

발간등록번호

11-1360000-001853-01



# 2024 동해안 지진해일

Korea Meteorological Administration

## 분석보고서



기상청

Korea Meteorological  
Administration

# 지진과 지진해일 대응체계를 한층 강화하여 국민의 안전과 재산 보호에 만전을 기할 수 있도록 하겠습니다.

올해 1월 1일 일본 이시카와현 노토반도에서 규모 7.6의 지진이 발생해 진앙 인근 지역에 막대한 인명과 재산 피해가 있었으며 뒤따르는 지진해일은 동해를 거쳐 우리나라 동해안까지 도달했습니다. 동해안은 과거 1983년과 1993년에도 일본 서쪽 해역에서 발생한 지진해일에 의해 여러 항구를 중심으로 인명과 재산 피해를 입은 바 있습니다. 이번 지진해일은 1993년 이후 31년만에 동해안에 영향을 주었습니다. 다행히 이번 지진해일로 우리나라는 별다른 피해가 발생하지 않았지만, 과거 사례에 비추어볼 때, 지진의 위치와 규모에 따라서는 동해안에 지진해일 피해가 발생할 가능성이 상존합니다. 이처럼 우리나라는 잠재적인 지진해일 발생 위험성이 있는 만큼, 이에 대비하여 대응체계를 다시 한번 점검할 필요가 있습니다.

「2024 동해안 지진해일 분석보고서」는 이번 동해안 지진해일에 대한 대응 상황과 관측정보 등을 정리한 것입니다. 본 보고서를 작성하면서 지진해일 발생 당시 기상청이 수행하였던 업무를 재점검하였으며, 동해안에 대한 지진해일 예측정보와 시간 경과에 따라 변화하는 관측정보를 포함해 지진해일정보를 발표한 과정을 보고서에 기록하였습니다. 울릉도에 지진해일이 도달한 후 동해안의 여러 관측소에도 순차적으로 도달한 것이 관측됨에 따라 관측자료 분석 결과를 정리하고, 수치모의를 통해 산출된



K O R E A M E T E O R O L O G I C A L A D M I N I S T R A T I O N

지진해일 예측정보, 과거 동해안 지진해일 사례와 비교 분석한 결과도 보고서에 담았습니다.

본 보고서가 향후 발생할 수 있는 지진해일에 대한 전문적이고 체계적인 대응자료로 활용되기를 바라며, 동해안 지진해일의 영향을 이해하는데 도움이 되기를 기대합니다. 현재의 과학기술로 지진의 발생을 예측하기는 어렵지만, 지진해일은 사전에 철저히 대비하고 체계적으로 대응한다면 피해를 줄일 수 있을 것입니다. 이번 지진해일의 경험을 바탕으로 지진과 지진해일 대응체계를 한층 강화하여 국민의 안전과 재산 보호에 만전을 기할 수 있도록 하겠습니다.

2024년 4월

기상청장 **유 희 동**

## | 요약 문 |

2024년 1월 1일 16시 10분경 일본 노토반도에서 규모 7.6의 지진이 발생하였다. 본진에 의한 최대진도는 7(일본기상청 진도등급 0~7 중 최대)이었고, 규모 6.1의 최대 여진을 포함해 한달동안 총 1,558회의 여진이 발생하였다. 이 지진으로 인해 일본 홋카이도에서 규슈 지방에 걸친 넓은 범위에서 지진해일이 관측되었으며, 이번 지진과 지진해일로 인해 일본에서는 막대한 인명과 재산 피해가 발생하였다.

노토반도 지진에 의한 지진해일은 동해 전역으로 전파되었으며, 1993년 일본 홋카이도 지진해일 이후 31년만에 동해안에서도 관측되었다. 기상청은 노토반도 지진 관측 이후 먼저 국외지진정보를 발표하였고, 울릉도·독도와 강원도, 경상도 동해안 전역에 0.5m 미만의 지진해일이 도달할 것으로 예측됨에 따라 「지진해일정보」를 발표하였다. 이후 동해안에서 지진해일이 관측되고 시간 경과에 따라 지진해일고가 높아지는 상황을 반영하여 추가 「지진해일정보」를 발표하였다.

지진해일이 종료된 후 이번 지진해일의 특성을 파악하기 위해 정밀 분석을 수행하였다. 먼저, 지진해일 관측소에 관측된 수위 자료에서 조석 등 장주기 성분을 제거하여 지진해일 최초도달시각과 최대지진해일고를 분석하였다. 지진해일은 지진 발생으로부터 약 1시간 20분 후 울릉도에 도달하였으며, 이후 남항진, 속초 등 동해안의 여러 관측 지점에서 순차적으로 관측되었다. 묵호에서 82cm, 후포에서 54cm의 최대해일고가 관측되었고, 속초, 남항진, 동해, 임원, 영덕 등에서는 약 20~40cm, 울릉도, 울산, 부산 등에서는 약 11~15cm의 최대해일고가 관측되었다. 최대해일고는 최초 도달 이후 약 2시간~2시간 30분 사이에 관측되었으며, 지진해일의 영향은 약 10~24시간 지속된 것으로 분석되었다. 진양 부근 일본 지진해일 관측지점에서 최초도달로부터 약 20분~1시간 후에 최대해일고가 관측된 것과 비교할 때 동해안에서 관측된 지진해일은 다른 특성을 나타내었다.



지진해일 관측자료에는 관측지점의 국지적인 지형 특성이 반영되어 있으며 소수의 관측 지점만으로는 동해안 전역에서의 지진해일 특성을 파악하는데 한계가 있다. 따라서 지진해일 수치모의를 통해 동해안 전역의 지진해일고 등을 추정하고 관측지점에서의 관측자료와 비교함으로써 이번 지진해일의 특성을 이해하고자 하였다. 다양한 단층 모델을 적용해 동해안의 지진해일에 대한 수치모의를 수행하였으며, 수치모의에서 산출된 지진해일고를 관측된 해일고와 비교한 결과, 보다 상세한 단층모델을 적용함으로써 지진해일 예측 정확도가 높아질 수 있음을 확인하였다. 또한, 일부 지역에서는 국지적인 지형의 영향과 조석·기상상황 등의 영향이 복합적으로 나타난 것으로 추정된다.

한편, 31년만에 발생한 지진해일을 계기로 정부와 지자체의 대비·대응 과정에서 일부 미흡한 점들이 지적되었다. 일부 지점에 대한 지진해일고 예측정보와 실제 관측값과의 차이 발생, 지역 특성·위험성을 고려하지 않은 획일적인 대피기준 및 긴급대피장소 부족, 지진해일 피해저감시설의 보강·확충 투자와 지진해일 전문 교육·훈련이 상대적으로 미흡한 점 등을 보완하기 위하여 관계부처 합동으로 지진해일 개선 대책이 마련되었다. 이에 따라 기상청은 조석 등 총수위를 고려한 지진해일 예측 및 영향분석 기술 개발, 근해부터 조기 탐지할 수 있는 관측체계 마련, CCTV 영상을 활용한 지진해일 자동관측기술 개발 등 예측·관측 정보의 정확도 개선을 위한 대책과 특보기준에 미달하는 지진해일 정보라도 국민에게 신속히 전파하기 위한 「지진해일정보」에 대한 재난문자 추가 발송 등의 개선대책을 마련하여 지진해일 대응체계를 강화할 예정이다.

# | 목 차 |

## I. 2024 동해안 지진해일 개요

<b>제1절 지진 및 지진해일 발생 현황</b>	<b>10</b>
1.1 일본 노토반도 지진 현황	11
1.2 지진해일 현황	14
1.3 피해 현황	18
<b>제2절 일본기상청 대응 현황</b>	<b>20</b>
2.1 긴급지진속보(경보) 발표	20
2.2 지진정보 발표	20
2.3 지진해일 특보 및 정보 발표	21
<b>제3절 지진 발생 메커니즘 등 조사 결과</b>	<b>23</b>
3.1 지진 단층면해 및 여진분포	23
3.2 지진해일 파형 역산을 통한 단층모델	25

## II. 지진해일 대응

<b>제1절 기상청 대응 현황</b>	<b>30</b>
1.1 지진 및 지진해일 특·정보 발표	30

## III. 지진해일 관측·분석 결과

<b>제1절 지진해일 관측소 현황</b>	<b>36</b>
1.1 지진해일 관측소 활용 현황	36



**제2절 지진해일 관측정보 37**

2.1 지진해일 검출시스템 ..... 37

2.2 지진해일 관측 결과 ..... 40

**제3절 지진해일 특성 49**

3.1 시나리오 DB 및 단층운동 정보 활용 수치모의 결과 ..... 49

3.2 지진해일 관측자료 스펙트럼 분석 ..... 57

3.3 지진해일 관측환경 영향 ..... 61

**IV. 1983년, 1993년 지진해일 사례와 비교**

**제1절 과거 동해안 지진해일 사례 66**

1.1 과거 동해안 지진해일 발생 사례 ..... 66

1.2 1983년, 1993년 지진해일 사례와 비교 분석 ..... 68

**참고문헌**

참고문헌 76

**부록**

부록 1. 지진해일 특·정보 발표체계 80

부록 2. 동해안 지진해일 사례 84

2024  
동해안 지진해일  
분석보고서

# I.

## 2024 동해안 지진해일 개요

Korea Meteorological Administration



### 제1절 지진 및 지진해일 발생 현황

- 1.1 일본 노토반도 지진 현황
- 1.2 지진해일 현황
- 1.3 피해 현황

### 제2절 일본기상청 대응 현황

- 2.1 긴급지진속보(경보) 발표
- 2.2 지진정보 발표
- 2.3 지진해일 특보 및 정보 발표

### 제3절 지진 발생 메커니즘 등 조사 결과

- 3.1 지진 단층면해 및 여진분포 분석
- 3.2 지진해일 파형 역산을 통한 단층모델

# I 2024 동해안 지진해일 개요

## 제1절 지진 및 지진해일 발생 현황

2024년 1월 1일 16시 10분경 일본 노토반도에서 규모 7.6의 지진이 발생하였다. 이 지진은 지하 16km에서 시작되었으며, 진앙 인근에서는 일본기상청 진도 등급\* 중 가장 높은 최대진도 7이 관측되었다. 본진 이후 한달동안 최대진도 1\*\* 이상의 여진이 1,558회 발생하였으며, 여진 중 최대 규모는 6.1로 기록되었다(2024.1.31. 기준, 일본기상청).

\* 일본기상청 진도 등급은 10단계(0~4, 5약, 5강, 6약, 6강, 7)로 구분됨. 진도 7은 흔들림이 심해 사람이 움직일 수 없고, 고정되지 않은 가구의 대부분이 쓰러지거나, 집과 도로가 크게 파손되는 현상

\*\* 조용한 실내에서는 일부 사람이 느낄 수 있음

이 지진으로 인해 지진해일이 발생하여 이시카와현의 가나자와에서 80cm, 야마가타현의 사카타에서 0.8m(거대 쓰나미 관측계\*) 등 홋카이도에서 규슈 지방에 걸친 넓은 범위에서 지진해일이 관측되었다. 또한, 현지 조사 결과로 니가타현 조에쓰 후나미 공원에서 5.8m의 지진해일 침수 흔적 높이가 확인되었다. 또한 우리나라 동해안과 러시아 일부 지역에서도 지진해일이 관측되었다.

\* 거대 쓰나미 관측계에 의한 관측값의 단위는 0.1m

이번 지진과 지진해일로 일본에서는 241명이 사망하고, 36,000여 채의 건물이 부서지는 등 인명과 재산 피해가 크게 발생하였다.

[출처] 일본의 지진 및 지진해일 발생 현황과 일본기상청 대응 현황은 「일본기상청 2024년 1월 지진·화산 월보」(이하 일본기상청 월보) 참조

## 1.1 일본 노토반도 지진 현황

일본 노토반도에서는 2018년경부터 지진이 증가하는 경향이 나타났으며, 2020년 12월, 2021년 7월경부터 지진 활동이 점차 활발해지고 있었다. 2023년 5월 5일 규모 6.5의 지진(최대진도 6강) 이후 지진 발생빈도가 다소 높아지다가 시간이 경과함에 따라 점차 감소하는 추세였다(그림 1.1.1).

2024년 1월 1일 16시 10분경 규모 7.6의 지진이 발생하였다. 본진 발생 4분 전에는 규모 5.5(최대진도 5강)의 전진이 있었으며, 본진 2분 후인 16시 12분에 규모 5.7(최대진도 6약), 16시 18분에 규모 6.1(최대진도 5강), 1월 6일 23시 20분에 규모 4.3(최대진도 6약), 1월 9일 17시 59분에 규모 6.1(최대진도 5약)의 지진이 발생하는 등 활발한 지진 활동이 계속되었다. 지진 활동은 노토반도와 북동쪽의 해역을 중심으로 북동-남서로 연장되는 약 150km 정도의 범위에 분포되어 있다(그림 1.1.2). 본진은 이 영역에서 발생한 최대규모의 지진이다.

그림 1.1.1 진도 1 이상의 월별 지진 횟수 그래프(2020년 12월 1일~2023년 12월 31일) [일본기상청 월보]

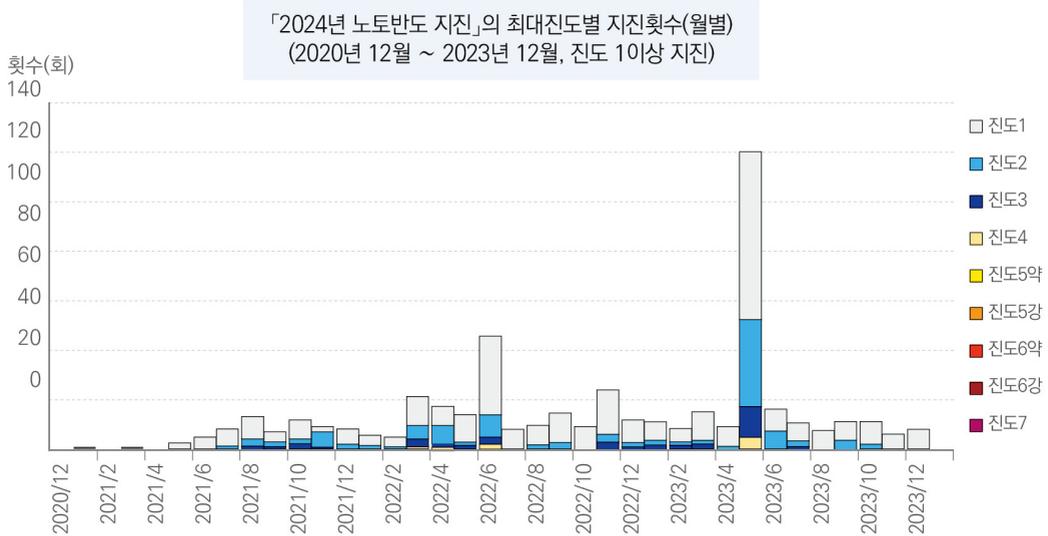
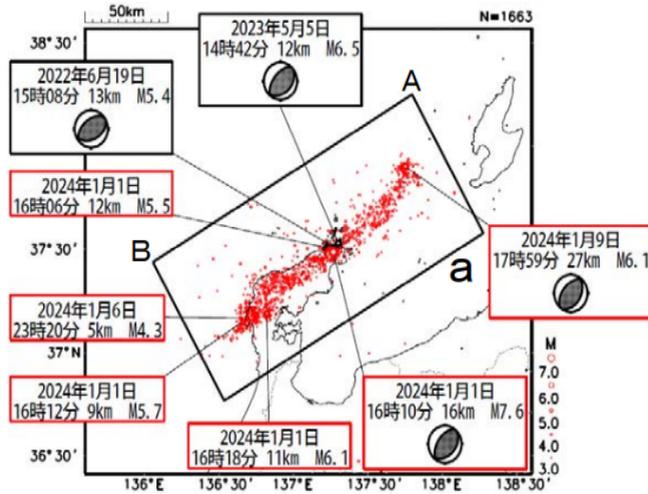


그림 1.1.2 진앙분포도 및 단층면해(CMT)('20.12.01.~'24.1.31., 깊이 0~30km, 규모 3.0 이상) [일본기상청 월보]



본진 이후, 1월 31일까지 진도 1 이상을 관측한 지진은 1,558회로, 진도 7(본진)은 1회, 진도 6약은 2회, 진도 5강은 8회, 진도 5약은 7회, 진도 4는 45회, 진도 3은 139회, 진도 2는 359회, 진도 1은 941회 발생하였다(그림 1.1.3, 표 1.1.1).

그림 1.1.3 진도 1 이상의 일별 지진 횟수 그래프(2024년 1월 1일~31일) [일본기상청 월보]

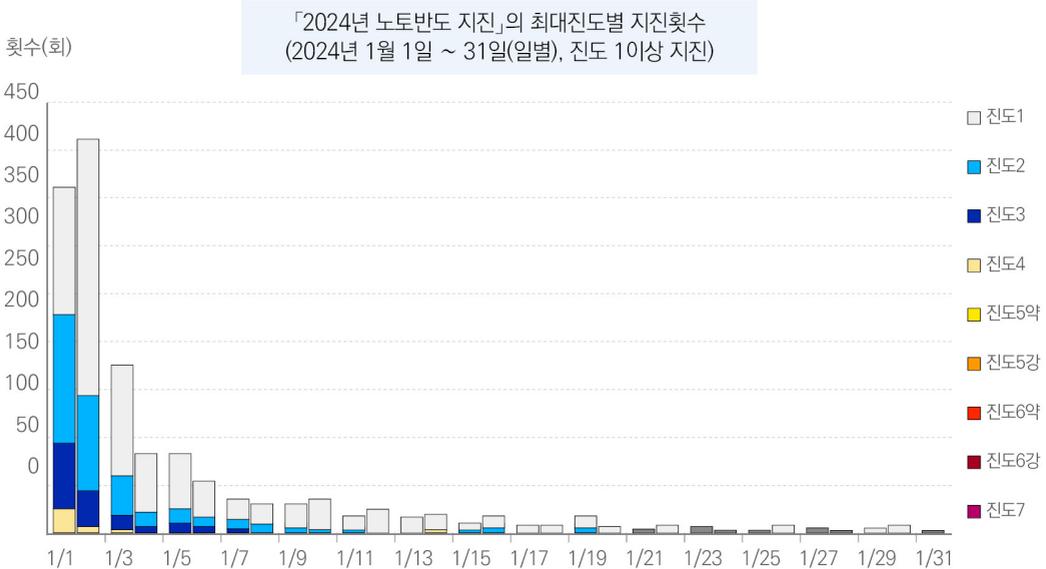


표 1.1.1 진도 1 이상의 일별 최대 진도별 지진 횟수표(2024년 1월 1일~31일) [일본기상청 월보]

일자별	최대진도별 횟수									진도 1 이상 관측 횟수	
	1	2	3	4	5약	5강	6약	6강	7	횟수	누계
1/1	131	134	66	19	4	4	1	0	1	360	360
1/2	266	98	37	8	1	1	0	0	0	411	771
1/3	116	39	16	4	0	2	0	0	0	177	948
1/4	60	17	5	3	0	0	0	0	0	85	1,033
1/5	57	19	9	1	0	0	0	0	0	86	1,119
1/6	37	13	3	1	0	1	1	0	0	56	1,175
1/7	19	11	3	3	0	0	0	0	0	36	1,211
1/8	19	11	1	0	0	0	0	0	0	31	1,242
1/9	25	4	2	0	1	0	0	0	0	32	1,274
1/10	30	3	2	0	0	0	0	0	0	35	1,309
1/11	13	5	2	0	0	0	0	0	0	20	1,329
1/12	21	2	2	1	0	0	0	0	0	26	1,355
1/13	14	3	0	1	0	0	0	0	0	18	1,373
1/14	15	4	1	0	0	0	0	0	0	20	1,393
1/15	5	7	0	0	0	0	0	0	0	12	1,405
1/16	13	5	1	1	1	0	0	0	0	21	1,426
1/17	9	1	1	0	0	0	0	0	0	11	1,437
1/18	9	2	0	0	0	0	0	0	0	11	1,448
1/19	12	3	2	2	0	0	0	0	0	19	1,467
1/20	8	1	0	0	0	0	0	0	0	9	1,476
1/21	5	1	0	0	0	0	0	0	0	6	1,482
1/22	8	2	1	0	0	0	0	0	0	11	1,493
1/23	5	1	2	0	0	0	0	0	0	8	1,501
1/24	2	1	1	0	0	0	0	0	0	4	1,505
1/25	3	3	0	0	0	0	0	0	0	6	1,511
1/26	8	0	1	1	0	0	0	0	0	10	1,521
1/27	6	1	0	0	0	0	0	0	0	7	1,528
1/28	6	0	0	0	0	0	0	0	0	6	1,534
1/29	8	0	0	0	0	0	0	0	0	8	1,542
1/30	7	2	1	0	0	0	0	0	0	10	1,552
1/31	4	2	0	0	0	0	0	0	0	6	1,558
총계	941	395	159	45	7	8	2	0	1	1,558	

※ 진도 1 이상을 관측한 지진의 횟수는 향후 정밀 조사로 변경될 수 있음

## 1.2 지진해일 현황

일본 노토반도에서 발생한 규모 7.6 지진으로 이시카와현의 가나자와에서 80cm, 야마가타현의 사카타에서 0.8m\*, 도야마현의 도야마에서 79cm 등 홋카이도에서 나가사키현에 걸쳐 지진해일이 관측되었다.

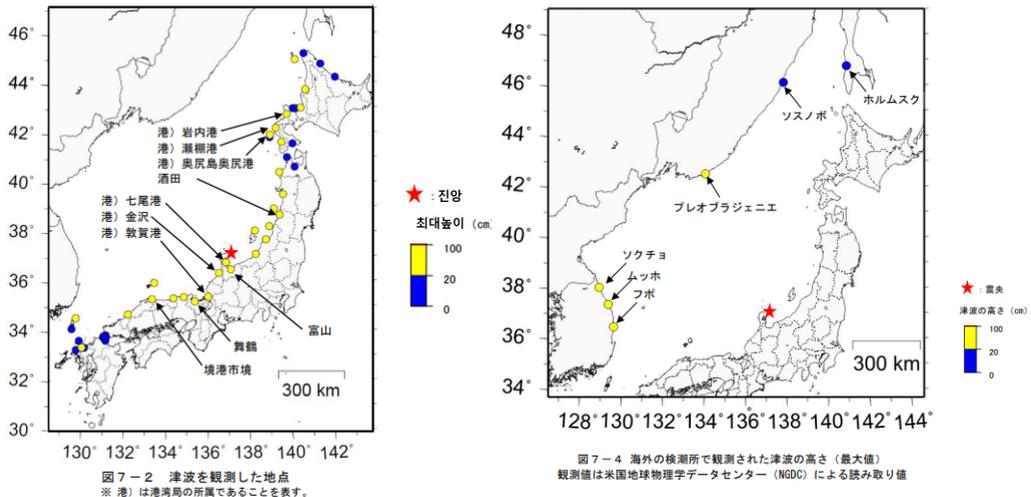
\* 거대 쓰나미 관측계에 의한 관측값으로 단위는 0.1m

우리나라 동해안\*에도 지진해일이 내습하여 묵호 관측소에서 82cm, 후포 관측소에서 54cm, 속초 관측소에서 41cm 등 동해안 지역에서 지진해일이 관측되었으며, 러시아\*\*에서는 프레오브라제니예에서 35cm, 소스노보에서 13cm, 홀름스크에서 9cm의 지진해일이 관측되었다.

\* 대한민국 기상청, \*\* 미국 국립지구물리학데이터센터(NGDC)

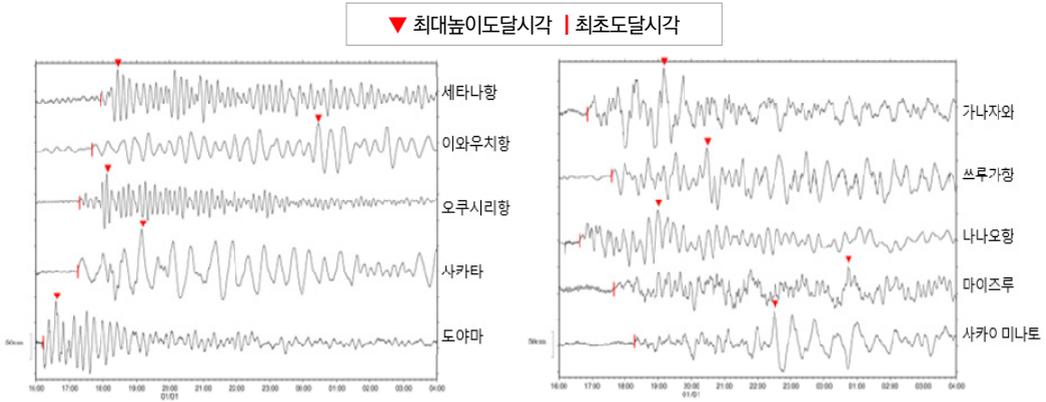
일본기상청은 현장조사를 통해 평상시의 조위로부터 지진해일 흔적까지의 높이를 상세 분석한 지진해일 높이를 추가 발표하였다. 그 중, 건물 등에 남은 흔적으로부터 측정된 높이를 침수고(Flow depth), 육지에 내습하여 남겨진 지진해일의 흔적으로부터 측정된 높이를 범람고(Run-up height)로 발표하였다. 현장조사 결과, 니가타현 조에쓰 후나미 공원에서 5.8m의 지진해일 범람고가 확인되었다.

