

태풍 곤파스 전·후 고창 광승리 사질 조간대의 표층 퇴적물과 집적 특성

강솔잎, 양우현*

전북대학교 과학교육학부, 과학교육연구소

Characteristics of Surface Sediments and Accumulation before and after the Typhoon Kompasu in the Gochang Gwangseungri Sandy Intertidal Flat, Korea

Sol Ip Kang, Woo Hun Ryang*

*Division of Science Education and Institute of Science Education,
Jeonbuk National University*

요약 : 대조차 개방형 조간대 퇴적물에 대한 태풍 효과를 한국 서해안 고창 광승리 조간대에서 연구하였다. 2010년 태풍 곤파스 전·후에 나타난 표층 퇴적물 조직, 집적, 퇴적상 변화를 관측하였다. 태풍 곤파스는 2010년 9월 1일과 2일 사이에 한반도 남서부 연안에 상륙하여 내륙을 관통하였다. 태풍 곤파스 전·후에 고창 광승리 조간대의 측선을 따라 30m 간격으로 표층 퇴적물을 채취하고 집적 특성을 기술하였다. 광승리 조간대를 평균고조면, 평균해수면, 평균저조면을 기준으로 고조대, 중조대, 저조대로 세분하여 연구하였다. 태풍 곤파스 전·후 각 조간대의 표층 퇴적물은 퇴적물 조직의 입도와 분급에서 거의 변화를 보이지 않은 반면, 왜도는 중조대와 저조대에서 태풍 전보다 태풍 후의 왜도 값이 증가하였다. 태풍 곤파스 후에 고조대와 중조대는 퇴적되었고 저조대는 침식되었다. 고조대에서 저조대 방향으로 갈수록 집적이 감소하였다.

주요어 : 태풍 전·후, 2010년 태풍 곤파스, 대조차 조간대, 표층 집적, 표층 퇴적물 조직

Abstract : Typhoon effects on macrotide open-coast intertidal sediments were investigated in the Gochang Gwangseungri sandy intertidal flat on the Korean western coast. Variations in the surface sediment texture, accumulation, and sedimentary facies were observed before and after the Typhoon Kompasu in 2010. The typhoon Kompasu landed on the southwestern coast of the Korean Peninsula and passed inland between September 1st and 2nd, 2010, respectively. Surface sediments and their accumulation before and after the typhoon were sampled and measured at intervals of 30 m along a survey line on the Gwangseungri intertidal flat. The intertidal areas were divided into

* Corresponding Author: Woo Hun Ryang, Division of Science Education and Institute of Science Education, Jeonbuk National University, 567 Baekje-daero, Deokjin-gu, Jeonju-si, Jeonbuk State, 54896, Korea, ryang@jbnu.ac.kr

high, middle, and lower tidal zones based on the mean high-water level, mean sea level, and mean low-water level, respectively. The surface sediments of each tidal zone show rare variations in grain size and sorting of sediment texture before and after the typhoon Kompasu, whereas negative skewness values increased in the middle and lower tidal zones after the typhoon rather than before the typhoon. Surface accumulation represents deposition in the upper and middle tidal zone and erosion in the lower tidal zones after the typhoon. The accumulation decreased from the high to the lower tidal zones.

Key words : before and after the typhoon, typhoon Kompasu in 2010, macro-tide intertidal flat, surface accumulation, surface sediments texture

1. 서론

태풍과 폭풍에 의한 강한 파랑 에너지는 조간대 표층 퇴적물에 비교적 큰 영향을 준다 (Kim, 2012). 강한 바람을 동반한 태풍 또는 계절성 폭풍은 조간대에 높은 파랑과 강한 해수 유동으로 해수면의 상승과 함께 단기간에 조간대 지형과 표층 퇴적물을 변화시키는 주요 요인이 된다(Otvos, 2004; Stone *et al.*, 2004; Sallenger *et al.*, 2006; Adam and Brian, 2008; Claudino-Sales *et al.*, 2008; Houser and Hamilton, 2009; Choi *et al.*, 2012; Kang *et al.*, 2019; Kang and Ryang, 2023). 태풍에 의한 파랑과 해수의 유동은 태풍의 경로, 강도, 지속 시간에 따라 바뀌기 때문에 태풍에 의한 영향은 다양한 연안 변화를 일으킬 수 있다(Qi *et al.*, 2010). 한편 태풍 효과는 대체로 연안 퇴적물을 침식시키지만, 연안의 위치에 따라 일부 영역에서 태풍의 영향이 약하거나 거의 없는 경우도 보고되었다(Sallenger, 2000; Stockdon *et al.*, 2007; Lee and Chang, 2019; Son *et al.*, 2019). 또한 조간대에서 퇴적물의 유출과 유입은 연안역 파랑에 의해 강화되는 연안류 및 이안류, 조류 등과도 연계된다 (Komar, 1976; Davis and Fitzgerald, 2004). 조간대의 유형과 태풍의 특성에 따라 다양하게 변화하는 표층 퇴적물과 지형 변화에 대한 연구

가 필요하다.

국내 조간대의 태풍 전·후 연구는 충남 파도리 해빈의 태풍 전·후 지형변화 특성, 부산 해운대에서 태풍 내습에 의한 침식 특성, 일산 해변에서 태풍 기인 연안 침식 예측 분석, 태풍 내습 시 자갈 해빈의 지형 반응에 관한 연구 등 대부분 지형 변화 연구가 주로 수행되었다 (Yu *et al.*, 2018; Kang *et al.*, 2019; Son *et al.*, 2019; Lee and Chang, 2020). 태풍 전·후 집적 변화와 퇴적물 조직 변화 연구를 동시에 진행한 연구로는 개방형 환경인 고창 동호리 조간대에서 2010년 태풍 곤파스와 2018년 태풍 솔릭 통과 전·후의 지형 변화를 통한 집적 변화와 퇴적물의 입도 변화를 분석하고 비교한 연구가 있다(Kang *et al.*, 2019; Kang and Ryang, 2023). 대조차 개방형 직선형 해안을 보이는 한반도 서해안의 고창 조간대의 경우에는 조석과 파랑의 영향을 동시에 고려해야 한다. 이를 위해 조간대를 조위에 따라 세분화하여 연구하는 것이 중요하다(Kang *et al.*, 2015; Kang *et al.*, 2016; Kang *et al.*, 2019); Kang and Ryang, 2023). 전라북도 서해안 광승리 조간대에서 조간대를 세분화하여 태풍 곤파스 전·후에 표층 지형과 집적, 표층 퇴적물 퇴적상을 파악하였다.

