

## 해상공사로 인한 연안환경 모니터링시스템

정태성<sup>1,\*</sup> · 김성곤<sup>2</sup>

<sup>1</sup>한남대학교 토목환경공학과, <sup>2</sup>한길 I&T

### Monitoring System of Coastal Environment Changes due to the Construction on the Sea

Tae Sung Jung<sup>1,\*</sup> and Sung Gon Kim<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Civil & Environmental Engineering, Hannam University, Daeduk-Gu, Daejeon 306-791, Korea  
<sup>2</sup>Hangil I&T, Seoul Venture Town 1003, Seoul 135-978, Korea

#### 요 약

연안환경요소를 효과적으로 모니터링하기 위하여 모델링 결과와 관측결과를 통합하여 제공하는 연안환경정보 제공 시스템이 개발되었다. 개발된 시스템은 실시간 관측 자료를 관리하기 위한 모니터링 모듈, 환경요소를 수치모델링할 수 있는 모델링 모듈, 그리고 모니터링과 모델링된 결과를 그래픽으로 볼 수 있는 후처리 모듈로 구성되어 있다. 시스템 개발의 목적은 사용자가 쉽고, 편리하게 연안 환경요소에 대한 정보를 관찰할 수 있도록 하기 위한 것이다. 개발된 시스템을 활용하면, 연안환경요소에 대한 신속한 평가, 빠른 모니터링이 가능하여, 궁극적으로 환경오염과 자연재해로 인한 피해를 최소화할 수 있을 것이다.

**Abstract** – An integrated real-time monitoring software for coastal environment has been developed by using GUI. The system consists of modeling module, real-time monitoring module, and post-processing module of the modeling and monitoring results. The system was applied to a port construction site. The main purpose for the system is to setup the information system that user can obtain the environmental information easily and quickly. The system can be used to monitor environmental changes due to construction activities in coastal waters and to assess environmental impacts accurately in real-time. In conclusion, the system will be a good tool for finding out countermeasures to lessen water pollution and clean seawater.

**Keywords:** Monitoring System(모니터링 시스템), Coastal Environment(연안환경), GUI(사용자편의), Information System(정보시스템)

#### 1. 서 론

연안해역은 공사 중 발생하는 오탉 물질과 오염물질 배출 등으로 인하여 수질환경이 크게 영향을 받는다. 개발사업 종료 후에는 해수순환 환경의 변화로 인한 오염물질 확산환경의 악화, 개발 후 새로운 인구의 유입에 따른 생활하수 등의 추가 유입, 그리고 해상활동으로 발생하는 유류오염 등으로 인하여 수질환경이 변화한다. 이러한 연안 수질을 효율적으로 관리하기 위해서는 공사 중 또는 공사 후 발생하는 수질 오염원으로부터 야기되는 환경변화를 정확하게 감시하여 관리대책을 효율적으로 신속하게 수립하고, 오염원을 효과적으로 차단하여야 한다. 이러한 일을 효율적으로 수행하기 위해서는 무엇보다도 해양환경에 관한 정보가 효율

적으로 관리되고 정보를 빠르고 쉽게 접근할 수 있어야 한다. 실시간 현장 관측자료, 해양환경요소에 대한 모델링 자료들을 연안 환경관리책임자, 해상공사 종사자, 어민 등이 쉽게 접근할 수 있어야 한다. 최근에는 물에 관한 정보를 효율적으로 관리하고, 제공할 필요성이 증가함에 따라 물정보학(Hydroinformatics) 분야가 새로이 자연적으로 발생하여 국제수리학회(IAHR)와 국제물협회(IWA)를 중심으로한 국제학술지 Journal of Hydroinformatics가 1999년부터 발간되고 있으며, 학술회의 개최 등을 통해 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히 하천관리, 저수지관리 등에 관한 연구가 GIS 기법의 적용, 정보관리 프로그램의 개발 등을 통해 활발히 진행되고 있으나 연안에 대한 연구는 미흡한 실정이다. 연안환경정보의 제공 및 관리에 대한 연구로 2차원 조류 예측 및 정보 제공시스템(정태성 등[2000]), 3차원 조석정보제공시스템(Jung and

\*Corresponding author: jungts@hannam.ac.kr

Kim[2000]), 부유사 확산 예측시스템(정태성 등[2004]), 연안환경 요소 모델링과 모니터링 통합시스템(Jung and Kim[2004]), Internet을 이용한 조류예보시스템(Nishida *et al.*[2004]) 등의 연구가 있었다.

본 연구에서는 해상공사 진행상황에 따라 변화하는 해수유동과 오염물질 확산과정을 모의할 수 있는 수치모델링시스템과 해양관측자료를 통합하여 정확한 정보를 제공할 수 있는 해양환경 정보 제공시스템을 개발하였다. 개발된 시스템은 관측결과와 모델링의 통합으로 조석 및 조류분포와 부유사 확산 분포를 정확하게 모의할 수 있으며, 모의결과를 3차원 동영상 사용하여 가시화할 수 있으며, 해상공사 및 수질오염과 관련된 각종 해양환경요소에 대한 정보를 실시간으로 제공하기 위해 개발 중인 실시간 연안환경 모니터링시스템 RECEMS(Real-time Coastal Environment Monitoring System)의 초기버전이다.

