



Received: 2024/06/29
Revised: 2024/07/11
Accepted: 2024/08/20
Published: 2024/09/30

***Corresponding Author:**

Byungmoon Park

Fax: +82-70-5228-4731

E-mail: hydropark@gmail.com

수면 부근 실시간 물체 탐지에 관한 기초 연구: 수심라이다 기술을 중심으로

A Basic Study on Real-time Object Detection Near the Water Surface: Using Bathymetric LiDAR Technology

김용석¹, 박병문^{2*}

¹동아대학교 조경학과 부교수

²(주)지오스토리 해양사업본부 공학박사

Yong-Suk Kim¹, Byungmoon Park^{2*}

¹Associate Professor, Dept. of Landscape Architecture, Dong-a University

²Ph.D, Maritime Business Division, Geostory Co., Ltd.

Abstract

본 논문에서는 수심라이다 기술을 이용하여 수면 부근의 물체를 실시간으로 탐지하는 방법을 연구하였다. 먼저 최근 항공수심라이다 측정기술 국산화 내용과 시범조사 자료의 특성을 분석하고 이를 토대로 항공기 등에서 실시간으로 수면 부근의 물체를 탐지하기 위한 조건을 가정하고 실험을 진행하였다. 실험 결과, 수면에서 반사되는 점군 데이터를 제거하면 수면과 인접한 수중의 물체를 실시간으로 판별하는 것이 가능하다는 결과를 얻었다.

In this paper, we studied a method to detect objects near the water surface in real time using depth lidar technology. First, we analyzed the recent localization of airborne depth LiDAR survey technology and the characteristics of the pilot survey data, and based on this, we conducted experiments assuming conditions for detecting objects near the water surface in real time from aircraft, etc. As a result of the experiment, it was found that it was possible to identify underwater objects adjacent to the water surface in real time by removing the point cloud data reflected from the water surface.

Keywords

라이다(LiDAR), 수심라이다(Bathymetric LiDAR), 물체 탐지(Object Detection), 점군 데이터(Point Cloud), 해양영역인식(Maritime Domain Awareness)

Acknowledgement

이 논문은 2024년도 한국해군과학기술학회 하계학술대회 발표 논문임.

본 연구는 2022년도 해양수산부 재원으로 한국해양과학기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임(항공라이다 장비 국산화 실증 및 활용기반 구축).

1. 서론

물체를 신속하게 탐지하는 기술은 위험 징후를 미리 알려주므로 다양한 분야에서 중요하게 다루는 기술이다. 물체 탐지 기술에는 레이더, 소나, 카메라, 초음파 등이 있다. 최근에는 정밀한 위치정보를 수집할 수 있는 라이다(LiDAR, light detection and ranging) 기술이 개발되어 정밀도로지도 제작, 자율주행자동차의 장애물 탐지 등의 분야에서 활용되고 있다[1].

본 연구에서는 2022년 우리나라에서 국산화에 성공한 수심라이다(bathymetric LiDAR) 기술을 이용하여 수면 부근에 존재하는 물체를 실시간으로 탐지하는 실험을 진행하였다.

수심라이다는 물을 투과하는 녹색광 레이저의 물리적 특성을 이용하는 개념이다. 이때 근적외선 레이저를 같이 사용하여 수면에서 반사되는 데이터를 같이 수집해야 하기 때문에 두 개의 레이저 반사 데이터가 혼재되어 수집됨에 따라 이를 분류하는 복잡한 자료처리 과정이 필요하게 된다. Fig. 1은 항공기를 이용한 수심라이다(ABL, airborne bathymetric LiDAR)의 모형을 나타낸 그림이다[7].

수심라이다 장비의 국산화 사업은 해양수산부 재원으로 2014년부터 2019년까지 추진한 ‘항공 탐재용 수심측량장비(씨호크, Seahawk[®]) 국산화 개발’과 2020년부터 2022년까지 추진한 ‘항공라이다 장비 국산화 실증 및 활용기반 구축’ 연구개발사업이다.

