위성영상을 활용한 작황모니터링 시스템의 사례분석 연구

이정빈* · 우엔 콩 효* · 김정현* · 홍석영** · 허 준*†

*연세대학교 토목환경공학과, **농촌진흥청 국립농업과학원 기후변화생태과

Comparative Analysis of Crop Monitoring System Based on Remotely-Sensed Data

Jung-Bin Lee*, Hieu Cong Nguyen*, Jeong-Hyun Kim*, Suk-Young Hong** and Joon Heo*†

*Department of Civil & Environmental Engineering, Yonsei University

**Climate Change & Agro-Ecology Division, National Academy of Agricultural Science, Rural Development Administration

Abstract : Now global climate change is changing environmental factors, such as temperature and precipitation, which have a great effect on crop yields. Accordingly, crop yield forecast is becoming more important to global food supplies and sustainable development of rural areas. Worldwide, many countries, such as USA, China, Canada, and institutions, such as FAO, USDA, NASA, maintain the cooperative relationship to operate the crop monitoring system at both the national and global scale. This paper aims to investigate the current developments of crop monitoring systems in terms of information level, remotely-sensed data, and biophysical parameters, and to propose the direction of the advanced crop monitoring system based on remote sensing.

Key Words : Agriculture Monitoring System, Crop Growth Model, Remote Sensing, Vegetation Index

요약 : 최근 기후변화로 인하여 농작물 생산에 영향을 주는 기온, 강수량 등 환경요인의 변화가 급격하게 진행되고 있다. 이에 따른 농작물에 대한 생산량 예측은 전세계적인 식량 안보 문제의 해결, 국가차원의 농작물 수급정책 결정, 농가단위의 농가 소득 보전 등 지속가능한 농업경제 발전을 위한 중요한 요소가 되고 있다. 미국, 유럽, 중국, 캐나다, FAO, USDA, NASA 등 여러 국가들 및 기관들은 협력체계를 구축하여 넓게는 전세계 단위에서 국가단위까지 작물 모니터링 시스템을 운영하고 있다. 본 연구에서는 다양한 스케일로 운영되고 있는 국외 작황모니터링 시스템의 전반적인 현황을 파악하고 제공되고 있는 정보의 수준, 활용되고 있는 위성영상, 기후, 토양 습도 등 다양한 생물리변수의 활용 여부를 판단하여 향후 위성영상을 활용한 작황모니터링 시스템의 발전방향을 제시하고자 한다.

접수일(2014년 9월 29일), 수정일(1차 : 2014년 10월 13일), 게재확정일(2014년 10월 18일).

† 교신저자: 허준(jheo@yonsei.ac.kr)

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 연구배경 및 필요성

농작물에 대한 생산량 예측은 사회·경제적으로 식량 안보 문제 해결, 국가차원의 농작물 수급정책 결정, 농가 단위의 농가 소득 보전 등 지속가능한 농업경제 발전을 위한 기본 자료로 활용할 수 있는 중요한 요소이다. 특히, 전세계적으로 2050년에 이르면 인구증가로 인한 식량 소비량이 약 두 배 정도 증가할 것으로 판단하고 있다(Tilman *et al.*, 2011). 식량자원의 대부분을 차지하는 농작물의 모니터링은 1974년 United States Department of Agriculture(USDA)의 Large Area Crop Inventory Experiment (LACIE) 프로젝트에서 시작되었으며 이후 주요 선진국을 중심으로 모니터링 체계가 구축되었다. 유럽연합의 Monitoring Agriculture ResourceS(MARS), 중국의 Academy of Science(CAS), Food and Agriculture Organization of the United Nations(UNFAO) 등은 경작지 면적 및 생산량 추정에 관한 작황모니터링 시스템을 구축하여 지속적인 모니터링과 함께 신뢰도 높은 통계자료의 구축을 위해 노력하고 있다(Xiong, 2014).

모니터링 분야에서 원격탐사 자료의 활용은 시간적, 공간적, 비용적 측면의 많은 이점을 가지며, 다양한 분야에서 위성영상을 활용한 원격탐사 기술의 응용이 활발히 진행되고 있다. 특히, 농업분야에서는 작물의 생산성과 관련하여 중요한 요인인 식생의 계절적, 시기적 변화 패턴은 적절한 시기에 취득된 위성영상을 활용함으로써 대단위 면적에 대한 분석을 가능하게 한다(Atzberger, 2013). 최근에는 기후 변화 문제로 인한 기온, 강수량 등 작물생산에 영향을 주는 환경요인의 변화가 급격하게 일어나고 있으며 이러한 변화에 대응하기 위한 기초자료로 전지구권을 관측하고 있는 위성영상의 활용도가 더욱 증대될 것이다. 예를 들어 National Aeronautics and Space Administration(NASA)의 Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer(MODIS) 영상은 전지구 관측을 위한 위성이며 관측주기가 짧고 대기, 육지, 해양 등의 관측에 중요한 데이터를 제공하고 있다. 국외의 여러 작황모니터링 시스템에서도 MODIS 영상뿐 아니라 Landsat, Satellite for observation of Earth(SPOT), Indian Remote Sensing(IRS) 등 작황 추정을 위한 다양한 위성영상 자료가 활용되어 작물의 생산량 추정 및 지속적인 모니터링을 위한 연구가 진행되고 있다.

