

3차원 공간정보를 이용한 통합 GNSS 시뮬레이터 개발 및 검증

Development and Validation of an Integrated GNSS Simulator Using 3D Spatial Information

김혜인¹⁾ · 박관동²⁾ · 이호석³⁾

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

Abstract

In this study, an integrated GNSS Simulator called Inha GNSS Simulation System (IGSS) using 3D spatial information was developed and validated. Also positioning availability and accuracy improvement were evaluated under the integrated GNSS environment using IGSS. GPS and GLONASS satellite visibility predictions were compared with real observations, and their frequency of error were 6.4% and 7.5%, respectively. To evaluate positioning availability and accuracy improvement under the integrated GNSS environment, the Daejeon government complex area was selected to be the test site because the area has high-rise buildings and thus is susceptible to signal blockages. The test consists of three parts: the first is when only GPS was used; the second is when both GPS and GLONASS were simulated; and the last is when GPS, GLONASS, and Galileo were used all together. In each case, the number of visible satellites and Dilution Of Precision were calculated and compared.

Keywords : GNSS, Visibility, DOP, Simulation, GNSS Simulator

초 록

이 연구에서는 3차원 건물좌표를 이용한 통합 GNSS 시뮬레이터 IGSS(Inha GNSS Simulation System)를 개발하고 정확도를 검증하였다. 또한 IGSS를 이용하여 통합 GNSS 환경에서의 측위 가용성 및 정확도 향상을 평가하였다. GPS와 GLONASS의 예측결과를 실제관측 결과와 비교하여 시뮬레이터를 검증하였으며 그 결과, GPS와 GLONASS의 오차 발생빈도가 각각 6.4%와 7.5%로 나타났다. 통합 GNSS 환경에서의 측위 가용성과 정확도 향상에 관한 평가는 중고층 건물에 의한 신호차폐현상이 심한 정부대전청사를 대상으로 하였다. GPS를 단독으로 사용하였을 경우, GPS와 GLONASS를 동시에 사용하였을 경우, GPS, GLONASS, 그리고 Galileo를 함께 사용하였을 경우를 구분하여 가시위성의 개수와 정밀도 저하율을 산출하고 그 결과를 비교 및 평가하였다.

핵심어 : GNSS, 가시성, 정밀도 저하율, 시뮬레이션, GNSS 시뮬레이터

1. 서 론

현재 운영되고 있는 GPS, GLONASS와 더불어

Galileo, Beidou/Compass, QZSS 등의 위성항법시스템들이 모두 운영되어 통합 GNSS 환경이 완성되는 2010년대 중반에는 GNSS 측위가용성 및 정확도가 향상될 것으로

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

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

3) 인하대학교 공과대학 지리정보공학과 학부과정(E-mail: gods1985@naver.com)

예상된다. 그러나 도심지역에서는 통합 GNSS 환경임에도 불구하고 지물 및 중고층 건물 등의 영향으로 인한 위성신호의 차폐현상이 여전히 남아있을 것으로 판단된다. 따라서 위성의 가용성이 가변적인 도심지에서는 관측환경과 그에 따른 위성의 가용성을 미리 예측할 수 있는 시뮬레이션 작업이 필요하다. 그 이유는 시뮬레이션 작업을 통해 측량 계획을 수립할 때 최적의 시간과 측점을 선정할 수 있기 때문이다. 이 때, 도시의 3차원 모델 데이터를 시뮬레이션에 반영한다면 더욱 정확한 가용성 분석이 가능하다.

통합 GNSS 환경에서의 측위 가용성 평가에 대한 선행 연구들은 다음과 같다. 이동락 등(2005)은 GPS와 Galileo를 통합하여 사용할 경우의 측위 성능을 분석하였으며, 서용철 등(2007)과 Suh 등(2007)은 GPS, Galileo, 그리고 QZSS를 동시에 사용할 경우의 가용성을 평가하였다. 유경호 등(2007)은 도시의 GIS 수치지형도를 이용하여 서울 도시의 3차원 모델을 구현하고, 직선-폴리곤 충돌검사를 적용하여 GPS와 Galileo의 가시성과 정밀도 저하율(DOP, Dilution of Precision)을 분석하였다. 송중화 등(2008)은 GPS와 Galileo의 결합측위 알고리즘을 구현하고 이를 이용하여 측위 가용성을 분석하였다. 김혜인 등(2009A; 2009B)은 선행연구들에서 GLONASS에 관한 분석이 없었던 점에 착안하여 GLONASS의 알마낙과 방송궤도력을 이용한 궤도예측 알고리즘을 구현하였다.

그러나 선행 연구들에서는 분석과정에서 중고층 건물에 의한 신호차폐현상을 고려하지 않은 경우가 대부분이었으며, 3차원 도심 모델을 적용한다 하더라도 지나치게 단순하다는 문제가 있었다. 지형은 고려하지 않고 단순하게 2차원 수치지형도에 건물의 층수에 따른 대략적인 높이값을 부여하는 방식, 혹은 LiDAR(Light Detection and Ranging)로 제작한 DSM(Digital Surface Model)과 DEM(Digital Elevation Model)의 단순 높이차를 이용하는 방식 등으로 도시를 모델링하였다. 그 결과 선행연구에서 적용한 3차원 도심모델은 현실세계와의 차이가 존재했으며, 이는 시뮬레이션 결과에 오차로 작용할 수 있다. 또한 단순한 가용성 분석에만 그친 경우가 대부분이었으며, 사용자가 쉽게 이용 가능한 시뮬레이터 개발까지는 이루어지지 못했다.

