

## 정지궤도위성 광학탐재체 복사 열제어 시스템 개념 설계

김정훈,<sup>\*1</sup> 전형열<sup>1</sup>

### A CONCEPTUAL DESIGN OF RADIATIVE THERMAL CONTROL SYSTEM IN A GEOSTATIONARY SATELLITE OPTICAL PAYLOAD

Jung-Hoon Kim<sup>\*1</sup> and Hyoung Yoll Jun<sup>1</sup>

*A conceptual thermal design 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 thermal control system is employed in order to expect a small thermal gradient in the telescope structure of GOCI. Two design margins are applied to the dedicated radiator dimensioning, and three kinds of configuration to the heater power sizing. A Monte-Carlo ray tracing method and a network analysis method are utilized to calculate radiative couplings and thermal responses respectively. At the level of conceptual design, sizing thresholds are presented for the radiator and heater on the purpose of determining the mass and power budget of the spacecraft.*

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

#### 1. 서 론

현재 정지궤도에서의 지구 관측은 주로 전지구 및 국부 지역의 기상관측을 위한 목적으로 운용되고 있다. 정지궤도의 장점은 위치한 궤도 및 시야각에서 24시간 지속적인 관측이 가능하여 실시간의 관측 정보를 수집할 수 있다. 그러나 위성의 고도가 약 36,000km 상공이므로 현존 기술로는 저궤도 관측위성처럼 수 미터의 해상도를 가지기는 힘들다. 정지궤도 기상위성의 경우 약 1km 내외의 해상도가 널리 활용되고 있으며 고해상도 관측 탐재체는 현재 여러 선진국에서 개발을 추진 중에 있다. 기상관측 탐재체와는 별개로 현재까지 정지궤도에서 지구를 직접 관측하는 것은 관측자료의 해상도 제한으로 유용한 정보를 얻을 수 없을 것이라는 선입견으로 개발을 시도하지 않았다. 그러나 한반도의 다양한 해양정보의 추출을 위한 정지궤도 해양관측 탐재체의 필요성에 대한 수요가 제기되어 현재 개발을 수행 중에 있다[1,2]. 본 논문에서는

국내에서 개발 중인 통신해양기상위성(COMS: Communication, Ocean and Meteorological Satellite)에 탑재되는 세계 최초의 정지궤도 해양관측 탐재체(GOCI: Geostationary Ocean Color Imager)의 개발을 위하여 필요한 광학탐재체의 열제어 시스템 개념 설계를 수행하였으며 그 결과를 상세 설계 기준으로 수립하도록 하였다. 본 논문에서는 먼저 해양탐재체의 예비 열해석 모델을 수립한 후, 탐재체 냉각을 위한 방열판 및 가열을 위한 히터의 필요성과 그 설계를 수행하고, 설계 결과에 따른 열응답을 도출함으로써 탐재체의 열적 요구사항을 만족하는지의 여부를 판단하였다.

#### 2. 해양탐재체 열모델

해양탐재체의 열해석모델은 해당 절점(node)에 열복사연계(radiative couplings) 및 태양열유속 계산을 위한 기하학적 모델(GMM: Geometrical Mathematical Model)과 열전도 및 열복사 계산을 위한 열모델(TMM: Thermal Mathematical Model)로 구성되어 있다. 총 133개의 열노드가 모델링되었으며 해양탐재체의 설계가 완료되지 않은 상태에서 수립된 예비 열모델

접수일: 2007년 7월 12일, 심사완료일: 2007년 8월 30일.

1 정희원, 한국항공우주연구원 통신해양기상위성사업단 통해기체팀

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

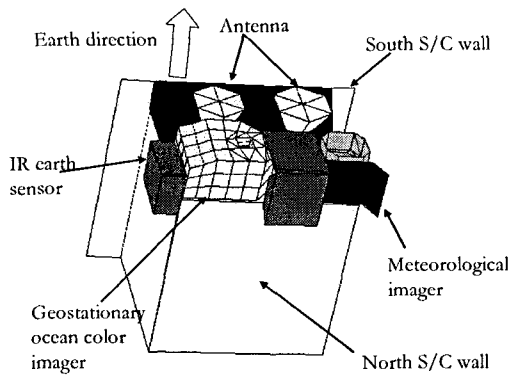


Fig. 1 COMS external geometrical model with GOCI

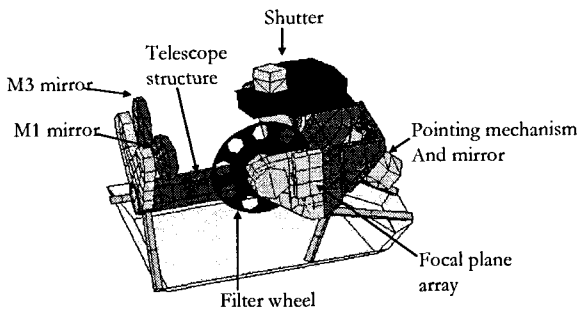


Fig. 2 GOCI internal geometrical model

임에도 불구하고, 향후 해양탐재체의 설계 변경이 본 해석의 결과에는 영향을 주지 않을 것이다.

