Short communication

<https://doi.org/10.7745/KJSSF.2018.51.4.522>

pISSN : 0367-6315

eISSN : 2288-2162

Seasonal and Diurnal Change of NDVI from UAV Imagery in Clear Day Condition

Kyung-Do Lee, Chan-Won Park, Kyu-Ho So, Ho-yong An, and Sang-Il Na*

National Institute of Agricultural Sciences, RDA, Wanju 56365, Korea

*Corresponding author: sangil917@korea.kr

ABSTRACT

Received: October 1, 2018

Revised: November 12, 2018

Accepted: November 14, 2018

Recent advanced UAV (Unmanned Aerial Vehicle) technology supply new opportunities for estimating crop condition using high resolution imagery. The objective of this study was to analyze the change of vegetation index in UAV imagery according to sun altitude. This study was conducted using a fixed-wing UAV, called Ebee, with Cannon S110 camera from November 2017 to September 2018 in the grass experiment of National Institute of Agricultural Sciences on a clear day. As a result, the NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) of UAV imagery decreased after 9 a.m. and showed a minimum value at 13 a.m. and increased since then. The solar zenith angle and the NDVI of UAV imagery showed a positive linear relationship. Therefore, in order to quantitatively compare and analyze the time series vegetation index, it is necessary to establish a UAV flight plan considering the change of solar zenith angle. It is thought that it will be necessary to examine cloudy days with various crop in the future.

Keywords: UAV, NDVI, Remote sensing, Diurnal change

Relationship between solar zenith angle and NDVI calculated by UAV imagery.

Introduction

농업인 고령화 및 인구 감소 추세에 대응하여 안정적인 농업 생산체계를 유지하기 위해서는 경영효율화 측면에서 농업생산 부분의 규모화 및 자동화가 필요하다 (Lee et al., 2016a). 파종/정식, 비료/농약 살포, 물 관리 및 수확 등 농업 전반의 효과적인 규모화와 자동화를 위해서는 농장 및 들녘 단위의 신속하고 과학적인 작황 정보의 생산과 활용이 수반되어야 한다 (Park et al., 2005; Kim, 2016).

위성영상을 활용해 식량수급 정책지원을 위한 국가 단위 작물 재배 면적과 수량 추정 등에 대한 연구가 수행되었으나, 위성영상 촬영 주기, 기상조건, 해상도 등의 제약으로 농장 및 들녘 단위 작황정보를 생산하기에는 한계가 있었다. 그러나 최근 무인비행체 기술 발전과 보급이 확산되면서 100-300 ha 규모 들녘 단위에 대해 5-10 cm 내외 고해상도 항공 영상 수집이 가능하게 되어 국내외적으로 무인비행체 영상을 활용한 작황 정보 생산 연구가 활발히 진행되고 있다.

국내의 경우 무인비행체 영상을 기반으로 식생의 활력도를 나타내는 식생지수 (Vegetation Index)를 산정하여 친환경농업단지 필지별로 헤어리베치 질소량을 추정한 연구 (Lee et al., 2015), 고랭지배추 주산지를 대상으로 무인비행체 영상 시계열 식생지수와 기상 자료를 이용하여 작황을 추정한 연구 (Na et al., 2016a), 벼, 맥류, 조사료 등 식량, 사료 작물의 작황을 추정한 연구 (Na et al., 2016b, 2016c; Lee et al., 2017) 등이 수행되어 왔다.

무인비행체 영상을 활용한 이들 작황 추정 연구는 항공 영상을 기반으로 시계열 식생지수를 산정하고 지상 표본조사 및 통계 자료와 비교하여 결과를 도출한 연구가 주를 이루었다. 따라서, 시계열 작황 변화를 정량적으로 비교, 분석하기 위해서는 무인비행체 항공영상 및 이를 기반으로 한 식생지수 특성에 대한 이해가 필요하다.

