

DO-278의 Validation & Verification에 적합한 WA-DGNSS 기준국 소프트웨어의 모듈별 통합 검증 방법론 제시

A Suggestion of Methodologies for Modular and Integrated Verification of WA-DGNSS Reference Station Software Suitable for Validation & Verification of DO-278

윤동환¹ · 박병운^{1*} · 최완식² · 기창돈³ · 서승우⁴ · 박준표⁴

¹세종대학교 항공우주공학과, ²한국전자통신연구원 산업IT융합연구단, ³서울대학교 기계항공우주공학부 항공우주신기술연구소, ⁴국방과학연구소

Donghwan Yoon¹ · Byung-woon Park^{1*} · Wan-sik Choi² · Changdon Kee³ · Seungwoo Seo⁴ · Junpyo Park⁴

¹Department of Aerospace Engineering, Sejong University, Seoul 143-747, Korea

²IT Convergence Department, Electronics and Telecommunications Research Institute, Daejeon 305-700, Korea

³Mechanical and Aerospace Engineering and the Institute of Advanced Aerospace Technology, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea

⁴The 3rd R&D Institute, Agency for Defense Development, Daejeon 305-600, Korea

[요 약]

WA-DGNSS는 지상에서 수신한 GNSS 신호를 관련 오차 계산 후 보정 정보를 생성하여 위성을 통해 사용자에게 보정 정보를 제공하는 시스템을 말한다. 사용자는 이 시스템을 통해 위치 정확도 향상 및 GNSS 신호에 대한 신뢰성을 보장 받는다. 또한 국제 민간항공기구(ICAO)에서는 항공기 이착륙 절차에 광역 보정시스템의 적용을 권고하고 있다. 본 논문에는 항공관련 소프트웨어 개발 절차 관련 규격문서인 RTCA DO-278의 소프트웨어 검증 프로세스를 참고하여 기 구축된 WA-DGNSS 광역 기준국 소프트웨어의 모듈 및 통합 테스트 단계를 구성하여 검증을 위한 방법론을 제시한다. 또한 제시한 방법론을 통해 기준국 소프트웨어 테스트를 통계적으로 검증하였으며 이러한 검증을 통해 기준국 소프트웨어의 기능이 적절히 수행됨이 확인되었다.

[Abstract]

WA-DGNSS is a system to service for users using a satellite which received correction data from ground station that calculates the relative errors of the tracked GNSS signals and sends to a satellite. Users are guaranteed the reliability of the GNSS signal and the accuracy of positioning. ICAO recommends the application of WA-DGNSS for the airplane taking off and landing process. In this paper, we suggests methods to verify of the pre-developed WA-DGNSS reference software constituting modules and an integration test process refer to the RTCA DO-278 which is a document for the development process of an aeronautics software. Also, we statistically verified the reference software test through our methods. And then, we confirmed to performance the function of the reference software properly.

Key word : GNSS, WA-DGNSS, RTCA DO-278, Software validation and verification methods.

<http://dx.doi.org/10.12673/jant.2015.19.1.15>



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.

Received 16 February 2015; Revised 17 February 2015

Accepted (Publication) 23 February 2015 (28 February 2015)

*Corresponding Author, Byungwoon Park

Tel: +82-2-3408-4385

E-mail: byungwoon@sejong.ac.kr

I. 서론

WA-DGNSS (wide area differential GNSS)는 지상에 위치한 기준국이 수신한 GNSS 신호를 이용하여 각종 오차를 계산 후 보정 정보를 생성하여 사용자에게 정지궤도 위성을 통해 보정 정보를 제공하는 시스템을 말한다. 미국의 WAAS (wide area augmentation system), 유럽의 EGNOS (european geostationary navigation overlay service), 러시아의 SDCM (system for differential correction and monitoring), 일본의 MSAS (multi-functional satellite augmentation system) 등이 각국에서 운영 중인 대표적인 WA-DGNSS의 예이다. 이러한 세계 적인 추세에 맞추어 국내 역시 항공용 위성항법 시스템인 한국형 SBAS (satellite based augmentation system) 사업이 진행 중이다.

또한 국제 민간항공기구(ICAO)에서는 항공기 이착륙 절차에 위치 정확도 향상 및 신뢰성 향상을 위해 광역 보정 시스템의 적용을 권고하고 있다. 따라서 항공용 위성항법 시스템 및 WA-DGNSS 시스템 개발을 위해 광역 기준국, 중앙처리국 프로세스 등의 핵심 기술 확보 및 검증이 요구되고 있다. 미국의 WAAS는 RTCA (radio technical commission for aeronautics)에서 제공하는 항공관련 소프트웨어 개발 및 검증 규격 문서인 DO-178과 DO-178을 지상 시스템 소프트웨어 개발 및 검증 프로세스에 적용시킨 DO-278을 실제 광역 기준국 시스템 소프트웨어 개발 및 검증 절차에 포함하여 개발한 대표적인 사례이다 [1].

