

정지궤도 해색탐재체(GOCI)의 개발

조성익* · 안유환*† · 유주형* · 강금실** · 윤형식**

*한국해양연구원 해양위성센터, **한국항공우주연구원

Development of Geostationary Ocean Color Imager (GOCI)

Seongick Cho*, Yu-Hwan Ahn*†, Joo-Hyung Ryu*, Gm-Sil Kang**, and Heong-Sik Youn**

Korea Ocean Satellite Center (KOSC), Korean Ocean Research & Development Institute (KORDI)*

Korea Aerospace Research Institute (KARI)**

Abstract : In June 2010, Geostationary Ocean Color Imager (GOCI), the world's first ocean color observation satellite will be launched. GOCI is planned for use in real-time monitoring of the ocean environment around Korean Peninsula by daily analysis of ocean environment measurements of chlorophyll concentration, dissolved organic matter, and suspended sediments taken eight times per day for seven years. GOCI primary data will support a fishery information service and red tide forecasting, and ocean climate change research. In this paper, the development background of GOCI, user requirements, GOCI architecture, and the GOCI on-orbit operational concept are explained.

Key Words : Geostationary Ocean Color Imager, Three Mirror Anastigmat, Radiometric Calibration.

요약 : 정지궤도에서는 세계 최초로 개발된 정지궤도 해색위성(GOCI)이 2010년 6월에 발사될 예정이다. GOCI는 발사 이후 7년간 매일 주간(晝間) 8회 한반도 주변 해양의 클로로필 농도, 용존유기물 농도, 부유물질의 양 등 해양환경분석자료를 생산함으로써 한반도 주변 해양환경의 실시간 감시 임무를 수행할 계획이다. 정지궤도 해색위성의 관측 자료는 어장정보 제공 서비스 및 적조 등 해양재해 예측에 활용될 예정이며, 정지궤도 해색위성에서 산출된 해양의 일차생산력 자료는 해양 탄소순환 연구에 활용되어 해양의 기후변화를 연구하는 데 유용하게 활용될 수 있다. 본 연구에서는 정지궤도 해색위성의 개발 배경 및 사용자 요구사항, 하드웨어 구조, 센서 운용 개념에 대해 설명한다.

1. 서론 및 개발 배경

1) 해양원격탐사의 역사

인공위성을 이용한 해양원격탐사는 1978년 미항공우주국(NASA, National Aeronautics and Space

Administration)에서 개발한 Nimbus-7 위성의 해양 관측 탑재체인 CZCS(Coastal Zone Color Scanner)의 발사 이후에 본격적으로 시작되었다(안유환 외, 1999). CZCS로 촉발된 해양원격탐사는 해양광학, 생물광학, 해양생태, 지화학, CO₂ Cycle, 장기기후변화 등 다양한 연구 분야에 있어 엄청난 파급효과를 불러일으켰으며,

접수일(2010년 4월 1일), 수정일(1차 : 2010년 4월 15일, 2차 : 4월 22일), 게재확정일(2010년 4월 22일).

† 교신저자: 안유환(yhahn@kordi.re.kr)

현재 유럽우주기구의 MERIS(MEDium Resolution Imaging Spectrometer), 미국의 MODIS(Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), 인도의 OCM (Ocean Colour Monitor II)와 같은 다양한 해양 관측위성들이 운용되고 있다(안유환 외, 1999).

2) 정지궤도 해양관측위성 개발의 필요성

기존 해양관측위성들은 전부 고도 약 700km의 극궤도인 태양동기궤도에 위치하여 일반적으로 2~3일에 1회 전지구 영상을 얻을 수 있는 장점이 있다. 하지만 동일 지역을 1일 1회 관측할 수밖에 없어 적조 및 부유 퇴적물의 이동과 확산, 조류에 의한 연안 해양환경의 변화 등 매시간 단위로 급변하는 해양환경의 일변화 현상(Diurnal Variation)을 제대로 관측할 수 없었다. 또한 구름이나 안개, 혹은 짙은 농도의 에어로졸이 관측해역 상공에 위치할 경우 관측 자료 취득이 어려워 위성자료의 활용도가 저하되는 문제가 있었다. 이러한 극궤도 해양관측위성의 한계를 극복하기 위한 방안으로 동일지역을 상시 관측할 수 있는 정지궤도에서의 해양관측위성 개발 필요성이 국제해색원격탐사연구자그룹인 IOCCG(International Ocean-Colour Coordinating Group)을 중심으로 꾸준히 제기되어 왔다(Morel, 1998). 특히 한반도의 경우 연안지역을 중심으로 다양한 해양의 일변화 현상을 보이고 있으며, 봄철 황사 등 대기의 활동도 활발하기 때문에 다른 나라에 비해 정지궤도에서의 해양관측위성 개발을 위한 연구가 일찍부터 한국해양연구원을 중심으로 꾸준히 수행되었다(안유환 외, 1999).

