



J. Korean Soc. Aeronaut. Space Sci. 49(5), 417-424(2021)

DOI:https://doi.org/10.5139/JKSAS.2021.49.5.417

ISSN 1225-1348(print), 2287-6871(online)

## 정지궤도위성 운영을 위한 향상된 S-band 원격명령어 및 원격측정데이터 포맷에 대한 연구

이나영<sup>1</sup>, 신현규<sup>2</sup>, 천이진<sup>3</sup>, 최재동<sup>4</sup>Study on the Advanced S-band Telecommand and Telemetry Formats  
for the Geostationary Orbit Satellites OperationNayoung Lee<sup>1</sup>, Hyun-Kyu Shin<sup>2</sup>, Yee-Jin Cheon<sup>3</sup> and Jae-Dong Choi<sup>4</sup>

Korea Aerospace Research Institute

## ABSTRACT

The S-band telemetry and telecommand formats for geostationary orbit satellites should have sufficient reliability, since they transmit massive satellite health data and receive the mission commands in the 36,000km of the geostationary orbit. Also, they have to efficiently manage the large quantity of satellite health data under the limited data transmission rate. Cheollian-2A and 2B satellites were developed by Korea Aerospace Research Institute and launched at 2018 and 2020, respectively. Their missions are to conduct continuously the mission of Cheollian-1, which was the first geostationary orbit satellite of Korea. Therefore, the fundamental S-band data format design for Cheollian-2A and 2B should meet the requirements of Cheollian-1. Meanwhile the latest remote data processing techniques for these newest geostationary orbit satellites should be implemented. In this paper, the advanced S-band space data formats and management methods are proposed for more efficient data transmission, reception and operation with the limited data rate of the geostationary orbit satellites. The implemented results in the flight software of Cheollian-2A and 2B are described in detail.

## 초 록

정지궤도위성의 원격데이터 통신 포맷은 제한된 통신 속도 대비 대량으로 생성되는 위성 데이터를 효율적으로 수신하고, 36,000km 고도에서 운영되는 정지궤도위성의 원격명령어 수신 결과를 정확하게 확인하기 위해 설계된다. 한국항공우주연구원에서 개발하여 2018년과 2020년에 각각 발사 및 운영 중인 천리안2A호와 2B호는 한국 최초의 정지궤도위성인 천리안1호의 임무를 연속하여 수행하도록 설계되었다. 따라서 정지궤도위성과 지상국의 안정적인 원격 통신을 위해 필요한 원격 통신 설계 요소들을 승계하였다. 한편, 원격 데이터의 처리 및 운영을 담당하는 천리안 2A호와 2B호의 탑재소프트웨어는 다목적위성시리즈를 통해 그 성능이 더욱 개선되어 왔으며 최신의 원격 데이터 처리 및 운영 알고리즘이 구축되어 있다. 본 논문에서는 정지궤도위성의 향상된 원격 데이터 송수신을 위한 원격명령어 및 원격측정데이터의 포맷 및 운영 개념 설계를 제안하고, 실제 천리안 2A호와 2B호의 탑재소프트웨어에 적용된 내용들을 상세하게 기술한다.

**Key Words** : S-band Telecommand(원격명령어), Telemetry(원격측정데이터), Cheollian-2A(천리안 위성 2A호), Cheollian-2B(천리안위성 2B호)

† Received : September 15, 2020 Revised : - Accepted : December 7, 2020

<sup>1,3,4</sup> Principle Researcher, <sup>2</sup> Senior Researcher

<sup>1</sup> Corresponding author, E-mail : nylee@kari.re.kr, ORCID 0000-0002-0714-0028

© 2021 The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences

## I. 서 론

정지궤도위성의 S-band 원격명령어 및 원격측정데이터 송수신은 24시간 수행이 가능하지만, 36,000km 정지궤도 고도에서의 통신 링크 전력 소모량과 원격 데이터 전송량 등에 의해 데이터 전송 속도는 크게 제한된다. 천리안1호의 S-band 원격명령 업로드 전송률은 1,000bps이고, S-band 원격측정데이터 다운링크 전송률은 4,096bps이다[1]. 이는 약 600km 고도에서 운영되는 저궤도위성의 원격 데이터 전송률이 각각 4,000bps 및 1.5 Mbps인 것과 비교하면 상당히 느린 속도이며, 이와 같은 데이터 통신 전송률 때문에 정지궤도위성의 원격명령 및 원격측정 데이터 포맷의 설계는 위성의 대용량 데이터에 대한 효율적인 운영과 원격명령 수신에 대한 정확한 검증을 목표로 설계된다. 한국항공우주연구원(항우연)에서 개발하여 2018년과 2020년에 각각 발사 및 운영 중인 천리안 2A호와 2B호(이하 천리안2호)는 지난 2010년에 발사된 천리안1호의 임무를 연속하여 수행하도록 설계되었다. 따라서 천리안2호의 원격 데이터 포맷 설계는 천리안 1호의 정지궤도 위성 운영을 위한 필수 설계 요건들을 승계한다. 한편 천리안2호의 탑재컴퓨터(GK2 Management Unit: GMU)에 탑재되어 위성 운영과 원격 데이터 처리의 핵심 역할을 수행하는 위성탑재소프트웨어(Flight Software: FSW)는 다목적 위성시리즈의 FSW 설계를 기반으로 하며, 새로운 표준 아키텍처를 적용하여 국내 독자 개발되었다. 본 논문에서는 정지궤도위성의 낮은 데이터 전송률에서 안정적이고 보다 향상된 데이터 송수신 및 관리를 위한 원격 데이터 포맷 및 운영 개념들을 제안하고, 이들이 실제 적용되어 운영 중인 천리안2호의 원격 데이터 포맷 및 운영 사례를 정리한다.

