

## 임원에서의 1983년 동해 중부 지진해일 수치모의:

### 1. 동해에서의 전파

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

#### 1. Propagation across the East Sea

조 용 식\* / 이 호 준\*\*

Cho, Yong Sik / Lee, Ho Jun

---

#### Abstract

The propagation of the 1983 Central East Sea Tsunami recorded as the most devastating tsunami during last decades across the East Sea is numerically simulated in this study. A numerical model based on the shallow-water equations is employed. The physical dispersion is somewhat replaced by the numerical dispersion resulting from the leap-frog scheme. Traveling times of leading tsunamis are estimated and wave rays are calculated based on the Munk and Arthur(1952).

**keywords** : tsunami, propagation, East Sea, shallow-water theory, earthquake

---

#### 요 지

본 연구에서는 지난 수십 년간 가장 파괴적인 지진해일로 기록된 1983년 동해에서 발생한 지진해일이 동해를 거쳐 우리나라 동해안으로 전파해오는 과정을 수치해석하였다. 천수방정식에 근거한 수치모형을 이용하였으며, 물리적 분산은 leap-frog 유한차분기법에 의해 발생하는 수치분산으로 어느 정도 대체하도록 하였다. 진원으로부터 지진해일 전파도와 파향선법에 의한 전파궤적을 산정하였다.

**핵심용어** : 지진해일, 전파, 동해, 천수이론, 지진

---

\* 한양대학교 공과대학 토목공학과 교수

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

\*\* 국립방재연구소 연구관

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

## 1. 서 론

지진해일 방재에 관한 연구는 일본을 비롯하여 미국과 유럽 등 전세계의 학자들에 의해 오랫동안 이루어져 오고 있다. 지진해일 범람은 해안 및 주변의 인구밀집 지역에 영향을 주는 다양한 해안재해중에서 가장 치명적인 것이다. 따라서, 실무에서 지진해일 방어능력 강화를 요구하게 되었고, 지역사회와 국가단위의 방재정책의 결정에 따른 연구의 필요성이 강조되었다.

일본에서 시작된 TIME(Tsunami Inundation Modeling Exchange) 과업이 종료된 후 미국 NOAA(National Oceanic and Atmospheric Administration)에서는 새로운 TIME(Tsunami Inundation Mapping Efforts)과업을 개시하였다. 일본에서의 과업이 지진해일 방재대책을 위주로 그 과정과 결과의 배포를 위한 노력이었던 반면, 미국의 과업은 지진해일 범람지도(tsunami inundation map)를 작성 및 배포하여 연구결과를 지진해일 방재정책에 적용하기 위한 노력이라 하겠다. 이러한 지진해일 범람지도를 제작하기 위해서는 현지조사, 모델링 및 GIS 기술이 요구되고, 실제로 지진해일공학 분야에서는 각각의 항목이 독립적으로 발전해 오고 있다.

국내에서도 1983년 동해 중부 지진해일이 동해안에

내습했을 때, 최대의 피해지역으로 보고된 임원항에서의 해일의 거동에 관한 연구가 단편적으로 수행되고 있다. 한국전력공사(1991)와 최 등(1993)의 연구는 동해안에 내습하는 지진해일의 정량적인 평가가 이루어진 연구로서 선형 또는 비선형 장파이론을 이용한 수치계산결과를 제시하고 있다. 또한, 최 등에 의해 지진해일의 거동이 컴퓨터 동영상화 기법으로 가시화되어 물리적 현상의 이해와 대책수립을 위한 실무적인 성격의 연구가 발표되었다.

최근, 이 등(1999)은 동해안에 도달하는 지진해일의 전파에 있어서 굴절계산의 중요성에 착안한 격자간격의 선정기준을 제시하여 수치계산시의 지침을 마련하였으며, 이러한 사항들을 바탕으로 한 국립방재연구소(1999, 2000)의 연구에 의해 동해안에서의 지진해일 거동이 종합적으로 정리되었다.

과거의 기록으로부터 임원항에서의 지진해일 피해는 동해안에서의 지진해일 피해에 대한 대표적인 예로 소개되어 오고 있다. 실제로 지진해일 위험성 인식의 계기가 되기도 한 이 피해는 당시 심각한 문제로 대두되었다. 대형 유류탱크의 이동, 항구에 정박하던 선박이 육지로 이동되는 등 다른 해안 재해보다 큰 피해를 입혔다. 사진 1은 1983년 동해 중부 지진해일 엄습시 임원항에서 일부 선박들이 육지로 밀려온 것을 촬영한 것



사진 1. 지진해일에 의해 파손된 어선 (임원, 1983년 5월)

으로 일부나마 지진해일의 위력을 보여주고 있다.

