

# 潮汐의 影響이 있는 沿岸海域에서의 海岸過程의 變化

김상호\* · 이중우\*\*

\*한국해양대학교 토목환경공학과 대학원

\*\*한국해양대학교 토목환경공학과 교수

## The Change of Beach Processes at the Coastal Zone with the Impact of Tide

SANG-HO KIM\* AND JOONG-WOO LEE\*\*

\* \*\*Korea Maritime University, Youngdo-gu, Busan 606-791, Korea

**key word:** Beach Processes 해안과정, Breaking 쇄파, Topographical Change 해저지형변화, Harbor Sedimentation 항만 퇴적, Bottom Friction 저면마찰 Critical Shear Stress 잉여응력 Field Observation 현장관측

**ABSTRACT:** Numerical model introduced in this study combines wave refraction-diffraction, breaking, bottom friction, lateral mixing, and critical shear stress and three sub-models for simulating waves, currents, and bottom change were briefly discussed. Simulations of beach processes and harbor sedimentation were also described at the coast neighboring Bangpo Harbor, Anmyundo, Chungnam, where the area has suffered from accumulation of drifting sand in a small fishing harbor with a wide tidal range. We also made model test for the case of a narrow tidal range at Nakdong river's estuary area to understand the effect of water level variation on the littoral drift. Simulations are conducted in terms of incident wave direction and tidal level. Characteristics of wave transformation, nearshore current, sediment transport, and bottom change are shown and analyzed. We found from the simulation that the tidal level impact to the sediment transport is very important and we should apply the numerical model with different water level to analyze sediment transport mechanism correctly. Although the model study gave reasonable description of beach processes and harbor sedimentation mechanism, it is necessary to collect lots of field observation data, including waves, tides and bottom materials, etc. for better prediction.

### 1. 서 론

과거, 해안의 활용도를 높이기 위하여 많은 개발을 실시하여 해양에 대한 개발의 관심이 높아졌다. 하지만, 주위 환경의 변화를 예측하기 곤란한 특수성으로 인하여, 해안선의 변화나 생태계의 변화등의 환경적인 문제를 야기시킨 개발이 있으며, 이로 인한 환경의 변화에 따른 피해가 나타나기도 한다. 해안의 활용도를 더욱더 높이기 위해서는 좀더 정확한 해안과정의 변화를 예측하여 차후에 있을 변화에 적극적으로 대처해야 할 필요성이 있다.

연안역개발이 이루어지는 해역에서의 해빈의 변형 즉, 해저토사 이동과 해저지형의 변화를 일으키는 요인은 파랑과, 파랑에 의해 발생하는 해빈류 및 조류, 바람 및 하구에서의 유출류 등을 들 수 있으나, 가장 큰 요인은 파랑과 해빈류라고 할 수 있다(신,2000).

그러나 지금까지의 해저지형변화에 대한 연구는 주어진 수심조건에 대해서만 분석을 수행하였고, 조위변화가 표사 및 지형변화에 대한 분석은 시도되지 않아 합리적인 평가가 어려웠다. 본 연구에서는 이점을 고려하여 조석의 영향을 비교적 많이 받고 있으며 개발이 활발히 추진되고 있는 방포항을, 조석의 영향이 적은 지역으로는 낙동강 주변역을 선정하여 조석의 영향에 따른 연안표사의 이동양상을 알아보고 두 지역간의 특성을 분석하여 해저지

형변화에 조석이 어떠한 영향을 미칠 것인가를 비교, 분석해보고자 한다.

### 2. 파랑, 해빈류, 지형변화의 지배방정식

#### 2.1 파랑의 지배방정식

파랑의 지배방정식은 Fig. 1의 좌표계에 대하여 환경사 방정식(1)을 도입한다.

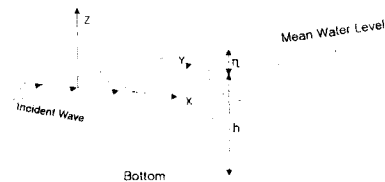


Fig. 1 Coordinate system for wave

$$\nabla \cdot \{CC_g \nabla \phi\} + \omega^2 \frac{C_g}{C} \phi = 0 \quad (1)$$

여기서,  $\nabla = \left( \frac{\partial}{\partial x}, \frac{\partial}{\partial y} \right)$

C : 파속  $C_g$  : 군속도,  $\phi$  : 수평방향 속도포텐셜  $\omega$  : 각주파수

\*김상호 연락처 : 영도구 동삼동 한국해양대학교  
토목환경공학과 410-4981 iamjaws0122@hotmail.com

여기서, 다시  $\phi(x, y)$ 에 scaling factor  $\psi = \sqrt{CC_g}\phi$ 를 도입하고, y방향의 진행파에 대해 완경사방정식을 정리하면 다음과 같은 Helmholtz방정식이 얻어진다.

