

Research Paper

도심소하천 식생조사에서 현장사진과 UAV 근적외선 영상의 비교평가

이정주* · 황영석** · 박성일** · 엄정섭***

경북대학교 공간정보학과*, 경북대학교 기후변화학과**, 경북대학교 지리학과***

Comparative Evaluation of UAV NIR Imagery versus in-situ Point Photo in Surveying Urban Tributary Vegetation

Jung-Joo Lee* · Young-Seok Hwang** · Seong-Il Park** · Jung-Sup Um***

Department of Spatial Information Science, Kyungpook National University*

Department of Climate Change, Kyungpook National University**

Department of Geography, Kyungpook National University***

요약: 현재 도심 소하천의 식생조사는 주로 현장조사에 의존하여 이루어진다. UAV NIR(Unmanned Aerial Vehicle Near Infrared) 영상은 매우 낮은 고도에서 취득할 수 있어 도심 소하천과 같이 폭이 매우 좁은 표적(10m 내외)에 필요한 정보를 효율적으로 제공할 수 있다. 하지만 UAV NIR영상이 도심소하천의 식생 조사도구로서 검증되지 않아, UAV NIR 영상과 현장사진을 통합한 선행연구는 존재하지 않는다. 따라서 본 연구에서는 전통적인 원격탐사의 영역이 아니었던 국부적인 대상인 도심소하천 식생조사에서 UAV NIR 영상과 현장사진의 비교평가를 실시하였다. 하천 식생조사 결과를 실무에서 활용하는데 필요한 요구 사항을 고려하여 광역공간정보, 미시적인 정보 및 정량적인 데이터 확보 등 다양한 측면에서 분석이 수행되었다. UAV NIR 영상은 전통적인 현장조사에서 취득할 수 없었던 거시적인 주변 환경(예: 인공적인 토지 이용에 따른 영향)에 따른 식생군집패턴의 변화를 추적할 수 있었다. 현장조사는 전제계적으로 도심 소하천 식생 모니터링 방법으로 정착되었지만, 거시적인 정보의 취득에서 상당한 한계를 노출하였으며 정량적인 정보를 확보하는 과정에서도 신뢰성에 한계를 노출하였다. 본 연구가 도심 소하천의 식생조사에서 거시적이고 정량화되고 객관적인 데이터가 부재하여 직면하였던 한계를 극복할 수 있는 계기가 되어 향후 UAV NIR 원격탐사에서 확보할 수 있는 정보의 수준을 파악할 수 있는 중요한 참고자료가 될 수 있을 것으로 사료된다.

주요어: 도심소하천, 식생조사, UAV 원격탐사, 현장사진

First Author: Jung-Joo Lee, Department of Spatial Information Science Kyungpook National University, 80, University Road, Buk-gu, Daegu, 41566, South Korea, Tel: +82 53 950 5229, E-mail: jungju501@knu.ac.kr

Co-Authors: Young-Seok Hwang, Department of Climate Change, Kyungpook National University, 80, University Road, Buk-gu, Daegu, 41566, South Korea e-mail: poi012345@naver.com

Seong-Il Park, Department of Climate Change, Kyungpook National University, 80, University Road, Buk-gu, Daegu, 41566, South Korea, e-mail: azurilove@knu.ac.kr

Corresponding Author: Jung-Sup Um, Department of Geography, Kyungpook National University, 80, University Road, Buk-gu, Daegu, 41566, South Korea, Tel: +82 53 950 5229, e-mail: jsaom@knu.ac.kr

Received: 24 August, 2018. Revised: 20 September, 2018. Accepted: 2 October, 2018.

Abstract: Surveying urban tributary vegetation is based mainly on field sampling at present. The tributary vegetation survey integrating UAV NIR (Unmanned Aerial Vehicle Near Infrared Radiance) imagery and in-situ point photo has received only limited attentions from the field ecologist. The reason for this could be the largely undemonstrated applicability of UAV NIR imagery by the field ecologist as a monitoring tool for urban tributary vegetation. The principal advantage of UAV NIR imagery as a remote sensor is to provide, in a cost-effective manner, information required for a very narrow swath target such as urban tributary (10m width or so), utilizing very low altitude flight, real-time geo-referencing and stereo imaging. An exhaustive and realistic comparison of the two techniques was conducted, based on operational customer requirement of urban tributary vegetation survey: synoptic information, ground detail and quantitative data collection. UAV NIR imagery made it possible to identify area-wide patterns of the major plant communities subject to many different influences (e.g. artificial land use pattern), which cannot be acquired by traditional field sampling. Although field survey has already gained worldwide recognition by plant ecologists as a typical method of urban tributary vegetation monitoring, this approach did not provide a level of information that is either scientifically reliable or economically feasible in terms of urban tributary vegetation (e.g. remedial field works). It is anticipated that this research output could be used as a valuable reference for area-wide information obtained by UAV NIR imagery in urban tributary vegetation survey.

Keywords: Urban tributary; Vegetation survey, UAV remote sensing, Ground point photo

I. Introduction

도심소하천¹⁾에 서식하고 있는 식생의 분포실태는 Braun Blanquet(1964)의 식물 사회학적 조사지표를 이용하여 현장조사를 통해 식생분류와 주변환경과의 관계, 식생천이, 군락 등의 데이터를 취득하는 것이 표준으로 자리잡고 있다(Myung 2009). 도심소하천과 같이 장거리에 걸쳐 주거지역, 상업지역, 녹지지역 등 여러 가지 다른 토지이용특성을 가지고 흐르고 있는 하천은 식생의 분포가 친수공간, 하변도로, 인공제방, 주변토지이용, 지형 등 주변 자연환경과 인문환경에 따라 불규칙하게 나타나고 있다(Choi 1995). 이와 같이 광대한 지역을 현장조사에 의거 식생분포실태를 파악하여 자연보전 정책을 수립한다는 것은 이론적으로 상당한 한계를 내포하고 있다(Lee et al. 2013). 현장조사에 의존한 현행 모니터링 방식은 많은 인력과 경비를 필요로 하면서도 조사지점만의 단편적인 샘플채취 수준에 머물러 있어 자연환경의 광역적인 변화 추이에 대한 시각적인 정보를 입수하는 데 상당한 한계가 있다.

조사장소에 대한 영구적인 기록(permanent record)

을 확보하고자 조사과정에서 주변 상황과 식생의 군집형태 등 식생조사표에 기록되는 핵심 조사내용에 대해 현장사진을 촬영하여 조사결과에 대한 객관적인 기록으로 제시하고 있다(Dressing et al, 2016). 같은 지점에서 도심소하천에 서식하는 하천식생에 대한 현장조사를 하더라도 조사자마다 결과가 다르게 나타날 수 있으나 현장사진은 이를 객관화할 수 있는 근거자료로 활용될 수 있다. 같은 시각에 조사를 하더라도 조사지점에 따라 조사결과에서 큰 차이가 도출될 수 있으나 현장사진은 이를 확인하여 보완할 수 있는 근거자료로 사용될 수 있다. 현장사진으로 제시된 식생조사결과는 분석과정에서 조사요원에 게 현장상황에 대한 객관적인 근거를 제시하고, 객관적인 측정치를 도출할 있도록 하여 측정 및 분석의 전 과정에서 오차를 최소화할 수 있는 도구로 활용될

1) 자연의 유수(流水)가 있거나 있을 것으로 예상되는 토지를 하천이라고 정의하는 데, 우리나라에서는 하천의 이름을 붙이는데 있어서 '~강', 또는 '~천'이라는 어미를 붙이고 있다. 대체적으로 규모가 큰 하천 또는 본류는 '~강'이라 부르고, 그보다 규모가 작거나 지류인 하천을 '~천'이라 부르고 있다.

