

비디오모니터링을 활용한 봉포 해변의 파 처오름 연구

유호준¹, 김효섭², 오영민³, 황순미¹, 장창환^{4*}

¹(주) 지오시스템리서치, ²국민대학교 건설시스템공학과, ³한국해양과학기술원, ⁴대진대학교 산학협력단

Wave Runup Study using Video Monitoring on Bong-po Beach, Korea

Ho Jun Yoo¹, Hyoseob Kim², Young Min Oh³, Soon Mi Hwang¹, Chang Hwan Jang^{4*}

¹Geosystem Research Corporation,

²Department of Civil and Environmental Engineering, Kookmin University,

³Coastal and Ocean Engineering Division, KIOST,

⁴Industry Academic Cooperation Foundation, Daejin University

요약 이상기후로 인한 해안 구조물 및 해변의 태풍피해 예측은 기후변화에 대응하는 중요한 절차이다. 본 연구는 비디오모니터링을 이용한 해변의 파 처오름($R_{2\%}$, R_{max})을 평가하고 기존 경험모델과 비교·검증하였다. 대상 지역은 미세조수 환경인 한국의 봉포 해변이다. 해변의 두 대표 단면에서 비디오 모니터링을 이용하여 파 처오름을 분석하고 다양한 경험 모델과 정량적으로 비교하였다. 각각의 모델은 파고, 주기, 사면경사등의 적용범위가 다르며, 파처오름 결과도 모델별로 상이하다. 실험실 기반의 경험모델은 고파 조건에서 비교적 우수한 재현 결과를, 현장 측정 기반 경험모델은 정상파 조건에서 우수한 재현성을 나타내었다. 반면, 잠재 후면에 위치한 대표단면에서 경험모델의 파 처오름은 이미지 분석결과보다 다소 크게 재현되었다. 이는 기존의 다양한 경험모델은 장애물 등의 요인이 포함되지 않았으며, 다양한 조건을 반영한 범용적인 경험모델의 필요함을 시사한다. 경험모델을 이용하여 파 처오름을 분석할 때, 적용에 각별히 주의해야 하며, 유사환경에서 다수의 자료로 보완 후 적용할 필요성이 있다.

Abstract Prediction of storm damage to coastal structures and beaches due to abnormal climate is an important study in response to climate change. Hence, we evaluated the wave runup using video monitoring and compared and validated the results with existing empirical models. The target is Bong-po beach in Korea, which is under a micro-tidal environment. The wave runup was analyzed using video monitoring along two representative cross-sections and compared with various empirical models. Each model has different ranges such as wave height, wave period, and beach slope and shows different wave runup results. The laboratory-based model showed relatively good reproducibility under a high wave. At the same time, the field measurement-based model showed excellent reproducibility under a normal wave. However, the wave runup reproduced from the model was slightly larger than the result from the image analysis in the section crossing the structure. This difference in results suggests that the existing models do not include factors such as obstacles. Hence, there is a need for a general-purpose model that reflects these conditions. In addition, when analyzing wave runup using a model, special attention should be paid to its application. It is also necessary to apply the model after supplementing it with large data in a similar environment.

Keywords : Wave Runup, Runup Height, Video Monitoring, Bong-Po, Image Processing

*Corresponding Author : Chang Hwan Jang(Daejin Univ.)

email: cjang@daejin.ac.kr

Received September 27, 2021

Accepted January 7, 2022

Revised November 5, 2021

Published January 31, 2022

1. 서론

파도에너지가 해안을 향해 접근하며 파도가 붕괴되고, 쇄파대를 거쳐 대부분 에너지가 감쇄한다. 그러나 일부 에너지는 해변의 경사면을 따라 진입한다. 해변에 도달한 파가 경사면을 따라 위로 쳐 올라가는 현상을 파 처오름(runup)으로 정의한다. 파 처오름은 해변역학을 연구하는 공학자들의 주요관심사로 해변의 급격한 침식과 쇄파대 및 근해의 모래를 재분배하며, 전빈과 후빈의 경계면에 해빈급경사(Scarp)를 발생시키거나 이를 가속화하는 중요한 과정이다[1]. 해안개발 계획기관, 연안 및 해양학자 및 엔지니어가 해안보호와 개발을 위해서는 파 처오름 발생 경향과 해변변동을 연계하여 이해하는 것은 매우 중요하다.

파 처오름은 방조제 또는 해안구조물의 안전을 평가하고, 효과적인 구조물의 설계를 위한 중요한 매개변수이다. 파 처오름의 정확한 예측을 위해서는 해변변동 메커니즘이 포함된 복잡한 수치 모델이 필요하지만[2,3], 단순화된 파 처오름 경험모델을 적용하여 해변단면 변화에 대한 해석이 가능하다. 이와 관련하여 Pillai 등[4]은 경험모델을 통한 파 처오름의 해석과정에서 해수면 상승 등의 현실적인 변수가 고려되어야 함을 주장하였다.

