

무인항공기 영상 및 딥러닝 기반 객체인식 알고리즘을 활용한 해안표착 폐기물 탐지 기법 연구

박수호* · 김나경* · 정민지* · 황도현* ·
앵호자리갈 운자야* · 김보람* · 박미소* · 윤홍주* · 서원찬**

Study on Detection Technique for Coastal Debris by using Unmanned Aerial Vehicle Remote Sensing and Object Detection Algorithm based on Deep Learning

Su-Ho Bak* · Na-Kyeong Kim* · Min-Ji Jeong* · Do-Hyun Hwang* ·
Unuzaya Enkhjargal* · Bo-Ram Kim* · Mi-So Park* · Hong-Joo Yoon* · Won-Chan Seo**

요약

본 연구에서는 무인항공기 원격탐사 기법과 딥러닝 기반 객체인식 알고리즘을 활용한 해안표착폐기물 탐지 기법을 제안한다. 항공영상 내에 존재하는 해안표착폐기물을 탐지하기 위해 심층신경망 기반 객체 인식 알고리즘을 제안하였다. PET, 스티로폼, 기타 플라스틱의 3가지 클래스의 이미지 데이터셋으로 심층신경망 모델을 훈련시켰으며, 각 클래스별 탐지 정확도를 Darknet-53과 비교하였다. 이를 통해 해안표착 폐기물을 무인항공기를 통해 성상별 모니터링할 수 있었으며, 향후 본 연구에서 제안하는 방법이 적용될 경우 해변 전체에 대한 성상별 전수조사가 가능하며, 이를 통해 해양환경 감시 분야의 효율성 증대에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

ABSTRACT

In this study, we propose a method for detecting coastal surface wastes using an UAV(Unmanned Aerial Vehicle) remote sensing method and an object detection algorithm based on deep learning. An object detection algorithm based on deep neural networks was proposed to detect coastal debris in aerial images. A deep neural network model was trained with image datasets of three classes: PET, Styrofoam, and plastics. And the detection accuracy of each class was compared with Darknet-53. Through this, it was possible to monitor the wastes landing on the shore by type through unmanned aerial vehicles. In the future, if the method proposed in this study is applied, a complete enumeration of the whole beach will be possible. It is believed that it can contribute to increase the efficiency of the marine environment monitoring field.

키워드

Coastal Debris, Remote Sensing, Object Detection, Machine Learning, UAV
해안 표착 폐기물, 원격 탐사, 객체 탐지, 기계 학습, 무인 항공기

* 부경대학교 지구환경시스템과학부

** 교신저자 : 부경대학교 신소재시스템공학과
(seowc@pknu.ac.kr)

• 접수일 : 2020. 10. 30
• 수정완료일 : 2020. 11. 23
• 게재확정일 : 2020. 12. 15

• Received : Oct. 30, 2020, Revised : Nov. 23, 2020, Accepted : Dec. 15, 2020

• Corresponding Author : Won-Chan Seo

Division of Earth Environmental System Science Major of Spatial Information Engineering, Pukyong National University,
Email : yoonhj@pknu.ac.kr

I. 서론

해양폐기물의 대부분은 인간의 생활 및 산업활동으로 발생되며, 하천을 통해 육상으로부터 해양으로 유입되거나 해류를 통해 국가 또는 도시 간 이동으로 유입되는 것으로 알려져 있다[1].

이들 중 해변에 표착하는 해안표착폐기물은 생태계를 파괴하고, 시각적 불쾌감을 조성하여, 해변의 사용 가치를 저해시킨다. 이러한 해안표착폐기물 문제를 해결하기 위해서는 폐기물의 발생 및 이동, 표착 패턴에 대한 연구가 필요하다. 현재 우리나라에서는 이러한 연구를 위한 데이터를 시간 및 경제적인 이유로 인해 해변의 일부 구간에서 표본 추출하는 방법으로 생산하고 있다. 이러한 방법은 길이 100m, 폭 20m의 샘플링 구역을 선정하여 격자 내에서 발생한 폐기물의 총량을 전체 해변 면적으로 일반화하는 것으로 모니터링 결과에 상당한 오류를 포함하고 있다[2, 3]. 따라서 해안 전체에서 발생하는 해안표착폐기물의 데이터를 시간 및 경제적으로 수집하는 새로운 모니터링 방법이 필요하다. 최근, 이러한 문제를 해결하기 위해 원격탐사 기반 모니터링 기술들이 제안되고 있다[2, 4-9].

