

이중 주파수 GPS 데이터를 이용한 저궤도 위성의 정밀궤도결정

황유라^{1†}, 이병선¹, 김재훈¹, 윤재철²
¹한국전자통신연구원 위성관제항법연구팀
²한국항공우주연구원 다목적실용위성-5호 체계팀

Precise Orbit Determination of LEO Satellite Using Dual-Frequency GPS Data

Yoola Hwang^{1†}, Byoung-Sun Lee¹, Jaehoon Kim¹, and Jae-Cheol Yoon²

¹Satellite Control and Navigation Research Team, ETRI, Daejeon 305-350, Korea

²KOMPSAT-5 System Team, KARI, Daejeon 305-600, Korea

E-mail: ylhwang@etri.re.kr

(Received May 13, 2009; Accepted May 19, 2009)

요 약

다목적실용위성-5호는 2010년 발사를 목표로 고도 550km의 저궤도에 위치하게 될 것이다. 다목적실용위성-5호의 임무인 고정밀 SAR(Synthetic Aperture Radar) 영상을 처리하기 위해서는 정확한 위성의 위치(20cm)와 속도(0.03cm/s)가 결정되어야 한다. 이러한 요구 조건은 한국전자통신연구원에서 개발한 ETRI GNSS Precise Orbit Determination(EGPOD) 소프트웨어로 검증하였다. 0.1Hz 수신 주기의 SAC-C 위성 반송파위상 데이터로 정밀궤도결정을 수행하였다. 이중 주파수 GPS 데이터를 사용하여 수신 신호의 전리층 오차를 대부분 제거하고 이중 차분된 데이터를 생성함으로써 GPS 위성과 수신기의 공통된 시계 오차를 없앴다. 동역학 모델 접근 방법을 이용하였고, Batch Least Square Estimator(BLSE) 필터로 각 데이터 아크(arc)에 해당하는 위성의 위치와 속도, 대기저항 계수, 태양풍 계수를 추정하였다. 또한 정밀한 동역학 모델을 위하여 모델 되지 않은 부정확한 가속도 항을 보충하는 경험 가속도를 추가하였다. 경험 가속도는 위성의 공전 주기(revolution)당 한번씩 시선방향(radial), 진행방향(along-track), 수직방향(cross-track)으로 추정하고, 수직방향의 상수 항에 대해서는 해당 데이터 아크에 관하여 부가적으로 추정하였다. 정밀궤도결정 결과 검증을 위하여 EGPOD 소프트웨어에서 얻어진 결과와 JPL에서 제공하는 정밀궤도력(Precise Orbit Ephemeris)을 비교하였다.

Abstract

KOrea Multi-purpose SATellite (KOMPSAT)-5 will be launched at 550km altitude in 2010. Accurate satellite position (20 cm) and velocity (0.03 cm/s) are required to treat highly precise Synthetic Aperture Radar (SAR) image processing. Ionosphere delay was eliminated using dual frequency GPS data and double differenced GPS measurement removed common clock errors of both GPS satellites and receiver. SAC-C carrier phase data with 0.1 Hz sampling rate was used to achieve precise orbit determination (POD) with ETRI GNSS Precise Orbit Determination (EGPOD) software, which was developed by ETRI. Dynamic model approach was used and satellite's

[†]corresponding author

position, velocity, and the coefficients of solar radiation pressure and drag were adjusted once per arc using Batch Least Square Estimator (BLSE) filter. Empirical accelerations for sinusoidal radial, along-track, and cross track terms were also estimated once per revolution for unmodeled dynamics. Additionally piece-wise constant acceleration for cross-track direction was estimated once per arc. The performance of POD was validated by comparing with JPL's Precise Orbit Ephemeris (POE).