2.1 기하학적 모델

Fig. 1은 열해석에 사용된 통신해양기상위성 본체와 광학탐재체의 기하학적 모델 외형을 나타내었다. 지구를 바라보기 위해 위성체의 지구패널에 기상탐재체, 해양탐재체, 적외선 지구센서가 장착되어 있으며, 광학탐재체의 방열판의 시야각(FOV: Field of View) 방향이 연중 태양입사각이 작고 태양광 입사량이 가장 적은 북쪽 패널 방향을 향하도록 하였다[3].

Fig. 2는 해양탐재체 셔터가 닫혀있을 때 탐재체 내부의 기하학적 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. 셔터는 해양관측을 수행할 때 약 30초가량 열려지게 된다.

Table 1 Thermo-optical properties of GOCI

Coating	Absorptivity BOL/EOL	Emissivity	Specularity
Black paint	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	0.35 / 0.55	0.65	60%

해양탐재체의 열모델은 셔터가 닫힌 형상과 열려진 형상, 두 가지의 기하학적 형상에 대하여 모델이 수립되었으며 두 가지 형상에 대한 복사연계 및 외부 열유속 계산이 수행되었다. 즉, 영상획득시간에는 셔터가 열려진 형상에 대한 복사연계 및 외부 열유속 계산을 수행하고 그 외의 시간에서는 닫힌 형상에 대하여 계산이 수행된다. 계산에 사용된 열광학 물성치는 Table 1과 같다.

2.2 전도열전달 가정

본 해양탐재체 열해석은 개념설계 수준에서 수행된 것이며 세부 설계가 이루어져 있지 않은 상태이므로 부품간 접촉열전도(interface conductance)가 정의되지 않았다. 따라서 본 논문에서는 아래에 나열한 전도연계를 제외하고 모든 전도열전달은 고려되지 않았다.

- -Y(북쪽패널 방향) 커버의 내부와 방열판 사이의 전도열 전달
- MLI를 통한 전도열전달
- 광학부 튜브 및 해양탐재체 패널 사이의 전도열전달
- 해양탐재체 패널과 위성 사이의 전도열전달

본 해석의 목적은 탐재체의 성능을 유지하기 위한 온도를 복사 열제어 시스템을 적용하여 획득할 수 있는지와 기본적인 열설계의 개념을 수립하고 설계 초기의 열제어를 위한 기술적 예산(technical budget)을 제공하는데 있다. 일반적으로 전도열전달을 고려하지 않고, 복사열전달만으로 해석된 결과는 열응답 및 온도구배의 결과가 좀 더 극단적으로 모사되어 진다. 이러한 극단적인 결과는 실제 해석에서 고려되지 않은 많은 불확실성을 포함한 결과로 생각할 수 있으므로 설계 초기 값의 기준으로 삼을 수 있다.

3. 임무요구사항

통신해양기상위성은 정지궤도에 위치하며 +Z 축이 지구를 향하고 있다. 해양탐재체는 대한민국을 향하기 위하여 지구 중심에 대하여 약 5.8° 기울어져 있으며 다음 두 가지의 임무 프로파일로 나눌 수 있다[4].

- 일반임무모드: 8번의 낮 촬영(한국시간 10시 ~ 17시 30분), 2번의 밤 촬영(한국시간 22시 ~ 02시), 한 번의 영상획득시간은 30분, 본 열해석에서는 밤 촬영시간을 한국시간 23시30분 및 01시에서 수행된다고 가정.
- 임무대기모드: 셔터를 닫고 촬영을 수행하지 않음.

해석에 사용된 열소산량은 추가적인 20% 여유분을 포함하여 Table 2에서 나타내었다.

해양탐재체의 내부 광학부는 5개의 반사경과 반사경을 지지하는 구조물로 이루어져 있다. 광학부 부품은 외부 우주환경 및 내부 발열환경에 의하여 다양한 온도구배를 나타낼 수 있는데, 이것은 광학부 구조의 열탄성에 의하여 영상품질의 뒤틀림과 초점에 직접적으로 영향을 주게 되므로 광학부는 열제어를 통하여 절대 안정되어야 한다. 해양탐재체 내부 광학부의 열적 규격은 낮 촬영시간 동안 18°C~22°C를 유지하여야 한다. 이를 위하여 탐재체 내부 복사표면을 활용하여 복사열전달 방식만으로 탐재체의 열제어를 수행하도록 함으로써 전도열제어로 인한 국부적인 가열 및 큰 온도 구배를 배제하여 최대한 온도구배를 줄이도록 하였다.

