

차연산과 분광미분을 이용한 항공 초분광영상의 식생지수 산출 적절밴드 선택*

김태우¹ · 위광재² · 서용철^{1*}

An Adequate Band Selection for Vegetation Index of CASI-1500 Airborne Hyperspectral Imagery Using Image Differencing and Spectral Derivative*

Tae-Woo KIM¹ · Gwang-Jae WE² · Yong-Cheol SUH^{1*}

요 약

최근 초분광영상의 활용 연구사례와 다양한 분광지수들의 개발과 평가가 지속적으로 증가하고 있다. 특히 식생원격탐사 분야에서는 식생의 스트레스와 활력에 대한 지표로 식생지수가 사용되며 일반적으로 NIR과 red 파장대의 두 개 혹은 이상의 분광밴드를 선택적으로 사용하고 있다. 항공 초분광영상은 좁고 연속적인 수많은 밴드를 가지기 때문에 식생지수를 위한 밴드선택에 혼돈을 야기할 수 있다. 만약 식생지수를 개발하는 과정에서 사용된 밴드와 항공기를 이용해 취득한 센서의 밴드정보와 동일하지 않다면, 탐지 대상의 광학특성에 대한 설명력이 높은 적절한 밴드를 선택하는 것이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 NIR과 red 파장영역에 속하는 4개의 후보밴드를 선택하고 이들의 조합으로 계산된 NDVI(normalized difference vegetation index)와 MSRI(modified simple ratio index)를 산출하였다. 산출된 식생지수들에 대해서 각 지수들의 변이를 살펴보기 위해 변화탐지 기법의 차연산(image differencing)을 이용하였다. 또한 보다 직접적인 분석을 위해서 분광미분(spectral derivative)을 통하여 임상도로 구분되는 식생의 종류별 분광특성을 가장 잘 설명할 수 있는 밴드를 확인하였다. 연구 결과로 후보밴드들 중에서 red #3(680.2nm)와 NIR #2(801.7nm)가 수립에 영향을 적게 받고 밴드의 변동이 적은 적절한 밴드로 선택할 수 있었다.

주요어 : 항공 초분광영상, 밴드선택, 식생지수, 영상 차연산, 분광미분

2013년 8월 5일 접수 Received on August 5, 2013 / 2013년 9월 25일 수정 Revised on September 25, 2013 / 2013년 10월 29일 심사완료 Accepted on October 29, 2013

* 이 논문은 부경대학교 자율창의기술연구비(2013년)에 의하여 연구되었음.

1 부경대학교 공간정보시스템공학과 Dept. of Spatial Information Engineering, Pukyong National University

2 ㈜지오스토리 Geostory Inc.

* Corresponding Author E-mail : suh@pknu.ac.kr

ABSTRACT

Recently the various applications and spectral indices development of airborne hyperspectral imagery(A-HSI) has been increased. Especially the vegetation indices (VIs) were used to verify stress and vigor of vegetation. The VIs needs two or more spectral bands selectively to calculate as NIR(near infrared) and red wavelength. The A-HIS has specific band characteristics as narrow, continues and many. The A-HIS has narrow, continues and many specific band characteristics. That could be make it confuse which of bands could be explained for appropriate vegetation characteristics. If the A-HIS bands is not the same the wavelength with VIs' development band setting, then it need a selection adequate for spectral characteristics of target vegetation. Therefore we set 4 substitute bands for NIR and red wavelength respectively and calculated two VIs combined with substitute bands such as NDVI(normalized difference vegetation index) and MSRI(modified simple ratio index). To consider the variation of each VIs, we adapted the image differencing method of change detection technique. Also, we used spectral derivative to identify appropriate bands for spectral characteristics of digital forest cover type map. The result of adequate bands for two VIs selected red #3 as 680.2nm and NIR #2 as 801.7nm. This wavelength was good for any forest type in low variations.

KEYWORDS : Airborne Hyperspectral Imagery, Band Selection, Vegetation Index, Image Differencing, Spectral Derivative

서 론

일반적으로 식생 분석을 위한 원격탐사 자료는 시공간적 변이가 다양한 식생의 캐노피 구조와 그 기능에 대한 정보를 포함하는데 그 의미가 있다고 할 수 있다. 식생 캐노피의 구조적 속성은 생태학적, 생물화학적 요소로써 대기과학 분야에서 매우 중요하게 여겨진다(Asner *et al.*, 2003). 이러한 식생지수들은 반사도로 표현되는 식생의 생·물리적 매개변수의 민감도에 대한 정도로 개발되었고 토양의 배경을 고려하는 등 식생의 종류와 개발환경에 따라 다양하다. 또한 30년이 넘도록 원격탐사 연구에서 적용되어, 수많은 분야에서 널리 사용되고 있으며 관련 연구들이 증가하고 있다(Borge and Lablanc, 2000; Asner *et al.*, 2003).

식생지수는 가시영역(특히 red영역)과 NIR

(near Infrared)영역사이에서 발생하는 식생의 광학특성을 이용하여 바이오매스, 잎수분함량, 클로로필 함량 등을 추정하는 장점이 있다(Tucker, 1979). Myneni *et al.*(1995)은 녹색영역의 산란 분광이 0.69 μ m에서 클로로필 흡수가 최대가 되고, NIR영역(0.85 μ m) 인접영역에서는 흡수가 적다는 특성을 설명하였다. 식생지수들이 클로로필의 풍부성(abundance)과 에너지 흡수의 지표로 이해할 수 있다고 분광미분(spectral derivative)을 통해 수학적이고 경험적 해석을 하였다. red영역과 NIR영역의 반사도는 건강한 식생의 광합성 능력과 대기 중 이산화탄소의 계절적 변이 등에 대한 지표로 이해할 수 있다(Tucker, 1979; Asrar *et al.*, 1984; Sellers *et al.*, 1992; Myneni *et al.*, 1995; Jenson, 2005). 최근 초분광영상의 활용 연구나 분광 지표들의 개발과 평가사례가 지속적으로 증가하고 있다. 이와 함께 초분광영상을 활용한 식생지수 또한 다수가 개발되었

