韓國地形空間情報學會論文集 第10卷 第2號 2002年 6月 pp. 107-114

GPS/Leveling의 실용적 활용 방안에 관한 연구

The Research for Practical Use of GPS/Leveling

박병욱* · 최윤수** · 신상호***
Park, Byung-Uk · Choi, Yun-Soo · Shin, Sang-Ho

要 旨

본 연구에서는 홍성지역의 수준점 및 삼각점에서 GPS 측량을 실시한 후 EGM96, OSU91A, KGEOID99 등의 지오이드모델 기반에서 정표고를 산정한 것과, 기지점 고정의 망조정에 의한 정표고 산정을 상호 비교하여, GPS/Leveling을 수준측량으로 적용할 수 있는 한계와 그 정확성을 평가함으로써 GPS/Leveling의 실용화를 위한 연구를 하였다.

기존 지오이드모델에 의한 정표고 산출 결과, RMSE는 EGM96 ±0.061m, OSU91A ±0.725m, KGEOID99 ±0.598m로 EGM96 지오이드모델에 의한 결과가 가장 양호한 것으로 나타났다. GPS 망조정 결과에서는 수준점 3점 고정시 ±0.043m의 RMSE를 나타내 고정점을 이용한 망조정이 효과적인 GPS/Leveling 방법으로 활용될 수 있음을 알 수 있었다. 수준측량의 허용오차를 감안할 때, GPS/Leveling은 공공측량시 4급 수준측량, 공공기준점의 표고 결정 등에 활용이 가능하다고 판단된다.

ABSTRACT

This study aimed to estimate accuracy of GPS/Leveling and to present availability of GPS/Leveling in public surveying. For this purpose, we carried out GPS survey for bench marks and control points of Hongsung area. Orthometric heights calculated by two GPS/Leveling methods were compared to reference height. The one is calculated by base of geoid models such as EGM96, OSU91A, KGEOID99, and the other is calculated by network adjustment using fixed point. The results of GPS/Leveling by geoid models show that RMSE of EGM96 is ±0.061m, OSU91A ±0.725m, and KGEOID99 ±0.598m. The results of GPS/Leveling by network adjustment show that the best RMSE is ±0.043m in case of using three fixed bench mark, and this method can be used for leveling effectively. GPS/Leveling would be able to apply in forth order public leveling and height determination of public control points.

1. 서론

우리나라 육지 표고의 기준은 1914~1916년까지 인천항에서 조위 관측한 결과를 평균 조정한 평균해수면을 사용한다. 평균해수면은 일종의 가상적인 면으로서 수준측량에 직접 사용할 수는 없으므로 그

* 한경대학교 토목공학과 교수
** 서울시립대학교 지적정보학과 교수
*** 국립지리원 항측과

위치를 지상에 영구표석으로 설치하여 TBM(Tidal Bench Mark)으로 삼고 이것을 기준으로 전국 수준망을 형성하였다. 1917년에 수준기점을 인천시 중구 항동 1가 2번지에 설정하여 국토의 표고 기준으로 이용하였으나, 그 후 이 원점을 1963년 12월에 현재 인하공업전문대학으로 이전하였다. 즉, 우리나라 표고의 기준은 인천만의 평균해면이며, 수준측량에서 정하는 표고는 이 지오이드면을 기준으로 연직선을 따라 측정한 높이로 정의된다.

오늘날 인공위성을 이용한 첨단 측량시스템인 GPS는 항법용 위치측정은 물론 정밀 기준점측량을 통한 측지망의 구성, 지적측량, 지도제작, 건설공사측량, GIS의 자료구축 등에 활용되고 있으며, 지오이드 모델 결정, 지각변동 및 지구의 극운동 등의 측지 및 지구물리분야에서도 GPS의 활용이 날로 증가하고 있다.

