

Estimation of Highland Kimchi Cabbage Growth using UAV NDVI and Agro-meteorological Factors

Sang-II Na, Suk-Young Hong¹, Chan-Won Park, Ki-Deog Kim², and Kyung-Do Lee*

Climate Change and Agro-Ecology Division, National Institute of Agricultural Sciences, RDA, Wanju 55365, Korea

¹*Soil and Fertilizer Management Division, National Institute of Agricultural Sciences, RDA, Wanju 55365, Korea*

²*Highland Agriculture Research Center, National Institute of Crop Science, RDA, Pyeongyang 25342, Korea*

(Received: June 16 2016, Revised: September 5 2016, Accepted: September 6 2016)

For more than 50 years, satellite images have been used to monitor crop growth. Currently, unmanned aerial vehicle (UAV) imagery is being assessed for analyzing within field spatial variability for agricultural precision management, because UAV imagery may be acquired quickly during critical periods of rapid crop growth. This study refers to the derivation of growth estimating equation for highland Kimchi cabbage using UAV derived normalized difference vegetation index (NDVI) and agro-meteorological factors. Anbandeok area in Gangneung, Gangwon-do, Korea is one of main districts producing highland Kimchi cabbage. UAV imagery was taken in the Anbandeok ten times from early June to early September. Meanwhile, three plant growth parameters, plant height (P.H.), leaf length (L.L.) and outer leaf number (L.N.), were measured for about 40 plants (ten plants per plot) for each ground survey. Six agro-meteorological factors include average temperature; maximum temperature; minimum temperature; accumulated temperature; rainfall and irradiation during growth period. The multiple linear regression models were suggested by using stepwise regression in the extraction of independent variables. As a result, $NDVI_{UAV}$ and rainfall in the model explain 93% of the P.H. and L.L. with a root mean square error (RMSE) of 2.22, 1.90 cm. And $NDVI_{UAV}$ and accumulated temperature in the model explain 86% of the L.N. with a RMSE of 4.29. These lead to the result that the characteristics of variations in highland Kimchi cabbage growth according to $NDVI_{UAV}$ and other agro-meteorological factors were well reflected in the model.

Key words: UAV, Highland Kimchi cabbage, Growth estimating equation, NDVI

Statistical performance of highland Kimchi cabbage growth parameters retrievals using regression equation extracted from $NDVI_{UAV}$ and agro-meteorological factors.

	Regression equation	RMSE	R^2
P.H.	$y = 15.683NDVI_{UAV} + 0.023Rainfall - 0.016$	2.22	0.940
L.L.	$y = 25.147NDVI_{UAV} + 0.003Rainfall + 2.514$	1.90	0.939
L.N.	$y = 13.406NDVI_{UAV} + 0.021Temp_{acc} + 6.308$	4.29	0.863

※ P.H. : Plant Height, L.L. : Leaf Length, L.N. : Outer Leaf Number

*Corresponding author: Phone: +82632382512, Fax: +82632383823, E-mail: kdlee11@korea.kr

§Acknowledgement: This study was carried out with the support of "Cooperative Research Program for Agriculture Science & Technology Development (PJ011419)" Rural Development Administration, Republic of Korea.

Introduction

배추는 우리나라 국민들이 가장 많이 소비하는 채소 중 하나로서 출하되는 시기에 따라 월동배추 (3~4월), 봄배추 (5~6월), 여름배추 (8월~9월), 가을배추 (10월~11월)로 구분된다. 가을재배가 전체 생산량의 67%로 대부분 가을에 생산되고, 봄재배 14%, 겨울재배 12%, 여름재배 7% 정도이다 (KOSIS, 2016). 그 중 여름배추는 높은 온도와 습도로 인한 생리장애와 병해충으로 평지에서 재배하기 어려워 대부분 고랭지 지역 노지에서 재배되고 있어 고랭지배추라고도 한다. 고랭지는 해발고도가 높아질수록 기온이 점차 낮아지는 기후특성 때문에 포장재배 가능 기간이 짧다는 단점에도 불구하고 평지에서 고온으로 재배가 어려운 각종 채소작물의 단경기 고품질 생산에 매우 중요한 역할을 맡고 있다. 그러나 최근 재배면적 감소와 기상이변으로 가격 변동이 커짐에 따라 고랭지배추 가격은 매년 사회적 관심이 되고 있다 (KREI, 2014). 여름에 생산되는 고랭지배추는 서늘한 기후를 좋아하는 저온성 채소로 해발 400 m 이상의 지역에서 재배된다. 대부분 산악 경사지에 위치해 빈번한 기상이변에 의한 작황 불안정으로 가격의 진폭이 매우 크게 나타나고 있으며, 피해 정도는 가을배추의 가격변화에도 상당한 영향을 미친다.

고랭지배추의 재배면적은 최근 10여 년간 절반 가까이 감소함에 따라 생산변동에 따른 가격 변동 가능성이 확대되었다. 또한, 주기적인 가격파동으로 인하여 사회적 이슈가 됨에 따라 관련 대책들이 반복적으로 발표되어 왔다. 그러나 이들 대부분은 수급 및 가격 안정에 초점이 맞추어진 생산 및 유통 관련 정책들이며 관련 연구들 또한 계약재배, 직거래 방안 등 생산 및 유통부문을 주로 다루어 왔다 (KREI, 2014). 따라서 기존의 연구로는 합리적 영농계획 수립 지원에 한계가 있는 것이 사실이며, 이를 해결하기 위해서는 배추의 작황에 대한 신속하고 선제적인 평가 기술이 필요하다. 또한, 지속적이고 안정적인 배추 수급 대책 수립을 위해서 작황 변동 및 병해충 발생 유무 등을 사전에 모니터링 하고 예측하는 등의 신속한 농업 현장 정보 수집과 분석 기술이 시급한 실정이다.