### 4. 열전달 해석 이론

#### 4.1 복사열교환인자 계산을 위한 몬테카를로법

복사 열교환인자(radiative exchange factor)를 구하기 위한 몬테카를로 광선 추적법은 한 다발의 열복사선을 하나의 광선으로 묘사하는 방법으로 표면 열광학물성치의 특이인 방사율, 흡수율, 반사율, 투과율을 초기 표면방사로부터 광선에너지의 소멸 때까지를 모두 묘사할 수 있는 장점이 있다. 따라서 광학시스템과 같이 반사경 또는 렌즈가 포함된 시스템을 해석하기 위해서는 반드시 필요한 방법이라고 할 수 있다[5]. 에너지 다발의 수를  $dN_i$ , 표면요소를  $dA_i$ 라고 하면 절점  $i$ 에 의하여 방사되는 총 에너지 다발의 수는 식 (1)과 같다.

$$\frac{dN_i}{N_i} = \frac{dA_i}{A_i} \tag{1}$$

다른 절점  $j$ 에 도달하는 에너지 다발의 수를  $N_{i,j}$ 라 하고  $N_i$ 가 충분히 클 때 기하학적 시야인자(view factor)는 식 (2)와 같이 정의할 수 있다.

$$F_{i,j} = \lim_{N_i \rightarrow \infty} \frac{N_{i,j}}{N_i} \tag{2}$$

모든 절점에 대하여 정리하면 식 (3)과 같다.

$$\sum_j N_{i,j} = N_i \tag{3}$$

절점  $j$ 에 의하여 직접 흡수되거나 다른 표면에 의하여 에너지 다발이 반사된 후 다시 절점  $j$ 에 의하여 흡수되는 에너지를  $E_{i,j}$ 라고 정의하면, 복사열교환인자는 식 (4)와 같다.

$$B_{i,j} = \lim_{N_i \rightarrow \infty} \frac{E_{i,j}}{N_i dE} \tag{4}$$

여기서  $dE$ 는 광선 다발이 가지는 각각의 에너지로서 충분히 작다고 가정한다. 절점  $i$ 에서 방사되어 다른 절점에 도달하는 열복사에너지는 식 (5)와 같다.

$$E_i = \epsilon_i A_i \sigma T_i^4 = \left( \sum_j B_{i,j} \right) \epsilon_i A_i \sigma T_i^4 \tag{5}$$

여기서  $\sum_j B_{i,j} = 1$ 이다.

절점  $i$ 에 대하여 흡수되는 에너지와 방사되는 에너지의 차를 절점  $i$ 에 대한 복사연계(radiative coupling)인  $GR_{i,j}$ 로 나타내면 식 (6)과 같다.

$$\sum_j B_{j,i} \epsilon_j A_j \sigma T_j^4 - \sum_j B_{i,j} \epsilon_i A_i \sigma T_i^4 = \sigma \sum_j GR_{i,j} (T_j^4 - T_i^4) \tag{6}$$

여기에 표면위치 샘플링 및 복사선 방향에 대하여 컴퓨터에 의한 임의선택(random sampling)을 활용하면 모든 절점간 복사연계를 계산할 수 있다.

#### 4.2 네트워크 해석법

탐재체의 기하학적 모델에 대하여 몬테카를로법을 이용한 복사열교환인자를 계산한 후 식 (7)과 같이 네트워크 해석방법으로 비정상상태의 절점  $i$ 의 온도를 구할 수 있다.

$$m C_{p,i} \frac{dT_i}{dt} = \sum_j GL_{ij} (T_j - T_i) + \sigma \sum_j GR_{ij} (T_j^4 - T_i^4) + P_{sun,i} + P_{albedo,i} + P_{earth,i} + P_{dissip,i} \tag{7}$$

Table 2 Heat dissipation of GOCI

	Imaging	Stand by
Detector	0.084W	0W
Front end electronic	3.36W	0W
Shutter motor	3.24W during 20s before and after each image. Otherwise 0.57W	0.48W
Pointing mirror motor	16 movings per imaging Duration of each moving: 22s → 6.26W during image (average) Otherwise 4.28W	3.56W
Filter wheel motor	144 movings per imaging Duration of each moving: 3s → 1.21W during image (average) Otherwise 0.57W	0.48W

여기서  $GL_{ij}$ 는 전도열전달 전도도(conductive conductance)를 나타낸다. 식 (7)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.