이 연구에서는 GPS와 GLONASS의 다양한 궤도모델을 바탕으로 건물의 3차원 직각좌표 X, Y, Z를 이용한 가시성 분석 알고리즘을 구현하였다. 그리고 GPS,

GLONASS, Galileo 환경에서의 가용성 및 정확도 분석이 가능한 통합 GNSS 시뮬레이터 IGSS(Inha GNSS Simulation System)를 개발하였다. IGSS는 3차원 건물좌표를 이용하여 실제 신호차단여부를 고려하기 때문에 보다 정확한 시뮬레이션이 가능하다는 점에서 선행연구와 차별화될 수 있으며, 그 활용성이 매우 높을 것으로 예상된다. 개발된 IGSS는 시뮬레이션 결과와 실제관측 결과와의 비교를 통해 정확도를 검증하였으며, IGSS를 이용하여 통합 GNSS 환경에서의 측위가용성과 정확도 향상에 관한 평가를 수행하였다. 중고층 건물에 의한 신호차폐현상이 심한 도심지역을 대상으로 GPS를 단독으로 사용하였을 경우, GPS와 GLONASS를 동시에 사용하였을 경우, 그리고 GPS, GLONASS, 그리고 Galileo를 함께 사용하였을 경우를 구분하여 평가하였다.

2. 통합 GNSS 시뮬레이터의 구성 및 기능

IGSS는 항법위성의 측위가용성 분석 및 예측을 위해 개발된 시뮬레이션 프로그램이며, 항법위성의 궤도를 예측하는 궤도모델 부문과 가시성 분석 알고리즘 부문으로 구성되어 있다. 이 장에서는 시뮬레이터를 구성하는 궤도모델 부문과 가시성 분석 알고리즘 부문을 설명하고, 시뮬레이터의 개요와 기능에 대해 서술한다.

2.1 궤도모델

궤도모델 부문에서는 각 위성항법시스템의 궤도력 종류에 적합한 궤도모델 방법을 선정하여 예측궤도를 모델링하며, 사용자의 편의에 따라 궤도력을 선택적으로 사용할 수 있도록 개발되었다. GPS 예측궤도 생성에는 YUMA 알마낙, 방송궤도력, 그리고 초신속궤도력을 이용할 수 있으며, GLONASS의 경우 알마낙과 방송궤도력을 이용할 수 있다. 그리고 Galileo의 경우, 개발단계에 있기 때문에 초기 궤도정보를 이용하여 궤도를 모델링하도록 개발되었다. 각각의 궤도모델 방법은 표 1에 나타내었다. GPS 초신속궤도력을 이용한 궤도모델 방법과 정확도 평가에 관한 자세한 사항은 이창문 등(2009)에서 참고할 수 있으며, GLONASS 궤도모델에 관한 자세한 사항은 Roßbach(2000), ICD-GLONASS(2002), 김혜인 등(2009A; 2009B)에서 참고할 수 있다. 그 외의 GPS 궤도모델 방법과 GLONASS, Galileo 궤도 모델에 관한 총체적인 내용은 김혜인(2009)에서 참고할 수 있다.

표 1. 각 위성항법시스템의 궤도력별 궤도모델 방법

위성항법 시스템	궤도력	궤도모델 방법
GPS	YUMA 알마낙	케플러 궤도요소 및 궤도방정식
	방송궤도력	항법메시지 궤도정보
	초신속궤도력	repeat time 및 Lagrange 내삽법
GLONASS	알마낙	케플러 궤도요소 및 궤도방정식
	방송궤도력	4차 Runge-Kutta 수치적분법
Galileo	초기 궤도정보	케플러 궤도요소

2.2 가시성 분석 알고리즘

도심지에서는 중고층 건물에 의한 위성신호 차폐현상이 위치정확도를 저하시키는 요인으로 작용하기 때문에 차폐현상을 고려한 시뮬레이션 결과가 유용하다. 가시성 분석 알고리즘은 도심지역에서 지물 및 중고층 건물 등의 신호차폐요소에 의해 차단된 위성신호를 구별해내는데 사용되며, IGSS에서는 직선-폴리곤 충돌검사를 이용하였다. 직선-폴리곤 충돌검사는 3차원 게임 개발, 그래픽 프로그래밍 등의 분야에서 일반적으로 많이 사용되는 알고리즘이다(Tomas 등, 1999). 직선-폴리곤 충돌검사는 직선과 폴리곤의 교차점이 폴리곤 내에 있는지 판단함으로써 충돌검사를 수행하는 방법이며, 그 개념은 그림 1에 나타내었다. 먼저 직선을 정의하는 두 점이

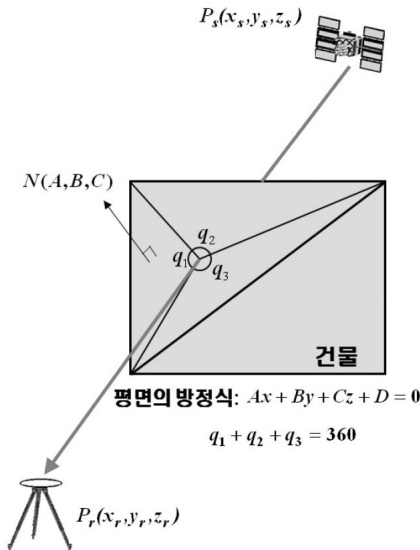


그림 1. 직선-폴리곤 충돌검사 개념도

폴리곤의 양쪽 방향에 존재하는지 검사를 실시하고, 폴리곤을 정의하는 평면과 직선의 교차점을 계산한다. 그런 다음 평면과 직선의 교차점이 폴리곤 영역 내에 포함되어 있는지를 판별하고, 폴리곤 내에 있으면 충돌을 나타내고 그렇지 않을 경우 충돌하지 않는다고 판단한다. 각 단계에 대한 자세한 설명과 수식은 다음과 같다.

