

통계청 연구용역
결 과 보 고 서

농작물 생산통계의 원격탐사기술 활용방안 연구

Application of Remote Sensing in Crop
Production Statistics

2010. 11. 10

충 북 대 학 교

제 출 문

통계청장 귀하

2010년 5월 14일자로 귀 청과와 계약체결한 『농작물생산통계의 원격
탐사기술 활용방안 연구』 용역을 계약서 및 연구지시서에 따라 성실
히 수행하고, 그 결과를 본 보고서에 수록하여 제출합니다.

2010년 11월 10일

주관연구기관명 : 충북대학교

총괄연구책임자 : 박 종 화

연 구 원 : 나 상 일

연 구 원 : 이 규 호

연 구 보 조 원 : 백 신 철

연 구 보 조 원 : 김 형 섭

요 약 문

1. 연구명

: 농작물 생산통계의 원격탐사기술 활용방안 연구

2. 연구기간

: 2010. 5. 14 ~ 2010. 11. 10

3. 연구배경 및 목적

본 연구의 목적은 원격탐사기술의 농작물생산통계 활용 가능성을 검토하고 현장 시범연구를 통해 원격탐사 기술의 실용화 방안 및 시사점을 도출하여 원격탐사기술의 농작물생산통계 활용을 위한 중장기 로드맵을 수립하는 데 있다.

원격탐사기술을 농작물 작황 및 수확량 예측에 활용하고 있는 주요 선진사례를 심층 조사하고 선진사례를 벤치마킹하여 위성영상의 농작물 생산통계 적용 가능성 및 시사점을 도출하며, 현장 시범연구를 통한 쌀 및 주요 작물에 대한 위성영상자료의 활용 방안을 모색하여 중장기 추진계획을 수립하는 것이 포함된다.

4. 추진경위 및 기대효과

현재 미국, EU, 일본 등 선진국을 중심으로 인공위성 영상을 판독해 경지면적조사, 재배면적조사, 작황예측분석 등 농업통계에 활용하고 있는 추세이다. 이에 따라, 우리나라도 2006년 아리랑 2호(KOMPSAT-2) 위성의 성공적인 발사를 시작으로 저렴한 국산 고해상도 위성영상의 활용이 가능해짐에 따라 각 산업분야별로 원격탐사기술 응용이 본격화되었다. 또한, 우주개발중장기계획에 따라 2010년 아리랑 5호(전천후 레이더영상), 2011년 아리랑 3호(0.7m급 초고해상도 영상) 등이 지속적으로 발사 될 예정으로 다양한 영상 적용을 위한 기술확보와 정보취득 알고리즘 및 적용 가능성의 검토가 필요한 시점이다. 이처럼 원격탐사기술의 급속한 진전으로 새로운 패러다임의 조사체계구축 방안에 대한 필요성이 제기됨에 따라 ‘항공우주기술의 농림분야 활용방안 연구(농림부, 2005)’, ‘농업통계조사에 원격탐사기술 활용방안 조사연구(농림부, 2008)’, ‘원격탐사기술 활용 면적통계조사시스템 구축을 위한 정보화 전략계획(ISP)수립(통계청, 2009)’ 등 농업통계의 원격탐사기술 활용방안에 대한 연구가 진행되었다.

본 연구에서는 선진사례를 연구하고 시사점을 도출하여 원격탐사기술의 농작물생산 통계 적용 가능성과 도입방법에 대하여 검토하였으며, 현장 시범연구와 논벼의 생산량 예측 모델을 통하여 시범연구를 위한 토대를 마련하였다.

5. 연구결과 요약

5.1. 선진 사례 연구 및 시사점 도출

5.1.1. 국내외 연구현황

원격탐사기술을 이용한 농작물 생산통계에 대한 국내 연구현황은 다음과 같이 요약된다.

- 이정택 외 3인(1997)은 벼 군락에서 반사특성을 이용하여 엽면적지수를 추정하고 추정된 엽면적지수를 이용하여 건물생산량을 산출하였음
- 홍석영 외 4인(1998)은 분광반사 특성을 이용한 벼 군락의 생육시기별 성장량을 추정하였음
- 장석환(2000)은 농림 수산 통계연보와 기상자료를 이용하여 경상북도 지방의 쌀, 보리, 감자, 콩의 재배면적과 10a당 수량의 예측을 시도하였음
- 박종화 외 2인(2003)은 밭작물의 성장에 따른 식생지수와 엽면적지수의 관계를 규명하였음
- 김이현 외 3인(2007)은 벼 군락의 분광반사율 지표를 측정할 수 있는 인공관원을 사용하는 능동형 광학 센서를 이용하여 생육시기별 식생지수와 엽 질소함량과의 관계를 규명하고, 벼 군락의 엽 질소함량을 추정하였음
- 홍석영 외 5인(2009)은 MODIS 제공 산출물 중 16일 단위로 작성되는 NDVI를 이용하여 북한의 벼 수량 추정을 목적으로 그 가능성과 한계를 검토하였음

원격탐사기술을 이용한 농작물 생산통계에 대한 국외 연구현황은 다음과 같이 요약된다.

- Daughtry 등(1980)은 봄밀 군락에서 파종기부터 출수기까지 군락밀도가 높은 기간 동안 측정한 자료를 이용하여 NIR/RED의 비율과 엽면적지수 및 건물생산량과의 관계를 규명하였음
- Yang(1985)은 벼 군락에서 휴대용 장비를 이용한 측정 자료를 Landsat 위성의 TM band와 MSS band로 구분하여 TM4(760~900nm)/TM3(630~690nm)이 건물생산량과의 상관성을 규명하였음
- Yamamoto 등(1990)은 반사율을 50nm 간격으로 생육초기부터 황숙기까지 측정하여 분석하여 IR850/R650nm의 조합에서 LAI와 건물생산량과의 상관성을 규명하였음
- Kimura 등(2004)은 엽면적지수에 대한 식생지수와 엽록소 농도의 관계를 분광반사 파장인 550, 680, 800, 980nm를 이용하여 새로운 식생지수를 만들어 제시하였음
- Allen(1990)은 1977년 IOWA주에서 최초로 위성영상 데이터를 이용하여 작물재배면적을 공식적으로 추정하였으며, Ferencz 등(2004)은 위성영상 데이터를 이용하여, 일반적 단위통일참고지수(General Yield Unified Reference Index, GYURI)를 개발함으로써 작물의 단수를 추정하였음
- Paul 등(2007)은 MODIS 영상의 NDVI 및 LST를 작황 예측의 매개변수로 사용하는 것을 제안하였으며, Prasad 등(2007)은 NDVI와 토양수분자료, 지표온도 등의 인자를 고려하여 작황예측식을 제시하였음

이와 같이 국내외 많은 연구자들이 농작물 생산통계 산출에 원격탐사기술을 활용하려고 노력하고 있으나, 국내뿐만 아니라 국외에서도 아직 정확한 생산량을 예측할 수준으로는 발전하지 못하였으며, 실용화를 위한 연구가 지속적으로 추진되고 있는 실정이다.

5.1.2. 선진 사례 연구

본 연구에서는 선진 사례 연구로서 미국, 유럽, 일본, 중국을 대상으로 원격탐사기술을 이용한 농업통계 산출 및 농작물 생산통계에 활용 사례를 심층조사하여 시사점을 도출하였다.

가. 미국

원격탐사기술을 이용한 미국의 농업생산통계체계는 다음과 같이 요약된다.

- 원격탐사기술을 이용한 미국의 농업통계산출 프로그램은 다음과 같이 정리 됨
 - 토지이용 및 경지조사(area sampling frame construction)
 - 작물재배면적조사(crop area estimation)
 - 작황조사(crop condition assessment)
 - 수확량예측분석(crop yield forecasting and estimation)
- NASS는 매년 6월 전국의 약 1,100개의 JAS(June Agricultural Survey) Area Segment에서 농민을 대상으로 JSA의 작성을 위해서 재배경작지면적, 재배작물의 종류, 재배의향작물은 물론 예상수확량까지 조사하고 있음
- NASS에서 원격탐사기술을 이용한 통계생산 담당팀의 인력구성을 살펴보면 GIB에 branch chief 1명, section chief 2명, 직원 41명, contractor 1명이 근무 중이며 각각을 세분해 살펴보면 AFS(Area Frame Section)에 section chief 1명 직원 31명, SARS(Spatial Analysis Research Section)에 section chief 1명 직원 9명, contractor 1명이 근무함
- 인공위성자료를 이용한 통계산출방법은 NOAA AVHRR 센서를 이용한 NDVI 지수와 Landsat 5의 TM(Thematic Mapper)센서, Landsat 7의 ETM+(Enhanced Thematic Mapper)센서를 이용한 regression, pixel ratio, direct expansion이 있음. 이 중에서 1970년대 초부터 개발되기 시작한 통계조사요원에 의해서 실제 조사된 데이터와 인공위성사진에 의한 데이터를 동시에 이용하는 통계적 추정방법

인 Regression Estimation 방법이 주로 이용되고 있음

- 미국의 원격탐사기술을 이용한 농업통계산출의 위한 주요 장비 및 S/W는 다음과 같음
 - 이미지 처리 패키지 프로그램인 PEDITOR를 자체적으로 개발하여 이용
 - 고 사양의 데스크탑 PC에 윈도우NT, 2000, XP 등의 OS를 탑재하여 분석하며 expert system과 automation batch 과정을 지원하여 clustering, classification, mosaicing, estimation이 자동으로 모두 가능함
- NASS는 농산물의 단수를 파악하기 위해 ① 주 단위 품목전문가들의 작황보고, ② 월 단위 표본 농가들의 단수조사, ③ 수확 전 단수 관련 조사를 실시하고 NDVI지수를 보완적으로 이용함(Hanushak, 1997)
- USDA는 전 세계 농경지의 작황 및 기상정보를 제공하기 위하여 Crop Explorer를 자체 제작, 운영함(<http://www.pecad.fas.usda.gov/cropexplorer>)
- Crop Explorer는 사용자의 이해가 쉽도록 작물의 종별, 지역별, 계절별 카테고리를 활용하여 각종 정보를 그래픽으로 제공함. 기상 정보 및 위성영상 데이터에 의한 식생 데이터는 10일 주기로 업데이트 되며, 제공되는 데이터와 출처는 다음과 같음
 - US Air Force : 강우량, 증발산량, 최고 및 최저온도, 적설량, 일조량 등
 - World Meteorological Organization : 기상데이터(매일)
 - NOAA : 식생 모니터링을 위한 위성영상 데이터 데이터(AVHRR)
 - NASA : 식생 모니터링을 위한 위성영상 데이터 데이터(SPOT) 및 고해상도 위성영상 데이터
 - European Space Agencies : 식생 모니터링을 위한 10일 주기 위성영상 데이터
- 추후 미국 원격탐사기술의 농작물 생산통계부문 이용전망을 간략하게 살펴보면 다음과 같음

- 기본적으로 향후 NASS에서 원격탐사기술을 이용한 농작물 생산통계 산출은 새로운 위성 및 센서의 개발로 그 적용분야 및 적용범위가 확대될 것으로 전망됨
 - 이와 함께 NASS에서는 앞으로도 지속적으로 AVHRR과 MODIS와 같은 센서를 이용한 전국단위의 작황조사를 위한 목적으로 그 기능을 수행할 것으로 예측됨
- 최근 IKONOS, Quickbird 뿐만 아니라 일본의 AMSR과 같은 장비를 활용하여 농작물 생산통계에 적용하고 있으나, 비용 대비 경제성의 문제로 작물재배면적과 같은 주요 목적을 위해서는 여러 가지 측면에서 미국의 상황에 맞는 Landsat 시리즈가 앞으로도 기본적으로 주도적으로 사용될 것으로 전망하고 있음

나. 유럽

원격탐사기술을 이용한 유럽의 농업생산통계체계는 다음과 같이 요약된다.

- MARS-Project의 가장 핵심이 되는 활동은 소위 MSYFS라고 일컬어지는 Action2 & Action3으로 이 활동들은 유럽전체 수준에서 주요 작물에 대하여 수확량을 조기에 예측하여 CAP의 정책결정과 MARS-FOOD와 같은 식량 안보에 관한 정책결정에 있어서 중요한 정보를 제공함
- MARS를 추진하는 이탈리아 소재 JRC(Joint Research Center)는 MARS-STAT 부분에 25명의 전문인력(전문가 20명, 박사 3명, 행정담당관 2명)을 배정하고 있으나 실질적인 업무수행은 아웃소싱하여 운영함
- 원격탐사기술을 이용한 유럽의 농업통계산출 프로그램은 지역별 경작지 측정, 작물 성장 조건 및 수확량 예측, 경작지 및 수확량의 신속한 측정으로 요약. 이러한 프로그램의 수행을 위해 활용되는 위성영상 데이터의 종류는 다음과 같음
 - Action 1 : 지역별 경작지 측정, Landsat-TM(4호), Spot-XS(2호)
 - Action 2 : 작물 성장 조건 및 수확량 예측, NOAA-AVHRR SPOT-VGT(4호)
 - Action 3 : 수확량 예측 모델, NOAA-AVHRR SPOT-VGT(4호)
 - Action 4 : 경작지 및 수확량변화의 신속한 측정, Landsat-TM(4호), Spot-XS(2호)

- 인공위성자료를 이용한 통계산출방법은 다음과 같이 요약됨
 - MARS-STAT는 크게 수확량 예측(crop yeild forecast) 부분과 경작지 측정(crop area estimate field)의 두 부분으로 나눌 수 있음
 - 각각의 통계를 산출하기 위한 주력 시스템은 MCYFS(수확량 예측시스템) 임
- 유럽의 농업통계보급 체계로 MARS 프로젝트의 결과물은 웹사이트(www.marsop.info)와 보고서(bulletin)를 통하여 일반인에게 제공. 주요 제공내용은 특정기간의 날씨지수의 전처리된 지도, 특정기간동안 시뮬레이션된 작물지수(Crop Indicator)의 전처리된 지도, NOAA-AVHRR 및 SPOT-VGT 센서로부터 획득된 전처리된 NDVI 지도, 수확기전 주요작물에 대한 예상 수확량 등임
- 유럽의 원격탐사기술을 이용한 농업통계산출의 위한 주요 장비 및 S/W는 다음과 같음
 - 통계산출을 위한 주요 장비 및 S/W로는 MCYFS를 운용하기 위해 CGMS (Crop Growth Monitoring System)를 자체적으로 개발하여 활용하고 있으며 CGMS의 모델베이스로서 WOPOST (World Food Studies crop growth model)를 탑재
 - 그 외에 목초지 시뮬레이션용 S/W로 LINGA를 개발하였으며 SPACE (Software for the Processing of AVHRR-images for Communities of Europe)는 AVHRR 센서로 촬영된 저해상도 이미지를 보정하여 1.1km² 해상도(pixel size)로 모자이크 처리하며, MARSOP-APPLICATION S/W는 SPACE의 결과자료를 활용하여 NDVI 및 지표면온도 등의 이미지들을 추출
- 원격탐사기술을 이용한 유럽전역 통계산출의 핵심부분인 MCYFS, CGMS, WOPOST의 운용 메커니즘에 대한 보다 상세한 해부와 이를 국내에 도입할 수 있는 방안이 지속적으로 연구되어야 할 것으로 판단됨

다. 일본

원격탐사기술을 이용한 일본의 농업생산통계체계는 다음과 같이 요약된다.

- 일본의 농업통계생산 및 보급은 농림수산업 산하의 통계부가 담당하고 있음. 그 중에서 농업통계의 생산에 있어서 원격탐사기술의 응용을 추진하고 있는 부서는 통계기획과, 시스템 관리실, 생산유통소비통계과가 있음
- 농림수산업 통계부를 주축으로 하여 각 지자체별로 별도의 통계사무소를 운영하고 있으며 사무소별로 예산을 확보하고 원격탐사기술의 통계생산업무 활용을 위한 자체 연구를 수행하고 있음
- 일본의 농업통계에 있어서의 원격탐사기술의 활용은 주로 경지면적의 파악과 재배면적통계 조사에 있어서의 실용화를 염두에 두고 1995년도부터 개발 연구가 진척되어 오고 있으나, 현 단계에 있어서는 실용화를 실행하기에는 관련연구가 부족하고 해결되지 않고 있는 과제가 많아 실용화에는 이르지 못하고 있는 실정임
- 일본에서 원격탐사기술을 활용한 농업통계 산출의 애로점은 다음과 같이 요약됨
 - 미국 등 선진국과 달리 농장의 규모가 상대적으로 작고 산간부 등이 뒤얽혀 있어 지형이 복잡한 장소가 많다는 점
 - 일본은 세계의 다른 지역에 비교해서 대기에 구름이 걸려 있는 비율이 높다는 점. 따라서 완벽한 위성데이터의 취득이 어렵다는 점
 - 현재 일본의 우주항공기술수준을 고려할 때 외국의 고해상도위성 화상을 이용할 경우 해외의 위성에 대한 의존도 문제와 고액의 경비가 소요된다는 점
- 그러나 2006년 농림수산업 통계부를 주축으로 계속적인 개발연구를 진행하여 육역관측 기술 위성인 다이치(ALOS) 위성의 발사를 성공시켰으며, 2006년 10월 본격적인 관측운용을 실시함으로써 현재 자국위성 데이터를 활용한 실용화 연구를 진행 중임
- 구미 대륙과는 달리 동아시아나 동남아시아에서의 원격탐사기술의 농업분야 성과는 그다지 보이지 않음. 그 이유로 아시아의 농업환경과 몬순기후를 들 수 있음
- 따라서, 지금까지 일본에서의 원격탐사기술 적용은 기본적으로 농가 수익의 최대화가 목적으로 사용되었으나, 근래에 직하(直下)뿐 만 아니라, 빗변을 관측할 수

있는 포인팅 기능을 가지는 센서가 개발되어, 특정 개소에 한정하여 관측 빈도를 비약적으로 증가시키게 되었음

- 이에 따라, 최근 초소형 위성에 대한 새로운 패러다임이 대두되고 있으며, 일본 문부과학성 및 경제산업성 주도하에 2011년까지 약 400km 높이의 저궤도 위성 100기 발사계획을 발표하였음
- 또한 2010년 GIS/RS 기술을 이용한 농업 환경정보 서비스 센터를 설립하고 매년 초소형 인공위성 활용방안 워크숍을 개최하여 전문가들의 관심 유도과 해당 기술의 실용화를 시도하고 있음

라. 중국

원격탐사기술을 이용한 중국의 농업생산통계체계는 다음과 같이 요약된다.

- 중국은 농업 및 식량 정책에 있어서 작물 통계조사의 중요성을 인식하고 적시에 신속하고 정확한 통계자료 산출을 목적으로 원격탐사 기술을 이용한 농업통계 산출에 대한 노력을 기울여 왔음
- 특히, 1979년부터 원격탐사에 의한 농작물 생산량 예측에 대해 관심을 가지고 ‘6.5계획(1981~85년)’의 시작부터 농작물 원격탐사 생산량 예측에 관한 연구를 전개하였고, 시험적으로 시범지역을 대상으로 생산량을 추정하였음
- 시범지역 및 시험 작물로는 북경 근교의 소맥, 절강성 항가호지역의 벼 및 북방 6개성의 소맥을 선정하여 원격탐사기술에 의한 생산량 예측을 시작하였으며, 중국 국가기상국은 1984년부터 북방의 11개 성시에서 겨울 소맥에 대한 기상위성 원격탐지 생산량 예측 기술을 연구하기 시작, 전국적인 겨울 소맥 원격탐지 생산량 예측을 위한 지면관측시스템을 구축하였음
- 지면관측 시스템은 재배면적, 관측, 모니터링, 생산량 추정의 4개의 하위 시스템으로 구분되며, 생산량 추정 시스템은 원격탐사자료의 처리 - 재배면적 산출 - 작물성장/토양수분 모니터링 - 생산량 예측 모델 - 현장조사의 순서로 처리과정

이 이루어짐.

- 이에 따라, 원격탐사기술에 의한 생산량 예측은 ‘8.5 계획(1991~95년)’ 기간의 중국 주요 과학기술 연구내용이 되었고, 소맥, 옥수수, 벼 등 대단위 면적 농작물에 대한 생산량 추계 시험을 전개하였음
- 1993~96년 4개 성과 2개 시(하북성, 산둥성, 하남성, 안휘성 북부와 북경시, 천진시)의 동계 소맥, 호북성, 강소성, 상해시의 수도, 길림성의 옥수수의 재배면적, 생육상황, 생산량에 대한 관측 전개하였으며, 지난 15년간(1983~1998년) 중국은 원격탐사 기술을 이용한 생산량 예측 대상 품목에 동계 소맥뿐만 아니라 벼, 옥수수 등 여러 농작물로 확대하고 대상 지역도 11개 성시로 확대하였음.
- 1998년~현재 밀, 쌀, 콩, 옥수수의 곡물관측 시스템 개발 시범사업을 실시하여 China CropWatch System(CCWS)을 개발하여 운영 중에 있으며, 동일시기에 원격탐사기술을 이용한 국가 모니터링 시스템 개발 사업도 실시함
- CCWS는 원격탐사 데이터, 통계 데이터, 현장조사 데이터, 기상 데이터를 이용하여 재배면적 현황을 예측 및 파악하고 작물 생육 모니터링과 토양 습도 모니터링 결과를 작물 생장 모델에 적용하여 생산량을 예측하는 시스템임

5.1.3. 시사점

선진 사례 분석 및 시사점은 다음과 같이 요약된다.

- 미국 NASS의 통계생산체계를 참고하여 관련기관 간의 긴밀한 네트워크를 구축하고 효율적으로 인공위성 정보 및 관련 기술의 취득을 통해 농업통계를 산출해야 함
- 또한, 미국의 농업통계산출의 핵심 부분인 Area Sampling Frame의 선정 및 구분 메커니즘, 조사통계와 위성자료를 병합하는 방법론(Regression Estimator 등), CDL의 통계보급체계, PEDITOR 시스템에 대한 해부 및 국내도입의 방안이 지속적으로 연구되어야 할 것으로 판단됨

- 유럽의 통계생산체계를 참고하면 국내에서도 관련 기관간의 긴밀한 네트워크를 구축해야 하며 통계산출의 업무수준에 대한 아웃소싱 방안을 고려해야 함
- 또한, 유럽전역 통계산출의 핵심부분인 MCYFS, CGMS, WOPOST의 운용 메커니즘에 대한 보다 상세한 해부와 이를 국내에 도입할 수 있는 방안이 지속적으로 연구되어야 할 것으로 판단됨

국내 원격탐사기술 적용에 있어 국내 애로사항은 다음과 같이 요약된다.

- 국내 농업여건 역시 일본과 유사한 환경으로 농지의 규모가 상대적으로 작고 산간부 등 지형이 복잡함. 특히, 소규모의 불규칙한 농지가 많아 격자형태의 위성영상 데이터에 적용할 때 공간적 왜곡이 심함
- 군사적 여건 역시 보안처리의 불가피로 인하여 정확한 작황정보의 취득이 어려우며, 지리적 여건 상 대기에 구름이 걸려 있을 비율이 높아 완벽한 위성영상 데이터 자료의 취득이 어려움
- 국내위성(KOMPSAT-2)을 활용한 실용화 연구가 아직 진행 중에 있으므로 국내 위성에 대한 사례분석이 어렵고, 공개 영상이 적음
- 실측자료와 위성영상 데이터 조사 결과와의 정확성 수준의 기준도 확립되어 있지 않으며, 조사 통계와 위성영상 데이터 자료를 병합하는 방법론의 부재, 관련 연구 수행 기관간의 상호 교류가 어려움

국내 적용 가능성 및 앞으로의 전망은 다음과 같이 요약할 수 있다.

- 국내의 농작물 생산통계에 있어서 원격탐사기술 적용은 우선적으로 현장조사와 원격탐사기술의 상호 보완적 활용이 필요하며, 대상 작물은 현재 기술 수준을 고려하여 주산지 위주의 작물에 우선적으로 적용하고 원격탐사 기술의 적용이 용이한 작물을 대상으로 선적용 후 범위를 확대하여야 함
- 적용 모델은 국내 농업환경을 고려하여 한국형 농작물 생산량 예측 모델을 개발

하여야 하며, 과거 데이터와의 회귀분석을 통해 보정함으로서 정확도 향상을 제고하여야 함

- 위성영상 데이터자료는 KOMPSAT 시리즈를 우선적으로 적용하며, 이에 따라 농업 등 다양한 분야에서 KOMPSAT 시리즈가 활용될 수 있도록 응용기술의 개발도 동시에 이루어져야 함
- 운영방법으로는 작물의 생육주기를 중심으로 작황현황의 지속적인 모니터링 및 데이터 수집을 지속적으로 수행하여 향후 공식 통계 확정을 위한 판단자료로 활용될 수 있도록 기반을 마련해야 할 것이며, 미국의 NASS, EU의 MARS와 같이 전문 인력의 양성과 함께 아웃소싱 방안도 함께 고려해야 할 필요가 있음
- 선진사례 조사 결과, 앞으로 고해상도 위성을 이용한 농업통계 산출에 대한 다양한 연구가 진행될 예정이며, 새로운 위성 및 센서의 개발로 적용분야 및 범위가 확대될 것으로 전망됨
- 따라서, 우리나라도 KOMPSAT 시리즈를 주도적으로 사용하되 SAR를 비롯한 다양한 자료의 활용 방안 및 적용 가능성에 대한 검토가 필요할 것으로 사료됨

5.2. 쌀 및 주요작물에 대한 위성영상 자료 활용방안 연구

5.2.1. 시범지역 현장측정

시범지역 현장측정 결과는 다음과 같이 요약된다.

- 지구상에 존재하는 모든 물체는 물질상태에 따른 고유한 파장의 전자파에너지를 반사 또는 흡수하게 되며, 이러한 물질에 따른 빛의 흡수, 반사, 투과 특성들로 물질 고유의 성질과 상태의 파악이 가능함
- 본 연구에서는 충북 청원군 옥산면 소로리에 위치한 논과 밭을 시범지역으로 선정하여 현장 시범연구를 수행하였으며, 대상작물은 감독원과의 협의를 거쳐 표본 조사 작물 중 논벼, 고추, 마늘, 콩, 양파를 선정하였음

- 측정방법은 휴대용 분광복사계(Li-1800, Li Cor Inc)를 이용하였으며, 2회 반복하여 평균값을 사용함. 또한 계절별, 시간대별 태양복사 에너지의 변화에서 발생할 수 있는 오차를 최소화하기 위해 반사율개념을 도입함
- 이용 파장대는 300~1100nm 범위의 파장에 대해 2nm 간격으로 측정하였고, 위치 변화에 따른 오차를 줄이기 위하여 조사지점은 일정 위치를 지정하여 같은 지점에서 측정함
- 식생지수(Vegetation Index; VI)는 식물의 양, 계절적 변화, 식생의 생리적 조건 및 특성을 나타내는 인자로서 지표면에서 녹색식물의 상대적인 분포와 활동성, 엽면적 지수, 엽록소함량 및 광합성 흡수복사량(APAR) 등과 관련된 지표로 사용함
- 논벼의 생육주기별 분광반사특성은 가시광선 영역 중 청색 파장대인 450nm와 적색 파장대인 680nm 영역에서 반사율이 감소하는 것으로 나타났으며, 시간이 경과함에 따라 근적외선 영역인 700~1100nm 파장대에서는 반사율이 증가하였음
- 발작물의 성장단계에 따른 분광반사특성은 작물에 따른 정도 차이는 있으나 거의 비슷한 패턴을 보였으며, 적색경계(Red Edge, 700nm 전후) 전의 가시광선파장의 반사율은 대부분 10% 이하를 나타내었음
- 4 가지 발작물에 대한 근적외선 파장에서의 반사율은 고추 > 콩 > 양파 > 마늘의 순으로 나타남
- 각 대상작물의 최대 NDVI 시기는 마늘(5월 상순) - 양파(5월 하순) - 논벼(8월 상순) - 고추(8월 상순) - 콩(9월 상순) 순으로 나타남

5.2.2. 위성영상 적용가능성 평가

위성영상 적용가능성 평가 결과는 다음과 같이 요약된다.

- 우리나라는 1980년대부터 이미 기상, 통신 분야는 물론 국토개발, 해양, 환경, 과

학탐사 분야에서 미국, 일본 등의 위성자료를 활용하여 각 연구기관과 대학을 중심으로 활발한 연구가 진행되어 왔으며, 2006년에 다목적 실용위성인 아리랑 2호 (KOMPSAT-2)가 발사되었음

- 다양한 종류의 위성영상 데이터들은 나름대로 고유한 특성을 가지고 있으며, 활용 목적에 따라 영상에서 분해될 수 있는 최소 단위 면적인 공간해상도(Spatial Resolution), 분광해상도(Spectral Resolution), 센서의 광학적 민감성을 표시하는 방사해상도(Radiometric Resolution), 그리고 동일 지역을 반복해서 관측할 수 있는 촬영주기(Temporal Resolution) 등으로 나눌 수 있음
- 본 연구에서는 농업생산통계의 산출에 적용 가능한 위성영상 데이터를 구분하기 위하여 국내에서 주로 이용되는 MODIS, ASTER, Landsat 5 TM, KOMPSAT-2, Quickbird 위성영상 데이터를 대상으로 적용 가능성을 평가하였음
- 밴드 상관성 평가는 해당 위성영상 데이터가 작물의 작황정보를 얼마나 정확히 수집할 수 있는지를 판단하는 기준이 되며, KOMPSAT-2 > MODIS > Landsat 5 TM > ASTER > Quickbird 순으로 평가됨
- NDVI 정확도 평가는 현장에서 취득한 분광반사율에 의해 추출된 NDVI와 동일 시기, 동일 지역의 위성영상 데이터에서 추출한 NDVI의 차이로 나타냈으며, MODIS > KOMPSAT-2 > Landsat 5 TM > ASTER > Quickbird 순으로 평가됨
- 육안판독 가능성은 Quickbird > KOMPSAT-2 > ASTER > Landsat 5 TM > MODIS 순으로 평가되었으며, PSU 활용성은 KOMPSAT-2 > Landsat 5 TM > ASTER > Quickbird > MODIS 순으로 평가되었음

5.2.3. 주요작물 적용가능성 평가

주요작물 적용가능성 평가 결과는 다음과 같이 요약된다.

- 의사를 결정하려면 다양한 변수를 고려해야 함. 그러나 현실적으로 모든 변수와

조건을 검토할 수 없기 때문에 완벽한 의사결정을 하는 것을 불가능함

- 따라서 어떤 문제가 있을 때 그 문제를 해결하는 방법이 아직 없거나 현실적으로 불가능 할 때, 혹은 문제를 해결하기 위한 정보가 완전히 주어지지 않을 때, 확립된 절차에 따라 답을 구할 수 있을 정도로 문제가 명확하게 정의되지 않았을 때, 휴리스틱 접근법을 사용함
- 휴리스틱 접근법에 의한 주요작물 적용 가능성 평가는 먼저, 평가항목을 결정하여 사전식으로 나열하고, 업무상 우선순위에 따라 재배열함으로써 주요작물별 우선순위를 결정함. 이 방법은 정형적이며 포괄적인 방법으로 일정한 규칙과 지침을 갖고 판단과 의사결정이 이루어진다고 가정 하에 이루어짐
- 주요작물의 적용성 평가는 대상작물에 대하여 원격탐사기술을 적용하는 데 얼마나 적합한 지를 알아보기 위한 것으로써 대상작물이 평가의 주체가 되며, 평가항목은 작물의 생태학적, 식물학적 특성을 고려하여 결정함
- 작물의 생태학적 특성이란 작물과 환경간의 관계에 따른 특성으로 작물 및 유기체가 환경과 상호 작용하며, 적응과 변화를 하는 특성을 의미하며 각 작물의 생육주기, 재배환경 및 분포, 생육 형태 등이 포함됨
- 작물의 식물학적 특성은 작물의 일반적인 정보를 의미하는 것으로 표면 조직의 특성, 잎의 형태, 크기 등이 포함됨
- 생육주기에 의한 평가는 생육주기에 따른 위성영상 데이터 적용의 가능성을 평가하는 것으로 논벼(90일) > 콩(60일) > 고추(50일) > 마늘(40일) = 양파(40일) 순으로 평가됨
- 재배환경에 의한 평가는 작물별 경작지의 규모, 형태 및 농업보조물 등에 의한 위성영상 데이터 적용의 가능성을 평가하는 것으로 논벼(대규모, 규칙적) > 콩(중규모, 경사지) > 고추(소, 중규모, 지지대) > 양파(소규모, 비닐멀칭) > 마늘(소규모, 불규칙) 순으로 평가됨

- 분포형 및 형태에 의한 평가는 작물 재배지의 분포유형과 재배형태에 의한 위성 영상 데이터 적용의 가능성을 평가하는 것으로 논벼(전국, 일년초) = 콩(전국, 일년초) = 고추(전국, 일년초) > 마늘(전국, 다년초) > 양파(남부/중부, 일년초) 순으로 평가됨
- 잎의 표면조직에 의한 평가는 잎의 표면조직에 의한 분광반사특성이 얼마나 뚜렷한가에 의한 위성영상 데이터 적용의 가능성을 평가하는 것으로 고추(매끄럽고 단단함) > 콩(매끄럽고 단단함) > 논벼(거칠고 색이 짙음) > 양파(거칠고 색이 연함) > 마늘(거칠고 색이 연함) 순으로 평가됨
- 잎의 형태에 의한 평가는 잎의 생김새 및 면적에 따라 태양에너지의 반사가 얼마나 용이한가에 의한 위성영상 데이터 적용의 가능성을 평가하는 것으로 콩(타원형) > 고추(난상 피침형) > 논벼(가늘고 긴 형태) > 마늘(긴 피침형) > 양파(가늘고 속이 빈 원통형) 순으로 평가됨
- 작물의 높이에 의한 평가는 작물이 최대한 성장했을 때의 높이에 따라 위성영상 데이터 적용의 가능성을 평가하는 것으로 논벼(50~100cm) > 콩(60cm) = 고추(60cm) = 마늘(60cm) > 양파(50cm) 순으로 평가됨
- 휴리스틱 접근법에 의하여 주요작물별 적용가능성 우선순위를 종합한 결과, 논벼 > 콩 > 고추 > 마늘 > 양파의 순으로 평가됨

5.2.4. 논벼의 생산량 예측모델 개발을 위한 기초연구

논벼의 생산량 예측모델 개발을 위한 기초연구 결과는 다음과 같이 요약된다.

- 본 절은 논벼의 생산량 예측모델 개발을 위한 기초연구로서 생산량 예측의 영향 인자 중 식생관련 인자로 NDVI를 이용하였으며, MODIS 위성영상 데이터를 이용하여 논벼의 생육주기에 해당하는 5월~10월의 순별 NDVI를 2001년~2007년까지 시계열 자료로 수집하였음
- MODIS 위성영상 데이터를 이용하여 산출한 논벼의 생육주기별 NDVI와 현장에

서 추출한 생육주기별 NDVI의 비교결과, 생산량 예측은 7월~9월의 위성영상 데이터자료의 적용이 가능한 것으로 나타남

- 벼의 생장에 중요한 요인으로 작용하는 기상관련 인자로 온도, 강수량, 일조시간을 선정하였으며, 기상청의 기상연보에서 해당 연도의 순별 자료를 추출하였음
- 온도의 경우는 과거 연구결과를 참고하여 최저온도를 적용하였고, 강수량은 우리나라의 강우특성을 고려하여 누적강우량을 사용하였음
- 생산량의 예측은 어느 한 시점의 식생 및 기상요인에 지배되기보다는 생육 정보와 자연재해 및 관련 기상요인의 변화를 고려해야 하기 때문에 각 요인별 가중치를 다르게 함으로서 계산된 예측량이 특정 요인에 지배되지 않도록 고려해야 함
- 본 연구에서는 충청북도 지역의 논벼 생산량 예측을 위해 다음의 예측식을 제시함

$$P_{pri} = aN + bT + cR + dS$$

여기서, P_{pri} = 작물 생산 예측량, N = 해당 시기의 순별 NDVI, T = 해당 시기의 순별 최저온도, R = 해당 시기의 순별 누적 강수량, S = 해당 시기의 순별 일조시간, a, b, c, d = 계산 상수

- 예측식의 정확도 검정을 위하여 예측량과 실생산량과의 상관분석 결과, 상관계수는 $0.4203 < R < 0.9999$ 의 범위를 나타내었으며, 월별 평균 결정계수(R^2)를 비교한 결과, 8월(0.915) > 7월(0.877) > 9월(0.849)의 순으로 나타남
- 하지만, 본 연구에서 제안한 예측식의 결과는 2001년~2007년의 자료만 이용한 것이며, 위성영상 데이터의 필터링을 통해 실제적으로 적용된 자료는 4~5년 정도로 바로 적용하여 사용하기에는 무리가 있음
- 그러나, 본 연구로 인하여 NDVI와 기상데이터를 이용한 생산량 예측식의 가능성을 확인할 수 있었으며, 과거 자료 및 추후 생성되는 자료를 수집하여 예측식을 수정 및 보완한다면 정확도는 향상될 것으로 판단됨
- 본 연구에서 제안한 예측식은 MODIS 위성영상 데이터에서 산출한 NDVI를 적

용하여 작성되었으며 MODIS 위성영상 데이터는 높은 시간해상도로 인하여 연간 다수의 영상을 취득할 수 있어 특정 환경 요인에 대한 시계열 분석이 가능하지만, 낮은 공간해상도로 인하여 국지적인 지역의 분석이 불가능함

- 따라서, 위성영상 적용가능성이 가장 높다고 판단된 KOMPSAT-2 위성영상 데이터를 제안한 예측식에 적용하여 가능성을 검토하였음
- 2008년 KOMPSAT-2 위성영상 데이터를 이용하여 본 연구에서 제안한 예측식에 적용한 결과, 예측량은 556.61 kg/10a로 산출되었으며, 통계청에서 발표한 2008년 충북지역 논벼의 생산량인 555 kg/10a와 비교해 볼 때, 0.29% 높게 예측되었음
- 2009년 KOMPSAT-2 위성영상 데이터를 이용하여 본 연구에서 제안한 예측식에 적용한 결과, 예측량은 548.03 kg/10a로 산출되었으며, 통계청에서 발표한 2009년 충북지역 논벼의 생산량인 566 kg/10a와 비교해 볼 때, 3.18% 낮게 예측되었음
- 이 결과는 위 절의 상관분석 결과에서 확인되었던 결과(8월 $R^2 = 0.9153$, 9월 $R^2 = 0.8499$)로 8월의 예측량이 9월의 예측량보다 실생산량과의 상관성이 높은 것을 반영함
- 따라서 원격탐사기술을 이용하여 충청북도의 논벼 수확량 예측시에는 8월의 데이터를 이용할 것을 권장하며, 추가적인 연구를 통해 한국형 수확량 예측 모델 개발 시 기초자료로서 활용이 가능할 것으로 판단됨

5.3. 중장기 로드맵 수립

5.3.1. 원격탐사기술 도입방안

원격탐사기술 도입방안 결과는 다음과 같이 요약된다.

- 원격탐사기술을 이용한 생산량 추정은 주산지를 대상으로 단일작물 재배지에 대

한 생산량 추정을 우선 도입하고, 주산지 이외의 지역을 대상으로 혼작상태에서 두 개 이상의 작물 판별하고 각 작물의 생산량 추정은 추후 도입해야 할 것으로 판단됨

- 현재 기술 수준으로는 논벼의 생산량 추정은 가능하나 밭작물은 추가적인 연구 및 검토가 필요한 실정임. 또한 논벼의 생산량 추정도 많은 오차요인을 포함하고 있어 추정량만으로 통계업무에 사용하기에는 제한적임. 따라서 논벼의 생산량 추정은 현장조사를 통한 수량 파악을 병행하는 방식으로 진행되어야 하며, 밭작물의 생산량 추정은 추가적인 연구 및 검토가 반드시 필요함
- 기술적으로는 생산량 추정이 가능한 논벼를 대상으로 시범지역을 선정한 후, 다년간 연구를 진행하여 추정량과 실생산량과의 오차를 줄이고, 생산량 추정모델의 정확도를 높여야 할 필요가 있음
- 원격탐사기술을 이용하여 생산량을 추정하는 일반적인 과정은 위성영상 데이터를 통한 재배면적 정확도에 달려 있으며, 정확한 생산량의 추정은 정확한 재배면적 산출이 전제되어야 함
- 생산통계는 관련 정보의 수집 -> 수집된 정보의 가공 및 분석 -> 생산통계의 산출의 절차에 의해서 진행되어야 할 것이며, 세부 절차로는 영상기반 표본 설계 -> 재배면적 산출 -> 대상작물 작황정보 수집 -> 기상데이터 수집 -> 생산량 추정 -> 현장 조사량과의 비교 -> 추정량의 검보정 -> 전국단위로의 확대의 순서임
- 원격탐사기술을 활용하여 작물별 생산량을 추정하기 위해서는 작물별 재배면적 정보와 작황에 대한 정보가 결합적으로 이용 가능해야 하며 이러한 모든 프로세스를 시스템화 함으로서 수확량예측 시스템의 구현이 가능해 짐
- 위성영상 데이터를 이용한 수확량 예측 시스템은 현지 필드조사를 통한 농작물 작황데이터, 날씨데이터, 토양데이터, AVHRR 데이터, 위성영상 데이터를 지속적으로 입력한 데이터베이스와 수확량예측을 위해 개발한 모델베이스를 통합함으로서 구성될 수 있음

- 따라서, 국내에서도 유럽의 MCYFS와 같은 수확량예측시스템에 대한 개발이 지속적으로 추진되어야 함
- 또한, 선진국들의 현황과 더불어 국내 농업여건을 동시에 고려해 볼 때, 원격탐사기술을 도입할 작목의 우선순위는 ‘미곡(논벼) > 두류(콩) > 채소(고추) > 잡곡(옥수수) > 맥류(보리) > 서류(감자) > 특용작물(참깨) > 과실(사과)’인 것으로 판단됨. 특히 하우스 등 시설재배를 하는 작물에 대해서는 정확한 재배면적산정이 어렵기 때문에 기술 도입 작목의 우선순위에 포함할 수 없음
- 이상의 결과들을 종합적으로 고려하면 현재의 관련 연구 및 기술수준과 전체 통계에서 차지하는 중요성을 고려할 때 관련연구가 초기단계인 우리나라에서는 논벼를 우선적으로 적용하는 것이 바람직하다고 판단됨
- 그리고 논벼의 적용사례를 피드백하고 국가적 상황변화 및 통계수요자들의 요구에 따라 차후에 재배면적이 많은(농업통계에서 중요도가 높은) 밭작물과 채소류로 응용분야를 확대해 나가야 할 것이며, 채소류와 과실류에 대한 원격탐사기술의 도입 여부는 고해상도 위성영상 데이터에 대한 판독기술 확보와 영상구입의 경제성이 동시에 확보되어야 가능할 것으로 판단됨

5.3.2. 농작물 생산통계 활용 전략

농작물 생산통계 활용 전략은 다음과 같이 요약된다.

- 현재 우리나라 위성 중 생산량 추정을 위해 활용할 수 있는 위성영상 데이터는 KOMPSAT-2 위성영상 데이터로서 국내 농업통계산출에 원격탐사기술을 적용하려면 소규모의 다품종 재배 환경 하에서 보다 정확한 생산량 추정을 위해 고공간해상도 및 고분광해상도 영상을 확보하기 위한 광학센서의 개발과 위성영상 데이터의 판독기술 개발 및 응용이 병행되어야 함
- 현재의 원격탐사기술 수준에서는 논벼, 콩, 고추 등 소수의 작물에 대한 생산량 추정이 부분적으로 가능할 뿐 양파, 마늘, 배추, 무 등 특정 밭작물에 대한 재배면적 추정과 사과, 배 등 과수의 작황 판독이 어려운 실정임. 따라서 이들 작물

에 대한 정확한 재배면적의 추정과 작황 판독의 기술이 개발되어 응용 가능한 수준에 이르기까지는 논벼, 콩, 고추 등 일부 작물과 지역에 초점을 두고 활용 방안을 강구할 필요가 있음

- 위성영상 데이터자료는 원격탐사용용시스템의 영상DB관리시스템을 사용하도록 하며, 한국항공우주연구원과의 협의 체결로 인한 KOMPSAT-2 위성영상 데이터를 우선적으로 사용하도록 함
- 현재 미국과 유럽에서 Landsat을 주력으로 활용하고 있으며, 대다수의 연구사례가 Landsat 영상을 활용하고 있다는 점에서 축적된 분석경험을 이용할 수 있다는 장점이 있으나, 복잡한 지형으로 다품종·소량생산을 중심으로 이루어지고 있는 국내농업에 그대로 적용될 수 없으며, 오히려 비슷한 농업환경을 가지고 있는 일본의 사례가 좋은 참고 모델이 된다고 판단됨
- 일본의 경우 초기 Landsat 영상을 이용한 연구가 성행했으나 최근 정밀도가 높은 위성의 활용을 통해 보다 세밀한 농업관련 통계 및 정보의 취득하는 방향으로 전개됨으로서 고해상도 위성영상 데이터자료의 활용이 증대되고 있음
- 따라서 농작물 생산통계산출을 위한 위성영상 데이터은 타 선진국의 사례와 마찬가지로 앞서 제시한 고려사항을 반영한 시범연구의 추진을 통해 적정 영상을 판단 및 제시하는 것이 바람직 할 것으로 판단됨
- 지금까지의 연구 결과를 토대로 ‘원격탐사기술을 이용한 농작물 생산통계 체계 구축’ 사업을 제시하며 상세 내역은 본문을 참조하도록 함

5.3.3. 인적구성 추산 및 유관기관 협력방안 구축 방향

인적구성 추산 및 유관기관 협력방안 구축 방향은 다음과 같이 요약된다.

- 우리나라 농업부분에서 원격탐사기술 활용을 위한 시도는 10여년이 지났으나, 실제 응용은 아직 부족한 실정이며, 농작물 생산통계와 관련하여 위성영상 데이터를 처리하고 분석할 수 있는 전문인력은 전무한 상황임

- 이에 따라 원격탐사기술이 지속적으로 발전하고, KOMPSAT 시리즈의 성공으로 위성영상 데이터를 농업분야에서 활용할 가능성이 보다 높아지고 있는 상황에서 위성영상 데이터를 담당할 수 있는 전문인력이 필요할 것이며, 현재 기술수준 하에서 위성영상 데이터를 통해 재배면적과 작황정보를 탐색할 수 있는 프로그램 운영자의 양성이 시급함
- 따라서 본 연구에서는 지금까지의 연구 결과를 토대로 원격탐사기술을 이용한 농작물 생산통계 업무의 인적구성을 제시하며 상세 내역은 본문을 참조하도록 함
- 통계청에서는 원격탐사기술을 이용한 경지총조사 방법의 개발 및 원격탐사 응용 시스템 구축, 영상기반 표본설계 및 표본조사 방법의 개발, 항공영상을 활용한 원격조사 방법 등을 개발하여 농업통계 산출 목적으로 활용하거나 활용할 계획에 있음
- 국내 원격탐사기술의 활용은 각 기관의 서로 상이한 활용목적에 따라 독립적으로 수행되고 있어 상호 협조할 수 있는 제도적 기반이 구축되지 못하여 비효율적으로 운영되고 있음
- 따라서, 위성영상 데이터의 공동촬영, 기 촬영된 영상 및 가공된 정보의 공동 활용을 통하여 예산 및 인력의 효율을 제고할 수 있는 제도적 장치 등 관련 방안을 모색하여야 하며, 우리나라 농업부문에서도 농림수산식품부를 중심으로 협의체제를 구축할 필요가 있는 것으로 사료됨
- 현재, 위성정보의 수집은 주로 국정원 지구관측센터, 해양위성센터, 기상청, 한국항공우주연구원 등에서 담당하고, 위성정보의 분석은 농촌진흥청, 각종 연구기관 및 대학에서 담당하며, GIS는 건설교통부, 한국농촌공사 등에서 담당함
- 또한, 개발 완료 단계인 원격탐사 응용시스템을 효율적으로 활용하기 위해서는 미국의 유관기관 간 공동프로그램 운영 및 미 농무성의 RSCC와 같은 가칭 ‘농업분야위성정보협의회’의 구성이 필요할 것으로 사료됨
- 이러한 협의회에는 농림수산식품부가 주축을 이루되, 통계청, 한국농촌경제연구

원 등과 같은 위성정보 활용기관과 한국항공우주연구원 등의 위성정보 수집기관, 농촌진흥청 등의 위성정보 분석기관 등이 참여하여, 위성정보의 활용 분야를 개발하고, 정보의 교류 및 관련 업무의 협조가 필요할 것으로 판단됨

5.4. 참고자료

향후 연구에 도움을 주기 위하여 참고자료에 ① 참고문헌과 ② 본 연구에서 사용된 용어 설명 등을 비교적 상세하게 수록하였다.

목 차

목 차	xxvi
표 목 차	xxx
그림목차	xxxii

제 1 장 연구의 개요1

1.1. 연구의 필요성	1
1.2. 연구의 개요	2
1.2.1. 연구배경 및 목적	2
1.2.2. 기대효과 및 추진경위	2
1.2.3. 연구 수행기간	2
1.2.4. 연구 주요내용	3

제 2 장 선진 사례 연구 및 시사점 도출5

2.1. 국내외 연구 현황	5
2.1.1. 국내 연구 사례	5
2.1.2. 국외 연구 사례	6
2.2. 선진 사례 연구	9
2.2.1. 미국	9
2.2.2. 유럽	22
2.2.3. 일본	46
2.2.4. 중국	57
2.3. 시사점 도출	63
2.3.1. 미국 사례 분석의 요약 및 시사점	63
2.3.2. 유럽 사례 분석의 요약 및 시사점	65

2.3.3. 일본 사례 분석의 요약 및 시사점	67
2.3.4. 중국 사례 분석의 요약 및 시사점	69
2.3.5. 애로사항 분석	70
2.3.6. 국내 적용 가능성 및 앞으로의 전망	71

제 3 장 쌀 및 주요작물에 대한 위성영상자료 활용방안 연구73

3.1. 시범지역 현장측정	73
3.1.1. 작물의 분광반사 특성	73
3.1.2. 분광반사율의 측정	76
3.1.3. 원격탐사기법을 이용한 작황분석	80
3.1.4. 작물의 분광반사 특성	84
3.1.5. 작물별 식생지수 변화	89
3.2. 위성영상 적용가능성 평가	94
3.2.1. 위성영상 데이터의 선정	94
3.2.2. 밴드간 상관성 평가	105
3.2.3. NDVI 정확도 평가	109
3.2.4. 육안판독 가능성 평가	111
3.2.5. PSU 활용성 평가	113
3.2.6. 위성영상 데이터의 수집성 평가	115
3.3. 주요작물 적용가능성 평가	117
3.3.1. 평가방법 및 평가항목	117
3.3.2. 작물의 생태학적 특성	119
3.3.3. 작물의 식물학적 특성	120
3.3.4. 작물별 우선순위 선정	122
3.4. 논벼의 생산량 예측모델 개발을 위한 기초연구	124
3.4.1. 영향인자 선정	124

3.4.2. 생산량 예측모델 개발	130
3.4.3. 예측모델의 적용	139

제 4 장 중장기 로드맵 수립145

4.1. 원격탐사 기술 도입방안	145
4.1.1. 생산통계 기술 수준	145
4.1.2. 생산통계 절차	146
4.1.3. 생산통계 기능성	147
4.1.4. 활용가능 작물 및 우선순위	148
4.2. 농작물 생산통계 활용 전략	149
4.2.1. 농작물 생산통계의 전제조건	149
4.2.2. 농작물 생산통계산출을 위한 위상영상 데이터 선정	150
4.2.3. 농작물 생산통계 체계 구축	154
4.2.4. 주요 사업내용	155
4.2.5. 사업 추진 일정	163
4.2.6. 사업 추진 소요예산(추정)	167
4.3. 인적구성 추산 및 유관기관 협력방안 구축 방향	169
4.3.1. 전문인력의 필요성	169
4.3.2. 인적구성의 추산	169
4.3.3. 제도적 기반 구축 방향	173
4.3.4. 원격탐사기술 활용기관 협조체제 구축 방향	173

제 5 장 요약 및 결론175

5.1. 선진 사례 연구 및 시사점 도출	175
5.1.1. 국내외 연구 현황	175
5.1.2. 선진 사례 연구	176
5.1.3. 시사점	182

5.2. 쌀 및 주요작물에 대한 위성영상자료 활용방안 연구	184
5.2.1. 시범지역 현장측정	184
5.2.2. 위성영상 적용가능성 평가	185
5.2.3. 주요작물 적용가능성 평가	186
5.2.4. 논벼의 생산량 예측모델 개발을 위한 기초연구	188
5.3. 중장기 로드맵 수립	190
5.3.1. 원격탐사 기술 도입 방안	190
5.3.2. 농작물 생산통계 활용 전략	192
5.3.3. 인적구성 추산 및 유관기관 협력방안 구축 방향	193

참고자료

1. 참고문헌	i
2. 용어설명	v

표 목 차

<표 2.1.2-1> 각 나라별 수확량 예측 관련 모델	8
<표 2.2.1-1> 미국의 농업통계별 원격탐사기술 이용 담당 부서	10
<표 2.2.1-2> NASS의 이용영상 종류 및 응용분야	12
<표 2.1.2-3> Crop Explorer에서 제공되는 카테고리별 정보	15
<표 2.2.2-1> 분야별 MARS 내용	24
<표 2.2.2-2> MCYFS 활동에 대한 다양한 결과물과 보급방법	44
<표 2.2.3-1> 다이치(ALOS) 위성의 주요 제원	54
<표 2.2.3-2> 다이치(ALOS) 위성의 관측운용상황	54
<표 2.2.4-1> 중국 농업 모니터링 역사	58
<표 2.2.4-2> 중국 농업 모니터링 사업의 추진체계	59
<표 3.1.2-1> GPS를 이용한 작물별 위치 및 재배면적	77
<표 3.1.3-1> 연구에 사용된 식생지수	83
<표 3.1.5-1> 작물별 생육기간 동안의 NDVI	93
<표 3.2.1-1> 위성영상 데이터의 해상도 종류 및 설명	95
<표 3.2.1-2> 공간해상도에 따른 위성영상 데이터의 구분	96
<표 3.2.1-3> MODIS의 밴드별 특성	99
<표 3.2.3-1> 현장 NDVI와 각 위성영상 데이터별 NDVI 비교	109
<표 3.2.5-1> 위성영상 데이터별 PSU와의 관계	113
<표 3.2.6-1> 위성영상 데이터별 수집성 비교	116
<표 3.3.1-1> 작물의 생태학적 특성	118
<표 3.3.1-2> 작물의 식물학적 특성	118
<표 3.3.4-1> 휴리스틱 접근법에 의한 작물별 적용가능성 평가	123
<표 3.4.1-1> MODIS 위성영상 데이터에 의한 충청북도의 순별 평균 NDVI	127
<표 3.4.1-2> 기상청 기상연보에 의한 충청북도의 순별 최저온도(℃)	129

<표 3.4.1-3> 기상청 기상연보에 의한 충청북도의 순별 누적강우량(mm)	129
<표 3.4.1-4> 기상청 기상연보에 의한 충청북도의 순별 일조시간(hr)	130
<표 3.4.2-1> 해당 순별 계산 상수	131
<표 3.4.2-2> 예측식에 의한 충청북도의 예측량과 실생산량(kg/10a)	132
<표 3.4.2-3> 예측식에 의한 충청북도의 예측량과 실생산량 상관분석 결과	132
<표 3.4.3-1> 2008년 8월 31일 식생인자 및 기상인자	142
<표 3.4.321> 2009년 9월 10일 식생인자 및 기상인자	144
<표 4.2.2-1> 농업 원격탐사에서 위성영상자료의 시공간 스케일	152
<표 4.2.2-2> 위성영상자료의 주문과 획득방법	152
<표 4.2.4-1> 원격탐사기술을 이용한 농작물 생산통계 체계 구축 사업 주요내용	156
<표 4.2.5-1> 원격탐사기술을 이용한 농작물 생산통계 체계 구축 사업 추진일정(안)	166
<표 4.2.6-1> 원격탐사기술을 이용한 농작물 생산통계 체계 구축 사업 소요예산(추정)	168
<표 4.3.2-1> 현 정원 및 제시안 비교표	171
<표 4.3.4-1> 원격탐사기술 활용기관	174

그 림 목 차

<그림 2.2.1-1> 원격탐사기술을 이용한 미국의 농업통계생산 체계	10
<그림 2.2.1-2> 미국의 정보 수집 및 처리 절차	14
<그림 2.2.1-3> Crop Explorer 메인 화면	16
<그림 2.2.1-4> 우리나라의 기상정보 검색	17
<그림 2.2.1-5> 기상정보 변화 검색	17
<그림 2.2.1-6> 위성영상 검색	18
<그림 2.2.1-7> 작물별 생산량 검색(다운로드 가능)	19
<그림 2.2.2-1> MCYFS의 기상관측 단계	25
<그림 2.2.2-2> 유럽연합 기상관측소 분포 현황	26
<그림 2.2.2-3> CGMS의 날씨 관측 구성요소	27
<그림 2.2.2-4> MCYFS의 기상관측기록용 Grid	28
<그림 2.2.2-5> MCYFS의 기상관측 지도	29
<그림 2.2.2-6> WOFOST를 이용한 작황 시뮬레이션 체계	30
<그림 2.2.2-7> MCYFS에서 원격탐사 단계의 Flow Chart	32
<그림 2.2.2-8> SPACE PC S/W를 이용한 위성영상자료 처리	33
<그림 2.2.2-9> NOAA-AVHRR 센서와 SPOT-VGT 센서의 월간 NDVI 지도	35
<그림 2.2.2-10> 유럽연합 통계 데이터베이스 시스템	36
<그림 2.2.2-11> 수확량 예측 분석의 단계별 Flow Chart	38
<그림 2.2.2-12> CGMS 분석을 통한 통밀에 대한 경작기 수확량 예측의 예	42
<그림 2.2.2-13> 웹사이트를 통한 NDVI 검색 화면	45
<그림 2.2.3-1> 초소형 인공위성 발사체	50
<그림 2.2.3-2> 초소형 인공위성의 실제 크기	50
<그림 2.2.3-3> 다이치(ALOS) 위성의 전체 구성도	55
<그림 2.2.3-4> 경지파악을 위한 참조도로서 다이치(ALOS) 영상의 이용	56

<그림 2.2.4-1> CCWS 모식도	60
<그림 2.2.4-2> CCWS의 데이터 처리 과정	60
<그림 2.2.4-3> 수확량 예측치와 통계치와의 비교(상 : 옥수수, 하 : 밀)	61
<그림 2.2.4-4> 수확량 예측 결과(상 : 옥수수, 하 : 밀)	62
<그림 3.1.1-1> 식물 잎의 근조직	74
<그림 3.1.1-2> 성장단계에 있는 벼에 작용하는 에너지 상호작용	74
<그림 3.1.1-3> 지구관측위성을 통한 대상물체의 반사율 측정	76
<그림 3.1.2-1> 시범지역의 선정	77
<그림 3.1.2-2> 대상작물의 선정	78
<그림 3.1.2-3> 휴대용 분광복사계를 이용한 현장 반사율 측정	79
<그림 3.1.3-1> 논벼의 생육단계	80
<그림 3.1.4-1> 논벼의 생육주기별 분광반사 특성	84
<그림 3.1.4-2> 밭작물별 생육주기에 따른 분광반사 특성	86
<그림 3.1.4-3> 대상작물에 따른 분광반사 특성	88
<그림 3.1.4-4> 작물별 생육주기에 따른 식생지수 변화	90
<그림 3.1.4-5> 작물별 생육주기에 따른 NDVI 변화	93
<그림 3.2.1-1> 공간해상도에 따른 위성영상 데이터의 구분	96
<그림 3.2.1-2> MODIS 데이터의 처리 과정	98
<그림 3.2.1-3> MODIS 네트워크 시스템의 구성	98
<그림 3.2.1-4> ASTER 위성영상 데이터 샘플	100
<그림 3.2.1-5> Landsat 위성영상 데이터 샘플	101
<그림 3.2.1-6> USGS의 Earth Explorer	102
<그림 3.2.1-7> KOMPSAT-2 위성영상 데이터 샘플	103
<그림 3.2.1-8> Quickbird 위성영상 데이터 샘플	104
<그림 3.2.2-1> 현장에서 측정한 적색 파장대와 근적외선 파장대의 분포도	105
<그림 3.2.2-2> 각 위성영상 데이터별 적색 밴드와 근적외선 밴드의 분포도	106

<그림 3.2.2-3> 현장측정치와 KOMPSAT-2의 적색 밴드의 상관관계	107
<그림 3.2.2-4> 현장측정치와 KOMPSAT-2의 근적외 밴드의 상관관계	108
<그림 3.2.3-1> 각 위성영상 데이터에서 추출한 NDVI 분포도	110
<그림 3.2.4-1> 각 위성영상 데이터의 육안 판독 정도	112
<그림 3.2.5-1> 각 위성영상 데이터의 Scene 당 PSU 현황	114
<그림 3.3.3-1> 대상작물별 앞의 표면조직과 형태	121
<그림 3.3.4-1> 휴리스틱 접근법에 의한 작물별 적용가능성 우선순위	122
<그림 3.4.1-1> 데이터 중첩에 의한 중복지역 MODIS-NDVI 추출	125
<그림 3.4.1-2> MODIS-NDVI 변화	125
<그림 3.4.1-3> MODIS-NDVI와 현장-NDVI의 비교	126
<그림 3.4.2-1> 충청북도 예측량과 실생산량 상관분석 결과	133
<그림 3.4.3-1> 2008년 8월 31일 KOMPSAT-2 위성영상 데이터	140
<그림 3.4.3-2> 적용 대상지역의 2008년 KOMPSAT-2 위성영상 데이터	141
<그림 3.4.3-3> 2008년 KOMPSAT-2 위성영상자료에서 추출한 NDVI	141
<그림 3.4.3-4> 2009년 9월 10일 KOMPSAT-2 위성영상자료	142
<그림 3.4.3-5> 적용 대상지역의 2009년 KOMPSAT-2 위성영상자료	143
<그림 3.4.3-6> 2009년 KOMPSAT-2 위성영상자료에서 추출한 NDVI	143
<그림 4.1.2-1> 생산통계 절차	146
<그림 4.2.2-1> 농업 원격탐사에서 이용 목적에 따른 위성영상 데이터의 시공간 스케일	151

제 1 장 연구의 개요

1.1. 연구의 필요성

- 미국, EU, 일본 등 선진국을 중심으로 인공위성 영상을 판독해 경지면적조사, 재배 면적조사, 작황예측분석 등 농업통계에 활용하고 있는 추세이다.
- 우리나라도 원격탐사기술의 급속한 진전으로 새로운 패러다임의 농업통계 조사 체계구축에 대한 필요성이 대두되고 있으며, 이에 따른 활용기술 개발이 필요하다.
- 특히, 2006년 아리랑 2호(KOMPSAT-2) 위성의 성공적인 발사로 저렴한 국산 고해상도 위성영상의 활용이 가능해짐에 따라 각 산업분야별로 원격탐사기술 응용의 본격화 되었으며, 우주개발중장기계획에 따라 2010년 아리랑 5호(전천후 레이더영상), 2011년 아리랑 3호(0.7m급 초고해상도 영상) 등이 지속적으로 발사 될 예정으로 다양한 영상 적용을 위한 기술 확보와 정보취득 알고리즘 및 적용 가능성 검토가 시급한 실정이다.
- 최근 ‘항공우주기술의 농림분야 활용방안 연구(농림부, 2005)’, ‘농업통계조사에 원격탐사기술 활용방안 조사연구(농림부, 2008)’, ‘원격탐사기술 활용 면적통계조사시스템 구축을 위한 정보화 전략계획(ISP) 수립(통계청, 2009)’ 등 농업통계의 원격탐사기술 활용방안에 대한 연구가 본격화 되면서 농작물생산통계의 적용 가능성과 도입방법에 대한 구체적 검토가 필요한 시점이다.
- 또한, 쌀 예상량과 실수확량 차이가 과거보다 크게 발생하여 정합성 제고를 위한 과학적인 추정 방안에 대한 연구의 필요성이 대두됨에 따라 기존 및 진행 중인 연구 결과를 토대로 위성영상을 활용한 농작물통계 작성의 과학화 및 정확성의 제고가 필요하다.
- 따라서 원격탐사기술을 활용한 농업생산통계에 대한 선진국 수준을 빨리 극복해야 하며 오히려 보다 혁신적인 응용력을 발휘하여 농업통계 전반에 걸쳐 고급정보 생산 및 경쟁력 확보의 주요한 수단으로 발전시켜나가야 한다.

1.2. 연구의 개요

1.2.1. 연구배경 및 목적

- 본 연구는 원격탐사기술의 효율적인 농작물생산통계 활용방안 및 가능성 검토의 기초연구로서 선진 사례 연구를 통하여 시사점을 도출하고 현장 시범연구를 통한 위성영상자료의 적용성 검토 및 원격탐사기술의 농작물생산통계 활용에 대한 중장기 로드맵을 수립하는데 그 목적이 있다.
- 기본 목표 : 원격탐사기술의 효율적인 이용을 통한 농작물생산통계 활용방안 제시
- 부속 연구목표 1 : 선진 사례 연구 및 시사점 도출
- 부속 연구목표 2 : 쌀 및 주요작물에 대한 위성영상자료 활용방안 연구
- 부속 연구목표 3 : 중장기 로드맵 수립

1.2.2. 기대효과 및 추진경위

- 본 연구를 통해 선진사례 연구를 기반으로 벤치마킹 가능성 및 시사점을 도출하여 원격탐사기술의 농작물생산통계 적용 가능성과 도입방법에 대하여 검토되었으며, 현장 시범연구와 논벼의 생산량 예측 모델을 통하여 시범연구를 위한 토대가 마련되었다.
- 또한, 원격탐사 기술을 농작물 생산통계에 활용할 수 있는 구체적인 방안연구의 제시와 정기적이고 반복적인 위성영상 데이터의 처리로 해당 기술들의 실용화 도입의 기반이 마련될 것이다.
- 농작물 생산량 예측을 포함한 GIS를 이용한 각종 농업통계 서비스에 정보제공 자료로서 활용이 가능하며, 공간 DB의 형태로 데이터의 수집, 저장 및 유지관리가 용이하여 향후 원격탐사기술을 농업통계 전반에 확대 도입할 수 있는 기초 기술로서 활용이 가능할 것이다.

1.2.3. 연구 수행기간 : 2010. 5. 14 ~ 2010. 11. 10

1.2.4. 연구 주요내용

가. 선진 사례 연구 및 시사점 도출

- 1) 국내외 연구 현황
- 2) 선진 사례 연구
- 3) 시사점 도출

나. 쌀 및 주요작물에 대한 위성영상자료 활용방안 연구

- 1) 시범지역 현장측정
- 2) 위성영상 적용가능성 평가
- 3) 주요작물 적용가능성 평가
- 4) 논벼의 생산량 예측모델 개발을 위한 기초연구

다. 중장기 로드맵 수립

- 1) 원격탐사 기술 도입방안
- 2) 농작물 생산통계 활용 전략
- 3) 인적구성 추산 및 유관기관 협력방안 구축 방향

제 2 장 선진 사례 연구 및 시사점 도출

2.1. 국내외 연구 현황

2.1.1. 국내 연구 사례

- 이정택 외 3인(1997)은 벼 군락에서 반사특성을 이용하여 엽면적지수를 추정하고 추정된 엽면적지수를 이용하여 건물생산량을 산출하였다.
- 홍석영 외 4인(1998)은 분광반사 특성을 이용한 벼 군락의 생육시기별 성장량을 추정하기 위하여 분광반사계를 이용하여 이앙기부터 수확기까지 매 1주 또는 2주 간격으로 분광반사특성을 조사하고, Landsat TM 등의 평균반사율을 계산하여 엽면적지수와 건물량과 같은 벼의 중요한 성장량 관련 변수와의 관계를 살펴보았다. 그 결과, 출수 이전의 분광반사 특성과 벼의 성장량 관련 변수와의 상관관계수 값이 출수 이후보다 높게 나타났으며, 엽면적지수와 건물량은 가시광 영역의 밴드간 비율값과 상관성이 높게 나타났다.
- 장석환(2000)은 주요 식량작물인 쌀, 보리, 콩, 감자의 생산량을 조기에 예측하기 위하여 농림 수산 통계연보와 기상자료를 이용하여 경상북도 지방의 작물 재배면적과 10a당 수량의 예측을 시도하였다. 그 결과 재배면적의 예측모형식은 $y = \exp(\beta_0 + \beta_1 t + \epsilon)$, 수량의 예측 모형식은 $y = \exp(\beta_0 + \beta_1 t^{1/2} + \beta_2 t + \sum_{i=1}^p \beta_{i+2x_i} + \epsilon)$ 가 가장 적합한 것으로 나타났으며, 이들 식에 의하여 재배면적의 R^2 값은 0.9180~0.9505, 수량의 R^2 값은 쌀의 경우 0.7234로 가장 낮았으나 보리, 콩 및 감자는 0.8855~0.9098로 비교적 높은 값을 보였다.
- 박종화 외 2인(2003)은 밭작물의 성장에 따른 식생지수와 엽면적지수는 높은 정의 상관관계가 있는 것을 밝히고, 밭작물의 성장과정을 이력곡선¹⁾으로 나타낸 결과 L자형 이력곡선을 형성한다는 점과 만약 작물을 수확하지 않을 경우 이력곡선은 역 U자형 루프를 형성하는 것을 밝혀냈다.

1) 특정 현상의 변화 경로를 나타낸 곡선

- 김이현 외 3인(2007)은 벼 군락의 분광반사율 지표를 측정할 수 있는 인공관원을 사용하는 능동형 광학 센서를 이용하여 생육시기별 식생지수와 엽 질소함량과의 관계를 규명하고, 벼 군락의 엽 질소함량을 추정하였다. 벼의 생육시기별 GNDVI와 엽 질소함량과의 관계를 2년간(2005, 2006)의 자료를 이용하여 분석한 결과, 출수기 이전의 상관관계가 가장 높게 나타났다. 또한, 벼 생육시기 변화에 따른 식생지수와 엽 질소함량과의 관계를 추정식으로 작성하고, 실측치와 추정치를 비교해 본 결과, 2005년과 2006년의 R^2 값이 각각 0.88, 0.94로 추정값과 실측값이 근접하게 분포하였다.
- 홍석영 외 5인(2009)은 MODIS 제공 산출물 중 16일 단위로 작성되는 NDVI를 이용하여 북한의 벼 수량을 추정하는 것을 목적으로 그 가능성과 한계를 검토하였다. 2000년부터 2008년까지 촬영된 MODIS MOD13 자료에서 NDVI를 추출하고 통계청에서 발표한 벼 수량 및 생산량 통계자료를 이용하여 시계열 분석을 한 결과, 2000년부터 2007년까지 수잉기의 NDVI 값을 이용하였을 경우, NDVI와 수량과의 상관계수는 0.77로 5%에서 유의하였고, 벼 수량에 대해 회귀분석 한 결과 R^2 값이 0.591로 설명할 수 있었다. 이와 같은 회귀식을 이용하여 예측한 결과 2008년 북한의 벼 수량은 약 2.80 ton/ha로 추정되었다.

2.1.2. 국외 연구 사례

- Daughtry 등(1980)은 봄밀 군락에서 휴대용 측정 장비(Exotech 100 radiometer)를 사용하여 파종기부터 출수기까지 군락밀도가 높은 기간 동안 측정한 자료를 이용하여 NIR/RED의 비율과 엽면적지수 및 건물생산량과의 관계를 알아본 결과, 높은 상관성이 나타난다고 하였다. Yang(1985)은 벼 군락에서 휴대용 장비를 이용한 측정 자료를 Landsat 위성의 TM band와 MSS band로 구분하여 다양한 변환식을 이용하여 식생지수를 구한 결과, $TM4(760\sim900nm)/TM3(630\sim690nm)$ 이 건물생산량과의 상관성이 매우 높다고 하였다.
- 일본의 경우, Yamamoto 등(1990)은 반사율을 50nm 간격으로 생육초기부터 황숙기까지 측정하여 분석한 결과 IR850/R650nm의 조합에서 엽면적지수와 건물생산량과의 상관성이 가장 높다고 하였다. Kimura 등(2004)은 엽면적지수에 대한 식생지수와 엽록소 농도의 관계를 분광반사 파장인 550, 680, 800, 980nm를 이용하여 새로운 식생지수를 만들어 제시하고 NDVI와 SAVI는 높은 상관관계($R^2 > 0.92$)가 있다고 하였다.