본 연구의 타겟 시스템인 WA-DGNSS 기준국 소프트웨어는 지상 시스템으로 분류되므로 이 시스템에 대한 알고리즘 연구 개발 및 검증을 위해서 DO-278과 같은 엄격한 규정 및 절차를 통해 검증하거나 이에 준한 절차를 활용하여 개발할 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 DO-278에서 규정하는 시스템 검증을 위한 단계별 개발 및 검증 절차를 참고하여 모듈 및 통합 테스트 절차를 구분하였고 기준국 소프트웨어에 적합한 모듈별 테스트, 통합 테스트에 대한 방법론을 제시하고 이를 통계적 테스트를 통해 검증해보았다.

II. 기준국 소프트웨어 테스트 방법론

한국정보통신기술협회에서는 표1.과 같이 광역기준국에서 중앙처리국으로 전송하는 데이터 규격을 정의하고 있다. 본 연구에서는 표1.의 데이터 중 대표적인 보정정보로 사용되는 Trop_dry, Trop_wet, Iono_delay, Pr_res를 광역기준국 소프트웨어의 각 모듈로 구성하였다. 모듈별 테스트는 각 모듈의 알고리즘 구현의 적절성을 테스트하고 통합 테스트에서는 각 모듈의 측정치를 통합 소프트웨어에 적용하여 각 모듈간의 영향이 있는 지 여부 및 전체 모듈을 통합 소프트웨어에 적용한 결과의 타당성을 통계적으로 검증하는 방법론을 제시한다.

표 1. 광역기준국 전송 데이터 규격

Table 1. Reference station transfer data format.

Field	Type	Length (Byte)	Unit	Description
Preamble	BYTE	1	-	Preamble
Message Length	short	2	byte	메시지 크기
Message Type	BYTE	1	-	광역기준국 전처리 데이터 메시지 형식
WRS ID	UInt	4	-	광역기준국 고유번호
WRS Flag	BYTE	1	-	광역기준국 무결성 flag(0:정상, 1:고장)
N_sv	BYTE	1	개	광역기준국가시위성 수
Rcv_time	Double	8	sec	측정치 수신 GPS time
Clk_bias	Double	8	meter	m단위로 환산된 수신기 오차
Trop_dry	Double	8	meter	수직 건조 대류층 지연
Trop_wet	Double	8	meter	수직 습윤 대류층 지연
PRN	BYTE	1	-	위성 PRN 번호
Satellite Flag	BYTE	1	-	위성 무결성 flag
IODE	BYTE	1	-	Issue Of Data Ephemeris
Pr_res	Double	8	meter	의사거리 잔차
Pr_sig	Double	8	meter	의사거리 잔차의 표준편차
Iono_delay	Double	8	meter	경사 전리층 지연
Iono_sig	Double	8	meter	경사 전리층 지연 표준편차
IPP_lat	Double	8	deg	전리층 통과점 위도
IPP_lon	Double	8	deg	전리층 통과점 경도
L1_Doppler	Double	8	Hz	L1 주파수 도플러 측정치

2-1 모듈 별 테스트 방법론

광역기준국은 대류층 지연 오차 추정 모듈과 전리층 지연 오차 추정 모듈, 그리고 측정치 오차 제거 및 잔차 계산 모듈로 구성되고, 각 모듈에서 추정된 대류층 지연, 전리층 지연 오차, L1 코드 측정치 잔차를 시뮬레이션 데이터 생성에 사용한 오차 성분별 참값과 비교함으로써 각 모듈의 알고리즘 적절성을 테스트할 수 있다.

따라서 타겟으로 삼은 모듈이 추정하는 성분만 포함된 RINEX 데이터를 생성하고 이를 적용하여 분석하도록 한다. 즉, 테스트 시나리오를 전리층 오차만 포함된 iono-only, 대류층 오차만 포함된 tropo-only 위성 궤도 오차만 포함된 eph-only로 세분화하여 각 모듈의 결과를 비교하도록 한다. 기구현된 광역 기준국의 모듈별 테스트와 통합 소프트웨어 테스트를 위하여 GPS 실제 측위 환경에 근거한 오차량을 성분별로 적용하여 시뮬레이션 데이터를 생성하였다. 측위 지점은 세종대 충무관 옥상에 설치된 GPS 기준국의 위치인 (-3052169.786, 4039503.815, 3866233.999)로 선정하고, 측위 날짜는 2014년 7월 1일, 시간은 전리층 활동이 가장 활발한 14:00 ~ 15:00 (한국시간)으로 설정하였다.

