

## 제주지역에서 PGPS를 이용한 GPS 수준측량 적용 A study of the GPS/Levelling in Jeju island using PGPS

고인세 · 박준구 · 조진동<sup>1)</sup> · 임영빈<sup>2)</sup>

Ko In Se · Park Jun Ku · Cho Jin Dong · Im Young Bin

<sup>1)</sup> 한국지질자원연구원(E-mail: kis, jdc@kigam.re.kr, g2041478@inhavision.inha.ac.kr)

<sup>2)</sup> 한밭대학교 토목공학과(E-mail: ybnim@hanmail.net)

### Abstract

This study describes the validation of the GPS/Levelling using GPS data that were obtained from three Permanent GPS stations of the Jeju island. Each orthometric height of three Permanent GPS stations was calculated from the Bench mark of levelling with Traverse-survey and relative baseline processing.

The test result shows that the error of closure of orthometric height was about 1.6cm and one of ellipsoidal height was about 1.5cm. This result represents that the geoidal height and undulations are regular in the Jeju island.

According to the test results, it is identified that one can calculate the orthometric height using Permanent GPS station data rather than traditional levelling method which has a some complexity especially in Jeju island.

## 1. 서 론

공공 기준점 측량은 광과측거기를 이용한 측량에서 GPS를 이용한 측량으로 점차 증가하고 있는 추세이다. 기존의 일반적인 수준측량 방법은 측량속도 및 시간의 소비가 많으며, 고 비용 및 노동 집약운영 등의 문제점을 가지고 있는 반면에 GPS를 이용한 수준측량은 효율적으로 고 정밀도의 측량성과를 얻을 수 있으며, 관측점간의 시통이 불필요하고, 선점에 있어서 종래의 측량과 달리 신속하게 측량을 할 수 있다는 장점이 있다. 또한 GPS를 이용한 수준측량의 정확도는 약 2~10ppm으로 아주 높게 나타나는 것으로 알려져 있다[13]. 따라서 미국, 독일, 호주, 일본 등의 많은 나라에서는 정밀 수준측량을 과거의 측량방법에서 GPS를 사용하는 GPS 수준측량법을 이용하고 있다. 예로, 오스트리아는 전국 삼각망 분석을 위하여 GPS 수준측량 방법을 사용하고 있으며(Gerhard WALTER, 1995), 이란의 경우 3, 4등급(토목 분야 활용) 측량에서 효율적이라고 언급하였다(Ramin Kiamehr, 2001).

현재 우리나라에서는 약 2~4km 간격으로 약 5251점의 수준점이 분포되어 있으나, 유지관리가 어렵고 많은 수의 수준점이 망실되어 있는 것이 현실이다. 따라서 지금도 수준점의 정확도 및 유지 보수를 위해 정밀 수준측량을 실시하고 있다. 또한 국토지리정보원은 한반도의 정밀 지오이드 모델 결정 및 GPS에 의한 높이 변환계수 제공을 목적으로 한반도에 7km 간격으로 GPS 수준측량을 실시해 약 1,500점의 관측점 설치를 위한 계획을 수립하고, 2005년도에 완료를 예정하고 있는 실정이다.

본 연구는 제주도 내에서 기 설치 운영되고 있는 각 기관의 GPS 상시관측소를 이용하여, GPS 수준측량법을 일반(공공) 측량법으로 활용할 수 있는지를 검토하는 것을 목적으로 하고 있다.

## 2. 연구 배경

국내에서 GRS80 타원체에서 본 지오이드 높이는 약  $\pm 100\text{m}$ 이며, 한국 전역의 경우 약 15~32m 정도

이다(국토지리정보원, 2003). 그러나 지오이드 높이가 반경 1km 범위에서 약 10cm 이상 변하는 지역이 있어 GPS를 이용한 수준측량은 극히 협소한 지역에서만 사용 가능하게 하고 있으며, 최광선(1993, 2000)에 따르면 제주도의 경우, 지오이드의 높이가 거의 일정하게 분포하고 있다고 하였다. 또한 제주도 내에서의 기복차이는 거의 일정하게 0.8m의 차이를 보이고 있다고 언급하였다.

