

## 지진해일에 의한 해수범람 예측 : 포항신항

## Prediction of Coastal Inundation due to Tsunamis : Pohang New Port

심주열\*, 하태민\*\*, 조용식\*\*\*

Sim, Ju-Yeol · Ha, Tae-Min · Cho, Yong-Sik

## Abstract

During the last decades several devastating tsunamis have been occurred. Recently, there have been increasingly concerned about tsunamis around the Korean Peninsula since the 2004 Sumatra Tsunami occurred on December 26, 2004. In general, the Korean Peninsula is not safe against potential tsunami attacks. The 1983 Central East Sea Tsunami and the 1993 Hokkaido Tsunami caused considerable damage to the Eastern Part of the Peninsula. Thus, a prediction of damage due to tsunamis must be required at the Eastern Part of the Peninsula. In this study, numerical simulation of tsunamis at Pohang New Port, one of the most important ports in the Eastern Part of Korea, is conducted for three different tsunami events. Numerical simulation is focused on inundation on the port and run-down around an intake structure which supplies cooling water to the porthinterland. The computed results show that Pohang New Port is damaged by the most dangerous tsunami which can be generated in the East Sea. Thus, it is required to set up a counter-measure against tsunami attacks at Pohang New Port.

**Key words** : tsunami, inundation, run-up height, run-down height, Pohang New Port

## 요 지

지난 수십년간 전 세계적으로 지진해일로 인해 수많은 피해가 발생하였으며 특히, 2004년 발생한 수마트라 지진해일로 인해 우리나라에서도 지진해일에 대한 관심이 높아지고 있다. 우리나라는 과거 1983년 동해 중부 지진해일과 1993년 북해도 남서 외해 지진해일로 인해 동해안에 비교적 큰 피해를 입었으며, 앞으로도 동해안에는 지진해일에 의한 피해가 발생할 가능성이 높다. 따라서 동해안에 위치해 있는 주요항에 대한 지진해일 피해 예측이 반드시 필요한 실정이다. 본 연구에서는 동해안의 주요 항 중 하나인 포항신항에 대해서 지진해일 최대 치오름높이 및 최저 치내림높이를 계산하였으며, 모두 세 가지 지진해일에 대해 수치모의를 하였다. 포항신항에는 배후 공업단지가 발달해 있어 지진해일에 의한 범람이 발생하면 큰 피해가 발생할 수 있으며, 배후 공업단지에 필요한 냉각수를 취수하는 취수구에서 지진해일에 의한 치내림현상으로 인해 취수가 중단되면 공장 가동이 중단되는 피해가 발생할 수 있다. 따라서 수치모의는 치오름높이에 의한 범람여부 및 치내림높이에 의한 취수구에서의 취수 가능여부에 초점을 맞추어 수행하였다. 검토 결과 포항신항은 전반적으로 지진해일에 안전한 것으로 나타났으나 가장 큰 규모의 지진해일에 대해서는 피해를 입는 것으로 나타났다. 그러므로 이에 대한 적절한 방재대책을 마련할 필요가 있다.

**핵심용어** : 지진해일, 범람, 치오름높이, 치내림높이, 포항신항

## 1. 서 론

지진해일은 해저지진에 의해 발생하는 거대한 해일로, 파장이 매우 긴 장파이기 때문에 전파속도가 빨라 큰 에너지 손실없이 먼 거리를 전파할 수 있다. 또한, 지진해일이 해안가에 도달하면 천수효과로 인해 대규모 범람을 일으켜 엄청난 인명 및 재산피해를 초래할 수 있다. 2004년 12월 26일 발생한 인도네시아 수마트라 지진해일은 막대한 피해(사망 283,106명, 실종 14,100명, 재산피해 100억 달러)를 야기시켜 전 세계적으로 지진해일에 대한 관심을 고조시켰으며, 당시

우리나라 관광객도 20명이 사망하여 국내에서도 지진해일에 대한 관심이 높아졌다.

실제로 우리나라 동해안은 일본 서해안에서 발생하는 지진해일로 인해 피해를 받는 지역으로, 과거 1983년 동해 중부 지진해일과 1993년 북해도 남서 외해 지진해일에 의해 비교적 큰 인명 및 재산 피해를 입었다. 또한, 일본 지진학자들의 연구에 따르면 앞으로도 이 지역에서는 지진해일이 발생할 가능성이 높은 것으로 조사되고 있기 때문에 동해안의 주요항 및 시설물에 대한 지진해일 수치모의를 수행하여 피해에 대비할 필요가 있다. 특히, 포항신항은 연간 물동량이 많

\*한양대학교 대학원 토목공학과 석사과정 (E-mail : simjuyul@hanyang.ac.kr)

\*\*한양대학교 대학원 토목공학과 박사과정

\*\*\*정회원 · 한양대학교 공과대학 토목공학과 교수 (교신저자)

고(2007년 기준 6,035만 6천 ton), 배후에 공업단지가 발달해 있어 국가적으로 매우 중요한 항구이나 아직까지 지진해일이 미치는 영향에 대한 검토가 제대로 이루어지지 않았다.

따라서 본 연구에서는 과거 동해안에서 발생하였던 1983년 동해 중부 지진해일과 동해안에서 발생할 가능성이 있는 가상 지진해일 두 건, 총 세 건의 지진해일에 대해 수치모의를 수행하여 지진해일에 포항신항에 미치는 영향을 검토하였다. 수치모의는 지진해일에 의한 항내의 범람여부 및 포항신항 취수구 앞에서의 수위 하강으로 인한 취수 가능여부에 초점을 맞추어 수행하였다.

## 2. 수치모형

### 2.1 전파모형

지진해일은 파장이 매우 길고 심해역의 전파 과정에서는 비선형항과 바닥마찰항의 영향을 무시할 수 있어 선형 천수이론을 적용하는 것이 바람직하다. 또한, 일본 서해안에서 발생하여 우리나라 동해안에 도달하는 지진해일은 대화퇴(Yamato Rise)를 지날 때 굴절, 회절 및 반사가 일어나고 초기파원의 크기가 태평양에서 발생하는 지진해일 등에 비해서 상대적으로 작기 때문에 전파과정에서 분산효과가 중요시된다. 이러한 지진해일을 해석하기 위해서는 선형 Boussinesq 방정식을 지배방정식으로 사용하는 것이 바람직하다(Imamura 등, 1988). 선형 Boussinesq 방정식은 다음과 같다.

