

## 한국지역에서 GPS와 Beidou의 위성 가시성 및 고양각 위성 분석

# Analysis of Satellite Visibility and High Elevation Satellite using GPS and Beidou in Korea

장진혁<sup>1</sup> · 김홍표<sup>1</sup> · 안종선<sup>2</sup> · 허문범<sup>2</sup> · 정상경<sup>1</sup> · 이영재<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>건국대학교 항공우주정보시스템공학과

<sup>2</sup>한국항공우주연구원 항법기술연구실

JinHyeok Jang<sup>1</sup> · HongPyo Kim<sup>1</sup> · Jongsun Ahn<sup>2</sup> · Moon-Beom Heo<sup>2</sup> · Sangkyung Sung<sup>1</sup> · Young Jae Lee<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Aerospace Information Engineering, Konkuk University, Seoul, 05029, Rep. of Korea

<sup>2</sup>Navigation R&D Division, Korea Aerospace Research Institute, Daejeon 34133, Rep. of Korea

### [요 약]

세계적으로 GNSS (global navigation satellite system)는 선진국에서 개발 및 운용 중에 있다. 가장 대표적인 시스템인 GPS (global positioning system)을 시작으로 현재 중국의 Beidou가 빠르게 발전하고 있다. 본 논문에서는 빠르게 변화하는 Beidou의 활용을 위해 현재 시점의 한국지역에서 Beidou 위성의 가시성 분석을 수행한다. 이렇게 수행되는 분석에서 안정적으로 서비스 되고 있는 GPS와 비교하며 진행하도록 한다. 가시성 분석은 mask angle (저양각 위성 배제 각도)에 따른 결과, skyplot (사용자 위치에서 위성의 위치를 가시적으로 표현하기 위한 그림)을 통한 결과를 수행하였다. 가시성 분석을 통해 한국지역에서 GPS위성에 비해 Beidou 위성의 고양각 배치가 많아지는 것을 확인 할 수 있다. 또한 고양각 배치가 많아지는 것의 효과를 확인하기 위해 GPS와 Beidou의 가용성 및 위치정확도 분석을 수행한다. 수행 결과에 따라 한국지역에서 고양각 위성을 활용할 시 GPS보다 Beidou가 더 효과적일 것으로 확인된다.

### [Abstract]

Globally, global navigation satellite system (GNSS) is being developed and operated in advanced countries. China's Beidou is developing rapidly, starting with global positioning system (GPS), which is the most representative system. In this paper, we analyze the visibility of Beidou satellite in Korea at present time to utilize rapidly changing Beidou. In this analysis, it is compared with GPS which is stable service. The results of the visibility analysis are based on the results of the mask angle (the low elevation satellite exclusion angle) and the result of the skyplot (a visual representation of the position of the satellite at the user location). Visibility analysis shows that the high elevation angle of Beidou satellite is higher than that of GPS satellite in Korea. In addition, GPS and Beidou's availability and positioning accuracy analysis are performed to confirm the effect of increasing elevation angle satellites. According to the results, Beidou is more effective than GPS in using high elevation satellites in Korea.

**Key word** : GNSS, GPS, Beidou, Visible satellite, Mask angle.

<https://doi.org/10.12673/jant.2018.22.6.610>



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 30 November 2018; Revised 10 December 2018

Accepted (Publication) 17 December 2018 (30 December 2018)

\*Corresponding Author ; Young Jae Lee

Tel: +82-2-458-0164

E-mail: bassjang12@konkuk.ac.kr

## I. 서론

GNSS (global navigation satellite system)는 미국에서 개발된 GPS (global positioning system)로 시작되어 PNT (positioning, navigation and timing) 분야에서 가장 중요한 시스템으로 사용되고 있다[1]. 이렇게 군사적, 사회적으로 많은 사용에 따라 중요성이 커지고 있다. 이에 따라 세계의 선진국들에서 현재 GNSS를 운용하거나 개발을 진행 중이다. 전지구적 시스템은 미국의 GPS, 러시아의 GLONASS (global navigation satellite system), 유럽연합의 Galileo, 중국의 Beidou이 있고 지역적 시스템은 일본의 QZSS (quasi-zenith satellite system), 인도의 NAVIC (navigation with indian constellation)이 있다. 또한 한국에서도 KPS (Korea positioning system)에 대한 연구가 계획되고 있다[2].

