위성항법 시스템 및 기술 동향

Survey on Navigation Satellite System and Technologies

이상욱 (S. Lee, slee@etri.re.kr) 위성광역인프라연구실 책임연구원
유준규 (J.G. Ryu, jgryurt@etri.re.kr) 위성광역인프라연구실 책임연구원/실장
변우진 (W.J. Byun, wjbyun@etri.re.kr) 전파·위성연구본부 책임연구원/본부장

ABSTRACT

Navigation satellite systems (GPS, GLONASS etc.) provide three main services, i.e., positioning for location based services, navigation for multi-modal transportation services, and timing for communication and critical infrastructure services. They were started as military systems but were extended to civil service. Navigation satellite navigation system began with GPS in the USA and GLONASS in Russia at nearly the same time. Indian NavIC and Chines BDS announced their FOCs in 2016 and 2020, respectively and European Galileo and Japanese QZSS are catching up others. In these days, Navigation Satellite System, Positioning, Navigation, and Timing services are part of our daily life very closely. They are required for autonomous driving car, Unmanned vehicles like UAV, UGV, and UMV, 5G/6G telecommunications, world financial system, power system, survey, agriculture, and so on. The services among navigation satellite systems are very competitive and also cooperative one another. This article describes the status of these systems and evolution in the technical and service senses, which may be helpful for planning korea positioning system(KPS).

KEYWORDS 측위, 항법, 시각동기, 위성항법 시스템, 진화

Ⅰ. 서론

1. 위성항법 시스템 정의

위성항법 시스템은 지구궤도상에 다수의 위성으로 구성된 위성군으로부터 수신되는 위성의 위치정보와 전파를 이용한 거리측정을 통해 3차원의 위치 및 시각동기정보를 제공하는 위성 시스템이다. 위성항법 시스템은 한창 냉전 시대였던 1970년대에 중궤도 위성으로 구성된 미국의 GPS(Global Positioning System)[1]와 러시아의 GLONASS[2]의 개발 구축으로 시작되었다. 이후에 인도의 NavIC(Navigation with Indian Constellation;

* DOI: https://doi.org/10.22648/ETRI.2021.J.360406
* 본 연구 논문(특허)은 2021년도 한국전자통신연구원 연구운영비지원사업의 재원으로 수행된 연구결과임[21ZH1100, 연결의 한계를 극복하는 초연결 입체통신 기술 연구].

OPEN 공공누리 출처표시 상업용금지 변경금지 공공저작물 자유이용허락
본 저작물은 공공누리 제4유형
출처표시+상업적이용금지+변경금지 조건에 따라 이용할 수 있습니다.
©2021 한국전자통신연구원

이전의 명칭은 IRNSS: Indian Regional Navigation Satellite System)[3]과 중국의 BDS(BeiDou Navigation Satellite System)[4]가 각각 2016년 및 2020년에 구축 완료되었고, 유럽의 Galileo 시스템[5]과 일본의 QZSS(Quasi-Zenith Satellite System)[6]가 개발 및 구축 중에 있다. 우리나라에서도 지역항법 시스템으로서의 KPS(Korea Positioning System)사업을 계획 중에 있다[7].

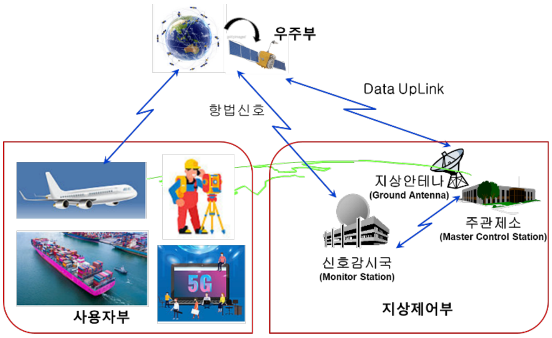
위성항법은 전파항법(Radio Navigation)의 일종으로, 원자시계로 동기화되어 항법위성으로부터 송출되는 위성항법 신호를 수신하여 그 도달하는 시간 차이를 이용하여 TDOA(Time Difference of Arrival) 기법으로 수신기의 위치를 결정한다. 수신기의 시계를 TCXO를 사용하여 정밀도가 낮아 수신기의 시계오차도 함께 결정해야 하므로 3차원 측위를 위해서는 3개가 아닌 4개의 항법신호를 수신해야 위치와 수신기 시간을 정확하게 결정할 수 있다. 이러한 전파 위성항법 원리로 인하여 항법신호가 닿는 어디에서나 3차원측위는 물론 수십 나노초의 정밀도로 시각정보를 제공할 수 있어 방송, 이동통신, 금융거래, 스마트 그리드 등의 분야에서 위성항법 수신기를 이용하고 있다.

우리나라에서도 2035년 서비스를 목표로 지역항법 위성시스템을 계획[7] 중에 있으며, 그림 1은 2020년 9월 기준 세계위성항법 시스템의 현황을 나타내며 각국 위성항법 시스템의 특성을 운용연도, 커버리지, 궤도면수, 위성주기, 궤도경사각, 위성수, 주파수 및 신호방식으로 표현한다.

