

# 해양용 DGPS 기준국의 무결성 감시 기능 설계

서기열† · 박상현\* · 조득재\*\* · 서상현\*\*\*

†,\*,\*\*,\*\*\* 한국해양연구원 해양시스템안전연구소

## Design of Integrity Monitor Functions for Maritime DGPS RSIM

Ki-Yeol Seo† · Sang-Hyun Park\* · Deuk-Jae Cho\*\* · Sang-Hyun Suh\*\*\*

†,\*,\*\*,\*\*\* Korea Ocean Research & Development Institute, Daejeon 305-343, Korea

**요약** : 본 논문에서는 DGNSS의 현대화에 대비하고 국제적으로 논의되고 있는 소프트웨어 기반 RSIM 시스템의 기능구현을 위하여, 해양용 DGPS 기준국의 무결성 감시 기능을 설계한다. 무결성 감시국(IM)의 핵심 기능은 기준국 시스템 이상에 따른 알람정보의 생성과 피드백 메시지를 기준국(RS)으로 전송하는 것이다. 이러한 무결성 감시 기능의 설계 및 실험적 차원의 성능 검증을 위하여, 먼저 소프트웨어 RSIM의 아키텍처에 대해 살펴보고, 다음으로 RTCM SC-104 RSIM의 해양용 DGPS 기준국 무결성 감시를 위한 성능표준에 대하여 분석한다. 그리고 성능표준에 기반한 무결성 감시국 기능을 설계하고, 무결성 정보 생성 및 처리과정을 제시한다. 마지막으로 GNSS 시뮬레이터를 이용한 실험을 통해 무결성 감시국 기능의 성능분석 결과를 제시하고 시스템 구현을 위한 향후 연구방향에 대해 논의한다.

**핵심용어** : DGNSS 재구축, DGPS 기준국 시스템, 해상용 DGPS, 소프트웨어 RSIM, RTCM

**Abstract** : In order to prepare for the DGNSS recapitalization and implementation of the functions for software based reference station and integrity monitor (RSIM) system, this paper proposes a design of integrity monitor functions of maritime differential GPS RSIM. The most critical functions of the integrity monitor (IM) are to generate and send flags to the reference station (RS) along with system feedback. Firstly, it presents the architecture of software based RSIM, and analyzes the performance standard of integrity monitor for maritime DGPS reference station. This paper then designs the functions of integrity monitor for DGPS reference station based on the performance standard. Finally, this paper presents the results of performance analysis for the functionality of integrity monitor using the GNSS simulator. It discusses the study method and its application for the system implementation.

**Key words** : DGNSS Recapitalization DGPS RSIM, Maritime DGPS, Software RSIM, RTCM

## 1. 서론

미국의 GPS, 러시아의 Glonass, 유럽연합의 Galileo, 중국의 Compass 등 위성항법시스템(GNSS)의 다원화에 따른 GNSS 보강시스템(Differential GNSS)의 기능고도화에 대비하고, 국제항로표지협회(IALA)의 권고안 R-135의 권고(IALA, 2006)에 따라 미래 DGNSS 재구축에 관한 대비가 필요하다. 또한 서로 상이한 GNSS 서비스 형태의 특성을 분석 및 활용하여 DGNSS의 기능 고도화에 적용할 수 있는 개선된 기준국 시스템 및 무결성 감시 기능이 요구된다. 이러한 요구에 부응하여 미국 해안경비대(US Coast Guard)의 C2CEN은 차세대 DGPS RSIM(Reference Station & Integrity Monitor) 아키텍처[Cleveland et al., 2005]에 대해 정의하였다. 차세대 DGPS RSIM 아키텍처는 기존 RSIM 장비의 부족한 점이라 할 수 있는 장비교체의 난해, 새로운 신호 및 기능 추가, 그리고 신규 서비스에 대한 호환성 문제를 해결하기 위한 PC 기반의 플랫폼이

