

기본수준점을 이용한 국가수직기준연계 분석 연구

Analysis of National Vertical Datum Connection Using Tidal Bench Mark

윤하수* · 장민철** · 최윤수*** · 허 룡****

Yoon, Ha Su · Chang, Min Chol · Choi, Yun Soo · Huh, Yong

要 旨

최근 지구 온난화로 인하여 해수면의 상승속도가 증가하고, 자연재해가 증가함에 따라서 연안방재 및 개발을 위한 해·육상수직기준 연계에 대한 관심과 요구가 높아지고 있는 추세이다. 우리나라의 수직기준은 그 사용목적이 다르며, 목적에 따라 해상 및 육상에서 개별적으로 정하여 사용되고 있다. 해상수직기준은 지역평균해수면을 사용하며, 육상수직기준은 인천평균해수면을 사용한다. 따라서 본 연구에서는 첫째, 2012년과 2013년에 설치된 통합기본수준점 48점을 이용하여 해·육상수직기준에 따른 기하표고의 차이를 분석하였다. 분석에는 지역평균해수면과 인천평균해수면을 참조하는 기하표고 및 국가지오이드모델 기반의 기하표고가 사용되었다. 전체 48점 중 도서지역을 제외한 31점 중 11점에서 10cm 이상의 잔차가 발생하였다. 잔차의 원인은 강물의 유입, 기준조위관측소의 이동, 항만공사에 따른 지형변화 등인 것으로 판단되었다. 둘째, 해·육상수직기준 연계를 위하여 해면경사의 경향을 분석하였다. 해면경사는 인천평균해수면과 지역평균해수면의 차이를 말한다. 분석결과 우리나라의 해면경사는 서해에서 남해 그리고 동해방향으로 높아짐을 확인할 수 있었다. 본 연구를 통하여 해·육상수직기준 연계를 위한 자료로서 통합기본수준점의 성과가 활용될 수 있음을 확인하였다. 향후 해·육상수직기준 연계를 위해서는, 해·육상을 연결하는 측량자료가 많이 확보되어야 하며, 국립해양조사원과 국토지리정보원의 지속적인 수직기준 관리 및 자료 공유가 필요하다. 연계된 육상수직기준의 정보는 효율적이고 경제적인 연안개발과 방재에 크게 활용될 것으로 기대된다.

핵심용어 : 기본수준점, 지역평균해수면, 인천평균해수면, 지오이드모델, 해면경사

Abstract

Recently, the velocity of sea-level rising has increased due to the global warming and the natural disasters have been occurred many times. Therefore, there are various demands for the integration of vertical reference datums for the ocean and land areas in order to develop a coastal area and prevent a natural disaster. Currently, the vertical datum for the ocean area refers to Local Mean Sea Level(LMSL) and the vertical datum for the land area is based on Incheon Mean Sea Level(IMSL). This study uses 31 points of Tidal Gauge Bench Mark (TGBM) in order to compares and analyzes the geometric heights referring LMSL, IMSL, and the nationally determined geoid surface. 11 points of comparable data are biased more than 10 cm when the geometric heights are compared. It seems to be caused by the inflow of river, the relocation of Tidal Gauge Station, and the topographic change by harbor construction. Also, this study analyze the inclination of sea surface which is the difference between IMSL and LMSL, and it shows the inclination of sea surface increases from the western to southern, and eastern seas. In this study, it is shown that TGBM can be used to integrate vertical datums for the ocean and land areas. In order to integrate the vertical datums, there need more surveying data connecting the ocean to the land area, also cooperation between Korea Hydrographic and Oceanographic Administration and National Geographic Information Institute. It is expected that the integrated vertical datum can be applied to the development of coastal area and the preventative of natural disaster.

Keywords : Tidal Bench Mark(TBM), Local Mean See Level(LMSL), Incheon Mean See Level(IMSL), Geoid Model, Sea Level Slope

Received: 2014.07.17, revised: 2014.08.18, accepted: 2014.09.22

* 정희원 · 서울시립대학교 공간정보공학과 박사수료(Member, Ph.d. Candidate, Dept. of Geoinformatics, University of Seoul, hasu9@uos.ac.kr)

** 교신저자 · 서울시립대학교 공간정보공학과 박사수료, 국립해양조사원 수료측량과(Corresponding author, Ph.d. Candidate, Dept. of Geoinformatics, University of Seoul & Hydrographic Survey Division, Korea Hydrographic and Oceanographic Administration, chamic@uos.ac.kr)

*** 정희원 · 서울시립대학교 공간정보공학과 정교수(Member, Professor, Dept. of Geoinformatics, University of Seoul, choiys@uos.ac.kr)

**** 국립해양조사원 해양관측과(Oceanographic Observation Division, Korea Hydrographic and Oceanographic Administration, nori@korea.kr)

1. 서 론

최근 지구온난화로 인한 해수면 상승 속도가 증가하고 필리핀을 강타한 하이엔 태풍과 같은 자연재해의 증가로 인하여 전세계적으로 방재 및 피해복구를 위한 공간정보 구축의 필요성이 제기되고 있다. 공간정보 중 수직정보는 중요한 역할을 하며 각 국에서는 정확한 수직기준을 설정하기 위하여 많은 노력을 하고 있다. 또한 연안개발을 위한 수직정보의 제공은 중요한 의미를 가진다. 정확한 수직기준의 제공은 연안 및 해안공사의 효율성을 가지고 올 수 있으며, 방재계획 및 대비에 큰 역할을 할 수 있다. 현재 해상의 수직기준과 육상의 수직기준이 사용목적에 따라 각각의 기준을 사용하고 있으며, 우리나라 또한 해상과 육상의 수직기준 연계에 대한 관심이 높다.