위성항법 시스템은 전파항법으로 사용하는 주파수가 할당되어 있다. 이를 사용하기 위해서는 이미 해당 주파수를 점유하여 사용 중인 주체와 협상 및 상호 간섭에 대한 합의과정을 통하여 사용 승인을 받고 있다. 위성항법 주파수할당과 기존 위성항법 시스템에 의해 점유되어 있는 주파수 현황은 L1 주파수 대역에는 GPS, GLONASS, Galileo, BDS, QZSS 등의 시스템이 사용 중이다. L2 주파수 대역에는 GPS, GLONASS, QZSS 등의 시스템이 사용 중이며, L5 주파수 대역에는 GPS, GLONASS,

구 분	GPS	GLONASS	Galileo	BDS	QZSS	NavIC	KPS
운용국	미국	러시아	유럽	중국	일본	인도	한국
운용연도	1995년[FOC]	2011년[FOC]	2016년[IOC]	2020년[FOC]	2018[IOC]	2016년[FOC]	2035[FOC]
커버리지	전 지구	전 지구	전 지구	전 지구	일본지역	인도지역	한반도지역
궤도면수	중궤도 : 6	중궤도 : 3	중궤도 : 3	중궤도 : 3 경사궤도 : 1 정지궤도 : 1	고타원경사궤도 : 1 정지궤도 : 1	경사궤도 : 2 정지궤도 : 1	경사궤도 : 2 정지궤도 : 1
위성주기	11시간 56분	11시간 15분	14시간 4분	-	24	24	24
궤도경사각	55도	64.8도	56도	-	45도	29도	42
정상 위성수 (설계 위성수)	31기 (24기)	24기 (24기)	22기 (30기)	30기 (30기)	4기 (4기)	7기 (7기)	0 (8)
주파수 (MHz)	3개	2개	5개	4개	5개	3개	
	①L1:1575.42 ②L2:1227.60 ③L5:1176.45	① L1:1598.06 ~1605.37 ② L2: 1242.93 ~1248.625	①E1:1575.42 ②E2:1560.078 ③E5a:1176.45 ④E5b:1207.14 ⑤E6:1278.75	①B1:1561.09 ②B1-2: 1589.74 ③B2 : 1207.14 ④B3 : 1268.52	①L1:1575.42 ②L2:1227.60 ③L5:1176.45 ④LEX: 1278.75 ⑤L1-SAIF: 1575.42	①L1:1575.42 ②L5:1176.45 ③S 대역	①L1:1575.42 ②L2:1227.60 ③L5:1176.45 ④L6: 1278.75 ⑤S: 2492.028
방식	CDMA	FDMA/CDMA	CDMA	CDMA	CDMA	CDMA	CDMA
계획	Block III구축		'21 FOC예정	'20.07 FOC	'25 FOC		'27 첫위성발사

그림 1 세계 위성항법 시스템 현황요약



출처 게티이미지뱅크, 무단 전재 및 재배포 금지

그림 2 위성항법 시스템 구성

BDS, NavIC, Galileo QZSS 등의 시스템이 사용 중이다. L6 주파수 대역에는 Galileo, BDS, QZSS 등이 사용 중에 있으며, S 주파수 대역에는 NavIC이 사용 중에 있다. 한국형 위성항법 시스템(KPS)은 L1, L2, L5, L6, 및 S 주파수 대역을 이용하여 항법신호를 송출할 계획이다[7].

2. 위성항법 시스템 구성

위성항법 시스템은 그림 2에서와 같이 제공서비스인 측위(P: Positioning), 항법(N: Navigation), 시각동기(T: Timing)를 지구상 어디에서나 제공하기 위해 우주에서 항법신호를 송출하는 우주부, 항법 서비스를 제공하기 위한 지원 및 제어하는 지상제어부 그리고 항법서비스를 사용하는 사용자부로 구성된다.

Ⅱ. 위성항법 시스템 및 기술 동향

Ⅱ장에서는 현존하는 위성항법 시스템인 미국의 GPS, 러시아의 GLONASS, 유럽의 Galileo, 중국의 BDS, 인도의 NavIC과 일본의 QZSS에 대한 현황과 기술 및 서비스 측면에서의 진화 현황을 기술한다.

