



지진해일 시나리오 DB에 기반한 동해안 지진해일 위험 지역 분류 Classification of Tsunami Hazard Area along the Eastern Coast of South Korea based on Improved Tsunami Scenario Database

손동호* · 박순천** · 이준환*** · 문광석**** · 김현승***** · 이덕기*****

Sohn, Dong-Hyo*, Park, Sun-Cheon**, Lee, Jun-Whan***, Moon, Kwang-Seok****, Kim, Hyun-Seung*****,
and Lee, Duk-Kee*****

Abstract

We classified the areas in the eastern coast of South Korea which are highly likely to be affected by the tsunami that occurred along the northwestern coast of Japan using the improved tsunami scenario database of the Korea Meteorological Administration. To improve the accuracy of database, we used the latest data on bathymetry, coastline, and land information and increased grid resolution for numerical simulation. When tsunami occurred along the northwestern coast of Japan, the maximum wave height appeared in the around Imwon. And the wave height of Gangwon coastal area was higher than those of Gyeongsang. The tsunami height increased as the magnitude of the earthquake increased and decreased as it moved southward along the eastern coast. In conclusion, attention should be paid when an earthquake of magnitude 7.0 or greater occurs in the plate boundary region of the East Sea. And when a tsunami occurs in this region, we need to focus on the area near Imwon.

Key words : Tsunami, Improved Scenario Database, Tsunami Hazard Area, East Sea Coast

요 지

이 연구에서는 개선된 기상청의 지진해일 시나리오 DB에 기반하여 일본 서안 북부지역에서 발생한 지진해일로 인해 피해 가능성이 높은 동해안 지역을 파고에 따라 분류하였다. 시나리오 DB의 정확도 향상을 위해 수치모의시 최신의 수심 및 해안선 자료와 육지정보를 사용하였고, 격자해상도를 높였다. 일본 서안 북부지역에서 발생한 지진해일은 임원부근 지역에서 제일 높은 파고를 형성하고, 경상지역보다 강원지역에 더 높은 파고를 유발하였다. 파고는 지진 규모가 커질수록 높아졌고, 동해안을 따라 남쪽으로 내려갈수록 낮아졌다. 결론적으로 동해 판경계부에서 규모 7.0 이상의 지진이 발생했을 때 주의가 필요하고, 지진해일 발생시 임원부근 해안에 대해서는 중점적인 관측이 필요하다.

핵심용어 : 지진해일, 시나리오 개선 DB, 지진해일 피해지역, 동해안

1. 서 론

2004년 12월 26일 인도네시아 수마트라 섬 인근에서 발생

한 지진으로 인해 강력한 해일이 발생하여 약 23만 명이 사망하였고, 2011년 3월 11일에는 일본 도호쿠 지방 동쪽 해상에서 발생한 지진해일로 인해 약 1.8만 명이 사망하였다

*정회원, 기상청 지진화산연구과(E-mail: dhsohn5@gmail.com)

Member, Researcher, Earthquake and Volcano Research Division, Korea Meteorological Administration

**교신저자, 정회원, 기상청 지진화산연구과(Tel: +82-2-2181-0062, Fax: +82-2-841-7664, E-mail: suncheon@korea.kr)

Corresponding Author, Member, Senior Researcher, Earthquake and Volcano Research Division, Korea Meteorological Administration

***Virginia Tech 토목 및 환경공학과

Ph.D. Student, Department of Civil and Environmental Engineering, Virginia Tech, VA USA.

****(주)전략해양

Ocean Research and Strategy Corporation

***** (주)전략해양

Ocean Research and Strategy Corporation

*****기상청 지진화산연구과

Division Director, Earthquake and Volcano Research Division, Korea Meteorological Administration

(NOAA, 2017). 인명피해가 컸던 두 사건의 공통된 원인은 짧게는 수 십분, 길게는 수 시간 후에 해안가를 덮친 거대한 지진해일 때문이다.

두 사례와 같이 큰 인명피해를 유발하는 자연재해 중 하나인 지진해일은 주로 대양의 해저지각에서 발생하는 지진에 의해 야기되는 장주기의 파도이다. 지진해일은 해저 화산폭발, 산사태, 낙석, 운석충돌 등에 의해 발생하기도 하지만, 대부분 해저지진에 의해 발생한다. 그래서 해저에서 대규모 지진이 발생하는 환태평양 지진대나 호주-인도판과 유라시아판이 만나는 인도양 지진대에서 지진해일이 주로 발생한다. 이곳에서 발생한 지진해일은 대양을 따라 전파하며 해안 인접 국가들에 재산손실 및 인명피해를 야기한다.

한반도의 경우, 일본 서안에서 발생한 지진해일로 인해 동해안 일부지역에서 피해를 입은 기록들이 있다. 대표적으로 1983년 일본 아키타현 서쪽 외해에서 발생한 지진해일로 인해 3명의 사상자와 약 3억 7천여 만원의 재산피해가 발생하였고, 1993년 홋카이도 남서쪽 오키시리 섬 인근의 지진해일로 인명피해는 없었지만 약 4억원의 재산피해가 발생하였다(Fig. 1) (NIDP, 1998; KMA, 2017). 이들 지진해일은 지진 발생 100분 전후에 동해안의 주요 항만권역에 도달하여 피해를 야기하였다(Kim, Kim et al., 2007; Lee et al., 2012).

