

## 잠제주변 흐름의 3차원 특성에 관하여 On Characteristics of Three-Dimensional Flow around the Submerged Breakwater

허동수<sup>1</sup>, 이우동<sup>2</sup>, 염경선<sup>3</sup>, 배기성<sup>1</sup>  
Dong Soo Hur<sup>1</sup>, Woo Dong Lee<sup>2</sup>, Gyeong Seon Yeom<sup>1</sup> and Ki Seong Bae<sup>1</sup>

### 1. 서 론

잠제(수중방파제)는 수면 아래에 건설되는 구조물로서 주변해역의 자연경관을 그대로 살릴 수 있을 뿐만 아니라, 해수교환이 우수하기 때문에 대표적인 친환경의 해안·항만구조물로서 일본을 위시한 외국에서는 이안제를 대신하여 파랑제어 및 표사제어구조물로서 다수 시공되어 오고 있다. 또한 이러한 경향은 국내에도 반영되어, 부산시의 송도해수욕장에 해안침식방지를 위해 처음으로 잠제가 건설되었다.

실 해역에 잠제가 건설되면, 잠제의 양단부 근방에서 세굴이 발생하거나 잠제 배후에서의 침식 발생으로 인하여 잠제의 안정성에 큰 영향을 주는 경우가 빈번하다. 이러한 원인은, 잠제 단부 및 배후에서 발생하는 빠른 흐름으로 인한 저질의 유출로 설명될 수 있다.

이상과 같은 배경 하에서, 잠제주변의 3차원적 흐름구조를 명확히 하기 위한 해석기술의 확립은 공학적 측면에서 시급히 해결해야 할 과제임에도 불구하고, 잠제주변의 흐름특성을 해석하려는 대부분의 연구들은 유속을 연직(수심방향)으로 평균한 평면 2차원 수치모델을 이용하여 이루어졌다(Drei and Lamberti, 1999; Yamashiro, et al., 1999; Kriezi et al., 1999; Gironella and Sanchez-Arcilla, 1999).

따라서, 본 연구에서는 종래에는 많이 이용되어 오고 있지 않던 3차원 수치해석수법을 제안·검증한 후, 수치시뮬레이션을 통해 잠제주변의 3차원적 흐름

특성을 파악하고자 한다.

### 2. 수치해석 이론

#### 2.1 기초방정식

본 연구에서는 무반사조파를 위한 조파소스항이 포함된 연속방정식과 투과성구조물 내에서의 유체 저항을 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 이용하였다. 이러한 수치해석수법을 토대로 3차원 Large Eddy Simulation(LES)기법을 도입하였으며, LES기법에는 Smagorinsky sub-grid model (Smagorinsky, 1963)을 이용하였다.

#### 2.2 수치파동수조

본 연구에서는 잠제주변의 3차원적 흐름특성을 파악하기 위하여 Fig. 1과 같은 3차원 수치파동수조를 이용하였으며, 파의 재반사를 방지하기 위해 offshore측에는 조파소스 및 부가감쇠영역을 설치하였고, onshore측에는 실 해역과 유사한 Beach를 설치하였다. 또한, 수치계산의 타당성 검정을 위하여 Johnson et al.(2005)의 수리모형실험수조(Fig. 1 참조) 및 조건을 이용하였다.

1 경상대학교 해양토목공학과 교수

2 발표자: 경상대학교 해양토목공학과 석사과정

3 경상대학교 해양토목공학과 연구원

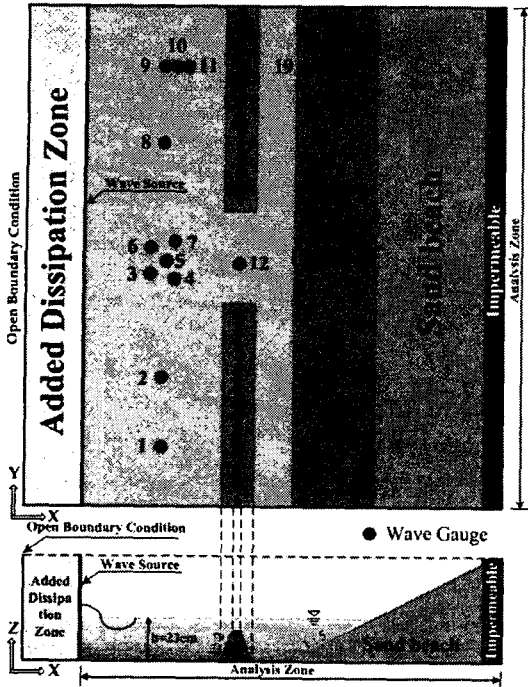


Fig. 1. Definition sketch of 3-D numerical wave basin.

