

GLONASS 측위를 위한 위성좌표 산출 정확도 향상 방안

Accuracy Analysis of GLONASS Orbit Determination Strategies for GLONASS Positioning

이호석¹⁾ · 박관동²⁾ · 김혜인³⁾

Lee, Ho-Seok · Park, Kwan-Dong · Kim, Hye-In

Abstract

Precise determination of satellite positions is necessary to improve positioning accuracy in GNSS. In this study, GLONASS orbits were predicted from broadcast ephemeris using the 4th-order Runge-Kutta numerical integration method and their accuracy dependence on the integration step and the integration time was analyzed. The 3D RMS (Root Mean Square) differences between the results from 1-second integration step and 300-second integration step was about 3 cm, but the processing time was one hundred times less for the 1-second integration time case. For trials of different integration times, the 3D RMS errors were 8.3 m, 187.3 m, and 661.5 m for 30-, 150-, and 300-minutes of integration time, respectively. Though this integration-time analysis, we concluded that the accuracy gets higher with a shorter integration time. Thus we suggest forward and backward integration methods to improve GLONASS positioning accuracy, and with this method we can achieve a 5-meter level of 3-D orbit accuracy.

Keywords : GLONASS, 4th-order Runge-Kutta, integration step, integration time

초 록

위성항법시스템에서 정확한 위성궤도결정 기술은 측위 정확도 향상의 필수적인 조건이다. 이 연구에서는 GLONASS의 방송궤도력과 4차 Runge-Kutta 수치적분법을 이용하여 위성좌표를 결정하였으며, 적분간격과 적분시간에 따른 위성궤도의 정확도를 비교하였다. 적분간격에 따른 위성궤도 정확도 분석결과, 적분간격이 1초일 때와 300초일 때의 3차원 RMS 오차의 차이가 3cm에 불과한 반면 처리시간은 100배 이상 향상되었다. 적분시간에 따른 위성좌표의 3차원 RMS 오차는 적분시간이 30분, 150분, 300분일 때 각각 8.3m, 187.3m, 661.5m로 나타났으며, 이를 통해 적분시간을 짧게 할수록 정확도가 향상되는 것을 확인하였다. 따라서 이 연구에서는 GLONASS 측위를 위한 위성좌표 결정의 정확도 향상을 위해 적분시간을 최소화 할 수 있는 Forward와 Backward 적분을 적용하는 방안을 제안하였으며, 이와 같은 방법을 사용할 경우 5m이하의 위성좌표 산출 정확도를 확보할 수 있다.

핵심어 : GLONASS, 4차 Runge-Kutta, 적분간격, 적분시간

1. 서론

GLONASS(GLObal NAVigation Satellite System)는 러시아의 위성항법시스템으로서 2010년 9월 현재 21기가 운용되고 있다. 유럽연합과 중국, 일본 등에서도 각각 Galileo, Beidou/Compass, QZSS(Quasi-Zenith Satellite System)등의 위성항법시스템을 구축하고 있으나 시스템 구축이 완료

되기까지는 수년이 걸릴 예정이다. 따라서 현재 이용가능한 위성항법시스템으로는 GPS와 GLONASS가 유일하다. 국외의 경우 GLONASS에 대한 다양한 연구들이 활발하게 진행되고 있지만, 국내의 경우 GLONASS와 관련된 연구는 매우 부족한 실정이다. 특히, GLONASS를 이용한 측위에 가장 기본이 되는 GLONASS 위성궤도 결정에 대한 연구는 거의 이루어진 바가 없다.

1) 교신저자 · 정희원 · 인하대학교 공과대학 지리정보공학과 석사과정(E-mail : gps4310@gmail.com)
2) 정희원 · 인하대학교 공과대학 지리정보공학과 부교수(E-mail: kdpark@inha.ac.kr)
3) 정희원 · 인하대학교 공과대학 지리정보공학과 박사과정(E-mail: hikim0619@inha.edu)

