

서해연안 돌제구조물 주위의 침퇴적 해석:  
실측 및 수동역학 모델에 의한 초기추정  
Analysis of Sedimentation Around Jetties in the West Coast:  
based on field measurement and hydrodynamic modeling

서승원\* · 유경선\*\* · 이화영\*\*  
Seung Won Suh\*, Gyeong Sun Yoo\*\* and Hwa Young Lee\*\*

**요 지** : 대조시 조차가 6.6 m에 이르는 천해역인 전북 구시포 연안에 건설된 어항연육제방, 방류제 및 돌제 등 제방군 주위에서의 침퇴적을 이해하기 위한 초기의 연구가 시도되었다. 직접 해석방법으로 정선측량과 간이항공 측량에 의한 침퇴적 변화를 1년 6개월에 걸쳐 수행하였다. 간접적인 방법으로는 제방 인접지역에서의 침퇴적 성향을 파악하기 위하여 침수-노출을 고려한 2차원의 ADCIRC 모형을 적용하여 제방 건설 전후의 유속 및 해저응력의 변화를 비교 평가하였다. 연구 결과에 따르면 구시포어항 연육제방 부근 및 해수욕장 간사지는 퇴적이 다소 우세한 것으로 평가된다. 제방 건설로 유속이 둔화되고 shadow zone 등에서는 한계응력 이하로 급감하여 0.10~0.15 N/m<sup>2</sup>으로 변하며 퇴적성향으로 전이되는 것이 모델링 결과로부터 분석되었다. 그러나 본 논문에서 제시하는 결과는 해저질의 물리적 특성을 충분히 고려하지 못한 제한적인 초기의 평가에 따른 것으로 이어지는 연구의 상세 침퇴적 모델결과와 비교 검토되어 충실한 결과가 도출되어야 할 것으로 사료된다.

**핵심용어** : 제방군, 퇴적, 해저응력, 유속둔화, 비선형조석

**Abstract** : A sedimentation analysis has been attempted to figure out sedimentation environment due to construction of coastal jetties, such as fish harbor dike, flow guided dike and jetty in shallow Kusipo area, in which tidal range marks up to 6.6 meters in spring tide. As an initial approach of understanding field measurement were done on several stations along reference lines with total station and photo analysis taken by remote controlled small air craft for one and half years. Also numerical tests were done by 2-D ADCIRC model considering dry-wet treatment to evaluate flow and bottom shear stress variations. According to direct measurement, deposition seems to be dominant on Kusipo beach. Model results show bottom shear stress lessens to 0.10~0.1 N/m<sup>2</sup> on most shadow zone of jetties and the inner zone is suffering sedimentation as a result of dike construction. However this is the first approach with limited analysis, thus it should be dealt further considering physical characteristics of bottom sediments in a complete sediment model on upcoming study.

**Keywords** : jetties, sedimentation, bottom shear stress, velocity attenuation, tidal asymmetry

## 1. 서 론

서해중부 해역인 전북 해안에서는 조류의 특성이 대체로 창조시에 연안을 따라 북상하고 낙조시에는 이와 반대의 양상을 보인다. 조석특성은 수심이 낮은 연안에서 비선형 운

동을 야기하면서 복잡한 양상으로 나타난다. 더군다나 우리나라 서해 연안은 조차가 6 m-8 m에 이르는, 대조차 해역에 속하므로 해저질의 수송과 침퇴적은 조류와 직접적으로 관련성이 있게 된다. 최강류시에 수송된 해저질과 조석의 비대칭성에 기인된 잔차류 등의 영향으로 연안지형의 동

\*군산대학교 해양시스템공학전공(Corresponding author: SeungWon Suh, Dept. of Ocean System Engineering, Kunsan National University, Miryong, Kunsan, Chonbuk 573-701, Korea. suh@kunsan.ac.kr)

\*\* 군산대학교 대학원 해양산업공학과

적 변화가 꾸준히 일어나고 있다. Klein(1985)에 따르면 조간대의 경우 침수되었을 때에만 조류가 발생되므로, 조류가 조간대를 가로질러 흐르는 경우 저니토는 조류에 대응하는 해저의 소류력에 기인되어 움직이게 된다. 대체로 조류속도가 10 cm/sec를 초과하게 되면 모래 입자를 움직일 수 있는 소류력을 갖게 된다. 평균 조류속도가 50 cm/sec를 초과하게 되면 current ripple이 생성되고, 40 cm/sec 정도이면 dune이 생성되는 등 조류속도가 해저의 수송과 해빈형성을 유발한다.

자연해안에 인위적인 공사의 영향이 가해지면 일대 해역에 급격한 지형변화가 유발되는데, 서해안에서 목포의 영산강 하구 해역은 인위적인 제방의 축조로 인해 조석수동역학의 변화가 나타나고(강·문, 2000) 금강하구의 군장해역에서는 제방축조로 조석체계의 교란이 뚜렷한 해역으로 평가된다(서, 1998). 특히 새만금 방조제의 축조는 인근 조석체계 뿐만 아니라 황해 전역에 걸쳐서도 그 영향을 미치고 있는 것으로 보고되며(최·이, 2003), 여기서 파생되는 조석·조류 체계변화는 인근의 전복을 포함한 서해중부 연안에 직간접적으로 영향을 미치게 된다. 해안공학적인 관점에서는 세굴이 심화되는 해안을 보호할 목적으로 해안에서 외해방향으로 돌출되는 돌제가 건설되고, 특히 사빈해수욕장의 유실 유사를 방지하기 위한 공법으로 이용되기도 한다. 그러나 제방의 축조 목적이 이러한 것과는 근본적으로 거리가 있는 선착장을 위한 돌제, 흐름을 유도하기 위한 방류제 등의 돌제 건설은 부차적인 현상으로 자연스럽게 그 주위의 지형변동을 야기 시킬 수밖에 없다.

