

지진해일이 부산항 신항 송도지역에 미치는 영향 검토

Review of Tsunami Simulation in Songdo Area Busan New Port

이수형*, 조용식**

Su Hyoung Lee, Yong-Sik Cho

요 지

2011년 동일본 지진해일의 영향으로 우리나라에도 지진해일에 관한 관심이 높아지고 있다. 이러한 지진해일은 대규모 자연재해로써 한 번 발생하면 수많은 인명피해와 막대한 재산피해를 발생시킨다. 또한, 근래에 들어 세계적으로 해저지진의 발생빈도가 증가하는 추세이므로 이에 대한 대비책을 마련해둘 필요성이 있다. 하지만 이런 지진해일은 발생시점에 대한 예측이 불가능하기 때문에 역사 및 가상 지진해일의 수치모형실험결과를 이용하여 영향을 검토한다. 본 연구에서는 부산항 신항이 완공되면 추후 발전가능성이 높은 송도와 연도지역에 대해서 지진해일에 의한 최대 처오름높이와 최저 처내림높이를 계산하였으며, 모두 3가지 지진해일에 대해 수치모의 하였다.

핵심용어 : 지진해일, 부산항 신항 송도지역, 최대 처오름높이, 최저 처내림높이

1. 서론

지진해일은 대규모 자연재해로써 한번 발생하면 수많은 인명피해와 막대한 재산피해를 발생시킨다. 또한, 근래에 들어 세계적으로 해저지진의 발생빈도가 증가하는 추세이므로 이에 대한 대비책을 마련해둘 필요성이 있다. 특히 2011년 3월 11일 발생한 동일본 지진해일은 일본 전 지역에 막대한 피해(사망 15,856명, 실종 3,070명, 재산피해 약 300조 원)를 야기시켜 세계적으로 지진해일에 대한 관심을 고조시켰다.

부산항 신항의 외곽지역 추후 다양한 사업이 진행될 수 있다. 특히 서컨테이너 부두를 비롯하여 준설투투기장이 있는 송도지역에 사업가능성이 크므로 지진해일의 영향검토가 필요한 상황이다. 이러한 지진해일에 의한 최대 처오름높이와 최저 처내림높이의 결과는 부산항 신항 송도지역의 사업에서 지진해일의 검토 여부를 제공할 수 있는 연구가 될 것이라 생각한다.

2. 전파 모형

2.1 원해지진해일

지진해일은 파장이 매우 길어 수심이 얇은 해안 근처 지역을 제외하면 수심에 비해 수면변화가 매우 작다. 따라서 심해역의 전파과정에서는 비선형항과 바닥마찰항의 영향을 무시할 수 있고, 선형 천수이론을 적용하는 것이 바람직하다. 하지만 지진해일의 전파과정에서 분산효과가 매우 중요하다. 따라서 지진해일의 전파과정을 모의하기 위해서는 선형 Boussinesq 방정식을 지배방정식으로

* 정회원 · 한양대학교 공과대학 건설환경공학과 석사과정 · E-mail : shlee85@hanyang.ac.kr

** 정회원 · 한양대학교 공과대학 건설환경공학과 교수, 교신저자 · E-mail : ysc59@hanyang.ac.kr

로 사용하는 것이 바람직하다. 하지만, 선형 Boussinesq 방정식에 분상항이 고차도함수이기 때문에 차분하는데 어려움이 있다. 그래서 본 연구에서는 Cho 등(2007)이 개발한 수정기법을 사용하기로 하였다. 그 식들의 모든 항을 Taylor 급수를 이용하여 기준 격자점 (i, j, n) 에 대하여 전개한 후 u 와 Q 를 소거하면 다음과 같은 ζ 에 대한 식을 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 \zeta}{\partial t} - C_0^2 \left(\frac{\partial^2 \zeta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \zeta}{\partial y^2} \right) - C_0^2 \frac{(\Delta x)^2}{12} (1 + \alpha - C_r^2) \left(\frac{\partial^4 \zeta}{\partial x^4} + \frac{\partial^4 \zeta}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 \zeta}{\partial y^4} \right) \\ + (1 + \alpha - \gamma) C_0 \frac{(\Delta x)^2}{6} \frac{\partial^4 \zeta}{\partial x^2 \partial y^2} = O(\Delta x)^3, (\Delta x)^2 \Delta t, \Delta x (\Delta t)^2, (\Delta t)^3 \end{aligned} \quad (1)$$

