

통계청 연구용역
결과 보고서

원격탐사기술을 활용한 주요 농산물 생산량 추정기법 개발

Development of Yield Estimation Method for
Major Crops using Remote Sensing Technique

2011. 11. 10

통 계 청

제 출 문

통계청장 귀하

2011년 3월 29일자로 귀 청과와 계약체결한 『원격탐사기술을 활용한 주요 농산물 생산량 추정기법 개발』 용역을 계약서 및 연구지시서에 따라 성실히 수행하고, 그 결과를 본 보고서에 수록하여 제출합니다.

2011년 11월 10일

주관연구기관명 : 충북대학교

총괄연구책임자 : 박 종 화

연 구 원 : 나 상 일

연 구 원 : 박 진 기

연 구 원 : 백 신 철

연 구 보 조 원 : 오 시 영

목 차

목 차	i
표 목 차	iv
그림목차	viii

제 1 장 연구의 개요

1.1. 연구배경 및 필요성	
1.2. 연구의 개요	
1.2.1. 연구목적	
1.2.2. 기대효과 및 추진경위	
1.2.3. 연구 수행기간	
1.2.4. 연구 주요내용	

제 2 장 RS 기술을 활용한 논벼 생산량 추정모형 개발 및 시범사업

2.1. 분석자료 수집	
2.1.1. MODIS NDVI	
2.1.2. 기상데이터	
2.1.3. 논벼 생산량	
2.2. 자료의 전처리 및 공간범위 선정	
2.2.1. MODIS NDVI의 보정	
2.2.2. 논벼 재배지 추출	
2.3. NDVI와 생산량과의 상관관계 검토	
2.3.1. 전국단위 상관관계 검토	
2.3.2. 도단위 상관관계 검토	
2.3.3. 시군단위 상관관계 검토	
2.3.4. 포구별 상관관계 검토	

2.3.5. 상관관계 검토 결과 종합	
2.4. 논벼 생산량 추정 모형 개발	
2.4.1. 모형 입력 자료	
2.4.2. 다중회귀분석	
2.4.3. 모형 검정 및 독립변수 선택 방안	
2.4.4. 전국단위 및 도단위 논벼 생산량 추정 모형	
2.4.5. 모형에 대한 추론	
2.4.6. 타 연구와의 비교	
2.4.7. 2011년 논벼 생산량 추정 결과	
2.5. 3개시군 시범사업 결과	
2.5.1. KOMPSAT-2를 이용한 포구별 상관관계 검토	
2.5.2. MODIS를 이용한 논벼의 생산량 추정	
2.5.3. KOMPSAT-2를 이용한 논벼의 생산량 추정	

제 3 장 주요 발작물에 대한 생산량 추정방안 연구

3.1. 선진 연구 현황	
3.1.1. 생산량과 식생지수의 관계	
3.1.2. 생산량 모델	
3.1.3. 국제 원격 탐사 학회	
3.2. RS를 이용한 농업 모니터링 현황	
3.2.1. USDA의 FAS	
3.2.2. JRCEC의 MARS	
3.2.3. 중국 CAS의 CropWatch 시스템	
3.2.4. USAID의 FEWS NET	
3.2.5. UN FAO의 GIEWS	
3.2.6. 호주의 농업 모니터링	
3.2.7. 아르헨티나의 농업 모니터링	

3.2.8. 브라질 CONAB의 GeoSafras	
3.2.9. 캐나다의 CCAP	
3.2.10. 중국의 CHARMS	
3.2.11. 인도의 FASAL 시스템	
3.2.12. 카자흐스탄의 KCSRT	
3.2.13. 남아프리카 공화국의 DAFF	
3.2.14. 러시아 IKI의 RSALMS	
3.3. 위성영상 적용가능성 평가	
3.3.1. 위성영상 데이터의 종류 및 특성	
3.3.2. 밴드간 상관성 평가	
3.3.3. NDVI 정확도 평가	
3.3.4. 육안판독 가능성 평가	
3.3.5. PSU 활용성 평가	
3.3.6. 위성영상 데이터의 수집성 평가	
3.4. 주요작물 적용 가능성 평가	
3.4.1. 휴리스틱 접근법에 의한 우선순위 결정	
3.4.2. 생산량 예측 기초자료 수집	
3.5. 국내 적용 가능성 및 연구방향	
3.5.1. 선행연구 시사점	
3.5.2. 국내 적용시 애로사항	
3.5.3. 국내 적용시 검토사항	

제 4 장 생산량 추정 시스템 개발을 위한 프로세스 제안

4.1. 생산량 추정 관련 국내 현황	
4.1.1. 원격탐사를 활용한 생산량 예측 선행 연구보고서	
4.1.2. 학술 발표 자료	
4.1.3. 국내 연구 시사점 도출	

4.1.4. 생산량 추정 시스템 개발을 위한 기초연구	
4.2. 대외환경 변화 대응 방안: 천리안 위성을 중심으로	
4.2.1. 천리안 위성 개요	
4.2.2. 적용성 평가	
4.2.3. 천리안위성 적용 한계점 및 해결방안	

제 5 장 결론

5.1. 원격탐사기술의 논벼 생산량 파악 적용에 나타나는 문제점	
5.2. 향후 연구 방향 및 로드맵	
5.2.1. 향후 연구 방향	
5.2.2. 로드맵	

참고문헌 A

부 록 i

1. 논벼 단위면적(10a) 당 수량	i
2. MODIS NDVI	vii
3. 지문 및 조치사항	xi

표 목 차

<표 2.1.2-1> 기상청의 기상요인 정보	9
<표 2.1.2-2> 기상청의 기상관측소 현황	10
<표 2.1.3-1> 2001년~2010년의 논벼 단위면적(10a)당 수량	12
<표 2.2.2-1> 논벼 재배지 격자 현황	23
<표 2.3.1-1> 전국단위 MODIS NDVI와 생산량과의 상관분석 결과	24
<표 2.3.2-1> 도단위 MODIS NDVI와 생산량과의 상관분석 결과	25
<표 2.3.3-1> 시군단위 MODIS NDVI와 생산량과의 상관분석 결과	26
<표 2.3.4-1> 포구별 MODIS NDVI와 생산량과의 상관분석 결과	29
<표 2.4.1-1> 측정시기에 의한 논벼의 현장 NDVI(통계청, 2010)	38
<표 2.4.1-2> 전국의 기상자료 적용기간 별 결정계수(R^2)	40
<표 2.4.1-3> 경기도의 기상자료 적용기간 별 결정계수(R^2)	40
<표 2.4.1-4> 강원도의 기상자료 적용기간 별 결정계수(R^2)	40
<표 2.4.1-5> 충청북도의 기상자료 적용기간 별 결정계수(R^2)	41
<표 2.4.1-6> 충청남도의 기상자료 적용기간 별 결정계수(R^2)	41
<표 2.4.1-7> 전라북도의 기상자료 적용기간 별 결정계수(R^2)	41
<표 2.4.1-8> 전라남도의 기상자료 적용기간 별 결정계수(R^2)	42
<표 2.4.1-9> 경상북도의 기상자료 적용기간 별 결정계수(R^2)	42
<표 2.4.1-10> 경상남도의 기상자료 적용기간 별 결정계수(R^2)	42
<표 2.4.1-11> 행정구역별 등숙기 현황	43
<표 2.4.2-2> 전국단위 모형개발을 위하여 입력된 변수의 기술통계량	36
<표 2.4.2-3> 전국단위 모형개발을 위하여 입력된 변수의 상관계수	36
<표 2.4.2-4> 경기도의 모형개발을 위하여 입력된 변수의 기술통계량	37
<표 2.4.2-5> 경기도의 모형개발을 위하여 입력된 변수의 상관계수	37

<표 2.4.2-6> 강원도의 모형개발을 위하여 입력된 변수의 기술통계량	38
<표 2.4.2-7> 강원도의 모형개발을 위하여 입력된 변수의 상관계수	38
<표 2.4.2-8> 충청북도의 모형개발을 위하여 입력된 변수의 기술통계량	39
<표 2.4.2-9> 충청북도의 모형개발을 위하여 입력된 변수의 상관계수	39
<표 2.4.2-10> 충청남도의 모형개발을 위하여 입력된 변수의 기술통계량	40
<표 2.4.2-11> 충청남도의 모형개발을 위하여 입력된 변수의 상관계수	40
<표 2.4.2-12> 전라북도의 모형개발을 위하여 입력된 변수의 기술통계량	41
<표 2.4.2-13> 전라북도의 모형개발을 위하여 입력된 변수의 상관계수	41
<표 2.4.2-14> 전라남도의 모형개발을 위하여 입력된 변수의 기술통계량	42
<표 2.4.2-15> 전라남도의 모형개발을 위하여 입력된 변수의 상관계수	42
<표 2.4.2-16> 경상북도의 모형개발을 위하여 입력된 변수의 기술통계량	43
<표 2.4.2-17> 경상북도의 모형개발을 위하여 입력된 변수의 상관계수	43
<표 2.4.2-18> 경상남도의 모형개발을 위하여 입력된 변수의 기술통계량	44
<표 2.4.2-19> 경상남도의 모형개발을 위하여 입력된 변수의 상관계수	44
<표 2.4.3-1> 모든 변수를 적용한 전국단위 다중선형 회귀모형	47
<표 2.4.3-2> 모든 변수를 적용한 경기도의 다중선형 회귀모형	47
<표 2.4.3-3> 모든 변수를 적용한 강원도의 다중선형 회귀모형	48
<표 2.4.3-4> 모든 변수를 적용한 충청북도의 다중선형 회귀모형	48
<표 2.4.3-5> 모든 변수를 적용한 충청남도의 다중선형 회귀모형	48
<표 2.4.3-6> 모든 변수를 적용한 전라북도의 다중선형 회귀모형	49
<표 2.4.3-7> 모든 변수를 적용한 전라남도의 다중선형 회귀모형	49
<표 2.4.3-8> 모든 변수를 적용한 경상북도의 다중선형 회귀모형	49
<표 2.4.3-9> 모든 변수를 적용한 경상남도의 다중선형 회귀모형	50
<표 2.4.4-1> 변수선택법에 의한 전국단위 논벼 생산량 추정 모형	51
<표 2.4.4-2> 변수선택법에 의한 경기도의 논벼 생산량 추정 모형	52
<표 2.4.4-3> 변수선택법에 의한 강원도의 논벼 생산량 추정 모형	52

<표 2.4.4-4> 변수선택법에 의한 충청북도의 논벼 생산량 추정 모형	52
<표 2.4.4-5> 변수선택법에 의한 충청남도의 논벼 생산량 추정 모형	53
<표 2.4.4-6> 변수선택법에 의한 전라북도의 논벼 생산량 추정 모형	53
<표 2.4.4-7> 변수선택법에 의한 전라남도의 논벼 생산량 추정 모형	53
<표 2.4.4-8> 변수선택법에 의한 경상북도의 논벼 생산량 추정 모형	54
<표 2.4.4-9> 변수선택법에 의한 경상남도의 논벼 생산량 추정 모형	54
<표 2.4.5-1> 변수선택법에 의한 도단위 최적 회귀모형	55
<표 2.4.5-2> 도단위별 회귀모형의 추정계수와 결정계수(R^2)	56
<표 2.4.5-3> NDVI를 제외한 강원도의 논벼 생산량 추정 모형	57
<표 2.4.5-4> NDVI를 제외한 충청북도의 논벼 생산량 추정 모형	57
<표 2.4.5-5> NDVI를 제외한 전라남도의 논벼 생산량 추정 모형	57
<표 2.4.5-6> NDVI를 제외한 경상북도의 논벼 생산량 추정 모형	58
<표 2.4.5-7> NDVI를 제외한 경상남도의 논벼 생산량 추정 모형	58
<표 2.4.5-8> NDVI 포함여부에 따른 결정계수(R^2)와 수정결정계수(R_{adj}^2)의 변화	58
<표 2.4.6-1> 등온선별 지역그룹에 따른 쌀 작황예측 모형	59
<표 2.4.6-2> 타 연구와 NDVI 추정계수의 유의수준 비교	59
<표 2.4.6-3> 농업기후지대 분류 현황	60
<표 2.4.6-4> 산간 지대의 지역구분에 따른 유의확률 변화	62
<표 2.4.6-5> 중남부 서부 해안 지대의 지역구분에 따른 유의확률 변화	62
<표 2.4.7-1> 도단위별 회귀모형의 추정계수 및 2011년 추정결과	64
<표 2.4.7-2> 2011년 추정결과 비교	65
<표 2.5.1-1> 선정된 3개시군의 2010년 8월 KOMPSAT-2 영상 현황	67
<표 2.5.1-2> MODIS와 KOMPSAT-2 NDVI의 포구별 수량과의 상관분석 결과 비교	69
<표 2.5.2-1> MODIS 이용 추정계수 및 2010년 추정결과(2001~2010년 자료 이용)	70
<표 2.5.2-2> MODIS 이용 2010년 추정결과 비교(2001~2010년 자료 이용)	70
<표 2.5.2-3> MODIS 이용 추정계수 및 2010년 추정결과(2001~2009년 자료 이용)	71

<표 2.5.2-4> MODIS 이용 2010년 추정결과 비교(2001~2009년 자료 이용)	71
<표 2.5.3-1> KOMPSAT-2 이용 추정계수 및 2010년 추정결과(2001~2010년 자료 이용)	73
<표 2.5.3-2> KOMPSAT-2 이용 2010년 추정결과 비교(2001~2010년 자료 이용)	73
<표 2.5.3-3> KOMPSAT-2 이용 추정계수 및 2010년 추정결과(2001~2009년 자료 이용)	74
<표 2.5.3-4> KOMPSAT-2 이용 2010년 추정결과 비교(2001~2009년 자료 이용)	74
<표 2.5.3-5> 2010년 3개시군 적용결과 및 비교(2001~2010년 자료 이용)	74
<표 2.5.3-6> 2010년 3개시군 적용결과 및 비교(2001~2009년 자료 이용)	75
<표 3.1.2-1> 발작물 생산량 관련 연구	84
<표 3.1.2-2> 발작물 생산량 관련 모델	85
<표 3.1.3-1> 국제 원격탐사 학회 수집자료	88
<표 3.2.1-1> 위성영상 데이터의 해상도 종류 및 설명	89
<표 3.2.1-2> 공간해상도에 따른 위성영상 데이터의 구분	90
<표 3.2.3-1> 현장 NDVI와 각 위성영상 데이터별 NDVI 비교	93
<표 3.2.5-1> 위성영상 데이터별 PSU와의 관계	95
<표 3.2.6-1> 위상영상 데이터별 수집성 비교	96
<표 3.3.1-1> 작물의 생태학적 특성	98
<표 3.3.1-2> 작물의 식물학적 특성	98
<표 3.3.1-3> 휴리스틱 접근법에 의한 작물별 적용가능성 평가	100
<표 3.3.2-1> 위상영상 취득경로	104
<표 3.3.2-2> 국가통계포털 보유자료 현황	105
<표 3.3.2-3> 기상철 제공 기상요소	107
<표 3.3.2-4> 기본공간정보의 분야별 항목 및 구축기관	108
<표 3.3.2-5> 중앙행정기관 공간정보 관련사업	109
<표 3.4.2-1> 『항공영상 활용 원격조사 방법 개발』 작물별 판독가능 여부	111
<표 4.1.1-1> 최근 10년간 농업관측 연구 흐름	117
<표 4.1.4-1> 디지털 영상처리 시스템에서의 영상처리 기능	121

<표 4.1.4-2> 디지털 영상처리 소프트웨어와 영상처리 기능 적합성	122
<표 4.1.4-3> 식생관련 정보 추출이 가능한 원격탐사 데이터	124
<표 4.2.1-1> 천리안 해양관측위성의 분광해상도	126

그림 목 차

<그림 2.1.1-1> MODIS 데이터의 수집 과정	5
<그림 2.1.1-2> MODIS 위성영상 공급 경로	6
<그림 2.1.1-3> ISS의 WebMODIS 홈페이지	6
<그림 2.1.1-4> Aqua/Terra MODIS 다운로드 화면 예시	7
<그림 2.1.1-5> ERDAS IMAGINE의 NDVI 추출 모듈	8
<그림 2.1.2-1> 관측소별 기상자료의 수집	9
<그림 2.1.3-1> 시군별 논벼 생산량 자료의 수집	11
<그림 2.2.1-1> MVC 보정 기법	19
<그림 2.2.1-2> MVC 보정 기법에 의한 월별 NDVI 추출	19
<그림 2.2.1-3> 월별 NDVI 추출 모델	19
<그림 2.2.1-4> MVC에 의하여 보정된 연도별 NDVI	20
<그림 2.2.1-5> MVC를 이용한 NDVI의 보정 전(위)과 보정 후(아래)	19
<그림 2.2.2-1> 토지피복도를 이용한 논벼 재배지 격자 추출	21
<그림 2.2.2-2> 도별 논벼 재배지 격자 현황	22
<그림 2.2.2-3> 격자면적과 총면적 비율의 비교	22
<그림 2.3.1-1> 전국단위 MODIS NDVI와 생산량과의 상관분석 결과	22
<그림 2.3.2-1> 경기도 MODIS NDVI와 생산량과의 상관분석 결과	22
<그림 2.3.2-2> 강원도 MODIS NDVI와 생산량과의 상관분석 결과	22
<그림 2.3.2-3> 충청북도 MODIS NDVI와 생산량과의 상관분석 결과	22
<그림 2.3.2-4> 충청남도 MODIS NDVI와 생산량과의 상관분석 결과	22
<그림 2.3.2-5> 전라북도 MODIS NDVI와 생산량과의 상관분석 결과	22
<그림 2.3.2-6> 전라남도 MODIS NDVI와 생산량과의 상관분석 결과	22
<그림 2.3.2-7> 경상북도 MODIS NDVI와 생산량과의 상관분석 결과	22
<그림 2.3.2-8> 경상남도 MODIS NDVI와 생산량과의 상관분석 결과	22

<그림 2.4.1-1> 작물별 생육주기에 따른 NDVI 변화(통계청, 2010)	22
<그림 2.4.5-1> NDVI 포함여부에 따른 결정계수(R^2)의 변화	22
<그림 2.4.5-2> NDVI 포함여부에 따른 수정결정계수(R_{adj}^2)의 변화	22
<그림 2.4.6-1> 시군별 작부체계 농업지대 분류 현황	61
<그림 2.4.6-2> 산간 지대(좌)와 중남부 서부 해안 지대(우)의 시군 현황	62
<그림 2.6.1-1> 2010년 8월 KOMPSAT-2 영상수급상황(좌) 및 3개시군 대상지역(우)	66
<그림 2.4.7-1> 2011년 예측치와 실측치의 비교	62
<그림 2.5.1-1> 2010년 8월 KOMPSAT-2 영상수급상황(좌) 및 3개시군 대상지역(우)	62
<그림 2.5.1-2> 경기도 안성시의 KOMPSAT-2 위성영상 현황	67
<그림 2.5.1-3> 충청남도 서천군의 KOMPSAT-2 위성영상 현황	68
<그림 2.5.1-4> 경상북도 경산시의 KOMPSAT-2 위성영상 현황	68
<그림 2.5.1-5> MODIS(좌) 및 KOMPSAT-2(우)와 포구의 공간해상도 차이	69
<그림 2.5.2-1> MODIS 이용 2010년 추정결과 비교(2001~2010년 자료 이용)	68
<그림 2.5.2-2> MODIS 이용 2010년 추정결과 비교(2001~2009년 자료 이용)	68
<그림 2.5.2-3> KOMPSATR-2 이용 2010년 추정결과 비교(2001~2010년 자료 이용)	68
<그림 2.5.2-4> KOMPSATR-2 이용 2010년 추정결과 비교(2001~2009년 자료 이용)	68
<그림 3.1.1-1> 중국 밀의 누적 NDVI와 생산량과의 상관관계	78
<그림 3.1.1-2> NDVI와 생산량과의 상관관계	78
<그림 3.1.2-1> Doraiswamy(2003)의 수확량 추정 모식도	80
<그림 3.1.2-2> CTI 필터링 기법을 이용한 NDVI 보정; Mkhabela 등(2005)	81
<그림 3.1.2-3> 스와질란드 옥수수 생산량 예측; Mkhabela 등(2005)	81
<그림 3.1.2-4> Iowa주의 옥수수와 콩의 생산량 예측; Prasad 등(2006)	82
<그림 3.1.2-5> 이탈리아 지역의 밀 생산량 예측; Moriondo 등(2007)	82
<그림 3.1.2-6> 캐나다 작물별 회귀모델; Mkhabela 등(2011)	83
<그림 3.1.3-1> SPIE 원격탐사 학회	87
<그림 3.2.2-1> 현장에서 측정한 적색 파장대와 근적외선 파장대의 분포도	91