위성, 항공영상은 촬영 시점의 기상, 태양 고도, 카메라 특성 등 다양한 촬영 환경에 따라 촬영된 영상의 데이터 값 (DN: Digital Number)이 변화 될 수 있으므로 식물체의 고유한 반사율 값 (Reflectance)과 식생의 특성을 잘 반영할 수 있는 식생지수를 산정하여 활용하게 된다 (Lee et al., 2016b). Lee et al. (2016b)은 고정익 무인비행체 (Ebee, Sensefly, Swiss)를 대상으로 2015년 3월부터 2016년 3월까지 1년 동안 동일한 지역에서 대표적인 식생지수인 NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) 값의 특성을 분석하여 무인비행체 영상 기반의 NDVI를 활용한 농작물 생육 모니터링 적용 가능성을 보고한바 있다. 그러나 위 연구는 유사 시간대에 촬영된 일 대표 식생지수를 활용하여 영상 촬영 시 지상센서로 측정된 식생지수를 비교 평가한 연구로서 태양 고도에 따른 식생지수 변화에 대한 검토는 부족하였다.

따라서 본 연구는 맑은 날, 고정익 무인비행체에 많이 활용되고 있는 Cannon사의 S110 카메라를 (Na et al., 2016a, 2016b, 2016c; Lee et al., 2015, 2016b, 2017) 이용하여 2017년 11월부터 2018년 9월까지 계절별 및 하루 중 시간대별로 무인비행체 항공영상을 촬영하여 태양고도에 따른 NDVI 식생지수 변화 특성을 분석하기 위해 수행하였다.

Materials and Methods

본 연구는 전북 완주군 이서면에 위치한 국립농업과학원 잔디 식재 운동장 (35°49'35.72"N, 127°2'24.76"E)에서 수행하였다 (Fig. 1). 계절별로 대체로 맑은 날씨를 보였던 2017년 11월 30일, 2018년 4월 17일, 7월 20일, 9월 12일에 대해 오전 9시부터 오후 4시까지 1시간 간격으로 고정익 무인비행체 (Ebee, Sensefly, Swiss)에 식생지수 산정을 위해 녹색, 적색, 근적외 (중심파장 각 Green 525 nm, Red 625 nm, NIR 850 nm) 밴드 카메라 (S110, Cannon)를 탑재하여 고도 140 m 내외에서 해상도 5 cm, 횡중복도 60%, 종중복도 75%로 설정하여 항공영상을 획득하였다. 또한, 잔디

생육을 관찰하고자 청색, 녹색, 적색밴드 카메라(WX, Sony)를 탑재하여 매 촬영일 10시경에 해상도 5cm, 횡중복도 60%, 종중복도 75%로 설정하여 항공영상을 획득하였다.

Fig. 1. Location of the study area.

Table 1. UAV flight date and weather condition.

Date	Time	Solar Altitude Angle (degree)	Solar Zenith Angle (degree)	Cloud amount	Wind speed (m/s)
2017-11-30	9:00	15.5	74.5	0	3.8
	10:00	23.6	66.4	0	2.2
	11:00	29.5	60.5	0	2.2
	12:00	32.3	57.7	0	4.1
	13:00	31.8	58.2	0	3
	14:00	27.9	62.1	0	3.3
	15:00	21.2	68.8	0	2.9
	16:00	12.5	77.5	0	3.3
2018-04-17	9:00	35.9	54.1	3	0.4
	10:00	47.3	42.7	5	1.7
	11:00	57.2	32.8	3	1.9
	12:00	63.6	26.4	3	2.4
	13:00	63.8	26.2	2	1.7
	14:00	57.6	32.4	2	2.3
	15:00	47.9	42.1	2	1.7
	16:00	36.6	53.4	1	4.3
2018-07-20	9:00	40.3	49.7	0	0.2
	10:00	52.3	37.7	0	0.5
	11:00	63.7	26.3	1	1.1
	12:00	72.7	17.3	1	1.9
	13:00	74.1	15.9	1	1.8
	14:00	66.5	23.5	1	2
	15:00	55.5	34.5	1	1.7
	16:00	43.6	46.4	1	0.8
2018-09-12	9:00	32.7	57.3	0	1.1
	10:00	43.5	46.5	0	0.8
	11:00	52.4	37.6	0	1
	12:00	57.7	32.3	0	1.7
	13:00	57.5	32.5	3	1
	14:00	51.9	38.1	3	1.2
	15:00	42.9	47.1	6	1.9
	16:00	32.0	58.0	6	1.8