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} = -k^2 \psi \quad (2)$$

$$\frac{\partial \psi}{\partial y} - ik\psi + \frac{1}{2k} \frac{\partial k}{\partial y} \psi + \frac{i}{2k} \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} = 0 \quad (3)$$

$k$ : 쇄파로 인한 감쇠효과를 고려한 복소수파수,  $i = \sqrt{-1}$

한편, 외해에서 해안으로 진행하는 파는 수심이 알아짐에 따라 천수변형으로 인해 파고가 증대되며 마침내 쇄파하여 에너지가 소산되고, 이러한 현상은 파고의 감쇠, 평균해면의 상승 및 이로 인한 해빈류 발생 등으로 작용하게 된다(中, 2000).

쇄파의 판정은 Fig. 2와 같은 좌표계에 대하여 다음의 슈비(1975)의 쇄파판정식을 이용한다.

$$\frac{H_b}{L_0} = A \left[ 1 - \exp \left\{ -1.5 \frac{\pi h_b}{L_0} (1 + K \tan^2 \beta) \right\} \right] \quad (4)$$

## 2.2 해빈류의 지배방정식

수심과 밀도는 시간에 따른 변화가 없다고 하고 질량수송식을 시간에 대한 평균과 수심적분으로부터 연속방정식과 운동방정식은 다음의 식(5)~(7)과 같다(Nishimura, 1985).

$$\frac{\partial \bar{\eta}}{\partial t} + \frac{\partial U}{\partial x} (h + \bar{\eta}) + \frac{\partial V}{\partial y} (h + \bar{\eta}) = 0 \quad (5)$$

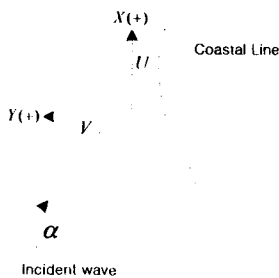


Fig. 2 Coordinate system for current

$$\frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial y} + g \frac{\partial \bar{\eta}}{\partial x} + F_x - M_x + R_x = 0 \quad (6)$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} + U \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial V}{\partial y} + g \frac{\partial \bar{\eta}}{\partial y} + F_y - M_y + R_y = 0 \quad (7)$$

여기서  $x, y$ :  $x$  축은 정선에 평행한 방향,  $y$  축은 외해방향으로 양(+)의 방향,  $t$ : 시간,  $U, V$ : 수심방향으로 평균화한  $x, y$  방향의 유속,  $\bar{\eta}$ : 정수면에서의 평균수위 변화량,  $h$ : 정수상태하의 수심,  $R_x, R_y$ : 파에 의한 잉여응력항,  $F_x, F_y$ : 파와 흐름에 의한 마찰항,  $M_x, M_y$ : 수평혼합항

파와 흐름이 공존하는 해빈류의 계산에 있어서 저면 마찰항은 Nishimura(1981)가 제안한 정상류에 대한 평가식을 사용한다.

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

$$F_y = \frac{f}{h + \eta} \left[ \frac{w_b}{W} \cos \alpha \sin \alpha \cdot U + \left( W + \frac{w_b}{W} \sin^2 \alpha \right) V \right] \quad (8)$$

여기서

$$W = \left\{ \sqrt{U^2 + V^2 + w_b^2 + 2(U \cos \alpha + V \sin \alpha) w_b} + \sqrt{(U^2 + V^2 + w_b^2 - 2(U \cos \alpha + V \sin \alpha) w_b)} \right\} / 2 \quad (9)$$

이다. 이때  $w_b$ 는 미소진폭파의 절대유속 평균치로 다음의 식으로 나타낸다.

$$w_b = \frac{\omega H}{\pi \sinh k(h + \bar{\eta})} \quad (10)$$

수평운동량 확산항은 다음과 같다.

$$M_x = \frac{\partial}{\partial x} \left( \epsilon_{xx} \frac{\partial U}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \epsilon_{xy} \frac{\partial U}{\partial y} \right) \quad (11)$$

$$M_y = \frac{\partial}{\partial x} \left( \epsilon_{yx} \frac{\partial V}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \epsilon_{yy} \frac{\partial V}{\partial y} \right)$$

이때  $\epsilon_{xx}, \epsilon_{xy}, \epsilon_{yx}, \epsilon_{yy}$ 는 와확산계수이다.