Keywords: precise orbit determination, carrier phase, dual frequency, double differenced data, empirical acceleration

1. 서 론

많은 저궤도 위성들이 단일 주파수 또는 이중 주파수 GPS수신기를 탑재하여 정밀궤도결정을 수행하고 있다. 이러한 저궤도 위성에 탑재되는 GPS수신기는 위성의 임무를 수행하기 위해 요구되는 위성의 위치 정확도에 따라 선택 된다. 그렇지만 비용적 측면과 기술적 문제로 많은 저궤도 위성들이 단일 주파수를 탑재하고 있는데, 이러한 단일 주파수와 이중 주파수 GPS수신기 사용에 있어 가장 큰 차이점은 전리층 오차를 얼마나 정밀하게 제거할 수 있는냐의 문제이다. 이중 주파수 GPS수신기를 사용하여 전리층 오차가 없는 정밀한 반송파위상 데이터를 사용하게 되면 더욱 정확한 모호정수 결정이 가능하다. 따라서, GPS와 관련한 많은 연구들이 단일 주파수를 사용했을 경우 전리층 오차를 얼마나 줄일 수 있는지, 위성의 위치 오차가 얼마나 향상될 수 있는지에 대해 Yoon et al.(2002), Montenbruck(2003), Hwang & Born(2005) 등에 의해 이루어졌다. 단일 주파수 수신기를 이용한 저궤도 위성의 궤도 정밀도는 대부분 3차원에서 1m 이내의 Root-Sum-Squares (RSS)를 보였다. 이중 주파수를 사용할 경우 정밀궤도결정 결과는 수십 센티미터 이하로 그 정밀도가 아주 정확해 졌다(Ijssel et al. 2003, Jäggi et al. 2007, Yoon et al. 2003). 다목적실용위성-2호의 경우는 정밀 영상 촬영 임무를 위해 단일 주파수 GPS수신기에서 얻은 원시 데이터를 이용하여 1m 이내의 위성 위치 정밀도가 요구되었고, 한국전자통신연구원에서 개발한 정밀궤도결정 소프트웨어인 EGPOD(ETRI GNSS Precise Orbit Determination) 소프트웨어에 의해 이미 단일 주파수를 이용한 정밀궤도결정의 성능이 검증되었다(Lee et al. 2005, Hwang et al. 2007).

2010년에 발사 계획인 다목적실용위성-5호는 고정밀 SAR(Synthetic Aperture Radar) 영상 처리를 주요 임무로 수행할 계획이고 고정밀 SAR 임무를 수행하기 위해서는 아주 정확한 위성의 위치(20cm)와 속도(0.03cm/s) 오차가 요구된다. 다목적실용위성-5호는 대략 550km 상공에 위치하게 될 계획이고, GPS 수신기는 이중 주파수와 단일 주파수 모두 탑재하여 고정밀 SAR영상 임무뿐만 아니라 GPS 전파 옴페 관측 임무도 수행할 예정이다. EGPOD 소프트웨어로 이러한 위성의 임무를 만족시키는 위성의 위치와 속도 결정에 관한 성능 검증을 위하여, 실제 SAC-C 위성에 탑재된(on-board) GPS 수신기로부터 받은 데이터를 이용하여 정밀궤도결정을 수행하였다. 정밀궤도결정 결과 분석은 중첩궤도(Overlapping orbit) 생성, 관측 잔차(Residuals) 계산, JPL의 정밀궤도력(Precise Orbit Ephemeris)과 비교하여 이루어졌다.

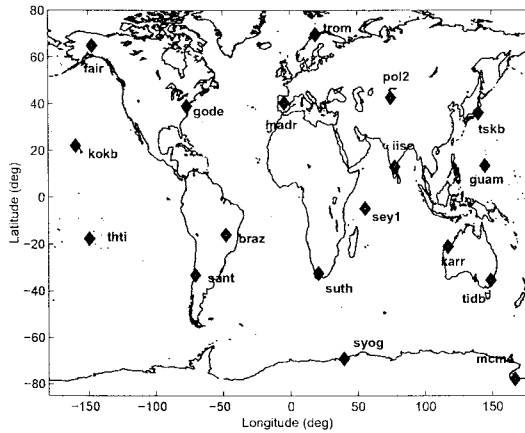


그림 1. SAC-C 위성의 이중 차분을 위해 선택된 전세계 GPS 사이트(2009년 1월).

