

## 천리안해양관측위성을 활용한 해양 재난 검출 시스템\*

양 현\*\* · 유정미\*\*\* · 한희정\*\*\* · 유주형\*\*\* · 박영제\*\*\*

### Ocean Disaster Detection System(OD2S) using Geostationary Ocean Color Imager(GOCI)

Hyun Yang\*\* · Jeung-Mi Ryu\*\*\* · Hee-Jeong Han\*\*\*  
Joo-Hyung Ryu\*\*\* · Young-Je Park\*\*\*

#### ■ Abstract ■

We developed the ocean disaster detection system(OD2S) which copes with the occurrences of ocean disasters (e. g. the red and green tide, the oil spill, the typhoon, and the sea ice) by converging and integrating the ocean color remote sensing using the satellite and the information technology exploiting the mass data processing and the pattern recognitions. This system which is based on the cosine similarity detects the ocean disasters in real time. The existing ocean color sensors which are operated in the polar orbit platforms cannot conduct the real time observation of ocean environments because they support the low temporal resolutions of one observation a day. However, geostationary ocean color imager(GOCI), the first geostationary ocean color sensor in the world, produces the ocean color images(e. g. the chlorophyll, the colored dissolved organic matter(CDOM), and the total suspended solid(TSS)), with high temporal resolutions of hourly intervals up to eight observations a day. The evaluation demonstrated that the OD2S can detect the excessive concentration of chlorophyll, CDOM, and TSS. Based on these results, it is expected that OD2S detects the ocean disasters in real time.

Keyword : IT Convergence, Ocean Disaster Detection System, OD2S, GOCI, Cosine Similarity

논문투고일 : 2012년 09월 14일      논문수정완료일 : 2012년 10월 26일      논문게재확정일 : 2012년 11월 18일

\* This research was a part of the project titled "Support for research and applications of Geostationary Ocean Color Imager(GOCI)" funded by the Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, Korea and partially supported by KORDI projects (KORDI project number PE98781).

\*\* 한국해양과학기술원 해양위성센터, 교신저자

\*\*\* 한국해양과학기술원 해양위성센터

## 1. 서 론

오늘날 정보 기술(IT, Information Technology)의 활용은 과학, 경제, 문화, 산업, 교육 등 전반에 걸쳐 다양하게 적용되고 있다. 사회 각 분야에 정보 기술을 접목하는 IT 융복합은 더 이상 선택이 아닌 필수적인 사항으로 자리매김 하였다. 본 연구는 최첨단 광학 기술과 위성 통신 기술로 대표되는 위성 원격 탐사 분야[7]와 대용량 자료처리[22], 컴퓨터 비전[19] 등의 정보 기술을 융복합하여 해양 재난에 대응할 수 있는 해양재난검출시스템(OD2S, Ocean Disaster Detection System)을 개발하는데 중점을 두고 있다.

지난 2010년 성공적으로 발사된 천리안해양관측 위성(GOCI, Geostationary Ocean Color Imager)<sup>1)</sup>은 한반도를 중심으로 2,500km×2,500km 영역의 해양 환경을 관측하는 세계 최초의 정지궤도 위성 탑재 센서이다[15]. 이 센서는 정지궤도 상에서 한반도 주변 해양 환경을 매일 9시부터 16시까지 매시간마다 촬영하여 총 8회씩 관측할 수 있으며, 500m×500m의 공간 해상도를 지원 한다[5]. 본 연구에서는 이러한 높은 시공간 해상도를 활용하여 해양 환경을 지속적으로 모니터링 하면서 적조 및 녹조, 유류 유출, 태풍, 해빙 등과 같은 재난에 실시간으로 대응할 수 있는 검출 시스템의 개발을 주요 목적으로 하고 있다.

아울러 한국해양과학기술원 해양위성센터로부터 2011년 9월부터 2012년 8월까지 총 1년간의 대용량 위성 영상자료를 제공받아 한반도 주변의 엽록소(CHL, Chlorophyll), 용존유기물(CDOM, Colored Dissolved Organic Matter), 부유물(TSS, Total Suspended Solid) 등의 분포에 대한 시간별 추이에 대해서도 살펴보았다. 엽록소 농도는 적조의 발

생과 밀접한 상관관계를 가지고 있고, 용존 유기물은 해수에 녹아 있는 유기화합물로 연안환경에 많은 비중을 차지하고 있으며 해수에서 영양생물의 중요한 먹이 공급원이다[2]. 부유물은 물속에 떠다니는 물질을 의미하며 해수의 농도 값 및 분포 패턴은 해양 환경, 특히 연안의 환경 변화를 모니터링 하는데 중요한 지표 역할을 한다[3].

앞서 제시한 목적을 달성하기 위해 제 2장에서는 해양관측위성을 활용한 원격탐사의 역사 및 해양 원격탐사용 소프트웨어, 위성을 통한 해양재난 검출 등과 같은 관련연구들에 대해 설명하고, 제 3장에서는 천리안해양관측위성의 영상 자료들을 처리하기 위한 방법론에 대해 고찰하였다. 제 4장에서는 천리안해양관측위성 영상을 활용한 해양재난 검출 시스템에 대해 설명하였으며, 마지막으로 제 5장에서는 결론 및 향후연구에 대해 설명하면서 마친다.

## 2. 관련 연구

### 2.1 해양관측위성 원격탐사

지구의 약 70%를 차지하는 바다를 탐색하기 위해 위성을 활용하여 해양을 관측하는 연구들이 많이 이루어져 왔다. 대표적인 연구기관으로는 미국의 미항공우주국(NASA, National Aeronautics and Space Administration), 유럽연합(EU, European Union)의 유럽우주국(ESA, European Space Agency), 프랑스의 국립우주 연구센터(CNES, Centre National d'Études Spatiales), 일본의 우주항공 연구개발기구(JAXA, Japan Aerospace Exploration Agency) 등이 있다.

미항공우주국은 1978년 세계 최초로 CZCS(Coastal Zone Color Scanner)[14]를 개발하여 전 세계의 해양 환경을 관측하기 시작하였다. 이후 이 기

1) 천리안해양관측위성(GOCI, Geostationary Ocean Color Imager) : 천리안 위성이라고도 불리는 통신해양기상위성(COMS, Communication, Ocean and Meteorological Satellite)의 세 가지 탑재체 중 하나로 해양관측을 목적으로 하는 해양 관측 센서이다.

2) 한국해양연구원(KORDI, Korea Ocean Research and Development Institute)은 2012년 7월에 한국해양과학기술원(KIOST, Korea Institute of Ocean Science and Technology)으로 새롭게 출범하였음.

