

조간대 갯벌지형 영상 관측 고찰

김태림* · 박석광

군산대학교 해양과학대학 해양시스템공학과

Study on Intertidal Flat Topography Observation Using Camera Images

TAERIM KIM* AND SOECKWANG PARK

Ocean system Eng. Dept. Kunsan University, Miryong-Dong, San-68, Kusan, Chonbuk 573-701, Korea

밀물시 조간대 갯벌에서 이동하는 수륙 경계선은 간조와 만조 정선사이에서의 등고선을 나타낸다. 이를 연속 촬영한 영상에서 수륙 경계선을 추출하여 기하보정을 하면 각 등고선에 대한 실제 공간 좌표를 획득할 수 있으며 이를 모두 통합함으로써 조간대 지형에 대한 3차원 지형 정보를 얻는다. 새만금 1호 방조제 외측 갯벌은 방조제 건설 이후 방조제 외측에서 가장 뚜렷한 갯벌 지형 변화를 보이는 곳이다. 이 지역의 갯벌 지형에 대하여 디지털 카메라를 이용한 영상 관측을 수행하여 지형을 관측하였으며, 이를 현장 관측한 자료와 비교한 결과 유사한 높이를 나타내었다 또한 다른 시기에 영상 관측된 지형 자료로부터 그 변화를 검토하였다.

The water line moving on the intertidal flat during a flood indicates depth contours between low and high water lines. The water lines extracted from the consecutive images are rectified to get the ground coordinates of each depth contour and integrated to provide three dimensional information of intertidal flat topography. The tidal flat outside Saemankeum-1 sea dike shows the most obvious changes of tidal flat topography after the construction of sea dikes. This tidal flat topography was observed using digital camera images, and the calculated depths were very similar to *in-situ* measurement data. Topography changes obtained from two different period data were also examined.

Keywords: Intertidal flat, Saemankeum sea dike, Water line, Depth contours, Rectification, Camera images

서 론

최근 새만금 방조제 공사가 마무리됨에 따라 새만금 방조제 내측은 물론 외측에서도 갯벌 지형의 상당한 변화가 예상되고 있다. 일반적으로 자연 상태의 갯벌은 평형 상태를 유지하며 그 지형 변화가 크지 않은 것으로 알려져 있으나 항만이나 방조제와 같은 인공 구조물이 건설되어 자연적인 평형이 깨지는 경우 급격한 지형의 변화가 발생하게 된다. 이러한 변화는 항만내로의 퇴적물의 유입을 증가 시키거나 세굴 현상 등으로 구조물의 기능에 악영향을 끼치고 그 안정성을 위협하기도 한다.

동해안이나 남해안과는 달리 서해안의 넓은 갯벌 조간대는 지금까지 버려진 땅 혹은 간척 사업의 대상으로만 생각되었다. 그러나 최근에 갯벌에서의 생산성에 대한 경제적 효과와 환경적인 중요성이 새롭게 인식됨에 따라 국민적 관심이 매우 높아지고 있으며 특히 간척사업으로 축조된 방조제 외측에서의 새로운 갯벌의 생성 여부는 간척사업의 효용성에도 영향을 미치고 있다. 따라서 이러한 갯벌 지형의 특성에 대한 연구와 함께 조석 및 파랑 등의 외

력에 의한 갯벌 지형 변화를 분석하고 구조물 주변에서의 퇴적물 이동 기작에 대한 연구가 필요하다. 그러나 이러한 갯벌 지형은 폭이 매우 넓고 진흙으로 구성되어 다른 해안 지형에 비하여 관측 시간의 제한과 이동상의 많은 어려움이 있다. 예를 들어서 폭이 1.2 km인 조간대에서 6시간 간격으로 밀물과 썰물이 반복될 경우 시간당 200 m씩 수륙 경계선이 이동하기 때문에 기존의 전통적인 관측 방법으로는 일부 한정된 부분에서의 관측만이 가능하고 전체 조간대에 대한 관측을 위해서는 많은 인력과 장비가 동원되어야 한다. 특히 밀물과 썰물이 주기적으로 반복되므로 신속하게 관측이 이루어지지 않으면 일관성 있는 자료의 관측이 불가능하다. 따라서 그동안의 갯벌 지형 관측은 전체 갯벌을 대표하여 주로 현장에 설치한 말뚝 주변의 고도변화, 혹은 구축된 소수의 기선에 대한 관측 등 국지 관측에 제한되었다. 전체 조간대 갯벌 지형에 대한 지형 변화는 랜셋이나 Synthetic aperture radar(SAR) 등의 위성 자료를 이용한 연구가 시도되고 있으나 제한된 위성자료의 활용 때문에 정확도면에서는 한계가 있었다(류 등, 2000).

최근의 영상기술의 발달은 과거 많은 비용과 고도의 전문적인 기술을 필요로 했던 촬영 방식과 영상 처리 과정을 저비용으로도 가능하게 하였다. 무엇보다도 고해상도 디지털 카메라의 보급으로

