포말대에서의 파랑특성을 관측하기 위한 STIV의 적용성 평가

Evaluation of the Applicability of STIV to Wave Characteristic Measurement in the Swash Zone

김연중* · 윤종성* · Hasegawa Makoto** · 정재훈**

*인제대학교 토목도시공학부

** (주)HTI 코리아

Yeon-Joong Kim* · Jong-Sung Yoon* · Makoto Hasegawa** · Jae-Hoon Jeong**

**Department of Civil and Urban Engineering, Inje University, Gimhae, Gyeongsangnam-do, South Korea*

***Hydro Technology Institute Korea Co., Ltd., Busan, South Korea*

Abstract

The swash zone is an area that causes a change in the shape of a beach by generating sediment transport under the influence of intermittent waves, where wave run-up and run-down are infinitely repeated in the final stage of the shoaling process. However, the ability to predict the sediment transport is extremely poor despite the swash zone being an extremely important area in terms of offshore disaster prevention. In particular, many researchers are conducting studies on the development of various types of observation equipment and analysis techniques because the turbulent flow of active fluid dominates the sediment transport and is an extremely important parameter for the analysis of the transport mechanism. However, in flow velocity measurement, it is difficult to measure a quantitative representative flow velocity over time because the swash zone has a shallow water depth and an active turbulent flow. Expensive equipment and short-time measurement are also limitations. Therefore, the purpose of this study was to evaluate the applicability of nonintrusive space-time image velocimetry(STIV) to analyze the flow characteristics of fluid in the swash zone, such as the movement velocity and period of intermittent waves in the shoaling process. The prediction accuracy was improved by removing various noises included in the images with the introduction of artificial intelligence for immediate and accurate calculation of the representative flow velocity using images that can be obtained easily. Consequently, it was discovered that the spatial representative flow velocity occurring in the swash zone, change in the wave period according to the shoaling effect, rip current and surface velocity can be measured.

Keywords : Swash zone, STIV, Artificial intelligence, CNN, Surface velocity, Rip current

1. 서론

현재 지구온난화 등의 환경적인 변화에 따라 지구 온도가 급격히 상승하여 세계적으로 연안 해수면 상승 속도가 가팔라지고 있다. 국립해양조사원은 1990년부터 2019년까지 21개 조위 관측소의 자료를 분석하여 상승률을 계산했다. 그 결과 해수면은 30년간 평균적으로 매년 3.12mm씩 높아졌으며 해역별 평균 해수면 상승률은 제주 부근(연 4.20mm)이 가장 높았고, 그 뒤로 동해안(연 3.83mm), 남해안(연 2.65mm), 서해안(연 2.57mm) 순으로 나타났다. 해빈은 해양에서 발생된 고파랑(쓰나미, 폭풍해일 등)으로부터 연안과 주민의 안전을 지켜주는 완충지 역할을 한다. 해빈에서는 쇄파유도, 저면 마찰, 투수성 등에 의해 파랑에너지 소산이 발생하며, 파랑에 의한 처오름, 월파, 침수 등이 감소(Lee and Hur,

2019)하며 연안류(longshore current) 및 이안류(rip current) 등의 흐름도 동시에 공존하는 지역이다. 특히 해수면상승과 더불어 작용하는 파랑 특성에 따른 연안표사의 이동이 활발해져 연안 침식은 점차 가속화될 것으로 전망되며, 이에 따른 명확한 대책 수립을 위해 연안표사의 이동 특성에 관한 연구가 강조되고 있다.

포말대(Swash zone)에서 발생하는 연안표사는 주로 쇄파대에서 발생하지만, 파랑에 의한 해빈 변형은 포말대에서 가장 활발하다(Kraus *et al.*, 1982). 해안의 퇴적물 이동은 입사파의 쇄파와 쇄파대에서 발생하는 해빈류(wave-induced currents)의 영향을 크게 받는다. 해빈류는 해안선과 나란한 방향의 연안류와 해안선과 직각방향으로 외해쪽으로 향하는 이안류의 성분으로 나눌 수 있으며 쇄파로 인한 강한 난류에 의하여 발생하는 부유사(suspended load)는 이러한

해빈류에 의하여 수송된다(Kang *et al.*, 2015).

포말대에서의 흐름은 급속히 가속되고 감속된다. 특히 저면에서는 경계층이 충분히 발달되지 못하며 이러한 경향은 쇄파역에서 흔히 관측되는 왜도된 파형의 경우 파 전면부에서의 저면응력이 후면부보다 크게 관측되는 사실에서도 확인할 수 있다(Cho *et al.*, 2008). 한편 쇄파대내 파의 소상 영역(swash zone)과 쇄파대 밖에서는 파랑에 의한 유체운동에 의하여 소류사(bed load) 형태로 퇴적물이 수송된다. 이처럼 기후변화에 따른 해수면상승과 함께 극한폭풍, 슈퍼태풍, 이상너울 등과 같은 영향으로 연안에 집중되는 재해를 저감하고 관리하기 위해서는 해빈표사의 이동이 극심하게 발생하는 포말대에서의 수리현상을 거동을 명확히 이해하기 위한 연구(Lee *et al.*, 2019; Shin and Lee, 2019)가 필요하다.

