

전파환경에 의한 DGPS 충주 기준국의 성능저하 분석

박슬기^{1*} · 한영훈¹ · 박상현¹ · 최용권² · 이상정³

Analysis on the Performance Degradations of Chung-Ju DGPS Reference Station by Radio Environment

SulGee Park^{1*} · YoungHoon Han¹ · SangHyun Park¹ · YongKwon Choi² · Sang Jeong Lee³

^{1*}Marine Safety Research Division, KRISO, Daejeon 34103, Korea

²National Maritime PNT Office, Daejeon 34150, Korea

³School of Electrical Engineering and Computer Engineering, Chungnam National University, 34134, Korea

요 약

GPS 항법의 정확도 향상과 무결성 정보의 필요성으로, 국내에 DGPS를 구축하였다. 최근에는 측위정보를 해양에서 뿐만 아니라 육상에서도 활용할 수 있도록 제공하고 있다. 그러나 2015년도 충주 기준국의 성능저하 문제점을 파악하기 위하여 영도기준국과 함께 가시성과 전파환경을 조사하였다. 영도기준국의 경우, 가시성과 전파환경이 기준국 기준에 만족하였다. 그러나 충주기준국의 경우, 가시성은 막음각 7도 이하로 장애물이 존재하여 만족하지만 전파환경에서 신호잡음은 최대 -50dBm으로 기준치인 -70dBm을 넘어가는 것을 확인하였다. 이러한 전파환경으로 인한 측정치오차를 분석하기 위하여 신호잡음등의 오차를 포함하지 않는 시차분 측정치 분석방법을 제안하였다. 2015년 12월 측정치 분석결과 충주 기준국의 경우 영도 기준국 보다 3배의 오차를 확인하였다. 이 뿐만 아니라 기준국 장비문제에 의한 측정치 성능저하를 확인하였다. 추후에는 17개소의 기준국의 측정치를 분석하여 성능검증을 진행할 예정이다.

ABSTRACT

DGPS Reference station is established in Korea for improvement of GPS navigation accuracy and needs of integrity. Recently, DGPS stations provide user positioning information on land as well as ocean. However, this paper investigated visibility and interference environment for performance degradation of Chung-ju DGPS reference station. In case of Young-do reference station, visibility and interference environment were satisfied with reference standard. In case of Chung-ju reference station, visibility was satisfied with 7 degree elevation angle. However, interference environment was not satisfied with reference standard of -50dBm. This paper proposed time differential measurement analysis method excluding error of signal noise for analyzing measurement error. Chung-ju reference station measurement analysis result is three times the error than on Young-do in Dec, 2015. In addition, this paper has confirmed measurement performance degradations because of reference station equipment problem. Future study will be carried out performance analysis of 17 DGPS reference station.

키워드 : DGPS 기준국 성능, 가시성 분석, 전파환경 분석, 다중경로 오차

Key word : DGPS reference station performance, Visibility analysis, Interference analysis, Multipath error

Received 21 July 2016, Revised 22 July 2016, Accepted 04 August 2016

* Corresponding Author Sul Gee Park(E-mail:sgpark@kriso.re.kr, Tel:+82-42-866-3685)

Marine Safety Research Division, KRISO, Daejeon 34103, Korea

Open Access <http://dx.doi.org/10.6109/jkice.2016.20.9.1822>

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. 서론

우리나라는 항만과 연근해에서 선박 항해를 위해 이용되고 있는 GPS(Global Positioning System) 항법의 정확도 향상과 무결성 정보의 필요성으로, 국제항로표지협회(IALA) 권고사항에 따라 해양기준국 11개소, 내륙기준국 6개소와 해양감시국 10개소, 내륙감시국 5개소로 구성된 NDGPS(Nationwide Differential GPS)를 구축·운영하고 있다. 최근에는 측위정보를 해양에서 뿐만 아니라 육상에서도 사용자가 쉽게 이용할 수 있도록 인터넷, DMB 방송, 스마트 폰을 이용하여 측량, 산림관리, 레저 등 다양한 분야에서 활용할 수 있도록 제공하고 있다. 따라서 해양기준국 뿐만 아니라 내륙기준국의 보정정보 성능 역시 매우 중요하게 인식되고 있다[1].

