Journal of the Korean Society of Remote Sensing, Vol.15, No.1, 1999, pp.51~60

총 설

위성원격탐사와 지구과학

- 위성해양학 -

윤 홍 주

기상연구소 원격탐사연구실

Satellite Remote Sensing and Earth Science

- Satellite Oceanography -

Hong-Joo Yoon

Remote Sensing Research Laboratory, Meteorological Research Institute

Abstract : Today, satellite remote sensing plays an important role as a advanced science and technology, and becomes a superpower tool of the study and research in various fields of Earth Science. UN proclaimed that 1998 was the year of the oceans, and WMO chose the title of 'Weather, Ocean and Human activity' as the principal subject of the day of the world meteorology in march 23, 1998, respectively. As previously announced, these two memories give the great meaning for satellite remote sensing in oceanography. Therefore, this study reviews satellite oceanography for many specialists in the fields of the ocean and fishery science. In future, satellite oceanography will be greatly used to observe, monitor and predict various phenomena associated with the oceans, in order to seek safety in a natural disaster, and menage and conserve the oceanic environments and resources.

Key Words : Satellite Remote Sensing, Satellite Oceanography

요약 : 오늘날 위성원격탐사의 제분야는 새로운 첨단과학기술로서 지구과학분야에서 중요한 자리메김을 하고 있다. 1998년은 UN이 제정한 세계해양의 해이다. 따라서 이를 기념하여 위성해양학에 관련되는 사항들을 재정리해보고 나아가 해양수산의 과학기술분야관련 전문종사자들에게 새롭게 알리는것도 매우 의미 있는 일이라 하겠다. 아울러 본 총설은 끝부분에 기재한 위성원격탐사와 관련된 여러 서적들을 참고로하여 편술하였음을 밝혀둔다.

주요어 : 위성원격탐사, 위성해양학

1998년 8월 10일 접수 ; 1998년 12월 5일 수리.

I. 서 론

UN은 1998년을 세계해양의 해(the year of the oceans)로 선포하였고, WMO는 이에 초점을 맞추어 세계기상의 날(3월 23일)을 맞이하여, 그 주제를 날씨, 해양 그리고 인간활동(Weather, Ocean and Human activity)으로 선정하였다. 이렇게 주제를 정한 것은 20세기 말에서 21세기로 접어들면서 해양과 관련된 인간활동의 무대가 크게 증가되었고, 이로인한 해양에서의 안전과 효율적인 활동, 해양환경 관리 및 보호 그리고 여러가지의 해양자원 보존 및 유지를 위해서 위성을 이용한 해양 조사 및 감시와 해양기상학적인 봉사가 계속적이고 절대적으로 필요하다는 것을 의미한다. 앞으로 인간의 해운 및 해안활동과 유무형의 해양자원 및 해양환경의 지속적인 보존을 위한 국가적인 차원에서의 해양위성의 이용과 체계구축에 대한 일들이 더욱더 증가되어 질 것으로 보여진다. 이러한 추세를 감안할 때 해양과학기술과 관련된 유용한 도구 중의 하나인 해양위성의 이용은 22세기 해양과학기술이 한단계 발전하고 성숙되는데 크나큰 기여를 하게 될 것이다.

1. 문제점과 전망

수 세기동안, 해양학은 바다에서 몇몇 선박들이 제공해주는 부분적인 조사에 의존해 왔다. 그러나 오늘날은 위성을 이용해서 단지 몇 일간의 조사로도 세계해양의 대부분을 거의 다 조사할 수 있다. 다른 한편으로 1) 이러한 위성의 표면조사들이 오늘날 당면한 해양학적 문제들과는 어떻게 적절한 관계를 가지는가? 2) 위성의 샘플은 해양학적 시간 및 공간 스케일에 대하여 얼마나 잘 일치하는가? 3) 어떠한 해양학적 과정들이 조사되어 질 수 있고, 또한 어떠한 방법으로 조사해야 하는가? 4) 조사는 어느 정도의 정확도를 가지는가? 그리고 5) 공간으로부터 해양학적 자료를 가지기 위해서는 어떤 장비와 시스템이 갖추어져야 하는가? 하는 질문들에 대한 답들이 여러 종류의 다양한 문헌들에 산재해 있다.

대체로 공간으로부터 해양을 적절하게 조사하기위한 장비의 발전 및 배치는 전통적이고 학구적인 해양학 공동체의 밖에서 행해져 왔다. 외계현상연구를 추구하는 전파천문학자는 우선적으로 대기를 통해서 전파되는 전자기복사를 이해할 필요가 있었다. 지구와 행성간 공간관측에서 우주선의 전파를 사용하여 달, 화성, 금성 그리고 수성으로부터의 전자기파를 연구하는 행성학자는 이러한 복사가 거친표면을 탐침할 수 있다는 실제적인 방법을 설명하였다. 전자기 신호의 전파를 연구하는 과학자들은 종종 통신잡음을 지구물리적 신호로 변환하는데 있어서 전파에 영향을 미치는 현상을 연구하고 이러한 변환기술을 실제로 입증했다. 그리고 기상학자들은 위성에의하여 조사된 적외선 신호를 주의 깊게 분석하고 해양표면에서의 열적현상(thermal feature)의 지도를 만들었다. 사람들은 전자기 복사가 다양한 방법으로 매질과 상호작용한다는 것을 인식하게 되었고, 각자의 관심에 초점을 맞추어서 이러한 상호작용을 조사해 왔다. 한편으로는 그들의 연구는 거친표면으로부터의 산란 및 방출의 일반적인 성질에 대한 연구를 주도해왔다. 또 다른 한편으로는 그들의 연구는 최적화된 해양학적 장비의 고안과 구성을 이끌어 내었다. 자료와 관련해서 보면, 위성을 이용해서 표면바람, 파, 온도, 해류, 플랑크톤, 어군, 염분, 내부파, 해빙 그리고 수심측량 까지도 측정할 수 있게 되었다(Stewart, 1985).

