

DGNSS RSIM을 위한 GPS/Galileo 의사거리 보정기법

† 서기열 · 김영기* · 장원석** · 박상현***

†,* 한국해양과학기술원 부설 선박해양플랜트연구소

Method of Differential Corrections Using GPS/Galileo Pseudorange Measurement for DGNSS RSIM

† Ki-Yeol Seo · Young-Ki Kim* · Won-Seok Jang** · Sang-Hyun Park***

†,* Korea Research Institute of Ships & Ocean Engineering, Daejeon 305-343, Korea

요 약 : 본 논문에서는 위성항법시스템(GNSS)의 다양화에 따른 DGNSS 기준국(RSIM, Reference Station and Integrity Monitor)의 재구축을 위하여, 유럽연합(EU) 위성항법시스템인 Galileo의 E1 의사거리 보정정보 생성 알고리즘과 GPS/Galileo 시뮬레이션을 통한 성능검증에 대해 다룬다. 먼저 DGPS RSIM에서 DGNSS RSIM으로 전환을 위한 운영적 측면에서의 기술 및 메시지 표준과 사용자 방송 측면에서의 메시지 표준에 대해 살펴본다. 일반적으로 GNSS의 의사거리 보정을 위해서는 정확한 GNSS 위성위치와 사용자 위치를 알아야만 한다. 그러므로 Galileo 위성위치를 정확하게 계산하기 위해서, Galileo ICD 문건의 위성위치 계산식을 이용하여 사용자 수신기에서 제공하는 궤도력 정보를 기반으로 해당 위성 위치를 추정한다. 그리고 위성시계 오프셋과 사용자 수신기의 시각오차, GPS와 Galileo 위성의 시스템 타임 오프셋을 계산하여 GPS/Galileo 의사거리 보정정보를 생성한다. GPS/Galileo 시뮬레이터를 연동한 성능검증 플랫폼을 기반으로 GPS/Galileo 보정정보의 오차를 분석하고, 측위정확도를 분석하여 그 성능을 검증하였다. 국제기구(RTCM)에서 요구하는 기준국 운영을 위한 측위 성능을 충족할 수 있음을 확인하였다.

핵심용어 : 위성항법보정시스템, DGPS, DGNSS, 기준국, 감시국, RTCM, GPS/Galileo

Abstract : In order to prepare for recapitalization of differential GNSS (DGNSS) reference station and integrity monitor (RSIM) due to GNSS diversification, this paper focuses on differential correction algorithm using GPS/Galileo pseudorange. The technical standards on operation and broadcast of DGNSS RSIM are described as operation of differential GPS (DGPS) RSIM for conversion of DGNSS RSIM. Usually, in order to get the differential corrections of GNSS pseudorange, the system must know the real positions of satellites and user. Therefore, for calculating the position of Galileo satellites correctly, using the equation for calculating the SV position in Galileo ICD (Interface Control Document), it estimates the SV position based on Ephemeris data obtained from user receiver, and calculates the clock offset of satellite and user receiver, system time offset between GPS and Galileo, then determines the pseudorange corrections of GPS/Galileo. Based on a platform for performance verification connected with GPS/Galileo integrated signal simulator, it compared the PRC (pseudorange correction) errors of GPS and Galileo, analyzed the position errors of DGPS, DGalileo, and DGPS/DGalileo respectively. The proposed method was evaluated according to PRC errors and position accuracy at the simulation platform. When using the DGPS/DGalileo corrections, this paper could confirm that the results met the performance requirements of the RTCM.

