

論文

한국에서 QZSS 위성의 L1 C/A 신호처리 결과

주인원*, 신천식*, 이상욱*

QZSS L1 C/A Signal Processing Results in Korea

Inone Joo*, Chun-Sik Shin*, and SangUk Lee*

ABSTRACT

Michibiki is the first QZSS satellite, which was launched by a H-IIA rocket departing from the Tanegshima in Japan on 11 September, 2010 and now operated successfully. This paper presents the results obtained from processing of the L1 C/A signal transmitted from the QZSS satellite. The acquisition and tracking are performed by the L1 software receiver implemented by ETRI. The signal processing results show that QZSS L1 C/A signal is normally processed through the tracking loop results of FLL, PLL, and DLL, the EPL correlator output, and the C/No output. Finally, the paper demonstrates that the QZSS satellite could be used in the navigation system together with the GPS satellite in Korea.

Key Words : QZSS(준천정위성), Michibiki(안내), Navigation(항법), GPS(지피에스), GNSS(위성항법시스템)

1. 서 론

위성항법 시스템은 위성의 기하학적 배치와 가시위성의 수가 사용자의 위치결정에 중요한 요인으로 작용한다. 서울 도심지와 같은 고층건물이 많은 환경에서는 건물 및 지형지물에 의해 위성신호가 차단되고 가시위성이 감소하게 되어 사용자의 위치결정과 정확도에 심각한 영향을 미칠 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해, 위성항법 시스템은 독자적인 사용보다 이를 보완하는 지역 위성항법시스템과의 통합을 통해 더욱 정확한 사용자 위치 결정을 가능하게 한다[1]. 일본에서 추진중인 JRANS(Japanese Regional Advanced Navigation System)는 3개의 준천정 위성, QZSS(Quasi-Zenith Satellite System), 3개의 긴 타원을 갖는 위성(HEO), 1개의 정지궤도 위성(GEO)으로

구성된다. QZSS는 GPS 신호 가용성과 위성 배치 조건을 향상시키기 위해 최소한 한 개의 위성이 일본 상공에 항상 위치하도록 고도 31,500-40,000 km의 궤도 경사각이 있고 이심률이 큰 타원궤도에 배치된다[2]. QZSS를 GPS와 동시에 사용할 경우, 일본 및 서울 도심지에서 위성 가용도 및 위치 정확도를 향상시킨다는 연구결과가 시뮬레이션을 통해 수행되었다[3, 4]. 2010년 9월 11일, QZSS 첫 번째 위성인 Michibiki 위성이 일본 Tanegshima 우주 센터에서 H-IIA 로켓에 의해 발사되어 시험 운용 중에 있다[5].

따라서, 본 논문은 시뮬레이션을 통해 수행되었던 기존의 QZSS 관련 연구들과 달리, 현재 시험 운용중인 QZSS 위성신호를 직접 수신한 후, 신호처리를 수행하여 QZSS 위성 신호를 국내에서 충분히 활용할 수 있음을 입증한다. 이를 위해, 대전에 위치한 ETRI(한국전자통신연구원)에서 QZSS 위성 배치가 좋은 시점에 QZSS L1 C/A 신호를 획득하였고, ETRI에서 개발한 GPS L1 C/A S/W 수신기를 활용하여 QZSS L1 C/A 코드를 생성하여 신호획득 및 추적 결과를 통해 신호 성능을 분석하였다.

2011년 4월 20일 접수 ~ 2011년 6월 27 일 심사완료

* 한국전자통신연구원 위성항법연구팀
연락처, E-mail : inone@etri.re.kr
대전시 유성구 가정로 138

2. QZSS L1 C/A 데이터 수집

2.1 QZSS TLE

QZSS 위성의 TLE(Two Line Element)를 이용하여 ETRI 상공을 지나가는 시간을 예측할 수 있다. 본 논문에서는 Orbitron[6] 프로그램을 이용하여 QZSS 위성궤도를 예측하였고, 2011년 2월 24일 11:10경에 ETRI 상공에서 QZSS L1 C/A 데이터 수집하였다. Fig.1은 QZSS 위성 궤도를 보여주고 있으며, Fig.2는 데이터 수집할 당시의 ETRI를 중심으로 QZSS 위성의 현재 위치를 보여준다.