위성과 수신기를 연결한 가시선을 직선이라고 정의하고, 건물의 한 면을 두 개의 삼각형으로 각각 나누어 폴리곤으로 정의한다. 우선 직선을 정의하는 두 점 모두 평면의 한쪽 방향에 위치하고 있다면 직선은 절대로 평면과 교차할 수 없기 때문에 이 두 점이 폴리곤의 양쪽 방향에 존재하는지 알아본다. 첫 번째 과정을 위해 폴리곤을 포함하는 평면의 방정식 (1)을 구한다. 이 때 A , B , C 는 각각 평면의 법선벡터 x , y , z 요소를 나타내고 D 는 폴리곤 위에 존재하는 임의의 한 점을 방정식에 대입해서 구할 수 있다.

$$Ax + By + Cz + D = 0 \tag{1}$$

평면의 방정식 특성상 평면 위에 존재하는 점을 방정식에 대입하면 결과는 0이 나오고, 평면의 뒤쪽에 존재하는 점을 방정식의 x , y , z 에 대입하면 음수 값이, 앞쪽에 존재하는 점을 대입하면 양수 값이 나오게 된다. 따라서 직선을 정의하는 두 점이 평면의 양쪽에 존재하는지 알아보기 위해서는 그림 1의 $P_s(x_s, y_s, z_s)$ 와 $P_r(x_r, y_r, z_r)$ 을 평면의 방정식에 대입해서 그 부호가 서로 다른지 파악하면 된다.

두 점이 폴리곤의 양쪽 방향에 존재하는 것을 확인한 후, 직선과 폴리곤의 교차점을 계산한다. 교차점을 구하기 위해서는 두 점을 잇는 직선도 방정식으로 만들어야 한다. 직선의 방정식은 식 (2)와 같이 만들 수 있다.

$$P(d) = P_0 + d\vec{D} \tag{2}$$

식 (2)에서 \vec{D} 는 직선의 방향을 나타내는 단위 벡터, P_0 는 시작점, 그리고 d 는 시작점과 교차점 사이의 거리를 나타낸다. 즉 $P(d)$ 는 P_0 로부터 \vec{D} 방향으로 d 만큼 떨어진 직선 위의 한 점을 나타낸다. 위의 식을 x , y , z 로 나누어 나타내면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} P(x) &= x_0 + d\vec{D}_x \\ P(y) &= y_0 + d\vec{D}_y \\ P(z) &= z_0 + d\vec{D}_z \end{aligned} \quad (3)$$

식 (3)을 평면의 방정식 (1)에 대입하면 식 (4)와 같으며, 이 식을 d 에 관해 정리하면 교차점을 구할 수 있다(식 5).

$$A(x_0 + d\vec{D}_x) + B(y_0 + d\vec{D}_y) + C(z_0 + d\vec{D}_z) + D = 0 \quad (4)$$

$$d = \frac{-(Ax_0 + By_0 + Cz_0 + D)}{(A\vec{D}_x + B\vec{D}_y + C\vec{D}_z)} \quad (5)$$

마지막으로 교차점이 폴리곤 내에 포함되는지를 판별하기 위해서는 교차점과 폴리곤의 버텍스(vertex)가 이루는 각 q_1, q_2, q_3 의 합을 계산해서 360° 와 같다면 폴리곤 내에 포함된다고 판단할 수 있다.

$$\begin{aligned} \vec{A} \cdot \vec{B} &= |\vec{A}| |\vec{B}| \cos q \\ q &= \cos^{-1}(\vec{A} \cdot \vec{B} / (|\vec{A}| |\vec{B}|)) \end{aligned} \quad (6)$$

식 (6)에서 q 는 교차점과 폴리곤의 버텍스를 연결하는 두 벡터 \vec{A} 와 \vec{B} 사이의 각도를 나타낸다. 두 벡터 \vec{A} 와 \vec{B} 는 각 버텍스에서 교차점을 빼면 계산이 가능하며, 식 (6)을 이용하여 q_1, q_2, q_3 을 구할 수 있다. 마지막으로 q_1, q_2, q_3 을 더하여 360° 와 같다면 충돌로 판단하고, 그렇지 않을 경우 충돌하지 않는 것으로 판단한다.

2.3 시뮬레이터의 개요 및 기능

IGSS는 앞서 설명한 궤도모델과 가시성 분석 알고리즘을 이용하여 위성의 가시성과 정밀도 저하율을 분석하게 된다. 이 때 위성의 가시성은 관측지점에서 수신되는 위성의 개수를 의미하는 것으로서, 이 개수는 항법해 계산 가능 여부를 결정하기 때문에 매우 중요한 역할을 한다. 또한 위성의 기하학적인 배치가 위치결정 정확도에 미치는 영향을 무차원의 수치로 나타낸 정밀도 저하율 역시 항법위성의 가용성 및 정확도를 평가하는 중요한 지표가 된다.

