확률도시 상관계수 검정을 활용한 임원항 지진해일 위험지역 분석

Tsunami Hazard Area at Imwon Port Determined by Probability Plot Correlation Coefficient Test

김용철* · 조용식**

Kim, Yong Cheol · Cho, Yong-Sik

Abstract

Recently, catastrophic tsunamis triggered by impulsive undersea earthquakes have occurred frequently subduction zones around the Pacific Ocean. These tsunamis have caused loss of human lives and devastating property damage. Thus, proper counter-measures to mitigate tsunami damages should be made. To increase the efficacy of the tsunami disaster prevention policy, a tsunami hazard area at Imwon Port is determined by using a probability concept. The probability of the simulated tsunami flooding exceeding a prescribed criterion is calculated at each grid point of an inundated area. To calculate the flooding probability, a probability distribution type is determined by probability plot correlation coefficient(PPCC) test. The calculated flooding probability agrees reasonably with the distribution tendency of the maximum flooding height.

Key words : Tsunamis, Tsunami hazard area, Probability distribution type, Probability plot correlation coefficient test

요 지

최근, 태평양 지진대 주변에서 급작스런 해저지진에 의한 대규모의 지진해일이 빈번히 발생하고 있다. 이러한 지진해일은 심각한 재산 및 인명피해를 발생시켜왔다. 따라서, 지진해일 피해를 경감시키기 위한 적절한 대책이 수립되어야한다. 지진해일 방재정책의 효율성을 향상시키기 위해 확률적 개념을 사용하여 임원항에서의 지진해일 위험지역을 선정하였다. 시뮬레이션된 지진해일이 규정된 기준을 초과하여 범람할 확률이 범람지역의 각 격자점에서 계산되었다. 범람확률을 계산하기 위해, 확률도시 상관계수 검정을 사용하여 범람데이터의 확률분포형이 결정되었다. 계산된 범람확률은 최대범람높이의 분포 경향과 일치성을 보임을 알 수 있었다.

핵심용어 : 지진해일, 지진해일 위험지역, 확률분포형, 확률도시 상관계수 검정

1. 서 론

최근, 태평양 지진대 부근에서 빈번히 발생하는 지진해일로 인하여 전 세계적으로 심각한 재산 및 인명피해가 발생하고 있다. 미국 해양대기국(National Oceanic and Atmospheric Administration)에 따르면, 2004년 12월 26일 발생한 인도네시아 수마트라 지진해일은 약 220,000명의 사망자와 100억 달러의 재산피해를 발생시켰으며, 2010년 2월 27일 발생한 칠레 지진해일은 156명의 사망자와 300억 달러의 재산피해를 발생시켰다. 또한, 가장 최근의 2011년 3월 11일 동일본 지진해일은 약 16,000명의 사망자와 약 3,000억 달러의 재산피해를 발생시켰다.

엄청난 인명피해와 막대한 재산피해로 인하여, 지진해일 방재에 관한 연구의 필요성이 대두되고 있다. 그러나 지진해일은 수리모형실험으로 재현이 어렵고, 과거 발생한 대다수의

지진해일 기록이 충분하지 않고 제한적이어서 실증적인 연구가 어렵다. 따라서, 지진해일에 관한 연구는 일반적으로 수치모의를 이용하여 지진해일 범람지역 및 범람높이를 예측한다. 이러한 이유로 높은 정확도를 갖는 지진해일 수치모형을 개발하기 위한 연구가 꾸준히 진행되어왔다. Imamura 등 (1988)은 leap-frog scheme의 수치분산 효과를 사용한 수치모형을 개발하였으나, 대각선 방향으로 분산효과를 고려할 수 없는 단점이 존재하였다. 따라서, Cho (1995)는 이러한 단점을 보완하여 모든 방향에서 분산효과를 고려할 수 있도록 수치모형을 개발하였다. 이후, Cho 등 (2007)은 분산보정계수를 활용하여 기존의 결과보다 높은 정확도를 갖도록 수치모형을 보완하였다. 본 연구에서는 Cho 등 (2007)이 개발한 지진해일 수치모형의 범람데이터를 사용하였다.