소상대(swash zone)의 파 처오름 초기연구는 파고 및 파 유사성 매개변수(Iribarren number)를 활용하였다[5-10]. Hunt[5]는 규칙파로부터 해수면상승을 포함하는 경험 모델을 제공하였다. Sallenger and Holman [8]은 다양한 입사파 조건실험을 통해 파 처오름 높이를 관찰하고 파 처오름과 파도 유사성 매개변수의 선형관계를 증명하였다. Holeman[9]은 단일해변에서 비디오 이미지로 파 처오름에 대한 통계를 산출하고 파도 유사성 매개변수와 해변경사 및 파처오름의 관계를 추정하였다. Mase[10]는 완만하고 매끄럽고 불투수성 경사면에서 불규칙파의 파 처오름을 예측하기 위해 다양한 실험을 수행하고, 파 처오름에 기인하는 두 가지 경험계수를 제안하였다. 이후 연구에서는 기존 연구결과에 대한 확장으로 수리실험[11,12] 및 다양한 측정자료를 기반으로 기존경험식을 평가하며 파 처오름 경험모델을 수정하였다[13-16].

최근 디지털 영상을 기반으로 해변의 변화과정을 분석하는 다수의 연구가 수행되었다. Holman et al[16]은 실시간 비디오 모니터링기법을 적용하여 횡단면 분석을 수행하였으며, 모니터링 이미지를 사용하여 일정 시간간격의 자료를 중첩하고 횡단면 분석을 수행하였다. Aagaard and Holm[17]는 비디오 영상으로부터 샘플링

단면의 시간별 이미지 누적기법(timestack)을 제안하였다. 현장 측정된 모니터링 자료의 이미지를 통해 해안선 수위와 사면경사의 관계 분석[18], 심해 파고와 해변 파 처오름의 관계 분석[13], 비디오 영상을 통한 해역의 파 처오름 분석[19-21], 인공구조물 주변의 율파 분석[22], 소상대의 퇴적물이동 이동 특성 분석[23,24]등 다양한 분야에서 그활용성이 점차 확장되고 있다.

본 연구에서는 동해안 봉포 해변에 설치한 고해상도 모니터링 자료를 이용하여 시간별 이미지 누적기법을 통해 파 처오름을 분석하였다. 실험 및 현장 측정 자료로 선정된 다양한 경험모델을 이용하여 모니터링 분석 자료와 비교하며, 경험모델별 정량적 재현성을 평가하고, 경험모델의 적절한 활용에 대하여 논의하였다.

2. 본론

2.1 연구대상지역

연구 대상지역은 Fig. 1과 같이 대한민국 동부 중앙에 위치한 봉포해변(128° 33' E, 38° 15' N)이다. 해변 북측에는 천진항, 남측에는 봉포항이 위치하고 있으며, 해안선은 부리형의 형태로 총 해안선 길이는 1.2km, 해변은 대부분 모래로 대표입경은 0.65mm, 전빈의 경사($\tan\beta$)는 4.8°, 대조차는 0.18m로 미세조수 환경이다. 대상지역은 기후변화에 따른 태풍의 내습증가와 이상 고파랑의 영향으로 해변유실 및 침식이 가속화되는 심각(C)등급 지역으로, 2017~2019년 잠제 설치 및 양빈등을 통해 해변유실이 일부 완화된 지역이다[25].

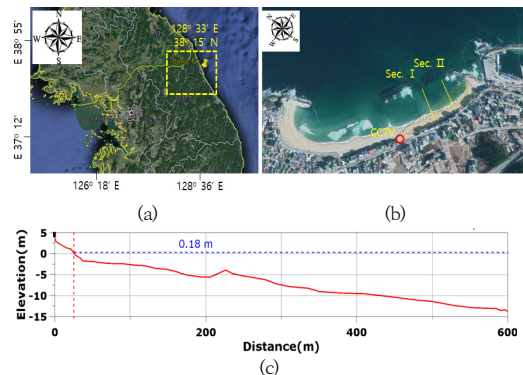


Fig. 1. Location of study area and shape of the beach (a) Study area (b) Representative analysis section and installation station of video monitoring (c) Representative cross-section (I) to the maximum spring tide range

잠제인근의 2개 대표 단면을 설정하고 비디오 모니터링으로부터 각 단면의 시간별 이미지 누적자료를 분석하였다. 분석단면의 평균 해변폭은 약 40m이다. 모니터링 시스템은 봉포해변 북측의 코스트하우스에 설치하였으며, 2015년 5월부터 실시간 자료를 지역네트워크서버(CVIMS)와 중앙서버(GSR-1)를 통해 전송하고 누적자료를 이용하여 데이터베이스를 구축하였다(Fig. 2). Kang et al[26]의 연구를 참조하여 다수의 기준점으로 영상자료의 위치 보정을 수행하였으며, 보정된 영상자료로부터 소상대의 파 처오름을 분석하였다(Fig. 3).