수 있다. 현장사진은 영구적인 기록으로 보존된 영상 정보의 활용이 필수적인 하천식생 보전 관련 국토계획이나 개발사업에 대한 환경영향을 평가하는 과정에서 원격탐사영상과 비교하여 분석될 수 있는 중요한 데이터로 활용되고 있다(Korean Ministry of Environment 2017).

국내법(하천법 제2조, 소하천정비법 제2조)은 하천을 그 중요도에 따라 국가하천, 지방1급하천, 지방2급하천 그리고 소하천으로 구분하고 있다. 소하천은 “소하천정비법 시행령 제2조”에 따르면 국가하천 또는 지방하천으로 지정되지 않은 하천으로, 일시적이 아닌 유수(流水)가 있거나 있을 것이 예상되는 구역으로서 평균 하천 폭이 2m 이상이고 시점(始點)에서 종점(終點)까지의 전체길이가 500m 이상인 하천을 말한다.

소하천은 국가하천과 지방하천과 달리 하천법의 적용을 받지 않으며 소하천만을 다루는 소하천정비법을 따른다. 하천은 차수, 상하류, 하천폭, 수면폭, 바다와 인접성, 하상구조, 유역 등 다양한 기준에 의거 구분될 수 있으나(Ahn et al. 2011) 어떤 기준을 적용하더라도 소하천은 하천분류에서 최하위의 위계에 위치하고 있는 하천이다. 하천 식생조사에서 현장조사에 대한 대안으로 국가하천, 지방1급하천, 지방2급하천에 대해 인공위성영상과 유인항공기에서 촬영된 사진을 활용한 많은 선행연구들이 보고되고 있다(Johansen & Phinn 2006; Akasheh et al. 2008; Lee et al. 2013). 하지만 본 연구에서 다루고 있는 하천폭이 10m 내외인 도심소하천에 대해서는 위성영상과 항공사진을 활용한 선행연구는 확인되지 않는다.

촬영고도가 700km 이상인 인공위성이나 지도제작용으로 600–800m 이상의 고도에서 촬영되는 유인항공기²⁾ 영상을 활용하여 하천의 폭이 10m 내외인 도심소하천에 대한 식생조사에 필요한 공간 해상도를 확보하는 것은 불가능하다. 또한 도심소하천의 경우 인구밀집지역인 도심을 통과하고 있기 때문에 유인항공기의 저고도 비행에 한계가 있어 도심소하천의 식생조사만을 위한 항공사진 촬영은 사실상 불가능에 가깝다. 이런 이유 때문에 도심소하천에 대해

유인항공기에서 촬영된 항공사진을 활용한 선행연구는 확인되지 않는다. UAV는 낮은 고도에서 영상을 취득할 수 있어 cm 단위의 GSD(Ground Sample Distance)를 가지는 고정밀 원격탐사 영상을 확보할 수 있다.(Lee & Sung 2016; Um 2018; Woo et al. 2018) UAV는 하천 폭이 10m 내외인 도심소하천의 고해상도 영상 취득이 가능하며, 기존의 위성영상과 유인항공기의 항공사진, 현장조사의 한계를 극복할 수 있는 대안으로 판단된다. 현장조사사진을 이용하여 도심소하천의 식생변화를 시계열적으로 관찰한 연구나 식생복원이나 태풍 등의 환경재해 이후의 식생변화에 대한 연구들이 존재한다(Sloan et al. 2001; Isabelle et al. 2008; Truscott et al. 2008). 하지만 도심소하천과 같이 국부적인 대상에 대해 UAV 영상을 활용하여 하천식생조사에 현장사진과 비교를 수행한 방법론적인 연구는 확인되지 않는다. 현재 도심소하천 식생조사는 현장조사 위주로 도심소하천의 특정 지역만 대상으로 하는 미시적인 연구만이 이루어져 왔기 때문에, UAV 영상을 활용하여 이를 보완할 새로운 식생조사 방법을 제안하는 목적으로 본 연구가 수행되었다. 따라서 본 연구는 10m 폭의 도심소하천 식생조사에서 현장사진과 비교평가를 통해 UAV 영상의 성능을 검증하고자 한다.

II. Study area, materials and methods

1. Study area

본 연구지역은 대한민국 경상북도 경산시 북부동에 위치한 남천 일대이다(Figure 1). 경산시는 대구광역시의 위성도시이지만 대구광역시의 관제권에 포함되지 않기 때문에 UAV 비행에 대한 제약이 없다. 남천은 총 길이 22.5Km의 지방하천으로 금호강 제1지류이며 경산시의 도심을 관류하는 하천이다. 2007–2011년 생태하천복원 사업을 통하여 자연 친화적인 도심소하천으로 탈바꿈하였으며, 하천의 폭

2) “항공사진측량 작업규정 제13조”에 따르면 1:5000 축적의 지도 제작시 GSD(Ground Sample Distance)가 25cm로 제작되고 있으며, 사진축적이 1/5,000이상일 경우에는 계획고도의 수직이탈 10%이 허용되고 있다.

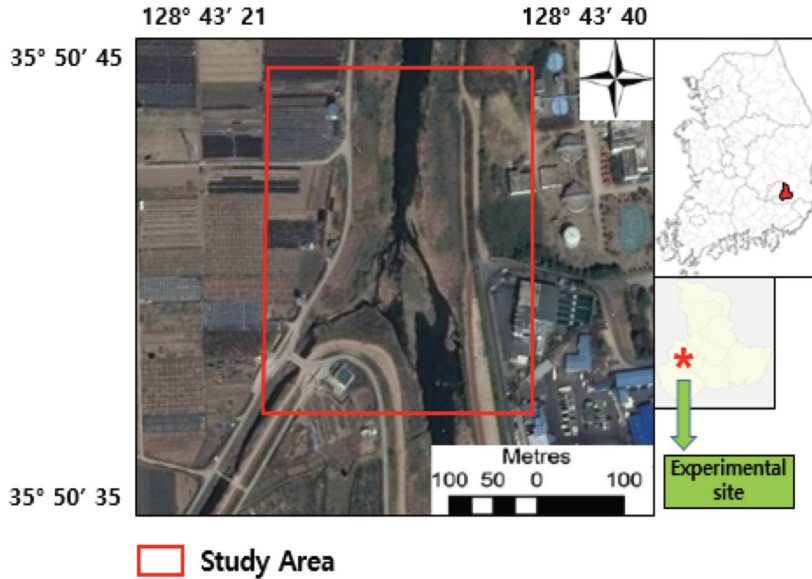


Figure 1. The Google Earth imagery of study area (taken at 03.12.2016).