<그림 3.2.2-2> 각 위성영상 데이터별 적색 밴드와 근적외선 밴드의 분포도	92
<그림 3.2.4-1> 각 위성영상 데이터의 육안 판독 정도	94
<그림 3.2.5-1> 각 위성영상 데이터의 Scene 당 PSU 현황	95
<그림 3.3.1-1> 휴리스틱 접근법에 의한 작물별 적용가능성 우선순위	99
<그림 3.3.2-1> MODIS 위성자료 수집	101
<그림 3.3.2-2> MODIS 식생 관련 위성자료	102
<그림 3.3.2-3> Landsat 위성자료 수집	102
<그림 3.3.2-4> GOCI 위성자료 수집	103
<그림 3.3.2-5> 국가통계포털 홈페이지 (http://kosis.kr)	105
<그림 3.3.2-6> 기본공간정보	108
<그림 4.2.1-1> 천리안위성의 구조	125
<그림 4.2.1-2> 천리안 해양관측위성 영상 및 촬영영역	126
<그림 4.2.1-3> 해양위성센터 홈페이지	127
<그림 4.2.2-1> 영상 처리 소프트웨어 GDPS	128
<그림 4.2.2-2> GDPS 데이터 처리 흐름도	129
<그림 4.2.2-3> GOCI 영상 식생지수 산출	129
<그림 4.2.2-4> GOCI와 MODIS NDVI 상관관계	130

제 1 장 연구의 개요

1.1. 연구배경 및 필요성

- 미국, EU, 일본 등 선진국들은 1970년대부터 원격탐사기술을 주요 농산물의 재배면적과 작황을 산출하는데 활용하는 추세이다.
- 우리나라도 2006년 아리랑 2호(KOMPSAT-2) 위성의 성공적인 발사로 저렴한 국산 고해상도 위성영상의 활용이 가능해짐에 따라 각 산업분야별로 원격탐사기술 응용의 본격화 되었으며, 이를 바탕으로 다양한 분야에서 원격탐사기술의 활용성이 증대되고 있다.
- 이에 따라 그동안 선진국에 비해 원격탐사기술이 비교적 활발하게 적용되지 못했던 농업분야에서도 고해상도 위성영상을 이용한 연구와 시범사업이 추진되고 있다.
- 통계청에서는 『원격탐사기술 활용 면적통계조사시스템 구축을 위한 정보화 전략계획(ISP) 수립(2009)』을 시작으로 『원격탐사 응용시스템 구축(2010)』, 『항공영상 활용 원격조사 방법 개발(2010)』, 『영상기반 표본조사 방법 개발(2010)』 등의 시범사업을 통해 원격탐사기술의 농작물생산통계 적용 가능성과 도입방법에 대한 구체적 검토를 시작하였다.
- 특히, 『농작물생산통계의 원격탐사기술 활용방안 연구(2010)』를 통해 원격탐사기술의 효율적인 농작물생산통계 활용방안 및 가능성 검토의 기초연구를 수행하여 선진 사례 연구 및 시사점 도출, 현장 시범연구를 통한 위성영상자료의 적용성 검토, 원격탐사기술의 농작물생산통계 활용에 대한 중장기 로드맵을 수립하였다.

원격탐사기술을 활용한 주요 농산물 생산량 추정기법 개발

- 따라서 기초연구 결과를 바탕으로 시범지역 및 작물을 선정하여 지속적인 시범사업을 수행함으로써 국내 농업여건에 맞는 한국형 논벼의 생산량 추정 모형의 개발을 통해 산출되는 농업통계의 정확성을 제고해야 하며, 주요 밭작물에 대한 기본연구 및 생산량 추정 시스템 개발을 위한 프로세스 구축방안 등의 모색이 필요한 시점이다.

1.2. 연구의 개요

1.2.1. 연구목적

○ 본 연구는 원격탐사기술을 활용한 주요 농산물 생산량 추정기법 개발의 후속연구로서 3개시군 시범사업을 통해 논벼의 생산량 추정모형 개발 및 주요 밭작물 생산량 추정에 원격탐사기술 적용의 실용화 가능성을 검토하고 향후 생산량 추정 시스템 개발을 위한 프로세스 구축방안을 모색하는데 그 목적이 있다.

- 기본 목표 : 원격탐사기술을 활용한 주요 농산물 생산량 추정기법 개발
- 부속 연구목표 1 : RS기술을 활용한 논벼 생산량 추정모형 개발 및 시범사업
- 부속 연구목표 2 : 주요 밭작물에 대한 생산량 추정방안 연구
- 부속 연구목표 3 : 생산량 추정 시스템 개발을 위한 프로세스 제안

1.2.2. 기대효과 및 추진경위

○ 본 연구를 통해 원격탐사기술을 활용한 논벼 생산량 추정모형을 개발하여 원격탐사기술의 도입방안에 대하여 검토하고, 3개시군 시범사업을 통하여 모형의 안정성과 신뢰도를 높이고, 생산량 추정모형 검증과정을 거쳐 통계업무의 실용화를 위한 토대가 마련되었다.

○ 주요 밭작물의 생산량 추정방안 검토를 위해 선행 연구를 기반으로 시사점을 도출하여 원격탐사기술의 적용 가능성과 도입방법에 대하여 검토하였으며, 국내 적용시 애로사항과 향후 연구방향을 기반으로 밭작물에 대한 적용방안을 모색하였다.

- 또한, 프로세스 제안을 통하여 국내 원격탐사기술 수준과 앞으로의 가능성을 확인하였으며, 천리안 해양관측위성의 활용방안과 연구방향을 제시하여 원격탐사 기술의 농업 생산량 예측의 기반을 마련하였다.

1.2.3. 연구 수행기간 : 2011. 3. 29 ~ 2011. 11. 10

1.2.4. 연구 주요내용

가. RS기술을 활용한 논벼 생산량 추정모형 개발 및 시범사업

- 1) 분석자료 수집
- 2) 자료의 전처리 및 공간범위 선정
- 3) NDVI와 생산량과의 상관관계 검토
- 4) 다중 회귀분석
- 5) 논벼 생산량 추정 모형 결과
- 6) 3개시군 시범사업 결과

나. 주요 발작물에 대한 생산량 추정방안 연구

- 1) 선행 연구 현황
- 2) RS를 이용한 농업 모니터링 현황
- 3) 위성영상 적용가능성 평가
- 4) 주요작물 적용가능성 평가
- 5) 국내 적용가능성 및 연구방향

다. 생산량 추정 시스템 개발을 위한 프로세스 제안

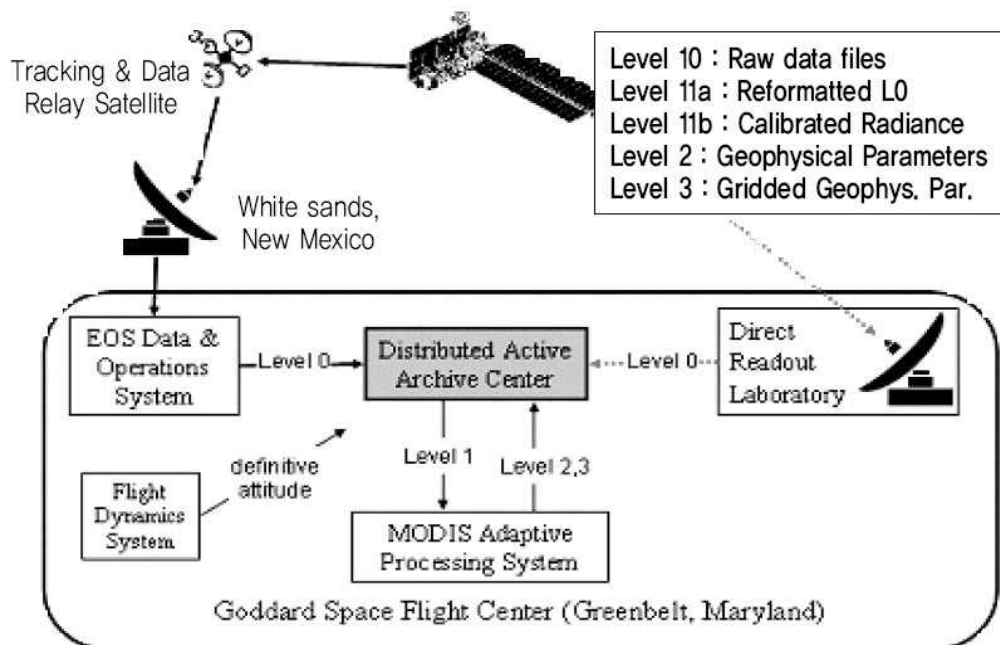
- 1) 생산량 추정 관련 국내 현황
- 2) 대외환경 변화 대응 방안: 천리안 위성을 중심으로

제 2 장 RS 기술을 활용한 논벼 생산량 추정모형 개발 및 시범사업

2.1. 분석자료 수집

2.1.1. MODIS NDVI

- MODIS(Moderate Resolution Imaging Spectrometer)는 1999년 12월에 미국의 EOS AM-1위성으로 명명된 Terra 위성과 2002년 5월에 발사된 Aqua 위성(EOS PM-1)에 탑재된 센서로서 수신국만 준비되면 누구든 자유롭게 수신이 가능하다.
- MODIS의 각 센서에 의해 밴드별로 측정된 데이터는 <그림 2.1.1-1>의 과정과 단계를 거쳐 데이터를 보정하고 수정하여 연구자 및 수요자에게 제공된다.



(자료출처 : <http://modis.gsfc.nasa.gov/>, 2011)

<그림 2.1.1-1> MODIS 데이터의 수집 과정

제 2 장 RS 기술을 활용한 논벼 생산량 추정모형 개발 및 시범사업

- 본 과업에서는 <그림 2.1.1-3>과 같이 일본 동경대학교 생산기술 연구소 (Institute of Industrial Science, 이후 ISS)에서 제공하는 MODIS 영상을 다운로드 받아 수집하였다.



(자료출처 : <http://webmodis.iis.u-tokyo.ac.jp/>, 2011)

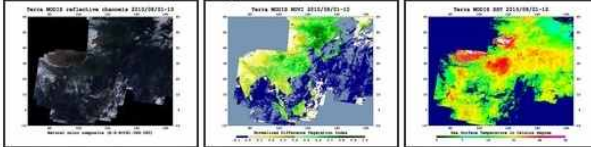
<그림 2.1.1-3> ISS의 WebMODIS 홈페이지

- ISS의 MODIS 영상은 구름에 의한 영향을 최소화하고 기하보정 등의 전처리가 완료된 영상으로 아시아 지역을 대상으로 10일 단위로 제공된다. 또한, 무료이며 자료의 검색 및 다운로드 과정이 쉬워 초보자도 쉽게 수집 및 사용이 가능하다.
- 영상 수집 대상 기간은 벼의 생육주기를 고려하여 2001년~2010년의 5월~10월로 선정하였고, 데이터의 일관성을 위하여 Terra/MODIS 영상을 우선순위로 수집하였으나 영상자료가 없거나 다운로드가 불가능한 경우에는 <그림 2.1.1-4>와 같이 Aqua 위성을 차순위로 수집하였다.

Aqua/Terra MODIS 10-days cloud free composite database over Asia

- 2010 Aug 01-10

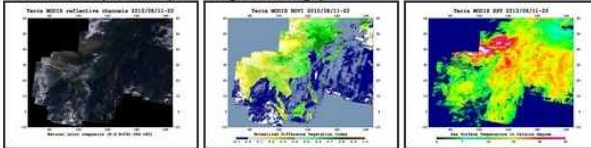
- Terra MODIS quicklook (click image to enlarge)



- Product download <http://webmodis.iis.u-tokyo.ac.jp/Asia/2010/Aug/product/>

- 2010 Aug 11-20

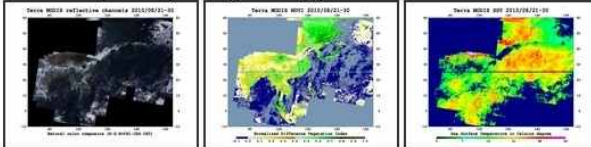
- Terra MODIS quicklook (click image to enlarge)



- Product download <http://webmodis.iis.u-tokyo.ac.jp/Asia/2010/Aug/product/>

- 2010 Aug 21-30

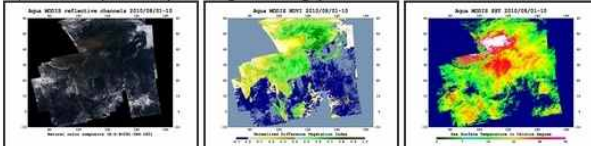
- Terra MODIS quicklook (click image to enlarge)



- Product download <http://webmodis.iis.u-tokyo.ac.jp/Asia/2010/Aug/product/>

- 2010 Aug 01-10

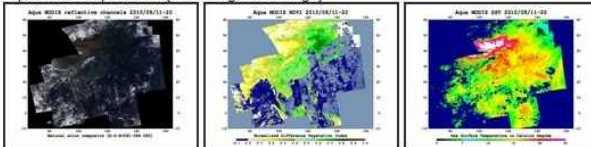
- Aqua MODIS quicklook (click image to enlarge)



- Product download <http://webmodis.iis.u-tokyo.ac.jp/Asia/2010/Aug/product/>

- 2010 Aug 11-20

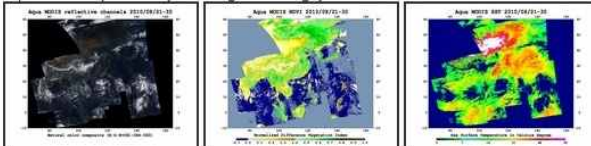
- Aqua MODIS quicklook (click image to enlarge)



- Product download <http://webmodis.iis.u-tokyo.ac.jp/Asia/2010/Aug/product/>

- 2010 Aug 21-30

- Aqua MODIS quicklook (click image to enlarge)



- Product download <http://webmodis.iis.u-tokyo.ac.jp/Asia/2010/Aug/product/>

WebMODIS Developer: Dr. Wataru Takeuchi
E-mail: wataru@is.u-tokyo.ac.jp

(자료출처 : <http://webmodis.iis.u-tokyo.ac.jp/>, 2011)

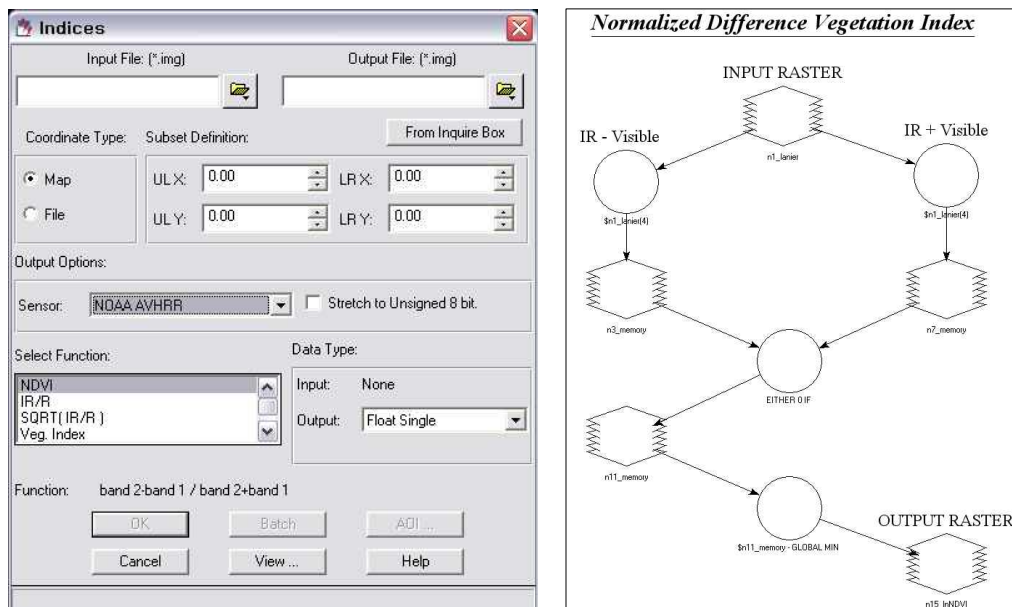
<그림 2.1.1-4> Aqua/Terra MODIS 다운로드 화면 예시

제 2 장 RS 기술을 활용한 논벼 생산량 추정모형 개발 및 시범사업

- MODIS의 NDVI 계산은 Band 1(파장 0.62~0.67 μm)과 Band 2(파장 0.841~0.876 μm)를 이용한다.
- 이 두 밴드의 공간해상도는 250m이며, 식(2.1.1-1)과 같이 10일간의 데이터를 이용하여 작성된 Band 1과 2의 데이터를 조합하여 계산한다.

$$NDVI_{MODIS} = \frac{(Band2 - Band1)}{(Band2 + Band1)} \quad (2.1.1-1)$$

- 또한, 영상처리의 효율성을 위하여 상용 소프트웨어인 ERDAS IMAGINE에서 제공하는 NDVI 추출 모델을 이용하여 시계열 NDVI를 추출하였고, 데이터의 타입은 Float Single로 지정하여 영상처리시 스트레칭 효과에 의한 NDVI의 오류를 예방하였다.



(자료출처 : ERDAS IMAGINE ver 9.2)

<그림 2.1.1-5> ERDAS IMAGINE의 NDVI 추출 모듈

2.1.2. 기상데이터

- 기상데이터의 수집은 기상청 홈페이지(<http://www.kma.go.kr/>)에서 지상관측 자료의 요소별 과거 자료를 선별하여 수집하였다.
- 기상청은 <표 2.1.2-1>과 같이 전국의 기상대 및 기상관측소에서 기온, 강수량 등 14개 기상요인을 유인 및 무인 관측하여 일자료로 제공하고 있다.

<표 2.1.2-1> 기상청의 기상요인 정보

	유인관측	무인관측
지점정보	(청) : 본청, 지방기상청 (기) : 기상대	(관) : 기상관측소 (공) : 공동 협력 관측소
관측요소	무인관측요소 + 날씨(시상현상), 구름, 적설	기온, 강수량, 바람, 습도, 일조시간

- 본 과업에서는 위치정보가 있는 전국의 69개 관측소를 선정하여<표 2.1.2-2>, 일평균온도, 일최고온도, 일최저온도, 일강우량, 일조시간 등 5가지 기상요인을 <그림 2.1.2-1>과 같이 2001년~2011년의 일자료로 수집하였다.