다. 차세대 DGPS RSIM 아키텍처의 기본적인 요구조건은 새로운 신호와 그 기술에 대한 충분한 유연성을 확보할 수 있어야 하고, 기존 사용자의 수신기와 기존 기준국 시스템과의 호환이 가능해야 한다는 것이다. 이와 관련된 선행 연구를 살펴보면, 차세대 DGPS 아키텍처를 제안한 NDGPS 기준국 아키텍처 현대화 연구(Ferguson et al., 2004)와 해양 DGPS용 L1/L2C 소프트웨어 RSIM 실현 가능성 연구(Park et al., 2008), 해상 DGNSS 현대화를 위한 선택방안(Pattinson et al., 2007)에 관한 연구가 있었다. 본 논문에서는 상기연구를 기반으로 국제적으로 논의되고 있는 소프트웨어 기반 RSIM 시스템의 기능구현을 위하여, 해양용 DGPS 기준국의 무결성 감시 기능을 설계한다. 무결성 감시국(IM)의 주요 기능은 알람정보의 생성과 피드백 메시지를 기준국(RS)으로 전송하는 것이다. 해양용 DGPS 무결성 감시국의 기능을 설계하고, 실험적 차원의 성능검증을 위하여, 먼저 소프트웨어 RSIM의 아키텍처에 대해 살펴보고, 다음으로 RTCM SC-104 RSIM의 해양용 DGPS 기준국의 무결성

† 대표저자 : 서기열(정회원), vito@moeri.re.kr 042)866-3684  
\* 정회원, shpark@moeri.re.kr 042) 868-7518  
\*\* 정회원, djcho@moeri.re.kr 042) 868-7282  
\*\*\* 중신회원, shsuh@moeri.re.kr 042) 868-7264

감시를 위한 성능표준에 대해 분석한다. 그리고 DGPS 기준국의 무결성 감시국 기능을 설계하고, 시스템 구현을 위한 연구 방향에 대해 논의한다.

## 2. 해양용 DGPS RSIM

### 2.1 기존 DGPS RSIM 아키텍처

현재 운영되고 있는 DGPS 기준국 시스템은 GPS 위성신호를 수신하여 보정정보를 생성하고 중계하기 위한 기준국 시스템(Reference Station)과 보정정보의 무결성 감시를 위한 무결성 감시국(Integrity Monitor), 그리고 RSIM 시스템을 제어하기 위한 운영제어국(Control Station)으로 구성된다. Fig. 1은 현재 운용 중인 하드웨어 기반의 RSIM 아키텍처(Park et al., 2008)를 나타낸다.

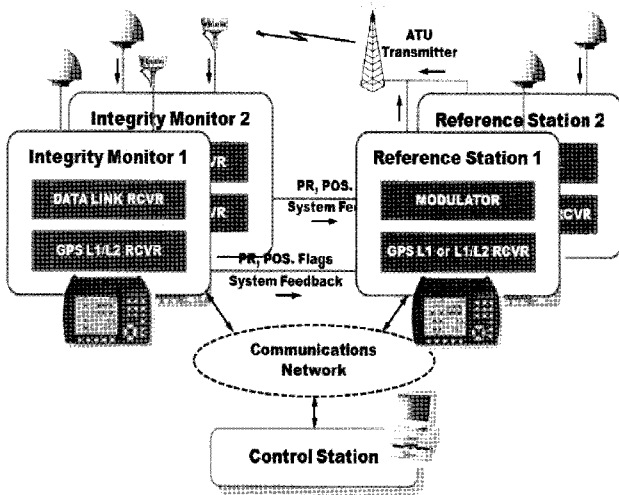


Fig. 1 The architecture of hardware dedicated off-the-shelf RSIM.

### 2.2 소프트웨어 RSIM 아키텍처

소프트웨어 RSIM 아키텍처와 관련하여, 미국 해양경비대(USCG) 등에서 제안한 차세대 DGPS RSIM 아키텍처(Cleveland et al., 2005; Ferguson et al., 2004)에 관한 선행연구를 기반으로 해양용 DGPS를 위한 소프트웨어 기반 RSIM 아키텍처를 설계하였다. Fig. 2는 제안된 소프트웨어 기준국(RS) 시스템의 아키텍처를 나타낸다. 소프트웨어 기준국 시스템은 RS 매니저(RS manager)를 기반으로 수신기 제어기(Receiver controller), 보정정보 생성기(Correction generator), RTCM 엔코더(RTCM encoder), 그리고 모뎀레이터(Modulator) 제어기로 구성된다. 여기에서 수신기 제어기는 GNSS 수신기와의 연결을 통하여 수신기 제어 및 수신기 취득 정보를 획득하고, 보정정보 생성 엔진은 수신된 데이터를 기반으로 보정정보(PRC/RRC)를 생성한다. 그리고 RTCM 엔코더는 보정정보를 RTCM 메시지 포맷으로 변환하여 RS 매니저를

