



## 해양과정시물레이션의 과학기술적가시화 Scientific and Technical Visualization for Ocean Process Simulations

최 병 호<sup>1)</sup>  
Choi, Byung Ho

This paper briefly introduces the work done up to 1998 during the past twenty years for numerical modeling of ocean process focussing on the neighbouring seas of Korean Peninsula. Modeling of global ocean dynamics has also been performed as a pathway to understand the regional ocean dynamics. The ocean simulation produces a vast amount of multidimensional multivariate dataset therefore adoption of scientific and technical visualization techniques were essential to properly understand the physics involved.

### 1. 서 론

동적인 역학원리에 입각한 해양수치모델 시물레이션에 의한 해양과정의 연구는 과거 십여년에 걸쳐 슈퍼컴퓨터와 워크스테이션의 발전에 힘입어 큰 진전을 보아 왔는데 근년의 범세계적인 현장해양 관측프로그램과 지구관측 위성자료로서 해양예측성이 크게 향상되고 있다. 본 논문에서는 한반도 주변해역의 주요해양과정을 이해하기 위한 해양수치모델 시물레이션의 연구결과를 간략히 소개하였는데 전지구 해양 시물레이션연구는 국지해양역학을 이해하기 위한 필수적인 중간과정으로서 수행되었다. 전통적으로 해양모델이 채택하는 수평적인 유한차분·유한요소격자체계, 수직으로는 다층 및 연속좌표계로부터의 방대한 양의 시간의존적인 다중변수들이 출력되므로 이용가능한 모든 표출방법을 이용한 결과해석이 중요한 사항으로 대두되게 되어 과학기술적가시화기법이 채택되게 되었다. 과거의 노력은 이러한 연구과업을 체계적으로 수행하기 위한 초기설정은 된 것으로 생각되며 현실화시키기 위한 일련의 과업이 진행중에 있다.

### 2. 전지구해양시물레이터

#### 2.1 해양조석시물레이터(Global Ocean Tide Simulator)

지구의 맥동으로 일컫는 해양조석은 지구-태양-태음체계의 천문력에 의해 주기적인 해수면의 변화와 수평적으로는 조류를 발생케 한다. 공간적인 조석예보는 과거의 정점에서의 예보와 달리 전해양의 전역에 걸친 조석예보를 지칭하는데 조석수치모형을 근간으로 한다. 전회의 1도, 1/3도 해상도의 8개 주요 조석분조의 전구해양조석산정에 이어 98년에는 경위도상 1/6도, 1/12도 해상도의 전구해양조석을 산정하여 결과를 8개 주요 분조의 전구 해양조석분포와 지역적인 조석분포도를 역시 작성하였다[1-2]. 국지적으로 개선이 필요한 Sandwell의 2분격자 수심자료(<ftp.topex.ucsd.edu>)를 편집하는 데로 전구 2분 격자 또는 북서태평양역을 2분 격자와 10분 해상도 전구해양모형의 동적연결모형도 가능한 단계에 있다. 정밀 지구 조석모형은 태음에 의해 지구에 작용한 천문력에너지와 해양에서의 소산과의 관계, 지구회전력의 변화, 조석 중력의 지구물리학적 연구와 더불어 공학적인 관점에서는 연안해역의 대규모개발에 따른 조석교란 범위, 즉 개방계계의 문제를 폐합(closure)시킬 수 있는 궁극적인 수단이다[3]. 또한 지구해양의 시공적인 조석산정을 정확하게 해줌으로서 인공위성 고도계의 조석보정에 이용된다. 아마도 5분 전구조석모형은 이제까지 보고된 전구모형 중 가장 상세한 해상도를 가지는 바 이 모형의 자료동화기법을 통한 지속적인 정밀도향상을 대양과 연해, 대륙붕의 조석을 동시에 시물레이션시키는 신뢰성 있는 모형으로서 발전시키

1) 성균관대학교 토목환경공학과 교수 (440-746, 경기도 수원시 장안구 천천동 300, Tel: 0331-290-7512)



고 있다. 모형의 개선은 심해, 연안 조위관측자료와의 검증, Geosat(ERM, GM) 및 Topex/Poseidon, ERS위성의 고도계 자료로부터 산정된 조석도와의 비교검토 및 자료동화로서 수행되는데 현재 NOAA, JPL 및 ESA로부터 고도계 자료는 계속적으로 제공되고 있다.

