

낙동강 하구 사주 발달에 관한 연구

김상호*, 신승호**, 양상용***, 이중우****

A Study on Delta Processes at the Estuary of Nak-Dong River

Sang Ho Kim*, Seung Ho Shin**, Sang Yong Yang***
and Joong woo Lee****

요약 낙동강 하구의 사주 발달 과정을 과거 관측 자료를 토대로 분석하고, 수치해석기법을 도입하여 파랑의 변화와 이로 인한 해빈류를 계산하여 낙동강 하구역 및 그 인접해역에서의 3차원적인 지형변화를 예측, 하구의 해안선 변화와 사주의 발달과정을 관련시켜 보았다 실제 지형변화와 수치 실험의 결과를 분석해 본 결과, 이들 해역에서의 해안선 변화 및 사주의 발달은 하구둑의 건설과 같은 인위적인 요소 외에 해빈류의 영향이 크게 작용하며, 장래에는 진우등 하단부와 다대포 해수욕장 전면에서 사주의 발달과 이동이 예상된다

ABSTRACT Collected and analyzed the coastal processes at the estuary of Nak-Dong river and its near coastal area from the history of field measurements. Introduced a numerical model to predict three dimensional topographical change which are evaluated from the nearshore wave and the wave induced current fields for the objective area, and later it were related to the development of beach and shoals. With the comparison between measured and calculated, we found that the changes on the coastline and sand spit and bar development are induced not only by artificial forces due to the construction of river dike, but also by the strong impact of wave induced current. In future days, it is expected that coastline change and sand bar development at the lee side of Jinwoo-Deung and at the front of Dadae beach.

Key words . 삼각주(Delta), 하구(Estuary), 지형변화(topographical change), 현장관측(field measurement), 해빈류(wave induced current), 수치모델(numerical model)

1. 서론

하구역은 육상으로부터 담수의 유입과 해양환경에 의한 영향으로 복합된 메카니즘을 가지고 있어 발생하는 제형상을 규명하기가 어렵다. 하지만 문명 발생의 근원이 되었고, 앞으로도 인류 발전의 초점이 해양에 있다는 것으로 볼 때 육상환경과 해양환경을 다 가지고 있는 하구역은 지역적으로 중요한 요충지라 할 수 있다. 따라서, 환경생태학적으로도 중요한 자료를 제공해 주는 하구역은 과거부터 중요한 보호구역으로 지정이 되기도 했으며, 많은 환경 및생물학자들의 연구가 진행되어 왔으며, 또한 하구역의 발달과정을 예측하기 위해 공학적인 접근도 시도되고 있다.

본 연구의 대상지역인 낙동강은 양산시 물금읍 부근에서 대동수문을 지나면서 동서로 분류하고 서낙동강과 낙동강 본류로 나뉘게 되고, 본류는 다시 을숙도 중심으로 서측과 동측으로 나뉘어 해안으로 유입되지만, 서낙동강의 경우는 대동수문

과 녹산수문의 건설(1934)이후 하천수의 유출이 중단된 담수호로 바뀌게 되었고, 본류 또한 1987년 낙동강 하구언의 축조로 인해 동측으로만 유출된다.

본류를 통한 토사의 유출은 해안에서 해수와 혼합을 한 후, 외해로 밀려 나갔으나, 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 나타내고 있다(김, 2000).

낙동강 지역의 지형은 1861년 제작된 대동여지도에서 현재의 대저도와 명호도만이 나타나 있고 1904년 조선토지농산조사보고 경상, 전라도편에서는 신호도(현 신호리), 대마등, 이협등(진우등)이 나타났고, 1916년 제작된 지형도(관동군 사령부)에는 장자등이 나타나 있다.

1955년 제작된 지형도(미 극동군 사령부)에는 다대포의 북쪽에 백합등이 새롭게 나타나고, 대마등의 서측 부분의 폭이 좁아지면서 진우등과 장자등이 동측에서 서쪽으로 성장하고 있음을 알 수 있다. 이후 1975년에 제작된 지형도(국립지리원)에서 신호도는 공단과 택지조성을 위한 간척으로 육지와 연결되었으며, 진우등은 이전의 시기와 비교해 볼 때 변화를 보이지 않고 을숙도의 남측이 계속해서 발달하여 백합등쪽으로 성장하고 있다. 1986년 제작된 지형도(국립지리원)에는 장자등의

