

## 카메라 관측 시스템을 이용한 조간대 3차원 지형 관측 Bottom Topography Observation in the Intertidal Zone Using a Camera Monitoring System

김 태 립\*  
TaeRim Kim\*

**요 지** : 조석 주기 동안에 시간에 따라 위치가 변하는 수륙 경계선은 조간대 지형을 측정하는 보조 자료로 활용될 수 있다. 즉 밀물 시 연속적으로 촬영된 영상으로부터 추출된 수륙경계선의 표고는 해수면 변화 자료를 이용하여 등심선으로 이용할 수 있으며 등심선의 수평거리는 영상 기하보정 처리를 통하여 정량적인 값으로 변환할 수 있다. 이러한 관측 기술을 서해안의 대이작도 큰포란 백사장에 적용하였다. 조간대에서의 자연적인 수위변화를 이용하는 영상 관측 기법은 정확도가 높으며 또한 시간과 경제적인 측면에서 유리하다. 이러한 기술은 3차원 수조에서 연안 지형 변화를 연구하는 물리모형 실험에서 시간별 지형 변화를 관측하는데 효과적으로 사용될 수 있다.

**핵심용어** : 조간대, 수륙경계선, 등심선, 기하보정, 영상관측

**Abstract** : Time series of waterline changes during a flood/ebb cycle can be utilized for supplementary data for measuring bottom topography. The waterlines extracted from consecutive images are substituted for depth contours using water level data. The distances between contours are quantified through a rectification image process. This technique is applied to the Keunpoolan beach in the Daeijak Island near Incheon. A camera monitoring technique supported by natural water level changes produces bottom topography with high precision. It is also less time consuming and more economical. The technique also can be utilized effectively to the physical modeling for measuring bottom changes in the three dimensional basin.

**Keywords** : intertidal zone, waterline, depth contours, rectification, camera monitoring

### 1. 서 론

최근 인공구조물 건설 등에 의한 대규모 해안 개발은 자연 상태에서 오랫동안 유지되었던 평형상태를 파괴함으로써 해안선 변화와 같은 환경피해를 유발하기도 한다. 또한 육상에서의 골재자원의 부족으로 최근에 급증하고 있는 해사채취는 인근 섬의 백사장을 황폐화 시키고 있다.

인공적인 해안개발이나 해사채취로 인한 환경 피해를 최소화하기 위해서는 해안선의 계절변화와 같은 자연 상태의 지역적 특성에 대한 관측과 분석이 선행되어야 한다. 이러한 사전 관측연구 없는 해안 개발은 돌이킬 수 없는 환경 피해를 초래할 수 있으며 그 피해 원인에는 자

연적인 변화와 인공적인 영향이 동시에 포함되므로 원인 진단과 저감 대책 수립에도 어려움이 따른다.

해안지형을 관측하기 위하여 여러 관측방법이 이용되고 있으며 그중 가장 정밀한 방법은 현장에 인력과 장비를 동원하는 직접 측량이다. 이 방법은 정밀도 측면에서는 매우 우수하나 비용이 많이 들며 특히 주기적인 장기 관측을 위해서는 많은 노력이 필요하다. 최근에는 고해상도 위성을 이용한 해안지형 관측이 시도되고 있으나 아직은 현장 관측에 비하여 정밀도가 떨어지며 특히 위성의 고정된 지구궤도 순환주기에 따라, 조석이 발달한 서해안이나 남해안에서는 원하는 조석 주기에 필요한 위성 관측이 이루어 질 수 없는 어려움이 따른다. 항공기를 이

\*군산대학교 해양과학대학(Kunsan University, College of Ocean Science & Technology, San 68, Miryong-dong, Kunsan, Chonbuk, 573-701, Korea. trkim@kunsan.ac.kr)

용한 관측도 높은 고도에서 넓은 영역을 동시에 촬영한다는 점에서는 효과적이거나 이를 충분히 활용하기 위해서는 상당한 비용이 소요된다. 최근에는 해안지역의 높은 곳에 카메라를 설치하여 해안지형 변화를 경사촬영한 후 이를 기하 보정하여 정량적인 자료로 활용하고자 하는 시도가 이루어지고 있다(김, 2003; Braddley *et al.*, 2001). 이러한 간접측량은 직접측량에 비하여 정밀도는 떨어지나 장기 무인 자동 관측이 가능하여 계절별 혹은 여러 해 동안의 해안지형 변화를 정량적으로 연구할 수 있다. 비록 이러한 영상관측 기법을 조간대에 활용할 경우 해안선 분석에 약간의 어려움이 따르나 그 특성을 활용하면 그 지형변화를 효과적으로 관측할 수 있다.