### 3. 해석결과

#### 3.1 수치해석수법의 검증

본 연구에서 제안한 수치해석수법의 검증을 위하여, Johnson et al. (2005)에 의한 3차원 수리모형 실험결과 및 수치모델 결과와 본 연구의 수치모델 결과를 비교하였다. Fig. 2는 잠제 주변의 측정위치 (Fig. 1 참조)에 따른 파고를 나타내고 있으며, 검정색(■)은 측정치를, 분홍색(■)은 본 연구에 의한 계산치를, 나머지는 Johnson et al. (2005)에서 이용된 수치모델의 계산치를 나타내고 있다. 또한, 계산 조건은 Table 1에 나타난 것과 같으며, 입사파고는 Fig. 1의 Gauges 3-7의 평균값을 기준으로 산정하였다.

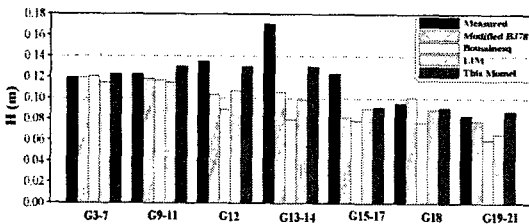


Fig. 2. Comparison of measured and calculated wave heights.

Table 1. Test conditions.

Hi(cm)	Average(gauges 3 to 7)			Wave Type
	h(m)	Hmo(m)	Tp(s)	
12.0	0.23	0.120	1.81	Regular

그림으로부터, 본 연구에 의한 계산치는 다른 모델에 의한 계산치보다 실험치를 잘 재현하고 있는 것을 알 수 있다. 이러한 검증결과를 바탕으로 다음절에서는 잠제 주변의 3차원 흐름특성에 대해 논의하기로 한다.

#### 3.2 잠제 주변 흐름특성

검증된 수치파동수조를 이용하여 잠제 주변의 흐름특성을 3차원적으로 해석하였다. Fig. 3은 x-y 평면의 평균유속 분포를 나타내고 있으며, Fig. 3(b)와 (c)는 각각 연직위치  $z=19\text{cm}$ ,  $z=5\text{cm}$ 에서의 평균유속분포도를, (a)는 각 연직위치의 평균유속을 연직(수심방향)으로 평균한 평균유속분포도를 나타낸다. 연직(수심방향)으로 평균한 Fig. 3(a)에서는 잠제단부를 중심으로 하여 잠제 상에서는 onshore 방향, 개구부에서는 offshore 방향으로 향하는 한 쌍의 순환류가 발생하고 있는 것을 알 수 있으며, 이러한 현상은 잠제 주변의 흐름특성을 논의할 때 자주 보여 지는 현상이다. 하지만, Fig. 3(b)  $z=19.0\text{cm}$ 의 경우와 (c)  $z=5.0\text{cm}$ 의 경우에서 개구부를 주목하면, 흐름의 상층에 속하는 (b)의 경우는 대체적으로 offshore 방향으로 하층에 속하는 (c)의 경우는 onshore 방향으로 향하는 흐름이 각각 나타남을 알 수 있다.

Fig. 4는 x-z 평면의 y 위치 (Fig. 3(a)의 a-a', b-b' 및 c-c' 단면)에 따른 평균유속분포를 나타내고 있다. 그림으로부터 y 위치에 관계없이 잠제 천단보다 상층에서는 onshore 측으로 향하는 흐름이 명확히 나타나고 있다. 또한 잠제 천단보다 하층을 살펴보면, Fig. 4(b) 개구부 중앙(b-b' 단면)에서는 offshore 측으로 향하는 흐름이 뚜렷한데 반해, (a) a-a' 단면과 (c) c-c' 단면의 경우에는 잠제 사면에서의 순환류 생성과 더불어 잠제 부근의 흐름이 빨라지는 것을 알 수 있다.

y-z 평면의 x 위치에 따른 평균유속분포를 Fig. 5에 나타내며, Fig. 5(a), (b) 및 (c)는 각각, d-d', e-e' 및 f-f' 단면 (Fig. 3(a) 참조)에 있어서의 평균유속분포를 나타내고 있다. 잠제의 offshore 측에 해당하는 Fig. 5(a)의 경우, 개구부에서 잠제 단부

로 향하는 흐름이 발생하고 있으며, 잠제의 onshore측에 해당하는 Fig. 5(c)의 경우에는 잠제 단부에서 개구부로 향하는 흐름이 발생함을 알 수 있다. 또한, 잠제 중앙부(e-e' 단면)의 평균유속 분포를 나타내고 있는 Fig. 5(b)를 살펴보면, 단부 근방에서 빠른 흐름으로 형성되는 순환류를 확인할 수 있다.

