

드론 RGB 정사영상 기반 하도 지형 공간 추정 방법*

- 내성천 중심으로 -

강우철¹ · 이경수² · 장은경^{1*}

Estimation of channel morphology using RGB orthomosaic images from drone*

- focusing on the Naesung stream -

Woo-Chul KANG¹ · Kyng-Su LEE² · Eun-Kyung JANG^{1*}

요 약

본 연구는 하천 관리 및 홍수위 분석에 있어 필수적인 자료 중 하나인 하천 지형정보를 얻기 위해 RGB 영상을 활용하는 방법에 대한 비교 검토가 이루어졌다. 하천 구역의 지형정보를 얻는 데 있어 흐름 구간 즉 하도 지형정보를 얻는 것이 가장 어려운 분야 중 하나이기에 본 연구에서는 RGB 영상 기반으로 하도 지형정보를 추정하는 것에 집중하였다. 이를 위해 Acoustic Doppler Current Profiler(ADCP)와 RTK-GPS(Real Time Kinematic-GPS)를 이용하여 하도 지형을 직접 계측하였으며, 동시에 드론 촬영을 통해 획득한 고해상도 이미지를 이용하여 정사 영상을 생성하였다. 이후 수심 계측 결과와 RGB 정사 영상의 밴드 값들을 이용하여 수심 예측을 위한 기준에 개발된 회귀식들을 적용하였으며, 가장 뛰어난 예측력을 보여준 회귀식을 이용하여 연구 대상 지역의 하도 지형을 추정하였다. 흐름 구간 이외 지역의 경우 항공 라이다로부터 생성된 DEM을 이용하여 하천 구간 전체에 대한 지형정보를 구축하였다. 추가로 드론 촬영이 이루어진 동일한 시간 동안 직접 계측한 자료를 이용하여 생성된 지형정보와 드론 정사 영상 기반으로 생성된 하도 지형정보의 비교 검증을 수행하기 위해 CCHE2D 모형을 활용하여 흐름 모델링을 모의하였으며, 일부 구간에 대한 계측이 이루어지지 못한 직접 계측한 지형정보와 비교하여 영상 기반의 지형정보는 보다 나은 수심, 유속 모의 결과를 보여주었다. 본 연구 결과를 통해 RGB 영상으로부터 하도 지형정보를 획득할 수 있는 것을 확인하였으며, 추가적인 연구가 수행된다면 하천 관리를 위한 효율적인 하천 지형정보를 얻는 방법으로 활용할 가능성을 확인하였다.

2022년 11월 21일 접수 Received on November 21, 2022 / 2022년 12월 02일 수정 Revised on December 02, 2022 / 2022년 12월 09일 심사완료 Accepted on December 09, 2022

* 본 결과물은 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 물관리연구사업의 지원을 받아 연구되었습니다. (1615012820)

1 한국건설기술연구원 수자원하천연구본부, 전임연구원 / Research Specialist, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Department of Land, Water and Environment Research

2 한국건설기술연구원 수자원하천연구본부, 박사후연구원 / Postdoctoral Researcher, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Department of Land, Water and Environment Research

* Corresponding Author E-mail: jang@kict.re.kr

주요어 : 광학 모델링, 다중회귀분석, 드론 정사 영상, 수심 추정법, 수심측량, 하천 지형

ABSTRACT

In this study, a comparative review was conducted on how to use RGB images to obtain river topographic information, which is one of the most essential data for eco-friendly river management and flood level analysis. In terms of the topographic information of river zone, to obtain the topographic information of flow section is one of the difficult topic, therefore, this study focused on estimating the river topographic information of flow section through RGB images. For this study, the river topography surveying was directly conducted using ADCP and RTK-GPS, and at the same time, and orthomosaic image were created using high-resolution images obtained by drone photography. And then, the existing developed regression equations were applied to the result of channel topography surveying by ADCP and the band values of the RGB images, and the channel bathymetry in the study area was estimated using the regression equation that showed the best predictability. In addition, CCHE2D flow modeling was simulated to perform comparative verification of the topographical informations. The modeling result with the image-based topographical information provided better water depth and current velocity simulation results, when it compared to the directly measured topographical information for which measurement of the sub-section was not performed. It is concluded that river topographic information could be obtained from RGB images, and if additional research was conducted, it could be used as a method of obtaining efficient river topographic information for river management.

KEYWORDS : *Bathymetry, Drone orthomosaic image, Multiple regression analysis, Optical modeling, River topography, Water depth estimation*

서론

하천 환경과 생태계를 고려하는 하천 관리와 하천의 이·치수 기능과 관련된 홍수위 분석 및 예측을 위해서는 하천에 대한 다양한 정보를 필요로 한다. 특히, 하천의 지형학적 특징 중 하나인 하도 지형정보는 하천의 흐름 특성을 이해 및 예측을 위해 매우 중요한 자료라고 할 수 있다. 한반도의 경우 연 강수량의 약 2/3 이상이 여름 장마철에 집중적으로 발생하며, 유사 생성, 이송, 퇴적되는 과정 중 대부분 본류 하천이 충적 하천의 특징을 보이는 국내 하천의 경우

하천 지형 변화가 자주 발생한다(Kang *et al.*, 2022a; Kang *et al.*, 2022b). 특히 수자원의 공급을 위해 다양한 댐과 보와 같은 수리 구조물들이 설치되고 기후변화로 인해 발생하는 이상 홍수의 규모와 빈도의 증가로 인해 하천 지형의 변화가 더욱 심화하고 있다(Kang *et al.*, 2019; Kang *et al.*, 2021a). 하지만 직접 하상 조사를 하는 경우 상대적으로 많은 위험과 시간, 비용이 필요하므로 하천 지형정보를 주기적으로 취득하기에는 다양한 어려움이 있다. 최근 다양한 센싱 및 계측 기술이 발전함에 따라 인공위성, LiDAR, 드론, 3차원 스캐너 등 측정 기술의 발달로 하천 구역 내 수역을 제외한 지

형에 대한 측량은 비교적 쉽게 가능해졌지만, 하도 지형 정보를 획득하기에는 여전히 다양한 어려움이 있다. 흐름 구간의 지형정보를 얻는 방법에는 음향측심(Echo-sounder)을 이용하는 방법(Jung and Kang, 2002; Lee *et al.*, 2014), 물 투과가 가능한 그린 레이저를 활용하는 방법(Lee *et al.*, 2022a) 등이 시도되고 있다. 구체적으로 음향측심기의 경우 측정 방식에 따른 오차, 하상 상태를 확인해야하는 등 여전히 기술적인 한계와 고가의 장비를 운영해야 하는 단점을 지니고 있으며, 많은 인력과 시간이 요구된다. LiDAR를 이용한 방법은 고정밀의 데이터 취득이 가능하지만, 유량이 존재하는 하천의 다양한 변수에 의해 하상의 정보를 정밀하게 확인하는 데 한계가 있으며, 드론 대비 기상 상황 등으로 사용 일수가 제한적이고, 비용적인 부분까지 고려한다면 효율성이란 한계도 남아있다. 이러한 단점들 때문에 하천 공간의 정보를 얻기 위해 광학 모델링 (Optical modelling)을 이용하는 사례가 증가하고 있으며, 꾸준한 관련 연구들이 수행중이다(Park 2013; Lee *et al.*, 2011; Lee and Lee, 2012). 위성영상, 항공사진 등 영상을 활용하여 하천 아래의 하도 지형 정보를 입체적으로 해석하는 방법의 경우 하도 지형정보를 얻을 수 있는 효율적인 방법으로 제

시되고 있으며, 특히 가장 일반적인 RGB 영상으로부터 하도 지형을 추정하는 다양한 연구도 꾸준히 시도되고 있다(Fausch *et al.*, 2002; Kasvi *et al.*, 2019; Moon *et al.*, 2020).

