

ORIGINAL ARTICLE

드론 초분광 스펙트럼과 분광각매핑을 적용한 생태계교란식물 탐지

김용석*

동아대학교 디자인환경대학 조경학과

Detection of Ecosystem Distribution Plants using Drone Hyperspectral Spectrum and Spectral Angle Mapper

Yong-Suk Kim*

Department of Landscape Architecture, Dong-A University, Busan 49315, Korea

Abstract

Ecological disturbance plants distributed throughout the country are causing a lot of damage to us directly or indirectly in terms of ecology, economy and health. These plants are not easy to manage and remove because they have a strong fertility, and it is very difficult to express them quantitatively. In this study, drone hyperspectral sensor data and Field spectroradiometer were acquired around the experimental area. In order to secure the quality accuracy of the drone hyperspectral image, GPS survey was performed, and a location accuracy of about 17cm was secured. Spectroscopic libraries were constructed for 7 kinds of plants in the experimental area using a Field spectroradiometer, and drone hyperspectral sensors were acquired in August and October, respectively. Spectral data for each plant were calculated from the acquired hyperspectral data, and spectral angles of 0.08 to 0.36 were derived. In most cases, good values of less than 0.5 were obtained, and *Ambrosia trifida* and *Lactuca scariola*, which are common in the experimental area, were extracted. As a result, it was found that about 29.6% of *Ambrosia trifida* and 31.5% of *Lactuca scariola* spread in October than in August. In the future, it is expected that better results can be obtained for the detection of ecosystem distribution plants if standardized indicators are calculated by constructing a precise spectral angle standard library based on more data.

Key words : Ecosystem distribution plant, Drone hyperspectral sensor, Field spectroradiometer, GPS survey, Spectral angle mapper, *Ambrosia trifida*, *Lactuca scariola*

1. 서론

조경, 환경, 도시계획 등 다양한 분야에서 식생에 대한 정보 구축과 분석은 국가 환경정책의 의사결정지원을 수립하는데 중요한 요소로 사용되고 있다. 세계화를 통하

여 여러 경로로 국내에 유입된 많은 외래식물 중 오랜 시간을 거쳐 토종화 되기도 하고, 생태계를 교란하는 식물로 자리매김 하기도 한다.

외래종은 원래의 서식지가 아닌 지역에 자연적으로 이전하거나 사람들에 의해 이전되어 고유종을 파괴하여

Received 4 February, 2021; Revised 10 February, 2021;

Accepted 11 February, 2021

*Corresponding author: Yong-Suk Kim, Department of Landscape Architecture, Dong-A University, Busan 49315, Korea
Phone: +82-51-200-7579,
E-mail: rosekys@dau.ac.kr

© The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.

© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

생태계를 교란시키는 것을 의미한다. 현재 국토의 많은 지역에서 번식하고 있으며, 특히 하천 주변에 상당히 많은 교란식물들이 서식하고 있는 것으로 나타나고 있다. 워낙 넓은 범위에서 서식하고 있으며 이를 퇴치하기 위하여 일일이 사람의 손을 빌려 일정부분 정리하기도 하지만, 번식력이 강한 교란식물을 효과적으로 대처하기에는 한계가 있다. 문제는 어디에 얼마만큼의 교란식물들이 서식하고 있는지 제대로 파악되지 않고 있으며 이를 정량적으로 표현한다는 것이 쉽지 않은 것이 현실이다.

연구대상지의 태화강 유역은 동서에 걸쳐 다양한 생물이 서식하고 생태·경관적으로도 우수하여 보전의 가치가 높은 지역이다. 도시화가 가속화되는 울산시는 태화강의 중요성이 높아지고 있으며 도심과 접해있는 태화강 하류 약 1 km²에 대해서 2008년 12월 울산광역시 생태·경관 지역으로 지정하여 관리하고 있다.

현재는 식생에 대한 많은 연구들이 국내외에서 진행되고 있지만, 주로 위성영상과 항공사진 등을 이용하여 분석하고 있다. 최근에는 분광스펙트럼을 환경 분야에 도입하여 다양한 실험을 진행하고 있으며, 아래에는 관련 연구동향을 간략히 기술하였다.

식생활력도를 기준으로 산림생태계교란을 탐지하기 위해서 Kim et al.(2020)은 광학센서의 근적외선(NIR) 밴드와 적색밴드(red band)+적색경계(red edge)밴드의 반사도를 추출하여 교란종분포의 공간적 범위를 제시하였다. Kim et al.(2020)은 드론과 CNN (Convolution Neural Network) 기반의 이미지 학습을 통하여 생태계 교란 식물 분포도 구축체계를 연구하였으며, 광학영상(RGB)을 이미지 분할 및 향상기법을 적용하여 가시박 식물을 분류한 연구를 진행하였다. 그리고 위성영상과 maxent를 활용한 생태계교란생물 분포지역 예측에 대하여 Park et al.(2017)은 군사분계선(DMZ)을 대상으로 많이 서식하고 있는 단풍잎돼지풀에 대하여 비교적 정확도가 높은 maxent(Philips et al., 2008)를 적용해서 추출하는 연구를 진행한 바 있다. Oh et al.(2011)은 귀화 식물 47종 중 생태계교란식물 5종에 대하여 계통시를 중심으로 행정구역별 분포를 조사하고 이를 도시화지수(환경지수)로 분류한 결과를 제시하였다.