특히, 우리나라 동해 전역에서 평균 2m 내외의 해일이 도달하였음에도 불구하고 임원항에서는 4m가 넘는 해일이 일어난 사실은 연안방재의 정책적인 방향에서도 빈번히 지적되어 오고 있다. 대화퇴(大和堆, Yamato Rise) 에 의한 렌즈효과로 설명되는 이러한 사실은 해저 지형에 의한 지진해일 에너지의 집중과 굴절현상에 기인한 것으로 보고되고 있다(이 등, 1999).

동해 중부 지진해일이 1983년 내습한 직후 임원항에서의 피해가 백(1983)에 의해 보고되었으며, 아울러 동해 전역에서 발생한 지진해일의 기록을 정리하였는데 주로 검조기록에 나타난 정량적인 해일높이를 발표하였다. 최 등(1993)에 의해서도 임원항의 지진해일 피해가 보고된 바 있으나, 임원항에서의 해일에 관한 기록은 피해 사실이 주로 보고되었으며 당시의 해일 현황이나 해일높이에 관한 기록은 많지 않다. 북해도 남서 외해 지진해일이 발생한 1993년에는 지진해일 조사단이 결성되어 동해안 각지에 대한 해일높이를 조사하였으나, 1983년의 경우에 대해서는 해일높이에 관한 조사는 시행되지 않았다. 최근, 국립방재연구소(1999)는 동해안 각지에서 1983년 지진해일의 처오름높이를 조사하여 보고하였다. 특히, 임원항에 대해서는 당시의 해황을 목격한 주민과의 인터뷰를 통해 해일 범람의 과정을 비교적 상세히 조사하였다.

기상청(<http://www.kma.go.kr>)에 따르면 우리나라 근해에서는 최근 해저지진이 자주 발생하고 있을 뿐만 아니라 발생회수가 매년 증가하고 있다(1998년 14회, 1999년 10회, 2000년 10회, 2001년 15회). 따라서, 지진해일에 의한 피해가 우려되는 해안의 인구밀집지역과 원자력발전소, 화력발전소 및 항만시설과 같은 국가 기간시설물에 대해서는 지진해일에 대비한 방재대책이 수립되어야 한다. 본 연구에서는 최근 수십년에 걸쳐 발생한 가장 큰 피해를 입었던 1983년 동해 중부 지진해일이 동해를 가로질러 동해안에 이르는 전파과정을 수치해석한다. 특히, 지진해일의 정량적인 측면보다는 정성적인 특성을 주로 기술한다.

## 2. 지진해일의 전파

지진해일 전파과정을 수치계산으로 해석할 경우 정확성에 영향을 주는 가장 중요한 요소는 해일이 전파되어 가는 해저지형이다. 일본의 서해안에 파원을 두고 전파해 오는 지진해일은 동해 중심부에 집중되고 파원의 위치로부터 대화퇴를 이은 직선 연장선 방향으로 에

너지 분기가 이루어지는 것으로 알려져 있으며(이 등, 1997), 1983년의 동해 중부 지진해일은 파원이 일본 아키타현(秋田縣) 외해로 에너지가 분기되는 위치는 동해안 중심부에 해당된다. 또한, 1993년 발생한 북해도 남서 외해 지진해일이 규모로서는 더욱 큰 해일이었음에도 불구하고 동해안에 미치는 영향은 비교적 작았던 것도 에너지 분기 방향과 관련된 것으로 생각할 수 있다.

동해안의 해저지형은 직립 안벽의 형태가 많고, 해안 선으로부터 10km 이내에 수 백 미터 이상의 비교적 수심이 깊은 지역이 분포한다. 반면에 임원이 위치한 동해안의 중심부의 해안에는 천해역이 발달되어 있어, 분기된 지진해일 에너지가 천수효과에 의해 증폭되기 위한 조건을 갖추고 있는 지역이기도 하다. 실제 과거에 수행된 수치계산 결과를 보더라도 지진해일의 에너지가 임원 해역에 집중되고 있는 현상을 볼 수 있다(이 등, 1997).

태평양이나 동해와 같은 대양을 횡단하는 지진해일의 거동은 지구의 회전에 따른 Coriolis 효과를 포함하는 선형 Boussinesq 방정식을 이용하여 모의하는 것이 적절하다. 즉, 지진해일이 태평양과 같은 상대적으로 깊은 바다를 횡단하여 먼 거리를 전파하는 경우에는 선형 Boussinesq 방정식을 이용하여 수치모형을 구성한다(Kajiura와 Shuto, 1990; 조, 1996; Cho와 Yoon, 1998). 일반적으로 지진해일이 태평양과 같은 대양을 횡단할 경우에는 구면좌표계를 사용해야 하는 반면, 상대적으로 작은 지역을 전파하는 경우에는 직교좌표계를 사용할 수 있다.

비선형항과 바다마찰항을 무시한 구면좌표계에서 선형 Boussinesq 방정식은 다음과 같다.