이에 따라 위성, 항공영상 등 원격탐사 기술을 이용한 농작물 생육이상 판별, 시계열 정보 생산을 통한 생산량 예측 모형 구축 등의 연구가 이루어지고 있다. Hong et al. (2015)은 북한의 봄 가뭄 보도에 대해 판단할 수 있는 객관적인 자료를 생산하여 향후 미치는 영향에 대해 전망하기 위해 위성 영상과 기상자료를 이용하여 작물의 생육 및 농경지 관측 정보를 주기적으로 처리하여 2015년 봄철 북한의 작황 정보를 생산하고 그 결과를 보고하였으며, Na et al. (2015a)은 가을배추를 대상으로 생육기간 동안 시계열 RapidEye 위성영상의 정규화 식생지수 (Normalized Difference Vegetation Index; NDVI)와 생육인자와의 상관성을 분석하고, 이를 이용하여 원격탐사 기반의 가을배추 생육추정 모형을 개발하였다.

한편, 첨단 기술이 발전함에 따라 최근에는 무인비행체 (Unmanned Aerial Vehicle; UAV)를 농업분야에 활용하려는 연구가 대두되고 있다. 무인비행체는 위성, 유인항공기 등 기존 원격탐사 플랫폼에 비해서 촬영범위는 좁지만 10 cm 안팎의 높은 해상도와 함께 사용자가 촬영시기를 결정하여 영상자료를 수집할 수 있고, 영상의 가격이 상대적으로 저렴하다는 장점이 있어 들녘단위 농경지 (100~1,000 ha)의 원격탐사자료 수집에 유용하다 (Lee et al., 2015). 따라서 전 세계적으로 넓은 농업 지역은 물론 우리나라와 같이 소규모 다품종의 복합적인 요소가 혼재되어 있는 지역에서 중요한 역할을 할 수 있을 것으로 기대되고 있다. EPIS (2014)는 무인비행체 영상을 통한 농작물 분류 결과를 도출하고 농작물 재배면적이나 생산량 예측에 활용 가능성이 높다고 평가하였으며, 농촌진흥청 국립농업과학원은 채소의 안정적인 공급을 위해 재배 면적 및 단수 예측이 필요하다고 판단하여 2015년부터 2018년까지 4년간 채소 작황과 관련된 연구에 무인비행체 영상을 적극적으로 활용하고 있다 (Na et al., 2015b). 또한, Lee et al. (2015)은 무인비행체를 이용하여 헤어리베치를 풋거름으로 재배하는 단지를 촬영하고, 영상에서 추출한 식생지수와 헤어리베치의 질소 생산량 비교를 통해 재배단지 내 질소 생산량의 공간적 분포 특성을 추정하였다.

본 연구는 고랭지배추를 대상으로 생육기간 동안 무인비행체 영상을 이용한 시계열 NDVI 및 기상요인과 생육인자와의 상관성을 분석하고, 이를 이용하여 원격탐사 기반의 고랭지배추 생육추정 모형을 개발하는 것을 목적으로 하였다.

Materials and Methods

연구대상지역 본 연구에서는 Fig. 1과 같이 고랭지배추의 주산단지 중 강원도 강릉시 왕산면 대기리 안반덕의 고랭지배추 재배지 일대를 대상으로 무인비행체 촬영 및 현장 조사를 통하여 고랭지배추의 생육상황을 모니터링 하였다. 태백산지 능선부에 근접한 왕산면 대기리는 전형적인 산촌이 발달된 지역으로 약 700 m 고도에 소규모의 분지를 형성하고 있다. 분지 내부는 매우 평탄하여 경지를 조성하는데 유리하며 고도가 높아서 여름철의 냉량한 기후를 이용하여 고랭지농업을 하기에 적합하다. 그 중 안반덕은 태백의 매봉산, 귀네미골과 함께 백두대간 강원권역의 대표적인 고랭지배추밭이다. 이 지역은 해발 1,100 m의 분지 지형으로 기반암은 화강암이면서 고원 지형이 넓게 펼쳐져 있는 곳이다. 고루포기산 줄기에 위치하여 피터령을 중심으로 대규모 우량농지가 분포하고 있으며, 1965년부터 화전민에 의해 개간돼 현재는 160 ha에 해당하는 넓은 면적에서 4월부터 10월까지 배추, 무, 양배추, 감자 등을 집단으로 재배하고 있다.