1. GPS

미국 국방성에 의해 전 세계를 대상으로 위성을 이용한 전파항법 시스템으로 1978년 항법신호송출 이후, 현재 20여 개의 감시국과 40억 사용자를 보유, 1.4조 달러의 경제적 효과를 가져왔다. 당초 군용으로 개발되어 운용되다가 1983년 소련군에 의한 사할린 상공 KAL기 피격사건 이후, 관성항법 장치만의 항법의 누적된 위치 오차에 의한 비극을 방지하고자 레이건 대통령에 의해 전격 민간에 공개하게 되어 민간분야에서도 GPS사용이 가능해졌다[8]. 또한 위성항법 신호의 적성국에 의한 적대적 사용을 방지하고자 고의적인 오차(100여 미터)를 부가하던 SA(Selective Availability)기능은 1990년대 말 미국의 GPS 유료화의 우려로 유럽 등의 독자 위성항법 시스템 구축 움직임과 위성항법 보정기술(DGPS: Differential GPS)의 발달로 클린턴 대통령의 명령으로 2000년 5월에 그 기능을 끄도록 했으며, 한동안 그 기능을 유사 시 사용할 수 있도록 했으나 GPS 현대화에 의해 다양한 안전기능을 갖추어 고의 오차(SA)기능은 더 이상 포함하고 있지 않다[9].

가. 궤도 및 운용현황

GPS위성의 궤도상 위성군(Constellation) 현황은 다음과 같다[10].

위성군의 궤도특성은

- 고도: 20,183~20,187km
- 주기: 11시간 58분
- 궤도면의 수: 6개 경사궤도면
- 궤도경사: 적도면과 5도
- 위성의 개수: 궤도면당 4개씩 총 24개
- 위성군의 궤도 및 배치: 총 35개의 위성 중 31개가 정상운용

GPS위성의 세대별 운용현황은 2020년 8월 22일 현재 2세대 29기 3세대 2기가 운용 중에 있으며, 2세대는 3기가 3세대는 1기가 정상상태가 아님으로 설정되어 있다. 2세대 위성 중 가장 오래된 위성은 23년째 운용되고 있으며, GPS IIR의 평균 수명은 18.6년, GPS IIR-M은 12.9년, GPS IIF는 6.6년이다.

나. 항법성능현황

GPS위성신호의 성능은 URE(User Range Errors) 표시를 하는데 2020년 8월 현재 평균 52cm, 최상의 상태는 40cm, 최악의 경우에 90cm 정도이다. 참고로 이 값은 2019년 10월의 51cm, 36cm, 67cm 대비 나빠진 결과이다. 이처럼 가용 위성수 등의 조건에 따라 달라질 수 있다.

다. 시스템 기술 동향

GPS는 지속적으로 현대화를 추진하여 새로운 기술과 기능을 개발하고 적용시켜 그 성능을 향상시켰다. 이러한 GPS현대화는 위성부, 지상제어부 그리고 사용자부에서 이루어졌다. 위성부에서는 GPS IIA/IIR에 대비하여 GPS IIR-M은 두 번째 민간코드인 L2C, 새로운 군용신호인 M코드, 그리고 항재밍 출력을 증가하도록 진화하였고, GPS IIF는 세 번째 민간코드인 L5 신호 송출, 수명 증가 및 탑재 원자시계의 정확도를 향상시켰다. GPS IIF는 정밀도와 출력 향상, 항재밍 출력 추가 증가, 네 번째 민간신호인 L1C추가 및 수명 및 시계정밀도(3개의 루비듐 원자시계) 향상을 했으며, GPS IIIF에서는 탐색구조 탑재체를 추가하고 정밀 궤도결정을 위한 레이저 반사경을 추가하였다. 제어부에서는 기존의 운용제어 시스템은 구조개선 프로그램에 따라 분산형 구조와 신호감시영역 증대를 꾀하고 운용제어 시스템 0세대에서 긴급운용 및 M코드 초기운용을 추진하였고, 운용제어 시스템 1세대에서는 새로운 신호제어를 시작했고 운용제어 시스템 2+세대에서는 모든 신호제어와 GPS III 진화를 지원한다. 사용자부에서는 표준측위 서비스(SPS: Standard Positioning Service)의 성능을 개선하였고 L2C 현대화 신호를 통해 다양한 상용 서비스, 인명안전 서비스 및 주파수 보호(L5) 및 다중항법 신호와 상호운용성 증대(L1C)를 꾀하고 있다. 특별히 GPS에서 지원하는 중요기능으로는 유사시, 자동모드에서 지상국의 지원없이 180일간 자동운용(Block II는 14일간 자동운용)할 수 있으며, 이는 미리 업로드한 180일 분량의 위성의 궤도력(Ephemeris)을 기반으로 위성 간의 Crosslink를 통하여 Ranging과 관련 데이터를 교환하여 온보드에서 항법데이터를 자체적으로 생성 송출하는 자동항법 기능이 탑재되어 있다. GPS III의 특징은 재프로그램이 가능한 디지털 항법탑재체이며, 정밀 궤도결정을 위한 레이저 반사경 탑재, 개선된 핵폭발 탐지시스템, 기능을 갖는다. 정지궤도 항법 기술검증위성(NTS-3)은 미공군연구소에 의해 개발되어 안테나 시험, 유연하고 안전한 신호, 자동화 증대, 항법 메시지 인증, 준실시간 위성제어를 위한 링크, 다중주파수 및 신호의 제어가능한 지역빔, 항재밍 및 항기만 긴급상황 복구 기능 등 다양한 기술을 검증할 예정이다. 미국의 항법기술 검증위성인 NTS-1과 NTS-2는 각각 1974 및 1977년 발사했고 NTS-3는 2022년에 발사될 예정이다.