우리나라 연안에서 침퇴적을 포함한 연안관리 필요성에 관한 근자의 연구로는 김·이(2004)가 안목항 주변에서 방파제 시설의 확장에 따른 침식현상을 표사량 추정과 국지 토사 이동 수치모형 시스템을 적용하여 이동 경향을 파악하고 연안통합관리(ICZM: Integrated Coastal Zone Management)의 중요성을 피력하였다. 정 등(2004)은 이어지는 연구에서 DGPS를 이용한 관측을 통해 단기간인 1.5개월에 걸친 비교 분석이지만 계절적인 영향으로 돌제나 방사제 주위에서 흐름 진행방향으로 해안선의 전진과 후퇴가 나타나는 성과를 제시하고 있다. 간접적인 측정 방법인 원격탐사와 GIS 기법을 이용하여 특정 해안지역의 지형변화를 살펴본 서(2002)는 신두리 해안사구의 변화를 30년간의 항공사진 자료를 분석하여 간척제방이 축조된 이후 해안선이 전진하고, 특정 사구지대에서는 최대 80 m 이상 후퇴하는 현상변화를 밝힌 바 있다. 태안군(2005)의 자료에서는 운여 해수욕장의 사빈과 해안사구복원 사업을 위해 학술조사한 성과를 다루

고 있는데, 여기서는 1977, 1989, 2003년도의 항공사진 자료를 이용하여 광역에 대한 해안사구의 변화를 다루며, 또한 관심이 집중되는 정선에서는 2004년 12월부터 2005년 4월까지 8회에 걸쳐 직접 수준측량을 실시하여 국부적인 단기간의 변화를 분석한 결과를 다루고 있다.

국외의 자료 중 유사한 연구를 수행한 것으로는 Proosdij et al.(2006)이 세계적인 대조차 해역으로 잘 알려진 캐나다 Fundy만의 습지대에서 퇴적성상의 공간적 분포를 이해하고자 서로 상이한 28 조석 주기별로 광역에 걸쳐 토사 포집기를 설치하고 이를 토대로 공간보간을 통해 직접적인 퇴적의 정량적인 변화상을 살펴보는 연구가 있었다. Ari et al.(2007)은 Black Sea에 연한 Karaburun의 소규모 어항에서 파랑에 의해 발생된 유사의 퇴적으로 항 입구부의 매몰 등 부정적인 영향을 이해하기 위하여 위성 영상으로부터 추출한 자료를 토대로 2003년과 2005년에 변화된 해안선의 전진·후퇴를 분석하기도 하였고, one-line 모델을 이용하여 연안을 따른 토사량을 추정하는 연구 결과를 발표하고 있다. Cuadrado et al.(2005)은 평균조차가 3 m 내외의 해역에서 100년 전 건설된 해안구조물이 여하히 해저지형의 역학적 변화를 유발하는지를 연구하였으며, 조류에 의해 수동되는 유사량을 추산하기 위해 해저질의 평균입경을 고려한 저층 1 m 수심의 유속을 변수로 활용하여 해석한 바 있다.

인위적인 개발 또는 자연적으로 발생하는 해안의 변형을 이해하기 위하여 접근한 국내외 연구의 공통점은 광역에 대한 분석은 위성이나 항공사진 등의 간접적인 방법이나 수치모형을 이용하여 장단기적인 변화를 살펴보고, 국지적인 변화상을 파악하기 위해서는 직접적인 수준측량 등의 관측을 통해 그 변화를 파악하고 있다는 것이다.

본 논문에서는 수심이 낮고 조석 간만의 차이가 대조시 6.6 m에 이르고 유동이 복잡한 대조차 해역에서 온배수 배출의 완화목적으로 설치된 방류제 및 돌제 등이 건설되어 있는 전북 구시포 해역에 대하여 제방 축조로 인한 유동의 변화가 인근의 침퇴적에 어떠한 영향을 미치는지 현장관측을 위주로 평가하며 수동역학 수치모형을 이용한 초기의 평가가 다루어진다. 당해역에서 침퇴적 현상을 이해하고자 2002년 7월부터 2004년 1월까지 1년 6개월에 걸친 계절별 실측을 통한 현장관측과 수치모형을 병행 실시하여 현장관측과 조류 및 침퇴적 변화를 예측하는 수치모형의 결과와 견주어 상호 연관성을 고찰하는 연구가 다루어진다. 대상 해역에서 선행된 연구 논문은 학술발표회에서 초기의 성과와 접근 방법이 제시된 바(서, 2003; 서 등, 2004) 있으나, 기초적인 결과만을 수록하여 현상을 이해하는데 제한사항

이 있었다.

본 논문의 내용과 연관된 저니토의 물성을 고려하며 반복적인 고수온의 영향을 고려하는 상세한 침퇴적 모의를 포함하는 연구 성과가 학술회의(서·유, 2007)에서 모델개념 및 단순해역의 비교 검토 등으로 다루어졌다. 본 논문은 이러한 현상을 규명하는 일련의 연구인 현장관측과 상세한 침퇴적 수치모형을 운용하는 과제 중, 첫 단계로 현장관측 및 수동역학 모형실험에 의한 초기의 침퇴적 성향파악을 위주로 논의한다. 이어지는 논문에서는 본고에서 검토된 침퇴적 성향과 학술회의시 제시되었던 저니토의 물성 특성을 고려한 모의 및 상호 분석이 다루어질 예정이다.

## 2. 현장관측 및 분석

### 2.1 대상해역

본 연구 대상해역은 Fig. 1에 보이는 바와 같이 임해발전소의 냉각수 흐름을 외해로 유도하기 위한 방류제를 포함한 돌제와 함께 구시포 어항 연육제방 등이 건설되어 일대 해역에서 해수유동의 변화와 함께 해저지형의 변화가 발생하는 곳이다. 특이점으로 연구 대상 해역은 축조된 제방 내측으로 발전소의 온배수가 지속적으로 배출되어 연안의 퇴적환경이 자연환경과 달라지는 특성을 보이고 있다. 본 연구에서는 인위적으로 축조된 연안의 돌제구조물이 침퇴적 환경을 어떻게 변화시키는지 살펴보고자 당 해역을 대상으로 선정하였다.

### 2.2 해양물리 특성의 현장관측

#### 2.2.1 조석

침퇴적 환경에 가장 크게 영향을 미치는 해양물리특성을

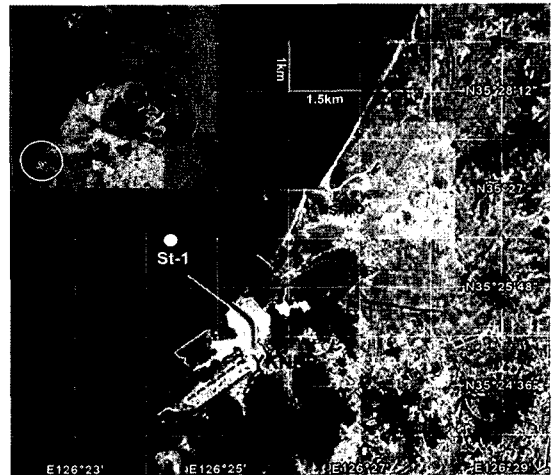


Fig. 1. Study area with three jetties, Jeonbuk, Korea.

