

해양환경관측을 위한 원격탐사의 활용과 그 전망

유신재 · 정종철

한국해양연구소

Perspectives on the Application of Remote Sensing for Observation of Ocean Environments

Sin-Jae Yoo and Jong-Chul Jeong

Korea Ocean Research and Development Institute

Abstract : The aim of this review is to provide perspectives on the application of remote sensing techniques for observation of marine environmental changes on various spatio-temporal scales. Currently available remote sensing technologies are reviewed and future direction is suggested. For better utilization of remote sensing, a comprehensive plan should be developed by a demand-side and problem-solving approach.

Marine environmental changes should be observed on proper spatio-temporal scales where the processes occur. For appropriate observation and monitoring of various environmental changes in coastal regions, more sensors must be utilized. Platforms other than satellites should also be utilized to expand the spatio-temporal scales of observation. Calibration/validation activities, required for accurate interpretation of remotely sensed data, could utilize buoys and ship-of-opportunity sensors. It is desirable that such systems be developed as a part of an integrated monitoring network.

Key Words : remote sensing, ocean environment observation

요 약 : 본 소고의 목적은 광범위한 시·공간적인 규모에서 일어나는 해양환경의 변화를 관측하기 위한 원격탐사기술의 활용을 전망하는 것이다. 현재 적용되고 있는 해양원격탐사의 기술과 발전 방향을 고찰하여 바람직한 해양원격탐사의 활용방안을 제시하였다. 해양원격탐사의 효율적인 활용을 위해서는 현안문제 해결과 수요자 위주의 관점에서 종합적 계획을 세워 추진하는 것이 바람직하다.

해양환경변화는 그 변화과정이 가지는 시간적 또는 공간적 규모에 맞추어 관측이 되어야 한다. 해양과 연안해역의 다양한 환경변화를 적절히 관측하고, 모니터링하기 위해서는 이용 가능한 센서의 활용을 확대하여야 한다. 또한, 조사목적에 적합한 관측주기와 관측범위를 다양화하기 위하여 탑재대 (platform)의 종류도 다양화되어야 할 것이다. 현장관측치에 의한 보정과 검증 과정은 해양원격탐사 자료의 바른 해석을 위해 반드시 요구되는 단계로 부이 시스템이나 기회성 선박을 적극 활용하는 종합관측망의 일부로 개발되어야 한다.

주요어 : 원격탐사, 해양환경관측

1. 서론

해양에서 일어나는 현상은 시·공간적인 범위에 있어 육상의 현상과는 많은 차이가 있다 (Steele, 1995). 육상의 토양이나 식생의 변화는 하루나 몇 일 사이에 특성이 변하지 않는다. 반면에, 해양에서 일어나는 많은 현상들은 수 시간에서 수 년에 이르는 다양한 시간 변화를 나타내고 있다. 따라서, 원격탐사센서나 탑재대 (platform)의 고안은 이러한 특성을 반영하게 된다. 해양센서들의 공간해상력이 육상센서보다 낮은 것은 시간적 해상력과 공간적 해상력을 절충한 결과이다.

해양의 반사도는 대체로 육상보다 한 차수 (order) 낮기 때문에 신호의 절대값이 낮고, 위성센서에서 감지되는 광량의 80-90%가 대기잡음이다. 따라서, 물에서 올라오는 신호를 분석해내기 위해서는 육상관측 센서와는 다른 센서의 감도와 관측 밴드를 요구한다. 이와 같이 해양원격탐사는 육상원격탐사와 다른 특성을 가진다.

해양환경변화는 광범위한 공간범위에서 일어나고 있어서 전통적인 조사선 관측에 의해서 만든 적절한 관측이 어렵다. 예를 들어, 적조를 효과적으로 탐지하기 위해서는 수십-수백 m의 해상력으로 수 백 km의 공간을 하루 간격으로 관측해야 한다. 조사선에 의해 이러한 시공간적 규모로 적조를 관측하는 것은 실제적으로 불가능하다. 전 지구적 규모의 관측은 더 더욱 어렵다. 최초의 해양조사선인 챌린저호가 세계일주를 하는데 약 4년이 걸렸다. 이러한 관측의 제약은 해양학 발전의 큰 걸림돌이 되어왔다. 실제적 해양학 분야 (operational oceanography) 역시 관측 기술의 제약에 의해 발전할 수 없었다.

1960년 이래로 두 가지 방향에서 관측 기술의 혁명이 서서히 일어나기 시작했다. 즉, 다양한 센서의 개발과 원격탐사 기술이 그것이다. 지구 관측 분야에도 전자 기술과 우주개발 기술 발전의 파급효과가 미치기 시작한 것이다. 새로운 관측 기술은 시공간적 규모를 크게 확장하였다. 극궤도 위성은 대개 약 1 시간 반 전후로 지구를 한 바퀴

돌며 2 - 3일이면 전 지구표면을 훑을 수 있다.

1972년에 본격적 지구관측위성의 호시라고 할 수 있는 Landsat 1호가 발사되었고, 1978년에는 Seasat, TIROS-N, Nimbus-7이 발사되어 위성에 의한 해양 관측이 시작되었다. 현재는 많은 해양 관측위성이 작동 중이거나 또는 발사가 계획되어 있다. 1999년 12월에는 한국도 다목적 과학위성 1호를 발사할 예정이며, 여기에는 해색 (ocean color) 센서인 OSMI가 실리게 된다. 본 소고에서는 이러한 관점에서 원격탐사에 의한 해양관측 기술을 개관하고, 특히 실제적 해양학 분야의 측면에서 원격탐사 시스템을 어떻게 구축하는 것이 가장 효율적인가 하는 문제를 다루려 한다.

