

# 주문진항의 지진해일 위험지역 분석

## Analysis of the tsunami hazard area in Jumunjin port

김용철\*, 김창희\*\*, 조용식\*\*\*

Yong Cheol Kim, Chang-Hee Kim, Yong-Sik Cho

---

### 요 지

최근 지진해일 발생으로 인한 막대한 피해로 인해 지진해일 방재에 대한 중요성이 높아지고 있다. 지진해일 방재연구는 주로 실제 발생하였던 역사지진해일과 발생가능성이 높은 가상의 지진해일에 대해 해당지역의 재해정보도를 제작하여, 지진해일 발생 시 인명 및 재산피해를 최소화 하는 것에 초점이 맞추어져 있다. 따라서 이번 연구에서는 이러한 재해정보도의 효율성을 높이기 위해 지진해일 발생 시 인명피해가 발생할 가능성이 높은 위험지역을 선정하였다. 지진해일 위험지역을 선정하기 위해 가상의 지진해일을 수치모의 하였으며, 지진해일 발생 시 인명피해가 발생할 수 있는 지진해일 범람 높이를 선정하여 선정된 기준 높이 이상의 범람이 발생할 확률을 계산하였다. 지진해일 수치모의는 지진해일 전파모의와 범람모의 과정으로 이루어진다. 지진해일 전파모의는 선형 Boussinesq 방정식을 지배방정식으로 사용하며, 지진해일 범람모의는 비선형 천수방정식을 지배방정식으로 사용하였다. 수치모의를 통해 주문진항에서의 가상의 지진해일에 대한 범람영역 및 범람 높이를 얻었다. 수치모의를 통해 얻어진 범람 데이터를 이용해 기준 높이 이상의 범람 발생 확률을 계산하였다. 확률 계산을 위해선 해당 데이터의 확률분포를 결정하여야 하기 때문에, 적합도 검정을 수행하였다. 이번 연구에서는 여러 가지 적합도 검정 기법 중 하나인 확률도시 상관계수 검정(Probability Plot Correlation Coefficient Test)을 사용하였으며, 범람 데이터의 확률분포로 Normal, Log-normal, Exponential, Gumbel 분포를 가정하여 검정을 수행하였다. 각 지점별로 확률도시 상관계수 검정을 수행하여, 해당 지점의 확률분포를 결정하였고, 각 지점별로 해당하는 확률분포의 누적확률분포 함수를 이용해 기준 높이 이상의 범람이 발생할 확률을 계산하였다. 얻어진 확률을 지도상에 도시하여 기준 높이 이상의 범람 발생 확률이 높은 지점을 주문진항에서의 지진해일에 대한 인명피해 발생 가능성이 높은 위험지역으로 선정하였다.

**핵심용어 : 지진해일, 위험지역, 확률분포, 확률도시 상관계수 검정**

---

### 1. 서론

최근 지진해일의 빈번한 발생으로 인하여 이에 대한 관심이 높아지고 있다. 특히 2011년 3월 11일 발생한 동일본 대지진은 천문학적인 인명피해와 재산피해를 발생시켜, 최악의 자연재해 중 하나로 기록되었다. 이러한 지진해일은 발생 할 경우 막을 수 있는 수단이 거의 없고, 예측 또한 어렵다. 따라서 지진해일에 대비하여 지진해일 피해가 예상되는 지역을 대상으로 사전에 재해정보도를 제작함으로써, 범람 예상지역을 예측하고 대피소를 선정해야만 한다.

본 연구에서는 재해정보도의 효과적인 활용을 위해, 지진해일 범람에 대한 위험지역을 사전에 예측하였다. 지진해일 범람 위험지역을 예측하기 위해 발생 가능성이 높은 가상의 지진해일을 대상으로 수치모의를 수행하였으며, 얻어진 데이터를 바탕으로 기준높이 이상의 범람이 발생할 확률을 각 지점별로 계산하였다. 범람확률 계산을 위해 지진해일 범람데이터에 대해 적합도 검정을 수행하였으며, 여러 가지 적합도 검정 기

---

\* 정희원 · 한양대학교 일반대학원 건설환경공학과 석사과정 · E-mail : [atdoyou@hanyang.ac.kr](mailto:atdoyou@hanyang.ac.kr)

