

농촌지역 토지이용유형별 RapidEye 위성영상의 분광식생지수 시계열 특성

김현옥*, 염종민**, 김윤수***

The multi-temporal characteristics of spectral vegetation indices for agricultural land use on RapidEye satellite imagery

Hyun-Ok Kim*, Jong-Min Yeom**, Youn-Soo Kim***

Abstract

A fast-changing agriculture environment induced by global warming and abnormal climate conditions demands scientific systems for monitoring and predicting crop conditions as well as crop yields at national level. Remote sensing opens up a new application field for precision agriculture with the help of commercial use of high resolution optical as well as radar satellite data. In this study, we investigated the multi-temporal spectral characteristics relative to different agricultural land use types in Korea using RapidEye satellite imagery. There were explicit differences between vegetation and non-vegetation land use types. Also, within the vegetation group spectral vegetation indices represented differences in temporal changing trends as to plant species and paddy types.

초 록

세계적 기후온난화와 이상기온현상으로 최근 급변하는 농업환경에 대응하기 위해서는 농작물 작황관리 및 예측시스템의 과학화를 통한 정부차원의 대처능력 개선이 시급하다. 농업분야에서 위성정보의 활용은 고해상도 광학 및 레이더 영상의 상용화와 더불어 정밀 농업이라는 새로운 가능성을 열어주고 있다. 본 연구에서는 최근 농업분야에서 주목을 받고 있는 RapidEye 위성영상을 사용하여 우리나라 농촌지역의 토지이용유형별 분광식생지수의 시계열 특성을 살펴보았다. 식생과 비식생지역 간에 뚜렷한 시계열 변화양상이 나타났으며, 식생지역 내에서도 산림 수종별, 논 그룹별로 식생지수의 시계열 변화에 차이가 관찰되었다.

키워드 : RapideEye, multi-temporal (다중시기), spectral vegetation indices (분광식생지수), temporal characteristics (시계열 특성), agricultural land use (농업적 토지이용)

접수일(2010년 12월 21일), 수정일(1차 : 2011년 5월 4일, 2차 : 2011년 6월 15일, 게재 확정일 : 2011년 7월 1일)

* 영상활용기술팀/hokim@kari.re.kr ** 영상활용기술팀 /yeomjm@kari.re.kr *** 영상활용기술팀/younsoo@kari.re.kr

1. 서 론

전 세계적 기후변화와 이상기온현상은 농업환경의 변화에 직접적인 영향을 준다. 기상이변으로 인한 잦은 홍수와 가뭄, 농작물의 작황부진, 재배적지의 변화, 새로운 병충해와 잡초의 등장 등 여러 가지 문제점들이 보고되고 있다. 우리나라만 해도 작년 가을 기상불순으로 배추 등 채소류의 작황이 나빠지자 가격이 급등하면서 사회적 파장을 불러 일으켰으며, 이를 이유로 많은 농가에서 배추재배면적을 늘려 올해는 봄배추 출하량이 늘어나 배추값은 폭락하고 있다. 세계적으로도 농산물가격 급등으로 인한 물가상승, 즉 에그플레이션 현상은 최근 점점 심화되고 있다. 2010년 9월 아프리카 모잠비크에서는 식량가격 인상을 규탄하는 항의시위에서 13명이 사망하는 사고가 발생했으며, 2007년 멕시코에서도 옥수수가 바이오에탄올의 원료로 각광받으면서 주식인 토르티야의 가격이 폭등하자 소요사태가 일어났다. 러시아는 작년 세계 식품가격지수가 최고치에 이르는 등 곡물가가 상승하자 국내 농산물시장의 안정을 위하여 곡물수출금지 조치를 내린바 있다. 따라서 급속한 농업환경의 변화에 적절히 대응하기 위해서는 농산물 작황 예측 및 관리 시스템의 과학화를 통한 정부차원의 대처능력 개선이 시급하다.