## 2. 모니터링시스템의 필요성과 구성

### 2.1 필요성과 활용성

모니터링시스템에 포함된 환경요소로는 현재 해상공사와 밀접하게 관련이 있는 조위 및 조류, 오염물질의 농도 등을 포함하고 있다. 실시간으로 관측되어 제공되는 환경정보는 관측부이 등을 이용한 조위, 조류, 파랑, 각종 수질지표의 실시간 현장관측결과, 조위 및 조류 예측결과, 조류에 의한 오염물질 확산과정의 예측결과 등을 정보시스템 구축을 위한 기본 자료로 사용한다. 제한된 지점에서 측정된 관측자료는 정확한 환경정보를 주나 환경정보의 시공간적 분포를 제대로 제공할 수 없으며, 모델링은 시공간적인 정보를 제공할 수 있으나 자연현상을 정확하게 예측할 수 없다. 따라서 관측자료를 활용하여 모델링 결과를 보정하여 모델

링 결과의 정확성을 개선할 필요가 있다. 이렇게 관측결과와 모델링이 통합된 시스템은 해상 공사 중에는 작업가능 해상환경의 판단기준과 재해예보시스템으로도 활용 가능하며, 공사 후에는 해양환경 정보시스템으로도 활용할 수 있다. 또한 환경정보와 더불어 개발과 관련된 종합적인 정보도 수록하면 환경문제에 관련된 주민민원의 조기차단, 교육 및 관광용 홍보자료로 활용할 수 있도록 하였다. 이 외에도 체계적으로 제공되는 연안환경자료는 추후 해안 개발 및 관리 계획 수립을 위한 기초 자료로 폭 넓게 활용될 수 있을 것이다. 특히, 항만공사에서 고려해야 할 주요 요소로는 안전한 설계 및 시공과 환경친화적인 건설이다. Fig. 1에서와 같이 본 연구에서 개발된 모니터링시스템은 해양환경에 대한 정보를 신속하게 제공하여, 공사 중인 구조물을 자연재해로부터 예방할 수 있으며, 환경변화에 대한 정확한 정보획득으로 환경피해에 대해 신속하게 대응하여 환경오염으로 인한 재해를 예방할 수 있다. 건설 후에는 안전한 선박운항 및 해상 구조물 관리를 위한 해상상태 정보를 제공하는 데 활용할 수 있으며, 유류 오염사고가 발생했을 때 신속한 확산예측으로 방재대책을 빠르게 수립할 수 있어 오염피해를 감소하는 데에도 기여할 수 있을 것이다.

### 2.2 수치모델링

본 프로그램은 해상공사에서 발생하는 환경문제를 최소화하기 위한 기초자료를 제공하기 위하여 개발되었다. 현재 해저지형 분포, 조위 및 조류 분포의 시간변화, 공사시 발생하는 오염물질(SS, COD 등)의 공간분포, 파고의 공간분포 등에 대한 실시간 정보 제공 및 예보를 목적으로 개발을 진행 중에 있다. 주요 조석분조들의 합성조석에 의한 조위 예측결과를 개방경계조건으로 활용하는

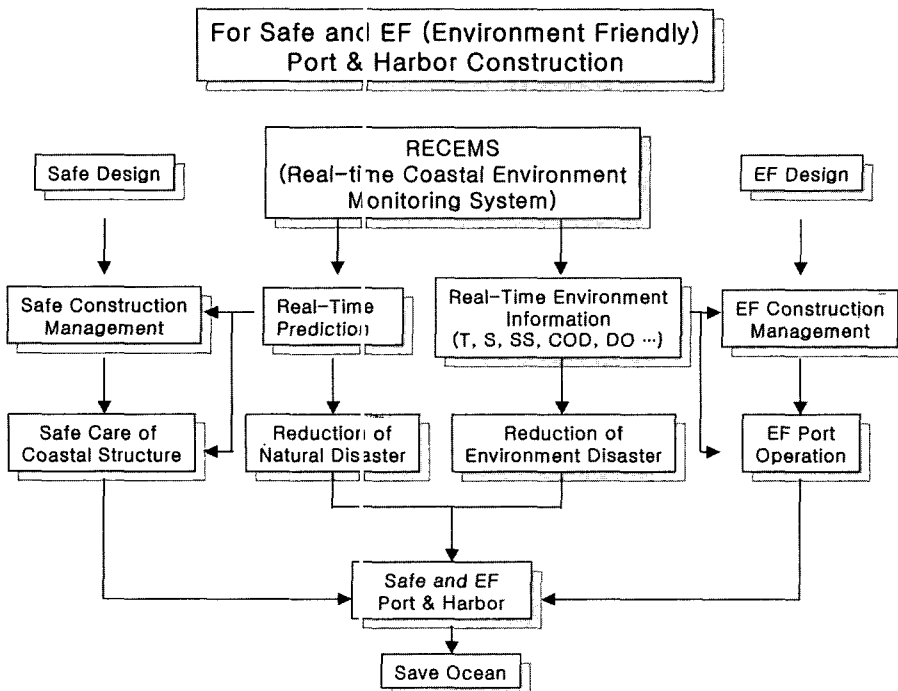


Fig. 1. Utilization of RECEMS for safe and EF construction.

