

## 임원에서의 1983년 동해 중부 지진해일 수치모의:

### 2. 임원항에서의 범람

#### Numerical Simulations of 1983 Central East Sea Tsunami at Imwon:

#### 2. Run-up Process at Imwon Port

이 호 준\* / 조 용 식\*\* / 김 경 희\*\*\*

Lee, Ho Jun / Cho, Yong Sik / Kim, Kyung Hee

---

#### Abstract

The run-up process of the 1983 Central East Sea Tsunami along the Eastern Coast is numerically investigated in this study. A finite difference numerical model based on the nonlinear shallow-water equations is employed. The maximum run-up height at Imwon is predicted and compared to field observation. A good agreement is observed. A maximum inundation map is made based on the maximum run-up heights to accentuate hazards of tsunami flooding.

**keywords** : tsunami, run-up, inundation, nonlinear shallow-water equations, inundation map

---

#### 요 지

동해에서 발생한 1983년 지진해일의 동해안에서 초오름 과정을 수치해석하였다. 비선형 천수방정식에 근거한 유한차분 수치모형을 이용하였으며, 임원에서 최대 초오름높이를 예측하였다. 예측된 결과는 현장 관측자료와 비교적 잘 일치하였다. 지진해일 범람 위험을 강조하기 위해 초오름높이를 근거한 시험적인 최대범람도를 제작하였다.

**핵심용어** : 지진해일, 초오름, 범람, 비선형 천수방정식, 범람도

---

\* 국립방재연구소 연구관

Senior Researcher, National Institute for Disaster Prevention, Seoul 121-719, Korea  
(E-mail : leehojun@mogaha.go.kr)

\*\* 교신저자, 한양대학교 공과대학 토목공학과 교수

Corresponding Author, Associate Professor, Department of Civil Engineering, Hanyang University, Seoul 133-791, Korea (E-mail : ysc59@hanyang.ac.kr)

\*\*\* 국립방재연구소 연구원

Researcher, National Institute for Disaster Prevention, Seoul 121-719, Korea  
(E-mail : nidp14@mogaha.go.kr)

## 1. 서 론

우리나라에 내습했던 지진해일 중 1983년 동해 중부 지진해일은 가장 큰 피해를 유발하였다. 물론, 그 이전부터도 동해에서의 지진해일 내습과 피해가 기록되어 오고 있었지만, 동해안 중부지역에 위치한 임원항에서 1983년의 지진해일이 초래한 피해는 국내에서 지진해일을 치명적인 자연재해로 인식하게 된 직접적인 계기가 되었다. 또한, 이로부터 동해에서의 지진해일의 발생, 전파, 처오름, 현지조사 등의 연구도 본격적으로 수행되기 시작하였다.

한국전력공사(1991)와 최와 이(1993)의 연구는 동해안에 내습하는 지진해일의 정량적인 평가에 관한 연구로서 선형 또는 비선형 장파이론을 이용한 수치계산결과를 제시하고 있다. 또한, Choi 등(1993)에 의해 지진해일의 거동이 컴퓨터 애니메이션에 의해 가시화 되는 등 물리적 현상의 이해와 대책수립을 위한 실무적인 성격의 연구가 수행되었다. 최근, 이 등(1997)은 동해안에 도달하는 지진해일의 전파에 있어서 굴절계산의 중요성에 착안한 공간격자간격의 선정기준을 제시하여 수치계산시의 지침을 마련하였으며, 이러한 사항들을 바탕으로 이 등(1999)의 연구에 의해 동해안에서의 지진해일 거동이 종합적으로 정리되었다.

동해 중부 지진해일로 인한 최대 피해지역으로 보고된 임원항의 피해사례는 우리나라의 지진해일 피해에 대한 대표적인 예로 자주 인용되고 있으며, 해일내습에 관한 과정 역시 약 20여년간 단편적으로 연구되어 오고 있다. 실제로 이 피해는 지진해일에 대한 위험성 인식과 대책마련의 계기가 되었고, 사망자 발생, 해일에 의한 대형 유류탱크의 이동, 항내의 선박들이 육지로 떠밀려 오른 사실만으로도 그 세기를 알 수 있으며, 태풍해일 등의 여타 해안 재해현상과 함께 대형 자연재해로 기록되었다(추, 1987).

동해 중부 지진해일에 의한 연안에서의 해일높이를 비교해보면, 일본을 제외한 동해 전역에서 평균 1m 내외의 해일이 도달하였음에도 불구하고 임원항에 4m가 넘는 해일범람이 일어난 사실은(都司 등, 1984), 우리나라 연안방어의 정책면에서도 중요한 문제라고 판단된다. 동해 중심에 위치한 대화퇴에서의 렌즈효과로 설명되는 이 현상은 천해역으로의 지진해일 에너지 집중과 장파의 굴절현상에 기인함이 제시된 바 있다(이 등, 1997).

1983년 지진해일이 내습한 직후 임원항에서의 피해

는 백(1983)에 의해 최초로 보고되었다. 백은 동해 전역에서 발생한 지진해일 기록을 정리하였는데 주로 검토기록에 나타난 정량적인 해일높이를 소개하고 있다. 지진해일 연구에 있어서 해일높이 관측결과는 계산의 정확도를 가름하는 기준이 되는 동시에 지진해일의 위험도를 판단할 수 있는 자료이지만, 당시의 해일기록은 피해사실이 주가 되었고 해황이나 해일높이에 대한 기록은 많지 않다. 또한, 1993년 북해도 남서 외해에서 발생한 지진해일 내습의 경우 국내 조사단이 결성되어 동해안 각지에 대한 해일높이를 조사한 기록이 있는 반면(쓰나미조사단, 1993), 1983년의 경우에 대해서는 관측활동은 이루어지지 못했다. 그러한 이유로 국립방재연구소(1999)는 1983년에 내습했던 동해안 각지의 해일높이를 재추적하였다. 특히, 해일내습 당시의 상황을 목격한 주민을 대상으로 실시한 설문조사를 통해 해일 범람의 과정을 조사하여 발표하였다.

