

[Oceanography] Article

무인항공기 광학과 라이다 영상 기반 강화도 갯끈풀 분포와 정밀 지형 데이터셋

김근용¹ · 장영재¹ · 이진교^{1,2} · 유주형^{1,*}

한국해양과학기술원 해양위성센터, 부산 49111, 대한민국¹

한국해양대학교 해양과학기술전문대학원 해양과학기술융합학과, 부산 49112, 대한민국²

UAV Photogrammetry and LiDAR Based Dataset of *Spartina anglica* Distribution and High-resolution Topographic Map in Ganghwado

Keunyoung Kim¹ · Yeongjae Jang¹ · Jingyo Lee^{1,2} and Joo-Hyung Ryu^{1,*}

Korea Ocean Satellite Center, Korea Institute of Ocean Science and Technology, Busan 49111, Republic of Korea¹
Science and Technology, Ocean Science and Technology School, KIOST-KMOU, Busan, 49112, Republic of Korea²

Received: 9 June 2022, revised: 27 June 2022, accepted: 28 June 2022

요약문 강화도 남단 갯벌의 갯끈풀은 외래종으로 2015년 공식 발표된 이후 분포 면적이 점차 확대되는 것으로 알려져 있다. 갯끈풀을 제거하기 위한 정부와 지자체의 노력이 계속되고 있으며, 이를 위하여 지속적인 분포 변화 모니터링이 필요하다. 본 연구에서는 무인항공기 광학 센서를 활용하여 강화도 남단 갯벌의 갯끈풀 분포현황 및 면적, 라이다 센서를 활용하여 정밀 지형지도를 제작하였다. 광학 및 라이다 영상은 70 m 고도에서 촬영되었으며, 광학영상의 Ground Sampling Distance (GSD)는 0.9 cm, 라이다 영상의 GSD는 5 cm 공간해상도로 획득하였다. 다만 해당 자료는 "국토교통부 국가공간정보 보안관리 규정" 및 "국가정보원 보안업무규정" 등을 준수하기 위해 GSD 25 cm로 리샘플링하여 제공한다.

주요어: 강화도 갯벌, 라이다, 영국갯끈풀, 무인항공기

Abstract The *Spartina anglica* in the tidal flat at the southern part of Ganghwado, it is known that the distribution area has gradually expanded since it was officially announced as invasive alien species in 2015. The government and local governments are continuing their efforts to remove the *S. anglica*, and for this, continuous distribution change monitoring is required. This study extracted the data of distribution and extent area of *S. anglica* from Zenmuse P1 sensor, and generated the high-resolution Digital Elevation Model (DEM) from Zenmuse L1 sensor. Optical and Lidar images were photographed at an altitude of 70 m, and Ground Sampling Distance (GSD) of optical images was obtained at 0.9 cm and GSD of lidar images at 5 cm spatial resolution. However, the data are resampled and provided in GSD 25 cm to comply with the "National Spatial Information Security Management Regulations of the Ministry of Land, Infrastructure and Transport" and "Security Business Regulations of the National Intelligence Service".

Keywords: Ganghwado tidal flat, LiDAR, *Spartina anglica*, Unmanned Aerial Vehicle

*Corresponding author: jhryu@kiost.ac.kr

1. 서론

영국갯끈풀(*Spartina anglica*)은 영국 남부해안 원산의 다년생 염생식물로 기수지역과 갯벌에서 해안선 보호에 매우 뛰어난 기능을 발휘하기 때문에 생태 공학적 용도로 여러 나라에서 도입되었다(Baumel et al., 2002; Chung, 1993; Hedge and Kriwoken, 2000). 중국에서는 농업 및 생태 공학적 목적으로 1963년 이 식물을 도입한 것으로 보고되었다(Chung et al., 2004). 영국갯끈풀의 국내 서식은 2015년도 처음으로 공식 보고되었는데, 실제로는 2012년 강화도 갯벌에서 확인된 것으로 보고되었다(Kim et al., 2015). 국내 연안에 유입된 갯끈풀은 중국 황해 연안에 서식하는 갯끈풀과 동일 종으로 해류 또는 인위적 유입 등의 경로로 국내 연안에 침입하였을 가능성이 높은 것으로 보고하였다(Lee, 2020).

