

GLONASS 위성 가시성 분석을 위한 알마낙 기반 궤도 예측

Orbit Prediction using Almanac for GLONASS Satellite Visibility Analysis

김혜인¹⁾ · 박관동²⁾

Kim, Hye-In · Park, Kwan-Dong

Abstract

Even though there are next generation Global Navigation Systems in development, only GPS and GLONASS are currently available for satellite positioning. In this study, GLONASS orbits were predicted using Keplerian elements in almanac and the orbit equation. For accuracy validation, predicted orbits were compared with precise ephemeris. As a result, the 3-D maximum and RMS (Root Mean Square) errors were 155.4 km and 56.3 km for 7-day predictions. Also, the GLONASS satellite visibility predictions were compared with real observations, and they agree perfectly except for several epochs when the satellite signal was blocked nearby buildings.

Keywords : GLONASS, Orbit Prediction, Visibility, Almanac

초 록

다양한 차세대 위성항법시스템들이 개발되고 있지만, 현재 사용자가 측위에 이용할 수 있는 위성항법시스템은 GPS와 GLONASS 뿐이다. 이 연구에서는 GLONASS의 궤도력 중에서 알마낙을 이용하여 위성궤도를 예측하고 예측궤도의 정확도를 평가하였다. 예측궤도를 생성하기 위하여 알마낙 파일에 포함되어 있는 케플러 궤도요소와 궤도방정식을 이용하였으며, 그 결과는 정밀궤도력과의 좌표 비교를 통하여 정확도를 검증하였다. 그 결과, 7일 동안 예측한 위성궤도의 3차원 최대오차는 155.4km로 나타났으며, RMS 오차는 56.3km로 나타났다. 또한 실제관측 결과와의 비교를 통해 궤도오차가 위성의 가시성을 분석하는데 무리가 없는 수준임을 확인하였다.

핵심어 : GLONASS, 궤도 예측, 가시성, 알마낙

1. 서 론

현재 전 세계적으로 운영되고 있는 위성항법시스템으로는 미국의 GPS(Global Positioning System)와 러시아의 GLONASS(GLObal NAVigation Satellite System)가 있으며, 유럽의 Galileo, 중국의 Beidou/Compass, 일본의 QZSS(Quasi-Zenith Satellite System)등이 개발 및 시험 운영 단계에 있다. 추가적으로 개발되고 있는 위성항법시스템의 구축이 완료되는 2010년대 중반에는 통합 GNSS(Global Navigation Satellite System) 환경이 완성되

어 다수의 가시위성이 확보되고 측위가용성 및 측위정확도가 향상될 것으로 예상된다. 그러나 도심환경에서는 통합 GNSS 환경에서도 지물 및 중고층 건물 등으로 인해 위성신호가 차단되어 가시위성 확보가 어려울 수 있다. 따라서 다수의 가시위성이 확보되고 위성의 기하학적 배치가 양호한 최적의 시간과 측점을 예측하는 작업이 필요하다.

이러한 예측작업과 관련한 선행연구들을 살펴보면 다음과 같다. 이동락 등(2005)은 GPS만 단독으로 사용할 경우와 GPS와 Galileo를 동시에 사용할 경우의 측위기법

1) 교신저자 · 정회원 · 인하대학교 공과대학 지리정보공학과 박사과정(E-mail:hikim0619@inha.edu)

2) 정회원 · 인하대학교 공과대학 지리정보공학과 조교수(E-mail:kdpark@inha.ac.kr)

별 정확도를 비교하였으며, 서용철 등(2007)과 Suh 등(2007)은 일본의 신주쿠를 대상으로 GPS, Galileo, QZSS 결합측위의 가용성을 평가하였다. 유경호 등(2007)은 도심의 3차원 GIS 수치지형도를 이용하여 특정지역의 3차원 도심 모델을 생성하고, 직선-폴리곤 충돌검사 알고리즘을 통해 GPS 가시위성의 개수를 산출하였다. 또한 GPS와 Galileo의 단독 수신과 동시 수신의 경우에 대한 정밀도 저하율(DOP, Dilution of Precision) 분석을 수행하였다. 송중화 등(2008)은 GPS와 Galileo의 통합 알고리즘을 구현하고 항법오차, 가시성, 그리고 정밀도 저하율 분석을 실시하였다.

위성의 가시성을 예측하기 위해서는 기본적으로 위성의 위치정보가 필요하기 때문에 위성의 궤도예측이 필수적이다. 앞서 소개한 선행연구들에서는 GPS, Galileo, 그리고 QZSS 위성의 궤도를 예측하였으나, GPS와 함께 현재 실질적으로 운영되고 있는 위성항법시스템인 GLONASS 위성의 예측궤도는 생성하지 않았다. 현재 개발 중인 위성항법시스템들의 구축이 완료되기 전까지 사용자가 이용 가능한 위성항법시스템은 GPS와 GLONASS이기 때문에 이에 대한 궤도예측이 필요하다. 최근 김해인(2009)은 GLONASS 궤도예측 연구의 일환으로 방송궤도력을 이용하여 Runge-Kutta 수치적분법으로 위성궤도를 예측하는 연구를 수행하였다.