### 5. 예비 열해석

#### 5.1 열해석 모델

해양탐재체의 열모델은 Fig. 1 및 Fig. 2와 같은 기하학적 광학모델과 열용량 및 열전도 모델로 구성되어 있으며 총 열모델의 절점수는 133개이다. 몬테카를로법에서 총 방사선 다발의 수는 한 복사표면당 10000개로 하여 계산을 수행하였다. 해양탐재체의 외부 복사연계에 직접적인 영향을 줄 수 있는 안테나, 기상탐재체, 지구센서 및 위성체의 다층박막단열재와 같은 장비들도 모델링되어 있다. 해양탐재체의 기하학적 모델은 I-DEAS[6]를 사용하여 생성하고 EADS Astrium사의 SYSTEMA[5] 소프트웨어의 몬테카를로법 모듈을 사용하여 복사교환인자를 계산하였다.

SYSTEMA는 열해석을 위한 기하학적 모델 생성 및 궤도 열모델 수립을 3D GUI 환경에서 가능하게 하고, 복사교환인자를 계산할 수 있는 상용 소프트웨어이다. 네트워크 해석을 위해서는 EADS Astrium사의 Temperature Solver[7]를 사용하였다. Temperature Solver는 집중열용량(lumped parameter) 및 열저항(thermal resistance)을 사용한 다차원 열전도 방정식을 풀 수 있는 상용 소프트웨어이다.

열해석을 위한 계산은 HP c8000 워크스테이션에서 수행되었다. SYSTEMA를 사용하여 복사교환인자를 계산했을 때는 약 30분이 소요되었으며, 최종 온도계산은 Temperature Solver를 사용하였다. 해의 수렴을 위하여 10회의 궤도모사를 먼저 수행한 후 출력을 위한 최종 1회의 궤도모사를 수행하였고, 각 경우에 대하여 총 2시간이 소요되었다.

#### 5.2 경계조건

열제어를 위한 방열판 또는 히터가 필요하지 아닌지를 결정하기 위하여 열제어 없는 탐재체의 자연 열응답을 분석하는 것이 필요하다. 즉 자연 열응답 결과 탐재체의 온도가 낮촬영시간(한국시간으로 10시 ~ 17시 30분) 사이에 온도가  $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 가 유지되지 못할 경우에는 탐재체의 성능을 유지하기 위한 전용의 방열판 및 히터의 설계가 필요하다. 여기서 낮촬영시간을 위성태양시간으로 환산하면 9시 30분 ~ 17시이다. 위성태양시간은 위성의 정지궤도를 기준으로 지구와 태양 사이에 위성이 위치할 경우를 12시로 설정했을 때의 시간을 말한다. 해양탐재체가 탑재되는 통신해양기상위성의 궤도를

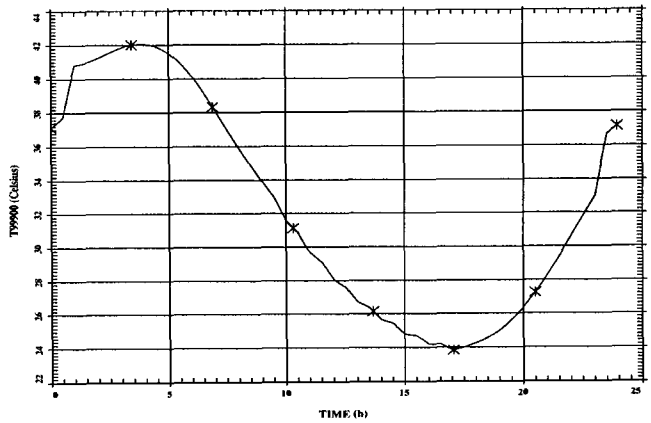


Fig. 3 Instrument average temperature without radiator in hot case

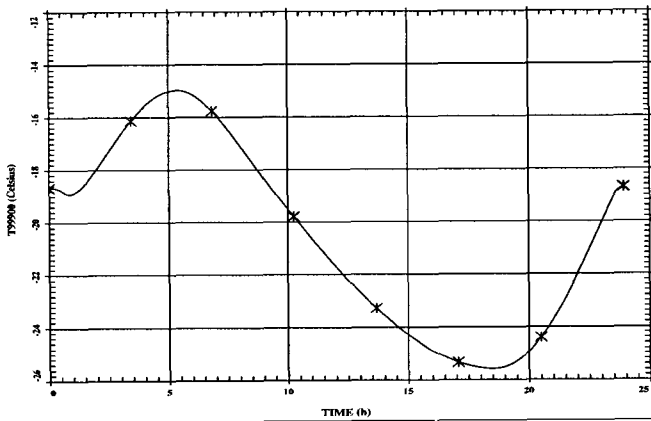


Fig. 4 Instrument average temperature without radiator in cold case

동경 127도로 가정하면 위성태양시간은 한국 시간보다 약 30분 늦게 된다. 해양탐재체의 열해석에 사용된 최악 경계조건은 다음과 같다.