이러한 원격탐사 기반 모니터링 방법은 저렴한 비용으로 단시간에 발생량을 추정할 수 있다는 장점이 있다. 그러나 분류할 클래스 간 분산이 클 때는 효과적이지만 그렇지 않은 경우 오분류 가능성이 있으며, 특히 배경이 되는 모래나 자갈과 비슷한 색상의 물체를 탐지하기 어렵다. 또한 해안표착폐기물과 해변을 구분하는 것은 가능하지만, 표착폐기물 간의 구분이 되지 않는다는 단점이 있다.

본 연구에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 무인항공기 영상과 심층신경망 기반 객체 탐지 기술을 활용한 해안표착폐기물 탐지 방법을 제안하고자 한다.

II. 자료 및 방법

본 연구에서는 무인항공기를 활용하여 해안의 피복 사진을 촬영하였으며, 심층신경망을 활용한 객체 인식 알고리즘을 활용하여 무인항공기 내 폐기물을 탐지하였다.

탐지 대상은 우리나라의 해안표착폐기물의 대표적

인 정상인 PET, 스티로폼, 기타 플라스틱의 3가지 클래스로 선정하였다.

2.1 항공사진 촬영

해안 피복사진 촬영을 위해 DJI사의 Mavic 2 Pro를 활용하였다. Mavic 2 Pro는 카메라 내장형 회전익 기체로 1인치 20MP 센서를 탑재하고 있다. 또한 GPS(Global Positioning System, USA)와 GLONASS(GLObal NAVigation Satellite System, Russia)의 신호를 모두 수신 가능한 GPS/GLONASS 하이브리드 수신기(Hybrid receiver)를 탑재하고 있어 이미지의 촬영된 위치를 4미터 오차범위 내에서 알 수 있다.

항공사진 촬영은 (1)촬영계획 수립 및 (2)드론 사진 촬영의 두 단계로 이루어진다. 먼저 촬영 계획 수립은 드론사진촬영을 위한 촬영 지역, 촬영고도, 사진 간 중복도, 촬영위치 등을 계획하는 과정이다.

촬영 지역이 선정된 후 지도 및 사전에 촬영된 위성영상 등을 활용하여 촬영범위(공간적 범위) 및 이륙, 착륙 위치 후보를 선정한다. 이후 촬영 대상물의 크기를 고려하여 적절한 지상표본거리(GSD : Ground Sample Distance)를 결정하고, 적정 지상표본거리 확보를 위한 촬영장비 및 촬영고도를 계산한다. 이 때, 지상표본거리는 카메라 화소(Pixel)의 크기와 비행고도 및 카메라의 초점거리(Focal Length)와의 관계식으로 정의된다.

$$GSD = \frac{P \times A}{f} \quad (1)$$

P : 화소의 크기(Pixel Size)

A : 비행고도(Flight Altitude)

f : 초점거리(Focal Length)

본 연구에서는 탐지 대상물인 스티로폼 (Styrofoam), PET, 플라스틱(Plastic)의 평균 크기를 고려하여 지상표본거리를 약 0.3 ~ 0.4cm로 결정하였다. 따라서 지상표본거리 식으로부터 적정 비행고도를 산출하면 다음과 같다.

$$A = \frac{GSD \times f}{P} \quad (2)$$

위 두 식을 이용하여 산출한 최적 비행고도는 Mavic 2 Pro를 기준으로 약 15m이다.

촬영고도가 결정되면, 촬영대상 지역에 대한 촬영 경로를 계획해야 한다. 일반적으로 항공사진촬영은 정사영상(Orthophotograph)을 제작하기 위해 수행된다. 따라서 항공사진측량 작업규정에 따라 입체시 사진 제작을 목표로 촬영 진행 방향으로 60%이상, 인접코스와의 중복도를 30% 이상으로 설정해야한다. 그러나 본 연구에서는 해안 표착폐기물 모니터링 시 단사진(Single Shot)을 활용해야 하므로 중중복도 및 횡중복도를 최소한으로 설정하여, 폐기물의 중복 탐지를 방지하였다. 따라서 사진영상의 지상면적을 고려하여 최소한의 중복도로 블록촬영하는 방식을 사용하였다. 이때, 사진영상의 지상면적은 다음과 같은 방법으로 구할 수 있다(식 3과 4).

$$W_G = W_P \times GSD_W \quad (3)$$

$$H_G = H_P \times GSD_H \quad (4)$$

W_G : 지상 폭(Width)

H_G : 지상 세로거리(Height)

W_P : 화소 폭(Pixel Width)

H_P : 화소 세로거리(Pixel Height)

GSD_W : 지상표본의 폭(Width)

GSD_H : 지상표본의 세로거리(Height)

위 식을 이용하여 계산한 Mavic 2 Pro를 기준으로 15m 고도에서 촬영 시 지상면적은 18.55m(Width) × 13.91(H)이다. 이를 토대로 비행방향으로 약 16.7m 간격으로 단사진을 촬영하였으며, 촬영기선 간 거리는 12.5m로 설정하였다.

