

## 복합 위성을 이용한 허베이스피리트 유류오염해역 모니터링

김상우\* · 정희동\*\*

\*, \*\* 국립수산과학원 동해수산연구소 자원환경과

### M/T Herbei Sprit Oil Spill Area Monitoring Using Multiple Satellite Data

Sang-Woo Kim\* · Hee-Dong Jeong\*\*

\*, \*\* Fisheries Resources and Environment Division, East Sea Fisheries Research Institute, Gangwon-Do, 210-861, Korea

**요약** : 본 연구에서는 고해상도인 아리랑 2호(KOMPSAT-2)와 ENVISAT ASAR(Synthetic Aperture Radar) 마이크로웨이브 위성 영상을 이용한 유류 분포 면적 추정과 저해상도인 해상위성 자료를 이용하여 허베이스피리트호 유류오염 사고 발생 전후의 클로로필 a 농도를 분석하였다. KOMPSAT-2와 ASAR 위성에서 추정된 유출유 확산 분포 면적은 각각 59,456 m<sup>2</sup> 과 1,168 km<sup>2</sup> 로 추정되었다. QuickScat 위성관측 바람은 유류오염 사고 전후에 북풍과 북서풍이 우세하였고, 유류오염 사고 당시 바람은 10m/s 이상의 강한 북서풍이 탁월하였다. 태안과 안면도 연안해역의 클로로필 a의 월별 농도는 유류사고 당시인 2007년 12월에 각각 2.9 mg/m<sup>3</sup> 과 2.5 mg/m<sup>3</sup> 이었으나, 그 한 달 후인 2008년 1월에는 각각 6.3 mg/m<sup>3</sup> 과 3.7 mg/m<sup>3</sup> 로 클로로필 a 농도가 현저하게 증가하였다. 또한, 이들 지역에서 클로로필 a 농도의 단기변화는 유류오염 사고 발생 1-2 주일 후에 그 농도가 감소한 것을 알았다.

**핵심용어** : 해상위성, 마이크로웨이브 위성, 유류오염, 클로로필 a, 허베이스피리트호

**Abstract** : Estimations of oil slick area after M/T Herbei Sprit accident in December 2007 were analyzed using ENVISAT ASAR(Advanced Synthetic Aperture Radar) microwave and KOMPSAT-2 of high resolution data. Monthly and short-term variations of chlorophyll a concentration before and after M/T Herbei Sprit oil spill accident were also analyzed using SeaWiFS/MODIS ocean color data. The oil slick areas estimated by KOMPSAT-2 and ASAR satellites were 59,456 m<sup>2</sup> and 1,168 km<sup>2</sup>, respectively. The winds before and after oil spill accident were prevailed the northerly and northwesterly winds, and the strength of wind in this accident was stronger than 10 m/sec. In Taean and Anmeon-do, monthly mean chlorophyll a concentrations(6.3 mg/m<sup>3</sup> and 3.7 mg/m<sup>3</sup>) in January 2008 after the oil spill were higher than those(2.9 mg/m<sup>3</sup> and 2.5 mg/m<sup>3</sup>) in December 2007. Short-term variations of chlorophyll a in these areas were decreased after one or two weeks of oil spill.

**Key Words** : Ocean color satellite, Microwave satellite, Oil spill, Chlorophyll a, M/T Herbei Sprit

### 1. 서론

대형 유류유출 사고는 발생 빈도는 작지만 한번 발생하면 큰 피해를 일으키는 환경재해가 된다. 그 한 예로서 일본은 1997년 1월에 러시아 유조선 나호토카호의 침몰로 일본 연안해역에 살고 있는 사람들의 평화로운 생활을 위협하고 그 주변 해역 생물들의 목숨을 앗아 갔다. 우리나라는 2007년 12월 7일에 서해에서 발생한 허베이스피리트호와 삼성중공업 예인선 간의 충돌로 인한 대형 유류유출 사고를 경험하였다. 서해는 수심이 80m

이하로서 조석 간만의 차가 심한 해역이며(Fig. 1), 사고 당시 14-18 m/sec의 강한 북서계절풍에 의한 2-4m 높이의 파도가 이는 악천후 상태이었다. 이 사고에서 약 12,547 kl의 원유가 유출되어 태안반도 연안의 자연환경과 야생 동·식물 및 양식장 등에 큰 영향을 미쳤다. 이러한 동계의 악천후 상태에서는 NOAA AVHRR(Advanced Very-High Resolution Radiometer)과 같은 수동형 위성 등에서 일반적인 해양의 상태를 파악하기는 어렵다. 마이크로웨이브를 이용한 SAR(Synthetic Aperture Radar) 위성은 구름의 영향 등을 거의 받지 않기 때문에 악천후 시에도 유류사고에 따른 해상의 상태를 파악할 수 있는 장점이 있다.