2. GLONASS

소련 최초의 위성항법 시스템인 Cicada를 대신하는 소련 국방성이 개발한 위성기반 전파항법 시스템으로 현재 러시아가 운용 중이다. 이 시스템은

미국과의 경쟁시스템으로 1970년대에 개발 구축을 착수했으나 재정난으로 지지부진하다가 1995년에 GPS와 대조적으로 2014년도에 이르러서야 24개의 위성을 모두 구비하여 FOC를 선언하기에 이른다. 또한 지속적으로 그 성능 향상을 위한 진화에도 노력 중에 있다. 2007년 5월 18일 러시아 대통령령으로 GLONASS 민간신호를 러시아와 국외 사용자에서 무상 및 무제한으로 제공함을 선언하였다[11].

가. 궤도 및 운용현황

GLONASS 위성의 궤도상 위성군(Constellation)은 2020년 9월 현재 27기의 위성군(24기의 MEO + 3기의 GEO)으로, 23기는 정상운용, 1기의 백업과 1기의 시험위성, 그리고 2기의 위성은 유지보수 중이다[12].

위성군의 궤도특성은

- 고도: 19,100km
- 주기: 11시간 15분
- 궤도면의 수: 3개의 원궤도 경사궤도면(120도씩 분리)
- 궤도경사: 적도면과 64.8도
- 위성의 개수: 한 궤도면에 8개씩 총 24개 배열 및 3기의 정지궤도

나. 항법성능현황

GLONASS 시스템의 항법 성능은 URE(User Range Errors) 기준으로 표시하는 데 2020년 8월 기준 GLONASS-M 최상의 값은 93cm이다.

다. 시스템 기술 동향

GLONASS는 경제적 어려움으로 GPS에 비해 FOC에 이르는데 20여 년이 더 소요되었지만, FOC선언 이후 성능 향상을 위한 현대화에 노력을 기울여 여러 성과를 냈다. 먼저 CDMA 사용하는 모든 위성항법 시스템과 달리 GLONASS는 FDMA를 사용하였으나 2007년 미-러 MOU를 통하여 GLONASS도 GPS와 같은 주파수에서 CDMA신호를 송출하게 된다[13]. 주요 성능향상 및 기술적 진화내용은 다음과 같다.

- 10년 이상의 수명 증대
- 탑재원자시계 안정도 〈 0.5×10^{-14}~5×10^{-14}
- FDMA신호: L1, L2
- CDMA신호: L1, L2, L3
- 위성 간 통신: Radio Cross Link 및 Optical cross-links
- 단방향 및 양방향 온보드 레이저 거리측정장비 탑재
- 탐색구조 탑재체 & 회신링크
- 이온층 및 대류층 모델 도입 권고
- 소형 수동 수소원자시계
- 다중 주파수의 다중안테나를 통합하는 공통안테나 기법을 이용하여 위성의 중량뿐만 아니라 Earth Deck 크기도 획기적으로 감소[2]

3. Galileo

유럽의 Galileo 시스템은 군용으로 출발한 미국과 달리 민간용 시스템으로 공개 서비스, 상용 서비스, 인명안전 서비스, 탐색구조 서비스 및 공공규제 서비스를 제공하는 독자적인 전 지구 위성항법시스템으로서 1999년에 개발 및 구축이 착수되었다. 개발 및 구축 비용의 2/3를 민간 투자로 추진하던 시스템은 민간투자가 여의치 않고 예산문제로 당초 2008년 구축 목표에서 지연된 2021년에야 그 완전운용능력(FOC)에 이를 것으로 예상된다. 대한민국도 이러한 Galileo 사업에 동참을 추진하였고 2006년에 한-EU Galileo 협정에 서명하고 예

산 투입문제 등으로 지지부진한 상태에서 2015년 협정이 발효되어 한-EU 공동위에서 상호협력관련 공동의회를 격년으로 추진 중에 있다[14].

가. 궤도 및 운용현황

Galileo 시스템의 최근 위성배치 및 운용현황은 다음과 같다. 2020년 기준 26기의 궤도상 위성 중에 22기의 위성이 정상운영 중이고, 12개의 추가 위성이 제작 중에 있으며 2021년부터 4기씩 세 번에 걸쳐 발사될 예정이다.

위성군의 궤도특성은

- 고도: 23,616km
- 주기: 14시간 4 분
- 궤도면의 수: 3개 경사궤도면
- 궤도경사: 적도면과 56도
- 위성의 개수: 궤도면당 10개씩 총 30개(궤도당 1기는 백업)
- 위성군의 궤도 및 배치: 현재까지 총 28기의 위성이 발사되었고 이중 24기가 사용 중이며, 2기는 퇴역하고 2기는 사용불가상태

나. 항법성능현황

신호의 성능은 공개서비스 기준으로 1m(95%)이며 군용인 경우, 1cm 시각동기성능은 UTC대비 오프셋이 2.5ns(95%)이다.