1) 전리층 추정 모듈 테스트

전리층 오차 추정 부분의 테스트는 측정치에 전리층 오차만 포함시킨 RINEX data를 생성하고, 잡음이 포함되지 않은 측정치를 사용하여 모듈에서 산출된 전리층 오차량의 바이어스 성분이 있는지 여부를 확인한다. 또한 측정치에 전리층 오차 외에도 측정치 잡음이 포함된 RINEX data를 생성하여 필터링에 적용된 epoch이 증가함에 따라 잡음 특성이 개선되는지 여부를 통계적으로 확인한다. L1/L2 측정치를 이용하여 적용하는 Hatch Filter 추정치의 표준편차($\sigma_{\hat{\gamma}}$)는 식(1)에 근사적으로 따르므로 참값과 추정치간 차이가 통계적 범위 내 만족 여부를 평가하여 전리층 추정 모듈의 스무딩 적절성을 판단한다[2].

$$\sigma_{\hat{\gamma}}^2 \approx \frac{1}{k} \cdot \frac{(\sigma_{\rho_2}^2 + \sigma_{\rho_1}^2)}{(\gamma - 1)^2} \quad (1)$$

여기서 k는 필터에 적용된 epoch 수, σ_{ρ_1} 과 σ_{ρ_2} 는 각각 L1과 L2 코드 측정치 잡음의 표준편차, γ 는 $\frac{f_{L1}^2}{f_{L2}^2}$ 을 의미한다.

2) 대류층 추정 모듈 테스트

대류층 지연 오차 추정 모듈 테스트를 위해 대류층 오차만 포함된 RINEX 데이터를 생성하고 이를 소프트웨어에 입력한다. RTCA DO-229에 따른 모델을 적용한 대류층 잔여 오차의 표준 편차($\sigma_{\hat{T}}$)는 식(2)을 따르므로 오차가 통계 범위 내에 있는지 여부를 판단하여 대류층 추정 모듈의 적절성을 판단한다 [3].

$$\sigma_{\hat{T}}^2 \approx \left(0.12 \cdot \frac{1.001}{\sqrt{0.002001 + \sin(Et^i)}} \right)^2 \quad (2)$$

3) L1코드 측정치 잔차 추정 모듈 테스트

전리층과 대류층 오차가 제거된 L1 코드 측정치 잔차는 위성 관련 오차인 URE(user range error)가 주로 포함되므로, 해당 모듈의 테스트를 위하여 RINEX navigation data와 sp3 데이터의 궤도 정보 차이를 반영한 RINEX 데이터를 생성하여 소프트웨어에 적용한다. C.B Cooley에 따르면 2012년 URE의 RMS ($\sigma_{i,URE}$)는 0.8 m 수준이므로 이를 반영하여 잔차와 URE를 비교하도록 한다[4]. 이 때 측위 과정에서 사용자 시계 오차와 같은 공통 오차에 의해 URE와 오프셋이 생길 수 있으므로 이를 고려한다. 다수의 위성에 대하여 연속적으로 데이터를 처리하는데 문제가 없는지 여부를 확인하기 위하여 오차가 포함되지 않은 데이터와 bias 성분 없이 수신기 잡음만 포함된 데이터를 RINEX 포맷으로 구성하여 처리한다. 다음으로 앞서 모듈 별 테스트에 사용된 특정 오차만 포함된 데이터를 통합 소프트웨어에 적용한 뒤, 모든 모듈의 추정치를 분석하여 해당 오차 이외의 bias 오차가 추정되거나 포함되는지 여부를 확인하여 특정

오차가 타 오차의 추정 모듈에 영향을 주는지 여부를 판단한다.

2-2 통합 테스트 방법론

모듈별 테스트를 통해 각 모듈별 알고리즘의 적절성이 입증되었다고 하더라도 이 결과는 통합 소프트웨어에서 정상적으로 운영될 수 있음을 의미하진 않는다. 특히 광역기준국 소프트웨어의 모듈은 독립적으로 운영되는 것이 아닌 각 모듈의 처리 결과가 다음 모듈에 사용되는 연속적인 구조로 되어있다. 따라서 통합 소프트웨어의 테스트는 각 모듈 별 결과뿐만이 아니라 최종 결과에 대한 분석도 필요하므로 본 연구에서는 통합 테스트를 3단계로 구성하였다.