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

$$\frac{\partial P}{\partial t} + gh \frac{\partial \zeta}{\partial x} = \frac{h^2}{2} \frac{\partial}{\partial x} \left[ \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{\partial P}{\partial t} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{\partial Q}{\partial t} \right) \right] - \frac{h^3}{6} \frac{\partial}{\partial x} \left[ \frac{\partial^2}{\partial t \partial x} \left( \frac{P}{h} \right) + \frac{\partial^2}{\partial t \partial y} \left( \frac{Q}{h} \right) \right] \quad (2)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + gh \frac{\partial \zeta}{\partial y} = \frac{h^2}{2} \frac{\partial}{\partial y} \left[ \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{\partial P}{\partial t} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{\partial Q}{\partial t} \right) \right] - \frac{h^3}{6} \frac{\partial}{\partial y} \left[ \frac{\partial^2}{\partial t \partial x} \left( \frac{P}{h} \right) + \frac{\partial^2}{\partial t \partial y} \left( \frac{Q}{h} \right) \right] \quad (3)$$

여기서  $\zeta$ 는 자유수면변위,  $g$ 는 중력가속도,  $P$ 와  $Q$ 는 각각  $P = uh$  및  $Q = vh$ 로 정의되는  $x$ 축과  $y$ 축 방향의 체적흐름을(volume flux),  $u$ 와  $v$ 는 각각  $x$ 축과  $y$ 축 방향의 수심평균된 유속,  $h$ 는 정수면(still water level)에서의 수심이다.

식 (1)~(3)의 선형 Boussinesq 방정식을 수심이 일정하다고 가정하여 하나의 식으로 정리하면 다음의 식(4)를 얻을 수 있다(Cho, 1995).

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

식 (2)와 (3)의 오른쪽 항을 분산항이라고 하는데 고차도함수이기 때문에 차분하는데 제한이 따른다. 따라서 본 연구에서는 선형 천수방정식(linear shallow-water equations)을 지배방정식으로 사용하면서 Cho 등(2007)이 개발한 수정기법을 이용하여 차분화하는 과정에서 나타나는 수치분산이 선형 Boussinesq 방정식의 분산항과 같도록 조정하였다. 선형 천수

방정식은 다음과 같다.

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

$$\frac{\partial P}{\partial t} + gh \frac{\partial \zeta}{\partial x} = 0 \quad (6)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + gh \frac{\partial \zeta}{\partial y} = 0 \quad (7)$$

Cho 등(2007)이 개발한 수정기법을 사용하면 선형 천수방정식(5)~(7)를 다음과 같이 차분화할 수 있다.

$$\frac{\zeta_{i,j}^{n+1/2} - \zeta_{i,j}^{n-1/2}}{\Delta t} + \frac{P_{i+1/2,j}^n - P_{i-1/2,j}^n}{\Delta x} + \frac{Q_{i+1/2,j}^n - Q_{i-1/2,j}^n}{\Delta y} = 0 \quad (8)$$

$$\begin{aligned} & \frac{P_{i+1/2,j}^{n+1} - P_{i+1/2,j}^n}{\Delta t} + gh_{i+1/2,j} \frac{\zeta_{i+1,j}^{n+1/2} - \zeta_{i,j}^{n+1/2}}{\Delta x} \\ & + \frac{\alpha g}{12 \Delta x} h_{i+1/2,j} [\zeta_{i+2,j}^{n+1/2} - 3 \zeta_{i+1,j}^{n+1/2} + 3 \zeta_{i,j}^{n+1/2} - \zeta_{i-1,j}^{n+1/2}] \\ & + \frac{\gamma g}{12 \Delta x} h_{i+1/2,j} [(\zeta_{i+1,j+1}^{n+1/2} - 2 \zeta_{i+1,j}^{n+1/2} + \zeta_{i+1,j-1}^{n+1/2}) \\ & - (\zeta_{i,j+1}^{n+1/2} - 2 \zeta_{i,j}^{n+1/2} + \zeta_{i,j-1}^{n+1/2})] = 0 \end{aligned} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} & \frac{Q_{i,j+1/2}^{n+1} - Q_{i,j+1/2}^n}{\Delta t} + gh_{i,j+1/2} \frac{\zeta_{i,j+1}^{n+1/2} - \zeta_{i,j}^{n+1/2}}{\Delta y} \\ & + \frac{\alpha g}{12 \Delta y} h_{i,j+1/2} [\zeta_{i,j+2}^{n+1/2} - 3 \zeta_{i,j+1}^{n+1/2} + 3 \zeta_{i,j}^{n+1/2} - \zeta_{i,j-1}^{n+1/2}] \\ & + \frac{\gamma g}{12 \Delta y} h_{i,j+1/2} [(\zeta_{i+1,j+1}^{n+1/2} - 2 \zeta_{i+1,j}^{n+1/2} + \zeta_{i+1,j-1}^{n+1/2}) \\ & - (\zeta_{i-1,j+1}^{n+1/2} - 2 \zeta_{i,j+1}^{n+1/2} + \zeta_{i-1,j+1}^{n+1/2})] = 0 \end{aligned} \quad (10)$$

식 (8)~(10)의 모든 항을 Taylor 급수를 이용하여 기준 격자점  $(i, j, n)$ 에 대하여 전개한  $P$  후  $Q$ 와  $\zeta$ 를 소거하면, 다음과 같은 에 관한 식을 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} & \frac{\partial^2 \zeta}{\partial t^2} - C_0^2 \left( \frac{\partial^2 \zeta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \zeta}{\partial y^2} \right) - C_0^2 \frac{(\Delta x)^2}{12} (1 + \alpha - C_r^2) \left( \frac{\partial^4 \zeta}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 \zeta}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 \zeta}{\partial y^4} \right) \\ & + (1 + \alpha - \gamma) C_0^2 \frac{(\Delta x)^2}{6} \frac{\partial^4 \zeta}{\partial x^2 \partial y^2} = 0 \end{aligned} \quad (11)$$

식 (11)의 유도과정에서  $\Delta x = \Delta y$ 가 사용 되었으며,  $C_0 (= \sqrt{gh})$ 와  $C_r (= C_0 \Delta t / \Delta x)$ 은 각각 장파의 전파속도와 Courant 수를 나타낸다.