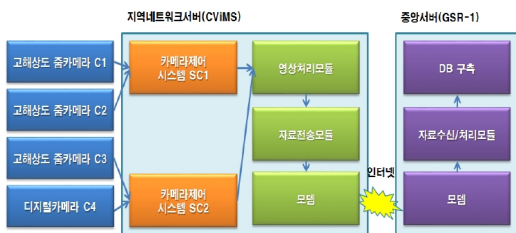


Fig. 2. Schematic diagram of local network server and central server configuration for video monitoring database



Fig. 3. Calibration of monitoring image at reference point for wave runoff analysis

2.2 연구방법

2.2.1 이미지 분석

파 처오름 분석은 이미지 이진화, 이미지 형태학 및 Canny 경계 추출기법을 적용하였다[24]. Canny 경계 추출기법은 실행시간이 긴 반면, 강한 경계운곽을 잘 찾아내면서도 원래 영상의 불분명한 경계를 제거할 수 있는 장점이 있으며, 다수의 연구에서 경계 추출을 위해 사용된 바 있다[22,23]. 상용프로그램인 매티랩을 활용하여 모니터링 자료로부터 RGB를 ASCII파일로 변환하며(Fig. 4(a)), 이미지 이진화 기법을 사용하여 회색 및 흑백 이미지로 변환하고 경계를 추출하였다(Fig. 4(b)). Canny 기법을 사용하여 흑백이미지에서 해변-바다의 경계를 추출하였으며(Fig. 4(c)), 기존이미지와 결합하여 파 처오름 경계라인을 표기하였다(Fig. 4(d)). 추출된 자

료에서 샘플링 단면의 시간별 이미지 누적자료 및 대상해역의 시·공간적인 파 처오름 자료를 획득하여 분석에 사용하였다.

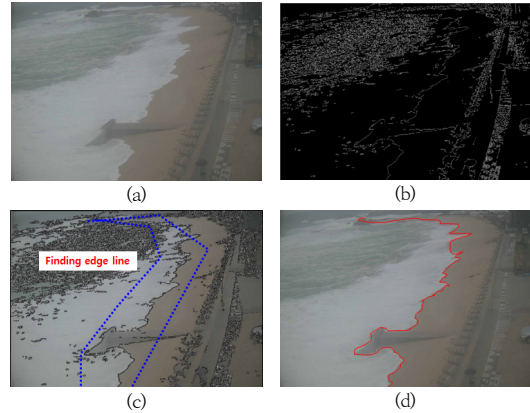


Fig. 4. Post-processing analysis of image (image taken at some point in time of monitoring (a) convert black-white of image (b) detected edge of sea-beach by Canny algorithm (c) smoothed envelope indicating combining with existing image (d))

2.2.2 모니터링 자료분석

샘플링 단면의 초단위 이미지 누적자료를 구성하였다. Fig. 1(b)와 같이 2개의 대표 단면을 선정하였으며, 고파시(2020년 5월 20일 11시 40분~11시 55분)와 평상시(5월 26일 7시 00분~7시 15)로 구분하여 분석에 활용하였으며 분석시간은 15분이다. 분석기간별 외해 파고 제한은 기상청의 동해 부이자료를 활용하였으며, 고파시 파고(H_o)는 4.2m, 파주기(T)는 10.7sec, 파향(D)은 북동(NW)계열이며, 평상시 파고는 0.3m, 파주기는 4.9sec, 파향은 남동(SW)계열이다. Fig. 5는 단면 1에서 이미지 누적자료이다. 파주기별 최대-최소 위치는 파 처오름 폭(m)으로 정의하였다. 파 처오름 높이는 해변경사($\tan\beta$)와 파 처오름 폭(m)의 함수로 계산하였다.

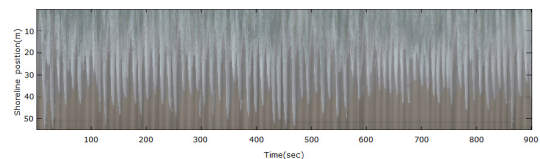


Fig. 5. The shoreline position of wave runoff during high wave period, in Section I

2.2.3 경험모델

실험실 또는 현장 측정자료로부터 다양한 파 치오름 경험모델을 소개하고 분석에 활용하였다. 기존 경험모델은 분석의 편이성을 위해 Table 1과 같이 약어로 표기한다. 파 치오름은 경험모델로부터 2%를 초과값($R_{2\%}$)과 최대값(R_{max})을 분석하였다. Hunt[5]는 에너지 소산 및 반사파를 분석하여 파고와 파 유사성 매개변수(Irrebarren, ξ_o)의 함수관계인 파 치오름 경험모델을 제안하였으며, 이후의 연구에서는 실험 및 현장데이터를 이용하여 경험모델의 수정·보완을 제안하였다. 경험식 별로 현장 또는 실험조건이 다르므로 파고, 주기, 사면경사등의 적용제한 범위를 제시한다. 해변의 파 치오름은 Fig. 6과 같이 소상대의 해변 경사면을 따라 이동하는 파 치오름과 수위 변화에 의한 해변수위 상승(η_u)이 발생되며, 최근 연구자들의 수정 경험모델에서는 두 가지가 모두 고려되었다[12,15].

