

## Open PPP/PPP-RTK 보정정보 서비스 동향

# Trends of Open PPP/PPP-RTK Correction Services

임철순<sup>1</sup> · 조용래<sup>1</sup> · 이에빈<sup>1</sup> · 차윤호<sup>1</sup> · 박병운<sup>1\*</sup> · 박두경<sup>2</sup> · 이승호<sup>2</sup>

<sup>1</sup>세종대학교

<sup>2</sup>(주)문화방송

Cheolsoo Lim<sup>1</sup> · Yongrae Jo<sup>1</sup> · Yebin Lee<sup>1</sup> · Yunho Cha<sup>1</sup> · Byungwoon Park<sup>1\*</sup> · Dookyung Park<sup>2</sup> · Seungho Lee<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Sejong University, Seoul 05006, Republic of Korea

<sup>2</sup>Munhwa Broadcasting Corp., Seoul 03925, Republic of Korea

### [요 약]

방송과 기반 위성항법 보강시스템은 GNSS(global navigation satellite system) 측정치 오차를 보상하는 방식에 따라 OSR(observation space representation)과 SSR(state space representation)으로 구분된다. 대표적인 OSR 기반 보강시스템인 N-RTK(network real time kinematics)는 약 100 km 수준의 서비스 영역 내에서 cm급 측위 정확도를 확보할 수 있는 시스템이지만, 일반적으로 사용자-인프라 간 양방향 통신 방식에 의해 서비스가 구현된다. 이러한 특징으로 인해 N-RTK를 활용한 위성 기반 cm급 전국도 정밀 측위 서비스 구축은 현실적으로 많은 제약이 따른다. 반면, SSR 보강시스템은 서비스 영역 내 모든 사용자에게 동일한 보정정보를 제공하기 때문에 단방향 서비스에 적합하고, 각 보정정보의 전송주기를 유동적으로 조절할 수 있으므로 위성 기반 광역 정밀 보정정보 방송 서비스에 적합하다. 이러한 장점으로 인해 위성항법시스템을 보유한 각국은 SSR 보정정보 기반의 PPP(precise point positioning)/PPP-RTK 정밀 측위 서비스 구축에 박차를 가하고 있다. 이에 본 논문에서는 위성 기반 SSR 보정정보 방송 서비스들의 구성 및 특징, 측위 성능 분석을 통해 PPP/PPP-RTK 서비스 동향과 정밀 측위 현황을 파악하고자 한다.

### [Abstract]

Unlike OSR(observation space representation), the SSR(state space representation) augmentation system is suitable for a one-way broadcasting service because it provides the same corrections to all users in the service area. Due to this advantage, several GNSS(global navigation system) systems such as Galileo, BDS(beidou navigation satellite system), QZSS(quasi zenith satellite system) are establishing PPP (precise point positioning)/PPP-RTK precision positioning services based on SSR messages. Therefore, in this paper, we try to understand the trends of satellite-based PPP/PPP-RTK correction services by analyzing the system configurations, characteristics, and precise positioning performance of satellite-based SSR correction broadcasting services.

**Key word** : Newtork RTK, OSR, PPP, PPP-RTK, SSR.

<http://dx.doi.org/10.12673/jant.2022.26.6.418>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**Received** 17 November 2022; **Revised** 1 December 2022  
**Accepted (Publication)** 26 December 2022 (30 December 2022)

**\*Corresponding Author; Byungwoon Park**

**Tel:** +82-2-3408-4385

**E-mail:** byungwoon@sejong.ac.kr

# I. 서론

GNSS(global navigation satellite system) 보강시스템은 의사거리 및 반송파 측정치에 포함된 위성 궤도 및 시계오차, 대류층 및 전리층 오차, 코드 및 반송파 위상 바이어스 등을 보정하는 방식에 따라 OSR(observation space representation)과 SSR(state space representation)으로 구분할 수 있다. OSR 방식은 인접한 두 수신기 간 측정치 차분 또는 오차에 대한 lump-sum 보정정보를 적용함으로써 오차를 보상한다. 반면, SSR은 기준국 네트워크를 활용하여 오차를 성분별로 분리하여 추정하고, 각 오차에 대한 보정정보 모델링 파라미터를 사용자에게 제공하는 방식이다 [1].

대표적인 OSR 기반 보강항법시스템으로는 RTK(real time kinematics), N-RTK(network RTK)가 있으며, PPP(precise point positioning) 및 PPP-RTK는 SSR 기반 보정정보를 활용하는 반송파 기반 정밀 측위 기법이다. N-RTK는 기존 RTK의 단점을 보완하고, 측위 성능을 그대로 유지하면서 서비스 영역을 약 100km 수준까지 확장시킬 수 있는 효율적인 시스템이다. 다만, 전국토 정밀 측위 시스템을 구현하기 위해서는 서비스 영역 내 모든 네트워크의 보정정보를 한 번에 방송해야 한다. 이는 수만 ~ 수십만 수준의 막대한 bandwidth가 필요하므로 N-RTK, 즉 OSR 보강시스템을 활용한 위성 기반 cm급 전국토 정밀 측위 서비스 구축은 현실적으로 많은 제약이 따른다. 반면, SSR 방식의 경우는 각 오차의 시공간 특성에 맞춰 보정정보의 전송주기를 스케줄링할 수 있으므로 OSR 대비 상대적으로 적은 양의 bandwidth로도 광역 서비스가 가능하다. 이와 같은 장점으로 활용하여 사용자의 cm급 정밀 측위를 위한 GNSS 측정치 오차 보정정보를 위성 신호(e.g. L6)를 통해 실시간으로 제공하는 상용 또는 무료 PPP/PPP-RTK 보정정보 서비스가 개발되고 있다. 표 1은 사용자가 별도의 비용 없이 활용할 수 있는 위성 기반 무료 정밀 측위(PPP/PPP-RTK) 서비스를 정리한 것이다.