이 연구에서는 GLONASS 위성궤도 예측에 알마낙을 이용하였는데, 알마낙 파일에 포함되어 있는 케플러 궤도 요소와 궤도 방정식을 사용하여 위성의 위치를 계산하였다. 계산된 위성좌표를 정밀궤도력상의 위성좌표와 비교하여 X, Y, Z 성분별 좌표오차와 3차원 좌표오차, RMS(Root Mean Square) 오차를 산출하였으며, 이를 정확도 평가의 지표로 사용하였다. 또한 계산한 위성좌표와 관측지점 좌표를 이용하여 시야각을 계산하고 이를 통해 가시위성 개수를 산출한 후, 실제 관측된 가시위성

개수와 비교하여 가시성 분석에의 활용 가능성을 파악하였다.

2. GLONASS 개요

러시아에서 개발하여 운영하고 있는 위성항법시스템인 GLONASS는 GPS와 마찬가지로 초기에는 군사적 목적으로 1970년대 중반부터 개발되기 시작하였다. GLONASS 위성부문의 개발은 크게 GLONASS, GLONASS-M, 그리고 GLONASS-K 세 단계로 구분할 수 있으며, 그 중에서 GLONASS 단계는 Block I, Block II a, Block II b, Block II v 단계로 세부적으로 구성되어 있다. GLONASS 단계의 첫 번째 위성은 1982년 10월에 발사되었으며, 1996년에 초기에 계획했던 24기의 위성이 모두 정상적으로 가동되었을 때가 있었지만 러시아의 경제적인 이유와 관리 부실 등의 이유로 인해 위성의 수가 점점 줄게 되었다(건설교통부, 2005; 남기욱 등, 2007). 그 후 러시아는 GLONASS의 정상화와 시스템 개선을 위해 GLONASS-M 프로그램을 계획하여 2011년 마무리를 목표로 추진하고 있으며, 그 첫 번째 위성이 2003년 12월에 발사되었다. 2008년 12월에 발사된 GLONASS-M 3기의 위성이 성공적으로 운영되기 시작하면서 현재는 19기의 GLONASS-M과 1기의 GLONASS로 총 20기의 위성이 운용되고 있으며, 러시아에서는 GLONASS의 경쟁력을 더욱 향상시키기 위해 총 24기 위성 운용을 목표로 하는 GLONASS-K 프로그램을 준비하고 있다. GLONASS-K는 2009년 첫 발사가 예정되어 있으며, 위성의 수명을 10년으로 연장하고, 질량을 750kg으로 절반가량 축소할 것을 계획하고 있다. GLONASS 단계별 위성 제원에 대한 자세한 사항은 표 1에 정리하였다.

GLONASS의 위성부문은 21개의 위성과 3개의 예비위

표 1. GLONASS 단계별 위성 제원 비교

	GLONASS	GLONASS-M	GLONASS-K
첫 발사 년도	1982	2003	2009(예정)
수명(년)	3	7	10
질량(kg)	1,400	1,400	750
운영되고 있는 위성 수	1	19	-
민간 신호 개수	1	2	3
위성 시계의 안정성	5×10^{-13}	1×10^{-13}	1×10^{-14}

성으로 구성되어 있다. 각각 120° 간격의 3개의 궤도면에 각각 7기의 위성과 예비위성 1기가 배치되어 있으며, 궤도 경사각은 64.8°이다. 위성의 고도는 GPS보다 약간 낮은 19,100km이고 공전 주기는 11시간 15분이다. 제어부문은 모스크바에 위치한 시스템제어센터(SCC, System Control Center), 중앙 동기국(Central Synchronizer), 4개의 TT&C(Telemetry, Tracking and Control)로 구성되어 있으며, 5개의 레이저 관측소(Laser Station)에서 추가적으로 보완하고 있다. 시스템제어센터에서 GLONASS 시스템을 통제, 관리하며, 중앙 동기국에서는 위성시계와 위상 오차(phase offset)를 산출하고 예측하는 작업을 한다. 그리고 TT&C에서는 위성을 추적, 모니터링하고 위성으로 데이터를 전송하는 역할을 수행한다(김혜인,

2009).