그림 1.1.4 지진해일 관측지점 [일본기상청 월보]



- ※ 좌) 상단 오른쪽부터 이와우치항, 세타나항, 오쿠시리항, 사카타, 나나오항, 가나자와, 쓰루가항, 하단 왼쪽부터 사카미미나토, 마이즈루, 도야마
- 우) 주변국 검조소에서 관측된 해일의 높이(최대값) 관측치는 국립지구물리학데이터센터(NGDC) 판독 결과 상단부터 (러시아) 홀름스크, 소스노보, 프레오브라제니예, (대한민국) 속초, 묵호, 후포

그림 1.1.5 주요 지진해일 관측 파형(2024년 1월 1일 16시 ~ 2일 4시) [일본기상청 월보]



※ 사카타는 거대 쓰나미 관측계

표 1.1.2 지진해일 관측자료 [일본기상청 월보]

구분	관측지점	소속	제1파 도달 시간		최대파		
					도달시간		높이 (cm)
홋카이도	하코다테	기상청	1일	--:--	2일	8:47	17
	왓카나이	기상청	1일	--:--	2일	9:27	14
	리시리섬 쿠츠가타 항구	항만국	1일	18:52	1일	23:45	23
	루모이	항만국	1일	--:--	2일	2:47	25
	오타루	기상청	1일	18:--	2일	3:17	16
	이시카리만 신항	항만국	1일	19:--	2일	1:35	35
	오타루시 오시로	국토지리원	1일	18:--	1일	20:40	14
	이와우치항	항만국	1일	17:35	2일	0:26	49
	세타나 항구	항만국	1일	17:55	1일	18:26	54
	오쿠시리섬 오쿠시리항	항만국	1일	17:16	1일	18:07	54
	에사시조 항	항만국	1일	17:--	1일	19:45	31
	마츠에	국토지리원	1일	17:13	1일	18:01	12
	에사시 항	국토지리원	1일	--:--	2일	0:20	11
	몬베쓰항	항만국	1일	--:--	2일	3:45	11
	아오모리현	후카우라	기상청	1일	17:02	1일	18:04
타피 곶		해상보안청	1일	17:--	1일	22:03	9
아오모리		항만국	1일	--:--	1일	22:44	10
아키타현	아키타	항만국	1일	17:24	1일	23:35	36
야마가타현	사카타*	기상청	1일	17:13	1일	19:08	0.8m
	도비시마섬	국토지리원	1일	16:--	1일	17:52	35
니가타현	니가타	항만국	1일	16:54	2일	1:36	31
	가시와자키시 구지라나미	국토지리원	1일	16:30	1일	16:36	37
	아와시마	해상보안청	1일	--:--	1일	19:07	32
	사도시 와시자키	기상청	1일	16:32	1일	19:21	33
도야마현	도야마	기상청	1일	16:13	1일	16:35	79
이시카와현	나나오항	항만국	1일	16:37	1일	18:59	54
	가나자와	항만국	1일	16:52	1일	19:09	80
후쿠이현	쓰루가항	항만국	1일	17:34	1일	20:27	57
	교토부 마이즈루	기상청	1일	17:42	2일	0:43	46
효고현	도요오카시 쓰야야마	효고현	1일	17:24	1일	19:20	35
돗토리현	사카이미나토시	기상청	1일	18:16	1일	22:29	60
	이와미조 다지리	국토지리원	1일	17:--	1일	20:16	20
시마네현	하마다	기상청	1일	18:33	1일	21:46	25
	오키섬 사이고항	기상청	1일	17:25	1일	17:50	29
야마구치현	시모노세키시 미나미후타마리항	항만국	1일	21:--	1일	23:24	6
	시모노세키시 히코시마 데시마쓰초	항만국	1일	--:--	2일	1:25	9
	시모노세키시 조후미나토마치	항만국	1일	22:--	1일	22:56	4

구분	관측지점	소속	제1파 도달 시간		최대파		
					도달시간		높이 (cm)
후쿠오카현	칸다항	항만국	1일	23:--	2일	0:36	5
	기타큐슈항 아오하마	항만국	1일	22:--	2일	4:26	4
	기타큐슈시 모지	항만국	1일	21:--	2일	2:05	10
	기타큐슈항 일명	항만국	1일	21:--	1일	23:36	8
	사가현 가라쓰항	항만국	1일	--:--	2일	0:02	13
	사가현 가리야	국토지리원	1일	--:--	2일	0:35	20
나가사키현	히라도시 타히라항	항만국	1일	--:--	2일	1:05	7
	쓰시마시 히타카츠	기상청	1일	18:--	2일	0:01	32
	쓰시마시 이쓰하라	해상보안청	1일	21:--	1일	22:49	9
	이키지마 고노우라항	항만국	1일	--:--	2일	0:51	16

※ -는 값을 결정할 수 없음

※ 소속기관의 관측파형 데이터를 바탕으로 기상청이 검측한 값

\* 거대 쓰나미 관측계에 의한 관측값의 단위는 0.1m

표 1.1.3 주요 조사지점의 지진해일 추정치 [일본기상청 월보]

구분	조사지점명	지진해일 추정치	파고의 종류	조사수행 관서
니가타현	조에쓰시 가키자키어항	2.9m	범람고	니가타 지방기상대
	조에쓰시 후나미 공원	5.8m	범람고	
	조에쓰시 나오에츠 해수욕장	4.5m	범람고	
	사도시 하모항	3.8m	침수고	
	사도시 고기항	1.9m	침수고	
도야마현	아사히마치 미야자키어항	1.4m	침수고	도야마 지방기상대
	사수시 카이류 신마치	1.5m	범람고	기상연구소
이시카와현	주스시 이이다항	4.3m	침수고	합동조사반 (기상청 지진화산부 삿포로 관구 기상대 도쿄 관구 기상대 마에바시 지방기상대 시즈오카 지방기상대 오사카 관구 기상대 나가사키 지방기상대 오키나와 기상대)
	주주시 우사이어항	2.7m	침수고	
	주스시 미츠키 공원	2.9m	침수고	
	노토마치 코이지 해안	1.7m	범람고	
	노토초 마쓰나미어항	3.1m	침수고	
	노토마치우치우라 종합운동공원	4.0m	침수고	
	노토마치 시라마루	4.7m	침수고	
	노토마치 99구	2.2m	침수고	
	노토마치 우데즈항	1.3m	침수고	
	나나오시 우라우라어항	1.8m	침수고	
	나나오시 시모사사나미어항	2.4m	범람고	기상연구소
와지마시 아야쿠라지마어항	2.9m	침수고	기상청 지진화산부	

※ 향후 정밀 분석 후 변경 가능

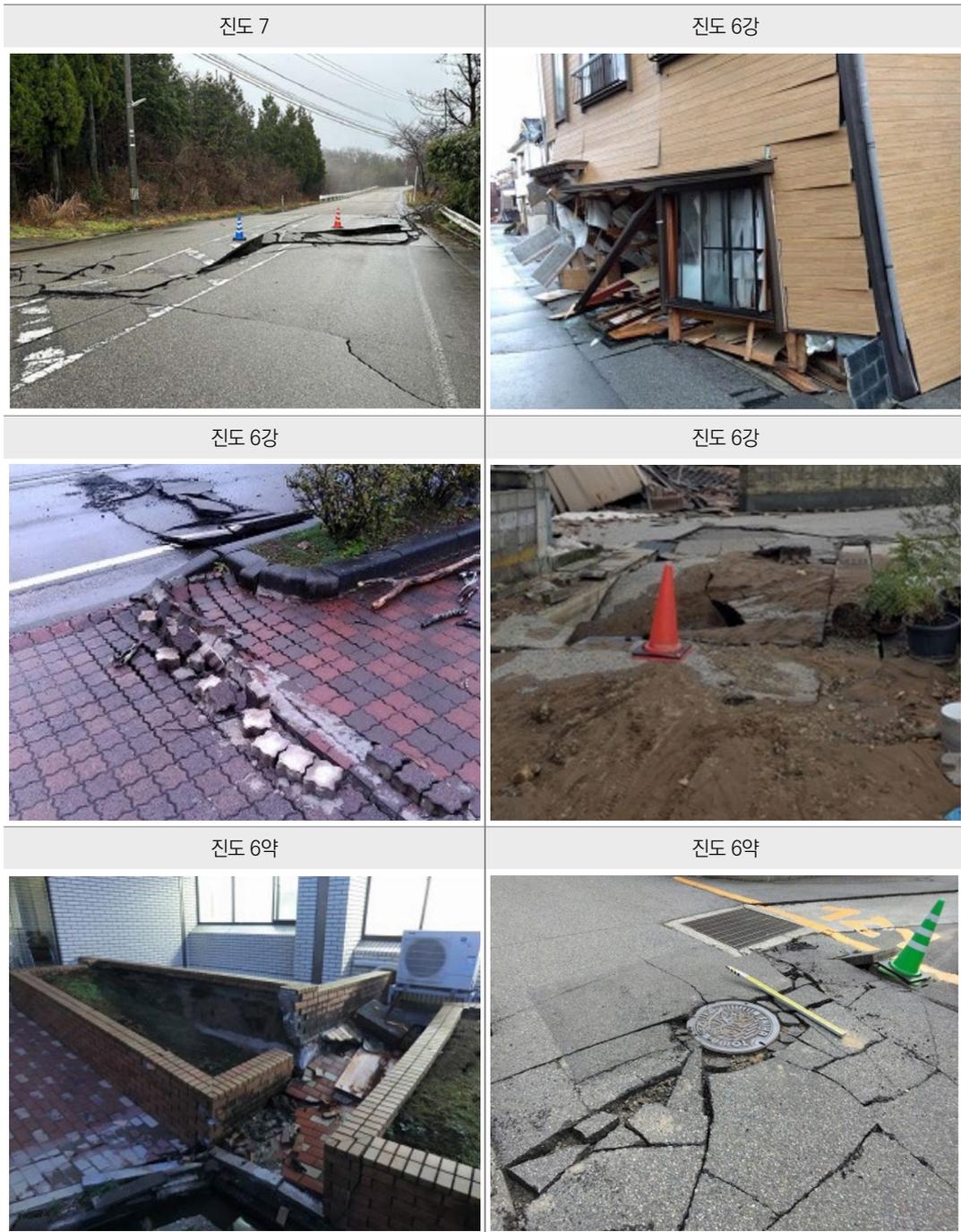
### 1.3 피해 현황

노토반도 지진과 지진해일로 인해 일본에서는 241명이 사망하고, 1,295명의 부상자가 발생했으며, 36,000여 채의 건물이 부서지는 등 막대한 인명과 재산 피해가 발생하였다(\*24.2.14. 14시 기준, 일본 총무성 소방청).

표 1.1.4 지진 피해 현황(2024년 1월 1일 이후) [일본기상청 월보]

구분	사망	인적피해(명)					주거 피해(등)					
		행방 불명	부상자			합계	전파	반파	바닥위 침수	바닥아래 침수	일부 파손	합계
			중상	경상	소계							
니가타현			5	44	49	49	94	2,334		14	14,422	16,864
도야마현			3	44	47	47	129	340			6,975	7,444
이시카와현	241		312	872	1,184	1,425	6,855	5,477	6	5	14,665	27,008
후쿠이현				6	6	6		9			126	135
나가노현											12	12
기후현				1	1	1						
아이치현				1	1	1						
오사카부				5	5	5						
효고현				2	2	2						
합 계	241		320	975	1,295	1,536	7,078	8,160	6	19	36,200	51,463

그림 1.1.6 진도등급에 따른 지진 피해 사진 [일본기상청 월보]



## 제2절 일본기상청 대응 현황

### 2.1 긴급지진속보(경보) 발표

일본기상청은 최초 지진파 감지 6초 후인 16시 10분 16초에 긴급지진속보(경보)\*를 발표하였다. 이시카와현 노토지역의 진도를 초기에 5약~5강으로 예측했다가 6강~7로 상향하였다. 일본기상청은 진도 5약 이상 또는 장주기 지진동 계급 3 이상이 예상되는 경우 긴급지진속보(경보)를 발표한다.

\* 일본기상청은 전파시간이 빠른 P파를 활용하여 진원이나 지진의 규모, 진도를 예측하고 발표 기준에 도달했을 때 긴급지진속보를 발표하며, 긴급지진속보(경보)에는 발생시간, 진원(추정치), 발생 장소 지명, 강한 흔들림(진도 5약 이상)이 예상되는 지역 및 진도 4가 예상되는 지역명에 대한 정보가 포함됨

표 1.2.1 본진의 긴급지진속보 현황 [일본기상청]

제공시간		지진파감지후 경과시간(초)	진원요소				예측된 최대진도 및 장주기 지진동계급
			북위	동경	깊이	규모	
지진파 감지	16시10분10초	-	-	-	-	-	-
1보	16시10분16초	6.0	37.5°	137.2°	10km	5.5	진도 5강
20보	16시10분43초	33.1	37.5°	137.2°	10km	6.6	진도 7
30보	16시11분07초	57.1	37.5°	137.2°	10km	7.4	진도 7 장주기 지진동 계급 3

※ 긴급지진속보(경보)는 예보의 제1보, 제20보 및 제30보일 때 발표하며, 예상 내용이 변경될 때마다 추가 발표함

### 2.2 지진정보 발표

지진 발생 6분 후인 16시 16분경, 일본기상청은 일본 이시카와현 노토 지역에서 규모 7.4의 지진이 매우 얇은 깊이에서 발생했다는 지진정보를 발표하였다. 16시 24분경 지진 규모를 7.4에서 7.6으로 상향하였고, 21시 30분 깊이를 매우 얇음에서 16km로 조정하였다.

표 1.2.2 본진의 지진분석 현황 [일본기상청]

구분	발표 시간	비고				
		북위	동경	깊이	규모	최대진도
1보	1월1일 16시 16분	37.5°	137.2°	매우 얇음	7.4	7 (이시카와현 노토)
2보	1월1일 16시 24분	37.5°	137.2°	매우 얇음	7.6	7 (이시카와현 노토)
3보	1월1일 21시 30분	37.5°	137.3°	16km	7.6	7 (이시카와현 노토)

※ 지진해일정보 발표 시 깊이를 20km로 사용하였음

### 2.3 지진해일 특보 및 정보 발표

일본기상청은 16시 10분경 규모 7.4 지진 발생에 의한 지진해일이 예측됨에 따라 16시 12분에 지진해일경보·주의보를 발표하였다. 또한, 지진의 규모가 7.4에서 7.6으로 조정됨에 따라 16시 22분에 지진해일경보를 거대지진해일경보로 전환하였다.

지진해일 관측 결과를 고려하여 20시 30분에 거대지진해일경보를 지진해일경보로 전환하고, 1월 2일 1시 15분 지진해일경보를 지진해일주의보로 전환하였다. 2시 30분, 7시 30분에 각각 지진해일주의보를 일부 해제 후 10시를 기해 모든 지진해일주의보를 해제하였다.

표 1.2.3 일본기상청 지진해일 특·정보 발표 현황 [일본기상청 월보]

날짜	시간	종류	주요 내용
1월 1일	16시 12분	경보·주의보	규모 7.4 지진에 따른 지진해일경보
	16시 13분	정보(예측)	만조시각, 지진해일 도달 예상시각
	16시 22분	거대경보·경보·주의보	규모 7.6 변경에 따른 거대지진해일경보 상황
	16시 23분	정보(예측)	만조시각, 지진해일 도달 예상시각
	16시 29분	정보(관측)	지진해일 관측값 갱신에 따른 지진해일정보
	16시 35분		
	16시 39분		
	16시 41분		
	16시 44분		
	16시 59분		
	17시 09분		
	17시 14분		
	17시 22분		
	17시 24분		
	17시 34분		
	17시 40분		
	17시 43분		
	17시 47분		
	17시 49분		
	17시 53분		
17시 56분			
18시 08분			
18시 17분			
18시 27분			
18시 29분			

날짜	시간	종류	주요 내용
1월 1일	18시 33분	정보(관측)	지진해일 관측값 갱신에 따른 지진해일정보
	18시 43분		
	18시 51분		
	19시 05분		
	19시 13분		
	19시 19분		
	19시 39분		
	20시 06분		
	20시 30분	경보	거대지진해일경보 → 지진해일경보로 전환
	20시 30분	정보(예측)	만조시각, 지진해일 도달 예상시각
	20시 40분	정보(관측)	지진해일 관측값 갱신에 따른 지진해일정보 지진해일 관측값 갱신에 따른 지진해일정보, 깊이 조정(매우 얕음 → 20km)
	21시 02분		
	21시 33분		
22시 00분			
22시 36분			
23시 51분	지진해일 관측값 갱신에 따른 지진해일정보		
1월 2일	00시 15분	정보(관측)	지진해일 관측값 갱신에 따른 지진해일정보
	00시 29분		
	00시 38분		
	00시 51분		
	01시 15분	주의보	지진해일경보 → 지진해일주의보로 전환
	01시 15분	정보(예측)	만조시각, 지진해일 도달 예상시각
	01시 31분	정보(관측)	지진해일 관측값 갱신에 따른 지진해일정보
	01시 51분		
	02시 30분	주의보 일부 해제	지진해일주의보 일부 구역 해제
	02시 31분	정보(예측)	만조시각, 지진해일 도달 예상시각
	02시 33분	정보(관측)	지진해일 관측값 갱신에 따른 지진해일정보
	07시 30분	주의보 일부 해제	지진해일주의보 일부 구역 해제
	07시 31분	정보(예측)	만조시각, 지진해일 도달 예상시각
10시 00분	주의보해제	지진해일주의보 해제, 0.2m 미만	
10시 03분	정보(관측)	지진해일 관측값 갱신에 따른 지진해일정보	

### 제3절 지진 발생 메커니즘 등 조사 결과

#### 3.1 지진 단층면해 및 여진분포

2024년 1월 1일 16시 10분경 발생한 규모 7.6 지진의 단층운동 형태를 파악하기 위하여 USGS\*와 F-NET\*\*에서 분석한 단층면해 결과를 비교하였다(표 1.3.1). USGS와 F-NET의 단층면해 분석 결과는 모두 역단층 운동으로 해석되며 지진의 규모는 7.5로 분석되었다.

노토반도에서 발생한 여진은 노토반도 북부 전역을 포함하며 동쪽은 사도섬 부근까지 북동-남서로 연장되는 약 150km 정도의 범위에 분포되어 있다(그림 1.3.2의 F42와 F43 단층 주변). 최대 여진은 각각 1월 1일 단층의 서쪽 끝과 1월 9일 단층의 동쪽 끝에서 발생한 규모 6.1의 지진이었다. 두 여진의 발생 깊이는 각각 11km와 27km이었다(일본 (사)방재학술연계체 2차 보고회, 2024).

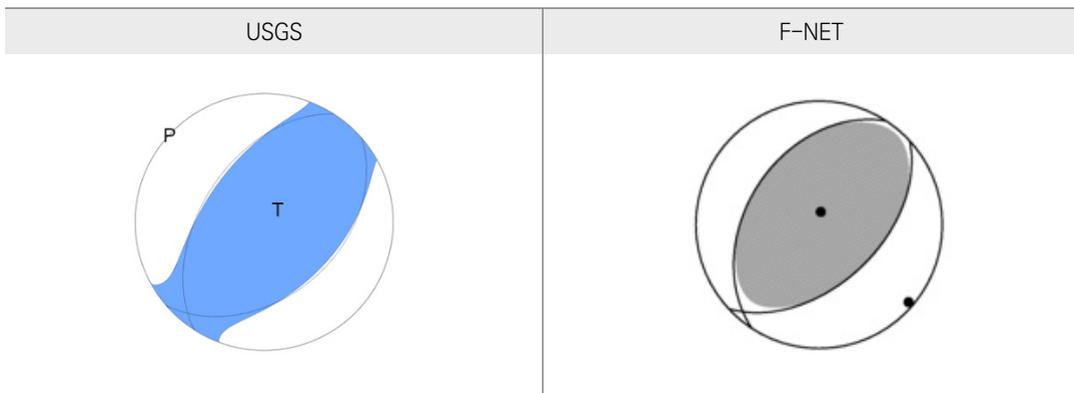
\* 미국지질조사소(U.S. Geological Survey)

\*\* 일본 방재과학기술연구소(NIED)의 광대역지진관측망(Full Range Seismograph Network of Japan)

표 1.3.1 USGS 및 F-NET의 단층면해 분석 결과

구분	위도(°N)	경도(°E)	주향(°)	경사(°)	면선각(°)	깊이(km)	규모(Mw)
USGS	37.498	137.242	213 / 49	50 / 41	79 / 102	15.5	7.5
F-NET	37.496	137.271	213 / 47	41 / 50	79 / 99	15.9	7.5

그림 1.3.1 USGS(좌) 및 F-NET(우)의 단층면해

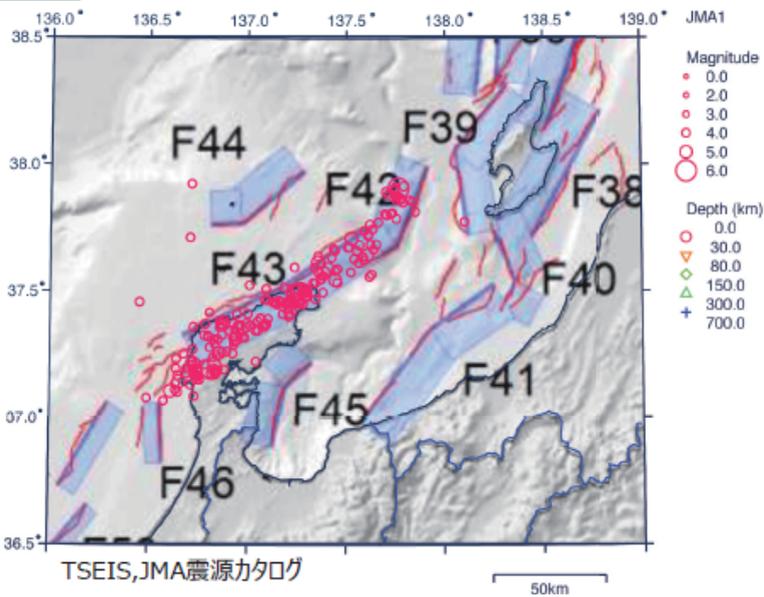
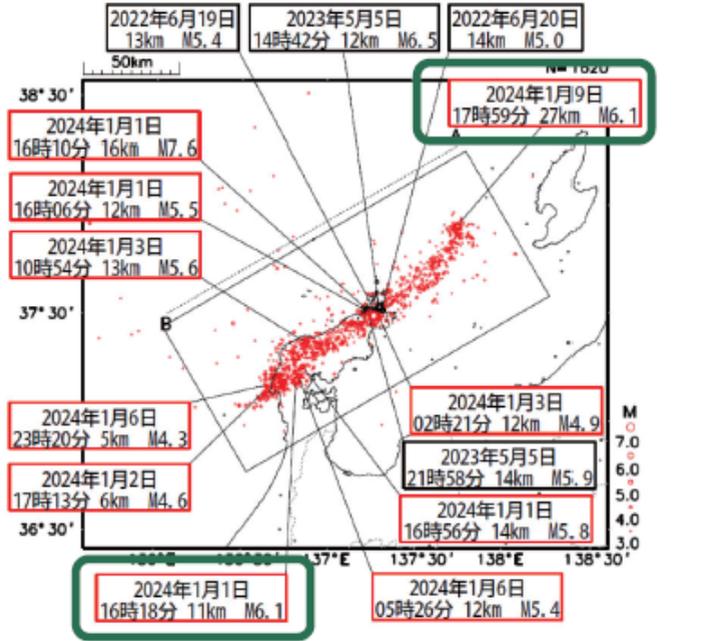


노토반도 지진의 단층면해와 여진분포의 종합적인 분석 결과, 북동-남서 방향의 주향을 가지고, 북서방향 또는 남동방향으로 경사하는 단층면을 가진 역단층인 것으로 추정할 수 있다. 노토반도의 GNSS\*에 의한 관측 결과, 진앙지로부터 떨어진 지역에서는 역단층 운동으로 인한 움직임이 주로 보인다. 와지마·스즈·아나미즈 등에서는

서쪽 방향의 움직임이 관측되어 국소적으로 주향이동단층 형태의 움직임이 나타났을 가능성이 있는 것으로 보인다(일본 (사)방재학술연계체 2차 보고회, 2024).

