

기술보고

## 연안해역 환경의 종합 감시 및 모델 체계에 관한 연구

김 광 수\*

A Study on an Integrated Monitoring and Modeling System for Marine Environment of Coastal Waters

*Kwang-Soo Kim\**

〈目 次〉

Abstract	5. 인터넷 기반 종합 체계
1. 서론	6. 시스템의 적용
2. 감시 체계	7. 향후 연구과제
3. 수치 모델	참고문헌
4. 종합 감시 및 모델 체계	

### Abstract

Various numerical models that have been developed for marine environments and applied to coastal waters in USA were introduced briefly. Inter alia, with regard to an integrated monitoring and modeling system, the main features and outline of system, the system architecture for data management and representation system, and the incorporation of internet based technology were described. An example of application of an integrated system to coastal waters was also presented. The prospective research works to improve the capabilities and to advance the functionality of an integrated monitoring, modeling and management system were suggested to be the instrumentations for various monitoring parameters, the new development and/or advancement of various numerical models, the relevant internet based technologies, etc..

\*정희원, 목포해양대학교 해상운송시스템학부 교수

## 1. 서론

해양과학기술이 발달하면서 바다는 해상운송, 식량생산, 관광오락, 자원개발, 발전산업, 폐기물처분, 교육, 연구, 군사 등 다양한 분야에서 이용되고 있으며, 인간활동이 가능한 해역 범위도 점차 외해로 확대되고 있다. 그러나, 태풍이나 해일과 같은 자연재해뿐만 아니라 연안오염, 해양생물자원 감소, 해역이용의 용도간 마찰 등으로 인하여 인간의 바다 이용과 활동은 많은 제약을 받고 있다. 그래서 바다 이용과 보전간의 조화와 균형을 유지하기 위한 합리적 연안해역 관리가 필요하다. 연안관리방안을 수립하기 위해서는 해양환경현황을 주기적으로 관측하여 다양한 환경 항목에 대한 자료를 생산하고 축적하며, 이러한 자료를 바탕으로 장래의 해양환경변화를 예측할 수 있어야 한다.

해양환경을 관측하고 조사하는 데에는 일반적으로 상당한 시간, 비용 및 노력이 요구된다. 그러나, 최근에는 해양관측기술이 발달하면서, 현장에 설치된 센서들을 통하여, 수온·염분 등과 같은 일부의 환경항목들에 대하여 실시간 연속 자동 측정이 가능하게 되었고, 이렇게 얻은 해양환경 자료들을, 데이터 전송 및 관리 시스템을 통하여, 빠르고 쉽게 이용할 수 있는 해양환경 감시 체계(monitring system)가 개발되고 있다. 한편, 해양환경 변화를 예측하는 도구로서 사용되는 수치 모델(numerical model)은 해수유동모델, 해양수질모델, 유출유확산모델, 수색구조모델 등과 같이 다양한 용도로 각각 개발되어 지속적으로 발전하면서, 모델간 서로 연계 또는 결합되는 모델 체계(modeling system)로 발전하기에 이르렀다. 마침내 이러한 감시 체계와 모델 체계를 결합한 종합 감시 및 모델 체계(an integrated monitoring and modeling system)가 개발되었다. 이 종합 체계는 감시 체계로부터 각종 해양환경 데이터를 실시간 연속으로 받아들이고, 이 데이터를 입력 자료로 이용하는 수치 모델을 통하여 결과를 출력함으로써 해수유동, 해양수질 등 해양환경 현황과 변화를 실시간 연속 시뮬레이션할 수 있게 되었다. 더구나 해양기상도

텔과 지리정보시스템(GIS)과도 연결되어 기상정보 및 지리정보 데이터를 받아들여 해양환경의 변화를 실시간 연속으로 예측할 수 있는 종합 감시·모델 체계로 발전되면서 연안해역에 대한 실제적 적용이 가능하게 되었다[1].

이 종합 체계는 해상운송 및 수색구조 분야, 연안의 부영양화 및 적조 제어 등 수산·양식 및 수질 관리 분야, 항만 및 연안 개발에 따른 환경영향평가 또는 해양환경관리 분야, 해양환경 감시 및 관리에 대한 정책 분야 그리고 해상기름오염사고에 대한 국제적 협력 및 분쟁 해결 기술 분야 등에 크게 활용될 것이다. 그리고, 인터넷 기반 종합 체계의 기능을 향상시키기 위한 연구가 진행되고 있으며[2], 네트워크(network) 및 디지털 통신(digital communication) 기술의 발달에 힘입어 그 성능이 향상되고 적용 분야가 다양화될 것으로 예상된다.

따라서 본 연구에서는 현재 미국에서 개발되어 실제 적용되고 있는 각종 해양환경 관련 수치모델들을 간략히 소개하고, 그 중에서 특히 종합 감시 및 모델 체계(COASTMAP)의 특징과 개요를 살펴해보았다. 그리고 세계적으로 재배치 가능한 종합 시스템으로 발전하기 위한 외부 데이터 통합·관리·배포 시스템의 개발 및 통합에 대하여 설명함과 동시에, 종합 시스템의 적용 실례를 소개하고자 한다.

본 연구의 결과는 연안해역의 해양환경 감시 체계 및 예보 기술의 발전에 활용됨으로써, 해운, 수산·양식, 해양환경 등 해양 관련 산업의 발전에 크게 기여할 것으로 기대된다.