본 논문에서는 표 1에 제시된 서비스 중 현재 보정신호를 방송하고 있는 각 서비스에 대한 시스템 구성 및 특징, 정밀 측위 성능 등을 분석함으로써 PPP/PPP-RTK 서비스 동향 및 SSR 기반 보강시스템의 정밀 측위 성능 현황을 파악하고자 한다.

표 1. 위성 기반 PPP/PPP-RTK 서비스 [2]  
Table 1. Satellite-based PPP/PPP-RTK services [2]

Service	Satellite orbit	Status	Data rate
QZSS CLAS (PPP-RTK)	IGSO/GEO	Operational (2018 ~)	2,000 bps
QZSS MADOCA (PPP)	IGSO/GEO	Operational (2022 ~)	2,000 bps
Galileo HAS (PPP)	MEO	Development (2022 ~)	500 bps
BeiDou PPP (PPP)	GEO	Operational (2020 ~)	500 bps
GLONASS PPP (PPP)	GEO	Concept (2030 ~)	4,000 bps

# II. PPP/PPP-RTK 보정정보 서비스

## 2-1 QZSS CLAS

CLAS는 QZSS 위성의 L6 신호를 통해 GNSS 측정치 오차에 대한 보정정보를 방송하는 PPP-RTK 서비스이다 [3-4]. CLAS 시스템은 일반적인 GNSS 시스템과 유사하게 그림 1과 같이 우주 부문(space segment), 지상 부문(control segment), 사용자 부문(user segment)로 구성되어 있다. 우주 부문과 사용자 부문은 각각 총 4기의 QZO 위성과 PPP-RTK 사용자로 구성되어 있으며, 지상 부문은 GNSS 위성 측정치를 수집하는 지상 기준국과 각 위성 측정치에 포함된 오차를 추정하고 이에 대한 보정정보를 생성하는 중앙 처리국 등으로 구성되어 있다. 일본 내 위치한 GNSS 상시 관측소 네트워크인 GEONET(GNSS earth observation network)에서는 다중 위성군 관측 데이터를 수집하여 중앙 처리국에 전달한다. 중앙 처리국에서는 각 기준국으로부터 수신한 의사거리 및 반송파 측정치를 이용하여 관측 가능한 위성에 대한 궤도 및 시계 오차, 코드 및 위상 바이어스, 전리층 및 대류층 오차 등을 칼만 필터를 통해 추정하고, 각 오차에 대한 보정정보 및 무결성 파라미터 생성한다. 그 다음, 위성의 기하학적 배치 등을 고려하여 서비스 영역 내 최적의 성능을 확보하기 위한 위성 조합을 선정하고, 해당 위성에 대한 측정치 오차 보정정보를 QZSS 위성의 L6D 신호를 통해 일본 전역에 방송한다 [5].

2022년 10월 기준, QZSS CLAS 서비스 영역은 그림 2와 같이 19개의 네트워크로 구성되어 있으며, 각 네트워크마다 서로 다른 전리층 및 대류층 오차 보정정보가 제공된다. 즉, 동일한 위성일지라도 각 네트워크별로 제공되는 대기 오차에 대한 보정정보의 값이 서로 다르므로 사용자는 자신이 속한 네트워크에 적합한 보정정보를 선택하여 측정치에 적용하여야 한다. CLAS에서 제공하는 대기 오차 보정정보는 다른 PPP-RTK 정밀 측위 서비스와 유사하게 함수(function) 및 잔차(residual) 성분으로 구성된다 [2]. 함수 형태의 보정정보는 다항식 (polynomial) 또는 구면 조화(spherical harmonics) 함수의 형태로 각 네트워크별로 제공되며, 잔차 성분은 약 60 km 간격으로 정의된 총 231개의 격자점마다 제공된다.

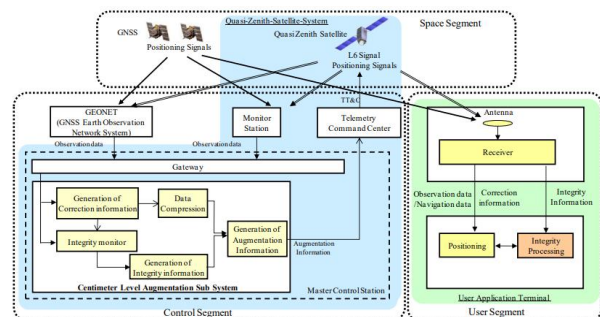


그림 1. CLAS 시스템 구성 [3]  
Fig. 1. CLAS system configurations [3]

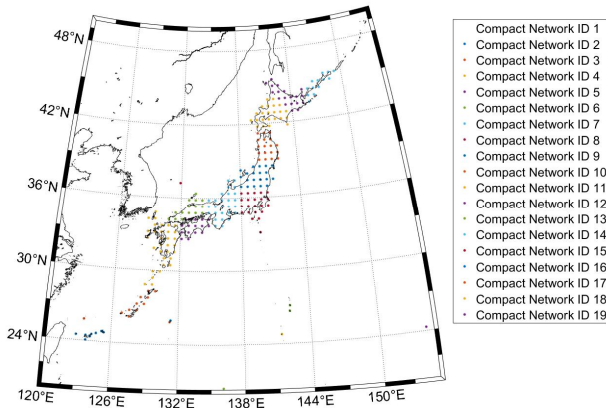


그림 2. CLAS 네트워크 및 격자점 분포  
 Fig. 2. Distribution of CLAS regional networks and grids