식 (11)을 식(4)의 선형 Boussinesq 방정식과 같아지도록 분산보정계수  $\alpha$ 와  $\gamma$ 를 조정하면 선형 천수방정식을 차분화하는 과정에서 나타나는 수치분산이 선형 Boussinesq 방정식의 물리적분산을 대신하는 효과를 얻을 수 있다. 식 (4)와 식 (11)이 같아지도록 조정하면 분산보정계수  $\alpha$ 와  $\gamma$ 는 다음과 같이 결정된다.

$$\alpha = \frac{4h^2 + gh(\Delta t)^2 - (\Delta x)^2}{(\Delta x)^2} \quad (12)$$

$$\gamma = \alpha + 1 \quad (13)$$

## 2.2 범람모형

지진해일이 수심이 얇은 해안가에 도달하면 천수효과로 인해 파장이 짧아지고 파고가 증가한다. 따라서 분산효과의 중요성은 감소하는 반면에 비선형성이 중요해지기 때문에 비선형 천수방정식을 지배방정식으로 사용하는 것이 바람직하다. 또한, 해안선 부근에서는 바다마찰효과가 매우 중요하기 때문에 바다마찰항을 반드시 고려해야 한다(Kajiura 등, 1990; Liu 등, 1994).

바다마찰항을 포함한 비선형 천수방정식은 다음과 같다.

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial Q}{\partial y} = 0 \quad (14)$$

$$\frac{\partial P}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{P^2}{H} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{PQ}{H} \right) + gH \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \tau_x H = 0 \quad (15)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{PQ}{H} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{Q^2}{H} \right) + gH \frac{\partial \zeta}{\partial y} + \tau_y H = 0 \quad (16)$$

여기서  $H(=h+\zeta)$ 는 전체수심을 나타내며,  $\tau_x$ 와  $\tau_y$ 는 각각 Manning 식을 사용하여 나타낸 축과 축 방향의 바다마찰항으로 다음과 같다.

$$\tau_x = \frac{gn^2}{H^{1/3}} P(P^2 + Q^2)^{1/2}, \quad \tau_y = \frac{gn^2}{H^{1/3}} Q(P^2 + Q^2)^{1/2} \quad (17)$$

여기서  $n$ 은 Manning의 조도계수를 나타낸다.

운동량 방정식의 비선형항을 차분할때 차분식이 안정성을 가지려면 차분이 항상 흐름방향과 일치하도록 하는 풍상차분을 사용하는 것이 바람직하다. 본 연구에서는 운동량 방정식 (15)와 (16)의 비선형항은 2차 정확도의 풍상차분기법(Shyy, 1985; 인태훈 등, 2003)을 이용하여 차분화하고, 식 (14)~(16)의 나머지 항은 leap-frag 기법을 이용하여 해석하였다(Liu 등, 1994). 또한, 해안선의 위치가 연속적으로 이동하기 때문에 해안선을 따라 이동경계조건을 사용하였다(조용식 등, 1996).

## 3. 수치모의

### 3.1 대상 지진해일

본 연구에서는 지진해일이 포항신항에 끼치는 영향을 알아보기 위해 세 가지 지진해일에 대해 수치모의를 수행하였다. 먼저, 1983년 동해 중부 지진해일에 대해서 수치모의를 수행하였는데, 1983년 지진해일은 과거 우리나라에 피해를 입혔던 지진해일 중에서 가장 대표적인 지진해일로 현재 우리나라 동해안에서 지진해일에 의한 영향을 검토하는데 있어 기준이 되고 있는 사상이다.

아울러, 동해안의 지진공백역에서 발생할 수 있는 가상 지진해일 2건에 대해 수치모의를 수행하였다. 지진공백역이란 일본 서해안 지역에서 지진발생 가능성이 매우 높지만 아직

까지 지진이 발생하지 않은 지역으로, 이러한 지진공백역에서 지진이 발생할 경우 대규모 지진해일이 발생하여 우리나라에 큰 영향을 미칠 가능성이 높다. 본 연구에서 대상으로 할 가상 지진해일 선정에 위해 먼저 Ichikawa(1994), Tohoku 대학교(1995), 최병호 등(2002)이 제시한 28개의 단층 매개변수의 위치와 크기를 검토하여 첫 번째 가상 지진해일의 매개변수를 선정하였다. 28개의 단층 매개변수 중 상대적으로 규모가 크고 단층의 폭 방향이 동셀 방향인 12개의 단층을 그림 1에 나타내었다.

이 중에서 단층 3은 1983년 지진해일과 동일한 단층 매개변수를 가지고 있으며, 단층 1과 2는 포항신항에서 상대적으로 멀리 떨어져 있고 규모도 단층 4에 비해 크지 않다. 따라서 이러한 요인을 종합적으로 고려하여 포항신항에 가장 큰 영향을 미칠 것으로 예상되는 단층 4-1에 대한 매개변수를 첫 번째 가상 지진해일의 매개변수로 선정하였다.

일본 4성청(농림 수산성 구조개선국, 농림 수산성 수산청, 운수성 항만국, 건설성 하천국)에서도 일본 서해안 지역에 지진공백역을 제시하고 단층 매개변수를 설정하였는데 여기에는 공백역 전체를 단층 길이로 가지는 엄청난 규모의 지진도 포함되어 있다(農林水産省構造改善局 등, 1996). 이 지진의 정확한 발생확률에 대해서는 나타나있지 않지만 매우 극단적인 상황을 가정한 경우이다. 이 경우 지진 발생 가능성은 극히 낮지만 이로 인해 발생하게 될 지진해일의 위험성과 포항신항의 중요성 등을 고려해봤을 때 이에 대한 검토도 이루어질 필요가 있다고 판단된다. 따라서, 이 지진해일을 두 번째 가상 지진해일로 선정하였다. 본 연구에서 검토 대상으로 선정한 지진해일의 단층 매개변수를 표 1에 나타내었다.