무인비행체 영상 촬영 및 처리 무인비행체 영상 촬영

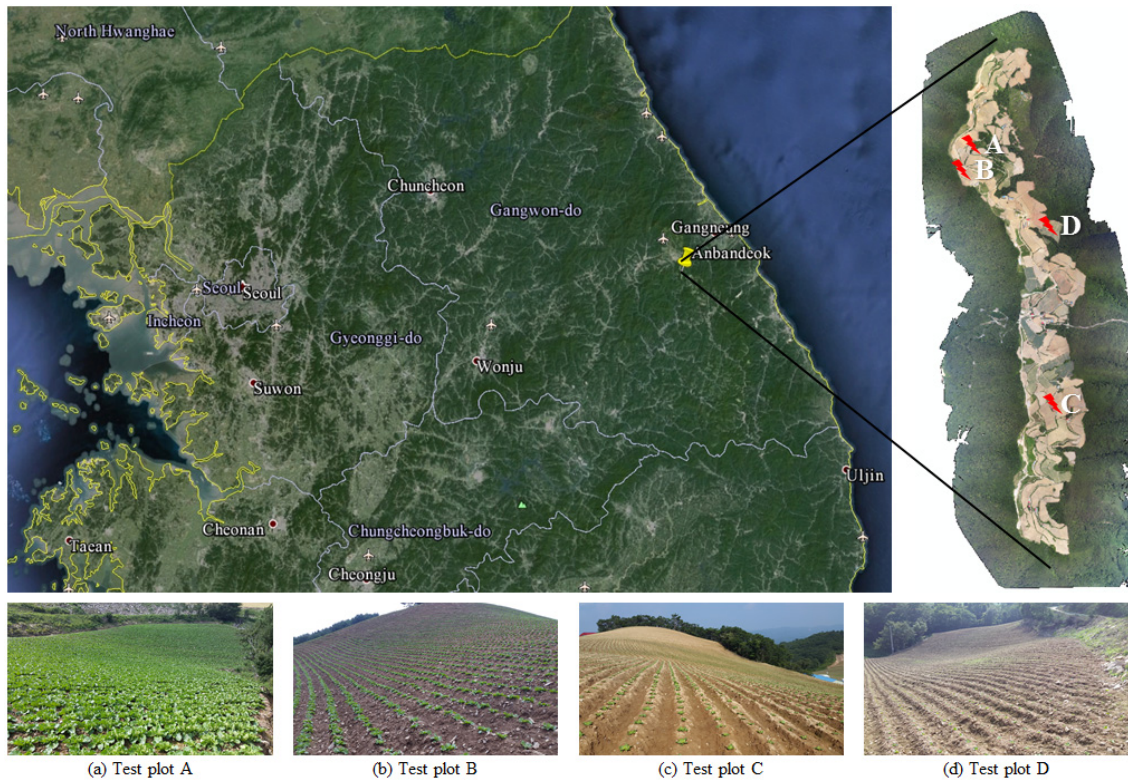


Fig. 1. Location of research sites in Anbandeok, Daegi-ri, Wangsang-myeon, Gangneung-si, Gangwon-do, South Korea.



Fig. 2. UAV system and taking off for a mission.

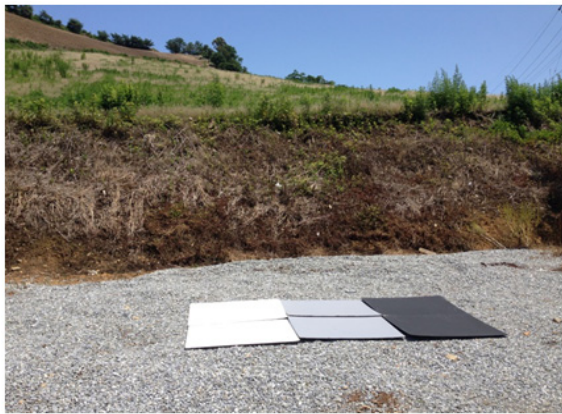
Table 1. Specifications of IXUS/ELPH, S110.

Category	IXUS/ELPH	S110
Resolution	16 MP	12 MP
Flight altitude (4 cm/pxGSD)	130 m	115 m
Sensor size	6.16 × 4.62 mm	7.44 × 5.58 mm
Pixel pitch	1.33 μm	1.86 μm
Image format	JPEG	JPEG and RAW
Settings	Only automatic	Fully configurable
Nominal flight time	45 minutes	40 minutes
Bands	R (660 nm) - G (520 nm) - B (450 nm)	R (625 nm) - G (550 nm) - NIR (850 nm)
Applications	All missions with reasonable light conditions	All missions, even in low light or windy conditions. Also to take individual nice shots

은 고랭지배추의 생육시기에 따라 6월 상순부터 9월 상순까지 일주일 간격으로 10회에 걸쳐 수행하였으며, 육안 판독을 위한 가시광선 (Red, Green, Blue) 파장 카메라 (IXUS/ELPH, Cannon, Japan)와 NDVI 산출을 위한 근적외선 (Red, Green, NIR) 파장 카메라 (S110, Cannon, Japan)를 번갈아 탑재하여 촬영하였다 (Fig. 2, Table 1). 또한 영상 내의 대리보정 (vicarious correction)을 위하여 Fig. 3(a)와 같이 각각 5%, 23%, 92%의 균일한 반사율을 가지는 타프 (tarpaulin; tarp)를 설치하였다. 촬영에 사용된 무인비행체 (eBee, Sensefly, Swiss)는 고정익으로 공간해상도는 12 cm이며 (Fig. 2, Table 2), 날장으로

촬영된 영상은 무인비행체 운영 프로그램 (eMotion, Sensefly, Swiss)을 통해 촬영당시 비행체의 위치정보 및 자세 등 표정 요소와 결합한 후, 전처리 프로그램 (Postflight Terra3D, Pix4D, Swiss)을 이용하여 영상 접합을 수행하였다. 접합된 영상은 보정용 타프의 값을 이용하여 반사율 영상으로 변환한 후 Eq. 1을 이용하여 NDVI를 산출하였다.

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



(a) Tarp target



(b) AWS

Fig. 3. Tarp target and AWS in research site.

Table 2. Specifications of UAV.

Category	Specifications
Model	eBee
Country	Swiss
UAV Type	fixed-wing
Flight altitude	100 ~ 800 m
Flight speed	within 90 km/h
Size and weight	size 96 cm, weight 700 g
Flight velocity	within 10 cm per second
Maximum flight time	50 minutes
Nominal cruise speed	40 ~ 90 km/h (11 ~ 25 m/s)
Radio link range	Up to 3 km
Maximum coverage (single flight)	12 km ² (at 974 m altitude AGL)
Wind resistance	Up to 45 km/h (12 m/s)
Ground Sampling Distance (GSD)	Down to 1.5 cm per pixel
Relative orthomosaic/3D model accuracy	1 ~ 3x GSD
Absolute horizontal/vertical accuracy	w/GCPs : Down to 3 cm / 5 cm No GCPs : 1 ~ 5 m
Multi-drone operation	Yes (inc. mid-air collision avoidance)
Automatic 3D flight planning	Yes
Linear landing accuracy	Approx. 5 m
Take off/landing	auto/manual

여기서, NIR은 S110 센서의 파장 850 nm 근적외선 밴드이며, Red는 파장 625 nm의 가시광선 밴드이다. NDVI의 범위는 -1.0에서 1.0까지이며, 증가하는 양수 값은 식생 활력도의 증가를 의미한다.