## 2. 감시 체계

해수는 해상운송, 수산·양식, 염전, 공업용수(냉각수), 심미적·오락적 향유 등 다양한 분야에 이용되는 수자원으로서 그 가치는 무한하다. 그러나 인구 증가와 집중, 연안의 도시화와 공업화, 해양 기름 유출 사고 등으로 인하여 발생하는 수질오염과 저질오염은 인간활동이 활발한 연안해역에서 상당

히 심각하다. 그래서 부영양화, 적조 등 해양환경 악화현상은 수산·양식에 막대한 피해를 유발할 뿐만 아니라 해역의 다양한 용도에 엄청난 장애를 초래한다. 더욱이 항만개발이나 해안매립과 같은 인위적 연안개발은 갯벌 상실, 양식장 소멸, 해역의 자정능력 저하, 연안생태계 파괴 등을 초래함으로써 그 피해도 막대하다. 따라서 연안에서 해양환경 현황 및 변화를 지속적으로 관찰하고 감시할 필요가 있다.

그리고, 선박의 충돌, 좌초, 침몰 등 해양사고는 원양해역에서보다 선박교통량이 많은 연안해역에서 빈번하게 발생하며, 그 피해는 매우 크다. 이러한 해양사고 발생은 기상 및 해상 조건에 따라 크게 영향을 받는다. 또한 해상에서 조난된 인명 또는 해상에 유출된 기름은 기상 및 해상 조건에 따라 위치가 이동하기 때문에, 조난자 또는 유출유의 이동 위치를 정확히 알 수 있다면 인명 수색·구조 작업이나 기름방제작업을 신속하고 효율적으로 실시할 수 있다. 그래서 氣象 및 海象을 계속 관찰하여 수집한 해양환경정보는 매우 중요하다.

물리, 화학, 생물, 지질, 기상 등 여러 분야에 대한 자료는 해양환경현황을 평가하기 위한 기초가 될 뿐만 아니라 해양환경변화를 예측하기 위하여 이용되기 때문에 대상 해역의 해양 관측 및 조사가 정기적으로 실시된다. 해양 관측 및 조사는 전통적으로 선박을 이용하여 각 조사 정점에서 실시되며, 기상 관측, 수심별 물리 특성(수온, 염분 등) 조사, 해수 채취와 수질 분석, 해양생물 채취와 생물 분석, 해저퇴적물 채취와 저질 분석 등이 동시에 혹은 개별적으로 실시된다. 또한 해류, 파, 조석, 조류 등 해수 운동의 관측은 측정장치를 고정점에 각각 설치하여 시계열 관측하는 Euler 방법과 부표를 이용하여 물입자의 궤적운동을 추적하는 Lagrange 방법에 따라 실시된다[3]. 이러한 전통적 관측 및 조사 방법은 일반적으로 장시간, 고비용 및 많은 노력을 필요로 한다.

氣象要素와 海象要素와 같은 해양환경요소는 시·공간적으로 항상 변동하기 때문에, 감시 체계 (monitoring system)가 구축되면, 해양환경 현황 및 변화를 실시간 연속으로 신속하고 쉽게 감시

할 수 있을 뿐만 아니라 실시간 자료는 예측도구인 모델 체계(modeling system)의 입력자료, 보정자료 및 검증자료로 이용될 수 있다. 따라서 해양 환경 감시 체계는 연안환경 평가 및 관리뿐 아니라 해양안전관리에 크게 도움이 될 것이다.

지리정보시스템(GIS)과 지구위치시스템(GPS)은 세계의 여러 국가에서 선박운항, 해양환경관리 등 다양한 분야에서 활용되고 있다. 특히 미국과 같은 선진국에서는 인공위성으로부터 수집한 해양 관측정보와 해양관측 최신기술을 활용함으로써 해상안보, 해양환경관리 등 여러 방면에서 비약적으로 발전하고 있는 실정이다. 오늘날 미국이나 유럽에서 개발된 감시 체계는 직렬통신, 무선통신, 셀 방식 통신 혹은 모뎀 통신과 같은 직접 통신접속을 통하여 해양 현장의 감시 장치를 원격 작동시키고, 이 감시 장치로부터 실시간 데이터를 수집하여 환경 모니터링·모델링·관리 시스템으로 데이터를 전송하고 있다. 아직까지 실시간 감시할 수 있는 항목들은 온도(기온, 수온), 염분(salinity), 전기전도도(conductivity), 탁도(turbidity), 수심(water depth), 수소이온농도지수(pH), 용존산소(dissolved oxygen), 엽록소 a(chlorophyll a) 등으로 제한되고 있지만, 향후 각종 환경측정센서를 개발하는 등 환경관측·분석·측정기술이 발전하면 더욱 다양한 환경항목의 감시가 가능할 것으로 전망된다.

### 3. 수치 모델

지구과학은 다양한 자연현상이 상호 연관되는 원리를 연구함으로써 자연법칙을 발견하는 학문이다. 어떤 현상에 대한 자연법칙이 발견되고, 그 현상의 본질이 밝혀지면 그 현상에 뒤이어 어떤 현상이 어떻게 일어날지를 예측할 수 있기 때문에, 지구과학의 목표는 자연현상의 장래를 정확하게 예측하는 것이다. 자연법칙에 의한 과학적 예측에는 천문현상예보(천문학), 해양조석예보 및 파랑예보(해양학), 일기예보(기상학) 등이 있다. 일기, 파랑 등의 자연현상이 천체운동의 현상보다 훨씬 복잡하여

자연법칙의 많은 부분이 아직 미지로 남아있기 때문에, 일기예보 혹은 파랑예보는 아직도 천문현상예보보다 부정확하며, 해양조석예보도 아직까지 천문현상예보만큼 정확하지 못하다[4].

