

지진해일 전파특성을 고려한 실용적인 분산보정 기법의 적용 - 속초항

Application of Practical Dispersion-Correction Scheme for Propagation of Tsunami - Sokcho Harbor

최문규* · 이육한** · 이성재*** · 조용식****

Choi, Moon Kyu · Lee, Uk han · Lee, Sung-Jae · Cho, Yong sik

Abstract

Practical dispersion-correction scheme is applied to simulate the distant propagation of tsunami. This scheme is based on the leap-frog finite difference scheme for the linear shallow-water equations. The new scheme has the advantage of using the constant spatial grid size and time step size even in area of variable depths. And this new model constructed by using the 2nd upwind scheme, dynamic linking method, and staggered grid system. This model is simulated to near Sokcho harbor about The Central East Sea Tsunami in 1983. And this result is compared to tide gage and result of former model.

key-words : Tsunami, Linear Shallow-water Equation, Propagation of Tsunami, Dispersion Effect

1. 서 론

삼면이 바다로 둘러 쌓인 우리나라의 경우 해양으로부터의 재해는 그 종류가 다양하다. 그 대표적인 예가 태풍에 의한 해일피해이고 1997년의 경우처럼 백중사리에 의한 해수범람에 의해 발생한 피해 역시 컸다. 태풍 등에 의한 해일피해보다는 발생빈도는 적지만 큰 재해로 대두되는 지진해일 역시 무시할 수 없다.

우리나라에 피해를 입힐 가능성이 가장 큰 지진해일의 발생 지점은 일본 서해안이다. 일본 서해안을 따라 단층대가 분포하고 있고, 단층대의 서측에는 유라시아 플레이트, 동측에는 태평양 플레이트가 위치하고 있기 때문이다. 태평양 플레이트가 유라시아 플레이트의 아래쪽으로 미끄러져 들어감으로서 단층운동을 하게 되고 해저 지반이 연직방향으로 변위를 일으키면 그 위에 놓여진 해수는 연직방향으로 변위를 갖게 되고 주위의 수위보다 높은 수위를 갖게 되는데 이것이 지진해일의 발생을 의미한다. 이렇게 발생한 지진해일은 파장이 길어 파형의 변화없이 먼 거리를 빠른 속도로 전파할 수 있으며 이 때문에 태평양과 같은 대양에서 발생하게 되면 인근 지역뿐만이 아니라 멀리 떨어진 지역에서도 심한 피해를 줄 수 있다. 예를 들어 1960년에 칠레연안 부근의 태평양에서 발생한 지진해일은 태평양을 가로질러 약 16시간 후에 진원지로부터 10,000km 떨어진 하와이 제도를 강타하였고 약 24시간 후에는 일본 연안에 도달하였다. 이로 인해 하와이섬의 힐로만(Hilo Bay)에서는 61명의 인명피해와 수천만 달러의 재산피해를 입혔고 일본 역시 약 140여명의 인명피해를 발생시켰다.

이렇게 큰 피해를 입히는 지진해일을 해석하는 수치기법으로 1998년에 Cho와 Yoon이 선형 천수방정식을 leap-frog 유한차분기법과 staggered 격자를 사용하여 차분식을 제안했다. 하지만 이 제안된 기법은 수심이 변함에 따라 격자간격과 시간간격을 변화시켜야하는 문제점이 있어서 실제 지형에 적용하기 어려웠다. 본 연구에서는 분산보정계수 α 와 γ 를 결정함으로써 수심이 변하는 경우에도 격자간격과 시간간격을 변화시키지 않으면서 선형 Boussinesq 방정식의 분산항과 일치하는 수치 분산항을 생성할 수 있는 실용적인 분산보정 기법을 1983년 동해 중부 지진해일에 대해 속초항에 적용하여 이전 기법과 실용적인 분산보정 기법의 결과를 그리고 실제 관측된 조위기록과 비교하였다.