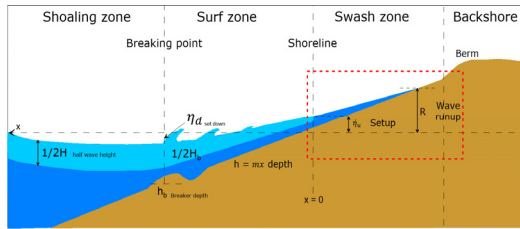


Fig. 6. Sketch of wave runup in swash zone

Hunt[5]는 Eq. (1)~Eq. (3)과 같이 소·대규모의 실험실 데이터를 이용하여 단일파를 조파하고 경사면의 파 치오름을 분석하였다.

$$R_{max} = \xi_o H_o = \eta_u + \tan\beta \sqrt{H_o L_o} \quad (1)$$

$$\xi_o = \frac{\tan\beta}{\sqrt{H_o/L_o}} \quad (2)$$

$$L_o = \frac{gT^2}{2\pi} \quad (3)$$

여기서 η_u 는 wave setup($0.2H_o$), ξ_o 는 파도 유사성 매개변수, L_o 는 심해파고로 산출된 파장, $\tan\beta$ 는 전빈의 사면경사(deg), g 는 중력가속도이다. 파도 유사성 매개변수는 파도 경사도와 제곱근의 함수이다.

Mase[9]는 소·중규모 실험실에서 불규칙파를 조파하고 Eq. (4)과 같이 파 치오름 경험식을 제안하였다.

$$R = aH_o \xi_o^b \quad (4)$$

여기서, a, b 는 보정계수로 $R_{2\%}$ 는 1.86, 0.71, R_{max} 는 2.32, 0.77이다.

Van der Meer and Stam[11]은 자갈 해변에서 측정된 데이터를 분석하여 Eq. (5)와 같이 수정 경험식을 제안하였다.

$$R_{2\%} = C_p \tan\beta \sqrt{H_o L_o} \quad (5)$$

여기서, C_p 는 해변에 도달하는 swell 보정계수이다.

Hedes and Mase[12]는 Hunt[5]의 정규파 경험식에 불규칙파 조건을 적용하여 Eq. (6)과 같이 수정·보완 경험식을 제안하였다.

$$R_{2\%} = 1.49 \tan\beta \sqrt{H_o L_o} + 0.34 H_o \quad (6)$$

Nielson and Hanslow[13]는 Australia의 New South Wales 6개 해변측량 자료로부터 Eq. (7)~Eq. (8) 경험식을 제안하였다.

$$R_{2\%} = 1.98 L_r + \eta_u \quad (7)$$

$$L_r = 0.6 \tan\beta \sqrt{H_s L_s}, \quad \text{if } \tan\beta \geq 0.1 \quad (8)$$

$$L_r = 0.05 \tan\beta \sqrt{H_s L_s}, \quad \text{if } \tan\beta < 0.1$$

Douglass[14]는 17분간 측량결과를 기반으로 Eq. (9) 경험식을 제안하였다.

$$R_{max} = 0.12 \sqrt{H_o L_o} \quad (9)$$

Ruggiero et al[1]는 Oregon해변과 Duck해변에서 74분간 측량결과를 기반으로 Eq. (10) 경험식을 제안하였다.

$$R_{2\%} = 0.27 \sqrt{\tan\beta H_o L_o} \quad (10)$$

Stockdon et al[15]는 Duck해변을 포함하는 6개 해변에서 491개의 17분간 timestack image를 수집하여 Eq. (11) 경험식을 제안하였다.

$$R_{2\%} = 1.1 \left(\frac{\sqrt{H_o L_s (0.563 \tan\beta^2 + 0.004)}}{2} + 0.35 \tan\beta \sqrt{H_o L_s} \right) \quad (11)$$

if $\xi_s \geq 0.3$

$$R_{2\%} = 0.043 \sqrt{H_o L_s} \quad (11)$$

if $\xi_s < 0.3$

2.3 연구결과

2.3.1 모니터링의 파 치오름 분석

모니터링의 파 치오름 분석은 Fig. 1(b)의 대표 단면에 적용하여 분석하였다. Eq. (12)와 같이 Gourlay[25]의 연구를 참조하여 경사면의 파 치오름 높이와 경사면의 수면 상승(wave setup)을 동시에 고려하였다. 경사면의 수면 상승은 심해파고의 제곱근 평균, 주기, 해변경사, 파장의 함수로 산정된다.