3) 정지궤도 해색위성 개발 경과

정지궤도 해색탐재체(GOCI, Geostationary Ocean Color Imager)은 통신해양기상위성(현 천리안위성)의 해양탐재체로 2003년부터 개발이 본격적으로 진행되었으며, 국토해양부의 지원 아래 주사용자인 한국해양연구원의 해양위성센터를 중심으로 한국항공우주연구원과 프랑스의 위성개발회사인 아스트리움(EADS Astrium)사가 공동 개발하였다. 정지궤도 해색위성의 영문 약칭인 GOCI를 우리말로 번역하면 원래 정지궤도 해색 영상기 또는 탐재체이나, 본래 정지궤도 해색위성이 통신해양기상위성의 탐재체 개념이 아닌 별도의 독

자적인 정지궤도 해양관측위성으로 추진되었던 사업의 특수성과, 국문 표기 시 일반인들도 보다 쉽게 이해할 수 있도록 하기 위해 본 논문에서는 GOCI로 표기한다. 약 7년간의 개발기간이 소요된 GOCI은 2010년 6월경, 남미 프랑스령 기아나에 위치한 쿠루 우주기지에서 아리안-V 발사체로 발사될 예정이다.

4) GOCI 활용 및 기대효과

발사 이후, GOCI 주관운영기관인 한국해양연구원의 해양위성센터에서는 관측자료를 이용하여 해류의 순환, 해색, 탁수의 분포 등 첨단 해양환경정보를 실시간으로 제공할 예정이다. 이러한 서비스를 통해 적조와 녹조 등 급변하는 해양의 이상현상에 의한 해양 재해 예측에 따른 피해 저감 및 어장정보 산출을 통한 한반도 주변 해양의 효율적인 어족자원 관리가 가능하다. 궁극적으로 어민 소득 향상 등 국민들의 실생활 개선에 기여할 수 있을 것으로 기대하고 있다. 뿐만 아니라 GOCI에서 산출된 해양의 일차생산력 자료는 해양 탄소순환 연구의 핵심 연구자료로서 해양의 기후변화를 연구하는 데 유용하게 활용될 수 있다(Campbell *et al.*, 2008). 그 외에도 가시광선 및 근적외선 영역의 8개 협대역 밴드로 500m급 고해상도 관측을 수행하는 GOCI의 특성으로 인해 태풍, 해빙, 산불, 황사 모니터링 등 육상 및 대기 원격탐사 분야에서도 상당한 성과를 낼 수 있을 것으로 기대하고 있다.

2. GOCI의 주요 임무

GOCI 개발을 위해 주요 임무 및 사용자 요구사항 관련 선행연구를 수행한 “정지궤도 해양위성 탐재체 선행연구”(안유환 외, 2002)에서 정의된 정지궤도 해색위성의 임무는 다음의 네 가지로 정의되었다.

1) 한반도 주변 실시간 해양환경 감시

기존의 선박 및 부이를 이용한 현장관측의 경우 관측 장소 및 시간의 제약으로 인해 이를 보완하기 위한 방안의 하나로 한반도 주변 해양의 전지역을 24시간 모니터링할 수 있는 GOCI의 개발이 추진되었다. GOCI는 매일 주간(晝間) 8회 동일한 관측지역(한반도 주변 해양)

에서 동일한 시간간격(1시간)으로 생산되는 관측 자료를 바탕으로 적조 및 녹조 등 이상 해황을 관측하고, 연안 해양환경 모니터링 및 주변 해양영토 및 환경변화를 실시간으로 감시하는 임무를 수행할 예정이다.

2) 해양의 클로로필 등 어장정보 생산 및 서비스

매시간 관측자료를 생산하는 GOCI에서 생산할 수 있는 해류 벡터 및 해색 등 수산관련 첨단 관측정보를 어민 등 관계자들에게 실시간 제공함으로써 어획량을 증대시키고 동시에 효율적인 어족자원 관리를 통해 궁극적으로 어민의 소득향상을 가능하게 한다.

3) 장단기 연안 및 중규모 해양환경 변동의 감시

GOCI로부터 얻어지는 관측 자료는 한반도 주변의 부유·퇴적물 이동 혹은 오염물 현황, 해류 순환 및 해양생태계 감시 등에도 유용하게 활용하고, 국가 간 자료 교환 및 공동연구에 의한 해양의 장기기후변화 연구에 활용되어 국제적으로 추진하고 있는 “전지구적 지구관측시스템들의 시스템”인 GEOSS(Global Earth Observation System of Systems) 구축에 필요한 자료를 제공할 수 있다.