* 한양대학교 토목공학과 · 석사과정 · E-mail: civil00@hanyang.ac.kr

** (주)건설엔지니어링 항만부 상무

*** 한양대학교 토목공학과 · 석사과정

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

2. 지배방정식과 수치기법

본 연구에서 적용한 1983년 동해 중부 지진해일은 일본 서해에서 발생하여 우리나라 동해에 피해를 주었다. 지진해일은 파장에 비해 비교적 먼 거리를 전파하기 때문에 분산을 고려할 수 있는 선형 Boussinesq 방정식을 지배방정식으로 사용하여야 한다. 선형 Boussinesq 방정식을 ζ 에 관해 나타내면 다음 식과 같다.

$$\frac{\partial^2 \zeta}{\partial t^2} - gh \left(\frac{\partial^2 \zeta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \zeta}{\partial y^2} \right) = \frac{gh^3}{3} \left(\frac{\partial^4 \zeta}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 \zeta}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 \zeta}{\partial y^4} \right) \quad (1)$$

식 (1)의 우측항이 분산항이다. 하지만 이 분산항은 고차미분항이기 때문에 수치기법을 적용하기 어려운 점이 있다. 그래서 본 연구에서는 고차미분항인 분산항을 무시한 선형 천수방정식을 지배방정식으로 사용하였고 차분하는 과정에서 수치 분산을 이용하여 식 (1)의 분산항과 같은 항을 만들어 분산효과를 고려하였다. 본 연구에서는 사용한 지배방정식인 선형천수방정식은 다음과 같다.

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial Q}{\partial y} = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial P}{\partial t} + gh \frac{\partial \zeta}{\partial x} = 0 \quad (3)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + gh \frac{\partial \zeta}{\partial y} = 0 \quad (4)$$

지배방정식을 leap-frog 유한차분기법을 이용하여 staggered 격자에서 다음과 같이 차분하고 ζ 에 대한 수정방정식을 나타내면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} & \frac{\partial^2 \zeta}{\partial t^2} - C_0^2 \left(\frac{\partial^2 \zeta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \zeta}{\partial y^2} \right) - C_0^2 \frac{(\Delta x)^2}{12} (1 + \alpha - C_r^2) \left(\frac{\partial^4 \zeta}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 \zeta}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 \zeta}{\partial y^4} \right) \\ & + (1 + \alpha - \gamma) C_0^2 \frac{(\Delta x)^2}{6} \frac{\partial^4 \zeta}{\partial x^2 \partial y^2} = O((\Delta x)^3, (\Delta x)^2 \Delta t, \Delta x (\Delta t)^2, (\Delta t)^3) \end{aligned} \quad (5)$$

식 (5)의 유도과정에서 $\Delta x = \Delta y$ 가 사용되고, $C_0 (= \sqrt{gh})$ 는 장파의 전파속도, $C_r (= C_0 \Delta t / \Delta x)$ 는 Courant 수를 나타낸다. 식 (5)가 식 (1)의 선형 Boussinesq 방정식과 같아지도록 분산보정계수 α 와 γ 를 결정하면 다음과 같다.

$$\alpha = \frac{4h^2 + gh(\Delta t)^2 - (\Delta x)^2}{(\Delta x)^2} \quad (6)$$

$$\gamma = \alpha + 1 \quad (7)$$

기존의 수치 모형에서는 수심이 변하는 경우 격자간격과 계산 시간간격에 제한이 있었으나 본 연구에서 사용된 수치 모형에서는 기존의 모형과 다르게 수심이 변하는 경우, 격자간격과 계산 시간간격 대신 분산 보정계수를 변화시켜서 식 (5)가 식 (1)과 같아지도록 할 수 있는 장점이 있다.

3. 수치기법의 적용

동해 전역의 크기가 위도방향과 경도방향으로 각각 1,200km로, 전체 영역을 10m 간격으로 세분화할 경우 격자 수가 120.001×120.001 가 되므로 계산시간의 증가와 계산시간 간격의 세분화에 의한 누적오차의 증대가 유발될 수 있다. 효율적인 수치모의를 위해서 수심이 깊은 지역과 해안 지역의 관심영역의 격자 크기를 다르게 해야한다. 이러한 점을 고려하기 위해 본 연구에서는 다중격자연결기법을 사용하였고 격자 크기의 비가 1:3이 되는 총 5개의 영역으로 구성하였다. 그림 1은 5개 영역 중 가장 작은 영역이고 속초항 부근을 가장 자세히 나타내고 있는 영역이다. 그림 1에 속초항 부근의 수심 분포와 속초항 조위 관측소의 위치를 나타내고 있다. 또한 그림 2는 지진해일의 첫 파가 약 105분 후에 속초에 도달함을 알 수 있다.