## II. 본 론

항우연에서 개발하는 저궤도위성인 다목적위성시리즈와 정지궤도위성인 천리안위성시리즈의 S-band 원격명령어(Telecommand: TC) 및 원격측정데이터(Telemetry: TM)의 포맷은 모두 CCSDS(Consultative Committee for Space Data Systems) 문서를 근거로 설계되었다. 이 문서는 지상국과 인공위성 간의 원격통신 포맷에 대한 전반적인 설계 사항들을 다룬다[2]. 특히, 각 위성의 TCTM 처리와 관련된 위성 통신 속도, 위성 교신 시간 및 대용량 데이터의 지상 전송 여부 등의 여러 조건들을 반영할 수 있도록 CCSDS 문서는 사용자가 그 영역을 변경하고 활용할 수 있는 'TM Data' 영역을 정의하고 있으며, 이를 활용함으로써 해당 위성의 TCTM 포맷들이 고유하게 도출된

다[3,4]. 정지궤도위성의 낮은 데이터 전송률 대비 24시간 가능한 통신 조건 등을 고려하여 천리안 1호의 원격 데이터 포맷에 적용된 CCSDS 포맷 개념 및 보다 향상된 운영 개념을 적용하기 위해 제안하는 S-band 원격측정데이터 및 원격명령어의 포맷은 다음과 같다.

### 2.1 원격측정데이터 포맷 설계

천리안위성시리즈의 TM 포맷은 CCSDS 131.0-B-2의 CADU(Channel Access Data Unit) 포맷을 따른다. 이 포맷은 정지궤도위성의 운영을 위한 CADU 포맷의 필수 파라미터들을 규정한다. CADU 포맷의 시작을 알려주는 Marker, Header, OBT(On-board Time)이 포함되고, 특히 원격명령어의 수신을 확인하기 위한 파라미터(Command Link Control Word: CLCW and Command Processing Result) 및 CADU 데이터의 무결점을 체크하기 위한 파라미터(Frame Error Control Word: FECW)들이 포함된다. Fig. 1은 천리안1호의 TM CADU 포맷을 보여준다. CADU 포맷 중 특히 'TM Data' 영역은 각 위성의 TM 생성량과 TM 운영 방식을 고려하여 설계 가능하다[4]. 천리안 1호의 'TM Data' 영역은 총 486byte의 크기로 정의되고, 이를 통해 FSW의 TM 샘플링 및 TM Data 관리 로직으로 생성된 위성 전장품들의 상태데이터 및 자제제어데이터들이 매초 전송된다.

'TM Data' 영역을 보다 효율적으로 설계하기 위해 우선 이 영역에서 전송되어야 하는 TM의 종류를 정의해야 하는데, State of Health (SOH) 데이터와 Event Log들이 필수 TM으로 포함된다. SOH 데이터는 위성 전기인터페이스를 통해 취합된 전장부품들의 전원스위치 ON/OFF 상태 데이터, 온도 및 전압과 같은 아날로그 데이터와 FSW의 여러 알고리즘을 통해 생성되는 로직 데이터들로 구성된다. 이들은 모두 FSW의 TM 처리 로직으로 관리된다. 또한 위성의 원격명령어 수신 및 수행 여부, 오류 및 Event 발생 내역들은 지상으로 즉시 전송해야 한다. Event 데이터는 긴급성과 중요도에 따라 우선순위를 가지도록 각각의 레벨들을 분류하면 Event 발생 상황을 체계적으로 관리할 수 있다.

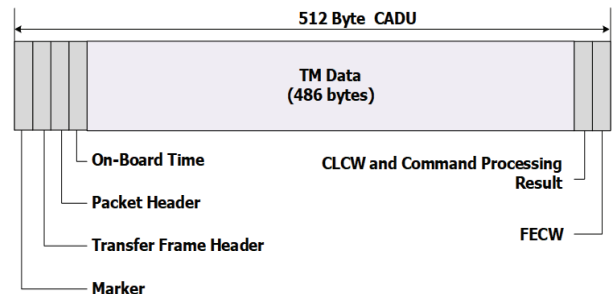


Fig. 1. S-band TM format of Cheollian-1

다목적위성시리즈에서는 이를 Event Log라고 명명하여 위성 FSW에서의 Event Log의 생성 알고리즘, 데이터베이스 구축 및 지상수신장비의 시현 기능을 구축하였다.

Figure 2는 다목적위성시리즈의 S-band TM CADU 포맷을 보여준다. Fig. 2(a)의 Packet 포맷 #1은 기본 TM 운영용 Packet의 포맷이며, 212 byte 길이를 가진다[5]. Fig. 2(b)의 Packet 포맷 #2는 Event Log 전송 공간이 할당된 것이며, 이는 CADU Header에 Event 영역을 지정하기에는 다목적위성시리즈의 CADU 크기가 충분히 크지 않기 때문이다. 즉, Event Log 처리를 위해 다목적위성시리즈는 2개의 Packet Format을 정의하게 되었다[6,7]. 한편 다목적위성시리즈의 S-band TM 전송률은 저속전송과 고속전송 모드에 따라 달라진다. Fig. 3(a)와 Fig. 3(b)는 각각 저속전송모드(Low Data Rate Mode)와 고속전송모드(High Data Rate Mode)에서 매 초 전송되는 실시간 생성(Real-time, RT) Packet의 개수를 보여준다. 특히 Event Log의 수신은 각각의 모드에 대해 Packet 포맷 #2를 2번째 RT CADU 전송에서 활성화해야 가능한 구조이다. 이로 인해 Event Log 전송을 위한 전용 Packet용 데이터베이스를 설계하고, 이를 처리하기 위한 Event가 포함된 Packet의 최종 생성 로직 설계 및 지상수신장비의 후처리 설계가 필요하였다[8,9].