*Corresponding author: trkim@kunsan.ac.kr

상세한 영상 자료를 저장할 수 있을 뿐만 아니라 영상의 평균, 분산, 경계선 추출과 같은 영상처리 기법도 간단히 수행할 수 있게 되었으며 자연의 현상을 관측하고 분석하는데 이러한 영상의 활용이 활발해 지고 있다. 특히 지상 관측과 동시에 영상 관측을 수행함으로써 영상의 기하 보정을 통한 촬영 영상의 거리 정보의 정량화가 가능하게 되었다. 또한 해안 현상에 대한 영상 관측 기술의 발달로 해안선 변화 분석은 물론 파랑 및 해안의 여러 물리 현상에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다(Holand *et al.*, 1997). 미국과 유럽은 Argus(그리스 신화에 나오는 백 개의 눈이 달린 거인의 이름을 인용)라는 프로젝트를 통하여 전 세계의 중요 해안에 영상 관측 장비를 설치하고 그 관측 자료에 대한 통합관리 및 연구를 수행하고 있다. 조간대 지형에 대한 영상관측에 대해서도 Nathaniel and Holman(1997)은 조석 주기 동안 swash zone을 연속 촬영하여 그 수륙 경계선을 추출함으로써 상대적으로 폭이 좁은 해변에서 등고선도 자료를 구할 수 있음을 제안하였으며 디지털 칼라 영상의 보급과 함께 Stefan *et al.*(2003)은 기존의 흑백 영상에서의 관측 방법을 향상시켜 칼라 영상에서의 해안선 추출방법을 제안 하였고 이를 토대로 양빈이 이루어진 해변에서의 조간대 지형의 변화를 관측/분석하였다. Alexander *et al.*(2004)는 4개의 Argus 사이트에서 획득한 해안 영상에 나타난 해안선 및 연안사주의 위치와 입사파 크기와의 관계를 분석하였으며 Ranasinghe *et al.*(2004)는 4년간 촬영된 영상중 장기 노출 영상을 처리하여 해안 지형 변화를 분석하고 수치 해안 지형 변화 모델을 이용하여 이의 재현을 시도하였다. 또한 Aagaard *et al.*(2005)는 폭풍시 조간대 해변에서의 모래 이동과 해안선의 변화에 대한 연구를 현장 관측과 영상관측을 병행하여 수행하였다. 우리나라에서는 김 등(1998)이 비디오 모니터링을 이용한 해안선 변화 관측 기법을 소개하면서

갯벌과 같이 관측이 어려운 조간대에서 조석이라는 자연 조건을 이용하여 효과적으로 그 지형을 정량적으로 관측할 수 있음을 제안하였으며, 김(2003)은 원격 무인 자동 영상 관측 시스템을 이용하여 태풍 내습시 해운대 백사장의 해안선 변화를 분석하였다. 그리고 최근에 조간대 지형 영상 관측 기술을 갯벌 지형에 비하여 상대적으로 폭이 좁은 조간대 백사장에 적용하여 그 정확도와 활용성에 대한 연구를 시도하였다(김, 2006). 본 연구에서는 앞서 시도한 조간대 백사장에 대한 영상 관측 방법을 조간대 갯벌 지형에 적용하고 분석하였다. 관측 지역은 새만금 간척 공사 이후 방조제 외측에서의 조간대 갯벌 지형 변화가 뚜렷하리라고 예상되는 변산의 새만금 1호 방조제 외측 갯벌(Fig. 1)로서 방조제 위에 1대 혹은 2대의 카메라를 설치하여 대도시 조간대 갯벌에 대한 지형 관측을 수행하였다.

연구 방법 및 이론

조간대 지형 영상 관측 방법은 계속적인 이동이 이루어지는 수륙 경계선은 등고선을 나타낸다는 것과 영상에서 추출한 수륙경계선의 각각의 위치는 기하 보정을 통하여 조간대에서의 실제 위치 좌표로 변환이 가능하다는 것을 활용한다. 즉 Fig. 2에서 보는 바와 같이 (a)는 평평한 단면을 가진 조간대 지형에 밀물시 침수경계선의 모양을 나타낸 것이고 (b)는 능선 형태에서의 침수 경계선의 모양을, (c)는 계곡 형태에서의 침수 경계선의 모양을 각각 나타낸다. 이러한 수륙경계선을 시간별로 추출하여 통합하면 결국 등고선도를 나타내게 된다. 영상 촬영과 동시에 수륙 경계선에 대한 수심측정이 이루어짐으로서 영상에서 추출한 각각의 수륙경계선은 수심정보를 갖게 되며 수평 위치 정보는 영상 기하 보정을 통하여

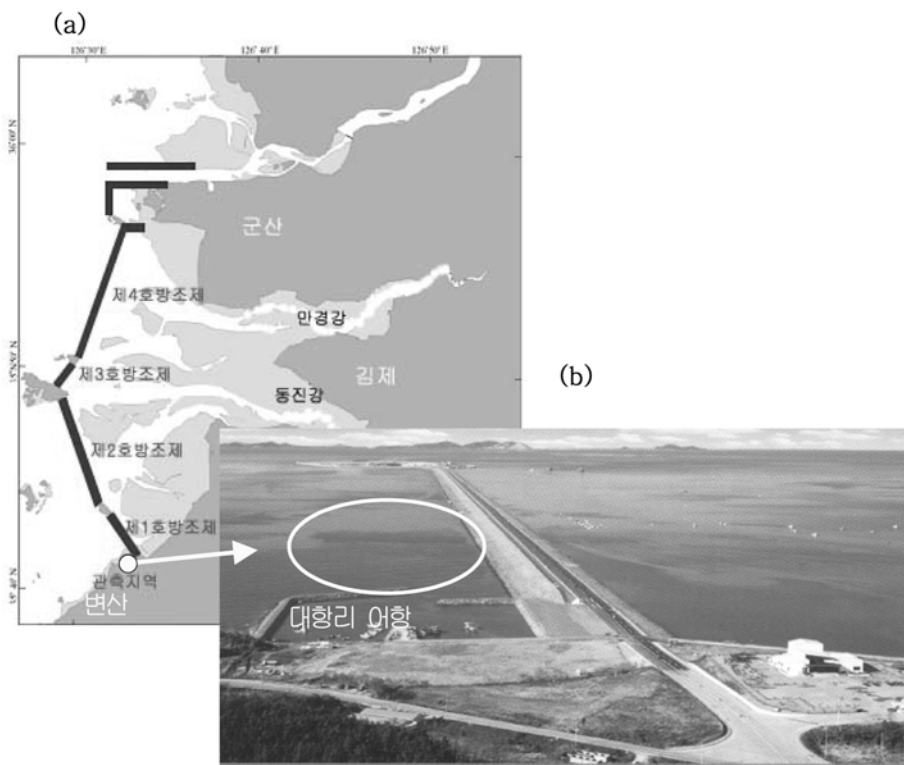


Fig. 1. (a) Map of Saemankeum area and (b) a photo scene of Saemankeum-1 sea dike area(Image courtesy of KARICO). The area under investigation is marked by a yellow dot and an ellipse, respectively.

