

복수의 태풍내습에 의한 해운대 해수욕장 침식변화특성

강태순* · 이종섭**† · 김종범*** · 김종규****

* ㈜지오시스템리서치 연안관리부 수석, ** 부경대학교 토목공학과 교수, *** 전남대학교 조선해양공학과 박사과정, **** 전남대학교 조선해양공학과 교수

Characteristics of Erosion Variation at Haeundae Beach due to Multiple Typhoons

Tae-Soon Kang* · Jong-Sup Lee**† · Jong-Beom Kim*** · Jong-Kyu Kim****

* Managing Director, Dept. of Coastal Management, GeoSystem Research Corp., Gunpo 15807, Korea

** Professor, Dept. of Civil Engineering, Pukyong National University, Busan 48513, Korea

*** PhD Candidate, Dept. of Naval Architecture and Ocean Engineering, Chonnam National University, Yeosu 59626, Korea

**** Professor, Dept. of Naval Architecture and Ocean Engineering, Chonnam National University, Yeosu 59626, Korea

요 약 : 본 연구에서는 해양수산부 연안침식 실태조사에서 운영 중인 해운대 해수욕장 비디오 모니터링 시스템을 이용하여 연안정비 사업 실시 이후의 백사장 면적변화를 분석하였다. 해운대 해수욕장은 연안정비사업을 통한 대규모 양빈이후 계절변동 특성과 함께 해변 안정화 과정을 거치면서 잘 유지되었으나, 최근 2년간 복수의 태풍 내습에 의하여 해운대 해수욕장의 계절변동특성 및 해변안정화 양상은 균형을 상실하였으며, 급격한 침식이 발생하였다. 특히, 2018년 태풍 솔릭, 콩레이에 의해 침식된 백사장은 계절변동에 의한 겨울철 해변면적을 회복하지 못하였으며, 2019년에 내습한 다수의 태풍들로 인하여 해변면적이 전년 대비 9.5%(12,607 m²) 감소하였다. 해운대 해변 전역에서 관측된 파랑자료와 해변면적자료를 분석한 결과, 계절에 따른 입사파향에 따라 백사장의 서측, 중앙부, 동측의 침퇴적 경향이 뚜렷이 나타났다. 향후에는 계절변동특성의 둔화와 지속적인 침식경향이 나타나는 원인을 파악하기 위해 잠제 시설물의 마루높이, 기능유지 여부 및 잠제 외부로의 모래유출추적 등 보다 정밀한 모니터링이 필요하다.

핵심용어 : 해운대 해수욕장, 비디오 모니터링, 연안침식, 양빈, 태풍

Abstract : In this study, we analyzed the erosion variation of beach area at Haeundae Beach after coastal improvement project using video monitoring system operated by the Coastal Erosion Monitoring (Ministry of Oceans and Fisheries). Haeundae Beach was well maintained and stabilized following large scale nourishment through coastal improvement project despite of seasonal fluctuations. However, multiple typhoons over the last two years caused beach stabilization patterns and seasonal fluctuations to lost equilibrium, resulting in rapid erosion. In particular, the sandy beach was eroded by typhoon Solic and Kongray in 2018 and failed to recover beach area in winter by seasonal fluctuations. And due to multiple typhoons in 2019, the beach area was reduced 9.5% (12,607 m²) year-on-year. According to analyze the observed wave and beach area data in Haeundae, the tendency of erosion and sedimentation was influenced by seasonal incident wave direction for each section(west, center and east part). Therefore, to identify the causes of decreasing seasonal fluctuation characteristics and continuous erosion, hereafter, more precise monitoring of different factors are needed, such as the crest heights of submerged breakwater and its loss of function, and sand leakage to the outside around submerged breakwater.

Key Words : Haeundae beach, Video monitoring, Coastal erosion, Beach nourishment, Typhoon

1. 서 론

해운대 해수욕장은 한국에서 가장 유명한 해수욕장으로 매년 수백만명의 관광객들이 방문하고 있으나 백사장 침식

과 함께 침식으로 인하여 좁은 백사장을 형성함으로써 입욕 밀도 증가에 대한 불편과 민원이 제기된 바 있다. 이에 해양수산부에서는 2013년부터 2015년까지 연안정비사업을 통하여 양빈, 잠제(수중방파제) 및 돌제를 시공한 바 있다. 특히, 해운대 해수욕장의 양빈은 국내 최대 규모로써 2회에 걸쳐 581,185 m³의 모래가 투입되어 해변면적은 양빈전과 비교하

* First Author : kangts@geosr.com, 070-7019-0610

† Corresponding Author : jslee@pknu.ac.kr, 051-629-6066

복수의 태풍내습에 의한 해운대 해수욕장 침식변화특성

여 약 2배 이상 증가하였고, 평균해빈폭은 약 100 m에 달하는 넓은 백사장으로 탈바꿈하였다(MOF, 2017).