국외의 해·육상수직기준연계(NGII, 2010)는 여러나라에서 이루어지고 있다. 미국의 경우 NOAA(National Oceanic and Atmospheric Administration)의 NGS(National Geodetic Survey)에서 GNSS와 최신 기술을 이용하는 일관된 국가공간기준체인 NSRS(National Spatial Reference System)를 체계적으로 제공하고 있다. 수직기준의 경우 육상데이터와 해상데이터 문제 해결을 위해 VDatum을 개발하였다. VDatum은 일종의 수직기준 변환 툴로서 수심도와 지형도 간의 수직기준 차이로 인한 다양한 문제점을 해결하고 연안 지역에 대한 통합적인 국가 DB를 구축하기 위해 개발된 소프트웨어이다. 영국의 경우 2005년에 영국수로국(UKHO)에서 VORF(Vertical Offshore Reference Frame) 시스템을 추진하게 되었으며, 2006년부터 VORF의 서비스를 제공하고 있다. VORF 시스템은 일차적으로 육상이 아닌 해양에서의 수로측량 업무에 활용하기 위해 개발된 것으로서, 조석관측이 없는 수로측량을 수행하는 데에 목적이 있다. 호주의 경우 지오이드를 이용하여 육·해상 수직기준의 연계를 실시하고 있으며, AUSGeoid시스템을 개발하여 사용하고 있다.

국내의 경우 국립해양조사원과 국토지리정보원에서 해·육상의 연계를 위하여 노력하고 있다. 해상과 육상의 수직기준 연계방법은 국립해양조사원에서 해상수직기준을 관리하기 위한 기본수준점(TBM : Tidal Bench Mark)과 국토지리정보원에서 관리하는 수준점(BM : Bench Mark)에 대하여 연결측량하거나, 정밀지오이드를 개발하여 연결하는 방법이 있다. 국립해양조사원의 경우 2009년부터 ‘해수면 변동 정밀분석 및 예측용역’을 현재까지 실시하였다. 연구는 조위자료와 GPS 관측을 통한 수직 지각운동 및 후빙기조류운동(GIA)을 복

합분석하여 해역별 상대해수면 상승률 및 절대해수면 상승률을 정밀 산정하고 지구온난화에 따른 한반도 주변해역의 증장기 해수면 상승 시나리오 구축과 해수면 상승에 대응하기 위한 적응 방안을 수립하는 연구를 실시하였다. 또한 우리나라 조위관측소 주변에 통합기본수준점(TGBM : Tidal Gauge Bench Mark)을 2012년부터 설치하고 있으며 육상의 수준점과 1등 수준측량을 실시하여 해·육상의 수직기준을 제공하고 있다. 국토지리정보원의 경우 2009년부터 ‘국가 수직기준체계 수립을 위한 연구’를 통하여 TBM-BM 간 연결측량 성과를 통해 높이 정보 변환 S/W 개발을 수행하였다. 또한 2011년부터 국가지오이드 모델 구축 사업을 실행하여 육상에 대한 $\pm 3.00\text{cm}$ 의 정밀도를 확보하였으며, 2014년도 말에는 선상중력 자료를 반영하여 해양부분의 지오이드 정밀도를 향상시킬 계획이다. 국내논문의 경우 해·육상수직기준연계에 2010년부터 활발히 발표되었으며 대부분 육상의 수직기준 관점에서 해상의 수직기준 연계방안에 대한 연구를 실시하였다.

본 연구에서는 통합기본수준점을 이용하여 2012년부터 새롭게 실시한 조석관측결과와 기본수준점의 수준측량 및 GPS 관측결과를 이용하여 해상과 육상의 수직기준 편차를 분석·검증하였다. 이를 통하여 해·육상수직기준 연계를 위한 통합기본수준점 성과의 활용 가능성과 우리나라 해면경사를 분석하였다. 분석방법으로는 지역평균해수면(LMSL: Local MSL)과 인천평균해수면(IMSL : Incheon MSL), 국가지오이드모델을 비교하고 해면경사와 국토지리정보원의 육·해상연계서비스를 이용하여 비교·분석하였다.

2. 국가수직기준

2.1 국가수직기준의 구분

해상(해도) 수직기준(KOHA, 2012)의 경우 기본수준면(DL : Datum Level), 평균해수면(MSL : Mean Sea Level), 약최고고조면(AHHW : Approximate Highest High Water)을 이용하고 있다. 아래 Fig. 1은 해상과 육상의 수직기준면 3종류와 각 지형지물의 수직기준을 표현한 것이다. 기본수준면은 선박의 안전한 운항을 위해 수심과 간출암의 기준이 되는 수직기준면이다. 평균해수면은 노출암, 등대, 육상높이의 기준이 되며 항상 해수면 위에 존재하는 것의 기준이 된다. 약최고고조면의 경우 최고해수면을 기준으로 해안선, 교량, 전력선의 기준이 되며 선박의 통항이 가능한 높이의 기준을 의미한다. 해상의 수직기준면은 해당지역의 조석관측을 통하여 산정되며, 지역마다 다른 수직기준면이 결정

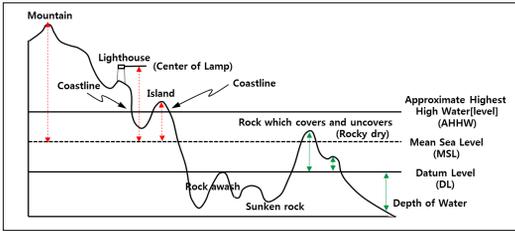


Figure 1. Type of Vertical Datum



Figure 2. Tidal Gauge Bench Mark

된다. 육상의 수직기준면은 국토의 일관적인 수직기준을 위해 우리나라에서는 인천평균해수면의 높이를 사용하고 있다.