2. 해양관측센서와 탑재대

원격탐사란 시료를 직접 채취하지 않고 시료의 성질을 감지하는 기술이며 위성, 항공기 등의 탑재대에 탑재된 센서에 의해 수신된 신호를 분석하여 해양환경의 변화를 관측한다. 일반적으로 활용되는 신호는 전자기파로 UV-visible에서 길게는 마이크로 파에 이른다. 원격탐사에 쓰이는 센서는 신호의 종류, 신호의 발생 방법, 신호를 감지하는 방법 등에 따라 분류할 수 있다 (Murai, 1993).

해양관측센서는 신호의 성격에 따라 센서를 능동적 센서와 수동적 센서로 구분할 수 있다. 능동적 센서는 레이더와 같이 신호를 발생시켜 대상물체에 보내고 반사되는 신호를 해석하는 센서 종류

Table 1. Classification of sensor

구분	종류
신호발생	수동적(passive)
	능동적(active)
신호종류	가시영역(visible)
	열적외선(IR)
	마이크로파(microwave)
작동방식	영상화(imaging)
	비영상화(non-imaging)

Table 2. Visible and Ocean color sensors

sensor		satellite	country	spatial resolution(m)	No. of bands	operation launch
Ocean color	CZCS	Nimbus-7	USA	825	5	Nov. '78 - Jul. '86
	AVHRR	NOAA	USA	1100	5	'91 - present
	MESSR	MOS	Japan	50	4	Mar. '96 - present
	OCTS	ADEOS-1	Japan	700	8	Aug. '96 - Jun. '97
	SeaWiFS	SeaStar	USA	1100	8	Aug. '97 - present
	OCI	ROCSAT	Taiwan	800	6	Jan. '99
	OCM	IRS P4	India	360	8	Late '98
	MODIS	EOS AM/PM	USA	1000	9	1999 - 2000
	OSMI	KOMPSAT	S. Korea	880	8	Oct. 1999
	MERIS	ENVISAT	ESA	250, 1000	15	2000
	C-OCTS	HY-1	China	1100	10	2000
Visible	TM	Landsat 5	USA	30	7	'85 - present
	HRV	SPOT	France	20	3	'93 - present
	VNIR	JERS-1	Japan	18 x 24	3	'92 - '98
	SWIR	JERS-1	Japan	18 x 24	4	'92 - '98
	LISS-1	IRS-1C	India	73	4	'93 - present
	LISS-2	IRS-1C	India	36.5	4	'93 - present
	AVNIR	ADEOS	Japan	16	4	Aug. '96 - Jun. '97

를 말한다. 에너지 소요조건에 의해 이때 쓰이는 전자기파는 주로 마이크로파인 장파장에 국한된다. 마이크로파는 측정방식에 따라 SAR, scatterometry, altimetry 등이 있으며 해상풍, 파랑, 해수면 높이 등을 측정할 수 있다.

수동적 센서는 자연에 존재하는 전자기파를 사용하는데, 태양에너지의 대부분은 가시영역-근적외선 대에 분포하므로 주로 가시영역을 관측한다. 특히, 가시영역 중 청색, 녹색, 적색대에 각각 하나 이상의 폭이 좁은 (< 20 nm) 파장대 설정에서 해양의 낮은 반사도에 적합한 강도로 측정하는 방법을 해색 (ocean color)라고 하며, 해양의 엽록소와 부유사 농도 등을 관측할 수 있다. 모든 물체는 그 절대온도에 따라 열적외선을 방출하므로 열적외선의 측정은 수동적 센서의 또 다른 활용분야이다.

센서들의 작동방법에 의한 구분은 주사방식과 비주사방식의 기능적 구분으로 해양관측 센서를 구분할 수 있으며, 센서에 도달되는 신호를 영상화 (Imaging)할 수 있는 센서와 비영상화 (non-imaging) 센서로 구분할 수 있다 (Table 1).

해양원격탐사에 이용되고 있는 센서는 그 활용

목적과 적용분야가 광범위하며, 또한, 관측목적에 따라 다양한 센서가 개발되어 운용되고 있다. 이러한 해양원격탐사 센서 중 위성에 탑재된 가시영역 및 해색 센서의 예를 Table 2에 제시하였다. 이러한 센서는 다양한 종류의 탑재대에 탑재되어 지구관측 정보를 획득할 수 있다.

탑재대는 관측고도가 다르므로 관측의 공간적 해상력과 범위가 달라지게 된다. 탑재대에 따라 시간적 해상력도 다르다. 결과적으로 탑재대는 관측의 시·공간적 규모를 결정하게 된다. 한편 해양현상은 공간적으로는 수 m - 수 백 km, 시간적으로는 수 시간 - 수 년에 이르는 넓은 범위를 가진다. 한 종류의 탑재대로 이러한 넓은 범위를 다룰 수 없음은 물론이다. 때문에 관측고도와 해상력에 따른 다양한 탑재대를 활용하여 해양환경변화를 시·공간적 규모에 있어서 폭넓게 관측하는 것은 매우 중요하다.

해양환경의 여러 가지 현상, 즉 적조, 온배수 확산, 부영양화, 수질오염물질 확산, 유류 확산 등과 같은 각각의 현상들은 이들을 관측하기에 적합한 시·공간적 규모를 달리하고 있어서 관측센서 못

지 않게 탑재대의 선정과 활용이 해양원격탐사에 있어서 중요하다. 예컨대 한국은 연안역이 발달되어 있어 해양환경 대부분의 문제는 연안역에 치우쳐 있다. 현재 작동 중이거나 개발 중인 대부분의 위성은 극궤도 위성으로 대개의 경우 전 지구적 임무를 목표로 하므로 원양을 주 관측대상으로 한다. 연안역은 훨씬 높은 공간 및 시간 해상력을 필요로 하며, 극궤도위성은 연안역 관측에 필요한 시·공간적 해상력을 동시에 제공하기에는 부적합한 면이 많다 (예: 조석주기와 관련된 현상). 특히, 유류 유출과 온배수 확산, 적조 확산과 같은 연안환경문제는 관측자료의 실시간 획득과 분석에 의한 정보가 제공되어야 관측자료의 활용에 의한 방재효과를 얻을 수 있다. 따라서, 극궤도위성에 의한 관측빈도에 의해서는 적절한 관측이 어렵고, 자료의 수신 및 분석에 따른 제약이 있다. 이러한 문제를 극복하기 위해 Table 3에 관측고도에 따른 다양한 종류의 탑재대를 제시하였다. 이러한 탑재대는 관측범위, 관측빈도, 관측비용 등의 뚜렷한 차이를 가지고 있다.