2. 지역 개관

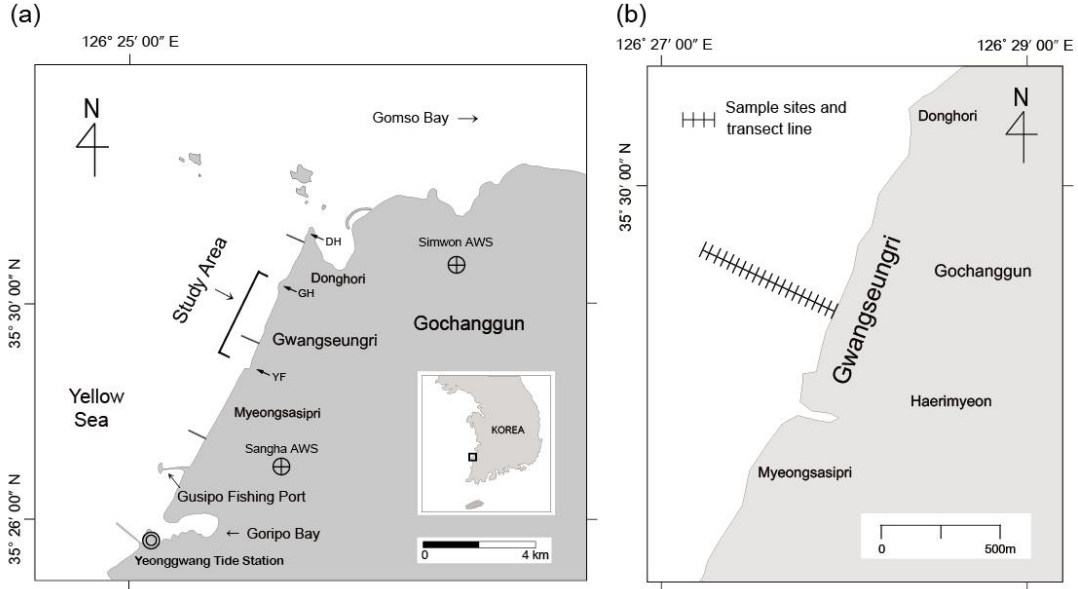


Figure 1. (a) Location map of study area in the Gochang coast (Kang et al., 2019). Note the location of the Yeonggwang tide station, and the Simwon and Sangha AWS (DH: Donghori Headland; GH: Gwangseungri Headland; YF: Yongduri Fish Farm; ⊕ AWS: Automatic Weather System; ⊙ Yeonggwang Tide Station). (b) The Gwangseungri transect line with ticks of 30 m interval represents monitoring set up for elevation changes and sampling of surface sediments.

한반도 서해안에 위치한 고창 조간대는 한국의 갯벌(getbol, Korean tidal flats)로 전북 서해안 유네스코 세계지질공원과 세계자연유산 목록에 등재된 지역이다(Gochanggun, 2023). 고창 조간대는 동호리, 광승리, 명사십리 조간대로 구분되며, 해안선은 북북동-남남서 방향으로 약 8.5km 거리의 직선형이다(Fig. 1; Kang, 2019). 연구 지역인 광승리 조간대는 동호리 조간대와 명사십리 조간대 사이에 위치하며 북단의 광승리 돌출 암석 해안으로부터 남단의 용두리 양식장까지 약 2.7km 구간이다(Fig. 1; Kang, 2019). 광승리 조간대는 외해에 보호섬과 사주가 없는 개방형 환경이며 인근에 비교적 큰 강이 존재하지 않아 하천으로부터 광승리 조간대로 퇴적물의 공급은 거의 없다(Korea

Institute of Geoscience and Mineral Resources, 2002). 광승리 조간대의 배후에는 넓은 사구가 발달해 있다(So *et al.*, 2012). 배후 사구는 육지로부터 접근이 용이하여 활발히 이용되고 있으며 보존 상태가 양호하다. 광승리 조간대의 지형은 고조대에서 중조대, 저조대 방향으로 갈수록 고도가 낮아지고 경사가 완만하다(So *et al.*, 2012; Kang, 2019). 광승리 조간대의 저질은 주로 모래 퇴적물로 구성되며, 세립사와 극세립사 퇴적물의 구성 비율이 높게 나타난다. 조간대의 고조대에서 중조대, 저조대 방향으로 갈수록 모래 퇴적물의 평균 입도가 세립해진다(So *et al.*, 2012; Kang, 2019).

광승리 조간대 일대의 조석은 반일주조형이며 대조 평균은 5.58m, 소조 평균은 2.49m, 평균

태풍 곤파스 전·후 고창 광승리 사질 조간대의 표층 퇴적물과 집적 특성

Table 1. Tide level and deviation of the Yeonggwang tide station near the Gwangseungru intertidal flat before and after the typhoon Kompasu: (a) before the typhoon, (b) during the typhoon, and (c) after the typhoon (Korea Hydrographic and Oceanographic Administration, 2010). Note average tide and deviation during the typhoon. For location of the station, see Fig. 1.

Data		High tide (m)			Low tide (m)			Tide deviation (m)
		ante meridiem	post meridiem	Avg.	ante meridiem	post meridiem	Avg.	
(a)	28-Aug.	6.3	6.2	6.0	0.9	1.1	1.2	4.8
	29-Aug.	6.1	6.1		0.9	1.3		
	30-Aug.	5.9	5.9		1.0	-		
	31-Aug.	5.6	5.8		1.6	1.1		
(b)	1-Sep.	5.3	5.6	5.3	2.0	1.5	1.7	3.6
	2-Sep.	5.1	5.1		2.4	1.8		
	3-Sep.	4.5	5.1		2.7	1.9		
(c)	4-Sep.	4.4	5.4	6.4	2.8	1.8	0.7	5.7
	5-Sep.	4.8	-		2.3	1.4		
	6-Sep.	6.0	5.4		1.8	0.9		
	7-Sep.	6.4	6.0		1.1	0.4		
	8-Sep.	6.9	6.6		0.7	0.2		
	9-Sep.	7.1	6.9		0.3	0.0		
	10-Sep.	7.1	7.1		0.1	0.1		
	11-Sep.	6.9	7.0		0.1	0.5		
12-Sep.	6.8	6.8	0.2					

조차는 4.36m이다. 구시포항을 기준으로 구한 평균해수면(mean sea level; MSL)은 3.35m, 평균고조면(mean high water level; MHWL)은 5.35m, 평균저조면(mean low water level; MLWL)은 1.34m이다(Korea Hydrographic and Oceanographic Administration, 2018; Kang and Ryang, 2023). 광승리 조간대 일대의 여름철 외해 주 풍계는 남동풍이며, 연안에서 나타나는 평균 풍계는 남서풍과 북서풍으로 나타났다(Korea Meteorological Administration, 2011; Kang, 2019; Kang and Ryang, 2023). 광승리 조간대 일대의 평균파고와 유의파고는 겨울에 상대적으로 큰 파고와 긴 파장이 나타나며, 여름에는 상대적으로 낮은 파고와 짧은 파장을 보이는 특성이 있다(Korea Hydrographic

and Oceanographic Administration, 2018; Kang, 2019; Kang and Ryang, 2023).