기상요인 수집 및 배추 생육 조사 기상요인은 농촌진흥청 농업기상정보 서비스 홈페이지 (<http://weather.rda.go.kr/>)의 농업 기상관측 자료를 이용하였다. 농촌진흥청은 전국의 농업 기상관측소를 통하여 기온, 습도, 풍향, 풍속, 강수량 및 일조시간 등 6개 기상요인을 무인 관측하여 시간단위 자료로 제공하고 있다. 본 연구에서는 강원도 강릉시 안반덕 지점 (Fig. 3(b))의 2015년 6월~9월까지의 시간단위 기상관측 자료를 수집하여 각 필지별 배추 생육기간에 따른 일평균 및 최고/최저온도, 적산온도, 누적강우량 및 누적일사량을 추출하였다. 안반덕 지점의 무인 기상관측 장비 (Automatic Weather System; AWS)는 해당지역의 농업기상 정보 수집을 위하여 국립식량과학원에서 2012년 7월 10일에 설치하였으며, 지역적 대표성을 고려하여 안반덕 재배단지 중앙 (N37°37'30.49", E128°44'25.51")에 위치하고 있다.

고랭지배추는 보통 6월 하순~7월 중순에 정식을 시작하여 정식 후 45일 내외부터 결구가 시작되며 크기가 비대해지고 9월 상순 이후에 수확이 시작된다. 이와 같이 배추는 생육기간이 60일 정도로 짧기 때문에 필지별 작황의 차이는 정식일수의 차이에 크게 영향을 받는다. 따라서 필지별 동일한 시기의 NDVI 보다는 정식이 이루어진 이후 날짜 (Day After Planting; DAP)의 NDVI가 정확한 작황을 평가하는 기준이 된다 (Na et al., 2015a). 따라서 배추 생육 조사는 안반덕의 전체적인 작황평가를 위하여 정식일자가 상이한 4개의 시험필지 (A~D)를 선정하고, 각 필지별 생육을 대표할 수 있는 지점에서 10주를 대상으로 생육시기별 초고 (Plant Height; P.H.), 엽장 (Leaf Length; L.L.) 및 외엽수 (Outer Leaf Number; L.N.) 등 일반 생육 특성을 2주 간격으로 조사하였다. 재식밀도는 35 cm × 60 cm, 정식일자는 시험필지 순으로 각각 6월 11일, 6월 28일, 7월 2일, 7월 5일이다.

다중선형 회귀분석 다중선형 회귀분석은 단순선형 회귀분석의 확장형으로 회귀분석에 추가되는 독립변수가 두 개 이상인 회귀모형에 대한 분석이다. 여기서, 독립변수는 모형에 영향을 주는 변수로 X 로 나타내며, 종속변수는 독립변수에 의해 영향을 받는 변수로 Y 로 표현한다. 종속변수 Y 를 설명하는데 k 개의 독립변수인 X_1, X_2, \dots, X_k 을 도입할 때 다중선형 회귀모형은 Eq. 2와 같이 정의된다 (Montgomery and Peck, 1992; Na et al., 2012).

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + \dots + \beta_k X_{ki} + \varepsilon_i, i = 1, 2, \dots, n \quad (\text{Eq. 2})$$

여기서, $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$ 는 추정되는 회귀계수이고, X_{ji} 는 독립변수 X_j 의 i 번째 관측치를 의미하며, ε_i 는 오차이다.

종속변수를 설명하기 위한 독립변수들의 후보가 많은 경우 독립변수 선택의 기본 원칙은 가능한 간단한 모형을 선택하는 것이다 (Na et al., 2012). 모형의 유의확률 및 잔차분석을 통해 적합하다고 판단되는 모형의 경우 회귀모형으로 유의함을 갖는 것을 의미할 뿐, 각 변수의 유의성을 검정한 것은 아니기 때문이다. 따라서 개별 독립변수의 유의성 검증을 통해 최적의 모형을 선정하여야 하며, 이를 위하여 통계소프트웨어에서는 다양한 변수선택 방법을 제공하고 있다. 본 연구에서는 SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) 프로그램 (Statistics Standard ver. 18, IBM Inc.)을 이용한 단계별 선택 방법 (Stepwise regression)을 사용하였다. 단계별 선택 방법은 변수를 추가하면서 새롭게 추가된 변수로 기존 변수의 중요도가 약화되어 제거될 수 있는지 매 단계별로 검토하여 해당변수를 선택하는 방법이다.

Results and Discussion

고랭지배추 생육시기에 따른 NDVI 및 기상요인과 생육인자의 상관성 원격탐사 기반의 고랭지배추 생육 추정 모형 개발을 위하여 무인비행체 영상에서 얻어진 시계열 NDVI (Fig. 4)와 배추 생육기간 동안의 기상요인 및 배추 생육 조사 자료를 비교 분석하였다. 먼저, 배추 생육시기에 따른 NDVI 범위는 Fig. 5(a)와 같이 0.013~0.749로 나타났다. 시기별 NDVI 변화 패턴을 살펴보면 생육 초반에는 서서히 증가하다가 정식 후 25일부터 35일까지 급격히 증가한 후, 수확기까지 0.7 이상을 유지하는 양상을 보였으며, 배추 생육시기에 따른 생육인자들의 변화도 NDVI의 변화와 유사한 패턴을 나타내었다 (Fig. 5). 기상요인의 경우 고랭지배추 생육기간인 6월~9월의 평균온도는 10.5~23.7°C의 범위를 보여 고랭지의 서늘한 기후특성이 잘 나타났으며, 생육기간 동안의 적산온도는 2049.6°C이었다 (Fig. 6(a)). 또한, 6월 초순과 중순의 강우량이 각각 10.9 mm, 57.6 mm로 나타나 봄가뭄이 발생한 것으로 나타났다 (Fig. 6(b)). 일반적으로 고랭지배추는 기상 영향이 가장 큰 작형으로 정식기 가뭄과 생육기에 장마 및 태풍의 영향을 크게 받는다 (KREI, 2014). 따라서 시험필지 A (6월 11일 정식)의 경우에도 봄가뭄의 영향으로 인하여 정식 초기 NDVI가 낮게 나타났으나 (NDVI_{DAP20} = 0.178), 6월 26일에 200 mm 이상의 강우로 인하여 작황이 회복되어 NDVI가 기타 시험필지와 동일한 수준으로 나타난 것을 확인할 수 있다.

