

RapidEye 영상을 이용한 북한의 논 면적 산정

홍석영* · 민병길¹ · 이지민¹ · 김이현 · 이경도

농촌진흥청 국립농업과학원 토양비료과, ¹비엔티솔루션

Estimation of Paddy Field Area in North Korea Using RapidEye Images

Suk Young Hong*, Byoung-Keol Min¹, Jee-Min Lee¹, Yihyun Kim, and Kyungdo Lee

Soil and Fertilizer Management Division, National Academy of Agricultural Science (NAAS),

Rural Development Administration

¹B&T Solutions

Remotely sensed satellite images can be applied to monitor and obtain land surface information on inaccessible areas. We classified paddy field area in North Korea based on on-screen digitization with visual interpretation using 291 RapidEye satellite images covering the whole country. Criteria for paddy field classification based on RapidEye imagery acquired at different time of rice growth period was defined. Darker colored fields with regular shape in the images with false color composite from early May to late June were detected as rice fields. From early July to late September, it was hard to discriminate rice canopy from other type of vegetation including upland crops, grass, and forest in the image. Regular form of readjusted rice field in the plains and uniform texture when compared with surrounding vegetation. Paddy fields classified from RapidEye imagery were mapped and the areas were calculated by administrative district, province or city. Sixty six percent of paddy fields (3,521 km²) were distributed in the west coastal regions including Pyeongannam-do, Pyeonganbuk-do, and Hwanghaenam-do. The paddy field areas classified from RapidEye images showed less than 1% of difference from the paddy field areas of North Korea reported by FAO/WFP (Food and Agriculture Organization/World Food Programme).

Key words: Paddy field, Classification, RapidEye, North Korea

서 언

위성정보는 현지조사나 항공촬영에 비해 넓은 지역을 한 번에 관측할 수 있고 육안으로 감지하기 어려운 물체나 지표면의 상태를 감지할 수 있는 이점을 가지고 있다 (Campbell, 1996). 특히 직접 방문하여 조사하기 어려운 극지라든가 접근하기 어려운 지역에 대한 자료취득이 필요한 경우에 매우 유용하게 활용될 수 있다 (Hong et al., 2008).

최근 이상기상의 발생 빈도가 높아지면서 세계적으로 곡물 가격 변동 폭이 커지고 가격 폭등이 잦아지고 있어, 주요 곡물 생산국은 곡물 수출이나 바이오에너지 생산보다는 자국의 식량안보에 더 주력하고 있는 추세이다. 국제연합 식량농업기구 (UN-FAO; the UN Food and Agriculture Organization, 이하 FAO)는 작황 조기예보시스템 (GIEW, Global Information and Early Warning System)을 구축하여 전 지구적 규모로 국가단위 및 지역단위의 식량 정책결정자를 위

해 곡물 수출가격, 세계 생산량, 요구량, 무역, 주가 등 식량안보관련 모니터링 자료를 적시에 제공하는 정보체계를 가동하고 있다 (<http://www.fao.org/giews/english/index.htm>). 미국 농무성의 외국농업청 (USDA FAS)은 세계 농업 수요·공급 추정 (WAOB, World Agricultural Supply and Demand Estimates) 보고서를 매달 발간하여 관련 공공기관 및 산업체에서 활용하는 사람들에게 자료를 공급하고 있다 (<http://www.pecad.fas.usda.gov/cropexplorer/>). 유럽연합 (EC, European Commission, <http://www.marsop.info/marsop3/>)은 원격탐사를 이용한 농업모니터링 과제 (MARS, Monitoring Agriculture Using Remote Sensing Techniques)를 초석으로 유럽의 일반 농업정책 관리를 위한 작황예측, 기후변화 영향에 대한 표준관리 방법, 토지관리 정보를 제공하고 있으며 유럽의 식량안보 프로그램에 따라 세계 농업 모니터링을 하고 있다. 경지 및 재배면적 자료는 작황의 기본 자료이고 수량 및 생산량을 산정하기 위한 필수 정보이다. 또한 식량의 수급 조절, 가격 예측, 농가 소득 보전을 위한 정책 수립을 위한 판단자료로 요긴하게 활용될 수 있다. 이와 같이 경지 및 재배면적, 수량 등 작황을 판단하기 위한 객관적인

접수 : 2012. 11. 7 수리 : 2012. 12. 7

*연락처 : Phone: +82312900344

E-mail: syhong67@korea.kr

자료로써 원격탐사 영상 정보의 사용이 점차 확대되고 있다.