이상과 같은 많은 새로운 현상들 때문에 해양조사기술은 다른 관련된 현상을 조사하기 위하여 발전된 아주 일반적인 기술의 특별한 예로 종종 묘사된다. 이것은 해양학적 문헌이아닌 다른 출판물에서 다루어 졌는데(Elachi, 1987; Lillesand, 1987), 어쨌든 이 사실은 위성해양학과 관련된 특별한 기술의 발전상태를 평가하는 것을 아주 어렵게 만든다. 즉, 마이크로파복사계(microwave radiometry)를 예로 든다면, 해양학자들은 대기중 흡수 및 산란을 측정하는 복사계의 원리에대한 일반적인 이론을 이해하려고 노력하기 보다는 해수표면온도를 마이크로파로 측정할 수 있다는 것에만 관심을 기

울이고 있다. 따라서 어떤 기술의 새로운 사용자들은 만약 그들이 특별한 장비로부터 자료의 해석을 유도해 내는 중요한 가설을 알고있지 못하다면 곤란한 문제에 부딪치게될 것이다. 이러한 어려움들은 위성해양학에 있어서 실제로 아주 민감한데, 여기에 이 분야의 급속한 발전과 관련되는 많은 기술들이 문헌상으로 아주 빈약할 뿐만아니라 아직도 기술보고서 외에는 설명되어 있지 않은 상태로 진행되어 왔다.

이 분야의 급속한 발전은 수 많은 영향들에 기인했지만, 보다 확실한 것은 해양조사를 위한 여러 새로운 위성들의 고안 및 발사가 어떠한 영향들 보다도 탁월하게 기여했다. 즉, 이것은 여러 위성들의 감지기로부터 해양학적 정보를 추출하는데 대한 새로운 기술의 발전을 의미한다. 한 좋은 예로 기상위성의 적외영상을 이용한 열적현상의 조사를 들 수 있다. 해양학적 문제의 연구에 대한 이러한 새로운 위성자료의 적용은 이제 시작되어졌으며, 미래에는 더욱 중요한 가치를 발휘할 것으로 예상된다.

2. 발전 경로와 현황

위성원격탐사가 해양학에 적용되기 시작한 시기는 1970년대말 부터인데, 이때 처음으로 Seasat 위성이 사용되었다. 해양학자들은 오래전부터 육상에서 원거리 감지도구를 이용하여 해양현장에서 관측한 자료와 같은 결과들을 얻고 이를 토대로 해양학에 대한 실제적인 의미를 이해하려고 노력해 왔다. 이러한 특별한 열망이 공간으로부터 지구를 조사하는 여러분야 중의 하나인 위성해양학을 탄생시켰다. 현재 수 많은 관련 과학자들은 이 분야의 미래에 대한 전망들을 긍정적으로 논의하고 있다.

위성해양학은 특별한 경로를 통해서 발전되어 왔다. 넓은 범위를 망라하는 기상학적 연구(부분적으로 해양학적 연구를 포함)는 지구조사시스템에 목적을 두었다. 이것은 실제로 위성해양학적 시스템이 아닌 위성기상학적 시스템을 의미한다. 사실 1970년대만 해도 해양학적 위성의 개념조차 없었다. 그러나 1980년대에는 적절한 균형발전과 함께 새로운 현상들이 모든 부분에서 서서히 나타났다. 1990년대에는 많은 여러 가지 위성들에 대해서 해양과 관련되는 감지기들이 고려되어진 것을 잘 알 수 있다. 즉, 공간에서 감지된 자료가 해양학과 관련되는 많은 과학분야에서 관심거리가 되고 있다.

위성해양학을 단순히 공간으로부터 해양학을 연구하는 분야로 생각해서는 안된다. 이것은 오늘날 전통 해양과학, 원격탐사 그리고 근대 정보기술의 결합인 종합과학이다. 각 밴드내 전자기 스펙트럼과 관련되는 여러종류의 공간 감지도구를 사용해서 수 많은 해양학적 요소들을 결정할 수 있는데, 이러한 도구들로서는 수동형(passive mode)과 능동형(active mode)이 있다. 수동형은 해양상층에서 반사된 지구방사 에너지를 수집하는 형태이며, 능동형은 전자기파 자체를 해양표면에 전도시켜 그때 반응되는 신호를 해석하는 형태이다. 가시광선, 적외광선 그리고 마이크로파가 적절하게 결합된 장비가 탑재된 위성은 해양수색, 해수표면온도, 표면거칠기 및 경사도 그리고 해빙 혹은 빙하의 상태를 조사할 수 있게 해준다. 자료에 대한 정도, 조사지역에 대한 공간해상도 그리고 조사주기에 대한 시간해상도와 관련해서 위성은 뛰어난 장점 및 특성들을 가진다.

