

# 저궤도 위성에서 위성탑재컴퓨터의 재구성 시험

정재엽\* 정회원, 이철훈\*\*

## The OBC Reconfiguration Test on LEO Satellite

Jae-Yeop Jeong\* Regular Members, Cheol-Hoon Lee\*\*

### 요 약

위성탑재컴퓨터(OBC, On-Board Computer)는 인공위성의 자세제어, 임무수행, 지상명령 송수신 및 처리 등 다양한 기능을 수행한다. 위성탑재컴퓨터는 다양한 모듈로 구성되어 있으며, 각 모듈은 매우 중요한 기능을 수행하기 때문에 이중화로 설계되어 있다. 이중화된 모듈은 그 특성에 따라 Hot/Cold Redundancy 정책을 적용하여 운영한다. 각 모듈을 이중화로 설계함으로써 위성의 신뢰성을 높이고, 특정 모듈에 문제가 발생하였을 때 정상적인 모듈로 위성탑재컴퓨터를 재구성을 함으로써 위성의 정상적인 동작을 보장한다. 본 논문에서는 저궤도 위성에서 위성탑재컴퓨터의 재구성 처리방법에 대해 기술하고 해당 기능을 ETB(Electrical Test Bed) 시험환경에서 검증한 내용에 대해 기술한다.

**Key Words** : On Board Computer Reconfiguration, Flight Software, LEO Satellite

### ABSTRACT

The Satellite OBC(On Board Computer) manages critical functionality such as satellite attitude control, fault management, payload management, command/telemetry processing etc. The OBC consist of various modules. Each module perform mission critical operation. So all modules designed as hot or cold redundancy architecture. The redundancy design gives a guarantee high reliability and it allows normal operation of satellite using reconfiguration capability. In this paper, introduces reconfiguration unit operation and describe the results of testing in the ETB.

## I. 서 론

위성탑재컴퓨터(OBC, On-Board Computer)는 인공위성의 자세제어, 탑재체 제어, 임무수행, 지상명령 처리, Fault Management 등 위성 운영에 필수적인 기능을 수행한다. 위성탑재컴퓨터는 프로세서 모듈을 중심으로, 위성의 입출력을 담당하는 I/O 모듈, 지상명령을 송수신하고 처리하는 TCTM 모듈, 위성탑재컴퓨터의 Reconfiguration을 담당하는 RU 모듈 등으로 구성된다. 그 중 RU(Reconfiguration Unit) 모듈은 위성탑재컴퓨터에 문제가 발생하였을 때 위성의 정상동작을 보장하기 위해 정상적인 모듈을 이용하여 위성탑재컴퓨터를 재구성한다. 위성탑재컴퓨터의 각 모듈은 매우 주요한 기능을 수행하기 때문에 모두 이중화하여 운영한다[1]. 현재 저궤도 위성에서는 모듈 특성에 따라 Cold 또는 Hot Redundancy 방식으로 운영한다. RU 모듈은 Hot Redundancy 방식으로 운영하며, 다양한 RU Event를 수신

하여 위성탑재컴퓨터의 Reconfiguration을 수행한다. 본 논문에서는 저궤도 위성에서 Reconfiguration 처리 방법에 대해 기술하고, 해당 기능을 ETB(Electrical Test Bed)에서 시험한 내용에 대해 기술한다.

## II. Reconfiguration Unit Operation

Reconfiguration Unit은 위성탑재컴퓨터에 문제가 발생하였을 때 정상적으로 동작할 수 있는 모듈을 선택하여 위성탑재컴퓨터를 재구성하는 기능을 수행한다. Reconfiguration Unit 내부에는 현재 각 모듈의 전원 인가 상태를 나타내는 CRR(Current Reconfiguration Register)와 특정 RU Event가 발생하였을 때 위성탑재컴퓨터 재구성을 위한 각 모듈의 정보를 저장하고 있는 NRR(Next Reconfiguration Register) 정보를 저장하고 있다. RU Event가 발생하면 RU 모듈은

\*한국항공우주연구원 위성비행소프트웨어팀 (jyjeong@kari.re.kr)

\*\*충남대학교 컴퓨터공학과 (cleec@cnu.ac.kr)

접수일자 : 2017년 9월 21일, 수정완료일자 : 2017년 9월 22일, 최종게재확정일자 : 2017년 9월 25일

CRR과 NRR 정보를 이용하여 위성탑재컴퓨터를 재구성한다. RU 모듈에서는 아래 5가지 RU Event를 정의하고 있으며, 각 Event에 따른 정책을 정의하고 있다.

