



정지궤도위성의 해양관측센서 임무 궤도 열해석

김정훈,^{*1} 전형열¹

ON-ORBIT THERMAL ANALYSIS FOR THE GEOSTATIONARY OCEAN COLOR IMAGER OF A GEOSTATIONARY SATELLITE

Jung-Hoon Kim^{*1} and Hyoung Yoll Jun¹

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. According to 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 is found slightly out its specification, therefore further detailed analyses should be continued on this element.

Key Words : 해양탐색체(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 기상해양 관측을 위한 통신해양기상위성이 한국항공우주연구원에서 개발 중이다[1,2]. 통신해양기상위성은 그 임무를 수행함에 있어 세 개의 탑재체(통신/해양/기상탑재체)가 위성본체에 장착된다. 본 논문에서는 최초의 정지궤도 해양관측 탑재체(GOCI: Geostationary Ocean Color Imager)의 개발을 위하여 필요한 해양탐색체의 정지궤도 열해석을 수행하였으며, 각 부품의 예상

온도응답을 도출하였다.

해양탐색체의 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 해양탐색체 및 위성외부의 기하학적 수치모델이다. 위성외부의 기하학적 형상은 해양탐색체에 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 기상탐색체, 해양탐색체, 적외선 지구센서가 장착되어 있으며 광학탐색체들의 방열판의 시야각(FOV: Field of View) 방향은 연중 태양광 입사량이 가장 적은 북쪽패널 방향을 향하도록 하였다[3].

Fig. 2는 해양탐색체 내부의 기하학적 수치모델로서 외부의 다층박막단열재(MLI: Multi-Layer Insulation)를 제거한 모

1 정희원, 한국항공우주연구원 위성열/추진팀

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

델이다. 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. 3와 같이 셔터가 열려 있는 형상 및 닫혀 있는 형상의 두 가지가 모델링되어 있다. 열복사연계 및 외부열유속 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.

