

# GPS CNAV, QZSS LNAV/CNAV 및 BDS CNAV/CNAV-2의 방송 주기와 시퀀스에 대한 실험적 분석

김기현, 조용래, 박병운, 김오종<sup>†</sup>

## An Experimental Investigation on Broadcast Intervals and Sequences of GPS CNAV, QZSS LNAV/CNAV, and BDS CNAV/CNAV-2

Kihyun Kim<sup>ID</sup>, Yongrae Jo<sup>ID</sup>, Byungwoon Park<sup>ID</sup>, O-Jong Kim<sup>† ID</sup>

Department of Aerospace Engineering, Sejong University, Seoul 05006, Korea

### ABSTRACT

Various structures of navigation messages in Global Navigation Satellite System (GNSS) signals can be categorized into fixed, packetized, and mixed types, each with different broadcast intervals and sequences. In the fixed format, the broadcast intervals and sequences of navigation messages of Global Positioning System (GPS) L1 C/A and BDS B1I are strictly defined in the Interface Control Document (ICD). Navigation messages of GPS L2C, L5, Quasi-Zenith Satellite System (QZSS) L2C, L5, and BeiDou Navigation Satellite System (BDS) B1C are in a packetized format, and their broadcast sequence is not explicitly specified in the ICD; only the maximum broadcast intervals are described. In the mixed format, signals such as GPS L1C, QZSS L1 C/A, L1C, and BDS B2a exhibit both fixed and packetized patterns. Sequences of certain parts of the message are not defined. Therefore, in this study, experimental-based investigations were additionally conducted alongside an ICD investigation to analyze the current broadcast intervals and sequences of GNSS navigation messages.

**Keywords:** GNSS, navigation message, sequence, interval

**주요어:** GNSS, 항법 메시지, 시퀀스, 주기

### 1. 서론

미국의 Global Positioning System (GPS), 러시아의 GLObal Navigation Satellite System (GLONASS), 유럽의 Galileo, 중국의 BeiDou Navigation Satellite System (BDS), 일본의 Quasi-Zenith Satellite System (QZSS)와 같은 위성항법시스템(Global Navigation Satellite System, GNSS)은 측위서비스를 제공하기 위하여 방송하고 있는 항법메시지 내에 항법위성의 위치, 속도, 시각을 계산할 수 있는 정보와 위성의 상태를 파악할 수 있는 정보, 그리고 정확도를 향상시킬 수 있는 다양한 부가정보들을 포함하고 있다. 각 위성항법시스템마다 항법메시지 내에 포함된 정보는 유사하나, 각 항법메시지를 전달하는 규격과 순서, 전송속도 등에

서는 차이가 존재한다. 같은 위성항법시스템 내에서도 위성항법시스템의 현대화와 발전이 진행되면서 메시지의 규격도 변화하여 신호와 주파수에 따라서 다른 메시지 규격이 적용되고 있다.

항법메시지 구조는 데이터 추가와 규격의 유연성에 따라 크게 고정형 구조, 패킷형 구조, 혼합형 구조 세가지로 구분할 수 있다 (Noh et al. 2022). 고정형 구조의 특징으로는 항법메시지가 프레임, 서브프레임, 워드로 나누어져 있으며 각 워드에는 고정된 규격의 데이터가 할당되어 데이터의 방송 주기 및 시퀀스가 고정되어 있다는 점이다. 따라서, 새로운 데이터의 추가 전송이 필요할 때 원하는 위치에 할당하지 못한다는 한계점이 존재한다. 이러한 고정형 구조의 한계점을 보완하기 위해 데이터 추가와 전송 순서의 유연성이 높은 패킷형 구조가 도입되었다. 패킷형 구조는 방

Received May 16, 2024 Revised Jun 22, 2024 Accepted Jul 26, 2024

<sup>†</sup>Corresponding Author E-mail: ojong@sejong.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.

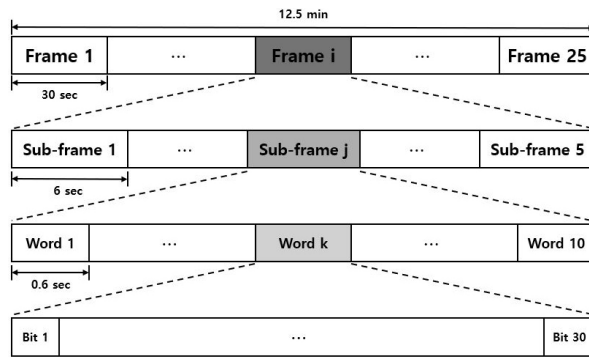


Fig. 1. GPS L1 C/A message structure.

송할 데이터를 패킷 형태의 메시지 타입별로 분류한 뒤, 설계된 메시지 길이에 맞춰 효율적으로 데이터 방송할 수 있으며, 필요 시 새로운 데이터 추가가 용이하다는 장점이 있다. 혼합형 구조는 고정형 구조와 패킷형 구조가 결합된 형태로, 항법메시지 중 일부는 Clock과 Ephemeris처럼 측위에 필수적인 고정된 파라미터를 전송하지만 나머지 부분은 패킷형처럼 임의로 방송되도록 정의되어 데이터 전송의 효율성을 높이고자 하였다.

GPS와 QZSS는 Legacy Navigation (LNAV), Civil Navigation (CNAV), CNAV-2 신호 방식을 채택하여 운영 중에 있다. LNAV에 해당하는 신호로는 고정형 구조를 지닌 GPS L1 C/A가 있다. LNAV인 QZSS L1 C/A의 항법메시지는 GPS L1 C/A를 기반으로 설계되었지만 지역위성항법시스템인 QZSS 환경에 맞춘 항법메시지 방송이 필요하여 혼합형 구조로 분류될 수 있다. CNAV에 해당하는 신호로는 GPS L2C, L5, QZSS L2C, L5가 해당되며 패킷형 구조를 가지고 있다. CNAV-2에 해당하는 신호로는 GPS LIC, QZSS LIC가 존재하며 혼합형 구조를 가지고 있다.

BDS BII 신호의 항법메시지는 D1 신호로 표기하며, 고정형 구조를 가지고 있다. BDS BIC 신호의 항법메시지는 CNAV로 분류되며, GPS, QZSS와 다르게 혼합형 구조를 가지고 있다. BDS B2a 신호에는 CNAV-2 규격의 항법메시지가 포함되어 있으며 패킷형으로 분류된다.

GLONASS의 항법메시지는 방송 주기와 시퀀스가 고정되어 있는 고정형으로 분류할 수 있으며 Interface Control Document (ICD)에 구체적으로 기술되어 있다 (GLONASS ICD 2008). Galileo E1과 E5b의 항법메시지에 해당하는 I/NAV는 고정형 구조로 분류되며, E5a에 해당하는 F/NAV는 패킷형 구조로 분류되지만 방송 주기와 시퀀스는 ICD에 상세히 기술되어 있다 (Galileo ICD 2023).

정리하자면, GPS의 LNAV, BDS의 D1, Galileo의 I/NAV, F/NAV, 그리고 GLONASS의 항법메시지는 방송 주기와 시퀀스가 ICD에 기술되어 있는 신호로 분류되는 반면, GPS의 CNAV, CNAV-2, QZSS의 LNAV, CNAV, CNAV-2, 그리고 BDS의 CNAV, CNAV-2의 항법메시지는 실제 방송 주기와 시퀀스가 ICD에 기술되지 않은 신호로 분류할 수 있다.