- Allen(1990)은 1977년 IOWA주에서 최초로 위성영상 데이터를 이용하여 작물재배면적을 공식적으로 추정하였으며, 캐나다 통계국의 협력으로 작물조건평가사업(Corp Condition Assessment Program)을 실시하여, NDVI를 이용하여 전년 대비 곡물변화 수치를 제공함으로써 작황 및 가뭄판단의 기초자료로 활용하고 이를 바탕으로 수량을 추정하는 연구를 진행한 바 있다.
- Ferencz 등(2004)은 위성영상 데이터를 이용하여, 일반적 수량통일참고지수(General Yield Unified Reference Index, GYURI)를 개발함으로써 작물의 수량을 추정하는 연구를 진행하였다.
- Paul 등(2007)은 MODIS 데이터의 NDVI 및 LST를 작황 예측의 매개변수로 사용하는 것을 제안하였으며, Prasad 등(2007)은 NDVI와 토양수분자료, 지표온도 등의 인자를 고려하여 작황예측식을 제시하였다.
- 이와 같이 국내외 많은 연구자들이 농작물 생산통계 산출에 원격탐사기술을 활용하려고 노력하고 있으나, 국내뿐만 아니라 국외에서도 아직 정확한 생산량을 예측할 수준으로는 발전하지 못하였으며, 실용화를 위한 연구가 지속적으로 추진되고 있는 실정이다.
- 그 외 해외 여러 연구자들에 의하여 제시되고 있는 수확량 예측 관련 모델은 <표 2.1.2-1>과 같다.

농작물 생산통계의 원격탐사기술 활용방안 연구

<표 2.1.2-1> 각 나라별 수확량 예측 관련 모델

국가	작물	사용위성	Input data	model	오차
미국	옥수수 콩	AVHRR MODIS	NDVI, 강수량(RF), 온도(ST), 토양습도(SM)	$yield = (c + (a1 \times NDVI) + (a2 \times SM) + (a3 \times ST) + (a4 \times RF)) \times (yield < yield_{mean})$ $yield = (c + (b1 \times NDVI) + (b2 \times SM) + (b3 \times ST) + (b4 \times RF)) \times (yield > yield_{mean})$	R2=0.78(com) R2=0.86(bean)
남아프리카	해바라기 콩, 땅콩 밀, 보리	AVHRR MODIS	강수량(R), NDVI or VCI(V), TCI(T), 순광합성량(NPP)	$yield = f(R, V, T, NPP)$	-
인도	작물 전체	-	평균수확량(yt), 실측수확량(yw), 오차항(Δy)	$yield = yt + yw + \Delta y$	-
	논벼	IRS	연기상자료(ma), 수확량변화(pv), 경작기간(ta), 농업숙련도(cd), 전년도 기상자료(fprice)	$yield = \{ f(ma, ta, cd, pv) \} / fprice$	-
		IRS SPOT	토양형(S), 토양수분(W), 시비횟수(F) NDVI, 경작횟수(WM)	$yield = 6046 + 1142(S) + 962(W) - 1370(F)$ $yield = 3027 + 7751(NDVI_{max}) + 1030(W) - 648(WM) - 1126(F)$	R2=0.457
멕시코	옥수수 수수	AVHRR	NDVI, LAI	각 생육시기별 LAI와 NDVI를 조합하여 계산 $yield = 26.3(NDVI_{June20}) - 26.14(NDVI_{July5}) + 7.57(NDVI_{July21}) - 1.61$	CV=0.096
일본	논벼	현장측정	NDVI(X1), 시비량(X2), 최저온도(X3), 강수량(X4), 일조시간(X5)	$yield = 248X1 + 3.58X2 + 10.1X3 + 4.41X5 - 422$	R2=0.863
중국	논벼	NOAA Landsat TM	8월 평균 NDVI(X), 경작기간(N)	$yield = 5.2582X - 11044847.08$ $yield = G \cdot X, G = 0.04853 \times N + 1.68626$ $yield = 0.027929036 \times \int_0^N NDVI - 9435380.21$	R2=0.642
그리스	목화	SPOT	NDVI, 증발산량 작물스트레스지수, 수확조건	$yield = \int_{n=10}^{n=t} \epsilon_c \epsilon_i \epsilon_b R_g dt = \sum_{n=1}^{n=t} (NDVI_{crop} - NDVI_{soil}) R_g$	4%(1997) 11%(1998) 0.3%(1999)

2.2. 선진 사례 연구

2.2.1. 미국

가. 도입배경 및 이용분야

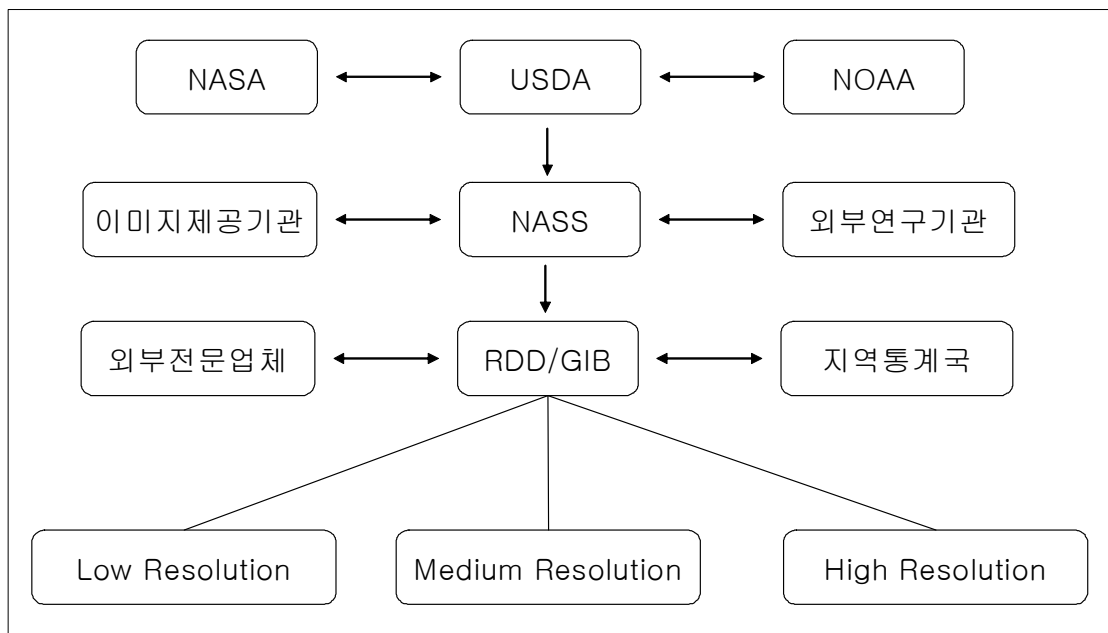
- 1972년 Landsat-1 위성이 발사된 이후부터 USDA(United States Department of Agriculture) 산하의 NASS(National Agricultural Statistics Service)에서는 원격탐사기술의 농업부문 도입에 관심을 가져왔으며, 1976년부터 농업 통계작성을 위한 새로운 Area Sampling Frame을 만드는데 Landsat 위성영상 데이터를 이용하기 시작하였다.
- 이렇게 농업부문에 도입된 원격탐사기술을 이용한 위성영상 데이터는 일반적인 지리정보의 사용형식인 GIS(Geographic Information System)형태로 가공된 Cropland Data Layer로 생산되어 여러 가지 목적을 위해서 사용되도록 변화되었다.
- 미국의 원격탐사기술을 활용한 농업통계산출 프로그램은 크게 다음과 같이 4가지로 나눌 수 있다.
 - 토지이용 및 경지조사(area sampling frame construction)
 - 작물재배면적조사(crop area estimation)
 - 작황조사(crop condition assessment)
 - 수확량예측분석(crop yield forecasting and estimation)

나. NASS의 원격탐사기술을 활용한 농업통계산출 담당 부서

- 기본적으로 미국의 원격탐사기술을 활용한 농업통계산출은 USDA의 책임 하에서 NASA와 NOAA의 협조 하에서 USDA 산하의 NASS가 주요 업무를 수행하고 있다.
- NASS는 USDA의 USGS(US Geological Survey) 산하의 기관인 EDC(EROS Data Center)와 FAS(Foreign Agricultural Service), FSA(Farm Service Agency)등을

농작물 생산통계의 원격탐사기술 활용방안 연구

통해서 위성영상 데이터를 제공받고 있으며, 오하이오대학 및 일리노이즈대학과 우주항공기술의 농업분야 적용을 위한 연구교류를 하고 있다. 또한 NASS 산하의 RDD(Research and Development Division)를 통해 우주항공기술의 농업부분의 적용을 위한 연구 활동을 하면서 RDD 산하 GIB(Geospatial Information Branch)를 통해서 우주항공기술을 이용한 지리정보를 이용한 농업통계 작성을 위한 업무를 하고 있다.



<그림 2.2.1-1> 원격탐사기술을 이용한 미국의 농업통계생산 체계

- 이 과정에서 GIB는 외부의 소프트웨어 개발업체 등과 같은 외부 전문업체와 협조하는 물론이고, 각 해당 지역의 통계국과 서로 긴밀한 협조를 하여 우주항공기술을 이용한 지리정보를 농업통계화 하고 있다.

<표 2.2.1-1> 미국의 농업통계별 원격탐사기술 이용 담당 부서

비 목	담 당 부 서
토지이용 및 경지조사	USDA/NASS/RDD/GIB/AFS(Area Frame Section)
작물재배면적조사	USDA/NASS/RDD/GIB/SARS(Spatial Analysis Research Section)
작황조사	USDA/NASS/RDD/GIB/SARS(Spatial Analysis Research Section)
수확량예측	USDA/NASS/RDD/GIB/SARS(Spatial Analysis Research Section)

1) 업무내용

- NASS는 매년 6월 전국의 약 1,100개의 JAS(June Agricultural Survey) Area Segment에서 농민을 대상으로 JSA의 작성을 위해서 재배경작지면적, 재배작물의 종류, 재배의향작물은 물론 예상수확량까지 조사하고 있다.
- 원격탐사기술을 이용하여 농작물 수확량예측분석을 하기 위해서는 식생분포에 대한 조사가 선행되어야 한다. 식생분포에 대한 조사는 식생지수를 이용하며, 식생지수를 통해 지표면에서 식생의 유무, 식생의 종류, 밀집도 등을 파악할 수 있다.
- 식생지수는 위성영상 데이터에 포함된 녹색식물의 파장별 반사특성에 기초를 두고 분광대 간의 기술적인 특성을 강조하여 식생의 밀집도 등을 나타낼 수 있는 수식이다. 잎면적 수, 피복도, Biomass, 재식밀도 등을 양적으로 나타낼 수 있는 척도로 개발되었으며 관측된 분광대간의 비율, 차이, 선형조합 등의 여러 가지 방법으로 구현된다.
- 위에 설명한 방법으로 원격탐사기술을 이용한 농작물 수확량예측분석을 위해 NASS와 USDA의 Agricultural Research Service's Remote Sensing and Yield modeling laboratory간의 다년간의 공동의 연구가 있었다. 이러한 연구들은 농민조사와 표본조사에 의한 농작물수확량예측에 대한 보충적인 자료를 생성하는데 그 역할을 담당하고 있다.
- 또한, 날씨데이터, 토양데이터, AVHRR데이터, NASS의 주별 농작물작황조사데이터, 그 지역의 Landsat TM 데이터가 종합되어 농작물수확량예측을 위한 모델이 북부 다고타(Dakota) 지방의 봄밀에 대해서 적용이 시작된 이후 기존의 샘플 및 농민조사방법에 대한 보충적인 추정방법으로 이용되고 있다.

2) 인원구성, 이용장비 및 농업통계산출 방법

- NASS 내의 원격탐사기술을 이용한 농업통계작성을 위한 인력은 NASS 산하의 RDD 산하 GIB에 소속되어 있으며, 그 인력구성은 branch chief 1명, section chief 2명, 직원 41명, contractor 1명으로 구성되어 있다.

농작물 생산통계의 원격탐사기술 활용방안 연구

- 각각의 section별로 그 인력구성에 대해서 살펴보면 다음과 같다.
 - USDA/NASS/RDD/GIB/AFS : section chief 1명, 직원 31명
 - USDA/NASS/RDD/GIB/SARS : section chief 1명, 직원 9명, contractor 1명
- NASS 내의 원격탐사기술을 이용한 농업통계작성에 사용되는 위성영상 데이터의 종류 및 그 응용분야에 대해서 정리하면 아래와 같다.

<표 2.2.1-2> NASS의 이용영상 종류 및 응용분야

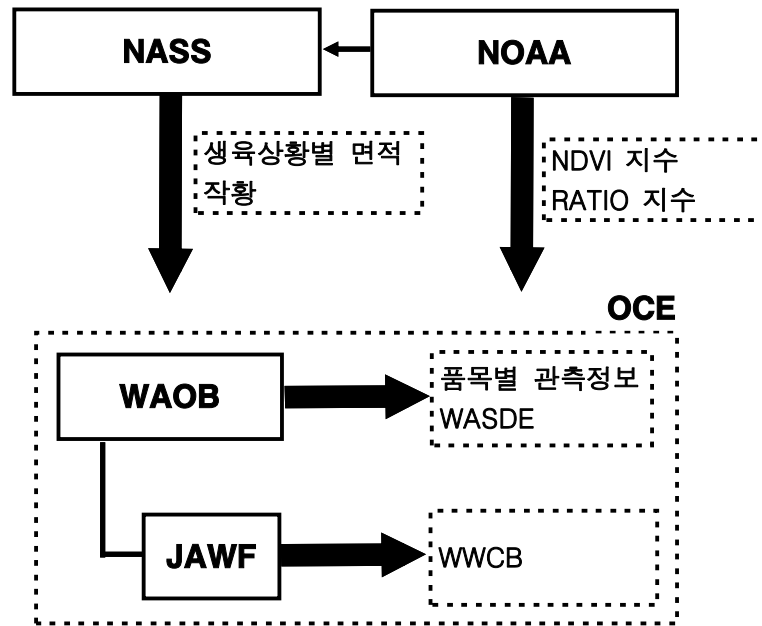
비 목	위성영상 데이터	응용분야
NOAA(16/17)	NOAA AVHRR	작황분석, 자연재해피해지역관측 (가뭄, 홍수, 병충해).
LANDSAT(4/5/7)	LANDSAT-TM LANDSAT-ETM	작물재배면적추정, 토지이용 및 경지조사.
외국위성	SPOT-VEG 인도 IRS	데이터 취득시 보완데이터로 활용.
QUICKBIRD(2)	QUICKBIRD	식수과약 및 건강상태분석, 수확량조사.

- 위성영상 데이터를 이용한 통계산출방법은 다음과 같이 요약된다.
 - NOAA AVHRR 위성영상 데이터를 이용한 작황추정에는 식물의 광합성작용에 의한 활력도를 이용하여 작물의 생육상태에 대한 기준값인 NDVI 지수를 이용하며 NDVI 지수가 높을수록 식생의 생육상태가 좋다고 보고 낮을수록 생육상태가 양호하지 못한 것으로 판단함. RATIO 방식은 특정기간(올해)의 NDVI 지수값에 대한 이전 기간(전년)의 NDVI 지수값에 대한 비율(ratio)로 생육상태 및 작황을 나타냄
 - Landsat 5의 TM(Thematic Mapper)센서, Landsat 7의 ETM+(Enhanced Thematic Mapper)센서의 위성영상 데이터를 이용한 재배면적의 추정에는 regression, pixel ratio, direct expansion 등이 있음. 이 중에서 1970년대 초부터 개발되기 시작한 통계조사 요원에 의해서 실제 조사된 데이터와 위성영상 데이터에 의한 데이터를 동시에 이용하는 통계적 추정방법인 Regression Estimation 방법이 주로 이용되고 있음

- DigitalGlobe사에서는 Quickbird 위성영상 데이터를 이용한 식수의 추정방법으로 NASS 내부에서 개발된 식수추정방법과 싱가포르대학(university of singapore)의 CRISP(Centre for Remote Imagin, Sensing Processing)에 의한 방법을 사용함
- 통계산출의 위한 주요 장비 및 S/W로는 이미지 처리 패키지 프로그램인 PEDITOR를 자체적으로 개발하여 이용하고 있다. 고사양의 데스크 탑 PC에 윈도우 NT, 2000, XP 등의 OS를 탑재, 분석하며 expert system과 automation batch 과정을 지원하여 clustering, classification, mosaicing, estimation 이 자동으로 모두 가능하다.

다. 작황 및 수량 예측

- NASS는 농산물의 수량을 파악하기 위해 ① 주 단위 품목전문가들의 작황보고, ② 월 단위 표본 농가들의 수량조사, ③ 수확 전 수량 관련 조사를 실시하고 NDVI 지수를 보완적으로 이용한다(Hanushak, 1997).
- 작황을 파악하기 위해 2주 단위로 NOAA위성에서 수집하는 AVHRR(Advance Very High Resolution Radiometer)의 식생지수를 확보하며 파악한다. 그러나 NOAA위성 자료에 의한 수량 추정은 기존 통계방식보다 정확하지 않기 때문에 작물 생육기간 중 수량은 주로 농가의 수량 보고와 포장 실사 결과를 가지고 과거 데이터를 활용하여 추정한다.
- USDA 산하 OCE(Office of Chief Economist)내 위원회인 WAOB(World Agricultural Outlook Board)는 장기농업전망, 품목관측을 실시하여 주기적으로 관측결과를 공표한다.
- WAOB는 NASS에서 매주 조사되는 생육상황별 면적, 작황자료와 NOAA에서 2주 단위로 공개되는 식생지수를 이용하여 품목별 관측정보와 WASDE(World Agricultural Supply and Demand Estimates)를 생산한다.



<그림 2.2.1-2> 미국의 정보 수집 및 처리 절차

- OCE는 품목담당자 외에 정보담당자와 원격탐사담당자, 기상학자, 생태학자 등으로 구성되며, 이중 원격탐사담당(Remote Sensing Coordinator)은 위성으로부터 제공되는 원격탐사 관련 자료의 협조업무를 담당하고, 그 외 정보담당자와 기상학자, 생태학자 등은 인공위성 데이터를 활용한 식생 및 기후 변화 등에 대한 분석을 담당한다.
- 상무성의 국가해양기상국, 기상청(National Weather Service)과 USDA의 NASS, WAOB 산하기구인 JAWF(Joint Agricultural Weather Facility)는 농업기상 및 작황관련 정보를 농업관측목적으로 주단위로 제공하며, 매주 발행하는 WWCB(Weekly Weather & Crop Bulletin)에는 미국 전역과 전 세계의 가뭄, 온도, 습도를 비롯하여 곡물 생육단계별 면적 및 작황 정보가 수록되어 있다.
- 그 밖에 NASS와 플로리다 감귤부는 인공위성 정보를 활용하여 브라질 오렌지의 재배면적 및 작황을 파악, 생산량을 예측하여 마케팅 전략에 이용하고 있다.

2. USDA Foreign Agricultural Service의 Crop Explorer

- USDA는 전 세계 농경지의 작황 및 기상정보를 제공하기 위하여 Crop Explorer를 자체 제작, 운영하고 있다(<http://www.pecad.fas.usda.gov/cropexplorer>).

○ Crop Explorer는 사용자의 이해가 쉽도록 작물의 종별, 지역별, 계절별 카테고리를 활용하여 각종 정보를 그래픽으로 제공한다. 또한 기상 정보 및 위성영상에 의한 식생 데이터는 10일 주기로 업데이트되며, 제공되는 데이터와 출처는 다음과 같다.

- US Air Force : 강수량, 증발산량, 최고 및 최저온도, 적설량, 일조량 등
- World Meteorological Organization : 기상데이터(매일)
- NOAA : 식생 모니터링을 위한 위성영상 데이터(AVHRR)
- NASA : 식생 모니터링을 위한 위성영상 데이터(SPOT) 및 고해상도 위성영상
- European Space Agencies : 식생 모니터링을 위한 10일 주기 위성영상(MODIS)

<표 2.2.1-3> Crop Explorer에서 제공되는 카테고리별 정보

카테고리	데이터
기상정보	계절별 평균 강수량, 연평균 강수량 평균/최고/최저 온도 적설량
토양습도 정보	토양함수량 및 토양심도 습윤/건조 지수
위성별 식생지수	SPOT NDVI MODIS NDVI
생육주기별 작황정보	최근 3년간 여름(3월~10월) 작황정보 최근 3년간 겨울(9월~7월) 작황정보
작황 재배면적 및 생산량 정보	보리, 옥수수, 목화, 밀, 수수, 기장, 쌀, 콩, 땅콩, 해바라기

United States Department of Agriculture
Foreign Agricultural Service

Linking U.S. Agriculture to the World

Crop Explorer

[Global Food Supply Monitoring](#)
[Home](#)
[Help](#)
[Contact Us](#)

[Switch to CE Google Maps](#)

Explore by Region

North America
United States
Canada

Central America
Mexico
Central America and Caribbean

South America
Brazil
Northern South America
Southern South America

Europe
Europe

Middle East
Iran, Iraq, Syria and Turkey

Oceania
Australia

Former Soviet Union
Kazakhstan
Russia, Azerbaijan, Armenia and Georgia
Ukraine, Moldova, and Belarus

Africa
North Africa
Southern Africa
East Africa
West Africa

Asia
Eastern China
South Asia
Southeast Asia
Central Asia
Korea

[Site Index](#)

[Africa](#) | [Asia](#) | [Europe](#) | [Middle East](#) | [North America](#) | [South America](#) | [World](#)

Explore by Crop

Commodity Intelligence Articles and Reports

Variable Rainfall Affects EU Wheat and Rapeseed Production.
(Jun 10, 2010)

During May, rainfall was two to three times the average in many eastern and central European countries. Excessive rainfall was particularly unfavorable in Poland, Slovakia, and Hungary. The rains affected the wheat crop, which was in the jointing to flowering stages, and the rapeseed crop, which was primarily in the flowering stage. Meanwhile, some countries in western Europe (the United Kingdom and France) experienced dry conditions during April and May, subjecting the crops to soil moisture stress. Rainfall in late May and early June likely benefited the crops in western Europe. Wheat and rapeseed had also benefited from favorable weather during the autumn, winter, and early spring. In general, excellent planting conditions last autumn were followed by a mild winter with low winterkill and favorably high spring soil moisture. WheatEU wheat production for 2010/11 is forecast at 143.0 million tons, down 2.1 million or 1.5 percent from last month, but up 4.1 million or 2.9 percent from 2009/10. Harvested area is

Partnerships

News & Events

- [Tropical Cyclone Monitor](#)
- [Google Gadgets](#)
- [Iraq Operational Agricultural Monitoring Project](#)
- [RSS News Feeds](#)
- [Speaker Presentations on Global Food Security Challenges](#)

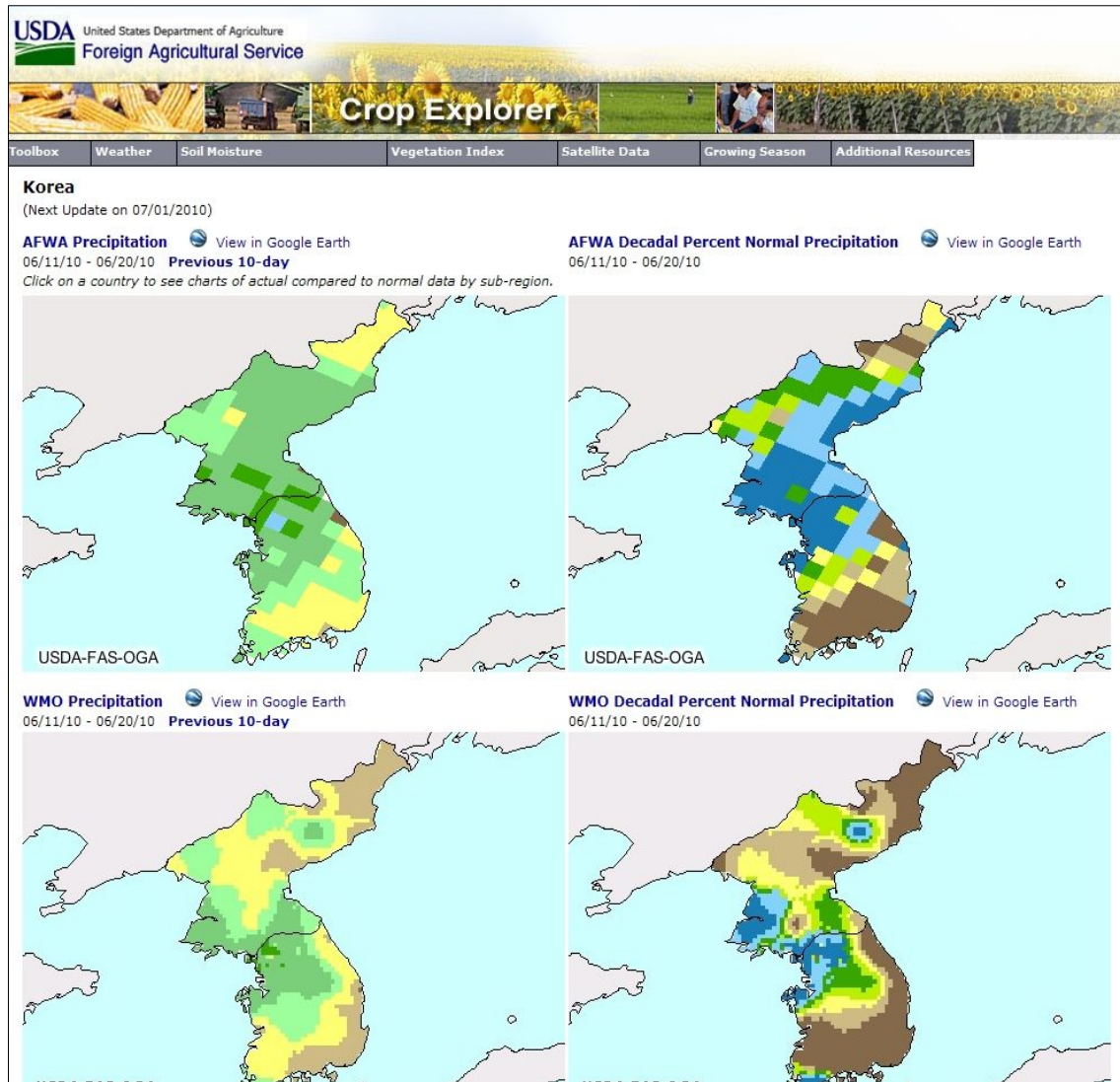
Related Sites

- [Agricultural Production](#)
- [Articles and Reports](#)
- [Explore by Crop](#)
- [Future of Land Imaging](#)
- [Geographic Search](#)
- [Global Climate Change](#)
- [Global Crop Production](#)
- [Global Reservoirs/Lakes](#)
- [Landsat GloVis](#)
- [MODIS Image Gallery](#)
- [MODIS Image Archive](#)
- [MODIS NDVI Gallery](#)
- [MODIS NDVI Time Series](#)
- [MPA Rainfall Maps](#)
- [Photo Gallery](#)
- [USDA Satellite Imagery Archive](#)

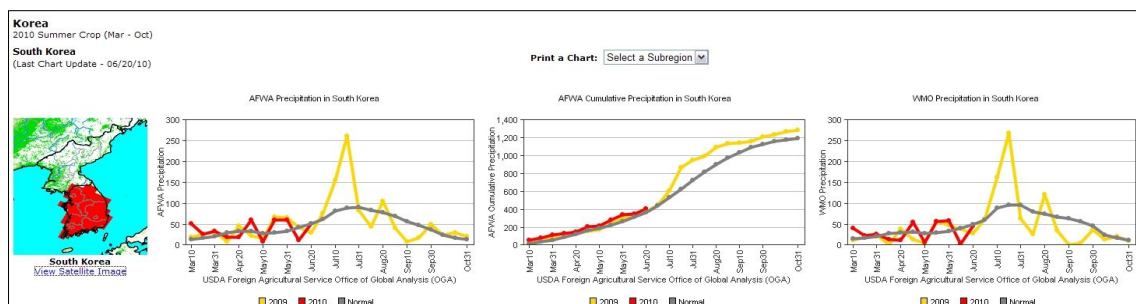
Metadata

- [Live Data and Maps](#)
- [GeoSpatial One-Stop](#)
- [NASA Global Change](#)
- [GeographyNetwork](#)

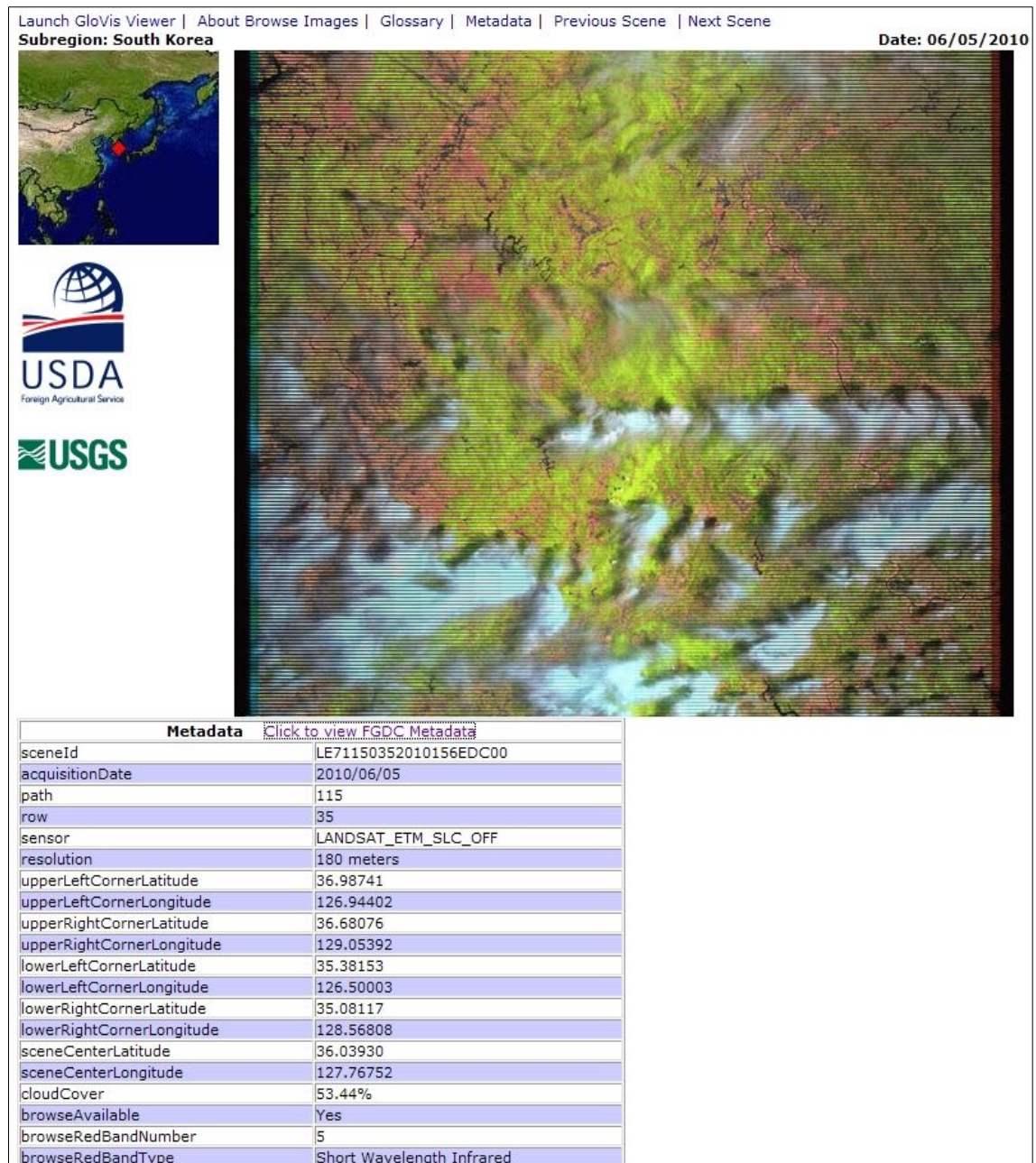
<그림 2.2.1-3> Crop Explorer 메인 화면



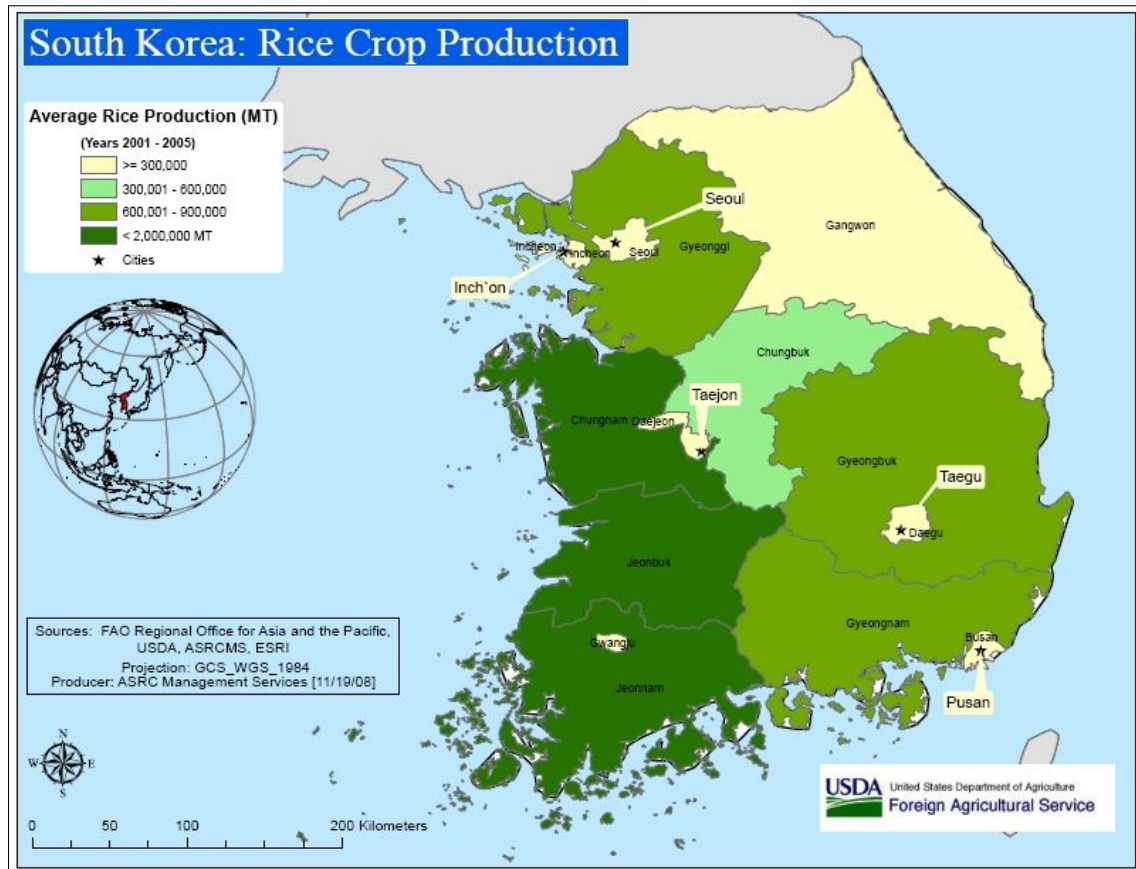
<그림 2.2.1-4> 우리나라의 기상정보 검색



<그림 2.2.1-5> 기상정보 변화 검색



<그림 2.2.1-6> 위성영상 검색



<그림 2.2.1-7> 작물별 생산량 검색(다운로드 가능)

마. 한계 및 전망

- 현재 미국에서 농작물 생산통계산출을 위한 원격탐사기술의 이용현황 및 한계점을 간략하게 살펴보면 다음과 같다.
- 위성영상 데이터를 이용한 작물재배면적조사(Crop Area Estimation)는 처음으로 옥수수, 콩, 밀의 재배면적추정에 사용되기 시작했으며 면, 벼, 사탕수수의 재배면적 추정으로 확대되었다. 이러한 작목의 결정은 기본적으로 해당주의 CDLP²⁾에의 참여 여부에 달려있으며, 재배량이 많은 주작목을 위주로 활용이 되고 있다.
- 비용상의 문제(위성이미지 구입비 및 이미지가공비, 통계적 추정비용)로 작물재배면

2) Cropland Data Layer Program : 미국의 작물 재배지역에 대한 지리정보를 디지털 데이터화하고 농업지리정보체계를 구축하기 위한 정책 프로그램

적에 대한 원격탐사기술을 이용한 재배면적 조사가 모든 지역에서 시행되고 있지 않는다.

- 농작물에 대한 작황조사는 USGS의 EROS Data Center의 NOAA 위성을 이용한 AVHRR 데이터를 사용하고 있다. 이를 활용하여 NASS에서는 USDA와 NOAA의 JAWF(Joint Agricultural Weather Facility)를 통해서 주간 농작물 및 날씨에 관한 리포트를 발행한다.
- NASS는 홈페이지를 통해서 식물의 생육상태에 대한 NDVI 지수값으로 표현된 지리정보를 일반에 자료를 제공하고 있다.
- 이러한 방법에 의한 작황분석은 전국, 주단위, 군단위와 같은 넓은 지역을 관찰하기에 유용하며 현장조사로 불가능한 데이터의 확보가 가능하고 데이터의 획득에 적시성이 있다.
- 또한, 특정 지역에 대해서 다중적, 적시적인 관측이 가능하여 대부분의 지역을 대상으로 관측할 수 있다. 따라서, 기존의 WCWR(Weekly Crop and Weather Report)보다 객관적이고 자료생성의 적시성 및 자료통합의 용이성 면에서 큰 장점을 가지고 있다.
- 그러나 NOAA AVHRR 데이터를 이용한 방법은 다음과 같은 한계점이 있다.
 - 1km의 낮은 해상도로 인하여 소규모의 특정지역에 대한 관측과 서로 다른 작물에 대한 분석이 어려움
 - 여러 가지 방법에 의해 데이터의 왜곡을 방지하고 있지만 구름 및 안개나 연기와 같은 대기상태에 영향을 받아 데이터가 왜곡될 가능성이 존재함
- 따라서, 현재 미국의 농작물 수확량예측분석(Crop Yield Forecasting and Estimation)은 기본적으로 농민조사(Farmer Reported)와 표본조사에 의해서 이루어지고 있으며, 원격탐사기술은 위의 두 가지 방법에 대한 보충적인 추정방법으로만 이용되고 있다. 그 이유는 수확량예측이 여러 가지 데이터와 정교한 데이터를 요구하는데 반하여 위성기술에 의한 데이터는 이를 모두 충족시키기에 부족하기 때문이다.

- 이를 극복하기 위하여 현재 고해상도 위성영상 데이터를 이용한 농업생산통계 산출에 대한 연구가 NASS에서 활발하게 진행이 되고 있으나 현재까지는 연구단계에 있는 사례들이 대부분이다.
- 최근 과수재배지역에 대해서 식수추정, 수령 및 수확량의 파악을 위해 Quickbird와 같은 0.6~2.4m의 고해상도 위성영상 데이터를 이용하고 있다.
- 추후 미국 원격탐사기술의 농작물 생산통계부문 이용전망을 간략하게 살펴보면 다음과 같다.
 - 기본적으로 향후 NASS에서 원격탐사기술을 이용한 농작물 생산통계 산출은 새로운 위성 및 센서의 개발로 그 적용분야 및 적용범위가 확대될 것으로 전망
 - 이에 NASS에서는 새로운 센서의 개발 및 군단위 작물재배면적 추정프로그램의 확대와 더불어 CDLP의 참가주 확대를 위해서 노력할 것으로 전망
 - 이와 함께 CDLP는 참가주가 10~20개주로 확대될 것으로 예상 하고 있으며, 이 과정에서 GIS와의 연계성은 더욱 강조될 것으로 전망
 - 또한, NASS에서는 앞으로도 지속적으로 AVHRR과 MODIS와 같은 센서를 이용한 전국단위의 작황조사를 위한 목적으로 그 기능을 수행할 것으로 전망
 - 특히, MODIS 위성영상 데이터는 그 해상도가 band의 사용에 따라서 1km에서 500에서 250m까지 좋아질 것으로 예상이 되고 있어 NASS가 홈페이지를 통해서 제공하는 작황에 대한 데이터가 더욱 정밀해질 것으로 기대됨
 - 따라서 이를 농작물 생산량예측에 활용될 수 있을 것으로 예상
- 최근 IKONOS, Quickbird 뿐만 아니라 일본의 AMSR과 같은 장비를 활용하여 농작물 생산통계에 적용하고 있으나, 비용 대비 경제성의 문제로 작물재배면적과 같은 주요 목적을 위해서는 여러 가지 측면에서 미국의 상황에 맞는 Landsat 시리즈가 앞으로도 기본적이고 주도적으로 사용될 것으로 전망하고 있다.

2.2.2. 유럽

가. 도입배경 및 이용분야

- 유럽공동체 위원회가 공통된 농업정책을 입안하고 수행하기 위해서는 농산물에 대한 시기적절하고 정확한 정보가 필요했다. 이것이 바로 MARS-Project(Monitoring Agriculture through Remote Sensing techniques)의 주안점이라고 할 수 있다.
- MARS-Project는 DG VI(European Commission's Directorate General for Agriculture)에 기술적이고 전문적인 양질의 농업정보를 제공하기 위하여 시행된 장기 프로젝트이며, 이탈리아의 이스프라에 소재하고 있는 유럽 연합 산하 JRC(Joint Research Center)가 추진한 주요 프로젝트 중 하나라고 할 수 있다.
- 1988년 JRC-MARS는 원격탐사기술을 이용하여 지역별 작물 통계, 유럽연합 전체 수준의 시기적절한 경지면적 추정, 그리고 수확량 예측을 위한 농업 기상 시뮬레이션에의 응용 등을 위해 시작되었다. 이 활동들은 현재 계속하여 진행 중이며 현재 유럽 외 지역에까지도 그 반경을 넓혀가고 있다.
- MARS-Project의 활동들은 MARS-STAT로 알려진 경작지 통계, 수확량 관측 및 공통의 농업 정책을 수행하기 위하여 제공되는 각종 농업 통계정보들의 관리 등의 활동들을 그 주요 골자로 한다.
- 또한, MARS-Project는 원격탐사를 통해 새롭고 혁신적인 기법을 농업 정보의 관측 및 분석에 적용, 발전시켜 왔다. 이 프로젝트는 다음의 네 가지 주요활동으로 크게 나누어 볼 수 있다.
 - 측정에 있어서 오차의 방지 : 이 활동은 CAP(Common Agricultural Policy)이라는 대전제를 효율적으로 지지하기 위하여 MARS-Project의 전 과정에서 오차를 최대한 제거하기 위한 활동을 말한다. 원격탐사의 운영에서부터 자료의 수집 및 검증과 현장 방문 조사에 이르기까지 모든 활동에 적용된다.
 - 작황 및 수확량 관측 : CGMS³⁾와 같은 농업기상모델에 의한 수확량 관측과 low

3) Crop Growth Monitoring System : 유럽에서 MCYFS를 운용하기 위해 자체 개발한 시스템

resolution 원격탐사 방법 및 high resolution 자료를 이용한 경작지 정밀 측정이 현장조사결과와 함께 종합적으로 분석된다.

- 특수 조사 : 효율적인 농업정책을 결정하고 수행하기 위하여 특정지역의 구체적인 세부적인 정보가 신속하고 정확하게 제공되어 진다.
- 새로운 장비 및 방법론의 도입 : 새로운 장비 및 과학기술의 도입으로 정밀농업의 실현과 대규모 농업에의 정확한 적용 및 예측이 가능해야 한다.

나. 원격탐사기술을 활용한 농업관측 사업(MARS-Project)

- 유럽 공동체 안에 있는 DG AGRI(Directorate General Agriculture of the EC)는 공통의 농업정책(CAP) 원칙의 수행 및 결과를 평가하고, EAGGF(European Agricultural Guarantee Guideline Fund)의 운영을 책임지고 있다. 연간 토지피복 변화와 생산량과 같은 토지이용 정보는 유럽연합의 EUROSTAT 국가 통계 서비스를 통해 정기적으로 수집된다. 그러나 기존의 방식으로는 이러한 수많은 통계치의 수집, 편집 등과 같은 작업은 시간적으로 굉장히 비효율적이었다.
- 또한, 기존 방식에 의한 통계치들은 경작기가 끝나고 나서 몇 달이나 지난 후에나 이용이 가능하였고, 유럽연합 전체 수준과 각 가입국 수준에서 이질적인 농업통계가 생산되었다. 이러한 문제점들은 유럽연합에서의 통계치의 수집, 비교 및 정보의 축적에 있어서 많은 어려움을 유발하였다.
- 이러한 문제점을 바탕으로 DG AGRI와 EUROSTAT의 보다 원활하고 효율적인 임무수행을 위해 유럽연합 각료회의에서는 1988년 9월 26일 흔히 MARS-Project로 불리는 10개년 통계 시스템 개발 프로젝트를 승인한다.
- 프로젝트의 주요 목표는 원격탐사 및 GIS와 같은 최신기술을 이용하여 토지사용 현황과 경작지 및 유럽연합 내의 다양한 작물의 규모 등의 통계정보를 시기적절하게 생산해 내는 방법론을 개발하는 것이었다. 처음 5개년 동안 17개국의 대략 100여 개의 기관이 이 프로젝트에 참여하였다.
- 이 프로젝트의 주요 수행 과제는 다음과 같다.
 - 토지사용과 용도변경에 대한 조사

- 농산물 수확량에 대한 조사
 - 수확량 예측 : 이탈리아에 소재한 JRC 산하의 IPSC(Institute for the Protection and Security of the Citizen)에 소속된 MARS unit은 MARS-Project의 실행에 실무적인 책임을 맡고 있으며 공식적으로 IRSA-JRC(Institute for Remote Sensing Applications-JRC)와 SAI-JRC(Space Applications Institute -JRC)라고 명명된다.
- MARS unit은 MARS-Project를 수행함에 있어 현재 다음과 같은 세 가지 주요 활동을 시행하고 있다.
- THE MARS-STAT : 유럽연합의 CAP를 지원해 주기 위한 활동으로써 기상분석, 작황 지수의 시뮬레이션에 의한 농업기상분석, 인공위성의 low-resolution, 경작지 측정을 위한 통계적 분석방법 등을 통하여 수확량 예측 및 농산물 총계 등의 정보를 제공
 - THE MARS-FOOD : 유럽의 식량 원조 및 식량안보 정책을 위해 인공위성 자료를 통해 작황 및 작황지수에 관한 정보를 획득하고 시뮬레이션에 의한 농업기상자료 분석을 통하여 예상 수확량의 예측치 등을 제공
 - THE MARS-CAP : 인공위성의 high-resolution 데이터와 항공사진 등의 데이터를 통하여 토지구역의 일체화를 실현함으로써 유럽연합의 정책을 입안하거나 정책을 평가하는데 도움을 주는 활동

<표 2.2.2-1> 분야별 MARS 내용

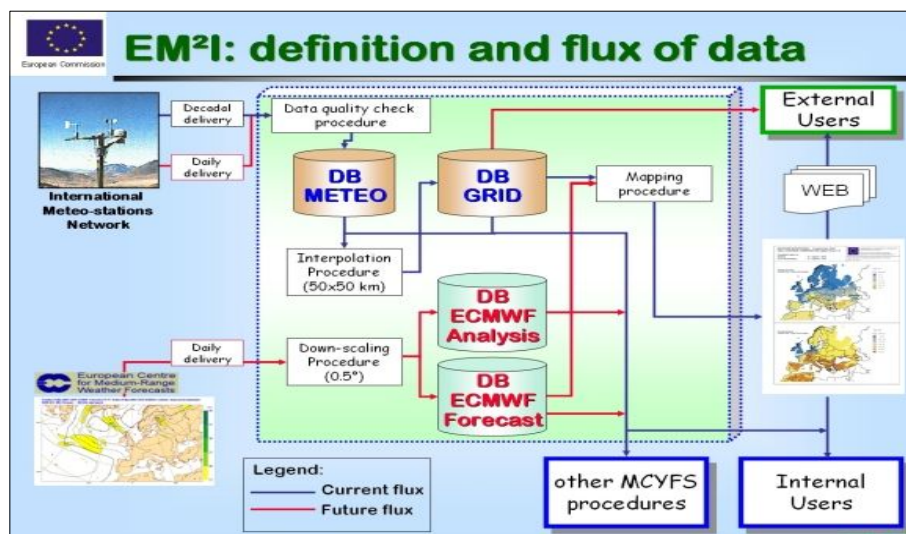
활동	세부내용
MARS-STAT	목적 : RS 방법론과 기술을 활용, 농업통계 개선 내용 : 작목별 경작면적 추정, 작물생육상태 모니터링, 수량 추정, 적기에 주요 작물의 생산량 추정 (저해상도 영상활용)
MARS-CAP	목적 : 공동농업정책(CAP) 개혁 지원 내용 : 위성사진을 활용한 작목 식별 (고해상도 영상활용)
MARS-FOOD	목적 : 식량원조 및 식량안보정책 내용 : 기상분석, 작황관독을 통해 수확량 예측

다. 작물수량예측 시스템(MCYFS)

- MARS-Project의 가장 핵심이 되는 활동은 소위 MSYFS라고 일컬어지는 Action2 & Action3이다. 이 활동들은 유럽전체 수준에서 주요 작물에 대하여 수확량을 조기에 예측하여 CAP의 정책결정과 MARS-FOOD와 같은 식량 안보에 관한 정책결정에 있어서 중요한 정보를 제공하여 주고 있다.
- MCYFS는 안정적인 수확량 예측을 위한 일종의 시스템으로써 체계적인 분석 도구들을 수반하여 함께 발전되어 왔다. MCYFS는 수확량을 조기에, 가능한 정확하게 예측하기 위해서 기상관측 자료에 의거한 작물 성장 시뮬레이션과 위성영상 데이터의 판독결과를 조합한다.

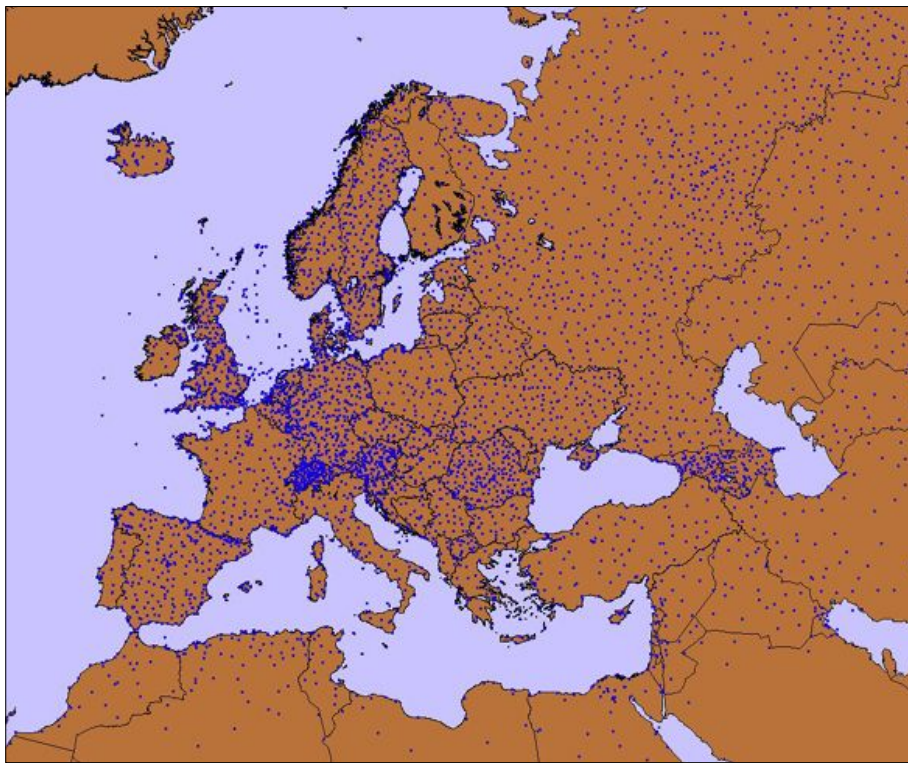
1) 기상관측

- 기상관측은 MCYFS의 주축이 되는 기본 구성요소의 하나로써 다음의 세 가지 활동들로 이루어진다.
 - 관측소 기상자료의 수집, 분석 및 처리
 - Regular Climatic Grid 에 공간자료로 기입(Spatial Interpolation)
 - 날씨 지표의 산출



<그림 2.2.2-1> MCYFS의 기상관측 단계

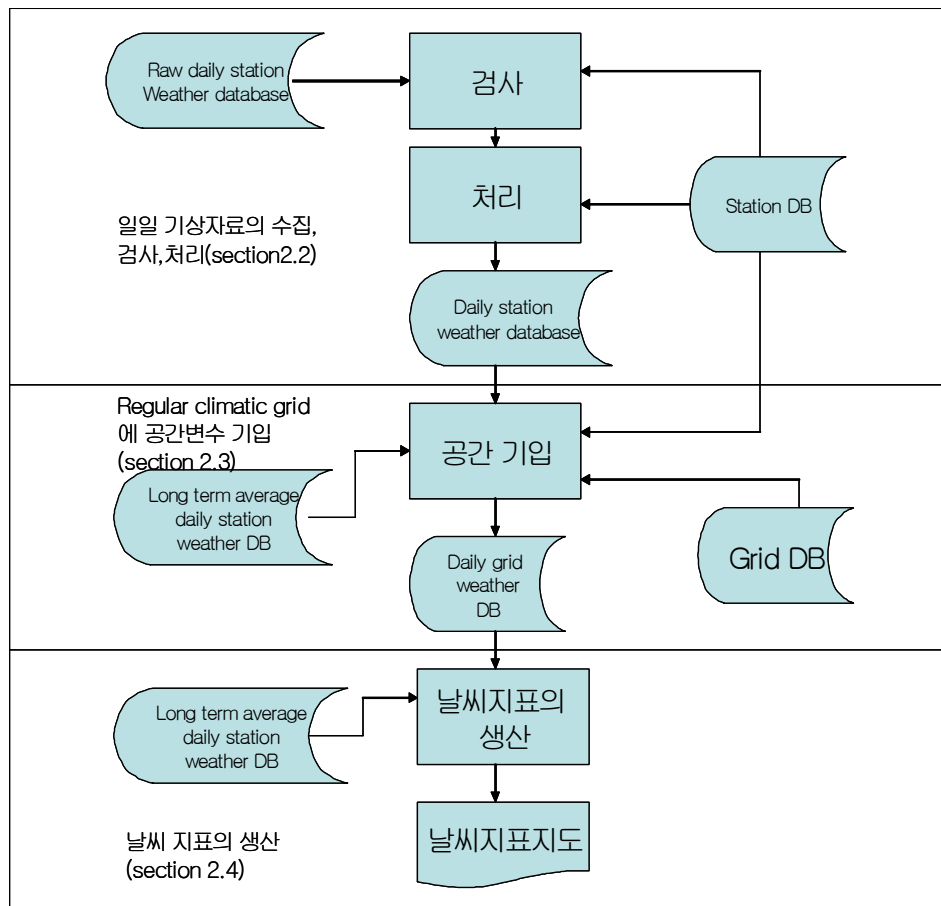
- 기상관측의 모든 과정은 CGMS version 1.5에서 처리되고 있으며 ORACLE 데이터베이스(version 8.1.6.0.0)에 저장된다. 이 데이터베이스는 윈도우 NT 체제에서 운영되는 CGMS의 유일한 파트이며 다른 파트들은 특수한 윈도우 시스템 사양이 요구된다.
- MCYFS에 기상정보를 제공하는 관측소는 단순히 일반적인 기상자료의 수집 뿐 만 아니라 이 자료를 실시간으로 수집하여 동시에 처리할 수 있는 곳으로 제한되어있다. 관측소의 일일 기상자료는 두 가지 용도로 이용이 된다.



<그림 2.2.2-2> 유럽연합 기상관측소 분포 현황

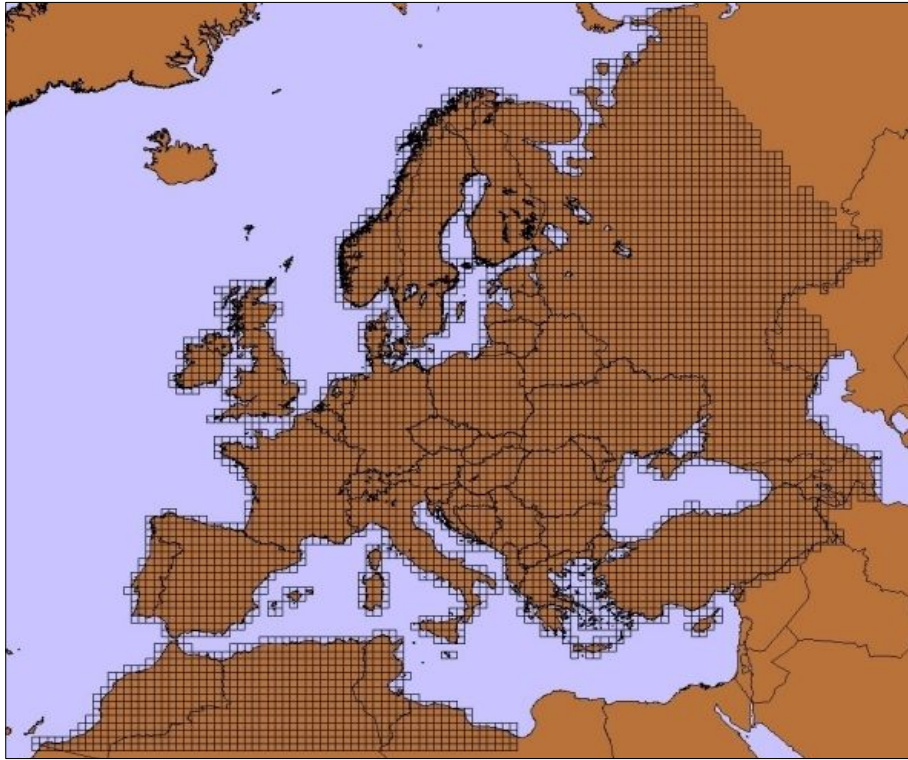
- 하나는 수확량 예측을 위하여 WOFOST모델에 투입이 되며, 다른 하나는 가뭄, 폭우, 등과 같은 긴급 재해의 알람 등에 대한 지수로 이용이 된다. 작황은 지표면근처의 대기상태에 의해 가장 크게 영향을 받는다.
- 이상과 같은 목적에 따라 MCYFS는 유럽지역 전체 수준에서 수확량을 평가 하는데 최적화 될 수 있는 공간크기(Spatial Scale)인 50 × 50 km를 이용하여 유럽지역을 세분화 하고 있다.

- CGMS 시뮬레이션을 운영하기 위하여 일일 기상 관측 자료는 기상관측용 Grid (Regular Climatic Grid)에 기입한다. 이론상으로는 각 지역 관측소 수준에서도 CGMS는 응용이 가능하지만 각 기상 관측소가 지리상으로 매우 떨어져 있으며 지리적·기후적 조건이 매우 상이하기 때문에 Regular Climatic Grid에의 기입이 필요하다. 게다가, CGMS는 기상변수만을 필요로 하는 것이 아니라, 토양, 작물, 토지사용 현황 등의 공간적인 변수 또한 필요하기 때문이다. 이 두 종류의 layer를 결합시키고 두 속성의 상관관계를 시뮬레이션하고 결과적으로 그것들이 작물의 생장에 미치는 영향을 파악하기 위해 관측소 사이의 어떠한 지점의 기상상황도 알아야 할 필요성이 있기 때문이다.



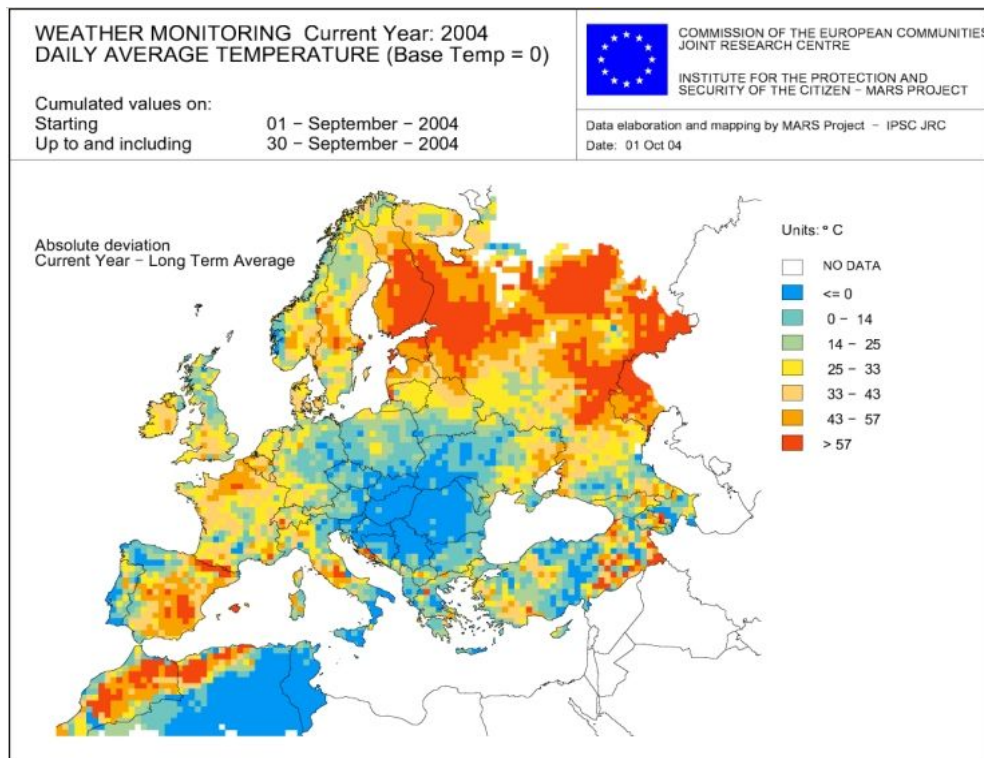
<그림 2.2.2-3> CGMS의 날씨 관측 구성요소

- 일일 기상자료는 50 × 50 km 단위의 5625개의 격자(Grid)에 기입된다. 격자 크기의 범위 내에서의 기상자료는 모두가 동일하다는 가정을 하고 있다. 1991년부터는 기상 자료를 GTS 네트워크를 통해 거의 실시간으로 자료를 수집하여 다음 그림과 같은 기록용 지도에 기입하고 있다.



<그림 2.2.2-4> MCYFS의 기상관측기록용 Grid

- 또한, 비정상적인 기후의 변화를 사전에 감지하기 위하여 기상관측소로부터 획득된 자료들은 종합 처리되어 날씨 지수를 측정한 후 과거의 장기적인 날씨 평균기록과 비교된다.
- 이 비교분석 과정을 통하여 현재년도의 특정 시점이 과거 평균과 비교해 볼 때 건조한지, 습한지, 혹은 기온이 높은지 낮은지를 파악할 수 있다. 이와 같은 과정을 통하여 사전에 파종기에 폭우의 발생이라든지 수확기에 가뭄의 발생여부 등과 같은 중요한 예보를 할 수 있다.
- 이러한 농업 기상 예보와 날씨 지수의 자료는 실시간으로 웹사이트를 통하여 제공된다(www.marsop.info).



<그림 2.2.2-5> MCYFS의 기상관측 지도

2) 작황관측

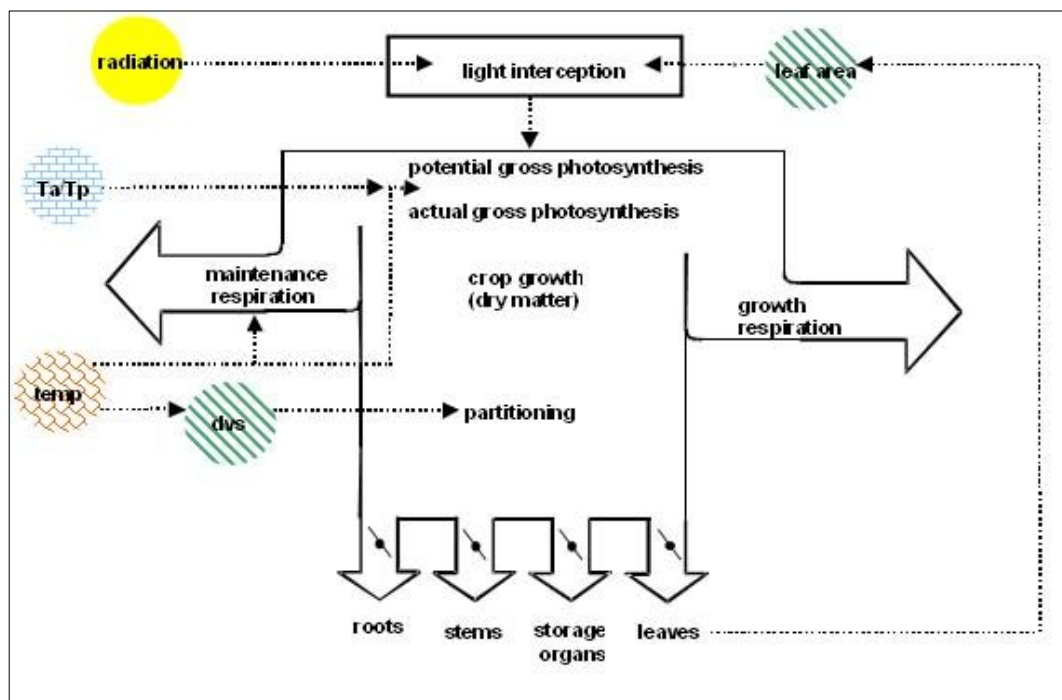
○ 작황 관측은 생육 상황(biomass)이라든가 현재 날씨가 농작물의 성장에 어떻게 영향을 주고 수확량에 어떤 결과를 미치는가를 나타내 주는 작물지수를 시뮬레이션해 주는 활동이다. 이 과정은 다음의 다섯 가지 활동으로 나눌 수 있는데 처음 두 가지 활동은 사전 처리 활동이며 나머지 세 가지 활동은 분석활동이다.

- input 데이터의 수집 및 처리(collection and processing of input data)
- 공간 배열(spatial schematisation)
- 지역별 작황 시뮬레이션(regional crop simulation)
- 공간자료의 적분(spatial aggregation)
- 작물지수지도(crop indicator maps)의 제작(production of crop indicator maps)

○ 작황관측 또한 OLACLE 데이터베이스에 저장되며 작물 생장은 윈도우용 CGMS version 1.5a 의 WOPOST모델에 의해 시뮬레이션된다. 공간자료의 적분이 라든가 작물지수지도의 제작은 CGMS로부터 도출될 수 없는 부분이기때문에 GIS관

런 소프트웨어를 통하여 활성화된다.

- 작황 시뮬레이션을 위해 토양속성 정보와 결합된 일일기상관측지도가 CGMS에 기초데이터로 이용된다. 토양속성정보가 기록된 토양지도는 작물성장에 가장 큰 영향을 주는 요소 중 하나이다. 따라서 MARS-unit의 SMU(Soil Mapping Unit)에서는 유럽지역(동유럽의 일부국가 제외)의 방대한 토양 속성정보를 구축하고 있다. 이 속성정보에는 특정지역의 토양 지질로부터 시작하여 작물이 뿌리를 내리는데 장애물은 없는지, 지하수의 분포 등 다양한 데이터베이스가 구축되어 있다.
- CGMS의 핵심은 WOFOST를 이용한 작황시뮬레이션이다. 주요 처리 원리는 시스템 상에서 각 작물별로 작물성장의 생리화학적 환경을 변수로 제공하여 주고 현재 기상 조건을 적용하여 작물의 반응을 살펴보는 방법이다. 이를 도식화 한 그림은 다음과 같다.



<그림 2.2.2-6> WOFOST를 이용한 작황 시뮬레이션 체계

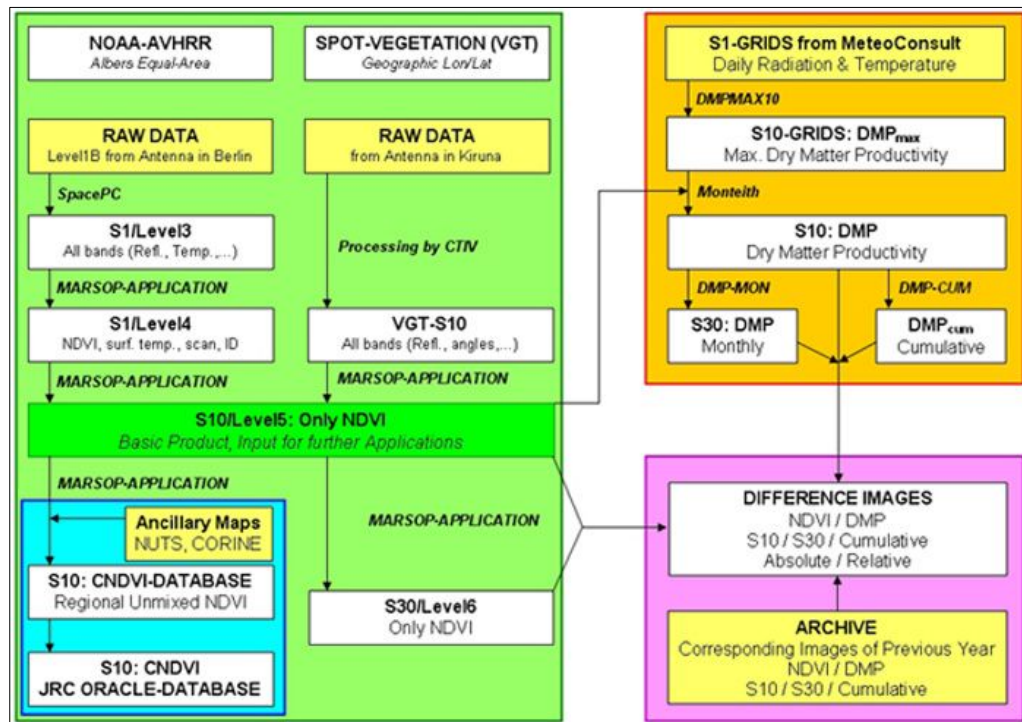
- CGMS를 통하여 산출된 작물지수 및 작황에 대한 정보들은 ArcInfo와 PL-SQL을 통하여 작물지수지도(Crop Indicator Maps)로 제작이 된다. 생산자들은 작물지수지도를 통하여 현재년도의 특정 관측지역의 작황을 예측할 수 있다. 이 지도들은 이전

년도에 비교하여 현재의 작물의 생육상황이 빠르거나 느린지에 대한 정보를 제공해 주고 있다. 이러한 활동들을 통하여 생산자들에게 위험을 미리 예측하게 해 주거나 현재의 작황상태에 대한 정도를 파악하게 해 준다.

- 작물지수지도는 유럽연합의 주요작물에 대하여 각각 제작되며 공간해상도는 기상관측지도와 같은 Grid(50 × 50 km)를 사용한다. 2001년도부터 주요작물지수지도가 10일을 주기로 제작 되었으며, 1975년부터 2000년까지의 작황에 대한 방대한 양의 정보가 데이터베이스로 구축이 되어있다. 이용자들은 웹사이트(www.marsop.info)에서 작황관측에 대한 정보를 얻을 수 있다.

