

## BDS의 현황 및 분석

정인애<sup>1</sup>, 정인하<sup>1</sup>, 이상정<sup>2</sup>, 김효원<sup>2</sup>, 황동환<sup>2†</sup>

## Status and Analysis of BDS

Inae Jung<sup>1</sup>, Inha Jung<sup>1</sup>, Sang Jeong Lee<sup>2</sup>, Hyowon Kim<sup>2</sup>, Dong-Hwan Hwang<sup>2†</sup>

<sup>1</sup>Korea Aerospace Research Institute, Daejeon 34133, Korea

<sup>2</sup>Department of Electronics Engineering, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea

## ABSTRACT

Global Navigation Satellite Systems (GNSS) provide worldwide positioning services, while Regional Navigation Satellite Systems (RNSS) offer services for specific areas. Korea has been developing its own RNSS called the Korean Positioning System (KPS), which includes a Wide Area Differential-RNSS (WAD-RNSS) concept that transmits both navigation and correction signals simultaneously. In satellite navigation, Signal-In-Space (SIS) User Range Error (URE) represents errors in navigation signals, while User Range Accuracy (URA) provides a conservative estimate of the standard deviation of the SIS URE. The navigation signals are transmitted in either Legacy Navigation (LNAV) or Civil Navigation (CNAV) formats, with CNAV offering advantages including improved flexibility, shorter update intervals, and separate error component representation. Therefore, CNAV achieves smaller UREs and provides a more sophisticated URA in a format different from LNAV. This paper proposes a CNAV URA calculation model for the Korean WAD-RNSS including mathematical expressions for both Elevation-Dependent (ED) and Non-Elevation-Dependent (NED) URA parameters specifically designed for WAD-RNSS satellite orbital characteristics. Simulation results show that the proposed CNAV URA conservatively bounds the Worst User Location (WUL) URE within the service area. Furthermore, our analysis shows that the proposed CNAV URA can be reduced compared to the LNAV URA without compromising conservatism. The proposed method can contribute to the development of modernized navigation messages for WAD-RNSS.

**Keywords:** KPS, BDS, service, research trend

**주요어:** 케이피에스, 비디에스, 서비스, 연구 동향

## 1. 서론

1995년 미국 Global Positioning System (GPS)의 Full Operational Capability (FOC) 이후 본격적으로 위성 항법에 관한 연구가 활발히 수행되고 있다. 러시아는 2011년 FOC 이후 GLONASS 위성 항법 시스템을 운용하고 있으며, 중국은 2020년 FOC 이후 BeiDou navigation System (BDS) 위성 항법 시스템을 운용하고 있다. 유럽의 위성 항법 시스템인 Galileo는 2016년 Initial Operational Capability (IOC) 이후 FOC를 목표로 시스템을 계속 구축하고 있다.

이러한 전 지구적인 위성 항법 시스템과는 달리 지역 위성 항법 시스템으로 동아시아 지역에서 위성 항법 서비스를 제공하는 일본의 Quasi-Zenith Satellite System (QZSS)와 인도와 주변 지역의 위성 항법 서비스를 제공하는 Navigation Indian Constellation (NavIC)가 운용되고 있다.

우리나라는 2035년 FOC를 목표로 한반도를 중심으로 동아시아 지역에서 위성 항법 서비스를 제공하는 Korean Positioning System (KPS)을 구축하고 있으며, L1, L2, L5, L6 그리고 S 대역의 항법 신호를 전송할 예정이다. 이에 더불어 전 지구적인 위성 항법 시스템인 BDS와 지역 위성 항법 시스템인 KPS를 동시에 활용

Received Oct 16, 2025 Revised Nov 26, 2025 Accepted Dec 06, 2025

<sup>†</sup>Corresponding Author E-mail: dhhwang@cnu.ac.kr



Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.



Fig. 1. BDS satellites and orbits by development stage (Lu 2018).

Table 1. History of the BDS (Lu 2018).

Year	Events
1994	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Development start of the regional satellite navigation system (BDS-1) for test</li> <li>• Deployment design of 3 geostationary orbit (GEO) satellites</li> </ul>
2000~2010	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Operation of BDS-1 (IOC declaration in 2000, FOC declaration in 2003)</li> <li>• Launch of total 4 GEO satellites (including 1 backup) from 2000 to 2007</li> <li>• Military services (positioning, timing and messaging) are provided within Chinese Territory from 2003</li> </ul>
2004	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Development start of the regional satellite navigation system (BDS-2)</li> <li>• Deployment design of 5 GEO satellites, 5 inclined geosynchronous orbit (IGSO) satellites, and 5 medium earth orbit (MEO) satellites</li> </ul>
2007~2012	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Operation of BDS-2 (IOC declaration in 2010, FOC declaration in 2012)</li> <li>• Launch of 5 GEO, 5 IGSO, and 5 MEO satellites</li> <li>• Services are provided in the Asia-Pacific region</li> </ul>
2009	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Development start of the global satellite navigation system (BDS-3)</li> <li>• Deployment design of 24 MEO, 3 GEO, and 3 IGSO satellites (later changed to 27 MEO, 3 GEO, and 5 IGSO satellites)</li> </ul>
2015~2020	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Launch of 27 MEO, 3 GEO, and 5 IGSO satellites (including 3 MEO and 2 IGSO satellites for verification)</li> </ul>
2018	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Construction completion of the main BDS-3 system and IOC declaration</li> </ul>
2020	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Deployment completion of 35 BDS-3 satellites</li> <li>- Declaration of system construction completion</li> </ul>
2024	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Launch of 2 additional BDS-3 satellites</li> <li>- Developing an integrated augmentation system of BDS with low earth orbit (LEO) satellites and conducting high-precision positioning correction experiments for GNSS and LEO</li> </ul>

할 경우 고품질의 위성 항법 서비스를 제공할 수 있을 것으로 예상할 수 있다. 이에 보다 효율적으로 KPS와 BDS를 동시에 활용하기 위하여 위성 항법에 관하여 한국과 중국의 공동협력을 수행하고 양국의 대학 간 공동연구 및 기술 교류 협력 기반을 조성할 필요가 있다.

이 논문에서는 한국과 중국 양국의 위성 항법에 관한 기술 교류 협력 기반을 조성하기 위한 기초 자료로서 현재까지 개발된 BDS의 현황을 정리하고 BDS에 관한 중국 대학의 연구 동향을 파악하고자 한다.

먼저, 2장에서 BDS의 개발 현황과 개발 추진 체계를 소개하고, 3장에서 BDS 서비스, 성능 및 향후 개발 방향에 대하여 서술한다. 4장에서는 중국 대학의 BDS에 대한 연구 현황을 정리한다. 그리고, 5장은 이 논문의 결론이다.

## 2. BDS 개발 현황 및 개발 추진 체계

### 2.1 BDS의 개요

중국은 기존 위성 항법 신호의 품질을 높이고, 자국 내 맞춤 서비스를 제공하기 위하여 자체 위성 항법 시스템인 BDS를 구축하였다. BDS는 총 3단계 전략으로 추진되었는데, 1단계 BDS-1과 2

단계 BDS-2는 중국 내의 서비스를 위한 지역 위성 항법 시스템이며, 3단계 BDS-3는 전 지구 위성 항법 시스템이다 (Ko & Choi 2015).

1994년도에 1단계 BDS-1의 개발에 착수하고, 2003년도에 개발을 완료한 후, 중국내 군용 서비스를 시작하였다 (China Satellite Navigation Office 2018a, Lu 2018). 2004년도에 2단계로 BDS-2의 개발에 착수하고, 2012년에 개발을 완료한 후 아시아/태평양 지역에서 서비스를 제공하였다 (China Satellite Navigation Office 2018a, Lu 2018). BDS-3의 개발은 최종 2009년도에 착수하여 2020년도에 구축을 완료하였다 (China Satellite Navigation Office 2018a, Lu 2018). 2024년 11월 기준으로 15개의 BDS-2위성과 30개의 BDS-3 위성, 모두 45개의 위성이 궤도 상에서 동작하고 있다 (Han et al. 2023).

2019년을 기준으로 BDS의 지상시스템(ground segment)으로 Master Control Station (MCS) 1개소, Monitor Station (MS) 29개소, Time Synchronization and Upload Station (TS/US) 2개소를 운영하고 있다 (Yang et al. 2017, China Satellite Navigation Office 2018a).