하지만, 연안정비사업이 완료된 2015년 이후 계절변동과 함께 양빈안정화 과정을 보이던 면적변화는 2018년과 2019년 다수의 태풍들이 연속적으로 내습한 이후 급격한 침식경향을 보이고 있다.

이러한 침식변화 특성을 파악하기 위해서는 기존의 많은 인력을 동원한 현장실측과 같은 조사방법으로는 한계가 있다. 특히, 태풍, 고파랑과 같이 불규칙적이고 불연속적인 외력환경에 대한 해변면적의 반응을 면밀히 관측하기 위해서는 비디오 모니터링과 같은 방법이 필요하다(Kang et al., 2007).

비디오 모니터링 기법은 미국의 Holman(1981), Holman et al.(1993), Holman and Stanley(2007)를 시작으로 국내에서는 Kim et al.(1998)이 비디오 모니터링 기법을 도입한 바 있으며, Lee et al.(2015)는 웅진군 대이작도에서 비디오 관측시스템으로 조석사주의 면적변화를 분석한 바 있다. Kim and Kim(2014)는 태풍시 연안사구 침식특성에 대하여 비디오 영상을 통해 파악하였고, Kim(2016)은 남해안 및 제주해안에 대하여 카메라 영상을 이용하여 백사장 침식변화를 분석하였다. 특히, Kang et al.(2007, 2009)은 비디오 모니터링을 통하여 해운대 해수욕장 및 국내 주요 해수욕장에 대한 해변변동 특성을 분석하였다. Kang et al.(2017)은 해운대 해수욕장의 대규모 양빈 이후 해변안정화 과정과 태풍 차바로 인한 침식변화를 분석한 바 있다.

이에 본 연구에서는 복수의 태풍 내습전후의 해운대 해수욕장 침적변화특성을 파악하였다. 연안침식을 일으키는 주요 외력인 파랑 특성과 해안선 변화와의 상관관계를 규명하고자 해운대 해수욕장 전면해역의 연속 파랑관측자료와 비디오 모니터링 해안선 관측자료를 이용하여 분석하였다.

2. 조사방법

2.1 비디오 모니터링

해운대 해수욕장의 장기적인 백사장 침적변화를 파악하기 위하여 비디오 모니터링 자료를 활용하였다(MOF, 2018). 해운대 해수욕장의 비디오 모니터링 시스템은 2003년부터 운영 중에 있으며 조선비치호텔(2003), 글로리콘도(2003), 파라다이스호텔(2015)의 3개 고층건물에 구축되어 있으며, 설치된 카메라는 총 5대이다. 카메라는 정확도 확보를 위하여 고해상도 카메라(12M pixel 2대, 3M pixel 3대)를 설치하였으며, 관측범위는 약 1,400 m(50 m 간격 28개 기선)이다 (Table 1, Fig. 1).

Table 1. Introduction of Video Monitoring System

Location	Camera (Resolution)	No. of Camera	Period
Chosun Beach Hotel	HD Zoom Camera (3M)	1	2003.12. ~
Glory Condo	HD Zoom Camera (3M)	2	2003.9. ~
Paradise Hotel	HD Zoom Camera (12M)	2	2015.10. ~



(a) Location of Video Monitoring System



(b) Cross Section of Monitored Beach

Fig. 1. Video Monitoring System in Haerundae Beach.

2.2 영상보정기준점 측량 및 정사보정

영상보정기준점(ground control points, GCP) 측량은 비디오 모니터링 시스템의 카메라로부터 획득되는 이미지 영상과 현장 측량을 통한 좌표와의 상관관계를 파악하기 위해 수행하는 조사로써, 분석결과는 취득된 이미지 영상의 좌표변환 및 거리환산 등의 정사보정 영상처리를 가능하도록 하는 필수적인 과정이다.

Fig. 2는 각각의 카메라 영상별로 다수의 영상기준점이 관측범위 전역에 걸쳐 고르게 분포하도록 측량을 수행하였으며, 영상보정기준점 측량 결과로부터 대상지역에서 촬영된 이미지 영상을 실제의 평면좌표계로 변환하는 영상정보 추출계수(카메라 축척계수, 초점거리, 렌즈왜곡계수, 회전계수, 이동계수, 중점좌표, 회전각, 확대계수 등)를 산정하였다 (Table 2). 설치된 각각의 카메라별로 약 40개 이상의 GCP들을 획득하였으며, 실제로 영상의 고정점으로부터 기준점을 설정하여 영상보정기준점으로 채택한 점들은 30점 이상을 확보하여 정확도를 확보하였다. 영상변환의 정확성 확보를 위해서는 매년 1회 이상의 GCP 보정이 필요하며, 카메라의 촬영각도 변화, 카메라 교체 등으로 인하여 영상의 화각이 변경되었을 경우에는 반드시 재 수행하여야 한다. 비디오

모니터링 결과의 검증을 위하여 관측기선별 해변단면측량(해빈폭) 자료와 백사장 영상의 기선자료(해빈폭 및 해변면적)와 비교하였으며, 정사영상 합성 및 수치지도 맵핑을 통한 좌표변환 정확도를 확인하였다. 정사보정 및 좌표변환에 대한 자세한 방법은 Kang et al.(2017)을 참조하기 바란다.