북한에 대한 농업현황이나 생산 기반에 관한 연구는 우리나라와 유엔 FAO와 같은 국제기관에서 수행 중이나 (RDA, 1995), 청취와 문헌조사를 통한 보고서 형식의 정보들이 대부분이고 지속적인 모니터링을 통한 과학적이고 객관적인 공간정보의 취득은 미흡한 실정이다. Landsat TM, QuickBird 등 위성영상을 이용하여 북한의 농업 현황을 분석하여 북한의 토지피복도를 작성하고 임진강 유역에 대한 농경지 이용 현황을 상세하게 분류한 바 있으나 (Hong et al., 2008; Ministry of Agriculture and Forestry, 2002; Ministry of Agriculture and Forestry, 2006) 토지피복도의 주기적인 갱신과 후속 연구는 미흡한 실정이다. 농림부 (Ministry of Agriculture and Forestry, 2006)는 임진강 유역의 농업기반 실태와 남북한 협력방안 연구에서 Landsat TM과 QuickBird 영상, Digital Elevation Model (DEM) 등을 활용하여 임진강 유역의 지형의 특성과 토양특성을 분석하고, 영상분류 및 토지이용/피복 벡터라이징을 통해 농경지 이용 현황과 농업기반의 특성을 분석하였다. Hong et al. (2008)은 Landsat TM 영상을 이용하여 북한의 토지피복도를 작성하고, 행정구역별-농업기후별 토지피복의 면적을 산출하고, 농업기반을 분석하여 북한의 농업환경을 해석하였다. 이와 같이 기존의 연구들은 위성영상을 이용하여 북한의 농업 지형을 분석하고, 피복분류를 통해 농경지의 분포를 확인하는데 그쳤다. 농경지의 분포도는 토양조사, 토양 유실 및 물 유출 평가, 작황 추정 등을 위한 기본 자료로 사용될 수 있다(Hong et al., 2010a; Hong et al., 2010b; Hong et al., 2012)

유럽연합의 JRC (Joint Research Centre)는 표고를 이용한 경사도 자료에서 2° 이하의 평지를 논으로, 2°~8°의 경사도를 밭으로 정의하여 북한의 작황 해석을 시도하였다

(http://mars.jrc.ec.europa.eu/mars/Bulletins-Publications/Bulletin_DPRK_October_2009.pdf). FAO는 WFP (the World Food Programme)와 함께 작성하여 2008, 2010, 2011년에 발간한 북한의 작물과 식량에 대한 안보 평가 보고서 (Special Report: FAO/WFP Crop and Food Security Assessment mission to the Democratic People's Republic of Korea <http://www.fao.org/giews/english/alert/index.htm>)에서 행정구역별 논 면적을 발표한 바 있으나 행정구역의 구성이 현행화 되지 않았고 공간정보를 기반으로 산정된 면적은 아니다.

위성영상을 이용한 토지피복 분류는 영상을 구성하는 밴드별 각 화소들을 통계적으로 유사한 것들끼리 그룹화 하는 기법을 흔히 사용하는데, 고해상도 영상의 경우 화소 그룹간 비교적 뚜렷한 차이를 구별할 수 있었던 중저해상도 영상과 달리 이웃한 화소와의 세밀한 차이까지 구분되어 오히려 오분류 화소까지 분류되는 문제가 생기기도 한다 (Ku and Jang, 2006; Van der Sande et al., 2003). 미국 정부는 항공기 영상을 이용하여 농경지의 토지피복 형태에 따른 육안 판독으로 농경지 단위 지도인 CLU (Common Land Unit)를 작성하여 작물 재배면적 산정, 농작물 재해보험 및 농경지 관리 정책 수립 등에 활용하고 있다 (USDA FSA, 2004). Lee et al. (2012)은 고해상도 영상을 기반으로 기존 영상 분류법이 아닌 육안 판독을 통하여 실제 경작 단위의 경계를 반영하는 농경지 지도를 작성하고 토지이용도를 갱신하였다.

본 논문에서는 RapidEye 위성영상을 기반으로 육안 판독을 통해 북한 전역의 벼는 지역을 분류하여 면적을 산정하고, 10여년 전 Landsat TM 영상으로 분류하였던 북한 토지피복도의 벼는 지역과 비교하여 면적 변화를 분석하였다.

Table 1. Major rice plains in North Korea.

Plains	Area (1,000 ha)	Mean elevation (m)	Locations
JaeRyeong	130	20	JaeRyeong-gun, AnAk-gun HwangHaeNam-do. (JaeRyeong River basin)
YeonBaek	115	20~50	YeonAn-gun, BaeCheon-gun, CheongDan-gun HwangHaeNam-do.
PyeongYang	95	30~50	ManGyeongDae, RyongSeong-guyeok PyeongYang-si. SeungHo-guyeok, JungHwa-gun, GangNam-gun HwangHaeBuk-do.
AnJu-BakCheon	75	-	AnJu-si, SukCheon-gun, MunDeok-gun, PyeongWon-gun PyeongAnNam-do.
HamHeung	60	20~50	South coast of HamHeung HamGyeongNam-do.
OnCheon	50	-	OnCheon-gun, JeungSan-gun, PyeongAnNam-do. NamPo-si.
RyongCheon	45	20~50	SinUiJu-si, RyongCheon-gun, YeomJu-gun, PyeongAnBuk-do.
GeumYa	40	-	GeumYa-gun, GoWon-gun, HamGyeongNam-do.
HwangJu GinDeungBeol	29	20~50	HwangJu-gun, HwangHaeBuk-do.

