

잠제의 배치형상에 따른 연안의 처오름 변화에 관하여

허동수*, 이우동**, 이현우**

*국립경상대학교 해양과학대학 토목환경공학부

**국립경상대학교 대학원 해양토목공학과

On Variation Characteristics of Run-up Height over Beach due to Plane Arrangement of Submerged Breakwaters

DONG-SOO HUR*, WOO-DONG LEE**, Hyun-WOO LEE**

*Division of Civil and Environmental Engineering, College of Marine Science, Gyeongsang National University, Tongyeong, Korea

**Department of Ocean Civil Engineering, Graduate school, Gyeongsang National University, Tongyeong, Korea

KEY WORDS: Submerged breakwater 잠제, Run-up 처오름, Wave setup 수위상승, 3-D Numerical Simulation 3차원수치 해석기법, Sandy beach 사빈

ABSTRACT: This study is to investigate the variation characteristics of run-up height over sandy beach due to the plane distribution of submerged breakwaters. In this study, Three-Dimensional numerical model with Large Eddy Simulation, which is able to simulate directly Wave-Structure-Seabed interaction (hereafter, LES-WASS-3D) has been newly developed. A comparison between the numerical model and existing experimental results was made to verify accuracy of newly proposed LES-WASS-3D model, and showed fairly nice agreement. In addition, based on the LES-WASS-3D model, the variation characteristics of run-up height over sandy beach are discussed with relation to the offshore distance and opening width of submerged breakwaters

1. 서론

055-640-3150 dshur@nongae.gsun.ac.kr

2. 수치해석이론

연안역의 3차원적인 해빈변형을 이해하기 위해서는 소상역(swash zone)에서의 흐름특성뿐만 아니라 소상고(runup height)에 대한 특성을 파악하는 것이 중요하며 이와 관련해서 종래부터 많은 연구가 수행되어 오고 있다. 한편, 연안에서의 침식을 방지하기 위한 대책으로서 최근 경관면에서도 유리한 수중방파제의 건설이 늘어나고 있는 실정이며, 이러한 수중방파제의 건설로 인해 소상역에서의 유체운동은 더욱 복잡해 질 것이다. 하지만 이러한 소상역에서의 유체운동의 특성에는 아직 밝혀지지 않은 부분이 많이 남아 있을 뿐만 아니라, 수중방파제 설치로 인한 사빈상의 소상고 변화에 대한 연구는 거의 수행되어 있지 않다. 현재까지는 구조물의 영향을 고려하지 않은 사면에서 소상고 변화에 관한 연구들이 대부분이다. 국외(P.J.Lynett et al, 2002), 국내(김 등, 2000)의 연구가 있다.

따라서, 본 연구에서는 수중방파제의 설치 유무에 따라 사빈상을 전파하는 풍파의 소상고 변화특성을 논의하기 위하여, 먼저 파·투과성구조물·사빈의 상호간섭을 직접 해석할 수 있는 새로운 3차원 수치해석 수법을 개발하고, 개발한 계산수법을 검증한다. 또한, 검증한 계산수법의 3차원 수치시뮬레이션을 통하여 수중방파제의 평면배치형상(개구율, 제장, 이안거리 등)과 입사파의 변화에 의한 소상고의 변형특성에 대해서 검토하는 것을 목적으로 한다.

2.1 기초방정식

본 연구에서는 잠제의 배치형상에 따른 연안의 소상고 변화를 파악하기 위하여, 기초방정식으로서 무반사조파를 위한 조파소스항이 포함된 연속방정식, 투과성구조물 내에서의 유체저항을 도입한 수정된 Navier-Stokes 운동방정식 및 자유표면을 모의하기 위한 VOF함수(Hirt and Nichols, 1981)의 이류방정식을 이용한 3차원 수치해석수법(Hur and Mizutani, 2003; Hur, 2004)을 토대로 새로운 3차원수치해석기법을 개발하였다. 본 연구에서 새롭게 제안된 수치해석기법에는 난류모형로서 Smagorinsky sub-grid model (Smagorinsky, 1963)를 이용한 3차원 Large Eddy Simulation (LES)기법을 적용하였고(허 등, 2006), 투과성구조물 내의 유체저항으로서 새롭게 총류저항(Shijie and Jacob, 1999)을 도입하였다.