2차원 유한요소 해수유동모형(정태성 등[1992])에 의해 조위 및 조류분포를 예측할 수 있으며, 그 결과는 현장 모니터링결과와 함께 정보제공 자료로 활용된다. 최소격자가 50 m인 제주외항의 경우에는 1일간 예측시 PC에서 해수유동과 확산결과의 계산과 관측결과와의 보정작업을 포함한 모든 계산이 20분 이내에 가능하였다. 즉 RECEMS상에서 예보를 원하는 날짜를 입력하고 조류모형을 구동하면, 개방경계에서 조위가 모형에 포함된 조위 예측프로그램(한국과학기술원 해양연구소[1988])에 의해 예측되고, 각 격자점에 대한 계산이 수행되어, 매 20분 간격의 조위 및 조류 계산결과가 파일로 하드디스크에 저장된다. 이 과정에서 모델링 결과와 관측 결과의 차이가 개경계 조건의 수정을 통해 자동적으로 보정된다. 조위 관측결과가 있는 위치에서 1일간의 계산결과와 관측결과는 조석조화분석 프로그램에 의해 진폭과 위상이 계산된 후에 관측 조위와 예측조위의 진폭비와 위상차가 비교되고, 그 결과는 개경계 조건의 수정에 활용된다. 오염물질 확산은 해수유동모형과 동일한 격자에 대해 2차원 이송-확산 방정식을 유한요소법을 사용하는 모형에 의해 모의된다(한국해양연구소[1988]). SS 농도 모의결과는 관측결과와 비교를 통해 그 값을 보정하여 그 결과를 제공하게 된다. 이러한 예측모델링 과정은 사용자 편의를 위하여 윈도 환경에서 수행된다. 따라서 누구나 손쉽게 모의시스템을 운용할 수 있다.

2.3 현장 관측결과와 모델링 결과의 통합

수치모델링 결과는 시-공간적인 분포를 제공하나 정확히 계산하지 못하여 예보오차를 발생한다. 한편 관측결과는 정확한 자료를 제공하나 관측비용 등의 제한성으로 인하여 시공간 분포를 얻기 위한 충분한 자료를 제공하지 못한다. 따라서, 관측결과와 모델링결과를 상호보완 할 필요가 있다. 따라서 본 시스템에서도 Fig. 2에서와 같이 해양환경 관측자료를 모형결과의 보정에 활용하여 정확하고 빠른 환경정보 제공이 가능하도록 하였다.

3. 해양환경 요소의 수치모델링

제한된 관측자료의 보완을 위해서 수치모델링이 수행되며, 사용한 수치모델링에 대한 자세한 내용, 모델링시스템의 검증결과는 다음과 같다.

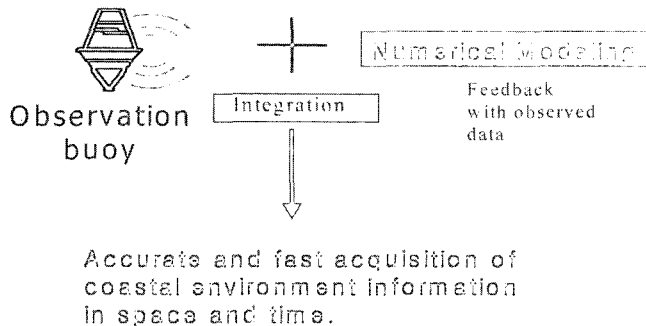


Fig. 2. Integration of monitoring and modeling.

3.1 해수유동모형

모형의 지배방정식은 수심적분된 2차원 천수방정식으로 다음과 같다.

$$\frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{\partial U}{\partial y} + \frac{\partial V}{\partial z} = 0 \tag{1}$$

$$\frac{\partial U}{\partial y} + \frac{\partial(U^2/H)}{\partial x} + \frac{\partial(UV/H)}{\partial y} + fV = -gH \frac{\partial \zeta}{\partial x} + A_h \frac{\partial}{\partial x} \left[ H \frac{\partial(U/H)}{\partial x} \right] + A_h \frac{\partial}{\partial y} \left[ H \frac{\partial(U/H)}{\partial y} \right] + \frac{\tau_{wx}}{\rho} - \frac{\tau_{bx}}{\rho} \tag{2}$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} + \frac{\partial(UV/H)}{\partial x} + \frac{\partial(V^2/H)}{\partial y} - fU = -gH \frac{\partial \zeta}{\partial y} + A_h \frac{\partial}{\partial x} \left[ H \frac{\partial(U/H)}{\partial x} \right] + A_h \frac{\partial}{\partial y} \left[ H \frac{\partial(U/H)}{\partial y} \right] + \frac{\tau_{wy}}{\rho} - \frac{\tau_{by}}{\rho} \tag{3}$$

여기서,  $\zeta$ 는 평균수심  $h$ 로부터 수위변화, 수심적분유속  $U = \int_h^z u dz$ ,  $V = \int_h^z v dz$ ,  $u$ 와  $v$ 는 각각  $x$ 와  $y$ 방향의 유속,  $z$ 는 수심방향이며,  $H$ 는 총수심( $=h+\zeta$ ),  $f$ 는 Coriolis 상수,  $A_h$ 는 수평 외점성계수,  $g$ 는 중력가속도,  $\tau_{wx}$ 와  $\tau_{wy}$ 는 각각  $x$ ,  $y$ 방향 바닷마찰응력, 바닥마찰응력  $\tau_{bx} = C_f u \sqrt{u^2 + v^2}$ ,  $\tau_{by} = C_f v \sqrt{u^2 + v^2}$ , 바닥마찰계수  $C_f = \frac{gn^2}{H^{1/3}}$ ,  $n$ 은 Manning의 조도계수이다.

식 (1)~(3)을 수치적분법으로 양해법, 유한요소 형태로 삼각형을 사용하는 유한요소법(한국해양연구소[1988])에 의해 수치해석하였다.