지진해일 수치모의를 통해 얻어진 범람데이터를 이용하여 지진해일 위험지역을 결정하기 위해서 기준높이 이상의 범람이

*정회원 · 한양대학교 일반대학원 건설환경공학과 석사과정(E-mail : atdoyou@hanyang.ac.kr)

**정회원 · 한양대학교 공과대학 건설환경공학과 교수(교신저자)

Fig. 1. 임원항 전경 및 위치

발생할 확률을 계산하였다. 확률 계산을 위해서는 주어진 데이터의 확률분포형이 결정되어야 하며, 이를 위해 주어진 데이터와 가정한 확률분포형과의 일치성을 검증하는 적합도 검정을 수행하였다(Walploe 등, 2006). 적합도 검정기법에는 Chi-Square(χ^2), Cramer Von Mises(CVM), Kolmogorov-Smimov(K-S) 그리고 확률도시 상관계수(PPCC) 검정 등이 존재하며, 본 연구에서는 기각능력이 뛰어나고 비교적 쉽게 적용할 수 있다고 알려진 확률도시 상관계수 검정을 사용하였다. 확률도시 상관계수 검정은 주어진 데이터의 정규성을 검토하기 위해 Filliben (1975)에 의해 처음 개발되었다. 이후, 다른 확률분포형에도 적용할 수 있도록 여러 연구자들에 의해 연구되어 왔다. Choi 등 (2007)은 최적 토양수분 분포를 찾기 위해 normal과 log-normal 분포에 대해서 확률도시 상관계수 검정을 수행하였다. 그리고 Heo 등 (2008)은 몇 가지 확률분포형에 대해서 검정통계량을 계산할 수 있도록 표본크기와 유의수준에 따른 회기식을 개발하였다.

확률도시 상관계수 검정을 통해 각 지점에서의 지진해일 범람데이터에 대한 확률분포형이 결정되었으며, 각 지점별로 결정된 확률분포형에 해당하는 누적분포함수를 이용하여 기준높이 이상의 범람이 발생할 확률을 계산하였다. 기준높이는 지진해일 발생 시, 인명피해를 유발할 수 있는 범람높이를 말하며, 통상적으로 성인 무릎높이 정도의 지진해일 범람이 발생할 경우 성인남성이 해일에 휩쓸려 갈 수 있다고 판단하기 때문에 본 연구에서는 기준높이를 30 cm라 가정하였고, 기준높이 이상의 범람이 발생할 확률이 높은 지점들을 임원항에서의 지진해일 위험지역으로 선정하였다. 따라서 선정된 지진해일 위험지역은 지진해일 발생 시 각별히 인명피해 발생에 주의가 필요하며, 이를 기존의 최대범람높이자료와 함께 재해정보도에 도시하여 지진해일 방재정책에 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

2. 대상지역

지진해일 위험지역 선정을 위한 대상지역으로 임원항을 선

Fig. 2. 임원항 지형도 및 수심도

택하였다. 임원항은 과거 1983년 5월 26일 발생한 동해 중부 지진해일에 의해 우리나라에서 유일하게 인명피해가 발생한 항구로서, 당시 1명의 사망자와 2명의 실종자가 발생하였다. 따라서, 임원항은 지진해일 연구에 있어 높은 가치를 지니고 있으며, 지진해일 방재에 관한 연구가 반드시 필요한 지역이다.

