

# 지진해일 시나리오 데이터베이스를 활용한 기상청 지진해일 감시체계 Tsunami Warning System of the Korea Meteorological Administration using Tsunami Scenario Database

신동훈\* · 황의홍\*\* · 이덕기\*\*\* · 전영수\*\*\*\*

Sheen, Dong-Hoon · Hwang, Eui-Hong · Lee, Duk Kee · Jeon, Young-Soo

## Abstract

The Korea Meteorological Administration has been operating a tsunami warning system which is based on tsunami scenario database for the East Sea. Recently, the tsunami scenario database for the Yellow sea and the East China sea is also generated so that the tsunami warning system is extended to the whole Korean seas. Tsunami scenario database includes tsunami arrival times and heights generated by performing huge numbers of tsunami propagation simulations. A leap-frog method for shallow water equation is used for the simulation. The simulation code is parallelized via Message Passing Interface and has run on Cray X1E.

**key words** : Tsunami, Tsunami warning system, Tsunami scenario database

## 1. 서 론

역사적으로 지진해일에 의해 한반도에 발생한 피해는 여러 문헌에서 기록되어 있으며, 그 피해는 동해안을 비롯해 서해안에서도 나타난다. 특히 1668년 7월 31일 평안도 철산에 피해를 입힌 지진해일은 중국 산둥성에서 발생한 지진에 기인한 것으로 주장하는 학자도 있으며, 1681년 6월 26일 과 신흥사 계조굴 거암이 붕괴한 것과 양양에서 삼척에 이르는 해역에 발생한 해일은 동해 앞바다의 해저지진과 이로 인해 발생한 해일 때문인 것으로 알려져 있다(오임상 외, 1993). 그리고 일본 서쪽 해역, 즉 먼 동해에서 발생한 지진에 의한 피해는 역사 기록만이 아닌 근래에도 있었다. 1983년 5월 26일 발생한 아키다 지진해일과 1993년 7월 12일 발생한 오쿠시리 지진해일은 동해안에 인명 피해를 비롯해 상당한 재산피해를 남겼다.

또한 지난 2004년 12월 26일 인도네시아 수마트라섬 인근 해역에서 발생한 규모 9.3의 지진으로 인해 발생한 지진해일은 인도양 연안국뿐만 아니라 아프리카까지 상당한 인명 및 재산피해를 야기하여 지진해일의 위험성을 경각시키는 계기가 되었다. 이를 계기로 많은 선진국들의 도움과 협조로 인도양에 지진 및 지진해일 경보시스템이 갖추어지고 있었으나, 2006년 7월 17일 인도네시아 자바섬 근처에서 발생한 지진 때문에 전파된 지진해일로 인해 다시 600 여명의 인명피해가 발생하였다(Richard, 2006). 지진 및 지진해일 경보시스템이 갖추어지는 과정에서 발생한 이러한 피해는 학자들에게 지진해일을 예측하기 위한 많은 연구가 더욱 활발히 진행되어야 함을 인식시켰으며, 일반 시민에게는 지진 및 지진해일의 위험에 대한 경각심을 고조시키는 계기가 되었다. 우리나라에서는 2005년 3월 20일 일본 후쿠오카 인근 해역에서 발생한 규모 7.0의 지진으로 인해 한반도 거의 모든 지역에서 그 진동을 느꼈고 부산을 비롯한 해안지역은 지진해일에 대한 두려움으로 혼란에 빠지기도 하였다.

\* 정회원·기상청 기상연구소 해양기상지진연구실·E-mail: dhsheen@kma.go.kr

\*\* 정회원·기상청 기상연구소 해양기상지진연구실

\*\*\* 기상청 지진감시과

\*\*\*\* 정회원·기상청 기상연구소 해양기상지진연구실

이를 계기로 기상청에서는 지진해일 경보체계를 구축하기 위해 일본 서안 및 한반도 동해안에 발생할 수 있는 지진해일 시나리오 데이터베이스를 생성하였으며, 지진해일 조기경보 시스템에 활용하도록 하였다(기상연구소, 2006). 그리고 최근 서·남해 및 남해 인근해역에 대한 지진해일 시나리오 데이터베이스를 추가하여 한반도 전 해역에 대한 경보 체계를 갖추게 되었다. 이러한 결과를 바탕으로 기상청은 한반도 주변해역에서 지진 발생시 지진의 규모와 진앙 위치를 추정하고, 이 정보를 이용하여 지진해일 시나리오 데이터베이스를 검색함으로써 지진해일의 예상 도달시간 및 예상파고를 신속히 유관기관에 통보할 수 있는 지진해일 조기경보 시스템을 구축하여 현업에서 사용하고 있다.