4) 해양위성자료의 생산 및 서비스

GOCI에서 매일 주간 8회 생산하는 해양위성 관측자료는 주관운영기관인 한국해양연구원 해양위성센터에서 직수신하여, 각종 표준 위성자료를 생산하고, 저장, 관리한다. 저장된 위성자료는 웹 서비스를 통하여 정부기관 및 연구자, 일반인에게 제공된다. SeaWiFS, MODIS, NOAA 등 기존의 해양관측위성자료 역시 수신 및 배포한다. 또한 지속적인 해양 관측을 위하여 후속위성 및 새로운 해양 환경 분석 알고리즘에 대한 연구/개발을 수행한다.

3. GOCI 주요 요구사항 및 제원의 결정

GOCI은 주사용자인 한국해양연구원 해양위성센터를 중심으로 국내외 해양 원격탐사 전문가들의 의견 수렴을 통해 주요 사용자 요구사항을 결정하여, 개발 예산 및 일정, 그리고 기술적 구현가능성을 모두 검토하여

GOCI의 활용성을 극대화할 수 있도록 주요 요구사항을 결정하였다(안유환 외, 2002).

1) 관측 파장대 및 밴드 선정

해색을 관측하는 GOCI에서 관측 밴드는 해수색 신호로부터 해양환경을 분석하는 해수색 밴드와 정확한 해수색 신호를 추출하기 위한 대기신호 보정을 위한 대기보정 밴드로 구분할 수 있다. 일반적으로 밴드수가 증가할수록 사용자 입장에서는 관측자료로부터 정확도 높은 다양한 정보를 추출할 수 있는 장점을 중심으로 관측자료의 양이 증가함으로써 야기되는 위성 개발상의 난점 및 기술적 구현 가능성 등을 종합적으로 고려하여 관측 파장대와 밴드를 선정하였다. 밴드의 관측 대역인 밴드폭의 경우 밴드폭이 넓을수록 넓은 파장대역의 빛을 받을 수 있기 때문에 신호대잡음비(SNR, Signal to Noise Ratio)가 높고 신호의 세기가 안정된 관측이 가능하나, 밴드 폭이 넓을수록 해수의 세밀한 광특성을 정밀 분석하는 것이 어려워지게 된다. GOCI의 경우 기존 해양원격탐사자료와의 호환성 및 원활한 관측 수행을 위해 현재 운용중인 해양관측위성 관측밴드를 기준으로 관측밴드의 중심 파장 및 밴드폭을 선정하였다. 아울러 한국해양연구원에서 직접 개발한 형광법 등 새로운 해양환경 분석기술을 적용하기 위한 밴드인 밴드 5(660nm), 밴드6(680nm)를 추가하는 등 GOCI의 임무에 최적화된 밴드 요구사항을 선정하였다. GOCI 개발에 실제 적용된 각 밴드별 중심 파장 및 밴드 폭은 아래의 Table 1에 정리하였다.

2) 신호대잡음비(SNR, Signal to Noise Ratio)

SNR 값은 평균 입사되는 광세기를 기기의 Noise Equivalent Radiance (NE Δ R)로 나누어 준 값으로 정의된다 (SNR = Nominal Radiance / NE Δ R). 해색 센서의 최저 NE Δ R의 값은 파장에 따라 변화하나 대체로 0.02W · m⁻² · μ m⁻¹ · sr⁻¹에서 0.05W · m⁻² · μ m⁻¹ · sr⁻¹정도의 범위에 위치하도록 설계하였다. 기존에 개발되었던 위성들의 SNR 성능을 살펴보면, 세계 최초로 개발되었던 CZCS의 SNR은 150~270 정도에 불과했다. 이후 개발된 일본의 해양관측위성인 OCTS (Ocean Color Temperature Scanner)의 경우 640~1,450으로 급격히 성능이 향상된다. 1997년에 발사된

Table 1. Spectral Bands Characteristics and Requirements of Geostationary Ocean Color Imager (GOCI)

Band	Central wavelengths	Band width	SNR	Type	Primary Application
B1	412 nm	20 nm	1,000	Visible	Yellow substance and turbidity
B2	443 nm	20 nm	1,090	Visible	Chlorophyll absorption maximum
B3	490 nm	20 nm	1,170	Visible	Chlorophyll and other pigments
B4	555 nm	20 nm	1,070	Visible	Turbidity, suspended sediment
B5	660 nm	20 nm	1,010	Visible	Baseline of fluorescence signal, Chlorophyll, suspended sediment
B6	680 nm	10 nm	870	Visible	Atmospheric correction and fluorescence signal
B7	745 nm	20 nm	860	NIR	Atmospheric correction and baseline of fluorescence signal
B8	865 nm	40 nm	750	NIR	Aerosol optical thickness, vegetation, water vapor reference over the ocean

미국의 SeaWiFS(Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor)의 경우 730~1,170 정도로 OCTS와 유사한 값이었다. MODIS의 경우 SNR 성능이 520~1,090정도이다. 1999년에 발사된 한국의 다목적실용위성1호에 탑재되었던 OSMI(Ocean Scanning Multispectral Imager)는 SNR 이 350~450으로 기존의 해양관측위성과 비교시 SNR 성능이 낮은 편이었다. Table 1에 정리된 각 밴드별 정지궤도 해상위성 SNR 사용자 요구사항은 750~1,170으로, 이는 기존 극궤도보다 약 30~40 배 높은 약 35,687km 상공에 위치한 정지궤도의 특성을 고려할 때 기술적으로 높은 수준의 요구사항으로 판단할 수 있다.