GLONASS 위성궤도 결정에 대한 국외의 연구사례에 대해 살펴보면 다음과 같다. Hui 등(2009)은 4차 Runge-Kutta 수치적분법을 이용한 위성 좌표결정 정확도 평가를 수행하였으며, 라그랑지 보간법(Lagrange interpolation)과 체비셰프 다항식 접합(Chebyshev polynomials fitting) 결과를 비교하였다. 적분시간(integration time)을 30분으로 하여 방송궤도력(broadcast ephemeris)과 비교했을 때 X, Y, Z 최대 오차가 각각 3.5m, 2.5m, 2.6m의 결과를 얻었다. Yuping 등(2009)은 4차 Runge-Kutta 수치적분법을 이용한 위성 좌표결정 결과와 프로그래밍 언어 Matlab 내장함수 ODE45를 이용한 결과를 비교하였다. 그 결과 좌표오차의 차이가 mm 단위 이하로 나타났으며, 이를 통해 ODE45의 정확도가 Runge-Kutta 수치적분법의 정확도와 유사함을 확인하였다.

국내에서는 2000년대 초 강준목 등(2001)에 의해 GLONASS 측위에 대한 연구가 진행되었으나, 2003년도부터 시작된 GLONASS의 현대화 계획인 GLONASS-M 프로그램이 추진되기 전에 수행되었기 때문에 시스템의 정상화가 이루어지지 않았다는 점과 정확도가 낮은 알마낙(almanac)을 사용하였다는 한계를 가지고 있다. 2009년에는 김혜인 등(2009)에 의해 GNSS 시뮬레이터에 적용하기 위한 GLONASS 위성 좌표결정에 대한 연구가 수행되었다. 해당 연구에서는 4차 Runge-Kutta 수치적분법을 이용하여 7일간의 예측궤도력을 생성하고 정확도 평가를 하였으나, Runge-Kutta 수치적분 한 개의 초기값만을 가지고 Forward 적분만 사용하였다는 한계를 갖고 있다.

이 연구에서는 4차 Runge-Kutta 수치적분법을 이용하여 위성궤도를 결정하는 과정에서 적분간격과 적분시간의 변화에 따른 좌표산출의 정확도를 분석하였다. 위성 좌표산출 결과와 방송궤도력 또는 정밀궤도력(precise orbits)과의 비교를 통해 X, Y, Z 성분별 RMS(Root Mean Square) 오차 및 3차원 RMS 오차를 산출하였다. 또한, 적분간격과 좌표산출에 소요되는 처리시간과의 상관관계 분석을 수행함으로써 GLONASS 측위를 위한 위성좌표 결정 정확도를 향상시킬 수 있는 적분간격 및 적분시간을 제시하였다.

2. GLONASS 개요

GLONASS 궤도력에는 정밀궤도력, 신속궤도력, 방송궤도력, 알마낙이 있으며 궤도력 파일은 러시아의 Information Analytical Center(IAC) 홈페이지에서 제공된다(김혜인, 2009). GPS 방송궤도력은 케플러 궤도요소 및 주 기보정항 등이 포함되어 있는 반면 GLONASS 방송궤도력

에는 위성좌표, 위성속도 및 가속도, 위성시계오차(SV clock bias), 위성 주파수오차(SV relative frequency bias) 등의 정보를 제공한다(Roßbach, 2001; ICD-GLONASS, 2002; 김혜인, 2009). 또한, GPS 방송궤도력은 2시간 간격으로 데이터를 제공하는 반면 GLONASS 방송궤도력은 매시 15분과 45분에 30분 간격으로 데이터를 제공한다. GLONASS 방송궤도력에 대한 자세한 내용은 Roßbach(2001), ICD-GLONASS(2002), 김혜인(2009)을 참고할 수 있다.

GLONASS 정밀궤도력은 GPS 정밀궤도력과 동일하게 위성에 따라 좌표와 시계오차 값을 포함하고 있다. 따라서 이 연구에서는 위성궤도력의 초기값으로 방송궤도력을 사용하였으며, 정확도 비교를 위해 정밀궤도력을 사용하였다.