한편, 고랭지배추 생육인자 추정에 가장 효과적인 변수를 선택하기 위하여 모든 시험필지를 대상으로 NDVI 및 기상요인과 생육인자와의 상관성을 분석하였다 (Table 3). 그 결과, 최저온도를 제외한 모든 변수에서 양의 상관관계를 나타내

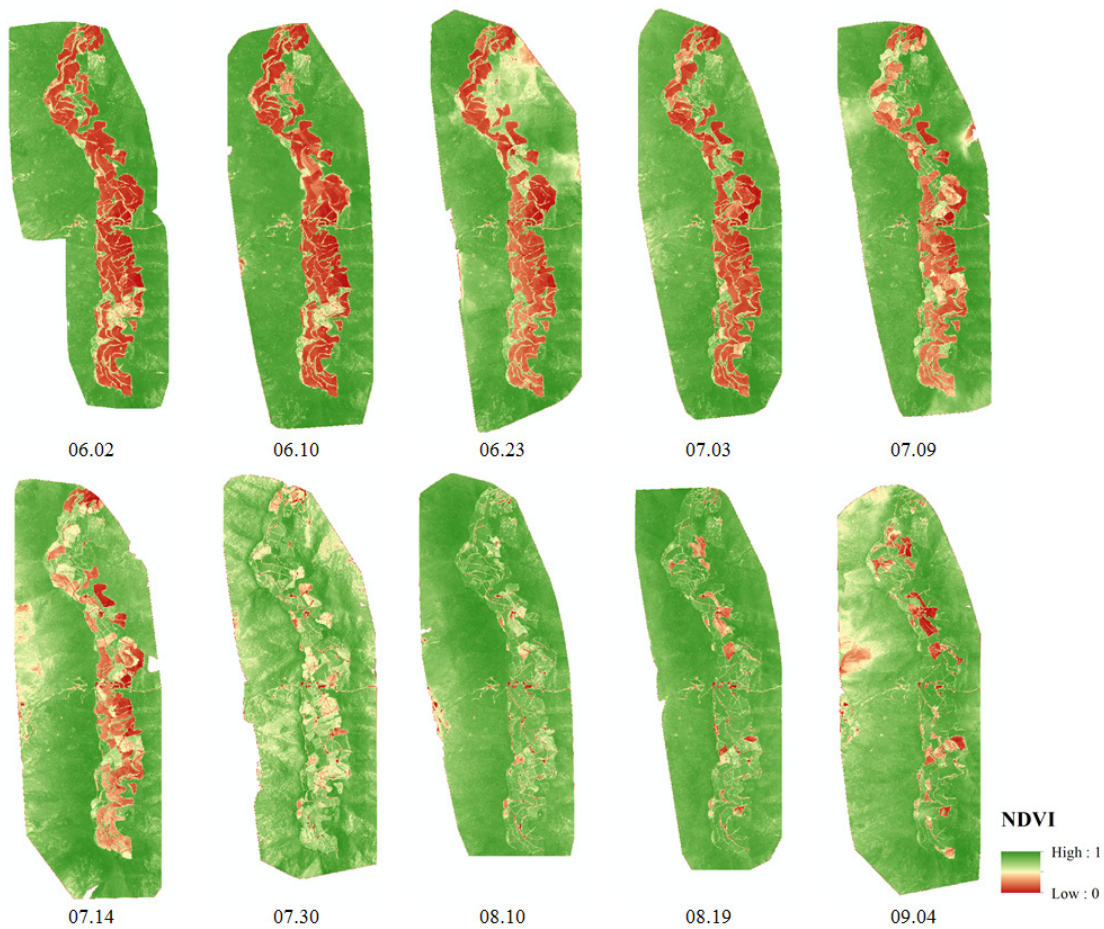


Fig. 4. NDVI distribution of Anbandeok using UAV.

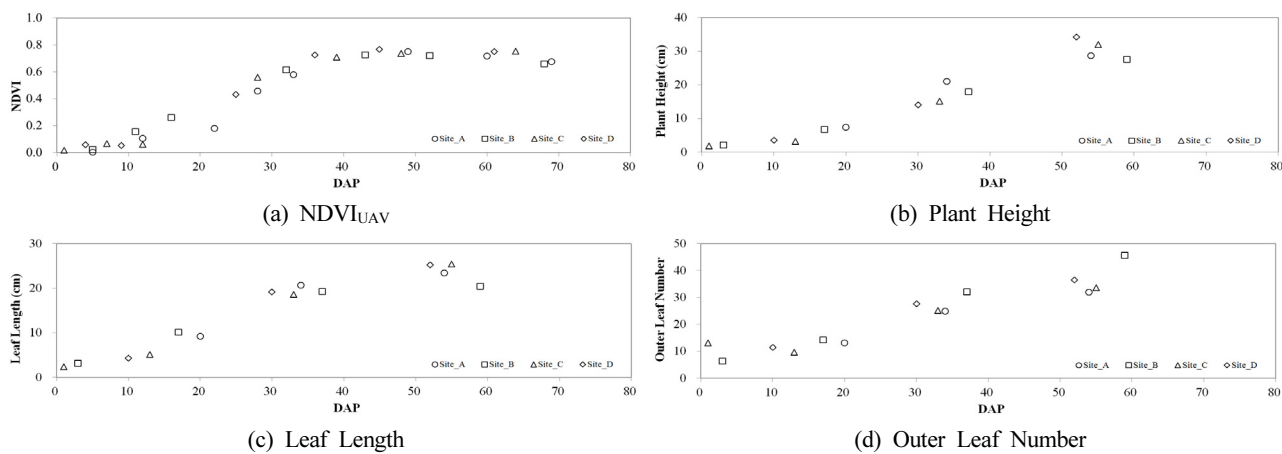


Fig. 5. Temporal variations of $NDVI_{UAV}$ and highland Kimchi cabbage growth parameters.