본 논문에서는 현 시점에서 각 위성항법시스템의 항법메시지가 어떠한 주기와 시퀀스로 방송되고 있는지를 파악하고자 하며, 특히 ICD에 방송주기와 시퀀스가 기술되어 있지 않은 패킷형 그

리고 혼합형 구조의 항법메시지를 주 대상으로 고려하였다. GPS의 CNAV, QZSS의 LNAV, CNAV, BDS의 CNAV, CNAV-2 위성 신호를 장시간 수신 받아 실제로 방송되고 있는 항법메시지의 주기와 시퀀스를 실험적으로 확인하고 분석하였다.

본 논문의 2장에서는 각 위성항법시스템의 항법메시지 구조와 방송 시퀀스를 ICD 기반으로 분석한 내용을 기술하고, 3장에서는 실험으로 확인한 각 위성항법신호의 항법메시지의 방송주기와 시퀀스를 정리하고 분석하였다.

## 2. 항법메시지 ICD 분석

### 2.1 GPS

#### 2.1.1 LNAV (L1 C/A)

GPS L1 C/A의 항법메시지는 Fig. 1과 같이 총 25개의 프레임으로 이루어져 있는 고정구조이다. 각 프레임은 5개의 서브프레임으로 구성되며, 각 서브프레임은 10개의 워드로 구성된다. 각 서브프레임에 포함되어 있는 데이터는 ICD (IS-GPS-200N 2022)를 참고하여 Table 1에 정리하였다. 서브프레임 1번에는 위성의 Clock 정보와 위성 데이터의 온전함을 나타내는 Health 정보를 포함하고 있다. 서브프레임 2, 3번은 Ephemeris 데이터가 2개 파트로 나누어져 할당되어 있고, 서브프레임 4, 5번에는 Ionospheric, Universal Time Coordinated (UTC), Almanac 등의 데이터가 존재한다. 메시지의 구조가 고정되어 있어 설계되어 있는 데이터 외에 새로운 데이터를 추가할 때에는 서브프레임 4번의 여러 개의 페이지에 정의되어 있는 Reserved 공간을 활용할 수 있다. 방송 시퀀스는 서브프레임 1부터 5까지 순차적으로 방송된다. 서브프레임 1, 2, 3의 방송주기는 30초이며, 서브프레임 4, 5번은 1 ~ 25번 까지의 페이지 데이터를 제공받기 위해서는 12.5분이 소요된다.

#### 2.1.2 CNAV (L2C, L5)

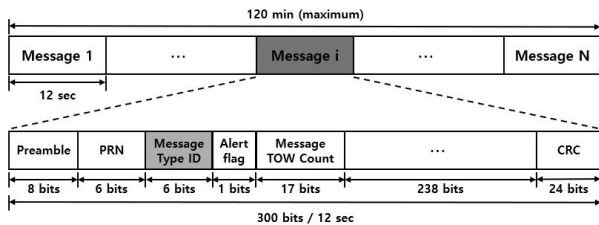
GPS L2C와 L5 항법메시지는 각각 Figs. 2, 3과 같이 패킷형 구조로 여러 개의 메시지 타입이 효율적인 임의의 시퀀스를 구성

**Table 1.** GPS L1 C/A message content defined in ICD.

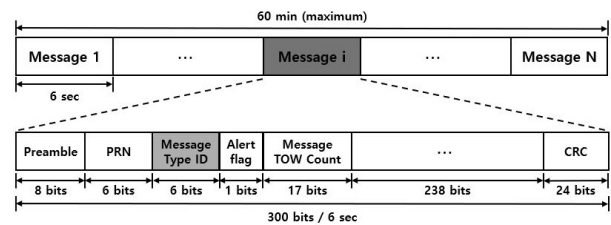
Subframe	Page	Data	Broadcast interval [s]
1	-	SV clock, SV health	30
2	-	Ephemeris data - part 1	30
3	-	Ephemeris data - part 2	30
4	1, 6, 11, 16, 21	Reserved	750
	2, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 10	Almanac data for SV 25-32	
	12, 19, 20, 22, 23, 24	Reserved	
	13	NMCT	
	14,15	Reserved for system use	
	17	Special messages	
5	18	Ionospheric and UTC data	750
	25	A-S flags, SV configurations 1-32, SV health SV 25-32	
	1-24	Almanac data SV 1-24	
	25	SV health 1-24, Almanac reference time, Almanac reference week number	

**Table 2.** GPS L2C, L5 message content defined in ICD.

Type	Message data	Maximum broadcast interval L2C [s]	Maximum broadcast interval L5 [s]
10	Ephemeris data - part 1	48	24
11	Ephemeris data - part 2	48	24
12	Reduced almanac	1200	600
13	Clock differential correction	1800	900
14	Ephemeris differential correction	1800	900
15	Text	As needed	As needed
30-37	SV clock	48	24
30	IONO & Group delay	288	144
31	Reduced almanac	1200	600
32	EOP	1800	900
33	UTC	288	144
34	Differential correction	1800	900
35	GGTO	288	144
37	Midi almanac	7200	3600



**Fig. 2.** GPS L2C message structure.

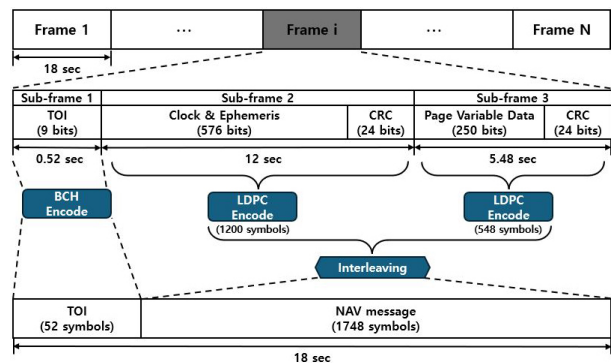


**Fig. 3.** GPS L5 message structure.

하여 방송될 수 있다. 해당 신호들의 ICD (IS-GPS-200N 2022, IS-GPS-705J 2022)를 참고하여 메시지 파라미터 및 최대방송주기(maximum broadcast interval)를 Table 2에 정리하였다. 최대 방송주기는 패킷형 구조 내에서 정해진 전체 데이터 길이에 맞춰 각 메시지 타입을 방송할 수 있는 한계 주기를 의미하며, 적어도 이 시간 내에서는 각 메시지 타입의 방송을 보장한다. 각 메시지는 Preamble 시작으로 PRN, Message type ID, Alert Flag, Message Time Of Week (TOW) Count, Message data, Cyclic Redundancy Check (CRC) 순서로 구성된다. 하지만, ICD에서 구체적인 방송 시퀀스는 언급되어 있지 않기에 3장에서 실험적으로 수신하여 분석하였다.