국내에서도 주요 작물에 대한 생산량 추정 및 모니터링 기술을 개발하고 있으나 아직 신뢰수준 향상을 위한 노력이 필요한 실정이다. 이러한 상황에서 현재 구축되었거나 연구 진행 중인 국외의 위성영상 활용 작황모니터링 시스템 사례분석을 통하여 향후 발전방향에 대한 논의가 이루어질 수 있을 것이라 판단된다.

따라서 본 연구에서는 전지구적 범위에서부터 지역 단위까지 다양한 스케일로 운영되고 있는 국외 작황모니터링 시스템의 전반적인 현황을 파악하였다. 제공되고 있는 정보의 수준, 활용되고 있는 위성영상, 기후, 토양, 습도 등 다양한 생물리변수의 활용 여부를 판단하여 향후 위성영상을 활용한 작황모니터링 시스템의 발전 방향을 제시하고자 한다.

2. 작황모니터링 시스템 현황

미국, 유럽, 중국, 캐나다, FAO, USDA, NASA 등 여러 국가들 및 국제기구들은 긴밀한 협력체계를 구축하여 전세계 단위에서 국가 및 지역단위까지 작물 모니터링 시스템을 운영하고 있다. 현재 미국, 유럽, 중국 등 해외 여러 나라에서는 위성영상을 활용하여 식량안보문제에 대처하기 위한 조기경보체계 및 모니터링 시스템 개발 연구가 활발히 진행되고 있다. 작황모니터링 시스템 현황분석에는 현재 작물모니터링 시스템이 잘 갖추어졌으며 발전연구가 지속적으로 진행되고 있는 전지구단위 12개 시스템, 국가단위 9개 시스템의 분석이 이루어졌다.

1) Crop Explorer

USDA의 Foreign Agricultural Service(FAS)에서는 Crop Explorer를 통하여 전세계의 작황모니터링이 이루어지고 있다(Fig. 1). 농업생산성과 관련되는 평균 기온, 강수량, 토양수분정보, Normalized Difference Vegetation Index(NDVI) 등이 수집되어지고 최근 10일 평균, 작년대비, 10년대비 정보를 전지구 단위에서부터 국가단위의 면적, 수확량, 생산량 통계 정보를 제공한다. 위성영상자료로는 SPOT-VEGETATION, MODIS, National Oceanic and Atmospheric Administration(NOAA) 자료가 활용되며, 이를 통한 NDVI, 강수량 자료가 제공된다. 또한 과

Fig. 1. Global distribution of the SPOT-VEG NDVI in Crop Explorer system.

거 FAO 국가 통계량과 연간 NDVI 변화를 통한 현재 작물의 생산성 변화에 대한 정도를 나타낸다(Crop Explorer, <http://www.pecad.fas.usda.gov/cropeexplorer/>). 최근에는 NASA와 함께 Global Agriculture Monitoring(GLAM) 프로젝트를 수행하고 있으며, 이를 통하여 MODIS 기반 전 지구 단위 관측 자료와 작황모니터링 및 생산성 평가를 위한 분석 툴, 농업환경정보를 US Agency for International Development(USAID), Food and Agricultural Organization (FAO), the Monitoring Agricultural ResourceS(MARS), European Space Agency(ESA), Chinese of Science(CAS)의 모니터링 시스템에 제공하고 있다(Becker-Reshef *et al*, 2010).

2) MARS

유럽연합의 Joint Research Centre(JRC), MARS에서는 FOODSEC, AGRI4CAST를 통한 모니터링 시스템을 구축하고 있다. FOODSEC에서는 주요 국가에 대한 조기 정보 정보와 작물 생산량 예측을 위한 작물 생육 모니터링을 실시하고 있으며, AGRI4CAST에서는 작물 모니터링과 수확량 예측, 작물 모델을 통한 생장 시뮬레이션, 기후변화연구, 면적 추정이 이루어지고 있다. 유럽지역에 대하여 월간 보고서 형태로 농업기상정보, 원격탐사를 이용한 식생상태, 작물생산량 예측 자료, 지도 등을 제공하고 있다(JRC MARS, <http://mars.jrc.ec.europa.eu/>).

지구관측 자료로 NOAA-AVHRR, SPOT-VEGETATION, TERRA-MODIS, MSG-SEVIRI가 활용되어지고 축적된 자료를 통하여 NDVI, Soil adjusted vegetation index(SAVI), Fraction of absorbed photosynthetically active radiation (fAPAR)의 Long Term Average(LTA) 값과 작물생육모델을 통한 생산량 예측이 진행된다.

Fig. 2. CropWatch estimates of global crop production of wheat, rice, maize, and soybean in 2012, compared to 2011.

3) CropWatch

중국 CAS의 Institute of Remote Sensing Application (IRSA)에서는 CropWatch를 통하여 중국과 전세계 주요 작물에 대한 모니터링을 실시하고 있으며(Fig. 2), Global, Regional, National, Sub-National의 접근방법으로 작물 생산성 모니터링이 진행되고 있다(CropWatch, <http://www.cropwatch.com.cn/htm/en/index.shtml>).