드론 및 다중분광 영상을 이용하여 식생 유형 구분 및 분포 등을 확인 할 수 있게 되면서, Wang et al.(2019)와 Sandino et al.(2018)은 야자나무 농장의 식생구분과 국

립공원에 분포하고 있는 외래식물을 무인항공기를 이용하여 분석하는 연구를 수행한 바 있다. 그리고 Cho et al.(2020)는 식생 활력도 구분하기 위해서 고정익 드론을 이용하고 다양한 분석지수를 적용하여 식생지수 분류 정확도를 산정하였으며, Na et al.(2019)은 드론 다중분광센서 기반의 PRI (Photochemical Reflectance Index)를 산정하여 인접한 밴드를 융합하여 작물 스트레스 평가에 적용할 수 있다고 제시하였다.

하천생태계는 하천의 범람으로 인하여 하천과 하천 주변에 살고 있는 식·생물들이 주기적 또는 간헐적인 교란을 받는 생태계이다. 특히 이러한 범람은 상류 지역의 다양한 식물종자들을 하류지역으로 흘러보내는 기회로 작용하고, 하천 주변 식생을 초기 천이단계로 되돌려 놓아 침입의 래식물들이 하천변에 정착하는데 유리하게 작용한다. Lee et al.(2019)은 울산지역 침입외래식물의 서식지별 분포도 특성에서 침입외래식물은 들, 경작지를 포함한 초지, 도로변, 하천, 공단지역 등에 많이 분포하고 있는 것으로 제시하였다. 하지만 육안에 의한 정성적 조사 방법으로 시간과 비용이 많이 소모되며, 정확성이 다소 낮은 한계가 존재하는 것이 현실이다.

울산 태화강의 특성과 다양한 연구동향을 기반으로 본 연구에서는 초분광 스펙트럼을 취득하고 관련 식생밴드를 추출하여 지상분광 라이브리리와 비교·분석하였으며, 이중 실험지역에 많이 분포되어져 있는 생태계교란식물을 중심으로 연구하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 연구대상지 및 자료

본 연구에서는 생태계교란식물이 많이 서식하고 있는 태화강 수계를 중심으로 연구지역을 선정하고 지상 및 드론 초분광 스펙트럼을 취득하였다. Fig. 1은 연구대상지 및 연구흐름도를 나타내고 있으며, 취득된 데이터를 바탕으로 방사대기·기하보정의 전처리 단계를 거쳐서 초분광 스펙트럼을 분석하여 생태계교란식물을 탐지하도록 하였다. 연구대상지는 가로(1,000 m)×세로(700 m), 전체 약 700,000 m² 중 강물과 인공지물 지역을 제외한 식생지역은 약 146,000 m² 정도이다.

Table 1에는 연구 자료에 대한 기본 사항과 드론 초분광 영상의 촬영고도 등에 대한 정보를 나타내었다. 취득

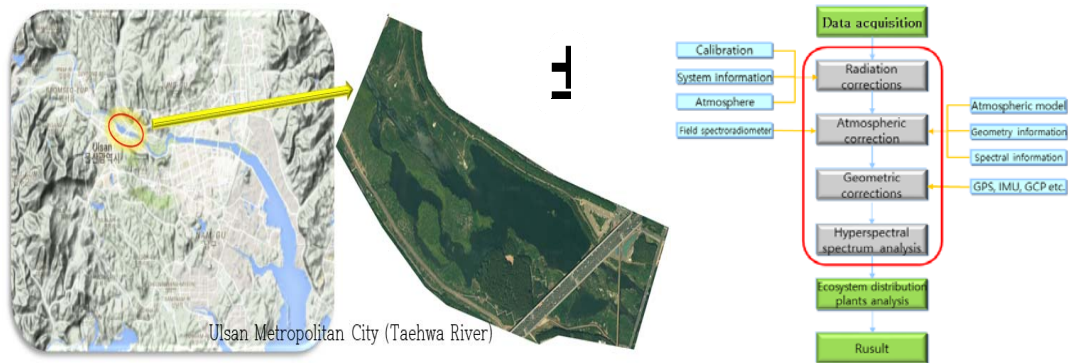


Fig. 1. Study area and flowchart.

Table 1. Study data / Basic information of drone hyperspectral image

Class		Resolution		Period	
Drone Hyperspectral spectrum		150band(4 nm) / Image(1 m)		8 Month	
Field Spectroradiometer		12.2cm(3.5 nm) (FOV 10°)		10 Month	
VRS-GPS survey		0.1 m			
Dates	Flight altitude (m)	Ground resolution (m/pixel)	Mission time	Illumination	Wind (m/s)
2019.08.11.	30	0.02	10-11 am	clear	1.0-2.0
2019.10.23.	30	0.02	09-10 am	clear	2.0-3.0

센서(영상)의 위치정확도를 확보하기 위하여 지상기준점 (ground control point) 측량을 실시하고, 지상분광계와 드론 초분광 센서를 조합하여 생태계교란식물을 분석하였다.

2.2. 지상분광 스펙트럼과 분광각매퍼

지상분광 라이브러리 구축을 위해 사용된 장비는 Fieldspec3를 사용하였으며, 상세사항은 Table 2에 제시하였다.

Fig. 2는 지상분광 자료 취득 모습과 처리 과정을 나타내었으며, 지상분광 자료를 취득하기 위해서는 취득시점 광(光)량의 반사량에 대한 현장 캘리브레이션 과정을 거쳐서 후처리를 진행해야 한다. 현장의 정확한 측정을 위해 시야각 FOV (Field Of View)를 결정해야 하며, 실험지역 환경과 대상물의 상태 등을 고려하여 평균 시야각을 10°로 적용하였다.