제주도의 높이는 제주도 수준기준점(BM16-0-0-0)을 기준으로 제주 전 지역을 측량하여 결정되었다. 제주도의 넓이는 동서방향으로 약 100km, 남북방향으로 약 30km로 되어 있으며, 섬이라는 특성으로 매우 협소한 지역에 해당된다. 제주도 내에 기 설치되어 있는 3개의 GPS 상시관측소(제주시 기상청, 북제주군 성판악 휴게소, 서귀포시 탐라 대학교)간의 기선거리는 기상청과 탐라 대학교간은 약 25.8km, 성판악 휴게소에서 기상청, 탐라 대학교간의 기선 장은 각각 약 16.6km, 18.1km 정도이며, 3개의 GPS 상시관측소는 제주도 전역에 고루 분포되어 운영되고 있다(그림 1). 또한 제주 기상청 내에 설치된 GPS 상시관측소의 경우, 수준기준점(BM16-0-0-0)간의 기선거리는 약 800m 정도이다. 이와 같은 조건으로 제주도를 연구지역으로 선정하였다.

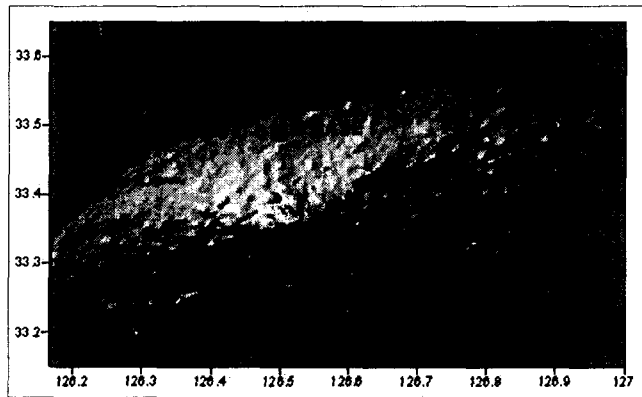


그림 1. 제주지역 수치 지형도

일반적으로 GPS 수준측량은 경제적이고 편리하나 정확도 측면에서는 기존의 방법에 비해 떨어진다고 할 수 있다. 그러나 표고의 정확도는 상대적인 GPS로 측정한 타원체고와 상대적인 지오이드 높이가 모두에 의존하며, 그 정확도는 ppm(parts per million) 단위로 기선장의 상대거리에 따라 결정된다고 할 수 있다. GPS를 이용한 수준측량과 일반 수준측량의 정확도 차이는 그림 2와 같다.

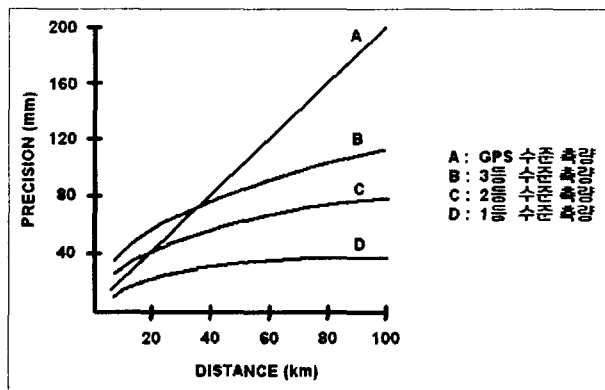


그림 2. 타원체고의 GPS 수준측량 및 기존 수준측량 방식의 정확도 비교 (HOLLOWAY, KEARSLEY, 1988, MITCHELL, 1990)

그림 2에서 일반적인 수준측량의 오차는 1등 수준측량에서  $4\sqrt{k}$ , 2등 수준측량에서  $8\sqrt{k}$ , 3등 수준측량에서  $12\sqrt{k}$ 이며, GPS 수준측량의 정확도는 약 2ppm이다. GPS 수준측량의 정확도는 3등 수준측량 정확도의 약 10km 범위 안에서 약 3.8cm의 정확도를 얻을 수 있기 때문에, 본 연구 목적인 일반(공공) 측

량에서의 사용이 가능한 것으로 판단된다.

### 3. GPS 자료획득 및 처리

GPS 관측은 위치를 알고 있는 기지점으로부터 미지점까지의 벡터를 구하는 상대위치 측위방법을 사용하였다. GPS 관측에서 절대 측위법보다 상대 측위법에 의하여 상대적인 비교를 적용하여 관측지점의 표고를 산출하는 것을 GPS 수준측량이라고 하기 때문이다(국토지리정보원, 2003).

이를 위하여 제주도 내에 기 설치되어 있는 3개의 GPS 상시관측소와 수준기준점을 포함한 1개의 수준점을 활용하여 후처리 방식을 사용하였다.