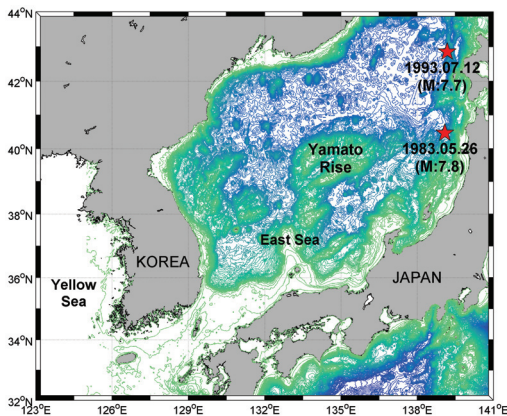


Fig. 1. Location of Two Recent Tsunamis in East Sea

이와 같이 우리나라도 지진해일로 인하여 인명 및 재산피해를 입을 수 있는 영향권에 속해 있다. 특히 일본 서안에는 유라시아판과 북아메리카판의 경계를 따라 지진다발지역이 넓게 분포하고 있기 때문에 지진해일로 인해 피해를 입을 가능성이 항상 잠재되어 있다. 또한, 2004년 5월 29일 울진 해역에서 발생한 규모 5.2 지진과 2016년 7월 5일 울산 해역에서 발생한 규모 5.0 지진과 같이 한반도 인근 해저에서도 중규모의 지진이 발생하기도 하여 지진해일에 대한 연구와 대비책이 필요하다(KMA, 2016).

국내 지진해일에 관한 기존 사례에서는 시뮬레이션을 통한 지진해일의 전파해석(Yoon, 2002; Yang, 2007; Bae

et al., 2012), 파고 추정(Cho, 1998; Choi et al., 2002a; Kim, 2010)에 관한 연구들이 진행되었고, 시뮬레이션 결과를 이용한 재해정보 산출, 위험지역 예측 등 방재 및 피해 최소화를 위한 연구들도 진행되었다. 일례로 Ahn et al. (2010)은 강원도 임원항을 대상으로 지진해일 재해정보도를 제작하였고, Cho and Ha (2010)는 재해정보도에 기반한 비상대처계획을 수립하여 방재대책을 제안하였다. 또한 Lee et al. (2012)은 동해안 주요 항만권역을 대상으로 지리정보시스템을 이용한 지진해일 재해 DB를 구축하였고, Kim et al. (2013)은 가능최대범람확률 개념을 도입하여 제작한 최대범람확률도를 이용하여 삼척항에서의 지진해일 위험지역을 예측하였다.

기존 사례들은 지진해일 피해가능성이 높은 지역이나 국지 또는 지역적인 영역을 대상으로 예상 피해분석이 이루어졌고, 지진 파라미터로 계산한 지진해일 초기파형을 이용하여 수치모의한 뒤 영향분석이 수행되었다. 그러나 지진해일 특성상 짧은 시간에 광범위한 영역으로 전파되기 때문에 국가적인 차원에서 방재대책을 세우고, 지진해일 발생 후 관련정보를 신속하게 제공하여 재산 및 인명피해를 최소화해야 한다. 이로 인해 기상청에서는 한반도 주변 해역에서 발생할 수 있는 지진에 대해 지진해일 시나리오 DB를 구축하여 국가지진분석시스템과 연계한 지진해일 통보체계를 확립하였다(Lee et al., 2005; NIMR, 2006). 그리고 이를 이용하여 한반도 해안에서의 지진해일 예상 도달시간과 파고정보를 제공하는 시스템을 운영하고 있다(Sheen et al., 2007).

기상청은 지진해일의 예측 정확도를 향상시키기 위해 기존 DB를 개선하였다. 이 연구에서는 개선된 사항에 대해 기술하고, 이를 기반으로 동해안의 관측지점별 파고를 분석하여 지진해일 위험지역을 분류한다. 이를 위해 과거 동해안에서 지진해일로 가장 큰 피해를 입은 지점들을 대상으로 최대파고를 유발할 수 있는 일본 서안 북부지역의 진앙 위치를 추정한다. 추정 위치들을 구역화하여 분류하고, 분류 영역별로 지진규모에 따른 동해안 전역의 지진해일 파고를 분석한다. 분석결과를 바탕으로 지진해일에 대한 동해안의 피해위험지역을 분류하고, 지역별 최대파고 정보를 산출한다.

2. 지진해일 시나리오 DB

2.1 시나리오 DB 구축 및 구성

기상청은 한반도 주변 해역 (120°~142°E, 25°~45°N)을 대상으로 위·경도를 0.2°x0.2° 크기의 격자로 구분하여 각 격자점에서 발생할 수 있는 지진의 규모를 고려한 지진 단층 및 단층면해를 가정하고, 이를 이용하여 가상의 지진해일에 대한 해안가 관측지점에서의 도달시간과 예상 최대파고를 DB화하여 구축하였다(NIMR, 2006). 특히, 지진 발생 가능성이 높은 일본 서쪽 근해지역에 대해서는 기존 연구결과와의 단층정보를 이용하여 조밀한 간격(0.1°x0.1°)의 지진발생 시나리오 DB를 구축하였다(Fig. 2). 구축된 시나리오 DB

에는 한반도 인근해역의 5,964개 지점을 대상으로 지점별 단층정보를 이용하여 규모 6.0부터 9.0까지 0.2간격의 가상지진에 대한 결과정보가 수록되어 있다.