3.2 부유사 확산모형

수심적분된 2차원 이송-확산 방정식은 다음과 같다.

$$\frac{\partial(HC)}{\partial t} + \frac{\partial(UC)}{\partial x} + \frac{\partial(VC)}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left( D_{xx} H \frac{\partial C}{\partial x} + D_{xy} H \frac{\partial C}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( D_{yx} H \frac{\partial C}{\partial x} + D_{yy} H \frac{\partial C}{\partial y} \right) + Q \tag{4}$$

여기서,  $C$ 는 부유사의 농도,  $D_{xx}$ 는 수평 확산계수,  $\rho$ 는 물의 밀도,  $Q$ 는 부유사의 물과 퇴적물사이 바닥경계층에서 유출입량으로 퇴적량과 침식량의 차이이다.

식 (4)에서 방향별 수평확산계수의 계산에 다음과 같은 식을 사용하였다(Falconer[1986]).

$$D_{xx} = \frac{(5.93U^2 + 0.15V^2)H\sqrt{g}}{\sqrt{(U^2 + V^2)}C_f} \tag{5}$$

$$D_{yy} = \frac{(5.93V^2 + 0.15U^2)H\sqrt{g}}{\sqrt{(U^2 + V^2)}C_f} \tag{6}$$

$$D_{xy} = D_{yx} = \frac{5.78UVH\sqrt{g}}{\sqrt{(U^2 + V^2)}C_f} \tag{7}$$

식 (4)는 음해법을 사용하는 유한요소법(한국해양연구소[1988])에 의해 해석하였다.

3.3 모형의 수립 및 검증

모니터링 시스템의 시범운영, 사용한 모형의 정확성 평가를 위하여 제주외항 건설로 인한 환경변화 모델링에 대해 시스템을 구성하였다. Fig. 3과 같이 방파제 건설 예정지 부근은 작은 격자크기로, 외해 쪽은 큰 격자크기로 유한요소 격자망을 구성하였으며, 외해쪽은 수로국 발행 해도, 외항방파제 예정해역은 원설계시 수심 측량결과를 활용하여 모형 수심자료를 구성하였다.

2001년 4~5월에 20일간 한국해양연구원에서 조사한 관측자료가 입력 및 검증자료로 활용되었다. T1과 T2에서 관측한 조위자료는 모형의 개경계 조건을 산정하는 데 활용하였으며, P1에서 관측한 조위자료는 모형결과의 검증을 위하여 사용하였다. 유속은 ADCP를 이용한 관측자료(Fig. 4의 ADCP)와 RCM을 사용하여 RCM1에서 관측한 유속자료를 사용하여 검증하였다. 관측된 자료는 조석성분만을 고려한 모의결과와 비교를 위하여 비조석성분을 저주파 통과필터를 사용하여 제거하는 등의 분석을 실시하였다.

수립된 모니터링시스템의 효용성을 확인하기 위하여 M<sub>2</sub>조석과 S<sub>2</sub>조석만을 고려하여 평균대조기인 2001년 5월 7일에 대해서 모의하였으며, P1 정점에서 관측한 대조기 조위에 대해 검증한 결과는 Fig. 5와 같다. 모의결과가 관측조위와 일치하는 양호한 계산 결과를 보였다. 계산된 날짜의 계산조위와 관측조위의 오차를 줄

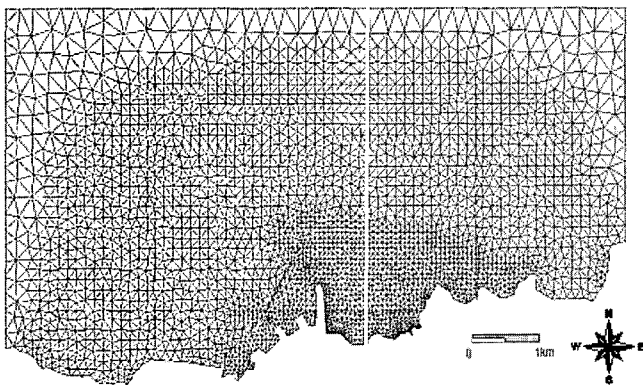


Fig. 3. Grid system for numerical modeling of Jeju Outer Port construction.

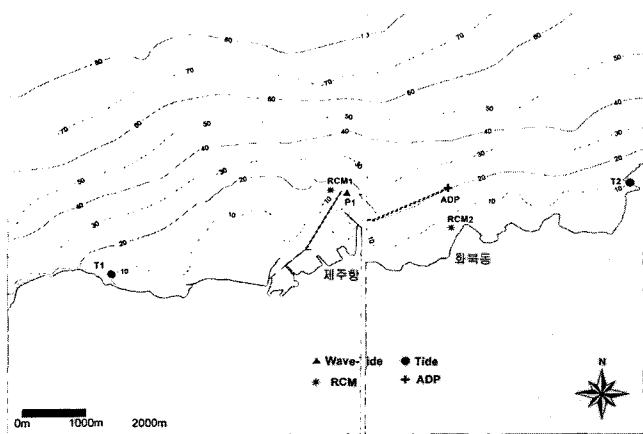


Fig. 4. Location of field observations.