농업분야에서 위성정보의 활용은 고해상도 광학 및 레이더 영상의 상용화와 더불어 정밀농업이라는 새로운 가능성을 열어주고 있다. 우리나라도 1m급 고해상도 다목적실용위성인 아리랑 2호가 2006년 성공적으로 발사되어 운용됨에 따라 경지면적조사나 작황파악 등에 활용하고자 하는 노력이 꾸준히 시도되고 있다 (박미성 외, 2010). 그러나 상대적으로 촬영폭 (15km)이 좁고 촬영주기(28일)가 길어 짧은 기간 내에 전 국토를 촬영하는데 어려움이 있으며, 이러한 관측 특성은 농작물의 작황상태를 반영할 수 있는 신속한 영상 데이터 획득을 어렵게 하여 농업분야 활용에 있어 제한요소로 작용한다. 최근 농업분야에서 주목을 받고 있는 독일의 RapidEye 위성은 아리

랑 위성 2호 보다 공간해상도가 다소 떨어지기는 하지만, 촬영주기가 월등히 짧고 작물의 종류나 작황에 민감하게 반응하는 Red Edge 분광정보를 제공한다 (표1). 따라서 고해상도 다목적실용위성과 연계 활용함으로써 보다 효과적인 농업정보 획득을 기대해 볼 수 있을 것이다.

한국항공우주연구원에서는 2011년 농업분야 위성정보 공공활용 시범사업으로 RapidEye 위성 영상의 국내 활용가능성 조사연구를 추진 중이다. 여름에 남한지역 전체를 신규 촬영할 계획이며, 전국단위 농업정보 추출을 위한 영상분석 방법론 개발과 국내 아리랑위성과의 연계활용방안 검토가 주요 내용이다. 이를 위한 기초 작업으로서 본 연구에서는 RapidEye AG사에서 제공해준 2010년 8월 촬영 영상을 가지고 우리나라 농촌지역의 주요 토지이용유형별 시계열 분광특성을 살펴 보았다.

2. 본 론

2.1 연구자료

2008년 8월 29일 성공적으로 발사되어 2009년부터 상용화되고 있는 RapidEye 광학위성은 농업분야의 활용을 주목적으로 독일에서 개발되었다. 다섯 대의 동일하게 제작된 위성이 동시에 지구를 관측할 수 있도록 설계되어 재방문 주기가 짧기 때문에, 단기간에 넓은 지역을 촬영하거나 동일지역에 대하여 촬영주기가 짧은 시계열 데이터를 얻는 것이 용이하다. 또한 식물의 클로로필 함량 및 질소공급 상태를 파악하는데 유용하다고 알려진 Red Edge 분광대를 갖고 있어 (Fiella & Penuelas, 1994), 농작물의 작황부진이나 갑작스런 기상 현상으로 인한 작물의 피해를 산출하는 등 농업부분에서의 활용잠재력이 기대되고 있다. 표 1은 RapidEye 위성의 기술적 특성이다 (RapidEye AG).

표 1. RapidEye위성의 시스템 특성

Mission Characteristic	Information	
Spacecraft Lifetime	7 years	
Orbit Altitude	630km in Sun-synchronous orbit	
Equator Crossing Time	11:00 (approximately)	
Sensor Type	Multi-spectral push broom imager	
Spectral Bands	<u>Name</u> <u>Spectral Bands</u> (nm)	
	Blue	440-510
	Green	520 - 590
	Red	630 - 685
	Red Edge	690 - 730
NIR	760 -850	
Ground sample distance (nadir)	6.5m	
Pixel Size (orthorectified)	5m	
Swath Width	77km	
On board storage	up to 1500km of image data per orbit	
Revisit Time	daily (off-nadir) / 5.5day (nadir)	
Image capture capacity	4 million sq km/day	
Dynamic Range	up to 12 bit	



그림 1. 연구지역 (2010년 8월 8일 RapidEye 3A영상을 True Color 합성)

본 연구에 사용된 RapidEye 영상은 RapidEye AG사에서 기본 전처리하여 공급하는 3A 타입이다. 태안지역 일대가 포함되는 full scene으로 2010년 6월 23일, 8월 8일, 9월 7일 총 세 장의 시계열 영상을 사용하였다.

