



“미국 지진해일 대응시스템 소개”

- Introduction of Tsunami Response System in United States of America -



박형성
국립방재연구소 풍수해방재연구팀 연구원
hspark215@korea.kr



홍성진
국립방재연구소 풍수해방재연구팀 시설 연구관
hongsj95@korea.kr

1. 미국의 지진해일 대응시스템 개요

2004년 인도네시아 수마트라 북서부 해안에서 발생한 지진해일로 인해 약 29만 명의 인명피해가 발생한 사건은 전 세계적으로 지진해일의 위험성을 깨닫는 계기가 되었다. 한편 2009년 사모아제도과 2010년 칠레에서 발생한 지진해일로 인해 많은 재산 및 인명피해가 발생하면서 지진해일 대응시스템에 대한 중

요성이 다시금 부각되고 있다. 세계적으로 지진해일에 관한 연구가 가장 활발하게 진행 중인 미국해양대기관리처(NOAA)의 태평양 해양 환경 연구소(Pacific Marine Environmental Laboratory, PMEL)는 해양학, 해양 기상학, 그리고 연관된 과제들에 대한 과학적 조사를 수행하는 기관이다. 이 기관에서 운영하는 지진해일센터에서는 지진해일 경보 및 피해저감을 위한 대응시스템을 구축하여 운영하고 있다. 본고에서는 미국의 지진해일 대응시스템에 대한 간략한 소개 및 지진해일센터에서 개발한 지진해일의 전파 및 범람을 모의하는 소프트웨어인 ComMIT을 소개하였으며, 마지막으로 이 프로그램을 이용하여 남해안의 먼 바다에서 지진해일이 발생했을 때 제주도 및 남해안에 전파 및 범람을 모의하는 과정을 실행하여 프로그램 이용방법을 소개하였다.

해저에서 지진이 발생하더라도 반드시 지진해일이 발생하는 것은 아니므로 지진해일센터에서는 먼저 지진해일이 발생할지 여부를 판단하고 지진해일 시뮬레이션을 수행해야 한다. 또 지진 발생 초기에는 진원지의 정확한 위치와 진도 등도 조사기관 마다 차이가 있

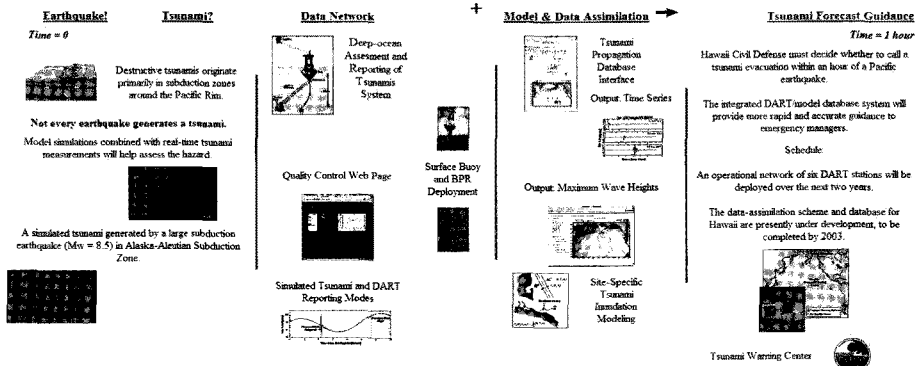
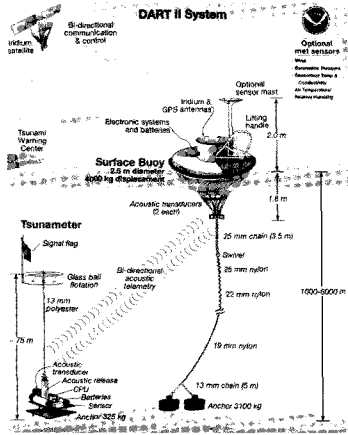
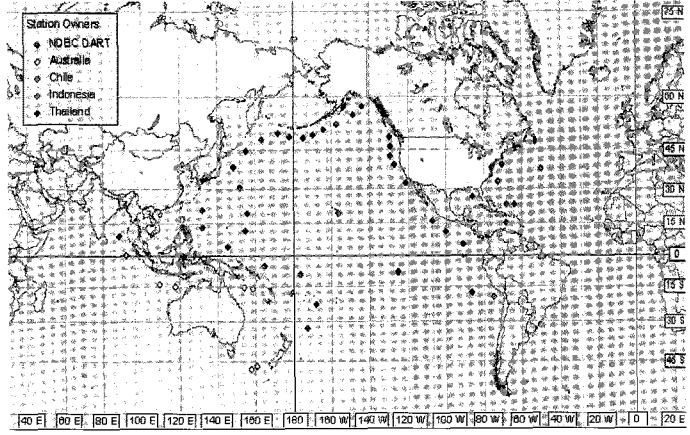