FY-3a MERSI, MODIS, Landsat TM, HJ-1 CCD, IRS P6 AWiFS, NOAA AVHRR 등 위성영상자료의 NDVI, LST(land surface temperature), 분광반사값과 Radarsat-1, ENVISat ASAR 영상의 후방산란계수, 분광값이 활용되어 작물 상태, 면적, 생산량 추정 모니터링에 이용하고 있다(Wu *et al*, 2014). 작물 생산량 추정에는 토지피복도, 기후자료, 현장 조사자료와 함께 농업기상모델, 원격탐사 지수모델, 두 모델을 조합한 모델 및 바이오매스 모델이 적용되고 있다.

4) GIEWS, FIVIMS

FAO의 the Global Information and Early Warning System (GIEWS)는 식량 안보 상황에 대비하기 위한 전세계 모니터링을 실시하고 있다. 이를 기반으로 식량의 가격 정보 분석 및 모니터링이 이루어지고 있으며, 위성영상 자료를 활용함으로써 가뭄, 홍수 등 식량안보에 영향을 미치는 요소나 계절적 변화에 대한 모니터링이 함께 이루어지고 있다. 위성영상 자료는 FAO의 Advanced Real Time Environmental Monitoring Information

System (ARTEMIS)와의 협력을 통하여 공급되고 있으며 METEOSAT Cold Cloud Duration(CCD), NOAA Global Area Coverage(GAC) NDVI, SPOT-VEGETATION NDVI 영상이 가뭄과 식량 안보 모니터링에 활용되고 있다. 축적된 자료를 통하여 월간 농업환경 정보와 식량작물 상태에 대한 정보가 제공되어지며, 농업기후모델과 통계적 모델을 통한 분석이 진행되고 있다(GIEWS, <http://www.fao.org/giews/english/index.htm>).

Food Insecurity and Vulnerability Information and Mapping System(FIVIMS)에서는 식량안보에 위협을 주는 가뭄 등 자연재해 모니터링이 이루어지고 있으며, GIEWS는 현재 상태에 대한 단기간의 위협요소에 중점을 두고 있다면 FIVIMS는 장기적인 관점에서 식량안보, 취약성 분석에 중점을 두고 있다(FIVIMS, <http://www.fao.org/docrep/meeting/W8500e.htm>). FAO의 두 가지 시스템은 상호 논의를 통하여 모니터링 및 평가, 의사결정, 정책결정에 큰 역할을 하고 있다(Naoki, 2005).

5) FEWS NET

US Agency for International Development(USAID)의 Famine Early Warning System Network(FEWS NET)은 중앙아메리카, 아프리카, 중앙아시아 지역 35개국에 대한 식량안보 모니터링 시스템이다. 시장가격, 수출입의 변동성, 농업기상, 농업소득, 연간 농업생산량 등의 자료를 통하여 지식기반 분석이 이루어지며 FAO의 통계를 기반으로 통계자료를 제공하고 있다. 활용되고 있는 위성영상 자료로는 MODIS NDVI, Temporally Smoothed NDVI, Mean Anomaly(2001-2010), Previous Year Difference가 주로 활용되고 NOAA, NASA 영상의 강수량 추정자료, 그밖에 다양한 관측 자료로부터 획득한 습윤지수, 토양지수, 증발산량 등이 활용된다(FEWS NET, <http://www.fews.net/>, <http://earlywarning.usgs.gov/fews/>).

6) GMFS

ESA의 Global Monitoring for Food Security(GMFS) 프로그램은 사하라 사막 이남 지역을 중점지역으로 European Commission(EC)의 GMES와 공동으로 전세계 식량 안보 평가를 위한 전지구 식생 모니터링, 아프리카 지역의 기술이전, 지역 발전 지원, 위기관리 시스템 지원의 목적으로 시작되었다. GMFS는 크게 조기경보, 농업

모니터링, Crop and Food Supply Assessment Mission Service(CFSAM) 지원의 세부분으로 구분할 수 있다(GMFS, <http://www.gmfs.info/uk/index.html>).

SPOT-VEGETATION, MODIS fAPAR, NDVI의 원격탐사 자료와 필드조사자료, 다양한 생물기후학적 변수가 함께 활용되어 조기경보를 위한 작물 수확 및 식생 모니터링, 농업 모니터링이 진행되고 있다.

7) VAM

Vulnerability Analysis and Mapping(VAM)은 World Food Program(WFP)의 의사결정 지원을 위한 식량 안보 분석의 기술적 지원을 하고 있다. 각국의 VAM 네트워크 구성을 통하여 36개국의 식량 안보 분석이 진행되며 식량 안보 정책결정을 위한 잠재적 요인 및 위협요소 모니터링, 취약분석과 맵핑을 실시하고 있다. 활용되는 자료로는 사회경제적 변수, 강수량, 토양습윤상태, 시장 가격 변동 등의 자료가 변수로 활용되며, VAM에서는 위성영상의 활용보다는 Geographic Information System(GIS) 기반의 분석 및 맵핑이 이루어진다. 그 결과물로는 월, 분기, 년 단위 시장 가격 및 변동성 분석을 통한 시장 모니터링 보고서가 제공된다(VAM, <http://foodprices.vam.wfp.org/default2.aspx>).

