

PPP 기반 항법 알고리즘을 이용한 파고 계측시스템 설계 및 구현

송세필 · 조득재* · 박슬기

Development of Wave Monitoring System using Precise Point Positioning

Se Phil Song · Deuk Jae Cho* · Sul Gee Park

Marine Safety Research Division, Korea Research Institute of Ships and Ocean Engineering, Daejeon 305-343, Korea

요 약

본 논문에서는 GPS 위치 정보를 이용한 파고계측시스템을 제안한다. 제안한 시스템은 이중주파수 측정치 및 GPS 정밀위성정보를 이용하여 위치를 추정하는 PPP 기반 항법 알고리즘을 사용한다. 이를 이용하여 기준국으로부터 보정정보를 받는 RTK나 DGPS 기반 파고계와 달리 기준국과의 거리에 관계없이 높은 정확도로 위치 추정이 가능하다. 그리고 GPS 단독으로 운용되는 간단한 시스템이므로, 가속도계 기반 파고 계측 시스템처럼 다른 센서를 이용하여 누적되는 위치 오차를 보정할 필요가 없다. 제안한 파고계측시스템을 테스트하기 위하여 경북 울진 죽변항 인근 해역에 제안한 시스템과 기상청에서 활용하는 상용 파고계를 탑재한 부표를 설치하고, 시험 운용하였다. 그리고 부표로부터 전송된 두 가지 파고 데이터를 상호 비교함으로써 제안한 시스템의 성능을 평가하였다.

ABSTRACT

A GPS based wave height meter system is proposed in this paper. The proposed system uses a dual-frequency measurements, a precise GPS satellite information and a PPP-based navigation algorithm to estimate the position with high accuracy. This method does not need to receive corrections from the reference stations. Therefore, unlike RTK based wave meter, regardless of the distance to the reference stations, it is possible to estimate position with high accuracy. This system is very simple and accurate system, but accelerometer-based system requires the other sensors such as GPS. Because position error is accumulated in the accelerometer system and must be removed periodically for high accuracy. In order to get the measurements and test the proposed wave height meter system, a buoy equipped with the test platform is installed on the sea near by Jukbyeon harbor in Uljin, Korea. Then, to evaluate the performance, compares built-in commercial wave height meter with proposed system.

키워드 : 파고계, 파고, 위성항법, 실시간 PPP 기반 항법, 정밀위성정보

Key word : Wave Height Meter, GPS, Precise Point Positioning, Precise GPS Satellite Information

Received 12 January 2015, Revised 01 March 2015, Accepted 16 March 2015

* Corresponding Author Deuk Jae Cho(E-mail:djcho@kriso.re.kr, Tel:+82-42-866-3683)

Marine Safety Research Division, Korea Research Institute of Ships and Ocean Engineering, Daejeon, 305-343, Korea

Open Access <http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2015.19.5.1055>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

I. 서 론

바람에 의하여 발생한 파도는 바람이 약해진 뒤에도 주기가 길고 완만한 형태가 되어 해수면 상에 잔존하게 되는데, 이를 너울(Swell)이라고 한다.

너울은 태풍이 발생하였을 때, 서로 다른 지역에서 발생한 파랑이 한 지역에서 중첩될 때에 특히 크고 강하게 생성된다. 게다가 맑은 날씨에도 파도가 중첩되면 돌발적으로 강한 너울이 생성될 수 있다. 실제로 2014년 10월 19일 충남 서천군 흥원항 인근에서 낚시 중이던 카약이 전복되었고, 6월 15일에는 울진군 후포항 인근 갯바위에서 산책 중이던 관광객이 너울에 휩쓸려 사망하는 사고도 있었다.

너울의 위험성에 대비하여 강원도청의 ‘너울성파도에·경보관제시스템’과 같이 폐쇄회로 화면이나 과거 자료를 기반으로 하는 시스템 운용되고 있지만, 위와 같은 특성을 고려한다면 너울을 보다 정확하게 예측 또는 관측할 수 있는 시스템이 필요하다.