\* 대표저자 : 종신회원, swkim@nfrdi.go.kr, 033-660-8535

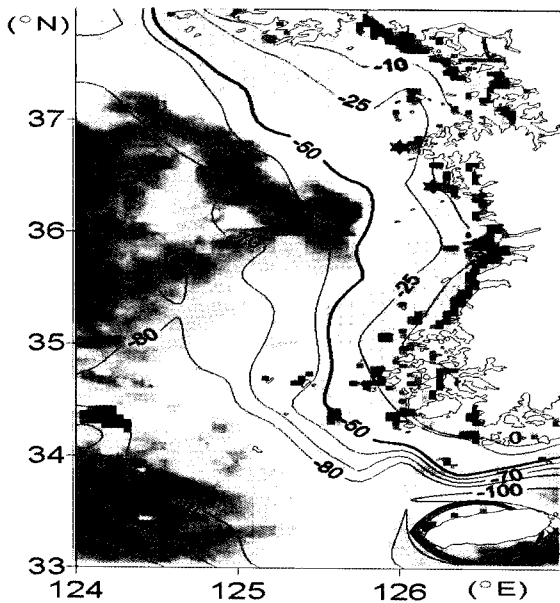


Fig. 1. Study area and bathymetry map of the Yellow Sea. The contour lines are bathymetry. ★ shows locations of chlorophyll-a analysis in M/T Herbei Sprit oil spill area.

최근 위성 수의 증가와 함께 위성센서의 발달로 다양한 목적의 연구가 가능해졌고 그 해상도도 점차 향상되고 있지만, 각 위성 센서에 따른 관측의 한계로 인하여 활용에 대한 제약이 따르기도 한다. 수동센서의 대표적인 NOAA 위성의 AVHRR은 해양의 표면수온을 매일 거의 비슷한 시간대에 같은 해역을 동시 관측할 정도로 반복 주기가 짧지만, 구름 등과 같은 기상 조건에 따라 제약을 받으며 공간 해상도도 약 1 km<sup>2</sup> 정도로 낮은 편이다. 반면에 능동센서인 SAR는 수심에서 수백 미터 정도의 높은 공간 해상도를 가지며, 구름 등의 기상 상태에 관계없이 관측이 가능하다는 장점이 있다. 그러나 이 센서도 같은 장소를 반복 관측할 수 있는 궤도 주기가 상대적으로 NOAA AVHRR에 비하여 길며, 해양 표면 거칠기의 변화를 관측하는 것이므로 현상에 따라서는 해석이 용이하지 않다.

한편, 해색(Ocean color) 위성은 약천후 시에 NOAA 위성과 같이 해양의 상태를 파악하기 어렵지만, 해수를 통과한 가시영역대의 파장을 감지하여 식물플랑크톤 색소농도나 부유물질 등을 추정할 수 있다. 일반적으로 이러한 요소들의 추정은 기존의 알려진 알고리즘을 이용하여 부유퇴적물(Tassan, 1987; 1993)이나 클로로필 a(Ekstrand, 1992) 농도 등을 추정하고 있다. 최근 국내에서도 해색센서를 이용한 알고리즘 개발 및 개선(Ahn, 2000; Ahn et al., 2001; 2004), 특정 밴드자료를 이용한 부유물질 분포범위를 정량화하거나 클로로필 a 농도 변화에 따른 해역별 변동 특성을 파악하는 연구가 활발히 진행되고 있다(Kim et al., 2000; 2002; 2008). 특히 해색센서에서 추정되는 식물플랑크톤 현존량의 지표인 클로로필 a 영상은 유류오염 발생 후의 저차생물생산 변동을 모니터링하기 위한 기초 자료로서

중요한 역할을 한다.

본 연구의 최종목적은 복합위성자료 활용을 통한 유류오염이 해양수산에 미치는 영향 파악과 위성자료의 효율적인 공공 활용 기반을 구축하는데 있다. 이러한 목적을 달성하기 위한 연구의 일환으로 본 연구에서는 고해상도인 아리랑 2호(KOMPSAT-2) 및 ENVISAT ASAR(Advanced Synthetic Aperture Radar) 위성 영상을 이용하여 유류확산 분포 면적을 추정하고, 저해상도인 해색위성 자료를 이용하여 허베이스피리트호 유류오염 사고발생 직후 클로로필 a의 변동에 대하여 살펴보고자 한다.