다. 시스템 기술 동향

Galileo 시스템은 2016년부터 초기운용능력(IOC)을 시작했고, 조만간에 완전운용능력(FOC)을 달성할 예정이다. 이미 2세대 위성이 제작 중이며 2014년에 착수한 2세대 위성은 2025년부터 발사될 예정이다. 다른 위성항법 시스템과 차별되게 수소메이저 원자시계와 루비듐 원자시계를 탑재했으나 수소메이저 원자시계가 정상적으로 동작하지 못하여 루비듐 시계를 사용 중에 있다. 2세대 및 미래에 적용될 주요기술은 공개 서비스에 최초로 OSNMA를 이용한 항법메시지 인증 서비스를 제공할 예정이며, 2021년 초부터 시험 중에 있다. 긴급경보 서비스 및 회신링크를 이용한 양방향 통신 서비스, 고정밀 및 무결성 서비스의 제공, 항재밍 및 항기만 서비스, 위성 간 통신, 우주항법 서비스 등이 적용될 예정이며, 이러한 2세대 갈릴레오는 2027년 IOC, 2030년 완전운용능력(FOC)에 도달할 예정이다.

갈릴레오 시스템은 완전운용능력을 위하여 글로벌 지상 인프라의 Upgrade를 2019년 2월에 실시하고 운용에 들어갔고, 2019년 7월 지상 제어국의 순차적 Upgrade 훈련 중에 순간적으로 제어국의 여분(Redundancy)이 감소하였고, 이로 인하여 7월 11일 0시 50분부터 5일간 시스템의 항법메시지 생성기능이 상실되며 서비스 전면중단이 발생하게 되었다. 원인으로는 궤도내시험(IOV) 위성의 시각과 다른 위성의 시각 간의 차이발생과 항법데이터의 궤도력 발산 등으로 오류가 발생하였고, 이를 복구하는 과정에서 얻은 교훈으로 좀 더 안정적인 시스템으로 발전하는 계기되었다.

4. BDS(BeiDou navigation System)

중국은 지역위성항법 시스템인 Beidou-1으로 시스템 구축을 시작했다. 유럽의 Galileo 사업에 참여하여 투자한 2억 유로를 현물형태로 시스템의 구성품을 제작, 납품을 추진하며 공공규제서비스(PRS: Public Regulated Service)에 참여를 희망하고 의사를 타진했으나 불발되자 지역위성항법 시스템인 Beidou-1을 Beidou-2로 명명하고 정지궤도 위성과 중궤도 위성의 조합으로 35개의 위성

을 발사하여 전 지구 위성항법 시스템 구축에 박차를 가하여 갈릴레오보다 더 빠르게 시스템을 구축하고 시스템의 명칭을 BDS로 변경하여 2020년 7월 31일에 완전운용능력(FOC)을 선언했다[15,16].

가. 궤도 및 운용현황

BDS는 3개의 정지궤도, 3개의 경사지구동기궤도 및 24개의 중궤도로 구성되며 위성항법 서비스 이외에도 탐색구조 서비스, 재난문자메시지 서비스 및 정밀측위용 보정정보 제공 서비스도 포함하고 있다[15,16].

위성군의 궤도특성은

- 고도: 21,528km(MEO), 35,786(GEO, IGSO)
- 주기: 11시간 15분
- 궤도면의 수: 3개의 원궤도 경사궤도면 (120도씩 분리)
- 궤도경사: 적도면과 55 도
- 위성의 개수: 한 궤도면에 8개씩 총 24개 및 6개 GEO/IGSO
- 위성군의 궤도 및 배치: BDS-3는 그림 3과 같이 24기 중궤도, 3기 IGSO, 그리고 3기의 GEO위성 등 총 30기로 구성

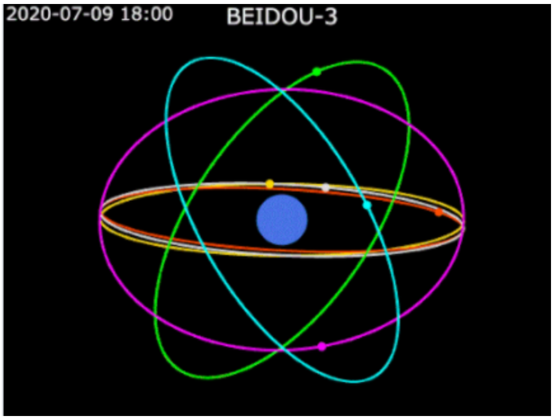
나. 항법성능현황

BDS 신호의 항법 성능은 2020년 FOC 기준으로 다음과 같다.

