

# 무인항공기를 이용한 다대해빈 퇴적환경 장기 변화 및 해석

정주봉\* 

박사 후 연수연구원, 한국해양과학기술원 해양영토방위연구부, 부산광역시 영도구 해양로 385, 49111, 대한민국

## Long-Term Change and Analysis of the Sedimentary Environment of Dadae Beach Using Unmanned Aerial Vehicles

Joo Bong Jeong\*

Post Doctoral Researcher, Marine Domain & Security Research Department, Korea Institute of Ocean Science and Technology, 385 Haeyang-ro, Yeongdo-gu, 49111 Busan, South Korea

Received June 20, 2023

Revised June 22, 2023

Accepted June 23, 2023

### Corresponding Author

Joo Bong Jeong

Tel: +82-51-664-3427

E-mail: [jjbongeo@kiost.ac.kr](mailto:jjbongeo@kiost.ac.kr)

Dadae Beach, located at the Nakdong river estuary, has been continuously evolving over the years, and this is the result of complex interactions between natural and artificial factors. In particular, in the case of Dadae Beach, located at the estuary of the Nakdong river estuary, it is located at the boundary between the river and the ocean, and it is an environment in which various deposition mechanisms operate. It is a very difficult research task to analyze the beach evolution mechanism, and a long-term study using precise measurement methods is required. Therefore, in this study, precision unmanned aerial surveys were conducted three times (2015, 2019, and 2021) for 5 years to identify the sedimentary characteristics of Dadae Beach, and the sedimentary environment was analyzed through the analysis of surface sediment texture characteristics. Seasonal waves and winds caused by the East Asian monsoon climate are the main mechanisms for the sedimentation of Dadae Beach, and fine-grained sediments are distributed throughout the beach. In addition, the formation of sandbar, which arose rapidly due to artificial influences such as the construction of estuary banks in the past, is a major factor in the evolution of large-scale beaches. This study is meaningful in identifying the mechanism of beach evolution and presenting quantitative analysis results through comparison of precision aerial survey data over a long period of time.

**Keywords:** ARCGIS; Dadae beach; Erosion; Deposition; Unmanned aerial vehicle

## 1. 서론

하구는 담수와 해수의 상호작용으로 퇴적물이 재배치(reworking)되며 삼각주(delta)나 사주(sand bar) 등의 지형을 형성한다. 이러한 하구와 연안습지는 인간과 생태계 기반 서비스 등 다양한 혜택을 발생시킨다(Liu et al., 2021). 예

를 들어 어업, 수질정화, 폭풍 해일로부터 인간 및 생태계 보호, 교육 및 레크레이션 등 경제적, 심미적, 안전의 가치가 제공된다(Highfield et al., 2018; Montgomery et al., 2019; Ouyang et al., 2018; Rezaie et al., 2020; Vazquez-Gonzalez et al., 2019). 특히 하구해빈에 발생하는 지형 변화는 계절 변화부터 수십년 변화 등 다양한 시간(time scale)

과 주기를 가지는데 이러한 시·공간적 변화와 진화과정에 관한 연구는 지난 수십년간 지질학자들의 연구 대상이었다. 또한 최근 해수면 상승과 인간활동에 의해 하구와 습지 환경 변화가 가속화되고 있으며 이러한 변화는 Li et al. (2018)의 보고에 따르면 20세기 동안 세계 습지의 약 50%가 소멸되었다고 한다. 이와 같이 연안습지가 주요 기능을 유지할 수 있도록 습지의 퇴적환경을 파악하고 취약점에 대하여 파악해야 할 필요성이 증가하고 있다. 낙동강 하구역에 발달한 다대해빈은 하구해빈으로 지난 50년간 지속적인 퇴적환경 변화를 겪으며 지형 변화를 겪어왔다. 하구해빈의 발달 원인은 하구둑 건설과 인위적인 운영으로 인해 지속적인 퇴적이 발생한 것이다(Jeong et al., 2022). 하지만 해빈의 퇴적은 해양에너지, 계절풍 등 복합적인 요인이 작용하여 퇴적된 것으로 추정된다. 특히 다대해빈지역에서 퇴적환경을 해석하기 위한 기존 연구는 정성 연구가 주를 이루며 정밀계측기기를 이용한 정량적 연구는 부족한 실정이다. 따라서 본 연구는 무인항공측량 자료를 이용하여 다대해빈의 6년간 정량적 변화를 파악하고 퇴적환경을 해석하는 데 목적이 있다.