3. 태풍 전·후 조석과 파랑 특성

태풍 자료는 기상청에서 발표한 2010년 태풍 분석 보고서를 이용하였다(Figs. 2 and 3; Korea Meteorological Administration, 2011). 조위 자료는 국립해양조사원의 조위 자료(Figs. 2, 3 and Table 1; Korea Hydrographic and Oceanographic Administration, 2010)를 이용하여 분석하였다. 바람과 파랑 자료는 기상청이 운영하는 심원 자동관측시스템의 기상 자료(Figs. 2, 3 and Table 2; Korea Meteorological Administration, 2010)를 이용하였다. 광승리

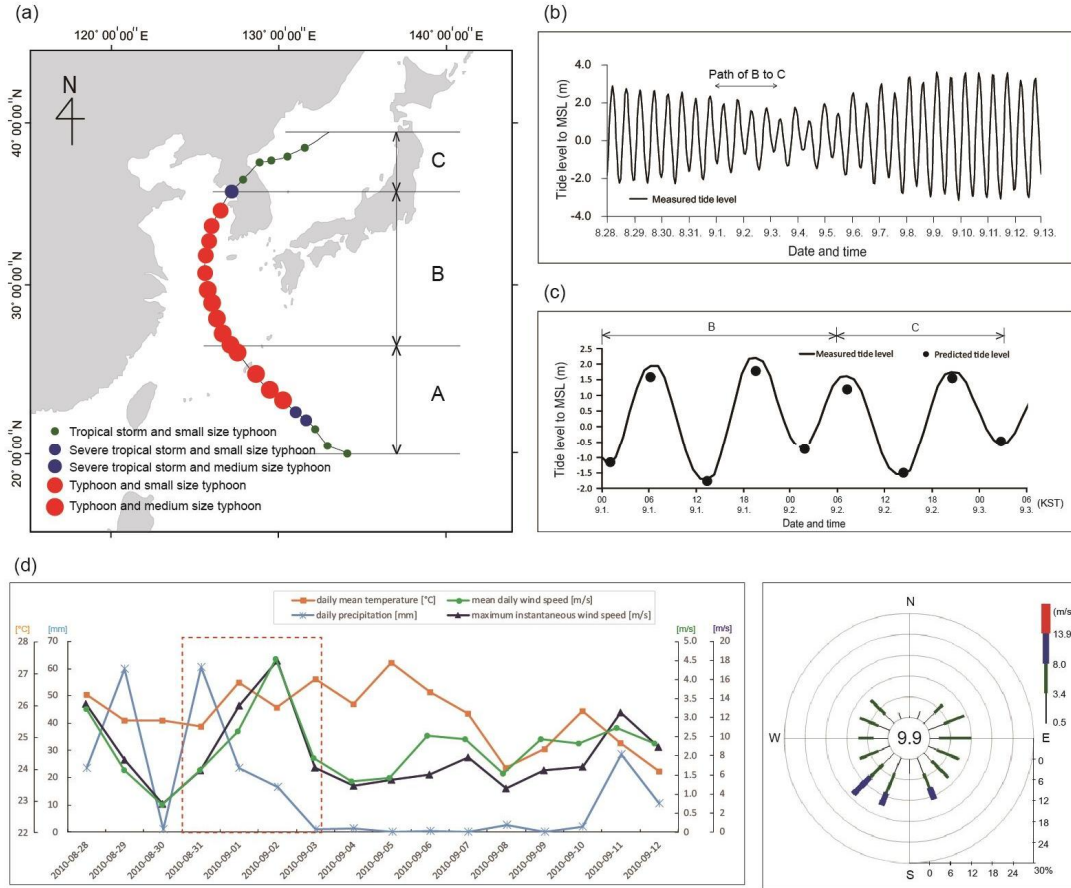


Figure 2. Path and tidal record of the typhoon Kompasu in 2010 (Kang et al., 2019), displayed using data of Korea Meteorological Administration (2011) and Korea Hydrographic and Oceanographic Administration (2010). (a) Movement route of the typhoon. Location and size of circles show path and intensity of the typhoon from the occurrence to dissipation. A: the typhoon of emergency zone; B: the typhoon from emergency zone to landfall; C: the typhoon landfall to dissipation. (b) Tidal records during the study period. (c) Tidal record during the path of B to C. B: the typhoon from emergency zone to landfall, C: the typhoon landfall to dissipation. MSL: mean sea level. (d) Weather information (mean daily wind speed, maximum instantaneous wind speed, daily mean temperature, and daily precipitation) and wind rose diagrams from the Simwon automatic weather stations near the Gwangseungri intertidal flat from 28, August to 12, September in 2010 (modified after Korea Meteorological Administration, 2010).

조간대에서 가장 가까운 영광 파고 부이 관측소 가 2013년 이후에 설치되어 2010년 태풍 곤파

태풍 곤파스 전·후 고창 광승리 사질 조간대의 표층 퇴적물과 집적 특성

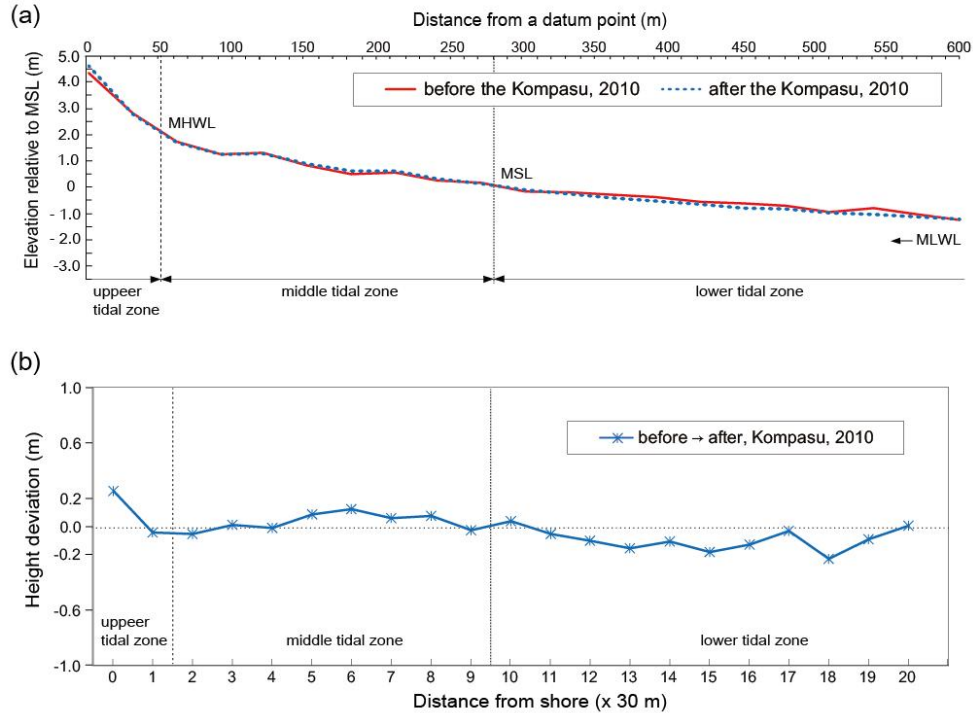


Figure 3. Elevation features of the transect line in the Gwangseungri intertidal flat (for location, see Fig. 1). MSL: mean sea level; MHWL: mean high water level; MLWL: mean low water level. (a) Topography before and after the typhoon Kompas. (b) Variation of elevation in the Gwangseungri intertidal flat (variation of elevation=elevation after typhoon-elevation before typhoon).

스 시기의 파랑자료를 획득할 수 없어 바람 자료로 파랑 효과를 해석하였다.

3.1. 태풍 곤파스

2010년 제7호 태풍 곤파스(Kompasu)는 서해안으로 상륙하여 한반도를 관통한 태풍이다 (Fig. 2; Korea Meteorological Administration, 2010, 2011). 태풍 곤파스는 2010년 8월 29일 21시경 일본 오키나와 남동쪽 약 880km 부근 해상(21.2°N, 134.4°E)에서 발생하였다(Korea Meteorological Administration, 2011). 곤파스는 31일 9시경 중심기압 960hPa, 최대 풍속

40ms⁻¹로 크기는 소형이나 강도는 강한 태풍으로 발달하였다. 태풍 곤파스는 9월 1일부터 3일까지 한반도를 통과하였다(Fig. 2). 연구 지역인 서해안 일대는 9월 1일 15시에서 9월 2일 10시까지 태풍 곤파스의 영향을 받았다. 곤파스 통과 기간에 서해의 수온이 다른 해역보다 2~3°C 높아 태풍 곤파스가 서해안을 통과하는 동안 강한 세력을 유지하였다. 태풍 곤파스는 서해안 지역에서 최대순간풍속이 최고값을 경신하며 강한 바람으로 큰 피해를 입혔다(Korea Meteorological Administration, 2011).

