

구면좌표계를 이용한 지진해일 전파모의를 위한 연구

Study on Numerical Model for Tsunami Propagation Using the Spherical Coordinate System

하태민*, 김성민**, 이승오***, 조용식****
Tae Min Ha, Sung Min Kim, Seung Oh Lee, Yong-Sik Cho

Abstract

지진해일이 발생하여 먼 거리를 전파할 때 코리올리스 힘이 지진해일의 거동에 매우 큰 영향을 준다. 또한 지진해일은 파장에 비해 파고가 작은 장파이기 때문에 먼 거리를 이동하는 지진해일의 해석에는 코리올리스 효과가 반영된 선형 천수방정식을 사용하는 것이 적절하다.

본 연구에서는 구면좌표계에서 유한차분기법을 사용하여 지진해일의 거동을 모의하였다. 대상 지진해일은 1983년 동해 중부 지진해일이다. 관측된 결과를 본 연구에서의 모의 결과와 비교하였다.

핵심용어 : 지진해일 선형 천수방정식, 구면좌표계

1. 서 론

지진해일(津波)의 의미는 항만 및 포구(津)에서 피해를 일으키는 파동으로, 국제 공용어로 Tsunami 라 불리고 있고, 한국에서는 지진해일이라 한다. 지진에 의해 해저가 급상승 또는 급하강하여 지진해일이 발생하면 해면에 파동이 형성되고 파원을 중심으로 파가 사방으로 퍼져나가게 된다. 지진해일파의 주기는 짧게는 수분에서 길게는 1~2시간 정도로, 수심에 비하여 파장이 길기 때문에 장파로 간주할 수 있다.

2004년 12월 26일 인도네시아 Sumatra 섬 서쪽 인도양 해저지진대에서 발생한 지진규모 9.0의 동남 아시아 지진해일은 진앙에 가까운 Sumatra 섬은 물론 말레이시아, 태국, 미얀마, 방글라데시, 인도, 스리랑카, 아랍권 국가들 및 아프리카 등 인도양을 둘러싸고 있는 모든 국가들에게 전파되어 약 20여만명의 사망자와 집계할 수 없을 정도의 부상자 및 재산피해를 낸바 있다.

1900년대에 들어와서 우리나라에 지진해일이 내습한 기록은 3차례 있었다. 1964년 6월 10일 일본 Niigata 외해에서 발생한 지진규모 7.5의 강진에 의해 지진해일이 일어났다. 이로 인해 일본에서만 473명의 사상자 및 가옥, 선박 등의 피해가 발생하였다. 이 지진해일은 우리나라에는 전혀 피해를 주지 않았다(추교승, 1987). 1983년 5월 26일 일본 Honshu 북쪽 Akita전면 해역에서 발생한 지진규모 7.7의 해저지진에 의한 지진해일은 일본 서북해안에서 104명이 사망하고 300여명의 부상자가 발생하였으며, 5000여채의 가옥이 파손되었다. 이 지진해일은 동해를 건너와 우리나라 동해안에서도 1명이 사망하고 4명의 실종 및 부상자가 발생하였다. 1993년 7월 12일에는 일본 북해도 연안의 Okushiri 섬 인접해역에

* 정회원 · 한양대학교 토목공학과 석사과정 · E-mail : kevin4324@hanyang.ac.kr

** 정회원 · 한양대학교 토목공학과 석사과정 · E-mail : ultrasm@hanyang.ac.kr

*** 정회원 · 한양대학교 토목공학과 박사 후 연구원 · E-mail : Seungoh.lee@gmail.com

**** 교신저자 · 정회원 · 한양대학교 토목공학과 교수 · E-mail : ysc59@hanyang.ac.kr

서 지진규모 7.8의 강진에 의한 지진해일이 발생하여 일본에서 202명이 사망하고 350여명의 행방불명 및 부상자가 발생하였으며 1000여채의 가옥이 파괴되었다.

지진해일파가 대양을 전파하는 동안은 파의 진폭이 수심에 비하여 매우 작으므로 미소진폭파 이론을 도입할 수 있고 바닥마찰에 의한 에너지 손실은 무시할 수 있으나, 대륙붕 근처에 도달하여 수심이 점차 작아지면 천수화에 의해 파장이 짧아지고 파의 진폭이 커지므로 비선형성이 증가하게 된다. 이러한 파가 해안선에 도달하면 쳐오름(Run-up)이 발생하여 인명과 해안구조물에 큰 피해를 미치게 된다. 또한 지진해일은 동해안에 위치한 항만구조물의 설계와 원자력 및 화력발전소의 부지고 선정과 냉각수 계통의 설계시 중요한 고려요소가 된다.