지진해일이 1983년 임원항에 내습한지 근 20년에 이르고 있는 동안, 임원항에서의 지진해일 범람에 대한 정량적 평가가 다수 수행되어 왔다. 최 등(1993)은 임원항 부근에서 이미 산정된 수위의 시계열값을 범람 계산 수치모형의 외해경계부에 강제 입력하여 범람을 산정한 바 있다. 최근에는 수치모형의 개발, 컴퓨터의 발전으로 임원항의 실제 스케일과 형상에 더욱 근사하게 작성된 지형을 이용하여 지진해일의 전파와 범람을 정량적으로 모의할 수 있게 되었다.

이러한 최근의 연구환경을 바탕으로 본 연구에서는 실제로 지진해일 내습시에 큰 피해가 있었고, 이에 대한 위험성이 지적되고 있는 임원항에서의 1983년 동해 중부 지진해일 범람과정을 최소 1.5m 간격의 지형자료를 이용하여 수치모의하였다. 그 결과를 통해 임원항에서의 지진해일 범람과정을 설명하고, 현지조사를 통해 얻은 결과와 비교하였다. 이로부터 동해 연안의 타 지역과 비교하여 임원항에서 특히 지진해일이 높았던 원인을 분석하였고, 해석 결과를 방재 실무적인 측면에서 사용하기 위한 목적으로 지진해일 범람도를 시범적으로 제작하였다.

## 2. 임원항에서의 지진해일 범람

지진해일 전파과정을 수치계산으로 재현하는데 가장 중요한 요소는 해일이 전파되어 가는 해저지형의 영향을 들 수 있다. 일본의 서해안에 파원을 두고 전파해오는 지진해일은 파원의 위치로부터 대화퇴를 이은 연장선 방향으로 에너지 분기가 이루어지는 것으로 알려

지고 있다(이 등, 1999). 1983년 동해 중부 지진해일의 파원은 일본 秋田(아키타)현 외해로 에너지가 분기되는 위치는 동해안 중심부에 해당되어 이 지역에 주위보다 높은 해일이 도달한 것을 알 수 있다. 또한, 1993년 북해도 남서 외해 지진해일은 근래 동해에서 발생한 해일 중 가장 큰 규모의 사상이었으나, 우리나라 동해안에 미치는 영향이 비교적 적었던 것도 에너지 분기방향과 관련된 것으로 판단된다.

동해안의 해저 지형분포는 직립 안벽의 형태가 많고, 해안선으로부터 10km 이내에 수십 수 백 미터 이상의 심해가 분포한다. 반면에, 임원이 위치한 동해안 중심부 해안에는 천해역이 발달해 있어, 분기된 지진해일 에너지가 집중되기 쉽고, 천수효과에 의해 증폭되기 쉬운 조건을 갖추고 있는 지역이기도 하다. 실제 과거에 수행된 수치계산 결과를 보더라도 지진해일의 에너지가 임원 해역에 집중되고 있는 현상을 볼 수 있다(한국전력공사, 1991; 최 등, 1993; 이 등, 1999).

임원항은 강원도 삼척군에 위치한 어항으로 서측 방파제를 따라 내륙으로 이어지는 임원천이 흐르고 있다. 또한, 울릉도를 왕래하던 여객선 터미널이 현존하고 있다. 그림 1은 현재의 임원항의 배치도를 나타내고 있지만 해일 내습 당시와는 많은 차이가 있다. 가장 큰 차이는 접안시설 등 항구시설이 모두 신축되었다는 점을

들 수 있고, 동측과 서측의 방파제 또한 증축되어 그 높이와 길이가 당시와는 다르다.

백(1983)의 지진해일 내습에 관한 보고에서는 임원항에서의 지진해일 거동에 관해서는 상세하게 기술하지 않고, 최고수위가 관측된 최대 피해지역이라 보고하고 있다. 국립방재연구소(1999)는 해일내습 후 16년이 지난 1999년 지진해일 처오름높이를 조사하였다. 지진해일의 흔적이 사라진 상태이기 때문에 당시의 상황을 알고 있는 현지 주민의 기억을 근거로 조사를 수행하였다. 현재의 임원항구 및 연안에는 새로운 시설물과 접안시설이 개축되어 있다. 그러나, 항구 주변의 일부 상가와 식당 등의 건물들은 과거의 원형이 유지되어 있고, 구 가옥의 기초를 남겨둔 채 도로나 건물의 개축이 이루어졌기 때문에 침수심을 측정하기 위한 기초부의 지면 높이는 해일 내습 당시와 같다. 또한, 과거의 침수흔적이 그대로 보존되어 있는 곳도 있었다.

