

위성 항법 시스템 개발 동향

글 / 김 응 현 ekim@kari.re.kr

한국항공우주연구원 다목적위성사업단 다목적위성체계그룹

1. 서론

최근 들어 GPS와 같은 항법위성은 그 보편성과 경제성을 바탕으로 많은 분야에서 연구 및 응용되고 있다. 이미 차량이나 비행기 선박 등의 차세대 항법 시스템으로 활발하게 활용되고 있으며 정밀 측위가 필요한 측지학이나 정밀 지도 제작 등에서도 응용되고 있다. 또한 인공위성의 궤도 결정이나 자세 결정의 자료로 이용됨은 물론 지상의 무선통신에 필요한 시각정보를 제공하는 등 그 활용분야는 다양하다. 여기에 러시아의 위성 항법 시스템인 GLONASS도 민간인들에게 개방되고 유럽연합에서 독자적인 항법 시스템인 Galileo 계획을 진행시키면서 그 영역을 넓혀가고 있는 실정이다.

위성 항법 시스템이 어떠한 원리로 작동되는가를 이해하는 것은 개념적으로 매우 단순하다. 근본적으로 위성 항법 시스템은 삼각측량의 원리를 사용하는데 전형적인 삼각측량에서는 알려지지 않은 지점의 위치가 그 점을 제외한 두 개의 크기와 그 사이 변의 길이를 측정함으로써 결정되는데 반해 위성 항법 시스템에서는 알고 싶은 점을 사이에 두고 있는 두 변의 길이를 측정함으로써 미지의 점의 위치를 결정한다는 것이 고전적인 삼각측량과의 차이점이라 할 수 있겠다. 즉 3차원 공간상에서 일직선상에 있지 않은 임의의 세 점으로부터 서로 평행하거나 어긋나지 않은 직선을 그으면 유일한 한 점에서 만나게 된다. 인공위성으로부터 수신기까지의 거리는 각 위성에서 발생시키는 부호 신호의 발생 시점과 수신 시점의 시간 차이를 측정하여 다음 여기에 빛의 속도를 곱하여 계산한다. 그러나 각각의 수신기는 수신기 고유의 오차를 지니므로 이러한 시각 오차를 보정

해주기 위해 일반적으로 3개가 아닌 4개의 항법 위성을 이용하게 된다.

현재 전 세계적으로 이용되고 있는 위성 항법 시스템으로는 미국의 GPS와 러시아의 GLONASS가 있다. 유럽에서는 세계 시장을 장악하고 있는 미국의 GPS 체계에 대항하기 위해서 Galileo라는 독자적인 항법 시스템 개발을 진행 중이다.

2. GPS

GPS(Global Positioning System)는 인공위성에 기반을 둔 전파 항법 시스템으로 1973년 미국 국방성에 의해 제안되어 7년간의 개념 설계, 6년간의 연구 개발과 10년간의 시험 가동을 거쳐 1995년부터 본격적으로 가동되어 운용되고 있다. GPS는 시간과 기상 상태에 관계없이 지구 전역에서 사용 가능한 이상적인 항법 시스템으로서 처음에는 군사적인 목적을 위하여 개발되었지만 그 유용성으로 인해 급속도로 민간용으로 확대되고 있다. 이렇게 민간용으로 확대가 된 계기는 1983년 소련에 의한 KAL-007기의 격추 사건을 계기로 1984년 레이건 대통령이 GPS 신호의 민간 수신을 허용하였기 때문이다. 최초의 GPS 위성은 1978년 2월 Block I 위성이 발사되는 것으로 시작되어 9개의 Block I 위성이 이후 6년동안 추가로 발사되었다. 1985년 말 2세대 Block II 위성이 제작되면서 3단계 개발이 시작되었다.

현재 GPS 위성군을 구성하는 위성은 29개의 Block II/IIA/II R 시리즈이다. Block II 위성은 1989년에 발사가 시작되었고 가장 최근인 2003년에 Block II R 위성이 발사되었다.

2000년부터는 높은 정밀도의 위치 정보를 얻을 수 없게 하기 위해서 항법 메시지의 궤도 데이터와 위성 시간 주파수를 조작하는데 쓰인 SA(Selective Availability) 기능이 없어져서 일반 사용자들의 GPS 활용이 크게 확대되고 있다.