한편, GPS에 의해 결정되는 3차원 위치는 WGS84 좌표계를 기준으로 하는 지심좌표 값이며, 이로부터 경도 및 위도, 타원체고(ellipsoidal height : h)를 구할 수 있다. 이때 타원체고는 기준타원체면을 기준으로 한 높이이기 때문에 지오이드를 기준으로 한 정표고(orthometric height : H)와는 다르다. 여기서, 기준타원체와 지오이드간의 고저차를 지오이드고(geoidal height : N)라고 한다(<그림 1> 참조).

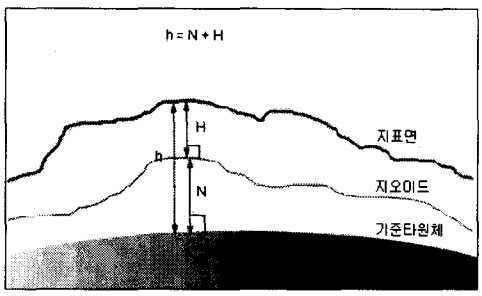

그림 1. 높이체계

따라서, GPS 측량에 의한 표고결정(GPS/Leveling)은 GPS 측량에서 산출되는 타원체고에서 지오이드고의 조합에 의하여 정표고를 산정하거나, 기지점을 포함한 GPS 관측망을 구성한 후 기지점의 표고값을 고정하여 망조정함으로써 구하고자 하는 점의 정표고를 산정하는 방법을 적용하여야 한다.

전자의 경우, 지오이드모델이 필요한데 그동안 국내에서는 조규전 등(1991, 1994), 최광선 등(1994), 윤홍식(1995), 이석배 등(1996, 2000)에 의해 천문측량자료, 중력측정자료, 위성고도자료, GPS/Leveling 등 다양한 방법으로 한반도의 지오이드 모델에 대한 연구가 진행되어 왔으며, 대표적으로 국립지리원의 연구 성과인 KGEOID99 모델(국립지리원, 1998)이 있다. 이 외에 광역 지오이드모델로서 미국 오하이오 주립대학에서 발표한 OSU91A, 미국 GSFC/DMA의 EGM96 모델에 대해서도 많은 평가가 이루어지고 있다(이석배 등, 1997; 최경재 등, 1999; 고인세 등, 2000). 한편, 후자의 경우는 아직 정확도의 검증이 미진한 상태이며, 기지점의 정확한 고시성과가 있어야 하기 때문에 고시성과가 없는 지역에서는 적용하기에 어려움이 있다.

본 연구에서는 충남 홍성지역의 수준점과 삼각점에 대하여 GPS 측량을 실시한 후, 국내에서 주로 사용하고 있는 지오이드모델(EGM96, OSU91A, KGEOID99)을 적용하여 정표고를 산출하는 방법과 기지점 고정에 의한 망조정 방식으로 정표고를 산출하는 방법을 각각 적용하여, 이를 고시성과와 비교·분석함으로써, GPS/Leveling에 의한 수준측량의 정확도 한계 및 활용성을 검증하여 수준측량에서 GPS/Leveling의 실용화에 기여하고자 한다.

2. GPS 관측

GPS/Leveling을 수행하기에 앞서, 수원 국립지리원의 GPS 상시관측점(SUWN)과 연구대상 지역의 삼각점 홍성308을 GPS로 10시간 관측하여 WGS84 좌표를 결정한 후, 이를 지역 고정점으로 사용하였으며, 그 결과 홍성308의 WGS84 좌표는 다음과 같다.