방송궤도력과 정밀궤도력을 이용하여 정확도 비교 및 분석을 수행하기 위해서는 방송궤도력과 정밀궤도력의 시각을 동기화 해야 한다. GLONASS 방송궤도력은 UTC(Universal Time Coordinated)를 사용하는 반면 GLONASS 정밀궤도력은 GPS Time을 사용한다. UTC와 GPS Time은 식 (1)과 같은 관계를 가지고 있다(Gurtner, 2007). 식 (1)에서 보는 바와 같이 UTC는 GPS 시간과 윤초(leap second)만큼의 차이가 나며, 2010년 현재 윤초인 15초를 적용해야 정확한 비교가 가능하다.

$$UTC = GPS\ Time + \Delta Leap \quad (1)$$

$$\Delta Leap = leap\ second$$

GLONASS 위성좌표 결정을 위한 수치적분법으로 4차 Runge-Kutta 수치적분법, 5차 Fehlberg 수치적분법, 7차 Shanks 수치적분법 등이 사용되고 있다(Zinoviev, 2005). 러시아 IAC의 표준문서 GLONASS-ICD(Interface Control Document)에서는 4차 Runge-Kutta 수치적분법을 이용한 위성좌표 결정방법을 소개하고 있다(GLONASS-ICD, 2002). 4차 Runge-Kutta 수치적분법은 한 개의 초기값을 이용하여 고차 Taylor 급수와 동등한 정밀도를 제공한다는 장점을 가지고 있다(Roßbach, 2001; 김혜인, 2009). Runge-Kutta 수치적분법은 GLONASS 방송궤도력에서 제공하는 위성좌표와 속도를 이용 초기값으로 이용하여 중력장 J2에 의한 섭동량, 지구자전에 의한 전향력(coriolis force)등을 고려하여 위성좌표를 결정할 수 있다. 이 논문에서는 GLONASS-ICD에서 제안하는 4차 Runge-Kutta 수치적분법과 방송궤도력을 이용하는 GLONASS 위성좌표 결정에 대한 연구를 수행하였다. Runge-Kutta 수치적분법에 대한 자세한 사항은 Roßbach(2001), GLONASS-ICD(2002), 김혜인(2009)에서 확인 할 수 있다.

3. 위성위치 산출 정확도 분석

3.1 적분간격에 따른 정확도 비교

위성좌표 결정의 정확도와 처리시간은 4차 Runge-Kutta 수치적분법의 적분간격에 따라 달라지므로 요구되는 정확도와 처리시간에 적절한 적분간격 설정이 필요하다. 이 연구에서는 적분간격을 조정함으로써 산출되는 위성좌표의 정확도와 처리시간과의 상관성을 분석하였다. 이때 정확도 분석에는 2010년 7월 12일 방송궤도력을 사용하였으며, 적분시간을 30분으로 하여 7월 12일 24시간의 모든 PRN 위성의 좌표를 산출하였다.

적분간격은 표 1에 나타난 바와 같이 최소 1초에서 최대 900초로 하였으며, 각 적분간격으로 위성좌표를 산출했을 때의 X, Y, Z 성분별 RMS 및 3차원 RMS 오차, 그리고 위성궤도 결정에 소요되는 처리시간을 산출하였다. 자료처리에 사용된 컴퓨터 사양은 Intel Core 2 Duo 2.66GHz CPU에 2.00GB RAM 이다.

표 1. 적분간격에 따른 RMS 오차와 처리시간

적분간격 (초)	X(m)	Y(m)	Z(m)	3D RMS (m)	처리시간 (초)
1	5.11	5.09	4.13	8.31	142.3
5	5.11	5.09	4.13	8.31	23.9
10	5.11	5.09	4.13	8.31	12.0
30	5.11	5.09	4.13	8.31	4.1
60	5.11	5.09	4.13	8.31	2.1
90	5.11	5.09	4.13	8.31	1.5
120	5.11	5.09	4.13	8.31	1.1
150	5.11	5.09	4.13	8.31	0.9
180	5.11	5.09	4.14	8.31	0.8
300	5.12	5.10	4.18	8.34	0.6
600	8.06	7.98	6.13	12.89	0.4
900	32.21	32.11	21.46	50.29	0.4

적분간격이 1초에서 180초 이하인 경우 3차원 RMS 오차는 cm단위까지 변화가 없었으며, 위성좌표 산출에 소요되는 처리시간은 적분간격 1초에서 5초 사이에 급격하게 감소하였다. RMS 오차와 처리시간의 상관성 분석 결과는 그림 1에 나타내었다. 앞서 표 1에서 확인한 바와 같이 적분간격이 증가함에 따라 처리시간은 급격하게 줄어드는 반면 RMS 오차는 300초까지 큰 변화가 없다가 600초가 되면서 급격하게 커지는 것을 확인하였다.

