

IGS RTS와 Ultra Rapid 실시간 성능 분석

An Analysis on the Real-Time Performance of the IGS RTS and Ultra-Rapid Products

김민규 · 김정래*

한국항공대학교 항공우주 및 기계공학과

Mingyu Kim · Jeongrae Kim*

Aerospace and Mechanical Engineering, Korea Aerospace University, Gyeonggi-do 412-791, Korea

[요 약]

IGS에서는 실시간 정밀 측위에 사용할 수 있도록 궤도 예측값인 IGU (IGS Ultra-rapid)와 실시간 궤도 추정값인 RTS (real-time service) 보정정보를 제공한다. IGU는 데이터 지연시간이 없지만, RTS는 5~30 초의 지연시간을 갖기 때문에 실시간으로 사용하기 위해선 지연시간만큼 예측이 필요하다. 본 논문에서는 실시간 사용 측면에서 RTS와 IGU의 성능 분석을 수행하였다. 한반도 내에서 RTS 제공 비율을 파악하기 위하여 한반도에서 관측되는 위성 대비 RTS 제공 비율을 계산하였으며 그 결과 99.3%로 나타났다. RTS의 정확도를 확인하기 위해 보정정보를 방송궤도력에 적용하여 오차를 분석하였으며 이 때 3D 궤도 RMS 오차는 0.043 m로 나타났다. 실시간 사용 측면에서 RTS와 IGU를 비교하였는데, 실시간으로 가정하였기 때문에 IGU는 예측 정보만 이용하였고, RTS는 데이터 지연시간동안 다항식 모델로 예측을 수행하였다. RTS와 IGU를 1초 간격으로 각각 외삽, 보간을 수행하였고 그 결과 궤도 예측 성능은 비슷하였으며 시계 예측 성능은 RTS가 0.13 m 더 뛰어났다.

[Abstract]

For real-time precise positioning, IGS provides ephemeris predictions (IGS ultra-rapid, IGU) and real-time ephemeris estimates (real-time service, RTS). Due to the RTS data latency, which ranges from 5 s to 30 s, a short-term prediction process is necessary before applying the RTS corrections. In this paper, the real-time performance of the RTS correction and IGU prediction are compared. The RTS correction availability for the GPS satellites observed in Korea is computed as 99.3%. The RTS correction is applied to broadcast ephemeris to verify the accuracy of the RTS correction. The 3D orbit RMS error of the RTS correction is 0.043 m. Prediction of the RTS correction is modeled as a polynomial, and then the predicted value is compared with the IGU prediction value. The RTS orbit prediction accuracy is nearly equivalent to the IGU prediction, but RTS clock prediction performance is 0.13 m better than the IGU prediction.

Key word : International GNSS service real time service, IGS ultra rapid, Ephemeris correction.

<http://dx.doi.org/10.12673/jant.2015.19.3.199>



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 23 April 2015; Revised 7 June 2015
Accepted (Publication) 15 June 2015 (30 June 2015)
*Corresponding Author; Jeongrae Kim

Tel: +82-2-300-0110
E-mail: jrkim@kau.ac.kr

I. 서론

IGS (international GNSS service)에서는 정밀궤도력으로 IGS final, IGR (IGS rapid), 그리고 IGU (IGS ultra rapid)를 제공한다. Final과 IGR은 IGU에 비해 궤도와 시계 모두 더 높은 정확도를 가지지만 데이터 지연시간이 최소 1일이기 때문에 실시간으로 사용할 수 없다. 실시간으로 정밀한 GPS 위성의 궤도와 시계 정보를 획득하려면 궤도 예측값이 포함된 IGU를 이용해야 한다. IGU는 2000년 11월부터 제공되기 시작하였으며, 매일 6시간 주기로 업로드 된다 [1].

IGS RTS (real-time service)는 실시간으로 방송궤도력에 적용할 수 있는 보정정보로, 2013년 4월부터 제공되기 시작하였으며 RTS로 보정된 방송궤도력은 IGR에 근접한 정확도를 가진다 [2]. RTS는 현재 GPS 분야에서 서비스가 제공되고 있다. GLONASS는 베타 테스트 형태로 제공되고 있는데, 2015년 후반에 최종적으로 서비스에 포함될 예정이다. RTS에는 관측 데이터 처리 및 전송에 의한 30초 정도의 데이터 지연 시간이 존재하는데, 실시간 응용에서는 예측 과정이 필요하다.

방송궤도력과 정밀궤도력의 비교는 이전부터 연구가 수행되었는데, T. Hadas와 J. Bosy는 RTS와 ESOC (European Space Operations Centre) final 데이터를 비교하고 RTS 데이터가 수신되지 않을 때 다항식을 이용하여 단시간 예측을 수행하였다 [3]. 본 논문에서는 다항식을 이용하여 실시간 사용 측면에서 RTS와 IGU 성능 분석을 실시하였다. 한반도 내에서 RTS의 활용 가능성을 파악하기 위해 수원에서 수신되는 가시위성 대비 RTS 데이터의 제공 비율을 분석하였다. RTS 보정정보의 정확도를 분석하였으며, 실시간 사용 측면에서 정확도를 파악하기 위해 매 초마다 보정정보를 예측하였다. 실시간 사용을 가정하였기 때문에 IGU에서 예측 정보를 매 초 간격으로 보간하여 사용하였고, IGS RTS 보정정보에서는 데이터 지연시간동안 다항식 모델로 예측을 수행하였다.