BDS는 교통, 전력, 기상, 어업, 측량, 광산, 치안, 농업, 임업, 국토, 수리, 금융, 배관망 등 여러 산업 분야에서 광범위하게 활용되고 있으며, 중국 이외에 모잠비크, 부르키나파소, 사우디아라비아, 타지키스탄, 키르기스스탄, 우즈베키스탄에서도 활용되고 있다.

**Table 2.** BDS ground system (Yang et al. 2017).

Component	Function
Master control station	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Status monitoring and control of the BDS satellites and navigation message generation</li> <li>• Satellite precise orbit tracking, status monitoring, and anomaly detection</li> <li>• Navigation message generation and transmit to uplink antennas</li> </ul>
Monitor station	<ul style="list-style-type: none"> <li>- BDS satellite observation</li> <li>• Satellite tracking and collection of navigation signals and data</li> <li>• Provide the collected data with the master control station</li> <li>• (Type-A) Monitoring satellite orbit and ionospheric delay</li> <li>• (Type-B) Augmentation service and integrity service</li> </ul>
Time synchronization/ upload antenna	- BDS system timing management and satellite control, upload navigation message

## 2.2 BDS 개발 현황

BDS의 주요 연혁은 Table 1에 정리하였으며, Fig. 1에 단계별로 위성과 궤도를 정리하였다 (Lu 2018). BDS는 총 3단계 개발 전략에 따라, 지역 위성 항법 시스템인 BDS-1와 BDS-2의 개발을 거쳐 전 지구 위성 항법 시스템인 BDS-3를 완성하였다. 2020년 6월 BDS-3 위성 35기 배치 완료 후, 7월 시스템 구축 완료를 선언하였다.

1996년, 제 3차 대만 해협 위기 시 훈련 중 미사일 2기가 표적 타격에 실패하였고, 인민해방군은 실패 사유를 미국의 GPS 서비스 제공 중단으로 추정하였다. 2000년에는 시험용 위성 Beidou-1A (동경 80도)와 Beidou-1B (동경 140도), 2003년에는 시험용 위성 Beidou-1C (동경 110도), 2007년에는 시험용 위성 Beidou-1D (백업용)를 발사하였다.

BDS2는 2006년에 착수를 공식 발표하였으며, 2007년에 위성을 발사하기 시작하였다 (China Satellite Navigation Office 2018a). 2007년에는 MEO 위성 1기, 2009년에는 GEO 위성 1기, 2010년에는 GEO 위성 3기와 IGSO 위성 2기, 2011년에는 IGSO 위성 3기, 2012년에는 MEO 위성 4기, GEO 위성 2기를 발사하였다. 2012년에는 위성 16기로 위성군을 완성하고 서비스를 개시하였으며, 2016년에는 서비스 성능 유지를 목적으로 백업용 위성을 발사하였다. 이후에 2016년에 GEO 위성 1기와 IGSO 위성 1기, 2018년에 IGSO 위성 1기, 2019년에는 GEO 위성 1기를 발사하였다.

BDS3는 2015년 시험용 위성을 발사하면서 개발이 시작되었다 (Deutsche Welle 2020, GPS World 2024a). 2015년에는 MEO 위성 2기, IGSO 위성 2기, 2016년에는 MEO 위성 1기, 2017년에는 서비스용 위성과 MEO 위성 2기, 2018년에는 MEO 위성 16기, GEO 위성 1기, 2019년에는 MEO 위성 6기, IGSO 위성 3기, 2020년에는 GEO 위성 2기를 발사하였다. 2018년에는 초기운용 서비스를 시작하였으며, 2020년에 FOC를 선언하였다. 2020년 9월에는 위성 30기 (MEO 24기, GEO 3기, IGSO 3기) 정상 운용 및 BDS-3 검증용 위성 5기 (MEO 3기, IGSO 2기)가 임무 종료되었음을 확인하였다. 2023년 10월 기준으로 BDS-3 위성 31기 (네트워크 위성 30기, 백업용 위성 1기)가 운용되었으며, 2024년에 BDS 위성 2기를 발사하면서 2024년 6월 기준으로 BDS-3 위성 33기 (네트워크 위성 30기, 궤도 시험 중 3기) 운용되었다. 2024년에는 BDS와 저궤도 위성 (low earth orbit, LEO) 위성 항법 보강 시스템의 통합 개발 및 실험적 검증을 추진하고 있으며, 구축 중인 LEO 위성 군 내의 여러 시험 위성을 활용하여 GNSS와 LEO 고정밀 측위 보정 실험을 진행하고 있다.

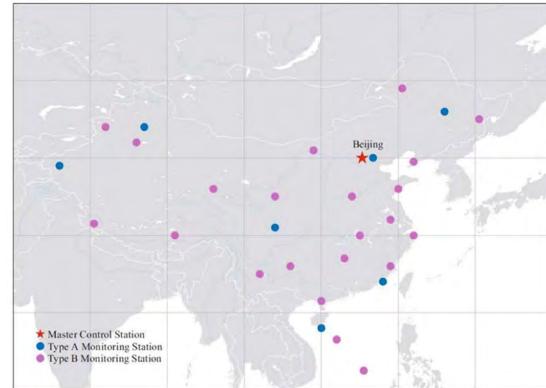
**Fig. 2.** BDS ground system deployment (Lu 2018).

Table 2에 정리한 BDS-3 지상시스템은 BDS-2의 지상시스템 (ground segment)을 확장하여 개발하였다 (Yang et al. 2017). 2019년 기준 Master Control Station 1개소, Monitor Station 29 개소 (Type-A 7개소, Type-B 22개소), Time Synchronization/ Upload Station 2개소를 배치하였다. Fig. 2는 BDS의 지상 시스템의 배치를 나타낸다 (Lu 2018).

2020년 이후에 BDS-3가 글로벌 서비스를 시작하였는데 이때 도입한 B2b 신호를 이용한 Precise Point Positioning (PPP) 서비스는 중국에만 제공되며 Galileo HAS나 QZSS CLAS 서비스 대비 수렴 시간이 길고, 연속적인 고 정밀 위치 서비스를 제공한다 (Gao et al. 2024, GPS World 2024b). 그리고, 공익 지도 제작, 자원 조사, 지능형 교통, 자율 주행, 정밀 농업 등 여러 가지 분야에 정확한 정보를 지원한다.

## 2.3 BDS 개발 추진 체계

BDS는 Fig. 3에 나타낸 중국 정부 주도의 체계 아래에서 개발되었다 (Jee 2017). 전국인민대표대회는 최상위 의사 결정 기관이며, 전국인민대표대회 산하에 국무원과 중앙군사위원회가 있다. 국무원 아래의 여러 가지 부처 중 공업정보화부 (Ministry of Industry and Information Technology, MIIT)에서 BDS 개발을 담당한다. 공업정보화부 산하 국방과학기공업국 (State Administration for Science, Technology, and Industry for National Defence)과 중국국가항천국 (China National Space Administration, CNSA)이 우주 관련 개발 계획을 수립한다. BDS 개발 관련 중국 정부 부처 및 역할은 Table 3에 정리하였다 (Ahn

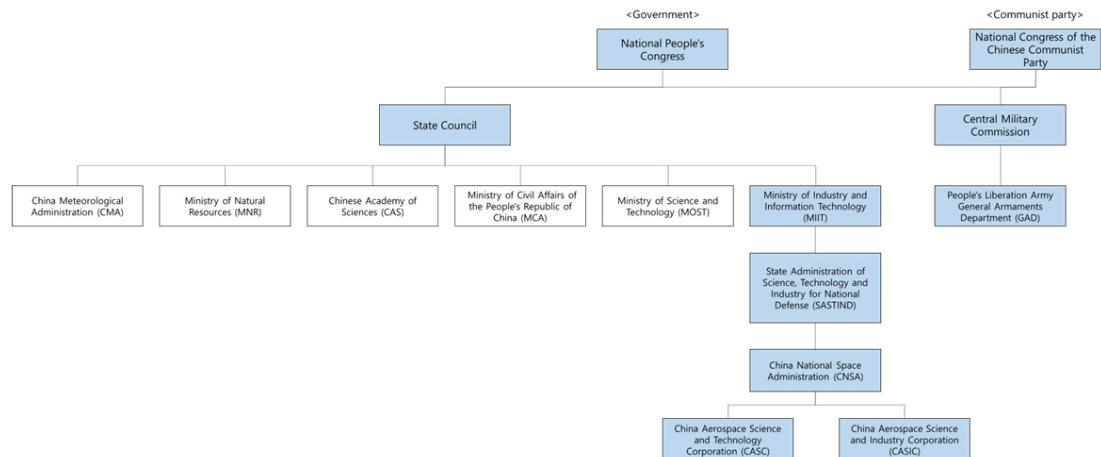


Fig. 3. Decision-making structure of the Chinese government for BDS development (Jee 2017).