## 2. 본론

### 2.1 조사해역

낙동강은 한국의 남동부에 위치하며 강원도 태백산에서 발원하여 남해안으로 유입되며 길이 약 525 km, 면적은 약 23,860 km<sup>2</sup>이다(Hwang et al., 2010; Jeong et al.,

2007). 하구는 하중도(alluvial island)와 사주 및 간석지 등 다양한 하천 및 해안지형으로 구성되어 있으며 파랑과 조류, 홍수 및 태풍에 의해 지속적으로 변화하고 있다(Bahn, 1986; Jang and Kim, 2006). 다대해빈은 낙동강에서 공급된 퇴적물이 운반되어 형성된 하구해빈으로 실트질이나 세립사가 주로 분포하며 해빈의 말단부는 육계도가 사주의 발달로 육계사주가 형성되어 있다(Fig. 1). 해빈의 길이는 약 1,500 m, 폭은 약 200 m이며 과거 해빈이었던 배후지는 해변공원 및 레저 문화시설로 이용 중이다. 낙동강 하구의 해양물리적 특성은 온화한 해양성 기후(Kim, 2000)의 특징을 보이며 지리적 특성상 파랑, 조석, 강의 영향을 지속적으로 받는 지역이다(Bahn, 1986; Jang and Kim, 2006). 조석은 창조시 북동향, 낙조시 남서향하는 반복형 조류 형태를 보이며 대조차는 155.8 cm, 평균 조차는 106 cm로 소조차(micro tidal) 지역이다(Yoon et al., 2008). 파랑은 하계에 SW (SouthWest), SSW (South-SouthWest)계열이 탁월 파향이며 동계는 ENE (East-NorthEast)계열이 가장 높은 출현율을 보인다(Kim, 2019). 풍향은 동아시아 몬순기후의 영향으로 겨울에는 북서풍, 여름에는 남서풍이 탁월풍향이다. 연평균 강수량은 1,244.6 mm이며 여름철에 약 50% 이상 강우가 나타난다.

### 2.2 조사 방법

다대해빈 퇴적 특성 파악을 위하여 항공측량과 해빈표층에 분포하는 표층 퇴적물을 채취하여 퇴적물 조직 특성을 파

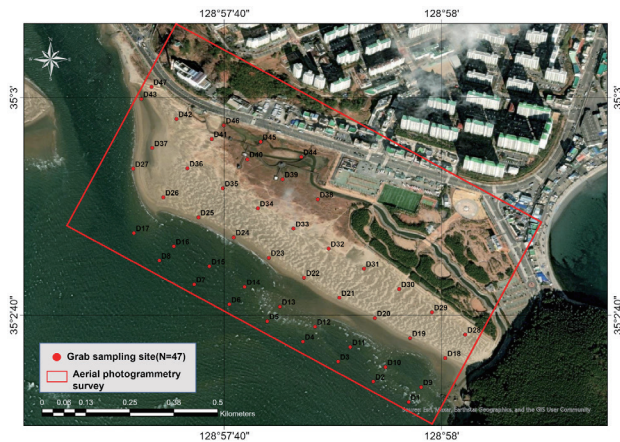


Fig. 1. Map showing studied area at the Dadae beach.