\* 전지구적 항법 위성 시스템(Global Navigation Satellite System)으로 위성을 이용하여 대상지점의 위치, 항법 및 시각 정보를 제공하는 시스템

그림 1.3.2 노토반도 지진 진앙분포도(좌) 및 규모·깊이별 지진 발생위치와 주요 단층 분포도(우)  
(일본 (사)방재학술연계체 2차 보고회, 2024)



### 3.2 지진해일 파형 역산을 통한 단층모델

노토반도 지진 주변 해저단층 조사결과(일본의 동해 지진·지진해일 프로젝트(2013~2020) 2015년도 보고서)를 기반으로 지진해일 파형역산을 통해 파원을 분석한 연구결과가 발표되었다(Fujii and Satake, 2024).

동해 지진·지진해일 프로젝트(2013~2020)에서 제안된 단층모델(NT2~NT6, NT8, NT9)을 이용하여, 각지에서 관측된 지진해일 파형을 역산하여 1월 1일 지진해일을 일으킨 원인이 되는 파원을 추정하였다(그림 1.3.3, 그림 1.3.4). 지진해일 관측파형은 UNESCO IOC\* 홈페이지(<http://www.ioc-sealevelmonitoring.org/>)에 공개된 일본 및 러시아의 조위기록, 국토지리원 홈페이지의 조위기록, 국토교통성 항만국 홈페이지에 공개된 매분 평균해수면(외해)을 이용하였다. 지진해일 파형 역산에 의해 산출된 각 단층의 변위량을 표 1.3.2에 나타내었는데, 지진해일 파원이 된 것은 노토반도 북측 NT4, NT5, NT6, NT8인 것으로 추정된다. 이들의 북동쪽에 위치한 북서 경사의 활성단층(NT2, NT3)은 거의 움직이지 않았다. 이들 활성단층 주변에서는 1월 9일 규모 6.1 등 최대규모의 여진이 발생하였다.

\* 유네스코 정부간해양학위원회(UNESCO Intergovernmental Oceanographic Commission)

표 1.3.2 노토반도 주변 단층의 파라미터, 지진모멘트, Mw(Fujii and Satake, 2024)

구분	길이(km)	폭(km)	변위량(m)	모멘트(Nm)	Mw
NT2	36.6	16.3	0.4	7.42E+18	6.5
NT3	20	16.6	0.0	0.00E+00	
NT4	19.8	16.5	3.8	4.27E+19	7.0
NT5	21.6	17.1	4.1	5.25E+19	7.1
NT6	50	16.7	2.3	6.54E+19	7.1
NT8	15.1	16.7	1.2	1.00E+19	6.6
NT9	18.4	16.7	0.0	0.00E+00	

※ 지진모멘트 계산 시 강성률은 34.3GPa로 하였음

그림 1.3.3 동해 지진·지진해일 프로젝트(2013~2020)에서 제안된 노토반도 주변 단층 분포도(NT4, NT5, NT6, NT8) (Fujii and Satake, 2024)

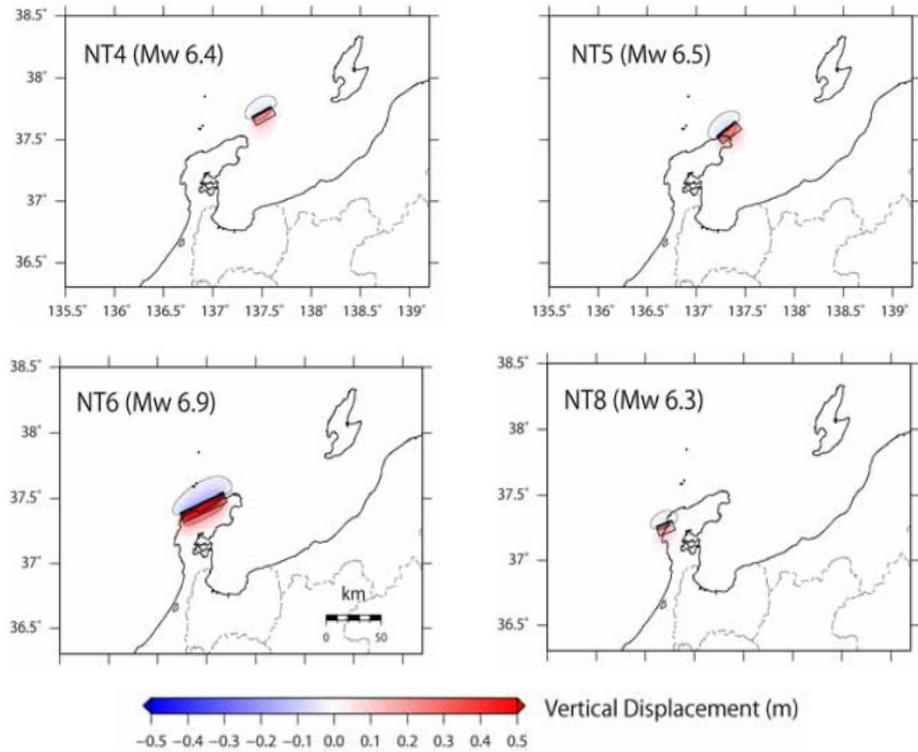
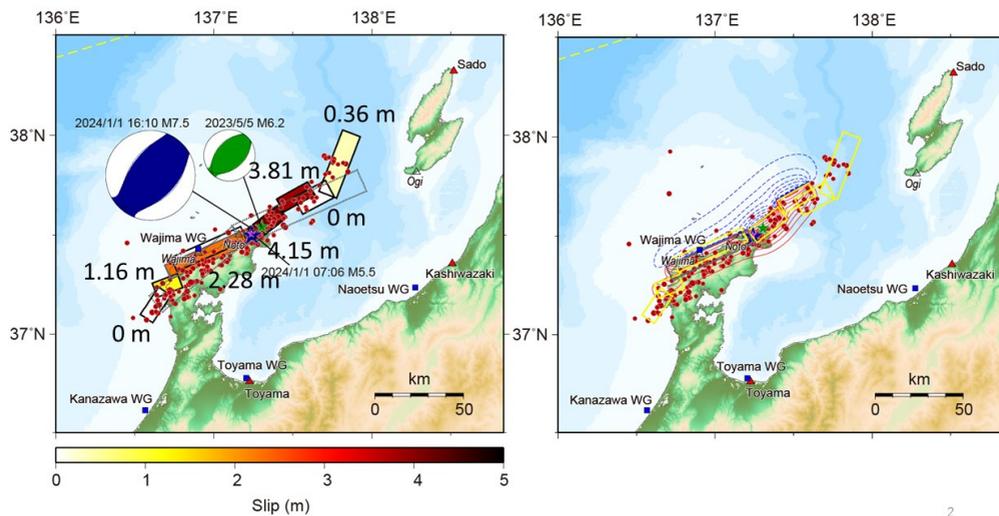


그림 1.3.4 (좌) 노토반도 주변 단층의 위치와 변위량. 빨간색 원은 1월 1일~11일까지 M4 이상의 진앙(일본기상청에 따름). 회색 점선은 국토지리원 단층모델. (우) 계산된 상하변동량. 등치선 간격은 용기(빨간색 실선) 0.2m, 하강(파란색 점선) 0.1m(Fujii and Satake, 2024)







**2024**  
**동해안 지진해일**  
**분석보고서**

# II.

## 지진해일 대응

Korea Meteorological Administration



### 제철 기상청 대응 현황

#### 1.1 지진 및 지진해일 특·정보 발표

# II 지진해일 대응

## 제1절 기상청 대응 현황

### 1.1 지진 및 지진해일 특·정보 발표

2024년 1월 1일 16시 10분경 일본 혼슈 서쪽 노토반도에서 발생한 지진은 국내 327개, 일본 54개\*의 지진관측소에서 관측되었다. 국가지진화산종합상황실(이하 지진상황실)에서는 국내에 관측된 진도를 분석하고, 중앙재난안전 상황실에 문의하여 지진 관련 시민의 제보 여부를 확인하였다. 국내에서 계기진도의 최대등급은 지진계에서만 기록되는 진도 1이었고, 시민의 지진 제보나 신고는 없었다. 이후 16시 23분에 일본기상청의 분석정보(규모 7.4)를 근거로 삼아 국외지진정보를 발표하였다. 일본의 지진정보와 상황은 일본기상청 홈페이지와 NHK 방송 등을 통해 즉시 수집된다.

\* 일본기상청으로부터 실시간으로 공유받는 일본의 지진자료(관측소)

※ 일본기상청은 16시 24분경 지진 규모를 7.4에서 7.6으로 상향 조정

다음으로 지진해일 특보발령 등을 위해 국내 영향 유무가 검토되었다. 일본기상청이 수정 발표한 규모 7.6 지진을 근거로 지진해일 시나리오 DB\*를 확인한 결과, 울릉도·독도 및 강원도 등 동해안 전역에 0.5m 미만의 지진해일이 예측되었다. 이로부터 지진해일정보로 대응방향을 결정하고, 16시 35분에 지진해일정보(1보)를 발표하였다. 지진해일정보(1보)에는 지점별 예상최초도달시각과 예상최대높이, 지진해일로 인한 해수면 변동에 따른 해안가 주의를 당부하는 사항 등이 포함되었다.

\* 지진해일 위기 상황 시 신속한 대응을 위해 지진의 발생 위치, 규모 등을 가정하여 지진해일 예측정보를 미리 계산한 DB로 특·정보 발표에 활용

지진해일정보(1보)를 발표한 후, 울릉도와 동해안 지역에 지진해일의 예상도달시간을 고려해 기상청과 국립해양조사원의 해수면 관측자료를 실시간 감시하였다. 그 당시 동해의 해상 상태는 전역에 강한 바람과 높은 물결로 인해 풍랑주의보가 발령되었고, 먼바다에서 발생한 너울이 울릉도 및 동해안까지 전파되었다.

노토반도에서 시작된 지진해일이 우리나라 방향으로 전파된다면 울릉도를 거쳐 동해안에 도달하게 되므로, 울릉도의 실황은 지진해일의 규모를 가늠하기에 중요한 지점이다. 울릉도에서는 지진해일에 의한 해수면 변동이 지진 발생 70~80분경에 예상되었고 이상변화는 관찰되지 않았다.

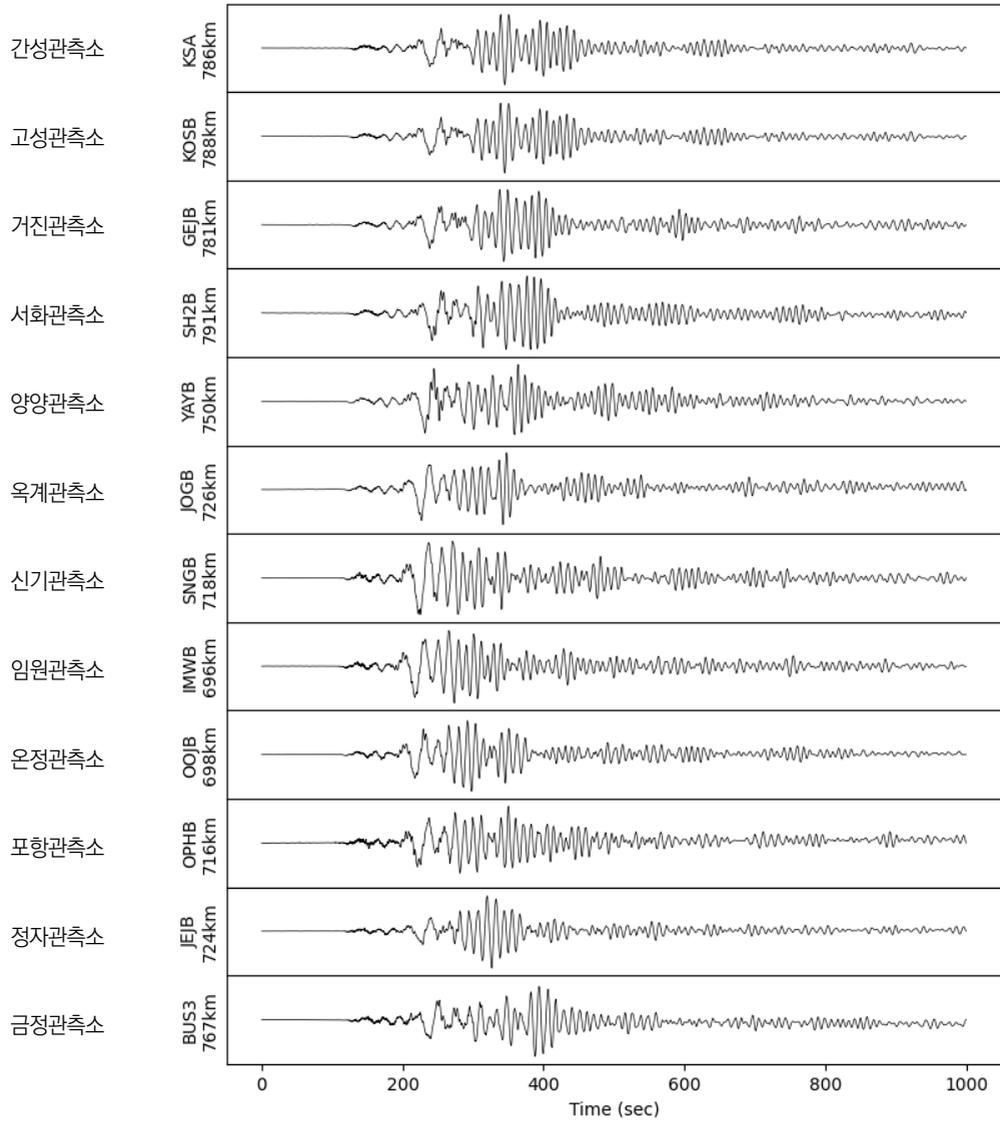
지진 발생 후 110분쯤이 지난 18시경부터 강릉 남향진향, 속초향, 동해향 등 강원중부 해안에 지진해일이 관측되기 시작하였다. 지진해일이 관측됨에 따라 동해안에 주의를 전달하기 위해 관측지점별 지진해일의 최초도달 시각 및 발표시각까지의 최대높이가 포함된 지진해일정보(2보)를 18시 51분에 발표하였다. 시간이 경과되면서 지진해일은 점차 강원북부와 경북북부 해안으로 확대되었고, 이에 20시 06분에 지진해일 정보(3보)를 발표하였다. 이후의 지진·지진해일의 상황은 모바일 메신저 단체대화방을 통해 지진재난 관련 부처 담당자에게 제공되었다.

다음날인 1월 2일 9시경 국내 동해안에 전파된 지진해일의 최초도달시각 및 최대높이를 포함하여 보도자료를 배포하였다.

표 2.1.1 기상청 지진 및 지진해일 대응 현황

구분	발표 시간	주요 내용
국외지진정보	1월 1일 16시 23분	지진 발생정보
지진해일정보(1보)	1월 1일 16시 35분	지진해일 도달 예상시각·높이
지진해일정보(2보)	1월 1일 18시 51분	지진해일 관측에 따른 지진해일정보
지진해일정보(3보)	1월 1일 20시 06분	지진해일 관측값 갱신에 따른 지진해일정보
보도자료 배포	1월 2일 09시 00분	주요지점의 지진해일 최초도달시각 및 최대높이

그림 2.1.1 기상청 동해안 지역 지진관측소에 관측된 일본 노토반도 지진 파형



국외지진정보	지진해일정보(1보)																																	
<div style="text-align: center;">  <h3>국 외 지 진 정 보</h3> <p>기상청 2024년 01월 01일 16시 23분 발표</p> </div> <p>1. 발생시각 : 2024년 01월 01일 16시 10분 00초                  2. 규 모 : 7.4                  3. 발생위치 : 일본 도야마현(혼슈) 도야마 북쪽 90km 해역 (북위 37.50°, 동경 137.20°)                  4. 발생깊이 : -</p> <div style="text-align: center;">  </div> <p>5. 참고사항                  국내 일부지역에서 지진동을 느낄수 있음.                  위 자료는 일본기상청(JMA) 분석결과임.</p> <p><small>* 국외지진정보는 기상청 홈페이지에서 목록을 확인할수 있으며, 분석기관의 분석 결과에 따라 향후 변경될 수 있습니다.(http://www.weather.go.kr)</small></p>	<div style="text-align: center;">  <h3>지진해일정보(1보)</h3> <p>기상청 2024년 01월 01일 16시 35분 발표</p> </div> <p>2024년 01월 01일 16시 23분 발표된 국외지진정보와 관련한 지진해일정보(1보)입니다.</p> <p>1. 지진발생 정보                  ○ 발생시각: 2024년 01월 01일 16시 10분 00초                  ○ 규 모: 7.4                  ○ 발생위치: 일본 도야마현(혼슈) 도야마 북쪽 90km 해역 (북위 37.50°, 동경 137.20°)                  ○ 발생깊이: -</p> <p>2. 지진해일 예상 최초도달시각 및 최대높이 (0.2m 이상 지점)</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>관측지점</th> <th>예상 최초도달시각</th> <th>예상 최대높이</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>광명</td> <td>2024-01-01 18:29</td> <td>0.5m 미만</td> </tr> <tr> <td>양양</td> <td>2024-01-01 18:32</td> <td>0.5m 미만</td> </tr> <tr> <td>광혜교성</td> <td>2024-01-01 18:48</td> <td>0.5m 미만</td> </tr> <tr> <td>포항</td> <td>2024-01-01 19:17</td> <td>0.5m 미만</td> </tr> </tbody> </table> <p>3. 조석정보  <small>* 출처: 국립해양조사원</small></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>지역명</th> <th>관측소</th> <th>시각</th> <th>높이</th> <th>관측소</th> <th>시각</th> <th>높이</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>4. 당부사항                  - 강원 일부 해안에서는 지진해일로 해수면 변동이 나타날 수 있으므로 해안가 안전에 주의하기 바랍니다.                  - 지진해일의 높이는 조석을 포함하지 않으며, 최초도달 이후 점차 높아질 수 있으므로 유의하기 바랍니다.</p>	관측지점	예상 최초도달시각	예상 최대높이	광명	2024-01-01 18:29	0.5m 미만	양양	2024-01-01 18:32	0.5m 미만	광혜교성	2024-01-01 18:48	0.5m 미만	포항	2024-01-01 19:17	0.5m 미만	지역명	관측소	시각	높이	관측소	시각	높이											
관측지점	예상 최초도달시각	예상 최대높이																																
광명	2024-01-01 18:29	0.5m 미만																																
양양	2024-01-01 18:32	0.5m 미만																																
광혜교성	2024-01-01 18:48	0.5m 미만																																
포항	2024-01-01 19:17	0.5m 미만																																
지역명	관측소	시각	높이	관측소	시각	높이																												
지진해일정보(2보)	지진해일정보(3보)																																	
<div style="text-align: center;">  <h3>지진해일정보(2보)</h3> <p>기상청 2024년 01월 01일 18시 51분 발표</p> </div> <p>2024년 01월 01일 16시 23분 발표된 국외지진정보와 관련한 지진해일정보(2보)입니다.</p> <p>1. 지진발생 정보                  ○ 발생시각: 2024년 01월 01일 16시 10분 00초                  ○ 규 모: 7.4                  ○ 발생위치: 일본 도야마현(혼슈) 도야마 북쪽 90km 해역 (북위 37.50°, 동경 137.20°)                  ○ 발생깊이: -</p> <p>2. 지진해일 관측정보 (발표시각 현재)</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>관측지점</th> <th>최초 도달시각</th> <th>최대높이</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>남항진</td> <td>2024-01-01 18:01</td> <td>20cm</td> </tr> <tr> <td>죽호</td> <td>2024-01-01 18:06</td> <td>45cm</td> </tr> <tr> <td>속초</td> <td>2024-01-01 18:10</td> <td>30cm</td> </tr> <tr> <td>임원</td> <td>2024-01-01 18:15</td> <td>24cm</td> </tr> </tbody> </table> <p>3. 기타사항                  - 제공되는 최대파고는 최초 도달 이후 기준시간까지의 최대높이임                  - 현재까지 지진해일의 최대높이는 죽호(18시21분경) 45cm 임</p> <p>4. 당부사항                  - 지진해일은 최초 도달 이후 더 높은 파고가 도달 할 수 있으며, 24시간 이상 지속될 수 있으므로, 추가정보를 확인 바랍니다.</p>	관측지점	최초 도달시각	최대높이	남항진	2024-01-01 18:01	20cm	죽호	2024-01-01 18:06	45cm	속초	2024-01-01 18:10	30cm	임원	2024-01-01 18:15	24cm	<div style="text-align: center;">  <h3>지진해일정보(3보)</h3> <p>기상청 2024년 01월 01일 20시 06분 발표</p> </div> <p>2024년 01월 01일 16시 23분 발표된 국외지진정보와 관련한 지진해일정보(3보)입니다.</p> <p>1. 지진발생 정보                  ○ 발생시각: 2024년 01월 01일 16시 10분 00초                  ○ 규 모: 7.4                  ○ 발생위치: 일본 도야마현(혼슈) 도야마 북쪽 90km 해역 (북위 37.50°, 동경 137.20°)                  ○ 발생깊이: -</p> <p>2. 지진해일 관측정보 (발표시각 현재)</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>관측지점</th> <th>최초 도달시각</th> <th>최대높이</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>남항진</td> <td>2024-01-01 18:01</td> <td>20cm</td> </tr> <tr> <td>죽호</td> <td>2024-01-01 18:06</td> <td>67cm</td> </tr> <tr> <td>속초</td> <td>2024-01-01 18:10</td> <td>41cm</td> </tr> <tr> <td>임원</td> <td>2024-01-01 18:15</td> <td>30cm</td> </tr> <tr> <td>후포</td> <td>2024-01-01 18:52</td> <td>18cm</td> </tr> </tbody> </table> <p>3. 기타사항                  - 제공되는 최대파고는 최초 도달 이후 기준시간까지의 최대높이임                  - 현재까지 지진해일의 최대높이는 죽호(18시30분경) 67cm 임</p> <p>4. 당부사항                  - 지진해일은 최초 도달 이후 더 높은 파고가 도달 할 수 있으며, 24시간 이상 지속될 수 있으므로, 추가정보를 확인 바랍니다.</p>	관측지점	최초 도달시각	최대높이	남항진	2024-01-01 18:01	20cm	죽호	2024-01-01 18:06	67cm	속초	2024-01-01 18:10	41cm	임원	2024-01-01 18:15	30cm	후포	2024-01-01 18:52	18cm
관측지점	최초 도달시각	최대높이																																
남항진	2024-01-01 18:01	20cm																																
죽호	2024-01-01 18:06	45cm																																
속초	2024-01-01 18:10	30cm																																
임원	2024-01-01 18:15	24cm																																
관측지점	최초 도달시각	최대높이																																
남항진	2024-01-01 18:01	20cm																																
죽호	2024-01-01 18:06	67cm																																
속초	2024-01-01 18:10	41cm																																
임원	2024-01-01 18:15	30cm																																
후포	2024-01-01 18:52	18cm																																

2024  
동해안 지진해일  
분석보고서

# III.

## 지진해일 관측·분석 결과

Korea Meteorological Administration



### 제1절 지진해일 관측소 현황

#### 1.1 지진해일 관측소 활용 현황

### 제2절 지진해일 관측정보

#### 2.1 지진해일 검출시스템

#### 2.2 지진해일 관측 결과

### 제3절 지진해일 특성

#### 3.1 시나리오 DB 및 단층운동 정보 활용 수치모의 결과

#### 3.2 지진해일 관측자료 스펙트럼 분석

#### 3.3 지진해일 관측환경 영향

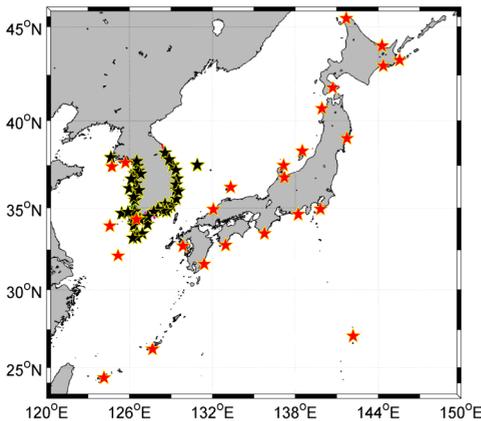
# III 지진해일 관측·분석 결과

## 제1절 지진해일 관측소 현황

### 1.1 지진해일 관측소 활용 현황

기상청은 지진해일 감시·관측, 그리고 통보를 위해 해일파고계(3개소)와 연안방재시스템(18개소), 국립해양조사원 조위관측소(50개소), 해상감시 CCTV(24개소) 등 지진해일 관측망을 구축하여 실시간으로 수집되는 관측자료를 모니터링하고 있다. 지진해일 발생여부 파악 및 특보해제, 관측정보 생산을 위해 해일파고계와 연안방재시스템, 조위관측소 등 지진해일 관측소 44개소로부터 수집되는 지진해일 관측자료를 분석하여 지진해일 신호를 검출하도록 실시간 지진해일 검출시스템을 구축하여 운용 중이다. 2023년에는 서해와 남해의 지진해일 관측 강화를 위해 해남, 연평도, 이어도 등 5개소와 동해와 일본 주변 해역의 지진해일 관측 강화를 위해 일본 주요 관측소 21개소를 검출시스템에 추가 적용하여 총 70개소로부터 수집되는 실시간 관측자료를 검출시스템에 사용 중이다.