고 신뢰성 또한 향상되어 왔다. 또한 그 활용가치가 다중분광 기반의 식생지수와 동일하거나 더 높을 것으로 기대되고 있다. 경제적 측면에서 항공기 탑재 초분광 영상에 적합한 식생의 종류와 활력도에 따른 식생지수를 개발하는 것만큼 설명력이 높은 기존의 식생지수를 적절히 사용하는 것이 중요하다. Kim *et al.*(2012)는 항공기 탑재 초분광 영상정보를 통해 얻어진 endmembers가 식생지수와 높은 상관계수를 가진다는 결과를 도출하였다. 하지만 해당연구에서는 기존의 식생지수 산출식을 적용함에 있어서 수식에서 사용된 밴드와 동일한 밴드가 없기 때문에(operation setting이 다르기 때문에) 인접한 밴드를 취하였다. 좁고 연속적인 분광특성을 가진 초분광영상에서 인접한 밴드는 상호 유사한 분광 특성을 가지므로 인접한 밴드에 연속성을 가진 분광특성이 반영되었다고 볼 수 있다는 것이다. 하지만 구체적으로 이에 대해서 어떤 유사성을 가지는지 또 어떤 차이가 있는지에 대한 고려가 없었다. 또한 초분광 영상의 수많은 밴드들 중에서 한 두 개의 밴드만을 사용하는 식생지수는 초분광영상의 장점을 활용하지 못하는 단점이 있을 수 있다. 그러나 밴드의 폭이 매우 좁기 때문에 필요한 정보만을 선택적으로 취할 수 있다는 장점도 함께 가진다. 또한 항공기를 플랫폼으로 사용하는 초분광 영상은 운용 설정(operating setting)에 따라 공간/분광 해상도가 다를 수 있다. 이 때문에 식생지수에 사용되는 분광밴드를 선택하는 것이 더욱 중요하다.

본 연구는 항공기 초분광영상을 이용한 식생지수 산출을 위해 적절한 밴드를 선정하는 것을 목적으로 한다. 이를 위해서 식생지수 산출을 위해 개발된 밴드와 인접한 밴드들의 조합에 따른 NDVI(normalized difference vegetation index)와 MSRI(modified simple ratio index) 결과를 상대적으로 비교하였다. 아직까지 초분광영상의 장점을 극대화할 수 있는 동일한 지역을 모니터링하는 체계가 정착되지 않았기 때문에 촬영당시 혹은 촬영 전과 후에 현장에 대한 생·물리적 변수자료를 구득하기가 어려운 실정이다. 이러한 한계점으로 인해

1:5,000 수치임상도를 참조자료로 사용하였다. 상대적 비교를 통해서 식생지수 결과의 변동이 크게 만드는 대체밴드를 제외하고 변동이 적은 대체밴드를 검토하는 탐색적 방법으로 접근한다. 또한 분광반사특성에 대해 1차, 2차 분광미분(spectral derivative)을 실시하였다. 식생지수는 red와 NIR영역에서의 분광반사특성을 이용하기 때문에 1차 2차 미분을 통해 분광반사곡선의 기울기와 변곡 지점과 같은 대체밴드에서의 변화정보를 파악할 수 있다.

연구 자료와 연구 방법

본 연구에 사용된 항공기 플랫폼의 초분광영상은 2010년 10월 26일 12시 15분에 1.5km의 고도에서 촬영된 국립수목원 일부지역이다(그림 1). 약 0.74km² 면적에 대한 초분광 영상은 1.25m의 공간해상도를 가지고 분광해상도는 365.2nm에 1044.6nm 까지 총 96개의 밴드를 가지며 FWHM(full width at half maximum)은 3.6nm이다. 항공기 탑재 초분광 영상은 (주)지오스토토리를 통해서 방사보정된 자료를 제공받아 ENVI의 FLAASH 모듈로 대기 보정을 하였다(Kim *et al.*, 2012). 모듈의 설정으로 대기모델은 촬영당시 기온을 고려하여 'Mid-Latitude Winter' 로 설정하고 에어로솔 모델은 산림지역의 대기입자특성을 고려하여 'Rural' 로 설정하였다.



FIGURE 1. Study area(RGB color composite)
(R: 665.9nm, G: 551.5nm, B: 487.1nm)

본 연구에서는 식생지수에 사용된 밴드선택에 있어 기본적으로 Kim *et al.*(2012)의 인접방식을 준용하되 밴드의 표본수를 다양하게 설정하였다. 가장 인접한 밴드와 인접밴드의 앞과 뒤에 위치한 밴드 2개, 이들 3개 밴드의 평균을 밴드선택을 위한 대체(후보)밴드(NIR 대체밴드 4개, red 대체밴드 4개)로 설정하고 식생지수를 산출하였다(표 1). 적절한 밴드의 선택을 위해 정확한 식생의 생·물리적 특성을 반영하는 참조자료가 필요하지만 현실적으로 많은 시간과 자료가 필요하다. 따라서 본 연구에서는 대체밴드들로 산출된 식생지수간의 상대적 변동을 파악하여 영상 차연산(image differencing)을 실시하여 분석에 유효한 밴드를 탐색하였다. 또한 밴드의 분광특성을 수학적으로 해석하는 1차, 2차 미분을 적용하였다. 그림 2는 연구흐름도이다.

TABLE 1. Substitute bands for VIs

substitute bands	wavelength(nm)	Vegetation Indices
Red #1	665.9	NDVI 11
Red #2	673.1	NDVI 12
Red #3	680.2	NDVI 13
Red #4	Mean(red 1-3)	NDVI 14
NIR #1	794.5	...
NIR #2	801.7	NDVI 43
NIR #3	808.8	NDVI 44
NIR #4	Mean(NIR1-3)	MSRI has same cases as above

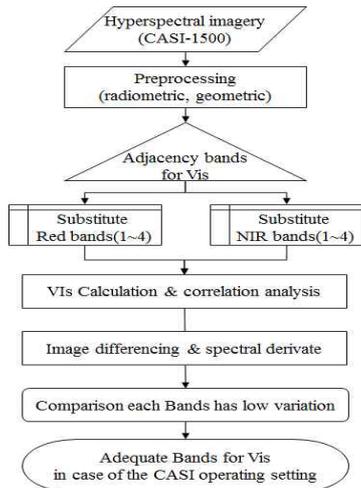


FIGURE 2. Work flow to find adequate bands

밴드선택을 위한 접근과 분석결과

1. 차연산 히스토그램을 이용한 접근

전처리된 영상을 NIR와 red 영역에 대해 4개의 대체밴드를 설정하고 각 대체밴드를 1:1로 모두 대응시킨 16개의 NDVI와 16개의 MSRI를 산출하였다. 이를 이변량 상관분석을 수행한 결과는 상관관계가 매우 높았다. 이는 분광밴드의 유사한 광학적 특성으로 인한 것으로 예상된다. 식생지수는 현장관측정보를 취득하거나 LAI정보를 수집한다고 하여도 직접적이고 정량적인 변수의 수집과 유통이 어렵고, 비율기반 식생지수가 생·물리적 매개변수에 대한 민감도가 뚜렷하지 못하다(Lilesaeter, 1982; Baret and Guyot, 1991)는 한계를 가진다. 이 때문에 기존 연구들에서 주로 사용한 관련 식생의 생·물리적 변수를 기준으로 하는 회귀분석을 적용하기가 어렵다. 적당한 방법론이 구체적으로 제시되지 못하였기 때문에 본 연구에서는 탐색적으로 접근하였다.

