



무인비행체 영상을 활용한 고랭지배추 정식시기 추정

Estimating of Transplanting Period of Highland Kimchi Cabbage Using UAV Imagery

이경도* · 박찬원* · 소규호* · 김기덕** · 나상일*[†]

Lee, Kyung Do · Park, Chan Won · So, Kyu Ho · Kim, Ki Deog · Na, Sang Il

Abstract

Growth monitoring of highland Kimchi cabbage is very important to respond the fluctuations in supply and demand from middle of August to early September in Korea. For evaluating Kimchi cabbage growth, it needs to classify the transplanting period of Kimchi cabbage, preferentially. This study was conducted to estimate the transplanting period of highland Kimchi cabbage from 2015 to 2016 in the main production area of highland Kimchi cabbage, Anbandegi, Maebongsan, and Gwinemi. Correlation between NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) from UAV images and days after transplanting of Kimchi cabbage was high in early transplanting period. But because the growth curve of Kimchi cabbage showed S-type, joint use of multi-temporal linear regression equation for estimation of transplanting period was more suitable. Using application of these equations at Anbandegi, Maebongsan, and Gwinemi, we made the map of transplanting periods of highland Kimchi cabbage. Generally, highland Kimchi cabbage is harvested in sixty days later since transplanting. As a result, we could estimate the harvest time and area of highland Kimchi cabbage.

Keywords: UAV, Kimchi cabbage, Transplanting period, Remote sensing

1. 서 론

배추는 우리 식단의 주요 부식인 김치의 주재료로 연중 생산, 소비되고 있다. 여름철에 재배하는 고랭지배추는 생육적 온이 약 22 °C 정도로 상대적으로 온도가 낮은 고랭지 지역에서 주로 재배되고 있다. 그러나 최근에는 재배면적의 급속한 감소와 함께 기후 온난화로 인해 점차 온도가 상승하고 이상 기상이 빈발하면서 작황이 불안정하다(Kim et al., 2015). 따라서 고랭지배추 생산량의 급격한 변동에 따른 수급불안에 대응하기 위해 고랭지배추 생육평가 및 생산량 예측 연구가 수행되어 왔다. Ahn et al. (2014)은 유효적산온도를 이용하여 고랭지배추의 성장과 수량을 예측할 수 있는 경험식을 제시하였다. Kim et al. (2015)은 기상 요소만을 고려한 배추 생육모형의 경우 최근 빈발하고 있는 기상이변과 병충해 등으로 인한 생산량 변동을 반영할 수 없으므로 기상과 주기적인 생육조사 자료를 함께 활용하여 생산량을 예측할 수 있는 모형을 제시하였다. 그러나 고랭지배추 밭의 경우 고지대 경사

지에 주로 분포하고 있기 때문에 인력을 통한 주기적인 생육 모니터링 수행에는 많은 노력과 비용이 소요된다.

최근 무인비행체 기술의 급속한 발전과 함께 무인비행체 영상의 농업적 활용 연구가 증가하고 있다. Lee et al. (2015)은 친환경농업을 수행하고 있는 풋거름 재배단지를 무인비행체로 촬영하고 필지별 풋거름 질소 함량을 추정하는 바 있다. Park and Park (2015)은 무인비행체 영상을 활용하여 농작물 분류를 실시하여 적용 가능성을 평가하였다. 또한, Park and Park (2016)은 농업 직물체의 이행점검에 무인비행체 영상의 적용성을 평가한 바 있다. 무인비행체 영상을 활용하여 고랭지배추의 생육을 모니터링하기 위한 연구도 수행되었다. Na et al. (2016)은 고랭지배추 주산지인 안반데기를 대상으로 UAV 영상 식생지수와 기상요인을 이용하여 고랭지배추 생육 추정 모형을 작성하였다. Lee et al. (2017)은 고랭지배추 주산지인 강릉 안반데기, 태백 매봉산, 귀네미 단지를 대상으로 2년간 무인비행체 영상을 촬영하여 무인비행체 영상의 식생지수 변화가 고랭지배추 성장 패턴을 잘 반영할 수 있음을 보고하였다. 그러나 이들 연구는 생육조사를 수행한 표본필지에 대해서 무인비행체 영상과 생육조사 결과를 비교한 연구들로서 단지 전체의 생육 추정과 해석을 위해 사전에 수행되어야 할 성장단계 구분 연구는 부족한 실정이다.

고랭지배추는 정식 후 약 20일까지는 완만하게 성장하다 이후 급속히 빠른 성장을 보이며 정식 후 60일 정도에 수확기에 접어들게 된다. 정식 후 초기에는 대체적으로 건강한 생장

* National Institute of Agriculture Science, Rural Development Administration

** National Institute of Crop Science, Rural Development Administration

† Corresponding author

Tel.: +82-63-238-2513 Fax: +82-63-238-3823

E-mail: sangil917@korea.kr

Received: July 3, 2017

Revised: September 18, 2017

Accepted: September 25, 2017

을 지속하지만 고온이 지속되는 생육 후반기에는 병충해가 증가하여 단지별로 배추의 생산량에 큰 차이를 보이게 된다. 고랭지배추의 경우 정식시기가 단지별로는 약 한달 정도, 같은 단지 내에서도 2~4주 정도 차이가 나고 있다. 따라서 특정 시기에 촬영한 무인비행체 영상을 통해 단지 전체의 배추 생육상황을 추정하고 해석하기 위해서는 배추 생육의 차이가 생육단계 차이에 기인한 것인지 아니면 기상재해나 병충해 등 생육이상에 기인한 것인지 구분이 필요하다. 또한 정상적인 배추의 수확시기가 정식 후 60일 내외임을 감안하면 정식 시기의 추정은 수확시기 및 수확량 추정에도 유용한 정보를 제공할 수 있다.

따라서 본 연구는 2015년과 2016년 2년 동안 대표적인 고랭지배추 주산지인 강릉시 안반데기, 태백시 매봉산, 귀네미 단지에 대하여 무인비행체 영상을 촬영한 결과 (Lee et al., 2017)를 바탕으로 무인비행체 영상을 활용하여 단지 전체의 배추 정식시기를 추정하기 위해 수행하였다.

II. 연구방법

1. 연구대상지역 및 무인비행체 영상 자료 수집

본 연구는 주요 고랭지배추 주산지 3개소 (강릉 안반데기, 태백 매봉산, 귀네미)를 대상으로 수행 하였다. 이들 3개 단지는 재배면적이 300 ha 내외로 2015년 기준 고랭지배추 재배 면적의 약 7% 밖에 되지 않지만 준고랭지배추 출하가 끝나고 가을배추가 출하되기 전인 8월 중순부터 9월 중순까지 배추 생산량의 약 60%를 차지하여 생산량에 따른 가격 변동에 매우 큰 영향을 미치는 곳이다 (Lee et al., 2017). 무인비행체 영상자료는 2년 동안 고정익 무인비행체로 항공영상을 촬영하여 NDVI (Normalised Difference Vegetation Index) 식생지수를 산정한 Lee et al. (2017)의 연구 결과 중에서 2015, 2016년 고랭지배추 정식기간 동안 촬영된 안반데기 9회, 매봉산 8회, 귀네미 8회의 영상 NDVI 자료를 활용하였다 (Table 1). NDVI는 위성, 항공영상 등 원격탐사 자료의 가시광선과 근

Table 1 UAV image collecting date

Area	Year	Date
Anbandegi	2015	7/3, 7/10, 7/14, 7/28, 8/12
	2016	6/29, 7/13, 7/18, 8/4
Mabongsan	2015	6/23, 7/2, 7/11, 7/28
	2016	6/21, 6/29, 7/28, 8/10
Gwinemi	2015	7/2, 7/11, 7/28, 8/12
	2016	6/29, 7/13, 7/28, 8/5

적외선 비율을 이용하여 식생의 활력도와 생육 현황을 나타내는 지표로써 식생의 생체량, 엽록소 함량 추정 등에 널리 활용되고 있다 (Cohen, 1991; Lyon et al., 1998; Richardson and Everitt, 1992).