### 2.1.3 CNAV-2 (L1C)

GPS L1C 항법메시지는 Fig. 4와 같이 혼합형 구조를 가지며, 프레임, 서브프레임 단위가 존재하고, 1개의 프레임은 3개의 서브

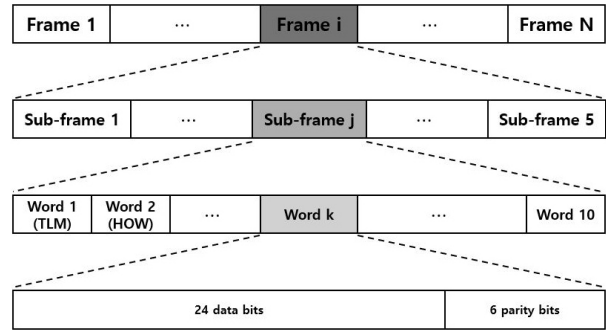


**Fig. 4.** GPS L1C message structure.

프레임으로 구성된다. CNAV-2 신호에 해당하는 혼합형 구조의 특징은 고정형 구조와는 다르게 각 서브프레임의 길이는 동일하지 않다. 각 서브프레임 데이터는 ICD (IS-GPS-800J 2022)를 참

**Table 3.** GPS L1C message content defined in ICD.

Subframe	Page	Data	Broadcast interval [s]
1	-	TOI	18
2	-	Clock, Ephemeris, ITOW	18
3	1	UTC & IONO	-
	2	GGTO & EOP	
	3	Reduced almanac	
	4	Midi almanac	
	5	Differential correction	
	6	Text	
7	SV configuration		
8	Integrity support message		



**Fig. 5.** QZSS L1 C/A message structure.

**Table 4.** QZSS L1 C/A message content defined in ICD.

Subframe	Data ID	SV ID	Data	Maximum broadcast interval [s]	Remarks
1	-	-	SV clock, Group delay	30	-
2	-	-	Ephemeris data - part 2	30	-
3	-	-	Ephemeris data - part 1	30	-
4, 5	3	0	Test mode	-	-
		1-10	QZS almanac	600	-
		51	QZS almanac epoch, health	60	-
		55	Special messages	-	Not specified
		56	Ionospheric (Wide), UTC	60	-
		60	QZNMA	-	-
		61	Ionospheric (Japan), UTC	720	-

**Table 5.** QZSS L2C, L5 message content defined in ICD.

Type	Message data	Maximum broadcast interval L2C [s]	Maximum broadcast interval L5 [s]	Remarks
0	Test mode	-	-	-
10	Ephemeris data - part 1	48	24	-
11	Ephemeris data - part 2	48	24	-
12	QZS reduced almanac	1200	600	-
15	Text message	-	-	Not specified
30-37, 61	SV clock	48	24	-
30	Ionospheric (Wide)	288	144	-
31	QZS reduced almanac	1200	600	-
32	Earth orientation	1800	900	-
33	UTC	288	144	-
35	GGTO	288	144	-
37	QZS Midi almanac	7200	3600	-
60	QZNMA	-	(only L5)	-
61	Ionospheric (Japan), ISC	288	720	-

고하여 Table 3에 정리하였다. 서브프레임 1번은 Time Of Interval (TOI)가 포함되어 있고 서브프레임 2번에는 Clock, Ephemeris, Interval Time Of Week (ITOW)의 데이터를 포함하고 있다. 서브프레임 1번과 2번의 방송 시퀀스는 고정되어 있으며, 방송 주기는 18초이다. 서브프레임 3번에는 Ionospheric, UTC, Almanac 등의 데이터가 포함되어 있고 방송 시퀀스는 임의적이며, 고정된 형태로 지원하지 않는다.

## 2.2. QZSS

### 2.2.1 LNAV (L1 C/A)

QZSS L1 C/A의 항법메시지의 기본적인 형태는 GPS L1 C/A 신호 규격을 따르지만, 서브프레임 4, 5번의 경우 고정된 방송주기와 시퀀스를 가지는 것이 아닌 지역위성항법시스템인 QZSS에

적합한 독자적인 형태를 가지며 혼합형 구조에 가깝다. 항법메시지 구조는 Fig. 5와 같이 서브프레임과 워드 단위가 존재하며, 1개의 서브프레임은 10개의 워드로 구성된다. 각 서브프레임 데이터 및 최대방송주기는 ICD (IS-QZSS-PNT-005 2022)를 참고하여 Table 4에 정리하였다. 서브프레임 1번은 Clock 정보를, 서브프레임 2, 3번에는 Ephemeris의 데이터를 2개의 파트로 나누어 할당되어 있다. 서브프레임 1 ~ 3번까지는 고정된 형태로 방송되며, 방송주기는 30초이다. 서브프레임 4, 5번은 Almanac, Health, UTC, Ionospheric 등의 데이터가 존재하며, Data ID와 SV ID를 통해 데이터의 종류를 확인할 수 있다. 해당 데이터들은 임의적으로 방송되기 때문에 3장에서 실험적으로 수신하여 분석하였다.

### 2.2.2 CNAV (L2C, L5)

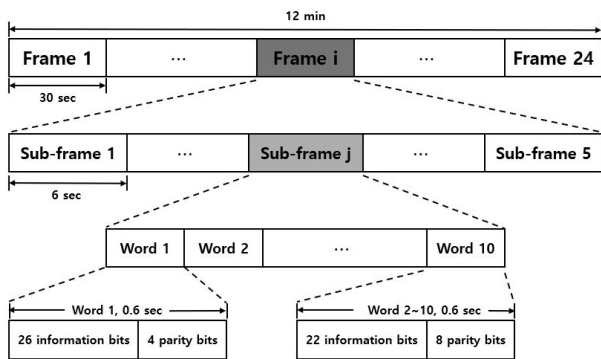
QZSS L2C, L5의 항법메시지는 패킷형 구조로 GPS L2C, L5

**Table 6.** QZSS L1C message content defined in ICD.

Subframe	Page	Data	Maximum broadcast interval [s]	Remarks
1	-	Time of interval	18	-
2	-	SV clock, Ephemeris, ISC	18	-
3	0	Test mode	-	-
	1	UTC, Ionospheric (Wide)	144	-
	2	GGTO, Earth orientation	144	-
	3	QZS reduced almanac	600	-
	4	QZS Midi almanac	3600	-
	6	Text message	-	Not specified
	61	UTC, Ionospheric (Japan)	720	-

**Table 7.** BDS B1I message content defined in ICD.

Subframe	Page	Data	Broad interval [s]
1	-	Autonomous satellite health flag (SatH1), Age of data clock, URAI, Week number (WN), Age of data ephemeris, Group delay differential, Ionospheric delay model, Clock correction	30
2	-	Ephemeris data - part 1	30
3	-	Ephemeris data - part 2	30
4	1-24	Almanac data for SV ID 1-24	7200
5	1-6	Almanac data for SV ID 25-30	7200
	7	Satellite health information SV ID 1-19	
	8	Week number of almanac, Satellite health information SV ID 20-30	
	9	GPS, Galileo, GLONASS time	
	10	UTC	
	11-23*	Almanac data for SV ID 31-43, 44-56, 57-63 *AmEpID ≠ 11: Reserved	
	24*	Satellite health information SV ID 31-63 *AmEpID ≠ 11: Reserved	



**Fig. 6.** BDS B1I message structure.

의 메시지 구조와 동일하며, 여러 개의 메시지 타입이 효율적인 임의의 시퀀스를 구성하여 방송될 수 있다. 해당 신호 ICD (IS-QZSS-PNT-005 2022)를 참고하여 메시지 파라미터 및 최대 방송주기를 Table 5에 정리하였다. GPS의 메시지 타입과는 다르게 메시지 타입 60, 61번이 추가된 것을 확인할 수 있다. 메시지 타입 60번은 Quasi-Zenith Satellite Navigation Message Authentication (QZNMA)로 L5 신호대역에서만 방송되며, 항법메시지 인증을 위한 Digital Signature Segment 데이터를 포함하고 있다. 메시지 타입 61번은 일본 지역에 대한 Ionospheric 정보가 포함되어 있다. 각 메시지는 Preamble를 시작으로 PRN, Message type ID, Message TOW Count, Alert Flag, Message data, CRC 순서로 구성된다. 하지만, 방송 시퀀스는 언급되어 있

지 않아 3장에서 실험적으로 수신하여 분석하였다.

