

드론 초분광 영상과 다중 식생지수를 활용한 태화강 유역 식생변화 분석*

김 용 석

동아대학교 디자인환경대학 조경학과 교수

Analysis of vegetation change in Taehwa River basin using drone hyperspectral image and multiple vegetation indices*

Kim, Yong-Suk

Department of Landscape Architecture, Dong-A University, Professor.

ABSTRACT

Vegetation index information is an important figure that is used in many fields such as landscape architecture, urban planning, and environment. Vegetation may vary slightly in vegetation vitality depending on photosynthesis and chlorophyll content. In this study, a range of vegetation worth preserving in the Taehwa River water system was determined, and hyperspectral images of drones were acquired (August, October), and the results were presented through DVI(Normalized Difference Vegetation Index), EVI(Enhanced Vegetation Index), PRI(Photochemical Reflectance Index), ARI (Anthocyanin Reflectance Index) index analysis. In addition, field spectral data and VRS-GPS(Virtual Reference System-GPS) surveys were performed to ensure the quality and location accuracy of the spectral band. As a result of the analysis, NDVI and EVI showed low vegetation vitality in October, -0.165 and -0.085, respectively, and PRI and ARI increased to 0.011 and 7.588 in October, respectively. For general vegetation vitality, it was suggested that NDVI and EVI analysis were effectively performed, and PRI and ARI were thought to be effective in analyzing detailed characteristics of plants by spectral band. It is expected that it can be widely used for park design and landscape information modeling by using drone image information construction and vegetation information.

Key Words : *Drone hyperspectral, VRS-GPS, NDVI, EVI, PRI, ARI*

*본 연구는 환경부와 한국환경산업기술원에서 지원받은 특성화사업에 따른 연구 결과물입니다.

First author : Kim, Yong-Suk, Department of Landscape Architecture, Dong-A University, Professor,
Tel : +82-51-200-7579, E-mail : rosekys@dau.ac.kr

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

Received : 28 January, 2021. **Revised** : 22 February, 2021. **Accepted** : 22 February, 2021.

I. 서 론

도시 내 식생은 사회 및 경제적으로 다양한 생태계 서비스를 제공하고 있다. 특히, 도시를 흐르고 있는 수계지역의 생태계는 대기 중 이산화탄소를 흡수하는 탄소 저장고의 역할을 하며, 대기질 개선 효과와 기후조절의 기능을 하고 있다. 또한 생물다양성보호, 토양침식방지, 영양순환 원활화, 홍수 예방, 열섬현상감소 등의 혜택을 우리에게 제공해주는 소중한 공간이다.

태화강은 서쪽으로는 가지산 짙 바위에서 발원하여 동해의 울산만으로 유입되는 총연장 47.54km에 달하며, 이중 다운동에서 매암동 동해 합류부까지 11.27km는 국가하천으로 지정돼 있다. 지난 시간 동안 도시화로 인한 수계지역의 산림 훼손과 파편화가 많이 진행되고 있으며, 그 결과 산림 임연부가 증가하고 있는 추세이다. 임연부의 증가는 생태계 교란종 및 외래종의 확산, 동물의 서식지의 질 감소, 종 구성 및 다양성의 감소, 탄소 저장량 및 흡수량 감소, 그리고 식생 활력도 및 산림 생산성의 감소에 영향을 준다(Kim et al, 2016; Kim et al, 2019).

태화강처럼 넓은 지역을 신속하고 정확하게 모니터링하고자 한다면 기존의 항공사진측량 및 위성영상을 주기적으로 촬영하고 분석해야 하지만, 큰 비용과 시간이 소요되기 때문에 현실적으로 쉽지 않은 부분이 존재한다. 이러한 단점을 보완할 방법으로 드론 측량을 이용하여 접근이 곤란한 지역에 대한 영상을 신속하게 취득하고 분석할 수 있는 다양한 연구들이 진행되고 있다.

최근 드론을 이용한 환경 및 국토 공간에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며 특히, 초분광 영상은 식생 정보 분석에 많이 활용되고 있다. 드론 초분광은 국부지역의 신속한 정보 취득에 있어 효과적이기 때문에 많이 적용되고 있으며 이에 대한 연구사는 아래에 정리하였다.

Lee et al.(2017); Song et al.(2019)은 UAV

(Unmanned Aerial Vehicle) 기반으로 RGB와 NIR+RG 카메라를 이용하여 상록수 분포도의 정확도 평가와 Kappa 계수를 분석하고 식생지수 구간별 상록수 분포지역을 분석하였다. Na et al.(2019)은 초분광 영상을 탑재한 드론을 이용하여 약 150개 밴드를 수집하고 배추의 단위 추정 최적 밴드를 산출하여 배추 생산성을 평가하는 최적 밴드를 추출하는 연구를 수행하였다. 그리고 Ham et al.(2019)은 드론 열화상과 초분광 영상의 조합을 통하여 농작물 작황 분석과 정규식생지수를 비교·분석하였다. 논문에서는 식물의 활력도와 토양온도와의 상관관계를 분석하고 이를 검증하여 작물의 종류, 생육 정도, 단위면적 당 작황 상태에 대한 데이터를 생산하여 가뭄 피해 분석에 활용한 연구를 진행하였다.

지형공간정보를 이용하여 산림생태계를 특성을 파악하기 위하여 Kim et al.(2019)은 시계열 영상정보를 이용하여 분광 정보를 추정하고 산림피해 평가의 기준정보로 활용하는 다양한 방법(NDVI, EVI, NDMI) 등에 대하여 연구한 바 있으며, Lee et al.(2016)은 드론 영상을 이용하여 산림 훼손 지역에 대한 현황을 분석하기 위하여 드론 사진의 기하학적 처리를 통한 위치 정밀도를 높인 정사영상을 제작하였으며 실험 지역에 대한 산림 훼손 분석 및 복원 방법에 대한 방법을 제시하였다.

식생지수(NDVI)는 Rouse et al.(1974)에 의하여 식생의 적색과 근적외선의 파장대 반사 값 차이를 구분하여 식생의 반사특성을 강조함과 동시에 두 반사 값의 합으로 나누어 계산하는 방식을 처음 개발하였으며 지금의 일반화된 NDVI 공식으로 사용되고 있다. 그리고 Zhang et al.(2017)은 식물의 생리적 상태 및 스트레스 파악을 위한 식생지수(Photochemical Reflectance Index)를 이용하였으며, 식물의 분광 특성에서 Carotenoid 색소의 Xanthophyll cycle 및 질소 스트레스를 받는 임관의 광합성 효율에 민감하게 반응하는 생리학

적 지수를 이용하여 식생의 생리적 스트레스 상태를 파악하는 연구를 제시하였다.