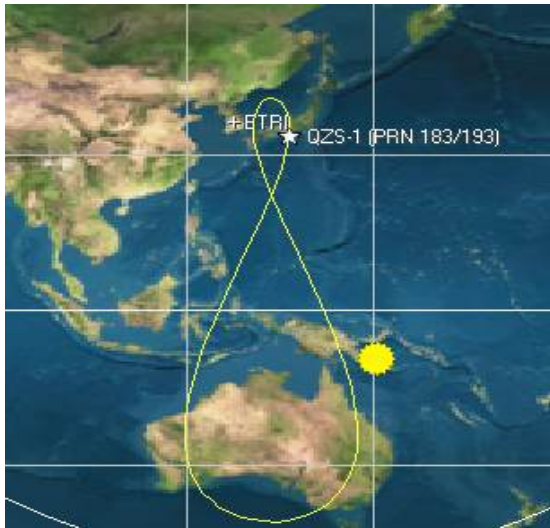


Fig.1 QZSS 위성 궤도

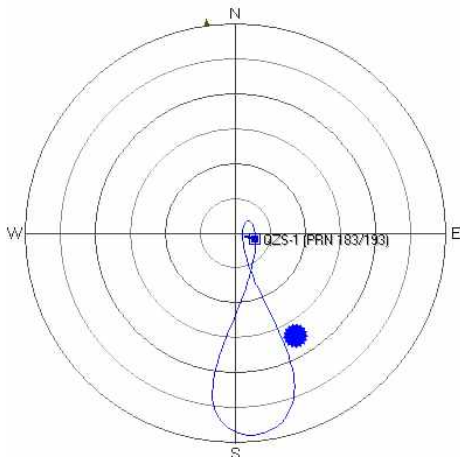


Fig.2 ETRI 에서 QZSS 위성 Sky Plot

2.2 데이터 수집 환경

Fig.3는 QZSS L1 C/A 데이터 수집을 위한 환경 구성도를 보여준다. 안테나와 RF/IF 모듈은 ETRI에서 개발한 시제품을 이용하였고, NI사의 데이터 획득장치를 이용하여 데이터를 수집하였다. 수집된 데이터는 ETRI에서 개발한 GPS L1 S/W 수신기를 이용하여 신호처리를 수행하여 분석하였다.

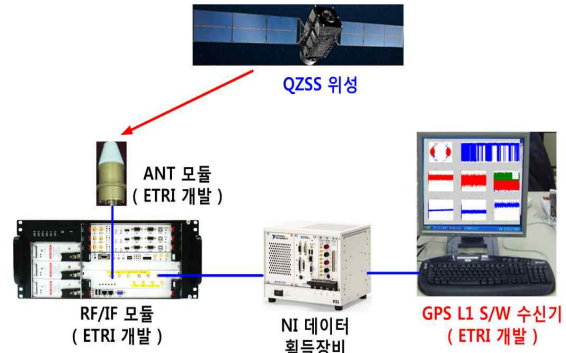


Fig.3 데이터 수집 환경

2.3 수집한 데이터 규격

Table.1은 수집한 QZSS L1 데이터규격이다. 위성항법 지상국용 수신기 개발 시에 사용하는 IF 주파수, 샘플링 주파수 및 양자화 비트를 이용하였다.

Table 1. QZSS L1 수신 데이터 규격

신호규격	QZSS L1 C/A
변조방식	BPSK
Chip rate	1.023MHz
Symbol rate	50 Symbol/s (20ms)
대역폭	25MHz
IF 주파수	140MHz
샘플링 주파수	112MHz
양자화 비트	8bit

2.4 수집한 데이터 분석

Fig.4는 수집한 데이터의 히스토그램을 보여준다. 샘플데이터는 8비트 양자화 되어 있으므로 -128~127까지 범위에 존재하며, 잡음신호와 유사한 가우시안 분포를 나타냄을 확인할 수 있다.