II. 지구 및 지역규모 위성해양학

위성해양학을 지구규모 위성해양학(Global Satellite Oceanography: GSO)과 지역규모 위성해양학(Regional Satellite Oceanography: RSO)으로 나눌 수 있다. GSO는 주로 전체적인 해양현상 및 과정들을 다루는 반면, RSO는 위성영상의 해석을 기반으로 바다, 해안지역 그리고 연근해지역에서의 현상 및 과정을 연구하는데 목적을 둔다. 오늘날 GSO는 일반적으로 해양-대기간 대규모의 열역학적 상호관계, 지구규모 기후변화 및 이에 관련되는 계획들, 기상 및 해상 상태의 예측 그리고

전 세계해양 표층부에서의 식물성 플랑크톤의 생체분포연구 등에 관심을 가지며, RSO는 수괴(water mass)와 관련된 역학, 하구 강수유출의 확산, 국부지역에서의 생물학적 기초생산(식물성 플랑크톤의 1차생산력), 수질 및 오염물질 이동에 대한 환경문제, 해안지역과 연근해수와의 상호작용, 해빙의 형태적 특징 등에 초점을 맞춘다.

초기 위성자료의 요건에 맞추어서 결정된 해양학적 요소들을 가지고 대체로 RSO 혹은 GSO로 나눈다. 즉, 단일관측 면적, 공간분해 및 영상 수집주기 그리고 자료가 전송되는 지연시간 등과 관계된다.

감지기의 목록 및 탑재장비(감지기, 자료저장, 통신기능 등)의 구조와 관련하여, RSO에서는 위성자료를 저장하는 것 보다는 직접 자료를 전송하는 형태가 매우 중요하나 GSO는 그와 다르다. 예를들어 해안지역에서는 정교한 공간해가 필요한 반면에, 원해에서는 상대적으로 덜 정교한 공간해를 사용해도 무방하다. 앞으로 RSO와 GSO가 필요로하는 것을 동시에 만족시킬 수 있는 탑재장비의 최적화 문제가 고려되어져야 할 것이다.

해양 원시자료(현장자료)는 알고리즘을 증명하고, 위성자료 처리에 대한 소프트웨어를 검정하고, 해양학적 요소들을 결정하는데 있어서 오차를 평가하고 그리고 위성자료를 보정하는데 사용된다. 이것은 RSO와 관련되어 명확히 드러난다. 예를들어, 원해에 설치된 가스 및 기름 플랫트폼(platform)에서 현장자료인 해양 및 기상학적 자료를 수집하여 어떤지역의 해안감시와 관련된 정보로 이용할 수 있다. 이처럼 현장자료의 이용은 RSO와 관련해서 높은 신뢰성과 정확한 위성정보를 얻는데 도움을 준다.

RSO와 GSO간에는 뚜렷한 데이터베이스의 차이가 있는데, 이것은 시·공간적 차이와 사용되는 수치모델 형태의 차이 때문이다. 이것은 컴퓨터의 기능 및 능력과 관계되는 수치모델과 자료동화(assimilation) 형태의 차이들 때문이다.

자료전송의 연계(link)능력과 출력정보 배포시스템과 관련하여, 아직도 다양한 사용자들에게 위성자료를 전송하는데는 상당한 문제가 있다. 많은 RSO사용자들은 3시간 전송시간 내에 일간 영상(대소형의 만, 해안 및 연안수)의 높은 해상도를 필요로 한다. 특히 기상예보를 하는 곳은 2번 정도 전지구를 적용범위(coverage)로하는 낮은 공간해상도의 자료를 필요로 하는 반면에 기후학자들은 전송시간에 대해서는 전혀 관심이 없을 것이다. 따라서 위성자료 및 자료가 부가된 후의 출력정보에 대한 전송연계의 총길이, 구조 그리고 능력도에 따라 RSO와 GSO는 각각 운영의 차이를 가진다.

GSO관련 주 사용자는 국가 및 국제적 위성자료 수신국을 가지고 있는 소수의 과학센타들인데, 이들은 대용량의 자료를 처리, 해석 그리고 저장하는 높은 기술적 능력을 소유하고 있다. 수신국은 가능한 사용자들에게 자료를 간소하고 값싸게 처리, 저장 그리고 배포해야 한다. 한편 RSO와 관련해서는 지방자치단체, 연구기관 그리고 선박도 위성자료를 이용하는 전형적인 최종 사용자들이다. 또한 최근에 해양환경을 감시 및 통제하는 책임을 맡고있는 여러 기관들도 역시 사용자가 되었다. 따라서 과학의 한분야로서 RSO는 사용자들을 위해서 초점이 맞추어져야 하고, 현재 그들의 경험, 기능 및 인력자원을 고려하여 요구에 부합되는 소프트웨어, 도구 그리고 사용방법들이 제공되어져야 한다.

많은 사용자들에게 자료 및 서비스의 집중화 시스템은 현추세의 요구와 일치해야 하고 그리고 다양한 출력정보물을 제공해야 한다. 일반적으로 GSO사용자들은 제한적이고 안정된 출력정보를 가지는 반면, RSO사용자들은 아주 유연하고 다양한 출력정보가 요구된다. 그러면 지구 및 지역규모의 출력정보에 대하여 세부적으로 알아보자.

