

통신해양기상위성 해양탐재체 정지궤도 예비 열해석

김정훈,^{*1} 전형열,¹ 한조영¹

PRELIMINARY ON-ORBIT THERMAL ANALYSIS FOR THE GEOSTATIONARY OCEAN COLOR IMAGER OF COMS

Jung-Hoon Kim,^{*1} Hyoung Yoll Jun¹ and Cho Young Han¹

A preliminary thermal analysis is performed for the optical payload system of a geostationary satellite. The optical payload considered in this paper is GOCI(Geostationary Ocean Color Imager) of COMS of Korea. The radiative and conductive thermal models are employed in order to predict thermal responses of the GOCI on the geostationary orbit. The results of this analysis are as follows: 1) the GOCI instrument thermal control is satisfactory to provide the temperatures for the GOCI performances, 2) the thermal control is defined and interfaces are validated, and 3) the entrance baffle temperature and shutter wheel motor gradient are found slightly out their specification, therefore further detailed analyses should be continued on these elements.

Key Words : 해양탐재체(GOCI), 열제어(Thermal Control), 열해석(Thermal Analysis), 열복사(Thermal Radiation), 몬테카를로법(Monte-Carlo Method), 네트워크해석법(Network Analysis Method)

1. 서 론

지구관측을 위한 관측위성은 주로 저궤도에서 운용하며 궤도의 흐름에 따라 촬영된 관측정보는 시간차를 가지고 지상으로 송신하게 된다. 저궤도 관측위성은 특정지역을 24시간 동안 지속적으로 관측하는 것이 불가능한 반면, 정지궤도위성은 지상 약 36,000km 상공에서 지구자전속도와 같이 움직이므로 실시간 관측정보의 전달 또는 통신이 가능하여 기상위성 또는 통신위성으로 활용되고 있다.

현재 국내에서는 정지궤도에서 통신 및 기상/해양 관측을 위한 통신해양기상위성이 한국항공우주연구원에서 개발 중이다[1,2]. 통신해양기상위성은 그 임무를 수행함에 있어 세 개의 탐재체(통신/해양기상탐재체)가 위성본체에 장착된다. 본 논문에서는 최초의 정지궤도 해양관측 탐재체(GOCI: Geostationary Ocean Color Imager)의 개발을 위하여 필요한 해

양탐재체의 정지궤도 열해석을 수행하였으며, 각 부품의 예상 온도응답을 도출하였다.

해양탐재체의 열모델은 해당 절점(node)에 열복사연계(radiative couplings) 및 태양열유속 계산을 위한 기하학적 수치모델(GMM: Geometrical Mathematical Model)과 열전도 및 열복사 계산을 위한 열수치모델(TMM: Thermal Mathematical Model)로 구성되어 있다.

2. 기하학적 수치모델

Fig. 1은 열해석을 위한 해양탐재체 및 위성외부의 기하학적 수치모델이다. 위성외부의 기하학적 형상은 해양탐재체에 열적인 영향을 줄 수 있는 부분에 대해서만 모델링을 수행하였다. 따라서, 위성체 남쪽패널면의 태양전지판 및 Ka 대역 안테나 등은 별도로 고려하지 않는다. 지구를 바라보기 위해 위성체의 지구패널에 기상탐재체, 해양탐재체, 적외선 지구센서가 장착되어 있으며 광학탐재체들의 방열판의 시야각(FOV: Field of View) 방향은 연중 태양광 입사량이 가장 적은 북쪽 패널 방향을 향하도록 하였다[3].

Fig. 2는 해양탐재체 내부의 기하학적 수치모델로서 외부

접수일: 2009년 12월 7일, 수정일: 2010년 1월 27일,

게재확정일: 2010년 2월 5일.