GMS와 같은 정지위성의 경우 광범위한 동일관측지역을 매 시간 간격으로 관측하여 해수면 온도를 관측할 수 있으나, 공간해상력이 5 km로 낮아 연안관측에는 부적합하다. 궤도위성의 경우 해상과 가시영역의 센서에 의해 30 m - 1000 m의 다양한 해상력을 지니고 있으나, 동일지점 관측주기가 하루에서 십 수일로 다양한 시간해상력을 갖는다. 중·저고도 비행기, 헬리콥터, 열기구 등은 비교적 낮은 고도에서 해양환경을 보다 시·공간적으로 자세히 관측할 수 있으나, 넓은 면적의 관측은 많은 비용이 요구된다. 하지만, 구름의 영향을 피하고 관측하고자하는 지역을 관측자의 다양한 요구에 맞추어 자료를 획득할 수 있는 장점을 지니고 있다.

온배수 확산이나, 유류유출의 경우 높은 공간해상력을 요구하며, 문제가 발생한 시점에서 빈번한 관측이 요구되므로 이러한 탑재대는 관측목적에 따른 다양한 수요자 요구를 쉽게 만족시켜줄 수 있다. 하지만, 현재 활용되고 있는 위성에 의한 관측

Table 3. Platform types and observation height

탑재대	관측고도
정지위성	36,000 km
궤도위성	500 km - 1000 km
우주선	240 km - 350 km
라디오존데	100 m - 100 km
비행선	100 m - 50 km
고고도 제트비행기	10 km - 12 km
중, 저고도 비행기	500 m - 8,000 m
헬리콥터	100 m - 2,000 m
열기구	100 m
크레인 자동차	5 m - 50 m
지상 관측 차량	0 m - 30 m

은 높은 공간해상력을 가질수록 동일지점의 관측주기가 길어 관측하고자 하는 해양현상이 짧은 시간 내에 큰 변화를 나타내는 경우 분석이 어렵다.

경제적인 측면에서 위성이나 우주선의 경우 자료획득에 따른 초기 투자비용이 큰 반면 비행선, 열기구, 헬리콥터 등은 초기 투자비용이 낮고, 유지 및 보수비용이 지속적으로 요구된다. 또한, 위성과 같은 탑재대는 위성궤도 진입에 실패할 경우 경제적 손실이 큰 문제점을 지니고 있다.

3. 활용분야

위에서는 센서와 탑재대의 특성을 살펴보았다. 다음에서는 관점을 바꾸어 어떤 해양환경 문제를 관측할 수 있는가를 위성센서 위주로 개관하기로 한다.

1) 수온분포

해양환경의 물리적 환경요인 관측은 AVHRR에 의한 해수면의 표층수온 관측이 가장 널리 활용되고 있다. AVHRR을 이용한 광범위한 지역의 해수면 온도관측은 해양환경의 시공간적 변화를 이해하고, 해양에서 일어나는 다양한 현상을 설명하는데 적용되어 왔다 (Huh and Sim, 1987). 또한, Landsat 5 TM 열적외선 밴드는 120 m의 공간해상력을 가지고 있어서 연안해역의 표층수온 분포

를 파악하는데 이용되고 있고, 발전소의 온배수 확산이나, 임해공단의 열폐수 유출입 경로 등을 파악하는데 적용 가능하다. 최근 발사된 Landsat 7/ETM은 60 m의 해상력을 가진 열적외선 밴드를 가지고 있어서 지역적인 온배수의 확산을 분석하는데 좋은 공간해상력을 나타낸다.

2) 연안수질과 부영양화

기존의 해상색서는 대략 0.7 - 1.1 km의 해상력을 가지므로 연안역의 관측에는 해상력이 충분하지 못하다. 더욱이 1986년 CZCS의 작동정지 이후 1996년 ADEOS/OCTS의 발사까지 10년간 해상자료를 제공할 수 있는 센서가 운행되지 못하였다.

연안해역에서는 엽록소의 분포를 육상관측용 센서에 의해 관측한 경우가 많다. Bagheri and Dios (1990)는 TM 밴드의 다중회귀분석에 의해 New Jersey 연안해역의 부영양화를 평가하였다. 연안역의 엽록소 농도와 투명도의 분포 등을 이용한 부영양화의 평가는 공간적인 연안수질의 구분화가 가능하다. 정(1999)은 Landsat TM을 활용하여 천수만의 엽록소, 부유사, 투명도의 공간적인 분포를 추출하고, 천수만의 부영양화를 5 단계의

부영양화 단계에 의해 공간적으로 구분하여 제시하였다 (Fig. 1).