GLONASS는 GPS와 위치계산 원리는 동일하지만 기준좌표계와 표준시간계가 다르다. GLONASS의 기준좌표계는 PZ-90(Parametry Zemli 1990) 좌표계이며, GPS는 WGS84(World Geodetic System 1984) 좌표계 기준이다. 따라서 GPS와 GLONASS를 함께 사용하기 위해서는 좌표변환을 통해 그 차이를 고려해주어야 한다. 두 좌표계의 파라미터에서 지구 자전 속도 $\dot{\Omega}_e$ 와 중력장 J_2 는 각각 7.292115×10^{-5} rad/s와 -1.08263×10^{-3} 로 동일하며, 지구 중력 상수 μ , 지구 반경 a_E , 그리고 지구 편평률 f 에 차이가 있다(표 2). PZ-90 좌표계와 WGS84 좌표계 간의 변환식은 식 (1)과 같으며, 단위는 m이다(Bazlov 등, 1999).

표 2. PZ-90과 WGS84 좌표계의 파라미터

파라미터	표기	PZ-90	WGS84
지구 중력 상수	μ	$3.9860044 \times 10^{14} \text{ m}^3/\text{s}^2$	$3.986005 \times 10^{14} \text{ m}^3/\text{s}^2$
지구 반경	a_E	6378136m	6378137m
지구 편평률	f	1/298.257839303	1/298.257223563

$$\begin{bmatrix} X_{WGS84} \\ Y_{WGS84} \\ Z_{WGS84} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1.1 \\ -0.3 \\ -0.9 \end{bmatrix} + (1 - 0.12 \times 10^{-6}) \begin{bmatrix} 1 & -0.82 \times 10^{-6} & 0 \\ 0.82 \times 10^{-6} & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_{PZ-90} \\ Y_{PZ-90} \\ Z_{PZ-90} \end{bmatrix} \quad (1)$$

또한 GLONASS의 시간은 BIH(Bureau International de l'Heure)에 의해 설정된 기준으로 세슘 133원자의 주파수에 근거하고 있다. GLONASS의 시간 시스템인 Moscow는 협정 세계시(UTC, Universal Time Coordinated)보다 3시간 빠르기 때문에, GLONASS 시간을 UTC로 변환하기 위해서는 항법메시지에 포함되어 있는 시계보정항 τ_c 을 가산하고 3시간을 감산해야 한다(Roßbach, 2000; ICD-GLONASS, 2002; Hofmann-Wellenhof 등, 2007).

3. GLONASS 위성궤도 예측

GLONASS 궤도력에는 정밀궤도력, 신속궤도력, 방송궤도력, 그리고 알마낙이 있다. 궤도력 파일은 러시아의 Information-Analytical Center(IAC) 홈페이지에서 다운받아 사용할 수 있으며, 정밀궤도력 파일의 경우에는 국제 GPS 기구인 IGS(International GNSS Service)에서도 제공

하고 있다(IAC 홈페이지; IGS 홈페이지). 이 연구에서는 GLONASS 궤도예측을 위해 알마낙을 사용하였다.

GLONASS 알마낙은 GPS 알마낙과 마찬가지로 케플러 궤도 요소를 포함하고 있으며, 알마낙 파라미터와 설명은 표 3에 나타내었다(ICD-GLONASS, 2002). GLONASS 알마낙에 포함된 파라미터를 이용한 위성좌표 계산 알고리즘은 다음과 같다. 위성의 좌표 계산에 사용되는 상수는 GLONASS 기준 좌표계인 PZ-90 좌표계에서의 지구중력상수 μ , 지구반경 a_E , 그리고 지구자전속도 $\dot{\Omega}_e$ 이며, 앞서 설명한 2장에 그 값을 기술하였다. 날짜 N , t 시각에서의 위성위치를 계산하고자 할 때, 먼저 식 (2)를 이용하여 승교점을 지나는 시각 t_1^A 와 계산하고자 하는 시각 t 의 차이 Δt 를 계산한다. 이 때, GLONASS의 시간이 UTC보다 3시간 빠르기 때문에 UTC에 3시간을 가산해준다.

표 3. GLONASS 알마낙 파라미터

표 기	내 용	단 위
ID	PRN	-
$Health$	위성상태	-
N^A	알마낙 기준 날짜 최근 윤년의 1월 1일부터의 날짜(1-1461)	-
t_λ^A	승교점을 지나는 시각	sec
λ^A	t_λ^A 에 승교점을 지날 때의 그리니치 경도	rad
Δi^A	t_λ^A 에서의 궤도 경사각 보정량 평균 궤도경사각: 63°	rad
ΔT^A	t_λ^A 에서의 궤도주기 보정량 궤도주기: 승교점에서 승교점까지의 경과시간 평균 궤도주기: 43200sec	sec
$\Delta \dot{T}^A$	궤도주기의 변화율	sec/orbit
e^A	t_λ^A 에서의 이심률	-
ω^A	t_λ^A 에서의 근지점 인수	rad

$$\Delta t = (N - N^A) \times 86400 + t - t_\lambda^A \quad (2)$$

$$t_{glo} = UTC + 3h$$

궤도경사각(orbit inclination) 평균값 i_{mean} 에 t_λ^A 에서의 궤도 경사각 보정량 Δi^A 를 더해 궤도경사각을 계산한다(식 3). 궤도주기 T 역시 평균 궤도주기 T_{mean} 에 보정량 ΔT^A 를 더해 주어 재계산한다(식 4). 이 때, 궤도경사각 평균값 i_{mean} 은 63° 이며, 평균 궤도주기 T_{mean} 는 43,200초이다.