표 2. QZSS CLAS 성능 표준 [6]  
 Table 2. QZSS CLAS performance standards [6]

Parameter	Performance standard
Accuracy (Static)	Horizontal $\leq 6$ cm (95%) Vertical $\leq 12$ cm (95%)
Accuracy (Kinematic)	Horizontal $\leq 12$ cm (95%) Vertical $\leq 24$ cm (95%)
Availability	$\geq 0.99$ (at least 3 QZS satellites)
Continuity	$\geq 1 - 2 \times 10^{-4}$ /hour (each QZS satellite)
Integrity (Time To Alert)	9.2 s
TTFF (Time-To-First-Fix)	$\leq 60$ s (95%)

표 2는 PS-QZSS 문서[6]에 정의된 CLAS 서비스의 항법 성능, 보정 신호 및 서비스 영역의 크기 등을 정리한 것이다. 현재 CLAS는 GPS(L1CA/L2C/L2P/L5), QZSS(L1CA/L2C/L5), Galileo(E1b/E5a) 위성 신호에 대한 보정정보를 제공하고 있으며, GPS 및 QZSS L1C 신호와 GLONASS G1a/G2a (CDMA) 신호는 향후 지원할 예정이다. 표 2에 명시된 60초의 TTFF(time-to-first-fix)는 사용자 수신기가 QZSS L6 신호를 통해 방송된 CLAS 보정정보를 모두 수신하기까지 소요되는 시간 30초와 보정정보가 적용된 위성의 반송파 미지정수 결정에 소요되는 시간을 의미하는 TTFAF(time-to-first-ambiguity-fix) 30초를 포함한다.

2018년 11월 1일부터 공식적으로 일본 전역에 대하여 CLAS 서비스가 시작된 이후로 CLAS 보정정보를 활용한 정밀 측위 연구 및 성능 검증에 위한 다양한 연구가 수행되었다. N. Motooka et al. 은 2018년 11월부터 2019년 5월까지 약 6개월 간 총 60개소의 GNSS 기준국에서 수집된 관측 데이터를 활용하여 CLAS 성능 평가를 위한 정적 측위 실험을 수행하였다 [7]. 해당 논문에서는 정적 GNSS 데이터에 대한 정적(static) 및 동적(kinematic) 모드에서의 PPP-RTK 정밀 측위 성능 평가를 위

해 CLASLIB 소프트웨어를 사용하였다. 정적 모드 실험의 경우, 95% 수평 및 수직 오차가 각각 약 3 cm, 5 cm, 동적 모드 실험에서는 수평 오차가 약 6 cm, 수직 오차가 약 12 cm로 나타났으며, 이는 표 2에 명시된 CLAS 측위 성능 조건을 만족하는 수치이다. R. Hirokawa et al. 은 자체 제작한 GNSS 수신기를 활용하여 2018년 9월 26일 총 5회의 고속도로 주행 실험을 통해 취득한 동적 GNSS 데이터 기반의 CLAS 동적 사용자 성능 평가를 수행하였으며, 그 결과, 95% 수평 및 수직 오차의 최대 값은 각각 5.8 cm, 14.9 cm였다 [5].

2-2 QZSS MADOCA

일본 JAXA(japan aerospace exploration agency)가 개발한 MADOCA(multi-GNSS advanced demonstration tool for orbit and clock analysis)는 실시간 정밀 측위(RT-PPP; real-time precise point positioning)에 필요한 GNSS 위성 궤도 및 시계오차 등을 포함한 보정정보를 제공하는 실시간 보정정보 서비스이다 [8]. MADOCA 서비스는 QZSS L6E 신호 및 NTRIP(networked transport of RTCM via internet protocol)을 통해 실시간으로 서비스되므로 일본 및 아시아-태평양 지역뿐만 아니라 전세계 사용자가 이용 가능하다 [9].

일본 내 위치한 GNSS 기준국만을 활용하는 CLAS와 달리 MADOCA는 그림 3과 같이 전세계 각지에 분포한 기준국 네트워크(MGM-NET; multi-GNSS monitoring network)[10]를 기반으로 GNSS 위성 궤도 및 시계를 추정하고 이에 대한 보정정보를 생성하여 QZSS L6E 신호를 통해 방송한다. 또한, MADOCA는 CLAS와 달리 대류층 및 전리층 오차에 대한 보정정보를 제공하지 않기 때문에 사용자는 별도의 방법을 통해 이를 보상하거나 추정해야 하며, 일반적으로 무전리층 선형조합(ionosphere-free linear combination)을 통해 전리층 오차를 제거하고, 칼만 필터를 통해 대류층 오차를 추정한다. 이러한 이유로 MADOCA의 경우, 표 3에 정의된 수평 및 수직 정확도(95%)를 달성하기 위해 최대 30분의 시간이 소요된다는 단점이 있다.