Key words : DGPS, DGNSS, Reference Station & Integrity Monitor (RSIM), RTCM, GPS/Galileo

1. 서론

현재의 위성항법시스템은 미국 GPS와 러시아 GLONASS 체제에서 유럽연합(EU) Galileo, 중국 BeiDou, 그리고 일본 QZSS 등의 GNSS 체계로 다원화 되고 있다. 이에 따라 위성 항법보정시스템(DGPS)의 기준국 및 감시국 시스템(RSIM)도

RTCM을 통해서 DGNSS RSIM 운영 및 서비스(RTCM, 2006)를 위한 신규 표준을 준비 중에 있다. 유럽연합(EU)의 위성항법시스템인 Galileo 시스템은 2014년 현재 4기의 위성을 운영 중에 있으며, 항법측위성능, 가용성 등의 초기운영 실험결과를 제시하고 있다 (G. Galluzzo et al., 2014). 또한 DGNSS RSIM 기술도 기존 DGPS에서 DGNSS 체계로 전환을 위한 표준이 준비 중인 상황이며, 차기 표준인 RSIM 1.3

† Corresponding author : 연희원, kyseo@kriso.re.kr 042)866-3684

* 연희원, ykkim@kriso.re.kr 042)866-3676

** 연희원, cws0714@kriso.re.kr 042)866-3693

*** 연희원, shpark@kriso.re.kr 042)866-3681

버전 (RTCM, 2013a) 과 RTCM 2.4 버전 (RTCM, 2013b)에서는 Galileo 보정정보 서비스까지 고려되고 있다. 그러므로 우리나라 해양수산부에서 운영 중인 DGNSS 기준국 시스템의 재구축시 신규 표준 적용을 위한 Galileo 보정정보 생성 및 처리, 무결성 기능도 준비되어야 하는 실정이다. 현재까지는 Galileo 독자 항법 성능에 대한 평가가 진행되고 있으나, Galileo 보정항법에 대한 실험 및 평가 결과는 아직 미비한 실정이다. 특히 Galileo 궤도력 정보 및 관측정보 획득을 위해서는 수신기 출력 정보를 해석해야 하지만 아직까지 수신기 제조사에서 세부적인 Galileo 관련 정보를 명확히 제공하지 못하고 있다.

본 논문에서는 GPS/Galileo 시플레이터를 이용하여 항법수신정보 획득을 위해서, 수신기에서 제공하는 BINEX 포맷 출력 정보의 세부 파라미터를 이용하고, Galileo 항법시스템의 의사거리 보정정보 생성 알고리즘을 개발하여 GPS/Galileo 보정 성능검증을 실시한다. 본 논문의 결과는 향후 DGNSS RSIM 재구축을 위한 신규 표준 적용에 독자적인 Galileo 보정정보 생성 기법을 적용할 수 있어서 우리나라 DGNSS 기준국 시스템의 독자 운영과 기능 고도화에 기여할 수 있을 것이다.

2. DGNSS RSIM

2.1 DGNSS RSIM 아키텍처

현재 운영 중인 DGNSS 기준국 시스템은 무선 비컨을 기반으로 보정정보를 생성하고 방송하는 기준국(Reference Station)과 보정정보를 수신하여 무결성 감시 기능을 수행하는 무결성 감시국(Integrity Monitor), 그리고 기준국 시스템과 무결성 감시국 시스템을 제어하기 위한 제어국(Control Station)으로 구성되어 있다. Fig. 1은 DGNSS RSIM 시스템 아키텍처를 나타낸다 (RTCM, 2006; RTCM, 2013a).