컴퓨터의 발달에 따라 여러 분야에서 개발되고 발전된 수치모델은 ① 다양한 조건에 따른 미래의 동작을 예측함으로써 환경의 복구와 보호에 관한 의사결정에 도움이 되고, ② 비록 이론적 또는 경험적 기초가 확고하지 못한 경우라도 주어진 양식으로 미래의 동작을 일으킬 수밖에 없는 구성 기구를 밝힘으로써 더 많은 관측 자료 및 조사 결과를 수집하도록 요구할 수 있으며, ③ 과거의 동작과 현상에 대한 관측 결과와 모델 내에서 표현된 개념을 조화시킴으로써 이론을 수정할 수 있을 뿐만 아니라 ④ 시스템에서 특정한 입력 자료와 특정한 출력 반응과의 인과관계를 설명할 수 있다[5]. 그래서 수치모델을 이용한 예측 시뮬레이션은 실험적인 방법에 비하여 비용이 적게 들고 제약이 적으며, 여러 가지 문제에 대하여 적용 가능할 뿐만 아니라 비선형 문제를 쉽게 취급할 수 있는 장점들 때문에 선진국에서는 일찍부터 해수유동예측, 수질변화예측, 기상예보, 선체운동 모의시험 등 다양한 분야에 이용되어 왔다.

연안환경을 해역 용도에 적합하게 유지·보전하면서 지속적으로 이용하기 위해서는 연안환경관리가 필요하다. 해양환경 관측 및 조사를 통하여 해양환경현황을 먼저 진단하고 파악한 후, 예측 도구를 사용하여 장래의 환경변화를 예측할 수 있다면 해양환경 관리방안이 쉽게 수립될 수 있다. 해양환경 변화를 예측하거나, 연안해역의 환경용량을 계산함으로써 해양환경 개선 혹은 관리를 위한 대책을 제시하는 데에는 수치모델이 유용한 도구가 된다. 즉 모델 체계(modeling system)를 구축하면, 각종 오염물질이 유입하거나 기상이 변하는 등 주변 조건 변화에 대응하여 해양환경이 어떻게 반응하고 변화할지 혹은 해양사고에 의하여 유출된 기름이나 해상조난자가 시간의 경과에 따라서 어디로 이동할지 등을 예측할 수 있다.

미국과 유럽의 선진국들에서는 해양환경 예측모델

의 개발에 대한 연구가 활발하다. 예를 들면, 미국의 ASA(Applied Science Associates, Inc.)가 개발한 해양환경 관련 수치모델에는 다음과 같은 주요 제품들이 있다.

#### (1) ASAMAP

ASA의 지리정보표시체계(GIS)로서, 공간적 데이터(spatial data)에 쉽게 액세스(access)하도록 허용하며, 모든 ASA 모델들의 사용자 인터페이스(user interface)로서 사용된다.

#### (2) CHEMMAP

유출 화학물 궤적 및 일생 모델(chemical spill trajectory and fates model)이다.

#### (3) OILMAP

유출유 궤적 및 일생 모델(oil spill trajectory and fates model)이다.

#### (4) OILMAP/Worldwide

세계 해안선 데이터 베이스(worldwide coastline database) 및 매우 광범위한 기름 데이터 베이스(oil database)를 포함하고 있다. 이것은 ASA가 석유회사들, 미국육군공병대 및 환경캐나다(Environment Canada)와 협력하여 개발된 WOSM에 기초를 두고 있다.

#### (5) SIMAP

유출유 궤적 및 일생 모델(oil spill trajectory and fates model)을 생물학적 영향 모델(a biological effects model)과 결합하여 영향을 평가하는 유출유영향모델(spill impact model)이다.

#### (6) NRDAMAP

천연자원손해사정모델(natural resource damage assessment model)로서 유출유·유출화학물 궤적·일생모델(an oil spill trajectory and fates model)을 생물모델(biological model)과

경제모델(economic model)과 결합하여 천연자원 손해를 평가하는 모델이다.

(7) WQMAP

수위, 조류 및 오염물수송을 재현하는 유체역학 모델(hydrodynamic model)과 수질모델(water quality model)이다.

(8) BAYMAP

관측 염분 분포에 의하여 구동되는 단순 상자 접근법(simple box approach)을 이용한 오염물수송모델(pollutant transport model)이다.

(9) WAVEMAP

연안환경(near-shore environments) 및 항만수역(port basins)에 대한 천해파모델(shallow water wave model)이다.

(10) MUDMAP

해양석유산업(offshore oil industry)을 위한 유정굴착잔유물·생산수 일생모델(drill cuttings and production water fates model)이다.

(11) DREDGMAP

퇴적물 플룸(sediment plumes)의 일생을 예측하는 준설물처분모델(dredged material disposal model)이다.

(12) SARMAP

표류 물체의 가능한 궤적들을 예측하는 수색·구조 모델(search and rescue model)이다.

(13) COASTMAP

현보 및 예보 수치모델(numerical nowcast and forecast models)을 갖춘 실시간 모니터링 시스템(real-time monitoring systems)의 인터페이스(interface)이다.