2.2 연구방법

영상의 시계열 분광특성을 비교하기 위해서는 각각의 영상에서 차이를 보이는 대기현상을 보정하는 것이 필요하다. 구름 제거를 위해 임계값 방법을 이용하였으며, 통상적으로 위성영상 처리자의 주관적인 판단에 의해 임계치를 결정한다. 입사복사량은 지표물에 의해 반사되고 대기에 의해 흡수, 산란된 후에 다시 센서에 도달하는 태양광이기 때문에 정량적인 계산을 위해서는 이들 지표 특성과 대기 효과들이 충분히 고려된 복사 전달모델이 요구된다 (김용승과 강치호, 2002). 본 연구에서는 광학위성 영상에서 발생하는 대기 효과를 보정하기 위해 일반적으로 사용되는 6S (Second Simulation of Satellite Signal in the Solar Spectrum) 대기보정모델을 사용하였다 (Vermote et al., 1997). 대기보정을 위해 사용된 대기 조건은 중위도 미국 표준대기 값을 적용하였다. 지면 반사도를 산출하기 위하여 RapidEye의 각 밴드별 Response Function을 입력하였고, 균질지면의 BRDF (Bidirectional Reflectance Distribution Function)는 고려하지 않았다. 이러한 과정을 거쳐 각각의 분광밴드에 대하여 대기 보정된 지면반사도 (TOC: Top Of Canopy)가 모의되었다.

계절별 농업식생지역의 분광특성 변화를 알아보기 위해 TOC 자료를 이용하여 식생지수들을 산출하였다. 그리고 RapidEye영상이 가지고 있는 Red Edge밴드의 활용가능성을 검토해 보기 위해 기존의 식생지수 계산식에서 Red 밴드를 Red Edge 밴드로 치환한 변형 식생지수도 산출하였다. 본 연구에 사용된 식생지수는 표2와 같다.

태안지역 full scene에 나타나는 토지이용유형을 13가지로 구분하였다: 논 1, 2, 3 (9월 영상의

표 2. RapidEye 위성영상 분광 자료를 활용한 식생 관련 지수

Index	Name	Formula	Developed by
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index	$(R5-R1)/(R5+R1)$	Rouse et al. (1974)
edgNDVI	Red Edge Normalized Difference Vegetation Index	$(R5-R1)/(R5+R1)$	Sim and Gamon (2002)
Green NDVI	Green Normalized Difference Vegetation Index	$(R5-R1)/(R5+R1)$	Hansen and Schjoerring (2003)
RVI	Ratio Vegetation Index	$R5/R3$	Pearson and Miller (1972)
edgRVI	Red Edge Ratio Vegetation Index	$R5/R4$	Pearson and Miller (1972)

true color 합성에서 green, light green, light brown으로 색상의 차이를 보이는 벼 재배지역), 침엽수림, 활엽수림, 나지, 인삼밭, 비닐하우스, 저수지, 아스팔트, 건물지붕 (green, blue, red). 토지이용유형별 샘플지역(Training Area)을 ERDAS Imagine 9.1 의 AOI (Area Of Interest) 레이어로 저장하여 6, 8, 9월 영상에 동일하게 적용하였다. 단, 샘플지역이 구름의 영향권에 들어가는 경우는 제외시켰다.

3. 결 과

식생지역 (논, 침, 활엽수림)과 비식생지역 (나지, 아스팔트, 인삼밭, 비닐하우스, 건물, 저수지)의 뚜렷한 시계열 변화 차이가 모든 식생지수에서 나타났다 (표 3).

식생지역의 경우, 식생지수 값들은 6월에서 8월 사이 큰 폭으로 상승하고 8월에서 9월 사이 하락하는 경향을 보인다. 특히, 논에서 그러한 경향이 두드러지는데 이는 작년 국립농업과학연구원 연구 인근 지역에서 벼를 직접 채취하여 생체량과 엽면적지수를 분석한 결과에 상응한다. 즉, 6월 말에서 8월 중순까지 fresh biomass 와 dry biomass의 값이 급격히 증가하다가 9월로 넘어가면서 점차적으로 감소한다. 엽면적지수 또한 유사한 경향을 나타낸다.