- 수평 정확도 〈 1.5m (95%)
- 수직 정확도 〈 2.5m (95%)
- 시각동기 성능: 9.8ns (95%)

다. 시스템 기술 동향

BDS는 그림 4와 5에서와 같이 기본 위성항법 서비스, SBAS 서비스, 지역 및 글로벌 단문 메시지 서비스, 및 회신링크를 포함한 국제 탐색구조 서비스를 중국과 전 세계에 제공한다. 3기의 정지궤도 위성을 통하여 초정밀 위성항법서비스(PPP-RTK) 정밀 측위 서비스를 중국과 인근지역에 글로벌 정밀항법 서비스(PPP)는 중궤도 위성을 통하여 전세계에 서비스를 할 예정이다[16].



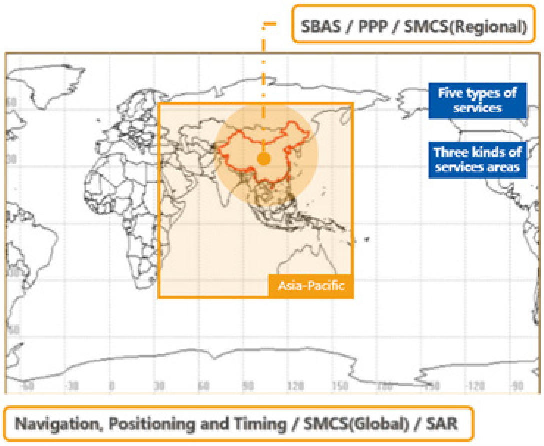
출처 CC BY-SA 4.0, https://en.wikipedia.org/wiki/BeiDou[15]

그림 3 BDS 위성군 배치현황

Type of service		Signal frequency	Satellite
Basic navigation services		B1I、B3I、B1C、B2a	3IGSO+24MEO
		B1I、B3I	3GEO
SBAS		BDSBAS-B1C、BDSBAS-B2a	3GEO
Short-message communication services	Regional	L (uplink) S (downlink)	3GEO
	Global	L (uplink)	14MEO
		B2b (downlink)	3IGSO+24MEO
International search and rescue services		UHF (uplink)	6MEO
		B2b (downlink)	3IGSO+24MEO
Precise Point Positioning service		B2b	3GEO

출처 Reprinted with permission from author[16]

그림 4 BDS 주요서비스

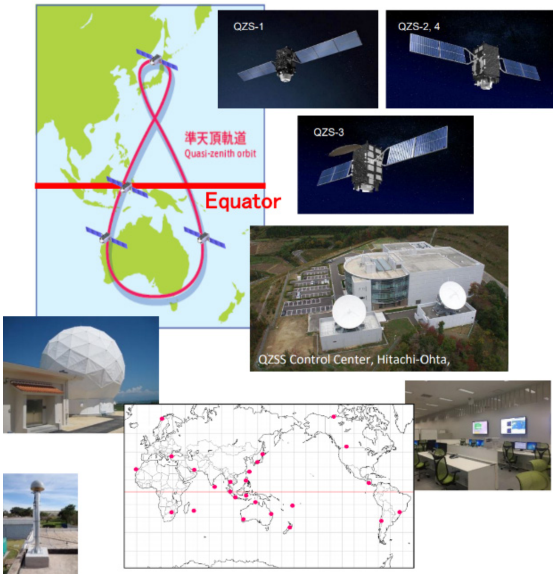


출처 Reprinted with permission from author[16]

그림 5 BDS 서비스 커버리지

5. QZSS

일본에 의해 구축중인 시스템으로 8자 궤도의 위성을 적어도 1개 이상을 일본 상공에 띄워 도심에서 4개 이상의 항법신호가 수신되도록 하겠다는 취지로 시작되었고, GPS신호를 송출하는 GPS 보완(Complementary) 착수된 시스템이다. 즉, 45도의 경사지구동주기궤도 위성과 정지궤도 위성을 조합하여 GPS 보완기능과 독자항법 그리고 위성 PPP 서비스로 초정밀 위성항법 서비스를 제공하고자 하는 시스템이다(그림 6)[17].



출처 Reproduced with permission from author[17]

그림 6 QZSS 시스템구성 및 커버리지

가. 궤도 및 운용현황

QZSS는 3기의 정지궤도, 4기의 경사지구동기궤도로 총 7기의 위성으로 구성된 시스템으로 현재는 1기의 정지궤도위성과 3기의 경사지구동기궤도로 구성되어 있으며, 2021년에 1호기 대체위성과 2023년부터 매년 1기씩 3기를 추가로 발사하여 FOC를 계획하고 있다.

위성군의 궤도특성은

- 고도: 35,786(GEO, IGSO)km
- 주기: 24시간
- 궤도경사: 0도 및 적도면과 45도
- 위성의 개수: 7개
- 위성군의 궤도 및 배치: QZSS는 GEO 1기, IGSO 3기, 총 4기가 운용 중임

나. 항법성능현황

QZSS 신호는 URE 〈 2.6m (95%), SLAS(Sub−meter Level Augmentation Service)로 95%에서 수평 0.66m, 수직 0.88m 및 CLAS(Centimeter Level Augmentation Service)로 5cm 수준의 정밀도를 달성하였다.