그림 3.1.1 지진해일 관측지점 위치 정보(좌) 및 임원 지진해일 파고계 사진(우)



제2절 · 지진해일 관측정보

2.1 지진해일 검출시스템

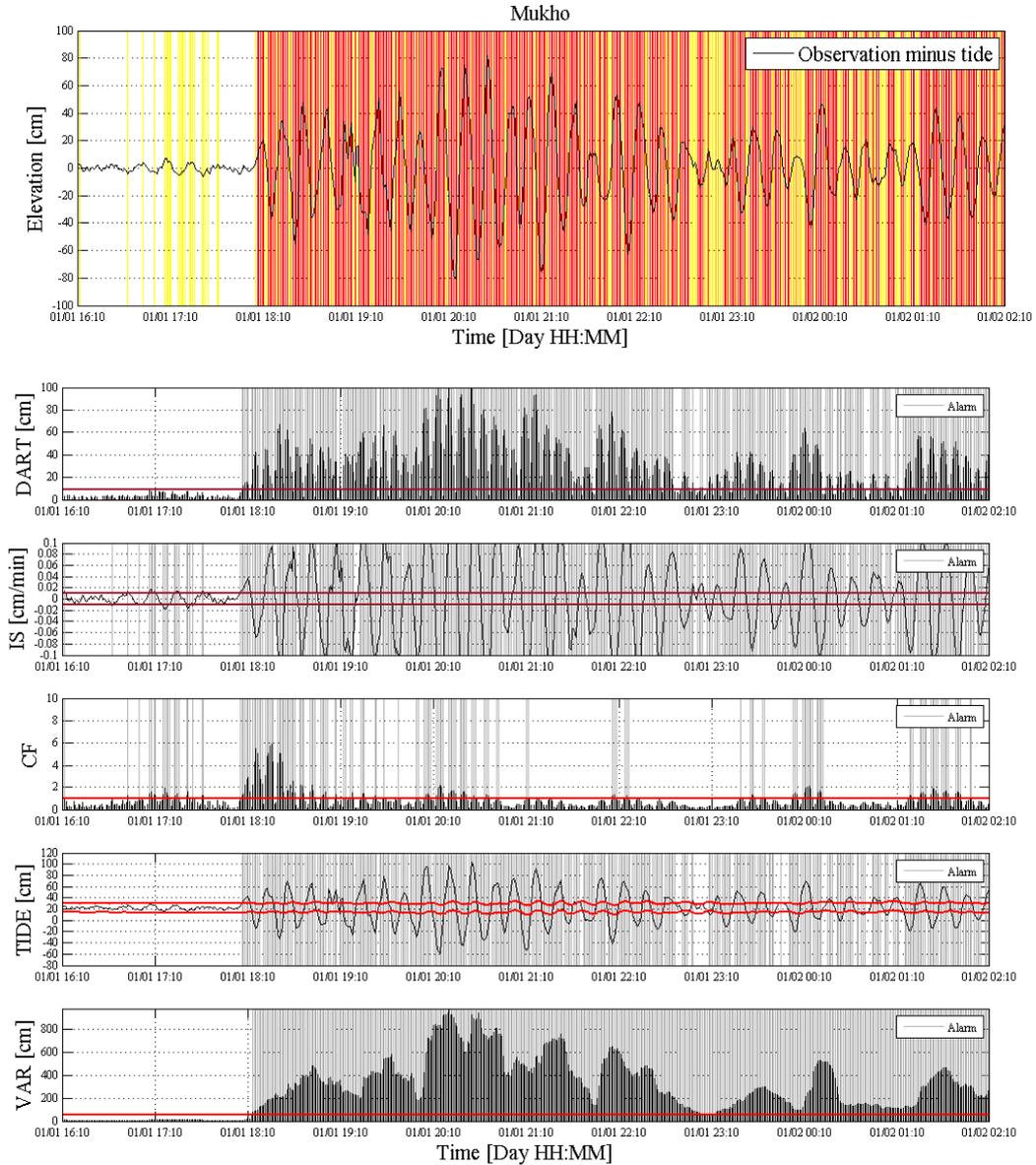
기상청은 지진해일을 탐지하여 지진해일 발생여부 파악 및 특보해제 등 대응에 필요한 정보를 제공하기 위해 준실시간 조위계 자료, 해일파고계 자료, 그리고 연안방재시스템 수위 관측자료를 활용한 지진해일 검출시스템을 운영하고 있다. 지진해일 검출시스템은 이상점 제거 알고리즘과 지진해일 검출 알고리즘(DART, IS, CF, TIDE, VAR)으로 구성되어 있다. 지진해일 검출 알고리즘별 지진해일 판별기준값에 따라 결정된 지진해일 검출 지수를 이용하여 경보, 주의, 경계 단계로 알람이 구분되며, 지진 발생 직후 DART 알고리즘을 포함해 지진해일 검출 지수가 3건 이상이 되는 최초 시점을 이용하여 지진해일을 탐지하고 있다.

표 3.2.1 알고리즘별 검출 방법

검출 알고리즘	검출 방법
DART	파고 관측값과 최근 3시간 자료를 보간하여 예측한 값의 차이의 절대값이 기준값 이상이면 지진해일로 판단 (Mofjeld, 1997)
IS	파고경사와 평균 조석경사의 절대값 차이가 기준값 이상이면 지진해일로 판단 (Bressan and Tinti, 2011)
CF	IS를 배경 파고경사(Background Slope)로 나눈 값이 기준값 이상이면 지진해일로 판단 (Bressan and Tinti, 2011)
TIDE	파고 관측값과 최근 1시간 평균 파고 관측값의 차이의 절대값이 기준값 이상이면 지진해일로 판단 (Lee and Park, 2016)
VAR	하이패스 필터링 된 20분 관측자료의 분산값이 기준값의 10배 이상이면 지진해일로 판단 (Perez et al., 2013)

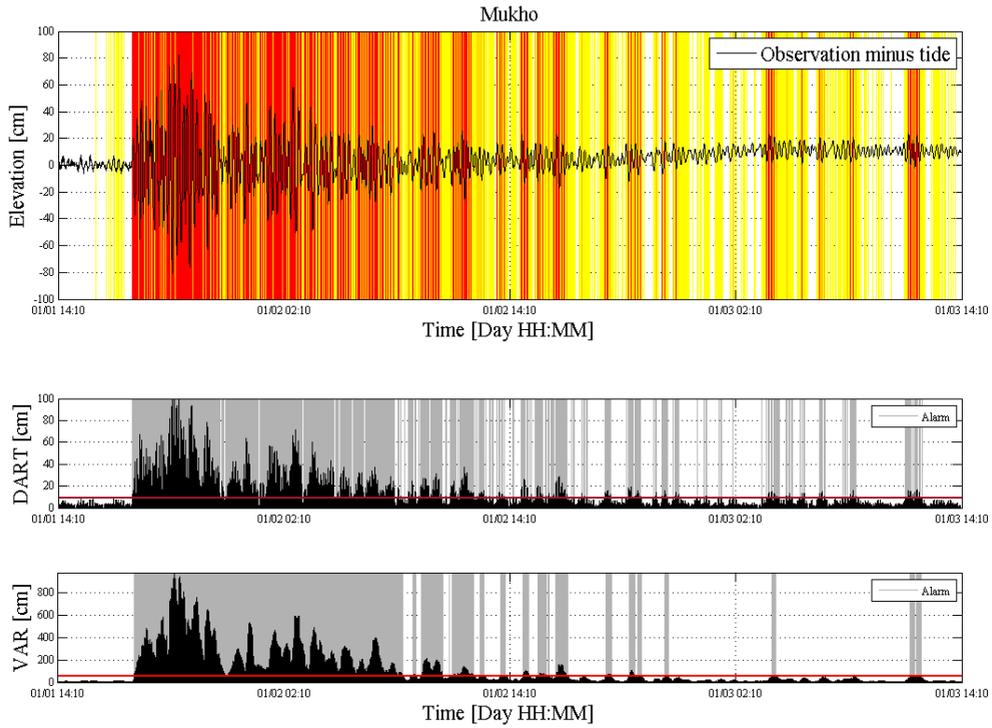
관측지점별 지진해일 관측자료를 검출시스템에 적용하여 5개 검출알고리즘에서 검출된 결과와 최종적으로 판별된 시계열 검출 결과를 통해 지진해일을 탐지하였다. 그림 3.2.1은 묵호 관측소에 관측된 시계열 자료와 5개 검출알고리즘에서 검출된 결과를 예시로 보여주고 있다.

**그림 3.2.1** 묵호 조위관측소. (위) 검출 알고리즘 시계열 결과, (아래) 5개 검출 알고리즘 세부 결과



DART 알고리즘은 파고 관측값과 예측한 값의 차이를 이용하여 지진해일을 탐지하고, VAR 알고리즘은 필터링된 관측자료의 분산값이 기준값 이상이면 지진해일로 판단하여 지진해일 신호 입사 시부터 지진해일의 영향이 줄어드는 시점까지의 경향이 잘 나타나고 있다. 그림 3.2.2의 사례에서 볼 수 있듯이 DART 및 VAR 알고리즘에 의한 검출 결과는 지진해일 신호가 최고도달한 이후 지진해일 높이의 상승 또는 하강 추세 모니터링 및 지진해일 해제시점 판별 등에 활용 가능하다.

그림 3.2.2 목호 관측소의 지진발생부터 24시간 검출 시계열 및 DART와 VAR 알고리즘 적용 결과



## 2.2 지진해일 관측 결과

일본 노토반도 지진에 따른 동해안 지진해일에 대해 동해안의 주요 관측지점 12개소(속초, 남항진, 묵호, 동해, 임원, 후포, 영덕, 포항, 구룡포, 울산 등)에서 수집된 관측자료에서 조석 성분 등 장주기 성분을 제거하기 위해 하이패스필터 (cut-off=3hr)를 적용하여 지진해일 최초도달시각과 최대해일고를 산출하였다. 지진해일 관측소에서 관측한 해수위에는 지진해일뿐 아니라 조석, 폭풍해일 등이 포함되며, 이 중 지진해일 성분을 추출하기 위해 선행연구\*에 따라 하이패스필터(cut-off=3hr)를 적용하였다. 그림 3.2.3에 노토반도 지진 발생위치와 동해안의 주요 관측지점 12개소가 표시되어 있고, 그림 3.2.4에서는 관측지점별 관측된 원시자료와 하이패스필터된 자료를 비교하고 있다.

\* 조위와 지형조건을 고려한 지진해일 예측 및 관측 기술 개선 연구(2020)

그림 3.2.3 국내 관측소 위치 정보. 검정색: 국내 관측소, 빨간색: 지진 발생 위치

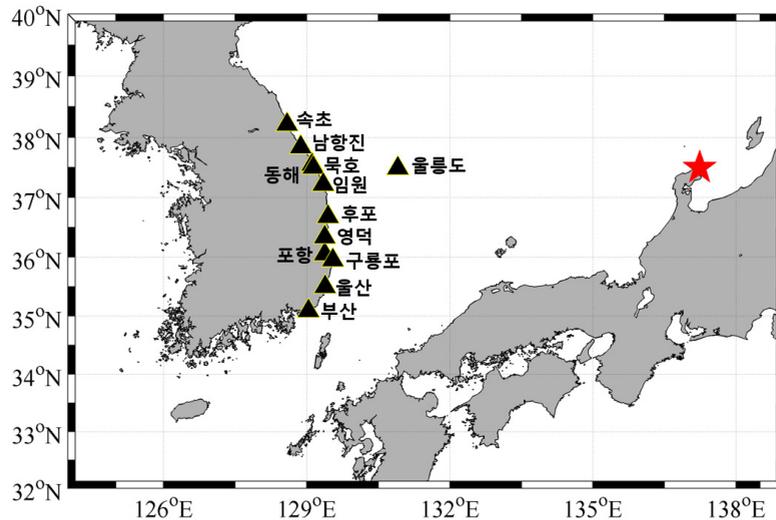
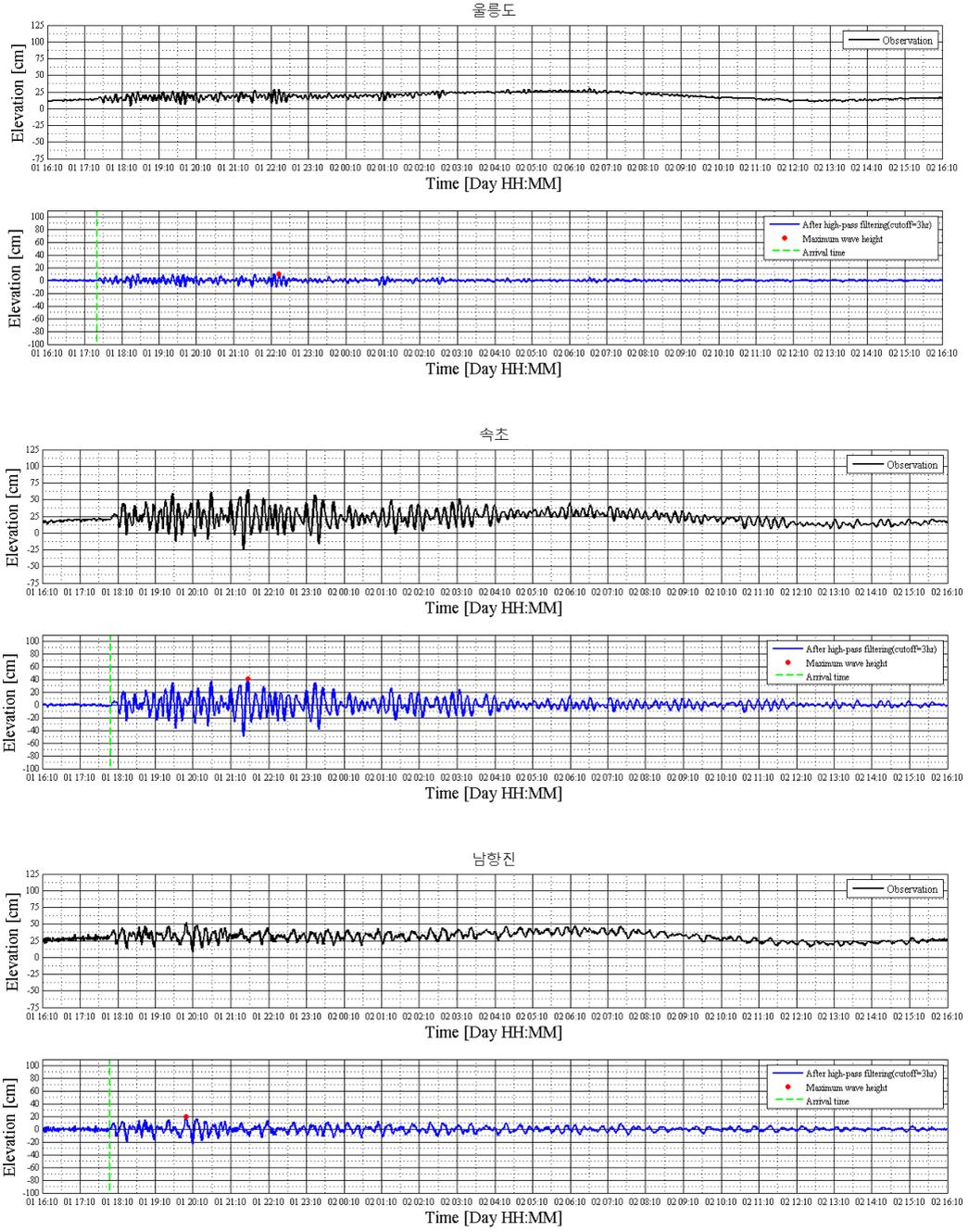


그림 3.2.4 국내 관측소의 지진발생부터 24시간 시계열, (위) 원시자료, (아래) 하이패스필터(cut-off=3hr)된 자료, (초록색 선) 최초 도달시각, (빨간색 점) 최대해일고



**그림 3.2.4** 국내 관측소의 지진발생부터 24시간 시계열, (위) 원시자료, (아래) 하이패스필터(cut-off=3hr)된 자료, (초록색 선) 최초 도달시각, (빨간색 점) 최대해일고 (계속)

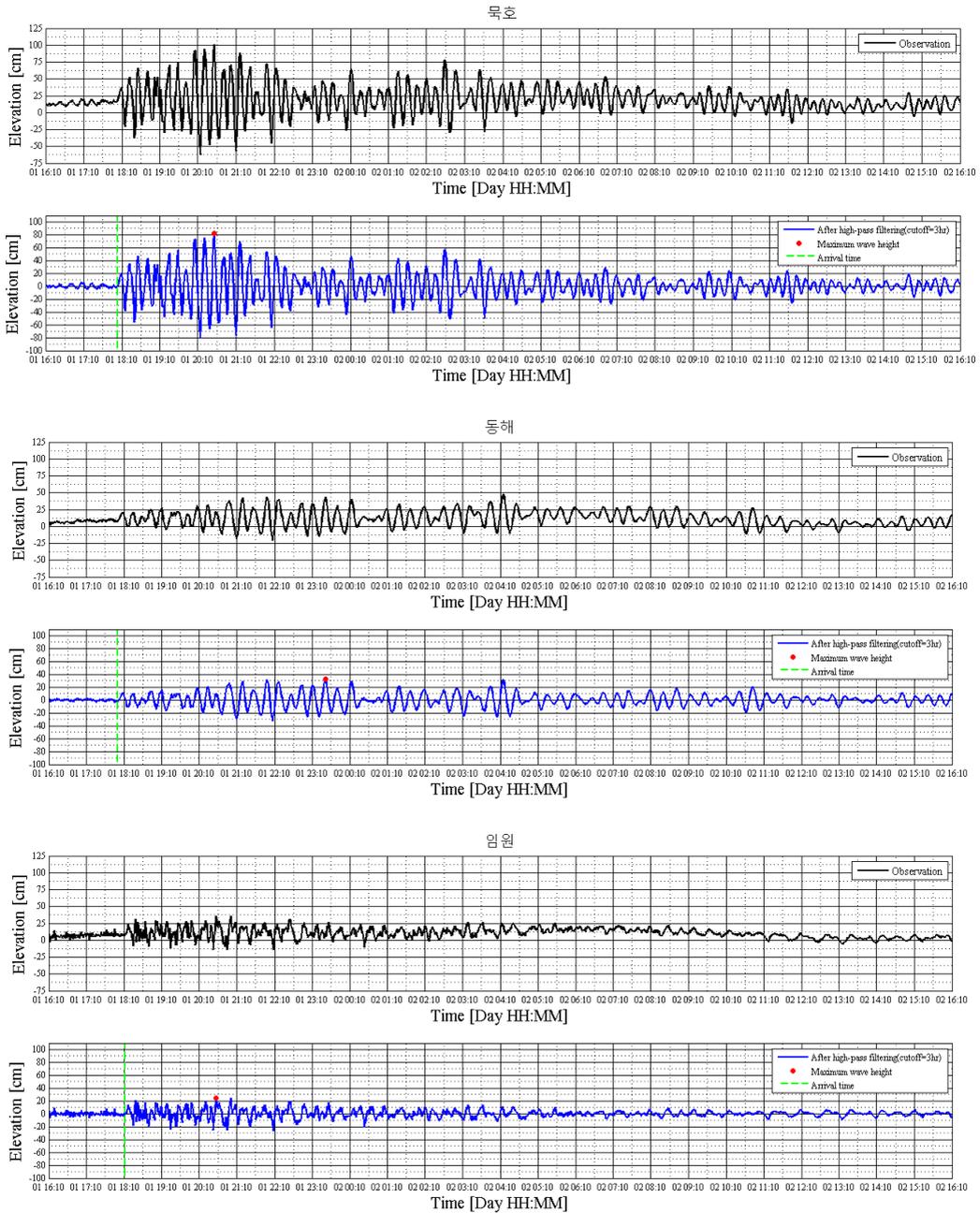
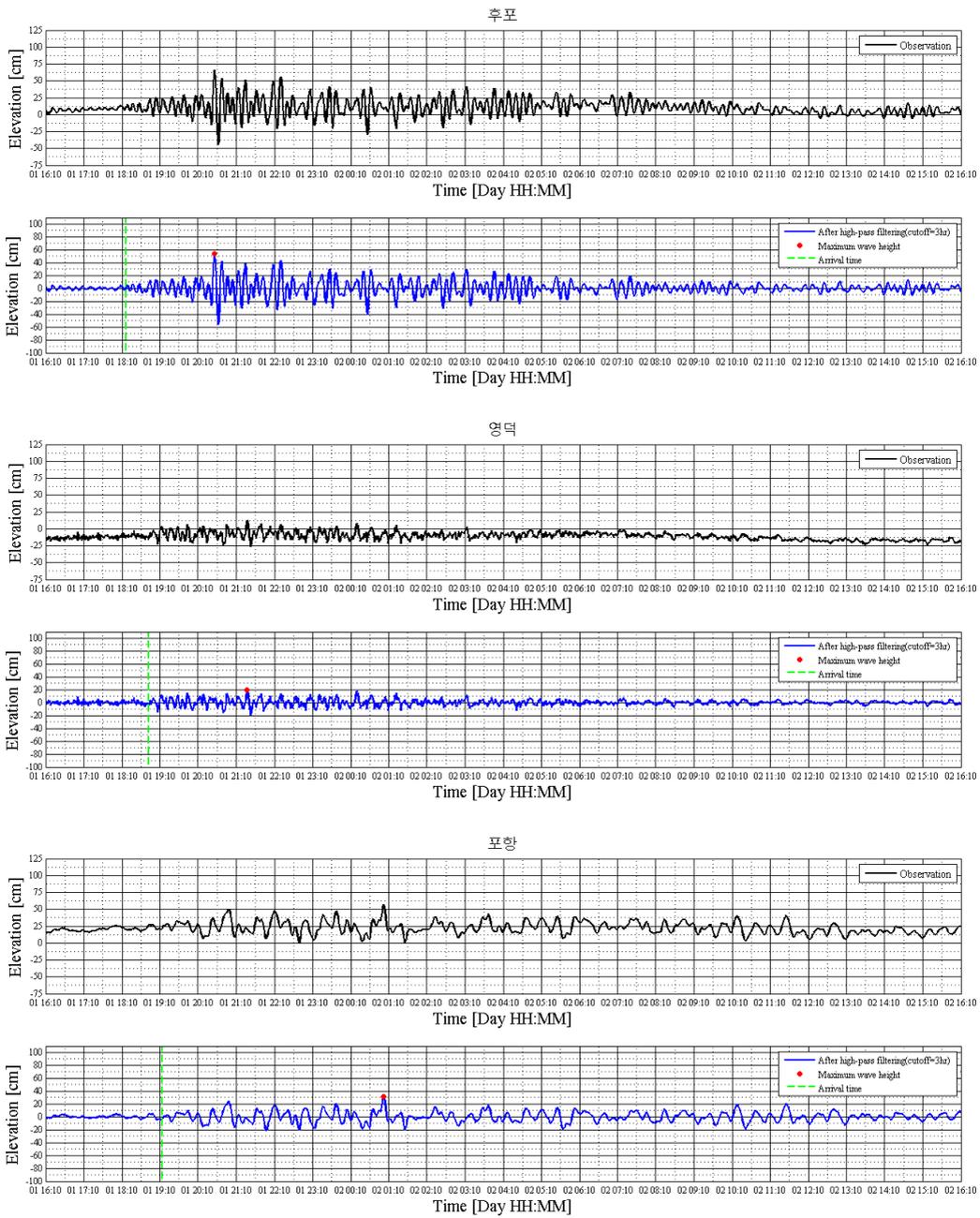
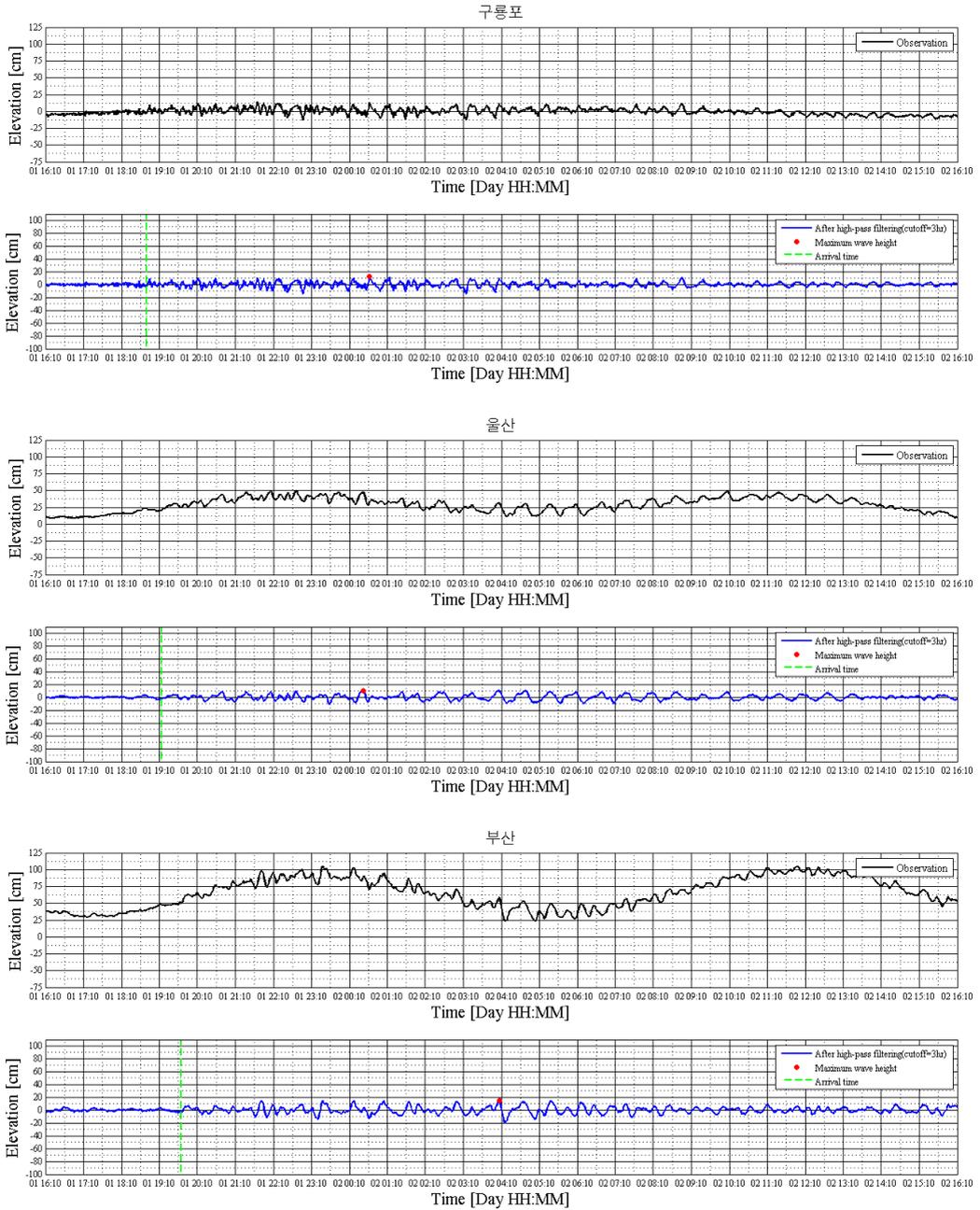


