

# 초대형 부유구조물 배후의 파랑 및 해빈류 계산에 관한 고찰

신승호\* · 경조현\*\* · 홍사영\*\*\* · 홍기용\*\*\*\*

\*, \*\*\*, \*\*\*\* 한국해양연구원 해양시스템안전연구소 해양시스템기술연구본부 책임연구원

\*\* 한국해양연구원 해양시스템안전연구소 해양시스템기술연구본부 선임연구원

## Investigation of the Calculating Methods for Waves and Nearshore currents behind Very Large Floating Structure

Seung-Ho Shin\* · Jo-Hyun Kyoung\*\* · Sa-Young Hong\*\*\* · Keyyong Hong\*\*\*\*

\*,\*\* Ocean Engineering Research Dept., Maritime & Ocean Engineering Research Institute, KORDI, Daejeon 305-343, Korea

요 약 : 부유식 해상공항과 같은 초대형 부체 구조물(VLFS)의 연안역 설치 후 발생할 수 있는 배후의 해빈변형을 예측하기 위한 토대를 마련하기 위한 기초 연구를 수행하였다. 이를 위해 일정 사면을 가진 천해역에서의 실험 결과를 통하여 비교적 수심이 깊은 곳에 설치된 매립식 구조물 배후에서의 파랑 및 해빈류를 개관하였으며, 매립식 및 부유식 해상 구조물 설치 시 주변 해역의 파랑 및 해빈류장을 계산하였다. 파랑장에 있어서 라프라스 방정식 토대로 유한요소법을 도입한 3차원 파랑 변형 계산을 수행함으로써 매립식 및 부유식 구조물 모두에 대해 적용 가능하였으며, 해상 구조물의 설치 형식이 매립식 및 부유식 경우에 대해 파랑, 해빈류 분포의 변화를 관찰할 수 있었다.

핵심용어 : 초대형 부체 구조물, 파랑분포, 해빈류, 해빈변형, 유한요소법, 매립식 구조물, 부유식 구조물

### 1. 서 론

연안을 중심으로 한 경제 활동은 연안 도시의 고밀도 이용으로 이어져 이로 인해 육지에서의 광범위한 가용 부지의 부족을 낳아 대규모 용지가 필요로 하는 경우(예를 들면, 공항 등)는 해양 공간으로의 진출이 필연적이다. 그러나 해양 공간에 임의의 구조물을 건설하게 되면 필연적으로 주변 해역의 환경적 변화를 수반하게 되며, 변화의 범위는 구조물의 규모가 커질수록 더욱 확대되어 가리라 예상된다.

국내외를 불문하고 지금까지 대규모 해양 공간의 이용은 주로 매립을 기반으로 행해져 왔으나, 해역의 환경 변화에 대한 우려가 확대되어감에 따라 그 실시에 어려움이 많아 최근에는 상황에 따라 이동 및 철거 등이 용이한 부유식 구조물의 이용을 제안하기도 한다.

연안 해역 시설물의 설치 혹은 건설로 인해 직접적으로 발생할 수 있는 해양 물리적 환경 변화는 해역의 수질, 저질의 변화와 인근 해변의 침식 및 퇴적환경 변화로 대별할 수 있다. 전자는 시설물이 위치함으로 인한 주변 해수 흐름의 변화에 기인하

지만, 후자는 토사 이동 환경변화에 그 원인이 있는데 이는 시설물의 차폐 효과로 인해 표사의 주기진력인 파랑 및 해빈류장이 변하기 때문이다.

파의 작용에 의해 발생하는 소류표사 및 부유표사는 그 자체로서도 공간적인 이동이 일어나지만, 쇄파대에서는 정상평균류(定常平均流)인 해빈류(nearshore current)의 형성으로 인해 공간적 이동이 더욱 촉진되어 주변 침식 및 퇴적 환경에 큰 변화를 야기하게 된다. 결국 파랑장과 해빈류장의 변화 상황을 파악하는 것은 개략적인 표사의 이동 방향 및 강도를 예측하는데 도움이 된다.

연안 해역에서의 구조물 설치의 주변 해역의 파랑 분포의 변화와 사면을 가진 천해역에서의 쇄파로 인해 라디에이션 응력의 공간 분포 변화(Longuet-Higgins and Stewart, 1964)를 야기하여 해빈류를 발달시키게 된다.