갯끈풀과 같은 외래해양생물종은 토착생태계의 붕괴와 생물다양성 감소, 수산자원 감소 등의 피해를 야기하고, 이를 제거하기 위한 막대한 경제적 손실을 가져온다. 이 종들은 굉장히 빠르게 성장하면서 주변의 식생을 파괴하고, 염습지의 생물다양성을 감소시키며 생태적 기능을 저하시키기 때문에 전세계적으로 생태계 교란종으로 간주되고 있다. 국내에서는 생물다양성 보전과 유지를 위해 생태계 "위해우려종"을 55종에서 98종으로 확대 지정하였고, "생태계교란 생물종"을 18종에서 20종으로 확대하였다(Kim, 2016; Kim and Kil, 2016). "생태계교란 생물종"으로 추가된 두 종은 *Spartina* 속의 외래종인 영국갯끈풀과 갯줄풀(*Spartina alterniflora*)이다. 해양수산부에서는 2016년 이후 지속적으로 강화도 갯벌의 갯끈풀 제거사업을 수행하고 있지만 굉장히 빠른 번식력을 가지고 있어 현재까지도 완벽하게 제거되지 못하고 있다.

갯끈풀과 갯줄풀은 조간대지역에서 자생하고 있기 때문에 일반적인 현장조사에 의해서 상세한 분포에 대한 정보를 얻기 어렵다. 갯끈풀 및 갯줄풀의 확산 범위와 분포를 관측하기 위한 효과적인 방법으로 원격탐사기술을 이용한 모니터링 방법이 있다. 인공위성을 이용한 원격탐사기술은 토지피복 및 구성에 대한 전체적이고 정확한 정보를 얻을 수 있는 분류 방법을 통해 1980년대부터 침입 외래종 및 식생 그리고 생물다양성 보전 모니터링에 많이 적용되고 있다(Huang and Asner, 2009; Zuo et al., 2012). 하지만 인공위성이 가지는 시간해상도와 공간해상도의 한계성으로는 해당지역의 정밀한 갯끈풀 및 갯줄풀의 분포 범위를 정확히 관측하기 어렵고, 조간대 지역은 평평한 지형과 복잡한 높낮이의 미세한 지형으로 이루어져 갯끈풀 분포와 생물량을 계산할 시에는 지형 고도 특성도 반영되어야 한다.

본 연구에서는 광학 센서와 라이다 센서를 탑재한 무인항공기를 이용하여 2022년 5월 28일 강화도 동막리의 갯끈풀 분포 및 정밀 지형조사를 수행하였다. 광학센서를 통해 획득한 영상을 통해 갯끈풀의 분포 면적을 계산하였고, 라이다 센서를 통해 획득한 영상을 통해 정밀 수치고도모델(Digital Elevation Model, DEM) 지형 지도를 제작하였다.

2. 본론

2.1. 조사지역

무인항공기를 이용하여 갯끈풀의 분포를 확인하기 위한 조사는 인천광역시 강화도 동막리(중심좌표: N37°35'35.74", E126°26'42.86") 남단 갯벌에서 수행되었다(Fig. 1). 강화 갯벌은 한강, 임진강, 예성강으로부터 유입된 퇴적물에 의하여 형성된 하구 갯벌이다. 강화도 남단 갯벌은 동쪽에서 서쪽으로 갈수록 넓어지며, 동검리-동막리-여차리로 갈수록 펄 퇴적물에서 모래 펄 퇴적물로 바뀌는 입도특성을 보인다(Woo et al., 2004). 강화도 동막해수욕장 인근은 2015년 갯끈풀 서식이 공식적으로 보고된 이후 지속적으로 분포면적이 확대되는 것으로 알려져 있다. 국가해양생태계 종합조사에 따르면 이 지역의 갯끈풀 분포 면적은 2017년 10,682 m²로 보고되었고, 이후 지속적으로 분포 면적이 증가하면서 2020년에는 약 22,586 m² 면적으로 확대된 것으로 나타났다.