2.2 수치파동수조

본 연구에서는 잠제의 배치형상에 따른 연안의 소상고 변화를 파악하기 위하여 Fig. 1과 같은 3차원 수치파동수조를 이용하였고, 파의 재반사를 방지하기위해 offshore 측에는 조파소스 및 부가감쇠영역을 설치하였으며, onshore측에는 정수면 하에서 1:10, 정수면의 육측에서 1:20의 복합단면을 가진 Beach를 설치하였다. 또한 해석 영역에는 법면경사 1:2인 2기의 잠제를, 개구폭과 이안거리를 변화시켜 설치함으로써 잠제의 평면배치형상에 변화를 주었다.

허동수: 경남 통영시 인평동 445

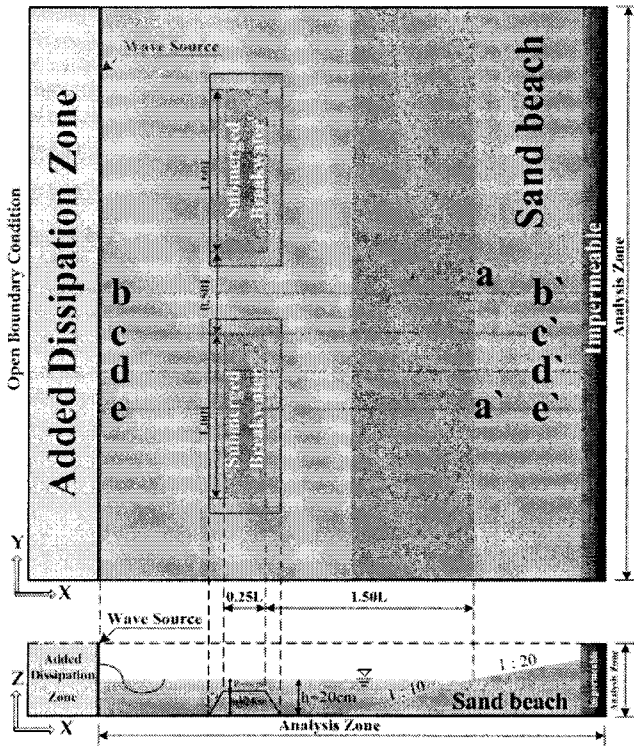


Fig. 1 Definition sketch of 3-D numerical wave basin.

3. 해석결과

Table. 1 Plane arrangements of submerged breakwater.

	Breakwater	Detached distance	Opening ratio
		Y/Li	W/Lr
CASE 1	×		
CASE 2	○	1.0	0.50
CASE 3	○	1.5	0.50
CASE 4	○	2.0	0.50
CASE 5	○	1.5	0.25
CASE 6	○	1.5	0.75
CASE 7	○	1.5	1.00