Belkinsopp *et al.*(2010)의 연구에서는 포말대에서 시간에 따라 변화하는 수면의 높이(수심)를 측정하기 위해 만조시 LIDAR 초음파 파고계를 1m 간격으로 설치하여 수면의 경사를 측정(Fig. 1)하였고, Puleo *et al.*(2017)에서는 실내수리 모형실험을 통해 포말대에서 발생하는 침전물의 입자속도를 Optical Current Meter(OCM) 분석으로 밀리미터 이하의 해상도에서 동적 입자속도를 측정하였다. Lim *et al.*(2017)의 연구에서는 소형 표류부이를 개발하여 표층 연안류를 관측하였다. 이처럼 포말대에서의 입자를 이동시키는 유속평가를 위해 다양한 방법과 고가의 첨단기술이 적용되고 있지만, 여전히 정확하고 연속적인 측정에 많은 한계를 나타내고 있다.

따라서 본 연구에서는 파랑이 포말대에 진입함에 따라 간헐적으로 발생하는 파랑의 이동속도, 주기 및 이안류의 유속 등 포말대에서 발생하는 파랑 특성을 관측하기 위한 연구로서 비접촉식 시공간 영상유속계(STIV, Space time image velocimetry)의 적용 가능성에 대한 평가를 목적으로 한다. 손쉽게 얻을 수 있는 CCTV, 드론, 핸드폰 영상 등을 이용하여 영상에 포함된 노이즈의 제거를 위해 인공지능(Artificial

intelligence)과 융합하여 CNN(Convolutional Neural Networks)에 의한 상황별 STI(Space Time Image)의 기울기를 평가하였고 그 결과 기울기 $\pm 1.0^\circ$ 오차범위에서는 약 97.0% 이상의 예측성능을 나타냈다. 또한, 포말대에서 발생하는 시공간적인 run-up에 따른 runrush(1.78m/sec)와 backwash(1.42m/sec)의 평균 대표유속이 산정되었으며, 천수효과에 따른 파랑특성(주기 변화) 및 이안류의 표면유속을 평가하였다.

2. 해석방법

2.1 비접촉식 시공간 영상유속계(STIV)

유속을 측정하는 방법은 관측장소의 특징과 환경에 따라 다양한 방법이 제안되었다. 가장 기초적인 방법의 하나인 부표를 띄어 시간이 지남에 따라 이동한 거리를 계산하여 유속을 측정하는 방법부터 최신의 장비를 이용하여 유속측정을 위해 많은 연구가 진행되었다. 특히 ADCP(Acoustic Doppler Current Profiler)를 이용하여 유수의 흐름을 방해하지 않으면서 수중에 발사된 음파의 도플러 효과를 이용하여 유속과 유량을 측정하는 방법이 개발되었다. 이 장비는 1980년대 말 미국을 중심으로 하천 유량측정에 도입되어 적용성 평가가 이루어졌으며 국내에는 1990년대 후반부터 도입되어 지속해서 사용됐다. 국토교통부의 유량측정을 전담하고 있는 유량 조사 사업단의 2009-2014년 측정 장비별 측정성과에 따르면 2009년 7.8%의 사용률이 2014년 27.8%로 3배 이상 증가하였다. 기존의 유속계는 제한적인 지점에서 유속을 측정하는 단점을 보완하여 선박에 장착해 횡단 운항함으로써 하천 단면의 3차원 유속을 신속하게 측정할 수 있는 장점이 있다. 이처럼 정밀한 유속 및 수심 자료의 확보에 있어 수리학적 특성을 도출하는 장점이 있지만, 장시간 및 실시간 관측에 취약하며 유지관리에 큰 비용이 필요하다.

반면 직접 관측이 아닌 비접촉식 유속측정 방법의 하나인 영상을 이용한 영상 유속계 개발이 최근 카메라와 컴퓨터의 성능 발달 등으로 새로운 해석기법이 개발되고 개량되었다. Fujita and Komura(1994)의 연구에서는 하안에서 촬영한 영상의 상관법에 따른 영상해석법을 제시하였으며 유량계측수법의 가능성을 검토하였다. Fujita *et al.*(2015)의 연구에서는 소형화 및 고성능화 되어 사용하기 편리한 드론으로 촬영한 비디오 화상에서 공간적인 표면 유속 분포를 요구하는 Aerial STIV의 시스템을 개발하여 실제 하천에 적용하여 기술의 타당성을 평가하였다. 국내의 연구에서는 Kim *et al.*(2011)의 연구에서는 고정식 표면영상유속계를 이용하여 현장에서 실시간 하천 유량을 산정하였고 영상 촬영의 시간적 한계, 빛이 없는 경우, 표면유속을 평균유속으로 환산 방법 등의 기술적 한계를 지적하였다. Lee and Yu(2017)의 연구에서는 CCTV를 활용하여 시공간 영상 분석을 이용한 하천 수위 기술을 개발하였으나 수위 예측의 정확도에 있어 영상의 해상도(m/pixel)에 따른 의존도가 높고 악천후