3) 원격탐사기술의 의한 지표면 관측

- 원격탐사는 MARS-Project의 가장 중요한 초석으로써 발전하여 왔다. 1988년 프로젝트의 시작 이래 위성을 통한 지표면 관측은 크게 두 가지로 나뉘어 개발되어 왔다.
- Landsat TM과 SPOT XS/HRVIR과 같은 위성들은 유럽연합지역의 대부분의 경작지의 넓이보다 훨씬 작은 10~30m 픽셀 사이즈의 이미지를 제공하기 때문에 Action1과 Action4의 활동에 활용되고 있다.
- Action2와 Action3의 실제 MCYFS를 수행하는 데는 NOAA-AVHRR(1998년부터)과 SPOT-VEGETATION(VGT)로부터 얻은 데이터를 이용한다. 이는 광역 촬영이 가능하기 때문에 전반적인 추세라든가 실정을 파악하는데 장점을 가지고 있다. 각 센서들은 거대한 넓이(최대 3000 km)를 촬영하기 때문에 지구전체의 표면을 매일 관측할 수 있다.
- 하지만 이러한 위성들은 촬영반경이 너무 넓어서 각각의 작물이나 다른 속성의 지표면이 방출하는 복사광 등에 의해 이미지의 분석이 난해할 수 있다는 단점이 있다.
- 다음 그림에 MCYFS에서 위성영상을 이용하여 NDVI를 산출하는 과정이 잘 나타나있다. NDVI 이미지의 분석은 저해상도 이미지 자료로부터 획득하는 대표적인 활동으로써, 근적외선(R_{nr})과 가시광선 영역(R_{v})에서 얻어지는 상대적 반사값의 차이를 그 합으로 나눔으로써 식생과 관련된 정보를 산출하는 기법이다.

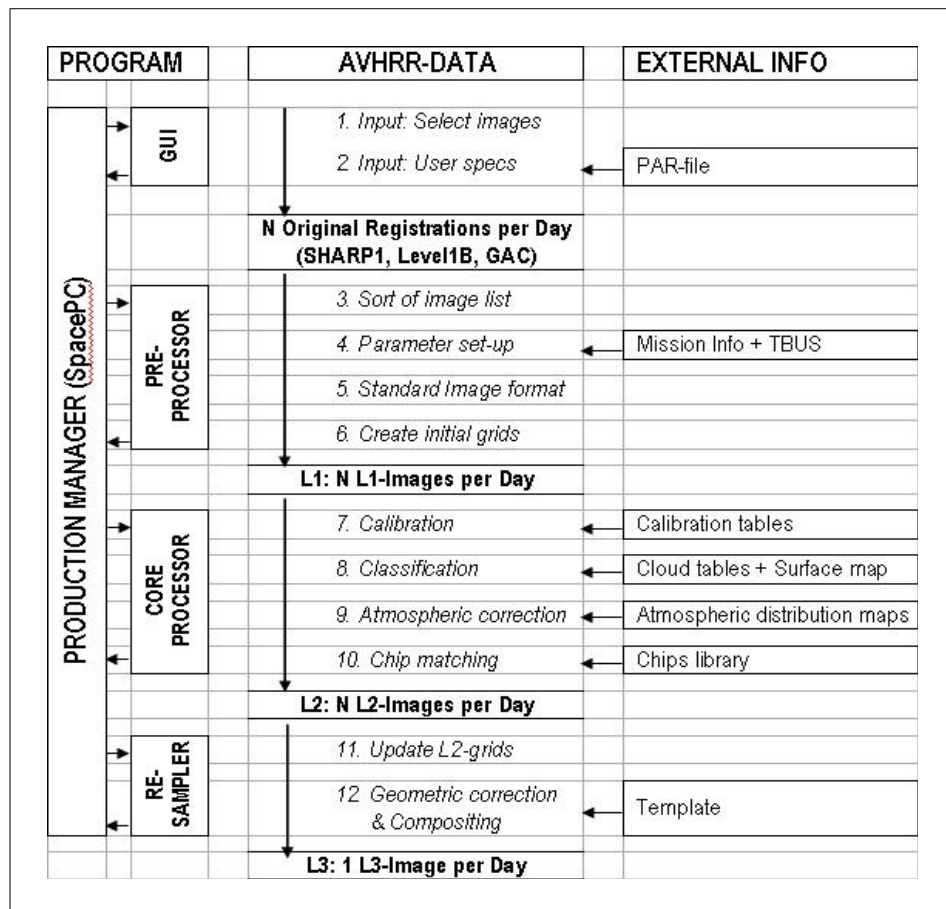


<그림 2.2.2-7> MCYFS에서 원격탐사 단계의 Flow Chart

- NDVI는 식생의 양이나 작물의 현황 등을 나타내 주는 유용한 지수이다. NDVI는 -1에서 1사이의 값을 갖게 되는데 일반적으로 구름, 눈, 토양 등과 같이 식물이 아닌 토지 피복형은 -1에서 0에 가까운 값을 갖게 되며, 식물은 0부터 1사이의 값을 갖게 된다. 식생이 많고 활력도가 높을수록 지수의 값이 높아진다.
- 2000년 11월 JRC는 MCYFS의 전반적인 운영을 MARSOP-컨소시엄에 아웃소싱하게 된다. 이에 따라 원격탐사의 주요 임무들은 벨기에에 있는 VITO에서 운영하게 되었다.
- VITO는 SPACE(Software for the Processing of AVHRR-images for the Communities of Europe) PC 소프트웨어를 이용하여 NOAA위성의 AVHRR 센서로 촬영된 raw data를 분광/방사 보정(spectral/Radiometric), 공간보정(spatial), 주기보정(temporal)의 처리 과정을 따라 일일 종합 처리한다.
- SPACE 프로그램을 개발하여 운영하는 데에는 많은 시간이 소요되었다. MARS-project의 초기인 1988년도에 시작되어 JRC-MARS 팀에서 현재까지 개발을 담당하고 있다. 프로그래밍 부분은 수년에 걸쳐 몇몇 다른 업체로의 외주를 통하여 몇몇 다른

버전이 개발되었다. 각 버전들은 모두 C/C++언어를 바탕으로 개발되었고 이용자들이 의하여 다양하게 응용되었다.

- SPACE PC S/W를 이용하여 전처리된 영상을 1.1×1.1 km (pixel size)로 모자이크 처리하며 MARSOP-APPLICATION S/W는 SPACE PC의 결과 자료를 활용하여 NDVI 및 지표면 온도 등의 이미지를 추출한다. 위성 영상 이미지 처리의 세부적인 운영 내용은 다음 그림과 같다.

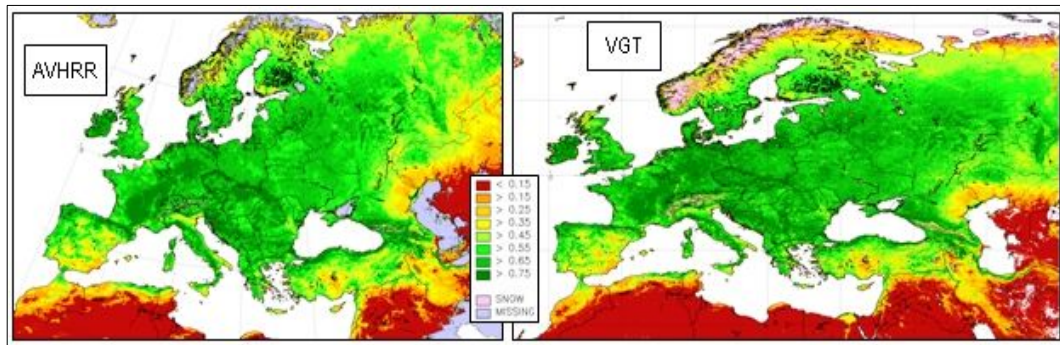


<그림 2.2.2-8> SPACE PC S/W를 이용한 위성영상 데이터 처리

- JRC-MARS unit은 1989년부터 시작하여 AVHRR-위성영상 데이터의 수집 체계를 구축하였다. 1996년 7월 15일까지는 뮌헨 근처의 Oberpfaffenhofen에 있는 DLR기지국을 통하여 SHARP1-format으로 수집되었으나, 1996년부터 JRC는 이탈리아의 이스프라에 전용 기지국을 설치하였다. 가공되지 않은 HRRT-데이터는 UK-software DARTCOM을 이용하여 SHARP1으로 전환된다. Oberpfaffenhofen과 이스프라의 두

기지국 모두 서유럽대륙의 대부분 지역의 자료를 수집한다.

- 2000년 11월부터 VITO가 유럽전체 수준에서 SPACE 프로그램의 기술적 운영을 담당하게 되었다. 그로부터, 가공되지 않은 AHVRR-데이터는 독일의 베를린에 있는 Freie University에 소재한 기지국에 온라인을 통하여 제공되고 있다.
- MCYFS는 2000년 11월부터 NOAA 위성 외에도 SPOT 위성의 VEGETATION 센서를 이용한 LR-imagery를 이용하기 시작하였다. SPOT 위성 시리즈는 프랑스가 주도하고 벨기에, 이탈리아, 스웨덴 등의 국가가 협력하여 개발한 위성이다.
- 1998년에 발사된 SPOT 4호기는 HRV에서 진보되어 HRVIR로 명명된 블루밴드와 식생지수를 관측할 수 있는 소위 VEGETATION(VGT) LR-센서를 탑재하였다. 2002년 SPOT 5호기는 HRVIR(10m/4m)와 VGT를 탑재하고 있다.
- MCYFS가 이용하는 SPOT-VGT 센서의 10일 종합 위성영상 데이터는 NOAA-AVHRR의 위성영상 데이터와 공간해상도(1km)라든가 주기(공전주기)의 측면에서 볼 때 매우 흡사하다. 다만 분광해상도 측면에서, VGT는 SWIR에 새로운 밴드를 보유하고 있지만, AVHRR은 Thermal 밴드들이 장착되어 있지 않다.
- 또한, VGT 데이터들은 10일 종합 이미지를 생성하는 과정에서 충분히 보정되었기 때문에 원시데이터의 손상이 심하다는 문제점이 있었다. 때문에 VITO에서는 이러한 문제점들을 극복하기 위하여 MARS-APPLICATION에서 보다 발전된 MARSOP-APPLICATION를 개발하여 NOAA-AVHRR 위성영상 데이터와 SPOT-VGT 위성영상 데이터의 혼합영상 데이터를 함께 응용할 수 있게 하였다.
- SPOT 위성의 VGT센서로 촬영된 데이터도 NOAA-AVHRR의 데이터와 동일하게 영상의 전처리 과정 후 NDVI가 구하여 진다. NOAA와 SPOT의 각기 다른 센서들을 통하여 추출된 각각의 NDVI는 MARSOP-APPLICATION을 통하여 지역별 평균 NDVI(CNDVI)로 도출된다. MARSOP-APPLICATION로부터 도출된 CNDVI는 JRC에 있는 CNDVI ORACLE-데이터베이스에 기록되어 식생분포 조사, 작황관측 및 수확량 예측과 같은 MARS의 제 활동 등에 폭넓게 활용되고 있다.

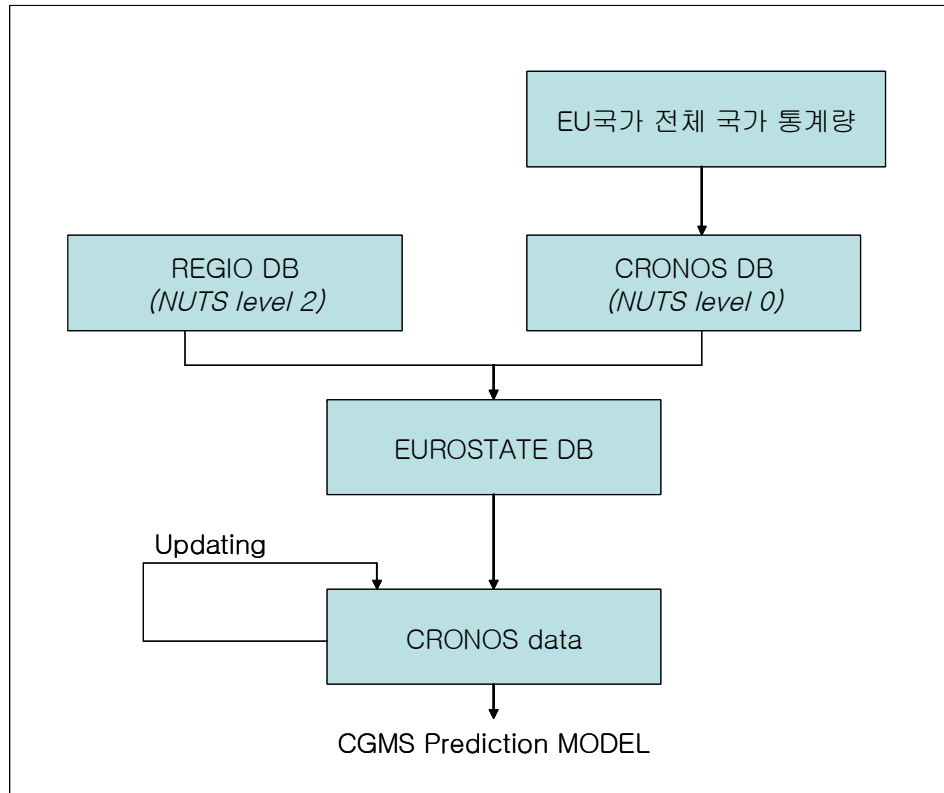


<그림 2.2.2-9> NOAA-AVHRR 센서와 SPOT-VGT 센서의 월간 NDVI 지도

4) 수확량 예측

- 여러 학자들이 수확량에 대한 통계치들을 평균 수확량, 연간 추세 그리고 지역별 변화량의 세 가지 요소로 세분하여 연구하여 왔다. 관측된 국가별, 지역별, 그리고 소지역별 수확량은 국가별 작물의 농업의 추세를 보여준다.
- MCYFS의 주요 목적은 유럽연합 및 각 국가 수준에서 주요작물에 대하여 가능한 한 빠르고 정확하게 수확량 통계를 제공하는데 있다. 수확량 통계치 기록, 날씨지수, 시뮬레이션 된 작물지수, 원격탐사에 기초한 작물지수와 추가적인 각종 정보들이 전문가들의 지식과 함께 수확량을 예측하는데 이용된다.
- 수확량을 예측하는데 있어서 주요한 가정들 중의 하나는 토지이용 현황 및 농업생산물은 상대적으로 안정적이라는 것이다. 즉 연간 지역별 수확량의 변동량은 주로 날씨 조건에 따라서만 좌우된다는 가정 하에 예측을 실시한다.
- 수확량을 예측하기 위하여 앞서 살펴보았던 다음 자료들이 이용된다.
 - 날씨지수(weather indicator)
 - 작물지수(crop indicator)
 - 원격탐사에 기초한 식생지수(remote sense based vegetation indices)
 - 국가 수확량 통계(national yeild statistic)
 - 기타 추가적인 정보(additional sources)

- 수확량 및 경작지를 포함하여 농업통계에는 두 가지 주요한 데이터베이스를 기초로 하고 있다. 첫 번째 데이터베이스는 EUROSTAT의 REGIO DB로 알려진 NUTS level 2의 지역별 농업통계를 저장한 데이터베이스이다.



<그림 2.2.2-10> 유럽연합 통계 데이터베이스 시스템

- 두 번째 데이터베이스는 국가별 농업통계가 저장되어 있는 EUROSTAT의 CRONOS 데이터베이스이다. 수확량 예측 시에는 CRONOS 데이터들을 이용하게 되며, 경작면적 통계는 REGIO로부터 직접적으로 획득하게 된다.
- 유럽 연합 가입국들은 농업에 관한 각종 통계량들은 모두 동일한 방법으로 수집하고 이를 공유하게 된다. EUROSTAT에서는 이러한 통계조사 방법에 있어서 각 국가들에게 기술적인 부분들을 지원하며 획득된 정보를 수집하고 있다.
- MCYFS의 최종 수확량 예측과정은 다음 식에서 볼 수 있듯이, 다양한 방법으로 다양한 정보를 처리하여 수확량을 예측하게 된다. 수확량예측의 기본 공식은 다음과 같다.

$$Y_T = f(T_{\text{and/or } MET_{\text{and/or } SIM_{\text{and/or } RS}}) + e$$

Y_T : T기에 관측된 수확량 [ton.ha⁻¹]

$f(T)$: 시간의 함수로 나타낸 기술경향 [ton.ha⁻¹]

$f(MET)$: 날씨 지수 함수 [ton.ha⁻¹]

$f(SIM)$: 시뮬레이션된 작물 지수 함수 [ton.ha⁻¹]

$f(RS)$: 원격탐사 지수 함수 [ton.ha⁻¹]

e : 오차항 [ton.ha⁻¹]

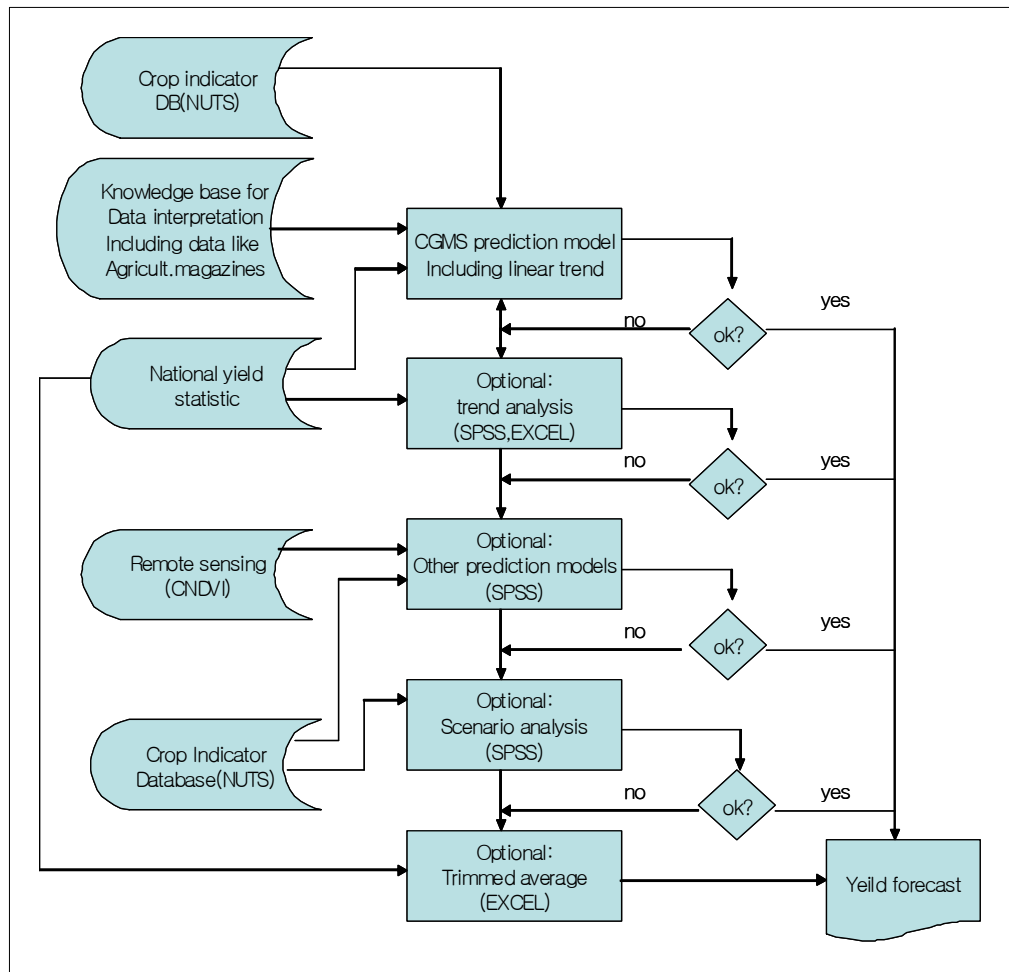
○ 즉, 과정을 풀어서 설명하면 다음과 같다.

- CGMS에 기초하여 수확량 예측; 결과가 도출되지 않을 경우,
 - 추세분석 시행 : 결과가 도출되지 않을 경우,
 - 다른 예측모델 이용 분석 : 결과가 도출되지 않을 경우,
 - 시나리오 분석 : 결과가 도출되지 않을 경우,
 - 교정된 평균값 이용

○ 이러한 접근방법은 각 요소 및 단계들이 추가되거나 제외될 때 탄력적으로 응용되어 수확량을 예측하게 된다. 또한, 개별 요소들은 그 자체만으로도 수확량 예측이 가능하며, 각 요소들은 연중 일정기간에는 일치하는 모습을 보여주지만 어떤 기간에는 그렇지 못한 모습이 나타나기도 한다. 각 단계의 특징 및 원리를 단계별로 설명해 보면 다음과 같다.

▪ CGMS를 이용한 추세 분석 및 예측 모델

- CGMS를 이용하여 지역별 평균수확량을 계산할 때는 다음에 나와 있는 예측치 중 하나를 선택하여 이용한다.
 - 시뮬레이션된 biomass의 잠재건조중량(dry weight, 톤)
 - 제한된 물공급하에서 시뮬레이션된 biomass의 건조중량(dry weight, 톤)
 - 시뮬레이션된 Storage Organs의 잠재건조중량(dry weight, 톤)
 - 제한된 물공급하에서 시뮬레이션된 Storage Organs의 잠재건조중량(dry weight, 톤)



<그림 2.2.2-11> 수확량 예측 분석의 단계별 Flow Chart

- CGMS의 도입 초기에는 제한된 물 공급 하에서 시뮬레이션된 Storage Organ의 잠재건조중량만을 이용하여 수확량을 예측하였으나 차후에 나머지 세 가지 방법이 추가되어 사용되었다. 물이 제한된 상태의 수확량 예측은 많은 양의 물을 관개(irrigation)하는 지역에는 적합하지 않은 방법이다. 게다가 가뭄의 피해 또한 지하수의 영향을 받는 경우 크게 줄어들 수 있다. 이러한 요소들이 초기 버전의 CGMS에는 포함되어 있지 않았다. 차후에 시뮬레이션된 biomass 지수가 차후에 도입되었고 이는 작물이 성장하고 있는 시기에 미리 수확량 예측이 보다 원활하고 정확하게 이루어지는 것이 가능해지도록 해 주었다.
- CGMS의 통계적 보조 방법으로 선형 시계열과 작물 성장 시뮬레이션 결과를 조합하는 방법을 사용하고 있다. 이 예측 모델은 다음과 같다.

$$Y_T = b_0 + b_1 T + b_2 S_T$$

Y_T, S_T : 추정된 수확량과 시뮬레이션 된 결과 혹은 예측치(톤)

b_0 : 공식 수확량 평균치

b_1 : 연간 수확량 증가분

b_2 : 가뭄이나 한랭과 같은 요소 ($0 < b_2 < 1$)

- 지역별로, 최근 9개년간 관측된 자료를 토대로 회귀 계수가 결정되고 각 요소들은 현재 연도와 조사 지역에 적합하게 설정된다. 부(-)의 예측치 b_2 는 계산과정에서 자연스럽게 제거된다.
- CGMS에서는 2차 추세 함수도 사용된다. 그러나 Plam과 Dagnelie(1993), Koning 등(1993)의 연구결과를 바탕으로 보면 공식 수확량 증가분을 충분히 보여주는 1차 추세방정식은 이미 2차 추세함수의 결과 또한 포함하고 있다고 볼 수 있다. 단, 결과값은 장기간에 걸친 어떤 형태의 완만한 추세도 비현실적일 수 있는 연속임을 가정하고 있다.
- Vossen과 Rijks(1995)의 연구에 따르면, 예측치들은 오직 최근년도에 기초한 데이터를 바탕으로 해야 한다고 강조하고 있다. 분석하는 기간의 적정수준은 회귀 분석에 있어서 자유도의 수준을 충분히 만족해 줄 수 있는 수준이면 충분하다고 강조하였다.
- CGMS version 4.2의 통계보조시스템은 최근 S-Plus 2000 Professional로 재설계되었다(Kuyper, 2001). 수확량 예측은 매 10일을 주기로 업데이트 되며 결과(수확량 예측과 회귀분석 매개변수)는 FORECASTES_NUTS_YIELD와 REG_PARAM의 데이터베이스 테이블에 저장된다.
- 또한, 경작기가 시작되기 전부터 수확량 예측은 장기 추세 평균과 기술 추세분석 등을 통하여 사용자들에게 제공되며, S-Plus를 통해 MARS에서는 시계열의 기간을 조정할 수 있다.

▪ Excel과 SPSS를 이용한 추세분석

- 어떤 국가나 작물의 예측 수확량에 대하여 정확도가 충분하지 않다고 간주될 때 MARS 분석팀은 Excel을 이용하여 추세분석을 재실시하게 된다. 먼저, 동기간 수확량 통계가 이용가능하다면 추세분석은 더 긴 기간(1975년부터 현재까지)을 이용하여 재실시 하게 된다. 다음단계로 좀 더 최근의 기간에 대한 추세를 연구한다.
- 1990년경 동유럽 지역의 정치적인 변화로 인해 발생한 예민한 변화들을 배제하기 위해 동유럽은 1990년 이후의 기간을 분석한다. 유럽연합 내의 국가들은 1992년 이후의 기간을 중요 분석하는데 이는 CAP, 즉 공통의 농업정책이 수확량이나 경작지의 분포 등에 영향을 미치기 시작한 해가 1992년이기 때문이다.
- 추가적으로, 다른 추세분석에 대한 기능들이 Excel과 SPSS를 통해 연구된다. 각 국가의 수확량 통계들은 CRONOS 데이터베이스에서 바로 취득 될 수 있다. 이 CRONOS 데이터베이스는 매월 업데이트 된다. 이 단계에서 1차, 2차 혹은 다른 여러 형식의 추세분석이 이루어진다.

▪ 기타 예측 모델

- MARS 분석팀은 필요시 JRC 고유의 예측 모델을 사용하여 제 국가의 작물에 대한 수확량을 예측하는 경우도 있다. 이런 모델들은 CGMS의 다른 변수와 CNDVI를 사용한다. CNDVI와 같은 지표들은 데이터베이스에 저장되는 정보가 축적될수록 더욱 긴 기간에 기초한 더 안정되고 유용한 변수들으로써 더욱 중요해질 것이다. 이런 부가적인 지표들은 CGMS의 통계 보조 시스템의 자동화된 처리과정에서 추가되어야 할 사항이다.

▪ SPSS를 통한 시나리오 분석

- 수확량 예측이 시작되는 시점부터 실제 작물의 수확시기까지 원인을 알 수 없는 변동에 의해 발생하는 오차값들을 처리하기 위하여 농업-기상시나리오(Agro-Meteorological Scenario)를 이용한다. 이 시나리오는 CGMS에 의해 시뮬레이션된 변수들의 시계열 분석값에 기초하여 과거년도 중 가장 유사한 농업-기상 현상을 보인 연도를 찾으

며, 분석은 Principal Component Analysis(PCA), Factor Analysis와 Cluster Analysis의 방법에 기초하여 이루어진다.

- 일단 현재 연도와 농업-기상적으로 비슷한 과거의 기록이 발견되면 이러한 해의 최종 수확량의 결과가 현재 연도에 적용이 될 수 있다. 만약 비교년도에서 어떤 추세가 존재한다면, 최종 수확량의 범위는 현재 연도의 수확량과 접목시키기 전에 이 추세에 맞추어 조정될 수 있을 것이다. 이러한 기술을 통해 왜 수확량에 대한 예측값이 실제 수확 시까지 계속하여 바뀔 수 있는지 이해할 수 있다.
- 시나리오 분석과 예측 모두 매 10일마다 업데이트 되고 SPSS에서 분석된다. 각 국가별, 작물별 분석은 개별적으로 이루어진다. MARS-unit의 분석팀에서는 각 국가별 및 작물별로 어떤 지표를 이용하여 분석할 지를 결정한다. 시나리오 분석은 다른 예측모델들이 통계적으로 유의하지 않게 나올 경우에 즉시 원칙적인 예측을 가능하게 하기 위하여 유럽연합의 수준에서 지속적으로 최적의 상황과 최악의 극단적인 상황을 가정하여 이루어지고 있다.

▪ 조정된 평균값을 이용한 예측

- 수확량 예측을 결정하는 마지막 시도는 조정된 평균값의 계산을 통해 이루어진다. 최근 5개년간의 수확량 평균값이 순위로 매겨진다. 조정된 평균값은 상위 3개년간의 평균값이다. 이 조정된 평균값은 여타 다른 수확량 예측 방법들(CGMS level 3과 같은 예측 모델이나 추세분석, 시나리오분석)이 만족스런 결과값을 이끌어내지 못할 때 이용된다.

▪ 인적요소

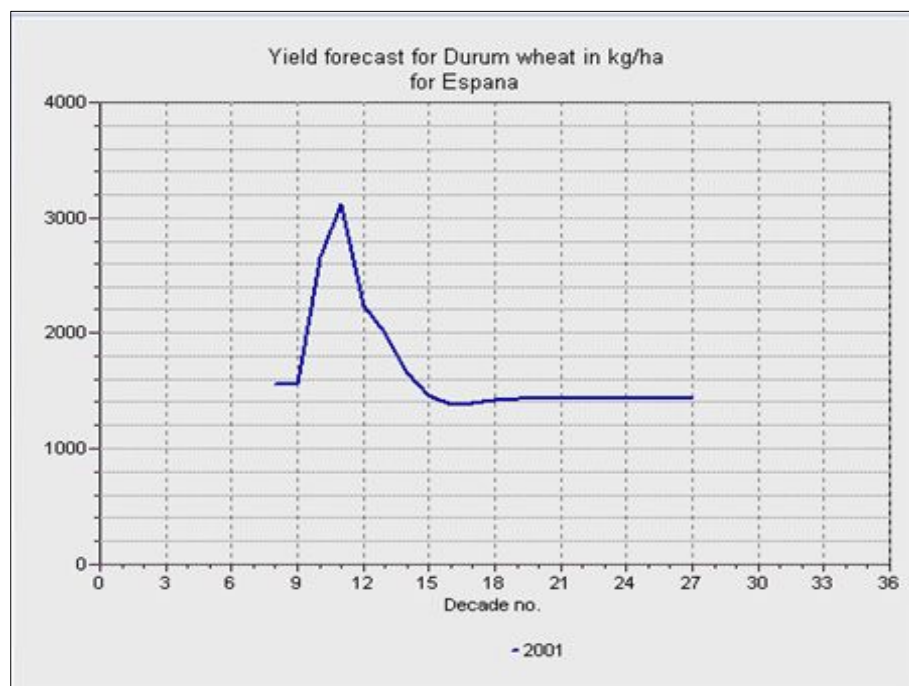
- 축적된 경험이나 어떤 현상에 대한 풍부한 지식에 기초한 인적자원이야말로 수확량 예측에 있어서 아주 중요한 요소라고 할 수 있다. MARS-unit 분석팀의 연구원들은 다른 종류의 여러 예측모델의 결과들 중에서 분석모델에 이용되지 않은 여러 외부정보들을 함께 고려하여 볼 때 가장 적절하게 도출된 결과값을 선택해야만 한다.
- 예를 들어 CGMS분석에 포함되지 않은 부정적인 요소들의 영향에 대한 명백한 정

조가 드러날 경우엔 low simulated 된 수확시나리오(시나리오 분석)값이 수확량 예측값으로 채택될 수 있다. 유용한 외부정보들은 농업 간행물, 유럽연합수준에서 각종 기상정보를 제공해 주는 날씨지도 등을 통해서 취득된다.

- MARS 분석팀의 연구원들은 그들의 전문화된 지식과 풍부한 경험을 바탕으로 어떤 모델의 결과값을 공식 수확량 예측값으로 채택할지를 결정한다. 채택된 결과값은 Excel을 통해 문서화되어 저장된다.

▪ 결과 및 오차분석과 수확량 예측의 평가

- 각 국가별로 예측된 수확량은 MARS bulletin을 통하여 발간되며, CGMS의 통계 모델을 통하여 계산된 수확량 예측값은 인터넷(<http://www.marsop.info>)을 통하여 제공된다. 정보 이용자들은 인터넷을 통하여 파종기로부터 시작하여 경작기 중에도 CGMS를 통해 수확량예측이 가능함을 확인해 볼 수 있다.



<그림 2.2.2-12> CGMS 분석을 통한 통밀에 대한 경작기 수확량 예측의 예

- Genovese(1998)은 이상적인 정확성의 수준은 오차확률이 3% 미만일 때라고 규정하였다. 6% 이하일때 까지도 결과값에 대한 수용이 가능하지만 오차 확률이 6% 를

넘어선다면 수확량 예측은 결과값을 수용하는데 심각한 고려를 해 보아야 한다. 이러한 경우에도 MCYFS는 계속하여 예측치를 계산해 낸다. 일반적으로 겨울작물들에 대한 수확량예측은 6월전에 확정되어야 하며 여름작물들은 8월전에 완료되어야 한다.

- 또한, 시스템 운영의 국제적 평가는 1997년까지의 자료를 이용하여 1998년에 만들어졌다(Genovese, 1998). RMSE 오차는 MCYFS 예측치와 비교하는 오차지표로써 사용되어 왔으며 유럽연합 수준에서 주요작물에 대한 수확량예측치의 오차의 범위는 3~5%이다. 일반적으로 수확량 예측은 일반적으로 경작기 초기에는 높은 오차율을 보이고 있으나 수확기에 가까울수록 오차율이 감소하는 현상을 보였다.

▪ Bulletin과 Web Site를 통한 결과의 보급

- MCYFS의 제 활동들이 생산해내는 결과들은 CD와 책자형태의 Bulletin 및 웹 사이트를 통해 일반에게 보급된다. MCYFS의 다양한 결과들은 <표 2.2.2-2>와 같다.
- MCYFS bulletin은 주요작물의 경작기간에 매달 발간되며 이는 유럽연합의 다양한 이용자들 즉, 토지 혹은 농업 정책 입안자, DG Agriculture, EUROSTAT와 각 공공기관들에게 제공된다. 그 주요 내용은 수확량 예측과 MCYFS로부터 생산된 각종 데이터를 종합한 내용이다.
- 보통, bulletin은 현 상황에서 유럽의 농업-기상의 일반적 종합상황 및 특정지역의 상태(예를 들면, 특정지역이 너무 건조하다거나 너무 습하다는)등을 제공한다. 주요 곡물과 Oil Seed에 대한 수확량 예측은 유럽연합의 15개 국가와 중유럽의 여러 나라들에 제공된다.
- 이는 국가나 국가군별로 얼마나 많은 농업-기상 분석이 이루어지느냐에 따라 달라진다. 현재연도와 과거연도 사이의 식생지수의 차이는 지도 시간차 및 각주 등으로 지도위에 표현된다.
- 웹사이트 (www.marsop.info)에서는 유럽 및 세계 주요농업 지역에 대한 경작기의 농업현황에 대하여 폭넓고 다양한 정보를 제공하고 있다.

- 이 웹사이트는 지상 관측에 기초한 날씨와 작물 지수, 원격탐사에 기초한 식생지수 및 예측 수확량 등과 같은 MCYFS의 결과뿐만 아니라, MARS-FOOD 프로젝트의 각종 결과들도 실시간으로 제공하여 주고 있다. 이 프로젝트는 영연방국과 아프리카 일부지역 및 남아프리카의 일부지역에 대한 정보도 총괄한다.

<표 2.2.2-2> MCYFS의 활동에 대한 다양한 결과물과 보급방법

결 과	형 식	자료의 보급방법
일일 날씨 데이터가 기입된 Grid Cell (50 × 50 km)	데이터	요청시
특정 기간에 축적된 날씨 데이터가 기입된 Grid Cell(50 × 50 km)	지도	웹사이트 (www.marsop.info) bulletin (http://mars.jrc.it/stat/bulletin/)
기간별로 EMU 수준에서 축적된 시물레이션한 작물 지표	데이터	요청시
기간별로 날씨 지도 수준에서 축적된 시물레이션한 작물 지표	지도	웹사이트 (www.marsop.info) bulletin (http://mars.jrc.it/stat/bulletin/)
기간별로 다양한 NUTS 지역수준에서 축적된 시물레이션한 작물 지표	데이터	요청시
기간별로 다양한 NUTS 지역수준에서 축적된 시물레이션한 작물 지표	time profile /표	웹사이트 (www.marsop.info)
식생지수	지도	웹사이트 (www.marsop.info) bulletin (http://mars.jrc.it/stat/bulletin/)
작물 수확량 예측	데이터	요청시
작물 수확량 예측(CGMS 통계 보조시스템)	time profile /표	웹사이트 (www.marsop.info)
최종 수확량 예측	표	bulletin (http://mars.jrc.it/stat/bulletin/)

- 이 웹사이트의 MARS-FOOD 프로젝트부분에서는 NDVI(SPOT-VGT 센서에 기초한), Estimated Dry Matter production(SPT-VGT로부터 추출된) 및 날씨 시뮬레이션 모델의 결과 등과 같이 원격탐사 결과물들을 제공하여 준다.



<그림 2.2.2-13> 웹사이트를 통한 NDVI 검색 화면

- 그 외의 각종 외부정보들 또한 현 경작기의 상황을 종합하고 분석하는데 사용된다. 이 정보들은 신문, 잡지, 현장 방문, 인터넷, 전문가의 의견 등과 같이 다양한 자원으로부터 획득된다.

2.2.3. 일본

가. 일본의 농업통계체계와 원격탐사 기술의 적용

- 일본의 농업통계생산 및 보급은 농림수산업성 산하의 통계부가 담당하고 있다. 그 중에서 농업통계의 생산에 있어서 원격탐사기술의 응용을 추진하고 있는 부서와 담당 업무는 다음과 같다.
 - 통계기획과 : 농림수산업성이 행하는 조사의 기획·설계, 실시의 종합 조정과, 조사 결과의 공표, 광고 보급 등의 통계부 전체에 관계되는 업무 수행. 통계기획과의 하위 부서 중에서 조사 개선반이 주요 역할을 담당
 - 시스템 관리실 : 농림수산업성 공동 이용 전자 계산기, 농림수산업통계 정보종합 데이터베이스 및 통계 조사의 집계에 관한 시스템의 운영 관리 등의 업무를 수행. 시스템 관리실의 하위 부서중에서 시스템 이용 기술반이 주요 역할을 담당
 - 생산유통소비통계과 : 경지 및 농작물의 재배 면적, 농림수산물물의 생산에 관한 통계 조사 등의 업무를 수행. 생산 유통 소비 통계과의 하위 부서 중에서 면적통계반이 주요 역할을 담당
- 농림수산업성 통계부를 주축으로 하여 각 지자체별로 별도의 통계사무소를 운영하고 있으며 사무소별로 예산을 확보하고 원격탐사기술의 통계생산업무 활용을 위한 자체 연구를 수행하고 있다.
 - 北海道統計・情報事務所(홋카이도통계정보사무소)
 - 東北農政國統計部(토호쿠농정국통계부)
 - 關東農政局統計部(관동농정국통계부)
 - 北陸農政局統計部(호쿠리쿠농정국통계부)
 - 東海農政局統計部(토카이농정국통계부)
 - 近畿農政局統計部(킨키농정국통계부)
 - 中國四國農政局統計部(쥬고쿠시코쿠농정국통계부)
 - 九州農政局統計部(큐슈농정국통계부)
 - 沖縄総合事務局農林水産部(오키나와종합사무국농림수산부)

- 일본의 농업통계에 있어서의 원격탐사기술의 활용은 주로 경지면적의 파악과 재배 면적통계 조사에 있어서의 실용화를 염두에 두고 1995년도부터 개발 연구가 진척되어 오고 있다.
- 그러나 현 단계에 있어서는 실용화를 실행하기에는 관련연구가 부족하고 해결되지 않고 있는 과제가 많아 실용화에는 이르지 못하고 있는 실정이다.
- 일본에서 원격탐사기술을 활용한 농업통계 산출의 애로점은 다음과 같이 지적된다.
 - 미국 등 선진국과 달리 농장의 규모가 상대적으로 작고 산간부 등이 뒤얽혀 있어 지형이 복잡한 장소가 많다는 점
 - 일본은 세계의 다른 지역에 비교해서 대기에 구름이 걸려 있는 비율이 높다는 점. 따라서 완벽한 위성데이터의 취득이 어렵다는 점
 - 현재 일본의 우주항공기술수준을 고려할 때 외국의 고해상도위성 화상을 이용할 경우 해외의 위성에 대한 의존도 문제와 고액의 경비가 소요된다는 점
- 그러나 2006년 농림수산성통계부를 주축으로 계속적인 개발연구를 진행하여 육역관측⁴⁾ 기술 위성인 다이치(ALOS) 위성의 발사를 성공시켰으며, 2006년 10월 본격적인 관측운용을 실시함으로써 현재 자국위성 데이터를 활용한 실용화 연구를 진행 중에 있다.
- 이와 관련하여 농림수산성과 일본전역의 원격탐사기술개발을 주도하고 있는 우주항공연구기구(Japan Aerospace Exploration Agency : JAXA)는 「다이치(ALOS) 위성의 데이터를 이용한 수도작 면적의 계산」이라는 주제로 공동연구를 지속적으로 진행하였다.
- 또한, 30년의 역사를 가진 재단법인 원격탐사기술센터(Remote Sensing Technology Center : RESTEC)가 일본농림수산성과 함께 다수의 관련 연구를 수행하고 있다.
- 농림수산성 산하기관으로는 쓰쿠바시에 위치한 독립 행정법인 농업환경기술연구소(農業環境技術研究所)가 많은 관련 연구 및 행정지원을 담당하고 있다.

4) 陸域觀測 : 지구의 자원 이용을 위해 지구의 육지를 관측함

- 일본의 지방자치단체 중에서는 홋카이도(北海道) 농업연구센터가 원격탐사기술을 농업 전반 및 통계부분에 응용하는 연구가 매우 활발하다. 실제로 홋카이도립 중앙 농업시험장(北海道立 中央農業試験場)에서는 일본 소비자들의 고품질 쌀 수요를 만족시키기 위해 인공위성을 통한 단백질 함량과악과 이를 통해 적정의 추수기를 파악하는 사업을 진행하였다.
- 농림수산성에서는 우주항공기술의 농업분야 도입을 위해 위성 Remote Sensing 워크숍을 지속적으로 개최하고 있으며 이를 통해 각 분야별 전문가들과의 활발한 의견교류와 실용화를 시도하고 있다.

나. 일본 원격탐사 기술의 동향

- 구미 대륙에 있어서는 농업 분야에 위성 원격탐사를 채용한 매우 다양한 성과가 있지만, 동아시아나 동남아시아에서의 농업분야의 성과는 그다지 보이지 않는다. 그 이유로 아시아에서는 각각의 농지가 소규모의 불규칙한 형태이며, 재배작물이 다품종의 소량생산 중심인 농업환경에 기인한다. 지금까지의 원격탐사 기술로는 이것들의 상세한 농업정보를 얻는 것이 매우 어려웠다. 또한 아시아 몬순기후로 인하여, 농작물의 생육 기간 동안인 장마기간에는 우천·운천의 날이 많이 광학 센서에서의 관측이 지극히 곤란하다.
- 예를 들면, Landsat 위성영상 데이터를 기준으로 구름의 양 20% 이하의 데이터가 수집될 확률은, 비교적 맑은 날이 많은 도카치에서 연간 20%, 여름작물의 생육 시기에 한정하면 15% 이다(8년간의 관측 데이터의 결과). 관동에서는 각각 25%와 8%, 또한 미나미큐슈에서는 8% 와 전무가 된다. 이러한 낮은 수집 확률은 기술적으로는 이용가능 하지만 이를 안정적으로 이용할 수 없는 원인이 된다.
- 따라서, 지금까지 일본에서의 원격탐사기술 적용은 기본적으로 농가 수익의 최대화가 목적이었다. 즉, 원격탐사기술과 GIS를 접목한 정밀농업화를 통해 농가의 고수익을 유도하고 기존 농가의 경험이나 감에 의지하던 부분을 과학적, 객관적으로 평가하는 것을 그 목적으로 하였다.
- 또한, 시읍면 및 농업 협동조합(JA)에서 지역의 농업을 지도하기 위한 도구로 이용

하기도 하였으며, GIS를 기반으로 향후 작물의 수량 파악 및 예측 데이터 등의 작물정보를 관리하는데 주로 사용하였다.

- 그러나 최근 들어 광학 센서에 대한 기술의 발전으로 몇 m의 해상도의 위성영상 데이터를 이용할 수 있는 시대가 되었다. 또한, 해상도의 향상은 관측 폭을 제한하기 때문에, 직하(直下)뿐 만 아니라, 빗변을 관측할 수 있는 포인팅 기능을 가지는 센서가 개발되었고, 특정 개소에 한정하여 관측 빈도를 비약적으로 증가시키게 되었다.
- 가격의 면으로 문제는 있지만 이 초고해상도 포인팅 관측 센서를 이용하면, 각 포장의 작물생육을 일단위로 모니터링 할 수 있다. 또한, 마이크로파 레이더는 구름을 통해서도 지표의 정보를 얻을 수 있으므로, 구름이 있는 날이 많아 수동형인 광학 센서에의 데이터 취득의 기회가 적은 아시아 몬순지역에서는 이 전천후형 센서에 많은 기대를 할 수 있다. 이시즈카 등(2003a)은 항공기탑재의 다파장, 다편파의 SAR 데이터로부터 벼농사의 후방산란 특성을 밝히고, 향후의 유용성에 대해서 말하고 있다.
- 이에 따라, 최근 일본에서는 초소형 위성에 대한 새로운 패러다임이 대두되고 있으며, 일본 문부과학성 및 경제산업성 주도하에 2011년까지 약 400km 높이의 저궤도 위성 100기 발사계획을 발표하였다.
- 소규모 초경량(50cm, 50kg 이하) 위성의 개발은 다음과 같은 장점이 있다.
 - 저궤도에서 높은 공간해상도의 데이터를 제공하여 관측빈도 및 자료의 정밀도 증가에 의한 포장단위 일별 모니터링이 가능
 - 저비용, 단기간 제작이 가능하여 목적에 따른 화상 촬영이 가능
- 또한, 2010년 GIS/RS 기술을 이용한 농업 환경정보 서비스 센터를 설립하고 매년 초소형 인공위성 활용방안 워크숍을 개최하여 전문가들의 관심 유도과 해당 기술의 실용화를 시도하고 있다.



<그림 2.2.3-1> 초소형 인공위성 발사체



<그림 2.2.3-2> 초소형 인공위성의 실제 크기

1) 농업관리

- 윗 절에서 설명한 바와 같이 일본의 농가는 지금까지의 관습이나 정부의 지도 및 규제, 개인의 생각이나 사상에 따라 경영 방법이 다르지만, 기본적으로는 수익의 최대화를 목표로 하였다. 특히, 미국의 대규모 농장에서도 농작물의 생육 파악에 원격탐사기술에 결부된 GIS를 사용해서 정밀농업을 실천해 고수익에 결부시키고 있다.
- 대규모 농지에 GIS를 도입함으로써, 병충해의 피해저감이나 적시의 제초제 및 비료

살포, 수량의 증가와 관리 가격 삭감에 의한 증수 이익에 있어서 효율적 경영이 가능해지고 있는 것이 보고되고 있다. 그렇지만 아시아에 있어서는 농업의 수익이 낮고, 농가가 GIS 작성에 많은 비용을 투입할 수 없는 상황에 있다.

- 이렇게 미국의 GIS 기술을 일본에 그대로 적용하는 것은 적절하지 않지만, 현재 시업면 및 농업 협동조합이 지역의 농업을 지도하기 위한 도구로서는 GIS가 이용되고 있다. 예를 들면, 홋카이도에서는 맛있는 쌀을 생산하기 위한 위성영상 데이터 이용 사례가 있다. 쌀의 맛은 단백질 함량이 큰 영향을 끼치는데, 이 단백질을 위성영상 데이터(Landsat-TM, SPOT 등)를 이용하여 수확 전에 직접 추정하고 있다.
- 위성영상 데이터를 이용하여 추출한 단백질 함량 지도는 그 지역에서 생산되는 쌀의 품질이 일정해 지도를 수확 시기를 지도하거나, 품질이 좋은 쌀을 생산하고 있는 농가를 선정하여 영농 기술을 장려·보급하거나, 토양조건이나 배수조건 등이 불리한 지구를 추출해 토양개량을 설비하는 지침 등의 분야에 이용하고 있다.
- 또한 약 1미터의 해상도에서 관측할 수 있는 고해상도의 상업위성을 사용하여 토양정보, 작물정보를 상세히 분석하고 있다. 이는 과거의 광역적인 정보에서 벗어나 포장 내 생육정보 및 수분편차(차이) 등을 읽어낼 수 있게 되어, 지금까지 농가가 경험이나 감에 의지하고 있었던 부분을 과학적·객관적으로 판단할 수 있도록 도와준다.
- 추가적으로 고해상도 위성영상 데이터를 이용하여 밭농사 작물의 품목이나 생육 스테이지를 추정한 보고가 있어 향후 고해상도 상업위성 이용의 확대가 기대된다.
- 그러나 홋카이도와 같은 대규모 농업지역은 예외로서, 구획 내 소규모 농지의 정보를 얻기 위해서는, 군사기술 전용의 상업위성이나 ALOS에 탑재된 AVNIR2의 이용이 예측된다. 구름이 있어도 관측할 수 있다고 하는 점에서는 SAR데이터의 이용이 유용하지만, 1밴드 데이터에서의 해석은 곤란하고, 실리용에서는 많은 밴드 SAR의 탑재가 필요하다. 이시즈카 등(2003)은 항공기탑재의 다파장, 다편파의 SAR 데이터로부터의 수도의 후방산란 특성을 밝히고, 향후의 유용성에 대해서 말하고 있다.

2) 농업통계

- 여러 나라의 해석에도 있듯이 작부 작물의 판독과 경작면적의 파악은 원격탐사의 가장 핵심이라고 하는 분야다. 또한 작물진단, 품질평가, 재배 관리, 수량추정이나 예측을 행하기 위해서는 전단계로서 대상작물을 정확하게 추출할 필요가 있기 때문에 기본적인 해석 항목이기도 하다.
- 후쿠하라 등(1998)의 연구에 따르면 홋카이도 도카치 지역의 밭농사지대를 대상으로 2시기의 Landsat TM을 이용해 작물 분류를 실시한 결과 80% 이상의 분류 정밀도가 보고되었고, 오카노 등(1993)은 동지역에 4시기의 Landsat TM을 쓰면, 90% 이상의 정밀도로 분류가 가능하다고 발표한 바 있다.
- 이와 같이 작물통계 정보의 목적은, 각각의 작물의 경작면적과 그 생육 상황의 파악에 의해 단위면적 추정을 행하고, 면적과 단위면적 생산성을 곱하여 수확량을 추정·예측하는 것이다. 그러나 농작물수확량예측을 원격탐사기술에 의해 실시하려고 하면, 위성영상 데이터에 의해 작물의 재배 면적관측의 파악은 가능하지만, 단위면적수량의 예측에는 위성영상 데이터만으로는 부족하다.
- 한편, 이노우에(2001)는 기상 데이터와 작물성장예의 상관관계를 바탕으로 기상관측 데이터를 작물성장 모델에 입력함으로써 작물의 생육정도를 추정할 수 있다고 발표하였다. 이에 따라, 기존의 일본은 원격탐사를 사용하지 않고 지상조사 데이터만으로 수확량 예측을 실시해왔으나 최근 논을 중심으로 작물의 재배 면적을 위성영상 데이터로 추정하고 이를 실용화하는 것을 목표로 검토되고 있다.
- 또한 시즈카 외(2003)는 SAR 데이터의 하나인 RADARSAT 데이터를 이용하여 논 의 경작면적을 고정밀도로 추정할 수 있다고 보고하고 있다. 이 방법은 모내기 후와 같이 벼의 생육 초기 데이터를 이용하기 때문에 모내기 기간이 짧은 동쪽~북쪽 일본이나 동해 측에서 유용하다.
- 따라서 기존의 Landsat 및 RADARSAT 을 비롯하여 ALOS/AVNIR2 및 PALSAR 등 다양한 위성을 농작물의 재배 면적조사에 활용하는 방향으로 연구가 진행 중에 있다.

- 이와 같이 원격탐사 기술을 이용한 농업통계 산출의 초기단계에서는 조사 데이터가 절대적으로 부족하다. 따라서 향후의 수량파악·예측데이터 등의 작물정보관리는 GIS를 기반으로 지상조사 데이터·위성영상 데이터·기상 데이터를 유용하게 이용하고, 예측 모델을 구축해 실시하는 전체적인 시스템을 생각해 볼 필요가 있다.

3) 농업 및 지구환경 정보

- 지구온난화를 중심으로 한 오존층 파괴, 사막화, 산성비 등의 문제는 농업 분야에 있어서 많은 영향을 미치고 있다. 농업개발을 위한 삼림벌채는 대기 중의 이산화탄소의 증가를 초래하고 논농사는 메탄가스의 발생 원인이 된다.
- 하지만 논은 수분배양 기능을 소유하고, 지하수보전이나 사막화 방지에 도움이 될 경우가 많다. 더욱이 산성비의 산이나 오존층 파괴에 의한 자외선 양의 증가는, 농작물의 수량감소를 초래한다.
- 이 때문에 지구규모에서의 농업환경을 모니터링 할 필요가 있고, 따라서 중간해상도·고빈도 관측 센서에 의한 원격탐사기술이 매우 중요하며 정확한 실상파악이나 원인 구명을 위해서 고해상도 센서의 이용이 필요하다.
- 이 분야들은 향후 발전가능성이 충분하다. 이미 농업환경기술연구소에서는 수마트라섬을 대상으로 토지피복 상태와 그 변화(삼림벌채 등)로부터 메탄가스 등의 지구온난화 가스 발생량과 경년 변화를 추정한 보고서가 있다. 또한 원격탐사기술은 지구전체 수준의 탄소수지의 추정, 사막화나 토지황폐의 모니터링 등에도 유효한 수단으로 활용될 것으로 예상된다.

다. 농업분야에서의 다이치(ALOS) 위성의 이용

- 육역관측 기술위성 다이치(ALOS)는 2006년 1월 24일에 타네가시마 우주센터로부터 기간 로켓인 H-IIA 로켓에 의하여 발사되었다. 그 후, 약 3개월에 걸쳐 위성기능의 초기 확인을 실시해 2006년 5월부터 정상단계로 이행하였고, 화상 정도, 처리 알고리즘의 평가 등을 실시하여 2006년 10월 본격적인 관측운용을 실시하고 있다(다이치(ALOS) 데이터 이용을 위해, 2008년도 위성원격탐사 추진위원회).

농작물 생산통계의 원격탐사기술 활용방안 연구

- 다이치(ALOS) 위성은 고해상도 육역관측 데이터를 전 지구 규모로 취득하여, 지도 작성, 지역 관측, 재해 상황파악, 자원탐사 등에 공헌을 도모하는 것을 미션으로 하고 있으며, 현 시점에서 그 미션은 거의 달성되었다.
- 다이치(ALOS) 위성은 3개의 관측센서(PRISM, AVNIR-2, PALSAR)를 이용하여 전 육역을 관측하는 영역의 데이터를 취득하였다. 지금까지의 관측 영상(Scene) 수는 200만장을 넘고 있으며, 1일당으로 환산하면 평균 약 3,000 장의 영상을 촬영하고 있다. 이런 방대한 데이터의 취득이 가능하게 된 것은 데이터 중계 위성 ‘코다마’를 이용하여 데이터 전송을 실시하고 있기 때문이다. ‘코다마’를 통해 240Mbps의 전송회선을 1일당 약 8시간 확보하고 있다.

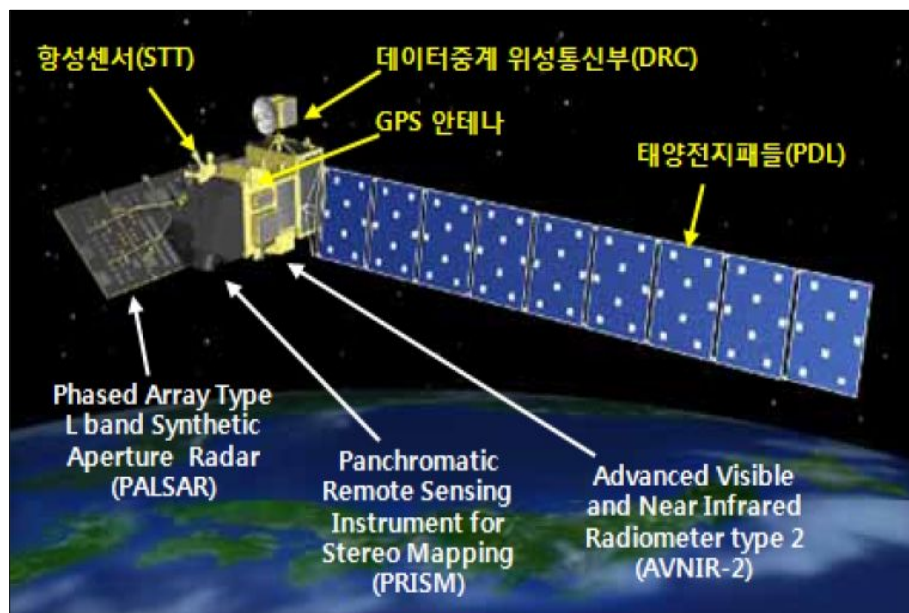
<표 2.2.3-1> 다이치(ALOS) 위성의 주요 제원

구 분	제 원
질량	약 4t
발생전력	약 7kW
설계수명	3년 이상, 5년 목표
궤도	태양동기 준회귀 궤도
고도	691.65km
궤도경사각	98.16°
주기	98.7분
회귀날짜	46일 (서브사이클 2일)
강교점 통과 지방태양시	오전 10시 30분±15분

<표 2.2.3-2> 다이치(ALOS) 위성의 관측운용상황

	전체 취득 영상매수	맑은 하늘 영상매수 & 달성률			
		운량 0%~2%		운량 20% 이하	
		일본	동남아	일본	동남아
PRISM	101만	812(74%)	8,017(46%)	1,029(93%)	12,826(74%)
AVNIR-2	49만	287(76%)	2,232(49%)	361(96%)	3,960(87%)
PALSAR	83만	PALSAR 육역커버 상황 (Scene & 달성률)			
		일본 육역		동남아 육역	
		375(100%)		4,545(99%)	

- 다이치(ALOS) 위성의 3개 관측센서(PRISM, AVNIR-2, PALSAR)의 특징은 다음과 같다.
 - 팬크로메틱 입체시 센서(PRISM) : 공간해상도 2.5m, 관측폭 35~70km, 전방시, 직하시, 후방시 3방향의 영상을 동시에 취득할 수 있으며, 입체시에 의해 지표대상물의 높이 정보를 추출할 수 있음
 - 고성능 가시근적외 방사형 2형(AVNIR-2) : 공간해상도 10m, 관측폭 70km, 적, 녹, 청의 가시광 3개 밴드와 근적외 영역의 합계 4밴드의 파장역으로 동시 관측이 가능하며, 진행방향 좌우로 포인팅하여 3일 이내의 관측이 가능함
 - Phased Array Type L밴드 합성개구레이더(PALSAR) : 공간해상도 10m, 관측폭 70km(광역의 스캔 SAR 모드에서는 공간해상도 100m, 관측폭 350km), 세계 유일의 위성탑재형 L밴드 합성개구레이더이며, 야간과 악천후에서의 관측이 가능함. 송수신 편파의 편성을 다양화한 폴라리메트릭 모드로의 관측이 가능함



<그림 2.2.3-3> 다이치(ALOS) 위성의 전체 구성도

- 농림수산성과 JAXA는 경지파악을 위한 모집단 정비를 위해 관독 참조도로서 ALOS 영상의 적용 확인을 실시하였으며, 농림수산성은 2007년도부터 영상을 구입하여(2007년 360장, 2008년 400장), 1도(都), 1도(道), 2부(府), 41현(縣)의 지방농정국 및 농정사무소 등에서 실제 이용하고 있다.

- 2008년에는 수도작부 상황 파악을 위해서 영상을 이용하고 있으며, 피해 경지의 수량 파악 조사에 위성영상을 활용, 손해평가방법 확립의 검토도 시행하고 있다.



<그림 2.2.3-4> 경지파악을 위한 참조도로서 다이치(ALOS) 영상의 이용

- 다이치(ALOS) 위성에는 PRISM, AVNIR-2, PALSAR 3개의 센서가 탑재되어 있어, 지구 및 지역 규모로의 농업감시의 중요한 임무를 수행할 수 있어, 일본의 식량 문제 대응에 유효하게 이용될 수 있다.
- 특히, PALSAR 센서는 전천후형 센서로서 몬순 지대에서의 농업 감시에 중요하고, AVNIR-2 센서는 상세한 영역에서의 생육상황 감시용으로 이용이 가능하다. 또한, PRISM 센서는 농지구획의 파악이 가능하며, 입체시에 의해 제작되는 수치표고데이터를 이용하여 지형과 농지현황을 해석하는 것이 가능하다.

2.2.4. 중국

가. 중국의 농작물 생산통계의 원격탐사기술 활용

- 중국은 농업 및 식량 정책에 있어서 작물 통계조사의 중요성을 인식하고 적시에 신속하고 정확한 통계자료 산출을 목적으로 원격탐사 기술을 이용한 농업통계 산출에 대한 노력을 기울여 왔다.
- 특히, 1979년부터 원격탐사에 의한 농작물 생산량 예측에 대해 관심을 가지고 ‘6.5 계획(1981~85년)’의 시작부터 농작물 원격탐사 생산량 예측에 관한 연구를 전개하였고, 시험적으로 시범지역을 대상으로 생산량을 추정하였다(吳炳方, 2000).
- 시범지역 및 시험 작물로는 북경 근교의 소맥, 절강성 항가호지역의 벼 및 북방 6개성의 소맥을 선정하여 원격탐사기술에 의한 생산량 예측을 시작하였으며, 중국 국가기상국은 1984년부터 북방의 11개 성에서 겨울 소맥에 대한 기상위성 원격탐지 생산량 예측 기술을 연구하기 시작, 전국적인 겨울 소맥 원격탐지 생산량 예측을 위한 지면관측시스템을 구축하였다.
- 지면관측 시스템은 재배면적, 관측, 모니터링, 생산량 추정의 4개의 하위 시스템으로 구분되며, 생산량 추정 시스템은 원격탐사자료의 처리 - 재배면적 산출 - 작물 성장/토양수분 모니터링 - 생산량 예측 모델 - 현장조사의 순서로 처리과정이 이루어진다.
- 또한, 기상위성을 통한 동계 소맥 생육상황 관측에 관한 연구를 전개하여 다양한 유형의 기상위성 원격탐지를 통한 면적과 생산량 예측 방법을 고안하였다.
- 이에 따라, 원격탐사기술에 의한 생산량 예측은 ‘8.5 계획(1991~95년)’ 기간의 중국 주요 과학기술 연구내용이 되었고, 소맥, 옥수수, 벼 등 대단위 면적 농작물에 대한 생산량 추계 시험을 전개하였다.
- 1993~96년 4개 성과 2개 시(하북성, 산둥성, 하남성, 안휘성 북부와 북경시, 천진시)의 동계 소맥, 호북성, 강소성, 상해시의 수도, 길림성의 옥수수의 재배면적, 생육

상황, 생산량에 대한 관측 전개하였으며, 지난 15년간(1983~1998년) 중국은 원격탐사 기술을 이용한 생산량 예측 대상 품목에 동계 소맥뿐만 아니라 벼, 옥수수 등 여러 농작물로 확대하고 대상 지역도 11개 성시로 확대하였다.

- 재배면적 추정에는 Landsat TM 위성자료를, 생육상황은 무료로 가까운 NOAA 위성의 AVHRR센서 자료를 주로 이용하였다.
- 1998년~현재 밀, 쌀, 콩, 옥수수의 곡물관측 시스템 개발 시범사업을 실시하여 China CropWatch System(CCWS)을 개발하여 운영 중에 있으며, 동일시기에 원격탐사기술을 이용한 국가 모니터링 시스템 개발 사업도 실시하고 있다.
- 특히, 중국은 Landsat 5 TM 위성영상을 주로 사용하며, CBERS(공간해상도 32m, 주사폭 110km), HJ-1(공간해상도 32m, 주사폭 3000km, 4개 밴드 지원)과 같은 자국의 위성뿐만 아니라, SAR 데이터(ENVISAT ASAR), 중저해상도 위성(ENVISAT MERIS, Terra/Aqua MODIS, IRS P6 AWIFS) 및 고해상도 위성(SPOT-4, 5, Quickbird) 등 다양한 위성영상을 사용하고 있다.

<표 2.2.4-1> 중국 농업 모니터링 역사

연 도	활 동
1970년대	원격탐사기술에 의한 농업 모니터링 시작
1983년	항저우, 지아싱, 후저우, 제지앙현 농업모니터링 실시 (MOA)
1987년	북부 중국 11개현을 대상으로 밀 생산량 추정 시범사업 실시 (CMA)
1989~1995년	북부 중국 7개현을 대상으로 밀 생산량 추정사업 실시 (MOA)
1993~1996년	헤베이, 해난, 산둥, 안후이 현(밀), 후베이, 장수 현(쌀), 중국 북동 송-리아오 평야(옥수수) 생산량 추정 시범사업 실시 (CAS)
1998~현재	밀, 쌀, 콩, 옥수수 곡물관측 시스템 개발 시범사업 실시 (CAS)
1998~현재	원격탐사기술을 이용한 국가 모니터링 시스템 개발 사업 실시 (MOA)

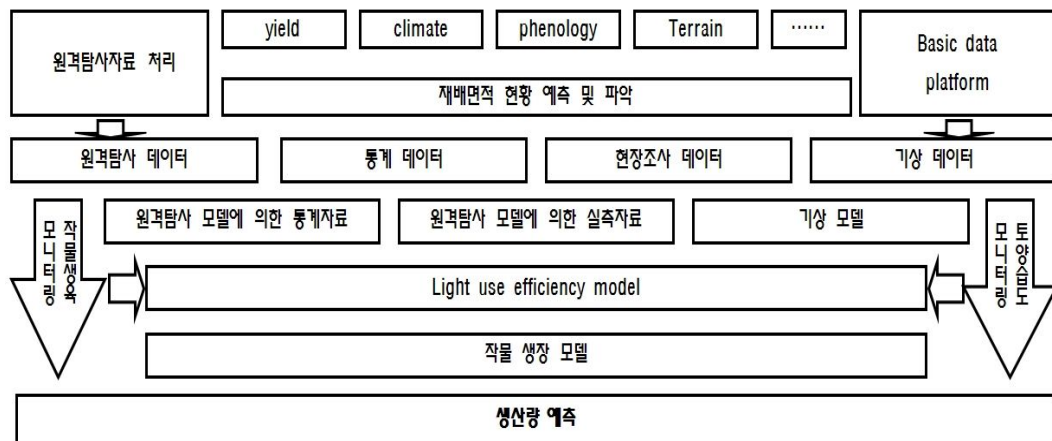
<표 2.2.4-2> 중국 농업 모니터링 사업의 추진체계

category	monitoring content		98	99	00	01	02	03	04	05	06	07	08
standard data processing	data processing criterion		.....	.....	.....								
	standardization					.....							
	for MODIS							.....	.....	.....			
Crop condition monitoring	simple monitoring to	NDVI	.....	.....	.....								
		NDWI	.....	.....	.....								
		dryland and paddy field		.....	.....								
	integrative monitoring	growing process monitoring			.....	.....							
		agro-meteorological data analysis				.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
		quantative integrative monitoring				.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
		indictor collection							.....	.....	.....	.....	.....
Crop acreage monitoring	2 level zoning	RS & sampling		.....	.....								
		transect sampling		.....	.....								
	3 level zoning	RS & sampling			.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
		transect sampling			.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
	3 level zoning	stratified two-level sampling			.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
Crop yield estimation	agro-meteorological model based on planting pattern zoning			.....	.....	.....							
	agro-meteorological model based on yield zoning					.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
	regressive model with RS factors							.....	.....	.....	.....	.....	.....
	crop biomass-harvest index model with RS										.....	.....	.....
Other	Spatio-temporal structure of crops	planting structure			.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
		Cropping index				.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
	grain production estimation with RS					.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....

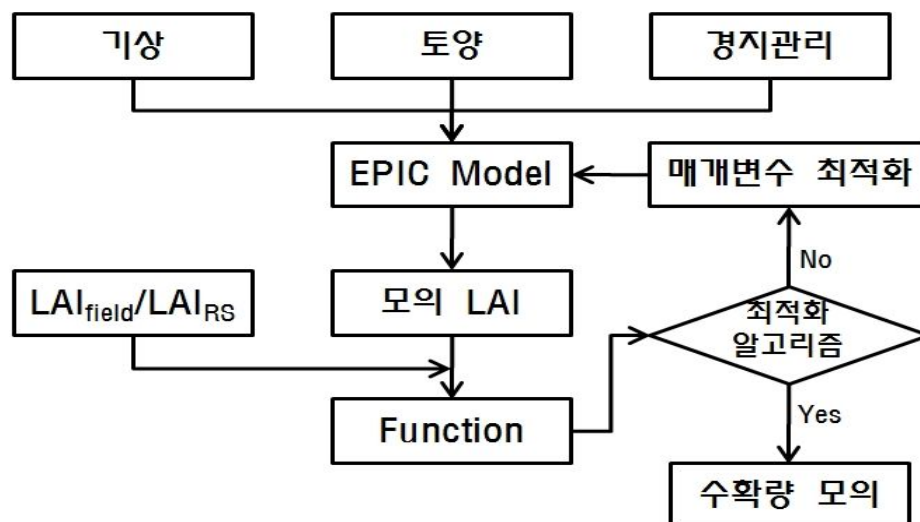
..... Research — Operational monitoring

나. China CropWatch System(CCWS)

- 중국은 원격탐사기술에 의한 농업모니터링에 1970년대부터 관심을 갖기 시작하여 1998년부터 밀, 쌀, 콩, 옥수수를 대상으로 곡물관측 시스템(China CropWatch System ; CCWS) 개발 시범사업을 실시하였다.
- CCWS는 원격탐사 데이터, 통계 데이터, 현장조사 데이터, 기상 데이터를 이용하여 재배면적 현황을 예측 및 파악하고 작물 생육 모니터링과 토양 습도 모니터링 결과를 작물 성장 모델에 적용하여 생산량을 예측하는 시스템을 총칭한다.