파악하기 위하여 대상해역의 조석, 조류 및 파랑에 관한 연속관측을 2002년 8월 14일부터 2004년 1월 7일까지 계절별로 1년 6개월에 걸쳐 실시하였다. Fig. 1에 보이는 것처럼 일련의 제방군 중에서 남측에 위치한 방류제 북쪽 입구(정점 St-1)에 임시 조위측정소를 설치하고 WTR-9을 이용하여 매 계절별로 15일간 관측을 실시하였다. 관측된 자료 중 Fig. 2(a)에 도시되는 2003년 10월의 관측결과는 1일 2회조의 조석변화가 뚜렷하고, 대조차는 6.6 m에 이르는 것을 알 수 있다.

#### 2.2.2 조류

연안지역 특히 수심이 낮은 해역에서 지형변화에 가장 크게 영향을 미치는 인자는 해저질의 운반과 수송에 직접적으로 영향을 미치는 것은 조류이므로 조석과 병행하여 이에 대한 관측이 수행되었다. 관측성과 중 일부를 조류타원

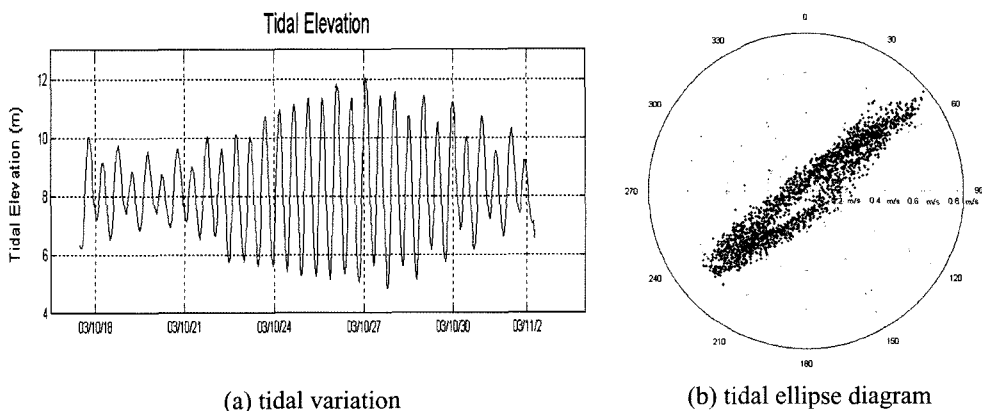


Fig. 2. Measured tidal elevation and scattered currents diagram at st-1 showing in Fig. 1.

도로 도식화하여 Fig. 2(b)에 제시하였으며, 그림에서 보듯이 연구대상 해역에서는 해안을 따라 왕복성 운동을 한다. 최강창조류는 0.8 m/sec, 최강낙조류는 0.6 m/sec을 보이는 등 비대칭의 현상을 보이고 있다. Kreeke et al.(2002)은 비선형 조류에 의한 조류비대칭은 비록 초기에 대칭인 해저 지형도 결국은 비대칭으로 변화시키며 여기에 영향을 끼치는 인자는 M2분조와 배조인 M4와 같은 천해조 및 잔차류 등이 주된 것으로 평가하고 있다. 따라서 연구해역과 같이 M2 및 M4분조가 강한 조류는 돌제군이 축조된 당 해역에서 저니토 유사 수송을 유발하는 상당한 소류력을 갖게 되며, 조석 및 조류의 비대칭과 돌제 축조로 인해 야기된 유사수송은 급격한 환경변화를 겪게 되는 것으로 간주된다. 이런 현상은 Pritchard et al.(2002)이 모델링을 이용하여 조간대 해역에서 조류가 침퇴적에 영향을 미치는 것인가를 제시한 바와 같다.

### 2.3 해빈변형 실험

#### 2.3.1 개요

간사지를 포함하는 해빈을 정밀한 수준측위 등을 실시하면 침퇴적 환경변화 등 그 변동 상황을 정확하게 파악할 수 있다. 본 연구에서는 해안선에 직각방향으로 구시포 해수욕장 간사지에 4개 정선, 구시포 어항 연육제방 북측에 1개

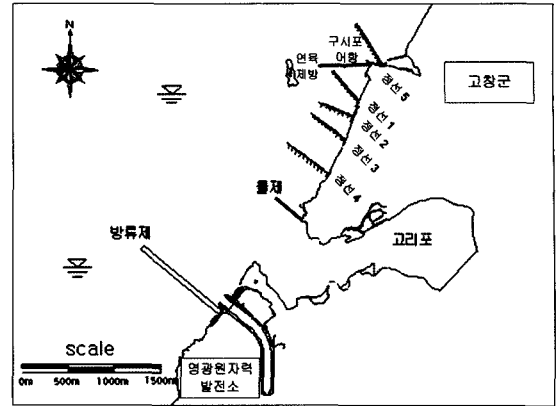
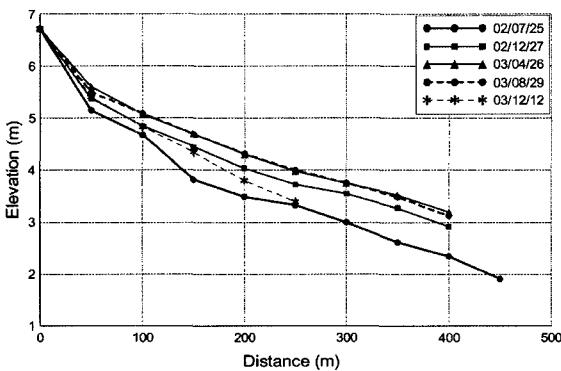


Fig. 3. Measuring lines for the analysis of beach profile variation.

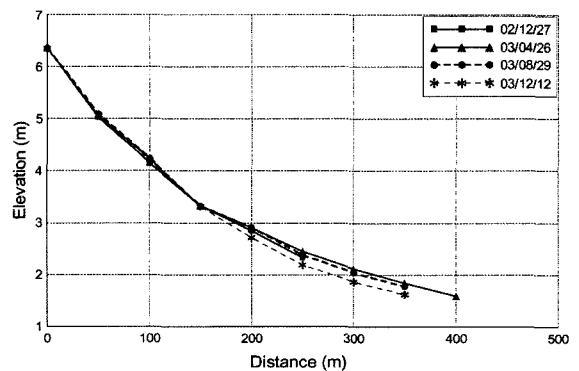
정선을 배치하여 Total Station으로 해빈변형을 측정 및 분석하였다(Fig. 3). 아울러 광역의 지형변화를 조사할 목적으로 간이항공사진을 촬영하는 방법을 직접 측량과 병행하여 실시하였다(군산대학교, 2004). Geyer et al.(2004)도 광범위한 해역에서 하천에 기인된 연안 유사의 수송을 연구하는데 인공위성이나 항공측량에 의해 간접적인 방법으로 이해하는데 있어 항공측량의 방법이 적절함을 제시한 바 있다.