식생 변화에 대한 연구에서 Song et al.(2018); Park et al.(2019)은 NDVI 영상과 시공간적 예측 정확도가 비교적 높은 FSDAF(Flexible spatiotemporal data fusion) 융합 영상을 활용하여 인접한 토지피복 유형에 따른 도시 산림의 식생 활력도 차이를 평가하고자 하였다. Ryu et al.(2019)은 항공 초분광 영상을 가지고 NDVI의 생물량에 대한 수직, 수평 구조를 분석하여 기본 NDVI 밴드에는 민감하게 반응하지만, 생리적 상태에 대한 민감도는 상대적으로 낮아지는 특성을 파악하여 수정 지수를 제시한 연구를 진행한 바 있다. 그리고 Booth et al.(2008)은 작물의 초장과 엽면적, 엽록소 함량 등 작물 군락의 밀도에 관련성 있는 요인이 가시광선과 근적외선 영역의 파장들이 반사량과 밀접한 관련이 있을 것으로 판단하고 이 반사 파장들을 이용한 조합으로 식생지수 값을 제시하는 연구를 수행하였다.

영상을 활용한 다양한 식생지수 분석 관련 연구는 많이 제시되고 있다. 본 연구에서는 드론 초분광 영상을 이용하여 기존에 많이 사용되고 있는 NDVI와 EVI를 분석하고, 최근 식물의 생리적 상태 탐지 등에 효과적인 PRI 지수와 엽록소 반응에 대한 식물 상태를 파악하는 ARI 지수에 대해서 분석하는 것을 목적으로 하였다.

II. 연구재료 및 방법

1. 연구지역 및 자료

연구대상지는 울산 대화강 삼호교 부근을 중심으로 가로(약 1,000m), 세로(약 760m)로 설정하였으며, 면적은 약 400,000m²이다. 시계열자료 취득을 위하여 2019년 8월 30일과 10월 11일, 2회에 걸쳐 자료를 취득하였고, GPS 측량과 드론 초분광영상 취득을 통한 식생변화 지수를 분석하였다. 초기 영상을 취득하여 방사, 대기,

기하보정의 단계를 거치고 초분광 영상을 제작하는 과정을 간략히 제시하였고(Figure 1), 지상분광계 등 본 연구에 사용한 자료에 대하여 Table 1에 정리하였다.

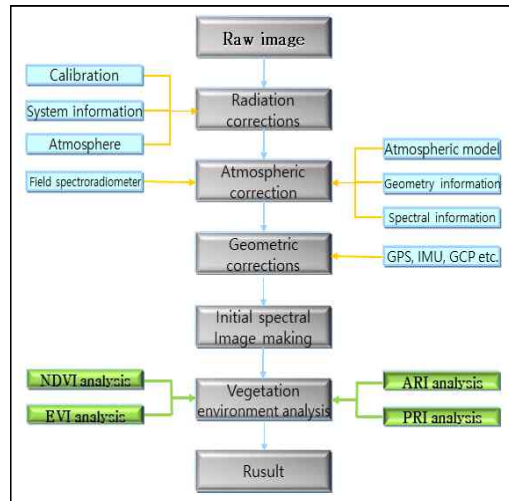


Figure 1. Study process

Table 1. Study data

| Class | Spatial resolution | Period |
|---------------------------|---------------------------|---------------------------------|
| Field Spectroradiometer | 12.2 cm (3.5nm) (FOV 10°) | 2019. 08. 30. and 2019. 10. 11. |
| Drone Hyperspectral image | 1 m | |
| Hyperspectral sensor | 150 band (4nm) | |

드론 초분광 영상 자료는 복사보정, 대기보정, 기하보정의 단계를 거쳐서 처리되었다. 복사보정은 센서의 CCD에 수신되는 빛의 강도를 숫자로 표시하는 DN(Digital Number)값을 복사량(Radiance)으로 변환하는 과정이다. 그리고 대기보정 처리는 분광 정보의 차이를 비교하기 위해 Atcor 4 프로그램을 이용하여 지상분광정보와 대기보정 정보를 이용하여 처리하였으며 Figure 2는 실험대상 지역을 제시하였다.

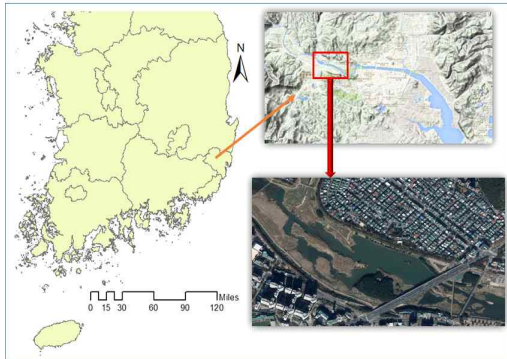


Figure 2. Study Area(Ulsan, Taehwa river)

2. 지상분광자료 취득

지상분광자료 취득은 드론 초분광 측정 시, 시차와 환경변화를 최소화하기 위하여 동일시간대에 실시하였다. 지상분광자료 취득 대상물은 태화강에서 일반적으로 서식하고 있는 식생과 인공지물 등에 대하여 각각 취득하였다. 지상분광자료는 드론 초분광 영상과 동일한 파장영역인 가시광선에서 근적외선 파장영역을 취득할 수 있는 ASD FieldSpec3를 사용하였으며 Table 2에는 지상분광계의 사양을 나타내었다.

실험지역에서 FieldSpec3를 이용하여 식생에 대한 분광 스펙트럼을 취득하였다(Figure 3). 지상분광자료를 취득하기 위해서는 취득 시점의 현장 여건과 빛의 반사량에 대한 정확한 캘리브레이션 과정을 거쳐 대상물의 분광 정보를 취득하게 된다. 현장의 반사량이 각기 다르기 때문에 취득 당시의 장비 캘리브레이션 과정이 필요하고, 이후 수집하고자 하는 식생과 물질 등에 대한 초기 정보를 취득하여 스펙트럼 라이브러리를 표현하였다.

분광반사율 자료를 통합하여 분광 라이브러리를 구축하기 위해서는 취득한 물질들에 대한 포맷변환 및 잡음 제거(1), 좌표입력(2) 등의 처리 과정이 필요하다. 지상분광데이터의 처리는 미국 ASD 사의 ViewSpec Pro S/W를 이용하여 처리하였다(Figure 4). 지상분광자료는 지상분광계의 고유포맷인 .dat 파일로 저장되므로 이를

Table 2. ASD FieldSpec3

| Item | Specification |
|--|--|
| Spectral range | 325 - 1075 nm |
| Spectral resolution | 3.5nm @ 700nm |
| Sampling interval | 1.6nm @ 325 - 1075 |
| Typical data Collection rate(solar illumination) | 0.7 spectra/second |
| Detectors | 512 channel |
| FOV angle | Fixed 25° field of view optional fiber optic and fore optics available(1°, 10°) |

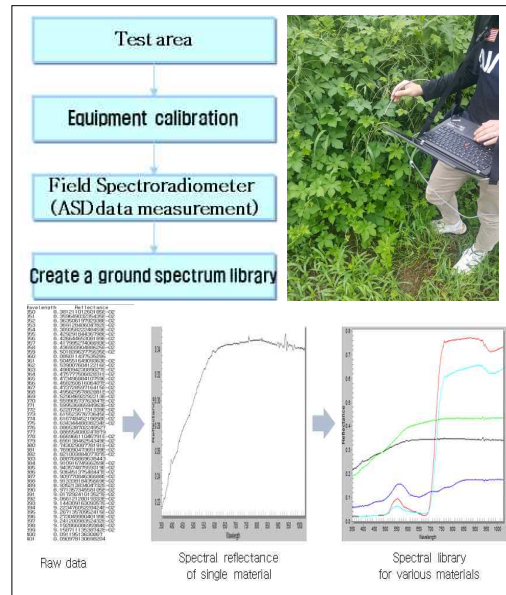


Figure 3. ASD Flow chart and spectral raw data acquisition

ASCII 파일로 변환하게 된다. 이후 주변 값과의 평균을 계산함으로써 잡음을 제거하는 과정을 통해 분광라이브러리에 포함될 각 지표물의 지상분광자료(3)를 제작하였다.