2. 정밀궤도결정 방법

GPS 데이터는 연속적이고 전세계적으로 데이터를 얻을 수 있는 장점이 있어 저궤도 위성의 정밀궤도결정에 많이 이용되고 있다. 그 정밀도 또한 수 미터에서 서브 미터 정도의 수준까지 정확해져서 고정밀 자료 처리를 위해 그 활용도가 크다. EGPOD 소프트웨어의 정밀궤도결정은 두 가지 과정에 의해 수행된다. 먼저 전처리 데이터 처리 과정(Preprocessing)으로 L1($f_1=1575.42\text{MHz}$)과 L2($f_2=1227.6\text{MHz}$) 이중 주파수 GPS 데이터를 이용하여 전리층 오차를 제거한 후 이중 차분하는 과정을 거친다. 다음은 선형적(*a priori*) 값으로 계산된 동역학 모델과 관측 데이터를 최적화 시키는 추정 과정에 의해 이루어진다.

EGPOD 소프트웨어의 성능 검증을 위하여 대략 702km 고도에 위치한 SAC-C 위성의 실제 GPS 원시 데이터를 2009년 1월9일부터 18일까지 10일치에 대해서 준비하였다. 10일치의 데이터는 각각 27시간 또는 30시간의 데이터 아크(arc)를 가지고 있고 10개의 데이터 모음(set)에 대하여 전처리 과정을 수행하였다

2.1 이중 차분 데이터 전처리 과정 및 관측 데이터 모델

GPS 위성의 반송파위상 데이터를 사용하게 되면 잡음(noise)이 의사거리 데이터를 사용할 때보다 훨씬 적어 정밀한 해를 구할 수 있지만, 모호정수를 결정해야 하는 번거로움이 있다. EGPOD 소프트웨어는 반송파위상 데이터를 이용하여 전처리 과정을 수행한다. 전처리 과정에서는 전리층 오차를 없애고 이중 차분된 데이터를 생성한다. 먼저 전리층 오차는 L1과 L2 주파수 차이를 이용하여 선형 조합으로 대부분 전리층 오차가 제거된 데이터를 생성한다. 이 때 전리층 오차의 고차 항은 완전히 제거되지 않았지만, 이중 주파수의 선형 조합에 의해 전리층 오차는 대부분 제거되었다고 가정한다. 전리층 오차를 없앤 데이터를 이용하여 각 시각에서 2개의 GPS 위성과 1개의 지상국, 그리고 저궤도 위성의 GPS데이터를 각각 차분하여 시계 오차가 제거된 새로운 관측 데이터를 생성한다. 그림 1은 SAC-C 위성의 이중 차분 데이터 처리를 수행하기 위하여 전세계적으로 분포된 관측 사이트들 중 대략의 고루 분포된 기하학적 특성 및 데이터의 품질이 좋은 곳을 골라 선택된 18개 사이트들을 보여준다.

표 1. EGPOD 소프트웨어에서 사용하는 관측 모델.

관측 데이터 처리	설명
신호끊김 감지(Cycle slip detection)	반송파위상 데이터의 다항식 적합으로 감지
전리층 지연(Ionosphere delay)	L1과 L2의 선형조합
대류층 지연(Troposphere delay)	Saastamoinen 모델과 Niell's Mapping 함수 또는 수정된 Hopfield 모델(Mendes et al. 2002) 중 선택
상대성 효과(Relativity effect)	지구의 회전 및 빛의 속도
지구 지각(Solid Earth tide)	GSFC에 기반
회전 변형(Rotational deformation)	Pole tide 모델
판 지각 운동(Tectonic plate motion)	NNR-NUVEL1 모델 혹은 AMO-2모델(Demets et al. 1994)
안테나 위상중심 바이어스(Antenna offset)	위성의 안테나 바이어스 값 적용

이중 차분을 수행함으로써 GPS위성과 수신기의 대부분 시계 오차를 제거할 수 있다. 그러나 수신기의 경우 그 오차가 완전히 제거될 수는 없고 시계의 정밀도에 의존하게 된다. 식 (1)은 EGPOD 소프트웨어에서 사용된 이중 차분된 관측 식을 나타낸다. 이 때 수신기 시계오차 값은 의사거리 데이터를 이용한 항행 해를 구하는 과정에서 얻어지고 이 수신기 시계 오차를 식 (1)의 수신기 시계 오차 $\delta t_i, \delta t_u$ 에 적용하여 이중 차분된 데이터를 구할 수 있다.