〈표 1〉 해양관측위성 센서 비교

| 센서    | CZCS | POLDER | OCTS   | SeaWiFS | MERIS | MODIS  | GLI  | GOCI                |
|-------|------|--------|--------|---------|-------|--------|------|---------------------|
| 궤도    | 극    | 극      | 극      | 극       | 극     | 극      | 극    | 정지                  |
| 기관    | NASA | CNES   | JAXA   | NASA    | ESA   | NASA   | JAXA | KORDI <sup>2)</sup> |
| 국가    | 미국   | 프랑스    | 일본     | 미국      | EU    | 미국     | 일본   | 한국                  |
| 출시    | 1978 | 1996   | 1996   | 1997    | 2002  | 1999   | 2002 | 2010                |
| 전용S/W | -    | -      | SeaDAS | SeaDAS  | BEAM  | SeaDAS | -    | GDPS                |

관은 1997년에 SeaWiFS(Sea-viewing Wide Field of view Sensor)[17]를 개발하여 해양 관측 연구를 이어갔으며, SeaDAS(SeaWiFS Data Analysis System)[11]라는 SeaWiFS 전용 소프트웨어를 최초로 범용으로 배포하여 일반 사용자들도 해양 환경을 연구 및 분석할 수 있도록 지원하였다. 1999년에 개발된 MODIS(Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer)[21]는 해양 영상 관측과 해수면 온도를 동시에 관측하는 센서로 장기간 동안 해양 환경을 모니터링하기에 적합하게 설계되었다.

유럽우주국은 2000년에 MERIS(Medium Resolution Imaging Spectrometer)[18]를 개발하였는데, 이 센서는 전 지구를 3일 만에 관측할 수 있으며, 300m<sup>2</sup>의 높은 공간 해상도를 가지고 있다. 또한 BEAM[9]이라는 전용 소프트웨어를 개발하여 일반인에게 배포하고 있다. 프랑스 국립우주연구센터는 1996년 POLDER(Polarization and Directionality of the Earth Reflectance)[8]를 개발하여 전 지구의 해양 환경을 관측하기 시작하였으며, POLDER II와 III가 2002년과 2005년에 각각 개발되어 해양 관측용 위성 센서에 관한 지속적인 연구를 수행 하였다[10].

일본 우주항공연구개발기구는 1996년에 OCTS(Ocean Colour and Temperature Scanner)[16]를 개발하였는데, 당시 기존의 센서들이 가시광적인 해양의 색을 주로 관측하는데 이용된 반면, 이 센서는 해양의 가시광적인 색뿐만 아니라 해수면의 온도까지 측정하는데 이용될 수 있도록 개발되었다. 이후 이 기관은 2002년에 GLI(Global Imager)[20]를 개발하여 가시광적 측정을 위한 센서뿐만

아니라 열적외 영역을 측정하기 위한 센서를 탑재하여 좀 더 다채로운 해양 관측 및 분석이 가능하도록 하였다.

〈표 1〉은 앞서 제시한 해양 관측용 센서를 포함한 기타 해양 관측용 센서들에 대해 요약해 놓은 것이다. 기존의 해양 관측용 센서들이 모두 극궤도에서 운영되는 방식을 채택하고 있는 반면, 천리안해양관측위성은 세계 최초로 정지궤도에서 운영되는 방식을 채택하고 있다.

위성을 활용한 해양 원격 탐사 분야에서 위성 운영 방식은 위성이 위치한 궤도에 따라 극궤도 위성과 정지궤도 위성으로 분류할 수 있다. 극궤도 위성은 지구의 자전속도와 위성의 공전속도가 서로 다른 특성을 이용하여, 위성이 전 지구를 돌면서 모든 지구 표면을 관측할 수 있지만 동일한 영역을 연속적으로 관측하기는 힘들다는 특징이 있다.

최근 해양 생태 환경을 모니터링하고 분석하는 연구의 중요성이 대두되면서 동일한 영역의 연속적인 변화를 지속적으로 관측하기 위한 접근방법이 요구되기 시작하였다. 천리안해양관측위성은 세계 최초로 정지궤도에서 운영되는 해양 관측 센서로 이와 같은 요구사항을 만족하는 유일한 솔루션이다.

〈표 2〉는 극궤도 위성과 정지궤도 위성에 탑재된 관측 센서의 특징을 비교한 것이다. 극궤도 위성이 약 700km~800km의 비교적 낮은 고도에 위치한 반면, 정지궤도 위성은 35,857km로 비교적 높은 고도에 위치해 있다. 극궤도 위성의 이동 궤적이 남극과 북극을 경유하는 경로를 포함하여 전 지구를 포괄하는 반면, 정지궤도 위성은 그 공전

속도가 지구의 자전속도 같아서 동일 지역을 관측한다[23].

〈표 2〉 극궤도 위성과 정지궤도 위성에 탑재된 관측센서의 비교

| 분류     | 극궤도 위성<br>관측센서 | 정지궤도 위성<br>관측센서 |
|--------|----------------|-----------------|
| 고도(Km) | 약 700          | 35,857          |
| 관측방식   | 1D 스캐닝         | 2D 캡처링          |
| 관측주기   | 수 일            | 수 십분            |
| 관측대상영역 | 전지역            | 일부 지역           |

따라서 극궤도 위성에 탑재된 관측 센서는 이동하면서 관측해야하기 때문에 1차원적인 스캐닝 방식의 관측만이 가능 하지만, 정지궤도 위성에 탑재된 관측 센서는 지속적으로 동일한 지역을 관측하기 때문에 2차원적인 캡처링 방식의 관측도 수행할 수 있다.

또한, 극궤도 위성이 지구를 한 바퀴 돌고 와서 같은 지역을 다시 관측하는데 수일이 걸리는 반면, 정지궤도 위성은 지속적으로 같은 장소를 관측하기 때문에 수 시간마다 한 번씩 관측이 가능하다. 관측 영역 측면에서 볼 때, 극궤도 위성은 전 지구를 대상으로 해양의 장기적인 변동을 관측하는 반면, 정지궤도 위성은 국지적인 해양의 단기적이고 미세한 변화를 관측한다. 해양 원격 탐사에서 이러한 정지궤도 위성의 특성을 이용하면 적조 및 녹조, 유류 유출, 태풍, 해빙 등 다양한 해양 재난에 실시간으로 대처할 수 있다.

## 2.2 해양관측위성 원격탐사 소프트웨어

해양관측위성을 이용한 원격탐사 분야에서 위성으로부터 수신한 영상을 표출, 분석, 처리하기 위해 다양한 소프트웨어들이 개발되어 왔다. 표출은 수신한 영상을 확대하거나 축소, 혹은 두 영상을 비교하는 등의 작업을 의미하고, 분석은 수신한 영상을 입력으로 하여 다양한 알고리즘을 적용한 후 목적에 적합한 정보를 이끌어내는 작업을 말한다.