GPS는 이미 안정적으로 사용자들에게 제공되고 있다. 하지만 안주하지 않고 다양한 기능을 추가 탑재한 GPS-3가 개발 중이다[3]. 다른 시스템 중 중국의 Beidou가 최근 빠르게 발전 중이다. 2000년에 Beidou 첫 위성을 발사하며 2020년까지 35기의 위성을 상공에 보유하려한다[4]. 짧은 기간 동안 많은 수의 위성을 계획하고 있음에 따라 빠르게 현황이 변화하고 있다. 2012년 14기 (GEO (geostationary orbit) 5기, IGSO (inclined geosynchronous orbit) 5기, MEO (middle earth orbit) 4기)의 위성 배치를 완료하여 완전운영능력 (FOC; full operational capability)를 이루었다. 6년 후인 현재 (2018년 11월 29일 기준) 운영 중인 위성은 17기 (GEO 5기, IGSO 7기, MEO 5기)이다[5]. 여기의 위성 수는 운영 중인 위성을 의미한다. 발사되어 현재 테스트 중인 위성들 까지 하면 2012년 이후 14기 정도의 위성이 발사되었다. 이처럼 Beidou의 위성 상황은 빠르게 변화되고 있다.

이런 변화에 따라 Beidou의 위성 가시 환경도 변화해 간다. 본 논문에서는 최근 데이터를 활용해 한국지역에서 Beidou의 위성 가시 환경을 분석한다. 우선 24시간 데이터를 활용하고 Beidou와 비교하기 위해 동일 시간의 GPS 데이터도 이용하였다. 위성의 가시 환경 분석은 mask angle과 skyplot을 이용하였다.

Mask angle은 저각각 위성의 신호 오차 증가로 위치 정확도 감소를 피하기 위해 일정 각도 이하의 위성은 제외하는 기준이다. 본 논문에서는 단순히 저각각 위성만을 제거하기 위한 목적 말고 전체 mask angle에 따른 위성 가시 환경 분석을 수행 하였다. 이를 통해 한국 지역에서 GPS와 Beidou의 일정 각도 이상의 위성 수를 비교할 수 있다. 또한 mask angle을 통해 도심지역과 같은 난수신 환경에서의 성능을 예측 할 수 있다. skyplot은 GNSS 분석에서 주로 이용되는 것이다. 사용자 위치에서 위성의 배치를 나타내는 그래프이다. 이를 통해 한국지역에서 GPS와 Beidou의 각 궤도의 위성 위치를 확인 할 수 있다. 이를 통해서도 한국지역에서의 두 시스템간의 차이를 확인 할 수 있다. 가시환경 분석을 통해 특정 mask angle (30°)에서 Beidou의 향상도를 예측할 수 있다. 이 결과를 이용해 사용자 위치 정확도

를 통한 GPS와 Beidou의 특성 분석을 수행하였다.

이후 논문은 위성 가시성 분석을 2장에서 수행하고 3장에서는 mask angle에 따른 GPS, Beidou 정확도 분석을 수행한다. 다음 결론으로 본 논문을 정리하도록 한다.

## II. 위성 가시성 분석

### 2-1 Mask angle에 따른 위성 가시성 분석

우선 본 논문에서 사용하는 데이터에 대한 설명을 한다. 활용 데이터는 2018년 11년 19일 24시간 데이터를 이용하였다. 데이터 수집 주기는 1Hz 이다. 데이터 취합 위치는 괴산지역이다. 국토교통부에서 진행 중인 차로구분 정밀위치결정 교통인프라 시스템의 클러스터 중 괴산 지역의 데이터를 이용하였다. 수집 장소의 좌표는 북위 36.8165°, 동경 127.7803°, 높이는 159m이다. 그림 1.에 대략적인 위치를 나타냈다. 하루 동안의 한국지역의 경향을 보기 위해 대한민국의 중간쯤 위치한 클러스터를 선택하였다. 또한 실험에 사용된 수신기는 Novatel OEM-6 모델을 활용 하였다.

