

## 지형적 특성에 따른 이안류 발생 메커니즘에 관한 수치시뮬레이션 Numerical Simulation on Generation Mechanism of Rip Current due to Topographical Characteristics

허동수<sup>1</sup>, 이우동<sup>2</sup>, 배기성<sup>3</sup>

Dong Soo Hur<sup>1</sup>, Woo Dong Lee<sup>2</sup> and Ki Seong Bae<sup>3</sup>

### 1. 서 론

우리나라의 대표적인 해수욕장인 부산 해운대해수욕장에서 Photo 1에 나타난 것과 같이 2009년 8월 13일과 15일에 강한 이안류가 발생하여 13일 43명, 15일 63명의 피서객이 이안류에 휩쓸렸다가 구조되는 아찔한 사고가 발생하였다. 해운대해수욕장에서의 이안류로 인한 사고는 비단 금년(2009년)만의 문제는 아니다. 2007년 120여명, 2008년 150여명, 2009년에는 현재(2009. 8. 18)까지 150여명이 이안류에 휩쓸렸다가 구조되었다(조선일보, 2009. 8. 18).



**Photo 1.** The generation of rip current at Busan Haeundae beach in Aug. 13th, 2009(Source: Busan fire department)

해경과 119수상구조대에 의하면 부산 해운대해수욕장의 이안류 발생지역은 파라다이스호텔, 씨클라

우드호텔, 글로리콘도 부근에서 빈번히 발생한다고 한다(조선일보, 2009. 8. 18). 한편 금년(2009년)에 발생한 이안류 역시 앞서 언급한 지역에서 발생한 것으로 나타났다. 이에 해당 지자체에서는 대책마련을 위하여 많은 논의가 진행되고 있다.

이안류 발생으로 인한 피해를 줄이기 위해서 무엇보다 중요한 것은 현장조사를 통하여 이안류가 발생하는 원인을 검토하여 예방조치를 강화하는 것이다. 또한, 발생 메커니즘을 파악하여 이안류를 최대한 제어할 수 있도록 다각도의 검토가 필요할 것이다.

현재 현장에서 해빈류(이안류와 연안류)를 측정하는 방법은 Euler적 방법과 Lagrange적 방법의 2가지로 크게 구분된다. Euler적 방법은 특정 정점에서 유속, 유향의 시간변화를 조사하는 것이고, Lagrange적 방법은 표식자(부이, 염료 등)를 투하여 흐름에 따라 이동하는 표식자의 위치를 시간별로 조사하는 것이며, 국내에서도 후자와 같은 방법으로 해빈류 조사가 이루어진다. 하지만 이와 같은 현장조사만으로 전체적인 해빈류의 흐름패턴을 파악하기에는 아직까지 많은 어려움과 문제점을 가지고 있다. 따라서 대부분의 연구들은 수치모델의 검증에 위한 최소한의 현장조사와 더불어 수치모델을 이용한 시뮬레이션을 실시하고 있다(김규한과 류형석, 2000; 이영권 등, 2004).

해운대해수욕장에 대한 기존의 연구로서 이종섭 등(2007a, 2007b)은 장기적인 파랑관측을 통한 계절별 파랑특성을 파악한 후, 수치모델을 이용하여 해

1 발표자: 국립경상대학교 해양과학대학 해양토목공학과 부교수  
2 일본나고야대학 공학연구과 사회기반공학전공 박사과정  
3 국립경상대학교 해양과학대학 해양토목공학과 교수

운대해수욕장 주변의 해빈류 예측 및 표사이동특성에 관하여 연구를 수행하였다. 이와 같은 연구를 비롯하여 해빈류에 관한 수치적 연구들은 대부분 유속을 수심적분한 수치모델을 이용하고 있다(이성대, 2000; 곽문수와 편종근, 2004). 하지만, 이러한 수심적분 수치모델을 이용하여 얻어진 해빈류의 규모 및 발생위치 등의 정도에 관해서는 아직 논의의 여지가 남아 있는 실정이다.

최근 허동수 등(2009)은 3차원 수치모델(LES-WASS-3D; 허동수와 이우동, 2007)을 이용하여 잠제가 설치된 부산 송도해수욕장에 태풍 에위니아(2006년 3호) 내습시의 파랑관측자료(김용현, 2009)를 적용시켜 수치모델을 검증함과 동시에 송도해수욕장 주변의 해빈류를 예측하였다.