파고계는 파고를 측정하는 장치이다. 특히 해상의 한 지점에서 지속적으로 파고를 측정하기 위하여 부표를 이용하는 파고계가 주로 이용된다. 이러한 파고계는 일반적으로 GPS(Global Positioning System) 수신기나 가속도계를 이용하여 부표의 위치 정보를 획득하고 이에 대한 통계치를 계산하여 파고 정보를 획득한다. GPS 기반의 파고계는 수신기 단독으로 또는 RTK(Real Time Kinematic)나 DGPS(Differential GPS) 기술을 이용하여 부표의 위치정보를 추정하고, 이로부터 파고를 계산한다. GPS 수신기를 단독으로 운용할 경우에는 보정정보를 사용하는 RTK나 DGPS보다 정확도가 낮아진다. 반면에 RTK나 DGPS는 부표의 위치를 정확하게 추정할 수 있다. 하지만 기준국으로부터의 운용 거리가 멀어질수록 정확도가 낮아지기 때문에 먼 바다에서의 운용에는 부적합하다.

가속도계는 정확하게 파고 정보를 얻을 수 있으며, RTK나 DGPS와는 달리 먼 바다에서도 운용 가능하다. 그러나 가속도계의 일반적인 특성상, 위치 정보에 오차가 누적되므로 GPS와 결합함으로써 오차를 보정하여야 한다[1,2].

본 논문에서는 정확한 GPS 위치 정보를 이용한 파고 측정시스템을 제안하였다. 제안한 시스템은 이중주파수 측정치 및 GPS 정밀위성정보를 이용하여 높은 정확

도로 위치를 추정하는 PPP(Precise Point Positioning) 기반 항법 알고리즘을 사용하였다. 이 방법은 RTK와 달리 기준국으로부터 데이터를 받을 필요가 없기 때문에 기준국과의 거리와 무관하게 높은 정확도로 위치 추정이 가능하다. 아울러 부표의 정확한 위치를 구함과 동시에 정확한 파고 정보를 획득할 수 있다.

본 논문에서 제안한 파고측정시스템을 테스트하기 위하여 울진 죽변항 인근 해역에 파고측정용 테스트 플랫폼을 탑재한 부표를 설치하였다. 그리고 설치된 부표로부터 전송된 데이터를 기반으로 제안한 시스템과 상용파고계의 파고측정결과를 상호 비교하여 성능을 평가하였다.

II. 위치 정보 기반 파고 측정

2.1. 파랑과 파고

그림 1은 파랑의 주요 성분을 나타낸 것이다. 파랑을 사인과 형태의 해수면 변화라고 할 때, 최고점인 마루(Crest)와 최저점인 골(Trough) 사이의 거리를 파고(Wave height)라고 하며, 파랑의 곡선이 해수면과 교차하는 점 사이의 거리를 파장(Wavelength)이라고 한다.

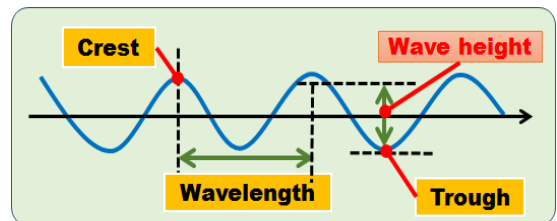


그림 1. 파랑의 주요 성분
Fig. 1 Characteristics of the Sea Wave

실제 해상에서는 다수의 파랑이 중첩되므로 해수면의 변화가 심하다. 따라서 파고의 분석에는 최대파고, 유의파고, 평균파고와 같은 통계적 요소가 도입된다. 즉, 각 파고 정보는 관측기간 동안 측정 지점을 통과하는 N개의 파도에 대한 통계 정보를 이용하여 계산한다. 최대 파고란 N개의 파도 중 가장 높은 파도의 파고를 의미하고, 평균 파고는 N개의 파도의 평균 높이이며, 유의파고란 N개의 파도 중 가장 높은 N/3개의 ‘유의파’의 높이를 평균한 값이다. 유의파고는 관측된 작은 파

까지 포함, 평균하여 파고를 산출하는 산술 평균값보다 큰 값을 갖는다.

2.2. 부표형 파고 계측 시스템

부표를 이용하는 파고계는 해수면의 높이변화를 계측하고 이로부터 파고 정보를 얻는다. 부표형 파고계에서 주로 사용되는 센서에는 가속도계와 GPS가 있다.

2.2.1. 가속도계 기반 파고계

가속도계 기반 파고계는 가속도계를 장착한 부표를 해상에 두고 파도에 의하여 변하는 부표의 궤적을 추적하는 방식으로 파고를 계측한다. 현재 기상청에서는 그림 2와 같은 OE-700 파고계측 부표를 파고, 파향 계측에 활용하고 있다.