국립측위정보원에서 매년 발간하는 운영보고서에 의하면, DGPS 기준국 중에서 충주 기준국의 L2신호 다중경로 오차가 다른 해양기준국과 2배 이상 큰 오차를 가지고 있다[2]. 그림 1은 2015년 동안의 해양기준국과 충주기준국(CHJ)의 다중경로 오차 평균이다. 67%의

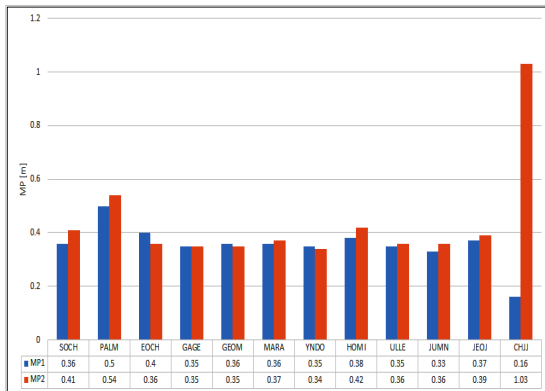


Fig. 1 Multipath error average of NDGPS reference station in 2015[2]

Table. 1 Multipath error monthly average in 2015

		Avg.	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
MP1	YNDO	0.35	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.38	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
	CHJJ	0.16	0.17	0.18	0.19	0.2	0.16	0.15	0.15	0.15	0.15	0.16	0.15	0.16
MP2	YNDO	0.34	0.34	0.34	0.34	0.33	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.35
	CHJJ	1.03	1.08	1.09	1.09	1.07	1.00	0.98	0.98	1.01	1.00	1.03	1.05	1.02



Fig. 2 Visibility experimental setup

IGS 관측소가 L2 신호 데이터 품질이 75cm 이하인 점을 감안하면, 충주 기준국의 다중경로 오차가 L2 신호의 데이터 품질을 떨어뜨리는 매우 큰 수치임을 알 수 있다. 특히 충주 기준국과 L2 신호의 데이터 품질 평균이 안정적인 영도기준국(YNDO)의 2015년 월별 평균을 비교하면, 표 1과 같으며, 약 70cm 수준의 차이가 항상 존재하고 있음을 확인하였다.

이와 같이 충주 기준국의 성능저하 문제점을 파악하기 위하여 본 논문은 2절에서 물리적 측면의 GPS 신호 방해를 확인하기 위하여 가시성을 조사하고 분석하였으며, 3절에서는 신호에 영향을 주는 전파간섭을 확인하기 위하여 전파환경을 조사하였다. 그리고 4절에서는 전파간섭 조사와 함께 신호품질을 확인할 수 있는 방법을 제안하고, 제안한 방법을 활용한 분석결과를 제시하였다. 마지막으로 5절에서는 본 논문의 결과를 고찰하고 향후 연구과제에 대하여 설명하였다.

II. 가시성 조사 및 분석

GPS 신호 데이터 품질의 영향을 주는 요인 중에서 물리적으로 발생하는 다중경로 오차를 파악하기 위하여 기준국 사이트의 가시성 분석을 수행하였다. 가시성을 분석하기 위한 실험 구성은 표 2와 같으며, 실험은 기준



Fig. 3 Reference station position in Yongdo

국 안테나로부터 반경 10m 이내에서 그림 2와 같이 삼각대를 이용하여 양각 0°와 5°에 맞추어 액션캠을 이용하여 360° 방위각의 가시성을 확인하였다. 이 때 양각 5° 이상의 장애물은 스냅 샷을 이용하여 확인하였다.