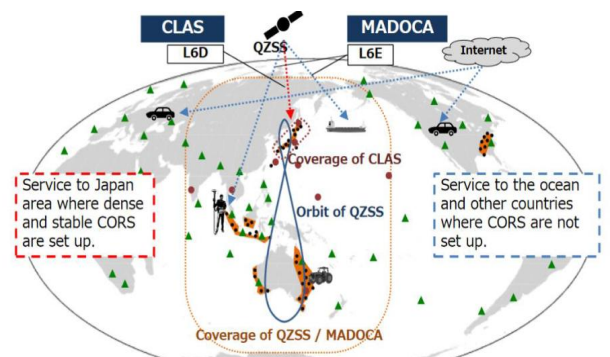


그림 3. QZSS MADOCA 서비스 영역 및 기준국 분포  
 Fig. 3. Service coverage of MAODA via QZS satellites and reference stations distribution

표 3. MADOCA-PPP 성능 표준 [6]

Table 3. MADOCA-PPP performance standards [6]

Parameter	Performance standard
Accuracy	Horizontal $\leq 30$ cm (95%) Vertical $\leq 50$ cm (95%)
Convergence time	1,800 s (in case of dual-frequency)

표 4. RTCM SSR 메시지 기반 MADOCA 보정정보 [11]

Table 4. RTCM-SSR messages for MADOCA products [11]

Product	RTCM-SSR Message Type				Update Interval
	GPS	GLO	QZS	GAL	
Orbit	1057	1063	1246	1240	30 s
Clock	1058	1064	1247	1241	1 s
High-rate clock	1062	1068	1251	1245	1 s
URA	1061	1067	1250	1244	1 s
Code bias	1059	1065	1248	1242	1 day

표 5. Galileo HAS 서비스 목표 성능 [13]

Table 5. Target performances for Galileo HAS service [13]

	SL1	SL2
Coverage	Global	ECA (european coverage area)
Corrections	Orbit correction Clock correction Code and phase biases	SL1 + atmospheric corrections
Horizontal accuracy (95%)	< 20 cm	< 20 cm
Vertical accuracy (95%)	< 40 cm	< 40 cm
Convergence time	< 300 s	< 100 s
Availability	0.99	0.99

앞서 언급한 바와 같이 MADOCA는 동일한 보정정보를 QZSS 위성뿐만 아니라 인터넷을 통해서도 제공하는데, 각 매체를 통해 메시지 포맷은 서로 다르다. 즉, QZSS L6E 신호를 통해 방송되는 보정정보는 Compact SSR 메시지 포맷이며, 인터넷을 통해 스트리밍되는 보정정보는 RTCM-SSR 포맷에 기반하고 있다. 표 4는 MADOCA 서비스를 통해 제공되는 실시간 RTCM-SSR 메시지 및 방송 간격을 정리한 것이다.

2022년 9월 30일부터 실시간 PPP를 위한 MADOCA-PPP 시범 서비스가 시작되었으며, 2024년부터 아세오니아 지역에 대하여 PPP 수렴 시간을 줄이기 위한 전리층 오차 보정정보를 제공할 예정이다.

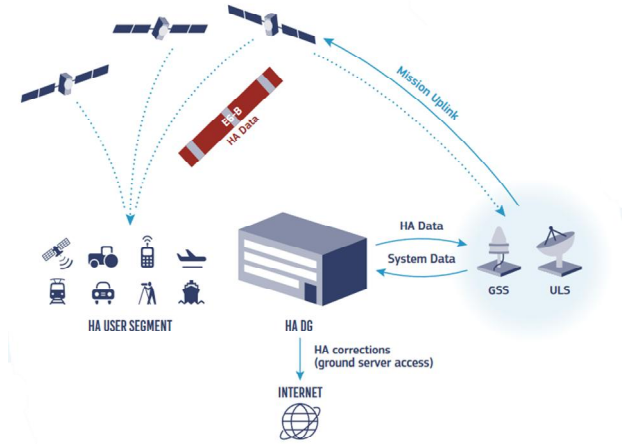


그림 4. Galileo HAS 아키텍처 [13]

Fig. 4. Galileo HAS architecture [13]

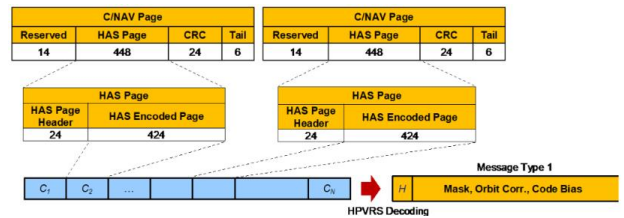


그림 5. Galileo HAS 메시지 구조

Fig. 5. Galileo HAS message structure

### 2-3 Galileo HAS

Galileo HAS(high accuracy service)는 Galileo E6B 신호와 IP(internet protocol) 기반 통신망을 통해 정밀 측위를 위한 PPP 보정정보를 무료로 제공하는 서비스이다 [12]. HAS 서비스는 목표 성능 및 제공되는 보정정보 종류에 따라 총 2단계로 구성되어 있으며, SL(service level) 1은 GPS(L1/L2/L5) 및 Galileo(E1/E5b/E5a/E6) 위성 신호에 대한 고정밀 보정정보(위성 궤도 및 시계 오차)와 위성 신호 바이어스(코드 및 반송파)를 제공하는 global PPP 서비스이고, SL 2에서는 유럽 지역에서의 PPP 수렴 시간 단축을 위한 전리층 및 대류층 보정정보를 추가적으로 제공될 예정이다 [13]. 표 5는 각 서비스 단계별 목표 방법 성능을 정리한 것이다.

그림 4는 Galileo HAS 서비스 아키텍처를 도시한 것이다. 전 세계 각지에 분포한 14개의 GSS(Galileo sensor station)에서 삼중 주파수 GPS 및 Galileo 위성 관측 데이터를 수집한 후, 이를 HADG(high accuracy data generator) 전달한다. 그 다음, HADG에서는 GSS ODTS(orbit determination and time synchronization) 모듈을 통해 GPS 및 Galileo 위성 궤도 및 시계와 바이어스 등을 추정하고, 이에 대한 보정정보가 포함된 HAS 메시지를 생성한 후, ULS(up-link station)에 전송한다. 총 5개의 ULS에서는 최대 20기의 Galileo 위성에 HAS 메시지를 전송하고, 최종적으로 Galileo E6B 신호를 통해 HAS 보정정보가 전세계 사용자에게 제공된다. 향후, Galileo HAS는 인터넷을 통해

RTCM(radio technical commission for maritime services) 포맷의 보정정보도 함께 제공할 예정이다.

