

미래 한국형 위성항법시스템의 궤도와 지상기반 광학추적에 대한 연구

조중현* 정회원, 임홍서*, 최영준*, 최진**

A Study on the Orbits and the Ground-based Optical Tracking of a Future Korean Navigation Satellite System

Jung Hyun Jo* Regular Members, Hong-Suh Yim*, Young-Jun Choi* and Jin Choi**

요 약

현재까지 한국의 자국 우주기반 지역위성항법시스템은 개발되거나 구체적으로 계획되어 있지 않다. 그러나 국내 지역위성항법시스템의 개발요구는 여러 가지 수요 외적인 요인으로도 결정될 수 있으며, 커져가는 국내의 위성항법시스템에 대한 의존도는 결국 자국 위성항법시스템의 개발 및 보유를 궁극적으로 요구할 것으로 사료된다. 한반도 주변을 활용서비스 대상으로 설정하는 지역위성보강항법 시스템 또는 지역위성항법 시스템 둘 다 설계 궤도나 시스템 설계개념은 그리 선택의 여지가 많지 않다. 또한 우주감시 분야는 국내에서 막 태동하는 연구개발 분야이며 미래 한국형항법위성시스템을 보유했을 때 항법시스템의 유지와 항법메세지의 생성을 위해서 반드시 필요한 기술 분야이기도 하다. 이 연구에서는 한국보다 먼저 구축이 기대되는 일본의 준천정위성시스템의 한국 지역 활용도를 분석하고, 유사한 시스템을 한국에 적용했을 때의 활용도 분석, 독자적인 위성항법시스템을 도입했을 때 사용가능한 궤도 열개 분석, 그리고 이차적인 추적시스템으로서 지상기반 광학추적시스템의 가관측성 등을 분석하였다.

Key Words : Regional Navigation Satellite System, Orbit; Optical Tracking, Visibility, Space Situational Awareness

ABSTRACT

Any development plan of a Korean space-based navigational system has been neither designed nor introduced yet. However, the demand for the development of a domestic regional satellite navigation system can be originated from the outside of market. The growing dependency on satellite navigational systems in Korea eventually requires the retainment and the operation of a domestic navigational satellite system. There is not many choices on the orbit designs and the system design concepts of a regional augmented navigation satellite system or a regional navigation satellite system for the service on the vicinity of the Korean peninsular. Space situational awareness (SSA) has been a rising issue for both national security and more realistic space business in Korea. Also SSA related technologies in Korea is a newly inaugurated area and is necessary to generate a navigation messages and maintain a future Korean navigation satellite system

In this study, the availability of Japanese Quasi Zenith Satellite System (QZSS) expected to be deployed definitely sooner than Korean counter-part is analyzed. The availability of the similar configured system over Korea is investigated with assumed QZSS type orbit. Also, feasible configuration of orbits for domestic navigation satellite system is suggested. And the observability of a ground-based optical tracking system as a secondary tracking capability is analyzed.

I. 서 론

1995년부터 미국의 전지구위성항법시스템인 GPS (Global Positioning Satellite)가 완전 운영능력(FOC: full operation capability)에 도달하자 사용자 시장은 폭발적인 증가세를 유

지하게 된다. 측지관련 과학자부터 초보 운전자까지 GPS수신기로부터 사용자가 원하는 여러 수준의 정밀도로 위치 또는 항법 서비스를 제공받기 시작했다. 러시아 또한 비슷한 시기에 독자적인 위성항법시스템인 GLONASS (Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema)를 개발하여 전지

*이 연구는 한국기초기술연구회의 국가현안문제해결형 과제인 “우주물체 전자광학 감시체계 기술개발”의 지원으로 수행하였음

**한국천문연구원 우주감시센터(jhjo39@kasi.re.kr), **과학기술연합대학원대학교

접수일자 : 2012년 12월 4일, 수정완료일자 : 2012년 12월 7일, 최종 게재확정일자 : 2012년 12월 17일

구적인 서비스를 시작하였고, 21세기에 들어와 유럽연합과 중국은 독자적인 전지구위성항법시스템을 개발하고 구축하기 시작하였다. 유럽연합의 Galileo 유럽위성항법시스템과 중국의 COMPASS시스템이 그 것이다.

이러한 전지구적인 단위의 위성항법시스템은 그 개발, 제작 및 유지에 막대한 물량의 자원과 재원이 들어가며, 실제로 이러한 단위의 서비스를 유지할 수 있는 국가는 매우 제한적이다. 또한 현재 운영 중이거나 배치 중인 각 전지구위성항법시스템이 제한적이지만 공공의 목적으로 개방해놓은 서비스 만으로도 일반 사용자는 상당한 정밀도로 측위 및 항법을 운용할 수 있다. 더군다나 유럽연합과 중국이 배치 중인 위성항법시스템을 완성한다면, 지구 궤도에는 100 여개의 항법위성이 선회하고 있게 된다[1][2].

한편 원래 군사적인 용도로 개발되고 배치된 미국의 GPS는 일반인의 사용이 1984년에 공식화 된 이후에 다양한 사용기반이 개발되어 mm급 정밀 측위와 수십 cm급의 실시간 항법 이용이 가능하게 되었다[Parkinson]. 이러한 기법 중에서 보강항법시스템의 도입은 위성기반 서비스와 지상기반서비스로 나누어지는데, 서비스 범위의 크기, 요구정밀도, 서비스 확실성에 따라서 알맞은 활용 시스템을 달리 선택할 수 있다.

GPS와 GLONASS 이후에 유럽연합과 중국이 각각 독자적인 전지구위성항법체계를 개발하게 된 이유는 시장은 사용자나 시장의 단순한 요구에 의해서만이 결정된 것은 아니기 때문이다. 국가 안보, 독립적인 시장 창출, 독자기술개발, 정치적 우위확보 등의 복합적인 원인으로 별도의 전지구위성항법체계를 개발하게 된 것이며, 각각 독립적인 체계를 운영하면서도 체계 간 교차운영(inter-operability)을 염두에 둔 호환성을 개발요구사항에 담고 있다[1][2].

이러한 풍부한 위성항법 자원이 계속 도입됨에도 상당한 수의 나라에서는 위성항법보강시스템과 독자적인 지역위성항법시스템의 개발을 지속하고 있다. 유럽연합과 중국이 독자시스템을 확보하는 것과 같은 이유이다. 또한 전지구위성항법시스템을 운영하는 국가가 아닌 단순사용자 국가의 위성항법 요구조건을 다 만족시킬 순 없다.