Table 1. Details of observation on beach profile measurement

Observation	Date	Remarks
1st	07/25/2002	4 cross-sections with spacing of 200 meters were set. Reference point was established. Initial leveling.
2nd	12/27/2002	According to the 4 sections leveling were done by total station.
3rd	04/26/2003	According to the 4 sections leveling were done by total station.
4th	08/29/2003	Additive section measured along with existing 4 sections
5th	12/12/2003	Final measurements on 5 cross-sections



(a) line 1



(b) line 2

Fig. 4. Beach profile variations along line 1 and line 2 showing in Fig. 3.

2.3.2 정선별 변화

해빈변형을 실측하는 5개 정선에 대하여 약 3개월 주기로 5회에 걸쳐 실시한 중단수준측량 결과 중, 본 논문에서는 정선 1과 정선 2의 시간에 따른 변화를 도시하여 Fig. 4에 제시하였다. 그림에서 가로축은 단면시점으로부터 외해 방향 거리(m), 세로축은 간사지 단면상 지점의 표고(m)를 나타낸다. 표고의 기준면은 평균해수면(M.S.L.)이다.

관측성과를 분석하면, 정선 1은 제1차 관측 이후 표고가 점차 높아져 퇴적되고 있는 경향을 보인다. 특히, 기점으로 부터 거리 400 m 지점은 제1차 관측 이후 5개월간 약 0.7 m 가 퇴적된 것으로 조사되었다. 시간이 경과하면서, 지속적으로 퇴적이 진행되었으나 퇴적 높이가 차이를 점차 줄어 들고, 이후 2003년 4월과 2003년 8월에 이르러서는 거의 변화가 없다. 그러나 400 m 근방에서는 오히려 제4차 관측표고가 제3차 관측표고보다 낮아지는데 이유는 당시에 연육제방 종점부터 해체작업이 시작되어 그 영향으로 연육제방 종점 부근부터 쌓였던 토사가 침식되는 것에 기인한 것으로 분석된다. 정선 2는 침퇴적의 영향이 크지 않은 것으로 나타났는데 이는 제방과의 거리가 상대적으로 있기 때문으로 판단된다. 구시포 해수욕장의 중앙부에 위치하는 정선 3에서는 퇴적과 침식이 교대로 일어나며 크게 변화가 없으나 다소 퇴적이 우세한 것으로 나타났다. 정선 4는 전 관측시기에 대해 단면표고변화가 거의 없는 것으로 나타났다. 그러나 장기적인 관측이 되지 않아 침식과 퇴적 어느 쪽이 우세하다고 단정하기는 곤란하다. 정선 5는 관측착수기인 제3차 관측으로부터 제4차 관측까지는 변화가 없었다. 정선별로 나타나는 위의 현상은 창조와 낙조의 비대칭성에 기인되어 즉, 창조시 연안을 따라 올라가면서 와류 유

동에 기인되어 일부 제방의 전면에 퇴적이 일어나는 것임을 직접 수준측량을 통하여 알 수 있었다.

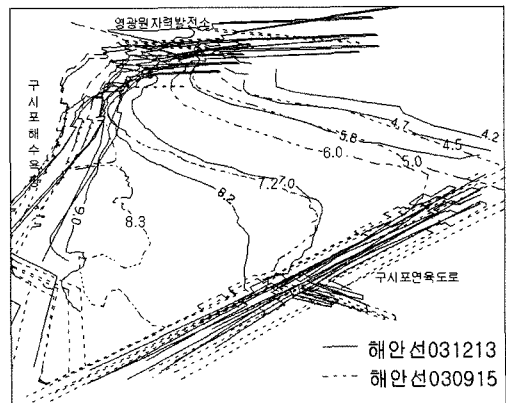
2.3.3 광역의 변화

직접측량이 특정 정점 등의 퇴적성향을 이해하는 신뢰성 있는 방법이지만, 동시에 전역을 측정할 수 없는 제한사항이 있다. 이를 보완하기 위해 광역의 변화상을 동시에 파악하고자 항공사진촬영에 의한 간사지의 전반적인 지형변화조사를 실시하였다. 측정 방법은 회전의 무인 항공기에 장착된 비디오카메라 영상을 지상에서 모니터링하여 대상해역 전체가 최대축적으로 촬영되도록 무인 항공기의 촬영고도 및 사진경사를 무선 원격장치로 조정하고 여기에 장착된 필름카메라로 경사사진을 촬영하는 방법이다. 사진촬영은 가능한 한 직접 수준측량과 더불어 실시하였고, Fig. 5(a)에서와 같이 저조부터 고조까지 조위 1시간 간격으로 다수의 영상을 촬영하였다.

간이 항공측량이라는 제한 사항을 포함하고 있지만 조위별 수에선으로부터 구한 등심선을 중첩시켜 간사지의 전반적인 지형변화를 해석하는 방법에 의해 Fig. 5(b)에서 보듯이 2회 관측 자료를 중첩한 결과, 구시포 해수욕장은 퇴적토사로 보이는 분지지가 산재하며 외해 쪽으로 간조선까지는 얇은 웅덩이 형태의 간사지가 분포하는 것으로 분석되었다(군산대학교, 2004). 간이 항공사진 측정을 통한 광역의 기초적 평가 결과는 조사해안 간사지 지형은 구시포 어항 연육제방 부근에서 조사 초기에 퇴적이 우세하지만 점차 안정화 우세의 경향을 보인다. 구시포 해수욕장 남쪽 간사지는 작은 미세한 퇴적과 침식이 반복되고 있는 안정된 상태이며 퇴적이 다소 우세한 것으로 간주된다.



(a) aerial photo taken on 2003/09/15 16:40



(b) superimposed images representing tidal flats

Fig. 5. Aerial measurement and analyzed result.

