

GPS 부의를 이용한 해수면 관측에 관한 연구

A study of sea level measurement using GPS buoy

박운용¹⁾ · 오창수²⁾ · 이동락³⁾ · 홍정수⁴⁾

Park, Un Yong · Oh, Chang Soo · Lee, Dong Rak · Hong, Jung Soo

- 1) 동아대학교 공과대학 토목공학부 명예교수(E-mail: uypark@dau.ac.kr)
- 2) 광주대학교 공과대학 토목공학과 교수(E-mail: csoh@gwangju.ac.kr)
- 3) 창신대학 토목과 부교수(E-mail: drlee@csc.ac.kr)
- 4) 동아대학교 대학원 토목공학부 박사수료(E-mail: jungsoo0515@hanmail.net)

Abstract

Sea level fluctuation present a direct influence to those who live near the coast. The importance of monitoring sea level is evident. Therefore, various techniques have been employed for sea level measurements such as the coastal water level gauges, satellite altimetry and GPS buoy. Especially, GPS buoys have been used to measure water levels, atmospheric parameter and other physical conditions in sea, tide correction, the altimeter range calibration, ocean environment.

In this paper, we will mainly concentrate on the kinematic technique for GPS buoy to measure the sea level. A test was carried out to test the method proposed in this paper, which made use of a GPS buoy equipped to monitor the sea level in Busan. We have executed to analysis about applications of GPS buoy.

1. 서론

전 세계 인구의 38%가 생활하는 해안 지역은 강수 및 태풍의 강도, 빈도의 변화, 그 파장으로 인한 쓰나미의 영향 등 변화의 가장 취약지대로 인식되고 있으며, 해수면 상승에 대한 모니터링의 중요성이 대두되고 있다. 그리고 우리나라의 서해안과 같이 세계적으로 조차가 크고 복잡한 조석으로 인하여 선박은 안전운항이나 연안개발에 필요한 정보의 확보가 필수적인 해역이며, 해양 수심측량 시의 높이는 보정은 측량의 정확도와 직결되는 사항으로 당 위치의 정확한 수위에 대한 기준이 요구되고 있다. 그러나 해양에 있어 기본 위치정보에 대한 정밀도 향상에 관한 연구는 상대적으로 매우 부족한 현실이다.

현재 국립해양조사원은 1958년 8월 목포를 시작으로 조석, 조류 등의 해양관측을 실시하고 있으며, 2006년 현재 33개의 연안정보 실시간 제공 시스템을 구축하였다. 이러한 연안정보 데이터를 통해 우리나라의 수직 기준면에 대해 유지 및 관리를 수행하고 있고, 조석예보를 통해 선박의 안전을 도모하고 있으며, 나아가 조위경보 발령을 통해 태풍 및 악 기상 시 연안 재해 방지 및 환경보존에 사용되고 있다. 그러나 이러한 관측데이터의 경우 기준점조사소에서 관측한 조석자료를 바탕으로 조화상수를 산출하여 합성하는 조화분석법에 의해 우리나라 연안에 대한 매일의 고저조의 조시와 조위에 대한 예측값을 제시해 오고 있다. 그러나 이 방법은 관측지점이 있는 곳에서는 비교적 정확하게 조위를 예측할 수 있지만 관측값이 없는 지점에서는 조위가 부정확할 수 있고, 또한 조석 현상 외에 기상요소에 의해 발생하는 해수면 변화에 대한 정보를 제공할 수 없다.

본 연구는 범세계적으로 위치결정이 가능하며, mm 수준의 정밀 측정이 가능한 NAVSTAR GPS (NAVigation Signal Timing And Ranging Global Positioning System)를 이용하여 해양수직 기준면을 결정하고자 하며, 이에 대해 해양에 직접 띄울 수 있는 GPS 부이 시스템을 제작하여 해수면의 실시간

움직임과 물리학적 특성들을 관측하고자 한다. 그리고 국립해양조사원에서 제공하는 조위관측소의 실시간 데이터와 비교검증을 수행하여, GPS 부이 시스템의 적용 가능성과 조위예측에 대한 분석을 실시하고자 한다.