II. IGS RTS 보정정보 및 IGU 개요

2-1 IGS Ultra rapid

IGU는 IGS의 FTP 서버를 통해 다운로드할 수 있다. IGU에는 48시간의 GPS 궤도와 시계 정보가 포함되어 있는데, 업데이트 시간을 기준으로 -24시간은 7개 이상의 IGS AC에서 제공되는, 이미 관측된 데이터로부터 추정된 GPS 궤도 및 시계 정보가, +24시간은 동역학 모델로 예측된 GPS 궤도 및 시계 정보이다 [1]. IGU 관측 정보는 최소 3시간의 데이터 지연주기를 갖기 때문에 실시간으로 사용할 수 없다. IGU는 하루에 4번, 03:00, 09:00, 15:00, 21:00 UTC 에 갱신되며 궤도 기준은 질량 중심이다. 데이터 간격이 15분이기 때문에 특정한 시간에 사용하기 위해서는 보간법을 사용해야 한다.

표 1. RTS stream 종류

Table 1. Type of RTS stream.

Stream	Reference	Message type	Solution
IGC01	CoM	1059, 1060	Single-epoch combination
IGS01	APC	1059, 1060	Single-epoch combination
IGS02	APC	1057, 1058, 1059	Kalman filter combination
IGS03	APC	1057, 1058, 1059, 1063, 1064, 1065	Kalman filter combination

2-2 IGS RTS 보정정보 구성

IGS RTS 보정정보는 NTRIP (networked transport of RTCM via internet protocol) 방식으로 사용자에게 전송된다. 보정정보는 BNC (BKG ntrip client)를 이용하여 다운로드할 수 있는데, 사용자가 원하는 stream을 선택하여 IGS 조합 해 또는 단일 AG (analysis center)의 보정정보를 다운로드할 수 있다. IGS 조합 해는 조합 및 궤도기준에 따라 여러 해가 존재하는데, IGC01/IGS01은 GPS 위성의 단순 조합 해이며, IGS02는 이를 칼만필터로 처리한 것이다. IGS03은 IGS02에 GLONASS 위성의 보정정보를 추가한 것이다. 본 논문에 사용된 stream은 IGS03인데, RTCM sSSR (state space representation) 형식으로 보정정보가 전송된다. SSR은 GNSS 오차 요인인 위성의 시계, 궤도, 전리층 오차 등을 포함한 것이다 [4]. IGS03 stream에는 메시지 번호 1057~1059, 1063~1065가 제공되는데, GPS 위성에서 사용되는 보정정보는 1057~1059으로 1057은 궤도, 1058은 시계 보정정보가 포함되어 있다. 궤도 및 시계 보정정보는 모두 m 단위로 제공된다.

RTS 궤도 보정정보는 RAC (radial, along-track, cross-track) 요소로 제공되는데, 이는 위성 질량 좌표계이며 radial은 지구 중심에서 위성 질량 중심으로 향하는 방향, cross-track은 radial 방향과 위성 속도 방향의 수직 방향, along-track은 radial 방향과 cross-track 방향의 수직 방향이다. 보정정보가 적용되는 좌표계 원점은 각 AC에 따라 APC (antenna phase center) 또는 위성 질량 중심 (CoM; center of mass)으로 상이하다. IGS 조합 데이터에 관한 궤도 기준은 표 1에 나타나 있다. 궤도 기준이 질량 중심이면 IGS 정밀궤도력과 비교할 때 PCO (phase center offset) 보정 없이 방송궤도력에 바로 적용하여 비교할 수 있는 장점이 있다.

보정정보의 IOD (issue of data)는 보정정보가 적용되는 항법메시지를 지정하며 방송궤도력과 같이 일반적으로 2시간마다 변화하는데, 이 때 보정정보가 크게 변화한다. 방송궤도력이 업데이트되어 IOD가 변화하였지만 보정정보는 수 분간 이전 메시지의 IOD가 전송될 수 있는데, 업데이트된 방송궤도력에 업데이트되지 않은 보정정보를 적용해서는 안 된다. 즉, 방송궤도력이 갱신되지 않았을 경우 보정정보 IOD와 일치하는

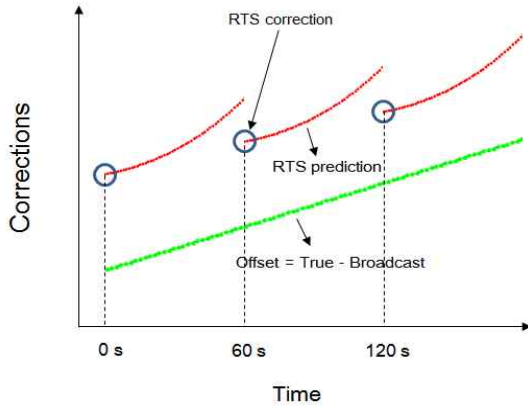


그림 1. RTS 보정정보 예측 방법
 Fig. 1. Prediction method of the RTS correction.