그림 2. OE-700 파고, 파향 측정 시스템
Fig. 2 OE-700 Wave Monitoring System

OE-700에는 그림 3의 파고계측 장치가 탑재되어 있다. 이 장치는 파고를 계측하고, 데이터를 전송하는 데이터 로거 및 3축 가속도 센서, 부표의 위치정보를 획득하기 위한 GPS 수신기로 구성되어 있다. 파고계에서 실시간으로 계측한 정보는 CDMA(Code Division Multiple Access) 또는 INMARSAT (INternational MARitime SATellite organization) 통신을 이용하여 주기적으로 지상에 전송한다. 이 시스템의 주요 사양은 다음의 표 1과 같다[3]. 이 시스템과 같은 대부분의 가속도계 기반 파고계는 위치 정보를 얻거나 누적되는 가속도계의 오차를 보정하기 위하여 GPS를 별도로 장착하거나 주기적으로 가속도계를 초기화하는 구조이다. 따라서 연속적인 파고 정보를 획득하기 어려운 단점이 있다.



그림 3. 파고 계측 및 데이터 로거 시스템
Fig. 3 Data Logger and Sensors

표 1. COSMOS-700 제원

Table. 1 Specifications of COSMOS-700

Items	COSMOS-700
Type	3-axis Accelerometer
Output	Wavelength Wave Height(Significant, Maximum, Average)
Range	Wave Height(0~40m), Wavelength(1.6~30s)
Resolution	Wave Height(0~0.02m), Wavelength(0.1s)
Accuracy	Wave Height(±1%), Wavelength(±2%)
Temperature	-5 ~ 40℃
Power	5V DC

2.2.2. RTK 기반 파고계

RTK는 기준국의 정확한 데이터를 이용함으로써 동적 환경에서도 10cm 이하의 오차로 수신기의 위치를 추정할 수 있는 매우 정확한 측위 방법이다. RTK 기반 파고계측시스템은 GPS 기반의 파고계측시스템 중에서도 지진해일 계측에 사용되는 가장 정확한 파고계이다.

그림 4의 일본 기상청에서 운용하는 쓰나미 예측용 파고 관측 장비인 NOWPHAS(The Nationwide Ocean Wave information network for Ports and HARbourS)는 RTK 기반의 파고계를 사용하는 대표적인 시스템이다. 이 RTK 기반의 시스템은 오차 10cm 이하의 정확도로 부표의 위치를 추정할 수 있다. 하지만 RTK는 기준국으로부터 거리가 멀어질수록 위치 추정 결과의 정확도가 낮아지므로, 실제로는 해안으로부터 10~20km 이내의 지역에만 설치하여 운용되고 있다[4].

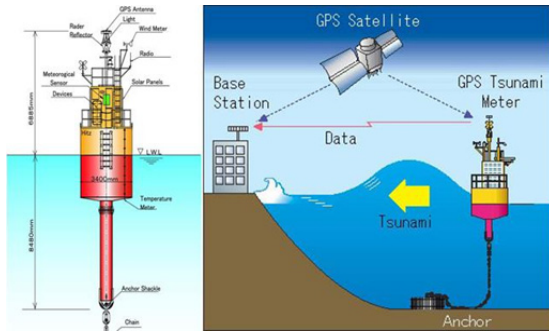


그림 4. 일본의 NOWPHAS
Fig. 4 NOWPHAS, Japan

III. PPP 기반 파고 계측시스템 설계

부표의 정확한 위치를 추정하는 것은 부표를 이용하는 시스템에서 가장 중요한 요소이다. 앞서 밝힌 바와 같이 기존의 RTK 기반 파고계측시스템은 기준국에 가까울수록 위치 정보가 정확하지만, 기준국으로부터 멀어지면 정확도가 감소한다. 본 논문에서는 해상 어느 곳에서나 정확하게 파고를 측정하는 시스템을 설계하기 위하여 대표적인 단독 정밀 측위 기법인 PPP 기반의 항법 알고리즘을 이용하였다.

3.1. PPP 기반 항법 알고리즘

GPS 측정치에는 위성에서 송신된 신호가 지상의 수신기에 도달하는 전 과정에서 발생한 오차가 포함된다. RTK에서는 식 (1), 식 (2)의 오차 성분을 제거하기 위하여 기준국의 정확한 데이터를 차분하여 오차를 제거한다.