3) 각 밴드별 관측 복사량(Radiance) 영역

해수 신호의 크기는 아주 약한 신호(적조 발생해역)부터 아주 강한 신호(높은 부유물 농도 해역)까지 그 범위가 상당히 넓다. 특히 육상 신호나 대기의 구름, 에어로졸까지 생각한다면 신호의 크기 범위는 더욱 넓어진다. 일반적으로 GOCI와 같은 해상센서의 신호 수광범

위(Dynamic Range)는 센서에 탑재된 CCD와 CMOS와 같은 광검출 소자 내부의 광검출을 위한 전하우물의 크기 등 소자의 구조적 특성에 의해 기본적으로 좌우된다(양성현과 조경록, 2001). GOCI에 탑재 가능한 우주용 광검출 소자 연구에서 해수신호와 구름신호를 모두 동시에 검출할 수 있는 넓은 수광범위를 가지면서 SNR이 높은 소자의 제작은 주요 화두이다(양성현과 조경록, 2001). GOCI에서는 위성체 내에서의 내부 신호처리(On-board Processing)을 통해 소프트웨어적인 방법으로 이득(Gain)을 조정하여 해수신호를 검출하기 위한 고이득 영상(High Gain Image)과 구름 신호를 검출하기 위한 저이득 영상(Low Gain Image)를 각각 촬영한다. 이를 위성체 내의 자료처리를 통해 하나의 영상으로 합성하여 지상으로 전송하는 방법을 적용하였다. 각 밴드별로 고이득 영상은 Noise Equivalent Radiance부터 Saturation Radiance 범위의 신호를 검출하며, 저이득 영상은 Saturation Radiance부터 Maximum Cloud Radiance 범위에 해당하는 신호를 검출하도록 개발되었다. 실제 GOCI 임무수행에 있어 중요한 해수

Table 2. Radiance Characteristics and Requirements of GOCI

Band	Centre wavelengths	Nominal Radiance	Maximum Radiance	Saturation Radiance in High gain	Saturation Radiance in Low gain
B1	412 nm	100	150.0	152.0	601.6
B2	443 nm	92.5	145.8	148.0	679.1
B3	490 nm	72.2	115.5	116.0	682.1
B4	555 nm	55.3	85.2	87.0	649.7
B5	660 nm	32.0	58.3	61.0	589.0
B6	680 nm	27.1	46.2	47.0	549.3
B7	745 nm	17.7	33.0	33.0	429.8
B8	865 nm	12.0	23.4	24.0	343.8

신호를 검출하는 고이득 영상의 범위는 Saturation Radiance로 결정된다. 본 연구에서는 현장 해양에서 얻어지는 해수신호와 이론적으로 얻어질 수 있는 공기 분자 산란신호 그리고 실제 우주에서 보이는 대기 에어로졸 신호의 GOCI 관측영역에서의 광행로(Optical Path) 등을 고려하여 Saturation Radiance를 정의하였다. 정지궤도 해색위성의 각 밴드별 관측 복사휘도 영역 요구사항은 Table 2와 같다.

4) 공간해상도 및 관측영역

기존의 극궤도 해양관측위성들과 같이 지구 전역의 글로벌한 해양현상을 관측하는 것이 주목적인 경우 공간해상도가 1km인 경우에도 충분히 임무를 수행할 수 있음이 현재 운용되고 있는 해양관측위성 자료를 이용한 활용연구결과를 통해 확인되었다. 하지만, 연안의 정밀한 해양현상을 관측하기 위해서는 공간해상도가 최소 250m는 되어야 한다(Morel, 1998). GOCI의 경우 한반도 주변의 동해, 남해, 서해 그리고 동중국해 전 해역을 포함하는 해상환경, 생태변화, 수리환경 등의 중규모 해양현상 관측을 주요 임무로 하고 있기 때문에, 글로벌한 대양관측과 연안 관측의 중간인 500m의 공간해상도를 요구사항으로 결정하였다. 관측 영역은 동일한 지역을 하루에도 수차례 이상 관측할 수 있는 정지궤도의 특성을 고려하여 대한민국 포항의 인근해인 동경 130도 북위 36도를 중심으로 남북 2,500km 동서 2,500km를 관측영역으로 결정하였다. 관측영역 중심(동경 130도, 북위 36도)을 기준으로 500m 공간해상도가 요구사항인 관계로 적도상공에 위치한 정지궤도위성의 특성상 저위도 지역에서는 500m 이하의 높은 공간해상도를 가지며, 고위도 지역에서는 500m 이상의 낮은 공간해상도를 가진다. 이러한 특성을 고려한 GOCI의 공간해상도 요구사항은 전체 관측영역 기준으로 500m ± 100m이다. GOCI의 관측영역은 Fig. 1과 같이 정의되어 있으며, GOCI의 순간 관측범위(Instantaneous Field of View)에 해당하는 슬롯영상 16개(4×4)를 조합하여 전체 관측영역 영상을 획득한다.