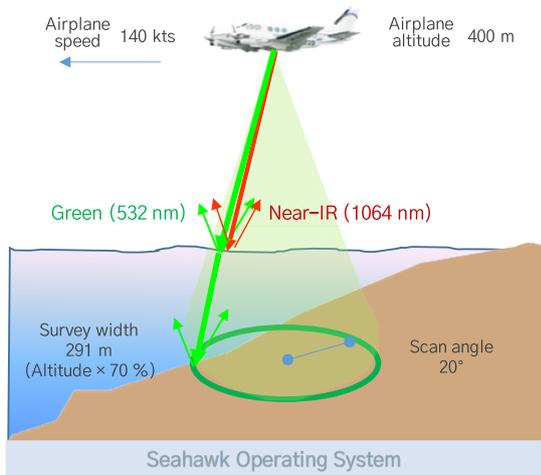


Fig. 1. General diagram for ABL

이들 사업을 추진함으로써 우리나라는 세계에서 네 번째로 수심라이다에 관한 자체 기술력을 확보한 나라가 되었다[7]. 수심라이다를 이용하여 수로측량을 시행하기 위해서는 많은 원천 기술을 필요로 한다. 관련 원천 기술을 보유하고 있다는 것은 다양한 목적으로 응용할 수 있는 확장성 역시 확보하고 있다는 의미가 있다.

2. 관련 연구동향

이재빈 등[2,3]은 물을 투과할 수 있는 녹색 레이저의 물리적인 특성을 이용하여 수면과 해저의 위

치데이터를 동시에 수집하여 점군 형태의 데이터를 구축하게 되는데 여기에서 얻은 원시 점군 데이터로부터 해저에 해당하는 점들을 지형학적 분류 기술인 histogram 기반으로 클러스터링 방법과 지면분리(ground filtering) 기법인 CSF(cloth simulation filtering) 알고리즘을 이용하여 해저면 점군 데이터를 효과적으로 추출하는 기술을 개발하였다.

김혜진 등[4]은 항공수심라이다 장비에서 얻어진 원시 점군 데이터에 존재하는 수면과 해저 반사, 수중산란 및 각종 노이즈가 혼재되어 수신된 웨이브폼으로부터 각각의 에코(echo)를 분리하는 기술을 피크 추정 모델을 개발하여 근사 정확도를 향상시켰다. Fig. 2는 항공수심라이다 시스템의 송신기에서 발사된 레이저빔의 일부는 수면에서 반사되고, 일부는 수면을 가로질러 바다에 닿을 때까지 수중에서 전파된 후 반사되어 수신기에 입사되는 과정을 도식화한 자료이다.

이재빈, 김혜진 등[5,6]은 수심라이다 기술을 연안 침식 시계열 분석과 하천의 바닥 지형을 효과적으로 추출하는 기술을 개발하였다. Fig. 3는 이재빈 등[5]이 연구 대상지역인 표사계 GW36(강원도 삼척항~덕산항 구간)의 6.37 km를 대상으로 2022년 3월과 2021년 8월 자료로부터 작성된 DTM을 서로 차분하여 시간 경과에 따른 해안 지역의 지형 변화를 관찰한 자료를 표시한 도면이다. 이 도면에서 빨간색과 파란색 영역은 두 DTM의 차분값의 평균값을 기