III. 지구규모 출력정보

지구규모 출력정보물은 GSO와 관련해서 기상 및 해수상태 그리고 해양순환모델에 제공된다. 그리고 해양학적 목적을 위한 초신세대 지구자원조사위성의 사용이 대표적인 예가 된다. 다음과 같

이 해양수색 및 해수상태의 조사와 관련되는 위성들을 폭넓게 나열할 수 있다.

ERS(European Remote sensing Satellite)에 탑재된 일련의 능동마이크로파 장비(고도계, 합성개구레이다[Synthetic Aperture Radar: SAR], 산란계)들은 3시간 범위내의 준 실시간(near real time)에 규칙적인 지구규모의 바람 및 파 자료를 제공한다. 이것은 단기 기상 및 해수상태의 예보를 산출하기 위한 모델에 동화자료로서 사용이 가능하다. 바람장 산출은 3일에 걸쳐 지구규모의 적용범위에 대해서 자료가 제공되는데, 고도계(7Km 겹침도에 대한 바람속도 자료와 위성 하 7Km) 및 산란계(500Km에 대한 바람속도 및 방향 자료와 50Km 지상해상도)로부터 동시적으로 표면 바람장이 측정된다. 수치모델에 입력되는 위성의 초기 바람자료의 동화는 기상예보를 개선시켜 준다. 산란계자료는 약 5%의 오차와 함께 단기예보의 정확도를 개선시킨다. ERS산란계의 바람자료는 최적감지마이크로파(SSM/I), TIROS조작 수직사운드(TOVS), 전통적인 측정기구, 비행기, 부이(buoy), 배 그리고 네트웍화된 기상조사국 등의 자료들과 결합(통합)되어져 매일 1200UTC에 산출되는 ECMWF(European Center for Medium-range Weather Forcast)의 초기해석장에 사용된다. 이때 모델은 20분 단계로 실시간에 앞서 초기자료가 주어지고 6시간 단계로 앞선 5일까지 그리고 12시간 단계로 앞선 5-10일까지 예보를 하는데 제공한다. 또한 지구규모 원거리통신시스템(Global Telecommunication System)을 통해서 매 6시간 마다 미국립기상대(US National Weather Service)에 보내어 진다.

ERS는 2개의 장비를 작동시켜 해수상태에 대한 복합자료를 측정한다. 즉, 고도계레이다는 유의파고 높이를 그리고 합성개구레이다는 해양파의 방향스펙트럼에 대한 정보를 각각 제공해 준다. 특히 SAR는 적용범위지역에 대한 해양파 스펙트럼을 제공한다. 3시간 범위내의 조사된 위의 자료들은 원거리 통신시스템을 통해서 미국립기상대에 전송되어져 파를 모니터링(monitoring)하고 해석 및 예측한다.

Topex/Poseidon 고도계의 자료는 약 4cm 오차와 함께 해양역학고도를 조사하는데 제공된다. 그리고 ERS 고도계의 자료는 8-10cm 오차를 보인다. 즉, 고도계자료가 네트웍된 현장자료와 결합되어져 수치모델에 동화되면 아주 높은 단계의 해양순환예보를 해낼 수 있다. 35일 반복주기를 가지는 ERS는 적도지역에서 캘빈 및 로스비파(Kelvin and Rossby waves), 중위도에서 와동류(eddy) 그리고 고위도에서 뚜렷한 소규모 변화를 조사하는 것이 가능하다. 전 시간에 걸쳐 이러한 현상들의 발달과정을 감지할 수 있다. 적외선감지기를 탑재하여 해수면온도 영상을 제공하는 NOAA의 AVHRR(Advanced Very Heigh Resolution Radiometer)과 ERS의 1Km 수평해를 가지는 ATSR(Along Track Scanning Radiometer)들로부터 전선지역의 해양순환을 상세히 파악할 수 있다(Maul, 1985).

Nimbus-7에 탑재된 CZCS(Coastal Zone Color Scanner)는 해색(ocean color)의 계절 및 년간 변화 특성을 보여주는 지구규모의 클로로필(chlorophyll) 분포에 대하여 많은 지식을 가져다 주었다(Gordon and Morel, 1983). 지역규모에서 CZCS는 해안지역의 생물활동 양식(pattern)을 보여줌으로써 위성이 제공하는 해양학적 자료로 해양생물학자들을 고무시켰다. 현재 해양공동체는 신세대 해색감지기를 갖춘 SeaWiFS의 해색영상에 많은 기대를 걸고 있다.

해색 및 온도스캐너(가시 및 근적외선밴드에 6개 채널과 열밴드에 4개 채널)를 갖춘 ADEOS(Advanced Earth Observing Satellite)는 지상 해상도(700 m)와 클로로필 및 용존물질농도(1000 Km ×1000 Km)에 관련된 자료를 1996년 8월부터 1997년 6월까지 제공했다.

IV. 지역규모 출력정보

지역규모의 위성모니터링을 통해서 온도, 해빙, 해류 그리고 부유퇴적물 등을 조사할 수 있다. 온도의 경사 및 공간적 특성(길이, 폭, 형태, 구조,

잔존시간, 출현빈도)을 제공하는 SST는 해안용승 현상을 감지 및 연구하는데 넓게 사용된다. 용승 현상과 관련된 대기순환과 해안지역의 용승현상들을 예측하기 위하여 위성모니터링이 계속 수행되어지고 있다. 그리고 와동류 연구는 지역 및 국부규모의 기상역학에 대한 새로운 지식과 해양 및 해안환경생태와 관련되는 환경문제를 이해하는데 도움을 준다.