원격탐사 모니터링에 주로 이용되는 변화탐지 기법 중 영상 차연산(image differencing)을 적용하여 산출된 식생지수의 결과를 상대적으로 비교하였다. 변화탐지는 변화전과 변화후의 영상에 대해서 산출연산을 하거나 변환하는 등 다양한 방법을 적용하여 “어디가”, “얼마나”, “어떻게” 변화하였는가를 살펴보는 기법이다. 영상대수학(image algebra)에 기반을 두는 영상 차연산(image differencing)은 변화전 영상과 변화 후 영상을 $Image_{from} - Image_{to}$ 결과로 양(+)의 변화와 음(-) 변화를 파악하는 것이다. $Image_{NDVI11} - Image_{NDVI12}$ 에서 NDVI 11과 NDVI 12의 위치를 바꾸지 않고 NDVI 11부터 NDVI 44까지 중복 없이 1:1대응시켜 120개의 차연산을 수행하였다. 변화량의 (+) 변화와 (-)변화에 의미를 두지 않고 변화의 정도와 그 쪽에는 의미가 있다. 이는 대체밴드들로 산출된 120개의 NDVIs이 상호 간의 차이로 해석할 수 있다. $NDVI_{11} - NDVI_{12}$ 계산 시, $NDVI_{11}$ 은 대체밴드 NIR #1과 red #1로 산출된 NDVI이고 $NDVI_{12}$ 는 NIR #1과 red #2로

산출된 NDVI를 의미한다. 이를 통해 red #1 과 red #2로 산출된 NDVI의 차이를 파악할 수 있다.

그림 3은 각 120개의 NDVIs와 MSRI's 결과들(x축)의 최대값, 최소값, 평균, 그리고 ± 표준편차를 나타낸 그래프로 y축은 식생지수의 값을 의미한다. 최대값과 최소값의 차이인 진폭의 크기를 기준으로 차이가 큰 NDVI와 차이가 적은 NDVI로 구분이 된다(표 2). 진폭이 큰 NDVI는 120개의 NDVI 중에서 5, 14, 23, 27, 40, 44, 57, 61, 65, 82, 86, 90, 107, 111, 115, 119번으로 설정된 NDVI이고 진폭이 작은 NDVI는 7, 12, 18, 25, 29, 38, 48, 59, 67, 80, 94, 109로 설정된 NDVI이다.

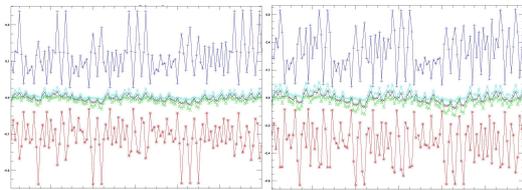


FIGURE 3. Basic statistics graphs of layer stacked 120 NDVIs(left) and 120 MSRI's(right) (Min=red asterisk, Max=blue plus, Mean=black x, ±Stdev=(+)cyan diamond and (-)green triangle)

그림 4는 진폭의 차이를 보이는 NDVIs의 히스토그램을 분리한 것이다. 분포 특징은 진폭이 클수록 약 ±0.03(x축)부터 중심방향으로 빈도가 증가하고, 진폭이 작을수록 0에 가깝게 빈도가 증가하는 경향을 보인다.

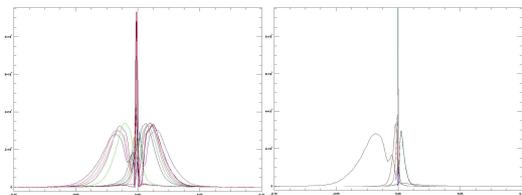


FIGURE 4. NDVIs histogram of distinguishable amplitude(left is large amplitude, right is small amplitude)

진폭이 큰 MSRI는 NDVI와 거의 동일하나, 111, 115, 119번 MSRI 대신에 114 ($MSRI_{11} - MSRI_{23}$), 118($MSRI_{11} - MSRI_{13}$)번이 더 크고 진폭이 작은 MSRI는 NDVI와 동일하다. 표 2는 진폭의 차이가 나타나는 식생지수의 번호에 대한 대체밴드 조합을 나타낸다. 표 2에서 'from' 과 'to' 에 나타난 숫자는 두 식생지수 산출식 조합을 의미하는 것으로 예를 들어, '11' 은 'NIR #1' 과 'red #1' 을 사용해 산출한 'NDVI 11' 혹은 'MSRI 11' 을 의미한다. 분석결과 최대값과 최소값의 차이(진폭)가 좁은 식생지수-차연산은 모두 같은 빈도로 나타나 유효밴드 결정에 큰 역할을 할 수 없는 것으로 판단된다.

TABLE 2. Substitute bands combination of NDVI Image differencing with different amplitude

Layer no.	Large amplitude NDVI		Layer no.	Small amplitude NDVI	
	from	to		from	to
5	41	43	7	34	44
14	33	41	12	33	43
23	31	43	18	32	42
27	31	33	25	31	41
40	23	41	29	24	44
44	23	31	38	23	43
57	21	43	48	22	42
61	21	33	59	21	41
65	21	23	67	14	44
82	13	41	80	13	43
86	13	31	94	12	42
90	13	21	109	11	41
107	11	43	Most used above substitute bands were 41, 42, 43, 44 as 3 times equally (41: using NIR #4 and red #1 to calculate NDVI. All of above vegetation index were used 4 times equally 1,2,3,4 is substitute band numbers)		
111	11	33			
115	11	23			
119	11	13			

최대/최소값과 평균, 그리고 표준편차에 의한 변동특성을 살펴보기 위해서 변동계수(coefficient of variation)을 구하였다. 변동계수는 표준편차를 평균으로 나눈 값으로 보통 % 단위로 나타낸다. 그림 5는 그림 3의 평균과 표준편차를 이용해 계산한 변동계수이다.

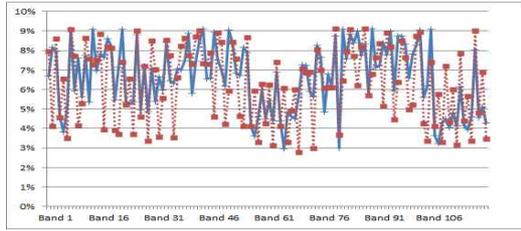


FIGURE 5. Coefficient of variance NDVIs(dotted red rectangle) and MSRIs(solid blue plus)

변동계수는 대부분 10% 이내에 속하지만 낮은 변동계수들은 NDVIs에서 65번 레이어 ($NDVI_{21} - NDVI_{23}$)가 2.95%를, 80번 레이어 ($NDVI_{13} - NDVI_{43}$)가 3.0%로 나타났다. MSRIs는 69번 레이어($MSRI_{14} - MSRI_{42}$)가 2.80%를 73번 레이어($MSRI_{14} - MSRI_{32}$)가 3.00%의 변동계수를 보였다. 주로 나타나는 빈도가 높은 대체밴드는 NDVI에서 NIR #2와 red #3, MSRI에서 NIR #1과 red #2, red #4이다. 하지만 식생지수의 차연산의 상대적 비율만으로 적절한 대체밴드를 선택하는 기준을 설정하기가 어렵다. 적절한 밴드 선택의 기준을 설정하기 위해서는 대상지역의 분광특성도 함께 고려되어야 한다.