통해 모뎀레이터 제어기로 보내진다. 또한 모뎀레이터 제어기는 RTCM 보정정보를 모뎀레이션 하기 위한 6-of-8 포맷으로 변환하여 MSK 모뎀레이터를 통해 방송된다. 그리고 기준국(RS), 운영 및 제어국(CS), 그리고 무결성 감시국(IM) 시스템은 이더넷 연결로 구성되어 있다.

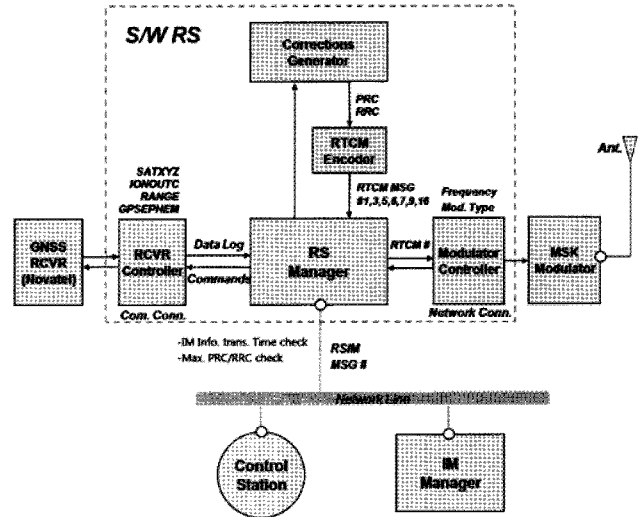


Fig. 2 The architecture of software-based RS.

Fig. 3은 제안된 소프트웨어 무결성 감시국(IM) 시스템의 아키텍처를 나타낸다. 보정정보의 무결성 감시를 위하여, IM 수신기의 획득 데이터와 무선비콘 수신기에 수신된 RTCM 보정정보를 RTCM 엔코더에서 해석하여 보정된 의사거리(Corrected PR)를 구하고, 이를 기반으로 의사거리 잔차(PR Residual)와 절대위치 에러를 결정하여 무결성 정보를 생성한다. 생성된 무결성 정보는 피드백 메시지(RSIM #20)를 이용하여 기준국(RS)으로 전송된다.

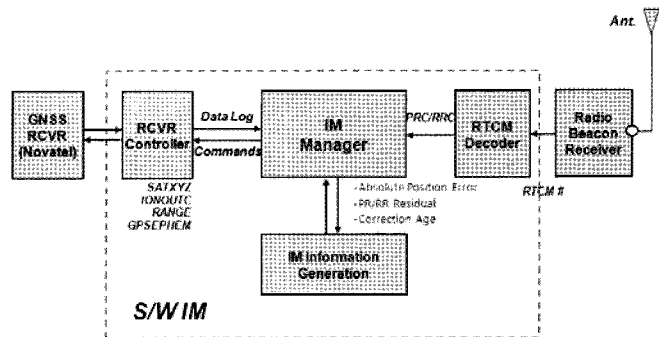


Fig. 3 The architecture of software-based IM.

## 3. 무결성 감시 기능 설계

### 3.1 RSIM 성능 요구조건 분석

DGPS 기준국 시스템의 성능 요구조건과 관련하여, RTCM RSIM 국제표준(RTCM, 2006)을 기준으로 RS 및 IM의 성능 요구조건(S.H. Park et al., 2009)을 나타내면 Table 1, Table 2와 같다.

Table 1 Requirements of reference stations.