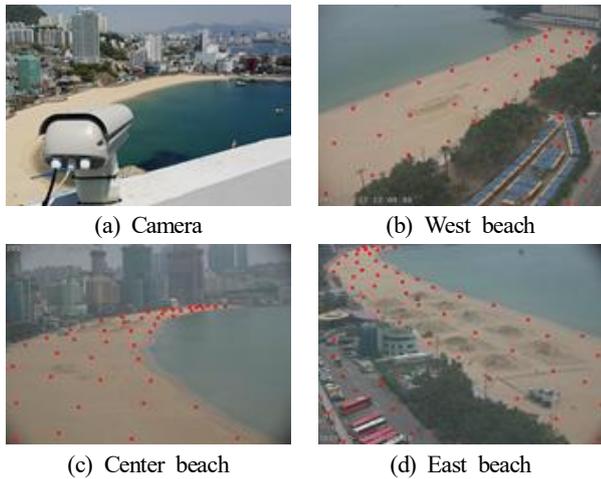


Fig. 2. Distribution of GCPs in Haeundae Beach.

Table 2. Accuracy of GCPs and image extraction coefficient

Item	Glory Condo		Paradise Hotel		Chosun Beach
	Cam. 1	Cam. 2	Cam. 3	Cam. 4	Cam. 5
Total GCPs	38	45	42	43	61
Obtained GCPs	37	34	32	38	47
XY_RMSE (cm)	0.80	0.56	0.68	0.48	0.52
Z_RMSE (cm)	1.50	0.65	0.50	0.76	0.82
X-axis Dist. (mm)	7.76	6.98	1.41	9.21	2.39
Y-axis Dist. (mm)	72.19	67.86	66.92	82.29	58.82
Z-axis Dist. (mm)	12.40	21.20	18.59	2.43	-4.11
X-axis Rotate (deg)	-103.3	129.9	-114.1	-109.1	85.1
Y-axis Rotate (deg)	14.0	-87.8	36.14	-74.3	-60.8
Z-axis Rotate (deg)	171.3	-43.4	161.2	-167.5	-4.1
Focus Dist. (mm)	13.27	26.23	24.05	26.69	17.13

3. 자료분석

3.1 면적변화 시계열분석

2004년 하계 태풍 메기, 차바의 내습으로 최소 해변면적(39,940 m²)을 보인 이후 2009년까지 증가(66,978 m²) 하였으나, 2009년 이후에는 연변동물의 증가와 함께 연평균 해변면적의 감소경향이 2012년까지 지속되었다. 2013년 11월부터

연안정비사업으로 2회에 걸친 대규모 양빈(581,185 m³)을 통하여 해변면적(2015년)이 양빈전(2012년)보다 약 2.5배로 증가하였다.

양빈 완료 후 잠재 2기(미포 : 180 m, 2015/06, 동백 : 150 m, 2015/12)가 추가로 건설되면서 연안정비사업 이전과 유사한 춘~하계 감소, 추~동계 증가경향의 계절변동특성이 2018년 하계까지 나타났다. 이 기간 동안 해운대 해수욕장의 해안선 변화에 직접적인 영향을 준 태풍은 2015년 태풍 노을, 찬흠, 낭카, 2016년 민들레, 말라카스, 차바, 2017년 탈림, 란, 2018년 뿌라빠룬, 솔릭 등이 있으며, 태풍 내습에 의한 침식과 일정기간 동안 자연회복과정을 반복하면서 해변면적을 유지하였다(Table 3, Fig. 3).앞에서 언급한 태풍과는 달리 2018년 추계에 내습한 태풍 콩레이는 해운대 해수욕장의 해변면적을 크게 감소한 이후 자연회복과정이 나타나지 않았으며, 동계까지 침식경향이 지속되어 2018년 12월에는 양빈 완료 이후 최소면적(119,065 m²)을 기록하였다. 2019년으로 접어들면서 동계 증가경향의 계절변동특성이 둔화되어 해변면적이 증가하지 않고 단기적인 침식과 회복을 반복하며 감소된 면적을 유지하였으며, 2019년 하계부터 연이어 내습한 태풍 레기마, 크로사, 링링, 타파, 미탁, 하기비스의 영향으로 해변면적이 지속적으로 감소하여 2019년 해운대 해수욕장의 연평균 해변면적은 전년 대비 9.5%(12,607 m²)가 감소한 것으로 나타났다(Table 4, Fig. 4).

