

GPS 방식에 의한 정밀기준점 측량의 실용화에 대한 연구

Using Global Positioning System(GPS) to a Precise Control Survey in Korea

李 榮 鎭*

Lee, Young Jin

Abstract

The emergence of the Global Positioning System(GPS) with its benefits of speed and economy now offers an opportunity to analyse, strengthen, densify and constitute the control network, in addition to providing mapping, cadastral and engineering control under the unfavorable conditions. This research aims at the using of GPS compared to conventional geodetic positioning techniques in Korean primary control networks. A GPS test network of 10km baselines, which is measured and analysed by Wild GPS-System 200, are compared to the distances from EDM and official coordinates, and relative GPS heights are transformed to the height differences on the mean sea level. The results of this study confirms that using GPS merely as a new type of instrument is the most powerful method for the densification of the control points retaining existing networks and existing computational procedures.

요 지

지구측위시스템(GPS)의 등장은 새로운 기준점망의 구성과 기설망의 해석, 강화, 고밀도화의 작업에 신속성과 경제성을 부여할 수 있게 되었으며, 열악한 기상조건에서도 지도제작, 지적측량, 건설공사의 기준점 설정에서의 적용이 가능하기에 이르렀다. 이 논문에서는 GPS 측량기법의 실용화에 목적을 두고 있으며 기존의 EDM 방식에 의한 정밀기준점 측량을 대체할 수 있는지를 검토하였다. 정밀 1차 기준점망인 평균변장 10 km의 시범망을 Wild GPS-System 200에 의해 관측하고 이 거리와 EDM 거리 및 실용성과와를 비교분석하였으며 상대고저차를 평균해면상의 값으로 변환코자 하였다. 연구결과를 종합해 보면, 국가기준점망의 구성에 있어 GPS를 하나의 새로운 관측장비로 취급하는 기법에 의하여 기존의 망구성과 계산체계를 유지할 수 있으므로 기존의 측량기법을 대체할 수 있음이 제시되어 있다.

1. 서 론

지구측위시스템(Global Positioning System; GPS)의 도입은 기준점측량의 분야에서 일대 혁신이 이

루어져 새로운 망의 구성은 물론이고 기설망의 고밀도화와 해석이 가능하게 되었으며, 지도제작, 지적측량, 건설공사측량 등에서 필요한 기준점을 신속하고도 경제적으로 설정할 수 있고 종래의 기상 상태에 따른 보정문제나 시야선확보의 문제가 해결

*정희원 · 서울시립대, 한양대 공대 강사

되어 중·장거리측량용 토탈스테이션(Total Station)의 역할이 기대되고 있다.

최근에는 P코드/위상측정용 2주파수 수신기가 개발되어 기선측정에서 5 mm+1 ppm의 정확도가 가능해졌으며 신속측정(rapid-static measurements)이나 지물측정(stop-and-go survey)의 기법이 널리 보급되고 있다.

그러나, 미국 국방성(DoD)에서는 비상시에 A-S(Anti-Spoofing)의 형태로 P코드를 봉쇄하여 Y코드로 바꾸게 되므로 실용상으로는 P코드의 적용이 불가능하다.^(7,8) 이에 대한 대비책으로서 Y코드의 작동여부를 자동적으로 검출하여 Y코드가 작동할 때에는 스퀘어링 기법(squaring techniques)으로 전환하여 L₂위상을 P코드 상태에서와 거의 동등한 정확도로 추적해 낼 수 있는 수신기가 보급되고 있으며,⁽⁹⁾ 국내에서도 이영진(1993)에서 이에 대한 기초연구가 수행된 바 있다.⁽³⁾

이 방법을 이용한다면 P코드가 봉쇄될 경우에도 거의 모든 위성측량이 가능하게 되는 특성이 있으며, 다른 방식으로서 2주파수에서의 변형된 코드를 수신하여 두 코드의 상관관계를 이용하는 기법(code correlation technique)이 개발된 상태이지만 국내에서는 아직 그 특성이 자세히 알려져 있지 않다. 현재의 추세는 수신기의 소형화와 경량화에 연구가 집중되고 있다.

국내에서도 지금까지 GPS측량에 대한 여러 연구가 수행되어 왔으나 실용화하는 데에는 국내 측지기준계와의 결합에서 많은 과제를 안고 있으며, 이 문제는 특히 복잡하고도 난해한 사항으로서 기존의 측지기준체계가 안고 있는 역사적 배경에 기인하고 있다.

