

수직기준 결정을 위한 기초 연구

Preliminary Study of Vertical Datum Determination in Korea

정태준¹⁾·윤홍식²⁾·황학³⁾

Yun, Hong Sic·Jeong, Tae Jun·Huang, He

¹⁾ 성균관대학교 공과대학 건설환경시스템공학과 박사과정(E-mail:tjun97@skku.edu)

²⁾ 성균관대학교 공과대학 사회환경시스템공학과 부교수·공학박사(E-mail:yhs@geo.skku.ac.kr)

³⁾ 성균관대학교 공과대학 건설환경시스템공학과 박사수료(E-mail:duejihh@skku.edu)

Abstract

This study describes a problem of the Original Bench Mark which is used currently. We calculate New Mean Sea Level(MSL) in Incheon Port using tide data for 57 months and take 8 points GPS/Leveling data in research area. We calculate orthometric height of one control point using tide data and GPS/Leveling data. After fixed the control point, we decide final orthometric heights using relative geoidal height and ellipsoidal height from GPS survey. To analysis the Original Bench Mark compares final orthometric heights with the orthometric heights in Korea height system. We get the result that the New Original Bench Mark's height is 26.7176m. It appears 3.05cm difference as the Original Bench Mark's height is 26.6871cm in Korea height system.

1. 서 론

우리나라의 수직기준은 인천만의 평균해수면으로 현재 수준원점의 표고는 인천만 평균해수면상 26.6871m이다. 이는 1963년에 1910년대에 설치된 인천수준기점으로 부터 연결관측에 의하여 현재 인하공업대학교 구내로 이설되었다. 수직기준으로서의 수준점들은 측지기준 좌표계의 골격이 되는 측지 기준점(삼각점, 수준점, 중력점 등) 중 하나이고 위치정보 중에서 표고의 기준이 되는 것으로 지형·지물 정보의 정확한 위치 기준을 제공함에 있어서 중요한 의미를 가지고 있다. 과거의 연구결과에 따르면, 현재 인하공업대학교에 위치한 수준원점의 표고를 26.6871m에서 26.7421m로 재 정의할 필요가 있다고 밝히고 있다(최병호, 1994). 이러한 연구결과가 있었지만 지금까지 수직기준에 대한 보정이 이뤄지지 않고 있으며, 이에 대한 수직기준의 문제점 확인과 그에 따른 지속적인 연구가 필요한 실정이다. 이러한 이유에서 본 연구는 우리나라 수직기준의 결정을 위한 기초연구로써 수직기준의 기초가 되는 수준원점에 대하여 인천항의 조석데이터를 이용한 문제점 확인과 분석을 하고자 한다.

2. 연구대상 지역

본 연구에서 선정한 지역은 수준원점이 위치하는 인천광역시 남구와 중구, 남동구, 연수구 지역을 포함하는 위도 37.42° N ~ 37.45° N 및 경도 126.59° E ~ 126.70° E 일원으로 총 3개의 국가수준점이 설치되어 있는 지역을 포괄하여 선정하였고 수준점(ORB, BM01, BM02)과 관측지점(GP01, GP02, SANG, TP03)에 대하여 GPS 관측을 수행하였다.(그림 1 참조) 본 연구에서 사용하는 조석데이터는 MDA해양정보센터(MARINE DATA CENTER)에서 제공하는 인천 조위관측소에 대한 1시간자료를 취득한 것

로 2002년 1월 1일부터 2006년 9월 30일까지 57개월간의 데이터이다. 가장 가까운 육상에서 1시간 이상의 GPS 관측을 수행하였으며, 10분 간격의 측량을 통하여 GPS 관측시 관측지점의 지표와 해수면간의 차이를 확인하고 해수면의 변동이 큰 방파제 외측부분과 내측부분 2곳(GP01, GP02)을 고려하여 측정되었다.

이와 같이 취득한 조석데이터를 이용하여 평균해수면을 산출하였으며, 이를 이용하여 각 조석관측점의 평균해수면 기준의 정표고를 산출하였다. 정표고 산출의 기준점으로 해수면의 변화량이 좀 더 완만했던 GP02를 사용하였으며, 그 방법은 다음과 같다.