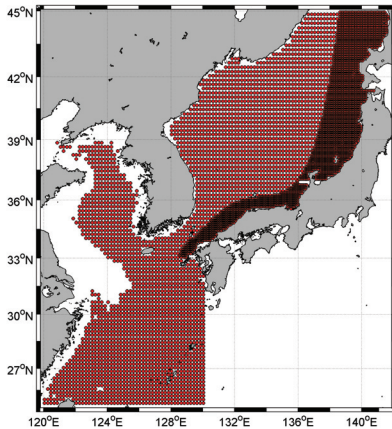


Fig. 2. Epicenter Distribution Assumed for Construction of Tsunami Scenario DB

DB는 진앙의 위도(Lat), 경도(Lon), 지진규모(Mag), 그리고 단층면 정보인 주향(Strike), 경사각(Dip), 면선각(Rake) 값이 기록된 파일형 형태이다(Fig. 3). 파일형 DB의 내용은 관측지점별로 지진해일이 도달하는 시간(분)과 최대파고(미터)로 구성되어 있다.

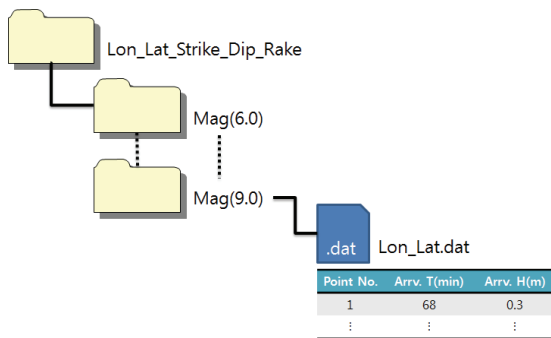


Fig. 3. Tsunami Scenario DB Structure

2.2 수치모의 프로그램 개선 및 DB 보완

지진해일의 예측정확도를 향상시키고, 보다 다양한 규모의 지진을 고려하기 위해 수치모의 프로그램을 개선하고 DB를 보완하였다. 특히 지진해일의 전파와 최대파고 형성에 가장 크게 영향을 주는 수심, 해안선, 육지정보에 대하여 최신의 정밀자료를 수집하여 입력자료로 사용하였다. 이는 기존 DB 구축에 사용된 수심과 해안선 자료가 대양모델에서 사용하던 자료들로서 한반도 연안을 사실적으로 재현하는데 부족하였고, 육지정보는 서해안과 남해안처럼 해안선이 복잡한 지역에서 많은 차이를 보였기 때문이다(KMA, 2013). 그리고 기존

DB는 한반도 주변의 수심 50 m 지점에서 예측되는 지진해일 값으로 구성되어 있어 해안지역에서의 추정값과 일치하지 않아 서비스하기에 부적합하였다(Park and Lee, 2014).

위와 같은 문제점들을 개선하기 위해 다음 사항들을 수행하였다. 수심자료는 수집된 최신의 수치해도로부터 추출한 지역별 연안 수심과 1초 간격의 수치표고(DEM) 수심자료로부터 추출한 외해 수심을 통합한 후 수치모의 프로그램의 계산격자에 맞게 선형적으로 내삽하여 구성하였다. 그리고 해안선 자료는 수치해도로부터 각 지역의 해안선 정보를 추출한 뒤 위성지도와 비교분석하여 실제 해안선과 최대한 유사하게 구성하였다. 앞서 생성한 수심과 해안선 자료를 바탕으로 육지정보를 구성하였고, 수평 격자의 해상도에 따라 왜곡된 지역과 주요 섬들의 위치를 확인하며 수정·보완하였다. 이때 바다에 해당하는 격자점들이 중간에 끊어지지 않게 해안선을 따라 확인하며 수정하였다. 최종 수정된 육지정보를 이용하여 육지와 가장 가까운 바다격자를 연안 관측지점으로 선정하였다.

수치모의 프로그램에 사용한 수평격자의 해상도는 전 영역에 걸쳐 0.01도로 구성하였고, 총계산시간은 해역에 따른 지진해일의 전파양상을 고려하여 동해는 5시간, 그 외 해역은 7시간으로 설정하였다. 동해의 경우 상대적으로 수심이 깊고 지진해일 발원지로부터 한반도 연안까지 해일이 빠르게 전파하기 때문에 총 5시간의 자료처리결과가 산출되었고, 서해, 남해, 동중국해 등의 지역에서는 총 7시간 동안의 계산결과가 도출되었다. 이때 프로그램의 안정성과 계산 효율성을 고려하여 1초 간격으로 계산이 수행되었다. 최종적으로 사용된 수치모의 프로그램의 수치모델 조건을 Table 1에 정리하였다.

Table 1. Model Overview

Classification	Contents
Tsunami Modeling package	COMCOT Ver.1.6.
Governing Equation	Linear shallow-waver equation
Grid Area	120°~142°E, 25°~45°N
Coastline and Bathymetric data	<ul style="list-style-type: none"> Digital Nautical Chart from Korea Hydrographic and Oceanographic Administration Water depth at intervals of 1 second from Sungkyunkwan University
Grid Size	0.01°
Calculating Time	Selected by zone considering tsunami propagation speed <ul style="list-style-type: none"> East Sea(5 hours) Yellow Sea, South Sea, East China Sea(7 hours)
Time Interval	1 second

2.3 해일파고 관측값과 비교

과거에 일본 서해안 북부지역에서 발생한 지진해일로 인해 한반도 동해안 일부 지역이 영향을 받았다. 이에 관측값이 명확히 기록된 1993년 7월 지진해일(NIDP, 1998; Choi et al., 2002b)에 대해 지진해일 시나리오 DB 추출값과 상호 비교하였다. 지진해일이 관측된 27 개소 지점 값을 상호 비교한 결과, 평균 0.51 미터의 차이를 보였고, 표준편차는 0.68 미터로 나타났다(Fig. 4). DB값들이 사후조사에서 확인한 관측값에 비해 전체적으로 작게 나타났다. 이는 지진해일 시나리오 DB에 사용한 격자 간격이 커 천해역의 얇은 수심구간에서 발생하는 천수효과를 충분히 반영할 수 없었기 때문으로 생각된다. 그리고 1983년 5월에 발생한 지진해일에 대하여 동해안의 세 항구지점(묵호, 속초, 포항) 관측값과 상호비교한 KMA(2013) 결과에 의하면 최대파고값이 DB 추출값과 0.1 미터 내외의 오차를 보였다.