표 1. GPS 개발 정책의 진행 과정

연도	주요 수행 정책
1991년	<ul style="list-style-type: none"> SPS 서비스 93년부터 사용 가능 선언 향후 최소 10년간 무료사용 허용 선언
1992년	<ul style="list-style-type: none"> ICAO와 91년의 선언 확인 SPS를 변경할 경우 최소 6년전에 통보할 것을 약속
1993년	<ul style="list-style-type: none"> 초기 정상 가동 24개의 GPS 위성군 완성 (Block I/II/IIA) SPS 실시
1994년	<ul style="list-style-type: none"> 미국 정부와 ICAO 간의 협정 체결 향후 10년 무료로 GPS 서비스 제공 예견 가능한 미래에 계속적인 서비스 제공에 대한 의지 발표
1995년	<ul style="list-style-type: none"> GPS 신호를 국제사회에 제공할 것을 공표 정상 가동 선언 24개의 Block II/IIA 위성이 정상 운행 군사용 기능 실험 종료
1996년	<ul style="list-style-type: none"> 10년 이내에 SA 중단 선언
1997년	<ul style="list-style-type: none"> 민간용 제2의 반송파 서비스에 대한 계획 준비 선언 민간용 L5 반송파 서비스 계획 선언
2000년	<ul style="list-style-type: none"> SA 기능 제거

2.1 GPS 서비스 종류

GPS에서는 두 종류의 측위 서비스를 제공한다. 하나는 일반 사용자를 위한 SPS(Standard Positioning Service : 표준측위서비스)이고 다른 하나는 PPS(Precise Positioning Service : 정밀측위서비스)이다. SPS는 C/A 코드를 L1 반송파로 변조하여 사용자에게 전송하는 것이고 PPS는 SPS 서비스에 부가적으로 L2 반송파에 의해 전송되는 P 코드를 변조하여 전송하는 것이다. P 코드의 주파수가 C/A 코드보다 크기 때문에 P 코드의 위치 해상도가 더 높게 되어 PPS의 경우 훨씬 정밀한 위치 측정이 가능하다. 그러나 PPS 서비스는 군사적 목적으로 인해 일반 사용자에게 제공되지 않는다.

2.2 GPS의 구성

GPS는 크게 Space, Control, User 세 개의 성분으로 구성된다. Space 요소는 6개의 궤도면에 존재하는 24개의 위성들로 구성되며 각각의 궤도에는 4개의 위성이 있다. 위성들은 55도의 궤도경사각을 갖는 고도 20,200km의 원 궤도에서 작동되며 12시간의 주기를 갖는다. Control

요소는 5개의 관측소, 3개의 지상 안테나와 MCS(Master Control Station)로 구성된다. 관측소들은 보이는 모든 GPS 위성들을 차례로 추적하여 거리 측정 데이터를 모은다. 이 정보들은 MCS로 보내져서 GPS 위성 궤도의 결정과 각각의 GPS 위성의 항법 메시지를 갱신하는데 쓰인다. 갱신된 정보들은 지상 안테나를 통해서 각각의 위성들로 보내어진다. User 요소는 안테나와 수신자 프로세서로 구성된다.

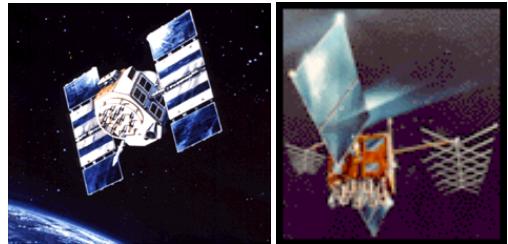


그림 1. GPS Block II A/II R

2.3 GPS 위성

GPS 위성 중 Block II 시리즈는 1989년부터 1990년 사이에 발사되었다. 이 시리즈는 Rockwell International사에서 제작하였으며 군사적인 목적을 위한 SA 기능을 탑재하고 있다. 위성의 구조는 알루미늄 하니컴 구조로 이루어져있으며 스핀 안정화 방식을 채택하고 있다. 두 개의 태양전지판으로부터 700W의 전력을 공급받을 수 있으며 위성의 질량은 843kg, 설계 수명은 7.5년이며 총 4개의 원자시계가 탑재되어 있다. 특히 이 시리즈의 위성은 핵폭발을 감지할 수 있는 센서가 탑재되어 있다.