$$i = i_{mean} + \Delta i^A \quad (3)$$

$$T = T_{mean} + \Delta T^A \quad (4)$$

위에서 재계산한 궤도주기 T 를 이용하여 식 (5)를 통해 평균 운동량(mean motion) n 을 계산하고, 식 (6)을 이용해 장반경 a 를 계산한다.

$$n = \frac{2\pi}{T} \quad (5)$$

$$a = \sqrt[3]{\frac{\mu}{n^2}} \quad (6)$$

그리고 식 (7)을 이용하여 승교점(ascending node)에서의 경도 보정량 λ 를 계산하고, 식 (8)을 이용하여 근지점 인수(argument of perigee) 보정량 $\dot{\omega}$ 을 계산한다.

$$\lambda = -10 \left(\frac{a_E}{a} \right)^{\frac{7}{2}} \frac{\pi}{180 \times 86400s} \cos i \quad (7)$$

$$\dot{\omega} = 5 \left(\frac{a_E}{a} \right)^{\frac{7}{2}} \frac{\pi}{180 \times 86400s} (5 \cos^2 i - 1) \quad (8)$$

앞서 계산한 Δt 와 승교점에서의 경도 보정량 λ , 근지점 인수 보정량 $\dot{\omega}$ 을 이용하여 보정된 승교점에서의 경도 λ 와 보정된 근지점 인수 ω 를 재계산한다(식 9, 10).

$$\lambda = \lambda^A + (\dot{\lambda} - \omega_E) \times \Delta t \quad (9)$$

$$\omega = \omega^A + \dot{\omega} \times \Delta t \quad (10)$$

식 (11)을 이용하여 근지점인수와 진 근점각거리(true anomaly)가 일치하는 궤도 위치 II 에서의 이심 근점각거리(eccentric anomaly) E_{II} 를 계산하고, 근지점 통과시

각의 차이 ΔT 를 구한다(식 12).

$$E_{II} = 2 \tan^{-1} \left(\tan \frac{\omega}{2} \sqrt{\frac{1-\epsilon^A}{1+\epsilon^A}} \right) \quad (11)$$

$$\Delta T = \frac{E_{II} - \epsilon^A \sin E_{II}}{n} + \begin{cases} 0, & \omega < \pi \\ T, & \omega > \pi \end{cases} \quad (12)$$

식 (13)을 이용하여 t 에서의 평균 근점각거리(mean anomaly) M 을 구하고, 케플러 방정식을 이용하여 이심 근점각거리 E 를 계산한다(식 14).

$$M = n \times (\Delta t - \Delta T) \quad (13)$$

$$E = M + \epsilon^A \sin E \quad (14)$$

마지막으로 식 (15)를 통해 궤도 기준면에서의 위치벡터 \vec{x}^o 를 계산하고, 지구중심좌표계로 변환을 위한 방위벡터 \vec{e}_1 과 \vec{e}_2 를 계산한다. 궤도 기준면에서의 위치벡터 \vec{x}^o 의 요소에 \vec{e}_1 , \vec{e}_2 를 각각 곱해주고 더함으로써 지구중심좌표계에서의 위성위치 \vec{x} 를 계산할 수 있다(식 16).

$$\vec{x}^o = a \times \begin{bmatrix} \cos E - \epsilon^A \\ \sqrt{1 - (\epsilon^A)^2} \sin E \\ 0 \end{bmatrix} \quad (15)$$

$$\vec{e}_1 = \begin{bmatrix} \cos \omega \cos \lambda - \sin \omega \sin \lambda \cos i \\ \cos \omega \sin \lambda + \sin \omega \cos \lambda \cos i \\ \sin \omega \sin i \end{bmatrix} \quad (16)$$

$$\vec{e}_2 = \begin{bmatrix} -\sin \omega \cos \lambda - \cos \omega \sin \lambda \cos i \\ -\sin \omega \sin \lambda + \cos \omega \cos \lambda \cos i \\ \cos \omega \sin i \end{bmatrix}$$

$$\vec{x} = x_1^o \vec{e}_1 + x_2^o \vec{e}_2$$

4. GLONASS 위성의 예측궤도 정확도 평가

GLONASS 알마낙을 이용하여 3장에서 설명한 방법에 따라 생성한 GLONASS 예측궤도의 정확도 평가는 다음과 같은 방법으로 진행하였다. 먼저 2008년 9월 17일 알마낙을 이용하여 9월 18일부터 24일까지 총 7일간의 예측궤도를 생성하였다. 정밀궤도력 데이터가 15분

간격으로 주어지기 때문에 동일한 시점에서의 좌표 비교가 가능하도록 해당 데이터에 포함된 모든 위성의 좌표를 15분 간격으로 계산하였다. 그리고 생성한 예측궤도 결과를 동일한 시점의 정밀궤도력과 비교하여 X, Y, Z 성분별 좌표오차와 3차원 좌표오차, RMS 오차를 산출하였다.