그림 3.2.4 국내 관측소의 지진발생부터 24시간 시계열, (위) 원시자료, (아래) 하이패스필터(cut-off=3hr)된 자료, (초록색 선) 최초 도달시간, (빨간색 점) 최대해일고 (계속)



**그림 3.2.4** 국내 관측소의 지진발생부터 24시간 시계열, (위) 원시자료, (아래) 하이패스필터(cut-off=3hr)된 자료, (초록색 선) 최초도달시각, (빨간색 점) 최대해일고 (계속)



지진해일 관측자료 분석 결과, 노토반도 지진 발생으로부터 1시간 20분 후인 17시 30분경 울릉도에서 약한 해수면 변화가 있었으며, 이후 17시 57분 남향진, 17시 59분 속초 등 동해안의 여러 관측지점에서 순차적으로 관측되었다(표 3.2.2). 지진해일의 주기는 약 10~15분이며 지진해일의 영향은 약 10~24시간 지속되었다. 최대해일고는 최초 도달 이후 약 2시간~2시간 30분 사이에 관측되었다(그림 3.2.4). 묵호에서는 18시 03분경 최초도달 이후 2시간 32분이 경과한 20시 35분경에 최대 높이 82cm까지 관측되었다. 후포에서는 18시 16분경 최초도달 이후 2시간 20분이 경과한 20시 36분경에 최대 높이 54cm까지 관측되었다. 속초, 남향진, 동해, 임원, 영덕 등에서는 약 20~40cm 범위에서 최대해일고가 관측되었다. 울릉도, 울산, 부산 등에서는 약 11~15cm 범위에서 최대해일고가 관측되었다.

표 3.2.2 지진해일 관측 정보

관측지점	최초도달시각	최대해일고	
		관측시각	높이(cm)
울릉도	2024-01-01 17:30	2024-01-01 22:23	11
속초	2024-01-01 17:59	2024-01-01 21:37	41
남향진	2024-01-01 17:57	2024-01-01 19:59	20
묵호	2024-01-01 18:03	2024-01-01 20:35	82
동해	2024-01-01 18:00	2024-01-01 23:31	33
임원	2024-01-01 18:12	2024-01-01 20:37	25
후포	2024-01-01 18:16	2024-01-01 20:36	54
영덕	2024-01-01 18:52	2024-01-01 21:27	19
포항	2024-01-01 19:14	2024-01-02 01:02	32
구룡포	2024-01-01 18:50	2024-01-02 00:42	12
울산	2024-01-01 19:13	2024-01-02 00:32	11
부산	2024-01-01 19:45	2024-01-02 04:07	15

일본 6개소(하마다, 사이고, 도야마, 사도, 후카우라, 하코다테) 관측자료를 분석한 결과, 지진해일의 주기는 약 7~8분이며 진앙에서 가까운 관측소의 경우, 2~3파에서 최대해일고가 도달한 것으로 분석된다. 일본 관측소의 경우 진앙에서 가장 가까운 관측소인 도야마에서 4분 후인 16시 14분경 최초로 관측되었고 16시 35분경에 약 78cm의 최대 높이가 관측된 것으로 보인다.

국내 및 일본 지진해일 관측자료를 비교하면 국내에서 관측된 지진해일의 주기는 약 10~15분으로 일본에서 관측된 지진해일의 주기보다 더 긴 것으로 나타났다. 또한, 국내 관측소에서는 지진해일이 도달하고 약 2시간~2시간 30분이 경과한 후 최대해일고가 관측된 반면 일본 관측소에서는 최초도달 후 20분~1시간 후에 최대해일고가 나타나는 차이를 보였다.

**그림 3.2.5** 국내 및 일본 관측소 위치 정보. 검정색: 국내 관측소, 빨간색: 일본 관측소, 파란색: 지진 위치

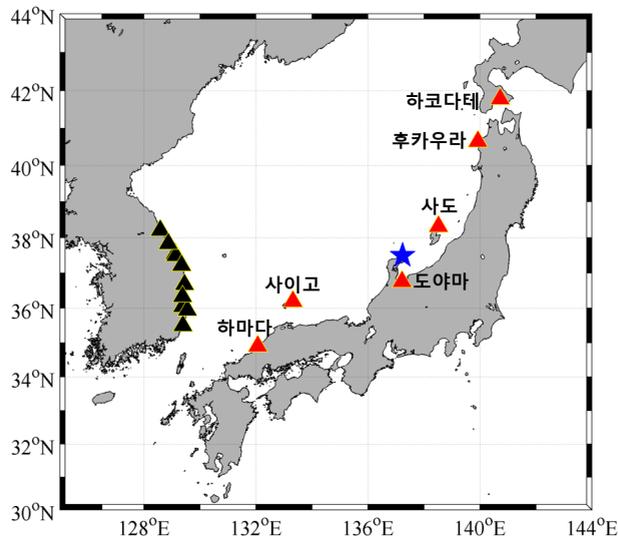
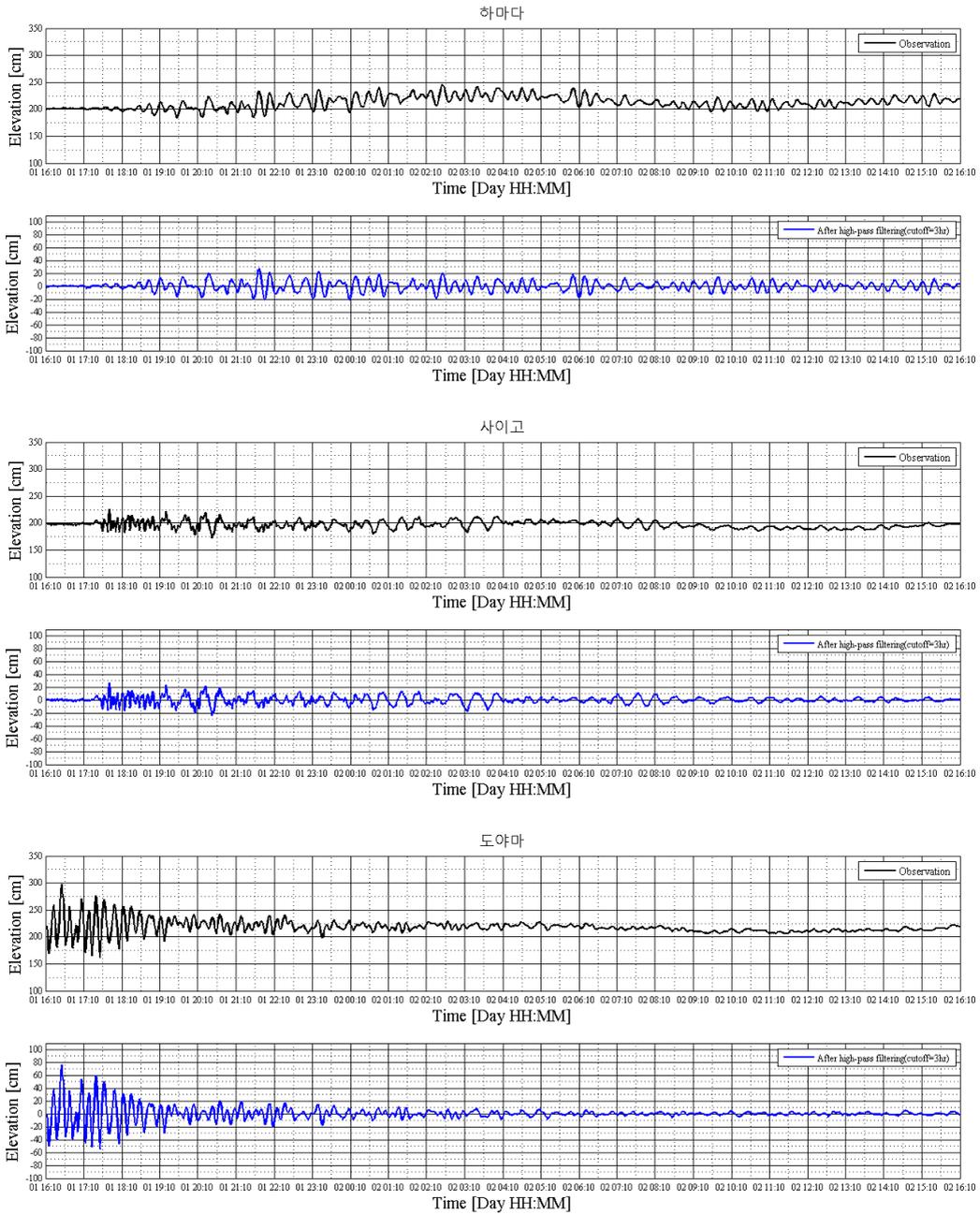
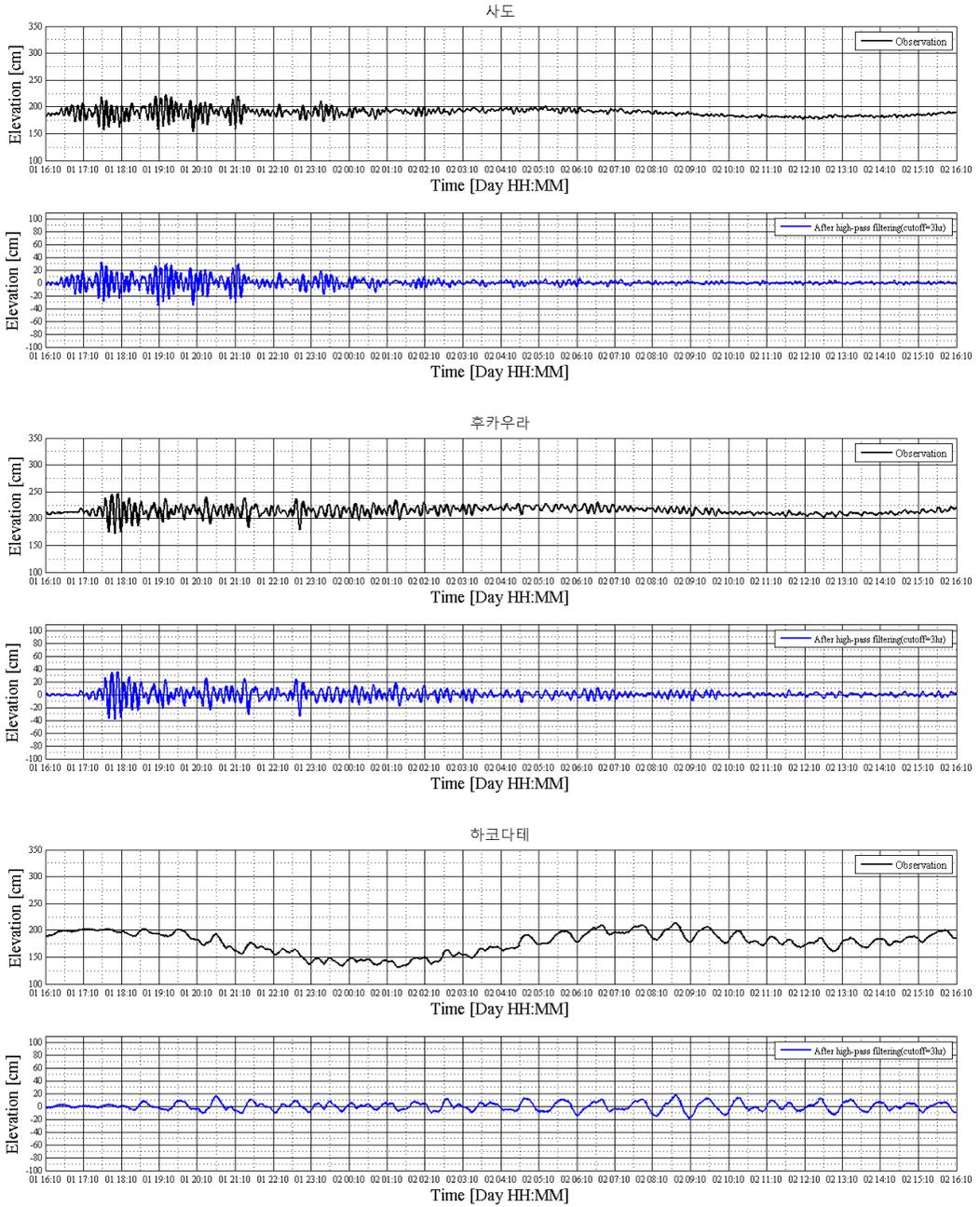


그림 3.2.6 일본 조위관측소. 지진발생부터 24시간 시계열 자료. 해당 관측소는 위로부터 하마다, 사이고, 도야마, 사도, 후카우라, 하코다테, (위) 원시자료, (아래) 하이패스필터(cut-off=3hr)된 자료



**그림 3.2.6** 일본 조위관측소. 지진발생부터 24시간 시계열 자료. 해당 관측소는 위로부터 하마다, 사이고, 도야마, 사도, 후카우라, 하코다테, (위) 원시자료, (아래) 하이패스필터(cut-off=3hr)된 자료 (계속)

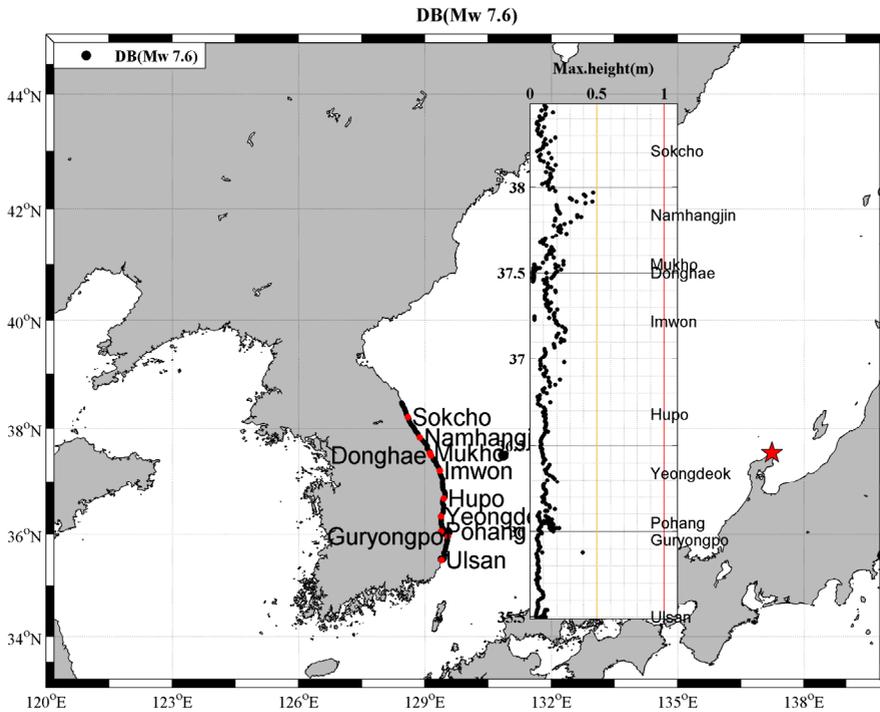


3.1 시나리오 DB 및 단층운동 정보 활용 수치모의 결과

기상청은 신속한 지진해일 특·정보 제공을 위하여 가상지진 기반의 지진해일 시나리오 DB를 구축 운영 중이다. 시나리오 DB는 지진해일 예측모델 COMCOT\*을 활용해 한반도 해안지역에 지진해일 영향이 최대가 되도록 단층 파라미터를 가정하여 수치모의한 결과이다. 노토반도 지진에 대한 지진해일 시나리오 DB 검색 결과, 주요지점의 예측값은 지진해일주의보 기준인 0.5m보다 낮게 산출되었다(그림 3.3.1). 기상청은 시나리오 DB 결과를 바탕으로 지진해일정보(1보)를 발표하였다(II.1절 참조).

\* 천수방정식을 적용한 지진해일 수치모의 프로그램(Cornell Multi-grid COupled Tsunami model)

그림 3.3.1 동해안 예측지점별 시나리오 DB 결과. (검정색: 예측값)

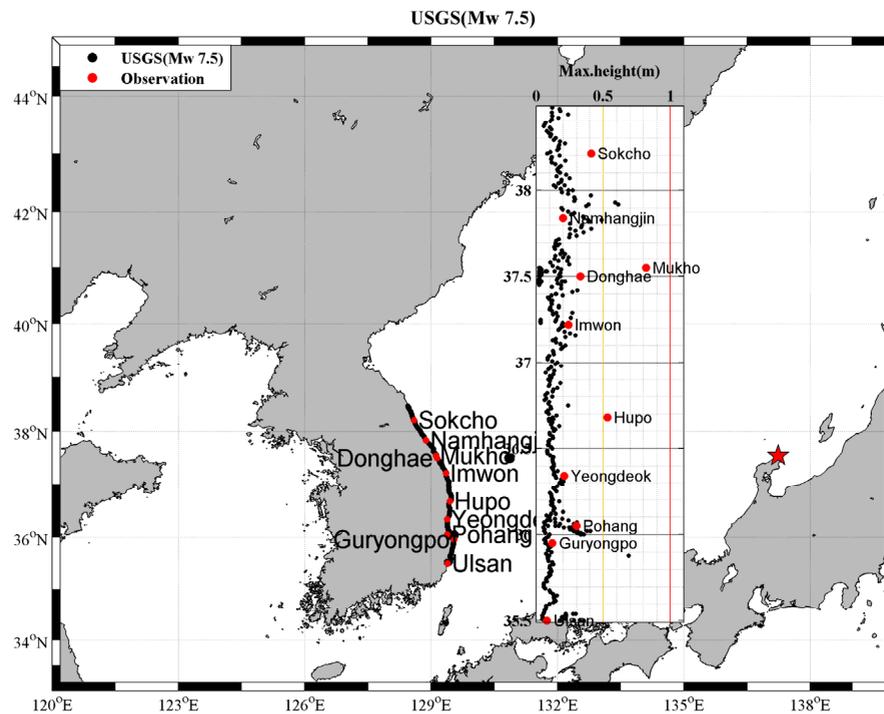


지진 분석정보를 반영해 실제 발생한 지진해일의 영향을 파악하기 위하여 1.3절에서 설명한 USGS, F-NET 등에서 분석된 단층정보(표 3.3.1)를 적용해 지진해일 수치모의를 수행하였다. 수치모의 결과, 속초, 묵호, 후포를 제외하면 관측값과 유사하거나 약간 큰 지진해일고가 예측되었다.

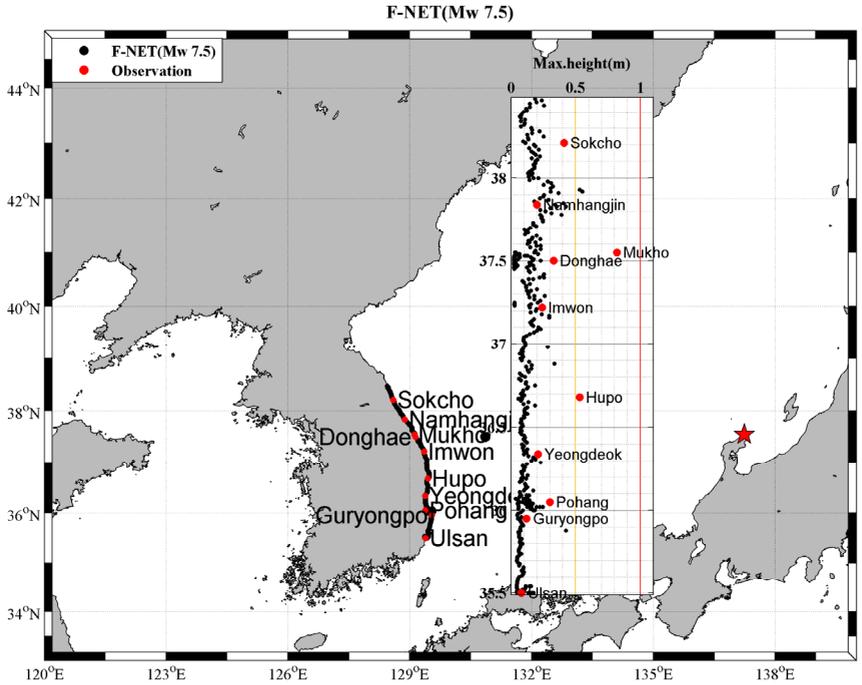
표 3.3.1 USGS 및 F-NET의 단층면해 분석 결과

구분	위도(°N)	경도(°E)	주향(°)	경사(°)	면선각(°)	깊이(km)	규모(Mw)
USGS	37.498	137.242	213 / 49	50 / 41	79 / 102	15.5	7.5
F-NET	37.496	137.271	213 / 47	41 / 50	79 / 99	15.9	7.5

그림 3.3.2 주요 관측지점별 관측자료 및 USGS 단층정보 활용 수치모의 결과 비교 (검정색: 수치모의 결과, 빨간색: 관측값)



**그림 3.3.3** 주요 관측지점별 관측자료 및 F-NET 단층정보 활용 수치모의 결과 비교 (검정색: 수치모의 결과, 빨간색: 관측값)



1.3절에서 설명한 지진해일 파형을 역산하여 추정된 유한단층모델<sup>\*</sup>(Fujii and Satake, 2024)을 적용하여 수치모의를 수행하였다. 수치모의에 사용된 단층은 NT4, NT5, NT6, NT8이며 각 단층의 위치, 크기, 단층운동 및 변위량은 표 3.3.2에 나타내었다. 유한단층모델의 각 단층별 초기파형(그림 3.3.4)을 이용하여 수치모의에 적용한 초기파형과 최대해일고를 USGS, F-NET의 단층정보를 활용한 결과와 함께 각각 그림 3.3.5와 그림 3.3.6에 나타내었다. USGS, F-NET의 단층정보와 유한단층모델에 의한 초기파형에서 차이가 있는 것을 확인할 수 있으며(그림 3.3.5), 이로 인해 지진해일 도달시각과 최대높이의 예측결과에 차이가 나타날 수 있다. 속초 관측소의 경우 USGS, F-NET의 단층정보를 활용한 수치모의 결과에서 관측값보다 낮게 예측한 것에 비해 유한단층모델의 수치모의 결과가 유사한 경향을 보이고 있다(그림 3.3.7).