* 한국해양대학교 대학원 iamjaws@hanmail.net

** 일본PARI연구소 shinsh@pari.go.jp

*** 삼성물산 건설부문 syyang2004@yahoo.co.kr

**** 한국해양대학교 교수 jwlee@hanara.hhu.ac.kr

남측에 새등(신자등)이 나타나고, 백합등의 남쪽으로 나무섬등이 나타나 백합등과 서쪽부분이 연결된다. 서낙동강 남쪽에 형성된 진우등 아래쪽으로는 더 이상 새로운 사주의 형성이 이루어지지 않는다. 1988년 제작된 지형도(국립지리원)에서는 나무섬등 아래에 새등이 나타나 있다(반, 1995). (Fig. 1참조)

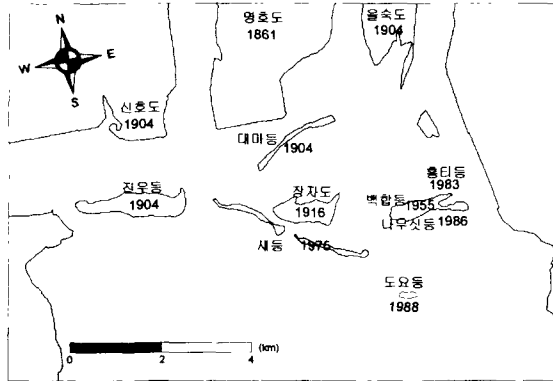


Fig. 1 History of Delta formation at the estuary of Nakdong river

Fig. 2의 위성사진에서는 신호도하단과 명호도 하단이 매립되어 있고, 새등 일대와 다대포일대의 표사량이 증대했음을 알 수 있다.

낙동강 삼각주 전면을 구성하는 사주군은 낙동강이 남해로 유입하는 세가지의 유로를 따라 신호도와 명호도, 을숙도 남단에서 외해쪽으로 발달해 왔다. 낙동강 하구언이 건설된 이후에는 을숙도의 남쪽과 다대포 해안에 새로운 지형이 형성되고 있다. 이것은 하구언의 건설과 하천 준설공사로 조류의 흐름과 퇴적물의 이동에 변화가 일어나 새로운 퇴적양상을 이루고 있음을 지시한다(김, 2000). 확산모델을 사용한 낙동강 하구에서의 부유하중 거동에 관한 연구에 따르면 진우등과 대마등 부근의 유속이 약해져 상류로부터 유입하는 부유상태의 퇴적물이 다대포 연안으로 이동하는 것으로 계산되었다(김등, 1995).



Fig. 2 Satellite data for the estuary of Nakdong river (1988, 2000)

본 연구에서는 낙동강 하구의 사주 발달 과정을 과거 자료를 토대로 수치해석 기법 중 유한차분 기법을 도입하여 낙동강 하구역 및 그 인접해역에서의 파랑의 변화를 계산하고 잉여에너지로 발생하는 해빈류의 분석을 통하여 이로 인한 3차원적인 지형변화 예측해 보고자 한다.

2. 파랑, 해빈류, 지형변화의 지배방정식

2.1 파랑의 지배방정식

파랑의 지배방정식은 Fig 3의 좌표계에 대하여 환경사 방정식(1)을 도입한다.

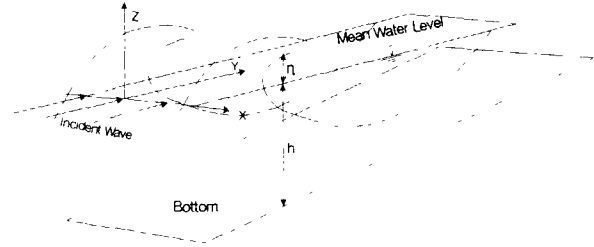


Fig. 3 Coordinate system for wave

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

여기서, $\nabla = \left(\frac{\partial}{\partial x}, \frac{\partial}{\partial y} \right)$, C : 파속, C_g : 군속도, ϕ : 수평방향 속도포텐셜, ω : 각주파수

다시 $\phi(x, y)$ 에 scaling factor $\psi = \sqrt{CC_g} \phi$ 를 도입하고, y방향의 진행파에 대해 환경사방정식을 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 얇아짐에 따라 천수변형으로 인해 파고가 증대되며 마침내 쇄파하여 에너지가 소산되고, 이러한 현상은 파고의 감쇠, 평균해면의 상승 및 이로 인한 해빈류 발생 등으로 작용하게 된다(申, 2000).