잉여 응력에 대한 식은 다음과 같다.

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

$$R_y = \frac{1}{\rho(h + \bar{\eta})} \left( \frac{\partial S_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial S_{yy}}{\partial y} \right) \quad (12)$$

이때  $S_{xx}, S_{xy}, S_{yx}, S_{yy}$  파로 인한 잉여응력으로써 파랑계산에서 얻어진 속도포텐셜을 이용하여 다음과 같이 산출 된다(Mei, 1973).

$$S_{ij} = \frac{\rho g}{4} \left\{ \text{Re} \left[ \frac{\partial \phi}{\partial x_i} \frac{\partial \phi^*}{\partial x_j} \right] \frac{1}{k^2} \left( 1 + \frac{2kh}{\sinh 2kh} \right) + \delta_{ij} \left[ |\phi|^2 \frac{2kh}{\sinh 2kh} + \frac{2kh \coth 2kh - 1}{2k^2} \right] \right. \\ \left. \left( \left| \frac{\partial \phi}{\partial x} \right|^2 + \left| \frac{\partial \phi}{\partial y} \right|^2 - k^2 |\phi|^2 \right) \right\} \quad (13)$$

여기서,  $i = x, y, j = x, y$   $\phi^*$ 는  $\phi$ 의 공액 복소수,  $\delta_{ij}$ 는 크로네크델타 함수 ( $\delta_{xx} = \delta_{yy} = 1, \delta_{xy} = 0$ )이다.

## 2.3 표사의 지배방정식

$z_b$ 는 Fig. 3에서와 같이 임의의 높이를 기준으로 한 국지저면의 높이,  $t$ 는 시간을 나타낸다. 또한  $x, y$ 는 수평면상에서 취한 직각좌표계이며 표사량의  $x, y$ 방향성분  $q'_x, q'_y$ 는 해빈의 저면

구배 효과를 고려하여, 다음과 같은 형(Watanabe, 1986)으로 나타낸다.

$$\left. \begin{aligned} q'_x &= q_x - \epsilon_s |q_x| \frac{\partial z_b}{\partial x} \\ q'_y &= q_y - \epsilon_s |q_y| \frac{\partial z_b}{\partial y} \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

이 때  $q_x, q_y$  는 연직방향으로 적분된 국지표사량을 나타내며 퇴적상태에서의 공극을 포함한 유효체적으로 나타낸다. 여기서는 이것을 평균흐름의 기여분과 파의 작용에 직접 기인하는 표사량으로 분리하여 다음과 같이 취급한다.

$$q_x = q_{wx} + q_{cx} \quad x \text{ 방향의 파와 흐름에 의한 국지표사량}$$

( $w$ : wave,  $c$ : current)

$$q_y = q_{wy} + q_{cy} \quad y \text{ 방향의 파와 흐름에 의한 국지표사량}$$

$$q_{wx}, q_{cx}, q_{wy}, q_{cy} \quad \text{파와 흐름에 의한 국지표사량}$$

즉,  $Q_w, Q_c$  의  $x, y$  방향성분

$\epsilon_s$  : 무차원계수 (지형안정화 계수로 해서 경사효과의 정도에 관한 계수)

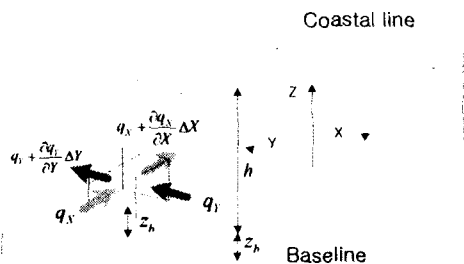


Fig. 3 Coordinate system for calculation of the littoral drift

파랑에 의한 표사량은 다음과 같이 나타낸다.

$$\Phi = B_w (\Psi_m - \Psi_c) \Psi_m^{1/2} \quad (15)$$

이때,  $\Phi = (1 - \lambda_n) q_w / w_0$  무차원 표사량,  $\Psi_m = u_*^2 / sgd$  Shield 수,  $\Psi_c$  한계 Shield 수(활면: 0.11, 조면: 0.06),  $q_w$  파에 의한 실질적인 표사량의 절대치,  $\lambda_n$  저질의 공극율,  $w_0$  침강속도,  $d$  저질의 입경,  $u_*$  저면 마찰 속도의 진폭,  $s$  저질의 수중비중(=  $\rho_s / \rho - 1$ ,  $\rho_s$ ,  $\rho$  저질 및 해수의 밀도),  $B_w$  무차원 계수이다.