$$\eta_u = 0.35 H_{Orms} \xi_o^{0.4} \quad (12)$$

Table 1. Abbreviations for models used in this study

Full name	Model definition			Source
	Name	Runup	Coverage	
Hunt	Hu	Max	-	Lab
Mase	Ma	Max, 2%	$0.03 < \tan\beta < 0.2$, $\xi_o < 3$	
Van der Meer and Stam	VM	2%	$0.5 < \xi_o < 2$	
Hedges and Mase	HM	2%	$\xi_o < 3$	
Nielson and Hanslow	NH	2%	$0.6m < H_o < 3.7m$, $6s < T < 11s$	Field
Douglass	Do	Max	$0.8m < H_o < 4m$, $6s < T < 16s$, $0.07 < \tan\beta < 0.16$	
Ruggiero et al	Ru	2%	$1.4m < H_o < 4m$, $5s < T < 17s$	
Stockdon et al	St	2%	$0.7m < H_o < 2.5m$, $8s < T < 15s$, $0.01 < \tan\beta < 0.11$	

Table 2는 시기별·단면별 해빈경사, 파 처오름 폭, 경사면의 파 처오름 높이, 경사면의 수면 상승, $R_{2\%}$, R_{max} 이다. 파 처오름 폭은 파주기별 최대-최소 위치이다. 분석결과, Sec. I의 고파시 $R_{2\%}$ 는 4.34m, 평상시 $R_{2\%}$ 는 0.38m이며, Sec. II는 고파시 3.45m, 평상시 0.30m이다. Sec. I의 고파시 R_{max} 는 4.39m, 평상시 R_{max} 는 0.47m이며, Sec. II는 고파시 3.49m, 평상시 R_{max} 는 0.32m이다. 대표 단면에서 $R_{2\%}$, R_{max} 를 비교하면 Sec. I에 비해 Sec. II에서 감소하는 경향을 보이며, 고파시는 모두 21%, 평상시는 각각 21%, 32% 감소한다. 이는 인위적인 잠제구조물로 인한 외해 유입파 감소, 잠제 인근의 파 회절효과가 반영된 것으로 사료된다.

Table 2. Measured wave setup and runup at structure bypassing(Sec. I) and structure crossing(Sec. II)

Content	Analysis wave condition			
	High		Normal	
	Sec. I	Sec. II	Sec. I	Sec. II
slope($\tan\beta$)	0.084	0.101	0.084	0.101
runup distance(m)	42.88	31.22	4.00	2.99
slope runup(m)	3.58	2.63	0.31	0.22
wave setup(m)	0.76	0.82	0.07	0.08
runup($R_{2\%}$, m)	4.34	3.45	0.38	0.30
runup(R_{max} , m)	4.39	3.49	0.47	0.32

2.3.2 경험모델과 비교

Table 3과 Fig. 7에 모니터링과 경험모델 결과를 제시하고, 오차평가를 통해 재현성을 평가하였다. 고파시 Sec. I에서 실험실 기반모델(Hu, Ma, VM, HM)이 모니터링 측량과 유사한 범위로 재현되었으며, 현장 측량 기반 모델(NH, Do, Ru, St)의 모의결과는 모니터링 결과보다 다소 저평가 되었다. 고파시 $R_{2\%}$ 는 HM 모델이, R_{max} 는 Do 모델의 재현성이 가장 높다. 반면, 평상파 조건에서 실험실 기반모델은 모니터링 측량보다 다소 상회하여 모의되었으며, 현장 측량기반 모델이 우수하게 재현되었다. 평상파 조건에서 $R_{2\%}$ 는 ST 모델이, R_{max} 는 Hu 모델의 재현성이 가장 높다.

현장 측량기반 모델은 대체적으로 평상파 조건에서 측량된 자료로 분석하였으며, 일부 고파조건이 측량자료와 경험모델 계수 적합(Fitting)과정에서 하향조정 되기 때문에 사료된다.