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

$$\frac{H_b}{L_0} = A \left[1 - \exp \left\{ -1.5 \frac{\pi h_b}{L_0} (1 + K \tan^3 \beta) \right\} \right] \quad (4)$$

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).

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

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

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

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 잉여에너지항, F_x, F_y : 파

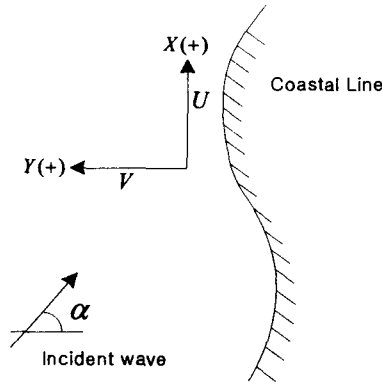


Fig.4 Coordinatesystem for current

와 흐름에 의한 마찰항, M_x, M_y : 수평혼합항

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

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

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

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.

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

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.

$$R_x = \frac{1}{\rho(h+\eta)} \left(\frac{\partial S_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial S_{xy}}{\partial y} \right) \quad (12)$$

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

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

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

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

2.3 표사의 지배방정식

z_b 는 Fig. 3에서와 같이 임의의 높이를 기준으로 한 국지

저면의 높이, t 는 시간을 나타낸다. 또한 x, y 는 수평면상에서 취한 직각좌표계이며 표사량의 x, y 방향성분 q'_x, q'_y 는 해변의 저면구배 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.

$$q_x = q_{wx} + q_{cx} \quad x \text{ 방향의 파와 흐름에 의한 국지표사량} \\ (w: \text{wave}, c: \text{current})$$

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

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

즉, Q_w, Q_c 의 x, y 방향성분 ϵ_s : 무차원계수 (지형안정화 계수로 해저 경사효과의 정도에 관한 계수)

파랑에 의한 표사량은 다음과 같이 나타낸다.

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

이때, $\Phi = (1 - \lambda_v) q_w / w_0 \sqrt{d}$ 무차원 표사량, $\Phi_w = u_*^2 / sgd$

Shield 수, Φ_c 한계 Shield 수(활면: 0.11, 조면: 0.06), q_w 파에 의한 실질적인 표사량의 절대치, λ_v 저질의 공극율, w_0 침강 속도, 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.

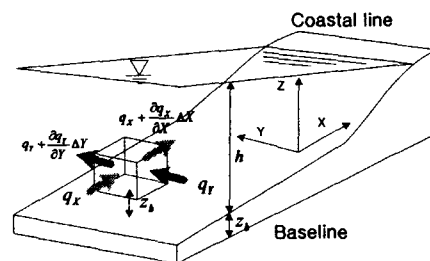


Fig. 5 Coordinate system for calculation of the littoral drift

흐름에 의한 표사량은 다음과 같다.

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

여기서, u_* : 파와 흐름이 공존하는 장에서의 저면마찰속도,

u_{*c} : 저질이동한계 마찰속도이다.

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

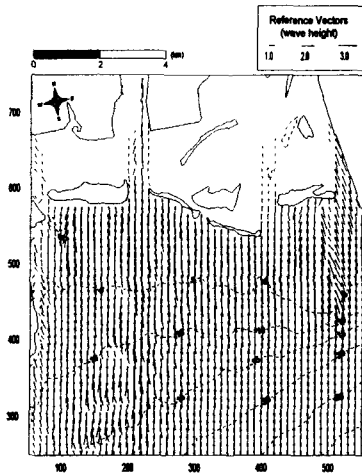


Fig. 6 Wave angle and height at M.H.W.L.(S10W)

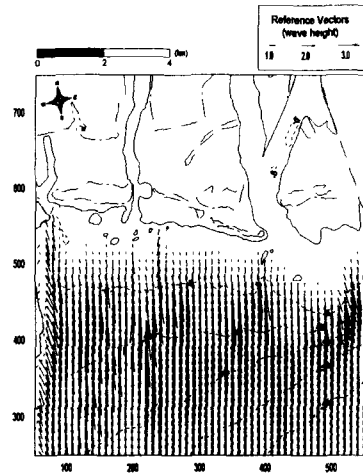


Fig. 7 Wave angle and height at M.L.W.L.(S10W)

