Estimation of Rice Cultivation Area by Threshold Method using Sentinel-1 Imagery in South Korea

Kyung-Do Lee¹, Suk-Young Hong², Sook-Gyeong Kim³, Chan-Won Park², Ho-Yong Ahn¹, Sang-Il Na^{1*}, and Kyu-Ho So²

¹Researcher, National Institute of Agricultural Sciences, RDA, Wanju 56365, Korea

²Senior Researcher, National Institute of Agricultural Sciences, RDA, Wanju 56365, Korea

³Research Assistant, National Institute of Agricultural Sciences, RDA, Wanju 56365, Korea

*Corresponding author: sangil917@korea.kr

ABSTRACT

Received: August 13, 2020

Revised: August 24, 2020

Accepted: August 25, 2020

This study was carried out to classify country-wide areas of paddy rice cultivation using sentinel-1 SAR (synthetic aperture radar) imagery. Rice production with adequate level of area is important for decision making of rice supply and demand policy. It is essential to grasp rice cultivation areas in advance for estimating rice production of the year. Time-series Sentinel-1A and 1B images acquired from early May to early July were processed to convert into sigma naught (dB) images using SNAP (SeNtinel application platform) toolbox provided by European Space Agency. Farm map and parcel map, which are spatial data of vector polygon, were used to stratify paddy field population for classifying rice paddy cultivation. To distinguish paddy rice from other crops grown in the paddy fields, threshold levels were determined for each image based on crop calendar and backscattering coefficient range of paddy rice and other crops, and applied for the images to make theme maps with "1" for rice and "0" for other crops. Theme map layers were stacked to make one image and the each threshold value was applied to the theme map for rice classification. The classified areas of rice cultivation in 2020 under the stratification of three different paddy field population, 1) whole farm map, 2) farm map with paddy and plastic film house, 3) parcel map edited by LX, were 716,683 ha, 621,778 ha, and 641,679 ha, respectively. Reference data with spatial information need to be developed using farmhouse management and farmland boundary information. Image classification methods need to be attempted for further studies.

Keywords: Rice, Cultivation area, Sentinel-1, Threshold

(a) whole farm map

(b) farm map with paddy and plastic film house

(c) parcel map edited by LX

Maps for paddy rice cultivation areas classified from Sentinel-1 imagery using different rice paddy population based on farm map and parcel map.

Introduction

농업면적 통계는 경지면적 및 작물별 재배면적을 포함하며, 농업생산의 기반인 토지자원의 확보와 이용, 작물생산 계획 수립, 양곡 수급계획 수립 등의 농업정책 수행에 필요한 기초자료를 제공하기 위해 통계청에서 매년 조사하고 있다. 우리나라의 논 면적은 829,778 ha (2019)로 전국 농경지의 약 52.5%를 차지한다. 논 벼 재배면적은 729,585 ha (2019)로 논 면적의 87.9%로 나타났다 (KOSIS, 2020). 최근 논 면적과 논 벼 재배면적은 점차 줄어드는 것으로 나타났다.

육류 섭취량의 증가, 간편식이나 빵으로 끼니를 해결하는 식생활의 다변화로 인해 국민 1인당 연간 쌀 소비량이 사상 처음 60 kg 아래로 떨어지는 등 쌀 공급 과잉이 심화되고 있다. 정부는 강력한 쌀 생산조정제를 한시적으로 추진하여 쌀 수급안정을 도모하여 농가의 소득을 안정화할 수 있도록 각종 제도를 개편·운영하고 있다. 이를 위해서는 벼 재배면적과 생육상황에 대해 조기에 정확하게 파악하여 해당년도 쌀 생산량을 예측하는 것이 필요하다. 그러나 9월 - 10월에 걸쳐 면적과 생산량이 발표되고 있어 시의 적절한 농정계획의 수립과 운영을 위해서는 사전에 이를 파악할 수 있는 방법의 개발이 요구된다.