재료 및 방법

대상지역과 논 분포 특성 본 연구의 대상지역은 북한의 13개 시도를 대상으로 하였다. 동고서저(東高西低) 지형적인 특성으로 서부 평야 지역에서 논 농사를 주로 짓고 있다. 북한의 평야는 주로 황해남북도와 평안남북도에 위치하며, 함경남도의 해안가에 평야가 일부 발달되어 있다. 또 면적이 2만 ha 이상 되는 평야는 Table 1과 같이 재령평야, 연

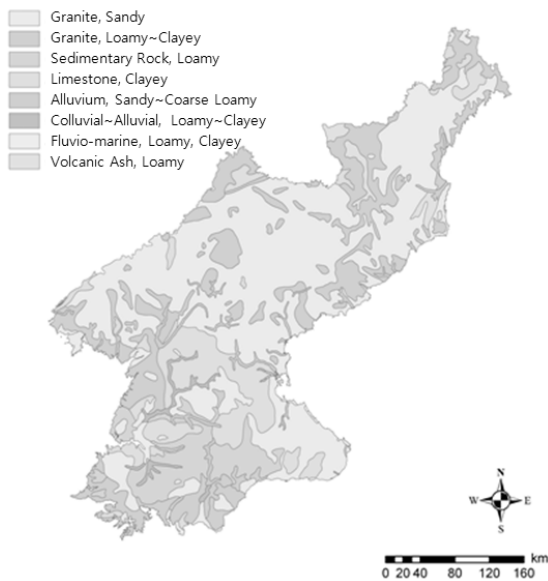


Fig. 1. Distribution of parent material and soil type in North Korea (1:600,000).

백평야, 평양평야 등 9개에 이른다 (Boo et al., 2001).

농촌진흥청이 보유하고 있는 한국 농업기본도 (1:600,000)에 따르면 북한의 토양은 조립질 및 중립질 화강암, 중립질 퇴적암, 세립질 석회암이 대부분을 차지하고 있다 (Fig. 1). 농경지가 많이 분포하고 있는 서해안 지역은 중립질 화강암과 퇴적암, 세립질 석회암과 하해혼성충적층이 비교적 고르게 분포하고 있고 토성의 분포도 사질, 사양질, 양질, 양질~식질, 식질로 고르게 분포하고 있다 (Table 2). 함경남북도와 자강도는 조립질 화강암 유래의 사질토양이 넓게 분포하고 있다.

사용 위성영상 북한의 논 경작지 분포 현황을 분석하기 위해서 단기간에 북한 전역에 대한 위성 영상의 취득이 가능한 점, 판독의 가능성과 용이성을 고려하여 독일에서 발사하여 운영하고 있는 RapidEye 위성 영상을 이용하였다. 연구에 사용된 RapidEye 위성영상은 German Aerospace Center (DLR)에서 2008년 8월 29일 발사한 위성에서 획득한 영상으로 청색 (blue), 녹색 (green), 적색 (red), 적색경계 (red edge), 근적외선 (near infrared) 밴드로 구성되어 있으며, 특히 적색 경계 밴드를 포함하고 있어 세밀하고 작은 식생의 변화 관측에 활용이 가능하다고 알려져 있다. RapidEye 위성 영상은 센서 및 방사보정만 적용된 Level 1B Product와 센서방사정사보정이 적용된 Level 3A Product를 제공하고 있다 (Table 3).

RapidEye는 동일한 사양의 5개의 위성이 하루에 5.5번의 주기로 운행하며 영상을 취득하기 때문에 북한 전역에 대해 단기간에 걸쳐 촬영된 영상의 확보가 가능하였다. 공간해상

Table 2. Soil types of each province or city in North Korea.

(Unit: ha)

Province/City	Granite		Sedimentary rock	Limestone	Alluvium	Colluvial~alluvial	Fluvio-marine	Volcanic ash
	Sandy	Loamy~Clayey	Loamy	Clayey	Sandy~Coarse loamy	Loamy~Clayey	Loamy, Clayey	Loamy
Gangwon	599,496	27,071	205,982	243,146	10,313	8,132	14,920	0
Gaesung	27,300	89,347	0	0	0	0	11,179	0
Nampo	18,744	0	40,520	6,142	0	936	16,228	0
Naseon	38,471	47,624	0	628	0	0	0	0
Yanggang	726,967	521,739	0	42,807	0	0	0	108,005
Jagang	1,167,718	393,409	0	68,041	25,666	0	0	0
Pyeongnam	414,454	216,787	38,064	405,106	21,796	51,973	13,043	0
Pyeongbuk	657,181	389,160	0	90,329	43,411	0	26,780	0
Pyeongyang	43,971	34,682	49,284	94,210	10,280	26,230	6,875	0
Hamnam	1,226,771	412,158	0	117,574	83,980	2,079	1,916	0
Hambuk	1,032,026	314,290	0	115,863	46,526	0	3,981	60,370
Hwangnam	171,034	338,611	157,004	75,675	7,511	23,360	25,072	0
Hwangbuk	64,563	74,853	398,852	179,972	54,153	24,822	16,787	0

Table 3. RapidEye product specifications (<http://www.rapideye.com/products/>).