이에 본 연구에서는 지형적 특성에 따른 이안류의 발생 메커니즘을 파악하기 위하여 3차원 수치모델(LES-WASS-3D)를 이용하여 해운대해수욕장에서 발생한 이안류를 재현함과 동시에 발생 메커니즘을 파악한다. 또한 송도해수욕장에서의 잠제 설치 전후의 이안류 발생특성을 비교하여 잠제 건설에 따른 이안류의 제어 효과를 검토하는 것을 목적으로 한다.

## 2. 수치해석기법

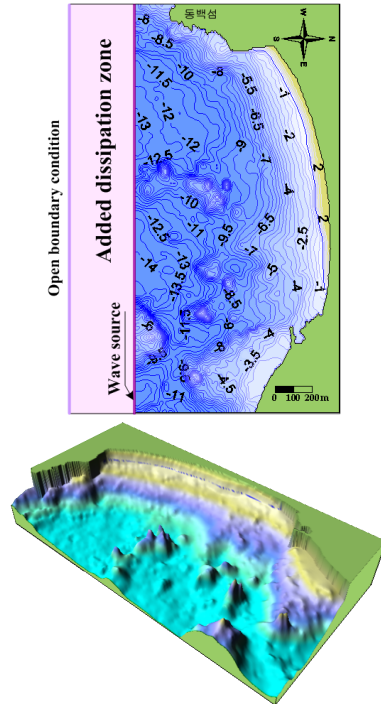
### 2.1 파동장의 해석기법(LES-WASS-3D)

LES-WASS-3D는 허동수와 이우동(2007)에 의해 개발된 강비선형의 3차원모델로서 조파소스(조파원천)향이 포함된 연속방정식과 투수성구조물내의 유체저항을 도입한 수정된 Navier-Stokes 운동방정식 및 자유표면 모의를 위한 VOF함수의 이류방정식으로 구성된 3차원 수치해석기법으로서 파·구조물·해빈의 상호작용의 영향을 직접 해석할 수 있을 뿐만 아니라, SGS모델(Sub-Grid Scale model; Smagorinsky, 1963)의 적용으로 격자크기 보다 작은 난류의 재현이 가능하다. 투수성구조물내의 유체저항으로서 관성저항(Sakakiyama and Kajima, 1992), 난류저항(Ergun, 1952; van Gent, 1995) 및 층류저항(van Gent, 1995; Liu and Masliyah, 1999)을 도입하여 투과매체의 특성(입경, 공극, 형상 등)을 고려한 에너지소산이 가능하다. 나머지 수치해석기법에 대한 세부적인 내용에 대해서는 허동수와 이우동(2007)을 참조하기 바란다.

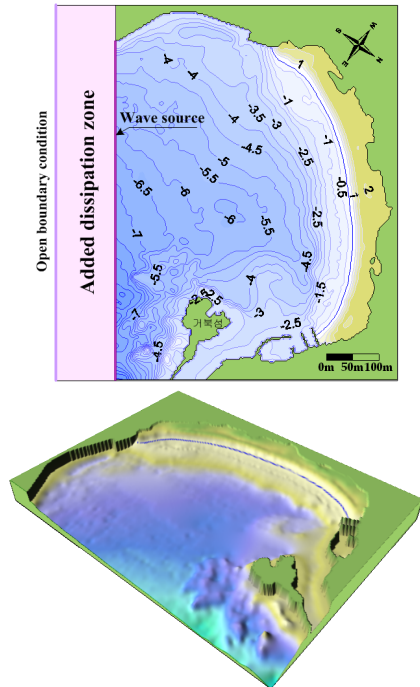
또한 직각격자체계를 이용하는 유한차분(FDM-Finite Difference Method)의 적용에 따른 계단식 경사면처리를 보완하기 위하여 허동수 등(2008)이 제안한 경사면처리기법을 도입하여 해저지반과 해

빈을 구성하였다.

### 2.2 수치파동수조 및 입사조건



(a) Haeundae beach



(b) Songdo beach

**Fig. 1.** Definition sketch of 3-D numerical wave basin used for modelling of Busan Haeundae/Songdo beach

본 연구에서 해운대해수욕장에 대해서는 2005년 11월 수심측량결과, 송도해수욕장은 2008년 12월 19일에 실시한 해안선측량과 2008년 12월 29일에 실시한 수심측량의 결과를 토대로 Fig. 1과 같은 3차원 수치파동수조를 구성하였다. 파의 재반사를 방지하기위해 offshore측에는 부가감쇠영역 및 조파소스(조파원천)를 설치하였고, 해석영역에는 수심 및 해안선 측량결과를 적용하여 지형을 구성하였다.