- 고온조건: 하지(연중 태양열이 해양탐재체에 가장 많이 입사), 임무말 물성치, 열소산량에 20% 여유분 추가,  $60^{\circ}\text{C}$ 의 위성체 경계온도, 일반임무 모드
- 저온조건: 추분(연중 태양열이 해양탐재체에 가장 적게 입사), 임무초 물성치,  $-20^{\circ}\text{C}$ 의 위성체 경계온도, 임무대기모드

#### 5.3 고온조건 모사

Fig. 3은 고온조건일 때 별도의 방열판 및 히터제어 없이 위성태양시간에 대한 탐재체 광학부의 평균온도이다. 광학부의 평균온도는 모든 반사경 및 광학구조물에 대한 산술평균 온도이다.

Fig. 3에서 낮촬영시간(9시 30분 ~ 17시) 동안 광학부의 온

도는 최소 24℃, 최대 33℃를 나타내고 있으며 이것은 광학부의 온도 요구사항인 20±2℃를 벗어나고 있다. 따라서 해양탐재체는 열제어를 위한 전용의 방열판이 필요하다.

5.4 저온조건 모사

Fig. 4는 저온조건일 때 별도의 방열판 및 히터제어 없이 위성태양시간에 대한 탐재체 광학부의 평균온도이다. Fig. 4의 낮촬영시간(9시 30분 ~ 17시) 동안 광학부의 온도는 최소 -25.5℃, 최대 -19℃를 나타내고 있으며 탐재체 광학부의 온도 요구사항을 만족하지 못한다. 따라서 해양탐재체는 열제어를 위한 전용의 히터가 필요하다.

6. 방열판 설계

전도열전달을 사용한 열제어를 할 경우 심우주와 탐재체 내부의 경계인 방열판을 기준으로 열전도, 태양열 흡수, 방열판 복사 및 내부발열 등을 고려하여 에너지방정식을 세우면 해석적 방법으로 방열판의 크기를 설계할 수 있다. 그러나 본 논문에서와 같이 내부 복사열전달만을 사용한 열제어를 할 경우에는 탐재체 내부의 각 부품들의 기하학적 형상 및 열광학물성치에 대하여 외재적인 방법(explicit method)으로 함수화할 수 있는 방법이 없으므로 열해석 반복적으로 수행함으로써 최적의 설계를 수행하는 수밖에 없다.

6.1 최대 방열면적일 경우 고온모사

예비 열해석 결과 탐재체 열제어를 위한 방열판이 필요하다는 결과를 이미 도출하였으며, 본 절에서는 방열판의 크기를 정하기 위하여 최대 방열면적일 경우를 기준으로 설계여유분에 따른 적절한 방열판의 크기와 열응답을 고찰한다. 해양탐재체의 방열판은 연중 가장 태양열 유입이 적은 -Y패널(북쪽방향)에 위치되어야 하며 그 최대 면적은 0.45㎡이다. Fig. 5는 방열판의 면적이 0.45㎡일 때 고온조건 모사결과이다. 광학부의 온도는 최저 -24℃이며 최고 -21℃로 방열면적이 최대일 경우는 탐재체 광학부의 온도 요구사항을 만족하지 못하므로 방열판의 크기를 적절하게 줄여야만 한다.

6.2 설계 여유분에 따른 방열판 면적

해양탐재체 광학부의 온도요구조건은 낮촬영시간 동안 0℃±2℃를 유지하는 것이며, 이러한 목적을 달성하기 위해 두 종류의 설계여유분을 고려하였다. 첫 째로는 정지궤도위성의 일반적인 설계여유분 10℃를 적용하여(이하 Srad1 경우라 한다) 광학부의 온도가 10℃까지 더 냉각시킬 수 있도록 방열판의 크기를 크게 하는 것이다. 둘째로는 본 해양탐재체가 최초로 개발되는 것이므로 설계에 대한 불확실성을 더하여 총 2