Fig. 1. Photograph showing the instrumentation deployed during the field experiment

일 때 영상에 포함되는 노이즈에 따른 문제점을 제시하였다. Yu and Hwang(2017)의 연구에서는 드론에 장착된 카메라로 하천 수표면을 촬영하여 하천의 표면유속 측정방법을 개발하였다. 이처럼 비접촉식 유속측정 방법은 특히 홍수 시 위험한 현장 작업이 불필요하고 비교적 저비용으로 시스템을 구축할 수 있는 장점이 많아 현재 세계적으로 많은 연구가 진행되고 있지만, 여전히 유속측정의 정확도에 대해 많은 과제로 남아있다. 또한, 수리모형실험에서의 유속 측정은 여러 센서를 통한 측정과 초고속 카메라로 촬영한 영상분석, 입자영상유속계(Particle Image Velocimetry, PIV)를 이용하여 포식자의 움직임을 영상으로 촬영하여 입자의 시간에 따른 이동 거리를 환산하여 유속을 측정하는 방법(Lee *et al.*, 2020; Hong *et al.*, 2019) 등이 사용되고 있다.

2.2 STI분석을 위한 CNN의 적용

최근 인공지능을 이용한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 특히 연안방재 분야에서도 이 기술이 실시간 예측 분야에 적용되어 활용되고 있으며 수방활동에 필요한 중요한 정보를 제공하고 있다. 딥러닝(Deep learning)의 기술력은 방대한 데이터로부터 반복적으로 학습할 수 있도록 연속된 계층에 신경망을 통합하는 머신러닝 방법론으로 비정형 데이터로부터 패턴을 학습할 때 유용하며 이미지 인식, 음성, 컴퓨터 비전 애플리케이션에 주로 사용된다. 2012년 ILSVRC(ImageNet Large Scale Visual Recognition Challenge)에 있어 AlexNet의 성공을 시작으로 다양한 화상 해석에 대한 딥러닝 수법의 연구 개발이 진행되었다. 특히 화상 해석에 있어 심층 학습 모델의 핵심을 이루는 뉴럴 네트워크 구조(Convolutional Network, CNN)의 발전은 현저하다. CNN은 화상의 특징량 추출 필터로부터 구성되는 압축층과 추출한 특징량의 정보 압축을 실시하는 풀링층을 다층으로 쌓아 올린 구성을 기본으로 하며, 중요한 화상 특징을 추출하는 필터를 데이터로부터 자동 구성할 수 있는 큰 장점이 있어 STI 분석을 위해 본 연구에 적용하였다.

2012년 ILSVRC(ImageNet Large Scale Visual Recognition Challenge)에서 AlexNet의 성공을 시작으로 다양한 화상 해석에 대한 심층학습(Deep Learning) 수법의 연구 개발이 최근 적극적으로 진행되고 있다. 특히 화상해석에 최적화되어있는 뉴럴네트워크 구조인 합성곱 신경망(Convolutional Neural Network, CNN)의 발전과 함께 많은 연구 분야에서 사용되고 있다. CNN에서는 화상의 특징량 추출 필터로부터 구성되는 합성곱층과 추출한 특징량의 정보압축을 실시하는 Pooling층을 다층 구성을 기본으로 하며 중요한 화상 특징을 추출하는 필터를 데이터로부터 자동 구성할 수 있는 점이 큰 강점이다. 반면 시공간영상유속계(STIV)는 입자영상계측법(PIV)을 기초로 실제 하천 영역에 적용하기 위한 LSPIV(Large-Scale PIV, Ettema *et al.*, 1994)와 입자영상계측법에 포함된 여러 문제점과 단점을 보완하기 위해 개발

Table 1. CNN model set-up

Item	Set-up
Loss function	Cross-entropy function
Optimization function	Adam
Learning rate	0.0001
Learning data number	36,000 (100/class)
Batch size	32
Number of epoch	6
Dropout rate	0.3

되었다.