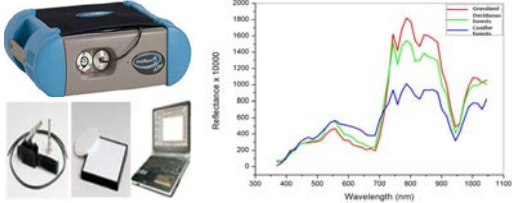
지상분광 스펙트럼을 기준으로 영상의 각 화소가 어떤 것을 나타내는지를 구분하기 위하여 분류 알고리즘인

분광각매퍼(Spectral Angle Mapper:SAM)를 적용하였다(Jensen, 2005). 분광각매퍼는 이러한 변이와 오차로 인한 오류를 최소화하기 위하여 스펙트럼을 밴드수 공간의 벡터로 가정한 후 벡터의 방향을 각으로 서로 비교한다. 이 방법은 스펙트럼의 증감 패턴을 비교함으로써 절대값을 비교하는 것보다 스펙트럼의 형태를 비교하는 방법에 해당하기 때문에 각 화소가 추출하고자 하는 식생을 보다 명확하게 분류할 수 있다(식 1).

$$\alpha = \cos^{-1} \left(\frac{\sum_{i=1}^n t_i r_i}{\left(\sqrt{\sum_{i=1}^n t_i^2} \right)^{\frac{1}{2}} \left(\sqrt{\sum_{i=1}^n r_i^2} \right)^{\frac{1}{2}}} \right) \quad (\text{식 1})$$

여기서, r 은 n 차원의 훈련데이터를 의미하고, t 는 초분광 영상 픽셀 측정벡터, 그리고 α 는 임계각을 나타낸다.

Table 2. FieldSpec-3(ADS)

Spectral range	350 - 1050 nm	
Sampling interval	1.4 nm @ 350 - 1050	
Spectral resolution	3.0 nm @ 700 nm	
Detectors	500 channel	
Typical data Collection rate	10 spectra/second	
FOV(angle)	Fixed 25° field of view	

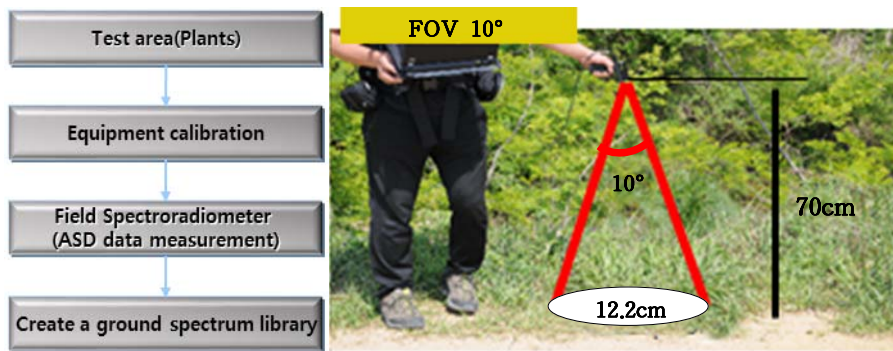


Fig. 2. FOV determination according to the object.

분광각의 결과는 라디안 각도를 임계값으로 정하고 분류된 이미지를 생성한다. 여기서 임계값이 낮을수록 훈련데이터와 일치하는 것을 나타내고, 높을수록 반대의 스펙트럼 패턴을 의미한다.

2.3. 드론 초분광 스펙트럼

드론 탑재용 센서는 Coming사의 microHSI 410 SHSARK로써 DJI사의 Matrice 200 드론에 탑재하여 촬영하였고, 최대 탑재 중량 2 kg으로 초분광 센서(680 g)를 탑재한다. Fig. 3은 초분광 드론 제원 및 촬영모습을 나타내었고, 탑재된 초분광 센서는 400~1,000 nm의 분광밴드로 취득할 수 있는 장비이다.

8월과 10월에 걸쳐 초분광 촬영을 통하여 취득된 데이터는 동일한 여건으로 설계(노선, 고도, 위치정확도 등)하여 촬영하였다. Fig. 4는 드론 초분광 촬영을 통하여 취득한 RGB 영상을 나타내었으며, 현장 기준점 측량을 실시하고 기하보정을 통하여 정사영상을 제작하였다. 전반적으로 10월보다 8월 촬영 시 식생의 활력도가 좋은 모습을 나타내고 있다.



- Model : DJI Matrice 200
- Fly away : 7km
- Flight time : 40 minute
- Max loading weight : 2kg
- Aircraft size : 887×880×378mm
- Model : Coming microHSI 410 SHARK
- Spectral range : 400~1,000nm
- Spectral bands : 150 bands
- Spectral resolution : 4 nm
- Size(weight) : 13.7×8.8×7.1cm(680g)

Fig. 3. Hyperspectral drone specifications and shooting.

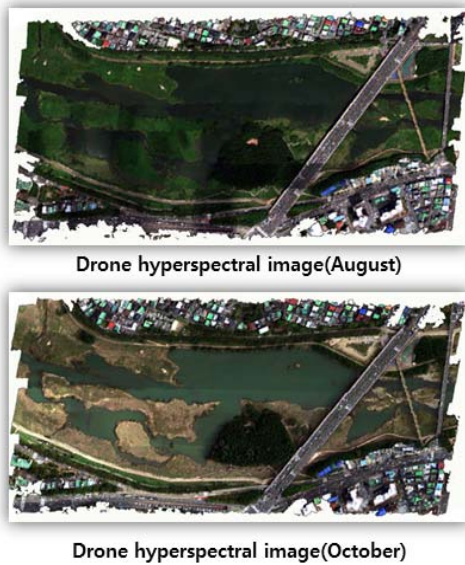


Fig. 4. Drone hyperspectral image (August/October).