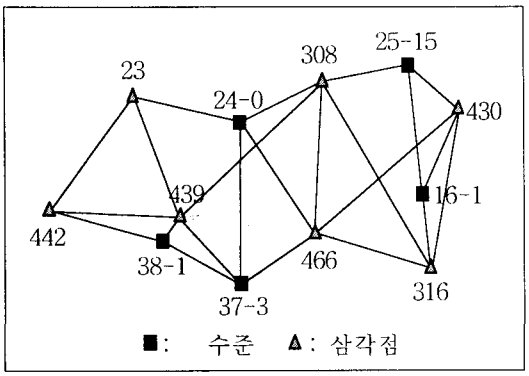

그림 2. 홍성지역의 GPS 관측망도

위도 : 36° 36′ 37″.56580 N
경도 : 126° 40′ 56″.89143 E
타원체고 : 87.718 m

이후, 홍성지역의 수준점(5점) 및 삼각점(7점)에 대하여 <그림 2>와 같은 관측망을 형성하였으며, 관측점간 거리는 1.9km~5.1km 정도이다. 관측장비로는 Leica SR399 수신기 3대를 1세션으로 하여 2000. 7. 12 ~ 7. 18 기간 동안 대상관측점에 대해 기선중복방식으로 GPS 측량을 실시하였으며, 세션당 2시간씩 30초 간격으로 데이터를 취득하였다. 장애물로 인하여 데이터 수신이 불가능한 4개의 수준점(16-11, 25-15, 37-31, 24-0)에 대하여는 편심 관측을 실시하였다. 편심에 따른 표고 변화는 디지털레벨로 직접수준측량을 실시하여 편심점의 표고를 산출하였다.

3. 성과 분석

3.1 GPS/ Leveling에 의한 지오이드고 분석

GPS 데이터 처리에 있어서는 Trimble사의 GPSurvey 소프트웨어로 측점간의 기선벡터를 계산하였으며, TRIMNET PLUS 소프트웨어를 이용하여 망조정을 실시하였다. 홍성308을 고정점으로 망조정을 실시하여 각 수준점 및 삼각점의 경위도좌표와 타원체고를 산정하였으며, 그 결과는 <표 1>과 같다.

<표 1>에서, 타원체고에서 고시성과(정표고)를 차감한 결과가 지오이드고이며 이를 <표 2>에 나타냈다. 홍성지역의 지오이드고는 22.648m~22.985m의 분포로 나타나고 있으며, 평균 22.846m이다. 대체적으로 지오이드고는 경도값이 증가할수록 높아지는 경향을 보이며, 가장 동쪽에 위치한 수원 상시관측점

표 1. GPS 관측점의 망조정 결과 및 고시 표고성과 (□:수준점 △:삼각점 ☆:상시관측점)

관측점	위도	경도	타원체고(m)	정표고(m)	비고
16-11	36° 35′ 12″.99602	126° 41′ 36″.38556	53.926	30.941	□
25-15	36° 36′ 29″.90533	126° 42′ 02″.79443	45.753	22.807	□
37-31	36° 34′ 17″.42009	126° 39′ 03″.57132	95.065	72.230	□
24-0	36° 36′ 03″.39402	126° 39′ 36″.49402	52.309	29.490	□
38-1	36° 35′ 09″.73503	126° 37′ 53″.03393	111.207	88.459	□
23	36° 36′ 22″.63766	126° 37′ 25″.11537	416.247	393.548	△
308	36° 36′ 37″.56580	126° 40′ 56″.89143	87.718	64.856	△
316	36° 34′ 12″.88980	126° 42′ 01″.67360	116.093	93.110	△
430	36° 36′ 28″.73171	126° 42′ 41″.75726	112.381	89.470	△
439	36° 35′ 16″.06488	126° 37′ 54″.13066	159.074	136.240	△
442	36° 35′ 23″.35292	126° 35′ 59″.52661	130.478	107.830	△
466	36° 34′ 34″.82438	126° 39′ 56″.67118	99.647	76.770	△
수원	37° 16′ 31″.87357	127° 03′ 15″.28198	83.358	60.126	☆

표 2. GPS/Leveling 및 지오이드모델에 의한 지오이드고

(단위: m)

관측점	타원체고 -정표고	EGM96	OSU91A	KGEOID
16-11	22.985	22.955	23.653	23.530
25-15	22.946	22.955	23.653	23.542
37-31	22.835	22.874	23.577	23.450
24-0	22.819	22.767	23.548	23.381
38-1	22.748	22.767	23.457	23.374
23	22.699	22.767	23.457	23.303
308	22.862	22.955	23.653	23.460
316	22.983	23.056	23.767	23.612
430	22.911	22.955	23.653	23.542
439	22.834	22.767	23.457	23.374
442	22.648	22.767	23.457	23.294
466	22.877	22.874	23.578	23.450
수원	23.232	23.174	23.914	23.696

의 지오이드고는 23.232m로 나타났다.