한편, 정지궤도위성 CADU의 'TM Data' 영역은 다목적위성시리즈의 2배 이상으로서 충분한 크기를 가진다. 따라서 Event Log 영역을 'TM Data' 영역과 별도로 CADU 포맷에 할당할 수 있다. 이를 통해 Event Log 데이터를 매 초 안정적으로 수신할 수 있고, Event Log 전송 영역을 Packet 포맷과 독립적으로 운영할 수 있다. 한편 400byte 이상의 CADU 'TM Data' 영역을 효율적으로 운영하기 위해 이를 2개로 분할하고 각각 분할된 영역을 정지궤도위성의 TM Packet 포맷으로 규정하면 매초 2개의 각각 다른 내용의 Packet을 전송받는 효과를 가질 수 있다.

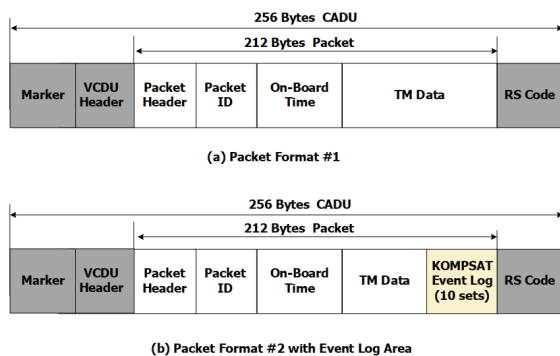


Fig. 2. S-band TM format of KOMPSAT series: (a) Packet Format #1 and (b) Packet Format #2

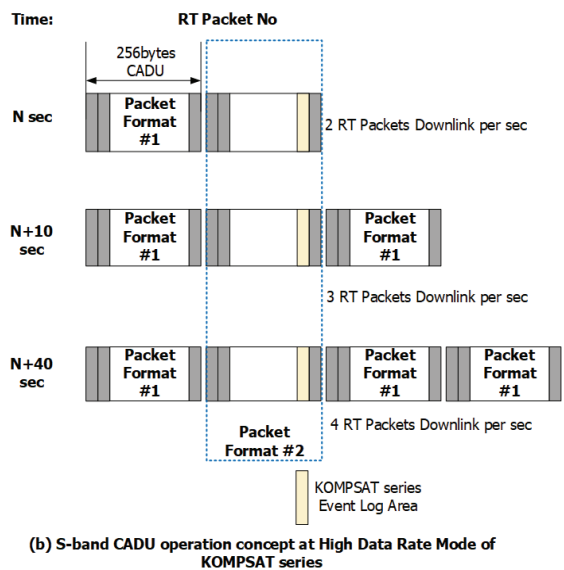
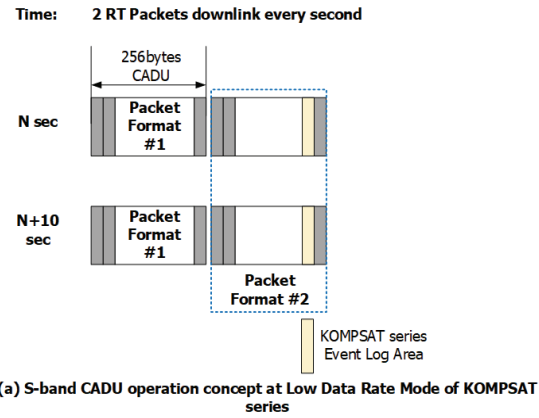


Fig. 3. S-band TM operation concepts of KOMPSAT series: (a) at Low Data Rate mode and (b) at High Data Rate mode

이 개념을 천리안2호 S-band TM CADU 포맷에 구현한 결과는 Fig. 4와 같다. 2개로 분할된 TM Data 영역을 각각 Datazone A와 Datazone B라고 명명한다. Datazone A는 항상 전송되어야 하는 필수 텔레메트리 운영 공간이고, Datazone B는 다양한 Packet 운영 개념을 적용하는 공간이다. 각각의 크기는 224byte이며, 이를 통해 전송되는 천리안2호 S-band TM Packet의 구조는 1byte의 Packet ID와 223byte의 Packet Data로 구성된다. Event Log는 이들 2개의 Packet과는 독립된 영역에 배정되었다. 그 결과, 천리안2호의 Packet 구조는 Event Log 영역과 독립되어 간단하고 통일된 단일 구조로 개선되었다. 또한 Event Log 전송을 위한 FSW의 알고리즘과 지상수신장비의 처리 개념들 역시 Packet 처리와 별도로 수행되므로 보다 효율적으로 개선되었다. Packet 운영 관점에서는 Datazone A에서는 안정적으로 필수 모니터링 Packet들이 24시간 전송되고, 이와 별도로

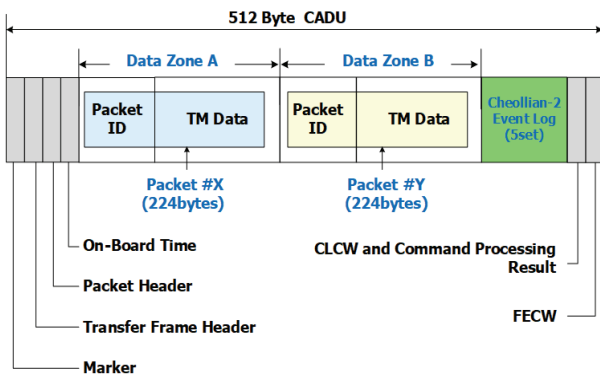


Fig. 4. Proposed and implemented S-band TM format of Cheollian-2

Datazone B에서는 Dump 및 Minor Cycle Sampling 데이터 전송 등 다양한 Packet 운영이 가능하다. 따라서 Fig. 1의 천리안 1호의 TM 포맷과 비교하여 천리안2호에서는 사용자 정의 Data 영역인 TM Data 영역이 보다 세분화되어 Datazone 2개와 Event Log 5개 세트 영역이 추가되었으며, 그 결과 다음 절에서 기술되는 다양한 Packet 운영 개념이 적용되고 있다.