Table 3. Chinese government ministries and roles related with BDS development (Ahn et al. 2021).

Ministry	Role
Ministry of Industry and Information Technology (MIIT)	- Ministry under the state council similar to South Korea's ministry of science and ICT, management of broadcasting, wireless communication, and internet industry - Overall government agency for BDS
China National Space Administration (CNSA)	- Responsible for civil space activities, policies, regulations, and management by the authority from the defense science and technology industry bureau - Government's operational agency on BDS

et al. 2021). 중국국가항천국은 국방과기공업국으로 부터 권한을 일부 위임을 받아 민간 우주활동, 정책, 규제와 관리를 담당한다.

중국은 BDS의 운영을 위하여 2개의 협의체와 3개의 조직을 두었다. 중국위성항법사무소 (The China Satellite Navigation Office, CSNO)는 BDS와 중국 Positioning, Navigation and Timing (PNT) 시스템 관련 추진 전략과 정책의 의사결정을 수행하는 최상위 협의체이며, 그 동안 매년 China Satellite Navigation Conference (CSNC)를 개최하여 중국내 동향을 파악하고, 국제 협력을 추진하였다. 그런데 2025년 이후에는 CSNC를 더 이상 개최하지 않으며, 대신 매년 International Summit on Large-Scale BDS Applications를 개최할 예정이다.

The National Technical Committee on BeiDou Satellite Navigation of the Standardization Administration of China는 the Standardization Administration of the People's Republic of China와 The Equipment Development Department of the Central Military Commission의 협력 하에 2014년에 설립되었으며, BDS 운영, 관리, 구축, 적용 및 서비스의 표준화를 전담하였다. CSNO는 BDS 개발을 위한 범 부처 관리기구로서 주로 BDS 구축, 어플리케이션 개발 및 산업화 등을 담당하였으며, 산하에 관련 전문가 위원회와 전문가 연구팀을 운영하였다.

현재 BDS의 운영은 National Development and Reform Commission (NRDC) 산하의 조직이 담당하고 있으며, CSNO는 BDS 개발 구축이 주 임무이므로 앞으로 개발 예정인 BDS4가 공식적으로 시작되기 전까지는 BDS와 관련하여 특별한 역할은 없을 것으로 보인다.

The Central Station for Satellite Navigation (CSSN)은 BDS의 관리 및 운영을 위해 1999년에 설립되었다. CSSN의 기본 역할

은 BDS의 연구, 시연, 개발, 운용 및 적용 보증이며, BDS의 지상국 제어부문의 운용에 초점을 맞추고 있다. The China National Administration of GNSS and Applications (CNAGA)는 BDS 서비스의 상업화 및 개발을 위한 기능적 조직이다. CNAGA는 안정적인 BDS 서비스 제공을 위한 운용과 유지 관리, 안전하고 고 품질의 서비스 제공을 위한 개발업체의 관리와 감독, BDS 활용의 활성화를 위한 분야의 발굴 및 주요 인프라 성능 향상, BDS 관련 사업간 상호 협력 강화라는 네 가지를 목표를 설정하여 BDS의 발전을 시도하고 있다.

### 3. BDS 서비스, 성능 및 향후 개발 방향

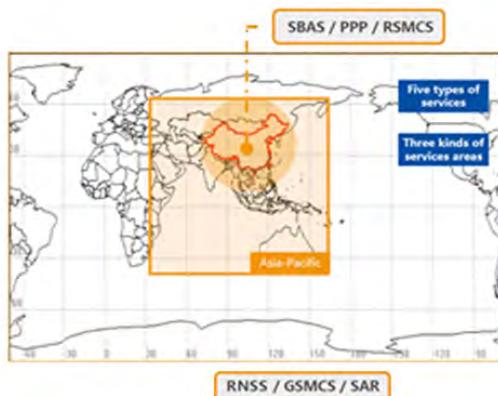
#### 3.1 BDS 서비스

BDS는 사용자에게 7가지의 서비스를 제공하는데, 전 지구를 대상으로 PNT 서비스 (항법서비스, RNSS, Radio Navigation Satellite System Service), 전 지구 단문 통신서비스 (Global Short-Message Communication Service, GSMS), 탐색구조 서비스 (International Search-And-Rescue (SAR) Service)의 3가지를 제공하며, 아시아-태평양 지역을 대상으로 위성기반 보강 서비스 (BeiDou Satellite-Based Augmentation Service, BDSBAS), 지상 기반 보강 서비스 (BeiDou Ground-Based Augmentation Service, BDGBAS), 정밀 측위 서비스 (PPP Service), 지역 단문 통신 서비스 (Regional Short-Message Communication Service, RSMCS)의 4가지를 제공한다 (GPS World 2021, GPS World 2022a).

**Table 4** BDS-3 service areas, signals, and satellite types (China Satellite Navigation Office 2019a, 2021, Lu 2024).

Service	Area	Signal	Satellite
RNSS	Global	Downlink	B1I, B3I
		Downlink	B1C, B2a, B2b
SBAS	China and surrounding area*	Downlink	BDSBAS-B1C, BDSBAS-B2a
		Uplink	L band
SMC	China and surrounding area*	Downlink	S band
		Uplink	L band
Global	Global	Downlink	GSMC-B2b
		Uplink	UHF band
SAR	Global	Downlink	SAR-B2b
PPP	China and surrounding area*	Downlink	PPP-B2b
GBAS	China and surrounding area*	2G, 3G, 4G, 5G	Mobile communication or internet

\*Longitude 75°E to 135°E, Latitude 10°N to 55°N



**Fig. 4.** BDS coverage by service type (China Satellite Navigation Office 2019a, 2021, Lu 2024).



**Fig. 5.** Concept of BDS RNSS (China Satellite Navigation Office 2019a, 2021, Lu 2024).

Table 4에 BDS 서비스별 영역, 신호, 위성을 정리하였으며, Figs. 4와 5에 BDS의 서비스별 제공 영역과 BDS RNSS 개념을 보였다 (China Satellite Navigation Office 2019a, China Satellite Navigation Office 2021, Lu 2024). RNSS는 일반인에게 공개된 B1I, B1C, B2a, B2b, B3I 신호를 통한 PNT 서비스인 일반(공개) 서비스 (Open Basic Navigation Service)와 정부에 의해 승인된 사용자에 한해 이용 가능한 B1A, B3Q, B3A 신호를 통한 PNT 서비스인 군사용 서비스 (Authorized Basic Navigation Service)를 제공한다. Table 5에 BDS RNSS 성능 규격을 정리하였고, Table 6에 BDS RNSS 신호를 정리하였다 (China Satellite Navigation Office 2017a, 2017b, 2018b, 2019b, 2020a, 2021, International Telecommunication Union 2024). Table 7에 BDS RNSS 신호의 측위 정확도 규격을 정리하였고, Tables 8과 9에 BDS RNSS 신호의 속도 측정값 정확도 규격과 시각 정확도 규격을 정리하였다 (China Satellite Navigation Office 2021). Tables 10과 11에 BDS RNSS 신호의 PDOP 이용 가능성 규격과 측위 서비스 이용 가능성 규격을 정리하였다 (China Satellite Navigation Office 2021).

Fig. 6에 전 지구 단문 통신서비스인 GSMC 개념을 보였다 (Yang et al. 2019). 전 지구를 대상으로 단문의 메시지 전송 서비스를 위하여 L 대역의 상향링크를 이용하며, 하향링크는 중 궤도 위성 14기를 통하여 S 대역과 B2b 대역을 이용한다. 광역 서비스인 GSMCS는 14기의 MEO와 Inter-Satellite Link (ISL) 링크

**Table 5.** BDS RNSS performance standard (China Satellite Navigation Office 2017a, 2017b, 2018b, 2019b, 2020a, 2021, International Telecommunication Union 2024).

