan G., et al., Vertical Deflection and Astronomic Azimuth derived from GPS and leveling, Proceedings of the Fifth International Symposium, 1989, Vol. II, p. 945-955
6. Leick Alfred, "Adjustment Computations", 1980.
7. Lukac Carl F., Qixiang Zhuang, "Comparision between Geodetic Survey Results and GPS Positioning Using C/A-Code Receiver", Proceedings of the Fifth International Geodetic Symposium on Satellite Positioning, 1989, pp. 1083-1089.
8. Hintz Raymond J., William J. Blackham, Bruce M. Dana, Joon-Mook Kang, "Least Squares Analysis as a Tool in Coordinate and Measurement", ACSM, Vol. 48, No. 3, 1988, pp. 173-183.
9. 김기성 '측지 지구물리 총론' 1987, pp. 23-47.
10. Supplement to Department of Defence World Geodetic System 1984 DMA, Technical Report : Part I - Methods, Techniques, and Data Used in WGS 84 Development ; DMA TR 8350.2-A ; Headquarters, Defence Mapping Agency; Washington, DC; December 1987.
11. Supplement to Department of Defence World Geodetic System 1984 DMA, Technical Report : Part II - Parameters, Formulas, and Data Graphics for The Practical Application of WGS 84 ; DMA TR 8350.2-A ; Headquarters, Defence Mapping Agency; Washington, DC; December 1987.