처리하는 영상의 수신이나 배포, 혹은 대용량의 영상을 자동화 하는 등의 작업을 의미한다.

앞서 소개한 해양 관측 위성들은 SeaDAS, BEAM 등의 일반 사용자들을 위해 배포하는 소프트웨어를 보유하고 있다. 천리안해양관측위성 또한 독자적으로 개발한 소프트웨어로 GOCI 데이터 처리 시스템(GDPS, GOCI Data Processing System) [12]을 가지고 있다. 〈표 3〉은 이들 소프트웨어들을 비교한 것이다.

〈표 3〉 해양관측위성 원격탐사소프트웨어 비교

| 분류    | SeaDAS  | BEAM           | GDPS         |
|-------|---------|----------------|--------------|
| 플랫폼   | SeaWiFS | MERIS          | GOCI         |
| 기관    | NASA    | ESA            | KIOST        |
| 운영 환경 | Linux   | 운영체제<br>독립적    | Windows      |
| 언어    | IDL, C  | Java           | C            |
| 파일 형식 | HDF     | BEAM-<br>DIMAP | HDF-<br>EOS5 |
| 출시    | 1998년   | 2003년          | 2011년        |

1998년 리눅스 기반으로 개발된 SeaDAS는 SeaWiFS에 특화되어 있는 자료 처리 소프트웨어이다. 초창기에는 산출물 생산을 위한 알고리즘을 C 언어와 포트란(Fortran) 언어로 구현하고 사용자 인터페이스를 상호작용 데이터 언어(IDL, Interactive Data Language)로 구현하였으나, 최근 자바(Java)와 파이썬(Python)을 추가로 활용하고 있다. 파일 형식은 HDF(Hierarchical Data Format) 이고, 표출, 분석, 처리 기능을 지원한다.

BEAM은 2003년 ESA의 지원으로 MERIS에 특화되어 개발된 자료 처리 소프트웨어이다. 이 소프트웨어는 자바 언어를 기반으로 하기 때문에 운영체제에 독립적으로 운영할 수 있다는 것이 가장 큰 특징 중 하나이다. 파일 형식은 BEAM-DIMAP(Digital Image Map)이라는 자체 개발한 형식을 사용하고, 표출, 분석, 처리 기능을 제공한다.

2011년 윈도우 기반으로 개발된 GDPS는 천리

안해양관측위성의 목적에 최적화되도록 개발되었다. 즉, 기존의 소프트웨어들이 극궤도 위성에 적합하게 설계된 반면, GDPS는 정지궤도 위성에 적합하게 설계되었다. 극궤도 위성을 위한 소프트웨어들이 표출, 분석, 처리 기능에 중점을 둔 반면, GDPS는 이러한 기능들 이외에도 정지궤도의 특성을 최대한 반영할 수 있는 애니메이션 기능을 추가적으로 제공하고 있다. 애니메이션 기능은 정지 영상들이 입력된 시간에 따라 연속적으로 표현되도록 함으로써 미세한 변화를 관측하는데 용이하게 활용될 수 있다. GDPS의 파일 형식은 HDF-EOS(Earth Observing System) 5를 사용하고 있다.

본 연구에서는 GDPS를 사용하여 산출해낸 영상처리 결과들을 활용하여 다양한 해양 재난을 신속하게 검출해내는 시스템을 개발하는데 초점을 맞추고 있다.

### 2.3 원격탐사를 활용한 해양 재난 검출

위성 기반의 원격탐사를 활용하여 적조, 유류 유출, 태풍, 해빙 등 다양한 해양 재난을 검출해 낼 수 있다. 식물성 플랑크톤이 증식하여 생기는 적조는 일정시간이 지나면 증식을 멈추고 부패하게 된다. 동시에 해수중의 용존 산소를 고갈시키거나 그 독성으로 인하여 어패류를 질식사 혹은 폐사시킬 수도 있다.

유류 유출은 바다 생태계를 파괴시킬 뿐만 아니라 해안에 거주하는 주민들에게 알레르기 관련 질환을 옮길 수도 있다. 태풍은 강한 비바람을 동반하고 움직이기 때문에 많은 인명 및 재산 피해를 입힐 수 있다. 해빙은 선박 운항에 방해가 되는 등 선박 운항의 안전을 크게 위협할 수 있다.

GOCI를 활용한 연구 분야에서 이와 같은 해양 재난들은 현재까지 육안으로 관측하여 대처하고 있다. 그러나 육안에만 의존하다보면 관측자의 주관에 따라 정확하지 않은 검출 결과로 이어질 수도 있다. 이와 같은 문제를 해결하기 위해 본 연구

에서는 해양재난검출시스템을 개발하여 해양 재난을 자동으로 신속하게 검출할 수 있도록 지원하는 것을 주요 목적으로 하고 있다.

본 연구에서는 적조 및 녹조의 발생과 관련이 깊은 엽록소 농도의 파인 분포를 자동으로 검출하고, 유류 유출 등의 재난을 신속하게 확인할 수 있도록 용존유기물의 이상 변화를 실시간으로 검출하는데 초점을 맞추고 있다. 유류 유출이나 해빙과 같은 재난을 위한 검출시스템에 관해서는 향후 연구로 남겨두고 있다.

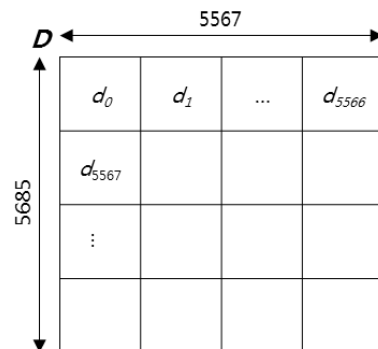
## 3. 영상 처리

### 3.1 자료구조

천리안해양관측위성에서 획득한 영상은 최종적으로 [그림 1]과 같이 5,567×5,685의 해상도를 가지는 2차원 영상으로 제공된다. 이와 같은 영상을 처리하기 위해 본 연구에서는 하나의 영상에 존재하는 모든 픽셀 값들의 집합, 벡터  $D$ 를 식 (1)과 같이 정의하였다.

$$D = (d_0, d_1, \dots, d_n), \quad n = 5567 \times 5685 - 1 \quad (1)$$

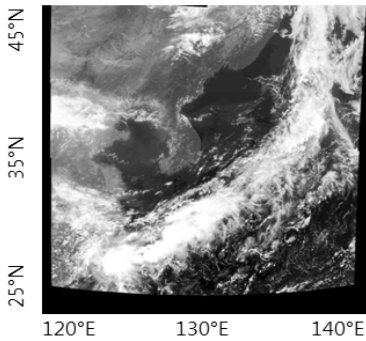
원격탐사에서 영상을 획득하는데 가장 큰 제약 중 하나는 구름이다. 관측 지역이 구름에 가려져 있을 경우 이 부분에 대한 정보 획득은 불가능하