IGSS의 실행 화면은 그림 2와 같다. 사용자가 관측 지점의 좌표, 임계고도각, 시뮬레이션 시각, 시간 간격, 궤도력, 그리고 3차원 모델 파일을 입력값으로 넣어주면 가시위성 개수, 위치 정밀도 저하율, 그리고 위성궤적을

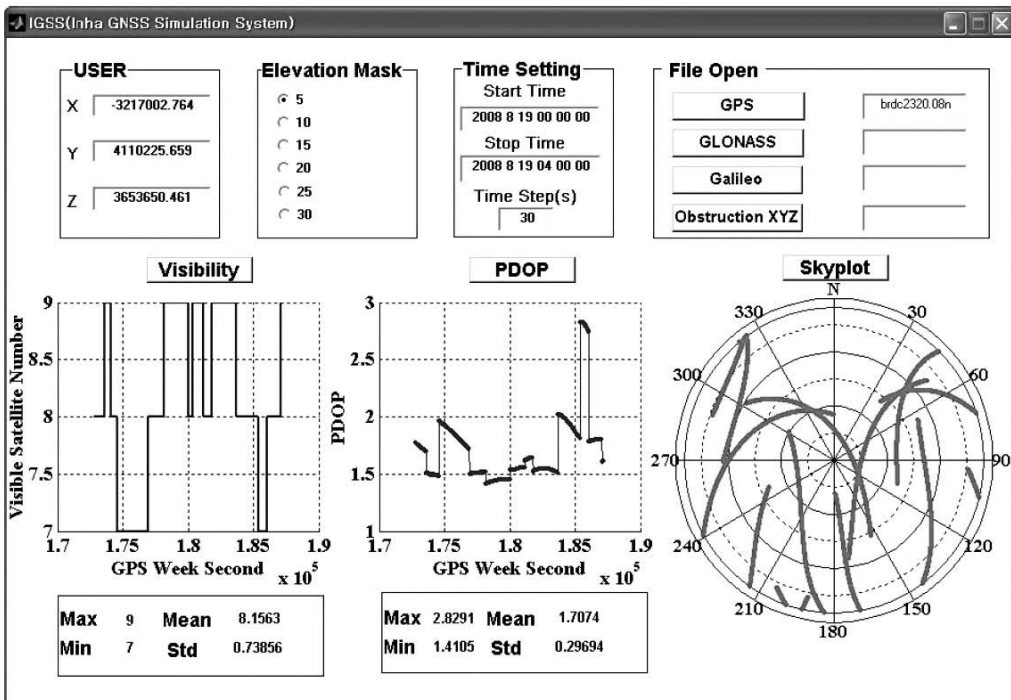


그림 2. IGSS 실행화면

그래프로 출력하고, 통계값을 나타내게 된다. 이 때 3차원 모델 파일은 3차원 건물좌표이며, 가시성 분석에 이용하고자 하는 각 건물 모서리의 3차원 직각좌표 X, Y, Z 데이터베이스를 의미한다.

3. 시뮬레이터 정확도 검증

GPS를 사용할 경우와 GLONASS를 사용할 경우를 구분하여 시뮬레이터의 정확도를 검증하였다. 시뮬레이션 결과의 정확도를 비교·검증할 수 있는 실제관측은 다음과 같이 수행하였다. 주변 건물의 영향이 비교적 작고, 20층 높이의 건물 4개로 이루어진 정부대전청사를 실험 대상지역으로 선정하였다. 대상지역의 위치는 위도 $36^{\circ} 21' 40.57401''$, 경도 $127^{\circ} 23' 02.43759''$, 그리고 타원체고 70.827m이며, 안테나의 북동쪽과 남동쪽에 지면으로부터 약 92m 높이의 건물이 위치하고 있다. 그림 3은 정부대전청사의 측량지점을 나타낸 것이다.

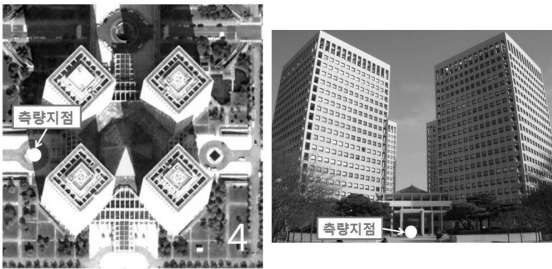


그림 3. 정부대전청사 측량지점

실험 데이터는 GPS와 GLONASS 신호의 수신 가능한 Trimble NetR5 수신기와 Trimble Zephyr Geodetic II 안테나를 사용하여 1초 간격으로 약 4시간(2009년 1월 20일 13시 39분-17시 21분) 동안 획득하였다. 건물의 좌표는 수치도화기를 이용하여 추출하였다. 수치도화기에서 사용된 위성영상은 약 6cm의 공간해상도를 가지고 있는 항공영상이며, 이 영상을 이용하여 도화하기 위해 만든 모델의 정확도는 10cm이다. GPS와 GLONASS의 방송궤도력을 이용하여 측량지점과 측량시간을 기준으로 각각 시뮬레이션하여 가시위성의 개수를 산출하였으며, 그 결과를 실제 관측 데이터와 비교하였다.