일반적으로 해양오염감시는 다음과같은 활동으로 이루어 진다. 수질 및 해조류 번식, 탁도결정, 퇴적물 이동 및 하구연구 그리고 기름띠(oil-slick) 감시 등 이다. 이러한 활동들은 주로 가시 및 적외선밴드의 위성영상처리를 기본으로 하는데, 이때 구름이 없는 기상조건이 요구된다. 양호한 조건에서 바람과 해수표면의 거칠기를 조사하는 레이다는 영상을 통하여 기름띠를 감지 및 감시하는데 유용하다. 그러나 위의 활동들이 자연에 기인하는지 혹은 인간에 기인하는지를 알아내는 것은 항상 어려운 문제이다. 오염물질의 진전 및 궤적(trajectory)의 기술적 감시와 예측은 지역 및 국부규모의 수리역학에 근본을 둔다.

경제수역에서의 어선 및 선박에 대한 위성의 연근해 감시는 중요한 활동의 한부분이 되었다. 공간활동의 한부분으로 오염감시 목적과 관련된 해안지역 감시 및 관리에 대한 유용한 위성정보가 연안, 해안 및 저층 지형학(topography)으로 제공된다. 즉, 해안 근처 맑은 해수역의 위성영상은 수심 및 해저 바닥구조에 대한 지식을 가져다 주는데, 이러한 영상을 기준으로 하여 현장자료가 사용되고 해저 거칠기의 형태로부터 해저특징을 알 수 있다. 고분해 레이다영상은 표면해류 변동 등의 여러 가지 역학과 관련하여 유용하게 사용된다.

RSO에서 가장 뛰어난 성과 중의 하나가 위성을 통한 해빙(sea ice)조사이다. 현재 해빙의 피복, 두께 그리고 경계와 관련된 해양학적 요소들에 대한 맵핑(mapping)에는 5가지 형태의 위성장비가 사용되는데, 즉, 가시 및 적외선 복사계, SAR, 마이크로파복사계 그리고 고도계가 있다. 해빙이 덮힌 해양에서 작업을 하는 선박들에게 2가지 방법으로 정보를 제공하여 도움을 줄 수 있다. 첫째는 해빙국(ice center)에서 위성영상을 받아 해석하고 해빙지도(ice chart)를 산출하여 선박에 전송하는 것이고, 둘째는 선박이 위성영상을 직접받아 해빙지도를 산출하는 것이다. 이때 탑승승무원의 분석능력과 항해하는 선박이 획득한 위성영상의 질에 의존하게 된다. 따라서 극지역에서 수송의 안전성과 효율성을 가지기 위해서는 앞의 두기능의 결합이 완벽하게 이루어지는 것이 좋다.

1972년 이후부터, 미해군과 NOAA의 통합해빙국(Joint Ice Center)은 유용한 위성영상을 해석하여 일주일 간격의 북극해빙도를 산출했다. 이 유용한 영상지도는 원거리 통신시스템을 통하여 배포되는데, 캐나다, 노르웨이 그리고 기타 국가들로 구성된 북극해빙해석그룹이 이용을 한다. 러시아의 해빙정보시스템은 3가지 주요 부분으로 구성된다. 초기자료의 근원인 위성, 지상분석센타 그리고 지상국 혹은 위성을 통한 통신연계망들이다. 즉, 여러 위성들의 초기정보(NOAA의 레이다영상, 가시 및 적외성영상)가 입력되고 출력시스템을 통하여 칼라 표출화면 및 내용설명 세트(text comment set)로 나타난다. 이것들은 위성 TV채널 혹은 전자통신채널에 전송되어 북극지역에서 작업을 수행하는 쇄빙선(icebreaker) 뿐만 아니라 전세계 해양의 모든 지역에서 이용되도록 만들어 진다. 또한 이러한 적외영상들은 쇄빙선에서도 역시 받을 수 있게 끔 되어있다. 미해안경비대의 쇄빙선이 가장 잘 조작처리된 시스템을 사용하고 있는데, 이때 NOAA의 AVHRR(가시, 적외자료: 1Km의 공간해) 및 TOVS(기상자료), Argos(부이자료: NOAA를 통하여 중계됨) 그리고 DMSP(Defense Meteorological Satellite Program)의 SSM/I(영상 가시, 적외자료: 12-40Km의 분해능) 및 OLS (Operational Line Scanner, 조작선형 주사기: 500m의 공간분해능)를 이용한다. 그리고 ERS 레이다 영상의 저분해도(100m)화면이 특별히 소규모지역 감시에 유용하다는 것을 입증했다. 비록 완전한 것은 아니였지만 북극에서 쇄빙선, 어선, 여객선, 외해시추작업, 오염통제, 해안구조작전 그리고 여

러 해양활동들에 대해서 도움을 주었다.