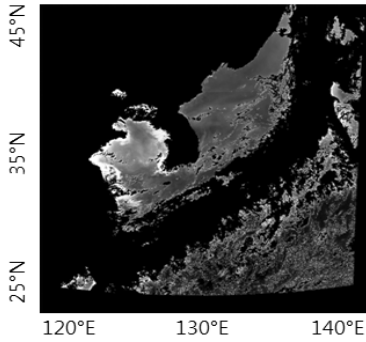
[그림 1] 영상처리 자료구조

다. 또한 천리안해양관측위성은 해양환경을 관측하는 것이 주요 목적이기 때문에 육지영역에 대한 정보는 필요로 하지 않는다. 따라서 구름에 가려진 영역과 육지 부분은 마스크로 처리하여 분석 대상에서 제외해야한다.

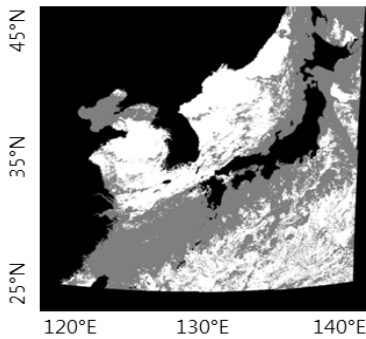
[그림 2](a)는 마스크를 적용하기 전의 컬러로



(a) 마스크 전



(b) 마스크 후



(c) 마스크

[그림 2] 영상자료 마스크

된 영상을 나타낸 것이고, [그림 2](b)는 육지영역과 구름영역에 대한 마스크를 적용한 후의 영상을 나타낸 것이다. [그림 2](c)는 마스크 작업 결과를 마스크로 나타낸 것이며, 회색 부분은 구름에 가려진 영역, 검은색 부분은 육지 영역에 해당한다. 흰색 부분은 마스크가 적용되지 않은 부분으로 이 부분만이 영상 분석에 활용 된다. [그림 2](c)의 마스크를 벡터로 표현하면 식 (2)와 같다.

$$M = (m_0, m_1, \dots, m_n), \quad m_x = 0, 1, 2 \quad (2)$$

여기서  $m_x$ 는 마스크를 분류하는 기준을 인덱스로 표시한 것이다. 0은 마스크가 적용되지 않은 부분, 1은 육지영역 마스크, 2는 구름영역 마스크를 각각 나타낸다. 본 연구에서는 마스크를 활용한 영상처리를 위해 육지영역 마스크( $M^L$ )와 구름영역 마스크( $M^C$ )를 식 (3)과 식 (5)와 같이 각각 독립적인 마스크로 분리 하였다.

식 (4)는 육지영역 마스크의 벡터 값을 구하는 방식을 나타내며, 마스크 인덱스 값이 1인 경우 즉, 육지영역에 해당하는 경우 0의 값을 가지고 그 밖의 경우에는 1의 값을 가진다. 식 (5)는 구름영역 마스크의 벡터 값을 구하는 방식을 나타내며, 마스크 인덱스 값이 2인 경우 즉, 구름영역에 해당하는 경우 0의 값을 가지고 그 밖의 경우에는 1의 값을 가진다.

$$M^L = (m_0^L, m_1^L, \dots, m_n^L) \quad (3)$$

$$m_x^L = \begin{cases} 0, & m_x = 1 \\ 1, & \text{else} \end{cases} \quad (4)$$

$$M^C = (m_0^C, m_1^C, \dots, m_n^C) \quad (5)$$

$$m_x^C = \begin{cases} 0, & m_x = 2 \\ 1, & \text{else} \end{cases} \quad (6)$$

하나의 영상자료 산출물에서 분석 대상 영역은 육지영역 마스크와 구름영역 마스크를 제외한 영역이다. 이 마스크 영역들을 제외한 영역의 평균, AVG를 구하는 방법은 식 (7)과 같다.

$$AVG = \frac{\sum_{k=0}^n d_k \times m_k^L \times m_k^C}{\sum_{k=0}^n m_k^L \times m_k^C} \quad (7)$$

### 3.2 영상자료 산출물

한국해양과학기술원의 해양위성센터는 GDPS를 활용하여 엽록소, CDOM, TSS 등의 농도 분포를 나타내는 영상자료 산출물을 만들어 내어 실시간으로 제공하고 있다.

엽록소 농도의 과잉 분포와 적조의 발생은 서로 밀접한 상관관계를 가지고 있으며, 이러한 특징을 이용하여 적조를 검출하는 것이 가능하다[6]. 적조는 플랑크톤이 과다 증식하여 해양이 붉은 색으로 변하는 현상이다. 대부분 붉은색으로 물들기 때문에 적조라고 많이 불리지만, 과다 증식되는 플랑크톤의 색소에 따라 다른 색을 나타내기도 한다. 적조가 많이 발생했을 경우 해양 생태계를 위협할 수 있으므로 가능한 빨리 조치를 취해야 한다.

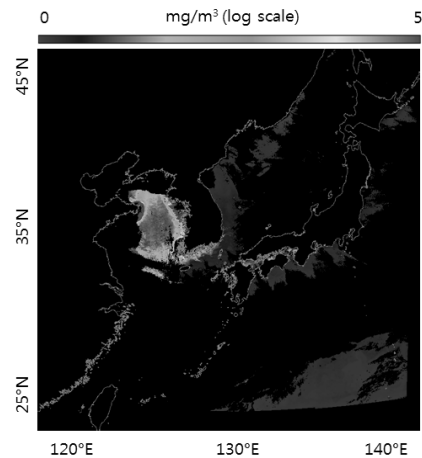
CDOM은 물에 포함되어 있는 광학적으로 측정 가능한 용해된 유기물질을 나타낸다[4]. CDOM의 농도가 높아질 경우 물속으로 투과되는 빛의 양을 감소시켜 물속에 있는 플랑크톤의 번식을 방해하는 요인으로 작용할 수 있다. CDOM의 농도가 높아질 경우 적조 발생의 경우와 마찬가지로 신속한 조치가 필요하다.

TSS는 물위에 떠다니는 물질의 농도를 나타냄으로써 수질을 측정하는 단위로 사용되기도 한다 [13]. 또한 해양에 기름이 유출되거나 오염 물질이 투기되는 등의 사건이 발생했을 경우 직접 사건이 발생한 장소를 가지 않고도 원격 탐사로 얻은 영상자료로 TSS를 산출해 봄으로써 간접적으로 확인이 가능하다. TSS의 지속적인 모니터링을 통해서 위와 같은 해양 재난이 발생했을 경우 빠르게 대처할 수 있다.

