

# 경사입사파에 의한 이중 슬릿케이슨 주변의 3차원 수리특성에 관하여 On Effects of Oblique Incident Waves on 3-D Hydraulic Characteristics around the Silt Caisson with Two Chamber

허동수<sup>1</sup>, 이우동<sup>2</sup>, 이준<sup>3</sup>  
Dong Soo Hur<sup>1</sup>, Woo Dong Lee<sup>2</sup> and Jun Lee<sup>3</sup>

## 1. 서 론

해양의 물리적 환경으로부터 해안선 및 연안구조물을 보호하기 위한 방파제의 건설이 증가하고 있다. 최근에는 파랑의 반사를 감소시킬 뿐만 아니라 파력을 저감시키는데 효과적인 유공벽이면서, 아울러 유수실을 포함하여 유수실내에서의 추가로 파랑에너지의 감쇠가 기대되는 슬릿케이슨식 혼성제가 부각되고 있다.

현재까지 슬릿케이슨에 관한 대부분의 연구들이 2차원적인 수리모형실험(小竹ら, 1997)과 이에 근거한 경험식의 제안(Takahashi, 1996; Tabet-Aoul and Lambert, 2003) 및 수치모형실험(Chen et al, 2007)들이 이루어지고 있다. 최근 Liu et al.(2008)은 위상차에 의한 부분유공케이슨에 작용하는 총 수평파력과 연직파력에 관한 연구를 수행하였고, Hur et al.(2008)은 혼성방파제가 설치되어 있는 3차원 파동장에서 파랑의 위상차를 고려한 혼성제 전·후면에서의 실작용파압에 대해 고찰하였으며, 최근 허동수와 이우동의 실작용(a)은 이중 슬릿케이슨 전면에서의 반사특성에 대하여 논의하였다. 한편, 경사입사파에 관한 연구로서는 염경선(2006)이 경사입사파에 의한 혼성방파제 전·후면에 작용하는 최대파압에 관한 연구를 수행하였고, 최근 허동수와 이우동(2009)은 경사입사파에 의한 이중 슬릿케이슨의 각 부재에 작용하는 순 작용파압에 관한 연구를 수행하였다. 하지만 이와 같은 연구들은

대부분 단편적인 구조물에 주변의 수리특성에 대해서 논의하고 있다.

따라서 본 연구에서는 허동수와 이우동(2007)이 제안한 강비선형 3차원 수치해석기법(LES-WASS-3D)을 이용하여 경사입사파에 의한 이중 슬릿케이슨 주변의 3차원 수리특성에 관하여 논의하기 위하여 경사입사조건(60~90°)의 변화를 고려하여 이중 슬릿케이슨 주변의 3차원 수리특성에 관하여 논의한다.

## 2. 수치해석기법

### 2.1 기초방정식(LES-WASS-3D)

본 연구에서는 경사입사파에 의한 이중 슬릿케이슨 주변의 3차원 수리특성에 관하여 논의하기 위하여 파·구조물·해저지반의 상호작용을 직접 해석할 수 있는 3차원 수치해석기법(LES-WASS-3D; 허동수와 이우동, 2007)을 이용하였다. LES-WASS-3D는 강비선형의 3차원 수치해석기법으로서 투과성구조물내의 유체저항으로 관성저항(Sakakiyama and Kajima, 1992), 난류저항(Ergun, 1952; van Gent, 1995) 및 층류저항(van Gent, 1995; Liu and Masliyah, 1999)의 고려가 가능하다. 또한 계산격자의 크기보다 작은 난류구조를 파악하기 위해 sub-grid scale 모델을 이용하는 Large Eddy Simulation 기법(Sub-Grid Scale model; Smagorinsky, 1963)을 도입하였다.

또한 유한차분법(FDM-Finite Difference Method)

1 국립경상대학교 해양과학대학 해양토목공학과 부교수

2 일본나고야대학 공학연구과 사회기반공학전공 박사과정

3 발표자: 국립경상대학교 해양과학대학 해양토목공학과 석사과정

의 적용에 따른 직각격자체계에서의 계단식 경사면처리를 보완하기 위하여 허동수 등(2008)이 제안한 경사면처리기술을 이용하여 사석마운드의 비탈면을 구성하였다.