2. 정식시기 추정 모형 구축 및 평가

원격탐사는 영상 등 센싱 자료를 활용해 비접촉, 비파괴적 방법으로 대상물의 속성에 대한 정보를 측정하거나 수집하는 것으로서 원격탐사 자료의 보정과 대상체의 특성을 판단하기 위해서는 현장 자료 수집이 필요하다 (Jensen, 2004). 본 연구에서는 고랭지배추 주산지 현장 방문 조사 시 정식 작업자 설문 및 무인비행체 영상 촬영 시 확인되는 정식작업 등의 정보를 바탕으로 Table 2와 같이 표본 필지의 정식시기를 조사하였다. 이상적인 정식시기 추정을 위해서는 정식이 완료되는 시점에서 정식시기를 대표할 수 있는 표본 필지를 고르게 선정해야 한다. 그러나 현실적으로 정식시기 완료 시점의 정확한 판단 및 정식시기 선정을 위한 현장 농업인 조사의 한계로 인해 연도 및 단지별 표본조사 필지의 정식시기 분포는 차이를 보였다.

배추 정식시기 추정 모형은 배추 정식 후 생육일수 (DAT: Days After Transplanting)가 NDVI와 선형적으로 비례한다는 가정을 전제로 식 (1)과 같이 단순선형 회귀식을 기본으로 구축하였다 (model 1).

$$\text{model 1} : y = a \times x_{\text{partial}} + b \quad (1)$$

여기서, y 는 표본필지의 고랭지배추 정식 후 생육일수 추정 값이며, x_{partial} 는 표본필지 배추밭의 무인비행체 영상 NDVI 값이다. a , b 는 각각 기울기와 절편을 나타내는 계수이다.

고랭지배추는 정식 후 약 20일까지는 완만한 성장을 보인다 이후 급격한 성장을 보이는 sigmoid형의 성장패턴을 보이므로 (Kim et al., 2015) 한 시기의 무인비행체 영상이 아닌 다중시기 무인비행체 영상으로 정식시기를 추정할 필요가 있다. 이를 위해 인접한 두 시기의 무인비행체 영상으로 각각 구축한 선형 회귀식을 적용 구간에 따라 model 2, 3, 4로 나누어 구축하였다 (식 (2), Fig. 2).

$$\text{model 2, 3, 4} : y = \begin{cases} c \times x_{\text{partial}} + d & (x \leq NDVI_{\text{standard}}) \\ e \times x_{\text{partial}} + f & (x > NDVI_{\text{standard}}) \end{cases} \quad (2)$$

여기서, y 는 표본필지의 고랭지배추 정식 후 생육일수 추정 값이며, x_{partial} 는 표본필지 배추밭의 무인비행체 영상 NDVI

값이다. *c, d, e, f*는 각각 기울기와 절편을 나타내는 계수이다. *model2*의 경우 $NDVI_{standard}$ 는 인접한 두 선형회귀식 중에서 촬영일이 앞선 식의 최대 $NDVI$ 값으로서 먼저 구축된 선형회귀식을 우선 적용하는 모형이다. *model3*의 경우 $NDVI_{standard}$ 는 촬영일이 더 늦은 식의 최소 $NDVI$ 값으로서 촬영일이 더 늦은 영상의 $NDVI$ 로 구축한 선형회귀식을 우선 적용하는 모

형이다. *model4*은 인접한 두 선형 회귀식의 접점을 기준으로 구간을 나누는 모형이다.

*model5*는 표본 필지에 대한 무인비행체 영상 $NDVI$ 와 정식 후 생육일수를 누적하여 하나의 선형 회귀식으로 구축한 모형이다(식 (4)).

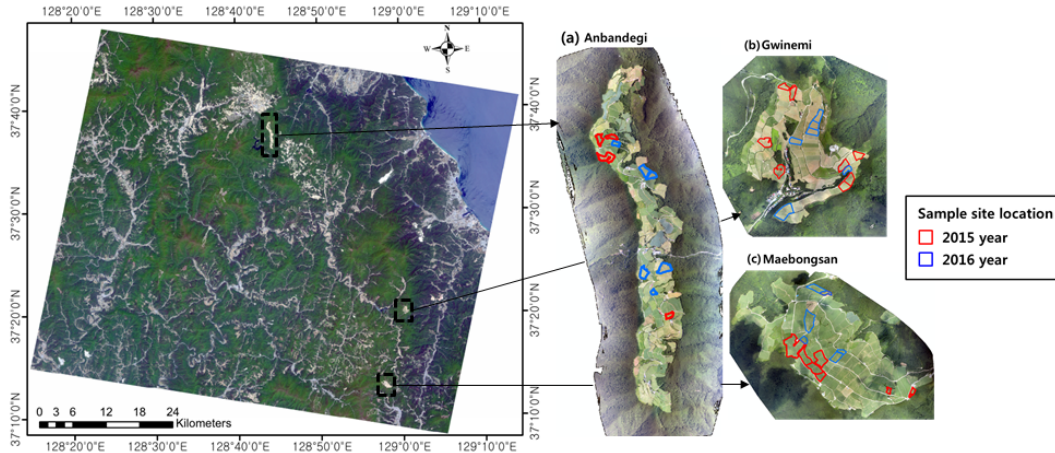


Fig. 1 Location of study area and sampling sites

Table 2 Transplanting days in sample survey sites of highland Kimchi cabbage

Area	Year	Site No.	Transplanting day	Year	Site No.	Transplanting day
Anbandegi	2015	A-2015-1	2015-06-11	2016	A-2016-1	2016-06-28
		A-2015-2	2015-06-11		A-2016-2	2016-06-28
		A-2015-3	2015-06-28		A-2016-3	2016-06-29
		A-2015-4	2015-07-02		A-2016-4	2016-06-05
			A-2016-5		2016-06-29	
Maebongsan	2015	M-2015-1	2015-06-11	2016	M-2016-1	2016-06-04
		M-2015-2	2015-06-14		M-2016-2	2016-06-11
		M-2015-3	2015-06-15		M-2016-3	2016-06-09
		M-2015-4	2015-06-02		M-2016-4	2016-06-01
		M-2015-5	2015-06-03		M-2016-5	2016-06-09
		M-2015-6	2015-06-11			
		M-2015-7	2015-06-02			
Gwinemi	2015	G-2015-1	2015-06-30	2016	G-2016-1	2016-06-20
		G-2015-2	2015-07-01		G-2016-2	2016-06-08
		G-2015-3	2015-07-01		G-2016-3	2016-06-29
		G-2015-4	2015-06-24		G-2016-4	2016-06-29
		G-2015-5	2015-06-29		G-2016-5	2016-06-20
		G-2015-6	2015-06-29		G-2016-6	2016-06-28
		G-2015-7	2015-07-02			
		G-2015-8	2015-07-01			
		G-2015-9	2015-07-02			

