Vol. 31(4):415-422
DOI: 10.4217/OPR.2009.31.4.415

Ocean and Polar Research

December 2009

Note

비디오 영상 자료를 이용한 연안 국지파랑 관측기술과 그 활용에 대한 고찰

이동영* · 유제선 · 박광순

한국해양연구원 기후·연안재해연구부
(426-600) 경기도 안산시 안산우체국 사서함 29

Review of Video Imaging Technology in Coastal Wave Observations and Suggestion for Its Applications

Dong-Young Lee*, Jeseon Yoo, and Kwang-Soon Park

Climate Change & Coastal Disaster Prevention Research Department, KORDI
Ansan P.O. Box 29, Seoul 425-600, Korea

Abstract : The wave observation system in Korea has been established with an emphasis on point-measurement based on *in situ* instrumentations. However, the system cannot fully investigate the coastal wave-related problems that are significantly localized and intensified with three-dimensional regional geometries. Observation technique that can cover local processes with large time and spatial variation needs to be established. Video imaging techniques that can provide continuous monitoring of coastal waves and related phenomena with high spatial and temporal resolutions at minimum cost of instrumentation risks are reviewed together with present status of implementation in Korea. Practical applications of the video imaging techniques are suggested to tackle with various coastal issues of public concern in Korea including, real-time monitoring of wave runup and overtopping of swells on the east coast of Korea, longshore and rip currents, morphological and bathymetric changes, storm surge and tsunami inundation, and abnormal extreme waves in the west coast of Korea, etc.

Key words : video imaging, local wave observation, coastal disaster prevention, nearshore process

1. 서 론

풍파는 연안 구조물을 설계하고, 건설 및 유지하는데 있어 고려해야 할 가장 강한 외력중 하나로, 연안에서 연안공학의 여러 주요 문제들을 해결하기 위해서는 파랑 조건에 대한 지식없이는 불가능하다. 연안으로 입사해 오는 심해파의 경우, 파랑의 발생, 전파 및 소산 과정에 대한 지식이 많이 축적되어, 수치모델에 의해 상당히 정확한 파랑 정보를 생산하는 것이 가능하게 되었다. 하지만 연안에서, 특히 토사이동 및 연안 구조물의 설치 등에 중요한 쇄파대 지역에서의 국지적인 천해파 변형의 경우는, 국지적 지형의 영향을 매우 크게 받고 또한 파랑의 비선형성이 커서 그 매커니즘을 정확하게 이해하는 데는 아직 여러 가지 문제점이 남아 있다. 상당히 복잡한 천해파 변형 매커니즘에 대한 수치모델의 정확성을 향상시키기 위해서는 국지 연안 일대에 대한 현장 관측 자료의 지속적인 수집 및 분석을 통한 이론적 연구와 함께 수치모델의 검증이 병행되어야 한다.

파랑 관측에는 부이식 파고계, 수압식 파고계, 음파식 파고계 등 여러 가지 현장 계측기가 사용되고 있으나, 쇄

*Corresponding author. E-mail : dylee@kordi.re.kr

파대 일대에서는 수심의 제약 때문에 부이에 의한 관측은 적절치 못하며 또한 수압식 파고계도 파랑의 비선형성의 증가로 측정된 자료를 분석하는 데 어려움이 따른다(Lee and Wang 1984). 그리고 무엇보다도 연안에서는 파랑의 공간적 변화가 크기 때문에 고정점에서의 관측으로 모든 필요한 지점에서의 파랑 정보를 제공하는데 한계가 있다. 또한, 현장 계측기는 큰 파랑에 의한 외력의 작용으로 지속적인 유지관리에 대한 안정성 문제가 뒤따른다.

공간적 변화가 큰 국지 연안에서의 파랑관측은 육상설치 비디오 및 레이다 등 원격 측정방법을 이용할 경우 넓은 범위에 걸쳐 지속적으로 안전하게 관측할 수 있다는 장점이 있다. 레이다 관측의 경우는 레이다파를 사용하여 밤과 낮에 상관없이 지속적인 관측이 가능하다는 큰 장점이 있지만 해상풍이 일정 속도 이상(예, 풍속 3 m/s) 유지되어 않을 경우 정확성이 떨어지는 단점도 있다. 또한, 레이다의 영상의 해상도가 픽셀 당 10 m 단위로, 파랑 변형이 급격하게 발생하는 쇄파대를 모니터링하기에는 적절하지 못하다. 이에 반하여, 비디오를 이용한 파랑관측 기법은 국지적 변화가 큰 연안에서 파랑 관측에 유리하며, 레이다와 비교하여 장비의 구입 및 유지비용이 저렴하고 설치 및 교체에도 용이한 장점이 있다.

특히, 비디오 촬영영상은 높은 해상도(픽셀 당 10 cm 단위)를 가지고 있어 쇄파지역 및 해안선 근접지역에서의 파랑변형 및 이상 현상에 대해서 정밀한 모니터링을 수행할 수 있다. 예를 들어, 최근 몇 년간 동해안 방파제 인근 지역에서 너울성 파고에 의해 여러 차례 인명피해가 발생하였으며(정 등 2007), 이로 인해 동해안 방파제에 대한 월파 모니터링 및 예·경보시스템 구축의 필요성이 요구되고 있다. 방파제에서의 월파는 좁은 범위 내에서도 공간적 변화가 크기 때문에 현장 계측기를 이용하여 효과적으로 모니터링하기에는 어려움이 있다. 하지만, 비디오 관측기법을 이용하면 방파제 전 지역에 걸쳐 용이하게 관측할 수 있다. 이 외에도, 연안에서 해안 구조물을 포함하는 지형의 공간적 변화가 복잡한 지역 주변이나 폭풍우시 해저지형의 변화가 큰 쇄파대에서도 비디오 관측기술을 사용하여 효과적으로 파랑현상을 관측할 수 있다.