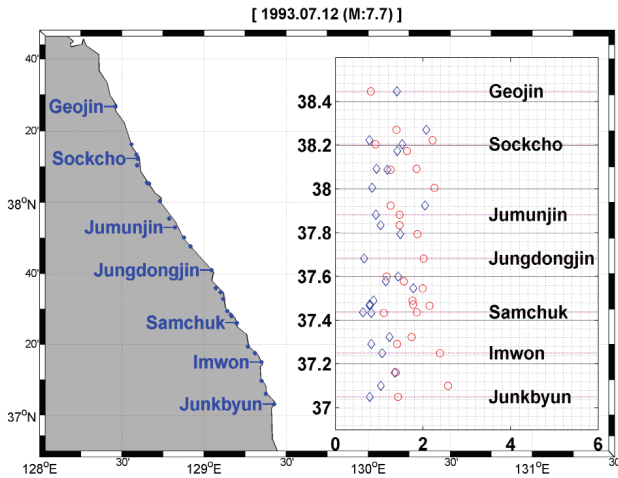


Fig. 4. Comparison of Calculated(◇) and Observed(○) Wave Height for the Case of 1993 Tsunami

3. 최대파고 유발 진앙 분류

먼저 지진해일 최대파고를 유발하는 진앙을 분류하기 위해 일본 서안의 지진다발지역에서 지진이 발생할 상황을 가정하여 해일 파고가 높게 나타나는 동해안의 일부 지점을 선정하였다. 이때 지진해일 유발 지점은 과거 동해안에 영향을 준 진앙(Fig. 1)과 근접한 일본 서안의 지진다발지역 12곳이 선택되었다. 이들 12곳 위치에서 규모 8.0의 지진이 발생했을 때 동해안 관측지점에 도달하는 지진해일의 파고에 대한 통계결과를 Fig. 5에 표시하였다. 그림에서 우측편에 붉게 표시된 별표(★)는 지진 발생지점이고, 동해안을 따라 푸른색 점으로 표시한 것이 지진해일 관측지점들이다. 그리고 내부 삽입된 그림에서 붉은색 점(●)은 지진해일에 의한 관측지점별 평균 파고(미터)이고, 파란색 수평막대(—)는 표준편차를 각각 의미한다.

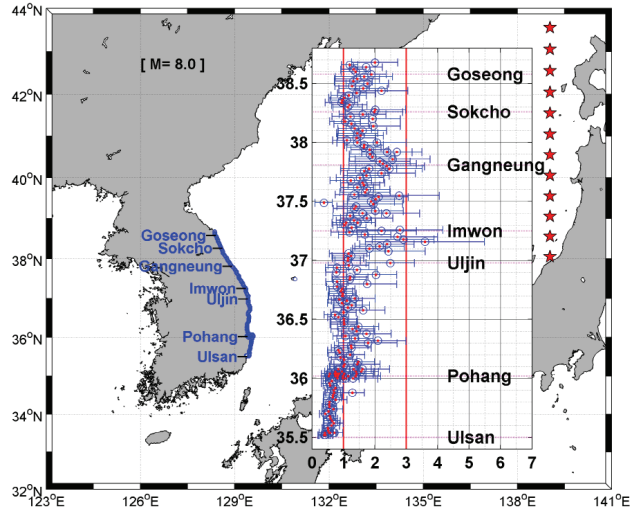


Fig. 5. Tsunami Wave Height(m) along the East Coast of Korean Peninsula by Earthquakes with Magnitude 8.0. Red Stars indicate the Epicenters of 12 Scenario Earthquakes

지진해일 파고는 동해안 대부분 지역에서 평균 1.0 미터를 초과하였고, 남해안쪽으로 근접할수록 파고가 낮아져 포항 이남 지역은 1.0 미터 미만으로 나타났다. 동해안 지역 중에서 임원과 울진 사이의 일부 지점들은 평균 3.0 미터를 초과하는 것으로 나타났다. 이는 진앙의 위치와 동해안의 해저지형으로 인해 지진해일이 대화퇴 부근에서 회절 및 굴절되어 전파되기 때문에 지역에 따라 해일의 높이가 상이하게 나타난 것이다(Yoon, 2002; Kim, Kim et al., 2007; Lee et al., 2016). 특히 지진해일의 전파에너지가 상당 부분 집중되는 임원 부근지역이 다른 지역의 파고보다 높게 나타났다(Choi et al., 2002b; Yang, 2007). 그래서 이 지점들을 대상으로 최대파고를 유발하는 일본 서안 북부의 진앙을 분류하였다. 이때 대상으로 선정된 곳은 파고가 가장 높게 나타나는 임원부근의 대표적인 세 지점인 임원(37.25°N, 129.35°E), 호산(37.16°N, 129.36°E), 죽변(37.05°N, 129.42°E)이다.

선정된 세 지점을 대상으로 일본 서안 북부지역에서 지진해일이 발생했을 때, 각 지점에 영향을 주는 지진해일의 진앙별 파고를 색상별로 표시하였다(Fig. 6). 이때 앞에서 기술한 규모 8.0보다 상대적으로 발생 가능성이 높고, 의미 있는 파고를 유발할 수 있는 규모 7.0으로 낮추었다. 또한, 진앙 지역은 12곳 진앙을 포함한 경도 137°~141°로 제한하였다. 각 관측지점별 결과에서 정규화된 파고의 상위 30%에 해당하고, 지진다발지역에 속하는 진앙들을 중심으로 구역화하여 분류한 뒤, 세 지점에서 공통적으로 나타나는 네 구역을 선정하였다. 선정된 구역의 공간적 범위는 다음과 같다.