본 연구에서는 내성천 본류의 일부 구간을 대상으로 드론을 이용하여 획득한 RGB 정사 영상과 Acoustic Doppler Current Profiler(ADCP)를 이용하여 측정한 수심으로부터 하도 지형 공간을 추정하였다. 또한 동일한 시간 동안 ADCP와 GPS(Global Positioning System) 측위 방법인 RTK-GPS(Real Time Kinematic-GPS)를 이용하여 직접 측량한 하도 지형 자료를 생성하였다. 최종적으로 생성된 두 하도 지형 자료로부터 CCHE2D 모델링을 통해 비교 및 검증 수행하였다. 다양한 하도 지형 데이터를 얻는 방법의 비교 분석을 통해 홍수위 분석 및 흐름 모델링 연구에 활용이 가능할 뿐만 아니라 수시로 변화하는 하상 지형 자료의 취득이 가능하여 하천 관리에도 유용할 것으로 판단된다.

연구 방법 및 자료 수집

1. 연구 대상 지역

본 연구에서는 비교적 자연성이 높으며, 수심이 얇고 하폭이 넓은 모래 하천인 내성천 본류

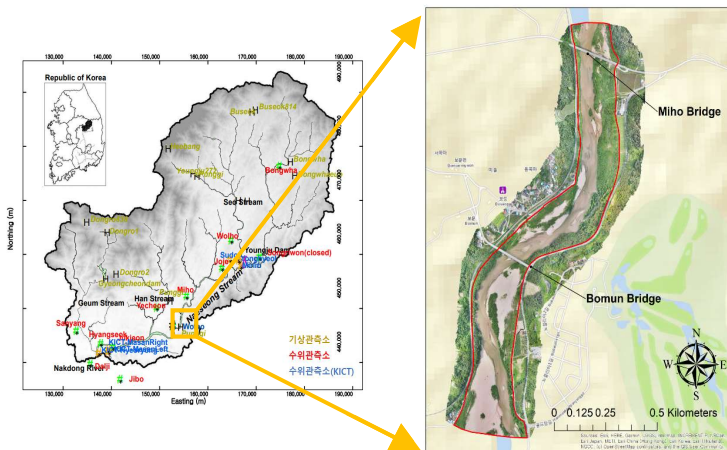


FIGURE 1. Study area

약 2km 구간을 대상 지역으로 설정하였다. 낙동강의 제1지류 하천으로 경상북도 북서부에서부터 낙동강으로 유입되는 내성천은 대표적인 모래 하천이며, 영주댐 건설 후 지형, 수문, 생태 등 하천 수리 및 하도 환경 변화로 인해 의미 있는 지역이다(Lee *et al.*, 2019). 또한 자연적으로도 식생 피복 면적이 증가하고 하폭은 감소하고 있으며, 하상 저하가 1m 이상 발생하는 등 잦은 변화가 발생하는 것으로 알려져 있다(Lee, 2022). 본 연구에서는 내성천의 주요 지류인 서천이 합류 이후 지점인 예천군 수위관측소 인근인 미호교 지점을 대상 지역으로 설정하였다(그림 1).

해당 지점의 경우 저수로를 제외하면 대부분 식생 구간으로 구성되어 있다. 양쪽 제방 사이는 최대 390m이나, 하폭이 크지 않은 구간으로 ADCP와 RTK-GPS 접근과 드론을 활용한 이미지 획득이 용이한 구간임을 고려하여 대상 지역을 선정하였다.

2. 계측 방법

내성천 미호교 하천 구간을 대상으로 2021년 6월 24일에 인스파이어 2(젠뮤즈 X5S)를 이용하여 3.78Gbps 해상도를 가진 총 4,203개의 이미지를 획득하였다. 본 연구에서는 현장에서 촬영된 이미지로부터 정사 영상 제작을 위해 Pix4D mapper version 4.6.4를 이용하였으며, 총 8개의 지상기준점(Ground Control points, GCP)을 하천 구역 전역에 분포하도록 설치하였다(표 1).

추가로 2대의 RTK-GPS를 이용하여 하도 지형을 직접 계측하였으며, ADCP-M9을 이용하여 하천 수심 자료를 획득하였다. 지형의 직접 계측에 이용된 RTK-GPS의 경우 두 기계의 위성과 이용되는 기지국의 차이에 의해서 생길 수 있는 오차를 최소화하기 위하여, 내성천 주변에 안동, 예천 지역의 총 10개의 국가수준 점을 직접 방문하여 localization 작업을 수행하였다(그림 2(a)). 기존에 RTK-GPS 두 기계는 동일한 지점에서 0.23m의 오차를 보였지만, localization 이후 0.002m로 줄일 수 있었다. 보정된 두 대의 RTK-GPS를 이용하여 내성천 하도 지형의 직접 계측이 이루어졌으며, 총 621개의 포인트의 하도 지형 계측 결과를 획득하였다(그림 2(b)). 또한 ADCP를 보트에 장착한 이후 저속 운행을 통해 수심에 대한 계측이 이루어졌으며(그림 2(c)), RTK 측위 방법에 따라 결정된 ADCP의 위치와 RTK-GPS를 통해 직접 획득한 수위 자료를 이용하여 6,166개의 포인트에 대한 보정된 하도 지형의 공간정보를 추정하였다(그림 3). 하도 지형 공간 정보 획득을 위한 ADCP의 수심 참조 값은 4개의 트랜스듀서(3MHz)를 이용하는 bottom track 방식을 이용하였다.

3. 지형 추정 방법

일반적인 이미지는 가시광선 주파수 대역의 RGB 밴드로 구성되어있으며, 세 가지 밴드 중 blue 값은 하천의 수역에서 크게 달라진다(Park, 2018). Lyzenga(1981)는 수역을 통과

TABLE 1. Ground Control Points for 3D point cloud modeling

Name	Coordinates			Error		
	X [m]	Y [m]	Z [m]	X [m]	Y [m]	Z [m]
GCP 1	335824.049	453379.372	99.410	0.001	0.002	0.003
GCP 2	335661.031	453441.554	104.640	-0.001	-0.001	0.001
GCP 3	335658.337	452965.448	92.946	0.000	0.000	0.002
GCP 4	335293.756	452530.665	101.945	0.003	-0.005	-0.006
GCP 5	335400.495	452472.743	96.666	0.000	0.004	0.001
GCP 6	335236.731	452366.370	84.931	-0.004	0.000	0.003
GCP 7	335258.088	451862.481	85.263	-0.001	0.001	0.004
GCP 8	335100.4	451870.9	91.64	0.001	-0.001	-0.001