## 2. 자료 및 방법

본 연구에서는 허베이스피리트 사고발생에 따른 유출유 확산범위 및 클로로필 a의 시공간 분포를 파악하기 위하여, 유류오염 사고발생 직후의 2007년 12월 8일의 고해상도 위성영상인 KOMPSAT-2(Korean Multi-Purpose Satellite-2) MSC(Multi Spectral Camera) 자료를 이용하였다. KOMPSAT-2 MSC 자료는 우리나라에서 발사된 다목적실용 위성으로 해상도가 1m × 1m 인 Panchromatic 영상과 4m × 4m 인 RGB(Red-Green-Blue) 및 근적외(Near infrared) 영상으로서 한국항공우주연구원에서 제공받은 것이다.

또한, 허베이스피리트 사고 후 4일 경과한 2007년 12월 11일에 촬영한 ENVISAT ASAR 위성영상을 이용하여 북위 33-38도, 동경 124-127도 범위에서 유출유의 확산범위를 추정하였다. ASAR 위성 영상은 한국항공우주연구원에서 제공받은 것으로서 공간해상도가 150m x 150m WSM(Wide Swath Medium Resolution) 영상이다. 유류확산 범위 추정은 DN(Digital Number) 값이 0-255인 8 bit 자료로 변환한 후 유류로 판단된 DN 값이 있으면 이것에 개개 화소의 면적을 더하여 계산하였다. 여기서 위성자료의 인식 및 DN 값의 추출은 위성 자료 처리용 소프트웨어인 ENVI4.3을 이용하였다.

허베이스피리트 유출 사고 이후 클로로필 a의 시공간변동을 살펴보기 위하여 NASA에서 제공받은 MODIS(Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) Aqua와 SeaWiFS(Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor) 8일 평균 영상을 이용하였으며, 공간해상도는 각각 4 km × 4 km와 9 km × 9 km 자료이다. 유류오염 사고발생 전후 연도에 대한 클로로필 a의 변화는 3년간(2006-2008) 짝수 월의 영상을 이용하였다. 또한, 클로로필 a의 단기변동은 2007년 11월 1일부터 2008년 2월 18일까지 MODIS Aqua와 2007년 11월 1일부터 12월 26일까지 SeaWiFS 8일 영상을 이용하였다. SeaWiFS 영상의 경우 2008년 1월부터 위성센서 등의 문제로 자료가 입수되지 않아서 2007년의 자료만 이용하였다.

허베이스피리트 사고 발생 이후 바람의 시공간적 변동은 Remote sensing system에서 제공하는 QuicScat 위성자료를 이용하였다(<http://www.ssmi.com/>).

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. KOMPSAT-2 위성관측 유류확산 범위 추정

허베이스피리트호와 삼성중공업 예인선 사이의 충돌이 있는 그 다음날인 12월 8일에 촬영한 KOMPSAT-2 MSC 위성 영상을 이용하여 유출유 확산범위를 추정하였다(Fig. 2). 유출유 확산범위 추정은 각 화소의 DN 값을 이용하여 유류를 식별한 후, 부유물질 등을 식별할 수 있는 유사밴드인 Green (520-600 nm) 밴드 자료를 이용하여 유류오염의 면적을 계산하였다. MSC 위성 영상에서는 전체적으로 구름과 구름에 의한 그림자가 많은 부분을 차지하고 있으나, 허베이스피리트호, 삼성중공업 예인선 및 유류 등도 식별할 수 있었다(Fig. 2a). 유류에 의한 오염분포 해역을 보다 정확하게 추출하기 위하여 동서 횡단면의 430개 샘플을 선택하여 구름, 바다, 유류에 대한 8 비트(0-255) 영상의 DN 값을 분석하였다(Fig. 2b).

KOMPSAT-2 영상의 DN 값 추정 결과, 횡단면상에서 구름의 DN 값은 200 이상이며, 짙은 구름은 255의 값을 나타내었다. 바다의 DN 값은 121-150 사이이며, 유류로 판단되는 DN 값의 범위는 100-120 사이로 나타났다. 여기서 구름의 그림자는 유류와 비슷한 값으로 나타났지만, 영상강조 기법을 이용하여 구름과 유류를 분리시켰다. 일부 구름과 유류가 섞인 값들은 본 계산에서 제외되었으나 유류로 판단되는 DN 값만을 이용하여 유류확산 면적을 추정하여 계산한 결과, 유류로 판단되는 전체 화소 값은 3716개로 나타났다(Fig. 2c). 영상 한 개 화소의 면적이 4m × 4m이므로 이것을 전체 화소 값에 곱한 유출유 확산 분포 면적은 59,456 m<sup>2</sup> 으로 계산되었다. 단, 해상의 유류가 구름에 완전히 가려져서 보이지 않은 부분도 포함되어 있기 때문에 본 연구에서 추정된 유류오염 분포 범위보다는 좀 더 넓을 것으로 생각된다.