$$\text{model 5 : } y = g \times x_{total} + h \quad (4)$$

여기서, y 는 표본필지의 고랭지배추 정식 후 생육일수 추정 값이며, x_{total} 은 무인기 영상 촬영 당시의 표본조사 필지

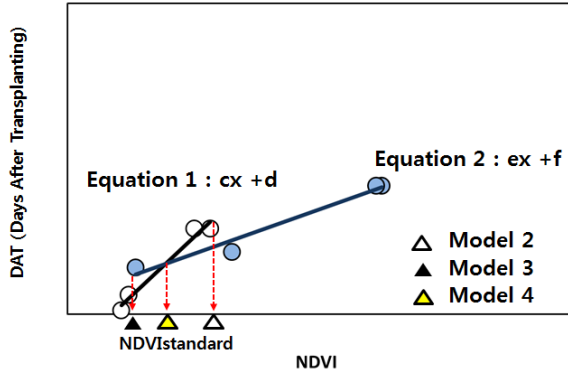


Fig. 2 Conceptual diagram for NDVIstandard of Model 2, 3, 4

NDVI 값 전체를 의미한다. g, h 는 각각 기울기와 절편을 나타내는 계수이다.

model 6은 배추 성장패턴을 로그형 곡선으로 가정하여 회귀식을 구축한 모형이다.

$$\text{model 6 : } y = i \times \ln(x_{total}) + j \quad (5)$$

여기서, i 와 j 는 로그형 회귀식의 계수이다.

구축된 모형의 정확도 평가 및 비교는 RMSE (Root Mean Square Error)를 산정하여 수행하였다.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - S_i)^2}{n}} \quad (6)$$

여기서, O_i 는 표본 필지에 대한 고랭지배추 정식 후 생육일

Table 3 Validation data for estimation of transplanting days of highland Kimchi cabbage in Gwinemi using UAV image

Year	Site No.	Transplanting day	Year	Site No.	Transplanting day
2015	G-2015-1	2015-07-02	2016	G-2016-1	2016-07-01
	G-2015-2	2015-07-02		G-2016-2	2016-06-15
	G-2015-3	2015-06-25		G-2016-3	2016-06-27
	G-2015-4	2015-07-04		G-2016-4	2016-06-20
	G-2015-5	2015-06-30		G-2016-5	2016-06-20
	G-2015-6	2015-06-30		G-2016-6	2016-06-30
	G-2015-7	2015-06-30		G-2016-7	2016-06-25
	G-2015-8	2015-06-30		G-2016-8	2016-07-06
	G-2015-9	2015-06-24		G-2016-9	2016-06-27
	G-2015-10	2015-06-23		G-2016-10	2016-07-06
	G-2015-11	2015-06-23		G-2016-11	2016-06-29
	G-2015-12	2015-06-30		G-2016-12	2016-06-27
	G-2015-13	2015-06-30		G-2016-13	2016-06-29
	G-2015-14	2015-06-30		G-2016-14	2016-06-15
	G-2015-15	2015-06-25		G-2016-15	2016-06-30
	G-2015-16	2015-07-04		G-2016-16	2016-06-26
	G-2015-17	2015-06-30		G-2016-17	2016-06-27
	G-2015-18	2015-06-24		G-2016-18	2016-06-15
	G-2015-19	2015-07-02		G-2016-19	2016-06-15
	G-2015-20	2015-07-04		G-2016-20	2016-06-20
	G-2015-21	2015-06-30		G-2016-21	2016-06-15
	G-2015-22	2015-06-30		G-2016-22	2016-07-01
	G-2015-23	2015-06-30		G-2016-23	2016-06-20
	G-2015-24	2015-06-25		G-2016-24	2016-06-27
		G-2016-25		2016-06-29	
		G-2016-26		2016-07-01	
		G-2016-27		2016-07-01	

수 조사 값이고, S_e 는 모형 예측 값이다.

표본필지의 정식 후 생육일수 추정에 가장 작은 RMSE 값을 나타낸 모형을 선정하고 2015, 2016년 귀네미 단지를 대상으로 태백 농협을 통해 계약재배 당시 정식시기가 조사된 각각 24, 27개 계약재배 필지에 (Table 3) 모형을 적용하여 검증하였다.

3. 정식시기 분포 지도 작성 및 비교

각 연도 및 단지에 대하여 선정된 무인비행체 영상 기반 정식시기 추정 모형을 적용하여 필지별로 정식일자를 추정하고 ESRI사의 ArcGis 프로그램을 이용하여 정식시기 분포지도를 제작하여 비교하였다. 또한, 고랭지배추의 경우 정상적인

생육에서 정식 후 약 60일이 경과하면 수확기에 접어들므로 정식시기에 60일을 더한 시점에서 수확 가능한 면적을 추정하여 연차 간 변화를 비교하였다.

III. 연구결과 및 고찰

1. 배추 생육에 따른 NDVI 변화 특성

무인비행체 영상의 NDVI와 정식 후 생육일수 간의 관계를 도시 및 영상 촬영일 기준으로 선형 회귀식을 구축한 결과는 Fig. 3, Table 4와 같았다. 2015년 안반데기의 경우 2015년