해안에서의 비디오 관측기술은 1980년대 후반 이후부터, 파랑의 주기, 파장, 입사 파향, 파속과 같은 파랑의 속성들을 원격으로 측정하는 데 사용되고 있다(Lippmann and Holman 1989; Stockdon and Holman 2000; Piotrowski and Dugan 2002). 연안에서의 파랑측정을 위해 지상촬영 비디오 영상(Stockdon and Holman 2000) 뿐만 아니라 항공기에 탑재시켜 촬영한 비디오 영상(Dugan et al. 2001)을 활용하기도 한다. 지상촬영 비디오 기술은 비디오의 성능, 그리고 비디오가 설치된 위치 및 높이에 따라 약간 차이가 날 수 있지만, 일반적인 관측범위는 광역적으로는 100 m 이상 거리단위 및 시간적으로는 초 단위부터 월 단위 이상까지 가능하다.

연안 파랑관측시스템의 확대 방안으로, 쇄파지역 및 방파제를 포함하는 연안구조물 일대 등 국지 연안에서 파랑정보를 효과적으로 관측하기 위한 방법 중 하나로, 비디오 영상 관측기법을 소개하고자 한다. 또한, 외국 및 국내에서의 기술개발 및 적용 현황을 소개하고, 이어서 앞으로 연안 국지 파랑정보 관측에 활용할 수 있는 방안들을 제시하고자 한다.

2. 해안 비디오를 이용한 파랑관측 기술

일반적으로 원격영상 기술을 이용한 파랑관측은, 촬영된 시계열 이미지상의 픽셀강도(Pixel intensity) 신호를 실제 파랑에 의한 해수면 시계열신호 대신 사용함으로써 파랑을 측정하는 방법이다. 이와 관련하여 Lippmann and Holman(1991)은 현장 실험을 통하여 파랑의 위상 및 진폭의 상대적 변화에 있어 실제 파랑신호와 비디오 이미지 강도신호 사이에 높은 상관관계가 있음을 보인 바 있다. 단독 비디오 카메라를 이용해서는 해안에서 파고를 직접 측정하는 것이 용이하지 않지만 스테레오 촬영기술을 이용하면 실제 파고도 직접 측정이 가능하다(Benetazzo 2006).

해외 기술개발 내용 및 현황

광학 영상기법을 활용하여 파랑을 관측하는 기술은 제2차 세계대전 중에 처음으로 시도되었다. 이는 그 당시에, 군사 상륙작전에 필요한 해양정보를 수집할 목적으로 항공기를 이용하여 적지 해상에서 해상 영상을 촬영한 것이다. 촬영한 영상으로부터 파랑의 파속 및 전파특성을 판독하고 이를 바탕으로 해상상태 및 해저지형를 역으로 계산하여 군사작전을 지원하였다(Williams 1947). 1950년대에도 해상 항공사진으로부터 측정한 파속정보를 수심을 측량하는데 이용하기 위한 노력이 계속되었다(Weigel and Fuchs 1953). 이후, 1980년대에 들어서면서 연안에서 발생하는 해양현상들을 관측하는데 비디오 영상기술을 보다 다양하고 활발하게 적용하기 시작하였다.

1980년대 이후 해외에서 비디오 기술을 연안관측에 적용한 사례들을 보면, 파랑속성(주기, 파장, 입사각, 파속 등)의 측정(Stockdon and Holman 2000; Dugan et al. 2001; Lippmann and Holman 1991), 표층해류 및 연안류의 측정(Piotrowski and Dugan 2002; Chickadel et al. 2003), 해안선의 위치 및 해변경사의 측정(Plant and Holman 1997), 해변에서 파랑의 처올림 측정(Holman 1981), 연안수심 측정(Stockdon and Holman 2000;

Aarnikhorf et al. 2005), 연안 사주(Sandbar)의 위치 및 이안류(Rip channel) 발생위치의 측정(Lippmann and Holman 1989), 해안 지형변화 측정(Van Enckevort and Ruessink 2001; Alexander and Holman 2004), 폭풍해일 및 쯔나미 범람 측정(Holland et al. 1991; Fritz, et al. 2006) 등으로 요약할 수 있다.

해안 비디오를 이용하여 위에서 언급한 바와 같은 다양한 해양현상을 관측하기 위해 요구되는 주요 기술로는 크게 두 가지를 언급할 수 있는데, 하나는 비디오 이미지의 기하보정 기술이고, 다른 하나는 다차원(1차, 2차, 혹은 3차원) 신호처리 기술이다. 해안 비디오 이미지의 기하보정에 주로 사용되는 방법은 Holland et al.(1997)이 제시한 Direct Linear Transform(DLT) 기법으로, 카메라의 설치각도 및 자세에 대한 정보 없이도 이미지 촬영범위내의 실제 공간좌표에서 측정한 지상기준점들 만을 이용하여 기하보정이 가능하도록 과정을 단순화하였다.

해안 비디오로부터 관측되는 해양현상들을 물리적인 수치로 정량화하기 위해서는 기하보정된 시계열 이미지 자료를 신호처리하는 과정을 거쳐야 한다. 현장 계측기를 이용하여 한 지점에서 측정한 시계열 파랑자료에 대해서는 일반적으로 1차원 스펙트럼 신호분석 기법을 사용하여 파랑속성을 계산하지만, 시계열 비디오 이미지 자료의 경우 3차원 자료배열 구조를 가지므로 2차원 이상의 다차원 신호분석 기법의 적용이 가능하다. 위에서 언급한 해외 사례들을 살펴보면, 해안 비디오를 통하여 수집된 3차원 자료배열 구조 전체를 신호분석하는데 사용하지는 않았으며, 연구목적에 따라서 3차원 배열구조를 변형하여 사용하고 있다. 이에 따라, 해안 비디오 분석기술의 주요 유형은 비디오 자료가 어떠한 형태 및 구조로 준비되어 이용되느냐라는 관점에서 다음과 같이 네가지로 분류할 수 있다. 1) 3차원 입방체 기법, 2) 2차원 이미지 타임스택 기법, 3) 2차원 이미지 노출평균 기법, 그리고 4) 2차원 이미지 시간차 분석기법 등이 있다.