고정밀도 측정에서는 상대측위의 기법을 사용해야 하기 때문에 3차원 좌표계상에서 좌표차(dx, dy, dz), 다시 말해서 경사거리와 고저차가 측정되므로 성과산정에서는 정확한 원점수치를 부여해야 하는 문제(datum problem)가 상존하고 있기 때문에 국가기준체계를 새롭게 설정해야 하고 별도의 GPS 기준망의 설정이 필요하기 때문에 실용화에 어려움을 안고 있다.

따라서 본 연구에서는 P코드/위상측정용 2주파수 GPS 수신기에 의해 평균변장 10 km의 시범망을

구성하고 기존의 정밀기준점측량과 비교, 분석함으로써 기본측량 뿐만 아니라 공공측량에 실용화할 수 있는 방법을 제시하는데 목적을 두고 있다.

2. 테스트망 및 관측

본 연구에서 설정한 테스트망은 평균변장 10 km인 정밀 1차기준점 4점으로 구성된 사변형망으로서 국립지리원에서 관리하고 있는 2등삼각점인 당진22, 당진23, 당진24, 당진25로 이루어져 있다.

테스트망은 그림 1에서 보여 주는 바와 같이 시범망에 당진25-동학산 삼각점간의 기선을 추가로 설정하여 초기좌표에 대한 적합성을 검토하고 이영진(1993)의 연구결과를 활용할 수 있도록 배치하였다.

이 망은 원래 국립지리원에서 측량기기의 검정과 지각변동연구를 위해 설치한 “시범망(base network)”이며, 1992년도에 한일협력사업으로서 Range-Master III(정확도 5 mm+1 ppm)에 의한 기선측정과 Trimble사의 P코드 측정용 SST수신기에 의해 GPS측량이 실시된 바 있다.⁽¹⁾

이 자료는 모두 국립지리원으로부터 제공받아 본 연구의 비교분석에 활용 하였는데 본 연구에서 실시한 GPS측량의 내용은 표 1과 같다.

GPS측량은 Wild GPS-System 200의 수신기 2대로서 이는 P코드/위상측정용 2주파수 수신기로서 Y코드의 문제까지도 완벽하게 해결한 수신기이다. 작업은 1993년 5월 15일~5월 17일까지의 3일간의 관측과 1일간의 답사와 계획이 소요되었다.

실측에 앞서 제작사에서 제공된 소프트웨어에 의

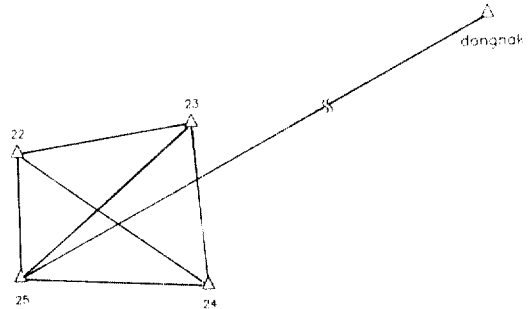


그림 1. 테스트망도

표 1. GPS 관측의 내용

Day	Time(LMT)	Occupied stations					Dist.
		25	24	23	22	DONG	
93-05-15	10:15-11:44 (90 min)	xx			xx		9.5 km
	12:14-13:43 (90 min)	xx		xx			12.6
	14:19-15:49 (90 min)	xx	xx				7.7
93-05-16	09:20-10:47 (90 min)			xx	xx		7.8 km
	11:23-12:50 (90 min)		xx	xx			8.5
	13:21-14:51 (90 min)		xx		xx		11.1
93-05-17	15:00-18:00 (3 hour)	xx				xx	54.5km

* Receiver: Wild GPS-System 200

해 적합한 수신시간대를 검토하고 GDOP가 8 이하이고 위성수가 5 이상이 되도록 하고 교통로와 접근시간 등을 세심하게 검토하여 관측에 무리가 없도록 일정계획을 세웠다.

테스트망의 6개 기선은 2대의 GPS수신기로서 각각 1시간 30분 동안 수신하였으며 당진25~동학산 간에는 3시간을 수신하여 제작사에서 부여한 규정에 만족되도록 하였다. 데이터의 수신과 전환에는 CR 233콘트롤러가 사용되었는데 저장된 데이터는 모두 PC로 전환하여 기선해석에 이용될 수 있도록 하였다.

