

## GPS와 QZSS 통합위성항법 성능 분석

고광섭<sup>1\*</sup> · 최창묵<sup>2</sup>

### Performance Analysis of Integrated GNSS with GPS and QZSS

Kwang-Soob Ko<sup>1\*</sup> · Chang-Mook Choi<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup>Division of Maritime Transportation System, Mokpo Maritime University, Mokpo 58628, Korea

<sup>2</sup>Department of Navigation, Naval Academy, Changwon 51704, Korea

#### 요 약

QZSS(Quasi-Zenith Satellite System)는 일본의 위성항법시스템으로 도심지역에서 GPS 시스템의 가시성 향상을 위해 계획되었다. 첫 번째 위성(Michibiki)이 2010년 발사되었으며 이후 정상적으로 항법신호를 방송하고 있다. 따라서 본 논문은 GPS와 QZSS를 이용한 통합위성항법시스템의 성능을 분석하는데 목적이 있다. 특히 한반도 주변에서의 통합위성항법 시스템 사용 관점에서 연구가 진행되었으며, QZSS 시스템의 특성 분석, 실험 장비를 이용한 실측 및 통계적 분석 등을 통해 체계적인 연구를 하여 GPS와 QZSS 위성항법 시스템이 가시성측면에서 장애를 받는 경우 뿐 아니라 평상의 위치 측정에도 더욱 신뢰성이 높음을 확인하였다. 또한 한반도 영역에서 다양한 항법파라미터 향상에 GPS와 QZSS 통합위성항법시스템이 매우 유용할 것으로 전망된다.

#### ABSTRACT

The Quasi-Zenith Satellite System(QZSS) is the Japanese satellite navigation system, which designs to increase the GPS system's visibility in the urban areas. The first satellite(Michibiki) was launched in 2010 and started to broadcast navigation signals. Therefore, the purpose of the research is to analyze the performance of GPS and QZSS based on the advantage of the integrated GNSS. Especially, the study has been processed in terms of improving satellite navigation parameters around Korean Peninsula. To do this, there have been the comprehensive analysis of the QZSS characteristics, the experimental test, and its statistical analysis for realizing advantage of GPS and QZSS. Through these systemic steps, it was recognized that the integrated GPS and QZSS has more reliable than GPS in case of not only limited visibility but also ordinary positioning. Additionally, the integrated GPS and QZSS would be very useful to improve the various navigation parameters around the peninsula.

**키워드** : 통합위성항법시스템, 통계적 분석, 항법파라미터, GPS, QZSS

**Key word** : Integrated GNSS, Experimental test, Navigation parameter, GPS, QZSS

Received 25 February 2016, Revised 08 March 2016, Accepted 24 March 2016

\* Corresponding Author Kwang-Soob Ko(E-mail:kwangsoob@hanmail.net, Tel:+82-61-240-7154)

Division of Maritime Transportation System, Mokpo Maritime University, Mokpo 58628, Korea

Open Access <http://dx.doi.org/10.6109/jkice.2016.20.5.1031>

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

전 세계적 위성항법시스템인 GNSS(Global Navigation Satellite System)는 항법위성으로부터 발사되는 항법정보로부터 독자적으로 위치정보를 산출하는 방식으로 미국의 GPS, 러시아의 GLONASS, 중국의 COMPASS, 개발 중에 있는 EU의 GALILEO 등의 독립 위성항법시스템이 있으며, 독립위성항법시스템으로부터 수신된 항법정보와 별도의 지상국 또는 위성국에서 계산된 항법위성의 의사거리 보정치를 이용하여 위치 정밀도를 개선하는 위성항법보정시스템인 DGNSS(Differential GNSS), 지역위성항법시스템인 QZSS(Quasi-Zenith Satellite System)와 같은 중속위성항법시스템이 있다[1-6].

현재 정상적으로 운용 중인 독립위성항법시스템은 GPS, GLONASS 및 COMPASS가 있어 항상 항법위성 70여개에서 항법정보 신호를 발사하고 있다. 또한 위성을 이용한 DGNSS 계열로 SBAS(Space Based Augmentation System) 위성을 포함하면 이보다도 많은 항법위성이 지구 상공에 배치되어 항법서비스를 하고 있다.

이와 같은 최근의 전세계 위성항법의 발전 가운데 눈에 띄는 변화는 무엇보다도 중국의 독자적인 위성항법시스템 COMPASS의 운용과 일본의 지역위성항법시스템 QZSS의 서비스 시작이라 할 수 있다.

