

# PUS 개념을 이용한 차세대 저궤도위성의 원격명령어 및 텔레메트리 시스템 개발

이나영\*, 이진호\*\*, 석병석\*\*\*

## Command and Telemetry System Design for Low earth orbiting satellite considering the PUS concept

Na-Young Lee\*, Jin-ho Lee\*\*, Byong-Suk Suk\*\*\*

### Abstract

The conventional commands & telemetry system of Korean low-earth orbiting satellites has certain limitations in accommodating various missions. As the payload becomes complex, it requires very complicated operational concepts in terms of commands and telemetry. With the current design, commands and telemetry formats have to be rebuilt whenever new payloads or operation concepts are involved, and many constraints in operation shall be produced due to the lacks of its flexibility. In this paper, a new strategy for commands & telemetry development partially derived from PUS (Packet Utilization Standard) of European Space Agency, which provides enhanced features for the accommodation of payloads & operational requirements, is presented.

### 초 록

기존에 개발된 저궤도위성의 원격명령어와 텔레메트리 시스템은 다양한 외부 인터페이스를 효과적으로 수용하는 데 한계가 있었다. 본 논문에서는 이를 극복하기 위한 저궤도위성의 원격명령어와 텔레메트리의 개발 방안을 소개한다. 특히 최근 유럽에서 인공위성의 원격명령어 및 텔레메트리 운용에 이용하고 있는 PUS (Packet Utilization Standard) 개념을 검토하여 차세대 저궤도위성의 데이터 처리에 이용하고자 한다.

키워드 : 원격명령어(Command), 텔레메트리(Telemetry), PUS(Packet Utilization Standard)

## 1. 서 론

아리랑1호와 아리랑2호의 원격명령어 상향 전송 포맷과 텔레메트리의 하향 전송 포맷은 국제 표준규격인 CCSDS (Consultative Committee for

\* 다목적3호체계팀/nylee@kari.re.kr

\*\*\* 다목적3호체계팀/byongss@kari.re.kr

\*\* 다목적5호체계팀/ljh@kari.re.kr

Space and Data Systems) 표준인 CLTU (Command Link Transmission Unit)과 CADU (Channel Access Data Unit)을 따른다. 이 규격은 지상국과 위성 간의 데이터 처리에 대한 표준 규격으로 CLTU와 CADU를 인식하기 위한 기본 정보들로 구성된 Header 부분과 데이터 영역으로 나눌 수 있다. 데이터 영역은 각 인공위성의 데이터 특성에 따라 그 포맷을 변경할 수 있다. 아리랑위성 1호 및 2호의 경우 원격명령어의 데이터 포맷이 5byte 단위로 이루어져 있었다. 텔레메트리 데이터의 경우 Grid 구조의 데이터 맵을 이용했다. 이것은 매 초 전송될 데이터를 212byte 영역 안에 미리 할당하고 32초 단위로 반복시키는 것이다. 이러한 원격명령어 및 텔레메트리 데이터 포맷은 위성 시스템의 기능이 많아짐에 따라 다양해지는 데이터 구조와 증가될 데이터의 양을 효과적으로 운용하는 데 많은 한계점을 가질 것으로 보인다. 최근 유럽에서 개발되고 있는 인공위성의 텔레메트리 시스템의 경우 PUS (Packet Utilization Standard)를 표준화하여 채택하고 있다. 이 방식은 기존 GRID 방식에서 매 초 전송되는 212byte의 데이터 그룹을 각각 packet으로 정의하여 운용하는 개념이다. 본 논문에서는 차세대 위성의 원격명령어 개발 방안과 PUS 시스템 개념의 이해 및 이를 통한 텔레메트리의 개발 방안을 소개한다.

## 2. 본 론

### 2.1 개발 배경

기존의 저궤도위성의 원격명령어 시스템은 외부에서 개발되는 탑재체의 원격명령어 시스템이 크게 변동될 경우 heritage로 가져온 기존 명령어 형태에서 벗어난 새로운 형태를 추가해야 했다. 이때 기존 명령어 구조와 변경된 구조가 동시에 존재하면서 위성 시험 및 관리, 탑재소프트웨어 개발 면에서 여러 가지 어려움이 제기되었다. 따라서 탑재체의 원격명령어 시스템의 변경에 유연하게 대응할 수 있는 원격명령어 시스템 개발이 필요하다. 텔레메트리의 경우 유닛 성능

이 고도화됨에 따라 생성되는 텔레메트리 데이터가 크게 증가하여 기존의 텔레메트리 운용 시스템에서는 이들을 효과적으로 수용할 수 없었다. 또한 고정된 그리드 (Grid) 구조는 설계상의 오류 발생 가능성이 크며 설계가 진행됨에 따라 새로운 텔레메트리를 전송받기 위해 그리드 전체를 변경해야 했다. 이 방식에서 Dump 데이터의 운용 역시 많은 제한을 받았다. 이러한 약점을 보완하기 위한 기존 명령어/텔레메트리 시스템의 변경은 위성 시스템의 하드웨어적인 변경 보다 위성 프로그램의 변경이 더 큰 비중을 차지하게 되며 따라서 위성 개발 일정 및 비용 측면에서 큰 부담을 주지 않을 것으로 예상된다.