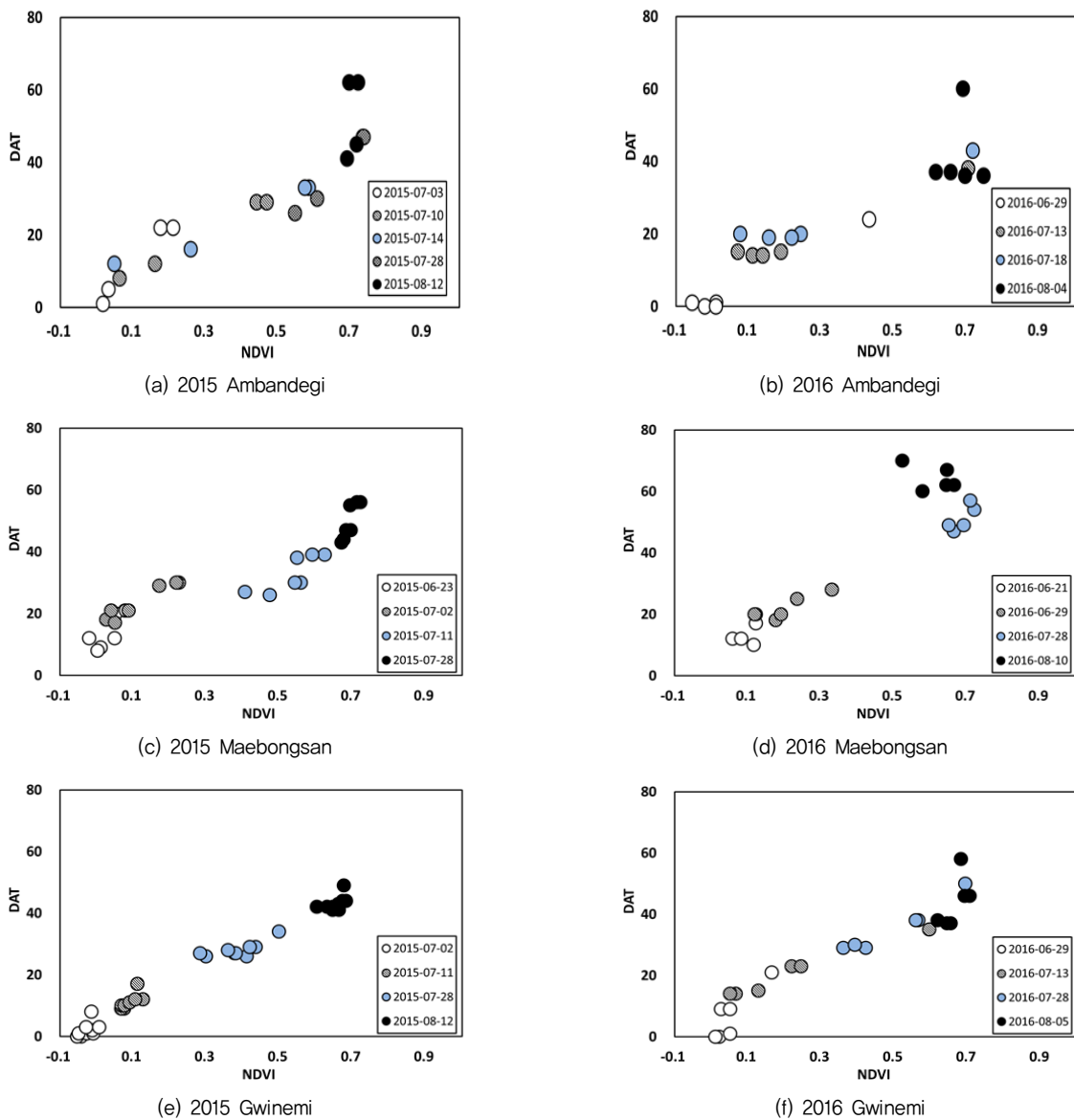


Fig. 3 Change of NDVI in sample survey fields on date in highland Kimchi cabbage area

7월 3일 무인비행체 영상 촬영 시 조사된 4개 표본 필지의 정식 후 생육일수는 1, 5, 22, 22일로 가장 빨리 정식된 필지와 가장 늦게 정식된 필지는 21일의 차이를 보였다. NDVI와 정식일자는 결정계수 (R^2) 0.973으로 높은 상관관계를 보였다. 이후 2015년 7월 10일, 7월 14일 무인비행체 영상 촬영 시 표본 필지의 NDVI와 정식일자의 선형 회귀식은 기울기는 감소하고 y축 절편은 증가하여 짧은 생육일수 동안 NDVI가 더 많이 증가하는 경향을 보였다. 그러나 7월 28일 촬영된 무인비행체 영상의 NDVI에서는 선형 회귀식의 기울기가 다시 증가하고 y 절편도 감소하였으며 이후 8월 12일 촬영 영상에서는 선형 회귀식의 기울기가 증가할 뿐 아니라 y 절편도 더 크게 감소하는 경향을 보였으며 결정계수도 크게 감소하였다. 이는 7월말부터는 고랭지배추의 성장 속도가 저하되면서 생육일수 증가에 따른 NDVI 증가 폭이 앞서 촬영한 날짜의 영상 NDVI에 비해 상대적으로 적었으며 정식 후 40일 내외부터는 NDVI 증가가 정체되었기 때문으로 판단된다.

무인비행체 영상의 NDVI는 정식 후 초기 20일까지는 0.3 미만이었으나 이후 40일 내외에는 약 0.7이상으로 급격한 증가를 보였는데 이는 배추의 생육이 정식 후 약 20일까지는 완만한 성장을 보이다 20일 이후부터는 급격히 증가하기 때문으로 판단된다 (Kim et al., 2015). 2016년 안반데기 배추 정식시기 추정을 위해 조사된 필지는 모두 5필지로 6월 29일 촬영 시 정식 후 생육일수는 각각 0, 1, 1, 24일이었다. 정식일

자 조사 필지간의 차이는 최대 24일이었으며 정식이 늦은 4개 표본 필지의 경우에는 정식일자가 거의 유사하였으나 NDVI의 경우 0.1~0.2 정도 차이가 있었다. 7월 18일까지 NDVI 및 배추 정식 후 생육일수 간에는 높은 정의 상관관을 보였으나 이후에는 뚜렷한 상관관계를 찾을 수 없었다.

매봉산 단지의 경우 정식시기 추정을 위해 2015년 6월 23일 무인비행체 영상을 촬영하고 정식 후 생육일수가 각각 8, 9, 12, 12, 20, 21, 21일인 7개의 필지의 NDVI를 산정하여 NDVI와 정식 후 생육일수의 선형 회귀식을 구축하였다. 이후 7월 2일과 7월 11일, 7월 28일에 영상을 촬영하고 결정계수를 산정하였는데 6월 23일 0.679로 다소 낮았다가 7월 2일 0.925로 증가한 후 7월 11일 0.649로 다시 감소하는 경향을 보였다. 2016년에도 이와 유사한 경향을 보였는데 6월 21일 촬영한 무인비행체 영상의 NDVI와 정식 후 생육일수로 구축한 선형회귀식의 결정계수는 0.281이었으나 6월 29일 0.773로 증가했다가 7월 28일 0.633으로 감소하였다. 이는 배추 정식일자 조사 필지의 생육일수 차이는 2015년 최대 13일, 2016년 최대 10일로서 안반데기에 비해 1/2 수준으로 짧았음으로 배추 정식 후 20일 동안 배추의 생육이 완만함을 고려할 때 필지 간 생육 차이가 크지 않아 무인비행체 영상의 NDVI도 큰 차이를 보이지 않았기 때문으로 판단된다. 2015년 매봉산 단지 표본필지의 6월말, 7월초 정식 후 생육일수 20일 이하의 표본 필지 NDVI는 0~0.1의 범위를 보였으나 2016년 같은 기간

Table 4 Regression parameters between NDVI and DAT in sample survey fields on date in highland Kimchi cabbage area

2015 Anbandegi					2016 Anbandegi				
Date	Slope	Intercept	R ²	DAT in sample field	Date	Slope	Intercept	R ²	DAT in sample field
15/7/3	110.860	0.331	0.973	1, 5, 22, 22	16/6/29	51.664	1.303	0.976	0, 0, 1, 1, 24
15/7/10	54.627	3.994	0.994	8, 12, 29, 29	16/7/13	39.589	9.591	0.971	14, 14, 15, 15, 38
15/7/14	41.798	8.156	0.965	12, 16, 33, 33	16/7/18	40.345	12.803	0.927	19, 19, 20, 20, 43
15/7/28	116.820	-39.203	0.986	26, 30, 47, 47	16/8/4	13.038	32.324	0.004	36, 36, 37, 37, 60
15/8/12	218.440	-101.840	0.090	41, 45, 62, 62					
2015 Maebongsan					2016 Maebongsan				
Date	Slope	Intercept	R ²	DAT in sample field	Date	Slope	Intercept	R ²	DAT in sample field
15/6/23	122.550	10.214	0.679	8, 9, 12, 12, 20, 21, 21	16/6/21	76.347	6.479	0.281	10, 12, 12, 17, 20
15/7/2	64.505	16.141	0.925	17, 18, 21, 21, 29, 30, 30	16/6/29	46.286	12.437	0.773	18, 20, 20, 25, 28
15/7/11	63.619	-1.346	0.649	26, 27, 30, 30, 38, 39, 39	16/7/28	112.530	26.137	0.633	47, 49, 49, 54, 57
15/7/28	271.910	-138.910	0.794	43, 44, 47, 47, 55, 56, 56	16/8/10	-33.523	84.700	0.226	60, 62, 62, 67, 70
2015 Gwinemi					2016 Gwinemi				
Date	Slope	Intercept	R ²	DAT in sample field	Date	Slope	Intercept	R ²	DAT in sample field
15/7/2	59.111	3.575	0.232	0, 0, 1, 1, 1, 2, 3, 3, 8	16/6/29	127.100	-0.306	0.769	0, 0, 1, 9, 9, 21
15/7/11	83.454	3.707	0.527	9, 9, 10, 10, 10, 11, 12, 12, 17	16/7/13	40.174	11.906	0.965	14, 14, 15, 23, 23, 35
15/7/28	27.996	17.326	0.573	41, 41, 42, 42, 42, 43, 44, 44, 49	16/7/28	62.266	4.601	0.946	29, 29, 30, 38, 38, 50
15/8/12	51.131	9.683	0.276	26, 26, 27, 27, 27, 28, 29, 29, 34	16/8/5	162.690	64.639	0.423	37, 37, 38, 46, 46, 58

