

저궤도위성과 지상국 간 접속 검증 시험

권동영*, 정옥철**, 김희섭***

The Interface Test between LEO Satellite and Ground Station

Dong-Young Kwon*, Ok-Chul Jung**, HeeSub Kim***

Abstract

LEO Satellite performs the operations and missions by FSW(Flight Software) after separation from a launch vehicle. Many of the operations by FSW are automatically conducted by the algorithms of FSW. In the case of the IAC(Initial Activation and Checkout) operations, a mission scheduling, an orbit transition, etc, however, a decision and a control of the satellite operators or manufacturers are required in order to operate the satellite safely. For this, the wireless communication channel between a satellite and a ground station should be prepared to receive telemetries and to transmit tele-commands for controlling FSW properly. Therefore, the verification of the interface between KOMPSAT-3 and a ground station is essential. This verification test is named the satellite end-to-end test. In this paper, we show the design process of the satellite end-to-end test and test results.

초 록

저궤도위성은 궤도에 진입한 이후에는 탑재 소프트웨어에 의해 임무를 수행하게 된다. 탑재 소프트웨어에 의한 위성의 임무 수행은 많은 부분이 내부 논리에 의해 자동으로 수행되고 있다. 그러나 발사 후 초기 운용이나 정상 운용의 임무 명령 생성, 궤도 조정, 건강 상태 확인 및 조치 등의 경우는 위성 운용 인원 및 위성 개발자의 판단 및 제어가 필요하다. 이를 위해 위성의 텔레메트리를 수신 및 원격 명령을 위성에 전송하여 탑재 소프트웨어를 상황에 맞게 제어할 수 있도록 위성과의 무선 통신 접속이 필요하다. 위성과 지상국 간의 접속 검증 시험을 종단 시험(End-to-End test)이라고 하며, 이 논문에서는 저궤도위성 개발의 전체 기간 중 수행한 2 차례의 종단 시험에 대하여 시험 형상 및 시험 설계에 대해 서술하고 이에 따른 시험 결과에 대해 정리하였다.

키워드 : 인공위성(satellite), 지상국(Ground Station), 종단 시험(End-to-End Test)

1. 서 론

최근에 개발되거나 개발 중인 대부분의 저궤도 위성들은 발사체에서 분리된 직후 탑재 컴퓨터의 부팅 및 초기화 과정을 거쳐 탑재 소프트웨어에 미리 설계한 알고리즘에 의하여 태양 전지판

전개 및 여러 동작들이 자동으로 수행된다.[1] 반면에 영상 촬영 및 수신 임무, 안전 모드 복구, 궤도 이동 등과 같이 위성이 궤도에 올라간 이후에 결정할 사항은 위성 탑재 소프트웨어로 자동 제어를 할 수 없으며, 지상국의 관제 장비로 위성의 텔레메트리를 수신하여 위성 건강 상태 및

접수일(2012년 9월 13일), 수정일(1차 : 2012년 10월 16일, 2차 : 2012년 10월 19일, 게재 확정일 : 2012년 11월 1일)

* 다목적실용위성3호체계팀/kdy@kari.re.kr

** 저궤도위성관제팀 /ocjung@kari.re.kr

*** 다목적실용위성3호체계팀/askhs@kari.re.kr

환경 등을 파악한 후 상황에 적합한 원격 명령을 전송하여 위성을 제어해야 한다. 태양 동기 방식의 저궤도위성의 경우, 위성과 지상국 간의 무선 통신 채널이 항상 직선 경로가 되어 있는 정지궤도위성과는 다르게 지상국과의 접속이 하루 수 회 각각 5~10분 정도로 한정된 시간동안만 무선 통신 접속을 사용할 수 있다. [2] 그러므로 짧은 접속 시간을 충분히 활용하기 위해서는 저궤도위성과 지상국 간의 무선 통신 접속의 신뢰성을 높이는 것이 매우 중요하다.

