

UAV를 활용한 초분광 영상의 하천공간특성 분류 연구

김영주¹, 한형준², 강준구^{3*}

¹주식회사 자연과기술, ²주식회사 네이처앤휴먼, ³한국건설기술연구원 하천실험센터

The Study on Spatial Classification of Riverine Environment using UAV Hyperspectral Image

Young-Joo Kim¹, Hyeong-Jun Han², Joon-Gu Kang^{3*}

¹Nature & Tech Inc.

²Nature & Human Inc.

³River Experiment Center, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

요약 하천환경을 구성하고 있는 복잡하고 다양한 인자의 특성에 따라 공간을 세밀하게 분류하기 위해서는 원격탐사(RS)를 통해 고해상도의 영상을 확보하는 것이 무엇보다 중요하다. 본 연구는 하천공간을 대상으로 환경 특성에 따른 공간 분류를 수행하기 위해 드론을 활용하여 취득한 고해상도 초분광 영상의 활용 가능성을 제시하고, 분류 결과에 대한 정확도를 평가하고자 하였다. 연구지역에서 획득한 초분광 영상은 노이즈로 인한 영향을 줄이고자 MNF와 PCA 기법으로 차원축소를 수행하였으며, MLC(Maximum Likelihood Classification)와 SVM(Support Vector Machine), SAM(Spectral Angle Mapping) 감독분류 기법을 적용하여 하천환경특성에 따른 공간분류를 수행하였다. 연구 결과 MNF기법으로 차원 축소된 영상을 적용하여 MLC 감독분류를 수행하였을 때 가장 높은 분류정확도를 얻을 수 있었으나, 일부 클래스 및 수역의 경계와 그림자 공간에서 주로 오분류가 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 이와 같은 연구 결과는 앞으로 드론과 초분광센서를 적용한 원격탐사를 위한 기초자료로 활용 할 수 있으며, 추가적인 알고리즘 개발을 통해 보다 광범위한 하천환경 분야에 적용할 수 있을 것으로 기대한다.

Abstract High-resolution images using remote sensing (RS) is importance to secure for spatial classification depending on the characteristics of the complex and various factors that make up the river environment. The purpose of this study is to evaluate the accuracy of the classification results and to suggest the possibility of applying the high resolution hyperspectral images obtained by using the drone to perform spatial classification. Hyperspectral images obtained from study area were reduced the dimensionality with PCA and MNF transformation to remove effects of noise. Spatial classification was performed by supervised classifications such as MLC(Maximum Likelihood Classification), SVM(Support Vector Machine) and SAM(Spectral Angle Mapping). In overall, the highest classification accuracy was showed when the MLC supervised classification was used by MNF transformed image. However, it was confirmed that the misclassification was mainly found in the boundary of some classes including water body and the shadowing area. The results of this study can be used as basic data for remote sensing using drone and hyperspectral sensor, and it is expected that it can be applied to a wider range of river environments through the development of additional algorithms.

Keywords : Classification, Drone, Hyperspectral image, River environment, UAV

본 논문은 한국연구재단 중견연구자지원사업의 연구비지원(2018030531)에 의해 수행되었습니다.

*Corresponding Author : Joon-Gu Kang(KICT)

Tel: +82-54-843-1810 email: jgkang02@kict.re.kr

Received August 10, 2018

Revised (1st August 31, 2018, 2nd September 27, 2018)

Accepted October 5, 2018

Published October 31, 2018

1. 서론

원격탐사는 관측 대상과 직접적인 접촉 없이 물체에 관한 정보를 얻어내는 기술로서 현장접근이 어려운 지역이거나 조사 지역이 광범위할 경우 효율적인 자료취득이 가능하다[1].

공간특성 분류를 위한 원격탐사 획득 자료는 대부분 RGB 및 다중분광사진으로 구성되며, 영상 분석을 통한 공간 특성 분류 연구가 활발히 수행되고 있다. Kang et al.(2009)은 고해상도 위성인 IKONOS 영상으로 공간 분류 및 정확도 분석을 수행하였으며, 효율적인 분류 방법을 제시하였다[2]. 또한, Park(2016)은 미국 지질조사국 Landsat 8호 위성의 OLI(Operational Land Imager)영상을 활용하여 토지피복분류의 정확도를 향상시키는 방법을 제안하였다[3].