의 정식 후 생육일수 20일 이하의 표본 필지 NDVI는 0~0.2의 범위로 더 높은 값을 보였다. 이는 2015년의 경우 정식 초기인 5월말에서 6월초까지 가뭄으로 인해 정식 및 초기 생육이 지연되었기 때문으로 판단된다.

2015년 귀네미 단지의 경우 7월 2일 무인비행체 영상 촬영 당시 정식 일자 조사 필지의 배추 생육 일수는 0, 0, 1, 1, 1, 2, 3, 3, 8일로서 생육일수 차이가 최대 8일 밖에 나지 않았으며 NDVI와 정식 후 생육일자의 선형회귀식 결정계수도 0.232로 낮았으나 이후 7월 11일 0.527로 상승하는 경향을 보였다. 2016년의 경우에는 6월 29일 무인비행체 영상 촬영 시 정식 후 생육일수가 0, 0, 1, 9, 9, 21 일인 필지를 대상으로 NDVI를 산정하여 회귀식을 구축한 결과 결정계수 0.769로 2015년에 비해 높아졌으며 이후 2016년 7월 13일과 7월 28일의 경우 각각 0.965와 0.946의 높은 결정계수를 보였다. 이는 2016년의 경우 조사 필지의 정식일수가 최대 21일 차로 2015년의 8일에 비해 2배 이상 컸기 때문에 필지 간 생육 차이가 완연하여 무인비행체 영상 NDVI도 필지별로 차이가 더 크게 났기 때문으로 판단된다.

이처럼 무인비행체 영상의 NDVI와 정식 후 초기 생육일수 간의 관계는 정의 상관관계를 보이거나 무인비행체 영상 촬영 시점, 정식일자 조사 필지의 정식 후 생육일수 분포에 따라 선형 회귀식의 기울기, 절편 및 결정계수가 크게 달라지는 특성을 보였다. 대체적으로 정식일자 조사 필지의 생육일수 차이가 클수록 무인비행체 영상 NDVI와 정식 후 생육일수의 상관성은 증가하는 경향을 보였으나 정식 후 40일 이후부터는 배추밭의 NDVI가 정체되는 경향을 보였으므로 정식 후 40일 이전의 무인비행체 영상 NDVI로 정식시기를 추정하는 것이 합리적일 것으로 판단된다.

2. 정식시기 추정 모형 구축 및 평가

연속된 무인비행체 영상 촬영 시 더 늦은 촬영 시점을 기준으로 작성한 선형회귀식을 전체 촬영일의 조사 필지에 일괄 적용한 model 1의 경우 무인비행체 영상의 촬영 횟수가 증가할수록 RMSE가 1.59~3.60에서 4.23~33.81로 크게 증가하는 경향을 보였다 (Table 5). 다중 시기에 촬영한 무인비행체 영상을 기반으로 구간별로 선형회귀식을 적용한 model 2, 3, 4의 경우에는 RMSE가 1.69~6.30의 값을 보였다. 다중시기에 촬영된 모든 영상의 표본필지 NDVI와 정식 후 누적된 생육일수의 단일 회귀식으로 구축한 model 5의 경우 RMSE가 1.86~4.93의 값을 보였으며, log 형태 곡선으로 정식시기를 추정한 model 6의 경우 1.74~5.63의 값을 보였다.

다중 시기의 정식시기 추정 선형 회귀식을 사용한 model 2, 3, 4의 경우 2016년 안반데기에 3.94~6.30의 높은 값을 보였

는데 이는 2016년 안반데기 단지의 경우 표본 조사된 5개의 필지 중에서 4개의 필지가 생육일수 간의 차이가 1일 이하로 매우 유사하였으나 NDVI의 변화가 타 단지 및 연도 조사 필지에서는 유사한 정식일자의 경우 NDVI 차이가 0.1 이내였던 반면 최대 0.2까지 차이가 남에 따라 정식시기 추정 모형의 오차가 증가했기 때문으로 판단된다. 2015년 귀네미 단지에서는 다중 시기의 선형 회귀식을 함께 사용한 model 2, 3, 4에서 RMSE가 1.69~1.86으로 가장 낮았는데 이는 표본 조사 9개 필지의 최대 정식일수 차이가 8일로 크지 않았으나 매 촬영일 기준 표본 필지의 NDVI가 상호 중첩되지 않았기에 다중시기의 선형회귀식이 각각 독립적으로 적용되어 모형 추정의 오차를 줄일 수 있었기 때문으로 판단된다.

무인비행체 영상 촬영 시기, 표본 조사 필지의 정식 후 생육일수 분포에 따라서 정식시기 추정 모형의 RMSE는 연차 및 단지에 관계없이 변동하는 경향을 보였으나 RMSE가 가장 낮은 모형은 다중시기의 선형 회귀식을 함께 사용한 모형 (model 2~4) 중에서 찾을 수 있었다. 이는 배추 생육이 생육일수 경과에 따라 선형이 아닌 곡선의 증가 형태를 보이고 있으며 무인비행체 영상 촬영 당시의 배추 생육일자 조사 표본 필지의 선정에 많은 노력이 소요되는 한계가 있음으로 한 시기 영상의 NDVI를 이용한 정식시기 추정보다는 다중 시기의 무인비행체 영상을 활용한 정식시기 추정이 배추의 생육을 잘 반영했기 때문으로 판단된다.

다중시기 구간별 선형회귀 적용 모형 (model 2~4)을 2015년과 2016년의 귀네미 단지에서 농협 계약재배를 통해 정식 시기가 조사된 필지에 적용한 결과는 Table 6과 같았다.

2015년의 경우 7월 2일 영상으로 추정한 정식시기의 RMSE는 3.37이었으나 7월 2일과 7월 11일의 무인비행체 영상을 함께 활용한 경우 두 구간의 선형회귀식 선택 방법에 따라 RMSE는 각각 3.05, 3.44, 3.05의 값을 보였다. 조사된 배추밭의 정식시기가 24~34일의 범위를 보였던 7월 28일에는 세 시기에서 각각 구간 선형회귀식을 구간을 나누어 적용한 결과 3.17, 3.35, 3.37의 결과를 보여 구간 선택을 위한 점점 결정 방식에 큰 영향 없이 전체 기간에 대략 3일 내외의 오차가 발생한 것으로 나타났다.