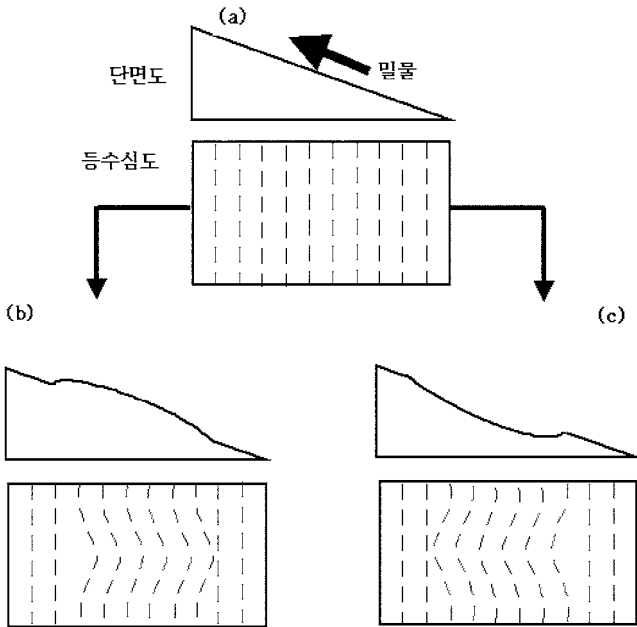


Fig. 2. Example of water depth contours constructed by the movement of flood boundary lines in the case of accretion and erosion.

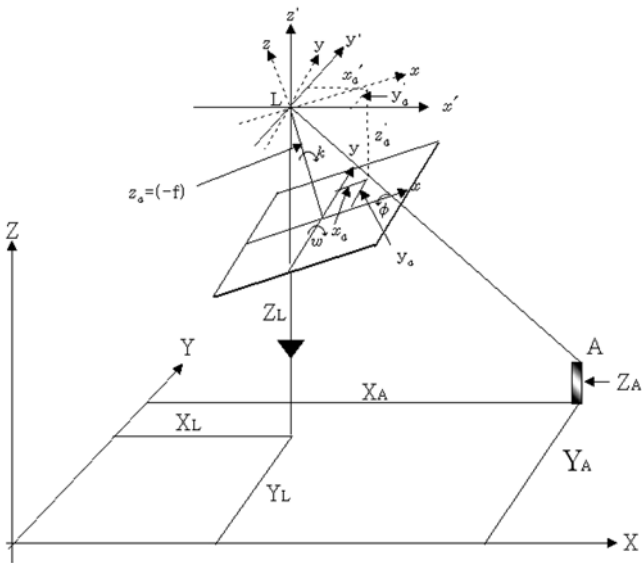


Fig. 3. Geometry of object and image space coordinate systems.

획득된다. 영상에 대한 기하 보정은 Fig. 3에서 보는 바와 같이 지상 좌표계를 (X_L, Y_L, Z_L) 거리만큼의 축 이동을 통하여 사진 좌표계와 원점을 일치 시킨 후 각각의 축에 대한 회전 값 그리고 두 좌표계의 크기 비를 이용하여 두개의 좌표계를 일치시킴으로써 이루어지며 아래와 같이 전통적인 공선조건식(1)을 얻을 수 있다(Mikhail and Bethel, 2001).

$$\begin{aligned} X - X_L &= (Z - Z_L) \frac{m_{11}x + m_{12}y + m_{13}(-f)}{m_{31}x + m_{32}y + m_{33}(-f)} \\ Y - Y_L &= (Z - Z_L) \frac{m_{21}x + m_{22}y + m_{23}(-f)}{m_{31}x + m_{32}y + m_{33}(-f)} \end{aligned} \quad (1)$$

여기서 (x, y) 는 사진 영상에서의 좌표를 의미하며, X, Y, Z 는 사진 영상의 (x, y) 에 상응하는 실제 지상에서의 위치 좌표, f 는 카메라의 초점거리, X_L, Y_L, Z_L 은 지상 좌표계의 원점으로부터 카메라 영상의 초점까지의 거리와 높이를 의미한다. m_{ij} 는 아래의 식 (2)에서와 같이 X, Y, Z 축 각각에 대한 회전을 의미하는 M행렬의 3 x 3의 각각의 요소를 의미하는데 ω 는 X 축에 대한 회전, ϕ 는 Y축에 대한 회전, κ 는 Z축에 대한 회전을 나타내며 각각의 축에 대한 회전 행렬의 곱으로 생성된다.

$$M = \begin{bmatrix} \cos\phi\cos\kappa & \cos\omega\sin\kappa + \sin\omega\sin\phi\cos\kappa & \sin\omega\sin\kappa - \cos\omega\sin\phi\cos\kappa \\ -\cos\omega\sin\kappa & \cos\phi\cos\kappa - \sin\omega\sin\phi\sin\kappa & \sin\omega\cos\kappa + \cos\omega\sin\phi\sin\kappa \\ \sin\phi & -\sin\omega\cos\phi & \cos\omega\cos\phi \end{bmatrix} \quad (2)$$