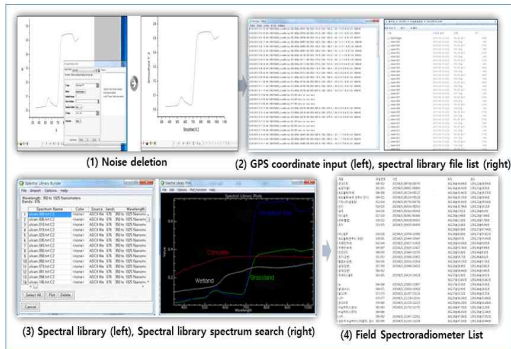


Figure 4. Ground spectral data processing and library creation

지상분광자료 측정과 동시에 획득한 GPS 좌표를 함께 라이브러리에 포함함으로써 분광라이브러리를 제작하게 된다(4). 또한, 분광라이브러리 내 각각의 파일은 엑셀 파일로 함께 관리하기 때문에 라이브러리 내 파일들이 어떤 물질에 해당하는지 알 수 있도록 정리하였다.

3. 드론 초분광영상 처리



드론 초분광 영상에 촬영된 장비는 Corning MicroHSI 410 SHARK 드론 탑재형 소형 초분광 센서로서 400~1,000nm의 분광 밴드로 취득할 수 있는 센서이다. 본 연구에서는 900nm~1,000nm의 파장대 구간에서 분광노이즈가 발견되어 해당 파장대는 제거하도록 하였으며, 400nm~900nm 분광 구간의 126개 밴드로 촬영을 수행하였다.

드론 탑재용 센서는 DJI사의 Matrice 200 드론을 이용하여 촬영하였으며, 최대 탑재 중량 2kg으로 초분광센서(680g)를 탑재하고 안정적인 비행을 수행할 수 있는 드론이다(Table 3).

시계열적으로 분석하기 위해서 계절적인 변화요소가 큰 8월과 10월의 시기에 촬영하였다. 시계열 분석을 위해서는 촬영 시점의 요소를 최대한 비슷한 요건을 충족할 수 있도록 설계하여 촬영하는 것이 중요하다.

드론 영상의 위치정확도 확보를 위하여 실험 지역에 13개의 지상기준점(GCP)을 선정하였으며, VRS(Virtual Reference Station)-GPS 측량을

Table 3. Drone hyperspectral system specifications

| | |
|---|---|
|  | <ul style="list-style-type: none"> - Model : DJI Matrice 200 - Fly away : 7km - Flight time : 40 minute - Max loading weight : 2kg - Aircraft size : 887×880×378mm - Weight : 3.8kg |
|  | <ul style="list-style-type: none"> - Model : Corning microHSI 410 SHARK - Spectral range : 400~1,000nm - Spectral bands : 150 bands - Spectral resolution : 4 nm - Pix Array : 704 Pixels - Size(weight) : 13.7×8.8×7.1cm(680g) |

통하여 좌표를 취득(GRS-80 TM)하였다. 드론 초분광 영상을 취득하기 위한 비행계획과 촬영 방식, 현장 실험 모습을 나타내었다(Figure 5).

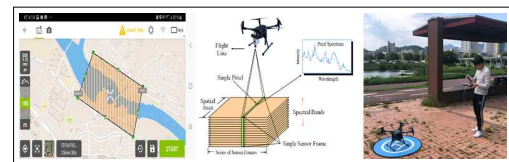


Figure 5. Drone hyperspectral imaging

드론 초분광 촬영을 통하여 취득한 RGB 영상을 나타내었으며(Figure 6), 두 영상의 정성적 분석은 10월보다 8월의 식생이 활발한 모습을 나타내고 있다. Figure 7은 CIR(Color Infra Red) 영상이며, 식생 지역 생산자 분류 정확도는 평균 66% 이상 제시되었다(Story et al, 1986). 또한 Overall Accuracy(전체정확도)는 0.664, KHAT Statistic는 0.605로 나왔다(식 1).

$$Producer's Accuracy = \frac{X_{ii}}{X_{+i}} \quad \text{and}$$

$$KHAT Coefficient = \frac{N \sum_{i=1}^r X_{ii} - \sum_{i=1}^r (X_{i+} + X_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^r (X_{i+} + X_{+i})}$$

and

$$Overall Accuracy = \frac{\sum_{i=1}^r X_{ii}}{N} \quad (\text{식 1})$$

where, r = the number of rows in the matrix
 x_{ii} = the number of observations in row i and
column i

x_{i+} and x_{+i} = the marginal totals for row i
and column i

N = the total number of observations

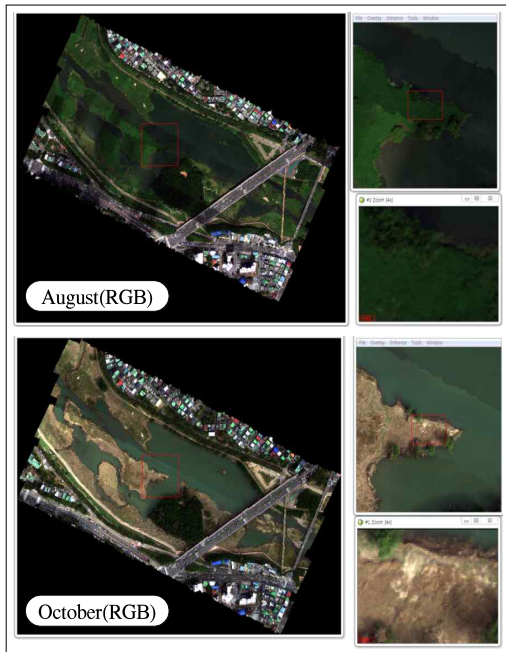


Figure 6. Drone hyperspectral imaging(RGB, August, October)

4. 다중 식생지수

1) NDVI 지수

영상 기반의 식생지수 중 NDVI는 식생의 변화 지수를 나타내는 대표적인 지표로 사용되고 있다. NDVI는 식물의 필요로 하는 수분의 흡수 상태에 대해서 비교적 잘 표현되는 지수로서 건강한 식생과 그렇지 못한 식생에서 나타나는 근적외선 영역의 반사율과 가시광선 영역 중 적색광 영역에서의 반사도의 변화를 이용해서 나타낼 수 있다(Juliane et al, 2015). NDVI는 -1.0~1.0의 범위를 가지며, 1에 가까울수록 식생의 밀도와 활력도가 좋다는 것을 의미한다.