1 정회원, 한국항공우주연구원 위성열/추진팀

* Corresponding author, E-mail: jungkim@kari.re.kr

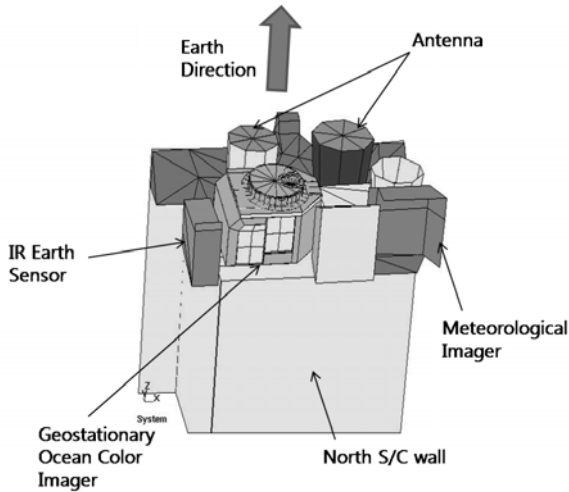


Fig. 1 COMS external geometrical model with GOCI

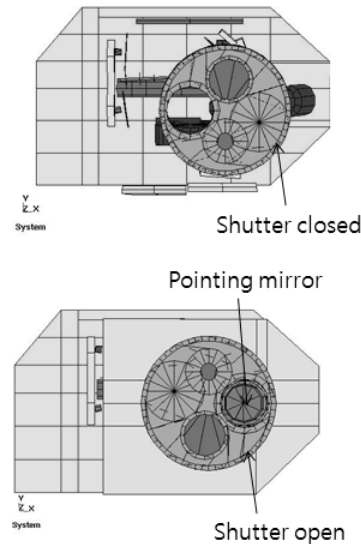


Fig. 3 Shutter configurations for radiative heat exchanges

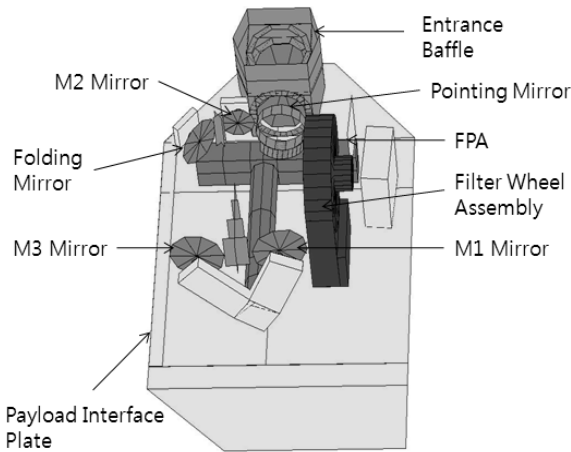


Fig. 2 GOCI internal geometrical model

의 다층박막단열재(MLI: Multi-Layer Insulation)를 제거한 모델이다. 5개의 반사경과 셔터, 필터 및 검출부(FPA: Focal Plane Array)로 구성되어 있다. 각 반사경은 광학계의 초점거리를 위하여 배치되어 있으며 특정 파장에 대한 밴드패스필터들은 필터 휠에 장착되어 있다.

본 논문의 해양탐재체 수치모델은 Fig. 3과 같이 셔터가 열려 있는 형상 및 닫혀 있는 형상의 두 가지가 모델링되어 있다. 열복사연계 및 외부열유속(태양열유속, 지구 IR, 지구알베도) 계산은 Fig. 3의 두 가지 형상에 대하여 Thermica v3.2에서 각각 수행하였다. 촬영시간 및 보정(calibration)시간에는 셔터가 열려진 형상을 가정하여 계산을 수행하였고, 그 이외의 시간에 대해서는 셔터가 닫힌 형상에 대하여 계산을 수행하였다. 계산에 사용된 열광학 물성치는 Table 1과 같다.

3 열수치모델

Table 2는 해양탐재체 열수치모델의 절점 분류표이다. 총 217개의 절점으로 구성되어 있으며 기하학적 수치모델의 절점수인 136개 보다 81개가 많다. 열수치모델에서 구현된 절점 81개가 기하학적 수치모델에는 포함되지 않은 이유는 복사열 전달에 있어서 그 영향을 무시할 수 있을 정도로 작은 열복사면적을 가진 절점이 있기 때문이다. 반면, 광학부(telescope) 튜브, 메인빔, PIP(Payload Interface Plate) 및 입사베플(entrance baffle)은 열탄성(thermoelastic) 측면에서 온도 구배가 중요하므로 다른 절점보다 많은 절점으로 수치모델을 구성하였다.