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{1}{R \cos \varphi} \left[ \frac{\partial P}{\partial \psi} + \frac{\partial}{\partial \varphi} (\cos \varphi Q) \right] = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial P}{\partial t} + \frac{gh}{R \cos \varphi} \frac{\partial \zeta}{\partial \psi} - fQ = \frac{1}{R \cos \varphi} \frac{\partial}{\partial \psi} \left[ \frac{\partial h^3}{3R \cos \varphi} \frac{\partial}{\partial t} \left\{ \frac{\partial}{\partial \psi} \left( \frac{P}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial \varphi} \left( \cos \varphi \frac{Q}{h} \right) \right\} \right] \quad (2)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{gh}{R} \frac{\partial \zeta}{\partial \varphi} + fQ = \frac{1}{R \cos \varphi} \frac{\partial}{\partial \varphi} \left[ \frac{\partial h^3}{3R \cos \varphi} \frac{\partial}{\partial t} \left\{ \frac{\partial}{\partial \varphi} \left( \frac{P}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial \psi} \left( \cos \varphi \frac{Q}{h} \right) \right\} \right] \quad (3)$$

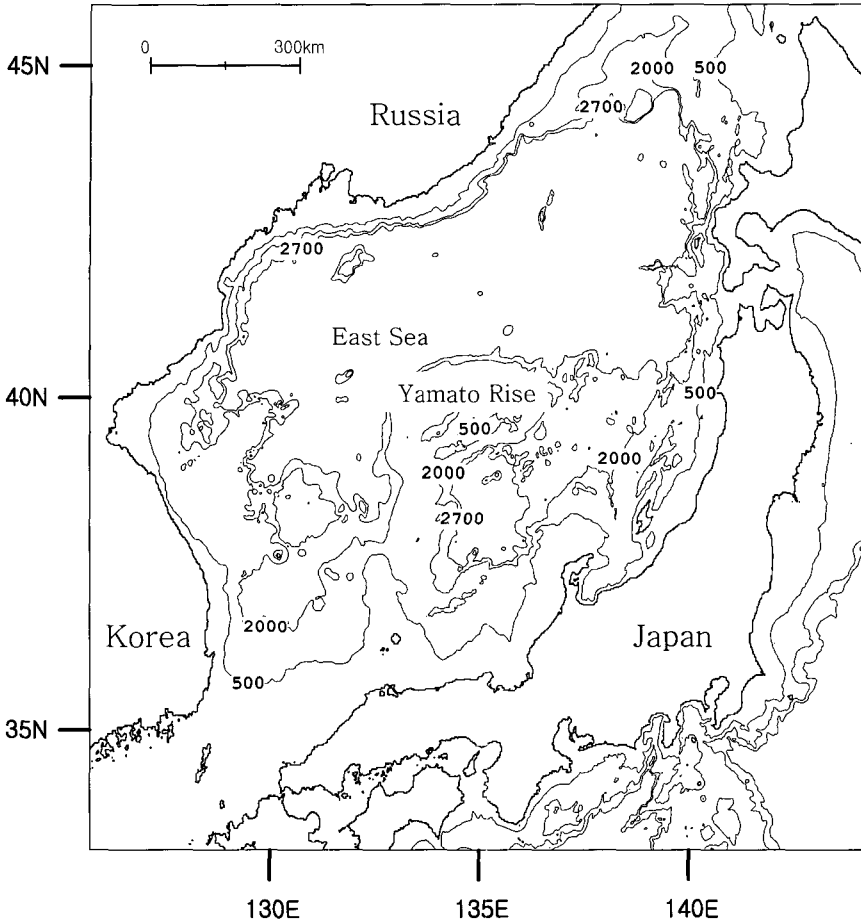


그림 1. 동해 해저지형과 주변지역의 해안선

식 (1)-(3)에서 ( $\psi$ ,  $\varphi$ )는 지구의 경도와 위도,  $\zeta$ 는 자유수면변위,  $P$ 와  $Q$ 는 각각  $x$ 와  $y$ 방향의 체적 흐름율(volume flux),  $h$ 는 정수면(still water level)에서의 수심,  $f$ 는 지구의 회전을 나타내는 Coriolis 매개변수이다.

식 (1)은 연속방정식으로 오차가 없는 정확한 식인 반면에 식 (2)와 (3)은 운동량방정식으로 동수압의 일부를 고려한 근사식이다. 식 (2)와 (3)의 왼쪽에서 첫째 항은 국부가속도에 의한 관성효과, 둘째 항은 압력효과, 셋째 항은 Coriolis 효과, 그리고 오른쪽은 분산효과를 나타낸다.

일반적으로 대양에서의 수심은 파고에 비해 무척 크기 때문에 이송가속도에 의한 관성항, 즉 비선형 효과와 바닥마찰항의 영향은 무시할 수 있으므로 식 (2)와 (3)에서 제외되었다. 참고로, 식 (2)와 (3)의 오른쪽은

연직가속도 성분에 의한 것으로 분산항을 나타내며, 오른쪽을 생략하면 Coriolis 효과를 고려한 선형 천수방정식이 된다.