가장 먼저 확인할 결과는 mask angle에 따른 24시간 평균 가시 위성 수이다. 그림 2.에 결과를 나타냈다. 일단 가장 쉽게 확인할 할 수 있는 것은 GPS에 비하여 Beidou의 가시 위성 수가 더 많다. 그림에서 확인은 어렵지만 mask angle이 85°인 경우를 제외하고 모든 경우에서 Beidou의 위성이 많이 가시 된다.

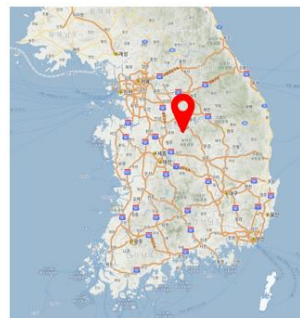


그림 1. 데이터 수집 위치  
Fig. 1. Data receiving location.

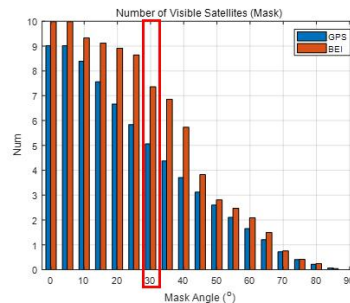


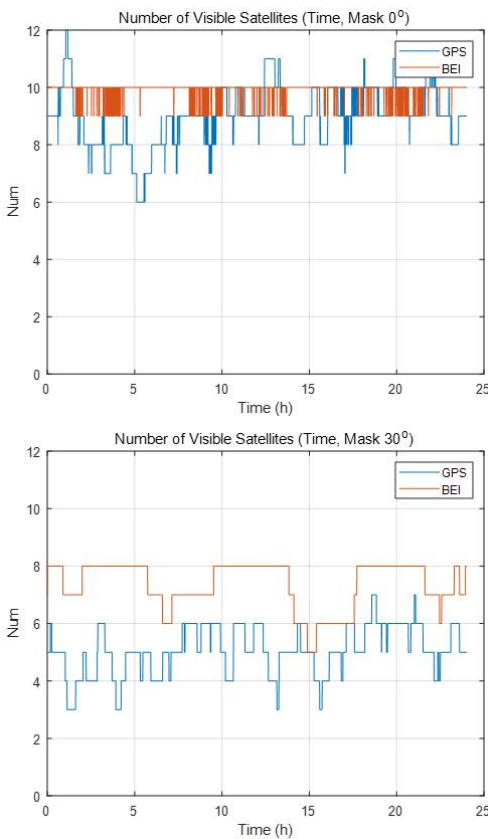
그림 2. Mask angle에 따른 평균 가시 위성 수  
Fig. 2. Average number of visible satellites according to mask angle.

Mask angle이 85°인 것은 거의 위성이 보이지 않는 상황이므로 고려하지 않아도 되기 때문에 모든 구간에서 Beidou의 가시성이 우수한 것을 확인 가능하다. 특히 mask angle이 30°인 경우에 GPS가 40%, Beidou가 60%로 가장 큰 비율로 Beidou의 가시 위성이 많다. 이 분석 결과를 토대로 이후 2장, 3장에서 분석하는 특정한 mask angle은 0°와 30°도 수행된다.

그 외 mask angle에 따른 감소폭이다. GPS는 MEO 궤도로만 구성되어 있어 공간상에 고르게 분포된다. 따라서 mask angle의 증가에 따라 가시위성 수가 유사한 수준으로 감소하는 것을 볼 수 있다. 하지만 Beidou는 mask angle이 40°, 65° 부분에서 급감하는 것을 볼 수 있다. 이는 Beidou의 다양한 궤도 종류에 따라 가시 되는 양각의 제한이 있기 때문에 발생하는 결과이다.