미국의 WAAS(Wide area augmentation system)과 유사한 유럽연합의 EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service)나 일본의 MSAS (Multi-functional Satellite Augmentation System)가 그 좋은 예이다. WAAS, EGNOS 그리고 MSAS는 위성기반보강항법시스템 (Satellite based Augmentation system)으로서 GPS 위성신호를 지상국에서 관측하여 그 오차를 보정할 수 있는 값을 도출하고 이를 위성을 통하여 사용자에게 직접 송출하는 시스템이다[3].

일본은 이러한 보강항법시스템에서 한 걸음 더 나아가 도심 같이 건물의 미로에서 위성의 가시성을 확보하기 위해, 일본 지역에서 높은 고도각에 항상 1기 이상의 항법위성이 위치하도록 위성궤도를 설계하고 배치 위성 수를 결정하였다. 이 시스템을 QZSS(Quasi Zenith Satellite System: 준천

정위성시스템)이라고 명명하였다. 이 QZSS는 GPS의 위성신호와 완벽하게 호환이 되며 기하학적으로 GPS가 기하학적으로 서비스하지 못하는 부분을 대신한다[4].

이 QZSS는 한국에서도 이용할 수 있다. 일본과 한국의 지정학적 근접성으로 인해 그리 차이가 나지 않은 서비스 조건을 보인다. 한국형 위성항법시스템을 도입한다면 유사한 궤도 및 구성을 갖게 될 것이다. 따라서 이 연구에서는 QZSS의 한국지역에서의 가시범위와 유사한 구성을 갖는 제안된 한국형 위성항법시스템의 가시범위를 분석해 보았다.

이미 한국은 비록 타국에서 발사되었지만, 상당한 수의 저궤도 및 정지궤도 위성을 운영한 경험이 있다. 이러한 위성을 운영하기 위해서 위성의 정밀한 궤도력이 필수적이다. 현재까지는 저궤도위성인 경우 탑재된 GPS수신기 자료나, 정지궤도 위성인 경우 지상관제안테나의 tone ranging 자료와 각 자료(angle information)을 이용하여 궤도력을 산출하였다. 지상 기반의 정밀한 추적시스템이 전문한 국내 실정에 비추어서 현실적인 방안이 고려된 추적방법을 사용한 것이다. 이제 우주강국으로 발돋움하기 위해서 지상기반 우주물체감시체계를 구축하는 것이 필요하다.

미국 국방장관인 Donald Rumsfeld가 2001년 처음으로 우주감시(SSA: Space Situational Awareness)란 용어를 사용하기도 전에 이미 1950년대 동서진영의 냉전 시대에 대륙간 탄도탄 감시를 통해 우주감시의 초석이 다져진다[5]. 이후 아폴로 달 탐사 임무를 거쳐, 스페이스 셔틀, 지구궤도 인공위성 및 태양계 탐사 임무를 운영하는 동안 지구 주변의 우주물체(자연, 인공) 및 환경에 대한 감시 체계가 구성되어지고 많은 관측 자료 및 산출물이 생성되었다.

국내에서는 2010년부터 한국천문연구원에서 기초기술연구회의 과제로 시작한 ‘우주물체 전자광학 감시체계 기술개발’이 우주물체 감시체계 구축의 첫걸음이다. 이 논문에서는 향후 현업적용을 염두에 두고 앞에서 분석된 한국형위성항법시스템의 추적 가능성을 분석해 보았다.

II. 현재 또는 근미래에 한국에서 사용가능한 위성항법시스템과 보강시스템 예시: GPS와 QZSS

현재 국내 위성항법시스템 사용자의 대부분은 GPS에 의존하고 있다. 러시아의 GLONASS는 여러 번에 걸쳐서 시스템을 정비함에 따라 완전운영능력을 갖추었음에도 불구하고 수신기 확보의 어려움과 오랜 기간 동안 자료의 영속성이 확보되지 않아 사실상 사용자가 없다. 또한 현재 개발되어 배치 중인 유럽연합의 Galileo 유럽위성항법시스템의 경우 개발이 지연되어서 2019년에서야 FOC를 달성하고, 게다가 현재 비전문가를 위한 수신기의 보급도 매우 더딘 편이다[6]. 중국의 COMPASS의 경우는 현재까지도 전체 ICD의 공개

가 지연되고 있다[7]. COMPASS가 2020년까지 배치가 완료 되어도 현실적으로 일반 사용자가 접근성은 미지수이다.

국내에서 현실적으로 위성항법시스템 사용자의 보편적인 이용 시스템은 상당한 기간 동안 GPS와 그 보강시스템일 가능성이 농후하다.

따라서 국내 사용자에게는 GPS, WAAS, QZSS, 그리고 MSAS 등이 상당한 기간 사용할 위성항법시스템이다. 이 장에서는 일본의 QZSS위성의 가시성(visibility)과 QZSS와 유사한 한국형 위성항법시스템을 도입했을 때에 대한 분석을 다뤘다.

1. 국내에서의 QZSS 가시성

QZSS는 일본과 오세아니아 지역에서 도심밀집지역 및 산악지형의 사용자에게 조차도 중단 없는 위치, 항법 및 시간 신호를 전달하기 위해서 경사각을 갖는 타원형 정지궤도를 갖게 설계되었다. 완전 운용단계에서 QZSS 위성군은 그림 1에서 보는 바와 같이 120도씩 궤도면 간격의 경사 타원 정지궤도를 갖는 3 개의 위성으로 구성된다. QZSS의 첫 번째 위성인 QZS-1 “Michibiki”의 궤도 요소는 표1과 같다[8].

표 1. 2012년 10월 1일 현재 QZS(Quazi Zenith Satellite)-1 “Michibiki” 궤도 요소

궤도 요소	값
장반경	42,164 km (평균)
이심률	0.07504
궤도 경사각	40.7°
근지점 이각	270°
위성직하궤적의 중심 경도	135°E

QZS-1 위성의 위성직하궤 궤적은 그림 2와 같다. 이 QZSS 위성군은 각각의 위성이 다른 위성을 궤도 상에서 8시간의 간격을 두고 꼬리를 무는 구성으로 설계되었다. 이러한 특이한 궤도로 구성되어서 결과적으로 일본지역에서 일정 고도각 이상에 언제나 하나의 QZSS 위성이 위치하게 된다.