Table 3. List of typhoons that have affected the changes in coastline of Haeundae Beach

No.	Name	Period
1506	NOUL	05.04. ~ 05.12.
1509	CHAN-HOM	06.30. ~ 07.13.
1511	NANGKA	07.04. ~ 07.18.
1609	MINDULLE	08.19. ~ 08.23.
1616	MALAKAS	09.13. ~ 09.20.
1618	CHABA	09.28. ~ 10.06.
1718	TALIM	09.09. ~ 09.18.
1721	LAN	10.16. ~ 10.23.
1807	PRAPIROON	06.29. ~ 07.04.
1819	SOULIK	08.16. ~ 08.25.
1825	KONG-REY	09.29. ~ 10.07.
1905	DANAS	07.16. ~ 07.21.
1909	LEKIMA	08.04. ~ 08.13.
1910	KROSA	08.06. ~ 08.16.
1913	LINGLING	09.02. ~ 09.08.
1917	TAPAH	09.19. ~ 09.23.
1918	MITAG	09.28. ~ 10.03.
1919	HAGIBIS	10.06. ~ 10.13.

복수의 태풍내습에 의한 해운대 해수욕장 침식변화특성

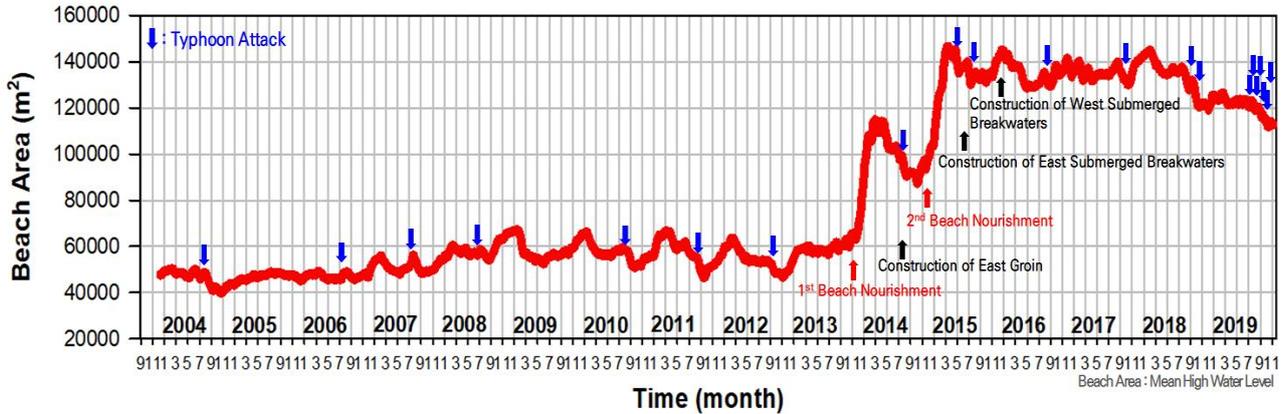


Fig. 3. Observed time-series of beach area using video monitoring during 2003 ~ 2019.

Table 4. Statistical characteristics of beach area variation in Haeundae Beach annually

Year	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Max. Area (m ²)	50,131	48,692	53,001	56,044	66,634	66,978	66,206	66,535
Mean Area (m ²)	45,989	46,896	47,367	51,344	59,032	58,069	56,939	57,509
Min. Area (m ²)	39,940	43,386	45,692	48,076	54,281	52,504	50,977	46,541
Variation Rate (%)	-4.7	2.0	1.0	8.4	15.0	-1.7	-1.9	1.0
Year	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Max. Area (m ²)	63,435	82,990	114,638	146,402	144,704	141,641	144,838	126,138
Mean Area (m ²)	54,218	60,387	100,440	134,701	134,884	135,454	133,293	120,686
Min. Area (m ²)	46,782	54,112	85,005	103,488	128,688	130,152	119,065	111,722
Variation Rate (%)	-5.8	11.5	66.3	35.2	-0.6	0.4	-0.8	-9.5