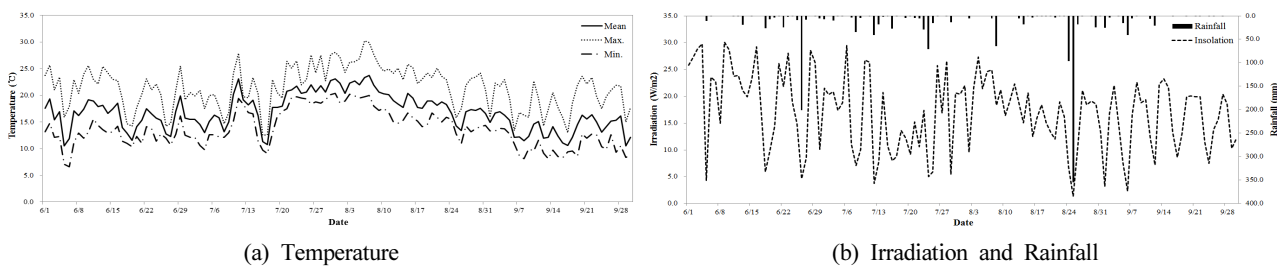


Fig. 6. Temporal variations of agro-meteorological factors.

Table 3. Correlation coefficients between NDVI_{UAV}, agro-meteorological factors and highland Kimchi cabbage growth parameters.

	NDVI _{UAV}	Temp _{avr}	Temp _{max}	Temp _{min}	Temp _{acc}	Rainfall	Irradiation
P.H.	0.917**	0.575**	0.697**	-0.734**	0.949**	0.950**	0.952**
L.L.	0.972**	0.615**	0.711**	-0.833**	0.912**	0.850**	0.914**
L.N.	0.908**	0.624**	0.650**	-0.800**	0.931**	0.880**	0.911**

※ P.H.: Plant Height, L.L.: Leaf Length, L.N.: Outer Leaf Number

** Significant at the 0.01 significance levels.

Table 4. Results of regression analysis using all variables.

	R	R ²	R _{adj} ²	F	p	D.W.
P.H.	0.988	0.975	0.946	33.711	<0.001	1.275
L.L.	0.988	0.976	0.949	35.469	<0.001	1.828
L.N.	0.974	0.948	0.887	15.572	0.002	0.932

※ P.H.: Plant Height, L.L.: Leaf Length, L.N.: Outer Leaf Number

Table 5. Statistical performance of highland Kimchi cabbage growth parameters retrievals using regression equation extracted from NDVI_{UAV} and agro-meteorological factors.

	Regression equation	RMSE	R ²
P.H.	y = 15.683NDVI _{UAV} + 0.023Rainfall - 0.016	2.22	0.940
L.L.	y = 25.147NDVI _{UAV} + 0.003Rainfall + 2.514	1.90	0.939
L.N.	y = 13.406NDVI _{UAV} + 0.021Temp _{acc} + 6.308	4.29	0.863

※ P.H.: Plant Height, L.L.: Leaf Length, L.N.: Outer Leaf Number

었으며, NDVI_{UAV}는 모든 생육인자에서 높은 상관관계 ($R > 0.900$)를 나타내었다. 또한, P.H.와 가장 상관성이 높은 기상요인은 일사량 ($R=0.952$)으로 나타났으며, 강우량 ($R=0.950$) > 적산온도 ($R=0.949$) 순으로 나타났다. 반면에 L.L.과 L.N.은 일사량 ($R=0.914, 0.911$) > 적산온도 ($R=0.912, 0.931$) > 강우량 ($R=0.850, 0.880$) 순으로 나타났다. 즉, NDVI_{UAV}, 적산온도, 강우량 및 일사량은 고랭지배추의 생육인자와 높은 상관관계를 보였으며, NDVI_{UAV} 및 기상요인을 이용한 고랭지배추의 생장 및 수량예측 모형 개발의 가능성을 확인하였다.

고랭지배추 생육추정 모형 개발 및 적용 모든 독립변수를 이용한 다중선형 회귀분석 결과를 정리하면 Table 4와 같다. 분석 결과, 다중선형 회귀모형은 0.1% 유의수준에서 통계적으로 유의하며 (L.N.의 경우 $p < 0.01$), 더빈-왓슨 (Durbin-Watson; D.W.) 통계량도 0.932~1.828 사이에 분포하여 잔차간 자기상관성도 작은 것으로 나타났다. 또한 수정결정계수 (adjusted R-squared; R_{adj}^2)도 0.887~0.949로 나타났다. 그러나 평균온도와 최고/최저온도, NDVI_{UAV}와 일사량 사이에는 다중공선성이 확인되었고 ($VIF > 10$), 일부 독립변수들은 유의하지 않은 것으로 확인되었다 ($p > 0.10$). Table 4의 p 값은 모형 자체의 유의성을 의미하는 것으로 독립변수의 유의성을 의미하는 것은 아니기 때문이다 (Johnson, 1998). 따라서 본 연구에서는 분석에 유의한 독립변수를 선택하여

모형을 구축한 후, 분산팽창계수 (Variance Inflation Factor; VIF)를 고려하여 R_{adj}^2 의 변화를 검토하였다. 이때 VIF 값이 유의수준을 다소 벗어나도 ($VIF > 10$), 변수 제거 과정에서 R_{adj}^2 가 크게 낮아지는 모형의 경우는 해당 변수를 채택하였다. 이 방법은 모형의 설명력을 최대한 확보하기 위하여 모형 개발과정에서 주로 사용되는 방법으로 (Na et al., 2012) 이들 변수를 모두 포함시킨 모형과 제외한 모형을 대상으로 각 모형의 R_{adj}^2 를 고려하여 가장 안정적이고 설명력이 높은 모형을 최적모형으로 선택하였다.

그 결과, 고랭지배추의 생육추정 모형은 NDVI_{UAV}와 강우량 및 적산온도가 설명변수로 채택되었으며, 모두 양의 관계가 있는 것으로 나타났다. 일사량의 경우 각 요인별 상관분석 결과에서는 생육인자와 가장 높은 상관관계를 나타내었으나, NDVI_{UAV}와 일사량 간의 높은 선형관계가 존재하여 변수채택시 제거된 것으로 판단된다. 따라서 P.H.와 L.L.은 NDVI_{UAV}와 생육기간 동안의 강우량, L.N.은 NDVI_{UAV}와 생육기간 동안 적산온도의 회귀식으로 표현되는 결과를 얻었다 (Table 5). 또한 해당 모형을 이용하여 고랭지배추의 생육인자를 추정된 결과, 평균 결정계수 (R^2)는 0.914로 생육인자 변이의 91% 이상을 설명할 수 있었다. 각 생육인자와의 결정계수는 P.H. ($R^2=0.940$) > L.L. ($R^2=0.939$) > L.N. ($R^2=0.863$) 순으로 나타났으며, RMSE는 각각 2.22 cm, 1.90 cm, 4.29로 나타나 NDVI_{UAV}와 기상요인을 이용한 고랭지배추 생육추정 모형의

정확도를 확인하였다.