식 (1)-(3)을 수치해석하는 것은 3차 미분항으로 나타나는 분산항 때문에 매우 어렵다. 본 연구에서는 식 (1)-(3)을 직접 해석하지 않고 유한차분기법의 하나인 leap-frog기법을 이용하여 선형 천수방정식을 해석하며, 이 때 발생하는 수치분산이 물리적 분산의 역할을 하도록 하는 보정기법(modified scheme)을 이용한다(Cho와 Yoon, 1988). 수치기법에 관한 상세한 설명은 Cho와 Yoon을 참조할 수 있으며 여기서는 생략한다. 아울러, 지진해일을 수치해석할 경우 이동거리와 전체영역의 규모에 따라 지구의 자전, 즉 Coriolis 효과를 고려할 경우가 있으나 본 연구에서는 그 영향이 크지 않은 것으로 판명되어 제외한다.

### 3. 지진해일 초기파형

동해는 지진해일과 관련하여 독특한 특징을 나타내는데 첫째는 거의 밀폐된 지형이라는 것이다. 따라서, 동해에서 발생한 지진해일은 동해를 둘러싸고 있는 모든 나라, 즉 우리나라, 일본 및 러시아에 걸쳐 영향을 미친다. 둘째는 동해 해저지형의 특징을 들 수 있는데 그림 1에 나타나 있는 것과 같이 동해 중심부에 대화퇴라 불리는 분지지형이 위치하고 있어 일종의 렌즈 역할을 하고 있다. 그림에서와 같이 대화퇴 이외의 지역은 수심이 2,000-3,000m에 이르고 있으나 대화퇴 부근에서는 500m 내외의 상대적으로 얕은 수심 지역을 형성하고 있다.

동해 중부 지진해일은 1983년 5월 26일 정오 일본 아키타현 서쪽 외해에서 발생한 Richter 규모 7.7의 지진에 의해 야기되었으며, 아키타해안과 북해도로부터 한반도까지 영향을 미친 비교적 짧은 주기의 지진해일이었다. 지진해일은 북미 플레이트(North American Plate)의 일부가 유라시아 플레이트(Eurasian Plate)와 태평양 플레이트(Pacific Plate)의 사이에 좁고 길게 남하하고, 필리핀해 플레이트(Philippine Plate)가 다시 유라시아 플레이트와 만나면서 이 경계선 상에서 발생하였다.

首藤(Shuto, 1984)에 따르면 지진해일의 최대 초음높이는 노시로(能代)의 북측, 야마모토군(山本郡) 미네하마촌(峰浜村)의 해변 모래사장에서 T.P.(Tokyo Pale, 도쿄 평균해수면 기준) 14m 이상으로 나타났고, 과거의 지진해일 최고 기록이 만의 내측에서 발생했던 것과 비교하여 평활한 해변 모래사장에서 발생하였다. 지진해일로 인해 러시아의 프리모르스키의 호수 근처에서 1.5m의 침수가 기록되었고, 카멘카에서는 진진폭이 9m에 지진해일이 도달하였다고 한다.

일본 아키타현 외해에서 발생한 동해중부지진에 의한 진원역에서의 해저면 변동량을 지진해일의 초기수면형으로 하여 계산의 초기조건으로 부여하였다. 본 연구에서는 Aida(1984)의 지진 매개변수를 사용하여(표 1 참조) Mansinha와 Smylie(1971)의 방법에 따라

지진 발생 후의 해저면의 변동량을 계산하여 지진해일의 초기 파형을 산정하였다.

해저면의 연직 변위량을 산정하기 위해서 Mansinha와 Smylie의 이론을 사용하여 단층의 길이, 폭, 주향, 경사각 및 변위량 등의 단층 제원을 결정하였으며, 동해 중부 지진을 두 개의 단층으로 구성하였다. 첫 번째 단층은 북측의 단층면으로 그 단층면이 크고, 다른 단층은 남측의 것으로 그 단층면이 작지만 해저면의 변위량은 크다. 각각의 지진 모멘트는  $3.6 \times 10^{27} \text{ dyne} \cdot \text{cm}$  와  $2.2 \times 10^{27} \text{ dyne} \cdot \text{cm}$  이다. 지진해일 초기파형을 결정하기 위한 지진 매개변수는 표 1에 열거한 것과 같이 Aida의 모델 10을 이용하였다(Aida, 1984).

지진해일의 초기파형을 결정하기 위해서는 먼저 지진에 의한 해저 지반의 변위를 결정해야 한다. 일반적으로 단층의 면적이 수심에 비하여 넓고, 단층의 파쇄에 의해 해저 지반의 용기가 5초 이내로 순간적으로 발생한다고 가정하면, 해저지반의 상승 및 하강 변위량을 그대로 수면의 초기파형으로 둘 수 있다.