본 연구에서는 구면좌표계에서 유한차분기법을 사용하여 지진해일의 거동을 모의하였다. 대상 지진해일은 1983년 동해 중부 지진해일이다. 관측된 결과와 직교좌표계를 사용한 지진해일 모의 결과를 본 연구에서의 모의 결과와 비교하였다.

2. 지배방정식과 수치기법

일본 서해에서 발생하여 우리나라 동해안에 영향을 주는 지진해일과 같이 파장에 비해 비교적 먼 거리를 전파하는 원해 지진해일(offshore tsunami)을 모의하기 위해서는 코리올리스 효과를 반영해야 한다. 또한, 지진해일은 파장에 비해 파고가 작은 장파이기 때문에 먼 거리를 이동하는 지진해일의 해석에는 코리올리스 효과가 반영된 선형 천수방정식을 지배방정식으로 사용하는 것이 바람직하다(Liu et al., 1995).

$$\begin{aligned} \frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{1}{R \cos \varphi} \left[\frac{\partial P}{\partial \psi} + \frac{\partial}{\partial \varphi} (\cos \varphi Q) \right] &= 0 \\ \frac{\partial P}{\partial t} + \frac{gh}{R \cos \varphi} \frac{\partial \zeta}{\partial \psi} - fQ &= 0 \\ \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{gh}{R} \frac{\partial \zeta}{\partial \varphi} + fP &= 0 \end{aligned}$$

여기서 ζ 는 자유수면변위, $P(=uh)$ 와 $Q(=vh)$ 는 각각 x축과 y축 방향의 체적흐름율(volume flux), u 와 v 는 각각 x축과 y축 방향의 수심 평균된 유속, h 는 정수면상의 수심이며 g 는 중력가속도, f 는 코리올리스 변수(Coriolis parameter)를 나타낸다.

지배방정식을 Leap-frog 유한차분기법을 이용하여 staggered 격자에서 다음과 같이 차분하였다(Liu et al., 1995).

$$\begin{aligned} \frac{\zeta_{i,j}^{n+1/2} - \zeta_{i,j}^{n-1/2}}{\Delta t} + \frac{1}{R \cos \varphi} \frac{P_{i+1/2,j}^n - P_{i-1/2,j}^n}{\Delta \varphi} + \frac{1}{R \cos \varphi} \frac{(\cos \varphi Q)_{i,j+1/2}^n - (\cos \varphi Q)_{i,j-1/2}^n}{\Delta t} &= 0 \\ \frac{P_{i+1/2,j}^{n+1} + P_{i+1/2,j}^n}{\Delta t} + \frac{gh}{R \cos \varphi} \frac{\zeta_{i+1,j}^{n+1/2} - \zeta_{i,j}^{n+1/2}}{\Delta \varphi} - fQ_{i+1/2,j}^{n+1/2} &= 0 \\ \frac{Q_{i,j+1/2}^{n+1} + Q_{i,j+1/2}^n}{\Delta t} + \frac{gh}{R} \frac{\zeta_{i,j+1}^{n+1/2} - \zeta_{i,j}^{n+1/2}}{\Delta \varphi} + fP_{i,j+1/2}^{n+1/2} &= 0 \end{aligned}$$

여기서, ζ 는 격자(i,j), P 와 Q 는 각각 $(i+1/2,j)$ 와 $(i,j+1/2)$ 에서 정의하였다.

3. 수치모의와 결과비교

1983년 동해 중부 지진해일은 일본 서해안에서 발생한 해저지진에 의해 발생하여, 약 100분후 한국의 동해안을 강타하여 많은 피해를 일으켰다(Cho et al., 2004). 앞장에서 설명한 수치기법을 이용하여 1983년 동해 중부 지진해일을 수치모의 하였다. 그림 1은 수치모의 대상해역의 해저지형을 나타낸다.