1회 촬영 시 20장 내외로 촬영된 항공 영상을 영상전처리 프로그램 (Emotion, Sensefly, Swiss)을 통해 촬영 당시 비행체의 고도, 방향 등 위치 정보와 결합한 후 영상 합성 프로그램 (Tera3D, Pix4D, Swiss)을 통해 한 판의 합성영상과 반사율 영상으로 제작하였다 (Lee et al., 2016).

무인비행체 촬영일 및 시간의 태양 고도각, 천정각, 운량 및 풍속은 Table 1과 같았다. 태양 고도각은 지면과 태양의 각도이며, 태양 천정각은 천정과 태양 사이 각도로서 90에서 태양 고도각을 빼서 구할 수 있는데 2017년 11월 30일이 57.7도에서 77.5도로 가장 높았으며 2018년 7월 20일이 15.9도에서 49.7도로 가장 낮았다. 무인비행체 영상 품질에 영향을 줄 수 있는 풍속과 운량의 경우, 풍속은 모두 5 m/s 이하로서 무인비행체 운용과 영상 촬영, 처리에 큰 영향이 없었으며 운량은 기상청 기준으로 맑음 (운량 0-2), 구름 조금 (운량 3-5), 구름 많음 (운량 6-8), 흐림 (운량 9-10)으로 나눌 수 있는데 2017년 11월 30일과 2018년 7월 20일은 맑았으며, 2018년 4월 17일은 오전에 구름이 조금 있었으나 오후에는 맑았으며 2018년 9월 12일의 경우 오전에는 맑았으나 오후 3시 이후 구름이 많았다.

식생지수는 식물체의 질소량과 직접적인 비례관계에 있는 엽록소의 분광반사 특성이 주로 적색 (Red), 청색 (Blue) 파장은 흡수하는 반면 근적외선 (NIR: Near InfraRed) 파장은 반사하는 현상을 바탕으로 이들 파장을 조합하여 녹색 식물의 상대적 분포량과 활동성을 평가하는 지표로 널리 사용되어 왔다 (Tomas and Gausman, 1977). 본 연구에서는 적색 파장과 근적외선 파장의 반사율을 이용하여 계산하는 정규화식생지수 (NDVI)를 사용하였다 (Eq. 1). NDVI는 1974년 Rouse 등이 개발한 이래로 식생의 생체량, 엽록소 함량, 질소량 추정에 널리 활용되고 있다 (Cohen, 1991; Lyon et al., 1998).

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{\rho_{NIR} + \rho_{RED}} \quad (\text{Eq. 1})$$

여기서, ρ_{NIR} 은 근적외선밴드의 스펙트럼 반사율이며, ρ_{Red} 는 적색밴드의 스펙트럼 반사율이다. 무인비행체 영상 식생지수는 Leica사의 Erdas Imagine 및 ESRI사의 Arcgis Arcinfo 프로그램을 사용하여 산정하였다.