식 (1)을 선형 Boussinesq 방정식과 같아지도록 분산보정계수 α 와 γ 를 결정하면 다음과 같다 (Cho et al., 2007).

$$\alpha = \frac{4h^2 + gh(\Delta t)^2 - (\Delta x)^2}{(\Delta x)^2} \quad (2)$$

$$\gamma = \alpha + 1 \quad (3)$$

2.2 근해지진해일

지진해일이 해안지역으로 가까워지면 수심이 얕아짐에 따라 파장은 점점 짧아지고, 파고는 점차 증가한다. 따라서 분산효과의 중요성은 감소하는 반면에 비선형성이 중요해진다. 그러므로 비선형 천수방정식을 지배방정식으로 사용하는 것이 바람직하다. 또한, 해안선 부근에서는 바닥마찰효과가 매우 중요하기 때문에 바닥마찰항을 반드시 고려해야한다(Kajiura and Shuto, 1990; Liu et al., 1994). 바닥 마찰항을 포함한 비선형 천수방정식은 다음과 같다.

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial Q}{\partial y} = 0 \quad (4)$$

$$\frac{\partial P}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{P^2}{H} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{PQ}{H} \right) + gH \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \tau_x H = 0 \quad (5)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{PQ}{H} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{Q^2}{H} \right) + gH \frac{\partial \zeta}{\partial y} + \tau_y H = 0 \quad (6)$$

여기서 $H(=h+\zeta)$ 는 전체수심을 나타내며 τ_x 와 τ_y 는 각각 manning 식을 사용하여 나타낸 x 축과 y 축 방향의 바닥 마찰항으로 다음과 같다.

$$\tau_x = \frac{gn^2}{H^{10/3}} P(P^2 + Q^2)^{1/2}, \quad \tau_y = \frac{gn^2}{H^{10/3}} Q(P^2 + Q^2)^{1/2} \quad (7)$$

여기서 n 은 manning의 조도계수이고, 운동량 방정식의 비선형항을 차분할 때, 2차 정확도의 풍상차분기법(Shyy, 1985; 인태훈 등, 2003)을 이용하였다. 선형항은 leap-frog 기법에 의해 2차 정확도를 갖기 때문에 운동량 방정식은 2차 정확도를 가진다. 유한차분기법에서 공간과 시간에 대하여 모두 엇갈림 격자를 사용했다.

3. 수치모의

3.1 지진매개변수

본 연구에서는 지진해일이 부산항 신항 송도지역에 끼치는 영향을 알아보기 위해 3가지 지진해

일에 대해 수치모의를 수행하였다. 첫 번째로 우리나라 주변에서 가장 최근에 발생한 2011년 동일본 지진해일이다. 그리고 나머지 2개는 가상지진해일로 KEDO(1999)에서 발표한 잠재적 지진해일 발생원 중에서 수치모의 영역에 큰 영향을 줄 것이라 예상되는 2개의 매개변수를 선정하였다.



그림 1. 지진해일의 발생원 분포도

3.2 수치모의 영역

수치모의 영역은 부산항 신항 송도와 연도를 포함하는 영역을 최종적으로 수치모의를 하였다. 과거 지진해일과 가상 지진해일의 발생원이 일본열도 동쪽 지역에서 발생하므로 일본의 동쪽 태평양 연안을 포함한 격자를 구성하였다. 하지만 하나의 격자로 이 넓은 영역을 수치모의하면 그 정확도가 현저히 떨어지기 때문에 동시격자접속기법을 적용하여 여러 개의 격자 영역으로 나누었다. 그리고 송도와 연도 연안 부근에 수치모의 결과를 비교할 3개의 정점을 정하였다.