위성을 이용한 관측은 다양한 파장영역을 감지하는 센서를 이용하여 넓은 지역을 대상으로 주기적으로 자료를 획득할 수 있다. 육안으로 감지하기 어려운 물체나 표면의 상태를 감지할 수 있는 이점을 가지고 있다 (Campbell, 1996). 즉, 광원에 대해 지표면 피복체의 분광반사(reflected) 또는 복사의 방출(emitted)을 측정해서 그 신호를 생물현상으로 해석하여 대상물의 종류와 특성을 알아낼 수 있다. 그러나 그 신호는 대상체를 둘러싼 환경 즉, 일사량, 수분함량, 기온 등 환경변화에 매우 민감하기 때문에 정확하고 경험을 수반한 자료축적과 기술이 요구된다 (Hong, 1998). 최근에는 무인비행체를 이용하여 들녘단위 주산지에 대한 정밀한 작물 재배면적 추정 기술 개발 연구도 활발하게 진행되고 있다 (Na et al., 2016; Lee et al., 2016)

위성영상의 육안판독 또는 분류기법을 이용하여 지역 및 국가단위 논 면적을 추정한 사례는 다양하다 (Hong et al., 2001; Hong et al., 2012; Jeong et al., 2012; Hong et al., 2015). 논 벼는 관개하여 담수(flooding)상태로 재배하므로 위성을 이용하여 벼 재배지역을 분류하기 위해서는 입사되는 에너지에 대해 반응하는 물의 반응 특성을 감지하는 것이 중요하다. C- 및 L-밴드 마이크로파 후방산란계수(backscattering coefficient), 근·중간 적외선 반사(reflectance) 특성이 물 분류를 위한 유효파장으로 알려져 있다 (Jensen, 2014).

이앙기에는 담수상태이면서 출수기에는 식생이 생육하는 특성을 분류조건으로 두 시기 Landsat TM 영상을 이용하여 당진군 일원의 논 면적을 추정하였고 (Hong et al., 2001), MODIS (MODerate resolution Imaging Spectroradiometer) 영상을 이용하여 지역별로 임계값을 다르게 적용하여 논 관개시기를 추정하고 관개 논 면적을 산정하였다 (Jeong et al., 2012). 벼 생육에 따른 RADARSAT (C-밴드, 5.3 GHz, HH편광, S5/S6) 영상의 후방산란계수의 범위는 -16 ~ -3 dB로, 담수 초기에 -16 ~ -13 dB, 최대생육기에 -4.4 ~ -3.1 dB로 나타났고 (Hong et al., 2000), 엽면적지수 등 생육인자와의 상관성이 높게 나타났다 (Na et al., 2014). 또한, 벼의 조생종과 중만생종의 생육단계별 후방산란계수의 차이를 이용하여 품종을 구분하는데 활용하였다 (Jang et al., 2012). 프랑스의 카마흐그 지역 농경지를 대상으로 Sentinel-1 영상을 이용하여 decision tree 및 random forest 기법으로 농작물을 분류한 결과 벼의 분류 정확도는 각각 96.3%와 96.9%로 높게 나타났다 (Bazzi et al., 2019).

Sentinel-1은 유럽우주국 (European Space Agency, ESA)에서 합성개구레이더 (Synthetic Aperture Radar, SAR)가 탑재되어 마이크로파를 지상에 쏘아 반사되어 돌아온 신호를 합성하여 영상을 만드는 방법을 사용함으로써 구름이 졌을 때나 야간에도 관측이 가능하다 (ESA, 2020). 공간해상도는 10 m, 중심주파수는 5.405 GHz, 단일편파 또는

이중편파의 C-밴드 SAR로 2014년에 1A, 2016년에 1B를 발사하여 각각 12일 간격으로 번갈아 촬영하여 6일 간격의 재방문주기를 갖는다 (ESA, 2020). 특히, 강이나 호수의 물은 바람이 없는 경우 입사된 마이크로파가 매우 강한 전반사를 일으켜 후방산란이 거의 없어 SAR 영상에서 매우 어둡게 나타난 주변과 강한 대비를 나타낸다 (Lee, 2011).