표 2. GPS Block II F 시리즈 위성의 주요 특성

구분	특성
설계 수명	15년
L1 Link	1.575.42 MHz, 29dBW EIRP
L2 Link	1227.6 MHz, 29dBW EIRP
L5 Link	1176.45 MHz
위성 운용	60일까지 자동 운용
질량	2,090kg까지 증가 가능
전력량	1,560W EOL
크기	2.4m×1.75m×1.53m
데이터 버스	1553B
상향링크 주파수	1783.74 MHz
하향링크 주파수	2227.5 MHz

Block II A 시리즈는 1990년부터 1996년 사이에 총 18개의 위성이 발사되었다. 이 시리즈의 위성은 Block II와 마찬가지로 Rockwell International사에서 제작하였고 지상국의 항법 정보 갱신이 없어도 180일까지 항법메시지를 제공할 수 있도록 개선되었다. 또한 자동 모멘텀 제어를 채용하여 지상국과의 접촉을 Block II 시리즈보다 줄일 수 있도록 개발되었다.

Block II R 시리즈는 Lockheed Martin에서 설계되었으나 항법 탑재체는 ITT(International Telephone and Telegraph Corporation)에서 제공하였다. 총 21기의 위성이 계획되어 있으며 1997년 발사에 처음 성공하였다. 이 시리즈는 위성 자동 운용의 기능이 개선되었다. 개개의 위성은 3축 자세안정화 방식이며 질량은 1,075kg, 전력량은 1,136W를 제공할 수 있다. 현재 Block II R은 2006년까지 Block II R-M의 개선된 시리즈가 개발될 예정이다. Block II R-M은 L2 반송파로 일반 사용자들을 위한 C/A 코드를 송신할 수 있도록 하였다.

제 4세대 Block II F 시리즈 GPS 위성은 Boeing사의 자회사가된 Rockwell International

사에서 총 33개를 제작할 예정이다. 이 위성의 주요 특성은 표 2와 같다.

3. GLONASS

GLONASS(Global Orbiting and Navigation Satellite System)는 실험적 차원에서 러시아가 만들어 운용하는 항법 시스템이다. 1993년 9월 이후 GLONASS 프로그램은 VKS(Voенно Kosmicheski Sily)에 의해 운용되고 있으며 Russian Military Space Forces가 위성의 배치, 궤도 상에서의 유지 보수, GLONASS 사용자 설비의 검증을 담당한다. 최초의 GLONASS 위성 시리즈는 1982년 10월 12일에 발사되었고 1995년 11월 20일 16개의 GLONASS 위성들이 궤도 상에서 운용되기 시작하였다. GLONASS 위성군은 최종적으로 24개의 위성들과 3개의 추가적인 여분 위성들로 구성된다. GLONASS 시스템의 완전한 사용은 1996년으로 예정되었으나 러시아의 경제 사정이 어려워져 지연되었다. 이후 2001년 8월 러시아 정부는 GLONASS 프로그램의 개량과 완성에 투자하는 것을 승인하였다.

표 3. GPS 위성과 GLONASS 위성의 차이점

Parameter	GLONASS	NAVSTAR/GPS
Orbital Parameters		
Period (minutes)	675.73 (~11.25 hours)	717.94 (~12 hours)
Inclination (degree)	64.8	55.0
Semimajor axis (km)	25,510	26,560
Orbital plane separation (orbits)	120 (3 orbital planes)	60 (6 orbital planes)
Ground track repeat (orbits)	17	2
Ground track repeat (days)	8 sidereal days	1 sidereal day
Transmission Signal Parameters		
Signal separation technique	FDMA	CDMA
L-band carrier frequencies(MHz)	L1=1602.5625-1615.5 L2=1246.4375-1256.5	L1=1575.42 L2=1227.60
PRS clock rate (MHz)	0.511	1.023
C/A code	5.11	10.23
P code	511	1.023
PRS length (chips)	5.11x10 ⁶	6.187104x10 ¹²
Navigation Message		
Superframe duration (minutes)	2.5	12.5
Superframe capacity (bits)	7,500	37,500
Word duration (seconds)	2.0	0.6
Word capacity (bits)	100	30
Number of words per frame	15	50
Satellite ephemeris specification	Geocentric Cartesian coordinates & their derivatives	Kepler elements and perturbation factors
Time reference	UTC(SU)	UTC(USNO)
Position reference	SGS 85	WGS 84