이전 방송궤도력을 사용해야 한다. IOD는 궤도 보정정보에 포함되어 있지만, 현재 시계 보정정보에서는 값이 전송되지 않는다. 이는 동일한 시간의 궤도 보정정보에 입력된 IOD를 사용하기 때문이다.

2-3 RTS 보정정보 예측 방법

각 AC마다 현재 시간과 보정정보 기준 시간의 차이인 데이터 지연 시간이 다른데, 단일 AC의 경우 데이터 지연시간이 5~15초이지만, IGS 조합 하는 다수의 AC에서 생성된 해를 조합하는데 10초 이상의 시간이 소요되기 때문에 약 30초의 지연 시간을 가진다 [4],[5]. 이러한 이유 때문에 실시간으로 보정정보를 사용하기 위해서는 단기간 예측이 필요하다. 궤도 보정정보와 시계 보정정보의 데이터 시간간격이 각각 60, 10초이기 때문에 각 보정정보를 60, 10초간 예측을 수행하여야 한다. 본 논문에서 사용된 예측은 다항식 모델을 이용하였으며 그림 1처럼 RTS 보정정보를 다항식으로 가정하여 계수를 계산하고, 예측 기간만큼 외삽을 수행하는 것을 반복하였다.

예측이 모두 수행된 후 GPS 위성의 궤도와 시계로 발생하는 오차인 PRE (pseudorange error)를 계산하였다. PRE는 지구 중심이 아닌 사용자의 위치에서 위성으로 향하는 방향의 오차로, 식은 다음과 같다 [8].

$$PRE = \frac{\vec{\epsilon}_{sv} \cdot (\vec{r}_{sv} - \vec{r}_{user})}{|\vec{r}_{sv} - \vec{r}_{user}|} + \epsilon_{clk} \quad (1)$$

여기서 $\vec{\epsilon}_{sv}$ 는 위성의 궤도오차로 정밀궤도력과 방송궤도력의 차이로 계산할 수 있다. \vec{r}_{sv} 는 방송궤도력으로 계산된 위성 궤도, \vec{r}_{user} 는 사용자의 위치, ϵ_{clk} 는 위성의 시계 오차이다.

III. RTS 보정정보 가용성 분석 결과

RTS로 제공되는 보정정보 중 한반도에 위치한 GPS 수신기에 사용할 수 있는 보정정보의 비율을 분석하였다. RTS 보정정보는 2015년 4월 5일 IGS03을 이용하였다. 1일 보정정보 제공 비율은 전체 30개 위성의 궤도 및 시계 정보에 대한 IGS03 보정정보의 존재 여부를 나타내었다. 그림 2는 1일간 위성의 IGS03 보정정보가 존재하는 시점을 나타낸 결과이다. GPS 위성마다 색깔이 다른데, 이는 각 위성의 보정정보 존재 여부를 구별하기 위해서이다. PRN08과 26은 보정정보가 전송되지 않았는데, PRN08은 2014년 3월에, PRN26은 2015년 1월에 GPS 위성군에서 제외되었기 때문이다. 그러므로 이 후 PRN08과 26은 통계값을 계산할 때 제외하였다. PRN10, 19, 32에서는 특

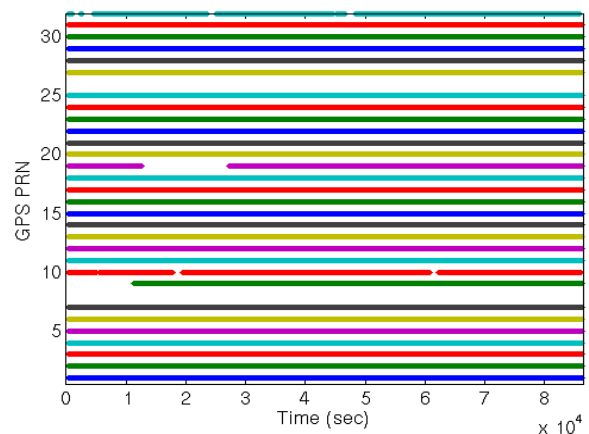


그림 2. 개별 위성에 대한 RTS 보정정보 가용성 (2015년 4월 5일)
 Fig. 2. The RTS correction availability for each PRN (Apr. 5, 2015).

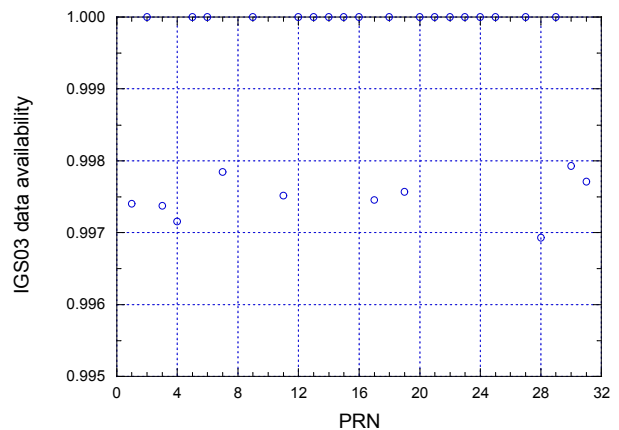


그림 3. 수원에서 관측되는 위성에 대한 RTS 보정정보 가용성 (2015년 4월 5일)
 Fig. 3. The RTS correction availability for GPS satellite observed in Suwon (Apr. 5, 2015).