## 2.2 수치파동수조 및 계산조건

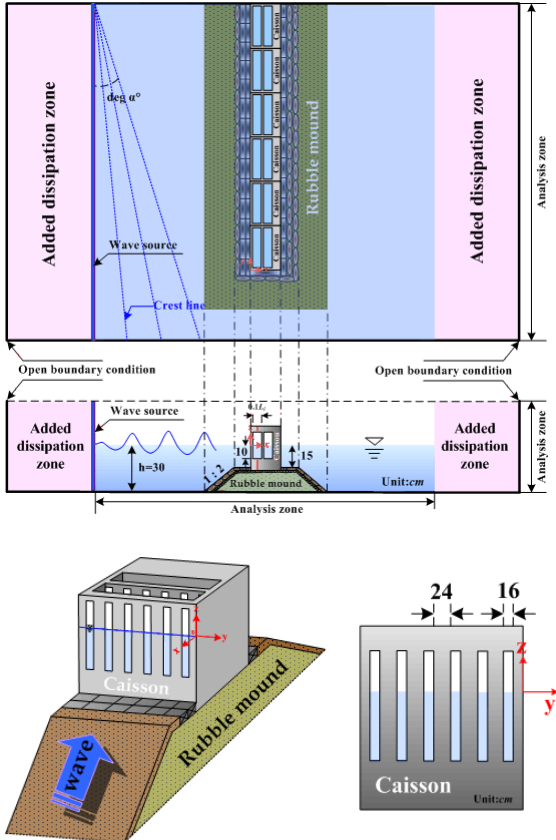


Fig. 1. Definition sketch of numerical wave basin used in this study.

Table 1. Incident wave conditions

Wave			CASE
Height	Period	Inclination	
$H_i(cm)$	$T_i(sec)$	$deg(\alpha^\circ)$	
5.0	1.5	90	1
		80	2
		70	3
		60	4

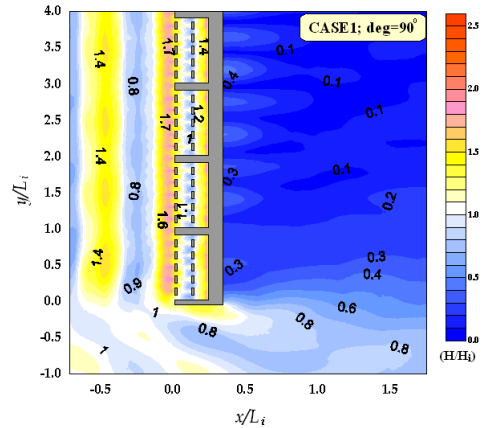
본 연구에서 경사입사파에 의한 이중 슬릿케이슨 주변의 3차원 수리특성에 관하여 논의하기 위하여 Fig. 1과 같은 3차원 수치파동수조를 구성하였다. 무

반사조파를 위해 계산영역의 양끝에는 부가감쇠영역 및 조파소스를 설치하였으며, 해석영역에는 비탈면경사 1:2인 사석마운드 위에 이중 슬릿케이슨 6함을 거치하였다. 케이슨의 유공률( $e$ )은 슬릿이 포함되는 부분을 기준으로 0.4를 적용하였다. 또한 적용한 입사파랑조건은 다음의 Table 1에 나타내었으며, 경사입사각  $deg(\alpha^\circ)$ 는 직립벽의 접선방향(길이방향)과 입사파랑의 진행방향과의 입사각을 나타낸다.

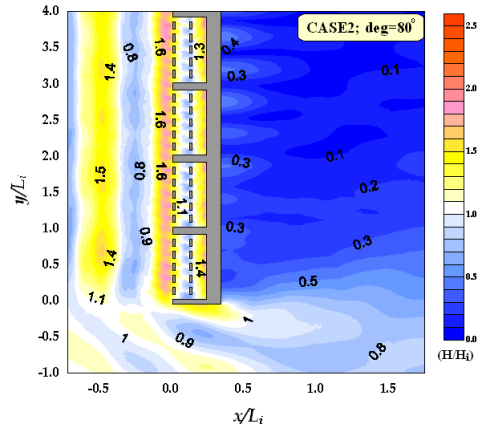
## 3. 수치해석결과

### 3.1 이중 슬릿케이슨 주변의 파고분포

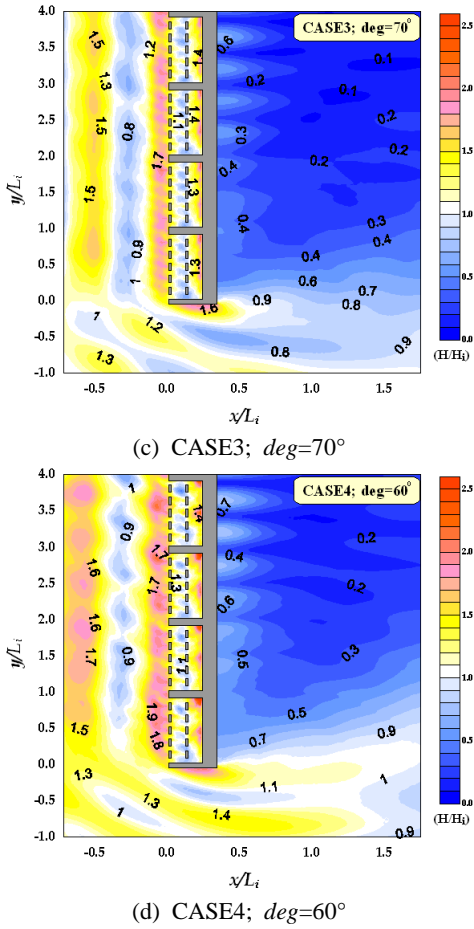
Fig. 2는 입사각( $deg$ )에 따른 이중 슬릿케이슨 주변의 파고분포를 입사파고( $H_i=5cm$ )에 대해 무차원하여 나타내고 있다. 그림 중의 붉은색은 입사파고보다 높은 파고를 파란색은 입사파고보다 낮은 파고를 의미한다. (a)는 파랑이  $90^\circ$ , (b)는 파랑이  $80^\circ$ , (c)는 파랑이  $70^\circ$ , (d)는 파랑이  $60^\circ$ 로 입사할 경우를 각각 나타내고 있다.