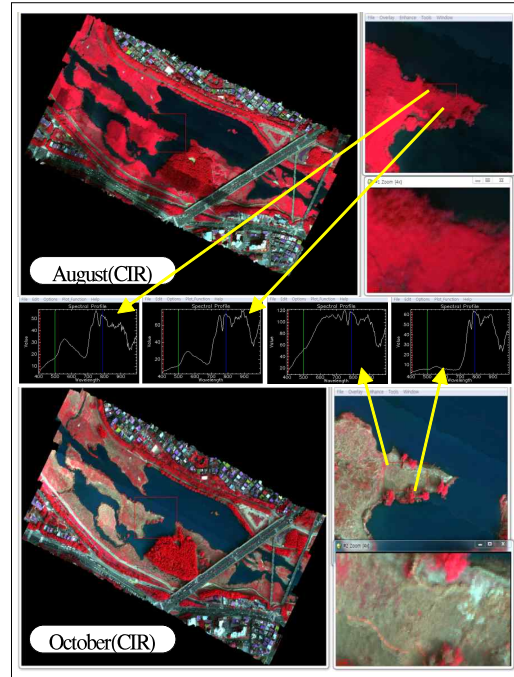


Figure 7. Drone hyperspectral imaging(CIR, August, October)

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR(800)} - \rho_{RED(670)}}{\rho_{NIR(800)} + \rho_{RED(670)}} \quad (\text{식 } 2)$$

2) EVI 지수

EVI는 식생의 생체량이 많은 지역에서 그들이 가지고 있는 다양한 신호 값을 효과적으로 파악하기 위해 개발된 지수로서 청색광, 적색광, 근적외선을 함께 사용하여 토양 및 대기효과 보정 상수, 에어로졸 제거를 위한 유효계수 등을 사용한다. 그리고 식물의 반사 값에 영향을 주는 토양의 배경효과와 대기영향을 감소시켜 향상된 식생 활력도를 제시할 수 있다(Lue et al, 1995).

$$EVI = 2.5 \left(\frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{\rho_{NIR} + 6\rho_{RED} - 7.5\rho_{BLUE} + 1} \right) \quad (\text{식 } 3)$$

여기서, ρ 는 대기 상층의 반사율 또는 지표에서의 방향성 반사율을 나타낸다.

3) PRI 지수

최근 개발된 광화학 반사지수는 식생의 생리적 상태 탐지에 용이한 것으로 알려져 있다. 잎의 카로티노이드계 색소는 광합성에 직접 관여하지 않지만, 빛에 항상 노출된 식물에는 필수적인 열에너지 소산 작용을 담당하고 있으며, PRI는 이러한 작용의 핵심 부분인 크산토펴 회로(Xanthophyll cycle)의 상태를 간접적으로 표현한다(Gamon et al, 1992).

PRI 지수는 식물의 광합성 효율의 지표로 삼을 수 있는 카로티노이드 및 크산토펴의 함량과 관련이 있으며, 이는 탄소흡수량과 식생의 성장 속도 분석에 사용되는 지수이다. 최근 PRI 지수를 가지고 식물의 스트레스 탐지에 효과적으로 사용할 수 있다는 연구가 제시되고 있다(Ryu et al, 2018).

$$PRI_{Hyper} = \frac{\rho_{531} - \rho_{570}}{\rho_{531} + \rho_{570}} = \frac{\rho_{553.6} - \rho_{568.0}}{\rho_{553.6} + \rho_{568.0}} \quad (\text{식 4})$$

여기서, PRI_{Hyper} 는 초분광 영상 기반의 PRI 지수이며, ρ_{550} 과 ρ_{700} 은 500nm와 700nm의 파장 대역이다.

4) ARI 지수

ARI(Anthocyanin Reflectance Index 2) 지수는 엽록소의 증가나 감소 등 변화에 민감하게

반응하는 지수이다(Gitelson et al, 2002). 이 지수는 촬영 당시의 기상, 바람, 그림자, 노출 등에 민감하여 임분 단위 영상 적용에는 어려움이 있기도 하다.

$$ARI_2 = \rho_{800} \left[\left(\frac{1}{\rho_{550}} \right) - \left(\frac{1}{\rho_{700}} \right) \right] \quad (\text{식 5})$$

여기서, ρ 는 엽록소의 증가에 따른 반사 강도를 나타내며, ρ_{550} 과 ρ_{700} , ρ_{800} 은 500nm(Green band)와 700nm, 800nm(Red band)의 파장대역이다.

III. 연구결과

1. 시계열 식생지수 분석(NDVI)

건강한 식생은 근적외선 파장의 에너지를 45~55% 정도 반사하며 가시광선 파장 에너지는 80~85%를 흡수기 때문에 건강한 식생일수록 파장의 반사도와 가시광선 파장의 반사도간에 많은 차이를 보이게 되며, 클로로필(Chlorophyll)의 흡수율도 높아지게 된다. NDVI 분석을 위해서 NIR(800nm)과 RED(670nm) 밴드를 식 2와 같이 계산하고 색상 채널별 식생변화를 분석하였다.

초분광 영상을 8월과 10월에 대하여 NDVI를 분석한 결과, 10월보다 8월의 식생변화 지수가 전반적으로 높음을 알 수 있었다(Figure 8).

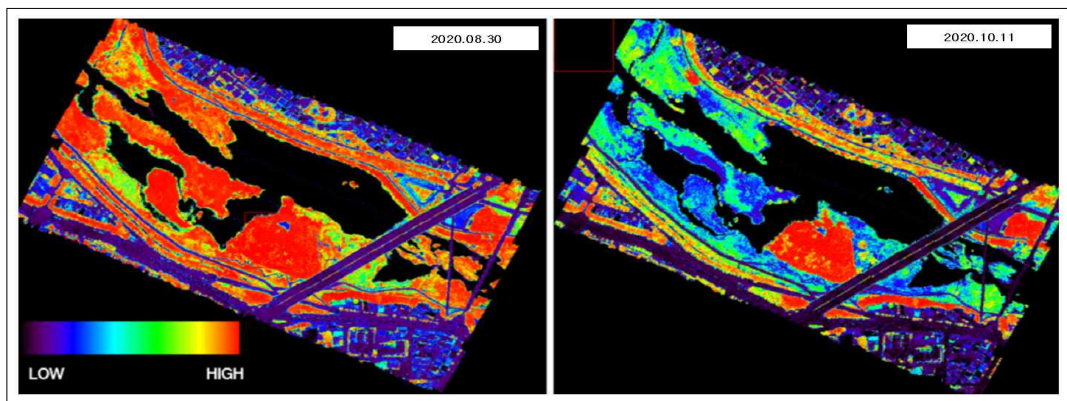


Figure 8. Hyperspectral imaging_NDVI analysis (August, October)