3.2. 조석과 파랑의 특성

Table 2. Daily wind speed and wave data near the Gwangseungri intertidal flat before and after the typhoon Kompasu: (a) before the typhoon, (b) during the typhoon, and (c) after the typhoon (Korea Meteorological Administration, 2010). There are Simwon stations of automatic weather system (For location, see Fig. 1.). Note average wind speed, maximum instantaneous wind speed increases during typhoon.

Date		Average wind speed (ms ⁻¹)	Maximum instantaneous speed (ms ⁻¹)
(a)	28-Aug.	3.8	16.2
	29-Aug.	1.5	9.1
	30-Aug.	0.7	6.3
	31-Aug.	1.6	8.5
(b)	1-Sep.	2.7	14.1
	2-Sep.	4.1	19.8
	3-Sep.	1.6	8.2
(c)	4-Sep.	1.3	8.2
	5-Sep.	1.7	7.8
	6-Sep.	4.4	9.4
	7-Sep.	4.2	10.4
	8-Sep.	2.0	10.7
	9-Sep.	2.3	7.5
	10-Sep.	2.5	10.2
	11-Sep.	2.9	14.3
	12-Sep.	2.4	7.8

태풍 곤파스 전·후에 조석 특성을 파악하기 위하여 영광 조위 관측소 자료를 이용하였다 (Figs. 2, 3 and Table 1; Korea Hydrographic and Oceanographic Administration, 2010). 태풍 곤파스가 광승리 조간대를 통과한 시기는 대조에서 소조로 향하는 기간으로 상대적으로 조위가 낮은 시기였다(Fig. 2; Kang *et al.*, 2019; Kang and Ryang, 2023). 태풍 곤파스 통과 전의 조위는 평균 고조 6.0m, 평균 저조 1.2m, 조석 편차 4.8m로 나타났다(Fig. 2 and Table 1; Kang *et al.*, 2019; Kang and Ryang, 2023). 태풍 곤파스 통과 기간 동안의 평균 고조와 평균 저조는 각각 5.3m, 1.7m이며 조석 편차는 3.6m이다(Table 1). 태풍 곤파스 통과 후의 평균 고조는 6.4m, 평균 저조는 0.7m이며, 조석 편차는 5.7m이다(Table 1). 태풍 곤파스는 조차가 작은 소조 전·후에 서해안

을 통과하였으며 태풍이 통과하는 동안 태풍 전·후 기간에 비해 조위가 낮았다(Figs. 2, 3 and Table 1; Kang *et al.*, 2019; Kang and Ryang, 2023).

태풍 곤파스 전·후에 나타난 파랑 특성을 파악하기 위하여 연구 지역에서 가장 가까운 고창군 심원의 자동기상관측시스템을 이용하였다 (Figs. 2, 3 and Table 2; Korea Meteorological Administration, 2010; Kang *et al.*, 2019; Kang and Ryang, 2023). 태풍 곤파스 통과 전 연구지역의 평균 풍속과 최대 풍속은 각각 1.9ms⁻¹, 10.0ms⁻¹로 남동풍이 우세하였다(Fig. 2 and Table 2). 태풍 곤파스 기간의 평균 풍속은 각각 2.8ms⁻¹, 최대 풍속은 14.0ms⁻¹로 남서풍이 우세하였다(Fig. 2 and Table 2). 태풍 곤파스 통과 후의 평균 풍속과 최대 풍속은 2.6ms⁻¹, 9.6ms⁻¹ 남풍이 우세하였다(Fig. 2

태풍 곤파스 전·후 고창 광승리 사질 조간대의 표층 퇴적물과 집적 특성

Table 3. Gradient data and accumulation of the transect lines according variations in the Gwangseungri intertidal flat before and after the typhoon Kompasu: (a) Gradient and (b) Accumulation (Accumulation=after typhoon elevation-before typhoon elevation).

(a) Gradient				
	Upper tidal zone	Middle tidal zone	Lower tidal zone	Intertidal flat
Before	-1.5780	-0.2250	-0.1078	-0.2039
After	-1.8740	-0.2156	-0.1122	-0.2152

(b) Accumulation				
	Upper tidal zone	Middle tidal zone	Lower tidal zone	Intertidal flat
	+0.11	+0.03	-0.10	-0.03

and Table 2). 태풍 곤파스가 통과하는 동안 고창 조간대 일대의 평균 풍속, 최대 풍속, 평균 파고, 최대최고파고가 크게 증가하였다 (Kang *et al.*, 2019; Kang and Ryang, 2023).

4. 연구 결과

4.1. 조간대의 구분과 집적의 변화

광승리 조간대를 퇴적물의 입도 특성과 평균 해면을 기준으로 고조대, 중조대, 저조대로 세분하여 연구하였다(Fig. 3). 고조대는 육지 기준점에서 평균고조면(MHWL)까지로 해안으로부터 수평거리 약 0~50m 구간이다(Fig. 3; Kang, 2019). 중조대는 평균고조면에서 평균해수면(MSL)까지로 해안으로부터 수평거리 약 50~270m 구간이다(Fig. 3; Kang, 2019). 저조대는 평균해수면에서 평균저조면(MLWL)까지로 해안으로부터 수평거리 약 270~600m 구간이다(Fig. 3; Kang, 2019). 광승리 조간대의 지형 단면은 태풍 곤파스 전·후 모두 고조대에서 저조대 방향으로 갈수록 지형고도가 낮아지며 지형경사가 완만하게 나타났다(Fig. 3 and Table 3).

광승리 조간대의 고조대는 중·저조대에 비해 지형고도가 가장 높고 지형경사는 상대적으로 급한 형태를 보인다(Fig. 3). 태풍 곤파스 전·후

고조대의 지형경사는 태풍 곤파스 전 -1.5780과 곤파스 후 -1.8740으로 나타났다(Fig. 3 and, Table 3). 고조대는 태풍의 영향으로 태풍 통과 전보다 태풍 통과 후에 지형경사와 지형고도가 증가하였다. 중조대의 지형고도는 고조대에 비해 낮고 저조대에 비해 높으며 지형경사는 고조대보다 완만하고 저조대보다 급한 형태를 보인다(Fig. 3 and Table 3). 중조대에서 지형경사는 태풍 곤파스 전 -0.2250와 곤파스 후 -0.2156으로 나타났다(Fig. 3 and Table 3). 중조대는 태풍 통과 후 지형경사는 감소하였고 지형고도는 낮아졌다. 저조대는 고조대와 중조대에 비해 지형고도가 가장 낮고 지형경사가 가장 완만하게 나타났다(Fig. 3 and Table 3). 저조대에서 지형경사는 태풍 곤파스 전 -0.1078과 곤파스 후 -0.1122으로 지형경사가 증가하였다(Fig. 3 and Table 3). 태풍 곤파스 전·후 광승리 조간대 전체의 지형경사는 곤파스 전 -0.2039에서 곤파스 후 -0.2152로 지형경사가 증가하였다(Fig. 3 and Table 3). 태풍 전·후 지형고도와 지형경사는 고조대에서 가장 큰 변화를 보이고 중·저조대에서 상대적으로 변화가 작게 나타났다.

