

## 비디오 모니터링을 이용한 연안환경 관측기술에 대한 고찰 Review of Coastal Environmental Measurement Techniques Using Video Monitoring

김태림\* · 이광수\* · 서경덕\*\*

Taerim Kim\*, Kwang Soo Lee\* and Kyung Doug Suh\*\*

**요 旨** : 비디오 모니터링 기술 및 이의 해안에서의 적용에 대하여 검토하였다. 최근에 비디오 하드웨어 및 영상 처리 기술의 발달로 인하여 비디오 카메라를 이용한 해안선 변화, 연안 사주의 형태, 파의 쳐올림 및 스위쉬 (swash) 운동 등에 대한 관측이 가능해졌다. 특히 영상의 디지털화(digitization), 좌표수정(rectification) 및 영상 처리 과정을 통하여 비디오 영상으로부터 정량적인 정보를 얻을 수 있게 되었다. 비디오 모니터링 기술은, 비록 정밀도가 낮고 육지 및 해수 표면에 대한 정보만을 간접적으로 제공하지만, 기존의 관측 기술에 비해 훨씬 적은 비용으로 장기간의 관측을 가능하게 해 준다.

**핵심용어** : 비디오 모니터링, 영상처리, 좌표조정, 해안선 변화, 파의 쳐올림

**Abstract** □ Video monitoring techniques and their applications to beaches were reviewed. The recent development of video hardware and image process made it possible to measure shoreline changes, sandbar morphology, wave runup, swash motion, and so on using video camaras. Especially, quantitative information from the video image can be obtained by digitization of image, rectification procedure, and image process. Using video monitoring techniques, measurements can be made at much lower cost and for long periods of time compared to the traditional measurement techniques, although these techniques are of lower accuracy and provide only indirect information on the land and water surface.

**Keywords** : video monitoring, image process, rectification, shoreline change, wave runup

### 1. 서 론

최근 해안에서의 경제적, 군사적 활동 및 레크리에이션의 증가로 인하여 연안 및 해안에서 일어나는 여러 현상들에 대한 다각적인 연구와 함께 좀 더 정량적인 이해를 얻기 위한 실험 및 관측 분야에 많은 노력을 기울이게 되었다. 이러한 연안 역학 현상 연구에 있어서 특히 중요한 것은 자연 그대로인 상태에서 물리적 관측을 수행하는 것이다. 이와 같은 현장관측은 매우 어려운 작업으로 소요 비용이나 기술적인 면에서 많은

부담을 주지만 그 결과는 매우 값진 것으로 해안에서의 여러 현상을 이해하는 데 많은 도움을 주어왔다. 하지만 이러한 현장관측도 한편으로는 자연적인 연안 시스템에서 일어나는 현상 중에서 시간적·공간적으로 그 일부분만을 보여 줄 뿐이다.

본 논문에서는 최근에 연안 관측의 한 방법으로서 가시적 유체 운동 현상이나 그 결과로 발생하는 해안선 반응 등을 관측하기 위한 비디오 모니터링 기술에 대해서 설명하고 아울러 지금까지 이 기술을 이용한 연구들과 또한 앞으로 이 기술이 이용될 수 있는 연구

\*한국해양연구소 연안·항만공학연구센터 (Coastal & Harbor Engineering Research Center, Korea Ocean Research & Development Institute, Ansan PO Box 29, Seoul 425-600, Korea)

\*\*서울대학교 토목공학과 (Department of Civil Engineering, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea)

분야에 대해서 고찰하였다.

## 2. 비디오 모니터링 기술

과거 십여년간의 비디오 하드웨어와 영상 처리 기법의 발달은 비디오 영상으로부터 값진 자료와 정보의 추출을 가능하게 하였으며, 비디오 모니터링 기술은 연안 현상 연구의 좋은 도구로 사용될 수 있게 되었다. 비록 이 기술이 정밀도면에서 떨어지고 육지와 해수 표면의 정보만을 제공한다는 약점이 있지만 적은 비용

으로 장기간에 걸친 관측이 가능하다는 장점이 있다. 특히 기존의 아날로그 영상을 쉽게 디지털 영상으로 변환할 수 있게 됨에 따라 각 픽셀의 강도 자료로부터 연안에서 발생하는 여러 물리적인 현상을 유추하고 측정할 수 있게 되었다. 예를 들어 비디오 기술을 이용하여 해안에서의 파의 쳐올림 현상이나 쇄파대에 대한 시간·공간적인 관측 및 분석이 가능하다. 비디오 기술을 이용한 연구는 다음과 같은 세 가지 요소의 이해를 필요로 한다: 1) 비디오 영상 자료 취득의 시간적인 이해, 2) 공간적인 이해 및 영상과 실제 자연에서의 좌