해양탐재체의 열수치모델에 사용된 물성치는 Table 3과 같다. 반사경 및 광학부 구조물은 SiC를 사용하여 열탄성에 의한 뒤틀림이 최소화되도록 하였다.

Table 1 Thermo-optical properties

Coating	Absorptivity BOL/EOL(*)	Emissivity	Specularity
Coating Black	0.95 / 0.95	0.9	0%
OSR	0.051 / 0.2	0.773	100%
Mirrors	0.06 / 0.06	0.03	100%
SiC	0.84 / 0.84	0.67	0%
MLI Kapton	0.35 / 0.55	0.65	60%
Alodine	0.4	0.13	0%
Keplacoat	0.95	0.8	60%
Keplacoat with wiring	0.95	0.6	60%

(*) BOL : Begin Of Life
EOL : End Of Life

4. 열설계 요구사항 및 설계결과

4.1 해양탐재체 임무

통신해양기상위성은 동경 128.2도 및 적도상의 정지궤도에 위치해 있으며 +Z축은 지구를 향해있다. 해양탐재체 메인유닛은 한반도 주위의 해양을 관측하도록 되어 있으므로 +Z축에 대하여 북반구 방향으로 5.1° 기울어져 있다. 해양탐재체는 아래와 같은 네 가지 종류의 임무모드가 고려되었다. 그러나 본 논문에서는 일반임무모드만을 고려한 경우에 대하여 계산을 수행한 결과만을 기술하였다[4].

- 일반임무모드
 - 8번의 낮 촬영, 두 번의 밤 촬영 및 한 번의 보정
 - 한 번의 촬영은 30분 소요
 - 보정은 한국시각으로 0h00m에 수행
 - 촬영순서는 Table 4와 같으며, 한국시각으로 나타내었다.
- 보정 없는 일반임무모드

Table 2 Nodal breakdown of GOCI TMM

Nodes	Number	Description
110001-110800	60	Telescope
111000-111030	9	PM(Pointing Mirror) Assembly
112000-112200	3	Filter Wheel Assembly
113000-113500	9	FPA
110901-119450	51	Secondary Structure
118001-119805	85	PIP
Total Number	217	

Table 3 Material properties of GOCI

Material	Element	Specific heat (J/kgK)	Conductivity (W/mK)	Density (kg/m ³)
SiC	Mirrors, telescope structure, detector support	650	180	3140
TA6V	Bipods, mechanisms	544	7.2	4460
Aluminium	Radiators structure, thermal plate	900	160	2700
Aluminium skin and honeycomb	Shutter	900	Z: 1.29 XY: 1.67	N/A
Aluminium skin and honeycomb	Support panel	900	Z: 2.8 XY: 5.7	N/A
Carbon skins and Alu. honeycomb	PIP	900	Z: 2.6 XY: 2	N/A
Invar	Baffle	510	10.5	8130
Permaglass	Insulating shims	N/A	0.35	N/A
Kovar	Detector pins	N/A	16.7	N/A
Copper	Shunts, PCB tracks	385	380	8960
Kapton	Flexible leads	1090	0.16	1420
Silicon	Detector chip	702	124	2329
AlN	Detector package	780	180	3300
BK7G18	Optical glasses	858	1.114	2510

- 해양탐재체가 일반임무모드를 수행할 준비는 되어 있으나, 촬영을 수행하지 않는 모드(no mission)
- 촬영 없는 대기모드(stand-by mode)

4.2 온도규격

Table 5는 해양탐재체 메인유닛의 운용 온도범위에 대한 규격을 나타낸 것이다.

4.3 설계여유분

검출부(FPA)의 검출기(detector)는 최적 성능을 유지하기 위하여 그 온도를 5°C~15°C가 되도록 유지해야 한다. 검출부 방열판의 크기는 고온조건일 때 검출기의 온도가 5°C를 유지하도록 설계되었다. 또한 검출부 히터용량은 저온조건일 때 검출기 온도가 15°C를 유지할 수 있도록 설계되었다. 즉, 5°C의 설계 여유분을 고려하였다.