3차원 입방체 기법: 비디오 이미지의 3차원(거리-거리-시간) 자료구조를 그대로 사용하여, 이 3차원 자료배열 전체로부터 3차원 푸리에 변환을 통하여 2차원 파수(wavenumber) 및 1차원 주파수(frequency)로 구성된 도메인상으로의 3차원(파수-파수-주파수) 에너지 스펙트럼을 계산하는 방법이다. 가장 대표적인 예로, Dugan et al. (2001)은 이 분석기법을 이용하여 항공촬영 비디오 영상으로부터 첨두파장, 첨두파향, 첨두주파수 등 파랑 속성인자 및 표층해류를 측정하였다.

2차원 이미지 타임스택(Timestack) 기법: 이 기법은 3차원 자료구조 전체를 사용하기 보다 2차원 공간평면에서 어느 한 방향으로(주로 해안선 방향이나 해안선에 대한 수직방향) 1차원 단면을 지정한 다음 이 1차원 단면에 대해서 축적된 이미지의 시계열 자료(이미지 타임스택)를 분석하는 기법이다. 결국, 이 이미지 타임스택은 2차원(거리-시간) 자료 배열구조를 갖는다. 해안선에 대한 수직방향으로 제단된 일정거리에 대해서 생성된 이미지 타임스택은 1차원 스펙트럼 분석기법을 적용하여 주로 거리에 따른 파랑 속성인자들의 변화를 측정하는데 이용되며 (Stockdon and Holman 2000), 해안선 방향으로 제단된 일정거리에 대해서 생성된 타임스택은 주로 쇄파대에서 해안선 방향 연안류를 측정하는데 쓰인다(Chickadel et al. 2003).

2차원 이미지 노출평균 기법: 이 기법은 일정시간 동안 촬영된 비디오 이미지를 시간평균하여 얻어진 2차원 이미지로부터 주로 쇄파대의 지형특성을 분석하는데 사용된다. Lippmann and Holman(1989)은 2차원 평균 이미지를 사용하여 해안에서 쇄파점의 공간적 분포를 분석하고 이로부터 쇄파를 유발시키는 사주의 위치와 이안류가 발생되는 이안채널(Rip channel)의 위치를 제시하였다. Aarninkhof and Ruessink(2004) 및 Aarninkhof et al. (2005)는 2차원 평균 이미지를 이용하여 바다로부터 쇄파대의 해안선 쪽으로 쇄파의 소산율을 도출하고 이에 근거하여 쇄파대의 해저지형을 역계산하였다. 이 외에도, 2차원 노출평균 이미지는 시간변화에 따라 해안선의 위치변화를 측정하고, 이로부터 해변경사를 측정하는데도 사용되었다(Plant and Holman 1997).

2차원 이미지 시간차 분석기법: 위에 언급된 3가지 기법들은 연속촬영한 여러 장의 이미지들을 사용하는 반면, 이 분석기법은 시간차를 두고 촬영한 단 두 장의 이미지를 비교분석하여 파랑을 관측한다. Fritz et al.(2006)는 2004년 인도네시아 쯔나미 비디오 영상으로부터 시간차를 두고 두 장의 이미지를 선별해 내었으며, 이들 이미지에 2차원 cross-correlation 분석을 적용하여 쯔나미의 육상범람 속도를 측정하였다.

해안 비디오를 이용하여 해안을 관측하는 가장 큰 장점 중 하나는 연안에서 공간적으로 넓은 지역에 걸쳐 파랑을 측정할 수 있다는 것이다. 뿐만 아니라, 동시에 파랑활동에 의해서 해안지형이 변화되어가는 패턴을 직접 관측하거나 해수면에서 측정된 파랑속성 값들을 이용하여 해저지형의 변화를 지속적으로 모니터링할 수 있다는 것이다. 위에서도 언급하였지만 Dugan et al.(2001)과 Stockdon and Holman(2000)은 해안 비디오로부터 공간적으로 측정한 파랑속성 값들을 이용하여 해저수심과 해저지형의 변화를 역추산하였다. 2차원 노출평균 이미지들로부터는 파랑활동이 가장 격렬하게 일어나는 쇄파대의 발생위치 및 범위 뿐 만 아니라, 사주의 위치, 해안선 및 해변경사의 변화 등의 해안지형의 변화에 대한 정보를 지속적으로 구할 수 있다.

국내에서의 적용사례

지금까지 국내에서 해안 비디오를 해양현상 관측에 적용한 사례는 적으며, 또한 현재 이 비디오 기술의 활용 수준도 아직까지는 해안 모니터링에 적용하기 위한 실험적 단계에 있다고 할 수 있다. 해안관측을 위한 비디오 기술의 실험적 최초 시도로서, 김(2003)과 김 등(2006)이 2차원 이미지 노출평균 기법을 사용하여 우리나라 해변에서의 촬영한 비디오 영상으로부터 해안선을 추출하고, 시간에 따른 해안선의 전진과 후퇴를 관측함으로써 해안지형을 측정한 바 있다. 그리고, 이 2차원 이미지 노출평균 기법 등을 이용하여, 국토해양부에서는 2003년 이후 우리나라 주요 해수욕장에 대해서 해안침식 모니터링과 함께 파랑관측도 병행하여 실시하고 있다(국토해양부 2008). 이외에도, 최근 비디오 관측기술을 해양관측에 적용하기 위한 여러 가지 시도들이 진행되고 있다.