RGB나 다중분광영상은 높은 공간 해상도로 인해 크기가 작은 물질의 클래스를 부여하는데 있어서는 효과적이지만 분광해상도가 낮아 분광정보가 미세한 차이를 보이는 다양한 대상물 간의 분류에는 한계를 가지고 있다. 반면, 초분광 영상(hyperspectral image)은 대상 객체의 분광 반사곡선을 수백 개의 연속적인 분광 파장 영역으로 상세하게 해당 물체의 정보를 취득할 수 있는 기능을 가지고 있다[4]. 최근 국내에서도 초분광 영상을 이용한 토지피복도 작성 및 환경 모니터링 등 다양한 분야에 적용하기 위한 연구가 시도되고 있다.

Cho et al.(2014)은 산림의 수종 분류를 위해 초분광 영상과 다중분광 영상의 적합성 및 분류정확도를 비교 분석함으로써 유사한 분광 특성을 갖는 다양한 대상이 분포한 지역에는 초분광을 적용한 분류가 유리함을 제시하였다[5]. Seo(2017)는 항공 초분광 영상을 활용하여 환경부에서 제공하는 토지피복도의 세분류 단계에 대한 평가 및 분석을 수행하였으며, 토지피복분류 정확도 향상을 위해 데이터 마이닝을 통한 감독분류 분석을 수행하였다[1]. 또한, Park et al.(2017)은 항공 초분광 영상을 이용해 토지피복분류를 수행하였으며, 정확도 향상을 위해 다양한 입력자료 및 알고리즘을 적용하여 분석하였다[6].

더불어 하천환경 분야에서도 세밀한 분광 분석을 위해 초분광 영상을 적용한 연구가 국내외에서 점차적으로 시도되고 있다. 그러나 주로 수질이나 특정 식생의 성장 상태 평가 등을 목적으로 연구가 수행되고 있는 반면

[7,8], 하천 관리를 위한 공간 분류에 관한 연구는 미미한 실정이다.

하천환경은 기후변화 및 다양한 개발 사업 등으로 빠르게 변화하고 있으며, 수변 공간 내에 분포하는 다양한 환경인자가 복합적으로 어우러져 있어 공간 분류를 위해서는 높은 분광해상도를 기반으로 한 세밀한 분석이 요구된다. 또한, 계절에 따라 하천 공간 특성이 크게 변화하며, 탐사 대상 물체의 크기가 다양해 높은 공간해상도 및 시간해상도를 지닌 영상의 획득 및 분석이 필요하다. 이와 같은 한계를 극복하기 위해 무인항공기(UAV; Unmanned Aerial Vehicle) 기반 원격탐사 영상을 획득을 통해 분석을 수행하는 하천관리의 필요성이 대두되고 있다.[9].

최근 드론과 같은 소형 UAV를 활용하여 경제적인 비용으로 시공간해상도가 높은 영상을 획득하는 것이 가능하게 되었다. 더불어 분광정보를 수집하는 영상 장비의 발전으로 드론에 탑재가 가능한 경량의 소형 초분광센서가 개발됨으로써 보다 높은 분광해상도의 영상을 취득할 수 있게 되었다. 따라서 드론 기반 초분광 영상의 하천환경인자 분석을 통해 보다 세밀한 공간분류를 수행할 수 있을 것으로 기대되지만, 실제 이를 수행한 연구는 많지 않다. 본 연구는 효율적인 하천환경조사를 위해 소형 UAV를 활용하여 고해상도 초분광 영상을 취득하였으며, 차원축소법과 분류기 적용에 따른 공간 분류 정확도 평가를 통해 초분광 영상의 활용 가능성을 제시하고자 한다.