**2-2 시간에 따른 위성 가시성 분석**

2-1에서 분석한 내용은 24시간 동안의 평균값으로 시간에 따른 세부적인 가시위성 수의 변화를 확인 할 수 없다. 그래서 mask angle이 0°인 경우와 30° 경우에 대하여 시간에 대하여 가시위성 수를 그림 3.에 나타내고 분석을 수행하였다.



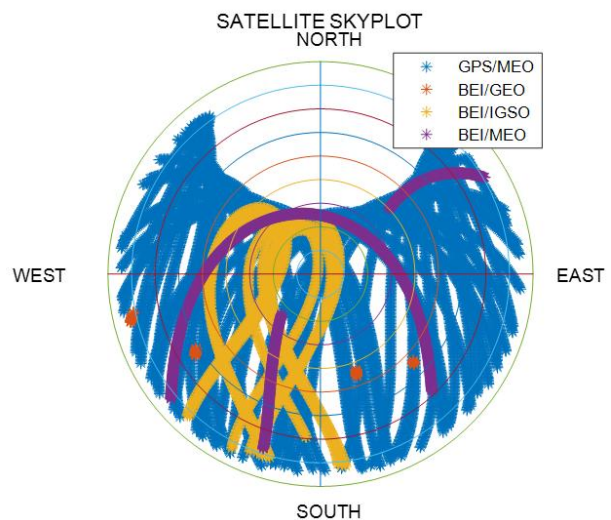
**그림 3.** 시간에 따른 가시위성 수 변화 (상: mask angle 0°, 하: mask angle 30°)  
**Fig. 3.** Changes in the number of visible satellites over time (up: mask angle 0°, down: mask angle 30°).

Mask angle 0°인 경우를 보면 GPS에 비하여 Beidou의 위성 수가 9, 10기로 많은 위성이 가시 되고 있는 것을 볼 수 있다. GPS 또한 최소 6기에서 최대 12기로 많은 수의 위성이 보이고 있지만 Beidou에 비하여 편차가 크게 변화하는 것을 확인 할 수 있다. 또한 Beidou의 위성이 안정적이지 못하고 자주 변화하는 것을 볼 수 있다. 이것은 3장에서 추가 설명을 하도록 한다.

Mask angle 30°인 결과를 보면 Beidou의 위성이 전 구간에서 GPS에 비해 같거나 큰 결과를 볼 수 있다. 또한 GPS는 최소 가시위성이 3기인 경우가 있다. GNSS는 기본적으로 최소 4개 이상의 위성이 가시 되어야 위치해를 구할 수 있다[1]. 하지만 GPS는 3기인 경우가 있으므로 단독으로 비가용 되는 상황이 발생한다. 이 결과만을 확인 했을 경우 GPS에 비해 고양각 위성만을 활용할 경우 항법 성능이 우수할 것을 예측 할 수 있다.

**2-3 Skyplot을 이용한 위성 가시성 분석**

GPS와 Beidou의 궤도 특성 및 한국지역에서의 대략적인 가시분포를 확인하기 위해 24시간 skyplot을 그림 4.에 나타내었다. 위성의 궤도 경사의 한계 때문에 Beidou나 GPS 모두 북반구의 상공을 채우지는 못한다. 위성의 양각 분포를 보면 GPS는 북반구를 제외하고 고르게 분포되는 것을 볼 수 있다. 하지만 Beidou는 궤도 특성에 따라 특정 궤도를 진행한다. IGSO 위성이 고양각을 지나는 궤도에 위치하고 있기 때문에 GPS에 비하여 Beidou의 mask angle에 따른 가시위성 수가 높은 것으로 판단된다. 그리고 MEO의 위성이 동서의 빈 공간을 채우는 역할을 하고 있다. GEO와 IGSO의 위성 배치가 서쪽으로 조금 편향되어 있는 것을 볼 수 있다. 이것은 중국의 시스템으로 가장 높은 성능을 나타내는 부분이 되도록 궤도 설계를 했으므로 한국 지역에서는 궤도들이 서쪽으로 편향된 것이다.