2. 관측 및 처리

2.1 연구대상지

부산 지역 대상지의 선정은 GPS 과업을 충분히 수행할 수 있는 GPS 상시관측소와 조위관측소가 고르게 분포하고 있기 때문이며, 그 데이터의 적용을 통해 앞으로 장기적으로 연구를 수행해 나아갈 수 있는 최적의 위치로 판단되었기 때문이다. 대상지 중 영도와 가덕도의 경우는 국립해양조사원에서 관리하며 우리나라 주변의 해수면을 연속적으로 관측하여 수직기준면의 유지 및 관리와 전국 연안의 조석예보 자료 제공, 연안재해 방지 및 환경보존의 기능을 담당하는 실시간 연안 조위관측소가 위치하고 있기 때문이다. 이 지역의 실시간 연안 조위관측소의 데이터는 GPS 부의를 사용하여 수직 기준면을 결정할 시 중요한 참값 형태의 데이터로 유용하게 사용될 것이다.

2.2 GPS 부의 시스템

부이는 파랑과 함께 유동하며, 사용성이 편리하고 간편하게 설계하였다. 상부의 기준틀은 측지측량 수준의 외부형 Microstrip 안테나와 장비의 연직축이 중력방향과 일치하기 위하여 정준기기를 설치하였다. 부이는 바닷물이 세어들지 않게 방수처리를 하였으며, 수신기와 배터리 부분은 실내에 장착이 가능하게 하였다. 일반적으로 이러한 유동적인 형태는 부이의 기울어짐과 바다 표면의 GPS 반사 신호에 의한 멀티패스로 인해 야기되는 요소들의 발생률을 최소화하기 위해 주로 해안선 가까운 곳에 유지하였다. 부의 옆면은 측정 시 주의를 요하는 APR(Antenna Phase Center)에 대해 차감계산을 위한 눈금자의 표시가 되어 있다. 현장 실험 시 수면 위 APR의 높이를 정확히 결정하기 위해 데이터를 수집하는 동안 이 눈금자의 표시로부터 수면 위치의 추적을 계속적으로 유지해야 한다. 영도 지역의 현장실험 시 수면 위에서 APR의 높이가 약 7cm 정도로 나타났다. Fig. 1은 실험대상지역에서의 부의 관측 모습을 나타내고 있다.

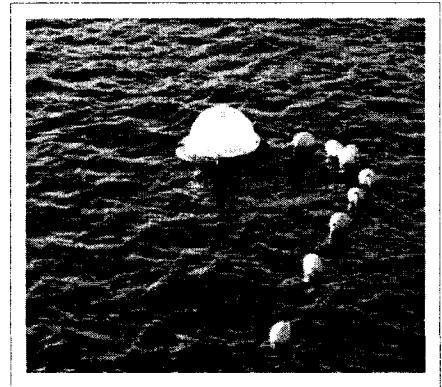


Fig. 1. GPS Buoy

2.3 GPS 측량

2.3.1 GPS 기준점 측량

GPS 부이의 유동 움직임에 대한 정확한 파형을 계산하고, 그 파형을 통해 수직 기준을 산출하기 위해 기준점측량이 필수적이다. 기준점측량은 국가 기간산업의 근간이 되고 실시간 데이터 서비스가 가능한 국토지리정보원, 해양수산부, 한국천문연구원 등에서 운영, 관리하는 상시관측소데이터의 대구, 진주, 밀양, 영도 4점과 우리나라 지역좌표 기준으로 사용되고 있는 영도 봉래산의 1등 삼각점 1점과 가덕 삼각점을 포함하여 평면을 결정하고, 조위관측소와 해양 TBM과의 연계를 통한 수직, 대상 지역의 지오이드 고를 결정하기 위해 부산광역시 사상, 영도, 가덕에 위치하고 있는 수준점도 포함하여 기선해석 및 3차원 망조정을 실시하였다. 기선 해석방식은 고정점으로 각 기선별 모호정수를 해석해 가는 단일기선해석 방식으로 각 세션의 방송궤도력에 의한 기선별 1차 해석을 수행하였으며, 정밀궤도력은 IGS에서 관측한 후 약 1일 후에 확정하여 공식적으로 발표한 SP3의 결과를 이용하여 기선별로 2차 기선조정을 순차적으로 수행하였다. 기선분석의 결과과정을 거친 후 망분석 과정을 거쳐 기준점의 3차원 좌표를 얻게 되며, 망분석의 경우 선조정(Pre-adjustment), 벡터 네트워크 조정(Vector network adjustment) 그리고 최

종 조정(Final adjustment) 이 세 가지의 과정을 거쳐 이루어진다. 망분석의 성과는 1등 삼각점인 영도의 고시성과좌표를 고정점으로 사용하여 처리하였다. 기선분석이 완료된 후 최소제곱조정과정으로 이루어진 조정결과를 다음 Table 1에 나타내었다.

