

다중시기 위성영상을 이용한 쌀보리 재배지 분류 및 생산량과 기후자료 간 관계분석*

박현수** · 장동호***

Classification of Naked Barley Cultivation Area Using Multi-temporal Satellite Images and Relationship between Naked Barley Yield and Climate Data*

Hyun-Su Park** · Dong-Ho Jang***

요약 : 본 연구에서는 국내 주요 쌀보리 생산지인 전라남도 일부 지역의 쌀보리 생산 면적을 탐지하는 데에 있어 위성영상의 효율성을 검토하였으며, 연도별 쌀보리 생산량 통계자료와 기후자료 간의 비교 분석을 통하여 기후변화가 쌀보리의 생산에 어떤 영향을 미치는지 분석하였다. 연구결과, 위성영상 분류를 통해 추출한 쌀보리 재배면적의 수치는 통계자료 대비 오차율 10%를 넘지 않았기 때문에 비교적 정확한 분류가 이루어졌다고 판단된다. 기후자료 분석결과, 쌀보리의 생산성에 가장 큰 영향을 미치는 기후요소는 등숙기의 평균기온으로 나타났으며, 강수량의 영향력은 상대적으로 미미하였다. 이러한 결과들을 종합하여 보면, 연구지역에서 기온변화와 강수량의 변화에 따라 쌀보리 생산량의 변화가 일어나고 있음을 분석할 수 있었다. 따라서 본 연구는 기후변화에 따른 식량안보 문제 해결에 중요한 기초자료로 활용될 수 있을 것이라고 판단된다.

주요어 : 쌀보리, 기후자료, 기후변화, 위성영상, 무감독분류

Abstract : The purpose of this study is to examine the effectiveness of satellite images in detecting the areas of naked barley production in the South Jeolla Province. We also investigated the effect of climate change on the crop production through comparative analysis of naked barley production area and production statistics with climate data at multi-temporal time scale. The analysis found that the classification of naked barley fields extracted through satellite image and made as the number of naked barley cultivation areas did not exceed 10 percent of the statistical data. Climate data analysis showed that the greatest influence on the productivity of naked barley was the average temperature of the ripening stage and the impact of rainfall was relatively minimal. Taken together, these results suggested that changes in the yield of naked barley are occurring due to changes in temperature and precipitation in the study area. Therefore, it is believed that this research could serve as a key basis for solving food security issues due to climate change.

Key Words : Naked barley, Climate data, Climate change, Satellite image, Unsupervised classification

*본 연구는 2017년 대한민국 교육부와 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2016S1A3A2924243).

**공주대학교 지리학과 석사과정(Master Student, Department of Geography, Kongju National University, tagyuk22@smail.kongju.ac.kr)

***공주대학교 지리학과 교수(Professor, Department of Geography, Kongju National University, gisrs@kongju.ac.kr)

I. 서론

기후변화는 세계 식량안보에 위협이 되는 주요 요인으로서 기후변화로 인한 기온 상승, 극심한 기상현상, 물 부족, 해수면 상승, 토양악화, 생태계 파괴 및 생물다양성 손실 등이 식량작물 생산에 악영향을 미칠 수 있다. 기후변화가 농업 생산량과 생산성에 미치는 영향이 심화됨에 따라 국제 식량가격과 식량안보 위협에 처한 인구는 증가할 것으로 전망된다(FAO, 2016).

IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change) 5차 평가 보고서에 따르면, 기후변화의 영향으로 2030년부터 식량 생산량이 현재의 절반 수준으로 감소하고, 그 이후에는 더욱 급격히 줄어들 것으로 전망하였다. 이에 반해 인구증가에 의한 식량 수요는 지속적으로 증가하여 전 세계 및 지역의 식량 안보가 막대한 타격을 받을 것으로 예측하였다(IPCC, 2014). 따라서 기후변화에 따른 식량생산량을 예측하고 이에 대한 대비 방안을 마련해야 하는 시대적 요구가 커짐에 따라 관련 연구가 시급한 실정이다.

식량작물의 재배면적을 효율적으로 탐지할 수 있는 기술에는 위성영상 자료를 활용한 원격탐사 기법이 있다. 위성영상을 이용한 원격탐사 기술은 광범위한 영역에 대한 주기적 조사가 가능하며, 현장조사에 비하여 단기간에 정보를 취득할 수 있다는 장점이 있다(염종민 등, 2008). 또한 시·공간적 변동성이 큰 지역의 관찰에 용이하여 식량작물 재배 면적을 시계열적으로 탐지하는 데에 효과적이다.

위성영상 자료를 활용한 토지이용도, 작물구분도 등의 주제도 제작은 원격탐사의 활용분야 중 활발히 연구가 진행되는 분야에 해당한다. 특히 동일한 지역이나 작물에 대해서도 지형적 요인에 따른 계절별 토지피복의 변화, 작물의 세부 생육기간에 따른 서로 다른 분광특성으로 인하여 최적의 연구결과를 도출해내기 위한 다양한 연구들이 국내·외적으로 진행되었다.

국내 연구의 경우 김현옥·염종민(2012)은 미래 기후변화에 대비하여 농업생산량 예측을 위한 경작지 정보를 확보하기 위해 RapidEye 위성영상의 분광정보를 활용하여 김제시의 토지피복도를 제작하였으며, 김이현 등(2013)은 COSMO-SkyMed 영상을 이용하여 밀의 생육시기 및 토양수분 함량 변화를 모니터링하고, 영상에서 추출한 후방산란계수를 상관성 분석에 활용하여 밀 생

육 추정 가능성을 모색하였다. 김나리 등(2014)은 우리나라의 식량수급 불안정에 대비하기 위하여 주요 곡물 수입국 또는 관심국가의 식량작물 작황에 대한 장기적이고 지속적인 모니터링이 필요하다고 하였다. 이를 위해 미국 중서부 지역의 주요 곡물인 옥수수와 콩을 대상으로 여러 식생지수, 광합성 유효 복사율, 총일차생산량 등 대용량의 자료를 활용한 통계모델링을 수행하고 MODIS 위성자료와 PRISM 기후자료를 이용하여 OLS 회귀모형을 구성하였다. 이정빈 등(2014)은 위성영상을 활용한 작황모니터링 시스템의 발전 방향을 제시하기 위하여 위성영상, 다양한 생물리변수의 활용 여부 판단 등을 통한 전반적인 작황모니터링 시스템을 파악하는 사례분석 중심의 연구를 진행하였다. 김재엽·장동호(2015)는 생태하천복원 지역의 지표특성을 분석하기 위해 Landsat, KOMPSAT-2 영상을 사용하여 하도 내 토지피복 특성과 NDVI(Normalized Difference Vegetation Index, 정규식생지수), 지표면 온도 등을 정량적으로 분석하였다.