벼 이앙 전후 촬영된 시계열 Sentinel-1 레이더 영상의 후방산란계수 값의 변화와 벼 논지의 관개, 이앙, 벼의 생육으로 인한 물의 반응 특성을 이해하고 영상분석을 통한 우리나라 벼 재배면적 조사에 대해 알아보려고 본 연구를 수행하였다.

Materials and Methods

대상지역 및 사용자료 본 연구는 전국 농경지를 대상으로 하고 있으며, 2019년과 2020년 이앙기 전 후에 촬영된 시계열 Sentinel-1 영상을 관개 논에서 재배되는 벼를 탐지하는데 활용하였다. 우리나라 전역을 Sentinel-1 영상으로 분석하기 위해서 1A는 6 씩 (scene), 1B는 5 씩이 필요하였고 촬영영역은 Fig. 1과 같고, 유럽 우주국의 Copernicus open access hub (<https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>)을 통해 제공되는 영상을 다운로드하였다. 재배되는 벼

Sentinel-1A

Sentinel-1B

Fig. 1. Spatial coverage of Sentinel-1 imagery over the country.

Table 1. Sentinel-1 acquisition for detecting paddy rice in 2019 and 2020.

2019				2020			
Left path		Right path		Left path		Right path	
Dates	Sensor	Dates	Sensor	Dates	Sensor	Dates	Sensor
May 3	1B	May 4	1A	May 3	1A	May 4	1B
May 9	1A	May 10	1B	May 9	1B	May 10	1A
May 15	1B	May 16	1A	May 15	1A	May 16	1B
May 21	1A			May 21	1B	May 22	1A
May 27	1B	May 28	1A	May 27	1A	May 28	1B
June 2	1A	June 3	1B	June 2	1B	June 3	1A
June 8	1B	June 9	1A	June 8	1A	June 9	1B
June 14	1A	June 15	1B	June 14	1B		
June 20	1B	June 21	1A	June 20	1A	June 21	1B
June 26	1A	June 27	1B	June 26	1B	June 27	1A
July 2	1B	July 3	1A	July 2	1A	July 3	1B

를 탐지하기 위해서 논외의 관개는 5월 3일부터 모내기 이후 벼 군락이 형성되기 시작하는 7월 2일까지 촬영된 시계열 영상을 수집하였다 (Table 1). 수집된 영상은 2019년과 2020년에 각각 left path는 11시기, right path는 10시기로 영상처리 후 벼 재배면적 추정에 활용되었다.

본 연구에서는 팜 맵 또는 지적도 상에서 논으로 사용되는 농경지를 모본 집단으로 사전에 추출한 후, 벼논 관개로 인한 마이크로파의 물의 반응 특성을 영상 별로 감지하고 임계값을 이용하여 타작물과 구분하였다. 이 때 팜 맵은 농림축산식품부, 영상정보를 이용하여 연속지적도의 위치정확도를 높여 편집한 LX 기본도는 한국국토정보공사로부터 제공받았다.

레이더 영상 전처리 유럽우주국은 Sentinel-1 영상뿐만 아니라 표준화된 영상 전처리 작업을 위한 툴박스인 SNAP (Sentinel application platform)을 제공하고 있다. 본 연구에서는 SNAP을 이용하여 위성의 위치와 속도 등 정확한 orbit 정보의 적용, 열 잡음 (thermal noise) 제거, 이미지 강도 (image intensity) 값을 보정된 SAR 후방산란 (backscatter) 값으로 변환하는 복사보정, 수치표고모형을 이용한 지형보정 등의 과정을 거쳐 sigma0 영상을 제작하여 농경지의 상태를 해석하는데 사용하였다 (Fig. 2).