흐름에 의한 표사량은 다음과 같다.

$$Q_c = A_c (u_*^2 - u_{*c}^2) \cdot \vec{U} / g \quad (16)$$

여기서,  $u_*$  : 파와 흐름이 공존하는 장에서의 저면마찰 속도,  $u_{*c}$  : 저질이동한계 마찰속도이다.

단,  $u_* \leq u_{*c}$ 에서는  $Q_c = 0$ 으로 둔다.

### 3. 수치실험 및 분석

#### 3.1 조위의 변화가 심한 경우

방포항은 어항구역 면적 410,000  $m^2$ 로 안면도 서측 중앙부인 안면읍 승언리에 위치하는 어항으로써, 안면도 동측의 천수만은 원산도의 동단과 송도 사이를 입구로 하여 북쪽으로 약 37km 만입되고, 만구는 작은 섬과 암초 등으로 항로가 굴곡되어 있다.

주변역은 리아스식 해안으로서 간만의 차가 비교적 심하고, 평균해면은(+) $3.059m$ , 조석 형태수가 0.19인 반일주조가 우세한 조석으로 매일 2회의 고조와 2회의 저조가 나타나며, 평균조차의 크기가 비교적 큰 4.028m로 나타나고 있다. 수심분포는 비교적 완만한 천해역으로서 조위차에 의해 수심분포가 달리 나타나 쇄파 위치가 변하고 있다(충청남도, 2001).

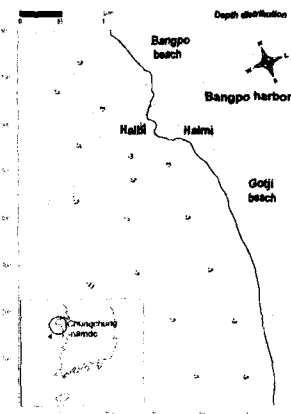


Fig. 4 Depth of Bangpo harbor and Gotji beach

#### 3.1.1 파랑장

방포항에서의 입사파에 의한 파향의 분포는 파랑의 방향을 비교적 평행하게 입사를 하고 있으나 방포항 인접해역에서는 천수변형에 의해 비교적 복잡한 파향 및 파고의 변화를 이룬다. 대체적으로 쇄파대의 형성은 수심 3.5m 지점에서 이루어져 있다(Fig. 5a).

#### 3.1.2 해빈류장

하계의 SSW방향의 고파랑으로 인하여 특징적인 것은 북측의 강한 연안류를 들 수 있다(Fig. 5b).

이는 꽃지해수욕장을 복상하는 연안류가 할미, 할미바위를 반시계 방향으로 순환하고 북측의 방포해수욕장에서 남측으로 내려오는 연안류와 북측으로 올라가는 연안류가 방파제를 외측까지 이르러 두 연안류의 상호작용으로 일부 이안류를 생성시키는 경향을 알 수 있다. 따라서 이 강한 연안류가 방포항 주변의 토사를 이동시켜 항내로 유입될 가능성이 클 것이 예상되어진다.

동계의 WNW방향은 방포해수욕장 부근의 해빈류가 강하게 나타나 방포 해수욕장의 모래를 방포항 주변까지 이동시킬 우려가 있으나 방포항 북측의 방파제로 인해서 대부분 방파제 북측의 외