Figure 1. Location of the study site. The study site is located near Dongmak Beach at the southern part of Ganghwado, Incheon.

2.2. 무인항공기 영상 촬영(광학, LiDAR)

강화 갯벌 갯끈풀의 분포 및 정밀 지형 조사를 위하여 DJI Matrice 300 RTK기체에 Zenmuse P1 광학센서(35 mm 단렌즈)와 L1 라이다 센서를 장착하여 촬영하였다(Fig. 2). Fig. 2에서 녹색 실선은 라이다의 비행경로를 나타내며, 청색 점선은 광학센서의 비행경로를 나타낸다. 광학영상의 기하보정과 라이다의 포인트 클라우드의 정확도 판별을 위해 육상의 일부 지점을 통해 Ground Control Point (GCP)를 취득하였다. GCP는 Leica사의 RTK-GPS (Real Time Kinetic – Global Positioning System)를 이용하여 취득하였으며, 광학 영상과 라이다 영상의 정합에 사용하였다. 해당 자료의 모든 좌표계는 WGS84/UTM52N을 기준으로 사용하여 각 정점과 후처리에 사용하였으며, 인근 통합기준점(U강화08)의 지오이드고(22.09 m)를 기준으로 라이다 및 광학영상의 기하보정에 사용할 연구지역의 정표고를 산정하여 사용하였다. 광학 센서와 라이다 센서를 장착한 무인항공기는 각각 1회 비행을 수행하였고, 70 m 고도에서 촬영하였다. 무인항공기 IMU의 위치 정확도를 높이기 위하여 경로비행 전에 보정을 수행하였다.

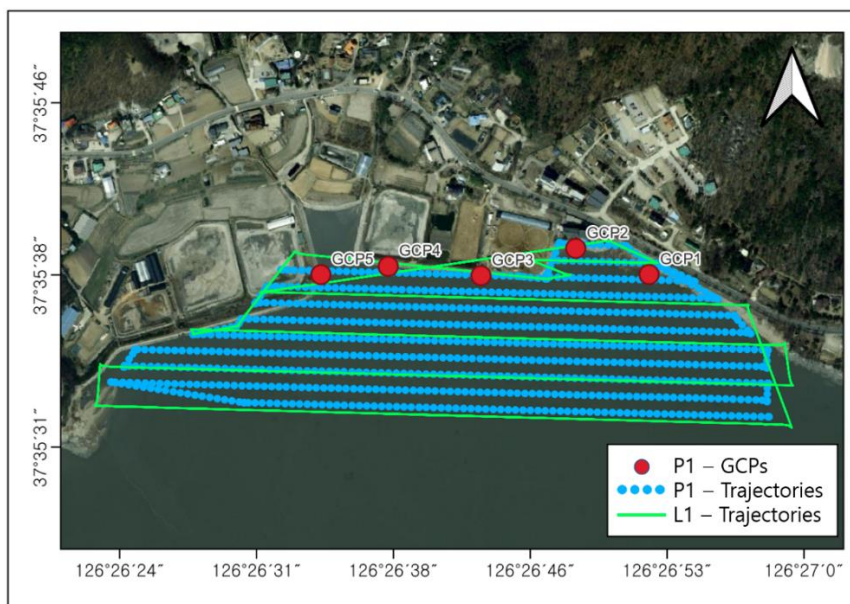


Figure 2. Flight path for the acquisition of Optical and LiDAR imagery

Table 1. Specification of UAV model, sensors and raw data information

DJI Matrice 300 RTK		Zenmuse P1 (35 mm) sensor		Zenmuse L1 sensor	
Dimensions	810×670×430 mm	Sensor	35.9x24 mm (45 MP)	Detection Range	~450m (80% reflectivity)
Weight	6.3 kg	Frame	Full frame	Point Rate	~480,000pts/s (multiple return)
License classification	2 nd	Focal Length	35 mm	Ranging Accuracy	3cm at 100m
Max Wind Resistance	15 m/s	Photo Size	8192x5460	Maximum Return Support	Triple
Max Flight Time	55 m	Shutter Speed	1/8000~1s (ESS) 1/2000~1s (MSS)	FOV	70.4°
GNSS	GPS + GLONASS + BeiDou + Galileo (RTK)	Aperture Range	f/2.8~f/16	IMU Update Frequency	200 Hz
Covered Area	0.202 km ²	P1 Images	805 images	LiDAR Sampling rate	120 kHz
GCPs	5 points	GSD	0.92cm	Points cloud density	148 point/m ²