Table. 2 Reference station visibility analysis experiment specification

	Experiment	Specification
Time-Lapse	SK-EBH01 SevenOak Turning Head	Turing velocity: 24°/min
Application	Theodolite	Altitude, Horizon angle, Elevation angle, Azimuth
tripod	Velbon	Maximum height 1.7m



Fig. 4 Visibility result in Yongdo reference station

2.1. 영도 기준국

영도 기준국에서의 가시성 조사는 2016년 3월 14일에 수행하였다. GPS 안테나는 그림 3과 같이 RS1 (Reference Station)과 RS2 두 개가 각각 다른 위치에 설치되어 있으며, 보정정보 생성 기준인 RS1 안테나에서 가시성을 조사 및 분석하였다.

영도 기준국의 RS1 안테나와 동일한 고도 기준으로, 대다수의 산과 장애물이 양각 5°이하에 존재하며, 그림 4와 같이 북서방향으로 봉래산이 약 5.2°의 양각으로 존재하는 것을 확인하였다. 그러나 현재 DGPS 보정정보 생성 시에는 막음각(Elevation mask angle) 7~10°로 설정하여, 봉래산으로 인한 신호 차단이 일어나는 문제는 발생하지 않는다. 그러므로 영도 기준국에서 물리적으로 신호 차단이나 다중경로 오차가 발생하지 않는 것을 확인하였다.

2.2. 충주 기준국

충주 기준국은 그림 5와 같이 RS1과 RS2 안테나가 설치되어 있으며, 접근이 용이한 RS2 안테나에서 가시성을 조사 및 분석하였다.

충주 기준국의 경우, 대다수 장애물이 양각 5° 이하에 존재하며, 그림 6과 같이 남서쪽 방향으로 가섭산이 약 5.8°의 양각으로 존재하는 것을 확인하였다.



Fig. 5 Reference station position in Chungju



Fig. 6 Visibility result in Chungju reference station

그러나 영도 기준국과 마찬가지로 막음각 설정으로 신호차단이 일어나는 문제는 발생하지 않는다. 그러나 그림 6에서 건물 옥상 지붕이 장애물로 약 7.5° 가량의 양각으로 존재하지만, 주 보정정보를 생성하고 방송하는 RS1 안테나에서는 양각이 7°이하가 되어 문제되지 않는다. 그러므로 충주 기준국에서 물리적으로 신호 차단이나 다중경로 오차가 발생하지 않는 것을 확인하였다.

III. 전파환경 조사

위성으로부터 수신기까지 도달하는 GPS 신호의 세기는 점차 약해지면서 주변 전파신호에 의해 잡음을 포함한다. 위성신호에 잡음이 많이 포함될수록 위성신호가 손실되며, 위치 오차에도 큰 영향을 줄 수 있다.

충주 기준국의 전파간섭을 확인하기 위하여 GPS 신호 대역에서의 전파환경을 조사하였고, 표 3과 그림 7과 같이 실험 장비를 이용하여 표 4의 절차를 따라 전파간섭을 조사하였다[3].

Table. 3 Reference station interference analysis experiment specification

	Specification
Spectrum analyzer	N9020A MXA Signal Analyzer
Antennal	Passive GPS L1, L2 antenna
Cable	Total signal loss < 10dB

Table. 4 Reference station interference analysis experiment procedure

	Procedure
1	L1 signal band(1555MHz ~ 1596MHz, 100KHz BW, 5 min long MAX HOLD acquisition
2	L2 signal band(1217MHz ~ 1238MHz, 100KHz BW, 5min long MAX HOLD
3	Repeat the 2 previous steps for 24 hour long period