Product Attribute	Level 1B Product	Level 3A Product
Product Components and Format	Image File : Image product delivered as a group of single-band NITF 2.0 files with associated RPC values	Image File : GeoTiff file that contains image data and geolocation information
	Metadata File - XML format metadata file	Metadata File - XML format metadata file
	Browse Image File & Unusable Data Mask (UDM) file - GeoTIFF format	Browse Image File & Unusable Data Mask (UDM) file - GeoTIFF format
Product Orientation	Spacecraft/sensor orientation	Map North up
Pixel spacing	6.5 m	5 m
Bit Depth	16bit (Unsigned Integers)	16bit (Unsigned Integers)
Product Size	Swath Width 77 km / Length 50 ~ 300 km	25 km (5000 line) × 25 km (5000 column)
Horizontal Datum	WGS84	WGS84
Map Projection	-	UTM

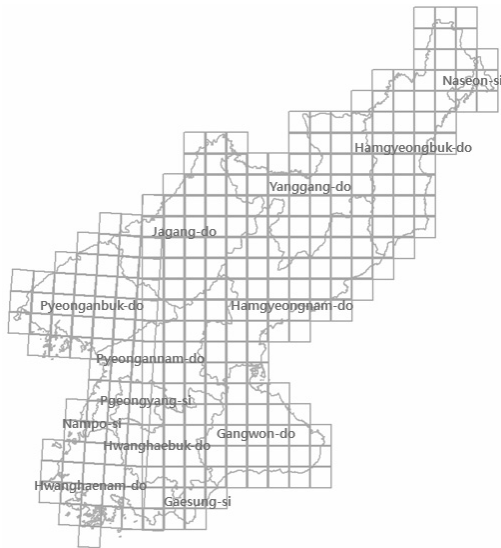


Fig. 2. Coverage of RapidEye images obtained and used for rice paddy classification.

도는 6.5 m로 기존의 1 m급 내외의 고해상도 위성에 비하면 공간해상도는 낮으나 촬영폭 (swath)이 넓은 장점을 갖고 있다.

논 면적 산정에 활용된 RapidEye 위성영상은 총 291개이며 2009년과 2010년 3월부터 9월까지의 영상으로, Fig. 2와 같이 북한 전역을 대상으로 하였다. 본 연구에서는 Level 3A Product로 위치 및 정사보정이 완료된 위성영상을 이용하였다.

논 분류를 위한 영상 판독 RapidEye 영상의 밴드 합성을 통하여 논 특성이 잘 드러나는 조합을 찾고 다양한 시기에 촬영된 영상으로부터 주변의 밭이나 과수원의 분포 현황과 구별이 될 수 있는 기준을 설정하였다. 또한, 경지의 구획정리 여부와 상관없이 논을 구별하기 위해 벼의 재배력을 고려하였고 구글어스에서 제공하는 고해상도 영상을 병

행하여 판독에 활용하였다.

고해상도 영상을 대상으로 하여 밴드별로 화소들을 통계적으로 유사한 것들끼리 그룹화 하는 기법을 사용하는 자동 영상 분류법을 적용하면 농경지 내에서 이웃한 화소와의 세밀한 차이까지 구분되어 서로 다른 토지피복 상태로 분류되는 문제가 생기는 경우가 보고되고 있다 (Ku and Jang, 2006; Van der Sande et al., 2003). 따라서 기존의 영상분류 기법이 아닌 육안 판독을 통하여 컴퓨터 화면상에서 논 지역을 벡터라이징 (vectorizing)하였다. 벡터라이징 결과 작성된 논 지역의 경계는 실제의 논 경계를 가장 근접하게 추출할 수 있어 결과물을 실용적으로 활용할 수 있는 장점이 있다.

25 × 25 km 크기의 영상을 기준으로 총 291개 RapidEye 영상을 판독하였고 일부 위성영상이 중복되는 지역에서는 논 지역에 대한 육안 판독이 용이한 영상을 대상으로 하였다. 논 분류를 위한 벡터라이징은 ArcGIS ArcMap 프로그램을 사용하여 폴리곤을 생성하고 shp 파일 형태로 저장하였다. 작업은 각 영상을 단위로 하였는데, 벡터라이징이 끝난 후 인접 영상간 중첩되는 부분에 대해서는 중첩되는 폴리곤 데이터를 삭제하였다. 그 후 북한의 13개 시도 행정구역도를 이용하여 시도별로 폴리곤을 접합하고 통일하여 폴리곤 형태의 논 분포자료를 생성하였다. 행정구역별 논 면적은 폴리곤의 면적을 합하여 계산하였다.

논 면적 변화 분석 FAO/WFP 북한 보고서에서 발표하는 북한의 논 면적과 Hong et al. (2008)이 1990년대 후반에서 2000년대 초반에 걸쳐 촬영되었던 Landsat TM 자료를 이용하여 토지피복분류를 한 결과 중 논에 대한 면적과 본 연구에서 2009년과 2010년에 걸쳐 촬영된 RapidEye를 이용하여 판독분류한 논 면적을 행정구역별로 비교하여 북한의 논 면적 변화를 분석하였다.