연구에 사용된 GPS 상시관측소는 국토지리정보원이 2000년에 제주도 내에 설치한 제주 기상청 GPS 상시관측소(BASE I)와 행정자치부가 북제주군 성판악 휴게소에 설치한 관측소(BASE II), 한국 천문 연구원의 서귀포 탐라 대학교 관측소(BASE III)를 사용하였으며, 수준점의 경우, 제주도의 수준기준점(BM16-0-0-0)을 사용하였다. 기준 좌표는 국토지리정보원 제주 기상청 GPS 상시관측소의 2000년 공식된 ITRF2000 좌표를 기준으로 하였으며, 표고의 경우 제주의 수준기준점(BM16-0-0-0)의 표고를 기준으로 각 상시관측소 및 수준점에 대해 재해석 하였다.

#### 3.1 자료 신뢰도 분석

GPS에 의한 위치결정시 발생할 수 있는 오차의 원인에는 위성과 수신기 시각동기 오차, 위성의 궤도 오차, 대기층 오차와 다중경로 오차 등이 있다. 일반적으로 GPS 자료의 고 정밀 자료처리시 수평방향에서 약 1.5mm, 수직방향에서 약 8mm의 오차를 가지고 있다(박필호, 2000).

본 연구에 사용된 GPS 상시관측소 자료는 각각 높은 정밀도를 가지고 있으나, 각기 다른 기관의 자료이기 때문에 관측소 자료에 문제가 발생하면 결과에 직접적인 영향을 미치기 때문에 관측소 자료의 신뢰도 검증은 필수적이다.

GPS 자료의 신뢰도 분석을 위하여 TEQC(Translation Editing and Quality-checking)를 사용하였다. TEQC는 UNAVCO(University NAVstar COnsortium)에 의해 개발된 소프트웨어로 GPS 자료의 번역, 편집 그리고 신뢰도 검증의 세 가지 기능이 있으며, 본 연구에서는 자료의 수신율, 수신기 시계오차, Cycle slip개수, 다중경로 오차, 위성 고도가 및 방위각, 수신기의 시각지연 등의 정보를 표 1과 같이 사용하였다. 이 중 다중경로 오차는 mp1과 mp2라는 두 개의 항목으로 검출되는데, 이들은 각각 L1과 L2 주파수에서의 의사거리 다중경로 오차를 미터(m) 단위로 나타낸 것이며, 자료 수신율은 퍼센트(%) 단위로, Cycle slip은 1000개의 관측자료에서 발생하는 개수로 나타난다. TEQC 분석결과, 본 연구에 사용된 GPS 상시관측소 및 측량 자료는 약 85% 정도의 수신율을 유지하는 것으로 나타났다.

표 1. TEQC를 이용한 GPS 자료의 신뢰도 분석

station	first epoch	last epoch	hrs	dt	#expt	#have	%	mp1	mp2	o/slps
수준기준점	03 4 8 23:32	03 4 9 09:10	9.633	10	23993	19941	83	0.34	0.80	1108
BASE I	03 4 9 00:00	03 4 9 23:58	23.980	30	22241	18978	85	0.28	0.86	234
BASE II	03 4 9 00:00	03 4 9 23:59	23.990	30	22261	19800	89	0.26	0.74	600
BASE III	03 4 9 00:00	03 4 9 23:59	23.990	30	22258	18243	82	0.32	0.96	264

#### 3.2 GPS 자료처리

GPS 관측자료는 Trimble사의 자료처리 소프트웨어인 Trimble Geomatics Office(Ver.1.5)를 이용하여 후처리 기선처리 방식으로 각 GPS 상시관측소 관측자료를 상대 폐합처리 하였다. GPS 상시관측소 자

료는 30초 간격으로 수신되며, 임계각은 15°이다. 수준점은 10초 간격으로 수신하였으며, 임계각은 15°로 설정하였다.

GPS 관측 자료처리 방법은 수준기준점(BM16-0-0-0)과 제주 기상청 GPS 상시관측소(BASE I)를 이용하여 상대 기선처리를 수행하여, 각 GPS 상시관측소와 수준점간 관측 점의 좌표산출을 수행하였다.

표 2는 수준기준점과 제주 기상청(BASE I)의 좌표 및 표고를 기준으로 하여 각 GPS 상시관측소(BASE II), (BASE III)을 기선처리 한 결과이다. 각 상시관측소간 기선거리는 (BASE I)를 기준으로 최대 약 25km 정도이다.