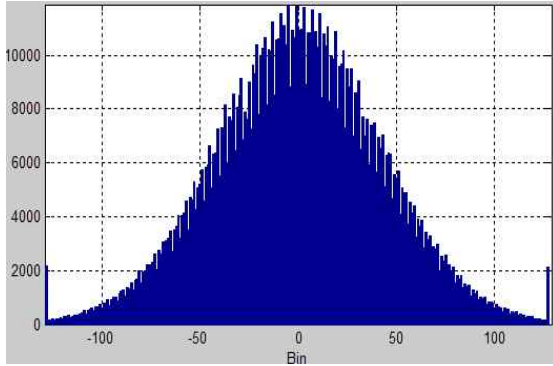


Fig.4 수집한 데이터의 히스토그램

Fig.5는 수집한 데이터의 스펙트럼을 보여준다. 디지털 IF 주파수인 28MHz 중심주파수와 대역폭이 25MHz임을 확인할 수 있다.

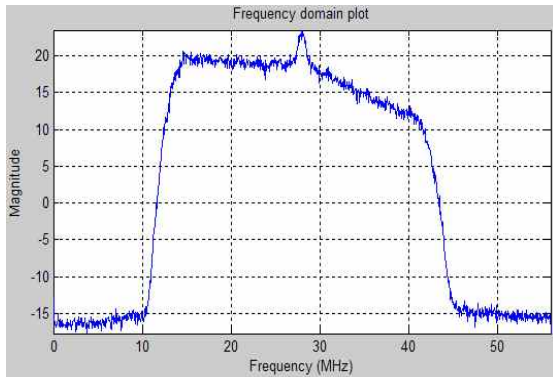


Fig.5 수집한 데이터의 주파수 스펙트럼

3. QZSS L1 신호획득 및 추적

3.1 QZSS L1 C/A Code

QZSS 위성 신호의 ICD 문서는 Japan Aerospace Exploration Agency(JAXA)에서 공개하고 있다[7]. QZSS 위성은 PRN 193을 사용하므로, GPS L1 ICD 문서[8]를 활용하여 Table 2와 같이 QZSS L1 C/A 코드를 생성한다.

Table 2. QZSS L1 C/A 코드

PRN Signal No.	C/A		
	G2 Delay (Chips)	Initial G2 Setting (Octal)	First 10 Chips (Octal)
193	339	1050	0727

3.2 신호획득

신호획득은 Fig.6처럼 Parallel Code Phase Search 알고리즘을 사용하였다[9]. 신호 획득 임계값은 첫번째 최대 상관값과 두번째 최대값의 비율이 2.5배가 넘을 때, 신호를 획득한 것으로 선언하였다.

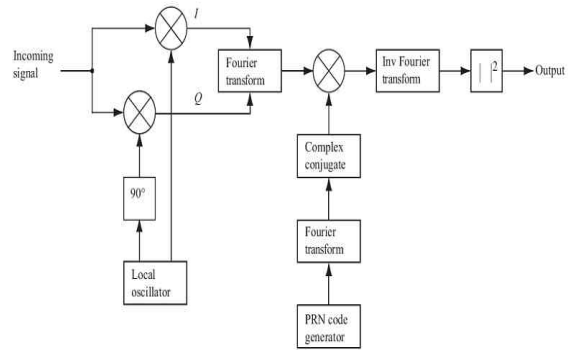


Fig.6 Parallel Code Phase Search 알고리즘

3.3 신호추적

신호추적은 Fig.7과 같이 전형적인 EPL 상관기를 사용하였고[8], Early-Late 칩 간격은 1칩을 사용하였다.