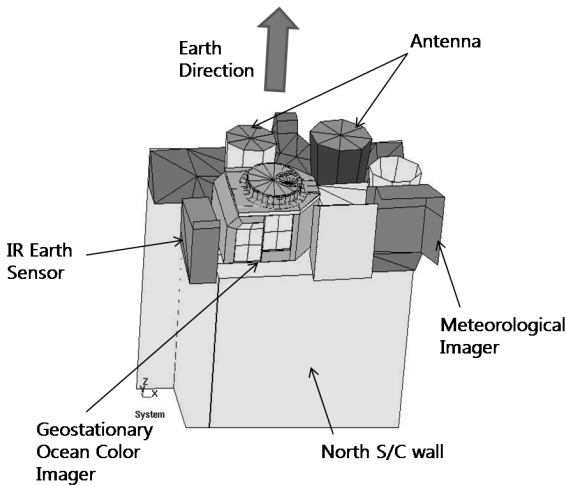


Fig. 1 COMS external geometrical model with GOCI

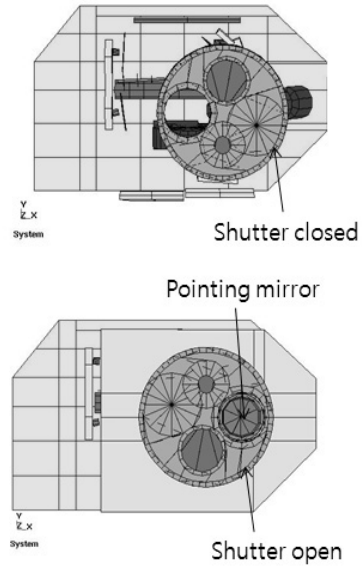


Fig. 3 Shutter configurations for radiative heat exchanges

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

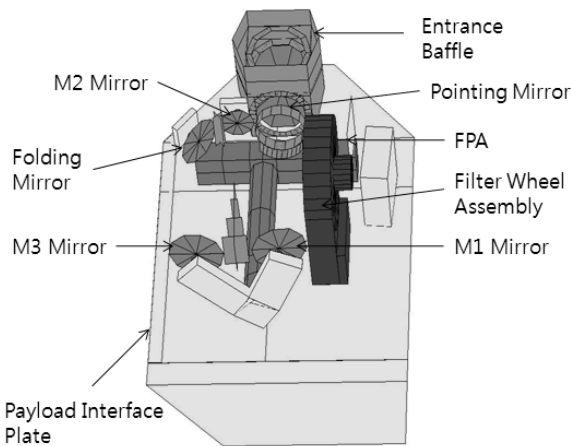


Fig. 2 GOCI internal geometrical model

3. 열수치모델

Table 2는 해양탐재체 열수치모델의 절점 분류표이다. 총 220개의 절점으로 구성되어 있으며 기하학적 수치모델의 절점수인 136개 보다 84개가 많다. 열수치모델에서 구현된 절점 84개가 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 입사배플(entrance baffle)은 열탄성(thermoelastic) 측면에서 온도 구배가 중요하므로 다른 절점보다 많은 절점으로 수치모델을 구성하였다.



Table 2 Nodal breakdown of GOCI TMM

| Nodes | Number | Description | Geometrical nodes |
|---------------------------------|--------|---------------------|---------------------------|
| Telescope | | | |
| 110001-110024 | 24 | Tube | 110005-110020 |
| 110220-110222 | 3 | M1 | 110220-110221 |
| 110230-110232 | 3 | M2 | 110230-110231 |
| 110240-110242 | 3 | M3 | 110240-110241 |
| 110250-110252 | 3 | FM | 110250-110251 |
| 110260-110262 | 3 | PM | 110260-110261 |
| 110100-110102 | 3 | M1 M3 Support | 110100-110102 |
| 110110-110112 | 3 | M2 FM Support | 110110-110112 |
| 110500-110511 | 12 | Main beam | 110500-110511 |
| 110600 | 1 | M1 M3 baffle | 110600 |
| 110700 | 1 | M2 FM baffle | 110700 |
| 110800 | 1 | Pupil | 110800 |
| Pointing mirror assembly | | | |
| 111030 | 1 | I/F Scan Mirror | 111030 |
| 111020 | 1 | PM Rotor | - |
| 111010-111012 | 3 | PM transition rotor | 111010-111011 |
| 111000-111003 | 4 | PM Stator | 111000 |
| Filter wheel | | | |
| 112000 | 1 | FW cover | 112000 |
| 112100 | 1 | FW | 112100 |
| 112200 | 1 | FW mechanism stator | 112200 |
| FPA | | | |
| 113000-113003 | 4 | FPA radiator | 113000-113003 |
| 113500 | 1 | Detector support | - |
| 113550 | 1 | Detector | - |
| 113300-113301 | 2 | FPA plate | 113300 |
| 113400 | 1 | FEE | 113400 |
| Secondary structure | | | |
| 110901-110908 | | | 110901-110908 |
| 110915-110917 | | | 110915-110917 |
| 110920 and 110930 | 13 | Entrance baffle | 110920 and 110930 |
| 110940 | 1 | MLI entrance baffle | 110940 |
| 114001-114004 | | | 114001-114004 |
| 114051-114054 | 8 | Plateau | 114051-114054 |
| 114200-114201 | 2 | Shutter mechanism | 114200 |
| 114500 and 114550 | | | 114500 and 114550 |
| 114510 | 3 | Shutter | 114510 |
| 114540 | 1 | Shutter baffle | 114540 |
| 114600 | 1 | Cover | 114600 |
| 115001-115004 | 4 | Secondary structure | - |
| 116001-116004 | 4 | Telescope radiator | 116001-116004 |
| 117001-117004 | 4 | +Y heater | 117001-117004 |
| 119000 | 1 | MLI +Z | 119000 |
| 119100 and 119150 | 2 | MLI +Y | 119100 and 119150 |
| 119300 and 119350 | 2 | MLI -Y | 119300 and 119350 |
| 119200, 119201 and 119250 | 3 | MLI +X | 119200, 119201 and 119250 |
| 119400 and 119450 | 2 | MLI -X | 119400 and 119450 |
| PIP | | | |
| 119805 | 1 | MLI PIP | 119805 |
| 118001-118066 | | PIP structure | 118001 - 118066 |
| 118501-118566 | 84 | | - |
| 220 total | | | |
| Nodes interface | | | |
| 119999 | 1 | IRES | - |
| 119998 | 1 | S/C | - |
| 9999 | 1 | Space | - |