광학부 방열판의 설계 목적은 어떠한 고정된 온도를 유지하는 것이 아니라 광학부 공동(cavity)내의 온도 변화를 최소화하는데 있다. 따라서 방열판은 공동내의 해양탐재체 각 부

Table 4 Observation timeline

Day imaging				
Sequence	Obs1	Obs2	Obs3	Obs4
Local Time	10h00m	11h00m	12h00m	13h00m
Sequence	Obs5	Obs6	Obs7	Obs8
Local Time	14h00m	15h00m	16h00m	17h00m
Night imaging				
Sequence	Obs1	Obs2		
Local Time	00h30m	1h30m		

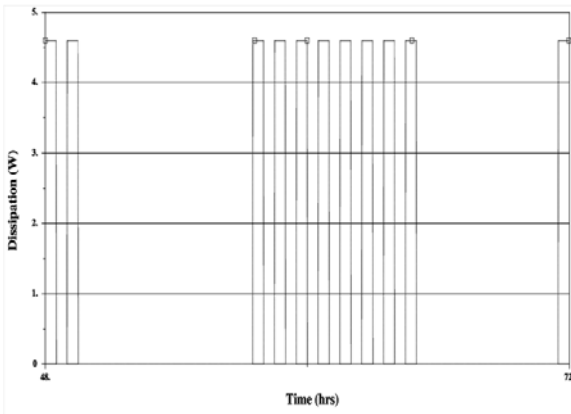


Fig. 4 Heat dissipation profile of FEE

품의 설계온도에 대하여 10°C의 수치적 불확실성(numerical uncertainty)을 포함하도록 설계되었다. 또한 10°C의 여유분은 광학부 및 PIP 히터 용량을 설계하는데도 적용된다.

4.4 열소산

해양탐재체 메인유닛의 열소산량은 Table 6과 같으며, 촬영 모드(imaging), 대기모드(holding) 및 보정모드(calibration)에 따라서 열소산량을 분류하였다. Fig. 4는 해양탐재체가 일반업무 모드일 때 FEE(Front End Electronics)의 열소산 프로파일을 나

Table 5 Temperature specification of GOCI

Components	Operational specification (Design temperature)	
	Minimum(°C)	Maximum(°C)
Telescope	+5	+45
POM support	0	+45
Shutter wheel	0	+50
Filter wheel	+5	+45
Filter wheel support	+5	+45
Filters	+5	+45
FEE	-40	+65
FPA (excluding detector)	-20	+60
Detector	+5	+15
Secondary structure	-40	+65
Entrance baffle	-50	+95
Gradient rotor - stator	-6	+1
Coder - Optical switch	-20	+70
Motor	-20	+70
Ball bearings	+5	+55
Slip ring	-20	+65
Gradient slip ring	-5	+5
PCB temperature	NA	+85
Stator windings	NA	+120
PIP	-20	+60
Pointing mirror	-40	+65
Radiators	-40	+65

타낸 것으로서 서터의 동작과 같은 프로파일을 가진다.

즉, 낮 시간동안에는 8번의 영상을 획득하고 밤 시간동안에는 두 번의 촬영과 한 번의 보정작업이 수행된다.

4.5 열설계 결과

해양탐재체의 열제어를 위하여 메인유닛은 광학부 공동 및 검출부 공동으로 분류하였다. 이러한 두 개의 공동은 다층박막단열재와 지전도 커플링 와셔를 사용하여 열적으로 분리하였다. 각 공동은 전용의 열제어를 위하여 각각 방열판과 히터가 설치되어 있다. 또한 히터는 PIP의 인증온도범위를 유지시키기 위하여 적외선 지구센서(IRES)의 인터페이스에도 설치되어 있다. 설계된 방열판의 유효 방열면적을 보면 광학부 방열

Table 6 Heat dissipation of GOCI

Components	Nominal EOL dissipation(W)
Detector	0.07
Transistors on PCB	0.04
FEE	4.6
PM motor(coder) - imaging mode	2.5
PM motor(stator) - imaging mode	4.36 (instantaneous) 1.01 (mean over 30min.)
PM motor(coder) - holding mode	2.5
PM motor(stator) - holding mode	0.28
PM motor(coder) - calibration mode	2.5
PM motor(stator) - calibration mode	0.28
Shutter motor(switch) - imaging mode	0.2
Shutter motor(stator) - imaging mode	4.36 (during 20s. at the beginning and at the end of the image)
Shutter motor(switch) - holding mode	0.2
Shutter motor(stator) - holding mode	0.28
Shutter motor(switch) - calibration mode	0.2
Shutter motor(stator) - calibration mode	4.36 (during 20s. at the beginning and at the end of the calibration)
Filter wheel motor(switch) - imaging mode	0.2
Filter wheel motor(stator) - imaging mode	4.36 (instantaneous) 1.26 (mean over 30min.)
Filter wheel motor(switch) - holding mode	0.2
Filter wheel motor(stator) - holding mode	0.28
Filter wheel motor(switch) - calibration mode	0.2
Filter wheel motor(stator) - calibration mode	4.36 (instantaneous) 1.26 (mean over 30min.)