2. 차연산 결과의 분류를 통한 접근

특정 밴드를 선택하는 기준이 없는 식생지수는 계산할 때마다 그 값이 달라질 수 있다. 서로 다른 밴드를 사용해서 산출한 식생지수들 중에서 변동이 적은 것이 선택하는 기준으로서의 의미를 가질 수 있다. 그러나 표 2와 같이 대체밴드들이 동일하거나 유사한 빈도로 사용되어 유효한 선택기준으로서는 명확하지 못하다. 따라서 차연산 결과를 보다 구체적으로 해석하기 위해 범주형 자료로 변환시켰다. 그림 4의 개별 히스토그램은 왜도와 첨도가 다르지만 좌우 대칭적인 모습을 보이기 때문에 변화된 비율의 ±10% 간격으로 21개의 변화클래스를 기준으로 범주형으로 분류하였다(표 3). 그림

6은 차연산의 결과인 NDVIs를 범주형 자료로 변환하여 이들의 특징에 따라 분류한 것이다. 전반적으로 변화 클래스 중에서 class 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14 만이 변화가 있었고 나머지 클래스에는 값이 없었다.

TABLE 3. Change-classes in image differencing map

	min	max	description
class1	90%	100%	All +change
class2	80%	90%	90% change
...
class9	10%	20%	20% change
class10	0%	10%	10% change
class11	0%	0%	no change
class12	0%	-10%	-10% change
class13	-10%	-20%	-20% change
...
class21	-90%	-100%	All -change

범주형으로 변환된 NDVIs의 모든 분류 class는 그림 6(a)에 나타나고 이는 class 11을 기준으로 좌우 대칭의 형태를 보인다. (b), (c), (d)는 (a)의 특징적인 형태를 하위특징으로 구분한 것이다. class 10과 class 11에는 큰 의미가 없고, y축의 변화량 비율이 의미를 가진다. (d)에서 변화량이 약 55%를 넘지 않는 경우만 (e)에 나타냈다. 변화량이 큰 양상을 보이는 차연산 결과는 대체밴드를 어떻게 선택하느냐에 따라 식생지수 결과의 차이가 크게 발생할 가능성이 높다. (e)는 21, 81, 85, 94, 105번 NDVI로 각각 $NDVI_{32} - NDVI_{33}$, $NDVI_{13} - NDVI_{42}$, $NDVI_{13} - NDVI_{32}$, $NDVI_{12} - NDVI_{42}$, $NDVI_{12} - NDVI_{13}$ 의 차연산 결과이다. MSRI 차연산의 결과를 동일한 기준으로 분류한 결과 NDVI와 유사한 패턴을 보여 그림은 생략하였다. 변화클래스는 NDVI와 달리 9, 10, 11, 12, 13에서만 발생하였다. (a), (b), (c), (d), (e)모두 NDVI와 동일하며 (e)는 79, 83, 117번 MSRI가 선택되었다. 이들은 각각 $MSRI_{13} - MSRI_{44}$, $MSRI_{13} - MSRI_{34}$, $MSRI_{11} - MSRI_{21}$ 의 차연산 결과이다. 다른 조합에 비해 상대적으로 낮은(약 55% 이하) 변화율을 보이는 차연산 결과로 각 식생지수의 사용빈도는

NDVI에서 NDVI 13(NIR #1 & red #3)이 3회 빈도로, MSRI는 MSRI 13(NIR #1 & red #3)이 2회 빈도로 가장 많이 나타났다.

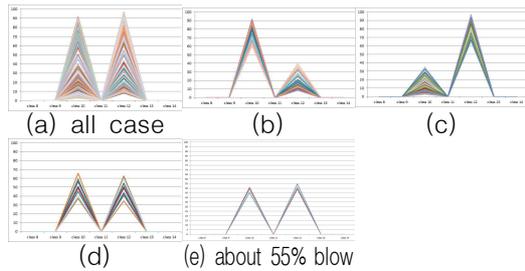


FIGURE 6. Distinguishable image differencing results of NDVI by classification (y-axis unit: %)

3. 분광 미분(spectral derivative)

본 연구의 목적을 위해서 분광의 정보요소의 물리적 지식을 조합하고 밴드 속성간의 차이를 탐색한다. 앞서 언급하였듯 비율기반 식생지수는 NIR와 red의 두 개 밴드를 산술연산 한다. 이러한 특성은 식생의 분광 흡수와 반사 특성에 기반을 두고 개발되어 대상영역에 분포한 식생의 NIR영역과 red영역에 대한 분광 흡수 특성이 서로 대조적인 경향을 가진다. 따라서 red영역에서 낮은 반사분포와 NIR 영역에서 높은 반사분포를 가진다면 식생지수의 값은 상승할 것이다. 또한 수종과 같은 식생의 특성에 의한 영향을 적게 받지 않는 것이 식생 전체를 아우르며 바이오매스나, 잎수분 함량, 클로로필 함량 등을 추정하는데 우수한 지표가 될 수 있을 것이다. Myneni *et al.*(1995)은 분광미분을 통해 분광 식생지수를 해석하였는데, 광역밴드를 이용하는 식생원격탐사에서 산출형태를 Type I, II, III로 구분하여 수학적 근거를 제시하고 NIR과 red 밴드의 상호연관성을 확인하였다. 또한 대부분의 지수는 $k\rho'$ (표면반사 ρ' 의 k 번 미분한 계수)의 형태로 표현할 수 있다고 하여 대두콩 캐노피에 반사된 분광 $\rho(\lambda)$ 을 나타내고 반사도의 분광미분 $d\rho/d\lambda$, $d^2\rho/d\lambda^2$

$d^2\rho/d\lambda^2$ 을 그래프로 나타낸 바 있다.

대체밴드에서의 변동을 상대적으로 검토하기 위해서 수치임상도를 참조하여 가능한 한 유사한 특성을 가지는 영역으로 구분하여 분광 미분(spectral derivative)을 실시하였다. 수치임상도는 대상지역의 수종분포를 확인할 수 있다. 그림 7은 CIR(color infrared) 밴드조합영상위에 임상도를 중첩한 이미지이다.