Fig. 7은 고랭지배추 생육추정 모형의 예측값과 현장 생육 조사 결과를 비교한 산점도이다. 생육 초기에는 1:1선을 기준

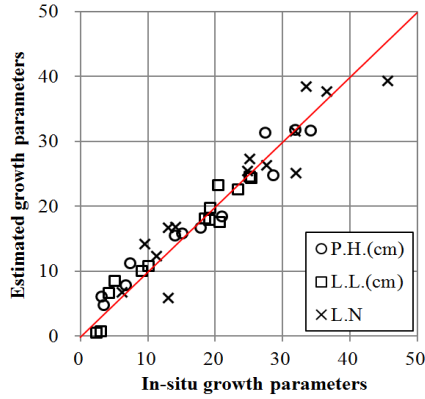


Fig. 7. Scatter plot of highland Kimchi cabbage growth model.

으로 점들이 좌측에 위치하는 것으로 보아 모형의 예측값이 실측값보다 과대평가 되는 경향이 나타났으며, P.H.와 L.L. 모형이 L.N. 모형보다 안정적인 것으로 나타났다 (Table 5). 그러나 전반적으로 모두 1:1선에 근접한 결과를 보이고 있어 모형이 고랭지배추 생육인자의 변화 특성을 잘 반영하고 있는 것으로 판단된다.

NDVI_{UAV}와 기상요인에 의한 고랭지배추 생육추정 모형을 이용하여 안반덕의 필지별 생육인자 분포지도를 제작한 결과는 Fig. 8과 같다. 안반덕의 경우 재배지 북부와 중부 지역이 남부 지역과 비교하여 P.H.와 L.L.이 크고 L.N.도 높게 분포된 것으로 나타났다. 이와 같이 생육인자 분포지도는 각 필지별 작황의 변이를 파악하는데 중요한 자료로 사용될 수 있으며, 연도별 생육인자 분포지도를 작성하면 필지별 작황의 변화 추이 파악도 가능할 것으로 판단된다.

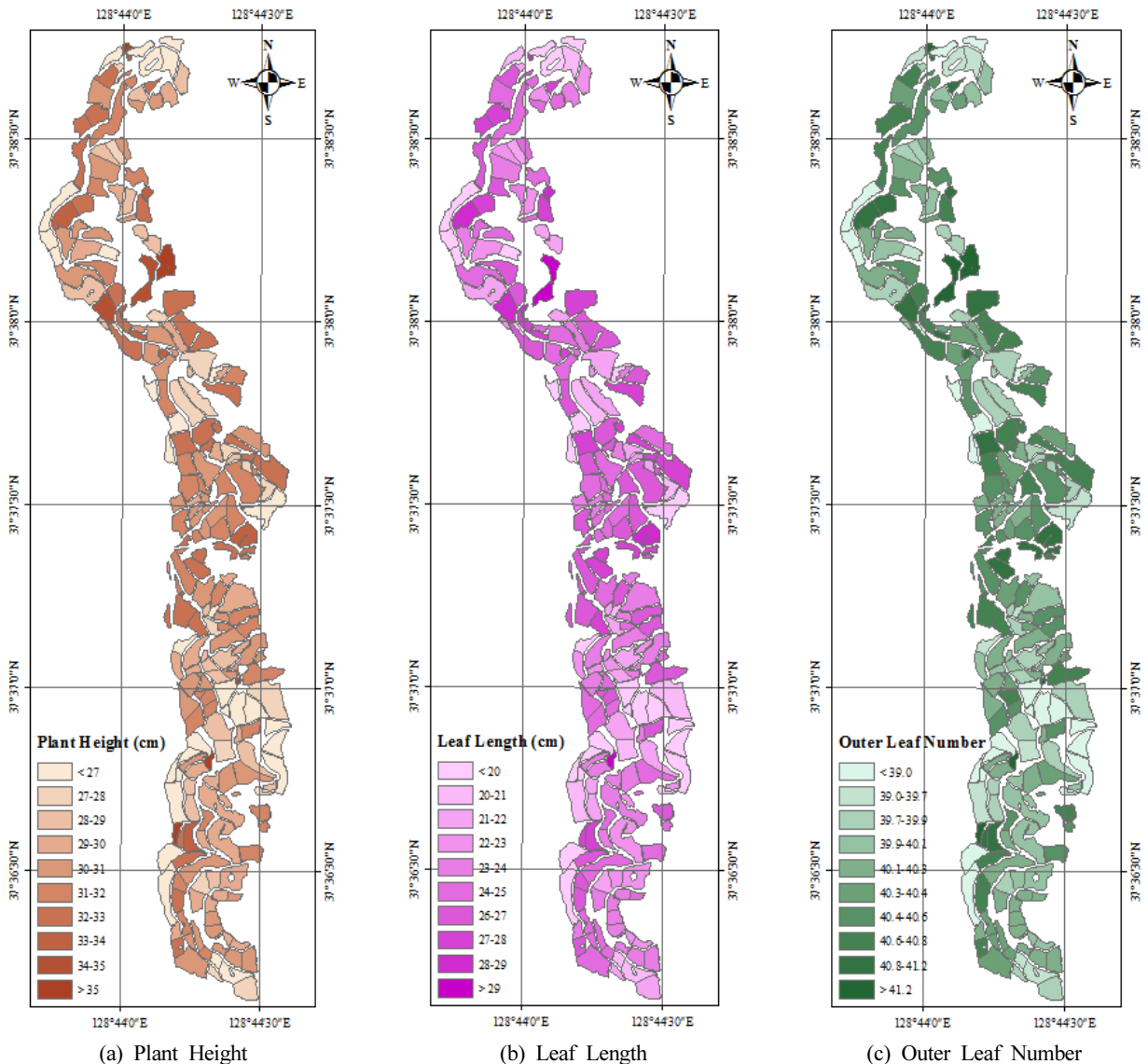


Fig. 8. Highland Kimchi cabbage growth parameter map of Anbandeok on Aug. 19, 2015.