구분	[일평균기온(°C)] 108 서울 / 2010년												[일평균기온(°C)] 108 서울 / 2009년												[일평균기온(°C)] 108 서울 / 2008년											
	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월				
1																																				
2																																				
3																																				
4	-7.6	0.8	2.9	7	12.3	19.1	26.1	27.5	26	16	11.4	7.2	11월	-5.8	5.3	3.3	5.9	17.4	21.7	23.5	25.4	23.7	21.7	9.7	6.2	11월	-6.3	-3.3	3	8.8	19.8	21.6	24.8	27.7		
5	-3.6	-6.2	2.7	5.5	17.2	21	24.9	27.3	24	16	5	9.5	2월	-2.8	5.2	3.6	7.6	15.4	21.7	20.7	25.8	23.4	19	0	5.6	2월	-3.4	-1.1	2.6	7.6	20.3	18.9	22.4	26.1		
6	-6.8	-8	4.4	5	18.2	21.1	24.1	27.6	25.4	17	7.2	0	1월	-1	5.7	2.7	8.2	16.6	19.1	22.5	25.2	23.2	17.9	2.9	4.9	9월	0.9	-0.7	3.2	8.7	21.1	18.7	21.9	25.3		
7	-5.9	-4.3	5.5	7.7	20.2	22.3	26.5	28.1	26.8	14	10.6	1.7	4월	0.4	4.4	3.7	8.7	14.7	21.2	22.8	26.9	24.3	17	11.4	4.1	4월	-0.3	-2.7	1.8	10.1	18.3	16.9	24.3	25.5		
8	-9.9	-5.5	6.4	10.4	20.6	23.3	26.1	29.2	25.1	15	11.2	8.2	5월	-1.6	4.4	5.2	9.8	18.1	22.5	24.6	27.6	25	17.5	14.2	0	5월	1.6	-3.4	2.8	12.9	15.8	14.9	24.5	26.3		
9	-11.2	-4.7	6	8.5	13.4	24.9	26	28.3	25.5	16.1	12.7	3	6월	-2	3.2	1.6	10.9	22.4	22.2	25	26.6	25.2	19	14.6	-3	6월	4.1	-3.2	4.3	14.8	17.2	16.7	25.5	27.8		
10	-10.1	0.7	4.9	7.3	14.6	25.4	25.6	26.2	26.3	17.3	12.3	-0.7	7월	-0.5	2.8	1.7	14.1	21.3	19.1	24.9	25.8	23.7	18	17	-0.1	7월	2.8	-3.9	4.5	13.2	15.8	19.1	24.7	28.7		
11	-8	4	4.1	9.1	16.7	25.7	24.7	27.3	22.7	18.9	7	0.4	8월	-0.9	2.7	5.1	16.2	21.2	20.9	26.3	26.5	23.4	16.2	16.9	1	8월	1.5	-2.7	5.3	16.4	18.7	18.9	27.6	30		
12	-5.1	3.7	1.5	11.4	19	26	24.9	28.6	20.9	19.4	2.9	-1.8	9월	-3.5	5	5.9	17.5	21.7	19.4	21.8	28.7	23.2	15.8	16.8	4	9월	0.9	-1.9	5.9	13.2	18.5	21	27.5	28		
13	-10	-3.4	3.9	-1.4	10.7	16.1	26.5	25.6	26.5	24	18.5	4.1	2.9	10월	-7.5	4.5	3.4	17.3	20.3	18.8	23.8	27.8	22.3	16	13	7	10월	0.1	-1.3	6.5	15.6	15.7	22.7	26.3	30.1	
14	-11	-5.2	0.6	2.3	13.6	12.9	25.6	23.8	28.2	23.7	18.3	9.3	-3.5	11월	-8	5.7	4.5	18.5	17	21	24.8	23.8	20.8	16.4	9.3	7	11월	0.6	-0.9	10.9	14.2	16	24.5	27	28.2	
15	-10.3	-0.3	5.8	13.2	13.8	17.9	25.1	23.7	22.8	16.6	8.9	-1.2	12월	-7.8	6.8	7.9	16.6	18.6	19.4	20.7	23.5	19.1	15.9	8.8	5.1	12월	0.9	-6.9	12.5	13.8	15.9	23.3	24.5	25.3		
16	-13.2	-2.3	2.4	4.4	16	22	26.1	26	23.9	15.7	11.1	3.7	13월	-5.5	10.4	2.7	15.7	17.9	20.2	23.2	26.3	20.7	14.5	9.3	2	13월	-4.3	-5.8	9.9	12.8	12.3	21.5	25.8	27		
17	-9.1	-2.2	7.2	4	18	22.8	24.8	26.9	24	15.7	5.8	-4	14월	-6.6	3.6	0.2	16.1	18.9	20.4	23	27.6	20.1	14.7	5.1	-0.3	14월	-2.7	-2.1	8.5	13.5	13.1	23.9	27.3	27.3		
18	-15	-5	-3.1	7.9	7	17	24.4	26	26.6	24.7	13.1	1.4	-10.5	15월	-6.3	-1.6	5.1	9.9	18.3	21.6	23.1	27.9	20.9	15.9	-0.5	-4.2	15월	-4.2	-3.5	8.3	15.6	14.4	22.5	28.1	25.7	
19	-16	-6.4	-4.5	0.7	8	18.2	22.3	23.7	24.8	24.5	3.6	3.7	-7.7	16월	-2.8	-6	8.7	10.7	13.7	21.8	26.7	29.1	21	16.8	-1.8	-6.3	16월	-7.1	-3.4	7.3	18.1	15.7	23	24.8	21.7	
20	-17	-4	-3.2	-0.1	7.6	20.3	24	23.2	26.3	24.3	15.6	6.5	-2.1	17월	-1.4	-4.6	12.3	12	14.3	21.1	24.8	26.8	21.2	13.6	-1.1	-7.2	17월	-7.2	-2.3	9	18.8	17.6	22.6	25.3	24.2	
21	-19	-0.5	-2.9	0.5	12	17.3	25.9	25.9	26	25.2	13.9	6.5	0.1	18월	2.6	-2.2	16.3	14.4	16.9	25.1	25.1	27.4	22.4	14.2	-0.6	-9.3	18월	-4.8	-1.5	12.3	18.5	13.5	19.1	26.2	22.8	
22	-19	2.7	-1	4.5	14.7	17.1	23	26.7	28.5	20.9	5.9	4.9	19월	0.6	0.6	14.1	18.5	19.3	25.1	24.8	28.1	21.8	11.8	1.8	-7.9	19월	-2.2	0.5	11.2	20.1	13	20.3	23.8	23.8		
23	-20	5.8	3	6.8	16.8	19.5	23	28.2	28.6	21.7	15.2	7.9	4.1	20월	2.2	-2.5	12.2	14	21.6	22.7	25.5	26.1	21.3	10.8	1.4	-5.3	20월	2.3	2.7	11.6	20.6	15.1	24.3	24.7	23.1	
24	-21	-4.1	4.8	2.7	14.1	22.1	22.2	27.8	28.6	21.4	15.8	11	4.9	21월	3.9	-2.2	14.3	9.4	15.8	25.1	25.4	25.2	18.6	13.8	-0.1	-3.6	21월	1.3	4.4	13.1	19.7	16.8	24.6	23	23.4	
25	-22	-7	6.5	2.1	10.7	20.1	21.6	27.1	28.7	18.7	16.9	6.2	4.2	22월	3.6	3	10	9.9	18	23	25.1	25.2	19.2	13.1	3.3	3.3	22월	0.7	5.9	12.3	16.5	20.5	22.6	24.7	17.8	
26	-23	-5.3	8.2	5.9	9.3	18.1	23	24.4	26.4	17	15.9	5.9	-1.9	23월	-9	6.2	4.5	12.7	16.5	23.4	25.4	25.9	20.5	15	7.5	4.4	23월	-2.8	-2.6	7.6	10.4	21.5	22.8	23.8	21.4	
27	-24	0.3	12.2	8.7	11.1	13.1	24.4	25.6	23.7	17.6	17.2	6.3	-12.3	24월	-8.1	7.6	1.9	13.3	19.5	24.5	24.8	25.6	20.4	16.6	8.6	2.8	24월	-7.5	-1.5	6.6	9.6	23	23.4	22.4	23.6	
28	-25	-3	12	5	13.6	14.9	26.7	26	21.6	18.6	9.9	3.1	-11.2	25월	-4.6	2.8	2.4	8.7	22.5	24.8	22.5	24.3	20	16.2	5.9	0.6	25월	-5.9	-0.9	4.4	12.8	20.7	23.6	23.1	24.4	
29	-26	-4.1	12	2	12.4	17.4	24.8	25.4	24	18.6	4	0.4	-9.3	26월	-3.3	2.4	4.7	8.7	23.1	24.4	24.8	24.2	21.2	15.8	8	-8.1	26월	-2.7	-1.1	6.6	10	18.7	23.3	22.2	24	
30	-27	-0.2	8.6	5.4	7.5	17.4	21.8	26.9	25.8	19	5.6	1.3	-4.9	27월	-1.9	3.9	3.8	11.2	23.9	26.1	24.8	24.1	20.8	15.5	6.8	-7.9	27월	-1.4	1.1	7.1	10.4	21.5	23.7	25.1	24	
31	-28	-0.4	6.8	4.1	5	17.3	24.6	27	25.5	15.6	7.2	-1.3	-2.6	28월	1.5	5.2	4.5	13.5	24.2	26	24.6	24.1	20.9	14.7	5.8	-8.6	28월	-0.8	3.1	7.4	13.1	18.6	22.6	26.9	24.6	
32	-29	-2.1	5.8	8.5	18.7	23.9	26.8	23.7	13	9.6	3.2	-5.7	29월	3.3	6.7	15.6	22.8	26.1	25.5	22.2	21.5	17	6.4	-4.5	29월	-0.2	4.6	6	15.7	23.3	22.1	28	25.3			
33	-30	1.5	8.3	9.6	18.9	22.8	27	25.8	14.6	11.7	7.3	-6.1	30월	5.8	7.3	15.7	21.3	24.4	26.5	20.5	22.7	18.6	6.3	-4.3	30월	-2.2	7.2	18.2	18	22.5	26.1	25.7	25.2			
34	-31	1.8	7.3	7.3	17.3	27	24.9	12	7	8.7	-3.1	11	31월	6.1	6.1	19.7	26.7	22.6	16.2	-10.8	31월	1.6	16.2	-10.8	31월	-4.2	8.1	17.9	26.7	26.7	25.2	25.2	25.2			
35	평균	-4.5	1.4	4.3	9.5	17.2	23.4	25.8	26.5	21.8	14.5	6.5	-1.3	평균	-2	2.9	6	12.7	19.1	22.4	24.3	25.7	21.8	16	6.9	-1	평균	-1.7	-1.2	7.3	14.1	17.7	21.5	25.1	25.3	
36																																				
37																																				

<그림 2.1.2-1> 관측소별 기상자료의 수집

제 2 장 RS 기술을 활용한 논벼 생산량 추정모형 개발 및 시범사업

- 또한, 수집된 기상요인은 요인별로 평균 및 합산하여 월별 기상인자를 추출하였다.

<표 2.1.2-2> 기상청의 기상관측소 현황

관측소	Code	관측소	Code	관측소	Code
서울	108	제천	221	목포	165
부산	159	추풍령	135	포항	138
대구	143	보은	226	봉화	271
인천	112	청주	131	안동	136
강화	201	금산	238	영주	272
백령도	102	부여	236	문경	273
광주	156	천안	232	의성	278
대전	133	서산	129	구미	279
울산	152	보령	235	영천	281
이천	203	장수	248	울진	130
양평	202	군산	140	영덕	277
수원	119	전주	146	합천	285
홍천	212	정읍	245	통영	162
태백	216	부안	243	거창	284
대관령	100	임실	244	산청	289
영월	121	남원	247	진주	192
원주	114	흑산도	169	밀양	288
인제	211	해남	261	남해	295
춘천	101	순천	256	거제	294
속초	90	고흥	262	고산	185
강릉	105	여수	168	제주	184
동해	106	완도	170	서귀포	189
충주	127	장흥	260	울릉도	115

2.1.3. 논벼 생산량

- 논벼생산량 자료는 2001년~2010년 통계청 생산량 확정치 자료 및 2011년 예상량 자료를 이용하였다.
- 2001년~2010년의 확정치 자료는 <그림 2.1.3-1>과 같이 통계청에서 발표한 논벼생산량 자료 중 현미를 대상으로 시군별 재배면적(ha), 단위면적(10a)당 수량, 생산량(톤)을 수집하였다.

행정구역별	2007		2008		2009		2010				
	10a당 : 생산량(톤)	재배면적(ha)	10a당 생산량	생산량(톤)	재배면적(ha)	10a당 생산량	생산량(톤)	재배면적(ha)	10a당 생산량	생산량(톤)	
전국	501	4,723,896	927,995	560	6,193,841	917,990	574	5,273,116	896,516	520	4,608,966
서울특별시	472	2,276	592	549	2,756	286	516	1,476	267	468	1,250
부산광역시	508	21,097	4,112	556	22,869	4,112	526	21,619	3,644	501	18,239
대구광역시	479	22,024	3,976	565	22,458	3,477	593	20,610	3,217	522	16,806
인천광역시	491	71,001	13,778	550	75,728	13,256	505	66,977	12,588	463	58,335
대전광역시	482	31,562	6,442	518	33,391	6,528	524	34,186	6,182	495	30,581
대구광역시	500	9,702	1,916	522	10,008	1,837	555	10,190	1,628	520	8,462
충청남도	468	32,987	6,667	544	36,280	6,480	517	33,533	6,341	487	30,866
경기도	499	504,893	99,939	549	548,597	98,934	546	540,203	95,894	468	449,039
수용시	477	4,191	792	559	4,425	764	532	4,064	689	456	3,144
경남시	466	391	59	559	330	66	532	351	60	456	274
의정부시	459	900	212	506	1,074	149	523	779	148	440	651
안양시	492	5	1	559	6	2	532	11	-	-	-
부천시	493	1,681	340	512	1,740	344	492	1,693	321	470	1,510
광명시	492	669	132	512	676	131	492	645	127	470	597
광주광역시	507	73,329	14,648	558	81,771	14,643	565	82,702	14,362	521	74,861
충청북도	466	592	100	506	506	121	523	639	121	440	532
안산시	468	3,359	706	559	3,944	731	532	3,888	801	456	3,655
고양시	493	9,467	1,959	512	10,027	1,698	492	8,357	1,525	470	7,174
과천시	492	109	20	559	112	20	532	106	20	456	91
구리시	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
남양주시	472	2,441	504	506	2,553	516	523	2,699	381	440	1,676
오산시	502	2,088	424	559	2,369	302	532	1,606	362	456	1,652
시흥시	494	5,568	1,161	512	5,943	1,138	492	5,601	1,129	470	5,311
군포시	492	575	124	559	693	123	532	654	102	456	465
의왕시	492	649	109	559	609	109	532	580	78	456	356
하남시	466	154	50	559	279	50	532	266	13	456	59
유이시	497	29,894	4,581	650	26,686	4,636	527	24,410	4,370	456	19,880

(자료출처 : <http://kosis.kr/>)

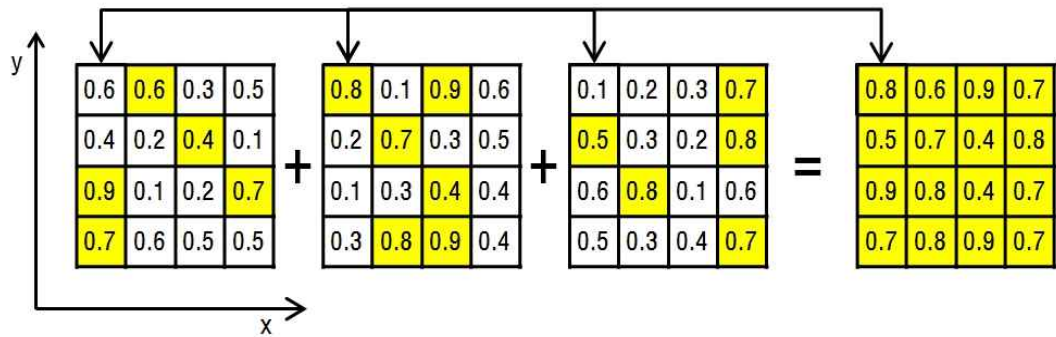
<그림 2.1.3-1> 시군별 논벼 생산량 자료의 수집

- 2011년 예상량 자료는 2011년 9월 15일에 실시한 논벼 예상량 조사 결과를 바탕으로 통계청 사회통계국 농어업통계과에서 2011년 10월 10일에 발표한 2011년 쌀 예상 생산량 조사 결과를 수집하여 이용하였다.
- 수집한 2001년~2010년의 논벼 단위면적(10a)당 수량은 부록에 수록하였다.

2.2. 자료의 전처리 및 공간범위 선정

2.2.1. MODIS NDVI의 보정

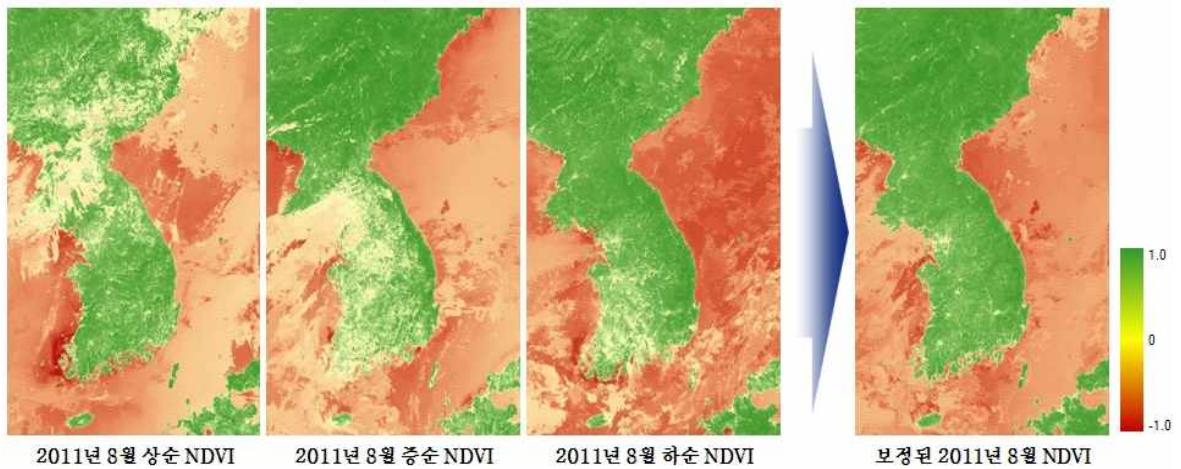
- NDVI는 식생 변화 탐지 모니터링을 위한 주요한 지표로서 원리가 단순하고 다수의 위성탑재 광학센서에서 이용이 가능하며 지수 계산이 매우 쉽다는 장점으로 RS 분야에서 널리 이용된다.
- 하지만 위성으로부터 얻어지는 자료는 구름, 안개, 에어로졸 등 여러 요인에 의해서 오차를 가지게 되고, 이러한 오차를 가진 화소를 이용하여 얻은 지표 변수들은 오히려 잘못된 정보를 제공한다.
- NDVI는 추출 전 원영상에서 전처리 과정을 거치게 되지만 완전히 제거되지 못한 얇은 구름 및 구름 그림자들의 영향과 에어로졸 및 미세 입자들의 영향, 그리고 강수 이후의 지표에 남아있는 수분의 영향 등으로 인하여 NDVI 값이 급격히 낮아지는 현상이 불규칙적으로 발생한다.
- 일반적으로 잠음이라고 판단되는 화소들은 특정 시기 전, 후의 NDVI 변화 양상과는 대조적으로 특정 시기의 NDVI가 크게 감소하는 특징을 나타낸다. 그 이유는 물, 구름 및 눈의 NDVI는 -1에서 0사이의 수치로 산출되나 실제 식물의 NDVI는 0과 1사이의 값을 가지게 되기 때문이다.
- 따라서 구름에 영향을 받은 NDVI는 MVC(Maximum Value Composite) 기법을 사용하여 보정한다.
- MVC 기법은 <그림 2.2.1-1>과 같이 동일한 위치의 화소 값에 대하여 NDVI는 크게 변하지 않는다는 가정하에, 최대값을 이용하여 영상을 재배열함으로써 NDVI 산출 시 구름과 대기, 지표면의 수분에 의해 발생하는 오차를 보정하는 방법이다.