## 2.2 원격측정데이터 운영 개념 설계

정지궤도위성의 S-Band 원격데이터 전송률은 매우 제한적이기 때문에 매초 수백 개씩 생성되는 위성데이터들을 효율적으로 운용하기 위해 SOH Data 종류를 위성 운영 및 시험 목적에 따라 분류하고, SOH Data의 용도와 긴급성을 고려하여 TM 전송 주기를 정의해야 한다. 정지궤도위성의 SOH Data의 용도는 크게 2가지이다. 첫 번째는 위성의 발사 대기 시점부터 발사 후 전이궤도 진입 및 전이궤도에서의 운영 기간동안 위성 본체 시스템과 추진계 시스템의 SOH Data를 정밀하게 관측하는 것이다. 두 번째는 정지궤도에서 위성이 임무를 수행하는 동안 탑재체를 포함한 위성 전체 시스템의 SOH Data들을 다양하게 획득하는 것이다. 이를 위해 S-band Packet의 전송 순서를 정의하는 Packet Sequence Group (PSG)을 '발사 및 전이궤도 운영용'과 '위성 본궤도 운영용'으로 각각 정의해야 한다. Packet Sequence Group이란, FSW의 Packet 생성 및 전송 순서를 정의하는 것이다. 예를 들어  $PSG = \{Packet\ ID=00h, Packet\ ID=01h, Packet\ ID=00h, Packet\ ID=02h\}$ 로 정의하면 Packet ID=00h인 Packet은 2초마다 업데이트되고 나머지 2개 Packet들은 4초마다 업데이트되어 지상으로 전송된다. '발사 및 전이궤도 운영용' PSG의 경우, Datazone A에서는 위성 본체 전장품들의 필수 모니터링 데이터를 최대한 빠른 주기로 전송하도록 Packet들을 배치하고, Datazone B에서는 전이궤도에서 특히 중요한 추진계시스템의 SOH Data Packet들 로만 PSG를 구성하는 것이 필요하다[10-12]. '위성

본궤도 운영용' PSG의 경우, 위성이 정지궤도에 진입하여 임무를 수행하면서 대량 생성되는 위성 버스 및 탑재체의 SOH 및 로직 데이터들을 가능한 빠른 업데이트 주기로 수신하도록 설계해야 한다. 또한 위성의 다양한 운영 모드에 대한 메모리 데이터들과 정밀자세제어 데이터들을 적시에 효율적으로 수신하는 기능도 지원되어야 한다. 이를 위해 데이터 대량 전송(Dump Operation) 및 정밀 데이터 획득을 위한 Minor Cycle Sampling 기능들이 구축되어야 한다. 또한, 지상 시험이 아닌 정지궤도에서의 위성 운영 중에도 FSW 코드에 정의된 Packet 데이터베이스 외에 긴급 취득 목적의 데이터를 즉시 전송받기 위한 실시간 신규 Packet 생성 및 전송 기능도 요구된다. 이를 통해 TM Data 수신 주기를 기존보다 빠르게 업데이트하거나 긴급한 목적의 특정 SOH Data만을 신규 Packet으로 정의하여 전송받을 수 있다. 본 절에서는 정지궤도위성의 다양한 원격측정데이터들을 효율적으로 운영하기 위해 제안하는 Dwell 모드, Dump 모드, Minor Cycle Sampling 모드의 운영 개념과 Additional Packet 생성 기능을 설명하고, 천리안2호에 실제 적용된 결과를 기술한다.

### 2.2.1 Dwell 모드 운영

Dwell 모드는 특정 Packet 1개를 연속적으로 생성 및 전송하는 기능으로 천리안 1호 및 다목적위성 시리즈에 구현된 기능이다. Dwell 모드 명령어는 전송할 Packet의 ID, 전송 시간 및 전송되는 Data Zone을 정의한다. 천리안2호에서는 Datazone B에서 이 기능이 가능하도록 제한하였다. 예를 들어 Packet ID=01h인 Packet을 50초 동안 연속 전송하도록 명령어를 전송하면 자동으로 기존 Datazone B의 PSG는 중단되고 Dwell 기능이 수행되고, Datazone A의 PSG는 이와 상관없이 기존 정의대로 운영된다. Dwell 모드는 위성 기능 시험 및 위성 운영 중 특정 유닛의 데이터를 충분한 시간 동안 확보하는 데 활용하고 있다.

### 2.2.2 Dump Packet 운영

Dump 모드는 특정 유닛의 메모리에 저장된 Data 및 FSW 운영을 위해 정의된 여러 메모리 영역의 Data를 대량 전송하기 위한 것이며, Dump 명령어를 통해 각각의 Dump 타입, 시간 및 데이터의 address가 지정되어야 한다. 또한, 지상으로 전송된 Dump 데이터들은 전용 분석 장비를 통해 사용자가 지정한 방식으로 후처리되어야 한다.

천리안2호의 Dump 모드는 Dump Packet ID를 호출하는 TC를 전송하면 Datazone B에서 전송되고 있던 Packet Sequence가 중단되고 Dump Packet이 전송되도록 설계되었다. Dump 명령어에 이미 지정된 길이만큼 Dump data 전송이 완료되면 기존 PSG의 Packet 전송 순서가 다시 수행된다[13].