### 3. 수동역학 모델을 이용한 초기추정

#### 3.1 개요

직접적인 관측방법에 의한 지형변화 해석은 매우 효과적으로 연안 지형변화를 해석할 수 있는 장점이 있는 반면, 전체 해안과 광역에 대한 활용과 접근은 제한적이다. 이런 제한사항을 극복할 수 있는 방법이 적절한 수치모형을 구동하여 이로부터 돌체 주위와 인근 해역의 유동과 퇴적환경의 변화를 간접적으로 살펴보는 것이다. 참고로 당 해역에서는 서·김(2003)이 수동역학에 미치는 조간대의 영향을 살펴보기 위해 ADCIRC 및 조화유한요소 모형인 TIDE3D를 조간대 유무에 각각 적용하여 실측자료와 비교한 바 있다. ADCIRC 모형을 적용한 격자시스템, 개방경계조건 및 모형의 검증에 대한 것은 서·김(2003)에 기술되어 있어 본고에서는 생략한다.

본 논문에서는 이들 선행 연구에서 다루지 않았던 조류의 영향으로 돌체 주위에서 발생하는 침퇴적을 효율적으로 모의할 수 있도록 ADCIRC를 선정하고 계수를 조정하여 제방이 유동변화와 해저마찰응력에 미치는 영향을 비교 검토한다. 모형의 전개 및 적용은 선행의 연구(서, 1999; 서·김, 2003) 및 모형의 홈페이지(<http://www.adcirc.org>)에 소개되고 있으므로 본고에서는 지면상 생략한다. 해저면에서의 에너지 수송에 영향을 미치는 전단응력에 관한 표현은  $\tau_* \equiv \frac{C_f(U^2 + V^2)^{1/2}}{H}$  와 같은 비선형 식을 이용한다(Luetich and Westerink, 2000). 이때 바닥마찰계수  $C_f$ 는 당해역에 대한 선행 연구(서·김, 2003)의 모델링에서 0.0025의 값을

적용한 것과 같이 비선형 모형을 적용할 때는 무차원이고,  $U, V$ 는 수심 평균된 유속이다.

천해역인 경우 모델에서 해저응력의 표현이 매우 중요한데, Schramkowski et al.(2002)이 피려한 바와 같이 선형계수를 사용하면 해저응력이 직접적으로 수심에만 관계하며, 비선형인 경우는 수심보다는 조류속도에 더 영향을 받으므로 조석의 영향을 받는 천해역인 경우 선형변수를 이용하면 바닥응력을 과대평가하게 되고, 비선형변수를 이용하면 조류속도에 의해 평가되는 점을 모델링에서 충분히 고려하여야 한다.

전북해역 전체에 걸쳐 구축한 수치모형을 실험한 결과 중 일부를 도시한 Fig. 6에 따르면 창조시에 연안을 따라 북동진하는 조류가 방류세 선단부에서의 강한 와류를 형성하면서 구시포 어항 연속제방까지 광범위하게 영향역을 형성한다. 그러나 낙조시에는 연안을 따라 남하하는 유동이 구시포 어항 연속제방 이남에 포획되는 분포를 보이는 등 조류의 비대칭성이 뚜렷이 나타난다. 이러한 조류의 비대칭은, Prichard et al.(2002)이 갯벌지역에서 지형변화를 촉진하는 주요인자로 작용한다고 밝힌 것처럼, 연속제방 이남의 해역 일대에서는 퇴적을 촉진하는 주된 인자로 역할을 함으로써 연구해역이 퇴적성향으로 친이되고 있는 것으로 유추할 수 있다.

#### 3.2 제방 축조의 영향분석

##### 3.2.1 실험조건

제방 인근에서는 해안수동역학의 급격한 변화가 유사수

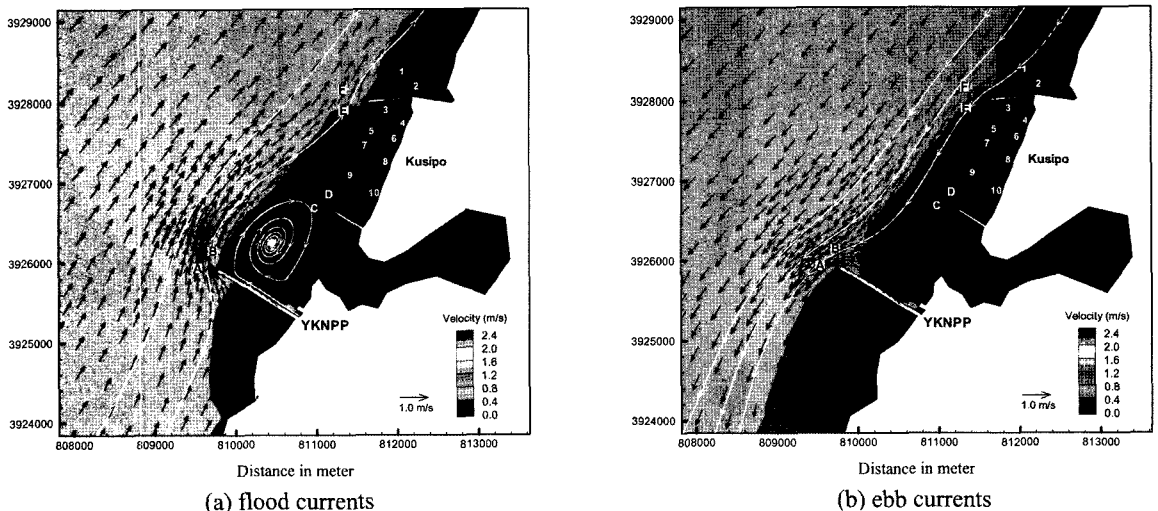


Fig. 6. Simulated tidal currents by ADCIRC simulation.

송체계의 동적평형을 교란시켜 침퇴적이 발생하므로, 이에 대한 영향을 살펴보기 위하여 제방이 없었던 자연상태와 대비하여 실험을 실시하고 그 결과를 검토하였다. 본 논문에서는 대상 해역에서 제방이 없었던 과거의 상황(case0)을 포함하여 연속제방만 설치된 경우(case1), 연속제방과 방류제가 설치된 경우(case2), 연속제방, 돌제, 방류제 모두 축조된 현재의 상황(case3) 그리고 가상적으로 방류제만 설치한 경우(case4), 돌제만 설치된 경우(case5) 등 모두 6가지 경우로 실험조건을 설정하여 앞에서 언급한 ADCIRC 모델을 이용하여 수치 실험하였다. 유(2006)는 당해역의 변화 특성을 이해하기 위해 단순해역에서 단일 제방이 설치되어 있는 경우에 조류의 변화가 침퇴적에 미치는 영향을 ECOMsed 및 EFDC 모형을 이용하여 초기 평가한 바 있다. 그러나 대상해역 저지토의 물리적 특성이 고려되지 않아 정성적 평가에 의해 추론한 제한사항이 있다.