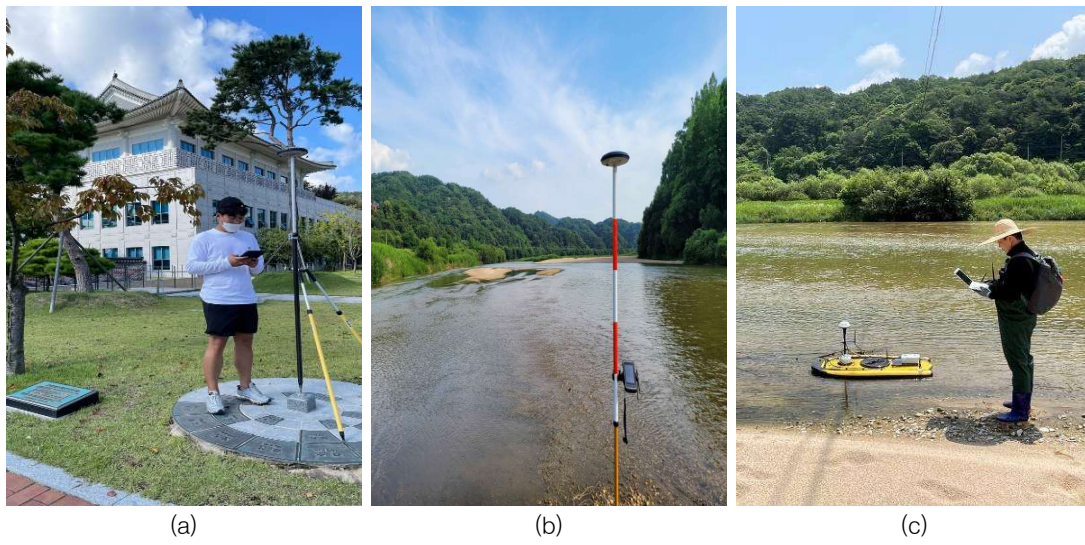


FIGURE 2. (a) Localization process and (b) channel topography surveying by RTK-GPS, and (c) channel topography surveying by ADCP

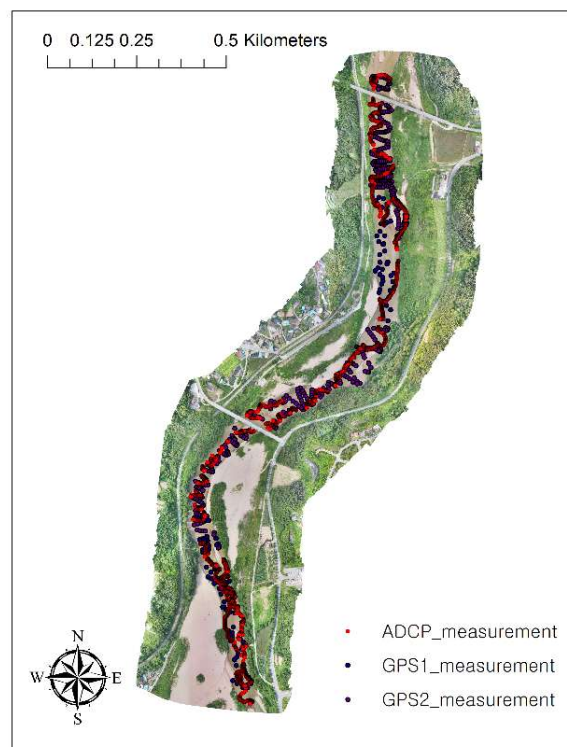


FIGURE 3. Result of channel topography surveying

할 때 빛이 흡수된다는 원리에 기초하여 밝기와 이미지 사이의 선형 관계를 통해 아래 수심 보정 알고리즘 식 1을 개발하였다.

$$X_i = \ln(L_i - L_{si}) \quad (1)$$

여기서, X_i 는 회귀식 개발을 통해 수심을 추정할 수 있는 Lyzenaga 값이며, L_i 는 i 번째 픽셀의 radiance 값, L_{si} 는 deep-water radiance 값이다. 해당 식의 경우 L_{si} 값이 하상이 보이지 않는 수심이 깊은 영역에서 얻어야 하므로, 얕은 하천의 수심을 추정하는 데 한계를 가지고 있다. 이러한 한계를 극복하기 위해 Flener's (2013)은 deep-water radiance 값을 무시하는 알고리즘 식 2를 적용하였다.

$$X_r = \ln(L_r) \quad (2)$$

여기서, r 은 적색 밴드를 의미하며 다른 변수들의 경우 식 1과 동일하다. 또한 문헌태와 그의 연구팀은 RGB 영상으로부터 얻은 RGB, RG, GB, RB 밴드값의 조합과 계측된 수심을 이용하여 다중 선형회귀식을 통해 수심을 추정하는 방법 식 3을 제안하였다(Moon *et al.*, 2020).

$$Y = a + b_1 \times X_1 + b_2 \times X_2 + b_3 \times X_3 \quad (3)$$

여기서, Y 는 계측된 수심이며 X 는 RGB 밴드 값이다. Yi *et al.*(2016)은 인공신경망을 통해 천해 수심을 추정하는 과정에서 RGB 밴드 이외에 Grey scale 밴드를 추가로 적용하여 가장 뛰어난 예측 결과를 제시하였지만, Grey Scale의 경우 RGB 값의 조합으로 계산된 결과이기 때문에 다중 공선성 문제가 발생할 수 있다. 본 연구에서는 제시된 방법들을 이용하여 RGB 정사 영상과 실제 계측 결과를 이용하여 하천 지형정보 획득 방법을 비교 검토하였다.

분석 결과

1. 지형 추적 결과

먼저 수역 이외 하천 구역 대상 지형의 경우 2020년 2월에 항공 라이다로부터 획득한 1m 해상도의 DEM을 이용하였다. 실제 정사 영상 기반으로 획득한 DEM과 비교하여 큰 차이가 없었기 때문에 데이터 처리 과정상 편의를 고려하여 1m 해상도의 자료를 직접 이용하였다(그림 4 (a) and (b)). 이후 앞 절에서 언급된 Lyzenaga와 Flener의 알고리즘, Grey scale 값을 제외한 선형연구에서 가장 우수한 예측력을 보인 RGB, RG 밴드값의 조합과 ADCP를 통해 계측한 수심을 이용하여 총 4개의 회귀식을 개발하였다(표 2).

일부 수심 계측 결과 중 하천과 영상의 조건을 고려하여 수심 예측에 방해가 되는 자료는 제외하였으며, 회귀식 개발의 경우 R version 4.2.0 소프트웨어를 이용하였다. 개발된 회귀식들의 경우 RGB 값을 이용하여 개발된 선형회귀식이 가장 우수한 예측 결과를 보였으며, 예상했던 바와 같이 얕은 수심에 적용하기 힘든 Lyzenaga 알고리즘이 가장 낮은 adjusted R^2 값을 보여주었다. 개발된 공식 중 가장 우수한 예측력을 보여준 모델을 활용하여 내성천 미호교 일대의 수심을 예측하기 위해 정사 영상에서 교량, 사주, 식생 및 제외지를 제외한 수역만을 따로 분리하였다(그림 4(c)). 해당 자료들의 해상도의 경우 데이터 처리 속도와 모델링 과정을 고려하여 1m 해상도로 nearest neighborhood method를 이용하여 재생성 하였으며, 디지털 타이핑 작업을 통해 하천 영역 중 물이 흐르는 수역만 구분된 이미지로부터 RGB 값을 얻은 후 각 포인트의 수심을 약 27,000개의 포인트에 대한 수심을 예측하였다. 이후 흐름방향으로 매 1m 마다 수역에서 가장 가까운 좌우 포인트로부터 수심 값을 뺀 흐름 구간의 하도 지형을 계산하였다.

