

# 실용적인 분산보정기법을 이용한 지진해일 전파모의

## Tsunami simulation using practical dispersion-correction scheme

박강욱\*, 하태민\*\*, 조용식\*\*\*

Kang-Wook Park, Taemin Ha, Yong-Sik Cho

### 요 지

지진해일은 한 번 발생하면 매우 큰 피해를 주는 자연재해 중 하나이다. 특히 최근에 일어나고 있는 지진해일에서 주목할 점은 해저지진의 규모가 커짐에 따라 그로인해 생긴 지진해일이 발생 인접지역에만 피해를 주는 것이 아니라 2010년 칠레지진과 2011년 동일본 대지진으로 생긴 지진해일과 같이 태평양을 가로질러 먼 거리에까지도 영향을 준다는 것이다. 하지만 이러한 지진해일에 대하여 피해 경감 및 재해대책을 수립할 때는 지진해일의 발생시간에 대한 정확한 예측이 불가능하기 때문에 연구하는데 여러 가지 어려움이 있으므로 역사 및 가상지진해일의 수치모의실험 결과를 이용한다. 그래서 이렇게 활용성이 높은 지진해일 수치모의실험 결과의 정확도 검증을 위하여 본 연구를 시작하게 되었다. 본 연구에서 사용한 수치기법으로는 분산항을 제외한 선형 천수방정식을 이용하였고, 이를 차분하는 과정에 나타나는 수치분산을 조정하여 선형 Boussinesq 방정식의 분산항을 대체할 수 있도록 하였다. 그리고 실제 동일본 대지진으로 발생한 지진해일을 전파모의하여 분산항을 고려한 수치모의실험 결과와 이 당시 태평양에서 수면변화양상을 기록한 DART buoy 관측값과의 비교를 통해 정확도를 확인해보았다.

**핵심용어 : 지진해일, 분산보정기법, 선형천수방정식, 동일본 대지진**

### 1. 서론

올해 4월 1일, 일본 내각부 산하 전문가검토회가 태평양 연안의 난카이 해구에서 리히터 규모 9.1의 서일본 대지진 발생가능성을 발표했는데, 실제로 발생한다면 2011년 동일본 대지진에 이어 다시 한 번 일본뿐만 아니라 중국 등 동아시아 지역 및 태평양 건너의 지역까지도 심각한 피해를 줄 것이다. 이러한 지진해일은 발생시간에 대한 정확한 예측이 불가능하고, 주기적으로 일어나지 않을뿐더러 발생 후 도달시간이 짧게는 몇 분 내로 육지에 도달할 수 있기 때문에 수치모의를 통해 사전에 미리 연구하는 것이 중요하다.

원해에서 먼 거리를 전파하는 지진해일의 경우, 분산효과를 무시할 수 있는 조석에 비하여 분산효과의 영향이 상대적으로 중요한 역할을 하기 때문에 수치해석시 선형 Boussinesq 방정식을 지배방정식으로 이용하는 것이 바람직하다. 하지만 선형 Boussinesq 방정식은 고차의 미분항을 포함하고 있어 차분하는데 어렵고 많은 계산시간을 소요하며, 해가 불안정하게 될 수 있다. 그리하여 본 연구에서는 Cho et al.(2007)가 제안한 실용적인 분산보정기법을 적용하여 분산항을 제외한 선형 천수방정식을 이용하되, 차분하는 과정에 나타나는 수치분산이 선형 Boussinesq 방정식의 분산항을 대체할 수 있도록 하였다. 이를 바탕으로 한 수치모형을 이용해서 2011년 동일본 대지진으로 발생한 지진해일의 초기파형을 재현하여 전파모의하였고 수치모의실험 결과를 당시 태평양에서 수면변화양상을 기록한 DART buoy 관측값과의 비교를 통해 정확도

\* 정회원 · 한양대학교 공과대학 건설환경공학과 석사과정 · E-mail : [kangwogi@hanyang.ac.kr](mailto:kangwogi@hanyang.ac.kr)

\*\* 정회원 · 한양대학교 공과대학 건설환경공학과 박사후과정 · E-mail : [kevin4324@hanyang.ac.kr](mailto:kevin4324@hanyang.ac.kr)

\*\*\* 정회원 · 한양대학교 공과대학 건설환경공학과 교수, 교신저자 · E-mail : [ysc59@hanyang.ac.kr](mailto:ysc59@hanyang.ac.kr)

를 확인해보았다.

## 2. 지배방정식 및 수치기법

Cho and Yoon(1998)은 leap-frog 유한차분기법을 이용하여 엇갈림 격자계에서 차분한 식을 제안하였는데 여기서 발생하는 수치분산은 선형 Boussinesq 방정식의 분산을 대체할 수 있다. 하지만 이 식은 수심이 변할 때 격자 및 계산 시간간격을 변화시켜 줘야하므로 실제 지형에 적용이 쉽지 않다.