COMPASS의 운용으로 인해 전 세계 어느 곳에서나 약 20여개의 항법위성을 동시에 사용할 수 있게 되었다. 또 QZSS의 경우 2010년 9월 최초의 QZSS 위성 Michibiki 1호가 발사되어 2011년부터 정상적으로 운용되고 있고, 수년 내로 최종 7개의 위성이 운용될 것으로 알려져 있다[7, 8]. QZSS의 서비스 범위는 일본을 중심으로 아시아-태평양 지역까지 이른다. 따라서 기존의 GPS 사용자는 GPS와 QZSS 위성 상호간에 상호운용성과 호환성이 가능하여 GPS와 QZSS 통합위성항법 사용이 가능하게 되었다.

우리나라는 아직 독자적으로 항법위성을 이용한 GNSS 시스템이 없고, SBAS 위성이나 지역위성항법위성이 없는 입장에서 특별한 제한 없이 주변국 위성항법시스템을 사용할 수 있음을 주목할 필요가 있다.

본 논문은 최근의 주변 강대국 주도로 개발된 범용의 GNSS 항법정보 이용 극대화를 위한 선행연구로서 정

상 작동 중인 QZSS 위성과 기존의 GPS 위성을 통합 사용함으로써 한반도에서의 GPS와 QZSS 통합사용에 대한 성능분석에 중점을 두었다.

따라서 QZSS 시스템 구성과 신호특성에 대하여 분석하고 실제 수신기를 이용하여 GPS와 QZSS 데이터를 수신하여 위성항법시스템 평가 요소인 가시성, 정확성, 신뢰도 등에 중점을 두고 통계적 분석을 통해 결과를 도출하였다

## II. QZSS 시스템 구성 및 신호특성

### 2.1. 시스템 구성과 운용 특성

QZSS는 일본의 국가우주발전프로그램의 일환으로 추진되는 지역위성항법시스템으로써 일본정부에 의해 2002년 시작되었다. 초기의 계획은 Mitsubishi Electric Corp., Hitachi Ltd. 및 GNSS Technologies Inc. 등이 포함된 ASBC(Advanced Space Business Corporation)에 의해 추진되었으나, 2007년에 창설된 새로운 조직인 JAXA(Japan Aerospace Exploration Agency)로 그 업무가 이관되어 추진되고 있다[9, 10].

QZSS는 그림 1과 같이 위성부문, 지상국부문, 사용자부문에 구성된다.

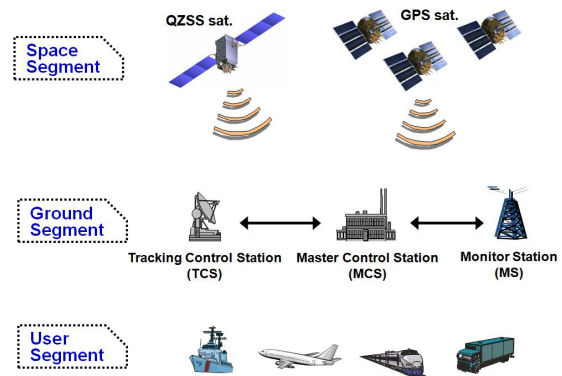


Fig. 1 Overview of QZSS System Elements

QZSS의 우주부문을 구성하고 있는 준천정위성(QZS: Quasi-Zenith Satellite)은 준천정궤도(QZO: Quasi-Zenith Orbit)와 정지궤도(GEO: Geostationary Orbit)에 배치된 위성 모두를 포함하고 있다. 기본적으로 QZSS

위성은 3개의 준천정위성과 1개의 정지궤도 위성 총 4개의 위성으로 구성될 예정이며, 이후 3개의 정지궤도 위성이 추가되어 총 7개의 위성으로 운용 예정이다.

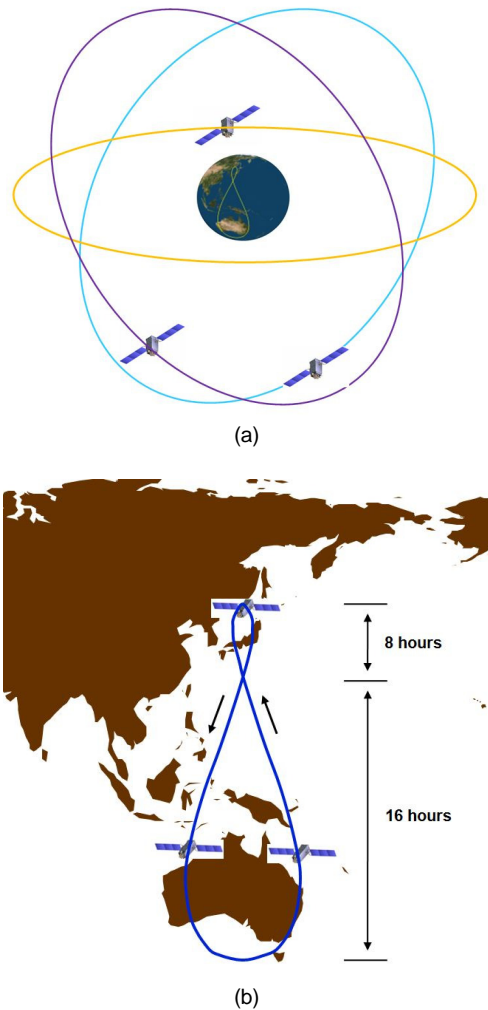


Fig. 2 (a) Orbits & (b) Ground Track of QZSS

준천정궤도의 3개 위성은 그림 2 (a)와 같이 일정주기를 갖는 초고도의 타원궤도로써 장반경 42,164 km, 궤도경사각 39~47도, 이심률 0.06~0.09이며 최소한 3개의 위성 중 1개는 일본열도 부근 천정에서 항상 서비스를 할 수 있도록 배치되어 있다[8].