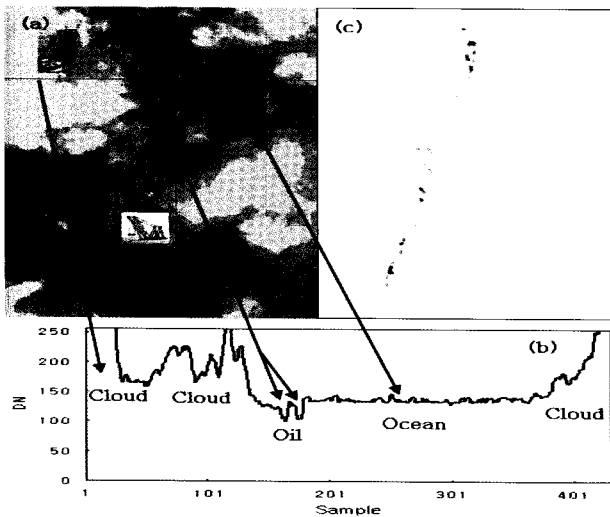


Fig. 2. Profiles of oil, ocean and cloud along the horizontal section derived from KOMPSAT-2 satellite on December 8, 2007(a, b) and the extraction of oil spill area(c).

#### 3.2. ASAR 위성관측 유류확산 범위 추정

서해 태안 유류오염 사고 직후에 촬영한 KOMPSAT-2 위성영상에서 추정된 유류오염 면적은 크게 나타나지 않았으나, 그 후 강한 북풍계열의 바람과 높은 파고로 인하여 그 확산 범위는 크게 나타났다. 본 연구에서는 허베이스피리트호 유류오염 사고 발생 4일 후인 2007년 12월 11일에 촬영한 ENVISAT ASAR 위성 영상을 이용하여 유류오염 확산범위를 계산하였다(Fig. 3과 Fig. 4).

먼저 유류오염 확산범위를 추정하기 위하여 KOMPSAT-2 위성영상 처리와 유사하게 ASAR 위성 영상에 있는 각 화소의 DN 값을 이용하여 유류 이외의 육지, 바다, 선박 및 섬 등과 같은 기름 이외의 DN 값은 제거시켰다(Fig. 3). 그 다음 ASAR 영상에서 유류로 판단되는 115-120 범위의 DN 값을 추출하여 유류확산 면적을 계산한 결과, 유류오염 해역의 전체 화소 값은 519,202개로 나타났다. ASAR 위성의 한 개 화소의 면적이 150m × 150m이므로 이것을 전체 화소 값에 곱한 유류오염의 분포 면적은 1,168 km<sup>2</sup> 로 추정되었다(Fig. 4). 그러나 본 연구에서 추정된 유류오염 분포 면적은 유류오염 이외에 바람 등에 의한 해양표면 거칠기의 차이로 유류로 인식된 부분도 포함되어 있기 때문에 이 결과가 정확하다고는 할 수 없으나 방법론적 접근은 무리가 없는 것으로 생각된다.

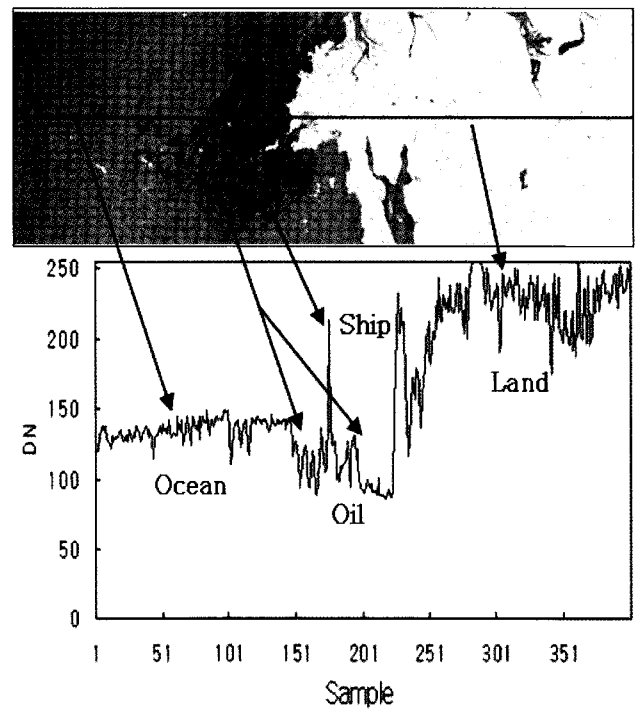


Fig. 3. Profiles of oil, ocean, ship and cloud along the horizontal section derived from ASAR satellite on December 11, 2007.

