

마산만 국지해일 예경보 모의 시스템 구축

A Warning and Forecasting System for Storm Surge in Masan Bay

한성대* · 이정렬**

Han, Sung Dae · Lee, Jung Lyul

Abstract

In this paper, a dynamic warning system to forecast inland flooding associated with typhoons and storms is described. The system is used operationally during the typhoon season to anticipate the potential impact such as inland flooding on the coastal zone of interest. The system has been developed for the use of the public and emergency management officials. Simple typhoon models for quick prediction of wind fields are implemented in a user-friendly way by using a Graphical User Interface (GUI) of MATLAB. The main program for simulating tides, depth-averaged tidal currents, wind-driven surges and currents was also vectorized for the fast performance by MATLAB. By pushing buttons and clicking the typhoon paths, the user is able to obtain real-time water level fluctuation of specific points and the flooding zone. This system would guide local officials to make systematic use of threat information possible. However, the model results are sensitive to typhoon path, and it is yet difficult to provide accurate information to local emergency managers.

Key words : typhoon, storm surge, parameter typhoon model, warning and prediction system, Masan bay, GUI, emergency management official

요 지

본 연구에서는 태풍과 해일에 의한 범람 피해 영역을 예보하기 위한 동적경보시스템에 대해서 서술하였다. 이 시스템은 연안 지역에 내수범람과 같은 잠재적 위기가 예상되는 태풍 발생 시기에 해안공학적 지식이 부족한 공공 재난관리자들이 직접 신속하게 운용할 수 있도록 일반 PC에서 MATLAB의 GUI(Graphical User Interface)를 이용하여 개발되었다. 신속한 예보를 위한 바람장은 기상청 태풍 예보 자료를 이용하는 단순파라미터 태풍모델로 생성된다. 조위와 수심평균된 조류를 신속하고 정확하게 모의를 하기 위하여 경계 조건을 사전에 준비하였다. 또한 임의의 시점에서도 정확하고 빠르게 수행되도록 MATLAB 수치 프로그램을 벡터화하였다. 예상 태풍경로와 관련 태풍 예보 자료를 마우스 등을 이용하여 윈도우 화면에 입력하고 실행하면 마우스로 선정된 특정범람 예상 지점에 대한 실시간 수위정보를 얻을 수 있다. 이 시스템은 지역 재난관리자들에게 가능한 위험 정보를 신속히 파악하고 체계적으로 운용될 수 있도록 개발되었다. 그러나 모델결과는 태풍의 경로에 민감하게 작용하고, 또 지역 재난관리자들이 정확한 정보를 생산하기 위하여 오랜 기간 숙련과 지역에 적합한 경험 계수의 결정 과정이 필요하다.

핵심용어 : 태풍, 폭풍 해일, 파라미터 태풍모델, 예경보시스템, 마산만, GUI, 재난관리자

1. 서 론

한반도 연안해역은 태풍의 진로에 위치하여 항상 폭풍해일에 의한 범람위험에 노출되어 있다. 최근 들어 기후 온난화로 태풍의 강도는 점점 강해지고 있으며 해수면의 상승으로 범람에 의한 피해 규모가 더 커지고 있다. 이에 반해 지역에 따라 해일이 자주 발생하지 않는 곳에서는 방심하여 위험에 철저히 대처하지 못하는 편이다. 2003년 태풍 매미에 의한 해일은 약 2.3-2.6 m에 달하여 마산만 해안의 저지대가 월류로 침수되었는데(이와 한, 2004; 최병호, 2004; Kang 등, 2009; Yasuda 등, 2005), 이 해일은 마산 연안의 북, 중앙

부를 타격했고 18명이 사망하였다(마산시, 2003). Fig. 1은 당시 침수지역을 나타낸 것(마산시, 2005)이며 사망자의 대부분은 지하주차장이나 지하상가로 쏟아져 들어온 해수에 의해 희생되었다. 범람이 발생할 수 있는 지역임에도 빌딩 지하공간이 특별한 규제없이 왕래가 허용되었고 범람의 위험으로부터 인명 피해를 줄이기 위한 파난 예경보 상황에 대한 대비가 소홀하였으며, 또한 자주 발생하지 않는다는 이유로 이를 위한 체계적인 시스템을 수립하는데 있어 완벽을 기하기 못하였다(이종섭, 2004). 마산만에는 과거 그와 같은 재해경험이 거의 없는 해일재해 무방비 지역으로 예상치 못한 위급 상황에 당황하여 발빠르게 대처하지 못하는 아쉬운 상황이

*정회원 · 경남대학교 토목공학과 교수(E-mail: sdhan@kyungnam.ac.kr)

**성균관대학교 사회환경시스템공학과 교수



Fig. 1. Locations of Inland Flood.

발생하였다. 따라서 태풍 통과시 유사한 인명 피해가 발생되지 않도록 하기 위한 첫 단계로 태풍에 따른 육지로의 범람에 대한 예경보시스템의 수립이 필요하고 재난관리시스템의 효율적 운용을 위한 도구와 훈련이 필요하다(이동영, 2004).