Table 3. Comparison of measured and predicted runup at structure bypassing(Sec. I) and structure crossing(Sec. II)

Content	High								
	Obs	Hu	Ma	VM	HM	NH	Do	Ru	St
Sec. $R_{2\%}$	4.05	-	4.71	3.15	4.49	2.50	-	1.96	2.04
Hi I R_{max}	4.12	2.10	5.65	-	-	-	3.00	-	-
gh Sec. $R_{2\%}$	2.97	-	5.33	3.75	5.08	2.50	-	2.13	2.31
II R_{max}	3.01	2.50	6.46	-	-	-	3.00	-	-
Sec. $R_{2\%}$	0.29	-	0.53	0.42	0.52	0.34	-	0.26	0.27
No I R_{max}	0.33	0.28	0.66	-	-	-	0.40	-	-
rm al Sec. $R_{2\%}$	0.26	-	0.60	0.50	0.60	0.34	-	0.29	0.31
II R_{max}	0.27	0.34	0.76	-	-	-	0.40	-	-

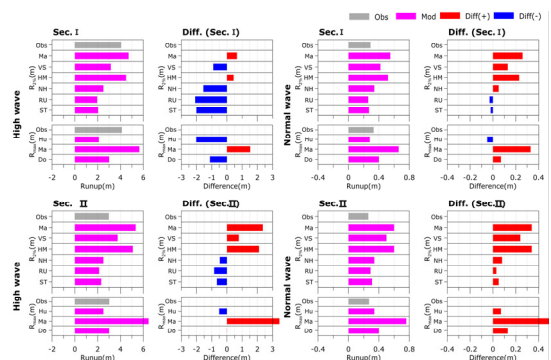


Fig. 7. Comparison of measured and predicted runup at structure bypassing(Sec. I) and structure crossing(Sec. II) (black slash : Obs ; Pink box : Mod ; Red box : Over prediction(Mod-Obs) ; Blue box : Under prediction(Mod-Obs))

반면, Sec. II에서는 모든 경험모델이 모니터링 측량보다 다소 크게 모의되었다. 경험모델은 소산성 해변(dissipative beaches)을 가정한 수리실험 또는 현장 측량된 자료를 기초로 외해 유입파에 의해 파 처오름이 뚜렷하지만, 본 연구의 대상지역인 봉포해변의 경우, 대규모 연안정비 사업으로 양 끝단이 인공구조물로 차폐된 형태이며, 침식완화를 위해 해변 전면에 침식방지 공법이 수행된 상태로 경험모델을 그대로 사용하기에는 다소 무리가 있는 것으로 판단된다. 따라서, Sec. II와 같이 잠제후면 위치에서 파 처오름을 분석할 때, 외해 유입파와 구조물에 의한 파의 회절, 연안을 따라 이동하는 파의 영향이 복합적으로 고려되어야 한다.

Fig. 8은 봉포해변의 매초별 파 처오름 결과이다. 해변의 시·공간적 파랑조건에 의한 영향으로 위치별로 다양한 파 처오름 양상을 나타내며, 잠제 후면에서(검은 원) 파 처오름이 상대적으로 약한 것을 잘 보여준다. 이러한 연구결과는 인위적 변화가 포함된 해변의 파 처오름의 분석을 위해서는 기존 경험모델의 적절한 수정제안이 필요함을 시사한다.

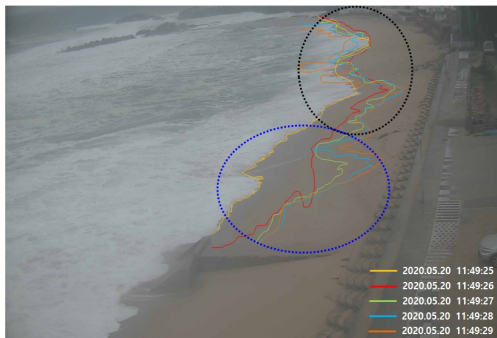


Fig. 8. Detected runup position at the swash zone each second (Blue circle : structure bypassing ; Black circle : structure crossing)

3. 결론

본 연구에서는 고해상도 모니터링 측량을 이용하여 대한민국 봉포해변의 대표단면에서 파 처오름을 분석하고 다양한 경험모델과 비교·분석하였다.

고파시 Sec. I에서 실험실 기반모델(Hu, Ma, VM, HM)이 모니터링 측량과 유사한 범위로 재현되었으며, 평상파 조건에서는 현장 측량기반 모델(NH, Do, Ru, St)이 우수하게 재현되었다. 실험실 기반모델은 파고, 주

기의 통계값 반영, 수심, 지형 등이 고려되지 않은 단일 파랑조건 등 실제 해변의 시·공간적인 파 처오름을 분석하는데 다소 무리가 있지만, 고파시 파처오름의 재현성은 다소 높다. 현장 측량기반 경험모델은 대체적으로 평상파 조건에서 측량되었으며, 일부 고파조건이 경험모델의 계수 적합과정(Fitting)에서 하향조정 되므로 고파시 재현성은 다소 미흡하다.

Sec. II에서는 모든 경험모델이 모니터링 측량보다 다소 크게 모의되었다. 경험모델은 소산성 해변(dissipative beaches)을 가정한 수리실험 또는 현장 측량된 자료를 기초로 해역특성이 다른 대상지역에서 경험모델을 그대로 사용하기에는 다소 무리가 있는 것으로 판단된다.