**그림 4.** 괴산 클러스터에서의 24시간 skyplot  
**Fig. 4.** 24 hour skyplot in the Goesan cluster.

### III. Mask angle 적용 분석

#### 3-1 비정상 데이터 제거

3장에서는 위치를 계산해 오차분석을 수행하였다. 위치 계산에서 문제를 발생 시킬 수 있는 비정상 데이터를 처리하고 나머지 데이터에 대한 분석을 수행하였다. GPS는 제거하는 것 없이 측정된 모든 데이터를 활용하였다.

Beidou 5번 (GEO)과 14번 (MEO)에 대한 제거를 진행하였다. 그림 5.에서 각 위성의 양각과 가시성을 나타냈다. 우선 두 그래프 모두 양각이 0인 경우는 위성이 비가시 되는 상황이다. 먼저 5번 위성은 GEO로 전체 구간에서 10°이하의 양각을 보이고 있고 안정적으로 가시 되지 않는 것을 확인 할 수 있다. 이 현상 때문에 그림 3.에서도 안정적으로 가시 되지 않음을 알 수 있다. 또한 14번 위성 또한 저양각 부분(양각 15°도 이하)에서 위성이 안정적이지 못한 것을 확인 할 수 있다.

이 부분들을 처리하기 위해 5번 위성은 전 구간에서 제외, 14번 위성은 약 20분간 데이터를 제외하고 이후 결과를 나타내었다.

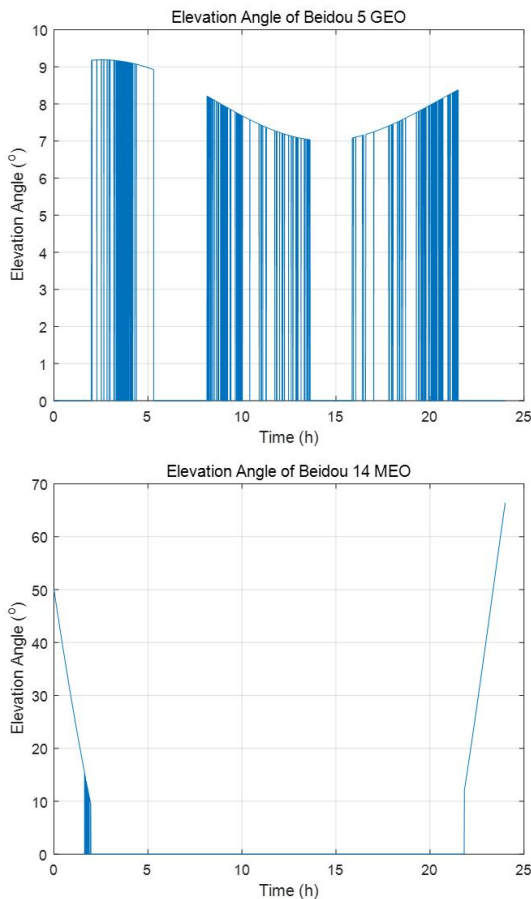


그림 5. Beidou 제거 위성 양각 및 가시성 확인  
Fig. 5. Beidou removed satellite elevation and visibility.

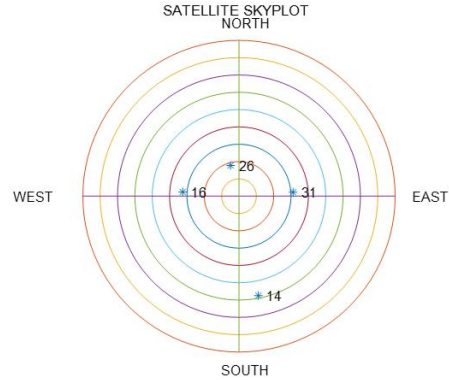


그림 6. 위치계산 불가 상황의 위성 배치  
Fig. 6. Skyplot of impossible positioning.

