

GNSS Buoy 자료와 조석관측 자료를 이용한 GNSS Buoy 관측 방법의 효용성 평가

Evaluation of the Effectiveness of GNSS Buoy Survey Method using GNSS Buoy Data and Tidal Observations

김경철* · 유경완**

Kyung Chul Kim · Kyung Wan Yoo

요약 우리나라 국토면적의 약 4%정도인 연안 해역은 해수면 변화에 가장 취약한 지대로 이것에 대한 모니터링이 매우 중요한 곳이다. 본 연구에서는 고정식 검조기와 표척관측만을 사용하여 결정하던 해면에 대한 수직기준 결정을 공간적/시간적으로 제약을 받지 않으며 수mm 수준의 정밀 측위가 가능한 GNSS를 이용하여 관측자료의 결과를 비교해보고자 한다. 이를 위해 GNSS Buoy 관측을 실시하고 수압식검조기에서 얻어진 조석관측 결과와 연계하여 해수면의 움직임을 비교·분석하여 GNSS Buoy 관측에 관한 효용성을 확인하였다.

키워드 GNSS Buoy, 조석관측, GAMIT/GLOBK, 기준점측량

Abstract The coastal sea area, which account for about 4% of Korea's land area, are the most vulnerable to sea level changes, and monitoring this is very important. In this study, the results of observation data are compared using GNSS, which is not limited in terms of space and time, and is capable of precise positioning of several millimeters in the determination of the vertical reference for the sea level, which was determined using only a fixed tide gauge and oceanographic leveling observation. To this end, we conducted GNSS Buoy survey and compared and analyzed the movement of the sea level in connection with the tidal observation results obtained from the tide gauge, and confirmed the effectiveness of the GNSS Buoy survey.

Key words

1. 서론

해양에서 사용되고 있는 높이 정보는 일반적으로 국립해양조사원에서 바다의 수심측량, 해양공사 높이, 해안선 결정 등에 활용하고자 고시 및 관리하는 기본수준점(Tidal Bench Mark, TBM) 성과를 이용하고 있다(Lee et al., 2013). 이러한 기본수준점의 높이 결정은 일반적으로 기본수준면(Datum Level, D.L)의 위치 결정과 이를 기준으로 해수면에서 기본수준점까지의 높이차를 관측하는 수준측량(Leveling)으로 이루어진다. 먼저 기본수준면의 위치 결정은 지역별 장기간의 조석관측을 통해 산출된 평균해면(Mean Sea Level, MSL)과 조석관측 자료를 조화분해를 하여 얻어지는 조화상수를 평균해면에 보정하여 결정하게 된다. 수준측량에서는 결정된 기본수준면을 높이 '0'으로 하여

육상에 설치된 기본수준점까지의 높이를 결정하게 되는데 이를 표척관측이라고도 한다.

표척관측은 저조에서 고조 또는 고조에서 저조까지 충분한 높이로 관측을 하고 0.1cm 단위까지 녹취하도록 규정하고 있다. 하지만 표척관측은 정지된 기본수준면이 아닌 계속 변동하는 해수면을 대상으로 장비, 표척 등의 정치 후 수행되어 작업자의 숙련도에 따른 성과의 오차, 관측시간의 제약 및 육지와 인접하지 않은 해양에서는 관측이 불가능한 문제점이 존재한다. 따라서 본 연구에서는 수압식검조기를 설치하여 해당 연구지역의 해수면 움직임을 관측하고, 인공위성을 이용하여 지상물의 위치 및 고도 등에 관한 정보를 제공하는 시스템인 위성측위시스템(GNSS, Global Navigation Satellite System)을 이용한 GNSS Buoy 장비와 Total Station 장비를 통해 정확도 검증을 실시하여 GNSS

Buoy의 효용성을 평가하였다.

2. 연구대상지역 및 관측방법

본 연구의 대상지는 충청남도 태안군 근흥면에 위치한 북격렬비도로 서해의 독도라고도 불리우며 대한민국 서해에 위치한 3개의 섬(동·서·북격렬비도)으로 이루어져있다. 그 중 북격렬비도에는 등대 및 기상관측 기지가 위치하여 인천·평택·대산항을 오가는 해상 교통의 요충지로서 서해바다의 길잡이 역할을 수행하고 있으며 대한민국 영해기점으로 중요성이 높은 섬이다.