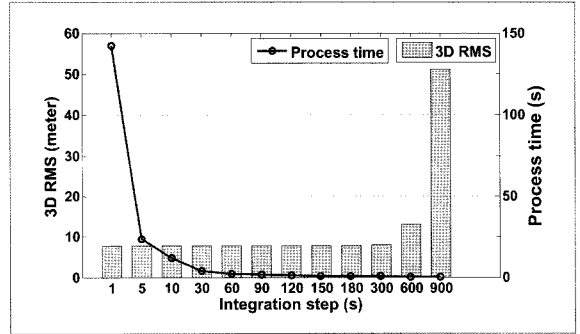


그림 1. 3차원 RMS 오차와 처리시간

따라서 만약 위성좌표 결정에 대한 별도의 시간간격이 요구되지 않는다면, 최대 300초의 적분간격으로 설정하여 위성좌표를 산출하는 것이 가장 효과적이라고 판단된다. 시간간격을 300초로 설정할 경우 적분간격이 1초일 때와 유사한 정확도를 확보 할 수 있으며 처리시간은 100배 이상으로 단축시킬 수 있기 때문이다.

3.2 적분시간에 따른 정확도 비교

위성궤도 결정의 정확도에는 앞서 3.1절에서 살펴본 적분간격뿐만 아니라 적분시간에 따라라도 달라진다. 이 연구에서는 2010년 7월 12일 하루 데이터를 이용하여 적분시간이 증가함에 따른 오차의 변동을 분석하였다. 이때 방송궤도력에 30분 간격으로 기록된 위성좌표와의 비교를 위해 적분시간을 30분에서 300분까지 증가시켰다. 적분시간에 따른 위성좌표 산출방법은 그림 2에 나타내었다.

그림 2(a)는 첫 에폭(epoch) 시간인 00시 15분 00초에 시작하여 30분 후까지의 위성좌표를 결정하고 00시 45분 00초에 산출된 위성궤도력과 동일시각의 방송궤도력을 비교한 것이다. 마찬가지로 그림 2(b)는 적분시간을 300분으로 하여 300분 후까지의 위성좌표를 결정하고 동일시각의 방송궤도력을 비교한 것이다. 3.1절에서 적분간격이 30초일 경우와 1초일 경우의 정확도 차이가 없었으므로, 효율성을 위해 30초의 적분간격을 이용하였다.

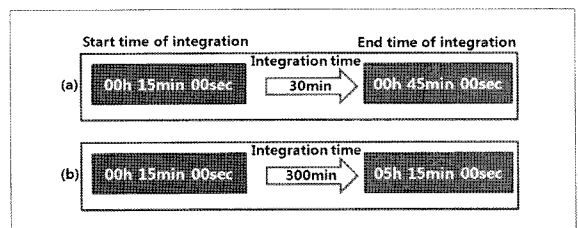


그림 2. 적분시간에 따른 위성좌표 산출 방법

그 결과, 적분시간이 30분일 경우 3차원 RMS 오차 값이 8.31m로 가장 낮게 산출되었다(표 2). 적분시간을 60분으로 한 경우 3차원 RMS 오차 값이 32.32m로 적분시간이 30분일 때보다 RMS 오차가 증가하였으며, 적분시간이 300분일 경우 3차원 RMS 오차가 661.54m까지 증가하였다. 이와 같은 분석을 통해 적분시간이 길어질수록 궤도 정확도가 급격하게 저하되는 것을 알 수 있다.

