

# 메타분석을 적용한 드론 기반 해안 쓰레기 모니터링 기준 마련에 관한 연구\*

김보람<sup>1</sup>·최현우<sup>2</sup>·이철용<sup>3</sup>·김태훈<sup>4\*\*</sup>

## A Study on Establishment of Drone-Based Coastal Debris Monitoring Standards Using Meta-Analysis\*

Bo-Ram KIM<sup>1</sup>·Hyun-Woo CHOI<sup>2</sup>·Chol-Young LEE<sup>3</sup>·Tae-Hoon KIM<sup>4\*\*</sup>

### 요 약

국내 해안 쓰레기 모니터링은 노동 집약적 방식과 한정적인 조사 범위로 세밀한 분포 확인이 어렵다. 따라서 해안 쓰레기 자료수집의 효율성 증대를 위해 원격탐사 기법을 이용한 연구가 이루어지고 있다. 하지만 국내 원격탐사 기반 해안 쓰레기 모니터링 방안에 대한 기준이 미흡한 실정이다. 본 연구에서는 국내 연구 결과를 기초로 메타분석 방법을 적용하여 원격탐사체 중 드론을 이용한 해안 쓰레기 모니터링 연구 19건에 대해 모니터링 방법과 결과에 대해 분석하였다. 모니터링 방법을 대상으로 데이터 수집 방법, 수집 데이터 정보, 모니터링 대상지 정보에 대해 분석하였으며, 모니터링 결과를 대상으로 모니터링 실태, 탐지대상 및 활용모델에 대해 분석하였다. 또한, 메타분석 결과를 바탕으로 드론을 이용한 해안 쓰레기 모니터링 수행 시 고려 항목과 권장 항목, 수행 기준에 대한 모니터링 기준 항목을 제시하였다. 본 연구 결과를 통해 드론을 이용한 해안 쓰레기 모니터링 운용 기준 마련에 필요한 조건 및 기준을 정의하였으며, 추후 외국 사례 분석 및 현장 적용 결과를 추가하여 국가 차원의 원격탐사체를 이용한 해안 쓰레기 모니터링 지침 마련이 가능할 것으로 보인다.

주요어 : 해안 쓰레기, 드론, 원격탐사, 모니터링 기준, 메타분석

### ABSTRACT

Domestic coastal debris monitoring encounters challenges due to labor-intensive

2024년 2월 15일 접수 Received on February 15, 2024 / 2024년 3월 14일 수정 Revised on March 14, 2024 /  
2024년 3월 15일 심사완료 Accepted on March 15, 2024

\* 이 논문은 한국해양과학기술원의 재원으로 "해양 생태계에 미치는 플라스틱 쓰레기의 영향평가 기술개발" 사업 지원을 받아 수행된 연구임(PEA0204).

1 한국해양과학기술원 연수연구원 / Post Master Scientist, Korea Institute of Ocean Science & Technology

2 한국해양과학기술원 책임기술원 / Principal Research Specialist, Korea Institute of Ocean Science & Technology

3 한국해양과학기술원 선임기술원 / Senior Research Specialist, Korea Institute of Ocean Science & Technology

4 한국해양과학기술원 기술원 / Research Specialist, Korea Institute of Ocean Science & Technology

\*\* Corresponding Author E-mail: thkim00@kiost.ac.kr

methods and limited survey scope. Consequently, research is utilizing remote sensing techniques to enhance efficiency in data collection. However, standards for domestic remote sensing based monitoring methods remain insufficient. In this study, we conducted a meta-analysis of 19 coastal debris monitoring studies utilizing drones and other remote sensing devices. We analyzed data collection methods, collected data information, monitoring target details, monitoring status, detection targets, and utilization models. Based on our meta-analysis results, we proposed monitoring criteria, recommended items, and performance standards for monitoring coastal debris using drones. Our findings define necessary conditions and standards for establishing operational guidelines for coastal debris monitoring using drones. Furthermore, we anticipate that incorporating foreign case analyses and field application results will enable the development of national-level guidelines for coastal debris monitoring utilizing remote sensing devices.

**KEYWORDS** : Coastal debris, Drone, Remote-Sensing, Monitoring Criteria, Meta-Analysis

## 서론

국내 해양쓰레기로 인한 피해 규모가 연간 어획 수익의 10%에 달하는 약 3,700억 원 정도로, 선박사고, 관광자원 훼손을 일으키는 해양쓰레기를 효율적으로 관리하기 위한 대책 마련이 시급한 상황이다(Shin, 2018).

해양환경공단의 국가해안 쓰레기 모니터링 사업과 한국어촌 어항 공단의 국가 어항 관리 사업 등 해양쓰레기 문제를 해결하기 위한 국가 차원의 모니터링 사업이 이루어지고 있다. 가장 큰 규모와 체계를 갖추고 있는 국가해안 쓰레기 모니터링 사업은 훈련받은 담당자가 해안가를 따라 특정 경로를 샘플링하는 노동 집약적 방식으로 조사 결과로부터 해안 쓰레기 대응 전략 수립의 기초 정보 확보가 어렵다(Choi, 2021). 또한 인력의 투입으로 시간과 비용이 많이 소모되며 한정적인 조사 범위로 세밀한 분포 확인이 어렵다(Kim, 2022). 수거에 중점을 둔 해안 쓰레기 관리체계로 인해 다양한 해안 쓰레기 자료 확보가 이루어지지 않아 문제가 되고 있다.

최근 광범위한 해안환경을 관리하고, 접근이 어려운 지역이나 무인 도서를 효율적으로 관리하기 위해 원격탐사 기법을 적용한 연구가 활

발히 진행되고 있다. 특히 해양쓰레기 관리 차원에서 저비용, 저인력으로 고해상도 실시간 자료를 획득할 수 있고, 다양한 센서를 부착하여 사용할 수 있는 드론을 이용한 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 인천시 스마트 해양환경 관리 시스템 구축 사업, 태안군 드론 활용 해양쓰레기 조사, 부산시 드론 5060 협동조합 등 지자체 차원에서도 드론을 활용한 원격탐사 기반 해양환경 관리를 추진하고 있다. 하지만 표준화된 모니터링 기준이 마련되지 않아 정보의 공유와 해석, 자료 축적에 어려움을 겪고 있다. 통일된 모니터링 기준의 확립은 결과의 일관성을 향상시키고, 비교와 분석을 용이하게 하며, 신뢰성을 증진할 수 있다.