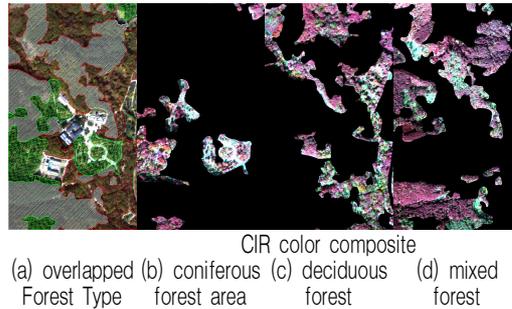


FIGURE 7. Classified by three forest type

수치임상도의 분류체계에서 'FTYPE' 인 세 분류에 대해서 비산림(혹은 무림목지), 침엽수림과 활엽수림, 혼효림에 대해서 구분하였다. 각 수종들은 다양한 영급과 경급, 수관밀도를 가지고 있다. 따라서 임상도의 속성코드(임상도 라벨로 여러 속성을 표현)를 활용하여 중복되는 코드는 병합하고 서로 다른 임종, 수종, 경급, 영급, 수관밀도를 갖도록 처리하였다(표 4). 39개의 속성코드 중 2개는 비산림-기타(E)지역과 임목이 제거된 미림목지(N)로 분류되기에 제외한다. 또한 수치임상도의 지형지물코드인 'FCODE' 속성을 통해서 침엽수림은 모두 인공림으로 구성되었고, 활엽수림과 혼효림은 모두 천연림으로 구성되어 있음을 확인하였다. 37개의 수치임상도 속성코드를 이용하여 반사도 영상을 분광밴드에 대해 1차 미분과 2차 미분을 수행하였다. 그림 8(left)는 수치임상도에 의해 37개로 구분된 영역들의 초분광영상에 대한 분광밴드별 반사곡선을 나타낸 그래프이다. 대체밴드 중 평균을 사용한 대체밴드 2개를 포

함하여 총 98개의 파장(x축)에 대한 반사곡선(y축)이며 하나의 픽셀에서 대한 반사곡선이 아니라 해당 영역에서의 평균적 반사곡선을 의미한다.

TABLE 4. Attribute code of digital forest cover type map

No.	Type	Code	Area(m ²)	No.	Type	Code	Area(m ²)
1		AAH-01A	3647.45	21		NCA-39C	5762.28
2		AAH-12C	7029.65	22		NEB-24C	3300.71
3		AAH-13C	7936.52	23		NEB-25C	29276.55
4		AAH-26C	19591.65	24	deciduous	NEB-36B	36868.38
5		AAH-36C	915.70	25		NEB-36C	91876.72
6		AEC-24C	2213.60	26		NEB-38C	44162.26
7		ALL-13C	1927.17	27		NEB-39C	10641.60
8		ALL-24C	25883.10	28		NMM-24C	3275.47
9		ALL-36C	12477.39	29		NMM-25B	20045.84
10	conifer	ALL-37C	9180.13	30		NMM-25C	1477.58
11		APK-25C	31897.10	31	mixed	NMM-26B	32526.90
12	APK-26C	1339.12	32	NMM-36B		123.65	
13		APK-29C	30264.56	33		NMM-36C	49173.73
14		APK-36C	4043.00	34		NMM-38C	2131.86
15		APK-37C	41812.77	35		NQQ-24C	1500.24
16		APK-38C	8950.29	36	deciduous	NQQ-25C	217.67
17		APK-39A	5334.19	37		NQQ-36C	15747.90
18		APK-39C	37916.03	38	non	E	122277.81
19		APR-24C	17298.62	39		N	1744.43
20		APR-25C	1079.12				

* Detail description of attribute code shown in the FGIS web site (fgis.forest.go.kr)

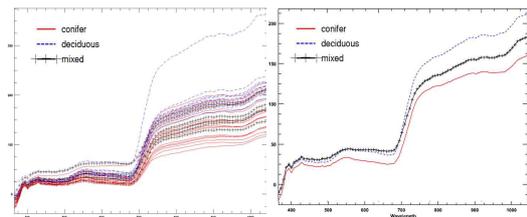


FIGURE 8. Mean spectral reflectance classified by difference forest type(Left : 37 classes in attribute code, right : forest type)

식생의 파장대별 반사 특성을 이용하여 분광 미분을 적용함으로써 식생지수에 적합한 밴드의 선택에 활용할 수 있을 것이다. 그림 8 (right)에서 빨간색 실선은 침엽수림에 해당하는 20개 영역으로 개별영역 내 모든 픽셀에 대

한 평균 분광반사곡선이다. 파란색 점선은 활엽수림으로 10개의 영역을 가지며, 더하기 심볼의 검은색 실선은 7개의 혼효림 영역이다. 전반적으로 약680nm부터 급격한 증가를 보이다가 약750nm에서는 완만한 증가를 보인다. 전반적으로 활엽수림이 red와 NIR영역에서의 반사도 차이가 침엽수림에 비해 크게 나타나고 혼효림이 반사곡선이 두 수림에 비해 낮게 나타나는 것을 확인할 수 있다. 그림 8의 분광그래프를 IDL의 deriv 모듈을 이용하여 각각 1차, 2차 미분하였다(그림 9). 이 모듈은 최소 3개 밴드와 Lagrange interpolation을 이용해 수치미분을 실시한다.

$$P(x) = \sum_k \left(\prod_{j \neq k} \frac{x - x_j}{x_k - x_j} \right) y_k \quad (1)$$

$$P(x) = c_1 x^{n-1} + c_2 x^{n-2} + \dots + c_{n-1} x + c_n \quad (2)$$

식 (2)는 Lagrange 형태의 보간다항식인 식 (1)을 일반적 지수형태로 표현한 것이다. 여기서 x는 파장밴드(nm)를 의미하고 y는 한 픽셀의 반사값이며 k=(1,...,n)로 밴드 수(n=98)를 의미하며 계수 c와 개수가 같다. Figure 9와 같이 1차 미분을 통해서 665.9nm에서부터 680.2nm까지 기울기가 상승하기 시작하여 701.7nm까지 상승하고, 730.2nm부터 감소하기 시작하여 773.7nm이후 다시 약소하게 기울기가 상승하다가 801.7nm에서 '0' 값에 가까운 기울기를 보이는 것을 확인할 수 있다. 1차 미분을 통해서 분광반사곡선의 변화에 대한 기울기를 얻을 수 있다. 기울기가 적다면 인접한 밴드간의 변화폭이 적다는 것을 의미한다.