3.1 GLONASS와 GPS의 비교

각각의 GLONASS 위성은 궤도경사각 64.8도, 고도 19,100km의 원에 가까운 궤도 위에 있다. 완전히 배치된 GLONASS 위성군은 각각의 승교점이 120도씩 분리된 3개의 궤도면에 배치된 24개의 위성들로 구성된다. 각각의 궤도면에는 8개의 위성들이 45도의 위도 간격으로 균일하게 배치되어 있다. GLONASS와 GPS는 궤도, 주파수, 메시지 형태 등이 매우 비슷하다. GLONASS는 GPS에서 사용하는 것과 다르게 지구 중심, 지구 고정 의 직교좌표계를 이용한다. GLONASS는 SGS85(Soviet Geodetic System)를 사용하고 GPS는 WGS84(World Geodetic System)를 사용한다. GPS는 전 위성군에 걸쳐서 L1 주파수로 작동되는 반면에 GLONASS 위성들은 각각 고유의 불연속적인 주파수를 갖는다. 또한 GLONASS의 주파수 배당 체계는 주파수 분할 다중접속(Frequency Division Multiple Access) 기술에 의해 수행되는데, $1602 + K(0.5625)$ MHz이다. 여기서 K는 주파수 채널 넘버이다. GLONASS 수신기의 정밀도는 약 16미터정도이다.

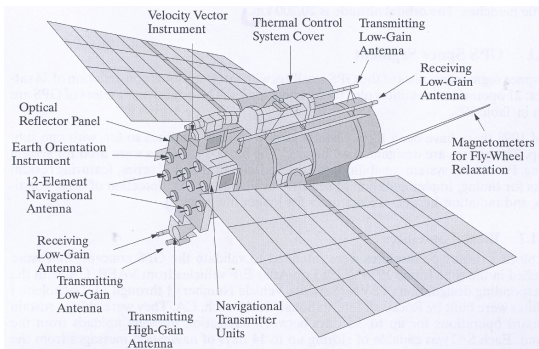


그림 2. GLONASS 위성의 형상

4. Galileo

1994년 이후로 유럽연합(European Union)은 유럽 자체의 GNSS(Global Navigation Satellite System)을 개발시키려는 계획을 수행해왔다. 1999년 초 유럽연합은 Galileo라는 이름으로 GPS와 유사한 유럽 고유의 항법위성 배치군을 개발하는 계획을 제안하고 2002년 7월 약 30억 달러가 소요되는 이 항법시스템의 개발을 승인하

였다. 이미 유럽연합과 유럽우주기구(European Space Agency)는 2005년까지 4대의 시험위성을 궤도에 진입시키기 위한 개발 단계에 약 10억 달러를 지원하였다. Galileo의 완전한 임무 수행은 2008년을 목표로 잡고 있으며 최종 배치는 30개의 위성으로 이루어진다.

4.1 Galileo 개발의 필요성과 목표

유럽연합이 미국의 GPS가 아닌 고유의 항법 시스템을 갖겠다는 결정의 가장 큰 목적은 다음과 같다. 첫째, 아무런 국제적 제약이나 협약 없이 군사기관에 의해 이용되는 GPS와 GLONASS에 대한 현재의 의존도가 위험시된다는 점이다. 따라서 정치적, 국가 안보적 이유로 국가 고유의 항법 시스템을 소유할 필요가 있다. 둘째, 상업적인 면에서 통신 및 항법 시스템 시장에서 공정하고 경쟁적인 위치를 차지할 수 있다는 점이다. 실제로 유럽에서 GPS 하드웨어 시장은 1997년 2.28억 달러였으며 계속적으로 시장이 확대되어 위성 시각동기, 측지, 항법 분야에 걸쳐 막대한 시장이 형성될 것으로 예측되고 있다. 이 시장이 미국의 GPS에 독점될 경우 일어날 경제적 위험요소를 막기 위한 것이다.

이를 위해 Galileo는 안정성이 중요한 응용 서비스들을 위한 항법시스템을 확보하는데 그 목표를 두고 있다. Galileo는 육상 교통, 민간항공 및 해양에서의 항법 등 다양한 형태의 교통 체계에 통합적으로 적용이 가능한 서비스를 지원할 수 있어야 한다는 것이다. 이를 위해 유럽 공동체는 최종 사용자의 요구사항들을 포함하는 전체 구조를 담당하고 유럽우주항공국(ESA)은 위성의 개발과 지상 시스템에 대한 정의를 담당하도록 되어 있다.

4.2 Galileo의 주요 임무 요구사항

Galileo의 시스템 설계의 기본을 이루는 주요 임무 요구사항은 다음과 같다. 첫째, 다른 항법 시스템들과 독립적이어야 한다. 둘째, GPS와 GLONASS에 상호 연계가 가능해야 한다. 셋째, 궤도 상의 위성을 포함한 전 지구에 대한 위치 정보와 시각 정보를 제공한다. 넷째, 기상정보, 교통정보, 사고경보, 응급구조 등과 관련 있는 양방향 데이터 통신 능력을 제공한다.