Results

2017년 11월부터 2018년 9월까지 맑은 날을 대상으로 오전 9시부터 오후 4시까지 1시간 간격으로 촬영한 무인비행체 영상의 NDVI식생지수 변화는 Fig. 2 및 Table 2와 같았다. 잔디 생육이 정지한 겨울철 촬영일 (2017년 11월 30일) 경우 NDVI는 -0.004에서 0.056의 값을 보여 다른 3 시기 영상에 비해 가장 낮은 경향을 보였다. 일간 변화로는 9시 이후 조금씩 감소하다 14시 이후부터 증가하는 경향을 보였다. 2018년 4월 17일 촬영한 항공영상으로 산정한 NDVI의 경우 0.117-0.158의 범위를 보였는데 오전 9시 이후 점차 감소하다 13시에 최솟값을 보이고 이후 다시 증가하는 ‘U’자형 증감 경향을 보였다. 가장 큰 값과 작은 값의 차이는 0.041이었으며 이는 일 평균 값 대비 30.4%에 해당하였다.

2018년 7월 20일 촬영한 항공영상으로 산정한 NDVI의 경우 0.179-0.224의 범위를 보였는데 4월 17일과 유사하게 오전 9시 이후 점차 감소하다 13시에 최솟값을 보이고 이후 다시 증가하는 경향을 보였다. 가장 큰 값과 작은 값의 차이는 0.045였으며 일 평균 값 대비 22.0%에 해당하였다. 2018년 9월 12일 촬영한 항공영상으로 산정한 NDVI의 경우 0.180-0.226의 범위를 보였는데 4월 17일과 7월 20일의 경향과 유사하게 오전 9시부터 차츰 NDVI값이 감소하다 13

Fig. 2. Seasonal and diurnal variation of NDVI calculated by UAV imagery.

Table 2. Statistics of NDVI calculated by UAV imagery (n=8).

ITEM	NDVI			
DATE	Nov. 30 th 2017	April 17 th 2018	July 20 th 2018	Sep.12 th 2018
Average	0.011	0.137	0.204	0.203
Standard deviation	0.020	0.014	0.014	0.017
Max.	0.056	0.158	0.224	0.226
Min.	-0.004	0.117	0.179	0.180
Range	0.060	0.041	0.045	0.046

시에 최솟값을 보이고 이후 14시에 다시 증가하였으나 15시와 16시의 경우 지속적으로 증가하지 않고 13시-14시와 유사한 경향을 보였다. 이는 매시 정각에 무인비행체 비행과 동시에 지면으로부터 수직방향으로 촬영된 사진에서 보면 (Fig. 3), 13시까지는 구름 없이 맑은 날씨에서 촬영이 진행되었으나 14시부터 구름이 증가하면서 15시-16시 경우 구름으로 인한 영향을 받았기 때문으로 판단된다. 구름 없이 맑았던 9시부터 13시까지의 NDVI 변화는 0.188-0.226의 범위에서 가장 큰 값과 작은 값의 차이는 0.037이었으며 일 평균값 대비 18.4%에 해당하였다. 2018년 7월 20일과 2018년 9월 12일에 촬영한 항공영상의 NDVI 값 범위가 각각 0.179-0.224와 0.180-0.226으로 유사하게 나타났는데 이는 잔디 생육이 겨울철 (2017년 11월)과 봄철 (2018년 4월)에는 저조하였다가 여름철 (2018년 7월) 이후 가을철 (2018년 9월)까지 왕성하였기 때문으로 판단된다 (Fig. 4).

Fig. 3. Photo of sky condition in UAV flight time on Sep. 12th 2018.

Fig. 4. Study area RGB photos of UAV flight day.

Ishihara et al. (2015)은 지상 분광센서를 이용하여 맑은 날 오전 9시부터 오후 4시까지 10분간격으로 벼 포장에서 측정한 반사율로 NDVI를 산정한 결과, NDVI는 오전 9시 이후 지속적으로 감소하다 정오 무렵 최솟값을 보이고 이후 오후 4시까지 상승하는 경향을 보였으며, 이러한 경향은 NDVI 값이 낮은 벼 생육 초기보다는 벼 생육 중기와 후기에 뚜렷했다는 결과를 제시하였고 이는 본 연구 결과와 유사하였다.

