

GPS 지오이드고를 이용한 측설시공

Setting Out of Construction Works Using GPS Geoid Height.

권찬오¹⁾, 이영진²⁾

Kwon, Chan-O · Lee, Young-Jin

¹⁾ 경일대학교 대학원 박사과정 (E-mail: kambel@naver.com)

²⁾ 경일대학교 건설정보공학과 교수 (E-mail: yjlee@kiu.ac.kr)

Abstract

This investigation aims at calculating the geoid height, distance between the ellipsoidal height and the orthometric height, by GPS/Levelling data for nationwide 58 Bench Marks, and calculating the effect of geoid height to engineering public works. The accuracy of the results from baseline analyses and adjustment of a network, using GPS surveying data by nationwide 58 BM show 4mm for horizontal direction and 7cm for vertical direction. The 58 geoid height was calculated by GPS/Levelling. For a construction work field, GPS/Levelling for distributed 4 BM in test area can calculate the orthometric height in 20 ppm relativity accuracy with 95% reliability. Besides the calculated geoid height in the investigation was 0.367m higher than EGM96 model. The test results of a engineering work site, the result by EGM96 model was 1.8cm in 10km and it was also 3.6cm in interpolation method. The results show that it is equivalent to levelling of $20mm\sqrt{S}$.

1. 서 론

GPS에 의해 수평위치와 타원체고는 정확히 결정할 수 있으나 실용적으로 사용하고 있는 표고는 별개의 문제로 취급해야 한다. 측량, 지도제작, 건설공사에서 필요한 표고는 정표고(orthometric height)로서 현재 직접수준측량의 방법이 보편적으로 이용되고 있으나, GPS를 이용하여 결정된 타원체고와 지오이드모델과의 조합에 의해 정표고를 결정할 수 있으므로 GPS/Levelling의 실용화에 기여할 수 있다. 현재까지 GPS측위방식은 다양한 측량기술에 적용되어 왔으나 토목시설물의 측설, 설정, 배열 등 시공분야는 극히 제한적이며, 토목시설물의 시공에서 높이의 결정에서는 직접수준측량과 GPS/Levelling이 적용될 수 있다. 본 연구에서는 GPS/Levelling을 적용하여 전국적으로 분포하는 수준점 58점을 대상으로 타원체고와 정표고와의 기하학적 관계 즉, 지오이드고를 산출하고 이를 이용하여 토목시공에 시험적용하는데 목적이 있다.

2. GPS 지오이드고 산정

2.1 기선해석

본 연구에서는 국토지리정보원으로부터 GPS관측을 실시한 전국 수준점 58점의 데이터를 제공받아 처리하였으며, 국토지리정보원에서 제공받은 데이터에서 관측된 두 기준점 사이의 기선상은 대부분이 20km ~ 40km에 이르는 중기선이며 또한 100km 이상인 경우도 다수 포함되어 있다. 이러한 GPS 중기선의 해석을 통해 기선벡터의 추정 정확도를 충분히 확보하기 위하여 GPS 위성에서 실시간으로 송출하는 방송궤도력(broadcasting ephemeris)을 대신하여 위성의 위치를 수 센티미터 수준으로 계산 가능한 정밀궤도력을 사용하였으며, 기선해석에 사용된 S/W는 Leica사에서 제공하는 Leica Geomatics Office를 사용하였다.

특히 기선장의 대부분이 GPS 증기선에 해당되어 기선해석이 사용하는 옵션에 따라 그 결과의 차이가 발생 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 “기선장에 따라 증가하는 오차”를 충분히 감소시킬 수 있는 기법들을 적용하여 Leica社의 LGO(Leica Geomatics Office) static processing module을 사용하여 모든 관측 값에 대한 기선해석을 실시하였으며 이러한 영향들을 최소화하기 위하여 국토지리정보원의 “GPS 정밀기준점측량 작업규정”에 의거하여 실시하였다.