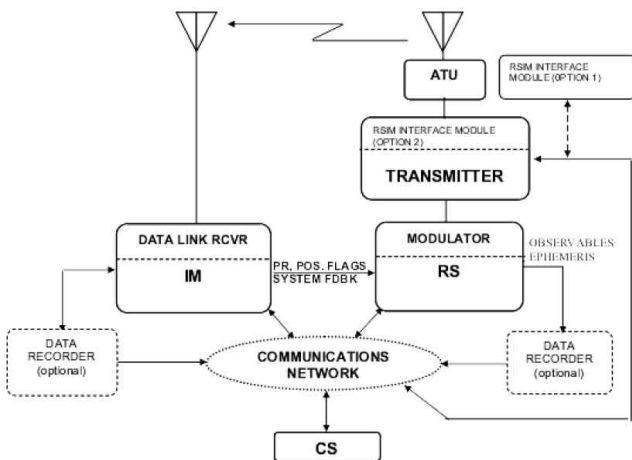


Fig. 1 DGNSS RSIM architecture

먼저 기준국(RS)은 방송을 위한 RTCM 메시지를 생성하기 위하여 기준국용 수신기와 MSK 변조기를 이용한다. 기준국(RS)의 주요 기능은 각 위성들의 의사거리 보정치를 계산하는 것이다. 즉 GPS 관측을 통해 C/A Code 의사거리 보정치를 생성한다. 이러한 의사거리 보정치(PRC, Pseudorange corrections)와 부가정보는 RTCM SC-104 version 2.3 표준 규격으로 변환되고 MSK 변조되어 송신기를 통해 출력된다. 또한 기준국은 RSIM 메시지를 이용하여 제어국(CS)으로 통신하기 위한 양방향 통신포트로 구성되어 있다. 무결성 감시국(IM)은 기준국의 RTCM 보정정보를 수신하기 위한 데이터 링크와 수신한 보정정보의 무결성 체크 결과를 피드백 메시지(RSIM)로 기준국(RS)에 전송한다. 그리고 제어국(CS)은 기준국 시스템 및 무결성 감시국 시스템과 연결되어 시스템을 제어하는 역할을 수행한다.

2.2 DGNSS RSIM 신규표준 분석

현재 RTCM에서 신규 표준으로 논의 중인 DGNSS RSIM을 위한 RSIM 버전 1.3 (RTCM, 2013a)을 기존 RSIM 버전 1.2 (RTCM, 2006)와 비교 분석하면 Table 1과 같다. 가용한 위성의 경우 RSIM 1.2버전은 GPS만 가용하지만, RSIM 1.3 버전에서는 GPS, GLN(Glonass), GAL(Galileo), BDS(BeiDou), QZSS가 가용하다. 메시지 수는 총 40개에서 RSIM 1.3 버전에서는 39개로 1개가 줄었으며, RSIM 1.2버전에서는 무결성 처리 역시 GPS만 가능했으나, RSIM 1.3 버전에서는 각각의 GNSS별 무결성 처리가 가능하도록 준비하고 있다.

Table 1 Comparison of RTCM RSIM version

	RSIM Ver. 1.2	RSIM Ver. 1.3
GNSS	GPS only	GPS/GLN/GAL/BDS/QZSS
SV ID	-	G / R / E / C / J
Message No.(#)	#1-40	#101-139
Integrity	GPS only	GNSS
Pre & Post Broadcast Integrity	RSIM #23 (wt. RTCM #1) RSIM #34 / RSIM #20 (post)	RSIM #135 (wt. RTCM #41) RSIM #130 / RSIM #131 (post)

2.3 GPS/Galileo 보정 서비스를 위한 고려사항

GPS/Galileo 보정 서비스를 위해서는 우선 Galileo 의사거리 보정정보를 생성하고, 신규 RSIM 버전 1.3 표준에 맞게 세부 메시지 내용을 구성해야 한다. Galileo 위성의 경우 RSIM 메시지 내의 위성 ID는 'E'이며 무결성 감시를 위해 기준국(RS)에서 RTCM #41번 메시지를 RSIM #135번에 실어 감시국(IM)으로 전송하면, 다시 감시국(IM)은 RSIM #130 혹은 RSIM #131(Post mode)번 메시지로 피드백을 수행하여 무결성을 검사한다 (RTCM, 2013a).

3. GPS/Galileo 보정정보 생성 기법

Galileo 보정정보 생성을 위해서는 먼저 Galileo ICD 문서를 기반으로 Galileo 신호를 지원하는 수신기에서 제공하는 원시 계측정보를 해석할 수 있어야 한다. 본 논문에서는 수신기에서 제공하는 BINEX 출력 정보를 해석하여 위성 궤도력 정보와 관측정보를 이용하였다. Galileo 보정정보 생성을 위한 절차를 단계적으로 정리하면 Fig. 2와 같다.