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

4. 열설계 요구사항 및 설계결과

Table 4 Observation timeline

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

Table 3 Material properties of GOCI

| Material | Element | Specific heat (J/kg/K) | Conductivity (W/m/K) | 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 |

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

Table 5 Temperature specification of GOCI

| | Operational specification (Design temperature) | |
|--|---|---------|
| | Minimum | Maximum |
| M1, M2, M3, FM mirrors | +5°C | +45°C |
| POM interface | 0°C | +45°C |
| Shutter wheel interface | 0°C | +50°C |
| Filters | +5°C | +45°C |
| FEE(Front End Electronics) | -40°C | +65°C |
| FPA (excluding detector) | -20°C | +60°C |
| Secondary structures | -40°C | +65°C |
| Entrance baffle | -50°C | +95°C |
| Inside mechanisms: Gradient of rotor - stator | -6°C | +1°C |
| Coders, Motors | -20°C | +70°C |
| Ball bearings | +5°C | +55°C |
| PIP | -20°C | +60°C |
| Pointing mirror | -40°C | +65°C |

4.2 온도규격

Table 5는 해양탐체체 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 해양탐체체 각 부품의 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

해양탐체체 메인유닛의 열소산량은 Table 6과 같으며, 촬영 모드(imaging), 대기모드(holding) 및 보정모드(calibration)에 따라서 열소산량을 분류하였다. Fig. 4는 해양탐체체가 일반임무 모드일 때 FEE(Front End Electronics)의 열소산 프로파일을 나타낸 것으로서 셔터의 동작과 같은 프로파일을 가진다.

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

4.5 열설계 결과

해양탐체체의 열제어를 위하여 메인유닛은 광학부 공동 및

Table 6 Heat dissipation of GOCI

| | Nom BOL | Nom EOL |
|--|--|--|
| Detector | 0,07 | 0,07 |
| Transistors on PCB flex | 0,04 | 0,04 |
| FEE | 4,6 | 4,6 |
| Motor 1 Scan mirror (Coder) :imaging mode | 2,5 | 2,5 |
| Motor 1 Scan mirror (Stator) :imaging mode | 4,36 (Instantaneous) 1,01 (Mean over 30min) | 4,36 (Instantaneous) 1,01 (Mean over 30min) |
| Motor 1 Scan mirror (Coder) :holding mode | 2,5 | 2,5 |
| Motor 1 Scan mirror (Stator) :holding mode | 0,28 | 0,28 |
| Motor 1 Scan mirror (Coder) :calibration mode | 2,5 | 2,5 |
| Motor 1 Scan mirror (Stator) :calibration mode | 0,28 | 0,28 |
| Motor 2 Scan mirror (Coder) :imaging mode | 2,5 | 2,5 |
| Motor 2 Scan mirror (Stator) :imaging mode | 4,36 (Instantaneous) 1,01 (Mean over 30min) | 4,36 (Instantaneous) 1,01 (Mean over 30min) |
| Motor 2 Scan mirror (Coder) :holding mode | 2,5 | 2,5 |
| Motor 2 Scan mirror (Stator) :holding mode | 0,28 | 0,28 |
| Motor 2 Scan mirror (Coder) :calibration mode | 2,5 | 2,5 |
| Motor 2 Scan mirror (Stator) :calibration mode | 0,28 | 0,28 |
| Motor Shutter (Switch) :imaging mode | 0,2 | 0,2 |
| Motor Shutter (Stator) :imaging mode | 4,36 (during 20s at the beginning and at the end of the image) | 4,36 (during 20s at the beginning and at the end of the image) |
| Motor Shutter (Switch) :holding mode | 0,2 | 0,2 |
| Motor Shutter (Stator) :holding mode | 0,28 | 0,28 |
| Motor Shutter (Switch) :calibration mode | 0,2 | 0,2 |
| Motor Shutter (Stator) :calibration mode | 4,36 (during 20s at the beginning and at the end of the calibration) | 4,36 (during 20s at the beginning and at the end of the calibration) |
| Motor Filter Wheel (Switch) :imaging mode | 0,2 | 0,2 |
| Motor Filter Wheel (Stator) :imaging mode | 4,36 (Instantaneous) 1,26 (Mean over 30min) | 4,36 (Instantaneous) 1,26 (Mean over 30min) |
| Motor Filter Wheel (Switch) :holding mode | 0,2 | 0,2 |
| Motor Filter Wheel (Stator) :holding mode | 0,28 | 0,28 |
| Motor Filter Wheel (Switch) :calibration mode | 0,2 | 0,2 |
| Motor Filter Wheel (Stator) :calibration mode | 4,36 (Instantaneous) 1,26 (Mean over 30min) | 4,36 (Instantaneous) 1,26 (Mean over 30min) |