## 2.2 해양해파시뮬레이터(Global Ocean Wave Simulator)

제 3세대 해파모형[4]이 널리 이용되게 됨에 따라 해파·조석·해일 복합과정의 연구를 지역해양에 적용하는 과업과 더불어 전구해양의 해파통계와 예보체계를 수립하는 연구를 수행하게 되었다[5]. 전지구해양의 파후(wave climate) 통계에 대한 지식은 실용적인 관점에서 선박의 설계, 최적항로 결정(ship routing)의 관점에서 중요한 것으로 대양해파에 관한 자세한 데이터 베이스가 필요하다. Norway의 Det Norsk Veritas 및 미국 해군 David Taylor 선박 연구소에서는 십여년전부터 이러한 과업을 수행하여 장기적인 파후 자료를 보유하고 있으며 이 자료로부터 선박, 해양구조물 설계 등을 위한 실용적인 통계분석 결과를 도출시킬 수 있다. 정밀 격자상의 장기적인 해상풍 자료가 전구대기모형결과의 재분석 자료로서 제공되고 있는데 ECMWF, NCEP 및 일본의 기상청의 자료들이다. 우선 일본기상청의 10년간의 경위도 1.875도 해상도 자료로부터 매일 6시간 간격의 전구해양의 1도 간격 해상풍 데이터베이스를 수립하여 1988년 1년간의 전구해파시뮬레이션을 파이롯 연구로서 수행하였으며 10년 시뮬레이션을 수행중에 있다. 계산 소요시간을 10여개월로 계획하여 방대한 산정 결과(실제 해양에서 1도 간격의 해파관측을 시계열 및 2차원 스펙트럼으로 저장되는 것과 같음)를 저장, 처리하는 체계를 수립하고 있다. 이렇게 hindcast된 파후 통계는 한국 기상청의 GDAPS의 예보 결과를 1년 단위로 분석하여 updating시키므로 전구해양해파의 파후자료(wave climate data set)를 보유할 수 있게 된다. 해파 시뮬레이션의 검증은 해파 관측 부이자료와 인공위성고도계(Geosat, T/P 및 ERS-1 위성) 자료의 해파 관측치와의 비교로서 수행되고 있다.

## 2.3 해양대순환시뮬레이터(Global Ocean Circulation Simulator)

해양순환을 자세히 파악하는 것이 물리해양학의 기본과제이며 상세한 수치모형에 의해 이를 모사시키는 것이 대과제(grand problem)로 자리잡고 있다[6]. 거대한 열엔진인 해양이 지구 기후에 미치는 영향이 현재 재조명을 받고 있으며, 1998년은 UN이 세계해양의 해로 지정하였다. 60년대에 1세대 해양순환모형 연구자들(Sarkisyan, Cox, Bryan, Takano)이 초석을 마련한 후 슈퍼컴의 등장에 힘입어 해양순환모형은 급속한 발전을 보게 되었다. 현재 영국 OCCAM 그룹의 1/4도 해상도 모형, Semtner와 Chevin의 1/4도 모형, Los Alamos 연구소의 1/6도 모형, JAMSTEC의 1/4도 모형이 운용중인데 현재 이용 가능한 가장 빠른 슈퍼컴을 이용하고 있다. 성균관대학교의 진단모형은 1도, 1/2도, 해상도순환모형을 거쳐 1/3도 해상도 모형으로 실험하고 있으며 북태평양 해역은 1/3도, 북서태평양역은 1/6도 해상도로서 수립하고 있다. 동시에 병렬컴퓨터에 의한 1/4도 모형을 시도하고 있으며 예단적인 모형에 의한 장기산정에 들어가고 있다.

## 2.4 해양쓰나미시뮬레이터(Transoceanic Tsunami Simulator)

지진진파(지진해일, 쓰나미)는 해저지진 또는 화산폭발과 같은 지구물리학적 현상에 의해 발생하는 해양파로서 심해에서는 파고가 1 m 이내지만 천해로 전파되어 오면서 파고가 높아져서 해안에 큰 피해가 발생한다. 대양을 가로질러 전파되는 쓰나미의 양상을 시뮬레이션시키기 위해 1883년 Krakatau(Krakatoa) 화산폭발에 의한 쓰나미의 남극주위를 통과한 남미 남단에로의 전파양상을 5분 격자체계로 시뮬레이션하였으며 태평양상에서 전파된 1960년 칠레 발파라이소 해역의 쓰나미, 1964년 앨라스카 쓰나미를 태평양의 5분 격자체계로 시뮬레이션하였는데 지금까지 보고된 가장 높은 해상도를 갖는 시뮬레이션이었다. 1883년 Krakatau 화산 폭발의 경우는 진원역을 세밀 화시켜 Caldera 형성에 의한 급격한 수위 양상을 인위적 점성항을 연속방정식에 부가시킴으로서



초기조건을 설정하였다. 태평양의 쓰나미는 연안역의 세력자를 형성하여 동적연결기법으로 시뮬레이션을 재시도하고 있다. 방대한 시뮬레이션결과는 과학가시화기법을 이용한 애니메이션으로 표출시켰는데 국제 쓰나미학회에서 표출과업에 있어서는 선도적인 역할을 하였다. Krakatua 화산 폭발에 의한 초기수면형의 산정에 적용하였던 기법을 해상의 운석 낙하에 의한 초기수면형의 적용에 의한 가상 쓰나미의 대양 및 연안에서의 전파 시뮬레이션에 적용하는 연구도 전 세계적으로 널리 연구중이다[7].