표 1에 주어진 매개변수를 사용하여 산정된 동해 중부 지진해일의 발생위치와 초기파형을 그림 2에 제시하였다. 그림 2(a)에 나타난 것과 같이 지진해일은 일본 근해에서 발생하였으며, 그림 2(b)에 도시된 것과 같이 초기파형의 최고수위는 약 4m이며, 두 개의 단층이 가정되었던 까닭에 초기파형 또한 두 개가 결합된 형태로 나타나고 있다. 일반적으로 지진에 의한 해저지형의 변화는 수면의 변화를 동반, 즉 갑작스러운 위치에너지의 상승을 초래하고 이와 같은 위치에너지는 중력을 복원력으로 하여 주변으로 전파되는데 이것이 지진해일이다. 비록, 그림 2의 초기 지진해일은 그 규모가 작을지라도 시간이 지남에 따라 동해 전체가 지진해일의 영향권 범위에 속하게 된다.

### 4. 지진해일의 전파

본 절에서는 동해 중부 지진해일이 동해를 가로질러 우리나라 동해안에 도달하는 과정을 수치해석한다. 수치모형에서의 외해 경계조건으로는 자유투과조건을 이용하였다. 연안에 접근하는 지진해일의 거동을 상세히

표 1. 동해 중부 지진(1983년)의 매개변수

$N(^{\circ}N)$	$E(^{\circ}E)$	$H(km)$	$\theta(^{\circ})$	$\delta(^{\circ})$	$\lambda(^{\circ})$	$L(km)$	$W(km)$	$u(cm)$
40.21	138.84	2	22	40	90	40	30	760
40.54	139.02	3	355	25	80	60	30	305

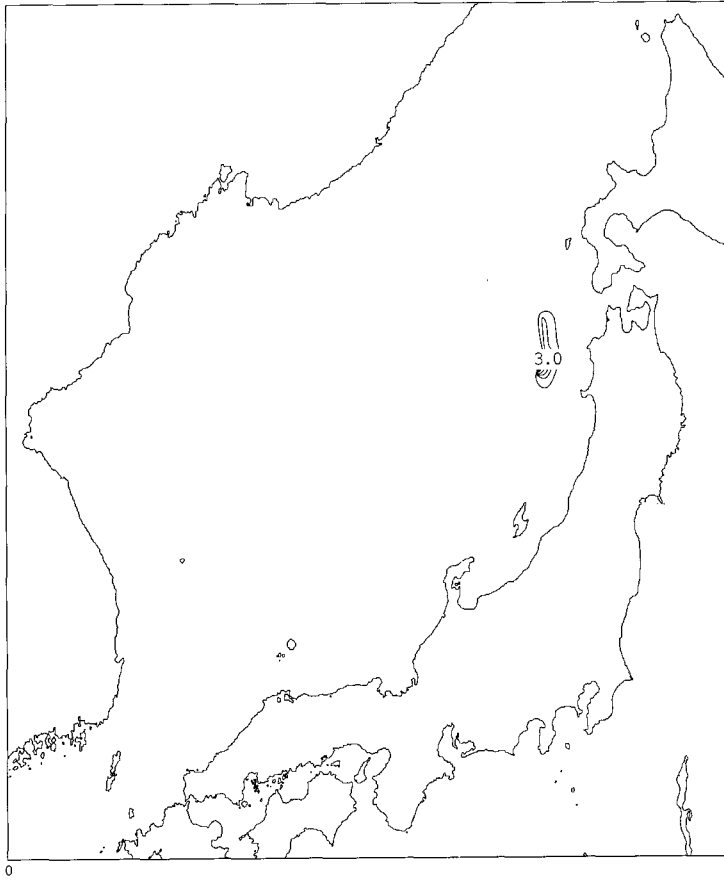


그림 2(a). 1983년 동해 중부 지진해일의 발생 위치

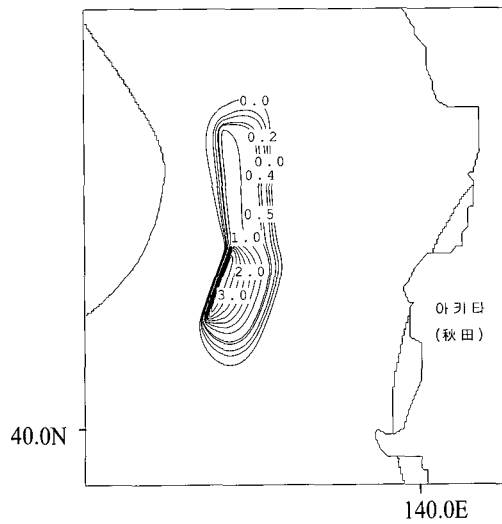


그림 2(b). 초기파형 (단위: m)

계산하기 위해 1:3 격자의 세분화와 동적 연결을 수행하였다. 동적 연결은 1:3으로 세분화된 세부격자가 큰 격자 위에 중첩되는 경계부에서 수위와 유량을 교환하는 방법이다. 또한, 육지에서의 범람 산정을 위해서 이 동경계 조건을 이용하였으며, 사용된 모형은 총 7개의 영역으로 구성되어 있고 6회의 동적연결을 수행하였다(국립방재연구소, 1999, 2000).