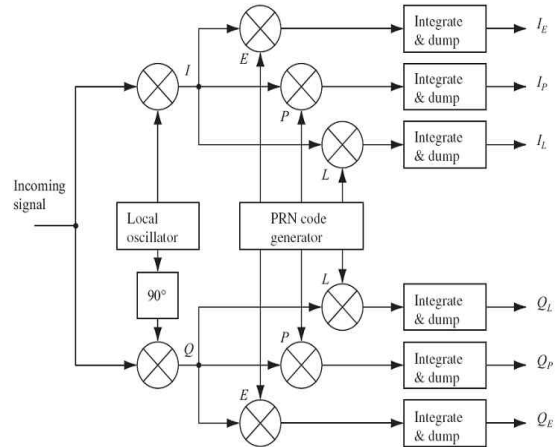


Fig.7 EPL 상관기

신호 추적 방식은 비트동기 이전에는 FLL/DLL을 사용하였고, 비트동기 이후에는 PLL/DLL을 사용하였다. FLL, PLL, DLL은 참고문헌[10]을 이용하여 구현하였다. Table.3은 신호 추적 시 사용한 FLL, PLL, DLL의 판별기, 필터차수, 및 잡음 대역폭을 보여준다.

Table 5. FLL, PLL, DLL 파라미터

비트 동기		판별기	필터 차수	잡음 대역폭
이전	FLL	ATAN2	2차	20Hz
	DLL	Normalized EML	2차	2Hz
이후	PLL	ATAN	3차	10Hz
	DLL	Normalized EML	2차	2Hz

4. QZSS L1 신호처리 결과

4.1 신호획득 결과

신호 획득단계에서는 500[Hz]오차이내의 캐리어 주파수와 0.5칩 오차이내의 코드 위상값을 결정해야 한다. Fig. 8은 QZSS L1의 신호획득 결과를 보여준다. 캐리어 주파수는 디지털 IF 중심주파수인 28[MHz]에서 도플러 주파수에 해당하는 293[Hz]만큼 변위된 28.000293[MHz]이고, 코드 위상은 1,023개의 코드 중에서 253번째 코드에서 최대값을 나타냄을 확인할 수 있다.

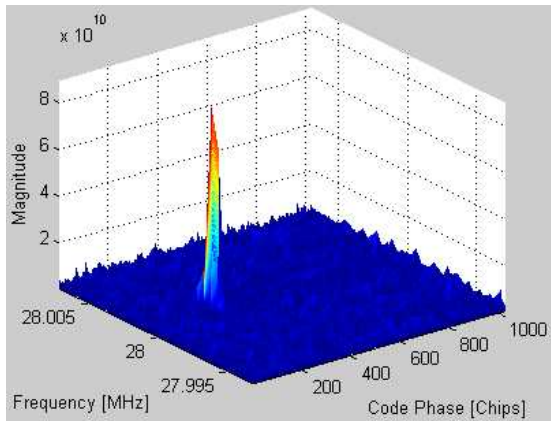
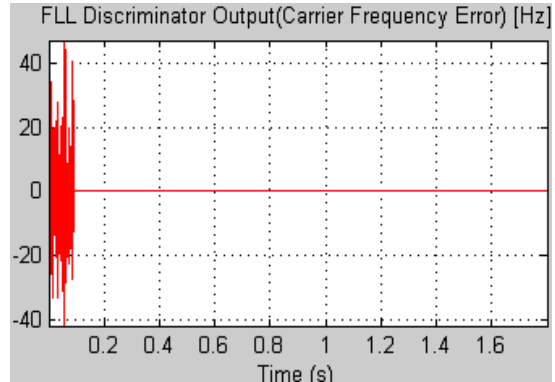