### 3. 지역 해양시뮬레이터

#### 3.1 배경

과거 20여년에 걸친 지역해양의 수치시뮬레이션 노력의 결과를 정리하여 체계적인 해양시뮬레이션에 의한 hindcast와 forecast를 수행할 필요성이 과학적, 공학적 그리고 자주국방의 관점에서 대두하게 된다. 또한 세계적 규모의 지구환경 변화는 지역해양에 영향을 미치며 지역 해양에서의 인위적 개발행위(대규모 매립, 댐건설 특히 삼협댐) 역시 해양환경의 변화를 초래한다. 해양재해에 대해 한반도 국토해안의 극한 상황(폭풍, 태풍, 해일, 고파, 극조조)에 대해 과학적으로 평가하여 연안방어시스템과 예경보체계를 수립하는 과업이 진행중이다[8].

#### 3.2 지역해양조석시뮬레이터

대륙붕해역을 1km 이하(30 arcsec)의 해상도로서 해상시키는 조석모형의 수립(지역 세분화 기법으로는 수백 m의 해상도로서 수립하였음)과 운용은 전구해양조석모형에서의 출력을 개방경계 입력하는 접근방법이 현재의 육봉관측의 제약성을 고려할 때 대안이 된다. 동서해의 수심자료를 전체적으로는 30 arcsec로 하고 우리나라 해안역은 1 arcsec (약 30m해상)으로 하여 1 arcsec의 표고 자료와 병합시키는 공통기준(평균해면)의 지형자료가 작성되었다. 이 접근은 과거의 모델링 노력의 평가로서 신뢰성 있는 수심, 표고 자료없이 정밀한 격자 체계에 의한 시뮬레이션 과업을 추진하기에는 문제가 있기 때문이다. 이 과업은 향후 수년이 소요될 것이므로 기존 결과인 공간조석예보상수들을 병행해서 당분간은 이용할 것이 바람직하다. 모든 모형결과들의 총합적인 데이터 베이스의 수립을 통해 정밀한 조위, 조류 예보체계가 수립되어 실용적인 이용과 더불어 연해의 해수면 변위와 순환과정을 고도계 및 ADCP자료로부터의 조석제거과정을 통해 확보하는데 궁극적인 목적이 있다.

#### 3.3 지역해양해파시뮬레이터

현재 수립된 1/6도 해상도 북서 태평양역 제 3세대 해양해파모형을 한반도주변에 국한시킨 1:3의 격자세분화체계로서 접합시키는 과업이 수행중이다. 1978년부터 1995년까지 1일 2회의 위·경도 0.5도 간격해상도 데이터베이스를 이용하여 17년 장기 해파시뮬레이션에 의한 파후계산과업 역시 수행중이다. 이 결과는 선정된 태풍에 의한 해파-조석-해일 복합과정모형(wave-tide-surge coupled process model)의 결과와 더불어 한반도 주변 해역의 극한해파통계자료를 제공하므로써 각종 해안·해양공학설계에 신뢰성있는 기본설계 조건을 제공할 수 있다. 격자점에 유의파의 시계열과 더불어 한반도 해역의 주요점의 2차원적 파랑 스펙트럼을 저장하여 연안해역의 스펙트럼해파 모형을 운용하기 위한 기초데이터베이스를 역시 수립한다. 이러한 과업은 종래의 2세대 해파모형에 의한 해파산정위치의 정확도 결여를 극복하고 우리나라 주변해역의 파후 통계를 신뢰성 있게 제시할 수 있게 한다.

#### 3.4 태풍해일시뮬레이터

한국 근해에서의 극한적 해양환경은 주로 온대성 저기압 및 태풍이 한반도 주변해역을 통과할 때 발생하는데 높은 해파, 해일이 발생하는데 대조시의 높은 조위와 복합되어 연안역의 침수에 의



한 큰 피해가 발생한다. 96년~98년 3개년의 과기부 국책과업으로 한반도 주변해역에 영향을 미친 49개의 태풍 시물레이션을 종래적인 모수화된 동심원적 태풍역 바람장 모형을 발전시켜 PMBL모형과 모수형 태풍모형을 결합시킨 바람장을 생성하여 과업을 수행하였다. 해일 분포의 시계열은 (조선+해일)시물레이션으로부터 (순수조선)시물레이션을 감하는 절차로서 생성시켜 연안검조소의 장기자료와의 상관관계로부터 전해역, 해안의 재현년도별 해일범람고를 산정제시하였는데 방대한 입력, 출력 데이터베이스가 창출되었다. 2 단계 연구로는 1 arcsec의 수심, 표고 database에 입각한 연안 해일 범람시물레이션(30m 수평해상도 격자체계)의 결과를 수치지도상에 표출하는 연안범람재해도(coastal flooding map)을 작성하는 초기 단계 과업을 수행중이다.