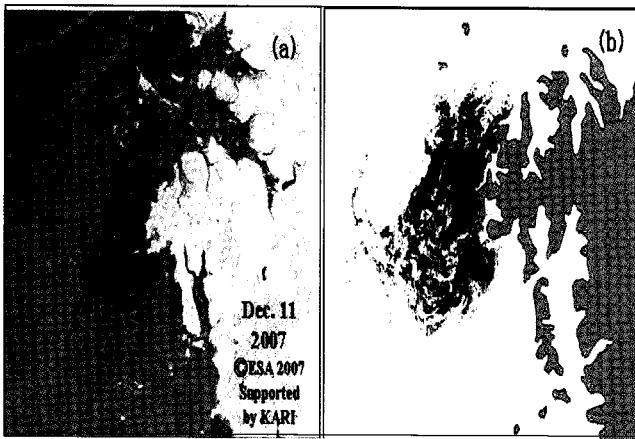


Fig. 4. Original satellite (a) and the extraction of oil spill area (b) derived from ASAR satellite on December 11, 2007.

### 3.3. 유류오염 사고 발생 전후의 바람

허베이스피리트 유류오염 사고 발생 전후의 바람 성분을 살펴보기 위하여 2007년 12월 1일부터 2008년 1월 31일까지 서해 연안을 따른 6개 지점을 선택하여 QuikScat 위성 영상을 분석한 결과, 거의 전 지점에서 동계 계절풍을 잘 나타내는 북풍 및 북서풍의 바람이 지배적이었다(Fig. 5). 특히 바람의 공간적인 분포에서도 역시 유류오염 사고 발생일인 12월 7일에는 서해 전체 해역에서 10 m/s 이상의 강한 북서풍이 탁월하였으며, 그 후에도 북풍 및 북서풍이 지속적으로 나타났다(Fig. 6). 이와 같이 강한 바람의 영향에 의해 유류가 연안에 표착하는 시간적 간격도 더욱 빨랐을 것으로 추정된다. 또한, 바람 및 파고 등에 의한 영향으로 유류가 연안해역에 흘러감에 따라 그 해역 주변에 유막을 형성하여 광합성 저해 등으로 클로로필 a의 농도가 낮게 나타날 것으로 생각된다.

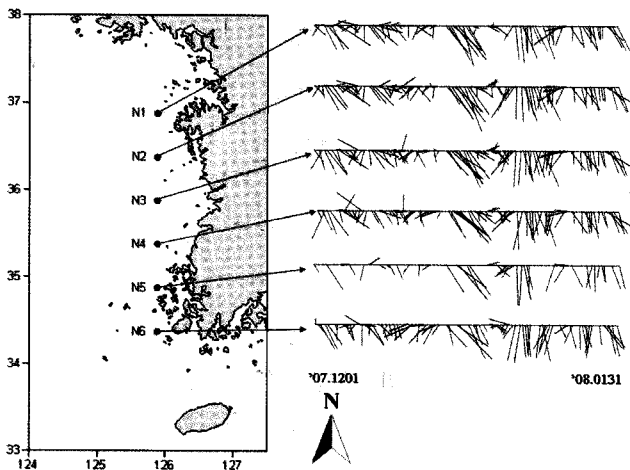


Fig. 5. Time series of wind stick vectors at six locations derived from QuikScat satellite from 1 December, 2007 to 31 January, 2008.

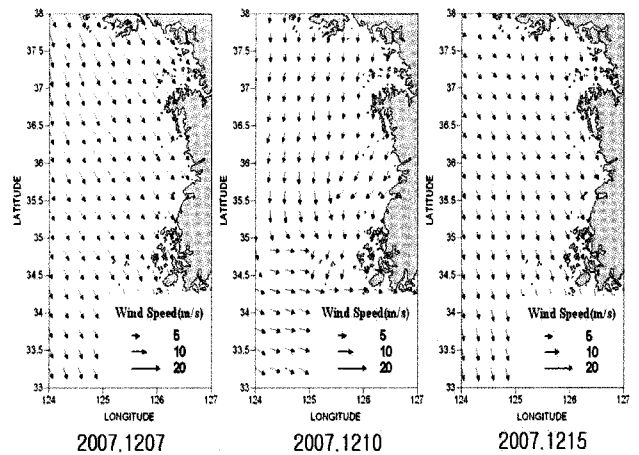


Fig. 6. Spatial distributions of wind vector derived from QuikScat satellite on December 7, 10 and 15, 2007.

### 3.4. 유류오염해역 클로로필 a 농도의 연도별 월별변화

유류오염 사고가 발생한 2007년과 그 전후인 2006년과 2008년에 대한 연안해역의 클로로필 a 농도 변화를 보기 위하여 Fig. 1에 나타난(★ 표시해역) 태안과 안면도 두 지역의 월 평균 MODIS 해색영상 자료를 분석하였다(Fig. 7과 Fig. 8).