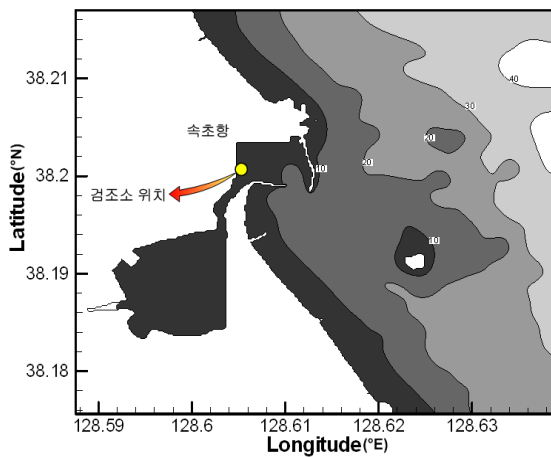


그림 1. 속초항 부근 수심 분포와 검조소 위치

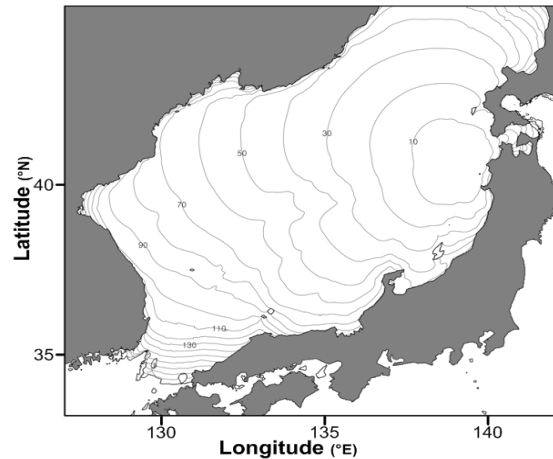


그림 2. 지진해일 전파도

실용적인 분산보정기법을 사용하여 수립된 모형을 1983년 동해 중부 지진해일에 대해 속초항에 적용을 하였다. 1983년 동해 중부 지진해일은 일본 추진현 서쪽 외해에서 1983년 5월 26일 정오에 발생한 리히터 규모 7.7의 해저지진에 의해 발생한 지진해일이고 현재까지 우리나라에 가장 큰 피해를 입힌 지진해일로 기록되고 있다. 1983년 동해 중부 지진해일의 초기 파형의 위치와 크기는 그림 3과 같다.

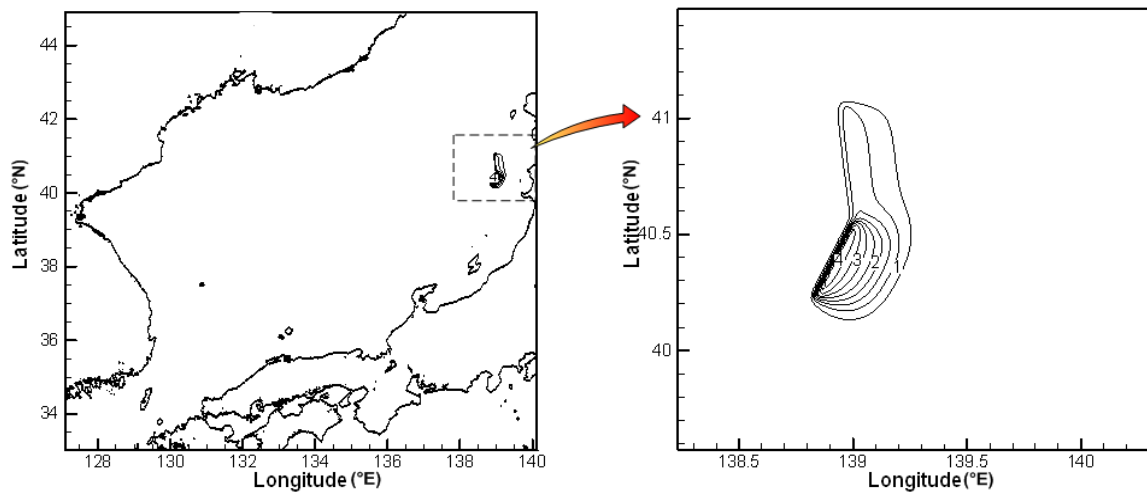


그림 3. 지진해일 초기파형의 위치와 초기 자유수면변위

그림 4는 속초항 조위 관측소 위치에서 제안된 기법, 이전의 기법의 수치모의 결과와, 그리고 실제 관측된 조위 값을 비교한 것이다.