### 2.2.3 CNAV-2 (L1C)

QZSS L1C의 항법메시지는 혼합형 구조로 GPS L1C의 메시지 구조와 동일하며, 프레임, 서브프레임 단위가 존재하고 1개의 프레임은 3개의 서브프레임으로 구성된다. 각 서브프레임 데이터 및 최대방송주기는 ICD (IS-QZSS-PNT-005 2022)를 참고하여 Table 6에 정리하였다. 서브프레임 1번에는 TOI, 서브프레임 2번에는 Clock, Ephemeris, 서브프레임 3번에는 UTC, Almanac, Ionospheric, Earth Orientation 등의 정보를 포함하고 있다. 서브프레임 1, 2번의 경우 방송 시퀀스는 고정되어 있고 방송주기는 18초이다. 서브프레임 3번은 고정되어 있지 않은 임의적인 시퀀스의 형태를 가진다.

## 2.3 BDS

### 2.3.1 D1 (B1I)

BDS B1I의 항법메시지는 고정형 구조로 Fig. 6과 같이 슈퍼 프레임, 프레임, 서브프레임, 워드 단위가 존재하며, 1개의 슈퍼 프레임은 24개의 프레임, 각 프레임은 5개의 서브프레임, 각 서브프레임은 10개의 워드로 구성된다. 해당 신호 항법메시지의 방송 시퀀스는 서브프레임 1 ~ 5번 순서대로 고정된 형태로 방송되며, 각 서브프레임의 데이터는 ICD (BeiDou ICD 2019)를 참고하

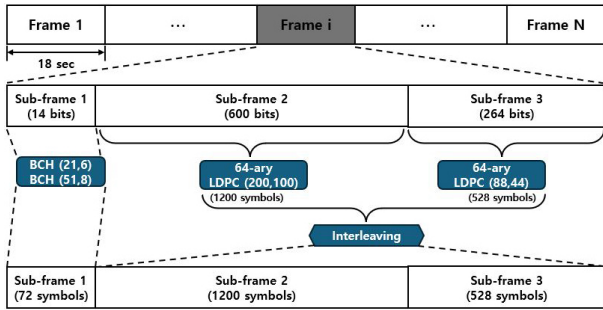


Fig. 7. BDS B1C message structure.

Table 8. BDS B1C message content defined in ICD.

Sub frame	Page	Data	Broad interval [s]
1	-	PRN 1-63, Seconds of hour	18
2	-	Ephemeris data part 1,2 Clock correction	18
3	1	Ionospheric delay correction, BDT-UTC	-
	2	Signal in space accuracy, Reduced almanac	
	3	EOP, BGTO	
4	Signal in space accuracy, Midi almanac		
Others		Reserved	

여 Table 7에 정리하였다. 서브프레임 1 ~ 3번까지는 기본적인 항법 정보 데이터를 제공하며, 확인된 방송주기는 30초이다. 구체적으로 서브프레임 1번은 Clock 정보, Ionospheric, User range accuracy index (URAI) 등의 데이터가 존재하고 서브프레임 2, 3번은 Ephemeris 데이터를 2개의 파트로 나누어서 할당되어 있다. 서브프레임 4, 5번은 Almanac과 UTC, Health 정보가 페이지별로 나누어서 방송되며, 모든 페이지의 데이터를 제공받기 위해서는 12분이 소요된다.

### 2.3.2 CNAV (B1C)

BDS B1C의 CNAV 항법메시지는 패키지 구조로 설계된 GPS, QZSS의 CNAV 신호와는 다르게 Fig. 7과 같이 혼합형 구조로 운영되고 프레임, 서브프레임 단위가 존재하며, 1개의 프레임은 3개의 서브프레임으로 구성된다. 각 서브프레임 데이터는 ICD (BeiDou ICD 2017a)를 참고하여 Table 8에 정리하였다. 서브프레임 1번은 Seconds of Hour (SOH) 정보, 서브프레임 2번은 Clock correction 정보와 Ephemeris 데이터, 서브프레임 3번은 Ionospheric delay correction, Almanac 데이터들을 포함하고 있다. 서브프레임 1, 2번의 방송 시퀀스는 고정되어 있으며, 방송주기는 18초이다. 서브프레임 3의 경우 Page ID를 통해 수신 받는 데이터를 확인할 수 있으며, 페이지 방송 시퀀스는 유동적으로 조절이 가능하다고 확인이 되어 3장에서 실험적으로 수신하여 분석하였다.

### 2.3.3 CNAV-2 (B2a)

BDS B2a의 항법메시지는 혼합형 구조로 설계된 GPS, QZSS의 CNAV-2 신호와는 다르게 Fig. 8과 같이 패키지 구조로 여러 개의 메시지 타입이 효율적인 임의의 시퀀스를 구성하여 방송될

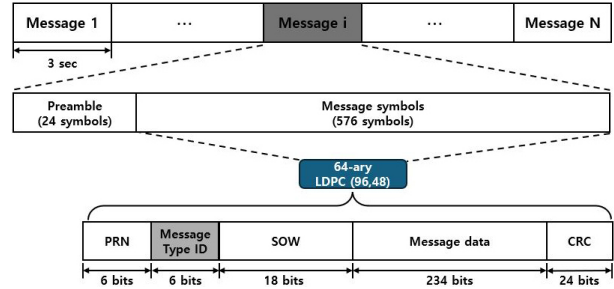


Fig. 8. BDS B2a message structure.

Table 9. BDS B2a message content defined in ICD.

Type	Message data
10	Ephemeris data - part 1
11	Ephemeris data - part 2
30-34	Clock correction
30	Ionospheric delay correction
31	Reduced almanac
32	EOP
33	BGTO, Reduced almanac
34	Signal in space accuracy, BDT-UTC time
40	Signal in space accuracy, Midi almanac

Table 10. Sejong Univ. antenna position.

Position					
Latitude	Longitude	Height	ECEF (x)	ECEF (y)	ECEF (z)
37.55°	127.07°	95.42 m	-3052171 m	4039504 m	3866233 m

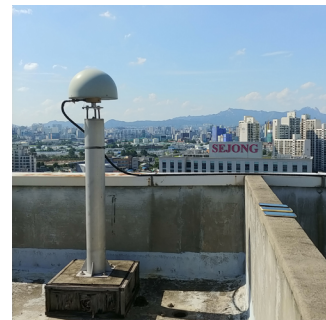


Fig. 9. Trimble GNSS v2 choke ring antenna.