Galileo HAS 보정정보는 그림 5와 같이 Galileo E6B CNAV 메시지를 통해 최대 448 bps의 전송 속도로 방송되며, HAS 메시지는 24-bit HAS header와 424-bit HAS message로 구성되어 있다. Galileo HAS는 PPP 보정정보 방송을 위해 Compact SSR에 기반한 공개 메시지 포맷을 사용하고 있다. 다만, Compact SSR 메시지와 달리 모든 보정정보가 하나의 메시지 MT 1(message type 1)에 포함되어 있으며, 사용자는 Galileo HAS 메시지 header에 포함된 flag를 통해 보정정보 또는 mask 정보의 제공 여부를 파악할 수 있다.

표 6은 HAS MT 1에 포함된 보정정보 별 effective range, scale factor 등을 정리한 것이다. HAS 보정정보는 GST(Galileo system time) 기준으로 생성 및 제공되므로 HAS 사용자는 PPP 정밀 측위 시, GPS와 Galileo 시스템 시간 차이를 의미하는 GGTO(Galileo to GPS time offset)를 고려해야 한다. 그리고, 위성 궤도 오차 보정정보는 위성 안테나 위상 중심(APC; antenna phase center)을 기준으로 radial, in-track, cross-track 오차의 형태로 제공되므로 사용자는 이를 ECEF(earth-centered, earth-fixed) 좌표계로 변환 후 적용해야 한다. 또한, 위성 시계 오차 보정정보는 GPS LNAV 및 Galileo I/NAV 메시지를 활용하여 산출된 무전리층(GPS L1C/A-L2P, Galileo E1-E5b) 선형 조합 측정치를 기준으로 제공된다.

표 6. Galileo HAS MT 1 파라미터 [14]

Table 6. Galileo HAS MT 1 parameters [14]

Correction	Effective range	Scale factor	Unit	No. of bits
Delta radial	±10.2375	0.0025	meters	13
Delta in-track	±16.3760	0.0080	meters	12
Delta corss-track	±16.3760	0.0080	meters	12
Delta clock	-10.2375 to +10.2350	0.0025	meters	13
Code bias	±20.4600	0.02	meters	11
Phase bias	±10.2300	0.01	cycles	11

표 7. Galileo HAS PPP 성능 [12]

Table 7. Galileo HAS PPP performance [12]

	Horizontal position error (95%)	Vertical position error (95%)	Convergence time
Galileo	0.162 m	0.182 m	> 1 hour
GPS + Galileo	0.089 m	0.078 m	> 1 hour

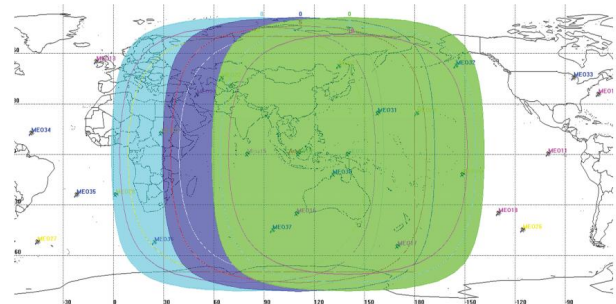


그림 6. BDS-3 GEO 신호 커버리지

Fig. 6. BDS-3 GEO signal coverage

Fernández-Hernández et al. 은 GMV 사의 정밀 측위 소프트웨어인 MagicPPP[15]을 활용하여 SIS(signal-in-space) 실험을 수행하였다. 해당 실험은 UTC(coordinated universal time) 기준 2021년 5월 25일 7시 30분부터 약 3시간동안 진행되었으며, 스페인에 위치한 GMV 기준국에서 수집된 GPS 및 Galileo 의사 거리 및 반송파 측정치와 Galileo HAS 보정정보를 MagicPPP 소프트웨어에 입력하여 산출된 PPP 측위 결과를 분석함으로써 Galileo HAS 보정정보의 성능을 평가하였다. 해당 실험에서 Galileo HAS MT 1에 포함된 위성 궤도 및 시계오차 보정정보는 각각 50초, 10초마다 방송되었으며, 반송파 위상 바이어스 보정정보는 사용되지 않았다. 표 7은 PPP 수렴 시간 및 PPP 수렴 후의 측위 오차(95%)를 정리한 것이다. 수렴 이후의 측위 오차는 Galileo HAS SIS ICD에 명시된 목표 성능을 만족하였지만, PPP 수렴 시간의 경우는 사용된 위성군 조합에 관계없이 모두 1시간 이상 소요되어 SL1 기준 목표치인 300초보다 훨씬 초과하는 결과를 보여주었다.

#### 2-4 BeiDou PPP

BDS-3는 중국이 개발 중인 전지구 위성항법 시스템으로 GEO 위성 3기, IGSO 위성 3기, MEO 위성 24기로 구성되어 있다. 특히, 2020년 7월 부로 FOC(full operational capability)가 공식적으로 선언[16]된 이후부터 BDS-3 GEO 위성을 통해 중국 및 아시아-태평양 지역 사용자에게 위성 기반 보강항법시스템(SBAS; satellite based augmentation system)인 BDSBAS와 PPP 정밀 측위 서비스를 제공하고 있으며, 그림 6은 BDS-3 GEO 위성 신호 커버리지를 나타낸 것이다.