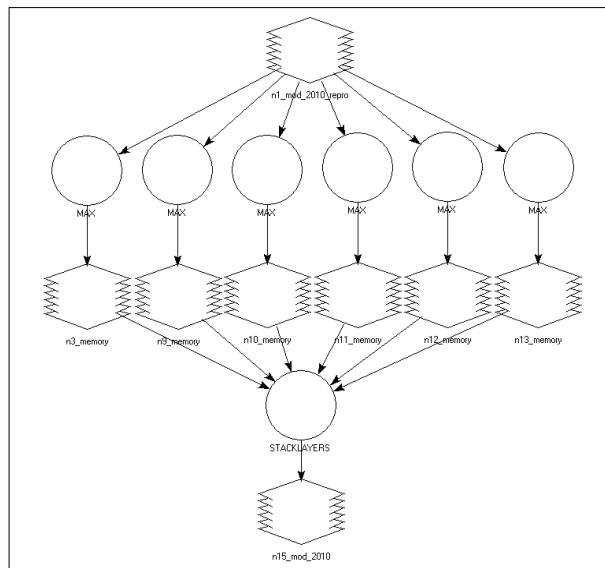
<그림 2.2.1-1> MVC 보정 기법

- MVC 기법은 연속된 시계열 NDVI를 대상으로 동일한 위치의 NDVI값을 비교하여 최대 NDVI로 재배열하는 방법으로 보정 전 NDVI를 조합하는 기간을 설정해야 한다.
- 또한, 설정된 기간의 시계열 NDVI에서 특정 화소가 모두 잡음인 경우에는 보정 효과가 떨어지므로 MVC 기법 적용 후, 보정된 NDVI를 확인하여 보정이 되지 않은 잡음 화소는 따로 제거해야 한다.
- 본 과업에서는 <그림 2.2.1-2>와 같이 10일 주기로 얻어진 NDVI를 한달 간격으로 조합하여 월별 NDVI로 재배열 하였으며, 월별 NDVI가 잡음인 경우, Null 값을 부여하여 추후 NDVI 통계 산출시 반영되지 않도록 고려하였다.
- 또한, 영상처리의 효율성을 위하여 월별 NDVI 추출은 <그림 2.2.1-3>과 같이 상용 소프트웨어인 ERDAS IMAGINE의 Spatial Modeler를 이용하여 구현하였다.

제 2 장 RS 기술을 활용한 논벼 생산량 추정모형 개발 및 시범사업

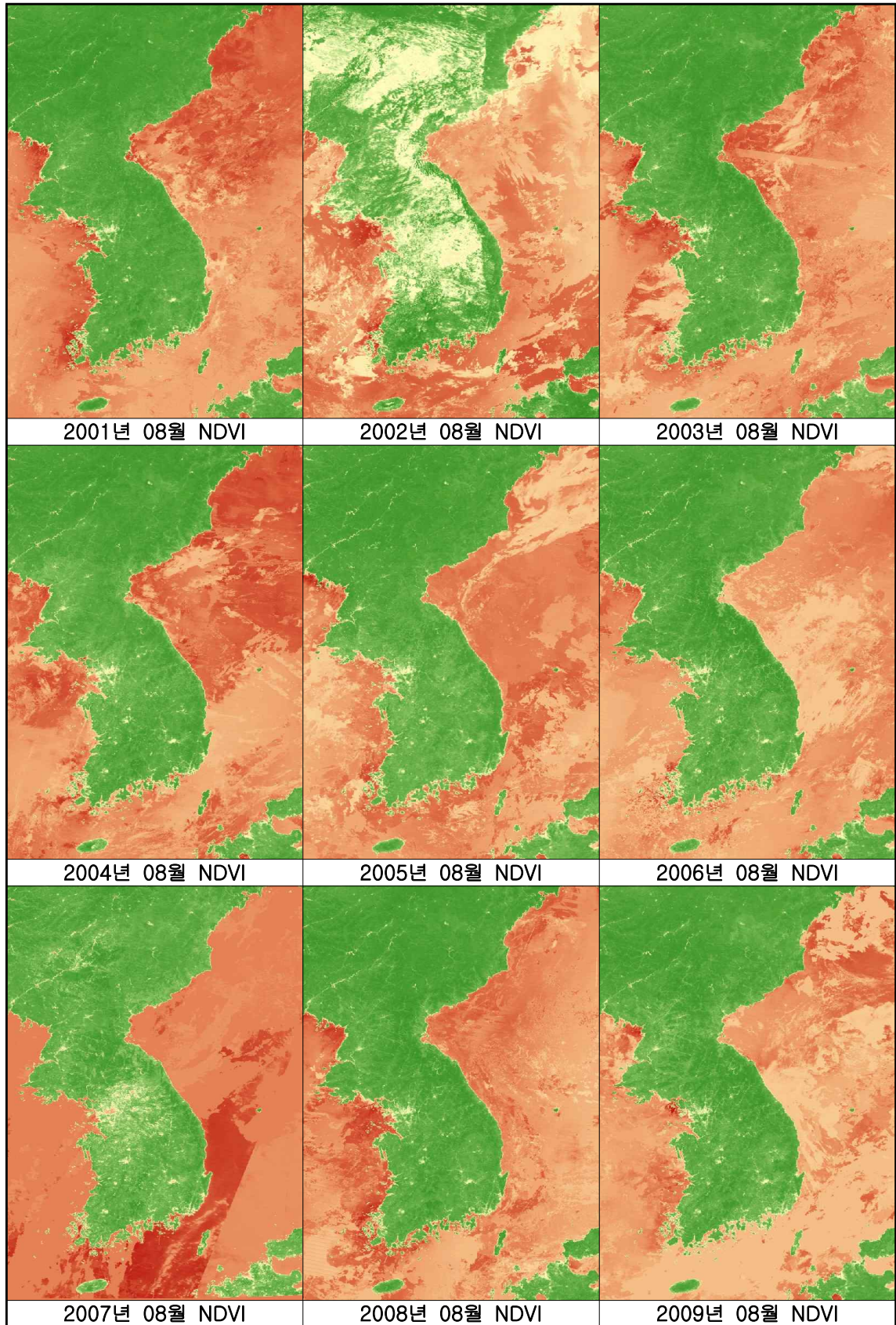


<그림 2.2.1-2> MVC 보정 기법에 의한 월별 NDVI 추출



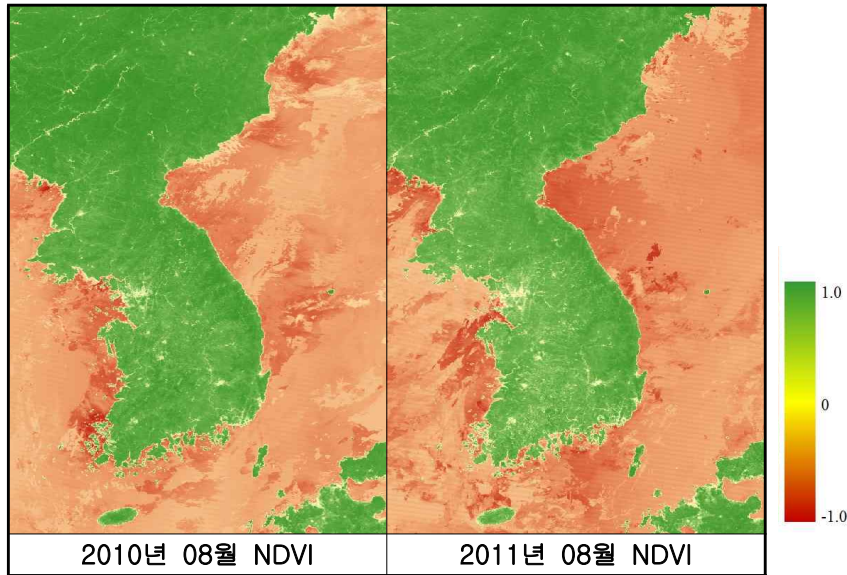
<그림 2.2.1-3> 월별 NDVI 추출 모델

- 그 결과, <그림 2.2.1-4> 및 <그림 2.2.1-5>와 같이 2002년을 제외한 모든 연도의 7월~8월에 집중되어 있던 잡음이 효과적으로 보정되었다.

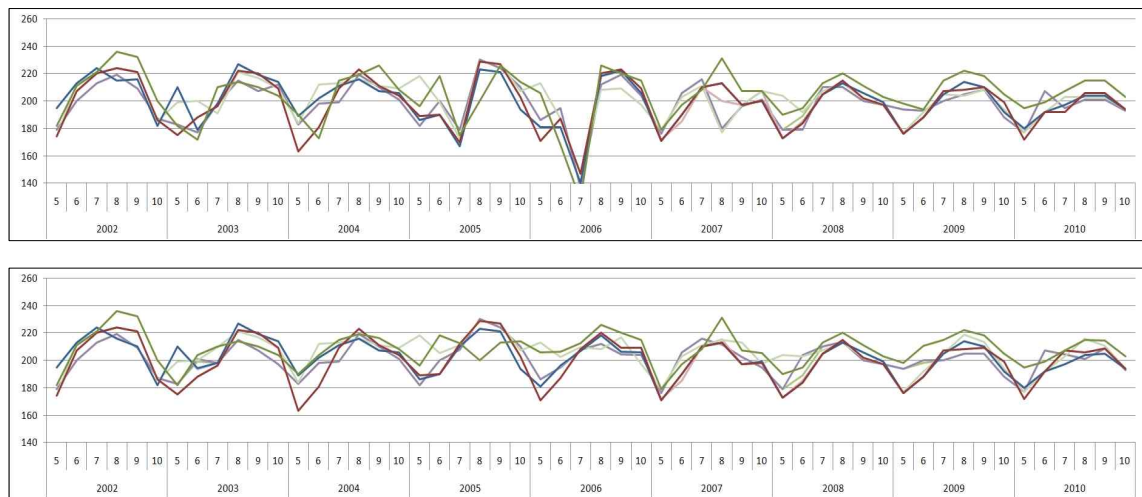


<그림 2.2.1-4> MVC에 의하여 보정된 연도별 NDVI

제 2 장 RS 기술을 활용한 논벼 생산량 추정모형 개발 및 시범사업



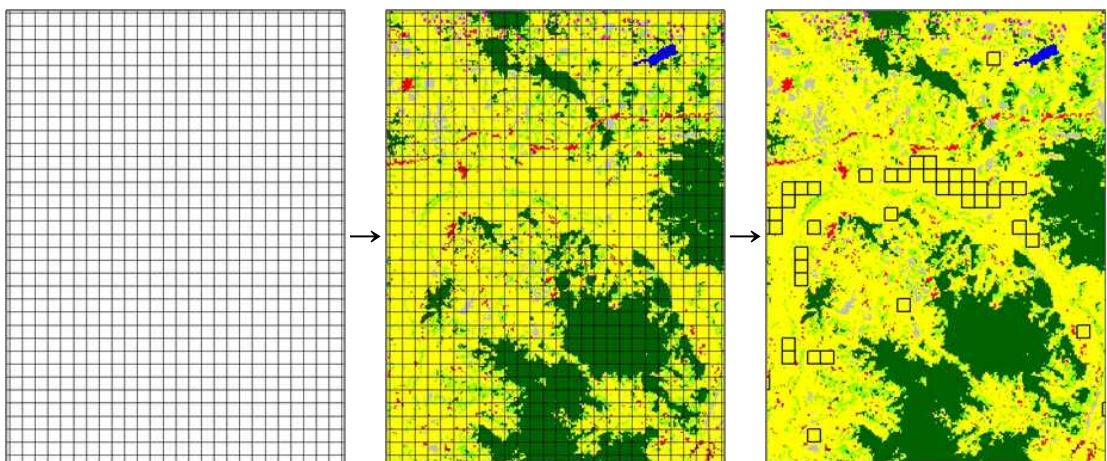
<그림 2.2.1-4> MVC에 의하여 보정된 연도별 NDVI(계속)



<그림 2.2.1-5> MVC를 이용한 NDVI의 보정 전(위)과 보정 후(아래)

2.2.2. 논벼 재배지 추출

- 수집한 MODIS 위성영상에서 정확한 논벼의 NDVI 추출을 위해서는 논벼 재배지 이외의 토지피복이 나타내는 NDVI를 배제할 필요가 있다.
- 이를 위해서는 정확한 논벼 재배지를 추출하는 과정이 선행되어야 한다.
- 본 과업에서는 정확한 논벼 재배지 추출에 앞서 전국을 대상으로 250×250m 간격의 격자(Grid)를 생성하였다.
- 전국단위 격자(Grid) 생성 후, <그림 2.2.2-1>과 같이 환경부의 토지피복도와 중첩하여 1개의 격자 내에 100% 논에 해당하는 화소만을 포함하는 격자만 따로 추출하여 논벼 재배지 격자(Paddy Fields Grid)로 선정하였다.

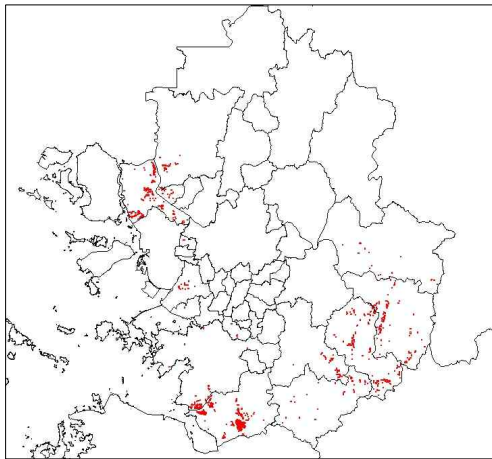


<그림 2.2.2-1> 토지피복도를 이용한 논벼 재배지 격자 추출

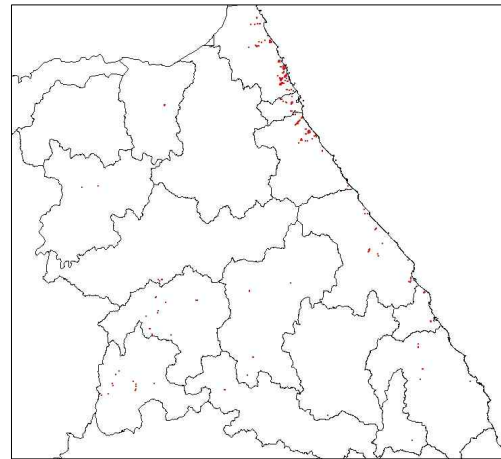
- 환경부의 토지피복도는 환경지리정보서비스(<http://egis.me.go.kr>)에서 제공하는 피복도로서 Landsat 위성영상을 기본으로 지형도, 항공사진, 고해상도 위성영상, 다중시기 Landsat 위성영상을 참조하여 확인 후, 부족한 지역에 대해서는 현장조사를 실시하여 작성한 신뢰성 높은 피복도이다.

제 2 장 RS 기술을 활용한 논벼 생산량 추정모형 개발 및 시범사업

- 토지피복도의 공간해상도는 30m 로 250m 기준 1 격자 당 약 70개의 화소가 포함되며, 분류 항목은 수역, 시가화, 나지, 습지, 초지, 산림, 논, 밭의 8개 항목으로 구성되어 있다.
- 격자(Grid)의 크기는 MODIS NDVI의 공간해상도와 동일하게 설정하여 NDVI 추출시 공간해상도 차이로 발생하는 통계적 오차를 사전에 방지하고, 데이터의 공간적 통일성을 유지하였다.
- 격자 추출 방법은 전국단위 격자와 토지피복도를 공간 조인(join)시킨 후, 각각의 격자에 포함되는 토지피복도의 화소값(Digital Number, 이후 DN)의 통계치를 이용하여 분류하였다.
- 이상의 방법으로 추출된 우리나라의 논벼 재배지 격자는 총 7,579개로 도단위 분포양상을 나타내면 <그림 2.2.2-2> 및 <표 2.2.2-1>과 같다.

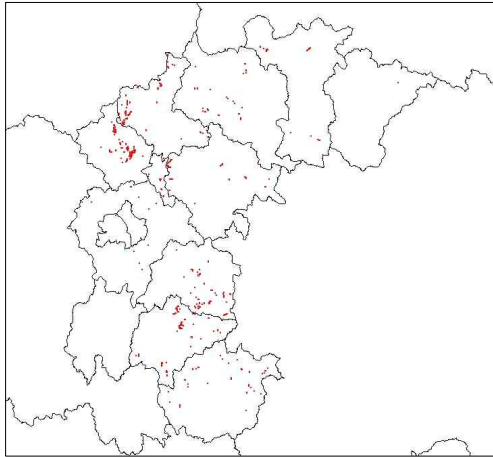


경기도 논벼 재배지 격자(992개)

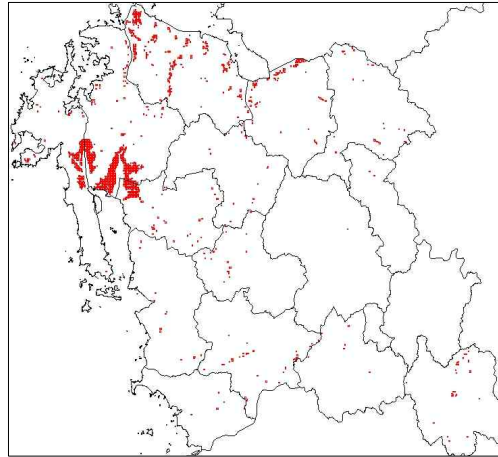


강원도 논벼 재배지 격자(230개)

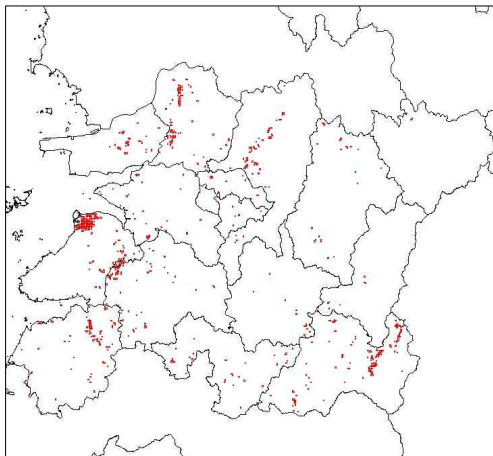
<그림 2.2.2-2> 도별 논벼 재배지 격자 현황



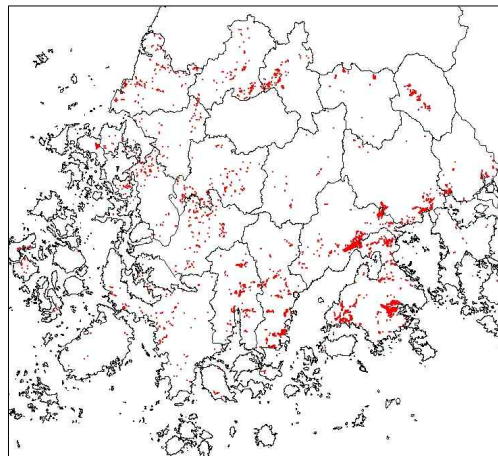
충청북도 논벼 재배지 격자(378개)