수 있다. 메시지 데이터는 ICD (BeiDou ICD 2017b)를 참고하여 Table 9에 정리하였다. 각 메시지는 Preamble를 시작으로 PRN, Message type ID, Seconds of Week, Message data, CRC 순서로 구성된다. 해당 신호 ICD에는 메시지 타입 10, 11번은 함께 지속적으로 방송되고 있으며, 나머지 메시지 타입은 유동적으로 조절 가능하다고 명시되어 있다. 그렇지만, 각 메시지 타입에 대한 방송 주기는 제공되지 않아 3장에서 실험적으로 수신하여 분석하였다.

## 3. 항법메시지 방송주기 및 시퀀스 분석

### 3.1 실험 환경 구성

세종대학교 충무관 옥상에 설치된 Trimble사의 GNSS v2



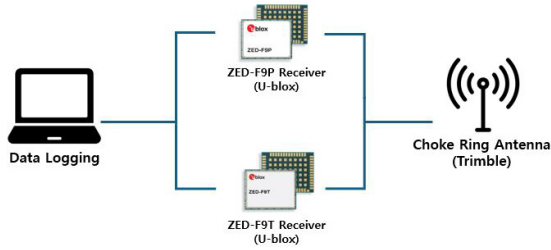


Fig. 10. Downlink experiment environment.

Table 11. Number of satellite navigation messages used in statics.

	GPS L2C	GPS L5	QZSS L1 C/A	QZSS L2C	QZSS L5	BDS B1C	BDS B2a
Number of message	146,112	189,358	54,574	68,624	125,781	92,504	581,967

Choke Ring Antenna의 위도, 경도, 고도 및 Earth Centered Earth Fixed (ECEF) 좌표를 Table 10에 정리하였고, Fig. 9는 설치된 모습이다. L1, L2C 신호 대역을 지원하는 U-blox 사의 ZED-F9P 수신기와 L1, L5 신호 대역을 지원하는 ZED-F9T 수신기로 Fig. 10과 같이 실험 환경을 구성하였다.

각 위성항법시스템의 신호 중 패킷형 또는 고정형에 해당하면서 실험에 사용한 U-blox 수신기에서 지원하는 GPS (L2C, L5), QZSS (L1 C/A, L2C, L5), BDS (B1C, B2a) 신호에 대하여 한국 표준시 (KST) 기준 12시간(2024 3/15 14:00 ~ 3/16 02:00)과 48시간(2024 6/17 20:00 ~ 6/19 20:00) 두 기간 동안 항법메시지 raw data를 수집하였다. U-blox의 UBX-RXM-SFRBX 프로토콜 기반 데이터를 수신하여 출력된 항법메시지들 중 일부 소실되거나 오류가 발생한 항법메시지를 제외한 결과를 Table 11에 정리하였으며, GPS L2C 메시지 146,112개, GPS L5 메시지 189,358개, QZSS L1 C/A SV 54,574개, QZSS L2C 메시지 68,624개, QZSS L5 메시지 125,781개, BDS B1C 페이지 92,504개, BDS B2a 메시지 581,967개로 확인되었다. 이를 바탕으로 각 위성항법시스템 신호의 항법메시지별 방송데이터 주기와 시퀀스를 확인하고 분석하였다.

### 3.2 실험 결과

Tables 12-18은 실험적으로 확인한 각 위성항법시스템의 항법메시지 방송주기 통계를 나타내고 있으며, 여기서 방송 주기는 각각의 메시지, 페이지 타입 또는 SV ID가 다음 방송까지 소요되는 시간을 측정하였다. 패킷형 또는 혼합형 구조를 지닌 항법메시지의 경우 ICD에 방송 주기가 특정되어 있지 않으며, 상황에 따라 임의적으로 방송할 수 있으므로 최대 및 최소주기와 평균주기에 대한 통계 값을 확인하였다.

#### 3.2.1 GPS CNAV (L2C, L5)

GPS L2C와 L5 신호 항법메시지의 실제 방송 시퀀스를 확인한 결과, 두 신호 모두 메시지 타입 10(ephemeris data - part1), 11(ephemeris data - part2), 30(SV clock, IONO, group delay), 32(SV clock, EOP), 33(SV clock, UTC)번을 방송하며, 동일한 시간에 PRN별로 다른 메시지 타입을 방송하는 경우를 확인하였다.

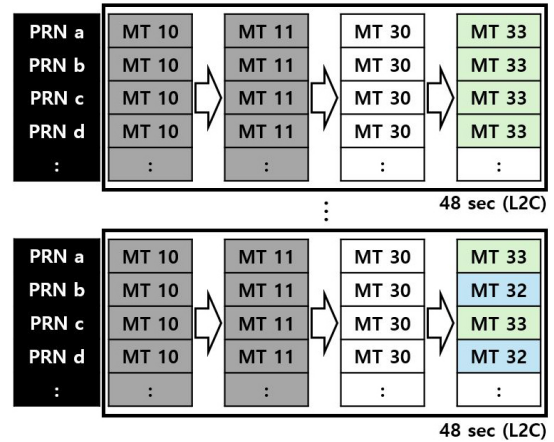


Fig. 11. GPS L2C navigation message broadcast sequence.

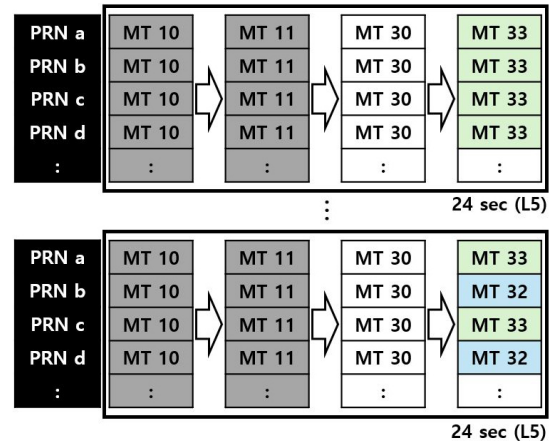


Fig. 12. GPS L5 navigation message broadcast sequence.

Fig. 11은 GPS L2C 신호, Fig. 12는 GPS L5 신호의 방송 시퀀스를 도식화한 것이다. 두 신호의 방송 시퀀스는 항법에 필수적 요소인 ephemeris 정보를 가지는 메시지 타입 10, 11번이 고정된 형태, clock 정보는 고정된 메시지 타입 30번과 유동적인 메시지 타입 32, 33번에서 제공받는 형태로 [10, 11, 30, 33], [10, 11, 30, 32] 두 가지 경우로 확인되었다.

확인된 PRN 중 [10, 11, 30, 33] 한 가지 방송 시퀀스만 확인될 때를 case1으로 정의하고, [10, 11, 30, 33], [10, 11, 30, 32] 두 가지 방송 시퀀스가 모두 확인될 때를 case2로 정의하였다. Table 12는 GPS L2C 신호, Table 13은 GPS L5 신호의 방송주기 통계를 정리한 것이며, L2C 신호의 case1에서 메시지 타입 32번이 방송되지 않으며, 32번을 제외한 모든 메시지 타입이 48초 주기로 방송되었다. Case2에서는 메시지 타입 32번은 48초와 96초 주기로 확인되었고, 메시지 타입 33번은 96초와 144초로 확인되었으며, 나머지 메시지 타입은 모두 48초의 주기로 방송되었다. L5 신호의 case1에서 메시지 타입 32번이 방송되지 않으며, 32번을 제외한 모든 메시지 타입이 24초 주기로 방송되었다. Case2에서는 메시지 타입 32번은 24초와 48초 주기로 확인되었고, 메시지 타입 33번은 48초와 72초로 확인되었으며, 나머지 메시지 타입은 모두 24초의 주기로 방송되었다.