3.1 GPS 시뮬레이션 정확도 검증

그림 4는 시뮬레이션을 할 때, 직선-폴리곤 충돌검사 알고리즘을 적용하지 않았을 경우의 GPS 위성궤적과 직

선-폴리곤 충돌검사 알고리즘을 적용했을 때의 GPS 위성궤적을 나타낸 것이다. 그림 4에서 확인할 수 있듯이, 북동쪽과 남동쪽에 위치한 건물에 의해 차단된 위성신호가 알고리즘 적용 후에 효과적으로 제거된 것을 알 수 있다.

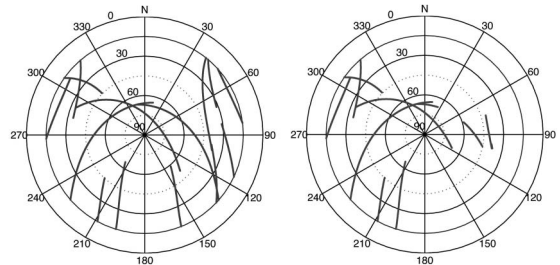


그림 4. 가시성 분석 알고리즘 적용 전·후의 GPS 위성궤적(skyplot)

라이넥스(RINEX, Receiver Independent Exchange Format) 관측(Observation) 파일에 기록된 실제 가시위성의 개수와 가시성 분석 알고리즘으로 계산한 가시위성의 개수를 비교한 결과는 그림 5에 나타내었다. 건물 등에 의해 한 차례 이상의 반사를 거쳐 수신기에 도달하는 위성신호의 신호강도는 매우 약하다. 신호강도가 매우 약할 경우에는 의사거리나 위상 관측치에 영향을 미치게 되거나 데이터 기록이 정상적으로 이루어지지 않는 경우가 많다. 이 연구에서는 시뮬레이션 결과와 비교하기 위한 실제 관측 파일에서 신호강도가 약한 데이터를 제거하기 위하여 L2 관측데이터가 기록되지 않은 위성신호들을 제거하였다. L2의 신호강도는 L1에 비해 상대적으로 약하기 때문에 L2의 관측데이터가 없는 경우, L1의 신호강도는 양호한 신호강도를 나타내는 임계값 5 이하로 나타났다. 실제 관측된 총 60,771개의 위성개수 중 3,681개의 관측데이터에서 L2가 기록되지 않았으며, 그 중 3,551개는 L1 관측데이터의 신호강도가 임계값 5 이하로 약 97%를 차지하는 것으로 확인되었다. 이 연구에서는 실제 관측 결과와의 비교·분석을 위하여 단순히 신호강도를 이용하여 다중경로신호를 제거하였지만, 추후 다중경로신호를 식별하여 가시성 분석에 반영할 수 있는 알고리즘 개발이 필요할 것으로 판단된다.

그림 5에서 'Obs. File'은 라이넥스 관측파일에 기록된 위성 개수를 나타낸 것이며, 'Modified Obs. File'은 L2 관측데이터가 기록되지 않은 위성신호를 제거한 후의 위성 개수를 나타낸 것이다. 그리고 'Simulation'은 시뮬

레이션 결과 산출한 위성의 개수를 나타낸 것이다. 그림 5를 통해 신호강도가 약한 위성신호를 제거한 후의 위성 개수와 시뮬레이션 결과 산출한 위성개수가 유사하게 나타나는 것을 알 수 있다.

관측파일에서 신호강도가 약한 위성신호를 제거한 후의 가시위성의 개수와 시뮬레이션 결과 산출된 가시위성의 개수를 비교하여 표 2에 나타내었다. 실제관측 결과와 시뮬레이션 결과 산출된 평균 가시위성의 개수가 각각 4.6개와 4.3개로 유사하게 나타나는 것을 확인할 수 있다.

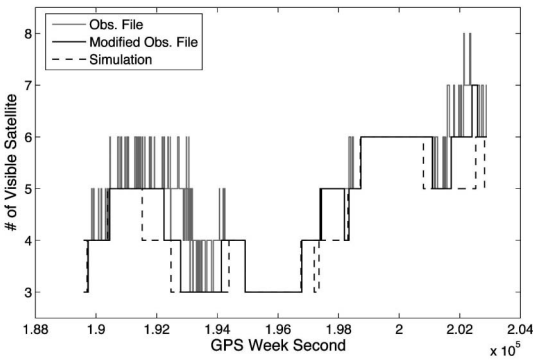


그림 5. 실제관측과 가시성 분석 결과 산출된 GPS 가시위성 개수

표 2. 실제관측과 시뮬레이션 결과 산출된 GPS 가시위성 개수

	최대	최소	평균
실제관측	7	3	4.6
시뮬레이션	6	3	4.3

3.2 GLONASS 시뮬레이션 정확도 검증

GLONASS의 경우에도 GPS의 경우와 마찬가지로 시뮬레이션의 정확도를 검증하였다. 그림 6은 시뮬레이션 작업에 직선-폴리곤 충돌검사 알고리즘을 적용하기 전과 후의 GLONASS 위성궤적을 나타낸 것이다. 그림 6을 통해 GPS의 경우와 마찬가지로 가시성 분석 알고리즘을 통해 북동쪽과 남동쪽에 위치한 건물에 의해 차단된 위성신호를 효과적으로 판별해낸 것을 확인할 수 있다.