조간대는 조석에 의하여 주기적으로 공기 중에 노출되는 지역으로서 주로 사질로 구성된 경사가 급하고 폭이 좁은 조간대에서 진흙으로 이루어지고 경사가 완만하여 넓은 지역을 포함하는 갯벌에 이르기까지 매우 다양하다. 특히 갯벌의 경우 최근에 그 가치에 대한 평가가 새로이 인식됨으로써 중요성이 부각되고 있으며 그 지형 변화 특성에 대한 많은 연구가 수행되고 있다. 갯벌관측은 주로 현장관측을 통해 이루어지며 갯벌에 복수의 말뚝을 박아서 그 말뚝 주위의 높이 변화를 관측함으로써 전체적인 지형변화를 분석하기도 한다. 그러나 이러한 전통적인 직접 측량은 정밀도면에서는 우수하나 갯벌에서 수행하기에는 많은 어려움과 위험이 따른다.

앞서 언급한 위성관측의 단점을 이용하여 갯벌의 지형을 관측하는 시도도 이루어지고 있다(류주형 등, 2000). 즉 한 지역에 대하여 여러 조석 주기에 촬영된 영상을 통합하여 각각의 영상에 나타난 수륙 경계선은 곧 등심선을 나타낸다는 가정하에 갯벌 지형정보를 획득하는 것이다. 이 방법은 짧은 기간동안에 여러 조석 주기에 걸쳐서 촬영된 영상들이 집중되어 있는 경우에는 효과적이거나 그렇지 않은 경우 동시에 관측된 위성자료가 아니라는 점에서는 취약하다. Nathaniel and Holman(1997)은 해변에서 조석 주기 동안 swash zone을 연속 촬영하여 그 수륙 경계선을 추출함으로써 등수심도 자료를 구할 수 있음을 제안하였다. Stefan *et al.*(2003)은 기존의 흑백 영상에서의 관측 방법을 향상시켜 컬러 영상에서의 해안선 추출 방법을 제안하였으며 이를 토대로 양빈이 이루어진 사질 조간대 지형변화를 관측·분석하였다. 김 등(1998)은 우리나라 해안에서의 비디오 모니터링을 이용한 해안선 변화 관측 기법을 소개하면서 갯벌과 같이 관측이 어려운 조간대에서 조석이라는 자연 조건을 이용하여 효과적으로 그

지형을 정량적으로 관측할 수 있음을 제안하였다.

본 연구에서는 이러한 기법을 갯벌에 적용하기에 앞서서 상대적으로 그 폭이 좁고 관측이 용이한 인천의 대이작도의 큰포안 조간대 백사장에 적용하여 그 문제점을 살펴보고 향후 갯벌 적용시 개선하여야 할 사항들을 살펴본다.

## 2. 원 리

본 관측 방법의 핵심은 조간대에서 조석주기에 따라서 계속 변화하는 수륙경계선은 바로 그 지역에서의 등심선을 나타낸다는 것이다. 즉 Fig. 1에서 보는 바와 같이 간조 정선에서 만조 정선에 이르기까지 수륙경계선의 위치와 그 높이를 산출할 수 있다면 Fig. 1의 아래 그림과 같이 평면도 상에서의 수심도 작성이 가능하다. 이 때 수륙경계선의 표고는 관측을 통하여 획득하며 수륙경계선 각점의 위치는 카메라 영상으로부터 계산된다. 아래의 식은 사진과 현장에서의 각각의 위치에 대한 관계를 나타내는 공선방정식(Collinearity Equation)이다(Mikhail *et al.*, 2001).

$$X - X_L = (Z - Z_L) \frac{m_{11}(x - x_0) + m_{12}(y - y_0) + m_{13}(-f)}{m_{31}(x - x_0) + m_{32}(y - y_0) + m_{33}(-f)}$$

$$Y - Y_L = (Z - Z_L) \frac{m_{21}(x - x_0) + m_{22}(y - y_0) + m_{23}(-f)}{m_{31}(x - x_0) + m_{32}(y - y_0) + m_{33}(-f)} \quad (1)$$