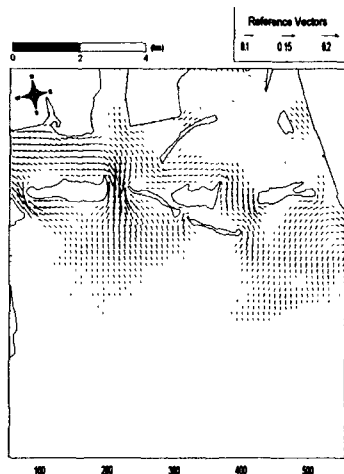


Fig. 8 Nearshore current at M.H.W.L.(S10W)

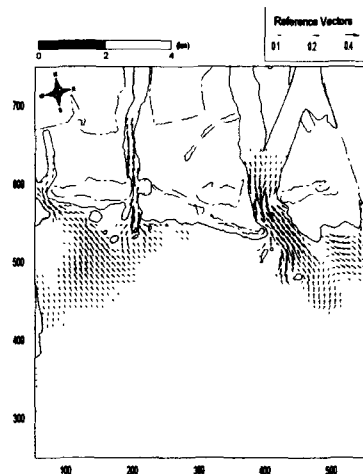


Fig. 9 Nearshore current at M.L.W.L.(S10W)

3. 수치해석

1) 모델구성

낙동강 하구 지역의 조석은 국립해양조사원(1999)의 자료에 의하면 평균 고조 간격이 8h 18m으로 반일주조가 강하고, 대조차 1.7m, 소조차 0.7m, 평균해면 0.95m로 나타났다.

낙동강 하구 지역은 부산항 3단계 개발사업 파랑해석 조사 보고서(1984), 전국항만설계과 추산보고서(1988)에 의하면 동계에는 SE 파향이 우세하고, 하계에는 S10W의 파향이 우세하다.

이들 자료로부터 S10W 파향과 SE 파향에 대하여 파고와 주기를 동일하게 각각 3.0m, 10s로 하여 평균고조위와 평균저조위에서의 입사파랑에 대한 수치실험을 실시하였다. 계산은 7.2×16.3km의 계산 영역에 대하여 $\Delta x = \Delta y = 200$ 의 격자로 구성하고 비교적 광범위한 영역에서의 변화를 시뮬레이션 하였다.

2) 파랑장

파랑은 외해에서 일정한 방향으로 전파되어 들어오지만 쇄파대 근처와 낙동강과 연안이 만나는 지역에서는 파랑의 분포가 복잡해진다.

Fig. 6에서 나타낸 바와 같이 S10W방향에 고조시 파랑이 입사할 경우 낙동강의 안쪽까지 상당량의 파랑이 낙동강 수로에까지 전파되는 것으로 나타났다. SE 방향의 파랑이 입사할 때에 고·저조위시 동일하게 해수의 침입이 상대적으로 약한 것을 알 수 있었다. 두 방향 모두 쇄파대 위치는 약 3m 수심에 이루어지는 것을 알 수 있다.

3) 해빈류장

낙동강 하구역에서의 특징은 전반적으로 약한 해빈류의 형성을 들 수 있다. 따라서 해빈류 즉, 흐름에 의한 표사의 이동이 파랑에 의한 이동보다 상대적으로 낮은 비율로 이동된다는 것을 의미한다.

대상 지역의 S10W 방향의 파랑이 내습하게 되면 고조위시(Fig. 8)에는 진우등과 새등 사이에서, 저조위시(Fig. 9)에는 새등과 백합등 사이에서 다른 지역보다 상대적으로 강한 연안류가 발생되지만, 이들의 크기가 작아 표사의 이동량은 비교적

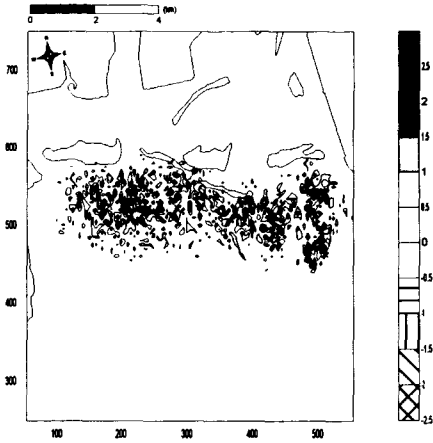


Fig. 10 Bottom changes at M.H.W.L.(S10W)