### 1. RU Event #1 (Master Reset Release)

인공위성이 발사체에 탑재되어 발사준비 시점이 되면 TCTM 모듈에만 전원이 인가되며 이때 LV Mode로 진입한다. LV Mode에서는 위성과 발사체가 연결되어있는 Signal인 Break Wire 신호를 모니터링하게 된다. 발사체가 발사되어 지정된 궤도에서 위성과 발사체가 분리되면 Break Wire Signal이 Open 상태로 변경되며 이때 Master Reset Release Event가 발생한다. RU는 Master Reset Release Event를 수신하여 !NRR 상태로 모듈의 전원을 인가한다. Master Reset Release Event가 발생하게 되면 NRR은 모두 Redundancy 모듈을 선택하기 때문에 !NRR 상태로 모듈의 전원을 인가함으로써 모두 Primary로 운영될 수 있게 한다. 즉 위성이 발사체와 분리되어 처음으로 운영할 때에는 모두 Primary 모듈을 이용하여 운영하게 된다.

### 2. RU Event #2 (TCTM Power On Reset)

위성의 지상명령 송수신을 담당하는 TCTM 모듈의 전원이 인가되어 Power On Reset Signal이 발생하면 RU는 !NRR 상태로 모듈의 전원을 인가한다. 위성 운영 중에 TCTM 모듈이 Reset될 경우에도 !NRR 상태로 모듈의 전원을 인가함으로써 현재 전원이 인가되어 있는 모듈을 그대로 사용할 수 있도록 한다.

### 3. RU Event #3 (Heartbeat Fail)

위성탑재컴퓨터 중 프로세서 모듈에는 위성비행소프트웨어가 탑재되어 운영되며, Cold Redundancy 방식으로 운영된다. 위성비행소프트웨어가 위성의 초기화를 마치고 정상적으로 운영하게 되면 일정시간 간격으로 RU에서 Heartbeat Signal을 전송하게 된다. 프로세서모듈에 문제가 발생하여 위성비행소프트웨어가 더 이상 Heartbeat Signal을 전송하지 못하게 되면 RU는 프로세서모듈에 문제가 발생한 것으로 판단하여 Reconfiguration을 수행한다. Heartbeat Fail Event가 발생하여 Reconfiguration을 수행하면 RU는 NRR 상태로 모듈의 전원을 인가하여 다른 프로세서 모듈이 위성의 동작을 계속해서 수행할 수 있도록 위성탑재컴퓨터를 재구성한다.

### 4. RU Event #4 (G/S Command)

인공위성이 정상적으로 운영되지 않음에도 불구하고 Reconfiguration이 발생하지 않거나, 지상에서 Reconfiguration을 해야 한다고 판단할 경우 지상에서 Command를 전송하

여 위성탑재컴퓨터를 Reconfiguration할 수 있다. 지상 명령을 수신하여 Reconfiguration되었을 경우에는 NRR 상태로 전원을 인가한다. 그러므로 지상에서 Reconfiguration Command를 전송하기 전에 각 모듈의 상태를 판단하여 Hardware Special Command를 이용하여 NRR 상태를 설정한 후 Reconfiguration Command를 전송해야 한다.

### 5. RU Event #5 (Power Fail)

위성탑재컴퓨터 전원에 Under Voltage 또는 Over Current가 발생하였을 경우 해당 Event가 발생한다. 해당 Event가 발생하면 현재 전원이 인가되어 있는 모듈에 문제가 발생한 것으로 판단하고 !CRR 상태로 모듈의 전원을 인가하여 운영한다.