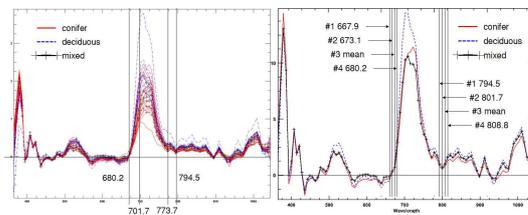


FIGURE 9. 1st spectral derivative (left 37 classes, right: mean of forest type)

그림 10은 수림(forest type)의 종류에 따른 대체밴드에서의 1차 미분 결과를 보여준다. red영역에서는 red #1, #2는 음의 값을 가지고 red #3, #4는 양의 값으로 확연한 기울기 차이를 보인다. 대체밴드 red #1~#4사이의 최대값과 최소값의 차이는 순서대로 0.489, 0.376, 0.162, 0.318로 red #3에서 가장 작은 변동을 보여 수림의 종류에 큰 영향을 받지 않는 것으로 해석할 수 있다. 검은색 점선으로 표시된 상하 화살표식으로 나타내었다. 활엽수림에서 최소값을 가지는 red #1과 최대값을 가지는 red #4의 차이가 1.419로 가장 크고, 침엽수림과 혼효림은 각각 0.812, 0.825로 비슷하였다. NIR영역에서는 모든 대체밴드들이 양의 값을 가지는 기울기 변화를 보이면서, 침엽수림에서만 1차 미분값이 상대적으로 낮아지는 비슷한 패턴을 보였다. 그 폭은 NIR #4에서 가장 크고 NIR #2가 가장 작았다. NIR #1은 활엽수림과 혼효림에서 NIR #3에 비해 약간 높은 기울기를 가졌으나 침엽수림에서 미세한 차이지만 NIR #3이 약간 높은 값을 가져 분광반사곡선의 기울기가 약간 낮아짐을 보였다. 수림에 따른 대체밴드들의 변동은 활엽수림에서 1.036, 침엽수림에서 0.772, 혼효림에서 0.919로 침엽수림에서 가장 작았다.

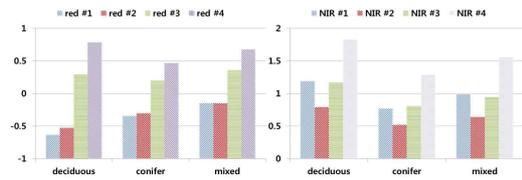


FIGURE 10. 1st spectral derivative at the different forest type (left : red bands, right: NIR bands)

2차 미분은 분광곡선의 기울기의 기울기로, 기울기의 증감을 의미하여 2차 미분한 값이 클수록 기울기가 급격하게 변한다는 것을 뜻한다. 그림 11의 검은색 세로 참조선에서 그 변화정도를 확인할 수 있다. NIR과 red영역에서 peak와 nadir는 687.4nm와 737.4nm에서 발생하여 1차 미분의 증가와 감소를 양의 값과 음의 값으로 보여준다. red영역에서는 모두 증가

하는 추세를 보였지만 NIR영역의 794.5nm에서는 37개의 분류된 영역에서 모두 '0' 이하의 기울기 감소 변화량을 보였다(최대 0.00135, 최소 0.0039). 801.7nm에서는 최소 0.0044~최대 0.01603의 기울기 증가 변화량을 보였으며, 808.8nm에서는 최소 0.0002~최대 0.0036의 변화 증가량을 보였다.

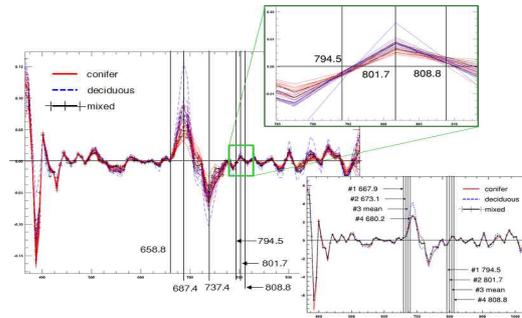


FIGURE 11. 2nd spectral derivative (upper right: zoom in NIR band, lower right: mean spectral reflectance by forest type)

수림에 따른 대체밴드들의 2차 미분한 결과는 그림 12에 나타내었다. red영역에서 '0' 값보다 큰 양수를 가지기에 원래의 분광반사곡선은 모두 아래로 볼록(concave up)한 형태를 취할 것이다. 1차 미분과 마찬가지로 각 대체밴드에서 최대-최소값의 차이는 red #1, #2는 0.215와 0.271의 변동으로 유사한 반면 red #4는 수림에 따라 큰 폭으로 증감이 변화하는 것이 보인다. 각 수림에서 밴드간의 최대-최소값의 차이는 활엽수림에서 3.019, 침엽수림에서 1.877, 혼효림에서 2.196으로 활엽수림에서 red #4는 나머지 밴드와의 큰 격차를 보인다.

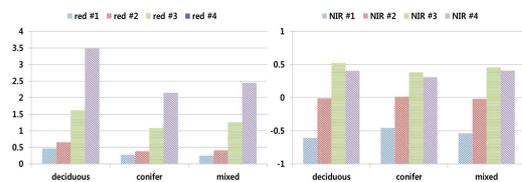


FIGURE 12. 2nd spectral derivative at the different forest type (left : red bands, right: NIR bands)

NIR영역에서는 NIR #1이 음의 값을 가져 원래의 분광반사곡선이 위로 볼록한(concave down) 형태이고 NIR #3과 #4는 양의 값으로 약간 위로 볼록한 형태를 가질 것이다. 각 대체 밴드에서의 최대-최소값의 차이는 0.148, 0.034, 0.132, 0.100으로 NIR #2가 '0' 값에 가까워 기울기의 변화가 거의 없다고 해석할 수 있다. 각 수림에서의 최대-최소값의 차이는 활엽수림에서 1.123, 침엽수림에서 0.841, 혼효림에서 0.995로 활엽수림에서의 기울기 변화가 가장 큰 것으로 나타났다. 표 5에 1차 미분과 2차 미분의 결과와 변동을 수치로 표현하였다. red #3이 분광반사곡선에 대한 1차 미분으로 기울기가 가장 작은 것으로 나타났다. 2차 미분에서는 기울기의 변화량이 크게 나타났지만 이는 1차 미분으로 해석된 작은 기울기의 변화량이 크다는 것을 의미한다. NIR #2은 1차 미분에서 가장 작은 분광반사곡선의 기울기를 가지고 2차 미분을 통해서 그 변화량도 작음을 확인할 수 있다.

TABLE 5. The variation result of 1st and 2nd spectral derivative at the different forest type

1st spectral derivative				
1st Deriv.	Deciduous	Conifer	Mixed	Max-Min
red #1	-0.633122	-0.343836	-0.143793	0.489
red #2	-0.524484	-0.301191	-0.148567	0.376
red #3	0.302642	0.199986	0.362123	0.162
red #4	0.786304	0.468425	0.676462	0.318
Max-Min	1.419	0.812	0.825	
NIR #1	1.188785	0.770138	0.988618	0.419
NIR #2	0.793929	0.519723	0.643678	0.274
NIR #3	1.170635	0.805016	0.95463	0.366
NIR #4	1.830208	1.292043	1.562507	0.538
Max-Min	1.036	0.772	0.919	
2nd spectral derivative				
red #1	0.467882	0.271911	0.252958	0.215
red #2	0.655394	0.384808	0.412514	0.271
red #3	1.626063	1.084761	1.26554	0.541
red #4	3.48642	2.148836	2.448807	1.338
Max-Min	3.019	1.877	2.196	
NIR #1	-0.60362	-0.4552	-0.53592	0.148
NIR #2	-0.00908	0.017439	-0.01699	0.034
NIR #3	0.518139	0.38616	0.459414	0.132
NIR #4	0.405594	0.308608	0.408734	0.100
Max-Min	1.122	0.841	0.995	

기울기의 변화량이 적은 대체밴드 red #3과 NIR #2를 이용한 NDVI 23과 MSRI 23에 대해서 수치임상도를 참조하여 임종, 수종, 경급, 영급, 수관밀도에 대해서 검토하였다. 표 6은 NDVI 23과 MSRI 23의 결과 값 중에서 하위 5개와, 상위 5개에 대해서 수치임상도 정보를 나타낸 것이다. 결과적으로 임상도 속성코드로 분류된 37개의 수종은 NDVI 23과 MSRI 23의 값의 분포와 큰 상관성이 보이지 않았다.