해외에서는 원격탐사 기법 활용 연구의 메타분석을 통해 대상물의 특성, 주의점, 고려사항 등을 분석하고 해양환경 모니터링의 기준을 설계하는 연구가 진행되고 있다. 메타분석이란 특정 연구 주제에 대하여 이루어진 여러 연구 결과를 종합하여 일반적인 결론을 내리는 것으로 통계적 기법의 일원이다. 원격탐사 관련 연구에서는 현황 분석을 위해 특정 기체를 이용한 대상물의 연구를 종합하는 방법으로 사용되고 있다. Waqas et al.(2023)은 위성, 드론, Lidar, 카메라 등 다양한 원격탐사 기법을 이용한 해양 플라스틱 오염원 모니터링 현황

분석을 위하여 메타분석을 이용하였다. 공간적, 시간적, 분광적 특성이 다른 다양한 센서들의 활용성과 플라스틱 오염원 관리의 강점 및 한계를 분석해 플라스틱 오염원 관리를 위한 최소 공간해상도(<1m)와 스펙트럼 대역(VIS, NIR, SWIR) 등을 제시하였다. Goncalves et al.(2022)은 여러 원격탐사체중 드론을 대상으로 한 해안 쓰레기 모니터링 연구를 메타 분석하였다. 사용한 기체와 해상도, 모니터링 방법과 쓰레기 분류 방법 등을 분석하고 해안 쓰레기 모니터링 표준화 가능성을 연구하였다. GSD(Ground Sample Distance), 성상별 분포 지도, 크기에 따른 성상별 공간분포를 해안 쓰레기 자료수집의 중요요소로 제시하고 시간변화에 따른 모니터링 표준화가 가능할 것으로 파악하였다. 다양한 방안과 지침이 제안되는 가운데 국내 해양환경 특성을 고려한 한국형 해안 쓰레기 모니터링을 위한 표준 및 지침 마련이 필요하다.

따라서 본 연구에서는 국내에서 수행된 연구자료를 대상으로 드론을 이용한 해안 쓰레기 모니터링 수행 방안과 연구 동향 파악을 위한 메타분석을 수행하였다. 또한, 메타분석 결과를 바탕으로 한국형 해안 쓰레기 모니터링 운용 기준 마련에 필요한 최소 조건 및 기준을 마련하였다.

## 연구 자료 및 방법

본 연구의 연구 흐름도는 그림 1과 같다. 학술 문헌 검색을 위해 5개의 학술 논문 검색 플랫폼에서 해안 쓰레기 연관 단어 7개와 드론 연관 단어 3개를 이용해 자료를 검색하였다. 중복 자료를 제거한 후 총 19건의 자료를 수집하였다. 메타분석을 통해 모니터링 방안 및 동향 분석을 위해 모니터링 방법과 모니터링 결과 분석 항목을 정의하였다. 모니터링 방법은 12개의 항목, 모니터링 결과는 10개의 항목으로 이루어졌으며, 다양한 원격탐사체의 메타분석 선행자료를 이용해 항목을 지정했다. 항목을 표로 작성해 모니터링 방법을 살펴보고

현황과 문제점을 도출하여 모니터링의 최소 조건 및 기준을 도출하였다.

### 1. 연구 자료 수집

본 연구에서는 드론을 이용한 해안 쓰레기 모니터링에 대한 메타분석을 위해 국내 2010년 이후의 연구자료를 활용하였다. 학술 검색 플랫폼은 한국연구재단(KCI), 누리미디어(DBpia), 한국학술정보(KISS), KISTI(ScienceON), KERIS(RISS)를 이용하였다. 각 사이트에 접속한 후 한국해양과학기술원 기관인증을 거쳐 자료를 수집하였다. 자료의 유형은 학술 저널, 학술대회 자료로 한정하였으며, 이외 주제 분류, 저널명 등의 제한은 따로 설정하지 않고 선행 모니터링 자료를 수집하였다.

자료 검색을 위해 해안 쓰레기와 드론의 용어에 대하여 정리하였다. 해안 쓰레기는 해안이나 해변에 표착된 쓰레기로 ‘해안 쓰레기’와 포괄적 의미인 ‘해양쓰레기’ 용어를 이용한다. 해양쓰레기는 「해양환경관리법」의 시행 이후로 제2조 제4호에 따라 해양에 배출되는 경우 그 상태로는 쓸 수 없게 되는 물질로서 해양환경에 해로운 결과를 미치거나 미칠 우려가 있는 ‘폐기물’의 의미로 사용되었다. 해양쓰레기 관리를 위해 폐기물과 구분되는 새로운 용어를 사용한 미국, 일본과 달리 별도 법률 제정이 늦게 시행되고, 해양쓰레기라는 용어를 통칭적으로 사용하면서 현재는 해양쓰레기로 용어가 통일되고 있다. 해당 용어의 공간적인 측면에서 연안관리법상 연안해역과 연안육역을 포함하는 ‘연안’이라는 용어를 이용한 ‘연안 쓰레기’라는 용어로 구분하기도 한다(Ahn, 2017).

검색을 위해 기존의 사용하던 용어들과 새로이 제시되고 있는 용어들을 적절하게 사용하였다. 해변과 해안을 공간적인 범위로 [해안 쓰레기], [해안 폐기물], [해양쓰레기], [해양 폐기물], [연안 쓰레기], [연안 폐기물] 용어와 해변에 표착된 물체라는 의미의 [해안 표착] 총 7개 용어를 이용해 해안 쓰레기 모니터링 자료를 수집하였다.