QZSS는 원지점에서는 위성의 궤도속도가 느려지게 되며, 일본 열도 상공에서의 위성 체공시간이 길어서

동경 인근 및 일본의 주요 도심에서 한 개의 위성이 고각 70도에서 약 8시간, 50도에서 12시간, 20도에서 16시간 준천정위성을 관측할 수 있도록 설계되어 있다. 따라서 그림 2 (b)에서 보는 바와 같이 3개의 위성이 정상적으로 운용될 경우 최소 한 개의 위성이 고각 70도 이상에서 24시간 관측 가능하게 되어 하루 24시간 관측이 가능함을 의미한다[5, 11].

지상국부문은 주제어국(MCS: Master Control Station), 추적제어국(TCS: Tracking Control Station), 감시국(MS: Monitor Station) 및 레이저거리 측정국(SLR site: Satellite Laser Ranging site)으로 구성되었다. 감시국망은 동아시아와 동아시아권 해양을 영역권으로 하고 있으며, 일본 내의 감시국은 Okinawa, Sarobetsu, Koganei, Ogasawara, 해외 감시국은 Bangalore (India), Guam, Canberra (Australia), Bangkok (Thailand) and Hawaii (USA) 등에 위치하고 있다. 또 주제어국에서는 오키나와에 있는 추적제어국을 통해 항법메시지를 QZSS 위성으로 송신한다.

QZSS의 서비스 운용특성 중 독립적인 전세계 위성항법시스템 GNSS와 근본적으로 다른 점 중 하나는 독자적으로 위치결정을 할 수 없다는 점이다. QZSS 위성을 이용하면 GDOP(Geometric Dilution Of Precision)가 향상되어 항법해의 정확도 및 가시성을 향상시킬 수는 있으나, 신호서비스 범위가 아시아 태평양지역으로 서비스가 제한되고, 미래에 일본의 정지궤도 위성 등과 연계하면 지역항법시스템으로 독자적인 항법시스템으로 운용할 수 있을 것으로 예상된다. 현재로서는 독자적으로 3차원 위치정보를 얻을 수 없는 GPS와 상호보완적인 위성항법시스템이다.

## 2.2. QZSS 시스템의 신호와 서비스 특성 분석

QZSS 시스템의 신호는 표 1과 같이 L1-C/A, L1C, L2C, L5, L1-SAIF, LEX로 구분[12]할 수 있는데 대부분 기존의 GPS 신호와의 상호운용성을 목적으로 하고 있다. 반면에 L1-SAIF의 경우는 단일 GPS 측위 시스템에 대한 보강체계인 GPS-SBAS와의 상호운용성을 고려하고, LEX의 경우는 cm 수준의 초정밀 서비스제공을 목적으로 하고 있으며, 향후 Galileo E6 신호와의 상호운용성 및 호환성을 고려하고 있다. 위의 신호들 중 L1-C/A, L2C, L5 and L1C는 무료제공을, L1-SAIF and LEX의 경우는 사용자의 부담을 기본으로 할 예정이다.

또 수신기의 최소 수신강도는 L1C의 경우 -158.25 ~ -163.0 dBw, L1-C/A의 경우 -158.5dBw 수준이다[5].

**Table. 1** General Specifications of QZSS Signals

Signal	Frequency	Spreading Freq.
L1-C/A	1575.42 MHz	$0.1 \times f_0$
L1C		
L1-SAIF		
L2C	1227.60 MHz	$0.1 \times f_0$
L5	1176.45 MHz	$1 \times f_0$
LEX	1278.75 MHz	$0.5 \times f_0$

앞에서 언급한 위성궤도와 서비스 신호강도 등을 고려한 서비스 영역은 경우 일본의 우주개발공식기구인 JAXA의 QZSS 연구팀이 공지한 바와 같이[12-14] 아시아의 넓은 지역을 포함하고 있다. 고각 40도 이상으로 제한하여도 동아시아, 중국 및 호주까지 포함되며, 특히 고각 60도 이상의 경우도 남중국해를 포함한 아태지역 주요해역을 포함하고 있다. 70도 이상의 준 천정 수준의 위성 서비스의 경우 일본열도는 물론 한반도 영역까지 미치고 있어 향후 우리나라에서 QZSS에 주목할 필요가 있다.