Requirements	Marine Navigation	Multi-use Service
C/A code phase measurement accuracy	80cm (rms)	30cm (rms)
C/A code range rate measurement accuracy	10cm/sec (rms)	4cm/sec (rms)
C/A pseudorange correction accuracy	85cm (rms)	35cm (rms)
C/A code range rate correction accuracy	11cm/sec (rms)	5cm/sec (rms)
PRC latency	≤ 1.0 seconds	
Correction quality indicator	1.4m (1σ)	0.6m (1σ)
UDRE generation accuracy	≤ 20% of the actual 1σ PR error	
Anomaly immunity	Adequately buffered/isolated RS clock	
Alarm response - Position flag & PR flag	≤ 1.0 seconds	
Alarm response - Unmonitored condition	≤ 1.0 seconds	
Minimum message set	RTCM #1, #2, #3, #5, #6, #7, #9, and #16	
IOD utilization	90 seconds delay in computing the PRC's	

Table 2 Requirements of integrity monitors.

Requirements	Marine Navigation	Multi-use Service
C/A code phase measurement accuracy	80cm (rms)	30cm (rms)
C/A code range rate measurement accuracy	10cm/sec (rms)	4cm/sec (rms)
Alarm generation time	≤ 0.25 seconds	
Anomaly immunity	Adequately buffered/Isolated RS clock	

### 3.2 IM 주요 기능 분석

무결성 감시국(IM)의 주요 기능은 무선비컨 모니터링, RTCM 메시지 처리량 모니터링, 보정정보 전송시간 모니터링, 보정정보의 무결성 검사, 의사거리 잔차 검사, 절대위치 오차 검사 기능이다. 본 논문에서는 IM의 핵심기능이라 할 수 있는 무결성 정보 생성, 즉 피드백 메시지(RTCM #20)의 생성 및 전송에 중점을 둔다. 피드백 메시지를 구성하기 위한 플래그(Flags)는 크게 위치 플래그(Position Flag)와 의사거리 잔차 플래그(Pseudorange Residual Flag)로 구분된다. 위치 플래그는 IM 수신기를 통해서 계산한 위치 오차가 설정된 허용치를 초과하면 알람을 발생하기 위한 플래그이며, 의사거리 잔차 플래그는 의사거리 잔차 허용치를 벗어나면 해당 위성(RPN #)을 RS에 전송하기 위한 플래그이다. Table 3은 알람정보 생성을 위

하여 RS 부분에서의 알람기능 허용치를 나타내고, Table 4는 IM 부분에서의 알람기능 허용치를 각각 나타낸다.

Table 3 RS part alarm and threshold.

RS Alarm	Threshold	Description
Min. No. of SVs	4 SVs	RS 추적 최소위성수
Max. PRC	100m	최대 PRC 허용치
Max. RRC	4m/s	최대 RRC 허용치
IM Feedback Message	12sec	RSIM #20 메시지 수신 시간
UDRE	5m	의사거리 오차의 1σ 값

Table 4 IM part alarm and threshold.

IM Alarm	Threshold	Description
Min. No. of SVs	4 SVs	IM 추적 최소위성수
Correction Age	30sec	IM이 수신한 RTCM 보정치의 나이
PR Residual	5m	PRC 적용 후 오차의 잔량
RR Residual	0.5m/s	RS RRC와 보정후 IM RRC 차이
Absolute Position Error	5m	절대위치 오차

### 3.3 IM 주요 기능 설계

#### 1) 소프트웨어 IM 아키텍처 설계

Fig. 4는 소프트웨어 IM의 기능 구현을 위한 블록다이어그램을 나타낸다.

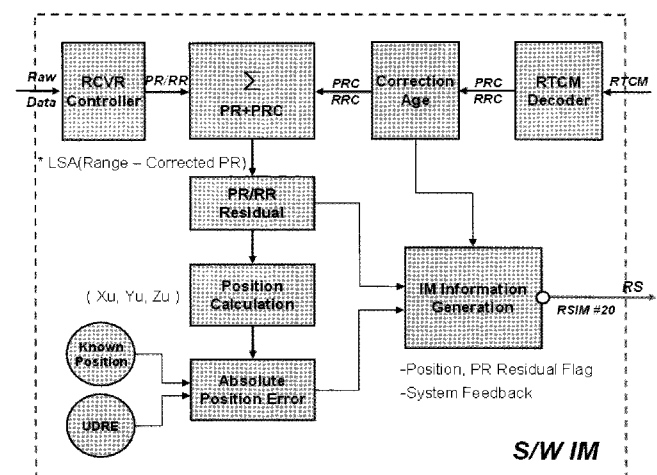


Fig. 4 The block diagram of software IM.