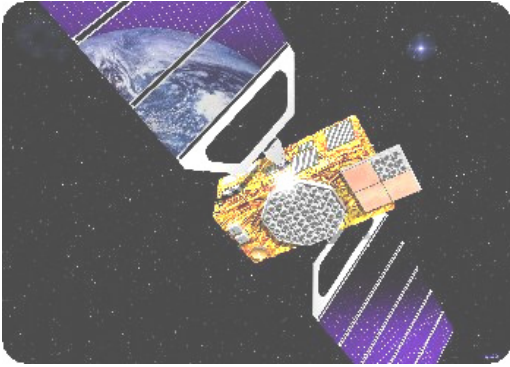


그림 3. Galileo 위성의 형상

표 4. GPS를 이용한 과학 연구의 예

연구 내용	기관
중남미 지역의 지각 움직임 측정	CASA (스페인)
발틱해 연안의 조수 간만의 차 측정	폴란드, 핀란드, 스웨덴 등
알프스 산맥의 빙하 변화 연구	CNRS (프랑스)
H-II 로켓의 항법 시스템	NASDA (일본)
지진 예측 연구	미국
지구 대기 구성 성분의 연구	NASA (미국)
지구의 운동 측정	IERS

5. 항법 위성의 응용

GPS와 GLONASS에서 제공하는 위치, 속도, 시간 정보는 항법을 위한 기초 정보이기 때문에 군사 분야, 과학 연구 분야, 민간의 상업 분야에서 다양하게 이용된다.

과학 연구 분야에서는 지구 중력 모델의 측정, 지표면의 기준계 설정, 지구 자전의 특성 연구, 해양의 지형도 제작, 지구 판구조의 운동 관측 지진 예측 모델 연구 등 많은 분야에서 사용되고 있다. 이외에도 위성에 GPS 수신기를 싣고 가서 자세 결정에 이용하는 방안이 연구 중이며 위성이나 로켓의 궤도 결정을 위해 GPS 시스템을 이용하는 추세이다.

상업적 이용 분야로는 항공기의 이착륙 시스템에 이용하는 방안이 연구 중이며 대양을 항해하는 선박의 항법 시스템으로 사용 중이다. 또한 자동차에 장착되어 도로를 찾기 위한 장치로 사

용되고 있으며 향후 무인자동차(Intelligence Vehicle)와 같은 미래 교통 수단에 이용하기 위해 연구가 진행 중이다.

6. 결론

2000년 미국에서 GPS의 SA 기능을 철회한 이후로 현재 위성 항법 시스템의 응용분야는 확대되어 가는 추세이다. 개발 초기의 군사적인 목적을 넘어서 정밀 측위를 활용한 지진이나 화산의 관측, 빙하의 변동을 측정하거나 자동차와 비행기, 선박의 항법 시스템으로 적용하고 전자 기기들에 표준 시각 정보 제공하는 것과 같이 우리의 실생활에 급속도로 파고들고 있다. 특히 미국의 GPS는 미국이라는 거대 경제 세력을 배경으로 전세계 위성 항법 시스템의 표준으로 자리 잡아가고 있으며 지속적인 GPS 위성의 발사를 통해 신뢰성 있는 서비스를 제공하고 있다. 이에 유럽이나 일본 등 우주산업 선진국에서는 GPS에 대항하기 위한 경쟁 시스템을 도입하여 국가 표준 체계가 타국에 종속되는 위험을 회피하는데 많은 노력을 기울이고 있다.

참고문헌

- H. J. Kramer, Observation of the Earth and Its Environment, Berlin, Springer, 2002, pp.757-789
- 항공우주연구정보센터, 2002년도 항공우주연구동향, 2003, pp.12
- <http://tycho.usno.navy.mil/>
- <http://www.gps.re.kr/>
- 기창돈 외, "실시간 보정위성항법을 활용한 다목적실용위성의 궤도결정 향상에 관한 연구 (II)", 서울대학교, 2002, pp.12-15
- 한국항공우주연구원, 세계 우주개발 현황 및 전망, 2003, pp.196-203
- Misra P. and Enge P., Global Positioning System: Signal, Measurements, and Performance, Ganga-Jamuna Press, 2001, pp.50-55