Fig.8 QZSS L1 신호획득 결과

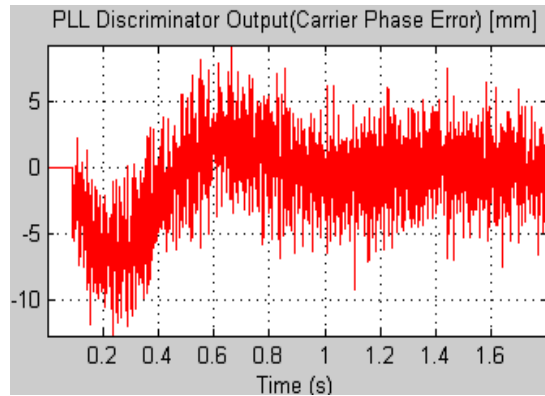
4.2 신호추적 결과

Fig.9는 QZSS L1 신호의 FLL/PLL 추적 결과를 보여준다. 위에서부터 차례대로 FLL 판별기 출력, PLL 판별기 출력, FLL/PLL 루프필터 출력을 보여준다. 신호 추적단계에서는 신호획득 결과인 캐리어 주파수와 코드 위상값을 이용하여 신호추적이 수행된다. 비트동기 이전에는 FLL이 동작하고 비트동기 이후에는 PLL이 동작한다. 신호획득의 캐리어 주파수로부터 약 25[Hz] 보상된

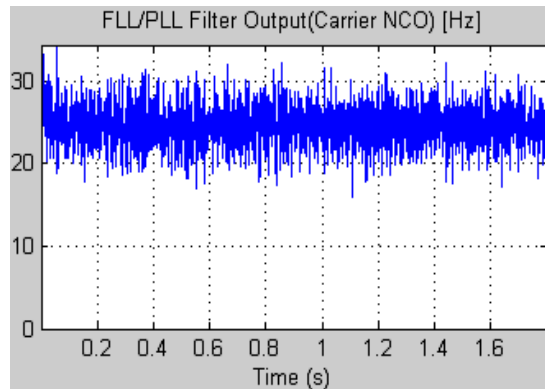
주파수에서 안정화되어 정상적으로 신호추적됨을 FLL/PLL 루프필터 출력 결과를 통해 확인할 수 있다.



(a) FLL 판별기 출력



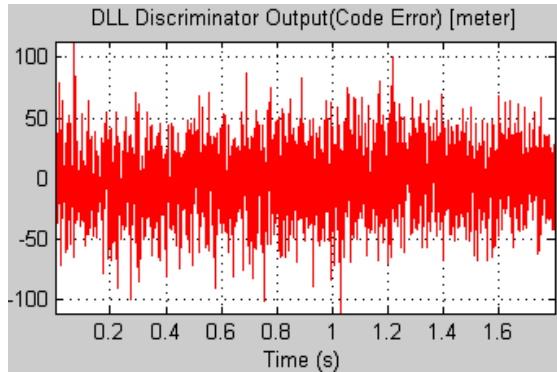
(b) PLL 판별기 출력



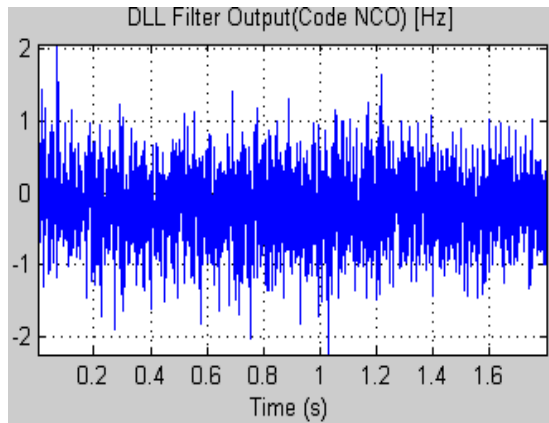
(c) FLL/PLL 루프필터 출력

Fig.9 QZSS L1 신호 FLL/PLL 추적 결과

Fig.10은 QZSS L1 신호의 DLL 추적결과를 보여준다. 첫번째 그림은 DLL 판별기 출력이고, 두번째 그림은 DLL 루프필터 출력결과이다. DLL 루프필터 출력이 1[Hz] 미만 범위내에서 안정화되어 코드 추적루프가 정상적으로 동작됨을 확인할 수 있다.



(a) DLL 판별기 출력



(b) DLL 루프필터 출력

Fig.10 QZSS L1 신호 DLL 추적 결과

Fig.11은 EPL 상관기 출력값을 보여준다. Early-Late 칩 간격은 1칩을 사용하여 신호추적을 수행하였다. 녹색으로 표시된 Prompt 값이 가장 크고, Early와 Late 값이 더 작은 값에서 정상적으로 신호추적이 수행됨을 확인할 수 있다.