RSO의 중요한 부분으로서는 해양에의 적용 및 해안지역관리에 대한 지역적 지리정보시스템과 위성데이타시스템의 사용이다. 오래전부터 원격감지는 해안지역의 생물자원조사계획(Coastal Living Resources Research Programmes)의 한부분이 되어 왔다. NOAA 해안해양계획(Coastal Ocean Program)의 일부인 해안감시계획(CoastWatch Program)은 연방, 주정부, 지역과학자 그리고 해안자원 경영자들에게 위성출력정보물과 현장자료를 제공해 준다(NOAA, 1993). 출력정보물은 디지털화된 SST 및 탁도에 대한 영상을 제공한다. 현재 SeaWIFS는 해양클로로필 및 탁도영상을 제공한다. 예를들어 멕시코 영공을 통과하는 위성은 8개 해안감시네트웍(CoastWatch network)을 통하여 3시간 범위내 자료를 하루 4번씩 높은 분해도(1.47Km)를 가진 영상을 제공한다. 이러한 예가 해양학적 적용 및 해안지역관리에 관련한 지역규모 위성해양학의 대표적인 데이터베이스의 예인데, 생광학적 자료인 CZCS(800m)는 멕시코만의 시·공간적인 변화를 잘 나타낸다(Firestone and Hooker, 1995). 이것은 지역적 데이터베이스를 사용하여 해안지역 해수의 광학적 특성을 예측하는 것으로 동시에 수중 저층생물의 식별 및 해안피복분류시스템에 대한 일련의 맵핑프로토콜(mapping protocols)의 전개 및 수행(implementation)을 포함한다. 원거리감지자료는 규칙적으로 해안피복변화를 모니터링하고 데이터베이스를 구축하는데 사용된다. 멕시코만은 원거리감지의 방법론적 적용과 해안지역경영의 새로운 개념들을 수행하는 GIS발전을 위한 시험지역으로 이용되고 있다.

오늘날 선진국에서 해양모니터링 및 예견시스템은 위성분야에서 중요한 부분 중의 하나로 받아들여지고 있다.

V. 특성과 경향

10년 전과는 달리 현추세는 위성에 해양관련 감지기를 탑재하고 있다. 그리고 다른 추세는 해양학적 정보를 제공하지않는 감지기 및 위성들로부터의 자료를 사용하는 것이다. 몇가지 예를들면, 공간에서 적도강우감시(Tropical Rain Monitoring)을 위한 운행은 해양표면에서의 강우를 평가하고 표면염분의 변화를 잘 알게 해준다(Robinson, 1985). 상층공기조사위성자료(Upper Air Research Satellite Date)는 표면바람자료, 총태양복사도 그리고 태양수지변화에 대한 정보를 제공해 준다(Meteo. and Oceano., 1995). 오존측정은 생물학자들에게 중요한 관심거리인데, 성층권내 오존감소는 해양표면에 자외선의 증가를 가져다 주고 플랑크톤을 증식을 심각하게 감소시킨다(Kidder and Vonder, 1995).

현재는 위성정보가 지역적 데이터베이스를 창출하는데 초점을 두는데, GIS의 발전과 함께 위성 및 현장 데이터세트는 GIS구조의 범위내에 결합, 저장 그리고 해석된다. 그리고 지역 해양 및 만과 같은 뚜렷한 국부규모에 강조를 둔 기술이 폭넓고 다양하게 발전하는 추세이다. 수괴의 지역 및 국부규모 특성을 계산하는 알고리즘은 계산을 위해서 수치적 요소 및 변수값들을 필요로 한다. 따라서 현장자료는 매우 중요하며 그 역할이 쇄퇴하지는 않는다.

위성자료의 사용자들은 넓고 다양한 범위에 걸쳐서 분포되어 있다. 아직까지는 사용자들을 위해서 표준화되어 있지는 않치만 조만간에 일반화 되어질 것이다. 그리고 사용자들을 위한 규칙적인 훈련과 교육적 서비스를 담당하는 기관설립의 필요성이 대두되고 있다.

위성자료의 해양학적 적용에 대한 시·공간적 해상도와 관련하여 공간감지기 능력의 급속한 진보가 예상된다. 넓은 범위의 해양학적 요소들은 해양학자들이 특별히 관심을 갖는 지역에대한 규칙적인 적용범위 및 장기연속자료의 구축을 결정짓는다. 몇몇 표준화된 감지기들은 이전의 감지기들을 대신하여 새로운 감지기의 역할을 대신하므로써 상당히 많은 연속성을 가지는 자료를 제공한다. 따라서 위성해양학의 역사는 충분히 극적인

사건들이며 앞으로 일맥상통되는 예상들로 규정된다.

1978년에 단지 106일만 운행되었던 최초의 해양학적 위성이라할 수 있는 Seasat는 확실하게 해양관련 정보를 제공하기 위해서 만들어진 위성은 아니였지만, 어쨌든 여러 실험위성들과 관련된 감지기 고안 및 자료 평가기술의 점진적인 발전에 기여하였고, 또한 Nimbus-7의 CZCS는 해색 특성에 대한 유용한 자료를 제공했다. 그리고 Topex/Poseidon은 해류와 관련된 여러 정보를 제공하므로써 고도계의 새로운 지평선을 열어 주었고, ERS는 해수상태 및 해빙의 자료수집에 있어서 능동 및 수동마이크로파 장비의 높은 잠재력을 제시했다. 끝으로 러시아 OKEAN위성의 SAR는 극지방에서 야간에 빙하와 관련하여 선박 항로에 대한 정보를 효율적으로 제공했다(Victorov, 1998). 이러한 각각의 예들은 공간을 기반으로하는 해양조사 시스템의 성공일 뿐만아니라 원거리 조작에의한 위성운행의 승리를 대변한다. 이러한 시스템이 없을 때 각 감지 및 운행은 취약성을 가지게 된다. 즉, 위성 감지기를 회수 못하고 기능이 작동 못할 경우에는 위성 초기자료를 대치할 방법이 없고 따라서 연속자료의 결손을 초래한다. 수년에 걸쳐 DMSP의 SSM/I는 해양표면 바람의 속도, 수증기량 그리고 강우량들에 대한 방대한 기본자료를 제공했다. 앞으로 이러한 감지형태가 신뢰성있는 연속 시간시리즈로 20년이상 제공되어질 것이다.