논은 컬러색 합성 영상에서 육안으로 다르게 보여지는 세 개 그룹 (1: green, 2: light green, 3:

light brown)에 따라서도 시계열 변화의 차이가 나타난다. 2번 그룹 논지역의 모든 식생지수 값들이 6, 8, 9월 영상 모두에서 가장 높고, 3번 그룹 논지역이 가장 낮다. 이들 그룹 간에 일관된 경향으로 시계열 식생지수의 변화가 나타나는 것으로 미루어 실제 벼의 작황상태에 따른 차이일 것이라고 추측해 볼 수 있으나, 이를 검증할 수 있는 현장자료는 구할 수 없었다.

식생과 관련이 있는 토지이용유형 중에서 식생지수간의 차이를 비교해 보면, 6월에는 산림 즉 침·활엽수림의 식생지수 값들이 논에 비해 월등히 높지만, 8월에는 논지역의 식생지수 값들이 급격히 상승하여 오히려 더 높다. 9월에는 침엽수림에서 식생지수 값이 가장 높고, 활엽수림에서 가장 낮으며 그 중간에 논의 세 개 유형들이 속한다. 산림 수종별로는 침엽수림과 활엽수림의 식생지수 값들이 6월과 8월 영상에서는 거의 유사하다가 9월 영상에서 활엽수림의 식생지수 값들이 현격히 떨어진다.

식생이 피복되어 있지 않는 토지이용유형들의 경우도 식생지수 값에서 미약한 변화가 관찰되기는 하지만 그 차이가 아주 근소하다. 본 연구에 사용된 분광식생지수 값들은 대기보정이 된 반사도를 가지고 식생지수로 연산하였기 때문에 원칙적으로라면 아스팔트와 같이 비식생 토지이용유형의 경우 식생지수 값의 시계열 변화가 없어야 한다. 하지만 완벽한 대기보정이 사실상 어렵고, RapidEye 영상의 촬영공간해상도가 6.5m이기 때문에 폭이 좁은 도로나 토지이용의 경계부분에서

표 3 토양피복유형별 시계열 식생지수 변화

지수	논1			논2			논3			밭			나지			인삼밭					
	23. Jun.	8. Aug.	7. Sep.	23. Jun.	8. Aug.	7. Sep.	23. Jun.	8. Aug.	7. Sep.	23. Jun.	8. Aug.	7. Sep.	23. Jun.	8. Aug.	7. Sep.	23. Jun.	8. Aug.	7. Sep.			
NDVI	0.312	0.885	0.804	0.456	0.898	0.737	0.298	0.842	0.731	0.745	0.845	0.688	0.755	0.852	0.827	0.276	0.242	0.280	0.263	0.313	0.283
edgNDVI	0.154	0.656	0.508	0.254	0.661	0.441	0.146	0.614	0.483	0.467	0.570	0.459	0.448	0.562	0.529	0.162	0.171	0.191	0.145	0.268	0.171
greenNdVI	0.271	0.810	0.698	0.403	0.821	0.637	0.270	0.778	0.667	0.681	0.780	0.649	0.680	0.780	0.709	0.423	0.446	0.448	0.232	0.350	0.250
RVI	2.003	18.383	9.328	2.816	20.173	6.885	1.919	14.934	6.639	7.517	12.836	5.643	7.476	13.012	10.744	1.790	1.704	1.830	1.749	2.000	1.834
edgRVI	1.386	4.917	3.078	1.713	4.986	2.601	1.358	4.408	2.883	2.801	3.692	2.713	2.639	3.580	3.259	1.391	1.425	1.482	1.354	1.783	1.436