2.2 데이터셋

심층신경망 기반 객체 인식 알고리즘을 학습시키기 위해 항공사진으로부터 탐지 대상물이 존재하는 Crop 영상 7,234장을 추출하였다. 추출된 Crop 영상은 LabelImg¹⁾를 활용하여 어노테이션(Annotation)하였으며, 경계상자의 크기와 위치 및 클래스 정보를 xml 형식으로 저장하였다.

2.3 딥러닝 기반 객체 인식 알고리즘

1-Stage 객체 인식 알고리즘인 YOLOv3[10]를 기반으로 해안표착물 탐지 알고리즘을 개발하였다.

YOLOv3는 일반 물체 탐지 및 인식을 위해 개발된 심층신경망 기반 알고리즘으로, 경계상자의 위치 및 크기 예측 및 분류를 단일 신경망으로 동시에 실행하는 통합인식(Unified Detection)을 구현하였다.

기존의 심층 신경망 기반 객체 인식 알고리즘들은 주로 Sliding Window 방식 또는 2-Stage 방식으로 계산과정 및 계산빈도가 잦아 탐지 속도가 느리다는 단점이 있다. 특히 Sliding Window 방식의 경우 각 Sliding Window에 단일 경계상자 좌표만 할당할 수 있어 동일한 Window 내에 둘 이상의 객체가 있는 경우 동시 탐지가 불가능하다는 단점이 있었다. 그러나 YOLO의 경우 Anchor Box라는 개념을 도입하여 탐지 대상 격자에 둘 이상의 객체가 존재하여도 탐지할 수 있다. 또한 입력이미지를 여러 개의 격자(Grid)로 분할하여 구역별 연산을 수행하는 방식을 도입하므로 기존 객체 인식을 위한 신경망들에 비해 연산량을 대폭 축소시킬 수 있었으며, 이를 통해 탐지 속도를 높일 수 있었다.

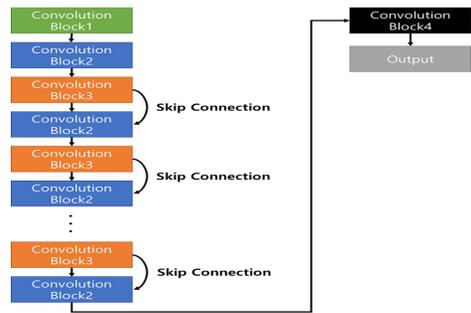


그림 1. 해안표착폐기물 탐지를 위한 딥러닝 기반 객체인식 알고리즘의 구조.

Fig. 1. Architecture for coastal debris detection based on deep learning

Anchor Box는 사전에 정의된 경계상자로서, 학습 데이터 셋의 Ground Truth Box의 크기를 참조하여 초기 크기 및 수를 결정한다. 이후 Anchor Box를 Regression을 통해 얼마나 수정할 것인지 예측하는 방식으로 객체를 탐지하게 된다.

1) <https://github.com/tzutalin/labelImg>

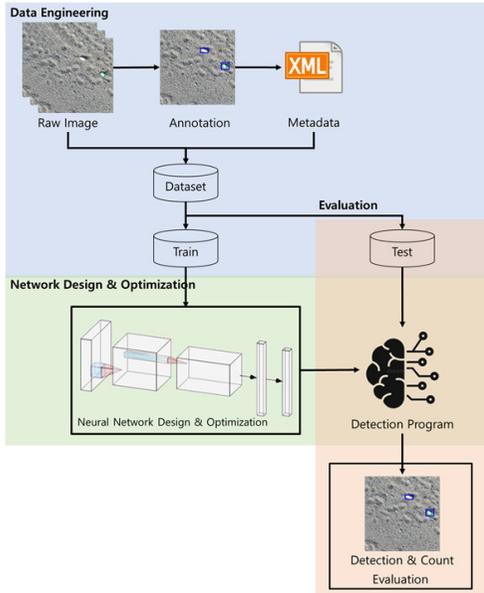


그림 2 딥러닝 기반 객체인식 알고리즘을 활용한 해안표착폐기물 탐지 과정.