접속의 신뢰성을 높이기 위하여 위성 지상 시험에 사용되는 지상 장비들 중 명령 및 텔레메트리 수신과 관련된 장비들은 지상국 관제장비와 유사한 것을 사용하며, 소프트웨어는 공통지상시스템(CGS, Common Ground System)을 핵심 소프트웨어로서 지상 장비와 관제 장비에 동일하게 적용하여 사용하고 있다. 그러나 코어 소프트웨어에 연결된 이용자 접속의 경우, 지상 시험과 위성 관제에 따라 효율적인 입력 및 출력 방식이 다르기 때문에 각각 따로 설계 및 개발을 하였다. 이로 인해 위성 시험 기간 중에 수행한 지상 시험들을 통해서도 위성 관제 장비의 이용자 접속을 검증할 수가 없다. 위성 관제 장비의 이용자 접속의 검증은 위성 시뮬레이터를 이용하여 자체적으로 검증은 수행하지만 시뮬레이터의 기능이 제한적이기 때문에 검증에 한계가 있다. 이 위성 관제 장비의 이용자 접속은 위성 명령의 생성 및 텔레메트리 수신, 그리고 위성에서 내려오는 덤프 파일의 파싱 등의 중요한 역할을 하기 때문에 이용자 접속이 철저히 검증되지 않을 경우 위성 관제에 큰 문제를 야기할 수도 있다. 그러므로 지상국과 실제 위성 간의 접속을 발사 전에 철저히 검토하는 것이 필요하며, 이 접속 검토 시험을 위성과 지상국 간 종단 시험(End-to-End Test)이라고 한다.

종단 시험은 저궤도위성의 전체 시험 기간 중 총 2 차례 수행하였으며, 본 논문의 2장에서는 종단 시험의 설계에 관하여 서술하며, 3장에서는 수행된 시험의 결과에 대해서 정리하였다.

2. 종단 시험 설계

종단 시험을 수행하기 위하여 접속을 검증하기 충분한 1)시험 목적을 설정한 후, 목적에 부합한 2)시험 형상을 설계하였으며, 마지막으로 3) 시험 목적과 형상에 맞는 시험 항목을 선정하였다. 이 세 가지 사항에 대한 자세한 설명은 다음과 같다.

2.1 위성과 지상국 간의 접속 형상 및 종단 시험의 목적 설정

그림 1은 위성과 지상국 간의 개략적인 접속 형상이다. 위성은 지상국의 안테나와 X, S 밴드 무선 통신을 수행한다. 하향 통신의 경우, 영상 수신 처리 장치에 X 밴드 영상이 전달되어 최종적으로 영상 제품을 생성하며, S 밴드 정보는 임무 운용 장치에 위성 텔레메트리를 전달하여 위성의 건강 상태를 파악할 수 있게 한다. 상향 통신의 경우, 임무 운용 장치에서 생성한 원격 명령을 전송하여 위성을 제어한다.

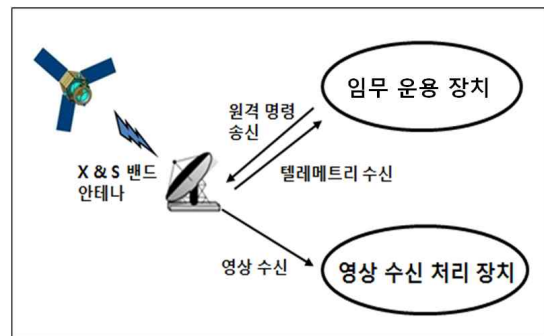


그림 1. 위성과 지상국 간 접속

종단 시험의 시험 목적은 임무 운용 장치와 위성 간의 접속 검증이며, 더 나아가 임무 운용 장치를 통해 위성을 정상 운용할 수 있는 준비가 되었는지 확인하는 것이다. 영상 수신 처리 장치와의 접속 검증의 경우, 다른 지상 시험을 통해 생성된 영상 미가공 정보를 직접 영상 수신 처리 장치에 입력하여 자체 검증을 하였다. 시험 목표

의 세부 사항은 다음 3가지와 같다.