그림 1. Integrated Approach to Improving Tsunami Warning and Mitigation



(a)



(b)

그림 2. (a) The first operational DART buoy system design (b) The current deployed DART location

기 때문에 지진해일 발생여부 및 도달시간의 정확한 판단을 위해 지진해일대응센터에서는 태평양 해저에 DART(Depth-ocean Assessment and Reporting of Tsunamis)를 설치하고 지진해일 파고를 측정하고 있다. DART시스템은 해수면 변화를 관측하여 지진해일 파가 해양으로 전파되는 것을 관측하고 위성을 통해 지진해일경보센터로 전송한다. 평상시에는 15분마다 한 번씩 전송하는데 지진이 발생했다는 정보가 입수되고 이벤트 모드로 전환되면 1분에 한 번씩 파고 정보를 전송하게 된다. 지진해일경보센터에서는 이 정보를 참고하여 지진해일 발생 위치를 좀 더 정확하게 추정할 수 있으며 이는 지진해일 주의, 경보, 대피 등의 대응단계를 설정하는데 도움이 준다. 지진해일 시뮬레이션 결과 지진해일파고의 시계열 값, 최대 파고, 각 지역의 범람역 등이 도출되며 이 같은 결과 값

을 통해 미국 정부는 지진 발생 후 1시간 이내에 하와이 등 자국 주민들의 대피여부를 결정해야 한다.

2. ComMIT(Community Model Interface for Tsunami) 소개

ComMIT은 남가주대에서 개발한 지진해일범람 모델(Method Of Splitting Tsunami, MOST)에 미리 계산된 지진해일 초기조건을 적용하여 손쉽게 지진해일의 전파 및 범람 등을 그림으로 표현하기 위한 프로그램이다. 이 프로그램은 주로 연구 및 교육을 목적으로 개발되었으며 수행된 결과 값들을 연구그룹에 공유하기 쉽게 되어있다. ComMIT 프로그램은 Java 프로그래밍언어로 제작되었으며 NetCDF파일

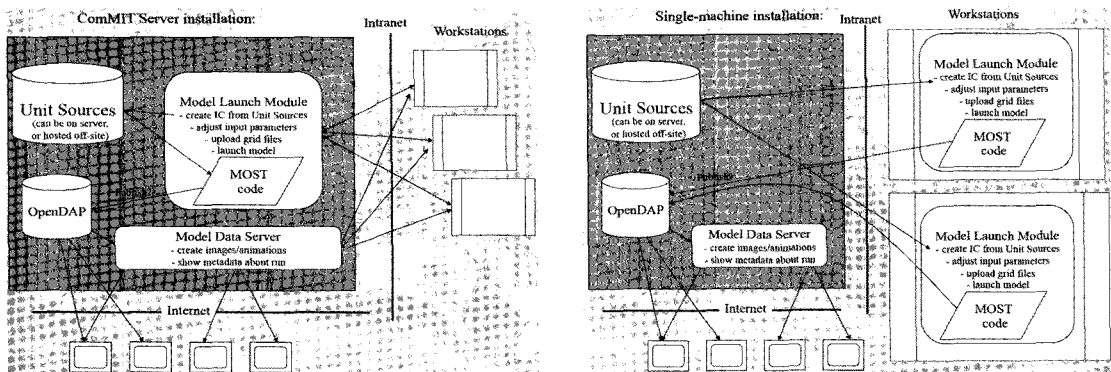


그림 3. Two Type of ComMIT System

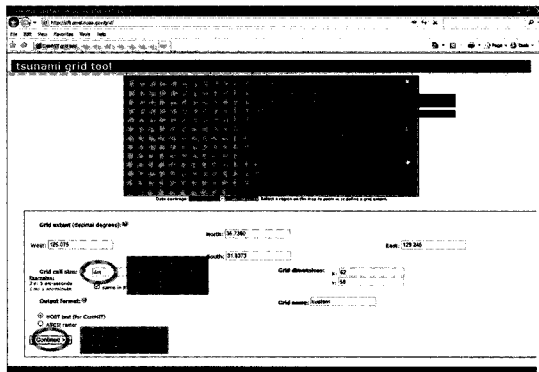
포맷을 사용하여 입출력을 다루기 때문에 어떤 플랫폼에서도 실행가능하다.