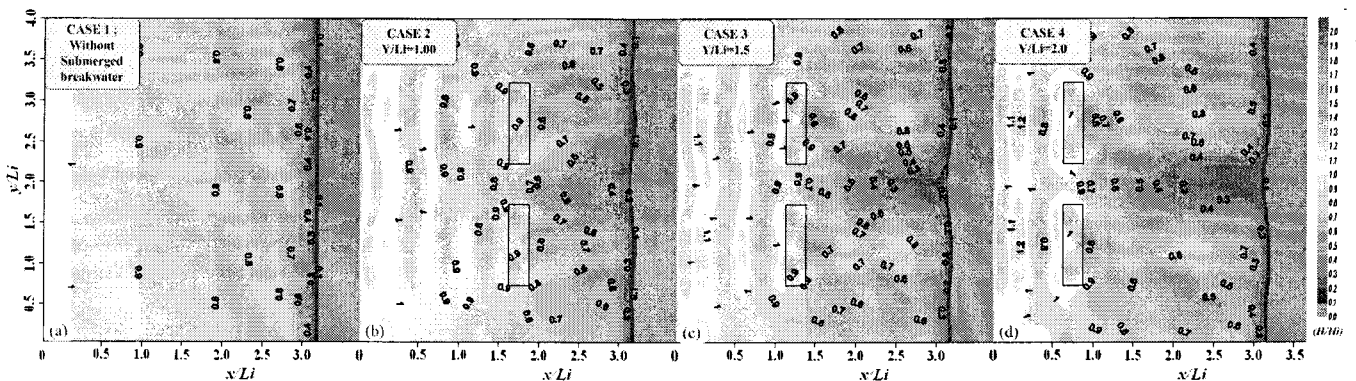


Fig. 2 Spatial distributions of wave heights due to variation of detached distance. (a) Without structure; (b) Y/Li=1.0; (c) Y/Li=1.5; (d) Y/Li=2.0.

본 연구에서는 잠제의 배치형상에 따른 소상고의 변화를 알아보기 위하여 입사조건($h=20\text{cm}$, $H=5\text{cm}$, $T_i=1.2\text{sec}$)을 고정하였으며, 잠제의 이안거리(Y/Li)와 개구율(W/Lr)의 변화에 따른 잠제 주변의 파고분포와 연안에서의 소상고 및 소상거리 변화에 대해 고찰하였다. 수치해석에 이용된 잠제의 평면배치형상에 대한 상세한 사항은 Table. 1에 나타내었다.

3.1 잠제 주변의 파고분포

Fig. 2는 이안거리 변화에 따른 잠제 주변의 공간 파고분포이며, 입사파에 대해 무차원한 값을 나타내었다. 파란색은 입사파고보다 낮은 파고를 나타내고, 붉은색은 입사보다 높은 파고를 나타낸다. (a)는 잠제가 존재하지 않을 경우이며 (b), (c) 및 (d)는 각각 $Y/Li=1.0$, $Y/Li=1.5$ 및 $Y/Li=2.0$ 의 경우를 나타내고 있다.

잠제가 설치된 (b), (c), (d)의 경우, 개구부측 onshore에서는 낮은 파고분포를, 잠제배후에서는 높은 파고분포를 나타내고 있는 것을 알 수 있다. 이러한 파고분포는 개구부를 통과한 파랑이 잠제로 인한 회절과 굴절의 영향을 받음으로서 발생한다. 따라서 이와 같은 파고분포는 잠제의 이안거리에 따른 파랑의 회절 및 굴절의 정도에 따라 달라질 것으로 판단된다. 즉, 이안거리가 길어질수록, 회절 및 굴절의 영향을 많이 받기 때문에 잠제 배후에서는 높은 파고분포를 개구부측 onshore에서는 낮은 파고분포를 나타낸다. 하지만, 이안거리가 일정거리 이상 증가하게 되면, 개구부측에서 파고가 상승함을 확인할 수 있다.

Fig. 3은 개구율 변화에 따른 잠제주위의 파고분포를 나타내고 있으며, (a), (b), (c) 및 (d)는 각각 $Li/W=4.00$, $Li/W=2.00$, $Li/W=1.33$ 및 $Li/W=1.00$ 의 개구율에 대한 결과이다. 또한, 개구부 중심에서 잠제 중심까지의 단면을 나타내고 있기 때문에 y방향에 대한 Scale은 다르게 나타나지만, 비교를 위하여 모든 경우에 있어서 동일한 크기로 나타내고 있다. 잠제배후에서는 개구율이 높을수록 높은 파고분포를 보이고, 개구부측 onshore에서 낮은 파고분포

