

MSC(Multi-Spectral Camera) 열제어 시스템 소개

공종필*, 허행필**, 김영선***, 박종익****, 장영준*****

Introduction to the MSC Heater Control

Jong-Pil Kong*, Haeng-Pal Heo**, Young-Sun Kim***, Jong-Euk Park****, Young-Jun Jang*****

Abstract

As a unique payload of Komsat-2, MSC, comprising EOS(Electro-Optical Sub-system), PMU(Payload Management Unit) and PDT(S(Payload Data Transmission Sub-system)), is supposed to take pictures of one panchromatic and 4 multi-spectral image between wavelength 450mm~900mm, and is being under final Satellite I&T. It will perform the earth remote sensing with applications such as acquisition of high resolution images, surveillance of large scale disasters and its countermeasure, survey of natural resources, etc.. Under the hostile influence of the extreme space environmental conditions due to deep space and direct solar flux, the thermal design is especially of major importance in designing a payload. There are tight temperature range restrictions for electro-optical elements while on the other hand there are low power consumption requirements due to the limited energy source on the spacecraft. This paper describes details of thermal control system for MSC.

초 록

고도 685Km에서 450mm~900mm 파장대역의 한 채널의 흑백영상과 4채널 컬러영상을 이미징하도록 개발된 MSC는 한반도의 정밀 지상관측 등 국가 영상정보 수요충족을 위해 운용예정인 저궤도용 다목적실용위성 2호의 유일한 탑재체로서 마지막 시험단계에 있다. MSC는 우주공간에서 운용되는 위성체 탑재체의 특성상 우주공간에서 경험하게 되는 직, 간접의 태양광선, 그리고 극저온의 우주환경 등을 견뎌내도록 설계요구가 주어지는바 이를 위해서는 온도 제어가 불가피하고 또한 한정된 위성본체의 전원용량의 효율적인 사용도 고려되어서 설계되어야 한다. 특히 광학성능에 직접적인 영향을 미치게 되는 EOS의 효율적인 열제어는 MSC 설계요소의 가장 중요한 부분이기도 하다. 본 논문은 먼저 MSC의 전체적인 시스템구성과 열제어 시스템 개념을 소개한 다음, 실제 열제어를 수행하는 THTM(THermal and TeleMetry) 보드를 중심으로 열제어 시스템의 H/W와 S/W의 수행 내용들을 소개하였다.

키워드 : 다목적실용위성2호, 광학탑재체, 열제어, MSC, EOS

* 아리랑위성3호사업단 광학탑재체그룹/kjp123@kari.re.kr

** 아리랑위성3호사업단 광학탑재체그룹/hpyoung@kari.re.kr

*** 아리랑위성3호사업단 광학탑재체그룹/yskim1203@kari.re.kr

**** 아리랑위성3호사업단 광학탑재체그룹/pje@kari.re.kr

***** 아리랑위성3호사업단 광학탑재체그룹/yjchang@kari.re.kr

1. 서 론

정보화 시대에 발맞추어 점차 증가하는 위성 정밀관측 및 원격탐사 자료의 자급과 국토관리, 해양/수자원의 효율적 개발, 그리고 지도제작 등 위성영상자료의 가공생산을 통한 원격탐사, 정밀관측 분야의 고부가가치 산업육성을 목적으로 개발되고 있는 다목적실용위성2호는 2005년말 발사를 목표로 현재, 유일한 탑재체인 MSC와의 AIT(Assembly, Integration & Test)가 진행되고 있다. 1999년에 성공적으로 발사되어 운용되고 있는 다목적실용위성1호의 탑재체에 비해 약 6배의 향상된 GSD(Ground Sampling Distance)를 가지고 있는 MSC는 광학성능뿐 아니라 그 운용면에서도 다양한 동작 옵션을 제공함으로써 사용자가 다양한 동작모드와 영상촬영 조건을 가지고 촬영임무를 수행케 할 예정이다.

다목적실용위성1호와 마찬가지로 685Km의 정상동작 고도의 우주환경에서 동작해야 하는 우주급 탑재체의 특성상, MSC는 당연히 극고온과 극저온을 오가는 우주공간의 온도조건을 견뎌내야 하며 또한 광학탑재체의 요구 성능이 이러한 온도조건에서 저하가 되지 않아야 한다. 따라서 MSC의 경우 광학서브시스템인 EOS의 열제어는 단지 열제어 시스템 관점을 떠나서 MSC 전체의 설계개념에서도 아주 중요한 부분이 되게 된다. 본 논문은 EOS를 중심으로, 온도제어를 수행하여 최적의 동작온도에서 영상을 획득하도록 개발된 MSC의 열제어 시스템을 소개하기 위한 것으로 먼저 2장에서는 MSC의 전체 시스템에 대한 소개를 하고, 3장에서는 MSC의 열제어 시스템 설계개념, 그리고 4장에서는 MSC에서 열제어를 실질적으로 수행하는 THTM보드를 중심으로 열제어에 필요한 하드웨어와 소프트웨어를 소개하였으며, 5장에 결론을 맺었다.