라이넥스 관측 파일에 기록된 실제 가시위성의 개수와 가시성 분석 알고리즘으로 계산한 가시위성의 개수를 비교한 결과는 그림 7에 나타내었다. GPS와 마찬가지로

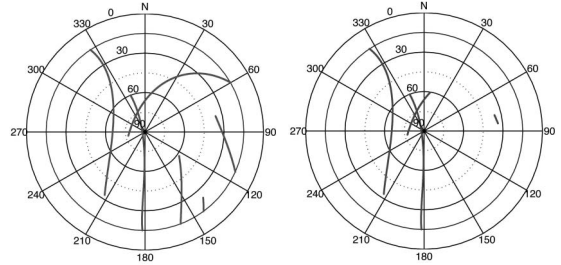


그림 6. 가시성 분석 알고리즘 적용 전·후의 GLONASS 위성궤적(skyplot)

지로 실제 라이넥스 관측 파일에서 신호강도가 약해 L2 관측데이터가 기록되지 않은 위성신호는 제거하였다. 그림 7을 통해 신호강도가 약한 위성신호를 제거한 후의 위성개수와 시뮬레이션 결과 산출한 위성개수가 대부분의 시각에서 유사하게 나타나는 것을 확인할 수 있다.

관측파일에서 신호강도가 약한 위성신호를 제거한 후의 가시위성의 개수와 시뮬레이션 결과 산출된 가시위성의 개수를 비교하여 표 3에 나타내었다. 실제관측 결과와 시뮬레이션 결과 산출된 위성개수의 통계치가 유사하게 나타났으며, 이를 통해 GLONASS의 궤도모델과 가시성 분석이 효과적으로 이루어졌다는 것을 알 수 있다.

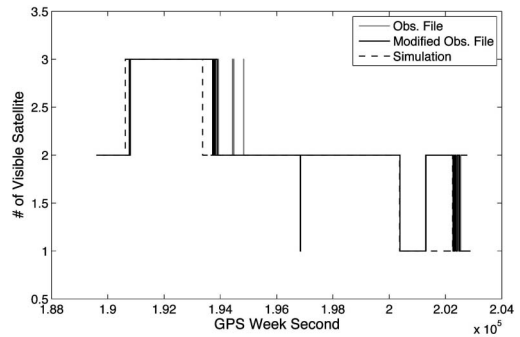


그림 7. 실제관측과 가시성 분석 결과 산출된 GLONASS 가시위성 개수

표 3. 실제관측과 시뮬레이션 결과 산출된 GLONASS 가시위성 개수

	최대	최소	평균
실제관측	3	1	2.1
시뮬레이션	3	1	2.1

3.1, 3.2절의 시뮬레이션 정확도 검증 결과 나타난 오차, 즉 실제관측과 시뮬레이션 결과 사이에 나타나는 위성개

수의 차이를 분석하였다. 그 결과, GPS의 경우 실제 관측된 총 60,771개의 위성개수 중 3,866개의 위성개수가 잘못 계산되었으며, 이는 6.4%에 해당된다. 또한 GLONASS의 경우, 총 28,157의 위성개수 중 2,101개의 위성개수가 잘못 계산되어 7.5%의 오차 발생빈도가 나타났다. 표 4는 가시성 분석 결과를 실제관측 결과와 비교 결과, 위성개수의 오차에 해당하는 에폭(epoch)수와 발생빈도를 나타낸 것이며, 그림 8은 오차가 발생한 에폭의 빈도를 나타낸 것이다. 표 4에서 'omission'은 누락오차, 'correct'는 일치, 'comission'은 중복오차를 나타낸다. 이 때 누락오차는 실제로는 관측된 위성이 시뮬레이션 결과 누락된 것을 의미하며, 중복오차는 실제로는 관측되지 않은 위성이 시뮬레이션 결과 추가 기록된 것을 의미한다. GPS의 경우, 전체 에폭 중 71.8% 에폭이 실제관측과 일치하였으며, 2개 이상의 오차가 발생하는 에폭은 0.9%에 불과했다. 또한 GLONASS의 경우, 전체 에폭의 84.2%가 실제관측과 일치하는 결과를 나타냈으며, 2개 이상의 오차가 나타나는 에폭은 존재하지 않았다.

표 4. 위성개수 오차별 에폭수와 발생빈도

위성개수 오차	GPS		GLONASS	
	epoch	빈도(%)	epoch	빈도(%)
omission	-2	118	0	0
	-1	3,468	1,406	10.6
correct	0	9,543	11,190	84.2
comission	1	162	692	5.2

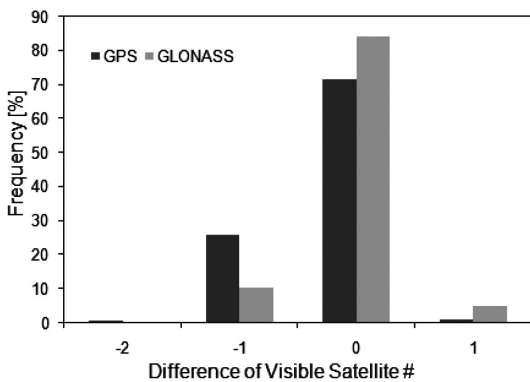


그림 8. 위성개수 오차별 에폭의 발생빈도

앞서 살펴본 누락오차, 중복오차에 대한 원인을 파악하기 위하여 오차에 해당하는 위성의 방위각, 고도각을 분석하였다. 그 결과는 그림 9에 나타내었다. 그림 9에서 기호

'+'는 중복오차를 나타내며, '●'은 누락오차를 나타낸다. 그리고 사각형(■)은 가시성 분석에 사용한 건물의 네 모서리 지점을 나타내며, 모서리 지점을 연결하여 건물의 경계를 나타내었다.