시뮬레이션에 이용된 입사조건은 해운대해수욕장 일 경우 파랑모델(SWAN)을 이용하여 2009년 8월 13일 13시경의 관측자료(광안 등표; 기상청)와의 비교·검토를 통하여 입사파랑조건을 산정하였다. 송도해수욕장의 경우에는 모니터링 기간(2004년 6월 1일~2008년 1월 31일)내에서 관측된 하절기의 평상파랑조건을 이용하였다.

### 3. 해석결과

#### 3.1 지형특성에 따른 파고분포

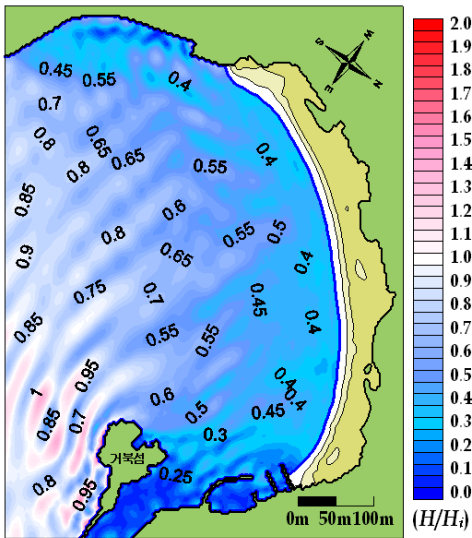


Fig. 2. Spatial distributions of wave heights at Busan Songdo beach

Fig. 2는 부산 송도해수욕장에서 잠제가 존재하지 않은 경우 여름철 평상파랑의 입사파고에 대해 무차원하여 나타낸 파고분포로서 붉은색은 입사파고보다 높은 파고를 파란색은 입사파고보다 낮은 파고를 의미한다. 그림으로부터 외해로부터 유입되는 파랑이 거북섬에 의한 반사의 영향으로 거북섬 전면에서 부분중복파가 형성되며, 또한 파랑이 정선으로 진행할수록 수심감소에 의한 쇄파, 해빈

의 투수성 및 마찰에 의한 에너지 감쇠의 영향으로 전체적으로 파고가 감소하는 것을 확인할 수 있다.

#### 3.2 지형에 따른 평균수위분포

Fig. 3은 잠제가 설치되지 않은 부산 송도해수욕장 주변의 평균수위분포를 나타낸 것으로 정수면을 기준으로 붉은색은 평균수위의 상승, 파란색은 평균수위의 하강을 의미하며, 정상상태 이후 3주기 동안의 시계열 데이터를 이용하여 산정하였다.

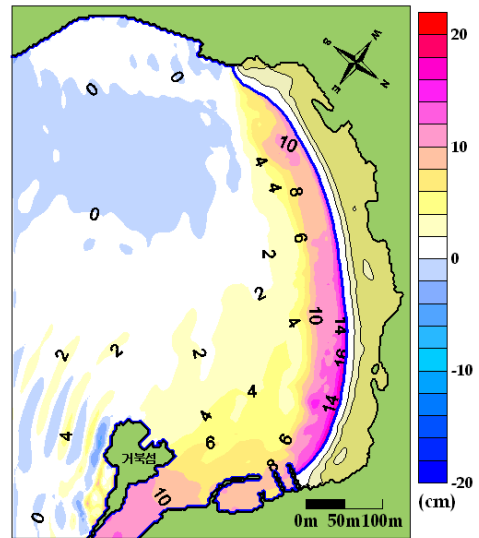


Fig. 3. Spatial distributions of mean water level at Busan Songdo beach

Fig. 3으로부터 전체적으로 외해에서는 평균수위가 하강하고 정선에 가까워질수록 평균수위가 상승하는 경향을 나타내는 것을 확인할 수 있다. 특히, 거북섬의 영향으로 파고가 상대적으로 낮은 거북섬 배후에서 평균수위가 가장 크게 상승한다.

#### 3.3 지형특성에 따른 흐름분포

Fig. 4는 x-y평면상의 각 연직위치의 수평유속 성분(u, v)을 3주기 동안 평균한 평균유속을 수심(연직)방향으로 적분한 평균유속분포도이다.