일반적으로 매립식 구조물에 대한 파랑 및 해빈류의 계산은 파랑장의 수치계산(평면 2차원) 결과를 토대로 라디에이션 응력 분포를 산정하고 다시 이의 공간 분포를 기진력으로 하여 수심평균된 흐름(해빈류)를 재산정하는 방식으로 이루어져왔으

\*대표저자 : 신승호(중신회원), shinsh@moeri.re.kr 042)868-7584

\*\* johyun@moeri.re.kr 042)868-7522

\*\*\* sayhong@moeri.re.kr 042)868-7521

\*\*\*\* (중신회원), kyhong@moeri.re.kr 042)868-7511

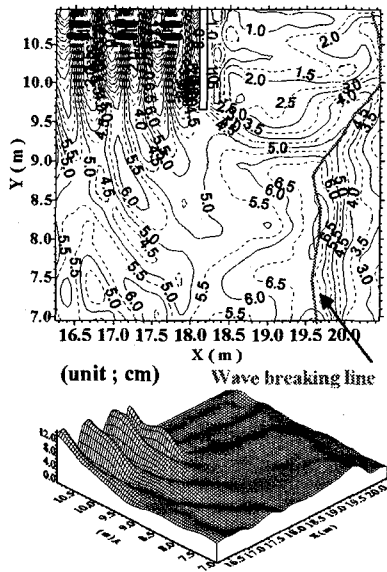


Fig. 1 An experimental result of the wave height distribution.

며, Boussinesq 방정식을 토대로 평면 파랑장과 함께 해빈류를 산정할 수도 있다(申 등, 2001). 그러나 천해 가변 수심조건에 대한 부유식 구조물의 검토 예도 많지 않을 뿐만 아니라 계산법 자체도 확립되지 못해 부유식 구조물 배후의 파랑장 및 해빈류에 대한 계산 예를 찾기 힘들다.

본 연구는 부유식 해상공항과 같은 대규모 부체 구조물(Very Large Floating Structure, 이하 VLFS 라 칭함)이 연안역에 설치되는 경우를 상정하고 설치 후 발생할 수 있는 배후의 해빈 변형을 예측하기 위한 기초를 마련하기 위해 일정 사면을 가진 천해역에서의 실험 결과를 통하여 비교적 수심이 깊은 곳에 설치된 매립식 구조물 배후에서의 파랑 및 해빈류를 개관하고 부체 구조물로 인한 파랑장과 해빈류장의 계산법에 관해 고찰하고자 한다.

## 2. 이안제 배후의 파랑 및 해빈류

일반적으로 이안제는 높은 파랑의 침입으로부터 해안선의 침식을 방지할 목적으로 설치되는 경우가 많으며, 이때 쇄파대 내에 위치하는 경우가 많다. 그러나 申(2001)은 외해에 설치한 대규모 해상 구조물 배후의 해빈변형을 다루면서 해상 공항을 상정한 이안제 형상의 외해 구조물을 비교적 깊은 수심인 쇄파대 외측에 배치하고 배후의 파랑, 해빈류 분포 및 해빈변형을 수리 실험을 통해 상세히 계측하였다.

Fig. 1은 申(2001)의 연구에서 계측된 외해 구조물(이안제) 주변의 파랑 분포이다. 파는 좌측에서 우측으로 입사(입사파고 5cm, 주기 1.0s)하고 있으며, 1/20의 해저면 경사의 수심 15cm에 설치한 이안제 형상 구조물의 길이는 1.5m(현상의 대칭성에 의해 3m의 이안제에 해당)로 하고 있다. 그림에서 이안제에 의

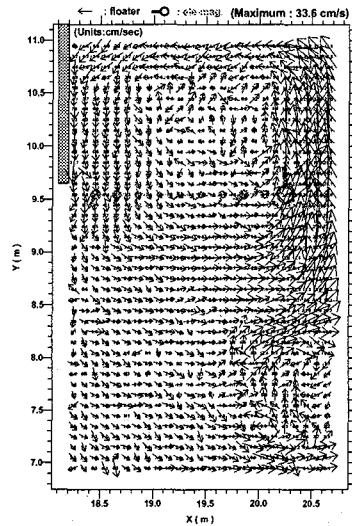


Fig. 2 An experimental result of the nearshore currents.

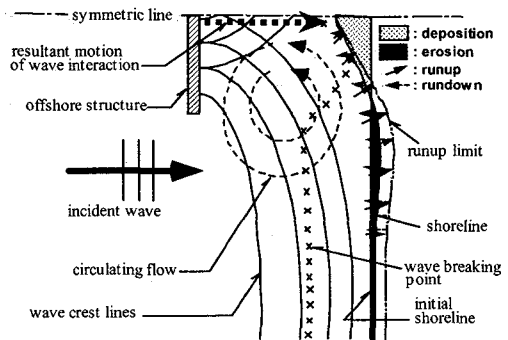


Fig. 3 Littoral processes behind the offshore structure.