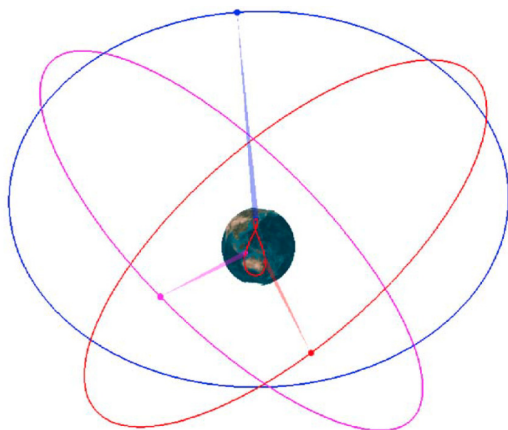


그림 1. QZSS 위성군 궤도면 배치 [9]

그림 1과 같이 QZSS 위성군의 각 위성은 상당한(40.7°) 궤도 경사각을 갖고 이심률이 일반 정지궤도 위성보다 상대적으로 크나 공전주기만은 1 항성일인 정지궤도와 같은 주기를 갖는다. 이러한 궤도의 지구표면에 투사 위성직하궤 궤적은 그림에서 볼 수 있는 아리비아 숫자 '8'자와 같다. 숫자 '8'자 의 상단부분에서 약 8시간 하단부분에서 약 16시간을 QZSS 위성은 소비하게 된다.

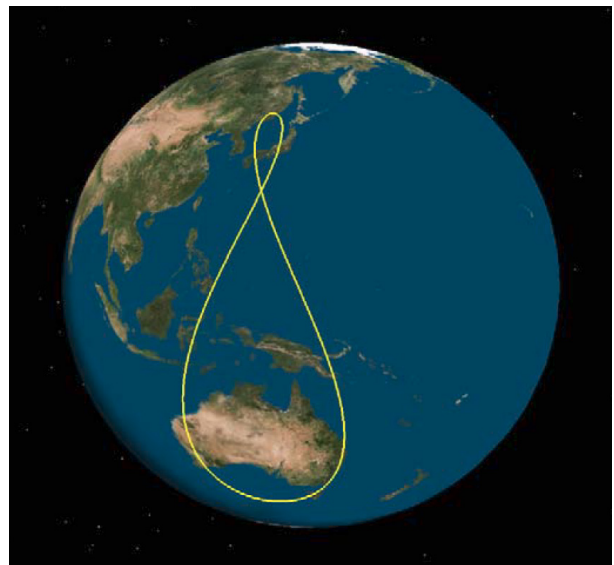


그림 2. QZS-1 “Michibiki” 위성직하궤 궤적 [9]

표 1에서 주어진 궤도요소와 추 후 발사될 QZSS 위성의 설계 궤도 요소로 일본 수도 동경에서의 시간에 따른 QZSS의 가시성 변화를 그림 3과 같이 계산하여 보았다. 지상에서 상당한 고도각 이상의 천정 부분에 언제나 1 기의 QZSS 위성이 존재함을 알 수 있다. 이렇게 약 55도의 궤도 경사각을 갖는 GPS 위성이 도달하지 않는 높은 고도각에 GPS와 호환되는 신호를 송신하는 항법위성이 위치함에 따라 사용자가 시공간 내에 사용가능 위성 수를 늘려주고 기하학적인 분포도를 넓혀 DOP (Dilution of precision)을 좋게 한다.

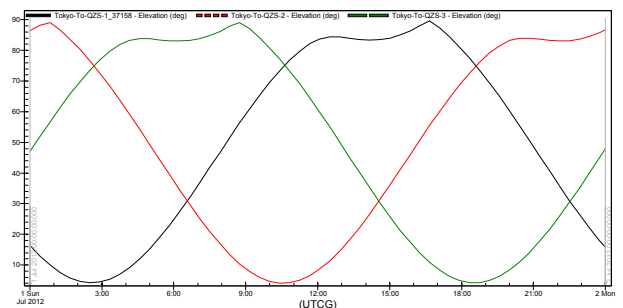


그림 3. 일본 동경에서의 시간에 따른 QZSS 각 위성의 고도각 변화

그림 3과 같은 조건 하에서 서울에서의 QZSS 각 위성의 고도각 변화를 보면 그림 4와 같다. 서울과 동경은 지정학적으로 약 경도 12도, 위도 3도 내의 차이가 나는 위치이나 동

시간대에 보이는 위성의 고도각 변화는 변화양상이 다를 뿐 최고점은 큰 차이가 보이지 않는다. 이는 참고 문헌 [10]의 연구 결과와 일치한다.

국내에서 QZSS를 이용할 경우 일본 지역에서 이용하는 것에 따른 장점이 그대로 반영되는 것을 알 수 있다.

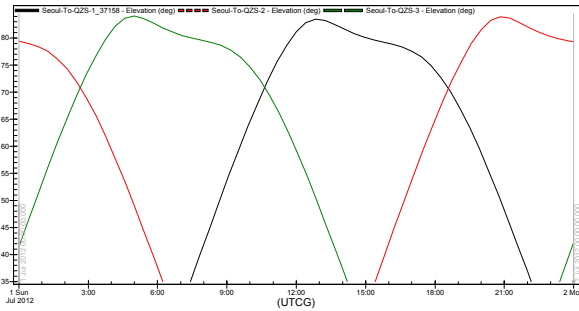


그림 4. 서울에서의 시간에 따른 QZSS 각 위성의 고도각 변화

2. QZSS 궤도 형태의 미래 한국형 위성항법시스템의 도입

QZSS는 GPS와의 완벽한 호환성과 부가된 신호가 사용자에 제공되어 측위 및 항법 정밀도의 향상을 가져오는 장점이 있다[11]. 그러나 QZSS는 GPS를 배제하고 독립적으로 운용될 수 없다. 즉 독립적인 운영을 전제로 하는 설계나 구성을 갖고 있지 않다. 그러나 국내 사용자를 위한 지역보강 위성항법시스템과 지역위성항법시스템은 정지궤도와 QZSS와 같은 궤도 설계를 하지 않을 수 없다. 저궤도나 러시아의 Molyna 형태의 궤도를 고려할 수 있으나, 서비스 지역 범위와 필요한 적정 위성 수를 분석하면 대안이 될 수 없다.