**Table 1.** The cited applications of image techniques.

Authors	Importance to the field
Maresca and Seivel (1976)	Used 35 mm camera to measure breaking waves and currents in the nearshore region
Holman and Sallenger (1984)	Used time-lapse photography to measure wave runup
Holman and Guza (1984)	Introduced longshore-looking time-lapse photography to study longshore variability of wave runup on natural beaches
Holman and Lippmann (1987)	Developed a technique for modeling and measuring 3D morphology of sand bar
Aagaard and Holman (1989)	Used video records to measure wave runup
Lippmann and Holman (1989)	Developed a remote sensing technique to measure the scales and morphology of natural sand bars based on the patterns of incident wave breaking
Lippmann and Holman (1989)	Demonstrated a technique to remotely measure natural sand bar scale and morphology change
Holman <i>et al.</i> (1990)	An automatic digitization system was applied to improve upon the previous runup experiments conducted by Holman and Guza (1984) during SUPERDUCK'86 experiment
Holland <i>et al.</i> (1991)	A video technique was applied for the quantification of overwash bore celerity vectors along several cross-shore transects
Lippmann and Holman (1991)	The phase speed and incident angle of breaking surface gravity waves in the surf zone were measured using video processing techniques
Lippmann and Holman (1992)	A video based technique was presented which accurately quantifies temporal modulation in wave breaking across the width of the surf zone
Holman <i>et al.</i> (1993)	Showed several examples of bathymetry measurements that can be made at low cost and over long periods of time using video
Mason (1993)	Used video to monitor the Hollywood Beach renourishment of summer 1991
Sloop (1995)	Used video techniques to study beach cusp formation and shoreline change in Longboat Key, Florida
Plant and Holman (1996)	Quantified beach variability by analyzing scale-separated temporal behavior of shoreline morphology
Lippmann and Thornton (1996)	Stereo video analysis of sea surface elevation, slope, and luminance
Chen (1996)	Development of estimates of the partitioning of wave energy dissipation over a natural reef, an artificial reef, and near shoreline
Konicki and Holman (1996)	Quantification of transverse bars which are oblique or perpendicular to the shoreline

표계의 관계, 3) 영상 자료와 지구물리학적 신호와의 관계.

이러한 이해를 바탕으로 비디오를 이용하여 해안선 변화나 연안 형상 변화와 같은 장기적 현상은 물론 해상 상태, 스위쉬(swash) 운동, 연안사주의 형태 변화와 같은 단기적 현상의 변화를 적은 비용으로 큰 위험 부담 없이 관측할 수 있다. 이 외에 해안에서의 탁도 변화, 영상에 기록된 파의 속도를 이용한 수심관측, 쇄파대의 변화 및 파랑 에너지의 감쇠 과정 등도 비디오 영상을 통하여 연구가 가능하며, 부분적으로 그 동안 연구가 수행되어져 왔다. 지난 십여년간 비디오 기술을 이용한 연구들을 요약하면 Table 1과 같다.

### 2.1 비디오 카메라 설치 및 운용

비디오 모니터링의 핵심 기술 중의 하나는 기기에 대한 원거리 제어가 가능하게 함으로써 적은 비용으로 장기간의 무인관측을 용이하게 하는 것이다. 최근의 정보·통신 기술의 발달로 인하여 세계 어느 곳에 위치한 기기라도 전화를 통하여 원격 제어가 가능하게 되었으며, 또한 기기를 통하여 수집된 자료의 실시간 이용은 물론 인터넷을 통한 일반 사용자와의 자료의 공유도 가능하게 되었다. Fig. 1은 해안을 모니터링하고 있는 비디오 카메라의 모습을 보여주고 있는데, 카메라를 고정하여 정해진 구역만을 일정한 시간 간격으로 계속 촬영할 수도 있지만, 팬/틸트(pan/tilt) 제어기를 사용하면 카메라의 상하·좌우로의 이동이 가능하고, 또한 카메라의 줌(zoom) 기능을 이용하여 영상을 확대 또는 축소할 수도 있다. 이러한 기능들은



Fig. 1. A video camera installed at a beach for video monitoring (Reproduced by courtesy of Dr. Rusty Erdman).

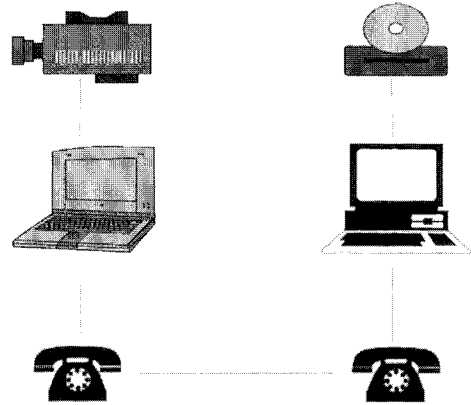


Fig. 2. Video monitoring procedure.

전화를 통하여 모두 실시간으로 제어할 수 있으며, 또한 필요한 기능을 프로그래밍하여 자동화함으로써 무인 제어도 가능하다. 팬/틸트 제어기를 사용할 경우 한 대의 카메라로써 필요한 여러 방향과 구역을 원하는 시간에 원하는 형태로 자동적으로 찍을 수 있으므로 마치 여러 대의 카메라를 동시에 운용하는 효과를 낼 수 있다.