여기서  $X, Y, Z$ 는 현장에서 광과 측정기 위치를 중심으로 설정한 좌표축에서의 위치와 높이를 나타내며  $X_L, Y_L, Z_L$

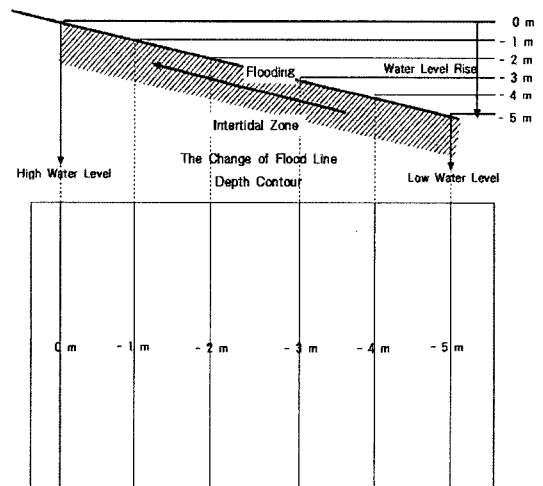


Fig. 1. Schematic map to show the relationship between water level and depth contours.

은 카메라의 위치좌표,  $x, y$ 는 사진에서의 위치좌표,  $x_0, y_0$ 는 사진기 검정값의 오차,  $f$ 는 초점 거리, 그리고  $m$ 은 아래의 행렬  $M$ 의 각각의 요소를 나타낸다.

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

이 때  $\omega, \phi, \kappa$ 는 각각 카메라의 기울기(tilt, 수평축으로 부터 위 방향으로), 카메라 돌기(swing or roll angle), 카메라 각도(azimuth, 반시계 방향)를 나타낸다. 식에서 보는 바와 같이 지상기준점(GCP : Ground Control Points)관측을 통하여 행렬  $M$ 과 초점거리  $f$ 를 알 때 변수는  $X, Y, Z, x, y$  이나 사진 상에 나타나는 수륙경계선의 좌표인  $x, y$ 와 그 높이인  $Z$ 는 관측을 통하여 알 수 있으므로 결국 미지수가 둘( $X, Y$ )이고 식이 둘이 되어서 완전해를 구할 수 있다.

### 3. 관측 및 영상처리

현장에서는 위성영상이나 항공사진과 같이 높은 고도에서 직하방향으로 촬영되지 않고 경사촬영이 이루어지므로 Fig. 2의 흐름도에서 보는 바와 같이 기하보정과 같은 일련의 영상처리 과정이 필요하다. 즉 밀물 시 고정된 장소에서 간조 정선에서 만조 정선에 이르기까지 일정한 시간 간격으로 영상을 촬영한다. 경사 촬영된 영상을 기하보정하기 위해서는 카메라의 경사각과 같은 표정 계수를 구해야 한다. 이를 위해서 광과측정기와 같은 측기를 사용하여 카메라에 나타나는 일정한 지점들과 동일한 현장 지상기준점에 대한 관측을 실시한다. 또한 시간에 따른 수륙경계선 높이의 변화를 알 수 있도록 그에 대한 관측이 수행되어야 한다. 관측 영상에서 영상처리를 통하여 수륙경계선을 추출하며 이 추출된 경계선을 기하보정 함으로써 등수심도 작성에 필요한  $X, Y, Z$ 의 3차원 좌표를 얻는다. Fig. 3에서 보는 바와 같이 각 시간별(수심별)로 추출된 자료를 모두 통합함으로써 조간대 지형에 대한 3차원 정보를 추출할 수 있으며 이러한 계속적인 자료의 축적을 통하여 그 변화 양상도 분석할 수 있다.

### 4. 적용결과

본 관측방법의 현장적용을 위하여 1차로 그 조간대 폭이 상대적으로 좁고 최근 해사 채취로 인한 백사장 유실

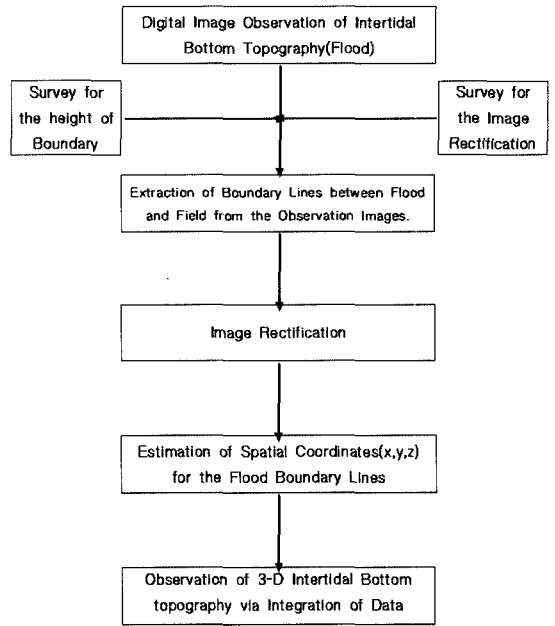


Fig. 2. Flow chart to extract 3-D intertidal bottom topography from the time series images during the flood.

