

# 지진해일 예경보에 따른 범람도의 실용적 작성

## Practical Construction of Tsunami Inundation Map Corresponding to Disaster Forecast/Warning Systems

전영준\* · 최준우\*\* · 윤성범\*\*\*

Jeon, Young Joon · Choi, Junwoo · Yoon, Sung Bum

### Abstract

In general, forecast tsunami heights announced for tsunami warning are computed by using a linear tsunami model with coarse grids which leads the underestimation of inundation area. Thus, an accurate tsunami inundation map corresponding to the forecast tsunami height is indispensable for an emergency evacuation plan. A practical way to construct a relatively accurate tsunami inundation map was proposed in this study for the quantitative forecast of inundation area. This procedure can be introduced as in the followings: The fault dislocations of potential tsunami sources generating a specific tsunami height near an interested area are found by using a linear tsunami model. Based on these fault dislocations, maximum inundation envelopes of the interested area are computed and illustrated by using nonlinear inundation numerical model. In this study, the tsunami inundation map for Imwon area was constructed according to 11 potential tsunami sources, and the validity of this process was examined.

**key words** : forecast tsunami height, linear model, potential tsunami source, nonlinear inundation model, inundation map

### 1. 서 론

지진해일 발생 시 지진발생원의 위치와 단층변위 특성을 파악하고 상세한 수치모형을 이용하여 대상지역에 대한 지진해일 예상 범람영역을 산정하는 데 필요한 계산 소요시간이 지진해일이 해안에 도달하는 데 걸리는 시간보다 훨씬 길어 실시간 예경보가 사실상 불가능하다. 따라서 일반적으로 지진해일 해일고를 예보하기 위해 정확도는 낮지만 신속한 결과를 주는 큰 격자의 광역 선형 수치모형을 사용하게 된다. 그러나 이러한 예비용 광역 수치모형으로부터 얻어지는 해일고는 실제에 비해 매우 작아 범람역이 과소 산정되므로 위험한 상황과 피해를 발생시킬 가능성이 있다. 일본이나 미국에서도 이러한 현실적인 제약 조건을 인식하고 실시간 정량 예보 대신 발생 가능한 가상적인 최대 지진해일을 상정하여 대상지역에 대한 지진해일 최대 예상 범람역을 산정하고 이를 바탕으로 범람예상도와 재해정보지도를 작성하여 지역사회에 배포함으로써 방재 활동에 활용하고 있다. 그러나 작은 규모의 지진해일 내습 시에도 가상적인 최대 규모의 범람예상도를 사용함으로써 주민 대피 등 방재활동에 있어서 과잉대응의 우려가 있는 것도 사실이다. 만약 과소 산정되는 예보 해일고에 상응하는 지진해일 발생원에 대해 실제 범람영역을 미리 예측하여 예보해일고 별로 범람예상도를 작성하여 두고, 유사시 예보해일고가 통보되면 이에 상응하는 범람예상도를 제시하여 활용한다면 과잉대응에 따른 문제점을 어느 정도 해결할 수 있어, 정량적인 예보를 향한 진일보된 방안이라 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 다음과 같은 예보해일고에 연계된 예상범람도 작성기법을 제안한다. 우선 특정 해안 지점에 지진해일을 발생시킬 가능성이 높은 지진해일 발생원의 위치를 파악하고, 광역 수치모형을 이용하여 대상지역에

\* 한양대학교 토목공학과 · 석사과정 · E-mail: aqua1123@hanyang.ac.kr

\*\* 한양대학교 토목공학과 · 박사과정 · E-mail: wavechoi@hanyang.ac.kr

\*\*\* 정회원 · 한양대학교 토목환경공학과 · 교수 · 교신저자 · E-mail: sbyoon@hanyang.ac.kr

서 소정의 예보해일고를 유발시키는 발생원의 해저지형 단층 변위값을 찾아낸다. 이렇게 얻어진 각 발생원별 초기 단층이동 변위값들을 입력조건으로 정확도 높은 상세역 비선형 지진해일 수치모형을 이용하여 대상지역의 범람역을 다시 계산한 다음, 이들을 겹쳐서 최대 침수포락선을 작성한다. 이러한 과정을 통해 지진해일 예보해일고별로 침수예상도를 미리 작성해 두면, 진술한 바와 같이 지진해일 발생 시 대상 지역에서 소정의 지진해일 예보해일고가 주어졌을 때 이에 상응하는 범람역을 신속하게 파악할 수 있을 것이다.