2.2 기본수준점 및 통합기본수준점

기본수준점은 측량 수로조사 및 지적에 관한 법률 시행령 제8조 국가기준점의 수로기준점에 속하며 목적은 높이 및 수심측정에 목적이 있다(KOHA, 2013). 우리나라에서 기본수준점의 성과는 기준면을 결정하고 싶은 지역에서 1개월 이상의 조석관측을 실시한 후 그 자료를 조화분해하고 그 지역의 조화상수가 산출하여 지역해수면을 결정하고 조석을 예보할 수 있다. 일반적으로 기준면의 결정은 조석의 주기를 고려한 18.6년의 자료를 이용하여 분석하는 것이 정확한 것으로 알려져 있다. 그러나 우리나라의 경우 기준면 설정에 필요한 장소에 주변 조위관측소가 없거나 연안개발 따른 조위관측소가 이동한 경우 등 상황에 따라 단기조석관측을 실시하여 지역해수면을 결정하고 있다. 단기조석관측을 통한 기준면의 결정은 계절과 월별에 따라 오차가 발생할 수 있으므로, 장기조석관측 자료를 이용하여 연보정을 실시하여 기준면을 결정한다.

2012년부터 국립해양조사원에서는 기존의 기본수준점에 대하여 GPS, 중력측량 및 육상 수준점과의 연결수준측량을 실시한 통합기본수준점을 설치하였다. 통합기본수준점은 기본수준점의 목적인 조석관측을 통한 수직기준을 제공하며, 육상 수직기준과의 연결을 위한 경위도, 타원체고, 중력값, 지오이드고, 기본수준면, 인천과 지역평균해수면상의 기하표고 등의 정보를 제공하고 있다. Fig. 2는 2012년 인천에 설치된 주석형태로 설치된 통합기본수준점을 나타낸 그림이다. 현재 통합기본수준점은 우리나라 상시조위관측소 주변에 설치되었으며 2012년에 28점, 2013년 20점을 설치하여 조석관측, GPS, 중력, 수준측량을 실시하였다.

본 연구에서는 2012년과 2013년에 설치된 통합기본수준점 48점에 대한 GPS 측량을 실시하여 3차원 위치를 획득하고 조석처리와 육상 수준점과의 연결수준측

량 결과를 이용하여 해·육상수직연계를 위한 결과를 분석하였다.

3. 통합기본수준점 자료 처리

3.1 Bernese를 이용한 기본수준점 GPS 처리

본 연구에서는 학술용 GPS 처리 소프트웨어인 Bernese를 이용하여 TGBM의 경위도좌표 및 타원체고의 3차원 좌표를 획득하였다. 아래 Fig. 3과 Table 1에는 연구에 사용된 TGBM 48점의 위치와 명칭을 표시하였다.

Bernese는 처리 옵션으로는 상대측위로 처리하였으며, 국토지리정보원에서 관리하는 상시관측소 13개소를 이용하여 전국망을 구성하여 성과를 산출하였다. 전국망은 Fig. 4와 같이 구성하였다. Bernese를 이용한 성과산출의 장점은 국제적으로 공인된 처리프로그램으로 객관적인 결과 값 제시가 가능하다. 또한, Bernese의 경우 자동처리가 가능하여 상용프로그램보다 쉽게 처리할 수 있으며, 상용프로그램의 경우 처리자의 주관적인 판단이 성과에 영향을 미칠 수 있지만 Bernese의 경우 자동처리로 처리자의 주관적인 판단이 최소화된

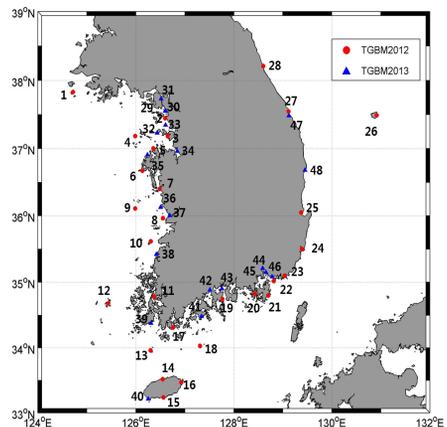


Figure 3. TGBM Installation Areas

Table 1. TGBM Installation Areas(2012~2013)

No.	Designation	No.	Designation	No.	Designation	No.	Designation
1	Daecheongdo	13	Chujado	25	Pohang	37	Janghang
2	Incheon	14	Jeju	26	Ulleungdo	38	Yeonggwang
3	Ansan	15	Seogwipo	27	Mukho	39	Jindo
4	Gulupdo	16	Sungsanpo	28	Sokcho	40	Mosulp'o
5	Daesan	17	Wando	29	Youngjong Grand bridge	41	Goheung
6	Anhung	18	Geomundo	30	Kyung In port	42	Suncheon gulf
7	Boryeong	19	Yeosu	31	Ganghwa Grand bridge	43	Gwangyang
8	Gunsan	20	Tongyeong	32	Young Hung Island	44	Masan
9	Ochungdo	21	geojedo	33	Song-do	45	Jinhae port
10	Wido	22	Gadeokdo	34	Pyeongtaek	46	Busan new port
11	Mokpo	23	Busan	35	Taeon	47	Donghae port
12	Dae-Heuksando	24	Ulsan	36	Seocheon	48	Hupo port

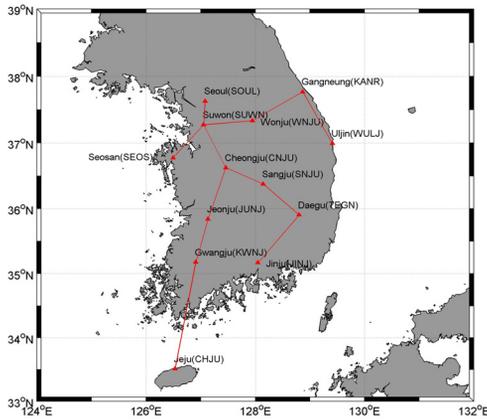


Figure 4. GPS Network

다. 그리고 Bernese는 상용소프트웨어에 비해 장기선에 대한 처리가 가능하여 2000km이상의 기선처리가 가능하다(Rolf Dach and Urs Hugentobler, 2007).