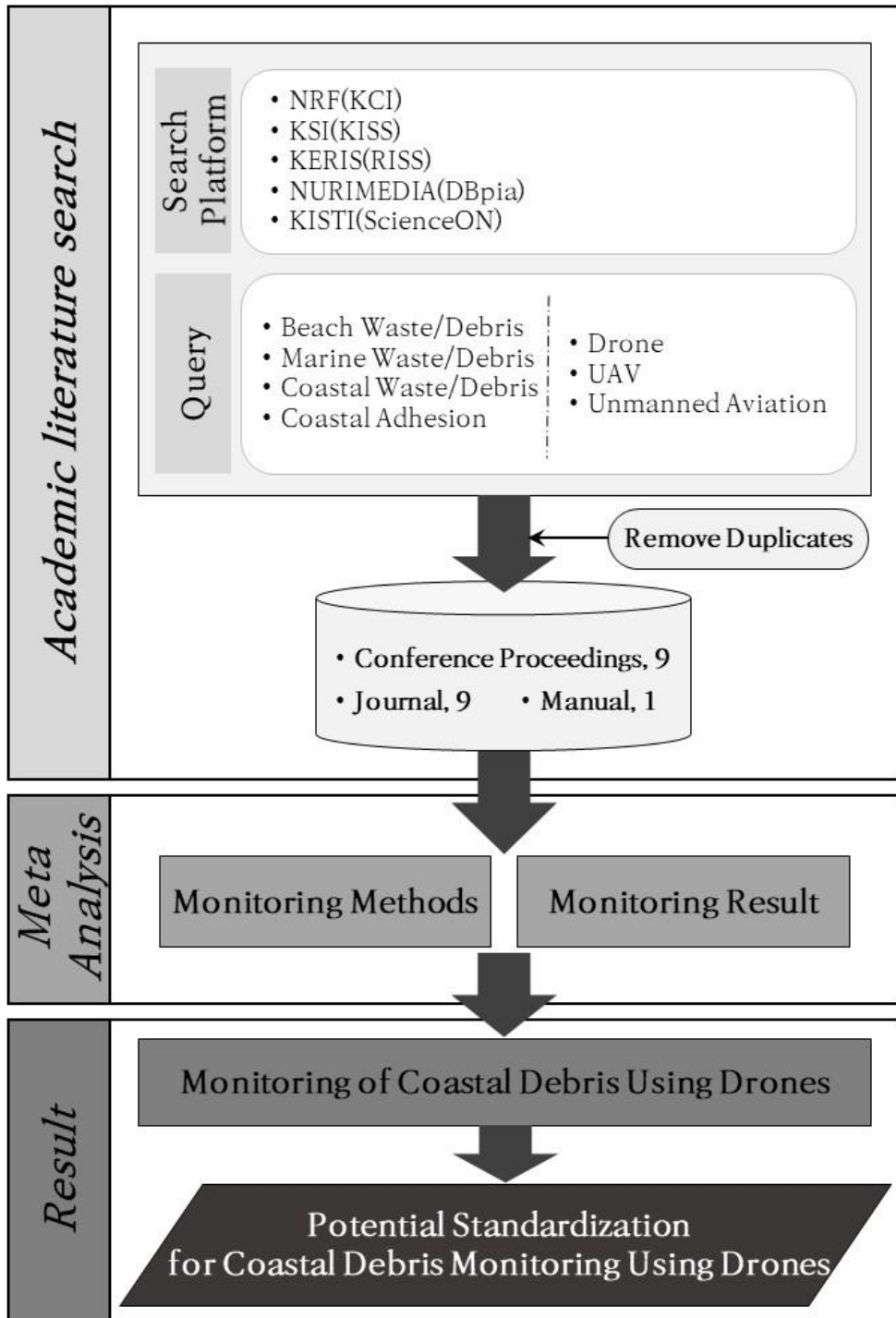


FIGURE 1. Flow chart

TABLE 1. Resources list

No	Title	Authors	Publication Source	Year	Document Type
1	A Study on Correction of Drone Flight Path based on Coastal Image Data for Precise Data Acquisition of Coastal Waste	Kim et al.	Korean Institute of Information Technology	2019	Conference Proceedings
2	Development of the Real Time Marine Debris Detection System base on the Deep Learning and Drone Image	Chung et al.	KOREA Spatial Information Society	2019	Conference Proceedings
3	A Study on the Optimal Altitude and Speed of Drones improving Accuracy of Coastal Trash Collection	Lee et al.	Korean Institute of Information Technology	2020	Conference Proceedings
4	Automatic monitoring coastal debris standing-stock using aerial survey and image segmentation model based on deep learning	Song et al.	The Korean Society for marine Environment and Energy (KOSMEE)	2021	Conference Proceedings
5	Comparison of Cloud-based Image Classification Models for Coastal Trash Identification	Lee et al.	Korean Institute of Information Technology	2021	Conference Proceedings
6	Design of a drone image collecting and storing system for Marine Litter collection method in Marine Protected Area	Lee et al.	Korean Institute of Information Technology	2021	Conference Proceedings
7	Drone Image Data Augmentation and Label Matching for Beach Litter Detection	Sung et al.	The Institute of Electronics and Information Engineers	2022	Conference Proceedings
8	A Study on Accuracy Improvement Method to Marine Debris Detection Using UAV and DETR Model	Do et al.	The Korean Society for marine Environment and Energy (KOSMEE)	2023	Conference Proceedings
9	Deep learning-based marine debris detection and spatial distribution visualization automation research using UAV	Seo et al.	The Korean Geographical Society	2023	Conference Proceedings
10	The Application of Unmanned Aerial Photography for Effective Monitoring of Marine Debris	Jang et al.	Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safet	2011	Journal
11	Study on Detection Technique for Coastal Debris by using Unmanned Aerial Vehicle Remote Sensing and Object Detection Algorithm based on Deep Learning	Bak et al.	Journal of the KIECS	2020	Journal
12	A Coastal Garbage Monitoring System Using Drones and AI Technologies: Focusing on the Case of Jeju Province	Choi et al.	Journal of Korean Society for Geospatial Information Science	2021	Journal
13	A Study on Trash Recognition Rate and Drone Speed	Jeong et al.	Journal of KIIT	2021	Journal
14	On Drone Altitude and Trash Recognition Rate	Lee et al.	Journal of KIIT	2021	Journal
15	Comparative Evaluation of Cloud Image Classification Models for Drone-based Coastal Waste Identification	Lee et al.	Journal of KIIT	2022	Journal
16	Development of Marine Debris Monitoring Methods Using Satellite and Drone Images	Kim et al.	Korean Journal of Remote Sensing	2022	Journal
17	A Study on the Detection of Marine Debris in Collection Blind Spots using Drones and a Method for Matching Latitude and Longitude	Ha et al.	The Journal of Bigdata	2023	Journal
18	Applicability Evaluation of Deep Learning-Based Object Detection for Coastal Debris Monitoring: A Comparative Study of YOLOv8 and RT-DETR	Bak et al.	Korean Journal of Remote Sensing	2023	Journal
19	Ocean Knights Manual	Ocean Knights.	OSEAN, TEAM BOOSTER, SaveHeels	2021	Manual

드론은 무선전파로 조종하는 무인항공기로 작은 항공기가 소리를 내며 날아다니는 모습을 보고 붙여진 용어이다. 드론보다 넓은 범주로 사람이 타지 않는 비행기 혹은 항공기라는 의미인 ‘무인항공기’, ‘UAV’ 등을 혼용하여 사용하고 있다. 수집된 해안 쓰레기 모니터링 자료 중 [드론], [UAV], [무인 항공] 단어를 제목, 요약, 키워드에 포함한 학술 저널 9건과 학술대회 자료 9건을 수집하였다. 이외 해양쓰레기 감시 및 감소를 위해 활동하고 있는 바다기사단 단체의 활동 매뉴얼을 추가 확보하여 총 19건의 모니터링 자료를 수집하였다. 연구에 사용된 드론 기반 해안 쓰레기 모니터링 자료 목록은 표 1에 기술하였다.

## 2. 메타분석 방안

19건의 드론 기반 해안 쓰레기 모니터링 자료를 이용해 메타분석을 수행하였다. 메타분석은 모니터링 방법 분석과 결과 분석 2가지 방안으로 수행하였다. 각 자료 분석을 위한 항목 지정은 사람이 직접 조사하는 해안 쓰레기 모니터링 방법을 국내외적으로 비교한 국내 연구 논문(Seo, 2019)과 국외의 원격탐사 기반 메타분석 선행 연구자료를 이용하였다. 메타분석

을 위한 자료는 (Waqas, 2023 ; Goncalves, 2022)로 다양한 원격탐사 기체의 메타분석 사례를 통해 항목을 정의하였다.

모니터링 방법 분석을 위해 각 자료를 구분하고 저자 및 발행 정보를 나타내는 저자 정보 (Authors) 항목을 정의하였다. 이후 드론을 이용한 해안 쓰레기 데이터 수집과 관련된 항목들을 정의하였다. Collection Method(Model) 항목은 현장 조사, 크롤링, 오픈 데이터 사용 등 해안 쓰레기 데이터 수집 방법과 사용한 드론의 정보를 나타낸다. 수집된 데이터를 통해 확인 할 수 있는 이미지 해상도(Image Resolution), 비행 고도 (Flight Altitude)와 그에 따른 공간해상도 (Spatial Resolution)를 정의하였다. 또한 모니터링 대상지 및 모니터링 방법 비교를 위하여 연구 대상지(Sites)와 대상지의 조사 범위(Range), 조사 면적(Area), 대상지 수(N. of Sites), 조사 주기(Cycle), 조사 횟수(N. of Surveys) 항목을 정의하였다. 마지막으로 대상지를 해변/비해변으로 구분하고 해변의 구성물질 유형에 대하여 작성하는 해변 구분(Beach Categorization) 항목을 정의하였다. 모니터링 방법 분석을 위한 항목은 총 12개로 선정하였으며, 선정된 항목은 표 2와 같다.