### III. GPS와 QZSS 상호운용 및 3차원 위치결정 이론

#### 3.1. GPS와 QZSS 상호운용

서로 다른 GNSS를 통합 사용하기 위해서는 우선적으로 상호운용성 및 호환성이 전제되어야 한다. 특히 항법위성에서 발사하는 신호구조, 주파수, 코드확산방식 및 항법데이터(메시지) 포맷은 물론 좌표체계 등 다양한 분야에서 기술적 연구가 필요하다.

QZSS와 GPS의 경우도 2002년 GPS와 QZSS간 신호의 상호운용 및 호환에 대한 기술실무 위원회 발족 이래 2006년 1월 미국-일본간 상호협정에 따라 GPS위성과 QZSS위성의 완전한 상호 운용 및 호환이 가능하도록 시스템이 설계되었다.

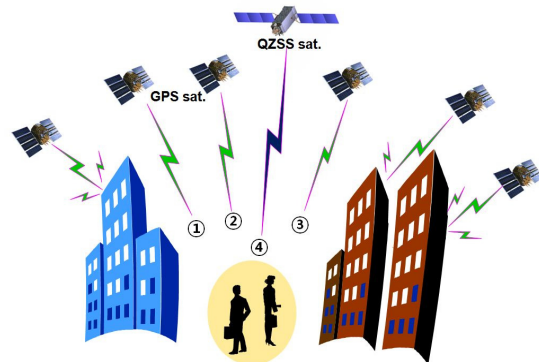
QZSS-Galileo(일본의 JAXA-EU간 지속적인 협의)의 경우도 L5-E5a, LEX-E6, L1C-E1의 스펙트럼이 같

거나 거의 같아서 RF신호 호환가능성이 매우 높다. 또 중국의 COMPASS와의 호환성은 물론 인도의 IRNSS(Indian Regional Navigation Satellite System), 러시아의 GLONASS와의 호환성 가능성도 충분히 예상된다.

QZSS는 일본 위성항법 측지계인 JGS(Japan satellite navigation Geodetic System)을 채택하고 있으며, 이는 GPS의 WGS-84와는 약 0.02m 정도의 차이가 있다. 또 QZSS 신호 사용을 위해 수신기를 제작하거나 응용을 위한 시스템구성, 신호구조 및 사양, 서비스 성능 특성 등이 포함 된 인터페이스 자료는 누구에게나 무료로 JAXA의 웹사이트를 통해 얻을 수 있도록 공개하고 있다[8].

#### 3.2. GPS와 QZSS의 3차원 위치결정 이론

QZSS 시스템의 핵심 이점은 첫째로 GPS와의 연계한 사용위성의 가용성, 호환성 및 상호운용성을 향상시켜 도심지나 산악지역 등지에서 GPS를 비롯한 독자적인 GNSS 시스템을 보완하고, 둘째로 항법위성의 보정 데이터를 QZSS 위성을 통해 사용자에게 전송함으로써 DGNSG 기능을 수행토록 하는 것이다. 그럼에도 불구하고 현재까지 계획되거나 보고된 QZSS의 위성궤도와 운용위성 수 등을 고려할 때 독자적인 QZSS 위성만으로는 3차원 위치측정이 어렵다. 따라서 QZSS 항법위성의 신호인 L1, L2 등의 신호체계가 기존의 GPS 신호와 호환되도록 설계되었기 때문에 QZSS 위성을 이용한 위치결정은 위치결정 지점에서 수신이 가능한 GPS 위성과 더불어 3차원 위치결정이 가능하다.



**Fig. 3** Positioning Model of GPS & QZSS

그림 3과 같은 도심지 또는 장애물이 있는 곳에서는 그 위치의 상공에서 여러 개의 GNSS 위성에서 정상적으로 위성신호가 발사된다 하더라도 수신기 위치 주변의 장애물로 인하여 실제 추적 가능하고 위치결정에 사용할 수 있는 가용위성은 현저히 줄어든다. 특히 가용 GPS 위성이 3개 이하인 경우 3차원 위치 측정은 불가능하다. 이 경우 높은 고각에서 신호서비스가 가능한 QZSS 위성이 1개 존재한다고 할 때 GPS와 QZSS 위성 조합으로 최소한 4개의 위성관측이 가능하여 3차원 위치결정이 가능하다.

앞에서 설명한 바와 같이 QZSS 위성 단독으로는 위치결정이 되지 않아 GPS 위성과의 조합으로 확보된 4개 이상의 위성으로부터 위치결정을 해야만 한다.

이 경우 QZSS 위성신호는 반송파, PN 코드 신호 및 항법메시지 신호 등이 GPS 위성과 호환이 가능하도록 설계되어 있기 때문에 범용의 GPS/GNSS 위치결정 알고리즘을 적용할 수 있다.