다. 시스템 기술 동향

QZSS는 GPS L1, L2, L5신호를 송출하여 항법서비스를 제공하나 독자 항법 신호는 보유하지 않고 서브미터 및 센티미터급 정밀측위 서비스를 제공하기 위한 보정신호를 제공하고 있다. 향후 QZSS는 항법 메시지 인증을 포함하는 공개서비

스, 양방향 위성 간 통신, 그리고 Authorized 서비스를 검토 중에 있다. 또한 정밀항법 서비스를 제공하는 MADOCA(Multi-GNSS Advanced Demonstration tool for Orbit and Clock Analysis)기반의 보정서비스를 동아시아 지역으로의 확장을 추진하고 있으며, 재난 조기경보 서비스의 제공을 추진하고 있다 [17].

6. NavIC

인도의 지역 위성항법 시스템으로 1995년 파키스탄과의 전쟁을 계기로 미국의 GPS 시스템 의존에서 탈피하고자 2006년 독자적인 위성항법 시스템 개발에 착수했다. L5 및 S 대역에 항법신호를 송출하는 시스템으로 개발하여 2016년에 FOC를 선언하였다.

가. 궤도 및 운용현황

NavIC은 3개의 GEO 위성(동경 34도, 83도, 132도)과 동경 53도에 IGSO 위성 2기와 동경 111도에 IGSO 위성 2기으로 총 7기의 위성으로 구성되고 정밀궤도 결정을 위한 CDMA Ranging과 Laser Ranging 기능을 갖고 있다.

위성군의 궤도특성은

- 고도: 35,786km(GEO, IGSO)
- 주기: 24시간
- 궤도경사: 0도 및 적도면과 29도
- 위성의 개수: 7개
- 위성군의 궤도 및 배치: NavIC은 3기의 GEO와 2기씩 분리배치된 4기의 IGSO로 구성

나. 항법성능현황

NavIC 신호는 95%에서 수평 5m 및 시각오차는 20ns이다.

다. 시스템 기술 동향

NavIC은 다음과 같이 현대화를 추진 중에 있다. 4기의 추가위성을 발사하여 서비스 커버리지를 확대(남위 30도~북위 50도, 동경 30~130도)하고, 최소 6기의 위성이 가용하게 하고 정밀도(3m, 2σ)와 연속성을 개선할 예정이다[18].

- 3개 주파수에 공개서비스 제공
  - L5 Band: BPSK(1)
  - S Band: BPSK(1)
  - L1 Band: MBOC(6, 1, 1/11)
- NavIC신호의 우주활용(SSV: Space Service Volume)
- 위성 기반 탐색구조 탑재체 추가
- 인터넷을 통한 단문메시지 서비스 제공
- Onboard Integrity Monitoring
  - 탑재원자시계, 전력계, 데이터 장치 및 탑재체의 감시에 의한 무결성 감시
  - 서비스 품질 및 성능 향상
- Auto-navigation(AUTONAV) System
  - 시스템 강건성 및 독립성 제고
  - 가용도 및 연속성 향상

7. KPS

한국형위성항법 시스템인 KPS는 현재 우리나라에서 계획 중인 시스템으로 한반도를 포함한 동아시아지역에 위성항법 일반 및 공공안전 서비스, SBAS 서비스, 미터급 서비스, 센티미터급 서비스 그리고 탐색구조 및 긴급경보 서비스를 제공할 예정이다. 이를 위해서 우주부로는 3개의 정지궤도 항법위성(SBAS 탑재체 추가 2기, 탐색구조 탑재체 추가 1기)과 5기의 경사지구동주기궤도 항법위성으로 구성될 예정이다. 지상제어부는 2개소의 시스템 운용센터, 2개소의 위성관제센터, 10개소의

위성안테나국, 5개소의 국내 신호감시국과 10개소의 해외 신호감시국으로 구성될 예정이다[7].

III. 결론

본고에서는 해외 위성항법 시스템 및 기술/발전 동향에 대하여 기술하였다. 분석과정에서 식별된 주요 기술과 그 발전방향은 다음과 같이 정리할 수 있다.

- 원자시계의 고안정화 및 UTC와의 차이 축소
- 광역보정 및 측위정밀도 향상에 의한 초정밀 서비스
- 유사 시, 위성 간 통신 및 Ranging에 의한 온보드 자동항법(AutoNav) 기능
- 항법위성의 항재밍 능력 향상
- 다중공통안테나에 의한 효율적 공간활용 및 전기추력기에 의한 위성의 경량화
- 긴급경보 및 탐색구조 서비스
- 항법 기만 대응을 위한 항법메시지 인증 서비스
- 온보드 무결성 감시 및 정보 제공

기존 위성항법 시스템에서 식별된 기술과 서비스 진화 방향성은 미래 위성항법 시스템 기술의 개발 및 구축에 참고할 필요가 있다.