그림으로부터 평균수위가 높은 거북섬 배후연안에서는 상대적으로 평균수위가 낮은 외해로 빠져나가는 이안류가 발생하며, 또한 해수욕장의 SW측에서는 평균수위가 높게 나타나는 영역으로부터 평균수위가 낮은 곳으로 해안을 따라 흐르는 연안

류가 발달하는 것을 알 수 있다.

해운대/송도해수욕장의 지형적 특성에 따른 이안류 발생 메커니즘에 대해서는 할애된 지면의 제약으로 인하여 학술대회에서 발표하기로 한다.

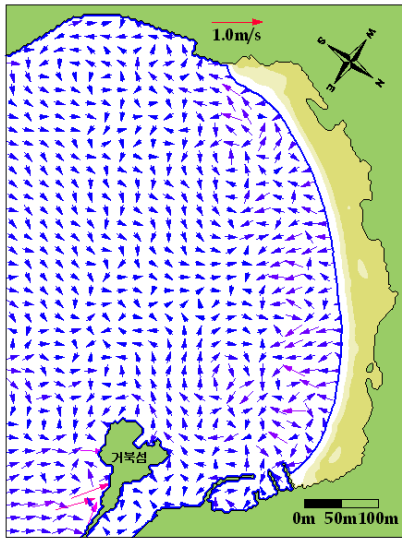


Fig. 4. Spatial distributions of mean flow at Busan Songdo beach

#### 4. 결론 및 고찰

본 연구에서는 부산 해운대/송도해수욕장의 지형적 특성에 따른 이안류 발생 메커니즘을 파악하기 위하여, 수심측량 및 해안선측량의 결과를 토대로 LES-WASS-3D(허동수와 이우동, 2007)를 이용하여 3차원 시뮬레이션을 실시하였다.

그 결과 잠제가 설치되지 않은 송도해수욕장의 경우 평균수위차이에 의해서 거북섬 배후에서는 이안류, 해수욕장의 SW측에서는 연안류가 발달하는 것을 알 수 있었다.

#### 감사의 글

본 연구를 수행함에 있어서 귀중한 자료인 수심 및 해안선 측량자료를 제공해 주신 (주)대우엔지니어링(해운대 해수욕장)과 인제대학교 윤종성 교수님(송도해수욕장)께 감사를 표합니다.

#### 참고문헌

곽문수, 편종근. (2004). 제주의항 건설에 따른 주변 해역의 해빈류 변화 예측. 한국방재학회논문

집, 4(3), 1-8.

김규한, 류형석. (2000). 속초해역에 존재하는 파랑 및 해빈류의 현지관측. 한국해양·해양공학학회 2001년도 한국해양해양공학발표논문집, 125-130.

김용현. (2009). 부산 송도해수욕장에서의 MONITORING을 통한 파랑변형 및 표사이동에 관한 연구. 석사학위논문, 인제대학교.

이성대. (2000). 월포항 인근해역에서의 해빈류 특성. 한국수자원학회논문집, 33(6), 661-669.

이영권, 양해용, 박일흠, 이종섭, 김종규. (2004). 동해 봉길해안에서 해빈류의 현지 관측. 한국해양공학회 2004년도 학술대회지, 145-150.

허동수, 이우동. (2007). 잠제 주변의 파고분포 및 흐름의 3차원 특성; PART I-해빈이 없을 경우. 대한토목학회논문집, 27(6B), 689-701.

허동수, 이우동, 배기성. (2008). 사각격자체계 수치모델에서의 경사면 처리기법에 관하여. 대한토목학회논문집, 28(5B), 591-594.

허동수, 이우동, 윤종성, 김명규. (2009). 잠제가 설치된 부산송도해수욕장의 해빈류 예측에 관하여. 한국해양과학기술협의회 공동학술대회 발표논문집, 2295-2298.

Ergun, S. (1952). Fluid flow through packed columns. Chem Eng., 48(2), 89-94.

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.

Liu, S. and Masliyah, J.H. (1999). Non-linear flows in porous media. J. Non-Newtonian Fluid Mech., 86(1), 229-252.

Sakakiyama, T. and Kajima, R. (1992). Numerical simulation of nonlinear wave interacting with permeable breakwater. Proc. 23rd Int. Conf. Coastal Eng., ASCE, 1517-1530.

Smagorinsky, J. (1963). General circulation experiments with the primitive equation. Mon. Weath. Rev. 91(3), 99-164.

van Gent, M.R.A. (1995). Wave interaction with permeable coastal structures. Ph.D. Thesis, Delft University The Netherlands.