지진해일 모델링을 위해선 1) 해저지형; 2) 초기조건 및 경계조건; 3) 시간 간격 및 거리 등 모델에 대한 정보가 필요하다. NOAA는 과거 지진해일로 큰 피해를 입었던 인도양지역과 넓은 지진대를 포함하는 태평양의 주요 지역에 대해 해저지형자료 및 지진발생 데이터를 이미 구축해 놓았다. 따라서 대상지역과 해일의 크기를 선택하여 지진해일을 발생시킬 수 있고 이렇게 생성된 지진해일의 전파 과정은 애니메이션으로 출력할 수 있다. 이를 통해 지진해일로 인한 예상침수지역의 위치 및 예상침수높이 산정이 가능하며 지진해일이 해변으로 전파되면서 어느 지역에 언제 얼마만큼의 피해를 입힐 것인가에 대한 예상 및 분석을 할 수 있다. 이러한 분석의 정확도는 대상 지역이 얼마나 높은 해상도의 수심 데이터를 갖고 있는냐에 따라 좌우된다.

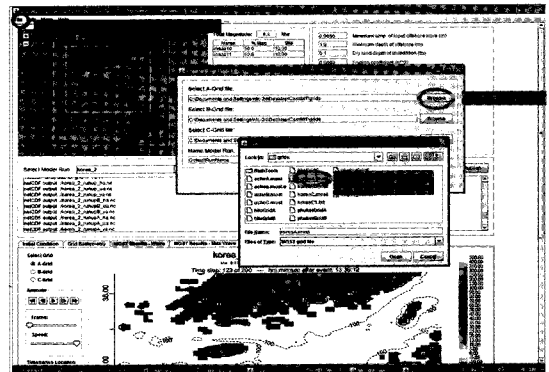
3. ComMIT 모델 활용

1) 대상지역의 지형자료 그리드 생성

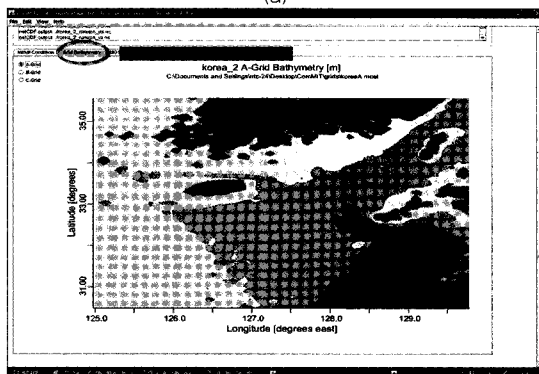
태평양 해양 환경 연구소에서 운영하는 그리드 생성 사이트(<http://sift.pmel.noaa.gov/grid/>)에서는 세계 모든 지역의 지형자료는 제공하고 있지 않으나 태평양과 인도양 주변의 대부분의 주요 해안들에 대한 지형자료를 제공하고 있으며 특히 한반도 주변의 해저 지형자료도 제공하고 있다. 하지만 일반적으로 제공되는 해저지형자료의 해상도가 낮기 때문에 만일 이 사이트에서 제공하는 것보다 더 상세한 지형자료를 갖고 있다면 좌표와 수치표고정보를(Digital Elevation Model, DEM) 가진 Ascii 파일로 그리드를 생성하면 이를 ComMIT 프로그램에서 사용할 수 있다. 대상 지역은 A, B, C의 3가지 해상도의 그리드로 생성하는데 A는 제일 큰 범위면서 낮은 해상도, B는 중간, C는 상세역의 고해상도의 그리드이다 (그림 4(a)).