3) 연안 적조발생 및 식물성플랑크톤 대증식

적조와 같은 HAB (Harmful Algal Bloom)의 관측을 위한 원격탐사기법의 연구는 다양한 센서의 활용을 통해 진행되어 왔다. Gower (1994)는 AVHRR에 의한 적조관측 알고리즘을 제시하였고, Tassan (1993)은 Mucilage (White Tide)의 급격한 증식을 AVHRR 자료를 이용하여 해양의 확산범위를 밝혀내었다. 또한, Brown and Podesta (1997)는 CZCS 자료에 의해 대서양 남서해양의 *Coccolithophore* 대증식을 연도별 공간적인 확산과 분포범위로 분석하였다. 또한, Stumpf and Tyler (1988)은 AVHRR에 의한 Red band 알고리즘을 이용하여 연안해역에서 식물색소량 (pigments)의 분포와 대증식을 관측하였다.

국내에서도 수산양식과 연안생태계에 가장 치명적인 영향을 미치는 것은 유해성 적조의 발생이다. 적조의 확산범위와 확산진로 방향 등의 예측과 현황을 분석하여 수산자원의 피해를 최소화하려는 연구가 진행되고 있는데, Jeong and Yoo (1998)는

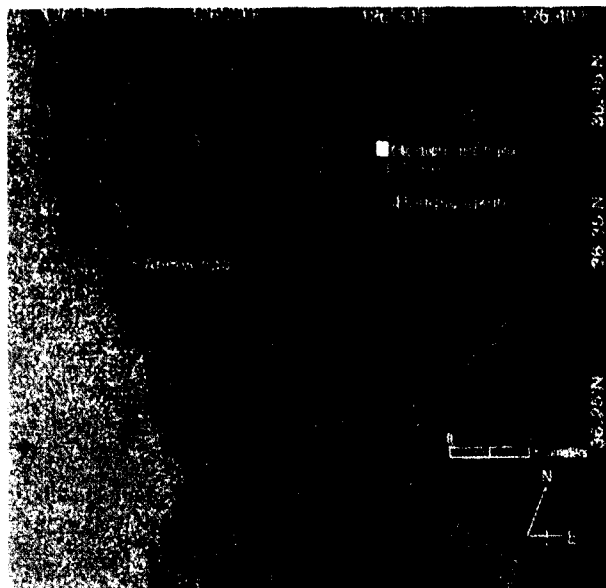


Fig. 1. Water quality map of calculated eutrophic states in Chunsu Bay using June 16, 1997 TM data (Jeong, 1999)

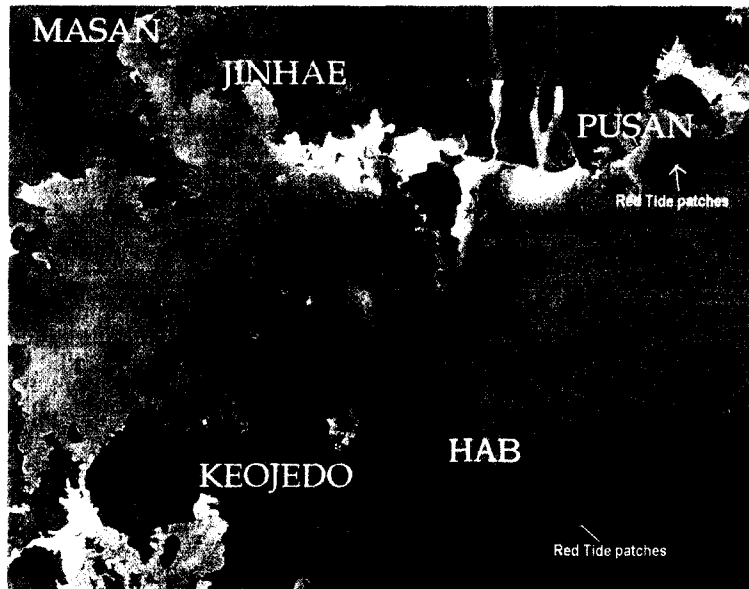


Fig. 2. Distribution of *Cochlodinium polykrikoides* bloom in the south sea using Oct. 3, 1995 Landsat TM data (Jeong and Yoo, 1998)

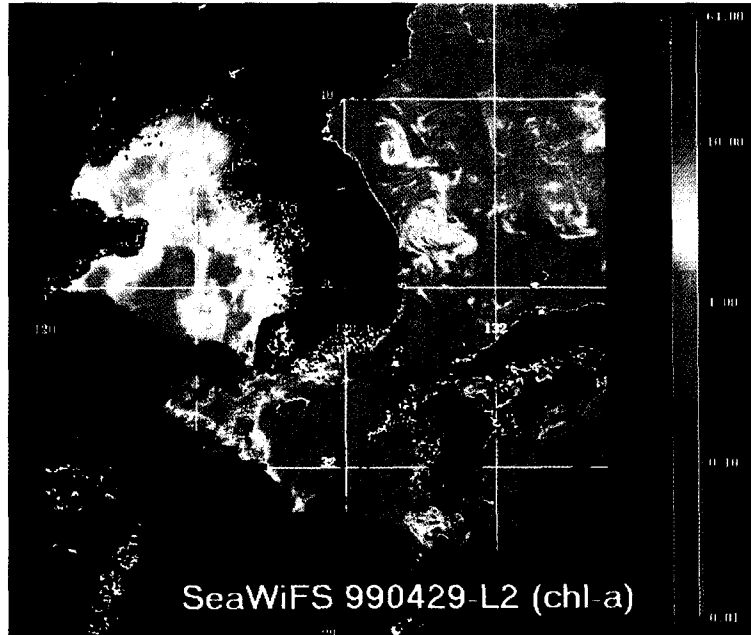


Fig. 3. Map of the concentration of chlorophyll-a on April, 1999 using SeaWiFS data (unpublished data)

TM 센서에 의해 국내 남해안의 적조 확산범위를 파악하였다. Fig. 2는 1995년에 남해안에서 발생하여 768억 원의 피해를 일으킨 *Cochlodinium*

*polykrikoides*의 확산범위를 TM자료를 주성분분석하여 나타낸 것이다.

