論文

한국형 지역 위성 통신항법시스템의 위성 궤도설계에 관한 연구

이상현*, 박병운**, 김도윤**, 기창돈**, 백복수***, 이기훈***

Orbit Design of a Korean Regional Communication & Navigation Satellite System

Sanghyun Lee*, Byungwoon Park**, Doyoon Kim**, Changdon Kee**,
Boksoo Paik,*** and Kihoon Lee***

ABSTRACT

In 1990, GPS which had been developed for the military purposes became available to the civilian community. Since then these satellite navigation systems have been used extensively in the industrial areas such as car navigation, airplanes, communications, science and surveying. If we are dependent on GPS, however, there are some foreseeable problems in the areas of national security and sovereignty.

Current GPS satellite constellation provides limited performance for the country like Korea and Japan where mountain area and urban canyon do not allow the wide skyline. To solve these problems, many countries plan to make other alternative navigation systems.

In this paper, RNSS(Regional Navigation Satellite System) is designed to provide communication service with high elevation angle. It is shown, that system does not only have good navigation performance, but also improve GPS performance in Korea and its neighboring areas.

초 록

군사용 목적으로 만들어진 GPS가 1990년대에 민간에 개방됨에 따라 차량 항법, 항공기, 통신, 과학, 농업, 탐사 등에 이르는 산업에 폭넓게 이용되고 있다. 하지만, GPS는 미국이 독점적으로 운영하고 있기 때문에 세계 각국은 안보문제에 우려를 나타내고 있는 실정이다. 또한 우리나라와 같이 산악 지형 및 도심이 발달한 지역은 GPS 단독 사용 시에 여러 가지 제약점을 가진다. 이러한 점들을 해결하기 위해 주위의 여러 나라들은 새로운 항법 체계를 구상 중에 있다. 이러한 국제적 추세에 대비하여 우리나라도 지역 항법 시스템 구축에 대해서 검토가 필요하다고 판단된다.

본 논문에서는 우리나라 지역 특성을 고려하여 고앙각의 통신서비스를 제공하며, 독자적 항법 능력을 가진 지역 위성 항법시스템의 위성 궤도를 여러 가지 고려사항을 구속조건으로 하여 설계하였다. 최종 설계된 위성항법시스템의 독자 항법 성능뿐만 아니라 부가적으로 GPS를 보강하는 성능도 우수함을 확인하였다.

Key Words : GPS, RNSS(지역 위성 항법시스템)

† 2004 년 11월 11일 접수 ~ 2005 년 2월 2일 심사완료
* 정회원, 공군사관학교 항공우주공학과
연락저자, E-mail: lsh97@afa.ac.kr
충북 청원군 남일면 쌍수리 사서함 335-2
** 정회원, 서울대학교 기계항공공학부
*** 정회원, 국방과학연구소

Ⅰ. 서 론

위성항법시스템은 관성항법시스템 (INS)에 비하여 위치 정확도를 획기적으로 향상시킨 전파항법의 일종으로서 지구 전역에 10-20m의 위치 정

보를 제공하는 항법기술이다. 당초에는 군사용 목적으로 개발되었으나, 현재는 민간용으로 확대되었으며, 대표적 시스템으로 미국의 GPS와 러시아의 GLONASS가 있다. 그러나 GLONASS의 경우에는 러시아의 경제사정 악화로 인하여 지속적인 위성 발사가 이루어지지 않아 성능이 급격히 저하되어 단독 사용이 불가능해졌으며, 이에 전 세계적으로 GPS위성을 주 시스템으로 사용하고 있다. 하지만, GPS의 의존도가 심화될 경우 생길 수 있는 주권 및 안보 문제를 우려하는 많은 국가들은 자신들만의 위성항법시스템 개발에 노력을 하고 있다. 대표적으로 30기의 위성을 이용하는 GALILEO 시스템이 2008년을 목표로 EU 15개국에서 공동 추진 중이며, 중국과 인도도 여기에 투자를 결정하였다. 또한 일본은 최근에 미국의 GPS와 호환성을 유지하며 4~8기정도의 위성으로 자국 내에만 서비스를 제공하는 위성항법시스템을 확보하기 위한 미국과의 실무자 회담을 성사시켜 주목을 받고 있다[1-4]. GPS의 유료화나 관련 기술의 종속화를 우려하는 많은 국가들이 독자적인 항법 시스템의 개발에 관심을 가지고 있는 시점에 우리나라도 한국 지역에 적합한 위성항법 시스템 구축에 대한 검토가 필요하다고 본다.

II. 위성항법시스템 (Satellite Navigation System)

2.1 GNSS(Global Navigation Satellite System)

전 세계적으로 GNSS에는 미국이 운용하고 있는 GPS와 러시아의 GLONASS가 있지만, 이 중에서 GLONASS는 현재 24기의 위성들 중에서 10기 정도의 위성만이 운용되고 있다. 유럽은 ESA(European Space Agency)에서 2008년 본격적인 가동을 목표로 GALIEO 개발 프로젝트를 추진하고 있다. Table 1은 여러 GNSS시스템 위성군의 특징이다.