따라서 식 (1), (2)와 같이 GPS 위성항법 시스템의 항법신호를 이용한 3차원 위치결정 원리[6, 15]를 준용할 수 있다.

$$\rho_i = \sqrt{(x_i - x_u)^2 + (y_i - y_u)^2 + (z_i - z_u)^2} + ct \quad \cdot(1)$$

$$\hat{\rho}_i = \sqrt{(x_i - \hat{x}_u)^2 + (y_i - \hat{y}_u)^2 + (z_i - \hat{z}_u)^2} + ct \quad \cdot(2)$$

단,  $\rho_i$  : 수신기 실제위치에 대한 의사거리

$\hat{\rho}_i$  : 추정근사위치에 대한 의사거리

$x_i, y_i, z_i$  :  $i$ 번 항법위성의 ECEF 좌표

$x_u, y_u, z_u$  : 수신기의 ECEF 좌표

$\hat{x}_u, \hat{y}_u, \hat{z}_u$  : 수신기의 추정근사위치

$\Delta x, \Delta y, \Delta z$  : 위치 보정치

$$x_u = \hat{x}_u + \Delta x$$

$$y_u = \hat{y}_u + \Delta y$$

$$z_u = \hat{z}_u + \Delta z$$

$c$  : 전파의 속도

$t$  : 수신기 시계오차

상기 식 (1) 과 (2)는 각각 수신기의 실제위치에 대한 의사거리, 추정근사위치에 대한 의사거리를 나타낸다.

수신기의 위치를 얻기 위해서는 의사거리로부터 얻어지는 비선형 연립방정식을 풀어야 하며, 이를 위해서는 초기치를 추정 근사위치로 하여 추가적인 노력이 필요하다[15].

최종적으로는 위치보정치를 추정근사위치에 보상하여 GPS 위성과 QZSS 위성을 통합하여 얻은 수신기의 위치( $x_u, y_u, z_u$ )를 구할 수 있다. 항법위성  $i$ 의 위성좌표( $x_i, y_i, z_i$ ) 중 GPS는 WGS-84를 사용하고 QZSS는 JGS를 사용하고 있어서 각 좌표체계 간 약 0.02m 정도의 차이가 있으나 변환이 가능하여 실제로는 위치결정 과정에서 문제점이 없다.

## IV. 실험 및 결과 분석

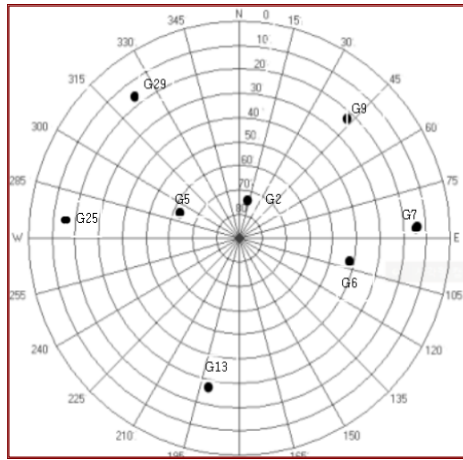
### 4.1. 실험환경 및 방법

이상적인 QZSS 시스템은 동아시아, 호주 및 인근 지역을 서비스 범위로 하고, 일본열도 및 한반도 지역에서의 위성고각이 높을 뿐 아니라 24시간 서비스가 가능하도록 설계 되었지만, 현재는 QZS-1 한 개만 운용되고 있는 관계로 일본지역은 물론 한반도 지역에서의 1일 QZSS 신호는 8시간 정도로 제한적으로 사용할 수밖에 없다. 본 연구를 위해 신호수신이 가능한 시간을 선택하여 한반도 서남해역에서 실험을 하였다. 실험에 사용된 수신기는 U-BIOX 다중 GNSS 수신기를 사용하였으며, 데이터에 대한 통계적 분석은 윈도우용 GNSS 평가용 소프트웨어를 사용 하였다[16]. 본 논문의 목적이 한반도에서 GPS와 QZSS 성능분석에 있는 바, 실시간 항법신호를 측정하고, 수집된 데이터에 대하여 통계적 분석을 하였다.

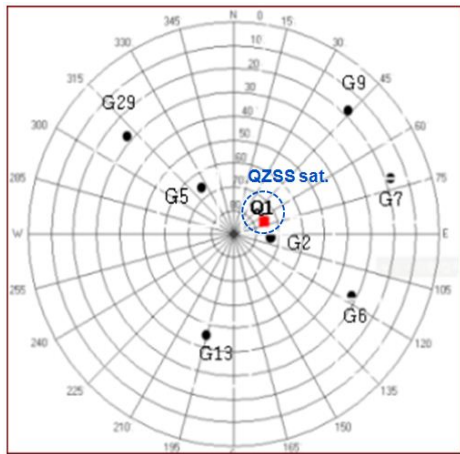
### 4.2. 실험결과 및 분석

GPS 단독 실험에 이어 실시한 GPS & QZSS 실험결과에 대한 주요 내용은 다음과 같다.

