

LES-WASS-3D를 이용한 연안에서의 침수시물레이션

허동수* · 이우동** · 염경선***

*국립경상대학교 해양과학대학 토목환경공학부(해양산업연구소)

**국립경상대학교 대학원 해양토목공학과

***일본 나고야대학 공학연구과 사회기반공학전공

Inundation Simulation Using LES-WASS-3D in the Coastal Zone

DONG-SOO HUR*, WOO-DONG LEE** AND GYEONG-SEON YEOM***

*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

***Department of Civil Engineering, Nagoya University, Nagoya, Japan

KEY WORDS: Inundation 침수, Overtopping 월파 LES-WASS-3D 3차원수치해석기법 Sea level 조위 Plane arrangement of manhole 맨홀의 평면배치

ABSTRACT: The aim of this study is to investigate the inundation characteristics over coastal area due to the variation of sea level and plane arrangement of manholes using the 3D numerical model that is able to simulate directly interaction of Wave · Structure · Sandy beach(LES-WASS-3D). At first, The adopted model was validated through the comparison with an existing experimental data and showed fairly nice agreement. And then, the inundation characteristics over coastal area are discussed in relation to the variation of sea level and plane arrangement of manholes.

1. 서 론

최근, 지구온난화가 가속됨에 따라 해수면의 상승과 더불어 태풍의 강도가 커지고 있으며, 이에 따른 재해규모도 막대해질 것으로 예상되고 있다(허동수 등, 2008). 특히, 태풍으로 인한 폭풍해일고와 만조가 중첩될 경우 해안저지대에서는 침수로 인해 많은 인명손실과 막대한 재산피해가 발생하게 된다. 또한, 폭풍해일이 동반하고 있는 고파랑의 파랑에너지가 제내지에 그대로 전달되기 때문에 이로 인한 2차적인 피해가 우려된다.

지금까지의 침수해석에 관한 수치적 연구들은 거의 대부분이 평면2차원적인 연구로서, 김도삼 등(2007)은 최대폭풍해일고와 천해파랑을 산정(SWAN Model; Hasselmann et al., 1973)한 후, 2차원수치모델(CADMAS-SURF; 연안개발기술센터, 2001)을 이용하여 월파랑을 추정하고 이것을 다시 범람모델에 접합시켜 침수해석을 수행하였으며, 문승록 등(2006)과 천재영 등(2008)은 해역과 육상을 일체화한 격자구성으로 육상영역의 표고차이를 두어 해일 및 범람모의를 동시에 해석하였다. 한편, 인태훈 등(2004)은 비선형 천수방정식을 토대로 하는 사면구조 격자기법을 이용하여 지진해일시 섬에서 예상되는 범람영역과 지진해일 거동을 모의하였다. 하지만 이와 같은 연구들은 평면2차원적인 모델을 이용하는 연구로서 침

수시의 파랑의 특성은 고려하지 않고 있을 뿐만 아니라, 관거 등과 같은 지하구조물을 통한 역류와 배수에 관한 검토는 전혀 이루어지지 않고 있다.

한편, 지리정보시스템(GIS)의 발달은 침수해석분야까지 영향을 미치고 있으며, 최근에는 연안역에서의 침수해석까지 활용범위가 확대되고 있는 추세이다. 대표적인 예로서 연안지역의 지형, 환경, 및 각종 시설물 정보 등을 구축하여 Web GIS 기반으로 연안위험지역정보시스템이 개발되었으며(해양수산부, 2006; 박현철 등, 2005), GIS를 활용한 연안역에서의 침수지역 예측에 관한 연구(원대회 등, 2004; 이형석, 2006)들이 수행되고 있으나, 연안역에서의 침수특성을 고려하기에는 아직 미흡한 점이 많다.

따라서 본 연구에서는 태풍내습 시, 호안과 연결된 관거를 통한 배수 및 역류가 연안역의 침수고에 미치는 영향을 검토하기 위하여, 수리모형실험(Sakakiyama and Imai, 1996)과의 비교·검토를 통하여 타당성이 확인된 3차원모델(LES-WASS-3D; 허동수와 이우동, 2007)를 이용하여 소파호안으로 이루어진 가상의 시가지를 대상으로 침수시물레이션을 수행하였으며, 입사조건(조위, 주기)변화와 맨홀의 유무 및 평면배치의 변화에 따른 침수고의 특성에 대하여 논의하였다.