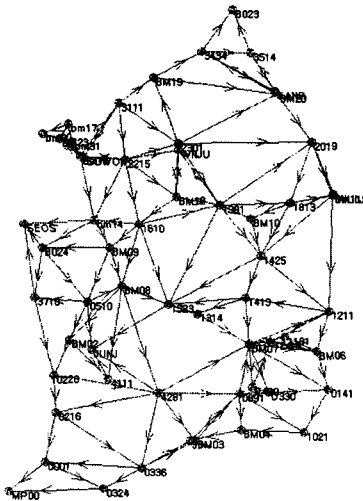


그림 1. 통합 기선해석도

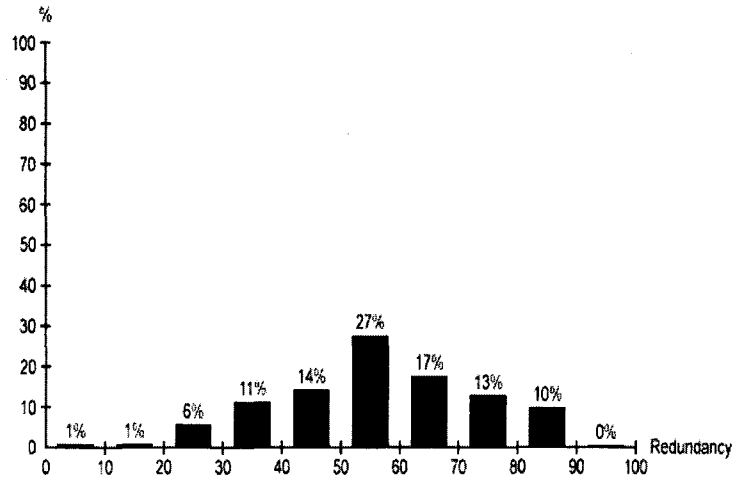


그림 2. 최소제약조정 후 계산된 표준화잔차 히스토그램

2.2 망조정

전국 58점을 국토지리정보원 구내에 위치한 상시관측소(SUWN)를 고정하여 조정을 실시하였다.

SUWN을 최소제약조정의 고정점 좌표로 망조정을 통해 추정되어야 할 미지수는 총 147개이며, 사용된 관측값의 수는 417개로 자유도는 243이다. 관측값의 표준화잔차의 히스토그램은 다음 그림 2로 확인할 수 있다. 전국 수준망의 망폐합차의 계산은 동일 세션 각 기선을 선정하여 최소변수의 다각형을 구성한 후 선정된 기선벡터의 각 성분에 의한 망폐합차를 구하였으며, 세션이 다른 경우 최소변수의 다각형을 선정하여 실시하였다. 삼각형의 폐합차 (dsi)의 계산은 각 세션마다 세션의 평균값 ds 를 구하였다. 이 결과에 의하면 망조정을 통해 평균적으로 수평방향의 경우 4mm, 수직의 경우 7cm정도 정확도의 확보가 가능하다는 것을 알 수 있다.

2.3 지오이드고 산정

GPS측량결과를 해석하여 각 수준점의 측지좌표와 타원체고를 취득하였으며, 또한 국토지리정보원의 수준점 성과를 발급받아 GPS/Levelling에 의한 기하학적 지오이드고를 식 (1), (2), (3)에 의하여 결정하였으며 58점의 수준점에 대한 GPS 측량결과를 정리하였으며 이를 토대로 전국 58점에 대한 타원체고와 정표고 및 지오이드고를 산출하였다.

$$H = h - N \quad (1)$$

$$H_i - H_j = (h_i - h_j) - (N_i - N_j) \quad (2)$$

$$\Delta H_{ij} = \Delta h_{ij} - \Delta N_{ij} \quad (3)$$

망조정을 통하여 산출된 지오이드고와 EGM96(Earth Geopotential Model 1996)의 지오이드고와 비교를 하였다. 망조정으로 산출된 우리나라의 평균 지오이드고는 26.514m이며 EGM96모델로 산출된 우리나라의 평균 지오이드고는 26.147m로 망조정으로 산출된 지오이드고가 EGM96모델로 산출된 지오이드

고보다 0.367m 높게 나타났다. 또한 지오이드고가 가장 많은 차이를 보이는 점은 0891점으로 1.3271m의 차이를 보였으며 가장 낮은 차이는 0336점으로 0.0083m의 차이를 보였다.