현지 조사와 과거 기록을 통해 조사된 해일 내습 당시의 상황을 설명하면 다음과 같다. 우선 모래사장 위에 콘크리트 기초로 설치되어 있던 높이 7m의 오일탱크가 13만 리터의 경우와 함께 기초로부터 완전히 이탈하여 약 10m 정도 이동한 기록이 있으며, 유출된 경우만도 1억원 이상의 손실이 있었다고 한다(추, 1987). 아울러, 항구에 인접해 있던 임원 1리의 시가지에서 가

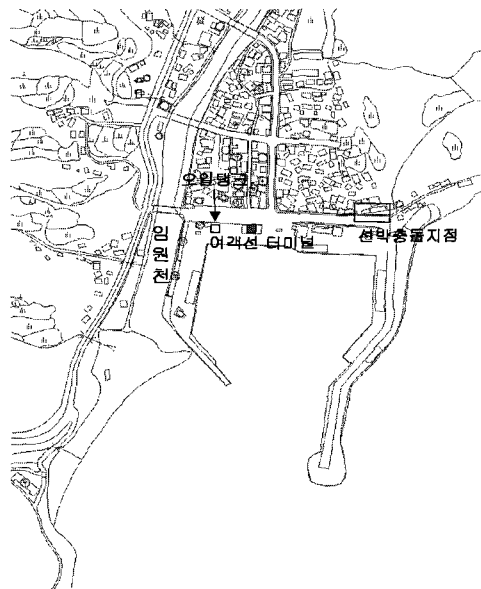


그림 1. 임원항 배치도

옥 22호가 부분 파괴되었고, 이중 7 가구가 침수되었다. 임원항에서는 이외에도 선박 17척이 유실되고, 12척이 침몰되었으며 15척이 파손되는 등 총 51척의 선박피해가 있었다. 또한, 어구, 어망, 공공시설 등 피해를 합하여 약 2억 5천만원의 재산피해를 기록하였다.

임원항의 현지 조사를 통해 과거의 지진해일의 흔적을 추적하였다. 주민들로부터의 설문조사를 통해 당시의 해황을 추측하였고, 이를 통해 항구 내에 약 4m 정도의 해일이 내습했음을 알 수 있었다(국립방재연구소, 1999). 조사에 의하면 지진해일 내습후 항내 선박이 동측방파제로 떠밀려 올랐을 때, 선박과 충돌한 건물의 슬라브 난간이 완전히 파손되었다. 그 후 슬라브 난간은 원상대로 복원되었지만, 콘크리트로 원형을 복원한 후에도 색을 칠하지 않아 현재까지 당시의 피해흔적을 남기고 있다. 슬라브의 높이는 3.59m였고, 선박이 떠올랐을 것을 예상할 경우 이보다 약 1m 이상 높은 파도가 있었을 것으로 예상된다. 위의 결과를 종합해 보면, 항내와 육지로 내습했을 때의 지진해일 높이는 약 4m 이상에 달했음을 알 수 있었다.

### 3. 지진해일 범람 수치모형

원거리로부터 전파되어 오는 지진해일의 거동은 선형 Boussinesq 방정식으로 설명된다. 계산 결과는 방정식 내에 있는 고차의 분산항을 해석하는 수치해법에 따라 그 정확도가 달라지는데, 대양을 횡단하는 지진해일 전파과정을 계산하기 위해 선형 Boussinesq 방정식을 직접 적용하는 것은 계산 양에 있어서 비경제적인 일이다(Imamura and Goto, 1988). 이에 대한 대안으로 선형 Boussinesq 방정식을 천수 방정식으로 대체하고, 수치모의에 있어서 적정의 시간, 공간격자간격을 사용하면 물리적 분산항을 수치분산항으로 대신할 수 있게 되어 같은 효과를 얻을 수 있다(Cho and Yoon, 1998). 따라서, 수치계산에 있어서 지진해일의 운동은 비선형 천수이론으로도 설명될 수 있다.

천수이론은 상대수심이 작은 파동에 적용되는 근사이론으로, 일반적으로 물입자의 연직방향 가속도는 중력가속도와 비교하여 무시될 수 있고 물입자 운동궤도의 곡률이 충분히 작다. 결과적으로 물입자의 수직방향으로의 운동은 압력분포에 영향을 주지 않게 되고, 압력은 정수압으로 가정한다. 또, 물입자의 수평속도는 연직방향으로 일정하다. 이러한 가정들에 기초한 파동의 운동은 다음의 천수이론으로 표현된다.

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial [u(h+\eta)]}{\partial x} + \frac{\partial [v(h+\eta)]}{\partial y} = 0$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + g \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{\tau_x}{\rho} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + g \frac{\partial \eta}{\partial y} + \frac{\tau_y}{\rho} = 0$$

여기서  $x, y$ 는 수평방향좌표,  $t$ 는 시간,  $h$ 는 정수심,  $\eta$ 는 정수면상에서의 수직 변위,  $u, v$ 는  $x, y$  방향의 물입자의 속도,  $g$ 는 중력가속도,  $\tau_x/\rho, \tau_y/\rho$ 는  $x, y$  방향의 해저면 마찰이다. 해저면의 마찰은 Manning의 식을 사용하여 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\frac{\tau_x}{\rho} = \frac{gn^2}{D^{1/3}} u \sqrt{u^2 + v^2}, \quad \frac{\tau_y}{\rho} = \frac{gn^2}{D^{1/3}} v \sqrt{u^2 + v^2} \quad (2)$$

여기서,  $D(=h+\eta)$ 는 전수심이고  $n$ 은 Manning의 조도계수이다.

$x, y$  방향의 선유량  $M, N$ 은 유속  $u, v$ 를 이용하여 다음과 같이 표현된다.

$$M = u(h+\eta) = uD, \quad N = v(h+\eta) = vD \quad (3)$$

이러한 변수들을 이용하여 해저면부터 수표면까지 식 (1)을 적분하면 다음의 비선형 천수이론을 얻을 수 있다. 지진해일 범람계산을 위한 천해역에서의 지진해일의 전파는 식(4)의 마찰항을 포함한 비선형 천수이론으로 설명된다.