실제로 이와관련된 확실한 서비스의 인상적인 한예로, NOAA위성의 AVHRR감지기는 초기에 해양학적 위성으로 고안되지는 않았으나 20년이상 연속적으로 자료를 해왔으며, 실시간에 믿을만한 SST자료를 아침과 저녁에 최소 하루 4번씩 제공한다. 즉, 지구로 송신해오는 정보를 지역 사용자로 하여금 직접 사용할 수 있게 하므로써, AVHRR은 전세계에서 가장 대중적인 우주중계 도구가 되었다. AVHRR자료는 어황예보, 해안지역모니터링 그리고 수 많은 해양관련 문제들을 해결하는데 사용되어 진다. NOAA의 AVHRR자료가 직접 사용자들에게 전송됨으로서 RSO가 발전하는 원인이 되었다는 것은 전혀 과장된 표현이 아니다. 현장자료 수집시스템과 관련하여 NOAA 시리즈 및 Argos의 두감지기들은 장기간의 지구규모자료를 획득하는데 대한 국제적인 협력 및 결속을 보여준다.

일본항공우주국(Japanese Space Agency)의 지상통제자들은 1997년 6월 30일에 ADEOS와의 교신에서 실패하여 위성기초자료의 취득과 관련한 취약성과 허약성을 드러내었다. NASA의 NSCAT (Nasa SCATtermeter)는 해수표면 바람장을 측정했는데, 이 장비로부터 제공되는 정보는 일기예보를 위해서 사용되어졌다. 그러나 이 장비의 유실은 특별히 예민하게 받아들여 진다. 비록 ADEOS를 대신하는 것이 계획되어져 1999년에 수행되겠지만 가장 큰 손실은 장기간의 자료세트에 대한 불연속성 때문이였다.

VI. 위성해양학의 실행

우선 위성자료는 사용자 공동체의 요구에 만족스러운 시·공간해상도를 제공하는 자료가 되어야 한다. 그러나 사용자 집단은 결코 같은 집단이 아니므로 요구되는 자료에 대한 정의가 빠른 시일내에 정립되지는 않을 것이다. 이러한 난점을 해결하기 위해서는 지구규모 해양조사서비스(GOOS, Global Ocean Observing Service)의 해양서비스부분(Oceanic Services Module)에 대한 WMO(World Meteorological Organization)가 요구하는 사항을 따르면 타당할 것으로 보여진다(WMO, 1996; IOC, 1997). 다시말해서 해양위성집단과 원격탐사집단간의 정보교환계획, 즉 상호 기술적 노력을 통하여 요구사항에 유연하게 대처하는 것이 필요하다.

예를들어 지구규모적 환경에서 바람벡터는 1m/s(속도) 및 10degree(방향)의 정도와 함께 매 6시간 25Km에 대한 해상도가 필요하다. 산란계(one dual sided scattermeter)가 지구규모 적용범위의 95%를 측정하기 위해서는 약 42시간이 필요하

다. 따라서 요구되는 시간 내에서의 해상도를 가지려면 6-8개의 장비가 필요한 것이다. SST자료는 0.1K의 정도와 함께 지구적 규모로 매 6시간 1Km에 대한 해상도가 필요하다. 어떤 마이크로파 복사계는 2.0K의 정도를 가지고 모든 기상조건 하에서 SST측정이 가능하다. 요구되는 시간해상도에 맞추기 위해서는 4-5개의 장비가 필요하다. 적외선 감지기와 관련하여, 수평해상도는 요구되는 값에 조정하며 시간 해상도는 요구되는 일련의 장비 및 위성의 수에 따른다. 즉, 갯수는 AVHRR과 ATSR종류 간에 큰 차이가 있을 때, 어떤 종류의 적외선복사계를 사용할 것인가에 따른다. ATSR은 500Km의 겹침도와 함께 0.5-1.0K의 정도를, 그리고 AVHRR은 약 1.6K의 정도를 각각 가진다.

지역규모에서 해빙 덮힘도(sea ice cover)정보는 매 24시간 10Km의 해상도가 2%의 정도와 함께 요구된다. 위성장비의 전체 5가지 형태가 수평해상도에 대한 요구와 일치시키기 위하여 사용된다. 이때 마이크로파복사계를 중심으로하여 가시 및 적외복사계, 합성개구레이다, 마이크로파복사계 그리고 고도계들을 함께 이용한다. RADARSAT의 SAR는 3일동안에 400Km를 적용범위로 할 수 있다. 따라서 시간해에 대한 요구도를 일치시키기 위해서는 3개의 SAR장비가 필요하다. SAR를 제외한 나머지 4개의 장비는 궤도내 각 장비에 필요한 것과 일치시킨다. SAR는 모든 기상조건하에서 정확한 값을 제공하는 반면, 가시 및 적외복사계는 단지 구름이 없는 조건하에서만 가능하다. 마이크로파복사계는 약 10%의 정도를 가지며, 펜슬빔고도계(pencil beam altimeter)의 마이크로파복사계가 필요하다.