2. 수치해석이론

2.1 LES-WASS-3D Model의 개요

교신저자 허동수: 경남 통영시 인평동 445

055-640-3150 dshur@gsnu.ac.kr

허동수와 이우동(2007)에 의해 개발된 3차원모델, LES-WASS-3D는 기초방정식으로서 투과성구조를 위한 조파소스(조파원천)항이 포함된 연속방정식(1)과 투과성구조물에 대한 적용을 위하여, 유체저항을 도입한 수정된 Navier-Stokes 운동방정식(2)-(4)과 자유수면을 모의하기 위한 VOF함수의 이류방정식 (5)로 구성된 3차원 수치해석수법으로 파·구조물·해저지반의 상호작용의 영향을 직접 고려할 수 있다. 또한, 기존의 3차원 수치해석수법(Hur and Mizutani, 2003; Hur, 2004)를 토대로 sub-grid scale 모델을 이용하는 Large Eddy Simulation 기법(Sub-Grid Scale model; Smagorinsky, 1963)을 도입하여 격자크기 보다 작은 난류구조의 재현이 가능하도록 확장한 3차원모델이다. 또한, 투과성구조물의 유체저항으로서 관성저항(Sakakiyama and Kajima, 1992), 난류저항(Ergun, 1952; van Gent, 1995) 및 층류저항(van Gent, 1995; Liu and Masliyah, 1999)을 도입하여 투과성구조물의 입경 및 공극에 따른 유체저항의 특성을 재현할 수 있다.

$$\frac{\partial(\gamma_x u)}{\partial x} + \frac{\partial(\gamma_y v)}{\partial y} + \frac{\partial(\gamma_z w)}{\partial z} = q^* \quad (1)$$

$$\begin{aligned} & \gamma_v \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial(\gamma_x u)}{\partial x} + v \frac{\partial(\gamma_y u)}{\partial y} + w \frac{\partial(\gamma_z u)}{\partial z} \\ & = -\gamma_v \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \left[\frac{\partial}{\partial x} \left\{ \gamma_x \nu_t \left(2 \frac{\partial u}{\partial x} \right) \right\} + \frac{\partial}{\partial y} \left\{ \gamma_y \nu_t \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right\} \right] \\ & \quad \left[+ \frac{\partial}{\partial z} \left\{ \gamma_z \nu_t \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right) \right\} \right] \\ & - M_x - D_x - F_x \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} & \gamma_v \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial(\gamma_x v)}{\partial x} + v \frac{\partial(\gamma_y v)}{\partial y} + w \frac{\partial(\gamma_z v)}{\partial z} \\ & = -\gamma_v \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \left[\frac{\partial}{\partial x} \left\{ \gamma_x \nu_t \left(\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right) \right\} + \frac{\partial}{\partial y} \left\{ \gamma_y \nu_t \left(2 \frac{\partial v}{\partial y} \right) \right\} \right] \\ & \quad \left[+ \frac{\partial}{\partial z} \left\{ \gamma_z \nu_t \left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right) \right\} \right] \\ & - M_y - D_y - F_y - \frac{2v}{3} \frac{\partial q^*}{\partial y} \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} & \gamma_v \frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial(\gamma_x w)}{\partial x} + v \frac{\partial(\gamma_y w)}{\partial y} + w \frac{\partial(\gamma_z w)}{\partial z} \\ & = -\gamma_v \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \left[\frac{\partial}{\partial x} \left\{ \gamma_x \nu_t \left(\frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} \right) \right\} + \frac{\partial}{\partial y} \left\{ \gamma_y \nu_t \left(\frac{\partial w}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial z} \right) \right\} \right] \\ & \quad \left[+ \frac{\partial}{\partial z} \left\{ \gamma_z \nu_t \left(2 \frac{\partial w}{\partial z} \right) \right\} \right] \\ & - M_z - D_z - F_z - \frac{2v}{3} \frac{\partial q^*}{\partial z} - \gamma_v g - \beta w \end{aligned} \quad (4)$$

여기서 u, v, w 는 x, y, z 방향의 속도성분, γ_v 는 체적공극율(volume porosity), $\gamma_x, \gamma_y, \gamma_z$ 는 x, y, z 방향에 대한 면적투과

율(surface permeability)을 나타내며, t 는 시간, g 는 중력가속도, ρ 는 유체의 밀도, p 는 압력, β 는 부가감쇠영역을 제외하고는 0으로 주어지는 파랑감쇠계수이다. ν 는 동점성계수, ν_t 는 동점성계수(ν)와 외동점성계수(ν_t)의 합을 나타내고, q^* 는 조파소스(조파원천)의 유량밀도를 나타낸다. 또한, 식(5)의 VOF함수 F 는 각 셀에 대해 유체가 차지하고 있는 체적비율을 나타낸다.