Fig.12는 상관함수의 출력결과를 보여준다. 파란색으로 표시된 Quadrature값은 0에 가깝게 나타내고 있으며, 빨간색으로 표시된 In-phase값이 0인 코드 위상에서 최대값을 나타내고, 이 값을 중심으로 코드위상 지연에 따라 삼각형의 대칭형태의 그림으로 표시됨을 확인할 수 있다.

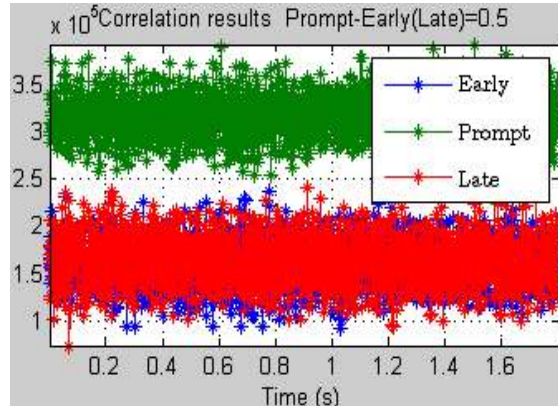


Fig.11 QZSS L1 EPL 상관기 출력

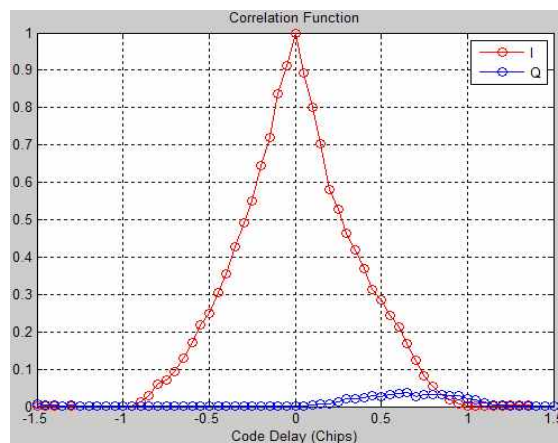


Fig.12 QZSS L1 상관함수

Fig.13은 QZSS L1 신호의 비트 출력값을 보여준다. 녹색으로 표시된 Quadrature값은 0에 가깝게 나타내고 있으며, 파란색으로 표시된 In-phase값이 양과 음의 값으로 반전되면서 비트 출력값을 생성함을 확인할 수 있다.

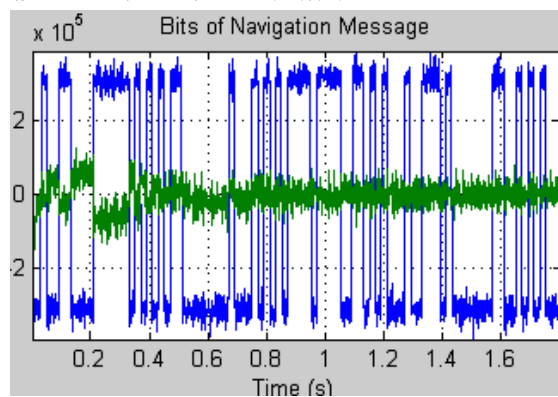


Fig.13 QZSS L1 비트 출력

Fig.14는 QZSS L1 신호의 C/No 결과를 보여 준다. C/No estimator는 참고문헌[11]을 이용하여 구현하였고, 비트 동기된 이후부터 100[ms]마다 측정하였으며, 대략 47~52[dB.Hz] 값으로 측정됨을 확인할 수 있다. 이러한 결과는 일반적인 상황에서 측정되는 GPS L1 신호의 C/No와 유사한 값으로, 국내에서 QZSS 위성신호를 GPS와 연동하여 사용 가능함을 확인할 수 있다.