4) 부유사 분포

연안해역의 부유사 분포연구는 Landsat MSS와 SPOT HRV가 적용되어 왔는데, Harrington and Schiebe (1992)은 MSS 밴드와 부유사의 실측치를 단순선형회귀식을 적용하여 분석하였으며, Reddy (1993)는 실측치와 MSS 밴드의 다중회귀분석에 의해 연안해역의 부유사 분포를 정량적으로 해석할 수 있는 관계식을 제시하였다.

5) 해양생태 및 수산환경

해양환경의 생물학적 변화요인은 CZCS센서에 의한 해양의 엽록소 농도 분포와 일차생산력 추정 에 관한 연구가 있었고, 수산자원의 분포와 관련하여 활용하려는 시도가 있었다. 해색원격탐사에 의한 엽록소 농도 분포와 일차생산력 추정은 해양의 식물플랑크톤에 의한 일차생산량을 추정할 수 있고, 이들을 먹이로 생활하는 동물플랑크톤과 어류의 잠재적인 분포역을 추정할 수 있다. 또한, 해양에서의 다양한 수산자원이 증가하거나 감소하는 원인을 공간적으로 해석하는 등의 해양생태와 수산환경의 분석이 연구될 수 있다.

1997년 8월에는 미국에서 SeaWiFS가 발사되어 해색관측에 의한 전 지구적인 엽록소 분포와 일차생산력의 추정에 관한 연구가 진행되고 있다. 해색에 의한 일차생산력 연구는 기후변동 프로그램에 있어 매우 중요하며, CZCS자료와 함께 OCTS, SeaWiFS의 자료를 JGOFS 등 국제프로그램에 활용할 계획으로 있다. Fig. 3은 1999년 4월 한국근해에서 관측된 SeaWiFS의 엽록소 분포이며 검은지역은 육지와 구름이다.

6) 연안지형 및 시설물 관측

항공사진, 8-16 m의 고해상도에 의한 SPOT, AVNIR 등의 위성자료는 방조제 공사, 해안매립 등의 연안개발사업을 통한 연안지형의 변화를 관측할 수 있다. 연안간척사업, 항만시설, 방조제 등

에 따른 주변 해양환경의 변화는 광범위한 공간적인 범위를 가지고 변하고 있다. 원격탐사는 갯벌 면적의 변화와 양식시설물 등의 현황파악을 보다 광범위한 범위에서 관측할 수 있으며, 연안지형의 변화를 주기적으로 관측함으로써 해안개발과 해안매립에 따른 환경영향의 평가가 가능하다.

7) 기 타

해상사고에 의한 유류유출시 유류의 확산범위를 파악하고, 적절한 방제대책을 제시하는데 원격탐사 기술이 이용되고 있다. SAR는 해수면에서 반사되는 오일막을 감지할 수 있어 유류유출시에 확산범위를 파악하는데 사용된다 (김, 1999). Scatterometry (예: ADEOS/NSCAT)는 해상풍, 표층해류, 파랑 등의 관측에 활용되며 altimetry (예: TOPEX/POSEIDON)는 해수면의 높이를 관측하는데 이용된다. 최근에는 마이크로웨이브 (SLFMR: Scanning Low-Frequency Microwave Radiometer)의 이용으로 위성자료에 의한 해양의 염분도를 관측하는 기술이 활용단계에 이르고 있다. Table 4에 가시 및 열적외선 밴드역과 해색센서에 의한 해양환경관측의 분야를 비교하여 제시하고, 관측된 분석결과를 비교하여 해양환경 관측분야의 적합성을 4 단계로 구분하여 제시하였다. 또한, 유류유출과 해빙과 해양의 파랑에 관한 SAR의 적용을 간략히 제시하였다.

마이크로파의 적용은 해양환경관측에서 광범위한 지역의 물리적 환경을 관측할 수 있는데, Table 5와 같이 수평-수직 해상력과 적용 센서와 해양환경을 비교하여 제시할 수 있다. 해색센서와 근적외선, 열적외선 밴드역과 마이크로파를 이용한 해양환경 관측의 적합한 공간해상력과 시간해상력은 관측 대상에 따라 다양한 차이가 있음을 Table 5에서 잘 나타내고 있다. Scatterometer로는 NSCAT이 자료를 제공하였고, altimeter는 TOPEX/POSEIDON이 현재 운용되고 있다 (이 외., 1998; 윤 외., 1998)

Table 4. The observation fields of ocean environment and sensor types

해양환경 관측분야	센서타입	이용센서	평 가				적용사례	
			공간해상력	분광해상력	반복주기	활용도		
적 조 (Harmful Algal bloom)	ocean color	CZCS	○	○	○	○	Tassan (1993), Gower (1994), Jeong and Yoo (1998), Stumpf and Tyler (1988)	
		OCTS	○	◎	○	○		
SeaWiFS		△	◎	○	○			
visible	TM	◎	△	×	△			
	AVHRR	△	△	◎	○			
부 유 사 (Suspended sediments)	ocean color	CZCS	○	○	○	○		Harrington and Schiebe(1992), Mayo <i>et al.</i> (1993)
		OCTS	○	◎	○	△		
		SeaWiFS	△	◎	○	○		
	visible	TM	◎	△	×	○	Doerffer <i>et al.</i> (1989), Reddy(1993), Mulhearn (1995)	
		HRV	◎	△	×	△		
AVHRR	○	△	◎	△				
표층수온 (Surface temperature)	IR	AVHRR	○	○	○	◎		Malm and Jonsson(1993), Huh and Sim(1987), Emery and Yu(1997)
		TM	◎	△	×	△		
기초생산력 및 부영양화	ocean color	CZCS	◎	○	○	○	Falkowski <i>et al.</i> (1998), Parslow(1991)	
		OCTS	◎	◎	○	○		
		SeaWiFS	◎	◎	○	○		
유류유출	IR	LISS	○	-	○	△	김 외.(1998) 이 외.(1998)	
		SWIR	◎	-	△	△		
해빙	micro-wave	SAR	◎	-	○	◎		
		SAR	○	-	△	○		
해양파랑	micro-wave	SAR	○	-	△	○		
연안지형 관측(갯벌, 해안 매립지)	visible	TM	◎	○	△	◎	Jo <i>et al.</i> (1997) Jo <i>et al.</i> (1998)	
		HRV	◎	○	△	○		
		SWIR	◎	○	△	×		
		LISS	◎	○	△	△		