Table 4. Vegetation index(coordinates) and intensity value

| No. | X(m) | Y(m) | NDVI | EVI | PRI | ARI |
|--------|---------|---------|--------|--------|---------|---------|
| 1 | 523,999 | 393,601 | 0.1200 | 0.0060 | -0.0600 | -7.535 |
| 2 | 524,000 | 393,600 | 0.2390 | 0.0093 | -0.0590 | 0.882 |
| 3 | 524,001 | 393,599 | 0.2600 | 0.0210 | -0.0370 | 11.494 |
| 4 | 524,001 | 393,598 | 0.2710 | 0.0360 | 0.0200 | 5.447 |
| 5 | 524,001 | 393,597 | 0.2110 | 0.0080 | -0.0580 | 8.373 |
| 6 | 524,002 | 393,596 | 0.3140 | 0.0200 | -0.0350 | 8.781 |
| ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ |
| 368198 | 525,044 | 392,843 | 0.1780 | 0.0750 | 0.0750 | -2.149 |
| 368199 | 525,044 | 392,842 | 0.2190 | 0.0700 | 0.0660 | -10.841 |
| 368200 | 525,045 | 392,841 | 0.7120 | 0.1940 | 0.0500 | -7.921 |
| 368201 | 525,045 | 392,840 | 0.8720 | 0.4240 | 0.0510 | -9.166 |
| 368202 | 525,045 | 392,839 | 0.8930 | 0.4780 | 0.0650 | -10.362 |

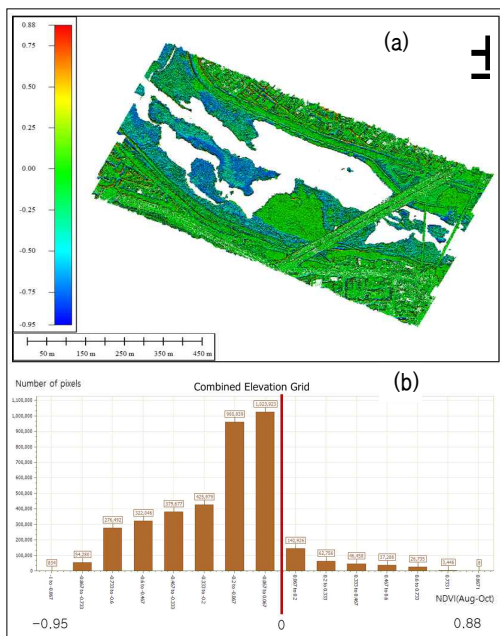


Figure 9. (a) Vegetation index and (b) cumulative distribution index by reflection intensity (NDVI)

NDVI 값은 8월 평균이 약 0.545와 10월 평균이 약 0.380으로 나타났다.

8월과 10월에 대한 식생변화를 나타내고 있으며, 측정 좌표별 약 368,200개의 NDVI 반사 강도 데이터를 분석한 결과 두 시점의 식생 지수 변화(차이) 값은 -0.165이었고, 10월은 8월보

다 식생변화 지수가 많이 감소함을 알 수 있었다(Figure 9). 여기서, x축은 8월과 10월의 지수 변화의 차이 값을 나타내고 있으며 y축은 누적 픽셀 분포수를 나타내고 있다(Figure 9, 12, 15, 17). 분석 결과 태화강 습지의 식생 지수가 낮아지는 것을 알 수 있으며, 주거 지역의 일부 식생의 지수는 높게 나오는 경향이 있기도 하였다. 이는 주거지역 온도와 태양 반사에 의한 식생 활력 수치가 다소 불규칙적으로 표현되는 것으로 사료되며, 실험지역 분석에는 큰 영향이 없었다. Table 4는 좌표별 식생지수를 요약하여 (같은 좌표별 식생지수 약 37만 개로 통일) 제시하였으며, 초분광의 경우 최소 0.3m 단위의 해상도로 분석할 수 있지만, 그러면 데이터의 양이 수백만 개가 생성되며 분석이 쉽지 않는 문제점이 있다. 본 연구에서는 1m 좌표 단위의 해상도로 구분하여 각각의 식생 지수를 제시하고 분석하였다.

2. 개량형 식생지수 분석(EVI)

EVI도 NDVI와 같이 -1~1 사이의 값을 가지며, 식생변화 추정에 효과적으로 사용된다. 적광색의 에어로졸을 조절하기 위한 인자를 본 실험에서는 대푯값인 6과 7.5의 가중치를 적용하였다(식 3).

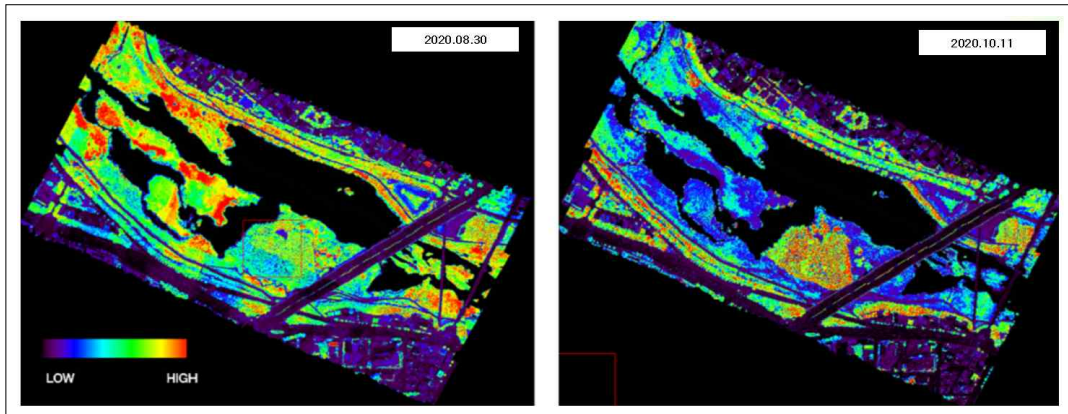


Figure 10. Hyperspectral imaging_EVI analysis(August, October)

음수의 값은 식생 지수가 낮은 인공지물과 수계 지역이며, 양수는 반대 지수를 나타낸다.

Figure 10은 초분광 영상의 8월과 10월에 대하여 EVI 지수를 분석한 결과를 도식화하였으며, 토양 조절인자와 에어로졸 산란 효과 보정으로 인하여 10월보다 8월이 더 높게 나타남을 알 수 있었다. EVI 값은 8월 평균이 약 0.291과 10월 평균이 약 0.206으로 8월 식생 지수가 높

게 나타났다.