그림 9를 통해 확인할 수 있듯이, GPS와 GLONASS 두 경우 모두 분석에 사용한 임계고도각 15°에 근접한 부분과 건물의 경계선에 근접한 부분에서 오차가 발생하는 것을 확인할 수 있다. 따라서 이러한 결과는 건물좌표의 오차와 건물 모서리에 의한 회절과 등으로 인하여 발생한 것으로 판단된다. 다만, 그림 9(b)에 나타낸 GLONASS의 경우 신호차폐요소가 없는 방향인 방위각 약 299°, 고도각 약 63° 지점에서 중복오차가 기록되었음을 확인할 수 있다. 확인 결과, 이 지점에서 GLONASS PRN 23번 위성의 관측데이터가 11초간 기록되지 않았다. 이는 해당위치에 신호차폐요소가 없는 점을 고려할 때, 위성신호가 예측 불가능한 문제로 인해 일시적으로 전달되지 않았거나, 관측 중 중간 점검을 위해 사람이 접근함으로써 발생한 문제일 것으로 판단된다.

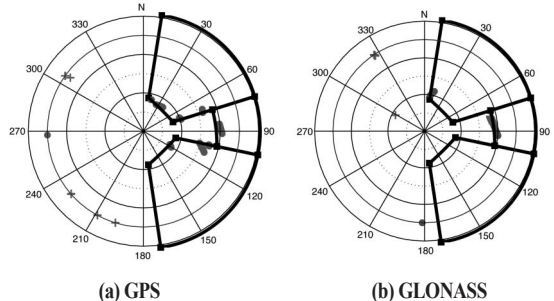


그림 9. 실제관측과 시뮬레이션 결과가 일치하지 않는 위성의 궤적 (+: 중복오차, ●: 누락오차)

4. 통합 GNSS 환경에서의 가용성 분석

GNSS 시뮬레이터 IGSS를 이용하여 Galileo를 포함하는 통합 GNSS 환경에서의 위성항법시스템의 가용성을 분석하였다. GPS를 단독으로 사용하였을 경우와 GPS, GLONASS를 동시에 사용하였을 경우, 그리고 GPS, GLONASS, Galileo를 모두 사용하였을 경우, 세 가지 경우로 구분하여 시뮬레이션하였으며, 결과 비교를 통해 가시성과 정밀도 저하율이 향상되는 정도를 분석하였다. 시뮬레이션은 약 92m 높이의 건물들로 인해 신호차폐현상이 심한 정부대전청사를 대상으로 하였다. 2009년 1월 20

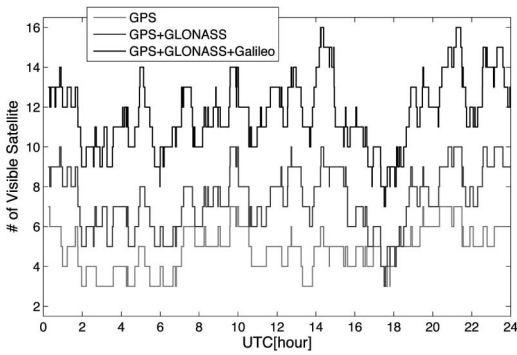


그림 10. 정부대전청사에서의 GPS 단독측위와 GNSS 통합측위 가시위성 개수

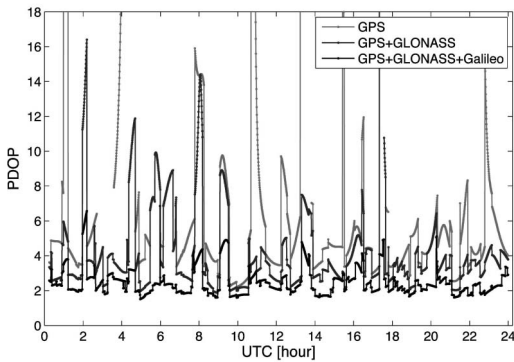


그림 11. 정부대전청사에서의 GPS 단독측위와 GNSS 통합측위 PDOP

일 총 24시간을 30초 간격으로 시뮬레이션 하였으며, 임계 고도각은 15°로 설정하였다. GPS와 GLONASS의 시뮬레이션에는 방송궤도력을 사용하였으며, Galileo의 경우 초기 궤도정보를 사용하였다.

정부대전청사에서의 GPS 단독측위와 GNSS 통합측위의 가시위성의 개수와 PDOP 분석 결과를 그림 10과 11에 나타내었으며 그 수치를 표 5에 정리하였다. GPS를 단독으로 사용할 경우 최대 7개의 가시위성이 확보된 반면,

GPS와 GLONASS를 동시에 사용할 경우와 GPS, GLONASS, Galileo를 모두 통합하여 사용할 경우의 가시위성 개수가 최대 10개, 16개까지 확보되는 것을 알 수 있다. PDOP의 경우, GPS만 사용했을 때 최소값이 2.1로 나타났으며, GLONASS를 추가로 사용하자 최소값이 1.9로 향상되고, Galileo까지 통합한 결과 1.5까지 향상되는 것을 확인할 수 있다.

그러나 신호차폐요소의 영향 때문에 GPS를 단독으로 사용할 경우뿐만 아니라 GLONASS를 추가로 사용할 경우에도 가시위성이 최소 3개인 시간대가 존재하는 것을 확인할 수 있다. 이러한 시간대에서는 PDOP 산출이 불가능하며, 측위 역시 불가능하다. 하루 24시간 중 가시위성이 4개 미만인 시간대가 차지하는 비율을 확인하기 위하여 위성개수에 따라 차지하는 시간을 분석하였다. 그 결과는 그림 12와 같다.