(14) HYDROMAP-VR

이 모델은 유속장(current velocity fields)을

만드는 2차원 및 3차원 유체역학모델(hydrodynamic model)로서 세계적으로 재배치할 수 있다. 이 모델은 여러 단계의 격자크기를 동시에 사용할 수 있는 가변직각격자구성법(variable-rectangular gridding approach)으로써 가동된다. 이 모델의 결과 출력은 OILMAP, CHEMMAP, SARMAP, 기타 ASA의 모델들과 직접 결합되어 있다.

(15) HYDROMAP-VF

이 모델은 비직교 경계 맞춤 좌표 모델링 기법(non-orthogonal boundary-fitted coordinate modeling technique)에 기초를 두고 있다. 이 모델은 조위, 유속 및 염분·수온 분포를 생성한다. 경계맞춤 격자구성 기법(boundary-fitted gridding technique)에 의하여 수체(water body)의 해안선 경계들에 바깥 붙여서 격자를 구성함으로써 연구대상지역을 정확히 표현할 수 있다. 이 모델은 문제 성질 및 연구 복잡성에 따라서 2차원 또는 3차원으로 적용될 수 있다.

## 4. 종합 감시 및 모델 체계의 예

### 4.1. 해양환경 모니터링·모델링·관리 시스템

로드아일랜드대학교(URI) 해양공학과 과학자들은 URI OTC(Ocean Technology Center)와 URI Sea Grant Greenwich Bay Collaborative의 지원을 받아서 해양환경 모니터링·모델링·관리 시스템(marine environmental monitoring, modeling and management system)으로서 COSATMAP을 처음 개발하였다[6][7][8][9].

또한 시스템은 다양한 데이터관리도구들을 통하여 데이터를 이용함으로써 모델들 안으로의 데이터 동화(assimilation), 모델들의 검증(validation) 및 자료 분석(analysis of data)이 가능하다. 이러한 데이터관리도구들에는 저/고/대역여파, 전력 스펙트럼분석, 상관관계, 조화 합성 및 분해 등이 이용된다. 그래서 시스템은 저장된 데이터 세트의 시계열 표시를 어느 센서에 대하여 개별적으로 또

는 누적적으로 나타냄과 동시에, 시스템 내의 모든 센서들의 실시간 상태를 감시하고 표시한다.

#### 4.2. 시스템 구조

COASTMAP은 처음에는 개인용 컴퓨터 기반 플랫폼 상에서 작동하는 해양환경 모니터링·모델링·관리 시스템으로서 고안되었다. 지리정보시스템(GIS : Geographic Information System), 데이터 처리·분석 도구들(data processing and analysis tools) 및 환경 현보 및 예보 모델들(environmental nowcasting and forecasting models)은 시스템의 기본적 아키텍처 구조를 형성한다.

실시간 환경감시소(real time environmental

monitoring stations)와 연결함으로써, 사용자들이 모든 데이터 발생장치(data sources)의 실시간 상태를 표시하는 시스템과 내장 데이터 관리 도구들(embedded data management tools)을 통하여 지역 환경 데이터를 수집, 조작, 표시 및 저장할 수 있다. 내장 데이터 관리 도구들에는 여파(filtering), 전력스펙트럼분석 및 조화분해를 포함한 시계열분석 등이 있다. 시스템은 또한, GIS의 배경을 기반으로 하여, 데이터의 공간적 표현과 동영상을 제공한다. 환경모델들은, 시스템과 연결되어 있기 때문에, 동화, 검증 또는 비교연구를 위하여 환경 데이터에 액세스할 수 있다. Fig. 1은 COASTMAP에 대한 주요 운영 사용자 인터페이스를 설명하고 있다.