표 2. 적분시간에 따른 RMS 오차

적분간격(초)	X(m)	Y(m)	Z(m)	3D RMS(m)
(a) 30	5.11	5.09	4.13	8.31
60	19.73	19.92	16.09	32.32
90	42.92	43.90	35.60	70.97
120	73.50	76.21	62.52	122.96
150	110.45	116.04	97.07	187.31
180	152.86	162.75	139.94	263.51
210	199.76	215.46	191.90	350.94
240	249.95	272.98	253.18	448.43
270	301.36	333.40	322.80	553.33
(b) 300	351.65	394.11	398.32	661.54

X, Y, Z 성분별 RMS 오차와 3차원 RMS 오차의 증가 경향을 분석하기 위해 적분시간에 따른 RMS 오차를 그림 3에 나타내었다. 그림 3을 통해 적분시간의 증가함에 따라 X, Y, Z와 3D RMS 오차가 크게 증가하는 것을 확인할 수 있으며, 이를 통해 적분시간이 짧을수록 정확한 위성좌표 결정이 가능함을 알 수 있다. 이러한 결과는 그림 3에 나타난 PRN 10뿐만 아니라 다른 모든 위성에서도 유사하게 나타났다.

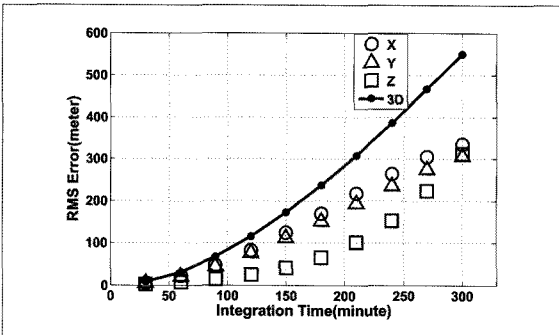


그림 3. 적분시간에 따른 PRN 10 위성의 RMS 오차

3.1절과 3.2절을 통해 Runge-Kutta 수치적분법을 이용하

여 GLONASS 위성좌표를 결정 할 때 적분간격과 적분시간이 증가함에 따라 오차가 증가하는 것을 확인하였다. 특히, 적분시간은 30분에서 60분으로 30분만 증가해도 3차원 RMS 오차가 4배 이상 증가하였으며, 이를 통해 Runge-Kutta 수치적분법을 이용한 GLONASS 위성좌표 결정 정확도에는 적분간격보다 적분시간이 더 큰 영향을 준다는 것을 알 수 있다. 따라서, 정확한 GLONASS 위성좌표 결정을 위해서는 적분시간을 최소화하는 방법이 필요하다.

4. 위성궤도 산출 정확도 향상 방안

3장을 통해 정확도를 향상시키기 위해서는 적분간격을 300초 이내로, 적분시간은 가능한 짧게해야 함을 확인하였다. 이 장에서는 정확도에 큰 영향을 미치는 적분시간을 최소화 할 수 있는 Forward 와 Backward 적분법을 제안하고 세가지 방법에 대한 정확도 비교를 수행하였다. 세 가지 방법에 대한 설명은 그림 4에 각각 (a), (b), (c)로 나타내었다. 방법 (a)는 방송궤도력 15분 15초의 좌표를 초기값으로 사용하고 14분 45초 후의 정밀궤도력과 비교하는 Forward 적분이다. 방법 (b)는 45분 15초 좌표를 초기값으로 사용하여 15분 15초 전의 정밀궤도력과 비교하는 Backward 적분이다. 마지막으로 방법 (c)의 경우 방법 (a)와 같은 초기값을 사용하며 30분 후의 방송궤도력과 비교하는 Forward 적분이다. 이 때 주의할 사항은 방송궤도력은 UTC를 사용하고 정밀궤도력은 GPS Time을 사용한다는 점이다. 따라서 그림 4와 같이 방송궤도력 시간에 윤초(15초)를 고려하여 위성좌표를 산출하고 정확도를 비교하였다.