#### 3-2 가용성 분석

3장에서 모든 결과는 mask angle 0°와 30°를 비교한다. 가용성은 GNSS을 이용하여 위치해를 계산할 수 있는 상황을 나타낸다. 가장 기본적인 비가용 상황은 가시위성이 4기 미만인 경우이다. GPS와 Beidou는 그림 3.처럼 mask angle이 0°인 경우는 모두 4개 이상의 위성이 가시 되므로 모두 100% 가용한 상황이다. 이때 3-1 절에서 비정상 데이터를 제거하더라도 동일하다. 하지만 mask angle이 30°인 경우 GPS에서 3개 이하인 구간이 존재한다. 이 구간에서는 사용자 위치해 계산이 불가능하므로 비가용 구간으로 판단한다. 또한 가시 위성이 4개 이상이지만 위성의 배치에 따라 위치계산이 불가능한 경우가 존재한다. 본 논문의 활용 데이터에서 GPS 위성에서 발생한 상황의 위성 배치를 그림 6.에 보였다. 3기의 위성이 천정방향에 위치하고 1기의 위성이 남쪽에 배치되어 있다. 이 배치에서 3기의 위성이 유사한 역할을 수행한다. 따라서 관측행렬의 요소별 독립성이 유지되지 못하여 위성이 4기가 들어오는 역할을 하지 못하게 된다. 따라서 위치해 계산이 불가능하다.

위의 두 비가용 상황을 선별하면 24시간 데이터 중 GPS 데이터에 약 100분 정도의 기간이 비가용 상황이다. 이는 93.3% 가용성을 나타내고 있다. 이에 반해 Beidou는 모든 구간에서 가용한 상황이므로 가용성이 100%를 보이고 있다.

#### 3-3 위치 오차 분석

3-1, 3-2에서 제거된 데이터를 이용해 위치오차를 나타내면 그림 7.과 같다. 위치오차는 GPS의 mask angle 0°와 30°도, Beidou도 동일한 2가지 mask angle에 대해 나타내었다. 그림 7.에서 GPS mask angle 30° 경우 오차가 크게 발생하고 있는 구간이 존재한다. 이 부분도 위성의 배치가 좋지 못하여 위치 정확도 저하되는 구간이다. 이 부분이 발생하는 위성배치를 제거한 경우의 위치오차도 계산하였고 그 결과는 그림 8.에 나타내었다.

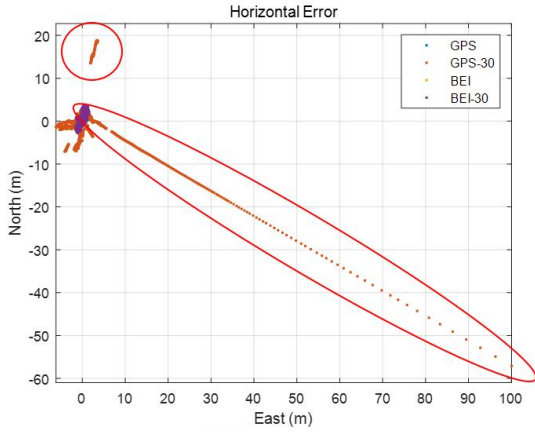


그림 7. 비가용 구간 제거된 위치오차  
 Fig. 7. Position error where unavailability is removed.

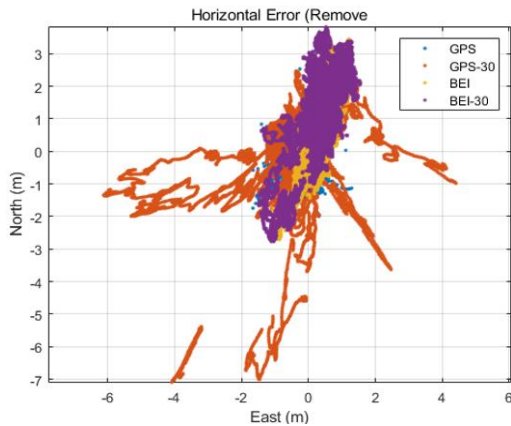


그림 8. 위치 정확도 저하 구간 제거된 위치오차  
 Fig. 8. Position error where reduced position accuracy section removed.