Table 1. GPS, GLONASS, GALILEO 비교

구분	GPS	GLONASS	GALILEO
총 위성 수	21+3(예비)	21+3(예비)	27+3(예비)
궤도고도	20,180km	19,100km	23,616km
궤도경사각	55°	64.8°	56°
궤도주기	11시간58분	11시간16분	14시간21분
궤도 수	6, 위상60°	3, 위상120°	3, 위상120°
궤도별 위성 수	4, 불등간격	8, 등간격	10

2.2 QZSS(Quasi-Zenith Satellite System)

일본은 최근 GPS와의 호환성을 유지하며 8기 정도의 위성으로 자국 내에만 서비스를 제공하는 계획을 가지고 있다. 최소 1기이상의 준천정위성(Quasi-Zenith Satellite)이 일본 상공에 있게 하여, 도심과 산악이 많은 일본 지역에 고앙각의 서비스를 보장하는 시스템이다. 통신 · 방송 · 고품질 데이터 통신 · 측위 등의 서비스를 제공 하며, GPS 위성을 보강하여 가시성과 가용성을 향상시킬 수 있도록 연구 중이다. 또한 QZSS 위성에 항법기능의 위성을 추가하여 GPS와 독립적으로 항법을 수행할 수 있는 JRANS(Japanese Regional Advanced Navigation Satellite) 시스템도 연구 중에 있다[4-5].

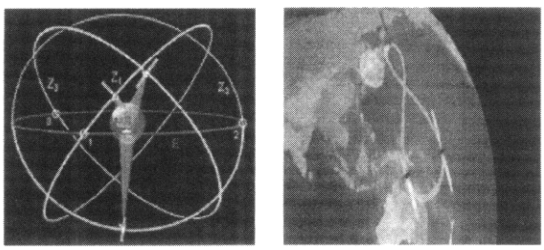
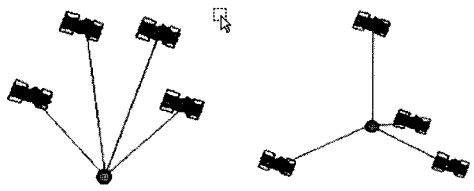


Fig. 1. 준천정위성의 궤도와 지상궤적의 일례

2.3 위성 측위 원리

인공위성을 이용하여 위치를 계산하는 원리는 삼각 측량의 원리로 임의 위성 3개로 공간 좌표인 3개의 미지수를 포함하는 사용자의 위치를 유일하게 결정할 수 있다. 그러나 각각의 GPS 수신기는 수신기 고유의 시계 오차를 지니고 이러한 시계 오차도 미지수에 포함되므로, 4개 이상의 가시 위성이 확보될 때 사용자의 위치를 결정할 수 있게 된다. 일반적으로 측정치의 오차 수준과는 관계없이 위성의 배치에 의한 각 방향의 위치나 시각에 나타나는 오차 수준을 나타내는 지표로 DOP(Dilution Of Precision)가 정의된다. 이 값은 많은 관측으로부터 얻어지는 위치 결정 정확성을 나타내기 위한 기하학적인 인자로 하나의 거리 관측 오차를 증폭시키는 효과를 가진다. Fig. 2는 위성의 배치에 따른 DOP의 경향을 보여주고 있다[6]. DOP이 가장 작을 때, 다시 말해서 위치 오차가 가장 작은 위성 배치는 4개의 위성의 경우 사용자를 중심으로 하여 1개의 위성은 천정(Zenith)에 있고 나머지 위성은 서로 120도의 방위각(azimuth)의 차이로 배치된 정사면체와 같은 형태를 이룰 때이다. 그러나 위성이 수평면



나쁜배열 (큰 PDOP) 좋은 배열 (작은 PDOP, 보통 7이하)

Fig. 2. 위성 배치에 따른 DOP의 경향

아래에 있을 때에는 지구에 의해 가려지므로 위성이 보이지 않게 되어 이러한 배치는 실제에 있어서는 무용하고 다른 3개의 위성은 앙각(elevation angle)이 0에 가깝게 퍼질수록 DOP이 작아진다. 이러한 이유로 인해 GPS의 오차는 수평오차보다는 수직오차가 큰 특성을 지닌다[1].

III. 위성군 설계

3.1 위성군 설계시 고려한 항법 성능

3.1.1 위치 정확도(Position Accuracy)

항법 시스템 설계에 있어서 가장 중요한 위치 정확도는 아래의 식으로 결정할 수 있다[1].

3D 위치 오차 = PDOP × UERE

여기에서, UERE(User Equivalent Range Error)는 송신기를 출발한 신호가 수신기에 도달하는 조건에 따른 오차이고, DOP는 수신기에 대한 송신기의 기하학적 배열 조건에 따른 오차이다.