TABLE 6. The top/bottom 5 of NDVI 23 and MSLI 23 related to the digital forest cover type map

NDVI	Attribute code	Type	DBH	Age	Density	Species	Area(m ²)
0.429	NMM-26B	mixed	2	6	B	mixed forest of soft and hardwood	32526.90
0.439	APK-39A	conifer	3	9	A	nut pine	5334.19
0.499	NMM-25B	mixed	2	5	B	mixed forest of soft and hardwood	20045.84
0.509	ALL-37C	conifer	3	7	C	larch (larix)	9180.13
0.548	NMM-36B	mixed	3	6	B	mixed forest of soft and hardwood	123.65
0.703	NCA-39C	deciduous	3	9	C	chestnut	576228
0.711	APK-36C	conifer	3	6	C	nut pine	4043.00
0.712	AAH-12C	conifer	1	2	C	needle fir	7029.65
0.713	AAH-13C	conifer	1	3	C	needle fir	7936.52
0.723	APK-25C	conifer	2	5	C	nut pine	31897.10
MSRI	Attribute code	Type	DBH	Age	Density	Species	Area
0.807	NMM-26B	mixed	2	6	B	mixed forest of soft and hardwood	32526.90
0.832	APK-39A	conifer	3	9	A	nut pine	5334.19
1.005	NMM-25B	mixed	2	5	B	mixed forest of soft and hardwood	20045.84
1.038	ALL-37C	conifer	3	7	C	larch (larix)	9180.13
1.158	NMM-36B	mixed	3	6	B	mixed forest of soft and hardwood	123.65
1.848	NCA-39C	deciduous	3	9	C	chestnut	5762.28
1.888	APK-36C	conifer	3	6	C	nut pine	4043.00
1.897	AAH-12C	conifer	1	2	C	needle fir	7029.65
1.903	AAH-13C	conifer	1	3	C	needle fir	7936.52
1.959	APK-25C	conifer	2	5	C	nut pine	31897.10

* DBH : diameter at breast height

결과와 토의

본 연구는 초분광영상을 이용한 식생지수 산출시 사용되는 밴드의 선택 기준을 모색하기

위해 수행되었다. 기존 연구 사례에서 타당한 방법이나 기준이 제시되지 않고 있기 때문에 수많은 밴드를 가지는 초분광영상에서 어떠한 밴드를 선택하느냐의 문제는 중요하다. 우선적으로 대체밴드를 설정하여 이들에 의한 식생지수 결과를 상대적으로 비교하였다. 비교방법에는 영상 차연산 기법과 분광미분을 적용하였다. 차연산에 의한 접근은 히스토그램을 해석하고 차연산 결과를 범주형 자료로 변환시켜 사용된 상대적 변동이 적은 밴드를 검토하였다. 차연산의 히스토그램과 분류를 통한 분석에서는 적절 밴드 선택에 대한 기준 없이 단지 상대적인 차이에 대한 특성만 해석하였다. 그 결과 대체밴드들 중에서 NDVI에서 red #3과 NIR #2, MSRI에서 red #2, red #4와 NIR #1이 좋은 결과를 보였고, NDVI와 MSRI 모두에서 red #3과 NIR #1이 좋은 결과를 보였다. 하지만 변동계수에 의한 해석은 평균에 대한 표준편차(변동)가 얼마나 되는가를 측정하는 것으로 퍼짐의 크기를 보는 것이다. 따라서 적절하다는 기준이 되지 못하고 기준되는 변동계수 값을 설정하는 근거도 부족하다. 다만 변동이 상대적으로 큰 식생지수는 적절하지 않다고 볼 수 있다. 분류를 통한 분석 또한 마찬가지이다. 55% 이하라는 기준을 임의로 설정하였지만 그에 대한 근거는 여전히 부족하다. 하지만 이를 통해서 식생지수 산출에 필요한 밴드선택은 반드시 필요한 것임을 반증할 수 있었다. 또한 NIR과 red 영역에서 1차미분과 2차미분을 실시하여 수중에 따라 반사곡선이 변화하는 지점(과장대)의 위치를 확인할 수 있었다. 이는 특정 밴드를 사용하였을 때의 변이가 적은 식생지수가 유효성을 가질 수 있다는 의미로 해석할 수 있다. 따라서 크지 않은 변동을 보여주는 특정 대체밴드 조합의 식생지수가 안정적인 지수 산출에 적절한 대체밴드로 결정될 수 있을 것이다. 분광미분을 통해서 간단하게는 red #1에서 반사도가 가장 낮고 NIR #4에서 반사도가 가장 높아 식생지수 결과의 값이 풍부할 것 같으나, 분석결과처럼 수중에 따라서 식생지수의 변동이 크게 나타났다. 변동이 적은 것으로 파악되는

밴드는 red #3와 NIR #2으로 파악되었다. 비율기반의 식생지수는 red영역에서의 반사도가 작을수록 NIR영역에서의 반사도가 클수록 그 산출결과는 풍부해질 것이다. 하지만 각 과장영역에서 어떠한 밴드가 대상지역의 식생의 생·물리적 변수를 잘 설명하는 것인지에 대한 정확한 해답은 다양하고 정확한 지상관측자료가 함께 검토되어야 한다. 다만 유사한 과장대를 형성하는 밴드들 중에서 변동이 적은 식생지수를 산출하도록 하는 적절한 밴드를 선택하는 것이 타당할 것이라 하는 가정 하에 식생지수들을 상대적으로 비교할 수 있었다.