이때 $X_L, Y_L, Z_L, f, \omega, \phi, \kappa$ 의 값을 획득하기 위해서 사진 상의 7점 이상의 위치에 대하여 그에 상응하는 지상 기준점(GCP: Ground Control Point)들에 대한 관측이 이루어진다. 일반적으로 정확도를 위하여 7개 이상의 GCP 관측이 이루어지는데 이들 관측점으로부터 최소 제곱법을 이용, 가장 정확한 $(X_L, Y_L, Z_L, f, \omega, \phi, \kappa)$ 을 계산해 낸다. 또한 밀물시 일정한 시간 간격으로 촬영한 영상으로부터 추출한 수륙 경계선의 사진 상에서의 위치 좌표 (x, y) 와 현장에서 관측한 각각의 수륙 경계선의 수심 값 Z 을 식 (1)에 대입하면 수륙 경계선의 실제 위치 좌표 X 와 Y 를 산출하게 됨으로써 각각의 등심선에 대한 위치좌표와 수심 값을 획득하며 등고선도 작성이 가능하다.

비디오를 이용한 해안 지형 관측에 있어서 영상에서의 해안선 추출은 매우 중요한 과정이다. 특히 장기 무인 자동 관측을 하는 경우에는 상당한 양의 영상 자료가 지속적으로 전송되므로 이에 대한 신속한 영상처리가 자동으로 이루어져야 한다. 이를 위해서 많이 사용되는 방법 중의 하나는 RGB영상에서 각 성분의 차이를 이용하는 방법이다. 파랑색에 가까운 바다 부분은 상대적으로 R 성분이 적어서 R 성분의 영상에서는 다른 성분에 비하여 바다 부분이 검은색에 가까워 뚜렷하게 구별되는 특성이 있으며 반대로 B 성분은 육지 부분보다 바다 부분이 크게 나타나는 것을 이용한다. 그러나 이러한 기법은 구름 혹은 일몰/일출 시 광량의 영향을 받으므로 추가로 HSV(Hue, Saturation, Value)의 성분 특성도 동시에 사용하고 있으며 또한 최근에는 분산 영상을 이용하여 해안선 즉 수륙 경계선을 구분하기도 한다. 본 연구에서는 자료의 양이 많지 않은 관계로 가장 신뢰성을 가질 수 있는 HES(Human Expert System)를 이용, 수작업을 통하여 경계선을 추출하였다. 향후 이에 대한 자동화 작업에 대해서는 보다 많은 연구가 필요할 것으로 보인다.

적용 및 고찰

변산 새만금 1호 방조제 외측 갯벌의 경우 해안선에 대하여 거의 수직으로 방조제가 축조된 관계로 밀물시 방조제를 따라 육지 쪽으로 수륙 경계선이 진행하며 조간대 갯벌의 폭은 갯벌이 발달한 방조제 내측에 비하여 상대적으로 좁아서 조석의 크기에 따라 약 1 km 내외의 폭을 갖는다(Fig 4(a)). 특히 이 지역 갯벌에는 미



Fig. 4. Photos show (a) tidal flat outside the Saemankeum-1 sea dike and (b) series of stakes on the flat.

역이나 굴 양식을 위한 말뚝이 설치되어 있어서 영상관측 결과와의 비교를 위한 말뚝이나 기선 관측에 대한 현장 관측이 용이하다 (Fig. 4(b)). 해안에서의 영상관측에 있어서 가장 큰 문제점은 높은 고도의 촬영이 어렵다는 점이다. 높은 고도에서 촬영이 이루어질 경우 보다 넓은 지역에 대한 관측이 가능하고 또한 수직촬영에 의한 관측의 정확도가 높아진다. 1호 방조제 갯벌 관측의 경우 가까운 주변에 높은 건물이나 산이 없는 관계로 방조제 위에 카메라를 설치하여 관측하였으며 필요한 경우 육지쪽 방조제와 바다쪽 방조제에 두 대의 카메라를 설치하여 동시에 관측하였다. 영상 관측 자료는 모두 실제 지상 좌표계로 변환이 이루어지므로 복수의 카메라로 관측한 자료도 통합이 용이하다. 그리고 보다 넓은 조건대 갯벌 지형을 관측하기 위해서는 만조정선과 간조정선의 간격이 최대가 되는 대조시에 관측이 이루어지는 것이 바람직하다. 또한 영상 관측의 경우 광량 조건도 중요한 요인인바 이에 대한 고려를 하여야 한다. 본 연구에서는 2005년 9월 24일 오후 12시 48분부터 오후 7시 13분까지 그리고 2005년 11월 18일 오전 10시 9분부터 오후 4시 26분까지 수행한 관측 결과를 분석하였다. 근처 위도에서의 국립해양조사원 조석 예보자료에 의하면 9월 24일에는 관측 시간 동안 저조 118 cm 고조 550 cm로 약 432 cm의 조차를 보였고 11월 18일에는 관측 시간 동안 저조 36 cm 고조 631 cm로 약 595 cm의 조차를 보였다. 9월 관측에서는 육지쪽 방조제에 현대의 카메라를 설치하여 관측하였고 11월 관측에서는 추가로 간조정선근처의 방조제 위에 카메라를 설치하여 관측하였다. 카메라의 고도가 높지 않은 관계로 방조제에 대하여 수직 방향의 갯벌의 경우 약 500 m 거리까지 관측이 가능하였다. 영상 관측은 밀물시 수륙 경계선이 간조 정선에 위치하였을 때부터 10분 간격으로 이루어졌으며 동시에 영상 기하보정을 위한 지상기준점(GCP) 관측과 영상 관측의 정확도를 비교하기 위하여 양식장 말뚝을 중심으로 기선에 대한 현장 관측을 수행하였다. 서론에서 언급한 바와 같이 밀물시 수륙 경계선의 이동속도와 현장이동의 어려움으로 많은 현장관측에는 제약이 있었다. Fig. 5는 지상 기준점 관측자료를 식 (1)에 적용하여 기하 보정을 수행한 결과이다. Fig. 5(a)는 방조제 위에서 경사 촬영한 영상이고 Fig. 5(b)는 (a)의 영상을 기하 보정한 영상이다. 그림에서 보는 바와 같이 경사촬영에서 나타난 원근