2. MSC 시스템 소개

그림 1의 블록도에 보인바와 같이 MSC는 크게 광학서브시스템인 EOS, 위성본체와의 통신 및

탑재체 전체의 동작제어를 수행하는 PMU, 그리고 EOS에 의해 획득된 영상정보를 지상으로 송신하기 위한 서브시스템인 PDTS로 구성된다. 그리고 지상국에서의 임무수행 제어는 위성체 버스의 S-band 업링크를 이용하여 OBC(On-Board Computer)와 PMU를 통해서 수행하고, X-band를 사용하는 다운링크를 통해서 영상정보와 영상정보의 해석에 필요한 추가정보(Ancillary Information)등을 내려받게 된다.

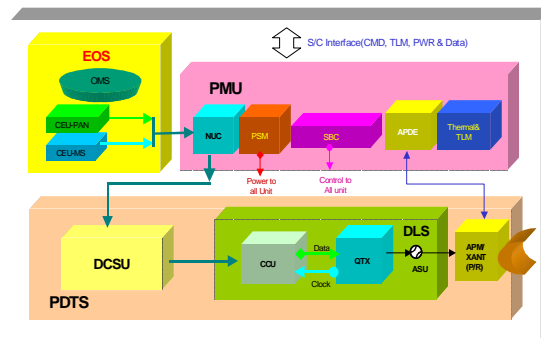


그림 1. MSC 시스템 블록도

2.1 EOS(Electro-Optical Sub-system)

MSC의 EOS는 그림 2에 보인바와 같이 크게 주/부 반사경(PMA, Primary Mirror Assembly/SMA, Secondary Mirror Assembly) 및 이들을 지지하는 광기구부와 카메라전자유닛인 CEU(Camera Electronic Unit)으로 구성되며, CEU는 다시 DFPA(Detector Focal Plane Assembly), FPE(Focal Plane Electronic) 전자보드 및 전체 EOS의 동작을 제어하는 CC(Camera Controller)로 구성된다. 그리고 인접된바와 같이 MSC 성능을 만족하기 위해 온도변화에 민감한 EOS의 각 부분에 써미스터와 히터를 두어 적절한 온도범위에서 EOS가 동작하도록 설계되었다. 그리고 개략적인 EOS의 동작규격은 흑백채널의 경우 13um 피치 CCD(Charge Coupled Device), 3x5000픽셀, CCD당 4출력, 출력당 10MHz 샘플링 속도를 지원하도록 되어있으며 칼라채널의 경우 이중초점 광학계(Bi-Focal Telescope)의 특성상, 역시 13um

픽치, 3750 픽셀 CCD, 그리고 CCD당 한 채널의 출력력을 통해 흑백채널에 비해 4배 낮은 속도에서 동작하도록 설계 되었다.

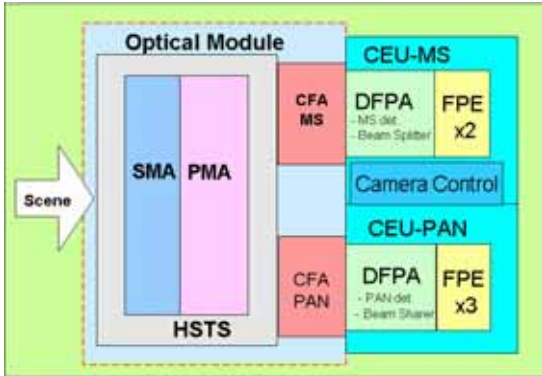


그림 2. EOS 블록도

2.2 PMU(Payload Management Unit)

버스본체와의 1553B 통신을 통해 명령을 전달 받고, 이 명령에 따라 MSC 각 유닛의 전원제어, 열제어를 비롯한 탑재체 전반의 제어를 수행하며 그 결과로 생기는 MSC내의 상태정보를 역시 버스본체로 전달하는 기능을 수행하는 PMU는 전원공급기인 PSM(Power Supply Unit), PMU의 임무 스케줄링 등 제어로직이 수행되는 컴퓨터인 SBC(Single Board Computer), SBC의 명령에 따라 실제로 각 유닛에 대한 히터제어 등 모든 제어 신호를 발생하거나 상태정보를 모아 SBC에게 전달하는 역할을 수행하는 THTM, 영상 데이터에 존재하는 비균일성(Non-Uniformity)를 보정하는 NUC(Non-Uniformity Correction)보드, PDTS 내의 안테나 포인팅을 제어하는 APDE (Antenna Positioning Drive Electronics) 그리고 마더보드 역할을 수행하는 백플레인의 6종 보드로 구성되게 된다.