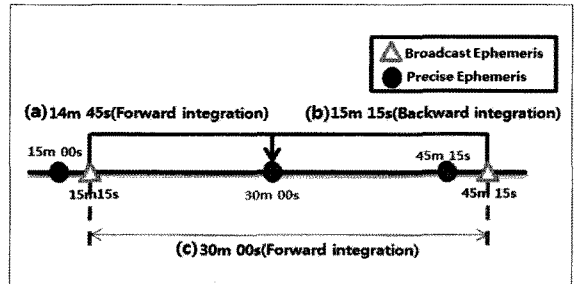


그림 4. 위성위치 산출 및 정밀궤도력과 비교방법

(a), (b), (c) 방법으로 산출한 위성 궤도력의 성분별 RMS 오차 및 3차원 RMS 오차를 표 3에 정리하였다. 2010년 7월 12일 24시간 모든 PRN 위성 데이터를 사용하였으며, 위성별로 처리 가능한 47개 에폭에서의 오차를 산출하였다. 적

분시간이 약 15분인 (a)와 (b)의 3차원 RMS 오차는 각각 4.92m와 5.05m, 적분시간이 30분인 (c)의 3차원 RMS 오차는 8.31m로 나타났다. (c)와 (a), 그리고 (c)와 (b)의 3차원 RMS 오차 차이는 각각 3.39m와 3.26m로 나타났다. 30분간 적분한 (c)방법보다 약 15분간 적분한 (a), (b)의 방법을 사용할 때 정확도가 약 40% 향상되었음을 알 수 있다. 이를 통해 Forward 적분과 Backward 적분을 동시에 이용하여 15분씩 위성좌표를 산출할 경우 약 5m의 3차원 RMS 오차를 확보할 수 있다는 것을 확인하였다.

표 3. 적분시간과 적분방법에 따른 RMS 오차

Integration Time	Integration Type	X(m)	Y(m)	Z(m)	3D RMS (m)
(a) 14m 45s	Forward	3.06	3.09	2.28	4.92
(b) 15m 15s	Backward	3.14	3.21	2.32	5.05
(c) 30m	Forward	5.11	5.09	4.13	8.31

그림 5는 PRN 1번 위성을 대상으로 적분시간과 방법에 따른 3차원 오차를 나타낸 그래프이다. 방법 (a)와 방법 (b)의 3차원 오차는 유사한 수준으로 각각 최소 0.77m, 1.11m, 최대 6.19m, 6.34m로 나타났다. 방법 (c)의 3차원 오차 최소값은 3.31m, 최대값은 12.56m로 나타났으며, 약 15분 동안 적분한 방법 (a)와 방법 (b)는 30분 적분한 방법 (c)에 비해 정확도가 두 배 정도 향상되는 것을 확인할 수 있다.

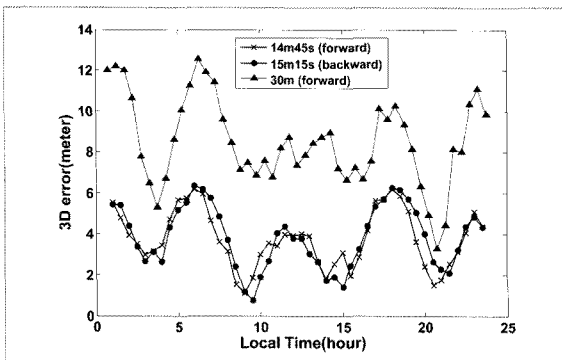


그림 5. 적분시간과 적분방법에 따른 PRN 1 위성의 3차원오차

모든 위성의 오차를 파악하기 위해 위성 21개 전체에 대한 3차원 오차의 통계치를 표 4에 나타내었다. 모든 위성을 대상으로 한 결과에서도 방법 (c)에서는 3차원 오차의 평균값이 8.06m지만 방법 (a)와 방법 (b)의 경우 3차원 오차의 평균값이 4.55m와 4.70m로 모두 3m 이상 향상되었

다. 또한, 3차원 오차의 최소값, 최대값, 표준편차에 있어서도 방법 (c)에 비해 방법 (a)와 (b)가 보다 향상된 결과를 나타냈다.

표 4. 적분시간과 적분방법에 따른 3차원 오차의 통계치(m)

Integration Time	Integration Type	Min	Max	Mean	Standard Deviation
(a) 14m 45s	Forward	0.57	10.55	4.55	1.88
(b) 15m 15s	Backward	0.48	11.74	4.70	1.86
(c) 30m	Forward	1.86	15.15	8.05	2.05

이러한 결과를 통해 Forward 와 Backward 적분방법을 동시에 사용해 적분시간을 15분으로 최소화하면 평균 5m 이하 오차수준의 결과를 산출할 수 있음을 알 수 있다.