표 2. GPS Base로부터 추정된 GPS 상시관측소 및 수준점 좌표 및 기선거리

PGPS Station	Latitude	Longitude	Ellipsoidal Height (m)	D (m)
	d m s	d m s		
제주 기상청 (I) (GPS Base)	33 30 50.1362	126 31 47.3512	50.349	0.000
성판악 휴게소 (II)	33 30 05.0476	126 31 08.6105	785.513	16,558.104
탐라 대학교 (III)	33 17 18.0379	126 27 48.8312	430.193	25,799.694
BM16-0-0-0	33 30 48.0129	126 31 18.3524	33.919	800.000

※ D: GPS Base로부터 각 관측점의 기선거리

### 3.3 결과 분석

표 3의 (1)은 수준기준점(BM16-0-0-0)의 표고를 기준으로 트레버스 방법으로 폐합하여 GPS 수준측량 결과를 획득한 것이며, (2)는 수준기준점의 표고를 기준으로 각 관측소간 기선처리하여 GPS 수준측량을 실시한 결과이다. (1)의 트레버스 방식의 GPS 수준측량 폐합 시 오차는 약 1.6cm 정도이다. (1)-(2)는 (1)과 (2)로부터 얻어진 표고의 상대적인 차이와 폐합오차를 나타내는 것으로, 수준기준점의 경우 폐합오차는 약 1.6cm가 발생하는 것으로 나타났으며, (1), (2)간의 상대적인 차이는 (BASE II)에서 약 2.5cm, (BASE III)에서 약 1.5cm정도의 차이가 발생한 것으로 나타났다. 이 결과들은 모두 3등 수준측량의 정확도 범위 안에서 결정된 것으로 표고가 정확히 결정된 상시관측소를 이용한 GPS 수준측량이 20~30km 범위 내에서 약 2cm이내의 정확도를 가진다는 것을 나타낸다.

표 3. 트레버스 및 상대 기선처리를 통한 GPS 상시관측소 및 수준점 표고 산출 및 비교

단위 : (m)

Orthometric Height	BM16-0-0-0	BASE I	BASE II	BASE III	BM16-0-0-0
(1)	8.642	25.072	760.233	404.914	8.658
(2)		25.072	760.208	404.899	8.642
(1) - (2)			0.025	0.015	0.016

- ※ (1) : GPS 수준측량 트레버스 폐합
- (2) : BM16-0-0-0(표고) → GPS 상시관측소 및 수준점
- : 기준 표고

표 4. 트레버스 및 상대 기선처리를 통한 GPS 상시관측소 및 수준점 타원체고 산출 및 비교

단위 : (m)

Ellipsoidal Height	BASE I	BASE II	BASE III	BM16-0-0-0	BASE I
(1)	50.349	785.513	430.193	33.934	50.364
(2)		785.513	430.191	33.919	50.349
(1) - (2)			0.025	0.015	0.015

- ※ (1) : GPS 수준측량 트레버스 폐합
- (2) : BASE I(타원체고) → GPS 상시관측소 및 수준점
- : 기준 타원체고

표 4의 결과는 국토지리정보원에서 2000년도에 공시한 ITRF2000 제주 GPS 상시관측소의 타원체고를 기준으로 표 3의 (1), (2)와 같은 방법으로 수준기준점 및 GPS 상시관측소의 타원체고를 계산한 결과이다. GPS의 경우 타원체고는 약 1cm 정도의 정확도로 결정할 수 있으며, (1)의 폐합 결과 약 1.5cm의 오차가 발생했다. 표 4의 (1)-(2)의 상대적인 타원체고의 차이를 비교했을 때 (BASE III)에서 약 2.5cm, 수준기준점에서 약 1.5cm, 수준점에서 1.5cm가 발생한 것으로 나타났다.

표 3과 표 4의 (1)-(2)에서 수준기준점의 상대적인 차이를 비교했을 때, 표고는 약 1.6cm, 타원체고는 약 1.5cm로 거의 동일하게 차이가 발생하였으며, 각 관측소에서도 거의 일정하게 차이가 발생하는 것으로 나타났다. 타원체고와 표고가 거의 동일하게 나타나는 것은 제주도가 지오이드의 밀도 및 기복변위가 일정한 지역이라는 것을 나타낸다. 또한 표 3, 4에서 (1)-(2)가 약 1cm 정도의 차이를 가지는 것으로 나타났으며, 이는 GPS 수준측량의 트레버스 방법 적용에 있어 발생한 오차로 거의 일정하게 나타난 것으로 생각된다.