	Item	Standard
Accuracy	Positioning accuracy	< 10 m
	Timing accuracy	< 20 ns
	Velocity accuracy	< 0.2 m/s
Availability		≥ 0.99

를 이용하여 단문 메시지 통신을 제공한다. 2021년 9월에 향상된 SMCS를 선보인 결과를 볼 수 있다 (Inside GNSS 2021). Tables 12와 13에 BDS GSMC의 성능 규격과 BDS GSMC의 서비스 신호를 정리하였다 (Yang et al. 2019, China Satellite Navigation Office 2019a, 2021, Chen 2021).

Fig. 7에 SAR Service의 개념을 보였는데, COSPAS SARSAT의 표준에 따라 구조 신호를 수신하고 대응하는 서비스이다 (Yang et al. 2019). BDS SAR 서비스는 중 궤도 위성 6기를 통하여 조난자 위치를 신속히 파악하고 구조하기 위한 정보 전달 서비스로, 상향링크는 UHF 대역을 이용하고 하향링크는 B2b 대역을 이용한다. 이것은 COSPAS SARSAT 표준에 Return Link와 ISL 기능을 추가한 것이다. Fig. 8에 BDS SAR Return Link 서비스의 개념을 보였으며, Fig. 9에 Return Link를 포함한 BDS SAR 서비스의 예를 보였다 (Yang et al. 2019). Table 14에 BDS SAR 서비스 성능

**Table 6** DS RNSS signal standard (China Satellite Navigation Office 2017a, 2017b, 2018b, 2019b, 2020a, 2021, International Telecommunication Union 2024).

Band	Signal	Frequency (MHz)	Data rate (bit/s)	Chip rate (Nchip/s)	Modulation method	Satellite
	B1I	1561.098	MEO/IGSO:50 GSO:500	2.046	BPSK-R(2)	MEO, IGSO, GEO
B1	B1C	1575.42	50	1.023	QMBOC(6,1,4/33)(B1CP) BOC(1,1)(B1CD)	MEO, IGSO
	B1A	1575.42	MEO/IGSO:50 GSO:125	2.046	BOC(14,2)	MEO, IGSO, GEO
B2	B2a	1176.45	aP- no data aD- MEO/ IGSO:100 GSO:250	10.23	BPSK-R(10)	MEO, IGSO, GEO
	B2b	1207.14	500	10.23	BPSK-R(10)	MEO, IGSO, GEO
	B3I	1268.52	MEO/IGSO:50 GSO:500	10.23	BPSK-R(10)	MEO, IGSO, GEO
B3	B3Q	1268.52	500	10.23	BPSK-R(10)	MEO, IGSO, GEO
	B3A	1268.52	50	10.23	QPSK-R(10)	MEO, IGSO, GEO

**Table 7.** BDS RNSS signal positioning accuracy standard (China Satellite Navigation Office 2021).

Service mode	Positioning accuracy standard (95%)	
	Item	Range (m)
Single or dual frequency	Horizontal average over entire area	≤ 9
	Vertical average over entire area	≤ 10
Single or dual frequency	Horizontal error at lowest performance point	≤ 15
	Vertical error at lowest performance point	≤ 22

**Table 8.** BDS RNSS signal velocity measurement accuracy standard (China Satellite Navigation Office 2021).

Service mode	Velocity accuracy standard (95%)	
	Item	Range
Single or dual frequency	Average of all regions	≤ 0.2 m/s

**Table 9.** Timing accuracy of BDS RNSS signal standard (China Satellite Navigation Office 2021).

Service mode	Timing accuracy standard (95%)	
	Item	Range
Single or dual frequency	Average of all regions	≤ 20 ns

**Table 10.** BDS RNSS PDOP availability standard (China Satellite Navigation Office 2021).

Service mode	PDOP <sup>*</sup> availability standard (95%)	
	Criterion	Range (%)
Single or dual frequency	Average of all regions	≥ 98
	Minimum performance point	≥ 88

\*PDOP: Position Dilution of Precision

**Table 11.** BDS RNSS positioning service availability standard (China Satellite Navigation Office 2021).

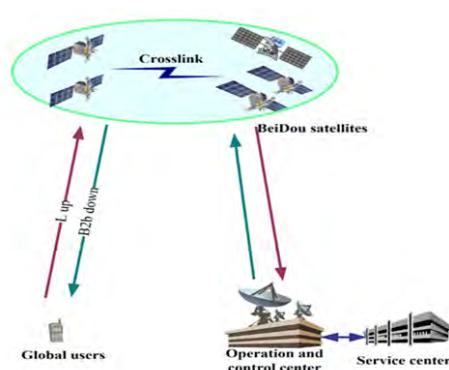
Service mode	Positioning service availability standard (95%)	
	Item	Range (%)
Single or dual frequency	Average of all regions	≥ 99
	Minimum performance point	≥ 90

규격을 정리하였으며, Table 15에 SAR 서비스의 신호를 정리하였다 (Yang et al. 2019, China Satellite Navigation Office 2019a, 2021).

Fig. 10에 BDS의 BDSBAS의 운용 개념을 보였다 (Li et al.

**Table 12.** GSMCS performance standard (Yang et al. 2019, China Satellite Navigation Office 2019a, 2021, Chen 2021).

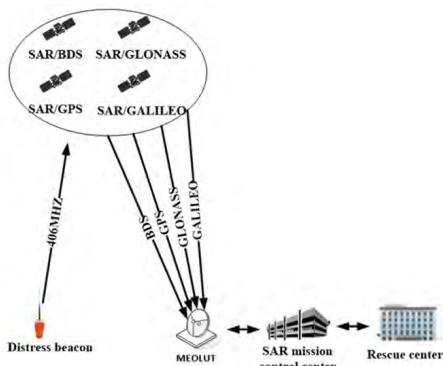
Item	Performance standard	
Success rate	≥ 0.95	
Response time	1 minute	
Capacity	uplink downlink	300,000 time / hour 200,000 time / hour
Maximum message length	560 bits (40 Chinese characters)	

**Fig. 6.** Concept of GSMCS (Yang et al. 2019).

2020). 국제민간항공기구 (ICAO)의 표준을 따라 GEO 위성 3기를 이용하여 오차 보정 정도와 무결성 (신뢰성) 정보를 제공하는 서비스이다. WAAS, EGNOS, GAGAN, MSAS와 같은 기존의 SBAS처럼 GPS에 대한 보정정보를 제공할 뿐만 아니라 BDS에 대한 보정 정보도 제공한다. Fig. 11에 BDSBAS의 서비스 제공 영역을 보였다 (China Satellite Navigation Office 2019a). BDSBAS 성능 규격은 Table 16에 보인 CAT-1 성능 규격을 만족한다. Table 17에 BDSBAS 신호 보강 대상 및 정확도 규격을 보였고, Table 18에 BDSBAS 안정성 및 신뢰성 규격을 보였다 (Lu 2024). BDSBAS를 위하여 GPS 및 BDS 신호를 감시국 (monitoring station)에서 수신하고, 중앙처리국 (master station)에서 처리한 보정정보를 GEO 위성을 통해 B1C와 B2a 신호로 제공한다. BDS-2 신호(BII, B3I)로도 제공한다고 알려져 있지만, 구체적인 정보는 공개하지 않고 있다. Table 19에 BDSBAS 신호를 정리하였다 (Yang et al. 2019, China Satellite Navigation Office 2020b).

**Table 13.** GSMCS service signal (Yang et al. 2019, China Satellite Navigation Office 2019a, 2021, Chen 2021).

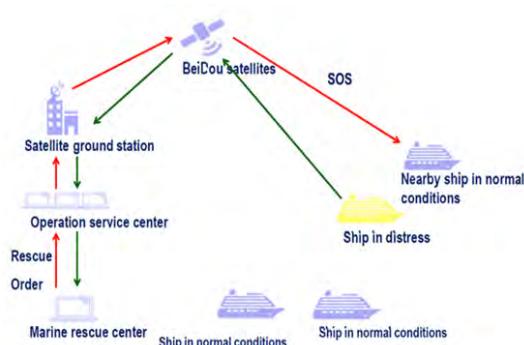
Frequency (MHz)	Signal name	Data rate	Modulation method	Authorization	Satellite
1610.0-1626.5	Uplink	-	-	-	14 MEO
1207.14	B2b	-	-	-	14 MEO



**Fig. 7.** Concept of SAR service (Yang et al. 2019).



**Fig. 8.** Concept of BDS SAR return link service (Yang et al. 2019).



**Fig. 9.** Example of SAR service including return link (Yang et al. 2019).

지상 기반 보강 서비스인 BDGBAS는 이동 통신을 활용하여 실시간 cm 수준과 후처리 mm 수준의 고 정밀 측위를 제공하는데, Table 20에 BDGBAS의 성능 규격을 정리하였다 (China Satellite Navigation Office 2021).