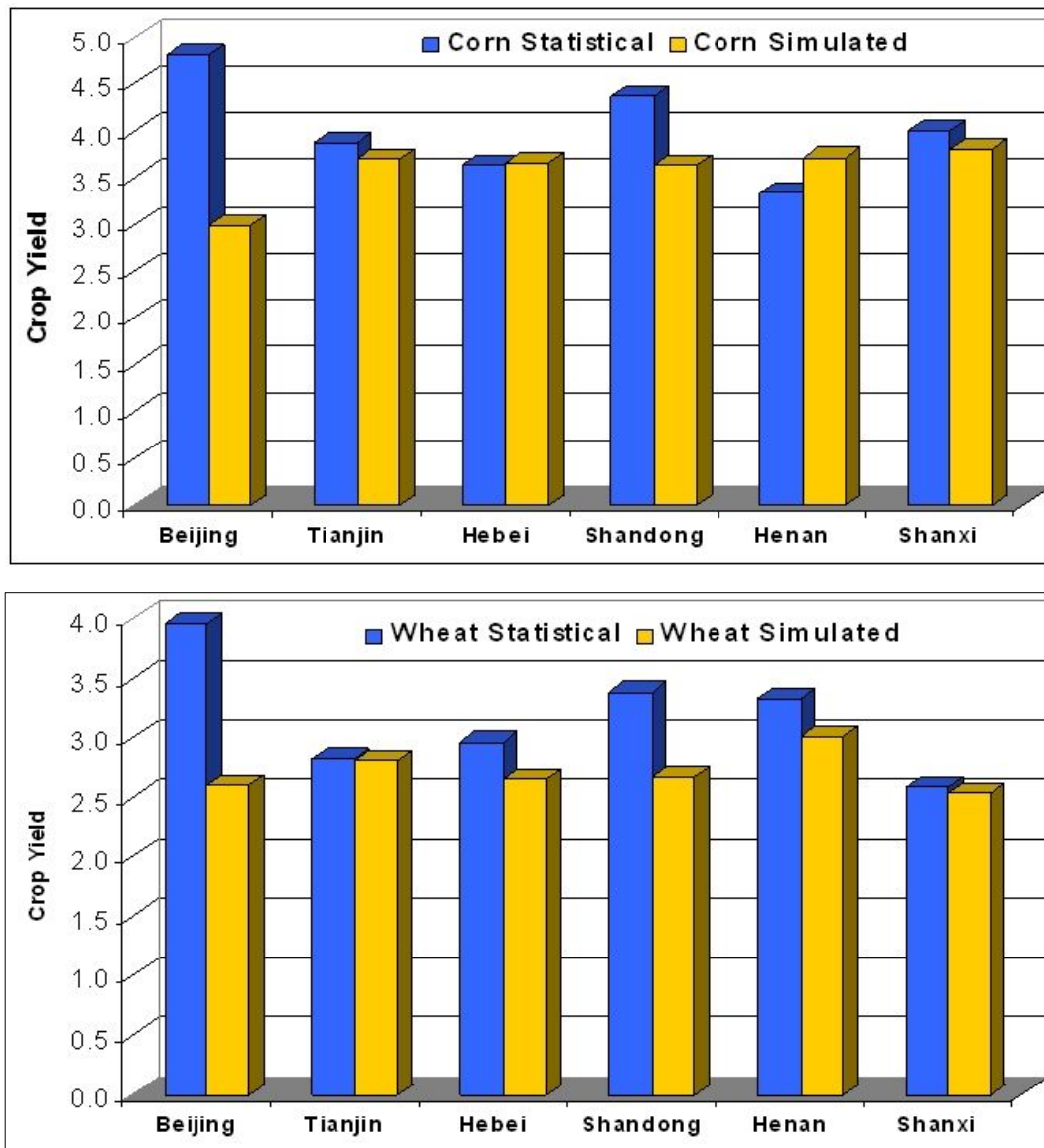


<그림 2.2.4-1> CCWS 모식도



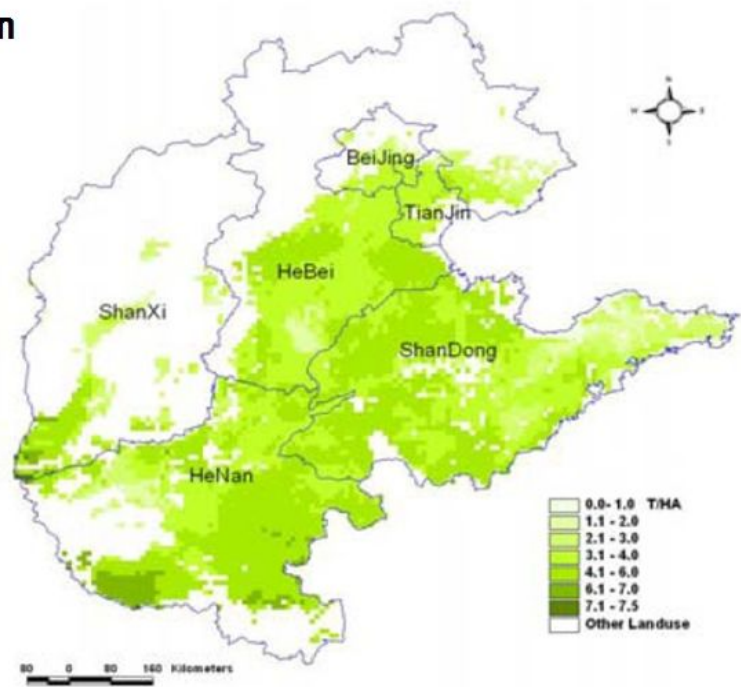
<그림 2.2.4-2> CCWS의 데이터 처리 과정

- 작물모니터링에 의한 원격탐사 데이터의 구축은 지표반사율, 식생지수, 엽면적지수, 순복사량, 증발산량, 지표면 온도 등의 매개변수를 필요로 한다.
- 위성영상 자료는 8일 합성된 MODIS 위성영상 자료를 활용하며, 각 작물의 생육주기에 맞추어 작황정보를 구축한다.
- <그림 2.2.4-3>은 6개 시범지역을 대상으로 옥수수과 밀의 수확량 예측 결과와 통계적 방법으로 작성된 수확량과의 비교 결과이다.

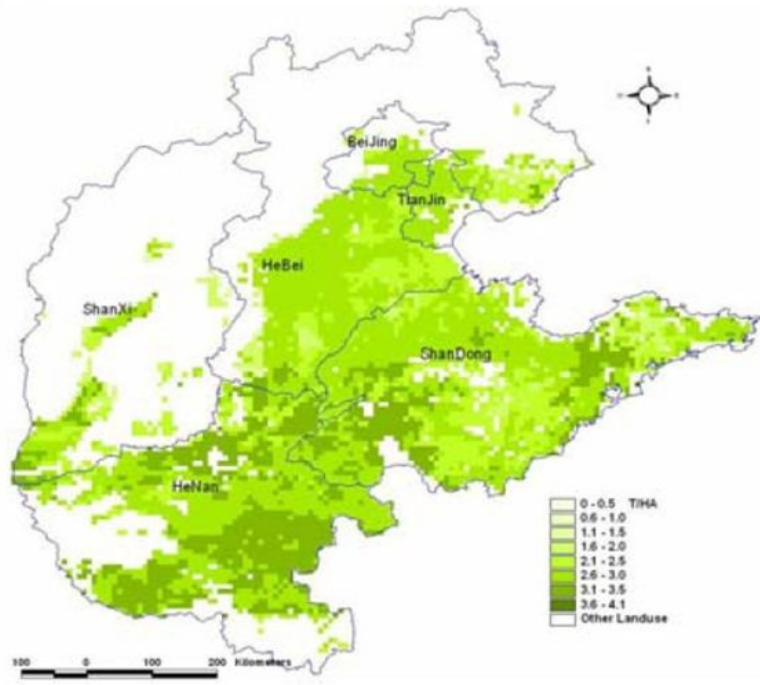


<그림 2.2.4-3> 수확량 예측치와 통계치의 비교 (상 : 옥수수, 하 : 밀)

Corn



Wheat



<그림 2.2.4-4> 수확량 예측 결과 (상 : 옥수수, 하 : 밀)

2.3. 시사점 도출

2.3.1. 미국 사례 분석의 요약 및 시사점

- 원격탐사기술을 이용한 미국의 농작물 생산통계 활용은 다음과 같이 요약된다.
- 기본적으로 미국의 원격탐사기술을 활용한 농업통계산출은 USDA의 책임 하에서 NASA와 NOAA의 협조 하에서 USDA 산하의 NASS가 주요 업무를 수행하고 있다.
- NASS는 USDA의 USGS(US Geological Survey) 산하의 기관인 EDC(EROS Data Center)와 FAS(Foreign Agricultural Service), FSA(Farm Service Agency)등을 통해서 위성영상 데이터를 제공받고 있으며, 오하이오대학 및 일리노이즈대학과 우주항공기술의 농업분야 적용을 위한 연구교류를 하고 있다. 또한 NASS 산하의 RDD(Research and Development Division)를 통해 우주항공기술의 농업부분의 적용을 위한 연구 활동을 하면서 RDD 산하 GIB(Geospatial Information Branch)를 통해서 우주항공기술을 이용한 지리정보를 이용한 농업통계 작성을 위한 업무를 하고 있다.
- 이 과정에서 GIB는 외부의 소프트웨어 개발업체 등과 같은 외부 전문업체와 협조함은 물론이고, 각 해당 지역의 통계국과 서로 긴밀한 협조를 하여 우주항공기술을 이용한 지리정보를 농업통계화 하고 있다.
- NASS 내의 원격탐사기술을 이용한 농업통계작성을 위한 인력은 NASS 산하의 RDD 산하 GIB에 소속되어 있으며, 그 인력구성은 branch chief 1명, section chief 2명, 직원 41명, contractor 1명이 근무 중이며, 각각을 세분해 살펴보면 AFS(Area Frame Section)에 section chief 1명, 직원 31명, SARS(Spatial Analysis Research Section)에 section chief 1명, 직원 9명, contractor 1명이 근무한다.
- 국내에서도 미국 NASS의 통계생산체계를 참고하여 관련기관 간의 긴밀한 네트워크를 구축하고 효율적으로 인공위성 정보 및 관련 기술의 취득을 통해 농업통계를 산출해야 할 것이다.

- 원격탐사기술을 이용한 미국의 통계산출 프로그램은 토지이용 및 경지조사(area sampling frame construction), 작물 재배면적 조사(crop area estimation), 작황 조사(crop condition assessment), 수확량 예측분석(crop yield forecasting and estimation)으로 정리된다.
- 통계산출의 위한 주요 장비 및 S/W로는 이미지 처리 패키지 프로그램인 PEDITOR를 자체적으로 개발하여 이용하고 있다. 고사양의 데스크 탑 PC에 윈도우NT, 2000, XP 등의 OS를 탑재, 분석하며 expert system과 automation batch 과정을 지원하여 clustering, classification, mosaicing, estimation 이 자동으로 모두 가능하다.
- 원격탐사기술을 이용한 미국의 농업통계산출의 핵심 부분인 Area Sampling Frame의 선정 및 구분 메커니즘, 조사통계와 위성자료를 병합하는 방법론(Regression Estimator 등), CDL의 통계보급체계, PEDITOR 시스템에 대한 해부 및 국내도입의 방안이 지속적으로 연구되어야 할 것으로 판단된다.
- 또한, 미국의 경우 1978년 처음으로 아이오하주에 대한 작물재배면적 추정이 인공 위성자료를 활용하여 이루어 졌으며 현재는 9개 주에 대해서 응용되고 있다. 그러나 비용상의 문제(위성이미지 구입비 및 이미지가공비, 통계적 추정비용)로 모든 지역에서 시행되고 있지는 않다. 대상 작목은 처음으로 옥수수, 콩, 밀의 재배면적추정에 사용되기 시작했으며 면, 벼, 사탕수수의 재배면적 추정으로 확대되었다.
- 이러한 작목의 결정은 기본적으로 해당주의 CDL 참여여부에 달려있으며 재배량이 많은 주작목을 위주로 활용을 넓혀가고 있다. 국내의 농업통계생산에 있어서도 이러한 점을 고려하여 원격탐사기술을 도입해야 할 것이다.

2.3.2. 유럽 사례 분석의 요약 및 시사점

- 원격탐사기술을 이용한 유럽의 농작물 생산통계 활용은 다음과 같이 요약된다.
- MARS를 추진하는 이탈리아 소재 JRC(Joint Research Center)는 MARS-STAT 부분에 25명의 전문 인력(전문가 20명, 박사 3명, 행정담당관 2명)을 배정하고 있으나 실질적인 업무수행은 아웃소싱하여 운영되고 있다.
 - MARS unit: 각 컨소시엄기관의 관리 감독 및 R&D, 간행물 발간 및 웹 사이트 운영
 - VITO: 저해상도 이미지를 분석하여 NDVI 분석, MCYFS 분석
 - Alterra: 매 10일을 주기로 CGMS 시뮬레이션 분석, 작황 웹사이트를 통해 분석결과를 제공
 - Meteo Consult: 기상 상황 기록 및 기상지도 작성 웹사이트 및 보고서(bulletin)를 통한 정보 제공
- 국내에서도 유럽의 통계생산체계를 참고하여 관련 기관간의 긴밀한 네트워크를 구축해야 하며 통계산출의 업무수준에 대한 아웃소싱 방안을 고려해야 할 것이다.
- 원격탐사기술을 이용한 유럽의 통계산출 프로그램은 지역별 경작지 측정, 작물 성장 조건 및 수확량 예측, 경작지 및 수확량의 신속한 측정으로 요약되며, 인공위성 자료를 이용한 통계산출방법은 다음과 같이 요약된다.
- MARS-STAT는 크게 수확량 예측(crop yeild forcast) 부분과 경작지 측정(crop area estimate field)의 두 부분으로 나눌 수 있으며, Action2와 Action3에 해당하는 MCYFS(수확량 예측시스템)이 통계산출의 핵심이다.
- MARS 프로젝트의 결과물은 웹 사이트(www.marsop.info)와 보고서(bulletin)를 통하여 일반인에게 제공된다. 주요 제공내용은 특정기간의 날씨지수의 전처리된 지도, 특정기간동안 시뮬레이션된 작물지수(Crop Indicator)의 전처리된 지도, NOAA-AVHRR 및 SPOT-VGT 센서로부터 획득된 전처리된 NDVI 지도, 수확기 전 주요 작물에 대한 예상 수확량 등이며, 이러한 통계 공급체계는 국내에서 원격탐사를 응

용한 통계서비스를 시작하면서 고려되어야할 분야이다.

- 통계산출을 위한 주요 장비 및 S/W로는 MCYFS를 운용하기 위해 CGMS(Crop Growth Monitoring System)를 자체적으로 개발하여 활용하고 있으며, CGMS의 모델베이스로서 WOPOST (World Food Studies crop growth model)를 탑재하고 있다. 그 외에 목초지 시뮬레이션용 S/W로 LINGA를 개발하였으며, SPACE (Software for the Processing of AVHRR-images for Communities of Europe)는 AVHRR 센서로 촬영된 저해상도 이미지를 보정하여 1.1 km² 해상도(pixel size)로 모자이크 처리하고 MARSOP-APPLICATION S/W는 SPACE의 결과자료를 활용하여 NDVI 및 지표면 온도 등의 이미지들을 추출해낸다.
- 원격탐사기술을 이용한 유럽전역 통계산출의 핵심부분인 MCYFS, CGMS, WOPOST의 운용 메커니즘에 대한 보다 상세한 해부와 이를 국내에 도입할 수 있는 방안이 지속적으로 연구되어야 할 것으로 판단된다.

2.3.3. 일본 사례 분석의 요약 및 시사점

- 원격탐사기술을 이용한 일본의 농작물 생산통계 활용은 다음과 같이 요약된다.
- 일본의 농업통계생산 및 보급은 농림수산성 산하의 통계부가 담당하고 있다. 그 중에서 농업통계의 생산에 있어서 원격탐사기술의 응용을 추진하고 있는 부서는 통계기획과, 시스템 관리실, 생산유통소비통계과로 요약된다.
- 또한, 농림수산성 통계부를 주축으로 하여 각 지자체별로 별도의 통계사무소를 운영하고 있으며 사무소별로 예산을 확보하고 원격탐사기술의 통계생산업무 활용을 위한 자체 연구를 수행하고 있다.
- 일본에서 농업분야 원격탐사기술의 활용은 농업관리, 농업통계, 농업 및 지구환경 정보 등 다양한 측면에서 많은 연구가 수행되고 있다.
- 이 중에서 농업통계에 있어서의 원격탐사기술의 활용은 주로 경지면적의 파악과 재배면적통계 조사에 있어서의 실용화를 염두에 두고 1995년도부터 개발 연구가 진척되어 오고 있다.
- 그러나 현 단계에 있어서는 실용화를 실행하기에는 관련연구가 부족하고 해결되지 않고 있는 과제가 많아 실용화에는 이르지 못하고 있는 실정이다.
- 일본에서 원격탐사기술을 활용한 농업통계 산출의 애로점은 다음과 같이 지적된다.
 - 미국 등 선진국과 달리 농장의 규모가 상대적으로 작고 산간부 등이 뒤얽혀 있어 지형이 복잡한 장소가 많다는 점
 - 일본은 세계의 다른 지역에 비교해서 대기에 구름이 걸려 있는 비율이 높다는 점. 따라서 완벽한 위성데이터의 취득이 어렵다는 점
 - 현재 일본의 우주항공기술수준을 고려할 때 외국의 고해상도위성 화상을 이용할 경우 해외의 위성에 대한 의존도 문제와 고액의 경비가 소요된다는 점
- 그러나, 2006년 농림수산성통계부를 주축으로 지속적인 개발연구를 진행하여 육역

관측 기술 위성인 다이치(ALOS) 위성의 발사를 성공시켰으며, 2006년 10월 본격적인 관측운용을 실시함으로써 현재 자국위성 데이터를 활용한 실용화 연구를 진행 중에 있다.

- 일본의 위성영상 데이터 수집환경을 살펴보면, Landsat 위성영상 데이터를 기준으로 구름의 양 20% 이하의 데이터가 수집될 확률은 비교적 맑은 날이 많은 도카치에서 연간 20%, 여름작물의 생육 시기에는 15% 이다. 관동에서는 각각 25%와 8%, 미나미큐슈에서는 8% 와 전무가 된다. 이러한 낮은 수집 확률은 기술적으로는 이용 가능 하지만 이를 안정적으로 이용할 수 없는 원인이 된다.
- 따라서, 지금까지 일본에서의 원격탐사기술 적용은 기본적으로 농가 수익의 최대화가 목적이었다. 즉, 원격탐사기술과 GIS를 접목한 정밀농업화를 통해 농가의 고수익을 유도하고 기존 농가의 경험이나 감에 의지하던 부분을 과학적, 객관적으로 평가하는 것을 그 목적으로 하였다.
- 또한, 시읍면 및 농업 협동조합(JA)에서 지역의 농업을 지도하기 위한 도구로 이용하기도 하였으며, GIS를 기반으로 향후 작물의 수량 파악 및 예측 데이터 등의 작물정보를 관리하는데 주로 사용하였다.
- 이에 따라, 최근 일본에서는 초소형 위성에 대한 새로운 패러다임이 대두되고 있으며, 일본 문부과학성 및 경제산업성 주도하에 2011년까지 약 400km 높이의 저궤도 위성 100기 발사계획을 발표하였다.
- 소규모 초경량(50cm, 50kg 이하) 위성 개발의 장점은 저궤도에서 높은 공간해상도의 제공이 가능하게 하여 관측빈도 및 자료의 정밀도 증가로 포장단위 일별 모니터링이 가능하고, 저비용, 단기간 제작이 가능하여 목적에 따른 화상 촬영이 가능하다는 점이다..
- 또한, 2010년 GIS/RS 기술을 이용한 농업 환경정보 서비스 센터를 설립하고 매년 ‘초소형 인공위성 활용방안 워크숍’을 개최하여 전문가들의 관심 유도과 해당 기술의 실용화를 시도하고 있다. 국내에서도 이와 같은 형태의 관련 전문가 모임을 활성화 하여야 한다.

2.3.4. 중국 사례 분석의 요약 및 시사점

- 원격탐사기술을 이용한 중국의 농작물 생산통계 활용은 다음과 같이 요약된다.
- 중국의 농업 모니터링의 역사는 1970년대부터 시작되어 장기적 계획을 수립하여 현재까지 진행 중이다. 특히, 몇 개의 시범지역을 선정하여 밀을 시작으로 충분한 시간을 가지고 생산량 추정 시범사업을 실시하였다.
- 1987년 11개 현에 대한 밀 생산량 추정 시범사업 후, 1989년부터 1995년까지 7개 현에 대한 밀 생산량 추정사업을 실시하여 현재 원격탐사기술을 이용한 밀 생산량 예측은 통계업무에 적용되는 수준에 이르렀다.
- 또한, 중국은 밀, 쌀, 콩, 옥수수를 대상으로 곡물관측 시스템(CCWS)를 개발하여 다양한 항목의 작물 모니터링을 실시하고 있으며, 모니터링 결과를 이용하여 구축된 데이터를 CCWS에 적용하여 생산량을 예측하는 자료로 활용하고 있다.
- 사용 위성영상을 살펴보면, 자국의 위성인 CBERS, HJ-1 도 사용하지만 실질적으로 주로 사용하는 위성은 Landsat 위성이며, 중저해상도 위성인 ENVISAT, MODIS, IRS 와 고해상도 위성인 SPOT, Quickbird와 SAR 데이터도 사용하는 등 가용한 자료는 최대한 활용하고 있다.
- 이에 우리나라도 장기적인 계획을 수립하여 충분한 시범연구 및 시범사업 실시 후 통계업무에 적용하는 방법을 검토하여야 할 것이며, 다수의 작물에 대한 적용보다는 적용 가능한 소수의 작물에 대하여 집중적인 연구와 시범사업이 필요할 것이다.

2.3.5. 애로사항 분석

- 국내 농업여건 역시 일본과 유사한 환경으로 농지의 규모가 상대적으로 작고 산간 부 등 지형이 복잡한 장소가 많다. 특히, 소규모의 불규칙한 농지가 많아 격자형태의 위성영상에 적용할 때 공간적 왜곡이 심하다.
- 군사적 여건 상 보안처리의 불가피로 인하여 정확한 작황정보의 취득이 어려운 것도 큰 문제이다.
- 지리적 여건 상 대기에 구름이 걸려 있을 비율이 높아 완벽한 위성영상 자료의 취득이 어렵다. 예를 들면, Landsat 의 경우 특정 지역 검색 결과 연 2~3 scene 만이 사용할 수 있을 정도이며, KOMPSAT-2 는 최근에 운용되기 시작하여 기촬영 영상 자료가 부족하다. 또한, IKONOS, Quickbird 등 상업위성 역시 대부분 지역당 1~2 scene 정도만 보유하고 있어 시계열 분석이 어렵고, 경제적인 부담도 크다.
- 또한, 국내위성(KOMPSAT-2)을 활용한 실용화 연구가 아직 진행 중에 있으므로 국내위성에 대한 사례분석이 어렵고, 공개 영상이 적은 것도 애로사항 중 하나이다.
- 위성영상 관리시스템이 확립되지 않아 업무담당자의 위성영상 자료 입수가 어렵다. 하지만, 관련 사업이 진행 중이며 2010년 완료 예정이므로 이 부분에 대해서는 일정 부분 해결될 것으로 예상된다.
- 실측자료와 위성영상 조사 결과와의 정확성 수준의 기준도 확립하여야 한다. 현재 EU의 경우에는 오차확률 3% 미만을 기준으로 6% 초과시 재계산 하며, 겨울작물은 6월 전에, 여름작물은 8월 전에 확정하도록 기준을 정하고 있다. 일본의 경우에는 수확량과 예측량의 차이가 30kg/ha를 넘지 않는 수준으로 기준을 정하였으나, 현재 60kg/ha 수준으로 통계치에 적용하지 않고 있는 실정이다.
- 조사 통계와 위성영상 자료를 병합하는 방법론의 부재와 관련 연구 수행 기관간의 상호 교류가 어려워 불필요한 영상 구입, 중복 연구 등 예산의 낭비가 큰 것도 애로사항이라고 할 수 있다.

2.3.6. 국내 적용 가능성 및 앞으로의 전망

- 국내의 농작물 생산통계에 있어서 원격탐사기술 적용은 우선적으로 현장조사와 원격탐사기술의 상호 보완적 활용이 필요하다. 예를 들면, 시범지역을 선정하여 작황조사 및 단수 파악과 같은 현장조사와 위성영상자료를 이용한 수확량 예측을 동시에 수행하고 ABS(Agricultural Statistic Board)에서 비교, 검토하여 적용 가능여부를 판단하는 방법 등이 있다.
- 대상 작물은 현재 기술 수준을 고려하여 주산지 위주의 작물에 우선적으로 적용해야 하고 원격탐사 기술의 적용이 용이한 작물을 대상으로 선적용 후 범위를 확대하여야 한다.
- 적용 모델은 국내 농업환경을 고려하여 한국형 농작물 생산량 예측 모델을 개발하여야 하며, 과거 데이터와의 회귀분석을 통해 보정함으로서 정확도 향상을 제고하여야 한다.
- 위성영상자료는 KOMPSAT 시리즈를 우선적으로 적용하며, 이에 따라 농업 등 다양한 분야에서 KOMPSAT 시리즈가 활용될 수 있도록 응용기술의 개발도 동시에 이루어져야 한다.
- 또한, 각 대상작물의 분광반사율 파악 및 분광특성 조사 결과를 바탕으로 농작물의 생육정보 추출에 적합한 센서의 개발과 함께 다양한 시간/분광/공간 해상도를 가지는 센서의 개발에도 노력이 필요할 것이다.
- 운영방법으로는 작물의 생육주기를 중심으로 작황현황의 지속적인 모니터링 및 데이터 수집을 지속적으로 수행하여 향후 공식 통계 확정을 위한 판단자료로 활용될 수 있도록 기반을 마련해야 할 것이며, 미국의 NASS, EU의 MARS와 같이 전문인력의 양성과 함께 아웃소싱 방안도 함께 고려해야 할 것이다.
- 선진사례 조사 결과, 앞으로 고해상도 위성을 이용한 농업통계 산출에 대한 다양한 연구가 진행될 예정이며, 새로운 위성 및 센서의 개발로 적용분야 및 범위가 확대될 것으로 전망된다.

- 특히, SAR 등 기상の影響을 받지 않는 센서의 활용도가 높아질 것으로 예상된다.
- 또한 위성영상자료의 공간해상도가 증가할수록, 필지단위 데이터의 수요가 증가할 것이며, 이에 따라 GIS와의 연계성이 강조될 것으로 예상된다.
- 따라서, 우리나라도 KOMPSAT 시리즈를 주도적으로 사용하되 SAR를 비롯한 다양한 자료의 활용 방안 및 적용 가능성에 대한 검토와 함께 GIS와의 연계방안을 모색해야 할 것으로 사료된다.

제 3 장 쌀 및 주요작물에 대한 위성영상 데이터 활용방안 연구

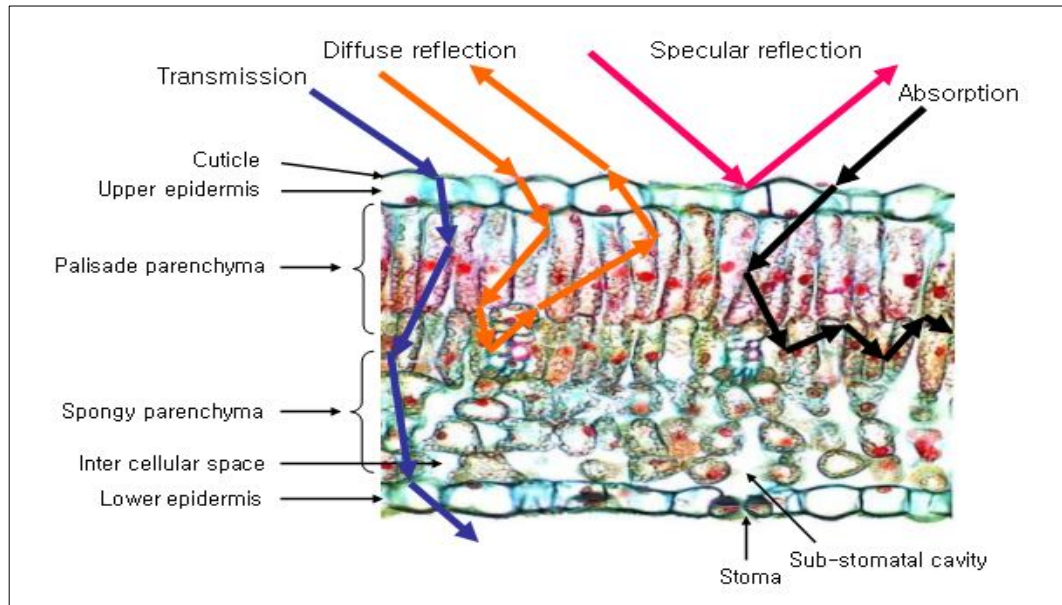
3.1. 시범지역 현장측정

3.1.1. 작물의 분광반사 특성

- 지구상에 존재하는 모든 물체는 각기 다른 양의 전자파에너지를 흡수, 반사, 투과하는 특성을 가지며, 이러한 특성을 분광특성(spectral characteristics)이라 한다. 모든 물질은 원자와 분자로 구성되어 그 조성은 물질마다 고유하다. 따라서 물질은 물질 상태에 따른 고유한 파장의 전자파에너지를 반사 또는 흡수하게 된다. 이러한 물질에 따른 빛의 흡수, 반사, 투과 특성들은 물질 고유의 성질과 상태를 알 수 있게 해준다(日本リモートセンシング研究會編, 1995).
- 입사된 에너지가 반사되거나 흡수 또는 투과되는 비율은 지표물질의 형태 및 상태에 따라 변하며, 지표물질의 종류에 따라 그 비율이 다양하게 변화한다. 이러한 차이를 이용하여 지표면의 물질들은 구분되어진다.
- 또한, 동일한 물질에 있어서도 파장에 따라 에너지의 반사, 흡수 또는 투과되는 비율이 다르다. 따라서 특정 분광영역의 에너지특성을 이용하면 각 물질의 시간별 변화특성을 찾아낼 수 있다. 이러한 관계를 식물 잎의 근조직에 대해 나타내 보면 <그림 3.1.1-1>과 같다.
- <그림 3.1.1-1>은 식물의 잎 근조직에서 일어나는 태양복사에너지의 흡수와 반사, 투과 과정을 묘사한 그림이다. 윗타리조직에 들어 있는 Chlorophyll 색소(엽록소)는 가시광 파장대에서 흡수와 반사에 영향을 주고 갯숨조직¹⁾은 근적외 파장대에서 흡수와 반사에 영향을 준다(Peterson and Running, 1989).
- 예를 들어 Chlorophyll a와 b는 식물에서 가장 중요한 색소들로서, Chlorophyll a는

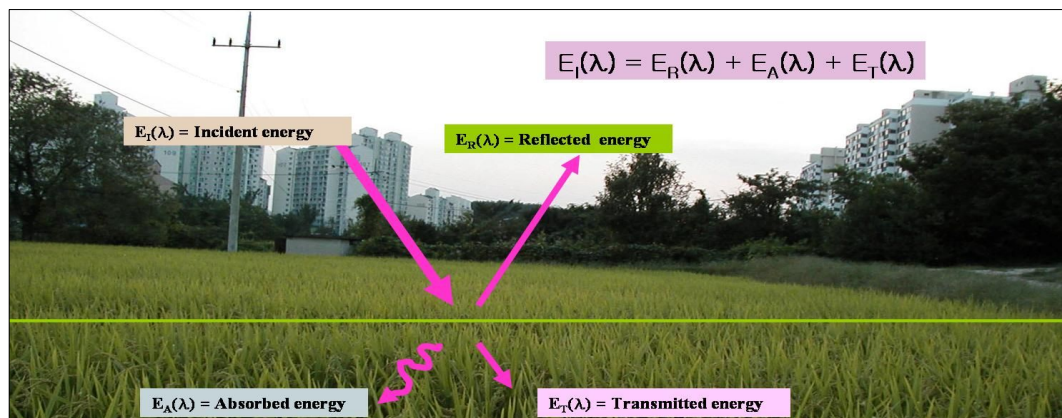
1) 식물 잎의 잎살을 구성하는 조직의 하나. 일반적으로 엽록체가 풍부하며 주로 광합성을 하는 동화 조직으로 구성된다. 책상 조직 밑 부분에 위치하며, 세포의 모양이 불규칙하고 세포 간극이 넓어 물질 이동의 통로가 된다.

청색(430nm)과 적색(660nm)에서 그리고 Chlorophyll b는 청색(450nm)과 적색(650nm)에서 빛을 흡수하는 특징을 갖는다(Curran, 1983; Farabee, 1997). 두 Chlorophyll 흡수 파장대 사이는 상대적으로 빛의 흡수가 낮으며 특히, 녹색영역의 흡수율이 가장 낮다. 따라서 청색이나 적색에 비해 녹색이 상대적으로 낮은 흡수율을 갖기 때문에 건강한 녹색 잎은 우리 눈에 녹색으로 보인다.



<그림 3.1.1-1> 식물 잎의 근조직

- 전자파에너지가 특정 지표물에 입사하였을 때, 기본적으로 지표물질과 세 가지 에너지 상호작용이 발생한다. <그림 3.1.1-2>는 성장단계에 있는 벼에 작용하는 에너지 상호작용을 나타낸 것이다.



<그림 3.1.1-2> 성장단계에 있는 벼에 작용하는 에너지 상호작용

- 예를 들어, 눈에 입사된 태양에너지는 <그림 3.1.1-2>와 같이 벼와 토양 및 물에 의해 반사, 흡수되거나 투과된다. 에너지 보존법칙을 이용하여 눈에서의 에너지 상호작용을 나타내면 다음 식으로 표현할 수 있다.

$$E_I(\lambda) = E_R(\lambda) + E_A(\lambda) + E_T(\lambda)$$

여기서, λ : 파장, E_I : 입사에너지, E_R : 반사에너지, E_A : 흡수에너지, E_T : 투과에너지이며, 모든 에너지 요소는 특정 파장 λ 에 대해 발생하는 값이다.

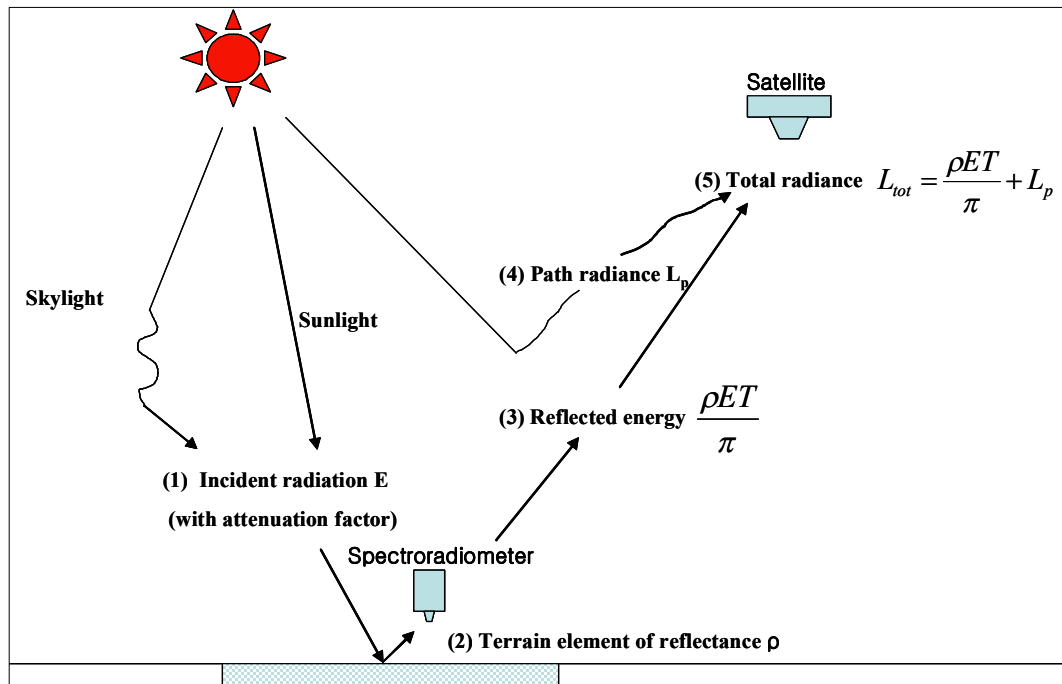
- 이와 같이 지표면에 입사된 에너지와 지구관측위성의 센서에 의해 기록된 전자파에너지는 센서와 대상물 사이의 대기작용에 의해 차이가 난다. 태양광은 지표면에 도달할 때까지 대기 중의 물질에 의해서 흡수·산란되어 전자파에너지는 감소한다. 또한 지표면에 입사한 전자파에너지는 대상물로부터 반사·산란된 광이 센서에 도달할 때까지도 흡수·산란된다. 그리고 지구관측위성의 센서에는 대상물로부터 반사·산란된 광 이외에 대기 스스로 반사체로 작용하여 산란된 Path radiance도 함께 입사한다.

- 이러한 대기효과를 수학적으로 표현하면 다음 식과 같다(Lillesand, 1999).

$$L_{tot} = \frac{\rho ET}{\pi} + L_p$$

여기서, L_{tot} : 인공위성 센서에서 측정되는 전체 분광 방사량, ρ : 대상물체의 반사율, E : 대상물체에 입사하는 복사량, T : 대기의 투과율, L_p : 대기에서 발생된 Path Radiance이다.

- 이와 같은 관계를 그림으로 나타내면 <그림 3.1.1-3>과 같이 나타낼 수 있다. <그림 3.1.1-3>에서 지구관측위성을 통한 대상물체의 반사율 측정은 위 식의 우변 값을 이용하여 <그림 3.1.1-3>에서 (4)에 해당하는 대기의 영향을 고려하여 대기보정 계산을 하게끔 되어 있다. 여기에 지표면의 반사특성인 (3)을 더하여 최종적으로 식 (5)가 산출된다.



<그림 3.1.1-3> 지구관측위성을 통한 대상물체의 반사율 측정

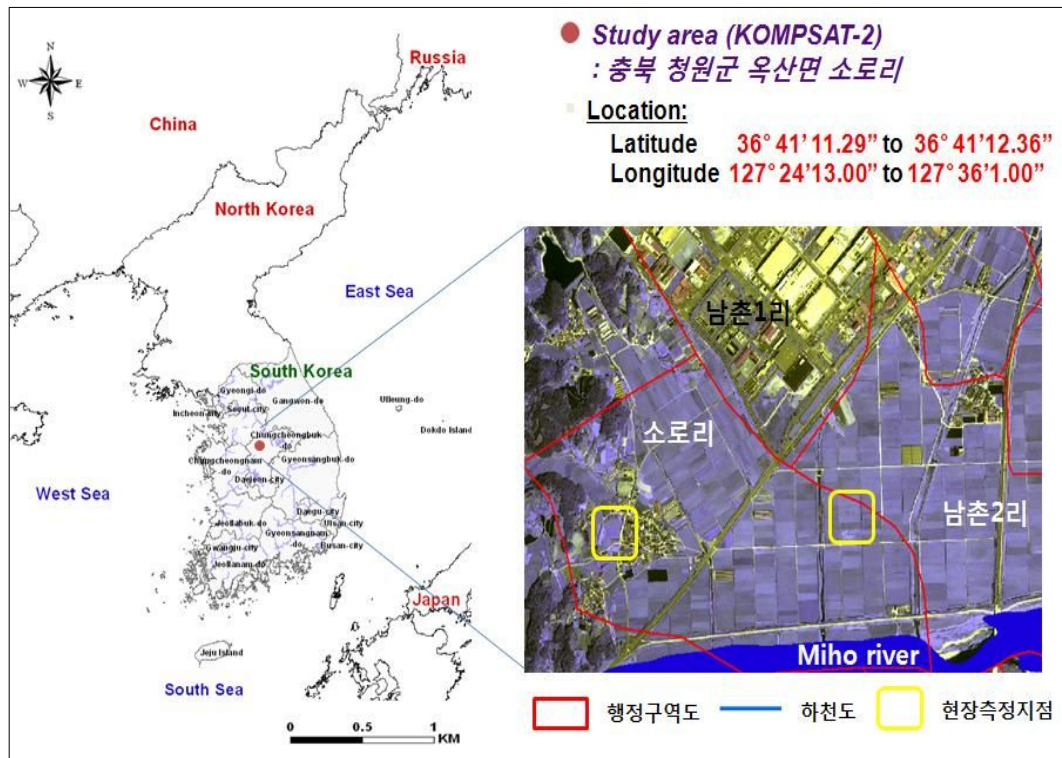
- 그러나, 본 연구와 같이 현장에서 휴대용 분광복사계 (Spectroradiometer)를 이용하여 대상물체에 대한 반사율을 측정할 경우에는 대기에서 발생하는 Path radiance 나 대상물체에서 반사되는 전자기파 에너지가 대기의 영향을 거의 받지 않기 때문에 대기의 영향은 고려하지 않아도 된다. 즉 우변의 (4)인 L_p 는 무시되고 (3)의 $\frac{\rho ET}{\pi}$ 값만 측정되게 된다.

3.1.2. 분광반사율의 측정

가. 시범지역 및 대상작물

- 본 연구에서는 쌀 및 주요작물에 대한 위성영상 데이터의 활용방안 연구를 위하여 시범지역을 선정하여 현장 시범연구를 수행하였으며, 시범지역은 지역적 대표성, 영상수집의 용이성, 접근의 편의성을 고려하여 충북 청원군 옥산면 소로리에 위치한 논과 밭을 선정하였다.

제 3 장 쌀 및 주요작물에 대한 위성영상 데이터 활용방안 연구



<그림 3.1.2-1> 시범지역의 선정

- 대상작물은 감독원과의 협의를 거쳐 표본조사 작물 중 논벼, 고추, 마늘, 콩, 양파를 선정하였고, 측정은 각 대상작물의 생육기간을 고려하여 5월부터 추수 후까지 주기적으로 실시하였다.

<표 3.1.2-1> GPS를 이용한 작물별 위치 및 재배면적

대상 작물		재배면적 (㎡)	GPS 좌표
Field 1	논벼	3176.53	N36° 41 ' 12 " E127° 25 ' 03 "
	양파	5720.94	
Field 2	고추	3176.53	N36° 41 ' 10 " E127° 24 ' 13 "
	마늘	265.71	
	콩	6347.68	



논벼



고추



마늘



콩



양파

<그림 3.1.2-2> 대상작물의 선정

나. 분광반사율 측정 방법

- 본 연구에서는 각 대상작물의 생육주기별 분광특성을 파악하기 위하여 아래와 같은 방법으로 현장조사를 실시하였다.

- 각 작물에 입사되어 반사되는 분광반사 특성은 휴대용 분광복사계(Li-1800, Li Cor Inc)를 이용하여 <그림 3.1.2-3>과 같이 작물을 대상으로 직접 분광반사율을 측정하였으며, 계절별, 시간대별 태양복사 에너지의 변화에서 발생할 수 있는 오차를 최소화하기 위해 반사율 개념을 도입하였다.



<그림 3.1.2-3> 휴대용 분광복사계를 이용한 현장 반사율 측정

- 분광반사율은 99%의 반사특성을 갖는 표준백색판에서 반사되는 전자파에너지와 대상물체에서 반사되는 전자파에너지의 비로 계산하며, 다음과 같은 식으로 표현된다.

$$R(\lambda) = \frac{I_o(\lambda)}{I_T(\lambda)}$$

여기서, $I_o(\lambda)$: 대상 물질로부터 반사되는 전자파에너지, $I_T(\lambda)$: 표준백색판으로부터 반사되는 전자파에너지

- 반사율측정 방법은 먼저 작물의 초장 끝에서 약 30cm 떨어진 위치에 Telescope/Microscope을 고정하여 논벼의 측정범위를 정하고, 논벼에서 반사되는 태양복사에너지는 2회 측정하여 그 평균값을 사용하였다.
- 표준백색판의 반사에너지는 백색판을 평평하게 위치시킨 다음 Telescope/Microscope 관측 범위에 맞춘 후 측정하였다. 논벼의 성장에 따라 초장 길이가 점점 길어지면 Telescope/Microscope의 위치 또한 초장의 성장 길이만큼 올려 Telescope/Microscope와 초장 끝의 거리가 항상 30cm를 유지하도록 하여 측정하였다.
- 밭작물에 대한 분광반사측정은 논벼와 같은 방법으로 하였으나 밭작물의 경우 작물

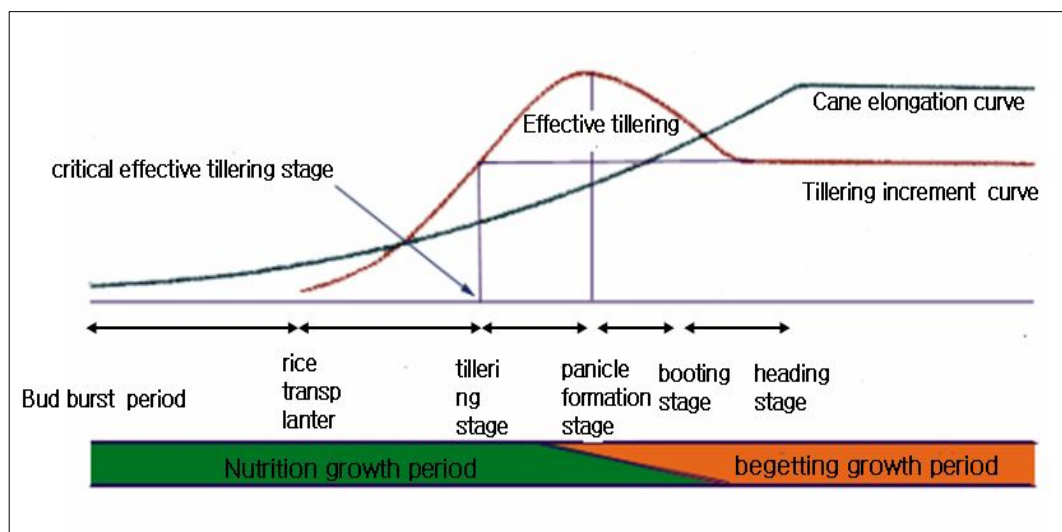
별 생육특성이 서로 다르기 때문에 측정기간은 서로 차이를 보인다.

- 이용 파장대는 300~1100nm 범위의 파장에 대해 2nm 간격으로 측정하였고, 위치변화에 따른 오차를 줄이기 위하여 조사지점은 일정 위치를 지정하여 같은 지점에서 측정하였다.

3.1.3. 원격탐사기법을 이용한 작황분석

가. 논벼의 생육주기별 분광반사율 측정

- 본 연구에서 실시한 조사 작물은 총 5개 작물로서 논벼, 고추, 마늘, 콩, 양파에 대해 측정을 실시하였다.
- 그 중 논벼는 밭작물에 비하여 비교적 생육단계가 뚜렷하고, 생육단계별 분광특성이 명확하다. 또한 논벼의 생육기간에 비해 밭작물은 종류와 생육특성에 따라 각각 다르기는 하나, 대부분의 밭작물 생육기간은 1~5개월로 짧다. 따라서 논벼의 생육주기를 기준으로 분광반사율을 측정하였다.
- 논벼의 생육단계는 <그림 3.1.3-1>과 같이 크게 이앙기, 분얼기, 유수형성기, 수잉기, 출수기, 성숙기 단계로 나누어진다.



<그림 3.1.3-1> 논벼의 생육단계

나. 주요 작물의 식생지수 추출

- 센서에 의해 측정된 분광반사특성에는 토양과 식생에 관한 반사율이 동시에 나타나 측정조건에 따라 노이즈가 형성된다. 따라서, 전체적인 분광스펙트럼의 형상으로 검토하기보다는 필요에 따라 특정파장의 반사율을 선택하여 조합하거나 비를 구하여 지수를 만들어 이용하고 있다.
- 식생지수(Vegetation Index; VI)는 식물의 양, 계절적 변화, 식생의 생리적 조건 및 특성을 나타내는 인자중의 하나이다. 특히 식생에 관련된 지수는 지표면에서 녹색식물의 상대적인 분포와 활동성, 엽면적 지수, 엽록소함량 및 광합성 흡수복사량(APAR) 등과 관련된 지표로 사용되며 가시광선영역과 근적외선영역 파장들의 반사특성과 밀접한 관련이 있다.
- 이러한 식생지수들은 위성데이터로부터 지표면의 식생상태를 추정하기 위해 제안되었으며, 대표적인 식생지수로는 정규화식생지수(Normalized Difference Vegetation Index; NDVI)가 있다. NDVI는 지구규모의 자원문제를 취급할 경우 관측지역이나 계절 등 관측조건에 차이에 발생하여 발생하는 영향을 최소화하기 위해 제안되었다(Rouse 등, 1974). NDVI는 근적외선파장과 적색파장을 이용하여 두 파장을 조합함으로써 계산할 수 있으며 다음과 같은 식으로 표현된다.

$$NDVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)} = \frac{(IR850 - R650)}{(IR850 + R650)}$$

여기서, $IR850$: 근적외선 파장대(NIR) 중 850nm의 파장, $R650$: 가시광선 파장대의 적색파장(RED)인 650nm이다.

- 여러 가지 제안된 식생지수 중에서 본 연구에서 취득한 자료들의 활용도를 높이기 위하여 지금까지 제안된 식생지수 가운데 관련성이 깊은 지수를 선택하여 그 특성을 알아보았다.
- GNDVI(Green Normalized Difference Vegetation Index)는 녹색작물 생체량의 캐노피 변이를 평가하는데 NDVI보다 유용하였다고 보고되고 있다(Gitelson et al., 2001). 정규화 식생지수(NDVI)에서 적색파장대인 엽록소 흡수에 민감한 반응을 보

이는 녹색파장과 근적외선파장의 조합으로 다음 식과 같이 표현되며, 녹색식물에 적용되고 있다.

$$GNDVI = \frac{(NIR - GREEN)}{(NIR + GREEN)}$$

여기서, *GREEN* : 가시광선파장대의 녹색파장(520~600nm의 평균값)이다.

- 토양조절식생지수(Soil Adjusted Vegetation Index; SAVI)는 NDVI 계산식에 식생과 토양의 1차 분광반응에서 나타나는 토양의 영향을 최소화하기 위해 토양정보인 *L*을 추가하여 나타낸 식생지수이다(Hute, 1988).

$$SAVI = \frac{(1+L)(NIR - RED)}{NIR + RED + L}, \quad L = 0.5$$

여기서, *NIR* : 850nm, *RED* : 650nm 파장이다.

- 수정토양조절식생지수(Modified Soil Adjusted Vegetation Index; MSAVI)는 SAVI(Soil Adjusted Vegetation Index)를 변형하여 *L* 값을 연속적인 함수로 사용하고 토양조절 효과를 최적화함으로써 SAVI 값의 범위를 확장한 식생지수이다(Qi et al., 1995).

$$MSAVI = \frac{2NIR + 1 - \sqrt{(2 \times NIR + 1)^2 - 8(NIR - RED)}}{2}$$

여기서, *NIR* : 근적외선 파장대, *RED* : 가시광선파장대의 적색파장이다.

- 최소대기영향 식생지수(Atmospherically Resistant Vegetation Index; ARVI)는 SAVI를 수정하여 청색, 적색, 근적외선파장영역의 복사량을 정규화하고 대기의 영향을 줄일 수 있는 방법으로 제시되었다(Kaufman 등, 1992).

$$ARVI = \frac{NIR - rb}{NIR + rb},$$

$$rb = RED - \gamma \times (RED - BLUE), \gamma = 1.0$$

여기서, *r* : 적색과 청색파장의 차에 대한 가중치, *RED*, *BLUE* : 적색, 청색파장이다.

제 3 장 쌀 및 주요작물에 대한 위성영상 데이터 활용방안 연구

- 본 연구에서는 RED는 630~690nm, GREEN은 520~600nm, BLUE는 450~520nm를 NIR은 760~900nm 파장의 평균값을 사용하였다. 이 파장범위는 일반적으로 위성영상의 각 밴드에 해당하는 범위로서 위성영상 자료와의 비교를 위해 현장측정 자료 역시 같은 범위에 대한 평균값을 사용하였다.

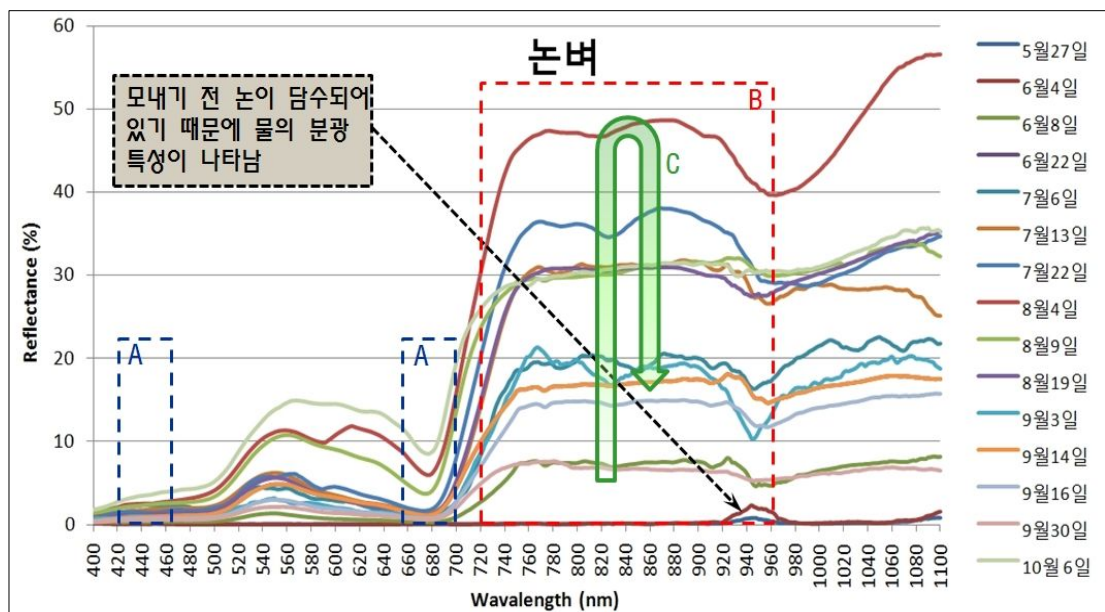
<표 3.1.3-1> 연구에 사용된 식생지수

식생지수	관계식
NDVI	$NDVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)}$
GNDVI	$GNDVI = \frac{(NIR - GREEN)}{(NIR + GREEN)}$
SAVI	$SAVI = \left(\frac{NIR - RED}{NIR + RED + L} \right) (1 + L)$ $L = 0.5$
MSAVI	$MSAVI = \frac{2NIR + 1 - \sqrt{(2 \times NIR + 1)^2 - 8(NIR - RED)}}{2}$
ARVI	$ARVI = \left(\frac{NIR - rb}{NIR + rb} \right)$ $rb = RED - \gamma(BLUE - RED)$

3.1.4. 작물의 분광반사 특성

가. 논벼의 생육주기별 분광반사 특성

- 위성영상 데이터를 이용하여 논에서 성장하는 벼의 분광반사 특성을 파악하기 위해서는 순수한 벼만의 영상을 분석해야하지만 위성영상 해석에 벼 이외의 다른 요소들의 영상 즉, 논 주변의 농로,수로 등이 함께 섞여 오차로 나타난다. 따라서 순수한 벼에 대한 분광 특성을 알기 위해서는 논 주변의 구조물에 대한 분광 특성을 사전에 측정하여 전처리 과정에서 이 값을 제거해야 한다.
- 논벼의 성장 단계에 따른 분광반사 특성변화를 알아보기 위해 논벼의 생육주기별 분광반사율을 정리하면 <그림 3.1.4-1>과 같다.



<그림 3.1.4-1> 논벼의 생육주기별 분광반사 특성

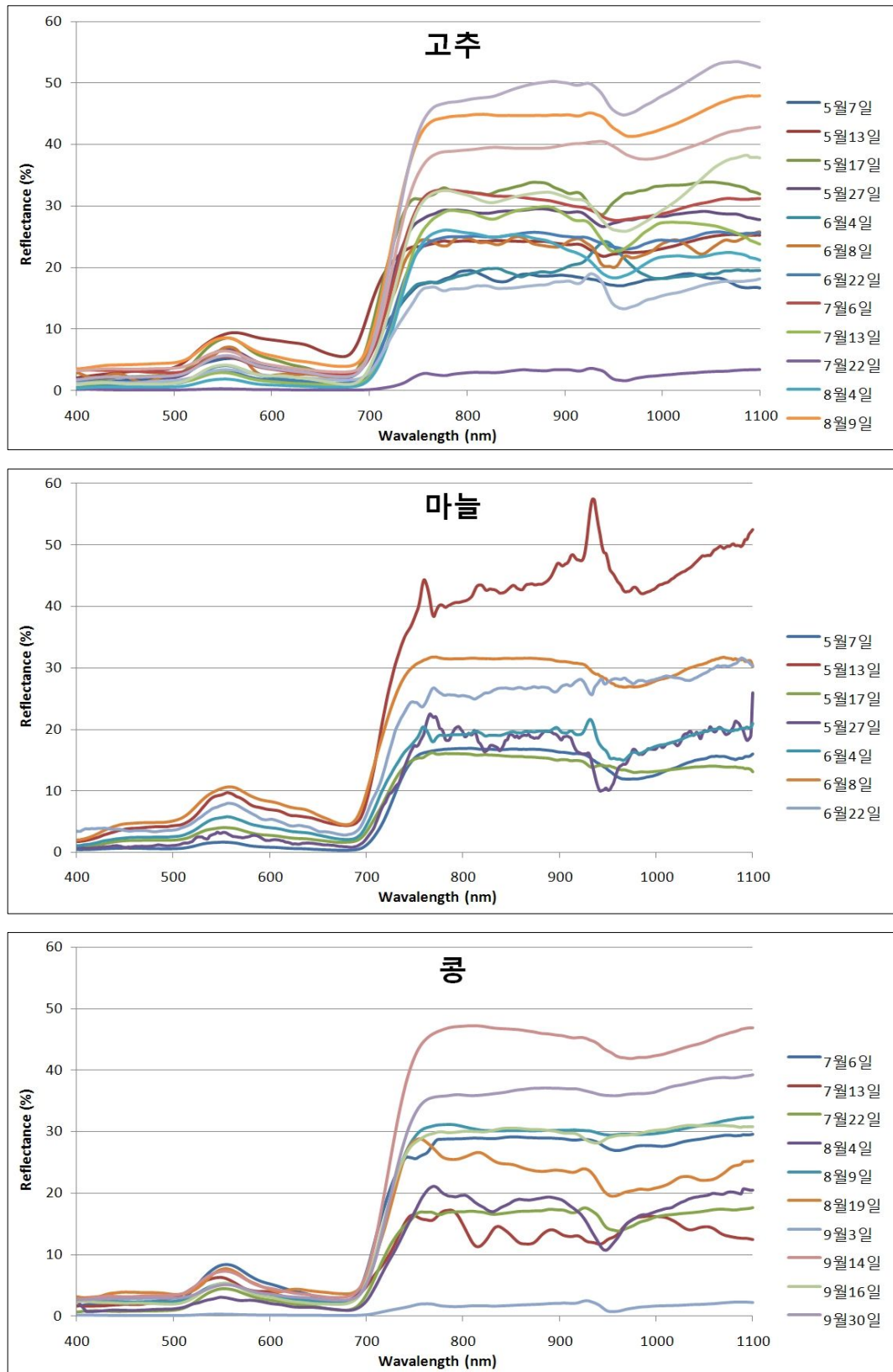
- 모든 녹색식물은 Chlorophyll에 의해 광합성 활동을 하며 성장을 한다. 이 Chlorophyll은 Chlorophyll a와 Chlorophyll b로 구분되며 녹색식물에서 가장 중요한 색소 중 하나이다. Chlorophyll a는 430nm와 660nm에서 반응하며 Chlorophyll b는 650nm의 복사에너지를 흡수한다(Curran, 1983). 두 Chlorophyll 흡수 파장영역 사이에서는 상대적으로 복사에너지의 흡수가 적고 녹색에 해당되는 530nm에서 흡수율이

가장 낮아지는 것으로 알려져 있다.

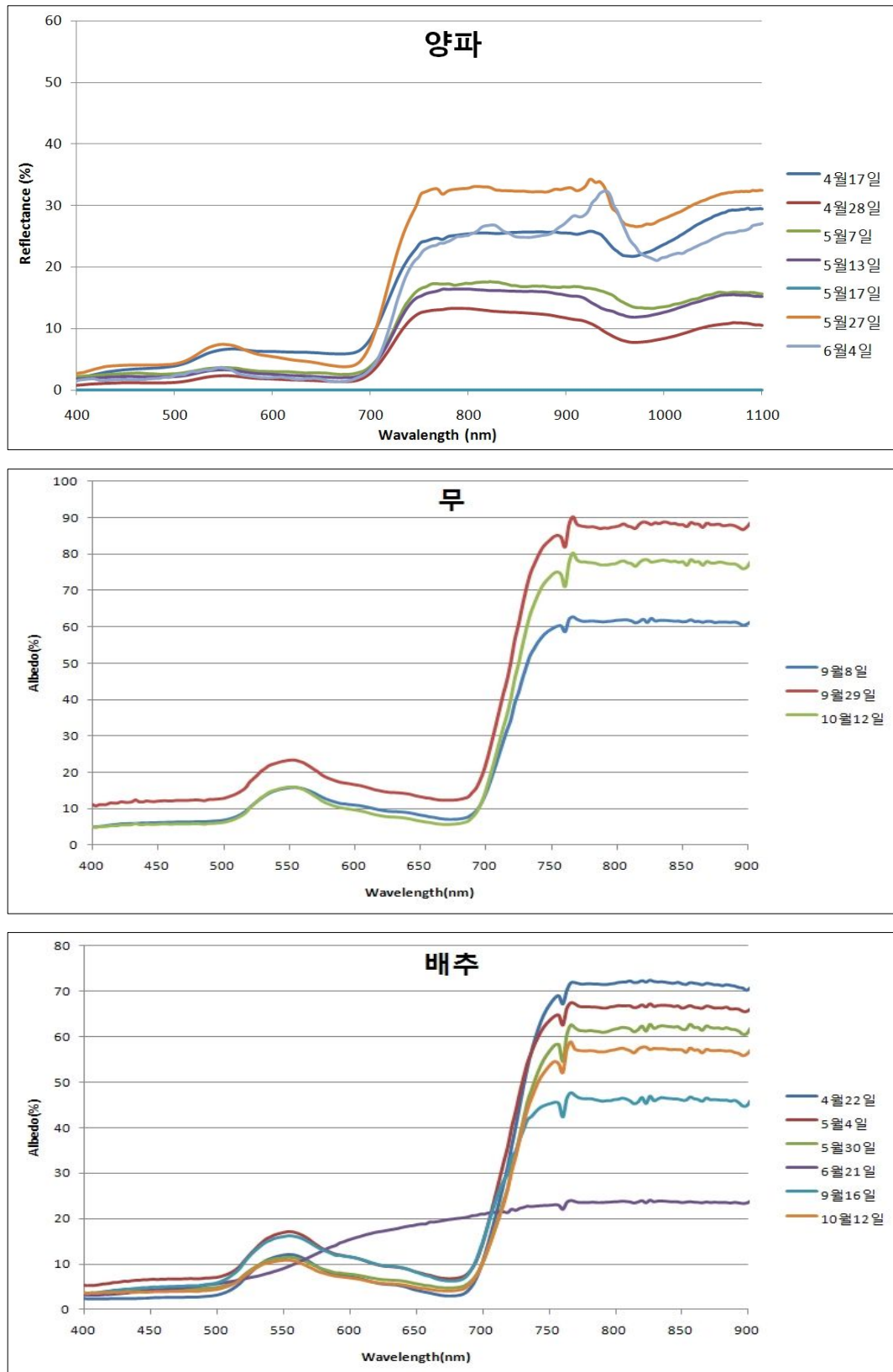
- 논벼의 분광반사특성도 생육주기 전 단계에서 가시광선 영역 중 청색 파장대인 450 nm 와 적색 파장대인 680nm 영역에서 반사율이 감소하는 것으로 나타났다.
- 시간이 경과함에 따라 근적외선 영역인 700~1100nm 파장대에서는 반사율이 증가하였으며, 이것은 논벼가 성장하면서 잎과 줄기의 근섬유조직이 발달하여 나타는 결과로 해석된다.
- 작물이 생육하는 동안 최대반사율은 점진적으로 증가하다가 8월 4일을 기점으로 차차 감소하였다.
- 이것은 근적외선영역 중 980nm 부근에 미세한 물(H_2O) 흡수밴드가 있어 논에 저류된 물과 벼 근조직 속 수분의 영향으로 인하여 반사율이 감소된 것으로 판단된다. 즉, 벼가 성장을 멈추는 시기에는 벼 안에서 수분공급이 활발하지 않아 생육기 이후에는 분광반사율이 다시 낮아진다.
- 따라서, 최대 반사율이 나타나는 시기가 곧 식생의 성장이 최고조에 도달하는 시기이며, 반사율이 가장 낮은 가시광선의 적색 영역과 반사율이 가장 높은 근적외선 영역의 차이가 클수록 식생의 활력도가 높고 건강한 작물임을 나타낸다.
- 이러한 특성은 앞서 설명한 식생지수의 계산에 이용된다.
- 또한, 모내기 전의 논(5월 27일, 6월 4일)은 담수되어 있는 상태로 물의 분광특성이 반영되어 반사율이 0에 수렴하는 것으로 나타났다.

나. 발작물의 분광반사 특성

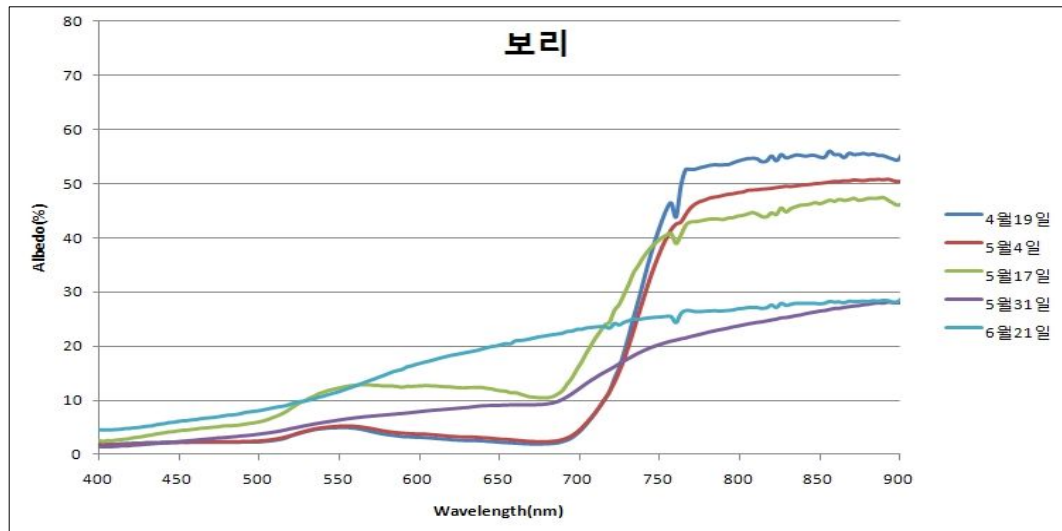
- 발작물의 성장단계에 따른 분광반사 특성의 변화를 알아보기 위해 각 작물별 생육주기에 따른 분광반사율을 정리하면 <그림 3.1.4-2>와 같다. 또한, 가능한 다양한 작물의 분광반사 특성을 비교하기 위하여 본 연구에서 선정한 대상작물 외에 무, 배추, 보리의 분광반사율은 지질자원연구소의 분광라이브러리를 참고하였다.



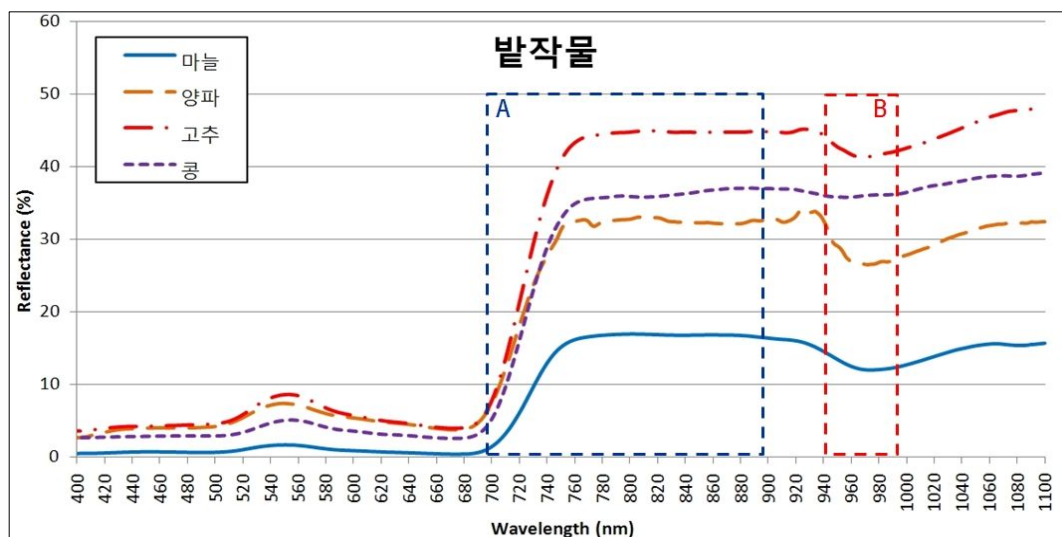
<그림 3.1.4-2> 발작물별 생육주기에 따른 분광반사 특성



<그림 3.1.4-2> 발작물별 생육주기에 따른 분광반사 특성 (계속)



<그림 3.1.4-2> 발작물별 생육주기에 따른 분광반사 특성 (계속)



<그림 3.1.4-3> 대상작물에 따른 분광반사 특성

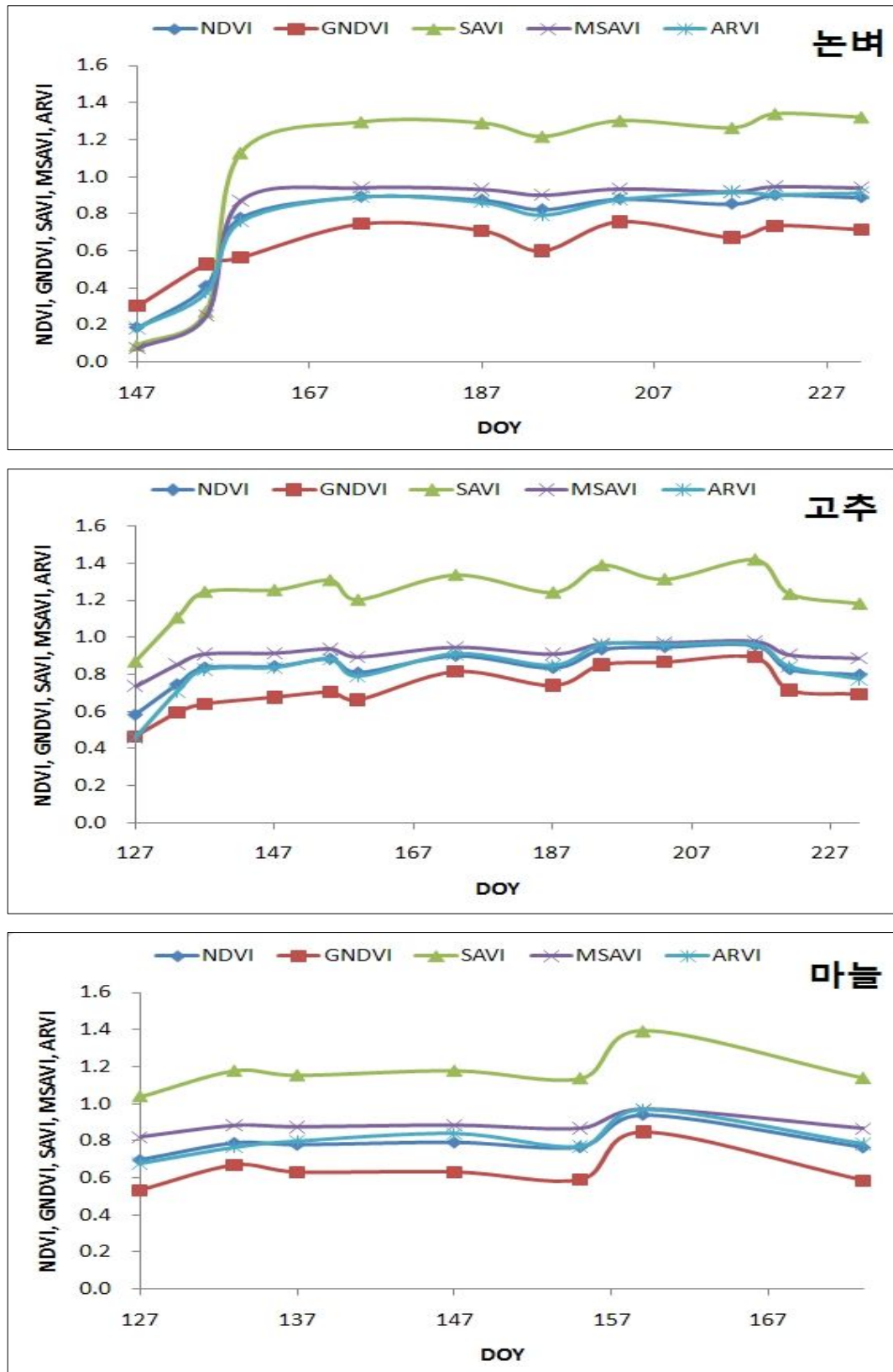
- 발작물의 분광반사 특성은 작물에 따른 정도 차이는 있으나 거의 비슷한 패턴을 보였으며, 가시광선 영역 중 적색경계(Red Edge, 700nm 전후) 부분의 반사율은 대부분 10% 이하를 나타내었다.
- 근적외선과장에서는 같은 녹색식물이라 할지라도 마늘과 같이 속이 비고 근조직이 약한 작물의 반사율이 낮은 반면 고추와 같이 잎 조직이 단단하고 잎 표면이 매끄러운 작물의 반사율은 2~3배 정도 높게 나타났다.