2.3 PDTS(Payload Data Transmission Sub-system)

6개의 흑백채널과 2개의 칼라채널의 총 8채널의 영상 데이터를 전송하기 위한 서브시스템인

PDTS는 촬영된 영상데이터를 압축하고 저장하기 위한 유닛인 DCSU(Data Compression and Storage Unit), 영상정보의 암호화를 비롯한 다운링크 채널의 코딩을 수행하는 CCU(Channel Coding Unit), 송신할 데이터의 모듈레이션 및 RF 전송기인 QTX(QPSK Transmitter)와 안테나 스위칭 유닛 그리고 RF 안테나로 구성된다. DCSU는 JPEG DCT(Discrete Cosine Transform)에 기반한 압축알고리즘을 사용하고 128Gbits의 저장용량을 사용해서 MSC의 "Direct Transmission", "Record & Playback"등의 임무수행을 가능케 하며, CCU는 DCSU로부터 I와 Q채널의 데이터를 받아서 암호화(Encryption)와 미리 정해진 데이터 전송포맷에 따른 영상데이터 스트림의 패킷타이징, Reed-Solomon 코딩, 각 데이터 패킷에 패킷정보 삽입, 싱크마크 삽입 및 랜덤화(Randomizing)등을 수행하게 된다. 이후 8.205GHz X-band 모듈레이션과 RF power amplifier를 거친 데이터는 ASU와 PMU의 APDE 제어에 의해 방향이 결정되는 평면 안테나를 통해 지상으로 데이터를 전송하게 된다.

3. MSC 열제어 시스템 소개

통상 온도제어 시스템은 써머스탯을 이용한 자동온도 제어와, 온도센서를 통해, 온도제어를 원하는 영역의 온도를 측정후 히터를 동작하거나 냉각기를 통해서 온도를 제어하는 방법중 하나를 이용하게 된다. MSC의 경우는 상기방법중 온도센서와 히터제어를 통해서 온도제어를 수행하며, PMU와 EOS의 상세한 열해석 및 온도제어 방법은 다음과 같다.

3.1 PMU 온도 분석

열적으로 위성체의 플랫폼에 결합된 PMU 박스의 온도분석은 PMU의 장착부의 온도에 기준하게 되는데, 고온(Hot Case)의 경우 45℃, 저온(Cold Case)의 경우 -25℃를 기준으로 분석되었다. PMU내의 각 PCB보드위에 장착된 전자부품으로부터 발생하는 열은 부품 케이스를 통해

PCB로 전달되고 이들은 다시 edge-lock (Calmarks)를 통해 PMU박스의 마운트 접착을 통해 위성체로 전달되게 된다. PMU 열설계 목표는 PCB의 온도가 85℃이하 -40℃이상을 유지하는 것으로 기동율(Duty Cycle) 20%를 기준으로, 4-orbit 동안의 고온과 저온 경우에 대한 PMU내 각 전자보드별 우주환경에 대한 온도분석 결과는 다음 표1, 표2에서 볼 수 있다.

표 1 고온(Hot case) 온도분석 결과

보드구분	Min. 보드온도	Max. 보드온도
PSM1	57.4℃	83.4℃
PSM2	55.9	81.2
SBC	58.1	77.8
THTM	54.6	65.4
APDE	53.2	61.0
NUC	57.3	75.0

표 2. 저온(Cold case) 온도분석 결과

보드구분	Min. 보드온도	Max. 보드온도
PSM1	-23.3℃	-21.0℃
PSM2	-22.8	-14.9
SBC	-22.6	-23.3
THTM	-20.6	-9.7
APDE	-22.7	-20.5
NUC	-23.3	-21.8

결국 광학성능의 저하를 가져오게 된다.

EOS의 과열방지는 버스본체의 패널에 부착된 냉각기를 통하여 수행되며, 즉 열발생 원천인 DFPA와 CEU보드에서 발생하는 열은 도체 구리선(Copper Braid)를 통해 그림 4에 보인바와 같이 냉각기 인터페이스(Cooling Unit interface Flange)를 통해 우주공간으로 빠져나게 된다. 그리고 EOS의 저온 방지 열제어는 MLI(Multi-Layer Insulation)와, SBC와 THTM보드에 의해 열제어가 요구되는 영역에 설치된 히터 On/Off 제어를 통해서 수행되게 된다.

그림 4에 보인바와 같이 히터는 텔레스코프의 튜브, 흑백 DAFP, 칼라 DFPA, 주반사경(PM: Primary Mirror), 부반사경(SM: Secondary Mirror)에 부착되어 있으며 표3은 EOS 열제어를 위한 써미스터의 위치, 개수 정보 등을 보여준다.

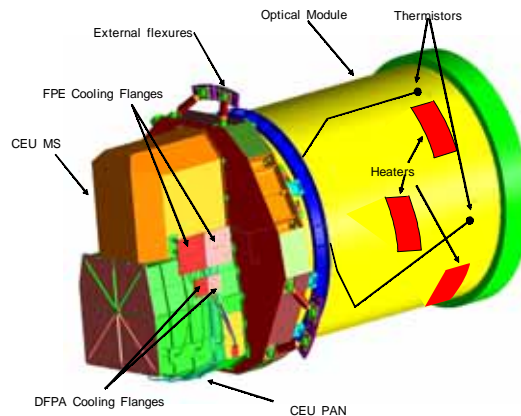


그림 4. EOS 히터 설치 영역

3.2 EOS 열제어 시스템

광학성능과 연계되는 EOS의 열제어 설계는 위성체의 운용도중 발생하는 과열조건(Hot Condition)과 저온조건(Cold Condition)에서 EOS의 극저온 현상을 방지해야하고, EOS가 영상촬영도중에는 적정의 온도조건을 유지하도록 설계되어야 한다. 예로 OM(Optical Module)에서의 심한 온도변화는 주반사경에 대한 부반사경의 상대적인 움직임을 유발시킬 수 있고, 이는 주반사경과 부반사경간의 비정렬(mis-alignment) 초래하여

표3에서 보듯이 PAN, MS, PM 및 SM은 열센서와 히터를 함께 가지고 있어 능동적인 열제어를 수행할 수 있도록 하고, 렌즈 하우징 부분과 CEU는 히터가 없어 수동적인 제어를 하게 된다. 특히 PM은 12개 Out-Gassing 히터를 추가로 가지고 있는데, 이는 EOS 내부 오염 제거를 위하여 Out-gassing 모드를 운영할 때만 동작된다.