$$\frac{\partial(\gamma_v F)}{\partial t} + \frac{\partial(\gamma_x F u)}{\partial x} + \frac{\partial(\gamma_y F v)}{\partial y} + \frac{\partial(\gamma_z F w)}{\partial z} = F q^* \quad (5)$$

투과성구조물 내에서의 유체저항으로서 M_x, M_y, M_z 는 관성저항(식 (6)-(8))과 D_x, D_y, D_z 는 난류저항(식 (9)-(11)), E_x, E_y, E_z 는 층류저항(식 (12)-(14))으로서 결정된다.

$$M_x = (1 - \gamma_v) C_M \frac{D_u}{D_t} = (1 - \gamma_v) C_M \left\{ \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right\} \quad (6)$$

$$M_y = (1 - \gamma_v) C_M \frac{D_v}{D_t} = (1 - \gamma_v) C_M \left\{ \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \right\} \quad (7)$$

$$M_z = (1 - \gamma_v) C_M \frac{D_w}{D_t} = (1 - \gamma_v) C_M \left\{ \frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right\} \quad (8)$$

$$D_x = \frac{1}{2} C_D \frac{(1 - \gamma_x)}{D_P \gamma_x} u \sqrt{(\gamma_x u)^2 + (\gamma_y v)^2 + (\gamma_z w)^2} \quad (9)$$

$$D_y = \frac{1}{2} C_D \frac{(1 - \gamma_y)}{D_P \gamma_y} v \sqrt{(\gamma_x u)^2 + (\gamma_y v)^2 + (\gamma_z w)^2} \quad (10)$$

$$D_z = \frac{1}{2} C_D \frac{(1 - \gamma_z)}{D_P \gamma_z} w \sqrt{(\gamma_x u)^2 + (\gamma_y v)^2 + (\gamma_z w)^2} \quad (11)$$

$$E_x = C_E \frac{\nu}{D_p^2} \frac{(1 - \gamma_x)^2}{\gamma_x} u \quad (12)$$

$$E_y = C_E \frac{\nu}{D_p^2} \frac{(1 - \gamma_y)^2}{\gamma_y} v \quad (13)$$

$$E_z = C_E \frac{\nu}{D_p^2} \frac{(1 - \gamma_z)^2}{\gamma_z} w \quad (14)$$

여기서, C_M 은 관성력계수, C_D 는 난류저항계수, C_E 는 층류저항계수, D_P 는 투과체의 평균입경이며, 나머지 수치해석기법에 대한 세부적인 내용에 대해서는 허동수와 이우동(2007)을 참조하기 바란다.

2.2 LES-WASS-3D Model의 검증

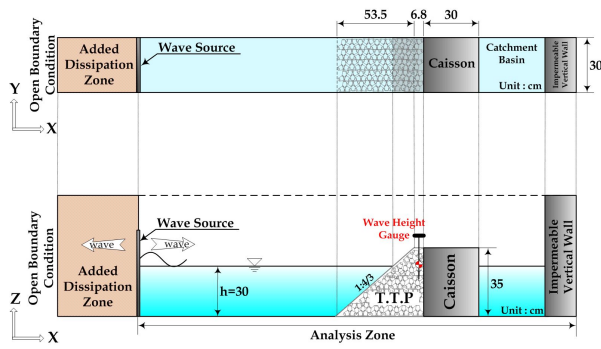
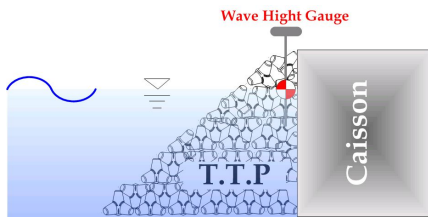
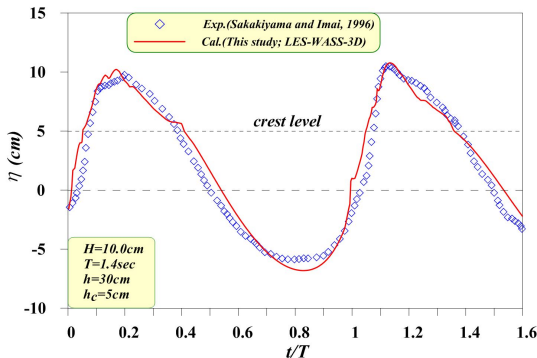