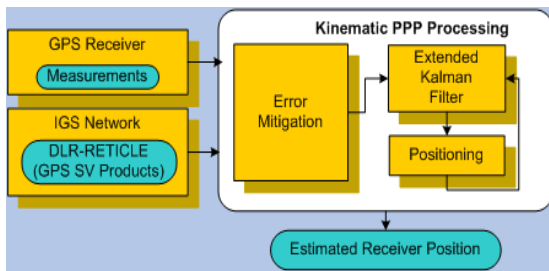


그림 5. PPP(단독 정밀 측위) 항법 알고리즘
Fig. 5 Precise Point Positioning Algorithm

반면에 PPP 기반의 알고리즘은 IGS(International GNSS Service) 네트워크로부터 얻은 정확한 위성 정보를 사용하고, GPS 측정치에 포함된 오차를 계산하거나 추정함으로써 수신기의 위치 오차를 줄이는 방법이다. 따라서 PPP 알고리즘은 인터넷이 갖춰진 환경이라면 기준국과의 거리와 무관하게 정확한 측위가 가능하다. 본 논문에서 사용한 PPP 기반 항법 알고리즘은 그림 5와 같다.

GPS 수신기의 L1, L2 코드 측정치 $P(L_i)$ 및 반송파 측정치 $\Phi(L_i)$ 는 다음의 식 (1), 식 (2)와 같다[5].

$$P(L_i) = \rho + c(dt - dT) + T + I + D + \epsilon_{P(L_i)} \quad (1)$$

$$\Phi(L_i) = \rho + c(dt - dT) + T - I + D + \lambda_i N_i + \epsilon_{\Phi(L_i)} \quad (2)$$

여기서, ρ 는 위성과 수신기 사이의 거리, dT 는 위성 시계오차, dt 는 수신기 시계오차, T 는 대류권 지연오차, I 는 전리층 지연오차, λ_i 는 반송파 파장, D 는 위성 및 수신기의 안테나 위상 중심 오프셋, 지구조석 등의 오차 성분, N_i 는 미지정수, ϵ_x 은 측정치 잡음이다.

이중주파수 수신기의 측정치에서 수식적으로 오차를 제거하기 위하여 이중주파수 측정치를 선형 조합한 Ionospheric free 측정치를 사용한다. 식 (1), 식 (2)를 각각 선형 조합하면 식 (3)의 Ionospheric free 코드 측정치 P_{IF} 및 식 (4)의 Ionospheric free 반송파 측정치 Φ_{IF} 를 얻을 수 있다[6, 7].

$$P_{IF} = \frac{f_1^2 P(L_1) - f_2^2 P(L_2)}{f_1^2 - f_2^2} = \rho + c(dt - dT) + T + D + \epsilon_{P_{IF}} \quad (3)$$

$$\Phi_{IF} = \frac{f_1^2 \Phi(L_1) - f_2^2 \Phi(L_2)}{f_1^2 - f_2^2} = \rho + c(dt - dT) + T + D + \frac{\lambda_1 N_1 - \lambda_2 N_2}{f_1^2 - f_2^2} + \epsilon_{\Phi_{IF}} \quad (4)$$

여기서 f_i 는 GPS 신호의 중심 주파수를 나타낸다.

PPP 알고리즘에서는 식 (3), 식 (4)에 포함된 오차 D 를 정확한 오차 모델을 사용하여 계산한다. 위성의 위치 및 시계 정보는 IGS(International GNSS Service) 네트워크에 속한 독일 DLR(Deutsches Zentrum für Luft-

und Raumfahrt)에서 제공하는 고정밀 GNSS 위성 정보인 RETICLE(REal Time CLock Estimation) Product를 사용한다. 본 논문에서는 표 2와 같이 측정치에 포함된 오차 및 오차 모델을 고려하였다.