3. 결과 및 고찰

3.1. 지상분광스펙트럼 분석

우리나라의 생태계교란식물은 “생물다양성 보전 및 이용에 관한 법률” 규정에 따라 생태계 등에 미치는 위해

가 큰 식물을 지정하고 관리되고 있다. 현재 환경부에서는 15종의 생태계교란식물을 지정(Table 3)하여 관리하고 있으며, 울산지역의 경우 울산광역시 침입외래식물의 분포현황과 특성에 관한 연구(Lee, 2019)에 의하면 생태계교란야생식물 총 14분류군 중 78%가 분포하고 있는 것으로 조사되고 있다. Table 5에는 환경부 국립생태원에서 지정한 생태계교란식물 15종을 나타내었다.

본 연구에서는 실험지역에 분포하고 있는 다양한 식생 중 가장 많이 서식하고 있는 7종(환삼덩굴-1, 대나무-2, 개망초-3, 단풍잎돼지풀-4, 아이비-5, 가시상추-6, 갈대-7)에 대하여 현장조사를 수행(Fig. 5)하였고, 지상분광계를 이용하여 분광 라이브러리를 구축하였다. Table 4에는 실험지역에서 취득된 7종에 대하여 8월과 10월의 분광 라이브러리를 정리하였다. 생태계교란식물에 포함되지는 않는 식생들의 경우, 지상분광 정보와 드론 초분광 정보와의 일치 여부를 분석하기 위해서 현장에 많이 서식하는 식생을 비교하여 대표 교란식물을 추출하는 방법이 비교적 정확도가 높았다. 그리고 7종에 대한 지상분광 스펙트럼 비교를 한 결과 실험식생은 대체적으로 500~700 nm (green~red) 파장대에 많이 분포하고 있음을 알 수 있었다.

Table 3. Ecosystem distribution plants (15 types)

No.	Species name/Scientific	year
1	Ambrosia artemisiifolia var. elatior (L.) Desc. (돼지풀)	1991.01.07
2	Ambrosia trifida L (단풍잎돼지풀)	1991.01.07
3	Eupatorium rugosum (서양등골나물)	2002.03.07
4	Paspalum distichum var. indutum Shinnars (털물참새피)	2002.03.07
5	Paspalum distichum L (물참새피)	2002.03.07
6	Solanum carolinense L (도깨비가지)	2002.03.07
7	Rumex acetosella L (애기수영)	2009.06.01
8	Sicyos angulatus L (가시박)	2009.06.01
9	Hypochoeris radicata (서양금혼초)	2009.06.01
10	Aster pilosus Willd (미국쭈부쟁이)	2009.06.01
11	Solidago altissima (양미역취)	2009.06.01
12	Lactuca scariola (가시상추)	2012.12.31
13	Spartina alterniflora (갯짚풀)	2016.06.15
14	Spartina anglica (영국갯끈풀)	2016.06.15
15	Humulus japonicus Siebold & Zucc. (환삼덩굴)	2019.07.26



Fig. 5. Field survey and ground spectral data acquisition.

3.2. 드론 초분광 스펙트럼 분석

2회에 걸쳐 드론 초분광 센서를 취득하여 지상분광 라 이브리러와의 분석을 실시하였다. Table 5와(8월), Table 6은(10월) 각 식생의 초기 분광밴드에 따른 파장 대를 제시하였으며, 지상분광 스펙트럼과 같은 영역에 분포하고 있는 초분광 스펙트럼의 500~700 nm에 대해서 분석하였다. Fig. 6과 7은 식생별 분광스펙트럼 분포 도를 도식화하였다. 8월의 경우 개망초, 10월의 경우 대 나무의 분광 값이 높게 나타났으며, 이는 타 식생과의 스펙트럼 오류가 일부 발생되었다.

Table 7은 분광각 값을 추출하기 위하여 10월과 8월의 차이 값과 벡터값을 계산하였으며, Fig. 8은 벡터제곱의 값을 도식화하였다. Table 8은 식생에 대한 최종 분광각을 나타내었으며, 라디안 단위로 1에 가까우면 반대의 스펙트럼을 의미하고, 일반적으로 0.5 이상일 경우 다른 패턴이라고 판단할 수 있다. 대부분 0.5 이하의 값이 도출되었으며, 시계열적 식생 패턴은 양호하게 분석할 수 있을 것으로 판단된다.

실험지역에서 가장 많이 관측되는 대표 식생 2가지(단풍잎돼지풀, 가시상추)를 선택하고 분광스펙트럼 결과를 바탕으로 추출하였다.

3.3. 생태계교란식물 추출 및 분석

단풍잎돼지풀은 북미를 중심으로 광범위하게 서식하는 대표적인 초본식물이며, 번식력이 매우 높아 주변 환

경에 대하여 빠른 속도로 황폐지화를 진행할 수 있는 생태계교란식물이다(Abul-Fatih et al., 1979). 그리고 가시상추는 유럽 원산으로 1990년 이후 수입농산물에 섞여 들어온 것으로 추정하고 있으며, 들판과 하천 주변에서 서식하고 있다. 높이는 60~80 cm의 한해살이 식물이며 꽃은 7~9월에 피고, 아랫부분에는 가시 모양의 털이 나 있는 것이 특징이다.

Table 9는 실험식생 7종에 대한 분류 정확도를 제시하였으며, Overall accuracy는 약 76%로 나타났다. Fig. 9와 Fig. 10에는 실험지역의 단풍잎돼지풀과 가시상추의 분광 자료를 분석한 결과를 바탕으로 나타난 결과를 제시하였다.