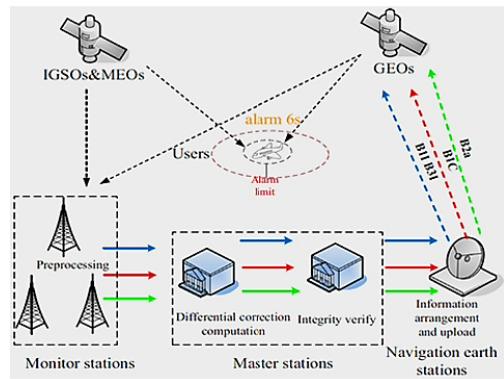
Fig. 12에 정밀 측위 서비스인 PPP의 개념을 보였는데, 3기의 GEO 위성을 이용하여 B2b 대역으로 고 정밀 측위에 필요한 위

**Table 14.** SAR service performance standard (Yang et al. 2019, China Satellite Navigation Office 2019a, 2021).

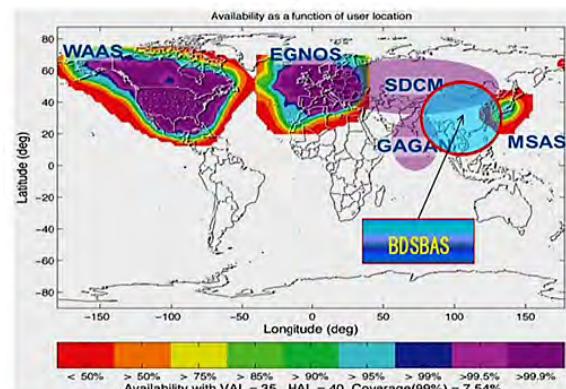
Parameter	Performance standard
Detection probability	$\geq 99\%$
Positioning accuracy	$\leq 5 \text{ km}$
Availability	$\geq 99\%$
Return link delay	$\leq 2 \text{ min}$
Return link success rate	$\geq 95\%$
Bit error rate	$\leq 5 \times 10^{-5}$

**Table 15.** SAR service signal (Yang et al. 2019, China Satellite Navigation Office 2019a, 2021).

Item	Frequency (MHz)	Signal name	Data rate	Modulation type	Authorization	Satellite
SAR	406	Uplink	-	-	-	6 MEO
	1544.21	Downlink	-	-	-	
Return link	1207.14	B2b	-	-	-	3IGSO+ 24MEO



**Fig. 10.** BDSBAS operational concept (Li et al. 2020).



**Fig. 11.** BDSBAS coverage (China Satellite Navigation Office 2019a).

성 궤도, 시계 오차 등의 정밀한 보정 정보를 제공하며, 수 ~ 수십 cm 수준의 고정밀의 항법 서비스가 가능하지만, 30분 정도의 시간이 필요하다. Table 21에 BDS PPP 서비스의 규격을 정리하였고, Table 22에 BDS PPP 서비스 신호를 정리하였으며, Table 23에 BDS PPP 서비스의 성능 규격을 정리하였다 (Yang et al. 2019, China Satellite Navigation Office 2019a, 2020c, 2021). Table 24

**Table 16.** CAT-I performance standard (China Satellite Navigation Office 2019a).

Item	Performance standard
Accuracy	Horizontal: 16 m, Vertical: 4 m
Integrity	$1-2 \times 10^{-7}$ per hour (approach)
Continuity	$1-8 \times 10^{-6}$ per hour (within 15 s)
Availability	0.99

**Table 17.** BDSBAS augmentation target and accuracy standard (Lu 2024).

Item	Augmentation objects	Frequency	Accuracy
Single frequency	GPS L1C/A	BDS GEO B1C	Horizontal 20 m Vertical 20 m
Dual frequency	BDS B1C/B2a GPS L1C/A/L5	BDS GEO B2a	Horizontal 16 m Vertical 4 m

**Table 18.** BDSBAS integrity and reliability standard (Lu 2024).

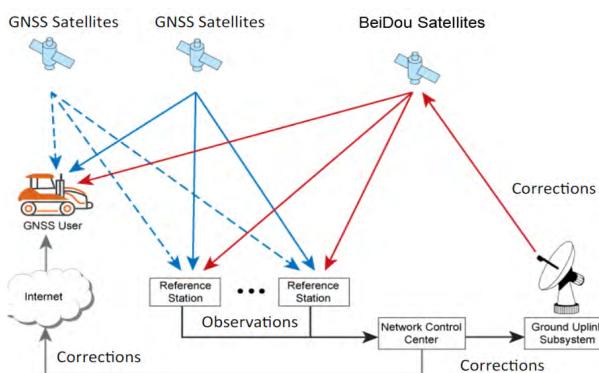
Item	Time-to alert	Integrity risk	Alert limit	Continuity	Availability
Single frequency	10 s	$2 \times 10^{-7}/150$ s	Horizontal 40 m Vertical 50 m	$1-8 \times 10^{-6}/15$ s	$\geq 99\%$
Dual frequency	6 s		Horizontal 40 m Vertical 10 m		$\geq 99.9\%$

**Table 19.** BDSBAS signal (Yang et al. 2019, China Satellite Navigation Office 2020b).

Item	Frequency (MHz)	Signal name	Data rate	Modulation type	Authorization	Satellite
-	1575.42	SBAS- B1C	250   500	BPSK (1)	Open	GEO
-	1176.45	SBAS- B2a	250	QPSK (10)	Open	GEO

**Table 20.** BDGBAS service performance standard (China Satellite Navigation Office 2021).

Service type	Service accuracy	Performance accuracy	Performance standard
Single frequency pseudorange augmentation service	Real-time meter-level	Horizontal position accuracy (95%) Vertical position accuracy (95%)	$\leq 1.2$ m $\leq 2.5$ m
Single carrier phase augmentation service	Real-time meter-level	Horizontal position accuracy (95%) Vertical position accuracy (95%) Convergence time	$\leq 0.8$ m $\leq 1.6$ m $\leq 15$ min
Dual frequency carrier phase augmentation service	Real-time decimeter-level	Horizontal position accuracy (95%) Vertical position accuracy (95%) Convergence time	$\leq 0.3$ m $\leq 0.6$ m $\leq 30$ min
Dual or multi frequency carrier phase augmentation service	Real-time centimeter-level	Horizontal position accuracy (RMS) Vertical position accuracy (RMS)	$\leq 4$ cm $\leq 8$ cm
Relative baseline measurement by post-processing service	Post-processing millimeter-level	Horizontal position accuracy (RMS) Vertical position accuracy (RMS) Convergence time	4 mm 8 mm $\leq 45$ s

**Fig. 12.** Concept of BDS PPP service (Yang et al. 2019, China Satellite Navigation Office 2019a, 2020c, 2021).

에 BDS PPP-AR과 PPP-RTK 서비스의 예상 성능 규격을 정리하였다 (Gao et al. 2024).

RSMCS는 단문의 메시지 전송 서비스로, L 대역의 상향링크를 이용하며, 하향링크는 S 대역을 통하여 정지궤도 위성 3기를

**Table 21.** BDS PPP service standard (Yang et al. 2019, China Satellite Navigation Office 2019a, 2020c, 2021).

Item	Standard
Positioning accuracy	Kinematic Static
Bit rate	Decimeter level Centimeter level 500 bps
Convergence time	20 to 30 minutes

이용한다. Fig. 13에 BDS RSMCS의 운용 개념을 보였으며, Table 25에 성능 규격을 정리하였다 (Yang et al. 2019, China Satellite Navigation Office 2021).