구름 없이 맑은 날 계절 및 일간 태양 고도 변화에 따른 무인비행체 영상 NDVI변화를 나타내기 위해 영상 촬영 당시 구름이 많았던 2018년 9월 12일 3시와 4시 촬영된 영상 결과를 제외하고 무인비행체 촬영 일 및 촬영 시간의 태양 천정각과 무인비행체 영상 NDVI를 도시한 것은 Fig. 5와 같았다. 태양 천정각의 하루 중 변화는 11월 30일 촬영 시 57.7도에서 77.5도로 가장 큰 값을 보였으며 7월 20일 촬영 시 15.9도에서 49.7도로 가장 작은 값을 보였다. 4월과 9월 촬영 시 천정각은 각각 26.2도에서 54.1도, 32.3도에서 58.0도로 유사한 값을 보였다. 태양 천정각과 무인비행체 영상 NDVI는 양의 선형의 관계를 보였으며, 4월, 7월 9월 태양 천정각에 따른 무인비행체 영상 NDVI 증가 기울기는 0.009에서 0.0013으로 유사한 경향을 보였다.

이처럼 태양 천정각에 따라 무인비행체 영상 NDVI가 변화하는 것은 태양과 센서의 관측 방향에 따라 반사도 값이 달라지는 양방향성 효과 (Bidirectional effects)에 의한 것으로 판단된다 (Yeom et al. 2005; Stark et al. 2016). Stark

Fig. 5. Relationship between solar zenith angle and NDVI calculated by UAV imagery.

et al. (2016)은 무인비행체에 많이 활용되는 디지털 카메라에 대해 양방향성 반사도 분포 함수 (Bidirectional Reflectance Distribution Function, BRDF)를 구축하여 일간 NDVI 식생지수 변화를 모의 (Simulation)한 결과, 정오를 기준으로 U 자형의 변화 경향을 보일 수 있음을 보고하였다. 본 연구에서는 실측값을 통해 Stark et al. (2016)의 모의와 유사한 결과를 얻어 Stark et al. (2016)의 연구를 실증할 수 있었다.

Conclusions

태양고도에 따른 NDVI 식생지수 변화 특성을 분석하기 위해 맑은 날, 고정익 무인비행체에 많이 활용되고 있는 카메라를 활용하여 2017년 11월부터 2018년 9월까지 계절별 및 하루 중 시간대별로 무인비행체 항공영상을 촬영하고 NDVI 식생지수 변화를 분석하였다. 식생 활력이 낮았던 2017년 11월 30일을 제외한 2018년 4월 17일, 7월 20일, 9월 12일 무인비행체 항공영상의 NDVI는 대체로 9시 이후 감소하다 13시에 최솟값을 보이고 이후 증가하는 경향을 보였으며 일 평균값 대비 최고 값과 최솟값의 차이는 18.4-30.4%의 값을 보였다. 태양 천정각과 무인비행체 영상 NDVI는 양의 선형의 관계를 보였으며, 4월, 7월, 9월 태양 천정각에 따른 무인비행체 영상 NDVI 증가 기울기는 0.009에서 0.0013으로 유사한 경향을 보였다. 이처럼 태양 천정각에 따라 무인비행체 영상 식생지수가 계절별 및 하루 중 시간대별로 변화하고 있으므로 시계열 식생지수의 정량적 비교, 분석을 위해서는 태양 천정각 변화를 고려한 촬영 계획 수립과 함께 추가 연구를 통해 태양 천정각을 고려한 식생지수 보정 방안에 대한 연구도 필요할 것으로 판단된다.

본 연구에서는 대체로 구름 없이 맑은 날, 연중 식생을 모니터링 할 수 있는 잔디를 대상으로 무인비행체 영상 NDVI의 계절별 및 하루 중 변화를 모니터링 하여 태양 천정각에 따라 무인비행체 영상 NDVI가 변화되는 것을 확인하였다. 그러나 무인비행체 영상 NDVI는 작물 종류, 재식간격, 옆 분포 등 군락 특성뿐 아니라 구름에 의해서도 영향을 받을 수 있으므로 향후 이에 대한 추가 연구가 필요할 것으로 판단된다.