*평가 : 매우 좋음 : ◎, 좋음 : ○, 보통 : △, 나쁨 : ×

Table 5. Resolution and accuracy of currently available satellite sensors for marine application

	Horizontal resolution	Temporal resolution	Accuracy	Sensors
Wind vector	10km	6h	1.5 ms ⁻¹ (speed) ±20°(direction)	scatterometer, altimeter
SST	1km	6h	0.1K	IR
Sea ice cover	10km	24h	2%	SAR
Sea ice thickness	25km	12h	10%	SAR
Sea ice edge	10km	24h	2%	SAR
Ocean color	1km	24-48h	Radiance accuracy <5%	Visible

4. 향후 해양원격탐사기술의 발전방향과 활용

현재 국내에서 활용되고 있는 해양원격탐사 자료는 Table 6과 같다. 해수면의 온도와 해양특성을 연구하는데 AVHRR 자료가 수신되고 있으며, 가장 널리 사용되고 있다. CZCS 이후 SeaWiFS와 같은 해색센서의 활용이 시작되었고, 1999년 12월 한국다목적과학위성 1호의 발사와 함께 OSMI센서의 해색자료가 공급되면 이에 대한 활용은 더욱 활발해질 것이다. 그러나, 국내의 위성자료 활용은 해색과 수온의 제한된 범위에서 활용되고 있으며, 센서 종류의 다양화가 필요하다.

원격탐사 기술을 개발하고 활용을 촉진하려면 여러 가지 측면의 문제를 해결해 나가야 한다. 크게 두 가지의 추진 방향을 생각할 수 있는데 센서나 탑재대 별로 접근하는 것과 현안문제 위주로 접근하는 것을 들 수 있다. 첫 번째 방법은 부분적인 기술문제 해결에는 효과적일 수 있으나, 전체적 활용에는 비효율적일 수도 있다. 특히 연구사업화의 측면과 전체적 문제해결의 측면에서 볼 때 현안위주의 접근방식이 더 효율적이라고 판단된다. 또한, 공급자 중심이 아닌 수요자 중심 개념의 도입이 중요하다. 이러한 관점에서 Table 7에 국내 해양원격탐사의 활용과 구축을 위한 방안을 단계별로 제시하였다.

해양환경문제를 원격탐사 기술에 의해 파악하

고 해결해 나가기 위해서는 먼저 1 단계로 해양원격탐사를 통해 얻어질 관측자료의 수요를 파악해야 한다. 적조문제, 해황예보, 연안수질오염과 같은 구체적인 현안문제에 대한 투자순위가 파악되어야 할 것이다.

2 단계로 관측목적에 적합한 탑재대와 센서가 선정되어야 한다. 해양환경문제 관측의 시·공간적 규모가 설정되어야 하고, 해양원격탐사의 수요와 현안문제 해결에 요구되는 비용과 효과를 분석하여 해양환경문제 해결을 위한 최적의 탑재대와 센서를 선정한다. 위성개발은 초기투자 비용과 위성궤도 운영의 실패에 따른 손실이 큰 반면 항공우주기술개발의 효과가 있으나, Table 3과 같은 다양한 탑재대의 활용은 보다 큰 경제적인 효율을 가질 수 있다. 중요한 것은 위성이 유일한 탑재대가 아니라는 점이다. 다양한 탑재대가 해양과 연안역의 원격탐사에 활용될 수 있으며, 관측범위의 시·공간적 규모를 결정하여 관측목적과 관측범위에 적합한 탑재대를 선정할 수 있다. 특히, 고고도 비행선의 활용은 적은 비용으로 정지위성 대신 활용될 수 있는 탑재대이다. 무인 항공기와 열기구 역시 비용이 위성개발에 비해 저렴하며 무엇보다 위성이 가지는 구름의 영향과 같은 제약을 보완해줄 수 있다는 장점이 있다. 장기적인 측면에서 원격탐사기술이 향후 기술발전에 기여하는 정도와 수요자들의 적극적인 활용이 가능한지를 평가할 수 있는 평가 시스템의 구축도 고려하여야 할 것이다.

Table 6. Satellite data receiving station, sensor, and application in Korea

국내기관	위성센서	활 용
기상청, 기상연구소	GMS, AVHRR	GMS 및 AVHRR 자료 수신, 판독, 기상예보 및 응용연구
국립수산진흥원	AVHRR, SeaWiFS, GMS	위성자료 수신, 판독 및 해황예보
서울대학교 해양연구소	AVHRR	위성자료수신 및 해양특성 연구
항공우주연구소	OSMI, EOC	해색자료 수신 및 보급 예정('99년 12월 발사 예정)
전파연구소	AVHRR	위성자료수신 및 보급(현재는 수신되지 않음)
진해기계창	AVHRR	위성자료수신 및 해양특성 연구
과학기술연구원	JERS-1C	위성자료 수신 및 보급, 육상관측연구(수신 중단)
	SPOT	위성자료 수신 및 보급
한국해양연구소	AVHRR	위성자료 수신, 판독 및 해양환경특성 연구
	SeaWiFS	위성자료 수신, 판독 및 생산력 평가