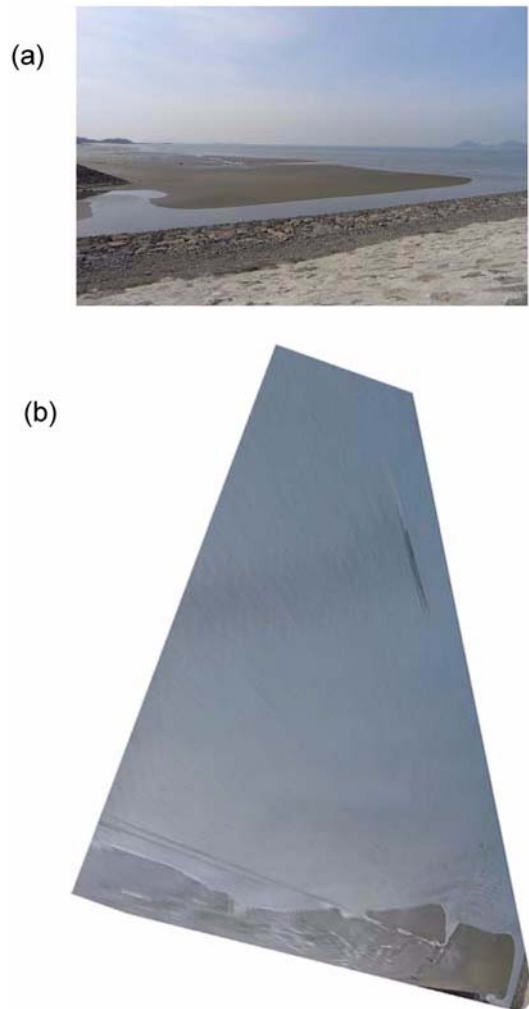


Fig. 5. (a) An oblique image of tidal flat during a flood and (b) its rectified image.

감이 제거되었으며 경사 촬영에서 많은 부분을 차지한 방조제와 방조제 주변의 갯벌은 상대적으로 적은 부분을 차지하고 방조제로부터 거리가 먼 갯벌도 동일한 축척으로 나타남을 알 수 있다. 이

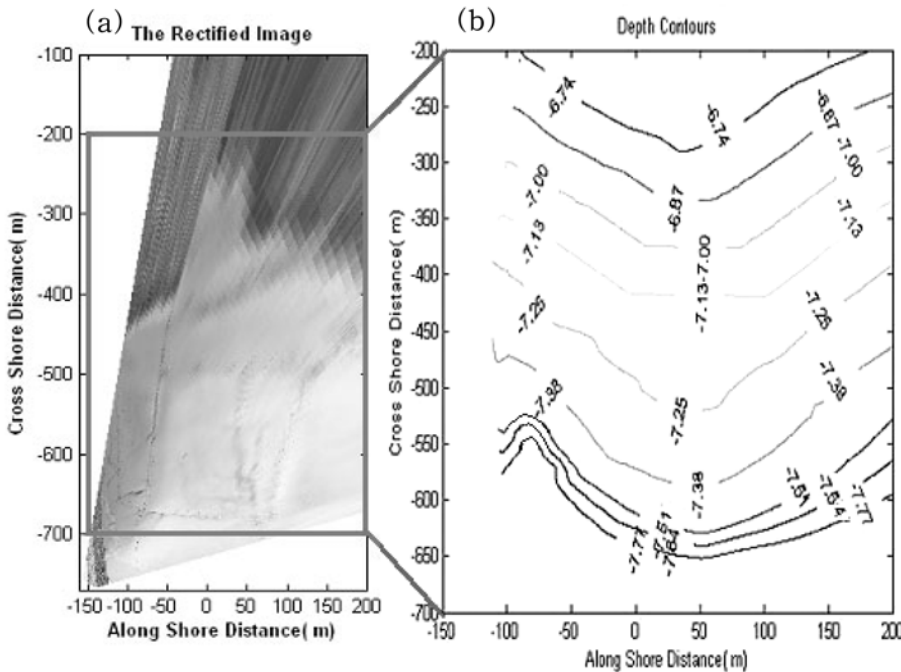


Fig. 6. (a) A scaled rectified image and (b) water depth contours of the area marked by red rectangular box in (a) estimated by camera images on September 24, 2005.