기존의 GPS 망구성 방법은 측량을 실시한 지역에 가까운 상시관측소를 이용해 지역망을 구성하여 GPS 성과를 산출하였지만, Bernese를 사용하면 전국망을 이용한 처리가 가능하며 지역망 성과와 같은 수준의 성과 산출이 가능하였다. 전국망을 구성한 이유는 전국망 조정을 통하여 일관적인 망을 구성하여 전국 어느 곳에서 측량을 실시하여도 일관적인 성과산출이 가능하다. 이는 국가의 위치정보를 통합관리하고 균질한 정확도를 제공할 수 있다는 장점이 있다. GPS 처리에 사용된 궤도력은 정밀궤도력을 이용하였으며, 기선의 구성방법은 기선의 길이가 가장 짧은 관측소와 기선을 연결하는

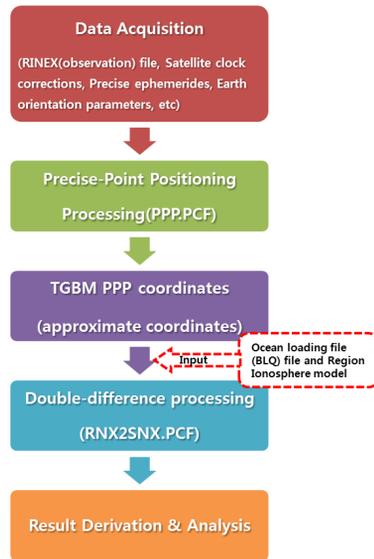


Figure 5. Bernese Processing Steps

Shortest 옵션을 이용하였다. 측지망조정은 고정망조정 (fixed adjustment)을 이용한 조정을 실시하였다. Bernese의 처리절차는 Fig. 5와 같다.

3.2 수직기준관련 자료획득

본 연구에서는 통합기분수준점 48점의 지역평균해수면상의 기하표고, 국가지오이드모델을 이용한 기하표고, 육상 수직기준인 인천평균해수면상의 기하표고에 대하여 비교·분석을 실시하였다.

지역평균해수면상의 기하표고는 지역평균해수면에서

통합기본수준점까지의 수직거리(표고)를 의미한다. 지역평균해수면은 해안에서 조석관측을 통하여 해당 지역의 평균해수면을 산출하여 기하표고를 결정하였다. 지역평균해수면의 산출은 조석관측이 기초가 되며 동시에 표척관측을 실시한다. 표척관측은 기본적으로 해상과 육상의 물높이를 연결하는 과정으로 이 과정은 육상의 기본수준점과 바다의 물 높이를 표척을 통하여 연결하는 과정을 의미한다. 표척관측은 저소에서 고조 또는 고소에서 저소까지 관측하는 것이 좋으며 단기 조석 자료에 의한 지역평균해수면이 결정되고 기본수준점에 지역평균해수면이 성과가 기록된다.

지오이드(Geoid)는 평균해수면에 가장 가까운 등포텐셜면으로 정의가 되며, 중력관측을 기준으로 만들어진 수직기준면을 의미한다. 지오이드의 경우 공간적 범위에 따라 전지구지오이드 모델과 국가(지역)지오이드 모델로 구분된다. 구축자료에 따라 중력자료와 지형자료, 전지구중력장 모델을 이용한 중력지오이드와 중력지오이드에 GPS/Leveling 자료를 통합한 합성지오이드로 구분된다. 본 연구에서 지오이드모델을 이용한 기하표고는 국토지리정보원에서 개발된 한국지오이드(KNGeoid)를 이용하여 기하표고를 산출하였다. 국가 지오이드모델은 육상부분의 고정밀 합성지오이드모델로서, 2008년 이후 획득한 통합기준점, 수준점, 삼각점 중력자료와 항공중력자료, DTU10 위성고도계 자료, EGM2008 범지구중력장모델, 5m 해상도의 지형자료를 기반으로 구축된 것이다(Keum Y, 2010). 현재 국토지리정보원에서는 지오이드고를 서비스하고 있으며, 위 경도와 타원체고를 이용하면 기하표고를 산출할 수 있다. 위경도, 타원체고는 본 연구에서 Bernese로 산정

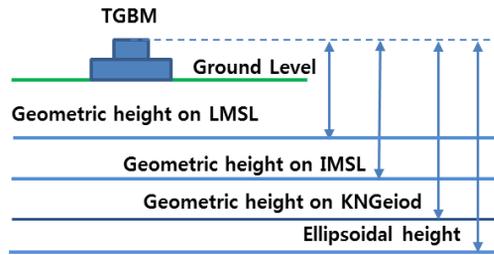


Figure 6. Concept of Vertical Datums

한 위도와 경도를 입력하였다.

인천평균해수면상의 기하표고는 육상의 수직기준으로 육상의 수준점에서 통합기본수준점까지 연결수준측량을 실시하여 인천평균해수면상의 기하표고를 획득하였다. Fig. 6은 TGBM을 이용하여 획득할 수 있는 3가지 기하표고성과의 개념을 나타낸 그림이다. IMSL·LMSL·KNGeoid의 기하표고의 상하관계는 변경될 수 있다.

3.3 수직기준관련 자료분석

지역평균해수면·인천평균해수면·국가지오이드모델상의 기하표고를 비교한 결과 유사한 경향성을 나타냈다. Fig. 7과 Table 2는 3가지 기하표고를 분석한 결과이다. KNGeoid를 이용한 기하표고 중 대청도와 울릉도의 경우 KNGeoid 서비스가 이루어지지 않는 지역으로 지오이드모델을 이용한 기하표고를 산출할 수가 없었다. 현재 국토지리정보원에서는 2012년 KNGeoid와 2013년 KNGeoid 서비스가 이루어지고 있으며, 2013년 KNGeoid의 경우 위도 34°~39°, 경도 125°~