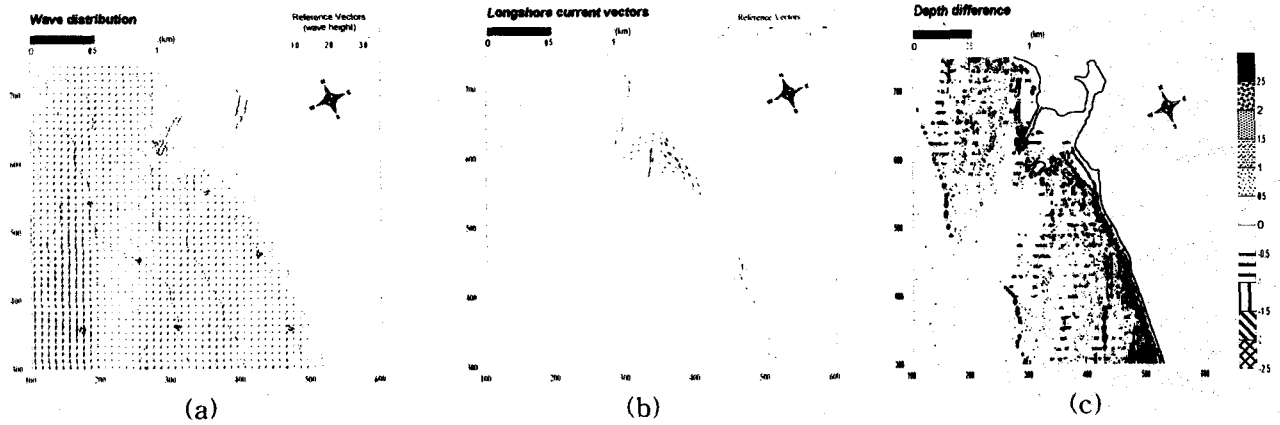


Fig. 5 Wave, current and bottom change at M.H.W.L in Bangpo harbor (SSW)

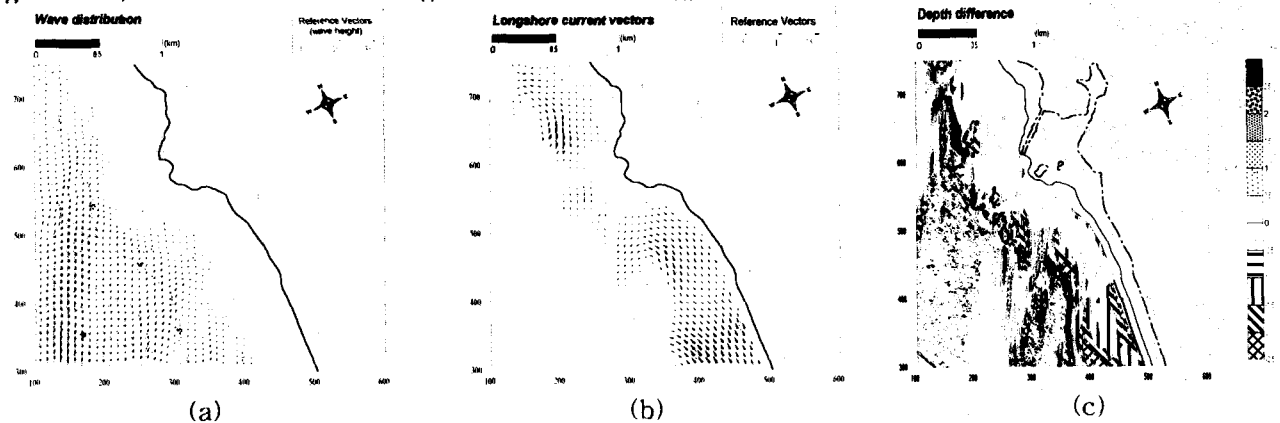


Fig. 6 Wave, current and bottom change at M.L.W.L in Bangpo harbor (SSW)



Fig. 7 Comparison of bottom change between 2m and 5m depth(M.H.W.L)



Fig. 8 Comparison of bottom change between 2m and 5m depth(M.L.W.L)

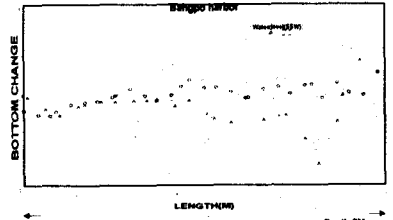


Fig. 9 Bottom change on the cross sections of Bangpo harbor's front

측에서 모래가 퇴적 될 가능성을 보인다.

### 3.1.3 표사와 해저지형 변화

대상지역에서는 고조시에는 수심의 증가로 인해서 쇄파대가 전진하면서 파랑이 해안 가까이 입사해 들어오며, 이로 인한 연안류 역시 해안 가까이에서 형성되어 변화되는 지역이 해안에서 그다지 멀지 않은 곳에서 형성이 되어 있다. 따라서 이 강한 연안류로 인해서 표사의 이동을 예상 할 수 있는데, 파랑장과 해변류장에서 예상할 수 있었듯이, 방포항의 남단에서 북단으로 부상하는 강한 해변류의 파랑에 의해 표사가 이동하여 방포항 남단에서 표사가 퇴적되는 것을 알 수 있다(Fig. 5c).

저조위에서는 항 전체가 수면에 노출되어 방포항과 무관한 고파랑시 연안류와 그의 침식, 퇴적현상을 나타내고 있는데, 쇄파대 역시 후퇴하여 있으며 고조위에 비하여 변화되는 지역의 폭이 비교적 넓은 것을 알 수 있었다(Fig. 6c).