5. 결론

본 논문에서는 GLONASS 방송궤도력과 4차 Runge-Kutta 수치적분법을 이용하여 위성 좌표를 결정하였으며, Runge-Kutta 수치적분법의 적분간격과 적분시간을 변화시켜 위성좌표를 산출하고 그에 따른 오차 경향을 분석하였다. 그 결과 적분간격을 1초와 300초로 처리했을 경우 하루 동안의 위성좌표 결정에 각각 142.3초와 0.8초가 소요되었으며, 3차원 RMS 오차의 차이는 약 3cm로 유사한 수준의 정확도가 나타났다. 따라서 매초 또는 짧은 시간간격의 측위가 요구되지 않는 상황에서는 적분간격을 300초로 설정하여도 그 정확도는 적분간격이 1초인 경우와 유사한 것을 알 수 있다.

또한, 적분시간에 따른 위성좌표 결정은 변화에 따른 그 영향이 크게 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 적분시간이 30분일 경우 3차원 RMS 오차 값이 8.3m이지만 적분시간을 60분, 150분, 300분으로 설정할 경우 각각 32.3m, 187.3m, 661.5m로 급격하게 오차가 증가하였다. 따라서, 위성좌표 산출에 적분간격에 따른 영향보다 적분시간에 따른 영향이 훨씬 더 크게 미치는 것을 확인하였다.

적분간격과 적분시간이 위성좌표 결정 정확도에 미치는 영향을 분석한 결과, 적분시간의 최소화가 위성좌표 결정 정확도에 중요한 항목이라 판단되며, Forward와 Backward 적분을 동시에 수행하면 적분시간을 약 15분으로 최소화할 수 있다는 것을 알 수 있었다. 따라서 약 15분의 적분시간에 따른 정확도 평가를 위해 정밀궤도력을 이용하여 14분 45초의 Forward 적분과 15분 15초의

Backward 적분의 정확도를 확인하였다. 이 과정을 통해 각각 3.9m와 4.4m의 3차원 RMS 오차가 발생됨을 확인하였으며, Forward 와 Backward 적분을 동시에 적용시켜 적분 시간을 최대 15분으로 최소화 하면 평균 5m이하의 3차원 오차 수준을 확보 할 수 있음을 확인하였다.

감사의글

이 논문은 공간정보 전문인력 양성사업과 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임(2010-0012663)

참고문헌

강준목, 이용욱, 박정현 (2001), GPS/GLONASS 조합에 의한 절대측위 정밀도 분석, 한국측량학회지, 한국측량학회, 제 19권, 제 1호, pp. 9-17.

김혜인 (2009), 위성측위 가용성 및 정확도 향상 평가를 위한 통합 GNSS 시뮬레이터 개발, 석사학위논문, 인하대학교, pp. 12-69.

김혜인, 박관동 (2009), GLONASS 위성 가시성 분석을 위한 방송궤도력 기반 궤도 예측, 한국우주과학회지, 한국우주과학회, 제 26권, 제 2호, pp. 199-210.

Gurtner, W. (2007), RINEX: The Receiver Independent Exchange Format Version 3.00, *Astronomical Institute University of Berne*

Hui, H., Chao, Y. and Lian, F. (2009), Extrapolation and Fitting Algorithm for GLONASS Satellite Orbit, *Third International Symposium on Intelligent Information Technology Application*, Vol. 3, pp. 282-285.

ICD-GLONASS (2002), GLONASS Interface Control Document (version 5.0), *Coordinational Scientific Information Center Russian Space Forces*, Moscow.

Roßbach, U (2001), Positioning and navigation using the Russian satellite system GLONASS, *Schriftenreihe der Universität der Bundeswehr München*, Vol. 71.

Yuping, L., Hang, G. and Min, Y. (2009), A Comparison for GLONASS Satellite Coordinate Calculation, *Information Engineering and Computer Science International Conference on*, pp. 1-4.

Zinoviev, A. E. (2005), Using GLONASS in Combined GNSS Receivers: Current Status, *ION GNSS 18th International Technical Meeting of the Satellite Division, Long Beach, CA, September*.

(접수일 2010. 09. 29, 심사일 2010. 11. 20, 심사완료일 2010. 12. 17)