국외 연구의 경우 Brown *et al.*(2012)은 기후변화, 인구증가, 식습관의 변화 등을 식량 가격의 증가의 원인으로 파악하였으며, 위성영상을 이용하여 지난 26년 동안 세계 주요 곡물 성장철에서의 파라미터 변화를 추정하였다. Tsegaye *et al.*(2015)은 MODIS 영상의 NDVI 자료와 강수량 데이터를 이용하여 증발산량을 추정하고, 증발산량 모델을 이용하여 증발산량의 변화와 에티오피아의 식량작물 생산량과의 관계에 대하여 분석하였다. 이 밖에 Onur and Suha(2016)는 Landsat 위성영상과 작물 재배지 분포지도를 토대로 MLR(Multi Linear Regression)과 SLR(Stepwise Linear Regression)의 예측모델을 이용하여 티키타부의 지중해 연안의 밀, 옥수수, 목화의 생산량을 추정하고, 토양 염도가 생산량 감소에 어떠한 영향을 끼치는지 분석하였다.

기존연구들을 살펴보면, 사례분석 연구에서부터 위성영상을 이용한 토지피복상태 분류 및 분석, 지표온도, 토양수분, 강수량, 증발산량 등 작물의 생육시기에 영향을 미치는 요소들을 이용한 종합적인 분석까지 다양한 연구가 진행되었다. 본 연구에서는 다른 식량작물들에 비하여 상대적으로 선행연구가 부족하였던 쌀보리(naked barley)에 대하여 위성영상을 이용한 생산면적을 탐지하고자 한다. 이를 통해 식량작물의 재배면적을 탐지하는데 있어서 위성영상의 효용성을 검토하고자 한다. 맥류 작물은 생산면적에 있어서 미국에 비하여 사회·경

제적 요인의 영향을 많이 받는 작물에 해당하지만, 본 연구에서는 사회·경제적 요인을 배제하고 기후자료와 연도별 쌀보리 생산량 통계자료 간의 비교 분석을 통하여 연구지역 일대의 쌀보리 재배에 어떠한 기후요소가 가장 큰 영향을 미치는지 분석하였다.

중후반을 기점으로 쌀보리의 생산량이 급감하고 있다. 따라서 쌀보리 생육기간의 평균기온과 강수량을 분석하여 전라남도 쌀보리 생산량에 어떠한 기후요소가 영향을 미치는지 분석하고자 하였다.

2. 연구방법 및 사용자료

II. 연구지역, 연구방법 및 사용자료

1. 연구지역

연구지역은 전라남도의 22개 시·군 중 서해안에 인접해 있는 시·군을 제외한 15개 시·군이다. 행정구역상 광주광역시, 강진군, 고흥군, 곡성군, 광양시, 구례군, 나주시, 담양군, 보성군, 순천시, 여주시, 영암군, 장성군, 장흥군, 화순군에 해당하며, 연구지역의 지리적 좌표는 $126^{\circ} 21' 41''\text{E} \sim 127^{\circ} 47' 12''\text{E}$, $34^{\circ} 11' 28''\text{N} \sim 35^{\circ} 28' 55''\text{N}$ 에 해당한다(그림 1).

전라남도는 곡창지대에 해당하여 전국 시도 중에서 쌀보리를 가장 많이 생산하는 지역이었지만, 2000년대

위성영상을 이용한 원격탐사는 현장조사나 항공촬영에 비해 광범위한 지역을 관측할 수 있으며, 내부적인 데이터 간의 일관성을 제공하므로 지표의 상태와 지표 변화의 특징들을 파악하는 연구에 효과적이다. 특히 농업분야에서 위성영상은 주기적으로 자료를 획득할 수 있고 광범위한 지역의 정보를 신속하게 얻을 수 있기 때문에 위성영상을 이용한 농작물의 작황 추정연구는 농업분야에서 활발하게 이루어지고 있다.

본 연구에서는 다중시기 위성영상을 기반으로 무감독 분류를 실시하여 연구지역의 쌀보리 재배면적을 탐지하였으며, 영상분류 결과와 전라남도 시·군 단위 쌀보리 생산면적 통계자료와의 비교·검증을 통하여 쌀보리를 비롯한 식량작물의 재배면적을 탐지하는 데에 있어서

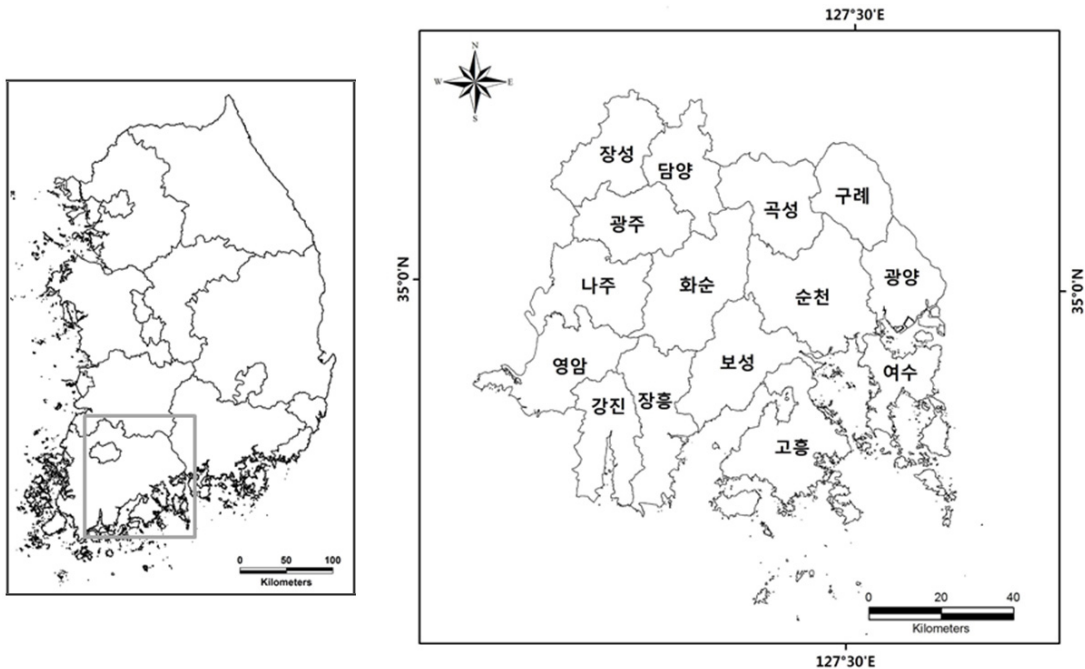


그림 1. 연구지역

* ArcGIS 10.1을 활용하여 필자가 직접 표시.