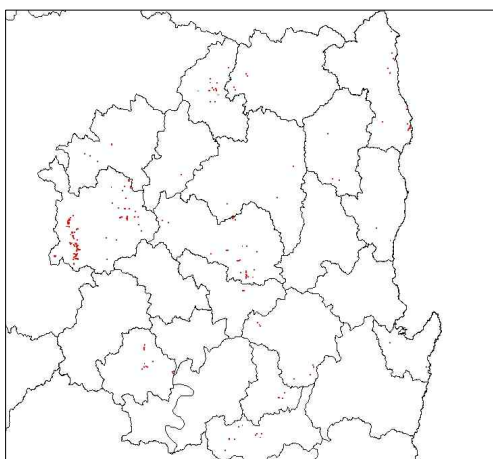
충청남도 논벼 재배지 격자(1,880개)



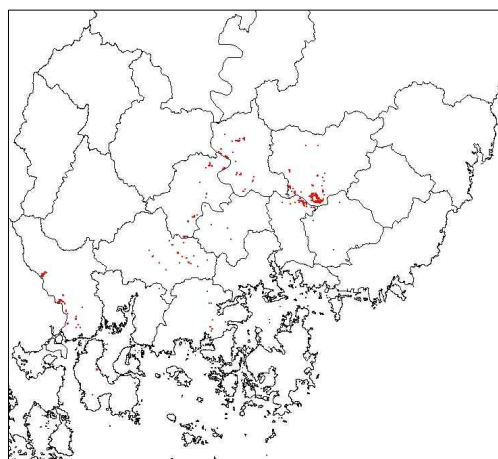
전라북도 논벼 재배지 격자(881개)



전라남도 논벼 재배지 격자(2,683개)



경상북도 논벼 재배지 격자(231개)



경상남도 논벼 재배지 격자(304개)

<그림 2.2.2-2> 도별 논벼 재배지 격자 현황(계속)

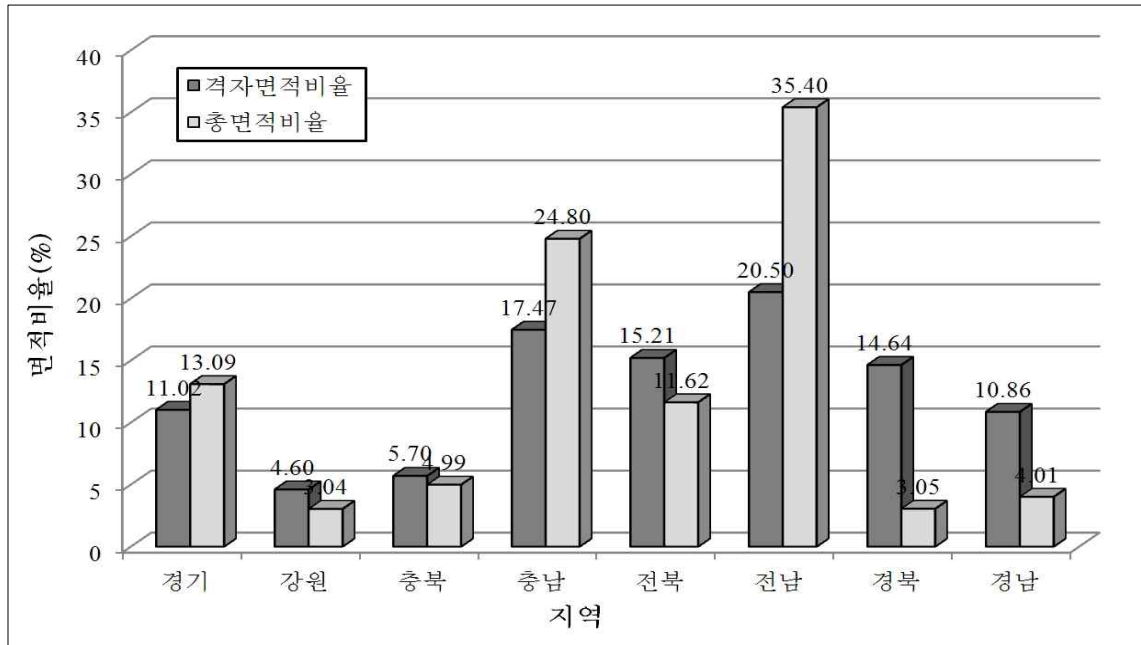
제 2 장 RS 기술을 활용한 논벼 생산량 추정모형 개발 및 시범사업

<표 2.2.2-1> 논벼 재배지 격자 현황

지역	격자수	격자 면적(km ²)	총 면적(km ²)
	비율(%)	비율(%)	비율(%)
경기도	992	62.00	1139.13
	13.09	13.09	11.02
강원도	230	14.38	475.94
	3.04	3.04	4.60
충청북도	378	23.63	589.34
	4.99	4.99	5.70
충청남도	1,880	117.50	1805.90
	24.80	24.80	17.47
전라북도	881	55.06	1571.72
	11.62	11.62	15.21
전라남도	2,683	167.69	2119.24
	35.40	35.40	20.50
경상북도	231	14.44	1512.84
	3.05	3.05	14.64
경상남도	304	19.00	1122.02
	4.01	4.01	10.86
합계	7,579	473.69	10336.14
	100.00	100.00	100.00

(※총 면적은 2001년~2010년의 도별 논외 총 면적의 평균임, 자료출처 : <http://kosis.kr/>)

- 도별로는 전남(2,683)>충남(1,880)>경기(992)>전북(881)>충북(378)>경남(304)>경북(231)>강원(230)의 순으로 나타났다.
- 그러나, <표 2.2.2-1>의 논벼 재배지 격자의 면적과 우리나라 전체의 논벼 재배지 면적은 차이가 있다.
- 본 과업에서 추출된 논벼 재배지 격자는 250×250m 의 공간규모로서 해당 지역 논외 밀집도 및 균질성 등을 고려하여 나타낸 결과이기 때문이다.



<그림 2.2.2-3> 격자면적과 총면적 비율의 비교

- 논벼 재배지 격자 추출시 소규모(250m 이하)의 논은 대상지역에서 제외되었으며, 논벼를 대상으로 하였기 때문에 벼를 재배하는 밭의 면적도 제외되었다.
- <그림 2.2.2-3>과 같이 격자면적의 비율과 총면적의 비율을 비교한 결과, 논벼 재배지 격자 추출시 충남과 전남은 과소평가되어 추출되는 경향을 나타내었으며, 경북과 경남은 과대평가되어 추출되는 경향을 나타내었다.
- 그러나 경기, 강원, 충북 및 전북의 경우, 격자의 면적비율과 총 면적 비율이 유사하게 추출되었다.
- 따라서, 저해상도 위성영상을 이용하여 논 지역에 해당하는 정보를 추출할 때 격자의 면적비율이 상대적으로 크고 총 면적비율과도 유사하게 추출되는 전라북도 지역이 가장 용이한 지역으로 판단된다.

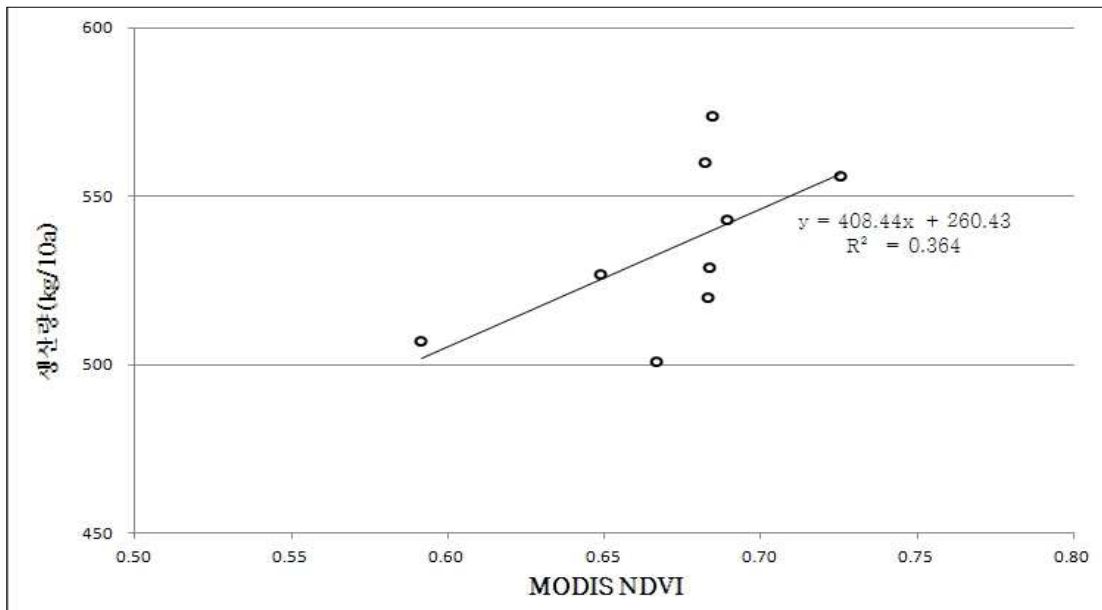
2.3. NDVI와 생산량과의 상관관계 검토

2.3.1. 전국단위 상관관계 검토

- 미국, EU 등 선진국은 위성영상을 판독하여 경지면적조사, 재배면적조사, 작황 예측 및 생산량 예측 등 농업통계에 RS기법을 활용하고 있는 추세이다.
- 우리나라도 2006년 아리랑 2호(KOMPSAT-2) 위성의 성공적인 발사로 저렴한 국산 위성영상의 활용이 가능해짐에 따라 농업통계의 RS기술 활용방안에 대한 연구가 본격화 되었다.
- 이에 따라 원격탐사기술을 활용한 농작물생산통계의 적용 가능성과 도입방법에 대해 구체적인 검토를 시작하였다.
- 그러나 아직 국내 여건상 원격탐사기술을 활용한 농작물생산통계의 실용화에는 한계가 있다.
- 이는 제약이 많은 국내 농업여건에 기인한다. 우리나라는 농지의 규모가 상대적으로 작고 산간부 등 지형이 복잡하며 특히, 소규모의 불규칙한 농지가 많아 격자형태의 위성영상에 적용이 어렵다.
- 따라서 모형 개발 전, MODIS NDVI와 생산량과의 상관관계를 검토하여 모형의 예측력을 사전에 파악하고, NDVI의 추가적인 보정여부에 대한 판단이 필요하다.
- 본 과업에서는 사전에 수집한 2001년~2010년간의 10년치 MODIS NDVI와 생산량 자료를 이용하여 행정경계의 규모에 따른 상관분석을 실시하였다.

원격탐사기술을 활용한 주요 농산물 생산량 추정기법 개발

- 전국단위 MODIS NDVI와 생산량과의 상관분석 결과는 <그림 2.3.1-1> 및 <표 2.3.1-1>과 같다.



<그림 2.3.1-1> 전국단위 MODIS NDVI와 생산량과의 상관분석 결과

<표 2.3.1-1> 전국단위 MODIS NDVI와 생산량과의 상관분석 결과

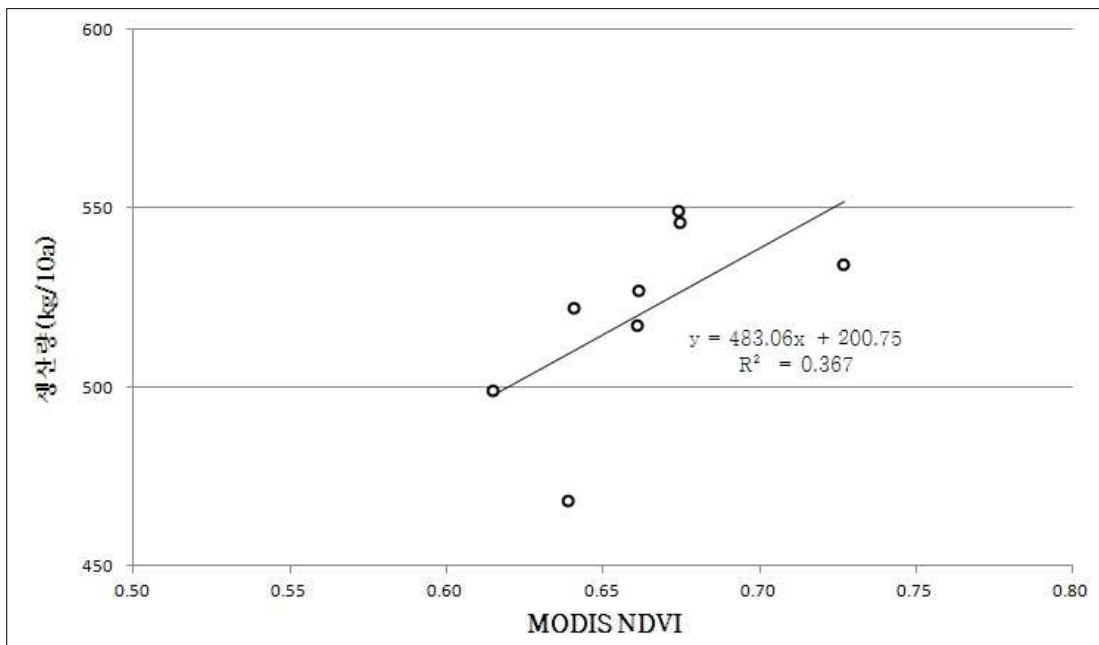
	평균	표준편차	상관계수	
			10a 당 수량	MODIS NDVI
10a당 수량	535.2222	24.7880	1.00	
MODIS NDVI	0.6728	0.0366	.603***	1.00

*.p<0.10 **.p<0.05 ***.p<0.01

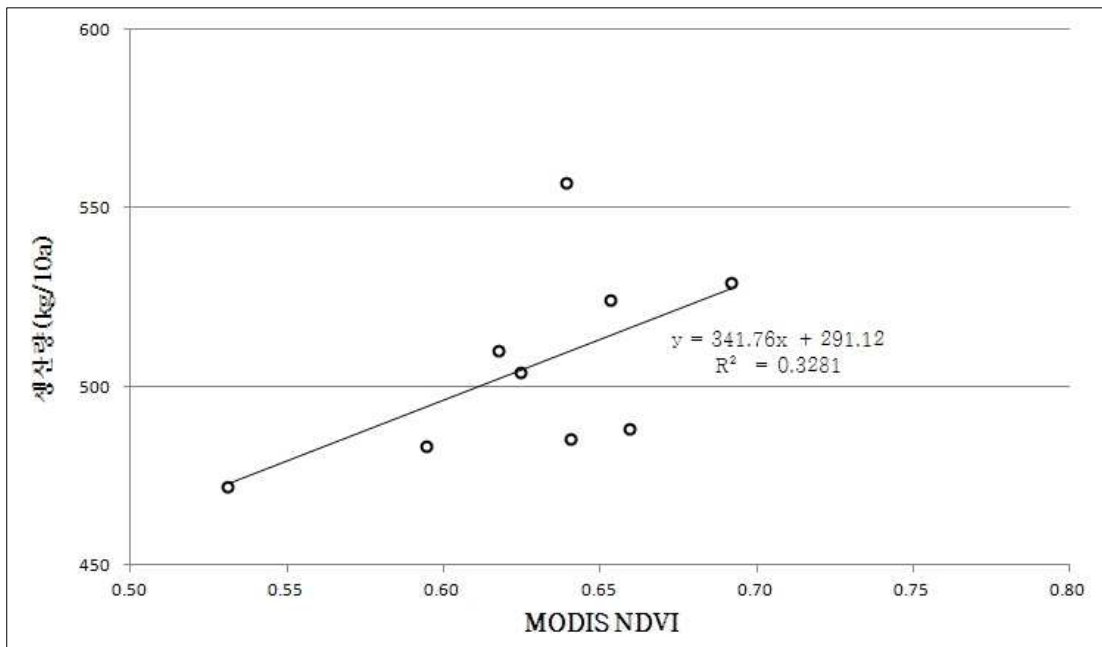
- <표 2.3.1-1>과 같이 2001년~2010년간의 10년치 논벼의 생산량 평균은 535.22 kg/10a 으로 나타났으며, 같은 기간 MODIS NDVI의 평균은 0.673 으로 나타났다.
- 또한, 전국단위 MODIS NDVI와 논벼의 10a당 수량과의 상관계수는 유의확률 1% 이하에서 0.603 으로 나타났다.

2.3.2. 도단위 상관관계 검토

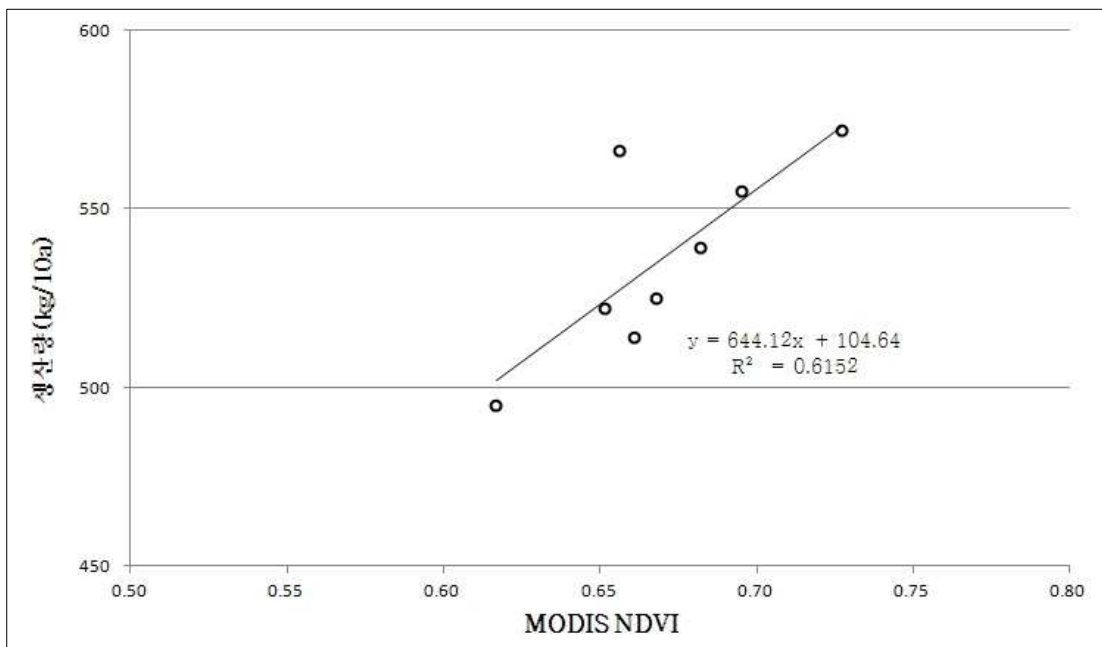
- 도단위 MODIS NDVI와 생산량과의 상관분석은 2001년~2010년의 도별 10a 당 생산량과 MODIS에서 추출한 NDVI의 도별 평균값을 이용하여 실시하였다.
- 대상지역으로는 8대 광역시(서울특별시, 부산광역시, 대구광역시, 인천광역시, 광주광역시, 대전광역시, 울산광역시, 제주자치도)를 제외한 8개도이며, NDVI의 잡음이 심한 2002년은 분석 대상에서 제외하였다.
- 도단위 MODIS NDVI와 생산량과의 상관분석 결과는 <표 2.3.2-1>과 같다.