벼 재배지역 탐지 우리나라 논에 벼를 재배할 경우 지역이나 품종, 작부체계를 고려할 때 벼 농사를 위해 관개한 물의 특성과 벼의 초기 생육변화를 C-밴드 레이더 위성영상을 통해 감지할 수 있는 시기는 5월 초부터 7월 초다. 물의 특성이 강할수록 후방산란계수 값이 낮게 나타나고 생육이 진행되면서 값이 높아지는 것으로 보고되고 있다 (Hong et al., 2000).

5월 초부터 7월 초 사이에 촬영된 각각의 영상에서 폴리곤 형태의 벡터 파일로 작성된 팜 맵 또는 지적도를 이용하여 먼저 논 모집단으로 사용할 농경지 부분을 추출하였다. 팜 맵은 농경지 실지 경계이기 때문에 대개 논에 설치되는 시설 재배지도 논과 함께 모집단으로 간주하였다. LX기본도는 지목이 논으로 된 부분만 모집단으로 간주하여 추출하였다.

Fig. 2. Sentinel-1 ground range detected (GRD) preprocessing workflow (Filipponi, 2019).

Fig. 3. An UAV image taken over paddy fields (left) and irrigated paddy areas classified (right).

Sentinel-1 영상 후방산란계수를 활용하여 벼 재배지를 추출하기 위한 임계 값은 팜 맵과 LX 기본도 기반의 논 모 집단 벡터자료를 이용하여 필지 별 후방산란계수 평균값을 계산한 후 벼와 콩 등 타 작물 재배지 구분이 가능하도록 경계 값을 선정하였다. 이를 위해 2019년과 2020년에 김제 부량면 신용리 일원을 대상으로 촬영된 5 cm 해상도의 시 계열 드론 영상을 판독하여 벼와 콩 재배지를 구분하였다. Sentinel-1 영상 별로 후방산란계수 경계 값을 임계 값으로 적용하여 필지의 후방산란계수가 임계 값보다 작으면 “1”. 그렇지 않으면 “0”값을 부여하였다 (Fig. 3).

이와 같이, 논 관개 여부에 따라 “1” 또는 “0”값을 부여한 영상을 각각 제작한 후 이들 영상을 시계열로 중첩하여, 화소 별로 영상간 분류조건을 만족하는 경우 벼 재배를 하는 필지로 분류하였다. 중첩된 영상을 대상으로 이양기 전후 에 관개했을 때 후방산란계수 값이 작았다가 벼 생육이 진행되면서 값이 높아지는 벼의 생물계절 특성을 보이는 경우, 벼를 재배한다고 판단하였다. 즉, 한번이라도 필지 별로 1의 값을 보이는 필지는 벼를 재배한다고 판단하였다. 그러나, 화소 별 시계열 영상의 값이 모두 0이거나 1인 경우는 제외하였다. 필지 별로 벼 재배 유무를 판별한 후에는 행정구역 별로 벼 재배 필지의 폴리곤 면적 값을 취합하여 벼 면적을 산정하였다

Results and Discussion

벼 이양시기 벼는 품종이나 자라는 환경에 따라 대개 발아부터 등숙, 수확까지 생육기간이 130 - 160일 정도 소요된다. 농촌진흥청이 제시하는 지역별 벼 모내기 적기는 중만생종 단작 기준으로 경기·강원 등 중부지방과 충청 지방은 5월 중하순, 호남 및 영남지방은 5월 하순부터 6월 초다. 조생종은 대개 5월 초중순에 걸쳐 모내기를 하고 있지만 품종, 지역, 고도 등에 따라 그 시기는 상이하다. 이와 같이 모내기 시기와 생육진척도 차이 등이 위성의 자료 값으로 다르게 나타나는 것을 이용하여 조생종과 중만생종 분류가 가능하였다 (Jang et al., 2012). 이모작을 하는 경우 호남 지방은 맥류 수확 후, 6월 중하순에 이양을 하고 있는 것으로 나타났다. 벼 모내기는 중부지방과 충청지방이 가장 빠르고, 마늘과 양파 후작으로 모내기를 하는 경북지역이 다음으로 빠른 편이다. 전남북과 경남 지역은 동계조작료 재배 지, 맥류 이모작 지역, 마늘·양파 후작 면적이 넓은 이유로 모내기가 늦은 편이다.