Fig. 2 Process for coastal debris detection by using object detection algorithm based on deep learning

Backbone 네트워크는 자체적으로 개발한 합성곱 신경망을 사용하였다. 자체 개발한 합성곱 신경망은 총 80개의 층으로 구성되어 있으며, 각 층은 풀링층과 완전연결층을 제거하고, 합성곱층으로만 구성하였다(그림 1).

2.4 해안표착폐기물 탐지

해안표착폐기물 탐지 과정은 총 3 단계를 통해 수행된다.

(1) 무인항공기를 활용하여 대상 해변에 대한 블록 촬영을 실시한다. 이 때, 중복률은 거의 허용하지 않는다.

(2) 촬영된 영상을 단사진(Single Shot) 단위로 사전훈련된 객체 인식 모델에 입력하여 탐지 결과를 얻는다. 이 때, 각 단사진은 608×608 (pixel) 크기의 Window 이미지로 분할하여 탐지를 수행하며, 탐지 수행 결과물은 단사진 단위로 합산하여 집계한다.

(3) 촬영된 영상의 메타데이터에서 위치정보(경도 및 위도)를 읽어들이어 (2)단계에서 얻은 속성정보(클래스별 탐지 및 누산결과)를 결합하여 벡터 형식의 공간자료(Point)를 생산한다.

III. 결과 및 토의

3.1. 해안표착폐기물 탐지 능력 시각적 평가

그림 3은 본 연구에서 제안하는 방법을 활용하여 해안표착폐기물을 탐지한 결과이다. 식생과 다른 객체, 그림자로 인해 배경이 복잡한 환경에서 촬영된 영상을 활용하여 탐지한 결과 탐지 대상물을 잘 식별할 수 있었다. 또한 식생(갈대, 해조류 등)에 의해 객체의 일부가 가려진 경우에도 탐지 대상물을 식별할 수 있음을 확인하였다(그림 3).

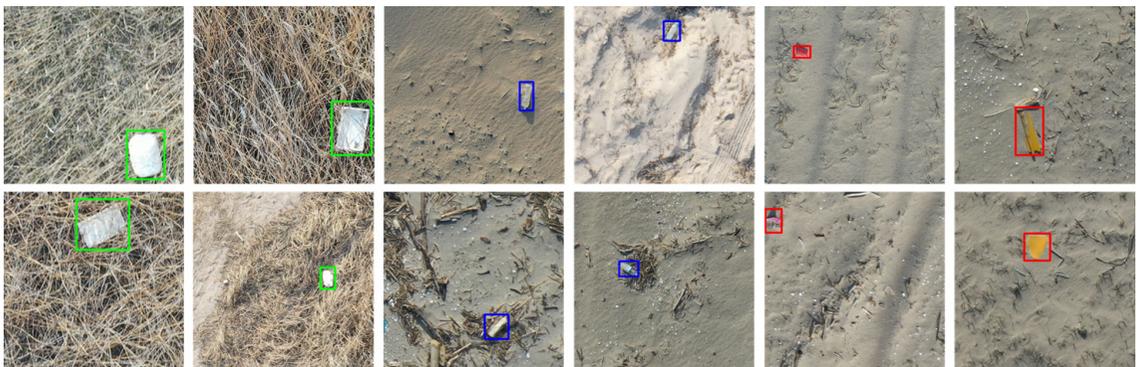


그림 3. 제안하는 CNN을 활용한 객체 인식 알고리즘의 해안표착폐기물 탐지 결과.

Fig. 3. Detection result of coastal debris by object detection algorithm with proposed CNN.

또한 선행연구의 알고리즘들은 배경이 되는 모래 해변과 폐기물을 이진분류(Binary Classification)의 형태로만 탐지하는데 비해 본 연구에서 제안하는 방법을 활용할 경우 성상별 탐지가 가능함을 확인하였다.

3.2 해안표착폐기물 탐지 능력 정량적 평가

본 연구에서는 자체 개발한 Backbone 네트워크의 탐지 정확도를 YOLOv3에 일반적으로 사용하는 Darknet-53과 비교하였다. Backbone 네트워크의 탐지 정확도는 IoU(Intersection over Union) 0.5를 기준으로 평가하였다.