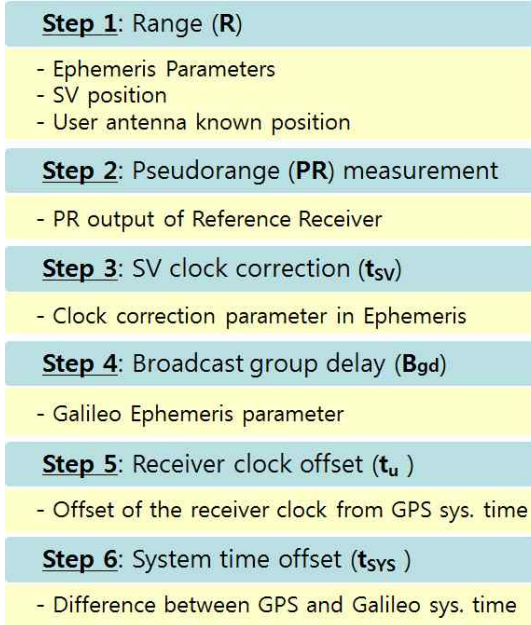


Fig. 2 Process for Galileo pseudorange correction

먼저 항법메시지 내의 궤도력 파라미터를 기반으로 Galileo 위성위치를 추정하고 사용자 기준점과의 거리(R)를 계산한다. 다음으로 수신기의 의사거리(PR) 계측치를 획득하고, 궤도력 시각보정 파라미터를 이용하여 위성시계 보정치(t_{sv})를 식(1)을 이용하여 계산한다.

$$\Delta t_{sv}(X) = \alpha_{f0}(X) + \alpha_{f1}(X)[t - t_{0C}(X)] + \alpha_{f2}(X)[t - t_{0C}(X)]^2 + \Delta t_r \quad (1)$$

t_{0C} : Clock correction data reference Time of Week
 α_{f0} : SV clock bias correction coefficient
 α_{f1} : SV clock drift correction coefficient
 α_{f2} : SV clock drift rate correction coefficient

다음은 식(2)를 이용하여 방송그룹지연(Bgd) 값을 계산하고,

$$Bgd(f_1, f_2) = \frac{TR_1 - TR_2}{1 - \left(\frac{f_1}{f_2}\right)^2} \quad (2)$$

GPS 위성과 Galileo 위성 시각차를 이용하여 시스템 타임 오프셋(t_{sys})을 식(3)을 이용하여 계산한다.

$$\begin{aligned} \Delta t_{sys} &= t_{Galileo} - t_{GPS} \\ &= A_{0G} + A_{1G}[TOW - T_{0G} + 604800 \cdot ((WN - WN_{0G}) \bmod 64)] \end{aligned} \quad (3)$$

A_{0G} : Constant term of the polynomial describing the offset $\Delta t_{systems}$

A_{1G} : Rate of change of the offset $\Delta t_{systems}$

t_{0G} : Reference time for $GGTO$ data

WN_{0G} : Week Number of $GGTO$ reference

$GGTO$: Galileo/GPS time offset

- 의사거리 보정정보 생성 알고리즘

Galileo E1 의사거리 보정정보 생성 알고리즘은 상기 파라미터를 이용하여 식(4)와 같이 계산된다.

$$R - PR - t_{sv} + t_u + Bgd - t_{sys} \quad (4)$$

여기에서 R 은 위성과 사용자 안테나까지의 거리, PR 은 수신기가 계측한 의사거리, t_{sv} 는 위성시계 보정치, t_u 는 수신기 시계 오차, Bgd 는 방송그룹지연, 그리고 시스템 타임 오프셋을 각각 의미한다. 수신기 시계오차(t_u)는 모든 위성신호에 해당되는 공통성분 오차요소라 할 수 있으므로 기준국 수신기에서는 이미 알고 있는 정확한 위치를 이용하여, 각 위성 신호의 측정치에 포함된 수신기 시계 오차 성분을 구할 수 있다.

4. 시뮬레이션

4.1 시뮬레이션 환경

DGNSS RSIM을 위한 GPS/Galileo 의사거리 보정정보 생성 및 성능 검증을 위하여, GNSS 시뮬레이션 환경을 구축하고, 기 개발된 DGNSS RSIM 성능검증 플랫폼에서 실험을 실시하였다. Fig. 3은 GPS/Galileo 의사거리 보정 실험 환경을 나타낸다.