	아스팔트			저수지			비닐하우스			건물지붕(red)			건물지붕(blue)			건물지붕(green)					
	23. Jun.	8. Aug.	7. Sep.	23. Jun.	8. Aug.	7. Sep.	23. Jun.	8. Aug.	7. Sep.	23. Jun.	8. Aug.	7. Sep.	23. Jun.	8. Aug.	7. Sep.	23. Jun.	8. Aug.	7. Sep.			
NDVI	0.342	0.397	0.333	0.054	0.110	0.131	0.291	0.248	0.300	0.203	0.158	0.121	0.424	0.480	0.486	0.274	0.259	0.279			
edgNDVI	0.213	0.301	0.246	0.003	0.022	-0.065	0.195	0.206	0.231	0.141	0.140	0.128	0.372	0.480	0.482	0.192	0.227	0.240			
greenNdVI	0.370	0.411	0.351	-0.029	-0.087	-0.090	0.328	0.255	0.292	0.453	0.486	0.472	0.384	0.379	0.361	0.205	0.118	0.112			
RVI	2.284	2.863	2.139	1.122	1.276	1.389	1.871	1.731	1.938	1.588	1.484	1.339	2.535	3.092	3.037	1.781	1.737	1.817			
edgRVI	1.578	1.954	1.684	1.011	1.053	0.891	1.500	1.545	1.622	1.352	1.365	1.314	2.249	3.000	2.982	1.483	1.602	1.647			

믹스 픽셀이 발생할 수 있는 가능성도 높다.

식생지수들 간의 변화특성을 비교해 보면, 특히 RVI에서 식생 그룹과 비식생 그룹이 확연히 구분되는 것을 볼 수 있다. 뿐만 아니라, 비식생 토지이용유형들 사이의 계절적 변화폭 또한 상대적으로 가장 작다 (그림2). NDVI의 경우는, 6월

영상에서는 논지역과 나지, 건물지붕, 아스팔트와 같은 비식생 토지이용유형의 구분이 어렵지만, 8월과 9월 영상에서는 유형간의 차이가 좀 더 확실히 벌어진다.

분광식생지수 계산식에서 Red를 Red Edge밴드로 치환한 변형식생지수 값들의 변화특성을 살

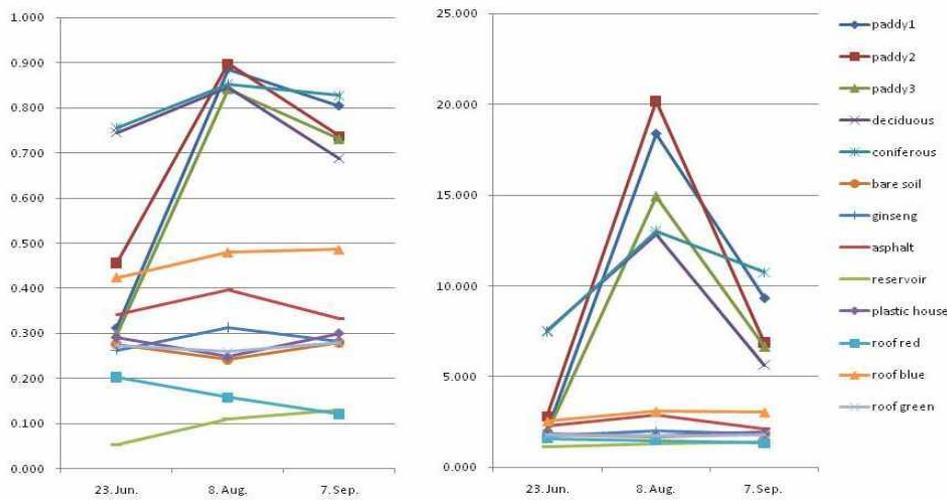


그림 2. NDVI와 RVI의 비교

펴보았다. NDVI와 edgNDVI의 경우, 식생지역에서는 edgNDVI의 값이 NDVI보다 다소 낮고 시계열 변화 양상은 유사하다. 하지만 비식생지역의 경우는 edgNDVI의 값이 전반적으로 낮아지는 하지만 시계열 변화 양상이 유형별로 조금씩 다르다. RVI와 edgRVI의 경우, 식생지역은 8월과 9월 영상에서 edgRVI의 값이 현격히 낮아지는데 비해 비식생지역은 값의 차이가 근소할 뿐만 아니라 시계열 변화도 거의 없다.