### 3.3 산출물 합성

위성을 활용한 원격 탐사로 얻은 영상자료에서

구름에 가려진 영역은 분석이 불가능하다. 한 예로 [그림 3]은 2012년 5월 6일 오전 11시의 엽록소 농도 분포를 나타낸 것이다. 육지 이외에도 해양 영역이 검은색으로 마스크 처리되어 전체적인 해양 상태를 확인하는 것은 불가능하다는 것을 알 수 있다.

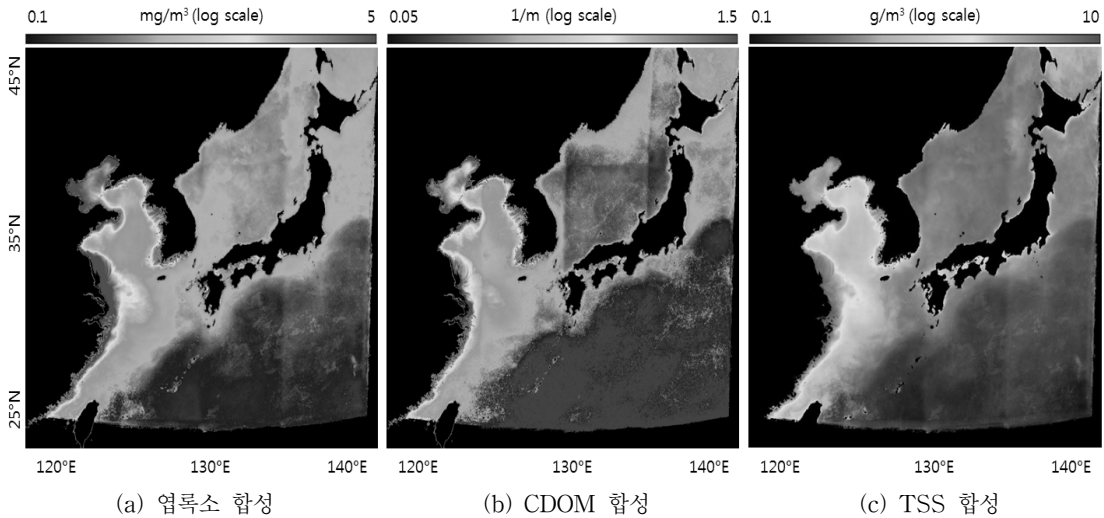


[그림 3] 마스크가 적용된 영상자료 산출물의 예 (2012년 5월 6일 오전 11시의 엽록소 농도 분포를 나타낸 영상자료)

구름 마스크에 의한 제약사항을 극복하여 한반도 전체의 해양 환경을 한눈에 확인해 보기 위한 방법으로 산출물 합성이 있다. 산출물 합성은 영상을 획득하는 시간에 따라 구름이 이동함으로써 구름에 가려져 있던 영역이 노출되는 특성을 이용한다. 각각 마스크 영역이 다른 여러 산출물들의 값을 평균 내어 합성함으로써 한 번에 넓은 지역의 유효한 영역을 가시화시킬 수 있다.

[그림 4]는 1년간의 엽록소, CDOM, TSS 등과 같은 영상자료 산출물에 대한 합성자료를 나타낸 것이다. 영상처리에 사용된 대용량의 자료들은 한국해양과학기술원 해양위성센터로부터 제공 받았다. 영상물 처리 합성을 통해 한반도 주변 지역의 해양 환경을 한눈에 살펴볼 수 있었다.

우선 세 가지 산출물들의 공통적인 결과는 동중국 연안 지역에서 높은 농도를 나타내고 있다는



[그림 4] 1년간의 영상자료 산출물 합성

것이다. 특히 엽록소나 TSS의 경우 동중국 연안의 분포가 한국의 남해에까지 영향을 끼치고 있다는 것을 확인할 수 있다. 또한 엽록소 농도의 분포와 CDOM 농도의 분포가 인천 앞바다에서 높게 유지되는 등 서로 유사한 면을 보이고 있으며, TSS 농도의 경우 남서해 지역에서 높게 형성되는 특징을 보이고 있다.

#### 4. 해양재난검출 시스템(OD2S)

본 연구는 세계 최초로 해양 환경을 실시간으로 관측하는 천리안해양관측위성의 영상자료들을 이용하여 적조 발생과 같은 해양 재난을 신속하게 검출하는 해양재난검출 시스템(Ocean Disaster Detection System; OD2S)을 개발하는데 중점을 두고 있다.

##### 4.1 코사인 유사도

OD2S는 해양 재난을 검출하기 위해 코사인 유사도 측정 방식을 활용한다. 코사인 유사도 측정 방식은 두 벡터 사이의 코사인 각도를 측정함으로써 두 벡터가 얼마나 유사한지 측정하는 방법 중

하나이다[1]. 이 측정 방법은 두 벡터가 같은 방향을 가리키고 있는가를 측정하여 방향이 같을수록 유사하다고 판단한다. 코사인 유사도 측정 방법은 두 벡터가 유사할수록 1에 가까워지고 완전히 독립적인 경우 0으로 계산 된다.

천리안해양관측위성의 영상자료  $A$ 와  $B$ 의 코사인 유사도  $s(D_A, D_B)$ 는 식 (8)과 같이 계산할 수 있다. 여기서  $D_A$ 와  $D_B$ 는 식 (9), 식 (10)과 같이 각각 정의되며, 영상자료  $A$ 와  $B$ 의 픽셀 값들의 집합으로 이루어진 벡터를 각각 나타낸다.  $M_A$ 와  $M_B$ 는 식 (11), 식 (12)와 같이 각각 정의되며, 영상자료  $A$ 와  $B$ 에 대한 마스크를 각각 나타낸다. 또한 식 (13)  $M_{AB}$ 는 마스크  $M_A$ 와  $M_B$ 의 교집합으로 이루어진 벡터를 나타낸다.