BDS-3 PPP 서비스의 데이터 처리 및 보정정보 생성 과정은 다음과 같다. 먼저, 중국 내륙에 고르게 분포된 GNSS 기준국에서 의사거리 및 반송파 측정치와 기상 데이터를 수집하고 전처리 과정을 거쳐 중앙 제어국으로 전송한다. 중앙 제어국에서는 감시국으로부터 수집된 GNSS 관측 데이터를 활용하여 정밀 위성 궤도 및 시계 오차를 추정하고, 각 오차 성분에 대한 보정정보 및 위성 코드 바이어스 등이 포함된 메시지를 BDS-3 GEO 위성의 PPP-B2b 신호를 통해 방송한다 [2]. BDS-3 PPP 서비스는 GPS, GLONASS, Galileo, BDS를 포함한 다중 위성군을 지

원하도록 설계되었지만, 현재는 GPS 및 BDS-3 위성에 대한 보정신호만을 제공하고 있다. 표 8은 BDS-3 PPP 서비스 측위 성능, 수렴 시간을 정리한 것이다.

PPP-B2b 메시지 구조는 그림 7과 같이 6-bit message type, 456-bit message data, 24-bit CRC(cyclic redundancy check), 총 486-bit로 구성되어 있다. PPP 기반 정밀 측위를 위해 제공되는 보정정보는 특정 위성에 대한 보정정보가 제공되는지 여부를 판별하기 위한 satellite mask, 위성 궤도 및 시계 오차 보정정보, DCB(differential code bias), URAI(user range accuracy index) 등이 있으며, 각 보정정보는 표 9와 같이 총 7개의 메시지에 나누어 방송된다. 각 메시지는 서로 다른 주기로 방송되는데, 시변 화율이 상대적으로 큰 위성 시계 오차는 6초마다 방송되며, 위성 궤도 오차는 48초마다 방송된다. 서로 다른 메시지를 통해 제공되는 보정정보 재조합 및 위성 오차 추정에 사용된 방송 궤도력 확인을 위해 IOD(issue of data) 파라미터가 활용된다.

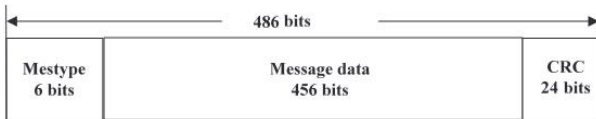


그림 7. BDS-3 PPP-B2b 메시지 구조 [17]  
Fig. 7. BDS-3 PPP-B2b message structure [17]

표 8. BDS-3 PPP 성능 표준 [18]  
Table 8. BDS-3 PPP performance standards [18]

Parameter		Performance standard
Accuracy	BDS	Horizontal ≤ 30 cm (95%) Vertical ≤ 60 cm (95%)
	BDS+GPS	Horizontal ≤ 20 cm (95%) Vertical ≤ 40 cm (95%)
Convergence time	BDS	30 min
	BDS+GPS	20 min

표 9. BDS-3 PPP 서비스 메시지 타입 [17]  
Table 9. Message types of BDS-3 PPP service [17]

Message type	Information content
1	Satellite mask
2	Satellite orbit correction
3	Differential code bias
4	Satellite clock correction
5	User range accuracy index
6	Clock and orbit corrections – combination 1
7	Clock and orbit corrections – combination 2
8-62	Reserved
63	Null message

표 10. BDS-3 PPP B2b 보정정보를 활용한 kinematic PPP 성능 [19]  
Table 10. Kinematic PPP performance using BDS-3 PPP B2b products [19]

Station	BDS only (95%)	GPS+BDS (95%)	Convergence time	
			BDS only	GPS+BDS
BJF1	0.274 m (H) 0.342 m (V)	0.176 m (H) 0.302 m (V)	12.2 min	13.2 min
LHA1	0.277 m (H) 0.419 m (V)	0.203 m (H) 0.378 m (V)	16.9 min	13.9 min
KUN1	0.170 m (H) 0.290 m (V)	0.139 m (H) 0.286 m (V)	14.5 min	15.9 min
WHU2	0.185 m (H) 0.315 m (V)	0.135 m (H) 0.327 m (V)	21.8 min	18.0 min
SHA1	0.198 m (H) 0.356 m (V)	0.142 m (H) 0.272 m (V)	19.3 min	18.3 min
XIA1	0.188 m (H) 0.280 m (V)	0.117 m (H) 0.255 m (V)	19.9 min	18.2 min

W. Zhang은 2022년 7월 26일부터 12월 19일까지 약 5개월 간 중국 내에 위치한 6개소의 IGS(international GNSS service) MGEX(multi-GNSS experiment) 기준국(BJF1, LHA1, KUN1, WHU2, SHA1, XIA1)에서 수집된 GPS 및 BDS 관측 데이터, BDS-3 PPP B2b 보정정보를 활용하여 kinematic PPP를 수행하고, 이에 대한 성능 평가를 수행하였다 [19]. 표 10은 각 기준국 별 수평 및 수직 오차(95%)와 수렴 시간을 정리한 것이다. 표 8에 제시된 수평 및 수직 오차 임계 값을 만족하는 모든 기준국에 대한 수렴 시간의 평균 값은 BDS-only와 GPS+BDS 각각 약 17분, 16분으로 나타났으며, 이 수치는 BDS-3 PPP 성능 표준인 30분(BDS-only), 20분(GPS+BDS)를 모두 만족하는 성능이다. 위치 정확도 측면에서도 모든 기준국에서 위성군 조합에 관계없이 성능 표준을 만족하였다.