1) Zero error test & noise-only test

다수의 위성에 대하여 연속적으로 데이터를 처리하는데 문제가 없는지 여부를 확인하기 위하여, 우선 오차가 포함되지 않은 데이터(zero error)와 bias 성분 없이 수신기 잡음만 포함된 데이터(noise-only)를 통합 테스트에 적용하여 검증한다.

2) Isolated error test

모듈 별 테스트에서 사용된 특정 오차로는 전리층 지연 추정 오차, 대류층 지연 오차, L1코드 측정치 잔차가 있다. 본 테스트에서는 각 각의 모듈을 통합 소프트웨어에 적용하여 특정 오차만 포함된 데이터의 추정 결과가 해당 오차 이외의 bias가 포함되는지 여부를 확인하여 특정 오차가 타 오차의 추정 모듈에 영향을 주는 지에 대한 검증을 한다.

3) Full error test

마지막으로 모든 오차가 포함된 측정치를 통합 소프트웨어 적용한 뒤, 각 모듈에서 추정된 오차가 모두 주어진 통계 범위 내에 존재하는지 확인한다. 본 테스트에서는 추정된 전리층과 대류층 오차를 제거한 코드 측정치로 구한 기준국의 측위 정확도를 통계적으로 분석함으로써 통합 소프트웨어의 적절성을 최종적으로 판단한다.

III. 기준국 소프트웨어 테스트

본 연구에서는 실제 측위 환경에 근거하여 시뮬레이션 데이터를 생성하였다. 생성된 데이터를 기 구현된 광역기준국 프로세스에 대입한 후 획득한 오차 추정치와 시뮬레이션 데이터에 삽입된 오차별 참값을 비교하였다. 이를 통해 모듈 단위의 테스트를 수행한 후 소프트웨어 통합 테스트 수행을 위해 모든 프로세스가 종료된 후 획득한 측위 결과를 통계적 분석을 통해 통합 프로세스의 적절성을 평가하였다.

3-1 오차 추정 모듈 별 테스트

1) 전리층 오차 추정 테스트 결과

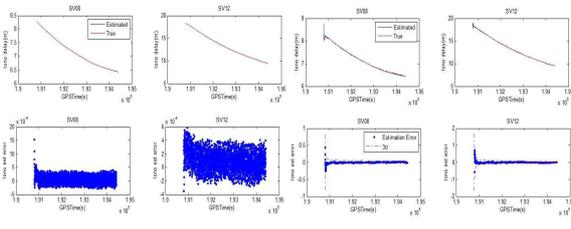


그림 1. 잡음이 제거된 전리층 지연 추정 결과 및 잔차(좌), 잡음이 포함된 전리층 지연 추정 결과 및 잔차(우)
Fig. 1. Results of ionospheric delay estimation without noise and residuals(left), results of ionospheric delay estimation with noise and residuals(right).

가시위성인 8번, 12번 위성 대하여 전리층을 추정한 결과는 그림 1의 왼쪽 상단 2개 그래프에 나타났다. 또한 왼쪽 하단 2개의 그래프는 추정치와 실제 지연값 간의 잔차를 시계열로 표시한 그래프이다. 전리층 지연 추정 잔차는 10^{-4} 수준으로 반송파의 잡음보다도 훨씬 작은 수준이다. 따라서 통계적으로 전리층 추정 모듈 알고리즘은 적절하게 구현된 것으로 평가하였다.

2) 전리층 오차 스무딩 테스트 결과

그림 1의 우측 상단 2개의 그래프는 전리층 오차와 측정치 잡음이 포함된 RINEX 데이터를 전리층 추정 및 스무딩 모듈에서 처리한 결과이다. 스무딩 초기에는 실제 지연값과 약간 차이가 있으나 시간이 지남에 따라 그 차이가 점차 감소된다. 또한 우측 하단 2개의 그래프는 스무딩 epoch에 따라 그 크기가 감소하는 $3\sigma_I$ 라인을 함께 표시하였다. 잔차 역시 $3\sigma_I$ 라인과 유사한 경향을 띠 뿐 아니라, 전체 샘플의 약 99.93%가 $3\sigma_I$ 를 만족하므로 스무딩이 적절하게 적용되었음이 통계적으로 증명되었다.