### 3.2 조위의 변화가 미약할 경우

낙동강은 양산시 물금읍 부근에서 대동수문을 지나면서 동서로 분류하고 서낙동강과 낙동강 본류로 나뉘게 되고, 본류는 다시 을숙도 중심으로 서측과 동측으로 나뉘어 해안으로 유입되지만, 서낙동강의 경우는 대동수문과 녹산수문의 건설(1934)이후 하천의 유출이 중단된 이후 담수호로 바뀌게 되었고, 본류 또한 1987년 낙동강 하구의 축조로 인해 동측으로만 유출된다.

본류를 통한 토사의 유출은 해안에서 해수와 혼합을 한 후, 외해로 밀려 나가게 되었지만, 하구언 건설 이후, 홍수시와 간조시의 유출수가 해수와 급격히 만나게 되어 해수의 혼합, 즉 완충작용 없이 외해로 밀려 나가게 되었고, 이는 만조시 다시 파랑의 작용으로 인하여 하구 지역으로 토사를 이동, 퇴적하는 양상을 가지고 있다(김, 2000).

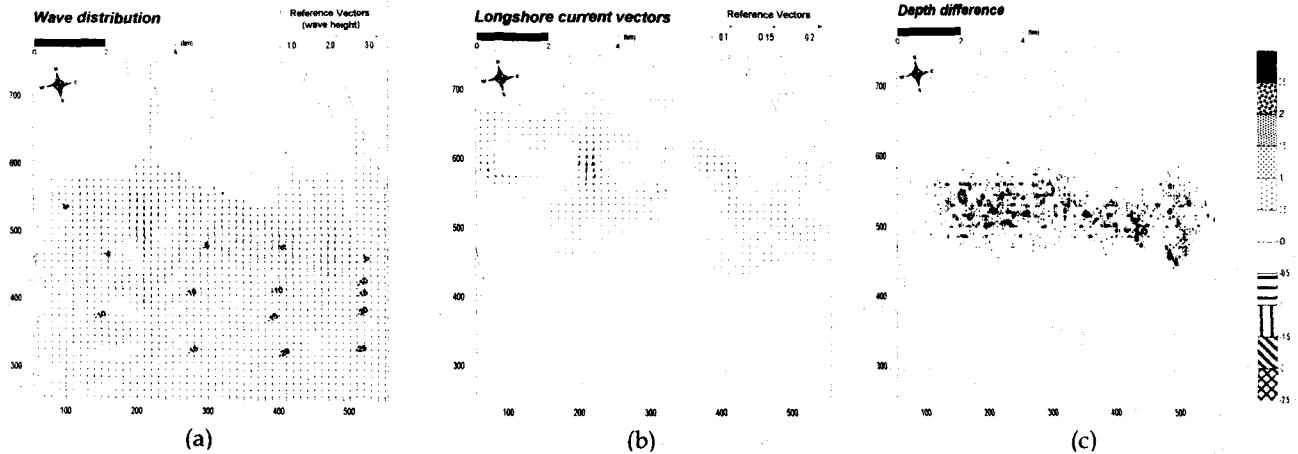


Fig. 11 Wave, current and bottom change of M.H.W.L in Nakdong River's estuary (S10W)