<그림 2.3.2-1> 경기도 MODIS NDVI와 생산량과의 상관분석 결과

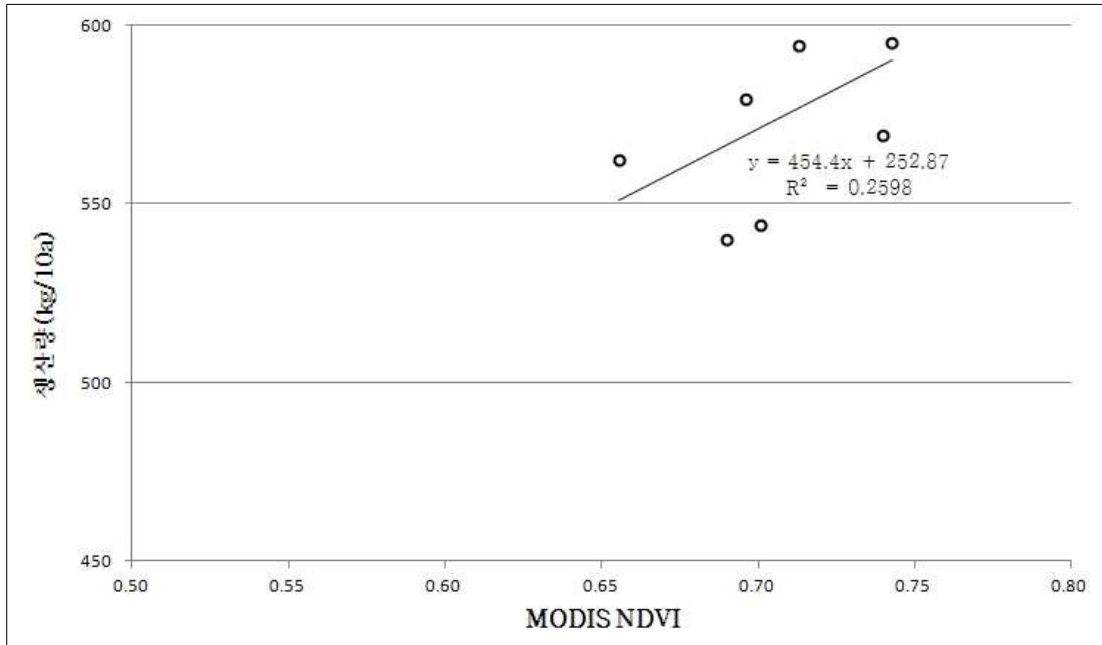


<그림 2.3.2-2> 강원도 MODIS NDVI와 생산량과의 상관분석 결과

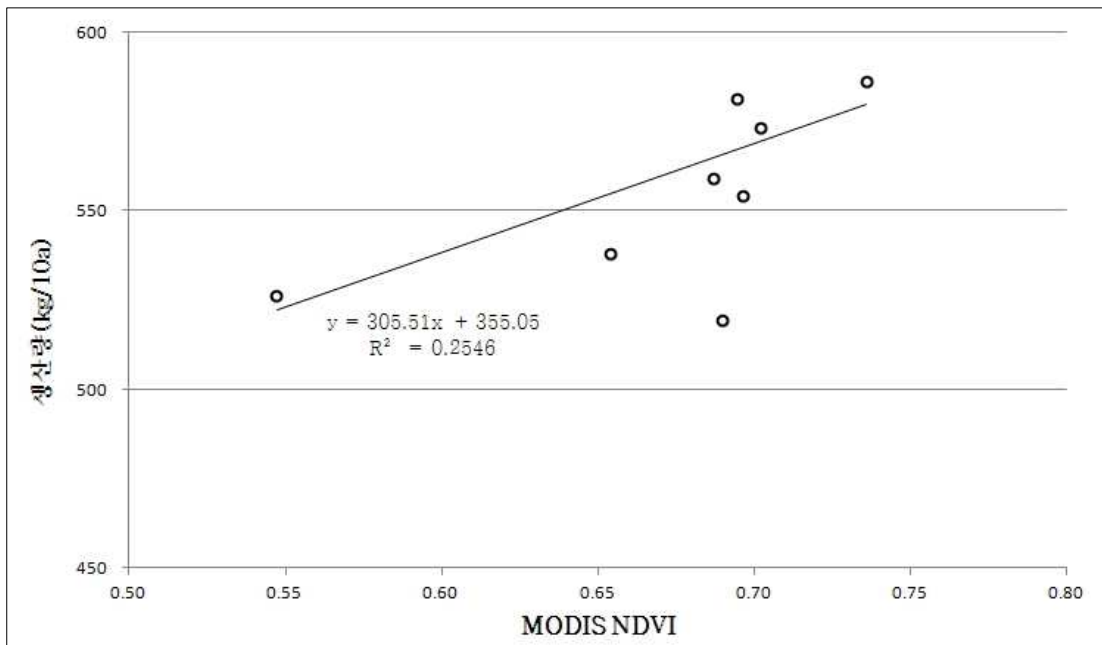


<그림 2.3.2-3> 충청북도 MODIS NDVI와 생산량과의 상관분석 결과

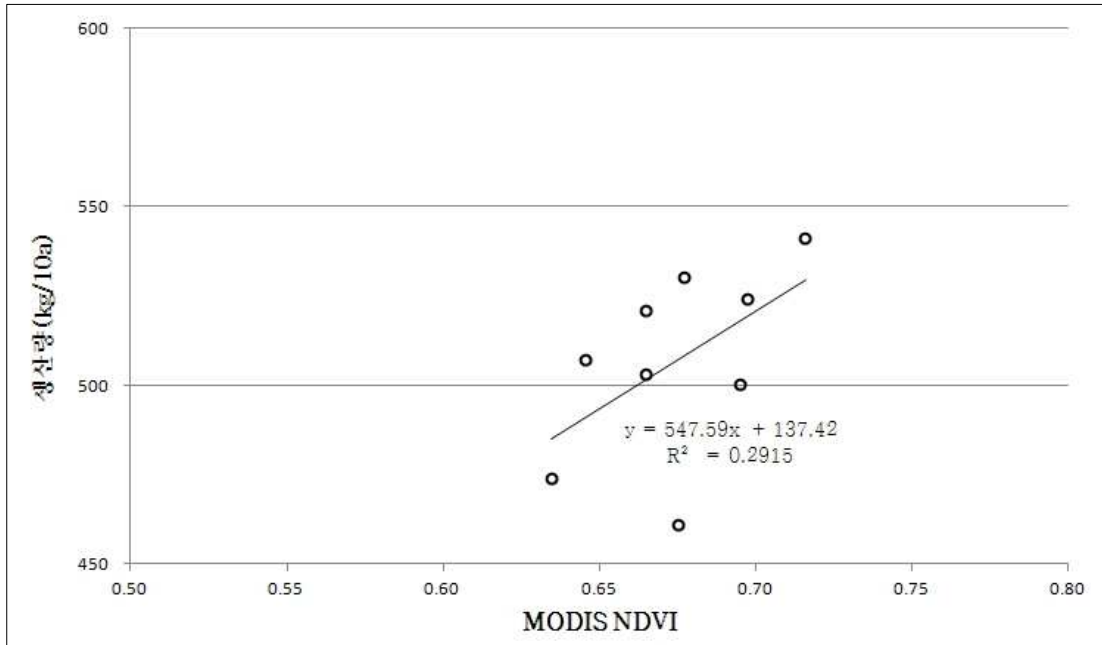
제 2 장 RS 기술을 활용한 논벼 생산량 추정모형 개발 및 시범사업



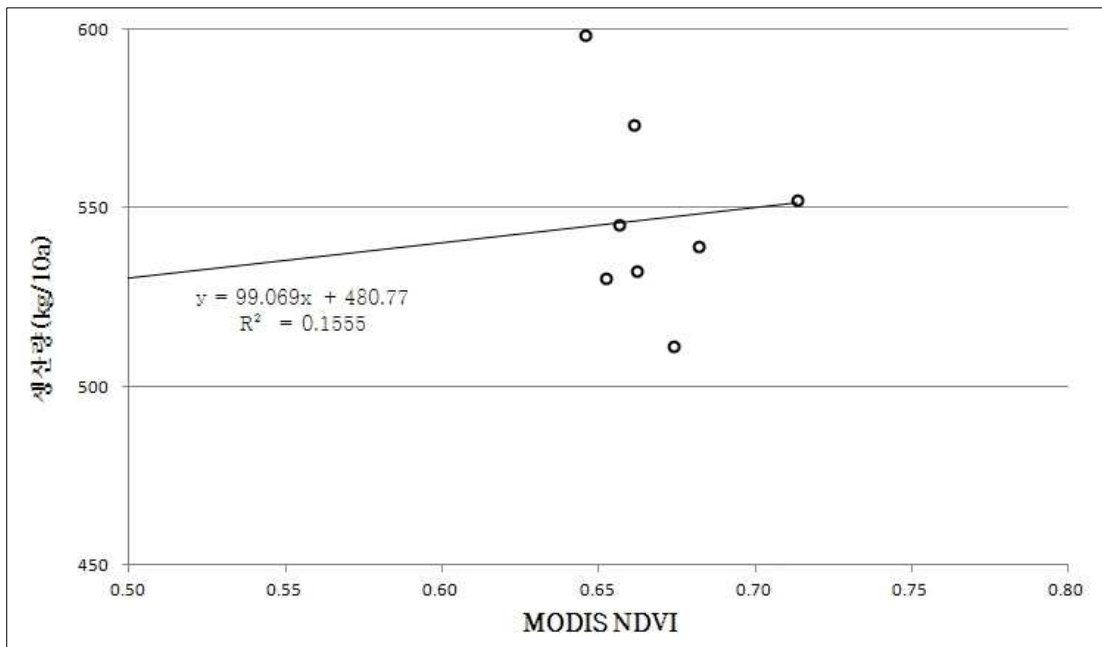
<그림 2.3.2-4> 충청남도 MODIS NDVI와 생산량과의 상관분석 결과



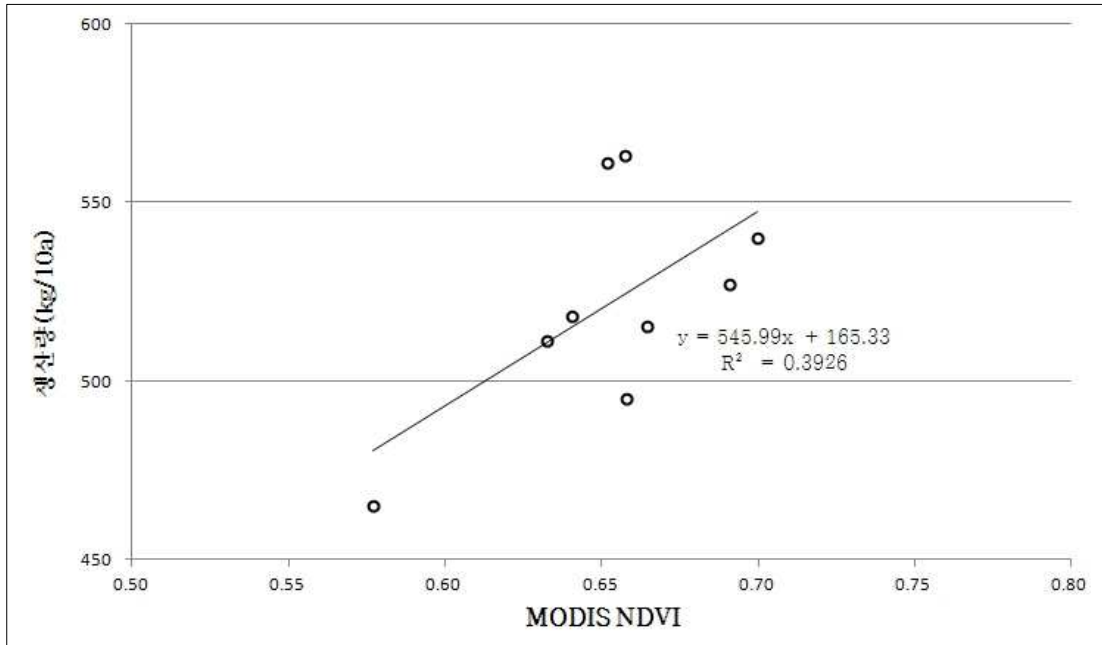
<그림 2.3.2-5> 전라북도 MODIS NDVI와 생산량과의 상관분석 결과



<그림 2.3.2-6> 전라남도 MODIS NDVI와 생산량과의 상관분석 결과



<그림 2.3.2-7> 경상북도 MODIS NDVI와 생산량과의 상관분석 결과



<그림 2.3.2-8> 경상남도 MODIS NDVI와 생산량과의 상관분석 결과

<표 2.3.2-1> 도단위 MODIS NDVI와 생산량과의 상관분석 결과

	경기도	강원도	충청북도	충청남도
상관계수	0.606***	0.573***	0.784***	0.510***
관측치	8	9	8	8
	전라북도	전라남도	경상북도	경상남도
상관계수	0.505***	0.540***	0.394***	0.627***
관측치	9	9	9	9

*.p<0.10 **.p<0.05 ***.p<0.01

- 도단위 상관분석 결과, MODIS NDVI와 생산량과의 상관계수는 충청북도가 0.784로 가장 높은 수치를 보였고, 경상북도가 0.394로 가장 낮은 수치를 나타냈으며, 8개도 모두 유의확률 1% 이하를 나타내었다.
- 또한, 전국단위 상관계수와 비교를 위해 도단위 상관계수를 평균으로 나타내면 0.571로 나타났다.

2.3.3. 시군단위 상관관계 검토

○ 시군단위 MODIS NDVI와 생산량과의 상관분석 결과는 <표 2.3.3-1>과 같다.

<표 2.3.3-1> 시군단위 MODIS NDVI와 생산량과의 상관분석 결과

도	시군	상관계수	도	시군	상관계수
경기	고양시	0.493	충북	괴산군	0.801
	김포시	0.493		단양군	0.770
	부천시	-0.234		보은군	0.726
	수원시	0.771		영동군	0.655
	시흥시	0.280		옥천군	0.609
	안산시	0.735		음성군	0.641
	안성시	0.785		제천시	0.644
	양평군	0.460		증평군	0.864
	여주군	0.509		진천군	0.794
	용인시	0.470		청원군	0.520
	이천시	0.235		청주시	0.342
	파주시	0.529		충주시	0.379
	평택시	0.688		공주시	0.680
	화성시	0.399		금산군	0.588
강원	강릉시	0.693	충남	논산시	0.396
	고성군	0.654		당진군	0.384
	동해시	0.886		보령시	0.381
	삼척시	0.769		부여군	0.315
	속초시	0.745		서산시	0.377
	양구군	-		서천군	0.381
	양양군	0.727		아산시	0.482
	영월군	-		연기군	0.474
	원주시	0.710		예산군	0.594
	정선군	0.210		천안시	0.578
	춘천시	0.462		청양군	0.695
	태백시	-0.228		태안군	0.412
	평창군	0.672		홍성군	0.107
	홍천군	0.261		전북	고창군
횡성군	0.307	군산시	0.469		

제 2 장 RS 기술을 활용한 논벼 생산량 추정모형 개발 및 시범사업

〈표 2.3.3-1〉 시군단위 MODIS NDVI와 생산량과의 상관분석 결과(계속)

도	시군	상관계수	도	시군	상관계수
전북	김제시	0.418	전남	함평군	0.663
	남원시	0.394		해남군	0.694
	무주군	0.587		화순군	0.471
	부안군	0.507	경북	경산시	0.234
	순창군	0.502		군위군	-0.083
	완주군	0.280		문경시	0.038
	익산시	0.343		봉화군	0.168
	임실군	0.403		상주시	0.383
	장수군	0.052		성주군	0.214
	전주시	0.244		안동시	0.445
	정읍시	0.640		영덕군	0.027
	진안군	0.565		영양군	0.421
전남	강진군	0.572		영주시	0.610
	고흥군	0.578	영천시	0.343	
	곡성군	0.330	예천군	0.448	
	광양시	0.722	울진군	0.749	
	구례군	0.043	의성군	0.470	
	나주시	0.598	청도군	0.120	
	담양군	0.640	포항시	0.272	
	목포시	-	고성군	0.295	
	무안군	0.761	김해시	0.304	
	보성군	0.007	남해군	0.497	
	순천시	0.591	밀양시	0.223	
	신안군	0.868	사천시	0.351	
	여수시	0.510	양산시	-	
	영광군	0.661	의령군	0.485	
	영암군	0.542	진주시	0.529	
	완도군	0.377	창녕군	0.327	
	장성군	0.658	창원시	0.654	
	장흥군	0.442	하동군	0.445	
	진도군	0.361	함안군	0.428	

원격탐사기술을 활용한 주요 농산물 생산량 추정기법 개발

- 시군단위 NDVI와 생산량과의 상관계수는 다양한 분포를 나타내었으며, 경기도 부천시, 강원도 태백시, 경상북도 군위군의 경우, 역상관 관계가 나타났다.
- 이는 시군경계를 이용하여 NDVI를 추출하는 과정에서 발생한 오차로 추정된다.
- 그 외 시군에서 상관계수는 0.4 이상으로 나타났다.
- 또한, 공간규모별 상관계수의 비교를 위하여 시군단위 상관계수를 평균으로 나타내면 0.472로 나타났다.
- 따라서, 논벼의 생산량 예측에 MODIS NDVI의 적용이 가능한 것으로 판단된다.

2.3.4. 포구별 상관관계 검토

- 포구별 상관관계의 검토는 MODIS 위성이 대표할 수 있는 공간규모의 한계를 알아보기 위하여 실시하였다.
- 2010년을 기준으로 포구별 수량(kg/10a)과 해당 포구의 MODIS NDVI와의 상관분석 결과는 <표 2.3.4-1>과 같다.