판은 0.041 m²이고, 검출부 방열판은 0.03 m²이다. 메인유닛 내부의 히터라인은 다음과 같으며, 각 라인의 히터제어 온도는 Table 7과 같다.

- 두 개의 열제어(탑재체 운용시) 라인: +Y 및 +Z면
- 한 개의 열제어(탑재체 운용시) 라인: 적외선 지구센서 인터페이스(PIP에 위치)
- 한 개의 열제어(탑재체 운용시) 라인: 검출부(proportional integrated 온도제어)
- 세 개의 열제어(탑재체 비운용시) 라인: 검출부, +Z 및 PIP에 위치

5. 열해석 조건

본 열해석의 목적은 해석결과와 온도가 각 부품의 규격을 만족하는지를 확인하는 것으로, 열설계 결과를 검증하기 위해 수행되었으며, 다음과 같은 것들이 고려되었다.

- 고온조건으로는 방열판에 흡수되는 태양열이 최대가 되는 때로, 하지(summer solstice)를 선택하였고, 임무말(EOL) 물성치, 열소산량에 20% 여유분 추가, 60℃의 위성체 경계온도, 일반임무모드를 택하였다.

Table 7 Heater control temperatures

Label	Definition	Thresholds (On/Off, °C)
CM1G11A	Operational +Y heater Prime	20/22
CM1G11B	Operational PIP Prime	4/6
CM1G12A	Operational +Y heater Redundant	19/21
CM1G12 B	Operational PIP Redundant	3/5
CM1G13	Operational Plateau Prime	20/22
CM1G14	Operational Plateau Redundant	19/21
CM1G15	Non Operational Plateau Prime	4/6
CM1G16	Non Operational Plateau Redundant	3/5
CM1G17A	Non Operational FPA radiator Prime	1/6
CM1G17B	Non Operational PIP Prime	3/8
CM1G18A	Non Operational FPA radiator Redundant	1/6
CM1G18B	Non Operational PIP Redundant	3/8
PI law	Detector support	10

- 저온조건으로는 방열판에 흡수되는 태양열이 최소가 되는 때로, 추분(autumn equinox)을 선택하였고, 임무초(BOL) 물성치, -20℃의 위성체 경계온도, 일반임무모드를 택하였다.

해양탑재체의 열모델은 Fig. 1 및 Fig. 2와 같은 기하학적 광학모델과 열용량 및 열전도 모델로 구성되어 있다. 해양탑재체의 기하학적 모델은 I-DEAS[5]를 사용하여 생성하고 EADS Astrium사의 Thermica v3.2 소프트웨어[6]의 몬테카를로 법 모델을 사용하여 복사교환인자를 계산하였다. 몬테카를로 광선추적법에서 총 방사선 다발의 수는 한 복사표면당 10000개로 하여 계산을 수행하였다. Thermica는 열해석을 위한 기하학적 모델 생성 및 궤도 열모델 수립을 3D GUI 환경에서 가능하게 하고, 복사교환인자를 계산할 수 있는 상용 소프트웨어이다. 절점간 네트워크 열해석을 위해서는 EADS Astrium사의 Temperature Solver[7]를 사용하였다. Temperature Solver는 집중열용량(lumped parameter) 및 열저항(thermal resistance)을 사용하여 다차원 열전도 방정식을 풀 수 있는 상용 소프트웨어이다. 식 (1)은 네트워크 해석방법을 위한 지배방정식이며, 수치계산은 Crank-Nicholson 알고리즘을 사용하였다.