3. 기선해석

3.1 기선해석

본 연구에서 관측된 GPS데이터는 제작사에서 제공한 후처리용 소프트웨어 SKI(Static-KInematic)에 의해 기선해석이 이루어졌으며 삼각형 폐합차에 대한 점검계산이 실시되었다.

SKI에서의 기선해석은 코드측정량과 위상측정량의 조합에 의해 상대좌표가 계산되며 20~30 km 이내의 거리에서 불확실상수(integer ambiguity)를 구하는 데에는 FARA(Fast Ambiguity Resolution Approach)해법을 사용하고 있다.⁽⁹⁾

모든 기선은 P-코드로부터 1점 측위된 결과에 의해 초기좌표를 산정하고 WGS84계에서 상대좌표를 결정하는 항법모드(navigation mode)를 사용하

였으며 단기선 방식으로 처리하였다. 이 때 자동처리의 조건중에서 저고도 위성각(cut-off angle)을 20°로 설정하고 불확실 상수의 해를 구하기 위해 몇가지의 내용을 달리한 점에서만 차이가 있다.

이영진(1993)에 의하면⁽³⁾ 항법모드에 의한 초기좌표가 1시간 이상의 수신으로서도 10 m 이내의 정확도가 확보될 수 있다는 사실에 근거를 두고 있으며, 실제로 국립지리원 구내의 원점-동학산-당진25를 연결하여 결정된 좌표를 초기좌표로 사용하여도 기선해석의 결과에서는 단지 수 mm 이하로 나타나므로 자동처리의 방식이 유용함을 확인할 수 있었다.

표 2는 시범망에 대한 기선해석의 결과를 보여주고 있는데 단위중량에 대한 평균제곱근오차는 $\pm 5.3 \text{ mm} \pm 8.9 \text{ mm}$ 로서 모두 5 mm + 1 ppm 이내에 들고 있음을 알 수 있다.

또한 6개의 기선으로 구성된 시범망은 4개의 삼각형 폐합조건이 성립될 수 있으므로 점검이 가능하며 이 결과를 표 3에 나타냈다. 여기에는 다음의 식을 사용하였다.

$$\text{ppm} = \frac{\text{Max}(\Delta)}{\sum S_i} \quad (1)$$

표 3에서 보면 삼각형별로 좌표폐합차(Δx , Δy , Δz) 중에서 최대값에 대한 상대오차는 0.7 ppm~2.0 ppm으로서 모두 2 ppm 이내에 들고 있으며, 높이 차에 대한 폐합차는 0.2 ppm~2.5 ppm으로서 약간

표 2. GPS 상대측위의 기선해석 결과*

Ref. - Rov.	Coordinates Diff.		Spatial Dist.	Height Diff.	RMS of unit wt.
25 - 22	dx	4446.9053 m	9532.432 m	-257.536 m	± 5.3 mm
	dy	-4023.7248			
	dz	7409.5834			
25 - 23	dx	-1310.2945 m	12614.828 m	-200.231 m	± 8.5 mm
	dy	-9237.8382			
	dz	8489.9417			
25 - 24	dx	-4905.6226 m	7688.497 m	-269.888 m	± 7.5 mm
	dy	-5670.0135			
	dz	1702.5858			
22 - 23	dx	-5757.2463 m	7842.170 m	57.379 m	± 7.8 mm
	dy	-5214.0667			
	dz	1080.3961			
24 - 23	dx	3595.3282 m	8469.027 m	69.651 m	± 8.9 mm
	dy	-3567.8516			
	dz	6787.3759			
24 - 22	dx	9352.5357 m	11079.254 m	12.332 m	± 8.9 mm
	dy	1646.2690			
	dz	5706.9913			

* P-코드에 의한 항법모드의 해를 초기좌표로 사용함.

표 3. 폐합차의 점검

Triangle	Max (Δx , Δy , Δz)	ΔS (Distance)	Δh (Height Diff.)
25, 22, 23	0.0467 m (1.6 ppm)	0.074 m (2.5 ppm)*	0.074 m (2.5 ppm)*
25, 23, 24	0.0269 (0.9)	0.034 (1.2)	0.006 (0.2)
25, 22, 24	0.0197 (0.7)	0.022 (0.8)	0.020 (0.7)
22, 23, 24	0.0539 (2.0)*	0.067 (2.5)	0.060 (2.2)
Mean	1.3 ppm	1.8 ppm	1.4 ppm

더 큰 수치를 보여 주고 있다. 이 결과는 FGCC의 규정⁶⁾의 2 σ 법칙에 의하면 1.25 ppm 이상의 정확도를 갖고 있음을 알 수 있다.