후방산란계수 변화 벼 재배에 필요한 경운, 관개, 씨레질, 모내기 등 농작업에 따라 논 표면 토양의 거칠기와 토 양수분 상태는 크게 달라진다. 논에 대한 시계열 Sentinel-1 영상의 후방산란계수 값도 나지 (경운), 물 (관개), 식생

(벼 생육) 등 논외의 상태와 벼의 생물계절에 따라 다양하게 변화한다. 특히, 모내기 전후 관개 시 물에서 전반사를 일으켜 후방산란이 매우 약하고 벼의 성장과 함께 벼의 줄기와 잎에서 이중반사 또는 체적 반사도 증가하여 점차 후방산란이 증가한다 (Lee, 2011).

김제시 일원의 논을 대상으로 모내기 전후, 벼와 콩이 자라고 있는 필지의 후방산란계수 변화를 살펴보았다 (Fig. 4). 벼 단작 (Rice 1)의 경우 5월의 후방산란 계수가 -82 ~ -78 dB의 범위로 나타났고, 5월 하순에는 후방산란이 가장 낮았다가 6월 중순에 -76 ~ -73 dB로 증가하였다. 이모작의 경우 맥류 등 동계작물의 등숙기인 5월에는 후방산란계수가 -76 ~ -68 dB 범위로 나타났고 수확 후 관개 및 이앙하는 6월 중하순의 후방산란계수가 -82 ~ -78 dB의 범위로 나타났다. 한편, 논 콩은 파종 전 토양 만드는 단계의 후방산란이 상대적으로 높게 나타났고 5월 말에서 6월 초에 파종과 함께 농경지 표면이 비교적 균일해지면서 후방산란계수가 -76 ~ -74 dB로 작아졌다. 이후 콩이 자라면서 후방산란이 점차 커져갔다.

Fig. 4. Time series radar backscattering coefficients of Sentinel-1A (upper) and Sentinel-1B (below) of paddy rice fields in Gimje areas as a function of time.

임계값 선정 본 연구에서는 이와 같이 논에서 자라는 벼와 콩 등 타 밭작물의 후방산란계수 값 변화 추이와 차이를 이용하여 벼를 분류할 수 있도록 Sentinel-1 영상 별로 임계값을 정하였다. 이 때 팜 맵과 LX 기본도(지적도) 등을 논으로 활용될 개연성이 있는 농경지 모본 집단으로 1차 추출하였다. 이 때, 팜 맵은 전체를 이용하거나, 논+시설 부분을 추출하여 사용하였고 LX 기본도는 지목이 논인 부분만 추출하여 모본 집단으로 사용하였다. 2019년과 2020년 레이다 영상과 드론 영상을 이용하여 논에서 벼와 타 작물을 분류하는 임계값을 선정한 결과는 Table 2와 같았다. 논에서 담수로 인한 벼 재배 및 타작물 재배의 후방산란계수 임계 값은 -73 ~ -80 dB 값으로 나타났다. 2019년 경우 5 - 6월 중순까지는 -76 dB ~ -80 dB의 값을 보였으나 6월 하순부터 7월 초순까지는 -73 ~ -74 dB의 값을 보여 임계 값이 상향한 결과를 보였다. 2020년 경우 5 - 6월 중순까지 -74 ~ -80 dB 값으로 나타나 2019년에 비해 임계 값이 상향되는 경향을 보였다. 이러한 차이는 레이다 위성영상 촬영 특성, 촬영 전 강우 등 기상환경, 시기별 작물생육 및 영농관리 차이 등에 따른 것으로 추정된다.