비교를 위하여, 기존 지오이드 모델을 사용하여 계산한 지오이드고를 <표 2>에 같이 나타냈다. GPS/Leveling에 의한 지오이드고와 가장 유사한 지오이드 모델은 EGM96 모델로 나타났으며, OSU91A 및 KGEOID 모델은 GPS/Leveling 결과와 50cm 이상의 상당한 차이를 보이고 있다. 이 결과로부터, 본 연구 대상 지역에 대해서는 기존 지오이드 모델중 EGM96 모델이 가장 적합한 모델임을 알 수 있다.

한편 이 결과는, 선행 연구로서 고인세·조진동(2000)이 경북 안동 주변 26개 측점에 대해 GPS/Leveling에 의한 지오이드고와 기존 지오이드모델과의 비교 결과에서 KGEOID, OSU91A, EGM96의 순으로 잘 부합한다는 것과 상반된 결과를 보여주고 있다. 이는 각 지오이드모델이 거시적인 모델이기 때문에 대상지역에 따라 지오이드모델의 부합 정도가 다르게 나타날 수 있음을 의미하며, 향후 보다 많은 관측 성과에 의한 정밀 지오이드모델의 개발이 필요함을 나타낸다.

3.2 기지점 고정 망조정에 의한 GPS/Leveling

GPS 관측성과 처리에 있어서 정확한 기지점을 고정하여 망조정함으로써 미지점의 좌표나 표고를 구할 수 있다. 본 연구에서는 1점에서 3점 고정까지 총 6가지의 경우에 대하여 표고를 고시성과로 고정하여 망조정함으로써 정표고를 구하는 GPS/Leveling을 실시하였다. 그 결과는 <표 3>과 같으며, 여기서 A는

표 3. 고정점 형태에 따른 정표고 계산 결과 (단위: m)

관측점	고시성과	A	B	C	D	E	F
16-11	30.941	31.088	31.056	31.196	30.997	30.990	30.963
25-15	22.807	22.912	Fix	22.938	Fix	22.812	Fix
37-31	72.230	Fix	Fix	72.331	Fix	72.269	Fix
24-0	29.490	29.474	29.432	29.574	Fix	29.519	25.510
38-1	88.459	88.370	88.334	88.522	88.459	88.506	88.484
23	393.548	393.417	393.371	Fix	393.553	Fix	Fix
308	64.856	64.880	64.803	64.194	64.841	Fix	64.885
316	93.110	93.253	93.182	Fix	93.098	Fix	93.065
430	89.470	89.545	89.457	89.569	89.397	89.397	89.385
439	136.240	136.238	136.202	136.534	136.326	136.373	136.353
442	107.830	107.644	107.604	107.811	107.837	107.900	107.885
466	76.770	76.813	76.782	76.902	76.772	76.802	76.767

표 4. 고정점 형태에 따른 정표고 오차 (단위: m)

관측점	A	B	C	D	E	F
16-11	0.147	0.109	0.255	0.056	0.049	0.022
25-15	0.105	Fix	0.131	Fix	0.005	Fix
37-31	Fix	Fix	0.101	Fix	0.039	Fix
24-0	-0.016	-0.058	0.084	Fix	0.029	0.020
38-1	-0.089	-0.125	0.063	0.000	0.047	0.025
23	-0.131	-0.177	Fix	0.005	Fix	Fix
308	0.024	-0.053	0.058	-0.015	Fix	-0.001
316	0.143	0.072	Fix	-0.012	Fix	-0.045
430	0.075	-0.013	0.099	-0.073	-0.073	-0.085
439	-0.002	-0.038	0.294	0.086	0.133	0.113
442	-0.186	-0.226	-0.019	0.007	0.070	0.055
466	0.043	0.012	0.132	0.002	0.032	-0.003
RMSE	±0.105	±0.111	±0.149	±0.043	±0.063	±0.054

수준점 1점, B는 수준점 2점, C는 삼각점 2점, D는 수준점 3점, E는 삼각점 3점, F는 수준점 2점 및 삼각점 1점을 각각 고정시킨 경우이다.