광승리 조간대의 태풍 곤파스 전·후의 지형고도 편차를 이용하여 집적 특성을 비교하였다(Fig. 3 and Table 3). 광승리 조간대의 곤파스 전·후 집적은 고조대에서 +0.11m, 중조대에서 +0.03m로 퇴적된 반면, 저조대의 집적은

Table 4. Composition of surface sediments in the Gwangseungri intertidal flat before and after the typhoon Kompasu.

Kompasu		Sand (%)					Mud (%)
		very coarse	coarse	medium	fine	very fine	
Before	Avg.	0	1.2	13	71.6	13.9	0.3
	range	0	0~20.5	5.2~47.3	29.2~77.8	3.0~19.6	0~1.7
After	Avg.	0	1.9	14.9	70.9	12.3	0
	range	0~0.5	0~32.3	5.6~46.1	19.7~78.5	1.5~18.0	0~0.3

Table 5. Statistical parameters of surface sediment texture in the Gwangseungri intertidal flat during the typhoon Kompasu.

Kompasu		Upper tidal zone	Middle tidal zone	Lower tidal zone	Intertidal flat
mean (Φ)	before	1.98	2.49	2.60	2.49
	after	1.89	2.43	2.56	2.45
sorting (Φ)	before	0.59	0.46	0.44	0.46
	after	0.57	0.46	0.46	0.47
skewness	before	0.11	0.01	-0.01	0.01
	after	0.12	-0.04	-0.07	-0.04

-0.10m로 침식되었다. 조간대의 전체 구간에서는 -0.03m의 집적을 보이며 태풍 곤파스 전에 비해 태풍 후 지형고도가 침식되는 경향을 보였다(Fig. 3 and Table 3).

4.2. 태풍 전·후 표층 퇴적물의 조직과 분포

4.2.1. 표층 퇴적물의 구성

광승리 조간대의 여름철 표층 퇴적물은 대부분 세립한 모래 퇴적물로 구성되며 자갈은 거의 없고 머드 퇴적물이 1% 이내로 분포한다(Kang, 2019). 태풍 곤파스 전·후 표층 퇴적물의 구성 비율을 나타냈다(Table 4). 광승리 조간대에서는 태풍 전·후 모두 자갈은 나타나지 않았다. 광승리 조간대의 태풍 곤파스 전 모래, 머드의 평균 분포 비율은 각각 99.7%, 0.3%이다(Table 4). 태풍 곤파스 후 모래, 머드의 평균 비율은 각각 100%, 0%로 나타났다. 태풍 전 머드 퇴적물이 일부 분포하였으나 태풍 후에

머드는 분산되어 사라지고 모래 퇴적물이 100%를 차지하였다(Table 4). 태풍 곤파스 통과 전 모래 퇴적물의 분포 비율은 세립사가 가장 높았고 극세립사와 중립사가 순으로 높게 나타났다(Table 4). 태풍 곤파스 통과 후 모래 퇴적물의 분포는 세립사, 중립사, 극세립사 순으로 높게 나타나며 태풍 전에 비해 태풍 후에 상대적으로 중립사가 증가하였다(Table 4). 광승리 조간대의 태풍 곤파스 전·후 표층 퇴적물 유형을 Folk(1968)의 입도 분류 도표에 도시하였다(Fig. 4). 광승리 조간대는 태풍 곤파스 전·후에 모두 모래(sand)퇴적상 영역에 도시되며 단일 퇴적상을 보였다(Fig. 4). 광승리 조간대의 태풍 곤파스 전·후의 표층 퇴적물의 최빈 입도는 모두 2.5~3.0 ϕ 의 범위로 나타났다(Fig. 4). 입도의 모드 유형은 태풍 곤파스 전·후 모두 단일 모드 형태를 보였다(Fig. 4). 단일 퇴적상과 단일 모드 유형 분포를 통해 태풍 곤파스 전·후 광승리 조간대는 파랑의 영향이 우세한 단일 에너지 환경으로 해석된다(Kang, 2019).

태풍 곤파스 전·후 고창 광승리 사질 조간대의 표층 퇴적물과 집적 특성

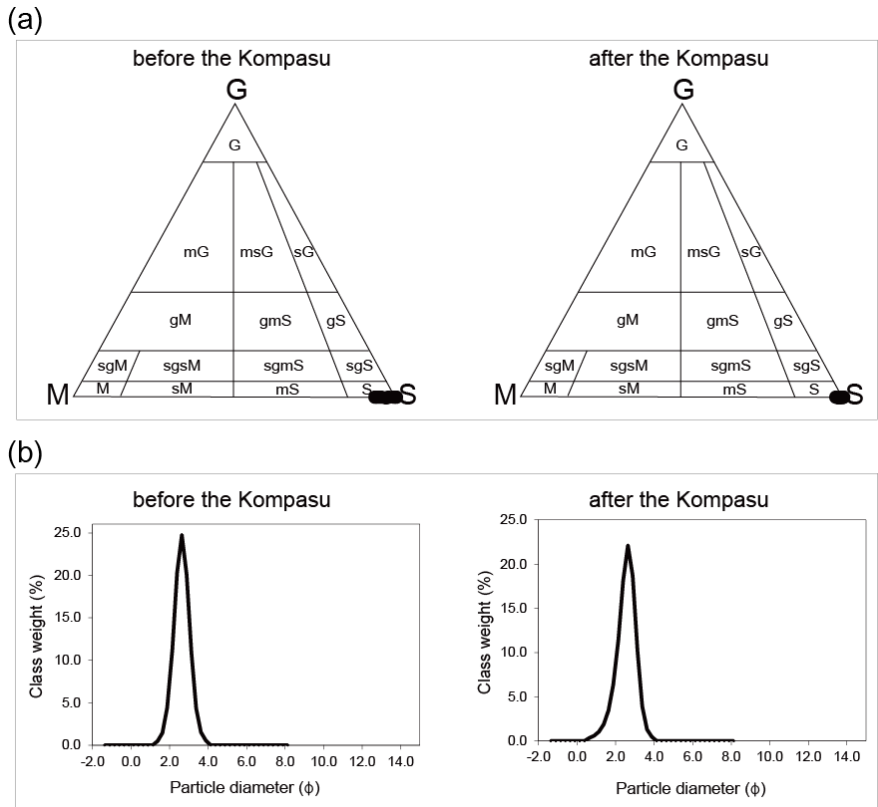


Figure 4. Composition of surface sediment before and after the typhoon Kompasu in the Gwangseungri intertidal flat: (a) ternary diagrams of gravel, sand, and mud ratio of surface sediment and (b) the modes of particle diameter.