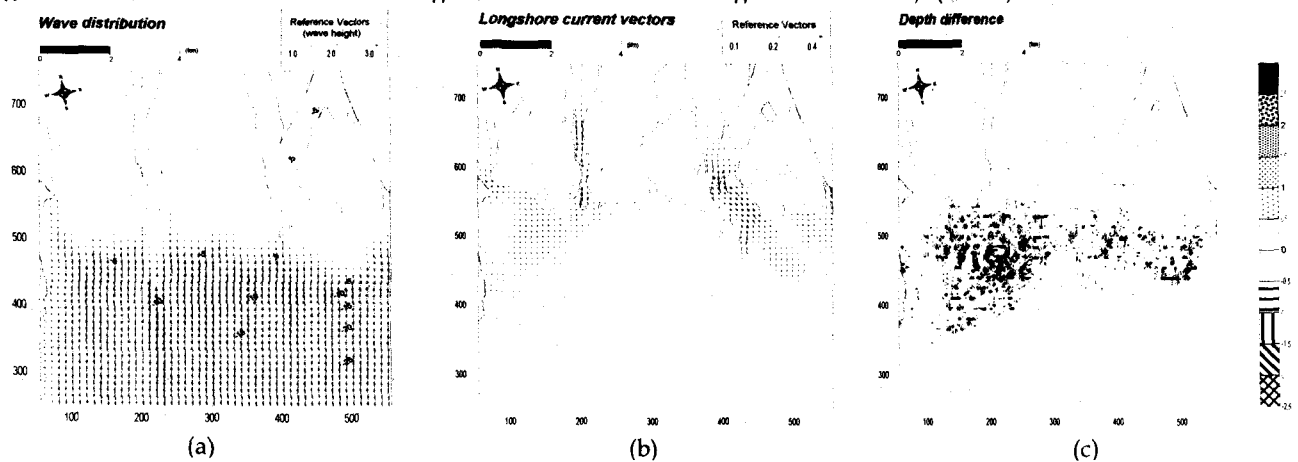


Fig. 12 Wave, current and bottom change of M.L.W.L in Nakdong River's estuary (S10W)

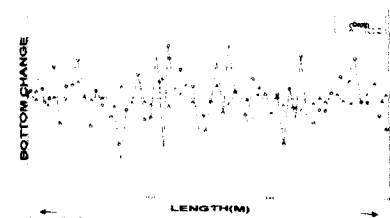


Fig. 13 Comparison of bottom change between 2m and 5m depth(M.H.W.L)

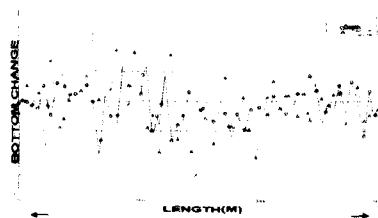


Fig. 14 Comparison of bottom change between 2m and 5m depth(M.L.W.L)

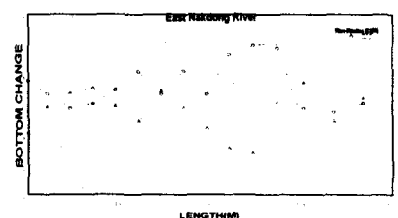


Fig. 15 Bottom change about Cross section East Nakdong River

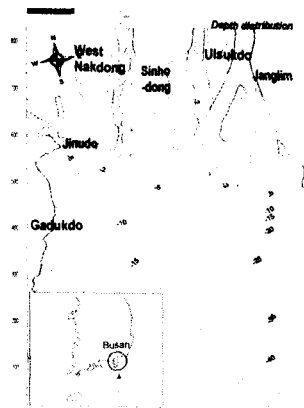


Fig. 10 Depth of Nakdong river's estuary

### 3.2.2 파랑장

낙동강 하구는 서측으로는 가덕도가 동측으로는 물운말 지역에 의해 천해 만의 형상을 가지고 있고, 낙동강 상류로부터 유입되는 하천수에 의해 생성된 삼각주로 매우 빠른 변화와 복잡한 형상을 나타내기 때문에 파랑도 외해에서는 일정한 방향으로 전파되어 들어오지만 쇄파대 근처와 낙동강과 연안이 만나는 지역에서는 복잡한 수로의 형성으로 인해 파랑의 분포 또한 복잡해지며 쇄파대의 위치는 약 3m전후로 나타난다(Fig. 11a, 12a).

### 3.2.2 해빈류장

낙동강 지역의 특징을 살펴보면, 조석의 영향이 비교적 적고 하구역의 물운말에서 시작하여 가덕도 북단까지 수심이 낮아 전반적

으로 약한 해빈류의 형성을 들 수 있다.

S45E의 파가 내습할 경우에는 물론말 지역으로부터의 강한 연안류의 발생이 특징적이라 할 수 있겠다. 이는 백합등 전면에서부터 신자도, 진우등을 거쳐 계속 서측으로 이동하다 토사를 가덕도 북단의 진우등 전면에서 퇴적을 일으킬 것으로 예상된다. 저조시에는 유사한 패턴의 흐름이 예상되나 서측으로 이동하는 거리가 짧아 장자도, 신우도 전면에서 토사가 퇴적될 것으로 예상되었다 (Fig. 11b, 12b).

### 3.2.3 표사와 해저지형 변화

낙동강 하구의 퇴적 특징은 하구의 전면의 넓은 범위에 걸쳐 수심의 변화가 일어난다는 것을 들 수 있다(Fig. 11c, 12c). 이는 하구에 접근할수록 수심의 경사가 작으며, 이로 인해 쇄파대의 형성이 비교적 외해로부터 일어나기 때문에 쇄파한 파랑과 해빈류의 형성에 의한 퇴적환경의 변화가 있기 때문이라 하겠다. 또한 앞에서 언급한 바와 같이 해빈류의 크기가 비교적 작아서 해빈의 변화가 그리 크지 않음을 알 수 있다.