#### 4. 결론 및 고찰

GPS에 의하여 산출된 타원체고는 수 cm이내의 정확도로 획득할 수 있으며, 표고에서 기인한 지오이드 모델을 이용한 표고 산출시 계산 값과 실측값이 불일치하는 지오이드 높이는, 표고 오차에 의하여 발생할 수 있다. 제주도의 경우, 고도 중력값이 거의 일정하게 나타나고, 지오이드와 타원체간의 기복변위가 거의 일정하게 분포가 되는 것으로 알려져 있다. 또한 지오이드고는 20~30km 사이에서는 일정하다는 가정으로 GPS를 이용한 수준측량의 일반측량(공공측량) 적용 가능성 연구를 하였다.

연구 결과 GPS 상시관측소를 트레버스 방법으로 연결했을 때, 폐합오차는 표고에서 약 1.5cm, 타원체고에서 약 1.6cm가 발생한 것으로 나타났다. 또한 트레버스 방식과 직접 기선처리 결과와의 상대적인 차이 역시 약 1.5~2cm 정도로 나타났다. 따라서 제주도의 경우, GPS 수준측량을 하였을 때 지오이드가 어느 정도 변화했다 하여도 수준측량의 결과는 3등 수준측량의 오차범위 내에서 결정되는 것을 확인 할 수 있었으며, 타원체고와 표고의 차이가 거의 동일하게 나타나는 것은 제주도가 지오이드의 밀도 및 기복변위가 일정한 지역이라는 것을 나타낸다. 따라서 일반(공공) 측량 시 표고를 측량하기 위해 수준점으로 부터의 측량을 실시하는 어려움 없이, 표고가 결정된 GPS 상시관측소의 자료를 이용한 수준측량을 통해 표고를 획득할 수 있다는 것을 확인할 수 있었다. 제주도의 GPS 상시관측소는 제주도 전역에 고루 분포되어 있으며, 85% 이상의 품질 좋은 자료를 제공하고 있다. 앞으로 GPS 상시관측소를 이용한 수준측량에 많은 도움을 줄 것이라 예상되며, GPS 상시관측소의 기선거리에 따른 표고변화의 영향에 대한 연구가 진행되어야 할 것으로 예상된다.

## 5. 후기

본 연구를 위하여 자료를 제공하여 주신 국토지리정보원, 행정자치부 지적과, 한국 천문연구원 관계자 분들께 감사드립니다.

### 참고문헌

- [1] 최광선, 김진후 (1993), 제주도 일원의 정밀지오이드, 한국지구과학회지, 한국지구과학학회, 제14권, 제2호, pp. 219-224.
- [2] 최광선, 박재희, 홍순현 (2000), 제주도의 GPS/Levelling 지오이드와 PNU95 지오이드, 지구물리, 대한지구물리학회, 제 3권, 제1호, pp.13-24.
- [3] 박필호, "GPS를 이용한 한반도 및 동아시아의 지각속도 측정과 해석", 연세대학교, 2001.
- [4] 세계 측지계 기술지침서(2003), 국토지리정보원.
- [5] 대한측량협회 (2002) 제3회 "측량의 날" 기념 및 측량기술 진흥대회 및 제1회 GPS 활용. Wo-rkshop, 2001.10.31~11.1, pp.123-152.
- [6] Ambrus Kenyeres (1995) GPS-levelling - Practical Aspects, 3rd International seminar on "GPS in central Europe", PENC, Hungary, 1 May 1995, Reports on Geodesy, pp.413-422.
- [7] Gerhard WALTER, Stefan KLOTZ (1995), Using GPS to analyse the Austrian triangulation network, 3rd International seminar on "GPS in central Europe", PENC, Hungary, 9-1 May 1995, Reports on Geodesy, pp.167-178.
- [8] B.Hoffman-Wellenhof, H.Lichtenegger, and J.Collins, "Global Positioning System Theory and Practice, 4th ed.", Springer NewYork, 1997.
- [9] James R.SMITH, "Introduction to Geodesy". 1997.
- [10] Elliot D. Kaplan, "Understanding GPS principles and Applications", 1996.
- [11] Ramin Kiamehr, 2001, "Potential of the Iranian Geoid For GPS/Leveling", NCC Geomatics 80 conferences, Tehran, Iran.
- [12] Information about *teqc* can be obtained over the World Wide Web, <http://www.unavco.ucar.edu>.
- [13] The University of New South Wales, Sydney, Australia, <http://www.gmat.unsw.edu.au>.