3.2 정밀기준점측량과의 비교분석

기선해석된 경사거리는 표석간거리(mark-to-mark distance)에 해당되므로 정밀 1차기준점측량에 의해

구한 EDM거리와의 비교검토가 가능하다. 이론상으로는 1차망에 사용된 EDM과 GPS수신기의 기계성능이 같기 때문에 서로 동등한 정확도이어야 할 것이다.

표 4에서는 GPS거리와 EDM거리를 비교한 결과이다. 이 표에서 보면 그 차이는 2.9 ppm~0.25 ppm으로서 평균 1.6 ppm이 나타나고 있는데 이 교

표 4. 표석간 경사거리와 고저차의 실측값 비교

Line	GPS-EDM*1	Relative	GPS-Trig.Lev.*2	Relative
25-22	0.028 m	2.94 ppm	-0.13 m	13.6 ppm
25-23	0.011	0.87	0.03	2.4
25-24	-0.016	2.08	0.03	3.9
22-23	-0.002	0.25	0.23	29.3
24-23	-0.012	1.42	-0.01	1.2
24-22	0.021	1.89	-0.18	16.2
Mean		1.6 ppm		11 ppm

*1. EDM거리는 국립지리원(92) 한일공동관측결과임.

*2. 삼각수준측량은 정밀 2차기준점측량 작업결과임.

차는 앞서 폐합차 점점에서의 수치와 거의 동등한 것으로 보여진다.

그러나, GPS관측이 1시간 30분, 즉 90분 관측임을 고려할 때 EDM관측보다 관측시간이 훨씬 단축될 수 있으며 기상보정의 문제를 해결할 수 있고 전천후 측량이 가능하기 때문에 종래의 EDM방식을 완전히 대체할 수 있는 매우 효율적인 기법임을 알 수 있다. 따라서 현재의 정밀 1, 2차 기준점측량에서 거리측정은 모두 2 ppm 이상의 높은 정확도로서 GPS로 대체가 가능한 것으로 판단된다.

또 다른 측면에서 삼각수준측량이 가능한지의 여부를 판단하기 위해 비교한 결과가 표 4에 제시되어 있다. 현재 정밀 1차기준점측량은 장거리에 따른 양차 때문에 연직각 측정에서 한계가 있으므로 삼각수준측량의 조정정확도를 5"(25 ppm)로 설정하고 있다. 이는 삼각점의 실용성으로 직접 이용하는 데에는 한계가 있기 때문에 2차기준점망에 의한 3"(15 ppm)의 성과를 사용해야 할 필요가 있다.

따라서 이 문제는 상당히 중요한 관점에 있으며 본 연구에서는 1990년도에 관측된 정밀 2차기준점측량의 표고성적을 이용하여 GPS고저차와의 비교를 시도하였다. GPS수준측량(GPS levelling)의 기본식은 다음과 같다.

$$dH = dh - dN \quad (2)$$

여기서 dH는 평균해면상의 수준차이며, dh는 GPS에 의한 고저차, dN은 지오이드고의 차이이다. 현재 dh는 2~3 ppm의 정확도로서 측정이 가능

하고 dN의 경우에는 지구규모의 고차(예, 360차)인 지오이드 모델에서 10 ppm 이상, 세부중력지오이드에서 4~6 ppm 이상이 가능한 것으로 보고되고 있다.^(5,10,12)

현재 국내에서 이용이 가능한 지오이드 모델로서는 OSU91A모델⁽¹²⁾이 있는데 이 모델의 이론적인 상대지오이드의 정확도는 13 ppm이고 위성측위와의 비교에 의한 절대정확도는 ±1.60 m이며, 이영진 등(1992)⁽⁴⁾에 의한 모델도 2~3 m의 정오차를 포함하고 있으므로 2차기준점측량에서의 삼각수준측량 정확도와 거의 동등하여 dN을 적용하기가 현실적으로 어려움을 안고 있다고 보여진다.