$$DD_{iu}^{jk} = (\rho_i^j(t_i) - \rho_u^j(t_u)) - (\rho_i^k(t_i) - \rho_u^k(t_u)) - [(\dot{\rho}_i^j(t_i) - \dot{\rho}_i^k(t_i))] \cdot \delta t_i \\ + [(\dot{\rho}_u^j(t_u) - \dot{\rho}_u^k(t_u))] \cdot \delta t_u + \delta \rho_i^j - \delta \rho_u^j - \delta \rho_i^k + \delta \rho_u^k + N_{iu}^{jk} \quad (1)$$

여기서, DD_{iu}^{jk} 는 j 번째와 k 번째 GPS위성으로부터 지상국 i 와 저궤도 위성 u 까지 관측 데이터의 이중 차분, $\rho_i^j, \rho_i^k, \rho_u^j, \rho_u^k$ 는 j 번째와 k 번째 GPS 위성으로부터 지상국 i 와 저궤도 위성 u 의 GPS수신기 안테나까지 시선거리, $\dot{\rho}_i^j, \dot{\rho}_i^k, \dot{\rho}_u^j, \dot{\rho}_u^k$ 는 j 번째와 k 번째 GPS 위성으로부터 지상국 i 와 저궤도 위성 u 까지, 즉 GPS수신기 안테나까지의 시선거리 변화율, $\delta \rho_i^j, \delta \rho_i^k, \delta \rho_u^j, \delta \rho_u^k$ 는 신호에 의한 안테나까지 거리 지연 효과에 의한 합, $t_i, \delta t_i, t_u, \delta t_u$ 는 GPS지상국과 저궤도 위성 수신기에서 각각 수신한 시각과 그 시각에서의 시간오차, N_{iu}^{jk} 는 이중 차분된 모호정수이다.

모호정수 결정은 전리층 오차 모델을 제거하는 것이 정확한 값을 계산하는 데에 중요한 요소로 작용한다. 따라서 이중 주파수 수신기를 사용함으로써 전리층 오차는 대부분 제거될 수 있고, 그 외 모호정수 결정은 소프트웨어의 성능에 의존하게 된다. 데이터 전처리 과정에서 고도각은 0도에서 10도 사이로 조정하고, 데이터의 품질(quality)과 각 데이터 아크에 따라 달리 선택하였고, 가능한 대부분의 관측 데이터를 사용하도록 하였다. 표 1은 EGPOD 소프트웨어에서 사용하는 관측 모델을 설명한다. 신호끊김 현상은 반송파위상 데이터의 전리층 오차를 제외한 시간에 따라 변하지 않는 값들을 이용하여 원시 GPS 데이터의 연속적인 값에서 순간 크게 벗어나는 점(jump)이 발생하면 감지하도록 하였다. 또한 일정한 시간 동안 계속되는 불연속 점은 다시 다항식 적합(polynomial fit)을 통해 신호끊김 현상의 데이터들을 끌어올리거나 내리는 조정을 수행하여 신호끊김 현상을 수정하였다. SAC-C 위성의 GPS 데이터 수신 주기는 0.1Hz이고 GPS지상국은 30초 단위마다 기록(tagging)되어 있으므로, 이중 차분 데이터 생성을 위해서는 매 30초마다 저궤도 위성의 GPS 데이터를 Cubic-spline에 의해 보간(interpolation) 하였다. 이 때 추정 데이터로 사용된 GPS 관측 데이터 수는 대략 60,000-75,000개 정도였다.

표 2. EGPOD 소프트웨어에서 사용하는 동역학 모델 및 좌표 시스템.