벼 재배 분포 및 면적 산정 Sentinel-1 영상 임계 값을 활용하여 추정한 2019, 2020년의 벼 재배면적은 Table 3과 같았다. 모집단으로 사용한 팜 맵 벡터 지도, 팜 맵에서 논과 시설 지목을 추출한 벡터지도, LX 기본도에서 논을 추출한 벡터 지도를 활용하여 추정한 2020년 벼 재배면적은 각각 716,683 ha, 621,778 ha, 641,679 ha였다 (Table 3, Fig. 5). 분류된 재배면적 값에 대한 비교 및 검증을 위한 기준 자료가 미비한 실정이다.

2019년에 대한 벼 재배면적은 각각 773,018 ha, 638,495 ha, 677,972 ha였다. 이는 2019년 통계청에서 발표한 벼 재배면적 729,585 ha에 106%, 88%, 93%의 값을 보여 10% 내외 오차를 보였다. 통계청 벼 재배면적의 경우 표본조사를 통한 추정으로 본 연구에서 수행한 전수조사 추정 방법과 달라 1:1의 비교는 어렵다. 그러나 통계청 벼 재배면적과 레이다 위성영상을 활용한 벼 재배면적 추정 값이 10% 내외의 오차를 보이는 것은 레이다 위성영상의 경우 농경지 주변의 도로, 주택 등 구조물의 간섭에 영향을 받을 수 있는 점, 평야지 논을 대상으로 추출한 임계 값이 지형이 복잡한

Table 2. Threshold of backscattering coefficients in Sentinel-1 imagery to distinguish paddy rice from upland crops in paddy fields.

2019				2020			
Left path		Right path		Left path		Right path	
Dates	Threshold	Dates	Threshold	Dates	Threshold	Dates	Threshold
May 3	-77.065	May 4	-77.065	May 3	-79.101	May 4	-79.101
May 9	-78.774	May 10	-78.774	May 9	-74.811	May 10	-74.811
May 15	-78.799	May 16	-78.799	May 15	-74.442	May 16	-74.442
May 21	-77.247			May 21	-76.308	May 22	-76.308
May 27	-75.977	May 28	-75.977	May 27	-79.137	May 28	-79.137
June 2	-80.375	June 3	-80.375	June 2	-79.303	June 3	-79.303
June 8	-77.071	June 9	-77.071	June 8	-80.454	June 9	-80.454
June 14	-79.087	June 15	-79.087	June 14	-75.215		
June 20	-78.608	June 21	-78.608	June 20	-75.109	June 21	-75.109
June 26	-74.926	June 27	-74.926	June 26	-76.469	June 27	-76.469
July 2	-73.451	July 3	-73.451	July 2	-74.034	July 3	-74.034

곡간지 논에 적용하는데 한계가 있을 수 있다는 점, 필지 별로 영상 값을 추출하는 벡터 지도가 2 - 3년 전의 항공영상으로 제작되어 최신의 논 경계를 반영하기에는 한계가 있었기 때문으로 판단된다. 따라서 추후에는 논 구분을 위한 최적의 농경지 경계 벡터지도 선정과 지형적 특성을 고려하여 평야지 뿐 아니라 곡간지 등 다양한 지역에서 논 관개에 따른 레이더 영상 후방산란계수의 특성 분석 및 분류 방법 적용이 필요할 것으로 판단된다.

분류된 재배면적에 대한 검증을 위해 사용할 수 있는 속성자료는 농업경영체 자료에 등록된 작물 정보가 있다. 이를 팜 맵 또는 지적도 폴리곤과 연결할 수 있다면 기준 공간정보로 사용할 수 있다. 그러나 이들 각각의 자료는 연도의 불일치, 등록데이터의 신뢰도, 농경지 지도의 위치정확도 등 데이터가 가진 불확실성은 여전히 존재한다는 한계가 있다. 보완을 통해 정확한 기준 자료도 함께 만들어 갈 필요가 있다.

Table 3. Comparison of paddy rice cultivation areas classified from Sentinel-1 imagery using different paddy field population based on farm maps and parcel maps, and acreage statistics.