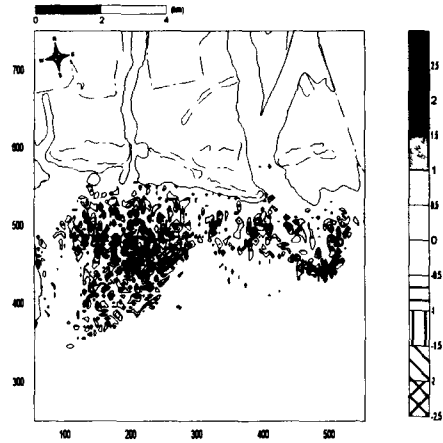


Fig. 11 Bottom changes at M.L.W.L.(S10W)

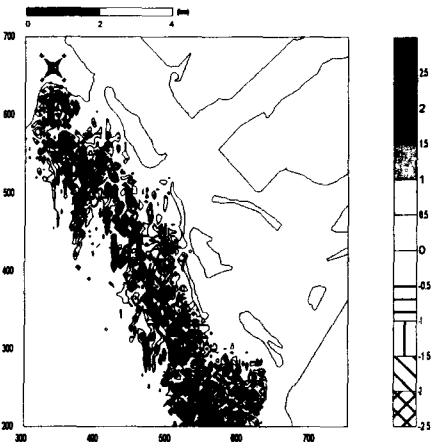


Fig. 12 Bottom changes at M.H.W.L.(SE)

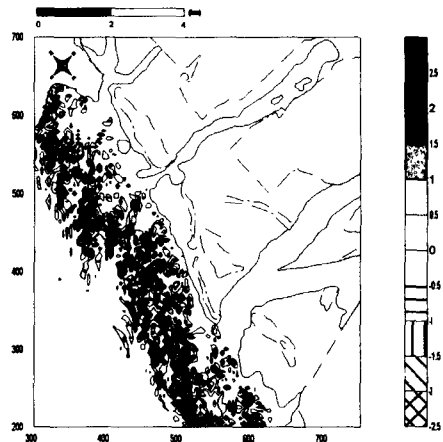


Fig. 13 Bottom changes at M.L.W.L.(SE)

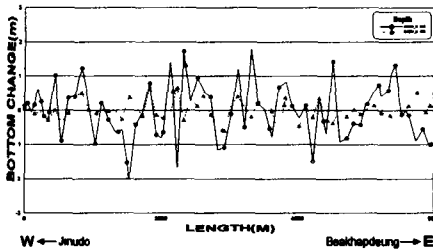


Fig. 14 Comparison of bottom change between 2m and 5m depth(S10W, M.H.W.L.)

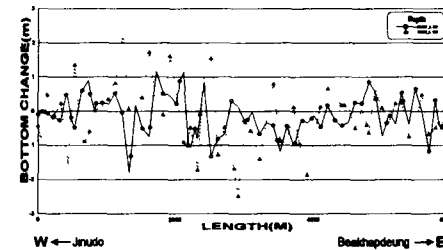


Fig. 15 Comparison of bottom change between 2m and 5m depth(S10W, M.L.W.L.)

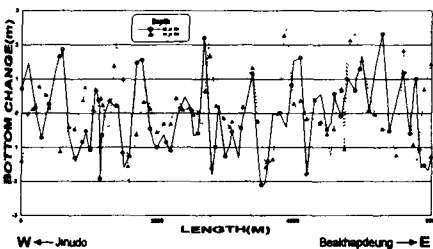


Fig. 16 Comparison of bottom change between 2m and 5m depth(SE, M.H.W.L.)

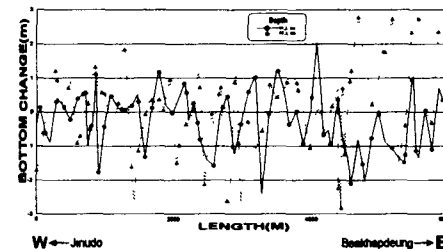


Fig. 17 Comparison of bottom change between 2m and 5m depth(SE, M.L.W.L.)

적을 것으로 예상된다.

또한 SE 방향의 파랑에 의한 해빈류에서도 유사한 흐름의 패턴을 가지므로, 이는 낙동강 하구의 퇴적현상은 파랑에 그다지 영향을 받지 않음을 의미한다. 다만, 해빈류 벡터의 분포가 전반적으로 고르게 넓은 지역에 걸쳐 있고, 삼각주 하단에서 저조위시에 해빈류의 흐름이 고조위 보다 활발하므로 저조위시에 더 많은 이동이 예상된다고 할 수 있다.