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0$$

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{M^2}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{MN}{D} \right) \quad (4)$$

$$+ gD \frac{\partial \eta}{\partial y} + \frac{gn^2}{D^{7/3}} M \sqrt{M^2 + N^2} = 0$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{MN}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{N^2}{D} \right)$$

$$+ gD \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{gn^2}{D^{7/3}} N \sqrt{M^2 + N^2} = 0$$

방정식의 해를 구하기 위한 수치해법은 중앙차분을 이용한 Leap-Frog 해법을 이용하였고, 범람계산에 있어서 운동방정식의 비선형항에 대해서는 흐름의 방향과 차분 방향을 같도록 하는 풍상차분(upwind difference)기법을 이용하여 수치해의 안정을 고려하였다.

계산의 초기조건으로는 조석과 바람의 영향을 배제하여 계산이 시작되는 시각에서의 해수의 운동이 없는 것으로 가정한다. 해저지진으로 발생하는 해면의 융기 또는 침강에 대해서는, 단층파라미터를 이용하여 해저면 변형을 함수화하고(Manshinha and Smylie, 1971), 함수로부터 얻어진 값을 유한 차분 격자상에 초기과형으로 입력하였다.

외해 경계조건으로는 특성곡선법을 이용한 자유투과 조건을 이용하였다. 육지에서의 경계조건의 경우 동해안 전체를 대상으로 하는 경우는 완전반사조건을 이용하였지만, 임원항 부근의 범람계산영역에서는 지진해일의 초오름과 처내림을 고려하여 해안선을 따라 다음과 같이 이동경계조건(조와 윤, 1996)을 설정하였다. 먼저, 수면위치를 결정하기 위해 격자의 침수 여부를 식 (7)에 따라 판단한다.

$$\begin{aligned} D &= h + \eta > 0, & \text{submerged} \\ D &= h + \eta \leq 0, & \text{dry} \end{aligned} \quad (7)$$

파의 선단이 걸쳐진 두 개 격자 사이에서 침수된 격자에서의 수위를 침수된 격자의 높이와 비교하여 수위가 높을 경우에만 진행방향으로의 유량을 계산한다. 유량의 산정에 사용되는 총수심은 침수된 격자에서의 수위와 침수된 격자높이의 차로 하고, 운동 방정식을 직접 적용하였다.

경사가 급한 지역에서는 바닥마찰저항이 중요한 역할을 하지 않지만 경사가 작아지면 해안의 길이가 상대적으로 길어지므로 바닥마찰저항이 매우 중요한 역할을 할 수 있다. 따라서, 수치해석을 이용하여 처오름높이를 산정할 때는 바닥마찰을 고려하는 것이 바람직하다. 하지만 마찰항에 대해서는 양해법을 이용할 경우의 수치 불안을 배제하기 위해 음해법에 의해 해를 구하였다.

연안에 접근하는 지진해일의 거동을 상세히 계산하기 위해 1:3 격자의 세분화와 동적 연결을 수행하였다. 동적 연결은 1:3으로 세분화된 세부격자가 모격자 위에

중첩되는 경계부에서 수위와 유량을 교환하는 방법이다. 또한, 육지부에서의 범람 산정을 위해서 이동경계 조건을 이용하였다. 사용된 모형은 총 7개의 영역으로 구성되어 있고 1.1km를 시작영역으로 하여 6회의 1:3 격자 세분화를 거치면서 동적 연결계산을 수행하게 된다(표 1). 특히 임원항의 범람을 계산하기 위해 임원항 부근의 지형을 4.5m(영역 E)와 1.5m(영역 F) 격자로 작성하였고, 기존에 개발된 지진해일 수치모형(국립방재연구소, 1999)과 연결하였다.

영역 E는 항의 형태가 해상될 정도의 격자크기를 사용하여 가옥 등, 항만 구조물이 나타나지 않고, 영역 F에서는 보다 작은 격자를 이용하여 항 주변의 모든 구조물을 표현하였다. 지형정보는 삼척시가 작성한 도시계획도와 1/5,000 축척의 수치지도를 이용하였다. 수치지도가 제공하는 정보는 방파제, 항만 구조물과 더불어 각종 연안시설물, 연안 가옥들을 포함하고 있다. 하지만, 도상에서는 각 구조물의 높이가 제시되어 있지 않기 때문에 계산에서는 영역 F에서의 모든 건물높이를 4m로 가정하였다.

영역 O는 동해 전역을 포함하고 있고 영역 A부터는 한국 동해안을 대상으로 하여 해안선은 직립 안벽으로 가정하였다. 또, 격자간격 13.7m 이하인 영역 D, E, F에 대해서는 이동경계조건을 이용하여 해일의 범람과정을 계산하도록 육상의 표고를 부여하였다(그림 2).