예경보시스템은 해일 범람과 같이 급박한 상황이 발생하였을 때 현장상황을 제일 잘 아는 지역의 재난관리자들이 신속히 적절한 결정을 내릴 수 있도록 개발되어야 한다. 태풍이 상륙할 경우 해일 위험지역에서는 시간과 공간적으로 좀 더 세부적인 정보를 신속히 획득할 수 있어야 하고, 재난관리자들이 위기상황을 극복할 수 있도록 선별적, 구체적 정보를 획득할 수 있는 수단을 통하여 신속히 전달될 수 있어야 한다. 그동안 국내외에서 개발된 많은 해수 순환 모형이 미산 지역에 hindcast 목적으로 적용되었으나 태풍 매미의 피해가 있는 지 6년이 되어가는 지금 아직도 nowcast/forecast 용으로 구축된 모형이 없는 실정이다. 미국은 실질적인 피난을 도울 목적으로 CSP(Coastal Storms Program)을 수립하여 hydrodynamic model을 기반으로 한 예보시스템을 플로리다의 북동부 St. John's River 지역을 시작으로 수립해 나가고 있다(McAloon 등, 2005).

본 연구에서는 해일로 인한 침수 영역 및 침수 깊이에 대한 예보시스템 수립에 대해서도 논의하였다. 최근 이 등(2008)은 태풍으로 인한 해수면 상승과 태풍파로 인한 범람으로 해안 저지대의 침수 피해를 모의하기 위하여 2차원 수심 적분된 천수방정식을 이용한 해일 범람 모형을 제시한 바가 있다. 지진해일로 인한 범람피해가 최근 커지고 있고 예측하기 힘든 점 때문에 대규모의 실험실에서는 장주기파의 범람현상에 대한 실험 연구가 많이 수행되었고, 범람 모형의 수행능력을 평가하기 위한 검증자료로 많이 활용되기도 한다(Titov와 Synolakis, 1993; Yeh 등, 1994; Liu 등, 1995; Briggs 등, 1995). Yasuda 등(2005)은 최근 좀 더 정확한 3차원적인 범람 거동을 모의하기 위하여 Navier-Stokes 식을 이용한 3차원 MARS(Multi-interface Advection and Reconstruction Solver)모형을 이용하였고, 태풍 매미로 인한 미산지역 범람 및 인명피해가 컸던 빌딩 지하공간으로의 해수 유입 현상을 모의하였다. 본 연구에서는 신속한 계산이 가능한 수심적분 모형인 이 등(2008)의 범람 모형을 적용하였다.

본 연구에서는 인명과 재산의 손실을 더욱 효과적으로 보호하는 임무를 맡고 있는 재난관리 공무원들이 쉽게 사용할 수 있는 예경보시스템을 제시하였다. 이러한 예경보시스템의

개발은 폭풍해일로 인한 인명손실을 상당히 감소시킬 수 있을 것이다(NRC, 1989). 또한 이 시스템은 신뢰할 수 있는 결과를 도출하기까지 기왕에 관측된 자료에 대한 개선이 꾸준히 이루어져야 하므로 조속한 예경보시스템 구축이 우선 필요하다. 수립된 시스템은 미산만에 큰 피해를 일으켰던 태풍 매미에 적용하고 관측치와 비교하여 폭풍해일의 전체적인 모의수행 능력을 살펴보았다.

2. 시스템 구성

예경보시스템은 Fig. 2와 같이 태풍 경로 및 강도, 모니터링 자료 등과 같은 자료취득모듈과 이러한 자료를 기반으로 재난 관리 지역의 피해를 모의할 수 있는 피해모의모듈, 그 결과를 기초로 어떤 예경보조치를 취할지 의사 결정과정을 돕는 예경보결정모듈, 그리고 이 결정을 전달하는 정보전달모듈로 나뉜다. 특히 자료취득과 예보모의 모듈은 해양 자료취득 및 예보기술의 지원이 필요한 모듈로 예경보모의기술 분야에 해당되며 나머지 예경보결정 및 예경보전달 모듈은 모의 결과를 토대로 어떠한 조치를 취할지를 신속히 결정하고 효과적으로 알리는 예경보전달기술 분야에 해당된다. 예경보모의시스템은 우리나라 연안의 특정지역에 대해 반자동적으로 사용할 수 있도록 하였다. 지형관련 자료의 생성과 기지정된 경계의 조석 조건 등에 대한 자동화 시스템도 함께 사용할 수 있도록 개발되었고, 근해지역에 대해서는 좀 더 상세한 경자망으로 구성되도록 하였다. 본 연구에서는 아래와 같이 시스템에서 제일 중요한 역할을 하는 피해모의모듈에 대해서 주로 서술하였다.

2.1 파라미터 태풍모형

시스템의 근간이 되는 해일모형은 중심기압, 위치, 바람의 최대 반경 등 태풍과 관련된 압력과 바람 정보에 의하여 운용된다. 태풍의 경로 및 강도와 같은 기본 입력 자료는 감시와 경보에 대한 법적인 책임성을 지닌 국립기상예보관으로부터 공급받는다. 바람과 압력은 태풍에 대한 Holland 해석모형(1980)을 사용하여 산정하였다. Holland(1980)의 태풍모형에 의해서 추정된 바람분포는 Fig. 3과 같고 관측치(MM5)와



Fig. 2. Warning System Processes.