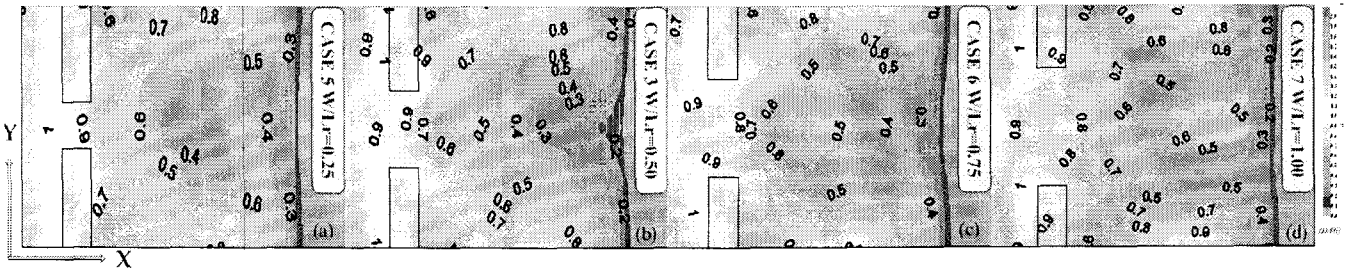


Fig. 3 Spatial distributions of wave heights due to variation of opening ratio. (a) $W/Lr=0.25$; (b) $W/Lr=0.50$, (c) $W/Lr=0.75$; (d) $W/Lr=1.00$.

가 나타난다. 하지만 개구부측 onshore에서 개구율이 가장 낮은 $Li/W=0.25$ 에서 $Li/W=0.5$ 의 경우보다 높은 파고분포를 보이고 있다. 이러한 현상에 대해서는 현재 정확한 원인을 알 수 없으며 좀 더 상세한 검토가 필요한 것으로 판단된다

3.2 연안의 소상고(치오름 높이) 분포

Fig. 4는 개구율을 $W/Li=0.5$ 로 고정하고 이안거리의 변화에 따른 소상고 분포를 나타내고 있으며, 대표적으로 잠제의 중심에서 개구부의 중심까지(a-a'; Fig. 1 참조) 해당되는 연안에서의 소상고를 나타낸다. 그림중의 ▲와 ●는 각 경우에 있어서의 η_{max} 와 쇄파에 의한 수위상승분(wave set-up)을 각각 나타내고 있고, 소상고에 해당하는 실선은 η_{max} 와 wave set-up을 합한 값을 나타낸다.

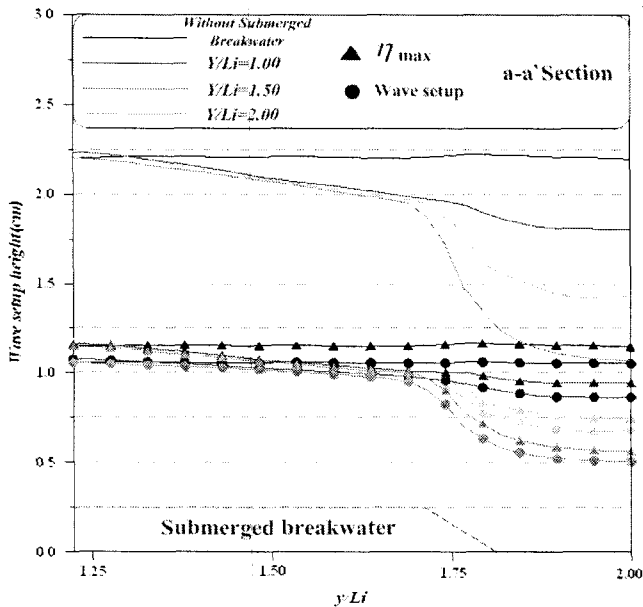


Fig. 4 Longshore distributions of runup heights due to variation of detached distance.

그림으로부터, 개구부측에서의 소상고는 각 경우에 있어서 확인한 차이를 보이고 있다. 특히 이안거리 $Y/Li=1.5$ 일 때 개구부측에서 가장 낮은 소상고가 나타난다. 이러한 이유는 전술한 바와 같이 잠제 배후에서 잠제 개구부를 통한 회절 및 굴절의 진행 정도의 차이에 의해 발생한다고 판단된다. 즉, 이안거리가 길어짐에 따라 회

절 및 굴절의 영향으로 비교적 많은 파랑에너지가 잠제 배후로 전달되기 때문에, 개구부측 연안의 소상고는 낮아지는 것으로 판단된다. 하지만 이안거리가 일정치 이상(본 연구에서 $Y/Li=2.0$)이 되면 인접하는 개구부로부터의 회절 및 굴절로 인한 파랑에너지의 전달로 인해 개구부측 연안의 소상고는 다시 상승하는 경향이 발생한다.