현장조사에서 수집한 지상분광 자료를 기준으로 초분광 드론영상에서 생태계교란식물을 탐지한 결과, 10월이 더 많이 확산되어있는 것을 알 수 있었다. Table 10은 단풍잎돼지풀과 가시상추의 표본 추출 개수를 바탕으로 단풍잎돼지풀의 경우 8월과 10월의 확산율은 약 30%, 가시상추는 약 32%가 확산되는 것으로 나타났다. 생태계교란식물 탐지를 위해서는 대상 식물의 정확한 분광각을 결정해야하며, 다양한 환경적 요인 등을 고려하여 추가적인 실험을 진행해야 할 것으로 사료된다.

4. 결론

본 연구에서는 태화강 일원의 실험지역에 대하여 지상분광자료와 드론 초분광 영상을 취득하였다. 이를 바탕으로 식생분석을 수행하고 각 식생의 분광각을 계산하여 실험지역에 많이 분포되어있는 단풍잎돼지풀과 가시상추에 대한 탐지결과를 제시할 수 있었다.

먼저, GCP 측량을 수행하여 드론 영상의 품질 정확도를 확보하고자 하였다. 제시된 수평정확도 0.025 m를 드론 영상에 적용하여 평균 0.017 m의 위치정확도를 확보할 수 있었다.

생태계교란식물을 탐지하기 위하여 실험현장에 분포하고 있는 7가지의 식생에 대하여 지상분광 스펙트럼을 취득하였다. 취득된 스펙트럼은 8월과 10월에 걸쳐 드론 초분광 영상과의 밴드별 분광스펙트럼을 제시하였고, 최종적으로 분광각을 계산하였다. 실험대상 식물에 대하여 대부분 분광각이 0.08~0.36이 제시되었고, 0.5이하의 양호한 패턴 값을 도출할 수 있었다.

Table 4. Field spectral spectrum (7 types, August and October)





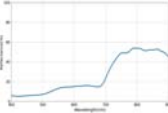
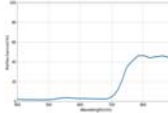

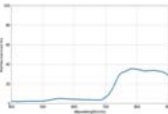
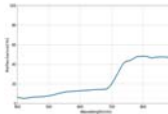

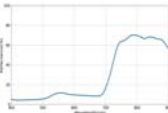
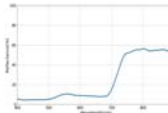



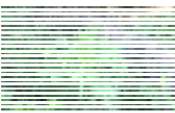





Observation date_No. Humulus japonicus Siebold & Zucc. Picture 	Time 08112019_1 10:08 am	Time 10232019_1 09:30 am	Field spectral spectrum 	Field spectral spectrum 
Observation date_No. Phyllostachys nigra Picture 	Time 08112019_2 10:13 am	Time 10232019_2 09:38 am	Field spectral spectrum 	Field spectral spectrum 
Observation date_No. Erigeron annuus Picture 	Time 08112019_3 10:20 am	Time 10232019_3 09:44 am	Field spectral spectrum 	Field spectral spectrum 
Observation date_No. Ambrosia trifida Picture 	Time 08112019_4 10:27 am	Time 10232019_4 09:52 am	Field spectral spectrum 	Field spectral spectrum 
Observation date_No. hedera Picture 	Time 08112019_5 10:40 am	Time 10232019_5 10:07 am	Field spectral spectrum 	Field spectral spectrum 
Observation date_No. Lactuca scariola Picture 	Time 08112019_6 10:52 am	Time 10232019_6 10:17 am	Field spectral spectrum 	Field spectral spectrum 
Observation date_No. Phragmites communis Picture 	Time 08112019_7 11:00 am	Time 10232019_7 10:25 am	Field spectral spectrum 	Field spectral spectrum 

Table 5. Hyperspectral spectrum (7 types, August)

August spectral spectrum data (nm)							
Wavelength	1	2	3	4	5	6	7
500	0.06800	0.05167	0.29967	0.07833	0.05433	0.04033	0.13567
501	0.06967	0.05200	0.30200	0.07967	0.05533	0.04133	0.13700
502	0.07167	0.05267	0.30467	0.08067	0.05633	0.04133	0.13900
503	0.07400	0.05300	0.30733	0.08233	0.05733	0.04233	0.14067
504	0.07600	0.05400	0.31033	0.08367	0.05833	0.04333	0.14233
505	0.07867	0.05467	0.31333	0.08567	0.05933	0.04500	0.14433
.
.
694	0.13133	0.06967	0.41133	0.11167	0.14300	0.06733	0.21700
695	0.14633	0.07433	0.42100	0.12067	0.15867	0.07467	0.22733
696	0.16167	0.07900	0.43000	0.13033	0.17367	0.08233	0.23733
697	0.17767	0.08433	0.43833	0.14067	0.18933	0.09100	0.24800
698	0.19400	0.09067	0.44667	0.15133	0.20500	0.10000	0.25867
699	0.21133	0.09733	0.45467	0.16300	0.22167	0.11033	0.27033
Square(nm)							
500	0.00462	0.00267	0.08980	0.00614	0.00295	0.00163	0.01841
501	0.00485	0.00270	0.09120	0.00635	0.00306	0.00171	0.01877
502	0.00514	0.00277	0.09282	0.00651	0.00317	0.00171	0.01932
503	0.00548	0.00281	0.09445	0.00678	0.00329	0.00179	0.01979
504	0.00578	0.00292	0.09631	0.00700	0.00340	0.00188	0.02026
505	0.00619	0.00299	0.09818	0.00734	0.00352	0.00203	0.02083
.
.
695	0.02141	0.00553	0.17724	0.01456	0.02518	0.00558	0.05168
696	0.02614	0.00624	0.18490	0.01699	0.03016	0.00678	0.05633
697	0.03157	0.00711	0.19214	0.01979	0.03585	0.00828	0.06150
698	0.03764	0.00822	0.19951	0.02290	0.04203	0.01000	0.06691
699	0.04466	0.00947	0.20672	0.02657	0.04914	0.01217	0.07308
sum	4.73987	1.26763	33.0157	3.48531	2.38193	1.41573	7.90298
sqrt	2.17712	1.12589	5.74593	1.86689	1.54335	1.18984	2.81122