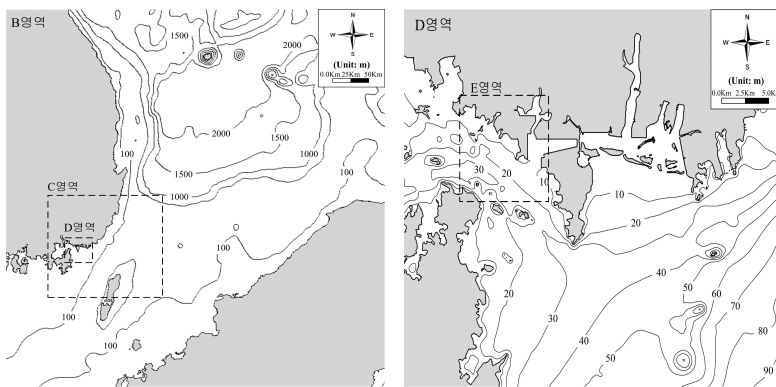


그림 2. 수치모의 대상영역

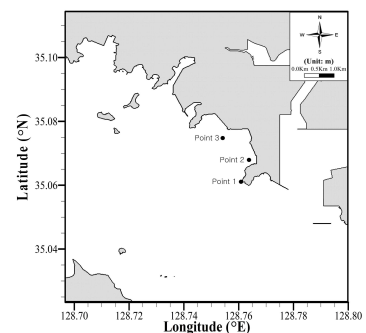


그림 3. 정점위치

4. 수치모의 결과

수치모의 결과 부산항 신항 송도지역에서의 자유수면변위를 아래 표 1에 나타내었다. 모든 발생원에 대해 정점 2번에서 자유수면변위의 최대값과 최소값이 나타났다. 정점 2번에서 자유수면변위 이력을 아래 그림 4로 나타내었다.

표 1. 정점별 최대 및 최저자유수면변위(ζ)

구분	Water Levels	정점 1 (m)	정점 2 (m)	정점 3 (m)
2011년 동일본 지진해일	최대값	0.0289	0.0313	0.0279
	최소값	-0.0250	-0.0304	-0.0246
가상 지진해일 1	최대값	0.3116	0.4198	0.3165
	최소값	-0.2505	-0.3317	-0.2291
가상 지진해일 2	최대값	0.2540	0.3632	0.2563
	최소값	-0.2299	-0.3184	-0.2399

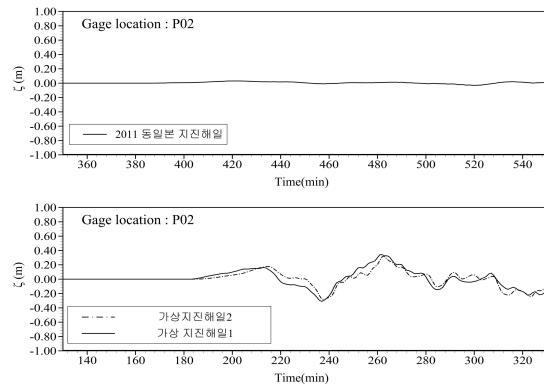


그림 4. 각각의 발생원에 대한 정점 2번에서의 자유수면변위(ζ) 이력

5. 결론

본 연구에서는 지진해일이 부산항 신항 송도지역에 미치는 영향을 알아보기 위해 3가지 지진해일에 대해 수치모의를 실시하였다. 이 수치모의는 약궤저저조면을 기준으로 수행하였으므로, 만조 시 이보다 높은 수위상승이 나타날 수 있다.

수치모의 결과는 위의 표 1과 그림 4에서 볼 수 있듯이 2011년 동일본 지진해일은 부산항 신항 송도지역에 큰 영향을 주지 않았지만, 가상지진해일들은 최고 0.4m이상의 최대 처오름높이와 -0.3m이상의 최저 처내림높이가 나와 향후 이 지역에 사업을 진행할 때는 지진해일 영향을 고려하여 사업을 진행해야 될 것이다.

감사의 글

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

참고 문헌

1. 인태훈, 이봉희, 조대회, 조용식 (2003) 범람 모의를 위한 이동경계조건. 한국수자원학회 논문집, 한국수자원학회, 제 36권, 제 6호, pp. 937-947.
2. Cho, Y.-S., and Sohn, D.-H. (2007) Practical modified scheme of linear shallow-water equations for distant propagation of tsunamis. *Ocean Engineering*, Vol. 34, No. 8, pp. 1769-1777.
3. Kajiura, K., and Shuto, N. (1990) Tsunami. *The Sea*, Edited by B. Le Mehaute, and D.M. Hanes, Vol. 9, Part B, pp. 395-420.
4. 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.
5. Shy, W. (1985) A study of finite difference approximations to steady-state, convection-dominated flow problems. *Journal of Computational Physics*, Vol. 87, pp. 415-438.