1) 정보 호환성 검증: 텔레메트리와 정보 업로드 등을 포함한 원격 명령의 형식 및 내용이 위성파와 임무 운용 장치 간에 서로 호환되어야 한다. 원격 명령의 경우, 실시간 명령, 절대 시간 명령, 상대 시간 명령 시퀀스, 코드 업로드 형식 등등, 다양한 형식이 있으며, 텔레메트리의 경우는 실시간 VCDU (Virtual Channel Data Unit), 덤프 VCDU, 저장 VCDU, POD(Precision Orbit Determination) 및 PAD(Precision Attitude Determination)와 같이 5가지 타입이 있다. 또한 덤프 VCDU로 내려 받을 수 있는 세부 타입도 다양하다. 서론에서 언급한 것과 같이, 임무 운용 장치의 이용자 접속은 위성의 다른 지상 시험으로 검증이 되지 않았기 때문에 모든 종류의 명령 입력 및 텔레메트리 출력이 형식에 맞는지 확인하는 것이 필요하다.

2) 명령 전송 및 텔레메트리 수신 점검: 명령을 송신하거나 텔레메트리를 수신할 때 시간 지연 및 누락의 여부의 확인과 같이 위성과 임무 운용 장치 간의 통신 패스가 안정되게 형성되었는지 확인해야 한다.

3) 다양한 미션 시나리오의 운용 능력 확인: 최종적으로 임무 운용 장치를 통해 정상 운용 기간에 수행할 임무들을 수행할 능력이 있는지 확인하는 것이 필요하다. 이를 위해 실제 운용에서 수행할 임무들의 시나리오를 작성하고 이를 시험하는 것이 필요하다.

2.2 종단 시험의 시험 형상 설계

종단 시험의 시험 목적을 만족시키기 위한 시험 형상은 그림 2와 같다. 먼저, 임무 운용 장치와 위성 시험실의 통신 관련 지상 장비를 이더넷으로 연결하여 ETB/FM 위성과의 통신 채널을 형성한다. 만약 위성과 임무 운용 장치의 통신 채널을 이더넷으로 연결하지 않고 실제와 동일하게 S 대역 안테나를 이용한 RF 통신으로 종단 시험을 수행할 경우, 지상국과 위성 시험실 사이의 직선 경로를 통해 정보가 전달되는 것과는 별도로, 주변의 지형 및 지물에 의해 형성된 다중

경로를 통해 잡음 성분이 들어오기 때문에 정보 송수신이 안정적이지 못하다. 이 경우, 종단 시험 중 시험 오류가 발생하면 오류의 원인이 RF 패스의 불안정성 때문인지 그 외의 접속의 문제인지 확인하기 쉽지 않기 때문에 종단 시험에서는 이더넷을 이용하여 시험을 수행하였고, RF 통신을 이용한 관제 안테나와 위성 간의 통신 시험은 별도로 수행하였다.

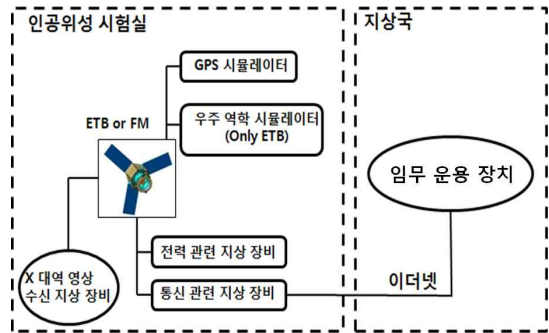


그림 2. 종단 시험의 형상

GPS 시뮬레이터의 경우, POD의 정보 호환성을 검증하기 위하여 준비하였으며, 지상국의 영상 수신 처리 장치를 위성에 연결하지 않았기 때문에 기존 지상 시험 시 사용하였던 X 대역 영상 수신 지상 장비를 이용하여 영상 정보를 저장할 수 있도록 형상을 구성하였다.