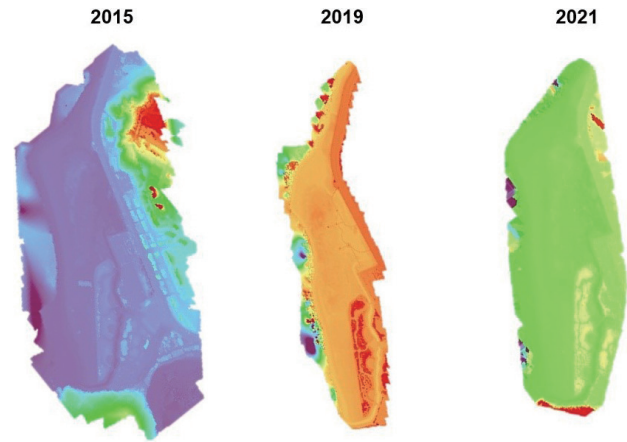


Fig. 2. Map showing the digital elevation model at the Dadae beach.

악하였다. 먼저 항공측량은 2015년, 2019년, 2021년 갈수기에 다대해빈을 포함하는 인근 지역을 측량하였다(Fig. 2). 무인항공촬영을 위하여 고해상도 영상취득 고정익무인항공기(eBee, Matrice 300 RTK, Phantom 4 pro)를 사용하였다. 고해상도 정사영상과 digital elevation model (DEM)을 추출하기 위해 AgiSoft사의 PhotoScan 프로그램을 사용하였으며, 제원은 Fig. 3와 같으며 연구지역의 무인항공촬영 범위는 Fig. 1과 같다. 무인항공촬영의 데이터 취득 및 처리는 크게 비행 계획수립 → 기준점 매설 및 측량 대공표지 설치 → 무인항공촬영 → 영상처리작업의 순서로 진행하였다. 또한 연구지역의 안전하고 원활한 무인항공촬영을 위하여 사전답사를 통해 비행고도 및 비행경로를 설정하였으며, 비행시물레이션 프로그램인 eMotion2를 이용하여 계획수립에 활용하였다. 대상 지역에 대해 정사 영상과 DSM 제작을 위하여 고정익장비를 투입하여 고해상도 영상을 취득하였으며 영상처리를 통하여 3차원 정사영상을 구축하였다. 해당 지역에서 지상기준점(ground control point, GCP)과 check point (CP)를 수집하기 위해 Leica의 Global Navigation Satellite System (GNSS) 수신기를 사용하여 측량하였으며, 국토지리정보원에서 제공하는 실시간 데이터 보정 서비스(Real-Time Differential Correction Maritime)를 사용하여 인근 GNSS 상시관측소의 보정신호를 수신하여 측량의 정확도를 확보하여 GCP를 취득하였다. 수평 위치 및 수중 위치를 정밀한 관측장비를 투입하여 관측하였고, 기준점위에 대공표지판을 설치하여 무인항공촬영을 실시하였다. 무인항공촬영은 비행고도는 140 m, 진행방향중복도(over lab) 80%, 촬영선중복도(side lab) 70%로 실시하였다.

표층 퇴적물의 시공간적인 특성을 파악하기 위하여 해변

표층 퇴적물을 일정한 간격으로 47개 정점에서 획득하였다(Fig. 1). 입도 분석은 시료를 약 20 g씩을 취하여 표층 퇴적물 시료에 염산과 과산화수소를 첨가하여 탄산염과 유기물을 각각 제거한 시료를 4  $\phi$  (0.063 mm) 표준체로 조립질 퇴적물과 세립질 퇴적물로 분리하였다. 조립질 퇴적물은 건조 후 0.5  $\phi$  간격으로 각 등급의 무게를 측정하였고, 세립질 퇴적물은 X-ray 자동 입도 분석기(Sedigraph<sup>®</sup> 5100; Micrometrics, Norcross, GA, USA)로 각 등급별 백분율을 구하였다. Folk (1968)의 분석 방법에 따라 입도별 중량 백분율을 계산하였으며 입도 분석의 상수값은 Folk and Ward (1957)의 그래프 방법에 따라 계산하였다. 입자의 크기 및 퇴적물의 분류는 Folk (1968)의 방법으로 통계 처리하여 조직표준치(평균 입도, 분급도)와 조성함량(gravel, sand, mud)을 계산하였다.