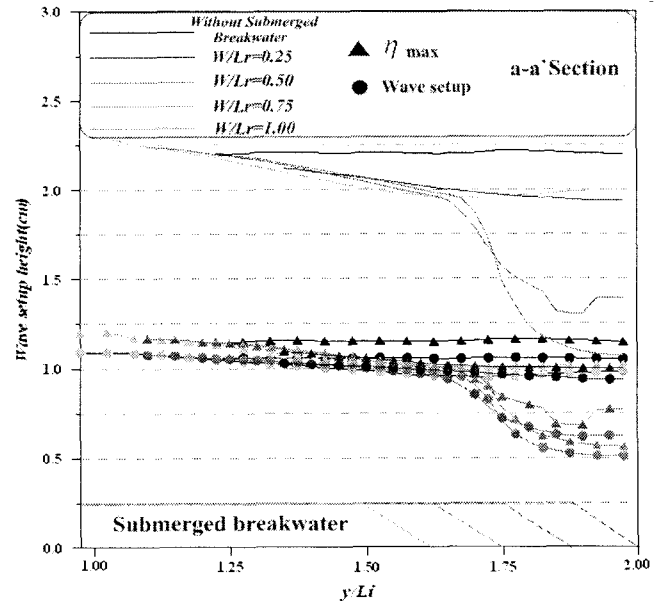


Fig. 5 Longshore distributions of runup heights due to variation of opening ratio.

Fig. 5는 이안거리 $Y/Li=1.5$ 로 고정한 경우 개구율의 변화에 따른 소상고 분포를 나타내고 있으며, 잠제의 중심에서 개구부의 중심까지(a-a'; Fig. 1 참조) 해당되는 연안에서의 결과를 나타내고 있다. 그림으로부터 알 수 있듯이, 개구부측 연안에서 소상고의 뚜렷한 차이가 확인된다. 개구율 $W/Lr=0.5$ 일 때 가장 낮은 소상고를, $W/Lr=1.0$ 일 때 가장 높은 소상고가 나타난다. 이로부터 전반적으로 개구율이 낮아질수록 개구부측 연안에서의 소상고가 낮아지는 것을 확인할 수 있다. 하지만, $W/Lr=0.25$ 의 경우에는 조금 다른 경향을 나타내고 있으며, 이것에 대해서는 좀 더 상세한 검토가 필요할 것으로 판단된다.

한편, 잠제중앙 배후연안에서 이안거리와 개구율의 변화에 따른 소상고의 차이는 개구부측 연안에 비해 미소

한 것을 확인할 수 있다.

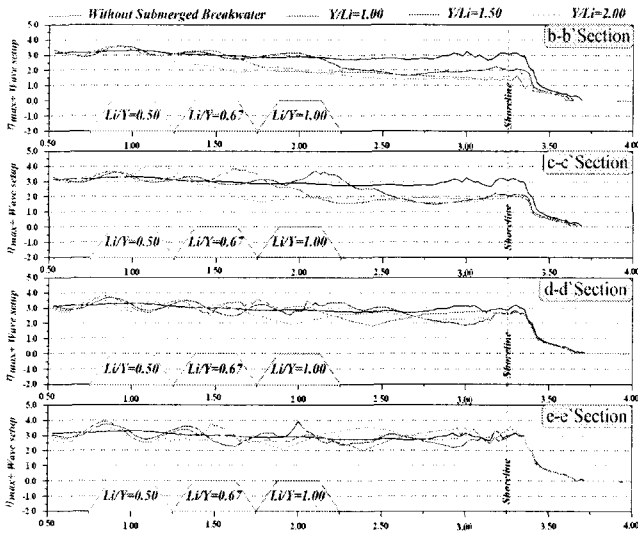


Fig. 6 x-z plane distributions of heights($\eta_{max} +$ Wave setup) due to variation of detached distance.

Fig. 6은 개구를 $W/Lr=0.5$ 로 고정하고 이안거리의 변화에 따른 x-z단면의 소상고분포를 나타내었다. 대표적으로 b-b', c-c', d-d', e-e' 단면에 대하여 (Fig. 1참조)를 나타내었다. 개구부중심 단면(b-b')에서 잠제 중심 단면(e-e')으로 이동할수록 잠제를 설치한 경우와 설치하지 않은 경우의 정선부근 소상고 차이는 줄어드는 것을 알 수 있다.