2. 모델링 수행을 위한 지형 작업

본 절에서는 ADCP 및 RTK-GPS로 각각 추정된 지형 자료를 기반으로 CCHE2D 수치

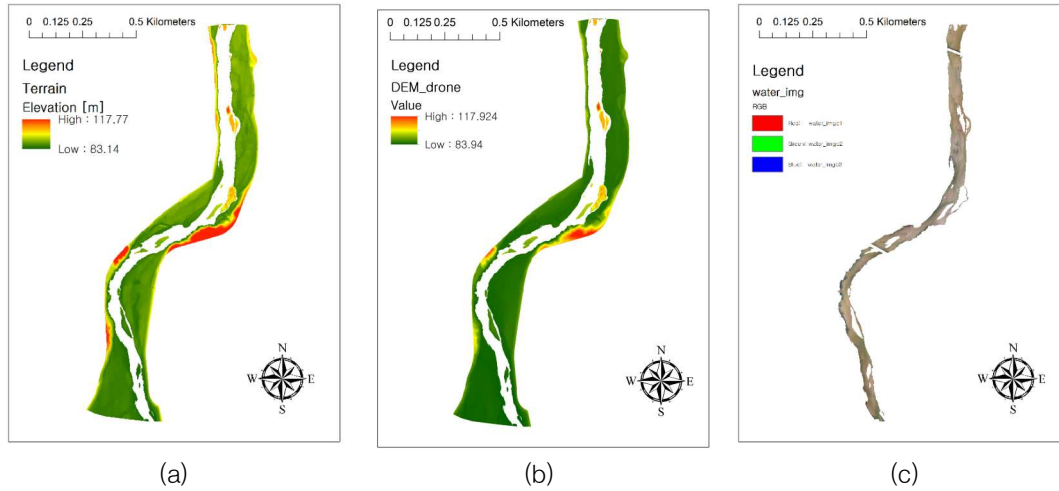


FIGURE 4. Result of (a) channel topography surveying from the Lidar, (b) the drone, and (c) orthomosaic image of water

TABLE 2. Developed regression models for estimating water depth

Class	Regression equation	Adjusted R^2 value
Lyzenga (1981)	$X_i = \ln(L_z - L_{st})$	0.217
Flener' s (2013)	$X_r = \ln(L_r)$	0.468
RGB	$Y = 0.468 + 0.013 \times R - 0.015 \times G + 0.001 \times B$	0.654
RG	$Y = 0.482 + 0.013 \times R - 0.013 \times G$	0.438

모형을 활용한 흐름 모델링 연구를 시도하였다. 이와 같은 흐름 모의 시도를 통해 RGB 영상으로부터 하도 지형 추정 방법의 활용성을 검증하고자 하였다. 1절의 데이터를 활용하여 구축된 모델의 초기 지형은 그림 5와 같다.

왼쪽의 그림은 RGB 정사 영상으로부터 추정된 초기 지형 구축 결과이고 오른쪽 그림은 RTK-GPS와 ADCP를 이용하여 실제 측정된 결과만을 이용하여 생성된 지형이다. 측정된 각각의 방법별 지형 데이터를 대상으로 모델링 수행을 위해 약 3m 간격으로 횡 방향 50개, 종 방향 600개 그리드를 생성하여 보간 하였다. 또한 횡 방향 분석 결과를 확인하기 위해 등간격의 5개 지점을 선택하여 모의 결과를 비교하고자 하였으며, 각각의 횡단면에서 측정 방법에 의한 초기 지형 구축 결과는 그림 6과 같다.

모델링 수행을 위한 보간된 지형 구축 결과로부터 영상으로 획득한 하도 지형정보는 실제 측정 결과와 비교하여 측정하지 못한 비교적 깊은 하도 구간에 대해 더욱 정확하게 구현하는 것을 확인할 수 있다. 대상 지역의 경우 수심이 충분히 깊지 않고 만곡부가 반복되며 사주로 인해 복잡한 흐름을 형성하기 때문에 불규칙적으로 측정이 수행된 경우 일부 깊은 하도 구간에 대한 측정이 되지 않을 수 있지만 영상 기반으로 추정된 하도 지형의 경우 비교적 정확한 수역의 구현이 가능한 것으로 판단된다.

3. 흐름 모델링 결과

두 개의 지형 자료로부터 생성된 모델링 결과의 비교 및 검증을 위해 흐름 모델링 수행하였다. 모델링 위한 조도 계수의 경우 선행연구에서 이용되었으며 일반적인 모래 하천에 적용되