### III. 결 론

본 논문에서는 SSR 방식의 보정정보를 활용하는 위성 기반 PPP/PPP-RTK 보정정보 서비스 동향을 파악하고, 각 서비스에 대한 정밀 측위 성능 현황을 기술하였다. Galileo, BeiDou, QZSS 등 기 구축되어 운용 중인 위성항법시스템들은 여러 민간 분야에서 활용될 수 있는 위성 기반 PPP 또는 PPP-RTK 보정정보 서비스를 개발하고 있다.

QZSS는 L6 신호를 통해 nationwide PPP-RTK 서비스인 CLAS와 global PPP를 위한 MADOCA 서비스를 제공하고 있다. 2018년 11월 1일부로 CLAS 서비스가 공식적으로 시작된 이래로 CLAS 성능 평가를 위한 많은 연구들이 수행되었다. 정적 사용자의 측위 정확도는 수평 약 6 cm, 수직 12 cm, 그리고

동적 사용자의 경우는 수평 및 수직 각각 약 6 cm, 15 cm 수준으로 나타났으며, 실측 데이터 기반 실험 결과 CLAS 서비스의 목표 성능을 만족하는 모습을 보여주었다. MADOCA는 2022년 9월 30일부터 시범 서비스를 시작하였으며, 향후 초기 수렴 시간 단축을 위한 전리층 오차 보정정보를 추가적으로 제공할 예정이다.

Galileo는 E6B 신호 및 인터넷을 통해 실시간 PPP 측위를 위한 SSR 보정정보를 제공하는 HAS 서비스를 개발하고 있으며, Compact SSR 기반의 메시지 포맷을 활용하고 있다. HAS 서비스는 목표 성능 및 보정정보 종류에 따라 SL1과 SL2로 구분된다. 상용 후처리 소프트웨어 기반 Galileo HAS(SL1) PPP 측위 결과, 위치 정확도 측면에서는 수평 및 수직 모두 10 cm 이내로 Galileo HAS SIS ICD에 명시된 목표 정확도는 만족하였지만, PPP 수렴 시간은 1시간 이상 소요되어 SL1 서비스 목표 성능을 만족하지 못하는 결과를 보여주었다.

BDS는 2020년 7월부터 BDS-3 GEO 위성 B2b 신호를 통해 중국 및 아시아-태평양 지역 사용자에게 PPP 정밀 측위 서비스 (PPP-B2b)를 제공하고 있으며, PPP-B2b 메시지는 약 500 bps의 전송속도로 방송된다.

2022년 7월 26일부터 약 5개월 간 중국 내 6개소 기준국 관측 데이터를 활용하여 수행된 BDS-3 PPP(GPS+BDS) 측위 성능 평가 결과, 전체 사용자의 위치 오차 최대 값은 GPS+BDS 기준으로 수평 약 18 cm, 수직 약 38 cm, 초기 수렴 시간은 초기 수렴시간은 18분이었으며, 이는 BDS ICD 문서에 명시된 PPP 성능 표준을 만족하는 수치임을 확인하였다.

## Acknowledgments

이 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원이 시행하고 한국도로공사가 총괄하는 "스마트건설기술개발 국가R&D사업(과제번호 22SMIP-A157175-03)"의 지원으로 수행하였습니다.

## References

[1] C.S. Lim, Study on homogeneous network RTK method for satellite based nationwide GNSS precision positioning service, Ph.D. dissertation, Sejong University, Seoul, Feb. 2022.

[2] R. Hirokawa, I. Fernández-Hernández, and S. Reynolds, "PPP/PPP-RTK open formats: overview, comparison, and proposal for an interoperable message," *NAVIGATION*, Vol. 68, No. 4, pp. 759-778, Dec. 2021.

[3] M. Miya, S. Fujita, Y. Sato, K. Ota, R. Hirokawa, and J. Takiguchi, "Centimeter level augmentation service (CLAS) in Japanese quasi-zenith satellite system, its user interface,

detailed design, and Plan," in *Proceedings of the 29th International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation (ION GNSS+ 2016)*, Portland: OR, pp. 2864-2869, 2016.

[4] E. H. Kim, J. Y. Song, Y. J. Shin, S. K. Kim, P. W. Son, S. G. Park, and S. H. Park, "Fault-free protection level equation for CLAS PPP-RTK and experimental evaluations," *Sensors*, Vol. 22, No. 9, pp. 3570-3582, May. 2022.

[5] R. Hirokawa, K. Nakakuki, S. Fujita, Y. Sato, and A. Uehara, "The operational phase performance of centimeter-level augmentation service (CLAS)," in *Proceedings of the ION 2019 Pacific PNT Meeting*, Honolulu: HI, pp. 349-360, 2019.

[6] Cabinet Office, Quasi-zenith satellite system performance standard (PS-QZSS-003) [Internet]. Available: <https://qzss.go.jp/en/technical/download/pdf/ps-is-qzss/ps-qzss-003.pdf?t=166735575724>.

[7] N. Motooka, R. Hirokawa, K. Nakakuki, S. Fujita, M. Miya, and Y. Sato, "CLASLIB: an open-source toolkit for low-cost high-precision PPP-RTK positioning," in *Proceedings of the 32nd International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation (ION GNSS+ 2019)*, Miami: FL, pp. 3695-3707, 2019.

[8] A. El-Mowafy, and M. Deo, "Bridging real-time precise point positioning in natural hazard warning systems during outages of MADOCA corrections," in *Proceedings of the ION 2017 Pacific PNT Meeting*, Honolulu: HI, pp. 514-525, 2017.

[9] N. Kubo, D. Hatta, K. Kobayashi, and K. Aoki, "Improved integration method of wide-area RTK/PPP with IMU and odometer," in *Proceedings of the 2020 International Technical Meeting of The Institute of Navigation*, San Diego: CA, pp. 772-786, 2020.