Fig. 2는 비디오 모니터링 운용 방식을 그림으로 보여주고 있다. 일단 비디오 카메라에 찍힌 아날로그 영상은 컴퓨터를 통하여 디지털 영상으로 변환된 후 전화선을 통하여 원거리에 있는 연구실의 컴퓨터로 전송, 보관된다. 이 때 영상 자료의 양은 상당히 크므로 자료의 전송은 전화 사용자가 적은 야간에 하는 것이 바람직하며 아울러 계속 전송되는 막대한 양의 자료를 보관하기 위하여 시디롬(CD Rom)과 같은 저장 매체가 필요하다. 이 과정에서 일반 사용자가 필요로 하는 자료는 인터넷 상에 실음으로써 일반 사용자와 공유할 수 있다. 카메라를 설치, 운용함에 있어서 주의하여야 할 점은 카메라 자체를 외부 환경으로부터 보호하기 위하여 하우징(housing)과 같은 특수한 덮개를 마련하여 주어야 하며 원하는 영상을 정확히 포착할 수 있는 곳에 카메라를 설치하여야 한다는 것이다. 또한 좌표 조정(rectification)을 통한 영상 처리과정을 위해서는 카메라가 위치한 곳을 정점으로 하는 지상 좌표를 정확히 설정하고 영상에 나타난 일정 지점에 대한 실제 지상에서의 거리를 정확히 알아야 한다. 이를 알기 위해서는 정밀한 지상관측이 필요하나 여기에는 카메라부터의 거리에 비례하여 증가하는 픽셀간의 실제 지상 거리로 인한 수평 측정 정확도의 한계가 있다. 이를 해

결하기 위해서는 분해도가 높은 장비를 되도록 관측장소에 가까이 놓는 것이 중요하다.

## 2.2 영상 처리과정

비디오 기술의 학술적 이용은 기존의 아날로그 영상을 디지털 영상으로 변환하는 것이 가능해짐에 따라 본격화 되었으며, 또한 정보·통신 기술의 발달로 영상의 전송 및 분석이 용이하게 되었다. 디지털 영상이란 아날로그 영상 자료를 픽셀(pixel)이라고 부르는 단위로 공간적으로 조각내어서 표현하는 것을 의미하며, 각각의 픽셀은 영상의 강도(intensity level)와 색깔에 대한 정보를 포함하고 있다. 즉, 비디오 영상 처리과정의 기초는 영상으로 나타나는 강약의 변수를 2차원적인 픽셀의 배열로 나타내는 것으로서, 관심의 대상이 되는 현상에 따라 흑백 또는 천연색으로 촬영하여 활용할 수 있으며 적외선과 같은 不可視 밴드가 사용되기도 한다. 이와 같은 강도 자료로부터 지구물리학적 현상이 유추, 측정된다. 영상의 강도 자료는 각각의 픽셀 또는 픽셀 연속에서 구할 수 있으며 그것은 곧 물속에 설치한 관측장비들과 상응하게 된다. 이러한 관점에서 볼 때, 각 픽셀들은 각각의 장비들과 유사하며 비디오 영상 강도의 시계열 자료는 물속에 설치된 고정 센서로부터의 시계열 자료와 같은 양상을 갖는다. 다시 말해서 비디오를 이용해 연속 촬영한 결과는 각 픽셀마다 하나씩 즉 픽셀의 갯수 만큼의 기기를 계류하여 얻은 관측 결과와 동일하다고 볼 수 있다. 대부분의 영상 처리과정은 색깔을 더함에 따르는 번거로움을 피하기 위하여 gray scale로 표현하는데 이 때 256 gray scale은 8 비트(bit) 이미지( $2^8$ )를 의미한다.

영상 자료를 이용하는 데 있어서 가장 중요한 것은 관심의 대상이 되는 현상에 대해서 영상에서의 좌표와 실제 현장에서의 좌표와의 관계를 알아내는 것이다. 어떠한 특별한 객체에 대하여 3차원적 좌표에 위치하는 것을 그와 관련된 2차원적 영상 좌표로 옮기는 것은 변형 알고리즘을 통하여 하나의 해로 계산해 낼 수 있으므로 가능하다. 그러나 그 반대로 2차원 영상 자료로부터 3차원 좌표상에서의 위치를 결정하는 것은 불가능하며 더 많은 보조 자료를 필요로 한다. 전통적인 사진 방법으로는 스테레오 방식을 사용하는 것으로 둘 혹은 그 이상의 카메라를 동시에 이용함으로써 객체의 현장 위치를 알아낼 수 있다. 또한 현상 자체가 자연적으로 이미 일정한 차원에 구속되어 일어나는 현상을 생각해

