

# 지진해일에 의한 새만금 지역의 안전성 평가

## Safety Assessment of a Tsunami at Saemangeum

최문규\*, 심주열\*\*, 이승오\*\*\*, 조용식\*\*\*\*  
Moon-Kyu Choi, Ju-Yoel Sim, Seung Oh Lee, Yong-Sik Cho

### 요    지

본 연구에서는 최근 5년간 서해에서 발생한 해저 지진 중에서 가장 큰 지진인 2003년 3월 23일에 발생한 해저 지진의 진앙지(북위 35°, 동경 124.6°)에 우리 나라에 가장 큰 피해를 입힌 1983년 동해 중부 지진해일의 지진 매개변수(parameter)를 적용한 가상 지진해일을 발생시키고 새만금 지역의 최대 쳐오름 높이를 계산하였다.

가상지진해일에 대한 수치모의 결과 새만금 지역에서는 0.4 ~ 0.9m의 파고가 발생하겠으며, 이러한 결과는 지진해일로 인한 새만금 방조제 유실 및 방조제 내부의 재난방재를 위한 기초적 자료가 될 것이다.

**핵심용어 :** 지진해일, 새만금 사업, 선형 천수방정식, 비선형 천수방정식, 다중격자 연결모형.

### 1. 서 론

한반도에서 직접적인 대형피해를 유발할 수 있는 재해는 폭풍해일, 지진해일 및 지진 등이 있다. 그 중 지진해일은 빈도는 크지 않지만 대형피해를 유발 할 수 있는 매우 위험한 재해이다. 한반도 근해에서는 2002년 21회, 2003년 21회, 2004년 24회, 2005년 24회, 2006년 28회 등 최근 5년 간 118회의 해저 지진이 발생하였고 최근 들어 점점 증가하고 있는 실정이다. 또한, 이 해저 지진의 지역을 살펴보면 서해에서 발생한 해저 지진이 2002년 17회, 2003년 15회, 2004년 8회, 2005년 10회, 2006년 10회 등 총 60회로 전체 해저 지진 발생 횟수의 50%가 넘는 것을 알 수 있다. 하지만 지진해일에 관한 연구는 주로 동해에서만 이루어지고 있고 서해안에 대한 연구는 미흡한 실정이다.

2004년 12월에 일어난 동남아 지진해일은 진앙지에서 6000km가 떨어진 아프리카의 소말리아와 케냐 해안 지역까지 피해를 주었다. 이렇게 지진해일은 먼 거리를 전파하여 피해를 줄 수 있기 때문에, 동지나해에서 발생한 지진해일이 전파되어 한국의 서해안에 피해를 줄 가능성은 배제할 수 없다. 특히, 수 조원의 공사비를 들인 새만금 사업은 최근 끝물막이 공사가 완료되어 본격적인 방조제 마무리 공사 및 내부개발을 앞두고 있는 시점에서 지진해일로 인한 방조제 유실 및 방조제 내부의 재난방재를 위한 기초적 자료 및 예측 시스템이 절실히 필요한 상태이다.

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

\*\* 정희원 · 한양대학교 토목공학과 석사과정 · E-mail: simjuyl@hanyang.ac.kr

\*\*\* 정희원 · 한양대학교 토목공학과 박사후과정 · E-mail: seungoh.lee@gmail.com

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

## 2. 지배 방정식

지진해일의 초기파장은 수심에서 수백 km에 이르기 때문에 비선형항과 바닥마찰항의 영향은 상대적으로 작아서 무시할 수 있는 반면, 분산효과는 파장의 크기에 따라 중요성이 변화하기 때문에 전파 모형의 지배방정식에 분산효과를 포함하는 것이 바람직하다. 따라서 전파모형은 분산효과가 포함되어 있는 선형 Boussinesq 방정식을 이용하여 수치모의 하는 것이 바람직하다. 선형 Boussinesq 방정식을 수심이 일정하다고 가정한 후 정리를 하면 식 (1)과 같다.

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

여기서  $\zeta$ 는 자유수면변위,  $P$ 와  $Q$ 는 각각  $x$ 축과  $y$ 축 방향의 체적흐름율(volume flux),  $h$ 는 정수면상의 수심이다. 식 (1)의 우측항은 일반적으로 분산항으로 표현한다. 이 분산항은 고차도함수이기 때문에 이 식을 지배방정식으로 쓰기에는 수치적 어려움에 의해 제한이 된다. 본 연구에서는 수정기법(modified scheme)을 이용하기 위해 분산항을 생략한 선형 천수방정식을 지배 방정식으로 사용하여 수치 분산효과를 내었다. 선형 천수방정식을 차분화하여 간단히 정리를 하면 식 (2)와 같다.