- ① 137.0~138.2°E, 39.0~39.4°N
- ② 137.4~138.4°E, 40.1~40.7°N
- ③ 138.4~139.0°E, 40.0~41.0°N
- ④ 139.0~139.6°E, 40.0~40.8°N

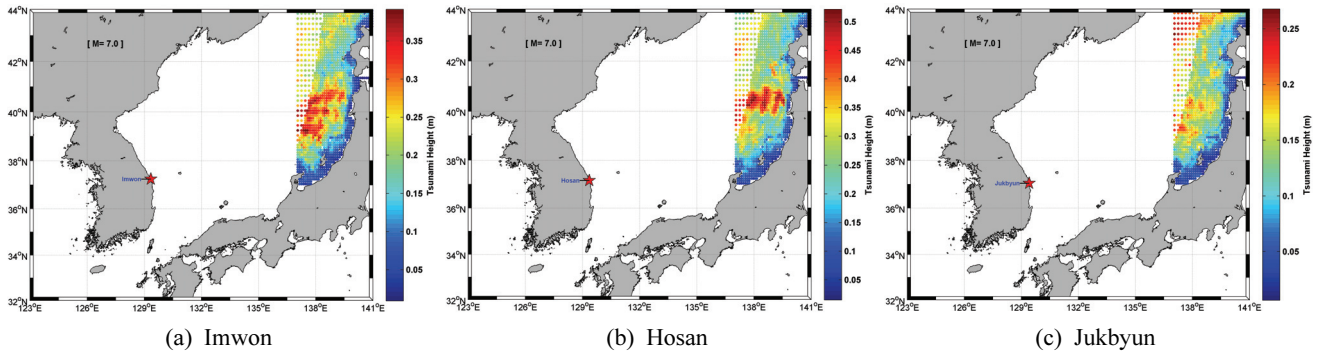


Fig. 6. Tsunami Height at Three Observation Points is Colored at the Epicenters of Each Earthquake

4. 동해안 지진해일 위험지역

4.1 동해안 파고 분포

대규모 지진이 발생할 가능성이 높은 일본 서안 북부의 판경계부 중에서 동해안지역에 지진해일에 의한 영향을 크게 주는 진앙들을 네 구역으로 나누어 분류하였다. Figs. 7(a) ~ (d)는 각 구역내에 위치한 진앙들에서 규모 7.0 지진이 발생했을 때, 동해안의 각 지점별 지진해일 파고를 나타낸 것이다. 그림에서 직사각형 모양으로 군집한 진앙들은 지진 발생지역들이고, 이들 지진으로 인해 발생한 지진해일의 관측지점별 평균 파고는 붉은색 점(●), 표준편차는 파란색 수평대(±), 최대값은 초록색 점(●)으로 각각 표시하여 그림 안에 삽입하였다.

①번 구역에서 발생한 지진해일은 임원(Imwon)부근에서 가장 높은 파고를 유발하였다(Fig. 7(a)). 임원을 포함하여 파고가 높게 형성되는 위도 37.05°와 37.25° 사이의 평균파고는 0.27 미터, 최대파고의 평균값은 0.35 미터로 나타났고, 최고 파고는 임원 바로 위 지점에서 0.53 미터로 나타났다. 임원 북쪽지역(37.26~38.7°N)은 평균 0.19 미터의 파고가 발생하였고, 최대값은 평균 0.26 미터로 나타났다. 반면, 임원 남쪽에 위치한 울진과 포항 사이의 지점들(36.0~37.0°N)은 평균 파고가 0.14 미터, 최대값 평균은 0.18 미터로 나타나 임원 북쪽보다 작은 값을 보였다. 포항 이남지역(35.5~36.0°N)에서는 남쪽으로 내려갈수록 파고가 점점 낮아져 울산지점(35.5°N)에서의 최대값이 0.04 미터로 나타났다.

②번 진앙 구역은 ①번 구역보다 조금 더 북동쪽에 위치하고, 파고 값이 전체적으로 약 0.01 미터 정도 낮아졌다(Fig. 7(b)). ③번 구역은 진앙이 동쪽으로 더 치우쳐 해일의 높이가 ②번 결과보다 평균 0.01 미터 정도 더 낮아졌고(Fig. 7(c)), 진앙 분포가 가장 먼 ④번 구역의 경우에는 ③번 구역에 비해 평균 0.02 미터 작게 나타났다(Fig. 7(d)).

지진해일 발생구역의 위치 차이로 인해 파고 값은 조금씩 차이를 보였지만, 전체적인 파고 분포는 유사하게 나타났다. 네 구역 모두 임원과 울진 사이 지역(37.0~37.3°N)에서 가장 높은 파고가 형성되었고, 전체적으로 강원도 관측지점들의

파고값이 경상도 지점들의 값보다 높게 나타났다.

4.2 지역별 최대파고

①~④ 구역에서 발생하는 지진의 규모를 달리하여 동해안에서 검출되는 지진해일의 최대 파고를 지역별로 산출하였다. 이때 동해안 지역은 기상청의 해상국지예보구역을 기준하여 6개 구역으로 나누었고(Park and Lee, 2014), Fig. 7의 내부 삽입된 그림에 나타낸 바와 같이 각 지역의 경계를 검은 수평점선으로 표시하였다. 표시된 지역은 위쪽에서부터 강원북부, 강원중부, 강원남부, 경북북부, 경북남부, 울산지역을 각각 나타낸다. 그리고 지진규모는 6.0부터 7.8까지 0.2 간격으로 적용하였다.