## Ⅲ. Reconfiguration Test

### 1. 시험환경

위성탑재컴퓨터의 Reconfiguration 각 기능을 시험하기 위해 ETB(Electrical Test Bed) 시험환경을 이용한다. ETB 환경에서 시험을 진행하는 이유는 RU Event #1~#5를 모두 모의할 수 있기 때문이다. ETB 시험 환경은 아래와 같이 구성되어 있다. ITOS(Integrated Test Operation System)을 이용하여 지상국을 모의하게 되며, Command를 전송하고 Telemetry를 확인하게 된다. 또한 복잡한 시험을 쉽게 진행하기 위해 Script를 지원하여 Test와 관련된 Script를 작성하여 자동으로 시험을 진행할 수 있도록 해준다. ITOS는 Ethernet Hub와 연결되어 ETB Equipment나 Cortex와 통신한다. ETB Equipment는 위성의 일정 기능을 Simulation 하고, 다양한 하드웨어 Signal을 제어할 수 있는 기능을 갖는다. 이를 이용하여 특정 Signal을 변경하여 Fault Injection을 수행할 수 있다. Cortex는 위성과 ITOS사이에서 Command Telemetry 신호를 변환하는 역할을 수행한다. ETB에는 OBC를 포함하여 다양한 위성탑재 하드웨어로 구성된다.

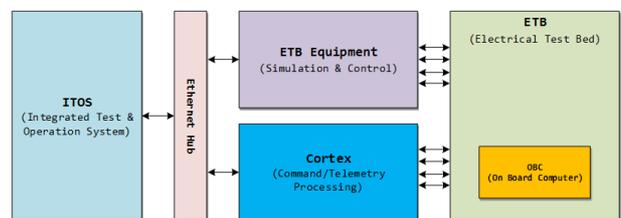


그림 1. ETB(Electrical Test Bed) Configuration

### 2. 시험절차

Reconfiguration Test는 ITOS의 Script를 이용하여 시험을 수행한다. RU Event #1~#5의 모든 Test 기능을 Script로

작성하여 자동으로 수행할 수 있도록 한다. 시험 절차는 그림 2와 같다. 기본적으로 RU Activation/Deactivation 시험을 수행하고 각 RU Event를 인위적으로 발생시켜 Reconfiguration을 발생시킨 후 각 모듈의 최종 상태가 예상하는 상태와 동일한지 Telemetry를 확인함으로써 Reconfiguration이 정상적으로 수행되는지 확인한다.

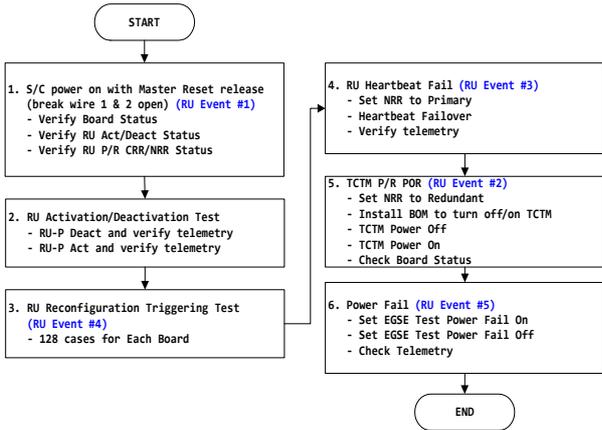


그림 2. Reconfiguration Test Sequence

- RU Activation/Deactivation Test

RU Event #1~#5 기능을 시험하기 전에 Reconfiguration 기능을 Enable/Disable 하는 기능이 정상적으로 동작하는지 확인한다. Hardware Special Command를 이용하여 RU Activation/Deactivation 기능을 제어하고 Telemetry를 확인하여 정상적으로 RU가 Activation/Deactivation되는지 확인한다. RU Event Test를 수행하기 전 RU의 상태를 Activation으로 설정하여 수행함으로써 RU 모듈이 Event 수신 시 Reconfiguration이 발생하도록 한다.