우선 실험 장치에서 QZSS 신호를 통제하고 GPS 위성신호 수신만 가능토록 하여 GPS 단독실험을 하였다. 실시간 데이터 수집 시 사용 가능한 위성은 G5, G13, G6, G7, G9, G25, G29 등 총 7개였으며, QZSS 위성신호 수신 통제를 해제하고 GPS와 QZSS 통합위성항법 실험 시 사용된 위성은 G5, G13, G6, G7, G9, G29 등의 GPS 위성과 QZSS 위성 QZS-1이 사용되었다.



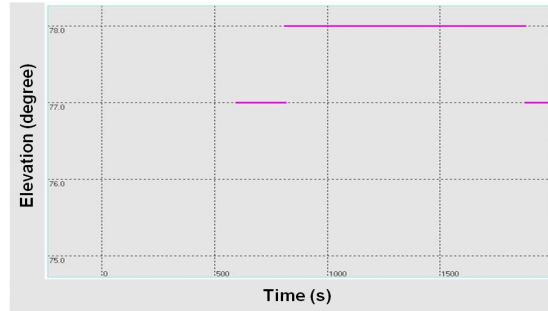
(a)



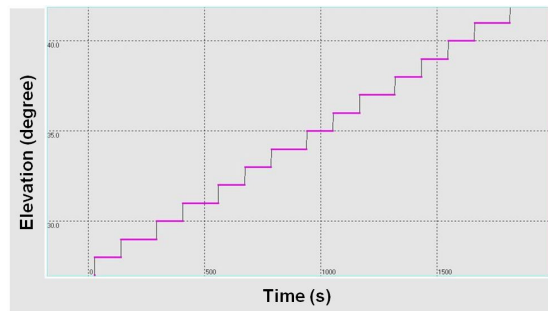
(b)

**Fig. 4** Sky View of used Satellites for Experimental Test (a) GPS, (b) GPS & QZSS

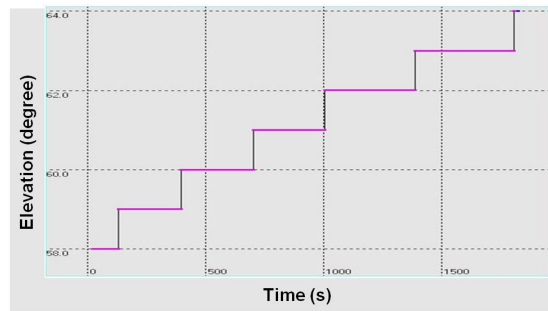
그림 4에 GPS 단독 실험과 GPS와 QZSS 통합항법 실험 시 사용된 위성 위치를 나타내었다. 그림 4 (a)에서 보는 바와 같이 위성신호 수신 상태가 정상적으로 이루어지는 경우 사용 가능한 위성이 충분하여 정상적으로 3차원 위치결정이 가능하다. 그림에도 불구하고 GPS와 QZSS 조합의 경우 그림 4 (b)에서 보는 바와 같이 위치 결정에 사용 가능한 GPS 위성은 G5, G13, G6, G7, G9, G29이지만 고각 45도 이상으로 제한할 경우 사용 가능한 GPS 위성은 오직 G2, G5 및 G13 위성 3개로 최소한 4개의 위성이 필요한 3차원 위치결정을 할 수 없음을 알 수 있다.



(a)



(b)



(c)

**Fig. 5** Time Variation of Elevation by (a) G2, (b) G5, and (c) G13

그림 5에 GPS 위성 G2, G5 및 G13 위성에 대한 시간에 따른 고각 변동의 결과를 도시하였다.

한편 QZS-1(Q1)은 수신지역 기준 고각 77도, 방위 60도 부근에서 정상적으로 항법정보를 송신하고 있기 때문에 가시성이 제한되는 상황에서도 GPS 정보와 더불어 정상적으로 수신기에서의 위치결정을 가능하게 함을 알 수 있다. 이와 같은 사실은 가시성이 제한되는 도심이나 산악이 많은 지역에서 QZSS 항법위성의 활용에 대한 기대치가 매우 높다는 것을 시사한다.