Fig. 1 Definition sketch of numerical wave basin based on the experiments by Sakakiyama and Imai(1996)



(a) Measuring point of water surface elevation



(b) Time-variation of water surface elevation

Fig. 2 Comparison between measured(Sakakiyama and Imai, 1996) and calculated water surface elevation in front of absorbing revetment

고정도의 침수해석을 위해서는 정확한 월파량산정이 선행되어야 한다. 따라서 본 연구에서는 LES-WASS-3D 모델의 타당성 검증을 위하여, Fig. 1과 같은 Sakakiyama and Imai(1996)의 월파에 관한 수리모형실험수조에 근거한 3차원 수치파동수조를 이용하였다. 파의 무반사 조파를 위해 offshore측에는 조파소스 및 부가감쇠영역을 두었고, onshore측에는 비탈면경사 1:4/3를 가진 소파블록과 직립케이스으로 구성되며, 폭 30cm, 수심 30cm, 천단고 5cm로 구성되었다.

Fig. 2는 수리모형실험(Sakakiyama and Imai, 1996)의 결과

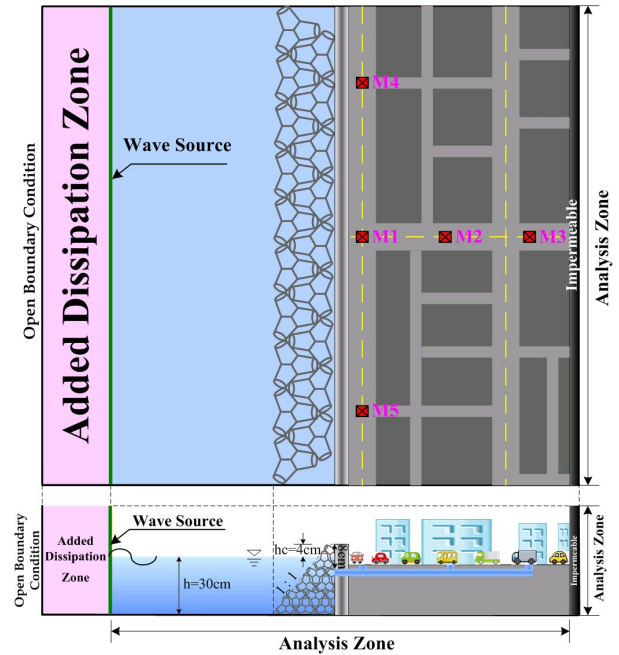


Fig. 3 Definition sketch of 3-D numerical wave basin

와 LES-WASS-3D의 계산결과의 비교를 나타내고 있으며, Fig. 2(a)에 나타난 바와 같이 소파호안의 직립벽 전면 중앙단면에서의 수위변동을 비교한 것이 Fig. 2(b)이다. 이 때, 파의 입사 조건은 $H=10.0cm$, $T=1.4sec$ 이다.

그림으로부터 LES-WASS-3D의 계산과형이 실험치를 잘 재현하고 있는 것을 알 수 있으며, 한정된 조건 아래에서의 검증이기는 하지만, 이로서 LES-WASS-3D의 타당성이 일정부분 확보되었다고 판단된다.

2.3 수치파동수조 및 입사조건

본 연구에서는 입사조건(조위, 주기)변화, 맨홀의 유무 및 평면배치에 따른 가상시가지에서의 침수특성을 파악하기 위하여, Fig. 3과 같은 3차원 수치파동수조를 이용하였으며, 파의 재반사를 방지하기 위해 입사파경계에 조파소스(조파원천)를 이용하였으며 offshore측에는 부가감쇠영역을 설치하였다. 해석영역에는 1:1의 경사를 가진 소파호안과 배후에 일정한 경사를 가진 가상시가지를 구성하였으며, 호안의 소파제는 평균입경(D_{50}) 4cm, 체적공극률(V_v) 0.4로 구성하였다. 또한, 가상시가지에서 바다로 연결되는 관거를 매설하고 맨홀을 설치하여 수치시물레이션을 수행하였다.