파랑장과 해빈류장에서 본바와 같이 파와 흐름은 진우도 신자도, 백합등 전면에 걸쳐 수심의 변화가 예상되었다. 고조시에는 해빈류가 진우도와 신자도 사이에서 강한 흐름은 나타내어 쇄파대가 비교적 삼각주에 근접하여 형성됨을 알 수 있고, 저조시에는 쇄파대의 후퇴가 조석의 영향이 미약하여 그다지 두드러지지 않으며, 하구의 전면에서 퇴적 및 침식 현상을 반복하는 것으로 나타났다.

## 4. 결론 및 제언

지금까지의 해저지형에 관한 연구는 조석의 영향을 고려 하지 않고, 일정 수심에 대해서 해저지형변화를 계산한 것이 주류를 이루었다. 그러나 조석의 영향이 많은 지역에서는 조위의 변화가 해저지형변화에 어떠한 영향을 줄 것인지 분석해 볼 필요가 있었다. 이는 조석에 의해 수심이 변화하고 쇄파대가 전진 또는 후퇴하여 쇄파에 의한 지형변화가 달리 나타나기 때문이다.

실험의 결과, 조석의 영향이 많은 지역에서는 쇄파대의 형성이 비교적 후퇴하여 고조시에 퇴적물의 이동이 지역 안쪽으로 밀려오게 되는 현상이 나타났으며, 쇄파대의 전후 변화로 인해 지형변화가 넓게 분포하였다. 이에 반해 조석의 영향이 적은 지역은 쇄파대의 형성이 비교적 해안선에 가까운 곳에서 형성이 되어 고조시와 저조시 지형변화의 폭이 상대적으로 협소한 것으로 나타났다. 또한 대상역 전면에 구조물(자연, 인공)이 있을 경우는 회절의 영향으로 인한 해빈류의 영향이 비교적 적은 것을 알 수 있었다. 이는 지형의 변화를 알고자 수치 모형 실험이나 수리모델 실험을 할 때 쇄파대의 위치를 정확히 파악해서 대상지역에서의 지형변화를 예측하는 것이 중요하다는 것을 가리킨다.

차후에는 선정된 두 지역의 특성을 좀더 자세히 분석하여, 비교 분석해볼 필요가 있으며, 지형 변화에 대해 수치 실험을 하기에 앞서, 지형의 특성, 변화되는 양상을 지질학적인 관점과 공학적인 관점을 동원하여 면밀히 분석하고, 수리 모형 실험과 수치 실험을 병행하는 것이 정확한 예측에 도움을 줄 수 있을 것으로 본다.

이울러 장래에는 하구에서 하구수의 유입이 하구역의 해빈변형

에 어떠한 영향을 미칠것인가를 본 연구와 관련하여 추진해 볼 필요가 있을 것이다.

### 참 고 문 헌

1. 김성환, 낙동강 삼각주 말단 주변의 지형변화, 석사학위논문, 서울대학교, 2000
2. 방포항 기본계획 변경 환경영향평가서, 충청남도, 2001
3. 반응부, 낙동강 하구 해안사주 지형의 변화, 신라대학교 논문집, 제40권, pp.155 ~195, 1995
4. 신승호, 이종우, 조석이 큰 해역에서의 해안과정과 항만퇴적의 변화, 한국항만학회, 한국항만학회집, 제15권 1호, 2001
5. 中丞鎬, 沖合構造物背後の海浜變形機構とそのモデル化に関する研究, 博士學位論文, 2000
6. 西村仁嗣(Nishimura), 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, pp.333~337, 1982.
7. 渡邊兎(Watanabe), 丸山康樹, 清水陸夫 等, 構造物設置に伴う三次元海浜變形の數値豫測モデル, 第31回 海岸工學講演會論文集, pp.406~410, 1984.
8. Nishimura, H., "Numerical simulation of the nearshore circulation", Proc. 29th Conf. Coastal Eng., JSCE, Vol. 28, 1985.
9. Watanabe, A. and Maruyama, K., "Numerical Modeling of Nearshore Wave Field under Combined Refraction and Diffraction and Breaking", Coastal Eng. in Japan, Vol. 29, pp.19~39, 1986.