최근 기온 및 해수면 상승 등의 기상이변으로 인하여 이상 고파현상이 빈번하게 발생하고 있으며, 인간의 해안 활동 안정성을 빈번하게 저해하는 현상이 발생한다. 이상 고파에 대한 파 처오름을 이해하기 위해서는 경험모델의 수정·보완이 필요하다. 또한, 대규모 연안정비사업이 포함된 해변에 대하여 기존의 대중화된 경험 모델을 적용하여 평가하기에는 다소 무리가 있으며, 모니터링 시스템이 구축된 다수의 해변에서 파 처오름 자료를 수집하고, 기존 경험모델의 수정·보완을 하는 등 후속연구가 필요하다.

References

- [1] P. D. Ruggiero, W. G. Komar, J. J. McDougal, R. A. Marra, "Beach, Wave runup, extreme water levels and the erosion of properties backing beaches", *J. Coast. Res.* Vol. 17, No.2, pp. 407-419. 2001.
- [2] N. Dodd, "Numerical model of wave run-up, overtopping, and regeneration", *J. Waterw. Port Coast.* Vol. 124, pp. 73-81. 1998.
[http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-950X\(1998\)124:2\(73\)](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0733-950X(1998)124:2(73))
- [3] M. E. Hubbard, N. Dodd, "A 2D numerical model of wave runup and overtopping", *Coast. Eng.*, Vol. 47, pp. 1-26. 2002.
[https://doi.org/10.1016/S0378-3839\(02\)00094-7](https://doi.org/10.1016/S0378-3839(02)00094-7)
- [4] K. Pillai, A. Etemad-Shahidi, C. Lemckert, "Wave run-up on bermed coastal structures", *Journal of Applied Ocean Research*, Vol. 86, pp. 188-194. 2019.
<https://doi.org/10.1016/j.apor.2019.02.006>
- [5] I. A. Hunt, "Design of seawalls and breakwaters", *J. Waterway and Harbors Division*, Vol 85, pp. 123-152. 1959.
- [6] C. R. Iribarren, C. Nogales, "Protection des ports", *XVII International Navigation Congress*, SII-1. 1949.