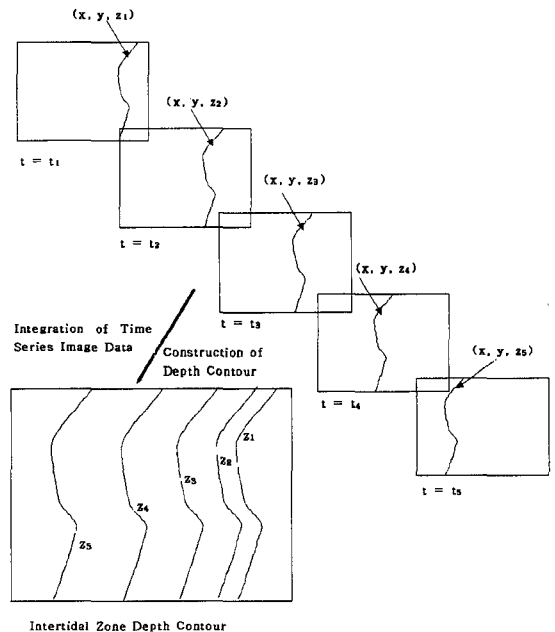


Fig. 3. Construction of depth contours by integrating image data.

이 문제가 되고 있는 인천 대이작도의 큰풀안 해변에서 관측을 수행하였다. Fig. 4의 (a)는 간조시 드러난 큰풀안 해변을 서(西)측 고지대에서 촬영한 영상이며 (b)는 후빈

사구 주변의 침식상황을 보여주는 사진이다. 이러한 급속한 침식은 인근 해역에서의 해사채취가 원인이라는 주장이 제기되고 있으며 침식방지를 위하여 양빈된 모래도 급속히 침식되는 양상을 보였다. 관측 시기는 대조 때인 2004년 11월 13일로 인근 덕적도 조석표에 의하면 저조시 1cm, 고조시 827cm로 8m 이상의 조차를 보였다. 이러한 대조시에는 넓은 조간대 관측이 가능하다. 저조(오전 11시 12분)에서 고조(오후 5시 36분)에 이르는 약 6시간 동안 10분 간격으로 연속적으로 촬영하였으며 동시에 GCP 관측도 이루어졌다. 사용된 카메라는 올림푸스사에서 제작한 모델 C-5060wz로서 촬영된 영상은 2272×1704 화소 크기를 갖는다. 백사장 전체를 관측하기 위해서는 최소한 2대 이상의 복수의 카메라를 사용하거나 혹은 보다 고지대에서의 촬영이 필요하나 본 관측에서는

여건상 1대의 카메라만을 사용하여 해변으로부터 약 21m의 고도에서 촬영하였다.

Fig. 5의 (a)는 경사촬영한 대이작도 큰포란 백사장(Fig. 4(a))의 영상을 기하 보정한 영상이고 Fig. 5의 (b)는 (a)의 적색선 지역에 대하여 앞에서 설명한 원리를 적용하여 구한 등수심도이다. 등수심 분포가 대체적으로 만조시 해안선과 유사한 형태를 보이고 있다. 이때의 수심은 광파기가 설치된 곳의 높이를 기준으로 나타낸 상대적인 수심으로 현재 절대 수준점의 확보가 이루어지지 않아서 표지된 일정 지점에 대한 상대적인 수심을 사용하였다. Fig. 6은 기하보정과 영상처리를 통하여 획득한 수심과 직접 관측한 수심과의 비교를 나타낸 것이다. 이때 원점은 앞서 기준으로 삼았던 광파측정기가 설치된 위치를 말하며 이 원점으로부터의 거리에 따른 계산 값과 관측 값을 비교