\*\* 정희원 · 한양대학교 공학대학원 건설환경공학과 및 중앙방재엔지니어링 대표 · E-mail : [kim6673@hanmail.net](mailto:kim6673@hanmail.net)

\*\*\* 정희원 · 한양대학교 공과대학 건설환경공학과 교수, 교신저자 · E-mail : [yyc59@hanyang.ac.kr](mailto:yyc59@hanyang.ac.kr)

법 중 비교적 간단한 확률도시 상관계수 검정을 사용하였다. 대상지역으로는 일본 서해상에서 지진해일 발생 시 피해가 예측되는 강원도 동해안의 항구 중 주문진항을 대상으로 하였다.

## 2. 지진해일 수치모의

본 연구에서는 동해안에 영향을 미칠 수 있는 가상의 지진해일을 선정하고, 지진해일 전파 및 범람에 관해 수치모의를 수행하였다. 수치모의에 사용된 지진해일의 발생 위치 및 단층 파라미터는 표 1과 같다. 표 1에서  $H$ 는 단층면의 상연깊이,  $\theta$ 는 진북과 이루는 단층면의 주향,  $\delta$ 는 단층면의 경사진 각(dip angle),  $\lambda$ 는 단층면이 미끄러지는 방향(slip angle),  $L$ 은 단층의 길이,  $W$ 는 단층의 폭,  $D$ 는 단층의 변위, 그리고  $M$ 은 지진의 규모를 의미한다.

표 1. 가상지진해일 발생원 위치 및 단층매개변수

발생원 위치		$H$ (km)	$\theta$ (°)	$\delta$ (°)	$\lambda$ (°)	$L$ (km)	$W$ (km)	$D$ (m)	$M$ (규모)
경도(° E)	위도(° N)								
138.0	39.0	1.0	27.5	40.0	90.0	125.89	62.945	6.31	8.0

지진해일 수치모의는 지진해일 전파과정과 범람과정으로 나뉜다. 지진해일 전파의 경우 수심에 비해 자유수면변위가 매우 작기 때문에 비선형항을 무시할 수 있다. 반면에 지진해일의 파장은 조석에 비해 짧고, 매우 먼 거리를 전파하기 때문에 분산효과를 고려하여야 한다. 따라서 지진해일 전파는 지배방정식으로 선형 Boussinesq 방정식을 사용한다. 지진해일 범람의 경우 분산효과의 중요성이 약해지고, 대신 비선형성이 중요해진다. 따라서 지진해일 범람은 비선형 천수방정식을 지배방정식으로 사용한다. 앞에서 언급한 지진해일 전파 및 범람 수치모의에 관한 내용은 이미 기존의 논문들에서 충분히 설명과 검증이 이루어졌기 때문에 본 연구에서는 생략하였다(Cho 등, 2007; Sohn 등, 2009).

## 3. 적합도 검정

본 연구의 목적인 지진해일 범람높이에 따른 위험지역을 산정하기 위해서는 주어진 데이터의 확률분포형을 파악해야한다. 데이터의 확률분포형을 찾는 기법을 적합도 검정이라 하며, 본 연구에서는 여러 가지 적합도 검정 기법 중 기각능력이 높고, 비교적 간단한 확률도시 상관계수 검정을 사용하였다. 확률도시 상관계수 검정은 데이터의 확률분포형을 가정하고, 상관계수를 활용해 주어진 데이터와 가정한 확률분포형과의 일치성을 판단하는 기법이다. 본 연구에서는 지진해일 범람데이터의 확률분포형으로 normal, log-normal, exponential, Gumbel 분포를 가정하였다.

상관계수는  $X$ 와  $M_i$ 의 선형성을 나타내는 상수이며, 0에서 1사이의 값을 갖는다. 1에 가까울수록 주어진 데이터와 가정한 확률분포형이 일치함을 의미한다. 여기서  $i$ 가 1부터 표본크기  $n$ 까지의 정수라면,  $X_i$ 는 오름차순으로 정렬한  $i$ 번째 데이터이며,  $M_i$ 는 가정한 확률분포형의  $i$ 번째 도시위치이다.  $M_i$ 는 아래의 식 (1)을 이용하여 계산한다.

$$M_i = \Phi^{-1}(P_i) \quad (1)$$

여기서,  $\Phi^{-1}$ 은 누적분포함수의 역함수이며,  $P_i$ 는 도시위치(plotting position)이다. 각 확률분포형에 대한 추천되는 도시위치 공식이 존재하며 이를 표 2에 제시하였다.