먼저 평균해수면을 결정하기 위하여 수압식검조기와 GNSS Buoy 관측 및 표척관측을 실시하고 지상으로의 전이를 위하여 임시 기준점을 설치하여 운용하였다.

Fig. 1, 2는 각각 연구대상지역 및 연구흐름도를 나타낸다.



Figure 1. 연구대상 지역

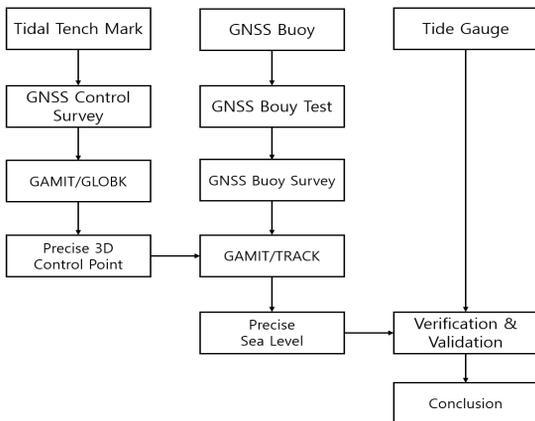


Figure 2. 연구 방법

2.1 기준점 측량

GNSS Buoy를 이용한 높이 결정은 해수면과 기본수

준점간의 정밀한 상대적 높이차를 통해 수행된다. 이를 위해 이동측위(Kinematic Survey) 방식의 측량이 필요하고 이동측위 방식은 하나의 고정된 기준점과 이동하는 수신기로 구성된다. 이 이동측위로 취득된 자료를 측량 후에 자료 처리하는 것을 PPK(Post Processing Kinematic) 방식이라 한다. PPK 해석은 기준점측량의 정밀도에 영향을 받게되므로 정밀하게 고정된 기본수준점의 3차원 위치좌표가 필요하다. GNSS 기준점측량의 관측 및 자료처리과정은 Fig. 3와 같은 흐름도에 의해 위성 고도각은 15°이상 확보할 수 있도록 하고 취득간격 30초로 8시간 이상의 관측을 실시하였다.

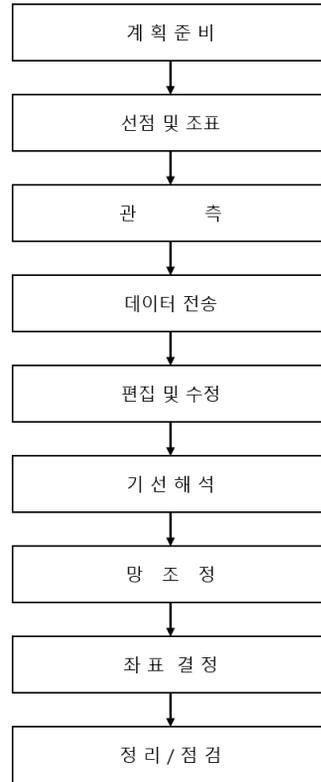


Figure 3. 기준점측량 흐름도

GNSS 기준점측량으로 취득된 데이터는 MIT에서 개발한 학술용 GNSS 정밀해석 소프트웨어인 GAMIT/GLOBK를 이용하여 해석하였다. GNSS 관측자료를 정밀하게 처리하기 위해 정밀력과 관련 정보는 미국 캘리포니아 주립대학 스크립스 해양과학연구소 산하 IGPP (Institute of Geophysics and Planetary Physics)의 연구소인 SOPAC (Scripps Orbit and Permanent Array Center)에서 제공하는 자료를 사용하였다. 해당

소프트웨어는 세계적인 트렌드에 맞추어져 있으나 이를 우리나라 좌표기준의 특성을 고려한 알고리즘으로 분석하여 결과값을 도출하였다.

2.2 조위계 및 GNSS Buoy 측량

본 연구에서는 조위계를 약 3개월간 설치하여 운용하였으며, 조위계를 해수면 하에 고정시키고 10분 간격으로 10초간 평균한 조위를 자기 기록하였다. 조위계는 지점당 2개의 조위계를 설치하고 각각의 조위계를 분리 계류하여 자료유실 및 센서 유실을 최대한 방지하였다. 또한 해당 데이터의 정확성을 검증하기 위하여 GNSS Bouy를 함께 운용하였다.