표 2. PPP에서의 GPS 오차 처리
Table. 2 Error Mitigation Processing in PPP Algorithm

Errors	Models & Filters
Precise SV Orbit/Clock	DLR-RETICLE Products[8,9]
Receiver Clock Error	Extended Kalman Filter[10]
Ionospheric Delay	Iono. Free Measurements[6,7]
Tropospheric Delay	Saastamoinen[11]
Tropo. Mapping Function	Niell / Global MF[12]
Antenna PCO & PCV	IGS08.atx[8, 13]
Tidal Effect(Solid Earth Tide)	IERS conventions 2010[14]
Tidal Effect(Ocean tide)	NAO99/ FES2004[14, 15]
Tidal Effect(Pole Tide)	IERS conventions 2010[14]
Phase wind up	Wu[16]

3.2. PPP 기반 파고 계측 시스템

그림 6은 본 논문의 PPP 기반 알고리즘을 포함하는 파고 계측 시스템을 나타낸다. 전체 시스템은 파고계, 기상센서, GPS 수신기가 탑재된 부표와 육상의 관제모듈로 구성된다. PPP 기반 항법 알고리즘은 L1 및 L2 GPS 신호를 이용하므로, 이를 지원하는 수신기를 탑재하도록 하였다. 아울러 기상 센서를 같이 탑재하여 실시간 기상 정보를 수집함으로써 대류권 지연오차와 같은 기상 정보를 요구하는 오차 모델에서 사용할 수 있도록 하였다. 그리고 데이터 검증 및 시스템 이중화를 통한 안정성 확보를 위하여 별도의 상용 파고계를 병렬로 연결하도록 하였다.

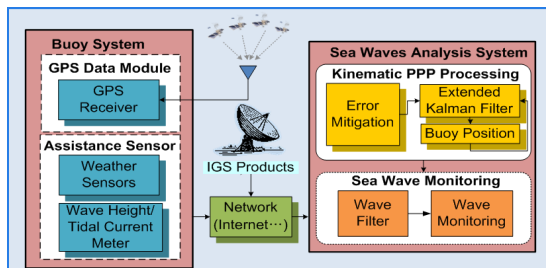


그림 6. PPP기반 파고 계측 시스템
Fig. 6 PPP Based Wave Height Meter

파고계에 탑재된 GPS 수신기의 측정치는 무선 통신망을 거쳐 육상의 관제모듈로 전송된다. 관제 모듈에서는 부표로부터 전송된 데이터와 PPP 기반 알고리즘을 이용하여 부표의 위치를 추정한다. 이를 위하여 IGS 네트워크의 정밀위성정보를 수신할 수 있어야 한다. 제안한 시스템에서는 PPP 기반 항법 알고리즘으로부터 누적된 부표의 위치 정보를 기반으로 파고 정보를 계산한다.

제안한 시스템은 PPP를 기반으로 하기 때문에, 지상과의 거리에 영향을 받지 않는다. 따라서 INMARSAT과 같은 통신 방식을 사용한다면 기존의 RTK, DGPS 기반 파고계와 달리 원해에서도 높은 정확도로 부표의 위치를 추정할 수 있다. 그리고 또한 GPS 측정치를 육상의 관제 장치로 전송하는 방식이므로 기존에 운영되고 있는 기상관측부표를 그대로 활용할 수 있으며, 이때 기존 기상관측부표의 파고계도 보조장치로 사용하여 데이터를 안정적으로 획득할 수 있다.

IV. 파고 계측시스템의 성능평가

제안한 시스템을 그림 7과 같이 경상북도 울진군 죽변항으로부터 약 1km 떨어진 위치에 설치하고 실험을 진행하였다. 본 논문에서의 실험을 위하여 GPS 수신기는 NovAtel 사의 FlexPak6, 안테나는 Trimble 사의 Zephyr-II를 탑재 하였다. 육상과의 통신에는 LTE 이동통신망을 사용하여 실시간으로 데이터를 받아 저장하고 이를 부표의 위치 계산 및 파고 계측에 사용하였다.



그림 7. 부표 설치 지역(경상북도 울진군 죽변항 인근 해상)
Fig. 7 The Test site(Jukbyeon harbor, Uljin-gun)

아울러 제안한 시스템의 파고 정보를 검증하고 이중화를 통한 시스템 안정성 확보를 위하여 기상청에서 운용 중인 파고 계측 부표 OE-700의 파고계측 시스템을 탑재하고, 두 파고 계측 시스템의 데이터를 동시에 확인할 수 있도록 시스템을 구성하였다.