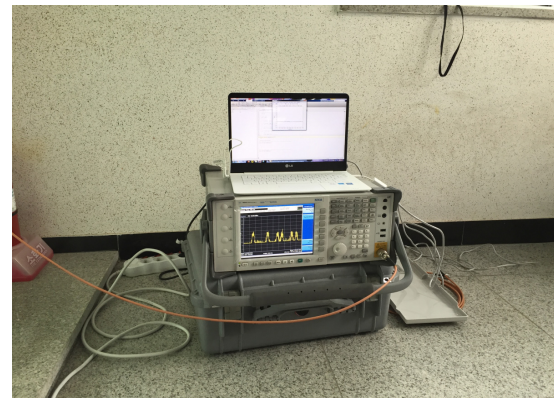


Fig. 7 Interference experimental setup

3.1. 영도 기준국

영도 기준국의 L1, L2 신호의 전파환경 조사 결과는 그림 8과 그림 9와 같다. L1 주파수 대역에서의 전파간섭 측정결과 최대 -90dBm이며, L2 주파수대역에서는 최대 -85dBm 크기를 가지는 결과를 보였다. 30dB의 전파간섭을 허용하는 전파간섭 기준으로 영도 기준국은 L1, L2 신호가 노이즈 레벨 -100dBm 기준으로 30dB인 -70dBm 이하로 만족한다.

3.2. 충주 기준국

충주 기준국의 전파간섭은 영도 기준국과 동일하게 진행하였으며, 결과는 그림 10과 그림 11과 같다. L1 주파수 대역에서는 영도 기준국과 마찬가지로 최대 -90dBm이다. 그러나 L2 주파수 대역에서는 최대 -50dBm 이다. 이는 기준국의 허용범위인 -70dBm을 넘는 것으로 L2 주파수 대역에서 전파간섭이 일어나고 있음을 확인하였다. L2 주파수 대역에서의 전파간섭은 측정치에 영향을 주어 오차성분이 커지게 되어 성능저하를 발생시킨다.