그러나 변장이 짧은 경우에는 지오이드 기복이 완만한 것으로 가정하고 이를 무시할 수 있기 때문에 GPS측고의 결과를 직접 삼각수준측량의 결과와 비교할 수 있다. 표 4에서 보면 그 차이는 29 ppm~2 ppm으로서 평균 11 ppm으로 나타나고 있음을 알 수 있다.

따라서 현재의 1차망에서의 불안정한 표고산정도 역시 GPS에 의해 효과적으로 대체될 수 있으며 2차망의 2.5 km에서 10 ppm인 표고정확도와 동등한 결과를 얻기 위해서는 1차망의 경우 10 km에서 5 ppm의 고저차 측정이 가능해야 하므로 이에 대해서는 보다 체계적인 연구검토가 필요할 것이다.

4. 성과산정

4.1 3차원망 조정과 실용성과

GPS측량의 실용화를 위한 연구의 하나로서 기선 해석된 결과를 3차원망 조정을 통해서 기선삼각점의 성과와의 상호비교를 시도하였다.

조정결과는 1점 고정망으로서 처리되었는데 좌표 성과로서는 큰 의미가 없으나 상대적인 각, 거리등에 있어서 비교가 가능하다. 즉, 조정좌표 및 실용성과 표(station abstracts)로 부터 각각 표석간거리(mark-to-mark distance)를 역계산하여⁽¹³⁾ 비교한 결과가 표 5와 같다.

이 때 당진 23삼각점은 재설점인 관계로 분석에서 제외되었으며 25점은 완전점, 22점, 24점은 복구된 점으로서 이동되지 않는 것으로 고려하였다. 또한 표석간거리의 산정시 표고는 정밀 2차기준점측량의 성과를 사용하였으며 22, 23, 25의 세점으로 구성된

표 5(A). 역계산된 표석간거리와의 비교

Line	TD distance (official coords)	WGS84 distance (GPS)	Diff.
25-22	9532.405 m	9532.439 m	-0.034 m
25-24	7688.570	7688.495	0.075
24-22	11079.139	11079.256	-0.117
Mean			0.075 m

표 5(B). 역계산된 교각와의 비교

Angle sta-from-to	TD Angle (official coords)	WGS84 Angle (GPS)	Diff.
22-24-25	42° 57' 55.6"	42° 57' 52.4"	3.2"
24-25-22	57° 41' 42.5"	57° 41' 41.4"	1.1"
25-22-24	79° 20' 22.1"	79° 20' 26.4"	-4.3"
Mean			2.9"

(1방향 2.0")

삼각형만을 검토코자 하였다.

표 5(A)는 성과표로부터 유도된 동경원점계(Tokyo Datum)에서의 표석간거리와 GPS에 의해 조정된 WGS84계에서의 표석간거리간에 차이가 평균 0.075 m임을 보여 준다. GPS의 결과가 정확하다면 삼각점의 실용성가는 약 8 ppm(1.6")보다 더 높은 정확도임을 예상할 수 있다.

또한 표 5(B)의 교각에 대한 결과를 보면 GPS의 각측정 정확도가 낮기 때문에 그 차이가 평균 2.8"로서 1방향의 정확도로 환산하면 2" 정도이며, 이 두가지의 결과로 볼 때 이영진등(1991)⁽²⁾에서 제시된 우리나라 2등 삼각점에 대해 조정된 위치정확도 ±0.08 m와 1방향의 측각정확도 ±1.6"가 상당한 타당성을 갖게 된다.

GPS 측량결과를 3차원망 조정후에 이를 기설삼각망에 결합하는 데는 측지기준계의 변환기법이 사용될 수 있겠으나 지오이드모델의 결정문제와 공분산행렬의 처리가 필요하므로^(7,8,12) GPS의 실용화가 가장 큰 장애가 되고 있다. 따라서 본 연구에서는 이를 피하는 방안을 검토하였으나 앞으로 국가적인 차원에서 해결해야 할 사항이다.

표 6. GPS거리와 EDM거리의 투영보정

Line	MSL Distance (GPS)	MSL Distance (EDM)	Diff.
25-22	9528.568 m	9528.588 m	-0.021 m
25-23	12621.731	12621.715	0.016
25-24	7683.497	7683.490	0.007
22-23	7841.821	7841.813	-0.001
24-23	8468.586	8468.594	-0.008
24-22	11079.096	11079.072	0.024
Mean			0.011

* Tokyo Datum referenced.