이 5–10m로 좁기 때문에 위성영상과 유인항공기 영상으로 하천의 식생을 탐지하는 것이 불가능하고 현장조사만 가능한 지역이어서 현장사진과 UAV 영상의 비교평가를 위한 적지로 판단된다. UAV 영상은 장마가 끝나 하천의 유량이 많아, 하천에서의 식생 다양성이 높은 2017년 8월 1일에 촬영했다. 일조량, 일사량이 높고 광합성이 활발이 이루어져 식생별 특성이 가장 잘 나타나는 시간대에 UAV 영상이 촬영되었다. UAV와 현장사진은 태양의 천정각이 높아 사진 촬영 시 그림자와 같은 외부 노이즈가 낮게 나타나며, 식생활동이 왕성하게 일어나 식생 판독에 용이한 12–13시에 동시에 진행하였다.

2. Materials and methods

현장샘플 데이터 취득을 위한 디지털 카메라는 삼성 갤럭시 카메라2를 사용하였다. 카메라의 무게가 283g으로 가볍고 휴대가 용이하며, 1600만화소의 해상도와 손떨림 보정기능 및 21배 광학줌 기능을 가지고 있다(Table 1). 현장사진은 사진 격자 분석과 사진 샘플링 방법을 사용하여 영상을 촬영한다. 포토 그리드(photo grid) 분석은 사진을 비교하기 위해 카메라와 미터 보드(meter board) 사이의 고정된 기하학적 관계를 기반으로 한다. 기본 요구 사항은 모든 사진에 대해 카메라와 미터 보드 사이의 일정한 간격이다. 동일한 카메라 위치의 다른 현장사진과, 관련

Table 1. Specification of UAV & Camera

UAV		UAV Camera		Digital camera	
DJI Inspire 1		Zenmuse X3 Blue, Green, Red, NIR (800-900nm)		Samsung Galaxy Camera 2	
Weight	2935g	Resolution	4000×3000	Weight	285g
Flight Altitude	Max: 4500m	Pixel size	1.56×1.56µm	Resolution	1280×720
Flight Time	Max: 18min	FOV	97 degree	Optical zoom	21x
Hovering accuracy	Vertical: 0.5m Horizontal: 2.5m	ISO	100-3200	ISO	100-3200
Speed	Max: 22m/s	Focal Length	3.61mm	Focal Length	4.1mm
Maximum wind resistance	10m/s	F-Stop	F/2.8	F-Stop	F/2.8

된 주제에 따라 각각 다른 카메라 위치에서 거리를 사용할 수 있다. 그리드(grid)는 가로 및 세로 모두 13-15°까지 제한된 뷰를 포함하도록 설계하였다. 15°를 초과하는 뷰는 렌즈의 가장자리에서 가벼운 굴절 때문에 시차가 발생한다. 따라서 촬영각은 13-15°로 설정하여 연구 대상의 현장사진 촬영이 이루어졌다.

본 연구에 사용한 UAV는 DJI사의 inspire 1을 사용하였으며, 데이터 취득에 활용한 카메라는 DJI Zenmuse X3이다. Inspire 1은 무게가 약 배터리 포함 3kg이며 최대 18분까지 촬영이 가능한 회전익 UAV이다. Zenmuse X3는 Inspire 1 UAV 전용으로, 가시광선 영역인 Blue, Green, Red(400-700nm)와 별도의 NIR(800-900nm)의 4개의 밴드를 가진 센서로 구성되어 있다(Table 1). NIR은 식생에서 높은 반사특성을 보이며 식생의 종류, 활력도, 건강상태에 따라서 수종별로 상이한 결과값을 보이는 것을 알 수 있다. 이를 착안하여 최근 UAV를 NIR 센서를 활용한 연구가 이루어지고 있다(Park & Park 2015; Lee et al. 2017; Moon et al. 2017). 이러한 점을 바탕으로 NIR을 통한 영상에서 식생을 구분하고 분석할 수 있다. 동일한 고도와 경로를 바탕으로 정사영상을 취득하기 위해 UAV 자동비행 소프트웨어인 Pix4D Capture의 자동비행 기능을 사용하였다. Pix4D Capture는 구글 지도를 바탕으로 UAV 사용자의 요구에 적합한 비행계획을 수립할 수 있도록 지원한다. 전통적인 사회적 식생조사에서는 군집의 분류가 중요한데, UAV 촬영 고도가 높아질수록 GSD가 커져서 다양한 식생이 혼재되어 있을 경우 군집간의 구분이 어려워진다. 현장 조사 기반의 현장사진의 경우 조사구 내에서 근접하여 수평조망과 수직조망, 육안판독을 통해 이루어지기 때문에 정확한 식생구분과 현장사진과의 비교평가를 위해서는 촬영고도가 일정 고도 이하로 설정되어야 한다. 높은 고도에서 촬영 시 에어로졸과 빛 산란(light scattering) 등 다양한 노이즈에 의해 영향을 받는다. 또한 UAV의 촬영 고도가 높아질수록 촬영 대상뿐만 아니라 타 대상물에서 반사되는 분광이 영상에 포함되어 실제 분광특성과 기하학적 신호의 왜곡이 발생할 수 있다. 하지만 촬영 고도가 30m 이하로 낮을 경우 주변 지

형지물에 대한 충돌과 UAV의 프로펠러 하상풍에 따른 노이즈 가능성이 존재한다. 본 연구에서는 높은 기하학적 정확도를 얻기 위해 중첩도는 80%로 설정하고 종방향 및 횡방향 교차비행(Double Grid)를 사용하여 30m 고도에서 GSD 1.4cm의 정사영상(390매)을 수집하였다.

3. Data processing

UAV의 데이터 처리는 Agisoft 사의 Photoscan을 사용하여 처리하였다. Photoscan은 중복촬영된 사진을 이용하여 3차원 point cloud 데이터로 피사체를 재구성하는 SfM(Structure from Motion)기법을 이용하였다. 이 기법은 사진에 저장된 태그로부터 초점거리, 카메라종류, 영상크기 등의 정보를 취득해 초기 값으로 이용하여, 카메라의 위치와 자세를 추정하므로 표정요소를 입력하지 않아도 정량적인 분석이 가능한 정사사진을 확보할 수 있다(Figure 2)(Lee et al. 2015). 트레이닝 샘플을 선정하는 작업은 환경영향평가법에서 규정한 식생현지조사표 양식을 참고하여 이끼류, 초본, 관목, 아교목, 교목 중에서 연구지역에서 샘플에 대한 현장사진촬영이 가능한 대상을 중심으로 수행되었다. 사초속 식물(*Carex sp.*), 갈풀(*Phalaris arudinacea*), 환삼덩굴(*Humulus scandens*(Lour.) Merr), 능수버들(*Salix pseudo-lasiogyne*), 갯버들(*Salix gracilistyla*), 향나무(*Juniperus chinensis*) 등 6종류의 식생을 선정하여 샘플링을 수행하였다(Korean Ministry of Environment 2017)(Figure 2). SfM(Structure from Motion)기법을 이용하여 제작된 정사영상을 기반으로 샘플 데이터를 분석하고자 영상처리 소프트웨어인 ERDAS IMAGINE9.1을 사용하였다. 조사지역의 트레이닝 샘플을 분석하기 위하여 영역 확장(region growing) 기법을 활용하였는데, 이는 높은 공간 해상도를 가지고 있는 UAV 영상에서 유사한 픽셀 값을 가진 집단을 군집화하여 샘플의 영역과 일치하지 않는 영역을 구분하여 객관적이고 정량적인 분광특성 분석이 가능하게 하였다(Figure 3)(Qian et al. 2006). 현장사진과 UAV NIR 영상을 비교평가하기 위한 표준화된 지표가 존재하지 않