본 연구에서는 입사조건으로서 입사파고($H_i=8cm$)를 고정하고, 조위 및 주기의 변화와 맨홀의 평면배치를 고려하였으며, CASE2-1~2-4는 맨홀을 종방향(x방향)으로 배열(M1-M2-M3)하여 3개의 맨홀이 1개의 관거에 연결되어 있는 형태이고, CASE3-1~3-4는 횡방향(y방향)의 배열(M4, M1, M5)로 독립적인 형태를 가진다. 즉, 각각의 관거에 1개씩의 맨홀이 연결되어 있는 형태이다. 이상의 조건에 따른 가상시가지의 평균침수심과 맨홀의 평면배치에 따른 침수특성에 관하여 검토를

Table 1 Test conditions for inundation analysis

Manhole	T_i (sec)	hc (cm)	CASE	
×	1.4	4	1-1	
		2	1-2	
		0	1-3	
	1.2	0	1-5	
		1.6	0	1-6
			4	2-1
M1, M2, M3	1.4	2	2-2	
		0	2-3	
		-2	2-4	
		4	3-1	
M1, M4, M5	1.4	2	3-2	
		0	3-3	
		-2	3-4	
		4	3-1	

수행하였으며, 침수시뮬레이션에 이용된 상세한 사항은 Table 1에 나타내었다.

3. 침수해석결과

3.1 기상시가지의 평균침수심분포

Fig. 4의 평균침수심은 소파호안의 천단상을 통한 월파와 월류 및 관거를 통한 역류로 인하여 소파호안 배후로 유입된 해수의 총량을 입사파 주기 동안 기상시가지에서 침수 가능한 면적에 대해 평균하여 나타내었다.

Fig. 4의 평균침수심으로부터 맨홀이 설치되어 있지 않은 경우(CASE1-1~1-6)에는 예상한 바와 같이 조위가 상승할수록 월류량 및 월파량이 증가하고, 주기가 길어질수록 월파량이 증가하므로 평균침수심이 증가하는 것을 확인할 수 있다. 맨홀을 설치한 경우(CASE2-1~3-3) 관거를 통한 역류량의 증가로 인하여 그렇지 않은 경우(CASE1-1~1-4)보다 평균침수심이 증가하는 것을 확인할 수 있다. 또한, 맨홀의 평면배치에 따른 평균침수심의 변화는 조위가 낮은 경우에는 그다지 큰 차이를 나타내지 않지만, 조위가 높은 경우에는 맨홀을 설치하지 않은 경우에 비해 약 2배 정도의 평균침수심 차이를 확인할 수 있다. 이와 같은 현상은, 조위가 낮은 경우 맨홀을 통한 역류현상의 영향이 충분히 고려되지 않으나, 조위가 천단보다 높은 경우($hc=-2cm$)에는 맨홀을 통한 역류량의 증가로 인하여 평균침수심이 증가하기 때문이다. 또한, 각각의 관거에 맨홀이 횡방향으로 연결되어 있는 경우(CASE3-4)가 1개의 관거에 3개의 맨홀이 종방향으로 연결된 경우(CASE2-4)보다 평균침수심이 증가하는 것을 확인할 수 있는데, 이는 맨홀의 평면배치가 횡방향인 경우(CASE3-4)에는 연안역에 가깝게 위치하고 있으므로 각각의 관거를 통한 역류량이 증가하기 때문이다.

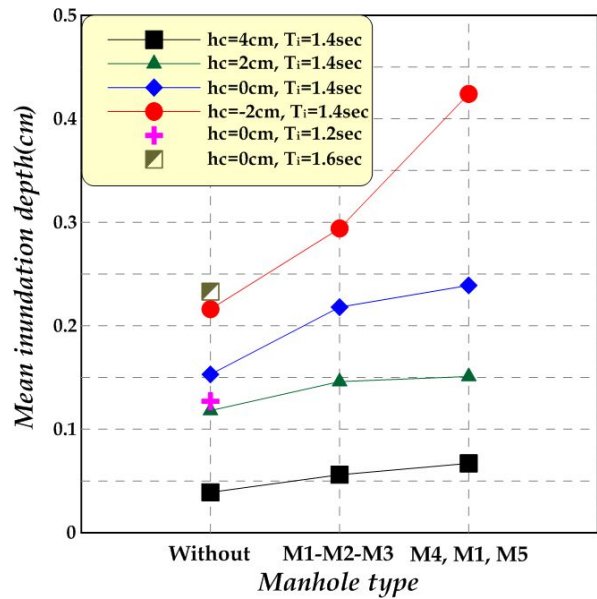


Fig. 4 Effects of variation of sea level and plane arrangement of manholes on mean inundation depth over coastal area