본 연구에서는 이러한 점을 보완하기 위한 방법으로 수정기법을 사용하여 다음과 같이 차분하였다(Cho et al., 2007).

$$\zeta_{i,j}^{n+1/2} - \zeta_{i,j}^{n-1/2} + \frac{P_{i+1/2,j}^n - P_{i-1/2,j}^n}{\Delta x} + \frac{Q_{i,j+1/2}^n - Q_{i,j-1/2}^n}{\Delta y} = 0 \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \frac{P_{i+1/2,j}^{n+1} - P_{i+1/2,j}^n}{\Delta t} + gh_{i+1/2,j} \frac{\zeta_{i+1/2,j}^{n+1/2} - \zeta_{i,j}^{n+1/2}}{\Delta x} + \frac{\alpha g}{12\Delta x} h_{i+1/2,j} [\zeta_{i+2,j}^{n+1/2} - 3\zeta_{i+1,j}^{n+1/2} + 3\zeta_{i,j}^{n+1/2} - \zeta_{i-1,j}^{n+1/2}] \\ + \frac{\gamma g}{12\Delta x} h_{i+1/2,j} [(\zeta_{i+1,j+1}^{n+1/2} - 2\zeta_{i+1,j}^{n+1/2} + \zeta_{i+1,j-1}^{n+1/2}) - (\zeta_{i,j+1}^{n+1/2} - 2\zeta_{i,j}^{n+1/2} + \zeta_{i,j-1}^{n+1/2})] = 0 \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \frac{Q_{i,j+1/2}^{n+1} - Q_{i,j+1/2}^n}{\Delta t} + gh_{i,j+1/2} \frac{\zeta_{i,j+1}^{n+1/2} - \zeta_{i,j}^{n+1/2}}{\Delta y} + \frac{\alpha g}{12\Delta y} h_{i,j+1/2} [\zeta_{i,j+2}^{n+1/2} - 3\zeta_{i,j+1}^{n+1/2} + 3\zeta_{i,j}^{n+1/2} - \zeta_{i,j-1}^{n+1/2}] \\ + \frac{\gamma g}{12\Delta y} h_{i,j+1/2} [(\zeta_{i+1,j+1}^{n+1/2} - 2\zeta_{i,j+1}^{n+1/2} + \zeta_{i-1,j+1}^{n+1/2}) - (\zeta_{i+1,j}^{n+1/2} - 2\zeta_{i,j}^{n+1/2} + \zeta_{i-1,j}^{n+1/2})] = 0 \end{aligned} \quad (3)$$

식 (1)~(3)에서 분산보정계수  $\alpha$  와  $\gamma$ 를 각각 0과 1로 고정하면, Cho and Yoon(1998)이 제안한 기법과 같아지고 Mei(1989)의 선형 Boussinesq 방정식과 같아지도록 분산보정계수  $\alpha$  와  $\gamma$ 를 결정하면 다음과 같다(Cho et al., 2007).

$$\alpha = \frac{4h^2 + gh(\Delta t)^2 - (\Delta x)^2}{(\Delta x)^2} \quad (4)$$

$$\gamma = \alpha + 1 \quad (5)$$

수정기법을 사용하면 수심이 변하는 경우에, 격자간격과 계산 시간간격 대신 분산보정계수  $\alpha$  와  $\gamma$ 를 변화시켜 식 (4)가 선형 Boussinesq 방정식과 일치하도록 할 수 있는 장점을 가지고 있다.

## 3. 지진해일 전파 수치모의

초기파형은 2011년 3월 11일 일본 동쪽 부근해역에서 동일본 대지진으로 인해 생긴 지진해일을 재현했다. 지진해일 초기파형을 구현하기 위해서 일본 국토지리정보원에서 제시한 2개의 단층매개 변수로 이루어진 자료를 사용하였다. 그리고 이를 바탕으로 ‘Mansinha and Smylie(1971)’의 해석해를 이용하여 그림 1와 같이 지진해일 발생초기 수면변위를 구현하였다.

수치모의실험 대상 영역으로는 태평양 전지역 중에 격자간격과 관측지인 DART buoy의 위치를 고려하여 그림 2와 같이 동서방향으로 동경 140도에서 서경 135도를, 남북방향으로는 적도에서부터 북위 65도 까지를 선정하였다. 계산격자의 크기는 1분 수심 간격으로 정하여 5098개의 가로 격자와 3898개의 세로 격자를 생성하였고, 실제 지구는 곡면인데 수심데이터는 평면으로 나타내어지므로 격자 위도 간격을 보정하여 FDM이 가장 정확히 나올 수 있는 정사각형 모양으로 격자를 구성하였다.