그림 1은 9월 17일 알마낙에 포함된 13개 위성 중에서 PRN 13의 X, Y, Z 성분별 좌표오차를 나타낸 것이며, 그림에서 보듯이 X, Y, Z 성분별로 ± 50 km 좌표오차가 나타났다. Z 성분의 좌표 차이가 X, Y에 비해 크게 나타났으며 X, Y 좌표오차의 경우 유사한 패턴으로 주기성이 발견되는 것을 확인할 수 있었다. 또한 1일에서 7일까지 오차의 크기가 크게 변하지 않지만 조금씩 증가하는 경향이 나타났다. 그림 2는 그림 1의 X, Y, Z 성분별 좌표오차를 3차원으로 나타낸 것이다. 3차원 오차의 범위는 40km-50km로 나타났으며 X, Y, Z 성분별 오차와 마찬가지로 시간이 경과함에 따라 오차가 증가하는 경향은 나타났다지만, 그 변동량이 크게 나타나지는 않았다.

PRN 13 위성 뿐만 아니라 9월 17일 알마낙에 포함된 13개 위성의 오차가 그림 1과 유사한 경향을 나타냈지만, 시간이 경과할수록 오차가 감소하는 경우가 발생하는 것을 확인하였다. 그림 3은 오차가 감소하는 경향이 나타난 PRN 23 위성의 X, Y, Z 성분별 오차를 나타낸 것이며, 그림 4는 3차원 오차를 나타낸 것이다. 오차가 증가하는 경향을 나타냈던 PRN 13과 마찬가지로 오차의 변동량이 큰 것은 아니지만 그림 3과 4에서 보듯이 시간이 지날수록 오차가 감소하는 경향이 나타났다. 이 연구에서 사용한 9월 17일 알마낙에 포함된 13개 위성 중에

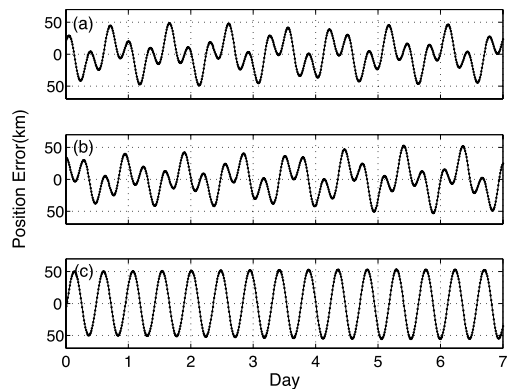


그림 1. 알마낙을 이용한 GLONASS 7일 예측궤도 성분별 오차-PRN 13(a) X 좌표오차, (b) Y 좌표오차, (c) Z 좌표오차

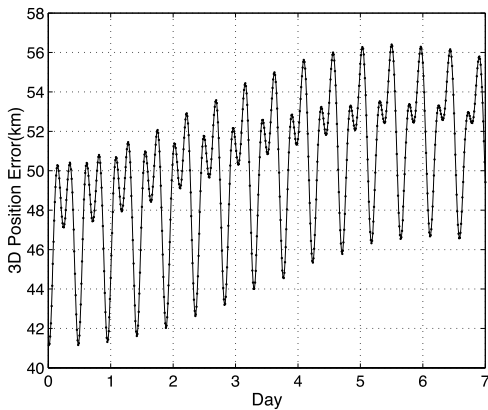


그림 2. 알마낙을 이용한 7일 예측궤도 3차원 오차-PRN 13

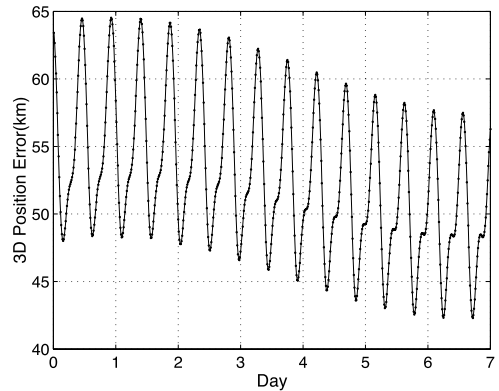


그림 4. 알마낙을 이용한 GLONASS 7일 예측궤도 3차원 오차-PRN 23

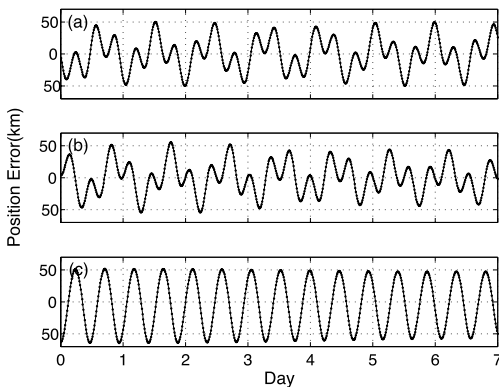


그림 3. 알마낙을 이용한 GLONASS 7일 예측궤도 성분별 오차-PRN 23((a) X 좌표오차, (b) Y 좌표오차, (c) Z 좌표오차)