$$s(D_A, D_B) \tag{8}$$

$$= \frac{\sum D_A \times D_B \times M_{AB}^L \times M_{AB}^C}{\sqrt{\sum (D_A \times M_{AB}^L \times M_{AB}^C)^2} \times \sqrt{\sum (D_A \times M_{AB}^L \times M_{AB}^C)^2}}$$

$$= \frac{\sum_{k=0}^n d_{A,k} \times d_{B,k} \times m_{ABk}^L \times m_{ABk}^C}{\sqrt{\sum_{k=0}^n (d_{A,k} \times m_{ABk}^L \times m_{ABk}^C)^2} \times \sqrt{\sum_{k=0}^n (d_{A,k} \times m_{ABk}^L \times m_{ABk}^C)^2}}$$

$$D_A = (d_{A,0}, d_{A,1}, \dots, d_{A,n}) \tag{9}$$

$$D_B = (d_{B,0}, d_{B,1}, \dots, d_{B,n}) \tag{10}$$



$$M_A = (m_{A,0}, m_{A,1}, \dots, m_{A,n}) \quad (11)$$

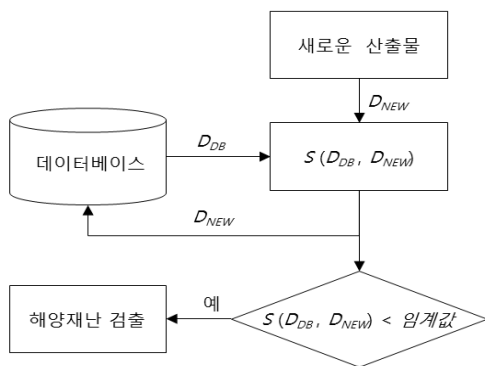
$$M_B = (m_{B,0}, m_{B,1}, \dots, m_{B,n}) \quad (12)$$

$$M_{AB} = (m_{AB,0}, m_{AB,1}, \dots, m_{AB,n}) \quad (13)$$

### 4.2 시스템 설계

OD2S의 처리 과정은 [그림 5]와 같이 이루어진다. 천리안해양관측위성이 매 시간 새로운 영상자료 산출물을 제공하면 이에 대한 벡터  $D_{NEW}$ 를 만든다. 그리고 이 벡터와 기존에 제공받았던 영상자료 벡터인  $D_{DB}$  간의 코사인 유사도를 계산한다. 유사도의 결과로 산출된 값이 사전에 정의한 임계값보다 작을 경우 두 영상자료가 서로 유사하지 않다고 판단하여 해양재난이 검출되었다고 결정한다.  $D_{NEW}$ 는 데이터베이스에 저장하여 다음에 제공되는 영상자료와 비교될 때 사용된다.

OD2S의 처리에 가장 큰 영향을 끼치는 요소는  $D_{DB}$ 와 임계값의 설정이다. 장기간의 변화를 검출하고 싶을 경우  $D_{DB}$ 는 예를 들어 1달 혹은 1년에 해당하는 장기간의 영상자료들을 평균 내어 합성한 벡터로 설정해야 한다. 이와는 반대로 단기간의 변화를 검출하고 싶을 경우  $D_{DB}$ 는 예를 들어 1시간 혹은 1일에 해당하는 단기간의 영상자료들을 합성한 벡터로 설정해야 한다.



[그림 5] OD2S의 처리 과정

임계값을 높게 설정했을 경우 큰 변화에 대해 정확히 검출해낼 수 있지만, 일부 작은 변화는 간

과해 버릴 수 있다. 이와는 반대로, 임계값을 낮게 설정했을 경우 작은 변화까지도 검출해 낼 수 있지만 해양 재난이 아닌 일반적인 변화까지도 검출해 내어 사후 처리를 어렵게 만들 수도 있다.

본 연구에서는  $D_{DB}$ 와 임계값을 1년간의 영상자료를 합성한 벡터와 0.95로 각각 설정하였다. 이와 같이  $D_{DB}$ 가 평균값으로 구성될 때 일정기간 동안 측정값들의 편차가 클 경우 정확한 검출이 어려울 수도 있다. 이러한 문제를 보완하기 위해서는 1년간의 영상자료로 구성된  $D_{DB}$  데이터의 평균뿐만 아니라 분산 등도 고려하여 최적화할 필요가 있다. 본 연구에서  $D_{DB}$ 와 임계값을 최적화하기 위한 작업은 향후연구로 남겨두고 있다.

### 4.3 실험 결과

OD2S의 성능 평가를 위해 엽록소, CDOM, TSS 농도 분포에 대한 산출물들을 대상으로 하는 1년간의 천리안해양관측위성 영상자료를 모집단으로 하여 실험을 진행하였다.

먼저 적조 발생과 밀접한 관련이 있는 엽록소 농도 분포 산출물에 대한 실험을 진행하였다.  $D_{DB}^{CHL}$ 은 2011년 9월부터 2012년 8월까지의 엽록소 농도 분포 영상자료 산출물들을 합성한 것으로 [그림 6](a)와 같다. 실험 결과 [그림 6](d)와 같이 2012년 8월 5일 12시 영상이 검출되었다. 이 영상이 검출된 이유는 이 영상과  $D_{DB}^{CHL}$ 와의 코사인 유사도가 0.904로 임계값(0.95)보다 낮은 값을 가지기 때문이다. 검출된 영상을 확인해 보면 남해안 연안에 엽록소 농도가 높게 발달한 것을 확인할 수 있다. 이러한 결과를 토대로 남해안 연안 일대에 적조가 발생하였는지 추가적인 조사가 이어질 수 있다면 실시간으로 대처가 가능할 것이다.

다음으로 CDOM 농도 분포 산출물에 대한 실험을 진행하였다.  $D_{DB}^{CDOM}$ 은 2011년 9월부터 2012년 8월까지의 CDOM 농도 분포 영상자료 산출물들을 합성한 것으로 [그림 6](b)와 같다. 실험 결과 대표적으로 [그림 6](e)와 같이 2012년 2월 11일