3.2 x-z단면의 평균유속장 및 평균수위분포

Fig. 5는 조위가 천단보다 낮은 $hc=2cm$ 의 경우, 맨홀의 평면배치에 따른 x-z단면 중앙부의 평균유속 및 평균수위분포를 나타낸 것으로 평균유속 $\overline{U_{xz}}$ 는 x-z평면상의 각 지점의 유속 성분(u, w)을 2주기 동안 평균한 유속으로, 식 (15)를 이용하여 계산하였으며, 평균수위 $\overline{\eta}$ 는 식(16)을 이용하여 계산하였다. 여기서, t_i 는 데이터 취득 시점을 T_i 는 입사파의 주기를 나타낸다.

$$\overline{U_{xz}} = \frac{1}{2T_i} \int_{t_i}^{t_i+2T_i} \sqrt{u^2 + w^2} dt \quad (15)$$

$$\overline{\eta} = \frac{1}{2T_i} \int_{t_i}^{t_i+2T_i} \eta dt \quad (16)$$

Fig. 5(a)는 맨홀을 설치하지 않은 경우(CASE1-2)를 (b)는 맨홀을 종방향으로 설치하였을 경우(CASE2-2)를 (c)는 맨홀을 횡방향으로 설치하였을 경우(CASE 3-2)를 각각 나타내고 있다. 그림으로부터 맨홀이 설치되지 않은 (a) CASE1-2의 경우가 맨홀이 설치된 경우보다 천단을 통한 월파 및 월류량이 미세하지만 증가(천단배후부분의 월류 폭 참조) 하는 것을 확인할 수 있다. 이는 관거가 설치되지 않음으로서 그렇지 않은 경우((b) CASE2-2, (c) CASE3-2)보다 불투과호안의 영향을 크게 받음으로서 평균수위 상승 및 부분중복파의 증대로 인하여 나타난다고 판단된다. 또한, 1개의 관거에 3개의 맨홀이 연결된 (b) CASE2-2와 각각의 관거에 맨홀이 연결된 (c) CASE3-2의 경우, 관거를 통한 역류 현상으로 인하여 천단을

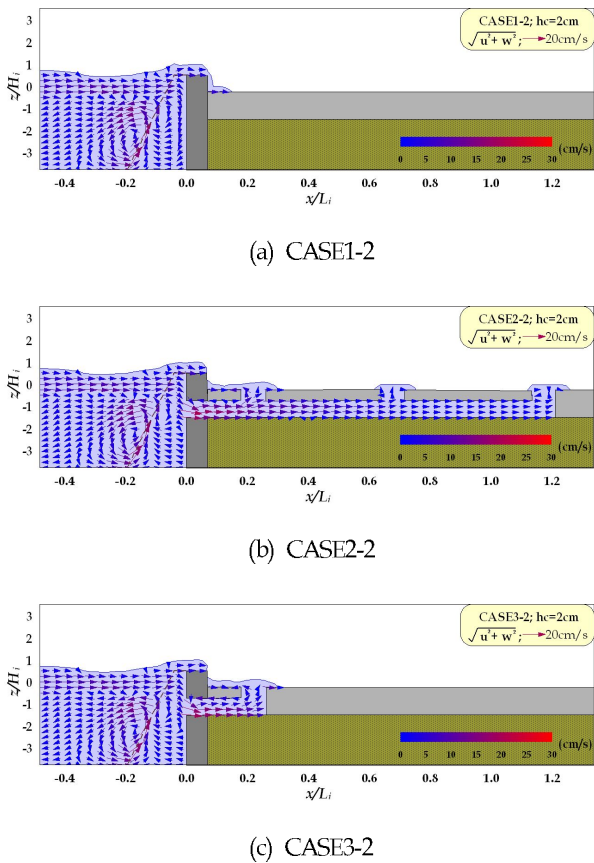


Fig. 5 Spatial distribution of mean velocity and wave setup of x-z section due to plane arrangement of manhole

통한 월류 및 월파가 전파하기 전에 이미 맨홀을 통해 빠져 나가는 현상을 확인할 수 있다. 이로부터 다음 장에서도 논의하겠지만, 맨홀의 유무 및 평면배치가 연안역의 침수특성에 상당한 영향을 미친다는 것을 알 수 있다.

3.3 기상시가지의 침수특성

Fig. 6은 조위가 천단보다 낮은 $hc=2cm$ 의 경우, 맨홀의 평면배치에 따른 침수시뮬레이션 결과로서 2주기 동안 월파가 진행된 상태를 나타내고 있다. 그림 (a)는 맨홀을 설치하지 않은 경우(CASE1-2)를 (b) 와(c)는 맨홀을 종방향(CASE2-2)과 횡방향(CASE 3-2)으로 배치한 경우를 각각 나타내고 있다.