IM 수신기 제어기를 통해 원시 데이터를 기반으로 의사거리를 구하고, 또한 무선 비컨을 통해 수신되는 RTCM 보정정보를 RTCM 디코더를 통해 보정정보를 해석한다. 해당 보정정보

(PRC)가 보정된 정보 즉 보정된 의사거리(Corrected PR)를 기반으로 의사거리 잔차(PR Residual)와 이용자 위치를 계산한 다음, 이미 알고 있는 절대위치를 기준으로 계산된 이용자 위치와의 오차를 구한다. 여기에서 의사거리 잔차 검사와 절대위치 오차 검사결과를 통해 피드백 메시지(RTCM #20)를 생성하여 기준국 시스템에 전송한다.

2) 무결성 정보 생성 및 처리

무결성 정보의 생성 및 처리과정을 나타내면 Fig. 5와 같다.

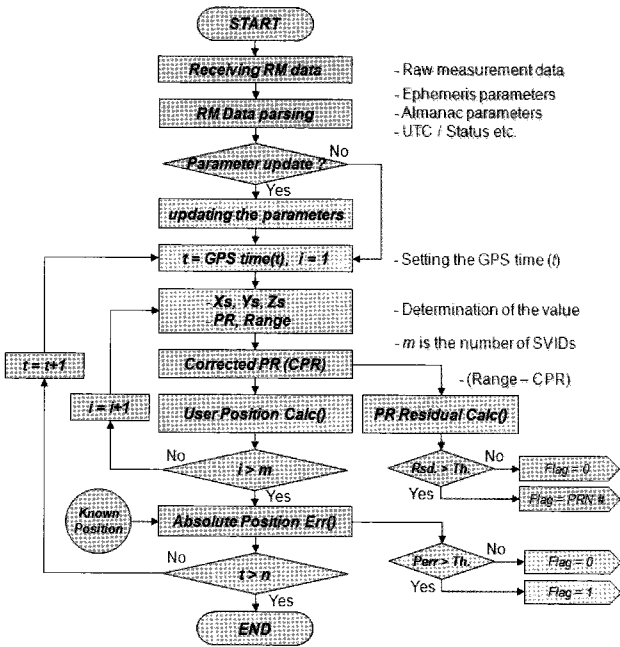


Fig. 5 Processing method of IM information.

IM 수신기의 정보를 기반으로 위성의 위치와 의사거리를 계산한 다음 무선 비컨을 통해 수신된 보정정보(PRC/RRC)를 IM의 의사거리에 반영하여 의사거리 잔차와 절대위치오차(Absolute Position Error)를 계산하여 플래그 데이터를 결정하고 피드백 메시지를 생성하여 RS로 전송한다.

4. 성능분석

4.1 시뮬레이션 방법

소프트웨어 IM의 성능 분석을 위하여, Spirent사의 다채널 GNSS 시뮬레이터(모델명 : GSS7700)의 출력을 RS와 IM 수신기에 연결하여 실험하였다. 또한 GNSS 시뮬레이터의 설정환경은 RSIM ver.1.2에서 요구하는 최소한의 실험환경인 Signal power: -160dBw, Elevation angle: 7.5°, 위성수는 5개로 설정하였다. RS 매니저의 보정정보 생성 알고리즘을 통해 생성된 보정정보를 PC에 내장된 MSK 모듈레이터를 통해 방송하고, IM의 무선 비컨 수신기에서 RTCM 보정정보를 수신하여 IM에서 보정된 의사거리를 기반으로 위치보정과 절대위치 오차 정보를 생성하여 분석한다. Fig. 6은 소프트웨어 IM의 시뮬레

이션 방법을 나타낸다. Fig. 7은 개발된 소프트웨어 RSIM의 장비 구성을 각각 나타낸다. RS와 IM을 각각 구성하기 위한 PC 2대와 NovAtel 수신기 2대, 보정정보 방송을 위한 PCI 타입의 MSK 모듈레이터, 무선 비컨 수신기, 부가적으로 운영 및 제어국(CS) 구성을 위한 PC로 구성되어 있다.