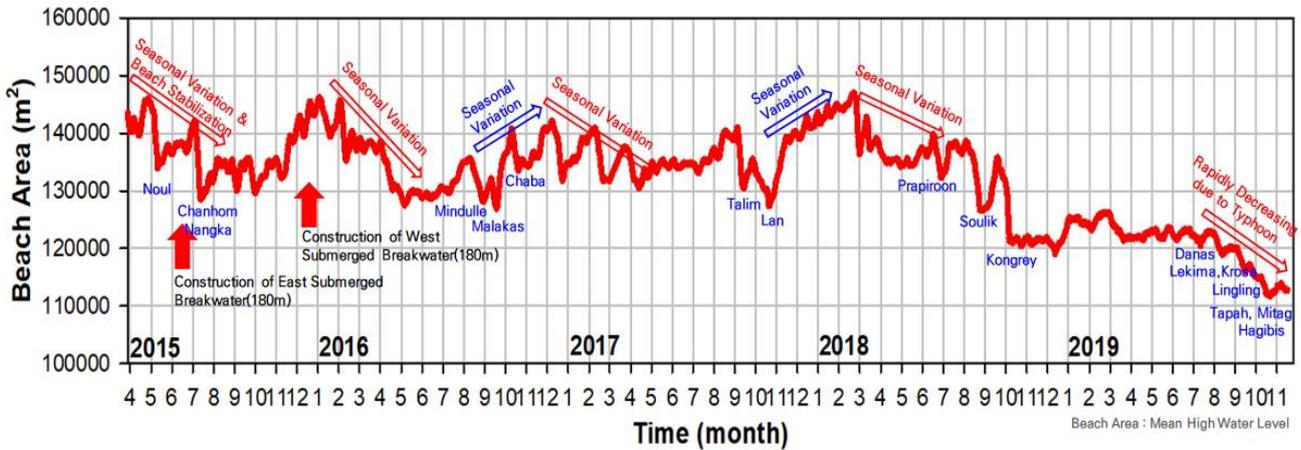


Fig. 4. Observed time-series of beach area using video monitoring after beach nourishment in Haeundae Beach.

3.2 공간변화분석

해빈면적 변화에 영향을 주는 원인 중 가장 중요한 외력인 해운대 해수욕장 전면으로 입사하는 파랑특성을 파악하기 위하여 전면해역 수심 30m 지점에 초음파식 파고파향계(AWAC, Nortek)를 2017년부터 설치하여 운영 중에 있다. 이 자료와 함께 기상청에서 운영하고 있는 거제도 해양기상부이, 국립해양조사원에서 운영 중인 해운대부이 자료를 동시에 수집하여 분석하였다.

해운대 해수욕장의 면적변화를 공간적으로 파악하기 위하여 각 기선별 면적변화 시계열을 통해 비슷한 변동패턴을 보이는 기선을 군집화(clustering)하여 동측구간, 중앙구간 및 서측구간의 3개영역으로 분할하였다(Fig. 5).

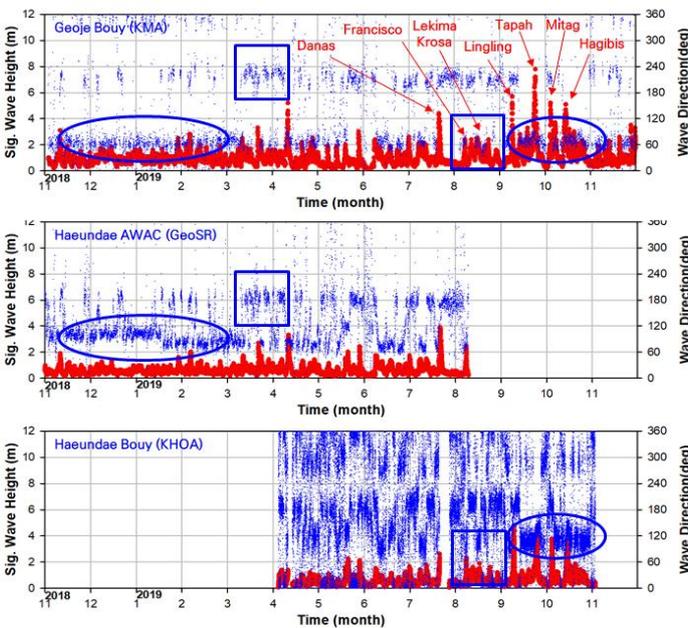


Fig. 5. Beach division using clustering in Haeundae Beach.

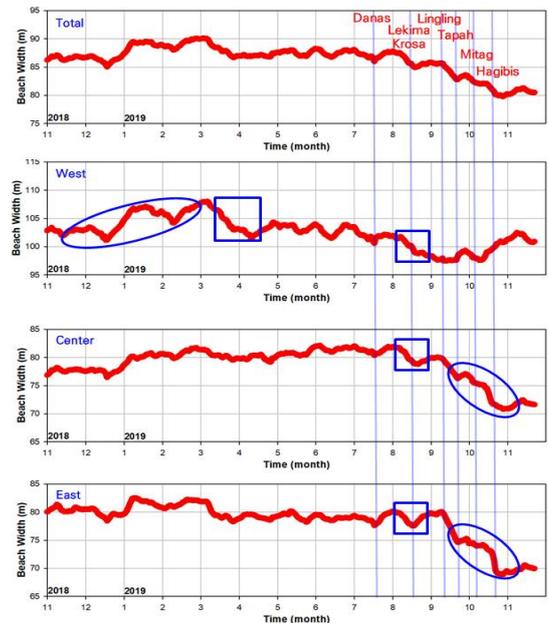
서측구간의 경우, 2018년 태풍 콩레이 내습 이후 E계열 파랑이 지속되면서 평균해빈폭의 증가경향을 보였으나, 2019년 3월에 S계열로 파향이 변화한 후 다른 구간에 비하여 해빈폭