그림 2는 대상 지진해일의 발생위치와 초기파형 등과고선을 나타낸 것이다.

지진해일에 의한 영향은 초기파형의 규모, 단층의 폭 방향, 진앙지로부터의 거리 등에 영향을 받는데, 초기파형의 규모는 가상 지진해일 2가 가장 크고 1983년 지진해일의 경우가 가장 작게 나타나며, 진앙지는 가상 지진해일 1이 포항신항에서 가장 가까운 곳에 위치하고 있다.

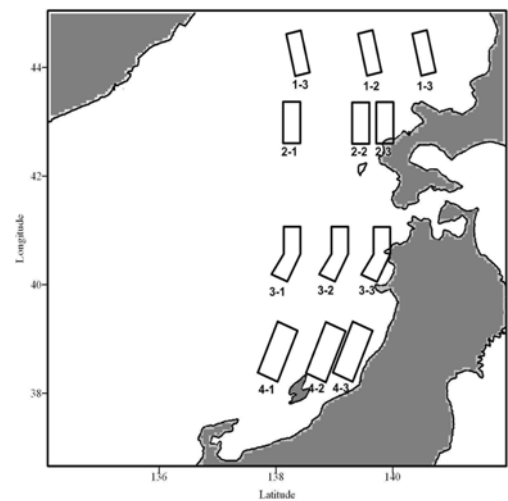


그림 1. 지진공백역

표 1. 포항신항 지진해일 수치모의를 위한 단층 매개변수

단층 매개변수	1983년 지진해일 (Aida, 1984)		가상 지진해일1 (최병호 등, 2002)	가상 지진해일2 (農林水産省構造改善局 등, 1996)
Lon(°E)	138.84	139.02	137.5	137.77
Lat(°E)	40.21	40.54	38.3	38.5
H(km)	2	3	1	-
$\theta$ (°)	22	355	23	30
$\delta$ (°)	40	25	36	35
$\lambda$ (°)	90	80	90	90
L(km)	40	60	140	210
W(km)	30	30	50	80
u(cm)	760	305	500	820
선정이유				
1983년 지진해일	동해안에서 발생하는 지진해일의 기준이 될 수 있는 사상			
가상 지진해일1	일반적으로 공백역에서 선정되는 지진해일 중 포항신항에 가장 큰 영향을 미칠 것으로 예상			
가상 지진해일2	지진해일의 위험성을 고려하여 4성청에서 제시한 초대형 규모의 지진해일에 대한 검토			

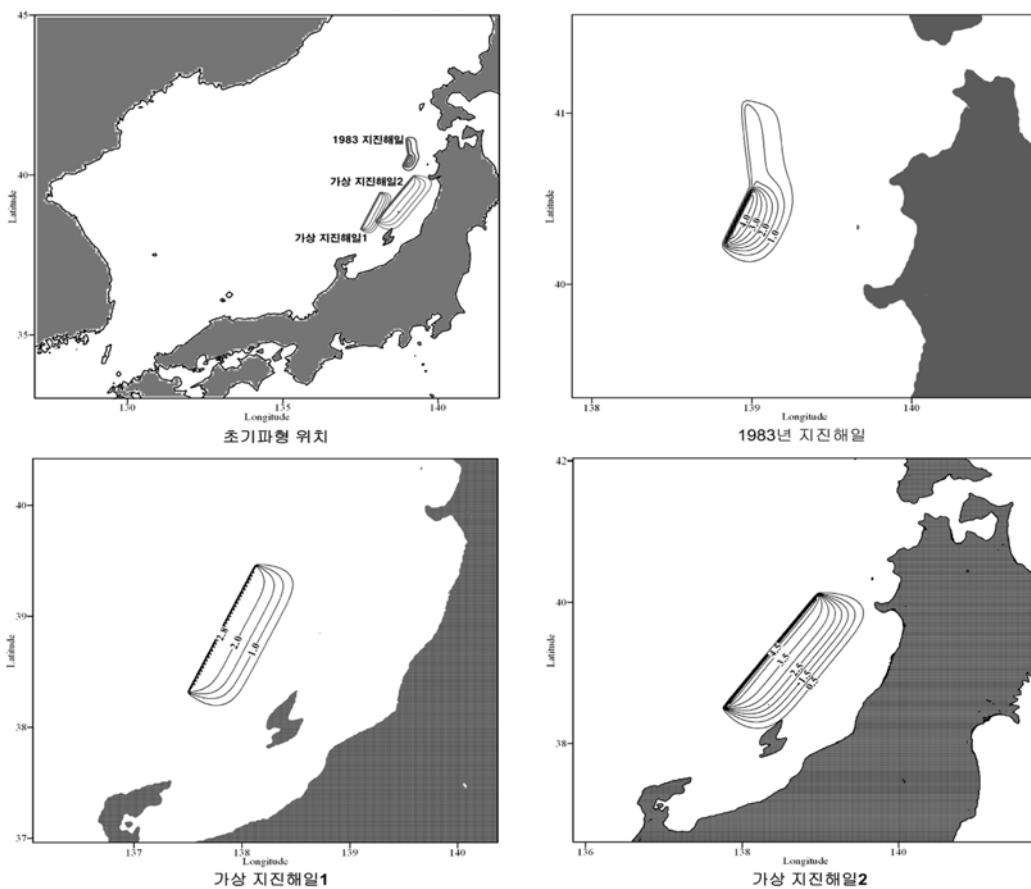


그림 2. 대상 지진해일의 초기파형 (단위: m)

### 3.2 계산영역

일본 서해안 지역에서 발생하는 지진해일을 해석하기 위해서는 동해 전체를 계산 영역으로 포함해야 한다. 그러나, 동해 전체를 하나의 영역으로 구성할 경우 결과의 정확성도 떨어질 뿐만 아니라 계산시간이 너무 오래 걸려 실제 적용하기에는 어려움이 있다. 따라서 격자 크기가 서로 다른 몇 개의 영역으로 나누어 수치격자를 구성하였으며, 각각의 영역을 연결하기 위해 동시격자접속기법을 적용하였다(이호준 등, 1999). 즉, 포항신항 부근과 같이 정확한 결과가 필요한 영역

에 대해서는 세밀한 격자를 이용하였고, 상대적으로 자세한 묘사가 필요치 않은 영역에 대해서는 격자크기를 크게 하여 수치모의의 효율성을 높였다.