Paddy field population used for stratification	Farm map 1		Farm map 2		Parcel map	
	2019	2020	2019	2020	2019	2020
Paddy rice area classified from Sentinel-1(ha)	773,018	716,683	638,495	621,778	677,972	641,679
Areas for paddy field population(ha)	1,502,603		856,676		1,118,686	

* Farm map 1 refers to all agricultural land use types such as paddy, plastic film house, upland, orchard, and ginseng fields, Farm map 2 includes paddy field and plastic film house.

* Statistics of paddy field area is 829,779ha and rice cultivated area is 729,576ha in 2019.

Fig. 5. Maps for paddy rice cultivation areas classified from Sentinel-1 imagery using different rice paddy population based on farm map and parcel map.

Conclusions

위성영상을 이용하여 전국 농경지를 대상으로 정부 차원의 미곡 생산조정을 위한 벼 재배면적을 조기에 파악할 수 있는 기술을 개발하기 위해, 벼 이앙 전후에 촬영된 2019년과 2020년 시계열 Sentinel-1 레이더 후방산란계수 영상분석을 통해 관개 논에서 자라는 벼 재배면적을 추정하였다. 우리나라 전역을 분석하기 위해 Sentinel-1A는 6썸, 1B는 5썸이 필요하였고 연도별로 5월 초부터 6월 초까지 각각 11시기와 10시기의 영상을 연구에 활용하였다. 레이더 영상은 구름이 있거나 야간에도 관측이 가능한 특성이 있고, 논이 물에 잠겨 있을 경우 입사된 마이크로파가 강한 전반사를 일으켜 후방산란이 거의 없어 자료 값이 작고 SAR 영상에서 어둡게 나타나 주변과 강한 대비를 나타낸다. 유럽 항공우주국에서 제공하는 영상전처리 툴박스 SNAP을 이용하여 궤도 수정, 잡음 제거, 복사보정, 지형보정 등의 과정을 거쳐 Sigma 0 (dB) 영상을 제작하였다.

시계열 각 영상 별로 관개한 벼 논과 타 작물을 분류하는 임계값을 정하여 “1 (true)”과 “0 (false)”값으로 분류하였고, 이들 분류영상을 시계열로 중첩하여 화소별로 벼 생육계절에 따라 “1”값이 1회 이상 나오는 필지를 벼 재배지로 판단하여 면적을 산정하였다. 영상에서 논으로 활용될 모작단으로 1차 층화한 후, 레이더 영상에서 벼 재배지를 분류하였는데 이때 사용한 모작단은 1) 팜 맵 벡터 지도, 2) 팜 맵에서 논과 시설 지목을 추출한 벡터지도, 3) LX 기본도에서 논을 추출한 벡터 지도이다. 이들을 이용하여 층화한 후 분류한 2019년에 대한 벼 재배면적은 각각 773,018 ha, 638,495 ha, 677,972 ha였다. 2019년 통계청에서 발표한 벼 재배면적 729,585 ha와 단순 비교했을 때 106%, 88%, 93%의 값을 보여 10% 내외 오차를 보였다. 2020년은 아직 면적통계 발표 전이고 벼 재배면적은 각각 716,683 ha, 621,778 ha, 641,679 ha로 나타났다. 본 연구에서 수행한 전수조사 추정 방법과 달라 1:1의 비교는 어렵다. 그러나 통계청 벼 재배면적과 레이더 위성영상을 활용한 벼 재배면적 추정 값이 10% 내외의 오차를 보이는 것은 레이더 위성영상의 경우 농경지 주변의 도로, 주택 등 구조물의 간섭에 영향을 받을 수 있는 점, 평야지 논을 대상으로 추출한 임계값이 지형이 복잡한 곡간지 논에 적용하는데 한계가 있을 수 있다는 점, 필지 별로 영상 값을 추출하는 벡터 지도가 2 - 3년 전의 항공영상으로 제작되어 최신의 논 경계를 반영하기에는 한계가 있었기 때문으로 판단된다.