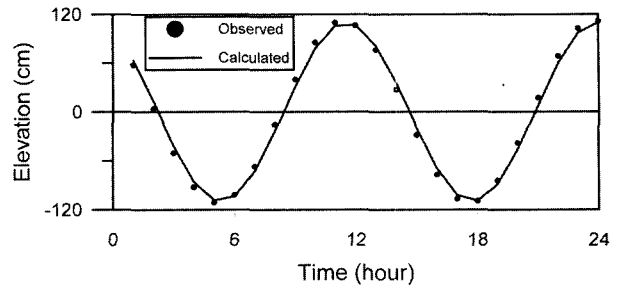


Fig. 5. Comparison of sea level change at St P1 on May 7th, 2001.

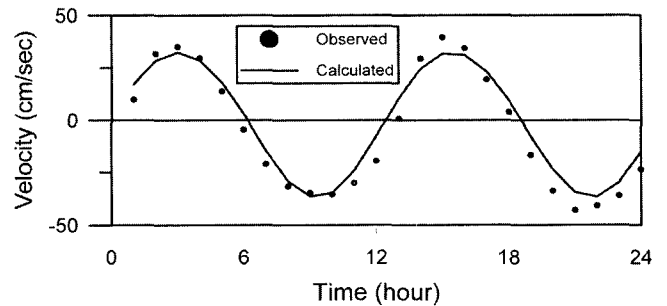


Fig. 6. Comparison of velocity magnitude change at St. RCM2.

이기 위해 2.2에서 언급한 바와 같이 모의결과와 관측결과의 차이를 개경계에서 조석조건을 수정하는 방법으로 RECEMS내에서 자동적으로 보정하였다.

대조기인 2001년 5월 7일에 대한 조류 계산결과(Fig. 6과 7)는 비교된 두정점 모두 관측조류와 위상과 유속 크기가 일치하는 양호한 결과를 보였다. 검증기간의 전반부에는 잘 일치하고 있으나 후반부에는 관측결과에서 나타나는 일조부등 현상을 모의결과가 잘 재현하지 못해 차이를 보이고 있다. 이는 관측결과는 모든 조석분조를 다 포함하여 나타나 현상이나 모델링 결과는 단지 일부 조석분조만을 고려하여서 나타난 현상이다. 특히 현재 연구결과는 시스템의 정상적 운영을 확인하기 위한 연구로 대조기 모의를 위하여 M<sub>2</sub>분조와 S<sub>2</sub>분조의 진폭의 합을 진폭으로 하는 조석파가 M<sub>2</sub>분조와 같은 위상으로 전파한다고 가정하여 일조부등현상을 제대로 고려하지 못했기 때문이다. 보다 정확한 모의 및 예측을 위해서는 나머지 분조들과 조류이외의 흐름을 고려하면 가능할 것이다. 이는 현재 연구 중에 있다.

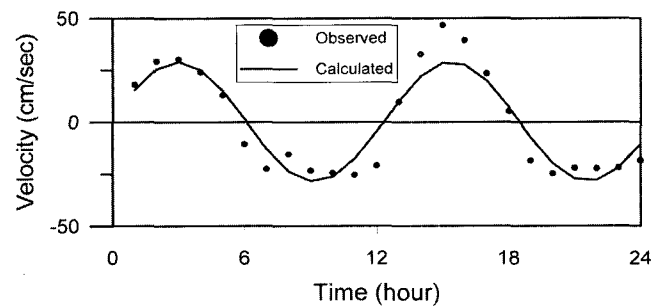


Fig. 7. Comparison of velocity magnitude change at St. P1.

본 연구에서 부유사 확산에 대해서는 관측결과와 미비로 검증 을 실시하지 못 하였다. 그러나 본 연구에서 사용한 모형은 이미 수차례에 걸쳐 현장적용을 통해 검증된 바 있으며, 모니터링시스템의 실제 운영과정에서 조위 경계조건의 결정과정에서와 같이 부유사 농도 모니터링 결과와의 비교 및 확산계수 등을 조정하는 보정과정을 통해 신뢰성 있는 모의결과를 얻을 수 있을 것이다.

#### 4. 해양환경 모니터링 정보의 가시화

위와 같은 방법으로 얻은 수치모의 자료와 모니터링 자료, 각종 공사 관련 자료는 파일로 저장된 후에 가시화되어 사용자에게 제공된다(Fig. 8). 정보제공을 위한 가시화 방법은 현실감 있는 표현을 위해 지형자료에 대해서는 3차원 그래픽을 사용하여, 시간에 따라 변하는 조류분포 및 농도분포를 현실감 있게 관찰할 수 있도록 정적 및 동적 가시화를 통해 환경자료를 제공한다.

개발된 동적 가시화 프로그램은 객체지향형 프로그래밍(Object Oriented Programming) 기법을 사용하여 개발되어서 프로그램의 수정 및 확장이 용이할 뿐만 아니라, 편리한 그래픽 사용자환경을 제공한다. PC와 같이 제한된 메모리를 갖는 환경 하에서도 대용량의 계산이 가능하며, 단지 입력 자료의 변환을 통하여 어느 해안지역에도 적용이 가능하다. 개발에 사용된 프로그램 언어는 Visual C++6.0과 OpenGL 라이브러리를 사용하였다. Visual C++ 언어는 GUI(Graphic User Interface) 프로그램을 쉽게 개발할 수 있도록 C++로 만들어진 MFC를 내장하고 있는 프로그램 개발도구이며(이상엽[1999]), OpenGL은 그래픽 라이브러리로 현재 많은 가시화 프로그램 개발에 활용되고 있다(Glaeser and Stachel[1999]).