2. 연구 대상 및 방법

2.1 연구지역

연구대상지역인 안동하천실험센터 시험하천은 우리나라 소하천에 존재하는 대표적인 하천환경요소들을 포함하고 있는 시설이다. 영상 촬영 대상은 인공구조물, 식생, 하상재료 등 다양한 하천환경 인자로 구성되어 있으며, 일정한 수위가 유지되는 흐름이 있어 수역 및 비수역이 존재하는 구간을 선정하였다(Fig. 1).

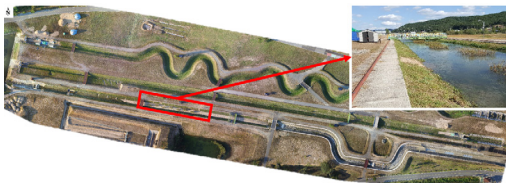


Fig. 1. Study area (36°33'37"-38°N and 128°33'37"-41°E)

2.2 영상획득

본 연구에서의 영상획득은 안정적인 드론 비행 조건을 위해 풍속이 낮은 시간에 촬영을 수행하였으며, 대상 구간은 하천 중심선을 따라 약 1,500 m²의 면적에 해당하는 지역이다.

영상은 미국 Headwall에서 개발한 초소형 초분광센서 Nano-Hyperspec으로 촬영하였으며, 독일 Aibotix의 Aibot X6 드론에 장착하였다(Table 1). 촬영은 2017년 9월 14일 약 60 m 상공에서 수행하였으며, 0.026 m 공간해상도를 지닌 270 개 밴드의 고해상도 초분광 영상을 획득하였다.

Table 1. Specification of sensor and drone

Image	Specification of sensor	
	Wavelength range	400-1000 nm
	Spatial bands	640
	Spectral bands	270
	Scan mode	Push-broom
	Lens	17 mm, FOV15.9°
	Output	16 bit

2.3 영상전처리

영상이 지니고 있는 화소별 고유한 값을 분석에 활용하기 위해서는 방사보정 및 기하보정을 수행하여야 한다. 본 연구에서는 영상전처리를 위해 SpectralView (Headwall Photonics Inc., U.S.) 소프트웨어를 활용하였다. 기기적인 방사보정은 초분광센서와 함께 제공되는 노출시간에 따른 복사보정 파일과 현장에서 수집한 Dark Reference 파일을 기반으로 원 영상을 각 화소별 복사휘도 값으로 변환하였으며, 영상의 기하학적 왜곡은 초분광센서에 부착되어 있는 GPS/IMU로 촬영 시 획득한 자료를 통해 보정하였다.

본 연구는 하천공간특성에 따른 영상분류와 더불어 각 인자의 분광반사특성을 분석하고자 한다. 따라서 태

양복사에너지의 영향으로 인한 오차를 최소화하기 위해서는 반사율 개념을 적용하여야 하며[10], 복사휘도 값에서 대기의 영향을 제거하는 대기보정을 추가적으로 수행하였다(Fig. 2). 반사율은 현장에서 취득한 표준 백색 판 값을 기준으로 전체 영상의 각 화소별 반사도 값을 산정하는 방식을 적용하였다.

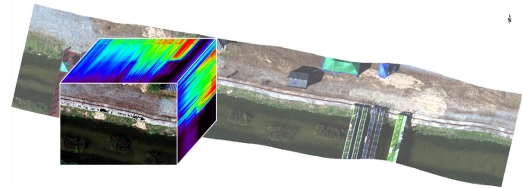


Fig. 2. Hyperspectral cube

2.4 차원축소

초분광 영상은 수백 개의 밴드로 이루어져 있으므로 자료의 양이 방대하며, 인접한 밴드가 가지는 중복성과 불필요한 잡음을 포함하고 있다. 차원축소 기법은 이로 인해 발생하는 문제를 보완하기 위한 방법으로 초분광 자료의 손실을 최소화하면서 자료량을 줄이고, 특정 정보를 추출하기 위한 목적으로 사용한다[11,12].

원격탐사에서 대표적으로 사용되어 온 특징추출기법은 주성분분석(PCA; Principle Component Analysis)과 노이즈가 많은 초분광 자료에 더 적합하도록 보완된 최소잡음추출(MNF; Minimum Noise Fraction) 기법이 있다.