## 2. 지진해일 시나리오 데이터베이스

지진해일은 지진에 의한 해저의 지각 변동에 기인한 해일이다. 지진해일을 포함한 유체의 움직임은 Navier-Stokes 방정식으로 설명 가능하다. 하지만 이 Navier-Stokes 방정식은 비선형의 형태로 주어지게 되며 해석해를 비롯하여, 직접적인 수치모의가 매우 복잡하기 때문에 과도한 계산량이 소요된다.

지진해일의 원인이 되는 해저의 지각변동의 크기는 수 10 ~ 수 100 km에 달하지만 지진해일이 발생하여 전파하게 되는 수심의 깊이는 수 km 이하이다. 따라서 전파되는 지진해일의 파장의 길이는 수심에 비해 매우 크기 때문에, 풍파와 같은 단주기 파에서 발생하는 쇠파현상이 없다고 가정할 수 있으며, 연직방향 유속이 작아 분산효과(dispersion effect)를 무시할 수 있다. 따라서 비교적 단순한 다음의 천수 방정식을 사용하여 지진해일 전파 수치모의를 수행할 수 있으며, 수치해석 시 발생하는 분산오차를 이용하여 물리적인 분산 효과를 얻고 있다.

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial Q}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial P}{\partial t} + gh \frac{\partial \eta}{\partial x} = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + gh \frac{\partial \eta}{\partial y} = 0 \quad (3)$$

천수방정식 (1) ~ (3)을 시간 및 공간에 대한 교호격자(staggered grid)를 사용하는 Leap-frog 기법을 사용하여 수면변위의 해를 구하게 된다(윤성범, 1999; 임재호, 2001). 해저지진으로 인한 수면변위의 초기조건은 Mansinha and Smylie (1971)의 해석해를 사용하였다.

현재 기상청에서 운용 중인 지진해일 시나리오 데이터베이스는 초기 모델로써, 단순한 선형 천수 방정식을 이용한 반복적인 지진해일 수치모의를 통해 생성하였다. 한반도 전 해역에 걸친 지진해일 시나리오 데이터베이스는 동해와 서·남해, 그리고 남해 인근해역에 대해서 단계적으로 데이터베이스를 생성하였다(표 1). 각각의 특정 진앙에서 규모 6.0에서 9.0까지 0.2간격으로 가해진 지진의 단층해를 입력 자료로 사용하여 지진해일 수치모의를 수행하였으며, 한반도의 주요 해안선에 대하여 지진해일의 도달시간 및 예상 최대 해일고를 데이터베이스로 구축하였다.

표 1. 지진해일 수치모의를 위한 환경 변수

지역	위도 범위	경도 범위	공간 격자	격자수	시간 격자 (시간)	진앙 개수 (진앙간격)	수치모의 개수
동해	33°~45°	127°~142°	0.01° (1.1 km)	1,123×1,273	3.6 s (3 hr)	9,247 (6')	147,952
서·남해	25°~41°	117°~132°	2' (3.2 km)	450×576	6.0 s (12 hr)	2,162 (12')	34,592
남해 인근해역	25°~41°	117°~133°	1' (1.6 km)	960×1,152	6.0 s (12 hr)	617 (6')	9,812

동해의 지진해일 시나리오 데이터베이스는 서·남해와 남해 인근해역의 데이터베이스 구축에서 사용한 것과 다른 수치모델을 사용하였으며, 각 데이터베이스를 생성하기 위해 사용한 수심 격자의 크기 또한 상이하다(표 1). 따라서 동일한 수치모델을 이용한 지진해일 시나리오 데이터베이스의 개선이 요구된다.