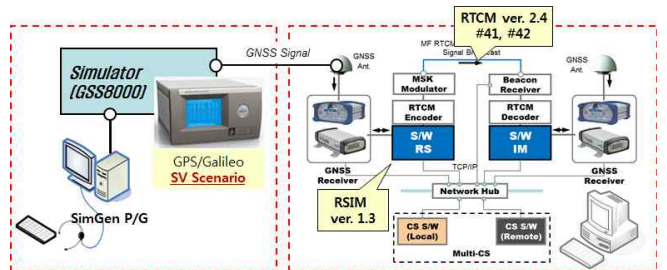


Fig. 3 Simulation environment for GPS/Galileo PRC

본 실험에서 적용한 위성 시나리오와 적용 TD/ID 모델은 Table 2에 나타낸다. GPS, Galileo 각각 8개의 PRN을 이용하여 시뮬레이션을 수행하였다.

Table 2 GPS/Galileo PRNs and ID/TD models

System	PRNs	Simulator ID/TD model	User ID/TD model
GPS	3,6,9,14,18,19,21,22	Klobuchar /STANAG	Klobuchar /Hopfield
Galileo	10,11,12,25,26,27,29,30	NeQuick /STANAG	Klobuchar /Hopfield

5. 실험결과 및 고찰

본 실험에서는 GPS/Galileo 보정정보 생성 알고리즘의 성능 검증을 위해, 먼저 시뮬레이터의 의사거리 보정정보(PRC)와 비교하였고, 측위성능 결과 검증하기 위해 생성된 PRC를 적용한 결과를 비교하여 Fig. 6, Fig.7, Fig. 8에 각각 나타내었다.

4.2 실험 시스템 구성 및 성능검증 방법

Fig. 4는 보정정보 생성 알고리즘의 성능검증을 위한 절차를 나타낸다. GNSS 시뮬레이터의 신호출력을 신호분배기를 통해 두 대의 수신기에 각각 입력하고, 시뮬레이터의 PRC와 수신기 출력을 기반으로 계산한 PRC의 차이를 분석한다. 또한 추정 PRC를 다른 수신기의 의사거리 측정치에 반영하여 측위정확도를 각각 비교하였다.

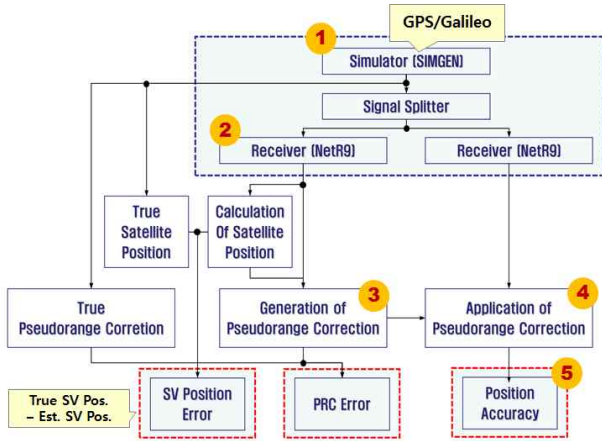


Fig. 4 Process for performance verification

본 실험을 위한 GPS/Galileo 의사거리 보정 성능검증 플랫폼 구성은 Fig. 5와 같다. Spirent 사의 GSS8000 시뮬레이터와 신호 조합기, Trimble NetR9 수신기 2대, 그리고 보정정보 생성 및 처리를 위한 PC로 구성하였다.