동역학 모델	설명
지구중력장(Geopotential)	EGM96(70×70)(Lemoine et al. 1998)
지구 회전 요소(Earth Orientation Parameters)	IERS Bulletin final(Polar motion, UT1-TAI)
지구 자각, 해양 조석력(Earth solid tide, ocean tide)	Colombo 모델(Colombo 1984)
태양 복사압(Solar radiation pressure)	Conical shadow 모델
지구 복사압(Earth radiation pressure)	Knoke's 2차 zonal 모델(Knocke & Ries 1987)
대기 밀도(Atmospheric density)	MSIS-90(Hedin 1991)
N체 문제(N-body)	태양, 달, 8개의 행성
행성의 위치(Planet ephemeris)	JPL의 DE405
세차와 장동 운동(Precession and Nutation)	1982 IAU
기준 좌표변환 시스템(Reference coordinates)	J2000 좌표계
지상국 좌표 시스템(Ground coordinates)	ITRF2005
경험적 일반 가속도(Empirical acceleration)	수직방향 상수 바이어스와 시선방향, 진행방향, 수직방향으로의 사인 코사인 계수

2.2 동역학 모델

정밀궤도결정을 위한 EGPOD 소프트웨어는 동역학 모델 접근 방법에 의존한다. 동역학 모델은 지구 중력장을 고려한 EGM(Earth Gravity Model) 96 70 × 70이 사용 되었고, IERS Bulletin에 의 해 지구 회전 요소가 결정된다(표 2). 대기 저항 모델은 위성의 모양을 판으로 모델링한 Box-wing macro 모델을 사용하였고 대기 밀도의 정밀한 값을 구하기 위하여 3시간 간격의 지구 지자기 지수와 진폭(Kp , Ap)을 이용하였다. 태양과 지구 복사압은 Colombo 모델(Colombo 1984)과 Conical shadow 모델이 각각 사용되었고, 복사압 모델을 위한 위성 모양에 대해서는 Box-wing macro 모델이 적용되 었다. 행성의 위치는 JPL에서 제공하는 DE405 계수를 이용하여 결정하였고, 태양과 달, 8개의 행성 등에 대한 모델을 고려하였다. 내부적으로 궤도를 전파하기 위한 좌표 시스템은 J2000이고 시각은 TDT(Terrestrial Dynamical Time)를 사용하였다. 이러한 동역학 모델 접근 방법에 있어 정밀궤도결 정은 얼마나 정확한 동역학 모델이 사용되었느냐에 따라 그 결과가 달라진다. 따라서 동역학 모델의 부정확성을 보충하기 위하여 경험 가속도 모델을 넣어 시선방향(radial), 진행방향(along-track), 수 직방향(cross-track)에 대해 위성의 공전주기마다 추정하였다. 표 2는 EGPOD 소프트웨어에서 사용 하는 동역학 모델 및 이에 대한 설명을 간략히 언급하였다.

3. 정밀궤도결정 결과 및 검증

정밀궤도결정 결과를 검증하는 방법으로 널리 이용되는 것으로 중첩궤도 방법과 다른 기관의 결 과와 비교하는 방법이 있다. 물론 절대적인 위성의 위치 결과를 비교하는 방법은 아니지만 다른 기 관과의 결과 비교는 일관성과 함께 검증된 기관의 자료를 사용함으로써 신뢰도를 가질 수 있다.

3.1 중첩궤도 결과 및 관측 잔차

먼저 정밀궤도결정 결과의 절대적인 위치를 알 수 없기 때문에 공통된 데이터를 가지는 부분의 위성의 위치결과를 서로 비교하여 그 정밀도가 어느 정도인지 확인하는 것은 내부 정밀도 평가에 있 어서 중요하다. 이 연구에서는 2009년 1월 9일 27시간 데이터와 2009년 1월 10일부터 18일까지 각각 30시간의 데이터를 준비하여 각 데이터 아크의 연속되는 공통된 시간인 6시간 중에 가운데 4시간을 골라 중첩궤도로 정하고 서로 비교하였다. 이 때 가운데 부분 4시간을 고른 이유는, 보간법 사용에

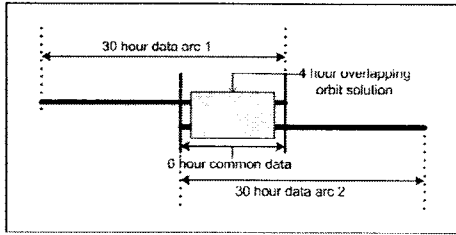


그림 2. 중첩궤도 처리 방법.