3.1.2 가용성(Availability)

가용성이란 예정된 작업에 따른 요구 조건을 만족시키며 항법 시스템을 이용할 수 있는 확률을 말한다. 가용성의 상실이 발생하는 경우는 항법 장치의 작동이 중단되거나 가시 위성의 부족으로 위치 측정이 불가능한 경우 등이 있을 수 있다.

3.1.3 고앙각(35도 이상)에서의 항법 성능

우리나라는 산악 지형이 많고, 고층 건물이 많은 도시가 발달했으며, 일반적으로 도시 지역의 빌딩 숲이나 산간 지역의 경우 평지보다 높은 앙각에서 위성 신호는 차단될 수 있다. Juzoji et al의 연구결과에 의하면 도심의 경우 35도 근처에서 장애물의 출현 빈도가 높다[7]. 이러한 것을 고려할 때, 우리나라에 적합한 독자적인 항법을 위해서는 최소앙각이 35도인 경우에도 항법이 가능해야 한다.

3.2 위성군 설계시 고려한 통신성능

3.2.1 고앙각의 통신 서비스

한국은 지형적으로 산악이 많고, 서울과 같은 대도시에는 고층 빌딩이 밀집해 있어서 위성 신호가 제대로 전달되지 않는 곳이 많다. 고층 빌딩이 도로의 사용자에게 어느 정도의 영향을 주는지 간단히 시뮬레이션해 볼 수 있다. 일반적인 건물의 층높이는 3m이며, 또한 도로의 구조·시설 기준에 설계속도 시속 80km이상인 경우 차로의 최소 폭이 3.5m이다. 건물 높이와 편도 2차선의 도로 폭을 각각 3m, 7m라고 가정하고 인도(폭 3.5m), 2차로(폭 3.5m), 1차로(폭 3.5m) 중심에 있는 사용자의 빌딩으로 인한 최소앙각은 Fig. 3과 같다.

시뮬레이션 결과 7층 건물 옆의 1차로, 4층 건물 옆의 2차로 중심의 사용자는 70도 이상의 앙각을 가진 위성의 신호만을 수신할 수 있다.

건물에 의해서 차단되지 않는다는 점 외에도 고앙각의 서비스는 다음과 같은 장점이 있다[8].

1. 이동체(차량) 통신의 고속 광대역화 용이
2. 위성이 항상 천정 부근에 있기 때문에 추적 범위가 한정되어 추적기구 간소화 가능
3. 멀티패스에 의한 간섭의 영향이 적다
4. 강우에 의한 전파의 감쇠가 적다

24시간 주기 위성의 지상궤적 중심 경도(center longitude of ground track)가 사용자의 경도와 같을 때 위성의 앙각과 시간은 궤도의 경사궤도각과 이심률에 따라 변화한다[9]. 서울의 사용자에 대해서 시뮬레이션을 통해 70도 이상의 앙각을 유지하는 시간을 나타내면 Fig. 4와 같다. 경사궤도각과 이심률이 일정한 범위 안에 존재할 때 고앙각의 유지 시간을 최대 10시간 이상으로

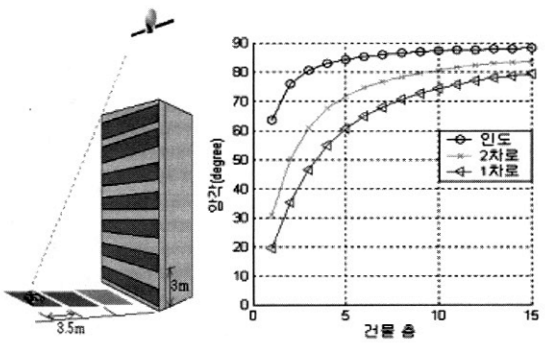


Fig. 3. 건물 높이와 앙각의 관계

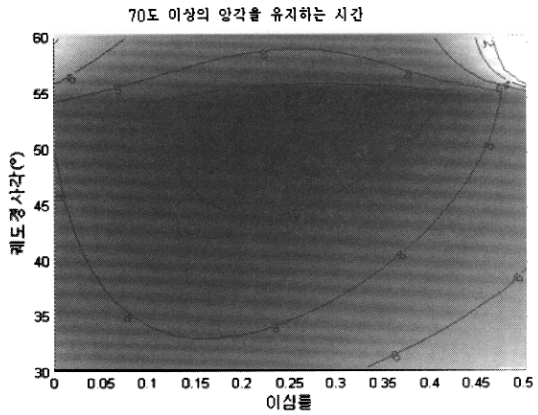


Fig. 4. 1기의 위성의 고앙각(70도) 유지시간

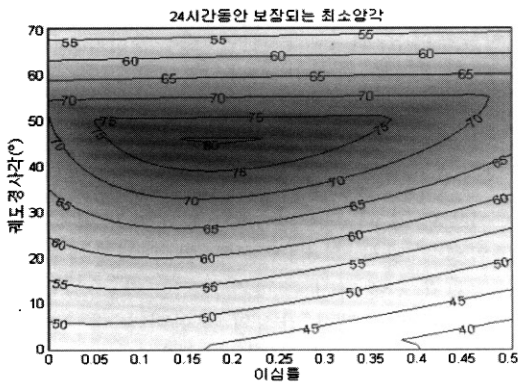


Fig. 5. 3기 위성으로 보장되는 최소 앙각

확보할 수 있음을 알 수 있다. 따라서 설계 목표인 24시간의 지속적인 통신 서비스를 위해서는 최소한 3기 이상의 위성이 필요함을 알 수 있다.