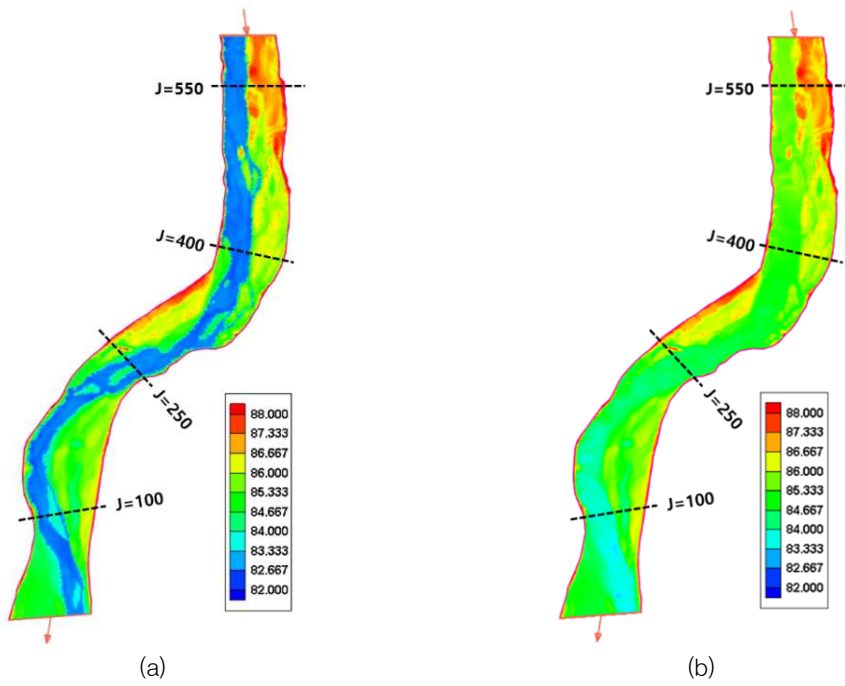


FIGURE 5. Initial Bed Elevation (EI.m) using (a) ADCP+RGB (b) ADCP+GPS

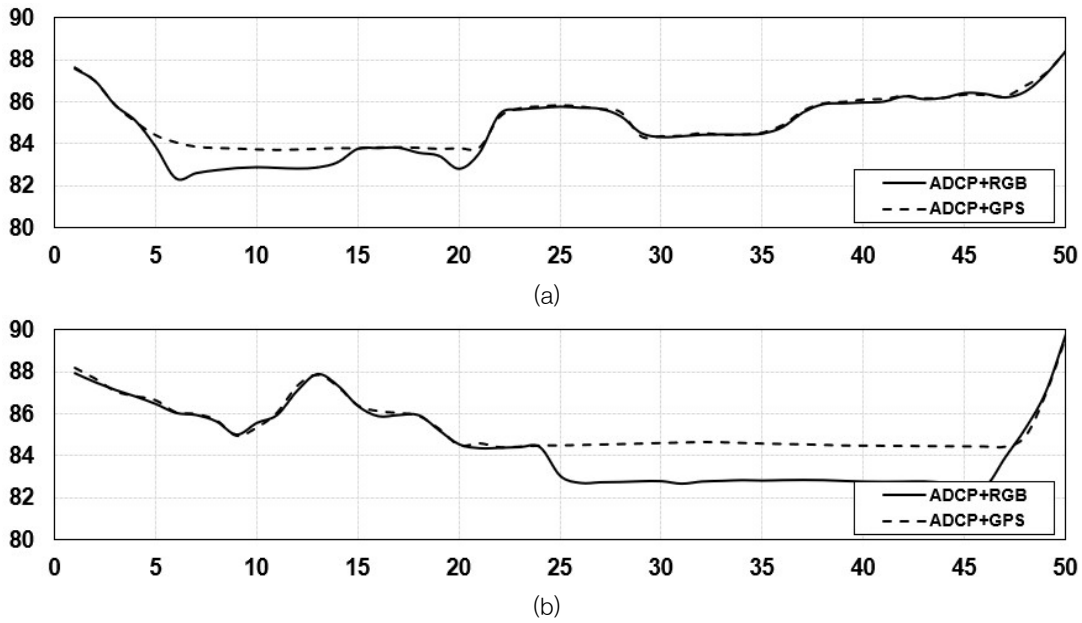


FIGURE 6. Initial Bed Elevation (EI.m) (from Right to Left) at the (a) J=100 (b) J=250 (c) J=400 and (d) J=550. (y-axis is initial bed elevation in meter, and x-axis is grid from right bank)

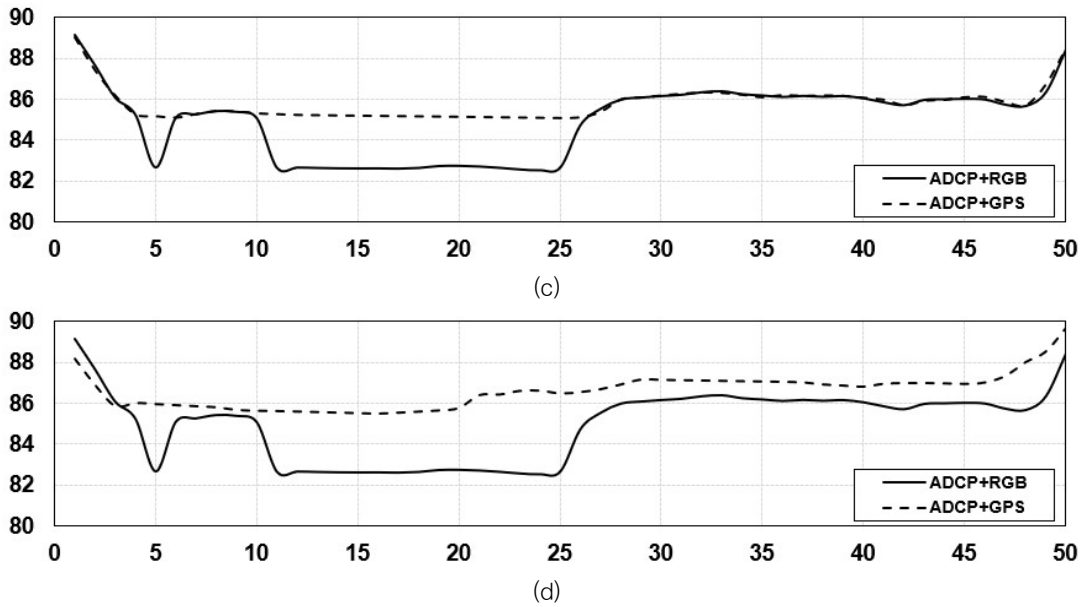


FIGURE 6. Continued

는 값인 0.03을 적용하였으며(Lee, 2019), 흐름 모의를 위한 경계 조건은 ADCP를 통해 상류 미호교 인근에서 측정한 유량 값 10m³/s과 OTT Orphimedes를 이용하여 동일한 시기에 직접 하류에서 측정한 수심값 1m를 이용하였다(그림 7(a)).

두 개의 지형을 활용한 각각의 수심과 유속 모델링 결과 그림 8과 같다. 모델링이 수행된 시기의 경우 영주댐 수문 개방에 의해 평수기 이상의 유량이 흐르는 경우로 대부분 구간에서 0.5m 이상의 수심이 형성됨을 확인하였다. 모델링 결과의 비교 및 검증에 위해 동일한 수위 계를 이용하여 보문교 인근 지점에서 측정한 수심 결과(그림 7(b))를 이용하였으며, 해당 지점의 경우 직접 측정이 수행되었기 때문에 수심 모의 결과(약 1m)는 두 지형에서 모두 유사한 값을 보여주었다. 하지만 하도 내 다른 지역에서는 영상으로부터 획득한 지형의 경우 하도 구간이 뚜렷하게 구현되어 수심이 깊은 구간에 대한 뚜렷한 모의 결과를 보여주었다.

유속 모의 결과의 경우 상류로부터 하류로 갈수록 하도가 넓어지며 경사가 완만해지기 때문

에 유속이 감소하는 경향을 보여주었으며, 모든 지점에서 ADCP에 비해 RTK-GPS 결과가 근소하게 높은 유속 값을 보여주었다. 전반적으로 일부 지점을 측정한 결과로부터 구축된 지형에 대한 모델링 결과의 경우 흐름이 주로 발생하는 주 하도에 대한 지형이 구현되지 않아 얕은 수심에 유속이 빨라지는 결과를 보여주었다. 두 지형에 대한 정량적인 횡 방향 유속 비교를 위해 그림 9를 도시하였으며, 결과로부터 유속 모의 결과의 경우 측정이 충분하지 못한 일부 구간에서 특히 유속이 급변하는 결과를 확인할 수 있었다.