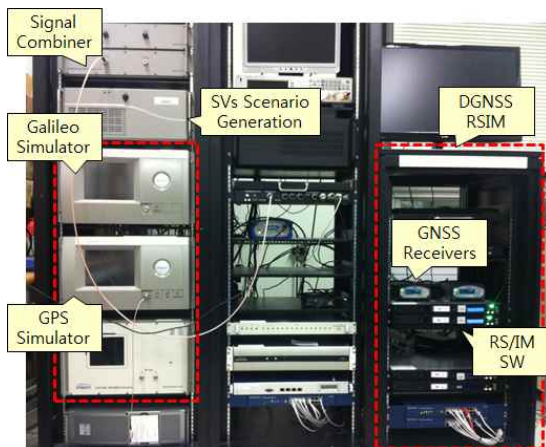
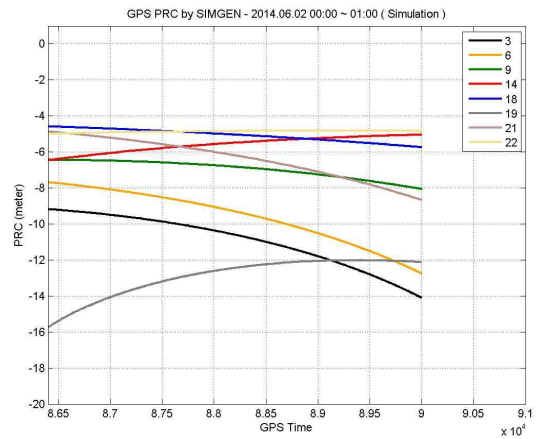
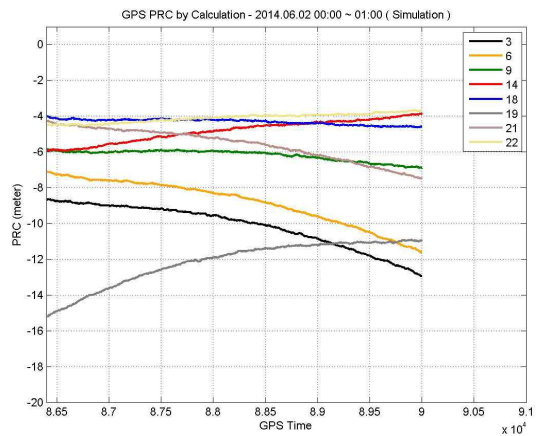


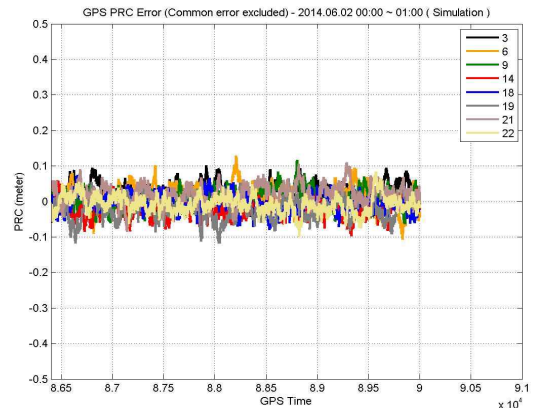
Fig. 5 Experimental setup for performance verification