한 차폐의 영향을 받지 않는 범위( $Y \leq 8.5m$ )는 수심이 얇아짐에 따라 천수변형에 의한 파고가 증폭됨을 확인할 수 있으며 이 경우 쇄파는 수심 7.5cm 전후의 지점에서 일어나고 있지만, 이안제 끝단에서 내측인 배후에서는 파의 차폐 효과로 인해 파고 감쇠가 나타나 쇄파선 또한 해안선 쪽으로 접근해 있다. 한편 이안제의 전면은 완전 증폭파가 발생하고 있어 입사파고가 최대 13cm까지 증폭되었음을 보고하고 있다.

해상의 구조물 설치에 필연적으로 파랑의 차폐 영역을 형성하게 되며, 주위의 파랑 분포 특히 쇄파대 내외의 공간적 파고 분포의 차에 기인한 해빈류장을 형성하게 된다. Fig. 2는 申(2001)에서 계측한 구조물 배후의 해빈류 분포이다. 이안제의 영향이 있는 파랑 차폐역에서는 반시계 방향의 순환류가 생기고 있으며, 수심 5cm 이하의 해안선 부근에서는 이안제 중심 방향으로 10~30cm/s의 강한 유속을 보고하고 있어 배후의 해안선 측에서의 표사 이동 방향이 이안제 중심이 될 것이라 예상할 수 있다. 이상과 같은 이안제 형상의 구조물 설치로 인한 파랑 차폐와 해빈류 발생 및 지형 변화에 관한 변화 상황을 Fig. 3에 모식도로 나타내었다.

### 3. VLFS 주변의 파랑 및 해빈류 계산

지금까지 매립식 해상 구조물에 대한 파랑 및 해빈류 분포의 계산은 주로 수심 평균된 평면 파랑변형 모델 및 해빈류 모델에 의해 다루어져 왔다. 그러나 해역에 설치되는 부유 구조물의 경우는 구조물 하부에 유체장이 형성되므로 매립식 구조물과는 달리 투과하는 파가 존재하게 되며 부유 구조물의 홀수에 따라 투과파의 양상도 달라지므로 평면 파랑장을 다루는 종래의 모형으로는 해석에 어려움이 있다.

본 연구에서는 부유 구조물 특히 VLFS 배후의 해빈변형 해석을 염두에 둔 천해역에서의 파랑장 및 해빈류장 계산을 위한 새로운 시도로서 유한요소법을 도입하여 삼차원(x, y, z) 파랑장을 해석하고 이를 토대로 해빈류장을 산출하였다.

#### 3.1 포텐셜 유동을 이용한 파랑장의 해석

##### (1) 지배 방정식과 좌표계의 정의

파랑 해석을 위해 비점성, 비압축성의 이상 유체 및 비회전 유체 운동을 가정한 포텐셜 함수  $\phi(x, y, z; t)$ 를 도입하여 식 (1)의 라플라스 방정식을 지배 방정식으로 하였다.

$$\nabla^2 \phi(x, y, z; t) = 0 \quad (1)$$

한편, 법선벡터  $\vec{n} = (n_x, n_y, n_z)$ 는 유체장 밖을 향하는 단위 벡터로 정의하면 자유표면 상( $z = \eta(x, y, t)$ )에서의 비선형 자유표면 경계조건( $S_F$ )은 다음과 같은 (2), (3)으로 바닥 및 벽면 경계조건( $S_B$ )은 (4)로 나타낼 수 있으며, 해안에서의 방사경계조건( $S_R$ )은 수치 감쇠를 이용하여 파를 흡수하도록 하였다.

$$\eta_t = \frac{\phi_n}{n_z} \text{ on } S_F \quad (2)$$

$$\phi_t = -\frac{1}{2}|\nabla\phi|^2 - g\eta \text{ on } S_F \quad (3)$$

$$\phi_n = 0 \text{ on } S_B \quad (4)$$

해안선에 근접한 천해역에서의 파랑 변형 계산은 수심에 의한 쇄파 현상을 모사해야 한다. 이를 위하여 申(2001)의 파랑장 해석에 도입한 바 있는 시간 영역에서의 파별해석법을 도입하기로 하였다. 즉, 파정 위치에서 파의 진폭  $|\eta|$ 와 수심의 비를  $\gamma$ 라고 하고,

$$\gamma = \frac{|\eta|}{h} \quad (5)$$

이 값이 쇄파 경계치  $\gamma_b$ 를 넘는 곳에서 쇄파가 시작되는 것으로 판정하였으며, 쇄파시의 에너지 소산은 Maruyama and Sato(1993)의 제안에 따라 다음과 같은 와동점성계수  $\nu$ 를 도입

하여 에너지를 소산시킴으로서 쇄파 현상을 모사하였다.

$$\left. \begin{aligned} \nu &= \frac{\alpha_D s g d}{\omega^2} \sqrt{\frac{g}{d} \frac{\hat{Q} - Q_r}{Q_s - Q_r}} \\ Q_s &= 0.4(0.57 + 5.3s) \sqrt{g d^3}, Q_r = 0.135 \sqrt{g d^3} \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

여기서,  $d$ 는 쇄파대의 평균수심,  $\omega$ 는 각주파수,  $\alpha_D$ 는 계수,  $s$ 는 해저경사이고,  $\hat{Q}$ 는 선유량의 진폭,  $Q_s, Q_r$ 는 일정 경사 및 파 재생역에서의 에너지 감쇠를 규정하는 정수이다.