8) RRSU

Southern African Development Community(SADC), Regional Remote Sensing Unit(RRSU)은 남아프리카 14개 국가의 식량 안보를 위한 조기경보체계를 지원하고 있다.

재해위험관리 및 가뭄상태 모니터링이 이루어지며 활용되고 있는 원격탐사 자료로는 NOAA, SPOT, METEOSAT 영상으로 ESA와 협력을 통한 영상 확보가 이루어진다. 영상자료 이외에도 SADC 국가들에 대한 행정경계지도, 고도, 주요 작물 지역, 보호지역 등 벡터 형태의 자료를 제공하고 있다(RRSU, www.sadc.int).

9) CGIAR

Consortium for Spatial Information(CSI)의 Consultative Group on International Agricultural Research(CGIAR)은 농업발전, 식생다양성 보전, 천연자원관리를 위한 모니터링 시스템이다. 전세계 단위 지도 형태로 표현하며

Fig. 3. Web service system and statistical report of GEOGLAM.

Shuttle Radar Topographic Mission(SRTM) 고도자료와 GIS분석을 통한 기후자료, 건조, 증발산, 토양 수분 자료를 제공하고 있다(CGIAR, 2007).

10) GEOGLAM

Group on Earth Observations(GEO)의 GEOGLAM Crop Monitor에서는 밀, 옥수수, 콩, 쌀에 대한 모니터링이 실시되고 있다(Fig. 3). Agricultural Market Information System(AMIS)에서 제공되고 있는 작황상태, 농업기후 정보 등 생산성에 영향을 주는 정보와 함께 축적된 MODIS 자료의 활용이 이루어지고 있으며 2000년부터 2013년까지의 NDVI자료를 통한 14년간의 평균값과 현시점 값의 비교를 통한 Anomaly 정보가 제공되고 있다. 또한 1990년부터 2013년의 NOAA 자료를 활용한 기후자료도 NDVI와 마찬가지로 Anomaly 정보가 제공되고 있다. GGeoGLAM에서는 월단위로 보고서를 제공하며 보고서에서는 Agricultural Market Information System(AMIS)의 국가별 작물별 작황에 대한 정보를 제공하고 있다(Crop Monitor, <http://www.geoglam-crop-monitor.org/>). 또한 Crop monitor와 함께 현재 진행되고 있는 SIGMA(Stimulating Innovation for Global Monitoring of Agriculture) 프로젝트를 통하여 환경적인 요인을 고려한 지속가능한 농업체계 구축 및 모니터링에 많은 노력을 기울이고 있다. SIGMA에서도 NDVI, 강수량의 Anomaly 정보를 제공하며 현시점과 과거의 변화량 차이를 그래프형태로 표현하고 있으며, 국가별 생산량 통계는 FAO 국가통계량 기준으로 제공하고 있다(SIGMA project, <http://www.geoglam-sigma.info/>).

11) IWMI

International Water Management Institute(IWMI)의 Global Irrigated Area Mapping(GIAM)와 Global Map of

Fig. 4. Satellite based information for rice condition outlook in Asia-Rice system.

Rainfed Cropland Areas(GMRCA)는 전세계 단위 관개면적 지도, 농작물 지도를 제공한다. 고해상도 위성과 sub-pixel decomposition 방법을 이용한 경작지 면적 산정이 이루어지며 구글어스와 연동하는 특징이 있다. 활용 자료로는 AVHRR, SPOT, GTOPO30 Elevation, CRU 강수량, AVHRR을 이용한 산림피복도, AVHRR 온도 자료가 사용되며 특히, 아프리카와 남미쪽의 열대 우림에는 JERS SAR 자료가 활용된다(IWMI, <http://www.iwmigiam.org/info/main/index.asp>).

12) Asia-RICE

GEOGLAM의 지원을 통하여 진행되고 있는 Asia-Rice는 전세계 쌀 생산에 90%를 차지하는 아시아 국가에 대한 쌀 생산량 추정을 목적으로 진행되고 있다(Fig. 4). 인도네시아, 태국, 베트남을 시작으로 대만, 중국, 인도 등 단계별로 확대될 예정이다. 현지조사자료 및 The Japan Aerospace Exploration Agency(JAXA)를 통하여 제공받은 ALOS, PI-SAR-L2, Radarsat-2, ALOS-2 시계열 영상을 활용한 추정모델 및 생산량 추정이 이루어질 예정이다(Asia-RICE, <http://asia-rice.org/index.php/>).

13) NCRST

카자흐스탄의 National Centre of Space Research and Technologies(NCRST) 시스템은 위성영상 기반의 모니터링 시스템을 운영하고 있다. 재배지 면적 추정 및 경험 모델을 통한 작황 평가 및 생산성 예측이 이루어지며, 위성영상으로는 NOAA AVHRR, MODIS, IRS AWiFS 및 LISS-III와 지상자료로 현장 측정 및 지상관측소의 기상

자료가 활용되고 있다(NCRST, 2010).