TABLE 2. Monitoring method analysis items and description

Category	Description
Authors	Author Information, Publication Year
Collection Method(Model)	Drone data collection types and usage models
Image Resolution	Resolution of the analysis images
Flight Altitude	Flight altitude during data collection
Spatial Resolution	Ground sampling distance
Sites	List the names of the target sites
Range	Drone flight survey length
Area	Drone flight survey area
N. of Sites	Total number of sites surveyed
Cycle	Frequency of data collection (e.g., daily, weekly)
N. of Surveys	How many times the same region was visited for data collection
Beach Categorization	Any categories or types assigned to the beaches surveyed

TABLE 3. Monitoring result analysis items and description

Category	Description	
Authors	Author information, Publication year	
Monitoring Status	Type	Analysis by distinguishing categories
	Types	Count of identified categories
	Spectral	Coastal debris spectral analysis
	Distribution	Coastal debris distribution analysis
	Area	Coastal debris distribution area analysis
	Density	Coastal debris density analysis
Detection Method	Detection (Object / Segment)	Analysis utilizing Deep-Learning for object detection or segmentation
	Detection Model	Information on the detection model used
	UAS	Coastal debris monitoring system design

모니터링 결과 분석 항목은 표 3과 같이 10개의 항목으로 정의하였다. 자료 구분을 위해 저자와 발행 연도를 나타내는 저자 정보 (Authors) 항목을 지정한 후 크게 실태조사와 관리 방안 두 개의 카테고리에서 항목을 구분하였다. 모니터링 실태(Monitoring Status) 항목은 해안 쓰레기 모니터링 조사 결과 분석 방안을 구분한 것으로 성상 구분 여부(Type)와 구분한 성상의 개수(Types), 분광 분석 여부(Spectral), 분포 분석 여부(Distribution), 면적 분석 여부(Area), 밀도 분석 여부(Density)로 정의하였다. 탐지 방법(Detection Method)은 해안 쓰레기 모니터링을 통해 수집한 이미지의 활용 방식이다. 해안 쓰레기 객체를 구별하여 탐지하는 방식의 Object Detection을 이용했을 경우 O, 의미 있는 단위로 영역을 나누는 방식의 Segmentation을 이용한 경우 S로 구분하여 (Detection(Object/Segment)) 항목에 작성하였다. 탐지 모델의 정보는 (Detection Model)로 정의하였으며, 드론 데이터 관리 시스템, 저장 방안 등 시스템 설계를 위한 연구 파악을 위해 UAS(Unmanned Aircraft System) 항목을 정의하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. 메타분석 결과

드론을 이용한 해안 쓰레기 관련 모니터링 동향을 분석하였다. 표 4는 드론을 이용한 해안 쓰레기 모니터링 방법 분석 결과이다. 드론 데이터는 현장에서 직접 수집한 자료를 이용하고 있었다. RGB 이미지, 다분광 센서 드론을 이용한 분광이미지 등 모니터링 목적에 적합한 데이터를 직접 취득하는 다양한 방식의 모니터링이 이루어지고 있었다. 또한 최근 인공지능 학습용 데이터 제공 사이트인 AI Hub 등 오픈 데이터 기반의 연구들이 수행되고 있었다.

자료수집을 위한 비행 고도는 사람의 키를 고려한 3m부터 최고 150m까지 다양했다. 위성과 비교를 위해 100m 이상까지 높은 고도로 비행을 수행하기도 하였다. 높은 고도는 쓰레기 대상의 물체 인식이 어려워, 모니터링 목적에 따른 적절한 고도 설정이 필요하다. 본 연구에서는 (Jeong, 2021 ; Lee,2021)의 방식을 따라 사람의 키를 고려한 최소 3m에서 (Ocean Knight, 2021)의 인식 가능 최대 고도를 고려한 최대 30m 사이를 적정 드론 고도로 제안한다.

이미지 해상도는 고용량, 고해상도 영상 처

TABLE 4. Monitoring method analysis table

Authors	Collection Method (Model)	Image Resolution	Flight Altitude	Spatial Resolution	Sites	Range	Area	N. of Sites	Cycle	N. of Surveys	Beach Categorization
Kim et al., 2019	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Chung et al., 2019.	Field	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Lee et al., 2020.	Field(DJI Phantom 4 Pro V2.0)	-	3m~10m	-	-	-	-	-	-	-	Non-beach
Song et al., 2021.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Coastal
Lee et al., 2021.	Crawling, Field	-	-	--	-	-	-	-	-	-	Non-beach
Lee et al., 2021.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sung et al., 2022.	Field	-	-	-	-	-	-	-	--	-	Sand, Vegetation
Do et al., 2023.	Field	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Beach
Seo et al., 2023.	Field	512*512	-	0.83	Oebongsan Beach, Sachang Beach, Wonsando Beach, Jeodo Beach	-	-	4	once	-	Beach
Jang et al., 2011.	Field(GAUI XCOPTER-330X)	1239*1210	30m	-	Daegwang Beach	30m*20m, 100m*20m	600m <sup>2</sup> , 2000m <sup>2</sup>	1	once	2	Sand
Bak et al., 2020.	Field(DJI Mavic 2 Pro)	608*608	15m	0.3~0.4	-	18.55m*13.91m	-	1	once	-	Sand, Vegetation
Choi et al., 2021.	Field(KAU-SPUAV-2020)	1333*800	150m	-	Jeju Kimnyeong National Wind Power Testing and Research Center	-	-	1	once	1	Pebble, Sand
Jeong et al., 2021.	Field(DJI Phantom 4 Pro V2.0)	1200*1200	3m~10m	-	-	-	-	1	once	-	Non-beach
Lee et al., 2021.	Field(DJI Phantom 4 Pro V2.0)	-	3m~10m	-	-	-	-	1	once	-	Non-beach
Lee et al., 2022.	Crawling, Field	-	3m~10m, 3m~5m	-	Seonyudo Beach, Byeonsan Beach	-	-	2	once	-	Sand, Pebble
Kim et al., 2022.	Field(eBee X)	224*224	110m	7.8	Shinjado	-	1km <sup>2</sup>	1	month	8	Sand, Vegetation
Ha et al., 2023.	Open Data(AI Hub), Field(DJI Mini 3 Pro)	-	-	-	Korea Maritime & Ocean University	-	-	1	once	1	Non-beach (Tetrapod)
Bak et al., 2023.	Field(DJI Mavic 2 Pro, DJI Phantom 4 Pro)	-	5m~30m	-	-	-	-	20	once	-	Pebble, Sand
Ocean Knight., 2021.	Field	-	1m~30m	-	-	50m~100m	-	-	-	-	-



리를 위해 다양한 방식으로 사용되고 있었다. 드론을 이용하여 수집하는 데이터는 일반적으로 2000\*2000 해상도 이상의 고해상도 영상으로 인공지능 데이터 학습을 위한 형태로 변환을 위해 정사각형 형태로 잘라내거나(Clip) 불필요한 영역 제거를 위해 해안 쓰레기 밀집 영역을 추출(Crop)하여 이미지를 사용하고 있었다. 또한 여러 개의 이미지를 하나의 정사 영상으로 재가공하는 등의 활용이 이루어지고 있었다.