본 논문에서는 우리나라 동해안의 특정 대상지역에 특정 예보해일고를 발생시킬 수 있는 다양한 크기를 가진 11개의 지진해일 발생원으로부터 전파되는 가상 지진해일을 수치해석하고, 그 크기의 단계별로 침수포락선을 표시하여 예상범람도를 작성하는 예경보와 방재시스템의 연계 방법을 수립하고 그 타당성을 검토한다. 적용 대상지역으로는 1983년과 1993년 동해 지진해일 발생 시 가장 큰 피해를 입었던 임원항을 선정하였다.

## 2. 지배방정식

대상지역에서 특정 지진해일 예보해일고를 발생시킬 수 있는 지진해일 발생원의 해저 단층 변위값을 얻기 위한 광역 수치모형으로 격자접속기법을 사용하지 않는 분산보정 유한차분모형(DCFDM, Dispersion-Correction Finite Difference Model)을 사용하였다. 이 모형은 Yoon et al.(2007b)에 의해 제안된 수치적인 오차는 제거하고 물리적인 분산은 고려하도록 분산보정을 수행하는 선형 Boussinesq-type 파동방정식(LBTWE)을 사용한다. 반면에 특정 예보해일고에 상응하는 지진해일 발생원에 의한 범람역 계산을 위한 상세역모형으로는 수치 분해능문제를 해결할 수 있는 Yoon et al.(2007a) 및 Lim et al.(2008)이 개발한 동시격자접속기법(Active nesting scheme)을 도입한 격자접속-분산보정 유한차분모형(NDCFDM, Nested Dispersion-Correction Finite Difference Model)을 사용하고, 비선형효과와 바닥마찰이 고려되어야 하는 해안 근처의 범람모형으로는 이동경계(MB, Moving Boundary)를 도입한 비선형 천수방정식(NSWE, Nonlinear Shallow Water Equations) 모형을 이용하였다.

## 3. 예고해일고에 대한 침수예상도 작성

그림 1에 나타낸 계산영역은 범람영역을 계산하기 위한 상세역 모형의 A영역이며 동시에 대상지점인 임원에서 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5m의 예보해일고를 주는 11개 지진해일 발생원의 해저지형 단층 변위값을 찾기 위한 광역 수치모형의 계산영역이다. 표 1은 상세역 모형의 계산조건들을 나타낸다.

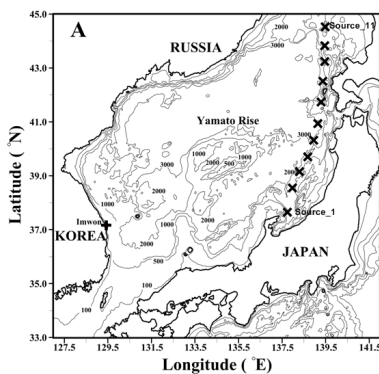


그림 1. 광역 A 계산영역 및 지진해일 발생원의 위치(KEDO, 1999) (단위 : m)

표 1. 격자정보 및 계산조건

영역	격자수	$\Delta x(m)$	$\Delta t(s)$	비고
A	1209×1250	997.0~1159.0	3.0	LBTWE
B	916×970	358.0~374.0	1.0	LBTWE
C	580×955	123.3	0.33	NSWE
D	562×490	41.1	0.11	NSWE
E	169×235	13.7	0.11	NSWE
F	217×268	4.5	0.11	NSWE+ MB

예경보시 발표되는 대상지점에서의 예보해일고 산정을 위한 광역 수치모형이 선형(linear) 지배방정식을 사용하므로 대상지점에서의 해일고는 발생원에서의 단층변위와 선형 비례관계가 있다는 점에 착안하여, 발생원의 몇 가지 단층변위에 대해 광역 수치모의를 수행하여 대상지점에서의 해일고를 구한 다음, 단층변위와 대