표 7. BL망 조정의 정확도(Tokyo Datum)

Type	GPS Network	EDM Network
Reference System	Tokyo Datum	Tokyo Datum
Fixed Point	Dangjin 25	Dangjin 25
Weight(direction)	1"	1"
(distance)	5 mm + 2 ppm	5 mm + 2 ppm
RMS of unit weight	0.2"(0.34 cm)	1.2"(2.2 cm)

* Tokyo Datum referenced.

4.2 정밀기준점망의 조정성과

앞서 3차원망의 조정이나 기준계 변환에서 나타나는 최종 좌표성과에서의 산정에 대한 문제점 때문에 본 연구에서는 GPS수신기에 의해 측정된 거리와 높이차를 EDM과 데오들라이트에 의한 측정량으로 취급하여 조정하는 방법을 적용코자 하였다.

이렇게 하면 기준좌표계에서 GPS를 활용하기가 대단히 쉽게 될 것이며 기본측량은 물론 공공분야에서도 기존의 측량방법을 곧바로 적용할 수 있는 장점이 있다. 동시에 기선에 대한 좌표차 dx, dy, dz와 공분산행렬을 별도로 보관해 둔다면 나중에 전국적인 동시 조정이 가능하게 될 것이다.

본 연구에서는 우선 GPS 측정량인 기선을 평균 해면상의 값으로 투영보정한 다음 1점 1방향 고정 방식에 따라 동경원점계에서 정밀기준점망 조정을 실시하였으며, 고저차의 경우에는 3.1절에서의 폐합차가 조정결과에 따라 큰 영향을 미치지 못하기

때문에 조정에서는 제외되었다.

표 6은 평균해면상으로 투영보정된 결과를 비교한 것이며 정밀 2차기준점측량에 의해 결정된 표고성과를 사용하고 있다.

조정에서의 모든 조건은 정밀 1차기준점측량과 동일하게 부여하여 중량은 1"와 5 mm+2 ppm을 적용하고 BL망조정법을 이용하였다. 표 7은 조정결과를 보여 주고 있다.

조정된 결과를 보면, GPS망이 0.2"로서 EDM망에서의 1.2"보다 훨씬 양호한 결과를 보여주고 있는데 이는 GPS망이 내부적으로 균질성과 동질성을 갖고 있으며 EDM 관측에서의 기상조건 등에 따른 편차가 최소화되는 것으로 파악된다. 또한 이는 표 4에서 GPS와 EDM의 차이가 1.6 ppm인 사실과 표 3의 폐합차에 의한 1.25 ppm으로부터 판단해 볼 때 그 반인 0.8 ppm(0.2") 이상에 상당하므로 EDM보다 거의 3배 정도의 정밀성을 부여받을 수 있다.

따라서, GPS데이터가 90분 관측에 불과하지만 상당히 높은 정확도를 갖고 있으며, 기존의 조정계산의 체계를 유지하고 있다는 사실이 앞으로 GPS 측량을 실용화될 수 있는 근거가 된다는 점에서 주목된다.

결과적으로 GPS측정량을 단지 하나의 새로운 기재로 취급하여 얻어진 수치로 고려한다면, 기준좌표계의 변환모델이나 지역좌표계의 지오이드모델이 없어도 GPS 측량의 활용이 가능하게 되므로, 기존의 기준계와 계산체계를 유지할 수 있는 측량기법임이 보다 명확해진다. 이 방법은 공공측량은 물론이고 시설망의 고밀도화(densification)에서 실용적으로 GPS를 이용하는데 아무런 제약도 없게 되어 효과적인 GPS 측량이 가능하다.

그러나, 국가 전체로서 새로운 기준계를 정립하고자 한다면 좌표차 측정량(dX , dY , dZ)을 보존하고 필요한 시점에서 종합적으로 3차원망 조정을 실시하게 되면 전면적인 처리가 가능할 것이다. 또한 기준계의 변환요소를 엄밀하게 결정하면 기존좌표계를 모두 새로운 좌표계로 변환시킬 수 있으므로 이는 장기적인 측면에서 국가적인 차원에서 취급되어야 할 문제이다.