Fig. 8은 지진 규모 6.8부터 7.6까지 지역별 최대파고를 표시한 것이다. 그림에서 가로축은 동해안 6개 지역이고, 세로축은 지역별 최대 파고를 미터 단위로 나타낸 것이다. 이때, 규모 7.6은 세로축의 파고 범위가 다른 규모와 달리 0.0~4.0 미터이다. 규모 6.6 이하는 모든 지역에서 지진해일 주의보에 해당하는 0.5 미터의 절반보다 작은 0.2 미터를 넘지 않았고, 규모 7.8은 울산지역을 제외한 동해안의 모든 지역에서 지진해일 경보에 해당하는 1.0 미터를 3배 이상 초과하여 그림에서 제외하였다.

그림을 통해 지진의 규모가 증가할수록 파고가 높아지고 있음을 알 수 있다. 특히, 규모 7.2부터 강원남부 지역의 파고는 동일 규모의 다른 지역에 비해 높게 나타났고, 규모가 커질수록 다른 지역과의 파고차이는 더 큰 격차를 보였다. 동일한 규모의 경우, ②번 구역에서 발생한 지진은 강원도 지역에 높은 파고를 유발하였고, ①번 구역에서 발생한 지진해일은 경상도 지역에 큰 영향을 미쳤다. 이는 진앙의 위치와 동해의 해저지형으로 인해 지진해일의 전달경로가 조금씩 차이를 보이고, 관측지점의 지형적인 영향으로 해일의 높이가 지역마다 상이하게 나타난 것이라 사료된다.

규모 6.8이하는 모든 지역에서 지진해일 주의보 기준인 0.5 미터를 넘지 않았지만, 7.0부터 강원남부지역이 0.5 미터를 초과하였다. 7.2일 때는 울산지역을 제외한 모든 지역에서 0.5 미터 수준이상을 보였고, 7.4일 때 경북남부와 울산지역