의 감소가 크게 나타났다. 이후, 하계 고파랑과 파향의 단기적인 변화 등으로 침퇴적을 반복하며 해빈면적이 유지되었으나, 8월에 짧은 간격으로 연이어 내습한 레기마, 크로사의 영향으로 고파랑 지속기간이 길어짐에 따라 전구간에서 해빈폭 감소경향이 나타났다. 중앙 및 동측구간은 태풍 링링 이후 높은 파고의 SE계열 고파랑이 지속됨에 따라 평균해빈폭의 급격한 감소경향이 나타난 반면, 서측구간은 다른 구간과는 반대로 해빈폭의 증가경향이 나타나 중앙 및 동측구간과 침퇴적이 교번하여 나타나는 것으로 파악되었다(Fig. 6).

비디오 모니터링 영상을 기반으로 해운대 해수욕장의 태풍 내습전후 해안선 변화를 분석한 결과, 태풍 링링, 타파, 미탁 내습 기간 동안 전체 평균해빈폭은 약 3.6m 감소하였으며, 중앙 및 동측구간에서 최대 12.4m의 해빈폭 감소가 나타났으나, 서측 일부구간에서는 최대 9.9m 증가한 구간이 존재하였다(Fig. 7a). 태풍 하기비스 내습 시에는 태풍 링링, 타파, 미탁 내습 후와 마찬가지로 전체 평균해빈폭은 약 2.2m 감소하였으며, 중앙 및 동측구간에서 최대 12.0m의 해빈폭 감소가 나타났으나, 서측 일부구간에서는 최대 13.5m 증가한 구간 존재하였다(Fig. 7b). 2019년 하~추계에 내습한 태풍의 영향을 정리하면, 서측 일부구간(조선비치호텔 전면)을 제외한 전 구간에서 해빈폭이 감소하였으며, 구간별로는 동측구간에서 최대 20.1m 감소, 서측 조선비치호텔 전면에서는 최대 20.9m 증가한 구간이 존재하며, 전구간 평균 해빈폭은 5.9m 감소한 것으로 나타났다(Fig. 7c).