각 영역을 그림 3에 나타내었으며, 영역별 세부조건을 표 2에 나타내었다.

### 3.3 수치모형 적용성 검토

포항신항에 대한 본격적인 지진해일 수치모의에 앞서 본 연구에 사용된 수치모형의 현장 적용성을 검토하기 위하여

1983년 동해 중부 지진해일에 의한 포항신항에서의 자유수면 변위를 계산하여 당시 검조소의 지진해일 관측기록과 비교하였다. 자유수면변위는 영역 F에서 그림 4에 표시된 검조소 위치에서 계산하였다. 그림 4는 1983년 당시의 포항신항 검조소 위치를 나타내며, 그림 5는 검조소의 관측기록과 수치모의 결과를 비교한 것이다.

그림 5를 보면 검조소 위치에서 계산된 최대파고는 약 0.4 m로 관측기록보다 약간 높은 값을 나타냈다. 또한 관측기록을 보면 지진해일에 의한 해수면 상승효과가 오랫동안 지속된 것을 알 수 있는데 이는 포항신항이 안으로 움푹 파인 만과 같은 지역에 위치해 있어서 반사파의 영향을 많이 받았기 때문인 것으로 판단된다. 전체적으로 시간에 따른 위상이나 최대파고가 관측기록과 잘 일치하는 양상을 보였다.



그림 4. 포항신항 검조소 위치 (1983년)

### 3.4 포항신항의 지진해일에 의한 영향 검토를 위한 평가요소

해안 시설물의 지진해일 검토에 있어 가장 중요한 요소는 지진해일에 의한 최대 처오름높이와 최저 처내림높이다. 최대 처오름높이는 지진해일의 최대 침투높이와 지진해일 엄습 시 해안선 높이와의 차이로 결정되며, 이를 통해 항내의 범람여부 및 범람구역을 확인할 수 있다. 또한, 포항신항에는 2개의 취수구가 있는데 배후공업단지에 필요한 공업용수를 취수하는 곳이다. 만약 이곳에서 지진해일로 인한 처내림 현상으로 인해 취수가 중단되는 사태가 발생한다면 큰 피해를 입을 수 있으므로 이에 대한 검토도 반드시 필요하다. 따라서 지진해일이 포항신항에 미치는 영향을 검토하기 위해 포항신항 계류부에서의 지진해일에 의한 최대 처오름높이 및 취수구 앞에서의 최저 처내림높이를 계산하였다. 그림 6에 포항신항의 중요 검토 지점을 표시하였고, 지점별 높이를 표 3에 나타냈다.

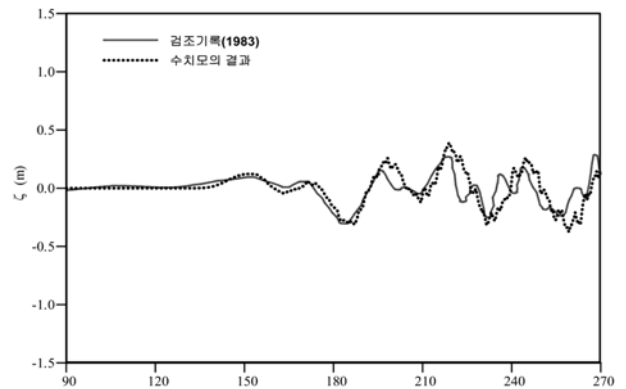


그림 5. 관측기록과 수치모의 결과 비교 (1983년 지진해일)

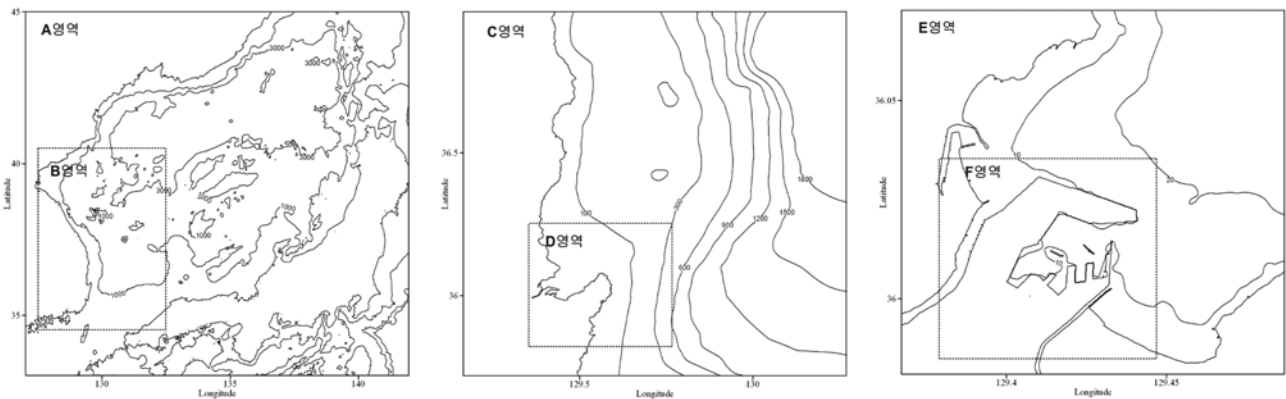


그림 3. 수치모의 대상영역

표 2. 각 계산 영역별 세부조건

구분	영역 A	영역 B	영역 C	영역 D	영역 E	영역 F
격자간격 (sec)	60	20	6.67	2.22	0.7407	0.2469
시간간격 (sec)	3	1	0.3333	0.1111	0.03704	0.03704
격자수	900 × 931	925 × 1408	601 × 851	721 × 823	583 × 553	982 × 946
육지경계조건	완전반사	완전반사	완전반사	완전반사	이동경계	이동경계
외해경계조건	자유투과	동시격자접속	동시격자접속	동시격자접속	동시격자접속	동시격자접속
모형	선형모형	선형모형	선형모형	선형모형	비선형모형	비선형모형

#### 4. 수치모의 결과

##### 4.1 최대 처오름높이

지진해일에 의한 최대 처오름높이를 계산하여 포항신항의 범람여부를 확인하였다. 그림 7과 8에 각각 1983년 지진해일과 가상 지진해일1에 의한 포항신항에서의 최대파고 분포를 나타내었다.