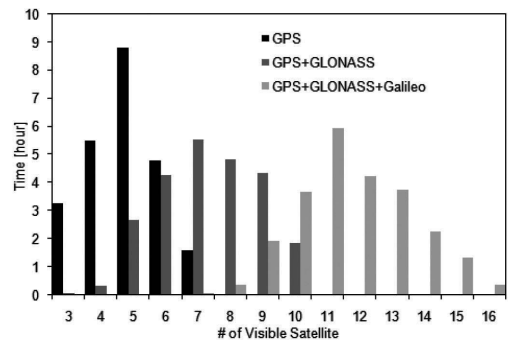


그림 12. GPS 단독측위와 GNSS 통합측위 환경에서의 각 가시위성수 확보시간

그림 12는 GPS만 사용할 경우, GPS와 GLONASS를 사용할 경우, 그리고 GPS, GLONASS, Galileo를 사용할 경우에 각각 관측되는 위성의 개수별로 하루 24시간 중 차지하는 시간을 나타낸 것이다. 그림에서 보듯이 GPS만 사용할 경우, 가시위성의 개수가 4개 미만인 시간이 하루 중 3시간 이상 나타나며, GLONASS를 동시에 사용한다 하더라도

표 5. 정부대전청사에서의 가시위성 개수와 PDOP

	가시위성 개수			PDOP		
	최 대	최 소	평 균	최 대	최 소	평 균
GPS	7	3	4.8	-	2.1	-
GPS+GLONASS	10	3	7.3	-	1.9	-
GPS+GLONASS+Galileo	16	7	11.7	6.9	1.5	2.4

라도 약 4분은 3개의 위성만 관측되어 측위가 불가능하다. 따라서 현장 측량을 나가게 된다면 시뮬레이션 작업을 통해 이러한 시간대는 반드시 피해야 한다.

5. 결 론

이 연구에서는 3차원 건물좌표를 이용한 통합 GNSS 시뮬레이터 IGSS를 개발하고 정확도를 검증하였다. 시뮬레이션 결과를 실제관측 결과와 비교한 결과, GPS와 GLONASS가 각각 6.4%, 7.5%의 오차 발생빈도를 나타냈으며 이를 통해 IGSS의 효율성을 입증하였다. 또한 이 연구에서는 신호차폐현상이 심한 정부대전청사 지역을 대상으로 통합 GNSS 환경에서의 측위 가용성 및 정확도 향상을 평가하였다. 그 결과, GPS를 단독으로 사용할 경우 최대 7개의 가시위성만이 확보된 것에 반해, GPS, GLONASS, Galileo를 통합하여 사용할 때 가시위성의 개수가 16개까지 증가하였다. 또한 PDOP의 최소값이 2.1에서 1.5까지 향상되는 것을 확인하였다. 그러나 GPS만 사용했을 경우, 가시위성이 3개에 불과하여 측위가 불가능한 시간대가 하루 중 13.7%, 즉 3시간 이상 나타났다. 또한 GLONASS를 동시에 사용하여도 측위가 불가능한 시간대가 0.3%, 즉 4분 이상 나타나는 것을 확인하였다. 이를 통해 시뮬레이션이 현장측량 사전작업으로 반드시 필요하다라는 것을 확인할 수 있으며, 이 연구에서 개발한 시뮬레이터를 측위가 가능한 최적의 시간대와 측정 예측에 즉각적으로 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

이 연구는 기상청 기상지진기술개발사업(CATER 2006-3105)의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

김혜인 (2009), 위성측위 가용성 및 정확도 향상 평가를 위한 통합 GNSS 시뮬레이터 개발, 석사학위논문, 인하대학교, pp. 12-47.

김혜인, 박관동 (2009A), GLONASS 위성 가시성 분석을 위한 알마낙 기반 궤도 예측, 한국측량학회지, 한국측량학회, 제 27권, 제 2호, pp. 119-127.

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

서용철, 이양원 (2007), 통합 GNSS 환경에서 도시공간 위성측위의 가용성 평가 시뮬레이션, 한국측량학회지, 한국측량학회, 제 25권, 제 3호, 2007, pp. 231-238.

송종화, 지규인, 정성균, 이상욱, 김재훈 (2008), GPS/Galileo 통합항법알고리즘 구현 및 시각 및 좌표계 차이에 따른 영향 분석, 한국항공우주학회지, 한국항공우주학회, 제 36권, 제 2호, pp. 171-178.

유경호, 강태산, 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.

이창문, 박관동, 김혜인, 박재민 (2009), 초신속궤도력 기반 GPS 위성 repeat time 산출 및 궤도 예측, 한국측량학회지, 한국측량학회, 제 27권, 제 4호, pp. 411-420.

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

Roßbach, U (2000), Positioning and navigation using the Russian satellite system GLONASS, *Schriftenreihe der Universität der Bundeswehr München*, Vol.71.

Suh, Y.-C. and R. Shibasaki (2007), Evaluation of satellite-based navigation services in complex urban environments using a three-dimensional GIS, *IEICE Transactions on Communications*, E90-B, pp. 1816.

Tomas, A. M. and H. Eric (1999), Real-Time Rendering (2nd Edition), A K Peters Ltd., pp. 557-668.