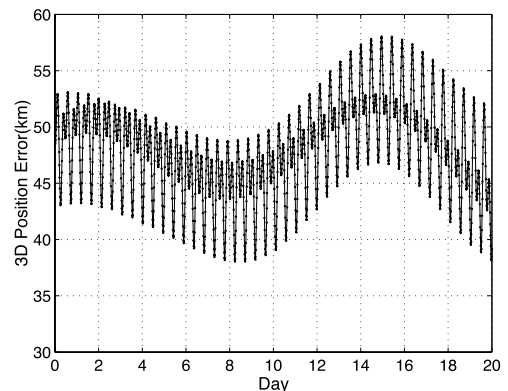


그림 5. 알마낙을 이용한 GLONASS 20일 예측궤도 3차원 오차-PRN 23

서 3차원 오차가 증가하는 경향을 나타낸 위성의 개수는 8개, 감소하는 경향을 나타낸 위성의 개수는 5개로 나타났다.

이러한 현상이 일시적인 것인지, 지속적인 것인지 확인하기 위하여 시간이 경과함에 따라 오차가 감소하는 경향을 나타낸 PRN 23 위성의 20일 예측궤도 좌표오차를 계산하였다. 그 결과, 오차가 지속적으로 감소하는 것이 아니라 일시적으로 감소했다가 다시 증가하는 등 불규칙적으로 변화하는 것을 확인할 수 있었다(그림 5). 이러한 불규칙적인 증감현상은 이 연구에서와 동일한 날짜의 방송궤도력을 대상으로 Runge-Kutta 수치적분법을 적용하여 생성한 궤도예측 결과에서도 나타나는 것

을 확인하였다(김혜인, 2009).

표 4는 13개 위성의 예측궤도에 대한 3차원 오차의 최대값과 RMS 오차를 1일부터 7일까지 누적하여 나타낸 것이다. 1일 경과 후와 7일 경과 후의 13개 위성 예측궤도의 최대오차가 각각 155.36km와 155.39km로 나타났으며, RMS 오차의 평균값은 각각 56.308km, 56.319km로 그 차이는 11m에 불과했다. 시간에 따른 오차의 크기는 큰 변화가 없었지만, 위성에 따라서는 오차의 편차가 매우 크게 나타났다. 특히 PRN 20과 PRN 23의 최대오차 평균이 각각 103.13km, 155.39km로 나타났는데, 이러한 수치는 다른 위성의 최대오차 평균이 55.3km에 비해 2배 이상 큰 수치로, 이러한 이유 때문에 최대오차와 RMS

오차의 차이가 크게 나타난 것으로 판단된다.

김혜인(2009)이 방송궤도력을 기반으로 Runge-Kutta 수치적분법을 이용하여 생성한 7일 예측궤도의 최대오차가 40.1km, RMS 오차가 15.7km인 것과 비교했을 때, 알마낙보다 방송궤도력을 이용한 경우가 더욱 정확한 것을 알 수 있었다. 그러나 알마낙을 이용하여 산출한 예측궤도의 최대오차인 155km를 시야각으로 환산한 결과, 이로 인한 방위각과 고도각의 변화가 각각 33' 23", 21' 16"로 나타났으며, 이를 통해 오차의 크기가 가시성 분석에는 큰 영향을 미치지 않는 수준임을 확인하였다.

표 4. 알마낙을 이용한 GLONASS 예측궤도 3차원 오차 통계

경과날짜	최대(km)	RMSE(km)
1	155.4	56.3
2	155.4	56.2
3	155.4	56.2
4	155.4	56.3
5	155.4	56.3
6	155.4	56.3
7	155.4	56.3

5. GLONASS 위성의 가시성 분석

알마낙으로 생성한 예측궤도의 추가적인 정확도 검증과 가시성 분석에의 활용 가능성 여부를 알아보기 위하여 예측궤도를 통해 계산한 가시위성의 개수와 실제 관측된 가시위성의 개수를 비교하였다. 관측지점은 GLONASS 위성신호의 수신이 가능한 장비가 설치되어 있는 IHU2 관측소로 선정하였다. IHU2는 인하대학교 4호관 옥상에 위치하고 있으며, 인하대학교 지리정보공학과 GPS 연구실에서 연구목적으로 설치한 기준국이다. Trimble NetR5 수신기와 TRM41249.00 안테나로 구성되어 있으며, 1초 간격으로 매시간 관측자료를 생성하고, 임계고도각 10°를 사용하고 있다. IHU2는 신호차폐요소가 거의 없기 때문에 시야각 확보는 양호한 편이지만, 몇몇 건물들이 낮은 고도각에 위치하고 있다.