일반적으로 천수이론을 이용한 지진해일의 범람계산시 마찰계수는 Manning의 조도계수 0.025를 사용한다. 실제로 이 조도계수는 정상상태의 흐름에 근사되어 온 값으로 부정류나 난류를 포함한 지진해일의 처오름 계산의 경우에 사용하는 것은 바람직하지 못하다. 따라서, 보다 적절한 조도계수의 설계가 요구되는 것이 현재의 과제로 남아 있다(Imamura, 1995). 본 연구에서 사용한 조도계수는 0.025를 기준값으로 채택하였고, 이 값을 여러 차례 증가시켜 기준값에 1.1부터 1.8까지 0.1 증분의 보정계수를 곱해 계산을 반복하였는데, 보정계

표 1. 각 영역에서의 계산조건

구분	영역 O	영역 A	영역 B	영역 C	영역 D	영역 E	영역 F
격자간격	1.11 km	370.0 m	123.3 m	41.1m	13.7m	4.5m	1.5m
계산시간간격	3.6 초	1.2 초	0.6 초	0.6 초	0.3초	0.3초	0.1초
격자수	1170×1170	916×970	580×955	562×490	169×235	217×337	394×394
육지경계조건	완전반사	완전반사	완전반사	완전반사	이동경계	이동경계	이동경계
외해경계조건	자유투과	동적연결	동적연결	동적연결	동적연결	동적연결	동적연결
지배방정식	선형장파	선형장파	천수이론	천수이론	천수이론	천수이론	천수이론

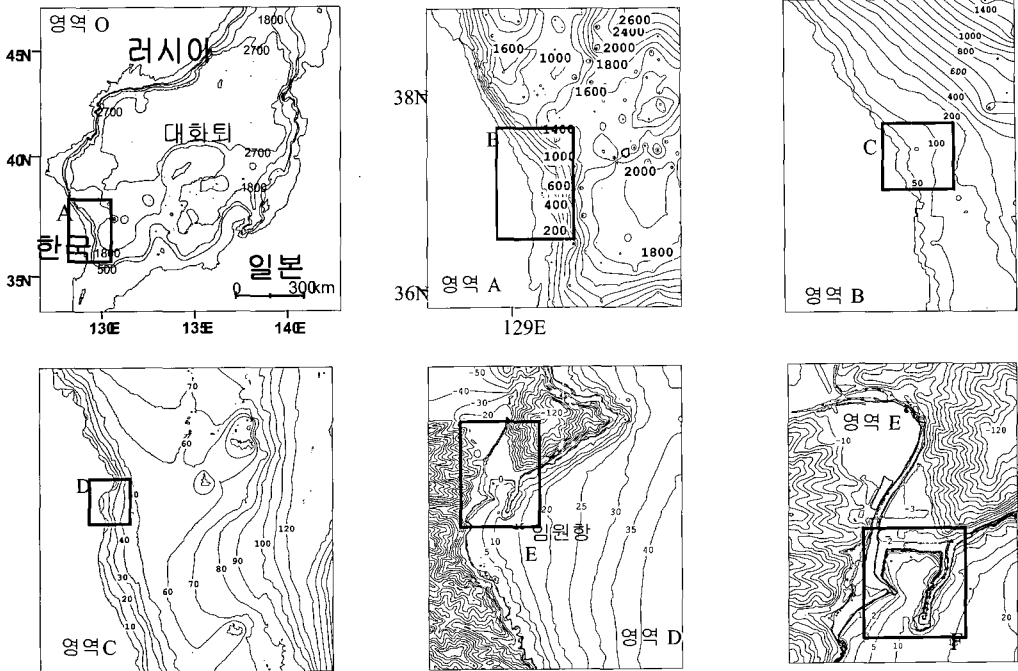


그림 2. 수치모형의 계산영역

수 1.4 이하의 경우 수치적 발산이 일어났고, 최종의 계산에 적용된 조도계수 값은 보정계수 1.6을 곱해 조도계수는 0.04를 사용하였다.

#### 4. 임원항에서의 지진해일 범람

전술한 수치모형을 이용하여 1983년 임원항에 내습한 지진해일의 거동을 계산하였다. 범람은 수치모형에 포함되어 있는 격자간격 4.5m의 E영역과 1.5m의 F영역에서 계산되었다.

그림 3은 영역 E에서 계산된 임원항의 최고 범람수위의 분포를 나타낸다. 최고 범람 수위는 항의 동측단에서 5.1m로 산정되었다. 선박이 건물 슬래브에 충돌한 지점의 관측치와 비교할 때, 슬래브 높이 3.59m에 약 1m의 여유고가 있음을 가정한다면 계산치는 타당하다고 할 수 있다.

계산된 해황의 시간변화를 보면 항구에서 지진해일의 전파양상은 복잡하게 전개된다. 해일은 동측 방파제를 시계방향으로 돌아 항내로 유입되었고, 방파제를 직접 월류하여 유입되기도 하였다. 항구의 북측에 위치하는 주택가와 상가지역의 지형정보는 지반의 높이만을 부여했기 때문에 건물과 구조물에 의한 해일 차단이 고려되지 않았고 따라서, 범람영역은 상당히 넓게 분포하

였다. 항내외로 여러 개의 크고 작은 와동류가 재현되었고, 이중 항구 중앙에 나타나는 거대한 반시계방향의 와동류가 뚜렷이 나타났다. 이는 1983년 당시 지진해일이 내습했을 때 해황을 촬영한 사진 중, 선박들이 충돌하면서 항내에서 큰 원을 그리며 회전하는 장면으로 설명되고 있다(추, 1987).

그림 4는 영역 F에서 계산된 결과로 그림의 음영부분이 범람역을 의미한다. 전술한 영역 E에서의 결과와 비교하여 다른 점을 들자면 시가지부분의 범람영역이 대폭 축소된 것을 알 수 있다. 영역 E에서는 주택지 중앙에 위치한 도로의 교차점을 지나 더 내륙까지 범람된 것으로 추정되었고, 임원천 서측의 지역은 이 현상이 더욱 두드러진다. 이는 영역 F에서의 항만 구조물과 가옥이 해수침입을 억제하였고 조도계수의 변화에도 기인한 것으로 판단된다.