한편, Fig. 4(a)와 (c) 및 Fig. 5(b)에서 나타나는 잠제 주변의 빠른 흐름의 순환류는 실 해역에 설치된 잠제 단부에서의 세굴과 잠제 배후에서의 침식 과도 밀접한 관계가 있을 것으로 판단된다.

이상과 같이, 본 연구에서 제안한 3차원 수치해석은, 기존의 평면 2차원 수치모델로는 확인할 수 없었던 잠제 주변의 3차원 흐름장을 높은 정도로 재현

할 수 있을 뿐만 아니라 복잡한 흐름장의 특성을 논의하기 위한 도구로서 충분할 것으로 판단된다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 실 해역에서의 잠제 구조물로 인해 발생하는 3차원적인 흐름 특성을 파악하기 위하여, 기존의 3차원 수치해석기법에 Large Eddy Simulation을 도입하여 3차원 수치모형실험을 수행하였다.

기존의 수치모형실험 결과와 본 연구에 의한 수치실험결과를 비교·분석하여, 타 수치모델 결과에 비해 높은 정도로 수리실험결과를 재현하고 있음을 확인하였다.

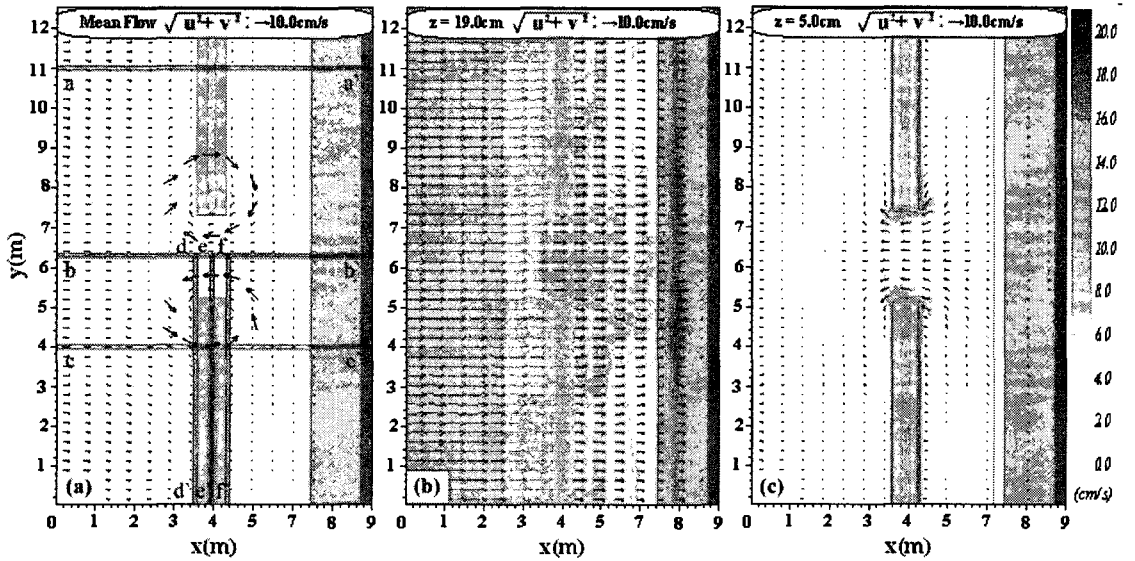


Fig. 3. Spatial distribution of mean flow in x-y horizontal plane.

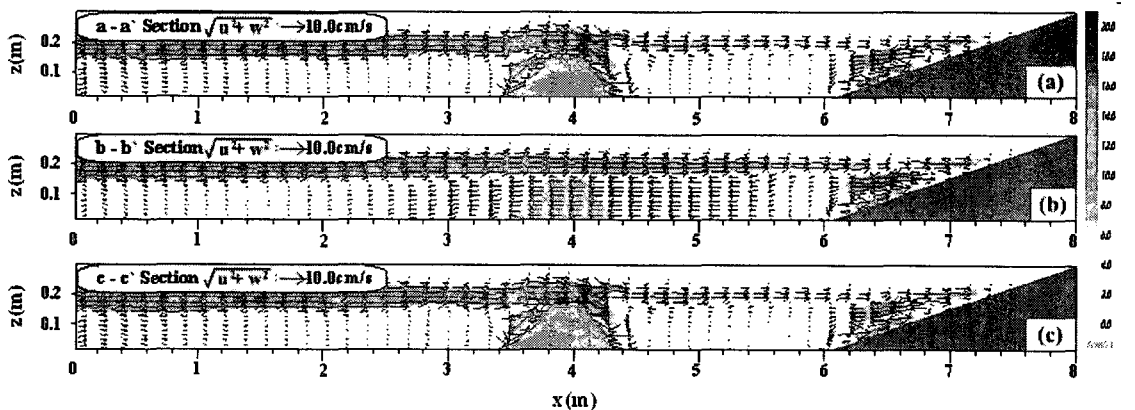


Fig. 4. Spatial distribution of mean flow in x-z vertical plane (a-a', b-b', c-c').