정 시간에 보정정보가 존재하지 않았다. 전체 위성에 대한 평균 RTS 보정정보 제공 비율은 계산 결과 98.5%로 나타났으며 가장 낮은 제공 비율은 PRN09의 83.1%이다.

한반도 지역에 대한 보정정보 제공 비율을 계산하였다. 지역을 수원으로 설정하였으며, 관측되는 위성은 해당 날짜의 수원 IGS 기준국에서 제공하는 상시관측소 파일을 이용하여 파악하였다.

그림 3은 수원에서 관측되는 위성에 대한 RTS 보정정보 제공 비율을 각 위성에 대해 나타낸 것이다. 전체 PRN에 대한 수원에서의 보정정보 제공 비율의 평균은 99.3%이며 표준편차는 2.3% 이다. PRN10과 32는 각각 94.0%, 88.1%로 낮게 나타나서 그림에는 표시되어 있지 않다.

IV. RTS와 IGU의 정확도 분석 결과

RTS 보정정보의 정확성을 분석하기 위해 1일 RTS 보정정보를 항법메시지에 적용한 후 이를 기준값인 IGR과 비교하였다. IGR은 궤도 보정정보의 정확도가 2.5 cm, 시계 보정정보가 75 ps인데, 이는 IGS final 궤도정밀력과 정확도가 거의 동일하기 때문에 이를 기준궤도로 설정하였다 [1]. RTS 보정정보는 가용성 분석 데이터와 동일한 것을 사용하였다. RTS 보정정보는 IGR보다 시간 간격이 짧기 때문에 비교를 위해서는 IGR 데이터를 60초 간격으로 보간해야 한다. 보간을 수행할 때 양 끝단에서 RP (Runge's phenomenon) 현상이 발생하기 때문에 ±1 일 IGR 데이터를 추가하여 RP 현상을 제거하였다 [6],[7]. 보간법의 차수는 17로 설정하였을 때 실제 값과 오차가 가장 작았기 때문에 이를 사용하였다 [7]. 모든 위성에 대한 RAC 방향 궤도요소와 시계 오차, PRE에 대한 통계를 계산하였다.

그림 4는 PRN27의 1일 RTS 보정정보의 변화를 나타낸 것이다. IOD가 변하는 구간도 표시하였는데, 궤도 및 시계 보정정보는 IOD가 변화할 때 불연속적으로 변화하였다. 궤도 보정정보는 완만한 곡선 형태로 변화하지만, 시계 보정정보는 짧은 시간간격으로 계속 변화하는 것을 볼 수 있다. 보정정보의 크기는 radial 방향이 가장 작았으며, along-track 방향과 cross-track 방향은 큰 차이가 없다.

그림 5는 PRN27에 대하여 RTS 보정정보의 RAC 방향 궤도 오차를 계산한 것이다. Radial 방향 보정정보의 궤도 오차가 가장 작았으며, 이 때 RMS 오차는 0.017 m이다. Along-track과 cross-track 방향 궤도의 RMS 오차는 0.026 m, 0.031 m로 비슷하였다. 3D 궤도 오차란, 3개의 궤도 오차 요소의 제곱합 후 제곱근을 적용한 것이다. 3D 요소는 오차가 큰 cross-track과 비슷하게 나타났다. 3시 지점에서 궤도 오차가 큰데, 이는 보정정보에서 IOD는 변하지 않지만 IGS03 궤도 및 시계 보정정보 값의 변화가 컸으며, 이 오차가 통계값에 큰 영향을 주었다. 이는 그림 6의 시계 오차에서도 확인할 수 있다. 시계 오차는 IGS03 보정정보 값의 변화가 큰 지점인 3시에서 오차가 증가

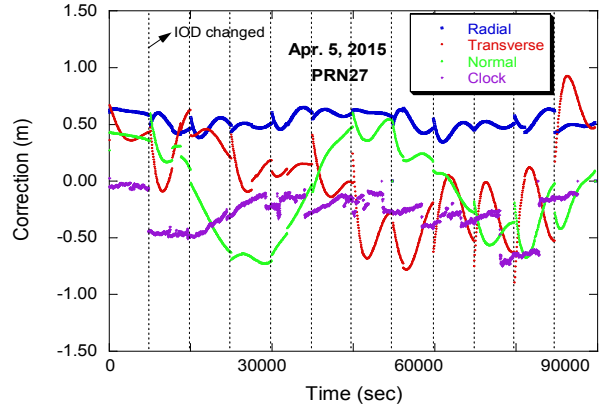


그림 4. RTS 궤도 및 시계 보정정보 (PRN27)
Fig. 4. The RTS correction data of orbit and clock (PRN27).

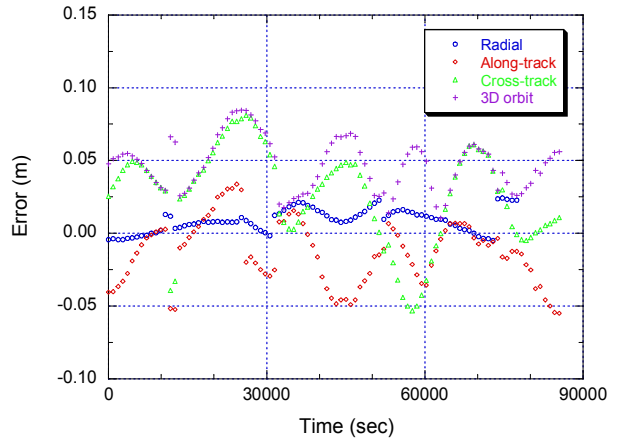


그림 5. RTS 궤도 보정정보 오차 (PRN27)
Fig. 5. Orbit errors of the RTS correction (PRN27).