그림 7과 8을 보면 1983년 지진해일에 의한 최대 처오름높이는 0.4~0.6 m, 가상 지진해일1에 의한 최대 처오름높이는 1.6~1.9 m로, 두 경우 모두 1 m 이상의 범람 여유고를 보였다. 가상 지진해일1에 의한 최대파고 분포가 1983년 지진해

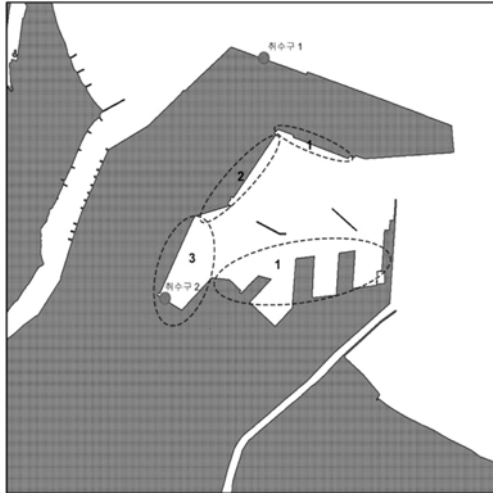


그림 6. 포항신항의 중요 검토 지점

표 3. 취수구 및 항구의 높이

구분	높이 (m)	
포항신항 계류부	1	3.20
	2	3.18
	3	3.50
취수구 1	-3.70	
취수구 2	-3.00	

※기준높이- DL(±) 0 m

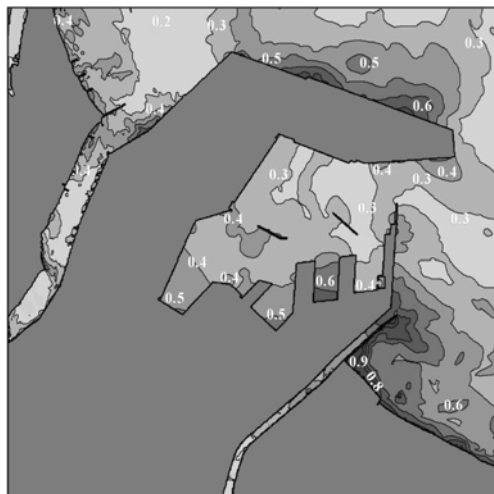


그림 7. 최대파고 분포 (1983년 지진해일, 단위: m)

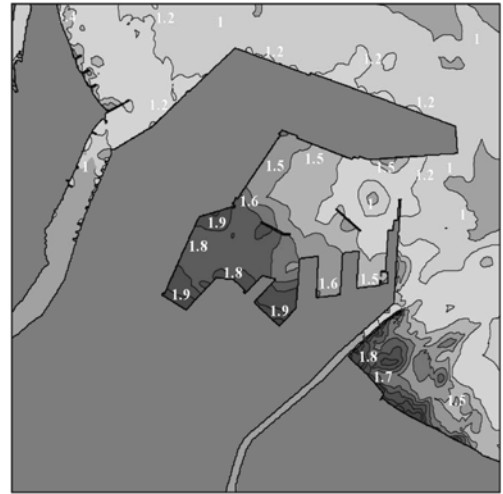


그림 8. 최대파고 분포 (가상 지진해일1, 단위: m)

일에 비해 높게 나타났는데 이는 가상 지진해일1의 진앙위치가 1983년 지진해일에 비해 포항신항에 더 가깝고 초기파형이 가지고 있는 위치에너지도 더 크기 때문인 것으로 보인다.

1983년 지진해일은 동해안의 지진해일 검토에 있어 기준이 될 수 있는 사상이고, 가상 지진해일1은 동해안에서 일반적으로 많이 선정되는 가상 지진해일 중에서 포항신항에 가장 큰 영향을 미칠 것으로 예상되는 안이므로 포항신항은 동해안에서 발생할 수 있는 지진해일에 대해 비교적 안전하다고 볼 수 있다. 그러나 위에서도 언급했듯이 지진해일에 의한 피해가 한번 발생하면 막대한 경제적, 인명적 손실을 입을 수 있으므로 가상 지진해일2와 같은 엄청난 규모의 지진해일에 대해서도 검토해 볼 필요가 있다. 그림 9에 가상 지진해일2에 의한 최대파고 분포를 나타내었다.

그림 9를 보면 가상 지진해일2에 의한 최대 처오름높이는 3.4~4.0 m로 포항신항 선착장 대부분은 범람피해를 입을 것으로 나타났다. 선착장에는 작업 인부가 많고 선적물품들이 산적해 있어 특별한 대비가 없는 상태에서 이러한 지진해일이 급습하면 막대한 피해가 발생할 우려가 있으므로, 피해를



그림 9. 최대파고 분포 (가상 지진해일2, 단위: m)

최소화하기 위한 방안을 마련할 필요가 있다. 인명피해 방지를 위한 가장 경제적이면서 효과적인 방법은 경보체계를 구축한 후, 실제 지진해일의 엄습이 예상될 때 위험지역으로부터 재빨리 대피하는 것이다. 따라서 적절한 대피경보시스템을 구축할 필요가 있으며 이러한 대피경보시스템은 폭풍해일과 같은 다른 재해 발생 시에도 유용하게 사용될 수 있을 것이다. 또한, 배후 공업단지와 포항신항과의 경계를 따라 지진해일의 엄습을 방지하기 위한 콘크리트 방벽을 설치한다면 주요 시설물에 대한 피해도 최소화할 수 있을 것으로 판단된다. 물론 가상 지진해일2와 같은 초대형 지진해일에 대해 완벽한 방재대책을 마련하는 것은 매우 비경제적일 수 있으므로 경제성을 고려하여 적절한 방재대책의 수준을 결정해야 할 것이다.