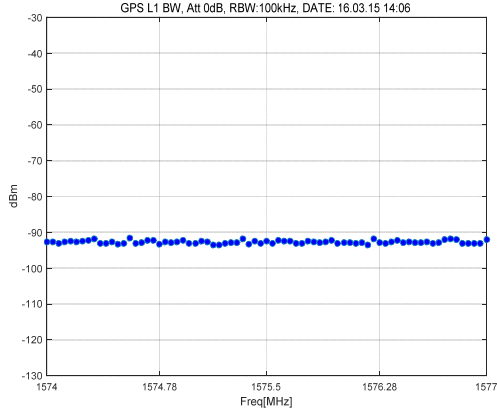


Fig. 8 Interference results of L1 frequency in YNDO

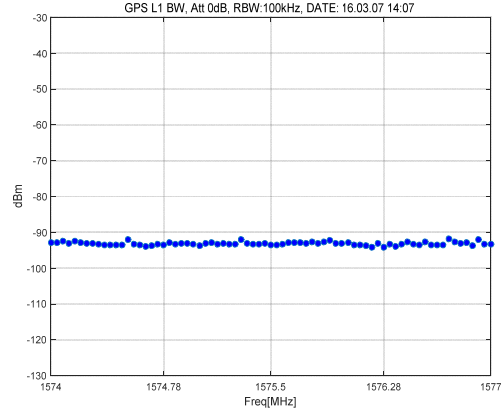


Fig. 10 Interference results of L1 frequency in CCHJ

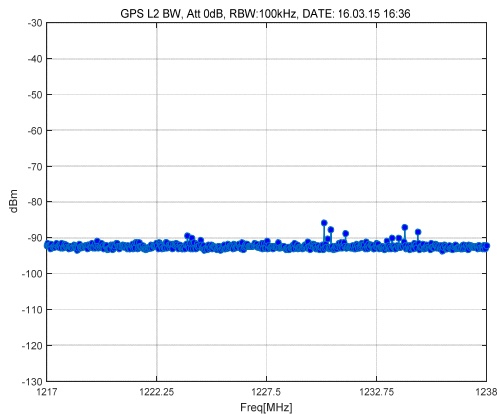


Fig. 9 Interference results of L2 frequency in YNDO

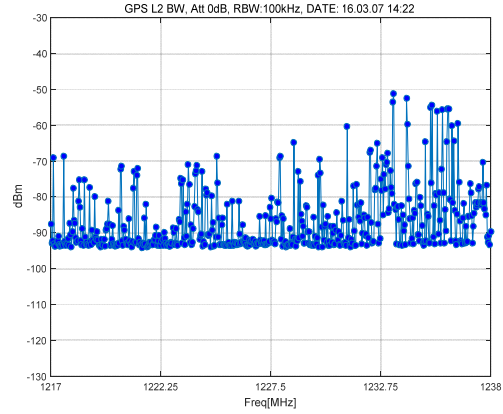


Fig. 11 Interference results of L2 frequency in CCHJ

IV. 측정잡음 분석

영도와 충주 기준국의 가시성 조사 및 분석 결과 막음각 7~10°의 경우 물리적인 신호 차단은 없었다. 그러나 측정치 품질에서 전파 간섭의 영향이 존재한다. 표 1의 DGPS 신호 품질은 UNAVCO (University NAVstar Consortium)에서 개발한 TEQC (Translation, Editing, and Quality Check) 프로그램을 이용하여, 관측 데이터 수신율, 의사거리 다중경로 오차(L1, L2), 사이클슬립 지수를 산출하여 확인한 것이다. TEQC 품질평가에서의 의사거리 다중경로 오차는 코드측정치에만 존재한다는 가정을 이용하여 식 (1)과 같이 코드와 반송파 측정치의 차를 이용하고 이온층 지연 오차는 식 (2)와 (3)

과 같이 L1과 L2의 반송파 측정치의 조합으로 제거한다[4, 5].

$$MP_{L1} = P_{L1} - \phi_{L1} - 2I_{L1} \quad (1)$$

$$MP_{L1} \cong P_{L1} - \frac{9529}{2329}\phi_{L1} + \frac{7200}{2329}\phi_{L2} + K1 \quad (2)$$

$$MP_{L2} \cong P_{L2} - \frac{11858}{2329}\phi_{L1} + \frac{9529}{2329}\phi_{L2} + K2 \quad (3)$$

여기서 P 는 코드 측정치, ϕ 는 반송파 측정치, I 는 이온층 지연오차, $L1, L2$ 는 각각 GPS 주파수를 나타내며 K 는 $L1, L2$ 조합의 미지정수를 나타낸다. 그러나 K 의 미지정수 결정시, 다중경로 오차가 아닌 신호잡음등의

기타 오차가 포함되어 함께 제거될 수 있다.

본 논문은 코드측정치의 잡음 크기만을 계산함으로써 기존 신호분석 방법의 단점을 해결하는 방법으로 식 (4)와 같이 주파수 간 차분을 이용하였다. 그러나 식 (4)는 이온층 지연오차가 존재하므로 식 (5)와 같이 시간 차분하여 L1과 L2 주파수의 측정잡음 성분만 추출하였다.

$$P_{L2-L1} = P_{L2} - P_{L1} = \left(\frac{f_1^2}{f_2^2} - \frac{f_1^2}{f_1^2} \right) I + w_{P_{L1}} + w_{P_{L2}} \quad (4)$$

$$P_{L2-L1}(k+1) - P_{L2-L1}(k) = 2(w_{P1} + w_{P2}) \quad (5)$$

여기서 f 는 신호 주파수, I 는 이온층 지연오차, w 는 측정잡음을 나타낸다.

식 (5)와 같이 주파수간 시차분을 이용하여 2015년 12월 31일의 영도기준국과 충주기준국의 측정치 잡음을 분석하였고 결과는 그림 12와 같이 충주 기준국의 오차가 영도 기준국에 비해 큰 값을 나타내고 있음을 확인하였다.