### 3.2 BDS 성능

Fig. 14에서 보인 바와 같이 BDS-2의 항법 성능은 대부분의 사이트에서 수평 5 m 정도인 것을 알 수 있으며, Fig. 15에서 2090년 동안의 무 중단 운용되었음을 확인할 수 있다 (Shen 2019). Table 26에 BDS-3의 신호 별 가용성 및 항법 성능을 정리하였으며, Figs. 16과 17에 BDS-3 B1I/B3I 신호와 BDS B1C/B2a 신호의 가용

**Table 22.** PPP service signal (Yang et al. 2019, China Satellite Navigation Office 2019a, 2020c, 2021).

Frequency (MHz)	Bandwidth (MHz)	Signal name	Data rate	Modulation type	Authoriz. ation	Satellite
1207.14	20.46	PPP-B2b	500	QPSK (10)	Open	GEO

**Table 23.** PPP service performance standard (Yang et al. 2019, China Satellite Navigation Office 2019a, 2020c, 2021).

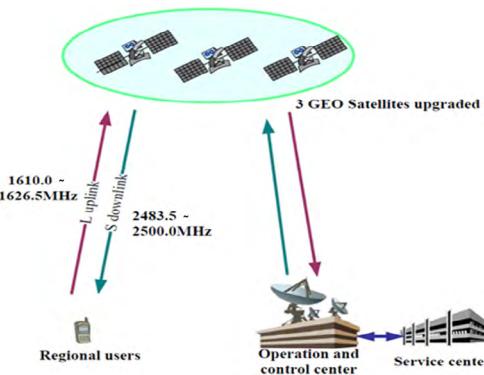
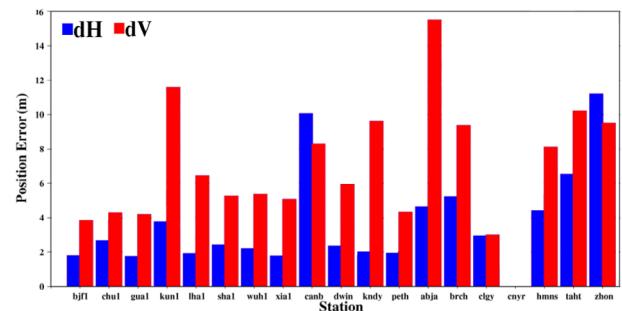
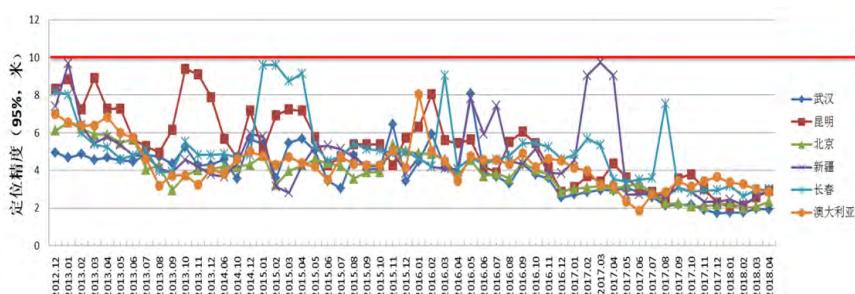
System configuration	Criterion	Performance standard
BDS	Horizontal position accuracy (95%)	≤ 0.3 m
	Vertical position accuracy (95%)	≤ 0.6 m
	Convergence time	≤ 30 min
BDS+GPS	Horizontal position accuracy (95%)	≤ 0.2 m
	Vertical position accuracy (95%)	≤ 0.4 m
	Convergence time	≤ 20 min

**Table 24.** Expected performance standard of PPP-AR/PPP-RTK service (Gao et al. 2024).

Service configuration	Criterion	Expected performance standard
PPP-AR	Horizontal position accuracy (95%)	≤ 10 cm
	Vertical position accuracy (95%)	≤ 20 cm
	Convergence time	10 min
PPP-RTK	Horizontal position accuracy (95%)	≤ 10 cm
	Vertical position accuracy (95%)	≤ 20 cm
	Convergence time	≤ 3 min

**Table 25.** RSMCS performance standard (Yang et al. 2019, China Satellite Navigation Office 2021).

Item	Performance standard	
Success rate	≥ 95%	
Service delay time	Better than 2 seconds on average	
Service frequency	Average	1 time/30 s
Maximum	1 time/s	
Maximum message length	≤ 14,000 bits	

**Fig. 13.** RSMCS operational concept (Yang et al. 2019, China Satellite Navigation Office 2021).**Fig. 14.** Site-specific BDS-2 position error (Shen 2019).**Fig. 15.** Site-specific BDS-2 position error over 2090 days (Shen 2019).

성을 각각 보였다 (Ma 2018, Shen 2019).

GPS가 Receiver autonomous integrity monitoring을 이용하지 않아도 BDS-3보다 우수한 성능을 보이며, NGA 감시국을 이용하면 더욱 우수하다고 알려져 있다 (Renfro et al. 2020). Table 27에 BDS의 서비스별 성능 평가 결과를 정리하였다 (Lu 2024). Fig. 18에 2025년 2월 기준 가시위성 수를 보였고, Fig. 19에 2025년 2월 기준 L1 BDS의 PDOP를 보였다 (Lu 2024).

### 3.3 향후 BDS 개발 방향

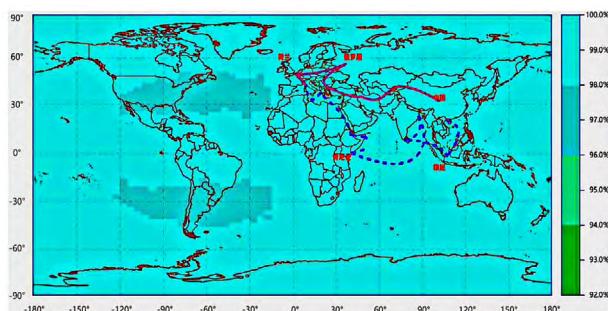
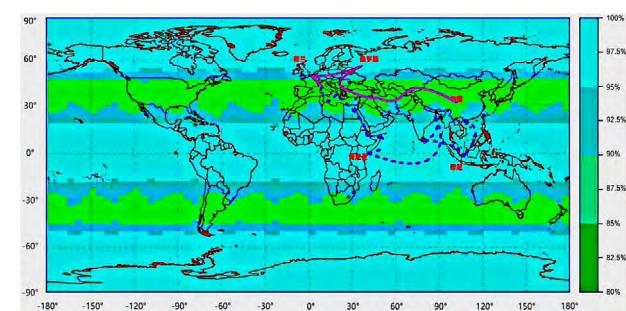
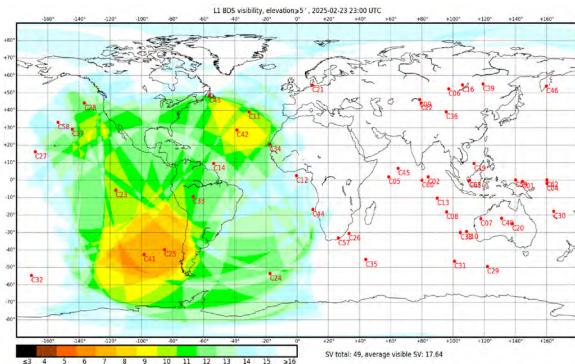
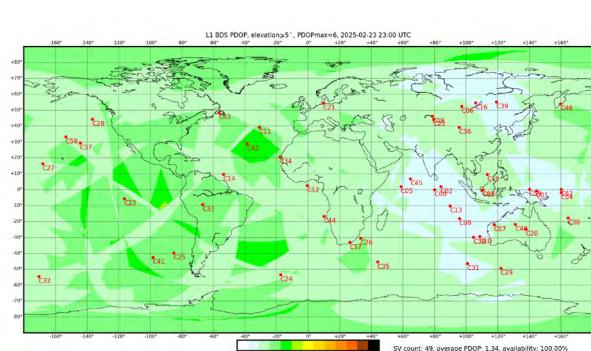
Fig. 20에서 보듯이 BDS는 2020년에 개발을 완성하고, RNSS를 결합한 여러가지 서비스 고도화를 추진하였다 (GPS World 2022b, GPS World 2023). 2035년을 목표로 PNT 시스템과 관련 백업 시스템 개발과 보완을 추진하고 있으며, 실증위성을 활용해 BDS-3의 측위 정밀도와 신호 향상성을 시도하고 있다. 타 GNSS

**Table 26.** BDS-3 signal availability and navigation performance (Ma 2018, Shen 2019).

Navigation performance	B1I / B3I		B1C / B2a	Remark (objective)
	Position	Horizontal: 3.6 m Vertical: 6.6 m (95%)	Horizontal: 2.4 m Vertical: 4.3 m	10 m 10 m
	Velocity	0.05 m/s	0.06 m/s	0.2 m/s
	Timing	9.8 ns (95%)	19.1 ns (95%)	20 ns
Availability		> 99 %	> 87 %	95 %

**Table 27.** BDS service performance evaluation result (As of June 2024) (Lu 2024).

Service types	Item	Performance standard	Performance
GSMC	Time delay	≤ 60 s	16 s
	Success rate	≥ 95%	99%
PPP	BDS	Position accuracy Vertical ≤ 0.3 m Horizontal ≤ 0.6 m	Vertical 0.17 m Horizontal 0.23 m
		Convergence time	≤ 30 min 18min better than requirement
	BDS+GPS	Position accuracy Vertical ≤ 0.2 m Horizontal ≤ 0.4 m	Vertical 0.11 m Horizontal 0.21 m
		Convergence time	≤ 20 min 11min better than requirement
SBAS	Single frequency	Position accuracy Horizontal ≤ 16 m Vertical ≤ 20 m	Horizontal 1.29 m Vertical 1.99 m
		Dual frequency	Horizontal 0.77 m Vertical 1.41 m

**Fig. 16.** Availability of BDS-3 B1I / B3I signals (Ma 2018, Shen 2019).**Fig. 17.** Availability of BDS B1C / B2a signals (Ma 2018, Shen 2019).**Fig. 18.** Number of L1 BDS visible satellites (Lu 2024).**Fig. 19.** PDOP distribution of L1 BDS (Lu 2024).