본 연구에서는 CNN기법을 이용해 STI 영상을 분석하는 모델을 구축하였으며 학습을 위한 모델의 설정값을 Table 1에 나타내었다. 예측율을 평가하기 위해 인위적인 설정값에 따라 STI영상을 구성하여 예측값과 비교 검토하였다. 학습 및 검증데이터를 작성하기 위해 Perlin 노이즈(Perlin, 2002)를 기반으로 128×128 크기의 인공 STI 데이터를 생성하였고, Perlin 노이즈에서 경사를 설정하는 절점수는 2~48의 범위에서 난수를 선택하여 생성한 줄무늬 패턴 영상 3~5장의 각 화소 값을 가중 평균하여 베이스 영상군 300장을 생성하였다. 또한 실제 현장 조건에 따른 영상에 포함되는 다양한 휘도 분포의 특성을 학습하기 위한 STI를 얻기 위해 베이스 영상군 100매를 임의로 선택하여 대상 각도로부터의 분산도가 1.5도가 되는 정규 분포로부터 각각 회전 각도를 선택하여 화소치의 가중 평균 후에 정규화함으로써 최종 인공 STI 화상을 생성하였다(Fig. 2). 데이터 세트는 각 인공 STI 화상의 푸리에 변환 화상에 대응하는 기울기 각도의 쌍으로 구성된다. 이때 인공 STI는 정사각형이기 때문에 푸리에 변환 화상에 나타나는 피크 각도와 원래의 STI에서의 줄무늬의 기울기 각도는 직교 관계가 성립된다.

다층 CNN에 GAP(Global Average Pooling)를 적용하는 네트워크를 구성하였으며, 다층 CNN에 의한 특징 추출의 마지막층에 배치된 GAP층이 각 채널의 2차원 정보를 스칼라 값으로 압축함으로써 모델의 경량화와 과학습 억제에 의한 정밀도 향상을 도모하였다. 손실함수는 분류 문제에서 일반적으로 이용되는 Cross-entropy function와 현재 딥러닝 아키텍처에 좋은 성능을 나타내고 있는 최적화 기법인 Adam을 적용하였다.

2.3 STI의 기울기 평가

시공간 연상 분석의 원리는 우선 측정하고 싶은 검사선을 설정하여 검사선을 따라 한줄의 영상을 추출하고 이것을 시간에 따라 축적하여 만든 영상(STI)을 생성하며 오른쪽 축은 공간축(검사선의 길이), 세로축은 시간축을 나타낸다. 특히 본 연구에서는 STI의 생성을 흐름의 주 방향과 무관하게 영상 속에 임의로 지정한 검사선에 따른 위치 관계와

Fig. 2. Image analysis (Red line : angle of velocity)

Fig. 3. STIV measurement procedure

Fig. 4. Physical and screen coordinates

명도 값을 시간축 방향으로 나열하여 시공간 이미지의 제작이 가능하다. STI를 생성하여 공간 화상에 생기는 줄무늬 패턴으로부터 기울기를 산정하여 유속을 측정하며 방법으로 Fig. 3에 STIV 해석절차와 Fig. 4에 해석에 필요한 물리 좌표 및 화상좌표의 관계를 나타내었다.

STIV의 해석절차(Fig. 4)는 우선 촬영한 영상으로부터 시공간영상(STI)를 생성한다. 이때 황색선은 검사선(측정구

간), 적색선은 표면파문 등의 휘도치 특성을 나타낸다. STI는 검사선의 휘도치를 시간 방향으로 순서대로 나열하여 생성하며, 유속에 따른 휘도분포의 줄무늬가 생성된다. STI로부터 유속을 평가하기 위해 STI에 나타나는 줄무늬의 기울기(φ)를 산정하며 공간(가로축) 및 시간(세로축)의 관계를 이용하여 계산한다. 기울기(φ)의 산출방법은 기울기가 명확한 경우 육안으로 관측하며 휘도구배 텐서법에 의해

줄무늬 패턴의 강도에 따른 가중치를 이용하여 평균화를 수행하며 Fig. 3에 나타난 STI와 같이 길이(length)와 시간(Time)의 기울기(φ)를 통해 검사선 상의 평균유속을 산정한다. 이때 기울기의 산정방법은 육안관측, 휘도구배 텐서법, QESTA법(Quality Evaluation of STI by using Two dimensional Autocorrelation Function), 인공지능(Artificial Intelligence)을 적용하였다. 육안으로 관측할 경우는 영상속에 부유물과 입자와 같은 물질이 포함되어 기울기가 명료한 경우에 사용하며 휘도구배 텐서법은 줄무늬 패턴의 강도에 따른 가중치를 이용하여 평균, QESTA법(Notoya *et al.*, 2017)은 2차원 자기 상관관계수에서 산출하며 STI 품질을 정량화할 수 있는 장점이 있다. 특히 인공지능은 인공적으로 생성한 대량의 STI를 학습시켜 실제 현장에서 발생 가능한 다양한 영상을 왜곡시키는 노이즈 제거에 장점이 있다. 이 외 푸리에 변환에 따른 노이즈 제거 등 화상전처리를 실시하여 예측 정확도를 향상할 수 있다.