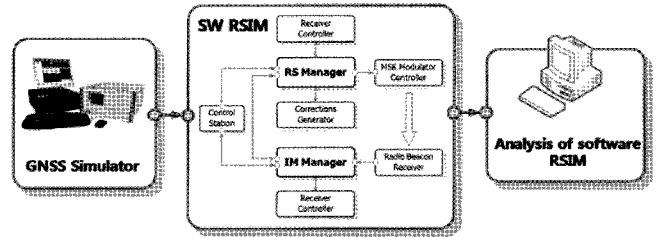


Fig. 6 Experimental method for software IM.

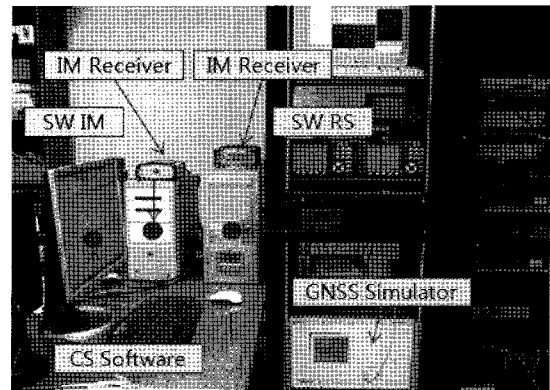


Fig. 7 Experimental setup for software RSIM.

4.2 실험 결과

IM 성능을 분석하기 위하여, RS 매니저의 보정정보 생성 알고리즘을 통해 생성된 보정정보(PRC) 데이터는 Fig. 8과 같다.

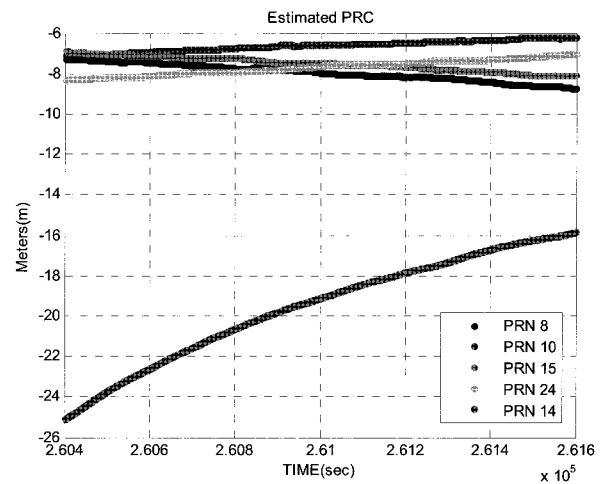


Fig. 8 Estimated Pseudorange Corrections.

PRC 데이터를 기반으로 IM 수신기의 의사거리를 보정한 다음 GPS 단독일 경우와 보정정보 적용 후의 성능결과 비교는

Fig. 9와 Fig. 10에 각각 나타내었다. GPS 단독일 경우 위치오차는 mean = 1.4292m, rms = 1.4695m의 결과를 나타내었고, IM에서 보정정보를 적용한 DGPS 위치오차는 mean = 0.051225m, rms = 0.056977의 결과를 나타내었다. 그리고 Fig. 11과 Fig. 12는 추정 의사거리 잔차(PR Residual)를 각각 나타낸다.

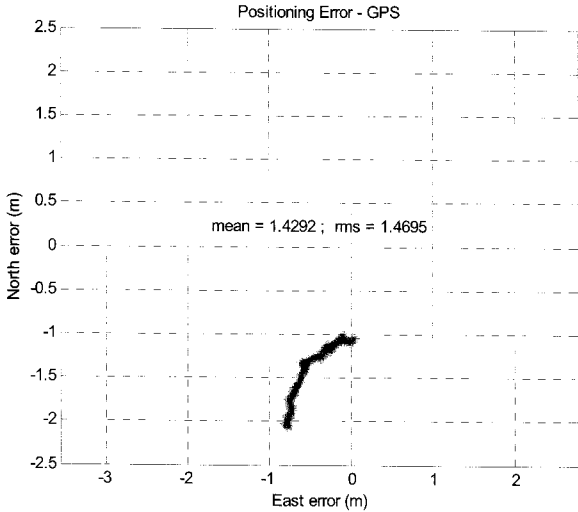


Fig. 9 GPS position error.