한국형 QZSS(KQZS: Korea Quasi Zenith System)의 도입을 가정하고, 참고 문헌 [12]의 시험결과를 참조하여 표 2와 같은 위성궤도 조건을 결정하고, KQZS위성의 위성직하점궤적과 서울에서의 KQZS 위성 가시 고도각을 각각 그림 5와 그림 6과 같이 계산하였다.

표 2. 한국형 QZSS (KQZS) 위성궤도 요소

궤도 요소	값
장반경	42,164.170 km (평균)
궤도 경사각	49.5°
지상궤적 중심 경도	124.6°E
이심률	0.25
근지점 이각	0°, 120°, 240°
평균 근지점 이각 간격	120°

그림 5에서 보는 바와 같이 3기의 KQZS 위성으로 한반도 지역을 서비스하는 경우의 시간에 따른 고도각 변화는 그림 6과 같이 나타난다. 그림 4와 그림 6을 비교하면 KQZS가 현재 QZSS보다 천정 근처에서 더 긴 시간 안정적으로 서비스할 수 있음을 볼 수 있다.



그림 5. 3기의 한국형 QZSS (KQZS) 위성직하점궤적

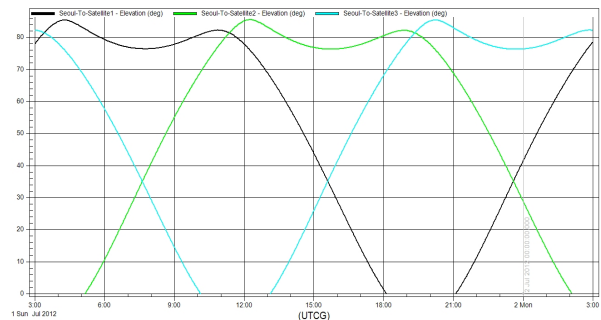


그림 6. 서울에서의 시간에 따른 KQZS 위성 고도각 변화

Ⅲ. 한국형 위성항법시스템

한국형 위성항법시스템은 서론에서 언급했듯이 여러 가지 이유로 도입될 수 있다. 현존하는 GPS와 QZSS 시스템을 안정적으로 사용할 수 있다면, 굳이 막대한 자원을 소비하며 한국형 위성항법시스템을 독자적으로 도입할 필요가 없다. 그러나 독립적인 위성항법시스템의 도입필요성이 부상하고 한국형 위성항법시스템의 개발 타당성이 입증된다면, 여러 단계의 위성항법시스템의 도입을 고려하지 않을 수 없다. 굳이 전지구위성항법시스템이 아니라도 지역위성항법보강 시스템이나 유사시 지역위성항법시스템의 구축으로 국내의 위성항법수요를 충족할 수 있다. 이러한 보강항법시스템이나 독립적 지역항법시스템의 수요의 창출은 순전히 한반도 주변 상황의 변화에 따라 달라진다.

1. 한국의 위성항법 기반 상황에 따른 위성군 (satellite constellation) 구성 사례

지역위성항법시스템이나 지역위성항법보강시스템은 그 독립성이나 타 시스템에 대한 호환성의 정도에 따라서 설계 구성은 판이하게 달라질 수 있고, 많은 조합이 존재한다. 여기서는 사전 선별로 표 3과 같은 4가지 사례를 대표로 조사하였다.

표 3. 한국형 위성항법시스템 가시성 분석을 위한 위성군 구성 사례

사례	위성군 구성
1	KQZS 2기
2	KQZS 2기 + QZSS 1기
3	KQZS 6기
4	GEO 1기 + KQZS 5기

사례 1은 최소의 현재 이용 중인 GPS의 서비스를 기반으로 하고 보강시스템으로 KQZS를 도입하는 경우이다. 최소의 투자로 기술 개발 및 독자적인 위성항법시스템을 구축할 수 있고, 현실적으로 보강시스템의 장점을 이용하여 국내 전 지역 서비스에 효과적이고 개발과 도입이 상대적으로 쉽다. 그러나 GPS를 기반으로 운영되기에 독립적인 위성항법시스템이 아니고, 주 위성항법시스템의 확보가 아니다.

사례 2는 현재 일본이 운용 중인 QZS-1위성과 이에 교차 운용이 가능하게 개발된 KQZS 위성 2기를 같이 운영하는 경우이다. 역시 현재의 GPS를 기반으로 운영되기에 독립적인 위성항법시스템이 아니고, 일본과 협동운영으로 시스템의 복잡성은 더 커진다. 그러나 아시아 태평양 지역에 유사한 시스템을 협동 운영함으로써 비용분담 및 국제협력의 장점이 있다. 서비스 커버리지나 천정에서의 가시성 확보는 사례 1과 유사하다.

사례 3은 KQZS 위성 6기만으로 지역위성항법시스템을 구성한 것이다. GPS와 같은 기존의 위성항법시스템과 연계해서 보강시스템으로 운용할 수도 있고 독립적인 지역위성항법시스템으로도 운용이 가능한 구성이다.

사례 4는 현재 보유하고 있는 천리안 위성과 같은 정지궤도위성에 위성항법 탑재체를 실장해서 위성항법신호를 송출하고 KQZS 위성 5기를 배치하여 서비스 지역에서 최소 4기 이상의 가시성을 확보하는 독립적인 지역항법시스템이다.

2. 한국형 위성항법시스템 구성 사례 별 가시성 분석

2.1 한국형 위성항법시스템 사례 1

한국형 QZSS형 궤도에 2기의 KQZS 위성을 배치한 경우로써 배치 구성은 표 4와 같다. 각 위성은 동일한 궤도 형상을 갖고, 승교점 이각이 180°으로 궤도면이 겹치지만 동일한 근지점 이각으로 설계되어서 서비스 지역을 교대로 지나가게 된다.