PCA는 원 영상에 있는 대부분의 정보를 나타내는 변수들의 조합에 의해 주성분을 만드는 방법으로 초기 소수 주성분밴드로 원 영상 분산의 최대비율을 설명할 수 있다. 본 연구에서는 원 영상의 99% 고유값(eigenvalue)을 포함하는 상위 주성분 5, 10, 20 개를 선정하여 분석을 수행하였다.

MNF 기법은 PCA를 보완한 방법으로 잡음 효과를 제거하여 고유 분산을 최대화 하는 방법이며[13], 초분광 영상에 적용하여 분류 정확도를 향상시키는데 보다 유용하게 사용된다[5,14]. 본 연구에서는 원 영상을 MNF 변환 후, 잡음이 적고 고유값이 높은 상위 5, 10, 20 개 밴드를 대상으로 분류 결과 정확도를 평가 하였다.

2.5 영상분류

초분광 자료를 활용한 영상분류는 공간을 정해진 등급으로 분류하는 것을 넘어 특정 대상을 탐지하고 인

식하는 개념으로 확장되고 있다[4]. 본 연구에서는 고해상도의 초분광 영상을 활용하여 하천인자의 분광특성을 파악하고, 이를 기반으로 하천 공간을 보다 세밀하게 분석하고자 감독분류기법을 적용하였다.

감독분류를 수행하기 위한 훈련자료(training data)와 분류 결과의 정확도 평가를 위한 참조자료(reference data)는 각 분류 클래스별로 현지조사를 통해 영상 전체에 분포하도록 화소단위로 추출하였으며, 분류 결과에 영향을 주는 음영 지역은 최대한 배제하였다. 표본자료의 대상 클래스는 하천환경의 공간적인 특성과 물질의 종류를 고려하였으며, 수역 및 비수역에 위치하는 식생(초본, 목본), 하상재료(모래, 자갈)와 인공 구조물(타일, 목재, 콘크리트 등) 총 14개 클래스를 선정하였다(Table 2).

Table 2. Information classes and sample data

Class	Pixel count	
	Training data	Reference data
Herbal_land	453	1041
Herbal_submerged	526	1060
Herbal_dried	386	1040
Woody_land	311	404
Woody_emerged	339	619
Sand_land	398	784
Sand_submerged	575	1040
Gravel	387	600
Tile type	312	467
Plastic type	285	550
Fabric type	382	924
Timber type	280	378
Steel type	335	500
Concrete type	352	759

하천공간특성의 클래스에 따른 감독분류는 최대우도 분류법(MLC; Maximum Likelihood Classification), 지지벡터법(SVM; Support VectorMachine), 분광각탐지법(SAM; Spectral AngleMapper) 세 종류의 분류기(classifier)를 적용하였다.

MLC는 확률에 기초하여 각 화소를 가장 높은 확률을 가지는 클래스로 할당하는 결정규칙을 적용하는 방법으로 가장 널리 사용되는 감독분류 알고리즘이다[15]. 그러나 각 밴드 내의 훈련자료 통계가 정규분포를 띠고 있어야 한다는 가정 사항으로 인해 밴드수가 수백 개로 구

성된 초분광 영상에는 적용이 어려운 방법이므로 본 연구는 차원변환을 적용한 영상을 대상으로 분류를 수행하였다.

SVM은 클래스 간을 분리하는 최적의 평면을 찾는 기계학습 알고리즘을 기반으로 하며[16], SAM은 훈련표본의 스펙트럼과 각 영상 화소 측정 벡터 사이의 각도를 비교하여 가장 작은 각도를 만들어내는 클래스로 분류하는 기법이다[17]. 이들 기법은 밴드개수 대비 제한적인 훈련자료로도 높은 분류정확도를 얻을 수 있어 초분광 자료 분석에 효과적으로 사용되고 있으며, 본 연구에서는 SVM 기법의 경우 선형 커널방식을 적용하였다.

영상의 분류 정확도는 참조자료와 분류결과의 비교를 통한 오차행렬의 정확도 및 카파계수를 통한 신뢰도로 평가 하였다.