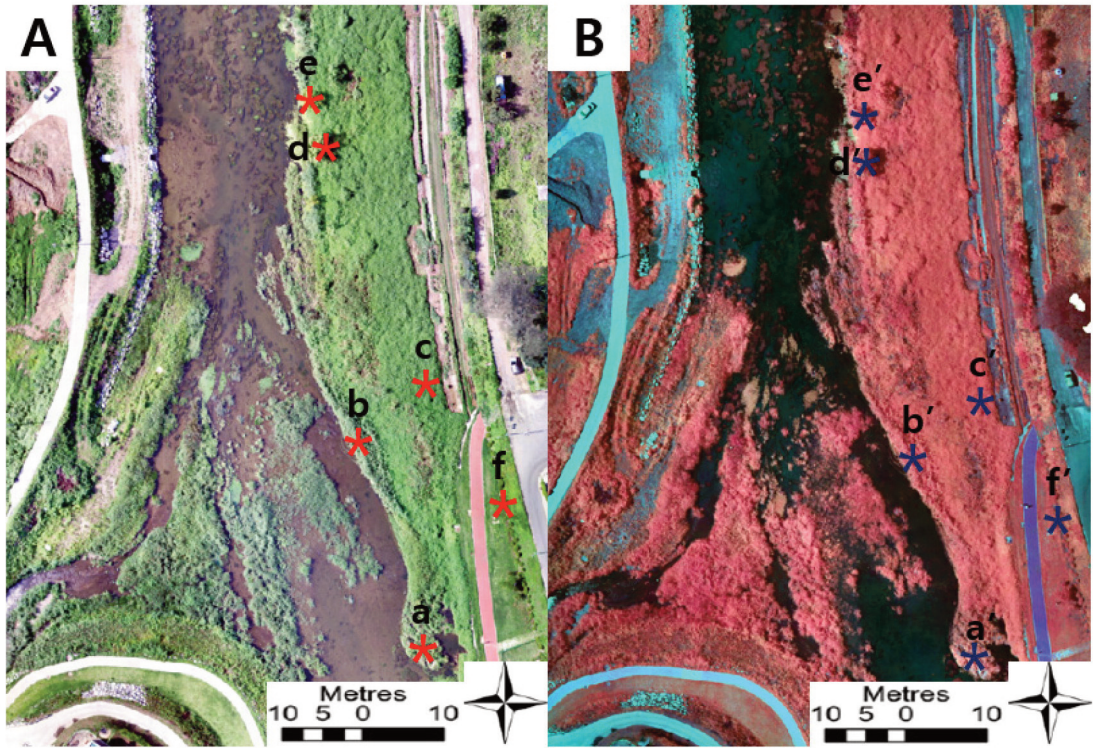


Figure 2. VIS and NIR Imagery of study area, A: VIS B: NIR.

a: *Carex sp.*, b: *Phalaris arundinacea*, c: *Humulus scandens* (Lour.) Merr, d: *Salix pseudo-lasiogyne*, e: *Salix gracilistyla*, f: *Juniperus chinensis*

Representative location () for individual vegetation species is indicated as a, b, c etc in VIS imagery while identical points are presented as a', b', c' etc. in NIR imagery.

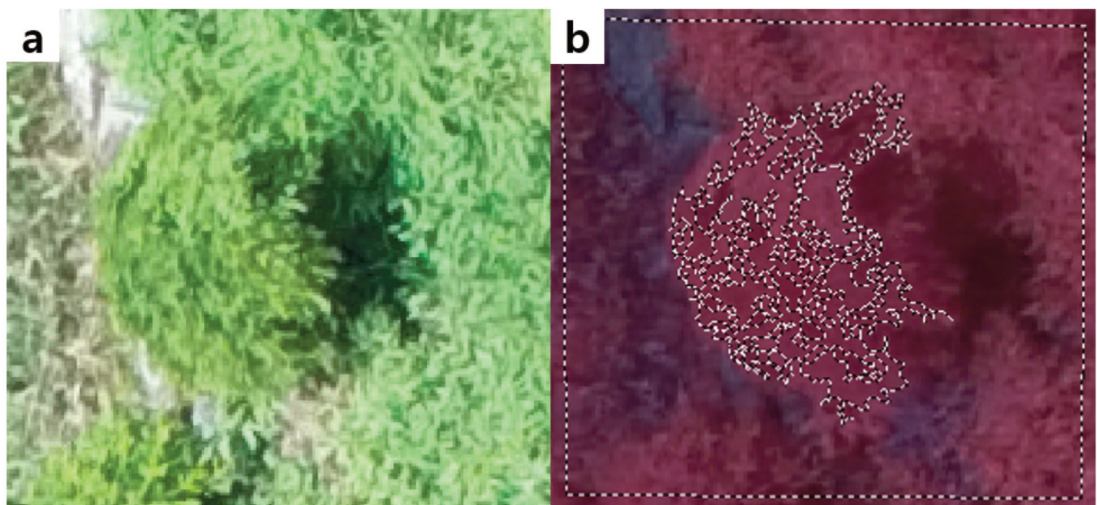


Figure 3. Examples of sampling using Region Growing technique.

a: UAV VIS imagery sample vegetation, b: UAV NIR imagery with training sample using Region Growing technique

때문에 원격탐사영상을 육안으로 판독하는 육안판독 키와(Um 2004; Um 2008), 환경영향평가법에서 규정한 식생 현지조사 기준을 참조하여 본 연구에 적절한 비교지표를 도출하였다.

III. Result

본 연구 지역은 두 소하천이 합류하는 지점으로 분포 식생의 실상을 가시적으로 보여주며, 유속이 느리고 유량이 적은 망류 하도로 유로의 대부분이 식생으로 안정되어 있다. 초본은 하천의 하중에 의한 퇴적 지형에서 소하천의 중심부의 중앙 바(media)와 외곽부의 포인트 바(point)에 위치한다(Figure 4a-c). 초본 중, 사초속 식물 및 갈풀의 경우 습지나 수변공간에 서식하는 일반적인 식생이다(Figure 4a-b). 환삼덩굴은 도로 및 나지 주변에 넓게 서식하고 있으며 대표적인 생태파괴 식물종으로 빠르게 지표면을 덮어서 타 식생의 성장을 방해한다(Figure 4c). 현장사진에서 샘플식생의 분포 특성을 보았을 때 자연식생으로 판단되며 식생서식지에 따른 토양

상태를 파악할 수 있었다(Figure 4a-c). 능수버들과 향나무는 교목으로 분류되는 식생으로 능수버들은 수변공간에서 주로 서식하며, 향나무는 하변도로 주변에 서식하며 특성에 따라 조경수로 활용성이 높은 종으로 분류된다(Figure 4d-f). 갯버들은 관목으로 분류되고 수변공간에서 서식하여 방수림으로 활용 가치가 있다(Figure 4e).