도로의 북측은 상가와 가옥이 분포하는 거주지역으로, 이 지역의 전면에 위치한 가옥은 모두 침수되었고 바다에 가까운 지역은 도로전면까지 해일이 내습하였지만, 내륙 깊은 곳은 가옥 두 세 채를 지난 곳까지 침수된 것을 알 수 있다. 또한, 항구의 서측, 임원천 하구에 분포하는 모래사장의 대부분이 범람하였고 이곳의 주택지 역시 침수되었음을 알 수 있다. 이는 현장조사시의

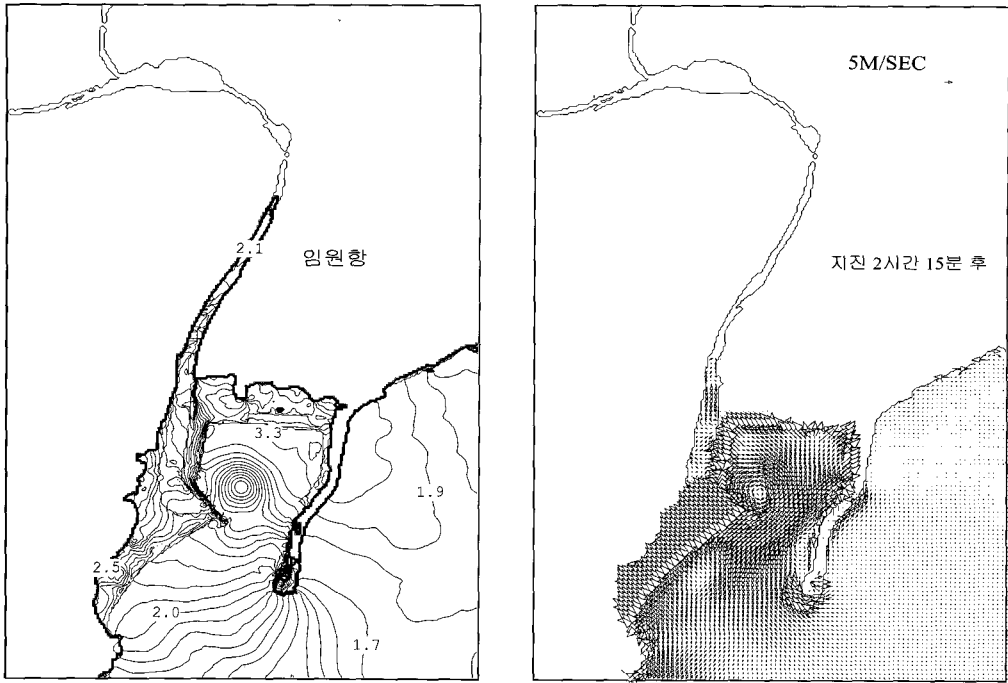


그림 3. 영역 E에서의 지진해일 최고 범람수위(왼쪽)와 유속분포( $\Delta x = 4.5m$ )

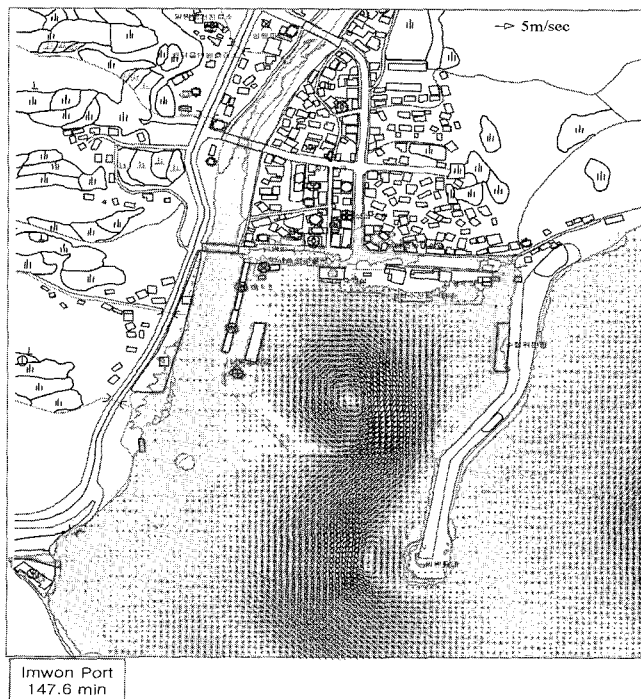


그림 4. 영역 F에서의 지진해일 범람과 해황( $\Delta x = 1.5m$ )

설문조사 결과와, 추(1987)가 제시한 당시의 해일거동이나 침수구역과 비교하여 유사한 결과를 보이고 있다.

계산결과로부터 본 당시의 해황은 3차원 동영상을 통해 보면 상세히 나타나는데, 이를 통해 임원항에 극심한 범람을 일으킨 또 다른 원인 역시 알 수 있다. 즉, 항외측의 북서측으로부터 전파되어 오는 해일이 남향의 좁은 항구 입구로 진입한 뒤 다시 항내에서 북측으로 진입하다가 부두와 충돌한다. 이때 부두로부터 반사된 파동은 항구 입구를 통해 다시 외해로 배출되지 못하고 연이어 진입되는 파동과 중첩된다. 이는 다시 항내에서 와동류를 형성하고, 해수위는 점차 상승하며 이내 육지로 쳐오르는 것을 알 수 있다. 이러한 파동의 중첩현상은 항내에 해일이 진입되는 동안 계속 발생하고 결국 해수위는 점차 높아지게 된다. 이로부터 입구를 좁게 하여 해수의 유출입을 원활히 하지 못한 항 구조상의 문제가 육상으로의 쳐오름 높이를 더욱 크게 한 큰 원인을 알 수 있다.