### 2.2 PUS

Packet Utilization Standard (PUS)는 위성의 서브시스템 및 탑재체의 원격 제어 및 관제를 위한 원격명령어 packet과 텔레메트리 packet의 운용을 명시하고 있다. PUS는 CCSDS 규격을 근거로 개발되었으며, ESA (European Space Agency)에서 최근 개발되는 거의 모든 위성들에서 채택되어 사용되고 있다.

원격명령어의 구조는 그림1의 (a)와 같다. Packet header 부분은 CCSDS에서 규정하는 포맷이며 회색으로 색칠된 Packet Data 부분이 PUS 원격명령어의 특징을 나타내는 부분이다. 원격명령어 packet의 길이는 가변구조이다. 또한 한 개의 원격 명령어가 여러 개의 원격명령어 packet으로 구성될 경우 이를 알려주기 위한 인덱스가 'Sequence Flags'에 세팅되어 있다. 원격명령어의 길이는 2byte의 파라미터로 세팅되므로 최대 65542bit의 길이를 가질 수 있다. 원격명령어의 길이는 해당 위성의 설계 개념에 따라 달라지며, 기존의 아리랑 1호 및 2호의 원격명령어 데이터 포맷 길이가 4byte 단위로 한정되었던 것과 비교했을 때 상당히 여유 있는 구조를 가지고 있다.

텔레메트리의 구조는 그림 1의 (b)와 같으며, 가변 구조의 packet 단위로 전송된다. 위성시스템에는 그 내용과 전송되는 주기가 미리 정의된 housekeeping 데이터들이 있으며, 기본적으로 이

들 데이터가 그 주기에 따라 취합 및 전송된다. PUS에서는 이미 정의된 데이터 집합 외에 나아가 사용자의 요청에 의해 정의되는 데이터 집합을 취합 및 전송할 수 있게 한다. 특정 텔레메트리를 요청하는 원격명령어가 위성에 전송되면, 위성에서는 이들 텔레메트리의 전송을 위해 설계된 packet을 만들어 지상에 전송한다. packet의 종류는 사용자의 요구에 따라 다양하게 설계될 수 있다. 예를 들어 메모리 대량 전송의 경우 이에 대한 packet을 설계하여 운용할 수 있다. 메모리 대량 전송용 packet은 주기적으로 또는 사용자가 요청한 때에 요청 원격명령어에 의해 생성 및 전달될 수 있으며, 그 개수는 요청된 메모리 영역의 크기에 따라 달라질 것이다. 또한 원격명령어 검증용 packet을 정의할 수 있다. 위성으로 전송되는 모든 원격명령어에 대해 이들 명령어의 전송 완료 및 실행 완료의 성공 또는 실패에 대한 텔레메트리들을 정의하여 이들 텔레메트리를 위한 packet을 주기적으로 전송받을 수 있다.

Packet Header (48 Bits)				Packet Data Field (Variable)			
Packet ID		Packet Sequence Control		Packet Length	Data Field Header (Optional) (see Note 1)	Application Data	Packet Error Control (see Note 2)
Version Number (=0)	Type (=1)	Data Field Header Flag	Application Process ID	Sequence Flags	Sequence Count	Spare	Packet Error Control (Optional)
3	1	1	11	2	14	Variable	Variable
				16	Variable	Variable	16

  

Packet Header (48 Bits)				Packet Data Field (Variable)			
Packet ID		Packet Sequence Control		Packet Length	Data Field Header (Optional) (see Note 1)	Source Data	Packet Error Control (Optional)
Version Number (=0)	Type (=0)	Data Field Header Flag	Application Process ID	Grouping Flags	Source Sequence Count	Spare (Optional)	Packet Error Control (Optional)
3	1	1	11	2	14	Variable	Variable
				16	Variable	Variable	(see Note 2)