임원항은 한반도 동해안 중부지역에 위치하는 항으로서, 행정구역상 강원도 삼척시 원덕읍에 속하여 있다. 임원항의 해안선은 동측방향으로 열려 있으나, 방파제 등 외곽시설에 둘러싸여 남측방향으로 항 입구부가 개방되어 있으며, 배면으로는 태백산맥이 존재한다. 항 부근에 방사제를 따라 임원천이 흐르고 있으며, 임원천은 유역면적이 작은 지방 2급 하천이다. 항 남측에는 모래해안이 형성되어 있고 절벽해안이 이어져 있으며, 항 주변은 높은 산이 해안에 근접하고 있어 북측해안의 해저경사가 비교적 급하다. Fig. 1은 임원항의 전경

Table 1. 가상지진해일 발생원 위치 및 단층매개변수

발생원	단층발생지점		H (km)	θ (°)	δ (°)	λ (°)	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

및 위치를 나타내고 있으며, Fig. 2는 지진해일 수치모의에 사용된 임원항의 지형도 및 수심도를 나타내고 있다. 지진해일 수치모의에는 5 m 간격으로 가로 469개, 세로 685개의 격자점과 가로 2.34 km, 세로 3.42 km의 영역을 사용하였다.

3. 지진해일 수치모의

실제 발생한 지진해일 범람기록을 통해 연구를 진행하는 것이 가장 적합한 연구방법이겠지만, 임원항에서의 지진해일 범람높이에 대한 관측자료가 부족하고, 존재하는 관측자료 또한 시계열 자료가 아닌 최대범람높이만 존재하기 때문에 본 연구에서는 관측 자료를 활용한 연구 대신 지진해일 수치모의를 활용한 연구를 수행하였다. 수치모의의 경우 지진해일을 발생시킬 가능성이 높은 지진공백역의 11개 지진발생원 중 비교적 동해안에 큰 영향을 미치는 하나의 지진발생원만을 사용하였다. 또한, 한반도에너지개발기구(KEDO, 1999)가 제시한 단층매개변수를 적용하였으며, 초기수면변위가 해저변위의 연직성분과 같다는 가정을 기초로 한 Mansinha 등 (1971)의 모형을 사용하여 초기수면변위를 재현하였다. 초기수면변위 재현에 사용된 지진발생원의 위치와 단층매개변수를 Table 1에 제시하였다. Table 1에서 H 는 단층면의 상연 깊이, θ 는 진북과 이루는 단층면의 주향, δ 는 단층면의 경사 각(dip angle), λ 는 단층면이 미끄러지는 방향(slip angle), L 은 단층의 길이, W 는 단층의 폭, D 는 단층의 변위 그리고 M 은 지진의 규모를 나타낸다.

지진해일 전파의 경우 수심에 비해 자유수면변위가 매우 작기 때문에 비선형 항을 무시할 수 있다. 반면, 지진해일의 파장은 조석에 비해 짧고 매우 먼 거리를 전파하기 때문에 분산효과가 고려되어야 한다. 이러한 이유로 지진해일 전파에 관한 수치모의는 지배방정식으로 선형 Boussinesq 방정식을 주로 사용한다. 그러나 높은 미분차수의 분산항이 존재하기 때문에 수치해석상의 어려움이 따르므로, 이를 해결하기 위하여 선형 Boussinesq 방정식의 물리적 분산항을 선형 천수방정식의 차분과정에서 발생하는 수치분산효과로 대체하는 분산보정기법을 사용하였다(Cho 등, 2007; Sohn 등, 2009).

지진해일이 해안지역으로 접근함에 따라 파장은 점점 짧아지고 파고는 점차 증가한다. 따라서 분산효과의 중요성이 약해지는 반면, 비선형성이 중요해진다. 또한 해안지역에서는 바닥마찰효과가 중요하기 때문에, 바닥마찰항이 고려되어야 한다. 이러한 이유로 지진해일 범람모형에는 바닥마찰항이 추가된 비선형 천수방정식이 지배방정식으로 사용되었다(Liu 등, 1994). 그리고 해안선의 연속적인 움직임을 정확히 추적하기 위해 이동경계조건을 설정하였다(Liu 등, 1994).

위에서 언급한 지배방정식, 분산보정기법 그리고 이동경계조건 등에 관한 설명은 기존의 연구에서 찾을 수 있으므로,

본 연구에서는 생략하였다(Liu 등, 1994; Cho 등, 2007; Sohn 등, 2009).