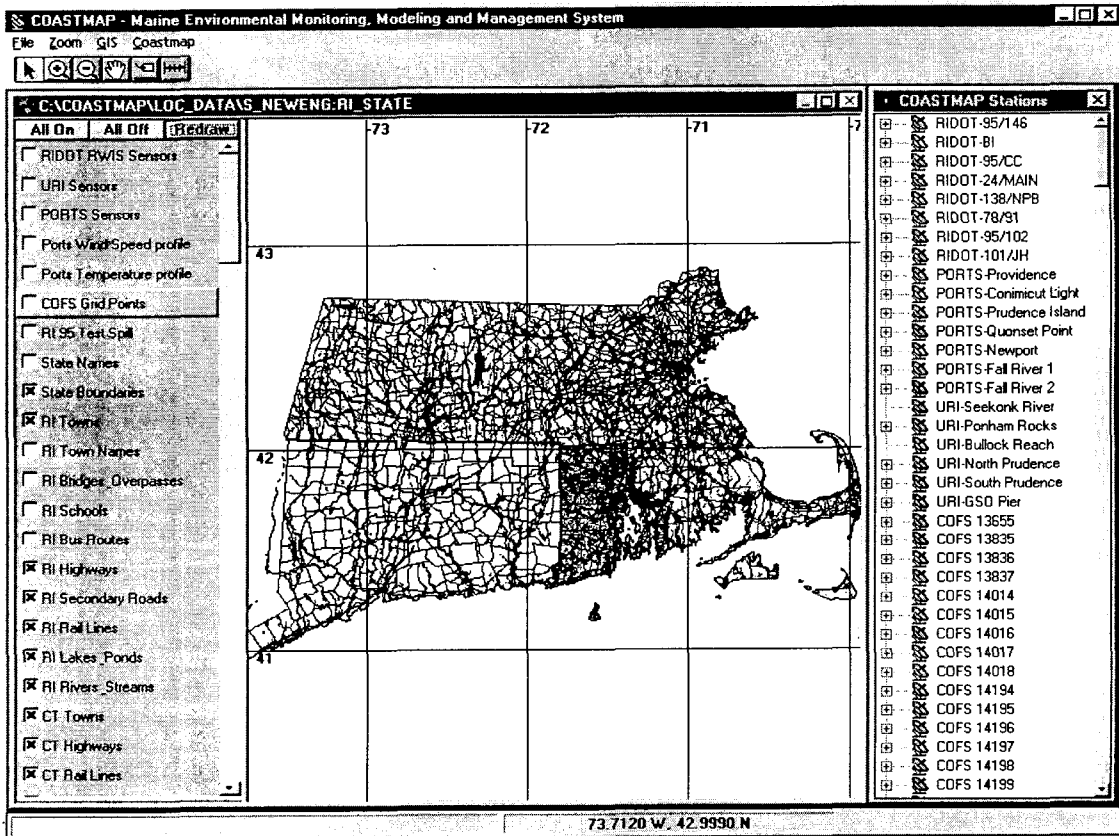


Fig. 1 COASTMAP Graphic User Interface

## 5. 인터넷 기반 종합 체계

### 5.1 데이터 수집 및 배포 시스템

COASTMAP 프레임워크 안으로 통합된 인터넷 기반 데이터 수집 및 배포 시스템(an internet based data collection and distribution system)은 외부 데이터 발생장치로부터 실시간 데이터 혹은 예보 데이터를 포착하고, 데이터베이스(database) 안에서 데이터를 처리하고 저장하며, COASTMAP 클라이언트들(clients)과 과정 모델들(process models)에게 보낼 데이터의 후속 배포를 조정한다. 모델 계산을 위한 작용력(forcing)과 자료동화(data assimilation) 때문에 외부 GODAE(Global Ocean Data Products) 데이터를 이용하는 과정모델들은 연안해양에 대한 고분해도의 예보내용을 생성하여, 데이터 수집 및 배포 시스템으로 제공하며, 그곳에서 그 예보내용은 데이터베이스에 통합되어 기타의 이용자와 대

중들에게 이용될 수 있게 된다. 또한 일반이용자들에게 액세스를 허용하도록 개발되고 있는 웹기반시스템(web-based system)에 통합할 목적으로, COASTMAP의 인터넷 기반 데이터 수집 및 배포 시스템은 합성 데이터 세트를 드렉셀대학교의 웹기반시스템(web-based system)으로 배포한다.

### 5.2 시스템 아키텍처

COASTMAP의 인터넷 기반 데이터 수집 및 배포 시스템은 Fig. 2에 나타난 웹 서버(web server), 데이터 서버(data server) 및 맵 서버(map server)의 애플리케이션들(applications)로 구성되어 있다[2]. 시스템은 세 개의 분리된 컴퓨터 상에서 작동되도록 구성되어 있어서 각 서버 애플리케이션 기능을 확실히 분리한다.

COASTMAP의 기본적 인터넷 서버 구조에 대하여 가장 최근에 구현된 웹 서버, 데이터 서버 및 맵 서버의 개요를 각각 설명하면 다음과 같다.

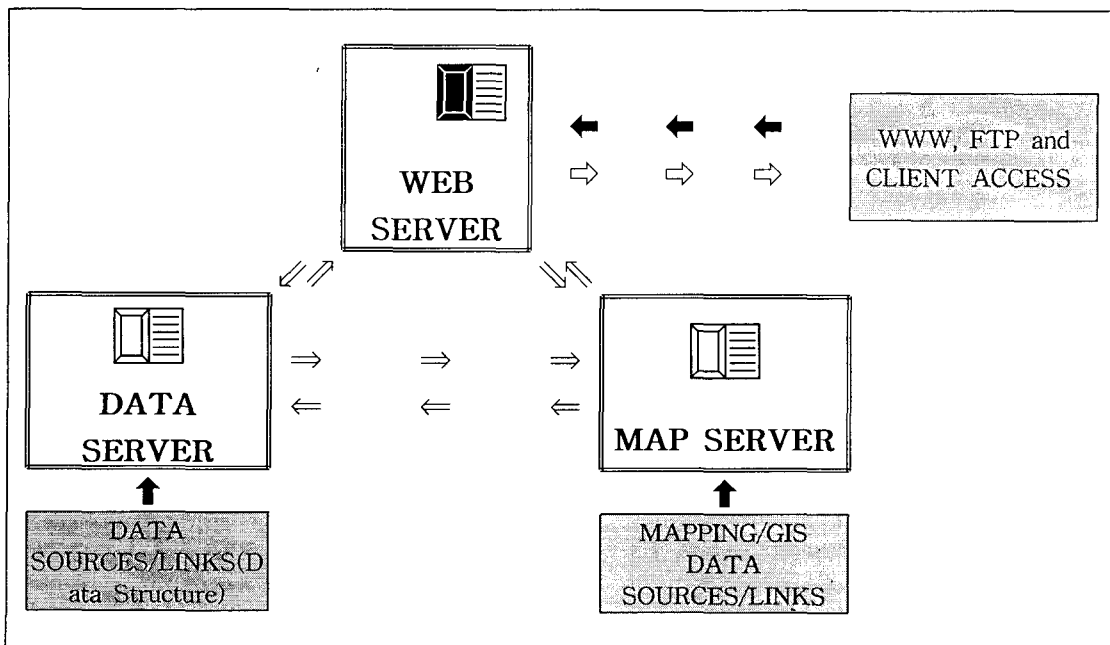


Fig. 2 COASTMAP Internet Server Structure showing the communication paths between web, map and data servers as well as communication paths to external applications and data sources.