5. 결 론

이 논문에서는 P코드/위상측정용 수신기를 사용하여 정밀기준점망의 시범망을 관측하고 EDM등의 기존결과 및 실용성과와의 비교분석을 통하여 GPS측량의 실용화 방안을 연구하였으며 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 평균변장 9.5 km인 1차망에 대하여 90분의 관측만으로서도 5 mm+1 ppm 이내의 GPS기선측정이 가능하며 기존의 방식보다 관측이 효율적이다.

2) GPS에 의한 측정거리와 정밀 1차기준점망의 EDM 거리와의 비교에서 평균 1.6 ppm의 차이를 보여 주며, GPS방식에 의하면 보다 향상된 정확도로서 기존의 EDM 방식을 대체할 수 있을 것으로 판단된다.

3) GPS에 의한 고저차와 삼각수준측량의 결과를 비교분석한 결과 평균 11 ppm으로서 1차기준점측량의 규정의 20 ppm(20 cm) 내에 들고 있으므로 역시 기존의 삼각수준방식을 대체할 수 있으며, 지오이드모델의 개발을 통한 정확도 향상이 이루어진다면 1차망의 표고에 대하여 실용성과로의 활용까지도 가능하다.

4) GPS측량의 결과를 삼각점성과표의 좌표성으로부터 연계산한 표석간 거리의 차이에 대한 검토 결과는 이영진 등(1991)에서 제시된 바 있는 2등삼각점의 정확도 $\pm 1.6''(\pm 0.08 \text{ cm})$ 가 합당함을 보여 주고 있다.

5) GPS측량의 실용화를 위해서는 GPS수신기를 새로운 기재로 취급하고 기준계와 성과산정의 방식도 기존의 방법을 유지하는 것이 지오이드모델이나 좌표계 변환, 또는 공분산행렬의 취급에 대한 어려움을 쉽게 극복할 수 있다.

감사의 글

이 논문에서 사용한 시범망의 EDM 관측자료와 삼각수준측량의 자료는 국립지리원으로부터 제공받았기에 깊은 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

1. 국립지리원, 1992년도 한일 GPS공동 관측결과, 1992, 국립지리원 자료.
2. 백은기, 이영진, 가중측점망 조정법의 적용에 관한

- 연구, **대한토목학회 논문집**, 제11권, 제4호, 1991, pp. 133-141.
3. 이영진, GPS위성의 P코드/위상측정용 2주파수 수신기에 의한 정밀측위, **대한토목학회 논문집**, 제13권 제2호, 1993, pp. 219-228.
 4. 조규전, 이영진, 조봉환, GEM9 위성자료와 지상자료의 조합에 의한 남한지역의 GRS80 중력지오이드, **대한토목학회 논문집**, 제13권 제1호, 1993, pp. 141-149.
 5. Eren, K., Hussain, M., MacRitchie, M. and Shedayed, A. M., Multi-Purpose GPS Campaigns in Saudi Arabia, *Proc. of the 5th International Geodetic Symposium on Satellite Positioning*, 1989, pp. 858-872.
 6. Federal Geodetic Control Committee, *Geodetic Accuracy Standards and Specifications for Using GPS Relative Positioning Techniques*, NOAA National Geodetic Survey, 1987.
 7. Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H. and Collins, J., *Global Positioning System; theory and practice*, Springer-Verlag Wien, 1992.
 8. Leick, A., *GPS Satellite Surveying*, John Wiley and Sons, 1990.
 9. Leica Heerbrugg AG., *Wild GPS-System 200: Guidelines to Static and Rapid-Static GPS Surveying*, Leica, 1992.
 10. Mainville, A. and Veronneau, M., Orthometric Heights Using GPS in Canada, in *Determination of the Geoid: present and future*, International Association of Geodesy Symposia, 1990, pp. 160-172, Milan, Italy.
 11. Oyeneye, G. A., Macaulay, M. A. and Ebong, M. B., The Use of Global Positioning System for Primary Survey Control in Nigeria, *Survey Review*, vol. 31, No. 240, 1991, pp. 107-105.
 12. Rapp, R. H., Wang, Y. M. and Pavlis, N. K., The Ohio State 1991 Geopotential and Sea Surface Topography Harmonic Coefficient Models, *Report No. 410*, The Ohio State University, Dept. of Geodetic Science and Surveying, 1991.
 13. Vincenty, T., HOACOS, *NOAA Technical Memorandum*, 1979.

(接受 : 1993. 7. 20)