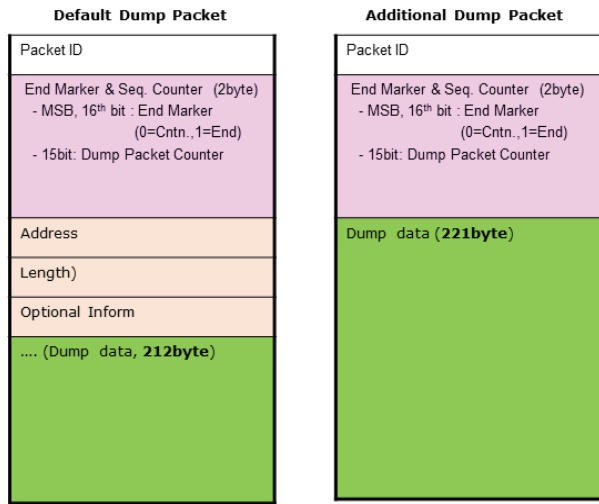


Fig. 5. Proposed and implemented S-band Dump formats of Cheollian-2

Dump Packet 전송용 TC는 Dump 종류만 선택하면 되는데, 다목적위성시리즈와는 달리 Dump Packet 이 전송되는 영역과 Dump 데이터의 길이 및 주소 등이 모두 확정되었기 때문에 간결한 TC 구조를 가질 수 있었다. Dump Packet이란 Dump Data를 저장하는 Packet이며, 그 길이는 1개의 Packet 길이를 초과할 수 있기 때문에 여러 개의 Packet을 통해 1개 Dump 데이터가 전송된다. 원격 송신 동안 Dump Packet의 일부가 손실될 경우를 대비하기 위한 지상 수신장비의 검증 방안이 구축되어야 하며 이를 위한 파라미터가 Dump Packet 헤더에 정의되어야 한다. 천리안2호의 Dump Packet 포맷은 Fig. 5와 같으며, Dump Packet들의 연속적인 전송을 확인하기 위해 End Marker와 Sequence Counter 정보가 설계되었다. End Marker는 해당 Dump Packet이 Dump 종료 시점의 것인지 알려 주고 Sequence Counter는 Dump Packet들의 순서를 나타내며, FSW 로직에 의해 자동 처리된다. 지상수신장비는 Dump Packet 종류별 길이와 이들 End Marker 및 Sequence Counter의 값을 비교함으로써 데이터가 모두 수신되었는지 확인한다.

### 2.2.3 Minor Cycle Sampling 모드 설계

천리안2호 FSW의 데이터 샘플링 주기인 Minor Cycle은 100msec이며, S-band TM Packet 생성 주기는 1초이다[14]. 위성 시험 및 운용 중에는 정밀한 데이터 분석을 위해 100msec 단위의 샘플링 데이터를 TM Packet으로 획득할 필요가 있다.

이를 지원하기 위한 다목적위성시리즈의 Minor Cycle Sampling (M.C.S) 기능은 TM 데이터베이스에 이미 등록된 텔레메트리 아이템들에서만 Minor Cycle로 Sampling 및 1초 단위로 취합하여 전용 Packet을 통해 전송하는 방식이다. 이를 개선하여 텔레메트리

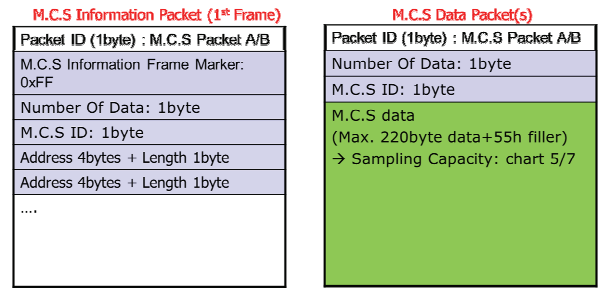


Fig. 6. Proposed and implemented S-band Minor Cycle Sampling Packet formats of Cheollian-2

아이템뿐만 아니라 FSW 로직 데이터의 Address와 길이 정보를 M.C.S 생성 명령어로 지정함으로써 M.C.S 대상 데이터의 범위를 확장할 수 있다. 다목적위성시리즈에서는 M.C.S 기능으로 전송될 아이템의 선택 개수에 따라 M.C.S 생성 데이터의 크기가 1개 Packet의 길이보다 작거나 더 큰 경우가 발생한다. 따라서 이들 각각에 대해 M.C.S 데이터의 생성 포맷과 지상수신장비에서의 M.C.S Packet 길이 인식 및 후처리 방법 등을 별도로 구현해야 했다[8,9]. 정지궤도위성은 24시간 통신이 가능하므로 수신 시간에 대한 제약 없이 여러 개의 M.C.S 데이터 패킷들을 연속적으로 받을 수 있는 점을 활용하여 M.C.S Packet 포맷을 데이터 종류와 상관없는 공통 포맷으로 정의할 수 있다. 이에 천리안2호에서는 Fig. 6과 같이 M.C.S 데이터의 개수와 각 데이터의 시작 주소 및 길이 정보 등을 포함하는 M.C.S Information 패킷과 M.C.S 데이터를 저장한 M.C.S Data 패킷들을 연속적으로 전송하도록 설계하였다.

### 2.2.4 Additional Packet 생성 및 운영

Additional Packet 생성 기능은 FSW 로직에 이미 정의된 Packet 데이터베이스와는 별도로 신규 Packet을 전용 TC를 이용해 신규 설계하는 기능이다. 다목적위성시리즈에서 개발된 개념이며, 천리안2호에서는 지상처리장비의 Additional Packet 생성 및 관리 기능이 더욱 개선되었다. 지상처리장비는 사용자에게 신규 Packet 설계를 위한 GUI를 제공하고, 장비 내부 로직에서 이를 해당 원격명령어 값으로 변환하여 위성에 전송하면 위성 내부의 Packet 데이터베이스에는 신규 Packet인 Additional Packet이 추가된다. 이를 지상으로 전송하도록 다시 한 번 원격명령어를 전송하면 FSW에서 수신한 시점부터 해당 신규 Packet이 실시간 생성 및 전송된다. 지상수신장비의 Packet 분석 및 TM decoding 로직은 Packet ID를 기반으로 동작하므로 Additional Packet 생성 원격명령어의 설계 전 미리 해당 설계 정보가 지상수신장비의 데이터베이스에 등록되어야 한다. 즉, 위성 운영에 필요한 Additional Packet의 신규 등록/생성/

후처리는 위성 FSW 로직과 지상처리장비 사이에 상호 연동되는 설계를 가진다[15]. Fig. 7은 천리안2호 FSW에 구현된 Dump, M.C.S, Additional Packet 운영 개념의 예제를 보여준다. 이 예제의 PSG들은 각각 Datazone A에서는 {00h, 01h, 03h, 04h}, Datazone B에서는 {10h, 11h, 12h, 13h}라고 가정한다. 'N'sec에서 Datazone B에서의 Dump 수행 명령이 수신되면 FSW는 해당 Dump Data에 대한 Default Dump Packet을 생성하여 'N+1'sec에서 전송한다.