우주 역학 시뮬레이터는 위성의 자세 정보를 시나리오나 자세 변화에 따라 위성에 쿼터니언으로 전달하는 기기로, 자세 제어 관련 명령 및 텔레메트리, 특히 PAD의 호환성을 검증하기 위해 ETB 위성과 연결하였으며, FM 위성과는 안전성을 위하여 연결하여 시험하지 않았다.

2.3 종단 시험의 시험 항목 선정

종단 시험은 총 2차례 수행을 계획하였으며, ETB 시험과 FM 위성 시험을 준비하였다. ETB 시험에서는 정보 호환성 검증/명령 전송 및 텔레메트리 수신 검증을 수행하기 위한 시험 항목들을 선정하였다. FM 위성 시험의 경우, ETB 시험으로 검증된 시험 항목들을 대부분 반복 수행

하여 위성과 임무 운용 장치의 접속을 최종 확인하는 것을 목적으로 시험 항목을 결정하였으며, 일부 FM 위성으로만 검토할 수 있는 시험 항목도 추가하였다. 각 시험의 시험 항목 및 특징은 다음과 같다.

ETB 종단 시험

1차 ETB 위성 종단 시험의 시험 항목은 총 15가지로, 표 1과 같으며 각 시험 항목 별 시험 목적 및 수행할 내용은 다음과 같다.

1) Ethernet Link Interface Check : 통신 관련 지상 장비와 임무 운용 장치 간의 이더넷 접속을 확인하는 것이 목적이다. Ping 시험과 간단한 명령을 전송하여 텔레메트리 중 명령 카운터의 증가 여부를 확인한다.

2) RT Command Send / Dump SET, ELT : 명령 형식 중 하나인 실시간(RT) 명령 기능 및 SET(Software Error Table)와 ELT(Event Log Table)가 정상적으로 덤프 되는지 점검한다.

3) ATC Command Send / CIB Management : 명령 형식인 절대 시간 명령(ATC) 및 CIB 명령 기능을 점검하며, 이와 관련된 텔레메트리 및 덤프를 확인한다.

4) RTCS Command Send : 명령 형식 중 하나인 상대 시간 명령 시퀀스(RTCS)의 관리와 관련된 다양한 명령들을 전송하여 텔레메트리로 확인한다.

5) Packet Processing and Management : 텔레메트리의 집합을 패킷이라고 하며, 이 시험은 패킷과 관련된 관리 및 처리 명령을 점검한다.

6) On-board Reprogramming : 명령 형식들인 KPD, Data, Code, SGM 패치 업로드 명령을 전송하여 이에 따라 SRAM의 코드나 정보가 정상적으로 변경되는지 확인한다.

7) NVMEM Reprogramming : 명령 형식 중 하나인 NVMEM 패치 업로드 명령을 전송 및 적용 여부를 확인한다.

8) Mass Memory Management : 위성의 정상 운용 시, 매스 메모리에 저장된 텔레메트리 전체 기록을 주기적으로 받으며 이를 통해 위성이 지상국에 접속하고 있지 않았을 때의 건강 기록을

점검한다. 이 시험은 이 매스 메모리의 텔레메트리 기록을 관리하는 기능들을 점검한다.

표 1. ETB 종단 시험의 시험 항목 선정

No.	Test Title
1	Ethernet Link Interface Setup
2	RT Command Send/ Dump SET, ELT
3	ATC Command Send/CIB Management
4	RTCS Command Send
5	Packet Processing and Management
6	On-board Reprogramming
7	NVMEM Reprogramming
8	Mass Memory Management
9	GPS, POD Compatibility Check
10	PAD, GPF Compatibility Check
11	Command Processing for Payload
12	Normal Mission Operation
13	Mission Change Operation
14	Orbit Change Operation
15	Check Procedure at Abnormal Situation

9) GPS, POD Compatibility Check : 텔레메트리 형식 중 하나인 POD를 검토하기 위한 시험이며, GPS 시뮬레이터를 이용하여 POD를 생성 및 수신한다.