### 2.3 자료 처리

수집된 영상의 번들조정과 정합 및 정사영상, DEM 등의 자료 처리는 Pix4D mapper로 처리하였으며 현장에서 수집한 GCP로 번들조정과 CP를 사용하여 해당 영상의 정확도를 판정하였다. Ground sample distance (GSD)는 평균 2 cm 이내로 계산되었다. 하지만 본 연구에서는 정사영상과 DEM은 육상의 일부 지역이 포함되기 때문에 국토교통부 국가공간정보 보안관리규정과 국가정보원 보안업무규정 등의 사유로 GSD는 25 cm로 리샘플링하였다. 또한 취득한 항공측량 자료는 ARCGIS PRO 10.3을 이용하여 각 시기별 자료를 동일한 범위로 절개(clipping)하였으며 지형분석도구(geoprocessing tool)를 이용하여 고도와 경사를 분석하였고 시기별 퇴적환경 변화 특성을 파악하였다.



**Fig. 3.** Surveyed unmanned aerial vehicle models.

### 3. 결과

#### 3.1 퇴적환경 특성

해빈 표층 퇴적물의 퇴적환경은 2월 갈수기 기준 해빈 전체에 세립사(1.99-2.76  $\Phi$ , 평균 2.42  $\Phi$ ) 크기 퇴적물이 분포한 반면 분급도는 well sorted에서 poorly sorted (0.40-1.17  $\Phi$ , 평균 0.54  $\Phi$ )로 다양한 분급도가 해빈에 분포하였다(Table 1). 퇴적물의 함량은 주로 사질이 분포하여 평균 97.28% (89.88-99.05%)이며 silt (0.41-5.73%, 평균 1.53%)와 clay (0.32-4.03%, 평균 1.18%) 순으로 분포하였다(Table 1). 퇴적물 조성은 주로 연안 전체에 모래(S) 유형이 발달하였으며 한 점에서만 약역질사((g)S)가 분포하여 주로 사질이 분포하는 퇴적환경임을 나타낸다(Fig. 4).

해빈 표층 퇴적물의 공간적 분포가 세립사로 일정하게 나타나는 이유는 퇴적물 공급과 해양에너지 작용의 두 가지 요인이 원인이다. Jeong et al. (2022)에 따르면 낙동강 하구는 홍수기에 육상으로부터 퇴적물의 공급이 발생하며 연안에 퇴적되었다가 갈수기에 강한 파랑에너지로 인해 퇴적물이 재퇴적되는 과정을 겪는다. 이때 연안에 분포하는 니질 퇴적물은

외해로 제거되고 재퇴적된 사질 퇴적물이 연안에 순퇴적되는 것이다. 이 시기에 순퇴적된 연안의 사질퇴적물은 파랑이나 조석에 의해 해빈에 지속적으로 공급되면서 현재 해빈의 퇴적물 대부분이 세립사로 분포하는 것으로 판단된다.