표 1. Darknet-53과 제안하는 CNN 모델의 해안표착폐기물 탐지 정확도 비교
Table 1. Comparison detection accuracy of marine debris between darknet-53 and proposed CNN

Backbone	PET	Styrofoam	Plastic	Average
Darknet-53	0.94	0.93	0.61	0.83
Proposed CNN	0.91	0.93	0.62	0.82

평가 결과 IoU 0.5를 기준으로 각각 평균 0.84, 0.82의 탐지 정확도를 보였다. Darknet-53의 경우 PET 클래스에서 가장 높은 정확도를 보였으며, 제안하는 CNN 모델의 경우 스티로폼 클래스에서 가장 높은 정확도를 보였다.

상기 정확도에 도달하기 위해 합성곱 신경망 모델을 학습시킨 시간은 Darknet-53의 경우 약 2주가 걸렸으며, 제안하는 합성곱 신경망의 경우 4일이 소요되었다.

평균적인 정확도는 Darknet-53이 더 높게 평가되었으나, 학습시간과 학습 반복횟수 당 정확도 개선 정도를 고려했을 때, 제안하는 방식이 좀 더 효율적이라 판단된다.

플라스틱 클래스의 경우 두 알고리즘 모두 약 60%의 탐지 정확도를 보여 다른 클래스에 비해 상대적으로 낮은 탐지능력을 보였다. 이는 플라스틱이라는 객체의 특성상 그 형태 및 색상, 파손유형이 스티로폼 및 PET에 비해 다양하여 발생한 것으로 판단된다. 또한 합성곱 신경망 학습에 활용된 이미지 중 약 8%만이 플라스틱 클래스에 속하여 클래스 내 다양성에

비해 학습 데이터셋 내 포함된 사례가 적어 특징 추출 능력이 빈약했을 가능성이 있다. 향후에는 플라스틱 클래스를 좀 더 작은 단위로 분할하고, 나머지 두 클래스 수준의 추가 이미지 데이터를 확보한다면 정확도 향상이 있을 것으로 판단된다.

IV. 결 론

본 연구에서는 무인항공기 영상과 심층신경망 기반 객체 인식 알고리즘을 활용하여 PET, 스티로폼, 플라스틱에 대한 해안표착폐기물 탐지를 수행하였다.

탐지대상물이 식생에 의해 일부가 가려지거나 탐지대상물이 아닌 다른 객체가 근접할 경우에도 식별이 가능한 것을 확인하였다.

PET와 스티로폼 클래스에서 90% 이상의 탐지 정확도를 얻었다. 특히 스티로폼의 경우 분광특성이 불분명하며, 형태가 다양하여 전통적인 원격탐사 기법으로는 탐지하기 어려운 클래스였으나, 제안하는 방법으로는 탐지가 가능하였다.

선행연구들이 제안하는 알고리즘의 경우 해안표착 폐기물과 해변을 이진분류 형식으로 식별하였으나, 본 연구에서 제안하는 방법을 활용하면, 해변 뿐 아니라 탐지 된 객체가 어떤 클래스에 속하는지 식별이 가능하였다. 이는 향후 성상별 시계열 데이터 확보를 위한 기반이 될 수 있다. 또한 해안표착폐기물 중심 해변 간 표착특성을 유형화 할 수 있는 중요 변수로 활용될 수 있다.

감사의 글

이 논문은 부경대학교 자율창의학술연구비 (2019년)에 의하여 연구되었습니다.

References

- [1] I. Chung, S. Park, M. Kim, "Generation Quantity and the Physicochemical Properties of Marine Litter Occurred in island area," J. of Korean Society of Environmental Technology, vol. 13, no. 4, 2010, pp. 293-300.