와 같이 영상의 기하 보정을 통하여 수직 영상으로의 변환이 가능하며 이 영상에서는 실제의 지형이 일정한 축적의 비율로 나타나므로 해안선 변화와 같은 거리에 대한 정량적인 분석이 가능하다. 본 연구에서는 10분마다 촬영된 영상으로부터 수륙 경계선을 추출한 후 현장에서 관측한 수심값을 부여하여 식 (1)을 수행함으로써 영상에 나타난 수륙 경계선에 대한 실제 지상 좌표인(X, Y, Z)를 추출하였다. 이렇게 추출된 등심선을 모두 통합함으로써 간조정선에서부터 만조정선에 이르기까지의 조간대 갯벌지형에 대한 등수심도를 산출하였다. Fig. 6(a)는 9월에 관측한 영상에 대하여 기하 보정을 수행한 결과이고 Fig. 6(b)는 Fig. 6(a)의 적색 직사각형 내부 지역에 대한 등수심도 산출 결과이다. 수심 -7.7 m에서 수심 약 -6.7 m에 이르는 등수심도이며 이 수심은 방조제 위에 설치된 국립 해양조사원 기본 수준점 자료를 기초로 산출한 수심이다. 여기에서 cross shore는 방조제를 따라서 바다에서 육지 쪽으로 향하는 방향을 의미하며 alongshore는 그에 대한 수직 방향을 나타낸다. Fig. 7은 현장에서 관측한 수심과 영상에서 산출한 수심을 비교하여 도시한 것이며 이때 가로축은 광과기 위치로부터 현장 관측점까지의 거리를 의미한다. 현장 관측은 갯벌에 설치된 말뚝을 따라서 광과 측정기가 설치된 대항리 어항 입구 방파제까지 거의 방조제와 평행한 기선에 대하여 관측이 이루어졌으며 한대의 카메라만을 운용한 결과 전체 기선에 대한 관측 비교는 할 수 없었다. 비교 결과 카메라로부터 멀리 떨어진 지역을 제외하고는 현장 관측값과 매우 유사한 값을 보였다. 11월 관측에서는 두 대의 카메라를 운용하여 갯벌 지형 관측을 수행하였다. Fig. 8(a), (b)는 각각 바다쪽 간조 정선 근처의 방조제 위에서 촬영한 영상으로부터 산출한 등수심도와 육지쪽 방조제 위에서 촬영한 영상으로부터 산출한 등수심도를 나타낸 것이다. 카메라의 고도가 낮은 관계로 촬영 범위가 넓지 않아서 새만금 1호 방조제 외측 갯벌의 경우 대조시 최소한 두 대의 카메라를 운용하여야 전체 조간대 폭을 관측

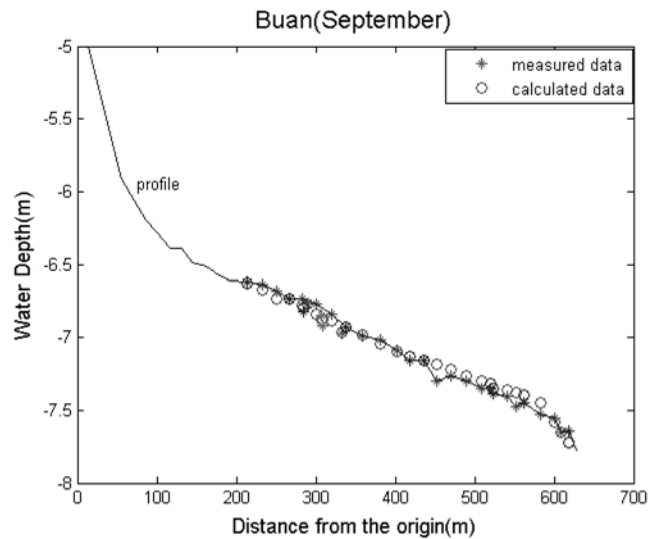


Fig. 7. Comparison of depths between measured and calculated data.

할 수 있을 것으로 보인다. Fig. 8에서 보는 바와 같이 새만금 방조제 위에서 영상 관측을 할 경우 각각의 카메라는 약 500 m 폭 정도의 관측을 수행하고 있으며 두 대의 카메라를 합칠 경우 갯벌 폭 약 1 km에 대한 관측이 가능하다. 두개의 등수심도를 통합하는 과정에 있어서 겹치는 부분에 대한 처리 과정은 아직 연구 중에 있으며 카메라로부터의 거리에 따라 차등을 주어 통합하는 방법을 고려하고 있다. 이번 연구에서는 두 자료간의 거리에 따른 내삽을 이용하여 하나의 등수심도로 통합하였으며 이를 9월 자료와 비교하였다(Fig. 10). Fig. 9는 육지쪽 관측 기선과 바다쪽 관측 기선 그리고 기타 다른 지점에 대한 현장 수심 관측값

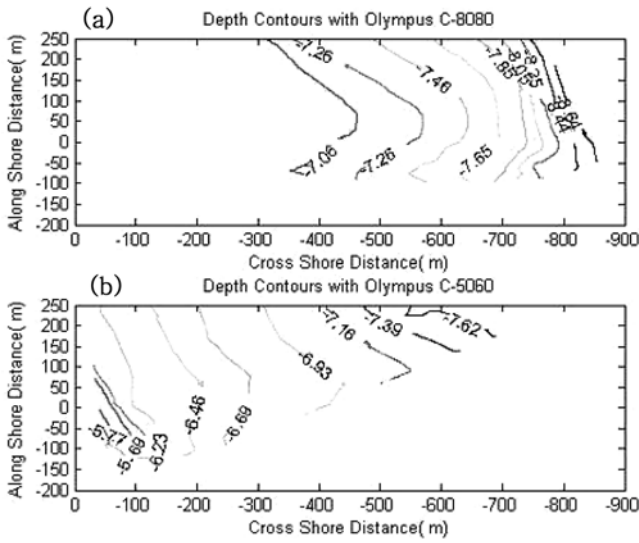


Fig. 8. Water depth contours estimated by images from the camera located on the dike (a) sea side and (b) near land, respectively, on November 18, 2005.