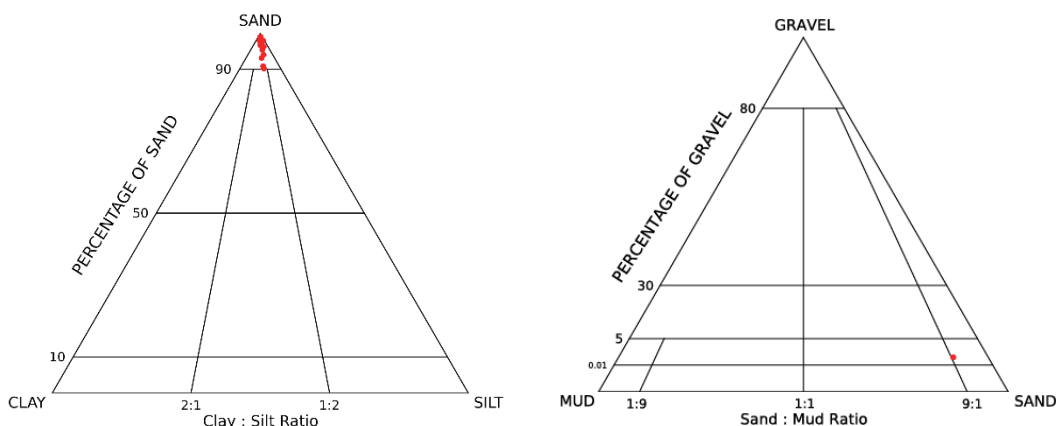
#### 3.2 장기 지형(고도, 경사도) 변화 특성

다대해빈의 지형 특성은 해안선에서 북서 남동방향으로 해빈이 분포하고 북동방향으로 갈수록 고도가 증가하는 특징이다. 해빈 고도는 인공구조물을 제외하고 표고 범위가 -1.5에서 2.8 m (평균 1.05 m)의 범위로 분포하며 해안선에서 조상대의 정단(Berm) 지역으로 갈수록 고도가 증가하다가 정단 후면의 인공수로 방향으로 갈수록 고도가 감소하는 경향이다. 해빈의 경사 범위는 0-10.0° (1.56°)로 해안선에서 경사가 낮고 조상대 상부로 갈수록 경사가 증가하는 특징이며 이 지역은 갈대 및 자연 습지로 조성되어 있다(Fig. 5, 6A, B). 조상대는 갈대 등의 식생으로 인해 경사가 10° 이상 급격히 증가하는 구간이 발생하나 해빈의 순수 경사를 파악하기 위해 50 m 격자로 설정하여 경사를 추출한 결과 평균 경사는 1.56°로 계산되었다. 정밀항공사진 분석 결과 해빈에 나타나는 연흔

**Table 1.** Textual parameters of surface sediment in February 2021

	Mean ( $\Phi$ )	Sorting ( $\Phi$ )	Skewness	Kurtosis	Gravel	Sand	Silt	Clay	Type
Min	1.99	0.40	-0.18	0.73	0.00	89.88	0.41	0.32	S
Max	2.76	1.17	0.35	3.09	0.74	99.05	5.73	4.03	gM
Mean	2.42	0.54	0.05	1.21	0.02	97.28	1.53	1.18	S

S, sand; gM, gravelly mud.



**Fig. 4.** Ternary diagram for sediment type in February 2021.



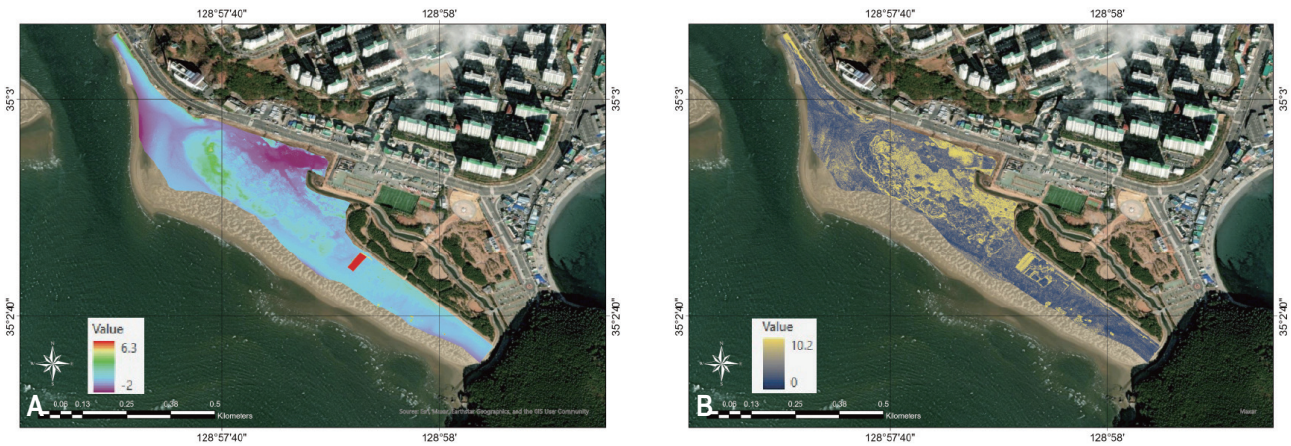


Fig. 5. Topography of the Dadae beach. (A) An illustration representing beach altitude in the study area. (B) This is slopes.