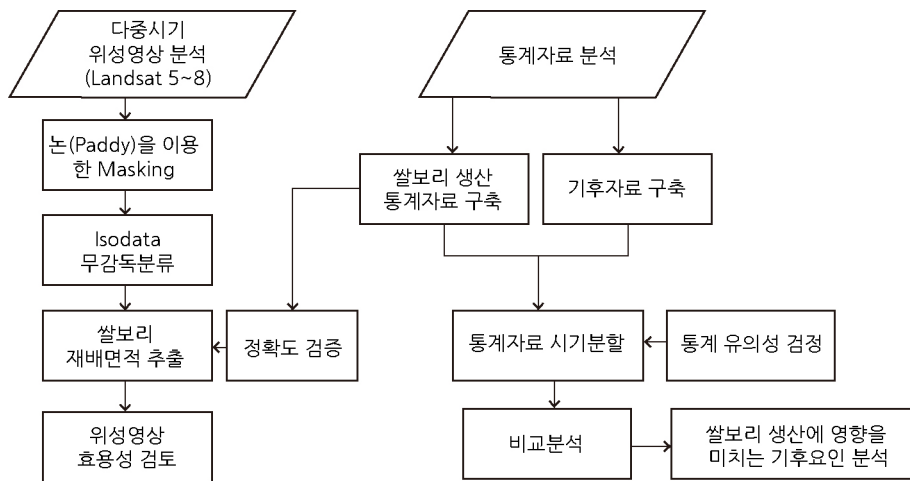


그림 2. 연구흐름도

위성영상을 효용성을 검토하였다. 또한, 연구지역에 해당하는 쌀보리 생산량 통계자료와 기후자료 간의 비교 분석을 통하여 기후변화가 작물 재배의 공간적 범위, 생산량 등에 어떤 영향을 미치는지 분석하였다. 연구는 다음의 방법으로 수행하였다(그림 2).

시·도 단위의 스케일에 해당하는 연구지역에 대하여 경작지에 초점을 둔 작물생산면적을 효율적으로 탐지하기 위해서는 중해상도 영상을 활용하는 것이 효과적이다. 시·도 단위 토지피복탐지에 저해상도 영상을 이용하면 낮은 해상도로 인하여 분광학적 혼재가 나타나 분류결과의 정확성이 떨어지며, 고해상도 영상을 이용하면 분류정확도는 높게 나타나지만 원시자료의 용량이 크기 때문에 처리 중 연산시간이 오래 걸린다는 단점이 있다. 본 연구에서는 경작지에 해당하는 ‘논’에 초점을 둔 분석을 진행하였기 때문에 30m×30m 공간해상도를 가지는 Landsat 영상이 가장 효과적이라고 판단하였다. Landsat 위성은 미국항공우주국(NASA: National Aeronautics and Space Administration)이 1972년 6월 ERTS-1(Landsat-1)이 처음 발사된 이후 지금까지 운영하고 있는 위성영상 제공 시스템으로, 자료의 가용 기간 측면에서 장기간 변화 추세의 분석을 가능하게 하는 장점을 지니고 있다(박샘·최광용, 2016). 따라서 본 연구에서는 다중시기 위성영상 분석을 위해 Landsat 위성영상 자료를 사용하였으며, Landsat 5, 7, 8자료를 기반으로 영상분류를 실시

하였다. 연구에 활용될 위성영상의 공간적 범위는 전라남도지역의 대부분을 주사하는 영상을 선정하였으며, 두 개 이상의 영상을 이어붙이는 이미지 칼라 매칭(Image color matching) 과정에서 발생하는 오차를 최소화하기 위하여 한 개의 씬(Scene)을 선정하였다. 선정된 위성영상의 Path/Row값은 115/36이다. 또한 대부분의 쌀보리는 논을 이용한 답리작 형태로 재배되기 때문에 시기별 위성영상의 전체 씬(Scene) 중 논에 해당하는 부분만을 추출하여 영상분류를 실시하였다. 이 과정에서 논 경계 GIS DB를 참고자료로 활용하여 논 면적을 추출하였다. 논 경계 GIS DB는 환경부에서 2013년에 구축한 중분류 토지피복도 항목 중 논에 해당하는 지역을 활용하였으며, 이를 기반으로 비모수적 분류처리 기법인 감독분류(최대우도법, Maximum Likelihood Classification) 방법을 이용하여 시기별 위성영상에서 논에 해당하는 지역을 추출하였다. 시기별로 추출된 논 지역에서의 영상분류는 비슷한 값들을 가지는 픽셀들을 자동적으로 하나의 클러스터로 만들어주는 Isodata(Iterative Self-Organizing Data Analysis) 알고리즘 기반의 무감독분류 기법을 사용하였으며, 이를 통해 1987, 2000, 2009, 2017 년도의 쌀보리 재배지를 추출하였다. 추출된 쌀보리 재배지역은 쌀보리 생산면적 통계자료와의 비교를 통하여 정확도를 검증하였다. 이를 기반으로 쌀보리 재배면적의 탐지에 있어서 위성영상의 효용성을 검토하였다.

표 1. 연구에 사용한 위성영상 시기 및 제원

위성영상	센서	Path/Row	날짜
Landsat 5	TM	115/36	1987-04-27
Landsat 7	ETM+	115/36	2000-04-06
Landsat 5	TM	115/36	2009-04-07
Landsat 8	OLI	115/36	2017-04-29

한반도에서 재배되는 쌀보리는 여러 품종이 있지만, 대부분의 쌀보리는 10월 말~11월 초경 파종하여 이듬해 5월 말~6월 초에 수확을 한다. 따라서 쌀보리의 관독이 용이한 4월의 위성영상을 선정하여 연구를 진행하였다. 사용된 위성영상은 1987, 2000, 2009, 2017 Landsat 영상이며, 각 시기의 위성영상 획득 날짜 및 제원은 표 1과 같다.