2.3. 자료처리

취득된 자료로부터 Digital Surface model (DSM)과 DEM, 정사영상을 생성하기 위해 광학영상은 Pix4D mapper 를, LiDAR 데이터는 DJI사의 Terra를 사용하여 자료처리를 진행하였다. 두 데이터 셋의 정합을 위해 5점의 GCP를 사용하여 두 영상의 위치 정확도를 높였으며, 해당 연구지역의 지오이드고를 적용해 표고를 산정하여 좌표계 변환을 진행하였다. 먼저 수집된 광학영상의 번들조정과 정합을 진행해 DSM과 DEM을 추출하였으며 원본 영상의 GSD (Ground Sampling Distance)는 0.92 cm, GCP에 대한 기하보정의 정확도는 수평방향 3 cm, 수직 1 cm로 산정되었다. 사진측량 기반의 포인트 클라우드에서 DSM을 생성하기 위해 역거리 반비례 가중법(Inverse distance weighting, IDW)을 사용하였으며 이 DSM을 기반으로 DEM을 생성하였다.

DJI사의 라이다 원시자료는 일반적으로 사용되는 타 라이다 장비의 공통 확장자가 아닌 *.LDR의 확장자를 가진다. 이 자료를 해석하기 위해 제조사에서는 DJI Terra를 사용하여야 하며, 포인트클라우드 자료의 주 확장자인 *.LAS와 *.PCL *.PCD 등의 확장자로 변환할 수 있다. 이 과정에서 라이다 촬영 시 사용된 IMU정보와 촬영 궤적의 보정 및 정확도 최적화를 진행하며 포인트 자료 처리의 포인트 밀도 및 좌표계설정 등의 주요 데이터 전처리 과정을 진행하였다. 라이다 자료의 전처리를 통해 DJI사의 전용 포맷인 *.LDR에서 *.LAS로 변경된 자료를 LiDAR360 소프트웨어를 통해 후처리를 진행하여 DSM과 DEM을 추출하였다. 원시 포인트 클라우드의 촬영환경에서 발생된 노이즈와 같은 이상점을 제거하기 위해 일정 거리 내에 인접 포인트가 10개 이하인 점들을 제거하였으며, 지형과 구조물을 분리하기 위해 지상포인트를 별도로 분리하였다. 이때 지형과 관련된 변수들의 조정을 통해 포인트간 관계를 정의하여 지상 포인트와 그 외의 포인트로 분류하였다. 이렇게 정의된 포인트 클라우드를 기반으로 DSM과 DEM을 생성하였으며 DSM에 사용된 포인트 클라우드는 1, 2(1: 미분류, 2: 지상) 및 리턴넘버는 1로 사용되었

으며 DEM에 사용된 포인트 클라우드는 미분류 포인트 및 리턴 넘버 1, 2, 3을 사용하여 생성되었다. 해당 지역에서 갯벌을 제외한 지형 및 수목 등의 비관심 영역은 일정 영역 제거하여 자료를 생성하였고, DSM 및 DEM은 GSD 5 cm로 리샘플링하여 자료 처리를 진행하였다. 해당 자료는 “국토교통부 국가공간정보 보안관리 규정” 및 “국가정보원 보안업무규정” 등을 준수하기 위해 GSD 25 cm로 리샘플링하여 업로드하였다.