결론

본 연구에서는 내성천 본류 미호교 지점을 대상으로 하천 관리를 위한 중요한 자료 중 하나인 하천 지형정보를 얻기 위해 RGB 정사 영상 기반 하도 추정 방법에 대한 활용 가능성이 검토되었다. 하천 구역 내 흐름 구역을 제외한 지형정보의 경우 항공 라이다로부터 획득한 DEM 자료를 활용하였으며, 흐름 구간인 하도 지형정

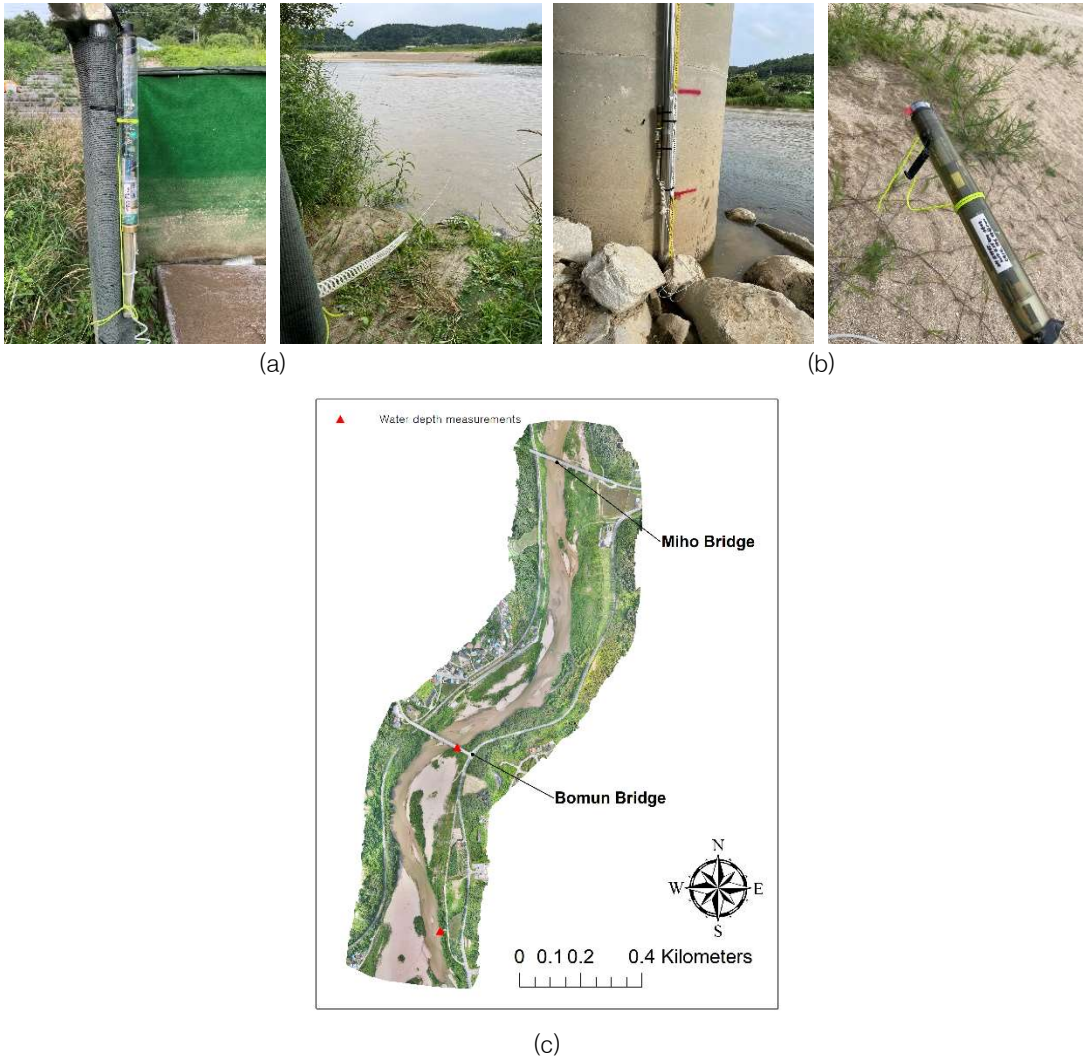


FIGURE 7. Result using the water depth value of 1 m measured directly downstream using OTT Orphimedes

보를 얻기 위해 드론을 이용하여 획득한 이미지의 정사 영상과 ADCP를 이용하여 계측된 수심 결과를 통해 수심을 추정할 수 있는 4개의 회귀식을 개발하였다. 개발된 회귀식 중 적색, 녹색, 청색 밴드를 모두 인자로 이용하는 회귀식이 가장 뛰어난 예측 결과를 보여주었으며, 연구 대상 지역의 수역 부분만 포함한 이미지와 개발된 회귀식을 이용하여 수심을 추정하였다. 이후 항

공 라이다를 이용하여 획득한 DEM의 수역과 가장 인접한 지점들로부터 추정된 수심을 뺀 하도 지형 자료를 구축하였다. 추가로 드론이 촬영되는 동일한 시간 동안 RTK-GPS와 ADCP를 이용하여 직접 계측한 하도 지형 자료 역시 획득하였다. 두 개의 지형 자료의 비교 검토를 위해 직접 계측한 유량, 수위 자료를 기반으로 CCHE2D 흐름 모델링을 수행하였다. 두 개의