태안 연안해역에 대한 각 연도별(2006-2008) 클로로필 a 농도의 월별 분포를 보면(Fig. 7), 그 농도의 피크는 1월과 8월에 나타났다. 1월은 3년간 누년 평균 농도가 4.5 mg/m<sup>3</sup> 이었고, 2008년이 6.3 mg/m<sup>3</sup> 로서 가장 큰 값을 나타내었다. 특히 2008년 1월의 최대 농도는 2008년을 제외한 2년간 누년 평균 농도 3.8 mg/m<sup>3</sup> 보다 1.6배 정도 높았다. 이 시기는 허베이스피리트 유류오염 사고가 발생한 한 달 후 이었다. 사고당시 2007년 12월의 농도가 2.9 mg/m<sup>3</sup> 인 것에 비하면 그 한 달 후에 6.3 mg/m<sup>3</sup> 로서 약 2.1배 증가한 것이다. 현 상황에서는 현장관측 자료 획득의 어려움 때문에 정확한 원인은 알 수 없으나, 유출유에 의한 영양염을 식물플랑크톤이 이용함으로 증가한 것으로 추정된다. 또한, 식물플랑크톤의 증가는 동물플랑크톤의 증가에도 영향을 미쳤을 것으로 생각된다. 그 외 2-12월의 농도는 평균과 비슷한 정도의 농도 범위를 보였으며, 1월을 제외한 2008년의 클로로필 a의 농도는 다른 두 해보다 낮은 것이 특징적이다.

안면도 연안해역에 대한 각 연도별(2006-2008) 클로로필 a 농도의 월별 분포는 그 농도의 피크가 2월과 8월에 나타났다(Fig. 8). 각 연도별 월별 클로로필 a 농도는 2006년 6월과 8월을 제외하고 평균 농도의 분산범위에 포함되어 있다. 특히 유류오염사고가 발생한 2007년 12월의 농도는 2.5 mg/m<sup>3</sup> 에서 그 한 달 후인 2008년 1월에 3.7 mg/m<sup>3</sup> 으로서 약 1.4배 증가하였다. 직접적인 유류오염 사고의 영향을 많이 받은 태안보다는 1월의 클로로필 a의 농도가 적게 증가하였다. 그 외의 월별 농도변화는 태안과 유사한 형태를 나타내었다.

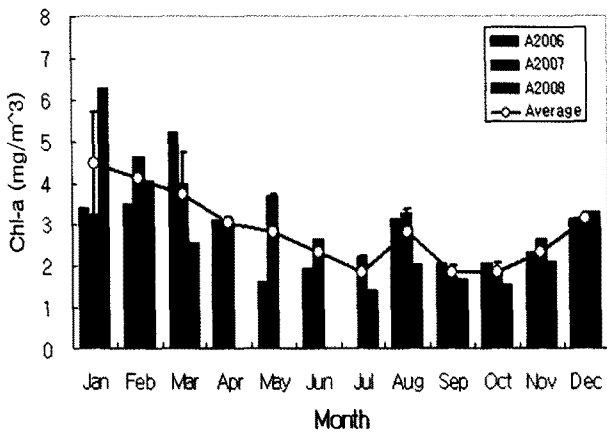


Fig. 7. Monthly variations of chlorophyll-a in Taean.

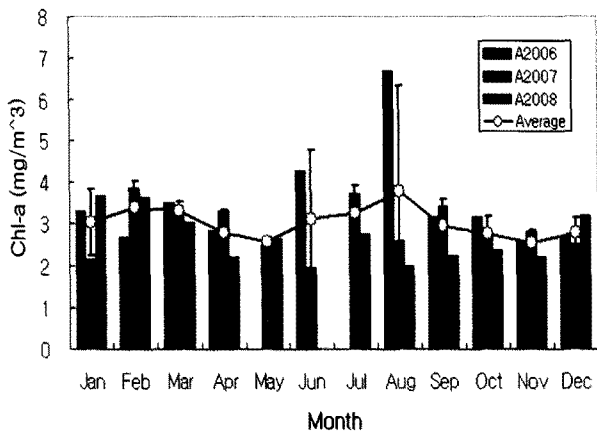


Fig. 8. Monthly variations of chlorophyll-a in Anmeon-do

### 3.5. 태안 및 안면도 지역의 클로로필 a의 단기변화

허베이스피리트 유류오염 사고 발생 전후의 클로로필 a 농도의 변화를 상세히 보기 위하여 태안과 안면도 주변 해역에 대한 2007년 11월 1일부터 2008년 2월 18일까지 MODIS와 SeaWiFS 8일 평균 영상에서 추정된 클로로필 a 농도를 Fig. 9와 Fig. 10에 나타내었다. 여기서 사고 발생 시점인 12월 7일은 그림에서 남북 직선으로 표시하였다. MODIS Aqua와 SeaWiFS에서 추정된 클로로필 a 농도는 11월 1일부터 12월 2일까지 두 영상 모두 증가하는 경향을 나타내었다.