검출부 공동으로 분류하였다. 이러한 두 개의 공동은 다층박막단열재와 저전도 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 방열판은 0.041m²이고, 검출부 방열판은 0.03m²이다. 메인유닛 내

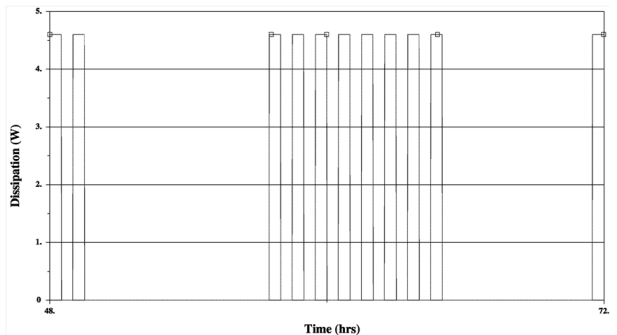


Fig. 4 Heat dissipation profile of FEE



부의 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 인 터페이스(PIP에 위치)
- 한 개의 열제어(탑재체 운용시) 라인: 검출부(Proportional Integrated 온도제어)
- 세 개의 열제어(탑재체 비운용시) 라인: 검출부, +Z 및 PIP에 위치

Table 7 Heater control temperatures

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

5. 열해석 조건

본 열해석의 목적은 해석결과의 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°C의 위성체 경계온도, 일반임무모드를 택하였다.
- 저온조건으로는 방열판에 흡수되는 태양열이 최소가 되는 때로, 추분(autumn equinox)을 선택하였고, 임무초(BOL) 물성치, -20°C의 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 모듈을 사용하여 복사교환인자를 계산하였다. 몬테카를로 광선추적법에서 총 방사선 다발의 수는 한 복사표면당 10000개로 하여 계산을 수행하였다. Thermica는 열해석을 위한 기

하학적 모델 생성 및 케도 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.

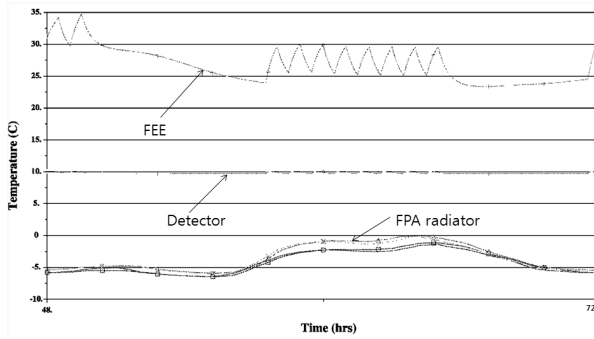
$$m C_{p,i} \frac{dT_i}{dt} = \sum_j GL_{ij}(T_j - T_i) + \sigma \sum_j GR_{ij}(T_j^4 - T_i^4) + P_{sun,i} + P_{albedo,i} + P_{earth,i} + P_{dissip,i} \tag{1}$$