공간해상도는 해상도의 중요 구성요소 중 하나로 비행 고도와 상호 연관성을 가지고 대상물 인식에 영향을 미친다. 비행 고도가 높아질수록 공간해상도, 즉 한 픽셀이 차지하는 실제 거리의 크기가 커지고 해안 쓰레기 같은 작은 대상물의 인식이 어려워진다. 따라서 드론 적정 비행 고도 확정을 위해 공간해상도는 해안 쓰레기 대상물 인식의 중요한 요소 중 하나이다. 하지만 선행연구에서는 이에 대한 고려나 제시가 미흡하였다. 19건의 선행 연구자료 메타분석 결과 공간해상도를 명시한 연구는 3건

으로 각각의 공간해상도는 0.83cm/pixel(비행 고도 미제시), 0.3cm/pixel~0.4cm/pixel(비행 고도 15m), 7.8cm/pixel(비행 고도 110m)이었다. 앞선 비행 고도 항목을 통해 제안한 드론 적정 운영 비행 고도는 3m~30m로 이에 따라 공간해상도는 30m 이하의 고도에서 약 1cm/pixel 이하가 되어야 할 것으로 판단된다.

대상지에 대한 정보는 해변의 이름, 관측 지점의 이름 등이 잘 기재되어 있지만 대상물에 해변 구분은 잘 이루어지지 않고 있었다. 해변의 종류에 따라 모래, 자갈, 몽돌 등 특성별로 이미지상 대상물의 인식 정밀도가 달라질 수 있다(Bak, 2023). 따라서 모니터링 수행 대상지의 해변 구분과 해역 재질에 대한 정보 제시가 필요하다. 한편 해변이 아닌 운동장(Jeong, 2021 ; Lee, 2021), 테트라포드(Ha, 2023) 등 다양한 환경의 모니터링 적용성 평가가 이루어지고 있었다.

모니터링 방법에 대한 설명은 조사 범위, 조사 면적, 대상지 수, 조사 주기, 조사 횟수 제시가 미흡하였다. 대상지의 수가 적어 해변의

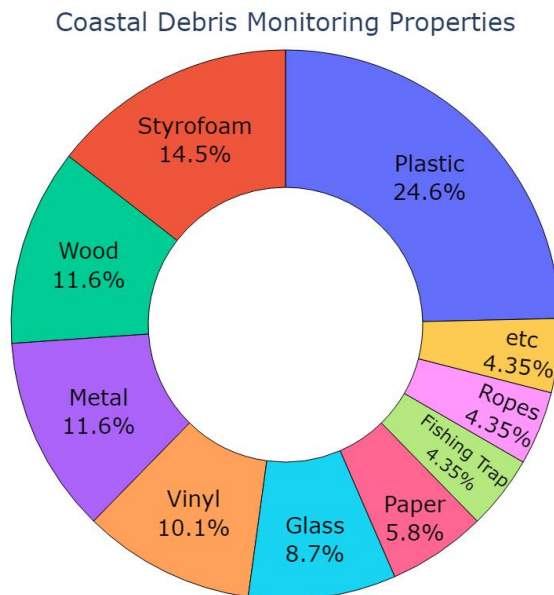


FIGURE 2. Coastal debris monitoring properties

쓰레기 분포 차이에 대한 일반화 확인이 어렵고, 반복적인 관리가 아닌 일회성 현장 방문이 대다수였다. 단기적인 현상이 아닌 장기적인 해안 쓰레기 관리 방안 마련을 위해 해역에 관한 지속적인 모니터링 방안이 필요한 것으로 판단된다.

표 5는 드론을 이용한 해안 쓰레기 모니터링 결과 분석표이다. 모니터링 실태 (Monitoring Status)는 정상 구분 여부와 구분한 성상의 개수, 분광 분석 여부, 분포 분석 여부, 면적 분석 여부, 밀도 분석 여부이다. 여러 항목 중 정상 분석이 가장 다양하게 이루어

TABLE 5. Monitoring result analysis table

Authors	Monitoring Status						Detection Method		
	Type	Types	Spectral	Distribution	Area	Density	Detection (Object / Segment)	Detection Model	UAS
Kim et al., 2019.							O	CAMShift	V
Chung et al., 2019.	V	4					S	Mask R-CNN SegNet	V
Lee et al., 2020.	V	2					O	Auto Vision Amazon Rekognition Custom Vision	
Song et al., 2021.	V	6			V	V	-	-	
Lee et al., 2021.	V	3		V			O	Auto Vision Amazon Rekognition Custom Vision	
Lee et al., 2021.									V
Sung et al., 2022.							O	YOLOv5	V
Do et al., 2023.							O	DETR	
Seo et al., 2023.				V			O	Grid R-CNN	
Jang et al., 2011.	V	12		V			O	Mophology Technique	V
Bak et al., 2020.	V	3					O	YOLOv3	
Choi et al., 2021.	V	4					O, S	VFNet	
Jeong et al., 2021.	V	5					O	Custom Vision AutoML Vision	
Lee et al., 2021.	V	5					O	Custom Vision AutoML Vision	
Lee et al., 2022.	V	5					O	Auto Vision Amazon Rekognition Custom Vision	
Kim et al., 2022.	V	2	V				O, S	U-Net DeepLab V3+(ResNet50) DeepLab V3+(Inception V3)	
Ha et al., 2023.	V	12					O	YOLO	V
Bak et al., 2023.	V	11					O	YOLOv8 RT-DETR	
Ocean Knight., 2021.	V			V			-	-	

지고 있었다. 분석 대상 성상을 선정하는 방법은 크게 두 가지로 Dive Against Debris, 국가해안 쓰레기 모니터링 보고서 등 발행지를 기준으로 정하거나, 선행 연구나 연구 대상지의 특성을 고려하여 분석 성상을 선정하였다. 분석 대상 성상으로 가장 많이 선정되는 것은 그림 2와 같이 플라스틱이고, 스티로폼, 목재류, 금속류, 비닐, 유리 등이 그 뒤를 이었다. 이는 2021년도 국가해안 쓰레기 모니터링 사업 결과 보고서에 제시된 개수 기본 분포 순위 플라스틱, 유리, 금속, 목재와 무게기준 분포 순위인 플라스틱, 목재, 금속, 고무와 유사하게 나타났다. 연구마다 모니터링 대상 성상을 선정하는 기준은 다르지만, 국내 해안 쓰레기 피해 관리에 적합한 성상을 대상으로 모니터링이 시행되고 있음을 알 수 있다. 성상 분류의 경우 크기별로 분류하거나 대상물과 파편을 분류하는 등의 차이가 있었다. 연구 목적에 따라 분석 성상의 대상과 선정 기준이 다를 수 있지만 성상에 대한 분류체계는 국가적 차원에서의 정의가 필요할 것으로 보인다.

탐지 방법(Detection Method) 항목을 살펴 보았다. 해안 쓰레기 관리 자동화를 위한 탐지 기반의 모니터링 수행이 활발하게 이루어지고 있었다. 탐지 모델을 해안 쓰레기 개수 분석, 분포 분석 등 연구 도구로써 이용하기도 하며 탐지 가능성, 탐지 정확도 분석 등 관리 방안 설계를 위해 이용하고 있다. 이외 드론 영상 수집 및 저장 방안, 공간분포 시각화 자동화 등 다양한 UAS(Unmanned Aircraft Systems) 설계가 이루어지고 있었다.