4. 적합도 검정

지진해일 범람높이의 확률분포형을 결정하기 위해서 적합도 검정을 수행하였으며, 여러 가지 적합도 검정기법 중 기각능력이 높고 비교적 개념이 간단한 확률도시 상관계수 검정을 사용하였다. 지진해일 범람높이의 확률분포형으로는 수자원분야에서 자주 사용되는 normal, log-normal, exponential, Gumbel 분포를 사용하였다. 확률도시 상관계수 검정은 상관계수(Correlation Coefficient)를 사용하여 가정한 확률분포형과 주어진 데이터의 일치성을 검정한다. 즉, i 가 1부터 표본 크기 n 까지의 정수라면, 상관계수는 오름차순으로 정렬된 통계량 X_i 와 가정한 확률분포의 i 번째 도시위치 M_i 사이의 선형성을 측정하는 기준이다. 만약 가정한 확률분포형과 주어진 데이터가 일치한다면, M_i 에 대해 X_i 를 도시하였을 때 선형을 이루게 된다.

따라서, 상관계수는 0에서 1 사이의 값을 가지며, 1에 가까울수록 주어진 데이터가 가정한 확률분포형과 일치한다는 것을 의미한다. M_i 는 도시위치 P_i (plotting position)를 누적분포함수(cumulative distribution function)의 역함수에 대입하여 얻을 수 있다. 즉, 아래의 식 (1)을 이용하여 M_i 가 계산된다.

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

여기서, Φ^{-1} 는 누적분포함수의 역함수이다. 본 연구에서 가정한 지진해일 범람데이터의 확률분포형에 해당하는 누적분포함수의 역함수를 Table 2에 제시하였다. 여기서, x 는 확률변수, y 는 확률변수 x 의 자연로그 값(즉, $y = \ln(x)$), z_x 와 z_y 는 각각 normal, log-normal 분포에서 정규화된 확률변수이며, F 는 변위치(quantile), η , ξ 그리고 α 는 각각 shape parameter, location parameter, scale parameter이며, 이러한 매개변수는 추정방법이 간단하여 널리 사용되는 모멘트법(Method of Moments)을 사용하여 추정하였다. 따라서 Table 2에 제시된 누적분포함수의 역함수에 변위치 F 대신 도시위치 P 를 넣어 계산하면, 해당 확률분포의 i 번째 도시위치 M_i 를 얻을 수 있다.

또한 도시위치 P_i 는 확률분포형에 따라 추천되는 도시위치 공식이 존재한다. Table 3은 확률분포형에 따라 추천되는 도시위치 공식을 나타낸다. 여기서, n 은 표본크기, i 는 1부터 표본크기 n 까지의 정수이다. 따라서, 지진해일 범람데이터의 확률분포형으로 가정한 normal, log-normal, exponential 분포는 Blom (1958)의 도시위치 공식, 그리고 Gumbel 분포는

Table 2. 확률분포형별 누적분포함수의 역함수

확률분포형	누적분포함수의 역함수
Normal 분포	$z_x = 5.0633[F^{0.135} - (1-F)^{0.135}]$
Log-normal 분포	$z_y = 5.0633[F^{0.135} - (1-F)^{0.135}]$
Exponential 분포	$x = -\frac{1}{\eta} \ln(1-F)$
Gumbel 분포	$x = \xi - \alpha \ln[-\ln(F)]$

Table 3. 도시위치 공식

저자	공식	확률분포형
Blom (1958)	$P_i = \frac{i-0.375}{n+0.25}$	Normal, Gamma, Log-normal
Gringorten (1963)	$P_i = \frac{i-0.44}{n+0.12}$	Gumbel, Weibull
Cunnane (1978)	$P_i = \frac{i-0.40}{n+0.20}$	GEV, Log-Gumbel

Gringorten (1963)의 공식을 사용하여 도시위치를 계산하였다.

계산된 M_i 와 오름차순으로 정렬된 통계량 X_i (normal과 log-normal 분포의 경우는 X_i 대신 정규화된 통계량 z_x 와 z_y 를 사용)를 이용하여, 각 확률분포형에 따른 상관계수를 계산하였다. 상관계수는 식 (2)를 이용하여 계산할 수 있다.