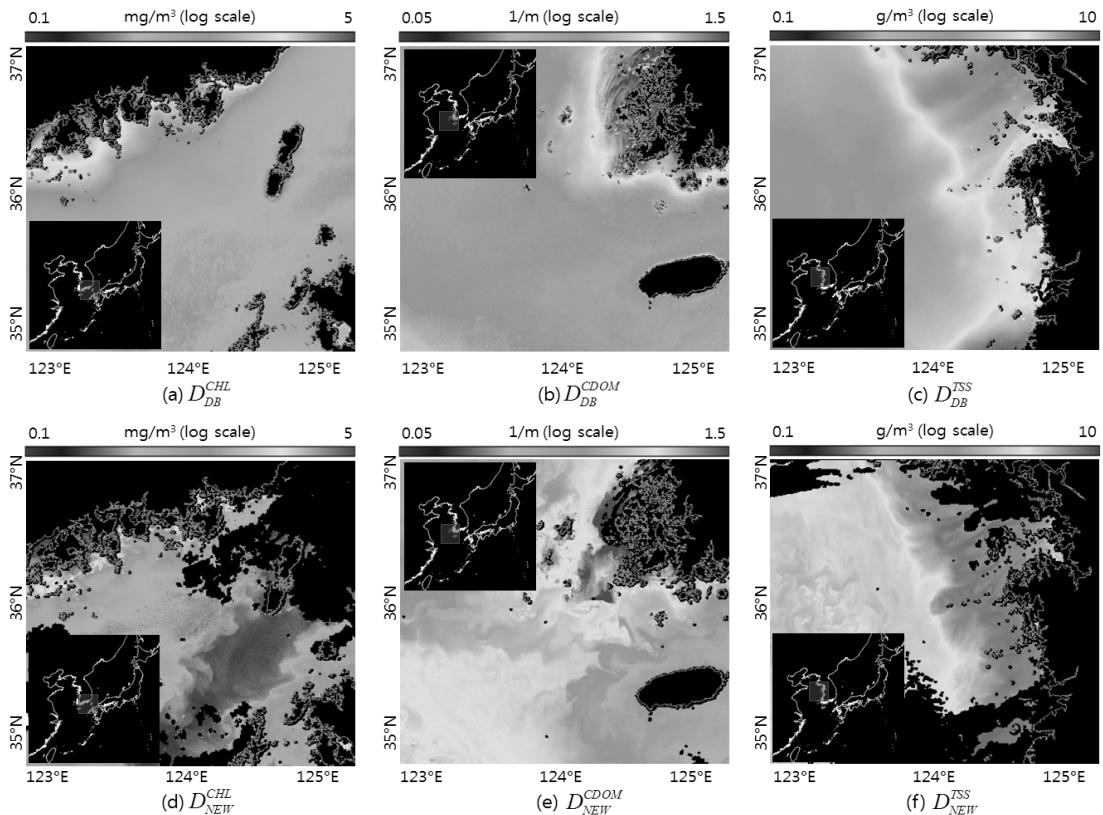
10시의 CDOM 영상이 검출 되었으며, 이 영상과  $D_{DB}^{CDOM}$  과의 코사인 유사도는 0.937을 나타냈다. 검출된 영상을 확인해 보면 서남해안 연안과 깊은 바다에 CDOM 농도가 높게 발달한 것을 확인할 수 있다. 특히 서남해의 깊은 바다 영역은 동중국 연안의 물질이 영향을 끼치고 있다는 것을 확인할 수 있다.

마지막으로 TSS 농도 분포 산출물에 대한 실험을 진행하였다.  $D_{DB}^{TSS}$ 는 2011년 9월부터 2012년 8월까지의 TSS 농도 분포 영상자료 산출물들을 합성한 것으로 [그림 6](c)와 같다. 실험 결과 [그림

6](f)와 같이 2012년 3월 26일 10시의 TSS 영상이 검출 되었으며, 이 영상과  $D_{DB}^{TSS}$ 와의 코사인 유사도는 0.944를 나타냈다. 검출된 영상을 확인해 보면 인천 앞바다 부분에서 TSS 농도가 높게 발달한 것을 확인할 수 있다.

### 6. 결론 및 향후연구

본 연구에서는 위성을 이용한 해양 원격탐사 분야와 대용량 자료처리 및 컴퓨터 비전을 활용한 정보 기술의 융복합을 통해 해양 재난을 검출해



주) (a), (b), (c)는 각각  $D_{DB}^{CHL}$ ,  $D_{DB}^{CDOM}$ ,  $D_{DB}^{TSS}$  를 나타내며, 2011년 9월부터 2012년 8월까지의 엽록소, CDOM, TSS 영상자료의 평균을 합성한 것임. (d), (e), (f)는 각각 검출된  $D_{NEW}^{CHL}$ ,  $D_{NEW}^{CDOM}$ ,  $D_{NEW}^{TSS}$ 를 나타내며, 2012년 8월 5일 12시의 엽록소, 2012년 2월 11일 10시 의 CDOM, 2012년 3월 26일 13시의 TSS 분포임.  $s(D_{DB}^{CHL}, D_{NEW}^{CHL})$ ,  $s(D_{DB}^{CDOM}, D_{NEW}^{CDOM})$ ,  $s(D_{DB}^{TSS}, D_{NEW}^{TSS})$ 는 각각 0.904, 0.937, 0.944임.

[그림 6] OD2S가 검출한 영상자료

내는 해양재난검출시스템(OD2S)를 개발하였다. 이 시스템은 세계 최초로 정지궤도에서 운영되는 천리안해양관측위성(GOCI)를 활용하여 영상 자료 산출물 간의 코사인 유사도를 계산해 봄으로써 해양 재난 상황을 실시간으로 모니터링하고 검출해 낸다.

적조 발생과 연관성이 깊은 엽록소 농도 분포 산출물을 토대로 실험해 본 결과 남해안 연안 지역에서 엽록소 농도가 크게 증가하는 경우를 발견할 수 있었고, CDOM 농도 분포 산출물을 토대로 실험해 본 결과 남서해의 깊은 바다 지역이 동중국 연안의 영향을 받을 수 있다는 것을 확인할 수 있었다. TSS 농도 분포 산출물을 토대로 실험해 본 결과 인천 앞바다 부근에 부유 물질 농도가 높아지는 경우도 확인할 수 있었다.

향후 연구는  $D_{DB}$ 와 임계값 변화에 따른 OD2S의 성능 분석을 연구하고, 적조 및 녹조뿐만 아니라 유류 유출, 오염물 불법 투기, 태풍, 해빙 등을 실시간으로 검출해 낼 수 있도록 OD2S를 개선시키는 것이다.