먼저 9월 17일 알마낙 데이터를 이용하여 18일 24시간의 위성좌표를 1초 간격으로 계산한 후, 계산한 위성좌표와 IHU2의 좌표를 통해 각 위성의 방위각, 고도각을

산출하였다. 방위각, 고도각을 이용하여 계산한 매초의 가시위성의 개수를 실제 관측된 가시위성 개수와 비교하였으며 그 결과를 그림 6에 나타내었다. 그림 6에서 실선은 라이넥스(RINEX, Receiver Independent Exchange Format) 관측파일에 기록된 실제 가시위성의 개수를 나타내며, 점선은 알마낙을 이용하여 생성한 예측궤도를 통해 산출한 가시위성의 개수를 의미한다. 그림 6의 가로축은 UTC를 의미하며 세로축은 가시위성의 개수를 나타낸다. 그림 6에서 보듯이 실제 관측된 가시위성의 개수와 알마낙을 이용한 예측궤도로 계산한 가시위성의 개수가 거의 일치하는 것을 확인할 수 있으며, 이를 통해 이 연구에서 생성한 예측궤도가 가시성 분석에는 문제가 없을 수준의 정확도를 달성했음을 알 수 있다.

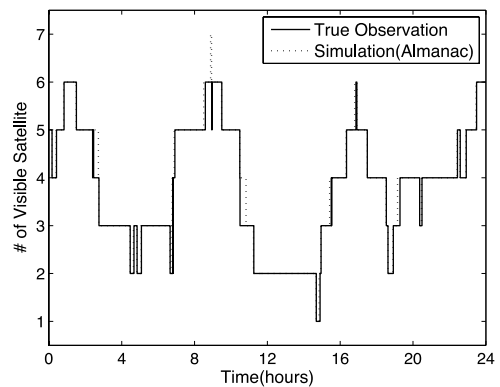


그림 6. 실제관측과 예측결과 산출된 가시위성 개수 비교

그러나 예측한 가시위성의 개수보다 실제 관측된 가시위성이 1개 작게 관측되는 시간대가 존재하는 것을 그림 6에서 확인할 수 있으며, 이에 대한 원인을 파악하기 위하여 차이가 나는 위성의 궤적을 그림 7에 나타내었다. 그림 7에 나타낸 관측되지 않은 위성의 방위각과 고도각은 IHU2 관측소 주변의 낮은 고도각에 위치하고 있는 몇몇 건물들의 위치와 일치한다. 방위각 약 90-100°에 위치한 인하대학교 하이테크센터 15층 건물, 약 270-330°에 위치한 5층 건물의 3호관에서 약 5m 더 높이 올라온 건물의 일부, 그리고 2, 4호관 옥상의 구조물들이 영향을 미친 것으로 판단된다. 따라서 실제관측과 예측 결과가 다른 이유는 위성의 예측궤도의 정확도가 낮기 때문이 아니라, 고도각 15° 이하의 위성신호가 차폐되었기 때문으로 판단된다.

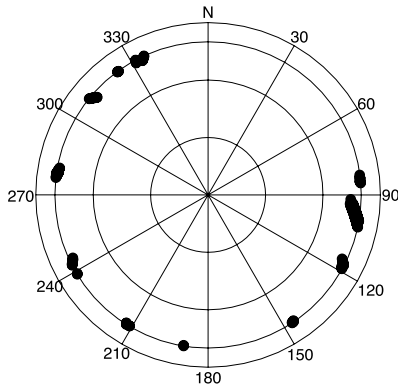


그림 7. 실제관측과 예측결과가 일치하지 않는 위성의 궤적(skyplot)