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

여기서, $\bar{X}$ 와 $\bar{M}$ 는 각각 X_i 와 M_i 의 평균을 의미하며, r_c 는 상관계수를 나타낸다. 확률도시 상관계수 검정은 가정한 확률분포형과 주어진 데이터의 일치성을 검증하기 위해 계산된 상관계수와 검정통계량과의 비교가 필요하다. 하지만 검정통계량은 표본크기에 따른 제약이 존재하며, 일반적으로 표본 제시되기 때문에 본 연구와 같이 각 지점별로 모든 상관계수와 검정통계량을 비교하기에는 무리가 있다. 따라서 본 연구에서는 각 지점별로 가정한 4가지 확률분포형에 대해서 상관계수를 계산한 후, 각 상관계수를 비교하여 가장 1에 가까운 상관계수를 갖는 확률분포형을 해당 지점에서 지진해일 범람 높이의 확률분포형으로 결정하였다.

각 지점별로 지진해일 범람높이에 해당하는 확률분포형을 결정한 후, 해당하는 확률분포형의 누적분포함수를 이용하여 기준높이 이상의 범람발생 확률을 계산하였다. 각 확률분포형에 따른 누적분포함수는 Table 4에 제시하였다. Table 4에서 $F(x)$ 와 $F(y)$ 는 누적확률을 의미하며, μ_x 와 μ_y 는 각각 x 와 y 의 평균, σ_x 와 σ_y 는 각각 x 와 y 의 표준편차를 나타낸다. 본 연구에서는 범람발생 시 인명피해를 유발할 수 있는 기준높이로 30 cm를 선정하였고, 지진해일 위험지역 선정은 기준높이 이상의 범람발생 확률을 기준으로 선정하였다.

Table 4. 확률분포형별 누적분포함수

확률분포형	누적분포함수
Normal 분포	$F(x) = \int_{-\infty}^x \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_x} e^{-\frac{1}{2\sigma_x^2}(x-\mu_x)^2} dx$
Log-normal 분포	$F(y) = \int_{-\infty}^y \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_y} e^{-\frac{1}{2\sigma_y^2}(y-\mu_y)^2} dy$
Exponential 분포	$F(x) = 1 - \exp(-\eta x)$
Gumbel 분포	$F(x) = \exp\left[-\exp\left(-\frac{x-\xi}{\alpha}\right)\right]$

5. 지진해일 위험지역 선정 결과

지진해일 수치모의를 통해 임원항에서의 각 지점별 시간에 따른 범람데이터를 얻었다. 범람데이터는 범람이 발생한 총 5,455개 정점에서 지진해일 발생 직후부터 200분까지 0.05분 간격으로 얻어졌다. Fig. 3은 임의의 한 정점에서의 시간에 따른 범람높이를 나타내며, 범람높이는 육지에서 각 정점의 지면을 기준으로 한 연직높이를 의미한다. 임원항에서 범람은 가상지진해일 발생 후 약 120분 후부터 발생하며, 확률도시 상관계수 검정에 사용된 범람데이터는 각 지점별 첫 범람이 발생한 시점 이후의 데이터를 사용하였다.

Fig. 4는 임원항에서 수치모의를 수행하는 동안 각 정점에서 기록된 최대범람높이를 나타낸다. Fig. 2의 임원항 지형도와 Fig. 4의 최대범람높이를 비교하여 보았을 때, 지형이 낮은 지점에서 범람높이가 크게 나타남을 알 수 있고, 해안가 주변이 내륙지점들에 비해 높은 범람높이를 보인다. 그리고 Fig. 4에서 임원항에서의 최대범람높이는 약 4.1 m임을 알 수 있었다.