14) CONAB

브라질의 Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB) 시스템은 농업지역에 대한 모니터링 및 맵핑을 위하여 위성영상과 기상자료를 활용한 수확량 추정 모델이 적용되고 있다. SPOT VEGETATION, MODIS 영상의 NDVI를 활용하여 계절적 차이를 통한 브라질 전역의 재배지 분류가 이루어지며, 커피와 감귤류에 대해서는 Landsat 영상과 SPOT 영상을 활용한 영상분류 기법이 적용되고 있다(CONAB, <http://www.conab.gov.br/>).

15) NASS

National Agricultural Statistics Service(NASS)에서는 미국 내 주단위 대한 주요 작물 면적 추정을 실시하여 결과를 제공하고 있다. AWiFS와 Landsat TM 영상이 활용되며 작물에 대한 필드조사, 비농업지역을 구분하기 위한 토지피복자료가 사용된다(NASS, <http://www.nass.usda.gov/>).

16) CSIRO

호주의 농업 모니터링 분야는 Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation(CSIRO)를 통한 여섯 가지 독립적인 시스템이 농업생산성 통계자료를 제공하고 있다(Fig. 5).

- Yield Prophet(<http://www.yieldprophet.com.au/>): 작물 생산성 모델을 통한 예측
- Pastures from Space(<http://www.pasturesfromspace.csiro.au/>): 원격탐사자료와 기후, 토양 자료를 결합한 PGR (Pasture Growth Rate) 추정
- LANDMONITOR(<http://www.landmonitor.wa.gov.au/>): 식생변화 모니터링
- Collaborative Land Use Mapping Programme(<http://adl.brs.gov.au/mapserv/landuse/>): 토지변화 맵핑
- AussieGRASS(<http://www.longpaddock.qld.gov.au/AboutUs/ResearchProjects/AussieGRASS/Project/>): 원격탐사자료와 기후, 자연자원자료, 과거 농업연구 및 시뮬레이션 모델을 활용한 목초지 성장에 관한 연구 진행
- Climate and Agriculture Update(<http://www.daff.gov.au/brs/climate-impact/climate-agricultural-update>): 농

Fig. 5. Chance of exceeding median growth map in CSIRO system.

업정책지원을 위한 강수량, 기온 변화, 날씨 작물생산에 관련된 정보 제공

17) MinAgri

아르헨티나의 농업모니터링 시스템은 Ministry of Agriculture, Livestock and Fisheries(MinAgri)에서 진행되고 있다(Fig. 6). Landsat 영상, 도로와 하천의 벡터 데이터, 토양 정보, 강수량 정보 및 전자지적도 등을 활용하여 주요 작물인 밀, 옥수수, 콩을 대상으로 영상 분류 기법을 통한 경작지 면적 추정을 실시하고 있다(MinAgri, <http://www.minagri.gob.ar/site/>).

Fig. 6. Crop yield estimation map of Argentina.

18) CHARMS

중국의 China Agriculture Remote Sensing Monitoring System(CHARMS)에서는 밀, 옥수수, 쌀, 콩, 목화에 대한 재배면적 변화, 작물 생육, 생산량, 수확량 및 재해 모니터링이 실시되고 있다. 모니터링에는 통계모델과 원격탐사 활용한 수확량 예측 모델, 작물 성장 모델이 적용되고 있다(CHARMS, <http://www.caas.cn/en/>).

19) FASAL

인도의 Forecasting Agricultural output using Space, Agro-meteorology and Land(FASAL)에서는 국가단위의 작물 평가, 면적 추정, 생산량 예측을 목적으로 원격탐사자료를 활용한 모니터링을 실시하고 있다. 주로 IRS AWiFS, LISS-III 영상이 사용되고 있으며 영상의 분류 및 분광지수와 기후자료를 이용한 생산량 예측 모델이 적용되고 있다(FASAL, http://www.isro.org/scripts/rsa_fasal.aspx).

20) DAFF

남아프리카 공화국의 South African National Department of Agriculture, Forestry and Fishery(DAFF)는 Landsat 5 TM, SPOT 2, SPOT 4영상을 활용한 경계설정, 비농업지역 분류, 면적 추정이 이루어지며 항공사진(Very Light

Aircraft)은 작물 종류 분류를 위한 훈련자료로 활용된다. (DAFF, <http://www.daff.gov.za/>).

21) CCAP

캐나다의 Canada's Crop Condition Assessment Program (CCAP)에서는 과거와 현재의 식생 상태 모니터링 정보를 제공하고 있다. NOAA AVHRR과 MODIS NDVI 자료가 활용되고 있다(CCAP, <http://www.agr.gc.ca/eng/>).

3. 작황모니터링 시스템의 위성영상 활용

전지구 단위에서부터 국가 단위까지 운영되고 있는 위성영상 활용 작황모니터링 시스템에 대한 사례 조사가 이루어졌다. 각각의 시스템에 대한 위성영상의 활용, 대상지역의 범위, 정보의 표출 방법, 방법론별 구분을 통한 세부 내용은 다음과 같이 정리할 수 있다.