2016년 6월 29일 촬영된 무인비행체 영상으로 정식시기를 추정한 결과 RMSE는 10.42로 2015년에 비해 매우 큰 값을 보였다. 이는 2016년의 경우 정식시기 조사일이 2015년에 비해 4일 빨랐을 뿐 아니라 2015년의 경우 정식 후 생육일수 10일 이하의 9개 필지로 선형회귀식이 구축되어 6월말부터 7월 초에 정식이 완료되는 귀네미 단지의 정식 후 초기 생육을 유사하게 반영할 수 있었던 반면 2016년의 경우에는 정식 후 생육일수 10일 이하의 4개 필지와 21일 1개 필지로 구성되어 초

기 생육을 과다 추정하였기 때문에 판단된다. 2016년 6월 29일의 무인비행체 영상으로 구축한 선형회귀식과 조사 필지의 정식시기가 10~20일 사이였던 7월 13일 영상의 선형회귀식의 구간을 나누어 적용한 결과 정식시기의 RMSE는 4.67~5.09의 값을 보였으며 정식후 30~40일의 분포를 보이는 7월

28일의 무인비행체 영상을 함께 이용한 결과 RMSE는 4.13~4.71의 값을 보였다. 다중시기의 선형 회귀식을 함께 사용함에 있어 인접한 두 구간의 접점을 선택하는 방식에 따른 RMSE 차이는 촬영 시기나 연차별로 뚜렷한 경향을 보이지 않았다. 무인비행체 영상의 NDVI와 표본필지의 정식 후 생육일수의

Table 5 Comparison of RMSE in estimation model of transplanting periods of Kimchi cabbage

2015 Anbandegi						
Date	model 1	model 2	model 3	model 4	model 5	model 6
15/7/3	1.59					
15/7/10	4.03	2.5	3.81	3.81	3.78	2.83
15/7/14	3.94	2.81	3.73	3.73	3.63	3.47
15/7/28	33.81	2.78	3.84	3.58	4.23	5.63
2016 Anbandegi						
Date	model 1	model 2	model 3	model 4	model 5	model 6
16/6/29	1.46					
16/7/13	5.65	4.55	3.94	4.55	3.93	4.02
16/7/18	6.84	6.30	4.40	-	4.49	4.95
2015 Maebongsan						
Date	model 1	model 2	model 3	model 4	model 5	model 6
15/6/23	3.02					
15/7/2	3.88	2.96	2.95	2.95	3.00	3.02
15/7/11	15.04	3.03	4.48	-	4.61	3.39
2016 Maebongsan						
Date	model 1	model 2	model 3	model 4	model 5	model 6
16/6/21	3.14					
16/6/29	3.33	2.59	2.59	2.77	2.75	2.85
2015 Gwinemi						
Date	model 1	model 2	model 3	model 4	model 5	model 6
15/7/2	2.04					
15/7/11	1.89	1.84	1.86	1.85	1.86	1.74
15/7/28	12.14	1.74	1.73	1.69	2.31	3.5
2016 Gwinemi						
Date	model 1	model 2	model 3	model 4	model 5	model 6
16/6/29	3.60					
16/7/13	6.73	3.87	5.11	3.93	4.93	3.69
16/7/28	4.23	3.51	4.59	4.11	4.17	4.83

Table 6 RMSE in estimation model of transplanting periods of Kimchi cabbage in Gwinemi for contract cultivation area

2015 Gwinemi				2016 Gwinemi			
Date	model 2	model 3	model 4	Date	model 2	model 3	model 4
15/7/2	3.37			16/6/29	10.42		
15/7/11	3.05	3.44	3.05	16/7/13	5.09	4.67	5.03
15/7/28	3.17	3.35	3.37	16/7/28	4.71	4.13	4.15

회귀식으로 추정한 정식시기는 초기 배추 생육이 포장 전체에 대해서 고르지 못하거나 경사지인 고랭지배추 밭의 지형적 특성으로 인한 반사율 차이 등으로 NDVI 값이 영향을 받을 경우 오차를 보일 수 있다. 또한 현장 여건을 감안하면 고랭지배추 단지의 정식시기를 대표하기 위한 표본조사 필지를 임의로 선택할 수 없는 한계가 있다. 그러나 무인비행체 영상의 NDVI를 활용해 추정된 2016년의 배추 정식시기의 RMSE가 2015년에 비해서는 1~2일 증가한 것이기는 하나 5일 이하

로 배추 생육이 대략 정식 후 60일 이상의 생육기간을 감안하면 오차가 10% 이내로서 정식시기 추정을 통해 수확시기를 추정하거나 생육 후반기의 생육이상 판별을 위해 생육정도를 추정하는데 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

3. 단지별 정식시기 비교

다중 시기에 구축된 선형 회귀식을 함께 사용한 model 2, 3, 4 중에서 모형 구축 후 추정값과 실측값의 RMSE가 가장 낮은

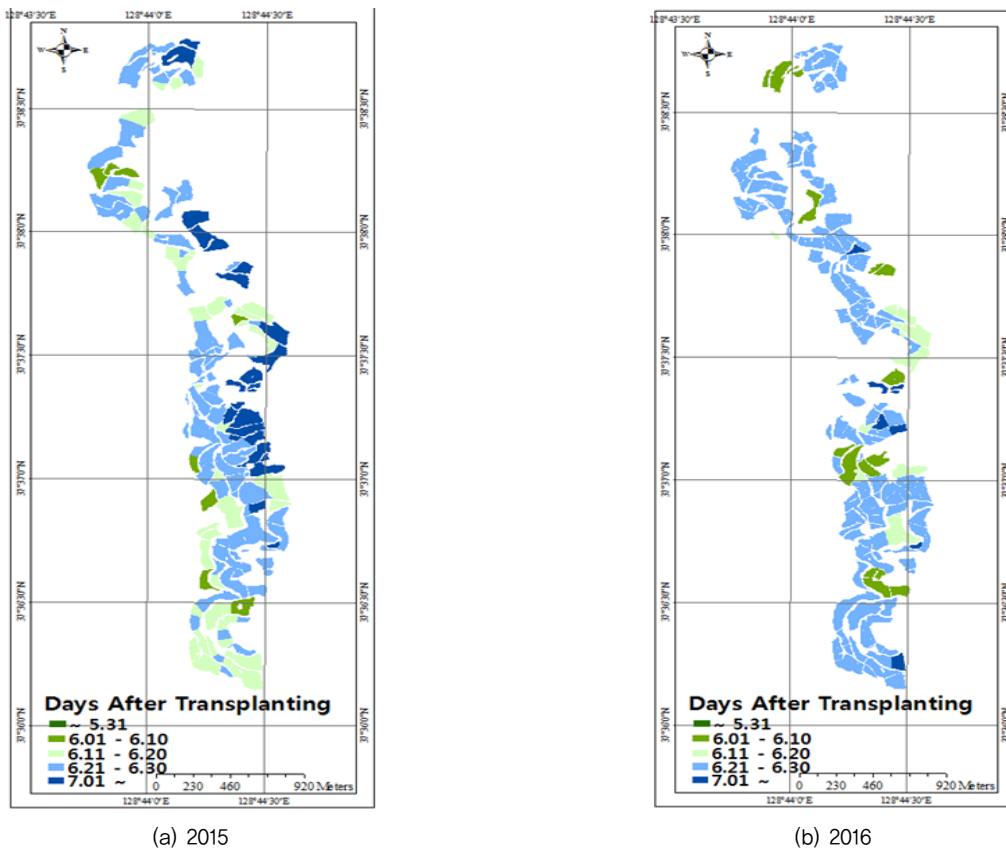


Fig. 4 Distribution of transplanting periods of Kimchi cabbage in Anbandegi from 2015 to 2016