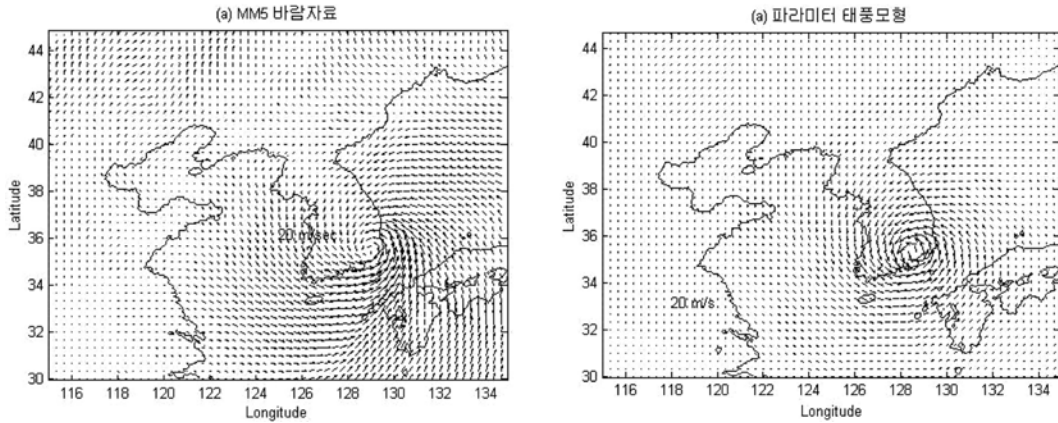


Fig. 3. Comparison between Parameterized Model Results and Observations; (a) MM5 data and (b) Model results.

비교하였다. 더 많은 파라메트릭 모델이 다수의 실험자들을 위하여 이 시스템과 연결되었다.

외력 항들은 폭풍해일이 발생하는 경우, 대기압과 바람에 의해 발생하는 표면전단응력을 포함한다. 태풍이 발생하는 동안에는 한정된 지역에서 한정된 매개변수만을 현장에서 측정할 수밖에 없다. 그러므로 한정된 현장자료에 기초한 바람장과 압력장을 모의하기 위한 수학적 모델이 필요하다. 이러한 수학적 모델은 가끔 여러 매개변수들(중앙부 압력, 최대풍, 최대풍 반경 등)로 표현된다. 현재의 시스템에서 바람과 압력장을 나타내기 위해 사용된 모델은 Holland 모델(Holland, 1980, Bode 와 Hardy, 1997)을 보완하여 수정한 Rankine 모델(Fletcher 등, 1995)이다. 매개변수가 많으면 더 향상된 결과를 도출할 수 있으나 예보의 효율성을 해치거나 엉뚱한 결과를 도출할 개연성이 높아질 수 있어 선택에 주의가 필요하다.

2.2 폭풍해일 모델

범람을 일으키는 해수면 상승은 조석, 파랑, 바람의 영향을 크게 받는다. 특히 천해에서는 태풍과 같은 극한적인 해상 조건 하에서 상호작용이 크게 발생하므로 해일의 정확한 계산을 위해서 조석, 파랑, 바람 등이 본 모의에서 연동되도록 하였다. 예보 시간을 단축하기 위하여 사전에 준비가 가능한 M_2 , S_2 , O_1 , K_1 등의 조석정보 자료가 구축되었다. 태풍의 영향력을 감안하여 Fig. 4와 같이 우리나라는 물론 일본, 동중국, 대만까지의 해역을 포함하는 영역으로 위·경도 $1/6^\circ \times 1/6^\circ$ 격자체계의 수심에서 모의되도록 하였고, 또한 마산, 진해와 같은 연안의 관심지역에 대해서는 좀 더 상세한 격자망에서 동시에 모의되도록 하였다.

수심적분된 비선형 천수방정식이 조석 및 조류 환경 하에서의 폭풍 해일을 예측하기 위한 수치모형의 지배방정식으로 사용되었다. 수심적분된 천수방정식은 수평대류, 확산, 전파와 같은 유체흐름의 복합적인 물리현상이 매순간 각각의 독립적인 과정의 합으로 설명될 수 있다는 인식에 근거(Chorin, 1968)하여 factorization 기법을 결합한 fractional step 방법(Yanenco, 1971)을 사용하고, 빠른 계산을 위해서는 유한차분 기법(Benque, 1982)을 이용하여 Fig. 5에 도시된 과정을 통하여 수치해석되었다.

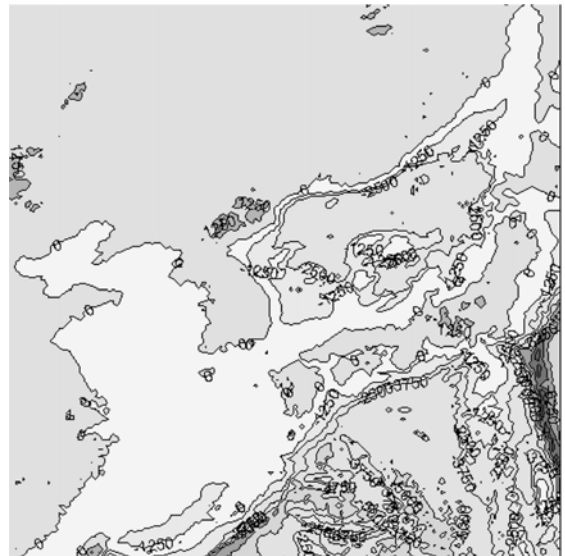


Fig. 4. Bathymetry of the Seas around Korean Peninsula.