- 4 가지 밭작물에 대한 근적외선 파장에서의 반사율은 고추 > 콩 > 양파 > 마늘의 순으로 나타났다.
- 또한, 980nm 파장대에서 반사율이 일시적으로 감소하는 특성을 나타내었다. 이것은 잎에 함유되어 있는 수분의 영향으로 반사율의 감소 정도에 따라 작물의 수분 부족량의 파악이 가능하다.
- 이와 같이, 적색과 근적외선 영역에서 보이는 작물의 반사특성 차이는 각 작물의 생체량 차이를 나타내는 것으로 두 영역의 반사특성을 산술적으로 이용하면 식생지수가 되어 작물의 정보를 파악할 수 있게 된다.

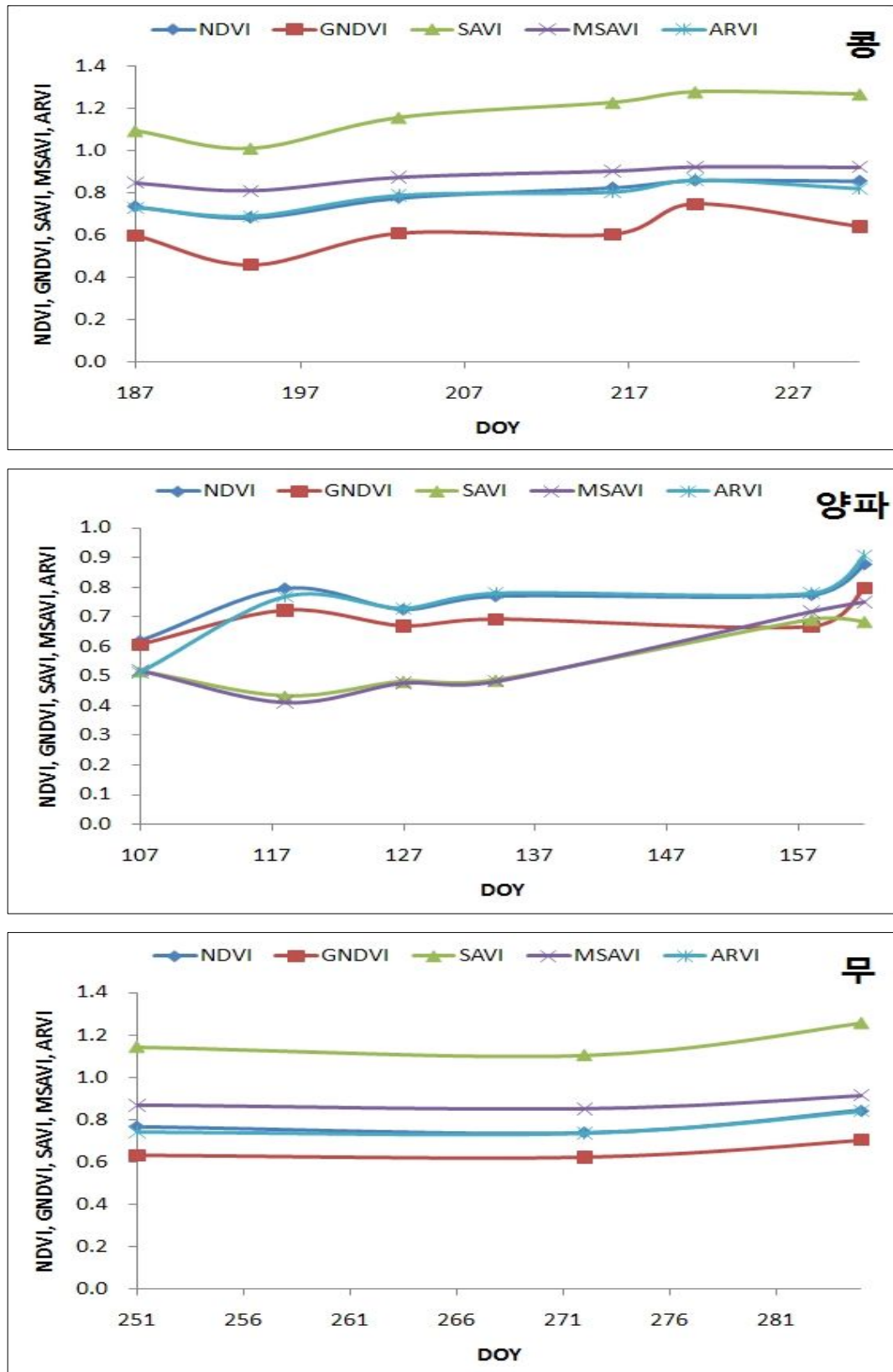
3.1.5. 작물별 식생지수 변화

가. 작물별 생육주기에 따른 식생지수 추출 결과

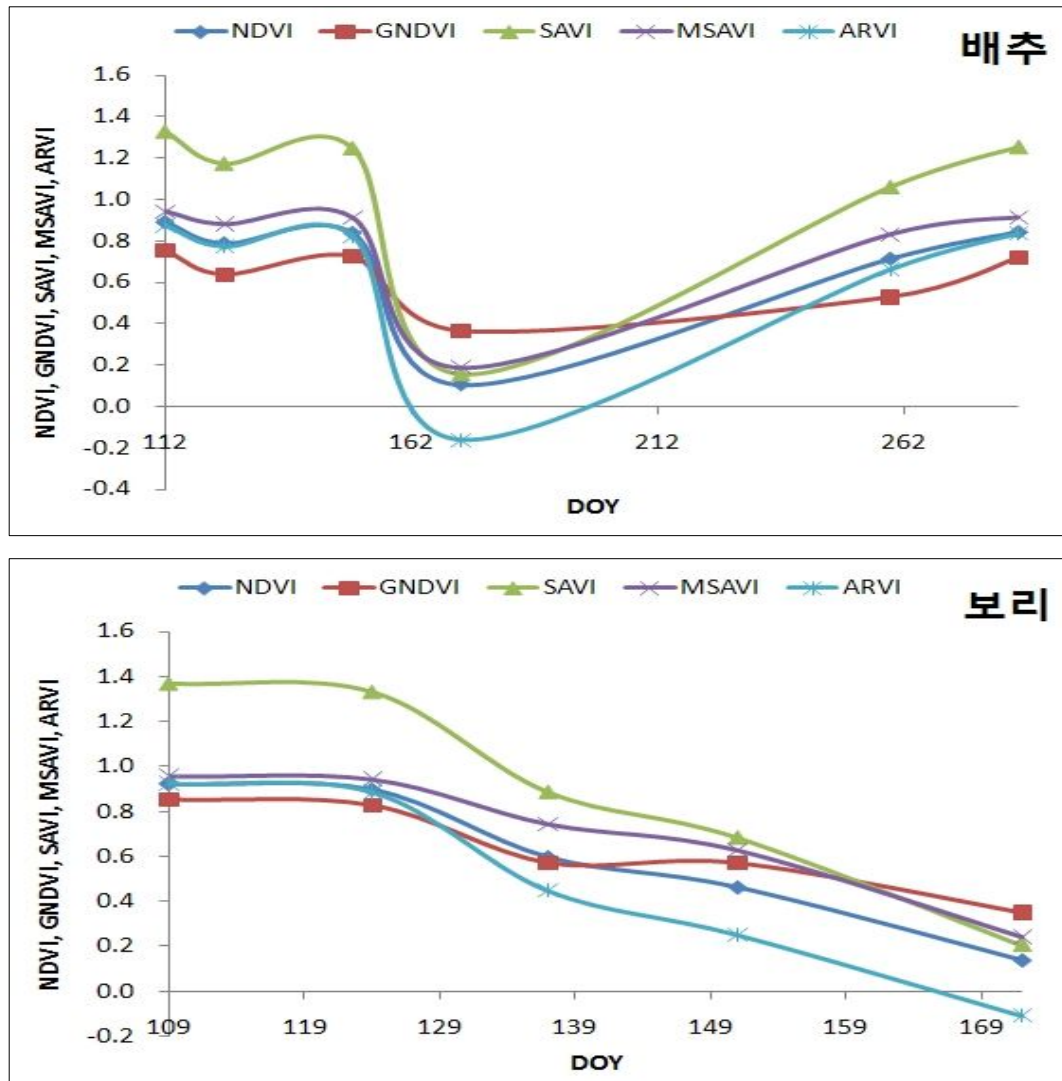
- 작물은 파종시기와 수확시기가 각기 다른 고유의 생육주기를 가지고 있다. 따라서, 일정 관측시기 작물의 생육상태는 각기 다르며 이는 서로 다른 식생지수로 표현된다.
- <그림3.1.4-4>는 작물별 생육주기에 따른 식생지수의 변화이다. 5개의 식생지수 모두 녹색의 엽량과 엽록소 함량 변화에 민감하게 작용하며, 식생지수 별 변화패턴이 유사하였다.
- 따라서, 각 작물별 작황정보 추출에 있어서 식생지수 중 가장 대표적으로 널리 사용되는 NDVI의 적용 가능성을 확인할 수 있다.
- 각 작물의 생육단계에 따른 분광반사특성 결과와 비교하면 식생조건의 생육단계에 따른 변화 특성을 잘 표현해준 것이라 할 수 있다.
- 또한, 다양한 작물의 생육단계에 따른 분광반사특성과 식생지수 등의 지속적인 자료의 축적이 필요할 것으로 판단된다.



<그림 3.1.4-4> 작물별 생육주기에 따른 식생지수 변화



<그림 3.1.4-4> 작물별 생육주기에 따른 식생지수 변화 (계속)

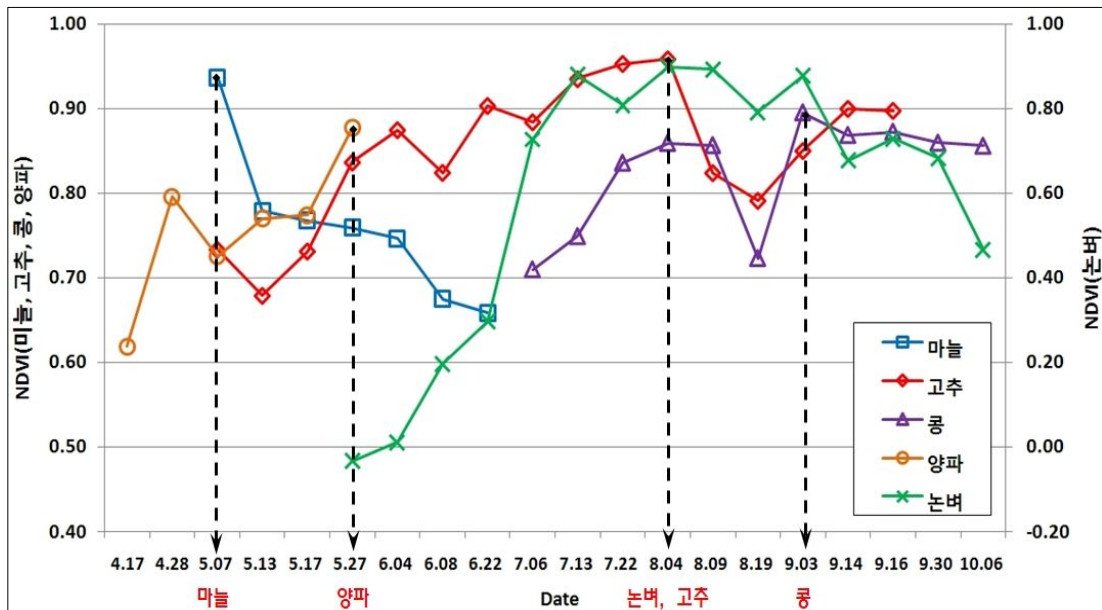


<그림 3.1.4-4> 작물별 생육주기에 따른 식생지수 변화 (계속)

나. 작물별 NDVI 변화

- 작물별 생육주기에 따른 NDVI 변화는 <그림 3.1.4-5>와 같다. <그림 3.1.4-5>에 표시한 바와 같이 작물의 생육주기에 따라 최대 NDVI가 나타나는 시기가 다르게 나타났다. 이와 같은 특성을 이용하면, 농작물 생산통계의 원격탐사기술 활용 시 위성영상 적용의 최적시기를 파악할 수 있다.
- 대상작물인 논벼, 마늘, 양파, 고추, 콩의 최대 NDVI 시기는 마늘(5월 상순) - 양파(5월 하순) - 논벼(8월 상순) - 고추(8월 상순) - 콩(9월 상순) 순으로 나타났다.

제 3 장 쌀 및 주요작물에 대한 위성영상 데이터 활용방안 연구



<그림 3.1.4-5> 작물별 생육주기에 따른 NDVI 변화

<표 3.1.5-1> 작물별 생육기간 동안의 NDVI

	4.17	4.28	5.07	5.13	5.17	5.27	6.04	6.08	6.22	7.06	7.13
벼						-0.033	0.011	0.198	0.298	0.727	0.880
마늘			0.937	0.779	0.768	0.759	0.746	0.675	0.659		
고추			0.734	0.679	0.732	0.837	0.875	0.825	0.904	0.884	0.935
콩										0.710	0.749
양파	0.619	0.796	0.725	0.770	0.774	0.877					

	7.22	8.04	8.09	8.19	9.03	9.14	9.16	9.30	10.06	비고
벼	0.808	0.899	0.892	0.792	0.877	0.678	0.729	0.683	0.467	
마늘										수확
고추	0.953	0.959	0.824	0.792	0.850	0.900	0.898			수확
콩	0.836	0.859	0.857	0.723	0.896	0.869	0.873	0.860	0.856	
양파										수확

3.2. 위성영상 적용가능성 평가

3.2.1. 위성영상 데이터의 선정

가. 위성영상 데이터의 종류 및 특성²⁾

- 1972년 민간 지구관측위성인 Landsat-1호가 발사된 이래 지금까지 많은 인공위성이 발사되었으며, 다양한 위성영상 데이터를 공급하고 있다. 그동안 미국을 비롯하여 몇몇 소수의 국가에 의해 운영되어 왔던 지구관측위성 프로그램들은 1990년대 후반부터 지구환경 모니터링을 위한 범지구 관측 시스템(Earth Observation System : EOS)의 출범과 레이더 센서를 탑재한 위성, 민간회사에 의한 상업용 위성 등으로 그 영역을 확장하여 획기적인 전기를 맞고 있다.
- 우리나라는 1980년대부터 이미 기상, 통신 분야는 물론 국토개발, 해양, 환경, 과학 탐사 분야에서 미국, 일본 등의 위성영상 데이터를 활용하여 각 연구기관과 대학을 중심으로 활발한 연구가 진행되어 왔다.
- 또한, 국내에서도 2006년에 다목적 실용위성인 아리랑 2호(KOMPSAT-2)가 발사되어 고해상도 위성영상 데이터의 활용이 증대되고 있으며, 다가오는 2015년까지 다목적 위성 8호까지 개발할 계획에 있다.
- 다양한 종류의 위성영상 데이터는 나름대로 고유한 특성을 가지고 있으며, 활용 목적에 따라 다양한 기준으로 나눌 수 있다. 위성영상 데이터는 관점에 따라 상이하게 구분될 수 있으나 일반적으로 해상도(Resolution)에 따라 구분되는 게 보편적이다. 위성영상 데이터에서 해상도의 개념은 항공사진과 같이 영상에서 분해될 수 있는 최소 단위 면적인 공간해상도(Spatial Resolution)를 지칭하지만 공간해상도 뿐만 아니라, 센서가 감지할 수 있는 파장의 세분영역을 나타내는 분광해상도(Spectral Resolution), 센서의 광학적 민감성을 표시하는 방사해상도(Radiometric Resolution), 그리고 동일 지역을 반복해서 관측할 수 있는 촬영주기(Temporal Resolution)를 지칭하는 여러 종류의 개념으로 사용된다. 이러한 해상도에 따라 위성영상 데이터의 특성을 표시할 수 있다.

2) 「위성정보의 농업관측 활용방안」 2009. 김배성 외. 의 내용을 요약 정리한 것임.

- 위성영상 데이터의 해상도는 위와 같이 다양하게 해석될 수 있지만, 위성영상 데이터로부터 추출할 수 있는 정보의 종류와 특성을 나타내는 데에는 공간해상도가 가장 널리 사용된다. 가령 아시아 대륙 전체의 토지이용 관측에 필요한 위성영상 데이터와 개별국가 단위의 지역적인 토지이용도 제작에 필요한 위성영상 데이터의 가장 큰 차이점은 공간해상도로 구분될 수 있다. 이와 같이 특정 목적에 따라 위성영상 데이터의 공간해상도가 결정된다. 위성영상 데이터를 공간해상도에 따라 구분할 경우 3m 이내의 고해상도, 5~100m 사이의 중해상도, 그리고 수 백 m 이상 되는 저해상도로 나눌 수 있다.

<표 3.2.1-1> 위성영상 데이터의 해상도 종류 및 설명

해 상 도	내 용
공간해상도 (spatial resolution)	센서의 공간분해능, 즉 영상의 최소 단위인 단일 화소에 해당하는 신호값을 기록할 수 있는 최소 면적
분광해상도 (spectral resolution)	센서가 감지할 수 있는 파장영역의 폭과 범위
방사해상도 (radiometric resolution)	센서가 단위 해상 공간에서 감지한 에너지를 세분하여 기록할 수 있는 민감도
촬영주기 (temporal resolution)	센서가 동일 지역을 반복하여 촬영할 수 있는 주기

- 고해상도 위성영상 데이터는 토지이용실태는 물론 개별 작목의 세부적인 형태까지 관찰할 수 있을 정도로 세부적인 정보를 포함하고 있지만, 한반도 전체의 토지이용 현황 혹은 작황을 추정하기 위한 데이터로는 적합하지 않을 것이다.
- 따라서 위성영상 데이터의 종류에 따라 활용될 수 있는 범위와 성격이 명확히 구분되어야 할 것이며, 특히 농업생산통계의 산출에 활용하기 위한 위성영상 데이터별 적용 분야를 설정해야 한다. <표 3.2.1-2>에서는 현재 가장 널리 사용되고 있는 광학위성영상 데이터들을 공간해상도에 따라 구분하였고, 각각의 기본적인 특성을 정리하였다.

<표 3.2.1-2> 공간해상도에 따른 위성영상 데이터의 구분

구분	위성/센서	밴드수	공간해상도	촬영주기	촬영범위	발사년도
고 해상도	IKONOS	4	1m/4m	3~4일	11km	1999
	KOMPSAT-2	4	1m/4m	3일	15km	2006
	QuickBird	4	0.6m/2.8m	1~5일	16km	2001
	OrbView	4	1m/4m	임의조정	8km	2002
중 해상도	Landsat/TM	7	30m/15m	16일	185km	1982
	SPOT/HRV	4	20m/10m	26일	60km	1986
	IRS/LISS	4	20m/5m	25일	130km	1995
저 해상도	NOAA AVHRR	5	1km	12시간	약 2,400km	1980
	Terra MODIS	36	250m/500m/1km	98분	2,330km	1999



[MODIS] 미국
공간해상도 : 250~1000m
관측폭 : 2330km
촬영주기 : 98분
분광해상도 : 36 Band

저 해상도



[ASTER] 미국
공간해상도 : 15~90m
관측폭 : 60km
촬영주기 : 3일
분광해상도 : 14 Band

중 해상도



[LANDSAT] 미국
공간해상도 : 30m
관측폭 : 185km
촬영주기 : 16일
분광해상도 : 7 Band

중 해상도



[SPOT] 프랑스
공간해상도 : 10~20m
관측폭 : 60km
촬영주기 : 26일
분광해상도 : 4 Band

중 해상도



[KOMPSAT-2] 한국
공간해상도 : 1~4m
관측폭 : 15km
촬영주기 : 3일
분광해상도 : 4 Band

고 해상도



[IKONOS] 미국
공간해상도 : 1~4m
관측폭 : 11km
촬영주기 : 3~4일
분광해상도 : 4 Band

고 해상도



[QuickBird] 미국
공간해상도 : 60cm
관측폭 : 16km
촬영주기 : 1~5일
분광해상도 : 4 Band

고 해상도



[GeoEye-1] 미국
공간해상도 : 50cm
관측폭 : 15km
촬영주기 : 3~4일
분광해상도 : 4 Band

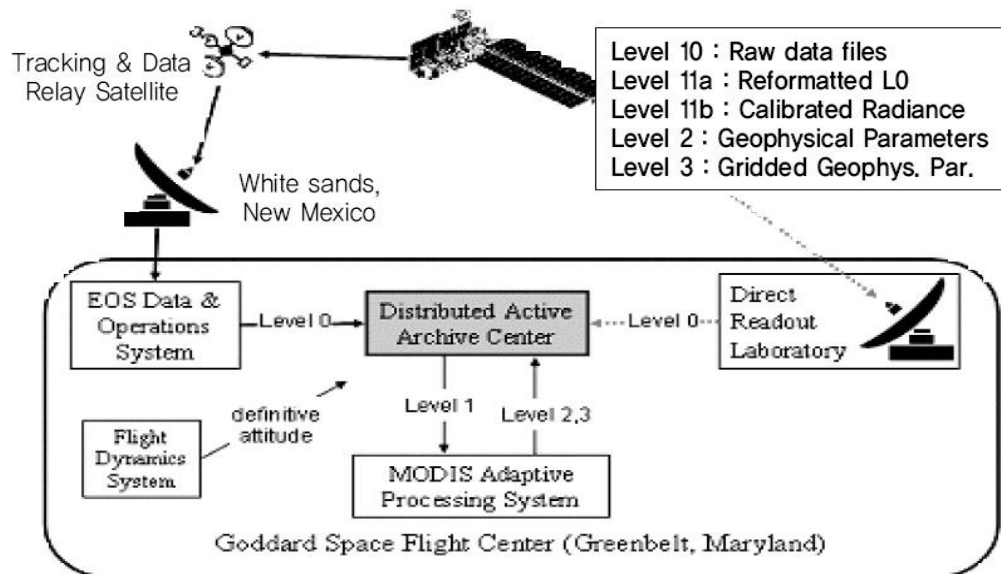
고 해상도

<그림 3.2.1-1> 공간해상도에 따른 위성영상 데이터의 구분

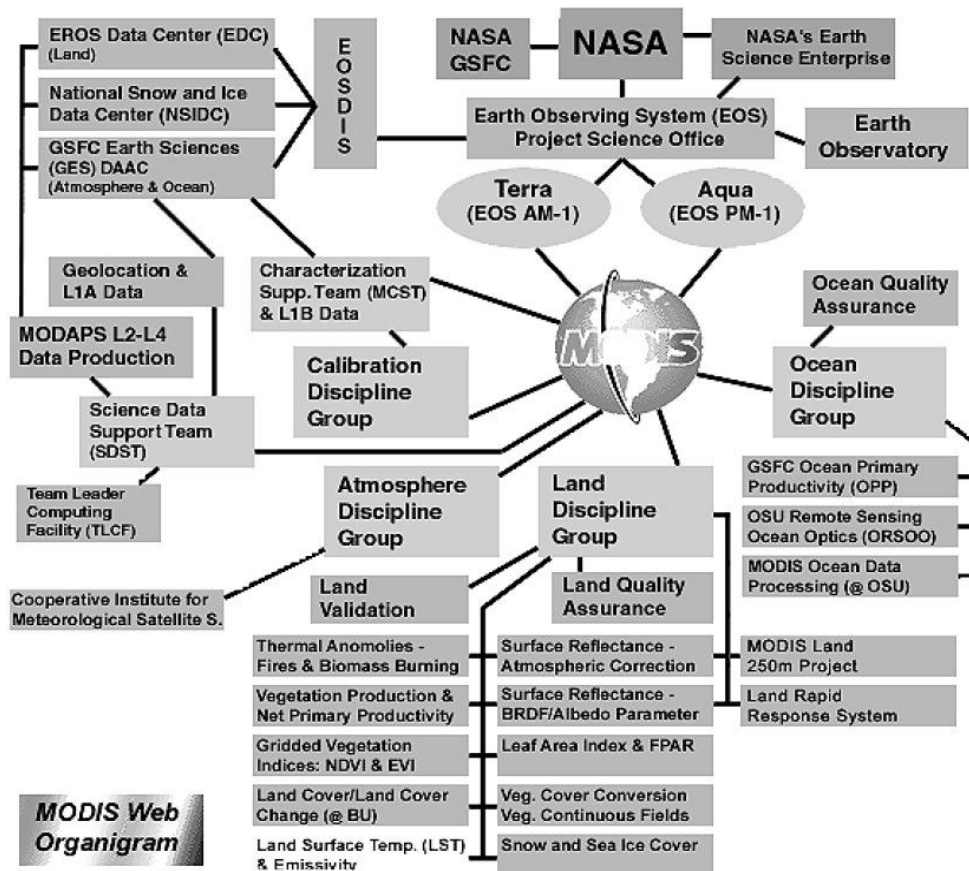
- 본 연구에서는 농업생산통계의 산출에 적용 가능한 위성영상 데이터를 구분하기 위하여 국내에서 주로 이용되는 5개의 위성영상 데이터를 선정하여 적용 가능성을 평가하였다. 각 위성영상 데이터의 특성을 보다 상세히 정리하면 다음과 같다.

나. MODIS 위성의 특성

- MODIS(Moderate Resolution Imaging Spectrometer)는 2000년대 전반의 지구환경 모니터링에 중요한 역할을 담당하기 위하여 1999년 12월에 미국의 EOS AM-1위성으로 명명된 Terra 위성과 2002년 5월에 발사된 Aqua위성(EOS PM-1)에 탑재된 센서이다.
- 이것은 대기, 해양, 육지를 광범위하게 관측할 수 있는 만능센서로서 NOAA위성의 전통을 이어 수신국만 준비되면 누구든 자유롭게 수신이 가능하여 학술적 연구에도 최적인 것으로 판단된다(박중화, 2005).
- MODIS는 지구 표면과 대기 하층에서 발생하는 전 지구적인 거동과 변형과정 정보 획득을 위해서 장기간 관측될 예정이다(SBRC, 1994). 동시에 구름과 관련된 특성 분석을 위한 대기 상층관련 정보, 해수면 온도 및 클로로필과 같은 해양 정보 및 지표피복 변화, 지표면 온도 및 식생 특성 등과 같은 지표면 특성에 대한 관측이 가능하다.
- MODIS의 각 센서에 의해 밴드별로 측정된 데이터는 <그림 3.2.1-2>의 과정과 단계를 거쳐 데이터를 보정하고 수정하여 연구자 및 수요자에게 제공되고 있다. 여기서 MODIS는 NOAA위성과 같이 Direct Broadcast도 실시하므로 그 특성을 살려 DAAC와 같은 조직이 아니라 직접 데이터를 수신할 수 있는 수신국을 몇 개의 거점에 배치하여 지역적인 연구 및 대상을 특화하는 연구를 추진하는 네트워크를 구축하고 있다.
- 이 네트워크는 <그림 3.2.1-3>과 같이 Terra 위성과 Aqua 위성을 같이 하여 지구환경을 관측하고 지구환경 변동을 이해하는데 많은 데이터를 MODIS의 홈페이지 등을 통하여 제공하고 있다.



<그림 3.2.1-2> MODIS 데이터의 처리 과정



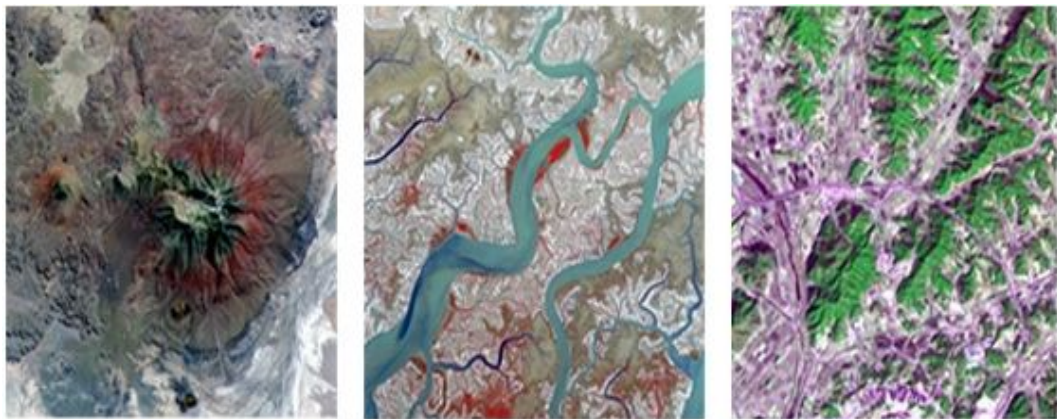
<그림 3.2.1-3> MODIS 네트워크 시스템의 구성

<표 3.2.1-3> MODIS의 밴드별 특성

Band	Spectral Range(μm)	Spatial Resolution(m)	Application
1	0.620 ~ 0.670	250 × 250	Landcover Classification Chlorophyll Analysis
2	0.841 ~ 0.876		
3	0.459 ~ 0.479	500 × 500	Land, Cloud, Aero-sol
4	0.545 ~ 0.565		
5	1.230 ~ 1.250		
6	1.628 ~ 1.652		
7	2.105 ~ 2.155		
8	0.405 ~ 0.420	1,100 × 1,100	Sea Surface Color Classification Phyto-Plankton Biochemistry
9	0.438 ~ 0.448		
10	0.483 ~ 0.493		
11	0.526 ~ 0.536		
12	0.546 ~ 0.556		
13	0.662 ~ 0.672		
14	0.673 ~ 0.683		
15	0.743 ~ 0.753		
16	0.862 ~ 0.877		
17	0.890 ~ 0.920	1,100 × 1,100	Vapor in Atmosphere
18	0.931 ~ 0.941		
19	0.915 ~ 0.965		
20	3.600 ~ 3.840	1,100 × 1,100	Cloud Surface Temperature
21	3.929 ~ 3.989		
22	3.929 ~ 3.989		
23	4.020 ~ 4.080		
24	4.433 ~ 4.498	1,100 × 1,100	Atmosphere Temperature
25	4.482 ~ 4.549		
26	1.360 ~ 1.390	1,100 × 1,100	Cloud
27	6.535 ~ 6.895	1,100 × 1,100	Vapor
28	7.175 ~ 7.475		
29	8.400 ~ 8.700		
30	9.580 ~ 9.880	1,100 × 1,100	Ozone
31	10.780 ~ 11.280	1,100 × 1,100	Cloud Surface Temperature
32	11.770 ~ 12.270		
33	13.185 ~ 13.485	1,100 × 1,100	Altitude of Cloud
34	13.485 ~ 13.785		
35	13.785 ~ 14.085		
36	14.085 ~ 14.385		

다. ASTER 위성의 특성

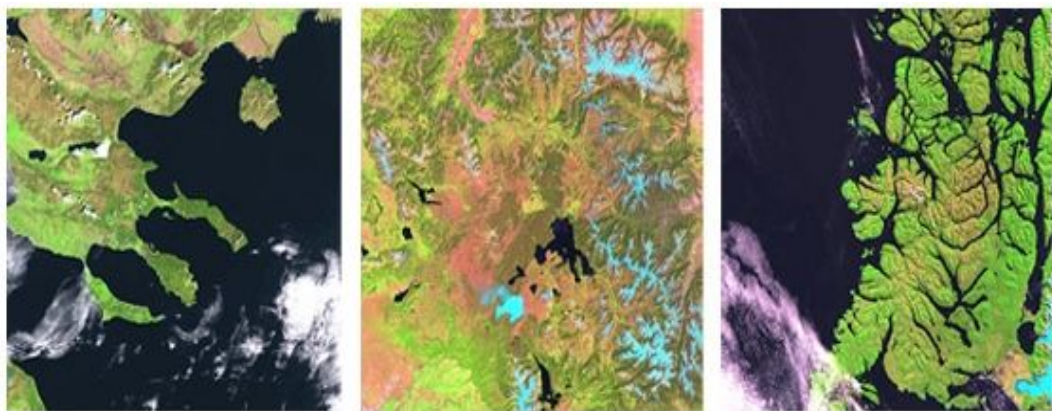
- ASTER(Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer)는 NASA와 일본의 METI(Ministry of Economy, Trade and Industry) 그리고 ERSDAC(Earth Remote Sensing Data Analysis Center)에 의하여 1999년 12월에 발사된 지구 탐사 위성에 탑재된 센서이다.
- ASTER는 15m, 30m, 90m의 해상도를 가지며 VNIR(Visible and Near Infrared), WIR(Shortwave Infrared), TIR(Thermal Infrared)의 3개의 센서를 탑재하고 있다.
- ASTER의 특징은 기존의 영상에 비하여 가격대비 높은 분광 해상도와, visible, near IR, short wave IR and Thermal IR의 분광영역이 넓고, 스테레오 영상을 제공한다.
- ASTER는 육지에서의 화산 활동, 해안선의 변화, 열대우림에서의 식생, 습지 등의 모니터링과 지표면 에너지 흐름에 대한 예측, 그리고 일반적인 DEM을 추출하는데 사용가능하다.



<그림 3.2.1-4> ASTER 위성영상 데이터 샘플

라. Landsat 위성의 특성

- Landsat 영상은 지구관측을 위한 최초의 민간목적 원격탐사 위성으로 1972년에 1호 위성이 발사되었으며, 그 이후 Landsat 2, 3, 4, 5 호가 차례로 발사에 성공했으나 Landsat 6호는 궤도 진입에 실패하였다.
- 1999년 4월에 Landsat 7호가 발사되었으며, 현재 1~4호는 임무를 끝내고 운영이 중단되었고, 5, 7호만 운용 중에 있으나 Landsat 7호도 기계적 결함으로 인하여 2000년 이후에 촬영된 영상을 사용하지 못하고 있다. 그러나 Landsat 시리즈는 20여년 동안 Thematic Mapper(TM), Multispectral Scanner(MSS)를 탑재하여 오랜 시간동안의 지구 환경의 변화된 모습을 볼 수 있다.
- 이처럼 Landsat 영상은 오랜 기간 동안 지구 환경 변화에 대한 가장 많은 정보를 제공하고 있어 육지의 자원탐사, 농작물 모니터링, 토지 이용 분류 등 주제도 제작을 위해 널리 이용되고 있으며 열적외선(thermal infrared) 밴드를 포함하고 있어, 연안지역의 환경 감시에도 유용하게 이용된다.
- Landsat 위성자료는 USGS의 Earth Explorer(<http://edcsns17.cr.usgs.gov/EarthExplorer/>) 에서 사용자 승인 후 원하는 위치의 Landsat 영상자료를 검색 후 다운로드하여 수집할 수 있다<그림 3.2.1-6>. 또한, 검색된 위성자료의 대부분은 무료로 다운로드가 가능하며, 수집된 영상자료는 기하보정이 되어있어 바로 사용이 가능하다.



<그림 3.2.1-5> Landsat 위성영상 데이터 샘플

농작물 생산통계의 원격탐사기술 활용방안 연구

USGS
science for a changing world

EarthExplorer

Home Profile Saved Criteria Saved Results Standing Requests Track Orders sang1917@nate.com Logout Shopping Basket Help

There are 3 messages. (Updated: 6/29/2010)

The U.S. Geological Survey is dedicated to providing extensive data to the global science community. However, certain data sets require additional procedures to gain access to them. For example, some commercial satellite scenes of U.S. sites are licensed only for U.S. users. Please log in to find what additional data sets may be available.

1. Select your dataset(s)

Click on [X] next to the category name to show a list of datasets.

Icon means selected data within the Data Sets can be downloaded at no charge.

- ☒ Aerial Photography
- ☒ AVHRR
- ☒ Cal/Val Reference Sites
- ☒ Commercial
- ☒ Declassified Data
- ☒ Digital Elevation (Related Links)
- ☒ Digital Line Graphs (Related Links)
- ☒ Digital Maps (Related Links)
- ☒ EO-1
- ☒ Forest Carbon Sites
- ☒ Global Land Survey
- ☒ Land Cover
- ☒ Landsat Archive (Related Links)
- ☒ Landsat Legacy
- ☒ Landsat MRLC
- ☒ Radar

Selected Datasets

☒ None Selected

Display Tooltips ☒

2. Enter your search criteria

Address/Place Name/ Zip Code Search Reset

Search:

From (mm/dd/yyyy): To (mm/dd/yyyy):

☐ Search these months only.

3. Search >>>

Area Selected

Degree/Minute/Second ☒ Decimal ☐

1. Latitude: North Longitude: East

2. Latitude: North Longitude: East

Number of Results

Find the first 10 records. [Help](#)

(Note: Results will contain this number of records for each individual data set selected.)

3. Search >>>

Home Profile Saved Criteria Saved Results Standing Requests Track Orders sang1917@nate.com Logout Shopping Basket Help

Accessibility FOIA Privacy Policies and Notices

U.S. Department of the Interior | U.S. Geological Survey
URL: <http://earthexplorer.usgs.gov/>
Page Contact Information: customers@usgs.gov
Page Last Modified: 10/27/2007

USA.gov

Show Map **Pop-out**

The up to date Google map is not for purchase or for download; it is to be used as a guide for reference and search purposes only.

L4-5 TM

20 of 2 metadata records retrieved. Showing 1-10

	Preview Image	Show Footprint	Show All Fields	Exclude	Order	Qty	Price	Download	Landsat Scene Identifier	Date Acquired	WRS Path	WRS Row	WRS Type	Cloud Cover	Sun Elevation	Sun Azimuth	On Demand
1		Show	Show	☐	☐		\$0	Available by ordering	LT51170322009191IKR00	2009/07/10	117	032	2	11	62.76184659	124.39957151	Y
2		Show	Show	☐	☐		\$0	Available by ordering	LT51150322009193IKR00	2009/07/12	115	032	2	100	62.52652534	124.69270605	Y
3		Show	Show	☐	☐		\$0	Available by ordering	LT51150332009193IKR00	2009/07/12	115	033	2	100	63.08741158	121.8468221	Y
4		Show	Show	☐	☐		N/A	Download	LT51160322009232IKR00	2009/08/20	116	032	2	66	55.31865873	136.90918535	N
5		Show	Show	☐	☐		\$0	Available by ordering	LT51160332009232IKR00	2009/08/20	116	033	2	85	56.16992922	134.96169711	Y
6		Show	Show	☐	☐		\$0	Available by ordering	LT51150322009241IKR00	2009/08/29	115	032	2	16	52.9931209	140.54322855	Y
7		Show	Show	☐	☐		N/A	Download	LT51150332009241IKR00	2009/08/29	115	033	2	79	53.9111431	138.79101054	N
8		Show	Show	☐	☐		\$0	Available by ordering	LT51160322009200IKR00	2009/07/19	116	032	2	24	61.5974447	126.07592749	Y
9		Show	Show	☐	☐		N/A	Download	LT51160332009200IKR00	2009/07/19	116	033	2	48	62.20296577	123.38276824	N
10		Show	Show	☐	☐		N/A	Download	LT51150322009257IKR00	2009/09/14	115	032	2	86	48.32554354	146.75772661	N

Showing page 1 of 2 [Next](#)

Go to page: [Go](#)

<그림 3.2.1-6> USGS의 Earth Explorer

마. KOMPSAT-2 위성의 특성

- 다목적 실용(아리랑) 위성이라고도 불리는 KOMPSAT 위성은 우리나라에서 개발하고 있는 위성으로 1999년 12월 21일에 공간해상도 6.6m의 1호 위성이 발사되었고, 2015년까지 8호기를 쏘아 올릴 계획에 있다.
- 당초 7호기까지 계획하였으나 한반도 지도 제작과 위성 수요 증가에 따라 고해상도 광학위성인 3호기가 추가로 개발될 예정이다.
- KOMPSAT-2호는 1호의 설계 개념을 그대로 반영하였고, 다중 분광 카메라(MSC : Multi-Spectral Camera)가 탑재되었으며, 이 위성의 고해상도 영상은 대규모 자연재해 감시와 각종 자원의 이용실태조사, 지리정보시스템 구축, 지도제작 등 다양한 분야에 활용될 수 있다.
- 2006년 7월 28일 러시아 플레세츠크 발사장에서 성공적으로 발사된 KOMPSAT-2호는 지구 상공 685km의 태양동기궤도로 발사되어 같은 날 오후 10시 58분 대전 지상국과 첫 교신에 성공하였다.
- 무게 800kg, 직경 1.90m, 높이 2.57m, 길이 6.85m 크기로, 흑백 1m, 컬러 4m 해상도의 관측폭 15km 성능을 갖는 임무수명 3년의 위성이며, 2005년 7월 프랑스 스폿이미지(Spot Image)사와 체결한 3년간 최대 2,700만 달러의 영상 판매 계약에 따라 프랑스에도 제공되고 있다.



<그림 3.2.1-7> KOMPSAT-2 위성영상 데이터 샘플

바. Quickbird 위성의 특성

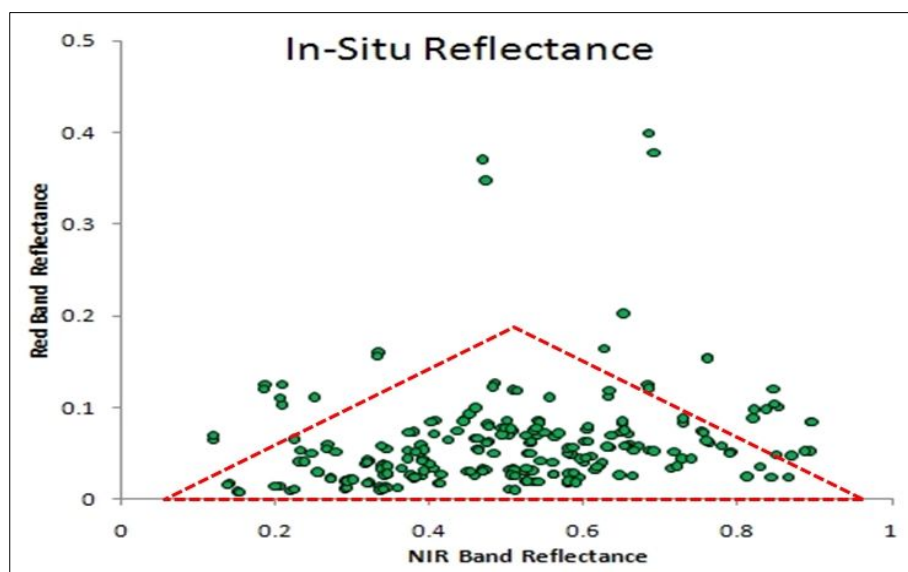
- 디지털글로브(DigitalGlobeTM)사는 2000년 11월 Quickbird-1호를 발사했으나 궤도 상에 진입에 실패했고, 2001년 10월 미 캘리포니아에서 보잉사의 델타 로켓으로 Quickbird-2호 위성을 성공적으로 쏘아 올렸다. Quickbird-2호는 지구상공 450km에서 흑백으로는 직경 61cm, 컬러로는 2.4m의 물체까지 식별이 가능한 위성사진을 전송하고 있다.
- 이는 현재 제공되는 상업용 탐사위성으로서는 최고의 공간해상도를 제공하는 것으로서 최소 직경 10~15cm의 물체까지 식별 가능한 미군의 침단 첩보위성의 해상도에는 미치지 못하지만 건물, 자동차는 물론 테니스장의 옆줄까지 판별할 수 있는 수준이다.
- 영상이 필요한 사용자들로부터 요청된 지역을 촬영할 수 있으며, 해상도의 한계로 대축적 지도 제작이 불가능했던 위성영상 지도제작 분야에 비약적인 발전을 이루게 했다.
- 그러나 미국정부에서 규제하는 0.5m의 라이선스 규제에 적용되므로 미국정부의 허가 없이는 취득 후 24시간 이내에 제공할 수 없게 되어있다.



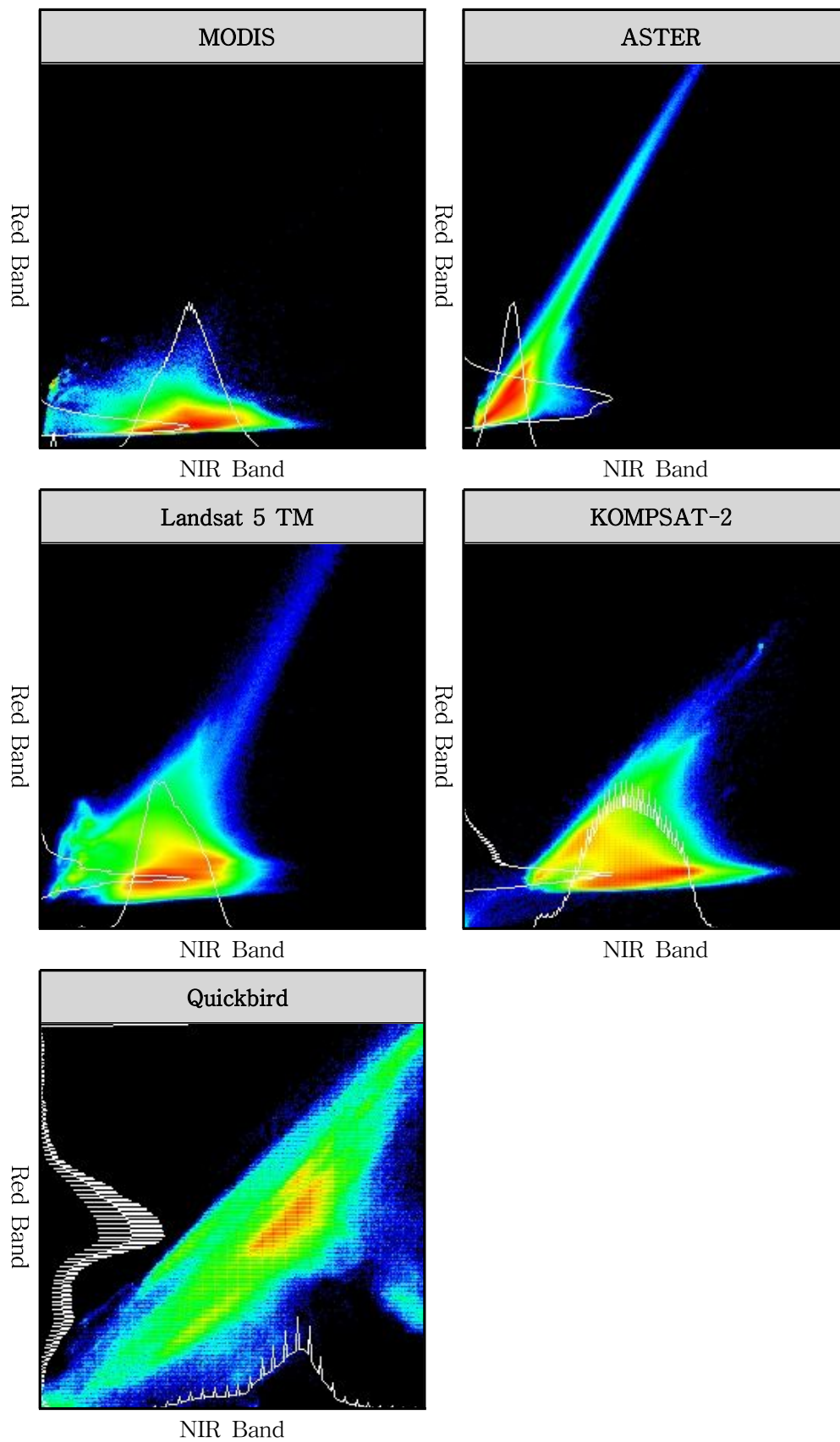
<그림 3.2.1-8> Quickbird 위성영상 데이터 샘플

3.2.2. 밴드 상관성 평가

- 각 위성영상 데이터는 촬영고도 및 주사폭, 촬영각 등이 상이하여 동일한 물체를 촬영한다 하더라도 수집한 분광정보에는 서로 약간의 차이가 발생한다.
- 따라서 밴드 상관성의 평가는 해당 위성영상 데이터가 작물의 작황정보를 얼마나 정확히 수집할 수 있는지를 판단하는 기준이 된다.
- 밴드 상관성 평가를 위하여 각 위성영상 데이터의 촬영일자와 동일한 시기에 휴대용분광복사계를 이용하여 현장에서 측정한 논외의 분광반사율을 이용하여 현장에서 측정한 분광반사율 중 가시광 영역의 적색 파장대와 근적외 파장대의 분포경향을 위성영상 데이터의 경향과 비교하였다.
- 평가에 사용되는 적색 파장대 및 근적외선 파장대는 앞 절에서 설명한 바와 같이 작물의 생육상태 파악에 가장 중요한 파장대로서 식생지수 추출에 주로 이용되는 파장대이다.
- 현장에서 측정한 분광반사율을 이용하여 나타낸 적색 파장대와 근적외선 파장대의 반사율은 <그림 3.2.2-1>과 같이 삼각형 형태의 분포 경향을 나타내었다.



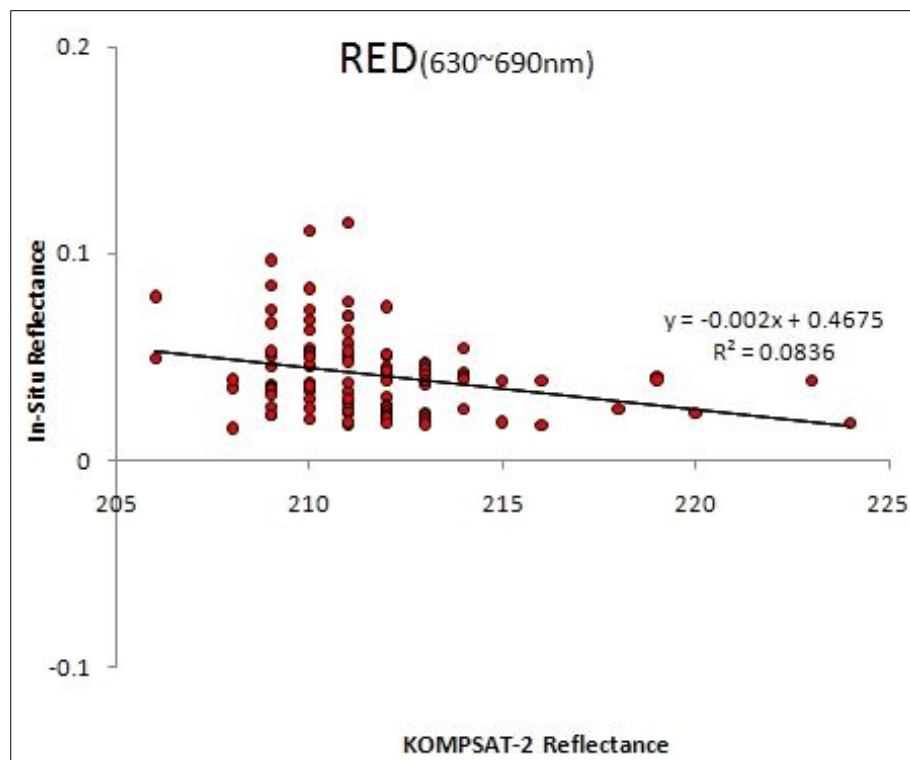
<그림 3.2.2-1> 현장에서 측정한 적색 파장대와 근적외선 파장대의 분포도



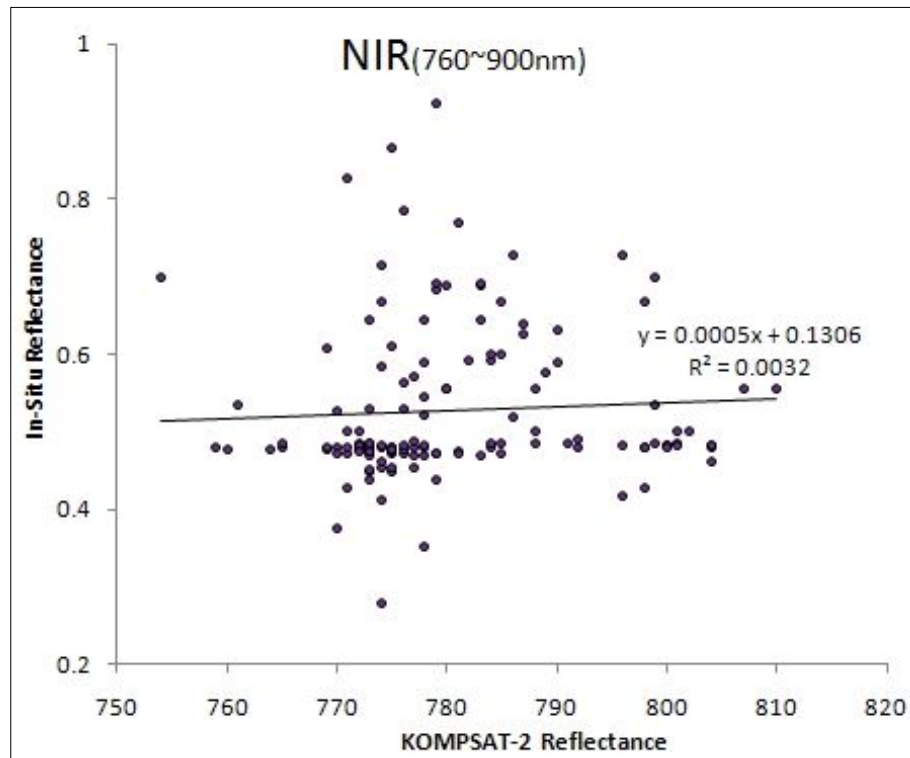
<그림 3.2.2-2> 각 위성영상 데이터별 적색 밴드와 근적외선 밴드의 분포도

제 3 장 쌀 및 주요작물에 대한 위성영상 데이터 활용방안 연구

- 각 위성영상 데이터에 따른 적색 밴드와 근적외선 밴드의 분포 경향은 <그림 3.2.2-2>와 같다.
- 비교 결과, KOMSAT-2 위성영상 데이터의 분포경향이 가장 유사한 것으로 나타났으며, MODIS 위성영상 데이터도 비슷한 경향을 나타내었다.
- ASTER 와 Landsat 5 TM 위성영상 데이터는 적색 밴드에 비하여 근적외 밴드가 높게 분포 되는 경향을 보였으며, Quickbird 위성영상 데이터는 각 밴드 별 픽셀 값의 범위가 너무 넓게 분포되는 경향을 나타내었다.
- 따라서, 밴드간 상관성은 KOMPSAT-2 > MODIS > Landsat 5 TM > ASTER > Quickbird 순으로 나타났다.
- <그림 3.2.2-3>와 <그림 3.2.2-4>는 현장 측정치와 KOMPSAT-2의 적색 밴드 및 근적외 밴드의 상관관계를 나타낸 그래프이다.



<그림 3.2.2-3> 현장측정치와 KOMPSAT-2의 적색 밴드의 상관관계



<그림 3.2.2-4> 현장측정치와 KOMPSAT-2의 근적외 밴드의 상관관계

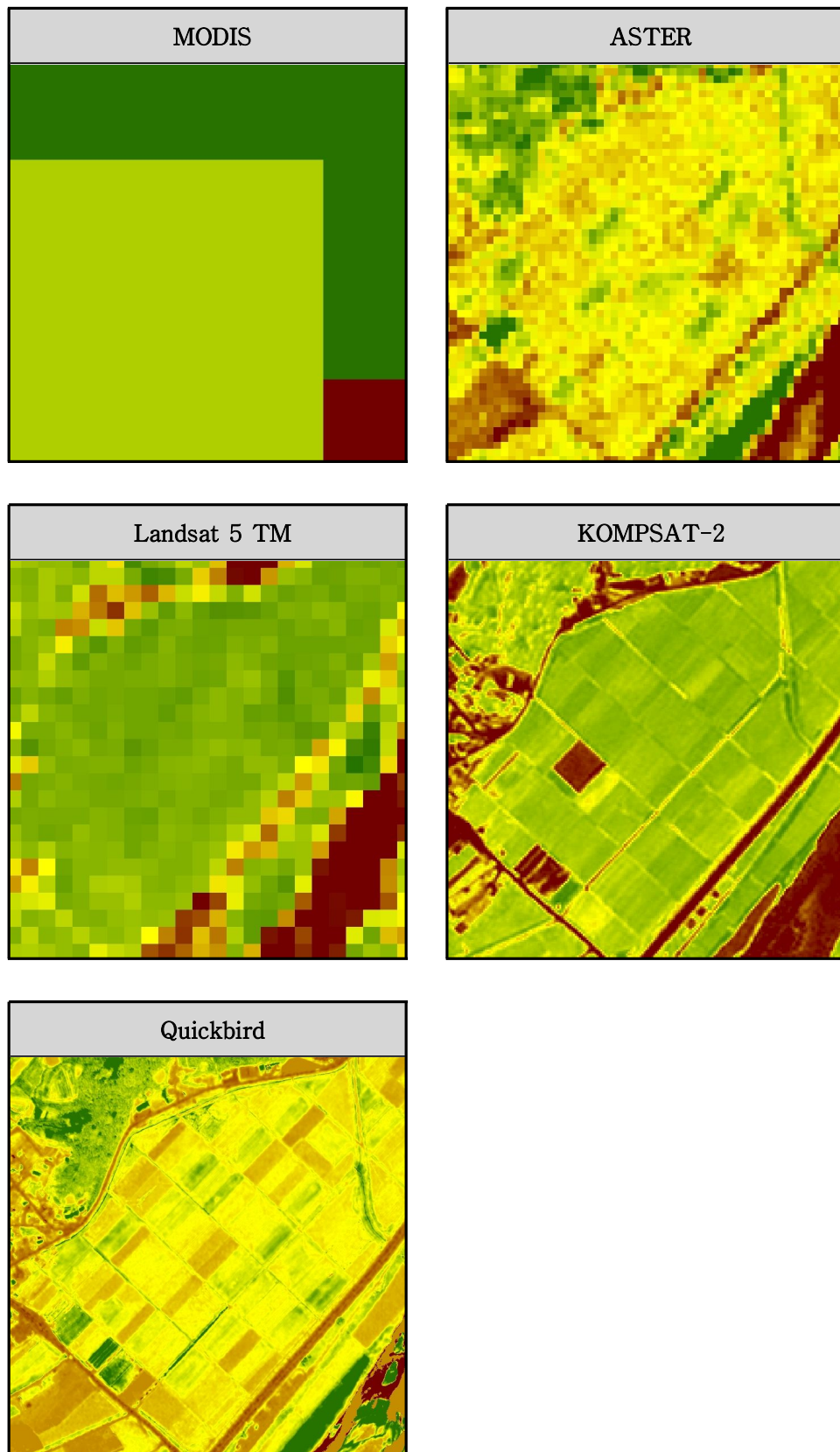
- 현장 측정치와 KOMPSAT-2의 밴드의 상관관계는 적색 밴드의 경우 $R^2 = 0.0836$, 근적외 밴드의 경우 $R^2 = 0.0032$ 로 나타나 실제 현장 분광반사율과 KOMPSAT-2 위성영상간의 상관성이 거의 없는 것으로 나타났다.
- 이것은 현장에서의 반사율 측정은 대상 작물과 센서 사이의 거리가 가까워 대기의 영향이 적지만, 위성에 탑재된 센서는 대기, 구름, 연무 등에 의하여 빛이 흡수, 산란, 반사되어 나타나는 오차의 영향으로 보여 진다.
- 따라서, 작물의 생육정보 추출에 적합한 센서의 개발이 필요한 것으로 판단된다.

3.2.3. NDVI 정확도 평가

- NDVI 정확도 평가는 현장에서 취득한 분광반사율에 의해 추출된 NDVI와 동일 시기, 동일 지역의 위성영상 데이터에서 추출한 NDVI의 차이로 나타내었다.
- 밴드간 상관성 평가와 마찬가지로 휴대용분광복사계를 이용하여 현장에서 측정한 논외 분광반사율을 이용하여 현장 NDVI를 계산하였으며, 앞 절에서 설명한 NDVI 계산식에 의하여 영상에서 추출한 NDVI의 통계값을 비교하였다.
- <표 3.2.3-1>은 현장 NDVI와 각 위성영상에서 추출한 NDVI를 비교한 결과이며, <그림 3.2.3-1>은 각 위성영상에서 추출한 NDVI의 분포도이다.
- 비교 결과, MODIS 위성영상 데이터에서 추출한 NDVI의 CV가 0.040으로 가장 낮게 나타났으며, KOMPSAT-2 위성영상 데이터도 CV가 0.316으로 낮은 수준을 보였다.

<표 3.2.3-1> 현장 NDVI와 각 위성영상 데이터별 NDVI 비교

		위성 영상	현장 측정치	편차	Mean	Max	Min	S.D.	CV
MODIS	일시	08.21~31	08.21	5	0.430	0.460	0.419	0.017	0.040
	NDVI		0.419	0.871					
ASTER	일시	11.25	11.06	19	-0.111	0.179	-0.348	0.066	-0.594
	NDVI		-0.115	0.154					
Landsat 5 TM	일시	08.31	09.01	1	0.309	0.511	-0.211	0.146	0.472
	NDVI		0.486	0.915					
KOMP- SAT-2	일시	08.31	09.01	1	0.446	0.692	0.014	0.141	0.316
	NDVI		0.497	0.915					
Quick- bird	일시	10.23	11.06	14	0.139	1.000	-1.000	0.165	1.187
	NDVI		0.091	0.154					

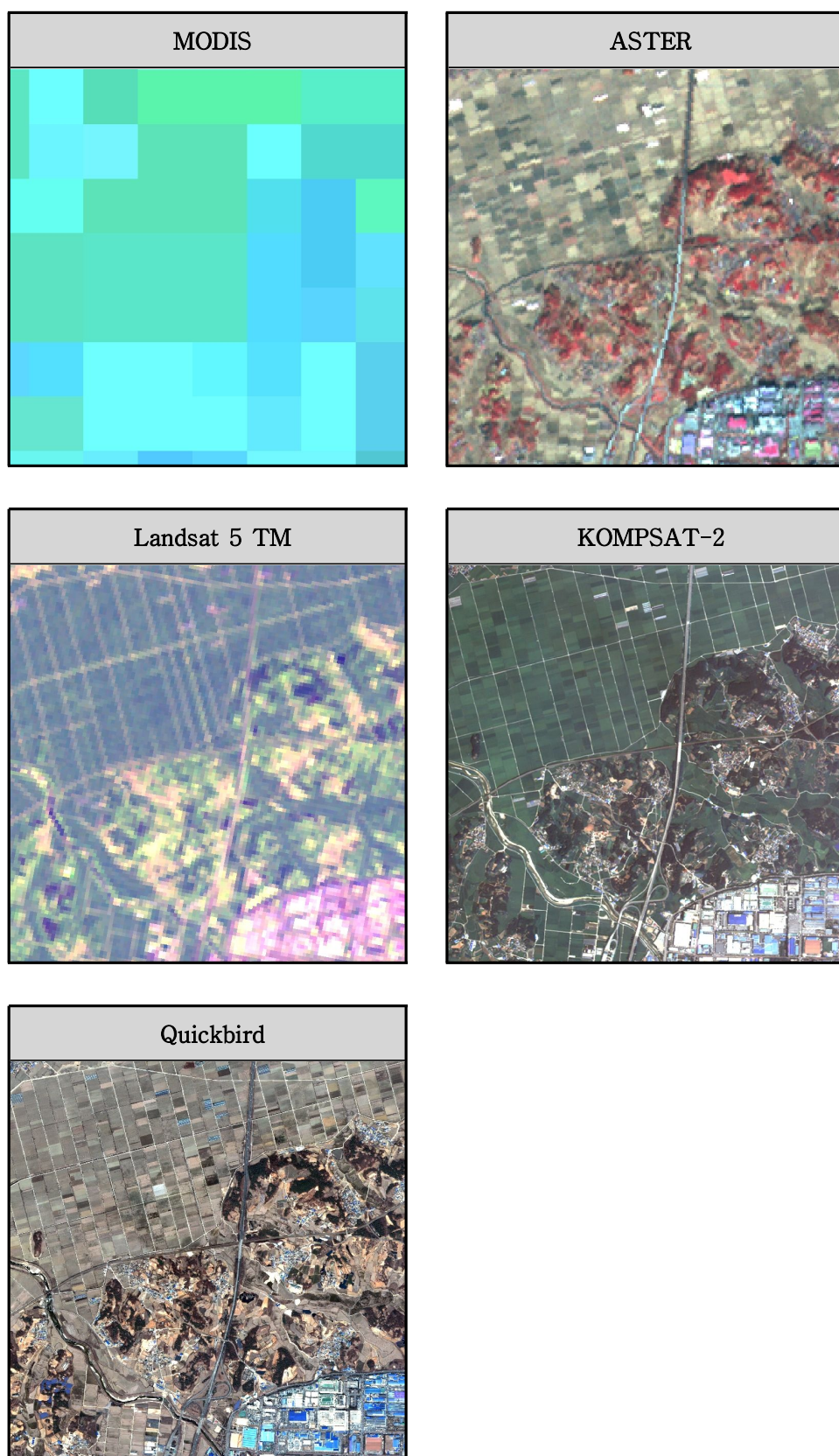


<그림 3.2.3-1> 각 위성영상 데이터에서 추출한 NDVI 분포도

- 따라서, NDVI의 정확성은 MODIS > KOMPSAT-2 > Landsat 5 TM > ASTER > Quickbird 순으로 나타났다.
- 또한, MODIS, KOMPSAT-2 및 Landsat 5 TM 위성영상 데이터의 취득시기가 식생의 활력도가 가장 높은 시기인 8~9월인 것을 고려해 볼 때, 작물의 작황정보 추출에 용이한 것으로 판단된다.

3.2.4. 육안판독 가능성 평가

- 위성영상 데이터의 육안판독 가능성은 해당 위성영상 데이터의 공간해상도에 의하여 좌우된다.
- 대상 위성영상 데이터의 공간해상도는 MODIS(500m), ASTER(15m), Landsat 5 TM(30m), KOMPSAT-2(4m), Quickbird(0.6m) 이다.
- <그림 3.2.4-1>을 보면, 각 위성영상 데이터 별 공간해상도에 따른 육안 판독 가능 정도를 확인할 수 있다.
- 즉, MODIS 위성영상 데이터는 대상 위성영상 중 가장 큰 해상도를 나타내어 육안으로 확인이 불가능 하고, Landsat 5 TM 위성영상 데이터는 농경지의 확인은 가능하나 필지의 구분이 모호하고 경계가 불분명 하였다.
- ASTER 위성영상 데이터는 대구획 농지의 구분이 가능하였고, KOMPSAT-2 및 Quickbird 위성영상 데이터는 필지 경계가 비교적 뚜렷하여 필지의 구분이 가능하였다.
- 따라서, 육안판독 가능성은 Quickbird > KOMPSAT-2 > ASTER > Landsat 5 TM > MODIS 순으로 나타났다.
- 이는 각 위성영상 데이터의 공간해상도 순위와 동일한 결과였으며, MODIS 위성영상 데이터와 Landsat 5 TM 위성영상 데이터의 경우, 밴드의 순서를 바꿔 False Color로 표현할 경우 부분적으로 육안 판독성이 증가하는 것으로 나타났다.



<그림 3.2.4-1> 각 위성영상 데이터의 육안 판독 정도

3.2.5. PSU 활용성 평가

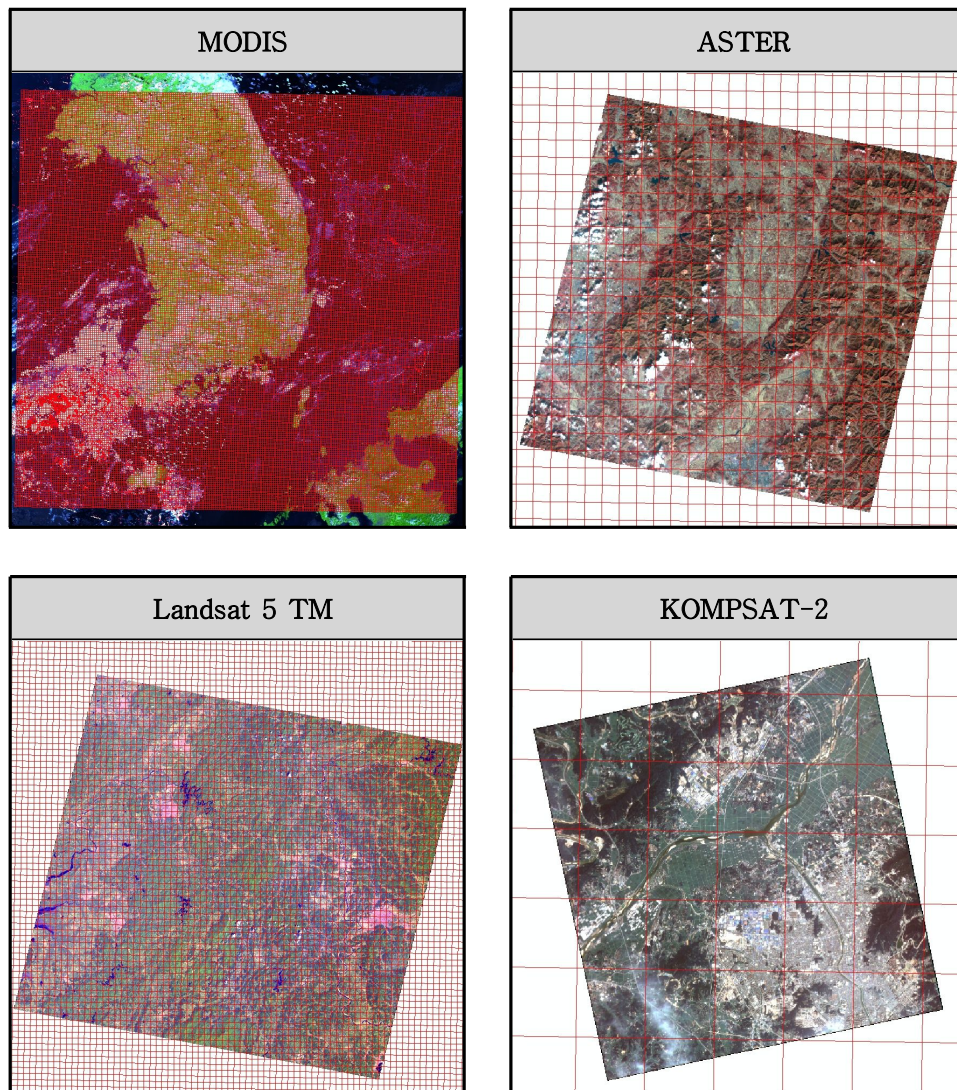
- PSU(Primary Sampling Unit : 1차 추출 단위)는 모집단에서 처음으로 추출하는 단위로 위성영상 데이터를 이용하여 농작물 생산통계를 추출할 때 기본이 되는 단위이다.
- 본 연구에서 활용한 PSU는 현재 진행 중인 「영상기반 표본조사 방법 개발」에서 위성영상 데이터를 이용하여 표본단위를 설정하기 위해 GIS 데이터 형태로 제작한 단위로서 감독원의 협조를 얻어 사용하였다.
- 농작물 생산통계는 재배면적에 큰 영향을 받기 때문에 각 위성영상 데이터와 재배면적 추출의 기본이 되는 전국 232개 시군별 PSU와의 활용성을 비교하였다.
- <표 3.2.5-1>은 위성영상 데이터와 PSU와의 관계를 정리한 것으로, 각 위성영상 데이터의 Scene 당 PSU의 개수와 PSU 당 Pixel 수를 나타내었고, <그림 3.2.5-1>은 각 위성영상 데이터의 Scene 당 PSU 현황이다.