그림 1. PUS command & telemetry format

## 2.3 원격명령어 개발

### 2.3.1 원격명령어 개발 방안

CCSDS 규격으로 전송되는 명령어의 단위는 CLTU(Command Link Transmission Unit)이다. 이것의 기본 구성 요소이며 또한 규격의 제약을 받지 않고 변경이 가능한 부분은 Command frame이다. 개발, 시험 및 운용의 편의성을 위해 기존 위성의 세분화된 각각의 명령어 형식을 한 가지 형태로 Command frame 구조를 단순화할 수 있다. 각 종류 별 명령어를 한 개의 구조에서 모두 인식하기 위해 인식에 필요한 각 정보를 header로 구성하는 것이 필요하다. header에서 가장 기본적으로 필요한 정보는 명령어의 종류 및 각 명령어 별로 필요한 시간, 고유 번호 및 일련의 순서 정보이다. 또한 기존의 고정된 길이에서 최대 256 byte의 길이를 가질 수 있는 가변 구조를 선택함으로써 향후 추가되는 외부 인터페이스의 명령어 형식을 충분히 수용할 있다. 이러한 구조는 기본적으로 통일된 형태의 포맷을 가지며, 명령의 길이에 따른 제약도 제거함으로써 시험 장비 및 위성 시스템의 프로그램 개발에 장점이 있을 것으로 예상된다.

### 2.3.2 원격명령어의 Overhead

명령 포맷의 단일화로 비교적 많은 수의 Overhead가 발생한다. 이는 특히 소프트웨어 코드를 많이 사용하지 않는 실시간 명령에서 두드러지는데, 기존 위성의 원격명령어 시스템에서 3Bytes의 코드 명령을 전송하는데 총 4Bytes가 소요되는 반면 개선된 포맷으로는 14Bytes의 전송이 필요하다. 많은 수의 Overhead는 명령 전송의 속도가 제한적이고 매우 낮을 때에는 큰 단점으로 작용할 수 있으나, 현재 고려되고 있는 저궤도위성의 상향링크 속도에서 1초에 최대 전송할 수 있는 실시간 명령어의 수는 기존 위성의 원격명령어 운용에서 보여준 1초 간 최대 전송 명령의 수를 상회하는 것으로 분석된다. 즉 실시간 명령에서는 Overhead가 많기는 하지만, 상향링크 속도가 충분히 빠를 경우 임무 수행에 지장

을 전혀 지장을 주지 않을 것으로 예상된다. 위성 운용에서 가장 많이 사용되는 ATC (Absolute Time Command)의 경우를 살펴보면 Overhead의 영향은 더욱 감소한다. 기존 저궤도위성의 운용에서 1초에 가장 많은 ATC를 상향 전송하였을 때와 비교하면 28Bytes의 증가만을 보인다. 따라서 overhead의 증가로 인한 위성 운용상의 문제는 거의 없다고 할 수 있다.

## 2.4 텔레메트리 개발

### 2.4.1 텔레메트리 개발 방안

기존 저궤도위성의 텔레메트리 그리드 구조는 개발 경험이 있고, 간단하게 실현할 수 있는 장점이 있다. 그러나 기술의 진보에 따른 향후 고성능 위성 개발에서 예상되는 대량의 텔레메트리를 운용하기 위해 텔레메트리 시스템 역시 보다 효율적으로 개선되는 것이 필요하다. 텔레메트리의 형식 역시 CCSDS 표준을 따른다. Minor frame 마다 생성되는 VCDU는 CCSDS 텔레메트리 전송의 기본 단위이며 220byte의 길이를 가진다. 기존 그리드 방식은 이들 VCDU를 Major Frame 시간에 맞춰 주기적으로 반복되도록 한다. 따라서 텔레메트리가 지상에 전송되는 주기는 Major Frame 시간(Msec)에 밀접한 연관을 가지며 가장 작은 1초부터 가장 큰 Msec까지의 값을 가진다. 따라서 텔레메트리 운용 시 그리드 공간의 제약은 텔레메트리 전송 주기에도 영향을 미치는 것이다.

기존 저궤도위성들이 가지고 있는 Grid 방식의 텔레메트리 운용에서의 단점을 극복하기 위해 앞 절에서 살펴본 PUS의 텔레메트리 운용 방식인 Packet 구조의 텔레메트리 시스템을 이용할 수 있다. 각 Packet은 한 개의 VCDU에 해당한다. 즉 220byte의 길이를 가지며 Minor Frame 단위로 전송된다. 유닛 또는 운용 개념 별로 Packet들을 구성할 수 있다. 이들 Packet의 전송 주기는 가변적이라고 할 수 있다. 즉 별도의 명령어를 설정하여 이 명령어를 위성에 보낼 경우 위성은 이 명령어가 지시하는 특정 Packet을 명령어에서 지정된 시간 동안 내려 받을 수 있게