그리고 히터는 능동적인 열제어를 위하여 정상

모드(Normal Mode), 시간분할모드(Duty-Cycle Mode), Out-Gassing 그리고 Survival 모드로 구분되어 운영된다.

표 3. EOS 열제어 루프

구분	센서 수	측정 범위	히터 수
PAN	4	-20~50℃	6
MS	2	-20~50	4
PM	3	-40~80	12+(12)*
SM	3	-40~80	6
Tube	3	-45~70	6
Lens House	3	-45~60	0
CEU	2	-45~60	0

3.2.1 정상모드(Normal Mode)

정상모드는 각 영역의 열 센서가 하나이상 “정상”인 경우에 동작하는 모드로써 여러 열 센서로부터 온도를 획득한 후 이들의 평균값을 이용하여 열 제어의 기본으로 삼는다. 즉 온도의 평균값이 표4의 설정 하한온도보다 낮은 경우 히터를 켜고 온도가 설정 상한 온도보다 높으면 히터를 꺼 온도가 일정 범위 안에 유지되도록 한다.

표 4. EOS 히터 제어 온도 설정값

구분	정상모드 (℃)	Survival 모드(℃)	Out-gassing 모드(℃)
PAN	5/8	5/8	5/8
MS	5/8	5/8	5/8
PM	-20/-17	-20/-17	54/56
SM	-5/-2	-5/-2	54/56
Tube	-20/-15	-20/-15	-

3.2.2 시간분할모드(Duty-Cycle Mode)

시간분할모드는 각 히터제어 영역에서의 모든 열 센서가 고장인 경우에 운영되는 모드로써, 히터 운영은 ON/OFF 시간으로 정의되어진 Duty-Cycle 테이블에 의하여 운영된다. 특별히 이 모드에서 PAN과 MS의 히터 운영은 약간 다르게 운영되는데, 기본적으로는 표 5의 ON/OFF 시간 테이블에 의하여 열 제어를 수행하지만 디텍터의 과열을 방지하기 위하여 각 디텍터가 ON 상태에 있는 경우에는 히터를

꺼진 상태로 유지한다. 따라서 PAN과 MS DFPA 영역에서는 시간분할모드에 들어오자마자 히터를 끌지 결정하기 위하여 PAN 카메라와 MS 카메라 상태를 살피게 된다.

표 5 시간분할모드의 ON/OFF 시간 설정값

구분	ON 시간(sec)	OFF 시간(sec)
PAN	120	120
MS	60	60
PM	60	60
SM	60	60
Tube	60	180

3.2.3 Out-Gassing 모드

Out-Gassing 모드는 EOS 내부의 오염을 제거하기 위하여 만든 특별한 운영모드로써 주 반사경 영역에 있는 12개의 정상모드에서 동작하는 히터 외에 12개의 Out-Gassing 히터를 추가로 운영할 수 있게 된다. 그리고 Out-Gassing 모드에서는 Tube 영역에 있는 히터는 항상 off를 유지하도록 하여 Outgassing 동안 튜브로부터의 반사경의 오염을 방지하게 된다.

3.2.4 Survival 모드

PMU 전원이 off되어 SBC가 동작하지 않게 되는 Survival 모드에서 MSC는 별도의 테이블을 이용하여 열 제어를 수행한다. 즉, THTM의 플래쉬 룸에 프로그래밍된 Survival 모드용 온도 설정값, 시간 분할 설정값으로 온도 제어 설정값을 이용하며 열 제어 테이블은 지상국 운영자가 로드할 수 없게 된다.

THTM이 각 모드에서 사용하는 기본 온도 설정값 및 기본 ON/OFF 시간 설정값은 표4및 표5에서 볼 수 있다.

4. 열제어를 위한 전자부

MSC의 열제어는 언급된바와 같이 SBC와 THTM 보드를 통해서 수행되게 된다. PMU에 전원이 공급되지 않은 상태에서의 MSC 열제어는 THTM 보드가 가지는 열제어 설정 테이블을 사

용해서 Primary/Redundant 2개의 THTM이 동시에 자체 S/W 로직을 사용해서 수행하게 된다. 이후 PMU에 전원이 인가되어 SBC가 켜지는 순간부터는 하나의 THTM(기본설정은 Primary THTM)과 SBC의 열제어 로직을 통해서 전체 시스템의 열제어를 수행하게 된다. 이때 히터 On/Off 설정값은 SBC가 저장하고 있는 설정값을 THTM으로 전달한 다음 이를 이용하여 온도 제어가 수행되게 된다. 열제어 하드웨어부의 핵심인 THTM 보드와 THTM내의 소프트웨어부의 상세 내용은 다음과 같다.