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

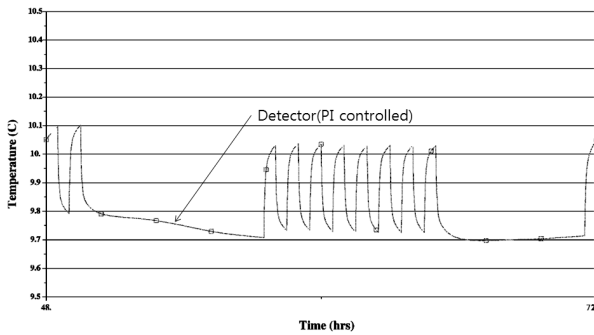
Fig. 5는 고온조건일 때 검출부, 검출기 및 광학부의 24시간 동안의 온도변화를 나타낸 것이다. 검출부의 경우 해양탑재체 메인유닛 내에 추가로 다층박막재를 설치함으로써 별도의 공동을 형성하게 되어 우주환경에 직접적으로 노출되어 있는 최외곽 다층박막재의 영향으로부터 자유롭게 된다. 따라서 하루 중 온도변화는 자체 발열에 의하여 가장 큰 영향을 받으므로 장치가 동작할 때 온도가 비례하여 증감한다. 반면, 광학부는 최외곽 다층박막재의 영향을 직접적으로 받게 되며, 한국시각으로 자정에 가까울 때 +Z(즉, 지구를 향하는 방향)측과 태양광축이 이루는 각이 최소가 되어 최대의 태양광이 해양탑재체 +Z 측에 흡수되기 때문에 낮 시간 때 보다 밤 시간의 온도가 더 높게 나타난다. 자정 즈음해서 온도가 급격하게 변화하는 까닭은 밤 촬영을 위하여 셔터가 열리게 되어 태양직사광이 직접 해양탑재체 내부로 입사하기 때문이다. 검출기의 경우 PI 제어가 되는 히터를 사용함으로써 항상 10°C ±0.5°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.

해양탑재체의 셔터가 열려져 태양직사광이 메인유닛 내부로 입사하더라도 모든 광학부 부품들은 그 온도 규격을 만족시키고 있다. 특히, 포인팅 반사경은 POM(Pointing Mechanism)



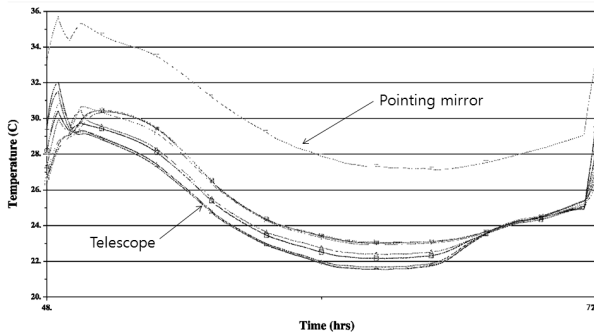
FPA assembly

| Node | Description | CASE | MAX | MIN | RANGE | Node | Description | CASE | MAX | MIN | RANGE |
|------|-----------------------|------|------|------|-------|------|-----------------------|------|------|------|-------|
| □ | T 113000 FPA radiator | GOCI | -1.1 | -6.4 | 5.3 | △ | T 113001 FPA radiator | GOCI | -0.6 | -5.9 | 5.3 |
| ○ | T 113002 FPA radiator | GOCI | -1.3 | -6.4 | 5.1 | ◇ | T 113003 FPA radiator | GOCI | -0.8 | -5.9 | 5.1 |
| - | T 113550 Detector | GOCI | 10.1 | 9.6 | .4 | + | T 113500 FEE | GOCI | 34.7 | 23.3 | 11.3 |