그림 3은 지진해일이 전파되는 동안 영역내의 최고 수위를 나타낸 것으로 지진해일 에너지의 전파특성을 쉽게 알 수 있다. 지진해일 에너지는 단층의 단축방향으로 방사되어 동해 중심부를 향하게 되는데, 대화퇴에 다다르면서 남측으로 굴절하여 그 대부분이 일본의 오키(隱岐)제도에 이르고, 일부는 우리나라 동해안으로 분기된다. 따라서, 우리나라에 도달하는 해일은 원산만을 크게 돌아 북동측으로부터 접근하게 된다.

그림 4는 지진해일의 선단부분(leading tsunami)이

영역내를 통과하는 시간을 나타낸 것이다. 실제로 일본 근처에서 지진해일이 발생했을 경우 우리나라 동해안에 도달하는데 약 100여분이 소요되는 것으로 나타나 있다. 따라서, 일본 근처에서 지진해일이 발생하면 적절한 예보를 할 경우 대피할 비교적 충분한 시간이 있는 것으로 판단된다. 따라서, 원해 지진해일(offshore tsunami)의 경우 적절한 예경보체계를 구축할 경우 인명 및 재산피해를 최소화할 수 있을 것으로 판단된다.

마지막으로 파향선을 이용한 지진해일의 전파도를 작성하였다. 파향선 추적기법은 Munk와 Arthur (1952)의 직교선법에 근거하였으며, 수치기법은 Runge-Kutta법을 사용하였다. 좌표계 또한 앞장에서 소개한 것처럼 구면좌표계를 이용하였고, 그 결과는 GMT (Generic Mapping Tool)를 이용하여 나타냈다. 파향선의 계산 방법은 먼저 출발점에서 점원을 가정하여 360° 방향으로 방사되도록 하였다. 파향선은 해저지형의

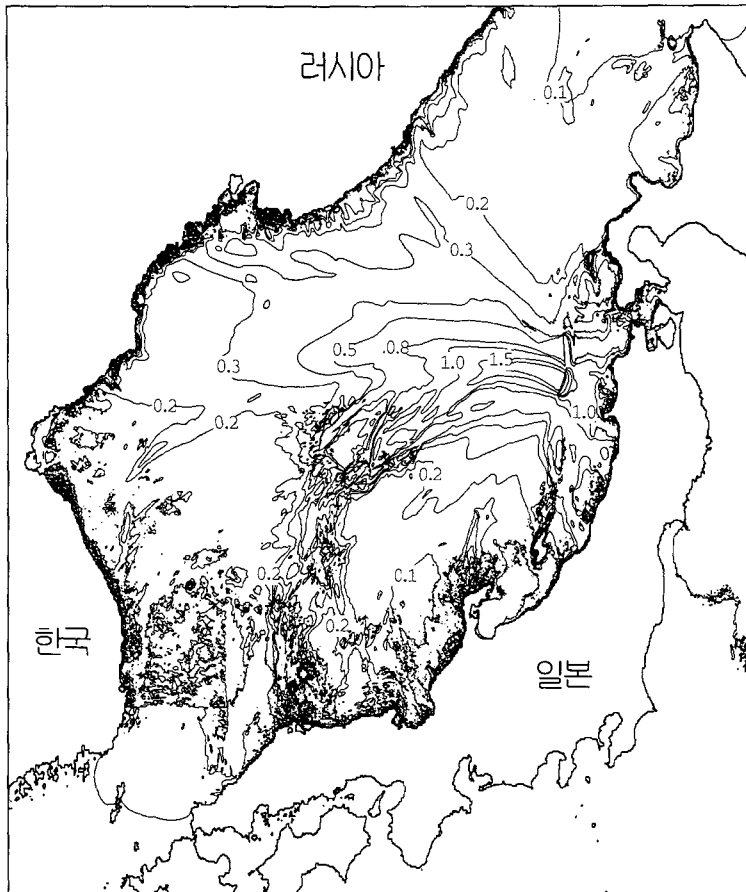


그림 3. 지진해일의 영역내 최대파고분포 (단위: m)