그림 13은 12월 한 달간 영도기준국과 충주기준국의 코드 측정치 잡음 분석 결과로 영도기준국 0.5022m, 충주기준국 1.5377m로 충주기준국의 오차가 3배 큰 것을 확인하였다. 이는 L2 대역의 전파간섭 오차와 기준국 장비의 문제로 판단된다.

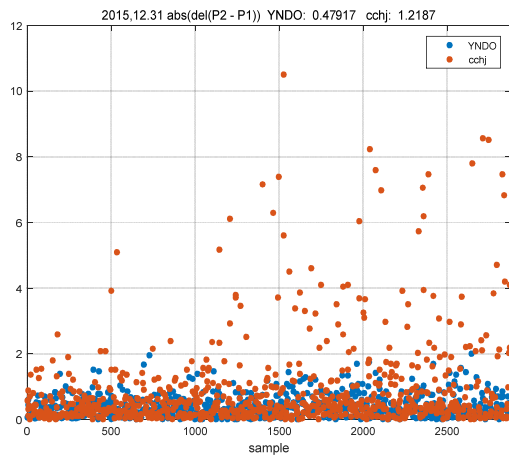


Fig. 12 Measurement noise results in CCHJ and YNDO

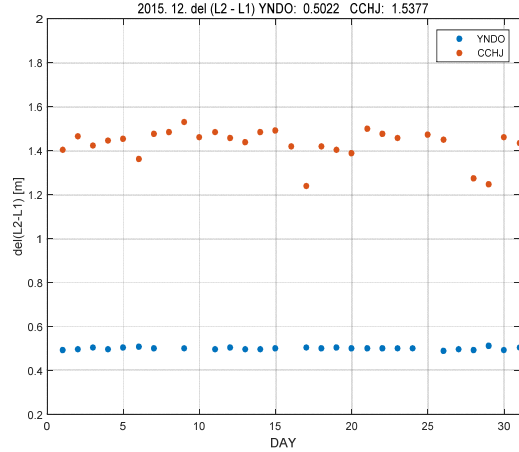


Fig. 13 Measurement noise results in CCHJ and YNDO

Table. 5 Reference station's equipment in CCHJ and YNDO

	Young Do	Chung ju
Receiver	Trimble NetR9	Trimble 4000SSE
Antenna	ChokeRing	microcentered Geodetic +GP

표 5와 같이 영도와 충주 기준국의 수신기와 안테나 장비의 사양은 서로 다르며, 그림 1에서 MP2 오차가 크게 나타나는 무주, 영주, 평창, 성주의 수신기 사양도 충주와 동일하였다.

그러므로 측정잡음에 전파환경 뿐만아니라 수신기와 안테나 장비에 따른 기준국의 측정잡음 성능 저하를 확인하였다.

V. 결 론

본 논문에서는 GPS항법의 정확도 향상과 무결성 정보의 필요성에 따라 국내에서 사용하는 기준국 중에서 충주 기준국의 성능저하 문제점을 파악하기 위하여 물리적으로 측정치의 직접적인 영향을 주는 가시성과 신호 대역에서 신호에 영향을 주는 전파환경을 조사하였다. 충주 기준국의 성능을 비교하기 위하여 영도 기준국의 가시성과 전파환경을 비교하였고, 그 결과 가시성

은 막음각 7도 이하로 장애물이 존재하여 신호에 영향을 주지 않으며, 전파환경의 경우 -70dBm 이하로 기준치에 충분히 만족하였다.

그러나 충주 기준국의 경우, 가시성은 기준에 만족하였지만 전파간섭의 경우 L2 주파수 대역에서 허용 기준치를 초과하는 최대 -50dBm의 전파간섭이 있음을 확인하였다.