4.1 하드웨어부

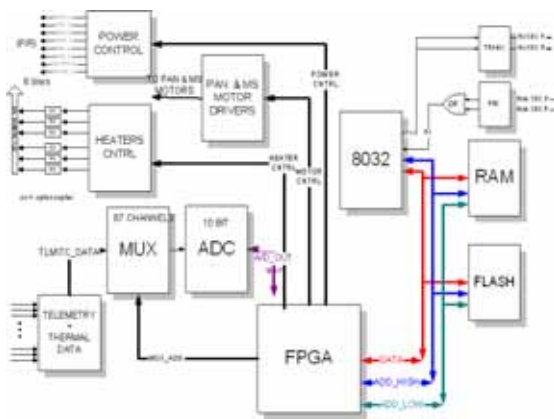


그림 5. THTM 보드 구성 블록도

MSC내에서 열 제어(Heater Control), 전원제어와, 텔레메트리(Telemetry) 수신 등의 기능을 수행하는 THTM은 그림 5에 보인바와 같이 80C32 프로세서를 중심으로 메모리, 80채널 이상의 아날로그 MUX, ADC(Analog /Digital Converter) 히터제어 신호 발생부, 전원제어를 위한 스위치 제어신호 발생부, 보드내의 제어로직이 구현된 FPGA 등으로 구성되어 있으며, 한 장의 전자보드에 Primary 모듈과 Redundancy 모듈을 구현하여 전체 부피를 줄이도록 하였다. THTM으로 공급되는 전원은 5V, +15V, -15V가 있으며 FPGA에서 사용하는 2.5V, 3.3V는 5V를 입력으로 보드

내부의 레귤레이터에 의해서 생성된다. 그리고 다음 표 6은 각각 THTM 메모리 영역의 구성과 사용되고 있는 내부 레지스터의 주소영역을 보여 준다.

표6. 메모리 및 레지스터 주소할당

ID	Address
Code Flash	0000h - 7FFFh
I/O	8000h - BBFFh
RAM	BC00h - FFFFh
CS_ADC	8000h
CS_EHATERS	8200h
CS_PYRO	8A00h
MOTOR_CNTRL	9600h
ExUnit_Relay	9A00h
ASU	A800h
Cal. LAMP	AB00h
WD	AD00h
MUX	B700h

4.1.1 하드웨어부 역할 및 구성

4.1.1.1 열 제어(Heater control) 기능

열 제어 기능은 EOS의 각 섹션에 설치된 써미스터의 온도 데이터를 입력받아 이 데이터의 값에 따라, 사용자가 설정한 온도 범위 내에서 해당 영역이 열 제어되도록 열 제어 스위치를 On/Off 하도록 설계되었으며, 이때 해당 섹션의 온도 데이터는 몇 개의 써미스터 값의 평균값으로 정의된다. 써미스터 온도 데이터는 Primary/Redundancy 공통의 텔레메트리 인터페이스 회로와 MUX를 통해서 CPU로 입력되며 만약 하나의 써미스터가 고장나는 경우 이 써미스터의 온도 값은 평균으로부터 제외되게 된다. 그리고 이렇게 수집된 온도 데이터는 SBC로부터 텔레메트리 요구가 발생하는 경우 RS422 통신을 통해서 송신하도록 설계되었다. 그림 6과 그림 7은 히터제어를 수행함에 있어서 히터의 On/Off 제어가 H-bridge에 의해 혹은 I-Bridge에 의해 수행되는 것을 비교해준다. 즉 H-bridge의 경우 그림6에서 보듯이 SW1혹은 SW2중 하나 그리고 SW3 혹은 SW4중의 하나의 스위치가 정상 동작하는 한 정

상적인 히터제어가 가능한 장점이 있는 반면, 각각 상하의 스위치의 하나가 short가 발생하는 경우 히터는 항상 On이되는 단점을 가지게 된다. 그리고 현재 MSC에 구현된 그림 7의 I-bridge의 경우 상하 스위치중 하나라도 open이 발생하는 경우 지상국과의 교신이 끊어진 영역에서 히터제어를 수행하지 못하게 하는 단점이 발생하지만 이는 SBC 소프트웨어가 이 현상에 대한 자동 인지 기능을 수행하도록 설계하여 open이 발생하는 경우 자동으로 동작 가능한 THTM으로 스위치 되도록 하여 고장에 대비하도록 하였다.