다음으로, 기후변화에 의한 쌀보리 생산량 변화를 정량적으로 파악하기 위해서는 연구지역의 기후자료, 쌀보리 생산량 통계자료 구축을 우선적으로 실시하여야 한다. 따라서 본 연구에서는 1980년대 중반~현재까지 약 30년 동안의 통계데이터를 구축하였다. 각 시·군별 통계연보를 활용하여 쌀보리 생산량 자료를 구축하였으며, 연구지역 기상관측소의 관측 값을 활용하여 월평균 기온, 월강수량 자료를 구축하였다.

III. 연구결과 및 토의

1. 위성영상 분류를 통한 쌀보리 재배지역 추출

본 연구에서는 네 시기의 Landsat 영상을 활용하여 무감독분류 기법인 Isodata 기법을 통해 쌀보리의 재배지역을 추출하였다. 영상분류를 통한 쌀보리 재배지역 주제는 논 지역과 쌀보리 재배지역의 두 가지 범례를 사용하여 제작하였다. 전체 분류영상의 화소수는 4,796×5,557 픽셀이며, 분석에 사용된 영상의 면적은 약 140,059ha이다.

분류결과를 살펴보면 연구지역 쌀보리의 생산면적은 1987년에 43,522ha, 2000년에 15,793ha, 2009년에 5,149ha, 2017년에 4,980ha로 분류되었다(그림 3). 위성영상을 이용한 쌀보리 재배면적 분류결과와 연구지역의 통계자료를 비교한 결과는 표 2와 같으며, 대체로 유사한 양상을 보인다.

1987년의 경우 약 143ha 가량 과소추정 되었으며, 2000

년에는 약 119ha 과소추정 되었다. 2009년에는 약 96ha가 과소추정 되었으며, 2017년에는 약 128ha가 과대추정 되었다. 평균적으로 약 120ha 가량의 오차가 나타났지만, 이는 해당년도 통계자료를 구축하는데 참고하였던 날짜와 각 년도에 연구지역을 주사한 위성영상 시간간의 불일치, 통계자료 구축과정에서의 오류에 기인한 것으로 판단된다. 전체적으로 통계자료와 비교하였을 때 오차율이 10%를 넘지 않았기 때문에 비교적 정확한 분류가 이루어졌다고 판단된다.

2. 쌀보리 생산량 변화와 기후자료 분석

작물의 생산량은 여러 요인들에 의해 결정되지만 그 중에서도 기후환경은 작물의 생육과 매우 밀접하여 작황에 절대적인 영향을 미친다. 특히 쌀보리는 성숙기가 늦어지면 수확 후 벼 이앙에 어려움이 따르기 때문에 기상변화 분석 및 기상변화에 따른 재배법 개발, 품종 개발 등이 이루어져야 한다(최인배 등, 2016). 따라서 본 연구에서는 연구지역의 쌀보리 생산량 변화와 평균기온, 강수량 변화의 비교분석을 통해 기온과 강수량 등의 기후요소가 쌀보리 생산량에 어떠한 영향을 주는지를 분석하였다.

기후변화가 작물 재배의 공간적 범위, 면적, 생산량 등에 어떠한 영향을 미치는지 파악하기 위해 연구지역의 쌀보리 생산 통계자료와 연구지역 내 기상관측소에서 관측한 월평균기온, 월강수량자료를 기반으로 비교분석을 실시하였다. 우리나라는 20세기 초부터 정규관측소에서 현대적인 관측이 이루어지기 시작하였고, 1970년대 초반에 기상청 산하 관측소의 수가 크게 증가하여 21세기 현재에는 그 수가 80여개 이상에 달한다(최광용 등, 2016). 본 연구에 활용된 기후자료는 연구지역에 해당하는 전체 기상관측소 중에서 80년대부터 현재까지의 자료가 축적되어 있는 기상관측소를 선정하였으며, 광주, 순천, 여수, 고흥, 장흥의 5개의 기상관측소가 이에 해당한다. 이 중에서도 80~90년대 도시화가 급속도로 진행되어 토지피복의 많은 변화가 발생한 광주지역, 내륙의 대표지역에 해당하여 쌀보리 월동기 동안의 평균기온이 다른 지역보다 낮은 순천지역, 해양의 영향을 받아 겨울철 평균기온이 다른 지역보다 높은 여수지역에 해당하는 세 곳의 관측 자료를 활용하여 연구를 진행하였다.