<표 4>는 각 경우의 망조정 결과에 대하여 고시성과와 비교하여 계산한 오차를 나타낸 것이다. 각각의 평균제곱근오차(RMSE)를 계산한 결과, 1점 및 2점만 고정한 A, B, C의 경우에는 ±10㎝ 이상의 비교적 큰 차이가 발생하여 3점 이상의 표고를 고정하여야 함을 알 수 있었으며, 수준점 3점을 고정하여 망조정한 D의 경우에서 ±4.3㎝로 가장 양호한 결과를 얻었다.

3.3 망조정 및 지오이드모델에 의한 정표고 분석

GPS/Leveling의 방법으로서, 고정점에 의한 망조정 결과 가장 양호한 결과값이 제시된 수준점 3점

표 5. GPS/Leveling에 의한 정표고 계산 결과 (단위: m)

관측점	고시성과	GPS 망조정		EGM96		OSU91A		KGEOID	
		정표고	오차	정표고	오차	정표고	오차	정표고	오차
16-11	30.941	30.997	0.056	30.971	0.030	30.273	-0.668	30.396	-0.545
25-15	22.807	22.807	Fix	22.798	-0.009	22.100	-0.707	22.211	-0.596
37-31	72.230	72.230	Fix	72.191	-0.039	71.488	-0.742	71.615	-0.615
24-0	29.490	29.490	Fix	29.542	0.052	28.852	-0.638	28.928	-0.562
38-1	88.459	88.459	0.000	88.440	-0.019	87.750	-0.709	87.833	-0.626
23	393.548	393.553	0.005	393.480	-0.068	392.790	-0.758	392.944	-0.604
308	64.856	64.841	-0.015	64.763	-0.093	64.065	-0.791	64.258	-0.598
316	93.110	93.098	-0.012	93.037	-0.073	92.326	-0.784	92.481	-0.629
430	89.470	89.397	-0.073	89.426	-0.044	88.728	-0.742	88.839	-0.631
439	136.240	136.326	0.086	136.307	0.067	135.617	-0.623	135.700	-0.540
442	107.830	107.837	0.007	107.711	-0.119	107.023	-0.807	107.184	-0.646
466	76.770	76.772	0.002	76.773	0.003	76.069	-0.701	76.197	-0.573

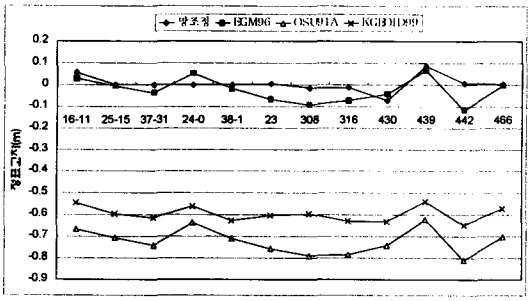

그림 3. GPS/Leveling 방법별 정표고 오차 비교도

고정에 의한 정표고 결과와 기존의 지오이드모델인 EGM96, OSU91A, KGEOID를 사용하여 계산한 정표고를 각각 비교하였다. <표 5>에 그 결과를 나타냈으며, <그림 3>은 각 방법별 정표고의 오차를 시각적으로 비교한 것이다.

각 방법별 정표고의 RMSE는 <표 6>에 제시된 바와 같이, GPS 망조정시 ±0.043m, EGM96 ±0.061m, OSU91A ±0.725m, KGEOID ±0.598m으로 나타났다.