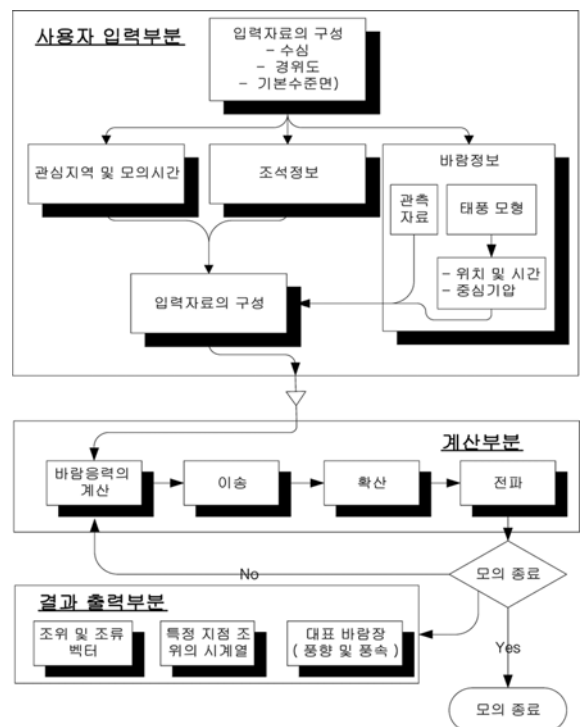


Fig. 5. Hydrodynamic Model Structure.

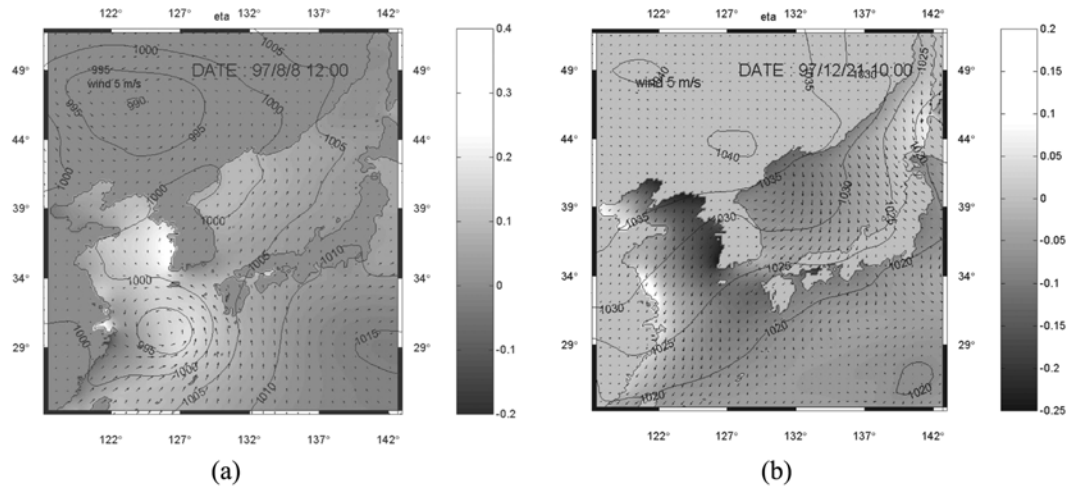


Fig. 6. (a) Surge Levels at 12:00 Aug. 8, 1997 (Typhoon TINA), (b) Surge Levels at 10:00 Dec. 21, 1997 (ECMWF wind data).

Fig. 6a, 6b는 각각 태풍 TINA와 겨울 계절풍에 의한 ECMWF 예보지도로부터 산정된 해일고에 대한 예이다. 조석은 폭풍의 효과만을 보기 위해 해일 산출 결과에는 포함시키지 않았다.

강풍이 지속적으로 해안으로 불어오는 경우 수심이 낮은 해안역에서는 수위가 상승하는 해일이 발생되어 육지로의 범람을 초래하고 주변 지역에 큰 침수 피해를 입힌다. 범람 계산에 있어 대부분의 중요한 단계는 변화하는 바다와 육지 사이의 경계면으로서 움직이는 해안선에 대한 계산 부분이다. 그동안 범람에 대한 많은 알고리즘이 개발되었지만 크게 두 종류의 그룹으로 나누어진다. 하나는 해안선에 맞춘 이동 격자 체계를 두어 바다인 격자는 언제나 바다이고 육지인 격자는 언제나 육지가 되어 해안선 경계 격자가 언제나 범람의 영역이 되는 움직이는 격자법이고, 다른 하나는 격자 위치를 고정하여 범람 정도에 따라 격자가 바다도 되었다가 육지도 되었다가 하는 고정된 격자법이다. 움직이는 격자법은 개념상으로 좀 더 명쾌한 반면 현실적으로 많은 제한이 있다. 그러므로 대체적으로 고정된 격자법이 사용되어 왔고, 본 연구의 범람 모형도 고정 격자 체계상에서 적용되었다.

물이 없는 육지 격자에서의 수위고 η 를 저면 높이로 두면 Fig. 7에 도시된 바와 같이 범람 시에 외해의 수위가 높아지면 수면경사로 인해 flux Q 가 자연스럽게 육지 쪽으로 허용되어 육지 격자가 바다 격자로 변화된다. 건조 시에는 수위가 낮아지고 계산된 수면이 저면보다 낮아지는 경우가 발생

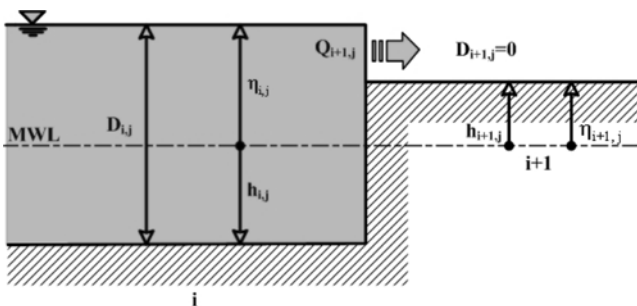


Fig. 7. Flux Discharging into a Dry Cell ($D=h+\eta$).