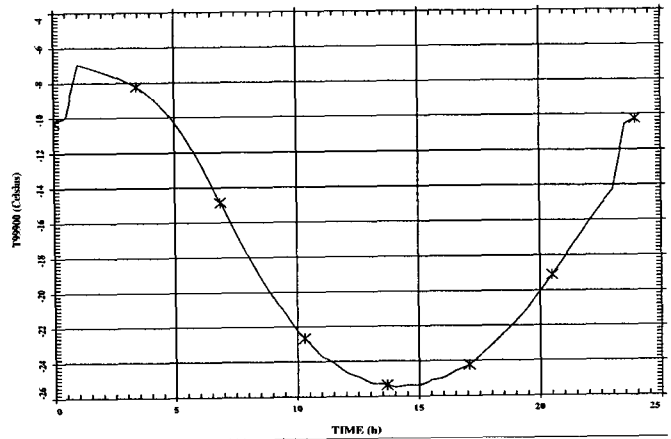


Fig. 5 Instrument average temperature with maximum sized radiator in hot case

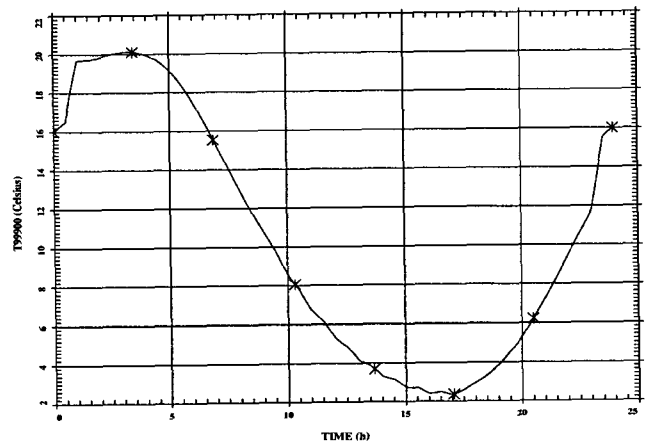


Fig. 6 Instrument average temperature with Srad1 radiator in hot case

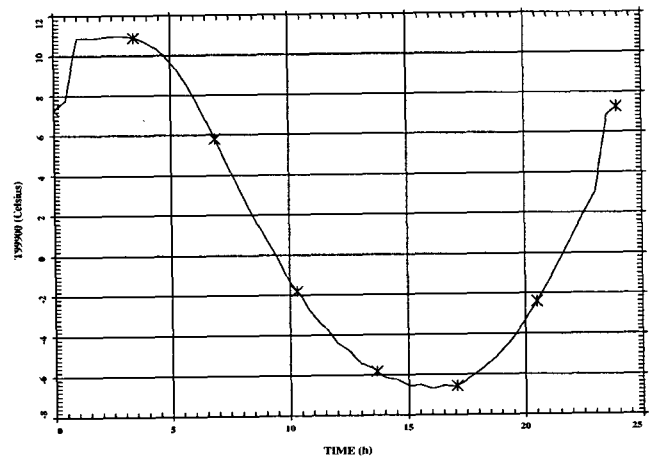


Fig. 7 Instrument average temperature with Srad2 radiator in hot case

0℃의 설계여유분을 적용함으로써(이하 Srad2 경우라 한다) 광학부의 온도를 0℃까지 더 내릴 수 있도록 방열판을 크게 설계하는 것이다. 설계 여유분에 따른 방열판 면적을 본 논문에서 제시하는 것은 개념설계 수준에서의 질량예산(mass

budget)을 제공하는데 그 목적이 있다.

6.2.1 10℃ 설계 여유분

방열판 설계여유분 10℃를 적용하면, 낮촬영시간 동안 광학부의 최대 온도는 10℃를 초과하지 않아야 한다. 이러한 열응답을 도출하기 위하여 방열판의 크기를 조정해 가며 반복적인 방법으로 궤도모사를 수행하여 최적 방열판의 크기를 결정하였다. 그 결과 방열판 면적은 0.064m<sup>2</sup>으로 -Y패널 총 면적의 14.3%를 차지하였다. Fig. 6은 고온조건일 때 위성태양시간에 따른 광학부의 평균온도 변화를 나타낸 것이며, 9시 30분의 온도가 최대 10℃, 그 이후 낮촬영시간 중에는 온도가 10℃를 초과하지 않는다.

6.2.2 20℃ 설계 여유분

방열판 설계여유분 20℃를 적용하면, 낮촬영시간 동안 광학부의 최대 온도는 0℃를 초과하지 않아야 한다. 반복적인 방법으로 계산된 방열판의 최적 면적은 0.118m<sup>2</sup>으로 -Y패널 총 면적의 26.3%를 차지하였다. 0.118m<sup>2</sup>의 방열판 면적은 Srad1의 경우 보다 약 84%가 더 증가된 것으로 탐재체의 질량예산에 큰 부담을 가져올 것이다.