<표 2.3.4-1> 포구별 MODIS NDVI와 생산량과의 상관분석 결과

도	시군	조곡	현미	정곡	도	시군	조곡	현미	정곡
경 기	가평군	0.506	0.493	0.493	경 기	일산시	0.408	0.241	0.241
	고양시	-0.456	-0.438	-0.438		파주시	-0.031	-0.012	-0.012
	광명시	-0.177	0.074	0.074		평택시	0.259	0.258	0.258
	광주시	-0.508	-0.479	-0.479		포천시	0.119	0.146	0.146
	군포시	-0.616	-0.626	-0.626		하남시	0.571	0.451	0.451
	김포시	-0.013	-0.044	-0.044		화성시	-0.073	-0.081	-0.081
	남양주	-0.109	-0.092	-0.092	강 원	강릉시	0.312	0.279	0.279
	동두천	0.537	0.46	0.46		고성군	-0.059	0.103	0.103
	부천시	-0.938	-0.875	-0.875		동해시	0.026	-0.074	-0.074
	성남시	0.592	0.536	0.536		삼척시	0.488	0.525	0.525
	수원시	0.27	0.253	0.253		속초시	-0.745	-0.782	-0.782
	시흥시	-0.149	-0.102	-0.102		양구군	-0.57	-0.564	-0.564
	안산시	-0.149	-0.018	-0.018		양양군	-0.262	-0.197	-0.197
	안성시	-0.06	-0.04	-0.04		영월군	-0.198	-0.069	-0.069
	양주시	0.213	0.267	0.267		원주시	0.108	0.066	0.066
	양평군	0.128	0.112	0.112		인제군	-0.077	-0.089	-0.089
	여주군	0.14	0.15	0.15		정선군	0.427	0.034	0.034
	연천군	-0.006	-0.03	-0.03		철원군	0.107	0.094	0.094
	오산시	-0.201	-0.201	-0.201		춘천시	0.334	0.322	0.322
	용인시	-0.015	-0.008	-0.008		평창군	0.914	0.852	0.852
	의왕시	0.015	0.153	0.153		홍천군	-0.003	-0.031	-0.031
	의정부	0.219	0.169	0.169		화천군	0.274	0.45	0.45
	이천시	0.052	0.055	0.055		횡성군	-0.352	-0.353	-0.353

원격탐사기술을 활용한 주요 농산물 생산량 추정기법 개발

<표 2.3.4-1> 포구별 MODIS NDVI와 생산량과의 상관분석 결과(계속)

도	시군	조곡	현미	정곡	도	시군	조곡	현미	정곡
충북	괴산군	0.031	-0.041	-0.041	전북	순창군	-0.251	-0.116	-0.116
	단양군	0.463	0.412	0.412		완주군	-0.164	-0.172	-0.172
	보은군	0.149	0.258	0.258		익산시	-0.016	0.097	0.097
	영동군	-0.253	-0.278	-0.278		임실군	0.136	0.128	0.128
	옥천군	-0.596	-0.518	-0.518		장수군	0.003	0.087	0.087
	음성군	0.058	0.081	0.081		전주시	-0.145	-0.177	-0.177
	제천시	0.393	0.436	0.436		정읍시	-0.057	-0.081	-0.081
	증평군	-0.466	-0.392	-0.392		진안군	-0.220	-0.249	-0.249
	진천군	-0.167	-0.077	-0.077		강진군	-0.027	0.031	0.031
	청원군	0.048	-0.002	-0.002		고흥군	0.056	0.124	0.124
	청주시	-0.075	-0.116	-0.116		곡성군	0.084	0.086	0.086
	충남	계룡시	0.375	0.351		0.351	광양시	-0.275	-0.243
공주시		0.164	0.287	0.287	구례군	0.328	0.391	0.391	
금산군		-0.271	-0.315	-0.315	나주시	0.028	0.075	0.075	
논산시		0.055	0.021	0.021	담양군	-0.556	-0.588	-0.588	
당진군		-0.284	-0.253	-0.253	목포시	0.122	0.672	0.672	
보령시		0.276	0.131	0.131	무안군	0.196	0.195	0.195	
부여군		-0.096	0.037	0.037	보성군	0.106	0.153	0.153	
서산시		-0.303	-0.328	-0.328	순천시	0.072	0.059	0.059	
서천군		-0.084	-0.074	-0.074	신안군	-0.221	-0.193	-0.193	
아산시		0.137	0.149	0.149	여수시	0.334	0.356	0.356	
연기군		-0.436	-0.271	-0.271	영광군	-0.136	-0.075	-0.075	
예산군		0.045	0.214	0.214	영암군	-0.180	-0.227	-0.227	
천안시		-0.209	-0.198	-0.198	완도군	0.095	0.193	0.193	
청양군		-0.450	-0.459	-0.459	장성군	-0.242	-0.145	-0.145	
태안군		0.175	0.113	0.113	장흥군	0.554	0.477	0.477	
홍성군		-0.450	-0.404	-0.404	진도군	0.032	0.042	0.042	
전북		고창군	0.392	0.336	0.336	함평군	-0.263	-0.225	-0.225
		군산시	-0.115	-0.187	-0.187	해남군	0.041	0.011	0.011
	김제시	-0.070	-0.144	-0.144	화순군	-0.174	-0.184	-0.184	
	남원시	0.184	0.049	0.049	경산시	0.296	0.185	0.185	
	무주군	0.218	0.156	0.156	경주시	0.009	0.023	0.023	
	부안군	0.219	0.222	0.222	고령군	0.117	0.308	0.308	

제 2 장 RS 기술을 활용한 논벼 생산량 추정모형 개발 및 시범사업

<표 2.3.4-1> 포구별 MODIS NDVI와 생산량과의 상관분석 결과(계속)

도	시군	조곡	현미	정곡	도	시군	조곡	현미	정곡
경북	구미시	-0.327	-0.295	-0.295	경남	거제시	0.215	0.230	0.230
	군위군	-0.354	-0.424	-0.424		거창군	0.397	0.326	0.326
	김천시	-0.069	-0.102	-0.102		고성군	0.451	0.458	0.458
	문경시	-0.271	-0.242	-0.242		김해시	0.184	0.198	0.198
	봉화군	-0.038	-0.039	-0.039		남해군	0.716	0.706	0.706
	상주시	0.014	-0.089	-0.089		밀양시	-0.145	-0.138	-0.138
	성주군	0.121	0.086	0.086		사천시	0.489	0.475	0.475
	안동시	0.089	0.153	0.153		산청군	-0.287	-0.237	-0.237
	영덕군	-0.610	-0.550	-0.550		양산시	-0.949	-0.969	-0.969
	영양군	-0.270	-0.202	-0.202		의령군	-0.343	-0.386	-0.386
	영주시	0.129	0.274	0.274		진주시	-0.023	-0.008	-0.008
	영천시	-0.301	-0.298	-0.298		창녕군	0.236	0.253	0.253
	예천군	-0.252	-0.288	-0.288		통영시	0.529	0.415	0.415
	울진군	-0.569	-0.584	-0.584		하동군	-0.255	-0.305	-0.305
	의성군	-0.107	-0.046	-0.046		함안군	-0.113	-0.141	-0.141
	청도군	0.420	0.430	0.430		함양군	-0.007	0.116	0.116
	청송군	-0.037	0.022	0.022		합천군	0.038	0.102	0.102
	칠곡군	0.482	0.514	0.514					
포항시	-0.263	-0.258	-0.258						

- MODIS NDVI와 수량(kg/10a)과의 포구별 상관계수는 <표 2.3.4-1>과 같이 -0.969(양산시)~0.852(평창군)의 범위로 나타나 상관계수가 넓은 분포를 나타내었다.
- 또한, 공간규모별 상관계수의 비교를 위하여 포구별 상관계수를 평균으로 나타내면 0.005로 나타났다.

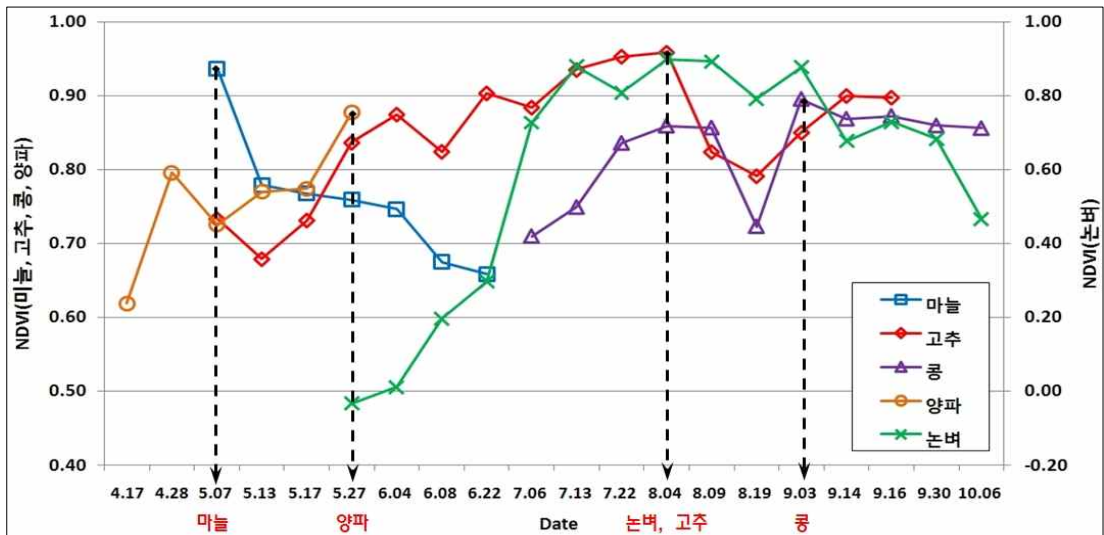
2.3.5. 상관관계 검토 결과 종합

- 2001년~2010년간의 10년치 MODIS NDVI와 생산량 자료를 이용하여 행정 경계의 규모에 따른 상관관계를 검토한 결과를 종합하면 다음과 같다.
- MODIS NDVI와 생산량 자료와의 전국단위 상관계수는 0.603, 도단위 상관계수는 평균 0.571 로 산출되었으며, 시군단위 상관계수는 평균 0.472 로 나타났다.
- 즉, 전국 및 도단위, 시군단위의 공간규모에서 MODIS NDVI와 생산량은 정 상관 관계가 있음을 확인할 수 있다.
- 그러나, 포구별 상관계수는 평균 0.005로 유의한 결과는 나타내지 못하였으며, 상관계수의 범위도 -0.969(양산시)~0.852(평창)로 넓은 분포를 나타내었다.
- 이는 MODIS가 가지는 공간해상도(250m)의 한계에 의한 것으로 판단된다.
- 따라서, 포구 및 필지단위의 공간규모에서의 NDVI와 생산량 상관관계 파악은 고해상도 위성을 적용해야 할 것으로 판단된다.

2.4. 논벼 생산량 추정 모형 개발

2.4.1. 모형 입력 자료

- 일반적으로 작물의 생체량, 엽록소 함량 등 생물리적 특성에 관한 정보를 추출하는데 NDVI를 사용할 경우, 작물별 생육주기에 관한 지식은 매우 중요하다. 위성영상 적용에 있어 최적 시기의 결정은 대상이 되는 작물의 생육주기에 대한 특성을 파악하고, 생육주기와 함께 대상지역의 시기별 구름 분포 등을 고려해야 하기 때문이다.
- 예를 들면, NDVI를 이용하여 식생 분류를 하고자 할 경우에는 작물의 생육 초기의 영상자료를 사용하는 것이 유리하며, 작물의 생체량 변화 및 작황 관측이 목적일 경우에는 작물이 최대 생육을 유지하고 있는 시기의 영상자료를 사용하는 것이 유리하다.
- 즉, 작물별 생육주기에 따른 분광반사 특성 파악은 위성영상 적용의 최적 시기를 결정하는데 활용될 수 있다.
- 우리나라의 경우, 기계화된 농업으로 농작물의 재배와 수확이 비교적 일정한 주기에 따라 진행된다. 따라서 위성영상을 이용한 생산량 예측을 위해서는 다년간의 현장조사를 통해 작물별 NDVI가 최대치(Peak)에 도달하는 시기를 파악하는 것이 매우 중요하다.
- 2010년 충북대학교 산학협력단에서 실시한 연구 용역 『농작물 생산통계의 원격탐사기술 활용방안 연구』에 의하면 현장조사에 의한 작물별 생육주기에 따른 NDVI 변화 조사 결과, 작물별 최대 NDVI의 시기는 마늘(5월 상순) - 양파(5월 하순) - 논벼(8월 상순) - 고추(8월 상순) - 콩(9월 상순) 순으로 나타났다.



<그림 2.4.1-1> 작물별 생육주기에 따른 NDVI 변화(통계청, 2010)

<표 2.4.1-1> 측정시기에 의한 논벼의 현장 NDVI(통계청, 2010)

측정일	5.27	6.04	6.08	6.22	7.06	7.13	7.22	8.04
NDVI	-0.033	0.011	0.198	0.298	0.727	0.880	0.808	0.899
측정일	8.09	8.19	9.03	9.14	9.16	9.30	10.06	
NDVI	0.892	0.792	0.877	0.678	0.729	0.683	0.467	

- 이 결과는 박종화 등(2005)과 박진기 등(2008)의 연구결과와 동일하며, 우리나라의 논벼 작황 파악 및 예측에 있어 위성영상 적용의 최적 시기는 8월인 것을 확인할 수 있다.
- 따라서 본 과업은 원격탐사기술을 활용하여 논벼를 대상으로 생산량 예측 모형을 작성하는 것이 목적이므로, <그림 2.4.1-1> 및 <표 2.4.1-1>의 결과를 바탕으로 논벼의 NDVI가 최대치를 나타내는 8월의 NDVI를 독립변수로 이용하였다.

제 2 장 RS 기술을 활용한 논벼 생산량 추정모형 개발 및 시범사업

- 모형 입력 자료의 독립변수 중 논벼의 생산량에 영향을 미치는 기상요인은 관련 선행연구 결과를 바탕으로 선정하였다.
- 논벼의 경우, 작물의 특성상 출수기로부터 40일간에 해당하는 등숙기의 기상요인이 작황에 큰 영향을 미친다(이승호 등, 2008). 또한, 일반적으로 기상요인 중 기온, 강우량, 일조시간은 작물의 생육에 큰 영향을 미치는 요소이며(윤진일, 1999), 작물의 생육모형에 변수로 이용되고 있다(조경숙, 1999).
- 위의 연구 결과를 바탕으로 모형 입력 자료 중 기상요인은 등숙기 기간의 일교차, 평균온도, 누적 일조시간, 누적 강우량을 선정하였다.
- 등숙기는 벼의 낱알이 본격적으로 여무는 시기로서 보통 이삭이 팠 이후 30일~25일 사이를 의미한다. 따라서 등숙기 기간은 지역 및 해당 연도의 기후 조건에 따라 편차가 있다.
- 본 과업에서는 2000년~2010년 동안의 도 단위별 등숙기 기간을 알아보기 위하여 10년간의 기상자료를 논벼의 생육기간에 따라 15일~30일 간격의 평균치로 조합하였다.
- 평균치로 조합된 기상자료는 각 연도의 수량과 상관분석을 실시하여 평균 결정계수(R^2)가 가장 높은 기간을 해당 지역의 등숙기 기간으로 선정하였다.
- 전국 및 도별 기상자료 적용기간에 따른 결정계수(R^2)는 <표 2.4.1-2>~<표 2.4.1-10>과 같다.

원격탐사기술을 활용한 주요 농산물 생산량 추정기법 개발

<표 2.4.1-2> 전국의 기상자료 적용기간 별 결정계수(R^2)

적용기간	일교차	평균온도	누적일조시간	누적강우량	평균
8월 01일~8월 15일	0.245	0.000	0.362	0.207	0.203
8월 16일~8월 30일	0.277	0.204	0.034	0.109	0.156
9월 01일~9월 15일	0.285	0.001	0.395	0.140	0.205
9월 16일~9월 30일	0.138	0.000	0.303	0.115	0.139
8월 16일~9월 15일	0.352	0.096	0.268	0.110	0.206
8월 16일~9월 30일	0.495	0.071	0.301	0.360	0.307
8월 01일~9월 30일	0.452	0.041	0.343	0.228	0.266
8월 01일~8월 30일	0.398	0.093	0.523	0.093	0.277
9월 01일~9월 30일	0.464	0.000	0.427	0.381	0.318

<표 2.4.1-3> 경기도의 기상자료 적용기간 별 결정계수(R^2)

적용기간	일교차	평균온도	누적일조시간	누적강우량	평균
8월 01일~8월 15일	0.200	0.013	0.061	0.314	0.147
8월 16일~8월 30일	0.451	0.408	0.185	0.166	0.302
9월 01일~9월 15일	0.569	0.081	0.675	0.436	0.440
9월 16일~9월 30일	0.122	0.023	0.438	0.075	0.164
8월 16일~9월 15일	0.694	0.557	0.601	0.358	0.552
8월 16일~9월 30일	0.468	0.475	0.537	0.286	0.441
8월 01일~9월 30일	0.478	0.281	0.521	0.357	0.409
8월 01일~8월 30일	0.497	0.256	0.181	0.381	0.329
9월 01일~9월 30일	0.354	0.044	0.608	0.263	0.317

<표 2.4.1-4> 강원도의 기상자료 적용기간 별 결정계수(R^2)

적용기간	일교차	평균온도	누적일조시간	누적강우량	평균
8월 01일~8월 15일	0.084	0.031	0.119	0.072	0.076
8월 16일~8월 30일	0.470	0.105	0.066	0.230	0.218
9월 01일~9월 15일	0.407	0.022	0.177	0.417	0.256
9월 16일~9월 30일	0.079	0.021	0.087	0.054	0.060
8월 16일~9월 15일	0.657	0.028	0.199	0.457	0.335
8월 16일~9월 30일	0.409	0.007	0.185	0.362	0.241
8월 01일~9월 30일	0.400	0.024	0.344	0.312	0.270
8월 01일~8월 30일	0.488	0.117	0.328	0.284	0.304
9월 01일~9월 30일	0.528	0.050	0.386	0.370	0.333

제 2 장 RS 기술을 활용한 논벼 생산량 추정모형 개발 및 시범사업

<표 2.4.1-5> 충청북도의 기상자료 적용기간 별 결정계수(R^2)

적용기간	일교차	평균온도	누적일조시간	누적강우량	평균
8월 01일~8월 15일	0.348	0.145	0.516	0.215	0.306
8월 16일~8월 30일	0.184	0.107	0.003	0.107	0.100
9월 01일~9월 15일	0.436	0.008	0.130	0.221	0.199
9월 16일~9월 30일	0.042	0.063	0.080	0.006	0.048
8월 16일~9월 15일	0.372	0.026	0.069	0.192	0.165
8월 16일~9월 30일	0.729	0.220	0.624	0.669	0.561
8월 01일~9월 30일	0.391	0.031	0.316	0.223	0.240
8월 01일~8월 30일	0.505	0.001	0.438	0.307	0.313
9월 01일~9월 30일	0.219	0.063	0.148	0.092	0.131

<표 2.4.1-6> 충청남도의 기상자료 적용기간 별 결정계수(R^2)

적용기간	일교차	평균온도	누적일조시간	누적강우량	평균
8월 01일~8월 15일	0.196	0.118	0.189	0.260	0.191
8월 16일~8월 30일	0.329	0.288	0.093	0.125	0.209
9월 01일~9월 15일	0.362	0.009	0.129	0.094	0.148
9월 16일~9월 30일	0.034	0.042	0.121	0.071	0.067
8월 16일~9월 15일	0.319	0.013	0.058	0.281	0.168
8월 16일~9월 30일	0.214	0.000	0.080	0.253	0.137
8월 01일~9월 30일	0.352	0.022	0.384	0.043	0.200
8월 01일~8월 30일	0.272	0.001	0.136	0.106	0.129
9월 01일~9월 30일	0.188	0.047	0.136	0.223	0.148

<표 2.4.1-7> 전라북도의 기상자료 적용기간 별 결정계수(R^2)

적용기간	일교차	평균온도	누적일조시간	누적강우량	평균
8월 01일~8월 15일	0.129	0.013	0.218	0.050	0.102
8월 16일~8월 30일	0.512	0.154	0.143	0.358	0.292
9월 01일~9월 15일	0.458	0.004	0.203	0.394	0.265
9월 16일~9월 30일	0.023	0.052	0.036	0.005	0.029
8월 16일~9월 15일	0.312	0.053	0.226	0.424	0.254
8월 16일~9월 30일	0.338	0.006	0.187	0.357	0.222
8월 01일~9월 30일	0.351	0.012	0.326	0.340	0.257
8월 01일~8월 30일	0.415	0.112	0.257	0.307	0.273
9월 01일~9월 30일	0.448	0.002	0.315	0.425	0.297

원격탐사기술을 활용한 주요 농산물 생산량 추정기법 개발

<표 2.4.1-8> 전라남도의 기상자료 적용기간 별 결정계수(R^2)

적용기간	일교차	평균온도	누적일조시간	누적강우량	평균
8월 01일~8월 15일	0.132	0.049	0.402	0.260	0.211
8월 16일~8월 30일	0.264	0.054	0.000	0.088	0.102
9월 01일~9월 15일	0.117	0.017	0.129	0.364	0.157
9월 16일~9월 30일	0.003	0.104	0.121	0.071	0.075
8월 16일~9월 15일	0.241	0.004	0.058	0.281	0.146
8월 16일~9월 30일	0.086	0.017	0.080	0.253	0.109
8월 01일~9월 30일	0.176	0.038	0.384	0.369	0.242
8월 01일~8월 30일	0.263	0.000	0.324	0.276	0.216
9월 01일~9월 30일	0.221	0.009	0.200	0.554	0.246

<표 2.4.1-9> 경상북도의 기상자료 적용기간 별 결정계수(R^2)

적용기간	일교차	평균온도	누적일조시간	누적강우량	평균
8월 01일~8월 15일	0.221	0.023	0.472	0.099	0.203
8월 16일~8월 30일	0.097	0.071	0.005	0.041	0.054
9월 01일~9월 15일	0.228	0.025	0.112	0.296	0.165
9월 16일~9월 30일	0.012	0.085	0.149	0.007	0.063
8월 16일~9월 15일	0.400	0.011	0.063	0.168	0.161
8월 16일~9월 30일	0.244	0.003	0.083	0.124	0.113
8월 01일~9월 30일	0.211	0.012	0.432	0.136	0.198
8월 01일~8월 30일	0.223	0.007	0.396	0.206	0.208
9월 01일~9월 30일	0.301	0.080	0.272	0.228	0.221

<표 2.4.1-10> 경상남도의 기상자료 적용기간 별 결정계수(R^2)

적용기간	일교차	평균온도	누적일조시간	누적강우량	평균
8월 01일~8월 15일	0.125	0.039	0.247	0.036	0.112
8월 16일~8월 30일	0.152	0.096	0.007	0.008	0.066
9월 01일~9월 15일	0.159	0.012	0.153	0.053	0.094
9월 16일~9월 30일	0.001	0.082	0.229	0.122	0.108
8월 16일~9월 15일	0.359	0.023	0.097	0.011	0.123
8월 16일~9월 30일	0.188	0.002	0.138	0.009	0.084
8월 01일~9월 30일	0.112	0.014	0.347	0.002	0.119
8월 01일~8월 30일	0.112	0.007	0.280	0.031	0.107
9월 01일~9월 30일	0.119	0.065	0.230	0.005	0.105

제 2 장 RS 기술을 활용한 논벼 생산량 추정모형 개발 및 시범사업

- <표 2.4.1-2>~<표 2.4.1-10>의 결과를 바탕으로 본 과업에서 적용한 행정 구역별 등숙기는 <표 2.4.1-11>과 같다.