EVI 식생 지수의 반사 강도 데이터를 분석한 결과, 두 시점의 식생 지수 변화(차이) 값은 -0.085 이고(Figure 12), 10월은 8월보다 식생 지수가 감소하였다. NDVI에 비해서 식생 지수 변화가 다소 낮은 것을 알 수 있으며, 특히 삼호교 대나무 숲의 식생 지수가 많이 변하는 것을 알 수 있다.

3. 광화학 반사지수 분석(PRI)

PRI지수의 531nm와 570nm 파장 대역을 초분광 영상(HSI 41)에서 추출한 파장대는 Table 5와 같이 Blue와 Red 영역대 사이에 존재(Green)하며, 실험지역에서는 553.6nm와 568nm가 식생 분석에 있어 관련성이 높음을 알 수 있었다(Figure 13). 실험에서는 553.6nm와 568.0nm를 식 4에 적용하여 분석하였다.

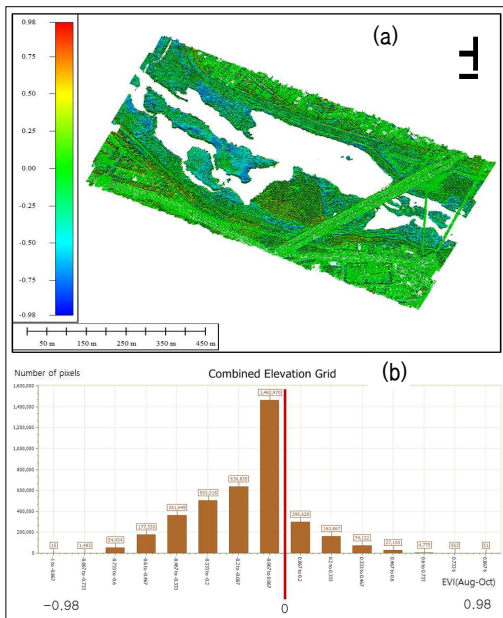


Figure 12. (a) Vegetation index and (b) cumulative distribution index by reflection intensity (EVI)

Table 5. Band of hyperspectral image

| Sensor | MicroHSI 410 SHARK | |
|--------|--------------------|-------------|
| | No. | Weavelength |
| Blue | 19 | 474.85 |
| Green | 40 | 558.27 |
| Red | 68 | 669.48 |
| NIR | 111 | 840.28 |

초분광 센서의 경우 다양한 파장대별 밴드 추

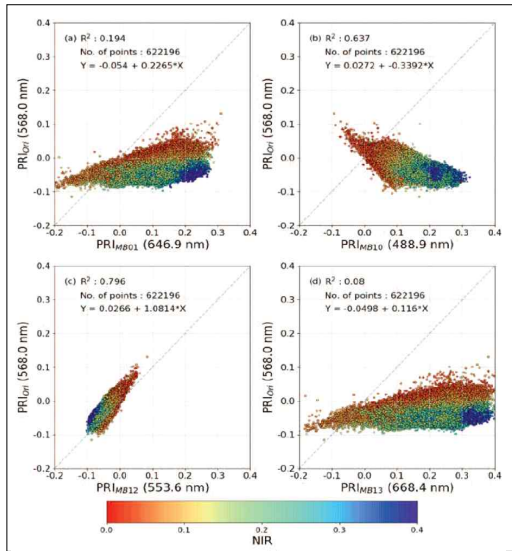


Figure 13. Correlation by spectral band(PRI band)

출이 가능하다는 장점이 있기 때문에 본 논문에서는 PRI 해상력을 2배로 높여서 총 60만 개의 점 데이터를 비교·분석하였다. 여기서 PRI는 대체로 오전에 높았다가 정오에 가까울수록 낮아지게 되고 다시 오후로 갈수록 높아지는 경향을 보인다. 계절적 변화 및 환경 스트레스에 의해 크산토폴 총량(Xanthophyll pigment pool)이 적어지게 되면 PRI 값은 감소하게 된다(Gamon and Surfus, 1999).

최근 초분광 영상을 이용한 식생 분석에 있어 일반적인 NDVI 보다 분해력이 높고 다양한 분

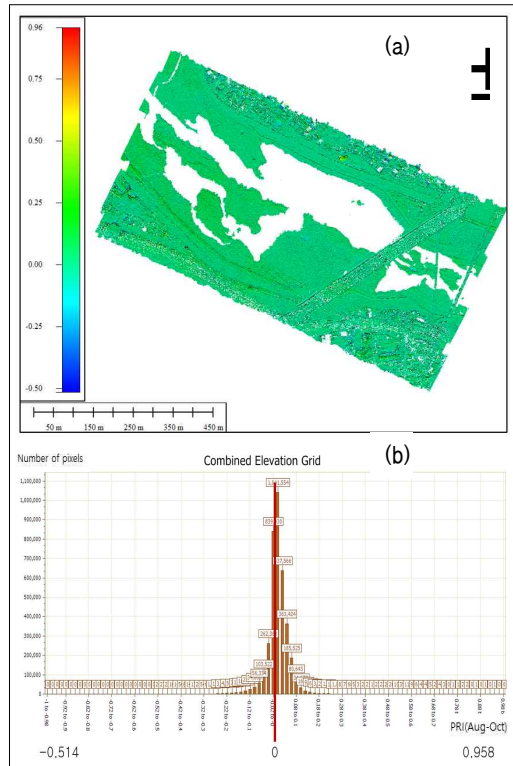


Figure 15. (a) Vegetation index and (b) cumulative distribution index by reflection intensity (PRI)

광영역대를 추출할 수 있는 특징을 가지고 있기 때문에 PRI를 많이 사용하고 있다.

PRI 지수를 분석한 결과 광합성 활동 등에 의하여 8월보다 10월이 다소 높은 수치가 나타났다(Figure 14). PRI 값은 8월 평균이 약 0.050과

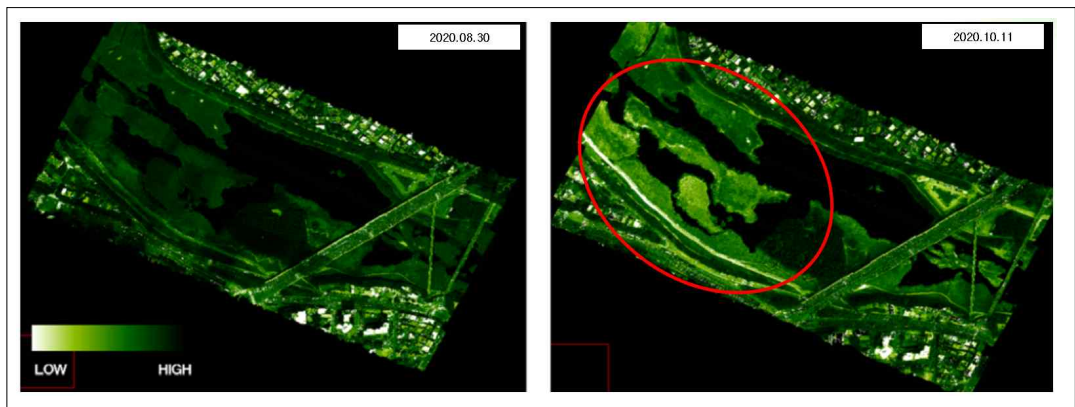


Figure 14. Hyperspectral imaging_PRI analysis(August, October)