$\Delta t (= t_2 - t_1)$ 시간동안 MSL 위에 위치한 GPS 관측점의 표고는 다음의 식 (1)로 나타낼 수 있다.

$$H_{\Delta t} = H_m + t_m - t_{\Delta t} \quad (1)$$

여기서, $H_{\Delta t}$ 는 MSL 관측기간 동안의 정표고를 말하고, H_m 은 GPS 관측점으로부터 해수면까지 측정되어진 수심변화량을 말하며, t_m 은 H_m 이 측정된 시간에 상응하는 평균조위를 말하고, $t_{\Delta t}$ 는 Δt 라는 기간의 평균조위를 나타낸다. $H_{\Delta t}$ 의 표고는 장기간의 조위관측치에 의한 영향을 받으므로 $H_{\Delta t}$ 는 조석데이터의 기간에 동안 결정된 MSL의 정표고임을 확인할 수 있으며, 프로그램을 이용한 데이터 처리결과 GP02의 정표고는 5.196m로 산출되었다.

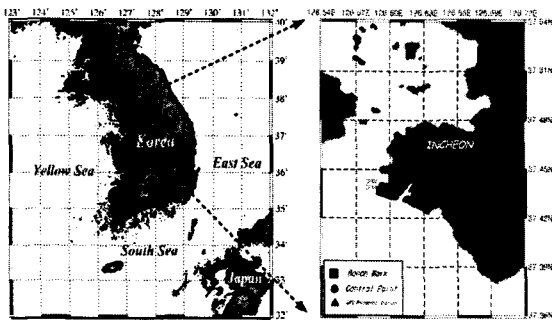


그림 1. 연구대상 지역

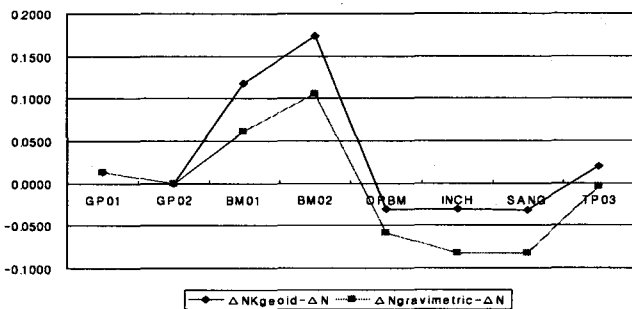


그림 2. GP02에 대한 상대적 지오이드 차 (단위:m)

3. 자료처리 및 분석

3.1 GPS 관측데이터 처리 및 지오이드고의 산출

GPS 관측점들에 대한 경·위도 좌표와 타원체고의 산출을 위하여 행정자치부에서 운영하고 있는 GPS 상시관측소 중 대상지역과 가장 가까이 위치하고 있는 인천(INCH) 상시관측소의 데이터를 사용하였으며, 데이터 처리 프로그램으로는 Trimble사의 상용 소프트웨어인 TGO(Trimble Geomatics Office v1.62)를 이용하여 ITRF2000 좌표계 기준으로 관측 데이터를 처리하였다.

본 연구에서 사용한 KGEOID05 모델은 한반도 일원을 포괄하는 위도 33° N ~ 39° N와 경도 124° E ~ 131° E 지역에 대하여 관측된 육상 및 해상 중력관측자료 및 DEM 자료를 이용하여 격자 간격 0.0125° × 0.0167° (약 1.4km × 1.5km)로 개발된 정밀지오이드 모델이다(윤홍식, 2005). 연구에서는 KGEOID05와 중력지오이드 모델 두 가지의 정밀지오이드 모델을 사용하였으며, 각각의 지오이드고에 대한 비교를 실시하였다.

3.2 관측자료의 정확도 분석

중력지오이드와 KGEOID05 모델은 실제 정표고 산출에 이용하는 기하학적 지오이드와는 차이가 있으므로 산출된 기하학적 지오이드와 정확도 분석을 수행할 필요가 있다. 일반적으로 GPS 측량에서는 상대취위방법으로 대부분의 정오차들의 최소화를 통하여 정확한 표고를 결정하고 있으며, GPS/Leveling