3. 토목시공의 시험적용

토목 시설물의 시공현장에서 정표고를 결정하는데 적용하기 위한 시공측량을 실시하기 전에 인근에 위치한 수준점을 대상으로 GPS/Levelling의 정확도를 평가하였다.

GPS/Levelling에 의한 정표고차에서 얻을 수 있는 정확도는 dh 와 dN 의 정확도에 좌우되는데, 현재까지의 GPS정확도는 1ppm 이하로 알려지고 있으나 이는 경위도 좌표에 대한 수평정확도이며, 타원체고의 차이에 대한 정확도는 2-3ppm 이상인 것으로 알려지고 있다. 그러므로 GPS/Levelling의 정확도 수준은 상대지오이드고인 dN 의 정확도에 크게 좌우된다고 볼 수 있으며 보다 정밀한 지오이드모델을 필요로 하게 된다.

표 1. 정표고의 산정(I)

구분	dH_{MSL}	dN_{EGM96}	dh	$ \delta H $	dh_{ADI}	$ \delta H _{ADI}$
d_{12}	67.7257	0.233	67.839	0.1197	67.8411	0.1176
d_{23}	27.9247	0.199	28.4514	0.3277	28.4799	0.3562
d_{34}	-116.342	0.16	-116.398	0.216	-116.2705	0.0885
mean				0.22m		0.19m

표 2. 정표고의 산정(II)

구분	dH_{MSL}	dN_{EGM96}	dh	$ \delta H $	dh_{ADI}	$ \delta H _{ADI}$
d_{12}	67.7257	0.233	67.839	0.1197	67.8411	0.1176
d_{23}	27.9247	0.199	28.4514	0.3277	28.4799	0.3562
d_{34}	-116.312	0.16	-116.398	0.246	-116.2705	0.1185
mean				0.23m		0.20m

표 3. 연구대상지역 정표고 산정

구분	dH_{MSL}	dN_{EGM96}	$dN_{보간}$	dh	$ \delta H _{EGM96}$	$ \delta H _{보간}$
d_{12}	31.607	-0.018	0	31.5709	0.018m	0.036m

본 연구 대상지역인 충청북도 충주시에 위치한 수준점으로 국토지리정보원에서 설정한 1등 수준노선의 일부로서 수준점은 수준원점에 근거하여 상대적으로 표고가 결정된 것이다. 기선거리는 최소 약 7km에서 최대 약 13km이다. GPS 기선해석의 결과로부터 지오이드고를 고려하여 정표고를 계산한 결과가 표 1, 표 2와 같다. 여기서 dN 은 EGM96모델을 사용하여 계산하였으며 dh 는 국토지리정보원의 정밀수준측량성과이다. GPS와 지오이드에 의한 정표고와 직접수준측량에 의한 정표고 차이는 평균 0.23m이며 최대 0.32m로서 표 1, 표 2 모두 거의 동등한 크기로 나타났다. EGM96모델과 GPS에 의한 타원체고를 이용하여 처리된 결과인 표 1, 표 2에서 상대정확도가 20ppm이므로 95%신뢰영역에서 10ppm의 정표고 산정이 가능하다는 것을 보여준다. 이 10ppm의 결과는 10km 거리에서 10cm에 상당하므로 직접수준측량과 비교해 보면 근사적으로 $20mm\sqrt{S}$ 와 동등한 수준측량이 가능하다는 것을 보여준다. 만일 더 높은 정확도를 얻기 위해서는 수신기시간을 늘리거나 지오이드모델의 정확도가 향상되어야 하며 외국의 경우에서 볼 때 수신기시간을 늘리는 방법은 GPS 관측기술에 좌우되므로 지오이드모델의 정확도가 GPS 수준측량의 정확도에 한계로 작용되고 있다. 표 1은 현재 고시된 표고를 이용한 산정이며, 표 2는 2006년에 조정된 표고를 이용한 산정이다.

외국에서는 현재 GPS와 동등한 수준의 지오이드모델이 개발되어 있으나 국내에는 중력자료의 제약으

로 인하여 어려움을 안고 있다. 그러나 공공수준측량에 보편적으로 활용할 수 있기 위해서는 우리나라에 맞는 정밀한 지오이드모델이 개발되어 2배 이상의 정확도를 확보한다면 $10mm\sqrt{S}$ 정확도와 동등한 수준의 GPS 수준측량이 가능할 것으로 기대되며, 이 결과를 바탕으로 RTK-GPS를 이용하여 시공측량을 실시하였다.