도심소하천의 경우 일반적으로 하천의 수심이 낮다. 따라서 수공간을 구성하는 다양한 개체에 의해 하천 내 식생과 수공간의 영역 간 구분이 현장사진을 육안으로 판독함에 있어서 선명하지 않았다. 연구지역 내에서, 하천에 인접하여 분포하는 식생은 현장사진을 활용하여 샘플영역을 대상으로 정보를 제공하므로, 하천의 유속, 수심, 합류 지점, 오염원 유무에 따른 식생 분포 영향 요인에 대한 정보취득이 난해하였다(Figure 4a-b). 또한 초본의 경우 상대적으로 수고가 낮기 때문에 초본 간 색조를 활용한 차이를 활용할 수 있는데 현장사진의 경우 수평조망에 따른 시차(parallax)로 인해 왜곡 가능성이 존재하였다. 따라서 하천과 가장 밀접하게 서식하는 공간적 특수성에

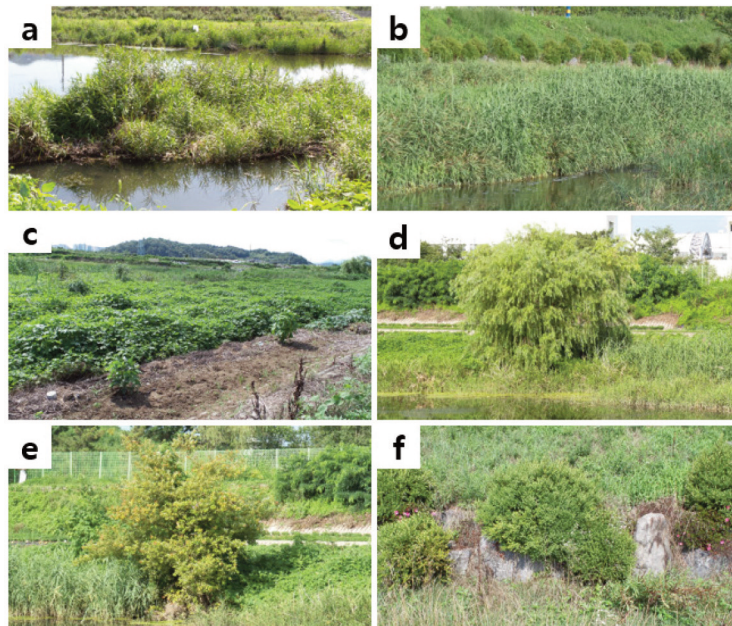


Figure 4. Field survey point photos for sampled spots.

a: *Carex* sp., b: *Phalaris arundinacea*, c: *Humulus scandens* (Lour.) Merr., d: *Salix pseudo-lasiogyne*, e: *Salix gracilistyla*, f: *Juniperus chinensis*

의한 노이즈 발생의 결과로 연구자의 주관에 따라 색조별 식생활동과 식생의 건강상태를 파악할 가능성이 발생한다. 노이즈의 영향에 의해 조사자의 주관에 따른 육안판독은 피도 및 군도계급의 산출에 있어 한계가 존재하였다. 하지만 UAV NIR 영상은 NIR 영역에서 식생과 수공간 사이의 분광특성을 통해 뚜렷하고 정량적으로 식별하여 용이하게 활용될 수 있고 (Figure 5a'-b') 식생 간 차이에 따른 정량적으로 식별이 가능하였다(Figure 6). 특히 현장사진에서는 관측되지 않은 수초대가(Figure 4a) UAV NIR 영상에서는 수공간과 뚜렷하게 구분되어 상대적으로 수심이 낮고 하상이 상대적으로 높은 지역에 서식하는 사초속 식물의 분포특성에 대한 정보도 관측할 수 있었다(Figure 5a'). 공간 해상도가 높기 때문에 상대적으로 낮은 고도에 서식하는 사초속 식물(NIR Reflectance: 61.2%)와 갈 풀(NIR Reflectance:

50.3%)은 정량적인 분광특성 분석을 통해 구분이 가능하였다(Table 2). 현장사진은 연구지역에서 주변 토지이용 실태를 판독하게 하여 각 샘플 식생에 대한 정성적인 정보를 제공하였다. 환삼덩굴은 원경과 중경의 현장사진을 통해 판독하였을 때 하천측방 퇴적지형의 농작물임을 파악할 수 있었다(Figure 4c). 식생과 인접하여 분포하는 나대지의 경우 현장사진의 수평조망에서 일부 분류가 가능하지만, UAV NIR 영상에서 식생의 NIR 분광특성을 측정하고(NIR Reflectance: 52.3%), 비 식생 사이의 분광특성의 차이를 통한 정량적인 분류가 가능하였다(Figure 5c').

수고의 경우 현장사진에서 정량적 정보를 제공하지 않기 때문에 위치정보와 같이 수고기를 활용한 추가적인 조사를 수행할 필요가 있다(Figure 4d-e). 다만 정성적인 방법으로 육안판독을 통한 조사구 내의 식생별 상대적인 수고의 차이를 확인할 수 있다.

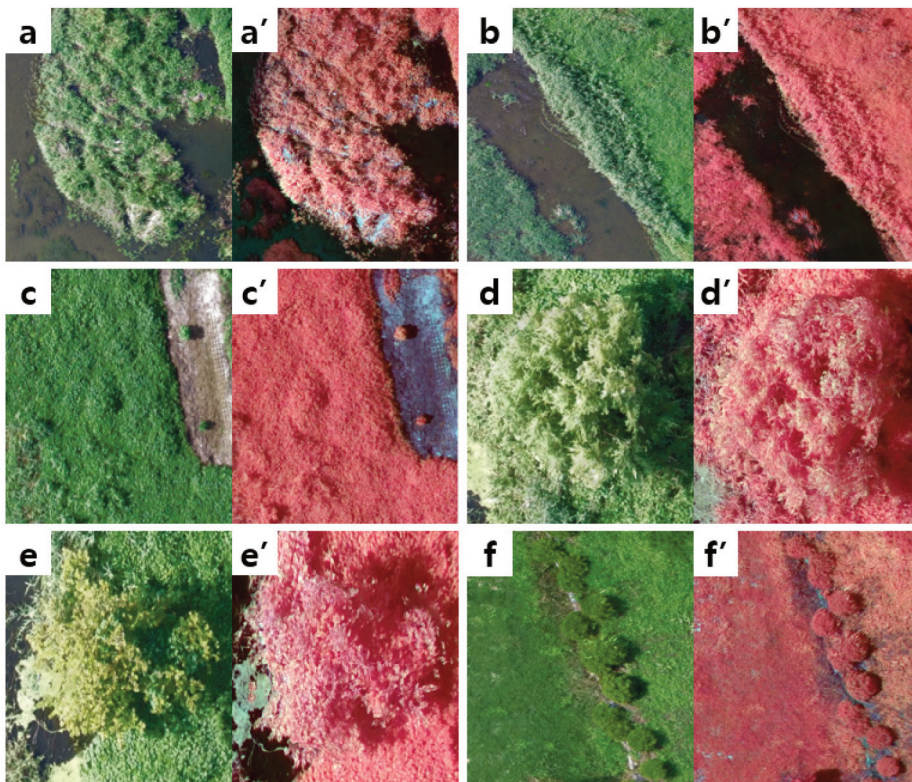


Figure 5. UAV point photo for sampled spots.