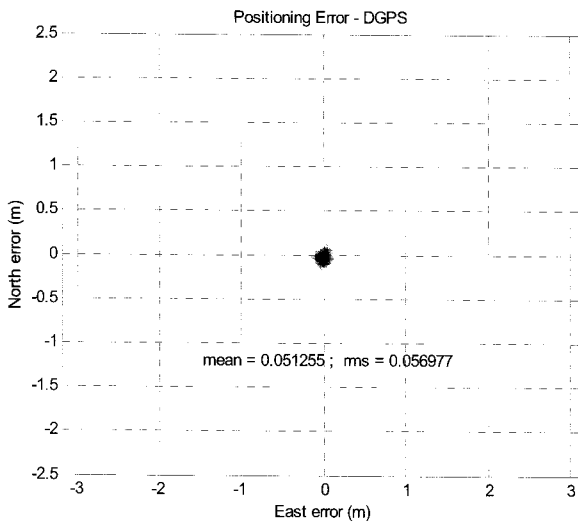


Fig. 10 DGPS position error.

또한 Table 5는 보정정보 적용 전과 적용 후의 측위오차 (Position error)를 비교한 결과이며, Table 6은 UDRE 정확도 (UDRE generation accuracy), Table 7은 의사거리 잔차 정확도(Pseudorange residual accuracy)를 위성별로 각각 비교한 결과이다. Table 3의 RS 무결성 요소인 최소 위성수, 최대 PRC, UDRE 정확도가 허용치 이내임을 확인할 수 있다. 그리고 Table 4의 IM 무결성 요소인 최소 위성수, 의사거리 잔차, 절대 위치 오차의 요구 성능을 모두 만족하였다.

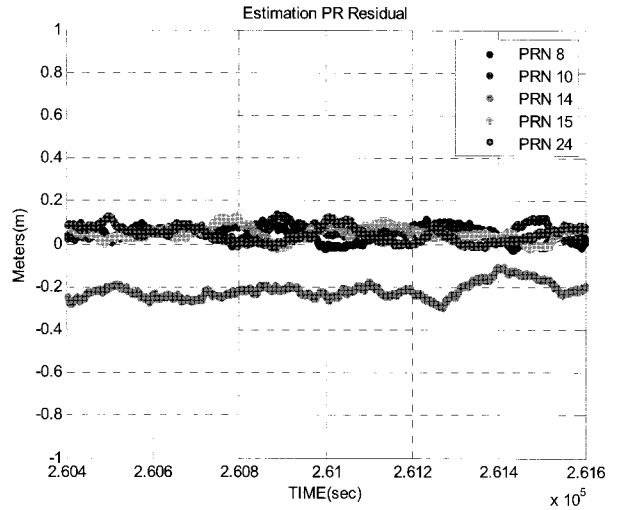


Fig. 11 Pseudorange residual (a).

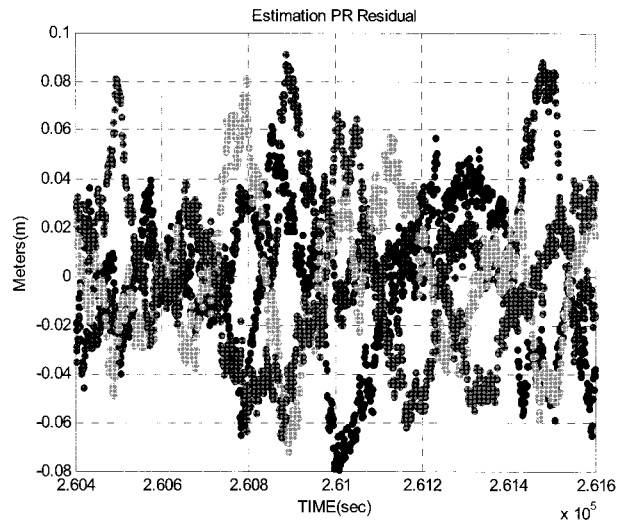


Fig. 12 Pseudorange residual (b).