**Table 12.** GPS L2C navigation message broadcast interval.

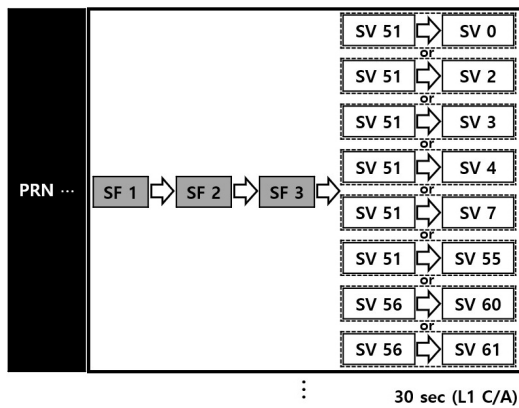
Broadcast interval [s]	Message type (MT)									
	MT 10		MT 11		MT 30		MT 32		MT 33	
	case1	case2	case1	case2	case1	case2	case1	case2	case1	case2
Max	48	48	48	48	48	48	-	96	48	144
Min	48	48	48	48	48	48	-	48	48	96
Mean	48	48	48	48	48	48	-	90	48	103

**Table 13.** GPS L5 navigation message broadcast interval.

Broadcast interval [s]	Message type (MT)									
	MT 10		MT 11		MT 30		MT 32		MT 33	
	case1	case2	case1	case2	case1	case2	case1	case2	case1	case2
Max	24	24	24	24	24	24	-	48	24	72
Min	24	24	24	24	24	24	-	24	24	48
Mean	24	24	24	24	24	24	-	45	24	51

**Table 14.** QZSS L1 C/A navigation message broadcast interval.

Broadcast interval [s]	SV ID type (SV)									
	SV 0	SV 2	SV 3	SV 4	SV 7	SV 51	SV 55	SV 56	SV 60	SV 61
Max	300	600	600	600	600	60	600	60	120	240
Min	60	600	600	600	600	60	600	60	60	240
Mean	120	600	600	600	600	60	600	60	80	240



**Fig. 13.** QZSS L1 C/A navigation message broadcast sequence.

GPS CNAV는 PRN별로 다른 메시지 타입을 방송하는 경우도 확인되었으나, 메시지 구조 상 측위에 필수적인 ephemeris와 SV clock 정보는 매 주기 항상 제공하도록 설계되어 있다. 오히려 PRN별로 다른 메시지 타입을 방송하면서 사용자가 EOP, UTC 등 다양한 데이터를 더 빨리 수신할 수 있도록 시퀀스를 설정하였다.

3.2.2 QZSS LNAV (L1 C/A)

QZSS L1 C/A 신호 항법메시지의 실제 방송 시퀀스를 확인한 결과, 서브프레임 4, 5에서 SV ID 0(test mode), 2(QZS almanac), 3(QZS almanac), 4(QZS almanac), 7(QZS almanac), 51(QZS almanac epoch & health), 55(special messages), 56(Ionospheric wide, UTC), 60(QZSMA), 61(Ionospheric Japan, UTC)번을 방송하며, 동일한 시간에 PRN별로 같은 서브프레임 및 SV ID를 방송하는 것을 확인하였다. Fig. 13은 QZSS L1 C/A의 신호의 방송 시퀀스를 도식화한 것이다. 기본적으로 서브프레임 1번부터 5번 순으로 방송되었으며, 항법에 필수적 요소인 ephemeris, clock 정보

를 가지는 서브프레임 1, 2, 3번은 고정된 형태로 방송되었고, 서브프레임 4, 5번의 SV ID를 통해 확인한 방송 시퀀스는 [51, 0], [51, 2], [51, 3], [51, 4], [51, 7], [51, 55], [56, 60], [56, 61]로 총 8가지의 경우로 확인되었다. Table 14는 실험적으로 확인한 QZSS L1 C/A 신호의 방송주기를 정리한 것이다. SV ID 2, 3, 4, 7, 51, 56번의 경우 ICD에서 정리된 최대방송주기에 따라서 방송하는 것을 확인하였고, SV ID 61번은 최대방송주기보다 작은 240초의 주기로 방송되는 것을 확인하였다. ICD에 최대방송주기가 언급되어 있지 않은 SV ID 0번은 60초와 300초, 55번은 600초, 60번은 60초와 120초의 주기를 가지는 것을 확인하였다.

3.2.3 QZSS CNAV (L2C, L5)

QZSS L2C와 L5 신호 항법메시지의 실제 방송 시퀀스를 확인한 결과, 메시지 타입 10(ephemeris data - part1), 11(ephemeris data - part2), 12(reduced almanac), 15(text), 30(SV clock, IONO, group delay), 31(SV clock, reduced almanac), 32(SV clock, EOP), 33(SV clock, UTC), 35(SV clock, GGTO), 37(SV clock, Midi almanac), 61(IONO Japan, group delay)번을 공통적으로 방송하였고 메시지 타입 60(QZSMA)번은 L5 신호에서만 확인이 되었으며, 동일한 시간에 PRN별로 같은 메시지 타입을 방송하는 것을 확인하였다. Fig. 14는 QZSS L2C 신호의 방송 시퀀스를 도식화한 것이며, 방송 시퀀스는 항법에 필수적 요소인 ephemeris 정보를 가지는 메시지 타입 10, 11번이 고정된 형태, clock 정보는 메시지 타입 30, 31, 32, 33, 35, 37번으로부터 유동적으로 제공받는 형태로 [10, 11, 30, 61], [10, 11, 31, 12], [10, 11, 32, 15], [10, 11, 32, 37], [10, 11, 33, 35]로 총 5가지의 경우로 확인되었다. Table 15에 QZSS L2C 신호의 방송주기 통계를 정리하였다. L2C 신호의 메시지 타입 10, 11, 33, 35번은 ICD에서 정리된 최대방송주기에 따라 방송되는 것을 확인하였다. 그러나, 메시지 타입 12, 30, 31, 32, 37, 61번은 최대방송주기보다 더 짧은 방송주기를 가지는 것을 확



Table 15. QZSS L2C navigation message broadcast interval.

Broadcast interval [s]	Message type (MT)										
	MT 10	MT 11	MT 12	MT 15	MT 30	MT 31	MT 32	MT 33	MT 35	MT 37	MT 61
Max	48	48	288	1440	144	288	144	288	288	288	144
Min	48	48	288	1440	144	288	144	288	288	144	144
Mean	48	48	288	1440	144	288	144	288	288	160	144

Table 16. QZSS L5 navigation message broadcast interval.

Broadcast interval [s]	Message type (MT)											
	MT 10	MT 11	MT 12	MT 15	MT 30	MT 31	MT 32	MT 33	MT 35	MT 37	MT 60	MT 61
Max	24	24	144	720	72	144	72	144	144	144	144	720
Min	24	24	144	720	72	144	72	144	144	72	72	720
Mean	24	24	144	720	72	144	72	144	144	80	80	720

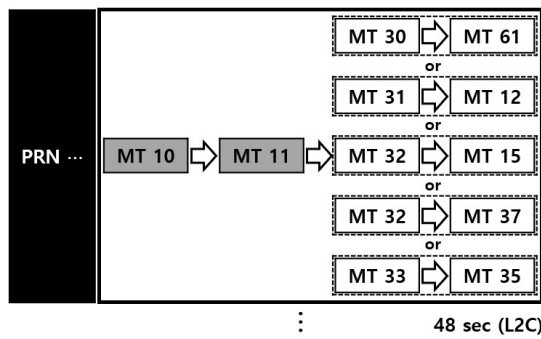


Fig. 14. QZSS L2C navigation message broadcast sequence.