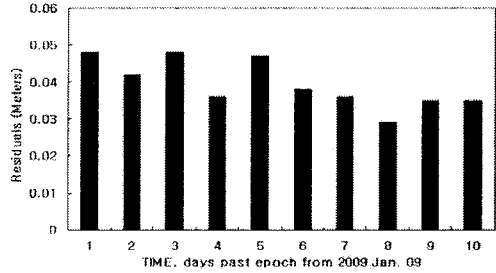


그림 3. 후처리 결과에 의한 계산 값과 관측 값 사이의 잔차.

표 3. 중첩궤도에 의한 궤도 오차(2009 1월 9일부터 1월 18일 각각의 데이터 아크 30시간에 대해 데이터가 중첩되는 전날 2시간과 다음날 2시간 궤도 결과에 대한 차이, 단위: cm).

데이터 아크	시선방향	진행방향	수직방향	3차원 RSS
2009.Jan.09-Jan.10	3.4	11.9	5.6	13.6
2009.Jan.10-Jan.11	1.4	3.5	3.7	5.3
2009.Jan.11-Jan.12	4.3	9.3	7.9	12.9
2009.Jan.12-Jan.13	3.2	7.1	9.1	12.0
2009.Jan.13-Jan.14	4.4	15.3	7.3	17.5
2009.Jan.14-Jan.15	4.1	10.4	7.2	13.3
2009.Jan.15-Jan.16	5.0	11.8	7.4	14.8
2009.Jan.16-Jan.17	5.2	19.7	5.0	20.9
2009.Jan.17-Jan.18	7.3	16.4	2.4	18.1

따라 끝점에서 예기치 못한 오차가 발생할 수 있기에, 끝부분에서 나타나는 효과를 배제하기 위해서 이다(Hwang & Born 2005). 그림 2는 중첩궤도를 얻기 위한 개념을 설명하고 있다.

표 3은 SAC-C 위성의 9개 데이터 모음에 대한 중첩궤도 결과를 요약하고 있다. 대부분 3차원 위치 오차 비교에서 20cm 이내의 차이를 보이고 있다. 각 성분 별로 살펴보면, 특히 진행방향을 따라 그 오차가 크게 나타나고 시선방향으로는 그 결과가 수 센티미터 수준의 정밀도를 보인다. 이러한 중첩궤도에 의한 결과는 동역학 모델에 전적으로 의존하는 경우보다 kinematic 방법, 혹은 reduced dynamic 방법을 사용하면 더욱 좋은 결과를 얻을 수 있다(Bock et al. 2009). 그러나 이 결과는 위성의 절대적인 위치 정확도가 20cm 내로 들어온다는 것을 의미하지는 않는다. 이 중첩궤도에 의한 정밀도 비교는 단지 상대적인 정밀도 평가로의 의미를 가질 뿐이다.

그림 3은 각 데이터 아크, 즉 27시간과 30시간에 대해서 추정을 수행한 다음 후처리에 대한 관측 잔차 결과를 나타낸 것이다. 대략 3cm에서 5cm 이내의 정밀도를 보이고 있다. 이 관측 잔차는, 대부분의 GPS 관측 데이터(60,000-75,000개)가 전처리 과정에서 사용되었고, 정밀궤도 결정 수행을 위하여 신호품질 현상과 매 반복 시 다른 관측 값에 비해 크게 벗어난 데이터(outlier)는 배제한 관측 결과와 계산 결과의 차이를 나타낸 것이다. 이런 관측 잔차 계산은 데이터의 품질 확인과 정밀도 시험을 위해 필요하다.

3.2 JPL의 정밀궤도결과 비교

JPL에서 제공하는 정밀궤도력(<ftp://sayatnova.jpl.nasa.gov/pub/genesis/orbits/sac-c/quick/>)과