2.4 영상데이터

전 세계적으로 드론(drone)이 보편적으로 보급됨에 따라 드론을 활용한 기술력이 급속도로 발전하고 있으며 특히 영상촬영을 이용해 다양한 분야(경찰, 군대, 게임용, 배달, 조기경보 시스템 등)에서 폭넓게 활용되고 있다. 드론이 가진 가장 큰 특징은 안정적인 정지비행(hovering)이 가능하여 품질이 뛰어난 영상을 손쉽게 취득할 수 있다는 점이다. 이러한 관점에서 현재의 드론 활용은 무인 비행체로서의 활용보다는 드론에 탑재한 카메라를 이용하여 손쉽게 얻을 수 있는 영상의 활용도가 매우 높다. 본 연구에는 강원도 낙산해수욕장을 대상으로 드론을 이용하여 영상을 촬영하였으며 촬영고도는 150m, 영상의 해상도는 UHD (3840×2160)로써 지면과 수직 방향으로 촬영하여 특별한 영상 보정은 하지 않았다(Fig. 5). 촬영한 시간에 발생한 이 지역의 파랑특성(국립해양조사원)은 유의파고 0.61m, 유의파주기 5.56sec,

최대파고 0.79m, 최대파주기 6.0sec 및 파향 65deg로 나타났으며 이안류의 유속을 가시적으로 평가하기 위해 염료를 투여하여 흐름의 이동상태를 파악하였다.

3. 모델의 결과

본 연구에서는 표면영상유속계(STIV)를 이용하여 강원도 낙산해수욕장의 포말대에서 발생하는 간헐적인 표면유속 성분, 이안류 유속 및 파랑특성(주기)을 분석하여 해역에서의 비접촉식 영상유속계의 적용성 검토를 목적으로 한다. 해역에 적용한 STIV의 성능에 대한 관측값과의 직접적인 비교검증을 통한 모델의 신뢰성 검토가 요구되지만, 관측값의 부재로 인해 본 연구에서는 검토되지 않았다. 하지만 Notoya *et al.*, (2017)에서는 하천 지역을 대상으로 STIV에 의한 기초적인 예측성능에 대한 검증을 수행하였으며 이를 바탕으로 본 연구에서 얻은 주요한 결과는 다음과 같다.

3.1 STI분석을 위한 CNN의 적용

AI는 인공생성한 대량의 STI를 학습시켜 AI에 의해 보정 및 각종 노이즈 제거에 장점이 있다. 하지만 아직 다양한 환경에 대한 영상자료와 유속을 왜곡시키는 여러 환경에 대한 자료가 부족한 상황에서 인공지능을 도입하기 위한 학습데이터의 부족으로 고정도의 예측 결과를 기대하기 어렵다. 따라서 본 연구에서는 인공적으로 영상을 왜곡시키는 Perlin noise의 알고리즘을 사용하여 영상속에 노이즈를 삽입(Fig. 6)하여 그 영상을 학습하여 예측하는 방법을 도입하였다. 본 연구에서는 우선 인공지능에 의한 예측 결과를 평가하기 위해 다양한 환경에서 얻은 영상(그림자, 빛 반사, 웨이브, 정상파, 백파 등)을 이용하여 딥러닝에 의한 상황별 STI 인식각도를 평가하였다. 그 결과 상황별 STI 인식 각도별 적중률은 $\pm 0^\circ$ (33.0%), $\pm 0.5^\circ$ (80.2%), $\pm 1.0^\circ$ (97.0%), $\pm 1.5^\circ$ (99.5%), $\pm 2.0^\circ$ (99.9%)을 나타내었다(Fig. 6). 특히

Fig. 5. Study area

Fig. 6. Results of recognize angle of STI by deep learning

인위적인 왜곡에 대해서도 허용은 오차 $\pm 1.0^\circ$ 의 범위에서도 97% 이상의 적중률을 나타내어 실제 영상에 포함된 다양한 노이즈 제거에 있어 성능이 탁월한 것으로 판단되며 CNN의 도입에 따른 예측 성능을 확인하였다.

3.2 파랑변형 분석

해안으로 전파하는 파랑 특성을 분석하기 위해 주로 파랑 관측을 실시한다. 우리나라에서는 기상청(Korea Meteorological Agency; KMA), 해양수산부(Ministry of Oceans and Fisheries; MOF) 및 국립해양조사원(Korea Hydrographic and Oceanographic Agency; KHOA)에서 장기파랑 관측을 수행하고 있으며 필요에 따라서는 별도의 관측장비를 이용하여 추가적인 관측을 수행한다. 또한 주로 연안 방재시스템에 활용되는 실시간 파랑관측은 주로 수심이 깊은 지역을 대상으로 하며 우리에게 직접적인 피해가 발생하는 천수과정의 마지막 단계인 포말대에서의 파랑관측은 수심이 매우 얇고 쇄파하는 파랑에 의해 지속 가능한 관측장비 설치에 매우 어렵다. 따라서 비교적 수심이 확보되는 해역에 대해서는 파랑관측에 주로 사용되는 부이 및 파고계 등을 이용하여 파랑 특성 분석을 위해 필요한 매개변수(파향, 파고, 주기 등)를 취득하고 있지만, 여전히 관측장비 설치 및 회수에 있어 많은 시간과 고비용이 발생하며 설치 전문가가 요구된다. 특히 고파랑시의 설치는 불가능 하며 일반적인 설치환경에서도 안전상 다양한 위험 요소가 포함되어 있다. 반면, 비접촉식 영상유속계에 의한 파랑관측은 별도의 관측장비 설치과정이 필요 없고 영상 촬영 전문가가 아니더라도 손쉽게 분석에 필요한 영상을 취득할 수 있고 관측 지점이 핀포인트가 아닌 영상에 포함된 전 지역을 대상으로 관측할 수 있는 다양한 장점이 있지만, 여전히 예측 정확도에 대한 검증이

요구된다.