의 정밀도 향상 기술을 적극 도입하여 중국의 기술 발전을 꾀하고 있다. BDS의 안정적인 운영을 보장하기 위한 백업용 위성을 개발하고 있으며, 5G 통신, 인공지능, 빅데이터 기술의 융합을 가속화하여 지능적인 국가 PNT 체계를 2035년까지 구축하고자 한다 (GPS World 2022b, GPS World 2023).

2024년에 제안한 BDS 고 정밀 서비스의 미래 방향은 3가지

이다 (Gao et al. 2024). ISL 기반 글로벌 PPP 서비스, PPP-AR 및 PPP-RTK를 통한 수렴 시간 단축, LEO를 활용한 PPP 서비스이다. ISL 기반 글로벌 PPP를 서비스하면 궤도 및 시계 정확도를 향상시키고, 전 지구의 사용자들에게 고 정밀 위치 서비스를 제공할 수 있다. PPP-AR은 위성 기반 PPP 서비스의 초기 수렴 시간 단축이 가능하며, GEO PPP-B2b 신호를 활용하여 빠른 정밀 위

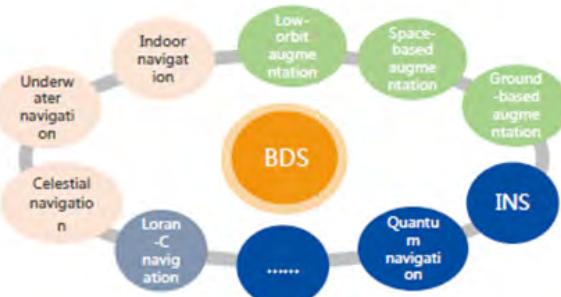


Fig. 20. Future development directions of BDS (GPS World 2022b, GPS World 2023).

Table 28. Research status of Chinese universities to field of BDS.

Field	No. of universities publishing papers	Number of publications	Top 3 publishing university (number of publications)
GNSS applications	35	93	Wuhan University (18) Shandong University (6) Tianjin University of Technology (5) Chinese Academy of Science, Beijing (5) Hohai Wuhan University (18)
GNSS and their augmentations	11	24	Beihang University (6) Wuhan University (4) Chinese Academy of Science, Beijing (3) Shandong University (3)
Satellite orbit determination and precise positioning	21	57	Wuhan University (21) Chinese Academy of Science, Shanghai (6) Chinese Academy of Science, Beijing (4)
Time frequencies and precise timing	22	56	Wuhan University (14) Chinese Academy of Science, Shanghai (5) Nanjing Normal University (4) Beihang University (4) Tongji University (4) Chinese Academy of Science, Wuhan (4) Chinese Academy of Science, Xi'an (4)
System intelligent operation and autonomous navigation	32	65	Wuhan University (17) Nanjing University of Aeronautics and Astronautics (5) China University of Geosciences (3) Southeast University (3) Shanghai Jiao Tong University (3) Harbin Engineering University (3)
GNSS signal technologies	46	156	Wuhan University (45) Hohai University (10) Chinese Academy of Science, Wuhan (9) Shanghai Jiao Tong University (9)
GNSS user terminals	8	9	Tsinghua University (2) China University of Mining and Technology (1) Naval University of Engineering Beijing University of Posts and Telecommunications (1) Civil Aviation University of China (1) National University of Defense Technology (1) Chinese Academy of Sciences, Wuhan (1) Nanjing University of Aeronautics and Astronautics (1)
PNT architecture and new technologies	15	24	Beihang University of Posts and Telecommunications (5) National University of Defense Technology (4) Chinese Academy of Sciences, Wuhan (2) Information Engineering University (2)

치 계산을 지원한다. PPP-RTK은 PPP 방식과 RTK 방식을 결합하여 지역적인 고 정밀 위치 보정을 지원한다. LEO를 활용한 PPP를 서비스하면 지역적인 커버리지 및 긴 수령 시간을 보완하고, LEO 중장 PPP-RTK로 즉각적인 정밀 위치를 결정할 수 있다.

#### 4. 중국 대학의 BDS 연구 현황

중국 대학의 BDS 연구 현황을 파악하기 위하여 Google Scholar, IEEE Explore, SpringerLink 웹 사이트에서 2021년 1월부터 2025년 2월까지의 학술지(journal)를 대상으로 BDS에 관하

여 중국 대학에서 게재한 논문을 검색하였다. 그리고 위성 항법 분야에서 중국의 가장 큰 학술대회인 China Satellite Navigation Conference 중 2024년에 개최된 CSNC 2024에 발표된 논문을 조사하였다. 총 484편의 논문을 검토하였는데 학술지 논문 중 제1저자가 중국 대학 소속인 368편의 논문과 CSNC 2024에 발표된 논문 중 BDS에 관한 것이고 제1저자가 중국 대학 소속인 116편을 검토하였다. BDS 관련 연구 결과를 먼저 대학별로 분류하였으며, 분야 별로 논문을 분류하고, 분야 별로 분류한 논문을 대학 별로 세부 분류하였다.

BDS 관련 논문의 분야는 GNSS Applications, GNSS and Their Augmentations, Satellite Orbit Determination and Precise Positioning, Time Frequencies and Precise Timing, System Intelligent Operation and Autonomous Navigation, GNSS Signal Technologies, GNSS User Terminals, PNT Architecture and New Technologies으로 CSNC에서 분류한 8가지를 따랐다.

Table 28에 BDS 분야별 중국 대학의 논문 발표 현황의 종합적으로 정리하였다. 논문을 발표한 대학의 수, 발표한 논문 수, 제일 많은 논문을 발표한 상위 3개 대학을 확인할 수 있다.

## 5. 결론

이 논문에서는 한국과 중국 양국의 위성 항법에 관한 기술 교류 협력 기반을 조성하기 위한 기초 자료로서 BDS의 현황을 정리하고 BDS에 관한 중국 대학의 연구 동향을 파악하였다. 이 연구의 결과는 KPS와 BDS를 동시에 활용하고 한국과 중국이 기술 교류 협력 기반을 조성하는데 매우 유용한 자료로 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

## ACKNOWLEDGMENTS

This research was supported by funding from Korea government (Korea AeroSpace Administration, KASA) (grant number RS-2022-00165802).

## AUTHOR CONTRIBUTIONS

Conceptualization, Sang Jeong Lee. and Dong-Hwan Hwang; methodology, Inae Jung and Inha Jung; validation, Sang Jeong Lee and Hyowon Kim; formal analysis, Sang Jeong Lee; investigation, Hyowon Kim and Dong-Hwan Hwang.; resources, Inae Jung; data curation, Inha Jung; writing—original draft preparation, Hyowon Kim and Dong-Hwan Hwang; writing—review and editing, Sang Jeong Lee, Hyowon Kim and Dong-Hwan.; supervision, Inae Jung and Inha Jung; project administration, Inae Jung and Inha Jung. Authorship must be limited to those who have contributed substantially to the work reported.