- [2] S. Jang, S. Lee, S. Oh, D. Kim, H. Yoon, "The Application of Unmanned Aerial Photography for Effective Monitoring of Marine Debris," J. of the Korean Society of Marine Environment and Safety, vol. 17, no. 4, 2011, pp. 307-314.
- [3] S. Park and H. Kang, "The Quantity and Characteristics of Marine Debris Collected from the Coastline in Jeonnam," J. of Korea Society of Waste Management, vol. 22, no. 2, 2005, pp. 203-212.
- [4] S. Kako, A. Isobe, S. Magome, "Sequential Monitoring of beach litter using webcams," Marine Pollution Bulletin, vol. 60, no. 5, 2010, pp. 775-779.
- [5] E. Nakashima, A. Isobe, S. Magome, S. Kako, N. Deki, "Using aerial photography and in situ measurements to estimate the quantity of macro-litter on beaches," Marine Pollution Bulletin, vol. 62, no. 4, 2011, pp. 762-769.
- [6] Z. Bao, J. Sha, X. Li, T. Hanchiso, E. shifaw, "Monitoring of beach litter by automatic interpretation of unmanned aerial vehicle images using the segmentation threshold method," Marine Pollution Bulletin, vol. 137, 2018, pp. 388-398.
- [7] L., Goddijn-Murphy, S., Peters, E., Van Sebille, N. A., James, and S., Gibb, "Concept for a hyperspectral remote sensing algorithm for floating marine macro plastics. Marine pollution bulletin, vol. 126, 2018, pp. 255-262.
- [8] S. I., Kako, A., Isobe, S., Magome, "Low altitude remote-sensing method to monitor marine and beach litter of various colors using a balloon equipped with a digital camera," Marine Pollution Bulletin, vol. 64, no. 6, 2012, pp. 1156-1162.
- [9] K., Moy, B., Neilson, A., Chung, A., Meadows, M., Castrence, S., Ambagis, K., Davidson, "Mapping coastal marine debris using aerial imagery and spatial analysis," Marine pollution bulletin, vol. 132, 2018, pp. 52-59.
- [10] J. Redmon and A. Farhadi, "Yolov3: An

incremental improvement," arXiv preprint, arXiv:1804.02767, 2018.

저자 소개

박수호(Su-Ho Bak)



2013년 부경대학교 공간정보시스템 공학과 졸업(공학사)

2017년 부경대학교 공간정보시스템 공학과 졸업(공학석사)

2020년 현재 부경대학교 대학원 지구환경시스템과학 부 공간정보시스템공학전공(박사수료)

※ 관심분야 : 해양 원격탐사, GIS, Deep Learning

김나경(Na-Kyeong Kim)



2020년 부경대학교 공간정보시스템 공학과 졸업(공학사)

2020년 현재 부경대학교 대학원 지구환경시스템과학 부(석사과정)

※ 관심분야 : 해양 원격탐사, Deep Learning

정민지(Min-Ji Jeong)



2017년 부경대학교 해양학과 졸업 (이학사)

2020년 현재 부경대학교 대학원 지구환경시스템과학 부 공간정보시스템공학과(석사과정)

※ 관심분야 : 해양 원격탐사



황도현(Do-Hyun Hwang)

2011년 부경대학교 공간정보시스템 공학과 졸업(공학사)
2013년 부경대학교 대학원 공간정보시스템공학과 졸업(공학석사)

2020년 현재 부경대학교 대학원 지구환경시스템과학부 공간정보시스템공학전공(박사수료)
※ 관심분야 : 해양 원격탐사, GIS



김보람(Bo-Ram Kim)

2019년 부경대학교 공간정보시스템공학과 재학(학사과정)
※ 관심분야 : 해양 원격탐사



앵흐자리갈 운자야(Enkhjargal Unuzaya)

2014년 몽골 과학기술대학교 정보 및 전기통신기술학과 졸업(공학사)

2020년 현재 부경대학교 대학원 지구환경시스템과학부(석사수료)
※ 관심분야 : 무선 통신, 해양원격탐사, GIS



윤홍주(Hong-Joo Yoon)

1983년 부경대학교 해양공학과 졸업(공학사)
1985년 부경대학교 대학원 해양학과 졸업(공학석사)

1997년 프랑스 그르노블 I 대학교 대학원 위성원격탐사전공 졸업(공학박사)
1999년~2002년 여수대학교 해양공학과 교수
2002년~현재 부경대학교 공간정보시스템공학 교수
2012년~2013년 부경대학교 공간정보연구소 초대 소장
2013년 (사)한국클라우드센터얼파크 이사
2014년 한국전자통신학회 부회장
2015년 공간정보 Big Data 센터장
2015년 행정공간정보화연구소 소장
2016년 (사)한국생태공학회 회장
2019~현재 한국전자통신학회 회장
※ 관심분야 : 해양 원격탐사, GIS



박미소(Mi-So Park)

2019년 부경대학교 공간정보시스템공학과 재학(학사과정)
※ 관심분야 : 해양 원격탐사



서원찬(Won-Chan Seo)

1988년 부경대학교 해양공학과 졸업(공학사)
1992년 일본 OSAKA대학 대학원 생산가공공학과 졸업(공학석사)

1995년 일본 OSAKA대학 대학원 생산가공공학과 졸업(공학박사)
1998년 ~현재 부경대학교 신소재시스템공학과 교수
※ 관심분야 : 위성정보처리, Machine Vision