### 3.2.2 결과분석

수치실험에 따르면 연구해역은 자연상태에 비하여 어항 연속제방이 축조된 이후(case1) 일대 해역에 폭 넓게 유동이 둔화되며, 특히 제방의 남측에는 0.2 m/sec 이상 감소하는 것으로 나타났다. 그러나 연속제방의 선단부에서는 창조류시 유속이 증가되는 것으로 나타났다.

윤·김(2007)은 제방의 시공순서를 검토하여 항내 매물을 방지하기 위한 유사 연구를 수행하여 동해안 어항 구조물 주변의 표사 이동에 관한 연구를 심층적으로 수행한 바 있는데, 본 연구에서도 제방의 축조 순서를 바꾸어 실험하였다. 돌제가 선 축조된 상황을 가정하면(case5), 제방 선단부에 국지적으로 나타나는 유속 증가를 제외하고는 역시 일대 해역이 폭 넓게 유동 저감이 예상된다. 연구대상 해역에 방류제만 축조되었다고 가정한 상황을 모의한 결과는(case4) 방류제 선단부에서 0.3 m/sec 이상의 매우 강한 유속의 증가가 나타나는 것으로 분석되었고, 방류제 이남의 남측해안에서 0.3 m/sec 정도의 급속한 유속 둔화가 예상되는 것으로 평가되었다. 특히 방류제 건설은 구시포 해수욕장을 포함한 일대해역에 전반적으로 유속 둔화를 유발하고 있는 것으로 나타났다.

그러나 제방이 축조된 순서대로 연속제방 이후 방류제가 건설된 상황은(case2) 연속제방만 건설된 경우(case1)와 다른 양상을 보이고 있다. 연속제방 인근에서의 유속은 독립적으로 나타나는 것으로 평가되나, 여기에 방류제가 추가로 건설되면서 유속의 저감이 급격하게 부가되어 나타나는 것으로 분석된다. 방류제 선단부에서도 유속 증가가 독립적인 경우보다도 작게 나타나는 반면, 유속 감소는 구시포

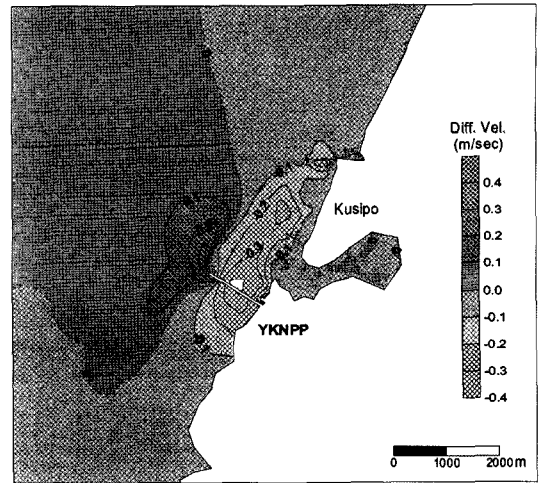


Fig. 7. Maximum current differences between natural(case 0) and present status(case 3).

해수욕장 전면에서 증가되어 자연상태에 비하여 대체로 0.1 m/sec 정도의 유속 저감이 나타난다. 여기에 돌제까지 축조되면서 방류제 인근 선단부는 오히려 독립적인 경우처럼 유속이 증가하지만(case3), 해수욕장을 포함한 구시포 전면해역은 일종의 가둬진 만의 형태로 변하게 되어 유속 저감이 부가되어 나타나게 되고 0.1 m/sec 이상의 유속 둔화 환경으로 전이되는 것으로 분석된다. 실제 관측된 조류결과인 Fig. 2(b)에 따르면 방류제 선단부에서 최대 0.8 m/sec, 구시포 해수욕장의 유속이 0.6 m/sec 내외인 것을 감안하면 위에서 언급한 바와 같은 크기의 유동변화로 상당한 크기의 변화로 이해해야 한다.

유속의 증가에 대한 비교는 제방군이 없는 상황과 있을 때의 비교가 현재 및 향후의 지속적 침퇴적 변화에 미치는 영향이 지배적이므로 모든 경우에 대해서 평가하는 것 보다는 case3의 경우만 비교한다. 최강유속의 변화를 도시한 Fig. 7에 따르면, 대체로 제방 선단부에서 유속이 0.2-0.3 m/sec 증가하나, 제방의 후사면(shadow zone)에서는 0.1 m/sec 이상 감소하며 제방 사이의 영역이 전반적인 유속 감소를 보이고 있는 것을 알 수 있다.

### 3.2.3 수동역학 모델에 의한 해저응력변화 비교

해저응력이 저지토 수송에 직접적으로 영향을 미치므로 제방 축조에 따른 응력변화를 살펴봄으로써 침퇴적 성향을 파악할 수 있다. 본고에서는 제방군 건설로 발생하는 최대 해저응력 변화를 분석한다. 정량적 비교를 위해 Fig. 6에 제시한 바와 같이, 임의로 해안에 인접한 5곳에 비교 정점을, 이로부터 외해로 0.5 km 이격된 지점에 5개 정점을 선정하

**Table 2.** Computed bottom stress(N/m<sup>2</sup>) at reference stations for simulation cases

Station number	Case0 No jetties	Case1	Case2	Case3	Case4	Case5
1	0.311	0.132	0.146	0.146	0.305	0.310
2	0.302	0.166	0.196	0.196	0.304	0.267
3	0.460	0.111	0.108	0.108	0.434	0.459
4	0.387	0.146	0.148	0.148	0.374	0.380
5	0.274	0.216	0.183	0.183	0.234	0.268
6	0.469	0.286	0.301	0.301	0.468	0.459
7	0.131	0.114	0.085	0.085	0.101	0.126
8	0.245	0.036	0.020	0.022	0.202	0.232
9	0.467	0.260	0.162	0.155	0.366	0.451
10	0.366	0.225	0.134	0.120	0.278	0.344
A	0.166	0.166	0.231	0.231	0.231	0.166
B	0.168	0.168	0.260	0.260	0.261	0.168
C	0.218	0.215	0.065	0.065	0.064	0.217
D	0.224	0.221	0.063	0.062	0.065	0.230
E	0.185	0.185	0.141	0.141	0.143	0.187
F	0.202	0.209	0.176	0.176	0.170	0.204

였고, 각 제방 선단부 주위 0.5 Km 지점에 2개의 비교 정점을 선정하였다.