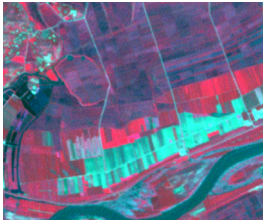


결과 및 고찰

논 분류를 위한 영상 판독 기준 북한 전역을 대상으로 291개의 RapidEye 영상을 이용하여 논을 분류하기 위해 작성된 육안 판독의 기준은 Table 4와 같다. 5월 초에서 6월 말은 벼 이앙을 위해 미리 관개를 하고 벼 이앙 후엔 아직 피복율이 낮아 물의 특성이 위성영상에서 잘 관측되기 때문에 영상이 어둡게 보이는 점을 이용하여 논을 분류한다. 7월 초부터 9월 말은 발작물, 초지, 산림의 식생 성장 특성이 논에서 자라는 벼의 특성과 매우 비슷한 시기이므로 색상을 이용한 판독이 힘든 시기이다. 따라서 평야지대에 구획정리된 논의 형태와 주변 식생과 비교할 때 상대적으로 일정한 질감을 가진 농경지를 논으로 분류한다. RapidEye 영상을 5:3:2 밴드조합으로 하여 영상을 판독하면 벼논의 색상과 질감의 차이를 분류해내는데 도움이 된다. 9월 말부터 10월 말은 벼 수확을 한 후로 논에 식생이 없는 시기이다. 5:3:2 밴드 조합에서 회색빛이 나는 경지 형태를 논으로 판독한다. 추수 후에도 논에 수분이 충분하면 벼 분얼의 생장점에서 잎과 줄기가 다시 자라므로 영상으로 볼 때 식생이 자라는 것으로 보일 수 있다. 모든 시기에 대한 공통점을

살펴보면 논은 상당 지역에서 구획정리가 되어 있는 것으로 나타났다. 그러나 관개수로나 농로의 개발이 미흡해 기반시설이 취약함을 알 수 있었다. 농림부 (MAF, 2006)는 QuickBird 영상을 이용하여 임진강 사천유역의 농경지 유형을 육안판독을 통하여 분류한 바 있다. 보고서에 따르면 논을 구획정리된 논과 미구획논 유형으로 구분하고 지형특성을 반영하여 경사도에 따라 0~7%는 평탄지논, 7~30%는 곡간지논, 30% 이상은 산지논으로 구분하였다. 우리나라에서 경지정리는 경작로, 수로배치 및 필지 규모 등이 고려되는데, 북한에서는 주로 농지의 규격화와 확대를 목적으로 구획한 것으로 판단된다. 또한, 평탄지 또는 곡간지에 등고선을 따라 분포하고 있으면서 구획정리되지 않은 논을 미구획논으로 정의하였다 (Ministry of Agriculture and Forestry, 2006).

논 분포지도와 행정구역별 면적 RapidEye 영상을 이용하여 Table 4의 논 분류를 위한 영상 판독 기준에 의거하여 북한 전역에 대해 작성한 논 분포 지도는 Fig. 3과 같다. 대부분의 벼논은 평안남북도와 황해남도가 위치한 서해안 평야지대에 분포하는 것으로 나타났다. 동해안 지역에서는 함경남도와 강원도에 일부 분포하고 있는 것으로 나타났다.

Table 4. Criteria for paddy field classification using RapidEye imagery in North Korea.

Image	Time	Criteria for paddy field classification
	Early May~ late June	Detect irrigation in rice field before and after transplanting Detect darker color in the image with false color composite(3:2:1 or 5:3:2) for rice field delineation
	Early July~ late September	It is hard to discriminate rice canopy from other type of vegetation including upland crops, grass, and forest in the image Detect regular form of readjusted rice field in the plains and uniform texture when compared with surrounding vegetation Composite the image with 5:3:2 combination, which gives different color and texture for rice field
	Late September~ late October	No vegetation in the rice field after harvest Detect gray-colored field shape with 5:3:2 false composite With enough soil water in the paddy field, rice tiller grows and the field looks green in the images even after harvest
	All Periods	Various types of paddy & upland fields and orchard are mixed even in plain areas. Detect rice field with unique color and uniform texture based on false color composite of the image Rice fields are readjusted in many areas but farm road or irrigation ditch are not widely found

행정구역별 논 분포 면적을 살펴보면, 논 면적이 가장 넓은 지역은 황해남도로 1,532 km²로 통계청이나 FAO에서 제공하는 행정구역 면적대비 약 18% 이상을 차지하는 것으로 나타났다 (Table 5). 황해남도 다음으로는 평안북도가 1,021 km², 평안남도가 968 km²로 논 면적이 넓게 분포하는 것으

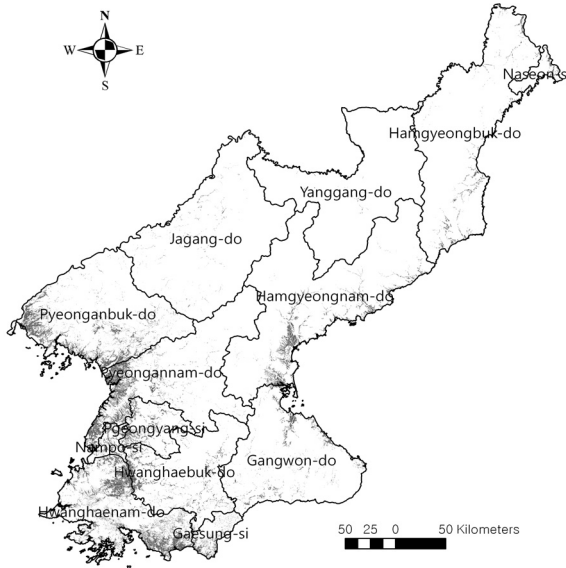


Fig. 3. Distribution map of paddy fields classified from RapidEye imagery in North Korea.