3) 대류층 오차 추정 모듈 테스트

그림 2 상단 2개의 그래프는 대류층 지연량의 참 값과 Hopfield model에 의한 추정 값을 비교한 그래프로, 모델과 입력 값의 차이가 있음에도 두 결과는 거의 동일함을 확인할 수 있다.

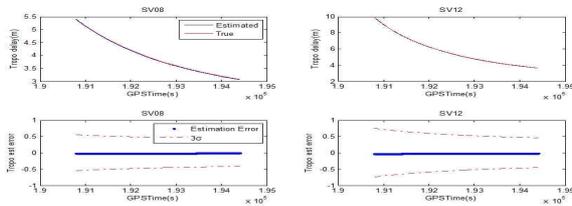


그림 2. 잡음이 포함된 대류층 지연 추정 결과(상) 및 지연 추정 후 잔차의 시계열 분포(하)
Fig. 2. Results of tropospheric delay estimation with noise(up) and time distribution of residuals after estimation(down).

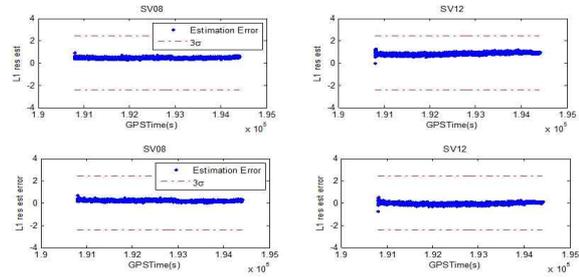


그림 3. 측정치 잔차로 획득한 위성궤도 및 시계 오차 추정치(상) 및 잔차(하)
Fig. 3. Satellite orbit and time error estimation from measurement residual(up), and results of residual(down).

또한 하단 2개의 그래프는 그 잔차를 도시한 것으로, 기준치 σ_I 보다 그 차이가 훨씬 작음을 확인할 수 있다. 따라서 데이터 생성과 추정에 사용된 모델이 서로 다름에도 불구하고 Hopfield model에 의해 구현된 대류층 지연 추정 모듈의 적합성을 테스트를 통해 검증할 수 있다.

4) 위성 잔차 계산 모듈 테스트

대류층과 전리층 오차, 기준국-위성간 거리를 L1 코드 측정치에서 제거한 나머지 잔차($\delta\rho$)로부터 획득한 위성 궤도 오차 추정치의 경향은 그림 3 상단의 2개 그래프와 같으며 앞서 설정한 $3\sigma_{i,URE}$ 이내에 모두 포함됨을 확인할 수 있다. 또한 산출한 위성 궤도 및 시계 오차 추정치와 해당 오차의 참값을 뺀 잔차의 경향은 그림 3 하단 2개 그래프와 같다. 데이터 전반부는 전리층 오차 추정 및 스무딩 모듈의 영향으로 잡음이 약간 크게 형성되어 있으나 모두 bias가 제거된 형태임을 확인할 수 있다. 따라서 L1 측정치 잔차 산출 모듈의 알고리즘 역시 적절하게 구현된 것으로 판단된다.

3-2 통합 소프트웨어 테스트 결과

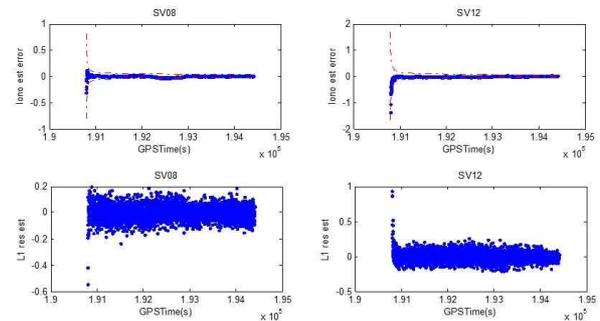


그림 4. Noise-only error test의 전리층 오차 추정결과(상) 및 측정치 잔차 검증 결과(하)
Fig. 4. Ionospheric error estimation results in noise-only error test(up) and validation results of measurement residuals(down).

1) Zero-error test & noise-only test

Zero-error test에 사용된 측정치에 L1/L2 코드/반송파 특성 및 위성 양각을 고려한 잡음을 포함하여 소프트웨어에 적용한 결과는 그림 4의 상단 그래프와 같다. 이 그래프는 스무딩이 적용되는 epoch이 증가함에 따라 $3\sigma_I$ 라인이 감소하고, 추정 잔차 역시 대부분 해당 범위 내에 있음을 보여준다. 그래프에서는 가시 위성 8번과 12번 위성만 표시하였지만 테스트에서는 전체 8개의 위성 3600 epoch에 대하여 $3\sigma_I$ 보다 큰 잔차가 남은 샘플은 22개로 전체의 0.076%에 불과하므로 noise-only test는 통계적으로 만족한다고 할 수 있다. 그림 4 하단 그래프 결과인 측정치 잔차의 검증 결과 역시 대부분의 영역에서 전 에폭에 걸쳐 1 m 이내의 잔차 경향을 보이고 있으므로 모듈의 결과가 타 모듈의 bias를 발생하지 않음을 확인할 수 있다.