해안선 변화를 예측하기 위해서는 해안선과 인접한 지역(포말대)에서의 파랑 특성의 고려가 매우 중요하다. 본 연구에서는 포말대 지역에서 관측장비에 의해 얻기 힘든 파랑 매개변수 중 주기에 대한 평가를 수행하였다. 주기 특성을 충분히 고려하기 위해 검사선의 길이는 40m로 설정하였고 촬영한 영상의 중앙부 L-R의 단면 10개에 대해 시간에 따른 STI를 생성하여 Fig. 7에 나타내었다. 특히 이안류의 흐름 특성을 분석하기 위해 검토 해역에 무해성 염색 시료를 투여하였고 염료의 시공간적 확산 형태가 STI의 결과(#No6)에서도 잘 나타나고 있다. 이 결과로부터 STIV를 통한 파랑 특성의 시공간적인 변화에 대해 측정이 가능한 것으로 판단된다. 특히, 측정 단면(#No5)을 대상으로 주기변화에 대한 분석 결과를 Fig. 8에 나타내었다. 실제 해역에서는 불규칙파랑이 작용하며 시간에 따른 파고와 주기변화가 발생한다. 이 결과에서도 시간에 따른 주기 변화가 해저지형의 영향을 받아 불규칙하게 발생하였으며 산정 결과는 최소 5.84sec, 최대 6.96sec 및 8파장에서 발생하는 평균 주기는 약 6.45sec로 나타났다.

3.3 Swash zone의 표면유속

연안에서 발생하는 모래이동 및 연안지형 변화에 영향을 미치는 중요한 외력인자 중 하나인 연안류는 파랑, 조석 등 주로 수리동력학적 물리인자들에 의해서 발생하지만, 연안에서 나타나는 3차원적인 지형 특성에 의해서도 발생한다. 특히 포말대에서 발생하는 파랑, 연안류, 이안류 및 해저지형은 서로 간의 상호작용을 통해 밀접한 영향을 받으며 작용한다. 포말대에서 이러한 물리적인 상호작용의 메커니즘에 관한 연구는 여전히 명확하게 규명하기 어려운 문제 중

Fig. 7. Movement of wave by STI

Fig. 8. Results of wave period by STI at searvey line #5

하나이다. 따라서, 포말대에서 수리동력학적 특성에 대한 메커니즘 분석을 위해서는 포말대의 전 영역에 걸쳐 시공간적인 물리량에 대한 관측자료를 바탕으로 기술개발이 요구되며 본 연구에서는 파랑이 발달하여 연안 지역으로 전파되어 천수과정의 마지막 단계에서 발생하는 파랑이 해안

으로 밀려 들어오는 속도(runrush) 및 다시 해역으로 내려가는 속도(backwash)의 유속측정(Fig. 9)을 위해 STIV를 적용하였다. 해안에서는 runrush와 backwash의 발생은 무한 반복적으로 발생하며 입사 파랑의 특성과 해저면의 상태(하상경사)에 따라 유속도 유기적으로 변하게 된다. 이처럼 간

Fig. 9. Target area for velocity analysis (Blue line : search line)

Fig. 10. Variation of velocity due to the runrush and backwash

혈적인 흐름의 대표유속 측정을 위해 STI를 생성하였고 시간에 따른 runrush와 backwash의 표면유속측정 결과를 Fig. 10에 나타내었다. 이 결과로부터 runrush와 backwash의 상호 간섭에 따른 시간에 따라 변화하는 유속을 산정하였으며, 본 연구에서는 3번의 run-up에 대해 유속을 산정하였고 그 결과 runrush에서는 약 1.78m/sec, backwash에서는 약 1.42m/sec의 평균유속이 발생하였고 runrush의 유속 성분이 더 강한 것으로 나타났다.

3.4 이안류 유속

이안류의 이동 특성을 파악하기 위한 유속측정에 다양한 방법이 도입되고 개발되고 있다. 이안류는 해안으로 전파되는 주파랑과 반대되는 방향의 흐름이 발생하며 이처럼 이안류의 유속 성분만을 측정하기가 매우 난해하다. 특히 이안류 유속에 대한 직접적인 관측은 매우 어렵지만, 파의 진행 방향과 반대되는 방향의 표면유속을 측정하여 이안류의 유속을 평가를 시도한다.