위성배치가 좋지 못해 제거된 구간은 2 구간이다. 첫 번째 구간은 01:02~02:03이고 두 번째 구간은 05:56~06:02 정도의 구간이다. 앞서 비가용된 구간과 중복되는 구간이 있기 때문에 그림 8.을 계산하기 위해 제거된 데이터는 총 132분의 데이터이다. 결론적으로 가용된 데이터는 90.9%이다. 3-2의 가용성 분석한 93.3%에서 2.4% 데이터가 추가로 비가용 되었다.

최종적으로 보이고자 하는 것은 GPS의 mask angle 0°인 경우, mask angle 30°인 경우 중 위치계산 불가구간 제거된 경우 ①, mask angle 30°인 경우 위치 정확도 저하 구간 제거된 구간에서의 위치 오차 ②와 Beidou의 mask angle 0°와 30°에서의 위치오차이다. 이는 표 1.에 정리하였다. 이때 오차의 정량적 수준과 mask angle 30°가 되면서 발생하는 성능 저하의 크기를 비교하기 위해 수평, 수직 정확도 저하율을 함께 나타내었다.

표 1. 상황별 위치 오차 및 정확도 저하율

Table 1. Position error and accuracy decrease rate.

Case		Horizontal error (m)	Horizontal accuracy decrease rate	Vertical error (m)	Vertical accuracy decrease rate
GPS	Mask 0°	0.7039	-	1.0860	-
	Mask 30°-①	2.7695	293%	7.4636	587%
	Mask 30°-②	1.6580	136%	3.6133	233%
Beidou	Mask 0°	1.3345	-	2.0122	-
	Mask 30°	1.4039	5%	2.4754	23%

위치해가 계산되기 위해 사용되는 거리 측정치는 오차요인들에 대하여 일반적인 모델을 이용해 보정되었다. 따라서 양각에 따른 영향은 많이 줄어들어 있는 상황이다. 따라서 mask angle 이 증가함에 따라 가시위성 수가 감소해 위치 정확도가 감소하게 된다. 이를 정량적으로 나타낸 것이 표 1.에 저하율이다. 이 중 주목할 점은 Beidou가 mask angle을 30°가 적용 되더라도 위치 정확도 감소폭이 GPS에 비해 매우 낮다는 것이다.

IV. 결 론

본 논문은 한국지역에서 최근에 획득한 데이터를 이용해 GPS와 Beidou의 위성 가시성 분석과 고양각 위성을 이용할 경우의 특성을 분석했다. 위성 가시성 분석에서는 전체적으로 Beidou가 GPS보다 더 많은 위성이 가시 되는 것을 확인하였다. 또한 skyplot을 이용해 한국지역에서 GPS와 Beidou의 궤도에 따라 가시 되는 위성 위치를 확인하였다. 이때 Beidou의 IGSO 위성의 역할로 한국지역에서 고양각 위성이 GPS에 비하여 많이 가시 되는 것을 확인 할 수 있었다.

Mask angle을 0°와 30°인 경우 가용성 및 정확도 분석을 수행하였다. Mask angle 0°인 경우 가용성은 두 시스템 모두 100%이고 위치 정확도는 GPS가 더 높게 나타났다. 하지만 mask angle이 30°가 될 경우 가용성은 Beidou가 100%, GPS가 조건에 따라 93.3%, 90.9%이다. 위치 정확도는 Beidou가 GPS보다 더 높다. 그 뿐 아니라 mask angle이 0°에서 위치정확도에 비하여 mask angle 30°인 경우 낮아지는 위치 정확도의 크기가 GPS에 비해 Beidou가 매우 낮다.

실제적인 GNSS 활용에서 도심지와 같이 저양각 위성을 사용하지 못하는 경우가 많다. 이와 같은 경우 본 논문의 결과를 통해 Beidou가 GPS에 비해 더 효과적으로 이용 가능함을 확인 하였다.

Acknowledgments

본 연구는 국토교통부 교통물류연구사업의 연구비 지원 (18TLRP-C13269-03)에 의해 수행되었습니다.