볼 수 있다. 예를 들어 파의 경우 항상 해수면이라는 평면에서 일어난다는 것을 가정함으로써 여러 복잡한 변환 과정이 생략될 수 있다. 비디오 영상과 같이 빗각 촬영된(oblique) 영상에 대한 그 동안의 정성적인 분석은 영상 자체를 좌표조정(rectification)이라는 변환과정을 통해서 실제 지상 좌표계와 동일한 좌표를 갖는 영상으로의 변환이 가능하게 됨으로써 정량적인 분석이 가능하게 되었다. 이러한 좌표조정은 새로운 개념은 아니나 빗각촬영된 영상을 해석하고 분석하는 데 있어서 없어서는 안될 필수 과정이다. 이 때 이 변환을 위해서는 여러 매개변수들이 필요하며 또한 이러한 매개변수들이 정확히 조사되어야 하는데, 그 정밀도가 영상 분석의 정밀도에 있어서 매우 중요하다. 이러한 지형적 영상 매개변수들을 구하기 위해서는 현장에서의 관측 위치들과 관측 가능한 영상 위치들 간의 관계를 least-squared inverse 알고리즘을 이용하여 구하는 것이 바람직하다.

영상에 대한 해석 과정은 사진측량법의 원리에 기초한 기하학을 바탕으로 한다. 즉, 영상속의 어떠한 좌표의 위치는 실제 지상에서의 그에 상응하는 위치, 초점 거리(focal length), 카메라 기울기(tilt), 카메라 돌기(swing), 카메라 각도(azimuth), 카메라 높이(elevation)의 함수로 나타낼 수 있다. 이것을 수식으로 표현하면

$$(x, y) = f(X, Y, Z_c, f_c, \tau, \phi, s, H) \quad (1)$$

여기서( $x, y$ )는 사진 영상에서의 좌표를 의미하며,  $X, Y, Z_c$ 는 사진 영상의( $x, y$ )에 상응하는 실제 지상에서의 위치 좌표,  $f_c$ 는 카메라의 초점거리,  $\tau$ 는 카메라의 기울기(tilt, 수평축으로부터 윗방향으로),  $\phi$ 는 카메라 각도(azimuth, 반시계 방향),  $s$ 는 카메라 돌기(swing or roll angle),  $H$ 는 원점으로부터의 카메라의 높이를 의미한다. 카메라의 초점거리는 카메라 렌즈의 광학 중심으로부터 카메라의 영상 표면(imaging surface)까지의 수직거리(mm)를 말하는데, 일반 카메라의 경우 영상 표면은 필름이 되며 비디오 카메라의 경우는 CCD (Charge-Coupled Device)로 이루어져 있다. Lippmann and Holman(1989)은 영상 좌표로부터 지상 좌표로 변환하는 기하학적 변환식을 아래와 같이 제안하였다. 간단한 예로 지상 좌표  $P(X, Y, Z_c)$ 에 상응하는 영상 좌표  $p(x, y)$ 는 다음과 같이 표현될 수 있으며

$$y = f_c \tan \left[ \tan^{-1} \left( \frac{Y}{Z_c} \right) - \tau \right] \quad (2)$$

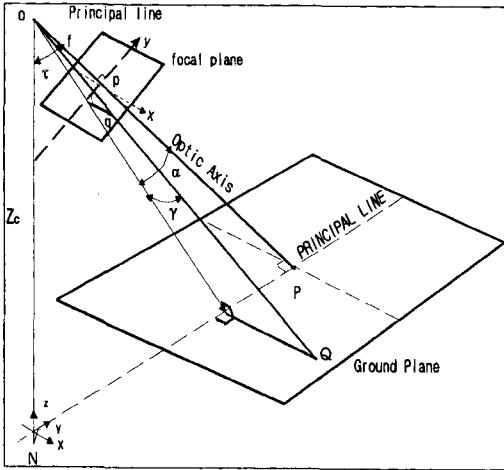


Fig. 3. The geometry and labeling conventions used in the rectification process (modified from Lippmann and Holman, 1989).

$$x = \left( \frac{y^2 + f_c^2}{Z_c^2 + Y^2} \right)^{1/2} X \quad (3)$$

이것을 그림으로 표시하면 Fig. 3과 같다. 이러한 좌표 변환 전에 먼저 영상의 x축이 영상의 수평선과 평행이 되도록 만들어 주어야 한다. 즉 카메라의 스윙으로 인한 각은 카메라 자체가 수평면에 대해서 좌우로 회전함으로써 생기는 각으로 수평선에 대해서 기울어진 영상은 이 카메라 돌기(swing)로 인해서 생긴 것이다. 좌표조정(rectification)을 위해서는 영상 자체의 기준 좌표계(x, y)를 수평선에 각각 평행하고 수직적인 임시의 좌표계(x', y')로 다음과 같이 변환하여야 한다.

$$x' = x \cos \theta - y \sin \theta \quad (4)$$

$$y' = x \sin \theta + y \cos \theta \quad (5)$$

이때  $\theta$ 는 카메라의 돌기로 인한 영상자체의 x축과 수평선 사이의 각을 의미한다. 임시 좌표계 상에서 좌표조정된 영상은 분석을 위해서 다시 원래의 (x, y) 좌표계로 변환되어야 한다. Fig. 4는 좌표조정(rectification)의 한 예를 보여주는 것으로, (a)는 단순히 카메라로 빗각촬영된 영상을 보여주며, (b)는 이 영상을 좌표조정이라는 변환 과정을 통하여 마치 비행기에서 수직으로 내려다 본 것과 같은 영상으로 변화시킨 것으로서 보통의 영상이 갖고 있는 화면의 휨이나 굴절 혹은 원근 효과가 제거되고 각 픽셀의 간격은 지상에서의 실제 거리와 비례하여 나타내어질 수 있게 됨으로써 정량적인 영상 분석이 가능하게 된다.