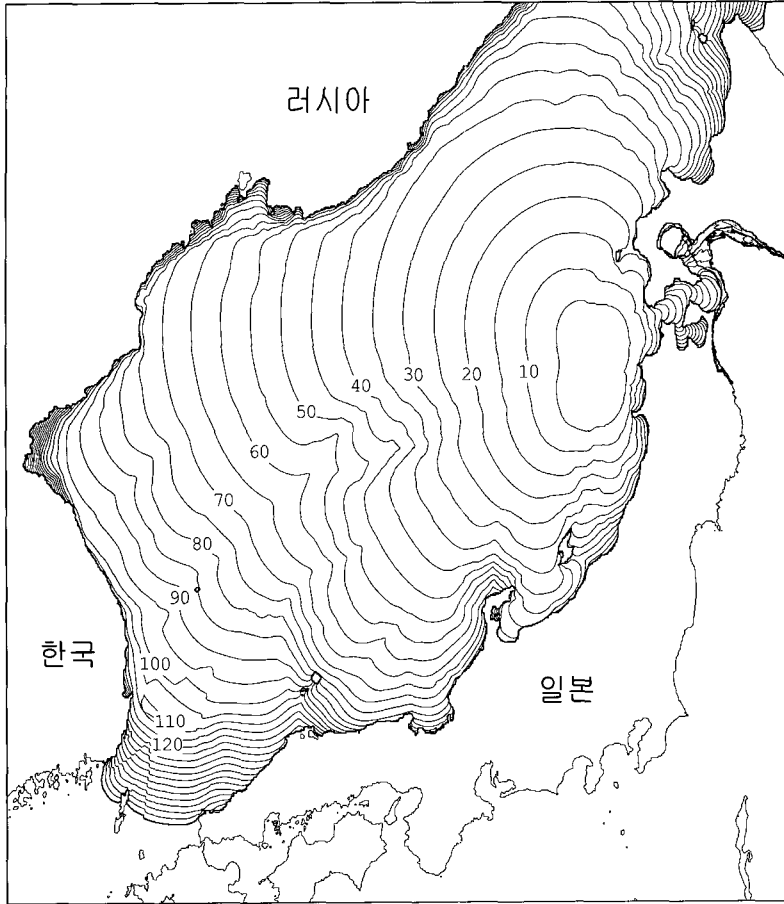


그림 4. 진원으로부터의 지진해일 전파도 (단위: 분)

변화 특히 출발점 부근의 지형에 민감하게 굴절하여 입사각의 작은 변화에도 전혀 다른 전파양상을 나타내게 된다. 따라서, 대화퇴 등 복잡한 해저구조를 갖는 동해를 가로질러 동해안에 도달하도록 입사각을 조절하기는 실제로 어렵다. 본 연구에서는 동해안에 도달하는 파향선의 전파경로를 구하기 위하여 출발점에서 떠난 모든 파향선들 중 한반도에 도달한 두 개의 파향선만을 고려하였다. 그리고, 일정 시간간격을 두고 파향선들의 등시선상에 있는 두 점 사이에 파향선 정보를 내삽한 후, 그 정보를 토대로 새로운 파향선이 전파되도록 하였다. 또한, 입사각을 변화시키면서 이러한 작업을 반복하여 파원을 출발하여 동해안에 도달하는 지진해일의 파향선도를 작성하였고, 그림 5는 그 일례를 나타내고 있다.

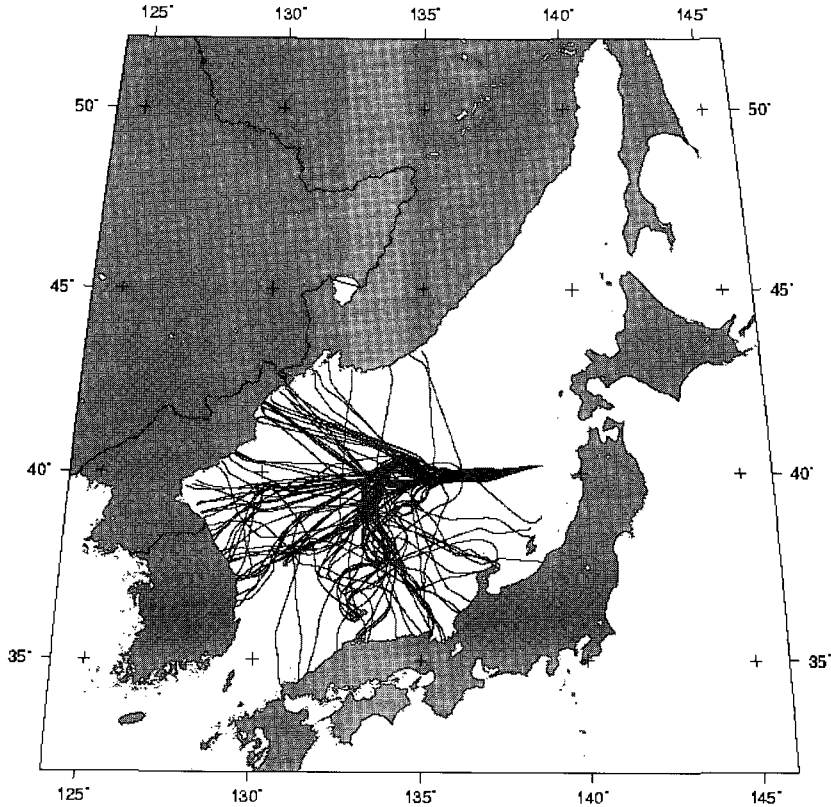
파향선도를 통해 동해로 전파하는 파향선이 복잡한 지형변화로 인해 굴절되는 모습을 볼 수 있으며, 전파되는 양상 또한 동해안과 러시아, 일본 오키제도 방향