표 4. 한국형 위성항법시스템 사례 1의 위성군 궤도 요소

궤도 요소	값
장반경	42164.17 km
이심율	0.245
궤도 경사각	55°
근지점 이각	271.5°
승교점	70°, 250°
평균이각	0°, 180°

서비스 지역에 대한 고도각 커버리지는 최저 요구사양 수준으로써 그림 7과 같이 고도각 65°에 항상 1기의 KQZS 위성이 존재하게 된다. 그러나 이러한 구성으로는 위성기반 지역보강항법시스템으로는 적합한 수준이지만, 천정부근의 커버리지가 강화된 준천정 위성항법보강시스템으로는 알맞지가 않다. 물론 측위를 위한 최저 요구사양인 위성 4기의 가시성이 확보될 수가 없기에 지역위성항법시스템으로 사용할 수도 없다.

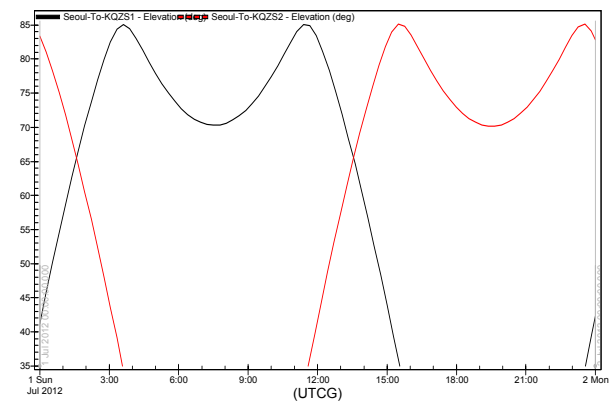


그림 7. KQZS 위성 2기의 시간에 따른 서울지역에서의 고도각 변화

2.2 한국형 위성항법시스템 사례 2

한국형 QZSS형 궤도에 2기의 KQZS 위성을 배치하고 일본의 QZSS 1기를 공동 활용하는 경우로써 배치 구성은 표 5와 같다. 3기의 QZSS형 위성이기에 위성 배치 구성은 현재의 QZSS 배치 안과 거의 흡사하며 서비스 영역에서의 고도각 커버리지도 그림 4와 매우 흡사하다.

표 5. 한국형 위성항법시스템 사례 2의 위성군 궤도 요소

궤도 요소	값
장반경	42164.17 km
이심율	0.245
궤도 경사각	48°
근지점 이각	271.5°
승교점	70°, 290°
평균 이각	0°, 140°

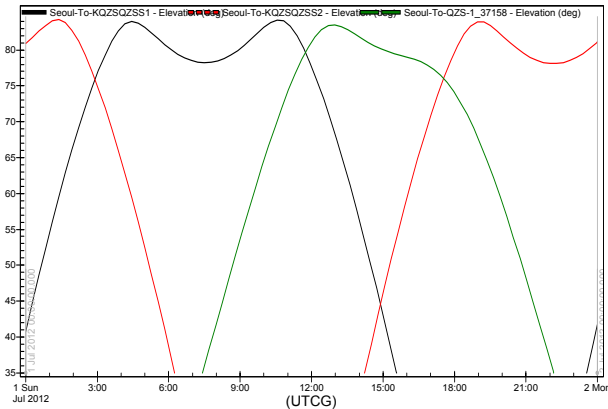


그림 8. KQZS위성 2기와 일본 QZS-1의 시간에 따른 서울지역에서의 고도각 변화

2.3 한국형 위성항법시스템 사례 3

한국형 QZSS형 궤도에 6기의 KQZS위성을 배치하여 측위 최소요구조조건인 4기의 항법위성 가시성을 확보하기 위한 경우로써 배치 구성은 표 6과 같다. 각 위성은 동일한 궤도 형상을 갖으나, 평균 이각이 60°로 균일하게 배치되고 승교점은 각 궤도의 평균 이각에 따라 역시 60° 간격으로 배치되어 최적 궤도 배치를 이룬다.

표 6. 한국형 위성항법시스템 사례 3의 위성군 궤도 요소

궤도 요소	값
장반경	42164.17 km
이심률	0.245
궤도 경사각	49.5°
근지점 이각	270°
승교점	70°, 10°, 310°, 250°, 190°, 130°
평균 이각	0°, 60°, 120°, 180°, 240°, 300°

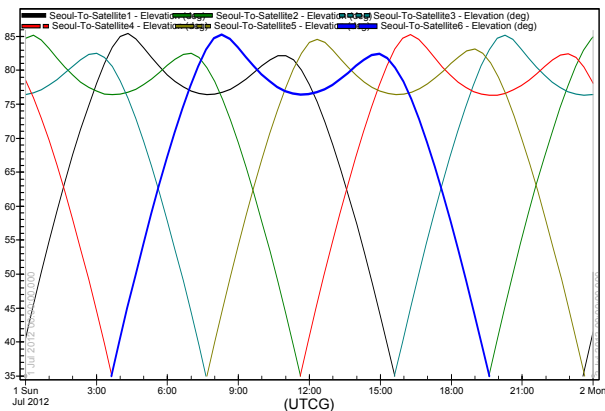


그림 9. KQZS위성 6의 시간에 따른 서울지역에서의 고도각 변화

그림 10에서 보는 바와 같이 한 위치에서 정확한 측위를 하기 위한 최소요구조조건인 4기의 위성 가시성은 간신히 유지되는 것을 알 수 있다. 그러나 그림 9에서와 같이 상당한 시간대에서 고도각 45° 이하에 한 개 이상의 위성이 존재하게 되어서 실제 사용자의 현실적인 상황에서 가용성이 떨어

질 수 있다. 참고 문헌 [10]이나 [13]과 같은 DOP (Dilution precision)계산을 통한 분석으로 측위에 대한 가용성을 예측할 수 있으나, 이 연구에서는 가시성 확인으로 궤도 구성 및 광학 추적 가능성을 확인 하고자 하였다.