## (1) 데이터 서버

데이터 서버(Data Server)의 주요 기능은 외부의 환경 데이터 발생장치에 대한 실시간 액세스(real time access)를 자동화하고, 데이터를 검색 및 처리하여 클라이언트 시스템들(client systems)로 배포하는 것이다. COASTMAP은 하나의 주문형 메타데이터 포맷(a custom, metadata format)을 개발하여 사용함으로써 최대수의 데이터 발생장치들과 그들 각각의 포맷들(formats)과의 호환성을 향상시킨다.

## (2) 맵 서버

맵 서버(Map Server)는 COASTMAP 시스템을 위한 지도작성(mapping) 및 지리정보시스템(GIS) 작업들을 취급한다. 맵 서버의 구현은 COASTMAP의 GIS의 최초 구현을 확장하여, ESRI(Environmental Systems Research Institute, Inc.)에 의하여 개발된 ARC/INFO 및 ARCVIEW에서 사용되는 GIS 엔진(engine)을 이용한다. ESRI GIS 엔진을 통합함으로써 ESRI SHAPE files and coverages, CAD formatted files 및 많은 표준영상포맷과 지구기준영상포맷(standard and geo-referenced image formats)을 포함한 다양한 공통포맷(common formats)으로 GIS정보의 수집을 용이하게 할 수 있다.

## (3) 웹 서버

웹 서버(Web Server)는 COASTMAP 클라이언트로부터 최초의 모든 요구들을 받아들이고, 그 요구들을 지원하기 위하여 모든 맵 서버와 데이터 서버와 더불어 작동하는 것을 조종하는 책임이 있다. 클라이언트 요구의 실례들에는 실시간 데이터에 대한 액세스, 저장 데이터·그래픽 데이터·지리정보체계 영상(GIS images)의 세트들(sets) 혹은 서브세트들(subsets)에 대한 액세스 그리고 웹 퍼블리케이션을 위한 지원 파일들에 대한 액세스가 포함된다. 복식 서버 구성(multiple server configuration)에서, 웹 서버는 각 데이터 서버 및 맵 서버에 대한 속성 작동 상태 정보(attribute

operational status information)를 유지함으로써 요구사항을 해당 서버로 보낸다.

## 6. 시스템의 적용

전문 시스템인 COASTMAP 그리고 시스템과 관련된 인터넷 서버 애플리케이션들(예를 들면, 웹 서버, 맵 서버 및 데이터 서버)은 현재 나라간세트만(Narragansett Bay)과 로드아일랜드 연안해양(Rhode Island coastal waters)에 대하여 운용되고 있다. COASTMAP은 데이터 서버 애플리케이션에 의하여 관리되는 GODAE 데이터 생산물과 인터넷 기반 모니터링 시스템들의 데이터를 활용한다. COASTMAP 클라이언트를 실행하면, 즉시 두 개의 표시창(display window)이 그래픽 사용자 인터페이스(GUI)에 나타난다(Fig. 1). 창(window)의 왼쪽에는 선정 지역에 대하여 이용 가능한 GIS 정보층들(information layers)의 목록과 함께 남부 뉴잉글랜드주(New England)에 대한 백지도(base map)가 표시된다. 사용자는 창을 생성하고, 화면의 피사체에 초점을 맞추고 급격히 접근 확대하거나 멀어짐(zooming in or out)으로써, 혹은 그래픽 데이터를 지점간 좌우수평 이동(point-to-point panning)시킴으로써 특정 지리 영역(specific geographic area)을 제어하고 지역 내의 분해도(resolution)를 조절할 수 있다. 지리적 위치를 리세팅(resetting)함으로써 세계의 어떤 지역에서, 어떤 축척(도메인 크기)으로 작동하도록 시스템을 구축할 수 있다. 맵 서버로부터 얻은 개개의 GIS 층들(layers)을 어떤 순서나 어떤 패턴으로 ON 혹은 OFF할 수 있고, 재정리하여 표현을 분명하게 할 수도 있다. 하나의 층(layer) 안에 포함된 점(point), 선(line), 폴리라인(polyline), 다각형(polygon), 아이콘(icon)과 같은 개별 객체들(objects)의 모습을 조절하기 위하여 각 GIS 정보층에 대한 표시 특성(display properties)을 수정할 수 있다.