토목 시설물의 시공측량을 위한 적용은 EGM96모델을 사용한 정표고와 테스트지역의 Control Point인 MS01점과 NO2점의 경·위도 위치를 분석하여 2.2절의 망조정을 통하여 산정된 지오이드고를 적용하여 RTK-GPS 측위방법으로 산정된 정표고를 비교·분석하였다. 망조정을 통하여 산정된 지오이드고는 최근린 보간법에 의하여 결정된 1610점의 값을 사용하였다.

획득된 데이터를 이용하여 GPS와 지오이드에 의한 정표고와 직접수준측량에 의한 정표고 차이를 산정하였으며 결과는 다음 표 3과 같다. EGM96 지오이드모델을 사용한 결과인 상대정확도는 0.018ppm이며 보간기법에 의해 처리된 결과의 상대정확도는 0.036ppm을 나타내었다. 이 결과는 10km 거리에서 EGM96모델을 사용한 결과는 1.8cm, 보간기법에 의해 처리된 결과는 3.6cm에 상당하므로 직접수준측량과 비교해 보면 근사적으로 $20mm\sqrt{S}$ 와 동등한 수준측량이 가능하다는 것을 보여준다.

4. 결 론

본 연구에서는 전국적으로 분포하는 수준점 중 58점을 대상으로 GPS/Levelling을 적용하여 타원체고와 정표고와의 기하학적 관계 즉, 지오이드고를 산출하고 이를 이용하여 토목시공 시험적용하는데 연구에 목적이 있다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 전국적으로 분포하는 수준점 58점의 GPS측량 데이터를 사용하여 기선해석과 망조정한 결과, 수평방향에서 4mm, 수직방향에서 7cm 수준의 정확도 확보가 가능하였으며, GPS/Levelling에 의해 58점의 지오이드고를 산출하였다.

2. 현장에 적용하기 위하여 인근에 분포한 수준점 4점을 GPS/Levelling을 실시하여 상대정확도 20ppm과 95% 신뢰영역에서 10ppm의 정표고 산정이 가능하다는 것이 나타났다. 또한, 본 연구에서 산정된 지오이드고와 EGM96모델을 이용하여 산정된 지오이드고의 차이는 본 연구에서 산정된 지오이드고가 평균 0.367m 높게 나타났다.

3. 토목시공 현장에 적용한 결과, 테스트지역의 EGM96 지오이드모델의 상대정확도는 0.018ppm이며 보간기법의 상대정확도는 0.036ppm으로 나타났다. 이 결과는 10km 거리에서 EGM96 모델을 사용한 결과는 1.8cm, 보간기법에 의해 처리된 결과는 3.6cm으로 근사적으로 $20mm\sqrt{S}$ 와 동등한 수준측량이 가능하다는 것으로 나타났다.

참고문헌

- 이영진 (1995), GPS 위성에 의한 정표고의 결정에 관한 실험적 연구, 경일대학교 산업기술연구소 논문 제 5집, 경일대학교.
- 이영진 (1995), 베셀타원체 기준의 남한지역 지오이드 모델(KGM95), 한국측지학회지, 제 13권, 제 2호, 한국측지학회, pp. 125~133.
- 강준묵, 임영빈, 이은수, 선재현 (2004), 정밀 수준측량을 위한 소규모지역에서의 GPS수준성과 분석, 춘계학술발표회논문집, 한국측량학회, pp. 51-55
- 이석배, 황용진, 이재원 (2004) GPS/Levelling 데이터에 의한 기하학적 지오이드고의 산출, 한국측량학회지, 한국측량학회, 제22권 제1호, pp. 45-52.
- Wolf, P. R., C. D. Ghilani (1997), *Adjustment Computations (Statics and Least Squares in Surveying and GIS)*, John Wiley & Sons, Inc.
- Torge, W. (1980), *Geodesy, an introduction*, Walter de Gruyter, Chap. 1.