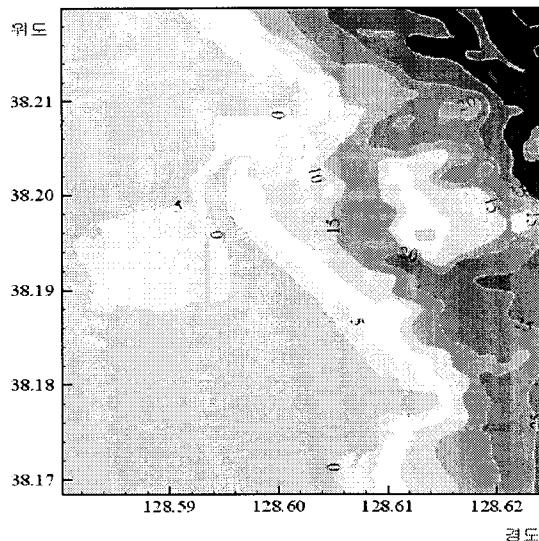


그림 1. 속초항 지형 및 수심분포

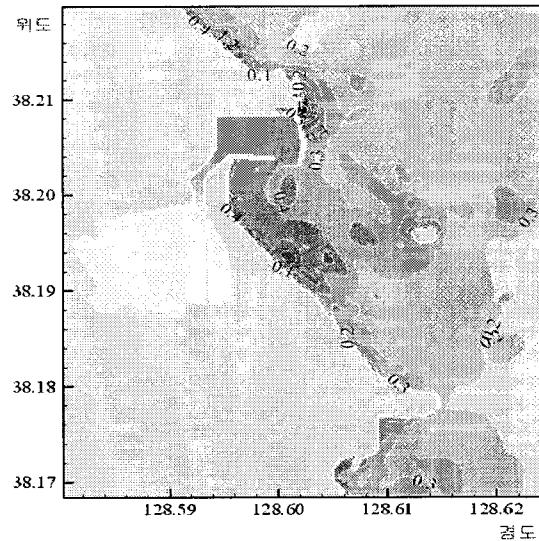


그림 2. 속초항 파고 및 처오름높이 예측

동해의 해안선을 따라 이동경계조건을 적용하여 최대 처오름높이를 예측하였다. 속초항에서 최대파고는 주로 0.3m ~ 0.8m 정도로 계산되었으며, 일부 해안지역에서는 최대 파고가 1m를 넘어서 육지로 처오름이 발생하였다. 1983년 지진해일로 인해 속초항에서는 약 0.8m의 최대파고를 기록하였으며 수치모의 결과는 관측치를 잘 표현하고 있다.

3. 결 론

먼 거리를 이동하는 지진해일의 거동에는 코리올리스 힘이 매우 중요한 역할을 하기 때문에, 원해 지진해일을 해석하기 위해서는 반드시 코리올리스 효과가 반영된 수치모형이 필요하다. 본 연구에서는 코리올리스 효과를 반영한 수치모형을 이용하여 속초항에서 원해 지진해일을 수치모의 하였으며, 수치모의에서 계산된 결과는 관측된 자료를 잘 재현하였다. 수치모의를 통하여 예측된 결과를 토대로 지진해일 예상범람도를 제작할 수 있으며, 이것은 지진해일 재해지도를 만드는데 매우 중요한 일이다. 완성된 지진해일 재해지도는 지진해일 발생시 인명 및 재산피해를 줄이는 데 가장 큰 역할을 할 것으로 기대된다.

감 사 의 글

본 연구는 해양수산부 해양한국발전프로그램에 의해 재정적 지원을 받았습니다.

참 고 문 헌

1. Cho, Y.-S.; Jin, S.-B. and Lee, H.-J., 2004. Safety analysis of Ulchin Nuclear Power Plant against the Nihonkai-chubu Earthquake Tsunami. Nuclear Engineering and Design, Vol. 228, pp. 393-400.
2. Liu, P.L.-F.; Cho, Y.-S.; Briggs, M.J.; Synolakis, C.E. and Kanoglu, U., 1995. Run-up of solitary wave on a circular island. Journal of Fluid Mechanics, Vol. 302, pp. 259-285.
3. Liu, P.L.-F.; Cho, Y.-S.; Yoon, S.-B. And Seo, S.-N., 1995. Numerical simulations of the 1960 Chilean tsunami propagation and inundation at Hilo, Hawaii. In: Y. TSUCHIYA and N. SHUTO (ed.), Tsunami: Progress in Prediction, Disaster Prevention and Warning. Advances in Natural and Technological Hazards Research, Vol. 4, Kluwer Academic Press, pp. 99-115.