단순한 2차원의 선형 천수 방정식을 이용한 지진해일 전파 수치모의는 일반 PC에서도 수행할 수 있는 정도의 작은 크기이지만, 지진해일 시나리오 데이터베이스를 생성하기 위해서는 표 1에서와 같은 방대한 양의 수치모의 계산을 반복적으로 수행해야 하므로 이를 일반 PC로 계산한다면 매우 오랜 시간이 소요될 것이다. 따라서 이를 극복하기 위해 기상청 슈퍼컴퓨터 2호기인 Cray X1E를 사용하였으며 효과적인 계산을 위하여 MPI (Message Passing Interface) 라이브러리를 사용하는 분산메모리 병렬(distributed memory parallelism) 계산을 수행하였다. 여러 개의 프로세서가 동시에 지진해일 전파 수치모의를 수행하되 각각의 프로세서는 서로 다른 규모의 지진에 의한 전파를 수치모의 하는 방식의 서로 독립적인 계산을 수행하게 된다. 따라서 프로세서간의 메시지 교환은 수치모의의 시작 부분과 마지막 부분에만 이루어지게 되므로 병렬화의 효율성이 높다고 할 수 있다.

### 3. 지진해일 조기 경보 시스템

일본 후쿠오카 지진발생 당시 태평양 지진해일 경보센터에서는 지진해일 관련 정보를 신속하게 제공하지 못하였고, 일본 기상청에서만 대략적인 정보를 제공하였을 뿐이다. 만일 일본 서안을 비롯한 서해나 남해에서 대규모 지진이 발생했을 경우 국내의 독자적인 예측 및 분석 능력이 없다면 지진해일 통보 지연으로 인한 사회적 혼란 및 경제적 피해는 막대할 것이다.

따라서 이런 자연재해에 대하여 국가적인 차원에서 대책을 수립하기 위한 일환으로 지진해일 시나리오 데이터베이스에 기반을 둔 지진해일 조기 경보 시스템이 개발되었다. 현재 지진통보시스템(EBS)과 연계한 지진해일 데이터베이스 표출 프로그램은 이덕기 외 (2005)에 기초하여 개발되었으며 기상청 지진현업에서 지진해일 조기경보 시스템의 일부로 활용되고 있다. 그림 1은 EBS의 초기화면과 이로부터 전달된 지진의 위치와 규모로부터 검색되어진 지진해일 시나리오 데이터베이스의 표출 화면이다. 그림에서 보여주는 바와 같이 지진이 발생한 후 지진분석 시스템으로부터 지진의 위치, 크기 및 시간이 산출되는 즉시 주요 해안선의 위치마다 발생가능한 지진해일의 도달시간과 최대 파고를 알 수 있다.

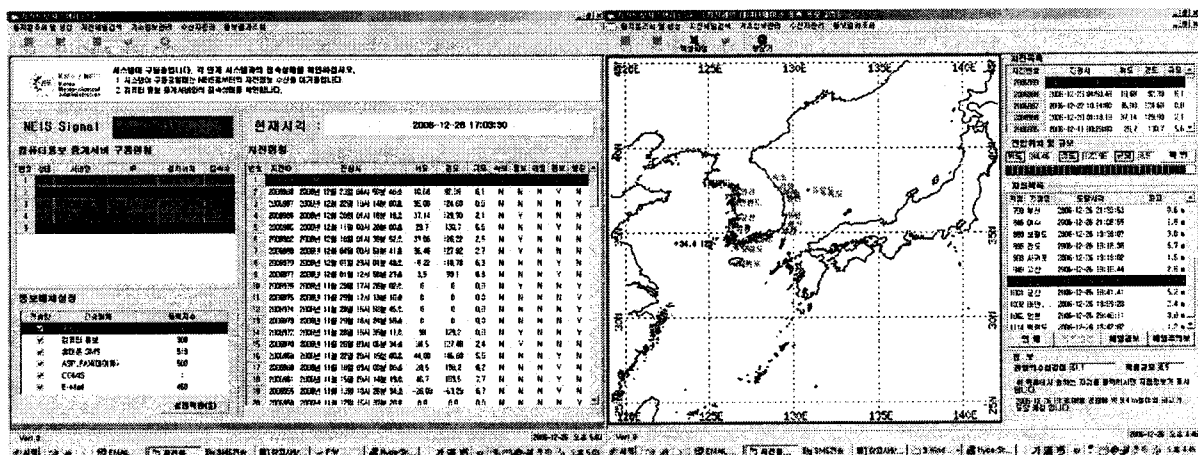


그림 1. 지진통보시스템(EBS)과 지진해일 시나리오 데이터베이스 표출 화면

또한 이 결과를 근거로 각 유관 기관 및 언론사에 통보할 수 있는 지진해일 주의보 또는 지진해일 경보문을 자동으로 작성 또는 수정할 수 있어, 재해 경보의 신속한 전파가 가능하다(그림 2).