3. 결과 및 토의

분류정확도는 모든 밴드(270 개)를 포함하는 초분광 영상과 MNF 및 PCA 차원축소기법으로 변환된 영상을 대상으로 세 가지 분류기를 적용하여 평가하였다. MLC 적용 시 모든 밴드 분석이 불가능한 경우를 제외하고, 총 20가지의 분류 결과를 대상으로 하였으며, 결과는 Table 3과 같다.

Table 3. Overall classification accuracies of 14 classifications by three classifiers (OA: overall accuracy)

Classifier	Input bands	MLC		SVM		SAM		
		OA	Kappa	OA	Kappa	OA	Kappa	
All	270	-	-	94.51	0.940	82.26	0.807	
	MNF	5	92.29	0.916	91.94	0.912	85.02	0.837
		10	95.17	0.948	94.28	0.938	87.66	0.866
PCA	20	96.19	0.959	96.10	0.958	88.04	0.870	
	5	90.78	0.900	90.67	0.898	80.71	0.790	
	10	90.64	0.898	90.93	0.901	80.98	0.793	
	20	90.39	0.896	91.19	0.904	80.96	0.793	

3.1 차원축소기법

PCA와 MNF 차원축소기법을 적용한 영상의 분류 결과는 모두 80% 이상의 준수한 전체 정확도를 보였으며, 카파계수는 0.79 ~ 0.96 값으로 높은 신뢰도 수준을 확

인할 수 있었다. 차원축소기법 및 적용 밴드 수에 따른 분류 정확도 값은 Fig. 4에 비교하여 나타냈다.

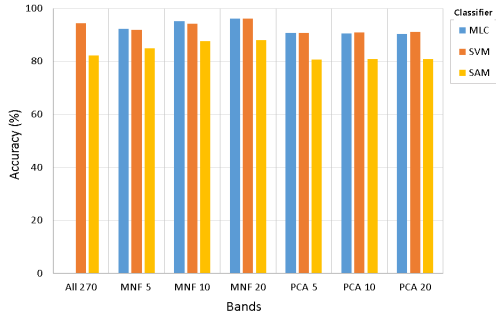


Fig. 4. Overall classification accuracy of different subsets

PCA 기법을 적용한 경우는 상위 5개의 밴드 이상 모두 99% 이상의 고유성분을 포함하고 있고, 밴드가 누적될수록 고유성분이 증가한다. 그러나 원 영상의 전체 밴드를 활용한 경우보다 PCA를 적용한 영상의 분류정확도가 상대적으로 낮게 나타났으며, 이와 같은 결과는 PCA 변환 밴드에 포함된 잡음이 분류 정확도에 영향을 줄 수 있음을 보여준다. PCA 밴드 수에 따른 전체 정확도의 증감은 분류기의 종류에 따라 미소한 차이를 보였으며, PCA 20 개 밴드 영상에 SVM 분류 기법을 적용한 경우 91.19%로 가장 높은 정확도를 확인할 수 있었다.

반면, MNF를 적용한 영상은 모두 PCA 변환 영상의 분류 결과보다 높은 분류 정확도를 나타냈으며, 잡음이 적고 고유값이 높은 MNF 밴드 수를 많이 포함할수록 분류 정확도가 증가하였다. MNF 20 개 밴드 영상의 경우에는 원 영상의 전체 밴드를 활용한 분류보다 더 높은 정확도를 나타냈으며, MLC 기법으로 분류 수행 시 96.19%의 가장 높은 분류 정확도를 얻을 수 있었다.

3.2 영상분류기법

Fig. 5는 차원축소기법을 적용한 영상 중 정확도가 가장 높게 나타난 MNF 20 밴드 영상을 기반으로 MLC, SVM, SAM 세 가지 분류기 적용에 따른 분류 결과를 비교한 것이다.

SAM 기법은 훈련통계 값의 유사도에 따라 분류가 수행되므로 미 분류 된 화소가 많이 나타난 반면, MLC와 SVM 기법은 분류 정확도가 유사하게 높은 값을 나타냈다(MLC: 96.19%, SVM: 96.10%).