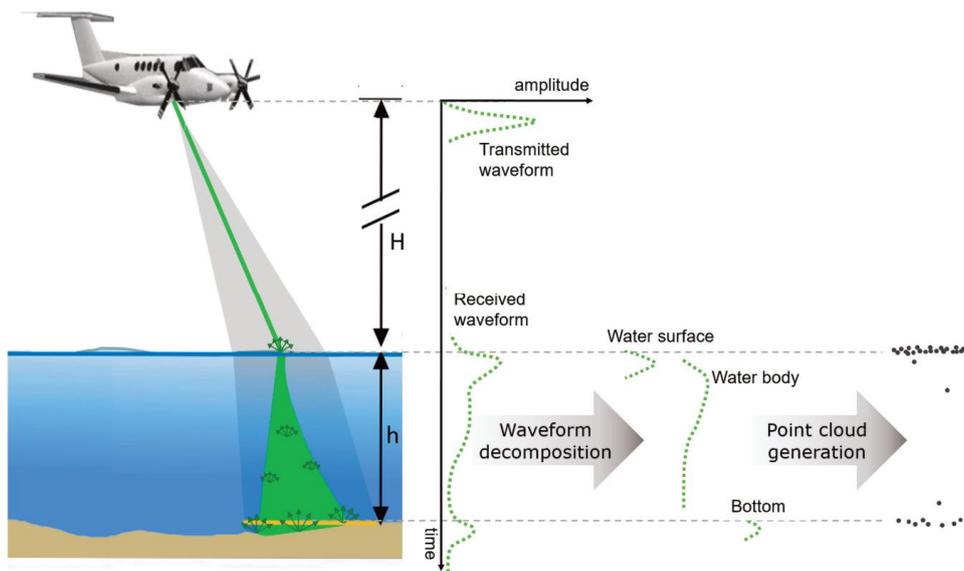


Fig. 2. Waveform processing of airborne bathymetric LiDAR system[4]

준으로 $\pm 2(-1.83 \text{ m} \leq \Delta Z \leq 1.12 \text{ m})$ 이상 변화한 위치를 보여준다. 이 자료의 특징은 기존에 확인하기 어려웠던 넓은 범위의 해안 지형의 3차원적인 공간 변화를 보여준다는 것이다.

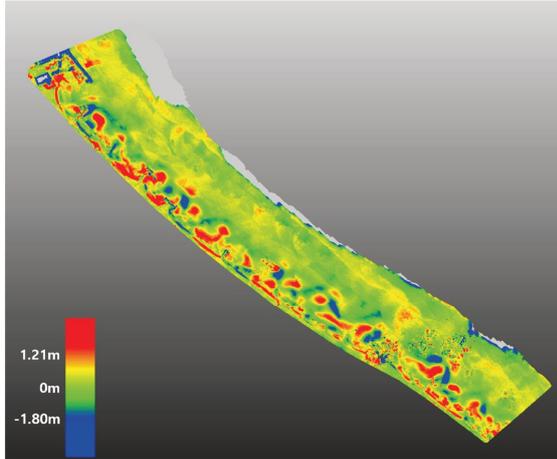


Fig. 3. Differences in DTMs (2022 August vs. 2021 March)[5]

최근 AI 기술을 응용하여 항공수심라이다 자료를 효과적으로 분류하는 연구가 한국수목학회 등에서 논의되고 있는 것은 중요한 의미가 있다고 보인다.

3. 실험 내용

3.1. 실험 데이터

연구에 사용한 실험 데이터는 수심라이다 기술 국산화 사업의 시범데이터 취득자료를 이용하였다. 시범조사는 속초, 삼척, 울진, 해운대, 성산 등 16개소에서 시행하였고 1개소 당 15 km² 이상의 면적, 수심 5 m – 20 m 범위를 포함하여 조사하였다. 시범조사는 국립해양조사원의 수로측량업무규정 제2절 ‘항공수심측량’ 기준에 따라 실시하였다.

수심라이다 기술을 이용하여 측량하는 단계는 다음과 같다. 먼저 수면에서 반사되는 근적외선 레이저(파장 1,064 nm)와 물을 투과하여 해저면에서 반사되는 녹색 가시광선 레이저(파장 532 nm)를 사용하여 원시 점군 데이터를 취득한다. 이렇게 항공기에서 자료를 취득하는 과정에는 국내 기술진이 개발한 데이터 수집장치와 LBASSD SW를 이용한다. 이 SW는 수심라이다 센서에서 들어오는 데이터를 처

리하여 위치정보(x, y, z)를 가지는 점군 데이터로 변환해 주는 역할을 한다. Fig. 4는 국내기술로 자체 개발하여 비행 중 취득하는 데이터를 점군 데이터를 실시간으로 확인할 수 있는 항공수심측량 데이터 수집 시스템(이하 ‘실시간 확인 시스템’)이다.