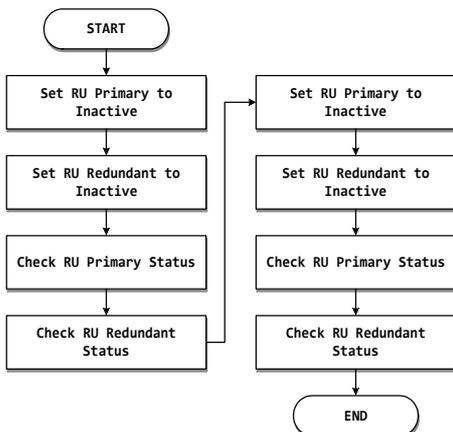


그림 3. RU Activation/Deactivation Test

- RU Event #1 Test (Master Reset Release)

인공위성이 발사체와 분리된 상태를 모의하여 위성탑재 컴퓨터에 전원을 인가한다. 프로세서 모듈에 전원이 인가되면 위성비행소프트웨어가 위성을 초기화 하고, 정상적인 위

성 동작을 수행하게 된다. 이때 Telemetry 정보를 ITOS에서 확인하여 각 모듈의 상태가 !NRR 상태로 설정되어 있는지 확인한다. Script 상에서 NRR을 모두 Redundancy 상태로 설정하기 때문에 모든 모듈은 Primary로 부팅되어야 하고, 각 Telemetry역시 Primary로 설정되었는지 확인해야 한다.

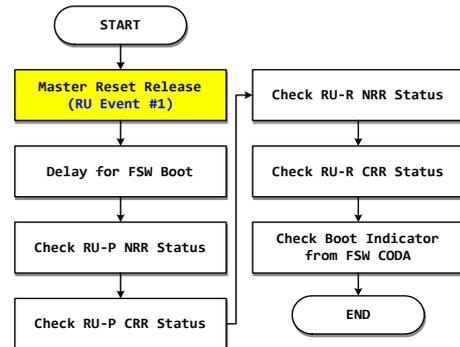


그림 4. Master Reset Release Test

- RU Event #2 Test (TCTM Power On Reset)

위성의 지상명령 송수신 및 처리를 담당하는 TCTM 모드에 Power On Reset이 발생하였을 경우 RU Event #2가 발생한다. RU Event #2가 발생하면 !NRR 상태로 모듈의 전원을 인가한다. 시험은 NRR을 모두 Redundant 상태로 설정하고 ETB환경에서 TCTM Power On Reset을 임의로 발생시켜 Reconfiguration이 발생하도록 한다. 그 후 위성이 정상적으로 동작하여 Telemetry를 수신하면 RU Activation 상태, CRR/NRR 상태를 확인하여 정상적으로 Primary로 각 모듈이 전원이 인가되었는지 확인한다.

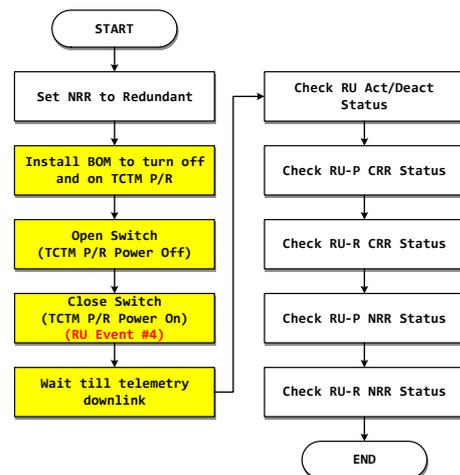
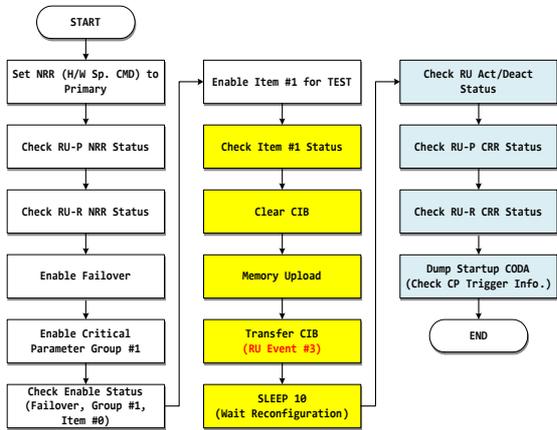