#### 4.2 최저 처내림높이

포항신항에는 배후 공업단지에 필요한 냉각수를 흡입하는 취수구가 2곳 존재하는데(그림 6 참조), 지진해일에 의한 수위하강으로 인해 취수가 중단되면 공장가동에 심각한 타격을 받을 수 있다. 그러므로 지진해일 수치모의 시 지진해일에 의한 최저 처내림높이가 취수구의 흡입구 높이보다 낮게 내려가는지 여부를 반드시 확인해야 한다. 이를 확인하기 위하여 취수구 위치에서의 자유수면변위를 계산하여 최저 처내림높이와 취수구 높이를 비교하였다.

그림 10~12는 포항신항 취수구 앞에서의 시간에 따른 자유수면변위를 나타낸다.

그림 10과 11을 보면 1983년 지진해일에 의한 최저 처내림높이는 취수구 1과 2에서 각각 -0.5 m와 -0.4 m로 나타났으며, 가상 지진해일1에 의한 최저 처내림높이는 각각 -1.1 m와 -1.4 m로 나타나, 두 경우 모두 취수에 큰 영향을 미치지 않을 것으로 나타났다. 반면에, 그림 12를 보면 취수구 2에서 가상 지진해일2에 의한 최저 처내림높이는 -3.5 m로 짧은 시간이지만 취수에 문제가 발생할 것으로 나타났다.

### 5. 결 론

본 연구에서는 지진해일이 포항신항에 미치는 영향을 알아보기 위하여 모두 세 가지 지진해일에 대해 수치모의를 수행하였으며, 최대 처오름높이로 인한 범람여부와 최저 처내림높이로 인한 취수 가능여부에 초점을 맞추어 수행하였다.

본 연구에 사용된 수치모형은 1983년 지진해일 당시의 포항신항 관측기록과 계산된 값을 비교하여 적용성을 검토하였으며, 수치모의 결과를 표 4에 정리하여 나타내었다. 수치모의는 약최저저조위를 기준으로 수행하였으며, 만조시 지진해일이 발생한다면 전체적으로 좀 더 높은 수위상승이 나타날 것이다. 포항신항에서의 평균해수면과 약최저저조위는 약 12.5 cm의 조위차이를 보이므로 만조시에는 수위가 약 30 cm 더 상승할 것이다.

수치모의 결과 동해에서 발생할 수 있는 최악의 지진해일 중 하나인 가상 지진해일2를 제외하고는 포항신항은 지진해일에 의해 큰 피해를 입지 않을 것으로 나타났다. 그러므로

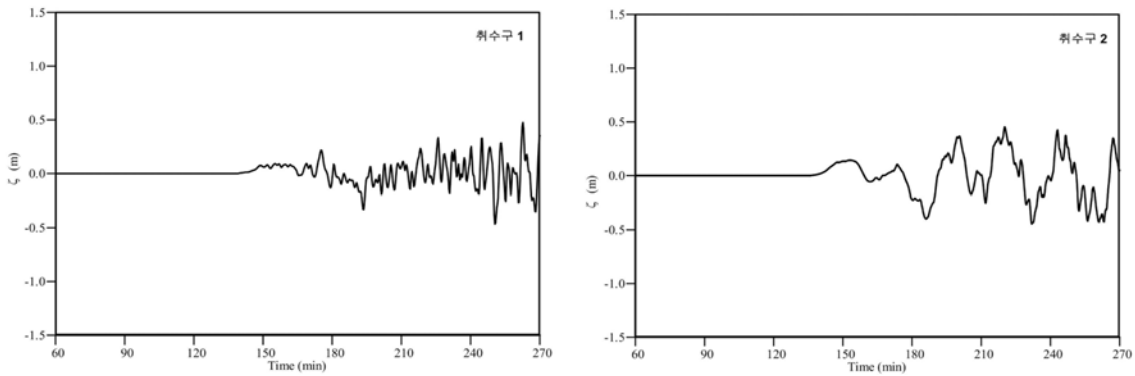


그림 10. 취수구 앞에서의 자유수면변위 (1983년 지진해일)

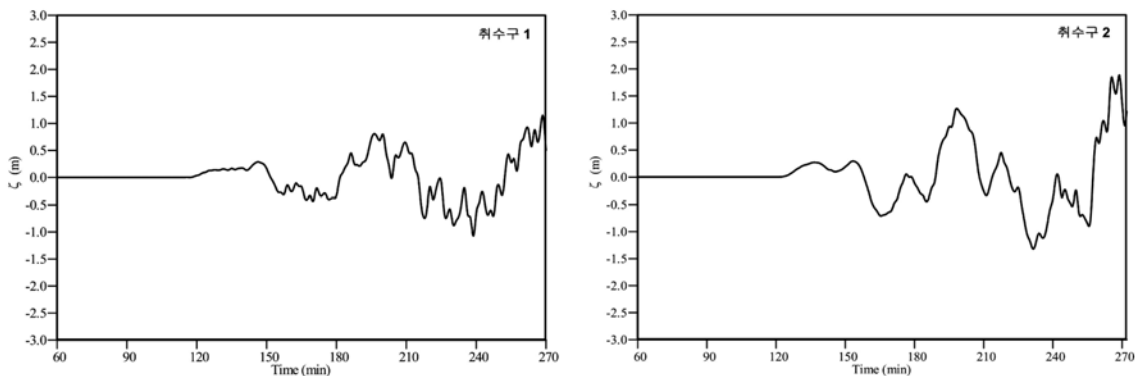


그림 11. 취수구 앞에서의 자유수면변위 (가상 지진해일 1)