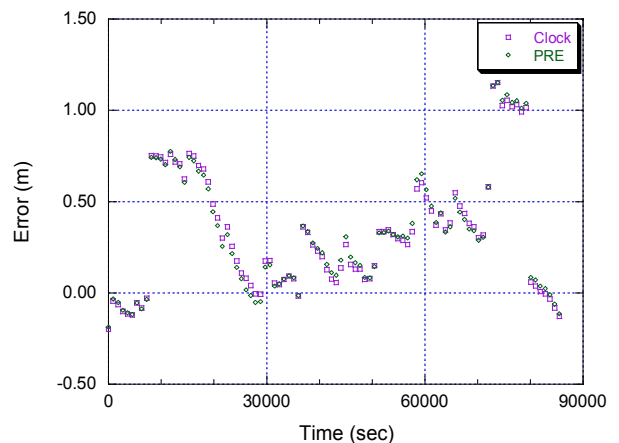


그림 6. RTS 시계 보정정보 오차 및 PRE (PRN27)
Fig. 6. Clock error and pseudorange error of the RTS correction (PRN27).

하였으며, IOD가 변화한 72000초 부근에서 오차가 최대가 된 후 오차의 크기가 감소하였다. 시계의 RMS 오차는 0.486 m로 궤도 오차에 비해 컸다. 의사거리오차에 대한 영향을 파악하기 위하여 수원지역 사용자에게 대한 PRE를 계산하였다. PRE는 시계 오차와 거의 일치하는데, 이는 시계오차가 궤도오차에 비해 훨씬 크기 때문이다. 즉, 대부분의 의사거리 오차는 시계 보정정보 오차에 의해 유발된다고 할 수 있다.

V. RTS와 IGU 예측 정확도 비교

실시간 사용 측면에서 RTS 보정정보와 IGU의 성능을 분석하기 위해 각 정보를 1초 간격으로 외삽과 보간을 수행한 후 IGR과 비교하였다. 예측은 다항식 모델을 사용하였으며, 차수는 1과 2로 설정하고 이를 비교하였다. IOD가 변화하는 경우 방송궤도력과 RTS 보정정보가 크게 변화하기 때문에 계수 계산을 재수행해야 한다. IOD 변화 후 다항식 모델이 업데이트 되어야 하는데, 변화 초기에는 보정정보의 수가 충분하지 않으므로 궤도는 180초, 시계는 30초 동안 예측을 수행하지 않았으며 통계값을 계산할 때 이를 제외하였다. 이는 다항식 차수가 2이면 최소 3개의 데이터가 존재해야 계수를 계산할 수 있기 때문이다. 예측이 완료된 후 보정정보가 새로 입력되면 가장 오래된 보정정보를 삭제하여 다항식 계수를 계산하고 다음 시간대의 예측을 수행하는 방식으로 진행하였다. 다음 그래프들은 차수가 2인 다항식 모델을 사용한 결과들을 나타내었는데, 이는 2차 다항식이 좀 더 좋은 성능을 나타내었기 때문이다. 자세한 분석은 뒤에서 기술하였다. 그리고 항법메시지의 궤도 기준은 APC이지만, RTS 보정정보는 질량 중심이기 때문에 PCO 보정이 수행되어야 하므로 IGS에서 제공하는 ANTEX 데이터를 사용하여 보정을 수행하였다. PCO가 보정된 RTS 보정정보를 항법메시지에 적용하여 RAC 방향 궤도 및 시계 오차, PRE를 계산하여 IGR과 비교하였다. IGU는 6시간마다 갱신되기 때문에 1일 분석을 위해 최근 6시간 데이터를 사용하였다. 즉, 0시에 업데이트된 데이터는 0~6시까지 사용하였다.

그림 7은 PRN27의 radial 방향 보정정보의 예측 결과 중 7000초부터 7800초까지 나타낸 것이다. 7140초 지점에서 IOD 변화가 일어났으며 새로운 데이터를 추적하는 180초까지는 예측이 수행되지 않았다. 예측과 실제 보정정보 입력이 반복적으로 진행되기 때문에 60초마다 불연속 지점이 나타났다.