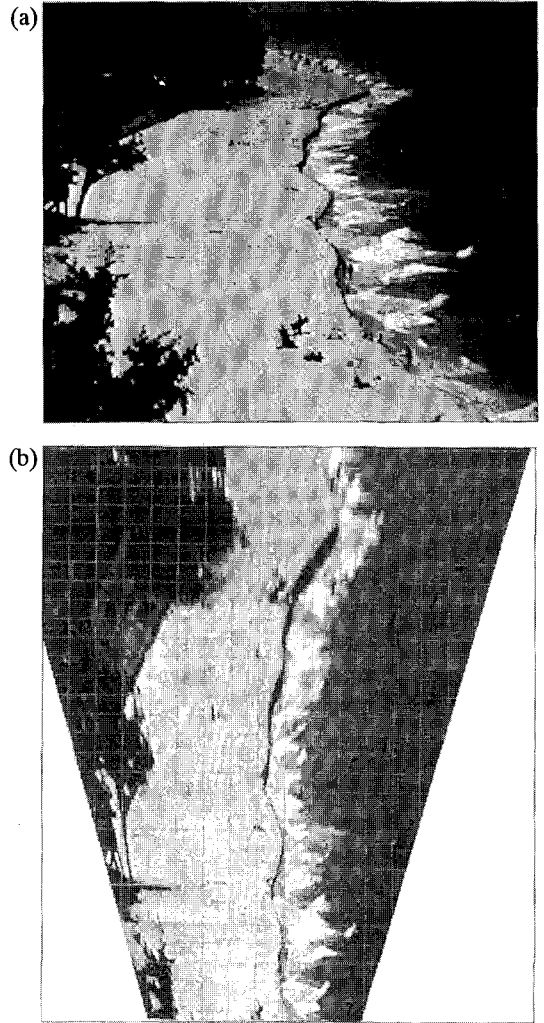


Fig. 4. An example of the oblique image taken from a beach in Florida (a) and its rectified image (b) (Reproduced by courtesy of Dr. Rusty Erdman).

### 3. 비디오 모니터링의 해안 응용

연안 현상은 크게 두 가지의 요소로 분리할 수 있는데, 하나는 해안의 얇은 수심에서의 파랑장의 변화와 역학, 그리고 다른 하나는 파랑에 의한 퇴적물 이동에 의한 해안 지형 변화이다. 연안 현상 연구의 목적은 이 두 요소의 상호 작용으로 인한 비선형 효과를 관측하여 이들에 대한 이해 및 예측을 가능하게 하는 것이다. 시간 규모로 볼 때 연안에서의 관심 시간 규모는 1초 정도의 유체 유동에서부터 길게는 몇 년간에 걸친 해안 지형 변화에 이르기까지 다양하며, 이 두 요소는 크게 두 개의 주파수대로 나눌 수 있다. 해안에서 유체

유동을 관측할 경우 유체 유동의 시간 규모에서는 주변의 지형이 변화가 없다고 가정할 수 있지만 하루 정도의 시간 규모에서는 무시할 수 없을 정도의 지형 변화가 발생할 수 있으므로, 이론적으로는 지형 관측을 매일 실시하여야 한다.

이러한 가정 외에도 국부 관측(point measurement)에 따르는 몇 개의 관측 제약 조건들이 있는데 먼저 공간적 비균등성을 들 수 있다. 즉 해안에 대하여 수직 방향으로 진행되어 들어오는 입사파의 파장에 대해서 강한 비균등성이 있을 수 있고, 또한 연안 방향으로의 cusp와 같이 짧게는 10 m에서 길게는 연안 사주와 같이 100 m 내지 1000 m에 이르는 규모의 비균등성이 있을 수 있다. 유체 유동에 대한 과거의 연안 관측 방법은 일정한 배열(array) 상태로서 압력계나 유속 센서를 고정하여 사용하는 것으로서 연안에 대해서 수직 혹은 평행 방향으로 관심 해역을 커버하였는데 이러한 관측 방법은 앞에서 설명한 현장에서의 공간적 비균등성으로 인한 몇 가지의 한계점들을 갖고 있고 대부분의 경우 해안선 방향으로는 파랑장이 균일하다는 가정하에 사용되었다. 또한 파랑장에 대한 공간적 설명은 관측장비의 규모와 성능에 크게 의존하고 있으며 파고와 높은 연안 환경에서 고가의 장비를 계류시켜 사용하는 것은 손실 또는 망실을 고려할 때 위험한 일이다. 이러한 제약점들을 보완하기 위하여 연안 현상을 관측하는데 비디오 기술을 사용하게 되었다. 이러한 비디오 기술은 많은 연안 현상들이 시각적으로 분명히 확인할 수 있는 것들이고 또한 수심이 매우 얕으므로 해방만류(undertow)를 제외하고는 시각적으로 나타나는 표층현상이 전체 수층을 대표한다고 볼 수 있다는 점을 고려할 때 그 효용성이 매우 크며, 또한 고가의 장비들을 위험한 환경에 노출시키지 않는다는 큰 잇점이 있다.