탐지를 수행한 전체 16건의 자료 중 13건이 객체를 이용한 Object Detection 기반의 자동화 연구를 수행 중으로 이에 대한 원인으로 본 논문에서는 다음과 같이 분석하였다.

- 1) 국내 해안 쓰레기 관리는 개수(양)와 구성률, 무게 기준으로 이루어지고 있다.
- 2) 실제 해역에서는 다양한 성상이 서로 뒤엉켜 분포하고 있어, Segmentation 분석을 위한 대상별 영역 분할이 어렵다.
- 3) 현재 자동화 모니터링 방식의 연구들은

그 가능성과, 정확도를 논하는 수준으로 비교적 사용 방법과 편집이 간편한 Object Detection 기반의 연구가 많이 이루어지고 있다.

- 4) 실시간/준실시간 기반의 빠른 탐지를 통한 관리 방안 설계가 이루어지는 추세이다.

국내의 해안 쓰레기 관리는 분포한 해안 쓰레기의 개수(양)와 구성률, 무게를 기준으로 대상지 관리가 이루어진다. 현재 지자체 기반의 해안 쓰레기 수거는 구성률을 중요한 요소로 판단한다. 성상에 따라 그 크기와, 무게 등이 다르므로 성상 구성률 차이에 따라 해안 쓰레기 수거를 위한 이동 경로, 선박 중, 소요 인원, 예산 등의 차이가 생긴다. 따라서 성상별 개수 파악 및 무게 추정을 위해 객체별 개수 파악이 가능한 Object Detection 기반의 연구가 이루어지고 있는 것으로 판단된다. 실제 해안에서 쓰레기는 여러 성상이 뒤엉켜 있고, 크기 역시 다양해 특정 영역으로 구분하기 어렵다. 현재 자동 탐지 기반 모니터링 연구들은 해안 쓰레기 탐지 가능성을 제고하거나, 탐지 정확도를 비교하는 연구가 대부분이다. 이런 상황에서 신속하고 정확한 모니터링을 위해 실시간 및 준실시간의 자동화 사용이 간편하고 파라미터 수정을 통해 원하는 대로 편집할 수 있는 Object Detection 방식이 많이 이용되고 있는 것으로 판단된다.

## 2. 모니터링 최소 조건 및 기준

메타분석 결과를 통해 파악한 문제점을 바탕으로 드론 기반 해안 쓰레기 모니터링의 최소 조건 및 기준을 마련하였다. 연구 목적과 대상지의 특성에 따른 모니터링 방안을 표 6에 제시하였다. 해당 표의 내용은 선행 연구 메타분석을 통해 도출한 국내 드론 기반 해안 쓰레기 모니터링의 연구 동향이다. 여러 연구 내에 제시된 기준을 조합하고 국가해안 쓰레기 모니터링 사업의 인력 기반 모니터링을 통합하여 표를 작성하였다.

TABLE 6. Drone operation minimum standard conditions for coastal debris monitoring

Item	Description	Recommendation	Standard
Flight Altitude	Flight Altitude	Monitoring flight altitude	Min 3m ~ Max 30m
Pixel	Image Resolution	Drone original image resolution; Resolution after processing	-
GSD	Spatial Resolution	Spatial resolution / Image pixel	About 1.0 cm/pixel
Site Information	Distinguish between target site and target beach	Monitoring area and whether the area is beach/non-beach; Presentation of sea area geological information	Latitude, longitude, destination name
Survey Information	Survey Area, Survey Length, Survey Frequency, Visit Cycle	Monitoring area, carry length, visit cycle	Enter flight plan area on beaches over 100m long, 20m increments along the coastline; Visits up to 2 months apart
Target	Characteristics Subject to Monitoring, Criteria for Classification of Characteristics	Presenting the characteristics to be monitored; Presentation of criteria for selection of properties	Debris over 2.5 cm; 8 categories of national coastal waste monitoring standards

드론 해안 쓰레기 모니터링 최소 조건으로 모니터링 운용 방안을 나타내는 항목(Item)을 정의하였다. 항목 설명(Description)은 작성할 정보를 나타낸 것으로 메타분석 결과를 이용하였다. 작성 방법에 대한 설명은 권장 사항(Drone original image resolution)을 통해 정의하였다. 모니터링 운용 방안 작성을 위한 기준(Standard)은 메타분석 결과와 국가해안 쓰레기 모니터링 사업의 인력 기반 모니터링 운영 방안을 이용하였다.

해안 쓰레기 모니터링을 위한 드론 운용 최소 기준은 다음과 같다. 대상물 인식 관련 항목으로 비행 고도, 이미지 해상도, 공간해상도를 제시하였다. 비행 고도와 공간해상도는 크기가 작은 해안 쓰레기를 관측하기 위한 대상물 인식 중요 요소이다. 본 연구에서는 메타분석 결과를 통한 비행 고도 기준을 최소 3m에서 최대 30m로 작성하였다. 이에 따라 공간해상도는 30m 이하 고도의 조건에서 약 1cm/pixel 이하 일 것을 제안한다. 공간해상도 기준은 모니터링 수행 시 비행 고도에 따라 다르게 나타날 것이다. 메타분석 결과에서 공간해상도에 관한 연구 논의가 부족하였다. 권장 드론 고도 추정을 위해 현장 조사를 통한 적정 공간해상도 파악이

필요한 것으로 판단된다. 이미지 해상도는 원본 이미지와 재가공 이미지의 형태를 모두 확인하기 위해 드론을 통해 수집한 원본 데이터의 크기와 분석을 위해 사용한 크기 두 가지를 모두 작성할 것을 권장한다.

모니터링 수행 관련 항목으로 대상지 정보를 제시하였다. 여러 해역의 해안 쓰레기 분포 차이를 확인하기 위해 대상지의 위치와 이름, 해변/비해변 구분, 해역 지질 정보를 입력한다. 해변은 가로 혹은 세로로 기다란 형태로 분포하기 때문에 해변 내의 정확한 모니터링 지점 표시를 위해 해변 이름과 위·경도를 함께 작성할 것을 제안한다. 해변과 비해변의 구분을 통해 우리나라 해안 쓰레기 분포 해역 지질 특성과 다양한 기타 지질 정보를 확인할 수 있을 것이다. 모니터링 정보는 조사 면적, 조사 길이, 조사 주기, 방문 횟수를 작성한다. 본 연구에서는 국가해안 쓰레기 모니터링의 모니터링 기준을 적용하여 100m 이상의 해변에서 20m 구간을 지정하여 조사하고, 방문주기는 2개월 주기로 작성할 것을 권장한다. 대상지 정보를 통해 표준화된 모니터링 방식은 데이터 수집의 기준 및 근거가 될 수 있다. 또한 다양한 해안 쓰레기 자료 확보가 가능할 것으로 판단된다.

대상 성상 정보에서 성상에 대한 구분 기준과 개수를 작성한다. 메타분석 결과 기존 드론 모니터링 연구들이 국가해안 쓰레기 모니터링의 성상 구분과 유사하게 나타났으므로, 해당 사업의 기준을 적용한 8개 성상 분류의 모니터링 방안을 제안하였다.