로 나타났다. 평양시를 더해 서해안 쪽에 위치하는 이들 지역의 논 면적의 합은 3,521 km²로 전체 논 면적의 약 66%를 차지하였다. 동해에 인접한 행정구역에서는 함경남도가 592 km²로 논이 가장 넓게 분포하였고 다음으로는 강원도가 304 km²로 넓은 것으로 나타났다. 동해에 인접한 함경남북도, 강원도, 나선시 지역의 논 면적을 합하면 1,172 km²로 전체 논면적의 약 20%를 차지하는 것으로 나타났다. RapidEye 영상을 이용해 분류한 북한의 논 면적은 전체 행정구역 면적의 4.7% 정도를 차지하는 것으로 나타났다.

통계청 북한통계에서 참조한 북한의 행정구역의 경우 개성시의 면적이 별도로 발표되지 않았고 FAO 통계에서는 나선시의 면적이 별도로 발표되지 않았다. 남포시와 평양시의 경우 통계청과 FAO에서 발표하는 행정구역 면적이 달라 논의 분포 비율의 차이가 크게 나타났다.

RapidEye 영상을 이용하여 분류한 논 분포지도와 면적에 대한 정확도 검증을 위해 FAO와 WFP (the World Food Programme)이 연차별로 작성 발표하는 “Special Report: FAO/WFP Crop and Food Security Assessment mission to the Democratic People’s Republic of Korea” 보고서에 기재된 북한의 행정구역별 논 면적 자료와 비교하였다 (Table 6). 논 분류를 위한 영상 관독에 2010년 RapidEye 위성영상이 가장 많이 활용되었기 때문에 2010년 발표된 FAO/WFP 보고서에 제시된 논 면적과 비교하였다.

Table 5. Paddy area classified from RapidEye satellite images and area statistics for administrative district in North Korea.

Province/City	Paddy field area classified	Area statistics for administrative district		Percentage of the paddy area	
		KOSTAT ¹⁾	2010 FAO ²⁾	KOSTAT	2010 FAO
	km ²	km ²		%	
Gangwon-do	304	11,091	10,975	2.7	2.8
Gaesung-si	132		1,196		11.0
Nampo-si	169	1,142	703	14.8	24.0
Naseon-si	40	945		4.2	
Yanggang-do	14	13,880	13,586	0.1	0.1
Jagang-do	69	16,765	15,888	0.4	0.4
Pyeongannam-do	968	11,578	11,807	8.4	8.2
Pyeonganbuk-do	1,021	12,680	12,463	8.1	8.2
Pyeongyang	255	1,587	2,712	16.1	9.4
Hamgyeongnam-do	592	18,535	18,680	3.2	3.2
Hamgyeongbuk-do	236	15,980	17,964	1.5	1.3
Hwanghaenam-do	1,532	8,450	8,320	18.1	18.4
Hwanghaebuk-do	415	10,505	8,146	4.0	5.1
Total	5,747	123,138	122,440	4.7	4.7

¹⁾ Statistics Korea Website. North Korea Statistics (2010), ²⁾ FAO DPRK Website.

Table 6. Comparison of paddy field areas classified from RapidEye images and FAO/WFP report published in 2010.

Province/City	Paddy field area classified	2010 FAO/WFP Paddy field area	Percentage of FAO/WFP Area
	km ²	km ²	%
Gangwon-do	304	340	89.4
Gaesung-si	132		
Nampo-si	169	270	62.6
Naseon-si	40		
Yanggang-do	14	20	70.0
Jagang-do	69	70	98.6
Pyeongannam-do	968	830	116.6
Pyeonganbuk-do	1,021	1,010	101.1
Pyeongyang	255	160	159.4
Hamgyeongnam-do	592	600	98.7
Hamgyeongbuk-do	236	250	94.4
Hwanghaenam-do	1,532	1,460	104.9
Hwanghaebuk-do	415	700	59.3
Total	5,747	5,710	100.8

RapidEye 영상을 이용하여 판독한 북한의 논 면적은 FAO/WFP 보고서에 발표된 면적에 비해 약 100.8%로 다소 많게 나타났으나 45 km² 정도의 편차를 보여 매우 근접하는 것으로 나타났다. 자강도, 평안북도, 함경남북도, 황해남도 는 FAO/WFP 통계와 6% 이내의 차이를 나타내는 반면 남포 시와 양강도, 황해북도는 30% 이상의 면적 편차를 나타내 었다. FAO/WFP 보고서에는 개성시, 나선시에 대한 행정구역 이 반영되지 않은 것으로 미루어 보아 사용하는 행정구역 의 범위와 경계에 대한 정의가 서로 다를 수 있고 그로 인해 비교가 쉽지 않음을 확인할 수 있었다. 통일연구원 (Korea Institute for National Unification, 2009)의 보고에 따르면 남포시와 평양시는 행정구역의 경계가 몇 차례 변경되었는데 따라서 남포시와 평양시의 경우 두 행정구역을 합산하여 비 교해 보면 RapidEye를 이용하여 분류한 논 면적이 FAO/WFP 보고서 논 면적의 98%에 이르는 것으로 나타났다.