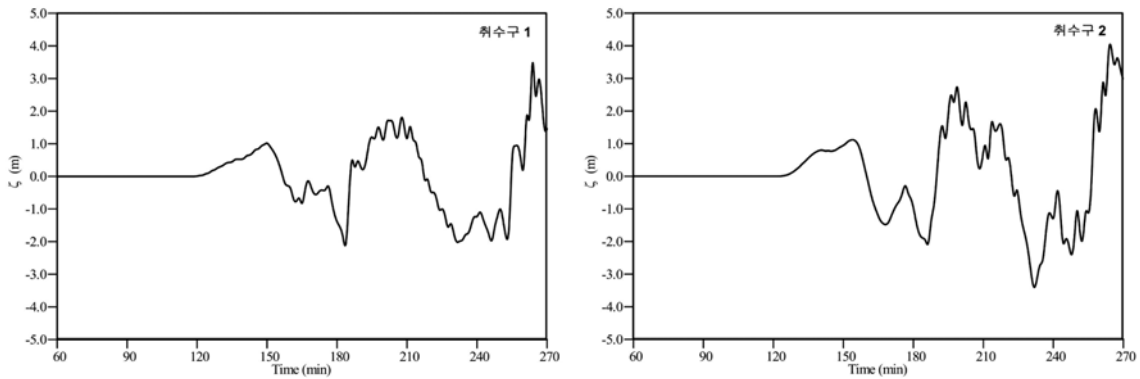


그림 12. 취수구 앞에서의 자유수면변위 (가상 지진해일2)

표 4. 포항신항 지진해일 수치모의 검토 결과

비고		1983년 지진해일	가상 지진해일1	가상 지진해일2
최대 처오름높이		0.4 m~0.6 m	1.6 m~1.9 m	3.4 m~4.0 m
범람 여유고		2.5 m 이상	2 m 이상	범람발생
취수구 1	최저 처내림높이	-0.5	-1.1	-2.0
	취수 여유고	3.2	2.6	1.7
취수구 2	최저 처내림높이	-0.4	-1.4	-3.5
	취수 여유고	2.6	1.6	-

포항신항은 동해에서 발생하는 지진해일에 대해 상당히 안전한 지역으로 볼 수 있다. 하지만 지진해일의 파괴성을 감안한다면 발생할 수 있는 최악의 지진해일에 대해서도 충분히 고려하여 이에 대한 대비책을 마련해야 할 것이다. 방재대책은 크게 인명피해를 방지하기 위한 대책과 시설물을 보호하기 위한 대책으로 구분할 수 있는데 지진해일의 경우 보통 인명피해 방지에 중점을 두고 방재대책을 마련한다. 하지만 포항신항과 같이 배후에 중요한 시설물들을 두고 있는 경우 시설물에 대한 방재대책도 같이 마련해야 할 필요가 있다. 인명피해 방지를 위해서는 그림 9의 결과를 바탕으로 예상범람구역을 설정한 후 이를 토대로 경보체계를 구축하는 것이 가장 효율적이며, 시설물 보호를 위해서는 포항신항과 배후 공업단지의 경계를 따라 콘크리트 방벽 등을 설치하여 배후 공업단지를 보호해야 할 것이다. 물론, 전체적인 방재대책의 수준은 경제적, 사회적 요건을 충분히 고려하여 결정되어야 할 것이다.

일본 서해안 지역에 분포되어 있는 지진공백역에서는 언제든 지진해일을 일으킬 수 있는 해저지진이 발생할 가능성이 있고 이러한 지진해일이 발생할 경우 우리나라 동해안에도 피해가 발생할 것으로 예상되고 있다. 그러므로 우리나라 동해안은 분명히 지진해일에 대해 안전한 지역이 아니며, 특별한 대비가 없는 상태에서 지진해일이 급습한다면 막대한 인명 및 재산피해를 감수해야 할 것이다. 그럼에도 불구하고 현재 동해안의 주요항에 대한 지진해일 검토는 미흡한 실정이다. 향후 추가적인 연구를 통해 동해안의 주요항에 대한 자세한 지진해일 영향 분석이 이루어진다면 지진해일 방재대책을 수립하는데 많은 도움이 될 것이다.

## 감사의 글

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

## 참고문헌

- 이호준, 김경희 (1999) 동해안에서의 지진해일 재해저감을 위한 연구(I). NIDP-99-07, 국립방재연구소.
- 인태훈, 이봉희, 조대회, 조용식 (2003) 범람 모의를 위한 이동경계조건. 한국수자원학회 논문집, 한국수자원학회, 제36권, 제6호, pp. 937-947.
- 조용식, 윤태훈 (1996) 경사지형에서의 이동경계조건. 대한토목학회 논문집, 대한토목학회, 제16권, 제2-1호, pp. 73-81.
- 최병호, 홍성진, 이체신 (2002) 공백역 지진에 의한 동해안의 지진해일 산정. 한국지진공학회 논문집, 한국지진공학회, 제6권, 제3호, pp. 73-86.
- 農林水産省構造改善局・農林水産省水産廳・運輸省港灣局・建設省河川局 (1996) 日本海東縁部地震津波防災施設整備計画調査.
- Cho, Y.-S. (1995) *Numerical Simulations of Tsunami Propagation and Run-up*. Ph.D. dissertation, Cornell University.
- Cho, Y.-S., and Sohn, D.-H. (2007) Practical modified scheme of linear shallow-water equations for distant propagation of tsunamis. *Ocean Engineering*, Vol. 34, No. 8, pp. 1769-1777.
- Ichikawa, Y. (1994) Remaining earthquake vacant region. *Monthly Ocean*, Vol. 7, pp. 102-104.
- Imamura, F., and Goto, C. (1988) Truncation error in tsunami simulation by the finite difference method. *Coastal Engineering in Japan*, Vol. 31, pp. 245-263.
- Kajiura, K., and Shuto, N. (1990) Tsunami. *The Sea*, Edited by B. Le Mehaute, and D.M. Hanes, Vol. 9, Part B, pp. 395-420.
- Liu, P.L.-F., Cho, Y.-S., Yoon, S.B., and Seo, S.N. (1994) Numerical simulations of the 1960 Chilean tsunami propagation and



inundation at Hilo, Hawaii. *Recent Development in Tsunami Research*, Edited by M.I. El-Sabh, Kluwer Academic Publishers.

Shyy, W. (1985) A study of finite difference approximations to steady-state, convection-dominated flow problems. *Journal of Computational Physics*, Vol. 87, pp. 415-438.

Tohoku University. (1995) Observation of continuous crustal change

in Tohoku area. *Report of Disaster Control Research Center*.

◎ 논문접수일 : 08년 05월 07일

◎ 심사의뢰일 : 08년 05월 07일

◎ 심사완료일 : 08년 06월 17일