연구지역의 쌀보리 생산 통계자료는 각 시·군의 통

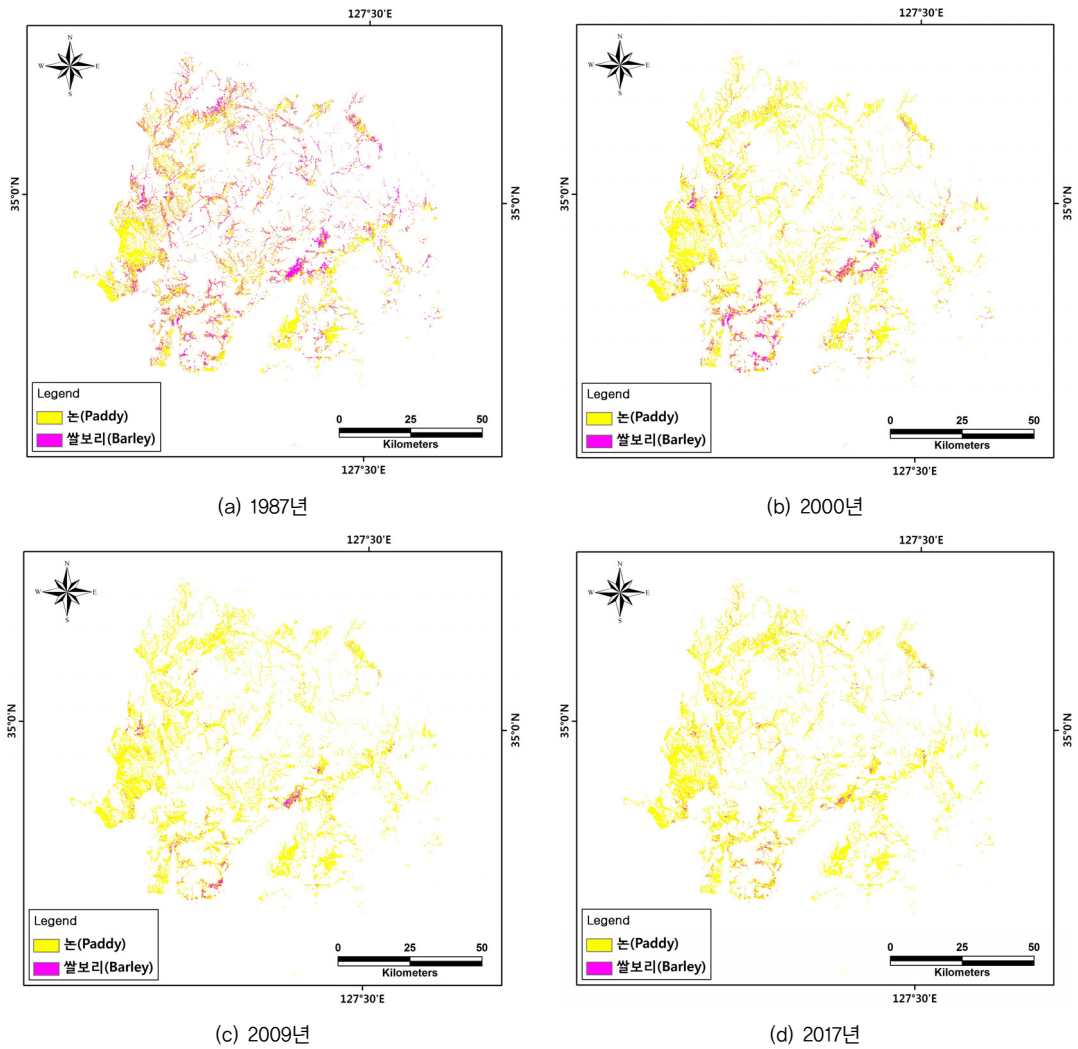


그림 3. 시기별 쌀보리 재배지역 추출 결과

* ArcGIS 10.1을 활용하여 결과를 추출.

표 2. 위성영상 분류 결과와 통계자료 간의 비교

연도	A: 위성영상 분류 결과(ha)	B: 쌀보리 생산면적 통계자료(ha)	C: 차이 (A-B)	통계자료 대비 오차율(%)
1987	43,522	43,665	-143	0.33
2000	15,793	15,912	-119	0.75
2009	5,149	5,245	-96	1.83
2017	4,980	4,852	128	2.64

계연보 자료를 사용하였으며 1985~2017년에 해당하는 33년간 자료를 분석에 사용하였다. 기후자료의 경우 쌀보리의 전체생육기간을 고려하여 11~6월 기후자료를 분

석에 사용하였다. 전체생육기간 중 11~12월에 해당하는 자료를 유묘기 자료로 활용하였으며, 1~2월 자료, 3~4월, 5~6월 자료를 각각 월동기, 성장기, 등숙기 자료로

표 3. 관측소별 쌀보리 전체생육시기 간의 기온, 강수량 변화

연도 \ 지역	광주		순천		여수	
	평균기온 (°C)	강수량 (mm)	평균기온 (°C)	강수량 (mm)	평균기온 (°C)	강수량 (mm)
1985~2004	9.5	609.0	8.4	660.0	10.4	728.9
1998~2017	10.0	564.8	8.6	630.1	10.6	684.4
변화율	0.5*	-44.2	0.2	-29.9	0.2	-44.5
p-value	0.055	0.259	0.394	0.478	0.439	0.340

* 유의수준: $\alpha=0.1$ (양측검정).

구분하여 연구를 진행하였다. 월평균 기온자료의 경우 전체생육기간, 파종기, 성장기, 수확기에 해당하는 월평균 기온들의 평균값을 사용하였으며, 월강수량의 경우에는 해당 월 강수량들을 합하여 분석에 사용하였다. 또한, 과거와 현재의 기온변화와 강수량변화에 따른 쌀 생산량 변화를 분석하기 위해 33년 통계자료를 두 기간(1985~2004년, 1998~2017년)으로 구분하여 분석을 진행하였다.

구분한 두 시기 기후자료의 평균값을 분석한 결과 평균기온의 경우 전반적으로 상승하였으며 강수량의 경우 전반적으로 감소한 것을 확인할 수 있었다. 이를 기상관측소, 생육기간별로 살펴보면, 광주 기상관측소의 경우 과거에 비해 전체생육기간의 평균기온은 0.5°C 상승하였으며, 유묘기, 월동기, 성장기, 등숙기는 각각 0.3°C, 0.3°C, 0.5°C, 0.7°C 상승한 것을 확인할 수 있었다. 유묘기, 월동기, 성장기에 비하여 등숙기의 평균기온 상승폭이 가장 큰 것을 확인할 수 있었다. 강수량의 경우 전체생육기간 44.2mm 감소하였으며, 유묘기에는 9.8mm 증가, 월동기에는 7.1mm 감소, 성장기에는 3.1mm 증가, 등숙기에는 50mm 감소한 것을 확인할 수 있었다.

순천 기상관측소의 경우 과거에 비해 전체생육기간의 평균기온은 0.2°C 상승하였으며, 유묘기, 월동기, 성장기, 등숙기는 각각 0.1°C, 0.3°C, 0.1°C, 0.4°C 상승한 것을 확인할 수 있었다. 강수량의 경우 전체생육기간 29.9mm 감소하였으며, 유묘기에는 12.5mm 증가, 월동기에는 3.6mm 감소, 성장기에는 13.6mm 증가, 등숙기에는 52.3mm 감소한 것을 확인할 수 있었다.

여수 기상관측소의 경우 과거에 비해 전체생육기간의 평균기온은 0.2°C 상승하였으며, 유묘기 온도의 변화는 없었다. 월동기, 성장기, 등숙기는 각각 0.2°C, 0.2°C, 0.3°C 상승한 것을 확인할 수 있었다. 강수량의 경우 전

체생육기간 44.5mm 감소하였으며, 유묘기에는 14.8mm 증가, 월동기에는 0.5mm 감소, 성장기에는 12.5mm 증가, 등숙기에는 71.4mm 감소한 것을 확인할 수 있었다.

이를 기반으로 두 시기 간에 평균기온, 강수량의 변화에 차이가 있는지 살펴보기 위해 t검정을 이용한 유의성 검정을 실시하였으며, 그 결과는 표 3과 같다.

전체생육시기(11~6월)의 평균기온의 경우 전반적으로 유의한 결과가 나타나지 않았다. 광주 평균기온의 경우에만 유의수준 10%에서 두 시기 간 평균기온의 변화에 대해 통계적으로 유의한 결과를 보여주고 있어, 두 시기 간 평균기온의 변화가 있음을 파악할 수 있었다. 강수량의 경우에도 전반적으로 유의한 통계적 결과가 나타나지 않았다.