으로 분기되어 전파하는 모습을 보이고 있다. 파향선 도달지역인 울진 원자력발전소 부근 북위 37° 정도 지역이 파향선의 집중지역인 것을 알 수 있다. 동해안 중 부지역에는 다수의 파향선이 밀집되고 있는데, 이 곳은 해안 부근의 국소적인 지형효과로 파동 에너지가 집중되기 쉬운 지역이다. 이 지역에는 임원을 비롯하여 울진 원자력 발전소가 위치하는 지역으로 파향선의 밀집 형태로부터도 지진해일 에너지가 집중되고 있음을 알 수 있다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 1983년 발생한 동해 중부 지진해일이 동해를 횡단하여 우리나라 동해안에 이르는 과정을 수치해석하였다. 당시 발생했던 피해는 지진해일에 의한 피해로는 국내에서 유래 없는 결과로 방재적인 관점에서 큰 의미를 갖는다. 수치모형의 지배방정식은 선형





GMT [2001 Dec 17 16:29:53] Ray Trace

그림 5. 파향선법에 의한 지진해일의 전파궤적

천수방정식이었으며, 보정기법을 사용하여 차분화에 따른 수치적 분산을 물리적 분산의 역할을 일부 수행하도록 하였다.

동해의 일본 근해에서 지진해일이 발생했을 경우 우리나라 동해안에 지진해일이 도달하는 시간은 대략 90-120분 정도의 여유가 있으므로 적절한 예경보체계를 갖출 경우 인명 및 재산피해를 최소화할 수 있을 것으로 판단된다. 현재 본 연구를 확정하여 임원에서 범람을 수치모의하고 있으며, 결과는 이 등(2002)에 발표하였다.

### 감사의 글

본 연구는 기상청 기상연구소의 특정사업 지진예지 및 지진해일 예측기술 개발의 지원으로 수행되었습니다.

### 참고 문헌

- 국립방재연구소 (1999). 동해안에서의 지진해일 재해 저감을 위한 연구(I), 연구보고서, NIDP-1999-07, 국립방재연구소.
- 국립방재연구소 (2000). 동해안에서의 지진해일 재해 저감을 위한 연구(II), 연구보고서, NIDP-2000-03, 국립방재연구소.11.
- 백운섭 (1983). "동해안지진해일보고,"한국중앙기상대 관측국 통계과, 69.
- 이호준, Imamura, F., Shuto, N. (1999). "동해에서의 쓰나미 거동특성," 대한토목학회논문집, 제19권, 제2-3호, pp. 401-409.
- 이호준, 조용식, 김경희 (2002). "임원에서의 1983년 동해 중부 지진해일 수치모의: 2. 임원항에서의

- 범람,” 한국수자원학회논문집, 제34권, 제4호, pp. 437-445
- 조용식 (1996). 대양을 횡단하는 지진해일의 수치모의, 대한토목학회논문집, 제16권, 제2-3호, pp. 303- 310.
- 최병호, 이호준, Imamura F., Shuto, N. (1993). “Computer animation of marine process-Tsunami event,” 한국해양공학회지, 제5권, 제1호, pp. 19-24.
- 한국전력공사 (1991). 발전소 구조물에 미치는 지진해일의 영향연구, 기술연구원 보고서, KRC-90H-J04.
- Aida, I. (1984). “A source models of the 1983 Nihonkai-earthquake tsunami,” *Proc. Symp. Nihonkai Chubu Earthquake Tsunami*, JSCE, pp. 9-21.
- 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.
- Kajiura, K. and Shuto, N. (1990). “Tsunami,” in *The Sea*, edited by B. Le Mehaute, and D.M. Hanes, Vol. 9, Part B, pp. 395-420, John Wiley & Sons, Inc.
- Manshiha, L. and Smylie, D.E. (1971). “The displacement fields of inclined faults,” *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 61, pp. 1433-1440.
- Munk, W.H. and Arthur, R.S. (1952). “Wave intensity along a refracted rays,” *Natl. Bureau Stand. Circ. 521*, U.S. Government Office, Washington D.C., pp. 95-109.
- 首藤伸夫 (1984). “秋田県北部海岸における日本海中部地震津波,” 東北大学工学部津波防災実験所研究報告, 第1号, pp. 12-26.
- (논문번호:02-024/접수:2002.4.18/심사완료:2002.07.16)