6. 결 론

이 연구에서는 GLONASS 위성의 가시성 분석을 위한 알마낙 기반의 예측궤도를 생성하였다. 또한 예측궤도의 정확도가 가시성 분석이 가능한 수준인지를 파악하기 위해, 정밀궤도력과 비교하여 오차를 산출하였다. 예측궤도는 알마낙 파일에 포함된 케플러 궤도 요소와 궤도 방정식을 이용하여 생성하였다. 7일간의 예측궤도를 생성한 결과를 정밀궤도력 좌표와 비교하였으며 X, Y, Z 성분별 좌표오차와 3차원 좌표오차를 산출하였다. 그 결과, 1일 경과 후부터 7일 경과 후의 오차 변동폭이 작은 것을 확인하였으며, 7일이 경과한 후 3차원 RMS 오차가 56.3km로 나타났다. 특정 위성의 오차가 유난히 크게 나타났기 때문에 7일 경과 후의 최대오차는 155.4km로 나타났으나, 다른 위성들에 비해 오차가 유난히 큰 두 개 위성을 제외한 나머지 10개 위성의 최대오차의 평균은 55.3km로 양호하게 나타났다. 또한 이 연구에서는 예측궤도의 추가적인 정확도 검증과 가시성 분석에의 활용 가능성을 타진하기 위하여 실제관측 결과와 비교하였다. 예측궤도와 관측지점의 위치를 이용하여 방위각, 고도각을 계산하고 가시위성의 개수를 산출하였으며, 이를 실제 관측된 위성의 개수와 비교하였다. 그 결과, 예측궤도를 이용하여 산출한 가시위성의 개수와 실제 관측된 위성의 개수가 관측지점 주변의 낮은 고도각에 위치하는 건물들에 의한 영향을 제외하고 거의 일치하는 것을 확인하였다.

이 연구를 통해 GPS를 제외하고 현재 이용할 수 있는 유일한 위성항법시스템인 GLONASS의 위성궤도를 예

측하고 그 정확도를 검증하여 이를 다양한 연구에 활용할 수 있는 가능성을 제시하였다. 도심지역과 같이 위성의 가용성이 가변적인 지역에서는 관측환경과 그에 따른 위성의 가시성 및 측위정확도 등을 미리 예측하는 작업이 필요하다. 따라서 이 연구에서 수행한 GLONASS의 궤도예측 방법을 이용하여, 가시위성의 개수와 위성의 기하학적 배치 상황을 미리 예측하고 최적의 측정과 시간을 선정할 수 있으며, 이는 다양한 분야에 매우 유용하게 사용될 것으로 예상된다.

감사의 글

이 연구는 지식경제부 및 산업기술연구회의 협동연구과제의 일환으로 수행하였음. [08AR2310, GPS/Galileo 환경에서의 위성항법신호생성/수신처리 및 측위성능향상 기초연구]

참고문헌

- 건설교통부 (2005), Post GPS 시대에 대비한 국가 위치 정보 관리전략 연구.
- 김혜인 (2009), 위성측위 가용성 및 정확도 향상 평가를 위한 통합 GNSS 시뮬레이터 개발, 석사학위논문, 인하대학교, pp. 30-47.
- 남기욱, 허문범, 심주영 (2007), 위성항법시스템 및 보강시스템의 구축 현황, 항공우주산업기술동향, 한국항공우주연구원, 제 5권, 제 1호, pp. 65-74.
- 서용철, 이양원 (2007), 통합 GNSS 환경에서 도시공간 위성측위의 가용성 평가 시뮬레이션, 한국측량학회지, 한국측량학회, 제 25권, 제 3호, pp. 231-238.
- 송종화, 지규인, 정성균, 이상욱, 김재훈 (2008), GPS/Galileo 통합항법알고리즘 구현 및 시각 및 좌표계차이에 따른 영향 분석, 한국항공우주학회지, 한국항공우주학회, 제 36권, 제 2호, pp. 171-178.
- 유경호, 강태삼, 성상경, 이은성, 정성균, 신천식, 이상욱, 이영재 (2007), 도심에서의 3차원 GIS 기반 위성항법시스템 가시성 분석, 한국항공우주학회지, 한국항공우주학회, 제 35권, 제 12호, pp. 1095-1100.
- 이동락, 이흥규, 배경호 (2005), GPS/Galileo 결합 시스템의 측위 성능 분석, 한국측량학회지, 한국측량학회, 제 23권, 제 3호, pp. 283-292.
- Bazlov, Y., Galazin, V., Kaplan, B., Maksimov, V. and

- Roguzin, V. (1999), GLONASS to GPS: A new coordinate transformation, *GPS World*, January, pp. 54-58.
- Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H., and Wasle, E. (2007), *GNSS-Global Navigation Satellite Systems*, Springer-Verlag.
- IAC 홈페이지, *The Information-Analytical Center*, <http://www.glonass-ianc.rsa.ru/>
- ICD-GLONASS (2002), GLONASS Interface Control Document (version 5.0), *Coordinational Scientific Information Center Russian Space Forces*, Moscow.
- IGS 홈페이지, *International GNSS Service*, <http://igscb.jpl.nasa.gov/>
- Roßbach, U. (2000), Positioning and navigation using the Russian satellite system GLONASS, *Schriftenreihe der Universität der Bundeswehr München*, Vol. 71.
- Suh, Y.-C. and Shibasaki, R. (2007), Evaluation of satellite-based navigation services in complex urban environments using a three-dimensional GIS, *IEICE Transactions on Communications*, E90-B, pp. 1816.
-
- (접수일 2009. 3. 2, 심사일 2009. 4. 15, 심사완료일 2009. 4. 22)