추후에는 논 구분을 위한 최적의 농경지 경계 벡터지도 선정과 지형적 특성을 고려하여 평야지 뿐 아니라 곡간지 등 다양한 지역에서 논 관개에 따른 레이더 영상 후방산란계수의 특성 분석 및 분류 방법의 개발 및 적용이 필요할 것으로 판단된다.

Acknowledgement

This work was carried out with the support of “Cooperative Research Program for Agriculture Science & Technology Development (Project No. PJ01383701)” Rural Development Administration, Republic of Korea.

References

- Bazzi, H., N. Baghdadi, M.E. Hajj, M. Zribi, D.H.T. Minh, E. Ndikumana, D. Courault, and H. Belhouichette. 2019. Mapping paddy rice using Sentinel-1 SAR time series in Camargue, France. *Remote Sens. Letter.* 11:887.
- Campbell, J.B. 1996. Introduction to remote sensing. 2nd ed., The Gilford Press, New York, NY, USA. pp.4-5,

550-551.

ESA (European Space Agency). 2020. <http://sentinel.esa.int/>

Hong, S.Y. 1998. Analysis on rice growth information and estimation of paddy field area by using remotely sensed data. Dissertation, Kyungpook National University (in Korean).

Hong, S.Y., B.K. Min, J.M. Lee, Y.H. Kim, and K.D. Lee. 2012. Estimation of paddy field area in North Korea using RapidEye images. *Kor. J. Soil Sci. Fert.* 45(6):1194-1202 (in Korean).

Hong, S.Y., H.J. Park, K. Jang, S.U. 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. *Kor. J. Soil Sci. Fert.* 48(5):361-371 (in Korean).

Hong, S.Y., S.H. Hong, and S.K. Rim. 2000. Relationship between RADARSAT backscattering coefficient and rice growth. *J. Korea. Remote Sens.* 16(2):109-116.

Hong, S.Y., S.K. Rim, K.S. Lee, I.S. Jo, and K. K. Kim. 2001. Estimation of rice-planted area using Landsat TM imagery in Dangjin-gun area. *Kor. J. Agr. Forest Meteo.* 3(1):5-15 (in Korean).

Jang, M.W., Y.H. Kim, N.W. Park, and S.Y. Hong, 2012. Mapping paddy rice varieties using multi-temporal RADARSAT SAR images, *Kor. J. Remote Sens.* 28(6):653- 660 (in Korean).

Jensen, J.R. 2014. Remote sensing of the environment: an earth resource perspective, Prentice-Hall, Upper Saddle River, NJ, USA.

Jeong, S., S. Kang, K. Jang, H. Lee, S. Hong, and D. Ko. 2012. Development of variable threshold models for detection of irrigated paddy rice fields and irrigation timing in heterogeneous land cover. *Agricultural Water Management*, 115:83-91.

KOSIS (Korean Statistical Information Service). 2020. Agricultural area survey, Statistics Korea. <http://kosis.kr/>

Lee, H.Y. 2011. Application of SAR imagery. *Kor. J. Elecromagnetic Engineering and Sci.* 22(6):55-67 (in Korean).

Lee, K.D., Y.E. Lee, C.W. Park, and S.I. Na. 2016. A comparative study of image classification method to classify onion and garlic using unmanned aerial vehicle (UAV) imagery. *Kor. J. Soil Sci. Fert.* 49(6):743-750 (in Korean).

Na, S.I., C.W. Park, and K.D. Lee. 2016. Application of highland Kimchi cabbage status map for growth monitoring based on unmanned aerial vehicle. *Kor. J. Soil Sci. Fert.* 49(5):469-479 (in Korean).

Na, S.I., S.Y. Hong, Y.H. Kim, and K.D. Lee. 2014. Evaluation of the applicability of rice growth monitoring on Seosan and Pyongyang region using RADARSAT-2 SAR – by comparing RapidEye. *J. Kor. Soc. Agr. Eng.* 56(5):55-65 (in Korean).