4) 표사와 해저지형 변화

낙동강 하구역의 퇴적 특징으로 하구 전면의 넓은 범위에 걸쳐 수심의 변화가 일어난다는 것을 들 수 있다. 이는 하구에 접근할수록 수심의 경사가 작으며, 이로 인해 쇄파대가 비교적 외해에 형성되어서 지형변화의 공간적인 폭이 넓기 때문이라 하겠다. 그러나 앞에서 언급한 바와 같이 해빈류의 크기는 비교적 작아서 지형의 변화가 그리 크지 않을 것으로 예상된다.

파랑장과 해빈류장의 시물레이션에서와 같이 파와 흐름에 의해 진우등 신자등, 백합등 전면에 걸쳐 수심의 변화가 예상되었다. 고조시에는 해빈류가 진우등과 신자등 사이에서 흐름이 강해지고 쇄파대가 비교적 삼각주에 근접하여 형성되며, 저조시에도 조석의 영향이 미약하여 쇄파대의 후퇴가 그다지 두드러지지 않아, 하구의 전면에서 퇴적 및 침식 현상을 반복하는 것으로 나타났다. 다만 Fig. 10과 Fig. 11에서 알 수 있듯이 고조에 비해 저조위시 지형의 변화가 공간적으로 넓게 나타나며 특히, 가덕도 동쪽에서는 지형의 변화가 두드러짐을 알 수 있다. 실제로 현장조사의 결과에서도 진우등 하단부에 “속동”이라는 등이 새롭게 계속해서 발달해 가고 있는 것으로 파악되었다. 이는 Fig. 14~17의 그래프와 같이 2m 및 5m 수심에 대한 지형변화에서 비교적 고조위와 저조위의 균형이 이루어지고 있지만, 고조위시와 파향이 SE일 때 퇴적의 경향이

높고, 저조위시와 파향이 S10E에는 상대적으로 침식의 경향이 강한 것으로 나타났다.

또한 백합등 아래 지역, 즉 그래프의 오른쪽에서 퇴적의 정도가 높게 나타나는 것을 볼 수 있으며, 이것이 다대포 지역의 퇴적변화에도 영향을 미칠 것으로 사료된다.

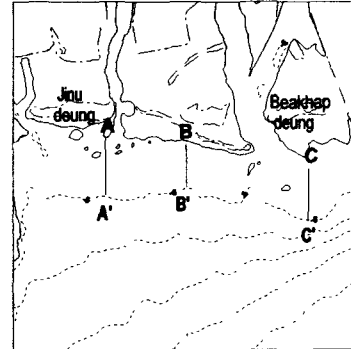


Fig. 18 Cross sections for the analysis of bottom change

이 경향은 다대포 일대의 해빈의 변화에 대한 연구(김,2000)에서도 나타났다.

Fig. 18과 같이 단면을 절단하여 그 수심에 따른 지형 변화의 경향을 분석하였다. Fig. 19 (a)~(c)은 S10W파랑이 입사할 때의 단면 지형변화로 변화가 작았고, Fig. 19 (d)~(f)에서는 전자보다 상대적으로 컸으며, 퇴적의 경향이 강한 것을 알 수 있다.

특히, 진우등 하단의 지형변화와 다대포 일대의 지형변화의 폭이 크고 퇴적의 경향을 보인다.