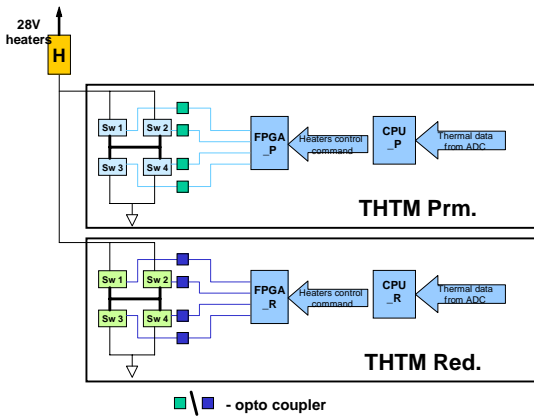


그림 6. H-Bridge 스위치를 통한 히터제어

4.1.1.2 스위칭(switching) 및 기타제어

THTM은 MSC의 열제어 이외에도 SBC의 명령

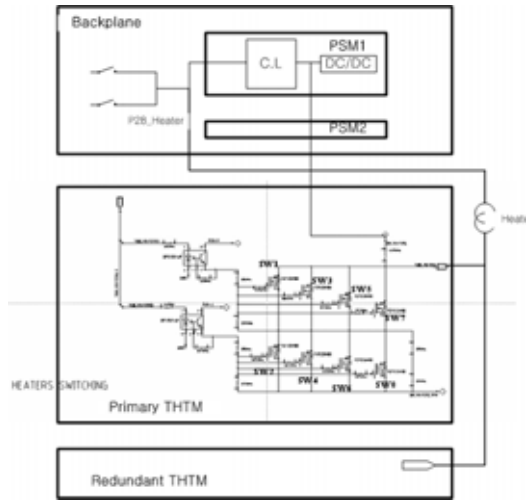


그림 7. I-Bridge 스위치를 통한 히터제어(Tube)

에 의해 MSC 서브모듈의 전원 On/Off 스위칭을 수행하게 된다. 이들 스위칭 신호들은 FPGA에 의해 생성되어 외부와의 인터페이스를 위해서 amplifier를 통해 신호 레벨을 맞추게 된다. 그리고 THTM은 필요한 경우 SBC의 명령을 받아 100step/sec로 동작하는 스테핑 모터제어 신호를 발생하여 EOS 포커싱을 수행하는 기능을 가지며, 그 외 기능으로 THTM은 Power-Up BIT(Built-In Test)를 통해서 RAM, Flash ROM, A/D 변환기의 테스트를 수행하고, Initiated BIT와 Periodic BIT를 통해서 RAM, Flash ROM, A/D 변환기 및 내부 전압 테스트를 수행한다.

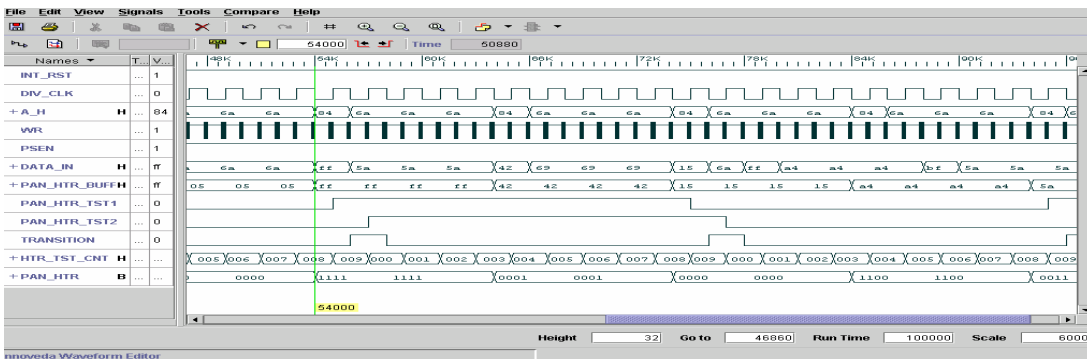


그림 8. 열제어신호 컴퓨터시뮬레이션결과

4.1.2 하드웨어부 열제어 시뮬레이션

그림 8의 FPGA 시뮬레이션 결과는 PAN 히터의 제어 신호인 PAN_HTR신호의 발생로직을 컴퓨터시뮬레이션 함으로써 히터제어로직이 정상 동작함을 보여준다. 히터 제어로직의 입력명령어에 해당하는 DATA_IN 신호가 쓰기동작 신호인 WR의 rising edge에서 그리고 어드레스 신호인 A_H가 "84h"일때 임시버퍼인 PAN_HTR_BUFF로 쓰여지고, 이 버퍼의 bit#1은 PAN_HTR(0), bit#3은 PAN_HTR(1), bit#5는 PAN_HTR(2), bit#7은 PAN_HTR(4)의 제어를 수행하도록 매핑된 제어신호가 정상 동작함을 볼 수 있다.

4.2 소프트웨어부

THTM 소프트웨어의 주요 기능은 DFPA, 반사경, 광학구조체와 같이 온도에 민감한 부분의 온도를 적정 범위로 유지하는 데 있으며, 부가 기능으로는 SBC로부터 명령을 수신하고, 명령처리 결과로 MSC내 모든 서브 유닛의 상태정보를 읽고 RS422 인터페이스를 이용하여 SBC에게 보고하거나, SBC에게 응답을 보내는 역할을 수행한다. 또한, 자체적인 체크기능으로 BIT를 주기적으로 수행하며 Watch-Dog 타이머를 통하여 소프트웨어의 오동작을 감시하도록 한다.

4.2.1 THTM 운영모드

THTM은 그림 9와 같은 3개의 운영모드를 가지고 동작한다. INIT 모드에서는 THTM을 초기화하며 OPERATION 모드는 THTM이 열제어 임무 등의 정상 동작을 수행하는 모드이다. 그리고 IDLE 모드는 THTM이 RS422 통신두절 등 치명적인 고장이 난 경우에 들어가게 되는 모드이다.