그림 4. TCTM Power Reset Test

- RU Event #3 Test (Heartbeat Fail)

위성비행소프트웨어가 정상적으로 수행되면 프로세서 모듈이 정상적으로 동작함을 RU에게 알리기 위해 RU로 Heartbeat Signal을 전송한다. RU에서 Heartbeat Signal을 일정시간 수신하지 못할 경우 RU Event #3 Heart Fail이 발

생하고 위성탑재컴퓨터는 Reconfiguration을 수행한다. 위성 비행소프트웨어에서 임의로 고장을 발생시키기 위해 Critical Parameter 기능을 이용한다. 시험을 위해 Critical Parameter Item #1을 설정하고 해당 Parameter가 Limit를 넘도록 설정하여 Critical Parameter를 Trigger한다. Critical Parameter가 Trigger되면 일련의 특정 동작을 수행한 후 Reconfiguration을 수행하기 위해 위성비행소프트웨어를 wait forever 상태로 설정하게 되고, 이 상태가 되면 위성비행소프트웨어는 더 이상 Heartbeat Signal을 RU로 전송하지 않는다. 그 후 일정시간이 지나면 RU가 Heartbeat Fail Event를 탐지하게 되고, 위성탑재컴퓨터를 Reconfiguration 한다. Reconfiguration이 된 후에 CRR, NRR 상태를 확인하여 NRR 상태로 전원이 인가되었는지 확인한다. 또한 Start up CODA를 확인하면 Critical Parameter에 의해서 Reconfiguration 되어 있는 것을 확인할 수 있다.



Fault Isolation Info.

```

S/W Error Word       : 4000h
SpW Error Count     : 00h
CAN Bus Selection   : 00h
Launch Complete Flag : 00h
reserved            : 00h
Mode Transition Trigger : 0030h
Critical Param. Trig. Indicator : 0001h
reserved            : 0000h
Critical Param. Trig. Value : 447A0000h
Error Info          : Error Code = 9E81h
                    Occ.       = 0006h
                    week      = 00000000h
                    osec      = 00000148h
                    info.     = CP #1 trigger (en)
    
```

CODA CRC : 26C8h  
Error Count : 1

ErrCode	Occ.	WEEK	DSEC	ErrMsg
(00) 9E81h	6	0000h	00000148h	CP #1 trigger (en)
(01) 0000h	0	0000h	00000000h	
(02) 0000h	0	0000h	00000000h	
(03) 0000h	0	0000h	00000000h	

그림 5. Heartbeat Fail Test

– RU Event #4 Test (G/S Command)

지상에서 사용자가 판단하여 Reconfiguration이 필요할 경우 Hardware Special Command를 이용하여 위성탑재컴퓨터를 Reconfiguration할 수 있다. Command에 의해

Reconfiguration이 발생할 경우 NRR 상태로 각 모듈의 전원을 인가하게 된다. 각 모듈 및 상태정보를 NRR에 설정하고 Command를 이용하여 Reconfiguration을 발생시킨 후 NRR, CRR 및 상태정보를 확인함으로써 시험을 진행한다. 현재 7개의 모듈 및 상태정보가 있으며  $2^7 = 128$ 개의 case에 대해 모두 시험을 수행한다.