그럼으로부터 앞서 논의한 평균침수심분포에서는 큰 차이를 나타내고 있지 않지만, 맨홀의 설치 및 평면배치에 따라 상이한 침수특성을 나타내고 있다. 맨홀이 설치되지 않은 (a) CASE1-2에는 소파호안의 천단을 통한 월파로 인하여 호안의 배후 도로가 일부 침수된 것을 확인할 수 있고, 맨홀을 종방향으로 설치한 (b) CASE 2-2에서는 호안부근의 맨홀이 없는 장소에서는 (a) CASE1-2와 유사한 침수분포를 나타내고 있지만, 시가지의 중앙도로에 설치된 맨홀 부근에서는 역류현상에 의해서 침수가 계속 진행 중이다. 또한, 횡방향으로 맨홀이

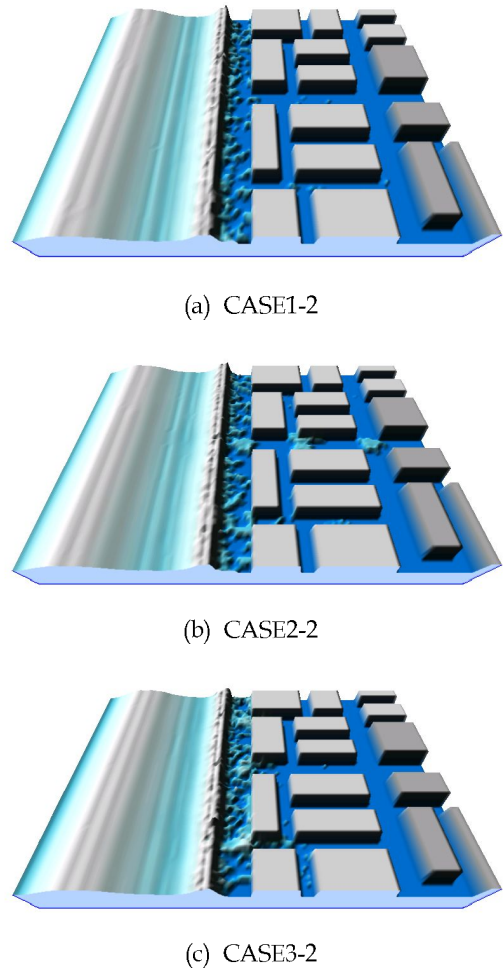


Fig. 6 Comparison of inundation simulation results due to plane arrangement of manhole

설치된 (c) CASE3-2의 경우에서는 소파호안의 천단상을 통한 월파와 맨홀을 통한 역류의 영향으로 소파호안 배후의 도로가 대부분 침수된 상태인 것을 확인할 수 있다. 이와 같이 맨홀의 평면배치에 따라 상이한 침수특성을 나타내고 있으므로 침수피해에 자주 노출되는 해안 도시, 산업단지 및 항만 등을 계획할 경우 하수·오수관개의 적절한 평면배치에 대한 검토가 매우 중요할 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 입사조건(조위, 주기)변화 및 맨홀의 평면배치에 따른 기상시가지에서의 침수해석을 실시하기 위하여, 허동수와 이우동(2007)에 의해 개발된 3차원 수치해석기법, LES-WASS-3D를 이용하였다.

본 연구에서 이용한 수치모델 LES-WASS-3D(허동수와 이우동, 2007)의 검증은 위하여 기존의 수리모형실험치(Sakakiyama and Imai, 1996)와 비교·검토하여 그 타당성을

확인하였으며, 검증된 LES-WASS-3D를 이용하여 소파호안의 천단을 통한 월파 및 월류와 맨홀을 통한 역류에 의한 가상 시가지에서의 침수특성을 파악하였다. 이로부터 얻어진 중요한 사항을 기술하면 아래와 같다.

1. 조위가 상승할수록 월파량 및 월류량이 현저히 증가하며, 또한 입사파의 주기가 길어질수록 월파량의 증가로 인하여 연안역에서의 침수심이 증가한다.

2. 일정조위 이상일 경우, 연안역에 맨홀이 설치된 경우가 설치되지 않은 경우에 비해 관거를 통한 역류현상으로 인해 평균침수심이 급격히 증가한다.

3. 전반적인 침수특성은 맨홀의 설치 유무 및 명면배치에 따라 상이하게 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 침수 피해에 자주 노출되는 해안 도시, 산업단지 및 항만 등의 계획/설계를 할 경우 하수·오수관거의 적절한 평면배치에 대한 검토가 매우 중요할 것으로 판단된다.