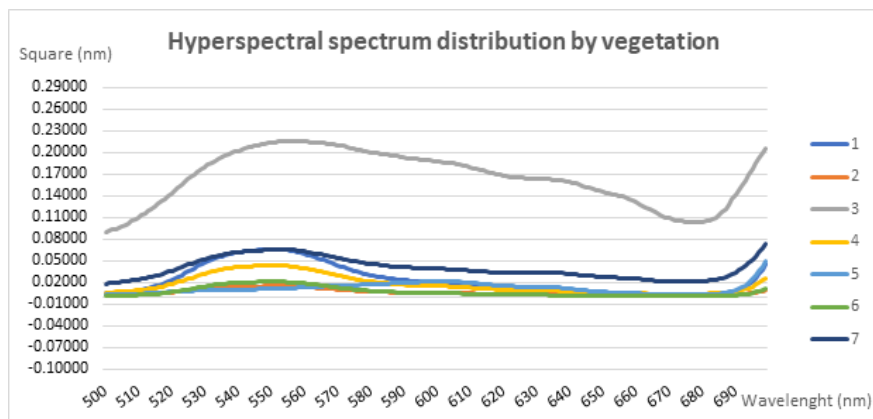


Fig. 6. Hyperspectral spectrum distribution by vegetation (August).

Table 6. Hyperspectral spectrum (7 types, October)

October spectral spectrum data (nm)							
Wavelength	1	2	3	4	5	6	7
500	0.0700	0.4200	0.5400	0.0500	-0.020	-0.020	0.1200
501	0.0700	0.4200	0.5300	0.0500	-0.020	-0.010	0.1300
502	0.0900	0.4300	0.5400	0.0600	-0.010	0.000	0.1400
503	0.0900	0.4400	0.5500	0.0600	0.0000	0.000	0.1500
504	0.0900	0.4400	0.5500	0.0600	0.0000	0.000	0.1600
505	0.1100	0.4600	0.5700	0.0800	0.0000	0.010	0.1700
.
.
.
695	0.2500	0.6100	0.6800	0.1800	0.0900	0.1200	0.3500
696	0.3000	0.6700	0.7100	0.2200	0.1000	0.1300	0.4000
697	0.3400	0.7400	0.7600	0.2400	0.1100	0.1400	0.4400
698	0.3800	0.8000	0.7800	0.2600	0.1100	0.1500	0.4800
699	0.4000	0.8300	0.7700	0.2800	0.1200	0.1500	0.5100
Square(nm)							
500	0.0049	0.1764	0.2916	0.0025	0.0004	0.0004	0.0144
501	0.0049	0.1764	0.2809	0.0025	0.0004	0.0001	0.0169
502	0.0081	0.1849	0.2916	0.0036	0.0001	0.0000	0.0196
503	0.0081	0.1936	0.3025	0.0036	0.0000	0.0000	0.0225
504	0.0081	0.1936	0.3025	0.0036	0.0000	0.0000	0.0256
505	0.0121	0.2116	0.3249	0.0064	0.0000	0.0001	0.0289
.
.
.
695	0.2500	0.6100	0.6800	0.1800	0.0900	0.1200	0.3500
696	0.3000	0.6700	0.7100	0.2200	0.1000	0.1300	0.4000
697	0.3400	0.7400	0.7600	0.2400	0.1100	0.1400	0.4400
698	0.3800	0.8000	0.7800	0.2600	0.1100	0.1500	0.4800
699	0.4000	0.8300	0.7700	0.2800	0.1200	0.1500	0.5100
sum	20.3542	109.162	92.3206	11.6263	2.0537	2.7478	33.098
sqrt	4.51156	10.4480	9.60836	3.40974	1.4331	1.6577	5.7531

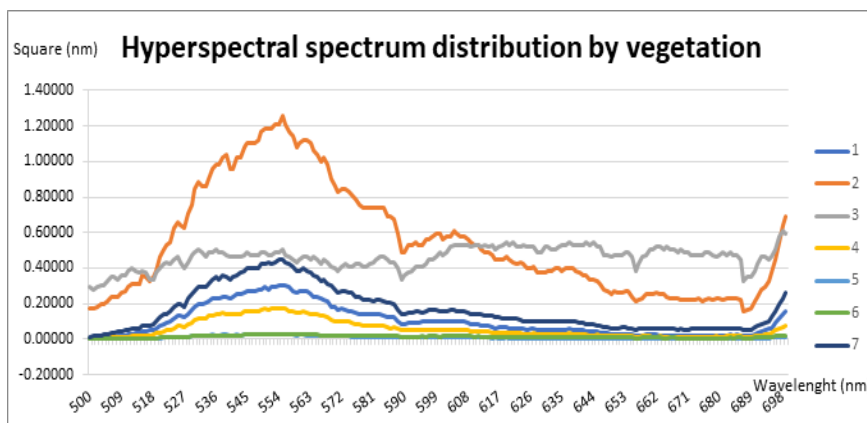


Fig. 7. Hyperspectral spectrum distribution by vegetation (August).