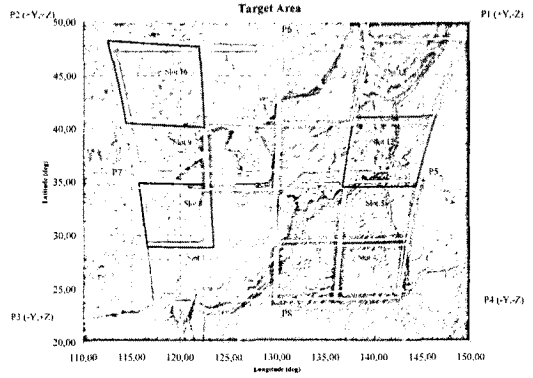


Fig. 1. GOCI observation Coverage is 2,500km x 2,500km centered at 130° E, 36° N. GOCI coverage consists 16 slots of which size is equivalent to the GOCI IFOV.

4. 정지궤도 해색위성 주요 사양 및 하드웨어 구조

1) 셔터힐 및 구동부(SCM, Shutter Calibration Mechanism)

GOCI는 정지궤도 해색위성의 관측 대기시 광학계 내부 보호를 위한 셔터, 야간의 센서 광학 보정에 사용되는 반투명판 태양광 확산기(SD, Solar Diffuser), 이 확산기의 특성변화를 모니터링하기 위해 태양광 확산기와 동일한 용융 실리카(Fused Silica) 기반의 QVD(Quasi-Volumic Diffuser) 타입으로 제작된 태양광 확산기 특성변화 감시기(DAMD, Diffuser Aging Monitoring Device)를 포함하고 있다.

2) 지향거울 및 구동부(POM, Pointing Mirror Mechanism)

정지궤도 해색위성의 16개 관측슬롯 영역을 선택하기 위한 지향거울(PM, Pointing Mirror)과 이를 구동하는 2축 구조의 지향거울 구동부(POM, Pointing Mirror Mechanism)로 구성되어 있다. 정지궤도 해색위성에 탑재된 지향거울은 기존의 일반적인 2축 짐벌 구조가 아닌 2축경사 방식을 적용하여 16개의 고정된 관측슬롯을 효율적으로 촬영할 수 있도록 설계하였다. 2축경사 방식의 지향 안정성(Pointing Stability)은 짐벌 구조 대비 26배 정도 뛰어난 안정성을 가지고 있는 것으로 확인되었다(연정흠 외, 2006).

3) 광학계

관측영상 획득을 위해 정지궤도에서의 안정적인 광학 성능 확보를 위한 TMA(Three Mirror Anastigmat) 설계를 적용한 3개의 비구면 주저울 및 1개의 광경로 변환 거울(FM, Folding Mirror)과 이를 지지하는 구조부로 구성되어 있다. 광학계를 구성하는 모든 부품은 극심한 우주환경에서도 요구된 광학성능을 유지하기 위해 강성이 우수하고 열팽창율이 낮아 우주환경특성이 우수한 실리콘 카바이드(SiC)로 제작하였다(Cho *et al.*, 2009). 광경로 변환거울의 경우 지향거울에서 발생한 편광(Polarization)을 보상하고 전체적인 탑재체 크기를 소형화하기 위해 광경로를 90° 꺾는 역할을 수행한다.

4) 필터휠 및 구동부(FWM; Filter Wheel Mechanism)

GOCI의 8개 밴드별 영상 획득을 위한 8개 관측밴드 필터 선택 및 암흑보정에 필요한 암흑영상 활용을 위한 암흑판(Dark Plate) 등 총 9개의 필터로 구성된 필터휠과 이를 구동하기 위한 1축 모터로 구성된 구동부(FWM, Filter Wheel Mechanism)로 구성되어 있다. 각 밴드별 필터는 광학계 내부반사에 의해 발생하는 고스트(Ghost) 영상을 최대한 억제하기 위해 2개의 기판(Substrate)으로 구성되어 있다.