본 연구에서는 이안류의 유속을 평가하기 위해 염료를 투하하여 염료의 이동속도를 평가하는 방법으로 STIV를 통한 이안류 유속을 평가하였다. 본 연구에 적용된 STIV에서

는 흐름의 주방향과 반대방향에 대한 직접적인 흐름을 분리하여 유속을 평가하는 방법은 아직 적용되지 않았다. 하지만 염료를 투하하여 이안류에 의해 염료가 확산하는 과정을 STI의 기울기로 평가하여 이안류의 유속평가를 시도하였다. 따라서 해안으로 입사하는 파랑의 주기 특성(유의 파 주기 5.56sec, 최대파 주기 6.0sec)을 고려하여 검사선의 길이를 6m로 설정하여 입사파랑의 영향을 배제하였다.

STIV 평가에 사용된 드론 영상에서 염료의 확산이 비교적 활발한 지역을 대상으로 해안선과 수평한 검사선에 대해 검출선 10개의 지점별 유속을 평가하였다(Fig. 11). 분석에 사용된 영상의 길이는 1분이며 이안류의 유속값은 1분 동안 발생한 유속의 평균값으로 산정하였다. 그 결과 No. 1~3의 지점에서는 염료의 이동속도가 해안 방향으로 나타났지만 이후 No. 4~7의 지점에서는 파랑의 진행 방향과 반대 방향인 이안류가 관측되었다. 비록 관측 기간에 발생한 이안류의 성분 자체가 크지 않아 이안류의 평균유속은 최대 0.093m/s로 나타났고 이 결과로부터 이안류 유속의 평가가 가능한 것으로 판단된다.

Fig. 11. Calculation of rip current by STIV

4. 결론 및 고찰

본 연구에서는 해안에서의 비접촉식 유속 및 파랑관측 기술개발을 위한 미래지향적 선도적 연구로서 포말대에서의 간헐적인 표면유속측정을 위해 비접촉식 영상유속계(STIV)의 적용가능성의 검토를 목적으로 한다. 특히 분석에 필요한 영상에 포함된 예측 저하를 초래하는 다양한 환경에서 발생하는 각종 노이즈에 제거를 위해 인공지능과 융합하여 예측성능의 향상과 더불어 언제나 일관성 있는 STI의 기술기 평가를 통해 대표 유속평가가 가능하다. 본 연구에서 얻은 주요한 결론은 다음과 같다.

1. 다양한 환경에 대한 영상자료와 유속을 왜곡시키는 여러 환경에 대한 자료가 부족한 상황에서 인공지능을 도입하기 위한 학습데이터의 부족으로 고정도의 예측 결과를 기대하기 어렵다. 따라서 본 연구에서는 인공적으로 영상을 Perlin noise의 알고리즘을 사용하여 영상속에 인위적인 노이즈를 삽입하여 그 영상을 학습하여 예측하는 방법을 도입하였고 인식각도 $\pm 1.0^\circ$ 오차 범위에서는 약 97.0% 이상의 예측성능을 나타냈다.
2. 비접촉식 영상유속계(STIV)를 이용하여 runrush와 backwash의 시간에 따른 유속변화를 손쉽게 측정이 가능한 것으로 나타났다. 포말대에서 발생하는 유속은 관측 위치에 따라 상이하게 발생한다. 하지만 이 지역을 대표하는 유속을 평가하기 위해 주로 핀포인트 관측으로 대표값을 산정하는 경우가 많지만, STIV를 활용하여 여러 주요 지점에서의 유속평가에 대해 지속적인 평가를 시행한다면 대상 지역을 대표하는 유속값의 신뢰도는 향상될 것이며 특히 연안방재시스템 도입에 있어 매우 중요한 기술로 활용 가능한 것으로 판단된다.
3. 이안류의 이동 특성을 파악하기 위한 STIV를 적용하여 단 시간동안 발생한 이안류의 평균유속(최대 0.093m/s)을 산정하였다. 비록 강한 이안류의 유속이 발생하지 않은 환경에도 불구하고 유속평가가 가능한 것으로 판단된다.

4. STIV의 분석 결과로부터 얻을 수 있는 여러 연안류의 측정자료(표면유속, 주기 등)는 수치예측모델의 검증에 있어 중요하게 활용될 수 있다.

끝으로 본 연구에서는 해역에서 발생하는 흐름 특성을 분석하기 위한 STIV 적용 가능성에 대한 검토를 수행하였다. 다만 해석에 적용한 STIV 기법의 신뢰성 평가에 대한 검토는 동 시간대의 해안 관측자료 부재로 직접적인 비교검토는 수행되지 않았다. 또한 해안에서는 다양한 흐름이 존재하고 있으며 주 방향의 흐름과 그것과 다른 흐름에 대한 분리는 푸리에 변환에 따른 스펙트럼 분석과 검사선의 길이를 조절하는 해석방법에 의존하고 있다. 더욱 명확하고 정량적인 해석을 실제 해안에서 발생하는 파랑 특성을 해안 관측장비를 통한 표면유속, 파고, 주기 등을 관측하여 STIV와 관측치와의 직접적인 비교 검토하여 예측 신뢰성 확보 및 해석기술 개발에 관한 연구를 진행할 것이다.