[10] K. Udompant, R. Ospina, Y. J. Kim, and N. Noguchi, "Utilization of quasi-zenith satellite system for navigation of a robot combine harvester," *Agronomy*, Vol. 11, No. 3, pp. 483-499, Mar. 2021.

[11] T. Suzuki, N. Kubo, and T. Takasu, "Evaluation of precise point positioning using MADOCA-LEX via quasi-zenith satellite system," in *Proceedings of the 2014 International Technical Meeting of The Institute of Navigation*, San Diego: CA, pp. 460-470, 2014.

[12] I. Fernández-Hernández, A. Chamorro-Moreno, S. Cancela-Díaz, J. David Calle-Calle, and P. Zoccarato, D. Blonski, T. Senni, F. Javier de Blas, C. Hernández, J. Simón, and A. Mozo, "Galileo high accuracy service: initial definition and performance," *GPS Solutions*, Vol. 26, No. 3, Apr. 2021.

[13] EUSPA, Galileo high accuracy service (HAS) info note [Internet]. Available: <https://www.gsc-europa.eu/sites/default/files/sites/all/files/Ga>

lileo\_HAS\_Info\_Note.pdf

[14] European Union, Galileo high accuracy service signal-in-space interface control document (HAS SIS ICD) [Internet]. Available: [https://www.gsc-europa.eu/sites/default/files/sites/all/files/Galileo\\_HAS\\_SIS\\_ICD\\_v1.0.pdf](https://www.gsc-europa.eu/sites/default/files/sites/all/files/Galileo_HAS_SIS_ICD_v1.0.pdf)

[15] GMV, MagicPPP® [Internet]. Available: <https://www.gmv.com/en/products/space/magicpppr>

[16] Y. Liu, F. Gao, J. Li, Y. He, B. Ning, Y. Liu, S. Chen, and Y. Qiu, "Analysis and performance evaluation of BDS-3 code ranging accuracy based on raw IF data from a zero-baseline experiment," *Remote Sensing*, Vol. 14, No. 15, pp. 3698-3713, Aug. 2022.

[17] China Satellite Navigation Office, BeiDou navigation satellite system signal in space interface control document precise point positioning service signal PPP-B2b (version 1.0) [Internet]. Available: <http://en.beidou.gov.cn/SYSTEMS/ICD/202008/P020200803538771492778.pdf>

[18] China Satellite Navigation Office, BeiDou navigation satellite system open service performance standard (version 3.0) [Internet]. Available: <http://en.beidou.gov.cn/SYSTEMS/Officialdocument/202110/P020211014595952404052.pdf>

[19] W. Zhang, Y. Lou, W. Song, W. Sun, X. Zou, and X. Gong "Initial assessment of BDS-3 precise point positioning service on GEO B2b signal," *Advances in Space Research*, Vol. 69, No. 1, pp. 690-700, Jan. 2022.



**임철순 (Cheolsoo Lim)**

2015년 2월 : 세종대학교 항공우주공학과 (공학사)  
 2017년 2월 : 세종대학교 항공우주공학과 (공학석사)  
 2022년 2월 : 세종대학교 항공우주공학과 (공학박사)  
 2022년 3월 ~ 현재 : 세종대학교 항공우주공학과 항법시스템연구실 선임연구원  
 ※관심분야 : GNSS, RTK, Network RTK, SBAS, PPP, PPP-RTK



**조용래 (Yongrae Jo)**

2022년 8월 : 세종대학교 항공우주공학과 (공학사)  
 2022년 9월 ~ 현재 : 세종대학교 항공우주공학과 석박사 통합과정  
 ※관심분야 : GNSS, RTK, Network RTK



**이예빈 (Yebin Lee)**

2019년 2월 : 세종대학교 항공우주공학과 (공학사)  
 2021년 2월 : 세종대학교 항공우주공학과 (공학석사)  
 2021년 3월 ~ 현재 : 세종대학교 항공우주공학과 박사과정  
 ※관심분야 : GNSS, RTK, PPP, PPP-RTK, GNSS Monitoring System



**차운호 (Yunho Cha)**

2022년 2월 : 세종대학교 항공우주공학과 (공학사)  
 2022년 3월 ~ 현재 : 세종대학교 항공우주공학과 석사과정  
 ※관심분야 : GNSS, PPP, PPP-RTK





**박 병 운 (Byungwoon Park)**

2001년 2월 : 서울대학교 항공우주공학과 (공학사)  
2003년 2월 : 서울대학교 항공우주공학과 (공학석사)  
2008년 2월 : 서울대학교 항공우주공학과 (공학박사)  
2012년 8월 : LX 국토정보공사 공간정보연구원 선임연구원/책임연구원  
2012년 9월 ~ 현재 : 세종대학교 항공우주공학과 조교수/부교수  
※관심분야 : DGPS, WADGPS, RTK, Network RTK, GNSS



**박 두 경 (Dookyung Park)**

2005년 7월 : 성균관대학교 전기전자 및 컴퓨터공학부 (공학사)  
2007년 7월 : 성균관대학교 컴퓨터공학과 (공학석사)  
2016년 6월 : 삼성중공업 중앙연구소 책임연구원  
2016년 6월 ~ 현재 : (주)문화방송 차장  
※관심분야 : GNSS, 방송 및 통신 기술



**이 승 호 (Seungho Lee)**

2000년 7월 : 연세대학교 전파공학과 (공학사)  
2005년 12월 : LG 텔레콤  
2006년 1월 ~ 현재 : (주)문화방송 부장  
※관심분야 : GNSS, 방송 및 통신 기술