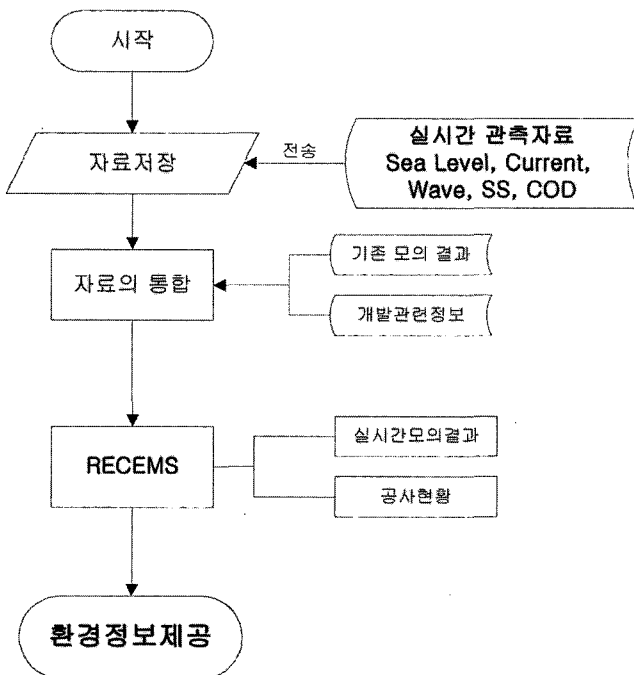


Fig. 8. Flowchart of RECEMS.

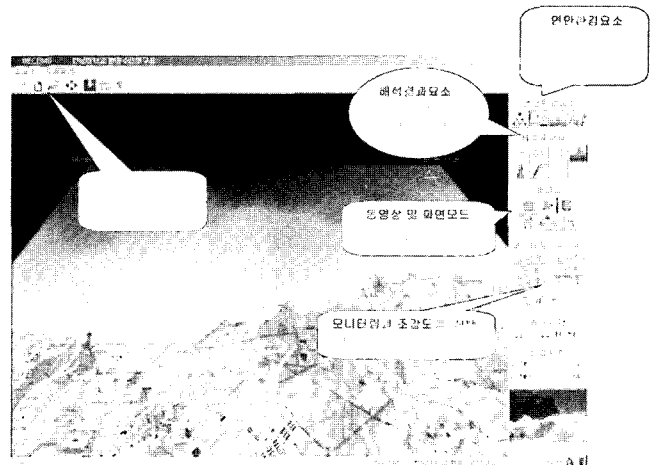


Fig. 9. Main screen of RECEMS.

RECEMS가 구동되면 적용해역에 대한 사진과 함께 개발자에 대한 정보를 보여주는 스플래쉬 화면이 잠깐 동안 화면에 나타났다가 사라진 후에 프로그램 운영을 위한 Fig. 9와 같은 주화면이 나타난다. 주화면에는 지형, 유한요소격자망, 해안구조물 등을 선택적으로 도시할 수 있는 ‘연안환경요소’ 선택부, 모의할 항목을 선택할 수 있는 ‘해석결과요소’ 선택부, 모의 결과를 동영상으로 보기 위한 ‘동영상’ 선택부, 공사단계를 선택하기 위한 ‘모니터링’ 선택부, 공사단계별 조감도를 보여 주는 ‘조감도’ 선택부, 선택된 해석결과요소를 모의하기 위한 ‘모의’ 선택부, 현재 시각과 마우스가 가르치는 위치를 나타내는 영역으로 구성되어 있다. 또한, 좌측 상부에는 프로젝트 열기와 제주의황의 지리적 위치, 프로그램 및 개발자에 대한 정보를 나타내는 버튼이 있다. 모의를 위해서는 해석을 원하는 환경요소중 하나를 선택한 후에 모의를 선택하면, 모의가 진행되고 1일간의 계산에 몇 분이 소요된다. 모의 방법은 해석결과요소에서 화살표를 선택하면, 달력이 화면에 나타나고 모의하기 원하는 날짜를 마우스로 선택한 후에 모의를 선택하면 조류의 시-공간적 변화가 예측된다. SS모의를 위해서는 해석결과요소에서 SS를 선택한 후에 모의를 선택하면 된다. 이와 같은 과정을 통해 계산된 결과는 관측된 날의 현재 시각까지 모니터링 결과와 비교를 통해 보정된 후에 가시화를 위한 자료로 저장된다.

Fig. 10은 계산된 조류분포에 대한 그래픽의 한 예이다. 모의 영역에 대한 수심분포를 칼라그래픽으로 보여 줌과 동시에 유한요소모형에 의해 예측 후 관측결과를 활용하여 보정된 현재 시각의 조류분포를 유속벡터로 보여준다. 이때 육지지형에 대한 자료가 현실감이 있도록 3차원으로 도시된다. 그림의 오른쪽에 위치한 해석결과요소에서 가시화가 필요한 요소를 선택할 수 있으며, 공사 전의 상태, 현재 상태, 공사후의 상태 등에 대한 예측결과도 필요시 다시 볼 수 있도록 하여 해양환경이 해상공사로 인하여 어떻게 변화하고 있는 가를 자세히 살펴볼 수 있도록 하였다. 이 결과는 동영상 버튼을 사용하여 1일간의 변화를 동영상으로 관찰 할

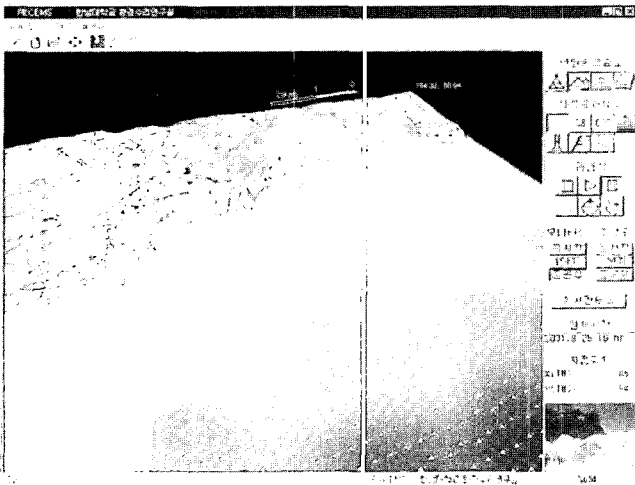


Fig. 10. An example of velocity display.