4.2.2. 표층 퇴적물의 구간별 입도 특성

광승리 조간대에서 태풍 곤파스 전·후 표층 퇴적물의 입도 특성을 고조대, 중조대, 저조대로 세분화하여 비교하였다(Table 5). 광승리 조간대 표층 퇴적물의 태풍 곤파스 전 평균 입도는 고조대, 중조대, 저조대에서 각각 1.98 ϕ , 2.49 ϕ , 2.60 ϕ 로 나타났다. 태풍 곤파스 후 평균 입도는 고조대에서 1.89 ϕ , 중조대에서 2.43 ϕ , 저조대에서 2.56 ϕ 로 나타났다(Table 5). 광승리 조간대 고조대에서 일부 중립사가 분포하였으며 중·저조대로 갈수록 세립해지는 경향을 보였다(Fig. 5 and Table 5). 광승리 조간대 평균 입

도는 태풍 곤파스 전·후 모두 세립사가 우세하게 분포하였으며 태풍 전·후에 평균 입도 변화량이 $\pm 0.05\phi$ 이내로 유의미한 입도의 변화는 나타나지 않았다(Fig. 5). 광승리 조간대 표층 퇴적물의 태풍 곤파스 전 평균 분급은 고조대에서 0.59 ϕ 로 중간 양호분급(moderately well sorted)을 보였으며, 중조대, 저조대에서 각각 0.46 ϕ , 0.44 ϕ 로 양호분급(well sorted)이 나타났다. 태풍 곤파스 후 평균 분급은 고조대, 중조대, 저조대에서 각각 0.57 ϕ , 0.46 ϕ , 0.46 ϕ 로 태풍 곤파스 전과 같이 중간 양호분급에서 양호분급이 나타났다(Table 5). 광승리 조간대의 태풍 곤파스 전 평균 왜도는 태풍 곤파스 통과

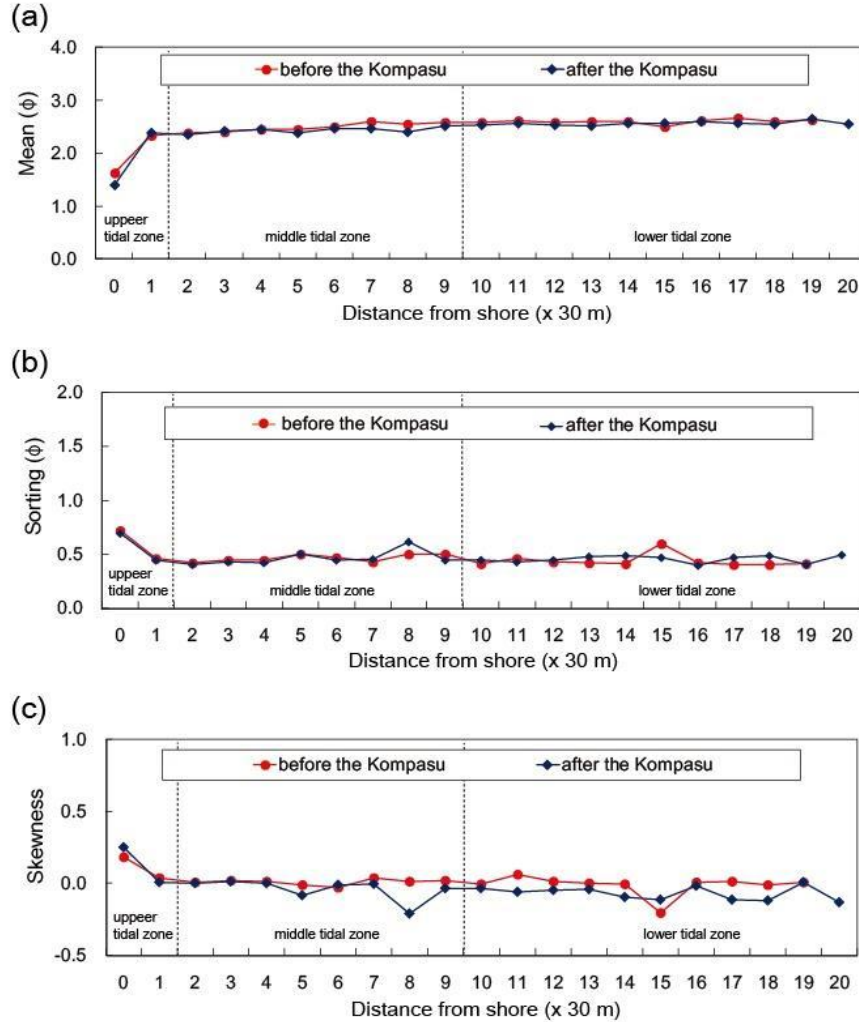


Figure 5. Variations of textural parameter of mean grain size from the upper to lower intertidal zone before and after the typhoon Kompasu in the Gwangseungri intertidal flat: (a) mean, (b) sorting, and (c) skewness. Two vertical dot lines indicate the MHWL and MSL in Fig. 3, respectively.

전 평균 왜도는 고조대에서 +0.11로 양의 왜도 (fine skewed)를 보였다. 중조대와 저조대에서는 각각 +0.01, -0.01로 나타나며 대칭 왜도 (symmetric skewed)가 나타났다(Table 5). 태풍 곤파스 통과 후 고조대에서 +0.12로 양의 왜도, 중조대에서 -0.04로 대칭 왜도, 저조대에

서 -0.07로 음의 왜도(coarse skewed)로 변화하였다(Table 5). 광승리 조간대의 태풍 곤파스 전 고조대는 중립사, 중간양호분급, 양의 왜도를 보인 반면 중조대와 저조대에서 세립사, 양호분급, 대칭 왜도가 나타났다. 태풍 곤파스 후 고조대와 중조대의 유의미한 변화는 없었으나

태풍 곤파스 전·후 고창 광승리 사질 조간대의 표층 퇴적물과 집적 특성

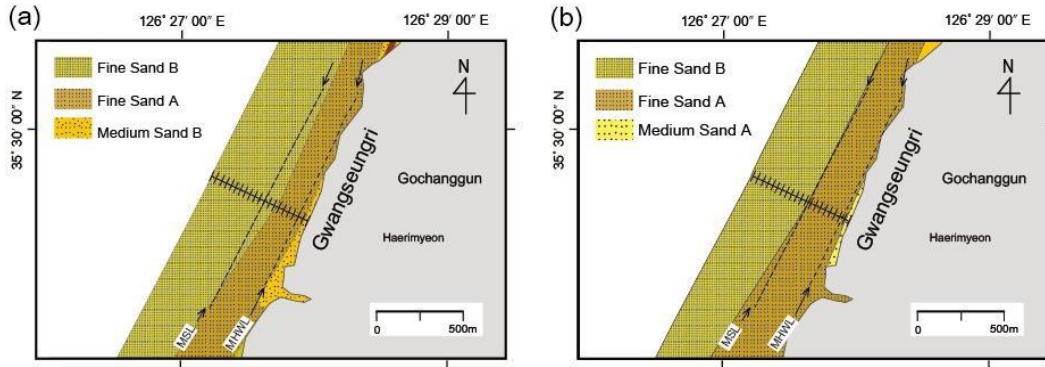


Figure 6. Spatial distribution patterns of the grain size in the Gwangseungri intertidal flat before and after the typhoon: (a) before the typhoon and (b) after the typhoon. Medium Sand A: 1.0 ~ 1.5 ϕ ; Medium Sand B: 1.5 ~ 2.0 ϕ ; Fine Sand A: 2.0 ~ 2.5 ϕ ; Fine Sand B: 2.5 ~ 3.0 ϕ . Arrows indicate the MHWL and MSL in Fig. 4, respectively.

저조대에서 음의 왜도로 변화하였다(Fig. 5 and Table 5).