만리포 현장실험에서 쇄파대 변화관측에 대한 적용사례

한국해양연구원에서는 연안파랑 관측장비 및 기술을 개발하기 위한 노력의 일환으로 수압식 파고계 및 데이터 로거(Data Logger)를 자체 개발하여 활용해 왔다(Park et al. 1989). 쇄파대에서 수압식 파고계에 의한 파고의 측정은 비선형성의 증가로 정확한 파고를 측정하는데 제약을 받는다. 이러한 문제점을 보완하기 위해서, 2008년 12월 중 실시된 만리포 집중 현장실험기간 동안 수중에 설치된 여러 수압식 파고계와 더불어 디지털 비디오를 해변 높은 장소에 설치하여 파고계의 각 위치에서 쇄파의 여부를 관측토록 하였다. Fig. 1은 Stockdon and Holman(2000)이 제시한 해안선 수직방향 이미지 타임스택 기법을 사용하여 파고계들이 설치된 이미지상의 단면을(Fig. 1(a) 참조) 따라서 생성한 2차원(거리-시간) 시계열 이미지자료로서 (Fig. 1(b) 참조), 연속적으로 촬영된 비디오 자료로부터 수중관측 계기로서는 구별해 낼 수 없는 시간에 따른 쇄파 여부 및 비율에 정보를 얻을 수 있음을 보여준다. 이 비디오 자료의 쇄파 현황정보를 이용하여, 수압식 파고계 등 현장 계측기를 통하여 측정한 파랑자료로부터 쇄파 및 쇄파전후의 파고 및 파속의 변화 등 파랑변형에 대한 매커니즘을 분석하는 데 활용하고 있다. 또한, 비디오 자료로부터 파랑특성 및 쇄파정보를 분석하여 쇄파지역에서 연안류 및 해저지형의 변화를 관측하는 기술을 개발하고 있는 중이다. 비디오 영상자료를 이용한 연안 국지 파랑 관측 기술의 검증을 위해 많은 현장 파랑 관측 장비를 동시에 설치하여 현장 실험을 실시 중에 있다.

보령 이상고파 관측을 위한 적용사례

2008년 5월 4일 보령에서 발생한 이상고파의 경우는, 국지성이 강해 지역에 따라 관측된 파랑 특성이 큰 차이를 보였다. 또한, 보령항 인근 관측소에서 수집된 자료로부터도 보령읍 소재 죽도 유원지 사고지점에서 거대 인명피해를 가져온 이상고파의 특성을 파악하는 것이 불가능하였다. 얼마 전까지만 해도 이러한 이상파고의 특성에 대해서 단지 목격자의 진술에 의존하여 파악하거나, 발생 당시 인근 식당에서 촬영한 비디오 자료의 정성적 관찰에 의존한 분석이 주를 이루었다. 하지만, 최근에 이 비디오 자료로 부터 비디오 이미지 분석기술을 적용하여 발생 당시 이상고파에 대한 파랑특성(파고, 주기, 파속, 파향 등)을 정량적으로 분석하였다(Yoo et al. 2008; Yoo et al. 2009). 이에 대한 한 예로, Fig. 2는 죽도 유원지 사고지점에서 촬영한 CCTV 비디오 영상자료로부터 이상고파의

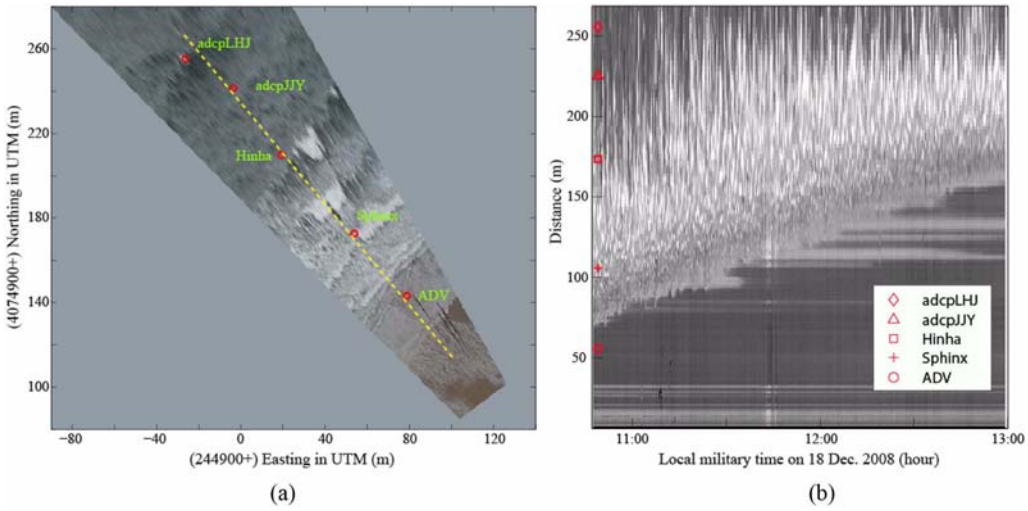

Fig. 1. (a) Rectified view of a video snapshot captured at the Malipo beach in December, 2008 with locations of the deployed *in situ* sensors along the cross-shore transect for generating a image timestack, (b) a cross-shore image timestack generated along the transect aligned through the sensors.