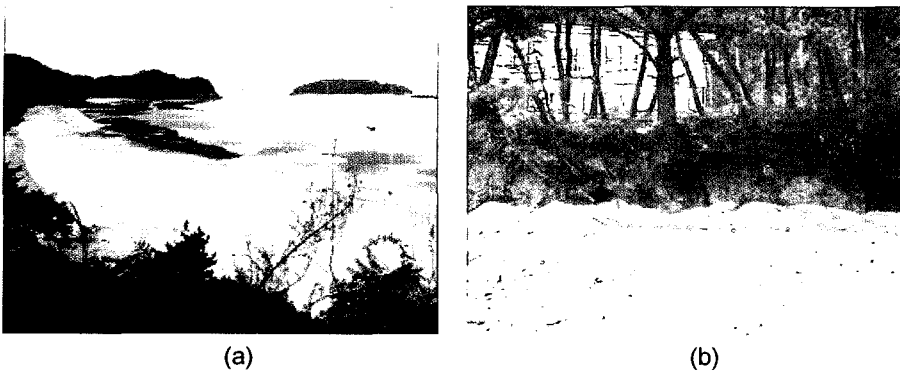


Fig. 4. (a) The side view of Keunpoolan beach. (b) A photo taken at the dune area of the Keunpoolan beach, which shows severe erosion.

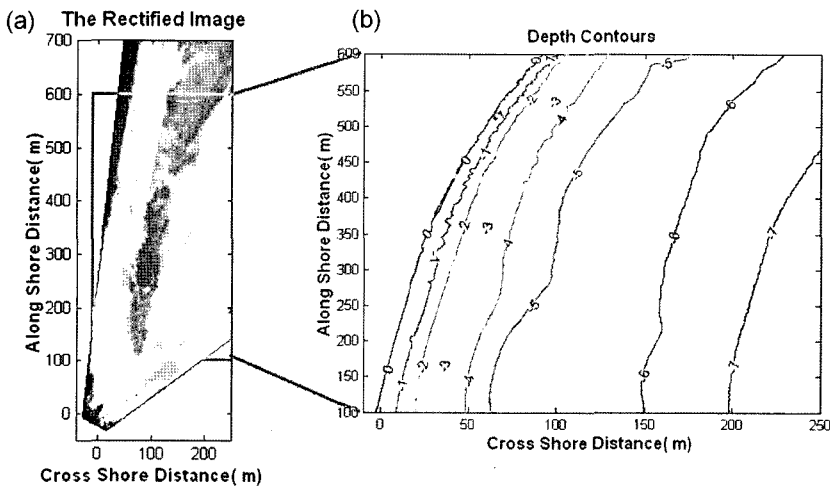


Fig. 5. Water depth contours estimated by camera images on November 13, 2004.

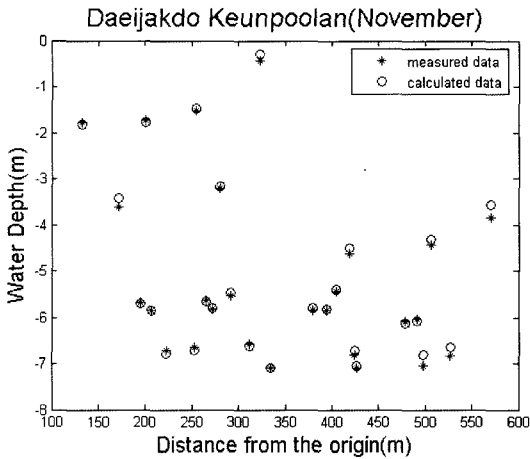


Fig. 6. Comparison of depths between measured and calculated data.

하였다. 대부분 10cm 이내의 오차를 보이며 위치에 따라서는 2~3 mm의 근소한 차를 보이기도 한다. 그러나 원점으로부터 500 m 이상의 거리에서는 그 오차가 커지는 경향이 있어서 제일 큰 오차의 경우 27 cm의 차를 보이기도 했다. 이러한 오차의 발생은 여러 가지 요인이 있을 수 있으나 대략 다음과 같이 요약 할 수 있다. 첫째, 한대의 카메라로 전체 조간대를 관측하므로 원점으로부터 거리가 떨어진 지역은 상대적으로 적은 화소수로 표현되어 정밀한 지형 관측이 어렵다. 둘째, 이러한 해안 지역에는 정확한 영상 관측에 필요한 고도가 충분하지 않으므로 경사촬영시 먼 곳은 더 많은 왜곡이 발생하게 된다. 셋째, 본 연구에서 사용한 기법은 추출된 등심선들의 사이 구간에 대해서는 내삽에 의하여 수심을 산출하게 된다. 그러나 실제 지형이 불규칙한 지형이라면 지역에 따라 큰 오차가 발생할 수 있다. 오차에 대한 보다 정확한 분석은 향후 더 많은 실험과 관측을 통하여 이루어질 계획이다.