24시간동안 고앙각이 보장되는 최소의 위성수인 3기의 상향노드의 적경(RAAN)을 균등한 간격으로 배치하여 연속적인 서비스를 할 때 서울에서 보장되는 최소앙각의 변화는 궤도 경사각과 이심률에 따라서 Fig. 5와 같이 변화한다. 궤도경사각과 이심률이 모두 일정한 범위 안에 있을 때 연속적인 고앙각 통신 서비스가 가능함을 알 수 있는데, 보장되는 최소앙각은 궤도경사각에 민감함을 확인할 수 있다.

3.2.2 지속적인 통신 서비스

한 지역에 중단 없는 통신 서비스를 제공하기 위해서는 여러 개의 위성을 사용하는 통신 시스템이 필요하고, 이렇게 하여 이 지역 내부의 어떤 지상국도 하나의 위성이 최소 앙각 밑으로 사라져도 다른 위성에 의해 곧장 서비스를 연결해 받을 수 있다. 이들 위성 그룹의 궤도는 같은 장반경과 이심률 그리고 궤도 경사각을 갖지만 각 위성의 궤도가 서로 다른 궤도 평면을 가져서 이 궤도 평면에 대해 자전을 하는 지구의 영향을 감안해야 하므로, 각 궤도의 상향 노드의 적경은 서로 다르게 된다[8].

3.2.3 위성의 궤도 수명

위성의 수명은 일반적으로 위성의 초기 궤도 진입 및 궤도 조정에 쓰이는 연료와 태양 전지와 같은 위성 부품의 수명 등에 영향을 받는다. 궤도 조정에 쓰이는 연료 소비는 궤도 요소에 따른 섭동의 변화에 따라서 차이가 난다. Fig. 6은 지구 인력의 비대칭성으로 인하여 발생하는 24시간 주기를 가진 위성의 궤도 요소 변화율이다[10].

또한 반 알렌 벨트의 영향은 위성 부품의 수명을 단축 한다[11]. 24시간 주기를 가지는 위성의 경우에 이심률에 따라서 반알렌대를 통과하는 시간이 변화하게 된다. 일반적으로 위성이 원지점과 근지점 사이를 이동할 때 반알렌대를 통과함으로써 위성의 수명이 짧아지고 성능이 저하된다. 하지만, 이심률이 작은 경우(0.37이하)에는 근지점도 반알렌대의 바깥쪽에 위치하게 됨으로써 반알렌대를 통과하지 않을 수 있다.

3.2.4 기타 고려 요소

위성 수가 적을수록 비용이 감소하므로 요구되는 통신, 항법 수준을 만족하는 범위에서 최소의 위성을 사용하도록 한다. 앞선 분석을 통해 통신을 위한 위성은 최소 3기가 필요함을 알 수 있었으며, 여기에 항법 전용 위성을 추가할 필요가

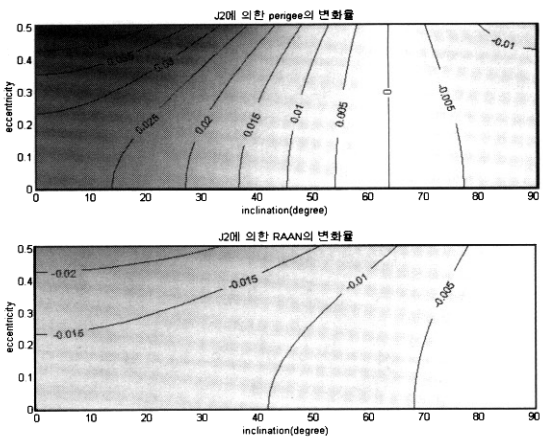


Fig. 6. J_2에 의한 근지점 인수와 상향노드의 적경의 변화율

있다. 현재 위성의 이용 증가로 정지위성 궤도가 포화됨에 따라 비정지궤도 위성을 사용한 시스템이 각광을 받고 있다. 이에 본 논문에서 설계 하려는 위성항법시스템도 이미 우리나라의 주력 위성망인 116도의 정지위성 1기를 제외하고는 추가의 정지위성을 사용하지 않도록 한다.