설계할 수 있는 것이다. 이 때 위성 운용 상 가장 기본적인 핵심적인 텔레메트리들로 이루어진 기본 Packet은 매초 전송되어야 할 것이다. 이와 함께 다른 Packet들도 함께 전송받기 위해서는 1초에 전송되는 VCDU의 개수를 2개 이상으로 해야 한다. 또한 1초에 전송되는 VCDU의 개수가 2개 이상으로 증가되면 각각의 VCDU에서 Packet들이 전송될 순서가 미리 정해져 있어야 한다. 위성의 운용 모드에 따라 하향전송 속도가 달라진다. 하향전송 속도를 기준으로 모드를 정의할 경우 저속전송모드와 고속전송모드로 나눌 수 있다. 고속전송모드는 위성이 탑재체를 이용하여 영상 촬영 등의 활동을 하면서 대량으로 발생된 위성 서브시스템의 데이터와 탑재체 데이터를 빠른 속도로 전송받는 것이다. 저속전송모드에서는 탑재체를 운용하지 않고 위성의 기본적인 운용만을 하기 때문에 가장 기본적인 위성 데이터들이 전송되며 그 양이 많지 않다. 전송 모드 별로 전송될 데이터의 종류 및 양이 달라지기 때문에 전송될 packet들 역시 각각의 모드에 대해 다르게 설계되어야 한다. 고속전송모드에서 실시간으로 전송받을 수 있는 VCDU의 개수는 위성의 Link budget에 따라 달라진다. 실시간으로 전송될 VCDU 외에 실시간 전송 없이 메모리에 저장만 되는 VCDU를 정의하여 이들 VCDU를 playback을 통해 전송받아 후처리하면 대량의 데이터를 효율적으로 운용할 수 있다. 기본적인 전송 순서로 Packet이 운용되는 텔레메트리 시스템과 함께 앞에서 언급한 특정 명령어에 의한 Packet 순서 변경 기능의 기능을 추가함으로써 대량의 텔레메트리를 효율적으로 운용할 수 있을 것으로 기대된다.

### 2.4.2 텔레메트리 시스템 관련 요구 사항

Packet 구조로 운용되는 텔레메트리 시스템은 Packet을 각 유닛 별 또는 운용 별로 구성할 수 있으므로 다양한 Packet이 구현될 수 있다. 이는 Packet의 종류가 기존 시스템에 비해 크게 증가될 수 있음을 의미하며 따라서 Packet 구성이 중복되거나 사용하지 않는 Packet을 구현함으로써 인력 낭비 등의 문제가 생길 수 있다. 또한

위성 운용을 위해 반드시 매초 전송되어야 하는 기본 텔레메트리는 220byte의 Packet 내에서 모두 포함되어야하므로 이 Packet은 매우 효율적으로 구성되어야 한다. 기존 그리드 구조는 텔레메트리 전송 주기 및 전송되는 텔레메트리 데이터를 Major Frame으로 관리할 수 있다. 반면 Packet 구조에서는 Packet 전송 순서가 1개 이상일 경우 시스템이 오히려 복잡해 질 수 있다. 원하는 텔레메트리 전송 속도에 맞추기 위해 한 개의 Packet 순서 내에서도 각 Packet들에 대한 적절한 배치가 필요하며 이러한 Packet 순서를 여러 개 작성해야 할 경우 기존 그리드 작업보다 많은 노력이 필요할 것이다. 그러나 수차례 계속되는 각종 위성의 시험에서는 시험을 위한 별도의 Packet 순서를 정하여 시험에서 필요로 하는 데이터만을 전송하도록 함으로써 전체적인 위성 개발의 효율을 높일 수 있을 것이다.

### 3. 결 론

본 논문에서는 PUS의 개념을 적용한 차세대 저궤도위성의 원격명령어와 텔레메트리의 개발 방안을 소개하였다. 기존 위성들의 원격명령어 및 텔레메트리 시스템 개발 경험을 근거로 하여 다량의 데이터를 효율적으로 운용하고 예측할 수 없는 탑재체의 원격명령어 및 텔레메트리 시스템을 유연하게 처리할 수 있는 개선된 원격명령어 및 텔레메트리 시스템을 구축할 수 있을 것으로 기대된다.

### 참 고 문 헌

1. ESA-ESTEC, PDF, 'Space Engineering, Ground systems and operations - Telemetry and telecommand packet utilization', pp.1-228.
2. H.romer, PDF, 'K2 TC/TM Design Improvements', 2005, pp.1-7.
3. 이진호, TM, '다목적 실용위성 원격명령 및 텔레메트리 개선 방안', pp 1-11.
4. Spacecraft Command & Telemetry Development Guide, TRW.
5. 이나영, 이진호, et al, "KOMPSAT-2 원격명령어와 텔레메트리 분석", 한국우주과학회보, April 2004.
6. 이나영, 김규선, "저궤도위성의 원격명령어 및 텔레메트리 시스템 개발", 항공우주학회춘계, April 2006.