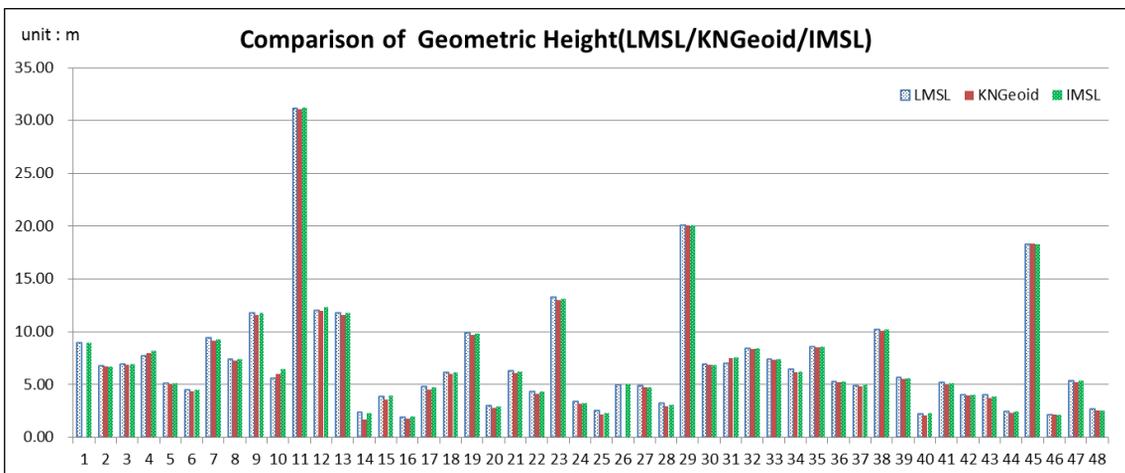


Figure 7. Comparison of Geometric Heights

Table 2. Geometric Heights of TGBM

No.	LMSL Geometric Height(m)	KNGeoid Geometric Height(m)	IMSL Geometric Height(m)	No.	LMSL Geometric Height(m)	KNGeoid Geometric Height(m)	IMSL Geometric Height(m)
1	8.9270	-	8.9289	25	2.4520	2.1385	2.2280
2	6.6830	6.6967	6.6776	26	4.9420	-	4.9575
3	6.8550	6.8846	6.8666	27	4.8380	4.7674	4.7094
4	7.6930	7.9978	8.1363	28	3.1780	2.9498	2.9958
5	5.0670	5.0811	5.0839	29	20.0751	20.0948	20.0570
6	4.4740	4.3778	4.4468	30	6.8427	6.8641	6.8248
7	9.3800	9.1620	9.2124	31	6.9764	7.4834	7.4986
8	7.3720	7.2752	7.3406	32	8.3725	8.4103	8.3468
9	11.7160	11.6185	11.7139	33	7.3208	7.3240	7.3117
10	5.5410	5.9974	6.3821	34	6.3969	6.1889	6.1917
11	31.1610	31.1041	31.1926	35	8.5236	8.4979	8.4979
12	11.9700	12.0166	12.2888	36	5.2594	5.1979	5.2534
13	11.7500	11.5658	11.7537	37	4.8058	4.8743	4.8737
14	2.3270	1.6941	2.2458	38	10.1607	10.1330	10.1447
15	3.8280	3.5923	3.8542	39	5.5872	5.5075	5.5605
16	1.8310	1.7405	1.9565	40	2.1464	2.0553	2.2666
17	4.7400	4.5380	4.6481	41	5.1113	5.0088	5.0749
18	6.0910	6.0078	6.0996	42	3.9605	3.9597	3.9754
19	9.8940	9.6937	9.8040	43	3.9521	3.7086	3.8017
20	2.9750	2.7957	2.8719	44	2.4239	2.3433	2.3814
21	6.2570	6.0932	6.1814	45	18.2389	18.3344	18.2779
22	4.2930	4.0924	4.2868	46	2.0887	2.1605	2.1168
23	13.2330	13.0350	13.0872	47	5.3022	5.2392	5.2961
24	3.3240	3.1498	3.1974	48	2.5989	2.5423	2.5108

129.5° 범위를 서비스하며, 제주도 지역의 경우 2013년 범위에 존재하지 않아 2012년 KNGeoid를 이용하여 산출하였다.

3.3.1 LMSL과 국가지오이드모델 기하표고 비교

지역평균해수면상의 기하표고와 국가지오이드모델을 이용한 기하표고를 상호 비교한 결과 비슷한 경향성을 보였다. 지오이드의 정의에 따르면 지오이드와 지역평균해수면은 비슷한 물리적 성질을 가지며, 국가지오이드와 지역평균해수면을 비교하는 것은 의미가 있다. 국가지오이드 모델의 경우 현재 육상부분의 구축이 완료되어 있으며, 해상 및 도서지역의 중력자료는 2014년 말에 통합되기 때문에 제주도, 울릉도 및 도서지역의 결과는 제외하고 비교하였다.

잔차가 10cm 이상 발생하는 곳은 Fig. 8과 같으며, Table 3의 LMSL-KNGeoid의 결과를 이용하여 확인할 수 있다. 도서지역을 제외한 TGBM 31곳 중 11곳이었으며, 최대잔차는 강화대교에서 -50.07cm가 산출되었다. 잔차의 기준을 10cm로 설정한 이유는 통합기본수

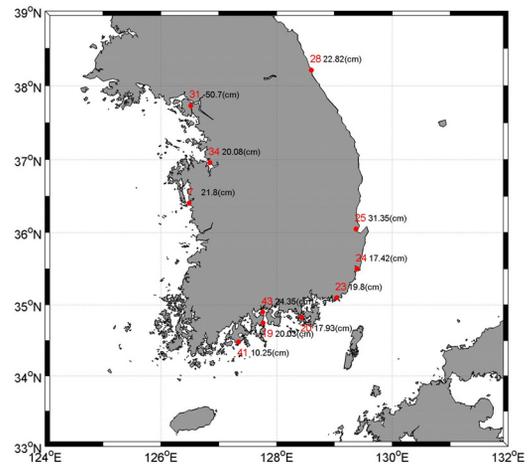


Figure 8. Comparison between LMSL and Geoid

준점을 이용한 연안해역의 수심측량의 기준이 10cm이기 때문에 잔차의 기준을 10cm로 설정하였다.