<sup>\*</sup> 대규모 지진을 발생시키는 단층이 여러개의 작은 단층의 복합적인 움직임에 의해 파열된다고 가정하여, 여러개의 소단층으로 해당지진의 단층을 구성하는 단층모델

**표 3.3.2** 지진해일 파형 역산을 통해 추정된 유한단층모델(Fujii and Satake, 2024)

소단층	위도(°N)	경도(°E)	길이(km)	폭(km)	변위량(m)	주향(°)	경사(°)	면적(km <sup>2</sup> )	Mw
NT4	37.68	137.40	19.8	16.5	3.8	61	60	122	7.0
NT5	37.53	137.21	21.6	17.1	4.1	52	60	108	7.1
NT6	37.39	136.73	50	16.7	2.3	66	60	124	7.1
NT8	37.26	136.61	15.1	16.7	1.2	69	60	128	6.6

그림 3.3.4 유한단층모델의 각 소단층별 초기파형

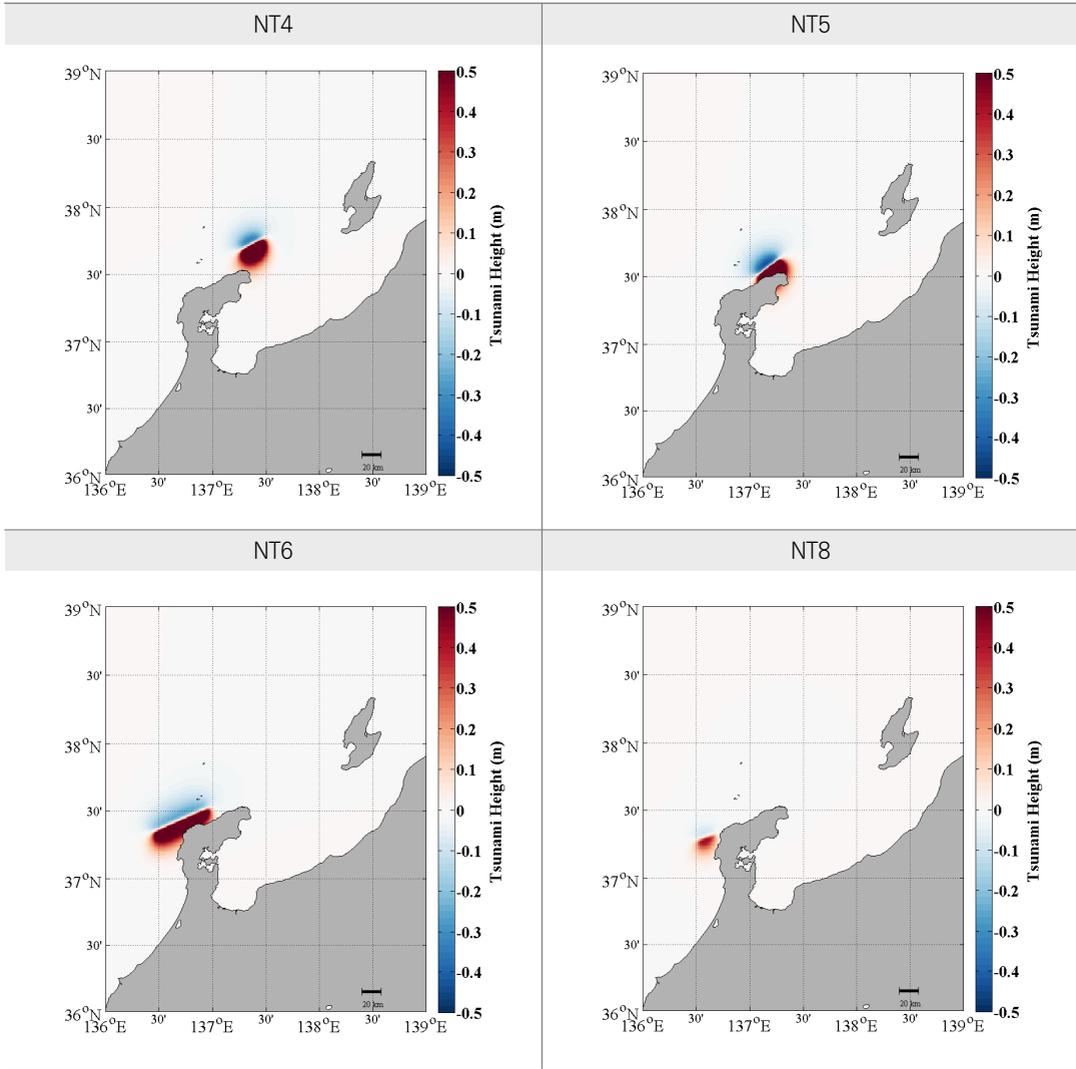


그림 3.3.5 단층모델별 수치모의 초기파형 비교(유한단층모델, F-net, USGS)

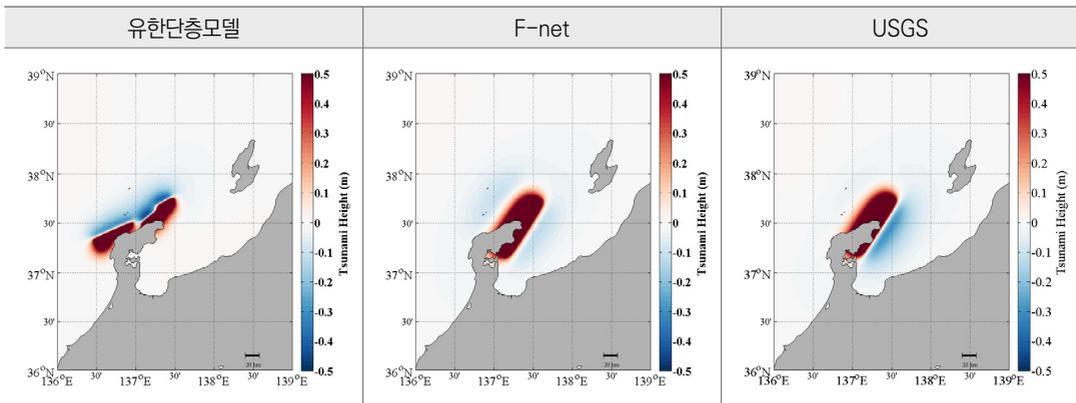


그림 3.3.6 단층모델별 수치모의 최대해일고 비교(유한단층모델, F-net, USGS)

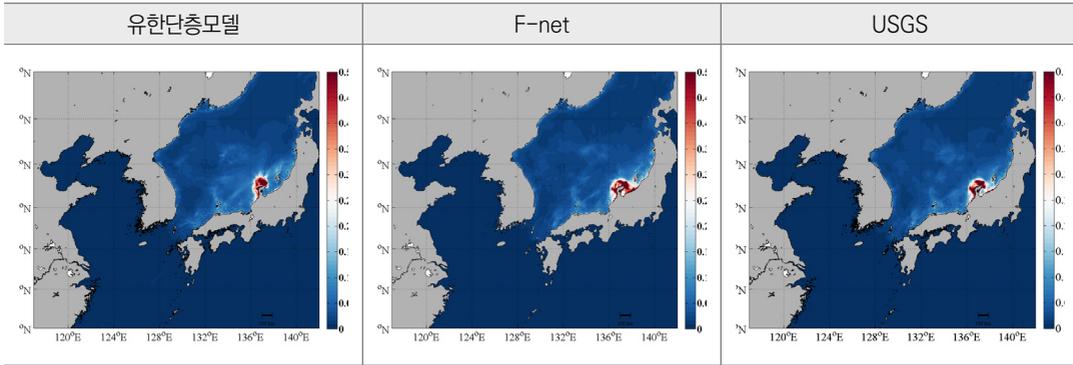
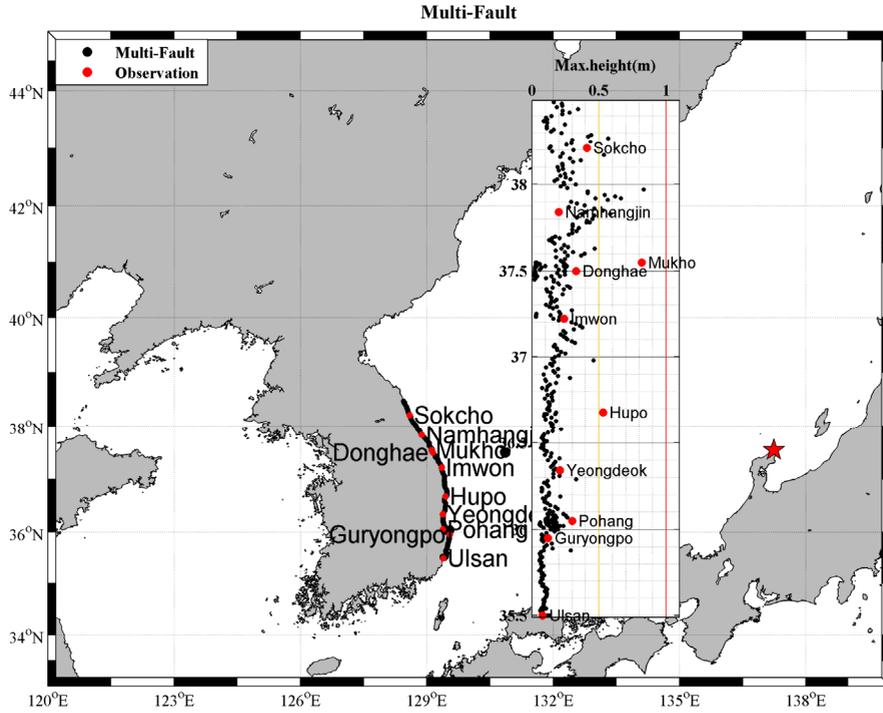


그림 3.3.7 주요 관측지점별 관측자료 및 유한단층모델 활용 수치모의 결과 비교 (검정색: 수치모의 결과, 빨간색: 관측값)



유한단층모형을 적용한 수치모의 결과와 관측자료의 시계열을 비교하였다(그림 3.3.8). 그 결과, 목호 및 후포 이외의 관측지점에서는 관측자료의 초기파형 위상이 유사하고, 진폭은 유사하거나 크게 나타나고 있다.

**그림 3.3.8** 관측지점별 지진해일 관측자료(검정색) 및 유한단층모형 활용 수치모의 결과(파란색)의 시계열 비교

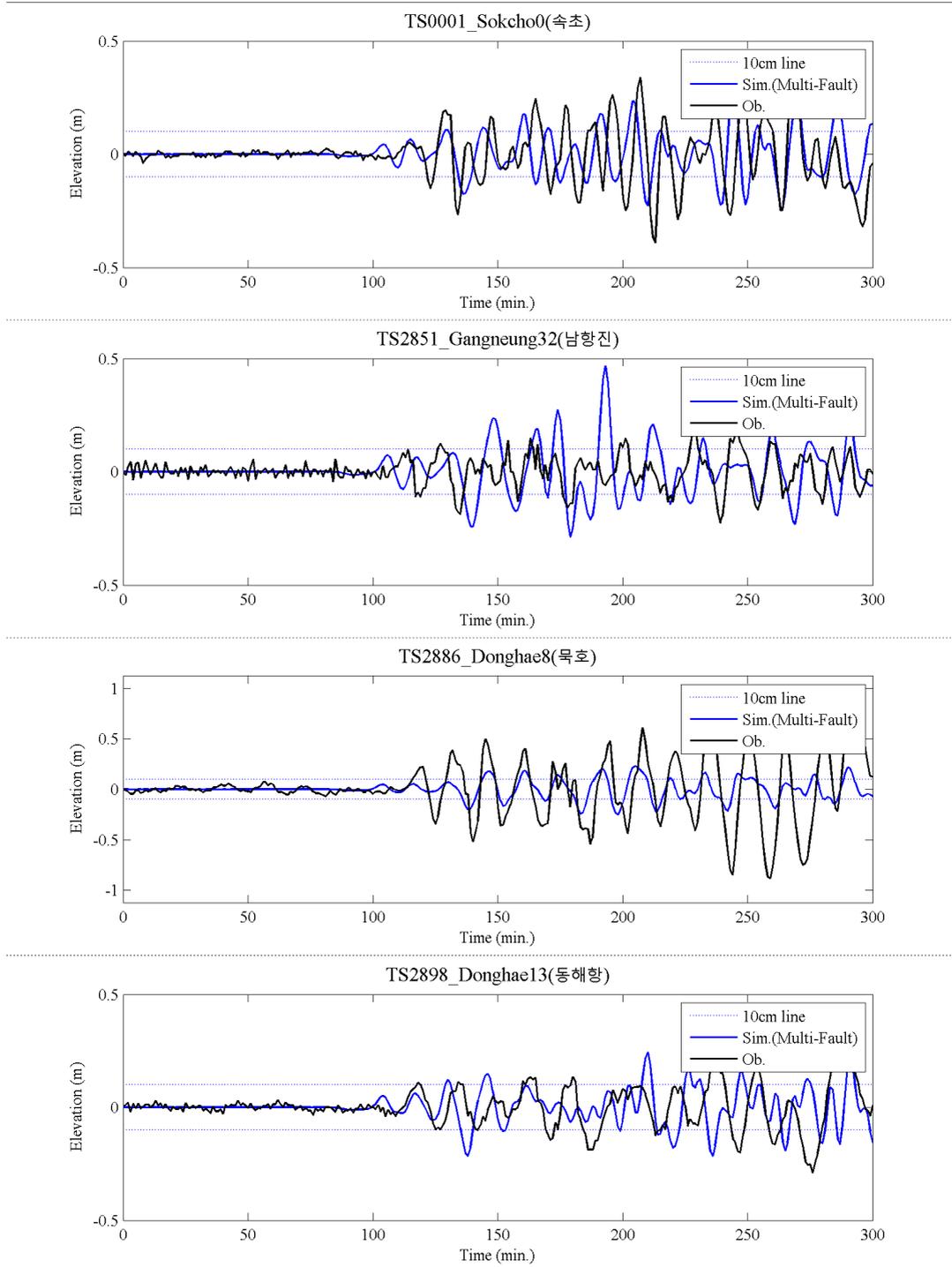


그림 3.3.8 관측지점별 지진해일 관측자료(검정색) 및 유한단층모델 활용 수치모의 결과(파란색)의 시계열 비교 (계속)

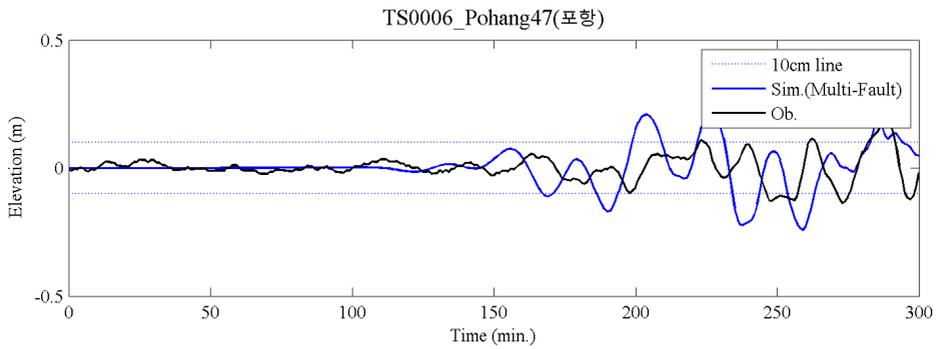
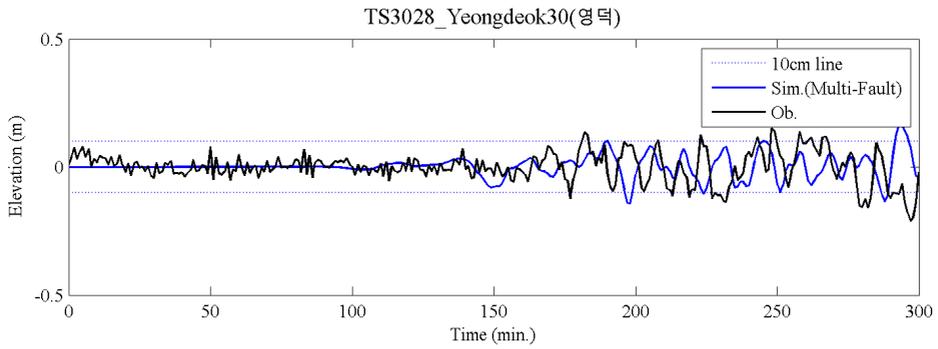
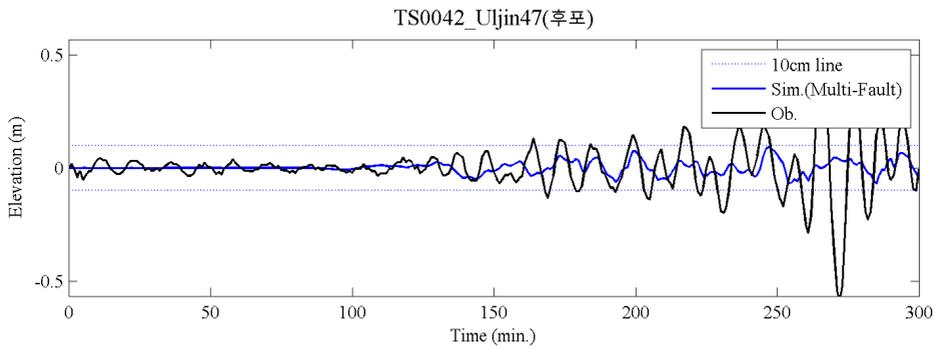
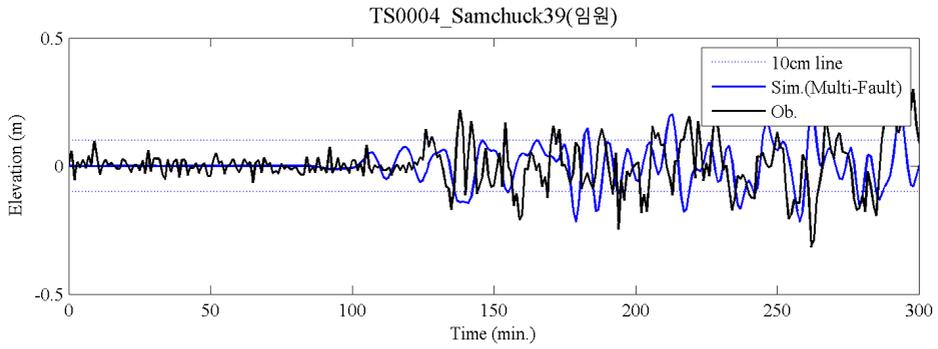
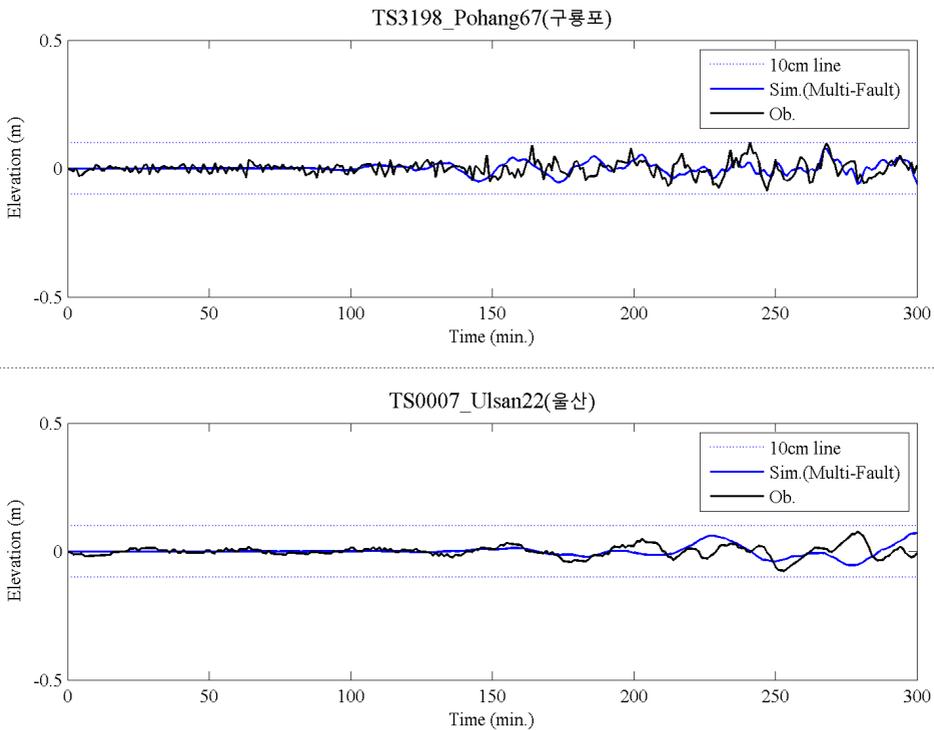


그림 3.3.8 관측지점별 지진해일 관측자료(검정색) 및 유한단층모델 활용 수치모의 결과(파란색)의 시계열 비교 (계속)

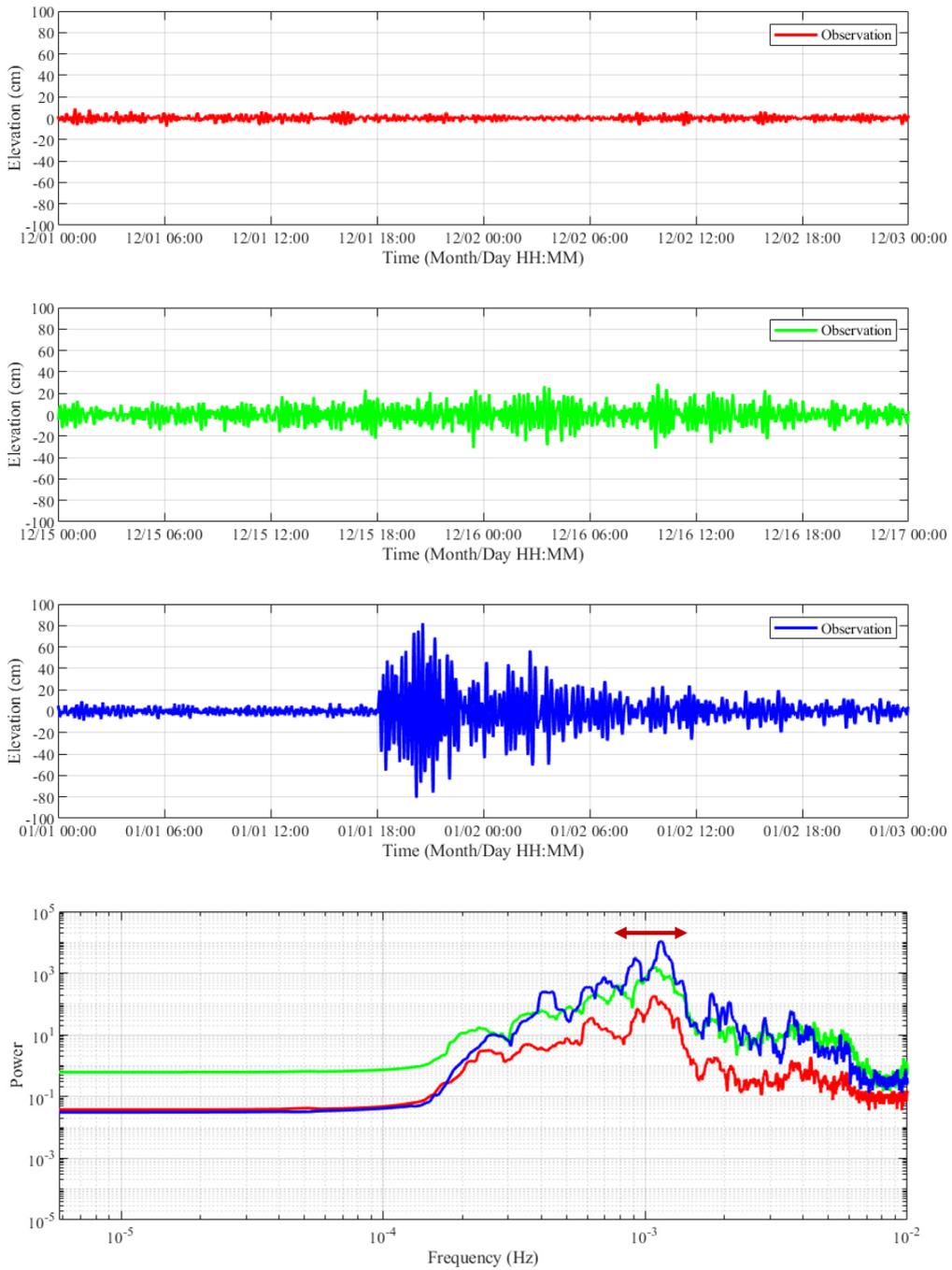


동해안 지진해일 관측값에 대하여 수치모의 결과와 비교한 결과, 묵호 및 후포 관측지점을 제외하고 관측값과 유사하거나 다소 크게 예측된 것이 확인되었다. 특히 유한단층모델 등 상세한 단층정보를 적용한 지진해일 수치모의 예측결과는 상대적으로 관측자료와 유사하게 나타나는 것이 확인되었다. 지진해일 예측모델의 특성, 수심자료 해상도 및 단층모델에 의한 초기값 등이 복합적으로 작용하여 예측결과를 도출하며, 수치모의 결과를 통해 지진해일 예측에 있어 단층모델에 의한 초기값의 중요성을 확인할 수 있다.