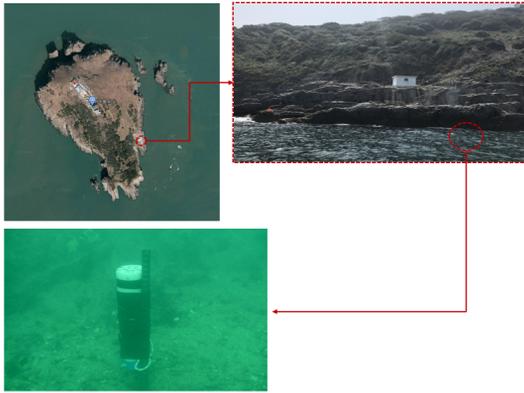


Figure 4. 북극렬비도의 조위계 설치 위치

GNSS Buoy의 관측방법은 해양에 수신기가 장착된 부표를 직접 띄워 해수면을 관측하고 PPK방식으로 GNSS Buoy 관측데이터를 처리하여 결과를 산출하고 수압식 검조기의 관측데이터와 해수면의 움직임 차이를 비교하였다.

3. 데이터 처리 및 분석

학술용 정밀 GNSS해석 프로그램인 GAMIT/GLOBK는 크게 기선해석과정인 GMAIT과 망조정단계인 GLOBK로 나누어진다. GAMIT 과정에서 관측한 데이터에 대해 관측점과 인접한 5개의 상시관측소를 연계하고 54개의 상시관측소 자료를 동시에 해석한 기선해석 결과와 세션별로 해석한 자료들을 동시에 조정하여 초기 고정점으로는 54개 상시관측소 성과 모두를

설정하였다. GLOBK는 망조정 작업을 수행함에 있어서 임시적인 기준좌표계를 구현하는데, 이 과정에서 기선해석 결과와 기타 매개변수 추정 결과의 품질을 고려하여 고정점 중의 일부를 고정점 항목에서 제외한다.

본 연구에서 수행한 조정 작업에서도 GLOBK가 일부 상시관측소 좌표들이 고정점 항목에서 제외함으로써 망조정 결과의 품질을 향상시켰다. Table 1은 기선해석 결과의 매개변수 및 NRMS를 나타낸다.

Table 1. 기선해석 결과의 NRMS

Session	Total parameter	Live parameter	Postfit NRMS
doy 297	462	288	0.19721E+00

GLOBK에 의한 망조정 작업은 고정점의 좌표와 기선해석 결과를 이용한 단순 조정 작업이 아니라 측위 당시의 지구기준좌표계에 대한 모델과 위성궤도 모델, 지각변동 모델 등을 포함하고 망조정 구속값으로 고정점의 좌표와 위성궤도요소를 사용하는 종합적인 조정이라 할 수 있다. 본 연구에서는 먼저 세션별 관측값의 적합성을 자유도에 대한 카이제곱 검정값을 사용하여 검사하였고 다음 41개 상시관측소에 대한 관측값을 이용한 지역적인 지구기준좌표계를 구성하고 그 정밀도를 평가하였으며, 마지막으로 미지점에 대한 조정계산 및 조정오차에 대한 분석을 실시한 결과 χ^2 검정값이 0.531로 조정작업이 적합한 것을 확인하였다. Fig. 5은 망조정 시 사용한 기준점들의 위치를 나타낸다.