TGBM 31곳의 국가지오이드모델과 LMSL 기하표

Table 3. Comparison of Geometric Heights(unit : m)

No.	LMSL -KNGeoid	IMSL -KNGeoid	LMSL -IMSL	NGII Service
1	-	-	-0.0019	0.0019
2	-0.0137	-0.0191	0.0054	-0.0191
3	-0.0296	-0.0180	-0.0116	-0.0180
4	-0.3048	0.1385	-0.4433	0.1385
5	-0.0141	0.0028	-0.0169	0.0028
6	0.0962	0.0690	0.0272	0.0690
7	0.2180	0.0504	0.1676	0.0504
8	0.0968	0.0654	0.0314	0.0654
9	0.0975	0.0954	0.0021	0.0954
10	-0.4564	0.3847	-0.8411	0.3847
11	0.0569	0.0885	-0.0316	0.0885
12	-0.0466	0.2722	-0.3188	0.2722
13	0.1842	0.1879	-0.0037	0.1879
14	0.6329	0.5517	0.0812	0.5517
15	0.2357	0.2619	-0.0262	0.2619
16	0.0905	0.2160	-0.1255	0.2160
17	0.2020	0.1101	0.0919	0.1101
18	0.0832	0.0918	-0.0086	0.0918
19	0.2003	0.1103	0.0900	0.1103
20	0.1793	0.0762	0.1031	0.0762
21	0.1638	0.0882	0.0756	0.0882
22	0.2006	0.1944	0.0062	0.1944
23	0.1980	0.0522	0.1458	0.0522
24	0.1742	0.0476	0.1266	0.0476
25	0.3135	0.0895	0.2240	0.0895
26	-	-	-0.0155	0.0155
27	0.0706	-0.0580	0.1286	-0.0580
28	0.2282	0.0460	0.1822	0.0460
29	-0.0197	-0.0378	0.0181	0.0030
30	-0.0214	-0.0393	0.0179	0.0170
31	-0.5070	0.0152	-0.5222	0.2800
32	-0.0378	-0.0635	0.0257	-0.0930
33	-0.0032	-0.0123	0.0091	0.0380
34	0.2080	0.0028	0.2052	-0.0600
35	0.0257	0.0000	0.0257	0.0350
36	0.0615	0.0555	0.0060	-0.0200
37	-0.0685	-0.0006	-0.0679	0.0320
38	0.0277	0.0117	0.0160	0.1040
39	0.0797	0.0530	0.0267	0.0520
40	0.0911	0.2113	-0.1202	0.1600
41	0.1025	0.0661	0.0364	0.0600
42	0.0008	0.0157	-0.0149	0.2000
43	0.2435	0.0931	0.1504	0.1530
44	0.0806	0.0381	0.0425	0.1420
45	-0.0955	-0.0565	-0.0390	0.1390
46	-0.0718	-0.0437	-0.0281	0.0870
47	0.0630	0.0569	0.0061	0.1630
48	0.0566	-0.0315	0.0881	0.1000

고의 잔차의 평균은 5.99cm이며, 표준편차는 14.89cm를 도출하였다. 잔차가 10cm 이상 발생한 곳을 제외한 20곳의 평균은 1.49cm, 표준편차는 5.73cm의 성과가 도출되었다.

10cm 이상의 잔차가 발생한 강화의 경우 한강물의 유입과 조위관측소가 교량 교각에 설치되어 교각 주변의 와류(소용돌이)현상이 발생하여 조석관측에 영향을 준 것으로 판단되었다. 강화대교를 제외한 다른 지역의 잔차가 발생한 원인으로는 육상기준점의 성과와 조석 성과가 원인이 될 수 있다. 조석의 경우 조위관측소의 이동과 항만개발공사의 원인으로 조석의 성과가 변화할 수 있으며, 국가지오이드모델의 경우 GPS/Leveling 자료와 수준측량결과가 영향을 줄 수 있다. 본 연구에서는 국립해양조사원의 조위관측소 이력과 국토지리정보원의 수준점 이력을 조사하였으나 자료의 부족으로 명확한 원인을 밝히기는 힘들었다. 따라서 앞으로 조위 관측소 및 수준점의 이력 관리 등이 체계적으로 이루어져야 할 것으로 판단되었다.

3.3.2 IMSL과 국가지오이드모델 기하표고 비교

통합기본수준점의 인천평균해수면상의 기하표고와 국가지오이드모델상의 기하표고를 비교한 결과 지역평균해수면을 이용한 기하표고보다 대부분 일치하는 경향을 나타냈다. 국토지리정보원의 국가지오이드모델의 경우 합성지오이드모델로 육상기준점의 GPS/Leveling 자료를 이용하여 우리나라 육상에 대한 ±3.00cm의 정밀도를 확보하였다. 국가지오이드모델의 기하표고는 육상수직기준인 인천평균해수면의 기하표고와 유사하게 나타났다. 10cm이상의 잔차는 도서지역 및 제주도에서 발생하였으며 그 원인으로는 우리나라 원점의 특례지역으로 설정되어 인천평균해수면을 이용한 수직기준을 사용하지 않아 본 비교에서 제외하였다.

제주와 도서지역(굴업도, 어청도, 위도, 대흑산도, 완도, 거문도, 울릉도)을 제외한 34곳의 IMSL과 국가지오이드모델을 기하표고를 분석한 결과 평균 2.39cm의 잔차를 보이며, 표준편차 5.00cm가 도출되었다. 이를 통하여 본 연구에서 이루어진 육상수준점과 통합기본수준점의 연결수준측량의 정확도를 확인할 수 있었다.