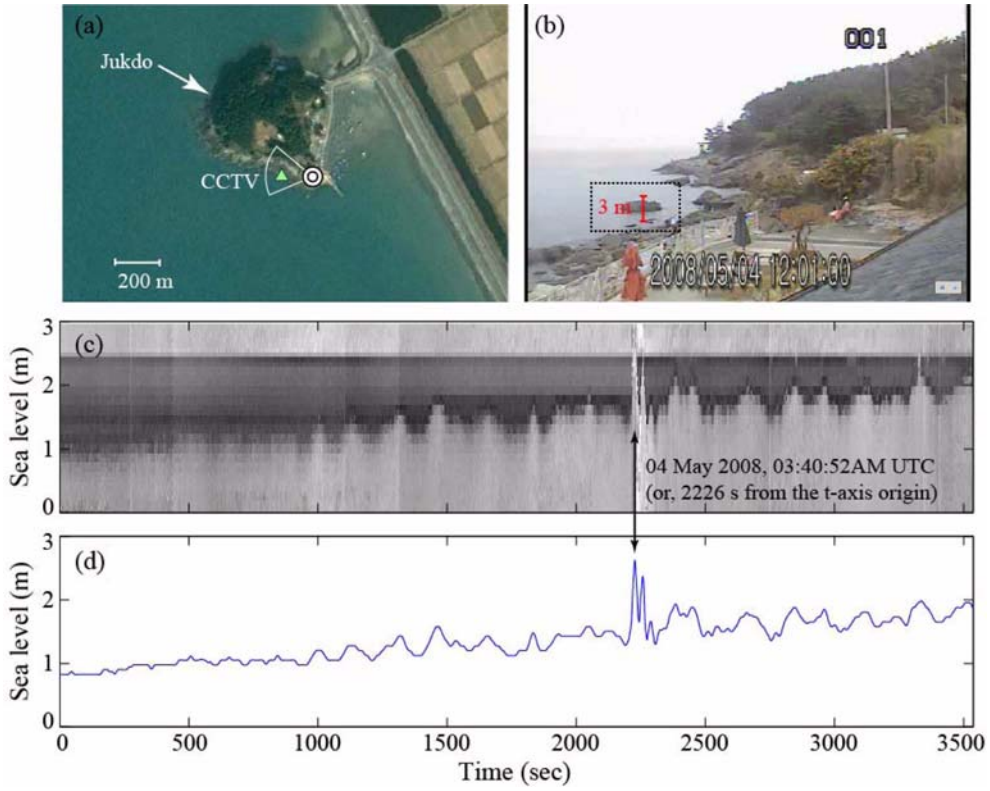

Fig. 2. (a) Location of a CCTV camera deployed at the southern end of the Jukdo facing incoming ocean, (b) a rock column sticking out of the sea surface to quantify the surface oscillations, (c) image timestack generated along the 3 m high vertical transect in (b), (d) time-series of the sea-level data extracted from (c) using an edge detection method.

파고변화를 측정한 것이다. CCTV 영상자료로부터 Fig. 2(b)의 해수면 위의 수직바위 주위에 나타나는 이상고파의 파고변화 분석을 위하여, 이미지상의 바위 높이를 현장측정을 통하여 검정하였다. 이후, 이 바위 중앙의 수직단면을 따라 2차원 이미지 타임스택을 생성하였고(Fig. 2(c) 참조), 선인식 기법중 하나인 Canny 기법을(Canny 1986) 사용하여 시간변화에 따른 해수면 변화의 추세선을 추출하였다(Fig. 2(d) 참조). 이 이상고파의 분석결과는 이상고파의 최대파고 발생 전후로 약 3분주기의 장주기파가 평상시와는 다르게 현저하게 발달하고 있는 것을 보여주고 있다.

월파 관측에 적용

최근에 폭풍성 혹은 너울성 이상 장파에 의한 갑작스런 방파제 월파로 인하여 인명피해 및 재산피해 사례가 자주 발생하고 있다. 예를 들면, 2007년 2월 24일 강원도 강릉시 안목항 북방파제에서, 2007년 10월 28일에는 강원도 속초시 동명동 바닷가에서 그리고 2009년 1월 10일에는 강원도 강릉시 주문진읍 주문리 방파제에서 너울성 파랑에 의한 인명 사고가 발생했다. 위와 같은 방파제의 월파에 의한 자연 재해를 줄이기 위해서는 월파의 모니터링 및 예경보 지원 체계가 요구되는데 방파제 월파의 정량적 예측은 방파제에 입사하는 국지적 입사파의 파고, 주기, 파향에 따라, 그리고 방파제의 물리적 특성에 따라 크게 변하기 때문에 현장에서의 월파고 및 입사파에 대한 정량적 모니터링이 무엇보다도 중요하다.

울산 현대중공업에서는 동해와 접해있는 방파제에 대해서 CCTV를 설치하여 실시간으로 월파 여부를 모니터링하고 있다. 하지만, 모니터링하는 기술 수준은 정량적인 정밀분석이 아닌, 정성적인 수준에서 육안으로 확인하는 정도로 월파 여부를 확인하고 있는 상태이다. 국토해양부에서도 동해안 방파제에서 해안 비디오 기술을 월파관측에 적용하려고 계획하고 있으나 아직까지 체계적으로 활용하는 단계는 아니다.