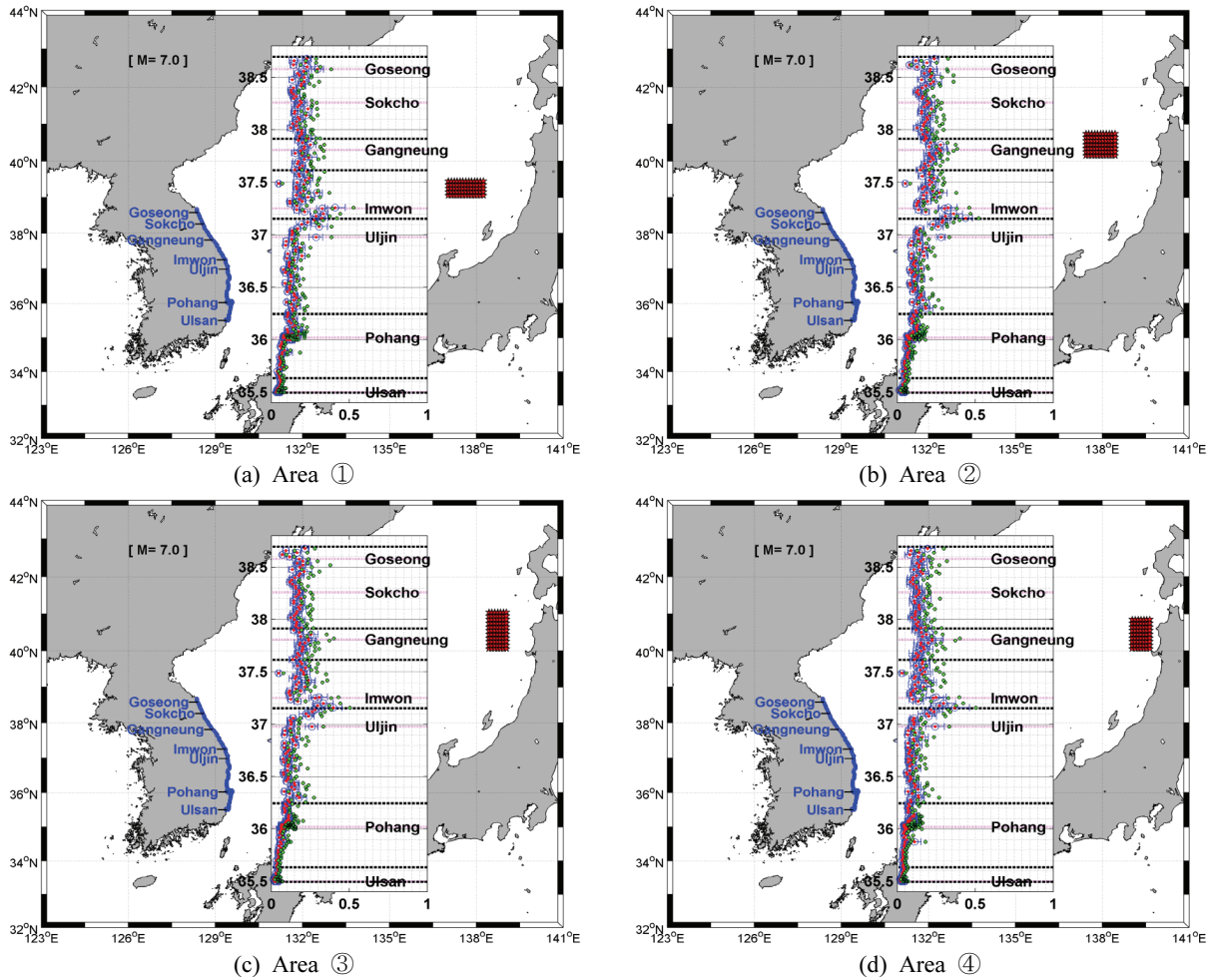


Fig. 7. Tsunami Height Distribution Induced by Earthquakes in Area ①~④

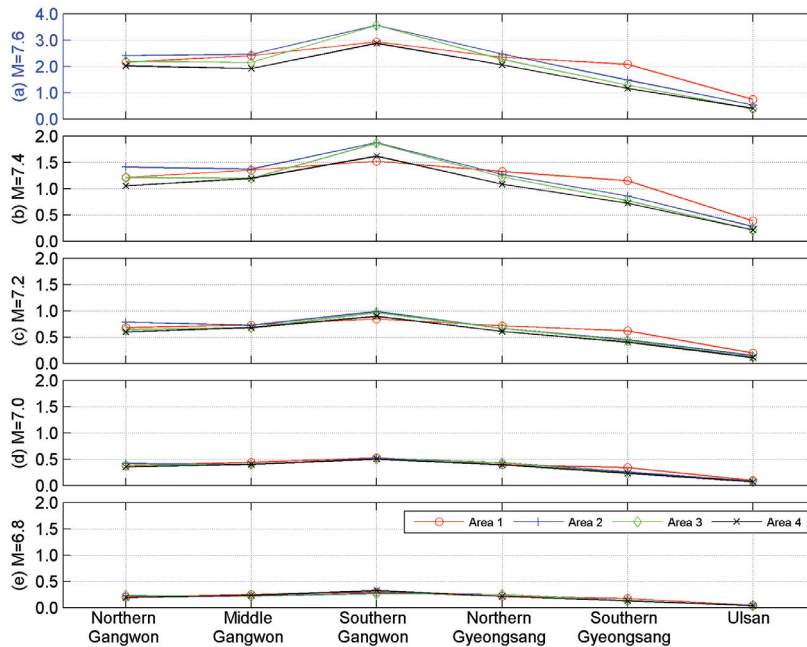


Fig. 8. Regional (Area ①:○, ②:+, ③:◇, ④:*) Maximum Wave Height by Earthquake Magnitude (unit: meter). (a) M=7.6, (b) M=7.4, (c) M=7.2, (d) M=7.0, (e) M=6.8

을 제외한 동해안 모든 지역에서 최대파고가 1.0 미터를 초과하였다. 규모 7.6의 경우에는 경북북부를 포함한 북쪽 지역에서 2.0 미터를 초과하였고, 강원남부지역은 3.5 미터 수준에 이르기도 하였다.

4.3 위험지역 분류

일본 서안에서 발생한 지진해일은 대화퇴를 경유하며 동해안의 일부 지점에 에너지가 집중되어 높은 파고를 유발한다. 지진해일 시나리오 DB 결과를 통해 임원부근 지역이 가장 크게 영향을 받고 있음을 확인하였다. 이 지역은 과거 지진해일 피해가 컸던 곳이고, 기존 연구결과를 통해서도 확인된 바 있는 지점이다(Choi et al., 2002b; Kim, Lee et al., 2007)

임원부근 지역을 경계로 북쪽에 위치한 강원도 지역은 남쪽에 위치한 경상도 지역에 비해 높은 파고가 형성되었다. 최대파고가 제일 높게 나타난 지역은 강원남부이고, 남쪽으로 내려갈수록 점점 더 낮아져 울산지역이 상대적으로 제일 작은 파고값을 보였다.

5. 결 론

지진해일은 짧은 시간에 광범위한 영역으로 전파되기 때문에 빠른 시간내에 관련정보를 제공하여 재산 및 인명피해를 최소화해야 한다. 우리나라 동해는 지진해일 발생과 이로 인한 한반도내 피해유발 가능성이 높은 지역이다. 이에 이 연구에서는 짧은 시간에 지진해일 관련정보를 추출할 수 있는 시나리오 DB를 이용하여 일본 서안 북부지역에서 지진발생시 해일고에 따른 동해안의 피해 위험지역을 분류하였다.

일본 서안 북부지역에서 발생한 지진해일은 동해의 해저 지형 영향으로 회절 및 굴절되어 동해안에 전파된다. 특히 대화퇴의 렌즈역할로 인해 에너지가 집중되는 임원부근 지역은 동해안의 다른 지역에 비해 파고가 높게 나타났다. 지역별로는 강원지역의 파고가 경상지역보다 높게 나타났고, 남쪽으로 내려갈수록 낮아졌다. 또한 지진 규모가 커질수록 파고가 높아져 규모 7.0부터 지진해일 주의보(0.5~1.0 미터)가 발령되는 지역이 나타났고, 7.4부터 지진해일 경보(1.0 미터 이상)가 통보되는 지역이 나타났다. 결론적으로 동해 관경계부에서 규모 7.0 이상, 특히 7.4 이상 지진 발생시 주의가 필요하고, 지진해일 발생시 임원부근 해안에 대해서는 중점적인 관측이 필요하다. 이와 같은 결과들을 통해 지진해일의 발생위치에 따라 중점 모니터링 지역을 분류할 수 있고, 해당지역에 대한 지진해일 영향 판단에 활용될 수 있을 것이다.

그러나 이 논문에서 사용한 최대파고 유발 진앙구역 ①~④는 규모 7.0을 기준으로 분류한 것이어서 규모가 달라지면 구역의 위치와 범위가 바뀔 수 있고, 지진해일 시나리오

DB 구축시 가정한 지진의 단층정보와 이에 대한 정확도, 수심자료의 해상도에 따라 DB 값도 달라져 관측지점별 파고 값이 다르게 나타날 수도 있다.