Table 7. Proposed planning procedures for marine environmental remote sensing

해양원격탐사의 활용계획 수립단계	구체적 방안
1 단계 - 해양환경관측자료의 수요 조사	- 적조, 연안수질, 해황예보와 같은 해양환경 현안문제의 중요도 평가 - 수산자원, 선박운행, 연구자 그룹 등 다양한 계층의 수요자 파악 - 투자 우선 순위 결정
2 단계 - 수요자 요구에 부합되는 탑재대와 센서의 선정 (비용-효과 분석)	- 관측 대상의 시-공간적 규모 파악 - 해양원격탐사의 수요와 현안문제 해결에 요구되는 비용-효과분석 - 초기투자 비용과 유지관리비용의 평가 - 수요자의 활용율과 기술발전의 기여도 - 적용 가능한 탑재대와 센서의 선정
3 단계 - 기술적 문제 파악, 알고리즘의 개발	- 탑재대의 운행과 센서의 활용에 따른 기술적 문제점 파악 - 현 기술단계에서 적용 가능성 평가 - 분석목적에 적합한 알고리즘 개발
4 단계 - 원격탐사자료 획득 및 검/보정 단계	- 검/보정 프로그램의 개발 - 센서의 검/보정을 해양종합 관측망의 일부로 활용 - 여객, 화물 운반 선박의 해양관측 활용 - 연안 무인관측망의 활용과 시스템화 - 해양환경관측 결과의 정확도 평가
5 단계 - 획득 자료의 활용과 공급 시스템 구축	- 자료의 처리 단계 구분화 - 자료 공급 및 활용을 위한 운영시스템 구축 - 기상 예보시스템과 같은 해황관측자료 공급

3 단계는 기술적 문제 파악과 알고리즘의 개발 단계로서 탑재대의 운행과 센서의 활용에 따른 기술적 문제점을 파악하고, 선정된 탑재대와 센서의 조합이 현 기술수준의 단계에서 실현 가능한지를 기술적으로 평가하여야 한다.

관측목적에 적합한 탑재대와 센서로부터 획득된 원격탐사자료는 해양환경을 해석하고 평가할 수 있는 분석목적에 적합한 알고리즘 개발이 요구된다. 현재까지 원격탐사기술의 많은 부분에서 자료의 활용을 높일 수 있는 알고리즘 개발에 관한 연구가 진행되고 있으나, 분석하고자 하는 해역의 특성과 관측하고자 하는 해양환경변화가 다양한 환경조건에 의해 영향을 받기 때문에 알고리즘의 개발은 많은 노력이 요구되고 있다.

4 단계는 원격탐사 자료의 활용에 대한 검-보정과 활용 범위의 확대이다. 획득된 원격탐사자료를 활용하려면 검증과 외삽-내삽에 필요한 현장자료가 필수적이다. 현재 세계적인 추세는 위성자료에 비해 현장자료가 절대 부족하다는 것이다. 해

색의 경우 NASA프로그램의 일환으로 SIMBIOS 프로그램이 설립되어 이러한 문제를 해결하려고 하는데 MODIS와 SeaWiFS의 보정과 검증을 위한 현장관측자료의 획득방법과 자료분석 기술에 대한 협의와 연구가 이루어지고 있다. SIMBIOS 프로그램은 SeaWiFS 자료를 제공하고, 이를 활용하기 위한 연구그룹이 각 연구지역에서 얻은 현장관측자료에 의해 위성자료의 보정과 검증을 실시하는데, 연구자 그룹의 염록소 알고리즘 개발과 분석자료의 비교, 수중광학자료의 획득과 검/보정 기술의 공동연구가 이루어지고 있다.

최근의 현장 관측센서와 부이 기술의 발달은 여러 가지 변수에 대해 현장자료의 연속적 관측을 저렴한 비용으로 가능하게 하고 있다. 기회성 선박 (ship of opportunity) 기술 역시 저렴한 비용으로 활용 될 수 있다. 이러한 부이 및 기회성 관측 시스템의 구축은 위성 개발 비용의 수십 분의 일만 투자하면 효율적인 운영이 가능하다. 위성개발은 막대한 비용을 소요하므로 위성기술 개발 자체

가 목적이 아닌 경우에는 위성을 개발하는 것이 비효율적이 될 수 있다. 현장관측 시스템을 구축하여 여기서 생산되는 자료를 외국의 위성개발기관에 제공하고, 그 대신 자료를 수신하는 것이 좋은 대안이 될 수 있다.

마지막으로 5 단계는 획득된 자료의 활용과 공급시스템의 구축이다. 다양한 해양환경의 변화를 관측하는 원격탐사자료는 자료처리 단계에 따라 다양한 수요자에게 공급 가능하며, 이러한 자료공급의 방법은 기상예보시스템과 같은 적조예보 시스템, 연안수질 평가자료 데이터베이스 구축 등 다양한 활용 범위로 제공될 수 있으며, 수요자는 분석된 자료에 접근이 쉬워야 할 것이다.

해양학의 발전은 보다 앞선 관측기술과 관측방법에 의해 조사된 자료를 분석하고 해석하므로 이루어질 수 있다. 이미 다양한 측정기기의 기술적 발전이 해양학의 많은 분야에 기여하고 있으나, 시·공간적인 규모를 크게 확장할 수 있는 해양원격탐사의 활용은 더욱 절실히 요구되고 있다. 특히 기후변화와 해양생태계의 장기변동, 전선대 등의 시공간적인 분석에서 원격탐사기술은 보다 많은 정보를 제공하여 줄 것으로 판단된다.