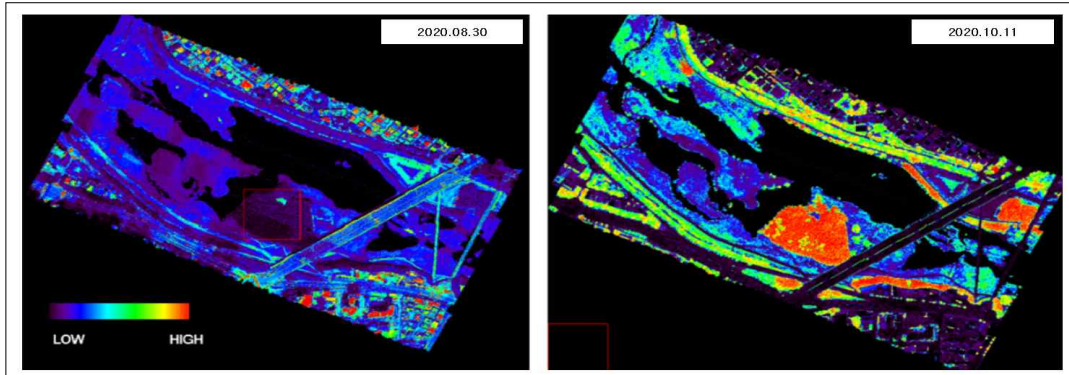


Figure 16. Hyperspectral imaging_ARI analysis(August, October)

10월 평균이 약 0.061로 10월의 식생 지수가 높았으며, 이는 촬영 시점의 온도와 환경의 영향인 것으로 파악된다.

PRI 식생 지수의 반사 강도 데이터를 분석한 결과, 두 시점의 식생 지수 변화(차이) 값은 0.011이었고, 10월의 수치가 다소 높게 나타났다(Figure 15). 제시된 결과는 두 시점에서의 차이 값이기 때문에 단순히 광합성 지수가 높다고 판단할 수는 없으며, 다른 파장 밴드별 분석과 실험환경 요인 등의 변수, 그리고 계절 등에 관하여 추가적인 연구를 통한 분석이 필요할 것으로 판단된다.

4. 안토시아닌 지수 분석(ARI2)

ARI나 PRI 지수 같은 경우에는 사용되는 밴드 간의 간격이 좁아서 정밀한 분광 정보를 제공하는 초분광 영상이나 분광기를 이용한 분광 반사를 측정 자료에 주로 사용된다. 실험에서는 분광 밴드(550nm, 700nm, 800nm)를 식 5에 적용하여 분석하였다.

8월과 10월에 대하여 ARI 지수를 분석한 결과를 도식화하였으며(Figure 16), 8월은 약 4.936과 10월 약 12.524의 수치가 나타났다. ARI 지수는 잎의 안토시아닌 색소에 민감한 파장대를 이용하여 분석하기 때문에 이 지수가 높으면 탄수화물이 잎에서 많이 분해되고 있다고 사료된다. 또한 계절적 요인에 민감하기 때문에

10월은 8월보다 일교차가 더 많이 발생하여 낮에는 식물의 광합성이 높고, 밤에는 탄수화물의 소비를 막아 안토시아닌 지수가 높아진 것으로 판단된다.

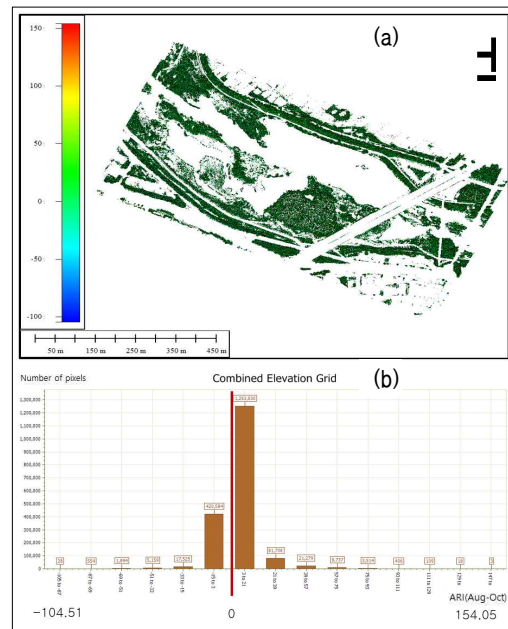


Figure 17. (a) Vegetation index and (b) cumulative distribution index by reflection intensity (ARI)

ARI 반사 강도는 약 -110~155 사이의 수치들이 나타났으며, 너무 높거나 낮은 값은 나타나지 않았으며, 대부분 -10~20 정도의 일정한 값이 제시되었다(Figure 17). 반사 강도 데이터를

분석한 결과, 두 시점의 식생 지수 변화(차이) 값은 7.588로 나타났다(Figure 17). 8월보다 10월의 수치가 다소 높은 것은 ARI 분석 파장대의 블런더(Blunder) 값이 일부 포함된 것도 일부 영향을 준 것으로 파악된다. 이러한 부분에 대한 오(誤) 부류 값을 제거하기 위한 선행 모델을 개발할 필요성이 있다고 사료된다.

Table 6은 분석한 4개의 식생지수 변화를 요약하였으며, 가장 대표적인 NDVI와 EVI 지수가 일정하게 감소하는 것으로 나타났다. 또한, PRI와 ARI는 증가하였으며, 광합성 활동과 계절적 요인에 큰 영향을 미치는 지수이기 때문에 향후 지속적인 모니터링을 통한 안정적 지수 개발이 필요할 것으로 사료된다.

Table 6. Vegetation index by analysis index

| | Vegetation | | |
|------|------------|---------|------------|
| | August | October | Difference |
| NDVI | 0.545 | 0.380 | -0.165 |
| EVI | 0.291 | 0.206 | -0.085 |
| PRI | 0.050 | 0.061 | 0.011 |
| ARI | 4.936 | 12.524 | 7.588 |

IV. 결론 및 제언

본 연구에서는 태화강 삼호교 부근의 시계열 환경변화 분석을 위하여 8월과 10월 초분광 영상에 대하여 NDVI, EVI, PRI, ARI 분석을 통하여 식생 변화 지수를 파악해 보았다. 이러한 분석을 통하여 실험지역에 대한 시계열적 식생지수를 제시하였으며, 각 특성에 맞는 식생 지수를 제시하였다.