연속적으로 Additional Dump Packet들을 전송함으로써 Dump Data들이 지상으로 전송되는데, 이 동안 Datazone B의 PSG에 지정된 Packet들은 전송되지 않는다. Dump Data가 모두 전송된 후 즉시 PSG의 Packet 생성 및 전송이 다시 수행된다. 'N+14'sec에서 Datazone B에서의 M.C.S 수행 명령이 수신되면 FSW는 해당 M.C.S Data에 대한 M.C.S Informa-

tion Packet을 생성하여 'N+14'sec에서 전송하고, 연이어 M.C.S Data Packet들을 생성하여 지상으로 전송한다. 'N+21'sec에서 전송이 완료되면 그 즉시 PSG에 정의된 내용으로 Packet 생성 및 전송이 재수행된다. Additional Packet의 경우, Packet ID = 0Ah로 Packet을 신규 지정 및 설계하고 이것을 2초마다 전송받기 위해 Datazone B에서의 PSG를 {10h, 0Ah}로 수정한다고 가정한다. Fig. 7은 해당 명령어가 수행되는 시점인 'N+24'sec부터 이 설계 내용이 반영되어 전송되는 예제를 보여준다. 한편, Datazone A에서의 PSG는 Packet 생성의 기본 반복 주기인 Major Frame Cycle에 따라 순환 전송된다. 따라서 천리안2호의 S-band TM CADU 포맷은 위성의 필수 SOH 데이터들을 Datazone A에서 전송하면서 동시에 다양한 Packet 데이터들을 Datazone B로 전송하고, 이와 독립적으로 Event Log Data들을 매초 전송하는 구조이다.

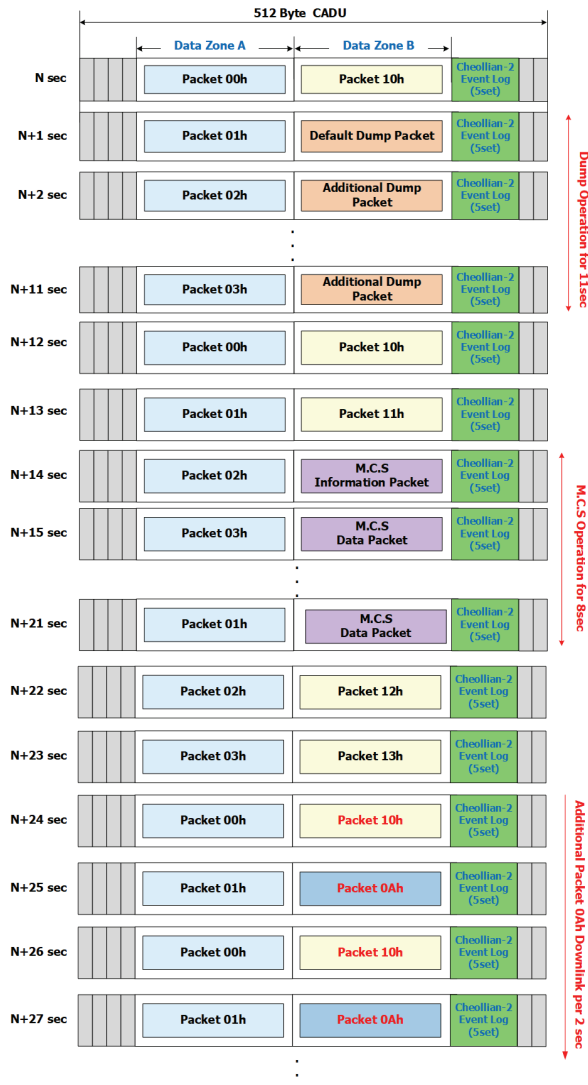


Fig. 7. S-band Dump, M.C.S and Additional Packet Operation Example of Cheollian-2

### 2.3 원격명령어 포맷 설계

천리안2호 원격명령어의 포맷은 CCSDS 231.0- B-2 (TC Synchronization and Channel Coding) 및 CCSDS 232.0-B-2 (TC Space Data Link Protocol)의 Command Link Transmission Unit (CLTU) 규정에 의거하여 Fig. 8과 같이 설계되었다.

Figure 8의 1개 CLTU에는 1개의 'GMU 직접 처리 명령어' 또는 여러 개의 Command Frame이 할당될 수 있다. 'GMU 직접 처리 명령어'는 다목적위성시리즈의 경우 1번째 command frame에 해당 명령어만의 고유한 필드 값으로 정의되도록 설계되어, 탑재컴퓨터에서 이를 인식하면 FSW를 거치지 않고 곧바로 해당 명령 로직을 수행한다. 천리안2호의 경우 Segment Frame을 활용하는데, 'GMU 직접 처리 명령어'는 Segment Frame Header와 Trailer 값들이 일반 명령어의 값과 다른 특정 값을 가진다.