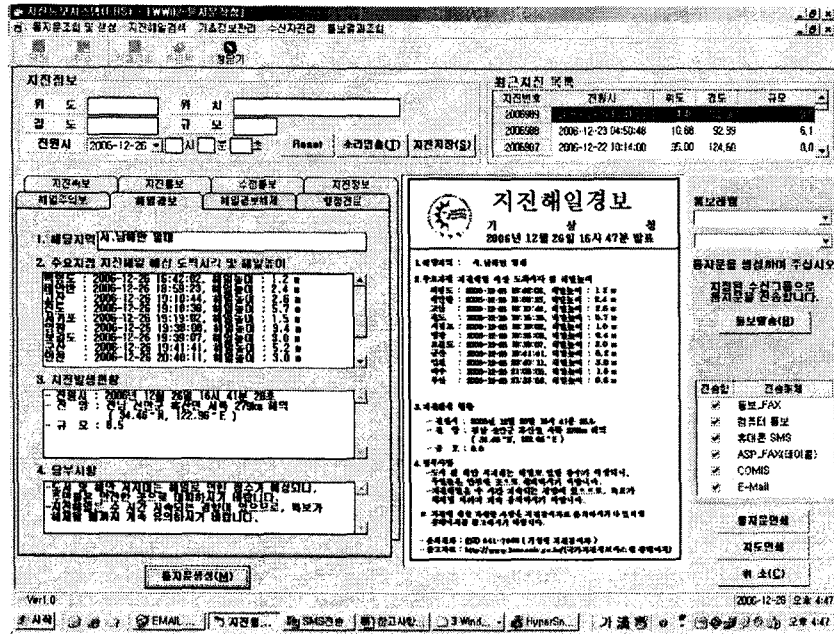


그림 2. 지진해일 통지문 작성

## 5. 결론

역사 기록뿐만 아니라 근래의 지진해일 피해를 감안할 때, 한반도는 결코 지진해일로부터 안전하지 못한 것은 자명한 사실이다. 다행히 지진해일의 피해가 매년 지속적으로 발생하지 않지만, 이에 대한 기초 연구 및 방재 체계를 구축하지 않으면 더욱 큰 피해를 유발할 수 있으므로 충분히 이에 대비해야 할 것이다.

아직까지 일본 서안을 비롯한 한반도 주변해역에서 지진해일을 유발시킬 수 있는 지진의 발생 가능성에 관한 연구가 부족하지만, 본 연구는 이러한 가능성을 염두에 둔 수치모의를 통해 지진해일의 조기 경보 및 방재 시스템의 구축이라는 측면에서 그 의의를 가진다고 할 수 있다. 또한 장기적인 계획에 의해 지진해일 전파 모델을 비롯하여 초기조건 입력변수의 개선을 통해 수치모델의 정확도를 개선해야 할 것이며, 이를 위해 한반도 주변해역의 단층해 및 단층 파열 양상에 대한 보다 많은 연구가 필요할 것이다.

## 감사의 글

본 연구는 기상청 기상연구소의 “한반도 지진관측환경 및 지진해일 예측기술 연구” 사업의 일환으로 수행 되었으며, 본 연구를 위해 지진해일 수치모의 코드 제공과 조언을 해주신 한양대학교 윤성범 교수와 임채호 박사에게 감사드립니다.

## 참고문헌

- 오임상, 안희수, 추교승, 고창남 (1993). “한국 근해의 해저지형과 지진해일”, 한림원
- 윤성범 (1999). 완변수심상 지진해일 전파 2차원 유한차분모형의 분산보정, 대한토목학회논문집, 19권 II-6 호, 695-703.
- 이덕기, 류용규, 양준모, 김수경, 윤용훈, 이진희, 박종찬 (2005). 지진해일 시나리오 DB 구축방안, 지구물리학회지, 8권 No-2, 93-96.
- 임채호 (2001). 분산보정 지진해일 전파 수치모형의 정밀도 평가, 한양대학교 석사학위 논문.
- Manshina, L., and Smylie, D. E. (1971). The displacement fields of inclined faults, Bull. of Amer. Seism. Soc., 61(5), 1433-1440.
- Richard A. Kerr (2006). Stealth tsunami surprises Indonesian Coastal Residents, Science, 313(5788), 742-743.