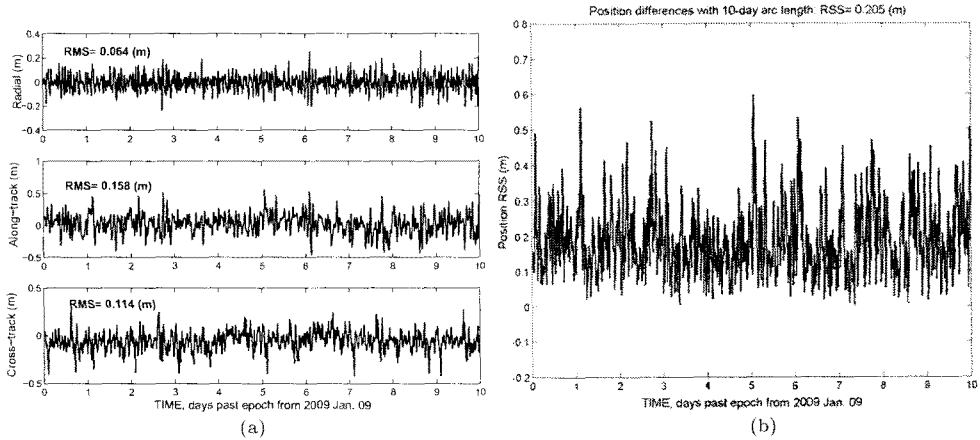


그림 4. 2009년 1월9일부터 18일까지 10일치 데이터에 대한 정밀궤도결정 위치 결과 비교. (a) SAC-C 위성의 정밀궤도결정 결과로 EGPOD와 JPL의 정밀궤도력 결과 비교에서 각 시선방향, 진행방향, 수직방향으로의 위성의 위치 차이, (b) EGPOD와 JPL의 정밀궤도력 결과 비교에서 3차원 개념에서 위성의 위치 차이.

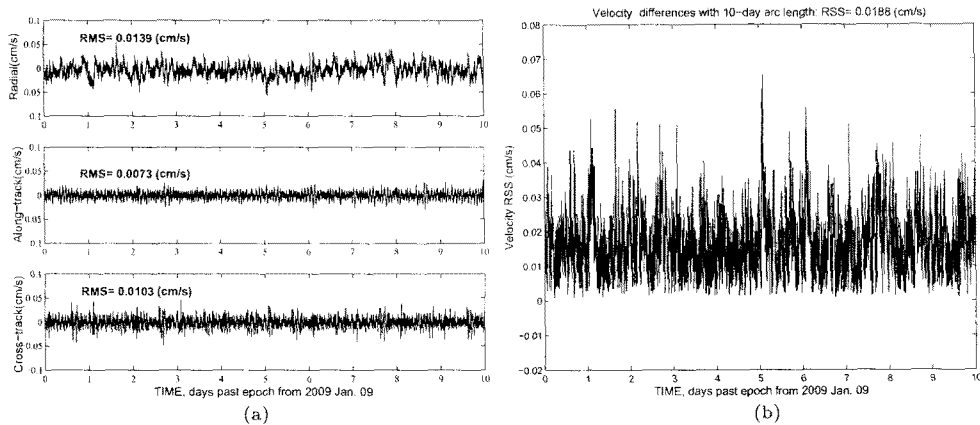


그림 5. 2009년 1월9일부터 18일까지 10일치 데이터에 대한 정밀궤도결정 속도 결과 비교. (a) EGPOD와 JPL의 정밀궤도력 결과 비교에서 각 시선방향, 진행방향, 수직방향으로의 위성의 속도 차이, (b) EGPOD와 JPL의 정밀궤도력 결과 비교에서 3차원 개념에서 위성의 속도 차이.

EGPOD의 결과를 서로 비교하기 위해서, 10일치 데이터에 대하여 각각 다른 데이터 아크를 가지는 문제를 해결하기 위하여 각 데이터에 있어 24시간으로 한정하여 비교하였다. 먼저 위성의 위치 결과에 대해 서로 비교하였다. 그림 4에서 보는 것처럼 진행방향으로 10일치 데이터에 대해서 15.8cm 정도의 오차를 보였고, 3차원으로 보면 대략 20.5cm의 차이를 보였다. 이 결과가 절대적 위성의 위치를 의미하는 것은 아니지만, 정밀궤도결정 요구 사항인 20cm의 요구 조건은 만족시킨다. 그러나 다른 기관인 JPL의 결과와 비교하기 위해서는 정밀궤도력을 얻기 위해 선택한 데이터 아크 길이부터 동역학 모델 및 관측 데이터 처리 방법, 좌표계의 일관성 등을 고려해야 한다.