4.2.3. 표층 퇴적물의 공간 분포

태풍 곤파스 전·후 광승리 조간대의 표층 퇴적물은 대부분 모래 퇴적물로 구성된다(Figs. 5, 6 and Table 5). 태풍 전·후 표층 퇴적물의 변화 특성을 비교하기 위하여 모래 퇴적물 입도의 크기를 0.5 ϕ 간격으로 세분하여 30m 간격으로 도시하였다(Fig. 6). 광승리 조간대의 태풍 곤파스 전·후 퇴적물은 중립사 A(1.0~1.5 ϕ), 중립사 B(1.5~2.0 ϕ), 세립사 A(2.0~2.5 ϕ), 세립사 B(2.5~3.0 ϕ)로 구성된다(Fig. 6). 태풍 곤파스 전 광승리 조간대의 고조대에서 중립사 B가 분포하고, 중조대에 세립사 A, 저조대에 세립사 B가 분포하였다(Fig. 6). 태풍 곤파스 후 광승리 조간대의 고조대에 중립사 A가 분포하였고, 중조대에 세립사 A, 저조대에 세립사 B가 분포하였다(Fig. 6). 태풍 곤파스 전·후 고조대의 퇴적물은 중립사 B에서 중립사 A로 변화하며 상대적으로 조립해진 경향이 나타났다. 중조대와 저조대의 퇴적물은 태풍 전·후 모두 세립사 A, 세

립사 B가 우세하였으며 상대적으로 태풍 곤파스 후 중조대에서 세립사 A의 분포 범위가 확장되었다(Fig. 6). 태풍 곤파스 전·후 모두 고조대에서 저조대 방향으로 퇴적물의 입도가 세립해지는 경향이 나타났다.

5. 토의

태풍과 계절성 폭풍 등 고에너지 환경 조건은 조간대에서 해수면의 상승을 유발하고 파랑 에너지를 증가시켜 조간대 퇴적물에 영향을 준다(Stone *et al.*, 2004; Claudino-Sales *et al.*, 2008; Houser and Hamilton, 2009; Kang *et al.*, 2019; Kang and Ryang, 2023). 태풍 곤파스 전·후 광승리 조간대의 지형 변화와 표층 퇴적상 변화를 연구하였다. 광승리 조간대의 곤파스 전·후 집적은 고조대에서 +0.11m, 중조대에서 +0.03m로 퇴적되었다(Fig. 3 and Table 3). 저조대의 집적은 -0.10m로 나타나며 침식되었다. 조간대의 전 구역에서는 -0.03m의 집적을 보이며 태풍 곤파스 전에 비해 태풍 후 지형고도가 침식되었다

(Fig. 3 and Table 3). 태풍 곤파스가 통과한 시기는 조류가 약한 소조기에 해당하였다. 태풍으로 인한 강한 파랑은 퇴적물들을 부유시켰으나 낮은 조위로 인해 퇴적물을 멀리 외해로 분산시키지 못했을 것이다(Kang *et al.*, 2019; Kang and Ryang, 2023). 태풍에 의한 강한 파랑에 의해 퇴적물이 고조대 방향으로 밀려오고 낮은 조위로 인해 다시 저조대 방향으로 분산되지 못하여 고조대와 중조대에 퇴적되고 저조대에서 침식된 것으로 해석된다.

광승리 복단에 위치한 동호리 조간대의 경우 고조대, 중조대, 저조대의 집적은 태풍 곤파스 전·후에 각각 +0.03m, -0.15m, -0.37m로 나타났으며 태풍 솔릭 전·후에는 +0.02m, -0.11m, -0.21m로 나타났다(Kang *et al.*, 2019; Kang and Ryang, 2023). 동호리 조간대는 태풍 전·후 고조대에서 퇴적되고 중조대와 저조대에서 침식되었으며 전체 조간대의 집적은 -0.24m와 -0.13m로 침식되었다(Kang *et al.*, 2019; Kang and Ryang, 2023). 광승리 조간대와 동호리 조간대의 태풍 전·후의 전체 조간대에서의 침식 우세 양상이 나타났으며 고조대에서 저조대 방향으로 갈수록 집적이 감소하는 경향이 일치하였다(Fig. 3 and Table 3).

태풍 곤파스 전 광승리 조간대의 표층 퇴적물의 입도는 고조대에서 중립사, 중간 양호분급, 양의 왜도가 나타났다. 중조대와 저조대에서 세립사, 양호분급, 대칭 왜도가 나타났다. 태풍 곤파스 후 고조대와 중조대는 변화가 나타나지 않았으며 저조대에서 왜도가 대칭 왜도에서 음의 왜도로 변화하였다. 태풍 곤파스 전·후 광승리 조간대의 표층 퇴적상은 유의미한 변화가 나타나지 않은 것으로 해석된다. 태풍 시기에 강한 파랑은 조간대의 변화를 일으키지만 조석주기와 조위에 따라 변화량은 달라질 수 있다(예, Kim and Kim, 2014). 소조 또는 간조 시기에 태풍이 통과할 경우 강한 파랑에도 불구하고 이로 인한 침식과 변화량은 크지 않다(Kim

and Kim, 2014). 광승리 조간대에 태풍 곤파스가 통과한 시기는 소조 시기이므로 낮은 조위의 영향으로 상대적으로 지형 변화가 작고 퇴적상의 변화가 크지 않은 것으로 해석된다.

6. 결론

한반도 서해안의 고창 광승리 조간대에서 2010년 제7호 태풍 곤파스 전·후의 집적 변화와 표층 퇴적물 입도 특성의 변화를 연구하였다. 태풍 곤파스 전·후 광승리 조간대의 고조대, 중조대, 저조대의 집적 편차는 +0.11m, +0.03m, -0.10m로 각각 나타났다. 태풍 전에 비해 태풍 후에 고조대와 중조대는 퇴적되었고 저조대는 침식되었다. 고조대에서 중조대, 저조대 방향으로 갈수록 집적이 감소하였다. 태풍 곤파스 전 광승리 조간대 표층 퇴적물의 입도는 고조대에서 중립사, 중간 양호분급, 양의 왜도가 나타났다. 중조대와 저조대에서 세립사, 양호분급, 대칭 왜도가 나타났다. 태풍 곤파스 후 고조대와 중조대에서 입도 변화가 나타나지 않았으며 저조대에서 왜도가 대칭 왜도에서 음의 왜도로 변화하였다.

사사

논문 심사와 함께 논문의 부족한 부분을 수정해 주신 익명의 심사위원께 감사드립니다. 함께 토론을 해 주신 전북대학교 윤재린님께 감사드립니다. 입도분석 기기 사용과 실험에 도움을 주신 한국지질자원연구원 해저지질실에 감사드립니다. 이 논문은 한국과학기술정보통신부 한국연구재단의 연구과제(NRF-2022R1F1A1063126)와 해양수산부 한국해양과학기술진흥원의 연구과제(PJT200538)로 수행된 연구 결과입니다.