### 3.5 동해쓰나미시물레이터

한국 동해안에 1983년, 1993년 두차례에 걸친 쓰나미 내습은 동해 쓰나미의 진원 메카니즘, 전파과정, 해안에서의 최종효과에 대한 자세한 접근을 하게 한 계기가 되었다. 과거 10여년에 걸친 쓰나미 시물레이션의 최종단계로서 동해의 자세한 수심 데이터베이스의 수립과 동해안역의 1 arcsec 표고데이터를 병합시켜 쓰나미 범람시물레이션 (30m 수평해상도 격자체계)을 수행하는 과업이 진행되고 있다. 시물레이션은 4회의 원지진에 의한 쓰나미, 2회의 왕조실록에 제시된 근지진에 의한 쓰나미 또한 공백역 가상지진에 의한 쓰나미 시물레이션으로 구성되며 지역적으로 소역을 제외하고서는 범람시물레이션이 수행된 적이 없으며 수직벽 가정에 의한 모형시물레이션과 제한된 관측치로서의 상관(runup ratio)으로서의 결과해석의 무리한 제약을 극복하려는 시도이다.

## 4. 지구시물레이터

해양대순환연구가 지구온난화문제에서 비롯된 기후변동현상의 해명, 예측의 요청에 부응하기 위해 새로운 단계로 접어 들어가고 있는데 지구온난화에 미치는 지구표면의 2/3를 차지하는 해양의 역할에 대한 적극적인 탐구가 필요한 것이 재강조되고 있다. 대기모형, 지표면모형, 해빙모형, 해양순환모형을 결합시켜 CO<sub>2</sub>의 배증, 4배증에 따른 지구환경변화를 예측하고 또한 지질, 화학, 생물학적과정을 시물레이션하는 범세계적인 연구가 진행중에 있는데 일본의 Earth Simulator계획은 전 지구를 10 km로 해상시키는 virtual earth를 차세대 슈퍼컴퓨터에서 구현시키는 프로그램으로 대기·해양체계를 한 체계로서 다루는 획기적인 기법을 채택하고 있다. 한국주변해역에 초점을 둔 지구환경 변동예측시물레이션을 NCAR CSM(Climate System Model, Gent등)[9-10]을 근간으로 하여 한반도주변해역은 세력자를 채택한 CO<sub>2</sub> 배증실험이 현재 수행중에 있는데 이 일차적인 해수면 상승추정에 따른 조선, 해파, 해일, 해양순환의 변화예측을 수행하여 국지 해안·해양역의 환경변화를 추정하는 연구 프로그램을 시작하는데 목적을 둔다.

## 5. 과학기술적 가시화

컴퓨터그래픽스 애니메이션의 역할은 컴퓨터 또는 기타 다른 작업으로 이루어진 기존자료(모델 데이터, 분석동적자료)에 실제적 또는 유사한 환경을 가시적으로 제공함으로써 자료의 감각적인 지를 구체적 인지로 전환해 줄뿐만 아니라 더 나아가서 실제적으로 가능하지 않은 상황을 연출시켜 가상적자료에 대한 결과를 가시적으로 또는 실시간으로 시물레이션할 수 있다. 따라서 과학 및 공학에서 수치시물레이션모형의 방대한 해석자료들은 종래에는 제한적으로 2차원 플로팅방법에만 의존하던 것을 컴퓨터 그래픽스 애니메이션에 의한 과학기술적 가시화(Scientific and Technical Visualization)에 의해 3차원적으로 신속히 검토할 수 있게 되었는데 구조해석, 전산유체역학(Computational Fluid Dynamics : CFD), 의학, 항공, 우주공학에서 애니메이션을 통한 시물레이션이 활발하게 수행되고 있다. 과학적 기술가시화란 원시 수치 자료를 가시적인 영상으로 제시하는



기법으로써, 이 원시자료가 기원한 실제 체계의 외력과 물체와의 상호 작용을 모형화한 영상을 마치 현실과 같이 화면에서 조작시키는 방법이다. 과학기술적가시화는 1987년 미국과학재단의 과학계산의 가시화워크샵 및 보고서가 이 분야의 활발한 발전을 시키는 촉진역할을 하였는데 컴퓨터에 의해 생성된 방대한 자료를 과학자들이 쉽게 이해하는데 목표를 두며, 오늘날 연구, 교육 및 개발에 있어 역동적인 진전을 보이고 있다. 이 기법을 통해 가정을 시험하고 장단기에 걸친 예측을 수행하여 새로운 변수를 적용시키고 또한 새로운 체계를 구성할 수 있다. 기본적으로 해양과정의 수치적시물레이션의 출력은 방대한 양의 다차원다중변수가 되며 이의 적절한 가시화방법이 과학기술적가시화의 중요한 한 과제이자 동시에 해양과정을 적절히 이해하기 위한 필수적인 사항이다.