계산된 결과를 표로 작성하여 Table 2에 수록하였다. 이들 자료를 분석하면 연구 대상해역에 제방이 없었던 과거 상황(case0) 및 제방이 순차적으로 축조되어 어항 연육제방이 건설된 case1, 여기에 방류제가 축조된 case2, 그리고 돌체가 추가된 case3의 상황을 살펴보면, 대부분 제방 인근의 해안에서 응력이 급감하는 것으로 나타나고 있다. 비교정점 st3, st4는 어항 연육제방 전면에 위치하는데, 제방이 건설됨으로써 창조시 그 전단응력(N/m<sup>2</sup>)이 0.46→0.10 및 0.39→0.15로 급격히 떨어진다. 어항과 돌체 사이는 중앙부를 기준으로 창조시는 북측 제방 영향으로, 낙조시는 남측 돌체 영향으로 전단응력이 감소된다. 이는 앞서 해수유동의 재현 결과에서 보듯이 창조시 외류가 해수욕장 중앙부 근처까지 영향을 미치나 낙조시에는 이 해역이 일부 포획된 상태로 변화되면서 제방 전면의 응력이 감소되는 것으로 판단된다. 제방군 중 비교 정점으로 설정한 곳으로부터 가장 멀리 이격된 방류제의 영향은 거의 미치지 않고 있음을 알 수 있는데, 돌체의 영향도 크지 않으며 인근 정점 st9, st10에만 영향을 미치고 있다.

제방의 선단부는 응력이 증가하나 그 변화가 제방 안쪽의 감소폭보다는 현저히 작으며 방류제 선단부의 st-A, st-B를 제외하고는 증가되는 영향이 크지 않다. 만약 제방의 시공 순서가 바뀌어 단일 제방이 건설되었다고 가정할 경우 case4, case5의 결과를 분석하면, 해당 제방 인근에서만 응력의 변화를 유발하나 광역의 응력에는 크게 변화가

없는 것으로 분석되었다. 상기의 결과는 제방군이 형성되면서 구시포 해수욕장 전반적으로 퇴적성향이 나타남을 제시하며 특히 어항 연육제방 이남에서 두드러지는 퇴적 현상이 뚜렷한 것임을 나타내고 있다.

수치실험 결과에 따르면 제방과 육지가 인접한 곳에서 유속 저하에 대한 변화율이 크게 나타난다. 대표적으로 연육제방과 방류제의 인근에서는 변화량 중 대부분이 제방의 영향에 기인된 것이며, 제방으로부터 멀리 떨어질수록 영향이 점차 약화되는 것으로 평가된다. 방류제로 인한 유속 변화 영향은 선단부에서 유속이 증가되는 것을 제외하고는 유속을 둔화시킨다. 방류제 인근에서 가장 크게 영향을 미치고, 북쪽으로 멀어질수록 작아진다. 돌체의 경우도 마찬가지로 돌체가 설치된 주변에서 영향이 가장 크게 나타나고 멀어질수록 유속변화의 영향은 작아진다. 응력의 증가와 감소는 자연상태에서 동적인 평형을 이루는 침퇴적 변화에 직접적으로 영향을 끼치고 있어 응력의 둔화는 평형 상태에서 장기적으로 퇴적환경으로 전이될 수 있는 환경으로 변화됨을 의미한다. 따라서 구시포 해수욕장과 어항 인근에서 제방이 축조됨으로써 조류속도 및 해저응력이 둔화되는 것은 이 해역에 지속적으로 퇴적이 우세한 환경으로 전이되는 것을 의미하고, 각각의 제방이 복합적으로 영향을 미쳐 이와 같은 환경으로 변화되는 것으로 추론할 수 있다.

#### 4. 결과분석 및 결론

우리나라 서남해안의 소규모 어항들은 수심이 낮은 연안



에 위치하고 방파시설 등의 인공구조물 영향 등으로 항내 퇴적이 문제시 되고 있다. 인공적인 제방설치가 주변의 침퇴적에 미치는 영향을 평가하기 위하여 본 연구에서는 수십이 10 m 내외로 낮고 조석 간만의 차이가 6.6 m에 이르는 등 대조차에 속하는 전북 구시포 해역을 대상으로 선정하였다. 구시포 해역에서는 어항 연속제방, 방류제 및 해수욕장 남단에 위치한 돌제 등이 순차적으로 건설되어 인근의 침퇴적 환경변화가 유발되고 있다. 대상해역은 천해 비선형 조석 등 해수유동이 복잡한데 여기에 온배수 배출의 완화 목적으로 방류제 및 돌제 등이 건설됨으로써 주변에서 수동역학적 변화 및 침퇴적 변화가 지속적으로 나타나고 있다. 본 논문에서는 현장관측과 해수유동 수치실험을 병행하여 침퇴적 환경에 대한 변화를 이해하고자 하였으며 여기서는 초기의 연구 결과가 다루어졌다.

1년 6개월이라는 단기간의 직접 측량과 간접 항공측량을 통한 현장측정 결과 구시포 어항 연속제방 남측 간사지는 퇴적이 우세하나, 이후에는 연속제방 해체의 영향으로 침식이 나타나기도 하였다. 대체적인 제방 사이 영역에서는 단기간에 걸친 퇴적이 건설된 돌제구조물에 의한 것으로 분석되었다. 이 결과는 자연상태의 해안에서는 침식과 퇴적이 교대로 발생하면서 장기간에 걸쳐 준 평형상태를 유지하여 해안과 해저의 토사가 동적평형을 이루지만, 인위적인 제방이 축조되면서 동적평형이 유지되지 못하여 침퇴적 환경이 급변함을 반영한 것으로 이는 비선형의 창낙조류가 해저질의 이동을 유발하고, 부유토사가 침퇴적 변화에 직접적으로 영향을 미친 것으로 추정된다.