비디오 모니터링을 해안 현상 관측에 응용한 예로서 가장 대표적인 것으로 해안선 변화 관측을 들 수 있다. 해안선은 계절적으로 침식과 퇴적이 반복되는 변화를 보이며 특히 태풍과 같은 큰 외부의 에너지에 노출될 때는 일시적으로 상당한 해안선의 후퇴를 보이기도 한다. Fig. 5는 폭풍을 전후로 연속하여 모니터링된 영상으로서 각각 폭풍에 의하여 해안선이 얼마나 많이 침식되었는가를 잘 보여 주고 있다. 무인의 자동화된 비디오 모니터링 기술은 태풍과 같은 단기간의 해안선 변화의 관측은 물론이고 장기간의 계절적 변화 또는 인공 구조물에 의한 주변 해안선의 변화, 양빈(beach

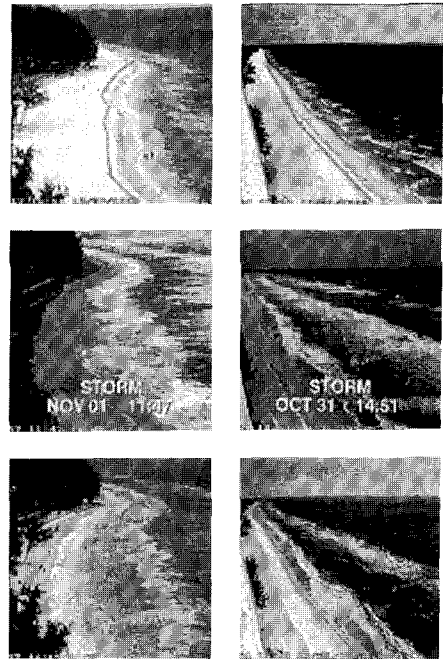


Fig. 5. Photo examples showing shoreline changes during a storm using video monitoring techniques (Reproduced by courtesy of Dr. Rusty Erdman).

nourishment)에 의한 효과 등을 관측하는 데 매우 효과적이다(Mason, 1993; Plant and Holman, 1996).

또한 연안으로 진행되어 오는 파를 육안으로 알아볼 수 있는 것처럼 영상화면에 나타난 각 픽셀의 강도를 시계열로 나타내면 이 또한 파랑과 같은 변화를 보인다. 따라서 해안에 평행한 방향으로 시간에 따른 픽셀 강도의 변화를 분석함으로써 압력계를 해안에 평행하게 배치하는 방법과 마찬가지로 파의 입사각을 구할 수 있다. 각각의 파고와 관련된 신호의 강도는 파가 부서지는지 아닌지에 밀접한 관계가 있다. Lippman and Holman(1991)은 이것을 이용하여 해안에서의 쇄파의 통계와 쇄파 변조의 특성을 알아내었다. 파의 에너지 감소는 평균 혹은 장주기를 갖는 연안류를 발생시키는 잉여응력(radiation stress)의 기울기와 관계가 있으므로 비디오를 통한 파랑에너지 감소에 대한 연구 기여도 기대된다.

파고와 같은 3차원 현상들은 2차원 영상자료로부터 구할 수 없지만 쇄파된 파가 처올림(runup) 혹은 스위쉬(swash) 형태로 2차원적인 형태를 보일 때는 그 형태의 변화를 통한 연구가 가능하다. 이와 같이 연안에서 발생하는 2차원적인 현상들은 비디오를 통하여 쉽

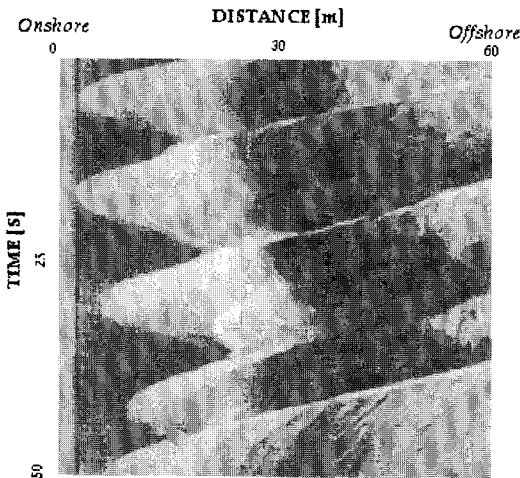


Fig. 6. Temporal variation of pixel intensity levels along a line perpendicular to the shoreline (from Holland and Holman, 1993).