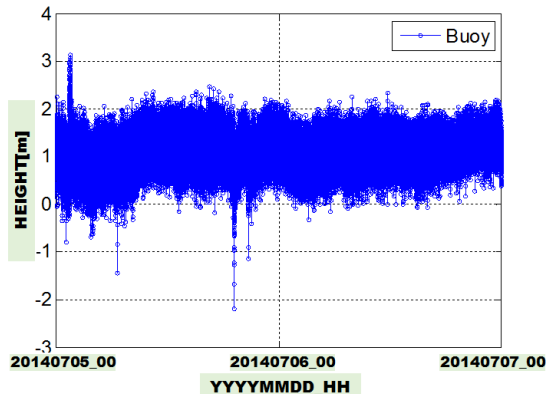


그림 8. PPP 수직 측위 결과
Fig. 8 PPP Positioning Results(in Vertical direction)

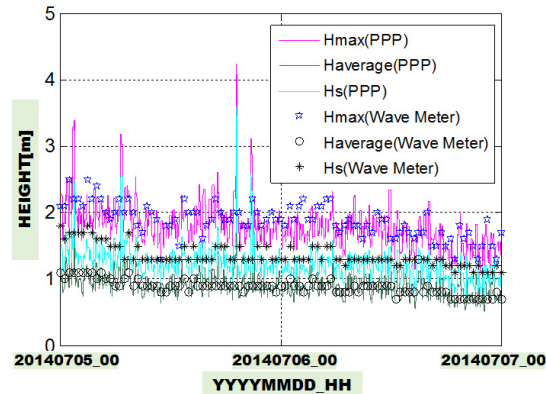


그림 9. 파고 계산 결과의 비교(PPP, 상용파고계)
Fig. 9 Comparison of Results from PPP and Wave Height Meter

본 논문의 PPP 기반 파고 계측 시스템의 성능을 평가하기 위하여 제안한 시스템을 통하여 계산된 파고 정보와 상용 파고계의 출력 정보를 비교하였다. 그림 8은 2014년 7월 5일 00:00(UTC)부터 7월 7일 00:00(UTC)까지 위치 추정 결과를 구한 다음, 첫 epoch의 위치 정보를 기준으로 부표의 수직 위치 변화를 계산한 결과가

다. 부표의 높이가 수직 방향으로 2일간 약 $\pm 2m$ 내에서 변화했음을 알 수 있다.

제안한 시스템의 PPP 알고리즘을 이용하여 추정된 부표의 위치 정보를 토대로 파고 정보를 계산한 다음, 부표에 탑재된 상용 파고계의 데이터와 상호 비교하였다. 그림 9의 그래프는 부표의 수직 위치 정보를 이용하여 파고 정보의 통계를 산출한 결과와 상용 파고계의 파고 정보를 나타낸다. 가속도계 기반 파고계는 30분마다 최근 10분간의 부표 위치 정보를 수집한 다음 이를 계산하여 파고를 구하기 때문에 30분마다 1개의 데이터를 출력하고 있으며, 본 논문에서 제안한 시스템은 매 초마다 최근 10분간의 위치 정보를 토대로 파고 정보를 연속적으로 계산하기 때문에 선형 그래프의 형태를 갖는다. 두 결과의 차를 비교하면 20 cm 이하의 값을 갖는 것을 알 수 있는데, 이는 상용 파고계가 갖는 오차와 PPP 알고리즘의 오차 10cm를 고려하면 유사한 계산 결과를 얻었다고 할 수 있다[17].

V. 결 론

본 논문에서는 해양파를 계측하기 위한 파고 계측 시스템을 설계하였다. 기존 RTK, DGPS 기반의 시스템은 매우 정확하지만 기준국에 인접한 해역에만 설치 가능한 단점이 있다.

그리고 가속도계 기반 시스템은 센서의 특성상 초기화 내지 GPS와의 결합을 통한 오차 보정 및 부표 위치 획득이 필요하였다. 하지만 제안한 시스템은 PPP 기반의 항법 알고리즘을 사용하여 GPS 수신기만으로도 간단하게 장치를 설계하였다. 아울러 기준국과의 거리에 대한 제약 없이 연속적으로 정확하게 위치를 추정하였으며, 파고 계측 결과도 기존의 시스템과 거의 유사한 성능을 나타냄을 확인하였다.

기존의 파고 계측 시스템들처럼 INMARSAT과 같은 통신 방법을 적용한다면, 먼 바다에서도 해수면의 수위 변화 및 해양파를 정확하게 계측할 수 있을 것이다. 아울러 너울이나 지진해일의 계측을 위해서는 너울 또는 지진해일 외의 해양파 성분을 검출하여 제거하는 필터가 필요하다. 따라서 향후 연구에서는 이러한 기능들을 구현하고 성능을 확인하여야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 “육상교통 환경에서 위성항법 활용을 위한 항법신호 이상 감시기법 연구”의 연구비 지원(06 교통핵심 A03)에 의해 수행된 결과이며, 연구비 지원에 감사드립니다.