## 참 고 문 헌

- [1] 권영빈, 이승도, 양현, 주요한, “키워드를 기반으로 마이너와 코사인 유사도를 이용한 컴퓨터 네트워크 관련 컨퍼런스 분석”, 『한국IT서비스학회지』, 제11권, 제1호(2012), pp.223-238.
- [2] 문정연, “GOCI Algorithm Theoretical Basis Document : GOCI Dissolved Organic Matter (DOM) Algorithm”, 한국해양연구원 해양위성센터 기술문서, 2008.
- [3] 민지은, “GOCI Algorithm Theoretical Basis Document : GOCI Empirical Suspended Solid Particles Algorithm”, 한국해양연구원 해양위성센터 기술문서, 2008.
- [4] Babin, M., D. Stramski, G. M. Ferrari, H. Claustre, A. Bricaud, G. Obolensky, and N. Hoepffner, “Variations in the light absorption coefficients of phytoplankton, nonalgal particles, and dissolved organic matter in coastal waters around Europe”, *Journal of Geophysical Research*, Vol.108, No.C7(2003), pp.1-20.
- [5] Cho, S., Y. Ahn, J. Ryu, G. Kang, and H. Youn, “Development of Geostationary Ocean Color Imager(GOCI)”, *Korean Journal of Remote Sensing*, Vol.26, No.3(2010), pp.157-165.
- [6] Chuanmin, H., F. E. Muller-Kargera, C. T aylora, K. L. Cardera, C. Kelbleb, E. Johnsb, and C. A. Heilc, “Redtide detection and tracing using MODIS fluorescence data : A regional example in SW Florida coastal waters”, *Remote Sensing of Environment*, Vol.97, No.3(2005), pp.311-312.
- [7] Davis, S. M., D. A. Landgrebe, T. L. Phillips, P. H. Swain, R. M. Hoffer, J. C. Lindenlaub, and L. F. Silva, *Remote sensing : The quantitative approach*, McGraw-Hill, New York, 1978.
- [8] Deschamps, P. Y., F. M. Breon, M. Leroy, A. Podaire, A. Bricaud, J. C. Buriez, and G. Seze, “The POLDER mission : instrument characteristics and scientific objectives”, *IE EE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol.32, No.3(1994), pp.598-615.
- [9] Fomferra, N. and C. Brockmann, “BEAM -The ENVISAT MERIS and (A)ATSR toolbox”, *Proceeding of the MERIS (A) ATSR Workshop*, Vol.1(2005), pp.1-3.
- [10] Fougnie, B., G. Bracco, B. Lafrance, C. Ruffel, O. Hagolle, and C. Tinel, “PARASOL in-flight calibration and performance”, *Applied Optics*, Vol.46, No.22(2007), pp.5435-5451.

- [11] Fu, G., K. Settle, and C. R. McClain, "Sea DAS : The SeaWiFS Data Analysis System", *Proc of the Ocean Remote Sensing Conference*, (1998), pp.73-77.
- [12] Han, H., J. Ryu, and Y. Ahn, "Development the Geostationary Ocean Color Imager(GOCI) Data Processing System(GDPS)", *Korean Journal of Remote Sensing*, Vol.26, No.2 (2010), pp.239-249.
- [13] Hatje, V., K. Rae, and G. F. Birch, "Trace metal and total suspended solids concentrations in freshwater : the importance of small-scale temporal variation", *Journal of Environmental Monitoring*, Vol.3, No.2(2001), pp.251-256.
- [14] Hovis, W. A., D. K. Clark, F. Anderson, R. W. Austin, W. H. Wilson, E. T. Baker, D. Ball, H. R. Gordon, J. L. Mueller, S. Z. Elsayed, B. Sturm, R. C. Wrigley, and C. S. Yentsch, "Nimbus-7 Coastal Zone Color Scanner : System Description and Initial Imagery", *Science*, Vol.210(1980), pp.60-63.
- [15] Kang, G., S. Kang, S. Yong, J. Kim, Y. Chang, and H. Youn, "Korea Geostationary Ocean Color Imager(KGOCI)", *IEEE Geoscience and Remote Sensing Society* Vol.46, No.C(2004), pp.3261-3263.
- [16] Kawamura, H., "OCTS mission overview", *Journal of Oceanography*, Vol.54(1998), pp. 383-399.
- [17] McClain, C. R., G. C. Feldman, and S. B. Hooker, "An overview of the SeaWiFS project and strategies for producing a climate research quality global ocean bio-optical time series", *Topical Studies in Oceanography*, Vol.51, No.1/3(2004), pp.5-42.
- [18] Rast, M., J. L. Beazy, and S. Bruzzi, "The ESA Medium Resolution Imaging Spectrometer MERIS-a review of the instrument and its mission", *International Journal of Remote Sensing*, Vol.20, No.9(1999), pp. 1681-1702.
- [19] Rosenfeld, A., "Image Analysis and Computer Vision : 1988", *International Journal of Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, Vol.46, No.2(1989), pp.196-264.
- [20] Sakaida, F., K. Hosoda, M. Moriyama, H. Murakami, A. Mukaida, and H. Kawamura, "Sea surface temperature observation by Global Imager(GLI)/ADEOS-II : Algorithm and accuracy of the product", *Journal of Oceanography*, Vol.62, No.3(2006), pp.311-319.
- [21] Salomonson, V., W. L. Barnes, P. W. Maymon, and H. E. Montgomery, "MODIS : Advanced Facility Instrument for Studies of the Earth as a System", *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol.27, No.2(1990), pp.145-153.
- [22] White, T., *Hadoop-The Definitive Guide*, O'Reilly, California, 2009.
- [23] Yoder, J. A., "Status and plans for Satellite Ocean-Colour Missions : Considerations for Complementary Missions", *International Ocean Colour Coordinating Group*, Vol.2 (1999), p.22.

## ◆ 저 자 소 개 ◆

**양 현 (yanghyun@kiost.ac)**

현재 한국해양과학기술원에 재직 중이며, 중앙대학교 컴퓨터공학과에서 공학사를 취득하였고 중앙대학교 일반대학원에서 컴퓨터네트워크 전공으로 공학석사와 공학박사를 각각 취득하였다. 주요 관심분야는 컴퓨터네트워크, 위성통신, 대용량데이터처리, 천리안해양관측위성 등이다.

**유 정 미 (jmyu@kiost.ac)**

현재 한국해양과학기술원 해양위성센터에서 근무하고 있으며 인하대학교에서 지리정보공학으로 공학석사를 취득하였다. 주요 관심분야는 해양원격탐사, 영상처리시스템, 재난재해대응, 천리안해양관측위성 등이다.

**한 희 정 (han77@kiost.ac)**

현재 한국해양과학기술원 해양위성센터에서 근무 중이며, 한국과학기술원에서 이학사를, 아주대학교 정보통신대학원 정보통신공학과에서 공학 석사를 취득하였다. 주요 관심분야는 천리안해양관측위성 운영 및 위성자료처리시스템 개발, 병렬처리 및 시스템 자동화 등이다.

**유 주 형 (jhryu@kiost.ac)**

현재 한국해양과학기술원 해양위성센터장으로 재직 중이며, 연세대학교 지질학과에서 이학사와 이학석사를 각각 취득하였고, 동 대학교 지구시스템학과에서 이학박사를 취득하였다. 주요 경력으로 독일 GKSS 연구소, Institute for Coastal Research Remote Sensing Group 방문연구원으로 재직 한 바 있다. 주요 관심분야는 천리안해양관측위성, 해색원격탐사 등이다.

**박 영 제 (youngjepark@kiost.ac)**

현재 한국해양과학기술원 책임연구원으로 재직 중이며, 한국과학기술원 물리학과에서 이학박사를 취득하였다. 주요 경력으로 호주 CSIRO, Land and Water Division에서 Research Scientist로 재직 한 바 있다. 주요 관심분야는 천리안해양관측위성, 해색원격탐사, 등이다.