3.3 위성군 설계 최적화

3.3.1 성능 지수 및 구속 조건

고앙각의 통신 서비스가 가능한 조건하에서 항법 시스템의 성능을 최적화하는 것을 목표로 한다. 이를 위해서 정확도의 지표인 PDOP의 rms 값을 최소화하도록 위성군을 설계하였다. 앙각이 낮은 위성일수록 신호의 신뢰성이 떨어지므로 수신기에서는 어느 정도 이상의 앙각을 가지는 위성만 이용하여 위치를 측정하는데, 이 각을 최소 앙각(Mask angle)이라 한다. 본 논문에서도 일반적으로 항법 시스템의 성능 평가에 사용하는 6.5도를 최소앙각으로 하여 설정하였다.

$$\text{성능지수 } J = \sqrt{\frac{\sum_t PDOP^2}{T}}$$

여기서, t: 시간(24시간)
T: 시간 간격의 총 개수
최소앙각: 6.5도

구속조건: 고앙각(70도 이상) 위성의 확보
근지점인수, 상향노드적경 변화율<0.01
최소앙각 35도일 때 PDOP 최대값<7

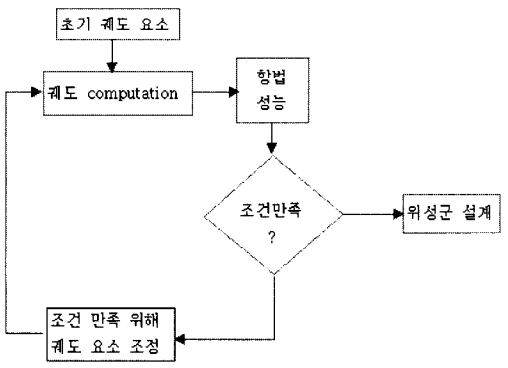


Fig. 7. 궤도 설계 알고리즘

3.3.2 최적화할 궤도 요소

통신과 항법을 병행할 위성이 m개, 항법만을 위한 위성이 n개라고 할 때, 6개의 고전궤도요소[2]를 이용하여 위성궤도를 표현하기 위해서는 6(m+n)개의 궤도 요소가 필요하다. 하지만, 미리 결정할 수 있는 것과 공통된 값을 갖는 것이 있으므로 6개 요소별로 분석하여 실제적인 설계요소만을 선택할 수 있다.

1. 궤도 장반경(semi-major axis): 지역 항법을 위해서는 지구 동주기궤도(24시간)를 이용하는 것이 효과적이며, 모든 궤도의 장반경은 주기에 의해 42164.170km로 결정된다.
2. 이심률(eccentricity): 일정한 시간 간격을 가지고 동일한 지상궤적을 지나는 위성은 궤도 이심률, 경사각, 지상 궤적의 중심 경도에 대해서 동일한 값을 이용한다. 따라서 통신·항법을 위한 궤도의 이심률과 항법용 궤도의 이심률을 설계요소라고 할 수 있다. ($e_{\text{통신·항법}}$, $e_{\text{항법}}$)
3. 경사각(inclination): 이심률과 마찬가지로 통신·항법용 궤도의 경사각과 항법용 궤도의 경사각이 설계요소이다. ($i_{\text{통신·항법}}$, $i_{\text{항법}}$)
4. 지상 궤적의 중심 경도(center longitude of ground track): 이심률, 궤도 경사각과 마찬가지로 통신·항법용과 항법용으로 분리하여 2가지이다. ($\lambda_{\text{통신·항법}}$, $\lambda_{\text{항법}}$)
5. 근지점 인수(argument of perigee): 원지점이 우리나라 상공에 있으면 긴 가시 시간 동안 높은 고도를 유지하며 위성 서비스를 제공할 수 있으므로 근지점 인수는 270도로 설정한다.
6. 진근점 이각(true anomaly): 동일한 시간 간격으로 배치하므로 첫째 위성의 진근점 이각에 따라서 나머지도 자동적으로 결정할 수 있다. 그리고 통신·항법용 위성을 기준으로 한다면, 첫 번째 통신·항법용 위성의 진근점 이각을 0으로 설정해도 전체 시스템의 성능을 분석하는데 무방하다. 결국 항법용 위성 중 1기의 진근점 이각만을 설계요소라고 할 수 있다. ($\nu_{\text{항법}}$)

위와 같이 실제적으로 설계할 궤도 요소의 개수는 대폭 감소하여 총 7개 ($e_{\text{통신·항법}}$, $i_{\text{통신·항법}}$, $\lambda_{\text{통신·항법}}$, $e_{\text{항법}}$, $i_{\text{항법}}$, $\lambda_{\text{항법}}$, $\nu_{\text{항법}}$) 이다.