## CONFLICTS OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

## REFERENCES

- Ahn, H. J, Song, C. W., You, J. Y., & Kim, T. Y. 2021, A Study on Strategy of Securing International Resources for Establishment of the Korean Positioning System, STEPI Technical Report, Ministry of Science and ICT, Republic of Korea.
- Chen, G., Zhou, R., Hu, Z., Lv, Y., Wei, N., et al. 2021, Statistical characterization of the signal-in-space errors of the BDS: a comparison between BDS-2 and BDS-3, GPS Solut, 25, 112. <https://doi.org/10.1007/s10291-021-01150-x>
- China Satellite Navigation Office 2017a, BeiDou Navigation Satellite System Signal in Space Interface Control Document: Open Service Signal B1C (ver. 1.0)
- China Satellite Navigation Office 2017b, BeiDou Navigation Satellite System Signal in Space Interface Control Document: Open Service Signal B2a (ver. 1.0)
- China Satellite Navigation Office 2018a, Development of the BeiDou Navigation Satellite System (ver. 3.0)
- China Satellite Navigation Office 2018b, BeiDou Navigation Satellite System Signal in Space Interface Control Document: Open Service Signal B3I (ver. 1.0)
- China Satellite Navigation Office 2019a, Development of the BeiDou Navigation Satellite System (ver. 4.0)
- China Satellite Navigation Office 2019b BeiDou Navigation Satellite System Signal in Space Interface Control Document: Open Service Signal B1I (ver. 3.0)
- China Satellite Navigation Office 2020a, BeiDou Navigation Satellite System Signal in Space Interface Control Document: Open Service Signal B2b (ver. 1.0)
- China Satellite Navigation Office 2020b, BeiDou Navigation Satellite System Signal in Space Interface Control Document: Satellite Based Augmentation System Service Signal BDSBAS-B1C (Ver. 1.0)
- China Satellite Navigation Office 2020c, BeiDou Navigation Satellite System Signal in Space Interface Control Document: Precise Point Positioning Service Signal PPP-B2b (Ver. 1.0)
- China Satellite Navigation Office 2021, BeiDou Navigation Satellite System Open Service Performance Standard (ver. 3.0)
- Gao, W., Zhou, W., Tang, C., Li, X., Yuan, Y., et al. 2024, High-precision services of BeiDou navigation satellite system (BDS): current state, achievements, and future

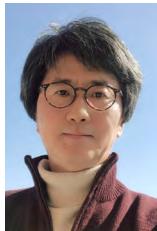
- directions, Satellite Navigation, 5, 20. <https://doi.org/10.1186/s43020-024-00143-8>
- Deutsche Welle 2020, China launches final BeiDou satellite to complete rival to GPS network [Internet], cited 2025 Jul 30, available from: <https://www.dw.com/en/china-launches-final-beidou-satellite-to-complete-rival-to-gps-network/a-53906372>
- GPS World 2021, Directions 2021: BDS marches to new era of global services [Internet], cited 2025 Jul 30, available from: <https://www.gpsworld.com/directions-2021-bds-marches-to-new-era-of-global-services/>
- GPS World 2022a, Directions 2022: BDS enters new era of global services [Internet], cited 2025 Jul 30, available from: <https://www.gpsworld.com/directions-2022-bds-enters-new-era-of-global-services/>
- GPS World 2022b, directions 2022: BDS enters new era of global services [Internet], cited 2025 Jul 31, available from: <https://www.gpsworld.com/directions-2022-bds-enters-new-era-of-global-services/>
- GPS World 2023, directions 2023: BDS Development Continues Apace [Internet], cited 2025 Jul 31, available from: <https://www.gpsworld.com/directions-2023-bds-development-continues-apace/>
- GPS World 2024a, BeiDou Navigation Satellite System in 2024 [Internet], cited 2025 Jul 30, available from: <https://www.gpsworld.com/beidou-navigation-satellite-system-in-2024>
- GPS World 2024b, BeiDou navigation service platform begins trial operations [Internet], cited 2025 Jul 30, available from: <https://www.gpsworld.com/beidou-navigation-service-platform-begins-trial-operations/>
- Han, K., Bang, E., Lim, H., Lee, S., & Park, S. 2023, Status of Navigation Satellite System Services and Signals, Electronics and Telecommunications Trends, 38, 2. <https://doi.org/10.22648/ETRI.2023.J.380206>
- Inside GNSS 2021, Enhanced BeiDou short message service displayed at international summit [Internet], cited 2025 Jul 31, available from: <https://insidegnss.com/enhanced-beidou-short-message-service-displayed-at-intl-summit/>
- International Telecommunication Union 2024, Recommendation ITU-R M.1787-5 (07/2024), M series: mobile, radiodetermination, amateur and related satellite services
- Jee, G.-I. 2017, Study on National Satellite Navigation Project Promotion Planning, Kunkuk University Technical Report, Ministry of Science and ICT, Republic of Korea
- Ko, K.-S. & Choi, C.-M. 2015, A Study on the Navigation Signal Characteristics of China Beidou Satellite Navigation System, J. Korea Inst. Inf. Commun. Eng., 19, 8. <https://doi.org/10.6109/jkiice.2015.19.8.1951>
- Li, R., Zheng, S., Wang, E., Ren, X., Cao, X., et al. 2020, Advances in BeiDou navigation satellite system (BDS) and satellite navigation augmentation technologies, Satell. Navigat., 1, 1-23. <https://doi.org/10.1186/s43020-020-00010-2>
- Lu, M. 2018, Overview of the BDS III Signals, in 13th Stanford PNT Symposium, Stanford, CA, 8 Nov 2018
- Lu, J. 2024, Development of BeiDou Navigation Satellite System, China Satellite Navigation Office Technical Report
- Ma, J. 2018, Update on BeiDou Navigation Satellite System, in Proceedings of the 13th Meeting of the International Committee on Global Navigation Satellite Systems (ICG-13), Xi'an, China, 5-9 November 2018.
- Renfro, B. A., Stein, M., Reed, E. B., Morales, J., & Villalba, E. J. 2020, Global Positioning System (GPS) Standard Positioning Service performance for 2019, The University of Texas at Austin Technical Report, TR-SGL-20-02
- Shen, J. 2019, Update on the BeiDou Navigation Satellite System (BDS), in Proceedings of the ION GNSS+ 2019, Miami, FL, 16-20 September 2019
- Yang, Y., Gao, W., Guo, S., Mao, Y., & Yang, Y. 2019, Introduction to BeiDou-3 navigation satellite system, Navigation, 66, 7-18. <https://doi.org/10.1002/navi.291>
- Yang, Y., Tang, J., & Montenbruck, O. 2017, Chapter 10. Chinese Navigation Satellite Systems, in Springer Handbook of Global Navigation Satellite System, eds. P. J. G. Teunissen & O. Montenbruck (Cham, Switzerland: Springer International Publishing), pp.273-304. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-42928-1\\_10](https://doi.org/10.1007/978-3-319-42928-1_10)



**Inae Jung** is a researcher at the Korea Aerospace Research Institute. She earned her Master of Advanced International Studies from the Diplomatic Academy of Vienna and the University of Vienna in 2016. Her research interests focus on the policies and applications of GNSS technologies.



**Inha Jung** is a researcher at Korea Aerospace Research Institute. He received a B.A. in International Studies from Hankuk University of Foreign Studies, Korea, and his M.A. in Economics from Fudan University, China in 2020, respectively. His current research focuses on the applications and development of Global Navigation Satellite Systems (GNSS) and radio spectrum management.



**Sang Jeong Lee** is an emeritus professor in the Department of Electronics Engineering, Chungnam National University, Korea. He received his B.S., M.S., and Ph.D. degrees from Seoul National University, Korea, in 1979, 1981, and 1987, respectively. His research interests include GNSS receiver design.



**Hyowon Kim** received the Ph.D. degree from the Department of Electronic Engineering, Hanyang University, Seoul, Korea in 2021. He is currently an Assistant Professor in the Department of Electronics Engineering at Chungnam National University, Daejeon, Korea. He was a Marie Skłodowska-Curie Fellow/Postdoctoral Researcher in the Department of Electrical Engineering at Chalmers University of Technology, Sweden, from 2021 to 2023. His main research interests include joint NTN and TN positioning, and integrated sensing and communication.



**Dong-Hwan Hwang** is a professor in the Department of Electronics Engineering, Chungnam National University, Korea. He received his B.S. degree from Seoul National University, Korea in 1985, and his M.S. and Ph.D. degrees from Korea Advanced Institute of Science and Technology, Korea in 1987 and 1991, respectively. His research interests include GNSS/INS integrated navigation system design and GNSS applications.