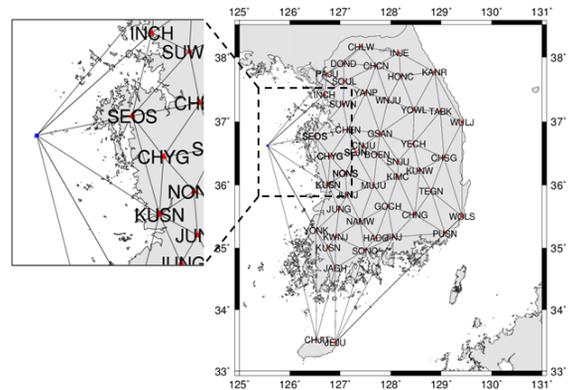


Figure 5. 전국 범위의 망조정 및 처리데이터 분포도

Table 2. GNSS 기준점 측량 결과

관측점명	X	Y	Z	위도	경도	타원체고
기준점	-2980575.45	4169137.86	3784033.32	36.62	125.56	25.01

3.1 수압식 검조기와 GNSS Buoy데이터의 비교 · 분석

본 연구에서는 PPK 방식을 이용하여 기준점으로부터 GNSS Buoy의 움직임을 해석하였다. PPK 해석은 MIT에서 kinematic측위 해석을 위해 개발된 GMAIT/TEACK 소프트웨어를 사용하였고 정밀한 해석을 위해 IGS (International GNSS Service)에서 관측 일로부터 약 2주 후에 발표하는 정밀궤도력을 이용하여 관측데이터 해석을 하였다.

GAMIT/TRACK을 이용한 해석 결과는 평균에 대한 잔차를 이용하여 95%의 신뢰수준인 $\pm 2\sigma$ 이상의 이상치를 제거하여 결과를 산출하고 산출된 결과는 수압식 검조기의 비교를 위해 10분 단위로 평균값을 산출하였다.

GNSS Buoy 측량 후, PPK해석으로 얻어진 결과는 수압식검조기의 관측값을 참값으로 가정하여 GNSS Buoy 측량 결과의 조위면(Tidal Level)과 수압식검조기에 관측된 조위면의 평균과 표준편차를 계산하고, 상관분석을 수행하여 Fig. 6과 Table 3의 결과를 얻었으며, 이들을 사용하여 다음과 같이 GNSS Buoy 측량 결과를 분석하였다.

GNSS Buoy, 수압식검조기 및 토탈스테이션으로 관측한 자료들을 다항식을 사용하여 회귀분석을 실시하여 얻은 결과는 적합한 것으로 분석되었으며, 3개 관측결과와 상관계수(R^2)이 0.996 이상으로 관측결과와 상관성이 매우 높은 것으로 분석되었다.

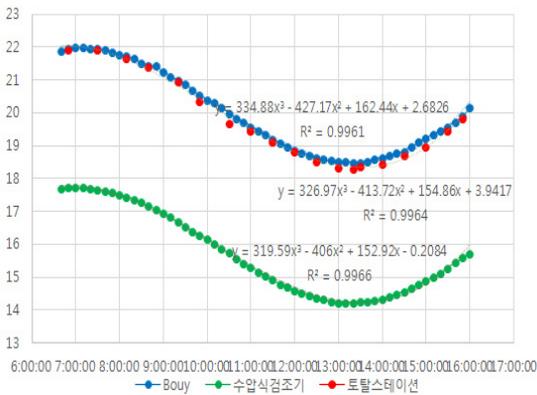


Figure 6. 측정 방식에 따른 결과 비교

Table 3. 측정 방식에 따른 상관분석 결과

구분	상관분석 결과
GNSS Buoy	$y = 334.88x^3 - 427.17x^2 + 162.44x + 2.6826$ ($R^2 = 0.9961$)
수압식 검조기	$y = 319.59x^3 - 406.00x^2 + 152.92x - 0.2084$ ($R^2 = 0.9966$)

Fig. 7은 수압식검조자료와 GNSS buoy 관측 결과의 상관분석을 수행한 것이다. 수압식검조기의 관측값을 참값으로 가정하여 상관분석을 통하여 관측결과를 분석하였다. 그 결과 상관계수(R^2)가 0.999 이상으로 나타나 수압식검조기와 GNSS Buoy 관측결과에 따른 조위면의 변화가 유사성이 큰 것으로 분석되었으며, 이러한 분석결과를 바탕으로 해수면의 변화량 관측이 신뢰할 수 있는 것으로 판단되었다.