실험지역에 대한 드론 초분광 영상을 취득하고 지상 분광 라이브러리를 구축하여 식생변화 지수를 산정하도록 하였다. 가장 많이 사용되는 NDVI와 EVI 지수를 표본으로 하여 1m 격자별 반사 강도 데이터를 구축하였으며, 두 지수 간의 식생변화는 감소하였지만, 변화율에서는

NDVI가 EVI에 비하여 2배 정도가 더 높게 나타났다. 이는 영상 분석에서 식생의 수분 흡수 상태가 잘 표현되어 제시되었기 때문이다. 그리고 PRI 분석은 553.6nm와 568.0nm의 파장대를 대입하여 결과를 분석하였고 ARI 지수는 550nm, 700nm, 800nm의 밴드를 적용하여 결과를 제시하였다.

그 결과 NDVI와 EVI는 식생변화 지수가 각각 -0.165, -0.085로 8월보다 10월이 감소하였고, PRI와 ARI 지수는 0.011과 7.588로 10월이 증가하는 결과가 나타났다. NDVI와 EVI 지수는 반사 강도에 따른 높은 상관성을 가지고 있으며, 식생의 수분 흡수량과 근적외선의 반사율이 양호하게 나타남을 알 수 있었다. PRI와 ARI 지수는 식물의 광합성과 엽록소, 성장 속도에 잘 반응하며 이러한 식물을 구분하는데 적용될 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구에서는 식생이 가지는 고유의 분광 특성을 이용하여 밴드별로 적용하여 분석하였기에 세부적인 식생의 분류를 위해서는 보다 많은 정밀 데이터를 구축할 필요성이 제기된다. 또한 시간·환경적 등 다양한 변수 요인이 작용하기 때문에 일반적인 식생 변화 지수는 NDVI와 EVI 분석이 효과적이며, 식생의 섬세한 특성(스트레스 지수, 성장 속도 등) 분석은 PRI와 ARI 분석이 용이할 것으로 사료된다. 향후 식생의 다양한 생리적 해석 등에 효과적인 식생지수를 적용할 수 있는 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

References

- Booth, D. T., S. E. Cox, T. Meikle and H. R. Zuuring(2008) Ground-cover easurements: assessing correlation among aerial and ground-based methods. *Environmental Management* 42(6) : 1091-1100.
- Gamon, J. A., J. Penuelas and C. B. Field(1992)

- A narrow-waveband spectral index that tracks diurnal changes in photosynthetic efficiency. *Remote Sensing of Environment* 41 : 35-44.
- Gamon, J. A and J. S. Surfus(1992) Assessing leaf pigment content and activity with a reflectometer, *New Phytologist*, 143 : 105-117.
- Gitelson, A. A., Y. Zur, O. B. Chivkunova and M. N. Merzlyak(2002) Assessing Carotenoid Content in Plant Leaves with Reflectance Spectroscopy. *Photochemistry and Photobiology* 75 : 272-281.
- Ham, G. W., J. M. Lee, K. H. Bae and H. G. Park(2019) A Study on Agricultural Drought Monitoring using Drone Thermal and Hyperspectral Sensor. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 22(3) : 107-119.
- Juliane B., K. Yu, H. Aasen, A. Bolten, S. Bennertz, J. Broscheit, M. Gnyp and G. Bareth(2015) Combining UAV-based plant height from crop surface models, visible and near infrared vegetation indices for biomass monitoring in barley. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 39 : 79-87.
- Kim, E. S., B. Lee and J. H. Lim(2019) Forest Damage Detection Using Daily Normal Vegetation Index Based on Time Series LANDSAT Images. *Korean Journal of Remote Sensing* 35(6-2) : 1133-1148.
- Kim, E. Y., W. K. Song and H. J. Jung(2016) Definition of Invasive Disturbance Species and its Influence Factor: Review. *Journal of the Korea Society of Environmental Restoration Technology* 19(1) : 155-170.
- Kim, D. S., D. K. Lee and H. K. Heo(2019) Estimation Carbon Storage of Urban Street trees Using UAV Imagery and SfM Technique. *J. Korean Env. Res. Tech.* 22(6) : 1-14.
- Kim, M. J.(2010) Management and Utilization Plan for Continuous Improvement of Taehwa River's Value. Ulsan Development Institute. 28-31.
- Lee, G. S.(2017) The Analysis of Evergreen Tree Area Using UAV-based Vegetation Index. *Journal of Cadastre & Land InformatiX* 47(1) : 15-26.
- Lee, Y. S., D. G. Lee, Y. G. Yu and H. J. Lee(2016) Application of Drone Photogrammetry for Current State Analysis of Damage in Forest Damage Areas. *Journal of the Korean Society for Geospatial Information Science* 24(3) : 49-58.
- Liu, H. Q and A. R. Huete(1995) A feedback based modification of the NDVI to minimize canopy background and atmospheric noise. *IEEE Trans Geosci Remote Sensing* 33 : 457-465.
- Na, S. I., C. W. Park, K. H. So, H. Y. Ahn and K. D. Lee(2019) Selection on Optimal Bands to Estimate Yield of the Chinese Cabbage Using Drone-based Hyperspectral Image. *Korean Journal of Remote Sensing* 35(3) : 375-387.
- Park, J. H and K. S. Ryu(2019) Variation Characteristics of Vegetation Index(NDVI) Using AVHRR Images and Spectral Reflectance Characteristics. *J. Korean Env. Res. Tech.* 8(2) : 33-40.
- Rouse, J. W., R. H. Haas, J. A. Schell and D. W. Deering(1974) Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS. *Proceedings, Third Earth Resources Technology Satellite-1*

- Symposium 1 : 309- 317.
- Ryu, J. H., J. I. Shin, C. S. Lee, S. W. Hong, Y. W. Lee and J. I. Cho(2017) Evaluating applicability of photochemical reflectance index using airbornebased hyperspectral image: With shadow effect and spectral bands characteristics. *Korean Journal of Remote Sensing* 33(5-1) : 507-519.
- Ryu, J. H., D. Y. Oh, S. W. Jang, H. J. Jeong, K. H. Moon and J. I. Cho(2018) Assessment of photochemical reflectance index measured at different spatial scales utilizing leaf reflectometer, field hyperspectrometer, and multi-spectral camera with UAV. *Korean Journal of Remote Sensing* 34(6-1) : 1055-1066.
- Song, W. G., D. K. Lee and Y. Jin(2018) Analyzing Difference of Urban Forest Edge Vegetation Condition by Land Cover Types Using Spatio-temporal Data Fusion Method. *Journal of Environmental Impact Assessment* 27(3) : 279-290.
- Song, W. K.(2019) Application of UAV for Vegetation Monitoring in Urban Green Space. *J. Korean Env. Res. Tech.* 22(1): 61-72.
- Story, M. and R. Congalton(1986) Accuracy Assessment : A User's Perspective. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 52(3) : 397-399.
- Zhang, Q., J. M. Chen, W. Ju, H. Wang, F. Qiu, F. Yang, W. Fan, Q. Huang, Y. P. Wang, Y. Feng, X. Wang and F. Zhang(2017) Improving the ability of the photochemical reflectance index to track canopy light use efficiency through differentiating sunlit and shaded leaves. *Remote Sensing of Environment* 194 : 1-15.