대상지역의 구분은 크게 Global 단위와 National 단위로 나눌 수 있다. Global 단위의 모니터링 범위는 각각의 시스템별 협력체계를 구축하고 있는 전세계, 대륙, 여러 국가단위를 모두 포함하며 National 단위의 모니터링 범위는 해당 국가 모니터링에만 해당된다.

Table 1. Crop monitoring system - satellite image for crop estimation model

시스템	지역	위성영상	분석방법 및 활용형태
MARS	Global	NOAA-AVHRR, SPOT-VGT, MODIS, MSG-SEVIRI	위성영상을 활용한 NDVI, SAVI, fAPAR의 평균값을 작물생육모델에 적용
Crop Watch	Global	FY-3a MERSI, MODIS, Landsat, HJ-1 CCD, IRS AWiFS, NOAA-AVHRR, Radarsat-1, ENVISat ASAR	위성영상의 분광값, 토지피복, 기후자료, 현장조사자료를 활용한 생육모델적용
FAO	Global	METEOSAT, NOAA-AVHRR, SPOT-VGT	위성영상의 식생지수를 활용한 농업기후모델, 통계모델 적용, 시계열 식생지수 변화와 통계량과의 비교
GMFS	Global	SPOT-VGT, MODIS	위성영상의 NDVI, faPAR와 필드조사, 생물리지수 간의 상관관계분석
CGIAR	Global	SRTM	기후, 고도, 증발산, 토양 수분 자료의 Raster화를 통한 맵핑이 이루어지며 추정 모델 적용
AsiaRiCE	Global	ALOS, PI-SAR-L2, Radarsat-2, ALOS-2	위성영상의 시계열 자료를 활용한 생산량 추정모델 적용
NCRST	Kazakhstan	NOAA-AVHRR, MODIS, IRS	위성영상 및 지상관측자료를 활용한 경험모델 적용
CONAB	Brazil	SPOT-VGT, MODIS	위성영상을 이용한 재배지역 분류 및 기상자료를 활용한 수확량 추정 모델
CSIRO	Australia	ASTER	위성영상 및 기후, 토양 자료를 활용한 시뮬레이션 모델
CHARMS	China	Landsat TM, CBERS, IRS, SPOT, HJ-1, ALOS	위성영상, 통계모델, 수확량 예측모델, 작물 성장 모델을 통한 추정
FASAL	India	IRS AWiFS, LISS-III	영상을 이용한 분류, 분광지수와 기후자료를 이용한 생산량 예측모델 적용

Table 2. Crop monitoring system - satellite image for vegetation condition monitoring

시스템	지역	위성영상	분석방법 및 활용형태
USDA	Global	SPOT-VGT, MODIS, NOAA-AVHRR	FAO 통계량과 평균기온, 강수량, NDVI의 최근 10일 평균, 전년대비, 최근 10년 대비 비교
FAO	Global	METEOSAT, NOAA-AVHRR, SPOT-VGT	위성영상의 식생지수를 활용한 농업환경정보, 식량 작물상태의 시계열 모니터링, 시계열 식생지수 변화와 통계량과의 비교
FEWS NET	Global	MODIS, NOAA-AVHRR	위성영상을 활용한 Anomaly NDVI, 강수량 추정자료 이용 통계량과 비교
RRSU	Global	NOAA-AVHRR, SPOT, METEOSAT	위성영상의 식생지수를 활용한 시계열 식생모니터링
GEOGLAM	Global	MODIS, NOAA-AVHRR, Proba-V, SPOT-VGT	FAO 통계량과 위성영상의 Anomaly NDVI, 강수량의 누적자료 비교
CCAP	Canada	NOAA-AVHRR, MODIS	위성영상의 NDVI를 활용한 식생 모니터링

Table 3. Crop monitoring system - satellite image for classification and mapping

시스템	지역	위성영상	분석방법 및 활용형태
VAM	Global	METEOSAT, NOAA-AVHRR, SPOT-VGT	식생지수 자료 맵핑, 시장가격변동, 사회경제적 변동 등 GIS 분석 위주로 위성영상의 활용도 낮음
IWMI	Global	AVHRR, SPOT, GTOPO30, SAR	영상분류를 통한 면적지도 제작
NASS	USA	AWiFS, Landsat TM	주요 작물에 대한 면적 추정, 농작물 분류, 식생상태 정보 제공
MinAgri	Argentina	Landsat	영상분류 기법을 활용한 면적 추정 및 맵핑
DAFF	South Africa	Landsat 5 TM, SPOT 2, SPOT 4, 항공사진	농업지역 분류 및 작물별 면적 추정

AVHRR(1 km), MODIS(250 m)에서부터 Landsat(30 m), IRS(23 m), SPOT(20 m), VLA(Very Light Aircraft)까지 다양한 해상도의 위성영상과 항공사진이 활용되며, 모니터링 대상지역의 범위에 따라 국가단위일 경우, 고해상도 영상의 활용도가 높다.