Detector

| Node | Description | CASE | MAX | MIN | RANGE |
|------|-------------------|------|------|-----|-------|
| □ | T 113550 Detector | GOCI | 10.1 | 9.6 | .4 |

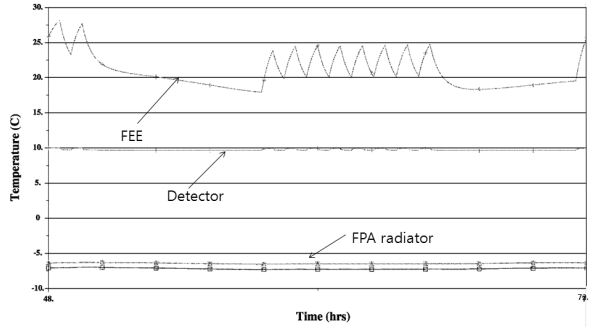


Telescope

| Node | Description | CASE | MAX | MIN | RANGE | Node | Description | CASE | MAX | MIN | RANGE |
|------|------------------------|------|------|------|-------|------|------------------------|------|------|------|-------|
| □ | T 20001 Telescope | GOCI | 30.4 | 22.1 | 8.3 | △ | T 20000 Tube | GOCI | 30.4 | 23.3 | 7.1 |
| ○ | T 110210 M1 | GOCI | 32.0 | 21.5 | 10.5 | ◇ | T 110250 M2 | GOCI | 30.4 | 22.9 | 7.4 |
| - | T 110210 M2 | GOCI | 30.8 | 21.5 | 9.2 | + | T 110250 FM | GOCI | 30.3 | 22.9 | 7.4 |
| + | T 110100 M1 M3 Support | GOCI | 35.0 | 27.1 | 7.9 | - | T 110100 M1 M3 Support | GOCI | 31.5 | 21.6 | 9.8 |
| - | T 110110 M2 FM Support | GOCI | 20.4 | 23.0 | 2.6 | + | T 110504 Mirror focus | GOCI | 30.6 | 23.6 | 7.0 |

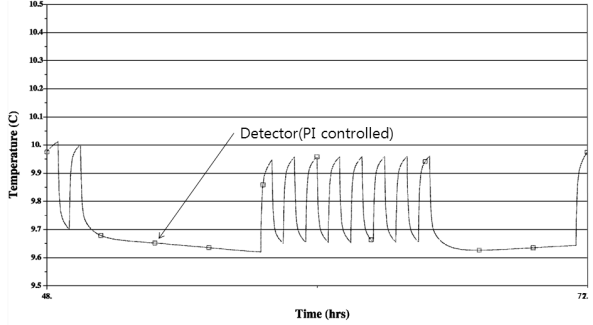
Fig. 5 Temperature response profiles in the hot case

의 발열 및 태양직사광의 입사로 인하여 다른 광학부 부품들과 온도응답이 현저하게 다를 수 있다. pupils(pupil)은 광학부에 장착되어 있지만 광학부의 일부로 간주되지 않으며 현재까지 특별한 온도규격이 없다. 다만, 셔터가 열려진 상태의 경우 pupils의 온도는 최대온도 규격인 60°C에 대하여 음(-)



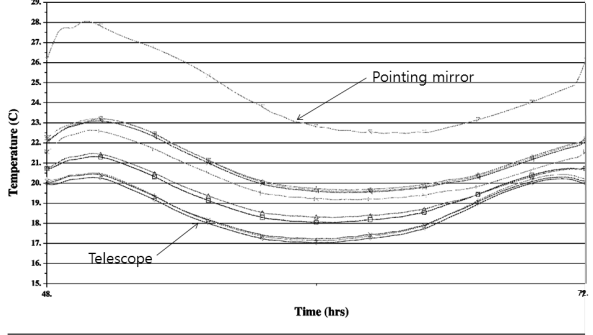
FPA assembly

| Node | Description | CASE | MAX | MIN | RANGE | Node | Description | CASE | MAX | MIN | RANGE |
|------|-----------------------|------|------|------|-------|------|-----------------------|------|------|------|-------|
| □ | T 113000 FPA radiator | GOCI | -6.9 | -7.3 | .3 | △ | T 113001 FPA radiator | GOCI | -6.2 | -6.5 | .3 |
| ○ | T 113002 FPA radiator | GOCI | -6.9 | -7.3 | .3 | ◇ | T 113003 FPA radiator | GOCI | -6.3 | -6.5 | .2 |
| - | T 113550 Detector | GOCI | 10.0 | 9.6 | .3 | + | T 113500 FEE | GOCI | 28.3 | 17.0 | 11.2 |