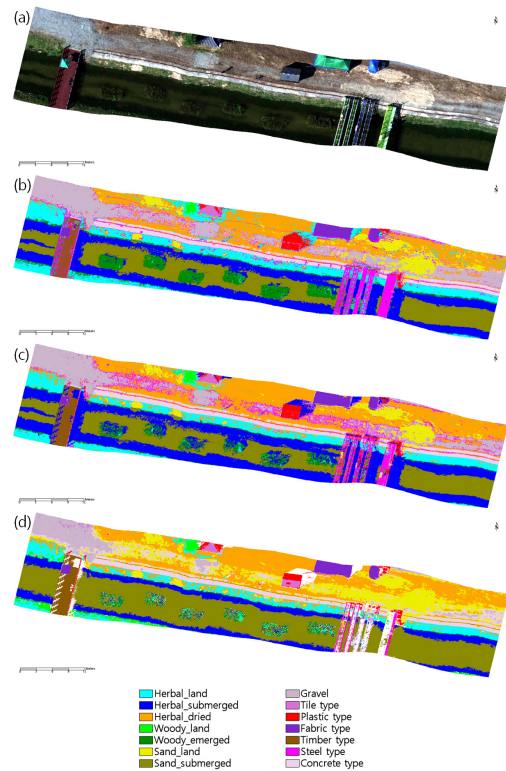


Fig. 5. Hyperspectral RGB image (a) and classification map of MNF 20 bands(b: MLC, c: SVM, d: SAM classifier)

Table 4. Producer and user accuracies for each class using MNF 20 components (OA: overall accuracy)

Class	MLC (OA: 96.19%)		SVM (OA: 96.10%)	
	Prod. Acc.	User Acc.	Prod. Acc.	User Acc.
Herbal_land	99.23	96.36	99.33	96.37
Herbal_submerged	98.96	96.42	98.87	93.91
Herbal_dried	99.04	99.42	100.00	99.05
Woody_land	98.02	99.50	97.77	98.26
Woody_emerged	97.90	99.02	94.83	100.00
Sand_land	98.09	94.01	99.49	93.86
Sand_submerged	96.25	99.60	95.38	98.80
Gravel	99.83	97.24	98.67	99.50
Tile type	71.73	96.54	64.03	92.86
Plastic type	92.73	79.44	96.36	77.26
Fabric type	100.00	100.00	99.89	100.00
Timber type	89.68	98.26	97.88	96.35
Steel type	97.40	86.65	94.20	98.13
Concrete type	92.36	100.00	93.41	99.44

MLC와 SVM 두 기법 적용에 따른 분류 정확도 평가 결과는(Table 4) 인공구조물 중 타일과 플라스틱 재질을 제외하고 80% 이상의 준수한 분류 정확도를 나타냈다. 식생, 모래 및 자갈과 같은 자연물의 경우에는 90% 이상의 매우 높은 분류 정확도를 얻을 수 있었으며, 수중에 분포하는 식생과 모래도 높은 정확도로 분류됨을 확인할 수 있었다.

그러나 인공구조물 중 타일과 플라스틱 재질은 각각 생산자와 사용자 정확도가 낮게 나타났으며, 이는 육안 분류결과 지붕의 경사 부분에서 주로 서로의 항목으로 오분류 되는 경향을 보였다. 또한, 모든 분류기법 적용 결과에서 경사 부분을 포함한 그림자 영역이 분류되지 않거나, 다른 클래스로 분류되어 분류 정확도에 영향을 미치는 것을 확인하였다.

분류 기법 비교에서는 MLC 기법을 적용하였을 때 보다 미세하게 높은 분류 정확도를 보였으나, 실제 분류 결과에서는 모래 영역 및 수역의 경계의 혼합으로 인한 오분류가 상대적으로 많이 나타났다. 반면, SVM 기법을 적용한 육안분류 결과에서는 자갈 영역 및 수역의 경계에서 오분류가 발생했으며, 상대적으로 정수식물의 나무 줄기에서 주로 오분류가 나타나는 것을 확인 할 수 있었다.