그림 8은 PRN27에 대하여 1일 RTS 궤도 예측 결과와 IGR의 차이를 나타낸 것이다. 12000초 부근에서 오차가 급증하는데, 이는 IOD가 변화하지 않지만 IGS03 보정정보가 급격히 변화하는 지점이다. 보정정보는 최대 0.05 m 이내로 예측이 수행되었으며, radial 방향의 RMS 오차가 0.017 m로 가장 작았다. 그리고 cross-track 방향의 오차가 가장 컸는데, 이는 PCO 보정을 수행할 때 along-track 방향과 cross-track 방향의 좌표 변환

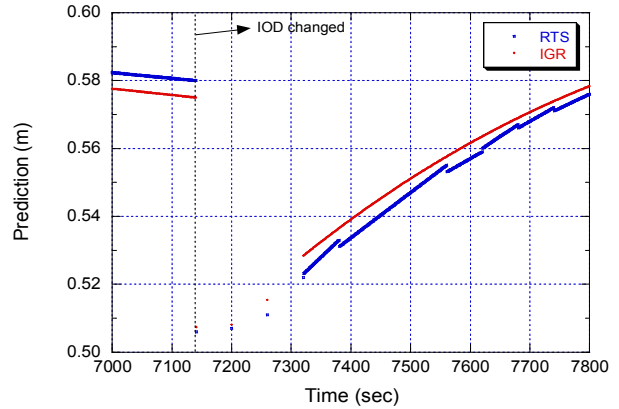


그림 7. RTS 보정정보의 radial 방향 예측결과 (PRN27, 800초)
Fig. 7. Prediction of the RTS radial correction (PRN27, 800 sec).

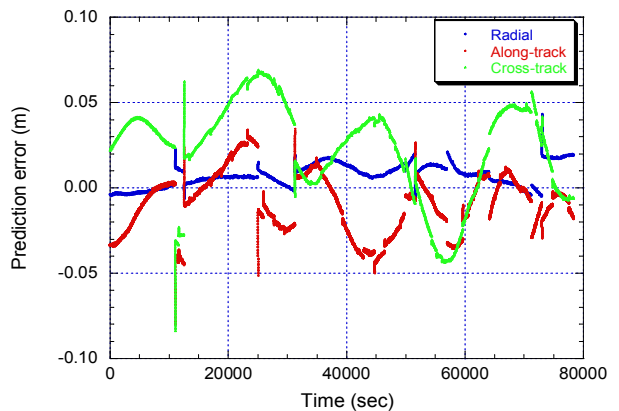


그림 8. 1일 RTS 궤도 예측 오차 (PRN27)
Fig. 8. Prediction error of the RTS orbit correction (PRN27).

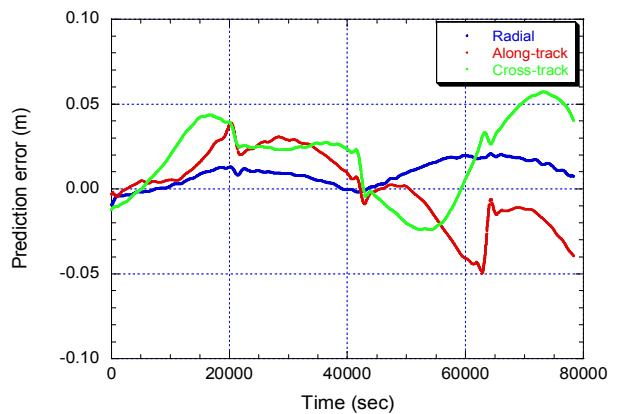


그림 9. 1일 IGU 궤도 예측 오차 (PRN27)
Fig. 9. Prediction error of the IGU orbit data (PRN27).

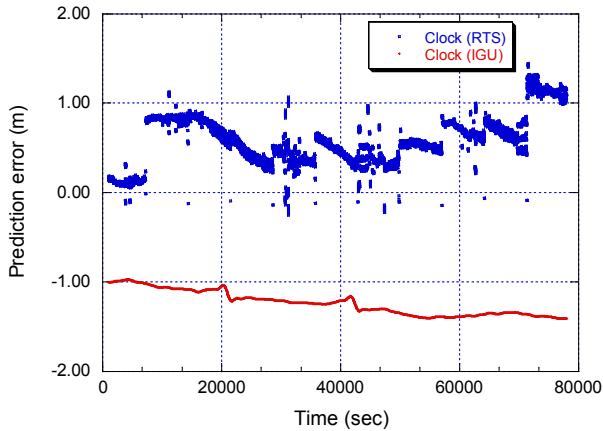


그림 10. RTS 및 IGU의 시계 예측 오차 (PRN27)
 Fig. 10. Prediction error of the RTS clock correction and the IGU clock data (PRN27).

에서 발생한 오차로 분석된다.

그림 9는 IGU 궤도 예측 오차인데, 그림 상에서 6시간마다 데이터가 크게 변화하였다. 이는 IGU 예측 정보가 갱신되는 지점으로, 예측 정보가 새로 갱신될 때마다 오차가 크게 감소하였다. IGU 예측 결과도 마찬가지로 radial 방향에서 RMS 오차가 0.015 m로 가장 작았으며, cross-track 방향이 0.029 m로 가장 컸다. 또한 cross-track 방향에서 갱신되었을 때 오차 크기가 가장 크게 변화하였다. RTS와 비교하면, radial 방향 오차는 0.002 m 더 작았지만, cross-track 방향은 mm 수준에서 동일하였으며 둘 다 cross-track 방향 오차가 가장 컸다.

그림 10은 PRN27의 시계 예측 오차를 계산한 것이다. 시계 예측 RMS 오차는 RTS가 0.723 m, IGU가 1.221 m로, RTS가 0.5 m 더 뛰어났다. 시계 오차는 궤도에 비해 10배 이상 오차가 컸는데, 이는 궤도 보정정보에 비해 시계 보정정보가 변화폭이 더 심하여 다항식 모델로 예측할 때 실제 값과 반대로 수행되는 경우가 발생하기 때문이다.