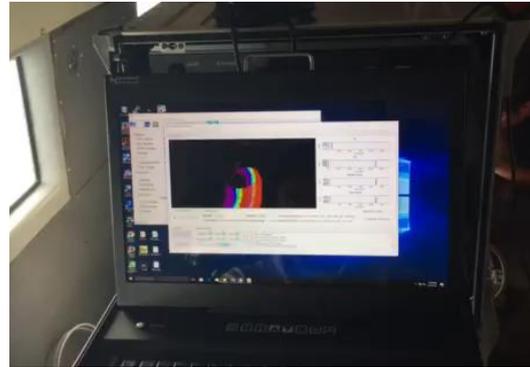


Fig. 4. Real-time data collection system

다음 단계는 항공기에서 수집한 원시 점군 데이터와 촬영궤적 데이터를 입력받아 자료분류가 가능한 점군 데이터를 생성하는 과정이다. 이 과정에는 자체 개발한 LBASSD SW를 사용한다. 이 과정을 마친 점군 데이터에는 여전히 수면 반사 데이터 등이 혼재된 상태이므로 라이다 자료처리 상용 SW인 MicroStation을 이용하여 해저면의 지형지물을 분류하는 작업을 수행한다. Fig. 5는 씨호크 시스템에서 수집된 점군 데이터를 자동 분류하는 과정을 보여주는 그림이다. 좌측 그림은 LBASSD SW에서 생산된 씨호크 점군 데이터를 불러오는 과정이며, 우측 그림은 수면 반사 점군 데이터와 노이즈를 자동으로 구분하는 과정이다.

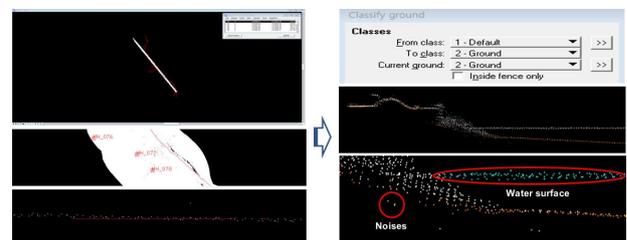


Fig. 5. Automatic classification of the Seahawk data

Fig. 6는 씨호크 장치에서 얻은 점군 데이터를 자동으로 분류하는 과정을 나타낸 것이다. 좌측 그림과 같이 조사구역 전체를 보면서 수면 위의 물체 또

는 수면 부근에 점군 데이터가 혼재되어 있는 경우에는 작업자가 자료의 모양 등을 참고하여 수동으로 분류작업을 하여야 한다. 우측 그림은 수면 반사, 수면 위 물체, 수면과 수중자료가 혼재된 자료를 완전하게 분류하고 해저 지형지물 요소만을 추출하여 3D 형식으로 표시한 그림이다.

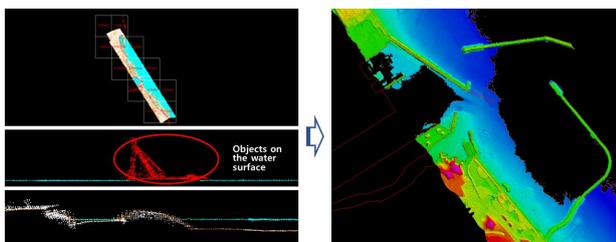


Fig. 6. Manual classification of the Seahawk data

이렇게 얻어진 씨호크 성과물은 국제수로기구 (IHO, International Hydrographic Organization) 의 수로측량 ‘1b 등급’에 부합하는 결과를 얻었다. Fig. 7은 씨호크 수심라이다 장비를 이용하여 얻은 해운대 해수욕장 부근 수심측량 자료이다.