참고문헌

태풍 곤파스 전·후 고창 광승리 사질 조간대의 표층 퇴적물과 집적 특성

- Adam, D.S., Brian, G.J., 2008. Setup, deposition, and sedimentary characteristics of two storm overwash deposits, Abrahams Bosom Beach, Southeastern Australia. *J Coastal Res* 24:189-200.
- Blott, S.J., 2010. GRADISTAT Version 8.0: A grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments by sieving or laser granulometer. Instructions on the use of the GRADISTAT program.
- Blott, S.J., Pye, K., 2001. GRADISTAT: A grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments. *Earth Surf Process Landf* 26:1237-1248.
- Choi, K.S., Cha, Y.M., Kim, T.R., 2012. Decadal change of frequency in Korea landfalling tropical cyclone activity. *J Kor Earth Sci Soc* 33:49-58 (in Korean with English abstract).
- Claudino-Sales, V., Wang, P., Horiwitz, M.H., 2008. Factors controlling the survival of coastal dunes during multiple hurricane impacts in 2004 and 2005: Santa Rosa barrier island, Florida. *Geomorphology* 95:295-315.
- Davis, R.A.Jr., Fitzgerald, D.M., 2004. *Beaches and coasts*. Blackwell, Malden, USA.
- Folk, R.L., 1968. *Petrology of sedimentary rocks*. hemphill's, Austin, USA.
- Folk, R.L., Ward, W.C., 1957. Brazos river bar: a study in the significance of grain size parameters. *J sediment petrol* 27:3-26.
- Gochanggun, 2023. Gochang: unesco. <https://www.gochang.go.kr/gcbr/index.gochang> (July 21th 2023)
- Houser, C., Hamilton, S., 2009. Sensitivity of post-hurricane beach and dune recovery to event frequency. *Earth Surf Process Landf* 34:613-628.
- Kang, S.I., 2019. Seasonal variation and before-and-after typhoon characteristics of surface topography and sediments on the Gochang open-coast intertidal flat, southwestern Korea. dissertation, Jeonbuk National University, Jeonju, Korea (in Korean with English abstract).
- Kang, S.I., Ryang, W.H., 2023. Characteristics of Surface Sediments and Accumulation before and after the Typhoon Kompasu and Soulik in the Gochang Donghori Sandy Intertidal Flat, Korea. *J Kor Earth Sci Soc* 44:424-441 (in Korean with English abstract).
- Kang, S.I., Ryang, W.H., Chun, S.S., 2015. Characteristics of surface topography variation on the Gochang beach, southwestern coast of Korea. *J Kor Earth Sci Soc* 36:533-542 (in Korean with English abstract).
- Kang, S.I., Ryang, W.H., Chun, S.S., 2019. Characteristics of Surface Topography and Sediments before and after the Typhoon Kompasu in

- the Gochang Open-Coast Intertidal Flat, Korea. *J Kor Earth Sci Soc* 40:149-162 (in Korean with English abstract).
- Kang, S.I., Ryang, W.H., Jin, J.H., Chun, S.S., 2016. Seasonal variation of surface sediments in 2014 on the Gochang open-coast intertidal flat, southwestern Korea. *J Kor Earth Sci Soc* 37:89-106 (in Korean with English abstract).
- Kang, T.S., Lee, J.S., Kim, J.B., Kim, J.K., 2019. Characteristics of erosion variation at Haeundae Beach due to multiple typhoons. *J Kor Earth Sci Soc* 25:920-926 (in Korean with English abstract).
- Kim, S.H., 2012. The coastal geomorphology in general of Korea: research trends and issues. *J Kor Geomorphol* 19:1-15 (in Korean with English abstract).
- Kim, T.R., Kim D.S., 2014. Benefits of Camera Monitoring System in Studying on Coastal Dune Erosion by Typhoon. *J Kor Geomorphol* 21:41-52 (in Korean with English abstract).
- Komar, P.D., 1976. Beach processes and sedimentation. Englewood Cliffs, New Jersey.
- Korea Hydrographic and Oceanographic Administration, 2010. Tidal deviation calculation table. <http://www.khoa.go.kr/koofs/kor/tide/tide.do> (July 21th 2023)
- Korea Hydrographic and Oceanographic Administration, 2013. Tidal bench mark. http://www.khoa.go.kr/koofs/kor/tide/tbm_view.do?tl_id=502 (June 21th 2024)
- Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, 2002. Study on the coastal geology of west coast and the terrestrial wetlands: I. Study on the coastal geology of west coast (in Korean).
- Korea Meteorological Administration, 2010. Monthly report of automatic weather system data. <https://data.kma.go.kr/data/grnd/selectAwsRltnList.do?pgmNo=56> (July 21th 2023)
- Korea Meteorological Administration, 2011. Typhoon analysis report in 2010 (in Korean).
- Lee, B.J., Lee, S.R., 2001. Geological report of the Gochang sheet (Scale 1:50000). Korea Institute of Geosciences and Mineral Resources (in Korean).
- Lee, Y.Y., Chang, T.S., 2019. Erosion and Recovery Processes in Haeundae Beach by the Invading Typhoon Chaba in 2016. *J Kor Earth Sci Soc* 40:37-45 (in Korean with English abstract).
- Lee, Y.Y., Chang, T.S., 2020. Morphologic Response of Gravel Beach to Typhoon Invasion-A Case Study of Gamji Beach Taejongdae in Busan. *J Kor Earth Sci Soc* 41:19-30 (in Korean with English abstract).
- National Geographic Information Institute, 2020. The national atlas of Korea (in Korean).

태풍 곤파스 전·후 고창 광승리 사질 조간대의 표층 퇴적물과 집적 특성

- Otvos, E.G., 2004. Beach aggradation following hurricane landfall: impact comparisons from two contrasting hurricanes, Northern Gulf of Mexico. *J Coastal Res* 20:326-339.
- Qi, H., Cai, F., Lei, G., Cao, H., Shi, F., 2010. The response of three main beach types to tropical storms in South China. *Marin Geol* 275:244-254.
- Sallenger, A.H., Stockdon, H.F., Fauver, L., Hansen, M., Thompson, D., Wright, C.W., Lillycrop, J., 2006. Hurricanes 2004: an overview of their characteristics and coastal change. *Estuar Coast* 29:880-888.
- So, K.S., Ryang, W.H., Choi, S.L., Kwon, Y.K., 2012. Seasonal variation of surface sediments in the Kwangseungri beach, Gochanggun, Korea. *J Kor Earth Sci Soc* 33:497-509 (in Korean with English abstract).
- Son, D.H., Yoo, J.S., Shin, H.H., 2019. Sensitivity Analysis in the Prediction of Coastal Erosion due to Storm Events: case study-Ilsan beach. *J Coast Disaster Prev* 6:111-120 (in Korean with English abstract).
- Stockdon, H.F., Sallenger, A.H., Holman, R.A., Peter, A.H., 2007. A simple model for the spatially-variable coastal response to hurricanes. *Mar Geol* 238:1-20.
- Stone, G. W., Liu, B., Pepper, D. A., Wang, P., 2004. The importance of extratropical and tropical cyclones on the short-term evolution of barrier islands along the northern Gulf of Mexico, USA. *Mar Geol* 210:63-78.
- Udden, J.A., 1914. Mechanical composition of clastic sediments. *Geol Soc Am Bull* 25:655-744.
- Wentworth, C.K., 1922. A scale of grade and class terms for clastic sediments. *J Geol* 30:377-392.
- Yu, J.J., Kim, D., Yoon, J., 2018. A Study on the short-term morphological beach changes of Pado-ri using UAS-based DEM: focusing on before and after typhoon Soulik. *J Kor Geograph* 7:303-317 (in Korean with English abstract).

2024년 6월 25일 접수

2024년 7월 9일 수정

2024년 7월 10일 승인