a, a': *Carex* sp., b, b': *Phalaris arundinacea*, c, c': *Humulus scandens* (Lour.) Merr, d, d': *Salix pseudo-lasiogyne*, e, e': *Salix gracilistyla*, f, f': *Juniperus chinensis*

Table 2. Spectral reflectances of individual species from sampled spots

Category	Green (%)	Red (%)	NIR (%)
<i>Carex sp.</i>	42.6	30.3	61.2
<i>Phalaris arundinacea</i>	30.2	18.7	50.3
<i>Humulus scandens</i> (Lour.) Merr	31.1	19.4	52.3
<i>Salix pseudo-lasiogyne</i>	33.7	21.3	52.3
<i>Salix gracilistyla</i>	36.0	23.7	54.0
<i>Juniperus chinensis</i>	27.3	16.5	45.6

이를 위해 원경, 중경 등 다양한 시점에서 정보취득을 수행할 수 있지만 조사자의 육안판독의 기준을 수반한 단면적인 수평조망에서 피사체 수고 식별의 한계점이 노출될 수 있다. 식생분류 기준에서 교목과 관목은 수고에 따른 판독변수가 작용될 수 있는데, 현장사진은 조사자의 위치에 따른 수평조망의 영상을 취득하게 하여 캐노피(canopy) 평가에 상대적 어려움이 있다. 반면 UAV 영상은 GSD 1.4cm의 높은 공간 해상도를 가지고 수직조망에서 그림자, 수목의 캐노피를 통한 상대적 크기를 비교 평가할 수 있으며(Figure 5d-e), 캐노피 NIR 분광특성(능수버들: 52.3%), (갯버들: 54.0%)을 통한 정량적인 수목분류가 가능하다(Fig 5d'-e). 현장사진에서 캐노피 부분까지 정보를 담을 수 있을 만큼 상대적으로 수

고가 낮은 관목(shurb)의 경우 주변 토지이용 정보를 통해 인위적 식재 여부를 파악할 수 있다(Figure 4f). 해당 연구지역의 경우 수평조망의 전경과 원경영상을 활용하여 식재 배열 실태 파악을 수행할 수 있으며 인위적 식재 여부를 파악하였다. 하지만 현장사진에서 정보를 제공하기에 수고가 높은 식생의 경우 샘플 지역만을 대상으로 하여 배열상태 및 인위적 식재 여부를 파악하기에 난해하다(Figure 4f). UAV 영상은 수직조망에서 영상정보를 제공하기 때문에 식생의 배열상태에 관한 정보를 제공한다(Figure 5f, Figure 5f'). 뿐만 아니라 UAV NIR 영상은 근적외선 파장대에서 분광특성을 이용하여 식생과 뚜렷하게 구분되는 인공 제방의 분포, 영역식별, 수공간과 나대지의 식별이 가능하여 식생과 인공지물, 투수면과 불

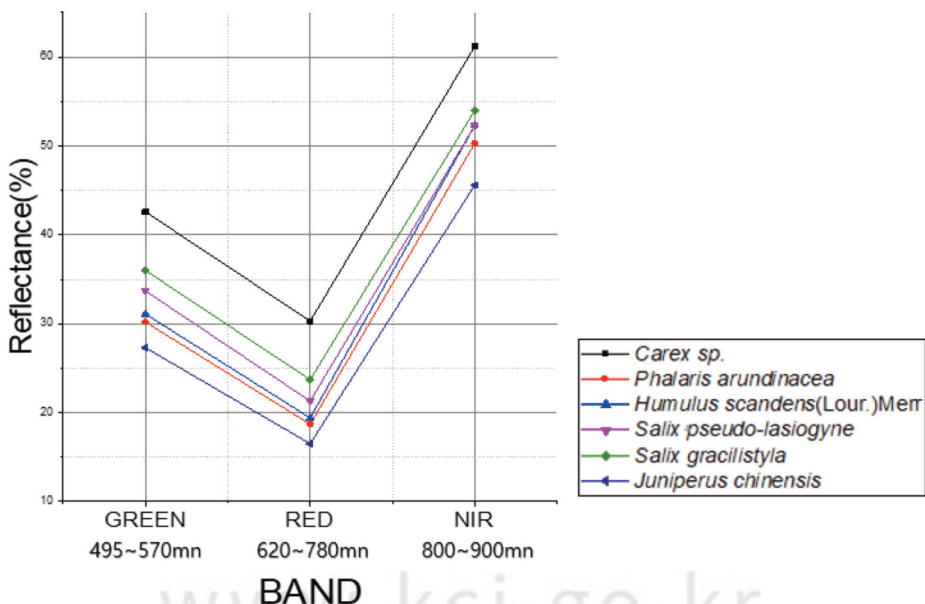


Figure 6. Spectral characteristics of individual species from sampled spots.

투수면 판독을 통해 하천지형물 구분과 하천자연도에 대한 구분이 가능하다(Figure 5a'-c'). 또한 현장 사진에서는 식생의 색조가 동일하게 나타나지만, NIR 분광특성(향나무 : 45.6%)을 활용하여 동일 수종내의 식생 활력도에 대한 부차적인 정보도 정량적으로 파악할 수 있었다(Figure 5f').

IV. Discussion

현장사진과 UAV 영상 모두 조사자의 주관에 의한 육안판독을 통해 정보를 분석하기 때문에, 원격탐사에서 사용되는 육안판독기와 하천식생조사에 사용되는 조사기준을 이용하여 형상, 수고, 색조, 배열상태, 상호관계, 위치, 지형, 계층에 대한 UAV 영상과 현장조사 간에 취득되는 정보의 차이를 비교평가 하였다(Table 3). 전통적인 도심소하천의 식생조사에서 식생군집의 유형을 구별하고, 비슷한 생육지와 상관(physiognomy)이 되풀이하여 나타나는 균일한 식분(stand) 중에서 그 지역을 대표하는 식생을 조사자 주관으로 선정한다. 현장사진은 포토 그리드 분석(photo grid analysis)와 트랜섹트 포토 샘플링(Transect Photo Sampling) 분석을 통해 도심소하천 식생조사에서 조사자가 우선순위를 설정한 하천의 특성이 잘 나타나는 샘플 지점에서 촬영되기 때문

에 식생의 현상에 따른 외래종, 귀화식물, 토속식물 등 식생분류에 있어 장점을 가지고 있다. 하지만 기존의 식생조사에서 가장 중요한 식생의 계층(군락)분류에 대한 객관적인 판독 근거자료로써 현장조사는 의미가 있으나, 수평 조망으로 인하여 현장사진 자체만으로는 연구 지역 전체의 계층(군락)분류를 할 수 없다. 또한 군도는 식생 별 위치정보가 정확할 때, 객관적인 식생분포 및 군집패턴 도출이 가능하지만 현장조사는 조사 대상물의 접근이 어려울 경우(Figure 4a-b), 위치측량이 어려워 실제 위치에 대한 정보를 획득할 수 없었다.