상지점 해일고 사이의 상관관계를 파악하여 관계식을 얻고, 이를 이용하여 주어진 대상지점에서의 예보해일고에 대한 발생원에서의 단층변위를 쉽게 구할 수 있었다. 그림 2는 그림 1의 5번 발생원에 대한 예보해일고와 단층변위 사이의 선형관계를 보여준다. 표 2는 이렇게 구해진 임원지점에서의 특정 예보해일고를 유발하는 지진해일 발생원에서의 단층변위를 정리하여 제시하였다. 초기 수면변위를 산정을 위해 단층변위를 제외한 단층파라미터는 KEDO(1999)를 참조하였다.

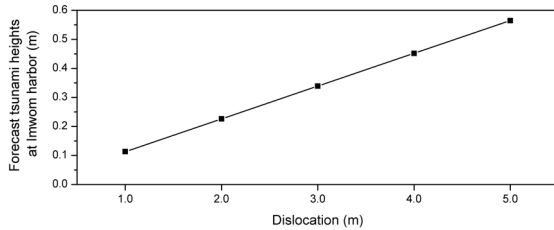
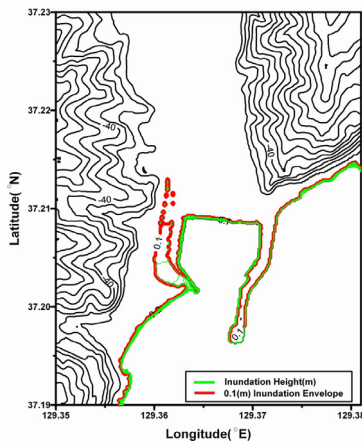


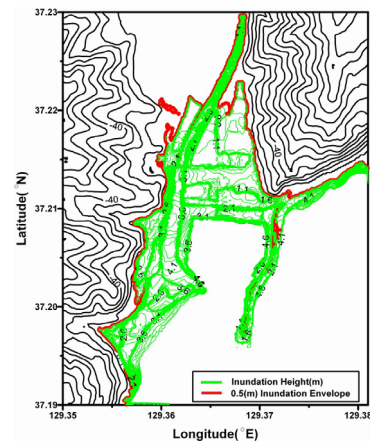
그림 2. 임원항 예보해일고와 발생원(Source 5) 단층변위 관계

표 2. 임원항 예보해일고에 따른 발생원별 단층변위

발생원	예보해일고 (m)				
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
1	2.040	4.080	6.120	8.160	10.200
2	0.902	1.804	2.070	3.609	4.510
3	0.887	1.773	2.660	3.547	4.454
4	0.661	1.322	1.984	2.645	3.310
5	0.884	1.768	2.652	3.536	4.430
6	0.894	1.787	2.681	3.575	4.480
7	1.020	2.040	3.060	4.080	5.115
8	1.179	2.358	3.537	4.716	5.910
9	2.517	5.035	7.552	10.070	12.590
10	3.024	6.018	9.063	12.107	15.150
11	2.880	5.760	8.640	11.520	14.400



(a) 예보해일고 0.1m 침수예상도 (단위 : m)



(b) 예보해일고 0.5m 침수예상도 (단위 : m)