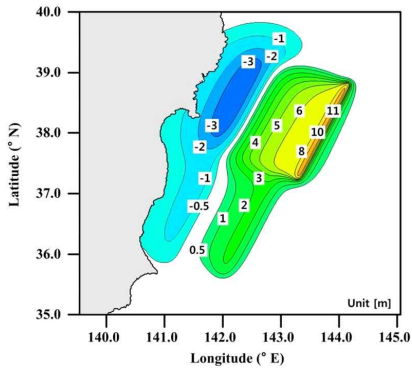


그림 1. 발생초기 수면변위

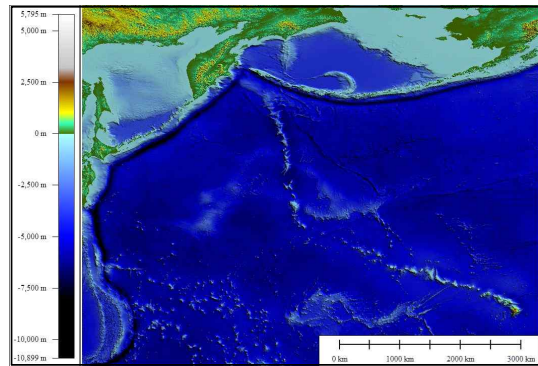


그림 2. 수치모의실험 대상영역

그림 3는 지진해일 발생초기 수면변위를 대상지역에 전파시켰을 때의 전파양상을 나타낸 것이다. 그리고 이렇게 지진해일 전파 수치모의실험을 통하여 DART buoy의 관측데이터와 실험 결과를 비교한 그래프를 그림 4에 나타내었다.

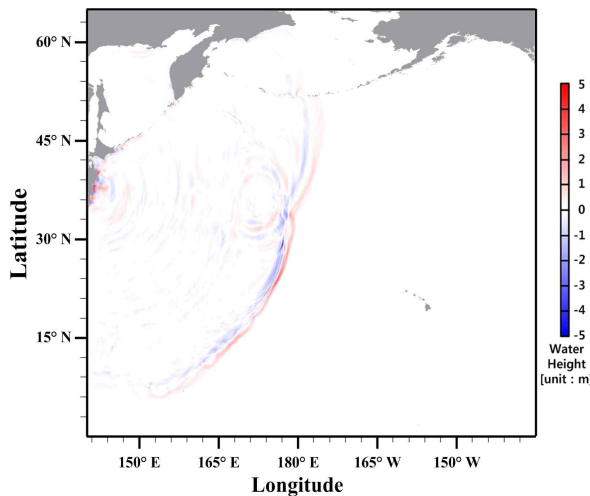
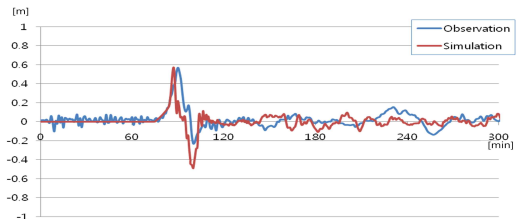
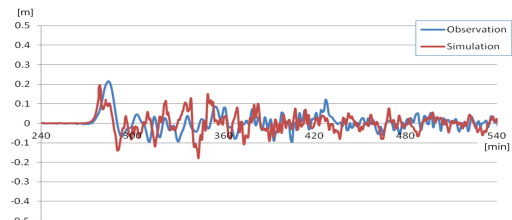


그림 3. 지진해일 전파양상  
(지진해일 발생 4시간후)



(a) DART 21419



(b) DART 46408

그림 4. 관측값과 수치모의실험 결과 비교

## 5. 결과

실제 지형에 사용할 수 있게 수정된 분산보정기법을 이용하여 2011 동일본 대지진으로 발생한 지진해일을 수치모의실험 한 결과, 지진해일 피해예측의 가장 중요한 요소인 첫 파의 도달시간과 최대수면고가 대체로 거의 일치하는 것을 볼 수 있었다. 하지만 현재까지도 대상 지진해일에 대한 초기파형 파라미터들에 대한 연구가 계속되고 있고, 이 파라미터 값들에 따라 수치모의실험 결과가 달라지므로 앞으로 초기파형의 변화에 따른 지진해일 전파에 대한 연구가 추가적으로 필요하다. 또한 수심데이터를 만들 때 좀 더 세밀하고 정확도 높은 수치모의를 위해서 격자 생성에 대한 연구도 진행되어야 할 것이다.

## 감 사 의 글

“이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임(2010-0022337)”

## 참 고 문 헌

1. Cho, Y.-S., Sohn, D.H. and Lee, S.O. (2007) Practical modified scheme of linear shallow-water equations for distant propagation of tsunamis, *Ocean Engineering*, Vol. 34, No. 8, pp. 1,769-1,777.
2. Cho, Y.-S. and Yoon, S.B. (1998) A modified leap-frog scheme for linear shallow-water equations, *Coastal Engineering Journal*, Vol. 40, pp. 191-205.
3. Mansinha, L., Smylie, D.E. (1971) The displacement fields of inclined faults, *Bull. Seismol. Soc. Am.* Vol. 61(5), pp. 1,433 - 1,440.
4. Mei, C.C. (1989) *The Applied Dynamics of Ocean Surface Waves*, World Scientific Publishing Co, pp. 740.