감사의 글

이 논문은 2021년 해양수산부 재원으로 해양수산과학기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구(20180404 연안침식 관리 및 대응기술 실용화)의 지원을 받아 수행된 연구결과 중 일부임을 밝히며, 연구비 지원에 감사드립니다.

References

- Blenkingsopp, C. E., Mole, M. A., Turner, I. L. and Peirson, W. L. (2010). "Measurements of the time-varying free-surface profile across the swash zone obtained using an industrial LIDAR." *Coastal Engineering*, Vol. 57, pp. 1059-1065.
- Cho, Y. J., Kim, K. S. and Ryu, H. S. (2008). "Suspension of Sediment over Swash Zone." *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 28, No. 1B, pp. 95-109.
- Ettema, R., Fujita, I., Muste, M. and Kruger, A. (1997). "Particle-image velocimetry for whole-field measurement of

- ice velocities.” *Cold Regions Science and Technology*, Vol. 26, pp. 97-112.
- Fujita, I. and Komura, S. (1994). “Application of video image analysis for measurements of river-surface flows.” *Annual Journal of Hydraulic Engineering, JSCE*, Vol. 38, pp. 773-738 (in Japanese).
- Fujita, I., Notoya, Y. and Shimono, M. (2015). “Developments of aerial STIV applied to videotaped movie from multicopter based on high-accurate image stabilization method.” *Journal of Japan Society of Civil Engineers, B1*, Vol. 71, No. 4, pp. I_829-I_834 (in Japanese).
- Hong, J.-W., Jeong, S. W. and Ahn, B.-K. (2019). “PIV Measurements of Non-Cavitating and Cavitating Flow in Wake of Two-dimensional Wedge-shaped Submerged Body.” *Journal of Ocean Engineering and Technology*, Vol. 33, No. 1, pp. 26-32.
- Kang, M. H., Kim, J. S., Park, J. K. and Lee, J. S. (2015). “Characteristics of Wave-induced Currents using the SWASH Model in Haeundae Beach.” *Journal of Korean Society of Coastal and Ocean Engineering*, Vol. 27, No. 6, pp. 382-390.
- Kim, S., Yu, K. and Yoon, B. (2011). “Real-time Discharge Measurement of the River Using Fixed-type Surface Image Velocimetry.” *Journal of Korean Water Resources Association*, Vol. 44, No. 5, pp. 377-388.
- Kraus, N. C., Isobe, M., Igarashi, H., Sakaki, T. and Horikawa, K. (1982). “Fields Experiments on Longshore Sand Transport in the Surf Zone.” *18th International Conference on Coastal Engineering, ASCE*, pp.969-988.
- Lim, H. S., Kim, M. and Shim, J. S. (2017). “Surface current measurements using lagrangian Drifters in Anmok.” *Journal of Coastal Disaster Prevention*, Vol. 4, Special Issue, pp. 245-253.
- Lee, G. N., Duong, T. T., Jung, K. H., Suh, S. B. and Lee, J. Y. (2020). “Study on PIV-Based Pressure Estimation Method of Wave Loading under a Fixed Deck.” *Journal of Ocean Engineering and Technology*, Vol. 34, No. 6, pp. 419-427.
- Lee, N. and Yu, K. (2017). “A Novel Method to Measure River Water Stage by Using Spatio-Temporal Image Analyses.” *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 17, No. 2, pp. 461-469.
- Lee, W.-D. and Hur, H.-S. (2019). “Effects of Coastal Groundwater Level on Beach Deformation.” *Journal of Ocean Engineering and Technology*, Vol. 33, No. 6, pp. 581-589.
- Lee, W.-D., Kim, J.-O. and Hur, H.-S. (2019). “Effects of Waveform Distribution of Tsunami-Like Solitary Wave on Run-up on Impermeable Slope.” *Journal of Ocean Engineering and Technology*, Vol. 33, No. 1, pp. 76-84.
- Notoya, Y., Fujita, I. and Tateguchi, S. (2017). “Developments of new surface velocity measurement method in STIV and evaluation methods for image quality of space time image available for improved discharge estimation.” *Journal of Japan Society of Civil Engineers, B1*, Vol. 73, No. 4, pp. I_505-I_510 (in Japanese).
- Perlin, K. (2002). “Improving noise.” *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, Vol. 121, No. 3, pp. 681-682.
- Puleo, J. A., Krafft, D., Printado-Patino, J. C. and Bruder, B. (2017). “Video-derived near bed and sheet flow sediment particle velocities in dam-break-driven swash.” *Coastal Engineering*, Vol. 126, pp. 27-36.
- Shin, Y.-S. and Lee, S.-D. (2019). “Characteristics of Water Surface Variation around Double-Breaking Type Artificial Reef.” *Journal of Ocean Engineering and Technology*, Vol. 33, No. 3, pp. 280-288.
- Yu, K. and Hwang, J. G. (2017). “Measurement of Surface Velocity in Open Channels Using Cameras on a Drone.” *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 17, No. 2, pp. 403-413.