<표 3.2.5-1> 위성영상 데이터별 PSU와의 관계

	MODIS	ASTER	Landsat 5 TM	KOMP-SAT-2	Quickbird
PSU/Scene	49,464	482	3,645	39	-
Pixel/PSU	8×8	204×204	88×88	764×764	5,184×5,184

- 결과를 살펴보면, MODIS 위성영상 데이터의 경우, Scene 당 PSU는 49,464개로 우리나라 PSU의 전체가 포함되나, 1개의 PSU에 8×8개의 Pixel만이 포함되어 현실적으로 PSU 단위의 분석은 어려울 것으로 판단된다.
- ASTER 위성영상 데이터는 Scene 당 PSU는 482개가 포함되며, 1개의 PSU에 204×204개의 Pixel이 포함되는 것으로 나타났으며, Landsat 5 TM 위성영상 데이터는 Scene 당 PSU가 3,645개, 1개의 PSU에 88×88개의 Pixel이 포함되는 것으로 나타났다.

- KOMPSAT-2 위성영상 데이터는 Scene 당 PSU는 39개가 포함되며, 1개의 PSU에 764× 764개의 Pixel이 포함되는 것으로 나타나 PSU의 활용성이 가장 높은 것으로 나타났다.
- 반면에, Quickbird 위성영상 데이터는 주문에 의하여 원하는 영역을 스캔하는 방식으로 영상을 취득하기 때문에 Scene이 정해져 있지 않다. 따라서 PSU 당 Pixel 수만으로 비교한 결과, 1개의 PSU에 5,184×5,184개의 Pixel이 포함되어 있는 것으로 나타났다.
- 따라서, PSU 활용성은 KOMPSAT-2 > Landsat 5 TM > ASTER > Quickbird > MODIS 순으로 나타났다.



<그림 3.2.5-1> 각 위성영상 데이터의 Scene 당 PSU 현황

3.2.6. 위성영상 데이터의 수집성 평가

- 농작물 생산통계는 작물 모니터링 및 시계열 분석이 필수적으로 해당 지역 또는 해당 작물에 대한 다양한 시기의 위성영상 데이터가 필수적이기 때문에 각 위성영상 데이터별 수집성도 고려하여 적용해야 한다.
- 예를 들어, 작물의 작황정보를 매우 정확하게 추출 할 수 있는 위성영상 데이터가 있다 하더라도 그 위성영상 데이터의 수집성이 열악하여 1년에 2~3장 밖에 수집할 수 없다면, 작황 정보의 정확성은 떨어지더라도 1년에 20장 이상의 수집이 가능한 위성영상 데이터를 선택하여 적용하는 것이 더 좋은 방법이다.
- 보통 한 시기의 위성영상 데이터에서 추출할 수 있는 정보보다는 시계열 자료에서 추출할 수 있는 정보의 양이 훨씬 다양하며, 위성영상 데이터에서 추출된 작황 정보는 해당 일시의 기상데이터로서 일정 부분 보정이 가능하기 때문이다.
- 따라서, 본 연구에서는 해당 위성영상 데이터 별 수집비용, 취득방법, 소요시간 및 장단점을 정리하여 위성영상 데이터의 수집성을 평가하였다.
- 본 평가에서 비교한 수집비용은 위성영상 데이터 수집에 필요한 인건비 및 기타 소요비용을 제외한 위성영상 데이터의 구매 비용만으로 적용하였으며, 소요 시간 역시 가장 일반적으로 소요되는 기간으로 적용하였다.
- 각 항목별 위성영상 데이터의 수집성 평가 결과는 <표 3.2.6-1>과 같다.
- 결과를 살펴보면, 수집비용 항목에서 MODIS, Landsat 5 TM, KOMPSAT-2 위성영상 데이터가 무료, 부분 무료, 조건부 무료로 가장 경제적인 위성영상 데이터로 조사되었다. Landsat 5 TM 위성영상 데이터의 경우, 최근 데이터에 한하여 유료 결제이며 대부분의 데이터에 대해서는 무료로 제공하고 있으며, KOMPSAT-2 위성영상 데이터는 자국 위성으로 상업용으로는 구매하여 사용해야 하지만 연구용, 공익 목적으로 이용 시 한국항공우주연구원과의 양해각서를 체결하여 완전 무상으로 공급받을 수 있다.

<표 3.2.6-1> 위성영상 데이터별 수집성 비교

	수집비용	취득방법	소요시간	장단점
MODIS	무상	인터넷 검색, 다운로드	0.5개월	순별 촬영으로 시계열 분석 가능 광역지역 분석에 용이 10일 단위 합성 영상 제공
ASTER	300,000원	국내 배포사 주문 후 구매	2~3개월	온도, DEM 추출 가능 상대적으로 구입 단가가 저렴 영상처리의 어려움
Landsat 5 TM	부분 무상	홈페이지 접속 주문/다운로드	0.5개월	정해진 궤도 촬영(Path/Row) 항시 다운로드 가능 센서의 노후화
KOMP- SAT-2	조건부 무상	유관기관 협조	1개월	자국위성 주문기간 짧음 특정지역에 집중되어 촬영
Quick- bird	60,500원 /km ²	국내 배포사 주문 후 구매	6~7개월	상업위성 최고 해상도 촬영횟수의 제한(3회) 대용량으로 영상처리 어려움

- ASTER 위성영상 데이터는 Scene 당 300,000원에 국내 배포사에 의하여 구매가 가능하며, Quickbird 위성영상 데이터는 촬영면적 기준 km² 당 60,500원에 구매할 수 있다. 단, 기본 면적 36 km² 이상에 한하여 주문이 가능하며, 촬영 횟수가 3회로 제한되어 있고 촬영 영상의 운량이 20% 이하일 때에는 무조건 구매해야 하는 조건이 따른다.
- 취득방법은 MODIS와 Landsat 5 TM 위성영상 데이터의 경우, 인터넷을 이용하여 해당 홈페이지에 접속한 후, 원하는 지역의 위성영상을 검색하여 주문을 통해 다운로드 받을 수 있다. ASTER와 Quickbird 위성영상 데이터는 배포사에 문의를 통해 주문, 결제 후 CD나 DVD의 형태로 수집할 수 있고, KOMPSAT-2 위성영상 데이터는 유관기관의 협조를 통해 다양한 방법으로 수집이 가능하다.
- 소요시간은 위성영상 데이터의 검색, 주문, 촬영, 전처리, 수령에 소요되는 총 시간을 의미하며, MODIS와 Landsat 5 TM 위성영상 데이터가 정해진 궤도의 자동 촬영과 다운로드에 의한 수집방법으로 가장 단시간(0.5개월)이 소요되었으며, Quickbird 위성영상 데이터가 촬영 및 전처리 과정으로 인하여 가장 오랜 기간(6~7개월) 소요되는 것으로 조사되었다.

3.3. 주요작물 적용가능성 평가

3.3.1. 평가방법 및 평가항목

가. 휴리스틱(Heuristic) 접근법

- 본 연구에서는 농작물 생산통계의 원격탐사기술 활용방안에 따른 주요작물별 적용성 평가를 위해 휴리스틱(heuristic) 접근법을 이용하여 평가하였다.
- 휴리스틱(heuristic) 접근법이란 제한된 정보를 고려하여 실무상 실현 가능한 해답이 필요할 때 적용되는 기법으로 이상적인 방법보다는 현실적으로 만족할 만한 수준의 해답을 찾는 것이 목적이다.
- 의사를 결정하려면 다양한 변수를 고려해야 한다. 그러나 현실적으로 정보의 부족과 시간제약으로 완벽한 의사결정을 하는 것을 불가능하다. 모든 변수와 조건을 검토할 수 없기 때문이다.
- 따라서 어떤 문제가 있을 때 그 문제를 해결하는 방법이 아직 없거나 현실적으로 불가능 할 때, 혹은 문제를 해결하기 위한 정보가 완전히 주어지지 않을 때, 확립된 절차에 따라 답을 구할 수 있을 정도로 문제가 명확하게 정의되지 않았을 때, 휴리스틱 접근법을 사용한다.
- 휴리스틱 접근법에서는 경험이나 직관을 사용하거나 노력을 기울여 시행착오를 거쳐 충분히 효율적인 해답이나 지식을 얻게 된다. 예를 들어 '좋은 소프트웨어 설계를 하라'는 말처럼 명확한 답이 없는 문제를 경험, 직관, 시행착오를 통해 점점 만족스러운 설계로 발전시키는 과정을 휴리스틱이라 볼 수 있다.
- 휴리스틱 접근법에 의한 주요작물 적용 가능성 평가는 먼저, 평가항목을 결정하여 사전식으로 나열하고, 업무상 우선순위에 따라 재배열함으로써 주요작물별 우선순위를 결정하였다. 이 방법은 정형적이며 포괄적인 방법으로 일정한 규칙과 지침을 갖고 판단과 의사결정이 이루어진다고 가정 하에 이루어진다.

나. 평가항목의 결정

- 주요작물의 적응성 평가는 대상작물에 대하여 원격탐사기술을 적용하는 데 얼마나 적합한 지를 알아보기 위한 것으로서 대상작물이 평가의 주체가 된다.
- 따라서, 평가항목은 작물의 생태학적, 식물학적 특성을 고려하여 결정하였다.
- 대상작물은 3.1절의 현장조사에서 선정한 작물을 이용하였으며, 각 작물에 대한 생태학적, 식물학적 특성에 대한 조사는 현장조사와 산림청의 국가생물종지식정보시스템(<http://www.nature.go.kr/>)의 식물도감을 참조하였다.
- 작물의 생태학적 특성이란 작물과 환경간의 관계에 따른 특성으로 작물 및 유기체가 환경과 상호 작용하며, 적응과 변화를 하는 특성을 의미하며 각 작물의 생육주기, 재배환경 및 분포, 생육 형태 등이 포함된다.
- 작물의 식물학적 특성은 작물의 일반적인 정보를 의미하는 것으로 표면 조직의 특성, 잎의 형태, 크기 등이 포함된다.

<표 3.3.1-1> 작물의 생태학적 특성

	생육주기	재배환경	분포	형태
논벼(미곡)	5월 하순~10월 중순	경지정리 답, 미경지정리 답	전국 각지	일년초
콩(두류)	7월 상순~10월 상순	밭(중규모), 경사지	전국 각지	일년초
고추(채소)	5월 상순~9월 중순	밭(소, 중규모), 지지대	전국 각지	일년초
마늘(채소)	5월 상순~6월 하순	밭(소규모), 불규칙	전국 각지	다년초
양파(채소)	4월 상순~5월 하순	밭, 이랑기 이전 답, 비닐멀칭	남부/중부	다년초

<표 3.3.1-2> 작물의 식물학적 특성

	표면조직	잎의 형태	높이
논벼(미곡)	거칠고 색이 짙음	가늘고 긴 형태, 길이 30cm	50~100cm
콩(두류)	매끄럽고 단단함	난형, 타원형, 길이 10cm, 가장자리가 밋밋함	60cm
고추(채소)	매끄럽고 단단함	피침형, 양끝이 좁고 가장자리가 밋밋함	60cm
마늘(채소)	거칠고 색이 연함	피침형, 길이 20cm, 너비 6~8cm	60cm
양파(채소)	거칠고 색이 연함	가늘고 긴 형태, 속이 빈 원통형	50cm

3.3.2. 작물의 생태학적 특성

가. 생육주기에 의한 평가

- 작물의 생육주기 또는 생장주기는 식물 등의 개체가 영양기(주로 뿌리, 줄기, 잎의 형성기)와 생식기(주로 꽃의 형성기)의 생활환을 취할 때 다음으로 같은 시기에 도달하기까지의 기간을 의미한다.
- 생육주기에 의한 평가는 생육주기에 따른 위성영상 적용의 가능성을 평가하는 것으로 생육주기가 긴 작물일수록 위성영상 데이터의 수집기간 및 적용 최적시기가 길어져 원격탐사기술의 적용성이 높아진다.
- 대상작물의 생육주기에 의한 적용성 평가는 논벼(90일) > 콩(60일) > 고추(50일) > 마늘(40일) = 양파(40일) 순으로 나타났다.

나. 재배환경에 의한 평가

- 재배환경에 의한 평가는 작물별 경작지의 규모, 형태 및 농업보조물 등에 의한 위성영상 적용의 가능성을 평가하는 것이다.
- 각 작물별 경작지의 규모가 클수록, 형태가 규칙적 일수록 원격탐사기술에 의한 재배면적 추출의 정확도가 높아지며, 농업보조물이 없을수록 위성영상 데이터의 분광정보에 오차가 발생할 확률이 줄어든다.
- 대상작물의 재배환경에 의한 적용성 평가는 논벼(대규모, 규칙적) > 콩(중규모, 경사지) > 고추(소, 중규모, 지지대) > 양파(소규모, 비닐멀칭) > 마늘(소규모, 불규칙) 순으로 나타났다.

다. 분포형 및 형태에 의한 평가

- 분포형 및 형태에 의한 평가는 작물 재배지의 분포유형과 재배형태에 의한 위성영

상 적용의 가능성을 평가하는 것이다.

- 각 작물별 재배지의 분포가 넓을수록 가용 위성영상 데이터의 범위가 넓어지고, 재배형태가 일년초일 때, 작물의 생육주기별 분광특성이 뚜렷하여 위성영상 데이터에 의한 작황정보의 취득성이 높아진다.
- 대상작물의 분포형 및 형태에 의한 적용성 평가는 논벼(전국, 일년초) = 콩(전국, 일년초) = 고추(전국, 일년초) > 마늘(전국, 다년초) > 양파(남부/중부, 일년초) 순으로 나타났다.

3.3.3. 작물의 식물학적 특성

가. 잎의 표면조직에 의한 평가

- 잎의 표면조직에 의한 평가는 잎의 표면조직에 의한 분광반사특성이 얼마나 뚜렷한가에 의한 위성영상 적용의 가능성을 평가하는 것이다.
- 윗 절에서 설명한 바와 같이, 작물의 잎 표면조직이 매끄럽고 단단할수록 분광반사특성이 뚜렷하여 위성영상 데이터에 의한 작황정보의 취득성이 높아진다.
- 또한, 잎의 색이 짙을수록 위성영상 및 항공사진에서의 판독성이 높아진다.
- 잎의 표면조직에 의한 적용성 평가는 고추(매끄럽고 단단함) > 콩(매끄럽고 단단함) > 논벼(거칠고 색이 짙음) > 양파(거칠고 색이 연함) > 마늘(거칠고 색이 연함) 순으로 나타났다.

나. 잎의 형태에 의한 평가

- 잎의 형태에 의한 평가는 잎의 생김새 및 면적에 따라 태양에너지의 반사가 얼마나 용이한가에 의한 위성영상 적용의 가능성을 평가하는 것이다.

제 3 장 쌀 및 주요작물에 대한 위성영상 데이터 활용방안 연구

- 일반적으로 생김새가 가늘고 긴 형태의 잎보다는 타원형 모양의 잎이 태양에너지를 받는 면적이 넓어 반사 또한 용이하게 이루어진다.
- 잎의 형태에 의한 적용성 평가는 콩(타원형) > 고추(난상 피침형) > 논벼(가늘고 긴 형태) > 마늘(긴 피침형) > 양파(가늘고 속이 빈 원통형) 순으로 나타났다.



논벼



고추



마늘



콩



양파

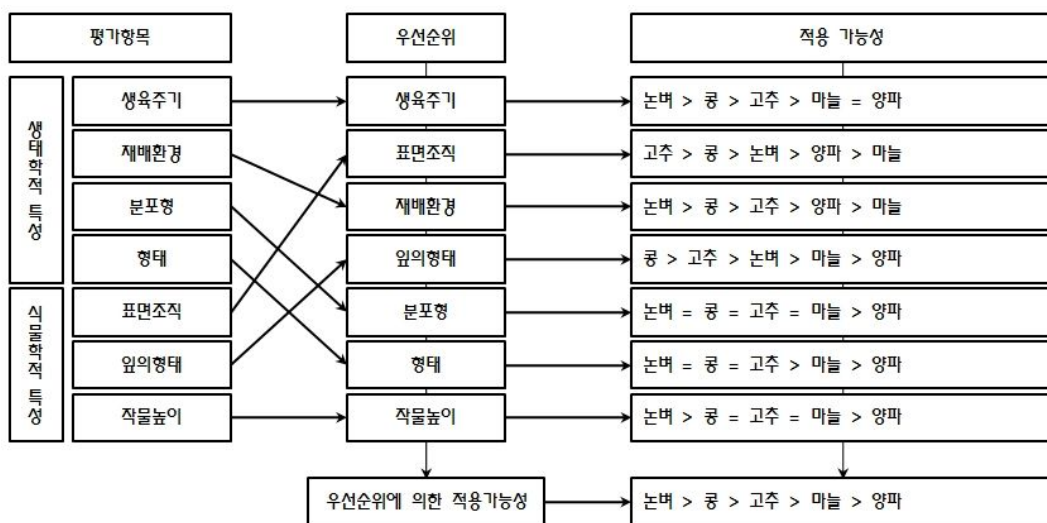
<그림 3.3.3-1> 대상작물별 잎의 표면조직과 형태

다. 작물의 높이에 의한 평가

- 작물의 높이에 의한 평가는 작물이 최대한 성장했을 때의 높이에 따라 위성영상 적용의 가능성을 평가하는 것이다.
- 작물의 높이가 작은 경우, 대상작물의 분광반사율은 작물 아래 지표면의 영향을 받아 오차를 포함할 가능성이 커지게 된다. 오차를 포함하는 분광반사율에 의해 추출된 식생지수 및 작황정보는 잘못된 정보를 제공하므로 이를 사전에 제거하거나 보정하는 과정이 필요하다.
- 따라서, 위성영상의 적용성은 작물의 높이가 클수록 높아진다.
- 작물의 높이에 의한 적용성 평가는 논벼(50~100cm) > 콩(60cm) = 고추(60cm) = 마늘(60cm) > 양파(50cm) 순으로 나타났다.

3.3.4. 작물별 우선순위 선정

- <그림 3.3.4-1>은 대상작물의 생태학적 특성 및 식물학적 특성에 의하여 결정된 평가항목을 사전적으로 나열하고, 업무상 우선순위에 따라 재배열한 결과이다.



<그림 3.3.4-1> 휴리스틱 접근법에 의한 작물별 적용가능성 우선순위

제 3 장 쌀 및 주요작물에 대한 위성영상 데이터 활용방안 연구

- <그림 3.3.4-1>와 같이 재배열된 평가항목은 상위항목부터 1~7까지의 가중치를 부여하였고, 각 평가항목 별 적용가능성도 상위부터 1~5까지의 점수를 부여하여 종합하였다.
- <표 3.3.4-1>은 휴리스틱 접근법에 의한 작물별 적용가능성 평가점수를 정리한 것이다.
- 종합점수는 각 대상작물별 순위점수에 평가항목의 우선순위에 따른 가중치를 곱하여 합한 점수의 평균치이며, 점수가 낮을수록 적용가능성이 높음을 뜻한다.
- 따라서, 휴리스틱 접근법에 의한 주요작물별 적용가능성 우선순위는 논벼 > 콩 > 고추 > 마늘 > 양파의 순으로 나타났다.

<표 3.3.4-1> 휴리스틱 접근법에 의한 작물별 적용가능성 평가

평가항목		대상작물				
우선순위	가중치	논벼	콩	고추	마늘	양파
생육주기	1	1	2	3	4	4
		1	2	3	4	4
표면조직	2	3	2	1	5	4
		6	4	2	10	8
재배환경	3	1	2	3	5	4
		3	6	9	15	12
잎의 형태	4	3	1	2	4	5
		12	4	8	16	20
분포형	5	1	1	1	1	2
		5	5	5	5	10
형태	6	1	1	1	2	3
		6	6	6	12	18
작물높이	7	1	2	2	2	3
		7	14	14	14	21
평균		5.71	5.86	6.71	10.86	13.29

3.4. 논벼의 생산량 예측모델 개발을 위한 기초연구

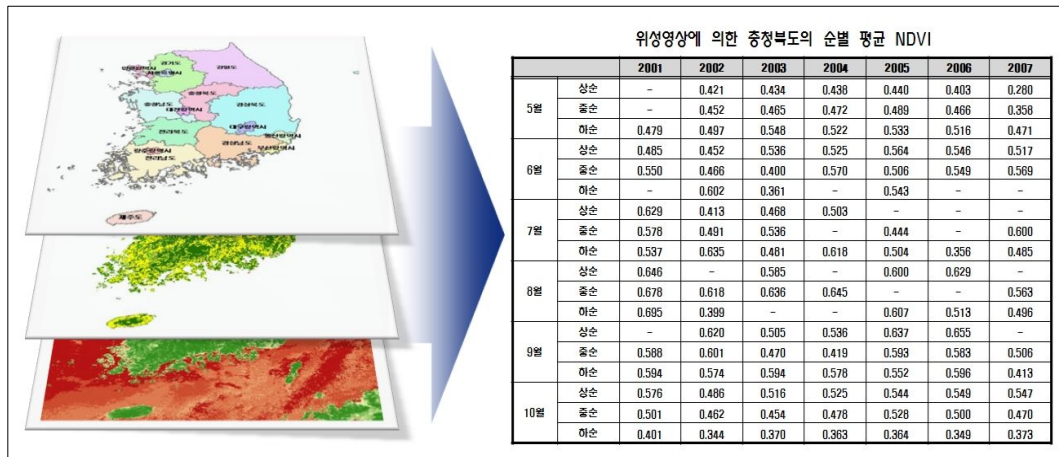
3.4.1. 영향인자 선정

가. 식생관련 인자

- 본 절은 논벼의 생산량 예측모델 개발을 위한 기초연구로서 생산량 예측의 영향인자 중 식생관련 인자로 NDVI를 이용하였다.
- 3.1절에서도 설명한 바와 같이, NDVI는 가장 일반적으로 널리 사용되는 식생지수로써 식물의 양, 계절적 변화, 식생의 생리적 조건과 관련한 작물의 생육 특성을 반영하는 지표이며, 식생의 활력도와 생산량을 추정하는데 중요한 요인이다.
- 과거 NDVI는 MODIS 위성영상 데이터를 이용하여 산출하였으며, 논벼의 생육주기에 해당하는 5월~10월의 순별 NDVI를 2001년~2007년까지 시계열 자료로 수집하였다.
- 분석에 사용된 MODIS 위성영상 데이터는 10일 주기로 합성된 순별 자료로서 기상 상태, 운량 등을 육안판독하여 자료의 신뢰도를 유지하였다.
- 또한, 환경부에서 제공하는 토지이용도 및 GIS 데이터와 중첩하여 충북지역 논지의 평균 NDVI를 산출하였으며, 대상지역의 현장조사 데이터와 비교하여 적용가능성을 확인하였다.
- 대상지역을 충북지역으로 제한한 이유는 본 연구의 현장조사가 충북지역에서 실시되었으며, 전국을 대상으로 하기에는 연구의 범위에서 벗어나기 때문이다.
- 따라서, 본 장에서 제안하는 생산량 예측 모델은 하나의 제안식일 뿐이며, 여기서 제안된 모델을 전국 규모에 적용하는 것은 무리가 있다.
- 전국 규모에 적용 가능한 생산량 예측 모델은 수많은 연구자들에 의하여 제안된 다

제 3 장 쌀 및 주요작물에 대한 위성영상 데이터 활용방안 연구

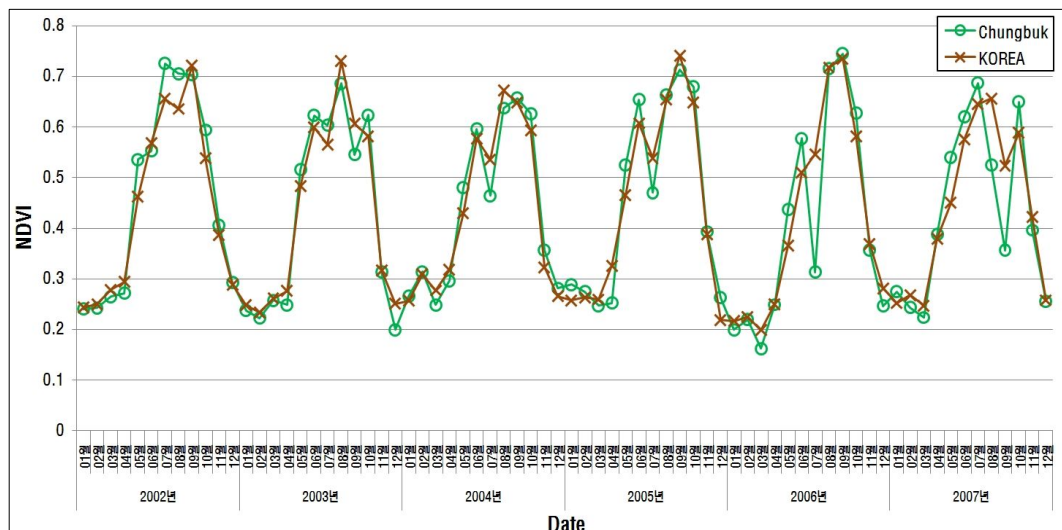
양한 생육 모델의 테스트 및 추가적인 시범 연구를 통하여 수정, 또는 개발되어야 할 것이다.



<그림 3.4.1-1> 데이터 중첩에 의한 충청지역 MODIS-NDVI 추출

1) MODIS 위성영상 데이터에 의한 NDVI 적용가능성 평가

- MODIS 위성영상 데이터를 이용하여 산출한 2001년~2007년까지의 NDVI 변화는 <그림 3.4.1-2>와 같다.

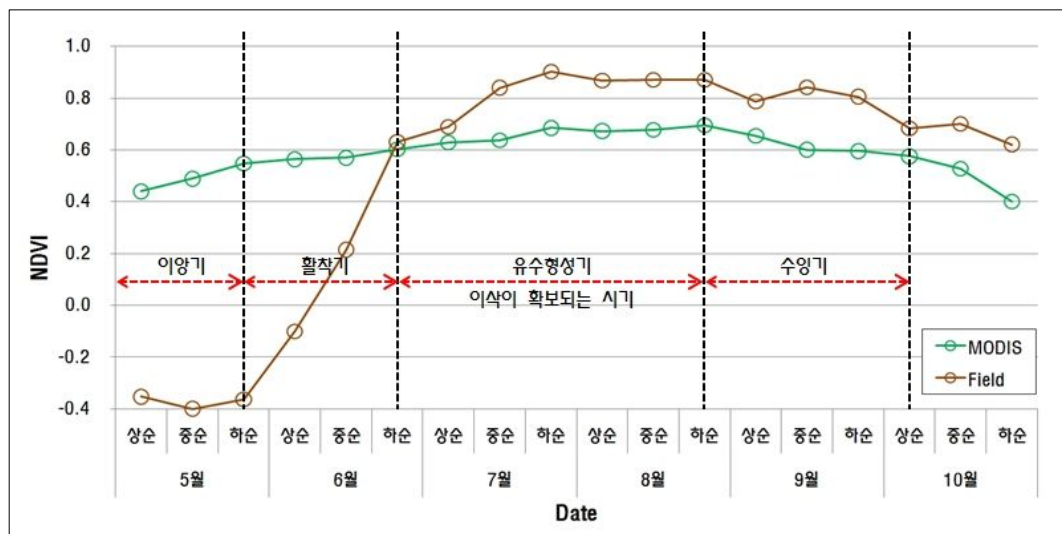


<그림 3.4.1-2> MODIS-NDVI 변화

- MODIS 위성영상 데이터를 이용하여 산출한 NDVI를 월별로 살펴보면, 12월~3월

까지는 0.164~0.282, 7월~8월까지는 0.509~0.759로 연간 유사한 변화패턴을 나타내었으며, 매년 4월부터 증가하여 8월 이후 감소하는 양상을 보였다.

- 충청북도의 NDVI는 전국 NDVI와 변화패턴은 유사하지만 수치상으로 비교해 볼 때, 다소 낮아지는 특성을 확인할 수 있다.
- 또한, 2002년 8월, 2004년 7월, 2005년 7월, 2006년 7월, 2007년 9월에는 구름에 의한 영향으로 이상치로 판단되어 7월~9월 위성영상 데이터의 수급방안이 고려되어야 할 것이다.
- MODIS 위성영상 데이터를 이용하여 산출한 논벼의 생육주기별 NDVI와 현장에서 추출한 생육주기별 NDVI의 비교는 <그림 3.4.1-3>과 같다.



<그림 3.4.1-3> MODIS-NDVI와 현장-NDVI의 비교

- 비교 결과, 이앙기 및 활착기의 논은 담수상태로 인하여 현장에서 추출한 NDVI가 물 및 나지의 특성을 동시에 나타내었으나, MODIS 위성영상 데이터에서 추출한 NDVI는 낮은 공간해상도(500m)로 인하여 주위 환경의 영향을 받아 0.4 이상의 높은 NDVI를 나타내었다.
- 따라서, 생산량 예측에 적용시에는 7월~9월 위성영상 데이터 적용이 가능한 것으로 나타났다.

2) MODIS 위성영상 데이터에 의한 NDVI 추출

- MODIS 위성영상 데이터를 이용하여 산출한 2001년~2007년까지 충청북도의 순별 평균 NDVI는 <표 3.4.1-1> 과 같다.
- 여기서, ‘-’ 로 표시된 부분은 구름의 영향으로 발생한 이상치로서 모델의 적용에서 제외하였으며, 추후 현장조사 데이터 및 보조자료 등을 이용하여 보충하여야 한다.
- 또한, 앞으로 지속적인 데이터 수집에 있어 7월~9월 위성영상 데이터 및 현장조사 데이터를 집중적으로 수집하여야 할 필요가 있다.

<표 3.4.1-1> MODIS 위성영상 데이터에 의한 충청북도의 순별 평균 NDVI

		2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
5월	상순	-	0.421	0.434	0.438	0.440	0.403	0.280
	중순	-	0.452	0.465	0.472	0.489	0.466	0.358
	하순	0.479	0.497	0.548	0.522	0.533	0.516	0.471
6월	상순	0.485	0.452	0.536	0.525	0.564	0.546	0.517
	중순	0.550	0.466	0.400	0.570	0.506	0.549	0.569
	하순	-	0.602	-	-	0.543	-	-
7월	상순	0.629	0.413	0.468	0.503	-	-	-
	중순	0.578	0.491	0.536	-	0.444	-	0.600
	하순	0.537	0.635	0.481	0.618	0.504	-	0.485
8월	상순	0.646	-	0.585	-	0.600	0.629	-
	중순	0.678	0.618	0.636	0.645	-	-	0.563
	하순	0.695	-	-	-	0.607	0.513	0.496
9월	상순	-	0.620	0.505	0.536	0.637	0.655	-
	중순	0.588	0.601	0.470	0.419	0.593	0.583	0.506
	하순	0.594	0.574	0.594	0.578	0.552	0.596	0.413
10월	상순	0.576	0.486	0.516	0.525	0.544	0.549	0.547
	중순	0.501	0.462	0.454	0.478	0.528	0.500	0.470
	하순	0.401	0.344	0.370	0.363	0.364	0.349	0.373

나. 기상관련 인자

- 논벼는 온도, 강우량, 일조시간 등의 기상조건에 민감하게 반응하며, 이 요소들은

논벼의 생장 및 수확량에 중요한 요인으로 작용하고, 품질에도 큰 영향을 미친다.

- 일반적으로 식물은 각 생육단계별로 생육할 수 있는 한계온도를 가지고 있으며, 기상 상태에 따라 생육이 좌우되므로 기상조건은 벼의 수확량에 영향을 미칠 수 있다.
- 예를 들어 평균온도가 상승하면 주당 이삭수와 낱알무게의 증가로 수확량 증가가 예상되며, 등숙기의 고온이 지속될 경우에는 앞당겨지는 출수기로 인하여 등숙비율이 감소하여 수확량이 감소될 것으로 예상할 수 있다.
- 본 연구에서는 벼의 생장에 중요한 요인으로 작용하는 기상관련 인자로 온도, 강수량, 일조시간을 선정하여, 기상청의 기상연보에서 해당 연도의 순별 자료를 추출하였다.
- Lal 등(1998)은 CERES-rice 와 CERES-wheat를 동시에 인도 북서부지역에 적용시켜, 대기 중 이산화탄소의 배증에 따른 기후변화가 발생했을 때 벼와 밀의 수량이 각각 28%, 15%씩 증가할 것이라 하였고, 특히 발육에 있어 밀은 최고 기온의 증가에 민감하게 반응하나 벼는 최저 기온 증가에 취약점을 보일 것이라고 예측했다.
- 한편, 우리나라의 강우특성을 살펴보면, 연강우량의 2/3가 우기인 6~9월에 집중되고 있다.
- 따라서, 온도의 경우는 Lal 등(1998)의 연구결과를 참고하여 최저온도를 적용하였고, 강수량은 우리나라의 강우특성을 고려하여 누적강우량을 사용하였다.
- 기상청의 기상연보에서 추출한 2001년~2007년까지 충청북도의 최저온도는 <표 3.4.1-2> 과 같다.
- 또한, 기상청의 기상연보에서 추출한 2001년~2007년까지 충청북도의 누적강우량은 <표 3.4.1-3>, 일조시간은 <표 3.4.1-4> 과 같다.

제 3 장 쌀 및 주요작물에 대한 위성영상 데이터 활용방안 연구

<표 3.4.1-2> 기상청 기상연보에 의한 충청북도의 순별 최저온도 (℃)

		2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
5월	상순	9.40	9.74	7.45	9.26	8.12	10.97	8.55
	중순	16.35	13.64	15.72	14.60	16.27	14.19	14.12
	하순	13.18	9.93	12.89	12.12	9.79	12.95	11.81
6월	상순	14.21	13.90	12.15	13.69	14.47	14.45	14.03
	중순	19.84	18.96	17.46	20.77	20.06	20.10	19.18
	하순	18.69	12.97	16.27	19.07	20.03	19.26	18.72
7월	상순	19.43	18.49	18.49	19.39	19.94	19.16	18.94
	중순	20.04	19.11	18.31	20.44	21.91	21.07	22.72
	하순	22.70	21.66	20.17	22.03	21.62	19.81	20.91
8월	상순	21.91	21.72	20.75	21.85	21.96	21.76	21.70
	중순	12.37	13.47	17.44	16.48	17.26	12.73	17.66
	하순	16.85	20.27	20.85	17.88	17.65	20.91	20.41
9월	상순	15.49	17.39	19.66	14.80	18.03	14.01	16.45
	중순	7.34	8.33	5.50	5.06	5.37	9.08	5.89
	하순	9.72	11.35	11.09	12.44	13.14	10.68	15.26
10월	상순	9.88	6.83	7.70	7.20	10.27	10.24	11.45
	중순	7.34	8.33	5.50	5.06	5.37	9.08	5.89
	하순	8.25	(0.45)	2.04	2.48	3.06	6.13	3.89

<표 3.4.1-3> 기상청 기상연보에 의한 충청북도의 순별 누적강우량 (mm)

		2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
5월	상순	12.00	102.00	82.00	58.50	23.50	50.00	29.00
	중순	12.50	125.50	83.00	58.50	62.00	50.00	77.50
	하순	18.50	126.00	159.00	92.00	62.00	88.00	105.00
6월	상순	18.50	139.00	159.00	94.50	114.50	100.50	114.00
	중순	144.50	166.00	188.50	358.00	123.00	147.50	122.50
	하순	278.00	175.00	351.00	419.00	235.00	180.00	247.00
7월	상순	280.00	229.50	671.00	480.50	348.50	290.50	422.50
	중순	326.00	293.50	822.00	714.50	523.50	575.00	487.00
	하순	417.50	331.50	1040.00	714.50	592.00	691.50	514.50
8월	상순	504.50	552.00	1083.00	738.00	788.50	702.50	677.50
	중순	536.50	616.00	1230.00	876.00	1040.50	706.50	705.00
	하순	544.50	749.50	1321.50	918.00	1085.50	830.50	876.50
9월	상순	563.50	780.00	1501.00	927.00	1130.00	841.00	1053.00
	중순	570.50	817.50	1628.00	1052.00	1162.00	858.00	1203.00
	하순	587.00	864.00	1628.00	1054.00	1263.00	858.00	1228.00
10월	상순	635.50	890.50	1630.00	1055.00	1289.50	858.00	1230.50
	중순	637.00	903.00	1650.00	1059.50	1290.50	858.00	1234.00
	하순	668.00	906.00	1660.00	1059.50	1294.00	883.00	1265.00

<표 3.4.1-4> 기상청 기상연보에 의한 충청북도의 순별 일조시간 (hr)

		2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
5월	상순	10.52	6.49	8.83	6.70	8.51	8.08	6.45
	중순	9.19	9.00	6.01	7.50	9.58	9.29	7.72
	하순	10.33	10.82	7.55	8.26	10.87	8.42	7.95
6월	상순	11.32	9.94	10.32	9.25	8.39	9.47	6.24
	중순	9.51	7.63	6.49	3.56	7.86	2.76	3.28
	하순	8.47	8.31	4.51	7.09	7.34	5.27	2.45
7월	상순	10.91	5.73	3.68	4.34	3.57	2.92	2.76
	중순	10.58	3.24	5.30	5.98	5.66	7.22	5.77
	하순	9.83	7.41	6.58	10.06	8.54	5.46	3.87
8월	상순	9.97	3.96	7.50	9.75	6.42	9.66	2.56
	중순	10.20	5.88	4.09	4.90	6.76	5.92	3.41
	하순	11.15	5.55	2.54	6.90	6.65	6.48	4.04
9월	상순	10.39	8.53	4.51	7.65	6.81	7.61	2.59
	중순	8.70	4.74	6.74	8.04	8.40	7.47	4.80
	하순	9.45	6.52	8.48	7.33	5.74	9.69	2.42
10월	상순	7.38	6.73	8.21	7.60	5.31	8.76	5.07
	중순	8.70	4.74	6.74	8.04	8.40	7.47	4.80
	하순	7.49	6.74	8.26	8.23	6.41	6.54	5.17

3.4.2. 생산량 예측모델 개발

가. 기본 모델의 작성

- 작물의 생산량은 작물의 생육 상태와 온도, 강수량 및 일조시간 변화에 의존하며, 이를 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$P_{rice} = f(N, T, R, S)$$

여기서, P_{rice} = 작물 생산량, N = 작물의 생육 상태, T = 해당 시기의 온도 변화, R = 해당 시기의 강수량 변화, S = 해당 시기의 일조시간 변화

- 생산량의 예측은 어느 한 시점의 식생 및 기상요인에 지배되기보다는 생육 정보와 자연재해 및 관련 기상요인의 변화를 고려해야 하기 때문에 각 요인별 가중치를 다르게 함으로서 계산된 예측량이 특정 요인에 지배되지 않도록 고려해야 한다.

나. 충청북도 지역의 논벼 생산량 예측식

- 본 연구에서는 충청북도 지역의 논벼 생산량 예측을 위해 다음의 예측식을 제시한다.

$$P_{pri} = aN + bT + cR + dS$$

여기서, P_{pri} = 작물 생산 예측량, N = 해당 시기의 순별 NDVI, T = 해당 시기의 순별 최저온도, R = 해당 시기의 순별 누적 강우량, S = 해당 시기의 순별 일조시간, a, b, c, d = 계산 상수

- 예측식에 적용되는 계산 상수는 <표 3.4.2-1>과 같다.

<표 3.4.2-1> 해당 순별 계산 상수

		a	b	c	d
7월	상순	330.5514	22.0944	-0.1518	3.9785
	중순	550.9493	10.8642	-0.052	5.0214
	하순	137.1963	21.1363	-0.012	0.8089
8월	상순	2.9985	-0.0456	-0.0001	-0.0327
	중순	1.0412	0.0032	-0.0002	-0.0081
	하순	351.419	12.4539	0.0301	8.9899
9월	상순	18.9137	-6.7521	0.2408	52.9412
	중순	423.986	12.5972	0.0566	21.5035
	하순	617.3941	23.4897	-0.1042	1.3386

다. 예측식의 정확도 검증

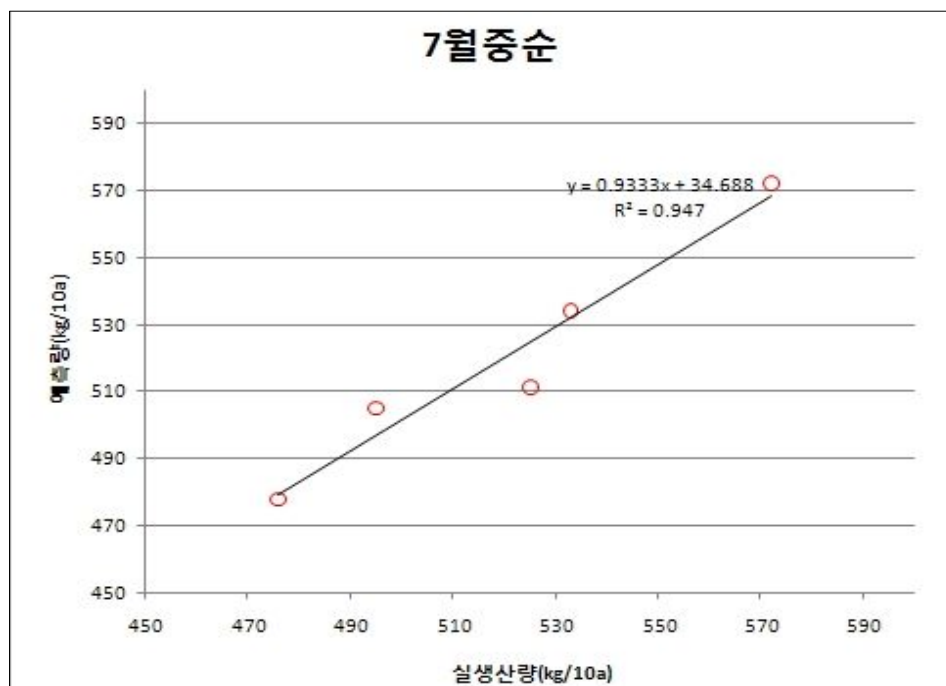
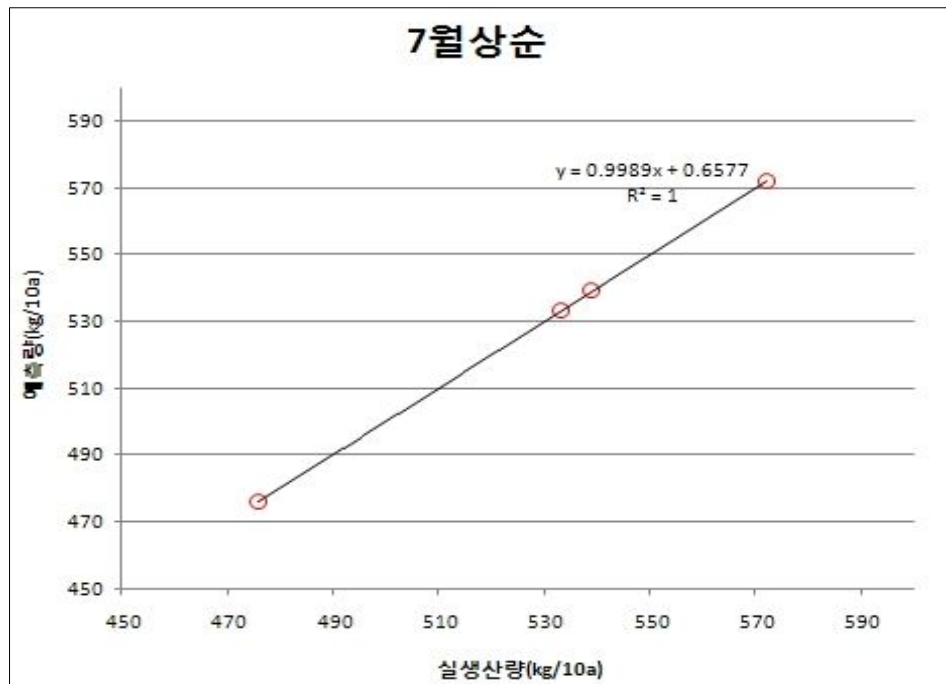
- 본 연구에서는 제안한 충청북도 지역의 논벼 생산량 예측식에 의한 예측량과 통계청에서 발표한 실생산량은 <표 3.4.2-2>과 같다.
- 또한, 예측식의 정확도 검정을 위하여 예측량과 실생산량과의 상관분석 결과는 <표 3.4.2-3>, <그림 3.4.2-1>과 같다.

<표 3.4.2-2> 예측식에 의한 충청북도의 예측량과 실생산량 (kg/10a)

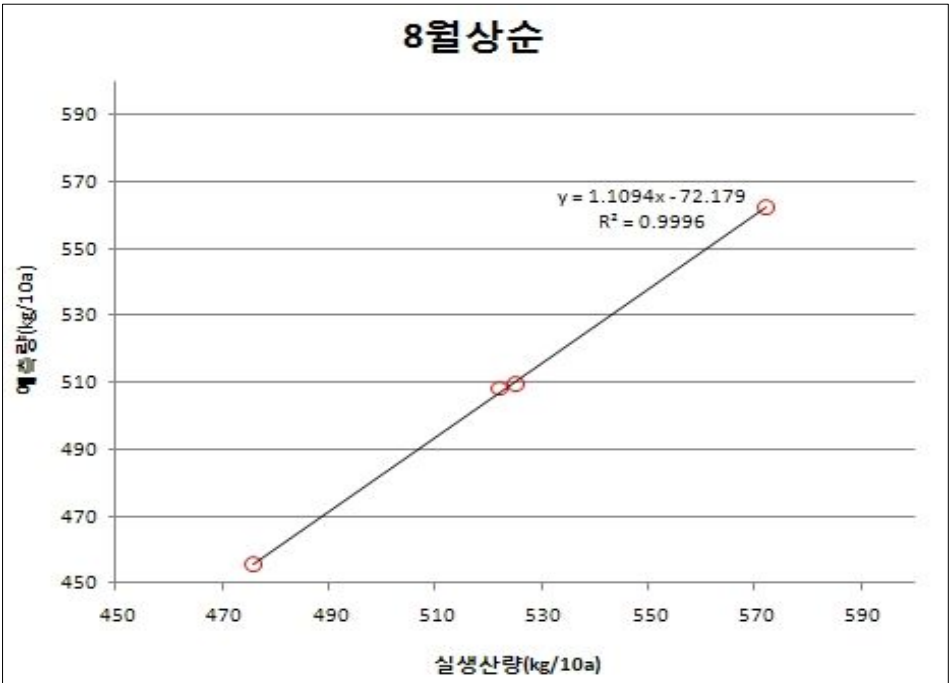
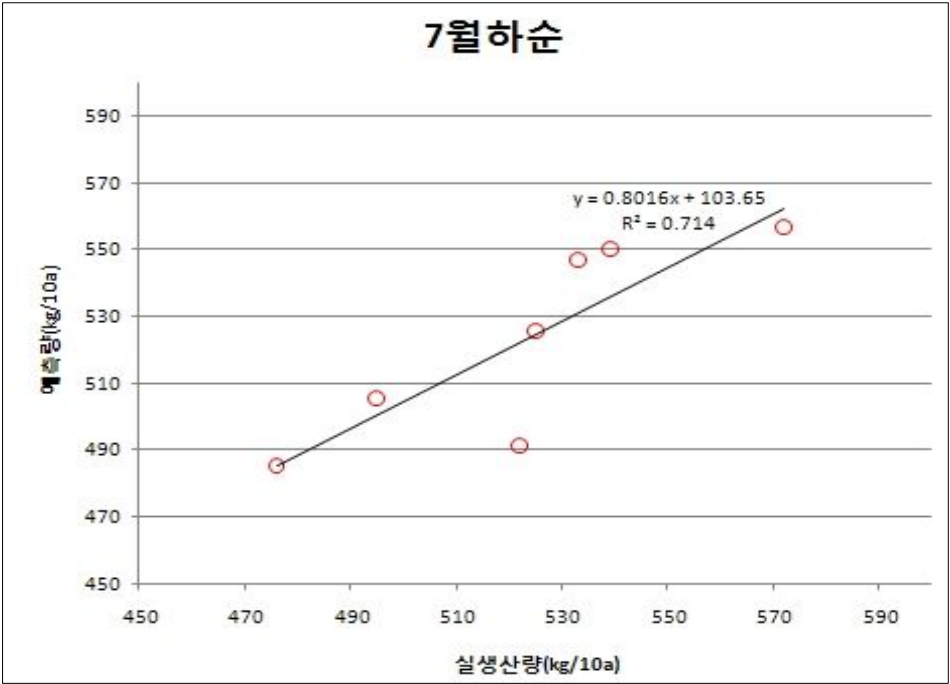
		2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	R
7월	상순	572.002	533.002	476.118	539.094	-	-	-	0.9999
	중순	572.359	534.233	477.830	-	511.403	-	505.023	0.9731
	하순	556.451	547.024	485.258	549.913	525.830	491.094	505.440	0.8450
8월	상순	562.101	-	455.537	-	509.646	508.151	-	0.9998
	중순	555.990	515.738	438.850	509.375	-	-	474.087	0.9884
	하순	570.898	535.388	-	-	525.650	523.970	491.146	0.9963
9월	상순	-	533.720	477.017	538.421	522.938	523.192	-	0.9987
	중순	561.125	507.947	505.723	473.975	565.265	570.782	460.041	0.4203
	하순	546.372	539.691	469.247	548.954	525.550	542.211	488.718	0.8894
실 생산량		572	533	476	539	525	522	495	

<표 3.4.2-3> 예측식에 의한 충청북도의 예측량과 실생산량 상관분석 결과

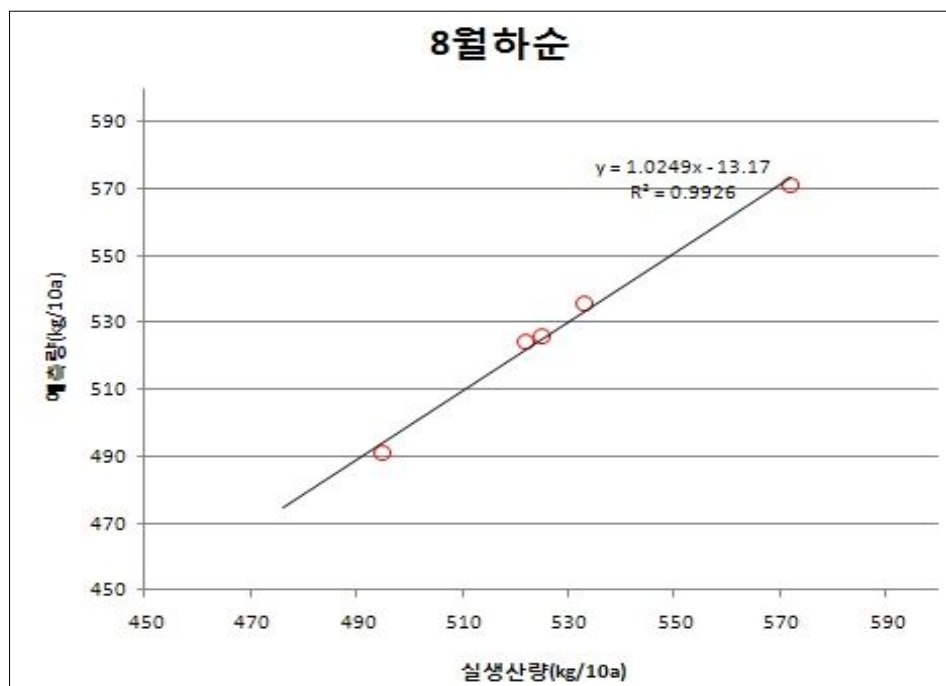
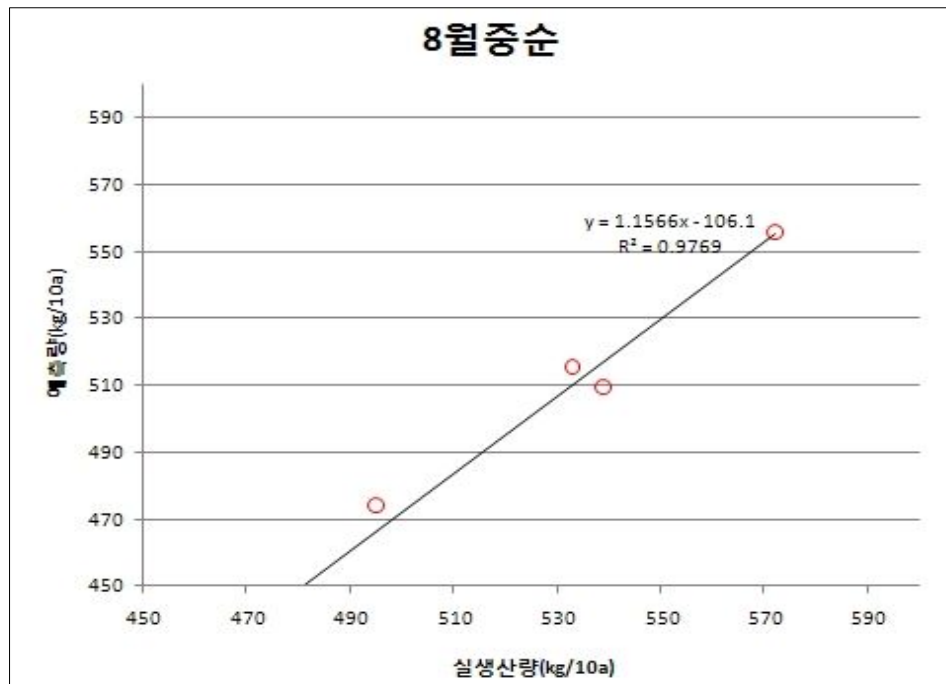
		상관식	R ²
7월	상순	$y=0.9989x+0.6577$	1.0000
	중순	$y=0.9333x+34.688$	0.9470
	하순	$y=0.8016x+103.65$	0.7140
	평균	$y=0.9069x+48.726$	0.8777
8월	상순	$y=1.1094x-72.179$	0.9996
	중순	$y=1.1566x-106.1$	0.9769
	하순	$y=1.0249x-13.17$	0.9928
	평균	$y=1.1392x-88.045$	0.9153
9월	상순	$y=0.9783x+11.315$	0.9973
	중순	$y=0.6164x+198.25$	0.1766
	하순	$y=0.9035x+50.296$	0.7911
	평균	$y=0.9262x+38.398$	0.8499



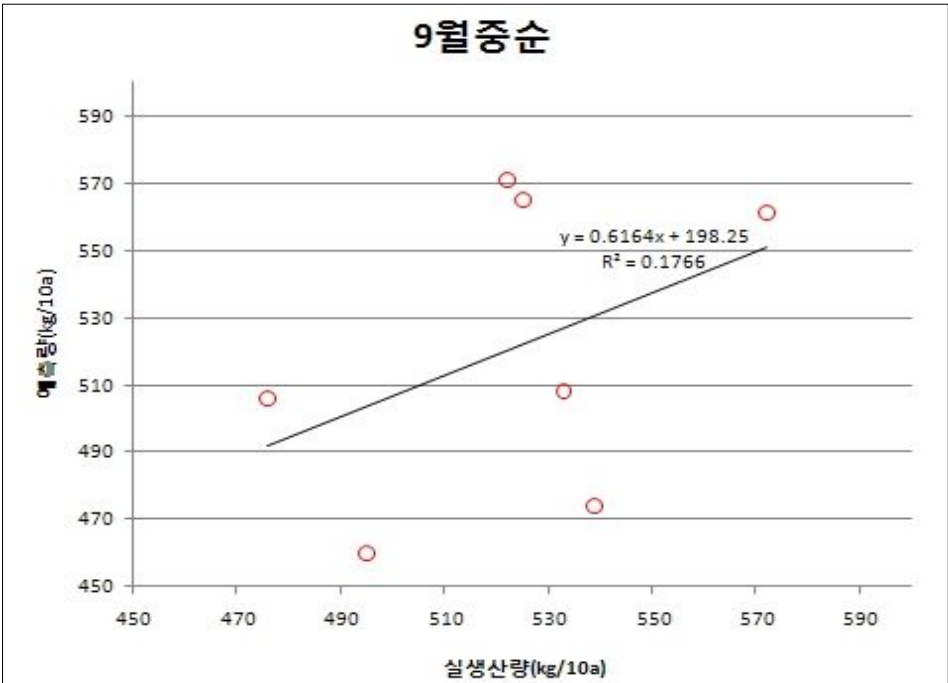
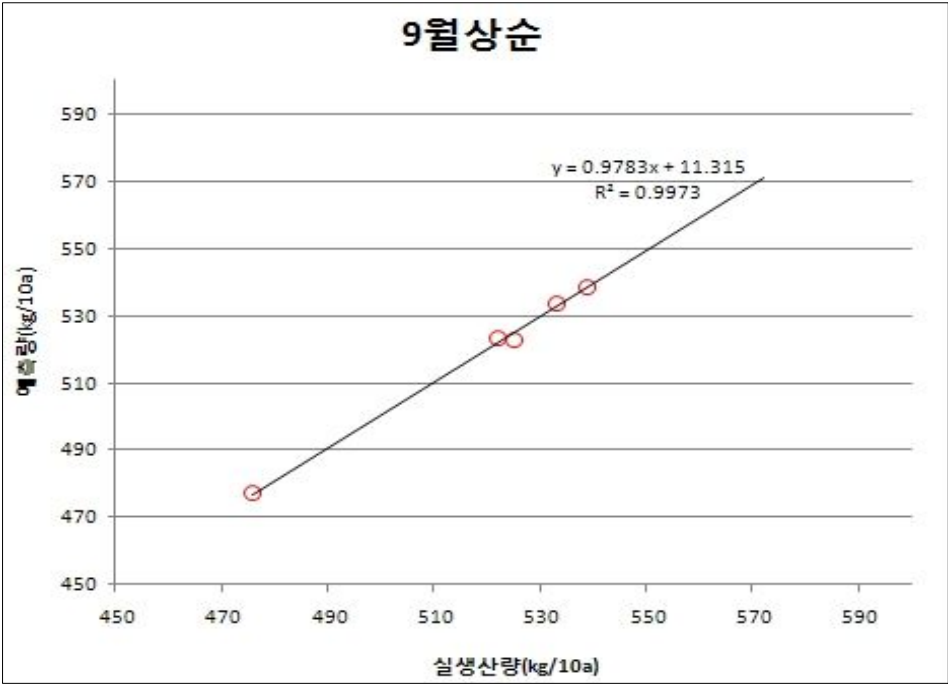
<그림 3.4.2-1> 충청북도 예측량과 실생산량 상관분석 결과



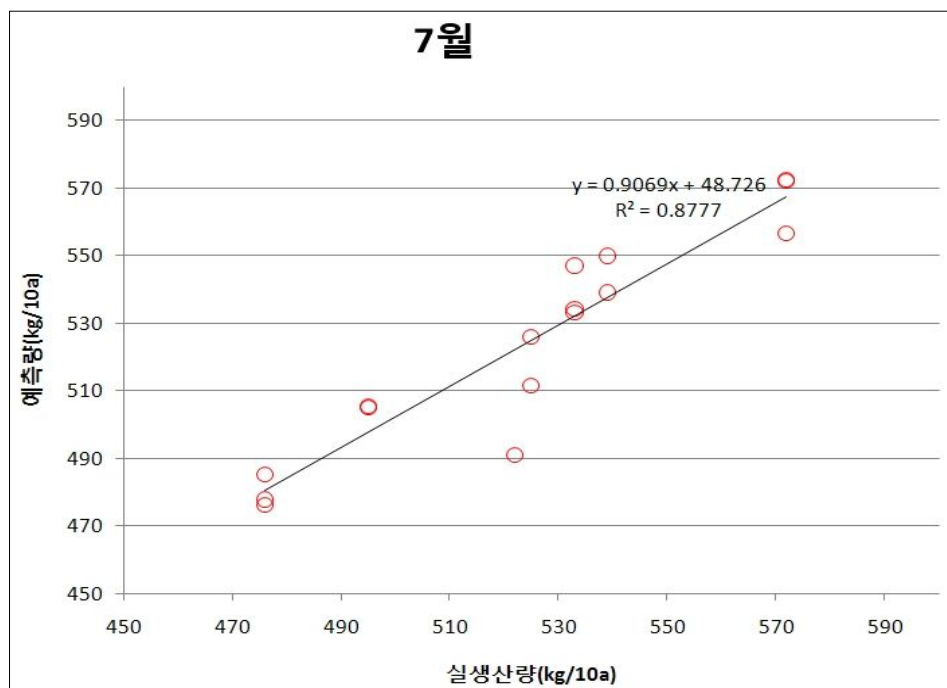
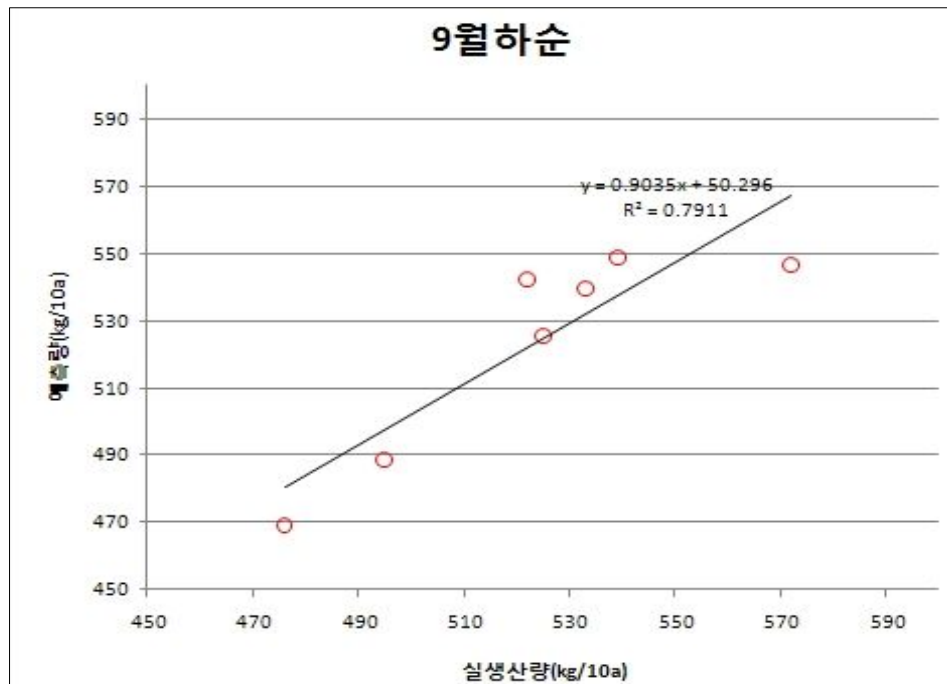
<그림 3.4.2-1> 충청북도 예측량과 실생산량 상관분석 결과 (계속)



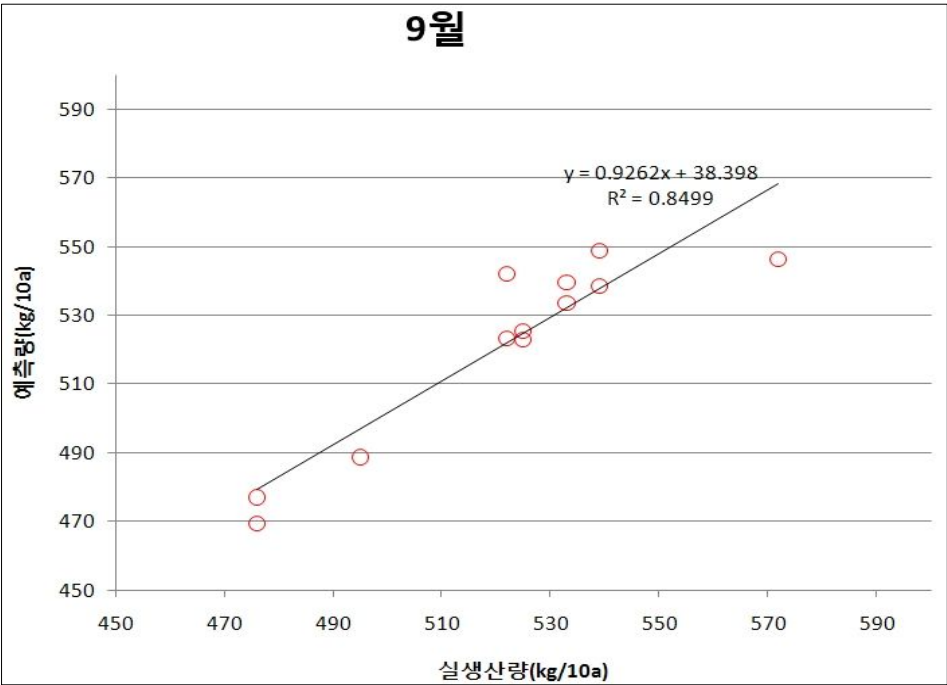
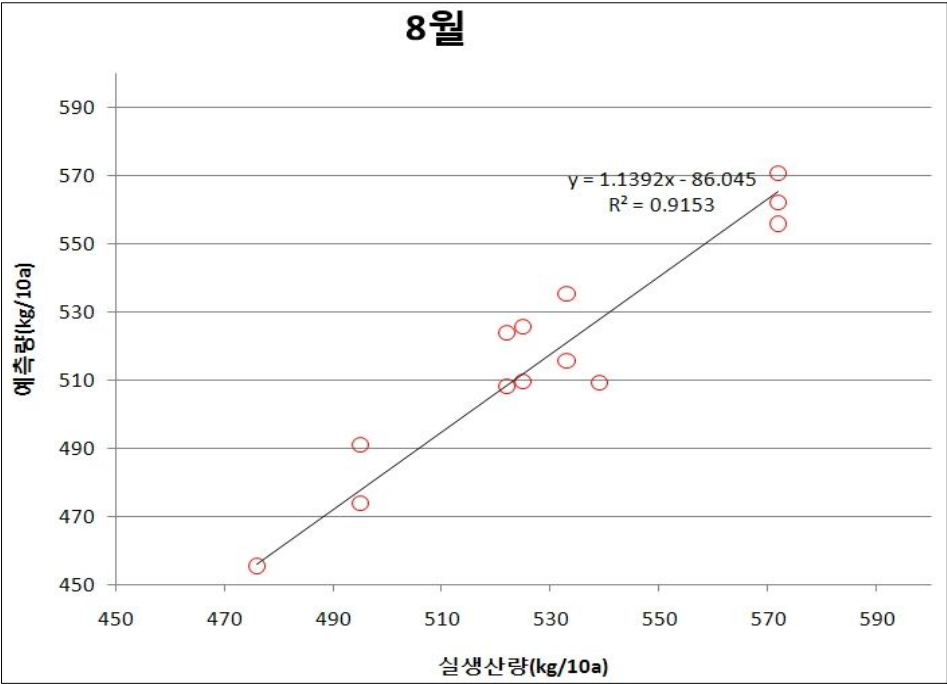
<그림 3.4.2-1> 충청북도 예측량과 실생산량 상관분석 결과 (계속)



<그림 3.4.2-1> 충청북도 예측량과 실생산량 상관분석 결과 (계속)



<그림 3.4.2-1> 충청북도 예측량과 실생산량 상관분석 결과 (계속)



<그림 3.4.2-1> 충청북도 예측량과 실생산량 상관분석 결과 (계속)

- 예측량과 실생산량과의 상관분석 결과, 상관계수는 $0.4203 < R < 0.9999$ 의 범위를 나타내 예측식에 의한 예측량과 실생산량은 높은 상관성을 나타내었다.
- 9월 중순의 경우, 결정계수 R^2 가 0.1766으로 상대적으로 매우 낮은 수치를 보였다. 이는 9월 중순에 발생하는 태풍의 영향으로 위성영상 데이터에 의한 NDVI에 많은 오차를 포함하고 있거나, 기상 요인의 불안정에 대한 결과로 판단된다.
- 따라서, 9월 중순의 경우를 이상치로 가정하고, 월별 평균 결정계수(R^2)를 비교한 결과, 8월(0.915) > 7월(0.877) > 9월(0.849)의 순으로 나타났다.
- 하지만, 본 연구에서 제안한 예측식의 결과는 2001년~2007년의 자료만 이용한 것이며, 위성영상 데이터의 필터링을 통해 실제적으로 적용된 자료는 4~5년 정도로 바로 적용하여 사용하기에는 무리가 따른다.
- 그러나, 본 연구로 인하여 NDVI와 기상데이터를 이용한 생산량 예측식의 가능성을 확인할 수 있었으며, 과거 자료 및 추후 생성되는 자료를 수집하여 예측식을 수정 및 보완한다면 정확도는 향상될 것으로 판단된다.

3.4.3. 예측모델의 적용

가. 적용 위성영상 데이터

- 본 연구에서 제안한 예측식은 MODIS 위성영상 데이터에서 산출한 NDVI를 적용하여 작성되었다.
- MODIS 위성영상 데이터는 높은 시간해상도로 인하여 연간 다수의 영상을 취득할 수 있어 특정 환경 요인에 대한 시계열 분석이 가능하지만, 낮은 공간해상도로 인하여 국지적인 지역의 분석이 불가능하다.
- 따라서, 본 연구의 3.2 절에서 농업정보 추출을 위하여 위성영상 적용가능성이 가장 높다고 판단된 KOMPSAT-2 위성영상 데이터를 3.4 절에서 제안한 예측식에 적용하여 가능성을 검토하였다.

나. KOMPSAT-2 적용 결과(2008년)

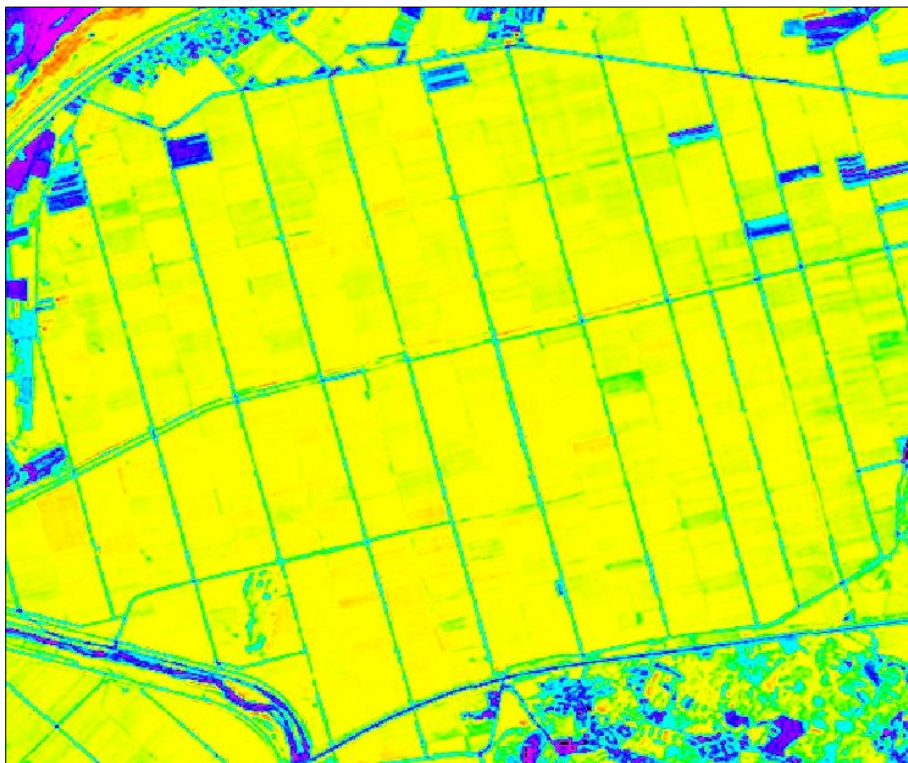
- KOMPSAT-2 위성영상 데이터는 <그림 3.4.3-1>과 같이 2008년 8월 31일에 촬영된 영상으로 대상 지역은 본 연구의 현장측정 시범지역인 충북 청원군 옥산면 소로리에 위치한 논을 대상으로 적용하였다.
- 또한, 데이터 처리의 효율성을 고려하여 필지 경계가 뚜렷한 논을 중심으로 일부지역($2,200 \times 2,000$ pixel, 2.2×2.0 km)을 추출하여 적용하였다<그림 3.4.3-2>.
- 대상지역의 KOMPSAT-2 위성영상 데이터를 이용하여 <그림 3.4.3-3>과 같이 NDVI를 추출하였고, 2008년 8월 31일의 기상인자는 <표 3.4.3-1>과 같이 기상청의 기상언보에서 추출하였다.