##### (2) 파랑장의 계산 조건

매립식 및 부유식 구조물에 대한 파랑 분포의 계산 조건은 申(2001)의 실험 결과와 동일하게 3m의 이안제가 해안선으로부터 3m의 위치에 설치되는 경우, 이안제 형상(매립식, 부유식) 및 대형 해상 구조물(매립식, 부유식)에 대해 각각 검토하였다. 이때 부유식 구조물의 경우는 홀수를 0.075m로 하였으며, 모든 경우에 대해  $z$  방향의 공간격자를 4층으로 분할하였다.

계산 격자계는 천해역에서의 파랑변형 문제를 효율적으로 기술하기 위해 직각좌표계로 구성하였으며, Fig. 4는 본 연구에서 파랑장 해석을 위해 사용한 좌표의 정의를 나타낸다. 좌표계  $Oxyz$ 에서는  $Oz$ 가 중력방향과 반대방향이고  $z=0$ 는 교란되지 않은 정수면과 일치한다.  $S_H$ 는 조파기가 작동하는 경계면이며,  $S_B$ 는 물체 경계면 및 수치수조의 벽면 경계면,  $S_F$ 는 자유표면 경계면,  $S_R$ 는 방사경계면으로서 해안을 나타낸다. 수조의 폭과 수심은 각각  $L_y$ 와  $L_z$ 로 표시하였다. 해저면의 경사는 1/20을 취하였으며, 조파면에서 경사가 시작되는 곳까지의 거리는  $L_{x1}$ , 경사의 시작으로부터 구조물까지의 거리는  $L_{x2}$ , 구조물의 길이는  $L_{xb}$ , 구조물에서 해안선까지의 거리는  $L_{x3}$ 로 나타내었다. 또한 구조물의 폭과 홀수(부유 구조물인 경우) 각각  $L_{yb}$ 와  $L_{zb}$ 로 나타내었다.

Table 1은 각각의 구조물에 대한 파랑분포의 계산 조건을 정리한 것이며, Fig. 5는 계산에서 적용한 유한요소격자계의 일 예로서 부유식 대형 해상 구조물에 대한 격자 구성을 나타내고 있다.

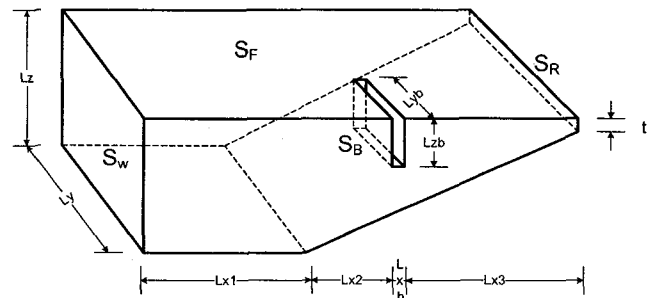


Fig. 4 Definition of computational domain.

Table 1 Calculated conditions for wave deformation

계산 영역의 정의	이안제 형상		대형 해상 구조물	
	매립식	부유식	매립식	부유식
조파면-경사 시작면 거리 (Lx1)	7m	7m	7m	7m
경사 시작면-구조물 거리 (Lx2)	5.95m	5.95m	5.5m	5.5m
구조물의 폭 (Lxb)	0.05m	0.05m	0.5m	0.5m
구조물의 이안거리 (Lx3)	3m	3m	3m	3m
계산영역의 y방향 거리 (Ly)	7.7m	7.7m	7.7m	7.7m
구조물의 길이 (Lyb)	1.5m	1.5m	1.5m	1.5m
계산 영역의 전체 수심 (Lz)	0.45m	0.45m	0.45m	0.45m
구조물의 홀수 (Lzb)	-	0.075m	-	0.075m
해안 방사 경계면의 수심 (t)	0.03m	0.03m	0.03m	0.03m
계산 시간간격 (dt)	0.025s	0.025s	0.025s	0.025s
x 방향 공간격자 간격(dx)	0.1m	0.1m	0.1m	0.1m
y 방향 공간격자 간격(dy)	0.2m	0.2m	0.2m	0.2m
z 방향 공간분할 개수	4	4	4	4

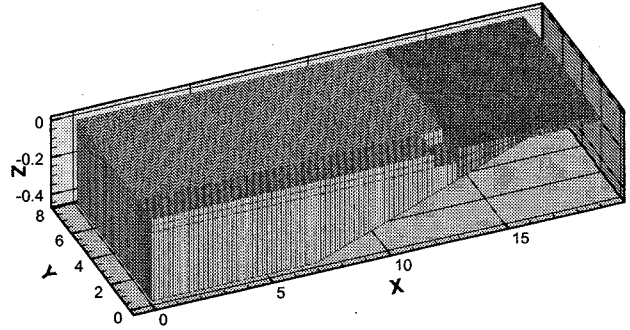


Fig. 5 An example of FEM grid system for wave calculation.