(a) True GPS PRC - simulator

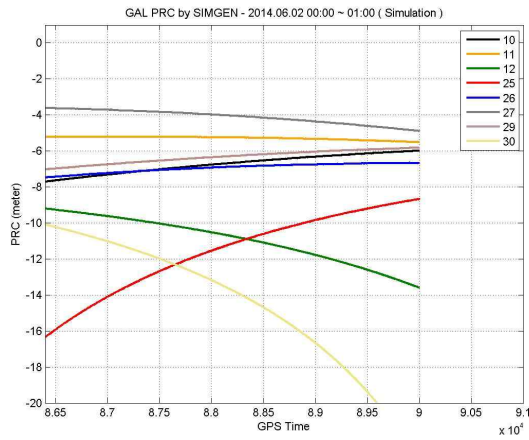


(b) Estimated GPS PRC

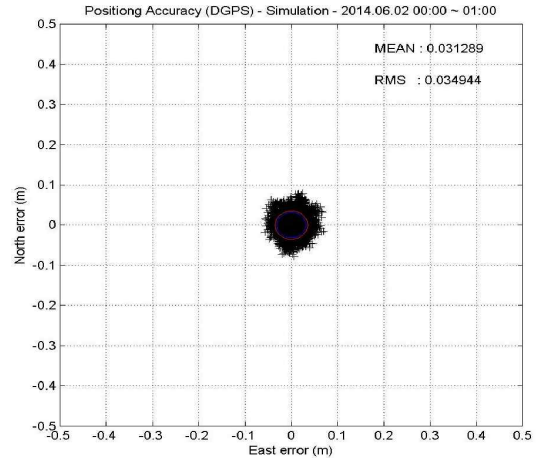


(c) GPS PRC Error

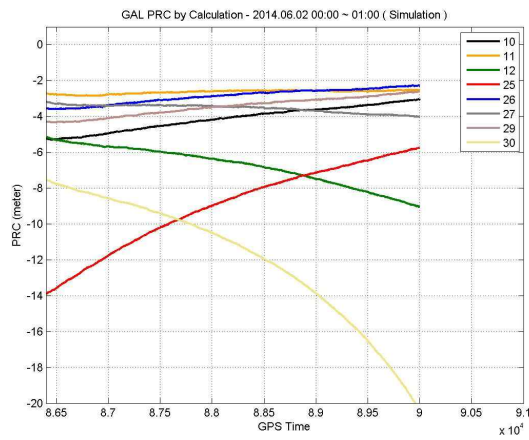
Fig. 6 Comparison of GPS PRC



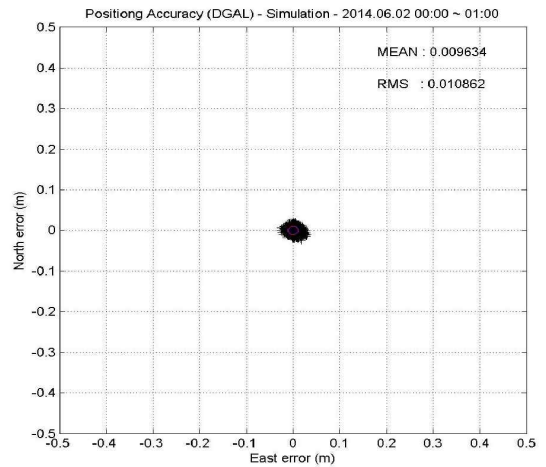
(a) True Galileo PRC - simulator



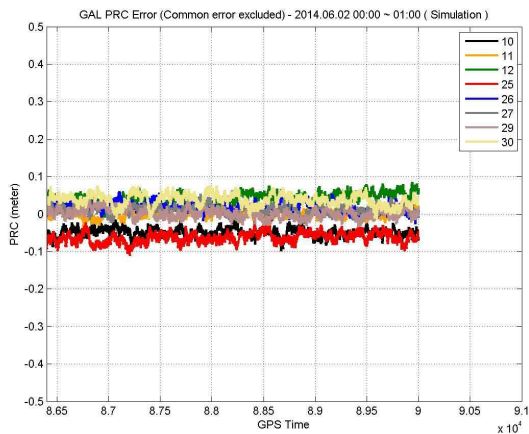
(a) Position accuracy - DGPS



(b) Estimated Galileo PRC

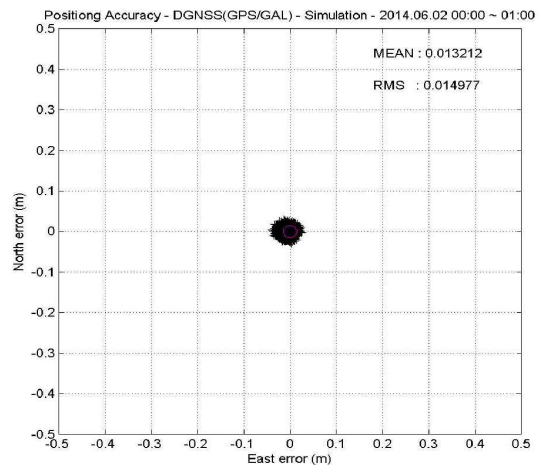


(b) Position accuracy - DGalileo



(c) Galileo PRC error

Fig. 7 Comparison of Galileo PRC



(c) Position accuracy - DGPS/DGalileo

Fig. 8 Comparison of position accuracy using estimated PRC

본 논문에서 실시한 실험결과를 측위정확도 측면에서 정리하면 Table 3와 같다. GPS, Galileo 독자항법일 경우에는 0.08m, 0.77m를 각각 나타내었고, GPS/Galileo 통합 항법일 경우의 측위정확도 결과는 0.51m로 나타났다. Galileo 측위오차가 GPS 보다 크게 나타난 이유는 Table 2에 나타난 바와 같이, 시뮬레이터와 사용자의 서로 다른 ID 모델을 적용하였기 때문인 것으로 판단된다. 그리고 보정항법의 경우, DGPS, DGalileo 결과는 0.034m, 0.010m의 측위정확도를 보였고, DGPS/DGalileo 통합 보정의 경우에는 0.014m의 측위정확도를 각각 나타내었다. DGPS 보다 DGalileo 보정정보를 적용한 결과가 더 좋은 이유는 제시한 알고리즘이 Fig.7(c)에 나타난 것처럼, Galileo 의사거리 보정정보를 보다 정확하게 추정하고 있기 때문임을 알 수 있다.

Table 3 Summarization of simulation results

System		GPS	Galileo	GPS/Galileo
Auto-nomous	MEAN	0.075	0.763	0.496
	RMS	0.080	0.771	0.515
Differential	MEAN	0.031	0.009	0.013
	RMS	0.034	0.010	0.014

본 실험결과는 GNSS 시뮬레이터를 이용한 결과이며, 실제 필드 환경에서의 측위성능 결과는 이보다 더 큰 측위오차를 가질 것이다. 하지만 본 논문에서 제안한 DGNSS RSIM을 위한 GPS/Galileo 보정 기법이 국제기구인 RTCM에서 요구하는 RSIM 성능표준(85cm 이내)을 충분히 만족시킬 수 있음을 확인할 수 있었으며, 이는 향후 DGNSS RSIM 재구축시 적용 및 활용이 가능할 것으로 보인다.

5. 결론