4.2.1.1. INIT모드

THTM은 전원이 들어오거나 리셋 신호가 들어오면 INIT 모드에 들어간다. 이 모드에서 THTM은 정상적인 운영 모드에 들어가는 데 필요한 모든 초기화 절차를 수행한다. 먼저 이 모드에서 필요한 변수를 초기화하고 Power-Up BIT를 수행하도록 한다. Power-Up BIT동안 ROM이나 RAM의 고장과 같은 치명적인 고장을 발견하는 경우 THTM은 IDLE 모드로 들어가게 되며, SBC 명령에 의해 전원이 Off될 때까지 대기상태로 머무르게 된다. 그리고 INIT 모

드에서 모든 초기화 과정이 끝나고 치명적인 고장이 없다면 THTM은 자동적으로 OPERATION 모드에 들어간다.

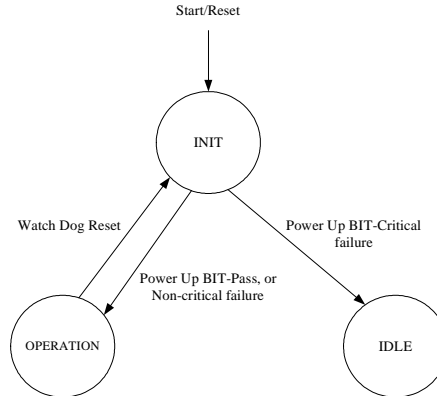


그림 9. THTM 운영모드

4.2.1.2. OPERATION 모드

이 모드는 THTM의 정상적인 운영모드로 THTM은 모든 주기적인 업무를 수행하게 되며 SBC에 의하여 전원이 off될 때 까지 EOS의 열 제어, 아날로그 텔레메트리의 획득 및 보고, 서브 유닛 스위칭 등 THTM의 정상적인 업무를 수행한다.

4.2.1.3. IDLE 모드

이 모드에 있는 동안 THTM은 WATCH DOG 타이머 리플레쉬 하는 업무를 제외하고는 아무일도 하지 않은 채 전원 off를 기다리는 모드로, 이 모드의 목적은 THTM이 치명적인 고장을 가지고 있거나 소프트웨어의 비정상적인 동작을 수행할 때 최소한의 동작만을 유지하고자 함이다.

4.2.2 THTM 소프트웨어 모듈

THTM 소프트웨어는 여러 종류의 모듈로 구성되어 있으며, 현재의 동작모드에 따라 특정 모듈만이 수행되고, 각 모듈간의 이동은 정해진 흐름을 따르게 된다. 3가지 각 운영모드별로 수행되는 S/W 모듈을 표 7에 기술하였으며, 각 모드별 수행내용은 다음과 같다.

4.2.2.1. C_MANAG 모듈

C_MANAG 모듈은 THTM의 운영모드에 따라 관련된 모든 모듈의 동작내용을 제한하는 역할을 수행한다.

4.2.2.2. C_INIT 모듈

C_INIT 모듈은 THTM INIT 모드에서 THTM의 소프트웨어 및 하드웨어의 모든 초기화와 Power-Up BIT를 수행한다. 즉 이 모듈의 목적은 THTM의 정상적인 운영 시작을 위하여 필요한 모든 초기화 절차를 수행하는데 있다.

표 7. 각 운영모드에서 사용하는 S/W모듈

	INIT	OPERATION	IDLE
C_MANAG	X	X	
C_INIT	X		
C_OPERATION		X	
C_IDLE			
C_COMM	X	X	
C_POWER_CTRL	X	X	
C_THERMAL_CTRL		X	
C_TELEMETRY_CTRL		X	
C_FOCUS_CTRL		X	
C_TIMER	X	X	
C_BIT	X	X	
C_POWERUP_BIT	X		
C_PERIODIC_BIT		X	
C_INITIATED_BIT		X	

4.2.2.3. C_OPERATION

C_OPERATION 모듈은 THTM OPERATION 모드에서의 운영에 관련된 모든 행동을 수행한다.

4.2.2.4. C_TELEMETRY_CTRL

THTM은 이 모듈에 의해 주기적으로 자체의 텔레메트리와 MSC 서브유닛의 아날로그 텔레메트리, 열센서로부터 온도를 얻는다. 아날로그 텔레메트리와 열센서 데이터는 THTM의 메모리에 저장된 후 C_COMM 모듈에 의하여 SBC에 전달된다.

4.2.2.5. C_THERMAL_CTRL

C_THERMAL_CTRL 모듈은 EOS 내 특정한 영역에 있는 온도를 모니터링하고 일정 온도가 유지되도록 온도를 제어하는 모듈로 매 15초마다 모든 열센서로부터 데이터를 획득한다. 이 데이터는 C_TELEMETRY 모듈에 의하여 주기적으로 모니터링되고, 설정된 온도데이터와의 비교를 통해 해당 영역의 히터를 켜거나 끄게 된다. THTM 소프트웨어는 열센서의 정상적인 동작을 감시하기 위하여 열센서의 상태를 "정상" 또는 "고장"의 두 상태로서 관리하는데 기본적으로 THTM은 열센서의 상태를 열센서의 저항값을 읽어 자동적으로 판별할 수 있으며, 또한 SBC에 의하여 강제적으로 열센서의 상태를 결정할 수도 있다. 기본적으로 열센서의 상태가 "정상"으로 세팅되어 있으나 THTM이 열센서의 저항값 범위가 정상적인 범위가 아니라면 "고장"으로 세팅하고 이미 SBC에 의하여 "고장"으로 세팅된 경우, THTM이 읽은 저항값의 범위가 정상범위 안에 들어간다면 할지라도 THTM은 "고장"인 상태로 유지한다. 또한 지상국 운영자의 명령에 의하여 SBC를 통하여 "정상"으로 세팅될 수 있다.