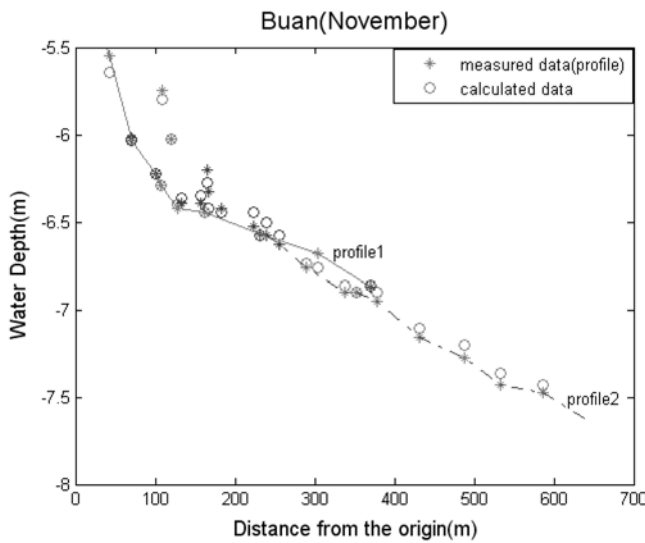


Fig. 9. Comparison of depths between measured and calculated data.

과 영상으로부터 산출한 수심값을 비교한 것이다. Fig. 7에서와 마찬가지로 몇 개의 지점을 제외하고는 대체로 산출값과 관측값이 일치하는 경향을 보였다. Fig. 10은 9월(Fig. 10(a))과 11월(Fig. 10(b))에 이루어진 조간대 갯벌 영상 관측으로부터 산출한 수심도를 서로 비교하여 그 지형 변화(Fig. 10(c))를 살펴본 것이다. 비교를 위하여 관측 범위가 상대적으로 좁은 9월 관측 범위에 해당하는 자료에 한해서만 비교를 하였다. 비교 결과 전반적으로 퇴적현상이 발생한 것을 알 수 있으며 지역에 따라서 바다쪽 갯벌에서는 침식이 발생하는 것을 알 수 있다. 현재 이 단기간의 지형 자료만으로는 단순히 계절에 따른 변화인지 아니면 구조물에 의한 퇴적물 이동의 변화로 발생한 것인지 파악하기는 어렵다. 향후 보다 많은 장기 관측 자료를 통하여 갯벌 지형 변

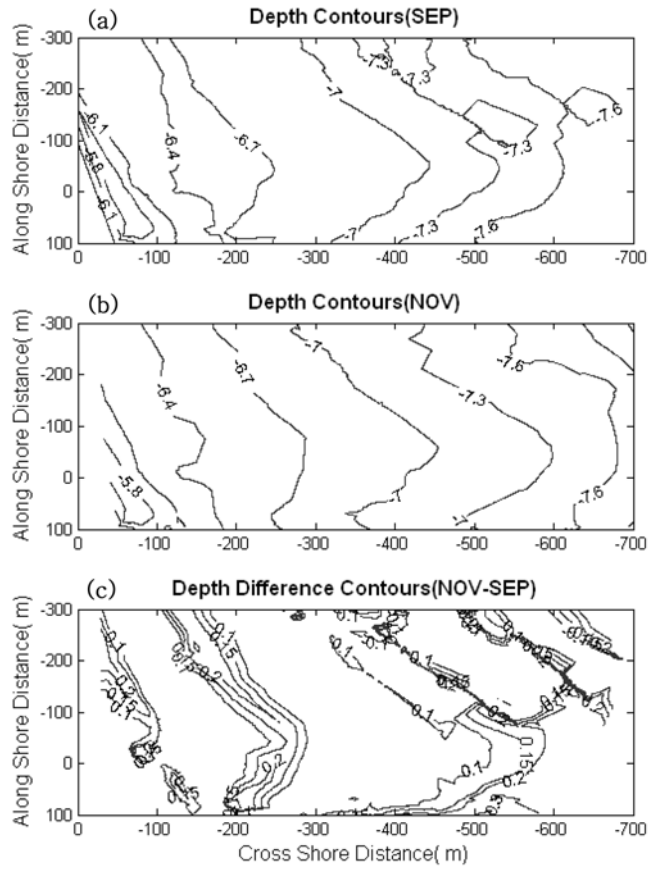


Fig. 10. Depth contours (a) in September, (b) in November and (c) depth difference contours between (a) and (b).

화에 대한 분석이 가능할 것이다. 또한 보다 많은 현장 관측 자료와의 비교 검증을 통하여 영상 관측 자료의 신뢰도를 높여야 할 것으로 보인다.

결론

변산 새만금 1호 방조제 외측 조간대 갯벌 지형에서 밀물시 10분 간격으로 연속 촬영한 영상으로부터 수륙경계선을 추출한 후 공선 방정식을 이용하여 각각의 수륙 경계선에 대한 실제 지형 좌표를 산출하고 이들을 통합함으로써 등수심도를 구할 수 있었다. 조간대 갯벌 지형에 비하여 상대적으로 폭이 좁고 경사가 가파른 조간대 백사장에서의 관측 결과와 마찬가지로 조간대 갯벌 지형에서도 현장 관측값에 근접한 수심값을 산출할 수 있었다. 국부적으로 오차가 발생하는 원인은 다음과 같이 정리할 수 있다. 첫째, 카메라의 고도가 낮은 관계로 경사각이 큰 원거리 지점의 정보는 경사 사진상의 해상도 자체가 낮아 정확한 수심값을 산출하기 어렵다. 둘째, 전체 수심도는 각각의 수륙경계선의 수심값을 보간함으로써 얻어지는데 이때 실제 지형의 공간적 변화가 크다면 두 수륙 경계선 사이의 현장 관측값과 영상에서 산출한 값은 큰 차이를 보일 수 있다. 갯벌 지형의 복잡성에 따라 카메라 촬영 시간 간격을 조절하여야 할 것이다. 셋째, 각각의 수륙 경계선에 수심값을 부여하게 되는데 바다가 잔잔하지 않고 파도가 존재할 경우 그 영