광학센서를 탑재한 무인항공기를 통해 수집한 RGB 고해상도 광학 영상에서 갯끈풀 식생의 분포를 확인하기 위하여 Woebbecke et al (1995)이 제시한 ExG (Excess Green) 식생지수를 이용하였다(Eq. 1). ExG로 변환된 영상의 히스토그램을 등급화 한 후 갯벌과 갯끈풀 식생의 경계에 해당하는 임계값을 지정하였다. 이때 식생과 갯벌의 임계값의 경계를 추출하기 위하여 Jenks Natural Breaks 기법을 이용하였다(kim et al., 2018; Na et al., 2018). Eq.(1)에서 $r = R/(R+G+B)$, $g = G/(R+G+B)$, $b = B/(R+G+B)$ 이며, R, G, B는 각각 적색, 녹색, 청색 밴드의 반사율을 의미한다. 갯끈풀의 분포 면적은 식생으로 분류된 픽셀을 계수하고 영상의 GSD (0.9 X 0.9 cm)로 곱하여 계산하였다.

$$ExG = 2g - r - b \quad (1)$$

3. 결과

Fig. 3은 인천광역시 강화군 남단의 동막해수욕장 주변에 서식하는 영국갯끈풀을 포함하는 갯벌을 광학센서를 탑재한 무인항공기로 촬영 후 정합한 영상이다. 정합된 영상의 GSD는 0.9 cm이다. 영상의 중앙부에는 갯끈풀이 넓게 서식하는 것으로 나타났고, 영상의 오른쪽에는 갯끈풀을 제거하기 위한 방법 중 하나로 검은 비닐로 덮어 빛을 차단해 놓은 것을 확인 가능하다(Fig. 3b, c).

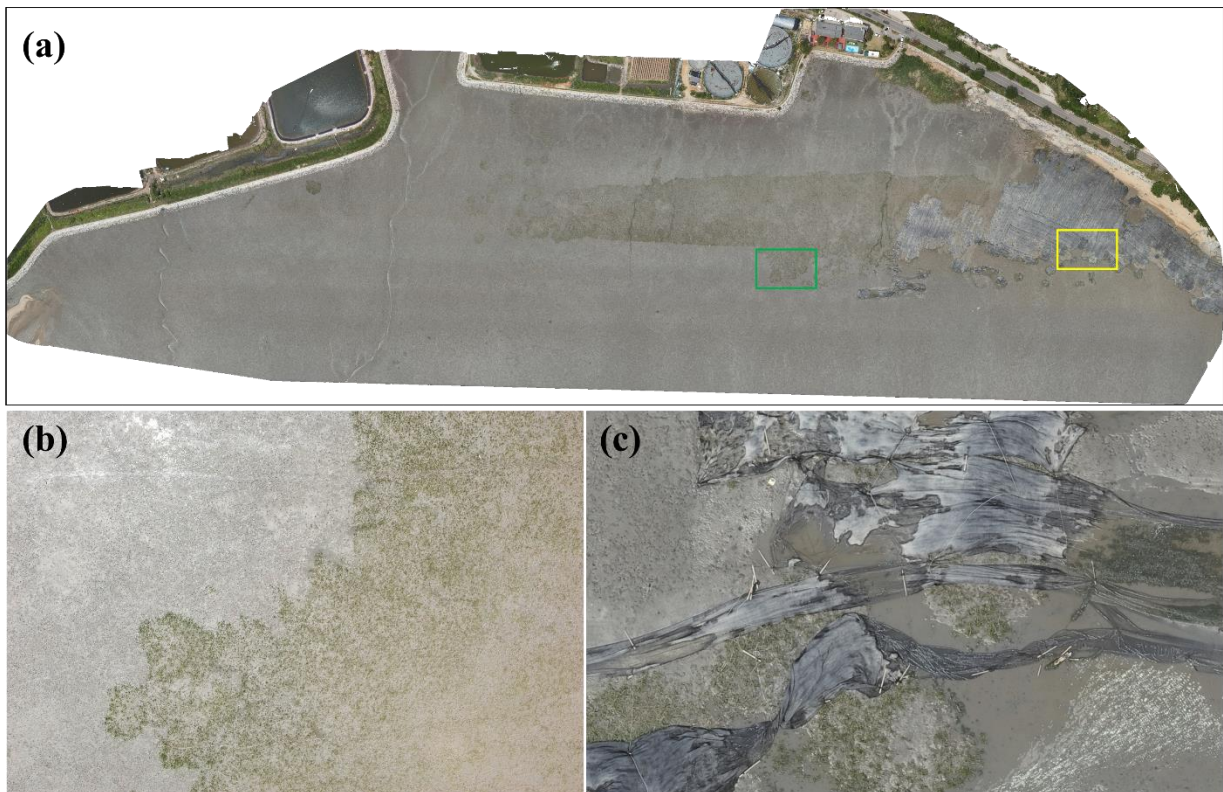


Figure 3. (a) UAV-RGB orthomosaic image of *Spartina anglica* collected on 28 May 2022, (b) *Spartina* patch patterns (green box in a) and (c) *Spartina* covered with black plastic (yellow box in a).