표 6. GPS/Leveling 방법별 정표고 오차 통계

구 분	GPS 망조정	EGM96	OSU91A	KGEOID
최대값(m)	0.086	-0.119	-0.807	-0.646
최소값(m)	0.000	0.003	-0.628	-0.540
RMSE(m)	±0.043	±0.061	±0.725	±0.598

GPS 망조정 결과가 가장 우수한 것으로 나타났으나, GPS 망조정 결과에서는 고정점이 RMSE 계산에서 제외되므로 이 결과를 기존 지오이드모델 적용 결과와 직접 비교할 수는 없다. 그러나 고시성과를 기준으로 한 GPS 망조정이 GPS/Leveling의 효과적인 방법으로 적용될 수 있음을 알 수 있으며, 기존 지오이드모델 중에서는 EGM96 모델을 적용한 결과가 가장 양호하게 나타났다.

3.4 GPS/Leveling 정확도 분석

지오이드모델 중 EGM96 모델의 RMSE가 가장 양호한 것으로 나타났기 때문에, 이로부터 구한 정표고의 오차를 수준점과 삼각점으로 구분하여 분석하였다. 수준점에서의 GPS/Leveling에 의한 정표고와 고시성과의 차이를 분석한 결과 최대 5.2cm, RMSE ±3.7cm로 비교적 양호한 결과를 보이고 있다(<그림 4> 참조).

삼각점에서의 EGM96 지오이드모델에서 구한 정표고와 고시성과의 차이는 최대 -11.9cm, RMSE ±7.3cm로 나타났다(<그림 5> 참조). 즉, 직접수준측량으로 측량한 수준점과 간접수준측량으로 측량한 삼각점의 성과를 비교할 때 수준점 성과가 더 정확한 것을 알 수 있다.

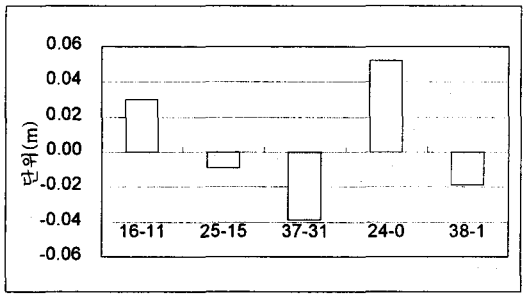

그림 4. 수준점에서 GPS/Leveling 오차

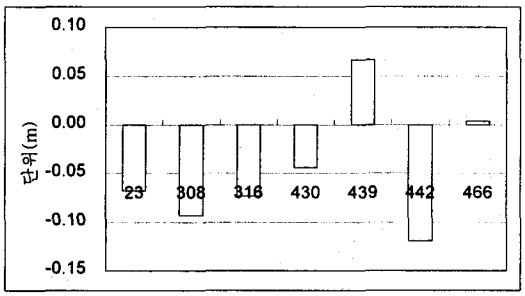

그림 5. 삼각점에서 GPS/Leveling 오차

따라서, GPS/Leveling의 활용을 위한 정확도 분석에 있어서 성과가 보다 정확한 수준점에 대한 GPS/Leveling 오차(RMSE ±3.7cm)를 기준으로 공공측량에서의 활용 방안을 판단하였다. 2002년도에 새로이 제정되는 공공측량의 작업규정 세부기준 및

그 운영세칙 제정(안)에 따르면(국립지리원, 2002) 공공 수준측량의 허용오차는 <표 7>과 같으며, 1급~4급 공공기준점측량시 기준점의 표고성과 오차는 4급 수준측량에 준하도록 되어 있다. 이로부터 본 연구대상지역의 관측점간 거리 및 수준측량의 허용오차를 감안할 때, GPS/Leveling은 공공측량의 4급 수준측량, 공공기준점의 표고 결정 등에 활용이 가능하다고 판단된다.