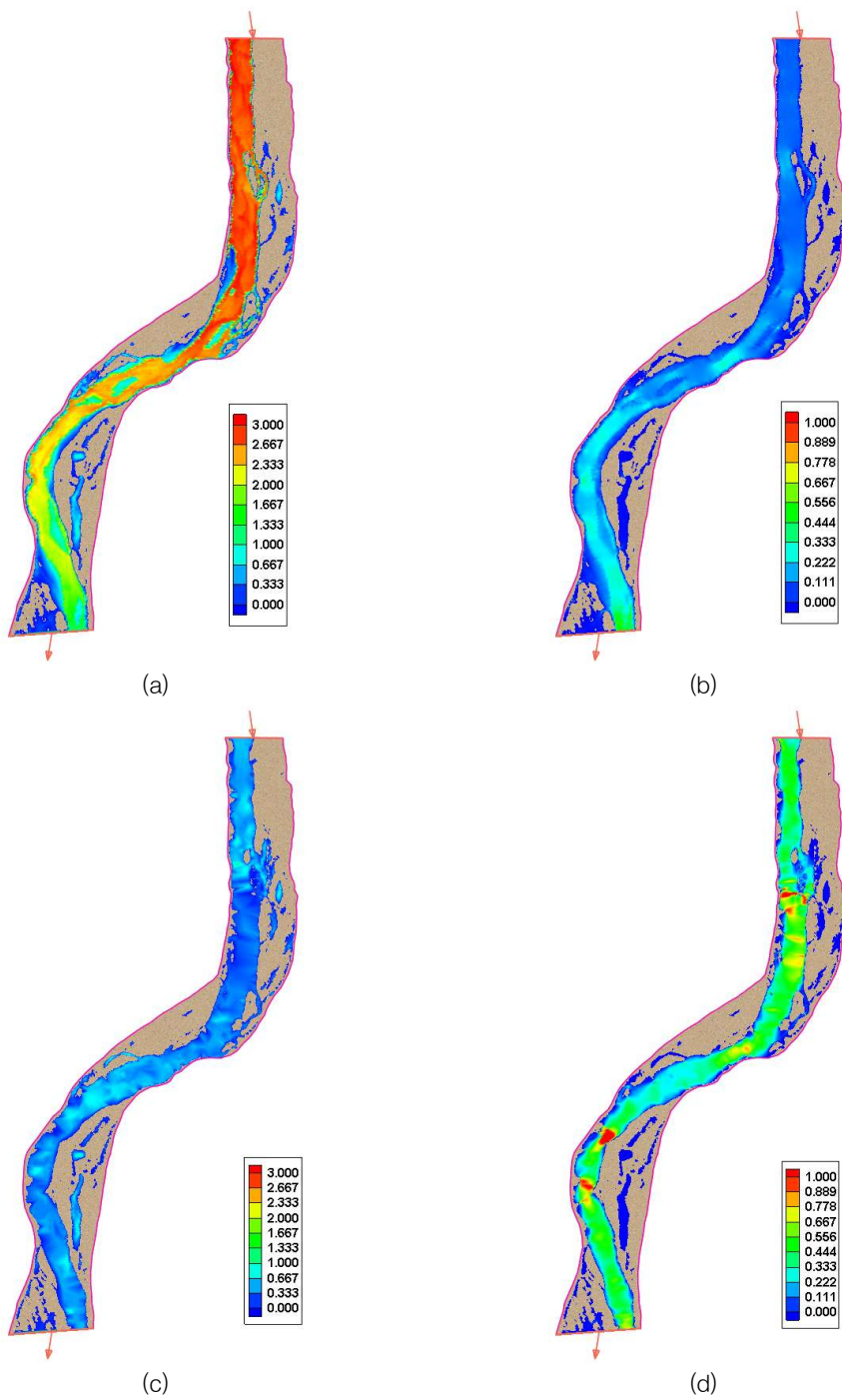


FIGURE 8. Flow Modeling Results using ADCP+RGB (a) Water Depth(m) (b) Flow Velocity (m/s) and using ADCP+GPS (c) Water Depth(m) (d) Flow Velocity (m/s)

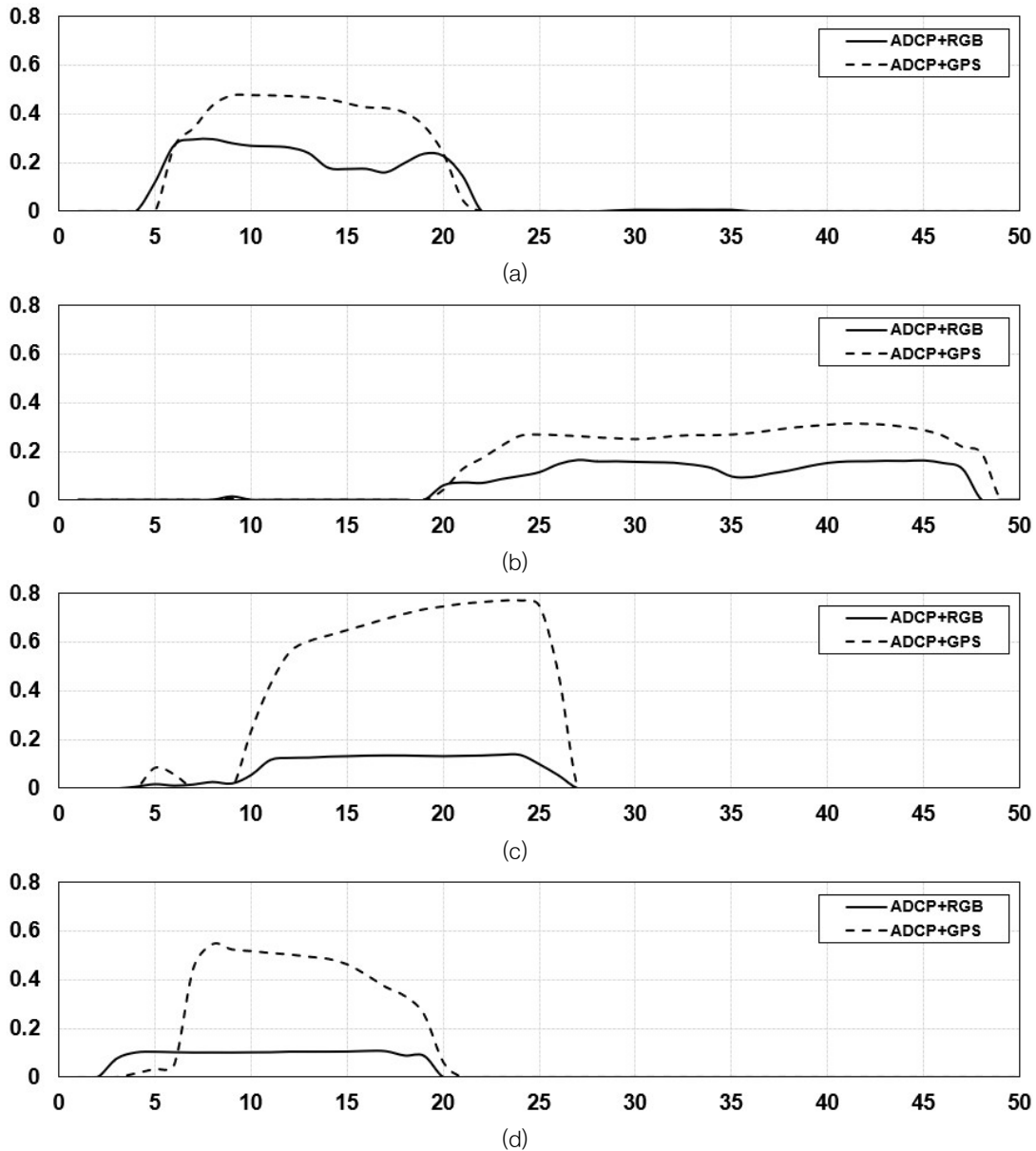


FIGURE 9. water velocity (in m/s) (from Right to Left) at the (a) J=100 (b) J=250 (c) J=400 and (d) J=550 (y-axis is water velocity in meter per second, and x-axis is grid from right bank)

지형 자료로부터 흐름 모델링 수행을 위해 약 3 m 간격으로 횡 방향 50개 종 방향 600개의 그리드를 생성하였다. 계측된 수심과 개발된 회귀 식으로부터 하도 지형을 추정된 지형정보의 경

우 일부 구간만을 계측한 자료와 비교하여 주하도 구간을 잘 구현하였으며, 이러한 이유로 수심 및 유속에 대한 흐름 모델링 수행 결과 역시 일부 지역만 계측한 결과를 통해 구현된 지형에

서 보다 나은 재현 결과를 보여주었다.

본 연구에서는 하천 관리를 위한 필수적인 자료 중 하나인 하천 지형정보를 획득하기 위해 RGB 영상을 활용한 방법을 검토하였다. 연구 결과로부터 상대적으로 위험하며 인력과 시간의 필요한 직접 측량을 통해 생성된 결과와 비교하여 뛰어난 접근성을 가진 영상을 활용하여 방법을 통해 하도 지형정보를 획득할 가능성을 확인하였다. 하지만 해당 방법의 실제 적용을 위해서는 식생, 다양한 수심 등 다양한 하천 환경의 조건과 영상에 영향을 줄 수 있는 기상 조건, 태양광에 따른 반사도 변화 등 영상으로부터 지형을 추정하는 방법이 가지는 다양한 기술적인 한계에 대한 충분한 추가 연구가 필요할 것으로 판단된다. 추가적인 연구수행을 통해 해당 기술의 고도화 이후에는 실제 하상변동 또는 하천 관리가 필요한 지점에 대해 다양한 환경들을 고려하여 주기적으로 영상을 획득한다면 효율적인 하천 관리를 위한 방법으로 활용할 수 있을 것으로 판단된다. **KAGIS**