수치모의 결과를 바탕으로 확률도시 상관계수 검정을 통해 각 정점 별 최대상관계수를 계산하였으며, 최대상관계수를 갖는 확률분포형을 해당 정점에서의 지진해일 범람높이 확률분포형으로 결정하였다. Fig. 5는 각 정점 별 최대상관계수를 나타내며, 대부분의 지점에서 0.90 이상의 높은 상관계수를 갖는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 각 지점에서의 지진해일 범람높이가 앞에서 가정한 4가지 확률분포형 중 최소 한 가지 이상의 확률분포형과 높은 일치성을 보이는 것을 의미한다.

Table 5는 범람이 발생한 전체 5,455개의 정점에서 각 확률분포형에 해당하는 정점의 수를 나타낸다. Table 5에 따르면 exponential 분포에 해당하는 정점이 2,355개로 가장 많은 것을 알 수 있으며, Gumbel 분포에 해당하는 정점의 수가 699개로 가장 적은 것을 알 수 있다. 또한, Fig. 6은 정점 별 해당하는 확률분포형의 공간적 분포를 나타내며, 각 정점별로 다른 확률분포형을 따르는 이유는 정점 별 지진해일 범람 시작 시점, 지속시간 그리고 범람높이 등이 다르기 때문에 범람데이터의 경향이 달라 정점 별로 다른 확률분포형이 나타나는 것으로 판단된다.

Fig. 3. 정점별 범람높이

Fig. 4. 임원항에서의 최대범람높이

Fig. 5. 임원항에서의 최대상관계수 분포

Table 5. 확률분포형별 해당하는 정점 수

확률분포형	Normal 분포	Log-normal 분포	Exponential 분포	Gumbel 분포
해당 정점의 수	953	1,448	2,355	699

Fig. 6. 임원항에서의 정점 별 해당 확률분포형

각 정점 별 결정된 확률분포형과 주어진 지진해일 범람높이와의 일치성을 검증하기 위해, 한 지점에서의 지진해일 범람높이를 오름차순으로 정리한 후, 각 기준높이 이상의 범람

높이데이터 수 K 를 전체 범람높이데이터 수 N 으로 나누어 초과범람확률을 계산하였으며 또한, 각 정점 별 해당하는 확률분포형의 누적분포함수를 이용하여 초과범람확률을 계산하였다. 계산된 2가지 초과범람확률 결과를 동일한 상관계수를 갖으나 각기 다른 확률분포형을 따르는 4지점을 선정하여 서로 비교하였으며 Fig. 7에 비교결과 및 확률분포형, 표본크기, 기초통계량, 매개변수를 표기하였다. Fig. 7에서 알 수 있듯이, 4가지 확률분포형 모두 매우 비슷한 경향을 나타내고 있으며, 이는 최대상관계수를 이용하여 결정된 각 정점 별 확률분포형이 만족할만한 일치성을 갖는다는 것을 의미한다.

최종적으로 각 지점별 결정된 확률분포형의 누적분포함수를 이용하여 기준높이 30 cm 이상의 범람이 발생할 확률을 범람이 발생한 모든 지점에서 계산하였으며, 이를 Fig. 8에 도시하였다. Fig. 8의 기준높이 이상의 범람확률 결과를 보았을 때, 전반적으로 Fig. 2의 임원항 지형도와 Fig. 4의 임원항에서의 최대범람높이 결과와 비슷한 경향성을 보이는 것을 알 수 있다. 남방파제에서부터 임원천을 따라 북쪽으로 이르는 해안선에서 0.6 이상의 높은 범람확률을 보이며, 동방파제 부근 일부에서도 0.6 이상의 높은 범람확률을 보이는 것을 알 수 있다. 또한 주로 해안가에서 0.4 이상의 범람확률을 보이며, 전반적으로 내륙지역에 비해 해안지역에서 비교적 높

(a) P1 정점

(b) P2 정점

(c) P3 정점

(d) P4 정점

Fig. 7. 확률분포형별 일치성 검증 비교 결과

Fig. 8. 임원항에서의 기준높이 이상의 범람확률

은 범람확률을 갖는 것을 알 수 있다. Fig. 8에서 표기된 0.6 이상의 범람확률을 갖는 지점들은 지진해일 발생 시 인명피해를 유발 할 수 있는 위험이 높은 지점들로 임원항에 대한 지진해일 방재정책 수립 시 고려되어야 한다.