3. 향후 우리나라 연안파랑 관측에의 비디오 활용 방안

쇄파대에서의 파랑 관측

인간의 가장 중요한 활동 무대인 연안지역 특히 쇄파대

는 해양, 육지의 경계 지역이며, 대부분의 해양구조물이 설치되어 있는 중요한 공간이다. 또한, 쇄파대에서는 파랑, 수면변화 및 해·조류가 서로 복합적으로 일어나는 곳으로 이러한 각종 현상에 대한 매커니즘이 아직 과학적으로 잘 규명되어 있지 않다. 이러한 이유로, 쇄파대에서 현장관측 실험에 의한 체계적인 현장자료의 확보는 매우 중요한 일이다. 현재, 우리나라에서 연안 해역에서 파랑를 관측하기 위해서, 부이식 파고계, 수압식 파고조위계 그리고 일부 연안잔교에서 공중발사형 초음파식 파고계를 주로 이용하고 있다. 그러나 쇄파대에서는 수심이 아주 얕고 파랑의 비선형성이 강해 부이식 파고계를 설치 운용할 수가 없으며, 수압식파고계는 관측된 수압식 파고자료의 분석에 어려움이 있고, 직접 파랑을 관측하는 공중 발사형 초음파식 파고계나 staff식 파고계는 센서를 설치하기 위한 구조물 설치에 어려움이 따른다. 쇄파대에서 위와 같은 여러 형태의 파고계를 사용하여 파랑을 계측하는 것은 현실적으로 어려울 뿐만 아니라, 여러 지점에서 동시에 관측할 수 없는 제한점도 있다. 따라서, 이러한 제한점을 보완하고 효과적으로 파랑정보를 획득할 수 있는 방법 중의 하나로 비디오를 이용한 파랑관측 기술과 소수의 현장 관측 장비를 이용한 관측방법을 복합하여 그동안 현장 관측계기로 측정하지 못했던 국지 현상들을 측정하여 보완하여 활용하는 것이다.

너울성 파랑 관측을 통한 인명피해 저감

최근 우리나라 동해안에서는 풍랑주의보 발효 등으로 해상기상이 좋지 않을 때뿐만 아니라 상대적으로 바다날씨가 좋을 때도 너울성 파도로 인해 많은 인명피해 및 재산피해가 발생하고 있어 국가적인 관심이 모아지고 있다. 이러한 현상에 의한 피해를 방지하기 위해서는 우선적으로 그 발생원인 및 전파 매카니즘에 대한 규명과 이를 기반으로 한 예·경보 체제의 연구개발 및 적용이 필요하다.

너울성 파랑에 의한 방파제 월파의 정량적 예측을 위해서는 주어진 특정 방파제에 대해서 입사파랑 관측과 방파제에서의 월파에 대한 현장 관측 자료가 축적되어야 한다. 특히, 방파제 월파는 좁은 범위 내 특히, 공간적 변화가 크기 때문에 앞서 언급한 바와 같이 방파제 부근에서 기존의 파랑 관측 계기를 이용하여 관측하는 것은 어려우므로 그 해결방안의 하나로 비디오를 이용한 너울성 파랑의 관측 및 활용방안이 필요하다. 방파제 월파정보의 실시간 모니터링과 이의 정밀 분석을 통하여 각종 예측모델 운영에 필요한 과학적인 정밀정보를 제공하고, 아울러 그 분석결과를 기록·축적시킴으로써 월파에 대한 기초연구와 예측기술 개발에 활용할 수 있다. 예를 들면, CCTV의 영상자료로부터 방파제의 구간별 정량적 월파정보로 압축하여 지속적으로 기록 유지하여 활용하게 하고, 입사파 정보와 연계시켜 방파제의 각 구간별 정량적 예보로 발전시켜 재해피해를 사전에 방지할 수 있을 것이다.

해안침식 모니터링

우리나라와 같이 과거에 연안개발을 활발히 진행해온 나라에서는 연안침식에 의한 피해를 크게 입고 있어 연안침식에 대비한 기반기술을 확보하여 근원적인 중장기적인 대책 수립이 필요하다. 이를 위해서는 파랑에 의한 연안침식에 대한 정확하고 정량적인 모니터링과 원인분석 및 예측기술의 검증을 통하여 향후 대책기술을 개발하는 것이 필요하다. 연안 구조물 설치에 따른 연안 침식 재해 저감을 위한 기반 연구를 위해 대규모 연안 구조물 공사현장 일대에서 현장 관측자료가 확보되어야 연안에서의 파랑 및 퇴적역학 과정에 대한 이해를 높일 수 있고, 연안지형 변형모델에 대한 검정 및 개선뿐만 아니라 연안침식 재해 저감 기반기술의 확보가 가능하다.

수심이 아주 얕은 지역에는 사람이 들어가서 측심하는 것이 가능하고 또 깊은 곳에서는 선박을 이용한 수심을 측량하는 것이 가능하지만, 쇄파대를 포함하는 그 중간지역에서는 수심 변화를 모니터링하는 것이 용이하지 않다. 이를 위한 기술 개발에 많은 노력이 진행 중이나 아직까지 큰 진전을 보이지 않고 있다. 원격탐사를 통한 직접 수심 측정방법으로 SHOAL(Irish and Lillycrop 1999)을 이용하여 투명한 바다에서 수심을 원격으로 측정하기도 하지만, 연안 토사이동에 가장 중요한 지역인 쇄파대 부근에서는 노이즈로 인하여 수심측량에 어려움이 많다. 하지만, 비디오 기술에 의한 쇄파대에서 파랑특성 관측 결과를 이용하면, Inverse Model을 통하여 수심을 계산하는 것이 가능하다. 전국적으로 문제가 되고 있는 연안 침식 재해 저감을 위해 비디오 기술을 활용하여 Inverse Model에 의한 연안 수심 변화를 지속적으로 모니터링 할 수 있는 체제의 구축에 활용될 수 있다.

이상고파 모니터링

동해안에서의 너울성 파랑과 함께 최근 우리나라 서해안에서는 이상고파로 인해 많은 인명피해가 발생하고 있다. 서해안의 경우, 2007년 3월 31일 새벽 전남 영광군 법성포 일대서 해수가 범람해 인명 피해가 있었고 또 2008년 5월 4일에는 충남 보령해안에서 이상고파 내습으로 인명피해가 있었다. 이와 같이 서해안에서도 이상고파로 인한 인명피해가 해마다 늘고 있지만 그 발생 및 전파 메카니즘이 잘 규명되지 않고 있어 예보가 어려운 실정이다. 이러한 현상의 관측을 통하여 발생원인 및 매카니즘에 대한 연구와 함께 이에 대한 예경보 체제의 연구개발이 필요하다.