Table 1. Adjustment Analysis of GPS Network

Station	N	E	Ellipsoid H	Orthometric H
가덕조위	169,485.02616	182,680.47972	-39.4475	2.2277
가덕삼각	169,326.05242	182,655.57485	-39.5029	2.1006
가덕수준	168,759.20136	181,935.84570	-36.9337	4.6250
밀양상시	221,332.08623	176,710.10009	-31.4346	13.2032
사상수준	187,129.36379	197,759.82315	-37.4467	4.7000
대구상시	267,358.94185	182,066.32370	29.9449	76.8380
울진상시	387,895.16673	236,710.27972	-3.1594	51.1507
영도상시	173,687.39450	206,393.58780	121.7662	162.9148
영도조위	177,475.07118	203,146.86363	-38.7918	2.6643
영도삼각	175,947.41835	204,971.49444	352.7783	394.0946
영도수준	175,021.41523	204,263.74321	25.7526	15.6325

3.3.2 GPS 부의 관측

GPS 부의의 위치결정은 데이터를 수집하는 동안의 파랑과 부의의 움직임에 의해 발생하는 높은 빈도의 항들을 포함하고 있으며, 부의의 평균해수면 높이는 부의의 높이 해를 산정하는 시간대별 평균에 의해 결정된다. 전체 시간대의 평균에 의해 부의와 파랑으로부터 발생하는 부분요소들은 높은 빈도로 발생하는 자연적인 현상을 통해 소거할 수 있다. GPS 부의 테스트는 2006년 6월 11일 영도와 가덕도에 설치한 기준점을 중심으로 조위관측소 앞 바다에서 1일에 대한 관측을 실시하였다. 관측 후 Kinematic GPS 기법을 이용하여 수신간격을 통한 높이의 변화량을 산출하였다. 기선에 대한 영도지역과 가덕지역의 최대 차이량은 27mm로 TGCM의 장기선에서 가장 큰 차이를 보이고 있으며, 중기선인 MYCM의 경우 17mm를 보이고 있다. 위성의 가시성의 경우 영도지역보다 가덕지역이 한 대 더 많은 위성을 관측하였으며, 최대 차이량은 장기선에서 기선의 양 끝 부분의 대류권에 대한 영향이 다르다는 것을 알 수 있다. 이러한 부분의 경우 이중차분에 의해 소거가 가능하다. 파랑은 초 당 0.3~0.5의 주기 범위를 보여주고 있으며, 빈도 범위의 오른 편에서 월등히 높음을 알 수 있다. 해양에서 바람의 영향으로 인한 빈도는 일반적으로 0.05~1의 초당 주기를 보여준다. 그림의 시간에 대한 전폭은 발일 조석신호를 명확하게 정의하기에 너무 짧지만 월등히 낮은 빈도의 형태는 부분적으로 조석 신호의 고르지 못함에 의해 일어난다. Table 2는 각 기선별 높이해를 타원체 상의 높이로 나타내고 있다.

Table 2. Height Solution for Baseline Distance

Station		Baseline	Height Solution	SV
From	To			
영도조위	영도	26.562	- 38.864 ± 2mm	7
영도상시		4,991.379	- 38.863 ± 3mm	7
밀양상시		51,208.365	- 38.871 ± 3mm	7
대구상시		92,321.961	- 38.891 ± 3mm	7
가덕조위	가덕도	31.058	- 39.436 ± 2mm	8
영조상시		24,083.308	- 39.437 ± 2mm	8
밀양상시		52,189.072	- 39.450 ± 2mm	8
대구상시		97,874.634	- 39.457 ± 2mm	8

3.4 조위데이터 분석

모든 조석 기준면을 결정할 때 그 기준이 되는 것이 평균해수면이므로 수심 기준면을 결정할 때 제일

먼저 고려되는 것은 평균해수면의 결정이다. 본 연구에서는 평균해수면이 결정을 검조자료로부터 일평균해면을 구한 후에 월평균해면, 년평균해면으로 산술적인 평균치를 산출하였다. Fig. 2와 3은 대상지역의 조위관측소와 기준점 측량을 실시하는 모습을 나타내고 있다.