### 3.2 해빈류의 해석

수평면에 직교 좌표계(x,y)를 취하고 해빈류의 유속을 U, V, 평균 수위의 상승량(wave setup)을 η로 하면, 평균류에 관한 연속식은 식 (7)로, (x,y) 성분에 대한 운동방정식은 식 (8), (9)로 표현할 수 있다.

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial U(h+\eta)}{\partial x} + \frac{\partial V(h+\eta)}{\partial y} = 0 \quad (7)$$

$$\frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial y} + g \frac{\partial \eta}{\partial x} + F_x - M_x + R_x = 0 \quad (8)$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} + U \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial V}{\partial y} + g \frac{\partial \eta}{\partial y} + F_y - M_y + R_y = 0 \quad (9)$$

여기서, h : 정수심,  $F_x, F_y$ : (x,y) 방향의 저면 마찰항,  $M_x, M_y$ : (x,y) 방향의 수평 운동량 확산항,  $R_x, R_y$ : (x,y) 방향의 radiation stress항을 나타낸다.

#### (1) 마찰항( $F_x, F_y$ )

해빈류 계산에 있어서 저면 마찰항은 西村(1982)가 제안한 정상류에 대한 평가식으로, 단일 진행파와 평균류가 공존하는 상태에서 평균 마찰력의 시간 평균치인 다음 식을 사용하였다.

$$F_x = \frac{f}{h+\eta} \left\{ \left( W + \frac{w_b}{W} \cos^2 \alpha \right) U + \frac{w_b}{W} \cos \alpha \sin \alpha V \right\} \quad (9)$$

$$F_y = \frac{f}{h+\eta} \left\{ \frac{w_b}{W} \cos \alpha \sin \alpha U + \left( W + \frac{w_b}{W} \sin^2 \alpha \right) V \right\} \quad (10)$$

$$W = \left\{ \frac{\sqrt{U^2 + V^2 + w_b^2} + 2(U \cos \alpha + V \sin \alpha) w_b}{\sqrt{U^2 + V^2 + w_b^2} - 2(U \cos \alpha + V \sin \alpha) w_b} \right\} / 2 \quad (11)$$

여기서, f : 마찰계수(0.01), α: 파의 진행방향이 x축과 이루는 각,  $w_b$ : 미소진폭파의 절대유속 평균치 =  $\omega H / \{ \pi \sinh k(h+\eta) \}$ 이다.

#### (2) 수평운동량 확산항( $M_x, M_y$ )

$$M_x = \frac{\partial}{\partial x} \left( \epsilon \frac{\partial U}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \epsilon \frac{\partial U}{\partial y} \right) \quad (12)$$

$$M_y = \frac{\partial}{\partial x} \left( \epsilon \frac{\partial V}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \epsilon \frac{\partial V}{\partial y} \right) \quad (13)$$

식 (12), (13)으로 표현되는 수평운동량 확산항에서 확산계수 ε은 식 (14)의 Longuet-Higgins(1970) 평가법이 일반적이지만, 이는 회절역 등의 파고가 작은 영역에서 확산계수가 과대하게 평가되므로 파고에 따라 변화하도록 James(1974)에 의해 개량된 식 (15)을 이용하였다.

$$\epsilon' = N \sqrt{g(h+\eta)} \quad (14)$$

$$\epsilon' = N \sqrt{gh} \frac{H}{0.4h} \quad (15)$$

여기서, N : 정수(0.016), H : 파고, l : 이안거리(근사적으로  $h/\tan \beta$ )이며, 쇄파점에 있어서 확산계수가 최대  $\epsilon_{max}$ 가 되도록 쇄파점으로부터 외해측은 다음과 같은 식을 이용한다.

$$\epsilon = \epsilon_{max} \left[ 1 - \tanh \left\{ \left( \epsilon' - \epsilon_{max} \right) / \epsilon_{max} \right\} \right], \quad \epsilon' > \epsilon_{max} \quad (16)$$

#### (3) Radiation Stress 항

공간적인 파고 분포가 다른 파랑장에서는 Radiation stress의 공간 변화율에 비례하는 평균적인 외력이 해수에 작용하여 평균수위의 변동 및 해빈류를 일으킨다. 결국 식 (8), (9)는 이의 균형을 계산하는 식이 된다.