Detector

| Node | Description | CASE | MAX | MIN | RANGE |
|------|-------------------|------|------|-----|-------|
| □ | T 113550 Detector | GOCI | 10.0 | 9.6 | .3 |



Telescope

| Node | Description | CASE | MAX | MIN | RANGE | Node | Description | CASE | MAX | MIN | RANGE |
|------|------------------------|------|------|------|-------|------|------------------------|------|------|------|-------|
| □ | T 20001 Telescope | GOCI | 21.3 | 18.0 | 3.2 | △ | T 20000 Tube | GOCI | 21.4 | 18.2 | 3.1 |
| ○ | T 110210 M1 | GOCI | 20.3 | 17.0 | 3.2 | ◇ | T 110250 M2 | GOCI | 23.2 | 19.5 | 3.6 |
| - | T 110210 M2 | GOCI | 20.5 | 17.1 | 3.3 | + | T 110250 FM | GOCI | 23.3 | 19.6 | 3.5 |
| + | T 110100 M1 M3 Support | GOCI | 26.0 | 22.4 | 3.5 | - | T 110100 M1 M3 Support | GOCI | 20.4 | 17.2 | 3.2 |
| - | T 110110 M2 FM Support | GOCI | 23.1 | 19.5 | 3.5 | + | T 110504 Mirror focus | GOCI | 22.6 | 19.1 | 3.4 |

Fig. 6 Temperature response profiles in the cold case

의 여유분(-5.2°C)을 가지게 되는 것에 대해서는, pupils의 열탄성해석 결과[8] 기준온도 20°C를 기준으로 $\Delta T=60^\circ\text{C}$ 인 80°C에서도 구조적인 문제가 없었기 때문에 pupils의 최대온도(55.2°C)를 수용할 수 있다고 판단된다. POM의 경우 열모델의 제한성 때문에 편의상 불베어링의 온도규격을 고정자와 회전자의 온도규격으로 정하여 설계 여유분을 해석하였다. 그러나 실제



각 발열원인 고정자(stator)와 회전자(rotor)의 온도규격은 불베어링의 온도범위 규격 보다 훨씬 큼에도 불구하고 불베어링의 온도규격을 기준으로 계산한 결과 45°C-50°C를 나타내고 있다. 다시 말하면, POM의 불베어링은 자체 발열원이 아니므로 고정자 또는 회전자의 온도보다는 낮을 것이며 따라서 불베어링은 그 최대온도 규격 55°C 보다는 낮을 것이라고 유추할 수 있다. 비록, 입사베플이 태양이 직접 입사하는 짧은 시간동안 국부적인 온도 상승으로 인해 그 온도규격(max. 95°C)을 약 0.9°C 초과하는 것처럼 보여 지지만, 최대 입사베플 온도는 국부온도를 나타낸 것이므로, 부품의 평균온도 측면에서는 그 온도규격을 만족하고 있다.

7. 결론 및 향후 과제

본 논문에서는 해양탐재체의 열수치모델을 수립하여 정지궤도 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.
- 입사베플 온도가 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
- 입사베플의 국부 온도집중에 대한 구조적인 검증

참고문헌

- [1] 2004, 양군호, 외24인, “통신해양기상위성 시스템 및 본체 개발사업(I),” 연구보고서, 한국항공우주연구원, 대전.
- [2] 2005, 양군호, 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, Daniel, *GOCI Thermo-elastic Analysis*, EADS Astrium, Toulouse.