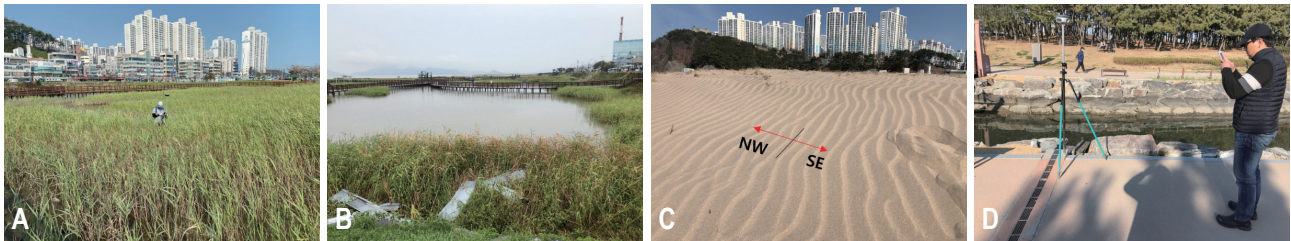


Fig. 6. Photographs showing the Dadae beach scenes. (A, B) Reeds and natural wetlands included in beaches. (C) The ripple mark engraved on the supralittoral zone by the wind. (D) Parks included in Dadae beach. NW, NorthWest; SE, SouthEast.

은 북서 남동방향으로 발달하였다. 이는 바람에 의해 형성된 연흔으로 연안에서 파랑에 의해 해변으로 공급된 퇴적물이 계절풍에 따라 조상대로 이동하여 정단에서 퇴적된 흔적으로 판단된다(Fig. 6C).

해빈의 형태는 해안선에서 정단(Berm) 방향으로 고도와 경사가 증가하나 정단 후면은 감소하는 특징이다. 일반적인 해빈의 형태는 정단이 육상과 닿아 있어 가장 높은 고도를 보이는 반면 현재 다대해빈의 지형은 독특한 지형의 형태를 갖는다. 이는 과거 하구둑 건설로 인해 하구의 퇴적물 공급에 변화가 발생하여 생성된 사주섬이 육상과 결합되었기 때문인데 이 과정에서 해빈의 후면에 조수로가 생성되어 해빈고도가 감소하는 것으로 판단된다(Jeong et al., 2022). 또한 과거 해빈이었던 지형은 지속적인 퇴적으로 인해 면적이 증가하였고 이는 현재 해빈의 남동쪽에 근린생활시설과 공원이 조성되어 있다(Fig. 6D).

해빈의 침식과 퇴적을 파악하기 위해서 2015년과 2021년 약 6년간의 해빈 변화를 파악하였다(Fig. 7). 해빈의 퇴적학적 특성은 공간적 변화가 뚜렷하게 나타났는데 먼저 해안선

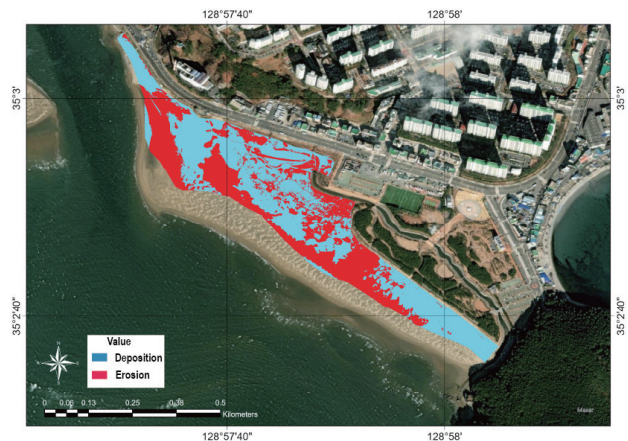


Fig. 7. Change in beach elevation between 2015 and 2021.