### 5. 결론 및 제언

본 연구에서 개발한 영상을 이용한 간접 지형 측정 방식은 큰불안 백사장과 같은 서해안 조간대 백사장뿐만 아니라 직접 관측이 어려운 갯벌 환경의 경우에도 효과적으로 사용될 수 있을 것으로 보인다. 그러나 보다 정확한 관측을 위해서는 결과에서 언급한 오차를 감소시키기 위한 개선이 필요하며 특히 다음과 같은 현장에서의 어려움을 극복하여야 한다. 무엇보다도 연안 지역에서는 높은

고도에서의 영상 관측이 어렵다는 점이다. 대부분의 연안이나 해안에서는 그 전체 조간대를 조망할 수 있는 고지대를 찾아보기 어려우며 이는 영상 관측을 하는데 있어서 상당한 제약 조건이다. 현재 이 경우에 기구를 이용하거나 사다리차를 이용하는 방안이 검토되고 있으며 작업의 편리성이나 경제적인 비용을 고려하여 볼 때 사다리차를 이용하는 것이 바람직할 것으로 보인다. 앞에서 보인 예와 같이 하나의 카메라로 전체의 조간대를 한번에 관측하는 것은 매우 어려운 일이다. 따라서 복수의 카메라를 이용한 영상 관측이 이루어져야 할 것이며 이를 통하여 영상이 겹치는 부분에 대해서는 스테레오 영상기법을 활용 3차원 지형정보도 획득/검증할 수 있을 것으로 보인다. 마지막으로 수륙경계선에 대한 정확한 수위를 관측하는 것은 이 영상 관측법에서 매우 중요하다. 갯벌 조간대와 같은 넓은 지역에 물이 들어올 때는 수면 경사가 발생할 것으로 보이며 이를 해결하기 위해서는 두개 이상의 수압계를 이용하여 보정함으로써 보다 정확한 수심을 산출할 필요가 있다. 향후 이와 같은 문제점들을 보완한 실험을 시행하여 그 자료를 서로 비교 분석함으로써 정확도를 향상시킬 수 있을 것으로 보인다. 또한 이러한 기술을 이용하여 대형 3차원 수조에서 해저 혹은 강바닥에서의 지형 변화에 대한 물리 모형실험시 수조내의 수위를 변경시키면서 시간에 따른 지형 변화를 효과적으로 관측할 수 있다.

### 감사의 글

본 논문은 2004년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었습니다 (KRF-2004-003-D00416). 현장관측에 도움을 준 대학원생 및 학부생에게 감사하며 세심하게 논문 수정과 좋은 의견을 주신 심사위원께도 감사드립니다.

### 참고문헌

- 김태림, 이광수, 서경덕 (1998). 비디오 모니터링을 이용한 연안 환경 관측 기술에 관한 고찰. 한국해양·해양 공학회지, 10(1), 45-53.
- 김태림 (2003). 원격 무인 자동 영상 관측 시스템을 활용한 해안선 변화 관측 및 분석. 대한 원격탐사학회지, 19(2), 99-106.
- 류주형, 조원진, 원중선, 이인태, 전승수, 서애숙, 김금란 (2000). 원격탐사 자료로부터 해안선 추출에 의한 조간대 DEM 생성. 대한 원격탐사학회지, 16(3), 221-233.

- Bradley, D.M., Davidson, M.A., and Huntley, D.A. (2001). Measurements of the response of a coastal inlet using video monitoring techniques. *Marine Geology*, 175, 251-272.
- Mikhail, E.M., Bethel, J.S. and Mcglone, J.C. (2001). *Introduction to Modern Photogrammetry*. John Willy & Sons, New York, N.Y.
- Nathaniel, G.P. and Holman, R.A. (1997). Intertidal beach profile estimation using video images. *Marine Geology*, 140, 1-24.
- Stefan, G.J.A., Turner, I.L., Dronkers, T.D.T., Caljouw, M. and Nipius, L. (2003) A video-based technique for mapping intertidal beach bathymetry. *Coastal Engineering*, 49, 275-289.

---

Received November 10, 2005

Accepted February 20, 2006