유류오염 사고의 직접적인 영향을 받은 태안 주변 지역은 두 영상간의 클로로필 a 농도 값에 따른 차이는 있지만 유류오염 사고 발생 시점(Fig. 9의 남북 직선)을 전후로 한 농도 값이 MODIS와 SeaWiFS 에서 각각 약  $0.5 \text{ mg/m}^3$  와  $0.7 \text{ mg/m}^3$  로서 사고 발생 후 일시적인 급격한 농도의 감소를 보였다. Banks(2003)는 Galapagos Marine Reserve에서 유류오염에 의한 클로로필 a 농도 변화를 SeaWiFS 영상에서 분석하여 연안해역에서 유류사고가 나타난 일주일 내에 직접적으로 그 농도가 감소한 결과를 제시하였으나, 장기적인 변화에 대한 영향은 명백한 증거를 제시하지 못했다. 본 연구에서도

Banks(2003)의 결과와 유사하게 해석영상에서 사고 발생 후 클로로필 a 농도가 감소하였다. 또한, 본 연구에서는 Fig. 7과 Fig. 9에 나타난 바와 같이 유류사고 발생 후 1개월 정도는 클로로필 농도가 계속 증가하였다가 그 후에 감소하는 것을 알았다. 여기서 2008년 1월의 클로로필 a 농도의 증가는 유류가 아닌 자연적인 현상으로 증가하였다고 보기에는 다른 두 해보다 그 농도 차가 너무 큰 것을 알 수 있었다.

안면도 지역은 유류오염 사고 발생 직후의 자료가 없어서 직접적인 농도 차를 구할 수는 없었지만, 태안 지역과 유사하게 유류오염 사고 발생 시점에서 2주 지난 후에 클로로필 a의 농도 값이 감소하였다(Fig.10). 그 농도는 MODIS와 SeaWiFS 영상에서 각각  $0.5 \text{ mg/m}^3$  과  $0.9 \text{ mg/m}^3$ 의 감소를 나타내었다.

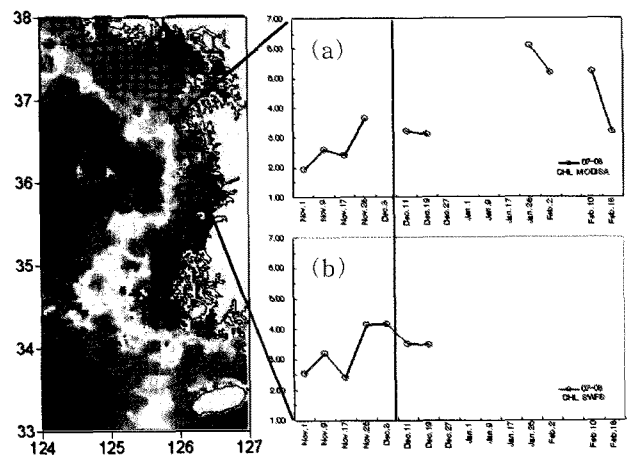


Fig. 9. 8-day variations of chlorophyll a concentration in Taean from November 1, 2007 to February 20, 2008. Chlorophyll a derived from MODIS satellite(a) and SeaWiFS satellite(b).

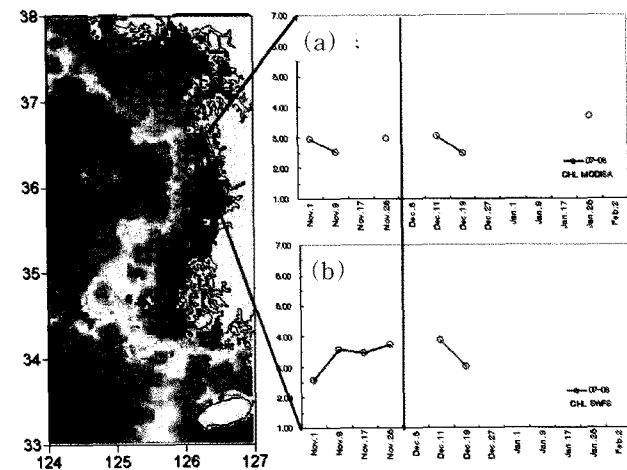


Fig. 10. 8-day variations of chlorophyll a concentration in Anmeon-do from November 1, 2007 to February 2, 2008. Chlorophyll a derived from MODIS satellite(a) and SeaWiFS satellite(b).