## 5. 지진해일 범람도 작성

계산된 결과를 이용하여 실효성 있는 지진해일 방재 대책을 위한 침수구역추정을 목적으로 지진해일 범람도를 작성하였다(그림 5).

1983년 동해 중부 지진해일을 대상으로 계산이 수행되는 동안 F영역의 각 격자점에 도달한 최고 수위를 별도로 저장하고, 이를 일정 간격으로 구역화 한 후 그 지점에서의 범람높이로 취하였다. 임원항의 범람도상에 나타난 해일높이를 상세히 설명하면, 먼저 동측 방파제를 중심으로 동측 영역에서는 0.5m의 해일이 계산되었다. 임원항 내부의 전 영역에서 2.0~3.0m의 해일이, 수협 수산물 판매장 뒷편에서는 1.0~2.0m의 해일이 추정되었으나, 항 내부의 서측단 어시장에서는 3.0~4.0m의 높은 해일이 계산되었다. 이곳은 당시 오일탱크가 위치하고 있던 곳으로 가장 큰 파력이 미친 것으로 사료된다. 태백조선소가 위치하는 항의 서측방파제 부근 역시 약 2.0~3.0m의 해일이 내습하였고 항의 서남측에 위치하는 모래사장에는 큰 해일이 내습하여 4.0m

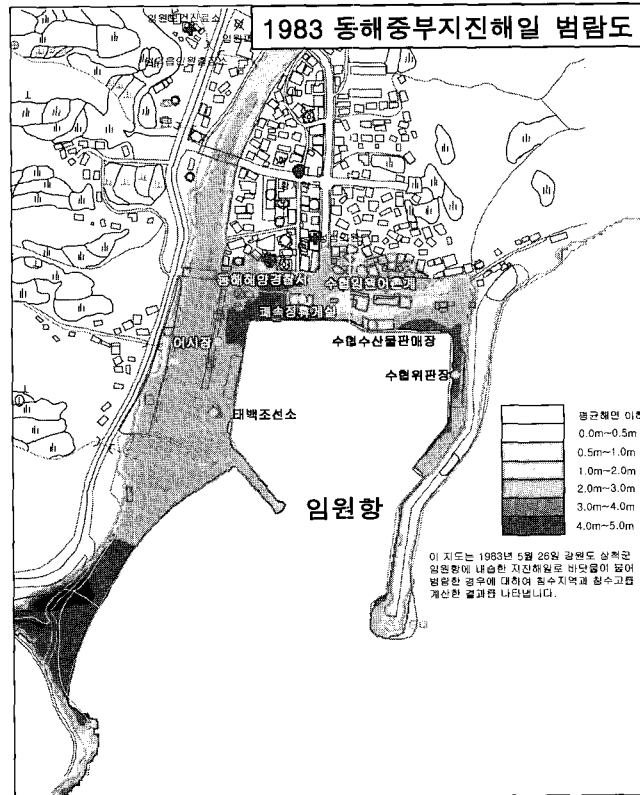


그림 5. 임원항의 지진해일 범람도(1983년 동해중부지진해일)



이상의 해일이 나타났다. 가옥침수구역을 보면 항 내부의 수협 임원 어촌계로부터 북측으로 15m 이상 해수가 침입하였는데 해일높이는 약 1.0~2.0m 정도이다. 당시 침수되었던 폐속정 휴게실이 부근의 해일높이는 약 4m에 정도이다.

## 6. 결 론

1983년 발생한 동해 중부 지진해일이 임원항에 내습했을 때의 범람현상을 설명하였다. 당시 발생했던 피해는 지진해일에 의한 피해로는 국내에서 유래 없는 결과로 자연재해에 대한 방재적인 관점에서 큰 의미를 가지는 일이다. 본 연구에서는 당시 범람 과정을 알아보기 위해 상세 수치모형을 수립하여 이를 설명하였다. 수치모형에 사용되는 공간 격자는 임원항의 형상과 구조물을 해상하기 위해 1.5m의 간격으로 구성하였고, 수치모형에서는 6회의 격자 세분화와 동적 연결을 수행하였다.

지진해일의 범람계산을 통해 당시의 해수의 유류와 영역 내에서의 최대 파고 도달지점을 알아보았다. 계산 결과는 구두로 조사된 당시의 처오름 높이와 각종 기록과 비교하였을 때 만족한 결과를 보였다. 특히 범람과정으로부터 당시의 해황을 알 수 있는데, 임원항내에 형성되었던 와동이 계산 결과에서 뚜렷이 재현되었다. 또, 범람에 의한 4m 이상의 해일은 항내로 진입한 해수가 항외로 배출되지 못하고 다시 진입하는 해일과 중첩되어 발생한 것으로 나타났다.

계산 결과를 지진해일 범람도로 작성하였다. 지진해일 범람도에는 임원항 각 지점에서의 최대 파고가 제시되어 과거의 기록과 더불어 앞으로 발생할 수 있는 피해 예측에 도움을 줄 수 있다. 아울러, 지진해일 엄습시 관계기관에서 방재 목적으로 이용이 가능하다.