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

식 (2)의 유도과정에서  $\Delta x = \Delta y$ 이 사용되었으며  $C_0 (= \sqrt{gh})$ 와  $C_r (= C_0 \Delta t / \Delta x)$ 은 각각 장파의 전파속도와 Courant 수를 나타낸다. 식 (2)에서 선형 Boussinesq 방정식을 간단히 정리한 식 (1)과 같아지도록 분산보정계수  $\alpha$ 와  $\gamma$ 는 다음과 같이 결정할 수 있다.(Sohn and Cho, 2006)

$$\alpha = \frac{4h^2 + gh(\Delta t)^2 - (\Delta x)^2}{(\Delta x)^2} \quad (3)$$

$$\gamma = \alpha + 1 \quad (4)$$

기존의 수치 모형(Cho and Yoon, 1998)에서는 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 (2)가 식 (1)과 같아지도록 할 수 있는 장점이 있다.

지진해일이 바다를 가로질러 수심이 상대적으로 얕은 해안가로 접근을 하면 파장이 짧아지고 파고가 증가하여 비선형성이 증가하기 때문에 선형 천수방정식을 지배방정식으로 사용하는 것은 부적절하다. 또한 분산항의 역할이 상대적으로 감소함으로 비선형 천수방정식을 사용한다. 본 연구에서 범람모형에 적용한 바닥마찰효과를 포함한 비선형 천수방정식은 다음과 같이 쓸 수 있다. 여기서  $H = h + \zeta$ 는 전체 수심,  $\tau_x$ 와  $\tau_y$ 는 각각  $x$ 축과  $y$ 축 방향의 바닥마찰항이다.

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial Q}{\partial y} = 0 \quad (5)$$

$$\frac{\partial P}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{P^2}{H} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{PQ}{H} \right) + gH \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \tau_x H = 0 \quad (6)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{PQ}{H} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{Q^2}{H} \right) + gH \frac{\partial \zeta}{\partial y} + \tau_y H = 0 \quad (7)$$

### 3. 수치모의

현재까지 서해에서는 지진해일로 인한 피해가 없었다. 따라서 우리나라에 가장 큰 피해를 입힌 1983년 동해 중부 지진해일의 단층 매개변수를 사용하여 서해에서 지진해일을 모의하였다. 지진해일의 단층 매개변수는 표 1에 제시된 단층의 길이( $L$ ), 폭( $W$ ), 변위( $u$ ), 주향각( $\theta$ ) 및 경사각( $\delta$ ) 등으로 나타낼 수 있다.

표 1. 동해 중부 지진의 매개변수

$N(^{\circ}N)$	$E(^{\circ}E)$	$H(km)$	$\theta(^{\circ})$	$\delta(^{\circ})$	$\lambda(^{\circ})$	$L(km)$	$W(km)$	$u(cm)$
35.0	124.6	2	22	40	90	40	30	760

가상 지진의 위치는 서해에서 일어났던 해저 지진 중 가장 큰 지진(2003년 3월 23일, 전남 홍도 북서쪽 약 50Km해역,  $35.00^{\circ}N$ ,  $124.60^{\circ}E$ )의 위치를 사용하였다. 지진의 위치와 초기파형은 그림 1과 같다.