이 논문에서는 과거 지진해일 사례와 대규모 지진이 발생할 가능성이 큰 관경계부만을 고려하였지만 한반도 근해에 대한 단층정보와 발생 가능한 최대 지진규모 등에 대해서도 세부적인 연구가 요구되며 이를 이용한 지진해일 평가도 필요하다.

감사의 글

본 연구는 기상청 수치예보 지진업무 지원 및 활용 연구의 지원을 받아 수행되었습니다.

References

- Ahn, S.H., Ha, T., and Cho, Y.S. (2010) Generation of Tsunami Hazard Map. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 10, No. 4, pp. 127-133.
- Bae, J.S., Cho, Y.J., Kwon, S.J., and Yoon, S.B. (2012) Numerical Analyses of 2011 East Japan Tsunami Propagation Towards Korean Peninsula. *Journal of Korean Society of Coastal and Ocean Engineers*, Vol. 24, No. 1, pp. 66-76.
- Cho, Y.S. (1998) Amplification of Tsunami Run-up Heights at Coastline. *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 18, No. II-1, pp. 41-46.
- Cho, Y.S., and Ha, T.M. (2010) Characteristics of Tsunamis and Mitigation Planning. *Geophysics and Geophysical Exploration*, Vol. 13, No. 3, pp. 295-300.
- Choi, B.H., Hong, S.J., and Lee, J.S. (2002b) Computation of Hypothetical Tsunamis on the East Coast in Korea. *Journal of the Earthquake Engineering Society of Korea*, Vol. 6, No. 3, pp. 73-86.
- Choi, B.H., Pelinovsky, E., Ryabov, I., and Hong, S.J. (2002a) Distribution Functions of Tsunami Wave Heights. *Natural Hazards*, Vol. 25, pp. 1-21.
- Kim, D.S., Kim, J.M., Lee, K.H., and Son, B.K. (2007) Analysis of the Effects on the Southeastern Coast of Korea by a Tsunami Originating from Hypothetical Earthquake in Japan. *Journal of Ocean Engineering and Technology*, Vol. 21, No. 6, pp. 64-71.
- Kim, J.M. (2010) *Estimation of Storm Surge and Tsunami Height at Southeastern*. Ph.D. dissertation, Korea Maritime University.
- Kim, S.M., Lee, S.O., Choi, M.K., and Cho, Y.S. (2007) Field Survey of 1983 Central East Sea Tsunami:

- Imwon Port. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 7, No. 4, pp. 97-105.
- Kim, Y.C., Park, J.W., and Cho, Y.S. (2013) Prediction of Tsunami Hazard Area based on Probable Maximum Flooding Probability. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 13, No. 1, pp. 337-345.
- KMA (Korea Meteorological Administration) (2013) *Development of Real-time Analysis System for Large-scale Earthquakes and Global Tsunami Prediction System.*
- KMA (Korea Meteorological Administration) (2016) *Seismological Annual Report.*
- KMA (Korea Meteorological Administration) (2017) Tsunami Damage Cases in Korea. Retrieved June 7, 2017, from http://www.kma.go.kr/weather/earthquake_volcano/tidalwave_02.jsp
- Lee, D.K., Ryoo, Y., Yang, J.M., Kim, S., Youn, Y.H., Lee, J.H., and Park, J. (2005) A Way for Establishing Tsunami Scenario Database. *Journal of the Korean Geophysical Society*, Vol. 8. No. 2, pp. 93-96.
- Lee, H.W., Shin, J., Kim, K.Y., and Cho, Y.S. (2012) Database for Tsunami Hazard at Harbor Zones. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 12, No. 6, pp. 305-314.
- Lee, J.W., Park, E.H., Park, S.C., Lee, D.K., and Lee, J.H. (2016) Numerical Simulations of the 2011 Tohoku, Japan Tsunami Forerunner Observed in Korea Using the Bathymetry Effect. *Journal of Korean Society of Coastal and Ocean Engineers*, Vol. 28, No. 5, pp. 265-276.
- NIDP (National Institute for Disaster Prevention) (1998) *Evaluation of Tsunami Hazards Along the Eastern Coast of Korean Peninsula.*
- NIMR (National Institute of Meteorological Research) (2006) *Development of Techniques on Tsunami Forecasting and Earthquake Precursor Detection.*
- NOAA (2017) *National Geophysical Data Center/World Data Service (NGDC/WDS): Global Historical Tsunami Database.* National Geophysical Data Center. NOAA. doi:10.7289/V5PN93H7 (access June 7, 2017)
- Park, S.C., and Lee, J.W. (2014) Fundamental Research for Improvement of Tsunami Warning System of KMA. *Proceedings of Earthquake Engineering Society of Korea Conference*, pp. 85-86.
- Sheen, D.H., Hwang, E.H., Lee, D.K., and Jeon, Y.S. (2007) Tsunami Warning System of the Korea Meteorological Administration Using Tsunami Scenario Database. *Proceedings of KOSHAM 2007 Conference*, pp. 148-151.
- Yang, G.S. (2007) *Evaluation of Effect on the Sea Water Level of Eastern Coast by Tsunami Originated at the Sea Near Japan.* Master's thesis, Korea Maritime University.
- Yoon, S.B. (2002) Propagation of Distant Tsunamis Over Slowly Varying Topography, *J. Geophys. Res.*, Vol. 107, No. C10, Article No. 3140. doi:10.1029/2001JC000791

Received	November 10, 2017
Revised	November 10, 2017
Accepted	December 1, 2017