$$R_x = \frac{1}{\rho(h+\eta)} \cdot \left( \frac{\partial S_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial S_{xy}}{\partial y} \right) \quad (17)$$

$$R_y = \frac{1}{\rho(h+\eta)} \cdot \left( \frac{\partial S_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial S_{yy}}{\partial y} \right) \quad (18)$$

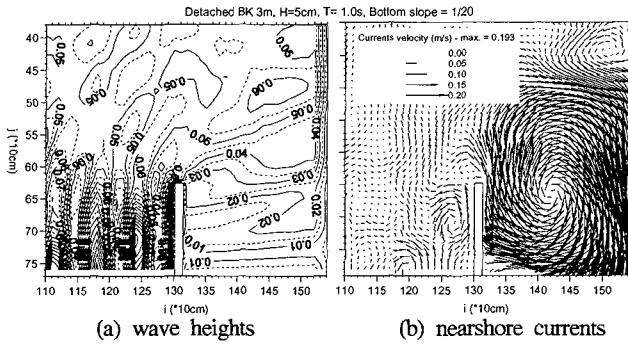


Fig. 6 Numerical results for detached BK ( $H=5\text{cm}$ ,  $T=1.0\text{s}$ ).

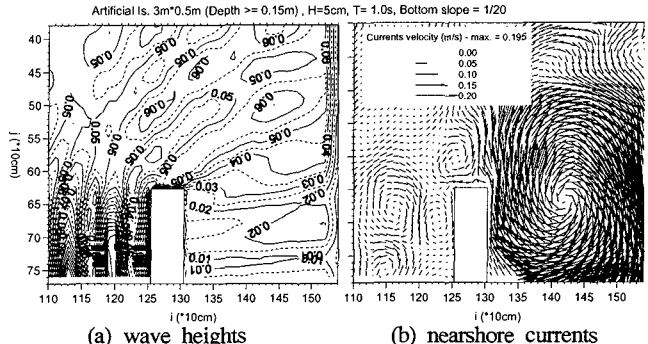


Fig. 8 Numerical results for artificial Is ( $H=5\text{cm}$ ,  $T=1.0\text{s}$ ).

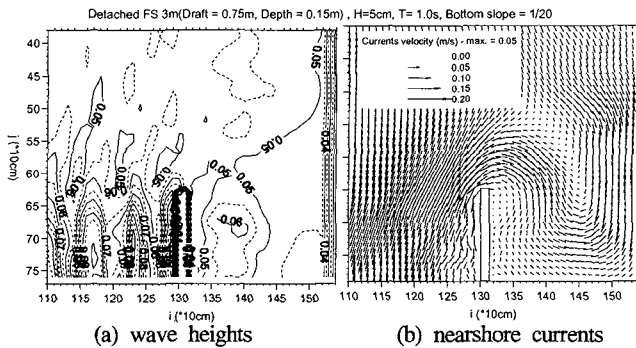


Fig. 7 Numerical results for detached FS ( $H=5\text{cm}$ ,  $T=1.0\text{s}$ ).

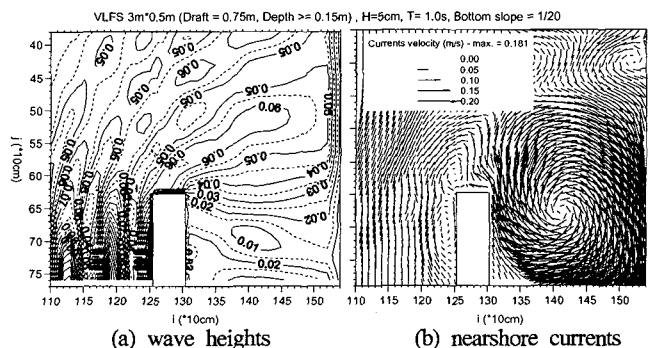


Fig. 9 Numerical results for VLFS ( $H=5\text{cm}$ ,  $T=1.0\text{s}$ ).

여기서,  $\rho$ 는 해수밀도이며,  $S_{xx}$ ,  $S_{xy}$ ,  $S_{yx}$ ,  $S_{yy}$ 는 파로 인한 radiation stress로서 파랑계산에서 얻어진 속도 포텐셜  $\phi$ 로부터 산출한다.

### 3.3 매립식 및 부유식 구조물 주변 해역의 파랑, 해빈류 분포

1/20의 해저 경사의 수심 15cm에 위치(이안거리 3m)한 이안체에 수심 45cm의 외해 입사파 경계로부터 파고 5cm, 주기 1.0s의 입사파가 주어졌을 때 구조물 주변의 파랑 분포 및 해빈류 분포의 계산 결과를 Fig. 6에 나타내었다. 申(2001)의 실험 결과(Fig. 1)와 마찬가지로 구조물의 전면에서는 중복파가 형성되어 있으며 이안체의 영향이 없는 일정 경사의 사면 위( $j \geq 50$ )에서는 천수변형으로 인한 파고의 증가가 잘 재현되어 있다. 또한 구조물 배후에서는 이안체의 끝단을 최절한 파가 차폐역 내로 유입되어 1~2cm 정도의 파고 분포가 나타나고 있다.