Fig. 7은 고온조건일 때 위성태양시간에 따른 광학부의 평균온도 변화이며, 9시 30분의 온도가 최대 0℃이다.

7. 히터 설계

히터용량의 설계를 위하여 낮촬영시간 동안의 열제어 목적 온도인 20℃에 히터용량에 대한 설계 여유분을 고려하여 목적 온도를 30℃로 정하였다. 복사열제어를 위한 가열표면의 형상 세 가지에 대하여 30℃를 유지하기 위한 히터용량을 계산하였으며, 또한 방열판 설계의 여유분에 따른 두 가지의 방열판 크기에 대하여도 계산하였다.

해양탐재체는 위성체와 접하는 부분을 제외하고 최대 5면의 복사열제어 가열표면을 가질 수 있다. 모든 가열표면을 다 활용하는 것이 복사열제어에 가장 용이하지만 열제어 시스템에서 가용할 수 있는 히터라인의 수 및 히터용량을 최적화하여 설계하는 것이 중요하다.

본 논문에서는 아래와 같이 1개 면, 3개 면, 5개 면에 가열표면을 가질 경우에 대하여 열해석을 수행하였으며 Fig. 8 ~ Fig. 10에 개략도를 나타내었다.

- <CT1> 경우 : 해양탐재체의 북쪽패널(-Y)
- <CT3> 경우 : 해양탐재체의 남쪽(+X), 북쪽 패널(-Y) 및 지구방향(+Z)패널
- <CT5> 경우 : 해양탐재체의 5개 모든 패널

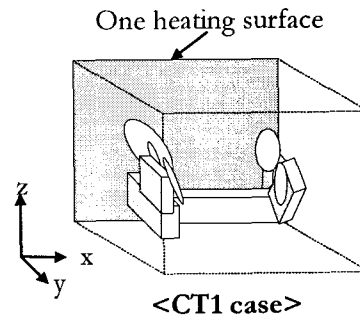


Fig. 8 Heating surface cases with respect to the heating surface number - CT1 case

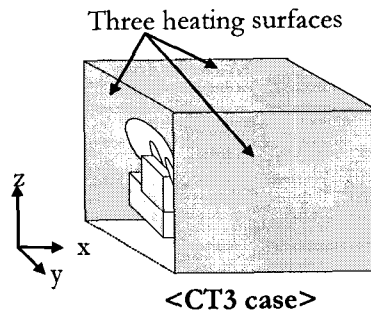


Fig. 9 Heating surface cases with respect to the heating surface number - CT3 case

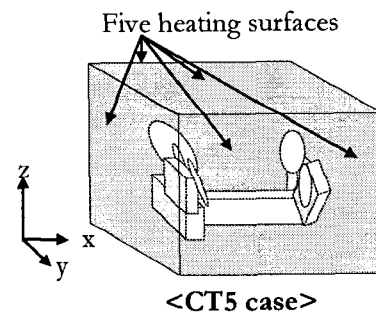


Fig. 10 Heating surface cases with respect to the heating surface number - CT5 case

7.1 정상상태 히터용량 계산

히터용량계산을 위한 정상상태 에너지방정식은 식 (8)과 같다. 식 (8)에서의 열에너지의 불균형 항은 주어진 정상상태에서 필요한 히터발열량이라고 생각할 수 있으며, 이 항의 값이 0보다 작으면 경계온도 T<sub>b</sub>를 유지하기 위해서 히터가열이 필요하다.

$$Q_+ - Q_- + Q_{\text{imbalance}} = 0 \text{ at } T = T_b \tag{8}$$

여기서, Q<sub>+</sub>는 시스템에 유입되는 열량, Q<sub>-</sub>는 시스템으로부터 방출되는 열량이다. 경계온도 T<sub>b</sub>는 전도열제어를 할 경