과 북서측 유입구(Inlet) 근처에서 대부분 침식이 발생하였으며 해빈의 조상대와 정단지역에서 퇴적이 나타났으나 조수로 근처에서 다시 침식이 나타나는 경향이다. 촬영구역에서 침식이 발생한 지역은 전체 면적 중 67,480 m<sup>2</sup> (50.61%)이며 퇴적이 발생한 면적은 65,859 m<sup>2</sup> (49.36%)로 면적 차이는 거의 없다. 하지만 침식과 퇴적의 공간적 발생 원인은 주로 해양에

너지에 의해 많은 영향을 받는데 해안선 근처와 북서측의 유입구(Inlet)에서 침식이 발생한 것은 해빈에 유입되는 파랑과 조석에 의한 것으로 판단된다. 해양환경에서 퇴적물의 거동에 가장 큰 영향을 미치는 파랑과 조석은 퇴적물을 조상대로 이동시키거나 연안으로 이동하는 역할을 하게 된다. 특히 유입구 근처의 좁은 지형의 수로와 하구에서 공급되는 담수가 유속을 증가시키고 이는 퇴적물의 이동량을 증가시킨다. 이렇게 해안선에서 조상대로 이동된 퇴적물은 북서 남동의 계절풍에 따라 조상대와 정단지역에 지속적인 퇴적작용을 발생시키게 될 것이다. 반면 정단의 후면에 위치한 자연습지와 조수로에서 국지적인 침식이 발생하였는데 이는 조차로 인해 발생하는 해수유동과 습지 주변에 공원 및 테크 설치 등 인공적인 변화로 인해 국지적인 침식이 발생한 것으로 판단된다.

#### 4. 결론 및 토의

본 연구에서는 다대해빈의 퇴적환경 특성을 파악하기 위하여 6년간(2015년, 2019년, 2021년) 무인항공측량과 해빈표층 퇴적물 분석을 실시하였다. 항공측량 결과 해빈의 정밀지형 특성은 해안선에서 북동방향으로 고도가 증가하는 특징을 갖는 반면 해수유동과 인위적인 변화로 인해 습지지역에서 일부 침식이 발생하였다. 특히 2015년과 2021년 항공측량 자료를 비교한 결과 해안선 근처에서 침식 발생하였고 조상대에서 퇴적이 진행된 것으로 파악되었다. 표층 퇴적환경은 해빈 전체에 세립사가 일정하게 퇴적되었으며 이는 하구로부터 공급되는 퇴적물이 동계에 작용하는 winnowing 효과에 영향을 받았기 때문이다.

정밀항공측량과 표층 퇴적물 분석을 이용한 퇴적환경 해석은 기존 퇴적환경 연구자들에게 유용한 연구 방법으로 활용될 것으로 생각된다. 특히 정밀항공측량의 주기적인 데이터 취득은 해빈의 계절 변화나 인공구조물 건설 등에 의한 퇴적환경 변화 모니터링에 유용한 연구 방법이 될 것으로 판단된다.

#### Conflict of Interest

On behalf of all authors, the corresponding author states that there is no conflict of interest.

#### Funding Information

This study was supported by the project Development of Technology for Constructing Biological and Environmental Spatial Information System of Tidal Flats Through Machine Learning of Remotely Sensed Visual Data (PEA0115) and the tidal flat spatial information change monitoring technology development project (M63870) of the Korea Institute of Science and Technology.

#### Data Availability Statement

The data that support the findings of this study are openly available in [Mendeley Data] at <http://doi.org/10.17632/t93x45rhv.1>.