적용방법에서는 1)위성영상을 보조자료로 활용한 생산량 추정 모델 기반 방법(Table 1), 2)위성영상의 NDVI, 기후자료, 식생지수를 현시점의 작물 생육 환경 모니터링 자료로 활용하고 과거의 누적 평균과 현시점의 차이를 국가통계량과 비교하는 방법(Table 2), 3)위성영상 분류방법을 적용한 면적추정과 위성영상이 일부 사용되고 있으나 주로 기후, 토양, 인구, 시장가격변동 등 다양한 자료의 GIS분석을 통한 래스터와 벡터 형태의 지도화 방법이 활용되고 있다(Table 3).

4. 시사점

조사된 작황모니터링 시스템 현황에서 알 수 있듯이 이미 미국, 유럽, 중국, 캐나다, FAO, USDA, NASA 등 여러 국가들 및 국제기구들은 긴밀한 협력체계를 구축하

여 전세계 단위에서 국가단위까지 다양한 범위의 작황 모니터링 체계를 구축하고 있음을 확인하였다. 본 연구의 사례조사를 통하여 도출할 수 있는 시사점은 아래와 같다.

첫 번째, 작물의 생산량 추정을 위해 고려해야하는 기후, 환경, 토양, 습도 등 수많은 변수가 있으며, 이러한 변수들은 작물에 직접적인 영향을 주는 요소이기 때문에 신뢰할만한 해당 자료의 취득이 반드시 필요하다. 작황 모니터링 시스템 사례조사에서 위성영상자료는 작물의 생산량 추정 모델의 보조 자료(변수)로의 활용도가 가장 높게 나타났다. 결국, 위성영상 자료에 전적으로 의존하는 방법이 아닌, 위성영상 자료의 장점을 취하여 생산량 추정 모델의 주요 변수 중 하나로 활용하는 방법이 적용되어야 한다.

두 번째, USDA, FAO, FEWS NET, RRSU, GEOGLAM, CCAP 시스템에서는 위성영상자료가 식생 상태 및 생육 환경 모니터링 자료로 활용되며 국가 농업통계의 작물 생산량과 비교하여, 현시점 생육 상태에 대한 Anomaly 정보를 제공하고 있다. 즉, 위성영상 자료로 활용은 직접적인 작황의 모니터링 보다는 작물의 생육에 영향을 주는 환경에 대한 모니터링 자료로의 활용이 주를 이루고

있다. 예를 들어 위성영상을 통하여 획득할 수 있는 식생 지수, 기후관측자료 등이 대표적이라 할 수 있다. 또한 광범위한 지역의 현재 시점 생육 환경 상태를 판단할 수 있으며 과거 자료와의 비교를 통한 일 단위, 월 단위, 연 단위, 10년 단위의 비교가 가능한 이점이 있다. 신뢰도 높은 Anomaly 정보를 제공하기 위해서는 식생지수, 기후관측자료 등의 과거자료에 대한 구축이 선행되어야 한다.

세 번째, 전세계단위의 작황 모니터링 시스템과는 달리 국가단위 작황 모니터링 시스템에서는 고/중해상도 영상을 이용한 작물의 분류, 면적 추정 등이 이루어지고 있다. 작물의 분류와 면적의 추정은 생산량 추정과 밀접한 관련이 있기 때문에 정확도 향상을 위해 필드조사와 함께 중요하게 사용될 수 있다. 우리나라의 경우 상대적으로 좁은 국토면적과 현장자료 취득의 용이성으로 위성 영상기반의 작물분류의 가치가 상대적으로 낮지만, 해외를 대상으로 한 작황 모니터링 기술 개발을 위해서는 작물분류와 면적추정 기술의 개발이 중요한 부분으로 평가된다.

해외 작황모니터링 시스템 사례분석을 통하여 얻은 시사점을 바탕으로 우리나라에서 작황모니터링 시스템 구축 시 위성영상의 장점을 취하여 생산량 추정 모델의 보조 자료로서의 역할, 과거부터 현재까지 생육환경 모니터링 자료로서의 역할, 필드조사와 더불어 작물의 분류 및 면적 추정 자료로서의 역할이 고려되어야 할 것으로 판단된다. 또한 기존 작황모니터링 시스템의 발전 방향으로 최근에는 곡물 생산량 예측 정확도의 향상과 더불어 기후환경요인의 변화에 따른 천연자원, 토지이용의 변화, 농업시스템의 변화 등 다양한 각도로 농업환경을 평가하려는 시도가 진행되고 있다.

5. 결 론

현재 국내에서 연구 개발 중인 위성영상기반 작황 모니터링시스템의 발전 방향을 모색하기 위해서 기존의 해외 작황 모니터링 시스템의 현황들을 조사하고, 그 시사점을 도출하였다.

먼저 위성영상의 활용은 여러 주요 기후, 토양, 환경 변수들과 함께 작황 예측 모델에 사용될 수 있는 하나의

변수라는 보수적인 접근방법이 적용되어 한다. 위성영상 정보는 광역의 지역에 대한 현황 파악에 탁월한 적용성을 갖고 있으나, 본질적으로 위성영상정보 분석 결과는 현장자료의 수준에 미치지 못한다는 기본에 대한 인식의 전파가 필요하다.

신뢰할 만한 작황 모니터링 결과를 도출하기 위해서는 적절한 모델의 선정과 이를 지속적으로 적용하여, 대상 지역에 적절하게 최적화 시키는 것이 관건이며, 이를 위해서는 작황 모델링과 관계되는 과거 자료의 구축과 접근성을 확보하는 것이 중요하다.