쇄파대의 경우, Fig 1의 실험 결과에서는 구조물과 해안선의 중간 정도에 쇄파선이 나타난 것에 비해 본 계산 결과에서는  $i \geq 152$ 의 영역으로 해안선에 근접한 곳에서 쇄파가 일어나고 있음을 알 수 있다. 이는 식 (5)로 표현되는 쇄파의 판정과정에서 쇄파 한계 값의  $\gamma_b$ 에 대한 추가 검토가 요구됨을 의미한다.

한편, 해빈류 분포에 있어서는 실험 결과(Fig. 2)와 정성적으로 동일한 형태의 구조물 배후 순환류가 형성되어 있고 해안선 부근에서 가장 강한 흐름이 형성되어 있지만, 유속의 강도에 있어서는 실험 값(30cm/s)에 미치지 못하고 약 20cm/s에 머물고 있다. 추후 파랑장 계산에 있어서 쇄파모형의 수정에 의해 다소

개선되리라 본다.

Fig. 7은 Fig. 6과 동일한 조건에서의 계산이지만, 구조물은 부유되어 있는 상황이다. 이안체 형상의 부유 구조물이므로 구조물의 하부를 통과하는 파랑이 존재하고 이로 인해 구조물 배후에서의 차폐효과가 현저히 저하되어 있음을 알 수 있다. 이와 같은 파랑의 분포는 해빈류에도 영향을 미치게 되며 그 결과 구조물 배후에서 순환류는 형성되지 못하고 유속도 미약하게 나타났다.

장방향의 형태로 건설되는 해상 구조물의 경우에 대한 계산은 Fig. 8 및 9에 나타내었으며 각각 인공섬과 같은 매립식 해상 구조물 및 초대형 부유 구조물(VLFS)을 상정한 것이다.

VLFS의 경우는 구조물의 하부의 투과파가 일부 존재하기는 하지만 장대한 폭으로 인해 구조물의 하부를 통과하면서 파랑의 감쇠가 두드러져 결국 매립식 구조물과 동일한 정도의 파랑 차폐효과가 나타났으며, 따라서 배후의 해빈류 분포 양상도 VLFS의 경우가 다소 약화되기는 하였지만 그 정도는 미미하다고 볼 수 있다.

Fig. 10, 11은 Fig. 8, 9의 동일 조건에서 입사파의 주기를 1.414초(입사파 파장이 2배로 확대)로 부여하여 계산한 결과이다. 매립식 인공섬의 경우(Fig. 10), 입사파 주기의 증가로 인해 배후 해안선 부근의 유속이 현격히 증가되고 있으며 순환류의 크기로 확대되어 있음을 알 수 있다. 반면 VLFS의 경우는 파의 주기가 길어짐으로 인해 파의 투과량이 다소 증대하여 배후 차폐역에 있어서 파고의 공간 분포 변화율이 다소 감소하고 있

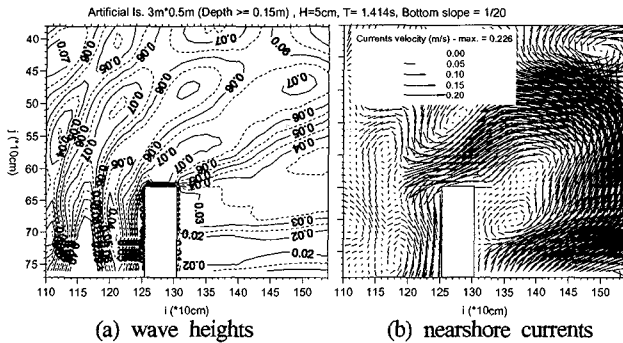


Fig. 10 Numerical results for artificial Is. ( $H=5\text{cm}$ ,  $T=1.414\text{s}$ ).

으며 그로 인해 해빈류에서도 유의한 정도의 유속 감소를 나타냄을 알 수 있다.

#### 4. 결 론

부유식 해상공항과 같은 대규모 부체 구조물(VLFS)이 연안역에 설치되는 경우를 상정하고 설치 후 발생할 수 있는 배후의 해빈변형을 예측하기 위한 토대를 마련하기 위한 기초 연구를 수행하였다. 이를 위해 일정 사면을 가진 천해역에서의 실험 결과를 통하여 비교적 수심이 깊은 곳에 설치된 매립식 구조물 배후에서의 파랑 및 해빈류를 개관하였으며, 매립식 및 부유식 해상 구조물 설치 시 주변 해역의 파랑 및 해빈류장을 계산하였다.