(1) 전지구 해양조석의 5분 해상도 및 10분 해상도 모형을 이용해 수립된 8개 분조의 조석체계를 준 안정상태에 이른 최종주기의 24(48)조의 조위, 정도, 위도 방향의 유속으로 저장되고 또는 Fourier 분석에 의한 진폭과 위상 자료로서 구성된다. 이 방대한 출력자료는 통상적인 출력방법인 조석도를 subsampling에 의하지 않고 전자료를 활용하여 작성되어야 하며, 또한 최종주기의 자료로부터 천해의 조석소산 및 조석중력 등의 지구 물리학적 연구를 위해서는 이용자가 이 자료를 직접 접근할 수 있어야 하며 임의의 해석을 선택하여 적절한 등치선 간격을 선택한 등조석도의 작성을 할 필요가 있다. 이러한 요구를 만족시키는 정보전달체계는 WWW(World Wide Web)체계 상에서 인터랙티브 자료 가시화 방법이며 이는 JAVA-html-가시화소프트웨어의 총합적인 구성으로 이루어질 수 있다. 지역적 조석 시물레이터의 표출방법 역시 유사한 접근이나 이 경우에도 실시간 조위, 조류예보를 점검, 해석별로 예보상수 dataset으로부터 이용자가 server 컴퓨터에서 산출하여 화상을 확대시켜서 출력시키는 인터랙티브 자료 가시화체계가 이미 구축된 조석정보의 그림화일을 이용자가 사용하는 방법과 더불어 필요하다 [Plate 1].

(2) 전구해양·해파 시물레이터의 결과 역시 방대한 hindcast 자료를 DB화 시켜 가시화 기본자료를 제공해야 하며 기상청의 전구 및 국지대기자료 동화예보모형 예측과 연계한 해파 예보체계를 표출시키는 정연한 과업이 필요한데 국지적인 3차원 바람장의 표출과 지역적인 항만내 침입하는 파랑의 변화상태를 계산하여 매순간 산정된 파랑에 인공적인 광원을 부여하여 질감있는 영상을 재현하여 여러 대안의 해안 구조물이 외부침입파를 효과적으로 차폐시켜서 항구내측의 수면을 정온하게 유지시킬수 있는가를 가시적으로 용이하게 선택할 수 있다. 이는 전통적인 항구의 기하학적인 형상을 소축척 모형으로 만들어 물리적 실험시설에서 실험하는 방법의 대안, 보완 방법으로 이용될 수 있다 [Plate 2].

(3) 지진해일 시물레이션은 진원의 메카니즘, 해저형상 및 연안지형에 따른 전파과정 및 해안에서의 비선형적인 치올림 및 항구내의 침입과정으로 구성되어 산정결과의 적절한 가시화에 의한 해석이 필수적이다. 수면형상을 3차원 형상으로 변화시키고 색조를 부여하고 렌더링시켜서 개개의 영상을 생성하고 이를 동적인 플레이백으로써 동화애니메이션을 생성하는 통상적인 방법을 택한다. 대양을 가로질러 전파하는 외양지진해일과 연안역의 상세한 지형, 수심을 해상시키는 시물레이션은 양자가 다량의 출력을 생성시킴으로 전 출력자료를 표출시키는데 발생하는 문제점은 공통된 애로점으로서 남아있다 [Plate 3].

(4) 해양순환과 대기 시물레이션의 출력은 전형적인 다차원 다중변수 가시화 과업으로서 대부분의 해양, 대기모형은 층별로 대기층, 수심의 특성변수들이 시간의 함수로써 산정되는데 이러한 시물레이션의 기간은 수십년에서 수백년의 기간이 되며 아직도 자료표출 및 가시화에 대한 적절한 해결방법이 제시되고 있지 못하다. 기본적으로 수직, 수평적으로 분절된 면의 자료를 통상적으로 제시하거나 3차원적 자료를 체적요소를 구성하는 볼륨 렌더링 기법이 채택되고 있는데 필연적으로 이 체적가시화 기법을 근간으로 한 매핑으로 대체될 것이며 현재에는 초기단계의 가상현실체계에서 구현되고 있다 [Plate 4].



## 6. 결 론

병렬슈퍼컴퓨터 및 워크스테이션의 괄목할 만한 전산능력신장으로 해양시뮬레이션은 고해상도로서 수행할 수 있는 단계로 발전되고 있으나 아직도 자세한 과정에 대해서는 경험적인 모수화에 의존하고 있으며 또한 자료동화기법을 적용시키는 단계에 있다. 차세대에서는 해양과 대기를 결합 방법에 의존하지 않고 한 체제로서 구성하는 모형기법이 출현할 것으로 전망되는데 현재 이러한 시뮬레이션의 결과를 실시간적으로 표출시키기에는 한계가 있으나 분산계산과 병렬그래픽산정에 의한 다중디스플레이방법(예, PAPERS; <http://yara.ecn.perdue.edu/~pplinux>)등이 실험적으로 적용되어 있어 곧 실용화 될 것으로 전망된다.

## 감사의 글

본 고에 수록된 연구결과의 일부는 과기부지원 「자연재해방재기술사업」 1단계(1986~1998) 및 2단계(1999~2001), 한국지진공학연구센터 및 (주)대우건설의 새만금해역 수리현상수치실험연구의 재정적 지원에 의해 이루어졌으며 초기의 과학가시화연구는 시스템공학센터의 CRAY University R&D 프로그램의 지원이 있었다.