이상과 같은 배경에 근거하여, 연안역에서의 고정도의 침수 해석을 위해서 본 연구에서 이용한 것과 같은 3차원 수치해석수법(LES-WASS-3D; 허동수와 이우동, 2007)을 적용한다면, 침수특성의 3차원적인 분석·검토에 크게 기여할 것으로 생각되며, 앞으로 이와 같은 연구는 필수적으로 수행되어야 할 것으로 판단된다.

후 기

본 논문의 원본은 대한민국 제주도에서 2008년 5월 29~5월 30일에 개최된 한국해양과학기술협의회 공동학술대회에 발표된 것임을 밝힙니다.

참 고 문 헌

김도삼, 김지민, 이광호, 이성대 (2007). "연안역에서 고파랑과 폭풍해일을 고려한 침수해석", 한국해양공학회지, 제21권, 제2호, pp 35-41.

문승록, 박선중, 강주환, 윤종태 (2006). "MAKE 21 모형을 이용한 목포해역 해일/범람모의", 한국해안·해양공학회지, 제18권, 제4호, pp 348-359.

박현철, 김형섭, 조명희 (2005). "Web GIS를 이용한 연안위험 취약지역 정보시스템 구축", 한국지리정보학회지, 제8권, 제4호, pp 155-164.

원대회, 김계현, 박태욱, 최현우, 곽태식 (2004). "GIS를 활용한 연안침수지도 제작에 관한 연구", 한국지형공간정보학회 논문집, 제12권, 제1호, pp 67-77.

이형석 (2006). "GIS를 이용한 지진해일시 연안의 침수 흔적 및 예상 지역분석", 한국측량학회지, 제24권, 제2호, pp 175-182.

인태훈, 박구용, 조용식 (2004). "사면구조 격자에 의한 지진해일의 범람영역", 한국방재학회논문집, 제4권, 제2호, pp 71-76.

천제영, 이광호, 김지민, 김도삼 (2008). "태풍 매미(0314호)에 의한 마산만 주변연안역에서의 범람해석", 한국해양공학회지, 제22권, 제3호, pp 8-17.

해양수산부 (2006). "연안위험취약지역정보", <http://www.coast.go.kr/>.

허동수, 이현우, 이우동, 배기성 (2008). "수퍼태풍 내습 시 부산·경남 연안역의 폭풍해일고", 한국해안·해양공학회지, 제20권, 제1호, pp 128-136.

허동수, 이우동 (2007). "잠재 주변의 파고분포 및 흐름의 3차원 특성; PART I-해빈이 없을 경우", 대한토목학회논문집, 제27권, 제6B호, pp 689-701.

연안개발기술센터 (2001). "CADMAS-SURF 수치파동수로의 연구개발" (in japanese).

Ergun, S. (1952). "Fluid Flow Through Packed Columns", Chem Eng., Vol 48, No 2, pp. 89-94.

Hasselmann, K., Barnett, T.P., Bouws, E., Carlson, H., Cartwright, D.E., Enke, K., Ewing, J.A., Gienapp, H., Hasselmann, D.E., Kruseman, P., Meerburg, A., Müller, P., Olbers, D.J., Richter, K., Sell, W. and Walden, H. (1973). "Measurements of Wind-Wave Growth and Swell Decay During the Joint North Sea Wave Project(JONSWAP)", Dtsch. Hydrogr. Z. Suppl., 12, A8.

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. and Masliyah, J.H. (1999). "Non-linear Flows in Porous Media", J. Non-Newtonian Fluid Mech., Vol 86, pp 229-252.

Sakakiyama, T. and Kajima, R. (1992). "Numerical Simulation of Nonlinear Wave Interacting with Permeable Breakwater" Proc. 23rd Int. Conf. Coastal Eng., ASCE, pp 1517-1530.

Sakakiyama, T. and Imai, S. (1996). "Numerical Simulation of Overtopping on the Wave Absorbing Revetment" Proc. Coastal Eng., JSCE, Vol 43, pp 696-700 (in japanese).

Smagorinsky, J. (1963). "General Circulation Experiments with the Primitive Equation. Mon. Weath", Rev., Vol 91, No 3, pp 99-164.

van Gent, M.R.A. (1995). "Wave Interaction with Permeable Coastal Structures", Ph.D. Thesis, Delft University The Netherlands.

2008년 7월 17일 원고 접수

2008년 8월 11일 최종 수정본 채택