파랑장에 있어서 라프라스 방정식 토대로 유한요소법을 도입한 3차원 파랑 변형 계산을 수행함으로써 매립식 및 부유식 구조물 모두에 대해 적용 가능하였으며, 해상 구조물의 설치 형식이 매립식 및 부유식 경우에 대해 파랑, 해빈류 분포의 변화를 관찰할 수 있었다. 본 연구에서 얻어진 결론을 정리하면 다음과 같다.

- ① 라프라스 방정식 토대로 유한요소법을 도입한 3차원 파랑 변형 모형에 쇄파 모형을 도입함으로써 천해역의 파랑 변형 현상(회절, 반사, 굴절, 천수변형, 쇄파)을 모두 모사할 수 있고 매립식 및 부유식 해상 구조물 모두에 대해 적용 가능한 파랑 변형 모형을 개발하였다.
- ② 쇄파모형에 있어서 쇄파 한계치의 수정이 요구됨을 알았다.
- ③ 슬릿 형태(이안제) 부유식 구조물에 있어서는 파랑의 차폐 효과가 미미하여 해후에 순환류가 형성되지 못한다.
- ④ 초대형 부유 구조물의 경우 단주기 파랑에 대한 파의 차폐 효과가 탁월하여 매립식 구조물과 거의 같은 정도의 배후 순환류를 형성하고 있다.
- ⑤ 초대형 부유 구조물에 입사하는 파의 주기가 길어지면, 파랑의 차폐효과가 감소하고, 이는 후방 순환류 및 해안선 부근의 유속 약화를 가져온다.

본 연구에서 적용한 부유 구조물은 해저면으로부터 일정한 높이 고정되어 있는 경우에 한정되어 있다. 실제 해상에 설치되

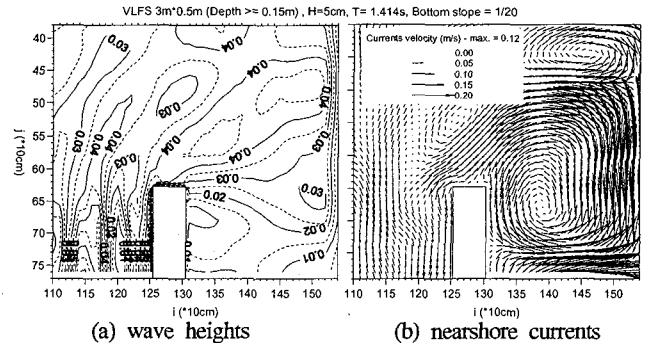


Fig. 11 Numerical results for VLFS ( $H=5\text{cm}$ ,  $T=1.414\text{s}$ ).

는 초대형 부유 구조물은 수역에 차지하는 평면상의 면적에 비해 상대적으로 얇은 흘수를 가지고 있으며, 이러한 부유 구조물은 입사 파랑에 대해 유탄성 응답을 하게 된다. 따라서 부유 구조물의 유탄성 응답을 포함한 파랑장 계산 및 그에 따른 해빈류 변화 상황을 고찰할 필요가 있으며 이는 추후 과제로 다루고자 한다.

#### 후 기

본 연구는 해양수산부의 지원으로 한국해양연구원에서 수행한 "초대형 부유식 해상구조물 기술개발(8)-PM01140"과 공공기술연구회의 지원으로 한국해양연구원에서 수행하는 기본연구사업-PE0115A의 일부로서 수행되었습니다.

#### 참 고 문 헌

- [1] 신승호, 이중우 (2001), "조석이크 해역에서의 해안과정과 항만퇴적의 변화", 한국항만학회 제15권 1호, pp. 57-74.
- [2] 申承鎬, 山口洋, 入江功, 一田剛 (2001), "Hybrid-type 3次元海浜変形モデルの構築とその適用", 日本土木學會 海岸工學論文集 48卷, pp. 521-525.
- [3] 申承鎬 (2001), "沖合構造物背後の海浜変形機構とそのモデル化に関する研究", 九州大學大学院 工學研究科 學位論文, p. 280.
- [4] 西村仁嗣 (1982): 海浜循環流の數値シミュレーション, 第29回海岸工學講演會論文集, 土木學會, pp. 396-400.
- [5] Longuet-Higgins, M.S. and Stewart, R.W. (1964). "Radiation stress in water waves; a physical discussion with applications", Deep-Sea Res., Vol. 11, No. 4, pp. 529-549.
- [6] Longuet-Higgins, M. S. (1970), "Longshore currents generated by obliquely incident wave", J. Geophys. Res., Vol. 75, No. 33, pp. 6778-6789.
- [7] James, I.D.(1974), "A Nonlinear theory of longshore current", Estuaries & coastal Marine Science, Vol. 2, pp. 207-234.