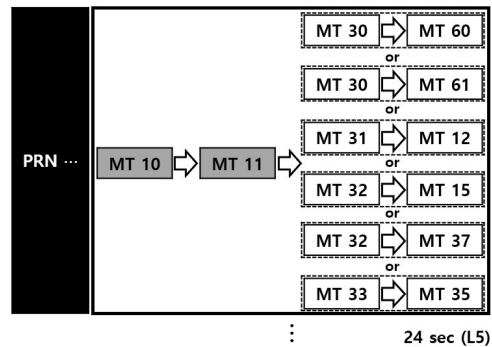


Fig. 15. QZSS L5 navigation message broadcast sequence.

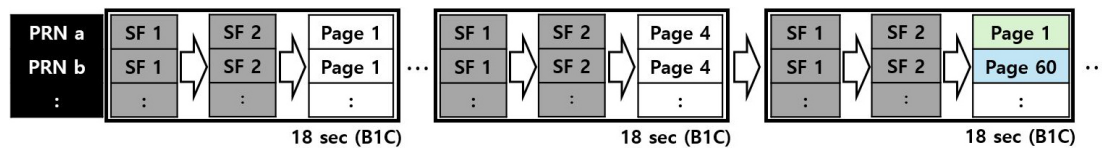


Fig. 16. BDS B1C navigation message broadcast sequence.

인하였다. 메시지 타입 37번의 경우, 144초와 288초의 주기로 방송되고 있었다. ICD에 최대방송주기가 명시되어 있지 않은 메시지 타입 15번은 1440초로 확인하였다.

Fig. 15는 QZSS L5 신호의 방송 시퀀스를 도식화한 것이며, 방송 시퀀스는 L2C의 케이스에서 [10, 11, 30, 60] 시퀀스 하나가 더 추가되어 총 6가지의 경우로 확인되었다. Table 16은 QZSS L5 신호의 방송주기 통계를 정리한 것이다. L5 신호의 메시지 타입 10, 11, 33, 35, 61번은 ICD에서 정해진 최대방송주기에 따라 방송하는 것을 확인하였다. 그러나, 메시지 타입 12, 30, 31, 32, 37번은 최대방송주기보다 더 짧은 방송주기를 가지는 것을 확인하였다. 메시지 타입 37번의 경우, 72초와 144초의 주기로 방송되고 있었다. ICD에 최대방송주기가 명시되어 있지 않은 메시지 타입 15번은 720초, 60번은 72초와 144초의 주기로 확인하였다.

### 3.2.4 BDS CNAV (B1C)

BDS B1C 신호 항법메시지의 실제 방송 시퀀스를 확인한 결과, 서브프레임 3에 페이지 타입 1(Ionospheric delay correction, BDT - UTC), 2(SISA, reduced almanac), 3(EOP, BGTO), 4(SISA,

Midi almanac), 60(reserved)번을 방송하며, 동일한 시간에 PRN 별로 다른 페이지 타입을 방송하는 경우를 확인하였다. Fig. 16은 BDS B1C 신호의 방송 시퀀스를 도식화한 것이며, 항법에 필수적 요소인 ephemeris, clock 정보를 가지는 서브프레임 1, 2번은 고정되어 있는 형태로 방송되고 있었으며, 서브프레임 3번에 해당하는 페이지 타입의 방송 시퀀스는 (1, 2, 3, 4) 또는 (1, 2, 3, 4, 60)로 2가지 경우에 대하여 반복하면서 방송하는 것을 확인하였다.

확인된 PRN 중 [1, 2, 3, 4]의 방송 시퀀스로 반복될 때를 case1으로 정의하고, [1, 2, 3, 4, 60]의 방송 시퀀스로 반복될 때를 case2로 정의하였다. Table 17은 BDS B1C 신호의 방송주기를 정리하여 표시하였다. 페이지 타입 60번은 Reserved에 해당하며 어떤 데이터가 포함되어 있는지는 ICD에서 공개되지 않았다. 해당 페이지가 포함되지 않은 case1의 경우, 페이지 타입 1, 2, 3, 4번은 72초 주기로 반복 방송되었다. 페이지 타입 60번이 포함된 case2의 경우, 모든 페이지 타입은 90초 주기로 반복 방송되었다.

### 3.2.5 BDS CNAV-2 (B2a)

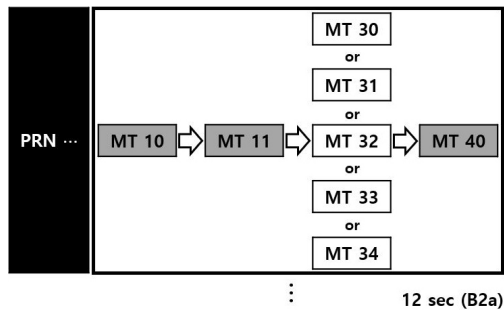
BDS B2a 신호 항법메시지의 실제 방송 시퀀스를 확인한 결

**Table 17.** BDS B1C navigation message broadcast interval.

Broadcast interval [s]	Page type									
	1		2		3		4		60	
	case1	case2	case1	case2	case1	case2	case1	case2	case1	case2
Max	72	90	72	90	72	90	72	90	-	90
Min	72	90	72	90	72	90	72	90	-	90
Mean	72	90	72	90	72	90	72	90	-	90

**Table 18.** BDS B2a navigation message broadcast interval.

Broadcast interval [s]	Message type (MT)								
	MT 10	MT 11	MT 30	MT 31	MT 32	MT 33	MT 34	MT 40	
Max	12	12	60	60	60	60	60	12	
Min	12	12	60	60	60	60	60	12	
Mean	12	12	60	60	60	60	60	12	



**Fig. 17.** BDS B2a navigation message broadcast sequence.

과, 메시지 타입 10(ephemeris data - part1), 11(ephemeris data - part2), 30(clock, Ionospheric delay correction), 31(clock correction, reduced almanac), 32(clock correction, EOP), 33(clock correction, BGTO, reduced almanac), 34(clock correction, SISA, BDT - UTC), 40(SISA, Midi almanac)번을 방송하며, 동일한 시간에 PRN별로 같은 메시지 타입을 방송하는 것을 확인하였다. Fig. 17은 BDS B2a 신호의 방송 시퀀스를 도식화한 것이며, 방송 시퀀스는 항법에 필수적 요소인 ephemeris 정보를 가지는 메시지 타입 10, 11번이 고정된 형태, clock 정보는 메시지 타입 30, 31, 32, 33, 34번으로부터 제공받는 유동적인 형태, 그 외 Midi almanac 정보를 가지는 메시지 타입 40번이 고정된 형태로 [10, 11, 30, 40], [10, 11, 31, 40], [10, 11, 32, 40], [10, 11, 33, 40], [10, 11, 34, 40]로 총 5가지의 경우로 확인되었다. Table 18은 BDS B2a 신호의 방송주기 통계를 정리한 것이며, 메시지 타입 10, 11, 40번은 12초, 메시지 타입 30, 31, 32, 33, 34번은 60초의 주기로 방송되었다. BDS B2a 신호의 특징은 Midi almanac을 중요하게 고려하여 ephemeris, clock과 같이 12초 마다 주기적으로 방송한다는 점이다.