본 논문에서는 DGNSS RSIM 시스템 재구축과 신규 RSIM 표준 대응을 위하여, GPS/Galileo 의사거리 보정정보 생성 기법과 그 성능검증에 대해 다루었다. RSIM 1.3 신규 표준에 대한 비교 분석과 Galileo E1 의사거리 보정정보 생성 알고리즘 및 그 성능검증 절차에 따른 실험결과를 제시하였다. 먼저 GNSS(GPS/Galileo) 시뮬레이터를 이용하여 DGNSS RSIM 성능검증 플랫폼을 구축하였고, 제안한 의사거리 보정정보를 적용하였을 경우의 측위정확도 오차를 DGPS, DGalileo, DGPS/DGalileo 보정항법 측면에서 각각 제시하였다. 실험결과 제안한 방법이 측위정확도 측면에서 RTCM에서 요구하는 85cm 이내 성능을 충분히 만족할 수 있음을 확인하였다.

그러나 본 실험 결과는 실제 DGNSS 기준국 환경이 아닌 GNSS 시뮬레이터를 이용한 결과이므로 향후 Galileo 항법신호가 가용하게 될 경우 그 성능검증을 실시할 필요가 있다.

후 기

본 논문은 2013년 해양수산부의 재원으로 한국해양과학기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임(DGNSS 서비스 성능 강화 및 항만 PNT 모니터링 기술개발[PMS2840]).

References

- [1] Radio Technical Commission for Maritime Services (2006), RTCM Standard 10401.2 for Differential NAVSTAR GPS Reference Stations and Integrity Monitors (RSIM), RTCM Paper 221-2006-SC104-STD.
- [2] G. Galluzzo et al (2014), "The Approach for the validation of Navigation and Timing Performance for Galileo Early Open Service", European Navigation Conference 2014.
- [3] Radio Technical Commission for Maritime Services (2013a), RTCM Standard 10401.3 for Differential GNSS Reference Stations and Integrity Monitors (RSIM).
- [4] Radio Technical Commission for Maritime Services (2013b), RTCM Standard 10402.4 for Differential GNSS Services - Version 2. RTCM Paper 227-2009-SC104-564.
- [5] BINEX: Binary Exchange Format, <http://binex.unavco.org/binex.html>.
- [6] European GNSS (Galileo) Open Service (2010), Signal In Space Interface Control Document.
- [7] Navstar Global Positioning System (2004), Interface Specification IS-GPS-200 Revision D.

원고접수일 : 2014년 8월 13일
 심사완료일 : 2014년 8월 28일
 원고채택일 : 2014년 8월 28일