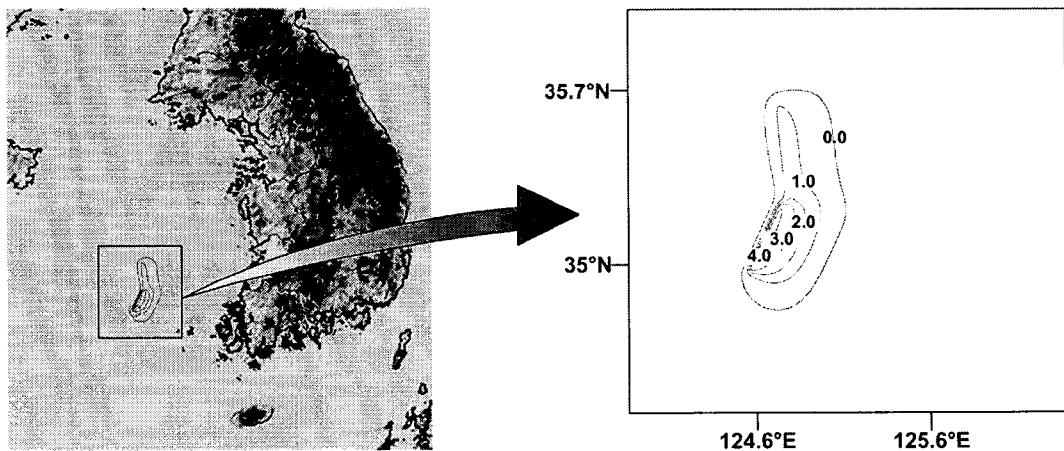


그림 1. 초기 파형의 위치와 크기

그림 2는 지진해일의 제 1파가 영역내의 임의 지점을 통과하는데 소요되는 시간을 나타낸 것으로, 지진해일이 전파되는 양상을 보여준다. 그리고 지진해일이 우리나라 서해안에 도달하는 시간은 약 90분정도가 소요되었고, 새만금 지역에 도달하는 시간은 약 150분정도가 되는 것을 알 수 있다. 지진해일의 속도가 수심이 얕은 해안선으로 다가오면서 지진해일 파의 속도가 점점 줄어드는 현상을

볼 수 있다. 그림 3은 지진해일이 서해 전역에 전파되는 가운데 계산된 파고 중 최대값만을 기록한 최대파고분포를 나타낸 것이다.

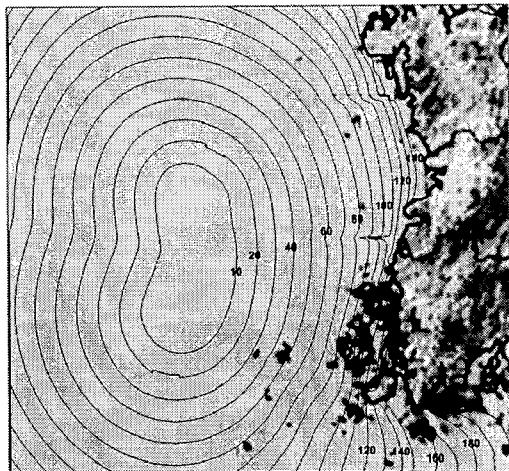


그림 2 전파도 (단위:분)

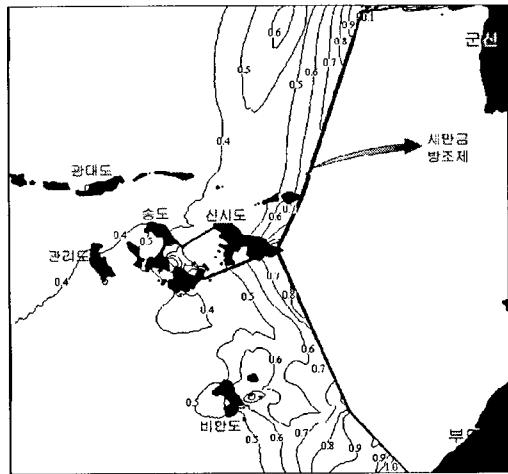


그림 3 새만금 지역의 최대 파고(단위 : m)

#### 4. 결 론

본 연구에서는 최근 끝물막이 공사가 완료되어 본격적인 방조제 마무리 공사 및 내부개발을 앞두고 있는 새만금 방조제 지역에서의 지진해일로 인해 발생되는 파고를 선형천수방정식을 이용한 전파모형과 비선형 천수 방정식을 이용한 범람모형을 이용하고 수치 모의하여 지진해일의 영향을 검토하였다. 가상지진해일에 의한 수치 모의 결과 새만금 지역에서는 0.4 ~ 0.9m의 파고가 기록되었다. 본 연구의 결과는 새만금 방조제의 지진해일로 인한 방조제 유실 및 방조제 내부의 재난방재를 위한 기초적 자료가 될 것이다.

#### 감 사 의 글

본 연구는 해양수산부 해양한국발전프로그램에 의해 재정적 지원을 받았습니다.

#### 참 고 문 헌

1. 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.
2. Aida, I. (1984). "A source models of the 1983 Nihonkai-earthquakes tsunami." Proc. Symp. Nihonkai Chubu Earthquake Tsunami, JSCE, pp. 9-21.
3. 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.