Table 7 Estimation model of transplanting periods of Kimchi cabbage cultivation area (Anbandegi, Maebongsan, Gwinemi) from 2015 to 2016 (x: UAV NDVI, y: days after transplanting)

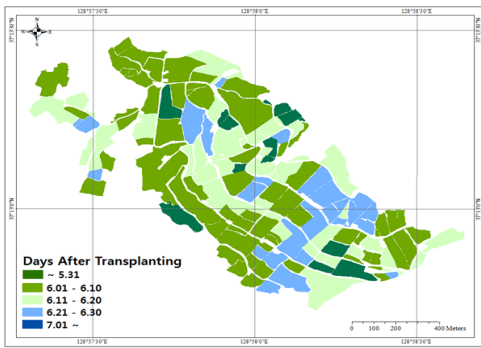
2015 Anbandegi	2016 Anbandegi
$y = \begin{cases} 110.860 \times x + 0.331 & (x \leq 0.212) \\ 54.627 \times x + 3.994 & (x > 0.212) \end{cases}$	$y = \begin{cases} 51.664 \times x + 1.303 & (x \leq 0.070) \\ 39.589 \times x + 9.591 & (x > 0.070) \end{cases}$
2015 Maebongsan	2016 Maebongsan
$y = \begin{cases} 122.550 \times x + 10.214 & (x \leq 0.027) \\ 64.505 \times x + 16.141 & (x > 0.027) \end{cases}$	$y = \begin{cases} 122.550 \times x + 10.214 & (x \leq 0.027) \\ 64.505 \times x + 16.141 & (x > 0.027) \end{cases}$
2015 Gwinemi	2016 Gwinemi
$y = \begin{cases} 59.111 \times x + 3.575 & (x \leq -0.005) \\ 83.454 \times x + 3.707 & (-0.005 < x \leq 0.246) \\ 27.996 \times x + 17.326 & (x > 0.246) \end{cases}$	$y = \begin{cases} 127.100 \times x - 0.306 & (x \leq 0.166) \\ 40.174 \times x + 11.906 & (0.166 < x \leq 0.595) \\ 62.266 \times x + 4.601 & (x > 0.595) \end{cases}$

모형을 선택하여 (Table 7) 안반데기, 매봉산, 귀네미의 2015년, 2016년 필지별 정식시기 분포를 추정하였다(Fig. 4, 5, 6).

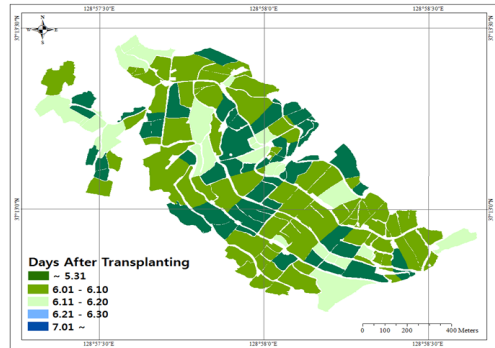
안반데기의 경우 2015년 배추 재배면적은 125.41 ha였으나 2016년의 경우 풍력발전소 증설로 인해 112.41 ha로 약 9% 정도 감소한 것으로 나타났다(Table 8). 배추 정식시기는 2015년의 경우 6월 하순을 정점으로 하여 6월 중순과 7월 초순 이후로 고르게 분포하였으나 2016년의 경우 6월 하순까지 정식이 거의 완료된 것으로 나타났다. 필지별 배추 식재 분포의 경우 단지의 중앙부를 중심으로 하부의 경우 연차별 배추 재배 필지

에 큰 변화가 없었으나 중앙부와 상부의 경우에는 연차별로 식재 분포의 차이를 보였다. 이러한 차이는 단지 중앙부의 경우 연차별로 감자와 배추를 돌려짓기 했기 때문으로 판단된다.

매봉산의 경우 2015년과 2016년의 배추 재배면적은 약 96 ha로 큰 차이가 없었다. 그러나 배추 정식시기의 경우에는 2015년에 비해 2016년이 앞당겨져 2015년의 경우 6월 초순까지 약 54%의 필지 면적에 정식이 완료되었으나 2016년의 경우 같은 기간 약 83%의 면적에서 정식이 완료되었다. 이는 2015년에 비해 2016년의 추석이 12일 빨랐기에 추석 전 배추

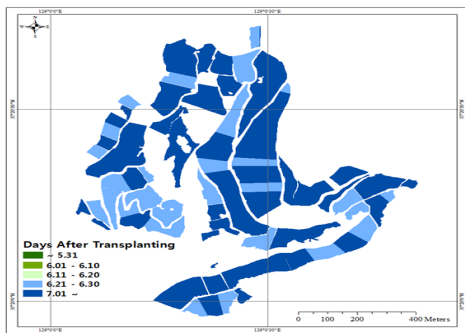


(a) 2015

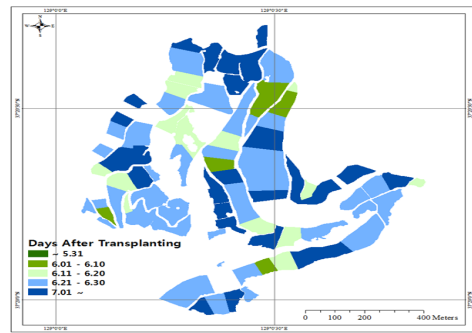


(b) 2016

Fig. 5 Distribution of transplanting periods of Kimchi cabbage in Maebongsan from 2015 to 2016



(a) 2015



(b) 2016

Fig. 6 Distribution of transplanting periods of Kimchi cabbage in Gwinemi from 2015 to 2016

Table 8 Estimation area of highland Kimchi cabbage transplanting by period from 2015 to 2016 (Unit : ha)

Site	Year	Transplanting Period					Sum
		Before June	1~10th June	11~20th June	21~30th June	After June	
Anbandegi	2015		6.19	34.69	61.87	22.66	125.41
	2016		13.08	10.20	85.34	3.61	112.24
Maebongsan	2015	15.47	36.73	27.63	16.26		96.09
	2016	27.71	51.66	16.72			96.09
Gwinemi	2015				14.8	37.37	52.17
	2016		3.02	6.54	25.22	15.24	50.02

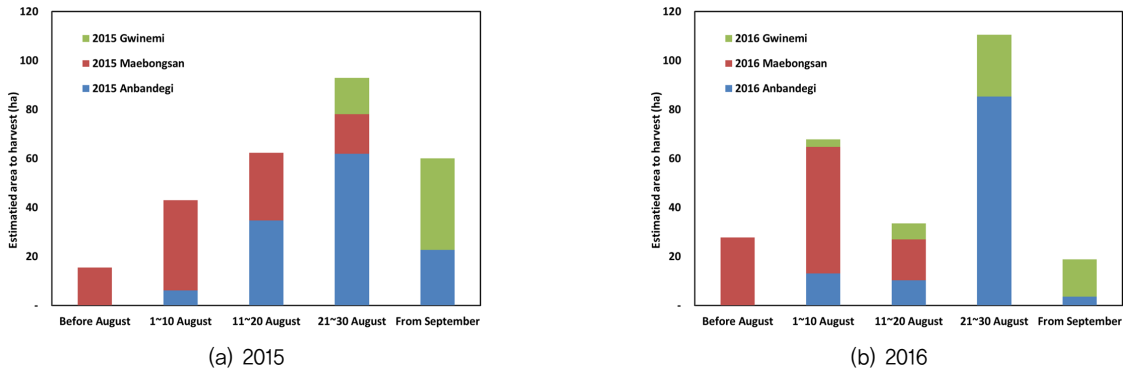


Fig. 7 Comparison of estimated area to harvest by period in highland Kimchi cabbage areas

출하를 위해 수확시기를 앞당겨진 것과 함께 2015년의 경우 6월 중순까지 가뭄이 심하여 배추 정식에 지연되었기 때문에 판단된다.