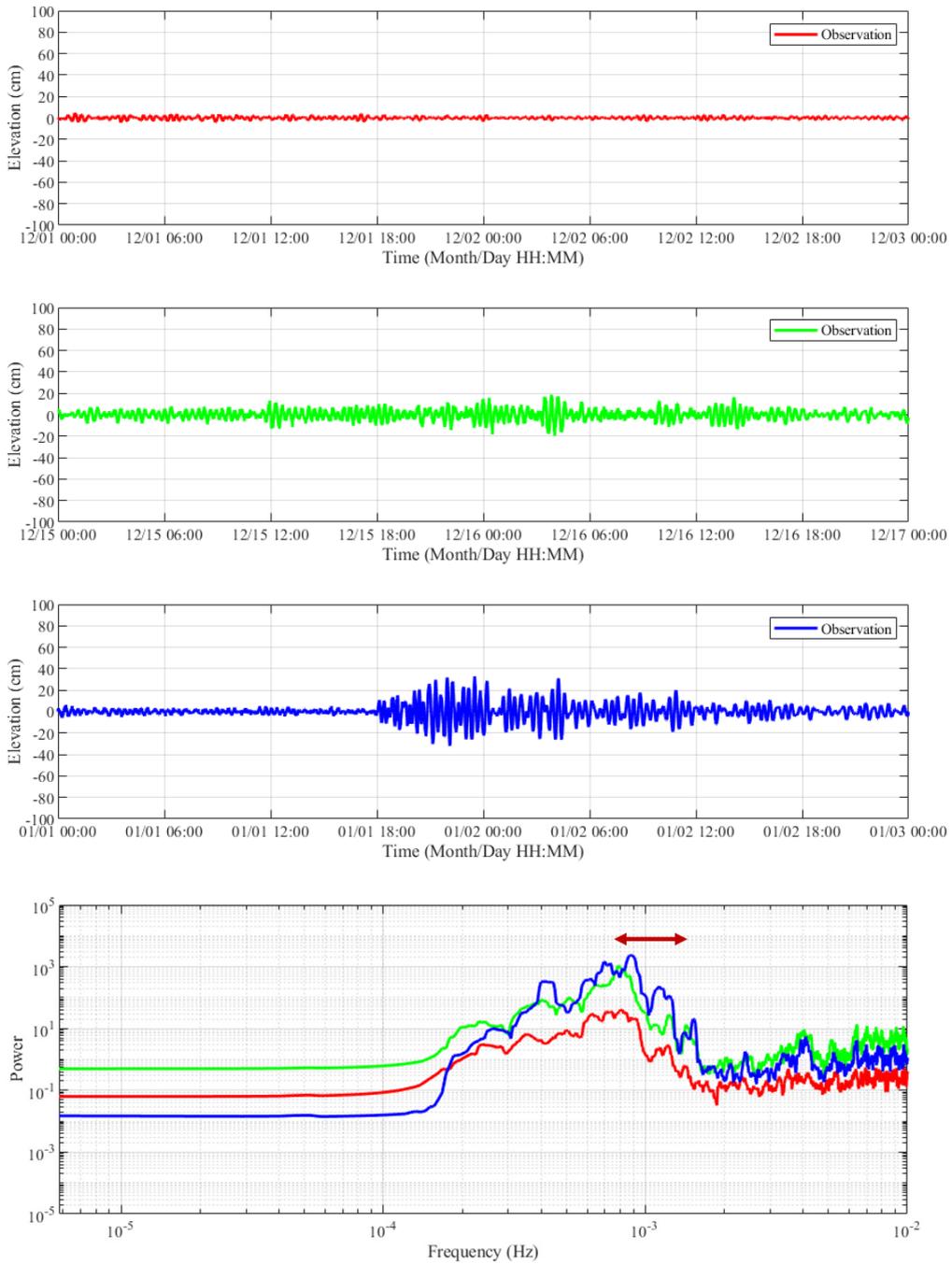
### 3.2 지진해일 관측자료 스펙트럼 분석

지진해일 신호의 우세주기를 파악하기 위하여 평상시('23.12.1~12.2), 풍랑이 발생한 위험기상 기간('23.12.15~ 12.16)의 관측자료와 지진해일 관측자료의 스펙트럼을 분석하였다. 그림 3.3.9~ 3.3.11은 각각 묵호, 동해, 후포 관측소에 기록된 관측자료와 주파수대역의 스펙트럼을 나타내고 있다. 평상시, 위험기상 및 지진해일 관측자료의 스펙트럼 비교 결과, 약 15분( $\sim 10^{-3}\text{Hz}$ ) 전후의 주기에서 지진해일 신호가 높게 나타나는 것을 확인할 수 있다. 이는 III.2절에서 관측자료를 통해 확인된 약 10~15분의 지진해일 주기가 스펙트럼 분석에서도 나타난 것으로 해석할 수 있다.

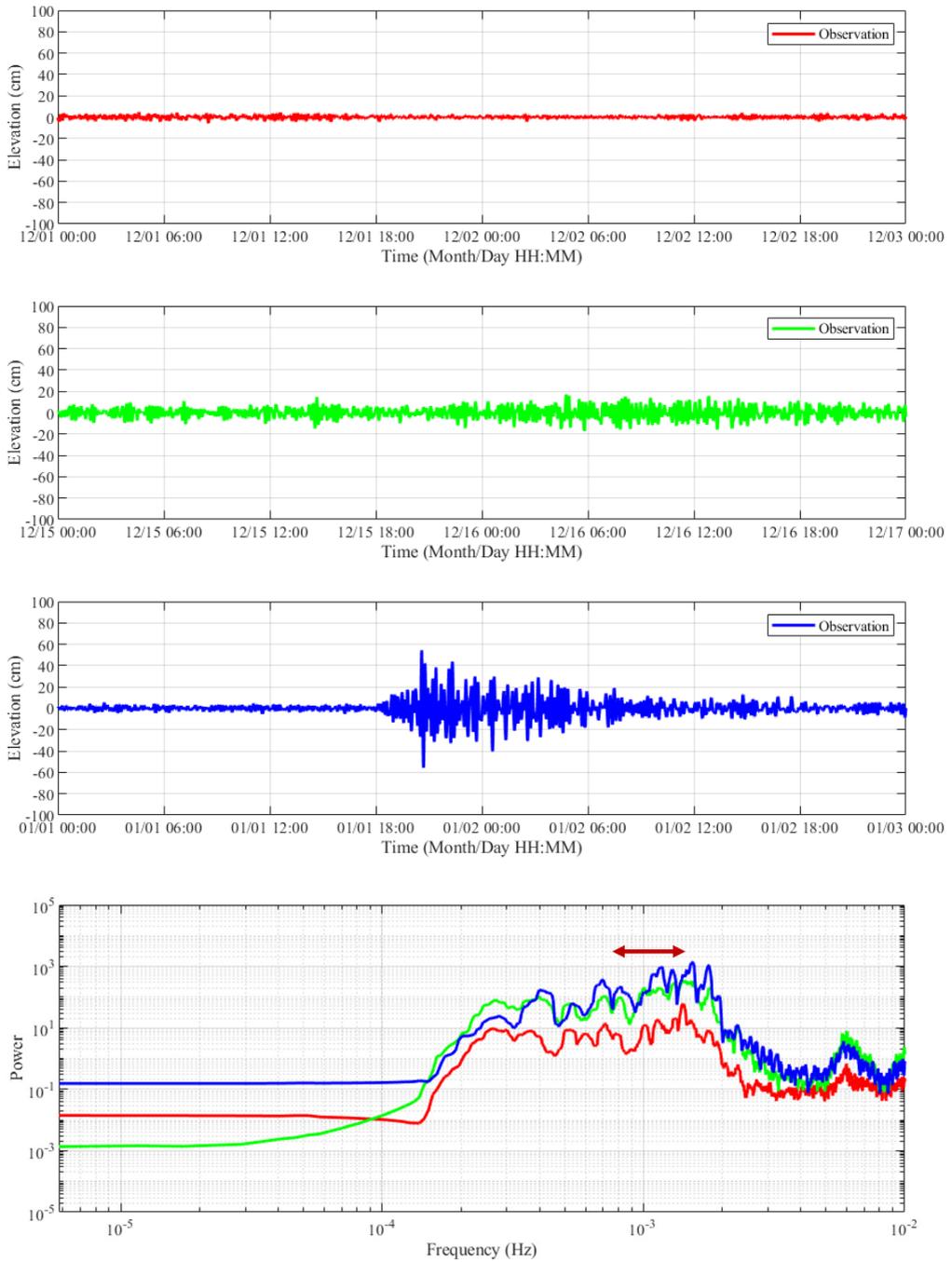
**그림 3.3.9** 목호 조위관측소. 평상시, 위험기상, 지진해일 기간의 관측자료 시계열 및 스펙트럼. (빨간색) 평상시, (초록색) 위험기상, (파란색) 지진해일 신호가 기록된 관측자료. 0.001Hz 대역 전후에서 지진해일 신호가 크게 나타남 (빨간색 화살표)



**그림 3.3.10** 동해 조위관측소. 평상시, 위험기상, 지진해일 기간의 관측자료 시계열 및 스펙트럼. (빨간색) 평상시, (초록색) 위험기상, (파란색) 지진해일 신호가 기록된 관측자료. 0.001Hz 대역 전후에서 지진해일 신호가 크게 나타남 (빨간색 화살표)



**그림 3.3.11** 후포 조위관측소. 평상시, 위험기상, 지진해일 기간의 관측자료 시계열 및 스펙트럼. (빨간색) 평상시, (초록색) 위험기상, (파란색) 지진해일 신호가 기록된 관측자료. 0.001Hz 대역 전후에서 지진해일 신호가 크게 나타남 (빨간색 화살표)



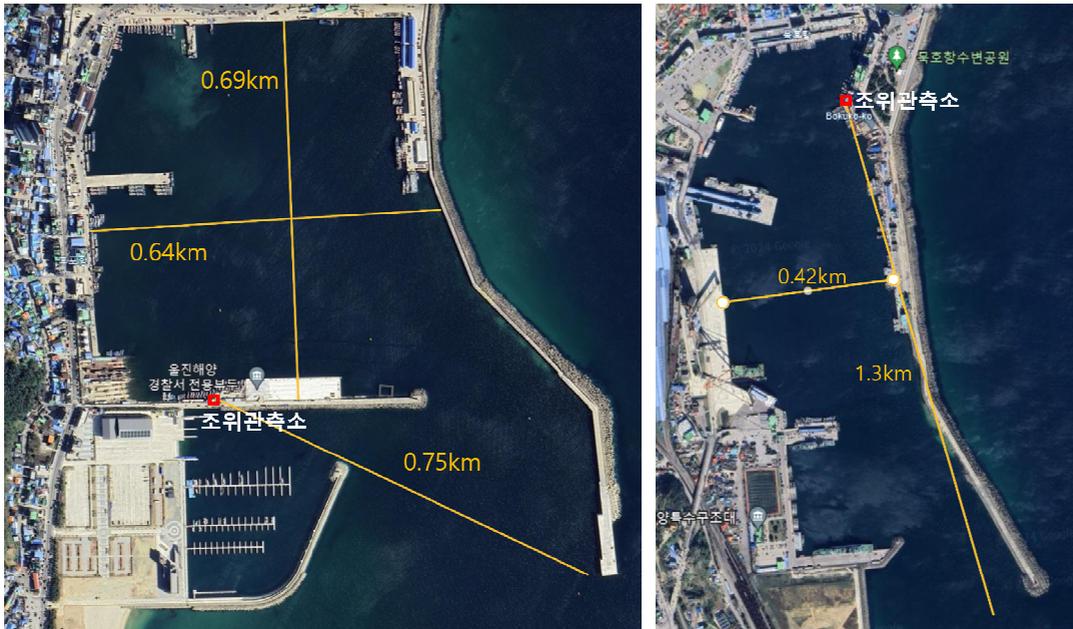
### 3.3 지진해일 관측환경 영향

이은주와 신성원(2021) 연구에서는 부진동\*이 현저히 일어나는 영일만에서의 지진해일 증폭 효과에 대한 분석을 통해 특정 주기 대역에서 에너지가 증폭하는 현상을 연구하였다. Kawai et al.(2014)는 2011년 동일본 대지진에 의해 발생한 지진해일이 쿠지 만에서 증폭되는 현상을 연구하였다. 이러한 선행연구 내용을 참고하여 묵호, 후포 등 높은 해일고가 관측된 현상을 분석하였다.

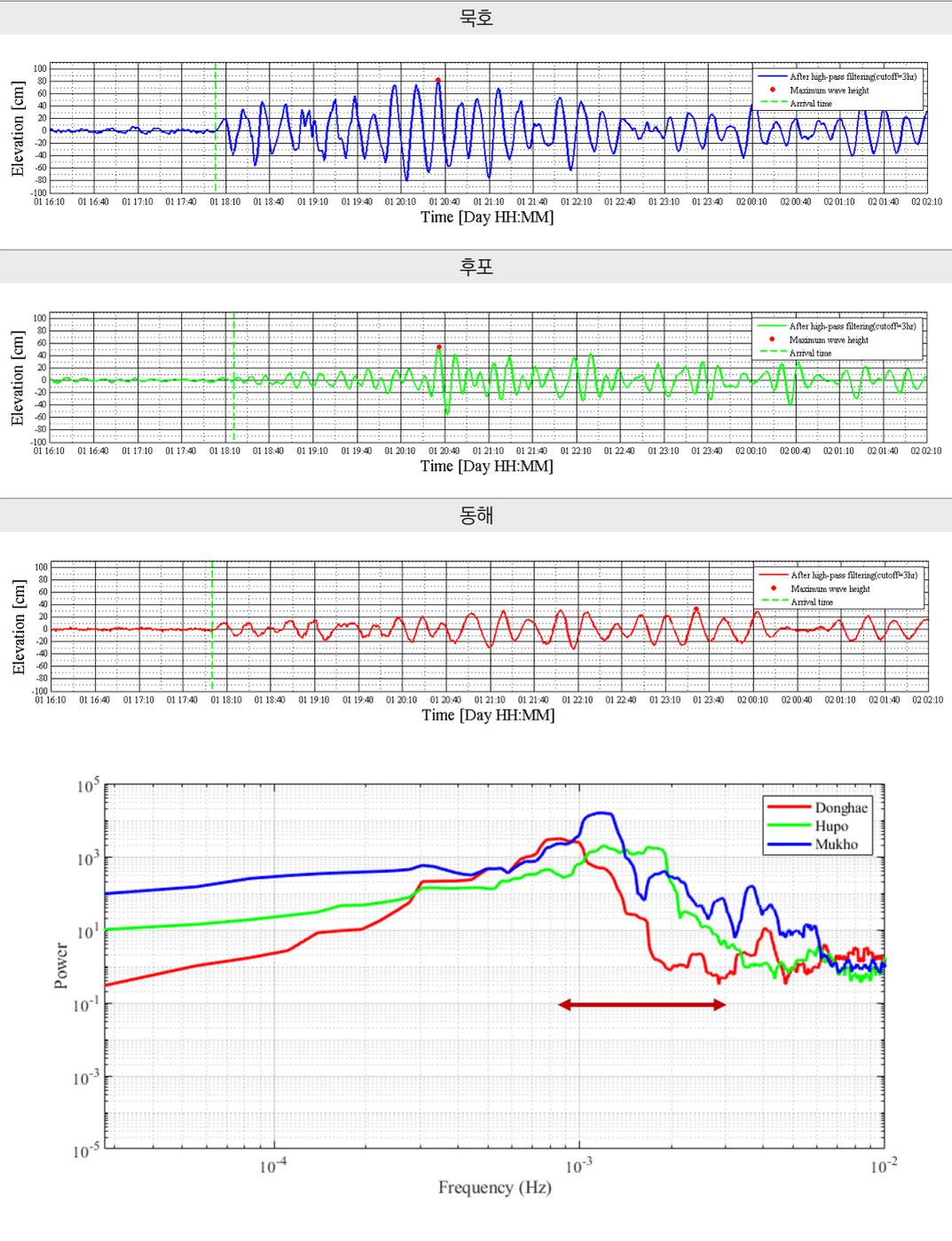
\* 항만으로 전파한 지진해일의 주기가 항만이 가지고 있는 고유진동 주기와 공진되어 증폭되는 현상

III.2절의 관측정보를 보면 동해안의 관측지점 중 묵호와 후포에서 관측된 최대해일고는 다른 관측지점이나 수치모의 예측결과보다 상대적으로 높게 나타나고 있다(표 3.2.2, 그림 3.3.7). 82cm 및 54cm의 최대해일고가 관측된 묵호와 후포, 그리고 33cm의 최대해일고가 관측된 묵호 인근에 위치한 동해의 관측자료 스펙트럼을 비교하였다(그림 3.3.13). 세 지점의 관측자료 스펙트럼을 비교하면 약 5~15분 주기( $10^{-3}$ ~ $3 \times 10^{-3}$ Hz) 대역에서 묵호와 후포 지점의 관측자료 스펙트럼이 상대적으로 높게 나타나고 있다. 이러한 차이는 묵호와 후포 조위관측소가 항만 내에 위치(그림 3.3.12)하였고 방파제 등 지형에 의한 부진동 효과와 만조시간 등이 영향을 준 것으로 추정되며, 향후 동해안 지역의 지진해일 대비를 위해서 추가 상세 연구가 필요한 것으로 사료된다.

그림 3.3.12 후포항(좌) 및 묵호항(우) 조위관측소 위치(사각형)



**그림 3.3.13** 목호, 후포 및 동해 관측자료의 10시간 시계열 및 스펙트럼 비교. 0.001~0.003Hz 대역에서 목호 및 후포의 진폭이 상대적으로 크게 나타남(빨간색 화살표)





2024  
동해안 지진해일  
분석보고서

# IV.

## 1983년, 1993년 지진해일 사례와 비교

Korea Meteorological Administration



### 제1절 과거 동해안 지진해일 사례

- 1.1 과거 동해안 지진해일 발생 사례
- 1.2 1983년, 1993년 지진해일 사례와 비교 분석

# IV 1983년, 1993년 지진해일 사례와 비교

## 제1절 과거 동해안 지진해일 사례

### 1.1 과거 동해안 지진해일 발생 사례

1940년 일본 홋카이도 시코탄반도 외해(44.15° N, 139.28° E) 규모 7.5 지진에 따른 지진해일이 발생하여 묵호 등 검조소에서 최대 1.2m 파고가 관측되었다. 삼척에서 어선 유실, 가옥파손 등 피해가 발생하였다(국립기상과학원, 2015).

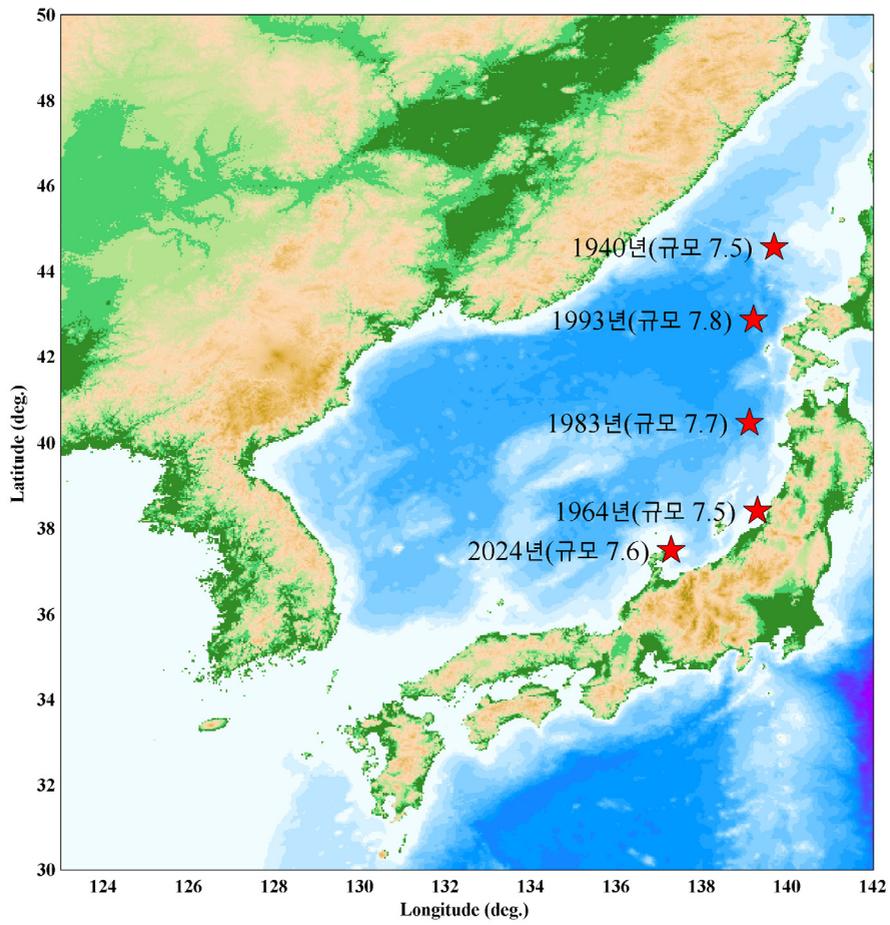
1964년 일본 니이가타현 외해(38.3° N, 139.2° E) 규모 7.5 지진에 따른 지진해일이 발생하여 부산 32cm, 울산 39cm 해면이 승강하였다(국립기상과학원, 2015).

1983년 일본 혼슈 아키타현 서쪽 근해(40.4° N, 139.1° E) 규모 7.7 지진에 따른 지진해일이 발생하여 묵호에서 2m 이상의 최대해일고\*가 관측되었다. 지진해일로 피해가 발생했던 곳은 경북 울진 이북, 강원도 동해시 이남의 남북 약 70km의 해안이며 5명의 인명피해(사망 1, 실종 2, 부상 2) 및 선박 파괴, 가옥 파손 등 약 3억 7천여만원의 재산피해가 발생하였다(중앙기상대 관측국, 1983).

1993년 일본 홋카이도 오키시리섬 북서쪽 근해(42.8° N, 139.2° E) 규모 7.8 지진에 따른 지진해일이 발생하여 동해, 속초에서 2m 이상의 최대해일고\*가 관측되었다. 지진해일로 인한 인명피해는 없었지만 선박 파괴, 어망어구 파손 등 약 4억원의 재산피해가 발생하였다. 기상청은 지진해일 발생 가능성을 판단하여 지진속보와 지진해일 경보를 연이어 발표하였다(기상청, 1993).

\* 골-마루까지 높이(peak to peak)이며 현재의 해일고 산출 방법(하이패스필터 적용 후 zero to peak)과 상이함

그림 4.1.1 동해안 지진해일 발생위치 분포도



## 1.2 1983년, 1993년 지진해일 사례와 비교 분석

1983년 지진해일의 경우 평균주기는 8~12분, 지속시간은 약 9~18시간 이상이고 울릉도, 속초, 묵호, 포항 등에서 관측된 최대해일고는 약 0.62~2m이었다. 1993년 지진해일의 경우 5~10분의 평균주기로 반복되었고 제 3~4파에서 최대 수위변화를 보인 후 서서히 약화되었다(국립기상과학원, 2015). 울릉도, 속초, 동해, 포항 등에서 관측된 최대해일고는 약 0.92~2.76m이었다.