위성영상의 작황 모니터링과 관계된 주요 연구 분야로는, 기후분야를 배제하면, 곡물 분류와 재배면적 추정, 식생지수와 환경변수를 이용한 생육환경 상태 추정이 주요 분야로 평가된다.

마지막으로 해외 작황모니터링 시스템의 사례에서 보이듯이 직접적인 작황 예측은 아직까지 연구 개발 중인 상태로 파악되며, 이의 전단계로 곡물 작황에 대한 개략적인 예측, 작황과 관계된 조기정보 수준의 정보 제공이 선행 구축될 시스템의 기능으로 평가된다. 곡물 생산량 예측과 같은 고도화된 정보의 제공은 지속적인 연구 개발을 통해 미래에 가능할 것으로 판단된다.

사 사

이 논문은 농촌진흥청 공동연구사업(과제번호: PJ00 9978042014)의 지원에 의해 이루어졌습니다.

References

- Asia-RiCE, <http://asia-rice.org/index.php/>.
- Atzberger, C., 2013, Advances in remote sensing of agriculture: Context Description, Existing Operational Monitoring Systems and Major Information Needs, *Remote Sensing*, 5(2): 949-981.
- Becker-Reshef, I., C.O. Justice, M. Sullivan, E.F. Vermote, C. Tucker, A. Anyamba, J. Small, E. Pak, E. Masuoka, and J. Schmaltz, 2010,

- Monitoring global croplands with coarse resolution Earth observation: The Global Agriculture Monitoring (GLAM) project, *Remote Sensing*, 2(6): 1589-1609.
- CCAP, <http://www.agr.gc.ca/eng/?id=1326402878459>.
- CGIAR, 2007, Global Agricultural Monitoring in the CGIAR, <http://www.cgiar-csi.org/>; https://www.earthobservations.org/documents/cop/ag_gams/200707_01/ag_monitoring_cgiar.pdf.
- CHARMS, <http://www.caas.cn/en/>.
- CONAB, <http://www.conab.gov.br/>.
- Crop Explorer, <http://www.pecad.fas.usda.gov/cropeexplorer/>.
- Crop Monitor, <http://www.geoglam-crop-monitor.org/>.
- CropWatch, <http://www.cropwatch.com.cn/htm/en/index.shtml>.
- CSIRO, AussieGRASS, <http://www.longpaddock.qld.gov.au/AboutUs/ResearchProjects/AussieGRASS/Project/>.
- CSIRO, Climate and Agriculture Update, <http://www.daff.gov.au/brs/climate-impact/climate-agricultural-update>.
- CSIRO, Collaborative Land Use Mapping Programme, <http://adl.brs.gov.au/mapserv/landuse/>.
- CSIRO, LANDMONITOR, <http://www.landmonitor.wa.gov.au>.
- CSIRO, Pastures from Space, <http://www.pasturesfromspace.csiro.au>.
- CSIRO, Yield Prophet, <http://www.yieldprophet.com.au>.
- DAFF, <http://www.daff.gov.za>.
- FASAL, http://www.isro.org/scripts/ras_fasal.aspx.
- FEWS NET, <http://www.fews.net/>, <http://earlywarning.usgs.gov/fews/>.
- FIVIMS, <http://www.fao.org/docrep/meeting/W8500e.htm>.
- GIEWS, <http://www.fao.org/giews/english/index.htm>.
- GMFS, <http://www.gmfs.info/uk/index.html>.
- IWMI, <http://www.iwmigiam.org/info/main/index.asp>.
- JRC MARS, <http://mars.jrc.ec.europa.eu/>.
- MinAgri, <http://www.minagri.gob.ar/site/>.
- Naoki, M., 2005, The application of geospatial and disaster information for food insecurity and agricultural drought monitoring and assessment by the FAO GIEWS and Asia FIVIMS, *Workshop on Reducing Food Insecurity Associated with Natural Disasters in Asia and the Pacific*, Bangkok, Thailand, Jan 27-28.
- NASS, <http://www.nass.usda.gov/>.
- NCRST, 2010, Development Of Earth Observation Technologies In Kazakhstan, https://www.aprsaf.org/data/aprsaf16_data/Day-1_eo_1450_EO_CR_Kazakhstan.pdf.
- RRSU, <http://www.sadc.int>.
- SIGMA project, <http://www.geoglam-sigma.info/>.
- Tilman, D., C. Balzer, J. Hill, and B.L. Befort, 2011, Global food demand and the sustainable intensification of agriculture, *Proceeding of National Academy of Science of the United States of America*, 108(50): 20260-20264.
- VAM, <http://foodprices.vam.wfp.org/default2.aspx>.
- Wu, B., J. Meng, Q. Li, N. Yan, X. Dua, and M. Zhang, 2014, Remote sensing-based global crop monitoring: experiences with China's CropWatch system, *International Journal of Digital Earth*, 7(2): 113-137.
- Xiong. D., 2014, Crop Growth Remote Sensing Monitoring and its Application, *Sensors & Transducers*, 169(4): 174-178.