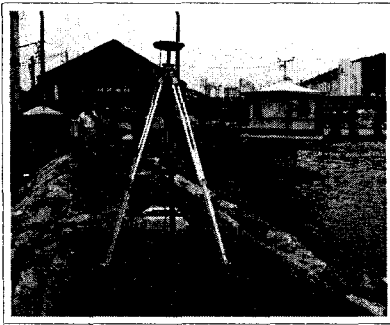


Fig. 2. Youngdo Observatory

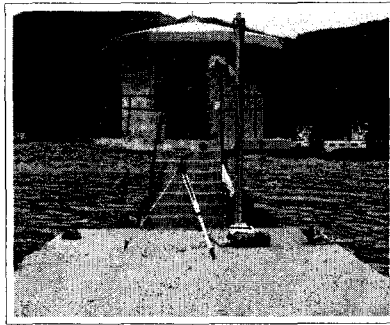


Fig. 3. Gadeokdo Observatory

Table 3. Tide Mean

Mean \ Station	Day	Month	Year
영도	88.4	76.1	69.2
가덕도	117.4	109.6	102.4

연구대상지인 부산 지역의 평균해수면 결정은 해당 지역 부근에 1개년 이상 연속하여 정밀한 조위관측을 실시하고 있는 검조소가 있을 때는 측량 기간에 대하여 검조기록에서 월평균해수면을 구하고, 동일기간의 기준검조소에 있어서 년평균해면 값과 월평균해면 값의 차이를 개정량으로 하여 해당 지역의 월평균해면 값에 가감 후 년평균해면을 결정하였다. Table 3은 각 관측검조소의 일, 월, 년에 대한 평균해수면의 높이값을 나타내고 있다. 조위관측소의 데이터 경우 일에 대한 조위보정을 실시하여 평균해수면을 산정한 후 대상지역의 관측지점과 현장보정을 실시하여 GPS 부의 데이터와 비교 분석을 실시하였다. 당일 조위변화의 조정과 기준점 측량을 통한 지오이드고의 고려를 통해 대상지 영도와 가덕도의 데이터를 타원체고로 변화하면, $-38.807m$, $-39.395m$ 로 결정됨을 알 수 있었다.

4. 결론

본 논문은 다양한 분야에 적용 가능한 GPS의 해수면 관측에 관한 연구로써 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다. 정밀 GPS 기준점 측량을 실시한 후 기선별 높이에 대한 정확도를 비교 분석한 결과 기선거리가 먼 대구기선에 대한 해가 27mm로 가장 크게 나타났음을 알 수 있었으며, 이러한 기선결과를 통한 망조정 결과로 GPS 부의에 대한 관측을 실시하였다. GPS 부의 관측의 신뢰성에 대한 검토를 위하여 영도, 가덕도의 조위관측소 데이터를 일, 월, 년으로 분석하였으며, 당일에 대한 데이터 분석 시 타원체고의 차이가 영도는 57mm~84mm, 가덕도는 41mm~61mm로 나타남을 알 수 있었다. 이러한 데이터를 이용하여 파랑의 주기와 빈도, 바람의 영향 등을 고려한다면 더욱 나은 성과를 얻을 수 있을 것으로 사료된다.

5. 참고문헌

- 조광우, "지구온난화에 따른 한반도 주변의 해수면변화와 그 영향에 관한 연구", KEI 환경정보지, 2003, pp. 7~8.
- 이재준. "태풍 「매미」 내습 시 경남해역의 조석 및 폭풍해일 모의" 국립방재연구소, 2004, pp. 16~27.
- 이호만(1997), "조석 조화상수의 계절적 변화에 대한 연구", 부산대학교 석사학위논문, pp. 15~16.
- Seeber, G., and Wubbena, G., "Kinematic Positioning with Carrier Phase and "On the Way" Ambiguity Solution," *Proceeding of the Fifth International Symposium on Precise Positioning with Global Positioning System*, Vol. II, 1989, pp. 600~609.
- Mader., G. L., "Dynamic Positioning Using Global Positioning System Carrier Phase measurements", *Manuscr. Geod.*, 1986, pp. 272~277.
- Schone, T., "Water Level measurements", Final Report SSG2. 194. Presented at EGS General Assembly, 2000.Apr.26, in Nice, France.