세부 생육시기에서 연도 별 두 시기에 대해 월별 평균기온, 강수량의 변화를 살펴보기 위해 유의성 검정을 실시하였으며 그 결과는 표 4, 5, 6과 같다. 광주의 경우 유묘기, 월동기, 성장기에서는 통계적 유의성이 나타나지 않았으나, 등숙기에는 평균기온, 강수량에 대한 p-value가 0.000, 0.100으로 산출되어 각각 유의수준 1%, 유의수준 10%에서 통계적으로 유의한 결과가 나타났다. 특히 등숙기 평균기온에서 유의수준 1%에서 유의성이 나타났기 때문에 등숙기의 평균기온 변화가 일어났음을 확인할 수 있었다.

순천의 경우 광주와 마찬가지로 유묘기, 월동기, 성장기에서는 통계적 유의성이 나타나지 않았으나, 등숙기 평균기온에 대한 p-value가 0.003으로 산출되어 유의수준 1%에서 통계적으로 유의한 결과가 나타났다.

여수의 경우에도 유묘기, 월동기, 성장기에는 통계적 유의성이 나타나지 않았으며, 등숙기 평균기온에 대한 p-value가 0.007로 산출되어 유의수준 1%에서 통계적으로 유의한 결과가 나타났다.

표 4. 광주 관측소 세부 생육시기 간의 기온, 강수량 변화

연도	광 주							
	유묘기(11~12월)		월동기(1~2월)		성장기(3~4월)		등숙기(5~6월)	
	평균기온 (°C)	강수량 (mm)	평균기온 (°C)	강수량 (mm)	평균기온 (°C)	강수량 (mm)	평균기온 (°C)	강수량 (mm)
1985~2004	6.1	83.4	1.7	87.0	10.1	144.2	20.2	294.4
1998~2017	6.4	93.2	2.0	79.9	10.6	147.3	20.9	244.5
변화율	0.3	9.8	0.3	-7.1	0.5	3.1	0.7**	-50.0*
p-value	0.409	0.555	0.395	0.599	0.149	0.867	0.000	0.100

* 유의수준: $\alpha=0.1$ (양측검정).** 유의수준: $\alpha=0.01$ (양측검정).

표 5. 순천 관측소 세부 생육시기 간의 기온, 강수량 변화

연도	광 주							
	유묘기(11~12월)		월동기(1~2월)		성장기(3~4월)		등숙기(5~6월)	
	평균기온 (°C)	강수량 (mm)	평균기온 (°C)	강수량 (mm)	평균기온 (°C)	강수량 (mm)	평균기온 (°C)	강수량 (mm)
1985~2004	4.6	75.1	0.7	79.1	9.2	159.7	19.2	346.1
1998~2017	4.7	87.6	0.9	75.4	9.2	173.3	19.6	293.8
변화율	0.1	12.5	0.3	-3.6	0.1	13.6	0.4*	-52.3
p-value	0.671	0.458	0.501	0.813	0.905	0.518	0.003	0.148

* 유의수준: $\alpha=0.01$ (양측검정).

표 6. 여수 관측소 세부 생육시기 간의 기온, 강수량 변화

연도	광 주							
	유묘기(11~12월)		월동기(1~2월)		성장기(3~4월)		등숙기(5~6월)	
	평균기온 (°C)	강수량 (mm)	평균기온 (°C)	강수량 (mm)	평균기온 (°C)	강수량 (mm)	평균기온 (°C)	강수량 (mm)
1985~2004	8.2	65.9	3.4	71.3	10.7	198.1	19.2	393.6
1998~2017	8.2	80.7	3.6	70.8	10.9	210.6	19.6	322.3
변화율	0.0	14.8	0.2	-0.5	0.2	12.5	0.3*	-71.4
p-value	0.895	0.517	0.675	0.974	0.542	0.606	0.007	0.112

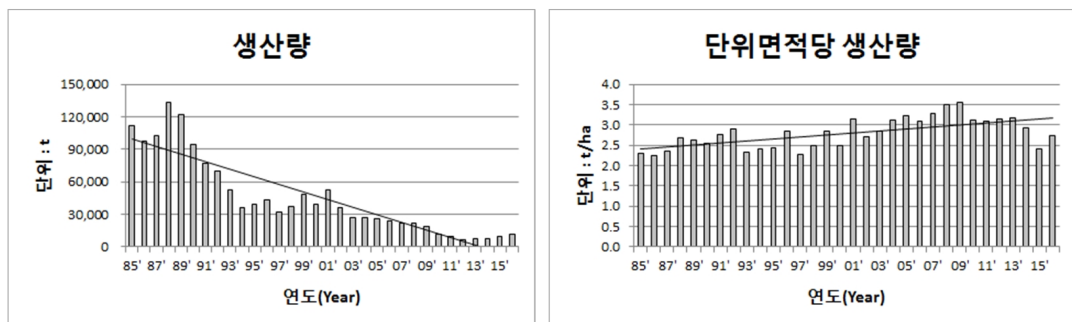
* 유의수준: $\alpha=0.01$ (양측검정).