10) PAD, GPF Compatibility Check : 위성의 자세 프로파일인 GPF의 업로드 및 정상 실행 여부를 확인하며, GPF에 의해 위성의 자세가 변하는 과정을 텔레메트리 형식 중 하나인 PAD로 저장하여 수신하는 시험이다. 이 시험에서는 위성의 자세 변화를 모사하기 위하여 우주 역학 시뮬레이터를 사용한다.

11) General Command Processing for Payload : 위성의 정상 운용 시, 지상국에서는 영상 촬영 임무 및 수신 임무 관련 명령들을 전송하며, 이 명령 및 관련 텔레메트리를 확인하기 위한 시험 항목이다.

12) Normal Mission : 시험 항목 12번까지 수행하여 모든 명령 형식 및 텔레메트리 형식들을 점검한 이후에, 13번 항목부터는 실제 위성 운용 시 발생할 수 있는 시나리오들을 점검한다. 13번은 영상 촬영 임무, 영상 수신 임무 및 실시간

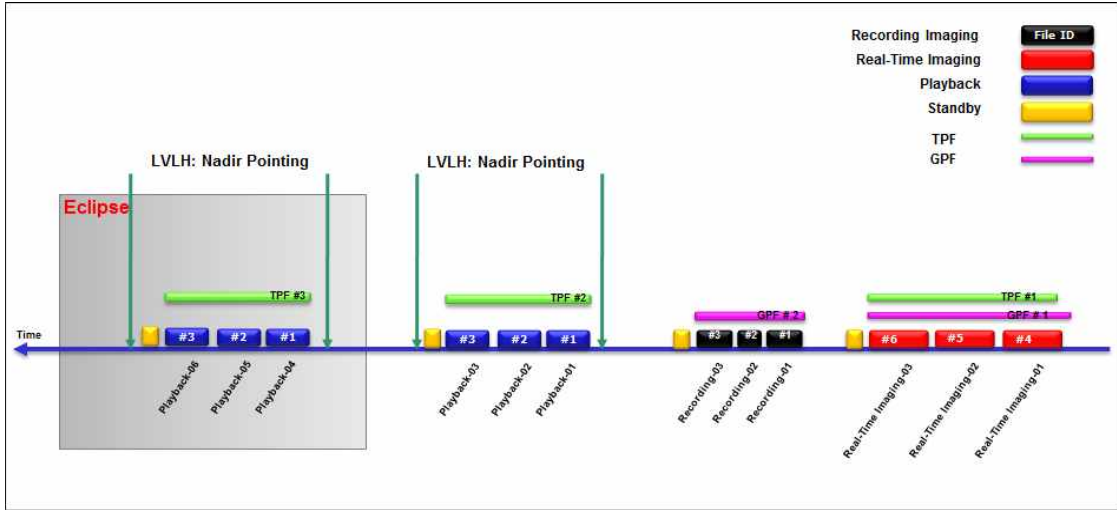


그림 3. Normal Operation Mission 시험

임무를 수행하면서 위성 자세도 해당 임무에 맞게 변경하는 시나리오 절차 시험을 준비하였다. ETB 위성의 경우 우주 역학 시뮬레이터를 이용할 수 있기 때문에, 이 시험에서는 임무 수행 시의 자세 제어 절차의 검증에 주안점을 두었다. 그림 3은 Normal Mission 시험의 전체 시나리오이며, 실시간 임무 3회, 영상 촬영 임무 3회, 영상 수신 임무 6회를 연속으로 수행한다.

13) Mission Change Operation : 이 시험은 이미 위성에 전송된 임무 계획을 취소하고 새로운 임무 명령을 전송하는 시험이며, 탑재체와 자세 제어 상황을 고려하여 절차를 작성하였다.

14) Orbit Change Operation : 위성의 정상 운용 중 승교점 지방시, 경사각 및 고도를 변경하기 위하여 Del-V를 수행하며, 이 시험은 Del-V 절차 및 명령어들을 검토하기 위한 절차이다.