그림 5는 위성의 속도 성분들을 비교한 결과로, 그림 5a는 위성의 시선방향, 진행방향, 수직방향으로 ECEF(Earth-Centered-Earth-Fixed) 좌표계에 있는 성분들을 투영시킨 것이고, 그림 5b는 이

를 3차원으로 표시한 것으로 3차원 속도 오차는 그 차이가 대략 0.02cm/s를 보인다. 이 결과는 SAR 영상 촬영에 이용될 0.03cm/s인 요구 조건보다 작은 값으로 고정밀 SAR 영상 처리를 위한 조건을 만족 시킴을 알 수 있다.

4. 결론

다목적실용위성-5호의 정밀궤도결정에 대한 성능 검증을 위하여 SAC-C 위성의 실제 탑재된 이중 주파수 GPS 데이터를 이용하여 EGPOD 소프트웨어에서 정밀궤도결정을 수행하였다. 관측 데이터는 데이터 전처리 과정에서 이중 주파수의 특성을 이용하여 전리층 오차를 제거하고, 전리층 오차가 제거된 데이터로 이중 차분된 새로운 데이터를 생성하였다. 이 때 의사거리 데이터로 시계오차를 추정하고 이 값으로 이중 차분에서 시계오차를 보정하였다. 이중 차분된 데이터로 BLSE 필터를 이용하여 동역학 모델과 관측 데이터의 오차를 최적화하는 초기 위성의 위치를 찾아 궤도를 전파시켰다. 동역학 모델 접근 방법으로 동역학 모델의 정밀도에 의존한 결과는 중첩궤도에서 대략 20cm 이하의 정밀도를 보였고 JPL과의 정밀 궤도력 비교에서 20cm, 0.02cm/s 정도의 위치와 속도 정확도를 보였다. 이와 같은 결과를 통하여 EGPOD 소프트웨어의 성능을 검증하였으며 이를 다목적실용위성-5호의 정밀궤도결정에 적용 시킬 수 있음을 보였다.

참고문헌

- Bock, H., Jäggi, A., Dach, R., Schaer, S., & Beutler, G. 2009, ASR, 43, 783
- Colombo, O. L. 1984, NASA Technical Memorandum/Altimetry, Orbits and Tides, NASA-TM-86180
- Demets, C., Gordin, R. G., Argus, D. F., & Stein, S. 1994, GRL, 21, 2191
- Hedin, A. E. 1991, JGR, 96, 1159
- Hwang, Y., & Born, G. H. 2005, JSR, 42, 5
- Hwang, Y., Lee, B.-S., Kim, H.-Y., Kim, J., & Yoon, J.-C. 2007, 25th AIAA ICSSC AIAA-2007-3131
- Ijssel, J. V., Visser, P., & Rodriguez, E. P. 2003, ASR, 31, 889
- Jäggi, A., Hugentobler, U., Bock, H., & Beutler, G. 2007, ASR, 39, 1612
- Knocke, P. C. & Ries, J. C. 1987, CSR Technical memorandum/Earth Radiation Pressure Effects on Satellites, CSR-TM-87-01
- Lee, B. -S., Yoon, J. C., Hwang, Y., & Kim, J. 2005, Acta-Astronautica, 57, 747
- Lemoine, F. G., Kenyon, S. C., Factor, J. K., Trimmer, R. G., Pavlis, N. K., Chinn, D. S., Cox, C. M., Klosko, S. M., Luthcke, S. B., Torrence, M. H., Wang, Y. M., Williamson, R. G., Pavlis, E. C., Rapp, R. H., & Olson, T. R. 1998, NASA/TP-206861
- Mendes, V. B., Prates, G., Pavlis, E. C., Pavlis, D. E., & Langley, R. B. 2002, GRL, 29, 1414
- Montenbruck, O. 2003, AST, 7, 396
- Yoon, J.-C., Lee, J.-H., Lee, S.-R., Shin, J.-M., Moon, H.-Y., Kim, B.-K., & Lee, B.-S. 2003, Proceedings of 2003 International Symposium on GPS/GNSS
- Yoon, J.-C., Roh, K.-M., Park, E.-S., Moon, B.-Y., Choi, K.-H., Lee, J.-S., Lee, B.-S., Kim, J., & Chang, Y.-K. 2002, JSR, 39, 5