3.3.3 궤도 파라미터

설계 궤도는 크게 통신·항법 서비스를 위한 궤도, 항법을 위한 궤도, 정지궤도로 구분할 수 있으며, 각 궤도마다 기 결정된 요소와 최적화해야 하는 요소로 구분할 수 있다. Fig. 6의 결과로부터 통신·항법용 위성과 항법용 위성의 궤도 경사각은 45도 이상이 되어야 함을 알 수 있다. 또한, Fig. 5로부터 통신·항법용 위성의 경우에 1기 이상의 고앙각(70도이상)을 보장하기 위해 궤도 경

사각을 65도로 제한하여야 한다. 또한 이심률은 반알렌대의 영향을 받지 않는 범위 안에 있도록 설정하였다. 그리고, 정지궤도는 기존의 위성 궤도를 이용하므로 최적화해야 하는 요소가 없다.

1. 통신·항법 서비스를 위한 궤도(3기 이상)
   1) 결정된 요소
      -궤도 장반경: 42164.170km
      -근지점 인수: 270도
      -진근점 이각: 첫 번째 위성 0도
      -평균 근점 이각 간격(mean anomaly separation): 360도/통신·항법용 위성 수
   2) 최적화 요소
      -궤도 경사각: 45-65도
      -지상 궤적 중심경도: 동경 120-130도
      -이심률: 0.1-0.37
2. 항법을 위한 궤도(2기 이상)
   1)결정된 요소
      -궤도 장반경: 42164.170km
      -근지점 인수: 270도
      -평균 근점 이각 간격: 360도/항법 위성 수
   2) 최적화 요소
      -궤도 경사각: 45-90도
      -지상 궤적 중심경도: 동경 95-160도
      -이심률: 0.1-0.37
      -진근점 이각: 첫 번째 위성 0-180도
3. 정지궤도(1기)
   1) 결정된 요소
      -지상 궤적 중심경도: 동경 116도

VI. 설계 위성군

4.1 설계 위성군 궤도 요소 및 지상궤적

설계 위성군은 고앙각(70도) 서비스를 위한 최소의 위성 개수인 3기의 통신 · 항법용 위성과 항법용 위성3기, 그리고 1기의 정지궤도 위성 등 총 7기의 위성으로 구성되었다.

1. 통신 · 항법을 위한 궤도(3기)
   -궤도경사각: 49.5도
   -지상궤적 중심 경도: 동경 124.6도
   -이심률: 0.25
   -첫 번째 위성의 진근점 이각: 0도
   -평균근점 이각 간격: 120도
2. 항법을 위한 궤도(3기)
   -궤도경사각: 83도
   -지상궤적 중심 경도: 동경 155도
   -이심률: 0.22

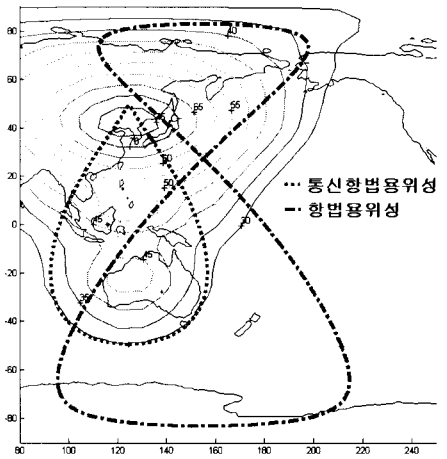


Fig. 8. 설계 위성군의 지상궤적 및 보장되는 앙각

   -첫 번째 위성의 진근점 이각: 39.2도
   -평균근점 이각 간격: 120도
3. 정지궤도(1기)
   -지상궤적 중심 경도: 116도

설계된 위성군의 지상궤적은 Fig.8과 같다. 통신·항법위성 3기는 우리나라 상공에서 원지점을 가지는 눈물모양의 지상궤적을 갖고 8시간 간격으로 움직이며, 항법용 위성은 비대칭 8자형으로 우리나라 경도보다 동쪽으로 치우쳐 있다. 이것은 정지궤도의 위치가 우리나라 보다 서쪽인 동경 116도에 위치하기 때문에 기하학적으로 정확도가 높아지기 위한 배치라고 할 수 있다. 통신용 위성이 보장하는 앙각도 함께 표시했는데, 우리나라 주변에서는 70도 이상의 앙각이 보장되는 것을 확인 할 수 있다.

4.2 통신 성능

서울의 사용자에 대해서 통신 · 항법 위성의 앙각은 Fig. 9와 같이 변화한다. 개개 위성은 고앙

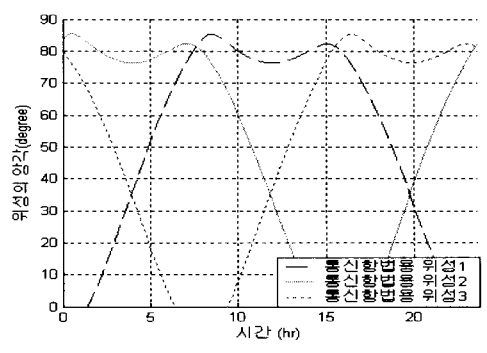


Fig. 9. 통신 · 항법 위성의 앙각 변화

각을 유지하는 시간이 정해져 있지만 연속적으로 적어도 1기의 위성이 고앙각을 갖게 됨으로써 24시간 동안 고앙각 통신 서비스 제공이 가능하다.