Acknowledgement

This work was carried out with the support of “Cooperative Research Program for Agriculture Science & Technology Development (Project No. PJ012071012018)” Rural Development Administration, Republic of Korea.

References

- Cohen, W.B. 1991. Response of vegetation indices to change in three measures of leaf water stress. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 57(2):195-202.
- Ishihara, M., Y. Inobe, K. Ono, M. Shimizu, and S. Matsuura. 2015. The impact of sunlight conditions on the consistency of vegetation indices in croplands—effective usage of vegetation indices from continuous ground-based spectral measurements. *Remote Sensing*. 7:14079-14098.
- Jensen, J.R. 2013. *Remote sensing of the environment: an earth resource perspective*. Pearson education limited. 620p.
- Kim, S.H. 2016. A study on the diffusion of Korean agricultural ICT and role of the agricultural cooperative federation using the theory of technology adoption life cycle and chasm. *Cooperative management review*. 45:1-27(in Korean).
- Lee, B.O., J.W. Yoon, J.H. Yang, and C.Z. Jin. 2016a. Strategies for the value innovation of agriculture in Korea. *Journal of Agricultural, Life and Environment Sciences*. 28(1):43-51 (in Korean).
- Lee, K.D., C.W. Park, K.H. So, and S.I. Na. 2017. Selection of optimal vegetation indices and regression model for estimation of rice growth using UAV aerial images. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 50(5):409-421 (in Korean).
- Lee, K.D., S.I. Na, S.C. Baek, K.D. Park, J.S. Choi, S.J. Kim, H.J. Kim, H.S. Choi, and S.Y. Hong. 2015. Estimating the amount of nitrogen in hairy vetch on paddy fields using unmanned aerial vehicle imagery. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 48(5):384-390.
- Lee, K.D., Y.E. Lee, C.W. Park, S.Y. Hong, and S.I. Na. 2016b. Study on reflectance and NDVI of aerial images using a fixed-wing UAV “Ebee”. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 49(6):731-742.
- Lyon, J.G., D. Yuan, R.S. Lunetta, and C.D. Elvidge. 1998. A change detection experiment using vegetation indices. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 64(2):143-150.
- Na, S.I., C.W. Park, Y.K. Cheong, C.S. Kang, I.B. Choi, and K.D. Lee. 2016c. Selection of Optimal vegetation indices for estimation of barley & wheat growth based on remote sensing - an application of unmanned aerial vehicle and field investigation data. *Korean Journal of Remote Sensing*. 32(5):483-497 (in Korean).
- Na, S.I., S.Y. Hong, C.W. Park, K.D. Kim, and K.D. Lee. 2016a. Estimation of highland Kimchi cabbage growth using UAV NDVI and agro-meteorological factors, *Korean J. Soil Sci. Fert.* 49(5):420-428 (in Korean).
- Na, S.I., S.Y. Hong, C.W. Park, K.D. Kim, and K.D. Lee. 2016b. Mapping the spatial distribution of IRG growth based on UAV. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 49(5):495-502 (in Korean).
- Park, J.K., H.J. Lee, J.W. Hwang. 2005. An analysis of adoption possibility for precision agriculture in Korean rice farms. *Korean journal of economics*. 46(4):1-23.
- Stark, B., T. Zhao, and Y.Q. Chen. 2016. An analysis of the effect of the bidirectional reflectance distribution function on remote sensing imagery accuracy from small unmanned aircraft systems. 2016 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS), 1342-1350.
- Tomas, J.R. and H.W. Gausman. 1977. Leaf reflectance vs. leaf chlorophyll and carotenoid concentrations for eight crops. *Agron. J.* 69:799-802.