5) 광검출부

관측시간의 차이로 인해 발생하는 오차인 지터가 발생하는 일반적인 1차원 스캐닝 방식의 광검출 구조에서, 검출기 촬영범위만큼의 영역을 동시에 촬영할 수 있는 정지궤도의 특성을 반영한 2차원 배열 형태인 2D CMOS 타입의 2백만 화소급(1415×1432) 광검출기를 정지궤도 해상위성의 광검출소자로 적용하였다. 적도 상공에 위치한 정지궤도 위성에서 한반도 주변을 관측할 경우 관측 경사각이 존재하기 때문에 이를 보정하기 위해 직사각형 형태(14μm×11μm)로 화소를 설계하여 정지궤도 해상위성에 특화된 검출기를 별도로 제작하였다. 전단부 전자회로(FEE, Front End Electronics)는 광검출기에서 전기신호로 변환된 관측신호의 증폭 및 내부전자유닛으로의 전송을 담당하는 동시에 검출기에 전력을 공급하고 신호를 동기화하는 역할을 수행한다.

6) 내부 전자 유닛(IEU, Internal Electronics Unit)

정지궤도 해상위성 관측 원시자료의 신호처리 및 서터, 필터 및 지향미러 구동부 등 전기모터로 구성된 구동부의 제어 및 정지궤도 해상위성에 전력 공급 및 관리 등 해양위성 운용과 관련한 대부분의 기능이 내부 전자 유닛에 포함되어 있다.

총 6개 서브 시스템으로 구성된 GOCI의 구조 및 주

Table 3. Specification of GOCI

Description	Specification
Detector	CMOS (2D, 1415 × 1432 pixels)
Image capture (sequence)	2D Staring frame capture
	Dark Signal -> High gain -> Low gain -> Dark Signal
Radiometric Calibration	Solar diffuser & DAMD(Diffuser Aging Monitoring Device)
Resolution (GSD)	500m × 500m
Total FOV	16 slots, 5,300 × 5,300 Pixels
Coverage	2,500km × 2,500km
Satellite Location	
Longitude	128.2°E
Altitude	35,786km
Pupil Diameter of Pointing Mirror	140mm
SNR	> 1,000
MTF	> 0.3
Number of Spectral Bands	8 Bands (6-Visible and 2-NIR)
Spectral Coverage	400 ~ 900nm (for 8 bands)
Digitization	≥ 12 bits

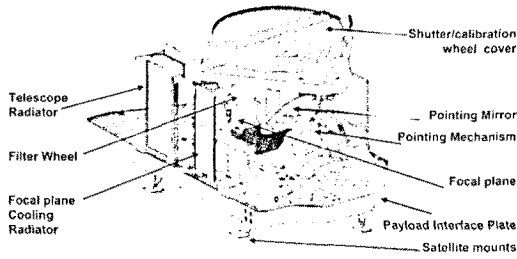


Fig. 2. GOCI Instrument : Shutter Calibration Mechanism (SCM), Telescope, Pointing Mirror (PM), Pointing Mechanism (POM), Filter Wheel, and Focal Plane Array (FPA)

요 사양은 각각 Fig 2와 Table 3으로 정리하였다.

5. GOCI의 센서 운용개념

1) 주간(晝間) 영상 촬영

GOCI의 2,500km×2,500km 관측영역 영상을 효율적으로 처리하여 획득하기 위해 GOCI가 한 번에 촬영할 수 있는 범위에 해당하는 슬롯영상 16개를 지향거울을 이용하여 구분하여 촬영한 후, 지상국에서 각 16개 슬롯영상을 조합하여 하나의 GOCI 관측영상을 생산하도록 개발하였다. 16개의 슬롯영상을 각각 촬영하기 위해 Fig. 1에서 정의된 0번부터 15번까지의 슬롯을 2축 경사 구조의 지향거울 메커니즘을 구동하여 0번 슬롯부터 15번 슬롯까지 순서대로 촬영한다. 각 슬롯 영상은 8개의 밴드 영상 및 암흑보정을 위한 2개의 암흑 영상으로 구성되어 있으며, 하나의 슬롯 영상 촬영 시 1축 구조의 필터휠 구동을 통해 각 밴드별 영상을 획득한다. 한 슬롯 영상 촬영 시 이루어지는 밴드별 촬영 순서는 효율적인 암흑보정 및 기하보정 정확도 향상을 위하여, 암흑 영상1 → 밴드 5 → 밴드 4 → 밴드 7 → 밴드 2 → 밴드 6 → 밴드 1 → 밴드 8 → 밴드 3 → 암흑영상2의 순서로 이루어진다. GOCI의 경우 1시간 간격으로 연속적인 촬영이 가능하도록 하게 한 요구사항을 만족하기 위해 16개의 슬롯 영상 촬영 및 전송이 각각 30분 내로 이루어지도록 제작되었으며, 한 슬롯의 촬영이 끝남과 동시에 처리된 자료가 바로 지상으로 전송되도록 설계되었다. GOCI는 매일 주간(晝間)에는 한 시간 간격으로 총 8회 전체 관측영역 영상을 촬영하여 지상으로 전송하도록

개발되었다.