논 면적 변화 본 연구에서 2009년과 2010년에 걸쳐 촬 영된 RapidEye를 이용하여 판독·분류한 논 면적과 Hong et al. (2008)이 1990년대 후반에서 2000년대 초반에 걸쳐 촬 영되었던 Landsat TM 자료를 이용하여 토지피복분류를 한 결과 중 논 면적과 비교해 보았다 (Table 7). RapidEye를 이 용하여 산정된 논 면적은 5,747 km²로 Landsat TM을 이용 한 논 면적은 5,112 km²에 비해 약 12% 정도 많게 나타났다. 실제 변화된 면적인지 위성영상의 공간해상도와 분류 방법 의 차이에 의한 차이인지를 확인하기 위해 Landsat TM 위 성영상의 토지피복분류 완료시점인 2001년의 FAO/WFP 북 한보고서의 논 면적과 비교해 보았다. 2001년 FAO/WFP 북

한보고서에서는 논 면적이 5,721 km²로 발표되었다. Landsat TM을 이용한 논 면적보다 609 km² 더 많은 것으로 보고되었다. 또한, FAO/WFP 북한보고서에 따르면 2001년 에 5,721 km²에서 2010년에 5,710 km²로 논 면적이 약 10년 동안 11 km² 정도 감소한 것으로 나타났다.

반면, 위성영상 기반의 논 면적 산정 결과는 2001년 Landsat TM 분류 결과가 5,112 km²에서 2010년 RapidEye 분류 결과가 5,747 km²로 증가하는 것으로 나타났다. RapidEye 영상을 이용하여 분류한 논 면적은 2001년 및 2010년 FAO/WFP 북한 보고서와 비교할 때 각각 1% 이내의 면적 편차를 나타내었다. 이는 30 m 공간해상도를 가진 Landsat TM 영상보다는 6.5 m 공간해상도의 RapidEye 영 상이 논 면적 분류에 더 적합하다고 판단된다.

접근이 불가능한 지역에 대한 농업환경 조사와 분석을 체계적이고 효율적으로 진행하기 위해서는 기본적인 공간 정보의 구축이 선행 되어야 한다. 그러한 의미에서 이 연구 에서 구축된 논 분포도는 농경지 이용 면적의 산정과 변화, 벼 수량 추정을 위한 마스킹 (masking) 자료로 활용될 수 있는 기본 자료로서의 의미가 매우 큰 것으로 판단된다. 논 분류 지도는 단 시간에 영상 취득이 용이한 고해상도 위성 영상을 이용하여 주기적으로 갱신하는 것이 활용도를 극대 화 할 수 있는 방안이라고 판단된다. 따라서 RapidEye 위성 영상보다 Kompsat-2와 같이 더 공간해상도가 좋으면서도 1~2년 내에 전역에 대한 영상 획득이 가능한 고해상도 영 상을 이용할 것을 제시한다. 향후에는 밭에 대한 분류 지도를 구축하고 나아가 옥수수과 같은 주요 밭 작물에 대한 판독 방법에 대해서도 연구할 필요가 있을 것으로 생각된다.

Table 7. Comparison of paddy field areas classified from RapidEye images with the areas classified from Landsat TM and FAO/WFP report published in 2001.

Province/City	Paddy field classified from RapidEye			A. Paddy field area classified from Landsat TM [†]	B. 2001 FAO/ WFP reported paddy field area
	Area km ²	% to A ----- % -----	% to B ----- % -----	----- km ² -----	----- km ² -----
Gangwon-do	304	117.4	87.6	259	347
Gaesung-si	132	116.8	113.8	113	116
Nampo-si	169	118.2	114.2	143	148
Naseon-si	40	235.3		17	
Yanggang-do	14	127.3	73.7	11	19
Jagang-do	69	197.1	98.6	35	70
Pyeongannam-do	968	104.6	100.1	925	967
Pyeonganbuk-do	1,021	121.5	100.9	840	1,012
Pyeongyang	255	89.2	97.0	286	263
Hamgyeongnam-do	592	140.6	100.0	421	592
Hamgyeongbuk-do	236	116.8	96.3	202	245
Hwanghaenam-do	1,532	108.8	104.1	1,408	1,472
Hwanghaebuk-do	415	91.8	88.3	452	470
Total	5,747	112.4	100.5	5,112	5,721