<그림 3.4.3-1> 2008년 8월 31일 KOMPSAT-2 위성영상 데이터



<그림 3.4.3-2> 적용 대상지역의 2008년 KOMPSAT-2 위성영상 데이터



<그림 3.4.3-3> 2008년 KOMPSAT-2 위성영상 데이터에서 추출한 NDVI

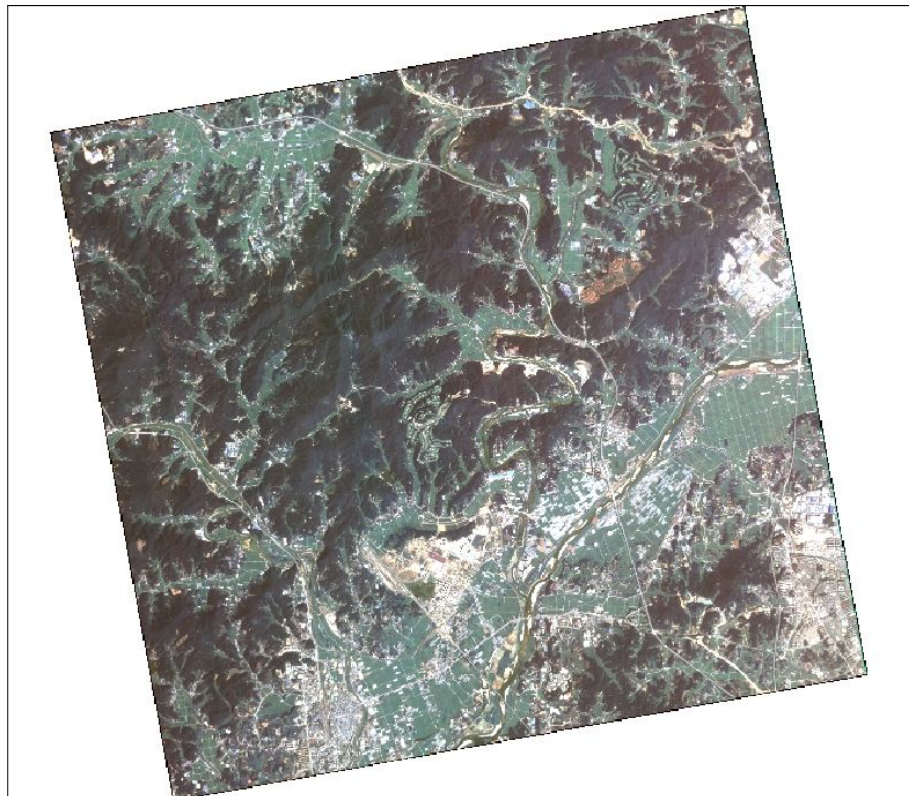
<표 3.4.3-1> 2008년 8월 31일 식생인자 및 기상인자

식생인자	기상인자		
NDVI	최저온도	누적강수량	일조시간
0.634	16.7 (℃)	865.1 (mm)	11.1 (hr)

- 위에서 산출한 식생인자 및 기상인자를 본 연구에서 제안한 예측식에 적용한 결과, 예측량은 556.61 kg/10a로 산출되었으며, 통계청에서 발표한 2008년 충북지역 논벼의 생산량인 555 kg/10a와 비교해 볼 때, 0.29% 높게 예측되었다.

다. KOMPSAT-2 적용 결과(2009년)

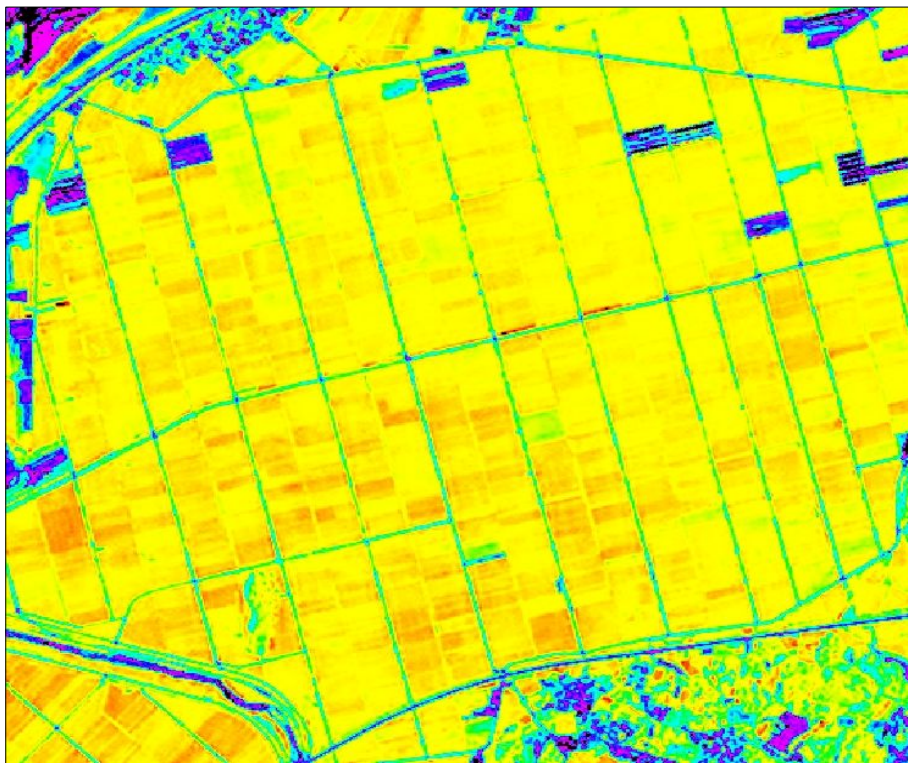
- 2009년 KOMPSAT-2 위성영상 데이터는 <그림 3.4.3-4>와 같이 2009년 9월 10일에 촬영된 영상으로 대상 지역 및 적용 방법은 2008년과 동일하게 적용하였다.



<그림 3.4.3-4> 2009년 9월 10일 KOMPSAT-2 위성영상 데이터



<그림 3.4.3-5> 적용 대상지역의 2009년 KOMPSAT-2 위성영상 데이터



<그림 3.4.3-6> 2009년 KOMPSAT-2 위성영상 데이터에서 추출한 NDVI

<표 3.4.3-2> 2009년 9월 10일 식생인자 및 기상인자

식생인자	기상인자		
NDVI	최저온도	누적강수량	일조시간
0.715	11.5 (℃)	987.2 (mm)	7.3 (hr)

- 위에서 산출한 식생인자 및 기상인자를 본 연구에서 제안한 예측식에 적용한 결과, 예측량은 548.03 kg/10a로 산출되었으며, 통계청에서 발표한 2009년 충청지역 논벼의 생산량인 566 kg/10a와 비교해 볼 때, 3.18% 낮게 예측되었다.
- 본 장에서 제안한 예측식을 2008년 및 2009년의 KOMPSAT-2 위성영상 데이터에 적용하여 검토한 결과, 2008년 8월 31일의 예측량은 1.61 kg/10a (0.29 %) 높게, 2009년 9월 10일의 예측량은 17.97 kg/10a (3.18 %) 낮게 예측되었다.
- 이 결과는 3.4 절의 상관분석 결과에서 확인되었던 결과(8월 $R^2 = 0.9153$, 9월 $R^2 = 0.8499$)로 8월의 예측량이 9월의 예측량보다 실생산량과의 상관성이 높은 것을 반영하는 것이다.
- 따라서 원격탐사기술을 이용하여 충청북도의 논벼 수확량 예측시에는 8월의 데이터를 이용할 것을 권장하며, 추가적인 연구를 통해 한국형 수확량 예측 모델 개발 시 기초자료로서 활용이 가능할 것이다.

제 4 장 중장기 로드맵 수립

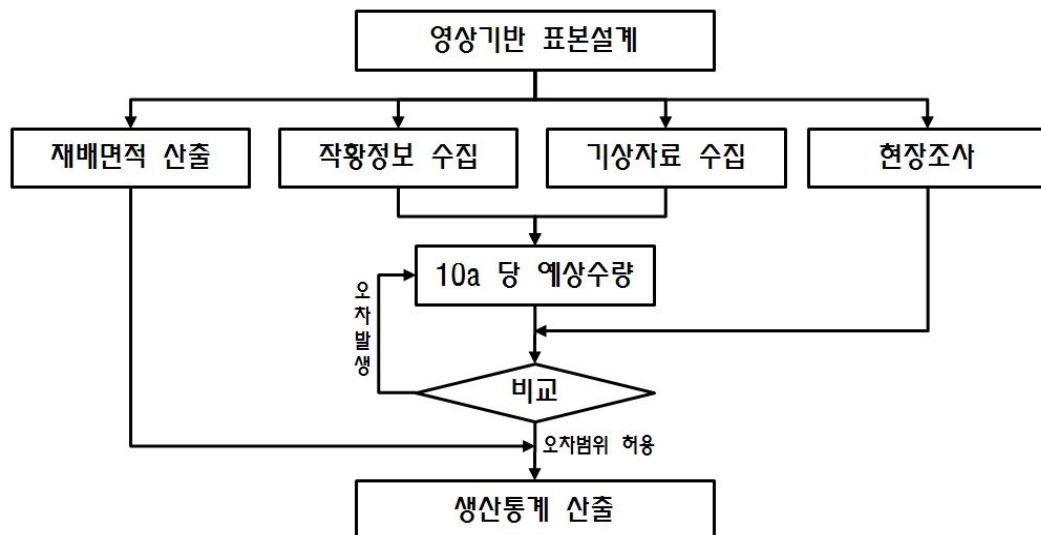
4.1. 원격탐사기술 도입방안

4.1.1. 생산통계 기술 수준

- 원격탐사기술을 이용하여 생산량을 추정하는 데 다음의 두 가지 경우가 있을 수 있다. 첫 번째는 주산지를 대상으로 단일작물 재배지에 대하여 생산량을 추정하는 것이고, 두 번째는 주산지 이외의 지역을 대상으로 혼작상태에서 두 개 이상의 작물을 판별하여 각각의 생산량을 추정하는 것이다.
- 따라서, 주산지를 대상으로 단일작물 재배지에 대한 생산량 추정을 우선 도입하고, 주산지 이외의 지역을 대상으로 혼작상태에서 두 개 이상의 작물 판별하고 각 작물의 생산량 추정은 추후 도입해야 한다.
- 현재 기술 수준으로는 논벼의 생산량 추정은 가능하나 밭작물은 추가적인 연구 및 검토가 필요한 실정이다. 또한 논벼의 생산량 추정도 많은 오차요인을 포함하고 있어 추정량만으로 통계업무에 사용하기에는 제한적이다. 따라서 논벼의 생산량 추정은 현장조사를 통한 수량 파악을 병행하는 방식으로 진행되어야 하며, 밭작물의 생산량 추정은 추가적인 연구 및 검토가 반드시 필요하다.
- 기술적으로는 생산량 추정이 가능한 논벼를 대상으로 시범지역을 선정한 후, 다년간 연구를 진행하여 추정량과 실생산량과의 오차를 줄이고, 생산량 추정모델의 정확도를 높여야 할 것이다.
- 또한, 농작물의 생산량 추정은 수집이 용이한 KOMPSAT-2 위성영상 데이터를 우선적으로 활용해야 하며, 위성영상 데이터로 판독이 어렵거나 불가능한 밭작물에 대해서는 항공영상 및 SAR, LIDAR 등 고공간해상도 및 고분광해상도를 가지는 데이터를 활용하여야 할 것이다.

4.1.2. 생산통계 절차

- 원격탐사기술을 이용하여 생산량을 추정하는 일반적인 과정은 위성영상 데이터를 통한 재배면적 정확도에 달려 있다고 해도 과언이 아니다. 따라서 정확한 생산량의 추정은 정확한 재배면적 산출이 전제되어야 한다.
- 생산량을 추정하기 위해서는 대상지역에 대한 재배면적과 대상작물에 대한 작황정보를 입수한 후, 해당 일시의 기상데이터를 참고해야 한다. 이 후 작황정보와 기상데이터를 생산량 추정 모델에 적용시켜 10a 당 수량을 추정하고, 재배면적을 이용하여 총 생산량을 도출한다.
- 정리하면, 관련 정보의 수집 -> 수집된 정보의 가공 및 분석 -> 생산통계의 산출의 절차에 의해서 진행되어야 할 것이며, 세부 절차로는 영상기반 표본 설계 -> 재배면적 산출 -> 대상작물 작황정보 수집 -> 기상데이터 수집 -> 생산량 추정 -> 현장 조사량과의 비교 -> 추정량의 검보정 -> 전국단위로의 확대이다.



<그림 4.1.2-1> 생산통계 절차

4.1.3. 생산통계 가능성

- 원격탐사기술을 활용하여 작물별 생산량을 추정하기 위해서는 작물별 재배면적 정보와 작황에 대한 정보가 결합적으로 이용 가능해야 한다. 현재 기술수준을 고려한다면, 원격탐사기술을 통해 논벼와 밭작물의 일부 품목에 대한 정보만이 이용 가능하므로 원격탐사기술을 이용한 세부 작물별 정확한 생산량을 추정하는 데에는 한계가 있다.
- 즉, 현재의 원격탐사기술 수준 하에서는 논벼의 생산량 추정 및 주산지의 광범위한 필지에서 집중 재배되고 있는 일부 밭작물에 대한 생산량 추정에 제한적으로 활용이 가능하다.
- 또한, NDVI 및 GNDVI 등을 이용하여 작황을 판독하기 위해서는 작물의 재배방식, 이앙시기, 생육량, 질소농도 등의 변이를 포괄적으로 설명할 수 있어야 하지만, 국내에서는 아직까지 관련 데이터 및 노하우가 축적되지 않은 실정이다.
- 이는 식생지수를 활용하여 작황을 판독하기 위해서는 대기정보 문제를 해결하고, 여러 시기의 시계열 영상을 이용하여 식생지수와 작황과의 상관관계를 규명하는 등의 현장조사를 통해 위성영상 데이터에서 판독된 작황을 확인하는 절차가 필요하기 때문이다.
- 위성영상 데이터를 통해 보다 정확한 토지이용분류 및 경지면적조사, 경지별 작물 재배면적조사 그리고 해당 작물별 작황조사가 가능해 진다면 이러한 모든 프로세스를 시스템화 함으로서 수확량예측 시스템의 구현이 가능해 진다.
- 위성영상 데이터를 이용한 수확량 예측 시스템은 현지 필드조사를 통한 농작물 작황데이터, 날씨데이터, 토양데이터, AVHRR 데이터, 위성영상 데이터를 지속적으로 입력한 데이터베이스와 수확량예측을 위해 개발한 모델베이스를 통합함으로서 구성될 수 있다.
- 따라서, 농작물 수확량 예측을 위해서는 위성영상 데이터와 GIS를 활용한 각 작물의 작부면적을 과학적이고 효율적으로 추출할 수 있도록 정리하고 국내에서도 유럽

의 MCYFS와 같은 지속적인 모니터링과 수확량예측시스템에 대한 개발이 지속적으로 추진되어야 한다.

4.1.4. 활용가능 작물 및 우선순위

- 본 연구에서는 선진 사례 연구, 시범지역 현장 측정, 위성영상 데이터 및 주요작물의 적용가능성 평가 결과 등을 종합적으로 검토하여 원격탐사기술의 농업생산통계 활용가능 작물과 작목별 우선순위를 다음과 같이 제시한다.
- 먼저 선진국들의 사례를 검토하면 미국의 경우 처음으로 옥수수, 콩, 밀을 대상작목으로 원격탐사기술을 도입하였으며 향후 면, 벼, 사탕수수 등으로 적용을 확대하였다. 이러한 작목의 결정은 기본적으로 해당주의 CDL 참여여부에 달려있으나 분명한 것은 재배량이 많은 주 작목을 위주로 활용의 범위를 넓혀가고 있다는 점이다. 이와 같이 대상작물의 선정에 있어서는 일정 규모의 재배면적이 있고 위성영상 데이터의 시간해상도와 공간해상도 확보가 가능한 지역의 선정이 매우 중요한 것으로 파악되었다.
- 유럽연합의 경우 일반밀, 통밀, 보리, 쌀, 옥수수 등의 주곡에 대하여 원격탐사기술을 우선적으로 도입하고 있다. 그 이유는 유럽 MARS-Project의 경우 원격탐사기술 도입의 최우선 과제를 유럽전체의 식량생산현황 파악과 식량자급률 산정 및 식량수급조절에 목적을 두고 있기 때문이다. 따라서 국민의 생활과 밀접한 관련을 갖는 작목을 선정하는 것 역시 매우 중요하다.
- 또한, 중국의 경우 재배량이 많고 광역지역의 주요곡물인 밀, 쌀, 옥수수 등을 대상으로 원격탐사기술을 도입하고 있다. 일본의 경우에는 원격탐사기술을 활용하여 벼를 대상으로 수확량 예측에 관한 연구가 진행 중이나 실용화 단계에는 이르지 못하고 있다.
- 그러나, 광활한 토지의 미국과 유럽, 중국 등 원격탐사 기술의 활용에 선진 국가와 같이 동시적으로 작물생산현황 파악을 목적으로 하는 유럽의 사례는 작부체계가 복잡하고 다양한 지형조건과 인공구조물과의 혼합, 다품종·소량생산을 중심으로 하는 국내 농업여건에 그대로 적용하기에는 무리가 따른다.

- 이러한 선진국들의 현황과 더불어 국내 농업여건을 동시에 고려해 볼 때, 원격탐사 기술을 도입할 작목의 우선순위는 ‘미곡(논벼) > 두류(콩) > 채소(고추) > 잡곡(옥수수) > 맥류(보리) > 서류(감자) > 특용작물(참깨) > 과실(사과)’ 인 것으로 판단된다. 특히 하우스 등 시설재배를 하는 작물에 대해서는 정확한 재배면적 산정이 어렵기 때문에 기술 도입 작목의 우선순위에 포함할 수 없다.
- 이상의 결과들을 종합적으로 고려하면 현재의 관련 연구 및 기술수준과 전체 통계에서 차지하는 중요성을 고려할 때 관련연구가 초기단계인 우리나라에서는 논벼를 우선적으로 적용하는 것이 바람직하다고 판단된다.
- 그리고 논벼의 적용사례를 피드백하고 국가적 상황변화 및 통계수요자들의 요구에 따라 차후에 재배면적이 많은(농업통계에서 중요도가 높은) 밭작물과 채소류로 응용분야를 확대해 나가야 할 것이다. 채소류와 과실류에 대한 원격탐사기술의 도입 여부는 고해상도 위성영상 데이터에 대한 판독기술 확보와 영상구입의 경제성이 동시에 확보되어야 가능할 것이다.

4.2. 농작물 생산통계 활용 전략

4.2.1. 농작물 생산통계의 전제조건

- 현재 우리나라 위성 중 생산량 추정을 위해 활용할 수 있는 위성영상 데이터는 KOMPSAT-2 위성영상 데이터로서 최대 1m 급의 공간해상도와 4개 밴드의 분광해상도를 가지고 있다. 이와 같이 국내 농업통계산출에 원격탐사기술을 적용하려면 소규모의 다품종 재배 환경 하에서 보다 정확한 생산량 추정을 위해 고공간해상도 및 고분광해상도 영상을 확보하기 위한 광학센서의 개발과 위성영상 데이터의 판독 기술 개발 및 응용이 병행되어야 한다.
- 현재의 원격탐사기술 수준에서는 논벼, 콩, 고추 등 소수의 작물에 대한 생산량 추정이 부분적으로 가능할 뿐 양파, 마늘, 배추, 무 등 특정 밭작물에 대한 재배면적 추정과 사과, 배 등 과수의 작황 판독이 어려운 실정이다. 따라서 이들 작물에 대한 정확한 재배면적의 추정과 작황 판독의 기술이 개발되어 응용 가능한 수준에 이르기까지는 논벼, 콩, 고추 등 일부 작물과 지역에 초점을 두고 활용방안을 강구할

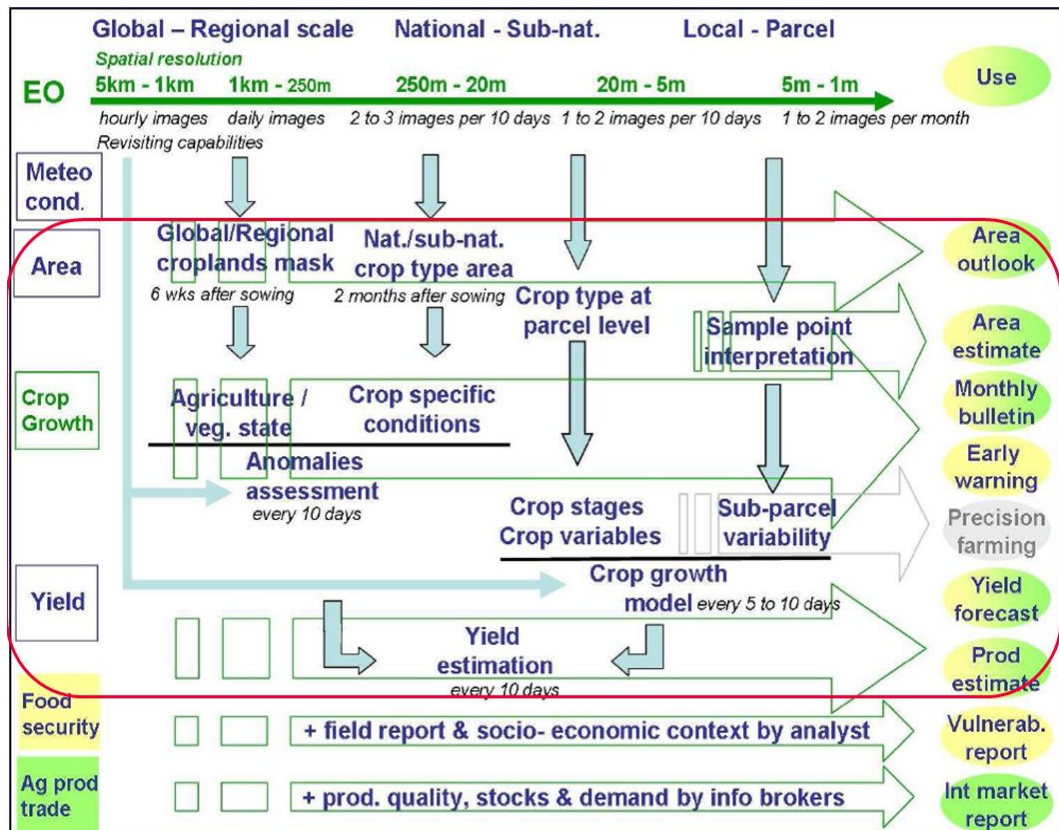
필요가 있다.

- 특정 밭작물의 재배면적 및 과수의 작황판독은 원격탐사기술과 함께 표본설계를 통한 현지조사 정보를 결합하여 활용하는 방안이 대안적으로 모색될 수 있으나, 이 방안도 특정 지역 및 작물에 대한 작황정보가 필요하고 현지조사를 위한 비용부담이 있다는 점에서 한계가 있다.
- 또한 작물의 생산량 추정을 위해 재배면적 정보와 더불어 필수적으로 수량 정보가 요구된다. 앞 절에서 살펴본 바와 같이 원격탐사기술을 활용한 작황 판독은 미국, 캐나다, 유럽 등에서 사용되는 식생지수인 NDVI와 최근 농촌진흥청에서 개발한 GNDVI가 활용될 수 있다. 그러나 NDVI만으로 추정된 수량 정보는 작물별 실제 수량과 큰 차이를 보이고 있는 것으로 알려져, 현재 기술 수준 하에서는 작황 판독과 더불어 정확한 기상데이터를 수집하여 생산량 추정 모델을 활용하는 것이 보다 유용할 것으로 판단된다. 그러나 이 방식도 실제 수량과 모델에 의하여 추정된 수량 간 완전한 상관관계를 갖지 못한다는 한계를 지니고 있다.
- 따라서 농작물의 생산량 추정을 위해서는 재배면적 및 작황 판독은 위성영상 데이터를 활용하고, 수량 정보는 현재 이용되고 있는 전수조사 결과에 의한 정보를 결합적으로 활용하는 방안이 보다 현실적이고, 유용할 것으로 사료된다.

4.2.2. 농작물 생산통계산출을 위한 위성영상 데이터 선정

- 위성영상 데이터자료는 원격탐사용용시스템의 영상DB관리시스템을 사용하도록 하며, 한국항공우주연구원과의 협의 체결로 인한 KOMPSAT-2 위성영상 데이터를 우선적으로 사용하도록 한다.
- 그러나 실제 적용에 있어서는 대상지역의 KOMPSAT-2 위성영상 데이터가 없는 경우가 많다. 따라서 농업생산통계 산출을 위한 위성영상 데이터를 선택하는데 있어서는 다음의 기준을 동시에 고려해야 한다.
- 대상면적 : 연구지역의 면적이 넓은가, 좁은가에 따라 위성영상 데이터의 종류나 개수가 결정되게 된다. 이것은 위성영상 데이터가 어느 범위까지를 찍을 수 있는지 확

영범위에 따라 달라진다. 또 사용하고자 하는 위성영상 데이터의 특징에 따라서도 틀려질 수 있다. 특정 지역의 분석을 위해서는 분석의 정확성을 높이기 위해 중·고 해상도를 사용하겠지만 국가차원에서 전 국토를 대상으로 한다면 중·저해상도 위성을 사용하는 것이 바람직하다.



<그림 4.2.2-1> 농업 원격탐사에서 이용 목적에 따른 위성영상 데이터의 시공간 스케일

- 농림업의 원격탐사에 있어서 요구되는 시간적, 공간적 스케일에 대해서 齋藤元也 (2002)는 <표 4.2.2-1>과 같이 제시하였다.
- 입수시기의 신속성 : 위성영상 데이터의 종류에 따라 촬영주기가 다르기 때문에 원 하고자 하는 지역이 촬영되어 있지 않다면 위성영상 데이터를 얻는데 다소의 시간이 걸릴 수도 있다. 특히 농작물 생산통계산출업무의 특성상 특정 시기의 영상을 반드시 취득하여 분석해야 할 경우 해당 시기의 위성영상 데이터 입수가 신속히 가능해야 한다. 위성영상 데이터를 검색 후 영상을 주문하여 얻어지는 시간은 각 위성의 종류에 따라 틀려진다. 앞서와 같이 인터넷으로 검색하여 미리 찍혀져있는 영상을 사는 경우, 많은 시간이 걸리지 않는다. Landsat TM을 검색하여 미국에 주문하였

을 경우, 3-4일 내에 영상을 받아볼 수 있다. 그러나, IKONOS나 Quickbird 영상을 촬영 주문하는 경우는 넉넉한 시간의 여유를 두어야 한다. 해당 연구지역의 날씨가 안 좋은 경우는 영상을 찍을 수 없으므로 좋은 질의 영상을 얻기 위해서는 다소의 시간이 걸릴 수 있기 때문이다. Web-server를 이용하는 MODIS의 경우도 계정의 접근만 허락되면 단시간에 영상을 얻을 수 있다.

<표 4.2.2-1> 농업 원격탐사에서 위성영상 데이터자료의 시공간 스케일

농림업의 제 현상	시간 스케일	공간 스케일
토사 붕괴	10분 - 1주	50m - 500m
삼림·초원 화재	30분 - 1주	100m - 1km
홍수 피해	30분 - 3일	100m - 1km
메뚜기 피해	1일 - 1주	100m - 5km
병해충의 전염	3일 - 1주	50m - 1km
농경지의 토양 수분 감시	3일 - 2주	50m - 5km
농작물의 생육 진단	1주 - 1개월	10m - 100m
초원 관리	1주 - 1개월	50m - 1km
글로벌 식생 감시	1주 - 1개월	500m - 10km
농작물의 광역적 수량 예측	2주 - 2개월	50m - 500m
농작물의 작부 면적 추정	1개월 - 3개월	20m - 100m
사막화 지대의 감시	1개월 - 1년	100m - 5km
농업적 토지 이용 변화	2개월 - 10년	50m - 500m
삼림 자원 관리	1년 - 3년	100m - 5km
삼림의 벌채 면적의 추정	1년 - 5년	50m - 1km
식생 분포의 변화	3년 - 30년	100m - 1km
토양 유기물 함량의 변화	5년 - 20년	100m - 1km

- 영상획득의 용이성 : 대부분의 위성영상 데이터는 인터넷을 통하여 검색할 수 있다. 인터넷을 통해 검색되는 영상들은 이미 찍혀져서 영상공급처에서 보관되고 있는 영상으로 주문하여 배달된다. 또 인터넷이 아니라 Web-server를 이용하는 경우도 있다. MODIS 경우 인터넷으로 검색 후 신청하면 비밀번호를 가르쳐 준 후 Web-server를 일정시간 열어둔다. 위성영상 데이터를 얻기 위해 검색 뿐 아니라 직접 주

문을 하는 경우도 있다. IKONOS나 Quickbird의 경우는 연구에 필요한 영상을 촬영 주문할 수 있다. 하지만 날씨가 안 좋아 여러 번 영상촬영이 미루어질 수 있는 위험도 있다. 이 경우 영상의 촬영일을 알아내어 연구지역에서 동일시간에 연구되는 여러 사항들을 측정하여 영상과 현지 자료값과의 오차를 줄일 수 있을 뿐 아니라 얻은 영상에 대한 특성도 알아낼 수 있다.

〈표 4.2.2-2〉 위성영상 데이터자료의 주문과 획득방법

영상주문 방식	위성영상 데이터 종류
인터넷검색 & CD 제공	KOMPSAT-2, SPOT
인터넷검색 & 웹에서 획득	MODIS, Landsat TM
주문촬영	IKONOS, Quickbird

- 영상의 가격 : 각각의 영상은 촬영범위나 촬영주기 또는 분광특성과 해상도가 틀리기 때문에 그 가격면에서도 많은 차이를 보인다. MODIS 및 Landsat TM의 경우는 무료로 공급되고 있으나, SPOT 위성영상 데이터의 경우 센서의 종류나 시기에 따라 1,250~5,100 유로화 정도이다.
- 현재 미국(CDLP)과 유럽(MARS-Project)에서는 Landsat을 주력으로 활용하고 있다. 그 이유는 기 촬영되어 있는 데이터가 많고, 수집이 용이하며, 대다수의 연구사례가 Landsat 영상을 활용하고 있다는 점에서 축적된 분석경험을 이용할 수 있기 때문이다.
- 그러나 미국 등 선진국의 사례가 복잡한 지형으로 다품종·소량생산을 중심으로 이루어지고 있는 국내농업에 그대로 적용될 수 없으며 오히려 비슷한 농업환경을 가지고 있는 일본의 사례가 좋은 참고 모델이 된다고 판단된다. 일본의 경우 초기 Landsat 영상을 이용한 연구가 성행했으나 최근 정밀도가 높은 위성의 활용을 통해 보다 세밀한 농업관련 통계 및 정보의 취득하는 방향으로 전개됨으로서 고해상도 위성영상 데이터자료의 활용이 증대되고 있다.
- 따라서 농작물 생산통계산출을 위한 위성영상 데이터는 타 선진국의 사례와 마찬가지로 앞서 제시한 고려사항을 반영한 시범연구의 추진을 통해 적정 영상을 판단 및 제시하는 것이 바람직 할 것이다.

- 또한 최근 해외 연구동향을 고려할 때 아시아 기후의 특성상 기후에 영향을 받지 않는 전천후형 SAR(Synthetic Aperture Radar) 위성영상 데이터자료와 고해상도 위성영상 데이터가 보완적으로 사용할 수 있는 통합시스템이 지속적으로 연구되어야 한다.

4.2.3. 농작물 생산통계 체계 구축

- 지금까지의 연구 결과를 토대로 ‘원격탐사기술을 이용한 농작물 생산통계 체계 구축’ 사업을 다음과 같이 제시한다.
- 대상작물은 논벼를 대상으로 사업을 시행하되 향후 추진될 밭작물의 생산량 통계산출의 기반연구를 수행한다.
- 3개 시군을 대상으로 시범연구를 통해 조사방법 및 논벼 예상생산량 모델의 적용성을 검토한 후, 3개도로 대상지역을 확대하여 시범사업 후 전국적인 실무도입을 추진한다.
- 시범연구와 시범사업의 기간은 각각 1년으로 설정한다. 시범연구와 시범사업의 기간은 선진국의 사례와 국내 농업통계실무자의 의견을 반영하여 결정하였으며, 그 근거는 다음과 같다.
- 미국은 1972년부터 1979년의 8년간에 걸친 프로젝트에서 원격탐사기술의 농업통계 산출분야 활용에 대한 기반을 조성하였으며 일정은 다음과 같이 정리된다.
 - 선행연구기간 : 1972~1974년(3년)
 - 시범연구 : 1975~1977년(3년), 대상지역 : Illinois 주
 - 시범사업 : 1978~1979년(2년), 대상지역 : Iowa 주
 - 실무적용 1단계 : 1980~1984(5년), 대상지역 : Iowa, Kansas 주
 - 실무적용 2단계 : 1985~현재, 대상지역 : 8개 주
- 유럽국가(이탈리아, 터키 등)의 경우 대다수의 국가들이 5년 이상의 시범연구 및 시범사업을 통해 농업통계생산에 원격탐사기술을 적용하고 있다.

○ 선진국의 경우 실무적용에 앞서 최소 8년 이상을 연구기간으로 설정하였으나 원격 탐사기술이 초기단계인 1970년대인 점을 감안하면 축적된 국내 기술수준과 선진국과의 적극적인 연구교류를 통해 기간을 단축시킬 수 있을 것이다. 또한 국내 농업통계실무자들이 3년 정도의 연구 및 시범사업기간을 통해 가능하면 빨리 실무적용을 희망하고 있는 점을 감안하면 4년간의 사업기간이 적절하다고 판단된다.

○ 국내 농어업통계실무자의 의견 조사결과는 다음과 같다.

- 경지면적조사(2012년부터) : 위성영상 데이터 판독을 통해 경지면적 산출, 집계, 내검 및 공표
- 농작물재배면적조사(2012년부터) : 위성영상 데이터 판독을 통해 벼 재배면적 산출, 집계, 내검 및 공표, 점차 밭작물로 적용 범위 확대
- 농작물생산량 조사(2014년부터) : 벼 생산량에 우선 실용화, 성장 단계별 식생지수 개발, 벼 생육 예측을 위한 작물모형 개발, 예상량 및 생산량 추정 모형 개발
- 어업생산조사(2015년부터) : 어업생산동향조사 중 양식 생산량 통계 원격조사 추진(김, 미역 등)

4.2.4. 주요 사업내용

가. 시범연구(1차년도)

○ 시범연구기관 및 컨소시엄 구성

- 시범연구기관은 사업의 추진을 위해 농작물 생산통계 산출 및 통계업무와 연계방안을 위한 한국형 생산량 예측모델의 개발 및 적용가능성 평가, 해외 주요 대학 및 기관과의 대등한 수준의 지적 연구교류, 연계 기관별 실무자에 대한 교육, 관련 후속 전문 인력의 지속적 양성을 동시에 수행한다.
- 시범연구기관과의 컨소시엄 대상기관은 농림수산식품부, 통계청, 농업기반공사, 농촌진흥청, 산림청 등이 있다.

○ 한국형 생산량 예측모델 개발

- 현재 통계청의 통계개발원에서 ‘천립중’이라는 쌀 예상생산량 모형이 연구·개발되고 있다.
- ‘천립중’은 예상량조사 전까지의 실측자료와 기상자료에 근거하여 보다 객관적인 예상치를 제시하고자 하는 회귀모형식으로 개발되고 있으며, 추후 원격탐사기술의 적용이 가능할 것으로 예측된다.
- 시범연구사업에서 핵심적인 부분은 원격탐사기술을 이용하여 산출한 농작물생산통계와 기존의 표본통계를 통합적으로 다룰 수 있는 한국형 농업생산량 예측 모형을 개발하는 것이므로 ‘천립중’을 원격탐사기술에 적용하도록 업그레이드를 통하여 수정하고 적용가능성을 평가해야 한다.
- 또한, 선진국의 현행 생산량 예측 모형을 해부하여 국내 실정에 맞게 적용하는 등, 이를 바탕으로 최신 모형을 적극적으로 수용하여 선진국수준을 극복해야 한다.
- 원격탐사기술을 활용한 농작물 생산통계산출은 물론 기존 표본조사 통계의 검증 및 보정, 예측량의 합리적 선정, 응급상황에서 신속한 추가통계 산출 등에 대한 구체적인 통계적 방법론이 연구되어야 한다.

○ 위성영상 데이터 활용 기법연구

- 국내 관련업계의 기술수준 뿐만 아니라 농작물 생산통계산출을 위한 선진국의 위성영상 데이터 활용기술 수준을 극복할 수 있는 지속적인 연구가 수행되어야 한다.

○ 시범연구지역 선정

- 원격탐사기술을 이용한 합리적 농업생산 예측량 산출·보급체계 구축과 이를 전국단위의 실무에 도입하기 위한 전단계로 3개 시군을 시범연구지역으로 선정하고 해당 시군에 대한 종합적인 연구사업을 수행한다.
- 시범연구지역에 대한 연구결과를 통해 문제점들을 지속적으로 피드백 및 보완함으로써 실무도입 시 발생할 수 있는 문제점들을 사전에 보완할 수 있으며 발생하는 예산(비용)의 낭비를 최소화 할 수 있다.
- 시범연구지역 선정의 주요 기준으로 해당 시군의 면적, 통계생산 대상작목의 경지면적, 작부체계의 특성 등을 동시에 고려해야 한다.
- 본 연구에서는 시군 중에서 미곡 재배면적이 가장 넓으며, 대구획 경지정리가 잘 되어 있어 원격탐사기술의 적용성이 비교적 높은 경기도 화성시(2009년 기준 재배

면적 15,388 ha), 충청남도 당진군(2009년 기준 재배면적 22,427 ha), 전라남도 해남군(2009년 기준 재배면적 22,942 ha)을 적정 시범연구지역으로 제안한다.

○ 농업생산통계 관련 실무자 교육 프로그램 개발

- 3년간의 시범연구·사업 후에 담당 실무자가 관련 업무를 원활히 수행할 수 있도록 농업생산통계 관련 실무자 교육 프로그램을 개발한다.
- 교육의 주요 대상은 농림수산부와 통계청의 농업생산 통계관련 담당자들이며 맨투맨교육을 통해 업무에 바로 적용할 수 있는 실무 프로세스를 개발한다.

○ 전문가 초빙 및 연구네트워크 구축

- 국내에서 원격탐사기술을 이용한 합리적인 농업생산 예측량 산출·보급체계를 구축하기 위해서는 관련 기술이 앞서있는 선진국과의 활발한 교류가 중요하다.
- 따라서 선진국(미국 등)의 주요 전문가를 정기적으로 초빙하여 사업진행 및 관련 기술에 대한 자문이 요구된다.
- 또한, 시범연구기관 및 컨소시엄의 주요 연구자들에 대한 국내 및 해외기관의 파견연수가 필요할 것으로 사료된다.
- 이러한 연구교류를 통해 관련 연구에 대한 국내외 연구네트워크를 지속적으로 구축, 확대해 나가야 한다.

나. 1차 시범사업(2차년도)

○ 시범사업지역 선정

- 원격탐사기술을 이용한 농업생산 예측량 산출·보급체계를 전국단위 실무에 도입하기 위해 시범연구결과를 바탕으로 3개도를 선정하여 시범사업을 실시한다.
- 시범사업을 통해 도출된 문제점들을 지속적으로 피드백 및 보완함으로써 전국단위 실무도입 시 발생할 수 있는 문제점들을 사전에 보완할 수 있으며 발생하는 예산(비용)의 낭비를 최소화 할 수 있다.
- 1차 시범사업지역으로는 해당 도의 면적, 미곡 경지면적, 작부체계의 특성, 지역적 특성 등을 동시에 고려하여 경기도(2009년 기준 재배면적 103,939 ha), 충청남도

(2009년 기준 재배면적 172,136 ha), 전라남도(2009년 기준 재배면적 198,874 ha)를
적정한 지역으로 제안한다.

- 1차 시범사업지역의 3개도를 대상으로 원격탐사를 통한 농작물 생산 예측량 산출·보급체계가 효율적으로 구축된다면 전국으로의 확대 적용은 용이할 것으로 판단된다.

○ 한국형 생산량 예측모델 적용 및 검증

- 시범사업지역의 원격탐사기술을 통한 농업생산 예측량 산출
- 산출된 예측량과 기존 표본통계를 비교함으로써 정확도 추정
- 기존 표본통계와 원격탐사기술에 의한 예측량과의 상관관계 분석

○ 원격탐사 농업생산통계산출 시스템 개발

- 시범사업지역의 위성영상 데이터자료 활용, 농업생산 예측량 산출, 검증과정의 응용기술이 실용화 단계로 축적되면 선진국의 사례를 벤치마킹하여 이를 자동화하여 업무효율을 극대화할 수 있는 정보시스템을 연구·개발한다.
- 시스템의 주요 구성요소는 생산량 추정 모델베이스(계량적 계수추정, 샘플링 등), 위성영상 데이터자료 및 통계정보 데이터베이스, 사용자 인터페이스 등으로 위성영상 데이터자료를 자동으로 처리하여 통계 정보화하는 배치프로세스도 중요한 서브모듈이다.

○ 농업생산통계 보급시스템 개발

- 원격탐사 농업생산통계산출 시스템이 개발되면 이와 별도로 산출된 디지털 농업통계를 인터넷을 통해 통계수요자들에게 원활하게 보급할 수 있는 농업통계 보급시스템을 연구·개발한다.
- 원격탐사 농업생산통계산출 시스템과 상호 연동되어 운영되는 농업생산통계 보급시스템은 웹 환경에서 수요자들이 원하는 통계를 단순 숫자가 아닌 GUI 디스플레이를 통해 제공함으로써 통계보급체계를 혁신하게 될 것으로 전망된다.
- 개발될 원격탐사 농업생산통계 보급시스템은 농림부에서 추진하고 있는 ‘통계정보와 지리정보를 통합하는 지리정보시스템 구축’사업과도 연계하여 수요자의 만족도

를 증대시킬 것으로 예상된다.

○ 실무자 대상 시범 교육

- 3년간의 시범사업 후에 담당 실무자가 관련 업무를 원활히 수행할 수 있도록 정기적인 실무자교육을 지속적으로 수행한다.
- 교육의 주요 대상은 농림수산물식품부와 통계청의 농업생산 통계관련 담당자들이며 맨투맨교육을 통해 업무에 바로 적용할 수 있는 실무 프로세스를 교육한다.

○ 전문가 초빙 및 연구네트워크 구축

- 시범사업기간에도 최신의 관련 기술을 지속적으로 습득하기 위해 선진국(미국 등)의 주요 전문가를 정기적으로 초빙하여 사업진행 및 관련기술에 대한 자문을 실시한다.
- 또한 시범사업기관 및 컨소시엄의 주요 연구자들에 대한 국내 및 해외기관의 파견연수를 실시한다.
- 이러한 연구교류를 통해 관련 연구에 대한 국내외 연구네트워크를 지속적으로 확대한다.

○ 관련 전문인력 양성(특성화대학 운영)

- 농업 생산통계를 비롯한 원격탐사기술의 농업통계분야 활용을 가속화 하기위해서는 관련 전문 인력의 양성이 무엇보다도 시급하다. 따라서 사업기간 중에 연구진의 노하우를 바탕으로 이러한 인력을 지속적으로 양성할 수 있는 별도의 교육프로그램의 운영이 반드시 필요할 것으로 사료된다.
- 따라서 3년간의 시범연구 및 사업의 노하우를 교육 커리큘럼화 하고 관심 있는 전공자들을 대상으로 집중 교육함으로써 향후 관련분야 발전에 전념할 수 있는 전문 인력을 양성하는 특성화 대학 혹은 대학원을 운영한다.

다. 2차 시범사업(3차년도)

○ 한국형 생산량 예측모델 적용 및 검증

- 전국단위를 대상으로 원격탐사기술을 통한 농업생산 예측량 산출
- 산출된 예측량과 기존 표본통계를 비교함으로써 정확도 추정
- 기존 표본통계와 원격탐사기술에 의한 예측량과의 상관관계 분석

○ 원격탐사 농업생산통계산출 시스템 시범운영

- 원격탐사기술을 이용한 농업생산통계산출을 자동화 할 수 있는 농업생산통계산출 시스템이 시범연구를 통해 개발되면 시범사업에 이를 실제로 적용함으로써 시스템을 시범운영한다.
- 본격적인 실무적용을 대비하여 시스템을 하드테스트 하고 발견된 문제점들을 피드백 한다. 또한 시스템 실 사용자들에 대한 의견을 수렴하여 기능을 보완한다.

○ 농업생산통계 보급시스템 시범운영

- 시범연구를 통해 원격탐사 농업생산 예측량을 인터넷을 통해 통계수요자들에게 원활하게 보급할 수 있는 농업생산통계 보급시스템이 개발되면 시범사업에 이를 실제로 적용함으로써 시스템을 시범운영한다.
- 본격적인 실무적용을 대비하여 시스템을 하드테스트 하고 발견된 문제점들의 피드백, 통계수요자들에 대한 의견 수렴 등을 통하여 기능을 보완한다. 또한 ‘원격탐사 농업생산통계산출 시스템’과 연계하기 위해 시스템 간의 호환성을 테스트하고 통합 운영방안을 마련한다.

○ 실무자 대상 시범 교육

- 3년간의 시범연구 및 시범사업 후에 담당 실무자가 관련 업무를 원활히 수행할 수 있도록 정기적인 실무자교육을 지속적으로 수행한다.
- 교육의 주요 대상은 농림수산식품부와 통계청의 농업생산 통계관련 담당자들이며 맨투맨교육을 통해 업무에 바로 적용할 수 있는 실무 프로세스를 교육한다.

○ 원격탐사기술을 이용한 농작물 생산통계산출을 위한 정책제안

- 3년간의 시범연구 및 시범사업의 결과를 종합하여 향후 실무적인 수준에서 원격탐사기술을 이용한 농작물 생산통계산출이 원활히 이루어지기 위한 정책적 사항을

제안한다.

- 주요내용은 원격탐사기술을 이용한 농작물 생산통계산출을 위한 제도적 장치 마련 및 예산확보, 실무기관의 관련 업무체계 확립 등이다.

○ 전문가 초빙 및 연구네트워크 구축

- 시범사업기간에도 최신의 관련 기술을 지속적으로 습득하기 위해 선진국(미국 등)의 주요 전문가를 정기적으로 초빙하여 사업진행 및 관련기술에 대한 자문을 실시한다.
- 또한 시범사업기관 및 컨소시엄의 주요 연구자들에 대한 국내 및 해외기관의 파견연수를 실시한다.
- 이러한 연구교류를 통해 관련 연구에 대한 국내외 연구네트워크를 지속적으로 확대한다.

○ 관련 전문인력 양성(특성화대학 운영)

- 시범연구에서 시작한 특성화 대학 혹은 대학원을 지속적으로 운영하여 원격탐사 기술의 농업통계분야 활용에 대한 전문 인력을 양성한다.

농작물 생산통계의 원격탐사기술 활용방안 연구

<표 4.2.4-1> 원격탐사기술을 이용한 농작물 생산통계 체계 구축 사업 주요내용

단 계	내 용
제 1단계 : 시범연구 (1차년도)	○ 시범연구기관 및 컨소시엄 구성 ○ 한국형 생산량 예측모델 개발 ○ 위성영상 데이터 활용 기법연구 ○ 시범연구지역 선정 ○ 농업생산통계 관련 실무자 교육 프로그램 개발 ○ 전문가 초빙 및 연구네트워크 구축
제 2단계 : 1차 시범사업 (2차년도)	○ 시범사업지역 선정 ○ 한국형 생산량 예측모델 적용 및 검증 ○ 원격탐사 농업생산통계산출 시스템 개발 ○ 농업생산통계 보급시스템 개발 ○ 실무자 대상 시범 교육 ○ 전문가 초빙 및 연구네트워크 구축 ○ 관련 전문인력 양성(특성화대학 운영)
제 3단계 : 2차 시범사업 (3차년도)	○ 한국형 생산량 예측모델 적용 및 검증 ○ 원격탐사 농업생산통계산출 시스템 시범운영 ○ 농업생산통계 보급시스템 시범운영 ○ 실무자 대상 시범 교육 ○ 원격탐사기술을 이용한 농작물 생산통계산출을 위한 정책제안 ○ 전문가 초빙 및 연구네트워크 구축 ○ 관련 전문인력 양성(특성화대학 운영)
제 4단계 : 실무도입 (4차년도)	○ 시범연구 및 시범사업 결과 및 관련 업무의 실무기관(통계청) 이관 ○ 원격탐사기술을 이용한 생산통계산출을 위한 제도적 장치 마련 및 예산확보 ○ 실무기관의 관련 업무체계 확립(실무 부서의 추가 및 개편) ○ 원격탐사 농업생산통계산출 시스템 운영 ○ 농업생산통계 보급시스템 운영 ○ 실무자 교육 및 육성 ○ 전문가 초빙 및 연구네트워크 구축 ○ 관련 전문인력 양성(특성화대학 운영)

4.2.5. 사업 추진 일정

가. 1차년도

- 1차년도 1/4분기까지 시범연구기관을 선정하고 이어서 컨소시엄을 구성한다.
- 시범연구기관이 선정되면 한국형 생산량 예측모델에 대한 연구를 수행한다.
- 생산통계산출과 관련한 위성영상 데이터 활용 기법을 추가적으로 연구한다.
- 시범연구지역을 3개 시군으로 선정하고 모델의 적용 및 테스트를 시작한다.
- 한국형 생산량 예측 모델을 바탕으로 농업생산 예측량을 산출하고 산출된 결과를 기존 표본통계를 비교함으로써 정확도를 추정한다. 또한 보다 정확한 검증을 위해 현장조사를 실시한다.
- 전문가 초빙 및 연구네트워크 구축을 시작한다. 또한, 최초 전문가 초빙을 통해 사업전반에 대한 자문을 수행한다.

나. 2차년도

- 생산량 추정 모델에 대한 연구를 지속하여 원격탐사기술을 이용한 한국형 생산량 예측모델의 적용성 평가 및 정확도 검증을 수행한다.
- 시범연구지역을 3개 도로 선정하고 모델의 적용 및 테스트를 시작한다.
- 모델에 의한 예측량의 정확도 추정 및 현장 실사를 계속 진행하며 정확도 향상 방안을 연구한다.
- 시범연구 결과를 종합적으로 고려하여 원격탐사 농업생산통계산출 시스템의 연구 및 개발에 착수한다.

- 농업생산통계 보급시스템을 연구·개발하고 여타 시스템과 연동한다.
- 전문가 초빙 및 연구네트워크 구축을 지속적으로 수행한다.
- 연구사업을 통해 지금까지 축적된 노하우를 바탕으로 전문인력 양성을 위한 특성화 대학의 운영을 시작한다(2차년도 하반기).

다. 3차년도

- 생산량 추정 모델에 대한 연구를 지속하여 원격탐사기술을 이용한 한국형 생산량 예측모델의 적용성 평가 및 정확도 검증을 지속적으로 수행한다.
- 시범연구지역을 전국단위로 확대하고 모델의 적용 및 테스트를 시작한다.
- 모델에 의한 예측량의 정확도 추정 및 현장 실사를 계속 진행하며 정확도 향상 방안을 지속적으로 연구한다.
- 1차 시범사업에서의 위성영상 데이터 활용방안, 농업생산 예측량 산출, 정확도 검증의 전 과정을 개발된 원격탐사 농업생산통계산출 시스템을 통해 수행함으로써 시스템을 시범운영한다.
- 1차 시범사업에서 산출되는 농업생산 예측량에 대한 농업생산통계 보급시스템을 시범운영한다.
- 구축된 원격탐사 농업생산통계산출 시스템을 중심으로 하여 원격탐사기술을 이용한 농작물 생산 예측량 산출의 전반적인 노하우를 관련 실무자들에게 교육한다.
- 3년간의 시범연구 및 시범사업의 결과를 종합하여 향후 실무적인 수준에서 원격탐사기술을 이용한 농업생산 예측량 산출이 원활히 이루어지기 위한 정책적 사항을 제안한다.
- 전문가 초빙 및 연구네트워크 구축을 지속적으로 수행한다.

- 전문인력 양성을 위한 특성화 대학 운영 지속적으로 수행한다.

라. 4차년도

- 시범연구 및 시범사업 결과와 관련 업무를 실무기관(통계청)에 이관한다.
- 원격탐사기술을 이용한 생산통계산출을 위한 제도적 장치 마련 및 예산을 확보한다.
- 실무 부서의 추가 및 개편을 통해 실무기관의 관련 업무체계를 확립한다.
- 시범연구 및 시범사업에서의 위성영상 데이터 활용방안, 농업생산 예측량 산출, 정확도 검증의 전 과정을 개발된 원격탐사 농업생산통계산출 시스템을 통해 수행함으로써 시스템을 운영한다.
- 시범연구 및 시범사업에서 산출되는 농업생산 예측량에 대한 농업생산통계 보급시스템을 운영한다.
- 현재까지 축적된 원격탐사기술을 이용한 농업생산 예측량 산출의 전반적인 노하우를 관련 실무자들에게 교육한다.
- 전문가 초빙 및 연구네트워크 구축을 지속적으로 수행한다.
- 전문인력 양성을 위한 특성화 대학 운영 지속적으로 수행한다.

농작물 생산통계의 원격탐사기술 활용방안 연구

<표 4.2.5-1> 원격탐사기술을 이용한 농작물 생산통계 체계 구축 사업 추진일정(안)

비 고	추진 일정															
	1차년도				2차년도				3차년도				4차년도			
	1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4
시험연구기관 및 컨소시엄 구성																
한국형 생산량 예측모델 개발																
위성영상 데이터 활용 기법연구																
시험연구지역 선정																
농업생산통계 관련 실무자 교육 프로그램 개발																
전문가 초빙 및 연구네트워크 구축																
관련 전문인력 양성(특성화대학 운영)																
시험사업지역 선정																
한국형 생산량 예측모델 적용 및 검증(1차)																
원격탐사 농업생산통계산출 시스템 개발																
농업생산통계 보급시스템 개발																
실무자 대상 시험 교육																
한국형 생산량 예측모델 적용 및 검증(2차)																
원격탐사 농업생산통계산출 시스템 시험운영																
농업생산통계 보급시스템 시험운영																
관련 업무의 실무기관 이관																
제도적 장치 마련 및 예산확보																
실무기관의 관련 업무체계 확립																
원격탐사 농업생산통계산출 시스템 운영																
농업생산통계 보급시스템 운영																
실무자 교육 및 육성																

4.2.6. 사업 추진 소요예산(추정)

가. 1차년도 : 약 292백만원 예상

- H/W구입비 : 약 30백만원 예상
 - 워크스테이션, 데스크탑, GIS장비(플로터, 디지털타이저 등) 등
- S/W구입비 : 약 60백만원 예상
 - ArcGIS와 해당 extension 등
- DB구축비(계속) : 약 20백만원 예상
 - 각종 위성영상 데이터자료, 수치지도, 속성정보 입력. 기간 중 일용비 합산
- 인건비(계속) : 약 92백만원 예상
 - 책임연수원, 연구원(박사급), 연구보조원(석사급), 보조원(학사급)
- 전문가초빙 자문비(계속) : 약 20백만원 예상
 - 해외 전문가 초빙 및 자문, 국내 전문가 초빙 및 자문
- 연구자 연수비(계속) : 약 50백만원 예상
 - 해외기관 연수, 국내기관 연수
- 기관별 실무자 교육비(계속) : 약 20백만원 예상
 - 농림수산부, 통계청 실무자 교육

나. 2차년도 : 약 341백만원 예상

- H/W 및 S/W 유지보수비 : 약 9백만원 예상
 - 구매비용의 10% 추산
- 시스템개발비 : 약 100백만원 예상

농작물 생산통계의 원격탐사기술 활용방안 연구

- 원격탐사 농업생산통계산출 시스템 개발비
- 농업생산통계 보급시스템 개발비

- 특성화대학운영(계속) : 약 30백만원 예상
 - 강사료, 실습재료비, 학생장학금 등

- 여타 1년차부터 동일하게 발생하는 비용내역은 생략

다. 3차, 4차년도 : 약 221백만원 예상

- 여타 1년차부터 동일하게 발생하는 비용내역은 생략

<표 4.2.6-1> 원격탐사기술을 이용한 농작물 생산통계 체계 구축 사업 소요예산 (추정)

(단위 : 백만원)

구 분	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	총기간
합 계	292	341	221	221	1,075
H/W 구입	30	0	0	0	30
S/W 구입	60	0	0	0	60
H/W 및 S/W 유지보수	0	9	9	9	27
DB구축	20	20	0	0	40
시스템 개발	0	100	0	0	100
인건비	92	92	92	92	368
전문가초빙·자문	20	20	20	20	80
연구자연수	50	50	50	50	200
기관별실무자교육	20	20	20	20	80
특성화대학운영	0	30	30	30	90

4.3. 인적구성 추산 및 유관기관 협력방안 구축 방향

4.3.1. 전문인력의 필요성

- 우리나라 농업부분에서 원격탐사기술 활용을 위한 시도는 10여년이 지났으나, 실제 응용은 아직 부족한 실정이기 때문에 특정 분야에서 원격탐사기술을 활용하고자 할 때 전문인력 운용에 많은 애로를 겪고 있다. 특히, 농작물 생산통계와 관련하여 위성영상 데이터를 처리하고 분석할 수 있는 전문인력은 전무한 상황이다. 따라서, 전문인력의 양성은 미래 농작물 생산통계의 고도화를 위해 필수적으로 요구되는 사항으로 전략적으로 접근해야 할 것으로 사료된다.
- 앞서 언급한 바와 같이 현재의 원격탐사기술의 활용 수준을 고려할 때, 표본설계를 통한 직접 현지조사 방법을 원격탐사기술로 완전히 대체하는 것은 현실적이지 못한 것으로 판단된다. 실제 원격탐사기술 및 활용에 있어서 상당한 수준에 있는 선진국도 현행 조사방식에 원격탐사기술을 보완적으로 활용하면서 원격탐사기술 수준에 맞추어 생산통계의 실용화를 지속적으로 추진하고 있다.
- 이에 따라 원격탐사기술이 지속적으로 발전하고, KOMPSAT 시리즈의 성공으로 위성영상 데이터를 농업분야에서 활용할 가능성이 보다 높아지고 있는 상황에서 위성영상 데이터를 담당할 수 있는 전문인력이 필요할 것이며, 현재 기술수준 하에서 위성영상 데이터를 통해 재배면적과 작황정보를 탐색할 수 있는 프로그램 운영자의 양성이 시급하다.

4.3.2. 인적구성의 추산

- 지금까지의 연구 결과를 토대로 원격탐사기술을 이용한 농작물 생산통계 업무의 인적구성을 다음과 같이 제시한다.
- 원격탐사를 이용한 업무의 특성상 기획 및 개발, 경지총조사, 농어업생산통계, 북한 농어업통계 개발 등 관련업무를 통합한 부서를 추가 또는 개편할 필요가 있다.

- 미국의 경우, NASS의 지리정보과에서 토지이용 및 경지조사, 작물재배면적조사, 작황조사, 수확량 예측 등의 업무를 45명의 인력이 담당하고 있으며, EU의 경우에는 JRS(연구협력센터)에서 MARS-STAT 부분에 25명의 전문인력을 배정하고는 있으나, 실질적인 업무수행은 아웃소싱하여 운영하고 있다.
- 따라서 국내 실무부서의 인적구성을 다음과 같이 제시한다.

가. 조직(안)

- 지방청에서 현장조사 하던 농어업 통계를 통계청에서 위성(항공)영상판독을 통해 원격조사(Remote Sensing Survey) 할 부서를 신설한다.
- 부서의 명칭은 ‘농어업위성조사과’, ‘농어업영상조사과’, ‘농어업원격조사과’, ‘농어업 위성영상 데이터조사과’ 등 ‘농어업’과 원격탐사를 의미하는 ‘위성’, ‘영상’, ‘원격’ 등의 단어를 조합하여 결정한다.
- 실무부서는 과 단위 기구로 원격조사 기획 및 기술 개발, 경지총조사, 농어업통계 생산, 북한 농어업통계 개발 파트로 구성한다.
- 소요인력은 다음과 같이 구성한다.
 - 과 업무 총괄 : 4급 1명, 기능 1명(행정)
 - 원격조사 기획 및 기술개발 : 5급 1명, 6급 1명, 7급 1명
 - 경지총조사 : 5급 1명, 6급 1명, 7급 1명
 - 농어업통계 생산 : 5급 1명, 6급 2명, 7급 2명
 - 북한 농어업통계 개발 : 5급 1명, 6급 1명, 7급 1명

<표 4.3.2-1> 현 정원 및 제시안 비교표

	계	일 반 직					기능직
		4급	4·5급	5급	6급	7급	
현 재	3	0	0	1	2	0	0
변 경	16	1	0	4	5	5	1
증 감	+13	+1	0	+3	+3	+5	+1

나. 주요 기능

○ 본 연구에서 제안한 국내 실무부서의 주요 기능은 다음과 같다.

○ 원격조사 기획 및 기술 개발

- 원격탐사기술 활용 중장기계획 수립 및 추진
- 대외 업무협력체계 구축 : 교육과학부, 국토해양부, 환경부, 농림수산식품부, 농촌진흥청, 산림청, 국가정보원, 항공우주연구원, 한국농촌경제연구원 등
- 원격탐사 장비 구입 및 관리 : 워크스테이션, 플로터, 응용S/W 등
- 해외 선진사례 수립 및 국제 교류 : 미국, EU, 중국, 일본 등
- 위성영상 데이터별 판독 기술 개발 : 아리랑 5호(2010년 발사 예정), 아리랑 3호(2011), 아리랑 3A호(2012) 등
- 항공영상 판독기술 개발 : 초 고해상도 영상, 다방향 촬영 영상 등
- 농작물별 분광특성 분류 및 라이브러리 구축 : 작물별 분광특성을 구분하여 이를 DB화

○ 경지총조사

- 경지총조사 추진계획 수립 : 2015년 첫 실시 및 매 5년 마다 실시
- 위성영상 데이터를 활용한 경지총조사 방법 개발 : 미국, EU 방법론 검토, 한국형 모델 개발
- 모집단 자료(환경부 토지 피복도) 가공 : 자료 입수, 검수, 오류수정
- 추가 영상판독 : 모집단 자료 오류 및 누락지역

- 표본 추출틀 구축 : 조사구 기획, 추출틀 생성, 층화맵 작성
- 표본 추출 지원 : 표본설계 및 추출(표본과) 지원
- 표본 현장 검증 관리 : 표본조사구 별 현장 확인 및 보완 추진

○ 농어업통계 생산

- 경지면적조사(2012년부터) : 위성영상 데이터 판독을 통해 경지면적 산출, 집계, 내검 및 공표
- 농작물재배면적조사(2012년부터) : 위성영상 데이터 판독을 통해 벼 재배면적 산출, 집계, 내검 및 공표, 점차 밭작물로 적용 범위 확대
- 농작물생산량 조사(2014년부터) : 벼 생산량에 우선 실용화, 성장 단계별 식생지수 개발, 벼 생육 예측을 위한 작물모형 개발, 예상량 및 생산량 추정 모형 개발
- 어업생산조사(2015년부터) : 어업생산동향조사 중 양식 생산량 통계 원격조사 추진(김, 미역 등)
- 기타 공통업무
 - 위성영상 데이터 활용 원격조사 실시를 위한 업무 메뉴얼 개발
 - 현장조사결과와 원격조사결과 비교 및 시계열 유지방안 개발
 - 통계별 원격조사 통계생산시스템 개발(조사시스템 관리과와 협의)
 - 위성영상 데이터 판독정확도 산출 및 검증 프로세스 개발

○ 북한 농업통계 개발

- 남한에 실용화된 원격조사 기술을 북한지역에 적용 : 경지면적조사 및 벼 재배면적조사(2014년), 벼 생산량조사 및 타작물(옥수수 등)로 확대(2016년)
- 북한 통계생산을 위한 유관기관 협의체 구성 및 운영 : 통일부, 국가정보원, 농촌진흥청, 국제연합식량농업기구(FAO) 등
- 위성영상 데이터 판독을 통해 북한 농업통계 산출, 집계, 내검 및 공표
- 북한지역 원격조사 실시를 위한 업무 메뉴얼 개발
- 북한지역 영상판독 정확도 검증 및 작물별 분광 특성 파악을 위한 현장조사 방안 개발

4.3.3. 제도적 기반 구축 방향

- 통계청에서는 원격탐사기술을 이용한 경지총조사 방법의 개발 및 원격탐사 응용시스템 구축, 영상기반 표본설계 및 표본조사 방법의 개발, 항공영상을 활용한 원격조사 방법 등을 개발하여 농업통계 산출 목적으로 활용하거나 활용할 계획에 있다.
- 또한, 농촌진흥청에서는 원격탐사기술을 토양조사에 활용하고 있으며, 국가정보원에서는 북한의 농업현황 파악에 활용하고 있다. 이처럼 국내 원격탐사기술의 활용은 각 기관의 서로 상이한 활용목적에 따라 독립적으로 수행되고 있어 상호 협조할 수 있는 제도적 기반이 구축되지 못하여 비효율적으로 운영되고 있다 따라서, 위성영상 데이터의 공동촬영, 기 촬영된 영상 및 가공된 정보의 공동 활용을 통하여 예산 및 인력의 효율을 제고할 수 있는 제도적 장치 등 관련 방안을 모색해야 할 것이다.
- 미국의 경우 USDA 산하에 RSCC 형태의 협의기구를 설립하여 농업부문 위성정보 수집 및 원격탐사 기술개발에 효과적으로 대응하고 있는 사례를 고려할 때, 우리나라 농업부문에서도 농림수산물식품부를 중심으로 협의체제를 구축할 필요가 있는 것으로 사료된다.
- 위성영상 데이터 촬영 및 판독 정보의 공동 활용을 위한 한국항공우주연구원, 국가정보원, 농촌진흥청, 한국농촌경제원 등과의 협조체제 구축을 위한 제도적 기반 마련이 필요하며 이를 통해 각 기관의 위성정보 활용사업의 효과를 제고할 수 있을 뿐만 아니라 예산의 중복성을 배제할 수 있을 것으로 기대된다.

4.3.4. 원격탐사기술 활용기관 협조체제 구축 방향

- 위성정보의 수집은 주로 국정원 지구관측센터, 해양위성센터, 기상청, 한국항공우주연구원 등에서 담당하고, 위성정보의 분석은 농촌진흥청, 각종 연구기관 및 대학에서 담당하며, GIS는 건설교통부, 한국농촌공사 등에서 담당하고 있다.
- 현재 개발 완료 단계인 원격탐사 응용시스템을 효율적으로 활용하기 위해서는 미국의 유관기관 간 공동프로그램 운영 및 미 농무성의 RSCC와 같은 가칭 ‘농업분야위성정보협의회’의 구성이 필요할 것으로 사료된다.

농작물 생산통계의 원격탐사기술 활용방안 연구

- 이러한 협의회에는 농림수산물식품부가 주축을 이루되, 통계청, 한국농촌경제연구원 등과 같은 위성정보 활용기관과 한국항공우주연구원 등의 위성정보 수집기관, 농촌진흥청 등의 위성정보 분석기관 등이 참여하여, 위성정보의 활용 분야를 개발하고, 정보의 교류 및 관련 업무의 협조가 필요할 것이다.