할 수 있는데 물질보전상 손실이 발생하지 않고 물질보전이 만족되도록 유출 flux가 계산된다. 그러나 일단 물이 메탈라 η 가 $-h$ 와 같거나 낮아진다면 즉, D 가 0보다 작아진다면 육지 격자가 되고 물이 남아있지 않은 곳이므로 만약 주변의 수위가 더 낮거나 수심이 낮아도 격자 밖으로 flux가 발생되지는 않도록 하였다.

3. 시스템 운영

본 연구에서 개발된 국지해일 예경보시스템의 운용방법은 다음과 같다. 일단 Setup DICEM_ENG.exe 설치 파일을 다운로드 한 후 더블클릭하면 설치를 시작하게 된다. 설치된 후에는, 아이콘이 데스크톱에 자동적으로 나타난다. 이 시스템은 비록 MATLAB에서 프로그램된 것일지라도 사용자의 컴퓨터에 MATLAB을 설치할 필요는 없다. 이는 자립기반의 GUI응용에 의해서 개발되었기 때문이다. 설치로부터 실행까지의 운영방법을 다음에 간략히 설명하였고, 각 운영 화면의 캡처 이미지가 Fig. 8a~f에 도시되었다.

3.1 시스템 시작 및 수심 선정

아이콘을 클릭하면 DICEM이 실행되는데 Fig. 8b에서 보는 바와 같이 초기화면이 열린다. 윈도우창의 수심파일(확장자 dep) 중에서 해당 지역의 파일을 선택하면 Fig. 8c와 같이 3차원 수심도가 나타난다. 만약 3차원 수심도의 그림이 실제 지형과 다르게 나타나거나 알아볼 수 없을 정도라면 수심파일의 포맷이 맞지 않는 경우이므로 다시 검토할 필요가 있다.

수심파일은 먼저 동서 방향과 남북방향의 격자수, 그리고 동서 방향과 남북방향의 meter단위의 격자 간격 정보가 필요하다. 그 다음에 일정 간격의 격자망에서 북서측 코너에 있는 격자의 수심 자료로부터 동쪽으로 그리고 동쪽 끝에 도달하면 그 다음 서측 아래 격자의 수심자료에서 다시 시작하여 동쪽으로 반복하여 남동쪽 코너의 격자 값이 마지막으로 입력된다. 간혹 관측 자료로부터 수심 자료를 획득하는 경우 수심자료가 매끄럽지 않을 수 있으며 이런 경우 슬라이더를