전체 위성에 대한 예측오차의 통계값을 계산한 결과는 표 2와 같다. RTS 보정정보 예측 오차의 경우 1차 다항식과 2차 다항식 결과를 제시하였다. 2차 다항식으로 예측한 결과는 1차로 예측한 것보다 오차가 최대 0.002 m 더 작았다. 단기간 예측 시 3차 이상에서 오류가 증가하기 때문에 3차 이상 예측은 고

표 2. 전체 위성에 대한 RTS와 IGU의 예측 RMS 오차
 Table 2. RTS and IGU prediction RMS error for all PRN.

Data	Model	Radial (m)	Along-track (m)	Cross-track (m)	Clock (m)
RTS	1st order Polynomial	0.011	0.028	0.025	0.934
	2nd order Polynomial	0.010	0.027	0.023	0.932
IGU	—	0.011	0.029	0.019	1.069

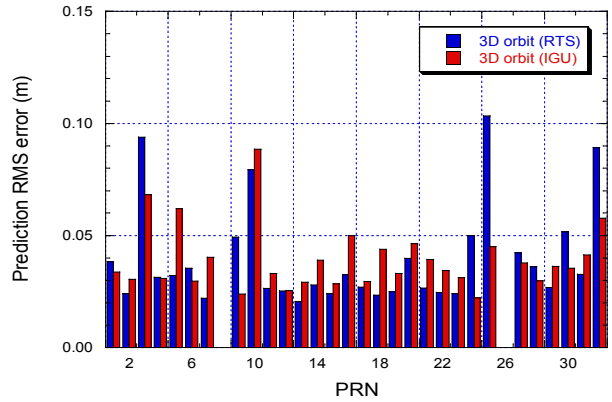


그림 11. RTS 보정정보와 IGU의 개별 PRN에 대한 3D 궤도 예측 오차
 Fig. 11. 3D orbit prediction error of the RTS correction and IGU for each PRN.

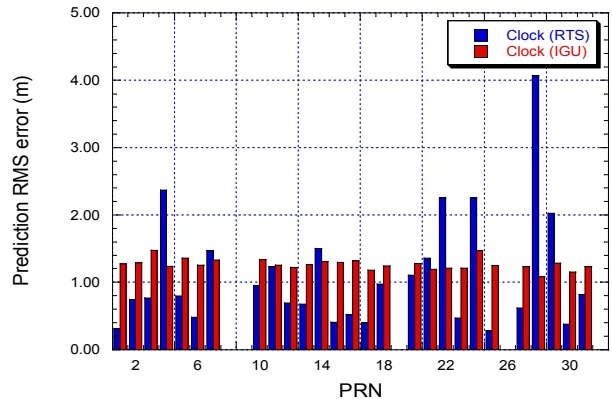


그림 12. RTS 보정정보와 IGU의 개별 PRN에 대한 시계 예측 오차
 Fig. 12. Clock prediction error of the RTS correction and IGU for each PRN.

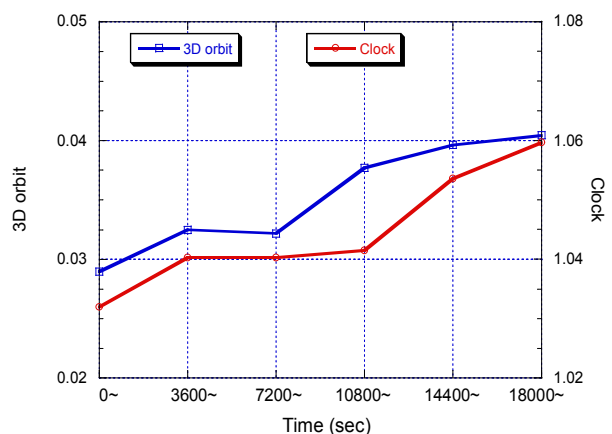


그림 13. IGU의 3D 궤도 및 시계에 대한 구간별 예측 오차
 Fig. 13. 3D orbit and clock prediction error of the IGU data for each prediction interval.

려하지 않았다. 시계 오차도 마찬가지로 오차가 0.002 m 더 작은 것을 확인할 수 있다. RTS 예측 오차는 radial, along-track 방향에서 IGU보다 약간 작지만, cross-track 방향에서는 더 컸다. 3D 궤도로 계산하였을 때, RTS 2차 다항식 모델과 IGU는 RMS 오차가 0.037 m로 동일하였다. 시계 오차는 RTS 2차 모델이 IGU보다 0.137 m 더 작았다. 이는 오차의 평균값이 각각 0.600 m, -1.037 m로 평균값에서 차이가 컸기 때문이다.

그림 11은 RTS와 IGU의 각 PRN에 대한 3D 궤도 예측 결과이며, 그림 12은 각 PRN에 대한 시계 예측 결과이다. 그림 11과 12에서 IGU는 대부분의 PRN에서 궤도오차가 클 때 시계오차도 컸지만, RTS는 궤도 오차와 시계 오차와의 상관관계가 높지 않았다. RTS 보정정보에서는 PRN03, 10, 25의 3D 궤도 오차가 큰데, 이는 다른 PRN에 비해 IOD가 변화하지 않을 때 보정정보가 급격히 변화하였기 때문이다. PRN28의 시계 RMS 오차도 컸는데, 이는 시계오차의 평균이 3.5 m로 다른 PRN에 비해 크게 나타났기 때문이다.