측량에 있어서도 평균해수면이 지오이드와 일치하지 않기 때문에 절대표고를 측정하기 보다는 상대적인 표고차를 결정하는 것이 정확하다. 이러한 측면에서 상대적인 지오이드고의 차이를 이용하였으며, 조석 데이터를 통하여 직접적인 정표고를 계산한 GPS 관측지점 GP02에 대한 지오이드간의 상대적 Fitting을 수행하였다. 이를 그래프로 나타내면 그림 2과 같으며 이를 통하여 수준점 BM01과 BM02의 성과에 문제점이 있다고 판단된다. 이는 본 연구에서 수행한 GPS 관측지점 간의 거리가 10km 이하임을 감안할 때 각 관측점간의 상대적인 지오이드 분포는 일정한 경향을 보여야 하지만, BM01과 BM02의 경우 지오이드의 정확도를 벗어나는 결과를 나타내고 있기 때문이다.

4. 결과 및 토의

각각의 상대적인 지오이드 차이를 이용하여 산출된 관측점에서의 최종 정표고는 표 5와 표 6에 표현되었다. 앞서 고시성과에 오차가 포함되어 있다고 판단된 수준점 BM01과 BM02은 최종 정표고 산출 시 배제하였다. 표 5와 표 6에서 보여지듯 기존의 성과와 최종 정표고 간에는 최대 약 8cm 정도의 차이가 존재한다고 판단되며, 중력지오이드와 KGEOID05 각각의 최종 정표고 사이에도 최대 5cm 정도의 차이가 존재함을 확인할 수 있다. 이는 KGEOID05가 중력지오이드 모델에 기하학적 지오이드를 이용한 보정항을 더하여 개선된 모델이므로 이러한 지오이드 보정치에 기인한 것으로 판단된다. 관측지점 ORBM, INCH, SANG 3곳에 있어서 정표고의 결과가 기존의 성과보다 높아지는 경향을 보이며, 이는 현재 인천만의 평균해수면(New_MSL)이 기존의 표고기준의 평균해수면 보다 낮아졌음을 의미하고 있다.

표 7은 ORBM의 최종 정표고 성과를 나타내며, 이를 통해 수준원점의 최종 정표고와 기존성과 간에는 3.05cm의 차이가 있음을 확인할 수 있다. 이는 현재 인천만의 평균해수면(New_MSL)이 기존 표고성과의 기준으로 사용된 MSL보다 3.05cm 아래 있다는 것을 나타내는 것이며, 이러한 결과는 앞서 언급한 5.5cm가 재조정 되어야 한다는 연구결과(최병호, 1994)와 비슷한 경향을 보이고 있으며, 이는 평균해수면에 변동이 있음을 보여주고 있다.

표 1. 중력지오이드를 이용한 최종 정표고 (단위 : m)

Point	Ell.height(h)	$N_{GPS}(=h-H)$	$\Delta N_{gravimetric}-\Delta N$	$H_{gravimetric}$	Ortho.height(H)
GP01	29.1680	22.3800	0.0140	6.7740	6.7880
GP02	27.5900	22.3940	fix	5.1960	5.1960
ORBM	47.7790	22.6505	-0.0585	25.1870	25.1285
INCH	88.5320	22.7503	-0.0823	65.8640	65.7817
SANG	83.6440	22.7505	-0.0825	60.9760	60.8935
TP03	28.6360	22.5688	-0.0038	6.0710	6.0672

Ell.height = by GPS

Ortho. height = by tide or 성과표

표 2. KGEOID05를 이용한 최종 정표고 (단위 : m)

Point	Ell.height(h)	$N_{GPS}(=h-H)$	$\Delta N_{Kgeoid}-\Delta N$	H_{kgeoid}	Ortho.height(H)
GP01	29.1680	22.3800	0.0140	6.7740	6.7880
GP02	27.5900	22.3940	fix	5.1960	5.1960
ORBM	47.7790	22.6505	-0.0305	25.1590	25.1285
INCH	88.5320	22.7503	-0.0313	65.8130	65.7817
SANG	83.6440	22.7505	-0.0315	60.9250	60.8935
TP03	28.6360	22.5688	0.0202	6.0470	6.0672

Ell.height = by GPS

Ortho. height = by tide or 성과표

표 3. ORBM에 대한 표고성과와 최종 정표고 결과

구분	Lat	Long	Ortho. height(H)	H_{kgeoid} (m)	Difference (m)
ORBM	37.44937	126.65731	25.1285	25.1590	0.0305