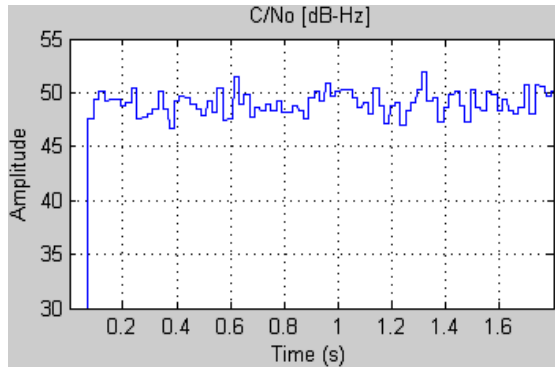


Fig.14 QZSS L1 신호 C/No

5. 결 론

2010년 9월 11일, QZSS 첫 번째 위성인 Michibiki 위성이 일본 Tanegshima 우주 센터에서 H-IIA 로켓에 의해 발사되어 시험 운용 중에 있다. 따라서, 본 논문은 현재 시험 운용중인 QZSS 위성 신호를 직접 수신한 후, 신호처리를 수행하여 QZSS 위성 신호를 국내에서 충분히 활용할 수 있는지 여부를 분석하였다. 이를 위해, 대전에 위치한 ETRI(한국전자통신연구원)에서 QZSS 위성 배치가 좋은 시점에 QZSS L1 C/A 신호를 획득하였고, QZSS ICD 문서를 통해 PRN 193을 이용하여 QZSS L1 C/A 코드를 생성한 후, ETRI에서 개발한 GPS L1 C/A S/W 수신기를 이용하여 신호획득 및 추적 결과를 수행하였다. 정상적인 신호추적 결과를 입증하기 위해, FLL, PLL, DLL 추적 루프의 성능을 차례대로 제시하였다. 또한, EPL 상관기 출력값과 상관함수 결과를 통해 QZSS L1 신호의 상관기 출력이 정상적임을 확인하였고, 메시지 비트 값이 명백히 반전되어 출력됨을 확인하였으며, C/No값이 47~52[dB.Hz] 값으로 측정됨을 확인할 수 있다. 이러한 결과를 통해 국내에서 수신하는 QZSS 위성신호를 GPS와 연동하여 사용할 수 있으리라 판단되며, 향후 QZSS와 GPS를 연동하여 복합 항법해 성능 분석을 추진할 예정이다.

후 기

본 연구는 방송통신위원회의 2011년도 방송통신 연구개발사업의 일환으로 수행하였음. [2011-S-301-01, 다원화 항법 주파수 감시 및 이용 기술 개발]

참고문헌

- 1) 유경호, 강태삼, 성상경, 이은성, 정성균, 신천식, 이상욱, 이영재, 도심에서의 3차원 GIS 기반 위성항법시스템 가시성 분석, 한국항공우주학회지, 제35권, 제12호, 2007년 12월, pp1095-1100
- 2) 김정래, 준천정 위성 궤도 특성 및 항법정보 연구, 한국항공운항학회지, 15권 1호, 3월, 2007년.
- 3) Yongcheol Suh, Yusuke Konish, Tomohiro Hakamata, Ryosuke Shibasaki, The effect of Quasi-Zenith Satellite System in Urban Environments, Geoinformation Student Forum Japan 2003
- 4) 유경호, 성상경, 강태삼, 이영재, 이은성, 이상욱, 서울 도심지에서의 QZSS를 이용한 GPS 확장시스템의 가용도 평가, 한국항공우주학회지, 36권 8호, 1월, 2008년.
- 5) www.jaxa.jp/projects/sat/qzss/index_e.html
- 6) www.stoff.pl
- 7) Interface Specification for QZSS(IS-QZSS), Draft V1.2
- 8) Navstar GPS Space Segment/Navigation User Interfaces, IS-GPS-200E, 8 June 2010
- 9) Kai Borre, Dennis M. Akos, A Software-Defined GPS and Galileo Receiver : A Single-Frequency Approach, Birkhauser, 2006
- 10) E. D. Kaplan, Understanding GPS : Principles and Applications, Artech House, London, UK, 2006
- 11) Parkinson, B. W, Spilker, J, Jr., Axelrad, P, (eds.), The Global Positioning System: Theory and Applications, Volume 1, AIAA, Washington, DC, 1996