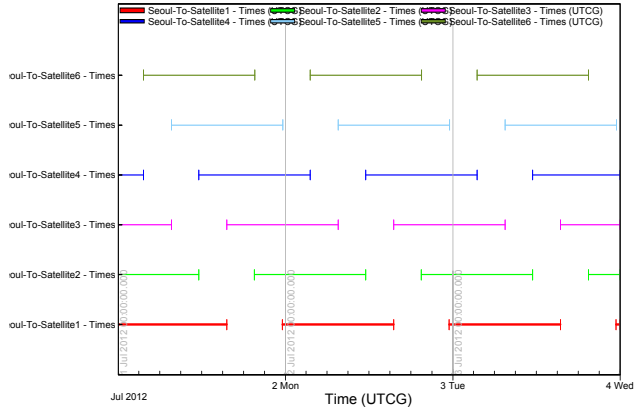


그림 10. 서울 지역에서의 시간에 따른 각 KQZS위성의 가시성 여부(availability)

2.4 한국형 위성항법시스템 사례 4

한국형 QZSS형 궤도에 5기의 KQZS위성을 배치하고 정지궤도에 위성항법탑재체를 실장한 정지궤도 위성 1기를 배치한 경우로써 배치 구성은 표 7과 같다. 각 위성은 동일한 궤도 형상을 갖고, 승교점과 평균 이각을 5개 위성의 등간격 배치를 위해서 최적 설계를 하였다.

표 7. 한국형 위성항법시스템 사례 4의 위성군 궤도 요소

궤도 요소	값
장반경	42164.17 km
이심률	0.245
궤도 경사각	55°
근지점 이각	270°
승교점	70°, 142°, 214°, 286°, 358°
평균 이각	0°, 288°, 216°, 144°, 72°

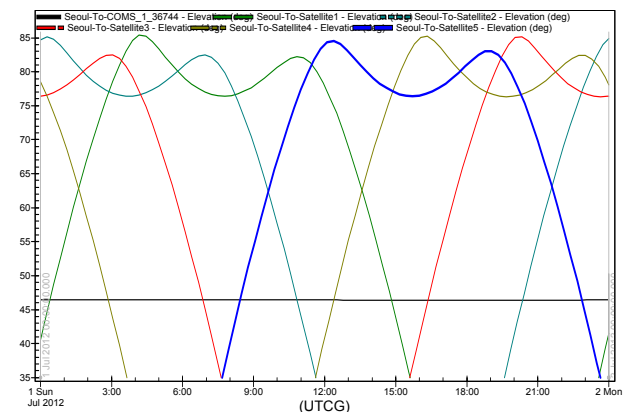


그림 11. KQZS위성 5와 정지궤도 위성 1기의 시간에 따른 서울 지역에서의 고도각 변화

그림 11에서 보는 바와 같이 정지궤도의 가시성은 궤도 성격 상 시간의 변화와는 상관없이 일정하다. 현재 운영 중인 천리안위성의 경우 서울 지역에서 고도각 46.5°로 관측 되듯이 한반도의 중심 경도대에 위성항법시스템 탑재체를 설정한 정지궤도 위성을 배치한다면 그림 9의 KQZS 6기만의 구성보다는 더 안정적인 가시성을 확보할 수 있다.

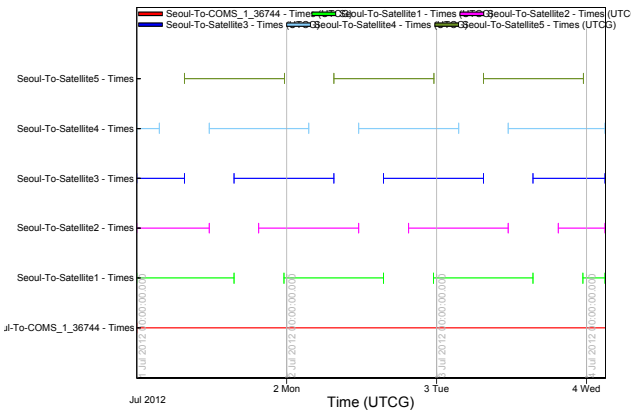


그림 12. 서울 지역에서의 시간에 따른 각 KQZS위성과 정지 궤도 위성의 가시성 여부(availability)

OWL의 50cm급 광학관측시스템은 한 개의 화소당 1.24각초를 갖는 4K CCD 카메라를 장착하고 있으며, 시야각은 약 2도이다. 경위대식으로 제작된 마운트는 초당 10도 이상의 빠르고 안정적인 움직임을 보이도록 제작되었다. 또한 위성의 위치검출의 효율성을 높이기 위해 초퍼(chopper)를 검출기 앞에 장착하여 위성의 궤적을 여러 개로 분리시켜 검출함으로써 동일한 영상에서 초퍼를 장착하지 않은 기존 관측시스템보다 상대적으로 많은 관측위성의 위치정보를 획득할 수 있도록 하였다. 2012년 11월 현재 대전 한국천문연구원 본원에 테스트베드를 설치하여 시험 운영을 수행하고 있다.

OWL의 주요 목표는 우리나라 저궤도 위성들에 대한 80%이상의 추적을 가능하게 하며, 한반도 정지궤도위성이 존재하는 지역에 대한 감시활동이다. 저궤도 위성의 경우 연간 관측가능대가 50%이하인 위성들은 제외하고 그 외의 위성들의 경우 10km의 위치 오차 내에 궤도력을 유지함을 목표로 하고 있다. 이를 위해서는 10일내 600점 이상의 위치-시간 정보 획득을 수행할 계획이다. 정지위성 활동지역에 대한 감시활동은 동경 113도에서 144도 영역에 대해 주 1회 이상 관측을 수행하며, 관측 영역의 새로운 변화 감시를 목표로 하고 있다.

IV. 지상기반 광학 위성 추적

1. 국내 광학 추적 능력

국내의 경우 우주감시 특히 인공위성에 대한 감시에 대한 관심은 2000년대 들어서야 비로소 많은 사람들에게 관심을 갖게 되었다. 특히 중국의 FY-1C 폭파시험과 이리듐 위성의 충돌사건 등이 언론에 보도되면서 우주감시의 필요성이 사회적인 이슈가 되기도 하였다.

대표적인 인공위성 광학관측시스템 개발은 2000년부터 2005년까지 한국천문연구원에서 추진한 국가지정연구실사업(NRL: National Research Lab.)인 “인공위성 및 지구접근 천체감시연구”을 통해 이루어졌다. 위 사업을 통해 대전 한국천문연구원 본원에 설치된 60cm 광시야 탐사망원경은 시야각 2도의 넓은 영역을 초당 10도의 빠른 속도로 움직이는 고속마운트 시스템을 갖춰 인공위성에 대한 광학관측을 본격적으로 수행할 수 있게 되었다. 한국천문연구원은 이 망원경을 사용하여 한반도 상공을 통과하는 377개 인공우주물체에 대한 검출작업을 수행하였으며, 96개 정지위성에 대한 관측, 우리나라 통신위성 주변에 대한 탐색관측 등 다양한 광학관측을 수행하였다.