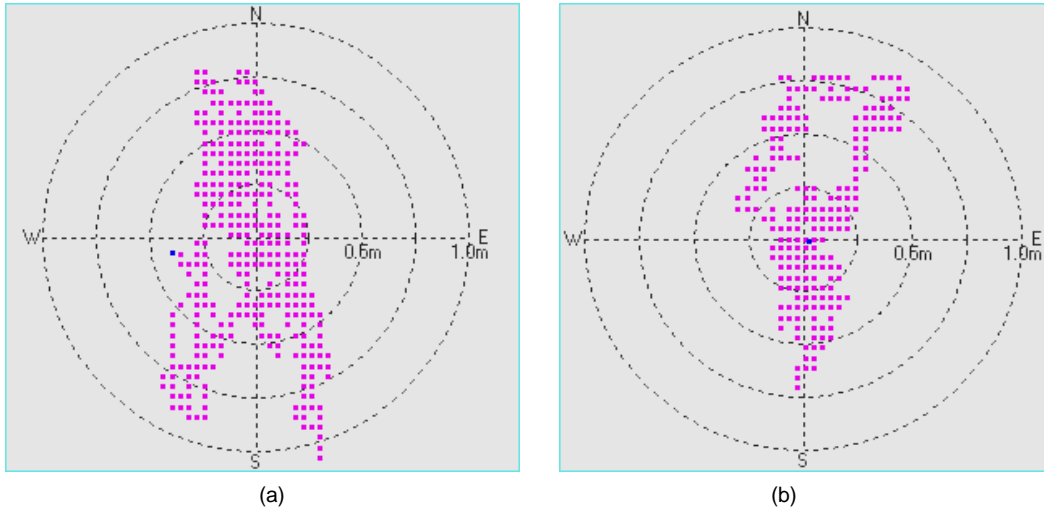
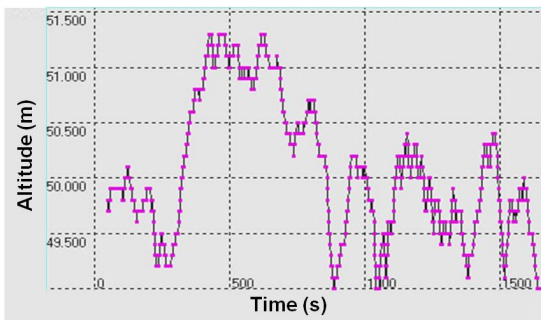
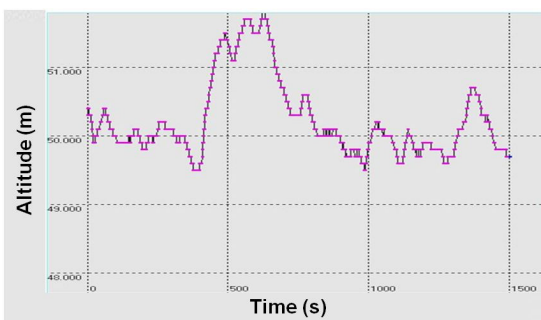


Fig. 6 Result of Positioning Deviation by (a) GPS and (b) GPS & QZSS



(a)



(b)

Fig. 7 Time Variation of Altitude by (a) GPS, (b) GPS and QZSS

Table. 2 Statistical Result of DOP and Positioning Accuracy

Title	DOP average			Position deviation	
	HDOP	VDOP	PDOP	2-D(m)	High(m)
GPS	1.0	1.2	1.5	0.55	0.63
GPS & QZSS	0.9	1.1	1.4	0.49	0.58

그림 6과 7에는 GPS 단독 수신 실험결과 및 GPS와 QZSS 통합신호 수신 결과를 도시하였으며, 표 2에 실험으로 얻은 통계 값을 기록하였다. GPS의 경우 Horizontal DOP, Vertical DOP, Position DOP의 평균치는 1.0~1.5, GPS와 QZSS 통합 시 0.9~1.4로 나타나 단독 경우보다 개선되었음을 알 수 있다. DOP 크기에 영향을 받는 위치정밀도는 2차원 평면위치 및 고도의 정확도 모두 개선되었음을 알 수 있다. 실험결과에서 보듯이 GPS와 QZSS 통합 시 전반적으로 모든 위치 정확도 파라미터가 개선되었음을 확인할 수 있었다.

다만 위성항법시스템의 위치정확도는 위성의 궤도 오차, 전리층 및 대류권의 전파오차, 다중경로 오차, 위성과 수신기 시계오차, 위성의 기하학적 배치 등에 영향을 받을 뿐 아니라 데이터 측정 시간차로 인한 항법 위성들의 위성궤도 변화에 따른 GDOP 영향 등에 영향을 받을 수 있을 것으로 판단되는 바, 이에 대한 고려사

항을 적용한 결과와 분석에 대하여는 추가적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

## V. 결 론

본 논문은 최근의 주변국 주도로 개발된 범용의 GNSS 항법정보 이용 극대화를 위한 선행연구로서 정상 작동 중인 QZSS 항법위성과 기존의 GPS 위성을 통합하여 사용함으로써 한반도에서의 GPS와 QZSS 통합 사용 성능 분석에 목적을 두고 수행하였다. 이를 위해 위성항법시스템의 주요 평가요소인 가시성, 정확성, 신뢰도 등에 중점을 두고 실시간 항법신호를 측정하고, 수집된 데이터에 대하여 통계적 분석을 통해 다음과 같은 결과를 도출하였다.