## 참고문헌

- [1] Choi, B.H. *et al*, "Tides in east Asian seas from a fine-resolution global ocean tidal model", *MTS J.*, (1999).
- [2] 최병호, "해양조석-지구의 맥동", *대한토목학회지*, 46권 2호(1998), p.67~76.
- [3] Garrett, C. and Greenberg, P.A., "Predicting change in the tidal regime: the open boundary problem", *JPO*, Vol.7.(1997), p.171~181
- [4] Komen, G.J. *et al*, *Dynamics and Modelling of Ocean Waves*, Cambridge University Press(1994), p.532.
- [5] 최병호, "해양해파의 예보", *대한토목학회지*, 46권 6호(1998), p.89~95.
- [6] 최병호, "해양의 대순환", *대한토목학회지*, 46권 9호(1998), p.80~86.
- [7] Choi, B.H. *et al*, "Computer animation of marine process", *J. KSCOPE*, Vol.5, No.1.(1993), p.19~24.
- [8] 최병호, "한국근해의 극한해양상황", *대한토목학회지*, 45권 10호(1997), p.92~100.
- [9] Gent, P.R. *et al*, "The NCAR Climate System Model : Global Ocean Component", *J. Clim.*, 11(1998), p.1,287~1,306.
- [10] Kim, D.H., "Sea level changes due to global warming for the Northwestern Pacific Ocean", 박사학위논문, 성균관대학교(1999).