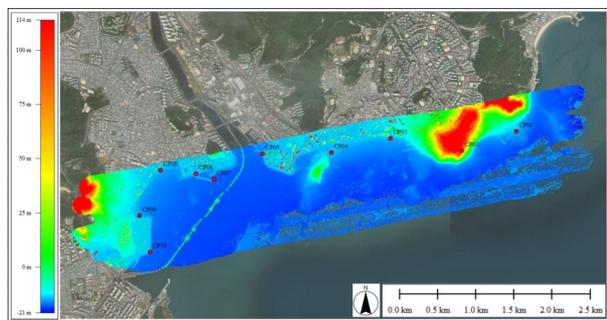


Fig. 7. Seahawk results around Haeundae Beach

3.2. 실시간 물체 탐지 실험

항공기에서 수심라이다 데이터를 취득하는 단계에서 수면 부근의 물체를 실시간으로 탐지할 수 있는 조건을 가정하여 실험을 진행하였다. 즉 항공기 내에 설치한 실시간 확인 시스템에서 점군 데이터 수집과 함께 수면 반사 데이터를 구별할 수 있는 모듈을 갖추고 있다고 가정하였다. 실시간으로 취득되는 점군 데이터에서 수면 반사 데이터를 제거하는 과정을 추가하여 수면 아래에 존재하는 물체를 실시간으로 확인할 수 있게 하는 조건이다.

이 실험에서는 상황을 두 가지로 구분하였다. 첫 번째 상황은 탐지할 물체가 수면보다 위에 있는 경우이다. 이 경우 수면에서 반사되는 데이터의 영향을 받지 않기 때문에 공기층에서의 산란은 무시하고 별도의 자료처리 과정을 거치지 않았으며, 수면 위에 존재하는 물체의 크기나 모양 등 특성에 따라 실시간 확인 시스템에 나타나는 형태를 분류하였다. 그 결과 수면 위에 있는 물체 탐지는 물체의 크기와 형태에 따라 다양한 모양을 가지는 것으로 확인되었다. Fig. 8에서 Fig. 8(a)는 해안선을 따라 조사를 진행하는 경우에 나타나는 실시간 수집자료이다. 여기에서 왼쪽의 적색 부분은 육지 지형이며 오른쪽 청색 부분은 해상 구역을 나타낸다. Fig. 8(b)는 육지 쪽에서 해상 쪽으로 이동하면서 조사하는 경우에 나타나는 자료이다. 적색부분은 육지 지형이며 끝부분의 노란색 직선부를 통해 방파제 등 직선형 구조물을 파악할 수 있다. Fig. 8(c)는 해상에서 이동하는 선박이 탐지된 자료이다. Fig. 8(d)는 바다에 설치되어 있는 정치어망 시설이 잡힌 것으로 끝단부에 흐릿하게 나타나 있다.

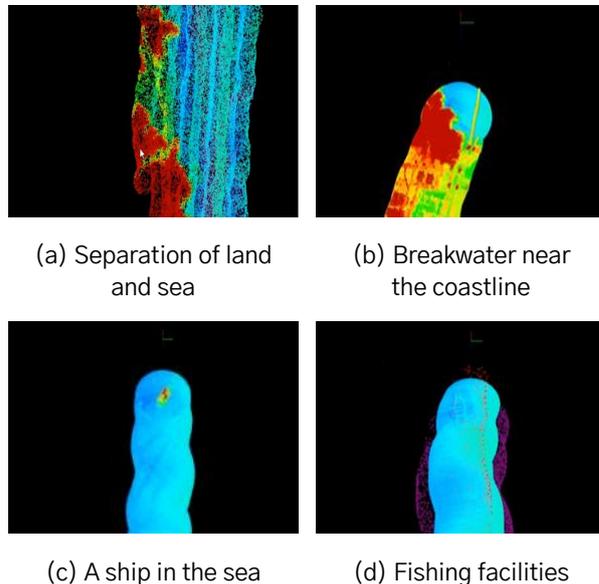
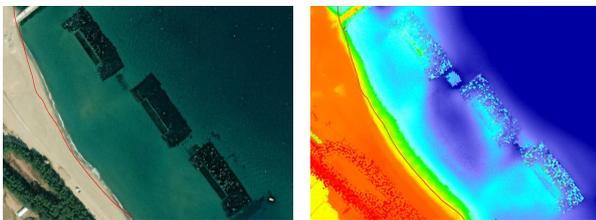