Red밴드 대신 Green밴드를 사용하는 Green NDVI는 식생관련 토지이용유형에서 NDVI 보다 다소 낮은 값을 나타낼 뿐 시계열 변화양상은 유사하다. 그러나 비식생 토지이용유형에서는 일관된 변화양상이나 그룹간의 차이를 명확히 구분하기가 어렵다. 주목할 만한 사항은 저수지의 식생지수값이 유일하게 마이너스 값으로 다른 토양피복유형과 비교하여 확연히 낮다는 것이다.

4. 결 론

본 연구에서는 충청북도 태안지역 일대를 중심으로 우리나라 농업지역에서 대표적으로 나타나는 토지이용유형별 RapidEye 위성영상의 시계열 분광특성을 살펴보았다. 원칙적으로 영상분석 결과는 직접 현장검증을 통하여 확인하여야 하지만, 본 연구에서는 이미 수확이 끝난 상태에서 촬영된 RapidEye 영상을 확보할 수 있었기 때문에 비교 검증할 수 있는 현장자료를 확보하는데 어려움이 있었다. 따라서 영상분석에서 나타난 식생지수 값들의 변화에 대한 원인규명이나 해석이 다소 제한적일 수 있다. 하지만, 본 연구가 2011년 여름 RapidEye 영상의 신규촬영과 함께 현장검증을 수행하기 위한 방향설정의 기초가 되었다는 측면에서는 의의가 있다고 하겠다.

향후 연구에서는 식생지수뿐만 아니라 식물의 클로로필 함량이나 생육상태를 파악할 수 있는 분광지수를 포함시키는 등 연구범위를 확대하여 RapidEye 영상의 분광특성을 극대화시켜 활용할 수 있는 방안을 찾아보고자 한다. 이를 위하여 국립농업과학원과의 협력 및 공동연구를 추

진 중이다.

시계열 위성영상의 분광지수 변화 특성을 파악하는데 있어 가장 중요한 것은 보다 정확한 TOC 반사도와 식생의 분광특성 관측 자료를 확보하는 것이다. 향후 연구에서는 국내 지상관측 자료를 활용하여 분광반사도의 정확도를 향상시킴으로써 위성영상처리 과정에서 생길 수 있는 오류를 최소화하고 문제점을 보완할 계획이다.

참 고 문 헌

1. 김용승, 강치호, "MODTRAN 모델을 이용한 다목적 실용위성 2호 MSC의 입사복사량 계산", 항공우주기술, 제1권, 제1호, 2002, pp.173-176
2. 박미성, 함보영, 민병걸, 김배성, "아리랑2호 영상을 이용한 당진군 벼 재배면적 추정", 농촌경제, 제 33권 제 3호, 2010, pp.1-17
3. Fiella, L., and Penueals, J., "The red edge position and shape as indicators of plant chlorophyll content, biomass and hydric status", International Journal of Remote Sensing (15), 2000, pp.1459-1470
4. Hansen, P. M., and J. K., Schjoerring, "Reflectance measurement of canopy using normalized difference vegetation indices and partial least squares regression", Remote Sensing of Environment, 86, 2003, pp.542-553
5. Pearson, R. L., and L. D., Miller, "Reflectance measurement of canopy using normalized difference vegetation indices and partial least squares regression", Remote Sensing of Environment, 86, 1972, pp.542-553
6. RapidEye AG, "RapidEye standard image product specifications", white paper, 2009, pp.1-47
7. Rouse, J. W., R. H., Haas, J. A., Schell, D. W., Deering, and J. C., Harlen, "Monitoring the vernal advancement of retrogradation (green wave effect) of natural vegetation",

NASA/GSFC, Type III, Final Report,
Greenbelt, MD, USA, 1974, pp.1-371

8. Sims, D. A., and J. A., Gamon, "
Relationships between leaf pigment content
and spectral reflectance across a wide range
of species, leaf structures and developmental
stages", Remote Sensing of Environment, 81,
2002, pp.337-354
9. Vermote, E., D., J. L., Tanre, M., Deuze,
Herman, and J. J., Morcrette, "Second
simulation of the satellite signal in the solar
spectrum: An overview", IEEE Trans.
Geosciences Remote sensing, 35, 1997,
pp.675-686