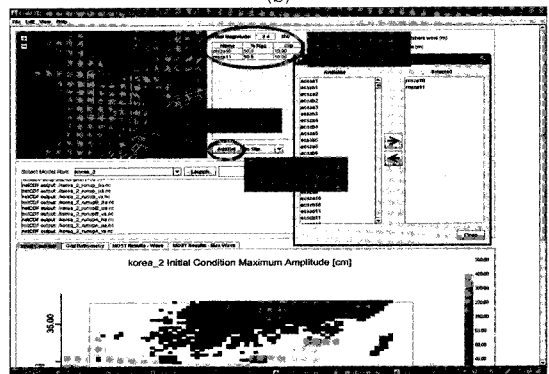
(a)



(b)



(c)



(d)

그림 4. (a) Grid generation (b) Open each grid file (c) Grid bathymetry (d) Set initial and boundary condition

2) ComMIT 프로그램 실행

프로그램을 실행하고 그림 4(b)처럼 앞서 생성한 대상지역의 A, B, C 그리드를 불러오면 그림 4(c)처럼 읽어온 그리드의 영역을 볼 수 있다. 이제 그림 4(d)처럼 지진의 크기, 단층의 크기, 지진발생위치 등의 지진해일 초기 조건 및 경계조건 정보를 입력한다. 화면 좌측 상단의 윈도우에서 지진의 발생위치를 정하고, 진도, 단층크기 등을 설정할 수 있다. 이때 지진의 발생위치는 복수 개를 선정 할 수 있으며 각각의 발생원에 대한 비중을 다르게 할 수 있다. 여기에서는 진도 8.4의 지진이 발생하며 두 개의 구역(rnsz10, rnsza11)에서 10m의 단층이 일어났다고 가정하였다.

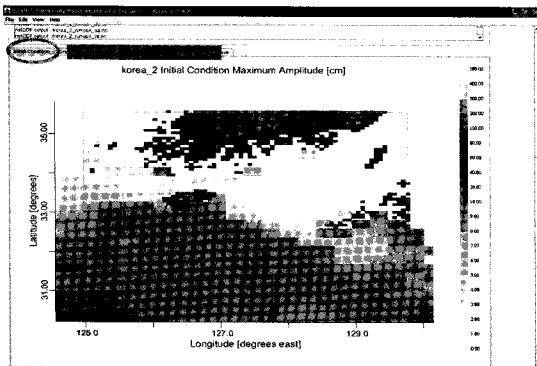
3) 실행 및 결과화면

먼저 초기조건 및 경계조건을 입력하면 그림 5(a)처럼 지진해일의 최대 파고가 계산된다. 모든 조건을

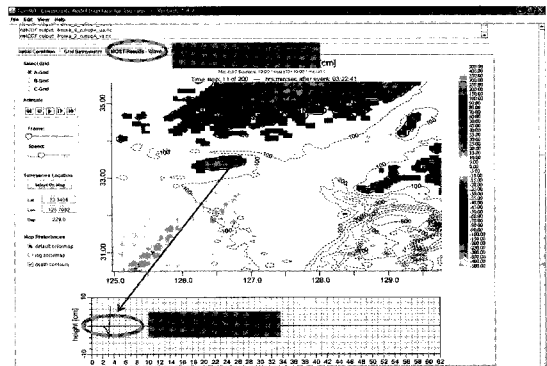
입력 후 프로그램을 실행시키면 지진해일의 전파과정 이 시간별로 그림으로 저장되어 이를 애니메이션으로 볼 수 있으며 한 지점에서의 파고변화를 볼 수 있다 (그림 5(b)). 그림 5(c)에서는 최대파고가 예상되는 지역과 그곳에서의 최대파고 값을 알 수 있다. 마지막으로 최종 결과를 구글어스와 연동할 수 있어서 좀 더 비주얼한 그림으로 표현이 가능하다.

4. 맺음말

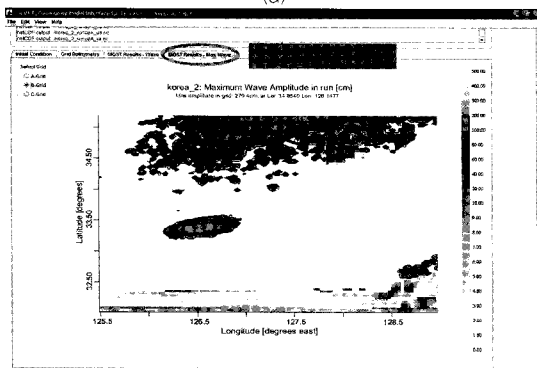
미국의 지진해일 대응 시스템은 지속적인 수치모델 프로그램의 업그레이드와 DART 등 관측 및 데이터 송수신 장비의 개선으로 더 신속하고 정확한 결과 값을 표출하도록 진화하고 있다. ComMIT 프로그램은 사용자 인터페이스가 직관적이고 다루기 쉬우며