REFERENCES

- Fausch, K.D., Torgersen, C.E., Baxter, C.V. and Li, H.W. 2002. Landscapes to riverscapes: bridging the gap between research and conservation of stream fishes: a continuous view of the river is needed to understand how processes interacting among scales set the context for stream fishes and their habitat. *BioScience* 52(6):483-498.
- Flener, C. 2013. Estimating deep water radiance in shallow water: Adapting optical bathymetry modelling to shallow river environments. *Roreal Environment Research* 15:488-8502.
- Jung, Y. and Kang, S. 2002. Measuring water depth by using a combination of GPS/Echosounder. *Korean Journal of Geomatics* 20(4):375-381 (정영동, 강상구. 2002. 음향측심기와 위성항법을 이용한 하천의 수심 측량. *한국측량학회지* 20(4):375-381).
- Kang, W., Choe, H., Jang, E., Ko, D., Kang, J and Yeo, H. 2021b. Determination of Stream Reach for River Environment Assessment System Using Satellite Image. *Ecology and Resilient Infrastructure* 8(4): 179-193 (강우철, 최훈, 장은경, 고동우, 강준구, 여홍구. 2021. 위성영상을 활용한 하천 환경 평가 세구간 설정 응용생태공학회 8(4): 179-193).
- Kang, W., Jang, E.K., Yang, C.Y. and Julien, P.Y. 2021a. Geospatial analysis and model development for specific degradation in South Korea using model tree data mining. *Catena* 200:105142.
- Kang, W., Lee, K. and Jang, E.K. 2022b. Evaluation and Validation of Estimated Sediment Yield and Transport Model Developed with Model Tree Technique. *Applied Sciences*, 12(3):1119.
- Kang, W., Lee, K. and Kim, J. 2022a. Prediction of Suspended Sediment Concentration Based on the Turbidity-Concentration Relationship Determined via Underwater Image Analysis. *Applied Sciences* 12(12): 6125.
- Kang, W., Yang, C.Y., Lee, J. and Julien, P.Y. 2019. Sediment yield for ungauged watersheds in South Korea. *KSCE Journal of Civil Engineering* 23(12):5109-5120.
- Kasvi, E., Salmela, J., Lotsari, E., Kumpula, T. and Lane, S.N. 2019. Comparison of remote sensing based approaches for mapping bathymetry of shallow, clear water rivers. *Geomorphology* 333:180-197.
- Kim, S. and Lee, Y., 2018. Present Status and Future Prospect of Satellite Image Uses in Water Resources Area. *Korean*

- Journal of Ecology and Environment 51(1):105-123 (김성준, 이용관. 2018. 수자원분야의 위성영상 활용 현황과 전망. 한국하천호수학회 51(1):105-123).
- Lee, C., Go, D, Kim, D. and Choi, H. 2022. Quantitative Analysis on the Lateral Migration of an Alluvial River - Case Study on Gopyeong Site of Naeseong Stream -. Journal of the Korean Geomorphological Association 29(2):25-39 (이찬주, 고다해, 김동구, 최훈. 2022. 국내 축적하천에서 측방이동에 대한 계량적 분석 - 내성천 고평 지점을 사례로 -. 한국지형학회지 29(2):25-39).
- Lee, C., Kim, D.G., Hwang, S.Y., Kim, Y., Jeong, S., Kim, S. and Cho, H. 2019. Dataset of long-term investigation on change in hydrology, channel Morphology, landscape and vegetation along the Naeseong Stream (II). Ecology and Resilient Infrastructure 6(1):34-48 (이찬주, 김동구, 황승용, 김용전, 정상준, 김시내, 조형진. 2019. 내성천의 수문, 하도 형태, 경관 및 식생 특성에 관한 장기모니터링 자료 (II) 6(1):34-48).
- Lee, G.R. 2022. Changes of Riverbed Relief and Channel Landscape in Naeseongcheon River before and after Construction of Yeongju Dam. Journal of the Korean Geomorphological Association 29(1):31-44 (이광률. 2022. 영주댐 건설 전후 내성천의 하상 기복 및 하도 경관 변화 29(1):31-44).
- Lee, G.S., and Lee, H.S. 2012. Evaluation of possibility for the classification of river habitat using imagery information. Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies 15(3):91-102 (이근상, 이현석. 2012. 영상정보를 활용한 하천 서식처 분류 가능성 평가. 한국지리정보학회지 15(3):91-102).
- Lee, J.B., Kim, H.J., Kim, J.H. and Wie, G.J. 2021. Water Depth and Riverbed Surveying Using Airborne Bathymetric LiDAR System-A Case Study at the Gokgyo River. Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography 39(4):235-243 (이재빈, 김혜진, 김재학, 위광재. 2021. 한국측량학회지 39(4):235-243).
- Lee, J.O., Choi, H.W., Yun, B.Y. and Park, C.Y. 2014. Integrated geospatial information construction of ocean and terrain using multibeam echo sounder data and airborne Lidar data. Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies 17(4):28-39 (이재원, 최혜원, 윤부열, 박치영. 2014. 항공 Lidar와 멀티빔 음향측심 자료를 이용한 해상과 육상의 통합 지형공간정보 구축. 한국지리정보학회지 17(4):28-39).
- Lee, J.W., Lee, M.S., Jung, I.K., Park, G., and Kim, S.J. 2011. Stream type classification and 2-dimensional hydraulic characteristics and bed change in Anseongcheon streams and tributaries. Journal of The Korean Association of Geographic Information Studies 14(4):77-91 (이지완, 이미선, 정인균, 박근애, 김성준. 2011. 안성천중소하천의 하천분류 및 2 차원 수리특성-하상변동모의. 한국지리정보학회지 14(4):77-91).
- Lyzenga, D.R. 1978. Passive remote sensing techniques for mapping water depth and bottom features. Applied optics 17(3):379-383
- Moon, H.T., Lee, J.H., Yuk, J.M. and Moon, Y.I. 2020. Estimation of river water depth using UAV-assisted RGB imagery and multiple linear regression analysis. Journal of Korea Water Resources Association 53(12):1059-1070 (문현태, 이정환, 육지문, 문영일. 2020. 무인기 지원 RGB 영상과

- 다중선형회귀분석을 이용한 하천 수심 추정. 한국수자원학회논문집 53(12):1059-1070).
- Park, S.H. 2018. Color Analysis and Binarization of River Image for River Surveillance. The Journal of the Korea institute of electronic communication sciences, 13(1):175-186 (박상현. 2018. 하천 감시를 위한 하천 영상의 색상 분석 및 이진화 방법. 한국전자통신학회논문지 13:175-185).
- Park, S.K., Kim, J., Lee, K.J., and Jo, M.H. 2013. Analysis of land use change within four major river areas using high-resolution air-photographs: the case of the Nakdong river basin. Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies 16(4): 171-188 (박수국, 김진, 이길재, 조명희. 2013. 고해상도 항공사진을 이용한 4 대강 하천구역 내 토지이용변화 분석-낙동강 유역을 사례로. 한국지리정보학회지 16(4):171-188).
- Yi, J.H., Ryu K.H., Shin, C., Baek, W.D., and Jeong, W.M. 2016. Bathymetry estimation using aerial imagery for shallow water region. Journal of The Korean Society of Hazard Mitigation 16(5):351-358 (이진학, 류경호, 신창주, 백원대, 정원무. 2016. 항공사진을 이용한 천해역에서의 수심 측량. 한국방재학회논문집 16(5):351-358). 