3.3.3 LMSL과 IMSL 비교

지역평균해수면상의 기하표고와 인천평균해수면상의 기하표고 비교는 해면경사와 관련이 있다. 해면경사는 해류나 바람의 영향등과 같은 해양학적 연구에 중요할 뿐 아니라, 측지학적 기준망 설정에 중요한 요소이다. 해면경사는 각 지역의 평균해수면으로 산출한 기본수

Table 4. Sea Level Slopes of Korea coast

Sea Level Slope	TGBM Result(cm)		NGII Result(cm)	
	average	standard deviation	average	standard deviation
West Sea	2.53	6.39	2.46	5.34
South Sea	5.01	6.45	11.57	11.61
East Sea	12.59	7.56	6.47	7.38

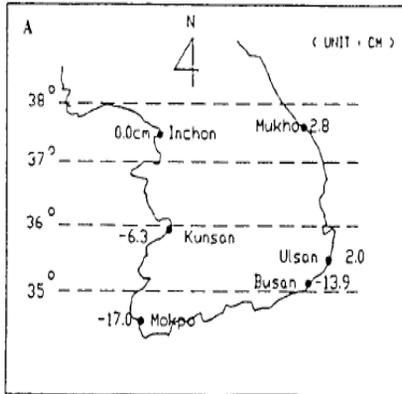


Figure 9. Sea Level Slopes of Korea coast(1993)

준점의 기하표고(LMSL)와 측지수준망에 의해 정해진 기하표고의 차이(IMSL)로 산정할 수 있다(Lee C. K., 1993). 2012년과 2013년 통합기본수준점의 IMSL과 LMSL의 차이를 분석한 결과 우리나라의 해면경사는 서해에서 남해 동해로 가면서 높아짐을 확인 할 수 있었다(Table 4).

산출된 해면경사를 검증하기 위하여 우리나라 해안의 해면경사 관련 논문과 국토지리정보원의 육·해상 높이값 연계서비스를 이용하여 검증하였다. 기존 논문으로는 1993년에 발표된 논문결과(Lee C. K., 1993)를 이용하였다. 비교 논문으로 선택한 이유는 국내의 경우 측지·측량분야에서 우리나라 해안의 해면경사에 대한 내용을 많이 다루지 않았던 것으로 조사되었기 때문이다. 위의 논문에 따르면 인천평균해수면을 기준으로 목포의 해면경사가 17cm로 산출되었으나 본 연구에서는 3.7cm로 산출되었다. 또한 동해안의 경우 울산과 목포의 해면경사가 평균 2cm인 것으로 계산되었으나 본 연구에서는 평균 12.76cm를 나타내었다. 기존 연구결과의 차이가 발생한 원인으로는 해면경사는 육상수준점의 성과와 조석관측결과가 영향을 준다. 우리나라 수준망의 경우 2000년 이후 1등 수준측량 및 수준망의 재조정이 이루어졌으며, 이는 1987년 제1차 1등 수준측량의

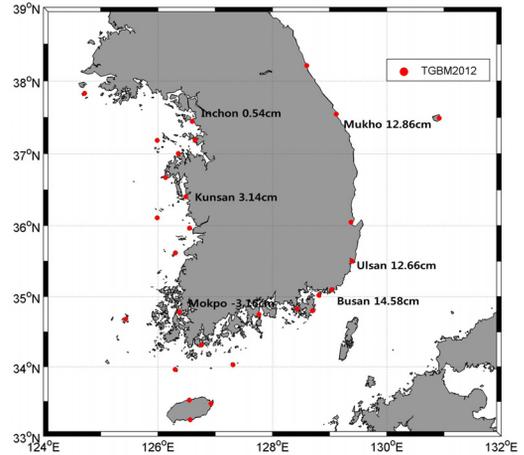


Figure 10. Sea Level Slopes of Korea coast(2012~13)

Table 5. Comparison of Sea Level Slopes(1993/2012)

Location	1993 Sea Level Slope(Lee. C.K)	2012 Sea Level Slope
Incheon	0.0cm	0.54cm
Kunsan	-6.3cm	3.14cm
Mokpo	-17.0cm	-3.16cm
Busan	-13.9cm	14.58cm
Ulsan	2.0cm	12.66cm
Mukho	2.8cm	12.86cm

망조정결과보다 2~3배 향상되었다고 한다(KOHA, 2012). 조위관측소의 이력을 조사한 결과 기존 연구가 발표된 1993년 이후 검조소의 조석관측 장비의 현대화와 수측 기점의 조정 등이 이루어진 것으로 확인되었다. 목포 조위관측소의 경우 1993년 1월 검조소의 이설이 실시되었다. 이러한 이유로 본 연구 결과와 차이가 발생한 것으로 판단되었다.

다른 검증방법으로는 국토지리정보원의 육·해상 높이값 연계서비스를 이용하여 검증하였다. 국토지리정보원에서는 국가수직기준체계 수립을 위한 연구(NGII, 2010)를 바탕으로 ‘육·해상 높이값 연계서비스’를 개발하였다. 연계서비스는 2009년부터 2012년까지 4년에 걸쳐 구축된 총 167개의 수준점과 기본수준점간 직접 수준측량 성과를 이용하여 구축된 것으로서, GRS80 타원체상의 위·경도를 입력하면 인천만 평균해면 기준의 육상 표고를 지역별 평균해면 및 기본수준점 기준의 해상 표고로 변환 혹은 역변환을 할 수 있다(NGII 2013). 국토지리정보원 홈페이지에서는 본 서비스를 이용한 수직기준면 변환의 정확도는 약 ±7cm이며, 제주도 and 울릉도 및 독도 지역을 제외한 국내 모든 연안

지역에서 활용이 가능하다고 하였다. 본 연구에서는 제주도와 울릉도를 제외한 42곳의 통합기본수준점 지역 평균해수면과 인천평균해수면을 비교한 결과 부호가 다르게 나온 지역이 17 지역이며, 10cm 이상 차이가 발생하는 곳은 17지역이 도출되었다(Table 3). 부호가 다른 지역은 지역평균해수면과 인천평균해수면과의 관계가 다른 곳을 의미한다. 위와 같은 결과가 도출된 원인으로서는 조석은 지형과 수심 등의 물리적인 현상이 조석 결과에 많은 영향을 미치게 되는데 육·해상 연계서비스의 경우 이에 대한 영향이 고려되지 않은 보간을 실시하여 발생한 것으로 판단되었으며, 신뢰도를 높이기 위하여 기본수준점과 수준점의 연결수준측량의 자료가 많이 확보되어야 할 것으로 판단된다. 현재 국립해양조사원과 국토지리정보원에서는 기관간 자료 공유 및 해·육상연결수준측량의 지속적인 사업을 추진하고 있으며 향상된 결과를 얻을 것으로 기대된다.