추정된 전리층 오차를 제거한 L1 측정치로 구한 측위 결과는 그림 5의 좌측 그래프와 같다. 위치 영역에서 오차는 10^{-3} 수준이므로, 오차 추정 및 잔차 산출 모듈을 포함한 통합 소프트웨어가 적절하게 동작하고 있는 것을 확인할 수 있다. 다음으로 그림 5의 우측 그래프인 noise-only test 측위 결과를 각 방향 별 3σ 로 비교해보면, east 방향은 0.83% (30 sample), north 방향은 0.77% (28 sample), up 방향은 2.05% (74 sample)로 전리층 추정을 통한 코드 측정치 보정으로 인해 noise가 증가한 점을 감안하면 허용할 수 있는 수치로 판단된다. 산출된 위치오차의 RMS는 동, 북, 수직 방향으로 각각 0.06 m, 0.07 m, 0.16 m 이다.

2) Tropospheric delay w/ noise test

특정 모듈의 처리 결과가 타 모듈에 영향이 있는지 여부를 확인하기 위하여, 모듈 별 테스트에 사용된 측정치를 대입하고 전리층과 측정치 잔차의 결과를 다음 그림 6의 상단에 나타내었다. 특별한 bias 오차가 확인되지 않으므로 삽입된 대류층 지연 오차와 추정 모듈이 타 모듈에 영향을 주지 않음이 확인되었다. 따라서 추정된 오차를 보정한 L1 코드 측정치로 산출한 측위 오차는 그림 7 좌측 그래프에 나타냈다. east와 up 방향에서 각각 0.06% (2 sample)만이 3σ 라인을 넘었으므로 통계적으로도 만족한다 할 수 있다.

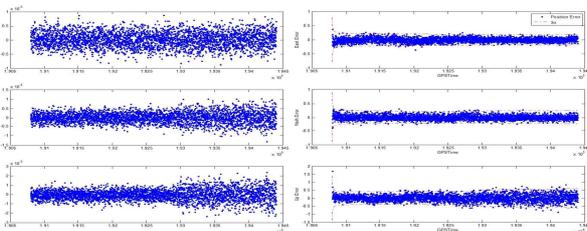


그림 5. Zero-Error Test의 기준국 측위 결과(좌), Noise-only Test의 기준국 측위 결과(우)
 Fig. 5. Reference station positioning results of zero-error test(left) and noise-only test(right).

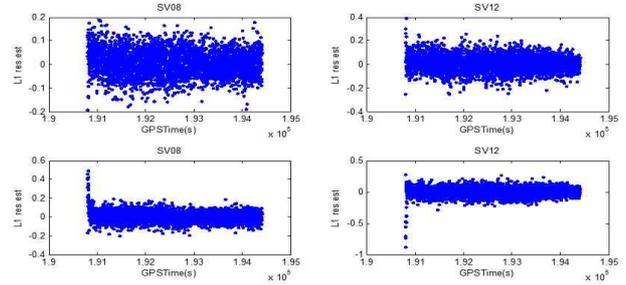


그림 6. Tropospheric delay w/Noise test 측정치 잔차 검증 결과(상), Ionospheric delay w/Noise Test 측정치 잔차 검증 결과(하)
 Fig. 6. Validation results of tropospheric delay w/noise test(up) and ionospheric delay w/noise test(down).

RMS는 동, 북, 수직 방향으로 각각 0.06 m, 0.07 m, 0.16 m로 noise-only test와 거의 동일한 값이 산출되어 대류층 지연 오차 추정 모듈이 측위에 큰 영향을 주지 않은 것으로 보인다.