2010년 12월 한국천문연구원은 국가 현안문제 해결형 사업(NAP: National Agenda Program)으로 “우주물체 전자광학 감시기술”사업(OWL: Optical Wide-field Patrol)을 시작하였다. 2016년까지 총 6년의 사업기간 동안 50cm급 광학관측시스템 5기와 2m급 광학관측시스템 1기를 개발/설치하는 사업으로서 관측시스템은 모두 국외에 설치할 예정이다.

2. 미래 한국형 위성항법체계에 대한 관측가능성

한국형 항법위성에 대한 광학관측은 저궤도 위성보다 제약조건이 까다롭지 않다. 지평선으로부터 최대한의 관측시야를 확보한 관측소를 날씨에 의한 제약을 최소화하기 위해 2기 이상 넓은 지역에 나누어 배치하는 것이 타당하다. 항법위성의 관측고도를 확인해보기 위해 그림 13에는 천리안 위성의, 그림 14에는 QZS-1위성의 2011년도 연간 고도 변화를 AGI사의 STK(Satellite Toolkit)을 이용하여 각각 그려보았다. 두 경우 모두 관측소 위치를 대전으로 하였다. 그림들에 나타난 바와 같이 두 위성의 경우 관측이 불가능한 날은 없었다. 관측 가능시간을 늘리기 위해서는 관측시야를 최대한 확장하는 것 즉 낮은 고도에서도 관측이 가능하도록 하는 것이 관건이며, 날씨의 영향을 받지 않기 위해서는 한국 뿐 아니라 일본, 중국 등 주변 국가로까지 관측시스템을 이전 설치하는 방법도 고려될 수 있다.

천리안 위성과 같이 정지궤도상에 존재하는 항법위성은 고도와 방위각이 거의 변하지 않으므로 한반도에 설치하는 광학관측 시스템으로 언제든지 관측이 가능하다(그림 13 참조). 상대적으로 낮은 고도가 관측에 영향을 줄 수는 있지만 이를 고려한 관측소의 배치가 이루어진다면 관측상 문제는 없다. 밤 시간대가 대부분 관측이 가능한 시간대이므로 저녁 시간대, 밤 시간대, 새벽 시간대 등으로 관측 시간대를 넓혀 최대한 위성 궤도의 많은 부분을 관측하는 것이 궤도 결정에 도움이 될 수 있다.

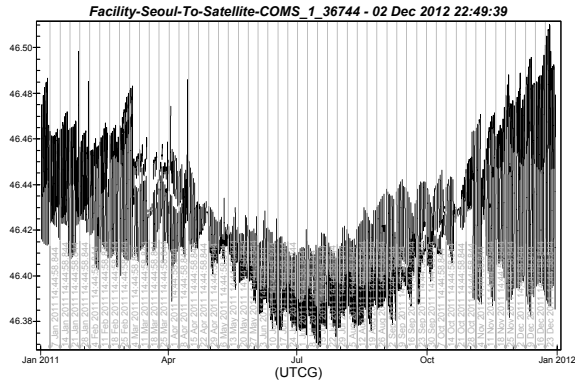


그림 13. 2011년 천리안 위성의 고도 변화(STK활용)

QZSS형 항법위성의 경우는 시간에 따라 위성의 고도가 변하므로 항시 같은 고도에서 관측이 가능한 천리안 위성의 관측과 비교하면 상대적으로 관측 가능 시간이라는 제약조건이 따르게 된다. 계절에 따라 저녁시간대와 새벽시간대만 관측이 가능할 수도 있으나, 관측이 불가능한 때는 없다(그림 14 참조). 정지궤도 위성과 QZSS형 위성으로 이루어진 항법위성을 모두 관측하기 위해서는 관측 시간의 제약을 받는 QZSS형 항법위성에 먼저 관측 우선순위를 두어 관측을 수행하고, 이후 남은 시간에 천리안 위성과 같은 정지궤도상의 위성에 관측시간을 배분함으로써 모든 항법위성에 대한 관측을 수행할 수 있다. 또한, QZSS형 항법위성은 한국보다 위도가 낮은 지역에 관측소를 두는 것이 관측에 도움이 된다. 하지만, 일본의 경우는 한국과 크게 차이가 없으며, 적도 전후 지역은 관측후보지로서는 좋은 날씨를 보장할 수 없다. 오히려 남반구에 위치한 호주에 관측소가 있을 경우 관측시간대를 넓히는 장점이 있을 수 있으며, 특히 한국에 위치한 관측소가 날씨의 영향을 크게 받는 경우 해외 관측소의 비중이 더 커질 수 있다.

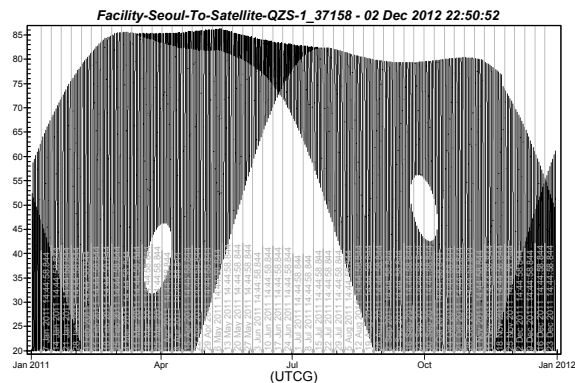


그림 14. 2011년 QZS-1 위성의 고도 변화(STK활용)

관측 고도 외에 항법위성에 대한 광학관측에 영향을 미치는 주요 요소로는 관측 정밀도가 있다. OWL 시스템의 경우 한 개의 화소가 1.24각초의 하늘을 나타내는 광시야 관측시스템이기 때문에 정지궤도위성의 위치결정에 약 7각초 정도의 오차를 포함하고 있다. 이는 정지위성 궤도상에서 1.3 km

만큼의 오차와 같다. 항법위성에 대한 광학관측을 위해 광시야 망원경 외에도 협시야 망원경을 함께 사용한다면 위치결정오차를 상대적으로 크게 줄일 수 있다. 한 개의 화소당 0.22각초 정도의 협시야 망원경은 정지위성궤도상에서 광시야 망원경에 비해 위성 위치결정 오차를 약 20%이내로 줄일 수 있다.