그림 3. 임원항 침수예상도

앞에서 언급했던 것처럼 광역모형(DCFDM)을 사용하여 대상지역에서 소정의 예보해일고를 발생시키는 여러 발생원들의 단층 변위값을 구하고, 이를 입력조건으로 상세역모형(NDCFDM+NSWE+MB)을 이용하여 예보해일고 하나에 대해 11개의 범람역을 설정할 수 있다. 이 11개의 범람역은 예보해일고가 동일하므로 많은 부분이 중복되지만 지진해일이 서로 다른 발생원으로부터 전파되었으므로 대상지역에 내습하는 방향이 서로 달라 중복되지 않는 부분도 발생한다. 만약 예경보 발령 시 예보해일고와 발생원을 동시에 고려한 대피계획을 세운다면 5가지 예보해일고에 각각 11가지 발생원이 연관되므로 총 55장의 범람도가 작성·배포되어야 한다. 미국이나 일본의 경우와 같이 최대규모의 지진해일을 상정하여 최대예상범람도 한 장만을 작성하여 배포하는 경우에 비하면 정량 예보로 과잉 대응을 피할 수 있는 장점도 있으나, 필요 이상의 상세함으로 인해 유사시 큰 혼란이 예상된다. 따라서 동일한 예보해일고에 대해서는 각각의 발생원에 의한 범람역을 종합하여 한 장의 예상범람도를 작성하는 것이 현실적이다. 이를 위해 본 연구에서는 11개의 범람역을 중첩하여 침수

포락선을 구하는 방법을 제안한다. 그림 3은 이와 같은 중첩기법을 이용하여 본 연구의 대상지역인 임원항에 대한 0.1m와 0.5m의 예보해일고에 상응하는 침수예상도를 보여준다. 본 연구의 결과에서 알 수 있듯이 지진해일이 발생하여 임원지역 앞 바다에 0.1m의 해일고가 예보되어도 실제 최대해일고가 1.43m가 될 수 있으며, 0.5m의 예보해일고는 실제 최대해일고가 4.35m에 이르러 대부분의 임원항 지역이 침수될 가능성이 있다. 따라서 주민들의 대피장소는 0.5m의 지진해일 해일고가 아닌 4.35m이상의 해일고를 고려하여 지정되어야 할 것이다.

#### 4. 결 론

지진해일이 발생할 경우 대상지역의 주민들을 신속히 대피시키기 위해 일반적으로 큰 격자와 선형 방정식을 채용하는 광역모형을 이용하여 수치모의를 실시하고, 예상 해일고를 산정하여 예경보를 발령한다. 그러나 선형 지배방정식과 큰 격자에 의한 수치오차와 지형의 근사화로 인해 상대적으로 정확성이 떨어지게 된다. 본 연구에서도 선형모형인 광역모형으로 예측한 대상지역(임원항)의 지진해일 해일고는 정확도 높은 상세역모형의 결과와는 크게 다르다는 것을 알 수 있었다. 따라서 선형모형의 결과인 예보해일고만으로 범람영역을 추측하는 것은 위험한 상황과 피해를 발생시킬 가능성이 있다. 본 연구에서는 예경보 발령 시 사용하는 광역모형의 예보해일고에 상응하는 실제 범람영역을 예측하기 위해 대상지역에서 일정범위 안의 지진해일 해일고를 발생시킬 수 있는 여러 위치의 지진해일 발생원의 해저 단층의 변위값을 찾아내고, 이 변형 값들을 입력조건으로 정확도 높은 상세역모형을 이용하여 대상지역의 최대 침수포락선을 구하는 예상범람도 작성법을 제안하고 임원항을 대상지역으로 하여 이를 시범적용하였다.

#### 감사의 글

본 연구는 소방방재청 자연재해저감기술사업(지진해일 재해저감기술 개발, 과제번호 : NEMA-06-NH-06) 연구비 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

#### 참고문헌

1. KEDO (1999). Estimation of Tsunami height for KEDO LWR project. Korea Power Engineering Company, Inc.
2. Lim, C.H., Bae, J.S., Lee, J.I., Yoon, S.B. (2008). Propagation characteristics of historical tsunamis that attacked the east coast of Korea. Natural Hazards (in press).
3. Yoon, S.B., Lim, C.H., Bae, J.S., Jeon, Y.J. (2007a). Grid nesting for dispersion-correction finite difference model for tsunami simulation. Proceedings of 32nd Congress of the International Association of Hydraulic Engineering and Research, Venice, Italy.
4. Yoon, S.B., Lim, C.H., Choi, J. (2007b). Dispersion-correction finite difference model for simulation of transoceanic tsunamis. Terr. Atmos. Ocean. Sci., 18(1), pp. 31-53.