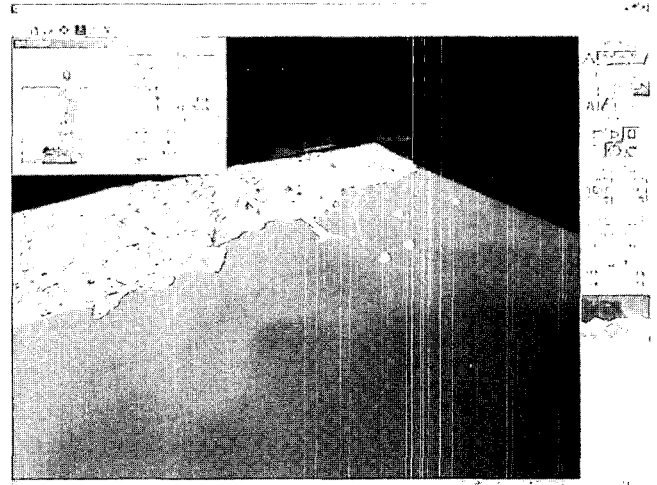


Fig. 12. An example of monitoring data display.

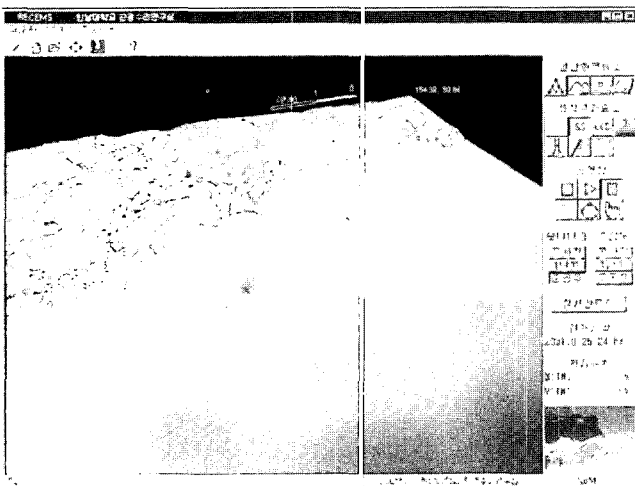


Fig. 11. An example of SS dispersion display.

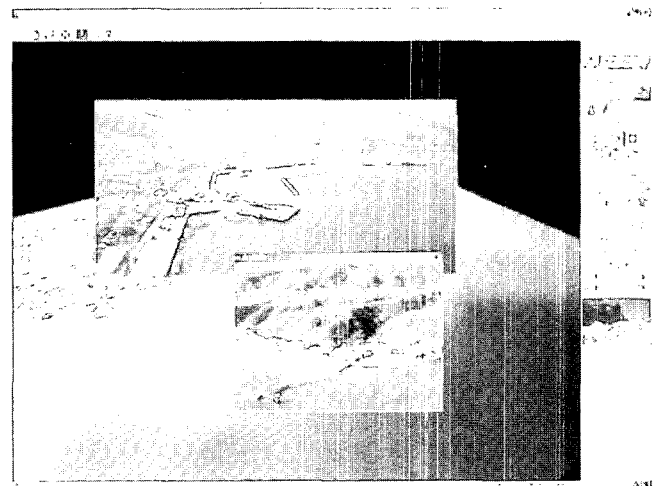


Fig. 13. An example of construction-related information display.

수 있으며, 마우스의 가운데 버튼에 부여된 축소/확대 기능을 활용하면, 특정부분에 대해 자세한 관찰도 가능하다.

Fig. 11은 SS 확산 모의결과를 가시화한 결과이다. 방파제 공사를 위한 사석 투하로 인해 발생하는 부유사 또는 육상오염원으로 방출된 오염 물질의 이동·확산 과정이 가시적으로 잘 보여진다. 필요시 Fig. 11의 결과에 Fig. 10의 유속분포를 함께 도시할 수 있다. 바다에서 환경요소 들은 시간과 공간에 따라 크게 변화하므로 시간에 따른 변화과정을 자세히 관찰하여 SS 농도가 환경기준을 초과하는 경우에 공사중단, 오탐방지막과 같은 오염방지시설의 신속한 설치 등으로 수질오염으로 인한 환경재해를 사전에 방지하여야 한다. 유속분포와 마찬가지로 동영상, 확대/축소 도시가 가능하여 시공간적 변화를 보다 상세히 볼 수 있도록 하였다. 또한, 동영상 선택부에서 손가락 모양을 선택하고 마우스로 원하는 지점을 선택하면, 그 지점에 대한 유속 및 농도의 1일간 변화가 화면에 도시되도록 하였다. 화면에 도시되는 모니터링 영역은 필요시 간단히 마우스 조작으로 다른 각도에서 살펴볼 수 있다.