## 결 론

본 연구에서는 국내에서 수행된 연구자료를 대상으로 드론을 이용한 해안 쓰레기 모니터링 수행 방안과 연구 동향에 대한 메타분석을 수행하였으며, 메타분석 결과를 바탕으로 한국형 해안 쓰레기 모니터링 드론 운용 기초 조건 및 기준을 제안하였다. 총 19건의 수집된 선행 모니터링 자료를 이용하여 모니터링 방법 분석표와 모니터링 결과 분석표를 제작하였다. 분석된 결과는 현 드론 기반 해안 쓰레기 모니터링의 특성과 미흡한 점, 주의 사항을 확인할 수 있으며, 현재 시행 관리 방안과의 연관성 확인이 가능하였다. 기존 모니터링 방안은 다양한 해안 쓰레기 성상에 대한 자동화 관리체계가 꾸준히 발전하고 있었지만, 해안 쓰레기와 관련된 다양한 자료 확보와 실질적인 관리를 위한 모니터링 방안이 필요한 것으로 나타났다.

드론 기반 해안 쓰레기 모니터링을 위한 고려 항목과 권장 사항을 정의하여 모니터링 최소 조건 및 기준을 제시하였다. 최소 조건은 비행 고도, 이미지 해상도, 공간해상도의 대상물 인식 관련 항목과 대상지 정보, 모니터링 정보의 모니터링 수행 관련 항목, 성상 구분과 분류 기준에 대한 성상 정보 관련 항목으로 정의하였다. 또한 국가해안 쓰레기 모니터링 사업 수행 방식과 접목하여 권장 사항의 최소 및 최대 기준을 작성하였다. 드론 기반 해안 쓰레기 모니터링의 필수 최소 정보를 입력한다면 조사된 정보를 이용하여 드론 모니터링 방안의 표준화가 가능하며, 모니터링 수행의 근거 및 기준이 될 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구에서 제시한 드론 운용 기준 조건을 통해 드론 기반 해안 쓰레기 모니터링 방법의

통일과 연구자 간의 데이터 공유가 원활하게 이루어질 수 있을 것으로 기대된다. 아울러 드론을 이용한 모니터링 조건 및 기준에 대해서만 정리했지만, 다양한 기체를 이용한 원격탐사 관련 추가적인 연구 및 모니터링 표준화 방안이 함께 이루어져야 할 것으로 보인다. 해양 환경 특성에 맞는 적절한 기체 적용 역시 중요한 모니터링 요소로 판단된다. 드론 운용 기준 조건은 선행 연구 고찰을 통해 나온 결과로 실제 현장 적용성 평가, 기체 성능, 예산 및 필요 인원 등 다양한 항목과 재원이 고려되어야 한다. 대상지, 드론 기체, 비행 방법 등 모니터링 고려 요소 확장은 표준화 방안을 구체화하고 타당한 근거를 마련할 수 있을 것으로 판단된다. 따라서 기준안 제시를 위하여 추후 연구 계획으로 1) 외국 사례 분석을 통한 드론 기반 해안 쓰레기 연구 사례 추가, 2) 실제 현장에서의 드론 모니터링을 통한 정량적 근거 마련을 수행하고자 한다. **KAGIS**

## 사 사

이 논문은 한국해양과학기술원의 재원으로 "해양 생태계에 미치는 플라스틱 쓰레기의 영향 평가 기술개발" 사업 지원을 받아 수행된 연구임(PEA0204).

This study was supported by the grant "Development of technology for impact assessment of plastic debris on marine ecosystem" from the Korea Institute of Ocean Science and Technology (PEA0204).

## REFERENCES

- Ahn, K.S. 2017. The need for establishment of a legal term "Marine Litter (debris)" in the fields of environmental law. *Environmental Law Review* 39(3):199-222
- (안기수. 2017. 환경법상 '해양쓰레기' 개념의 필요성. *환경법연구* 39(3):199-222).

- Choi, K.A. 2021. A Coastal Garbage Monitoring System Using Drones and AI Technologies: Focusing on the Case of Jeju Province. *Journal of Korean Society for Geospatial Information Science* 29(4):127-138 (최경아. 2021. 드론 및 AI를 이용한 해안 쓰레기 모니터링 체계: 제주도 사례 중심으로. *대한공간정보학회지* 29(4):127-138).
- Chung, D.K., Lee, M.H., Kim, H.Y. and I.P. Lee. 2019. Development of the Real Time Marine Debris Detection System base on the Deep Learning and Drone Image. *Proceedings of Korean Society for Geospatial Information Science*. pp.136-138 (정동기, 이명화, 김휘영, 이임평. 2019. 드론 영상과 딥러닝을 이용한 실시간 해안쓰레기 모니터링 체계 구축. *대한공간정보학회 학술대회*. pp.136-138).
- Do, Y.B. and H.J. Yoon. 2023. A Study on Accuracy Improvement Method to Marine Debris Detection Using UAV and DETR Model. *Proceedings of The Korean Society for Marine Environment & Energy*. pp.183-183 (도예빈, 윤홍주. 2023. UAV와 DETR 모델을 활용한 해양쓰레기 탐지 정확도 향상 기법 연구. *한국해양환경·에너지학회 학술대회*. pp.183-183).
- Goncalves, G., Andriolo, U., Goncalves, L. M. S., Sobral, P. and F. Bessa. 2022. Beach litter survey by drones: Mini-review and discussion of a potential standardization. *Environmental pollution (Barking, Essex : 1987)*, 315, 120370. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.120370>
- Ha, S.H., Choi, E.S., Kim, J.Y., Oh, S.H. and S.C. Jeong. 2023. A Study on the Detection of Marine Debris in Collection Blind Spots using Drones and a Method for Matching Latitude and Longitude. *Journal of Bigdata* 8(1):73-82 (하상현, 최은성, 김지연, 오성훈, 정석찬. 2023. 드론을 활용한 수거사각지대 해양쓰레기 탐지 및 위경도 매칭 방법에 관한 연구. *한국빅데이터학회 학회지* 8(1):73-82).
- Jang, S.W., Lee, S.K., Oh, S.Y., Kim, D.H. and H.J. Yoon. 2011. The Application of Unmanned Aerial Photography for Effective Monitoring of Marine Debris. *Journal of The Korean Society of Marine Environment & Safety* 17(4):307-314 (장선웅, 이성규, 오승열, 김대현, 윤홍주. 2011. 해안표착물의 효율적인 모니터링을 위한 무선 조정 항공기 촬영기법의 적용. *해양환경안전학회지* 17(4):307-314).
- Jeong, D.W., Lee, Y.J. and S.H. Lee. 2021. A Study on Trash Recognition Rate and Drone Speed. *Journal of Korean Institute of Information Technology* 19(5):39-50 (정동원, 이유정, 이석훈. 2021. 드론의 속도와 쓰레기 인식률에 관한 연구. *한국정보기술학회논문지* 19(5):39-50).
- Kim, B.R., Park, M.S., Kim, J.W., Do, Y.B., Oh, S.Y., H.J. Yoon. 2022. Analysis Temporal Variations Marine Debris by using Raspberry Pi and YOLOv5. *The Journal of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences* 17(6):1249-1258 (김보람, 박미소, 김재원, 도예빈, 오세윤, 윤홍주. 2022. 라즈베리파이와 YOLOv5를 이용한 해양쓰레기 시계열 변화량 분석. *한국전자통신학회 논문지* 17(6):1249-1258).
- Kim, H.M., Park, S.H., Han, J.I., Ye, G.H. and S.W. Jang. 2022. Development of Marine Debris Monitoring Methods Using