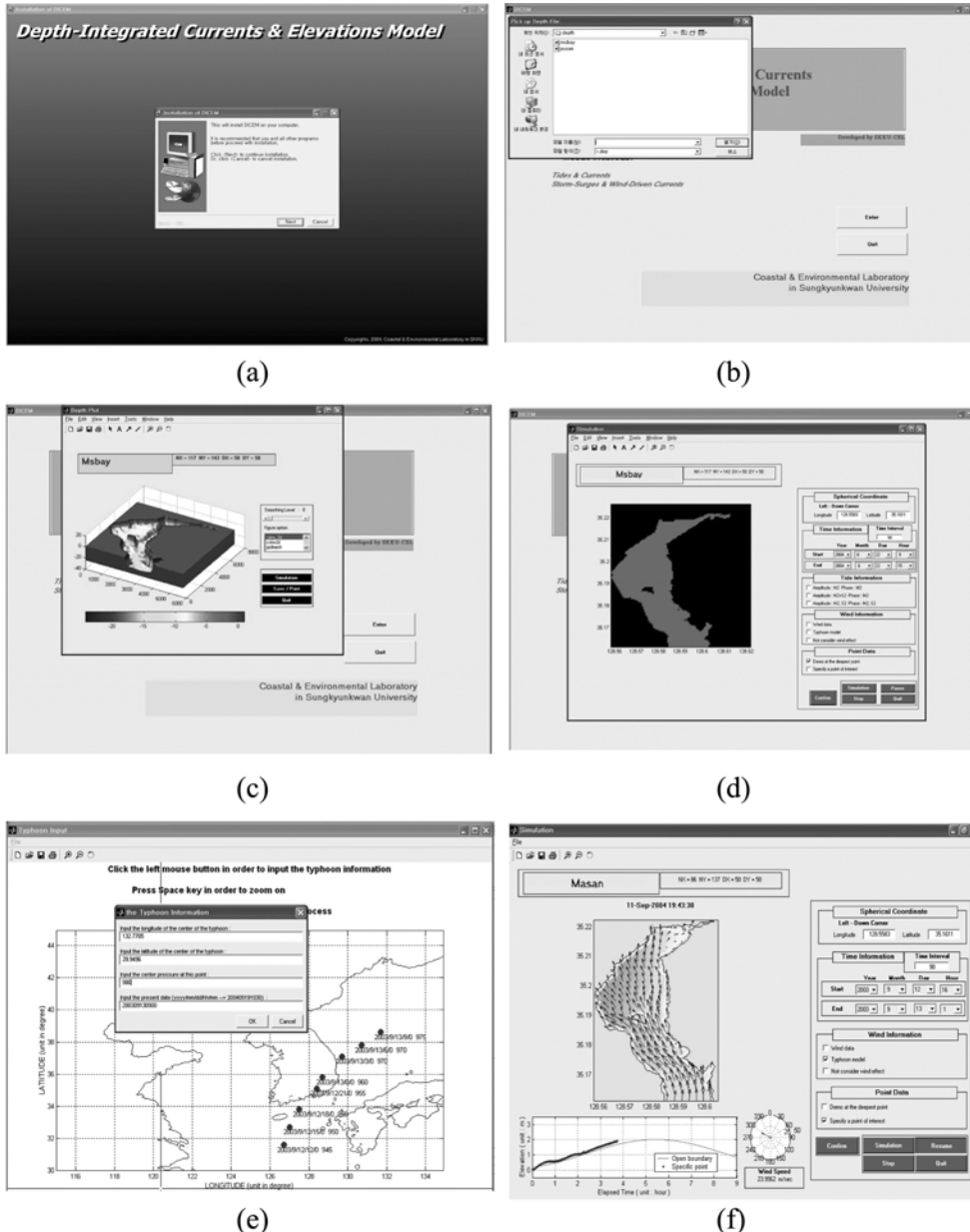


Fig. 8. (a) Installation Process, (b) Selection of Depth File, (c) A Perspective View of Masan Bay, (d) Main Input Window SIMULATION Module, (e) Path of Typhoon Maemi, (f) Animation of Results.

이용하여 원하는 정도의 매끄러운 수심으로 변환이 가능하도록 하였다. 만약 수심 변환이 이루어지면 그 변환된 수심에서 모의가 수행된다.

3.2 예보 실행

Fig. 8d에서와 같이 메인 윈도우창으로 이동한 다음 SIMULATION 버튼을 클릭하면 조석 분조 선택, 모의 시간, 바람 자료의 형태 및 모의가 수행되는 동안 수위의 변화를 알아보고 싶은 지점 등과 같은 입력 과정이 요구된다. 이 시스템은 관심지역의 개방경계조건을 결정하기 위해 M_2 , S_2 조석만이 고려되었다. 이 조석성분들은 한반도 대부분의 연안지역에 database로 사전 입력되어 있다. 입력 및 선정 작업이 끝난 후에 SIMULATION 버튼을 클릭하면 Fig. 8에서 보는 바와 같이 계산이 수행되는 동안 흐름벡터와 수위의 시간적 변화가 도시된다. 또한 개방경계의 가장 깊은 수심에서의

수위(붉은 선)와 입력 과정에서 수위 변화를 도시하도록 선정된 격자점(푸른 선)에서의 수위변화를 비교하여 보여주게 된다. 그리고 선정된 내부 격자점에 해당되는 풍속 및 풍향이 도시된다.

3.3 태풍 정보

현재 기상청에서는 태풍 경로와 중심기압 등의 정보들을 예보하고 있다. 본 시스템에서는 신속한 예보 목적으로 SIMULATION 모듈에서 'typhoon model'이 선정되면 파라미터 태풍 모형을 이용하여 바람 및 기압 정보가 추정된다. 'confirm'을 클릭하면 예측된 태풍 정보의 경로를 따르 마우스를 클릭하여 Fig. 8e에서와 같이 그 지점에 도달할 시점과 중심기압, 그리고 최대 풍속 반경 등의 값을 입력하도록 되어 있다. 그러나 태풍예보에서 중요한 과정임에도 불구하고, 정확한 경로예측은 많은 어려움이 내포되어 있다. 입력된 태풍

자료는 손쉬운 보정을 위하여 태풍 경로 파일(확장자 .tph)을 저장할 수 있고 다시 읽어 편집할 수 있도록 하였다. 이 수치 모형에서는 계산 시간 간격이 일정하므로 일정 시간 간격의 태풍 정보의 생산이 필요하며 보간법에 의하여 결정된다. 한 예로 2003년 9월 11~13일의 기간 동안 태풍 매미의 경로와 중심기압 등은 Fig. 8e에 제시되어 있다.

4. 폭풍해일 및 범람 모형 검증

Fig. 9에는 마산만에서의 해일 관측치와 본 시스템에서 모의된 계산치가 서로 비교되었다. 2003년 9월 12일 오후 9시 직전에 가장 높은 수위가 짧게 나타났다. 이 자료는 가장 희생이 컸던 지역 부근에서 서로 비교한 것으로서 신속히 계산되는 예경보 수준의 결과로는 만족할 만한 결과를 보여주고 있다. 마산만은 해일이 연안을 가로지를 때 야기되는 장과 공진에 취약한 좁고 긴 형상을 하고 있기 때문에 천문조와 폭풍해일의 최고조가 일치하면서 해일고가 높아진 것으로 분석된다. 특히 마산 지역의 폭풍 해일로 인한 재난 저감 차원에서 수립된 본 예보 모형은 경남대학교 연안방재연구팀에 의하여 검조소 자료와 같은 모니터링 자료와 꾸준히 비교하여 예경보의 신뢰성을 향상시키도록 노력할 예정이다.