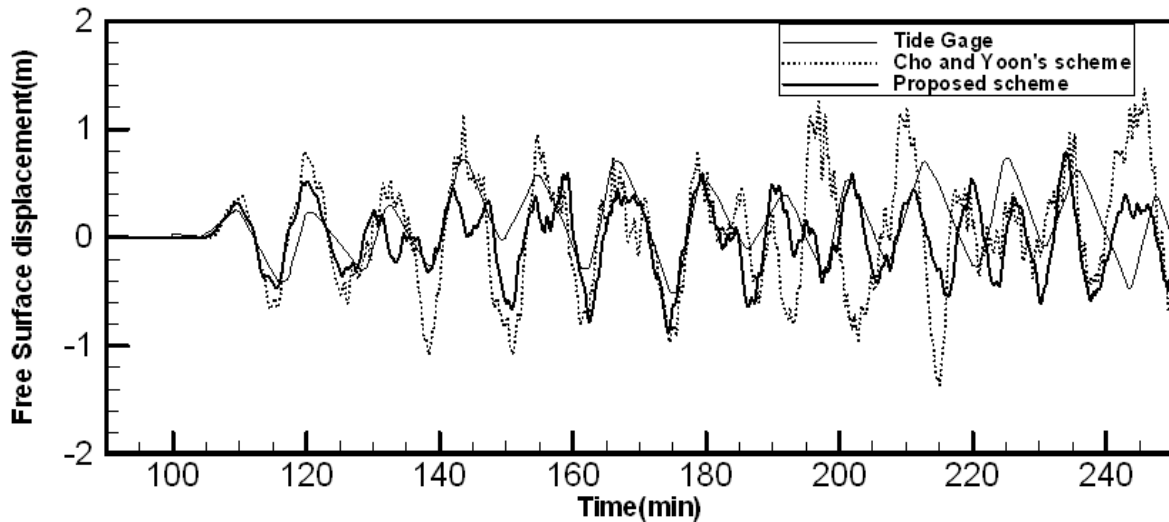


그림 4. 실제 관측된 조위 자료, Cho와 Yoon의 기법 결과, 제안된 기법의 결과의 비교

그림 4에서 지진해일 첫 파가 속초 검조소에 도착하는 시간은 거의 비슷하다는 것을 알 수 있다. 하지만 시간이 지날수록 Cho와 Yoon의 기법으로 수치모의 한 결과는 자유수면변위의 최대값과 최소값이 실제 관측치와 차이가 나고 조위의 변화양상이 많은 차이가 남을 알 수 있다. 본 연구에서 사용된 기법으로 수치모의 한 결과는 Cho와 Yoon의 수치 기법의 결과보다 자유수면변위의 최대값, 최소값, 그리고 조위 변화의 양상이 실제 관측치와 비교하였을 때 더 유사한 것을 알 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 지배방정식인 천수방정식을 차분할 때 생기는 수치 분산항을 선형 Boussinesq 방정식의 분산항과 일치하도록 분산보정계수 α 와 γ 를 추가함으로써 분산효과를 고려할 수 있도록 하였고 구축된 모델을 속초항에 대해서 수치모의한 결과와 실제 관측된 조위 기록과 비교를 하였다. 비교한 결과 자유수면변위의 최대값, 최소값, 그리고 조위 변화의 양상 등이 Cho와 Yoon의 수치기법 결과보다 실제 관측된 조위자료와 더 유사함을 알 수 있다. 이러한 결과는 분산효과를 고려하면서 격자간격과 계산 시간간격에 제한을 받지 않기 때문에 실제 지진해일 파의 거동을 해석하는 것이 이전의 방법보다 더 정교해졌음을 의미한다. 본 연구의 결과는 지진해일을 해석하는데 큰 도움을 줄 것이다.

감사의 글

본 연구는 (주)건일엔지니어링의 연구비 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 윤성범, 임채호, 이종인. (2004). “지진해일 전파모의를 위한 2차원 유한차분 모형의 능동적 분산보정기법”, 대한토목학회논문집, 제 24권 제 6B호, pp.577-583
2. Cho, Yong-Sik and Yoon, S.B., (1998). “A modified leap-frog scheme for linear shallow-water equations”, Coastal Engineering Journal (SCIE), Vol. 40, No. 2, pp. 191-205.
3. Sohn, D.-H., Cho, Yong-Sik, Ha, T.-M. and Kim, S.-M. (2006). “Development of practical dispersion-correction scheme for propagation of tsunamis, Journal of Korean Society of Civil Engineers” Vol. 26, No. 5B, pp. 551-555.