UAV 영상은 건물과 같은 비행환경에 장애물이 없는 하천이나 강 등과 같이 오픈스페이스에서는 비행 고도를 자유로이 조절할 수 있다. UAV영상은 접근성이 어려운 지역을 대상으로 cm 단위의 GSD를 지닌 고해상도 영상 취득을 통해 도심소하천에 대한 전반적인 하천특성에 대한 정보취득이 가능하다. 도심소하천은 강폭이 10m 이하로 도심소하천에 분포하는 식생은 주변 토지이용과 지형, 수심, 하천 시설물 등과 같은 환경요인과 같은 변화에 민감하다. 주변지역에 대한 현장사진은 원경과 중경, 근경 사진을 동시에 촬영하여 조사구 주변의 하천시설물과 토지이용에 대한 탐지와 현장사진 상에 나타나는 대상물 위치의 높낮이를 통해 대략적인 종단면에 대한 제한적인

Table 3. Comparison of in-situ point photo vs UAV VIS/NIR imagery

Division	In-situ point photo	Unmanned Aerial Vehicle
a. Shape	Horizontal view (cannot acquire area-wide information)	Vertical view (area-wide information can be acquired)
b. Size /height	Hard to compare the relative size of vegetation community due to the horizontal view	Possible to calculate size and height quantitatively
c. Tone (spectral reflectance)	Impossible to calculate spectral reflectance quantitatively at various wavelengths	Possible to calculate spectral reflectance quantitatively at various wavelengths
d. Pattern	Difficult to identify area-wide distribution pattern	Possible to identify area-wide distribution pattern
e. Correlation	Limited detections of correlation between environmental factors and vegetation distributions due to horizontal view	Possible to observe correlations between environmental factors (land cover, water body) and vegetation distribution characteristics
f. Location / Topography	Restricted to access survey points due to water and plant	Possible to obtain real time coordinate and terrain information even in non-accessible areas
g. Community classification	Possible to identify vegetation community through subjective visual analysis	Possible to monitor vegetation community by radiometric digital values

a-e: based on remote sensing visual analysis keys b, f-g: based on river vegetation survey guideline

지형정보 취득이 가능하였다. 하지만 수평 조망, 접근성, 경제성의 한계로 인하여 기존의 현장 중심의 도심소하천 식생조사는 지적도와 수치지도를 이용하여 주변의 토지이용과 간접적으로 산출되고 있다. 지적도와 수치지도의 제작 시기와 도심소하천 식생조사 시기가 불일치하여, 지적도와 수치지도 만으로는 현재의 도심소하천의 녹지자연도, 하천 자연도, 하천 친수공간 변화, 지형, 식생분포, 토지피복에 대한 설명이 어렵다. 색소는 화상에서 대상물의 상대적인 밝기 혹은 농도, 비율을 의미하는데 피사체에 대한 태양의 고도각, 태양광선의 반사율 및 위치, 대기 구성물에 따른 분산 등에 영향을 받는다. UAV 영상은 다양한 파장대를 감지하는 센서를 이용한 방사 스펙트럼(radiance spectra)을 통해 하천 토지이용과 수공간 구분, 하천자연도에 대한 실시간 모니터링이 가능하다.

배열상태는 대상물이 공간적으로 규칙적인 배열로 이루어진 모양을 의미하는데 인위적 식재림(*Juniperus chinensis*)은 규칙적인 패턴을 보이는 반면(Figure 5f), 자연식생(Figure 5a-e)은 불규칙적으로 나타난다. 현장사진은 수평조망과 조사구내의 특정 지역내의 배열상태만 알 수 있어 탐지가 어렵지만(Figure 4a-f) UAV 영상은 조사 연구지역을 수직조망으로 현장조사 대상지의 촬영이 가능하여 배열상태를 통한 인위적 식재림과 자연식생에 대한 구분이 가능하다(Figure 5a-f). 이를 통해 도심소하천 내에서 자연생태를 유지하고 있어 보전이 필요한 지역과 인간의 관섭에 의해 파괴되어 하천 식생변화 관리가 필요한 구역 설정이 가능하며, 향후 하천사업과 하천관리를 위한 시사점을 줄 수 있다.

현재 현장조사 중심의 도심소하천 식생조사는 조사구 내의 식생분류와 지엽적인 지역에서의 지형정보를 제공하고 있다. 하지만 도심소하천의 식생분포 특성에 영향력이 큰 주변 환경요인과 토지피복 등에 대한 정보획득에는 한계가 존재하여, 최소 지도 단위(Minimum Mapping Unit; MMU)가 10m×10m 이상인 유인항공기와 위성영상을 이용해 제작된 수치지도와 지적도를 이용하여 지형과 녹지자연도, 하천 인공물, 하천 친수 공간, 수공간, 토지피복과 같은 도

심소하천의 현황을 파악하고 있다. 하지만 수치지도와 지적도는 식생조사 시기와 제작시기의 차이가 존재하며, 넓은 MMU로 인하여 강폭이 10m 이하인 도심소하천의 식생분포 특성에 대한 생동감 있고 세밀한 정보를 제공하지 못한다. 도심소하천은 하폭이 10m 이하로 하천사업과 하천관리를 통한 환경요인 변화(하천 지형, 수질, 토지피복 등)는 도심소하천에 분포하는 식생에 직접적인 영향을 미친다. 하지만, 기존의 현장조사만으로는 하천의 특성에 대한 정보 획득이 어려워 현재 도심소하천의 상황과 특성이 잘 반영되어 있지 않다.

UAV 영상은 객관적이며 영구 보존될 수 있는 데이터로 하천관리를 위한 다양한 하천현황과 특성에 대한 정보를 레스터(raster) 영상과 디지털 값으로 제공할 수 있다. UAV 영상은 하천 현황에 대한 정확한 정보를 제공함으로써, 하천사업 및 하천관리 전후 변화양상 모니터링과 사업 방향에 대한 기초자료로써 사용이 가능하다. 실증적이고 현실적인 도심소하천 식생조사를 위해서는 UAV 영상과 현장사진이 함께 사용되는 입체적 식생조사가 필요하다. 하지만, 본 연구는 연구지역인 도심소하천 전체 지역을 대상으로 이루어지지 않았으며, 연구지역에서 특정시기의 식생구분과 분포 특징이 명확하게 나타나는 지역만을 대상으로 이루어져 한계가 존재한다. 만약 본 연구에서 UAV 영상촬영과 동시에 현장사진을 촬영하기보다는 촬영 후 분석을 통해 하천식생의 대표성이 더욱 큰 지점에서 현장사진을 촬영하였다면 현장사진과 UAV 영상 간에 더 정확한 비교평가를 수행할 수 있었을 것으로 사료된다. 본 연구는 영상 취득시 지상기준점 측량을 하지 않아 영상 처리 과정에서의 영상 정확성에 한계점이 존재한다. 따라서 본 연구를 일반화하기 위해서는 지상기준점과 SfM 기법을 이용하여 처리된 UAV 영상 간의 RMSE 비교평가를 통해 식생조사시 필요한 최적의 촬영고도와 영상 정확도에 대한 추가 연구가 필요하다.