#### 4. 결론

본 연구에서는 위성자료를 이용하여 허베이스피리트 유류 오염 사고발생에 따른 유류확산 분포면적을 추정하였고, 또한 유류 사고발생 전후의 클로로필 a 농도 변화를 분석하였다. KOMPSAT-2와 ASAR 위성에서 추정된 유출유 확산 분포 면적은 각각 59,456 m<sup>2</sup> 과 1,168 km<sup>2</sup> 로 추정되었다. 유류오염 사고 전후의 바람은 북풍과 북서풍이 우세하였고, 유류오염 사고 당시 바람의 세기는 10 m/s 이상의 강한 북서풍이 탁월하게 나타났다. 이러한 강한 바람의 영향으로 유류의 연안 표착 시기가 빨라졌을 것으로 생각된다.

태안과 안면도 연안해역의 클로로필 a의 월별 농도는 유류 사고 당시인 2007년 12월에 각각 2.9 mg/m<sup>3</sup> 과 2.5 mg/m<sup>3</sup> 이었으나, 그 한 달 후인 2008년 1월에는 각각 6.3 mg/m<sup>3</sup> 과 3.7 mg/m<sup>3</sup> 로 클로로필 a 농도가 2.1배와 1.4배 정도 증가하였다. 또한, 이들 지역에서 클로로필 a 농도의 단기변화는 유류오염 사고 발생 1-2 주일 후에 그 농도가 감소한 것을 알았다. 본 연구결과로부터 유류오염에 의한 저차생태계의 단기변동을 파악하는데 위성관측 자료가 유용한 것을 알 수 있었다. 본 연구에서는 위성관측 자료만 이용하였지만, 향후 저차생태계의 변동을 보다 정확하게 모니터링하기 위해서는 현장관측 자료에 의한 검증과 수치모델에 의한 예측이 병행되어야 할 것으로 생각된다.

#### 감사의 글

본 논문은 국립수산과학원 동해수산연구소(RP-2009-ME-061, 동해 해양환경연구) 및 한국항공우주연구원의 “유류오염해역의 해양환경 모니터링“ 연구 과제에 일환으로 수행되었습니다.

#### 참고 문헌

[1] Ahn, Y. H.(2000), Development of remote sensing reflectance and water leaving radiance models for ocean color remote sensing technique. Journal of the Korean Society of Remote Sensing, Vol. 16, pp. 240-260.

[2] Ahn, Y. H., J. E. Moon and S. Gallegos(2001), Development of suspended particulate matter algorithms for ocean color remote sensing. Journal of the Korean Society of Remote Sensing, Vol. 17, pp. 285-295.

[3] Ahn, Y. H., P. Shanmugam, S Gallegos(2004), Evolution of suspended sediment patterns in the East China and Yellow Sea. Journal of the Korean Society of Oceanography, Vol. 39, pp. 26-34.

[4] Banks, S.(2003), SeaWiFS satellite monitoring of oil

spill impact on primary production in the Galapagos Marine Reserve. Marine Pollution Bulletin, Vol 47, pp. 325-330.

[5] Ekstrand, S.(1992), Landsat TM based quantification of chlorophyll-a during algae blooms in coastal waters. International Journal of Remote Sensing, Vol. 13, No. 10, pp. 1913-1926.

[6] Kim, S. W., S. J. Saitoh, Ishizaka, Y. Isoda, M. Kishino(2000), Temporal and spatial variability of phytoplankton pigment concentrations in the Japan Sea derived from CZCS images. J. Oceanogr., Vol. 56, pp. 527-538.

[7] Kim, S. W., S. Saitoh and D. S. Kim(2002), Spatial distribution of pigment concentration around the East Korean Warm Current region derived from satellite data. -Satellite observation in May 1980-. J. Kor. Fish., Soc. Vol. 35, No. 3, pp. 265-272.

[8] Kim, S. W., J. W. Lim and L. H. Jang(2008), Temporal and spatial variability of chlorophyll a in the northern East China Sea using ocean color images in summer. J. Environmental sciences, Vol. 17, No 1, pp. 85-95.

[9] Tassan, S.(1987), Evaluation of the potential of the Thematic Mapper for marine application. International Journal of Remote Sensing, Vol. 8, No 10, pp. 1455-1478.

[10] Tassan, S.(1993), An improved in-water algorithm for the determination of chlorophyll and suspended sediment concentration from Thematic Mapper in coastal waters. International Journal of Remote Sensing, Vol. 14, No 6, pp. 1221-1229.

원고접수일 : 2009년 11월 16일

원고수정일 : 2009년 11월 23일

게재확정일 : 2009년 12월 24일