Table 5 Comparison of position error.

	mean (m)	rms (m)
GPS	1.4292	1.4695
DGPS	0.0512	0.0569

Table 6 UDRE generation accuracy.

PRN #	UDRE Accuracy (cm)				
	8	10	14	15	24
SW RS	3.07	2.17	3.27	2.88	3.71

Table 7 Pseudorange residual accuracy.

PRN #	PR Residual (cm, rms)				
	8	10	14	15	24
SW IM	5.80	6.99	21.67	6.12	5.94

## 5. 결 론

본 논문에서는 위성항법시스템(GNSS)의 다원화에 따른 GNSS 보강시스템(DGNSS)의 기능고도화에 대비하고, 국제항로표지협회(IALA)의 권고안 R-135의 권고에 따라 미래 DGNSS 재구축에 대비하기 위하여, 또한 국제적으로 논의되고 있는 소프트웨어 기반 RSIM 시스템의 기능구현을 위하여, 해양용 DGPS 기준국의 무결성 감시 기능을 설계하였다. 무결성 감시국(IM)의 핵심 기능은 기준국 시스템 이상에 따른 알람정보의 생성과 피드백 메시지를 기준국(RS)으로 전송하는 것이다. 이러한 기능의 설계 및 실험적 차원의 성능검증을 위하여, 먼저 소프트웨어 RSIM의 아키텍처에 대해 살펴보았고, 다음으로 RTCM SC-104 RSIM의 해양용 DGPS 기준국 무결성 감시를 위한 성능표준에 대해 분석하였다. 그리고 DGPS 기준국의 무결성 감시국 기능을 설계하였고, 무결성 정보 생성 및 처리과정을 제시하였다. GNSS 시뮬레이터를 이용하여 실험한 결과 국제표준에서 요구하는 무결성 감시 요구 성능, 즉 최소 위성수, 최대 PRC, UDRE 정확도, 의사거리 잔차, 위치정확도를 모두 만족하였다. 그러나 본 논문에서는 실제 위성신호를 기반으로 한 결과가 아닌 시뮬레이터를 기반으로 하였기에 실제 위성을 기반으로 한 성능분석이 필요하며 이를 적용한 기준국 시스템의 구축 및 운영을 위한 보다 세부적인 논의가 필요할 것이다.

## 후 기

본 연구는 국토해양부의 지원으로 수행 중인 “국가 위성항법보정시스템 구축개발 (PMS174A)” 과제와 한국해양연구원의 지원으로 수행 중인 “선박 안전통항 높이 결정을 위한 위성항법기반 수직측위기술 개발(PES129B)” 과제의 연구결과 중 일부임을 밝힌다.

## 참 고 문 헌

[1] Cleveland, A., Wolfe, D., and Parsons, M. (2005), “Next Generation Differential GPS Architecture,” Proceedings of the 18th International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation, pp. 816-826.

[2] Ferguson, K. (2004), “NDGPS Reference Station and Integrity Monitor Architecture Modernization,” Proceedings of the 60th Annual Meeting of the Institute of Navigation, pp. 729-740.

[3] International Association of marine aids to navigation and Lighthouse Authorities (2006), “The Future of DGNSS”, Recommendation R.135.

[4] International Maritime Organization (2001), “Revised Maritime Policy and Requirements for a Future Global Navigation Satellite System (GNSS)”, Resolution A.915

(22), 22nd Session of IMO Assembly.

[5] Pattinson, M., Dumville, M., and Ward, N. (2007), “Options for the Modernization of Maritime DGNSS,” Proceedings of the 20th International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation, pp. 1914-1922.

[6] Park, S. H., Cho, D. J., Seo, K. Y., and Suh, S. H. (2008), “A Feasibility Study on LI/L2C Software RSIM for Maritime DGPS,” Proceedings of the Institute of Navigation, pp.2479-2484.

[7] Park, S. H., Cho, D. J., Seo, K. Y., and Suh, S. H. (2009), “Requirements Analysis and Testing for Maritime Differential GPS RSIM,” Institute of Navigation ITM 2009, pp.993-998.

[8] 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.

원고접수일 : 2009년 6월 23일  
 심사완료일 : 2009년 8월 17일  
 원고채택일 : 2009년 8월 19일