<표 4.3.4-1> 원격탐사기술 활용기관

업무 분장	유관 기관	역 할
위성 정보 수집	국정원 지구관측센터 한국항공우주연구원	KOMPSAT위성 정보 제공
	해양위성센터	해양기상위성 정보 제공
	기상청	MODIS 위성 데이터베이스 제공
	상업위성 판매대행사	IKonos, QuickBird 등의 상업위성 정보 판매
	NASA	NOAA등 관련 위성정보 제공
위성 정보 분석	농촌진흥청	위성정보 분석기법 기초연구
	상업위성 분석대행사	위성정보 판독 및 전처리 업무 대행
	대학 등	위성정보 분석기법 기초연구
GIS 정보 제공	건설교통부	국가 GIS제공
	한국농촌공사 농지과	국가 농지 GIS제공
위성 정보 활용	통계청	농업통계 생성
	한국농촌경제연구원	농업관측
	수산물관측센터	수산물관측

제 5 장 요약 및 결론

5.1. 선진 사례 연구 및 시사점 도출

5.1.1. 국내외 연구 현황

- 이정택 외 3인(1997)은 벼 군락에서 반사특성을 이용하여 엽면적지수를 추정하고 추정된 엽면적지수를 이용하여 건물생산량을 산출하였음
- 홍석영 외 4인(1998)은 분광반사 특성을 이용한 벼 군락의 생육시기별 성장량을 추정하였음
- 장석환(2000)은 농림 수산 통계연보와 기상자료를 이용하여 경상북도 지방의 쌀, 보리, 감자, 콩의 재배면적과 10a당 수량의 예측을 시도하였음
- 박종화 외 2인(2003)은 밭작물의 성장에 따른 식생지수와 엽면적지수의 관계를 규명하였음
- 김이현 외 3인(2007)은 벼 군락의 분광반사율 지표를 측정할 수 있는 인공관원을 사용하는 능동형 광학 센서를 이용하여 생육시기별 식생지수와 엽 질소함량과의 관계를 규명하고, 벼 군락의 엽 질소함량을 추정하였음
- 홍석영 외 5인(2009)은 MODIS 제공 산출물 중 16일 단위로 작성되는 NDVI를 이용하여 북한의 벼 수량 추정을 목적으로 그 가능성과 한계를 검토하였음
- Daughtry 등(1980)은 봄밀 군락에서 파종기부터 출수기까지 군락밀도가 높은 기간 동안 측정한 자료를 이용하여 NIR/RED의 비율과 엽면적지수 및 건물생산량과의 관계를 규명하였음
- Yang(1985)은 벼 군락에서 휴대용 장비를 이용한 측정 자료를 Landsat 위성의 TM band와 MSS band로 구분하여 $TM4(760\sim900nm)/TM3(630\sim690nm)$ 이 건물생산량과

의 상관성을 규명하였음

- Yamamoto 등(1990)은 반사율을 50nm 간격으로 생육초기부터 황숙기까지 측정하여 분석하여 IR850/R650nm의 조합에서 LAI와 건물생산량과의 상관성을 규명하였음
- Kimura 등(2004)은 엽면적지수에 대한 식생지수와 엽록소 농도의 관계를 분광반사파장인 550, 680, 800, 980nm를 이용하여 새로운 식생지수를 만들어 제시하였음
- Allen(1990)은 1977년 IOWA주에서 최초로 위성영상 데이터를 이용하여 작물재배면적을 공식적으로 추정하였으며, Ferencz 등(2004)은 위성영상 데이터를 이용하여, 일반적 단위통일참고지수(General Yield Unified Reference Index, GYURI)를 개발함으로써 작물의 단수를 추정하였음
- Paul 등(2007)은 MODIS 영상의 NDVI 및 LST를 작황 예측의 매개변수로 사용하는 것을 제안하였으며, Prasad 등(2007)은 NDVI와 토양수분자료, 지표온도 등의 인자를 고려하여 작황예측식을 제시하였음
- 이와 같이 국내외 많은 연구자들이 농작물 생산통계 산출에 원격탐사기술을 활용하려고 노력하고 있으나, 국내뿐만 아니라 국외에서도 아직 정확한 생산량을 예측할 수준으로는 발전하지 못하였으며, 실용화를 위한 연구가 지속적으로 추진되고 있는 실정임

5.1.2. 선진 사례 연구

가. 미국

- 원격탐사기술을 이용한 미국의 농업통계산출 프로그램은 다음과 같이 정리 됨
 - 토지이용 및 경지조사(area sampling frame construction)
 - 작물재배면적조사(crop area estimation)
 - 작황조사(crop condition assessment)

- 수확량예측분석(crop yield forecasting and estimation)
- NASS는 매년 6월 전국의 약 1,100개의 JAS(June Agricultural Survey) Area Segment에서 농민을 대상으로 JSA의 작성을 위해서 재배경작지면적, 재배작물의 종류, 재배의향작물은 물론 예상수확량까지 조사하고 있음
- NASS에서 원격탐사기술을 이용한 통계생산 담당팀의 인력구성을 살펴보면 GIB에 branch chief 1명, section chief 2명, 직원 41명, contractor 1명이 근무 중이며 각각을 세분해 살펴보면 AFS(Area Frame Section)에 section chief 1명 직원 31명, SARS(Spatial Analysis Research Section)에 section chief 1명 직원 9명, contractor 1명이 근무함
- 인공위성자료를 이용한 통계산출방법은 NOAA AVHRR 센서를 이용한 NDVI 지수와 Landsat 5의 TM(Thematic Mapper)센서, Landsat 7의 ETM+(Enhanced Thematic Mapper)센서를 이용한 regression, pixel ratio, direct expansion이 있음. 이 중에서 1970년대 초부터 개발되기 시작한 통계조사요원에 의해서 실제 조사된 데이터와 인공위성사진에 의한 데이터를 동시에 이용하는 통계적 추정방법인 Regression Estimation 방법이 주로 이용되고 있음
- 미국의 원격탐사기술을 이용한 농업통계산출의 위한 주요 장비 및 S/W는 다음과 같음
 - 이미지 처리 패키지 프로그램인 PEDITOR를 자체적으로 개발하여 이용
 - 고 사양의 데스크탑 PC에 윈도우NT, 2000, XP 등의 OS를 탑재하여 분석하며 expert system과 automation batch과정을 지원하여 clustering, classification, mosaicing, estimation이 자동으로 모두 가능함
- NASS는 농산물의 단수를 파악하기 위해 ① 주 단위 품목전문가들의 작황보고, ② 월 단위 표본 농가들의 단수조사, ③ 수확 전 단수 관련 조사를 실시하고 NDVI지수를 보완적으로 이용함(Hanushak, 1997)
- USDA는 전 세계 농경지의 작황 및 기상정보를 제공하기 위하여 Crop Explorer를 자체 제작, 운영함(<http://www.pecad.fas.usda.gov/cropexplorer>)

- Crop Explorer는 사용자의 이해가 쉽도록 작물의 종별, 지역별, 계절별 카테고리를 활용하여 각종 정보를 그래픽으로 제공함. 기상 정보 및 위성영상 데이터에 의한 식생 데이터는 10일 주기로 업데이트 되며, 제공되는 데이터와 출처는 다음과 같음
 - US Air Force : 강수량, 증발산량, 최고 및 최저온도, 적설량, 일조량 등
 - World Meteorological Organization : 기상데이터(매일)
 - NOAA : 식생 모니터링을 위한 위성영상 데이터 데이터(AVHRR)
 - NASA : 식생 모니터링을 위한 위성영상 데이터 데이터(SPOT) 및 고해상도 위성영상 데이터
 - European Space Agencies : 식생 모니터링을 위한 10일 주기 위성영상 데이터
- 추후 미국 원격탐사기술의 농작물 생산통계부문 이용전망을 간략하게 살펴보면 다음과 같음
 - 기본적으로 향후 NASS에서 원격탐사기술을 이용한 농작물 생산통계 산출은 새로운 위성 및 센서의 개발로 그 적용분야 및 적용범위가 확대될 것으로 전망됨
 - 이와 함께 NASS에서는 앞으로도 지속적으로 AVHRR과 MODIS와 같은 센서를 이용한 전국단위의 작황조사를 위한 목적으로 그 기능을 수행할 것으로 예측됨
- 최근 IKONOS, Quickbird 뿐만 아니라 일본의 AMSR과 같은 장비를 활용하여 농작물 생산통계에 적용하고 있으나, 비용 대비 경제성의 문제로 작물재배면적과 같은 주요 목적을 위해서는 여러 가지 측면에서 미국의 상황에 맞는 Landsat 시리즈가 앞으로도 기본적으로 주도적으로 사용될 것으로 전망하고 있음

나. 유럽

- MARS-Project의 가장 핵심이 되는 활동은 소위 MSYFS라고 일컬어지는 Action2 & Action3으로 이 활동들은 유럽전체 수준에서 주요 작물에 대하여 수확량을 조기에 예측하여 CAP의 정책결정과 MARS-FOOD와 같은 식량 안보에 관한 정책결정에 있어서 중요한 정보를 제공함
- MARS를 추진하는 이탈리아 소재 JRC(Joint Research Center)는 MARS-STAT 부

분에 25명의 전문인력(전문가 20명, 박사 3명, 행정담당관 2명)을 배정하고 있으나 실질적인 업무수행은 아웃소싱하여 운영함

- 원격탐사기술을 이용한 유럽의 농업통계산출 프로그램은 지역별 경작지 측정, 작물 성장 조건 및 수확량 예측, 경작지 및 수확량의 신속한 측정으로 요약. 이러한 프로그램의 수행을 위해 활용되는 위성영상 데이터의 종류는 다음과 같음
 - Action 1 : 지역별 경작지 측정, Landsat-TM(4호), Spot-XS(2호)
 - Action 2 : 작물 성장 조건 및 수확량 예측, NOAA-AVHRR SPOT-VGT(4호)
 - Action 3 : 수확량 예측 모델, NOAA-AVHRR SPOT-VGT(4호)
 - Action 4 : 경작지 및 수확량변화의 신속한 측정, Landsat-TM(4호), Spot-XS(2호)
- 인공위성자료를 이용한 통계산출방법은 다음과 같이 요약됨
 - MARS-STAT는 크게 수확량 예측(crop yeild forecast) 부분과 경작지 측정 (crop area estimate field)의 두 부분으로 나눌 수 있음
 - 각각의 통계를 산출하기 위한 주력 시스템은 MCYFS(수확량 예측시스템) 임
- 유럽의 농업통계보급 체계로 MARS 프로젝트의 결과물은 웹사이트(www.marsop.info)와 보고서(bulletin)를 통하여 일반인에게 제공. 주요 제공내용은 특정기간의 날씨지수의 전처리된 지도, 특정기간동안 시물레이션된 작물지수(Crop Indicator)의 전처리된 지도, NOAA-AVHRR 및 SPOT-VGT 센서로부터 획득된 전처리된 NDVI 지도, 수확기전 주요작물에 대한 예상 수확량 등임
- 유럽의 원격탐사기술을 이용한 농업통계산출의 위한 주요 장비 및 S/W는 다음과 같음
 - 통계산출을 위한 주요 장비 및 S/W로는 MCYFS를 운용하기 위해 CGMS (Crop Growth Monitoring System)를 자체적으로 개발하여 활용하고 있으며 CGMS의 모델베이스로서 WOPOST (World Food Studies crop growth model)를 탑재
 - 그 외에 목초지 시물레이션용 S/W로 LINGA를 개발하였으며 SPACE (Software for the Processing of AVHRR-images for Communities of Europe)는 AVHRR센

서로 촬영된 저해상도 이미지를 보정하여 1.1km² 해상도(pixel size)로 모자이크 처리하며, MARSOP-APPLICATION S/W는 SPACE의 결과자료를 활용하여 NDVI 및 지표면온도 등의 이미지들을 추출

- 원격탐사기술을 이용한 유럽전역 통계산출의 핵심부분인 MCYFS, CGMS, WOPOST의 운용 메커니즘에 대한 보다 상세한 해부와 이를 국내에 도입할 수 있는 방안이 지속적으로 연구되어야 할 것으로 판단됨

다. 일본

- 일본의 농업통계생산 및 보급은 농림수산성 산하의 통계부가 담당하고 있음. 그 중에서 농업통계의 생산에 있어서 원격탐사기술의 응용을 추진하고 있는 부서는 통계기획과, 시스템 관리실, 생산유통소비통계과가 있음
- 농림수산성 통계부를 주축으로 하여 각 지자체별로 별도의 통계사무소를 운영하고 있으며 사무소별로 예산을 확보하고 원격탐사기술의 통계생산업무 활용을 위한 자체 연구를 수행하고 있음
- 일본의 농업통계에 있어서의 원격탐사기술의 활용은 주로 경지면적의 파악과 재배면적통계 조사에 있어서의 실용화를 염두에 두고 1995년도부터 개발 연구가 진척되어 오고 있으나, 현 단계에 있어서는 실용화를 실행하기에는 관련연구가 부족하고 해결되지 않고 있는 과제가 많아 실용화에는 이르지 못하고 있는 실정임
- 일본에서 원격탐사기술을 활용한 농업통계 산출의 애로점은 다음과 같이 요약됨
 - 미국 등 선진국과 달리 농장의 규모가 상대적으로 작고 산간부 등이 뒤얽혀 있어 지형이 복잡한 장소가 많다는 점
 - 일본은 세계의 다른 지역에 비교해서 대기에 구름이 걸려 있는 비율이 높다는 점. 따라서 완벽한 위성데이터의 취득이 어렵다는 점
 - 현재 일본의 우주항공기술수준을 고려할 때 외국의 고해상도위성 화상을 이용할 경우 해외의 위성에 대한 의존도 문제와 고액의 경비가 소요된다는 점

- 그러나 2006년 농림수산성 통계부를 주축으로 계속적인 개발연구를 진행하여 육역 관측 기술 위성인 다이치(ALOS) 위성의 발사를 성공시켰으며, 2006년 10월 본격적인 관측운용을 실시함으로서 현재 자국위성 데이터를 활용한 실용화 연구를 진행 중임
- 구미 대륙과는 달리 동아시아나 동남아시아에서의 원격탐사기술의 농업분야 성과는 그다지 보이지 않음. 그 이유로 아시아의 농업환경과 몬순기후를 들 수 있음
- 따라서, 지금까지 일본에서의 원격탐사기술 적용은 기본적으로 농가 수익의 최대화가 목적으로 사용되었으나, 근래에 직하(直下)뿐 만 아니라, 빗변을 관측할 수 있는 포인팅 기능을 가지는 센서가 개발되어, 특정 개소에 한정하여 관측 빈도를 비약적으로 증가시키게 되었음
- 이에 따라, 최근 초소형 위성에 대한 새로운 패러다임이 대두되고 있으며, 일본 문부과학성 및 경제산업성 주도하에 2011년까지 약 400km 높이의 저궤도 위성 100기 발사계획을 발표하였음
- 또한 2010년 GIS/RS 기술을 이용한 농업 환경정보 서비스 센터를 설립하고 매년 초소형 인공위성 활용방안 워크숍을 개최하여 전문가들의 관심 유도과 해당 기술의 실용화를 시도하고 있음

라. 중국

- 중국은 농업 및 식량 정책에 있어서 작물 통계조사의 중요성을 인식하고 적시에 신속하고 정확한 통계자료 산출을 목적으로 원격탐사 기술을 이용한 농업통계 산출에 대한 노력을 기울여 왔음
- 특히, 1979년부터 원격탐사에 의한 농작물 생산량 예측에 대해 관심을 가지고 '6.5 계획(1981~85년)'의 시작부터 농작물 원격탐사 생산량 예측에 관한 연구를 전개하였고, 시험적으로 시범지역을 대상으로 생산량을 추정하였음
- 시범지역 및 시험 작물로는 북경 근교의 소맥, 절강성 항가호지역의 벼 및 북방 6

개성의 소맥을 선정하여 원격탐사기술에 의한 생산량 예측을 시작하였으며, 중국 국가기상국은 1984년부터 북방의 11개 성시에서 겨울 소맥에 대한 기상위성 원격탐지 생산량 예측 기술을 연구하기 시작, 전국적인 겨울 소맥 원격탐지 생산량 예측을 위한 지면관측시스템을 구축하였음

- 지면관측 시스템은 재배면적, 관측, 모니터링, 생산량 추정의 4개의 하위 시스템으로 구분되며, 생산량 추정 시스템은 원격탐사자료의 처리 - 재배면적 산출 - 작물 성장/토양수분 모니터링 - 생산량 예측 모델 - 현장조사의 순서로 처리과정이 이루어짐.
- 이에 따라, 원격탐사기술에 의한 생산량 예측은 ‘8.5 계획(1991~95년)’ 기간의 중국 주요 과학기술 연구내용이 되었고, 소맥, 옥수수, 벼 등 대단위 면적 농작물에 대한 생산량 추계 시험을 전개하였음
- 1993~96년 4개 성과 2개 시(하북성, 산둥성, 하남성, 안휘성 북부와 북경시, 천진시)의 동계 소맥, 호북성, 강소성, 상해시의 수도, 길림성의 옥수수의 재배면적, 생육 상황, 생산량에 대한 관측 전개하였으며, 지난 15년간(1983~1998년) 중국은 원격탐사 기술을 이용한 생산량 예측 대상 품목에 동계 소맥뿐만 아니라 벼, 옥수수 등 여러 농작물로 확대하고 대상 지역도 11개 성시로 확대하였음.
- 1998년~현재 밀, 쌀, 콩, 옥수수의 곡물관측 시스템 개발 시범사업을 실시하여 China CropWatch System(CCWS)을 개발하여 운영 중에 있으며, 동일시기에 원격탐사기술을 이용한 국가 모니터링 시스템 개발 사업도 실시함
- CCWS는 원격탐사 데이터, 통계 데이터, 현장조사 데이터, 기상 데이터를 이용하여 재배면적 현황을 예측 및 파악하고 작물 생육 모니터링과 토양 습도 모니터링 결과를 작물 성장 모델에 적용하여 생산량을 예측하는 시스템임

5.1.3. 시사점

- 미국 NASS의 통계생산체계를 참고하여 관련기관 간의 긴밀한 네트워크를 구축하고 효율적으로 인공위성 정보 및 관련 기술의 취득을 통해 농업통계를 산출해야 함

- 또한, 미국의 농업통계산출의 핵심 부분인 Area Sampling Frame의 선정 및 구분 메커니즘, 조사통계와 위성자료를 병합하는 방법론(Regression Estimator 등), CDL의 통계보급체계, PEDITOR 시스템에 대한 해부 및 국내도입의 방안이 지속적으로 연구되어야 할 것으로 판단됨
- 유럽의 통계생산체계를 참고하면 국내에서도 관련 기관간의 긴밀한 네트워크를 구축해야 하며 통계산출의 업무수준에 대한 아웃소싱 방안을 고려해야 함
- 또한, 유럽전역 통계산출의 핵심부분인 MCYFS, CGMS, WOPOST의 운용 메커니즘에 대한 보다 상세한 해부와 이를 국내에 도입할 수 있는 방안이 지속적으로 연구되어야 할 것으로 판단됨
- 국내 농업여건 역시 일본과 유사한 환경으로 농지의 규모가 상대적으로 작고 산간부 등 지형이 복잡함. 특히, 소규모의 불규칙한 농지가 많아 격자형태의 위성영상 데이터에 적용할 때 공간적 왜곡이 심함
- 군사적 여건 역시 보안처리의 불가피로 인하여 정확한 작황정보의 취득이 어려우며, 지리적 여건 상 대기에 구름이 걸려 있을 비율이 높아 완벽한 위성영상 데이터 자료의 취득이 어려움
- 국내위성(KOMPSAT-2)을 활용한 실용화 연구가 아직 진행 중에 있으므로 국내위성에 대한 사례분석이 어렵고, 공개 영상이 적음
- 실측자료와 위성영상 데이터 조사 결과와의 정확성 수준의 기준도 확립되어 있지 않으며, 조사 통계와 위성영상 데이터 자료를 병합하는 방법론의 부재, 관련 연구 수행 기관간의 상호 교류가 어려움
- 국내의 농작물 생산통계에 있어서 원격탐사기술 적용은 우선적으로 현장조사와 원격탐사기술의 상호 보완적 활용이 필요하며, 대상 작물은 현재 기술 수준을 고려하여 주산지 위주의 작물에 우선적으로 적용하고 원격탐사 기술의 적용이 용이한 작물을 대상으로 선적용 후 범위를 확대하여야 함

- 적용 모델은 국내 농업환경을 고려하여 한국형 농작물 생산량 예측 모델을 개발하여야 하며, 과거 데이터와의 회귀분석을 통해 보정함으로써 정확도 향상을 제고하여야 함
- 위성영상 데이터자료는 KOMPSAT 시리즈를 우선적으로 적용하며, 이에 따라 농업 등 다양한 분야에서 KOMPSAT 시리즈가 활용될 수 있도록 응용기술의 개발도 동시에 이루어져야 함
- 운영방법으로는 작물의 생육주기를 중심으로 작황현황의 지속적인 모니터링 및 데이터 수집을 지속적으로 수행하여 향후 공식 통계 확정을 위한 판단자료로 활용될 수 있도록 기반을 마련해야 할 것이며, 미국의 NASS, EU의 MARS와 같이 전문 인력의 양성과 함께 아웃소싱 방안도 함께 고려해야 할 필요가 있음
- 선진사례 조사 결과, 앞으로 고해상도 위성을 이용한 농업통계 산출에 대한 다양한 연구가 진행될 예정이며, 새로운 위성 및 센서의 개발로 적용분야 및 범위가 확대될 것으로 전망됨
- 따라서, 우리나라도 KOMPSAT 시리즈를 주도적으로 사용하되 SAR를 비롯한 다양한 자료의 활용 방안 및 적용 가능성에 대한 검토가 필요할 것으로 사료됨

5.2. 쌀 및 주요작물에 대한 위성영상 데이터자료 활용방안 연구

5.2.1. 시범지역 현장측정

- 지구상에 존재하는 모든 물체는 물질상태에 따른 고유한 파장의 전자파에너지를 반사 또는 흡수하게 되며, 이러한 물질에 따른 빛의 흡수, 반사, 투과 특성들로 물질 고유의 성질과 상태의 파악이 가능함
- 본 연구에서는 충북 청원군 옥산면 소로리에 위치한 논과 밭을 시범지역으로 선정하여 현장 시범연구를 수행하였으며, 대상작물은 감독원과의 협의를 거쳐 표본조사 작물 중 논벼, 고추, 마늘, 콩, 양파를 선정하였음

- 측정방법은 휴대용 분광복사계(Li-1800, Li Cor Inc)를 이용하였으며, 2회 반복하여 평균값을 사용함. 또한 계절별, 시간대별 태양복사 에너지의 변화에서 발생할 수 있는 오차를 최소화하기 위해 반사율개념을 도입함
- 이용 파장대는 300~1100nm 범위의 파장에 대해 2nm 간격으로 측정하였고, 위치변화에 따른 오차를 줄이기 위하여 조사지점은 일정 위치를 지정하여 같은 지점에서 측정함
- 식생지수(Vegetation Index; VI)는 식물의 양, 계절적 변화, 식생의 생리적 조건 및 특성을 나타내는 인자로서 지표면에서 녹색식물의 상대적인 분포와 활동성, 엽면적 지수, 엽록소함량 및 광합성 흡수복사량(APAR) 등과 관련된 지표로 사용함
- 논벼의 생육주기별 분광반사특성은 가시광선 영역 중 청색 파장대인 450nm 와 적색 파장대인 680nm 영역에서 반사율이 감소하는 것으로 나타났으며, 시간이 경과함에 따라 근적외선 영역인 700~1100nm 파장대에서는 반사율이 증가하였음
- 밭작물의 성장단계에 따른 분광반사특성은 작물에 따른 정도 차이는 있으나 거의 비슷한 패턴을 보였으며, 적색경계(Red Edge, 700nm 전후) 전의 가시광선파장의 반사율은 대부분 10% 이하를 나타내었음
- 4 가지 밭작물에 대한 근적외선 파장에서의 반사율은 고추 > 콩 > 양파 > 마늘의 순으로 나타남
- 각 대상작물의 최대 NDVI 시기는 마늘(5월 상순) - 양파(5월 하순) - 논벼(8월 상순) - 고추(8월 상순) - 콩(9월 상순) 순으로 나타남

5.2.2. 위성영상 적용가능성 평가

- 우리나라는 1980년대부터 이미 기상, 통신 분야는 물론 국토개발, 해양, 환경, 과학 탐사 분야에서 미국, 일본 등의 위성자료를 활용하여 각 연구기관과 대학을 중심으로 활발한 연구가 진행되어 왔으며, 2006년에 다목적 실용위성인 아리랑 2호(KOMPSAT-2)가 발사되었음

- 다양한 종류의 위성영상 데이터들은 나름대로 고유한 특성을 가지고 있으며, 활용 목적에 따라 영상에서 분해될 수 있는 최소 단위 면적인 공간해상도(Spatial Resolution), 분광해상도(Spectral Resolution), 센서의 광학적 민감성을 표시하는 방사해상도(Radiometric Resolution), 그리고 동일 지역을 반복해서 관측할 수 있는 촬영주기(Temporal Resolution) 등으로 나눌 수 있음
- 본 연구에서는 농업생산통계의 산출에 적용 가능한 위성영상 데이터를 구분하기 위하여 국내에서 주로 이용되는 MODIS, ASTER, Landsat 5 TM, KOMPSAT-2, Quickbird 위성영상 데이터를 대상으로 적용 가능성을 평가하였음
- 밴드 상관성 평가는 해당 위성영상 데이터가 작물의 작황정보를 얼마나 정확히 수집할 수 있는지를 판단하는 기준이 되며, KOMPSAT-2 > MODIS > Landsat 5 TM > ASTER > Quickbird 순으로 평가됨
- NDVI 정확도 평가는 현장에서 취득한 분광반사율에 의해 추출된 NDVI와 동일 시기, 동일 지역의 위성영상 데이터에서 추출한 NDVI의 차이로 나타냈으며, MODIS > KOMPSAT-2 > Landsat 5 TM > ASTER > Quickbird 순으로 평가됨
- 육안판독 가능성은 Quickbird > KOMPSAT-2 > ASTER > Landsat 5 TM > MODIS 순으로 평가되었으며, PSU 활용성은 KOMPSAT-2 > Landsat 5 TM > ASTER > Quickbird > MODIS 순으로 평가되었음

5.2.3. 주요작물 적용가능성 평가

- 의사를 결정하려면 다양한 변수를 고려해야 함. 그러나 현실적으로 모든 변수와 조건을 검토할 수 없기 때문에 완벽한 의사결정을 하는 것을 불가능함
- 따라서 어떤 문제가 있을 때 그 문제를 해결하는 방법이 아직 없거나 현실적으로 불가능 할 때, 혹은 문제를 해결하기 위한 정보가 완전히 주어지지 않을 때, 확립된 절차에 따라 답을 구할 수 있을 정도로 문제가 명확하게 정의되지 않았을 때, 휴리스틱 접근법을 사용함

- 휴리스틱 접근법에 의한 주요작물 적용 가능성 평가는 먼저, 평가항목을 결정하여 사전식으로 나열하고, 업무상 우선순위에 따라 재배열함으로써 주요작물별 우선순위를 결정함. 이 방법은 정형적이며 포괄적인 방법으로 일정한 규칙과 지침을 갖고 판단과 의사결정이 이루어진다고 가정 하에 이루어짐
- 주요작물의 적용성 평가는 대상작물에 대하여 원격탐사기술을 적용하는 데 얼마나 적합한 지를 알아보기 위한 것으로써 대상작물이 평가의 주체가 되며, 평가항목은 작물의 생태학적, 식물학적 특성을 고려하여 결정함
- 작물의 생태학적 특성이란 작물과 환경간의 관계에 따른 특성으로 작물 및 유기체가 환경과 상호 작용하며, 적응과 변화를 하는 특성을 의미하며 각 작물의 생육주기, 재배환경 및 분포, 생육 형태 등이 포함됨
- 작물의 식물학적 특성은 작물의 일반적인 정보를 의미하는 것으로 표면 조직의 특성, 잎의 형태, 크기 등이 포함됨
- 생육주기에 의한 평가는 생육주기에 따른 위성영상 데이터 적용의 가능성을 평가하는 것으로 논벼(90일) > 콩(60일) > 고추(50일) > 마늘(40일) = 양파(40일) 순으로 평가됨
- 재배환경에 의한 평가는 작물별 경작지의 규모, 형태 및 농업보조물 등에 의한 위성영상 데이터 적용의 가능성을 평가하는 것으로 논벼(대규모, 규칙적) > 콩(중규모, 경사지) > 고추(소, 중규모, 지지대) > 양파(소규모, 비닐멀칭) > 마늘(소규모, 불규칙) 순으로 평가됨
- 분포형 및 형태에 의한 평가는 작물 재배지의 분포유형과 재배형태에 의한 위성영상 데이터 적용의 가능성을 평가하는 것으로 논벼(전국, 일년초) = 콩(전국, 일년초) = 고추(전국, 일년초) > 마늘(전국, 다년초) > 양파(남부/중부, 일년초) 순으로 평가됨
- 잎의 표면조직에 의한 평가는 잎의 표면조직에 의한 분광반사특성이 얼마나 뚜렷한가에 의한 위성영상 데이터 적용의 가능성을 평가하는 것으로 고추(매끄럽고 단단함) > 콩(매끄럽고 단단함) > 논벼(거칠고 색이 짙음) > 양파(거칠고 색이 연함) >

마늘(거칠고 색이 연함) 순으로 평가됨

- 잎의 형태에 의한 평가는 잎의 생김새 및 면적에 따라 태양에너지의 반사가 얼마나 용이한가에 의한 위성영상 데이터 적용의 가능성을 평가하는 것으로 콩(타원형) > 고추(난상 피침형) > 논벼(가늘고 긴 형태) > 마늘(긴 피침형) > 양파(가늘고 속이 빈 원통형) 순으로 평가됨
- 작물의 높이에 의한 평가는 작물이 최대한 성장했을 때의 높이에 따라 위성영상 데이터 적용의 가능성을 평가하는 것으로 논벼(50~100cm) > 콩(60cm) = 고추(60cm) = 마늘(60cm) > 양파(50cm) 순으로 평가됨
- 휴리스틱 접근법에 의하여 주요작물별 적용가능성 우선순위를 종합한 결과, 논벼 > 콩 > 고추 > 마늘 > 양파의 순으로 평가됨

5.2.4. 논벼의 생산량 예측모델 개발을 위한 기초연구

- 본 절은 논벼의 생산량 예측모델 개발을 위한 기초연구로서 생산량 예측의 영향인자 중 식생관련 인자로 NDVI를 이용하였으며, MODIS 위성영상 데이터를 이용하여 논벼의 생육주기에 해당하는 5월~10월의 순별 NDVI를 2001년~2007년까지 시계열 자료로 수집하였음
- MODIS 위성영상 데이터를 이용하여 산출한 논벼의 생육주기별 NDVI와 현장에서 추출한 생육주기별 NDVI의 비교결과, 생산량 예측은 7월~9월의 위성영상 데이터 자료의 적용이 가능한 것으로 나타남
- 벼의 생장에 중요한 요인으로 작용하는 기상관련 인자로 온도, 강수량, 일조시간을 선정하였으며, 기상청의 기상연보에서 해당 연도의 순별 자료를 추출하였음
- 온도의 경우는 과거 연구결과를 참고하여 최저온도를 적용하였고, 강수량은 우리나라의 강우특성을 고려하여 누적강우량을 사용하였음
- 생산량의 예측은 어느 한 시점의 식생 및 기상요인에 지배되기보다는 생육 정보와

자연재해 및 관련 기상요인의 변화를 고려해야 하기 때문에 각 요인별 가중치를 다르게 함으로서 계산된 예측량이 특정 요인에 지배되지 않도록 고려해야 함

- 본 연구에서는 충청북도 지역의 논벼 생산량 예측을 위해 다음의 예측식을 제시함

$$P_{pri} = aN + bT + cR + dS$$

여기서, P_{pri} = 작물 생산 예측량, N = 해당 시기의 순별 NDVI, T = 해당 시기의 순별 최저온도, R = 해당 시기의 순별 누적 강우량, S = 해당 시기의 순별 일조시간, a, b, c, d = 계산 상수

- 예측식의 정확도 검정을 위하여 예측량과 실생산량과의 상관분석 결과, 상관계수는 $0.4203 < R < 0.9999$ 의 범위를 나타내었으며, 월별 평균 결정계수(R^2)를 비교한 결과, 8월(0.915) > 7월(0.877) > 9월(0.849)의 순으로 나타남
- 하지만, 본 연구에서 제안한 예측식의 결과는 2001년~2007년의 자료만 이용한 것이며, 위성영상 데이터의 필터링을 통해 실제적으로 적용된 자료는 4~5년 정도로 바로 적용하여 사용하기에는 무리가 있음
- 그러나, 본 연구로 인하여 NDVI와 기상데이터를 이용한 생산량 예측식의 가능성을 확인할 수 있었으며, 과거 자료 및 추후 생성되는 자료를 수집하여 예측식을 수정 및 보완한다면 정확도는 향상될 것으로 판단됨
- 본 연구에서 제안한 예측식은 MODIS 위성영상 데이터에서 산출한 NDVI를 적용하여 작성되었으며 MODIS 위성영상 데이터는 높은 시간해상도로 인하여 연간 다수의 영상을 취득할 수 있어 특정 환경 요인에 대한 시계열 분석이 가능하지만, 낮은 공간해상도로 인하여 국지적인 지역의 분석이 불가능함
- 따라서, 위성영상 적용가능성이 가장 높다고 판단된 KOMPSAT-2 위성영상 데이터를 제안한 예측식에 적용하여 가능성을 검토하였음
- 2008년 KOMPSAT-2 위성영상 데이터를 이용하여 본 연구에서 제안한 예측식에 적용한 결과, 예측량은 556.61 kg/10a로 산출되었으며, 통계청에서 발표한 2008년 충북지역 논벼의 생산량인 555 kg/10a와 비교해 볼 때, 0.29% 높게 예측되었음

- 2009년 KOMPSAT-2 위성영상 데이터를 이용하여 본 연구에서 제안한 예측식에 적용한 결과, 예측량은 548.03 kg/10a로 산출되었으며, 통계청에서 발표한 2009년 충북지역 논벼의 생산량인 566 kg/10a와 비교해 볼 때, 3.18% 낮게 예측되었음
- 이 결과는 위 절의 상관분석 결과에서 확인되었던 결과(8월 $R^2 = 0.9153$, 9월 $R^2 = 0.8499$)로 8월의 예측량이 9월의 예측량보다 실생산량과의 상관성이 높은 것을 반영함
- 따라서 원격탐사기술을 이용하여 충청북도의 논벼 수확량 예측시에는 8월의 데이터를 이용할 것을 권장하며, 추가적인 연구를 통해 한국형 수확량 예측 모델 개발 시 기초자료로서 활용이 가능할 것으로 판단됨

5.3. 중장기 로드맵 수립

5.3.1. 원격탐사 기술 도입 방안

- 원격탐사기술을 이용한 생산량 추정은 주산지를 대상으로 단일작물 재배지에 대한 생산량 추정을 우선 도입하고, 주산지 이외의 지역을 대상으로 혼작상태에서 두 개 이상의 작물 판별하고 각 작물의 생산량 추정은 추후 도입해야 할 것으로 판단됨
- 현재 기술 수준으로는 논벼의 생산량 추정은 가능하나 밭작물은 추가적인 연구 및 검토가 필요한 실정임. 또한 논벼의 생산량 추정도 많은 오차요인을 포함하고 있어 추정량만으로 통계업무에 사용하기에는 제한적임. 따라서 논벼의 생산량 추정은 현장조사를 통한 수량 파악을 병행하는 방식으로 진행되어야 하며, 밭작물의 생산량 추정은 추가적인 연구 및 검토가 반드시 필요함
- 기술적으로는 생산량 추정이 가능한 논벼를 대상으로 시범지역을 선정한 후, 다년간 연구를 진행하여 추정량과 실생산량과의 오차를 줄이고, 생산량 추정모델의 정확도를 높여야 할 필요가 있음
- 원격탐사기술을 이용하여 생산량을 추정하는 일반적인 과정은 위성영상 데이터를 통한 재배면적 정확도에 달려 있으며, 정확한 생산량의 추정은 정확한 재배면적 산출이 전제되어야 함

- 생산통계는 관련 정보의 수집 -> 수집된 정보의 가공 및 분석 -> 생산통계의 산출의 절차에 의해서 진행되어야 할 것이며, 세부 절차로는 영상기반 표본 설계 -> 재배면적 산출 -> 대상작물 작황정보 수집 -> 기상데이터 수집 -> 생산량 추정 -> 현장 조사량과의 비교 -> 추정량의 검보정 -> 전국단위로의 확대의 순서임
- 원격탐사기술을 활용하여 작물별 생산량을 추정하기 위해서는 작물별 재배면적 정보와 작황에 대한 정보가 결합적으로 이용 가능해야 하며 이러한 모든 프로세스를 시스템화 함으로서 수확량예측 시스템의 구현이 가능해 짐
- 위성영상 데이터를 이용한 수확량 예측 시스템은 현지 필드조사를 통한 농작물 작황데이터, 날씨데이터, 토양데이터, AVHRR 데이터를 지속적으로 입력한 데이터베이스와 수확량예측을 위해 개발한 모델베이스를 통합함으로서 구성될 수 있음
- 따라서, 국내에서도 유럽의 MCYFS와 같은 수확량예측시스템에 대한 개발이 지속적으로 추진되어야 함
- 또한, 선진국들의 현황과 더불어 국내 농업여건을 동시에 고려해 볼 때, 원격탐사기술을 도입할 작목의 우선순위는 ‘미곡(논벼) > 두류(콩) > 채소(고추) > 잡곡(옥수수) > 맥류(보리) > 서류(감자) > 특용작물(참깨) > 과실(사과)’ 인 것으로 판단됨. 특히 하우스 등 시설재배를 하는 작물에 대해서는 정확한 재배면적 산정이 어렵기 때문에 기술 도입 작목의 우선순위에 포함할 수 없음
- 이상의 결과들을 종합적으로 고려하면 현재의 관련 연구 및 기술수준과 전체 통계에서 차지하는 중요성을 고려할 때 관련연구가 초기단계인 우리나라에서는 논벼를 우선적으로 적용하는 것이 바람직하다고 판단됨
- 그리고 논벼의 적용사례를 피드백하고 국가적 상황변화 및 통계수요자들의 요구에 따라 차후에 재배면적이 많은(농업통계에서 중요도가 높은) 밭작물과 채소류로 응용분야를 확대해 나가야 할 것이며, 채소류와 과실류에 대한 원격탐사기술의 도입여부는 고해상도 위성영상 데이터에 대한 판독기술 확보와 영상구입의 경제성이 동시에 확보되어야 가능할 것으로 판단됨

5.3.2. 농작물 생산통계 활용 전략

- 현재 우리나라 위성 중 생산량 추정을 위해 활용할 수 있는 위성영상 데이터는 KOMPSAT-2 위성영상 데이터로서 국내 농업통계산출에 원격탐사기술을 적용하려면 소규모의 다품종 재배 환경 하에서 보다 정확한 생산량 추정을 위해 고공간해상도 및 고분광해상도 영상을 확보하기 위한 광학센서의 개발과 위성영상 데이터의 판독기술 개발 및 응용이 병행되어야 함
- 현재의 원격탐사기술 수준에서는 논벼, 콩, 고추 등 소수의 작물에 대한 생산량 추정이 부분적으로 가능할 뿐 양파, 마늘, 배추, 무 등 특정 밭작물에 대한 재배면적 추정과 사과, 배 등 과수의 작황 판독이 어려운 실정임. 따라서 이들 작물에 대한 정확한 재배면적의 추정과 작황 판독의 기술이 개발되어 응용 가능한 수준에 이르기까지는 논벼, 콩, 고추 등 일부 작물과 지역에 초점을 두고 활용방안을 강구할 필요가 있음
- 위성영상 데이터자료는 원격탐사용용시스템의 영상DB관리시스템을 사용하도록 하며, 한국항공우주연구원과의 협의 체결로 인한 KOMPSAT-2 위성영상 데이터를 우선적으로 사용하도록 함
- 현재 미국과 유럽에서 Landsat을 주력으로 활용하고 있으며, 대다수의 연구사례가 Landsat 영상을 활용하고 있다는 점에서 축적된 분석경험을 이용할 수 있다는 장점이 있으나, 복잡한 지형으로 다품종·소량생산을 중심으로 이루어지고 있는 국내농업에 그대로 적용될 수 없으며, 오히려 비슷한 농업환경을 가지고 있는 일본의 사례가 좋은 참고 모델이 된다고 판단됨
- 일본의 경우 초기 Landsat 영상을 이용한 연구가 성행했으나 최근 정밀도가 높은 위성의 활용을 통해 보다 세밀한 농업관련 통계 및 정보의 취득하는 방향으로 전개됨으로서 고해상도 위성영상 데이터자료의 활용이 증대되고 있음
- 따라서 농작물 생산통계산출을 위한 위성영상 데이터는 타 선진국의 사례와 마찬가지로 앞서 제시한 고려사항을 반영한 시범연구의 추진을 통해 적정 영상을 판단 및 제시하는 것이 바람직 할 것으로 판단됨

- 지금까지의 연구 결과를 토대로 ‘원격탐사기술을 이용한 농작물 생산통계 체계 구축’ 사업을 제시하며 상세 내역은 본문을 참조하도록 함

5.3.3. 인적구성 추산 및 유관기관 협력방안 구축 방향

- 우리나라 농업부분에서 원격탐사기술 활용을 위한 시도는 10여년이 지났으나, 실제 응용은 아직 부족한 실정이며, 농작물 생산통계와 관련하여 위성영상 데이터를 처리하고 분석할 수 있는 전문인력은 전무한 상황임
- 이에 따라 원격탐사기술이 지속적으로 발전하고, KOMPSAT 시리즈의 성공으로 위성영상 데이터를 농업분야에서 활용할 가능성이 보다 높아지고 있는 상황에서 위성영상 데이터를 담당할 수 있는 전문인력이 필요할 것이며, 현재 기술수준 하에서 위성영상 데이터를 통해 재배면적과 작황정보를 탐색할 수 있는 프로그램 운영자의 양성이 시급함
- 따라서 본 연구에서는 지금까지의 연구 결과를 토대로 원격탐사기술을 이용한 농작물 생산통계 업무의 인적구성을 제시하며 상세 내역은 본문을 참조하도록 함
- 통계청에서는 원격탐사기술을 이용한 경지총조사 방법의 개발 및 원격탐사 응용시스템 구축, 영상기반 표본설계 및 표본조사 방법의 개발, 항공영상을 활용한 원격조사 방법 등을 개발하여 농업통계 산출 목적으로 활용하거나 활용할 계획에 있음
- 국내 원격탐사기술의 활용은 각 기관의 서로 상이한 활용목적에 따라 독립적으로 수행되고 있어 상호 협조할 수 있는 제도적 기반이 구축되지 못하여 비효율적으로 운영되고 있음
- 따라서, 위성영상 데이터의 공동촬영, 기 촬영된 영상 및 가공된 정보의 공동 활용을 통하여 예산 및 인력의 효율을 제고할 수 있는 제도적 장치 등 관련 방안을 모색하여야 하며, 우리나라 농업부문에서도 농림수산식품부를 중심으로 협의체제를 구축할 필요가 있는 것으로 사료됨
- 현재, 위성정보의 수집은 주로 국정원 지구관측센터, 해양위성센터, 기상청, 한국항

공우주연구원 등에서 담당하고, 위성정보의 분석은 농촌진흥청, 각종 연구기관 및 대학에서 담당하며, GIS는 건설교통부, 한국농촌공사 등에서 담당함

- 또한, 개발 완료 단계인 원격탐사 응용시스템을 효율적으로 활용하기 위해서는 미국의 유관기관 간 공동프로그램 운영 및 미 농무성의 RSCC와 같은 가칭 ‘농업분야 위성정보협의회’의 구성이 필요할 것으로 사료됨
- 이러한 협의회에는 농림수산식품부가 주축을 이루되, 통계청, 한국농촌경제연구원 등과 같은 위성정보 활용기관과 한국항공우주연구원 등의 위성정보 수집기관, 농촌진흥청 등의 위성정보 분석기관 등이 참여하여, 위성정보의 활용 분야를 개발하고, 정보의 교류 및 관련 업무의 협조가 필요할 것으로 판단됨

1. 참 고 문 헌

- 권오복, 김재환. 2007. 위성정보의 농업관측 활용 타당성, 한국농촌경제연구원.
- 김이현, 홍석영, 김명숙, 곽한강. 2007. GNDVI 를 이용한 벼 군락 엽 질소함량 추정, 대한원격탐사학회 학술대회논문집, 대한원격탐사학회 2007년도 춘계학술대회 논문집, pp. 43-48.
- 김배성, 박성미. 2009. 위성정보의 농업관측 활용 방안, 한국농촌경제연구원.
- 김배성, 박미성 외. 2010. 인공위성을 이용한 벼 재배면적 조사 시범연구 최종보고서, 한국농촌경제연구원.
- 김충실, 박재화 외. 2005. 항공우주기술의 농림분야 활용방안, 농림부.
- 김충실 외. 2006. 원격탐사기술의 농업통계분야 도입방향, 농촌경제 29(2), pp. 161-176.
- 김충실, 이상호 외. 2008. 농업통계조사에 원격탐사기술 활용방안 연구, 경북대학교.
- 나상일, 박종화. 2006. Landsat 영상을 이용한 충주시 주변의 토지피복 변화와 온도분포 해석, 한국농공학회학술발표논문집.
- 나상일. 2007. 위성영상을 이용한 새만금 지역의 환경 모니터링, 충북대학교 공학석사 학위논문, pp. 15-26.
- 나상일, 박종화. 2008. 위성영상을 활용한 새만금사업지구의 정규화식생지수와 표면온도 및 식생온도지수의 변화탐지, 한국관개배수논문집, 15(1).
- 나상일, 이규호, 박근애, 이지완, 박종화, 김성준. 2010. NDVI와 기상인자를 이용한 충청북도 쌀 생산량 예측 모델, 한국농공학회 학술발표논문집, pp. 137.
- 나상일, 이규호, 박근애, 이지완, 박종화, 김성준. 2010. 작물 생육정보 추출을 위한 위성영상 적용 가능성 평가, 한국농공학회 학술발표논문집, pp. 148.
- 박종화, 신용희, 박민서. 2003. 발작물의 분광반사 특성과 식생지수, 한국관개배수학회지, 10(2), pp. 43-54.
- 박종화, 나상일, 전택기. 2006. MODIS 영상을 이용한 청주지역 NDVI의 시계열적 분석, 한국농공학회 학술발표논문집, pp. 54.
- 박종화, 김진수, 나상일. 2006. LANDSAT 영상을 이용한 여름철 청주지역의 토지피복과 지표면온도와의 관계 분석, 한국농공학회논문집, 48(5), pp. 39-48.

- 박종화, 나상일. 2006. Landsat 영상을 이용한 논·밭의 기온저감효과 평가, 한국환경복원녹화기술학회지, 9(1).
- 신용희. 2003. Remote Sensing 기법을 이용한 작물의 생육단계별 식생반사 특성, 충북대학교 공학석사 학위논문, pp. 3-16.
- 이운선, 이승호. 2008. 기후변화가 벼의 생산량에 미치는 영향, 지형학회지, 42(3), pp. 405-416.
- 이정택, 이춘우, 주문갑, 홍석영. 1997. 태양광 반사율을 이용한 벼 군락의 엽면적지수 추정, 한국작물학회지, 42(2), pp. 173-181.
- 장세진, 서애숙, 김판기, 윤진일. 2000. 스펙트로라디오메터를 이용한 벼 생장 시기의 분광반사특성 변화 분석, 한국지리정보학회지, 3(3), pp. 12-19.
- 장석환. 2000. 주요 식량작물의 생산량 예측 모형에 관한 연구, 한국데이터정보과학회지, 11(1), pp. 47-55.
- 통계청. 2008. 원격탐사 기술을 이용한 경지총조사 방법 개발. 통계청 정책연구용역 연구결과 보고서.
- 통계청, 2009, 해외통계동향, Vol. 1.
- 한국농촌경제연구원. 2010. 인공위성을 활용한 작황조사의 현황과 전망 국제심포지엄 발표자료.
- 한원식, 허한순 외. 1991. 원격탐사를 이용한 주요농작물생산량 예측연구 제3차년도 최종보고서, 한국농촌경제연구원.
- 홍석영, 이정택, 임상규, 정원교, 조인상. 1998. 분광반사특성을 이용한 벼의 생장량 추정, 한국원격탐사학회지, 14(1), pp. 83-94.
- 홍석영, 임상규 외. 2008. 생태환경 위성영상을 이용한 북한의 농업환경 분석 - Landsat TM 영상을 이용한 북한의 지형과 토지피복분류, 한국환경농학회지, 27(2).
- Allen J.D., 1990. A Look at the Remote Sensing Applications Program of the National Agricultural Statistics Service, Journal of Official Statistics, 6(4): 393-409.
- Daughtry, C.S, M.E. Bauer, D.W. Crecelius, M.M. Hixson., 1980. Effects of management practices on reflectance of spring wheat canopies, Agron. J, 72(6), pp. 1055-1060.
- Ferencz, Cs., P. Bognár, J. Lichtenberger, D. Hamar, Gy. Tarcsai, G. Timár, G. Molnár, SZ. Pásztor, P. Steinbach, B. Székely, O.E. Ferencz

- and I. Ferencz-Árkos, 2004. Crop Yield Estimation by Satellite Remote Sensing, *International Journal of Remote Sensing*, 25(20), pp. 4113-4149.
- Gorten, S. M. E. 1993, NDVI-crop monitoring and early yield assessment of Burkina Faso, *International Journal of Remote Sensing*, 14(8), pp. 1495-1515.
 - Kimura, R., Okada, S., Miura, H., and Kamichika, M., 2004. Relationships among the leaf area index, moisture availability, and spectral reflectance in an upland rice field. *Agricultural Water Management*, Vol. 69, pp.83-100.
 - Paul, C. Doraiswamy, Bakhyt Akhmedov, Larry Beard, Alan Stern, and Richard Mueller, 2007, OPERATIONAL PREDICTION OF CROP YIELDS USING MODIS DATA AND PRODUCTS, *International Archives of Photogrammetry*,
 - Prasad, A. K, R. P. Singh, V. Tare, and M. Kafatos, 2007, Use of vegetation index and meteorological parameters for the prediction of crop yield in India, *International Journal of Remote Sensing*, 28(23), pp. 5207-5235.
 - USDA. 1998. Application of GIS, GPS, & Remote Sensing Technologies to access & Optimize Crop Production, *Current Research Information System*
 - USDA. 1999. Assessment of Global Crop Production from New Generation Remote Sensing Technology, *Current Research Information System*.
 - USDA. 1998. Development and Evaluation of New Remote Sensing Technologies to Assess Food and Fiber Production, *Current Research Information System*.
 - USDA. 2000. Remote Sensing of Corn and Soybean Canopy Production, *Current Research Information System*.
 - Yamamoto H, Honjo H and Wakiyama Y., 1990. Evaluation of Leaf Area Index and Biomass of Soybean Canopies Using Spectral Reflectivity, *J. Agr. Met*, 46(1), pp. 19-22.
 - Yang Y.K. 1985. Correlation of Rice Grain Yield to Radiometric Estimates of Canopy Biomass as a Function of Growth Stage, *J. of Korean Society of Remote Sensing*, Vol. 1, pp. 163-187.

- 農林水産省. 2003. 高分解能衛星畫像データ活用システム開發事業.
- 石塚直樹. 2004. 水田面積の求積水田面積の求積”, 農林水産 R S シンポジウム.
- 齋藤元也. 2002. 農業分野での衛星データ利用”, 平成 14 年度衛星 R S データ農林業 W S.
- 日本リモートセンシング研究會編, 1995. 圖解リモートセンシング, 社團法人日本測量協會, pp. 19-23.

2. 용 어 설 명

- 가 -

- 감독분류(監督分類, supervised classification) : 영상을 분류하는 방법의 하나로 토지의 피복유형을 분명히 파악할 수 있는 트레이닝데이터(training data)를 이용하여 분광특성이 비슷한 지역을 분류하는 일련의 과정이다.
- 공간데이터(空間데이터, spatial data) : 공간상의 객체를 나타내거나 객체들 간의 관계를 표현하는데 사용되는 데이터로서 지리적인 위치와 위상관계를 나타내는 도형정보와 객체의 특징을 나타내는 속성정보로 구성되어 있다. 계획분야를 비롯하여 시설물관리, 행정서비스 등 공간과 관련된 의사결정이 필요한 분야에서 다양하게 활용할 수 있는 정보이다. 예, 선거권의 위치는 공간데이터이지만, 그 곳의 면적, 이름, 인구 등은 비 공간데이터이다. Geographic Data라고도 한다.
- 공간해상도(空間解祥度, spatial resolution) : 센서로 구분할 수 있는 두 물체 사이의 최소 각 또는 직선 간격을 말한다. 30m, 10m, 5m, 1m, 0.6m등의 격자크기로 나타낸다. 공간해상도가 1m라고 하면 한 개의 격자는 지상의 1m 1m의 크기이다.
- 공분산(共分散, covariance) : 두 확률변수가 같이 변하는 정도의 측도로서, X와 Y가 확률 변수라고 할 때, X와 Y의 공분산은 보통 $Cov(X,Y)=E[(X-E(X))(Y-E(Y))]$ 이다.
- 공선조건식(共線條件式, Collinearity condition equation) : 공간상의 임의의 점과 그에 상응하는 영상의 대응점 및 센서의 투영중심이 동일한 직선상에 존재한다는 조건을 공선조건(collinearity condition)이라고 하고, 공선조건에 의해 수립되는 대상점 좌표와 영상좌표, 투영중심 좌표 사이의 관계식을 공선조건식이라고 한다.
- 구조화편집(構造化編輯) : 데이터간의 지리적 상관관계를 파악하기 위하여 정위치 편집된 지형·지물을 기하학적 형태로 구성하는 작업으로서 위상정립, 분류코드 입력의 분류코드별 색상 등을 부여하는 작업을 말한다.
- 군집화(群集化, clustering) : 분광특성이 유사한 지역을 군집하는 것으로 무감독분류에 이용된다. 계층적(hierarchical) 군집은 자료간의 유사도(類似度)를 거리로 평가하고 거리가 가까운 것로부터 돌일 군집으로 묶어 가는 방법이다. 비계층적 군집은 초기에 적당한 군집을 부여하고 그 사이에 새로운

군집을 넣음으로써 분석도를 높여 가는 것을 말한다.

- 기하보정(幾何補正, geometric correction) : 원격탐사 시스템과 지구의 상대적인 운동, 항공기와 위성체의 위치 및 자세의 불규칙한 변화, 지구 표면의 기복 등으로 인해 영상에 나타나는 오차를 제거하여 지도로서의 기하학적 일체성을 갖도록 수정하는 것을 말한다.

- 나 -

- 노드(node) : 결점 혹은 절점이라 하며 위상적 연결(chain)이나 끝점을 나타낸다. 점의 특수한 형태로 0차원이며 GIS에서 사용하는 용어로서 Point와는 구분된다. 아크(arc)의 시작 및 끝을 나타내며, 다른 아크와의 연결 지점으로 노드는 노드에서 만나는 모든 아크와 위상관계(topological relation)로 연결되어 있다.

- 다 -

- 다중데이터(multi-data) : 벡터와 래스터 같이 포맷(format)형태가 다른 데이터, 해상도나 촬영시기가 다른 원격탐사 데이터 등 자료의 형식과 특성이 서로 다른 데이터를 연계 또는 통합한 것을 말한다.
- 다중분광영상(多重分光映像) : 영상의 픽셀(pixel)에 대한 분광밴드(spectral band)가 두 개 이상인 영상을 말한다. 이때 각 픽셀은 두 개 이상의 디지털 값(Digital Number)을 가지게 된다.
- 대기보정(大氣補正, atmospheric correction) : 센서와 목표물 사이에 존재하는 대기의 영향 즉, 빛의 산란·흡수·반사 등으로 인한 영향을 제거하는 것을 말한다.
- 데이텀(Datum) : 지구의 형상인 타원체와 타원체를 연결하는 지구의 특정 위치와 연결해 주는 원점 등의 좌표계를 정의하는 파라메타를 말한다.
- 디지털라이징(digitizing) : 점, 선, 면의 좌표를 입력하는 지도 수치화 작업의 하나이다. 전자적 또는 전자기적 평판인 디지털라이저를 사용하거나 컴퓨터의 스크린에서 직접 디지털라이징 할 수 있다.

- 라 -

- 레이다(RADio Detection And Ranging; RADAR) : 전자기 분광 스펙트럼

중에서 마이크로웨이브(microwave)를 이용하는 능동형 원격탐사를 지칭한다. 초기의 레이다는 전파(radio)를 이용하였으며, 최근에는 거의 모든 극초단파를 이용하고 있다.

- 래스터(raster) : 지도 혹은 이미지 등의 공간자료를 표현하는 방법의 하나로 서 좌표에 의해 정의된 셀(cell)의 집합을 말한다.
- 리모트 센서(Remote Sensor) : 대상물로부터 반사 또는 방사되는 전자파 등을 수신하는 장치를 말한다. 카메라, 광학스캐너(optical mechanical scanners), 선형 및 면형배열 센서(linear and area arrays), 레이저, 라디오 주파수 수신기, 레이더 시스템, 수중음파탐지기, 지진계, 중력계, 자기계, 그리고 섬광계(scintillation)등이 이에 해당된다.

- 마 -

- 마이크로웨이브(microwave) : 일반적으로 300~3,000MHz의 극초단파(ultrahigh frequency:UHF), 3~300GHz의 센티미터파(superhigh frequency: SHF)를 말하며, 레이더(RADAR)와 같은 능동형 원격탐사 시스템에 사용된다.
- 무감독분류(無監督分類, unsupervised classification) : 영상을 분류하는 방법의 하나로 지역에 대한 사전 정보 없이 영상자료가 가지는 통계적 특징을 이용하여 분광적으로 비슷한 지역을 분류하는 일련의 과정을 말한다.

- 바 -

- 반사(反射, reflection) : 태양 빛이 지표면에 부딪쳐 경로가 바뀌는 현상을 말한다. 물이나 구름 혹은 지구표면 같은 곳에서는 태양복사에너지가 반사되며, 원격탐사 센서는 이 에너지를 기록한다.
- 방사(放射, radiation) : 물체가 방출하는 전자기파 및 입자선(粒子線) 또는 이들을 방출하는 현상을 말하며 복사라고도 한다. 전자기파인 경우에는 파장에 따라 열선(熱線), 가시광선, 자외선, X선등으로 분류한다.
- 방사보정(放射補正, radiometric correction) : 위성탐사 시스템에 의해 측정된 수치를 방사량과 같은 적절한 물리적 단위로 전환하는 일련의 과정을 말한다. 지표면에서 방사되는 에너지가 대기를 통과하면서 가스나 수증기 등의 입자에 의해 산란, 흡수, 반사 및 굴절 등이 일어나면서, 이로 인하여 발생하는 오차를 제거하는 것을 말한다.
- 방사해상도(放射解祥度, radiometric resolution) : 센서가 지표로부터 반사 또

는 방사된 파장을 기록할 때 신호강도의 차이를 구별하기 위한 감지기의 감도(感度)를 말한다. Land MSS는 7비트(0-127 사이의 값)을 기록하였으나 Landsat TM 은 80비트(0-255의 값)을 기록하고 있다 방사해 상도가 높을수록 대상물의 구분이 용이하다.

- 범지구좌표계(凡地球座標界, Global Positioning System; GPS) : 미 국방성에서 운용하고 있는 24개의 위성에서 보내오는 신호를 지상의 수신기로 받아서 위치를 측정하는 시스템이다. 관측장비를 이용하여 신호를 기록하고 컴퓨터의 처리과정을 통하여 지구좌표를 얻을 수 있으며, 정확도를 높이기 위해서는 상시관측소의 관측 값을 이용한다.
- 보간법(補間法, interpolation method) : 주어진 기준점들로부터 정보를 받아 다른 기준점 사이에 놓여 있는 임의 공간의 위치 값을 추정하는 것으로서 내삽법(內插法)이라고도 한다.
 - 공일차보간법 : 주변의 4점까지 떨어진 거리를 경중률로 사용하여 보관하는 방법으로 최근린보간법보다 섬세하다.
 - 최근린보간법 : 주변의 4개의 화소들 중에서 가장 가까운 위치에 있는 s화소 값을 가져오며 속도가 빠른 장점이 있다.
 - 3차회선보간법 : 주변의 16(44격자)개 화소 값의 가중치를 이용하여 화소 값을 결정한다.
- 분광(分光, spectrum) : 전자기파가 그 파장 또는 진동수에 따라 나누어져 나타나는 현상이다. 태양 광선이나 고온의 고체가 내는 빛에는 파장의 영역이 여러 가지인 빛들이 섞여 있어 그 스펙트럼의 색이 연속적으로 나타나는데, 이를 연속 스펙트럼이라고 한다.
- 분광해상도(分光解祥度, spectral resolution) : 원격 탐사 시스템이 감지할 수 있는 전자기 스펙트럼 상의 특정 파장 간격의 수와 크기를 말한다. 원격탐사 시스템은 전자기 스펙트럼의 가시광선 및 근적외선 역에서 $1\mu\text{m} \sim 1\text{nm}$ 의 분광해상도를 가질 수 있으며, 대부분의 다분광 센서는 두 개 이상의 분광밴드를 가지는 것이 일반적이다.
- 벡터(vector) : 지도나 영상에서 지형·지물의 궤적에 좌표를 부여한 일련의 점들의 집합을 말한다. GIS에서는 지리정보를 좌표 값을 포함하는 점(point), 선(line), 면(polygon)으로 표현하며, 이러한 데이터의 형식을 벡터라고 한다.

- 수치지형도(數値地形圖, digital map) : 지도에 표시된 속성정보 및 지리정보를 수치화하여 전산기용 기록매체의 기록한 수치 좌표계를 사용하는 지도이다.
- 수치표고모델(數値標高모델, Digital Elevation Model; DEM) : 일정한 간격으로 지형의 변화지점(자연적인 지성선 및 인공적인 지형변화)의 표고를 포함한 3차원(x,y,z) 모형을 말한다.
- 순간시야각(瞬間視野角, Instantaneous field of view; IFOV) : 관찰대상으로부터 원격탐사 시스템의 감지기로 에너지가 입사되는 각을 말한다. 순간시야각은 감지기의 광학시스템과 감지기의 크기에 의해 결정되며, 일반적으로 획득되는 영상의 픽셀(pixel) 크기와 같다.
- 스냅핑(snapping) : 디지털라이징을 하는 동안 2개의 선분이 수학적으로 연결될 수 있도록 해주는 기능을 말한다. 이 기능은 두 선분 사이의 연결성을 시각적으로 확실히 밝힐 수 없는 경우, 이를 명확하게 해 주는데 사용된다.
- 시간해상도(時間解祥度, temporal resolution) : 센서가 특정한 지역의 화상을 기록하는 주기를 말한다.

- 아 -

- 아크(arc) : 한 위치에서 시작하여 다른 위치에서 끝나는 W,Y 좌표 값들의 연속적인 열로, 길이만을 가지며 면적은 가지지 않는다. 선 지형요소, 면 지형요소의 경계로 표현되며 하나의 지형요소는 여러 개의 아크들로 구성된다.
- 엽면적지수(葉面積指數, Leaf Area Index; LAI) : 식물군락의 엽면적을 그 군락이 차지하는 지표면적으로 나눈 값으로 밀생하는 식물군락에서는 3~7의 값을 가지는 경우가 많지만, 일시적으로는 10을 넘는 경우도 있다. 엽면적지수가 큰 군락에서는 아래쪽에 있는 잎은 보상점을 밑도는 빛 밖에 받을 수 없는 경우도 있다. 잎이 빛을 받는 상태가 빛의 투입을 크게 하는 중, 예를 들면 직립엽이 많은 것에서는 엽면적지수가 커지는 경향이 있다. 벼과식물과 같은 협엽성 군락은 광엽성 군락보다 LAI가 크다. 우리나라 갈대군락은 LAI는 14~16을 나타낸다. 또한 군락 높이의 차이, 예를 들면 삼림과 초본 군락과의 사이에서는 크고 작은 차이는 생기지 않는다.
- 영상융합(映像融合, image fusion) : 해상력(공간해상도, 분광해상도 등) 이 서로 다른 영상을 하나의 영상으로 병합하는 과정을 말하며 합성된 영상을 하이브리드 영상(hybrid image)라고 한다. 영상융합은 영상의 판독능력을 높이거나 판독저해 요인을 제거하기 위하여 수행한다.

- 우선확률(優先確率, prior probability) : 조건부 확률에서는 새로운 정보를 알았을 때 확률의 개선이 일어나게 된다. 실험결과에서 얻은 정보를 이용하여 어떤 사건의 처음 확률을 개선시킬 수 있다. 이때 처음 확률을 우선확률이라고 하고, 개선된 확률을 사후확률이라고 하며, 이러한 방법으로 확률을 개선하는 것을 베이즈의 정리라고 한다.
- 원격탐사(遠隔探查, Remote sensing) : 멀리 떨어져 있는 대상물을 관측하는 기술로서 측정하고자 하는 목표물에 직접 접촉하지 않고 기록장치를 이용하여 대상물의 특성을 측정하거나 정보를 수집하는 것을 말한다.
- 인공신경망(人工神經網, artificial neural network) : 인간의 뇌신경 기능을 기반으로 개발된 시스템으로 뉴런(혹은 노드)이라고 하는 가장 기본적인 처리요소들이 서로 결합되어 망을 구성하고 있다. 신경망은 단순 신경망, 연결자 모델, 병렬 분산처리 모델로도 불리며 간단한 계산요소가 상호 조밀하게 연결되어 있다.

- 자 -

- 전정색 영상(全整色 映像, panchromatic image) : 전정색이란 사진기술용어로서 사진을 인화할 때 가시광선(400~700nm)의 전범위를 감광할 수 있게 한 것을 말한다. 위성영상에서 흑백(黑白)영상을 말할 때 전정색 영상이라고 한다. 우리나라의 다목적실용위성 아리랑 1호 영상은 흑백 단밴드인 전정색 영상이며, Landsat ETM+, IKONOS, SPOT 등은 단밴드 흑백영상과 다중밴드 칼라영상을 함께 생성한다.
- 전처리(前處理, preprocessing) : 센서가 지형정보를 획득하는 과정에서 발생한 여러 가지의 오차를 제거하는 과정으로서 기하보정, 방사보정, 정사보정, 잡티 제거 등의 과정을 말한다.
- 정규식생지수(正規植生指數, Normalized Differenced Vegetation Index; NDVI) : 식생지수는 단위가 없는 복사 값으로서 녹색식물의 상대적 분포량과 활동성, 엽면적지수, 엽록소함량, 엽량 및 광합성 흡수복사량 등과 관련된 지표이다. 정규식생지수는 식생지수의 하나로서 가시광선 영역과 근적외선 영역의 반사값의 차와 합의 비율을 구하여 일반화한 것이다.
- 정사보정(正射補正, orthorectification) : 지상을 촬영할 때 자세와 지형의 기복에 의해서 발생한 대상체의 변위(displacement)를 제거하여 지형물의 평면 위치를 지도상의 위치와 동일하게 보정하는 것을 말한다.

- 주제도(主題圖, thematic map) : 어느 특정한 주제를 강조하여 표현한 지도로서 일반도를 기초로하여 색채 또는 기호를 사용하여 표시하며 토지이용도, 지질도, 토양도, 산림도, 도시계획도, 시설물도, 임야도, 식생도 등이 있다.
- 지리정보시스템(地理情報시스템, Geographical Information System; GIS) : 지리적으로 배열된 모든 유형의 정보를 효율적으로 취득하여 저장, 갱신, 관리, 분석 및 출력이 가능하도록 조직화한 컴퓨터 하드웨어, 소프트웨어, 지리자료 및 인력의 집합체를 말한다.
- 지사기준점(地上基準點, Ground Control Point; GCP) : 독립적인 지상측량이나 항공삼각측량에 의해서 결정된 좌표를 가진 인공 또는 자연의 점으로서 위성영상을 실제 좌표계에 등록하기 위하여 사용하거나 입체모델의 외부표정 또는 절대표정에 이용한다.

- 차 -

- 참조자료(參照資料, reference data) : 위성영상을 이용하여 토지피복을 분류할 때 분류항목의 경계와 속성판독을 용이하게 하기 위하여 사용하는 여러 가지 여상, 지형도, 주제도 혹은 실험실에서 수행된 실험결과 등을 말한다.
- 최대우도분류자(最大偶度分類子, maximum likelihood classifier) : 트레이닝 데이터(training data)에서 선정된 각 그룹의 밴드별 평균과 표준편차등의 확률밀도함수를 계산하고, 각 화소가 모든 그룹에 속하는 확률을 계산하여 확률이 가장 높은 그룹에 속하도록 판정하는 것을 말한다.

- 타 -

- 트레이닝데이터(training data) : 감독분류에 사용하기 위하여 동일영상 내에서 영상분류의 기준으로 지정한 데이터를 말한다. 트레이닝데이터는 분류항목별로 판별이 분명한 지역을 선정하여 컴퓨터로 하여금 그와 동일한 특성을 가진 항목을 분류하도록 훈련을 시킨다는 의미로 훈련지역(training site)이라고 부르기도 한다.

- 파 -

- 평균제곱근오차(Root Mean Square Error; RMSE) : 기하보정의 정확도를 나타내는 척도로서 입력된 지상기준점 좌표와 기하보정 후 변환된 좌표 사

이의 거리이다.

- 픽셀(pixel) : Picture Element의 약자이다. 공간정보와 분광정보를 지닌 자료 요소로서 공간 변수가 지상분해격자의 크기를 규정하고 이 격자에서 나오는 복사의 분광강도가 분광변수를 규정짓는다.

- A -

- ALOS(Advanced Land Observing Satellite) : 지도제작, 지구 자원 측정, 재해 모니터링, 지구 표면 관측 등을 주요 목적으로 운용하고 있는 일본의 위성이며, 전정색 영상을 얻을 수 있는 PRISM이란 센서와 MSS 영상을 획득할 수 있는 AVNIR-2 센서, SAR 영상을 획득할 수 있는 PALSAR 센서가 탑재되어 있다.

- C -

- CAMS(Calibrated Airborne Multispectral Scanner) : NASA의 스테니스 우주국(Stennis Space Center)의 Learjet에 탑재된 센서로서 가시관선, 근적외적 및 열적외선 영상을 수집하며, 공간해상도는 항공기의 비행높이에 따라 다르다.

- D -

- DBMS(Database Management System) : 자료의 용량이 크거나 지속적으로 변하는 자료의 관리를 위해 고안된 것으로 데이터베이스 내의 정보를 구성하는 컴퓨터 프로그램의 집합을 말한다.
- DM(Digital Number) : 디지털 영상(image)의 픽셀(pixel)이 가지는 수치 값, 이 값은 원격탐사 시스템의 감지기에 기록된 특정 분광밴드의 방사량과 같은 물리량이다.

- E -

- EROS(Earth Resources Observation Satellite) : 이스라엘의 고기능 저궤도 위성으로서 Nimble Imaging을 할 수 있는 특징이 있다. Nimble Imaging이란 모든 방향으로 최대 45까지 고속 회전하여 영상을 얻을 수 있는 기술을 말하며, 이를 통해 동일한 궤도에서 입체 영상을 획득할 수 있다.

- ERS-1 : 유럽우주국이 1991년 발사한 영상 레이더 시스템으로 공간해상도는 비행방향으로 30m, 안테나방향으로 26m이다. 약 785km의 지상궤도에서 100km 촬영 폭을 가지고 있다.

- G -

- Grid : 광학식 문자인식에서 문자의 형을 지정하거나 측정하기 위해 사용되는 서로 직교하는 2조의 평행선이다.
- GUI(Graphic User Interface) : 사용자와 컴퓨터가 정보를 주고 받기 위한 규약으로 화면상의 아이콘과 도형 그 자체를 마우스 등으로 조작함에 따라 지시를 컴퓨터에 전달하는 방법이다.

- I -

- IKONOS : 미국의 Space Imaging사가 공급하는 최초의 상업용 인공위성으로 1m급의 고해상도 영상을 획득할 수 있다. IKONOS는 그리스어로 "image"라는 뜻이다.
- IRS(Indian Remote Sensing Satellite) : 인도우주국(Indian Space Agency)인 ISRO(Indian Space Research Organization)에서 운영되고 있는 인도 위성 시리즈로서 1988년 봄 IRS_1A로 프로그램이 시작되었으며, 환경탐사가 주된 목적이다.

- J -

- JERS-1 : 일본 국립우주개발국(NSADA)이 1992년에 발사한 영상레이더 시스템으로 공간해상도는 비행방향이나 안테나방향 모두 약 18m이다. 약 568km의 지상궤도에서 75km 촬영폭을 가지고 있으며 1998년 10월 12일 임무가 종료되었다.

- K -

- KOMPSAT : 국내 다목적 실용위성으로 아리랑 위성으로도 불린다. 1호는 공간해상도 6m이며 2호는 공간해상도 4m, 1m 이다. 이 위성에는 광학카메라 EOC와 해양관측용 센서인 OSMI를 탑재하고 있다.

- L -

- Landsat : Landsat프로그램은 미국에서 가장 역사가 오래된 지구 관측 위성 시스템으로서, 미항공우주국(NASA)의 지구자원탐사위성(Earth Resources Technology Satellite; ERTS) 프로그램의 일환으로 추진되었다. 1972년 이후부터 자료를 획득 하고 있으며, 현재 Landsat 7호가 운용 중이다.
- Landsat MSS(Multi Spectral Scanner) : Landsat 1호부터 3호까지 탑재된 센서이다. MSS는 주사거울이 비행 방향 직하부터의 지표면을 주사하는 광학시스템을 가지며, 공간해상도는 80m이다.
- Landsat TM(Thematic Mapper) : 가시광, 근적외선, 중적외선 및 열적외선 영역에서 반사되거나 복사되는 에너지를 기록하는 광학센서 시스템으로 Landsat 4호와 5호에 탑재되었으며 공간해상도는 30m이다.

- Q -

- QuickBird : 미국 Digital Globe사가 운영하는 상업용 고해상도 위성영상으로 61cm 전정색 영상과 2.5m 다분광 스테레오 영상을 공급하고 있으며 지도 제작, 농업, 도시계획 그리고 기상연구와 군사용으로도 사용된다.

- R -

- RADARSAT : RADARSAT-1은 1995년 11월 발사된 캐나다의 최초 원격탐사 위성이다. RADARSAT-1의 SAR 센서는 25개의 영상모드에서 자료를 획득할 수 있으며 각각의 모드는 주사폭, 해상도, 입사각, Look의 수에 의해 분류될 수 있다.
- RESURS-DK : 러시아 위성으로 소빈폼스푸트니크(Sovinformspudnik)사를 통해 공간해상도 0.8m인 DK-1 위성영상을 제공하고 있다. 1m 전정색 영상과 2.5m 다중분광 영상을 제공하는 RESURS-DK 위성과 레이더영상까지 제공하는 RESURS-DK은 2003년에 발사되었다.

- S -

- SPOT(Systeme Probatoire d'Observation de la Terre, or Satellite Pour l'Observation de la Terre) : CNES가 운영하는 유럽(프랑스, 스웨덴, 벨기에) 위성 시스템이다. SPOT-1은 1986년에 발사되어 1990년까지 운영되었다.

2002년에 발사된 SPOT-5는 5m 전정색 영상과 10m 다중분광영상을 제공하며 지도제작 및 기타 모니터링에 활용되고 있다.

- SPOT HRV(High Resolution Visible) : SPOT 1호 2호 및 3호에 2개씩 탑재된 고해상도 가시광(HRV) 센서이다. 고해상도 가시광 센서들은 가시광과 적외선에서 전정색 모드와 다중분광 모드로 작동하고 있다.

- U -

- UTM(Universal Transverse Mercator) : 지구투영 좌표계의 하나이다. UTM 좌표계에서 기준 원점의 위치는 UTM Zone의 중심경도선과 적도가 만나는 위치이며, 이 점을 기준으로 경도방향을 X축, 위도방향을 Y축으로 설정한다. 우리나라의 경우 52번째 Zone에 위치하며, 이 지역의 기준 원점인 경도 129°, 위도 0°를 UTM 좌표의 원점으로 사용한다.