표 2. 도시위치 공식

저자	공식	확률분포형
Bloom (1958)	$P_i = \frac{i - 0.375}{n + 0.25}$	Normal, Log-Normal, Gamma
Gringorten (1963)	$P_i = \frac{i - 0.44}{n + 0.12}$	Gumbel, Weibull

식 (1)을 통해 계산된  $r_c$  와 오름차순으로 정렬된 지진해일 범람데이터  $X_i$ 를 이용해 상관계수는 식 (2)에 의해 구해진다.

$$r_c = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(M_i - \bar{M})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \sum_{i=1}^n (M_i - \bar{M})^2}} \quad (2)$$

여기서,  $\bar{X}$ 와  $\bar{M}$ 는 각각  $X_i$ 와  $M_i$ 의 평균이며,  $r_c$ 는 상관계수를 나타낸다. 앞에서 가정한 4가지 확률분포형에 따른 상관계수를 구하고, 이 값들 중 가장 1에 가까운 상관계수를 갖는 확률분포형을 해당 지점에서의 확률분포형으로 선택하였다. 각 지점별로 확률분포형이 결정되면, 해당 확률분포형의 누적분포함수를 활용하여 기준높이 이상의 범람 발생 확률을 계산하였다. 본 연구에서는 범람발생 시 인명피해를 유발할 수 있는 기준높이로 30 cm를 선정하였으며, 지진해일 위험지역은 범람확률을 기준으로 선정하였다.

#### 4. 결과

그림 1은 지진해일 수치모의와 적합도 검정을 통한 확률분포형 결정을 이용해 얻어진 주문진항에서의 지진해일 범람위험지역이다. 위도 37.894 ° N, 경도 128.831 ° E 지점에서 기준높이 이상의 범람확률이 0.7 이상으로 나타났으며, 이 지점은 지진해일 범람이 처음 시작되는 위치이다. 따라서 해당지점을 주문진항에서 인명피해를 유발시킬 수 있는 위험지역으로 선정하였다.

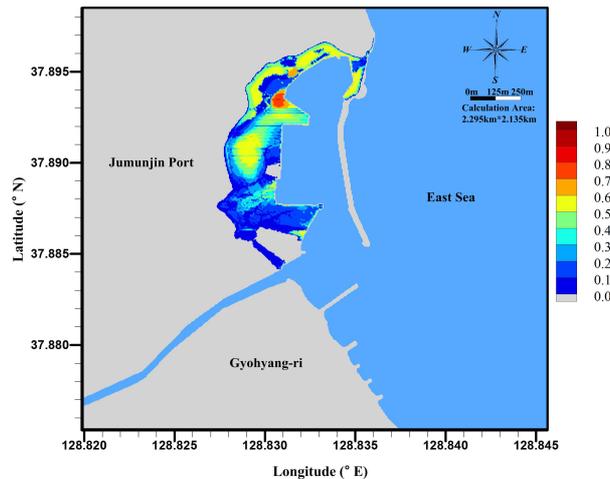


그림 1. 주문진항의 지진해일 범람위험지역

#### 감사의 글

이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임(2010-0022337)

#### 참고 문헌

1. Bloom, G. (1958). *Statistical estimates and transformed beta-variables*. Wiley.
2. Cho, Y.-S., Sohn, D.-H., and Lee, S.O. (2007). Practical modified scheme of linear shallow-water equations for distant propagation of tsunamis. *Ocean Engineering*, Vol. 34, No. 11-12, pp. 1769-1777.

3. Gringorten, I.I. (1963). A plotting rule for extreme probability paper. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 68, No. 3, pp. 813-814.
4. Sohn, D.-H., Ha, T., and Cho, Y.-S. (2009). Distant tsunami simulation with corrected dispersion effects. *Coastal Engineering Journal*, Vol. 51, No. 2, pp. 123-141.