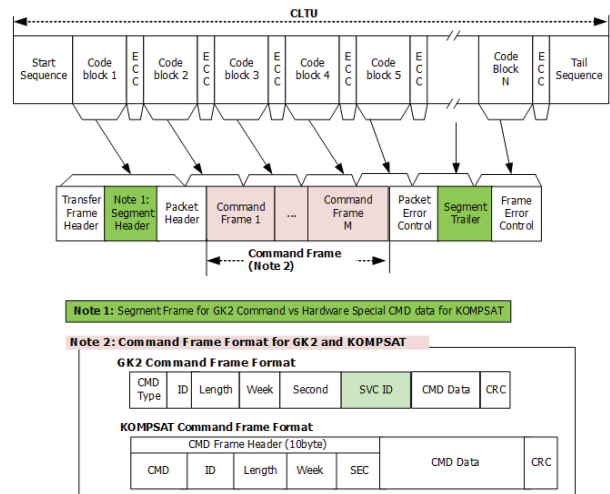


Fig. 8. S-band Telecommand Format for Cheollian-2

이를 하드웨어 특수커맨드(Hardware Special Command: HW SPC)라고 명명하였다. HW SPC는 탑재컴퓨터가 즉각 처리해야 하는 가장 긴급도가 높은 명령어들로 구성해야 한다. 따라서 위성의 운영 모드 또는 핵심 장비의 전원 스위치를 제어하는 명령어들이 할당되기 때문에 사용자 실수에 의한 오동작 전송을 예방하는 조치들도 설계되어야 한다. 지상 원격명령어장비를 통해 1개 HW SPC를 생성하기 전 사용자에게 HW SPC 전송을 한 번 더 인지시킨다. 사용자의 확인을 받으면 장비는 CLTU의 Packet Header, Segment Header, Packet Error Control (PEC)를 자동 생성한다. GMU에서 해당 HW SPC를 수신 및 실행하고 FSW는 그 다음 초에 생성되는 TM CADU에 위성 GMU가 해당 HW SPC를 수행한 결과를 입력하여 지상으로 전송한다[16-18].

한편 HW SPC 이외의 일반 명령어는 CLTU의 Command Frame에 저장되며, FSW 로직에 의해 처리된다. 천리안위성 2호의 2개 GMU 각각의 프로세서(Processor Module, PM)는 모두 활성화 상태에 있다[14,17]. 즉, 다목적위성시리즈의 탑재컴퓨터가 가지는 Primary와 Redundant 개념과 다르며, Master PM과 Slave PM 개념이라고 명명한다. 원격명령어 처리는 두 개 PM에서 모두 가능하기 때문에 CLTU Packet header에는 원격명령어를 처리하는 PM을 지정해야 하며, 이를 위해 Map ID 값이 정의되었다. 해당 Map ID를 통해 지정된 PM의 FSW에서는 Command Frame을 처리하는데, 그 종류는 총 5가지로서 Real-Time command(RT), Absolute-time command, Relative-time command sequence, Manage command input buffer용, Memory load용이다. 1개 Command Frame의 최대 길이는 천리안2호의 경우 84byte로 정의된다. 이보다 길이가 긴 명령어의 전송을 위해 Command frame 분할 전송 및 처리 방안이 설계되었다. Memory Upload용 CLTU는 RT CLTU의 Command Frame 포맷 중 SVC ID 필드를 생략하여 CMD Data 영역을 그만큼 확보하였다. 사용자가 Memory Upload용 원격데이터 전송용 TC를 생성하면 지상명령어처리장비는 자동으로 해당 TC의 원격데이터를 CLTU의 CMD Data 영역만큼 분할하여 매 초 위성으로 전송하는데, 이때 분할된 원격데이터를 Memory에 저장하는 주소는 데이터 길이에 의거하여 자동 계산된다. 분할 전송되는 Memory Upload용 Command Frame들의 시작과 종료를 확인하고 중간에 손실된 것은 없는지 확인하기 위해 다목적위성시리즈에서는 해당 Frame이 마지막 분할 전송 Frame 인지 여부를 알려주는 flag가 설계되어 있다. 천리안2호에서는 이러한 flag는 생략했는데, 다음 절에서 설명되는 COP 기능에 의해 TC Frame의 연속성을 매 초 실시간으로 체크할 수 있기 때문이다.

## 2.4 원격명령어 수신에 대한 검증

정지궤도위성은 지구로부터 36,000km 떨어진 고도에서 운영된다. 이에 지상국에서 전송된 각종 임무 및 동작 모드를 제어하는 원격명령어들이 위성에서 확실하게 수신되었는지 검증하는 것은 매우 중요하다. 이를 위해 천리안2호에는 Command Operation Procedure(COP) 기능이 구현되어 있다. COP 기능은 천리안1호에서 계승된 것으로서 탑재컴퓨터의 Packet Telecommand Decoder(PTD) 기능에 연동되며, 천리안2호 GMU에도 동일한 PTD 및 COP 기능이 구현되었다. COP는 지상국에서 원격명령어 헤더에 COP 확인용 값을 입력하여 전송하면, 위성의 수신 결과는 연속적으로 S-band TM CADU 포맷의 COP 확인용 파라미터에 기록되어 지상으로 전송되는 개념이다. 지상국의 원격명령어 송신 시스템의 COP 처리 포맷은 CCSDS 표준의 Closed-loop Telecommand Protocol을 따르며, 연속적인 수신 상태 재전송 기술인 FOP(Frame Operation Procedure)를 구현하였다. 위성 GMU의 COP 처리 로직은 FARM(Frame Acceptance and Reporting Mechanism)—1에 의거하여 설계되었다[16-18]. 또한 원격명령어는 PTD 칩을 통과한 후 FSW 로직에서 Command Frame 단의 오류 여부를 다시 검증하게 되며, 그 결과는 S-band TM CADU 포맷에 기록되어 지상으로 전송된다. 즉, 지상국에서 전송한 TC의 위성 수신 및 FSW 처리 결과는 지상 수신장비에서는 즉시 확인할 수 있는 구조로 설계되었다.