$$m C_{p,i} \frac{dT_i}{dt} = \sum_j GL_{ij}(T_j - T_i) + \sigma \sum_j GR_{ij}(T_j^4 - T_i^4) + P_{sun,i} + P_{albedo,i} + P_{earth,i} + P_{dissip,i} \tag{1}$$

여기서 GL_{ij} 는 전도열전달 전도도(conductive conductance)를 나타내며 GR_{ij} 은 복사열교환인자를 나타낸다. 식 (1)에서 $P_{sun,i}$, $P_{albedo,i}$, $P_{earth,i}$ 는 각각 절점 i 에 대한 태양열, 알베도, 지구복사량을 몬테카를로법을 이용하여 구한 값이며 $P_{dissip,i}$ 는 절점 i 의 열소산량이다.

6. 열해석 결과

Fig. 5는 고온조건일 때 검출부, 검출기 및 광학부의 24시간 동안의 온도변화를 나타낸 것이다. 검출부의 경우 해양탑재체 메인유닛 내에 추가로 다층박막재를 설치함으로써 별도의 공동을 형성하게 되어 우주환경에 직접적으로 노출되어 있는 최외곽 다층박막재의 영향으로부터 자유롭게 된다. 따라서 하루 중 온도변화는 자체 발열에 의하여 가장 큰 영향을 받으므로 장치가 동작할 때 온도가 비례하여 증감한다.

반면, 광학부는 최외곽 다층박막재의 영향을 직접적으로 받게 되며, 한국시각으로 자정에 가까울 때 +Z(즉, 지구를 향하는 방향)측과 태양광축이 이루는 각이 최소가 되어 최대의