게 연구되어질 수 있다(Holman *et al.*, 1993). Fig. 6은 해안에서 관측한 영상 자료 중에서 해안선에 수직방향의 기준선에 분포하는 픽셀들을 시간에 따라서 재배열한 것이다. 이 그림을 통하여 수동 혹은 자동으로 파의 쳐올림에 대한 특성이 잘 파악될 수 있다. 또한 그림을 자세히 보면 거품 형태의 자국이 앞뒤로 움직이는 것을 볼 수 있는데 이를 통하여 유체 속도의 정량적인 분석이 가능하며 이와 유사한 연구는 앞으로도 많은 가능성을 가지고 있다.

2차원으로 나타낸 영상 자료를 통하여 3차원 정보를 얻는 것은 거의 불가능하다. 이를 보완하기 위하여 스테레오 형태의 모니터링이 이루어지기도 하지만 아직 많은 어려움이 있다. 하지만 유체의 운동학적인 관계를 이용하여 3차원적인 정보를 끌어낼 수도 있다. 예를 들어 천해에서  $c = \sqrt{gh}$  ( $c$ 는 파의 진행 속도,  $g$ 는 중력가속도,  $h$ 는 수심)라는 식을 이용하여 연속적인 2차원 영상 사진에서 나타나는 파의 진행 속도로부터 수심을 추정할 수 있다(Lippmann and Holman, 1991). 또한 장기 노출 영상 방식을 통하여 시간 평균 기법을 사용함으로써 고주파수의 신호들을 제거하고 준-정적인(quasi-static) 상태의 자연 현상인 해안선 위치나 연안 사주의 위치 등에 대한 분석을 강화시킬 수 있다(Holman and Guza, 1984). 그러나 이러한 기술은 주간에 날씨가 좋아서 관측 목표인 해안 현상을 충분히 볼 수 있는 시기에만 가능하며, 전천후 관측을 위해서는 고가의 특수 장비가 동원 되어야 한다. 또한 이러한 기법은 관측 초기

에 일정 기간 동안 파랑과 해안의 현장 자료 획득이 동시에 이루어져야 한다는 단점이 있다. 시각적인 신호와 지구물리학적 변수들과의 불확실한 관계를 규명하기 위하여 인공위성을 이용한 자료분석법과 마찬가지로 여러 영상 자료에 대한 ground truth 테스트에 대한 연구가 진행중이다. 그러나 일단 기본적인 지상 좌표계가 설정되면 공간적인 자료 채취 배열이나 시간은 필요에 따라 얼마든지 조절이 가능하다. 또한 좁은 관심해역에 대해서는 높은 분해도를 갖고 넓은 해역에 대해서는 낮은 분해도를 갖도록 하는 것이 카메라 위치를 조정함으로써 가능하고, 만약 좀 더 높은 분해도를 필요로 한다면 부가적으로 더 많은 픽셀을 채취하거나 파의 쳐올림 한계 등을 따로 채취함으로써 가능하다. 또한 비용면이나 전략면에서 다른 장비들처럼 분실되거나 망실될 위험이 적고 비용이 저렴하다.

#### 4. 연구 가능성 및 계획

비디오 모니터링 기술은 앞에 열거한 해안 현상에 대한 응용 외에도 다른 해양학 분야에서도 효과적으로 응용될 수 있다. 특히 최근의 디지털 카메라의 등장과 발달, 그리고 정보 통신망의 발달은 그 응용성과 효과를 더욱 높여 줄 것이다. 조간대와 같이 광범위한 갯벌 해안은 지형 변화의 관측이 매우 어려우며 또한 위험하다. 그러나 비디오 모니터링 기술을 이용할 경우 조간대에 해수가 차오르는 과정을 연속 촬영하고 좌표조정(rectification) 과정을 거치게 되면 각 시간마다 해수와 육지간에 그려지는 경계선은 결국 등수심선을 나타내며 이는 영상 분석을 통하여 자동적으로 얻을 수 있다. 시각적인 효과를 이용한 비디오 모니터링 외에 적외선 카메라 등을 이용하여 발전소 부근의 온배수 분포 등을 관측할 수 있다는 것도 앞으로 비디오 기술을 이용한 중요한 가능 응용예에 포함될 것이다. 하지만 영상으로 나타난 현상과 지구물리학적 현상들간의 관계는 앞으로 지속적으로 연구되어야 한다. 아울러 이러한 비디오 모니터링을 통한 연구는 방대한 자료의 처리를 요구하며 이를 자동적으로 처리할 수 있는 소프트웨어의 개발이 시급하다.