그림 4. 연구지역 쌀보리 생산량, 단위면적당 생산량

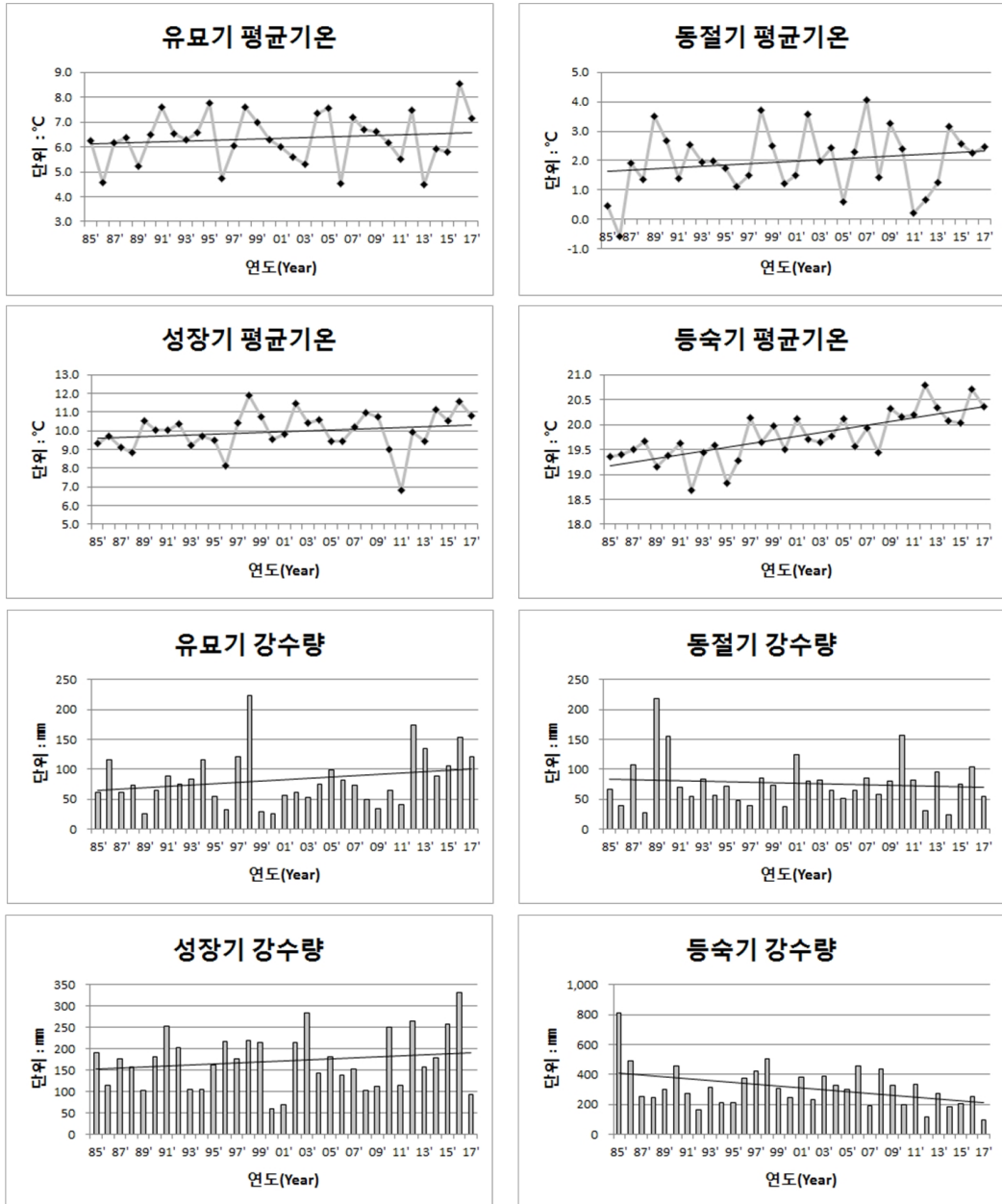


그림 5. 연구지역의 세부 생육기간 별 평균기온, 강수량 변화

종합적으로 두 시기간의 유의성 검정 결과를 살펴보면, 과거와 현재를 비교하였을 때 강수량에 비하여 평균기온의 변화에 대한 유의성이 두드러졌다. 특히 모든 관측소에서 등숙기 평균기온에 대한 유의성이 매우 강하게 나타났다.

그림 4, 5는 지난 33년 동안 연구지역의 쌀보리 생산량과 단위면적당 생산량, 세부 생육기간별 평균기온, 강수량의 변화를 나타낸 그래프이다. 기후자료 그래프의 경우 3개 관측소 관측 값의 평균을 구하여 작성하였다. 연구지역에서 쌀보리의 생산량은 80년대 후반 정점을 찍

었다가 90년대 초반부터 급락하는 추세이다. 하지만 단위면적당 생산량의 경우에는 작은 폭이긴 하지만 증가하고 있는 추세이다.

유묘기, 동절기, 성장기 평균기온의 경우 변화의 폭이 크지 않지만 전반적으로 약간 상승하는 경향성을 보였다. 등숙기 평균기온은 전체 생육 기간 중 가장 높은 변화폭이 나타났으며, 특히 2000년대 후반 이후 20°C 이상의 등숙기 평균기온이 지속되고 있어, 전반적으로 따뜻해지고 있는 경향을 확인할 수 있었다. 강수량의 경우, 유묘기, 성장기에는 작은 폭으로 증가하는 경향성을 보였으며, 동절기, 등숙기에는 작은 폭으로 감소하는 경향이 나타났다.

이상의 쌀보리 생산량 자료, 기후자료 간의 분석 결과, 연구지역에서는 전반적으로 쌀보리 생육기간 동안의 평균기온이 상승하였고, 특히 등숙기 평균기온의 상승률이 다른 생육시기에 비해서 높은 것으로 나타났다. 따라서 등숙기의 평균기온 상승이 쌀보리의 생산성 향상에 영향을 미쳤을 것이라고 판단된다. 강수량의 경우 유묘기, 성장기에는 소폭 증가추세, 동절기, 등숙기에는 소폭 감소 추세를 보이지만, 통계 자료 간의 통계적 유의성을 검증해 보았을 때 유의성이 높지 않아 지난 30여 년 동안 강수량은 쌀보리 생산에 큰 영향은 미치지 않았던 것으로 판단된다. 앞서 실시한 기후자료의 유의성 검증결과와 함께 종합적으로 판단해 보았을 때 유묘기, 동절기, 성장기, 등숙기의 평균기온, 강수량 중에서 쌀보리의 생산성에 가장 큰 영향을 미치는 기후요소는 등숙기의 평균기온이라고 판단된다.

IV. 결론

본 연구는 기후변화로 인하여 야기될 수 있는 식량작물 생산 불안정 문제를 해결하기 위한 기초연구로서 다중시기 Landsat 위성영상을 기반으로 한 영상 무감독분류를 통해 전라남도 일부지역의 쌀보리 생산지역을 탐지하였으며, 위성영상 분류 결과와 통계자료 간의 비교를 통하여 작물 생산면적을 추출해내는 데에 있어서 위성영상의 효용성을 검토하였다. 또한 기후변화가 쌀보리 생산량, 생산성 등에 어떠한 영향을 미치는지 파악하기 위해 평균기온, 강수량자료와 쌀보리 생산량 통계자료와의 비교분석을 통하여 이를 정량적으로 평가하였다.

위성영상 분류를 통한 쌀보리 재배지역 추출 결과 1987년에 43,522ha, 2000년에 15,793ha, 2009년에 5,149ha, 2017년에 4,980ha가 추출되었으며 통계자료 대비 오차율이 10%를 넘지 않았기 때문에 비교적 정확한 분류가 이루어졌다고 판단된다.