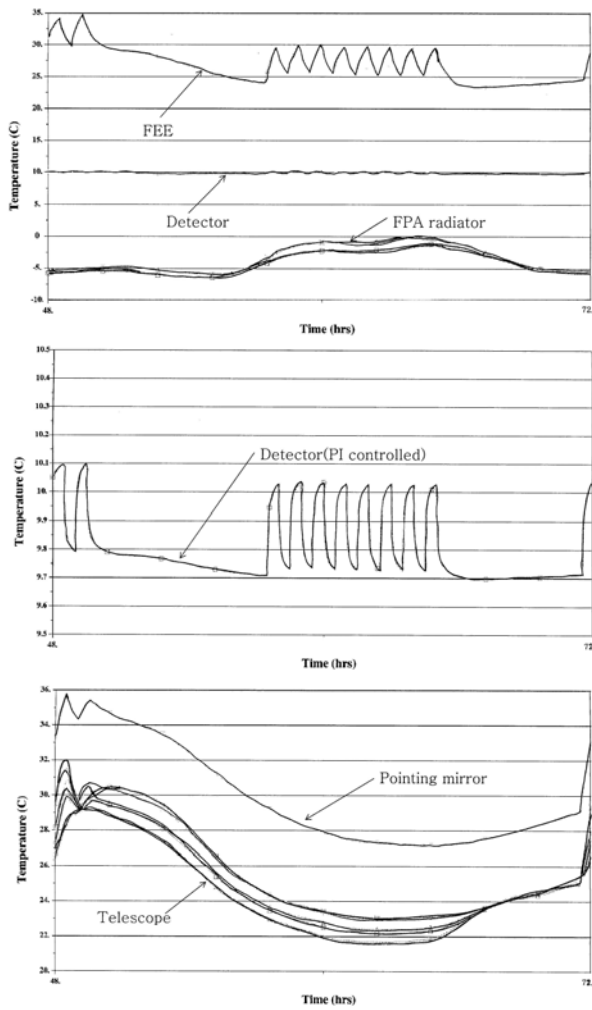


Fig. 5 Temperature response profiles in the hot case

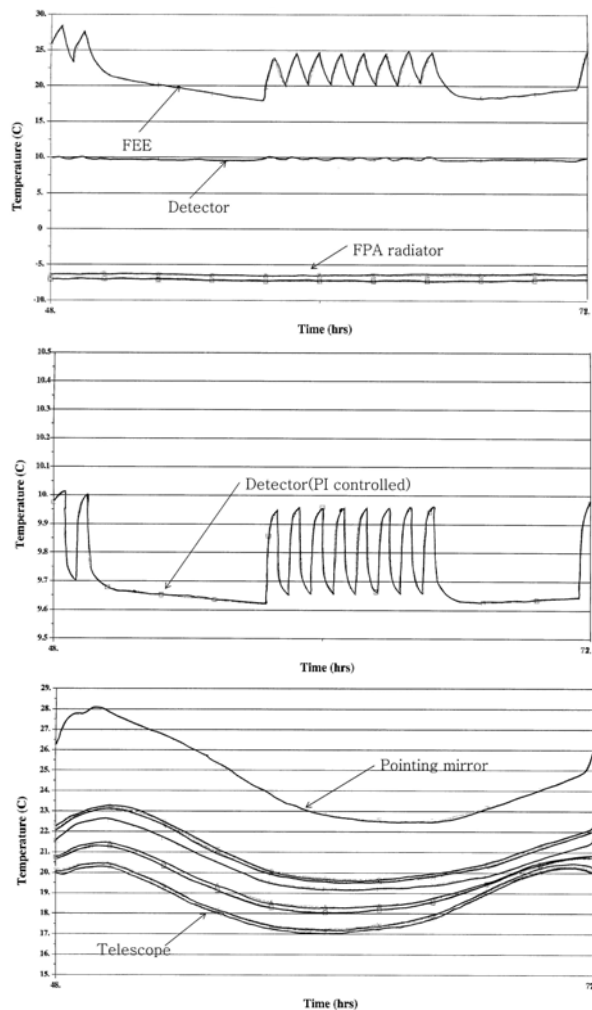


Fig. 6 Temperature response profiles in the cold case

태양광이 해양탐재체 +Z 측에 흡수되기 때문에 낮 시간 때보다 밤 시간의 온도가 더 높게 나타난다. 자정 즈음해서 온도가 급격하게 변화하는 까닭은 밤 촬영을 위하여 셔터가 열리게 되어 태양직사광이 직접 해양탐재체 내부로 입사하기 때문이다. 검출기의 경우 PI(Proportional and Integrated) 제어가 되는 히터를 사용함으로써 항상 $10^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 이내의 온도를 나타내었다. Fig. 6은 저온조건일 때 검출부, 검출기 및 광학부의 온도변화를 나타낸 것으로 Fig. 5와 대동소이한 경향을 보인다. Fig. 5 및 6에서의 모든 부품들의 온도는 Table 5의 온도 규격을 모두 만족하였다. 고온 및 저온 운용조건일 때 해양탐재체 각 부품의 해석온도, 설계온도 및 설계 여유분을 Table 8 및 Table 9에 각각 나타내었다.

해양탐재체의 셔터가 열려져 태양직사광이 메인유닛 내부로 입사하더라도 모든 광학부 부품들은 그 온도 규격을 만족

시키고 있다. 특히, Fig. 5 및 Fig 6에서 포인팅 반사경 POM (Pointing Mechanism)의 발열 및 태양직사광의 입사로 인하여 다른 광학부 부품들과 온도응답이 현저하게 다를 수 있다. Table 8 및 Table 9에서 pupils은 광학부의 일부로 간주되지 않으며 광학부의 비운용 온도규격에 준하여야 한다. 셔터가 열려진 상태의 경우 pupils의 온도는 최대온도 규격인 60°C 에 대하여 음(-)의 여유분을 가지게 되지만, pupils의 열탄성해석 결과[8] 기준온도 20°C 를 기준으로 $\Delta T=60^{\circ}\text{C}$ 인 80°C 에서도 구조적인 문제가 없었기 때문에 pupils의 최대온도를 수용할 수 있다. Table 8 및 Table 9에는 나타내지 않았지만, POM의 경우 열모델의 제한성 때문에 편의상 볼베어링의 온도규격을 고정자와 회전자의 온도규격으로 정하여 설계 여유분을 해석하였다. 그러나 실제 각 발열원인 고정자와 회전자의 온도규격은 볼베어링의 온도범위 규격 보다 훨씬 큼에도

불구하고 볼베어링의 온도규격을 기준으로 계산한 결과 45°C~50°C를 나타내었다. 다시 말하면, POM의 볼베어링은 자체 발열원이 아니므로 고정자 또는 회전자 온도보다는 낮을 것이며, 따라서 볼베어링은 그 최대온도 규격 55°C 보다는 낮을 것이라고 유추할 수 있다. 비록, 입사배플이 태양이 직접 입사하는 짧은 시간동안 국부적인 온도 상승으로 인해 그 온도규격을 약 11°C 초과하는 것처럼 보여 지지만, Table 8에