15) Check Ground Procedure at Abnormal Situation : 정상 운용 중 위성이 이상 상태를 확인하면 스스로 안전 모드로 전환하며, 지상에서 위성 개발자와 운용 인원이 이상 원인을 분석 후 복구하는 절차를 수행한다. 이 절차를 임무 운용 장치를 통해 수행하는 것이 시험의 목적이다.

FM 중단 시험

ETB 위성과 임무 운용 장치 간 접속 시험으로

주요한 접속 오류를 확인 및 수정하여 FM 위성의 안전을 확보한 후, FM 위성과 임무 운용 장치를 연결하여 최종적으로 접속 확인을 수행하는 것이 이 시험의 목적이다. 선정된 시험 항목은 표 2와 같다.

표 2. FM 위성 시험 항목 설정

No.	Test Title
1	Ethernet Link Interface Setup
2	RT Command Send/ Dump SET, ELT
3	ATC Command Send/CIB Management
4	RTCS Command Send
5	Packet Processing and Management
6	On-board Reprogramming
7	NVMEM Reprogramming
8	Mass Memory Management
9	GPS, POD Compatibility Check
10	PAD, GPF Compatibility Check
11	Command Processing for Payload
12	GRA/STA/RWA/TAM/MTA SOH
13	Full Functional Mission Test

시험 항목 1번부터 12번까지는 ETB 중단 시험에서 검증한 항목으로 모든 형식의 명령 및 텔레메트리, 덤프 파일들을 FM 위성으로 재검토하는 것이 목적이다. ETB 시험 항목 중 포함되지 않