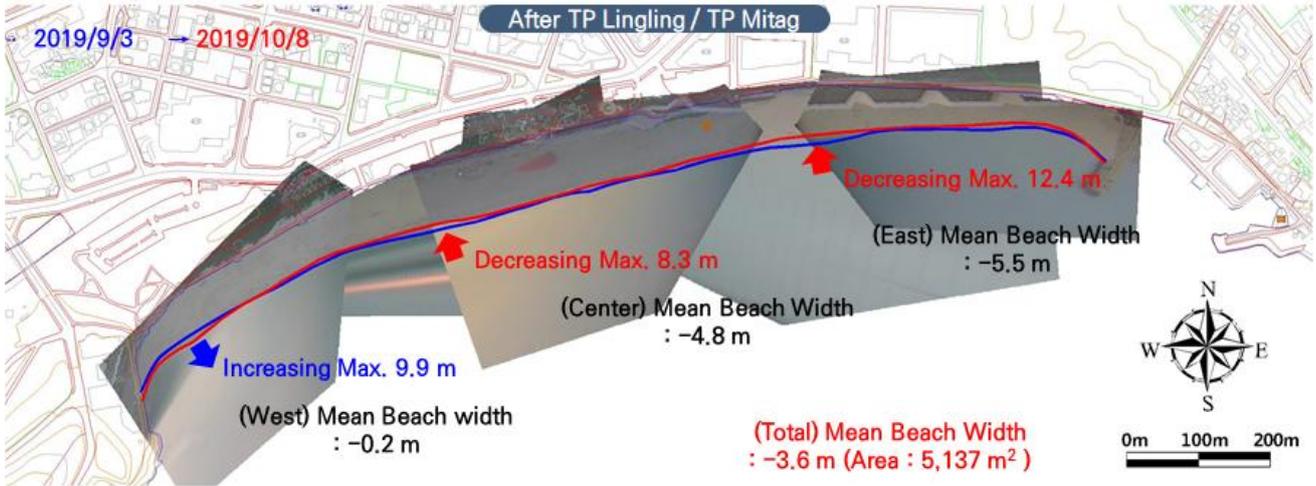
(a) wave observation data



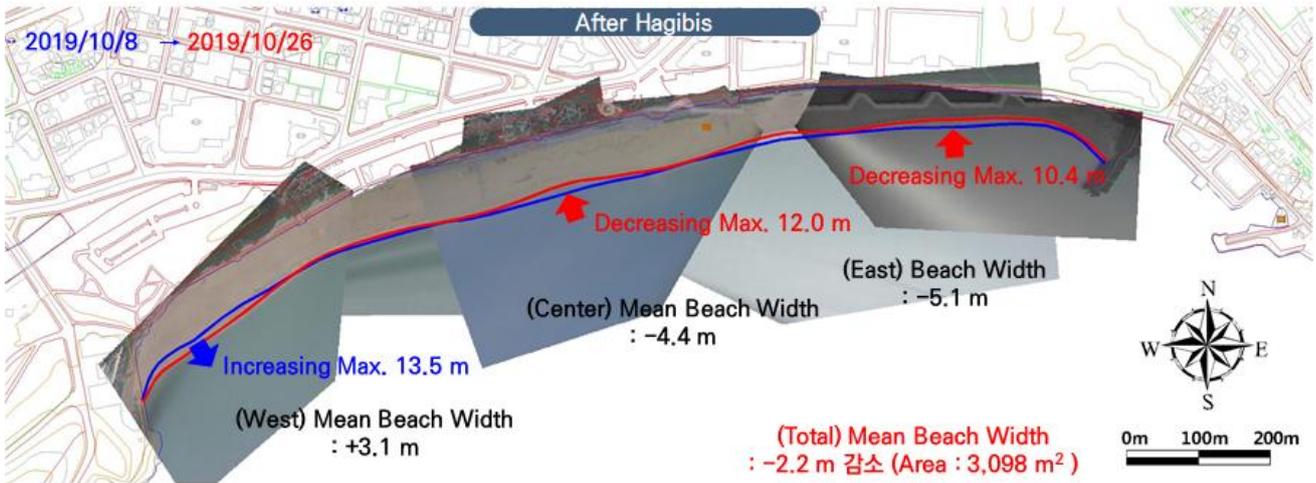
(b) beach width data by division

Fig. 6. Time-series of wave observation data and beach width data in Haeundae Beach.

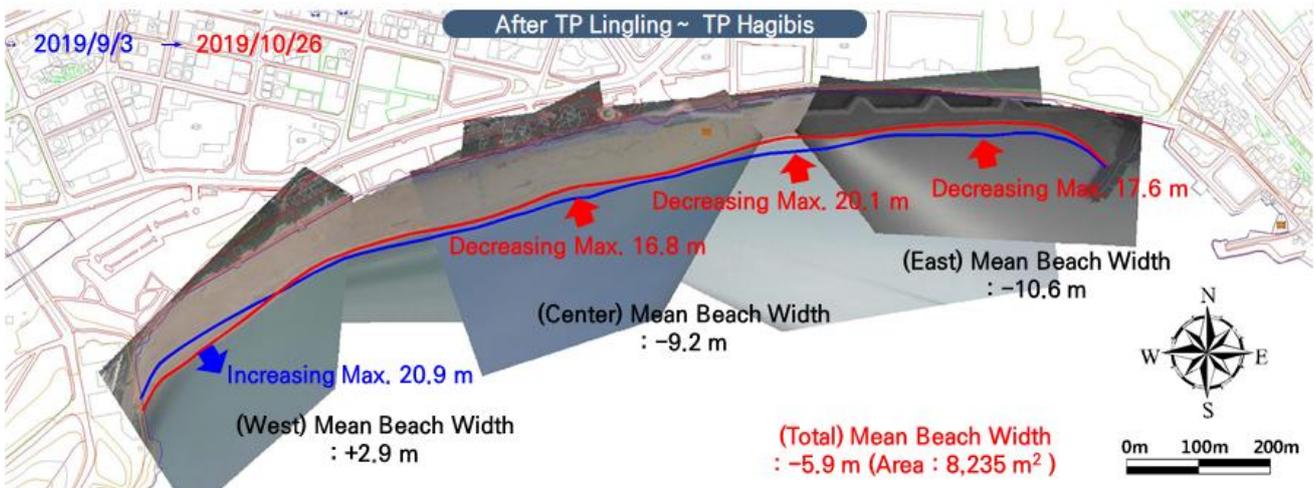
복수의 태풍내습에 의한 해운대 해수욕장 침식변화특성



(a) After Typhoon Lingling ~ Mitag



(b) After Typhoon Hagibis



(c) After Typhoon Lingling ~ Hagibis

Fig. 7. Changes in coastline before and after the typhoon.