4.3 독자 항법성능

4.3.1 최소앙각 6.5도(평지에 있는 사용자)

평균 PDOP은 4.17, 최대 PDOP : 6.23이다.

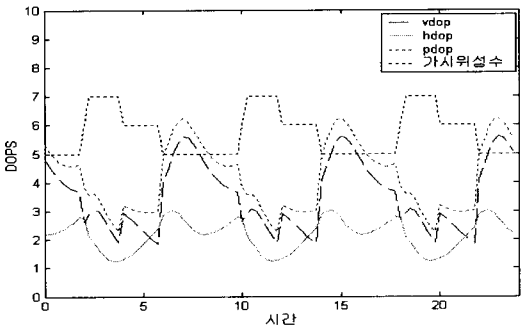


Fig. 10. 최소앙각 6.5도에서의 독자 항법 성능

4.3.2 최소앙각 35도(도시 및 산악의 사용자)

최소앙각 35의 독자 항법 성능은 아래와 같다. 이때 PDOP의 최대값은 최소앙각이 6.5도일 때와 마찬가지로 6.23이고 평균 PDOP은 4.83이다.

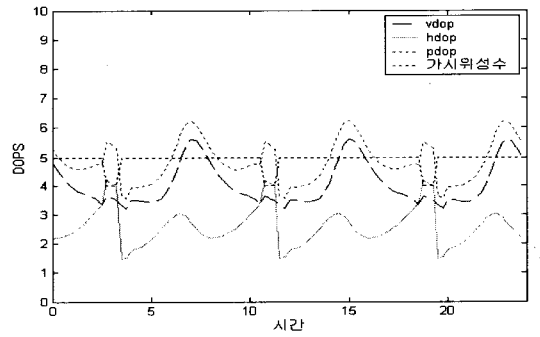


Fig. 11. 최소앙각 35도에서의 독자 항법 성능

4.4 GPS를 보강했을 경우 성능 분석

4.4.1 GPS 위성 궤도 시뮬레이션

실제 우주에 있는 GPS의 위성 수는 더 많지만, 원래 GPS가 21개의 위성과 3개의 예비 위성으로 설계되었으므로, 본 시뮬레이션에서는 24개 위성만을 가지고 시뮬레이션을 수행했다. 이때 위성군 epoch은 1993, 6, 30, 23hr, 34min, 24sec UTC(GPS Week 703, 344063 seconds)이다[12].

4.4.2 GPS시 보강시 정확도 향상

독자 성능 분석과 마찬가지로 최소앙각이 6.5도일 때와 35도일 때에 대해서 분석하였다. Fig. 12의 위쪽 그림은 GPS만을 사용했을 때, 최소앙각 35도에서의 PDOP 평균값을 나타낸 것이고, 아래쪽 그림은 설계 위성군으로 GPS를 보강했을 경우에 향상된 PDOP의 분포이다. 사용자가 고층 빌딩이 많은 서울에 있을 때를 분석해보면, GPS를 단독 사용했을 경우에 최소 앙각이 35도 이상인 가시 위성이 4개 이상 확보될 확률은 46.9%였는데, 설계 위성군으로 GPS를 보강했을 경우에는 100%로 향상되었으며, PDOP이 7.13에서 3.38로 크게 향상되었다. 서울에 있는 사용자의 정확도 향상은 Table 2와 같다.

Table 2. GPS 보강시 정확도 향상

구분	GPS 단독 사용시		설계위성군으로 GPS 보강시	
최소앙각(°)	6.5	35	6.5	35
PDOP	1.97	7.13	1.46	3.38
가시위성>4(%)	100	46.9	100	100

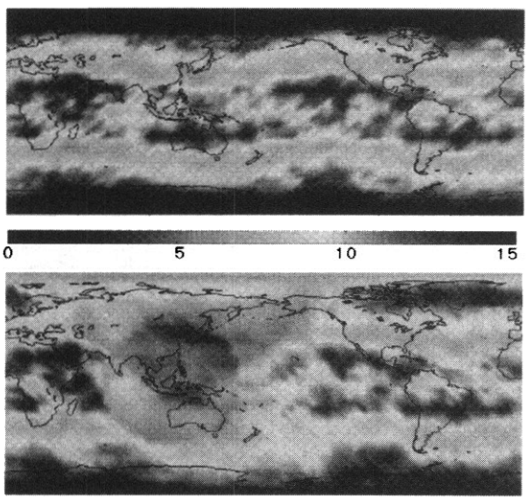


Fig. 12. GPS 보강시 정확도 향상도

4.4.3 GPS 보강시 가용성 향상

정확도 향상 분석과 최소앙각 35도에서 가용성을 분석해보았다. Fig. 13의 위쪽 그림은 GPS만을 사용했을 때의 가용성이고 아래쪽 그림은 GPS에 설계 위성군을 함께 사용했을 때의 가용성을 나타낸다. 서울에 사용자가 있다고 할 때, GPS만을 사용했을 경우에는 35도의 최소앙각에