## III. 결 론

36,000km 고도의 정지궤도위성은 지상국과의 원격통신이 매일 24시간 수행된다. 저궤도에서 운영되는 다목적위성시리즈와 달리 24시간 교신하는 정지궤도 운영 개념을 활용하여 원격명령어 전송에 대한 위성의 수신 결과를 실시간으로 획득함으로써 안정적인 명령어 전송 및 수행이 가능하다. 그러나 통신 링크 전력 소모량과 원격 데이터 전송량 등에 의해 원격명령 및 원격측정데이터 전송 속도가 크게 제한된다. 따라서 위성 임무의 고도화에 따라 대량으로 생성되는 다양한 종류의 대용량 데이터를 보다 효율적으로 관리하고 분석하기 위한 원격명령 및 원격측정데이터 포맷 설계가 필요하다. 본 논문에서는 정지궤도위성의 향상된 위성 원격 데이터 송수신 및 운영을 위한 원격명령어 및 원격측정데이터 포맷 설계와 운영 개념 설계를 제안하였고, 실제 천리안2호에 적용되어 운영 중인 데이터 포맷과 운영 사례들을 상세하게 기술하였다.

## References

- 1) Kang, S. Y., Lee, S. and Yang, K. H., "The COMS telecommand processing in the flight software," *Proceeding of INTELEC 2009 - 31st International Telecommunications Energy Conference*, 2009, pp. 1~3.
- 2) Liu, Q., Pan, C., Wang, G. and Liu, W., "CCSDS Advanced Orbiting Systems, Data Links Protocol: Study on Virtual Channels Scheduling Algorithm," *Proceeding of Intelligent Systems Design and Applications Conference*, 2008, pp. 351~355.
- 3) Kim, I. J., Lee, S. J. and Lee, B. S., "Development of an Archiving Function for storing Telemetry Data of GEO Satellite," *Proceeding of The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences Autumn Conference*, 2016, pp. 1096~1097.
- 4) Wang, W., Zhang, Y., Wang, X., Xu, H. and Tian, H., "Design of Reconfigurable Real-Time Telemetry Monitoring and Quantitative Management System for Remote Sensing Satellite in Orbit," *2018 IEEE 3rd Advanced Information Technology, Electronic and Automation Control Conference*, Chongqing, China, 2018, pp. 1293~1297.
- 5) Chae, D. S., Yang, S. E. and Cheon, Y. J., "Telemetry Data Downlink Management of Low Earth Orbit Satellite," *Journal of Satellite, Information and Communications*, 2013, pp. 111~116.
- 6) Chae, D. S., Yang, S. E. and Cheon, Y. J., "Mass Memory Operation for Telemetry Processing of LEO Satellite," *Journal of Aerospace Engineering and Technology*, Vol. 11, No. 2, 2012, pp. 73~79.
- 7) Lee, N. Y., Lee, J. H. and Seok, B. S., "Command and Telemetry System Design for Low earth orbiting satellite considering the PUS concept," *Journal of Aerospace Engineering and Technology*, Vol. 6, No. 1, 2007, pp. 92~96.
- 8) Shin, H. K., Lee, J. S., Choi, J. W. and Cheon, Y. J., "Design and Implementation of Integrated Verification Facility for Satellite Flight Software," *Journal of Aerospace Engineering and Technology*, Vol. 11, No. 1, 2012, pp. 49~56.
- 9) Heo, Y. G., Kim, Y. Y., Choi, S. W. and Choi, J. Y., "Design and Development of MIMIC regarding Telemetry in LEO Satellites," *Journal of Aerospace Engineering and Technology*, Vol. 11, No. 1, 2012, pp. 42~48.
- 10) Kang, W. Y., Park, K. J., Son, J. W. and Park, Y. W., "GEO Satellite Transfer Mode AOCS Design Verification," *Proceeding of the Korean Society for Aeronautical and Space Sciences Autumn Conference*, 2016, pp. 352~353.
- 11) Park, K. J., Cho, Y. H., Cheon, Y. J., Park, B. K. and Park, Y. W., "Transfer Orbit GEO Satellite Flight Operation Procedure Validation," *Proceeding of the Korean Society for Aeronautical and Space Sciences Autumn Conference*, 2018, pp. 592~593.
- 12) Lee, S. C., Park, Y. J., Park, B. K., Lee, J. H., Chung, D. W. and Lim, H. S., "Comparison of Flight Dynamics System Operation of GEO-KOMPSAT-2A/2B during In-Orbit Test Period," *Proceeding of the Korean Society for Aeronautical and Space Sciences Autumn Conference*, 2020, pp. 971~972.
- 13) Shin, H. K., "A Design and Implementation of Command Matcher for Dump Data Analysis," *Proceeding of the Korean Society for Aeronautical and Space Sciences Autumn Conference*, 2019, pp. 1214~1215.
- 14) Shin, H. K., Yang, S. E. and Choi, J. Y., "A Glance at Flight Software for Geo-Stationary Satellite with GK2A Development and Early Operation," *Proceeding of the Korean Society for Aeronautical and Space Sciences Spring Conference*, 2019, pp. 497~499.
- 15) Shin, H. K., "Design and Application of Telemetry Post-Processing Tool for GEO Satellite," *Proceeding of the Korean Society for Aeronautical and Space Sciences Spring Conference*, 2020, pp. 729~730.
- 16) Cho, Y. H., Kwon, D. Y., Won, J. H. and Lee, S. K., "Design of On Board Computer for Data Handling System in GEO-Satellites," *Proceeding of Information and Control Systems Autumn Conference*, 2015, pp. 293~294.
- 17) Lee, S. J., Ryu, J. W., Park, J. Y., Chung, S. K., Woo, H. J., Cho, Y. H. and Won, J. H., "Design of On-Board Computer for Geostationary Earth Orbit Spacecraft," *Proceeding of the Korean Society for Aeronautical and Space Sciences Autumn Conference*, 2009, pp. 990~993.
- 18) Kwon, D. Y., Won, J. H., Cho, Y. J., Cho, Y. H. and Choi, J. Y., "Result of Data Handling System Operation On GK2A LEOP," *Proceeding of the Korean Society for Aeronautical and Space Sciences Autumn Conference*, 2019, pp. 494~496.