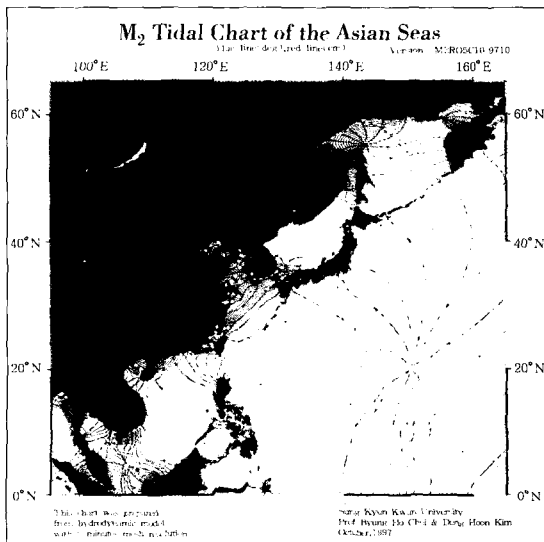
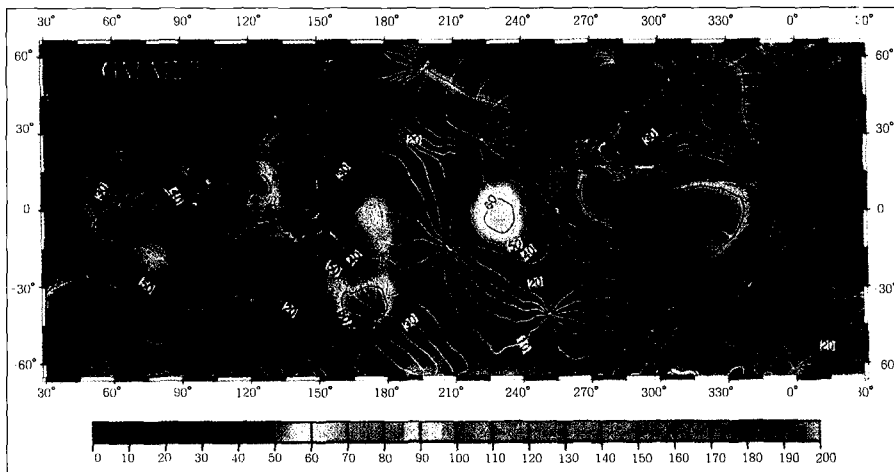
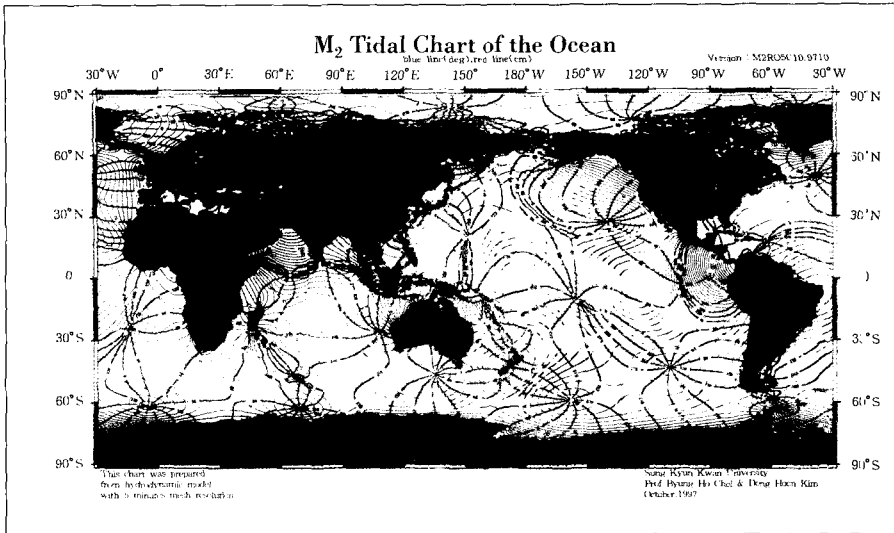
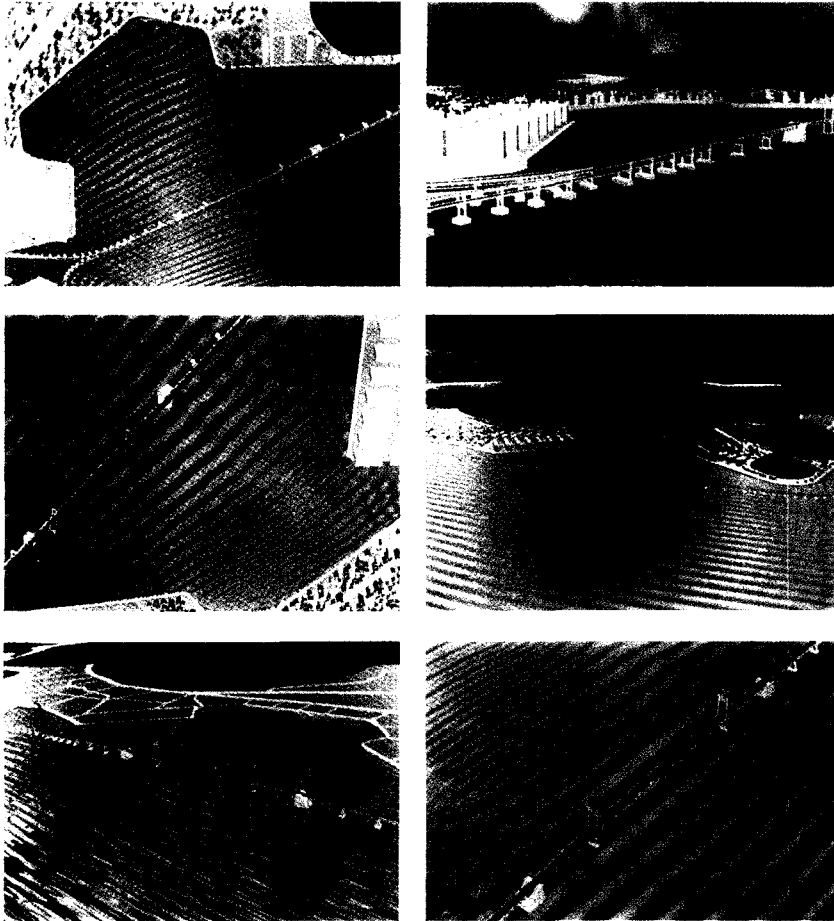
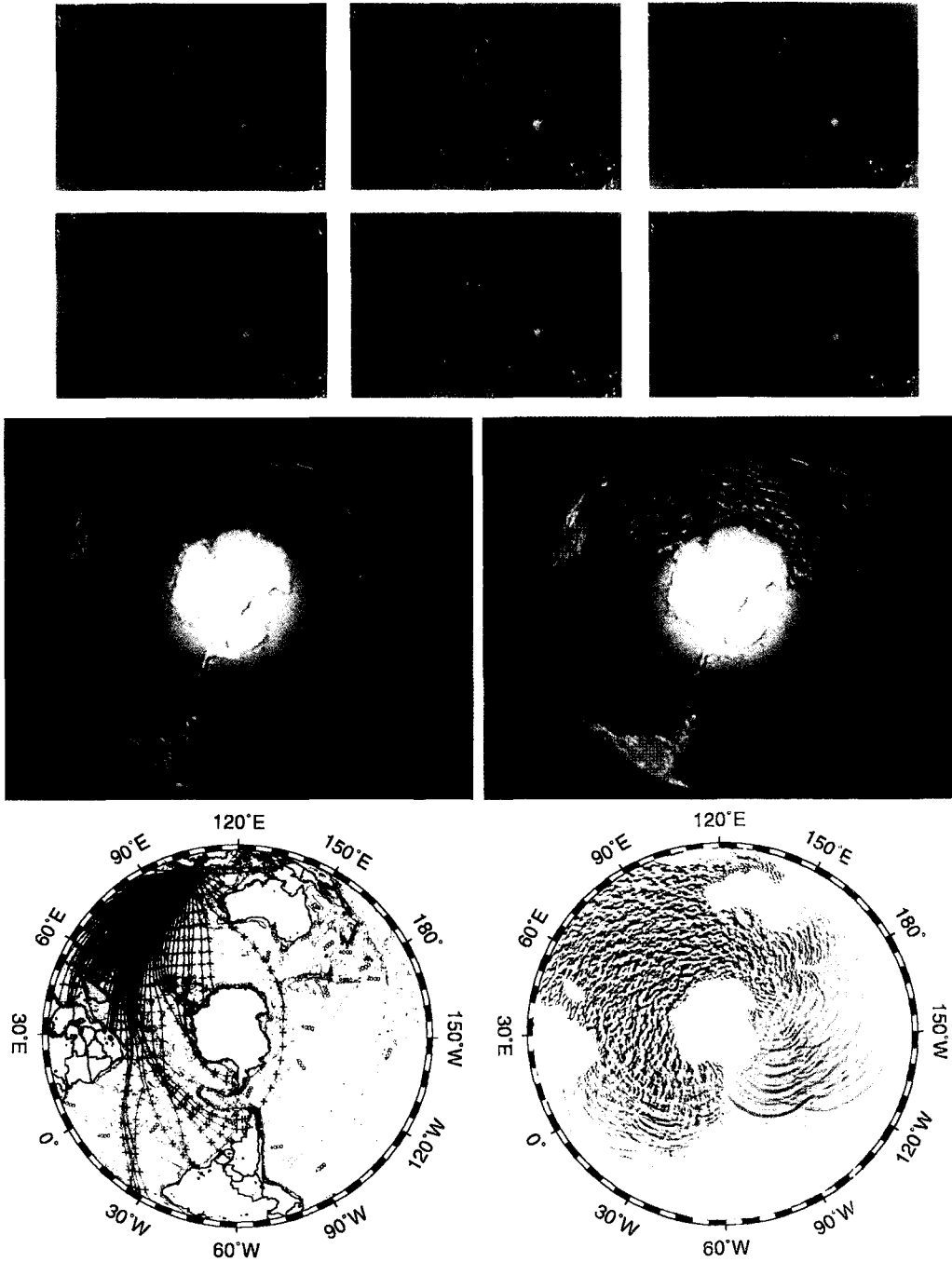