첫째, 가시성이 제한된 지역에서의 GPS 단독 항법정보로는 3차원 위치결정에 필수적인 4개의 위성 확보가 어려운 경우, 이를 극복하기 위한 방법으로 QZSS 항법위성을 사용함으로써 해결 가능성을 실험을 통하여 확인하였다.

둘째, GPS 단독 항법정보 이용과 GPS와 QZSS 통합 정보 이용 시의 2차원 및 3차원 위치정확도는 개선되었으나 시간적으로 변하는 항법위성들의 위성궤도 변화에 따른 GDOP 영향 등에 영향을 받을 수 있기 때문에 다소 유동적일 수 있어서, 이에 대한 고려사항을 적용한 결과와 분석에 대하여는 추가적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

셋째, 향후 QZSS 항법위성들의 완전 궤도 배치 시를 대비하여 한반도 지역에서의 통합적 위성항법 정보 사용 극대화를 위한 추가적인 연구와 노력이 절실히 요구되는 바, 이에 대한 단계적인 연구가 지속적으로 수행되어야 한다.

## REFERENCES

[ 1 ] GPS Website [Internet]. Available: <http://www.gps.gov>.

[ 2 ] GLONASS Website [Internet]. Available: <http://www.glonass-center.ru>.

[ 3 ] GALILEO Website [Internet]. Available: <http://www.ec.europa.eu/galileo>.

[ 4 ] Beidou Navigation Satellite System Website [Internet]. Available: <http://www.beidou.gov.cn>.

[ 5 ] QZSS Website [Internet]. Available: <http://qzss.go.jp/en/>.

[ 6 ] C. M. Choi and K. S. Ko, "A Study on Development Direction of Navigation System for NAVWAR," *International Journal of Information and Communication Engineering*, vol. 19, no. 3, pp. 756-763, Mar. 2015.

[ 7 ] Stephen Clark, "Japan to build fleet of navigation satellites," *Spaceflight Now*, April 4, 2013 [Internet]. Available: <http://www.spaceflightnow.com/news/n1304/04qzss/>.

[ 8 ] Mitsubishi Heavy Industries, Ltd. & JAXA, *Launch Result of the First Quasi-Zenith Satellite 'MICHIBIKI' by H-IIA Launch Vehicle No. 18*, 2010 [Internet]. Available: [http://global.jaxa.jp/press/2010/09/20100911\\_h2af18\\_e.html](http://global.jaxa.jp/press/2010/09/20100911_h2af18_e.html).

[ 9 ] Navipedia Website, "QZSS" [Internet]. Available: <http://www.navipedia.net/index.php/QZSS>.

[10] Wikipedia Website, "QZSS" [Internet]. Available: [https://en.wikipedia.org/wiki/Quasi-Zenith\\_Satellite\\_System](https://en.wikipedia.org/wiki/Quasi-Zenith_Satellite_System).

[11] Satoshi Kogure, "QZSS (Quasi-Zenith Satellite System) Update," *ICG Expert Meeting on Global Navigation Satellite*, 2008 [Internet]. Available: <http://www.unoosa.org/pdf/icg/2008/expert/2-4b.pdf>.

[12] JAXA, *Quasi-Zenith Satellite System Navigation Service IS-QZSS V1.5*, Japan Aerospace Exploration Agency, 2014.

[13] JAXA. QZSS Project Team., "Current Status of Quasi-Zenith Satellite System," #4 *International Committee on GNSS*, Saint-Petersburg, Russian Federation, Sep. 2009 [Internet]. Available: <http://www.unoosa.org/pdf/icg/2009/icg-4/05-1.pdf>.

[14] Koji Terada(JAXA), "Current Status of Quasi-Zenith Satellite System(QZSS)," *the Munich Navigation Congress*, 2011.

[15] E. D. Kaplan, C. J. Hegarty, *Understanding GPS Principles and Applications*, MA: Artec House, 2006.

[16] U-BLOX, *EVK-7/EVK-M8 Evaluation Kits User Guide*, 2014.





**고광섭(Kwang-Soob Ko)**

1979년 해군사관학교 공학사  
1983년 한국해양대학교 공학석사  
1991년 미 클락슨대 전자공학과 공학박사  
1983년 ~ 2008 해군사관학교 교수  
2012년 ~ 현재 목포해양대학교 교수  
※관심분야 : 전파/위성항법, 해양통신



**최창묵(Chang-Mook Choi)**

1996년 해군사관학교 기계공학과 공학사  
2001년 군사과학대학원 해양공학과 공학석사  
2008년 한국해양대학교 전파공학과 공학박사  
2008년 ~ 현재 해군사관학교 교수  
※관심분야 : 전파/위성항법, 전파흡수체 개발