V. Conclusion

하천 폭이 10m 내외인 도심소하천은 조사지역의 면적이 좁아 위성영상이나 항공사진으로 조사가 불가능한 대상이었다. 도심소하천은 현장조사를 통해 특정 조사구 내의 식생분포 특성에 대한 조사가 이루어져 왔다. 하지만 현장조사의 수평조망과 접근성의 한계로 인하여, 식생종 확인 위주의 식생조사가 이루어져 왔다. 하지만, 저고도에서 좁은 면적의 대상물 촬영이 가능한 UAV 영상을 이용하여 도심소하천의 식생분포 실태를 조사하기 위한 체계적인 이론이나 선행연구는 확인되지 않는다. 본 연구는 현장사진과 UAV 영상의 비교평가를 통해 도심소하천 식생조사를 위한 UAV 영상의 성능을 검증한 연구한 최초의 연구이다. 본 연구에서는 이와 같은 좁은 면적의 목적물에 대한 UAV 영상의 성능을 검증하고자 식생조사에서 현장조사 기반의 현장사진과 비교평가를 실시하였다. 현장사진은 수평조망으로 인하여 지형과 식생의 상대적 식생수고 파악이 가능하였으며, 조사자의 숙련도에 따라 식생의 군도 및 피도 계층에 대한 정보 획득에서 장점이 존재하였다. UAV NIR 영상은 수직조망으로 인하여 식생의 전체적인 형상과 배열상태 확인을 통한 인위적으로 식재된 식생과 자연식생 간의 구분이 가능하였으며, 근적외선 영상의 반사도(45.6% - 61.2%)를 통해 현장사진으로 탐지하기 어려운 식생별 색조와 식생활력도, 수초대 존재 유무 등에 대한 정보획득에서 강점이 나타났다. UAV 영상은 수직조망과 높은 공간 해상도, 픽셀 단위의 디지털 값을 통해 다양한 수종이 좁은 지역에 혼재되어 있거나, 비슷한 현상의 수종이 혼재되어 있을 때 식생 수종별 분광특성의 정량적인 차이를 도출할 수 있었다. 뿐만 아니라 UAV NIR 영상은 cm 단위의 GSD와 수직 조망으로 촬영하기 때문에 배열 관계, 형상의 차이, 색조(분광 특성)를 이용한 식생의 분포패턴을 분석할 수 있었다. 수공간, 수변공간, 하변도로 등 주변 토지 이용과 하천 식생분포의 공간적 상호관계를 파악할 수 있었으며, 조사 대상지의 현황에 대한 거시적인 정보를 확보할 수 있었다.

Acknowledgement

This research was supported a grant from geospatial information workforce development program funded by the Ministry of Land, Infrastructure and Transport of Korean Government (2017-01-03).

References

- Ahn TJ, Lee JE, Lee SO, Cheong TS. 2011. Analysis of the Preventive Investment Effect of Small Stream Improvement. *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation*. 11(4): 163-169. [Korean Literature]
- Akasheh OZ, Neale CMU, Jayanthi H. 2008. Detailed mapping of riparian vegetation in the middle Rio Grande River using high resolution multi-spectral airborne remote sensing. *Journal of Arid Environments*. 72(9): 1734-1744.
- Choi JK. 1995. Ecological Rehabilitation Programs for River Environment in Cities. *The Korean Institute of Landscape Architecture*. 22(2): 191-197. [Korean Literature]
- Dressing S, Meals D, Harcum J, Spooner J, Stribling J, Richards R, Millard C, Lanberg S, O'Donnell J. 2016. Monitoring and Evaluating Nonpoint Source Watershed Projects.
- Isabelle C, Olivier L, G RA, Claudine B, Samuel T. 2008. Changes in riparian habitats along five major tributaries of the saint Lawrence river, QuÉbec, Canada: 1964-1997. *River Research and Applications*. 24(5): 617-631.
- Johansen K, Phinn S. 2006. Mapping Structural

- Parameters and Species Composition of Riparian Vegetation Using IKONOS and Landsat ETM Data in Australian Tropical Savannas. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. 72(1): 71-80.
- Korean Ministry of Environment. 2017. Regulations on Preparations of Environmental Impact Statements etc. Notification of Ministry of Environment. 224-243. [Korean Literature]
- Lee GS, Choi JM, Joh CH. 2015. Method to Extract Coastline Changes Using Unmanned Aerial Vehicle. *The Korean Geographical Society*. 50(5): 473-483. [Korean Literature]
- Lee GS, Kim SW, Lee KH. 2017. Identification of Aquatic Plants in the Muncheon Water Reservoir Using Drone-based Information. *Journal of Environmental Science International*. 26(5): 685-689. [Korean Literature]
- Lee HJ, Eom JS, Yu YG, Park EG. 2013. Application of Smart Geospatial Information for Modeling and Analysis of City River. *Journal of Korean Society for Geospatial Information System*. 21(4): 135-142. [Korean Literature]
- Lee JO, Sung SM. 2016. Evaluating spatial resolution for quality assurance of UAV images. *Spatial Information Research*. 24(2): 141-154.
- Moon HG, Lee SM, Cha JG. 2017. Land Cover Classification Using UAV Imagery and Object-Based Image Analysis - Focusing on the Maseo-myeon, Seocheon-gun, Chungcheongnam-do-. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies*. 20(1): 1-14. [Korean Literature]
- Myung H. 2009. The Vegetational Diagnosis for the Ecological Rehabilitation of Stream - In case of the Forest Communities, Soil in Namhan River. *Journal of the Environmental Sciences*. 18(11): 113-127. [Korean Literature]
- Park JK, Park JH. 2015. Crops Classification Using Imagery of Unmanned Aerial Vehicle (UAV). *Journal of The Korean Society of Agricultural Engineers*. 57(6): 91-97. [Korean Literature]
- Sloan J, Miller JR, Lancaster N. 2001. Response and recovery of the Eel River, California, and its tributaries to floods in 1955, 1964, and 1997. *Geomorphology*. 36(3): 129-154.
- Truscott AM, Palmer SCF, Soulsby C, Hulme PE. 2008. Assessing the vulnerability of riparian vegetation to invasion by *Mimulus guttatus*: relative importance of biotic and abiotic variables in determining species occurrence and abundance. *Diversity and Distributions*. 14(2): 412-421.
- Um JS. 2004. Airborne video as a remote sensor for environmental monitoring of linear infrastructure: a case study and review. *Journal of Korea Spatial Information Society*. 12(4): 351-370.
- Um JS. 2008. Google Earth Image Map linked to 1:1000 Scale Digital Map: Monitoring Pervious Surface for University Campus. *Discourse and Policy in Social Science*. 1: 23-43. [Korean Literature]
- Um JS. 2018. Evaluating patent tendency for UAV related to spatial information in South Korea. *Spatial Information Research*. 26(2): 143-150.
- Woo HJ, Back SC, Hong WH, Chung MS, Kim

- HD, Hwang JH. 2018. Evaluating ortho-photo production potentials based on UAV real-time geo-referencing points. *Spatial Information Research*. 1-8.
- Yu Q, Gong P, Clinton N, Biging G, Kelly M. 2006. Object-based Detailed Vegetation Classification with Airborne High Spatial Resolution Remote Sensing Imagery. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. 72(7): 799-811.