무인항공기-광학 센서 기반 RGB 영상을 이용하여 분석한 강화도 동막리 갯끈풀 분포는 Fig. 4와 같다. Fig. 3의 정사영상에서 육지 부분은 마스킹하였다. 영상의 중앙부에는 대규모의 갯끈풀이 분포하고 있으며, 원형의 소형 패치가 간헐적으로 분포하고 있다. 영상의 오른쪽은 갯끈풀 패치를 검은 비닐로 덮어놓은 곳으로(Fig. 3c), 비닐 사이로 노출된 갯끈풀 패치가 탐지된 것을 확인할 수 있다. ExG 알고리즘을 통해 식생으로 분류된 픽셀을 이용하여 계산한 강화도 동막리에 분포하는 갯끈풀의 분포 면적은 2628.3 m² 이었다.

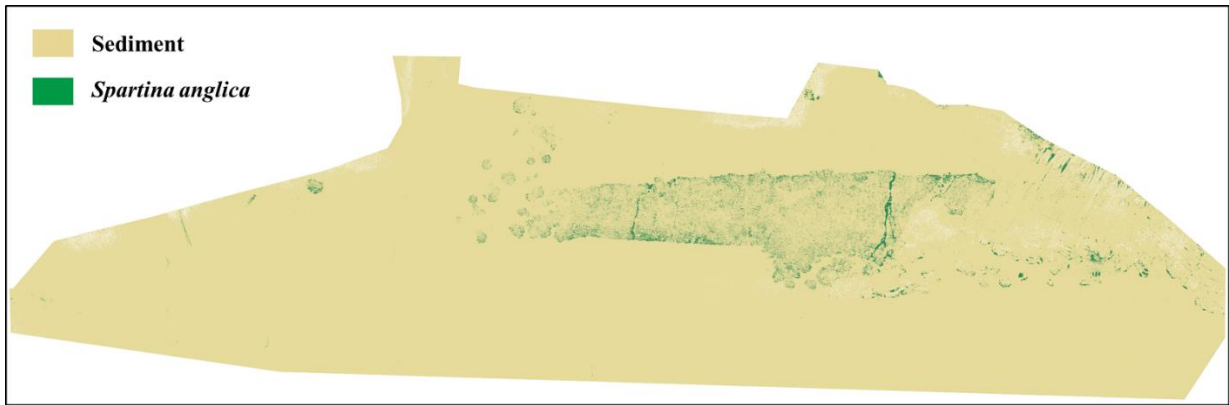


Figure 4. The result of the classification based on ExG algorithm to discriminate vegetation and sediment covers.

무인항공기-라이다 센서 기반 강화도 동막리 갯벌의 정밀 수치고도모델(DEM)을 제작한 지도를 Fig. 5에 나타내었다. 연구지역의 동서 방향(a-b)의 측선을 살펴보면 a점으로부터 약 20 m와 200 m 지점에 약 0.2 - 0.3 m 깊이의 얇은 조류로가 발달한 것을 제외하고 대체적으로 평탄한 지형 분포를 보였다. 연구지역의 남북 방향(c-d) 측선을 보면 육지와 가까운 곳에서 바다로 갈수록 해안선과 평행하게 점진적으로 고도가 낮아지는 특성을 보인다.