기후변화가 작물 재배의 공간적 범위, 생산량 등에 어떠한 영향을 미치는지 파악하기 위해 연구지역의 쌀보리 생산 통계자료와 광주, 순천, 여수 기상관측소에서 관측한 월평균기온, 월강수량자료간의 비교분석을 실시하였다. 특히, 과거와 현재의 기온변화와 강수량변화에 따른 쌀 생산량 변화를 분석하기 위해 33년 통계자료를 두 기간(1985~2004년, 1998~2017년)으로 구분하여 분석을 진행하였다. 그 결과, 평균기온의 경우 전반적으로 상승하였으며, 강수량의 경우 전반적으로 감소한 것을 확인할 수 있었다.

두 시기의 기후자료 간에 통계적 유의성을 살펴보기 위해 유의성 검정을 실시한 결과, 광주시 평균기온의 경우에만 유의수준 1%에서 두 시기 간 평균기온의 변화에 대해 통계적으로 유의한 결과를 보여주었다. 세부 생육시기에 대한 유의성을 검증하기 위해 기후자료를 월별로 나누어서 유의성 검정을 실시한 결과, 등숙기에 해당하는 5월, 6월의 평균기온에서만 통계적 유의성을 확인할 수 있었다.

지난 30여 년 동안 연구지역의 쌀보리 생산과 기후데이터를 거시적으로 봤을 때 쌀보리 생산량은 급락하는 추세이며, 단위면적당 생산량은 작은 폭으로 증가하는 추세이다. 평균기온의 경우 모든 세부 생육시기에서 상승 추세가 나타났으며, 특히 등숙기 평균기온의 상승폭이 두드러졌다. 앞서 실시한 기후자료의 유의성 검증결과와 함께 종합적으로 판단해 보았을 때 쌀보리의 각 생육시기별 기후자료들 중에서 생산량과 생산성에 가장 큰 영향을 미치는 기후요소는 등숙기의 평균기온으로 판단된다.

이상의 연구결과를 종합하여 보면, 연구지역은 기온변화와 강수량의 변화에 따라 쌀보리의 생산량 변화가 일어나고 있음을 분석할 수 있었다. 하지만, 보리는 쌀과는 달리 사회·경제적 요인에 의하여 생산면적 증감에 영향을 받는 작물에 해당한다. 실제로 2012년부터 정부가 보리수매 제도를 완전 폐지하기로 하면서 외국산 보리에 비해 국산 보리의 가격 경쟁력이 떨어지면서 쌀보리 재배면적이 급감한 바 있으며, 2018년에는 기상여건의 호조로 2009년 이후 가장 많은 생산량을 기록하였다(연합

뉴스, 2018년 7월 20일자). 이러한 점들로 미루어보아 쌀 보리에 대한 연구는 기후요소뿐만 아니라 여러 분야의 종합적 분석이 요구될 것이라고 판단되며, 추후 타 작물, 다른 기후요소 및 기상재해와의 관계 등을 분석하여 보다 더 긍정적인 결과를 도출할 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

- 김나리·조재일·시바사키료스케·이양원, 2014, “위성영상과 기후자료를 이용한 미중서부 옥수수과 콩의 수확량 추정,” *기후연구*, 9(4), 315-329.
- 김이현·홍석영·이경도·장소영·이훈열·오이석, 2013, “COSMO-SkyMed SAR 영상을 이용한 밀 생육 모니터링,” *대한원격탐사학회지*, 15(2), 159-174.
- 김재엽·장동호, 2015, “대전천 생태하천복원지역의 지표 특성 분석을 위한 원격탐사 자료의 활용,” *한국지리학회지*, 4(2), 231-240.
- 김현옥·염종민, 2012, “농촌지역 토지피복분류를 위한 객체기반 영상분석기법연구,” *한국지리정보학회지*, 15(4), 26-41.
- 박샘·최광용, 2016, “위성영상에 탐지된 1980년대 이후 수도권 지역의 도시 팽창,” *한국지리학회지*, 5(3), 331-343.
- 염종민·한경수·이창석·박윤영·김영섭, 2008, “SPOT/VEGETATION NDI 자료를 이용한 북한지역 식생 변화 탐지,” *한국지리정보학회지*, 11(2), 28-37.
- 이정빈·우엔 공 효·김정현·홍석영·허준, 2014, “위성영상을 활용한 작황모니터링 시스템의 사례분석 연구,” *대한원격탐사학회지*, 30(5), 641-650.
- 장동호·권원태, 2007, “전남 동부 해안지역의 기온변화에 따른 벼 적정 등숙기간 변화 분석,” *기후연구*, 2(1), 3-13.
- 최광용·박혜정·허택산, 2016, “제주 지역 주민 경제 활동 지원을 위한 수요자 맞춤형 기상·기후 정보 서비스 발굴,” *한국지리학회지*, 5(2), 107-119.
- 최인배·김학신·황재복·구본일·배희수·박태선·박홍규·이건휘, 2016, “익산지역에서 쌀보리의 생육 및 수량의 연차 간 변화,” *한국작물학회지*, 61(3), 171-183.
- Brown, M.E., Beurs, K.M., and Marshall, M., 2012, Global phenological response to climate change in crop areas using satellite remote sensing of vegetation, humidity and temperature over 26 years, *Remote Sensing of Environment*, 126, 174-183.
- FAO, 2016, *The State of Food and Agriculture: Climate Change, Agriculture and Food Security*, Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations (<http://www.fao.org/3/a-i6030e.pdf>).
- IPCC, 2014, *Climate Change 2014: Synthesis Report*, Geneva: IPCC (http://epic.awi.de/37530/1/IPCC_AR5_SYR_Final.pdf).
- Onur, S. and Suha, B., 2016, Crop yield prediction under soil salinity using satellite derived vegetation indices, *Field Crops Research*, 192, 134-143.
- Tsegaye, T., Gabriel, B.S., Getachew, B., Teshome, R., and Shimelis, B., 2015, Evaluating a satellite-based seasonal evapotranspiration product and identifying its relationship with other satellite-derived products and crop yield: A case study for Ethiopia, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 40, 39-54.
- 연합뉴스, 2018년 7월 20일자, “보리 생산량 9년 만에 최대...작년보다 38% 늘어”
- 교신 : 장동호, 32588, 충남 공주시 공주대학로 56, 공주대학교 인문사회과학대학 지리학과 (이메일: gisrs@kongju.ac.kr)
- Correspondence : Dong-Ho Jang, 32588, 56 Gongju-daehak-ro, Gongju-si, Chungcheongnam-do, Korea, Department of Geography, College of Humanities and Social Sciences, Kongju National University (Email: gisrs@kongju.ac.kr)

투 고 일: 2018년 6월 7일
심사완료일: 2018년 6월 23일
투고확정일: 2018년 6월 27일