표 7. 공공측량에서 수준측량의 허용오차

(S: 편도거리 km)

구분	1급 수준측량	2급 수준측량	3급 수준측량	4급 수준측량
왕복차	$2.5mm\sqrt{S}$	$5mm\sqrt{S}$	$10mm\sqrt{S}$	$20mm\sqrt{S}$
환폐합차	$2mm\sqrt{S}$	$5mm\sqrt{S}$	$10mm\sqrt{S}$	$20mm\sqrt{S}$
검측	$2.5mm\sqrt{S}$	$5mm\sqrt{S}$		

4. 결론

본 연구에서는 홍성지역의 수준점 및 삼각점에서 GPS 측량을 실시하고, 각각의 관측 데이터를 이용하여 기선해석과 망조정 계산을 실시한 후, EGM96, OSU91A, KGEOID99 지오이드모델을 적용하여 정표고를 산출하였으며, 또한 여러 형태의 표고 고정점에 의한 망조정으로 정표고를 산출하였다. 이 결과를 각점의 고시성과와 비교 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 기존 지오이드모델을 적용한 정표고와 고시성과의 차이를 분석한 결과, RMSE가 EGM96 모델에서 ±0.061m, OSU91A 모델에서 ±0.725m, KGEOID99 모델에서 ±0.598m로 나타나 본 연구대상지역에서는 EGM96 모델이 가장 적합하였다. 한편 표고 고정점에 의한 망조정한 결과에서는 수준점 3점을 고정한 경우의 RMSE가 ±0.043m로 가장 양호한 결과를 나타냈으며, 고정점을 이용한 망조정이 효과적인 GPS/Leveling 방법으로 활용될 수 있음을 알 수 있었다.
2. EGM96 모델을 이용한 정표고 산출 결과를 대상으로 수준점과 삼각점을 각각 분리하여 비교한 결과, 수준점에서의 RMSE는 ±3.7㎝, 삼각점에서는 ±7.3㎝로 나타나 수준점의 표고 정확도가 더 좋음을 확인할 수 있었으며, GPS/Leveling을 4급 공공수준측량, 공공기준점의 표고 결정 등에 활용할 수 있을 것으로 판단된다.
3. GPS/Leveling을 적용하여 국소지역의 지오이드 변화를 예측할 수 있으며, 우리나라에 적합한 지오이드모델 결정을 위한 지속적인 자료축적 및 연구가 이루어져야 한다.

참고문헌

1. 고인세, 조진동, "GPS/Leveling과 지오포텐셜 모델 지오이드 고찰", 한국측량학회지, 제18권 제2호, 2000, pp.129-134.
2. 국립지리원, GPS/Leveling을 이용한 지오이드 평가에 관한 연구, 1998.
3. 국립지리원, 공공측량의 작업규정 세부기준 제정(안) 및 공공측량의 작업규정 세부기준 운영세칙 제정(안), 2002 .
4. 윤홍식, "Geometric Geoid Determination in South Korea using GPS/Levelling Data", 한국측지학회지, 제13권 제2호, 1995, pp.285-289.
5. 이석배, "중력학적 방법 및 위성측지 방법에 의한 지오이드 모델링에 관한 연구", 한국측량학회지, 제18권 제4호, 2000, pp.359-367.
6. 이석배, 윤홍식, 최재화, "FFT에 의한 한반도 일원에서의 중력지오이드 결정", 한국측지학회지,

제14권 제1호, 1996, pp.49-58.
7. 이석배, 최재화, "EGM96과 OSU91A 지오포텐셜 모델에 의한 한반도 일원에서의 지오이드 비교분석", 한국측지학회지, 제15권 제1호, 1997, pp.131-139.
8. 조규전, 이영진, "우리나라의 천문측지 지오이드에 관한 연구", 한국측지학회지, 제9권 제2호, 1991, pp.1-8.
9. 조규전, 이영진, 조봉환, "개선된 남한지역의 GRS80 중력지오이드 모델 (KGM93)", 한국측지학회지, 제12권 제1호, 1994, pp.61-68.
10. 최경재, 최윤수, "EGM96 모델을 이용한 Bessel 지오이드고의 계산", 한국측지학회지, 제17권 제1호, 1999, pp.33-39.
11. 최광선, 양철수, 박선미, "중력자료 해석에 의한 한반도 일원의 지오이드", 한국측지학회지, 제12권 제1호, 1994, pp.131-139.