특정범람 예상지점에 대한 실시간 수위 정보를 가지고 해안 저지대의 범람 현상이 상세 격자 체계에서 전술한 천수방정식을 이용하여 모의되었다. Fig. 10a는 수치모의 해당지역의 마산시까지 위성 이미지이고, Fig. 10b는 이와 유사한 계

산 영역으로 1 m 격자 간격의 격자망에서 해일로 인한 침수 영역을 계산하였다. Fig. 10c에는 계산되기 전의 초기 3D view가 도시되었으며, Fig. 10d에서는 최대 해일고에 대한 침수 영역을 볼 수 있다. 태풍 매미의 경우 수위의 변화에 비하여 범람 과정이 빠르게 일어나므로 범람 모형을 실시간으로 운용할 필요는 없었다. 즉, 1 m의 수위 변화가 약 2시간에 걸쳐 발생하는데 비하여 1 m의 범람고에 대한 침수 현상은 대략 10분 이내로 완료된다. 따라서 비교적 계산 시간이 많이 요구되는 범람모형의 계산 과정은 해일예보 시스템과 직접 링크하여 실시간으로 운용하기 보다는 예상되는 최고 범람고가 일단 계산되면 이 결과를 기초로 침수 영역과 침수 깊이를 예상하는 독자적인 모의과정이 바람직하다. Fig.

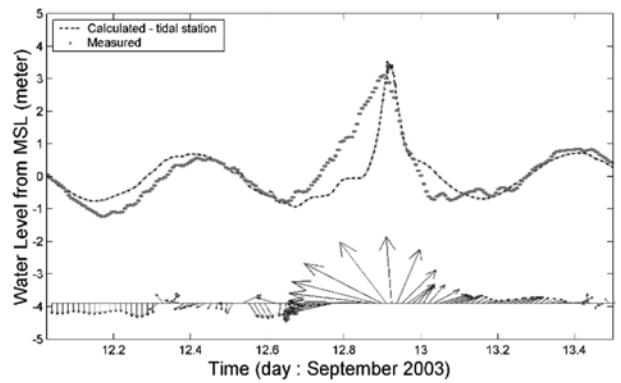
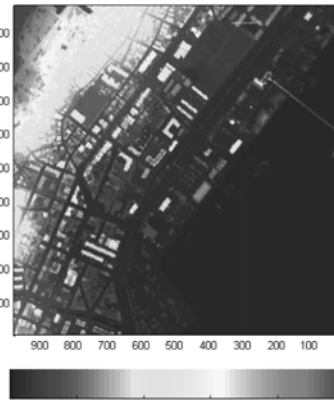


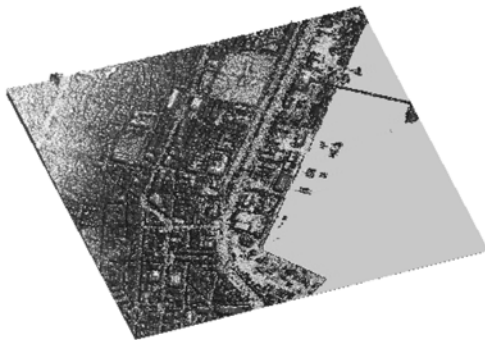
Fig. 9. Comparison with Measurements (vectors: input wind data)



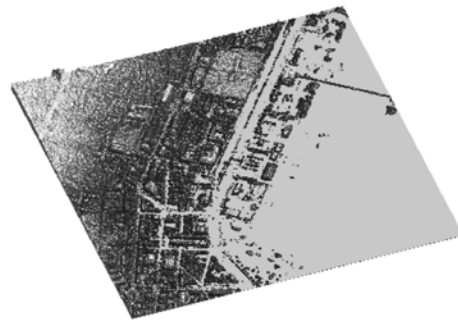
(a)



(b)



(c)

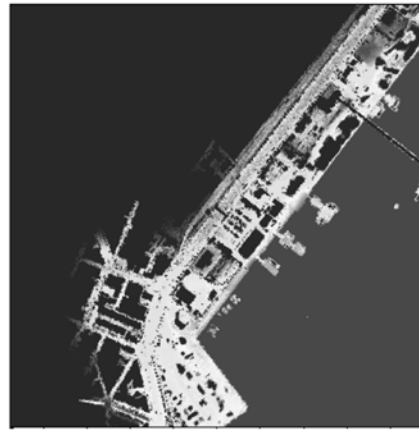


(d)

Fig. 10. (a) Satellite Images of Study Area, (b) Altitude Plot in Computation Domain of 1 m Grid Space (979×979), (c) 3D View of Computation Domain (before inundation), (d) Inundation Result due to Typhoon Maemi Passage.



(a)



(b)

Fig. 11. Comparison of Inundation Depths: (a) Field Survey and (b) Model Results (unit: meter).

11은 태풍 매미 때 발생하였던 최대 해일고에 대한 침수 깊이의 계산 결과를 현장조사 결과(Fig. 1)와 비교한 것으로 대체로 만족할 만한 결과를 보이고 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 인명과 재산의 손실을 더욱 효과적으로 보호하는 임무를 맡고 있는 재난관리 공무원들이 쉽게 사용할 수 있는 국지해일 예경보시스템을 제시하였다. 이러한 예경보시스템의 개발은 폭풍해일로 인한 인명손실을 상당히 감소시킬 수 있을 것이다. 그러나 이 시스템은 신뢰할 수 있는 결과를 도출하기까지 기왕에 관측된 자료에 대한 개선이 꾸준히 이루어져야 하므로 예경보시스템의 조속한 구축이 우선 필요하다.