하지만 본 연구에서 설정한 초분광영상의 운용설정(operation setting)이라는 전제조건이 따른다. 다른 설정이었다면 결과가 달라졌을지 아직은 알 수 없다. 추가적인 한계점으로 1:5,000 수치임상도와 1.25m 해상도의 항공기 탑재 초분광영상의 공간적 일치성에 다소 차이를 보이고, 항공촬영 전후와 촬영당시에 대상지역의 현장관측자료가 부족하기 때문이라 사료된다. 비록 잘 관리되고 지속적으로 관측된 현장정보가 부족한 한계점을 가지지만 식생의 활력도와 스트레스, 클로로필 농도 등의 영향에 민감한 식생지수이기 때문에, 현장에서 관측한 식생의 생·물리적 변수의 체계적 취득과 관리가 매우 중요하다. 이를 통해서 밴드선택의 적절한 기준으로 삼을 수 있을 것이다. 현장에서 관측한 식생의 생·물리적 변수가 존재하더라도 바이오매스 추정에 대한 정확도와 식생지수가 바이오매스 추정의 매핑정확도를 대신할 수 없는 단점이 해결해야 할 과제로 남아있다. Red와 NIR을 사용하는 식생지수의 유효밴드 결정을 위해서 향후 다양한 지역에 대한 영상자료와 다수의 현장 검증자료들이 수반된다면 보다 명확한 결과를 도출할 수 있을 것으로 기대한다. **KAGIS**

REFERENCES

Asner, G.P., J.A. Hicke and D.B. Lobell.

2003. Per-pixel analysis of forest structure-vegetation indices, spectral mixture analysis, and canopy reflectance modeling. In: M.A. Wulder and S.E. Franklin(ed.). Remote Sensing of Forest Environments: Concepts and Case Studies. Kluwer Academic Publishers, Stanford, California, USA. pp.209-254.
- Asrar, G., M. Fuchs, E.T. Kanemasu and J.L. Hatfield. 1984. Estimating absorbed photosynthetic radiation and leaf area index from spectral reflectance in wheat. *Agronomy Journal* 76(2):300-306.
- Avery, T.E., and G.L. Berlin. 1992. *Fundamentals of Remote Sensing and Airphoto Interpretation(5th)*. Macmillan Publishing Company, New York, 476pp.
- Bannari, A., D. Morin, F. Bonn and A.R. Huete. 1995. A review of vegetation indices. *Remote Sensing Review* 13 (1-2):95-120.
- Broge, N.H. and E. Leblanc. 2000. Comparing prediction power and stability of broadband and hyperspectral vegetation indices for estimating of green leaf area index and canopy chlorophyll density. *Remote Sensing of Environment* 76(2):156-172.
- De Jong, S.M., E.J. Pebesma and B. Lacaze. 2003. Aboveground biomass assessment of Mediterranean forest using airborne imagery spectrometry : the DAIS Peyne experiment. *Journal of Remote Sensing* 24(7):1505-1520.
- Gao, X., A.R. Huete, W. Ni and T. Miura. 2000. Optical-biophysical relationships of vegetation spectra without background contamination. *Remote Sensing of Environment*. 74(3):609-620.
- Haboudane, D., J.R. Miller, E. Pattey, P. Zarco-Tejada and I.B. Strachan. 2004. Hyperspectral vegetation indices and novel algorithms for predicting green LAI of crop canopies: modeling and validation in the context of precision agriculture. *Remote Sensing of Environment* 90(3):337-352.
- Huang, F., J. Ling, A. Shi and L. Xu. 2010. A band selection method for hyperspectral images using choquet fuzzy integral. *Journal of Computers* 5(7):1019-1026.
- Jang, G.S., K.A. Sudduth, S.Y. Hong, N.R. Kitchen and H.L. Palm. 2006. Relating hyperspectral image bands and vegetation indices to corn and soybean yield. *Korean Journal of Remote Sensing* 22(3):183-197.
- Jensen, J.R. 2005. *Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective(3rd)*. SIGMA Press, Seoul, 580pp.
- Kim, G.S. and T.K. Yim, 2005. Analysis of the spatial and temporal variability of NDVI time series in South Korea. The Proceeding of Korea Water Resources Association 2005 Conference. pp.1-4 (김광섭, 임태경. 2005. 남한지역 정규식생 지수의 시공간 변화도 분석. 한국수자원학회 학술발표대회 1-4쪽).
- Kim, T.W., D.J. Choi, G.J. We and Y.C. Suh. 2013. Detection of small green space in an urban area using airborne hyperspectral imagery and spectral angle mapper. *Journal of Korean*

- Association of geographic information Studies 16(2):88-100 (김태우, 최돈정, 위광재, 서용철. 2013. 분광각매퍼 기법을 적용한 항공기 탑재 초분광영상의 소규모 녹지공간 탐지. 한국지리정보학회지 16(2):88-100).
- Kim, T.W., G.J. We and Y.C. Suh. 2012. Correlation analysis with vegetation indices and vegetation-endmembers from airborne hyperspectral data in forest area. Journal of Korean Association of geographic information Studies 15(3):52-65 (김태우, 위광재, 서용철. 2012. 산림지역의 항공기 탑재 하이퍼스펙트럴 영상에 대한 식생 endmember와 식생지수의 상관분석. 한국지리정보학회지 15(3):52-65).
- Myneni, R.B., F.G. Hall, P.J. Sellers and A.L. Marshak. 1995. The interpretation of spectral vegetation indexes. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing 33(2):481-486.
- Roujean, J.L. and F.M. Breon. 1995. Estimating PAR absorbed by vegetation from bidirectional reflectance measurements. Remote Sensing of Environment 51:375-384.
- Rouse, J.W., R.H. Haas, J.A. Schell and D.W. Deering. 1974. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. Proceeding of Third ERTS-1 Symposium, NASA Goddard, NASA SP-351 pp.309-317.
- Sellers, P.J., J.A. Berry, G.J. Collatz, C.B. Field and F.G. Hall. 1992. Canopy reflectance, photosynthesis and transpiration, III a reanalysis using improved leaf models and a new canopy integration scheme. Remote Sensing of Environment 42:187-216.
- Shin, S.H., G.H. Koh, D.S. Kim and M.W. Pyeon. 2011. Band aggregation of hyperspectral images to detect vegetation information for U-City, proceeding of ICCV. pp.393-394.
- Sritakae, A. 2006. Predictive relations of forest stand parameters from hyperspectral remote sensing at Thetford forest, the UK. Master Thesis, International institute for Geo-Information Science and Earth Observation Enschede, The Netherlands. 75pp.
- Thenkabali, P.S., R.B. Smith and E. De Pauw. 2000. Hyperspectral vegetation indices and their relationships with agricultural crop characteristics. Remote Sensing of Environment 71(2):158-182.
- Tucker, C.J. 1979. Red and photographic infrared linear combination for monitoring vegetation. Remote Sensing of Environment 8(2):127-150.
- Zarco-Tejada, P.J., A. Berjon and J.R. Miller. 2004. Stress detection in crops with hyperspectral remote sensing and physical simulation models. Airborne Imaging Spectroscopy Workshop, 8 October 2004, Bruges, Belgium.
- Zarco-Tejada, P.J., J.R. Miller, T.L. Noland, G.H. Mohammed and P.H. Sampson. 2001. Scaling-up and model inversion methods with narrow-band optical indices for chlorophyll content estimation in closed forest canopies with hyperspectral data. IEEE Transactions on Geosciences and Remote Sensing 39(7):1491-1507.