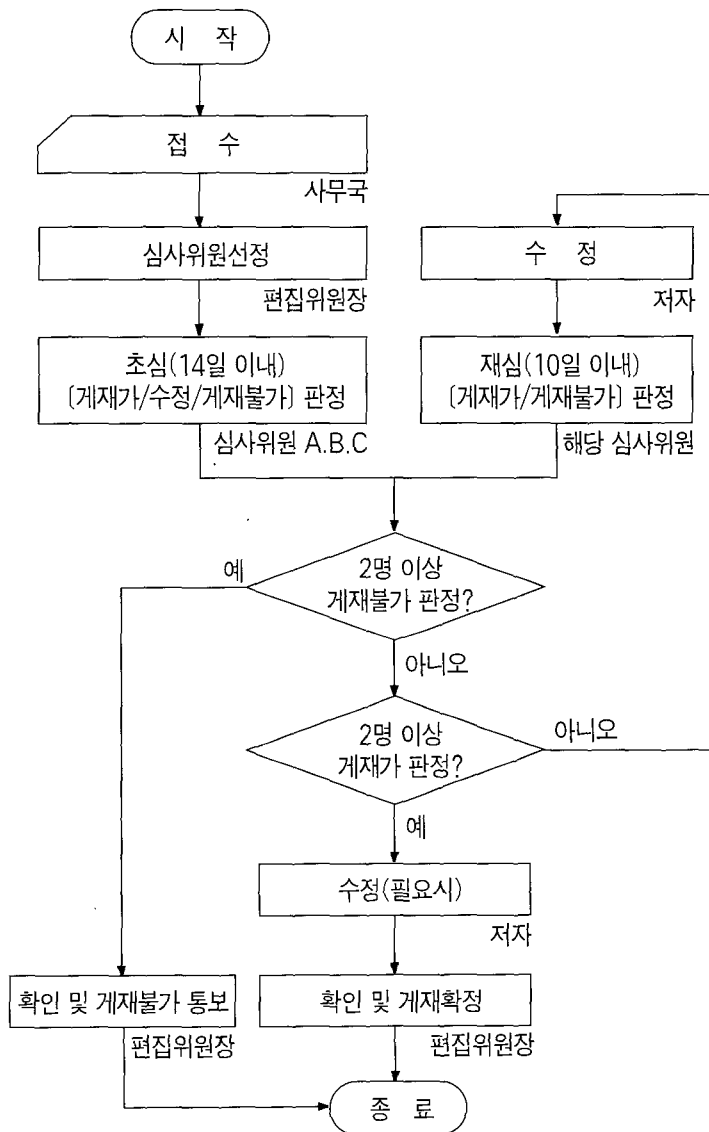
## 감사의 글

본 연구는 기상청 기상연구소의 특정사업 지진예지 및 지진해일 예측기술 개발의 지원으로 수행되었습니다. 본 연구는 또한 한국과학재단 특정기초(R01-1999-00314)의 지원으로 수행되었기에 이에 사의를 표합니다.

## 참 고 문 헌

국립방재연구소 (1999). 동해안에서의 지진해일 재해 저감을 위한 연구(I), 연구보고서, NIDP-1999-07, 국립방재연구소.  
백운섭 (1983). 동해안 지진해일보고, 한국중앙기상대

관측국 통계과, 69.  
쓰나미조사단 (1994). "일본북해도 남서부지진에 의한 한국동해안 지진조사," 한국해안해양공학회지, 제6권, 제1호, pp. 117-125.  
이호준, 今村文彦, 首藤伸夫 (1999). "동해에서의 쓰나미의 거동특성," 대한토목학회논문집, 제19권, 제 II-3호, pp. 401-409.  
조용식, 윤태훈 (1996). "경사지형에서의 이동경계조건," 대한토목학회논문집, 제16권, 제2-1호, pp. 73-81.  
최병호, 이호준 (1993). "1983년 동해 쓰나미의 산정," 대한토목학회논문집, 제13권, 제3호, pp. 207-219.  
추교승 (1987). 한국연안에서 발생한 폭풍·지진해일에 대하여, 교통부 수로국.  
한국전력공사 (1991). 발전소구조물에 미치는 지진해일의 영향연구, 한국전력공사, 연구보고서, KRC-90H-J04.  
Choi B.H., Lee H.J., Imamura F. and Shuto, N. (1993). "Computer animation of marine process - Tsunami event," *J. Korean Society of Coastal and Ocean Eng.*, pp. 19-24.  
Imamura, F. and Goto, C. (1988). "Truncation error in numerical tsunami simulation by finite difference method," *Coastal Engineering in Japan*, Vol.31, pp.245-263.  
Imamura, F. (1995). "Review of Tsunami Simulation with a Finite Difference Method," edited by Yeh, H., Liu, P.L.-F. and Sinolakis, C., *Long Wave Runup Models*, World Scientific, pp. 25-42.  
Kajiura, K. and Shuto, N. (1990). "Tsunami in the SEA," edited by B. Le Mehaute and D.M. Hanes," Vol. 9, *John Wiley & Sons, Inc.*, pp.395-420.  
Manshinha, L. and Smylie, D.E. (1971). "The displacement of earthquake fault model," *Bull. Seismol. Soc. Amer.*, Vol. 61, pp.1400-1433.  
都司嘉宣, 白, 秋, 安 (1984). "韩国東海岸を襲った地震海溢," *海洋科学*, Vol. 16, No. 9, pp. 527-537.  
李昊俊, 今村文彦, 首藤伸夫 (1997). "屈折現象に注目した津波数値計算の精度," *日本土木学会海岸工学論文集*, 第44卷, pp. 281-285.  
(논문번호:02-029/접수:2002.5.16/심사완료:2002.07.16)



### 한국수자원학회 논문심사 흐름도

\* 논문심사에 소요되는 기간은 초심(14일 이내)과 재심(10일 이내)을 포함하여 3개월 이내에 처리함을 원칙으로 하며, 논문심사와 관련된 행정처리는 학회 사무국이 담당한다. 저자가 6개월 이내에 논문수정에 응하지 않을 경우 게재불가로 처리한다. 토의 및 회답은 논문집 편집위원회에서 처리한다.