Fig. 3은 나라간세트만에서의 시뮬레이션에 대하여, 유체역학 모델의 출력으로부터 생성된 동영상(animation)의 스냅사진을 나타낸다. 이 실례는 COASTMAP이 GODAE 데이터 생산물을 직



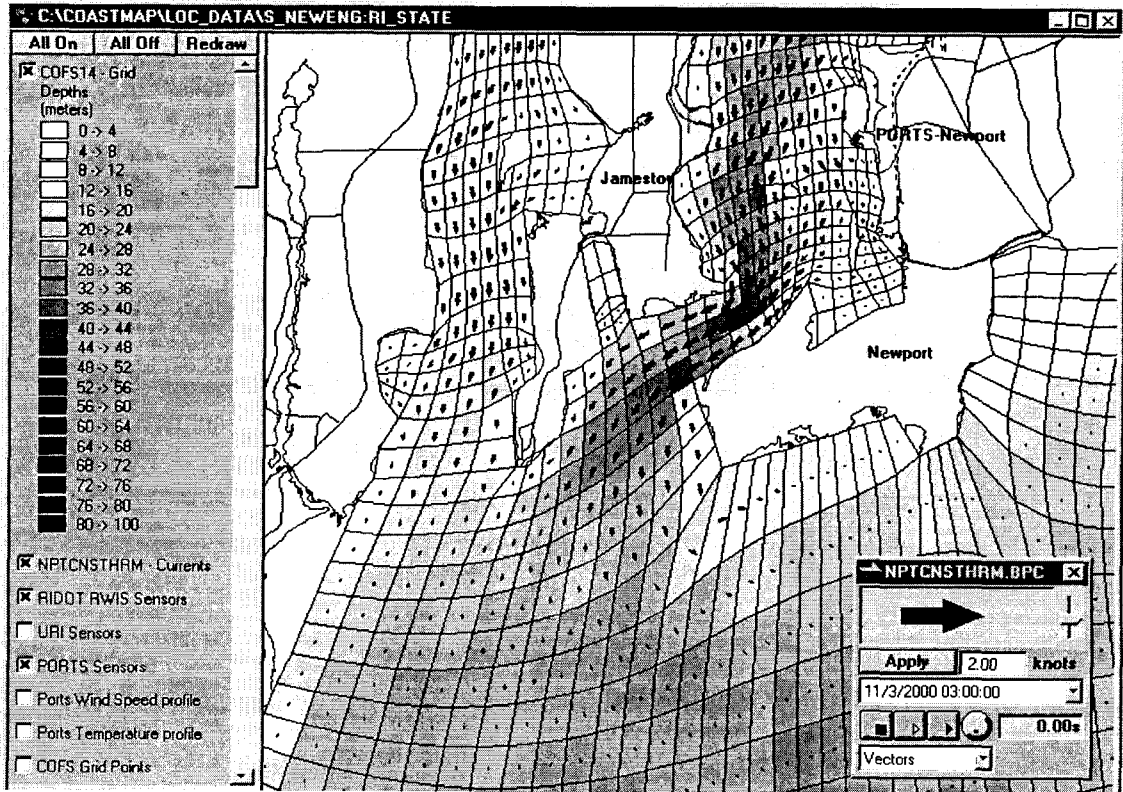


Fig. 3 COASTMAPs links to output from the hydrodynamic model to provide an animation of the tidal currents in lower Narragansett Bay.

접 이용함으로써 연안해양에서 시·공간적 추가 정보를 생성하는 것을 보여준다.

이 특정 사례에서, 나라간세트만과 로드아일랜드 연안해양에 대하여 하나의 격자망(grid)이 구성되었다. 그것은 나라간세트만으로부터 남쪽으로 대륙붕단까지, 서쪽으로 롱아일랜드(Long Island), 뉴욕(New York)까지, 동쪽으로 매사추세츠(Massachusetts)주의 부자즈만(Buzzards Bay)까지 확장된다. 격자망의 바깥둘레를 따라서 각 격자칸(grid cell)에 필요한 외양경계조건(offshore boundary conditions)은 국가해양대기국 연안해양예보체계(NOAA COFS)로부터 예보된 수위(water level)에 의하여 정해졌다.

COFS는 동부연안(East Coast)에 대한 해면 수위의 24시간 현보 및 예보(24-hour nowcast and

forecast)를, 상응하는 조류(tidal currents)와 기상학적 조건(meteorological conditions)과 함께 제공한다[10][11]. COFS 모델로부터 출력되는 결과를 16~22km 범위의 근사적 분해도(approximate resolution)를 가진 이산 격자점들(discrete grid points)에서 이용할 수 있다. 유체역학 모델은 이 정보를 이용하여, 격자망 내의 각 격자칸에 대하여 조류 유속·유향 및 해면수위의 예보치를 생성하였다. Fig. 3은 남부 동수로와 서수로(Lower East and West Passages)가 위치한 만 입구들로부터 나라간세트만에 이르는 해역에서 쉘물시의 조류들을 GIS 백지도(base map)상에 표시된 축척 화살표들(scaled arrows)으로써 나타낸다. 수심에 따라서 색상이 코딩화된 각 격자칸 위에 조류가 겹쳐서 표현되어 있

다. 조류 백터의 길이는 유속을 나타내며, 유속 측정은 오른쪽 아래 모서리에 나타난 동영상 제어에서 제공된다[1].

이러한 연구의 결과는 환경모니터링, 해양오염물질의 이동과 일생, 해상운송 및 수색구조를 지원하는 데에 이용할 뿐만 아니라 연안해역의 현상을 이해하고 예보 능력을 향상시키는 토대로 활용될 것이다.