4. 결론

본 연구에서는 해양수산부 연안침식 실태조사에서 운영 중인 해운대 해수욕장의 비디오 모니터링 시스템을 이용하여 연안정비사업 실시 이후의 백사장 면적변화를 분석하였다. 해운대 해수욕장은 연안정비사업을 통한 대규모 양빈(581,185 m³) 이후 계절변동 특성과 함께 해빈안정화 과정을 거치면서 잘 유지되었으나, 최근 2년간 복수의 태풍 내습에 의하여 해운대 해수욕장의 계절변동특성 및 해빈안정화 양상은 균형을 상실하였으며, 급격한 침식이 발생하였다. 특히, 2018년 태풍 콩레이에 의해 침식된 백사장은 계절변동에 의한 겨울철 해빈면적을 회복하지 못하였으며, 2019년에 내습한 태풍들로 인하여 해빈면적이 전년대비 9.5%(12,607 m²)로 침식되었다. 해운대 해빈 전면에서 관측된 파랑자료와 해빈면적자료를 분석한 결과, 백사장 서측구간의 경우, 2018년 태풍 콩레이 내습 이후 E계열 파랑이 지속되면서 평균해빈폭의 증가경향을 보였으나, 2019년 3월에 S계열로 파랑이 변화한 후 다른 구간에 비하여 해빈폭의 감소가 크게 나타났다. 중앙 및 동측구간은 태풍 링링 이후 높은 파고의 SE계열 고파랑이 지속됨에 따라 평균해빈폭의 급격한 감소경향이 나타난 반면, 서측구간은 다른 구간과는 반대로 해빈폭의 증가경향이 나타났다. 상기 결과로 볼 때, 해운대 해수욕장의 해빈면적 변화양상은 계절에 따른 입사파향에 따라 백사장 서측과 중앙 및 동측의 침퇴적 경향은 서로 상반되게 나타남을 알 수 있었다.

특히 2018년 태풍 콩레이 내습 이후 나타난 동계 증가경향의 계절변동특성 둔화와 2019년 복수의 태풍영향으로 지속적인 침식경향이 나타나는 원인이 해수욕장 전면에 설치된 잠제 시설물의 침하(마루높이 미확보)와 그에 따른 기능유지 여부 등 향후 정밀한 시설물 모니터링이 필요할 것으로 판단되며, 아울러 해운대 해수욕장의 자연복원력 평가와 함께 백사장의 모래가 어느 경로로, 얼마나 유출되는지에 대한 연구도 필요할 것으로 사료된다.

후 기

이 연구는 부경대학교 자율창의학술연구비(2019년)의 지원으로 수행되었습니다.

Reference

[1] Holman, R. A.(1981), Infragravity energy in the surf zone, *Journal of Geophysical Research*, 86(C7), pp. 6442-6450.

[2] Holman, R. A., A. H. Sallenger Jr, T. C. Lippmann, and J. W. Haines(1993), The application of video image processing to the study of nearshore processes, *Oceanography*, Vol. 6, No 3.

[3] Holman, R. A. and J. Stanley(2007), The history and technical capabilities of Argus, *Coastal Engineering*, 54, pp. 477-491.

[4] Kang, T. S., J. B. Kim, G. Y. Kim, J. K. Kim, and C. S. Hwang(2017), Variation Characteristics of Haeundae Beach using Video Image, *Journal of Ocean Engineering and Technology*, Vol. 31, No. 1, pp. 60-68.

[5] Kang, T. S., K. H. Kim, S. Y. Nam, and C. S. Hwang(2009), The Characteristics of Haeundae Beach Morphodynamics using Video Monitoring Method, *Proceeding of the Korean Society of Marine Engineering*, pp. 347-348.

[6] Kang, T. S., S. Y. Nam, M. H. Kim, and K. K. Baek(2007), Study on Characteristics of Coastal Erosion Status using Real-time Video Monitoring Technique, *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 7, No. 1, pp. 47-56.

[7] Kim, T. R.(2016), South/Jeu Coast Beach Erosion Analysis Using Camera Monitoring Data, *Journal of the Korean Geomorphological Association*, Vol. 23, No. 1, pp. 129-140.

[8] Kim, T. R. and D. S. Kim(2014), Benefits of Camera Monitoring System in Studying on Coastal Dune Erosion by Typhoon, *Journal of the Korean Geomorphological Association*, Vol. 21. No. 4, pp. 41-52.

[9] Kim, T. R., K. S. Lee, and K. D. Suh(1998), Review of Coastal Environmental Measurement Techniques Using Video Monitoring, *Journal of Korean Society of Coastal and Ocean Engineers*, Vol. 10, No. 1, pp. 45-53.

[10] Lee, S. J., G. H. Lee., T. S. Kang, Y. T. Kim, and T. L. Kim(2015), Monitoring of Tidal Sand Shoal with a Camera Monitoring System and its Morphologic Change, *Journal of the Korean Society of Marine Engineering*, Vol. 39, No. 3, pp. 326-333.

[11] MOF(2017), Coastal Erosion Monitoring Survey in 2017, Ministry of Oceans and Fisheries.

[12] MOF(2018), Coastal Erosion Monitoring Survey in 2018, Ministry of Oceans and Fisheries.

Received : 2019. 12. 11.

Revised : 2019. 12. 23.

Accepted : 2019. 12. 27.