4. 결론

본 연구는 저수리, 하상재료, 식생, 수변 생물 서식처 및 하천시설물 등 다양한 탐사대상체가 혼합된 분광특성을 나타내는 하천 환경 공간을 대상으로 보다 세밀한 분류를 위해 고해상도 초분광 영상의 획득 및 분석을 통해 활용 가능성을 제시하고자 하였다. 연구 결과 드론으로 획득한 초분광 영상을 MNF 차원 축소법을 적용하여 하천환경 인자에 따른 MLC 감독분류를 수행하였을 때, 가장 높은 분류정확도를 얻을 수 있었다.

차원축소기법의 적용은 고유값을 포함하는 밴드 수가 많을수록 더 높은 정확도를 얻을 수 있는 반면, 밴드수가 많고 대상 영역이 광범위 할수록 분석 효율이 떨어지므로 분석 환경을 고려하여 적절한 밴드 수 및 영역을 선택 하여야 한다[17]. 또한, 분류기 적용 시 MLC 기법의 경우 수백 개의 밴드를 가지고 있는 초분광 영상에는 적용하기 어렵다는 한계점이 있지만, 보다 우수한 분류 결과를 얻을 수 있었다. 반면, 유사하게 높은 분류 정확도

를 나타낸 SVM 기법의 경우, Li et al.(2017)의 연구 결과에 따르면, 식생을 분류 하는 경우에 더 우수한 결과를 얻을 수 있으므로 공간 분류 대상 및 목적에 따라 적합한 분류기를 정하는 판단이 필요하다[14].

한편, 음영 영역의 오분류를 보완하기 위해서는 드론을 활용하여 그림자가 적게 발생하는 시간대의 촬영이 중요하지만, 정오에는 수체 표면 거울반사 영향을 받는 수역의 분광정보 활용도가 낮다는 점을 고려하여야 한다 [18]. 그러므로 수역의 분광정보를 분석하는 경우 정확도 향상을 위해 추가적인 태양광 정반사 보정이 요구되며, 연구 목적에 따라 적절한 촬영 시간대를 선정하여야 한다.

향후에는 이와 같은 연구 결과를 기반으로 하천환경에 대한 드론 기반의 초분광 영상 자료를 축적하고, 지형 정보 자료 융합 및 알고리즘 개발을 통해 분류 정확도를 향상시킨다면, 초분광 영상과 하천환경 특성의 상관관계 도출을 통해 하천환경관리 및 조사·평가에 활용할 수 있을 것으로 기대한다.

References

- [1] J. J. Seo, "The Study on Land Cover Classification of Hyperspectral Image Using Decision Tree Method", Master thesis, Chonbuk National University, 2017.
- [2] J. M. Kang, J. S. Lee, J. B. Kim, C. Zhang, "A Study to Compare SVM with Maximum Likelihood Classification Using the High Resolution Satellite Imagery", *Proceedings of 35th Conference of Korean Society of Civil Engineers*, pp.1563-1566, 2009.
- [3] J. S. Park, W. H. Lee, M. H. Jo, "Improving Accuracy of Land Cover Classification in River Basins Using Landsat-8 OLI Image, Vegetation Index and Water Index", *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies*, Vol.19, No.2, pp.98-106. DOI: <https://dx.doi.org/10.11108/kagis.2016.19.2.098>
- [4] S. H. Kim, K. S. Lee, J. R. Ma, M. J. Kook, "Current Status of Hyperspectral Remote Sensing: Principle, Data Processing Techniques, and Applications", *Korean Journal of Remote Sensing*, Vol.21, No.4, pp.341-369, 2005.
- [5] H. G. Cho, K. S. Lee, "Comparison between Hyperspectral and Multispectral Images for the Classification of Coniferous Species", *Korean Journal of Remote Sensing*, Vol.30, No.1, pp.25-36, 2014. DOI: <https://dx.doi.org/10.7780/kjrs.2014.30.1.3>
- [6] H. L. Park, J. W. Choi, "Accuracy Evaluation of Supervised Classification by Using Morphological Attribute Profiles and Additional Band of Hyperspectral Imagery", *Journal of the Korean Society for Geo-Spatial Information Science*, Vol.25, No.1, pp.9-17, 2017.