Fig. 8. Characteristics of objects above the water surface

두 번째 상황은 물체가 수중에 존재하는 경우이다. 이 경우 수면에서 반사되는 점군 데이터를 처리하는 모듈이 없기 때문에 이 실험의 가정 조건을 충족하도록 수심라이다 시범조사의 중간 과정에서 생

산된 수면 반사 점군 데이터와 해저면 점군 데이터가 구분된 자료를 사용하였다. 즉 수면 반사 점군 데이터를 제거한 다음 실시간 확인 시스템에서 확인할 수 있도록 하는 실험을 진행하였다. Fig. 9(a)는 인공 위성에 수중 구조물의 존재가 잘 나타나 있는 것으로 보아 구조물이 수면과 매우 가까이에 설치되어 있거나 물이 맑은 수역으로 판단되며, Fig. 9(b)는 수면 반사 점군 데이터를 제거하고 실시간 확인 시스템에서 확인하는 것과 같은 조건으로 관찰한 결과 수중 구조물의 형태, 크기, 특징 등을 파악할 수 있는 자료를 얻었다. 윗부분에 점 형태로 나타난 것은 파랑 저감을 위한 테트라포트 시설로 판단된다.

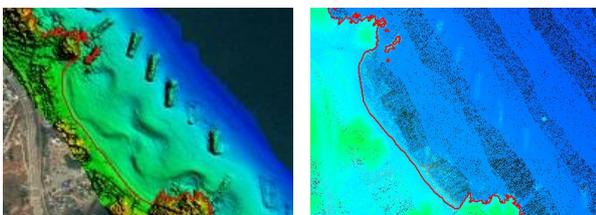


(a) Satellite image

(b) Seahawk data

Fig. 9. Characteristics of objects in the underwater (Case 1: Clear detection of the underwater objects)

이에 비하여 Fig. 10의 경우에는 선명하지 않은 자료를 얻었는데, Fig. 10(a)는 수심라이다 데이터를 수심측량 작업 절차에 따라 작성된 해저면 지형자료이다. 이 자료를 살펴보면 수중에 설치되어 있는 구조물의 형태를 분명하게 구별할 수 있다. 그러나 Fig. 10(b)는 실시간 확인 시스템 조건에서 보면 수중 구조물의 형태가 매우 미약하기 때문에 실제로 항공기에서 실시간으로 물체를 탐지하는 상황에서는 판독이 어려울 수 있다고 판단된다.



(a) After the Seahawk data processing

(b) Before the Seahawk data processing

Fig. 10. Characteristics of objects in the underwater (Case 2: Unclear detection of the underwater objects)

4. 고찰 및 향후 연구방향

수심라이다 기술은 물을 투과하는 녹색 레이저의 특성을 이용하여 수중의 해저면 등을 정밀하게 조사하는 기술이다. 우리나라는 해양수산부 재원으로 추진한 항공 탑재용 수심측량장비 국산화 개발과 실증 및 활용기반 구축 연구사업으로 세계 4번째로 자체 기술력을 갖춘 상태이다.

본 연구에서는 수심라이다 기술을 활용하여 수면 부근 물체 탐지를 실시간으로 수행할 수 있는 방안을 찾고자 하였다.

관련분야의 연구동향을 살펴보면, 이재빈, 김혜진 등이 수심라이다 점군 데이터 분리, 연안침식, 하천영역 등에 활용을 확장하는 등의 연구가 진행되었으며, 최근에는 AI 기술을 활용하여 해저지형 점군을 효과적으로 분류하는 연구가 관련 학회를 중심으로 논의되고 있다.