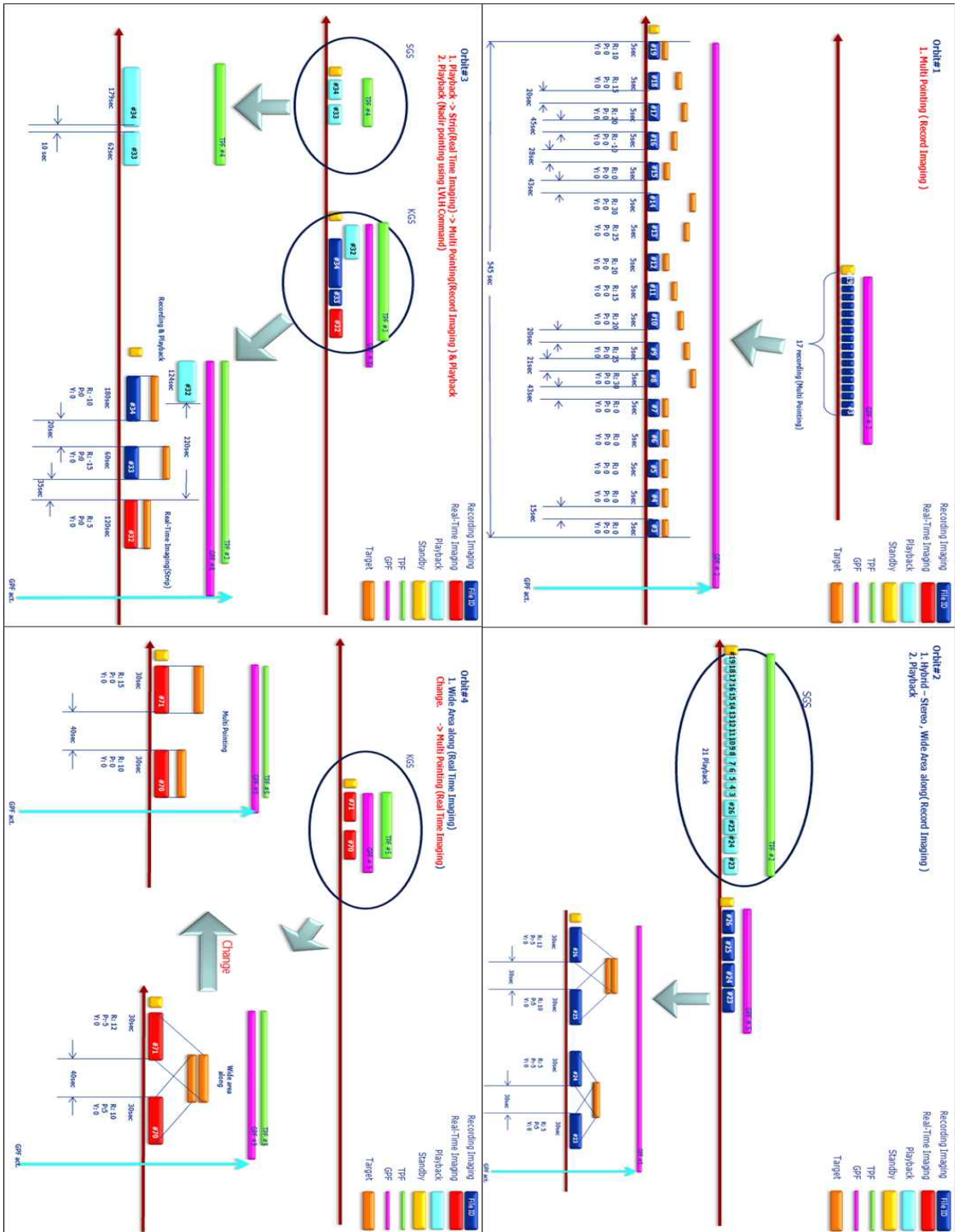


그림 4. Full Functional Mission Test

은 Normal Mission Operation과 Mission Change Operation 대신, FM 시험 항목 15번에 새로운 시나리오로 작성하였으며, Orbit Change Operation과 Abnormal Situation 항목은 FM 위성의 안전과 관계가 있기 때문에 수행하지 않았다. FM 시험 항목 13번부터는 새로 추가된 시험 항목이며 각 시험 항목 별 시험 목적 및 수행할 내용은 다음과 같다.

12) GRA/STA/RWA/TAM/MTA Test : 위성 자세 제어용 구동기 및 센서와 관련된 명령 및 텔레메트리를 점검하는 것이 목적이다.

13) Full Functional Mission Test : FM 위성은 위성의 안전을 위해 우주 역학 시뮬레이터와 연결하지 않기 때문에 임무 시험 시 위성 제어와 관련된 동작을 검토하기는 쉽지 않다. 반면에 탑재체의 경우, ETB 위성의 검증용 탑재체는 하드웨어 제약 사항이 일부 있기 때문에 연속으로 촬영하는 임무 등과 같이 복잡한 임무를 수행하기 쉽지 않으나, FM 위성의 탑재체는 비행 모델이기 때문에 다양한 임무를 수행할 수 있다. 그러므로 Full Functional Mission Test는 위성 제어

관련 명령어를 배제하고 다양한 임무를 실제 운용 관점에서 시나리오를 작성하여 준비하였다.

그림 4는 Full Functional Mission Test의 시나리오이다. 이 시나리오는 5초의 짧은 영상을 연속으로 촬영 및 수신하여, 임무 운용 장치의 임무 플래닝 능력을 검토하는 시험이 포함되며, Stereo Image 모드나 Wide Area 모드 등과 같은 위성의 다양한 촬영 모드들로 영상 촬영하기 위한 시나리오를 준비하였다. 이 모든 시나리오에 사용하는 TPF나 GPF는 위성 관제 시나리오에 따라 위성 운용 인원이 직접 만들어 시험하였다.

3. 종단 시험의 시험 결과

2차례의 종단 시험을 실제 수행하였으며, 대부분 ETB 종단 시험을 수행하면서 접속의 오류를 발견하여 FM 종단 시험 전까지 보안을 완료하고 FM 시험을 통해 확인을 하였다. (표 3)