3) Ionospheric delay w / noise test

그림 6의 하단 그래프는 ionospheric delay w / noise test의 측정치 잔차 결과이다. 결과를 살펴보면 bias 성분이 확인되지 않고 스무딩이 진행 중인 초기 측정치를 제외하면 대류층 지연 모듈 검증과 경향이 유사함을 확인할 수 있다. 추정된 오차를 보정한 L1 코드 측정치로 산출한 위치는 그림 7의 중간 그래프에 표시하였다. 측위 오차를 분석한 결과, 0.97% (35 sample), north 방향은 0.69% (25 sample), up 방향은 2.22% (80 sample)로 전리층 스무딩에 의한 time-correlation의 영향이 약간 있음을 감안할 때, 통계적으로 만족한다고 할 수 있다. RMS는 동, 북, 수직 방향으로 각각 0.06 m, 0.07 m, 0.17 m로 tropospheric delay w / noise test에 비하여 오차의 증가가 발견되었으나, 그 양이 매우 작으므로 소프트웨어의 적절성 판단에는 영향을 끼치지 않는다.

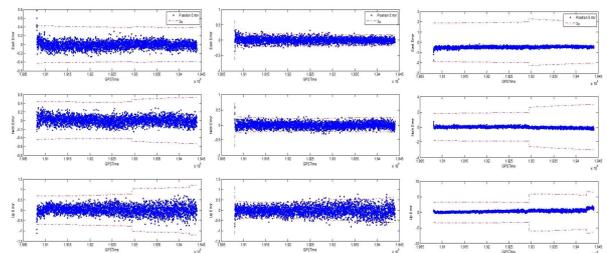


그림 7. Tropospheric Delay w/Noise Test 기준국 측위 결과(좌), Ionospheric Delay w/Noise Test 기준국 측위 결과(중), Ephemeris Error w/Noise Test 기준국 측위 결과(우)
 Fig. 7. Reference station positioning results of tropospheric delay w/noise test(left), ionospheric delay w/noise test(middle) and ephemeris error w/noise test(right).

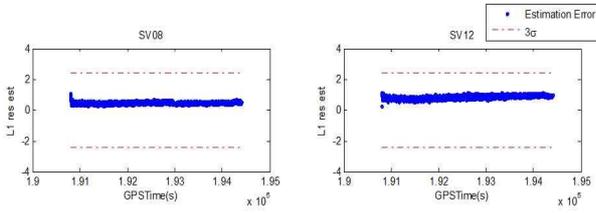


그림 8. Full Error Test 측정치 잔차 계산 결과
 Fig. 8. Calculation results of measurement residuals in full error test.

4) Ephemeris error w / noise test

그림 7의 오른쪽 그래프는 ephemeris error w / noise test의 기준국 측위 결과를 나타낸다. 전리층과 대류층 오차의 경우 광역 기준국에서 추정이 가능하므로 추정 잔차가 bias 성분이 제거된 잡음의 형태인 반면, 위성 궤도와 시계오차는 추정이 불가하므로 $\sigma_{e,URE}$ 가 타 오차의 통계치에 비해 크고, 그에 따라 3σ 인도가 크게 설정된다. 따라서 측위 오차 결과의 경우 위성궤도와 오차의 bias 성분이 제거되지 않고 결과에 투영되어 RMS는 동, 북, 수직 방향으로 0.46 m, 0.10 m, 0.44 m로 기존 결과에 비해 크게 증가함을 확인하였다. 그러나 설정된 3σ 기준보다는 전 시간에 걸쳐 작은 오차를 보여주므로 통계 관점에서 적절히 처리되고 있다고 판단된다.

5) Full error test

그림 8은 Full error test 처리 중 전리층, 대류층 오차를 보정한 L1 코드 측정치로 위치를 산출한 후, 검증용 위하여 후처리로 남은 잔차 중 위성 궤도 및 시계 오차 부분을 추출한 값으로 3σ 이내에 모두 존재함을 보여준다. 또한 해당 부분을 실제 오차와 차분한 결과를 통해 측정치 잔차가 적절하게 계산됨을 확인할 수 있다. 이상과 같은 방법을 통해 전리층과 대류층 오차를 제거한 측위 결과는 그림 9와 같다. 위성궤도와 오차의 bias 성분이 제거되지 않고 측위 결과에 투영되어 RMS는 동, 북, 수직 방향으로 0.44 m, 0.10 m, 0.41 m로 기존 궤도 오차와 잡음만 포함된 테스트에 비해 오히려 감소하였는데, 이는 앞선 테스트에 포함되지 않은 오차의 추정 모듈에 의해 추정 오차가 증가되었기 때문으로 파악된다.

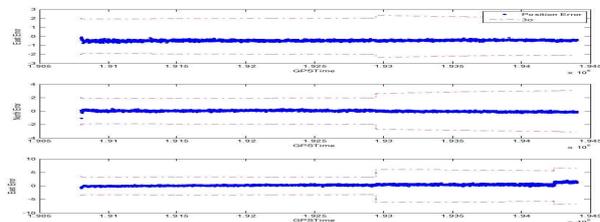


그림 9. Full Error Test의 기준국 측위 결과
 Fig. 9. Results of reference station positioning in full error test.