6. 결 론

본 연구에서는 과거 지진해일로 인해 인명피해가 발생하였던 임원항에 대해서 가상의 지진해일을 수치모의하여 얻어진 지진해일 범람높이를 기반으로 임원항에서의 지진해일 위험지역을 분석하였다. 이러한 지진해일 위험지역은 기준높이 이상의 범람확률에 따라 판정되었으며, 범람확률을 계산하기 위해서 지진해일 범람높이의 확률분포형이 확률도시 상관계수 검정을 통해 결정되었다. 지진해일 범람높이의 확률분포형으로는 normal, log-normal, exponential, Gumbel 분포가 사용되었으며, 각 정점 별로 해당하는 확률분포형이 결정되었다. 대부분의 정점에서 0.90 이상의 높은 상관계수를 가지고 있으며, 결정된 확률분포형과 지진해일 범람높이와의 일치성 검증 결과 또한 비슷한 경향을 보이는 것으로 나타났다. 최종적으로 각 정점에 해당하는 확률분포형의 누적분포함수를 이용하여 기준높이 이상의 범람확률을 계산하였고, 범람확률 계산결과를 지도상에 도시하여 임원항에서의 지진해일 위험지역을 분석하였다. 이러한 지진해일 위험지역 분석결과가 기존의 재해정보도에 도시된 범람영역과 범람높이 결과에 함께 첨부된다면 좀 더 효율적인 재해정보도로서의 가치를 지닐 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 지원 첨단항만건설기술개발사업(과제명: 항만권역 태풍 및 지진해일 재해대응체계 구축)의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

- Blom, G. (1958) *Statistical estimates and transformed beta-variables*. Wiley, New York, USA.
- Cho, Y.-S. (1995) *Numerical simulations of tsunami propagation and run-up*, Ph.D. dissertation, Cornell University, New York, USA.
- 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.
- Choi, M. and Jacobs, J.M. (2007) Soil moisture variability of root zone profiles within SMEX02 remote sensing of footprints. *Advances in Water Resources*, Vol. 30, No. 4, pp. 883-896.
- Cunnane, C. (1978) Unbiased plotting positions-A review. *Journal of Hydrology*, Vol. 37, No. 3-4, pp. 205-222.
- Filliben, J.J. (1975) The probability plot correlation coefficient test for normality. *Technometrics*, Vol. 17, No. 1, pp. 111-117.
- Gringorten, I.I. (1963) A plotting rule for extreme probability paper. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 68, No. 3, pp. 813-814.
- Heo, J.-H., Kho, Y.W., Shin, H., Kim, S. and Kim, T. (2008) Regression equations of probability plot correlation coefficient test statistics from several probability distributions. *Journal of Hydrology*, Vol. 355, No. 1-4, pp. 1-15.
- Imamura, F., Shuto, N. and Goto, C. (1988) Numerical simulations of the transoceanic propagation of tsunamis. *Proceedings of The 6th Congress Asian and Pacific Regional Division, IAHR*, Kyoto, Japan, pp. 265-272.
- KEDO (1999) *Estimation of Tsunami Height for KEDO LWR project*, Korea Power Engineering Company, Inc.
- Liu, P.L.-F., Cho, Y.-S., Yoon, S.B. and Seo, S.N. (1994) Numerical simulations of the 1960 Chilean tsunami propagation and inundation at Hilo, Hawaii. *Recent Development in Tsunami Research*, Edited by M.I. El-Sabh, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands.
- Mansinha, L. and Smylie, D.E. (1971) The displacement fields of inclined faults. *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 61, No. 5, pp. 1433-1440.
- 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.
- Walpole, R.E., Myers, R.H., Myers, S.L. and Ye, K. (2006) *Probability & Statistics for Engineers & Scientists*. Prentice Hall, New Jersey, USA.

© 논문접수일 : 12년 03월 16일
 © 심사의뢰일 : 12년 03월 19일
 © 심사완료일 : 12년 04월 02일