Table 7. Difference in hyperspectral spectrum (October and August)

Difference (October and August, nm)							
Wavelength	1	2	3	4	5	6	7
500	0.0020	0.3683	0.2403	-0.0283	-0.0743	-0.0603	-0.0156
501	0.0003	0.3680	0.2280	-0.0297	-0.0753	-0.0513	-0.0070
502	0.0183	0.3773	0.2353	-0.0207	-0.0663	-0.0413	0.0010
503	0.0160	0.3870	0.2427	-0.0223	-0.0573	-0.0423	0.0093
504	0.0140	0.3860	0.2397	-0.0237	-0.0583	-0.0433	0.0176
505	0.0313	0.4053	0.2567	-0.0057	-0.0593	-0.0350	0.0257
.
.
.
695	0.1037	0.5357	0.2590	0.0593	-0.0687	0.0453	0.1227
696	0.1383	0.5910	0.2800	0.0897	-0.0737	0.0477	0.1627
697	0.1623	0.6557	0.3217	0.0993	-0.0793	0.0490	0.1920
698	0.1860	0.7093	0.3333	0.1087	-0.0950	0.0500	0.2213
699	0.1887	0.7327	0.3153	0.1170	-0.1017	0.0397	0.2397
Vector square(October and August, nm)							
500	0.0048	0.0217	0.1618	0.0039	-0.0011	-0.0008	0.0163
501	0.0049	0.0218	0.1600	0.0039	-0.0011	-0.0004	0.0178
502	0.0065	0.0226	0.1645	0.0048	-0.0006	0.0000	0.0194
503	0.0067	0.0233	0.1690	0.0049	0.0000	0.0000	0.0211
504	0.0068	0.0237	0.1706	0.0050	0.0000	0.0000	0.0227
505	0.0087	0.0251	0.1786	0.0068	0.0000	0.0004	0.0245
.
.
.
695	0.0366	0.0453	0.2863	0.0217	0.0143	0.0089	0.0796
696	0.0485	0.0529	0.3053	0.0287	0.0174	0.0107	0.0949
697	0.0604	0.0624	0.3331	0.0337	0.0208	0.0127	0.1091
698	0.0737	0.0725	0.3484	0.0394	0.0225	0.0150	0.1241
699	0.0845	0.0808	0.3501	0.0456	0.0266	0.0165	0.1378
sum	9.7773	11.720	54.824	6.3212	2.0656	1.8844	15.8838

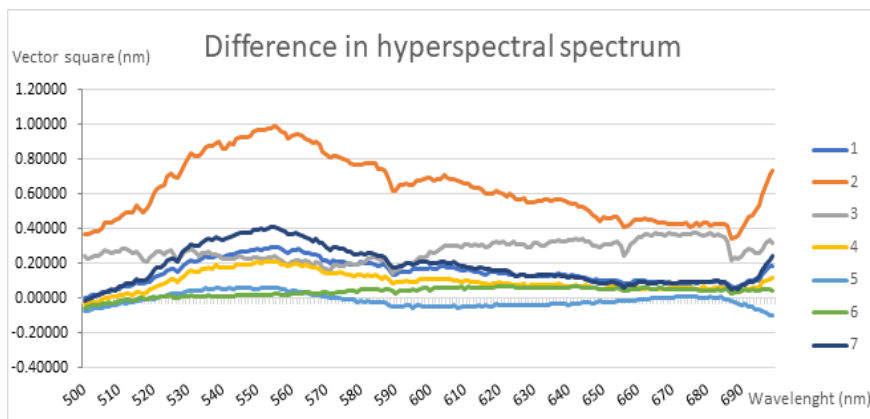


Fig. 8. Spectral spectrum analysis by vegetation (The difference between October and August, vector squared).

Table 8. Spectral angle value

7 types	1	2	3	4	5	6	7
sqrt square	9.82223	11.76340	55.20897	6.36563	2.21173	1.97235	16.17322
Vector square	9.77730	11.72000	54.82415	6.32119	2.06559	1.88438	15.88380
Vector/Sqrt	0.99543	0.99631	0.99303	0.99302	0.93392	0.95540	0.98210
Spectral angle(radian)	0.09569	0.08593	0.11814	0.11824	0.36556	0.29979	0.18947

Table 9. Classification accuracy

Types	Commission (Pixels)	Omission (Pixels)	Prod. Acc. (Pixels)	User Acc. (Pixels)
1	0/29	10/39	29/39	29/29
2	0/46	18/64	49/64	46/46
3	0/7	7/14	11/14	7/7
4	0/9	5/14	10/14	9/9
5	0/10	12/22	17/22	10/10
6	1/12	4/15	12/15	11/12
7	7/17	6/16	11/16	10/17

Kappa coefficient = 0.7051

Overall accuracy = (139/184) 75.5435 %

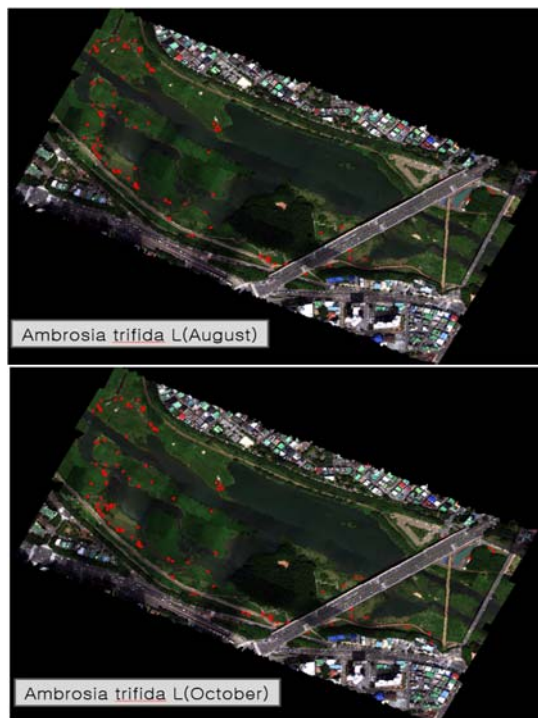


Fig. 9. Ambrosia trifida detection and analysis.