## References

- [1] B. Hoffmann-Wellenhof, H. Lichtenegger, and E. Wasle, *GNSS: GPS, GLONASS, Galileo & More*, Austria: SpringerWienNewYork, 2008.
- [2] GPS World. Korea will launch its own satellite positioning system [Internet]. Available: <https://www.gpsworld.com/korea-will-launch-its-own-satellite-positioning-system/>
- [3] Lockheed Martin. U.S Air Force awards Lockheed Martin GPS III flight operations contract [Internet]. Available: <https://news.lockheedmartin.com/2012-05-31-U-S-Air-For>
- e-Awards-Lockheed-Martin-GPS-III-Flight-Operations-Contract
- [4] J. M. Lee, K. D. Park and W. S. Jeong, "Analysis of positioning accuracy for DGNSS-based land navigation using GPS/BDS navigation satellite system," *Transactions of the Korean Society of Automotive Engineers*, Vol. 25, No. 4, pp. 422-429, 2017.
- [5] Information and Analysis Center for Positioning, Navigation and Timing. Beidou constellation status [Internet]. Available: <https://www.glonass-iac.ru/en/BEIDOU/>



**장 진 혁 (JinHyoek Jang)**

2015년 8월: 건국대학교 항공우주정보시스템공학과 (공학사)  
 2015년 9월 ~ 현재: 건국대학교 항공우주정보시스템공학과 통합과정  
 ※관심분야: 다중 위성항법 신호 무결성 감시, 위성 고장 탐지 알고리즘, 위성 궤도설계, 다중 위성항법



**김 흥 표 (HongPyo Kim)**

2018년 2월: 건국대학교 항공우주정보시스템공학과 (공학사)  
 2018년 3월 ~ 현재: 건국대학교 항공우주정보시스템공학과 석사과정  
 ※관심분야: 다중 위성항법, 위성 선택 알고리즘, 안드로이드 위성항법



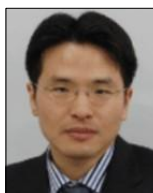
**안 종 선 (Jongsun Ahn)**

2007년 2월: 건국대학교 항공우주정보시스템공학과 (공학사)  
 2009년 2월: 건국대학교 항공우주정보시스템공학과 (공학석사)  
 2015년 2월: 건국대학교 항공우주정보시스템공학과 (공학박사)  
 2016년 12월 ~ 현재: 한국항공우주연구원 항법기술연구실 연구원  
 ※관심분야: 다중위성항법 무결성, 다중위성항법 시스템



**허 문 범 (Moon-Beom Heo)**

1992년 2월: 경희대학교 기계공학과 (공학사)  
 1997년 12월: Illinois Institute of Technology 항공기계공학과 (공학석사)  
 2004년 12월: Illinois Institute of Technology 항공기계공학과 (공학박사)  
 2005년 10월~현재: 한국항공우주연구원 항법기술연구실 책임연구원  
 ※관심분야: 위성항법, 정밀항법, 항행시스템



**성 상 경 (Sangkyung Sung)**

1996년 2월 서울대학교 제어계측 (공학사)  
 2003년 2월: 서울대학교 전기정보공학부 (공학박사)  
 2007년 2월: 삼성전자 Communication R&D Center, Global Standard and Research Team 선임연구원  
 2007년 3월 ~ 현재: 건국대학교 항공우주정보시스템공학과 교수  
 ※관심분야: 하드웨어 항공전자시스템, 관성센서, 통합 항법 이론 및 적용



**이 영 재 (Young Jae Lee)**

1982년 2월: 서울대학교 항공우주공학과 (공학사), 1985년 2월: 서울대학교 항공우주공학과 (공학석사)  
 1990년 8월: The University of Texas at Austin Aerospace engineering Ph.D  
 1992년 2월: The University of Texas at Austin Researcher  
 2013년 3월: UCLA Exchange Professor  
 1992년 2월 ~ 현재: 건국대학교 항공우주정보시스템공학과 교수  
 ※관심분야: 다중위성항법, 다중위성항법 신호 무결성 감시, GBAS, RTK, 고도 결정, 궤도 결정