Conclusions

본 연구에서는 고랭지배추를 대상으로 생육기간 동안 무인비행체 영상을 이용한 시계열 NDVI 및 기상요인과 초고 (P.H.), 엽장 (L.L.) 및 외엽수 (L.N.) 등의 생육인자와의 상관성을 분석하고, 이를 이용하여 원격탐사 기반의 고랭지배추 생육추정 모형을 개발하였다. 그 결과, $NDVI_{UAV}$, 적산온도, 강우량 및 일사량이 고랭지배추의 생육인자와 높은 상관관계를 보였으며, P.H.와 L.L.은 $NDVI_{UAV}$ 와 생육기간 동안의 강우량, L.N.은 $NDVI_{UAV}$ 와 생육기간 동안 적산온도를 이용하여 다중선형 회귀모형을 작성하였다. 고랭지배추 생육추정 모형의 예측값과 현장 생육조사 결과를 비교한 결과, 생육 초기에는 모형의 예측값이 실측값보다 과대평가 되는 경향이 나타났으나 전반적으로 1:1선에 근접한 결과를 보이고 있어 모형이 고랭지배추 생육인자의 변화 특성을 잘 반영하고 있는 것으로 나타났다. 또한, 모형을 이용하여 안반덕의 필지별 생육인자 분포지도도를 제작하고 이를 이용하여 각 필지별 작황 변이를 파악하였으며, 연도별 작황 변화 추이 파악 가능성도 검토하였다.

이와 같은 결과를 종합해 볼 때, 무인비행체를 이용한 작황추정은 기존 위성영상을 이용한 방법과 비교하여 영상 수급의 한계를 극복하고 정밀도 높은 고해상도 영상을 통한 필지 단위의 분석이 가능하다. 그러나 현재 기술 수준으로는 배터리 용량의 한계가 존재하고 바람의 영향을 크게 받아 광역 촬영이 불가능한 한계가 존재한다. 따라서 이를 해결하기 위한 다양한 노력이 필요하며 기상요인과 같은 기초 자료의 축적 및 적용 방안에도 관한 추가적인 연구도 필요할 것으로 판단된다. 고랭지배추의 경우, 작황 추정에 동일한 기상요인을 특정 지을 수 없는 변이성이 있다. 따라서 작황에 대한 기상요인의 영향을 정확히 파악하기 위해서는 현재 작물이 재배되고 있는 지역의 기상관측 자료의 대표성을 확보하고 정밀도 높은 기상분포도를 작성하여 작황에 가장 영향을 주는 기상요인을 선별하는 과정이 중요할 것으로 사료된다. 특히, 고랭지배추의 경우에는 재배지역을 대상으로 고랭지, 준고랭지 등 고도에 따른 기상요인의 차이와 고랭지배추 수량구성요소와의 관계를 파악하여 기후변화가 수량에 미치는 영향을 분석하는 과정이 필요하다. 또한, 무인비행체를 이용한 생육인자 분포지도도의 작성은 위성으로 수집이 어려운 지역의 연도별 작황과 수량에 대한 시공간적 변화 분석에 효과적으로 활용이 가능할 것으로 판단된다. 본 연구에서는 상대적으로 짧은 연구기간을 고려하여 모형의 관측치 확보를 위하

여 정식시기가 상이한 시험필지의 정보를 사용하였으나 지속적인 모니터링을 통해 다년간의 데이터가 확보된다면 모형의 정확도를 높일 수 있을 것이며, 이를 토양 및 기상분포도와 연계한다면 정밀농업으로의 적용과 함께 채소 주산지의 지역적 특성에 대한 연구 및 정확한 작황 추정을 위한 모형의 최적 모수화에 대한 연구에 적용이 가능할 것으로 기대된다.

References

- Agricultural Weather Information Service Homepage. <http://weather.rda.go.kr/> Accessed 23 Oct. 2015.
- EPIS (Korea Agency of Education, Promotion and Information Service in Food, Agriculture, Forestry and Fisheries). 2014. A Study on establishing application system to use remote sensing technology in agrifood industry (in Korean).
- Hong, S.Y., H.J. Park, K.C. Jang, S.I. Na, S.C. Baek, K.D. Lee, and J.B. Ahn. 2015. Status of rice paddy field and weather anomaly in the spring of 2015 in DPRK, Korean J. Soil Sci. Fert. 48(5):361-371 (in Korean).
- Johnson, A. R. 1998. Applied Multivariate Statistical Analysis, Prentice Hall.
- Korean Statistical Information Service Homepage. <http://www.kosis.kr/> Accessed 11 Apr. 2016.
- KREI (Korea Rural Economic Institute). 2014. A study on factors and prospects of changes in highland vegetable acreage (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. Yun, 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 (in Korean).
- Montgomery D.C. and E.A. Peck, 1992. Introduction to linear regression analysis. 2nd ed., New York.: Wiley.
- Na, S.I., K.D. Lee, S.C. Baek, and S.Y. Hong, 2015a. Estimation of Chinese cabbage growth by RapidEye imagery and field investigation data, Korean J. Soil Sci. Fert. 48(5):556-563 (in Korean).
- Na, S.I., J.H. Park, and J.K. Park, 2012. Development of Korean paddy Rice yield Prediction Model (KRPM) using meteorological element and MODIS NDVI, J. Korean Soc. Agric. Eng. 54(3): 141-148 (in Korean).
- Na, S.I., S.C. Baek, S.Y. Hong, L.D. Lee, and G.C. Jang, 2015b. A study on the application of UAV for the onion and garlic growth monitoring. KSSSF spring conference (in Korean).