IGU 데이터는 6시간마다 갱신되기 때문에 갱신 이후 예측 시점에 따라 정확도가 달라질 수 있다. 이러한 이유로 예측 시간별 분석을 수행하였다. 그림 13은 IGU 예측 정보의 예측 구간별 궤도와 시계의 RMS 오차를 나타낸 것이다. 예측 구간은 1시간씩, 총 6개로 설정하였다. 3D 궤도와 시계 모두 마지막 구간에서 RMS 오차가 각각 0.040 m, 1.060 m로 가장 컸으며, 첫 번째 구간에서 각각 0.029 m, 1.032 m로 가장 작았다. 이는 예측 시 시간이 지날수록 오차가 점점 누적되기 때문이다.

VI. 결 론

RTS 보정정보의 정확도를 분석하고 실시간 사용 측면에서 RTS 보정정보와 IGU 데이터의 성능을 비교하였다. RTS 보정정보는 데이터 시간 지연이 존재하기 때문에 실시간으로 사용하기 위해서 예측 과정이 필요하다. 예측 모델로 다항식을 사용하였으며 차수는 1, 2로 설정하여 1초 간격으로 예측을 수행하였다. RTS 보정정보를 적용한 방송궤도력의 3D 궤도 RMS 오차는 0.043 m로 나타났다. radial 방향은 다른 궤도요소에 비해 오차가 더 작았으며, along-track 방향에서 오차가 가장 컸다. 이는 GPS 위성의 속도 방향이기 때문에 정확한 예측이 어렵기 때문이다. 시계의 RMS 오차는 0.932 m이다. RTS 시계 보정을 수행하고 전체 PRN에 대한 평균을 계산하였을 때 0.600 m로 나타났는데, 시계 보정정보를 적용하여도 어느 정도의 편이가 존재하는 것으로 추측된다.

RTS 보정정보 예측 결과 다항식 차수가 1일 때보다 2일 때

궤도 예측 성능이 더 뛰어났으며 시계 예측 성능은 동일하였다. IGU와 RTS 예측 결과와 비교하였을 때 궤도는 성능이 동일하였으나, 시계 정보에서 RTS 예측 정보의 RMS 오차가 0.13 m 더 작았다. RTS 보정정보 예측에서 IOD가 변화하지 않지만 보정값의 변화가 크게 일어나는 지점에서 예측 오차가 컸으며, 이는 전체 오차에 큰 영향을 주었다.

감사의 글

본 연구는 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단(2010-0024050)의 지원을 받아 수행되었습니다.

참고 문헌

- [1] International GNSS Service. The IGS product table of GNSS ephemerides [Internet]. Available: <http://igsceb.jpl.nasa.gov/components/prods.html>
- [2] International GNSS Service. The real-time service product table of GNSS orbit and clock correction [Internet]. Available: <http://igs.org/rt/products>
- [3] T. Hadas and J. Bosy, "IGS RTS precise orbits and clocks verification and quality degradation over time," *GPS Solution*, Vol. 19, No. 1, pp. 93-105, Jan. 2015.
- [4] L. Mervart et al., "BKG Ntrip Client (BNC) version 2.10 manual," Federal Agency for Cartography and Geodesy, Frankfurt, Germany, Dec. 2013.
- [5] T. Hadas et al., "IGS real-time product verification," in *14th Czech-Polish Workshop*, Jarnołtówek: Poland, pp. 1-20, Oct. 2013.
- [6] M. Schenewerk, "A brief review of basic GPS orbit interpolation strategies," *GPS Solution*, Vol. 6, No. 4, pp. 265-267, Oct. 2002.
- [7] M. Horenuz and J. V. Andersson, "Polynomial interpolation of GPS satellite coordinates," *GPS Solution*, Vol. 10, No. 1, pp. 67-72, Jan. 2006.
- [8] M. S. B. Starr et al., "A long-term statistical analysis of the accuracy of GPS and GLONASS broadcast orbit and clock models," in *Proceedings of the 17th International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation*, Long Beach: CA, pp. 2095-2103, Sept. 2004.



김민규 (Mingyu Kim)

2013년 2월 : 한국항공대학교 항공우주공학과 (공학사)
2013년 2월 ~ 현재 : 한국항공대학교 항공우주 및 기계공학과 대학원
※ 관심분야 : GNSS, 위성항법, 위성궤도



김정래 (Jeongrae Kim)

1991년 2월 : 서울대학교 항공우주공학과 (공학사)
2000년 : 미국 University of Texas at Austin (공학박사)
2002년 ~ 2004년 : 한국항공우주원 선임연구원
2004년 ~ 현재 : 한국항공대학교 항공우주 및 기계공학부 교수
※ 관심분야 : GNSS, 위성항법, 위성궤도

1993년 2월 : 서울대학교 항공우주공학과 (공학석사)
2000년 ~ 2002년 : 미국 Center for Space Research 연구원