2018년 한국항해항만학회 추계학술대회
2018년 11월 8일(목)~9일(금) 경주 더케이호텔

댐 붕괴에 의한 토양 교란 시뮬레이션

김경성*

*동명대학교 조선해양공학부

Simulation of Mobile-bed disturbance due to Large scale Wave

*Kyung-Sung Kim**

**School of Naval Architecture and Ocean Engineering, Tongmyong University, Busan, 48520, Korea*

요 약 : 일반적인 댐 붕괴 시뮬레이션은 개수로 등 범람원을 대상으로 시뮬레이션 및 해석이 이루어졌다. 그러나 지속적인 이상기온 등으로 인하여 해안가 및 해양에서도 쓰나미 혹은 해일과 같은 규모가 큰 파가 발생하고 이에 따른 피해가 발생하고 있다. 규모가 크며 격렬한 파는 일반적인 전산유체역학 방식으로 해석이 가능은 하지만 자유표면의 대-변형 및 쇄파 등에 의한 비선형성의 시뮬레이션은 격자라는 한계에 의해 제한적으로 사용되어졌다. 이에 라그란지안 접근법을 이용한 입자법을 도입하여 댐 붕괴와 같은 격렬한 자유표면의 변동을 포함한 문제를 재현하였으며, 이러현 격렬한 파동에 의한 바닥면의 교란을 시뮬레이션 하였다.

핵심용어 : 입자법, 쇄파, 해저지형변화, 댐 붕괴, 쓰나미

Abstract : *In general, the dam break problem is demonstrated to simulate open-channel disturbance due to large violent waves. These days, the large violent waves at shore and coastline can be seen frequently such like tsunami. The conventional computational fluid dynamics program based on Grid system, can be used to simulate this problem with large deformation of free surface in the restricted condition due to its limitation. The particle method based on fully Lagrangian approach is able to simulate large deformation of free surface by tracking each particles. In this study, the simulation of disturbance of mobile-bed due to large violent waves was investigated by using particle method.*

Key words : *Particle Method, Plunging Waves, Disturbance of Mobile Bed, Dam Break Problem, Tsunami Waves*

1. 서 론

처오름파는 해안 지역에 위치하고 있는 구조물의 안정성에 큰 영향을 끼친다. 일반적인 파일링(piling)을 통한 구조물지지 방법은 직관적인 방법론 및 그에 따른 효과가 매우 높다고 알려져 있다. 그러나 처오름파와 같이 해저면에 변동을 야기할 수 있는 파가 지속적으로 작용할 시 scour 등에 의한 침식 작용으로 이러한 안전성은 위협받을 수 있다. 이러한 상황에 대한 실험적, 이론적 연구는 지속적으로 진행되어 왔다. Chanson et al. (2009) 과 Liao et al. (2009)에서는 댐 붕괴에 의한 격렬한 파의 실험적, 이론적, 그리고 수치적 연구를 수행하였다. Brocchini et al. (2001)에서는 격렬한 파에 의해 발생되는 자유표면 및 파의 프로파일에서의 강한 난류의 영향이 연구되었으며, Postachini et al. (2014)에서는 위의 연구 결과를 기반으로 처오름파가 해저면 입자의 이동에 주는 영향을 수치적, 실험적으로 연구하였다. 이러한 많은 연구에도 불구하고 비선형성을 포함한 격렬한 파의 거동 및 이에 의한 영향은 해석에 어려움이 따른다.

전산유체역학은 이러한 어려움을 해결하기 위한 다양한 장치들이 존재한다. 일반적으로 전산유체역학은 오일러 접근법을 따르며 이는 지정된 검사체적에 밀도의 변화 및 유체의 출입량을 계산하는 방식을 이용한다. 또한 자유표면 효과를 적용하기 위해 Volume-of-Fluid 또는 Level-set 방식 등이 사용된다 [Hirt et al. (1981)]. 그러나 이러한 특별한 방식을 사용함에도 자유표면의 재현이나 해석에는 여전히 오류가 발생할 수 있다는 문제가 있다. 이러한 문제 해결을 위한 방법 중 하나로는 라그란지안 접근법을 따르는 입자기반 전산유체역학 해법이 있다. 입자기반 전산유체역학법은 질점으로 표현되는 입자가 각각의 물리량을 가지고 운동하며, 이러한 입자의 운동을 시간간격마다 추적하는 방식으로 표현된다. 입자법에는 크게 Smoothed Particle Hydrodynamics(SPH)법과 Moving Particle Semi-implicit(MPS)법이 대표적이다. SPH법은 Monaghan ()이 제안을 하였고 이 후 압력 해법을 향상시킨 Imcompressible-SPH법 [Xu et al. ()]로 발전되었다. MPS법은 KOshizuka et al (1996)에서 처음 제안되었으며 Tanaka et al. ()과 Lee et al. ()에서 압력해법의 포아송 소오스항을 다항식으로 두는 방식과 자유표면 입자 탐색법의 수정 및 개발을 통해 발전되어 왔다.