## 7. 향후 연구 과제

향후, 다양한 추가 해양환경항목을 모니터링하기 위해서는 현장 로다민 물추적 측정 시스템(in-situ Rhodamin WT measurement systems) [예, YSI 6130], 영양염(nutrients)분석기 [예, SYSTEA사 NPA], 총탄소(TOC)분석기 [예, PPM사 ON-LINE TOC], 유분측정기 [예, FCI사], 광량계(light quantum meter) [예, ALEC ELECTRONICS사], 자동기상관측기 [예, Aanderaa instruments사 AWS 2700]와 같이 이미 개발되었거나 개발중인 해양 관측 계측기들을 감시 체계에 도입하고 실용화하는 연구와 기술 개발이 이루어질 것이다. 또한 육지로부터 해양으로 유입하는 담수 유량을 측정하기 위한 위성원격탐지 기술이 개발되고 있어서[12], 이러한 위성원격탐지 기술을 모니터링 시스템에 도입되는 연구와 기술 개발이 계속 진행될 것으로 기대된다.

각 모델들의 단점들을 보완하거나 개선하는 연구가 계속될 것이며, 새로운 종류의 모델들을 개발하는 연구도 활발하게 진행될 것이다. 특히 육상오염 부하의 유입을 제어하기 위하여 시행되는 NPDES (National Pollutant Discharge Elimination System) 및 TMDL(Total Maximum Daily Load) 프로그램과 관련하여, ERSEM (European Regional Seas Ecosystem Model)과 같은 해양생태계모델(marine ecosystem model), 물질순환모델(material cycle model), 비점원오염부하모델(non-point source pollutant load model), 동화능력모델(assimilative capacity

model) 등 해양환경관리를 위한 수치모델을 더욱 정교하게 개발하기 위한 연구가 계속될 것이다. 또한 모델 결과에 대한 검증 기술의 연구·개발이 필요하다.

감시 체계와 모델 체계가 연계되어 작동하는 종합시스템을 더욱 정교하게 구축하는 연구와 기술 개발이 진행될 것이다. 특히 감시 체계와 모델 체계 사이의 데이터 호환성 및 데이터 저장 능력을 향상시키기 위한 연구와 데이터의 수집, 처리, 저장, 전송 등 데이터 관리 도구에 관한 기술 개발이 더욱 활기를 띠 것이다. 또한 지리정보시스템(GIS)의 발달에 따라 지리정보를 해양환경관리를 위하여 쉽고 다양하게 이용하는 일반화 기술을 개발하고, 특히 일반 이용자가 해양환경의 현황 정보 및 예보에 쉽게 접근할 수 있는 인터넷 기반 시스템 구축에 관한 연구가 데이터 통신 및 네트워크 기술의 발전과 더불어 활발하게 진행될 것이다.

## 감사의 글

이 논문은 21세기한국연구재단의 지원에 의하여 연구되었으며, 이에 감사를 포함합니다. 또한 韓進海運에도 감사를 포함합니다.

## 참 고 문 헌

- [1] Ward, M. and M.L. Spaulding, 2001, "A nowcast/forecast system of circulation dynamics for Narragansett Bay", Proceedings of 7th International Conference on Estuarine and Coastal Modelling(ECM7), American Society of Civil Engineering, St Pete, FL, USA.
- [2] Opishinski, T.B. and M.L. Spaulding, 2001, "Application of an Integrated Monitoring and Modeling System to Narragansett Bay and Adjacent Waters Incorporating Internet Based

- Technology", Proceedings of 7th International Conference on Estuarine and Coastal Modelling(ECM7), American Society of Civil Engineering, St Pete, FL, USA.
- [3] 최병호, 1993, "황해 및 동중국해육봉에서의 해류관측", 한국해양·해양공학회지 5(4), 414-426.
- [4] 能澤源右衛門, 1979. 海洋物理學概論, 集文堂, p. 261.
- [5] Jakeman, A.J., M.B. Beck and M.J. McAleer, 1993, Modelling change in environmental systems. Jhon Wiley & Sons Ltd., England, pp.581.
- [6] Spaulding, M.L. and T. Opishinski, 1995, "COASTMAP : Environmental monitoring and modeling", Maritimes, Vol. 38, No.1, 17-21.
- [7] Opishinski, T.B. and M.L. Spaulding, 1995, "COASTMAP : An integrated system for environmental monitoring, modeling and management", 7th Annual New England Environmental Exposition, Boston, Massachusetts, USA.
- [8] Opishinski, T.B., M.L. Spaulding and C. Swanson, 1996, "COASTMAP : An integrated system for environmental monitoring, modeling and management". Presented at the ASCE North American Water and Environmental Congress(NAWEC 1996), Anaheim, CA.
- [9] Spaulding, M.L., S. Sankaranarayanan, L. Erikson, T. Fake and T. Opishinski, 1997, "COASTMAP, An integrated system for monitoring and modeling of coastal waters : Application to Greenwich Bay", Proceedings of the 5th International Conference on Estuarine and Coastal Modeling, American Society of Civil Engineering, Alexandria, VA, USA.
- [10] Kelley J., D. Behringer, H. Thieboux, D. Chalikov, and B. Balasubramaniyan, 1997, "Development of data assimilation for the coastal ocean forecast system (COFS) (Abstract)", 5th International Conference on Estuarine and Coastal Modeling, Alexandria, VA, USA.
- [11] Parker, B.B., 1998, "Development of model-based regional now-casting and forecasting", Proceedings of the 5th International Conference on Estuarine and Coastal Modeling, 355-373.
- [12] Patel J.G., 2000, The Use of Satellite Remote Sensing to Determine Land Water Runoff, Thesis of Degree of M.S in Geosystems at the MIT, USA, p. 48.