실험 결과, 수면 위에 물체가 존재하는 경우에는 현재의 씨호크 시스템에서 실시간 탐지가 가능하다는 결과를 얻었으며, 크기 등에 따른 특성을 분류하였다. 수중의 물체를 탐지하기 위하여 수면 반사에 따른 점군 데이터를 제거하여 실험한 결과 수면에 가까운 물체는 선명하게 구분할 수 있으나, 수심이 깊어진 경우 등에서는 물체가 선명하지 않아 식별하는 데 어려움이 있었다.

본 연구에서는 항공기 등을 이용하여 실제로 데이터를 수집하지 않고 실험실에서 조건을 가정하여 진행하였기 때문에 여러 가지 제약조건이 있었다. 먼저 두 가지 레이저 광원을 사용하기 때문에 각각의 광원의 출력을 달리하는 실험 등은 진행할 수 없었다. 두 번째, 물을 투과하는 녹색 레이저 광원의 경우에도 수면에서 일부 산란될 수 있다고 하는 그에 대한 실험은 진행하지 못했다. 향후 현장조사를 병행한 실험연구가 필요하다고 판단된다.

5. 결론

정밀한 위치정보를 가진 점군 데이터를 실시간으로 취득할 수 있는 라이다 기술은 다양한 분야에서 활용되고 있다. 국산화에 성공한 수심라이다 기술을 이용하여 수면 부근의 물체를 실시간으로 탐지하는 실험을 실시한 결과, 수면 위에 존재하는 일정 크기

이상의 물체는 탐지가 가능했다. 다만 물체의 종류를 즉시 판단하기 위해서는 많은 경험과 사진자료 등 보조자료를 축적할 필요가 있다. 그리고 수중에 존재하는 물체를 탐지하기 위해서는 수면에서 반사되는 점군 데이터를 신속하게 분류하는 자동인식 기술이 필요하다는 것을 알게 되었으며, 최근 AI 기술을 이용하여 자동으로 점군 데이터를 분류하는 방법이 국내에서 연구되고 있는 것은 중요한 의미가 있다고 판단된다.

본 연구가 향후 수심라이다 기술을 이용한 물체 탐지 기술에 대한 관심과 후속 연구가 확산되는 계기가 되기를 기대한다.

참고문헌

[1] S. W. Kwon, D. W. Kang and J. H. Kim, "A Study on the Improvement of Object Detection Algorithm for Autonomous Vehicles Using LiDAR Based V2I," Korean Society of Automotive Engineers Autumn Conference and Exhibition, pp. 674-678, 2020.

[2] J. B. Lee and J. H. Jung, "A study on the Extraction of

Seabed Topographic Information Using Airborne Bathymetric LiDAR Surveying," 2020 Conference of the Korean Association of Spatial Information, pp. 30-34, 2020.

[3] J. B. Lee, J. H. Jung and H. J. Kim, "Segmentation of Seabed Points from Airborne Bathymetric LiDAR Point Clouds Using Cloth Simulation Filtering Algorithm," Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography, Vol. 38, No. 1, pp. 1-9, 2020.

[4] H. J. Kim, J. B. Lee, Y. I. Kim and G. J. Wie, "Waveform Decomposition of Airborne Bathymetric LiDAR by Estimating Potential Peaks," Korean Journal of Remote Sensing, Vol. 37, No. 6-1, pp. 1709-1718, 2021.

[5] J. B. Kim, J. Y. Kim, G. H. Kim, H. S. Hur and K. J. Wie, "Coastal Erosion Time-series Analysis of the Littoral Cell GW36 in Gangwon Using Seahawk Airborne Bathymetric LiDAR Data," Korean Journal of Remote Sensing, Vol. 38, No. 6-1, pp. 1527-1539, 2022.

[6] H. J. Kim, J. B. Lee and G. J. Wie, "Airborne Bathymetric LiDAR Data Classification of River Using Pseudo-waveform Decomposition," Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography Vol. 40, No. 6, pp. 645-653, 2022.

[7] Ministry of Oceans and Fisheries, "Final Report on the Demonstration of the Localization of Aviation Lidar Equipment and the Establishment of a Foundation for Utilization," 2022.