모든 온도의 설정값, 시간 분할, 열센서 상태, Out-Gassing 모드 설정값 등은 발사후라도 모두 지상국 운영자에 의하여 지상명령을 통하여 업로드할 수 있으며 이는 THTM 소프트웨어의 결정보다 우선순위를 갖는다.

표 8은 THTM 소프트웨어의 C_INIT 모듈에서 초기화되는 열 제어 관련 초기화 테이블로, 표에 나타난 정보는 THTM의 플래쉬 롬에 프로그램되어진다.

4.2.2.6. C_POWER_CTRL 모듈

C_POWER_CTRL 모듈은 MSC 서브 유닛의 스위칭에 관련된 모든 동작을 제어한다. SBC가 특정한 MSC 유닛의 파워 ON/OFF를 요구했을 때 THTM은 이 요구에 따라 명령을 수행하게 된다. 이때 C_OPERATION 모듈은 메시지를 다루고 분석하여 이 모듈로 전달함으로써 명령이 수행되도록 한다. 또한 MSC가 Survival 모드로 이동하는 경우 미리 정해진 절차 및 순서에 따라 MSC 서브 유닛을 파워 오프하게 된다.

표 8. 초기화 테이블

	PAN	MS	PM	SM	Tube
Heater Mode	Nor	Nor	Nor	Nor	Nor
Heater State	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
Thermistors Status	FAIL	FAIL	FAIL	FAIL	FAIL
Average Resistance (K)	0	0	0	0	0
High Resistance Limit (K)	37.31	37.31	78.91	78.91	78.91
Low Resistance Limit (K)	32.37	32.37	67.57	67.57	61.02
High Temperature Limit (C)	-2	-2	-17	-17	-15
Low Temperature Limit (C)	-5	-5	-20	-20	-20
Start Time(Sec)	0	0	0	0	0
On Time(Sec)	30	30	60	30	60
Off Time (Sec)	60	60	120	60	180

4.2.2.7. C_BIT 모듈

C_BIT 모듈은 THTM의 자체 점검을 하고 그 결과를 SBC에게 보고하는 역할을 담당한다. THTM 자체 점검 모듈은 다음과 같이 세 경우로 나누어서 구현되어진다. 각 BIT는 각각의 소프트웨어 모듈에 의하여 수행된다.

- Power-Up BIT(C_POWERUP_BIT)
- Periodic BIT(C_PERIODIC_BIT)
- Initiated BIT(C_INITIATED_BIT)

4.2.2.8. C_COMM 모듈

C_COMM 모듈은 SBC와의 RS422 통신 인터페이스에 관련된 모든 행동을 담당한다. 이 모듈에서는 SBC에서 들어온 메시지를 파싱하고 C_OPERAION 모듈에 입력된 메시지를 처리하도록 하며, C_OPERATION 모듈로부터 입력된 데이터를 패킹하여 SBC에게 보내도록 한다.

5. 결 론

Komsat-2의 단일 탑재체인 MSC의 열제어시스템을 소개하였다. MSC의 열제어, 특히 EOS의 열제어는 단순히 극저온과 극고온의 우주환경을 견디는 위성체의 우주환경 내구성측면의 검토뿐만 아니라, 광학성능에 미치는 영향을 고려하여 탑재체 전반의 시스템 측면에서 그 중요성이 고려되어야 한다. 그리고 MSC에 적용된 열제어 방법은 온도센서를 사용하여 기 설정된 온도테이블의 상,하한 값과 비교해서 히터를 On/Off한다는 면에서는 일반적이기는 하지만, 위성체 동작모드별, 그리고 THTM의 Primary/Redundant 동작개념에 의해, 그리고 온도센서나 히터의 상태정보를 이용한 다양한 제어 동작개념을 적용함으로써 점점 다양해져가는 위성탑재체의 요구사항들을 만족하고 더 안정된 열제어에 의한 좀더 신뢰성이 우수한 시스템을 구현하는 방법을 제공한다고 할 수 있다. 또한 열제어를 위해 구현된 온도센서와 히터 모듈 및 THTM의 H/W, S/W 구조는 차기 위성개발 사업에서도 약간의 수정으로 적용 가능하리라 생각한다.

참 고 문 헌

1. ELOP, MSC EOS Thermal Design Final Report, 2005.
2. ELOP, Critical Design Review, 2001.
3. DALSA, Sensor Measurement Definition in Sensor Application Notes.
4. Sang-Soon Yong, "Analysis of the MSC Operational Parameters", 대한원격탐사학회, Vol.18, No. 1.