3.3 연안의 소상거리(처오름거리) 분포

Fig. 7은 연안에서의 소상거리 분포를 나타내고 있으며, (a)와 (b)는 각각 이안거리 및 개구율의 변화에 따른 소상거리분포를 나타낸다. 또한, 소상거리는 소상고와 Beach 경사를 이용하여 얻어진 결과이다.

Fig. 7로부터, Fig. 4와 Fig. 5의 소상고 분포에서 설명한 것과 같은 경향을 확인할 수 있다. 즉, 전반적으로 이안거리가 길수록, 개구율이 높을수록 개구부측 연안의 소상거리는 짧아지며, 잠제중앙 배후연안에서는 그다지 큰 변화를 보이지 않는다.

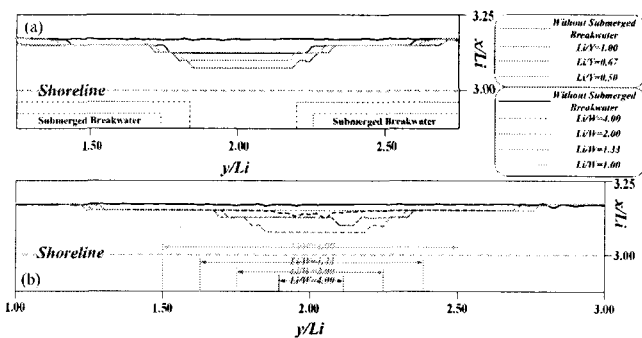


Fig. 7 Longshore distribution of run-up distance due to (a) variation of detached distance; (b) variation of

opening ratio.

4. 결론 및 고찰

소상고 변화에 관한 연구는 현재 대부분이 구조물의 영향을 고려하지 않고 이루어져왔다. 따라서 본 연구에서는 잠제 설치로 인한 사빈상의 소상고 변화뿐만 아니라, 더 나아가 배치형상에 따른 소상고 변화를 파악하기 위하여, 3차원 Large Eddy Simulation을 도입함과 동시에 투과성구조물 및 모래해안에도 적용이 가능한 새로운 3차원 수치해석기법을 개발하였다.

그 결과, 연안에서의 소상고 및 소상거리의 변화는 잠제의 이안거리와 개구율의 변화에 따른 분포를 확인할 수 있었다. 이러한 분포는 개구부와 천단상을 진행한 파랑의 복잡한 변형과 수위의 변동으로 이해할 수 있었다.

전반적으로 이안거리가 길수록, 개구율이 높을수록 개구부측 연안의 소상고가 짧아지며, 잠제중앙 배후연안에서는 큰 변화를 보이지 않았다.

참고 문헌

- 김인철, 정중수, (2000). 투수성 사면에서 파의 처오름 및 반사에 관한 수치해석. 대한토목학회논문집 제20권, 제 5-B호, pp 775-763.
- 허동수, 염경선, 배기성, (2006). 혼성방파제에 작용하는 3차원 파압구조에 미치는 위상차의 영향. 대한토목학회 논문집 제26권, 제 5B호, pp563-572.
- Hirt, C.W. and Nichols, B.D. (1981). Volume of fluid (VOF) method for the dynamics of free boundaries. J. comp. Phys, Vol 39, pp 201-225.
- Hur, D.S. and Mizutani, N. (2003). Numerical estimation of the wave forces acting on a three-dimensional body on submerged breakwater. Coastal Eng., Vol 47, pp 329-345.
- Hur, D.S. (2004). Deformation of multi-directional random waves passing over an impermeable submerged breakwater installed on a sloping bed., Ocean Eng., Vol 31, pp 1295-1311.
- Liu, S.J. and Masliyah, J.H. (1999). Non-linear flows in porous media. J. Non-Newtonian Fluid Mech., Vol 86, pp 229-252.
- Patrick J. Lynett, Tso-Ren Wu, Philip L.-F. Liu (2002). Modeling wave runup with depth-integrated equations. Coastal Eng., Vol 46, pp 89-107.
- Smagorinsky, J. (1963). General circulation experiments with the primitive equation. Mon. Weath. Rev., Vol 91, No 3, pp 99-164.