우에는 열제어 목적으로도 쉽게 도출될 수 있으나, 본 논문에서와 같은 복사열제어 시스템에서의 목적온도는 경계온도가 아니라 경계조건에 의한 공동(cavity) 내부 광학부의 온도이다. 따라서 식 (8)의 에너지방정식을 위한 경계온도  $T_b$ 는 반복계산을 통하여 광학부의 온도가 목적하는 온도가 될 때, 시스템 경계에서의 온도로 정의되어야 한다. Table 3은 식 (8)을 사용하여 저온조건일 때 낮촬영시간 동안 광학부 온도가 30°C를 유지하기 위한 정상상태 히터용량이다. 가열표면의 수에 따라 최소 54W, 최대 79W의 결과를 보이고 있다. CT1의 설계를 적용할 경우 가장 많은 히터용량을 요구하였으며, CT3 및 CT5의 경우는 거의 동일한 히터용량이 요구된다. 결과적으로 해양탐재체의 무게를 줄이고 히터의 용량을 줄일 수 있는 최적의 복사열제어 설계는 세 개의 복사가열 표면을 적용한 설계이다. 또한 방열판의 설계 여유분이 20°C인 Srad2의 경우에는 설계 여유분 10°C인 Srad1의 경우 보다 열제어를 위한 전력용량이 약 35% 더 커야 하므로 향후 위성체의 가용 전력용량을 고려하여 최종 설계를 확정지을 것이다.

7.2 비정상상태 히터용량 설계 검증

7.1절의 Table 3에서 계산된 히터용량은 궤도조건을 정상상태를 가정한 결과이다. 일반적으로 궤도에서 요구되는 비정상상태의 히터용량은 정상상태와는 다를 수 있다. 따라서 정상상태에서 계산된 히터용량이 비정상상태일 때에도 만족하는지 확인하는 것이 필요하다. 비정상상태 모사에서 히터의 커짐 및 꺼짐 온도는 Table 3의 히터용량을 적용했을 때, 탑재체 광학부의 온도가 낮촬영시간 동안 30°C가 유지될 때를 받

복적인 방법으로 찾아서 정하였다.

Table 4는 저온조건일 때 낮촬영시간 동안 요구되는 평균 히터용량을 보여주고 있다. 모든 경우에 대하여 순간적인 최대 히터용량은 Table 3에서 설계된 값을 초과하지 않았다. Table 4의 결과에 따르면 Table 3의 히터용량 설계값은 비정상상태에서도 만족하며 해양탐재체의 히터용량예산(heater power budget)의 기준으로 설정할 수 있다.

8. 결 론

정지궤도위성 광학탐재체의 복사 열제어 시스템을 위한 개념설계를 수행하였다. 광학부는 그 성능을 유지하기 위하여 광학부 전체의 온도구배가 크지 않아야 하므로 탑재체 내부 복사열전달을 이용한 열제어를 적용하기로 하였다. 탑재체 내부 및 외부 열유속에 대한 복사연계를 구하기 위해 SYSTEMA 소프트웨어의 몬테카를로법 모듈을 사용하였고, 네트워크 해석법을 사용하여 비정상상태에서 절점의 온도를 계산하였다.

개념설계 수준에서 통신해양기상위성의 해양탐재체는 전용 방열판과 히터가 필요함을 확인하였다. 설계여유분에 따라 0.064m<sup>2</sup> 및 0.118m<sup>2</sup>의 방열판의 크기를 제시하였고, 가열표면의 수에 따라 최소 54W, 최대 79W의 총 6 종류의 히터용량을 계산하였다. 정상상태 에너지방정식을 이용하여 위성용 히터용량 설계의 절차를 제시하였다. 본 논문에서 계산된 방열판의 크기와 히터용량은 위성시스템 요구조건 및 접속요조건에 따라 최적화된 후 상세 설계가 진행될 예정이다.

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] 2005, Pannelier, Philippe, *GOCI Main Unit Thermal Interface Control Document*, EADS Astrium, Toulouse.
- [5] 2003, Jacquiquau, Marc. and Noel, P., *SYSTEMA v3.2 User's Manual*, EADS Astrium, Toulouse.
- [6] 2003, *I-DEAS 10 NX Series User's Manual*, EDS.
- [7] 2005, Jacquiquau, Marc., *Temperature Solver v4.0.29*, EADS Astrium, Toulouse.

Table 3 Heater power sizing results in cold steady-state case

Op. case	Rad. size	Therm. Surfaces	Power Sizing (W)					Total Power (W)
			-Y Wall	+Y Wall	+Z Wall	-X Wall	+X Wall	
Cold case T=30°C	Srad1	CT1	57	N/A	N/A	N/A	N/A	57
		CT3	36	6	12	N/A	N/A	54
		CT5	33	4	9	4	5	55
	Srad2	CT1	79	N/A	N/A	N/A	N/A	79
		CT3	56	6	12	N/A	N/A	74
		CT5	52	4	9	4	5	74

Table 4 Average heater power in the day imaging period

Operating Case	Radiator Size	Thermal Control Surfaces	Average Heater Power (W)
Cold Case (T=30°C)	Srad1	CT1	37.4
		CT3	34.7
		CT5	34.1
	Srad2	CT1	55.5
		CT3	51.2
		CT5	50.5