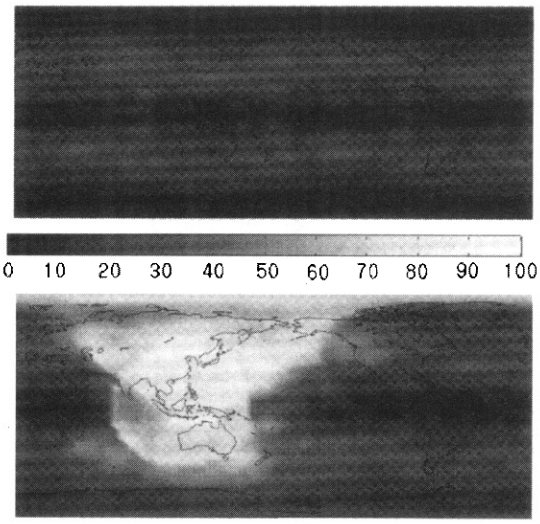


Fig. 13. GPS 보강시 가용성 향상도

서 가용성이 35.86%로 만족할 만한 성능을 갖지 못했는데, 설계 위성군과 함께 사용했을 경우에 가용성이 100%로 향상되어서 다양한 임무에 사용할 수 있음을 확인할 수 있었다.

V. 결 론

본 논문에서는 한국 지역에 적합한 지역 위성 항법 시스템의 요구조건으로 통신과 항법 두 가지 측면을 고려하였다. 통신 서비스를 제공하기 위해서는 70도 이상의 고앙각을 제공하는 위성이 최소한 1기 이상 확보되도록 하였다. 또한 항법 서비스의 경우 최소앙각이 35도 이상 되는 환경에서도 독자 항법이 가능할 것을 요구조건으로 하였다. 성능을 갖추는 것으로 하였다. 이러한 요구조건을 만족시키기 위해서 최종 설계된 위성 궤도는 최소앙각이 낮은 환경에서는 항법 성능이 현재의 GPS 성능에 미치지 못했지만, 산악이나 도시와 같은 고앙각 환경에서는 오히려 더 좋은 성능을 나타냈다. 또한 설계된 위성 궤도는 독자 항법 성능뿐만 아니라 추가로 GPS를 보강했을 때의 성능 향상 또한 우수함을 확인할 수 있었다.

후 기

본 연구는 국방과학연구소의 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1) Bradford W. Parkinson, "Global Positioning System: Theory and Applications", Vol. I. Progress in Astronautics and Aeronautics, Washington DC, 1996

2) Pratalp Misra, Per Enge, "Global Positioning System: Signals, Mesasurements, and Performance, Ganga-Jamuna Press, 2001.

3) 이은성, 신명주, 이영재, 지규인, 이장규, 최홍석, 김진대, "한국지역 항법서비스를 위한 지구정지궤도 및 지구동기궤도 위성 궤도 설계", 한국항공우주학회 추계학술대회 논문집 1998년 11월14일, pp. 370~373.

4) Petrovski, I. G.,Ishii, M., Torimoto, H., Kishimoto, H., Furokawa, T., Satio, M., Tanaka, T., and Maeda, H.(2003). "QZSS-Japan's New Intergrated Communication and Positioning Service for Mobile Users." GPS World, 14(6):24~29.

5) Makiko Murakami, "High Accuracy Positioning Services using Quasi-Zenith Satellite System", The International Symposium on GPS/GNSS 2003, Tokyo, Japan, 15~18 November.

6) 박관동, "GPS Fundamentals", 제 10차 GNSS Workshop 논문집 tutorial 1, 보광(2003), pp. 41~42.

7) Juzoji, H.; Usman, K.; Nakajima, I.;"A visibility study in Japanese urban area to collect environment profile for HEOs", Enterprise Networking and Computing in Healthcare Industry, 2004. HEALTHCOM 2004. Proceedings. 6th International Workshop on 28-29 June 2004 Page(s):125~128

8) G.Maral, M.Bousquet: Satellite Communication Systems, John Wiley, 3rd ed., Chichester, 1996.

9) K. Kumar, "Some aspects related to the satellite applications in non-stationary 24-hour orbits", Acta Astronautica Volume 9, No.3, pp. 147~154, 1982.

10) Roger R. Bate Donald D. Muller Jerry E. White "Fundamentals of Astrodynamics" Dover 1971.

11) James R. Wertz Wiley J. Larson(eds.), Space Mission Analysis and Design, Kluwer Academic Publishers, 1999.

12) "Minimum Operational Performance Standards for Global Positioning System / Wide Area Augmentation System Airborne Equipment (WAAS MOPS)", RTCA Document No. DO-229C, Nov. 28, 2001.