본 논문에서는 실측과 수동역학 모델의 정성적인 평가에 근거하여 추론한 바, 제한사항이 다수 있었는데, 이에 대한 보완으로 이어지는 연구논문에서는 상세 침퇴적 모형 운용하여 정성적인 결과와 정량적인 비교가 필요할 것으로 판단된다. 그러나 조간대를 고려하면서 수동역학 모델을 이용한 초기의 평가는 해저질을 고려하지 않고 해저응력만을 이용하여 평가하여 저질의 공간적인 분포가 고려되지 못한 제한사항이 있었으나 정성적인 성향을 이해하는 것은 충분한 것으로 인식된다. 그렇지만 미비점을 보완하고 보다 계량화된 평가를 달성하기 위해서는 저니토의 공간적 특성을 고려하고 고수온의 대조차 해역에서의 특성을 충분히 반영할 수 있는 침퇴적 모형을 적용하여 금번 논문에서 제시한 초기 평가한 결과와 상호 비교하는 연구가 수행되어야 할 것이다.

방류제 선단부를 제외하고 구시포해수욕장 전면에 유속 감소가 나타나 제방이 없었던 상황에 비하여 0.1 m/sec 정

도의 유속이 둔화된다. 제방이 건설됨으로써 해수욕장을 포함한 구시포 전면해역은 일종의 가워진 만의 형태로 변하여 유속 저감이 내측에서 뚜렷하게 나타나고 0.1 m/sec 이상 유속이 감소된다. 제방 주위에서 조류속도가 0.6 m/sec 임을 고려하면 제방 내측에서 상당한 유속의 둔화가 있음을 알 수 있다. 제방의 건설 영향을 수동역학 수치모델의 해저응력의 변화로 평가한 바에 따르면, 자연상태에 비해 제방이 건설되면서 제방의 shadow zone에서는 해저응력이 현격하게 감소하는데, 특히 어항 연속제방의 내측에서는 창조시 전단응력( $N/m^2$ )이 0.46→0.10 및 0.39→0.15로 급격히 떨어진다. 이는 한계전단응력 0.4  $N/m^2$ 를 유지하는 침식우세 또는 동적평형 성향에서 제방구조물이 건설되어 자연 환경에 비해 퇴적성향으로 전이되어 가는 것을 의미하는 것으로 판단된다.

## 감사의 글

본 논문은 한국학술진흥재단(KRF-2004-041-D00721)의 지원에 의해 수행되었기에 심심한 사의를 표한다. 군산대학교 측량연구실의 협조와 수산과학연구소의 논문 인쇄비 지원에도 사의를 표한다.

## 참고문헌

- 강주환, 문승록 (2000). 조석환경변화를 고려한 목포항의 고극조위 산정. 한국해양해양공학회지, 12(4), 203-209.
- 군산대학교 수산과학연구소 (2004). 영광원자력발전소 방류제 및 돌제 공사로 인한 구시포 해수욕장 침퇴적 및 온배수 피해영향조사.
- 김인호, 이정렬 (2004). 동해 안목항 주변 연안 토사이동. 한국해양해양공학회지, 16(2), 108-119.
- 서승원 (1998). 금강하구역의 수동역학적 변화(1) -관측자료를 중심으로-. 한국해양해양공학회지, 10(1), 10-17.
- 서승원 (1999). 3차원 유한요소모형을 이용한 황해 및 동중국해의 조석수동역학 해석, 대한토목학회논문집, 19(II-3), 375-387.
- 서승원, 김정훈 (2003). 조석수동역학 모의에서 조간대 침수노출 고려효과 비교연구, 한국해양해양공학회지, 15(2), 97-107.
- 서승원 (2003). 서해연안 돌제구조물 인근의 침퇴적 환경변화 해석. 대한토목학회 정기학술대회, 초청 및 구두발표 논문 초록집, 345.
- 서승원, 유경선, 김준호 (2004). 서해연안 돌제구조물 인근의 침퇴적 변화. 한국해양해양공학회, 학술발표논문집, 15,

- 233-242.
- 서승원, 유영철 (2007). 돌제 구조물 주변 해저 전단응력의 변화모의. 2007년도 한국해양과학기술협의회 공동학술대회 초록집, 853.
- 서중철 (2002). 원격탐사와 GIS 기법을 이용한 신두리 해안사구지대의 지형변화분석, 한국지역지리학회지, 8(1), 98-109.
- 유경선 (2006). 고창해역 돌제구조물 주변의 유동변화와 침퇴적 현상 모의. 석사학위논문, 군산대학교.
- 윤성진, 김규한 (2007). 항내매몰을 고려한 방파제의 시공순서 검토, 한국해양해양공학학회지, 19(1), 73-80.
- 정지선, 이정렬, 김인호, 권혁민 (2004). 해안선 변화로부터 연안표사량의 추정. 한국해양해양공학학회지, 16(4), 258-267.
- 최병호, 이한수 (2003). 새만금 방조제 건설에 의한 황해 조류체계의 교란, 한국해양해양공학학회, 학술발표논문집, 14, 143-153.
- 태안군 (2005). 해안사구복원 학술용역 보고서. 서울대학교 국토문제연구소.
- Ari, H.A. et al. (2007). Determination and control of longshore sediment transport: A case study. *Ocean Engineering*, 34, 219-233.
- Cuadrado, D.G., Gomez, E.A. and Ginsberg, S. (2005). Tidal and longshore sediment transport associated to a coastal structure, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 62, 291-300.
- Geyer, W.R., Hills, P.S. and Kineke, G.C. (2004). The transport, transformation and dispersal of sediment by buoyant coastal flows, *Continental Shelf Research*, 24, 927-949.
- Klein, G.V. (1985). Intertidal flats and intertidal sand bodies in Coastal Sedimentary Environment, edtr. R.A.Davis, Jr., Springer-Verlag.
- Luetlich, R.A. and Westerink, J.J. (2000). ADCIRC, A(parallel) ADvanced CIRCulation model for oceanic, coastal and estuarine waters. User's Manual.
- Prichard, D., Hogg, A.J. and Roberts, W. (2002) Morphological modelling of intertidal mudflats: the role of cross-shore tidal currents, *Continental Shelf Research*, 22, 1887-1895.
- Proosdij, D.V., Davidson-Arnott, R.G.D. and Ollerhead, J. (2006). Controls on spatial patterns of sediment deposition across a macro-tidal salt march surface over single tidal cycles. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 69, 64-86.
- Schramkowski, G.P. Schuttelaars, H.M. and de Swart, H.E. (2002). The effect of geometry and bottom friction on local bed forms in a tidal embayment, *Continental Shelf Research*, 22, 1821-1833.
- van de Kreeke, J., Hoogewoning, S.E. and Verlaan, M. (2002). An analytical model for the morphodynamics of a trench in the presence of tidal currents, *Continental Shelf Research*, 22, 1811-1820.

---

Received June 26, 2007

Accepted August 3, 2007