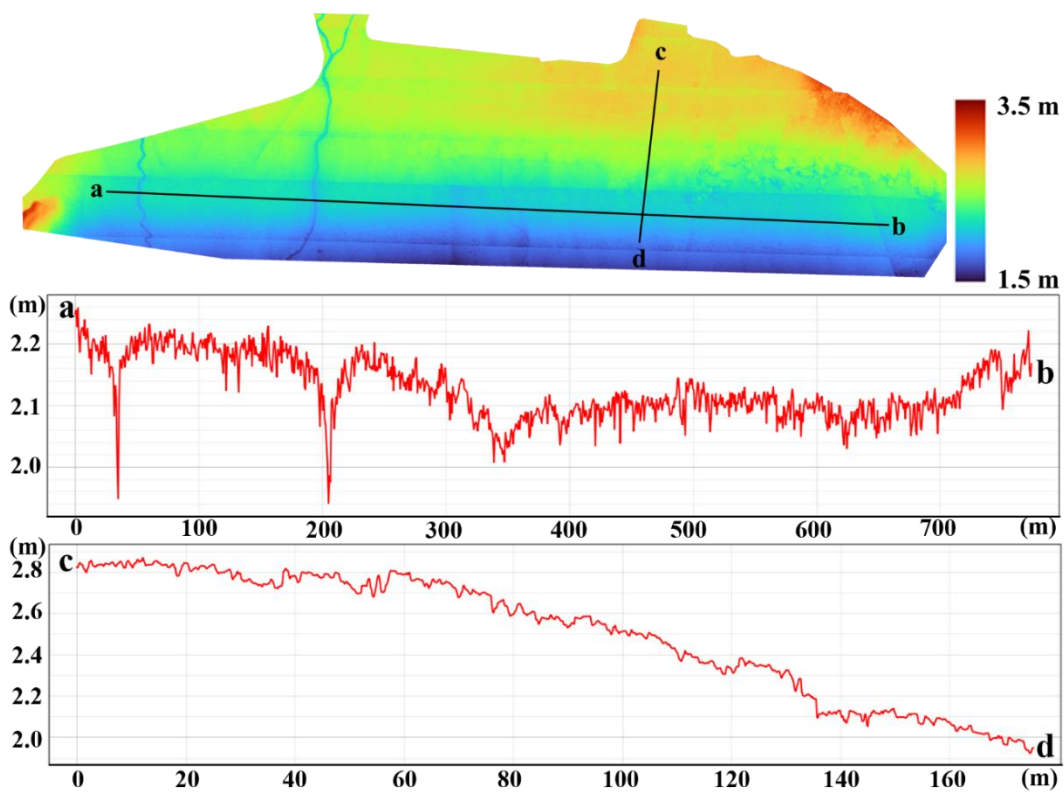


Figure 5. The result of the UAV LiDAR based DEM

4. 결론 및 토의

본 연구에서는 무인항공기-광학, 라이다 센서 기반으로 생산한 강화도 갯벌 정밀 지형도와 갯끈풀의 공간분포 및 면적 정보를 제공한다. 국내 연안에서 갯끈풀 서식이 확인된 이후 정부와 지자체에서는 지속적인 모니터링과 제거 사업을 진행중에 있기 때문에 갯끈풀의 정확한 공간 분포 및 면적 정보는 해양교란생물 관리에 활용될 수 있다. 다만 본 자료가 생산된 2022년 5월 28일에는 연구지역의 갯끈풀의 지상부가 잘려져 있었고, 일부 영역은 검은 비닐로 덮여 있어 기존에 알려진 실제 분포 면적보다 적은 면적으로 추정되었다. 이 외에도 무인항공기 영상을 이용한 염생식물 분포 자료는 센티미터 단위 이하의 픽셀 해상도 자료를 확보 가능하고, 수직적인 높이 정보도 획득 가능하다. 이러한 정량적인 정보는 연안 식생의 블루카본의 시공간적 변화 추세를 연구하는데 정확한 기초자료를 제공 가능할 것이다. 본 연구에서는 광학 센서를 활용하여 갯끈풀의 분포 면적을 추정하였지만 향후 다양한 분광 해상도를 지원하는 다분광센서를 무인항공기에 탑재하여 더욱 세밀한 분광특성에 대한 추가적인 연구가 수행될 필요가 있다. 또한 시공간 제약이 적은 무인항공기의 장점을 적극 활용하여 식생의 계절적인 변화와 대상 종의 성장률, 번식 특성 등을 감안한 지속적인 모니터링과 관리가 필요하다.