REFERENCES

- [1] D. B. Cox, “Integration of GPS with Inertial Navigation Systems,” *NAVIGATION: Journal of the Institute of Navigation*, vol. 25, no. 2, pp. 236-245, 1978.
- [2] B. W. Parkinson and J. J. Spilker, “Global Positioning System: Theory and Applications,” *progress in Astronautics and Aeronautics*, Vol.164., Washington DC., 1995.
- [3] OCEANENG, Marine Weater Observation System OE-700 [Internet]. Available: <http://www.oeng.co.kr>
- [4] T. Nagai, K. Shimizu, M. Sasaki, and A. Murakami, “Improvement of the Japanese NOWPHAS Network by Introducing Advanced GPS Buoys,” *The 2008 International Offshore and Polar Engineering Conference*, Vancouver, BC, Canada, 2008.
- [5] P. J. G. Teunissen and A. Kleusberg, *GPS for Geodesy*, 2nd ed. New York, Springer-verlag, 1997.
- [6] J. F. Zumberge, “Automated GPS Data Analysis Service,” *GPS Solutions*, vol.2, no.3, pp.76-78, 1998.
- [7] J. Kouba, and P. Heroux, “GPS Precise Point Positioning Using IGS Orbit Products”, *GPS Solutions*, vol. 5, no.2, 2000.
- [8] IGS FTP Service, International GNSS Service [Internet]. Available: <ftp://igs.cb.jpl.nasa.gov/pub/>
- [9] DLR-RETICLE service, German Space Operations Center of DLR [Internet]. Available: <ftp://ftp.gsoc.dlr.de/>
- [10] A. Gelb, *Applied optimal estimation*, MIT Press, Cambridge, 1974.
- [11] J. Saastamoinen, “Atmospheric correction for the troposphere and stratosphere in radio ranging of satellites,” *Geophysical Monograph*, vol. 15, pp. 247-251, Washington, D.C., Agu. 1972.
- [12] A. E. Niell, “Global mapping functions for the atmosphere delay at radio wavelengths”, *Journal of Geophysical Research*, vol. 101, no. B2, pp. 3227-3246, 1996.
- [13] J. Kouba (2009), "A Guided to Using International GNSS Service Product," *International GNSS Service*. [Online] Available: <http://igs.cb.jpl.nasa.gov/components/usage.html>
- [14] G. Petit, and B. Luzum, *IERS conventions (2010)*, IERS Conventions Centre, Technical note 36. 2009.
- [15] K. Matsumoto, T. Takanezawa, and M. Ooe, “Ocean Tide Models Developed by Assimilating TOPEX/POSEIDON Altimeter Data into Hydrodynamical Model: A Global Model and a Regional Model Around Japan,” *Journal of Oceanography*, vol. 56, pp. 567-581, 2000.
- [16] J. T. Wu, S. C. Wu, G. A. Hajj, W. I. Bertiger, and S. M. Lichten, “Effects of antenna orientation on GPS carrier phase,” *Manuscripta Geodaetica*, vol. 18, no. 2, pp. 91-98, 1993.
- [17] Se Phil Song, Deuk Jae Cho, Sul Gee Park, Younghoon Han, Chul-eui Hong, Sang Hyun Park, “Design of PPP Based Ocean Wave Gauge for Tsunami Detection System,” *KGS 2013*, Jeju, Nov. 2013.



송세필(Se Phil Song)

2010년 충남대학교 전기정보통신공학부 공학사
 2012년 충남대학교 전자공학과 공학석사
 2012년 ~ 2015년 선박해양플랜트연구소 연구원
 ※관심분야 : Embedded System, Navigation



조득재(Deuk Jae Cho)

1999년 충남대학교 전자공학과 공학사
2001년 충남대학교 전자공학과 공학석사
2005년 충남대학교 전자공학과 공학박사
2005년 ~ 현재 선박해양플랜트연구소 선임연구원
※관심분야: 위성항법, 정밀측위, 무결성 감시



박슬기(Sul Gee Park)

2008년 충남대학교 전자전파정보통신전공 공학사
2010년 충남대학교 전자공학과 공학석사
2010년 ~ 현재 선박해양플랜트연구소 연구원
※관심분야: 위성항법, 미약신호, 정밀측위