(a) CASE1;  $deg=90^\circ$



(b) CASE2;  $deg=80^\circ$



**Fig. 2.** Spatial distributions of non-dimensional wave heights due to variation of incident wave direction

Fig. 2로부터 케이스 전면에서는 입사각(deg)이 작아질수록 유수실내로 유입되는 파랑에너지가 작아짐과 동시에 반사파가 커짐으로 인하여 케이스 전면에서 발생하는 부분중복파의 파고가 상승함과 더불어 전면 슬릿벽 앞에서 높은 파고가 형성되는 것을 알 수 있으며, 유수실 내부에서는 직각 입사인 CASE1(deg=90°)의 경우 케이스의 뒷벽에서 파랑에너지가 집중되어 전체적으로 높은 파고가 나타나지만, 경사입사인 CASE4(deg=60°)의 경우에는 경사입사로 인하여 우각부에서 높은 파고가 나타나는 것을 확인할 수 있다.

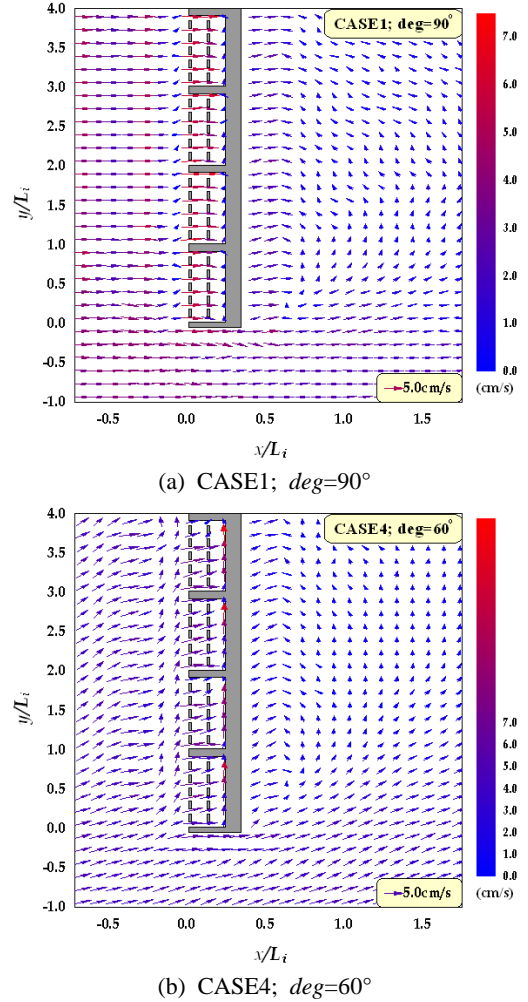
또한 방파제 배후에서는 입사각(deg)이 작아질수록 진행파가 배후로 회절하는 각이 작아짐으로 인하여 많은 파랑에너지가 케이스 배후로 유입되어 상대적으로 높은 파고를 형성하는 것을 알 수 있다.

### 3.2 이중 슬릿 케이스 주변의 흐름분포

Fig. 3은 이중 슬릿 잠체 주변의 상층흐름분포를 나타낸 것으로 (a)는 CASE1(deg=90°)의 경우, (b)는 CASE4(deg=60°)의 경우를 각각 나타낸다.