뿐만 아니라, 전 시간에 걸쳐 설정된 3σ 기준보다 작은 측위 오차를 보이므로 통계적으로 검증하고자 하는 기능이 적절하다고 판단된다.

IV. 결 론

본 연구는 지상 소프트웨어 개발 및 검증 규격 문서인 RTCA DO-278을 참고하여 기준국 소프트웨어를 검증하기 위한 방법으로 모듈별 테스트와 통합 테스트로 구분하여 수행하였다. 모듈별 테스트에서는 전리층, 대류층, 위성관련 오차로 테스트하고자 하는 모듈에 따라 서로 다른 측정치를 생성하여 테스트를 수행하였으며 통합 테스트의 경우 기준국 소프트웨어 프로세스에 적합하도록 zero-error test & noise-only test, isolated error test, full error test로 단계를 나누어 테스트를 진행하였다. 그 결과 기준국 소프트웨어가 개별 오차 및 통합 오차 모두 적절하게 추정하는 것을 확인하고 통계적으로도 만족하는 것을 확인하였다. 이러한 광역보정시스템 기준국 소프트웨어의 모듈별 통합 검증 방법론과 테스트 결과물은 기준국 소프트웨어에 대한 상용화 가능성 제고에 기여할 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 방위사업청과 국방과학연구소가 지원하는 국방위성항법특화연구센터 사업의 일환으로 수행되었습니다.

참고 문헌

- [1] RTCA Inc., Software integrity assurance considerations for communication, navigation, surveillance and air traffic management (CNS/ATM) Systems, RTCA Document number DO-278C, Dec. 2011.
- [2] B. Park, A Study on reducing temporal and spatial decorrelation effect in GNSS augmentation system, Ph.D. dissertation, Seoul National University, Seoul, Korea, 2008.
- [3] RTCA Inc., Minimum operational performance standards for global positioning system / wide area augmentation system airborne equipment, RTCA Document number DO-229C, Dec. 2006.
- [4] C. B. Cooley, "GPS program update to ION GNSS+ 2013," in *Proceeding of the 26th International Technical Meeting of the ION Satellite Division*, Nashville: TN, pp. 16-20, 2013.



윤 동 환 (Donghwan Yoon)

2014년 8월 : 세종대학교 항공우주공학과 (공학사)
2014년 9월 ~ 현재 : 세종대학교 항공우주공학과 석사과정
※ 관심분야 : DGPS 응용, 네트워크 보정 메시지, 소프트웨어 GNSS 수신기



박 병 운 (Byungwoon Park)

2008년 2월 : 서울대학교 항공우주공학과 (공학박사)
2012년 9월 ~ 현재 : 세종대학교 항공우주공학과 조교수
※ 관심분야 : DGPS, WADGPS, RTK, Network RTK, GPS 응용



최 완 식 (Wan Sik Choi)

1992년 5월 : The University of Alabama 기계공학과 (공학박사)
1992년 ~ 현재 : ETRI 책임연구원
2008년 ~ 현재 : TTA LBS PG 표준화 의장
※ 관심분야 : LBS/텔레매틱스, 위성항법/무선측위, 최적제어



기 창 돈 (Changdon Kee)

1994년 1월 : 미국 스탠포드대학교 항공우주공학과 (공학박사)
1996년 9월 ~ 현재 : 서울대학교 기계항공공학부 교수
※ 관심분야 : 위성항법시스템, 보정위성항법시스템, 광역보정, 위성항법시스템, 초정밀위치결정시스템, 우주비행체 자세결정, 항공기 자동제어 시스템, 실내용 자동항법시스템, 항공교통관제시스템



서 승 우 (Seungwoo Seo)

2010년 2월 : 고려대학교 전자전기공학과 (공학석사)
2010년 3월 ~ 현재 : 국방과학연구소 3본부 4부 선임연구원
※ 관심분야 : 위성항법시스템, 보정위성항법시스템, 광역보정 위성항법시스템, 의사위성항법시스템



박 준 표 (Junpyo Park)

2015년 2월 : 충남대학교 항공우주공학과 (공학박사)
1992년 3월 ~ 현재 : 국방과학연구소 3본부 4부 책임연구원
※ 관심분야 : 위성항법시스템, 보정위성항법시스템, 광역보정 위성항법시스템, 의사위성항법시스템