서해안에서 보령 이상고파와 같은 국지적인 이상파의

관측을 위해 조위 관측망 및 파랑 관측망을 계속적으로 확대하는 데에는 무리가 따른다. 반면, 비교적 적은 비용으로 설치가 가능한 비디오를 이용하면 쉽게 이상고파에 대한 관측망을 확장할 수 있다. 한편으로, 해안가의 식당이나 기타 보안 등을 위해 설치한 CCTV를 공동으로 활용하여 정보를 수집하는 체제를 마련하면 보다 더 수월할 수 있다. 또한, 기상청에서 해안의 해상상태를 파악하기 위해 설치·운영하고 있는 CCTV를 활용하여 이상 파랑을 정량적으로 측정하는 방안과 먼 도서 및 해상에서 CCTV를 이용한 장파의 실시간 연속관측소의 추가 확보 방안에 대해서도 검토할 필요가 있다.

4. 결론 및 제언

우리나라에서 파랑관측은 해양기상예보, 군작전, 안전한 해상교통 지원, 각종 연안 개발 및 연안구조물의 설계 조건의 기반자료로 활용하기 위하여 기상청, 국토해양부, 해양관련 연구기관 및 대학 등에서 부이식 파고계, 수압식 파고계, 초음파식 파고계 등 각종 유형의 파고계를 사용하여 국지적 영향이 적은 곳에서 연안으로의 입사파의 관측에 중점을 두어 수행하여 왔다. 앞으로는 연안 국지에서의 파랑 정보의 확보를 위해 확장 필요성이 증대 되고 있어 이에 대한 대책이 요구된다.

해양과 육지의 경계지역이며, 대부분의 연안구조물이 설치되는 중요한 공간이자 인간의 가장 중요한 활동 무대인 연안지역 특히 쇄파대 부근에서는 파랑, 수면변화, 해·조류가 서로 복합적으로 일어나는 곳이지만, 쇄파대에서 발생하는 각종 현상에 대한 매커니즘이 아직 과학적으로 잘 규명되어 있지 않은 상태이다. 한편으로는, 최근에 동해안에서 발생하고 있는 너울성 파도나 서해안에서의 이상고파 등으로 인해 많은 인명피해 및 재산피해가 발생하고 있어 사회적인 문제가 되고 있다. 이러한 국지 현상에 대해서는 발생 원인이나 전파의 매커니즘을 규명하고 예측기술을 개발하는 것이 시급히 요구되고 있으나, 현재로서는 이러한 현상을 관측할 수 있고 예경보할 수 있는 체제가 미흡한 실정이다. 이 때문에 연안지역에서 현장관측 실험에 의한 체계적이고 지속적인 현장자료의 확보는 파랑에 의한 다양한 해안현상을 이해하고 예측하는데 있어서 매우 중요한 일 중에 하나이며, 또한 시급히 강구되어야 한다.

본고에서는 연안 파랑관측시스템의 확대 방안으로 쇄파지역 그리고 방파제를 포함하는 연안구조물 설치 지역 등 국지연안에서 파랑정보를 효과적으로 원격관측하기 위한 기법중 하나로, 원격영상 기술을 이용한 파랑관측 방법 즉, 비디오 영상(CCTV 영상포함) 관측기법을 소개하였다. 해외에서는 비디오나 CCTV를 이용하여 파랑관련 다양한 해안현상 및 연안재해 문제를 이해하고 해결해온 반면, 국내에서는 그 적용사례가 적다. 최근에 해안관측을 위한 비디오 기술의 적용시도로, 주요 해변에서 해안선 변화 모니터링, 만리포 현장실험에서 쇄파대 관측, 보령 이상고파 관측, 그리고 울산 현대중공업 방파제에서 월파 관측 등에 적용하려는 여러 실험들이 진행되고 있다.

향후 우리나라 연안 파랑관측에 원격영상 기술을 이용한 연안 파랑관측의 한 방안으로 해안에 비디오나 CCTV를 추가 설치하거나 기존에 설치되어 있는 광학영상 촬영장비들을 통합하여 활용하면, 쇄파대에서의 파랑관측, 동해안 방파제 부근에서의 너울성 파랑 및 월파 관측, 서해안에서의 이상고파 관측, 그리고 동해안 등에서 심각한 문제로 대두되고 있는 해안침식의 모니터링에 보다 효과적으로 적용할 수 있을 것으로 기대된다. 또한, 현재 국내에서의 실험적 단계에 있는 비디오 영상자료를 이용한 연안 국지파랑 관측기술의 개발을 위한 지속적인 연구노력과 함께, 이러한 연구개발을 통한 활용기술과 예·경보 기술을 개발을 통하여 연안 재해 저감에 크게 기여할 수 있을 것으로 사료된다. 이와 더불어, 현재 국가기관, 지자체, 산업체 또는 식당 등 민간이 각각의 여러 목적과 활용을 위하여 해안가에 설치·운용중인 CCTV를 통합 활용하여 정보 수집을 극대화하는 체계 구축과 먼 도서 및 해상에서 CCTV를 이용한 장파의 연속 실시간 관측소의 추가 확보 방안에 대한 검토도 요구된다.