현장에서는 막상 재난에 처했을 때 필요한 결정과정이 실용적이지 못하고 경직되어, 유용한 과학적인 정보가 종종 오용되거나 전혀 사용되지 않기도 한다. 또한 결정과정에서 유용한 과학적 정보를 제공하는 예경보시스템이 실제 사용자들의 결정과정에 크게 기여할 것이지만, 예경보시스템의 가치는 얼마나 향상된 기술을 도입하였느냐에 있다기보다는 꼭 필요한 정보를 얼마나 편리하고 신속하게 제공하느냐의 여부이다. 따라서 예경보시스템은 재난관계자들이나 주민들 입장에서 이제 없어서는 안 될 만큼 유용하고 편리하게 느끼도록 신뢰를 쌓는 것이 필요하다.

태풍에 의한 해일의 반자동 예경보시스템은 철저한 자료수집으로 연안모델들의 다양한 성분들을 통합하여 확립하게 되었는데, 장기적인 모의와 교정에 대한 최소한의 노력이 요구되고 있다. 이 시스템은 앞으로 공학적인 응용을 위한 기반으로 폭풍해일 모델의 연구를 위한 효과적인 도구로 제공될 것이다. 모의실험은 태풍 매미의 피해가 있었던 마산만에 적용하여 관측치와 비교하여 폭풍해일의 신속한 모의 수행 능력에 대하여 만족할만한 결과를 얻었으며 앞으로 좀 더 신속하면서도 정확한 예경보를 위한 정보생산 능력이 달성되어

믿고 따를 수 있는 예경보 시스템이 되도록 신뢰 향상을 위한 후속 연구가 필요할 것이다.

감사의 글

이 연구결과물은 2007학년도 경남대학교 부설연구소 연구비 지원에 의한 것임. 또한 수치지형정보자료는 한진정보통신(주)으로부터 제공된 것으로 깊은 감사를 드린다.

참고문헌

- 마산시 (2003) 재해백서, pp. 40-43.
- 마산시 (2005) 재해관리구역지정 타당성조사 및 구역지정계획 수립, pp. 52-56.
- 이동영 (2004) 연안 해일재해 예측시스템 구축 및 연안재해방지. **한반도 해역의 고파 폭풍해일 워크숍 논문집**, 한국해양해양공학회, pp. 63-66.
- 이정렬, 강주환, 윤종태 (2008) 목포 북항에서 풍파에 의한 해수 범람의 수치 모의, **대한토목학회논문집**, 대한토목학회, 28권 3호, pp. 307-313.
- 이종섭, 한성대 (2004) 마산시의 해일방재대책 방향설정에 관한 고찰, **한반도 해역의 고파 폭풍해일 워크숍 논문집**, 한국해양해양공학회, pp. 45-47.
- 최병호 (2004) 태풍매미호에 의한 해안재해, **한반도 해역의 고파 폭풍해일 워크숍 논문집**, 한국해양해양공학회, pp. 1-34.
- Bode, L. and Hardy, T.A. (1997) Progress and recent development in storm surge modeling. *Journal of Hydraulic Engineering*, 123(4), pp. 315-331.
- Briggs, M.J., Synolakis, C.E., Harkins, G.S. and Green, D.R. (1995) Laboratory experiments of tsunami runup on a circular island. *PAGEOPH*, Vol. 144, pp. 569-593.
- Fletcher, C.H., Richmond, B.M., Barnes, G.M. and Schroeder, T.A. (1995) Marine flooding on the coast of Kauai during hurricane Iniki: Hindcasting inundation components and delineating washover, *Journal of Coastal Research*, 11(1), pp. 188-204.
- Holland, G.J. (1980) An analytical model of the wind and pressure profiles in hurricanes, *Monthly Weather Review*, 108, pp. 1212-1218.
- Kang, S.W., Jun, K.C., Park, K.S. and Han, S.D. (2009) Storm surge

- hindcasting of typhoon Maemi in Masan bay, Korea, *Marine Geodesy*, 32, pp. 218-232
- Lee, J.L. and Lee, D.Y. (2000) An operational prediction system for cohesive sediment transport in the west and south coast of Korea, *Journal of Coastal Research*, SI34, pp. 1809-1826.
- Liu, P., L-F., Cho, Y.-S., Briggs, M.J., Kanoglu, U. and Synolakis, C.E. (1995) Runup of solitary waves on a circular island. *J. Fluid Mech.*, Vol. 302, pp. 259-285.
- McAloon, C., Garza, R.C., Sylvestre, J., Watts, M., Wildman, A., Kay, M., Mahoney J., McGinley, J., Shaw, B., Smart, J., Welsh, P., Bogenschutz, P., Rogers, E., and Nicolini, T. (2005) The coastal storms program: Improved prediction of coastal winds, waves and flooding, *Proc. Solutions to Coastal Disasters 2005*, ASCE, pp. 227-236.
- NRC(National Research Council) (1989) *Opportunities to improve marine forecasting*, National Academy Press, Washington D.C.
- Titov, V.V. and Synolakis, C.E. (1993) A numerical study of wave runup of the September 1, 1992 Nicaraguan tsunami. *Proc. Intern. Tsunami Symposium*, p. 627.
- Yasuda Y., Hiraish t., Kawai H., Nagase K. (2004) Numerical analysis of storm surge inundation in Masan, Korean Society of Coastal and Ocean Engineers, *Workshop on Waves and Storm Surges around Korean Peinsula*, pp. 75-79
- Yeh, H., Liu, P., Briggs, M. and Synolakis, C. (1994) Propagation and amplification of tsunamis at coastal boundaries. *Nature*, Vol. 372, pp. 353-355.

◎ 논문접수일 : 09년 08월 17일
 ◎ 심사의뢰일 : 09년 08월 18일
 ◎ 심사완료일 : 09년 08월 31일