표 3. 시험 항목별 정상 확인 여부 결과

Test Title	ETB	FM
Ethernet Link Interface Setup	○	○
RT Command Send / Dump SET, ELT	○	○
ATC Command Send /CIB Management	○	○
RTCS Command Send	○	○
Packet Processing and Management	○	○
On-board Reprogramming	○	○
NVMEM Reprogramming	○	○
Mass Memory Management	○	○
GPS, POD Compatibility Check	○	○
PAD, GPF Compatibility Check	○	○
Command Processing for Payload	○	○
Normal Mission Operation	○	
Mission Change Operation	○	
Orbit Change Operation	○	
Check Procedure at Abnormal Situation	○	
GRA/STA/RWA/TAM/MTA SOH		○
Full Functional Mission Test		○

그림 5와 6은 ETB 종단 시험 중 Normal Mission Operation 시험 결과 중 일부로, 임무 운용 장치를 통하여 위성의 자세 제어나 탑재체의 안테나 구동이 정상적으로 수행되었음을 확인할 수 있다.

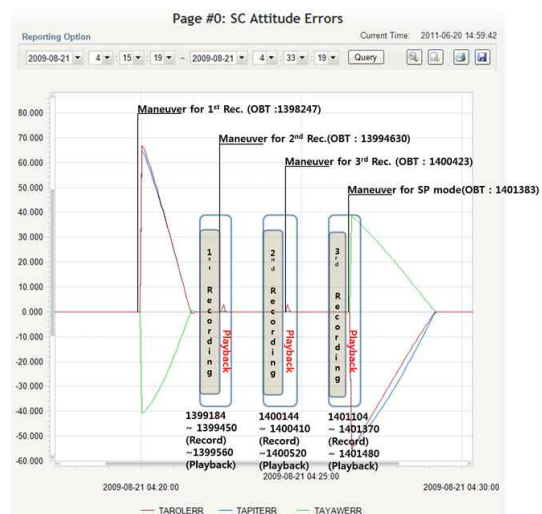


그림 5. 실시간 임무 시의 자세 제어 결과

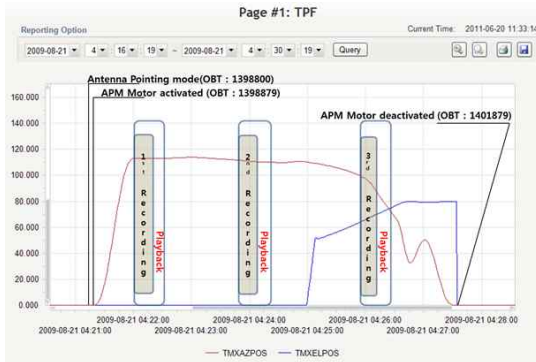


그림 6. 실시간 임무 시의 TPF 구동 결과

FM 시험의 경우, 기본적인 접속 검증 후에 수행한 Full Function Test를 통하여 정상적인 영상 정보를 획득하였다. 이로서 위성과 지상국 임무 운용 장치 간의 접속에 이상이 없음을 확인하였다.

4. 결 론

본 논문에서는 저궤도위성과 지상국의 임무 운용 장치 간의 접속을 검증하는 중단 시험에 대하여 시험 설계 및 수행 결과에 대해 정리를 하였다. 시험 설계 시 시험 목적의 설정부터 목적에 부합한 시험 형상 설계 및 시험 항목 선정에 대해 자세히 서술하였으며, 설계한 시험을 모두 수행하여 접속 검증을 완료하였다. 이 논문을 통해 향후 차세대 위성의 중단 시험을 설계할 때에 활용할 수 있을 것으로 기대하며, 차세대 위성의 중단 시험을 준비할 때는 위성과 임무 운용 장치 간의 접속 검증뿐만 아니라 영상 수신 처리 장치와의 접속도 동시에 검증할 수 있도록 위성 시험 장비 및 시험 항목, 시험 형상을 준비하면 더욱 완성도 높은 시험 설계가 될 것이다.

참 고 문 헌

1. 전문진, 권동영, 이나영, 김대영, “지구 저궤도 위성의 초기 운용 설계 및 시험 결과”, 2010 한국항공우주학회 추계학술발표회 논문집, pp. 1001-1004
2. Larson, W. J. and Wertz, J. R.: Space Mission Analysis and Design 3rd Edition, Space Technology Library