#### 5. 요약

연안 해역은 파랑이 우세한 환경으로서 파랑 뿐만

아니라 연안류 등 수력학적 현상과 그로 인하여 발생하는 퇴적물 이동, 그리고 해안선 변화 등 복잡한 현상들이 복합적으로 일어나는 곳이다. 이러한 해석을 연구하기 위하여 역사적으로 다양한 관측기기들을 현장에 계류하여 그 자료들을 분석하는 기술들이 발달되어 왔으나, 이들은 그 정확성에도 불구하고 국부관측(point measurement)이라는 한계점을 갖고 있고, 더욱이 큰 에너지가 발생하는 태풍시나 폭풍시에는 망설의 위험이 크며 또한 설치 및 유지 비용이 크다. 특히 이들로부터 얻어지는 자료는 그 설치 장소에 많은 영향을 받게 됨으로써 쇄파대와 같이 넓은 구역을 연구하기 위해서는 많은 장비들의 계류가 필요하다. 최근 들어서 저가의 비디오 장비들의 구입이 용이해지고, 영상처리(image process) 기술의 발달로 영상 기록들로부터의 필요한 정보의 추출이 가능해짐에 따라 연안의 현상을 연구하는 데 이러한 비디오 모니터링 방법이 간단하면서도 경제적인 방법으로 제시 및 사용되어 왔다. 비록 이 기술이 관측기기를 직접 계류하는 방법에 비해 정밀도는 상대적으로 낮고 육지 및 해수 표면에 대한 정보만을 간접적으로 제공하지만, 장기간의 관측과 넓은 구역의 동시 관측이 저렴한 비용으로 가능하다는 점에서는 우월하다. 특히 해안선 변화와 같이 장기간의 관측을 요구하는 경우에는 이 영상 기술을 이용한 방법이 가장 바람직하다고 본다.

### 감사의 글

본 연구는 1996년 한국해양연구소 기관고유사업 PE97608의 일환으로 이루어졌음을 밝힙니다. 본 논문에 인용된 사진을 제공해주신 Mr. Rusty Erdman에게 감사드립니다.

### 참고문헌

- Aagaard, T. and Holm, J., 1989. Digitization of wave run-up using video records, *J. Coastal Res.*, **5**(3), pp. 547-551.
- Chen, R., 1996. Estimated wave energy dissipation by natural and artificial reefs via video imaging techniques, *M.S. Thesis*, Univ. of Florida, Gainesville, FL.
- Holland, K.T., Holman, R.A. and Sallenger, A.H., 1991. Estimation of overwash bore velocities using video techniques, *Proc. Coastal Sediments '91*, ASCE, New York, pp. 489-497.
- Holland, K.T., Holman, R.A., 1993. The statistical distribution of swash maxima on natural beaches. *J. Geophys. Res.*, **98**(C6), pp. 10271-10278.
- Holman, R.A. and Guza, R.T., 1984. Measuring run-up in a natural beach, *Coastal Engng.*, **8**, pp. 129-140.
- Holman, R.A., Howd, P., Oltman-Shay, J. and Komar, P., 1990. Observations of the swash expression of far infragravity wave motions, *Proc. 22th Coastal Engng. Conf.*, ASCE, pp. 1242-1253.
- Holman, R.A. and Lippmann, T.C., 1987. Remote sensing of nearshore bar systems-Making morphology visible, *Proc. Coastal Sediments '87*, ASCE, New York, pp. 929-944.
- Holman, R.A. and Sallenger, A.H., 1984. Longshore variability of wave run-up on natural beaches, *Proc. 19th Coastal Engng. Conf.*, ASCE, Houston, pp. 1896-1912.
- Holman, R.A., Sallenger, A.H., Lippmann, T.C. and Haines, J.W., 1993. The application of video image processing to the study of nearshore processes, *Oceanography*, **6**(3), pp. 78-85.
- Konicki, K.M. and Holman, R.A., 1996. Transverse bars in Duck, North Carolina, *Proc. 25th Coastal Engng. Conf.*, ASCE, Orlando, pp. 3600-3613.
- Lippmann, T.C. and Holman, R.A., 1989. Wave dissipation in a barred beach: A method for determining sand bar morphology, *Rep. No. CERC-89-1*, US Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS.
- Lippmann, T.C. and Holman, R.A., 1991. Phase speed and angle of breaking waves measured with video techniques, *Proc. Coastal Sediments '91*, ASCE, New York, pp. 542-556.
- Lippmann, T.C. and Holman, R.A., 1992. Wave group modulations in cross-shore breaking patterns, *Proc. 23rd Coastal Engng. Conf.*, ASCE, Venice, pp. 918-931.
- Lippmann, T.C. and Thornton, E.B., 1996. Observation of surfzone wave breaking during Duck 94, *Abstracts of the 25th Coastal Engng. Conf.*, ASCE, Orlando, pp. 720-721.
- Maresca, J.W. and Seivel, E., 1976. Terrestrial photogrammetric measurements of breaking waves and longshore currents in the nearshore zone, *Proc. 15th Coastal Engng. Conf.*, ASCE, New York, pp. 681-700.



- Mason, T.P., 1993. Video monitoring techniques in the coastal environment, *M.S. Thesis*, Univ. of Florida, Gainesville, FL.
- Plant, N.G. and Holman, R.A., 1996. Frequency-wavenumber characterization of beach morphology, *Proc. 25th Coastal Engrg. Conf.*, ASCE, Orlando, pp. 3521-3533.
- Sloop, R.V., 1995. Beach cusp analysis and the dry beach evolution of Longboat Key, Florida using video monitoring techniques, *M.E. Thesis*, Univ. of Florida, Gainesville, FL.