5. 사사

본 연구는 한국해양과학기술원 주요사업 "원격탐사 시각데이터의 기계학습을 통한 갯벌의 생물/환경 공간정보 구축 기술 개발(PEA0015)" 과제의 지원으로 수행되었습니다.

6. 참고문헌

Baumel ML et al. (2002) Molecular Phylogeny of Hybridizing Species from the Genus *Spartina* Schreb.(Poaceae). *Molecular Phylogenetics and Evolution* 22(2): 303-314

Chung CH (1993) Thirty years of ecological engineering with *Spartina* plantations in China. *Ecol Eng* 2: 261-289

Chung CH, Zhuo RZ, Xu GW (2004) Creation of *Spartina* plantations for reclaiming Dongtai, China, tidal flats and offshore sands. *Ecol Eng* 23(3):135-150

Hedge P, Kriwoken LK (2000) Evidence for effects of *Spartina anglica* invasion on benthic macrofauna in Little Swanport estuary, Tasmania. *Austral Ecol* 25: 150-159

Huang CY, Asner GP (2009) Applications of remote sensing to alien invasive plant studies. *Sensors* 9(6): 4869-4889.

Kim CG, Kil J (2016) Alien flora of the Korean Peninsula. *Biol Invasions* 18(7): 1843-1852

Kim DW et al. (2018) Modeling and Testing of Growth Status for Chinese Cabbage and White Radish with UAV-Based RGB Imagery. *Remote Sens* 10: 563

Kim EK et al. (2015) Distribution and Botanical Characteristics of Unrecorded Alien Weed *Spartina anglica* in Korea. *Weed Turfgrass Sci* 4(1): 65-70 (Korean with English abstract)

Kim J (2016) A Research Review for Establishing Effective Management Practices of the Highly Invasive Cordgrass (*Spartina* spp.). *Weed Turfgrass Sci* 5(3): 111-125

Lee MJ (2020) Molecular, morphological and ecological study of the invasive species *Spartina* spp. in Korea coastal waters. Anyang University p. 17

Na SI et al. (2018) Development of Biomass Evaluation Model of Winter Crop Using RGB Imagery Based on

Unmanned Aerial Vehicle. Korean J. Remote Sens. 34(5): 709-720

Woebbecke D et al. (1995) Color indices for weed identification under various soil, residue, and lighting conditions. Trans ASABE 38(1): 259-269

Woo HJ et al. (2004) Characteristics of Sediments in the Kanghwa Tidal Flat on the west coast of Korea. Journal of Wetlands Research 6(1): 167-178

Zuo P et al. (2012) Distribution of Spartina spp. along China's coast. Ecol Eng 1(40): 160-166

7. 데이터셋에 대한 메타데이터

Sort	Field	Subcategory#1	Subcategory#2	
Essential	*Title	Ortho image	The dataset of ortho image at Ganghwado	
		L1-DSM	The dataset of DSM at Ganghwado	
		L1-DEM	The dataset of DEM at Ganghwado	
	*DOI name	10.22761/DATA2022.4.2.001		
	*Category	Oceans		
	Abstract	Ortho image	The dataset of ortho image at Ganghwado	
		L1-DSM	The dataset of DSM at Ganghwado	
		L1-DEM	The dataset of DEM at Ganghwado	
	*Temporal Coverage	28/May/2022		
	*Spatial Coverage	Address	70-6, Dongmak-ri, Hwado-myeon, Ganghwa-gun, Incheon, Republic of Korea	
		WGS84 Coordinates	126.438800,37.595274; 126.450271,37.592056	
	*Personnel	Name	Yeongjae Jang	
		Affiliation	Korea Institute of Ocean Science and Technology	
E-mail		yeongjae@kiost.ac.kr		
*CC License	CC BY-NC			
Optional	*Project	PEA0015	Development of technology for constructing biological and environmental spatial information system of tidal flats through machine learning of remotely sensed visual data	
	*Instrument	UAV	DJI Matrice300 RTK	
Sensor		Zenmuse P1-35 mm Zenmuse L1		