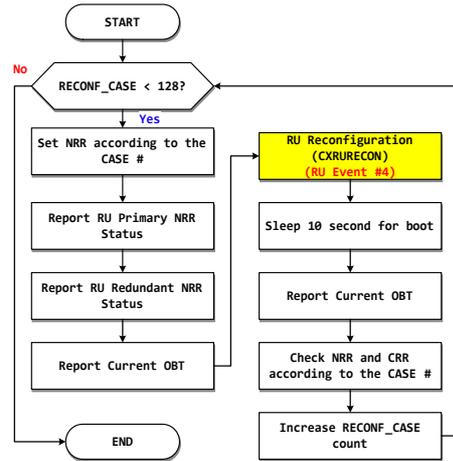


그림 6. G/S Command Test

– RU Event #5 Test (Power Fail)

위성탑재컴퓨터의 전원에 under voltage 또는 over current가 발생할 경우 RU event #5가 발생한다. 점검 장비를 이용하여 임의로 Power Fail Event를 발생 시키고 !CRR 상태로 각 모듈의 전원이 인가되었는지 확인함으로써 시험을 수행한다.

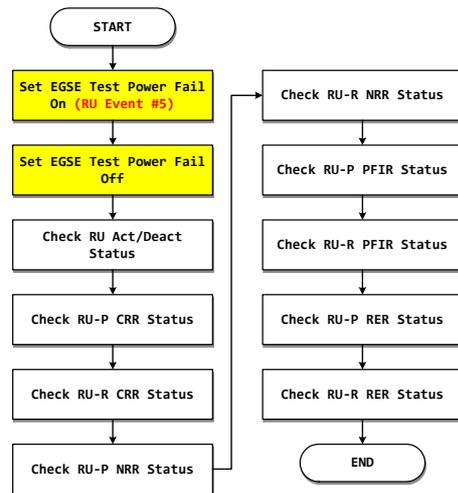


그림 7. Power Fail Test

3. 시험결과

위에서 설명한 총 6개의 시험을 ITOS Script로 작성하여 자동으로 시험을 진행한다. 시험 결과는 모두 Report로 작성되며 시험이 모두 수행된 후에 Report 파일을 확인함으로써 시험이 정상적으로 이뤄졌는지 판단하게 된다. 시험 수행 중

에러가 발생할 경우에는 Script의 실행이 중단되고, 에러 상태를 Telemetry를 통해 확인할 수 있다.

그림 8. Reconfiguration Test Result

**이 철 훈(Cheol-Hoon Lee)**



- 1983년 2월 : 서울대학교 전자공학과 (공학사)
  - 1988년 2월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과(공학석사)
  - 1992년 2월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과(공학박사)
  - 1983년 3월 ~ 1986년 2월 : 삼성전자 컴퓨터사업부 연구원
  - 1992년 3월 ~ 1994년 2월 : 삼성전자 컴퓨터사업부 선임연구원
  - 1994년 2월 ~ 1995년 2월 : Univ. of Michigan 객원 연구원
  - 1995년 2월 ~ 현재 :충남대학교 컴퓨터공학과 교수
  - 2004년 2월 ~ 2005년 2월 : Univ. of Michigan 초빙 연구원
- <관심분야> : 실시간시스템, 운영체제, 고장허용 컴퓨팅

**IV. 결 론**

본 논문에서는 위성탑재컴퓨터에서 Reconfiguration을 수행하는 조건 및 처리 방식에 대해 기술하고, 그 기능을 ETB 환경에서 시험한 내용에 대해 기술하였다. 그림 8과 같이 ITOS에서 Script를 작성하여 Command 전송 및 Telemetry를 확인하고 그 결과를 파일로 출력하였으며, 각 시험이 정상적으로 수행된 것을 확인하였다.

**참 고 문 헌**

[1] Y. J. Cheon, "Conceptual Design of Reconfiguration and FDIR Management for Satellite System", KSAS, November 2017, pp.1663-1666  
 nd ed., Pearson Prentice Hall, 2004, pp.743-748.

**저자**

**정 재 엽(Jae-Yeop Jeong)**



- 2007년 2월 : 충남대학교 컴퓨터공학 학사졸업
- 2009년 2월 : 충남대학교 컴퓨터공학 석사졸업
- 2009년 1월 ~ 2013년 12월 : LIG넥스원 항공연구센터 선임연구원

• 2014년 1월 ~ 현재 : 한국항공우주연구원 위성탑재소프트웨어팀 선임연구원

<관심분야> : 임베디드시스템, 실시간운영체제

**정회원**