이상과 같이 궤도내 각 형태의 유일한 한 개의 장비를 가지고 위성해양학을 이야기하기에는 부적절하다는 것을 잘 알 수 있다. 적절하게 조직된 궤도 내에서 일련의 4, 5, 6 그리고 8개의 보충장비들이 필요한 것이다. 현재 잘 처리된 자료동화 및 모델기술은 해양·기상예보서비스의 진보적 발전에 결정적인 기여를 하고 있다.

VII. 결 론

위성을 이용한 지구조사계획과 관련해서 NOAA는 다음 세기까지 AVHRR형 측정을 연속적으로 수행한다고 발표했다. ESA는 개선된 ERS형의 ENISAT위성을 1999년에 운행할 것을 계획하고 있다. 이 위성은 해색측정에 대한 정보를 얻기위하여 영상분광계인 MERIS를 탑재하고, 그리고 ESA/EUMETSAT METOP시리즈와의 첫 번째 결합을 통하여 2002년에 발사되어 질,것이다. 수년안에 많은 국가들은 위성을 기반으로한 해양 및 연근해 조사를 수행하게 될 것인데, 앞으로 오는 10-15년 동안 공간으로부터 조사된 수 많은 해양 및 기상학적 요소들을 이용할 수 있는 기회를 가지게 될 것이다.

위성해양학은 현재 나라와 나라간, 정부기관과 개인회사들에 의해서 연구되어 지고 있다. 국제규모의 전문적인 운영을 통해서 감지기, 탑재장비구조, 자료흐름, 출력정보물 그리고 이들 간의 사용 및 교환에 대하여 조화를 이루는 것이 필요하게 되었다. 따라서 점진적인 국제협력의 역할이 강조된다. 이러한 방향의 몇가지 단계들이 현재 3가지의 지구규모적 계획(Global Climate Observing, Global Terrestrial Observing System & Interprated Global Observing System Space Panel)을 바탕으로 만들어지고 있다.

약 30년이란 세월을 통해서 위성해양학은 발전해왔으며, 수 많은 장애를 거쳐서 과학으로서 매우 성숙된 한 분야가 되었다. 성숙된 과학을 결정짓는 모든 특징들을 소유하기 위해서는 앞으로 아래와 같이 약간의 확장이 필요하다. 즉, 1) 지식의 연구화, 2) 과학적 조사에 일반적으로 받아들여진 논리적 규칙성의 존재, 3) 과학공동체에 대한 교육, 4) 최적화된 과학적 출판물의 존재, 5) 전문가간 학문적 교류를 위한 체계설립, 그리고 6) 교육과 훈련을 다루는 전문집단의 구성이다.

오늘날 종합과학으로서의 위성해양학은 미래의 발전과 관련하여 대단히 좋은 전망을 보여주고 있

다. 위성해양학이, 과거 냉전시대에 역점을 두었던 연안 및 해안에 관련된 해양학적 조사와 더불어, 앞으로 실제적으로 중요한 결과를 성취하기 위해서는 매우 높은 기술적 업적과 함께 자질을 갖춘 인재들이 이 분야를 이끌어 가는데 있다.

참고문헌

Elachi, C. 1987. Introduction to the physics and technique of remote sensing, John Wiley & Sons, 242-272.

Firestone, E. R. and S. B. Hooker. 1995. SeaWiFS Technical Report Series Cumulative Index: Volumes 1-29. NASA Technical Memorandum 104566, Vol. 30, NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt, Maryland, pp 42-45.

Gordon, H. R. and A. Y. Morel. 1983. Remote Assessment of Ocean Color for Interpretation of satellite Visible Imagery - A Review, Springer - verlag. 87-102.

IOC. 1997. GOOS Marine Meteorological and Oceanographic Service Module, IOC-WMO-UNEP/I-GOOS-III/21, IOC, UNESCO, Paris, pp 8-10.

Kidder, S. Q. and T. H. Vonder. 1995. Satellite Meteorology - An Introduction, Academic Press. 244-255.

Lillesand, T. M. and R.W. Kiefer. 1987. Remote sensing and image interpretation, John wiley & Sons. 531-606.

Maul, G. A. 1985. Introduction to satellite oceanography, Martinus Nijhoff Publishers. 3-67.

Meteorology & Oceanography Group. 1995. Satellite meteorology - Techniques and Applications, Space Application Center, Ahmedabad. A8, 1-7.

NOAA CoastWatch. 1993. Information flyer, December 1993, 10-15.

Robinson, I. S. 1985. Satellite Oceanography -An introduction for oceanographers and remote sensing scientists, Ellis Horwood Limited, 13-26.

Stewart, R. H. 1985. Methods of satellite oceanography, University of California Press, 1-8.

Victorov, S. V. 1998. Satellite Oceanography, WMO Bulletin, Vol. 47, No. 1. 40-50.

WMO. 1996. Polar Orbiting Satellite and Applications to Marine Meteorology and Oceanography, Report of the CMM/IGOSS-IODE Sub-group on Ocean satellite and Remote Sensing. Marine Meteorology and Related Oceanographic Activities Report No. 34. WMO/TD-No. 763-770.