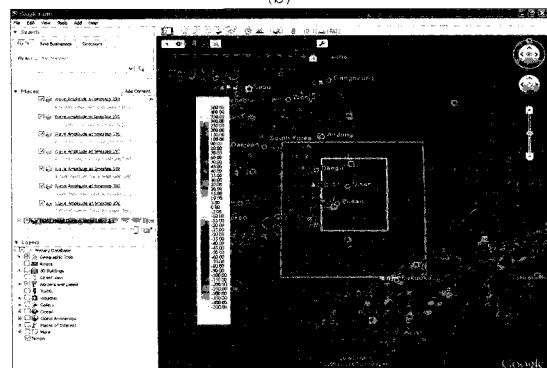
(a)



(b)



(c)



(d)

그림 5. (a) Initial condition maximum amplitude (b) Propagation of tsunami (c)Maximum wave amplitude in run and highly risk area (d) coupled with Google Earth

미리 계산되어진 소스들을 사용하기 때문에 모델링 속도가 빠르다는 장점이 있다. 하지만 현재 태평양 해양 환경 연구소에서 제공되는 한반도 주변 지형데이터인 ETOPO1은 낮은 해상도를 갖고 있기 때문에 상세역에서의 지진해일에 대한 정확한 분석이 불가능하다. 따라서 한반도 주변에서 정확한 지진해일 수치 모델 결과를 얻기 위해서는 추가적으로 높은 해상도의 지형데이터의 구축이 필요하다. 또한 아직까지 동해의 단층대에 대한 정보는 주어져 있지 않기 때문에 이 지역에서의 지진해일 전파 및 범람 모의는 수행할 수 없다.

한편 국내에서는 기상청과 소방방재청에서 지진해일로부터 예·경보를 위한 연구를 전담하고 있다. 기상청에서는 울릉도에 지진해일파고계를 설치·운영하여 동해의 지진해일 감시를 하고 있으며, 한반도 인근에서 대규모 지진이 발생할 경우 지진해일의 발생여부 및 우리나라에 언제, 어느 정도 높이의 지진

해일이 올지를 미리 계산한 데이터베이스를 갖고 있어 한반도 주변지역 등에서 규모 7.0 이상의 해저지진이 발생하여 해일의 발생이 우려될 때 지진해일 주의보를 발령하고 7.5이상일 때 경보를 발령한다. 소방방재청에서는 동해안의 지진해일 재해지도 제작 및 방재대책 수립을 위한 프로그램을 확보하여 지진발생 위치 및 지진규모에 따른 지진해일 침수예상도를 미리 작성해놓고 실제 지진해일이 발생하면 가장 유사한 시나리오의 지진해일 침수예상도를 이용하여 신속하게 대응하게 하는 사업을 수행하고 있다. 이를 위해 국립방재연구소에서는 2010년부터 강원도 및 경북지역 등 동해안에 위치한 주요항만, 해수욕장 등 인명피해 발생 가능성이 높은 40 여개 지역에 대해 침수예상도 작성사업을 수행중이다. 이 사업이 완성되면 지진해일 침수취약지역, 대피경로 및 대피소 선정 등이 가능하기 때문에 해당지역의 주민 및 관광객의 신속한 대피가 가능하다. ☞

참고문헌

1. 국립방재연구소(2009), “해일위험지역에 대한 대피시스템의 정량적 기준방안 연구”, 국립방재연구소 연구보고서
2. 기상청. 기상청홈페이지, <http://www.kma.go.kr>
3. 소방방재청(2009), “지진해일 재해저감기술 개발”, 자연재해저감기술개발사업 최종보고서
4. 태평양 해양 환경 연구소 홈페이지. <http://nctr.pmel.noaa.gov/index.html>
5. Arcas, D., and B. Uslu (2010): A Tsunami Forecast Model for Crescent City, California. NOAA OAR Special Report, PMEL Tsunami Forecast Series: Vol. 2, 112 pp.
6. Mofjeld, H.O., F.I. Gonzalez, and J.C. Newman (1997): Short-term forecasts of inundation during teletsunamis in the eastern North Pacific Ocean. In Perspectives on Tsunami Hazard Reduction, G. Hebenstreit, ed., Kluwer Academic Publishers, 145-155.
7. Wei, Y., and D. Arcas (2010): A Tsunami Forecast Model for Kodiak, Alaska. NOAA OAR Special Report, PMEL Tsunami Forecast Series: Vol. 4, 96 pp.