V. 요약 및 결론

현재 구축 중인 일본의 QZSS 위성항법보강시스템의 한국지역 커버리지와 미래 한국형 위성항법시스템으로의 한국형 유사 QZSS 위성항법보강시스템 및 한국형 복합 위성항법시스템의 위성군 궤도의 한국지역 커버리지를 몇 가지 사례를 들어 비교해 보았다. 현재 운영 또는 개발 중인 전지구 위성항법시스템과 같이 대규모 자원이 아니어도 소수의 위성으로 대한민국 지역을 충분히 서비스할 수 있는 위성항법시스템을 구축할 수 있음을 알 수 있었다. 그리고 현재 개발 중인 지상기반 광학 위성추적시스템의 QZSS형 위성군의 추적 가능성을 분석해 보았다. 차후 광학 위성추적시스템의 개발이 끝나고, 한국형 위성항법시스템이 구축된다면 이 시스템의 지상기반 광학추적이 큰 어려움 없이 현재 개발 중인 광학추적시스템의 관측요구사항을 만족시킴을 알 수 있었다. 이로써 미래 한국형 위성항법시스템의 2차 추적시스템으로 지상기반 광학 위성추적시스템이 충분한 역량이 있음을 보여 주었다.

감사의 글

이 연구는 한국기초기술연구회의 국가 현안문제 해결형 과제인 “우주물체 전자광학 감시체계 기술개발”과 대응재원인 한국천문연구원 기관고유과제의 부분적 지원을 받아 수행되었습니다. 저자들은 한국천문연구원 우주감시센터 동료 구성원들의 많은 지원에 감사드립니다.

참고 문헌

- [1] UNITED NATIONS OFFICE FOR OUTER SPACE AFFAIRS, Current and Planned Global and Regional Navigation Satellite Systems and Satellite-based Augmentations Systems,” International Committee on Global Navigation Satellite Systems Provider’s Forum, 2010.
- [2] 조호준, 이우경, 최남미, 백정호, “미래 한국형 항법위성을 위한 위성항법메세지에 대한 연구”, 통신위성우주산업연구회논문지, 제 7권 1호, pp. 12-18, 2012.
- [3] Bradford W. Parkinson, James J. Spilker Jr., Penina Axelrad,

and Per Enge, "Global Positioning System : Theory and Applications Volume I", Progress in Astronautics and Aeronautics, Vol 163, 1996.

[4] Toshio Higuchi, "Japanese Satellite Navigation System Demonstration with Quasi-Zenith Satellite System (QZSS)", 13th session of Asia-Pacific Regional Space Agency Forum, 2006.

[5] "Report of the commission to access United States national security space management and organization," U.S. Executive summary, 2001.

[6] "esa galileo navigation," www.esa.int/esaNA/galileo.html, European Space Agency (ESA), 2012.

[7] "China Publishes Compass /BeiDou "Test Version" of ICD: Key Data Missing," www.insidegnss.com/node/2879, InsideGNSS, 2011.

[8] "The source for space surveillance data," www.spacetrack.org, USSTRACOM, 2012.

[9] N. Inaba, A. Matsumoto, H. Hase, S. Kogure, and M. Sawabe, "Design concept of Quasi Zenith Satellite System," Acta Astronautica, vol. 65, 1068-1075, 2009.

[10] 유경호, 성상경, 강태삼, 이영재, 이은성, 이상욱, "서울 도심에서의 QZSS를 이용한 GPS 확장시스템의 가용도 평가," 한국항공우주학회지, Vol 36, No 8, pp. 761-766, 2005.

[11] T. Sakai, S. Fuushima, and K. Ito, "Recent Development of QZSS L1-SAIF Master Station," ION ITM 2010, 2010.

[12] 이상현, 박병운, 김도윤, 기창돈, 백복수, 이기훈, "한국형 지역 위성 통신항법시스템의 위성 궤도설계에 관한 연구," 한국항공우주학회지, Vol 33, No 7, pp. 51-58, 2005.

[13] 최문석, 원대회, 성상경, 이지운, 김정래, 이영재, 박준표, 박흥원, "WDOP을 이용한 한국형 위성항법 시스템 궤도 설계 및 항법 성능 분석", Proceedings of 한국위성항법시스템학회 정기학술대회, 2012.

저자

조 중 현(Jung Hyun Jo)



- 1986년 2월 : 연세대학교 천문기상학과 (학사)
- 1988년 2월 : 연세대학교 천문기상학과 (석사)
- 2002년 8월 : Auburn University 항공우주공학과(박사)

· 2005년 11월 ~ 현재 : 한국천문연구원
 · 2006년 3월 ~ 현재 : 과학기술연합대학원대학교 부교수
 <관심분야> : 궤도공학, GNSS, 시스템 이론, 우주감시

정희원

임 흥 서(Hong-Suh Yim)



- 1991년 2월 : 연세대학교 천문기상학 (학사)
- 1993년 8월 : 연세대학교 천문대기과학(석사)
- 2000년 8월 : 연세대학교 천문대기과학 (박사)

· 2000년 9월 ~ 2001년 9월 : 연세대학교 CSA 박사후연구원
 · 2001년 10월 ~ 현재 : 한국천문연구원
 <관심분야> : 광학천문학, 태양계, 우주감시

최 영 준(Young-Jun Choi)



- 1995년 2월 : 경북대학교 천문대기과학 (학사)
- 1997년 8월 : 경북대학교 천문대기과학 (석사)
- 2005년 8월 : Tel-Aviv University 행성과학 및 지구물리학과 (박사)

· 2005년 1월 ~ 2007년 11월 : NASA PostDoc. Fellow, 제트추진연구소
 · 2007년 12월 ~ 현재 : 한국천문연구원
 <관심분야> : 행성과학, 소행성, 혜성, 우주감시

최 진(Jin Choi)



- 2007년 2월 : 경북대학교 천문대기과학 (학사)
- 2009년 2월 : 경북대학교 천문대기과학 (석사)
- 2008년 1월 ~ 현재 : 한국천문연구원
- 2012년 9월 : 과학기술연합대학원 대학교 천문우주과학 박사과정

<관심분야> : 궤도공학, 위성 관측, 우주감시