약어 정리

BDS	BeiDou navigation System
BOC	Binary Offset Carrier
BPSK	Binary Phase Shift Keying
CDMA	Code−Division Multiple Access
CLAS	Centimeter Level Augmentation Service
DGPS	Differential GPS
FDMA	Frequency Division Multiple Access
FOC	Full Operation Capability
GEO	Geostationary Earth Orbit
GIOVE	Galileo In−Orbit Validation Element
GLONASS	GLObal Navigation Satellite System
GPS	Global Positioning System
G2G	Galileo 2nd Generation
ICG	International Committee on GNSS
ICT	Information Communication Technology
IGSO	Inclined GeoSynchronous Orbit
IOC	Initial Operation Capability
IRNSS	Indian Regional Navigation Satellite System
IOV	In−Orbit Validation
KAL	Korean AirLine
KPS	Korea Positioning System
MADOCA	Multi−GNSS Advanced Demonstration tool for Orbit and Clock Analysis
MEO	Medium Earth Orbit
MOU	Memorandum Of Understanding
NavIC	Navigation Indian Constellation
ns	nano seconds
NTS	Navigation Technology Satellite
OSNMA	Open Service Navigation Message Authentication
PNT	Positioning Navigation & Timing
PPP	Precise Point Positioning
QZSS	Quasi−Zenith Satellite System
SA	Selective Availability
SBAS	Satellite Based Augmentation System
SLAS	Submeter Level Augmentation Service
SMCS	Short Message Communication Service
SIS	Signal In Space

SPS	Standard Positioning Service
SSV	Space Service Volume
TCXO	Temperature Compensated crystal Oscillator
TDOA	Time Difference of Arrival
UAV	Unmanned Aerial Vehicle
UGV	Unmanned Ground Vehicle
UHF	Ultra High Frequency
UMV	Unmanned Maritime Vehicle
URE	User Range Error
UTC	Universal Time Coordinates

참고문헌

[1] T. Kim, “Status of KPS plans—Korea positioning system,” in Proc. Int. Comm. Glob. Navig. Satellite Syst. (ICG), Bengaluru, India, Dec. 2019.

[2] H. Martin, “Global positioning system (GPS) program and policy update,” in Proc. Int. Comm. Glob. Navig. Satellite Syst. (ICG), Bengaluru, India, Dec. 2019.

[3] I. Revnivykh, “Global navigation satellite system (GLONASS) Status,” in Proc. Int. Comm. Glob. Navig. Satellite Syst. (ICG), Bengaluru, India, Dec. 2019.

[4] D. Hayes, “Status update on the european satellite navigation system (GALILEO),” in Proc. Int. Comm. Glob. Navig. Satellite Syst. (ICG), Bengaluru, India, Dec. 2019.

[5] P. Jia, “Update on the BeiDou satellite navigation system,” in Proc. Int. Comm. Glob. Navig. Satellite Syst. (ICG), Bengaluru, India, Dec. 2019.

[6] S. Kogure, “Status update on the Quasi-Zenith satellite system (QZSS),” in Proc. Int. Comm. Glob. Navig. Satellite Syst. (ICG), Bengaluru, India, Dec. 2019.

[7] R. Ramasubramanian, “Navigation with indian constellation--NavIC status,” in Proc. Int. Comm. Glob. Navig. Satellite Syst. (ICG), Bengaluru, India, Dec. 2019.

[8] https://ko.wikipedia.org/wiki/대한항공_007편_격추_사건

[9] https://ko.wikipedia.org/wiki/GPS

[10] R. Colburn, “Global positioning system status and modernization,” ION GNSS+, Virtual Conf., Sept. 2020, pp. 21-25.

[11] https://www.kari.re.kr/cop/bbs/BBSMSTR_000000000151/selectBoardArticle.do?nttId=3085&pageIndex=14&mno=sitemap_02&searchCnd=&searchWrd=

[12] S. Karutin, “The status of GLONASS system,” ION GNSS+, Virtual Conf., Sept. 2020, pp. 21-25.

[13] A. Wong, “U.s space-based positioning, navigation, and timing program, policy and international cooperation,” in Proc. UN/China Regional Space-based solution for Disaster Management and Emergency Response, Shenzhen, China, Dec. 2017, pp. 3-5.

[14] https://www.mofat.go.kr › www › brd › down.

[15] https://en.wikipedia.org/wiki/BeiDou.

[16] J. Shen, “Updated on the BeiDou navigation satellite system (BDS),” ION GNSS+, Virtual Conf., Sept. 2020, pp. 21 -25.

[17] S. Kogure, “Latest Status of QZSS,” in Proc. ION GNSS+, Virtual Conf., Sept. 2020, pp. 21 -25.

[18] P. Majithiya, “Enhancements in upcoming NavIC satellites,” Int. Comm. Glob. Navig. Satellite Syst. (ICG-14), Bengaluru, Dec. 2019.