#### 4. 결론

본 논문에서는 GPS의 CNAV, QZSS의 LNAV, CNAV, BDS의 CNAV, CNAV-2 항법 메시지들이 어떠한 방송 주기와 시퀀스를 지니는지 실험적으로 확인하였다. 고정형 구조를 포함한 일부 항법메시지들은 ICD에 구체적인 방송 주기와 시퀀스가 기술되어 있어 쉽게 파악할 수 있다. 그렇지만, 패킷형과 혼합형 구조를 지

닌 항법메시지들은 ICD에 최대방송주기만 기술되어 있으며 실제 어떠한 주기와 시퀀스로 방송되고 있는지는 정의되어 있지 않다. 본 연구에서는 실제 해당 위성항법신호의 항법메시지를 직접 수신하고 raw data를 처리하여 현 시점에서의 방송주기와 시퀀스에 대한 분석을 수행하였다. 방송주기에 대한 통계 값을 계산하고, 정해진 방송 시퀀스 케이스들에 대해 정리하고 분석하였다. 다만 패킷형 구조의 특징은 향후 언제든지 방송주기를 최대방송주기 내에서 조절할 수 있는 것이므로 이번에 분석한 통계와 시퀀스는 상황에 따라 변할 수 있다는 점은 고려할 필요가 있다. 그럼에도 본 연구의 결과는 각 위성항법시스템에서 항법에 필수적 요소인 ephemeris, clock 정보를 중요시하고 있으며, 그 외의 정보들 중 무엇을 중요시하여 항법메시지 방송을 스케줄링하고 있는지 분석하는데 활용될 수 있으리라 기대한다.

#### ACKNOWLEDGMENTS

This work was supported by the Agency for Defense Development by the Korean Government (UD230019TD).

#### AUTHOR CONTRIBUTIONS

The Manuscript with several authors, a short paragraph specifying their individual contributions must be provided. The following statements should be used “conceptualization, K.K. and O.K.; methodology, O.K.; investigation, K.K. and Y.J.; data curation, K.K.; writing—original draft preparation, K.K.; writing—review and editing, K.K. and O.K.; visualization, K.K.; supervision, B.P. and O.K.”. 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

- BeiDou ICD 2017a, BeiDou navigation satellite system signal in space interface Control Document, Open Service Signal B1C (Version 1.0), China Satellite Navigation Office. <http://en.beidou.gov.cn/SYSTEMS/ICD/201806/P020180608519640359959.pdf>
- BeiDou ICD 2017b, BeiDou navigation satellite system signal in space interface Control Document, Open Service Signal B2a (Version 1.0), China Satellite Navigation Office. <http://en.beidou.gov.cn/SYSTEMS/ICD/201806/P020180608518432765621.pdf>
- BeiDou ICD 2019, BeiDou navigation satellite system signal in space interface Control Document, Open Service Signal B1I (Version 3.0), China Satellite Navigation Office. <http://en.beidou.gov.cn/SYSTEMS/ICD/201902/P020190227702348791891.pdf>
- Galileo ICD 2023, European GNSS (GALILEO) Open Service, OS SIS ICD, Issue 2.1, 2023, European GNSS Service Centre. [https://www.gsc-europa.eu/sites/default/files/sites/all/files/Galileo\\_OS\\_SIS\\_ICD\\_v2.1.pdf](https://www.gsc-europa.eu/sites/default/files/sites/all/files/Galileo_OS_SIS_ICD_v2.1.pdf)
- GLONASS ICD 2008, Navigational radiosignal in bands L1, L2 (Edition 5.1) (Moscow: Russian Institute of Space Device Engineering). [https://www.unavco.org/help/glossary/docs/ICD\\_GLONASS\\_5.1\\_\(2008\)\\_en.pdf](https://www.unavco.org/help/glossary/docs/ICD_GLONASS_5.1_(2008)_en.pdf)
- IS-GPS-200N 2022, Global Positioning System Directorate Systems Engineering & Integration Interface Specification, 200N, Navstar GPS Space Segment / Navigation user segment interfaces. USA: Navstar GPS Joint Program Office. <https://www.gps.gov/technical/icwg/IS-GPS-200N.pdf>
- IS-GPS-705J 2022, Global Positioning System Directorate Systems Engineering & Integration Interface Specification, 705J, Navstar GPS Space Segment / Navigation user segment interfaces. USA: Navstar GPS Joint Program Office. <https://www.gps.gov/technical/icwg/IS-GPS-705J.pdf>
- IS-GPS-800J 2022, Global Positioning System Directorate Systems Engineering & Integration Interface Specification, GPS Space Segment / Navigation user segment interfaces. USA: Navstar GPS Joint Program Office. <https://www.gps.gov/technical/icwg/IS-GPS-800J.pdf>
- IS-QZSS-PNT-005 2022, Quasi-Zenith Satellite System Interface Specification Satellite Positioning, Navigation and Timing Service (IS-QZSS-PNT-005). <https://qzss.go.jp/en/technical/download/pdf/ps-is-qzss/is-qzss-pnt-005.pdf?t=1713872793121>
- Noh, J. H., Jo, G. H., Lee, J. Y., & Lee, S. J. 2022, Performance Analysis of GNSS Navigation Messages in the Structure Viewpoint, *Journal of Positioning, Navigation, and*

*Timing*, 11, 135-146. <https://doi.org/10.11003/JPNT.2022.11.2.135>



**Kihyun Kim** is a M.S. student at Department of Aerospace Engineering in Sejong University in Republic of Korea. He received the B.S. degree from Sejong University. His research interests include GNSS and nano-satellite platform.



**Yongrae Jo** is an integrated Ph.D. student of Department of Aerospace Engineering and Department of Convergence Engineering for Intelligent Drone at Sejong University. He received the B.S. degree from Aerospace Engineering at Sejong University, Seoul, Korea. His research interests include RTK/Network RTK and GNSS augmentation message scheduling algorithms.



**Byungwoon Park** is a professor of Department of Aerospace Engineering and Department of Convergence Engineering for Intelligent Drone at Sejong university. He received the B.S., M.S., and Ph.D. degree from Seoul National University. He worked as a principal researcher at Spatial Information Research Institute in Korea Land and Geospatial Informatic Corporation and a visiting scholar of Aerospace Engineering Sciences Department at the University of Colorado (CU), Boulder. His research interests include GNSS-based safety-critical applications, Compact RTK/Network RTK, PPP, GNSS augmentation message generation and scheduling algorithms, and ionospheric irregularity detection.



**O-Jong Kim** is an Assistant Professor in the Department of Aerospace Engineering, Sejong University, South Korea. He received the B.S., master's, and Ph.D. degrees from Seoul National University. He was with System LSI Business of Samsung Electronics. His current research interests include satellite-based navigation system, alternative PNT, indoor navigation, cycle ambiguity resolution, and space technologies, such as space GNSS receivers and nano-satellite platforms.