DOI: <https://dx.doi.org/10.7319/kogsis.2017.25.1.009>

- [7] Y. J. Park, H. J. Jang, Y. S. Kim, K. H. Baik, H. S. Lee, "A Research on the Applicability of Water Quality Analysis using the Hyperspectral Sensor", *Journal of the Korean Society for Environmental Analysis*, Vol.17, No.3, pp.113-125, 2014.
- [8] D. Stratoulis, H. Balzter, A. Zlinszky, V. R. Toth, "Assessment of ecophysiology of lake shore reed vegetation based on chlorophyll fluorescence, field spectroscopy and hyperspectral airborne imagery", *Remote Sensing of Environment*, Vol.157, pp.72-84, 2015.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.05.021>
- [9] T. H. Song, "Development of Korean Typed Drone for Water Resources management", *Water for Future*, Vol.49, No.6, pp.30-36, 2016.
- [10] F. E. Nicodemus, J. C. Richmond, J. J. Hsia, I. W. Ginsberg, T. Limperis, "Geometrical Considerations and Nomenclature for Reflectance", U.S. Department of Commerce, National Bureau of Standards, USA, 1977.
- [11] S. Kaewpjit, J. Le Moigne, T. El-Ghazawi, "Automatic reduction of hyperspectral imagery using wavelet spectral analysis", *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol.41, No.4, pp.863-871, 2003.
DOI: <https://dx.doi.org/10.1109/TGRS.2003.810712>
- [12] D. Y. Han, Y. W. Cho, Y. I. Kim, Y. W. Lee, "Feature Selection for Image Classification of Hyperion Data", *Korean Journal of Remote Sensing*, Vol.19, No.2, pp.171-179, 2003.
- [13] A. A. Green, M. Berman, P. Switzer, M. D. Craig, "A transformation for ordering multispectral data in terms of image quality with implications for noise removal", *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol.26, No.1, pp.65-74, 1988.
DOI: <https://dx.doi.org/10.1109/36.3001>
- [14] Q. S. Li, F. K. K. Wong, T. Fung, "Assessing the Utility of UAV-borne Hyperspectral Image and Photogrammetry Derived 3D Data for Wetland Species Distribution Quick Mapping", *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol.XLII-2, No.W6, pp.209-215, 2017.
DOI: <https://dx.doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W6-209-2017>
- [15] J. B. Campbell, R. H. Wynne, "Introduction to Remote Sensing, 5th Edition", The Guilford Press, USA, pp.684, 2011.
- [16] G. Camps-Valls, L. Bruzzone, "Kernel-based methods for hyperspectral image classification", *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol.43, No.6, pp.1351-1362, 2005.
DOI: <https://dx.doi.org/10.1109/TGRS.2005.846154>
- [17] J. R. Jensen, "Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective, 4th Edition"(J. H. Im, H. G. Sohn. S. Park, Trans.), SIGMAPRESS, pp.397-401, 470-471, 477-478, 2016.
- [18] J. R. Jensen, "Remote Sensing of the Environment: An Earth Resource"(H. S. Chae, Trans.), SIGMAPRESS, pp.402-403, 2002.

김 영 주(Young-Joo Kim)

[정회원]



- 2010년 2월 : 연세대학교 토목환경 공학과 (공학석사)
- 2016년 4월 ~ 2018년 8월 : 주식회사 자연과기술 선임연구원
- 2018년 9월 ~ 현재 : 국토교통과학기술진흥원 연구원

<관심분야>
하천생태학, 원격탐사

한 형 준(Hyeong-Jun Han)

[정회원]



- 2012년 2월 : 인천대학교 건설환경 공학과 (공학석사)
- 2017년 3월 ~ 2018년 8월 : (주)네이처앤휴먼 선임연구원
- 2018년 9월 ~ 현재 : 주식회사 자연과기술 선임연구원

<관심분야>
수리학, 토목공학

강 준 구(Joon-Gu Kang)

[정회원]



- 2002년 2월 : 명지대학교 토목환경 공학과 (공학박사)
- 2003년 9월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 연구위원

<관심분야>
수리학, 토목공학