Table 8 Temperature results on the hot case

Components	Min. (°C)	Max. (°C)	Margin w.r.t min. design (°C)	Margin w.r.t max. design (°C)
Telescope	21.7	33.9	16.7	11.1
Pupil	20.1	55.2	30.1	-5.2
Pointing mirror assembly	27.9	40.9	57.9	14.1
Filter wheel	22.4	32.7	17.4	12.3
FPA	-6.8	7.7	23.2	47.3
Detector	9.7	10.1	4.7	4.9
Secondary structure	19.9	34.6	49.9	20.4
Entrance baffle	8.7	95.9	48.7	-10.9
Shutter motor gradient	-2.1	3.7	-1.1	2.3
PIP	22.2	37.0	32.2	13.0

Table 9 Temperature results on the cold case

Components	Min. (°C)	Max (°C)	Margin w.r.t min. design (°C)	Margin w.r.t max. design (°C)
Telescope	16.7	21.3	11.7	23.7
Pupil	18.2	25.9	18.2	34.1
Pointing mirror assembly	23.2	29.5	23.2	35.5
Filter wheel	16.9	21.3	11.9	23.7
FPA	-7.5	-6.1	22.5	61.1
Detector	9.6	10.0	4.6	5.0
Secondary structure	18.8	26.8	48.8	28.2
Entrance baffle	10.0	65.1	50.0	19.9
Shutter motor gradient	-1.6	3.7	-0.6	2.3
PIP	3.0	24.9	13.0	25.1

서의 최대 입사배플 온도는 국부온도를 나타낸 것이므로, 부품의 평균온도 측면에서는 그 온도규격을 만족하고 있다[8]. 서터휠 모터내의 온도 구배 역시 약 1°C 가량 그 온도규격을 벗어나 있으므로 이에 대한 추가적인 상세 열해석 및 열진공 시험이 필요하다.

7. 결론 및 향후 과제

본 논문에서는 해양탐재체의 열수치모델을 수립하여 정지 궤도 예비 열해석을 수행하였다. 이를 요약하면,

- 열해석 결과 모든 부품의 온도가 해당 온도규격에 대하여 설계 여유분을 가짐을 확인하였다.
- 해양탐재체 메인유닛의 성능을 유지하기 위한 적절한 온도를 유지할 수 있었다.
- 열제어 개념을 정리하고 열적 인터페이스 규격을 검증하였다.
- 입사배플 온도 및 서터모터의 온도구배가 해당 온도규격을 약간 벗어났으며, 향후 이러한 부품들에 대한 상세한 열해석이 수행될 것이다.

또한 보정에 대한 연구가 다음과 같이 수행될 예정이다.

- 보정을 위해 사용되는 태양광 디퓨저(solar diffuser)에 대한 열광학 거동을 상세 열해석 모델에서 구현
- 입사배플의 국부 온도집중에 대한 구조적인 검증

참고문헌

- [1] 2004, 양근호 외24인, “통신해양기상위성 시스템 및 본체 개발사업(I),” 연구보고서, 한국항공우주연구원, 대전.
- [2] 2005, 양근호 외46인, “통신해양기상위성 시스템 및 본체 개발사업(II),” 연구보고서, 한국항공우주연구원, 대전.
- [3] 1986, Agrawl, B.N., *Design of Geosynchronous Spacecraft*, Prentice-Hall Inc., Washinton D.C.
- [4] 2008, Darsonval, D., *GOCI Main Unit Thermal Interface Control Document*, EADS Astrium, Toulouse.
- [5] 2003, *I-DEAS 10 NX Series User's Manual*, EDS.
- [6] 2003, Jacquiquau, M. and Noel, P., *THERMICA v3.2 User's Manual*, EADS Astrium, Toulouse.
- [7] 2005, Jacquiquau, M., *Temperature Solver v4.0.29*, EADS Astrium, Toulouse.
- [8] 2007, Buvat, D., *GOCI Thermo-elastic Analysis*, EADS Astrium, Toulouse.