이러한 전파환경으로 인한 측정치 오차를 분석하기 위하여 본 논문에서는 신호잡음등의 오차를 포함하지 않는 시차분 측정치 분석방법을 제안하였고, 충주와 영도 기준국의 측정치를 분석하였다. 2015년 12월 한 달간의 측정치 분석결과 충주 기준국의 경우 영도 기준국보다 오차가 3배 큰 것을 확인하였다. 이 뿐만 아니라 기준국의 장비의 문제로 인한 측정치 성능 저하를 확인하였다.

그러므로 충주 기준국의 성능 저하를 줄이기 위하여 우선적으로 목표성능에 맞는 수신기와 안테나 선정이 필요하다. 이를 바탕으로, 위성항법정보시스템을 구축할 경우에는 목표성능에 맞는 수신기와 안테나 선정이 필요하며, 데이터 품질 확인은 의사거리 다중경로 오차뿐만 아니라 제안한 측정치 잡음을 고려해야할 것이다.

추후에는 해양기준국과 내륙기준국, 총 17개소의 기준국의 신호 측정치 분석을 통하여 현재 기준국의 신호 품질을 확인할 것이다.

ACKNOWLEDGMENTS

This research was conducted as part of the project titled "Development of Multi-purpose Reference Station Technologies for Augmentation System(PMS3280)", funded by the Ministry of Oceans and Fisheries, Korea.

REFERENCES

- [1] National Maritime PNT Office. DGNSS Introduction [Internet]. Available: <http://www.nmpnt.go.kr>
- [2] National Maritime PNT Office, "2015 NDGPS annual operation report", National Maritime PNT office annual technical report, 2015.
- [3] J. Giraud, "Definition of RF environment survey procedure," Alcatel Alenia Space, Technical Document GAL-TN-AAS-F-V2M-I-0005, 2005.
- [4] L.H. Estey and C. M. Meertens, "TEQC: The Multi-Purpose Toolkit for GPS/GLONASS Data," *GPS solutions*, vol 3, no 1, pp. 42-49, July, 1999.
- [5] S. Hilla, "A new plotting program for Window-based TEQC users," *GPS solutions*, vol 6, no 1, pp. 196-200, Nov, 2002.



박슬기(Sul Gee Park)

2008년 충남대학교 전자정보통신공학부 공학사
2010년 충남대학교 전자공학과 공학석사
2010~ 현재 한국해양과학기술원 부설 선박해양플랜트연구소 기술원
※관심분야 : 위성항법, 미약신호, 정밀측위 알고리즘



한영훈(Younghoon Han)

2010년 : 충남대학교 전기정보통신공학부 공학사
2012년 : 충남대학교 전자공학과 공학석사
2012년~현재 : 한국해양과학기술원 부설 선박해양플랜트연구소 연구원
※관심분야 : 정밀측위, 신호이상감시, 보강항법시스템



박상현(Sang Hyun PARK)

1994년 2월 : 충남대학교 전자공학과 (공학사)
1996년 2월 : 충남대학교 전자공학과 (공학석사)
2002년 8월 : 충남대학교 전자공학과 (공학박사)
2005년 12월 : 현대자동차(주) 자동차전자개발센터
2005년 12월 ~ 현재 : 한국해양과학기술원 부설 선박해양플랜트연구소 책임연구원
※관심분야 : 해양 측위 · 항법 · 시각동기, 전파항법



최용권(Yong Kwon Choi)

Yong Kwon Choi is attached to Engineering Department in BNational Maritiome PNT Office He is a PH. D, candidate in the Department of Electronics Engineering at Chungnam National University in Korea. His research interests are GNSS and DGNSS.



이상정(Sang Jeong Lee)

1979년 2월 서울대학교 제어 계측공학과 졸업
1981년 2월 서울대학교 제어 계측공학과 석사
1987년 2월 서울대학교 제어 계측공학과 박사
1987년 3월 ~ 현재 충남대학교 전기정보통신공학부 교수
※관심분야 : 강인제어, GNSS, 항법 및 산업제어