5. 결 론

본 연구는 수직기준 결정을 위한 기초연구로서 현재 수직기준에 대한 문제점을 파악하고자 인천조위 관측소의 조석데이터를 이용한 새로운 평균해수면의 결정과, 6점의 GPS/Leveling 관측결과에 따라 기하학적 지오이드고에 대하여 중력지오이드 및 KGEOID05를 이용한 상대적 지오이드고 산출하였고 이를 통하여 최종적인 정표고를 결정하였다. 그리고 결정된 최종 정표고와 기존의 표고성과를 비교함으로써 현재 수준원점에 대한 문제점을 살펴보았으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 조석데이터를 이용하여 직접적인 정표고를 결정한 관측점 GP02를 고정하여 상대적으로 결정된 지오이드고와 GPS 관측에 따른 타원체고를 사용하여 각 지점의 최종 정표고를 결정하였으며, 기존 표고성과와의 비교를 통하여 중력지오이드 이용시 $\pm 4.39\text{cm}$, KGEOID05 이용시 $\pm 2.42\text{cm}$ 의 표준편차를 얻을 수 있었다.

2. 최근 57개월간의 조석데이터를 이용하여 평균해수면을 산출한 결과와 그에 따른 최종 정표고를 기존의 성과들과 비교하였으며, 이를 통하여 현 수준원점 표고가 26.6871m가 아닌 26.7176m라는 결과를 얻었다.

본 연구의 결과를 볼 때 현재 수준원점의 기준이 되는 평균해수면에 변화가 있었다고 판단된다. 하지만 좀 더 정확한 결과를 얻기 위해서는 인천조위관측소 한 곳이 아닌 두 곳 이상의 조위관측지점을 확보해야 하며, 그에 따른 조석관측데이터의 취득 및 GPS 관측이 필요하다고 판단된다. 또한 수직기준에 대한 정확한 분석을 위하여 연구지역내의 수준점들에 대해서 GPS/Leveling 관측을 실시하여야 하고 그 GPS 관측데이터와 정밀지오이드 모델을 사용하여 연구지역내의 수준점들에 대한 문제점을 분석해야 할 것이며, GPS 데이터 처리에 있어서도 Bernese, GAMIT과 같은 정밀 소프트웨어를 이용해야 할 것으로 판단된다.

참고문헌

- 고인세, 조진동 (2000), GPS/Leveling과 지오폠펜설 모델 지오이드 고찰, 한국측량학회지, 제18권, 제2호, pp. 129-134.
- 국토지리정보원 (1983), 우리나라 정밀수준망에 관한 연구.
- 국토지리정보원 (1998), GPS/Levelling을 이용한 지오이드 평가에 관한 연구.
- 윤홍식, 조재명 (2005), GPS/Levelling 데이터를 사용한 새로운 지구중력장모델의 정확도 분석, 한국측량학회지, 한국측량학회, pp. 353-358.
- 윤홍식, 이동하 (2005), Least Square Collocation에 의한 GPS/Leveling의 정확도 개선, 한국측량학회지, 한국측량학회, 제 23권, 제4회, pp. 385-392.
- 이석배, 윤홍식, 최재화 (1996), 지형보정효과가 지오이드에 미치는 영향에 관한 연구, 대한토목학회 학술발표회 논문집 제3권, pp. 117-120.
- 최병호 (1994), 우리나라 수준망형성의 연혁과 인천의 표고기준, 한국해양-해양공학회 소식, No. 94-2.
- Danish National Space Center (2005), Geoid for the Pusan-Geoje fixed link from gravity, GPS and tidal observations.
- Forsberg, R (1985), Gravity field terrain effect computations by FFT, Bull. Geoid., 59, pp. 342-360.
- Tschering C. C., A. Radwan, A. A. Tealab, S. M. Mahmoud, M. Abd EL-Monum, Ramdan Hassan, I. El-Syad and K. Saker (2001), Local geoid determination combining gravity disturbances and GPS/Levelling : a case study in the Lake Nasser area, Aswan, Egypt, Bull. Geoid., 75, pp. 343-348.
- Yun, H. S (1994), Determination of Gravimetric Geoid Solution in South Korea, Gravity and Geoid, International Association of Geodesy, Symosia. 113, IUGG and IAG, Springer, Berlin.