- Satellite and Drone Images. Korean Journal of Remote Sensing 38(6):1109-1124 (김홍민, 박수호, 한정익, 예건희, 장선웅. 2022. 위성 및 드론 영상을 이용한 해안쓰레기 모니터링 기법 개발. 대한 원격탐사학회지 38(6):1109-1124).
- Kim, J.H., Lee, S.H., and D.W. Jeong. 2019. A Study on Correction of Drone Flight Path based on Coastal Image Data for Precise Data Acquisition of Coastal Waste. Proceedings of KIIT Conference. pp.19-21 (김종현, 이석훈, 정동원. 2019. 해안표착 쓰레기의 정확한 데이터 획득을 위한 해안 영상 데이터 기반의 드론 비행경로 보정에 관한 연구. Proceedings of KIIT Conference. pp.19-21).
- Lee, J.H., Lee, S.H. and D.W. Jeong. 2021. Comparison of Cloud-based Image Classification Models for Coastal Trash Identification. Proceedings of KIIT Conference. pp.317-319 (이주형, 이석훈, 정동원. 2021. 해안 쓰레기 식별을 위한 클라우드 기반의 이미지 분류 모델의 비교 평가. Proceedings of KIIT Conference. pp.317-319).
- Lee, J.H., Lee, S.H. and D.W. Jeong. 2022. Comparative Evaluation of Cloud Image Classification Models for Drone-based Coastal Waste Identification. Journal of Korean Institute of Information Technology 20(1):19-29 (이주형, 이석훈, 정동원. 2022. 드론 기반 해안 쓰레기 식별을 위한 클라우드 이미지 분류 모델의 비교 평가. 한국정보기술학회논문지 20(1):19-29).
- Lee, Y.J. and D.W. Jeong. 2020. A Study on the Optimal Altitude and Speed of Drones improving Accuracy of Coastal Trash Collection. Proceedings of KIIT Conference. pp.374-379 (이유정, 정동원. 2020. 해안 표착 쓰레기 수집의 정확성 향상을 위한 드론의 최적 고도 및 속도에 대한 연구. Proceedings of KIIT Conference. pp.374-379).
- Lee, Y.J., Park, Y.S. and D.W. Jeong. 2021. Design of a drone image collecting and storing system for Marine Litter collection method in Marine Protected Area. Proceedings of KIIT Conference. pp.298-301 (이유정, 박영선, 정동원. 2021. 해양보호구역의 해양쓰레기 수거 체계를 위한 드론의 영상 수집 및 저장 시스템 설계. Proceedings of KIIT Conference. pp.298-301).
- Lee, Y.J. and D.W. Jeong. 2021. On Drone Altitude and Trash Recognition Rate. Journal of Korean Institute of Information Technology. 19(1):33-42 (이유정, 정동원. 2021. 드론의 고도와 쓰레기 인식률에 관한 연구. 한국정보기술학회논문지 19(1):33-42).
- Ocean Knights. 2021. Ocean Knights Recruitment pp.2-12 (바다기사단. 바다기사단 모집. pp.2-12).
- Park, S.H., Kim, N.K., Jeong, M.J., Hwang, D.H., Enkhjargal, U.Z., Kim, B.R., Park, M.S., Yoon, H.J. and W.C. Seo. 2020. Study on Detection Technique for Coastal Debris by using Unmanned Aerial Vehicle Remote Sensing and Object Detection Algorithm based on Deep Learning. Journal of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences 15(6):1209-1216 (박수호, 김나경, 정민지, 황도현, 앵흐자리갈 운자야, 김보람, 박미소, 윤홍주, 서원찬. 2020. 무인항공기 영상 및 딥러닝 기반 객체인식 알고리즘을 활용한 해안표착 폐기물 탐지 기법 연구. 한국전자통신학회 논문지 15(6):1209-1216).

- Park, S.H., Kim, H.M., Kim, Y.M., Lee, I.J., Park, M.S., Oh, S.Y., Kim, T.Y. and S.W. Jang. 2023. Applicability Evaluation of Deep Learning-Based Object Detection for Coastal Debris Monitoring: A Comparative Study of YOLOv8 and RT-DETR. *Korean Journal of Remote Sensing* 39(6):1195-1210 (박수호, 김흥민, 김영민, 이인지, 박미소, 오승열, 김탁영, 장선웅. 2023. 해안쓰레기 탐지 및 모니터링에 대한 딥러닝 기반 객체 탐지 기술의 적용성 평가: YOLOv8과 RT-DETR을 중심으로. *대한원격탐사학회지* 39(6):1195-1210).
- Seo, D.C. 2019. Comparison and Analysis of Monitoring Methods for Marine Debris on Beach. *JOURNAL OF KOREA SOCIETY OF WASTE MANAGEMENT* 36(8):802-810 (서동천. 2019. 해안쓰레기 모니터링 방법의 비교 및 분석. *한국폐기물자원순환학회지* 36(8):802-810).
- Ser, J.H. and Yang, B.Y. 2023. UAV를 활용한 딥러닝 기반 해양쓰레기 감지 및 공간분포 시각화 자동화 연구. *Proceedings of The Korean Geographical Society*. pp.151-152 (서준호, 양병윤. 2023. UAV를 활용한 딥러닝 기반 해양쓰레기 감지 및 공간분포 시각화 자동화 연구. *대한지리학회 학술대회논문집*. pp.151-152).
- Shin, M.S. 2018. Efforts Towards Creating a Sea Free of Marine Debris. *Marine Newsletter*. Vol.10 (신민섭. 2018. 해양쓰레기가 없는 바다를 만들기 위한 노력. *해양뉴스레터*. Vol. 10).
- Song, K.W., Park, S.H., Yang, Y.J., Jung, J.Y. and S.H. Lee. 2021. Automatic monitoring coastal debris standing-stock using aerial survey and image segmentation model based on deep learning. *Proceedings of The Korean Society for Marine Environment & Energy*. pp.20 (송경환, 박상현, 양윤정, 정정열, 이승현. 2021. 항공조사 이미지와 딥러닝 기반 분할모델을 통한 연안쓰레기 현존량의 모니터링 자동화. *한국해양환경·에너지학회 학술대회논문집*. pp.20).
- Sung, H.O., Kang, D.G., Lee, I.J., Park, H.S. and J.K. Paik. 2022. Drone Image Data Augmentation and Label Matching for Beach Litter Detection. *Proceedings of The Institute of Electronics and Information Engineers*. pp.2898-2901 (성현오, 강동구, 이인재, 박하실, 백준기. 2022. 해안 쓰레기 검출을 위한 드론영상의 기하학적 변환 기반 데이터 증강 및 라벨 정합 기술. *대한전자공학회 학술대회*. pp.2898-2901).
- Waqas, M., Wong, M.S., Stocchino, A., Abbas, S., Hafeez, S. and R. Zhu. 2023. Marine plastic pollution detection and identification by using remote sensing-meta analysis. *Marine pollution bulletin*, 197, 115746. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.115746>. 