또한, 현장에서 실시간으로 관측되는 결과를 Fig. 12와 같이 바로 살펴볼 수 있도록 하여 실시간 환경요소 관측결과가 수치모형에 의한 예측결과와 함께 연안 환경관리를 위한 자료로 활용할 수 있도록 하였다.

해상공사가 진행됨에 따라 공사단계마다 주변 경관이 변화될 것이다. 이에 대한 자료(조감도 등)도 정보 시스템에 포함하여 놓음으로써 공사단계 마다 현장 구조물 배치 상황의 변화, 공사로 인한 개발 후 상황에 대한 정보도 제공하여 현장 상황에 대한 파악이 용이하며, 지역주민, 공사 관련인사가 방문 또는 견학할 경우 홍보자료로도 시스템을 활용할 수 있도록 하였다. 한 예로 Fig. 13과 같이 개발에 대한 정보를 보여 준다.

이상과 같이 구성된 환경모니터링 시스템은 공사단계별 조류 및 오염물질 농도 분포 등에 관한 환경정보를 제공하며, 개발에 관한 정보도 함께 제공할 수 있다. 따라서, 공사 해역의 환경상황에 대한 정보를 정확히 파악할 수 있어 환경피해의 확대를 사전에 방지할 수 있어 환경친화적인 공사에 기여할 것이다.

## 5. 결 론

연안 해역의 환경정보를 정확하고 신속하게 제공할 수 있는 환경모니터링 시스템이 구축되었다. 조위, 조류, 오염물질 확산 등에 대한 환경정보를 수치모의 결과와 실시간 관측 자료를 토대로 정확한 환경정보를 제공할 수 있는 시스템으로 공사로 인해 발생하는 수질오염문제의 관리를 통한 환경문제의 최소화, 해상환경의 빠른 예보로 자연재해를 효율적으로 방지할 수 있어 공사비 절감, 공기 단축 등에 기여할 것이다. 공사가 종료된 후에는 선박의 안전 항해, 항만시설물의 안전관리, 해역 수질관리 등을 위한 환경정보 시스템으로 활용할 수 있을 것이다. 또한, 연안 환경의 관리로 해상공사에 대해 빈번히 발생하고 있는 주변 어민과의 환경피해에 대한 분규 등을 미연에 방지하는 데도 널리 사용될 수 있을 것이다. 현재 이 시스템은 정보제공시스템 뿐만 아니라 각종 예측모형을 윈도우 환경 하에서 손쉽게 사용할 수 있도록 되어 있어 각종 연안개발 사업 시행으로 야기되는 환경영향을 평가하는 도구로도 활용할 수 있을 것이다. 추후 현재 모델링 요소로 포함하지 못한 파랑, 바람 등에 대한 정보를 추가하면, 태풍 등의 자연재해로 인한 공사피해를 저감할 수 있는 재해방지시스템으로도 활용될 수 있을 것이다. 현재 연구결과는 관측자료와 모델링결과 사이의 오차를 줄이기 위해 단지 조위에 대해서만 자동보정하는 방법을 사용하고 있으나, 추후 조류, 확산물질의 농도 등에 대해서도 계산 결과를 관측결과에 일치하도록 하는 자료동화기법(Data assimilation method) 등을 도입하여 자동보정하게 할 필요가 있다.

## 참고문헌

- [1] 이상엽, 1999, Visual C++ Programming Bible, 영진출판사.  
 [2] 정태성, 김진원, 박문진, 2000, GUI 를 이용한 아산만의 조석

- 및 조류 예측시스템, 대한토목학회논문집, 20(2-B), 293-303.  
 [3] 정태성, 김창식, 1992, "이동경계를 고려한 유한요소 해수유동모형", 한국해양·해양공학회지, 4(3), 146-155.  
 [4] 정태성, 김태식, 강시환, 2004, "준설공사시 부유사 확산 예측시스템의 개발", 한국해양·해양공학회지, 16(1), 47-55.  
 [5] 한국과학기술원 해양연구소, 1988, 해안재해예보시스템연구(IV), 과학기술처 보고서 BSPG 00061-203-1.  
 [6] 한국해양연구소, 1988, 연안환경 보전기술 개발연구. 과학기술처 보고서 BSPG 00057-184-4.  
 [7] 한국해양연구원, 2001, 제주외항방파제 축조공사 해양조사보고서.  
 [8] Falconer, R.A., 1986, "Water quality simulation study of a natural harbor", J. Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, ASCE, 112(1), 15-34.  
 [9] Glaeser, G. and Stachel, H., 1999, Open Geometry: OpenGL + Advanced Geometry. Springer-Verlag New York, Inc.  
 [10] Jung, T.S. and Kim, J.W., 2000, "An Information System of Tide and Tidal Currents on GUI", Proceeding of Hydroinformatics 2000, Iowa City, USA, 6 pages in CD.  
 [11] Jung, T.S. and Kim, S.G., 2004, "A software for real-time modeling and monitoring of coastal environment", Proceedings of the 6th Int'l Conf. on Hydroinformatics, World Scientific, 1,099-1,106.  
 [12] Nishida, W., Noguchi, M. and Nagata, H., 2004, "Development of tidal currents forecasting system on Internet", Proceedings of the 6th Int'l Conf. on Hydroinformatics, World Scientific, 1,941-1,946.

2004년 11월 24일 원고접수  
 2005년 4월 20일 수정본 채택