향으로 정확한 수심값 산정이 어렵다. 넷째, 영상에서 수륙 경계선을 추출하는 과정에서 오차가 발생할 수 있다. 조간대 백사장과는 달리 조간대 갯벌에서는 수륙 경계선의 색상에 따른 구분이 더 어려우며 특히 수분의 함유량이 높아서 지역에 따라서는 밀물에 따른 정확한 수륙 경계선의 추출이 어려웠다. 이러한 문제점을 극복하기 위해서는 먼저 높은 고도에서의 카메라 촬영을 위하여 우리나라 어느 지역에서도 활용이 가능한 이사용 사다리차와 같은 장비가 사용될 수 있다. 10층 이상의 고가 사다리차를 활용할 경우 사다리의 상부에 카메라를 설치하여 지상에서 카메라 펜/틸트 자동시스템을 이용하여 원격으로 촬영이 가능하므로 안전하게 영상 관측을 수행할 수 있다. 또한 갯벌 지형의 복잡성에 따라 촬영 시간 간격을 조절함으로써 보간법에 의한 오차를 줄일 수 있다. 수분이 많이 함유되어 있거나 물이 고여 있는 곳에서의 수륙경계선의 추출문제는 매우 어려운 문제이다. 이를 해결하기 위한 방안으로 썰물시 보다는 밀물시 관측이 바람직하지만 물이 고여 있는 곳이거나 수분이 충분히 마르지 않는 간조 정선 근처 혹은 수로의 경우 정확한 수심 산출이 어려울 것으로 보인다. 향후 이의 해결을 위하여 카메라에 필터를 장착하여 관측하는 것도 고려해 보아야 할 것이다. 또한 파랑이나 바람의 영향이 큰 경우 정확한 수륙 경계선의 수심을 관측하는데 어려움이 따르며 이를 해결하기 위해서는 복수의 정확한 수압계 및 파고계의 운용이 필요하며 또한 역학적으로 많은 연구가 필요할 것으로 보인다. 새만금 방조제 마무리 공사가 완성됨에 따라 모든 개방 구간에 대해서 체질이 이루어짐으로서 만경강, 동진강으로부터의 바다로의 퇴적물 유입이 차단되고 방조제 외측에서의 조류의 흐름 및 파랑의 분포에도 상당한 변화가 있을 것으로 보인다. 이는 곧 인근 퇴적물의 침식, 이동, 퇴적 양상에도 큰 영향을 끼칠 것이다. 특히 새만금 1호 방조제의 조간대 갯벌의 지형도 상당한 변화가 예상되는 바, 본 연구에서 적용한 조간대 지형 영상 관측 방법을 지속적으로 개선 운용하여 장기 관측을 수행한다면 1호 방조제 외측 갯벌에 대한 지형 특성 및 변화 분석을 연구하는데 좋은 자료를 제공할 수 있을 것으로 보인다.

사 사

본 연구는 군산대학교 새만금환경연구센터(RIC)의 지원을 받아 수행되었으며 이에 감사를 드립니다. 현장 관측에 있어서 많은 도움을 준 연안 자료 및 정보 실험실(CODIL) 학생들에게 고마움을 전하고 싶으며 또한 해양개발연구소의 논문 발간 지원에 심심한

사의를 표합니다. 마지막으로 본 논문을 심사하시면서 여러 지적을 하여 주신 두 심사위원님께서도 감사의 뜻을 전합니다.

참고문헌

- 김태립, 이광수, 서경덕, 1998. 비디오 모니터링을 이용한 연안 환경 관측 기술에 관한 고찰. 한국해양해양 공학회지, **10**(1): 45-53.
- 김태립, 2003. 원격 무인 자동 영상 관측 시스템을 활용한 해안선 변화 관측 및 분석. 대한 원격탐사학회지, **19**(2): 99-106.
- 김태립, 2006. 카메라 관측 시스템을 이용한 조간대 3차원 지형 관측, 한국해양해양 공학회지, **18**(1): 63-68.
- 류주형, 조원진, 원중선, 이인태, 전승수, 서애숙, 김금란, 2000. 원격탐사 자료로부터 해안선 추출에 의한 조간대 DEM 생성, 대한 원격탐사학회, **16**(3): 221-233.
- Aggaard, T., Kroon, A., Andersen, S., Sorensen, R.M., Quartel, S., Vinther, N., 2005. Intertidal beach change during storm conditions; Egmond, The Netherlands, Marine Geology, **218**: 65-80.
- Alexander, P.S. and Holman, R.A., 2004. Quantification of nearshore morphology based on video imaging, Marine Geology, **208**: 101-111.
- Bradley, D. Morris, Mark A. Davidson, David A. Huntley., 2001. Measurements of the response of a coastal inlet using video monitoring techniques, Marine Geology **175**: 251-272.
- Holand, K.T., Holman, R.A., Lippmann, T.C., Stanley, J. and Nathaniel, P., 1997. Practical use of video imagery in nearshore oceanographic field studies. IEEE journal of oceanic engineering, **22**: 81V92.
- Mikhail, E.M. and Bethel, J.S., 2001. Introduction to modern photogrammetry. John Wiley & Sons, New York, pp. 90-93.
- Nathaniel, G.P. and Holman, R.A., 1997. Intertidal beach profile estimation using video images. Marine Geology: **140**: 1-24.
- Ranasinghe, R. Symonds, G., Black, K. Holman, R., 2004. Morphodynamics of intermediate beaches: a video imaging and numerical study, Coastal Engineering **51**: 629-655.
- Stefan, G.J.A., I.L. Turner, Dronkers, T.D.T., Mark Caljouw, Leann Nipius., 2003. A video-based technique for mapping intertidal beach bathymetry. Coastal Engineering **49**: 275-289.

2006년 4월 18일 원고접수

2006년 9월 27일 수정본 채택

담당편집위원: 안유환