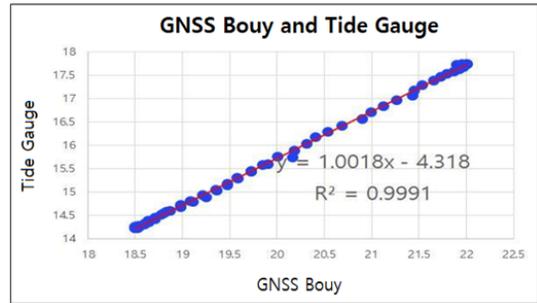


Figure 7. 수압식검조기 자료를 기준의 GNSS Buoy 상관분석 결과

4. 결론

본 연구에서는 GNSS Buoy와 수압식검조기에서 얻어진 해수면 움직임을 비교·분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

GNSS 기준점측량을 실시하여 기준점의 3차원 정밀 좌표를 계산한 결과 모든 관측세션의 NRMMS값이 0.2이하로 기선해석 결과가 나와 매우 양호함을 알 수 있었고 41개 상시관측소를 이용하여 망조정을 실시한 결과 허용 오차인 12mm 이하로 기준점의 좌표를 취득할 수 있었다.

GNSS Buoy 장비를 이용하여 관측한 결과와 수압식검조기의 관측결과를 비교·분석한 결과, 두 장비의 상관분석의 상관계수는 평균 0.999 이상으로 분석되었고 이는 두 장비가 관측한 해수면의 움직임은 긴밀한 상관성이 있음을 알 수 있었다.

본 연구의 결과를 통해 GNSS Buoy 장비를 활용하는 경우 도서·산간지역 등 대한민국 지형적 특징으로 인해 측량이 어려웠던 해상지역에서 간단하고 효율적으로 단기적 해양 높이 정보를 산출할 수 있을 것이라

판단된다. 하지만 본 연구에서 사용한 PPK 해석 방법은 지상기준점과 GNSS Buoy 장비의 위치가 약 30km 이상 떨어져 있을 시 정밀도가 떨어지는 문제가 있어 육지가 없는 곳에서의 관측 시 다른 GNSS 데이터 해석방법을 고려해야 하며, GNSS Buoy 장비의 배터리 지속 시간, 데이터 저장 용량 등 장비 유지에 관한 부분이 고도화된다면 장기적 해수면 관측이 가능할 것이다. 추후 이러한 문제가 해결된다면 GNSS Buoy 장비를 통해 장기간의 연속적인 해수면 관측을 수행할 수 있고 이를 통해 표적관측뿐만 아니라 검조기를 이용한 조석관측 방식 또한 대체할 수 있을 것으로 생각된다.

참고문헌

1. 유경완, 2017: GPS Buoy 관측을 통한 기본수준점 성과 결정, 공학석사학위논문
2. 김경철, 2019: 영해기선 결정을 위한 주요도서의 신규 통합기준점 성과결정을 위한 연구, 공학석사학위논문
3. Bisnath, S., D. et al.2003: Water level recovery with an RTK GPS equipped buoy, In US Hydro 2003 Conference
4. Cho, J. M et.,2015: Accuracy Analysis of Unified Control Point Coordinate Using GAMIT/GLOBK Software, Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography.
5. Cho, K. G et al.,2003. A study on sea level changes around the Korean Peninsula and its effects due to global warming, Korea Environment Institute.
6. Dawidowicz, K.2014: Sea level changes monitoring using GNSS technology—a review of recent efforts, Acta Adriatica
7. Hein, G. Wel al.,1993: Measuring sea level changes using GPS in buoys. Sea level changes: Determination and effects
8. Herring, T.A, R. W. King and S. C. McClusky (2010). Introduction to GAMIT/GLOBK. Release 10.4, viewed 25 March 2011, Available from: <http://www.gpsg.mit.edu/~simon/gtgk/>
9. Kang, S. C.2013: Integrated network adjustment of unified control point in Korea. Master's Thesis, Sungkyunkwan University, Suwon, Republic of Korea. (in Korean, with English Abstract)
10. Lee, D. H et al.,2013: Transformation of Vertical Datum Surface in the Coastal Area using Hybrid Geoid Models, Journal of Coastal Research SI 65
11. Roh, J. Y et al.,2016: Height Datum Transformation using Precise Geoid and Tidal Model in the area of Anmyeon Island, Journal of the Korean Society for Geospatial Information Science 24(1), 109-119. (in Korean, with English Abstract)
12. Shih, H. H et al.,2006: GPS tracked buoy for water level measurements. In 25th International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering. American Society of Mechanical Engineers, 257-264.
13. Chen, W. et al.,2004: Kinematic GPS Precise Point Positioning for Sea Level Monitoring with GPS Buoy. Journal of Global Positioning Systems 3(1-2), 302-307.