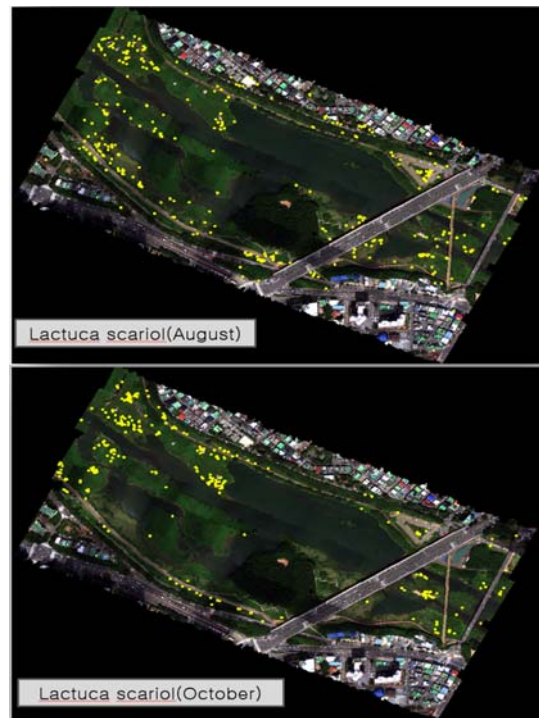


Fig. 10. Lactuca scariol detection and analysis.

Table 10. Diffusion rate of ecosystem disturbing plants

Class	Year		Diffusion rate
	August	October	
Ambrosia trifida	162	210	29.6%
Lactuca scariola	295	388	31.5%

그리고 연구지역에 많이 분포하고 있는 생태계교란식물 2종(단풍잎돼지풀, 가시상추)에 대하여 탐지 및 분석을 실시하였다. 그 결과 10월이 8월 보다 약 30%의 확산율이 나타남을 알 수 있었다.

본 연구를 통하여 전국에 서식하고 있는 많은 생태계교란식물을 탐지하는 방법을 기존 인력조사에서 첨단 드론 초분광을 적용하는 방법을 제시하였다. 또한, 생태계교란식물 관리방안 수립 등에 있어 드론 초분광 센서를 이용한다면 넓은 지역을 신속하고 효율적으로 조사할 수 있으며, 관련 대책을 마련하는데 실용적인 방안으로 사용할 수 있을 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 환경부와 한국환경산업기술원에서 지원받은 특성화사업에 따른 연구 결과물입니다.

REFERENCE

- Abul-Fatih, H. A., Bazzaz, F. A., 1979, The biology of ambrosia trifida L. i. influence of species removal on the organization of the plant community, *New Phytol*, 83, 813-816.
- Cho, S. H., Lee, G. S., Hwang, J. W., 2020, Drone-based vegetation index analysis considering vegetation vitality, *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies*, 23, 21-35.
- Jensen, J. R., 2005, *Introductory digital image processing : A remote sensing perspective*, 3rd edition, Sigma Press, Seoul, Korea, 125-130.
- Kim, D. S., Kim, E. S., Lim, J. H., Lee, Y. W., 2020, Detection of forest ecosystem disturbance using satellite images and ISODATA, *Korean Journal of Remote Sensing*, 36, 835-846.
- Kim, D. W., Jin, D. Y., Song, Y. M., Son, S. W., Yoon, J. H., Kim, G. H., 2020, Construction of the invasive alien plants distribution using drone and image learning, *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies*, 9, 103-114.
- Lee, Y. K., Moon, K. H., Lim, H. W., Choi, K. R., 2019, A Study on the distribution characteristics of invasive alien plants in Ulsan City, South Korea, *Korean Journal of Ecology and Environment*, 52, 161-170.
- Na, S. I., Park, C. W., So, K. H., Ahn, H. Y., Lee, K. D., 2019, Photochemical Reflectance Index (PRI) mapping using drone-based hyperspectral image for evaluation of crop stress and its application to multispectral Imagery, *Korean Journal of Remote Sensing*, 35, 637-647.
- Oh, H. K., Sagong, J. H., You, J. H., 2011, Analysis on environmental indices and naturalized plants distributed in Gyeryong-si, *Korea Journal of Environment and Ecology*, 25, 479-489.
- Park, H. C., Lim, J. C., Lee, J. H., Lee, G. G., 2017, Predicting the potential distributions of invasive species using the landsat imagery and maxent : focused on "Ambrosia trifida L. var. trifida" in Korean Demilitarized Zone, *J. Korean Env. Res. Tech.*, 20, 1-12.
- Phillips, S. J., Dudik, M., 2008, Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation, *Ecography*, 31, 161-175.
- Sandino, J., Gonzalez, F., Mengersen, K., Gaston, K. J., 2018, UAVs and machine learning revolutionising invasive grass and vegetation surveys in remote arid lands, *Sensors*, 18, 605-614.
- Wang, Y., Zhu, X., Wu, B., 2019, Automatic detection of individual oil palm trees from UAV images using HOG features and an SVM classifier, *International Journal of Remote Sensing: Oil Palms*, 40, 7356-7370.

• Professor. Yong-Suk Kim
Department of Landscape Architecture, Dong-A University
rosekys@dau.ac.kr