여기서 평균유속( $\overline{U}_{xy|z}$ )은 x-y평면상의 각 연직위치의 평균유속을 수심(연직)방향으로 적분한 평균유속이며, 식(1)을 이용하여 계산하였으며,  $t_i$ 는 정상상태 이후의 데이터 취득 시점을  $T_i$ 는 입사파의 주기를 나타낸다. 이때 상층의 범위는 정수면 아래 입사파고 깊이에서 자유수면까지 고려하였다.

$$\overline{U}_{xy|z} = \frac{1}{3T_i} \int_{-H_i}^{\eta} \int_{t_i}^{t_i+3T_i} \sqrt{u^2+v^2} dt dz \quad (1)$$



**Fig. 3.** Spatial distributions of mean flow of upper layer due to variation of incident wave direction

Fig. 3으로부터 입사각이 커질수록 즉, 직각에 가깝게 입사할수록 유수실내로 많은 흐름이 유입되는 것에 비해 케이슨 배후로 돌아들어가는 흐름은 약해지는 것을 확인할 수 있다. 반면 입사각이 작아질수록 케이슨 내부로 유입되는 흐름은 약해짐과 동시에 케이슨 배후로 유입되는 흐름은 강해지는 것을 확인할 수 있다. 또한 경사입사파의 영향으로 유수실내의 우각부에 흐름이 집중되는 현상이 나타난다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 허동수와 이우동(2007)이 제안한 강비선형 3차원 수치해석기법(LES-WASS-3D)을 이용하여 경사입사파에 의한 이중 슬릿케이슨 주변의 3차원 수리특성에 대해 논의하기 위하여 수치시뮬레이션을 수행하였다.

그 결과 케이슨 전면에서는 입사각(deg)이 작아질수록 유수실내로 유입되는 파랑에너지가 작아짐과 동시에 반사파가 커짐으로 인하여 케이슨 전면에서 발생하는 부분중복파의 파고가 상승하였으며, 배후에서는 입사각(deg)이 작아질수록 많은 파랑에너지가 유입되어 상대적으로 높은 파고가 형성되었다.

상층흐름분포에서는 입사각(deg)이 작아질수록 케이슨 내부로 유입되는 흐름은 약해짐과 동시에 케이슨 배후로 유입되는 흐름은 강해지는 것을 확인할 수 있다. 또한 경사입사파의 영향으로 유수실내의 우각부에 흐름이 집중되는 현상이 나타난다.

이상과 같이 경사입사파에 의한 이중 슬릿케이슨 주변의 3차원 수리특성을 파악하기 위해서는 본 연구에서 이용하는 것과 같은 3차원 수치해석기법(LES-WASS-3D)의 도입이 공학적인 측면에서 상당히 효율적인 것으로 판단된다.

#### 참고문헌

염경선. (2009). 혼성방파제에 작용하는 파력의 3차원 특성에 관한 연구. 석사학위논문, 경상대학교.  
 허동수, 이우동. (2007). 잠제 주변의 파고분포 및 흐름의 3차원적 특성, PART I - 해빈이 없는 경우. 대한토목학회논문집, 27(6B), 509-519.  
 허동수, 이우동, 배기성. (2008). 사각격자체계 수치모델에서의 경사면 처리기법에 관하여. 대한

토목학회논문집, 28(5B), 591-594.  
 허동수, 이우동. (2009a). 이중 유공슬릿 케이슨에 의한 반사특성. 한국해양공학회지, Submitted.  
 허동수, 이우동. (2009b). 이중 슬릿케이슨에 작용하는 경사입사파의 순 작용과압에 관하여. 한국해양과학기술협의회 공동학술대회 발표논문집, 2167-2170.  
 Chen X.F., Li Y.C. and Teng B. (2007). Numerical and simplified methods for the calculation of the total horizontal wave force on a perforated caisson with a top cover. Coastal Eng., 54, 67-75.  
 Ergun, S. (1952). Fluid flow through packed columns. Chem Eng., 48(2), 89-94.  
 Hur, D.S., Lee, K.H. and Yeom, G.S. (2008). The phase difference effects on 3-D structure of wave pressure acting on a composite breakwater. Ocean Eng., 35, 1826-1841.  
 Liu, S. and Masliyah, J.H. (1999). None-linear flows porous media. j. None-newtonian Fluid Mech., 86, 229-252.  
 Liu Y., Li Y.C., Teng B., Jiang J.J. and Ma B.L. (2008). Total horizontal and vertical forces of irregular waves on partially perforated caisson breakwaters. Coastal Eng., 54, 537-552.  
 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.  
 Tabet-Aoul, E.H. and Lambert, E. (2003). Tentative new formula for maximum horizontal wave forces acting on perforated caisson. Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Eng., ASEC, 129(1), 34-40.  
 Takahashi, S. (1996). Design of vertical breakwaters. Reference Document N34, Port and Harbor Research Institute, Japan.  
 van Gent, M.R.A. (1995). Wave interaction with permeable coastal structures. Ph.D. Thesis, Delft University The Netherlands.  
 小竹康夫, 興野俊也, 貝沼憲男, 藤原隆一, 石崎崇志. (1997). 一重・二重スリットケーソン堤の波力特性の相違について. 日本海岸工學論文集, 44, 846-850.