Plate 1. The M<sub>2</sub> tidal chart of the global ocean drawn on Mercator projection without subsampling from 4320×2160 grid elements by 5 minute resolution tidal model (top). M<sub>2</sub> tidal chart drawn from Geosat (Geodetic Mission) altimeter data (middle). A blow-up of the M<sub>2</sub> tidal chart for the East Asian seas (bottom left).



**Plate 2.** Wave penetration into a bay. A hyperbolic type mild slope equation based wave model capable of representing wave diffraction, refraction and reflection process is used to reproduce construction effect of the Kwang An bridge in Pusan. Dynamic simulation results were fused into three-dimensionally modeled bridge and background structures to enable video-animation of wave-structure interaction.





**Plate 3.** Snapshots of rendered images of a tsunami due to volcanic eruption of Krakatau in 1883 for source region of the Sunda strait (top), transoceanic propagation around the Antarctic (middle). A tsunami travel time chart from wave ray model (bottom left) and wave propagation to southern American coast (bottom right).

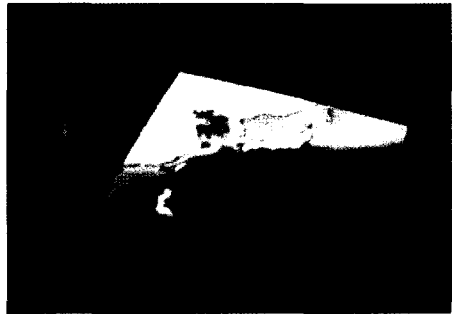
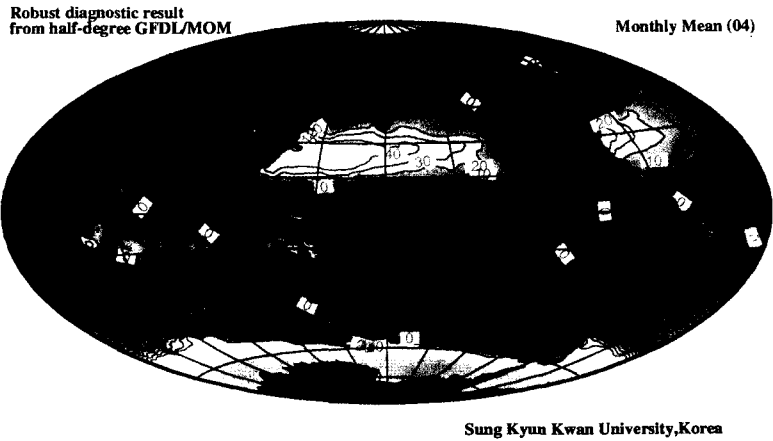


Plate 4. Volume transport for April computed from a half-degree resolution global ocean circulation model for the whole ocean (upper), sea surface temperature for western Pacific (lower left) and volume rendered images of temperature (lower right).