- [7] J. A. Battjes, "Runup distributions of waves breaking on slopes", *Journal of the Waterways*, Vol. 97, pp. 91-114. 1971.
<https://doi.org/10.1061/AWHCAR.0000077>
- [8] A. H. Sallenger, R. A. Holman, "Wave energy saturation on a natural beach of variable slope". *Journal of Geophysical Research*, Vol. 90, pp. 945-953. 1985.
<https://doi.org/10.1029/JC090iC06p11939>
- [9] R. A. Holman, "Extreme value statistics for wave run-up on a natural beach". *Journal of Coastal Engineering*, Vol. 9, pp. 527-544. 1986.
[https://doi.org/10.1016/0378-3839\(86\)90002-5](https://doi.org/10.1016/0378-3839(86)90002-5)
- [10] H. Mase, "Random Wave Run-Up Height on Gentle Slopes". *Journal of the Waterways*, Vol. 115, pp. 649-661. 1989.
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-950X\(1989\)115:5\(649\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-950X(1989)115:5(649))
- [11] J. W. Van der Meer, and C. J. M. Stam, "Wave runup on smooth and rock slopes of coastal structures", *Waterw. Port Coast. Ocean Eng.*, Vol. 118, pp. 534-550. 1992.
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-950X\(1992\)118:5\(534\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-950X(1992)118:5(534))
- [12] T. Hedges, H. Mase, "Modified Hunt's equation incorporating wave setup", *J. Waterw. Port Coast. Ocean Eng.*, Vol. 130, pp. 109-113. 2004.
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-950X\(2004\)130:3\(109\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-950X(2004)130:3(109))
- [13] P. Nielsen, D. J. Hanslow, "Wave runup distributions on natural beaches", *J. Coast. Res.*, Vol. 7, pp. 1139-1152. 1991.
- [14] S. Douglass, "Estimating extreme values of run-up on beaches", *J. Waterw. Port Coast. Ocean Eng.*, Vol. 118, pp. 220-224. 1992.
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-950X\(1992\)118:2\(220\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-950X(1992)118:2(220))
- [15] H. F. Stockdon, D. M. hompson, N. G. Plant, J. W. Long, "Evaluation of wave runup predictions from numerical and parametric models", *Coast. Eng.*, Vol. 92, pp. 1-11. 2014.
<https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2014.06.004>
- [16] R. P. Holman, J. Howd, S. Oltman, P. Komar, "Observations of the Swash Expression of Far Infragravity Wave Motions." *Proc. 22nd Conference on Coastal Engineering*, pp. 1242-1253. 1990.
- [17] T. Aagaard, J. Holm, "Digitization of Wave Run-up Using Video Records" *Journal of Coastal Research*, Vol 5, pp 547-551. 1989.
- [18] S. Suanez, R. Cancouet, F. Floch, E. Blaise, "Observation and Predictions of Wave Runup, Extreme Water levels, and Medium-Term Dune Erosion during Storm Conditions" *Journal of Marine science and Engineering*, Vol 3, pp 1-26. 2015.
<https://doi.org/10.3390/imse3030674>
- [19] H. K. Chang, E. W. Chang, W. W. Chen, J. C. Liou, S. G. Kuo, "Field Observation of Wave runup on a Natural Beach Using an Unmanned Aerial System", *International Conference on Testing Software and System*, pp. 1-14. 2019.
- [20] D. D. Luccio, G. Benassai, G. Budillon, L. Mucerino, "Wave run-up prediction and observation in a micro-tidal beach", *Journal of Natural Hazards and Earth System Sciences*, Vol. 18, No. 11, pp. 2841-2857. 2018.
<https://doi.org/10.5194/nhess-18-2841-2018>
- [21] A. L. Atkinson, H. E. Power, T. Moura, T. Hammond, D. P. Callaghan, T. E. Baldock, "Assessment of runup predictions by empirical models on non-truncated beaches on the south-east Australian coast", *Journal of Coastal Engineering*, Vol. 119, pp. 15-31. 2017.
<https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2016.10.001>
- [22] S. Lee, S. Kim, J. Choi, K. Jeon, "Wave Monitoring and Analysis for Wave Runup Prediction in Breakwater Anti-Disaster Warning System", *Korean Society of Coastal Disaster Prevention*, Vol. 8, pp. 102-112, 2020.
- [23] J. Yoo, D. Lee, S. Kang, S. Kim, "Characteristics of Wave Properties in the Macro-tidal Surf Zone Observed by Remote Imaging Methods", *AGU Ocean Science Meeting*, 2010.
- [24] S. Oh, J. Yoo, D. Lee, "Wave Runup and Overtopping under Macrotidal Environment", *AGU Ocean Science Meeting*, 2010.
- [25] TPoE(The Province of Gangwon), "Coastal Erosion Survey in 2017-2018".
- [26] T. S. Kang, S. Y. Nam, M. H. Kim, G. G. Baek, "A Study on the Current Status of Coastal Erosion in Korea Using Real-Time Video Monitoring", *The Magazine of the Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol 7, pp. 47-56. 2007.
- [27] J. Canny, "A computational approach to edge detection", *IEEE Trans. Pattern Anal.* Vol. 8, No.6, pp. 679-698. 1986.
<https://doi.org/10.1109/TPAMI.1986.4767851>
- [28] M. R. Gourlay, "Wave set-up and wave generated current in the lee of breakwater or headland", *Proc. of the 14th Coastal Eng. Conf. (ASCE)*, pp 1976-1987, 1974.
<https://doi.org/10.1061/9780872621138.118>

유 호 준(Ho Jun Yoo)

[정회원]



- 2013년 2월 : 국민대학교 건설시스템공학과 (공학석사)
- 2021년 8월 : 국민대학교 건설시스템공학과 (공학박사 수료)
- 2013년 1월 ~ 현재 : 지오시스템리서치 부설연구소 선임연구원

<관심분야>

AI, 연안공학, 수치모델링

황 순 미(Soon Mi Hwang)

[정회원]



- 2021년 2월 : 성균관대학교 대학원 건설환경시스템공학과 (공학석사)
- 2021년 3월 : 성균관대학교 대학원 건설환경시스템공학과 (박사과정)
- 2012년 3월 ~ 현재 : ㈜지오시스템리서치 선임

<관심분야>

연안공학, 해양환경

김 효 섭(Hyoseob Kim)

[정회원]



- 1993년 3월 : University of Liverpool (공학박사)
- 1994년 3월 ~ 현재 : 국민대학교 건설시스템공학과 교수

<관심분야>

AI, 연안공학, 수치모델링

장 창 환(Chang Hwan Jang)

[정회원]



- 2007년 5월 : Florida Institute of Technology, Ocean Engineering (공학석사)
- 2010년 2월 : 국민대학교 건설시스템공학과 (수공학박사)
- 2011년 8월 ~ 2021년 8월 : 특허청 건설기술심사관 책임심사관
- 2021년 9월 ~ 현재 : 대진대학교 산학협력단 부교수

<관심분야>

하천공학, 해안공학, 특허법, 디자인보호법

오 영 민(Young Min Oh)

[정회원]



- 1986년 2월 : 서울대학교 공과대학원 토목공학과 (수공학석사)
- 1994년 8월 : 서울대학교 공과대학원 토목공학과 (연안공학박사)
- 1987년 3월 ~ 현재 : 한국해양과학기술원 책임연구원

<관심분야>

연안공학