4. 결론

본 연구에서는 국립해양조사원에서 2012년부터 설치한 통합기본수준점 48점에 기하표고를 비교·분석하였다. 사용된 기준면은 지역평균해수면, 국가지오이드모델, 인천평균해수면으로 3가지 기하표고를 획득하고 비교하였다. 비교결과 대상지역 48곳에 대한 3가지 기하표고 성과는 전반적으로 비슷한 경향으로 나타났다.

지역평균해수면과 국가지오이드모델의 기하표고를 비교한 결과 31곳 중 11곳의 경우 10cm 이상의 잔차가 발생하였다. 10cm 이상의 잔차를 보인 곳은 강물의 유입이나 기준조위관측소의 이동, 항만공사로 인한 지역평균해수면의 변동이 발생하여 잔차가 발생한 것으로 판단되었으며 원인 분석을 위하여 조위관측소와 수준점의 이력을 조사하였으나 자료의 부족으로 정확한 원인파악이 어려웠다. 또한 TGBM 34곳에 대하여 국가지오이드모델과 인천평균해수면상의 기하표고를 비교한 결과 기하표고의 잔차는 2.39cm, 표준편차 5.00cm의 결과가 도출되었다. 이를 통하여 TBM-BM의 연결수준측량의 정확도를 검증하였다.

지역평균해수면과 인천평균해수면 상의 기하표고의 차이는 해면경사로 정의되며, 우리나라의 경우 서해에서 남해 동해로 해면경사가 높아짐을 확인할 수 있었다. 기존 해면경사 논문과 비교한 결과 차이가 발생하였으며, 이러한 결과는 논문 발표 당시의 우리나라 육상수준망과 조석관측의 정확도 문제로 인한 것으로 판단되었다. 또한 육·해상연계서비스를 이용하여 비교하였으며, 대상지역 42개소 중 22곳에서 잔차가 10cm

이상 발생하거나 해수면과의 관계가 반대로 산출되었다. 이러한 결과가 발생한 이유는 지역평균해수면의 결정은 조석을 관측함에 있어 연안지형 등의 물리적 특성이 지역평균해수면 결정에 영향을 주고 있으며, 현재 육·해상연계서비스는 육·해상 수준측량 연결 기초자료의 부족과 물리적 특성이 반영되기 어렵기 때문에 차이가 발생한 것으로 사료되었다.

본 연구를 통하여 해·육상수직기준 연계를 위한 자료로서 통합기본수준점 성과의 활용가능성을 확인하였으며, 우리나라의 해면경사에 대해 결과를 제시하였다. 앞으로 정확한 해·육상수직기준 연계를 위하여 해·육상과의 연결측량이 지속적으로 이루어져야 할 것이다. 국립해양조사원에서는 해수면결정과 관련하여 기준조위관측소의 증설과 함께 면밀한 조위관측소의 이력관리가 이루어져야 할 것이며, 조위관측소 주변 환경변화에 따른 해수면 변동의 검토가 필요할 것으로 판단되었다. 또한 국토지리정보원에서는 육상수준망의 정확도 확보와 수준점에 대한 지속적인 이력관리가 필요할 것으로 판단되었다. 앞으로 두 기관의 자료공유가 활발하게 이루어져 국가 해·육상수직기준연계를 위한 양질의 자료생산과 보다 정확한 국가지오이드모델이 개발 될 것으로 기대된다. 앞으로 이러한 자료는 연안개발 및 방재에 기초자료로서 중요한 역할을 하게 될 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구에 사용된 DATA를 제공해주신 국립해양조사원과 국토지리정보원 관계자 여러분께 감사드립니다. 본 논문은 FIG 2014 학회에서 발표된 “Analysis of National Vertical Datum Using Tidal Gauge Bench Mark in KOREA” 논문을 수정·보완하였습니다.

References

1. Keum Y. M. and Kwon J. H. and Lee J. S. and Choi K. S. and Lee Y.C., 2010, Data process and precision analysis of ship-borne gravity, Journal of the Korea Society for Geospatial information System, Vol.18 No.1, pp.89-97.
2. KOHA(Korea Hydrographic and Oceanographic Administration.), 2012, Vertical datum monitoring and tidal bench mark maintenance project, pp.105-127.
3. KOHA, 2013, Survey and maintenance of tidal bench mark, pp.173-190.

4. Lee, C. K., 1993, The sea level slopes along the Korean peninsular coast based on the first order levelling net in Korea, Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, photogrammetry and Cartography, Vol. 32, No. 4D, pp.35-41.
5. Lee, D. H and Yun, H. S and Hwang, J. S. and Suh, Y. C. 2012, Transformation model of vertical datum between land and ocean height system using the precise spirit leveling result, Journal of Korean Society of Civil Engineers, Vol. 11, No. 2, pp.407-419.
6. NGII(National Geographic Information Institute), 2010, Establishment of national vertical datum, pp.1242.
7. NGII, 2013, Coordinate transformation service, national geographic information institute, Accessed December.
8. Rolf Dach and Urs Hugentobler, 2007, Bernese GPS software version 5.0, Astronomical Institute, University of Bern, pp.427-447.
9. KOHA Website, <http://www.khoa.go.kr/>
10. NGII Website, <http://ngii.go.kr/>