[†]Hong et al., 2008

요 약

북한과 같이 접근이 힘들고 농업과 관련된 정보가 부족한 지역을 대상으로 RapidEye 위성영상의 판독 및 분류를 통하여 가장 기초적인 농업 현황과 생산 기반인 논 면적을 산정하였다. 291개의 RapidEye 영상을 이용하여 북한 전역을 대상으로 시기별로 논을 분류하기 위한 영상 판독 기준을 설정하였다. 5월 초에서 6월 말은 벼 이앙을 위해 관개를 하기 때문에 벼 이앙 전후에 물의 특성이 위성영상에서 잘 관측되기 때문에 영상이 어둡게 보이는 점을 이용하여 논과 다른 토지이용을 구분한다. 주요 벼 생육시기인 7월 초부터 9월 말에는 RapidEye 영상을 5:3:2 밴드조합으로 하여 영상을 판독하면 벼논의 색상과 질감의 차이를 이용하여 밭작물, 초지, 산림으로부터 논을 분류한다. 9월 말부터 10월 말은 벼 수확을 한 후로 논에 식생이 없는 시기로서 5:3:2 밴드 조합에서 회색빛이 나는 경지 형태를 대상을 논으로 판독한다. 그 결과 북한 전역에 대한 논 분포지도를 작성하였고 시도 행정구역별로 논 면적을 살펴보았다. 대부분의 논은 평안남북도와 황해남도가 위치한 서해안 평야지대에 전체 논 면적의 66% 정도인 3,521 km²가 분포하였고 함경남북도, 강원도, 나선시와 같이 동해에 인접한 지역의 논 면적은 1,172 km²로 전체 논 면적의 약 20%를 차지하는 것으로 나타났다. RapidEye 영상을 이용하여 분류한 논 면적은 2001년 및 2010년 FAO/WFP 북한 보고서와 비교할 때 각각 1% 이내의 면적 편차를 나타내었다. RapidEye 위성영상을

이용한 북한의 논 분류 결과는 농경지 이용 면적의 산정과 변화, 벼 수량 추정을 위한 마스킹 (masking) 자료로 활용될 수 있는 기본 자료로 의미가 매우 큰 것으로 판단된다. 향후에는 밭에 대한 분류 지도를 구축하고 나아가 옥수수과 같은 주요 밭작물에 대한 판독 방법에 대해서도 연구할 필요가 있을 것으로 생각된다.

사 사

이 논문은 농촌진흥청 공동연구사업 (과제번호: PJ007753022012) 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

인 용 문 헌

- Boo, K.S., S.P. Kim, U.G. Kim, J.H. Kim, C.S. Kim, I.S. Ryu, G.T. Park, G.Y. Park, S.H. Park, H.R. Son, B.I. Yoo, G.S. Lee, S.G. Lee, S.C. Lim, and J.G. Choi. 2001. Agriculture in North Korea; Status and Perspectives. Seoul National University Press. p.10. (In Korean)
- Campbell, J.B. 1996. Introduction to remote sensing, 2nd ed. The Guilford Press, New York, NY, USA, p.4-5, 550-551.
- Hong, S.Y., S.K. Rim, S.H. Lee, J.C. Lee, and Y.H. Kim. 2008. Spatial analysis of agro-environment of North Korea using remote sensing I. landcover classification from Landsat TM imagery and topography analysis in North Korea.

- Korean J. Environ. Agric. 27(2):120-132. (In Korean)
- Hong, S.Y., K.H. Jung, C.U. Choi, M.W. Jang, Y.H. Kim, Y.K. Sonn, and S.K. Ha. 2010. Estimation of SCS runoff curve number and hydrograph by using highly detailed soil map (1:5,000) in a small watershed, Sosu-myeon, Goesan-gun. Korean J. Soil Sci. Fert. 43(3):363-373. (In Korean)
- Hong, S.Y., Y.H. Kim, E.Y. Choe, Y.S. Zhang, Y.K. Sonn, C.W. Park, K.H. Jung, B.K. Hyun, S.K. Ha and K.C. Song. 2010. Geographical Information system and remote sensing in Soil Science. Korean J. Soil Sci. Fert. 43(5):562-573. (In Korean)
- Hong, S.Y., J.N. Hur, J.B. Ahn, J.M. Lee, B.K. Min, C.K. Lee, Y.H. Kim, K.D. Lee, S.H. Kim, G.Y. Kim, and K.M. Shim. 2012. Estimating rice yield using MODIS NDVI and meteorological data in Korea. Korean Journal of Remote Sensing. 28(5):509-520. (In Korean)
- Korea Institute for National Unification. 2009. 2009 North Korea Outline. (In Korean)
- Ku, C.Y. and H.Y. Jang. 2006. Landcover classification using high-resolution satellite image with vector polygon data. Geographical J. Korea. 40(3):449-459.
- Lee, K.D., S.Y. Hong, and Y.H. Kim. 2012. Farmland use mapping using high resolution images and land use change analysis in Goyang, Namyangju, and Yongin cities. Korean J. of Soil Sci. and Fert. (in printing). (In Korean)
- Ministry of Agriculture and Forestry. 2002. A study on the status of agricultural infrastructure and its renovation in North Korea. Final report. (In Korean)
- Ministry of Agriculture and Forestry. 2006. Characteristics of agricultural infrastructure of Imjin river basin and inter-Korean cooperation for agricultural development. Final report. (In Korean)
- RDA. 1995. Survey study on farming technical level of Korean-China border area compared with Korean for rice, upland crops, horticulture and livestock. Mid-term Report. (In Korean)
- United States Department of Agriculture, Farm Service Agency. 2004. Common Land Unit, FSA handbook. p.112.
- Van der Sande, C.J., S.M. Jong and A.P.J. Roo. 2003. A segmentation and classification of IKONOS-2 imagery for land cover mapping to assist flood risk and flood damage assessment. Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf. 4:217-229.