■ List of Acronyms and Abbreviations

ADEOS (Advanced Earth Observing Satellite)
 AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer)
 AVNIR (Advanced Visible and Near Infrared Radiometer)
 CZCS (Coastal Zone Color Scanner)
 ENVISAT (Environmental Research Satellite)
 EOS (Earth Observing System)
 HRV (High Resolution Visible)
 IRS-1C (Indian Remote Sensing Satellite)
 JERS-1 (Japanese Earth Resources Satellite)
 JGOFS (Joint Global Ocean Flux Study)
 KOMPSAT (Korea MultiPurpose SATellite)
 Landsat TM (Thematic Mapper)
 MSS (Multi-Spectral Sensor)

LISS (Linear Imaging Scanner System)
 MERIS (Medium Resolution Imaging Spectrometer)
 MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectrometer)
 MOS (Modular Optoelectric Scanner)
 NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration)
 OCI (Ocean Color Imager)
 OCM (Ocean Color Monitor)
 OCTS (Ocean Color and Temperature Scanner)
 C-OCTS (China-Ocean Color and Temperature Scanner)
 OSMI (Ocean Scanning Multispectral Imager)
 ROCSAT (Republic of China SATellite)
 SAR (Synthetic Aperture Radar)
 SeaWiFS (Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor)
 SWIR (Short Wave Infrared)
 SIMBIOS (Sensor Intercomparison and Merger for Biological and Interdisciplinary Oceanic Studies)
 VNIR (Very Near Infrared)

사 사

첫 번째 저자는 과학기술부 국책연구개발사업 97-NR-01-02-A-01 「OSMI (LRC) 영상자료처리 및 활용기술개발」에서, 두 번째 저자는 과학기술부 BSPN 97345-00-1092-2 「종합해양관측 시스템 구축」에서 지원받아 본 연구를 수행하였다.

참고문헌

김태림, 1999, 한국주변해역에서의 SAR 영상 응용예, 대한원격탐사학회지 15(1): 61-71.
 윤홍주, 김영섭, 이재철, 1998, Topex/Poseidon 위성 의 Altimeter 자료를 이용한 남인도양의 환경보정인자 특성에 관한 연구, 대한원격탐

- 사학회지, 14(2):117-128.
- 이동영 외, 1998, 종합해양관측 시스템 구축(I, II), 한국해양연구소, pp.519-650.
- 정종철, 1999, 원격탐사를 이용한 연안해역과 시화호의 수질평가기법, 서울대학교 박사학위논문, pp.62-86.
- Bagheri, S., and Dios, R. A., 1990, Chlorophyll-a estimation in New Jersey's coastal waters using Thematic Mapper data, *Int. J. remote sens.*, 11(2):289-299.
- Brown, C. W. and G. P. Podesta., 1997, Remote sensing of Coccolithophore blooms in the western south atlantic ocean, *Remote Sens. Environ.*, 60:83-91.
- Doeffler, R., Fischer, J., Brockmann, C., 1989, Analysis of thematic mapper data for studying the suspended matter distribution in the coastal area of the German Bight (North Sea), *Remote Sens. Environ.*, 28:61-73.
- Emery, W. J. and Y. Yu, 1997, Satellite sea surface temperature pattens, *Int. J. remote sens.*, Vol. 18, No. 2, 323-334.
- Falkowski *et al.*, 1998, Satellite primary productivity data and algorithm development: a science plan for mission to planet earth, SeaWiFS technical report series, Vol. 42, 1-36.
- Gower, J. F. R, 1994, Red tide monitoring using AVHRR HRPT imagery from a local receiver, *Remote Sens. Environ.*, 48:309-318.
- Harrington, J. A., and Schiebe, F. R., 1992, Remote Sensing of Lake Chicot, Arkansas : Monitoring Suspended Sediments, Turbidity, and Secchi Depth with Landsat MSS Data, *Remote Sens. Environ.*, 39, 15-27.
- Huh, O. K., and T. Sim, 1987, Satellite observation of surface temperatures and flow patterns, Sea of Japan and East China sea, late march 1979, *Remote Sens. Environ.*, 22:379-393.
- Jeong and Yoo, 1998, Detection of red tide patches using PCA, proceeding the 8th Pacific congress on marine science and technology.
- Jo, M. H., Y. Sugimori, and H. R. Jo, 1997, A soil property analysis of coastal lowland using Landsat TM image-The case of the Kimhae delta plane of Korea, proceeding of 6th annual workshop of EMSEA, 91-101.
- Jo, M. H., Y. Sugimori, and H. R. Jo, 1998, Property analyses of deposits and landform in tidal flat using Landsat TM images, proceeding of 7th annual workshop of EMSEA, 110-116.
- Mayo, M. A. Karnieli, A. Gitelson, and Z. Ben-Avraham, 1993, Determination of suspended sediment concentrations from CZCS data, *PE & RS*, 59 : 1265-1269.
- Mulhearn, P. J., 1995, Landsat reflectivities versus Secchi disc depths, *Int. J. Remote Sens.*, 16(2):257-268.
- Murai, 1993, Remote Sensing Note, The remote sensing association of Japan,12-45.
- Parslow, J. S., 1991, An efficient algorithm for estimating chlorophyll from Coastal Zone Color Scanner data, *Int. J. Remote Sens.*, 12(10):2065-2072.
- Reddy, N. A., 1993, Remote sensing mapping of suspended sediments in Krishna Bay Estuary, Andhra, India, *Int. J. Remote Sens.*, 14(11):2215-2221.
- Stumpf, R. P., Tyler, M. A., 1988, Satellite detection of bloom and pigment distributions in Estuaries, *Remote Sens. Environ.*, 24:385-404.
- Steele, J. H., 1995, Can ecological concepts span the land and ocean domains? In: "Ecological time series". T. M. Powell and T. H. Steele, eds, Chapman & Hul, pp. 491.
- Tassan, S., 1993, An algorithm for the detection of the white-tide (Muclage) phenomenon in the Adriatic Sea using AVHRR data, *Remote Sens. Environ.*, 45:29-42.