Fig. 20에서는 이상의 결과를 종합하여 대표되는 침식과 퇴적의 경향을 종합하여 보았다. 위 그림에서도 알 수 있듯이 대

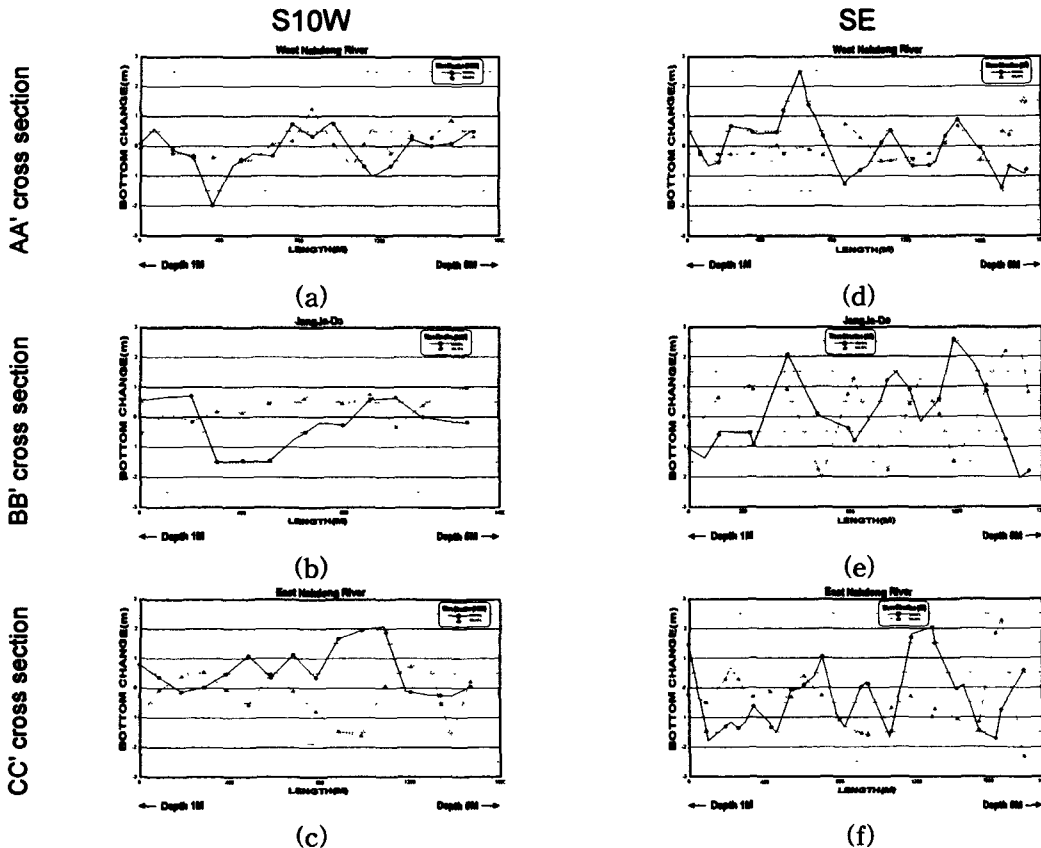


Fig. 19 Bottom changes of cross section as wave direction

상영역은 큰 폭을 가지고 일정한 지역에서 침식과 퇴적을 반복하는 것으로 추정되었다.

Refraction and Diffraction and Breaking", Coastal Eng. in Japan, Vol. 29, pp.19~39, 1986.

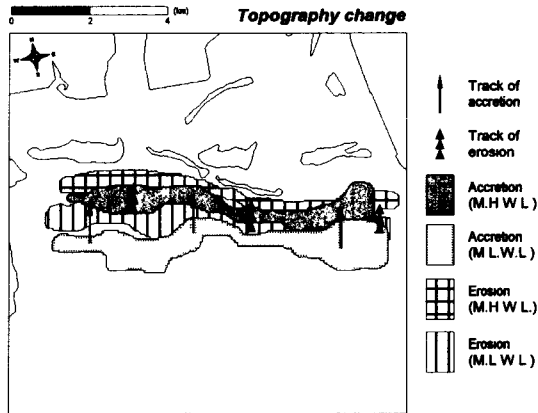


Fig. 20 Trend of topography change at the estuary of Nakdong River

4. 결론 및 제언

본 연구는 낙동강 하구에서 형성된 삼각주의 형성과정을 과거 자료를 통하여 분석해 보았고, 이를 기초로 하여 삼각주의 발달 과정을 추정해 보았다. 낙동강 하구는 진우등의 전면과 다대포 전면의 해안에서 비교적 지형의 변화가 큰 것으로 판단되었고, 실제로 이들 지역에서 지형변화가 있음이 조사되었다.

그러나 본 수치실험에서는 낙동강에서 하구로 유입되어 오는 담수의 영향을 무시하였다. 따라서 담수의 유입이 있을 경우 삼각주의 발달은 어떻게 될 것인지 연구해 볼 필요가 있겠다.

참고 문헌

- [1] 김성환, 낙동강 삼각주 발달 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, 이중우, 조석이 큰 해역에서의 해안과정과 항만 퇴적의 변화, 한국항만학회, 한국항만학회집, 제15권 1호, 2001
- [5] 申承鎬, 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] 渡辺晃(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