2) GOCI의 궤도상 복사보정

GOCI에서 관측된 자료는 해양위성센터에 의해 표준 자료 배포서비스가 이루어질 예정이다. GOCI 표준자료의 지속적인 품질관리를 위해서는 위성 운용기간 중 우주 방사선, 태양풍, 우주먼지 등과 같은 극심한 우주환경에 의해 변화되는 GOCI 센서의 특성을 정확하게 모니터링하고 이를 보정하는 궤도상 복사보정이 지속적으로 수행되어야 한다. 궤도상 복사보정은 위성에서 수신되는 원시자료(Raw Data)의 DN(Digital Number)값을 실제 해양 원격탐사연구에 사용되는 복사량으로 변환하는 위성자료 전처리과정에 사용되는 복사 모델(Radiometric Model)의 계수인 선형이득(Linear Gain)과 비선형이득(Non-linear Gain)값을 계산하고 업데이트하는 일련의 과정으로 정리할 수 있다. GOCI의 궤도상 복사보정에 사용되는 복사 모델은 식(1)로 정리하였다.

$$DN = G(L \cdot T) + b(L \cdot T)^3 + R \quad (1)$$

위의 식(1)에서 G는 선형이득, b는 비선형이득을 의미한다. 지상시험 결과 GOCI에서 사용하는 2D CMOS 타입의 광검출 소자는, 입사되는 광자에 대하여 DN이 3차 함수의 형태로 정의할 때 가장 효율적인 복사보정이 가능한 것으로 확인되었기 때문에, GOCI 복사모델은 3차 함수로 결정하여, 1차항의 계수를 선형이득, 3차항의 계수를 비선형이득으로 정의하였다. GOCI 복사모델은 센서에 입사되는 총광량에 대한 센서의 반응 특성을 수식화한 것이다. GOCI 광검출소자의 특성상 DN이 입사되는 광자의 개수에 비례하며, 이는 노출시간과 휘도의 곱에 비례하므로, 결론적으로 GOCI 복사 모델에서 위성에서 측정된 DN은 입사광의 복사휘도(L)와 노출시간(T)의 곱에 대한 함수로 정의된다. R은 입사광이 완전히 차단된 상태에서 해당 영상의 노출시간에 비례하는 GOCI 전자회로부의 전기적 특성에 의한 기본 배경잡음을 의미한다.

일반적인 원격탐사위성의 궤도상 복사보정은 정확한 복사 모델 이득값 결정의 핵심이 되는 기준 광원(Reference Light Source)으로 구분할 때 크게 태양광 보정, 월광 보정, 램프 보정으로 구분된다. GOCI는 정

지궤도의 특성상, 주간(晝間)관측에 영향을 주지 않으면서 정기적인 관측이 가능하고, 기준광원의 입사광량을 정확하게 계산 가능한 태양을 기준광원으로 결정하였다. 태양광 보정시 GOCI 광검출기를 구성하는 모든 200만 화소에 균일하게 확산된 실제 관측영상 수준의 광량을 가진 빛을 입사하기 위한 태양광 확산기와 우주 환경에 의해 저하되는 태양광 확산기의 특성 저하를 모니터링하고 이를 보정하기 위한 태양광 확산기와 태양광 확산기 특성변화 감시기가 GOCI에 탑재되었다. 원활한 태양광 복사보정 수행을 위해 GOCI는 매일 야간에 최소 1회 태양광 확산기 그리고 매 10일마다(TBD) 태양광 확산기 특성변화 감시기를 이용한 궤도상 복사보정을 수행할 계획이다.

6. GOCI의 지상 성능시험

GOCI의 제작이 완료된 이후 수행된 지상시험의 결과 밴드 2, 밴드 3 에서 탑재체 내에서의 산란 및 반사로 인한 떠돌이 빛(Straylight)이 발생하는 것을 확인하였으나, 전체 신호 대비 0.2~0.3% 수준으로 다른 해양위성 및 광학위성 대비 매우 양호한 수준임을 확인하였다. 광학 필터 및 검출기 보호 창 등 주로 투과형 광학계의 내부 반사로 인해 GOCI의 관측 영상에 생성되는 허상인 고스트도 지상 성능시험을 통해 확인하였다. GOCI의 경우 밴드 6과 밴드 8을 제외한 모든 밴드에서 신호 대비 고스트 비율이 0.3% 이하로, 기존 해양위성 및 광학위성 대비 우수한 성능을 보여주고 있음을 확인하였다. 밴드 6과 밴드 8의 경우 고스트 비율이 각각 1.2%,