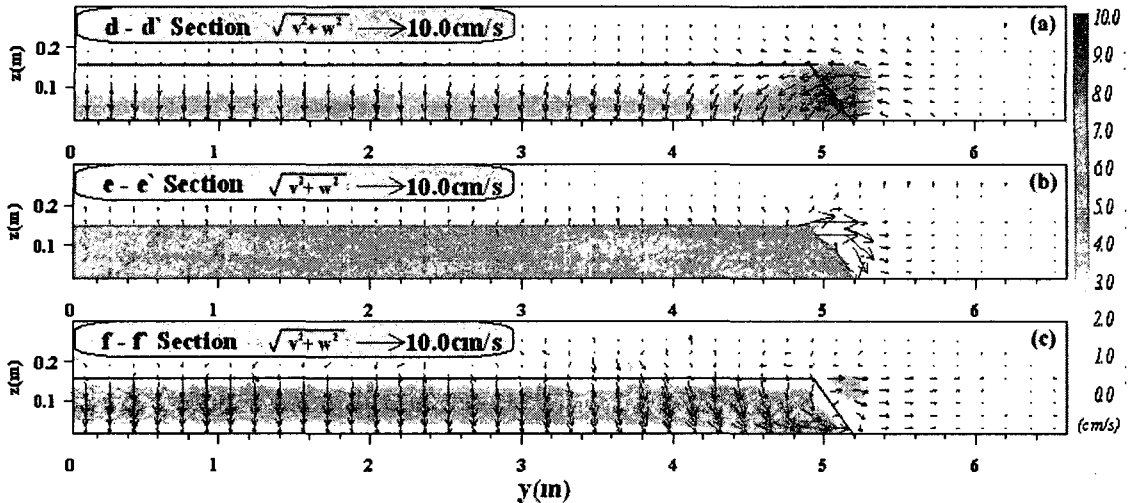


Fig. 5. Spatial distribution of mean flow in y-z vertical plane (d-d', e-e', f-f').

또한, 제안한 수치해석수법을 이용하여, 잠제의 안정성에 큰 영향을 미치는 잠제 단부의 세굴 및 잠제 전후의 침식의 원인이 뭍에도 불구하고 현재까지 명확하게 밝혀지지 않고 있던 잠제 주변의 복잡한 3차원 흐름 특성에 관하여 논의 할 수 있었다.

이상과 같은 배경에 근거하여, 실 해역에 설치된 3차원 구조물 주위의 복잡한 흐름을 해석하기 위해서는 본 연구에서와 같은 3차원 수치해석기법의 도입이 필요할 것으로 판단되며, 향후 불규칙과에 대한 적용 등 더욱 범용적이고 광범위한 영역에도 적용할 수 있는 고정도의 기법으로 향상시켜 나갈 예정이다.

## 참고 문헌

- Smagorinsky, J. (1963). General circulation experiments with the primitive equation. *Mon. Weath. Rev.*, 91(3), 99-164.
- Hirt, C.W. and Nichols, B.D. (1981). Volume of fluid (VOF) method for the dynamics of free boundaries. *J. comp. Phys.*, 39, 201-225
- Drei, E. and Lamberti, A. (1999). Wave pumping effect of a submerged barrier. *Proc., International Conference on Coastal Structures*, 667-674.
- Gironella, X. and Sanchez-Arcilla, A. (1999). Hydrodynamic behaviour of submerged breakwater. Some remarks based on experimental results. *Proc., International Conference on Coastal Structures*, 891-896.
- Kriai, E. E., Karambas, Th.V., P., Tilegrafos, A., Gironella, X. and Mosso, C., (1999). Reflection and transmission for submerged and rubble-mound breakwater. *Proceedings of the International Conference on Coastal Structures*, 689-696.
- Yanashiro, M., Yoshida, A., Irie, I. (1999) Experimental study on wave field behind a submerged breakwater. *Proc., International Conference on Coastal Structures*, 675-682
- Hur, D.S. and Mizutani, N. (2003). Numerical estimation of the wave forces acting on a three-dimensional body on submerged breakwater. *Coastal Eng.*, 47, 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.*, 31, 1295-1311.
- Johnson, H. K., Karambas, T. V., Avgeris, I., Zanuttigh, B., Gonzalez-Maroco, D., Caceres, I. (2005) Modelling of waves and currents around submerged breakwaters. *Coast. Eng.*, 52, 949-969.
- 土木研究所資料, 建設省土木研究所, 河川部海岸研究室(1988). エリークの機能と設計法. 土木研究所資料, 第2696号.