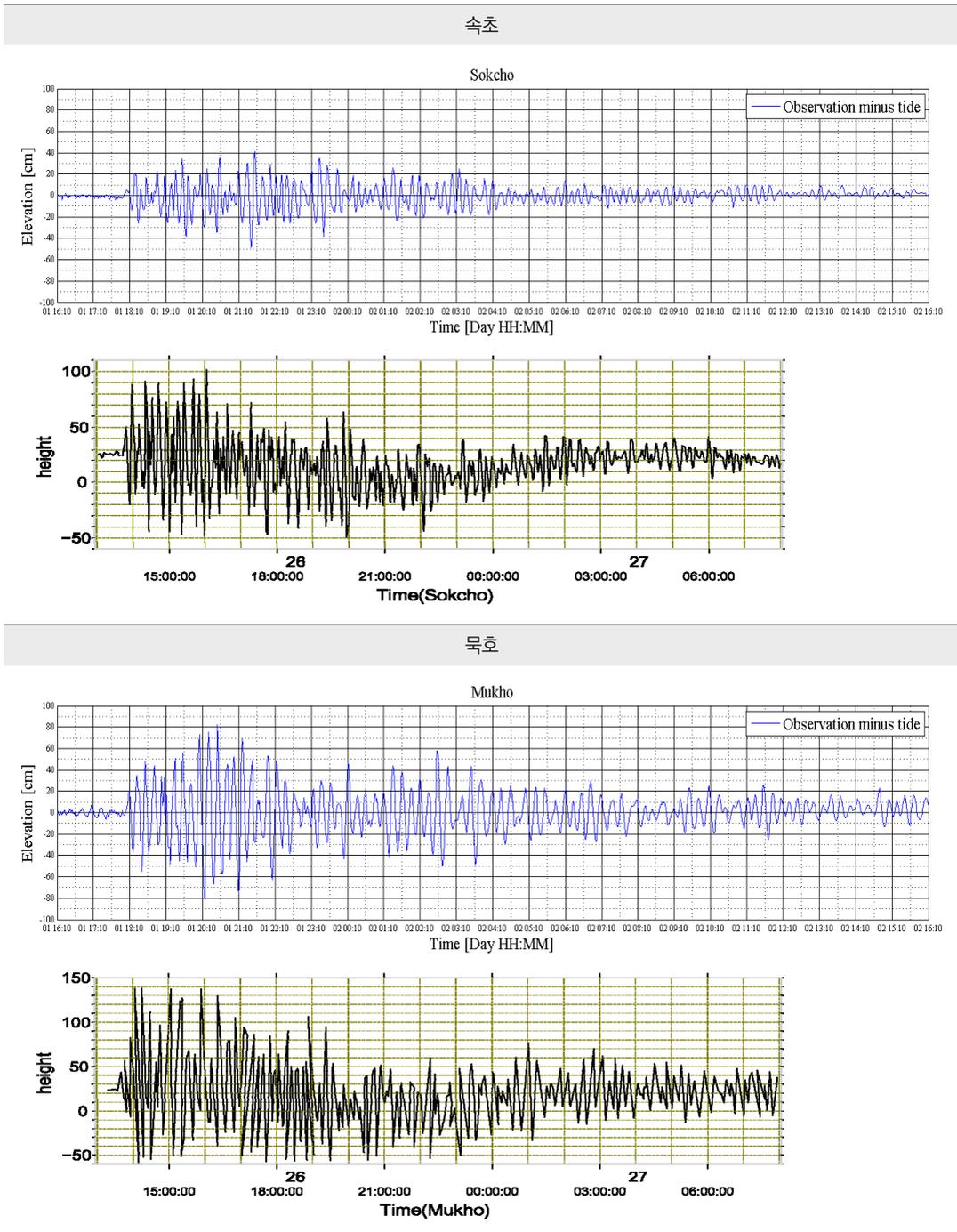
2024 동해안 지진해일의 경우 평균주기는 10~15분, 지속시간은 약 10~24시간이다. 또한 단층의 위치 및 전파경로 차이 등에 의해 최대해일고는 최초관측 후 약 2시간~2시간 30분 후에 관측되어 1983년 지진해일의 최대해일고 관측보다 더 오래 걸린 것을 확인할 수 있으며, 속초와 묵호의 최대해일고는 1983년 지진해일 최대해일고의 약 0.5배, 0.8배로 낮게 관측되었다(그림 4.1.2, 표 4.1.1). 울릉도에서 관측된 1993년 지진해일 파형자료와 비교하면 2024 동해안 지진해일의 최대해일고 도달시간이 더 오래 걸리고 최대해일고는 0.2배로 낮게 관측되었다(그림 4.1.3, 표 4.1.1). 2024 동해안 지진해일은 1983년과 1993년 지진해일의 전파 양상과는 다르게 전파하여 동해안에 도달하는 경향을 보이고 있다(그림 4.1.4, 그림 4.1.5, 그림 4.1.6).

표 4.1.1 동해안 지진해일의 관측지점별 최대해일고 비교

관측지점	최대해일고(cm)		
	2024 동해안 지진해일	1993 동해안 지진해일*	1983 동해안 지진해일*
울릉도	11	119	126
속초	41	203	156
묵호	82	-	200 이상

\* 골-마루까지 높이(peak to peak)이며 현재의 해일고 산출 방법(하이패스필터 적용 후 zero to peak)과 상이함

그림 4.1.2 속초(위), 묵호(아래) 조위관측소의 2024년 및 1983년 지진해일 관측자료 비교(사진자료를 디지털화).



**그림 4.1.3** 울릉도 조위 관측소의 2024년 및 1993년 지진해일 관측자료 비교.  
1993년 파형자료는 오카다와 나카무라(1994) 자료 발췌

울릉도

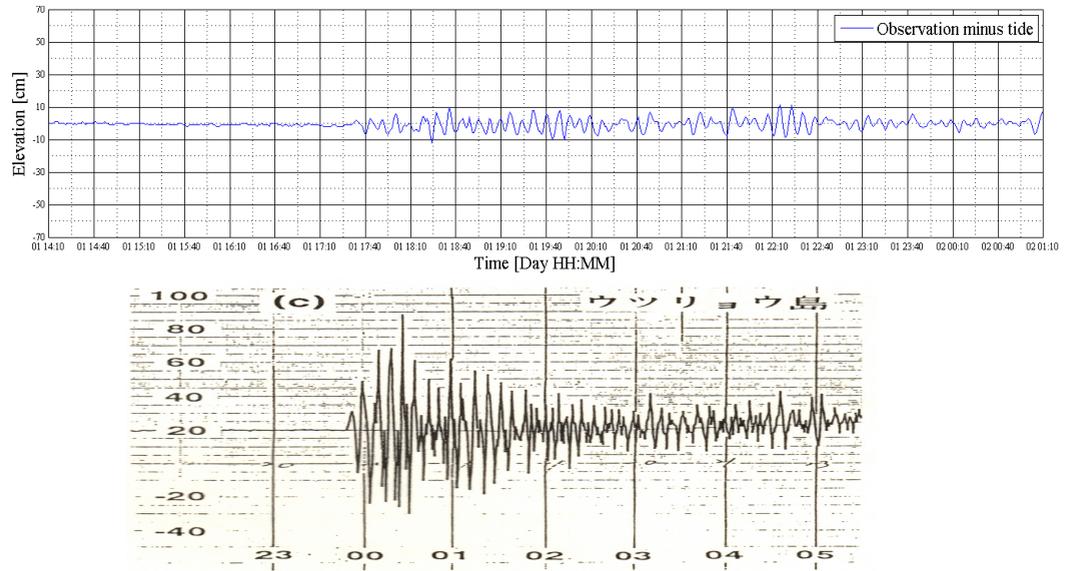


그림 4.1.4 1983년 지진해일 전파 수치모의

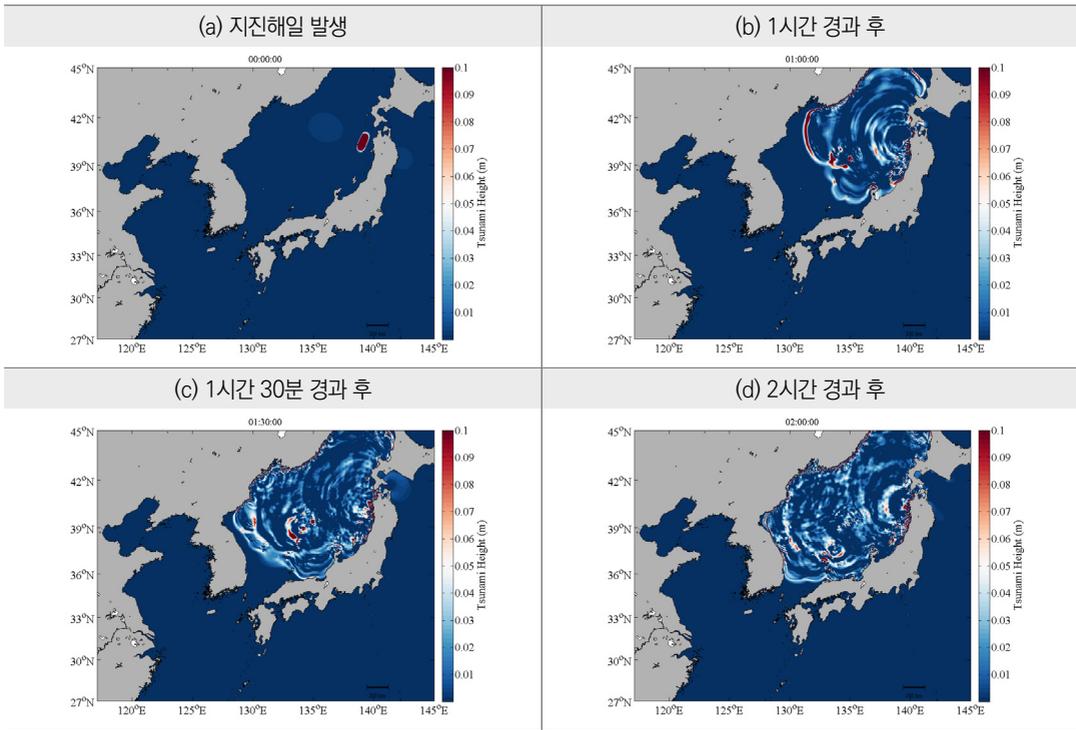


그림 4.1.5 1993년 지진해일 전파 수치모의

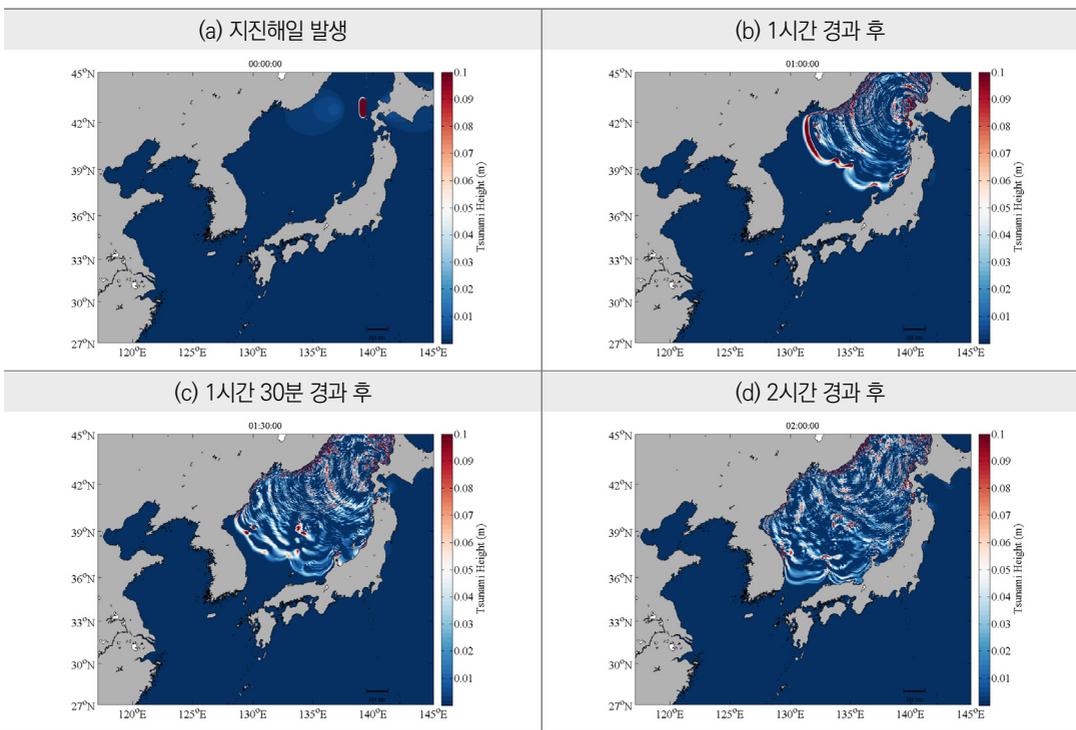
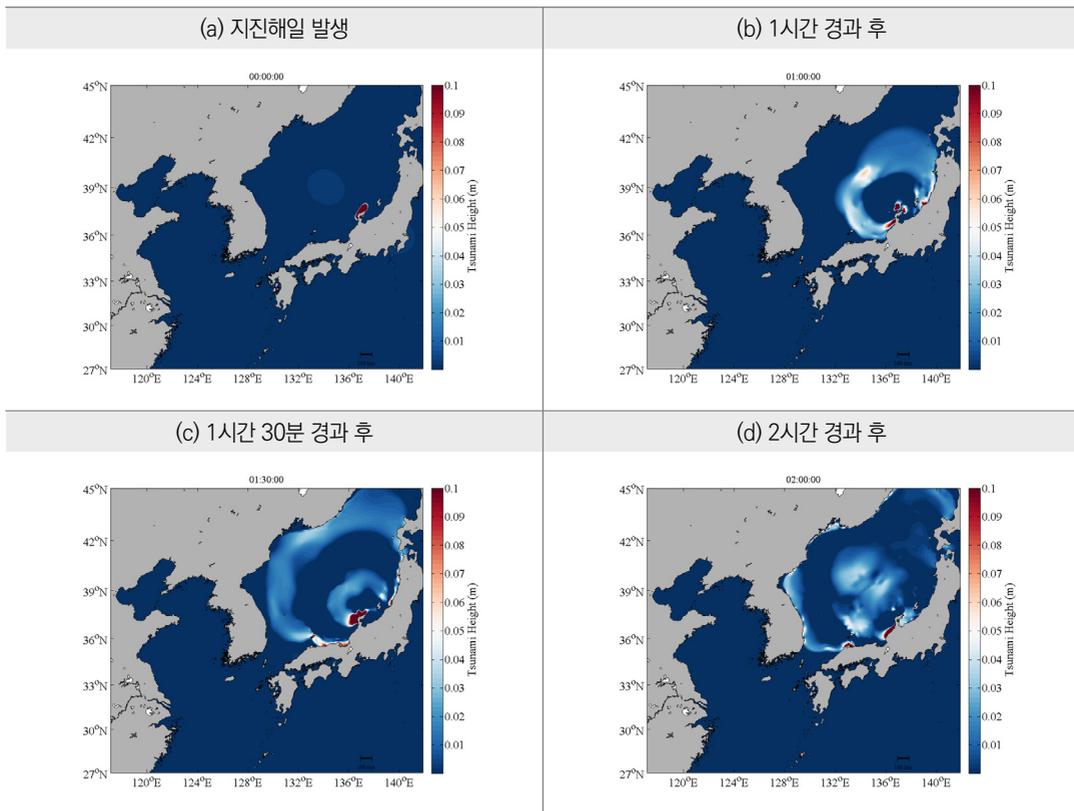


그림 4.1.6 2024년 지진해일 전파 수치모의





2024  
동해안 지진해일  
분석보고서

# 참고문헌

Korea Meteorological Administration



---

## 참고문헌

### REFERENCE

---

- 국립기상과학원, 2015, 동해안에서의 지진해일(세미나 자료집).
- 기상청, 2023, 2023 지진해일 특보 해설서.
- 기상청, 1993, 기상연감, 30.
- 신성원, 2020, 조위와 지형조건을 고려한 지진해일 예측 및 관측 기술 개선 연구, 기상청 학술연구용역 보고서.
- 오키다 마사미, 나카무라 코우지, 1994, 오키시리 지진해일과 검조기록, 일본 기상연구소 지진화산연구부.
- 이은주, 신성원, 2021, 영일만에서의 부진동 효과에 의한 지진해일 증폭 효과 분석, 한국연안방재학회 지, 8(4), 315-322.
- 일본 도쿄대학 지진연구소, 2016, 동해 지진·지진해일 프로젝트(2013~2020) 2015년도 보고서.
- 일본기상청, 2024, 2024년 1월 지진·화산 월보.
- 일본 (사)방재학술연계체, 2024, 2024년 노토반도지진에 대한 2차 보고회.
- 중앙기상대 관측국, 1983, 동해안지진해일보고, 7, 44, 45, 60.
- Bressan, L., Tinti, S., 2011, Structure and performance of a real-time algorithm to detect tsunami or tsunami-like alert conditions based on sea-level records analysis, Natural Hazards and Earth System Science, 11(5), 1499-1521.
- Fujii, Y. and Satake, K., 2024, Slip distribution of the 2024 Noto Peninsula earthquake (MJMA 7.6) estimated from tsunami waveforms and GNSS data, Earth, Planets and Space, 76:44, 1-12, doi:10.1186/s40623-024-01991-z
- Lee, J.-W. and Park, S.-C., 2016, Tsunami arrival time detection system applicable to discontinuous time series data with outliers, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 16, 2603-2622.
- Mofjeld, H.O., 1997, Tsunami detection algorithm, Not published paper (<http://www.ndbc.noaa.gov/dart/algorithm.shtml>).
- Perez. B., Alvarez-Fanjul. E., Perez. S., Alfonso M de & Vela. J., 2013, Use of tide gauge data in operational oceanography and sea level hazard warning systems, Journal of Operational Oceanography, 6:2, 1-18, doi:10.1080/1755876X.2013.11020147.





2024  
동해안 지진해일  
분석보고서

---

# 부록

K o r e a M e t e o r o l o g i c a l A d m i n i s t r a t i o n



부록1. 지진해일 특·정보 발표체계

부록2. 동해안 지진해일 사례

## 부록 1 지진해일 특·정보 발표체계

### 추진근거

- 지진·지진해일·화산의 관측 및 경보에 관한 법률
- 지진·지진해일·화산의 관측 및 경보에 관한 법률 시행규칙
- 지진화산 업무규정
- 「지진·지진해일」위기대응 실무매뉴얼

### 목적

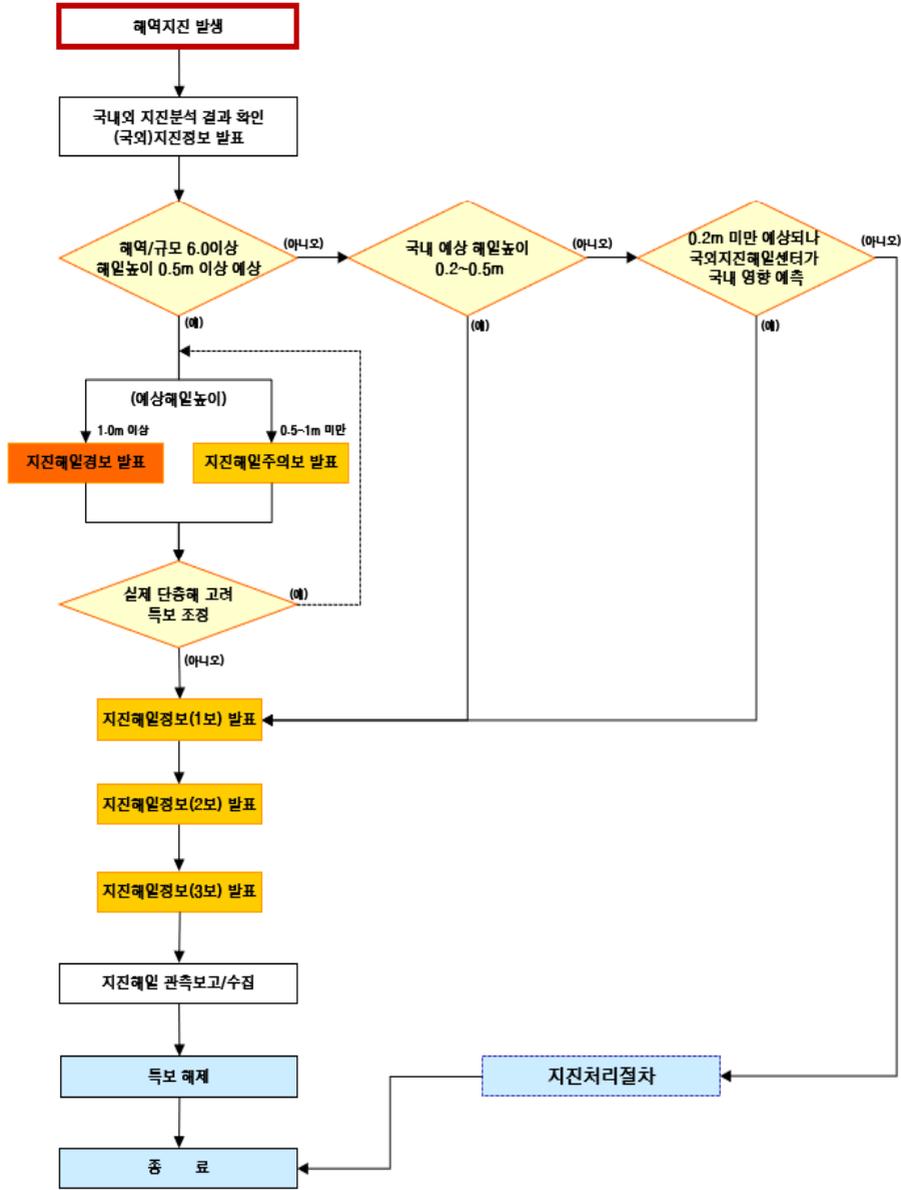
- 기상청은 지진해일로 인한 재해로부터 국민의 생명과 재산을 보호하기 위하여 지진해일 특보를 발표하고 있음
  - 신속한 방재와 상황전파를 위해 재난관리기관, 언론기관 등에 제공

### 발표 기준



지진해일 특보 및 정보 발표 절차

지진해일 특보 및 정보 발표 절차



※ 지진해일 특보 발령 시 신속성을 전파를 위해 지진정보(지진경보, 국외지진정보)는 생략될 수 있음

■ 지진해일 특보구역

- 기상청 예보업무규정의 해상국지예보구역 및 울릉군 관할 해역을 적용하여 남한의 해안을 26개의 특보구역으로 설정

지진해일 특보구역



## ■ 지진 및 지진해일 정보전파 체계

- 일반국민 및 재난관리기관 담당자에게 지진 및 지진해일 특·정보를 여러 통보매체로 전달
  - (일반국민) TV 자막방송, 기상청 날씨누리, SNS, 포털(NAVER, DAUM) 등
  - (재난관리기관) 관계기관\*, 기관 재난담당자 휴대폰 문자, FAX, E-mail, 컴퓨터통보

\* 중앙행정기관(6), 재난관리책임기관(15), 지자체(25), 교육청(17), 기타(4)



## 부록 2 동해안 지진해일 사례

구분		2024 동해안 지진해일	1993 동해안 지진해일	1983 동해안 지진해일
지진	진원시	2024.1.1. 16:10	1993.7.12. 22:17	1983.5.26. 11:59
	규모	7.6	7.8	7.7
	진앙	일본 혼슈 이시카와현 노토반도 (37.5° N, 137.2° E)	일본 홋카이도 오키시리섬 북서쪽 해역 (42.8° N, 139.2° E)	일본 혼슈 아키타현 서쪽 해역 (40.4° N, 139.1° E)
지진 해일	제1파 도달시각	- 울릉도 : 17시 30분 - 속 초 : 17시 59분 - 남향진 : 17시 57분 - 목 호 : 18시 03분 - 동 해 : 18시 00분 - 임 원 : 18시 12분 - 후 포 : 18시 16분 - 영 덕 : 18시 52분 - 포 향 : 19시 14분 - 구룡포 : 18시 50분 - 울 산 : 19시 13분 - 부 산 : 19시 45분	- 울릉도 : 23시 47분 - 속 초 : 00시 00분 - 동 해 : 00시 09분 - 포 향 : 01시 18분	- 울릉도 : 13시 17분 - 목 호 : 13시 35분 - 속 초 : 13시 43분 - 포 향 : 13시 52분
	최대파고*	- 울릉도 : 11cm - 속 초 : 41cm - 남향진 : 20cm - 목 호 : 82cm - 동 해 : 33cm - 임 원 : 25cm - 후 포 : 54cm - 영 덕 : 19cm - 포 향 : 32cm - 구룡포 : 12cm - 울 산 : 11cm - 부 산 : 15cm	- 울릉도 : 119cm - 속 초 : 203cm - 동 해 : 276cm - 포 향 : 92cm	- 울릉도 : 126cm - 목 호 : 200cm 이상 - 속 초 : 156cm - 포 향 : 62cm
	평균주기	10 ~ 15분	5 ~ 10분	8 ~ 12분
	피해사항	피해없음	- 인명 : 피해없음 - 선박 : 전파 17, 반파 15 - 어망어구 : 3,228통	- 인명 : 사망 1, 실종 2, 부상 2 - 가옥 : 파괴 1, 파손 22, 침수 19 - 선박 : 파괴 47, 파손 34
	총 피해액 (당시금액)		약 4억원	약 3억 7천여만원
출처	기상청 정밀분석결과	기상청, 1993, 기상연감, p30	중앙기상대 관측국, 1983, 동해안지진해일보고, 1983, p.7, 44, 45, 60	

\* 1983년, 1993년 지진해일의 경우 골-마루까지 높이(peak to peak)이며 2024년의 해일고 산출 방법(하이패스필터 적용 후 zero to peak)과 상이함

# 2024 동해안 지진해일 분석보고서

인 쇄 일 2024년 4월

발 행 일 2024년 4월

발 행 처 기상청 지진화산국

편 집 지진화산연구과

디자인·인쇄 한결엠

02)6952-0551 [www.hgm6952.com](http://www.hgm6952.com)

 중증장애인생산품생산시설

 사회적협동조합

 사회적기업