0.9% 수준임이 확인되었다. 다른 밴드에 비해 고스트 비율이 높은 밴드 6과 밴드 8의 경우 해양위성센터와 국외위성개발사가 공동으로 GOCI에 특화된 고스트 제거 프로그램을 개발하여 운용에 활용할 예정이다. GOCI의 주사용자인 한국해양연구원 해양위성센터에서 요청한 주요 성능 요구사항도 지상시험 및 분석 결과 모두 만족하는 것으로 확인되었다. 실제 원격탐사 연구자들이 이용하는 위성영상의 성능은 관측센서의 성능뿐만 아니라 위성 본체인 버스시스템의 자세제어능력에 따른 지향정밀도 등 위성체 성능이 모두 포함되어 있기 때문에, 사용자 요구사항 만족 여부를 확인하기 위해서는 관측센서의 특성 및 위성 본체의 특성도 모두 포함된 위성체 레벨의 성능분석이 이루어져야 한다. 아래의 Table 4는 GOCI 성능에 대한 사용자 요구사항 대비 실제 지상에서 측정하고 분석된 위성체 레벨의 성능분석결과를 표로 정리한 것이다.

7. 결론

적조와 녹조의 이동과 확산 및 조류의 변화 등 한반도 연안의 다양한 해양 일변화 현상을 효과적으로 관측하고 구름과 황사 등 활발한 한반도 주변의 대기 활동으로 인한 해양위성 자료의 활용도를 극대화하기 위해 정지궤도에서는 세계 최초의 정지궤도 해상위성이 성공적으로 개발되어 2010년 6월로 예정된 발사를 앞두고 있다. GOCI는 한국해양연구원을 비롯한 다양한 사용자들의 요구사항을 수용하기 위해 TMA 구조 등 새로운 광학계 설계를 적용한 세계적 수준의 위성 광학탐사체로

Table 4. GOCI Performance Verification at Pre-Flight Ground Test

Performance Criteria	Units	Spec.	Performance
Signal to Noise Ratio	None	1000	1397
Modulation Transfer Function	None	0.3	0.3
Absolute Radiometric Accuracy	None	4%	3.80%
Pixel to Pixel Response Non-Uniformity	None	1%	1%
No. of Pixels not meeting Rad Req.	None	0.10%	0.05%
Image Navigation	μ rad	28	8.3
Image Registration within Frame	μ rad	28	2.1
Registration Accuracy Between Repeated Images	μ rad	28	12.3
Band to Band Co-Registration	μ rad	7	4.2

개발되었다. 발사 이후 지속적인 위성자료 품질관리를 위해 설계단계에서부터 충실히 궤도상 복사보정을 수행하기 위한 서브시스템 및 알고리즘 개발이 이루어졌으며, 발사 전 지상시험을 통해 사용자 요구사항을 충분히 만족하고 있음을 확인하였다. 발사 후 GOCI는 한반도 주변 해양환경의 실시간 감시 임무뿐만 아니라 해양 탄소순환 연구를 통한 기후변화 연구에도 매우 유용하게 활용될 수 있을 것으로 기대되고 있다.

사 사

본 연구는 국토해양부 연구개발사업인 “정지궤도 해상위성 활용연구지원” 사업(PM55660), “해양위성센터 구축” 사업(PM55490) 및 한국해양연구원의 기본 연구사업인 “해양위성센터 운영 및 기능고도화” 사업(PE98492)으로 수행되었습니다.

참고문헌

- 안유환, 유홍룡, 유신재, 석문식, 김태림, 문은선, 문정연, 1999. 종합해양관측위성의 사전 조사 연구, 한국해양연구소, pp. 58-59
- 안유환, 유홍룡, 유신재, 문정연, 산무감, 최성봉, 남문경, 윤형식, 양근호, 용상순, 서영상, 김승범, 김문규, 기창돈, 오임상, 2002. 정지궤도 해양위성 탑재체 선행연구, 한국해양연구소, pp.19-22, 23, 35-41
- 양성현, 조경록, 2001. 광대역의 동작 범위(Dynamic Range)를 갖는 CMOS 이미지 센서 설계, 전자공학회지, 38SC(3): 31-39
- 연정흠, 강금실, 윤형식, 2006. 해양탑재체 스캔 메커니즘의 포인팅 안정성 연구, 한국원격탐사학회지, 22(6): 595-600.
- Cho, S. I., Y. H. Ahn, H. J. Han, and J. H. Ryu, 2009. Prelaunch Characterization of the Geostationary Ocean Color Imager, SPIE Optics + Photonics 2009, San Diego, USA, 2-6 August.
- Campbell, J., P. DiGiacomo, A. Bingham, C. Bruce, and M.-E. Carr, 2008. Coastal Ocean Carbon Observations and Applications(COCCA) Mission, NASA GEO-CAPE 2008 Workshop, Chapel Hill, North Carolina, 18-20 August.
- Morel, A., 1998. Minimum Requirements for an Operational, Ocean-Colour Sensor for the Open Ocean, IOCCG Report Number 1, 28-29.