* keiuskim@tu.ac.kr

본 연구에서는 Lee et al. (2010)에서 개발된 입자법에 Multi-Phase 모델을 추가한 Kim et al. (2014)의 방식을 채용하여 해안에서 발생한 격렬한 파에 의한 해저면 변동을 수치시뮬레이션 하였다. 시뮬레이션 결과는 Janosi et al. ()에서 수행된 동일한 실험 결과와의 비교를 통해 검증되었다.

2. Moving Particle Semi-Implicit법

완전 라그란지안 접근법을 따르는 MPS법의 지배방정식은 연속방정식과 Navier-Stokes 방정식으로 다음의 형태로 표현된다.

$$\frac{D\rho}{Dt}=0$$

$$\frac{D\vec{u}}{Dt}=-\frac{1}{\rho}\nabla p+\nu\nabla^2\vec{u}+\vec{g}$$

여기서 ρ는 밀도, $\vec{u}$는 입자 속도, p는 압력, ν는 동점성계수, ∇^2은 라플라시안, $\vec{g}$는 중력가속도이다.

앞서 언급한 바와 같이 MPS법은 완전 라그란지안 접근법을 따르기 때문에 지배방정식은 입자법 방식으로 이산화할 수 있다. 이산화에 대한 자세한 내용은 Kim et al .(2014)에서 찾을 수 있다. 이산화과정에서 입자법이 가지는 문제점 중 하나인 연속체역학을 위배할 수 있는 것에 대하여 kernel 함수라 불리우는 가중치 함수를 사용하여 해결한다. 본 연구에서 사용된 가중치 함수는 Lee et al. (2011)에서 사용한 가중치 함수를 사용하였다.

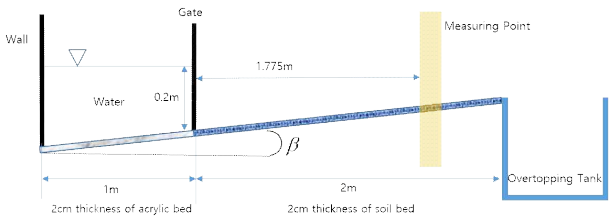
$$w(|r_{ij}|)=\begin{cases}\left(1-\dfrac{|r_{ij}|}{r_e}\right)^3\left(1+\dfrac{|r_{ij}|}{r_e}\right)^3 & (0\leqq|r_{ij}|<r_e)\\ 0 & (r_e<|r_{ij}|)\end{cases}$$

또한 입자법의 형식을 따르기 위해 실제 유체의 밀도가 아는 입자수밀도를 도입하여 이산화하였으며, 입자수밀도는 가중치 함수를 사용하여 다음과 같이 구할 수 있다.

$$n_i=\sum_{j\neq i}w(|r_{ij}|)$$

3. 수치시뮬레이션

해안에서 발생할 수 있는 쓰나미와 같은 격렬한 파를 생성하기 위해 그림 1과 같이 댐 붕괴 모델을 설정하고 유체를 가두고 있던 격벽을 제거함으로써 발생하는 파는 해안가로 설정된 경사면을 향해 이동하도록 설정되었다.



4. 결 론

본 연구에서는 라그란지안 접근법을 따르는 입자법 중 MPS법을 이용하여 해저면 토양 교란 시뮬레이션을 수행하였다. 쓰나미와 같은 격렬한 파를 재현하기 위해 댐 붕괴 문제로 설정하였으며 경사진 면에 토양을 배치하여 해변의 모래와 같은 모델을 적용하였다. 교란 시뮬레이션 결과는 이와 유사한 실험 결과값과 비교하였으며 높은 일치도를 보였다. 향후 토양 뿐만아니라 구조물이 설치되어 piling된 상황에서의 교란 akc ㄴ채ㅕ 등의 침식에 대해 적용할 예정이다.

5. 후 기

본 연구는 2018년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. NRF-2018R1D1A1B07048254)

참 고 문 헌

[1] Chanson, H., (2009), “Application of the method of characteristics to the dam break wave problem”, Journal of Hydraulic Research, Vol. 47, pp. 41-49.

[2] Liao, C. B., Wu, M. S. and Liang, S. J. (2009), “Numerical simulation of a dam break for an actual river terrain environment”, Hydrol. Process. 21, pp. 447-460.

[3] Brocchini, M., Peregrine, D.H. (2001), “The dynamics of strong turbulence at free surface”, J. fluid Mech. 449, pp. 225-254.

[4] Postacchini, M., Othman, I.K., Brocchini, M., Baldock, T.E. (2014), “Sediment transport and morphodynamics generated by a dam-break swash uprush: Coupled vs. uncoupled modelling”, Coast. Eng. 89, pp. 99 - 105.

[5] Hirt, C.W., Nichols, B.D. (1981), Volume of fluid (VOF) method for the dynamics of free boundaries. J. Comput. Phys. 39, 201 - 225.