귀네미의 경우 2015년과 2016년의 배추 재배면적은 각각 52.17 ha와 50.02 ha로 2016년이 약 2 ha 정도 줄어든 것으로 나타났다. 2015년의 경우 대부분의 필지가 6월 하순부터 7월 초순 이후에 정식되었으나 2016년의 경우에는 일부 필지에서 6월 초중순에도 배추가 정식되는 경향을 보여 안반데기, 귀네미와 유사한 정식 경향을 보였다.

고랭지배추의 경우 병해충 등 외부 영향요인 없이 정상적으로 성장할 경우 정식 후 약 60일이 경과하면 수확기에 접어드는 것으로 알려져 있다(Na et al., 2016). 따라서, 고랭지배추 주산지별 정식시기 추정자료를 바탕으로 예상 수확시기 및 수확 가능 면적을 추정하였다(Fig. 7). 2015년의 경우 7월 하순부터 매봉산을 중심으로 수확시기에 접어들면서 8월 하순의 경우 최고 약 93 ha의 면적에서 수확이 가능할 것으로 추정되었다. 3개 단지를 종합하면 2015년에 비해 약 15 ha의 재배면적이 감소했던 2016년의 경우 정식시기가 다소 앞당겨지면서 7월부터 8월 초순까지는 2015년에 비해 약 37 ha 많은 면적이 수확기에 접어드는 것으로 나타났다. 그러나 8월 중순의 경우에는 2015년에 비해 수확가능 면적이 약 30 ha 정도 줄어들었다가 8월 하순에 다시 수확가능 면적이 110 ha로 크게 증가하는 것으로 나타났다. 대체적으로 2015년의 경우 고랭지배추의 시기별 수확가능 면적이 점차적으로 증가하다 감소하는 경향을 보였으나 2016년의 경우에는 수확가능 면적이 시기별로 증감을 반복하는 경향을 보였다.

IV. 결론

무인비행체 영상을 활용한 고랭지배추 단지의 전체적인 생

육상황 평가를 위해서는 우선적으로 배추의 정식시기가 추정되어야 한다. 따라서 본 연구는 무인비행체 영상을 활용하여 고랭지배추 주산지의 정식시기를 추정하기 위해 2015년~2016년 2년 동안 대표적인 고랭지배추 주산지인 강릉 안반데기, 태백 매봉산, 귀네미 단지의 무인비행체 영상 NDVI와 정식 후 생육일수의 회귀식을 산정하여 비교하였다. 무인비행체 영상의 NDVI와 배추 정식 후 생육일수 간의 회귀식 구축은 정식시기 분포를 고려한 표본 필지의 선정이 어렵고 S자 형태의 성장 곡선을 보이는 배추 생육 특성을 고려할 때 단일시기의 선형 회귀식을 적용하는 것 보다는 다중 시기에 개별적으로 구축된 선형 회귀식을 구간별로 적용하는 것이 더 적합한 것으로 나타났다. 선형회귀식의 구간별 적용 기준은 단지별, 연차별로 일정한 경향을 보이지 않아 표본 필지를 대상으로 모형 적용 시 RMSE가 가장 낮은 식을 적용해도 무방할 것으로 판단된다. 2015년과 2016년 귀네미 단지에 대해서 24~27개소 농협 계약재배 필지에 모형을 적용한 결과 RMSE가 5일 이하로 60일 이상의 배추 생육기간을 고려했을 때 표본필지의 값을 활용한 정식시기 추정을 통해 수확시기를 추정하거나 생육 후반기의 생육이상 판별을 위해 생육정도를 추정할 수 있을 것으로 판단된다. 본 모형을 2015년과 2016년의 안반데기, 매봉산, 귀네미 단지에 적용하여 단지 전체의 정식시기 분포를 추정한 결과 2015년에 비해 2016년의 정식시기가 대체적으로 앞당겨진 것으로 나타났다. 정식시기에 따른 수확가능 면적은 2015년의 경우 7월말을 시작으로 증가하여 8월말에 최고점을 보인 이후 9월초에 다시 감소하여 점진적인 변화를 보였으나 2016년의 경우에는 정식시기가 앞당겨지면서 수확가능 면적이 시기별로 큰 폭의 증감을 반복하는 경향을 보였다. 이러한 결과를 볼 때 무인비행체 영상을 활용한 정식시기 추정은 고랭지배추의 생산시기와 생산량을 추정할 수 있는 정보를 제공함으로써 수급대책 수립을 위한 자료로 활용 가능할 수 있을 것으로 판단된다.

사 사

본 논문은 농촌진흥청 공동연구사업(과제번호: PJ0108972017)의 지원을 받았으며, 이에 감사드립니다.

REFERENCES

1. Ahn, J. H., K. D. Kim, and J. T. Lee, 2014. Growth Modeling of Chinese cabbage in an alpine area. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* 16(4): 309-315 (in Korean).
2. 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.
3. Jensen, J. R., 2004. Introduction digital image processing : a remote sensing perspective, 3rd Edition. Pearson Education, p 580.
4. Kim, K. D., J. T. Suh, J. N. Lee, D. L. Yoo, M. Kwon, and S. C. Hong, 2015. Evaluation of factors related to productivity and yield estimation based on growth characteristics and growing degree days in highland kimchi cabbage. *Korean Journal of Horticultural Science and Technology* 33(6):911-922 (in Korean).
5. 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. *Journal of Korean Society of Soil Science and Fertilizer* 48(5): 384-390 (in Korean).
6. Lee, K. D., Y. E. Lee, C. W. Park, S. Y. Hong, and S. I. Na, 2016. Study on reflectance and NDVI of aerial images using a fixed-wing UAV "Ebee", *Journal of Korean Society of Soil Science and Fertilizer* 49(6): 731-742 (in Korean).
7. Lee, K. D., C. W. Park, K. H. So, K. D. Kim, and S. I. Na, 2017. Characteristics of UAV aerial images for monitoring of highland Kimchi cabbage. *Journal of Korean Society of Soil Science and Fertilizer* 50(3): 162-178 (in Korean).
8. 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.
9. Na, S. I., S. Y. Hong, C. W. Park, K. D. Kim, and K. D. Lee, 2016. Estimation of Highland Kimchi Cabbage Growth using UAV NDVI and Agro-meteorological Factors, *Journal of Korean Society of Soil Science and Fertilizer* 49(5): 420-428 (in Korean).
10. Park, J. K. and J. H. Park, 2015. Crop classification using imagery of unmanned aerial vehicle. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 57(6): 91-97 (in Korean).
11. Park, J. K. and J. H. Park, 2016. Applicability evaluation of agricultural subsidies inspection using unmanned aerial vehicle. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 57(6): 91-97 (in Korean).
12. Richardson, A. J. and J. H. Everitt, 1992. Using spectral vegetation indices to estimate rangeland productivity. *Geocarto International* 1:63-77.103:104-113.