#### References

- Bahn YB (1986) Analysis of the landforms and surface sediments in the Nakdong delta. Ph.D. Thesis, Kyunghee University, 115p
- Folk RL (1968) Petrology of sedimentary rock. Hemphill Publishing Co., Austin, 170p
- Folk RL, Ward WC (1957) Brazos River bar [Texas]; a study in the significance of grain size parameters. *J Sediment Petrol* 27(1):3-26
- Highfield WE, Brody SD, Shepard C (2018) The effects of estuarine wetlands on flood losses associated with storm surge. *Ocean Coast Manag* 157:50-55
- Hwang CS, Kim KT, Oh CY, Jin CG, Choi CU (2010) A study on correlation between RUSLE and estuary in Nakdong River watershed. *KOGSIS* 18:3-10
- Jang ST, Kim KC (2006) Change of oceanographic environment in the Nakdong Estuary. *Sea* 11(1):11-20
- Jeong JB, Jung HS, Lee JH, Park KK, Kim SY, Woo HJ (2022) Evolution and sedimentation mechanisms of estuarine beach in the Nakdong River Estuary, Korea: natural and human impact. *Ocean Sci J* 57(3):451-466
- Jeong KS, Kim DK, Joo GJ (2007) Delayed influence of dam storage and discharge on the determination of seasonal proliferations of *Microcystis aeruginosa* and *Stephanodiscus hantzschii* in a regulated river system of the lower Nakdong River (South Korea). *Water Res* 41(6):1269-1279.
- Kim KM (2019) A study on correlation analysis of environmental factors and prediction of topographic change in the estuary of Nakdong River. Ph.D. Thesis, Korea Maritime Ocean University, 248p
- Kim SH (2000) Landform changes around the southern part of Nakdong River delta after barrage construction. *J Geogr*

36:33-62

- Li X, Bellerby R, Craft C, Widney SE (2018) Coastal wetland loss, consequences, and challenges for restoration. *Anthropocene Coasts* 1(1):1-15
- Liu M, Hou L, Yang Y, Zhou L, Meadows ME (2021) The case for a critical zone science approach to research on estuarine and coastal wetlands in the Anthropocene. *Estuaries Coasts* 44(4):911-920
- Montgomery JM, Bryan KR, Mullarney JC, Horstman EM (2019) Attenuation of storm surges by coastal mangroves. *Geophys Res Lett* 46(5):2680-2689
- Ouyang X, Lee SY, Connolly RM, Kainz MJ (2018) Spatially-explicit valuation of coastal wetlands for cyclone mitigation in Australia and China. *Sci Rep* 8(1):3035
- Rezaie AM, Loerzel J, Ferreira CM (2020) Valuing natural habitats for enhancing coastal resilience: Wetlands reduce property damage from storm surge and sea level rise. *PLoS One* 15(1):e0226275
- Vazquez-Gonzalez C, Moreno-Casasola P, Peláez LAP, Monroy R, Espejel I (2019) The value of coastal wetland flood prevention lost to urbanization on the coastal plain of the Gulf of Mexico: an analysis of flood damage by hurricane impacts. *Int J Disaster Risk Reduct* 37:101180
- Yoon HS, Park S, Lee IC, Kim HT (2008) Spatiotemporal variations of seawater quality due to the inflow of discharge from Nakdong River Barrage. *J Korean Soc Mar Environ Energy* 11(2):78-85

## Metadata for Dataset

Sort	Field	Subcategory#1	Subcategory#2	
Essential	*Title	Remote sensing	Long-term change and analysis of the sedimentary environment of Dadae Beach using unmanned aerial vehicles	
	*DOI name	Mendeley data	DOI:10.17632/t93x45rhv.1, <a href="https://data.mendeley.com/datasets/t93x45rhv/1">https://data.mendeley.com/datasets/t93x45rhv/1</a>	
	*Category	Oceans	Estuary, Beach	
	Abstract	Ortho image		The dataset of ortho-image at Dadae beach
		DEM		The dataset of DEM at Dadae beach
	*Temporal Coverage	Feb/2015, March/2019, Oct/2021		
	*Spatial Coverage	Aerial photograph WGS84 Coordinates		35.051276° 128.95543°, 35.04505° 128.969752°
	*Personnel	Name		Jeong, Joo Bong
Affiliation			Korea Institute of Ocean Science and Technology	
E-mail			jjbongeo@kiost.ac.kr	
*CC License				
Optional	*Project		Development of technology for constructing biological and environmental spatial information system of tidal flats through machine learning of remotely sensed visual data	
	*Instrument	UAV Sensor	SenseFly eBee, DJI phantom 4 pro, DJI Matrice 300 RTK Sony Wx220, 1" 20 MP CMOS sensor, Zenmuse P1-35 mm	