비디오를 이용한 연안 파랑 관측기술은 아직 초보 단계로 철저한 검증을 위한 연구가 아직 수행되지는 않았다. 비디오를 이용한 파랑관측 기술의 활용 방안에 대해 여러 가지 제안하였는데, 실제 활용 및 적용 이전에 이 기술의 활용성을 입증하기 위한 노력도 병행 되어야 한다. 즉, 비디오를 이용한 원격 관측과 동시에 현장 계기설치에 의한 동시 관측 실험을 통하여 비디오를 이용한 연안 파랑관측 기술의 검증 결과를 제시할 수 있어야 할 것이다. 이를 위해 현재 한국해양연구원에서는 서해 연안에서 현장실험을 실시하고 있으며 이를 동해안으로도 확장하여 여러 경우에 대한 범용적인 기술 개발을 위해 지속적인 연구 개발을 계획 중이다.

사 사

본 연구는 한국 해양연구원의 기본사업 “파랑 관측 및 조사(PE98321)” 사업과 국토해양부 연구개발사업 “운용해양시스템 연구(PM55210)” 사업의 지원에 의해 수행되었다.

참고문헌

국토해양부 (2008) 연안침식방지 기술개발연구 제3차년도 보

고서. 한국해양연구원, 489 p

김태림 (2003) 원격 무인 자동 영상 관측 시스템을 활용한 해안선 변화 관측 및 분석. 대한원격탐사학회지 **19**(2):99-106

김태림 (2006) 카메라 관측 시스템을 이용한 조간대 3차원 지형 관측. 한국해안해양공학회 논문집 **18**(1):63-68

정원무, 오상호, 이동영 (2007) 동해안에서의 이상 고파. 한국해안해양공학회 논문집 **19**(4):295-302

Aarninkhof SGJ, Ruessink BG (2004) Video observations and model predictions of depth-induced wave dissipation. IEEE Trans Geosci Remote Sensing **42**(11):2612-2622

Aarninkhof SGJ, Ruessink BG, Roelvink J (2005) Nearshore subtidal bathymetry from time-exposure video images. J Geophys Res **110**:C06011. doi:10.1029/2004JC002791

Alexander PS, Holman, RA (2004) Quantification of nearshore morphology based on video imaging. Mar Geol **208**:101-111

Benetazzo A (2006) Measurements of short water waves using stereo matched image sequences. Coast Eng **53**: 1013-1032

Canny J (1986) A computational approach to edge detection. IEEE Trans Pattern Anal Mach Intell **8**(6):679-698

Chickadel CC, Holman RA, Freilich MF (2003) An optical technique for the measurement of longshore currents. J Geophys Res **108**(C11):3364, doi:10.1029/2003JC001774

Dugan JP, Piotrowski CC, Williams JZ (2001) Water depth and surface current retrievals from airborne optical measurements of surface gravity wave dispersion. J Geophys Res **106**(C8):16903-16915

Fritz HM, Borrero JC, Synolakis CE, Yoo J (2006) 2004 Indian Ocean tsunami flow velocity measurements from survivor videos. Geophys Res Lett **33**:L24605. doi:10.1029/2006GL026784

Holland KT, Holman RA, Lippmann TC (1997) Practical use of video imagery in neareshore oceanographic field studies. IEEE J Oceanic Eng **22**(1):81-92

Holland KT, Holman RA, Sallenger AH (1991) Estimation of overwash bore velocities using video techniques. In: Proceeding of coastal sediments' 91, pp 489-497

Holman RA (1981) Infragravity energy in the surf zone. J Geophys Res **86**(C7):6442-6450

Irish JL, Lillycrop WJ (1999) Scanning laser mapping of the coastal zone: The SHOALS system. ISPRS J Photogramm Remote Sens **54**:123-129

Lee DY, Wang H (1984) Measurement of surface waves from subsurface gage. In: Proceeding of the 19th international conference on coastal engineering, pp 271-286

Lippmann TC, Holman RA (1989) Quantification of sand bar morphology: a video technique based on wave dissipation. J Geophys Res **94**:995-1011

Lippmann TC, Holman RA (1991) Phase speed and angle of breaking waves measured with video techniques. In: Proceedings of coastal sediments '91, pp 542-556

Park KS, Lee DY, Kang SW (1989) Development of an efficient data logger and its application to coastal field data measurement. Ocean Res **11**(1):65-67

Piotrowski CC, Dugan JP (2002) Accuracy of bathymetry and current retrievals from airborne optical time series of imaging of shoaling waves. IEEE Trans Geosci Remote Sens **165**:27-39

Plant NG, Holman RA (1997) Intertidal beach profile estimation using video images. Mar Geol **140**(1-2):1-24

Stockdon HF, Holman RA (2000) Estimation of wave phase speed and nearshore bathymetry from video imagery. J Geophys Res **105**:22015-22033

Van Enckevort IMJ, Ruessink BG (2001) Effects of hydrodynamics and bathymetry on video estimates of nearshore sandbar position. J Geophys Res **106**:16969-16979

Williams WW (1947) The determination of gradients of enemy-held beaches. Geogr J **109**:76-90

Weigel RL, Fuchs RA, California Univ Berkeley Wave Research Lab (1953) Wave velocity method of depth determination for non-uniform short-crested wave systems by aerial photography. IER Institute of engineering research berkely, California, IER Report Series 74

Yoo J, Lee DY, Ha TM, Cho YS (2008) Video analysis of coastal waves with application to the analysis of Boryeong abnormal waves, In: Workshop on observation, analysis and predictions of extreme waves in the North East Asia Region, KAL Hotel, Jeju, 18-20 Dec 2008

Yoo J, Lee DY, Ha TM, Cho YS, Woo SB (2009) Characteristics of abnormal large waves measured from coastal videos. Nat Hazards Earth Syst Sci (submitted)

Received Oct. 9, 2009
Revised Nov. 26, 2009
Accepted Dec. 9, 2009