<표 2.4.1-11> 행정구역별 등숙기 현황

행정구역	기간	행정구역	기간
전국	9월 01일~9월 30일	전라북도	9월 01일~9월 30일
경기도	8월 16일~9월 15일	전라남도	9월 01일~9월 30일
강원도	8월 16일~9월 15일	경상북도	9월 01일~9월 30일
충청북도	8월 16일~9월 30일	경상남도	8월 16일~9월 15일
충청남도	8월 16일~8월 30일		

- 본 과업에서는 논벼의 생산량 예측을 위하여 종속변수는 논벼의 단위면적 (10a)당 수량을 설정하였으며, 다음의 자료들을 예측모형의 독립변수로 적용하여 다중선형 회귀분석을 실시하였다.

- 1) NDVI : 8월 MODIS 위성영상에서 산출한 NDVI의 해당 지역 평균치
- 2) 일교차 : 일최고기온과 일최저기온의 차이, 등숙기의 평균치
- 3) 평균온도 : 일평균온도를 이용한 등숙기의 평균치
- 4) 누적 일조시간 : 등숙기 동안의 일조시간 합계
- 5) 누적 강우량 : 등숙기 동안의 강우량 합계

2.4.2. 다중회귀분석

- 회귀분석은 독립변수(independent variable) 또는 설명변수(explanatory variable)가 종속변수(dependent variable) 또는 반응변수(response variable)에 미치는 영향력의 크기를 측정하여 독립변수의 일정한 값에 대응되는 종속변수의 값을 예측하는 통계분석 방법이다.
- 회귀분석의 목적은 독립변수가 종속변수에 영향을 미치는지의 여부와 그 영향력의 크기를 검증하는 것이다.
- 회귀분석의 유형은 종속변수에 영향을 미치는 독립변수의 수에 따라 단순 회귀분석과 다중 회귀분석으로 구분한다.
- 다중회귀분석(Multiple Regression Analysis)은 단순회귀분석의 확장형으로 회귀분석에 추가되는 독립변수가 두 개 이상인 회귀모형에 대한 분석이다.
- 여기서, 회귀모형이란 독립변수가 종속변수에 어떠한 영향을 미치는지를 파악하여 두 변수간의 인과관계를 모형화한 것을 뜻한다.
- 즉, 독립변수와 종속변수들 간에 확률적 관계가 있다고 판단 시 사용되는 것이 회귀모형이며, 회귀모형은 다음의 순서를 따라 사용한다.
 - 1) 독립변수와 종속변수의 관계를 수식으로 나타내고, 그 적합성을 검증
 - 2) 독립변수를 이용하여 평균 반응값을 추정하고 새로운 관측값을 예측
 - 3) 추정된 반응값과 오차를 이용하여 신뢰구간을 결정
- 일반적으로 독립변수는 모형에 영향을 주는 변수로 X 로 나타내며, 종속변

수는 독립변수에 의해 영향을 받는 변수로 Y 로 표현한다.

- 종속변수 Y 를 설명하는데 k 개의 독립변수인 X_1, X_2, \dots, X_k 를 도입할 때, 다중선형 회귀모형은 다음과 같이 정의된다.

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + \dots + \beta_k X_{ki} + \varepsilon_i, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (2.4.2-1)$$

여기서, $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$: 추정되어야 할 회귀계수, ε_i : 서로 독립이고 동일한 분포 $N(0, \sigma^2)$ 을 따르는 오차항, $\beta_j (j=1, \dots, k)$: j 번째 독립변수 X_j 의 회귀계수(기울기), X_{ji} : 독립변수 X_j 의 i 번째 관측치

- 이를 행렬식으로 나타내면 $Y = X\beta + \varepsilon$ 가 되며, 다음과 같이 계산된다.

$$Y = \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \vdots \\ Y_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & X_{11} & X_{21} & \dots & X_{k1} \\ 1 & X_{12} & X_{22} & \dots & X_{k2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ 1 & X_{1n} & X_{2n} & \dots & X_{kn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \vdots \\ \beta_k \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \vdots \\ \varepsilon_n \end{bmatrix} \quad (2.4.2-2)$$

- 따라서, 회귀계수 $\hat{\beta}$ 의 추정은 최소자승법에 의하여 다음과 같이 계산된다.

$$\hat{\beta} = (X'X)^{-1}(X'Y) \quad (2.4.2-3)$$

$$V = \text{Var}(\hat{\beta}) = E[(\hat{\beta} - \beta)(\hat{\beta} - \beta)'] = \sigma^2(X'X)^{-1}$$

- 또한, $\hat{\beta}$ 는 측정단위가 다를 경우, 편회귀계수 크기에 절대치를 Y 에 대한 X_1, X_2 의 효과에 대한 상대적 중요성을 직접 비교하기 힘들다. 따라서 다음과 같이 표준편차를 이용하여 계산한다.

$$\begin{aligned} \frac{\sum(Y_i|X_{i1}, X_{i2})}{\sigma_y} &= \left(\frac{\alpha}{\sigma_y}\right) + \left(\frac{\beta_1\alpha_1}{\sigma_y}\right)\left(\frac{X_{i1}}{\sigma_1}\right) + \left(\frac{\beta_2\alpha_2}{\sigma_y}\right)\left(\frac{X_{i2}}{\sigma_2}\right) \\ &= \alpha_1^* + \beta_1^*\left(\frac{X_{i1}}{\sigma_1}\right) + \beta_2^*\left(\frac{X_{i2}}{\sigma_2}\right) \end{aligned} \quad (2.4.2-4)$$

여기서, σ_y : Y 의 표준편차, σ_1, σ_2 : X_1, X_2 의 표준편차, α_i^*, β_i^* : β 또는 표준편회귀계수

○ 다중선형 회귀분석은 예측과 설명에 있어 서로 배타적이지 않으며, 두 가지 연구 문제 모두에 중점을 두고 분석이 가능하다. 또한, 다중 회귀모형은 다음과 같은 가정을 따른다.

- 1) 독립변수의 고정된 어떠한 값에 대하여 종속변수는 정규분포를 따른다.
- 2) 종속변수들은 통계적으로 서로 독립이어야 한다.
- 3) 독립변수의 값에 관계없이 종속변수의 분산은 일정하다.
- 4) 표본을 이루는 관측치의 수는 독립변수의 수보다 최소한 2 이상 커야 한다.

제 2 장 RS 기술을 활용한 논벼 생산량 추정모형 개발 및 시범사업

- 전국단위 논벼 생산량 예측모형 개발을 위하여 입력된 각 독립변수의 기술 통계량 및 상관계수는 다음과 같다.

<표 2.4.2-2> 전국단위 모형개발을 위하여 입력된 독립변수의 기술통계량

	평균	표준편차	관측치
수량	535.2222	24.78799	9
NDVI	.6728	.03661	9
일교차	9.7356	1.25115	9
평균온도	21.0140	.76616	9
일조시간	150.9706	34.72631	9
강우량	158.6217	112.04788	9

<표 2.4.2-3> 전국단위 모형개발을 위하여 입력된 독립변수의 상관계수

		수량	NDVI	일교차	평균 온도	일조 시간	강우량
상관 계수	수량	1.000	.603	.681	-.009	.617	-.653
	NDVI	.603	1.000	.354	.187	.259	-.082
	일교차	.681	.354	1.000	-.539	.980	-.889
	평균온도	-.009	.187	-.539	1.000	-.548	.657
	일조시간	.617	.259	.980	-.548	1.000	-.867
	강우량	-.653	-.082	-.889	.657	-.867	1.000
유의 확률 (단측)	수량	.	.043	.022	.491	.038	.028
	NDVI	.043	.	.175	.315	.250	.417
	일교차	.022	.175	.	.067	.000	.001
	평균온도	.491	.315	.067	.	.063	.027
	일조시간	.038	.250	.000	.063	.	.001
	강우량	.028	.417	.001	.027	.001	.

원격탐사기술을 활용한 주요 농산물 생산량 추정기법 개발

- 경기도의 논벼 생산량 예측모형 개발을 위하여 입력된 각 변수의 기술통계량 및 상관계수는 다음과 같다.

<표 2.4.2-4> 경기도의 모형개발을 위하여 입력된 변수의 기술통계량

	평균	표준편차	관측치
수량	520.2500	26.51011	8
NDVI	.6614	.03325	8
일교차	9.2740	1.19472	8
평균온도	23.2829	.82966	8
일조시간	173.3459	52.73641	8
강우량	197.4626	140.78762	8

<표 2.4.2-5> 경기도의 모형개발을 위하여 입력된 변수의 상관계수

		수량	NDVI	일교차	평균온도	일조시간	강우량
상관 계수	수량	1.000	.606	.833	-.746	.598	-.775
	NDVI	.606	1.000	.891	-.080	.912	-.733
	일교차	.833	.891	1.000	-.397	.891	-.927
	평균온도	-.746	-.080	-.397	1.000	-.104	.429
	일조시간	.598	.912	.891	-.104	1.000	-.860
	강우량	-.775	-.733	-.927	.429	-.860	1.000
유의 확률 (단측)	수량	.	.056	.005	.017	.059	.012
	NDVI	.056	.	.001	.425	.001	.019
	일교차	.005	.001	.	.165	.001	.000
	평균온도	.017	.425	.165	.	.403	.144
	일조시간	.059	.001	.001	.403	.	.003
	강우량	.012	.019	.000	.144	.003	.

제 2 장 RS 기술을 활용한 논벼 생산량 추정모형 개발 및 시범사업

- 강원도의 논벼 생산량 예측모형 개발을 위하여 입력된 각 변수의 기술통계량 및 상관계수는 다음과 같다.

<표 2.4.2-6> 강원도의 모형개발을 위하여 입력된 변수의 기술통계량

	평균	표준편차	관측치
수량	505.7778	27.21111	9
NDVI	.6281	.04561	9
일교차	8.6426	1.04633	9
평균온도	21.3696	.97634	9
일조시간	146.0567	36.55293	9
강우량	238.9811	138.13842	9

<표 2.4.2-7> 강원도의 모형개발을 위하여 입력된 변수의 상관계수

		수량	NDVI	일교차	평균온도	일조시간	강우량
상관 계수	수량	1.000	.573	.811	-.167	.676	-.446
	NDVI	.573	1.000	.541	.262	.500	-.022
	일교차	.811	.541	1.000	-.273	.943	-.787
	평균온도	-.167	.262	-.273	1.000	-.165	.348
	일조시간	.676	.500	.943	-.165	1.000	-.736
	강우량	-.446	-.022	-.787	.348	-.736	1.000
유의 확률 (단측)	수량	.	.053	.004	.334	.023	.114
	NDVI	.053	.	.066	.248	.085	.477
	일교차	.004	.066	.	.238	.000	.006
	평균온도	.334	.248	.238	.	.336	.180
	일조시간	.023	.085	.000	.336	.	.012
	강우량	.114	.477	.006	.180	.012	.

원격탐사기술을 활용한 주요 농산물 생산량 추정기법 개발

- 충청북도의 논벼 생산량 예측모형 개발을 위하여 입력된 각 변수의 기술통계량 및 상관계수는 다음과 같다.

<표 2.4.2-8> 충청북도의 모형개발을 위하여 입력된 변수의 기술통계량

	평균	표준편차	관측치
수량	536.0000	26.85410	8
NDVI	.6697	.03270	8
일교차	9.9664	1.53061	8
평균온도	21.3159	.69700	8
일조시간	247.0025	67.76309	8
강우량	266.0075	177.51352	8

<표 2.4.2-9> 충청북도의 모형개발을 위하여 입력된 변수의 상관계수

		수량	NDVI	일교차	평균온도	일조시간	강우량
상관계수	수량	1.000	.784	.854	-.468	.818	-.790
	NDVI	.784	1.000	.751	-.314	.794	-.575
	일교차	.854	.751	1.000	-.427	.973	-.913
	평균온도	-.468	-.314	-.427	1.000	-.375	.589
	일조시간	.818	.794	.973	-.375	1.000	-.833
	강우량	-.790	-.575	-.913	.589	-.833	1.000
유의확률 (단측)	수량	.	.011	.003	.121	.007	.010
	NDVI	.011	.	.016	.225	.009	.068
	일교차	.003	.016	.	.146	.000	.001
	평균온도	.121	.225	.146	.	.180	.062
	일조시간	.007	.009	.000	.180	.	.005
	강우량	.010	.068	.001	.062	.005	.

제 2 장 RS 기술을 활용한 논벼 생산량 추정모형 개발 및 시범사업

- 충청남도의 논벼 생산량 예측모형 개발을 위하여 입력된 각 변수의 기술통계량 및 상관계수는 다음과 같다.

<표 2.4.2-10> 충청남도의 모형개발을 위하여 입력된 변수의 기술통계량

	평균	표준편차	관측치
수량	574.3750	25.44988	8
NDVI	.7075	.02855	8
일교차	8.5853	1.30954	8
평균온도	24.6858	1.25102	8
일조시간	71.2288	26.05801	8
강우량	124.2988	83.33380	8

<표 2.4.2-11> 충청남도의 모형개발을 위하여 입력된 변수의 상관계수

		수량	NDVI	일교차	평균온도	일조시간	강우량
상관계수	수량	1.000	.510	.574	-.537	.354	-.305
	NDVI	.510	1.000	.582	.309	.328	-.426
	일교차	.574	.582	1.000	.002	.878	-.742
	평균온도	-.537	.309	.002	1.000	.108	-.336
	일조시간	.354	.328	.878	.108	1.000	-.825
	강우량	-.305	-.426	-.742	-.336	-.825	1.000
유의확률 (단측)	수량	.	.098	.068	.085	.195	.231
	NDVI	.098	.	.065	.228	.214	.146
	일교차	.068	.065	.	.498	.002	.018
	평균온도	.085	.228	.498	.	.399	.208
	일조시간	.195	.214	.002	.399	.	.006
	강우량	.231	.146	.018	.208	.006	.

원격탐사기술을 활용한 주요 농산물 생산량 추정기법 개발

- 전라북도의 논벼 생산량 예측모형 개발을 위하여 입력된 각 변수의 기술통계량 및 상관계수는 다음과 같다.

<표 2.4.2-12> 전라북도의 모형개발을 위하여 입력된 변수의 기술통계량

	평균	표준편차	관측치
수량	561.7778	32.04597	9
NDVI	.6766	.05293	9
일교차	10.2131	1.48474	9
평균온도	20.8441	.80912	9
일조시간	170.4287	39.86855	9
강우량	136.3033	146.50852	9

<표 2.4.2-13> 전라북도의 모형개발을 위하여 입력된 변수의 상관계수

		수량	NDVI	일교차	평균온도	일조시간	강우량
상관계수	수량	1.000	.505	.669	-.043	.652	-.561
	NDVI	.505	1.000	.161	.258	.130	.141
	일교차	.669	.161	1.000	-.499	.968	-.868
	평균온도	-.043	.258	-.499	1.000	-.424	.337
	일조시간	.652	.130	.968	-.424	1.000	-.831
	강우량	-.561	.141	-.868	.337	-.831	1.000
유의확률 (단측)	수량	.	.083	.024	.456	.029	.058
	NDVI	.083	.	.339	.252	.369	.358
	일교차	.024	.339	.	.086	.000	.001
	평균온도	.456	.252	.086	.	.128	.187
	일조시간	.029	.369	.000	.128	.	.003
	강우량	.058	.358	.001	.187	.003	.

제 2 장 RS 기술을 활용한 논벼 생산량 추정모형 개발 및 시범사업

- 전라남도의 논벼 생산량 예측모형 개발을 위하여 입력된 각 변수의 기술통계량 및 상관계수는 다음과 같다.

<표 2.4.2-14> 전라남도의 모형개발을 위하여 입력된 변수의 기술통계량

	평균	표준편차	관측치
수량	506.7778	26.07574	9
NDVI	.6745	.02571	9
일교차	8.7279	1.13073	9
평균온도	21.9059	.94287	9
일조시간	152.4000	35.85546	9
강우량	194.2711	137.78345	9

<표 2.4.2-15> 전라남도의 모형개발을 위하여 입력된 변수의 상관계수

		수량	NDVI	일교차	평균온도	일조시간	강우량
상관 계수	수량	1.000	.540	.470	.097	.744	-.447
	NDVI	.540	1.000	.013	.131	.194	.100
	일교차	.470	.013	1.000	-.528	.906	-.740
	평균온도	.097	.131	-.528	1.000	-.419	.631
	일조시간	.744	.194	.906	-.419	1.000	-.833
	강우량	-.447	.100	-.740	.631	-.833	1.000
유의 확률 (단측)	수량	.	.067	.101	.402	.011	.114
	NDVI	.067	.	.487	.369	.309	.399
	일교차	.101	.487	.	.072	.000	.011
	평균온도	.402	.369	.072	.	.131	.034
	일조시간	.011	.309	.000	.131	.	.003
	강우량	.114	.399	.011	.034	.003	.

원격탐사기술을 활용한 주요 농산물 생산량 추정기법 개발

- 경상북도의 논벼 생산량 예측모형 개발을 위하여 입력된 각 변수의 기술통계량 및 상관계수는 다음과 같다.

<표 2.4.2-16> 경상북도의 모형개발을 위하여 입력된 변수의 기술통계량

	평균	표준편차	관측치
수량	543.3333	28.34608	9
NDVI	.6315	.11284	9
일교차	9.9583	1.23237	9
평균온도	19.9193	.86270	9
일조시간	157.7386	35.04187	9
강우량	150.8178	89.33138	9

<표 2.4.2-17> 경상북도의 모형개발을 위하여 입력된 변수의 상관계수

		수량	NDVI	일교차	평균온도	일조시간	강우량
상관계수	수량	1.000	.394	.548	.283	.478	-.522
	NDVI	.394	1.000	-.167	.486	-.160	.278
	일교차	.548	-.167	1.000	-.537	.960	-.837
	평균온도	.283	.486	-.537	1.000	-.621	.497
	일조시간	.478	-.160	.960	-.621	1.000	-.761
	강우량	-.522	.278	-.837	.497	-.761	1.000
유의확률 (단측)	수량	.	.147	.063	.230	.097	.075
	NDVI	.147	.	.334	.092	.340	.234
	일교차	.063	.334	.	.068	.000	.002
	평균온도	.230	.092	.068	.	.037	.087
	일조시간	.097	.340	.000	.037	.	.009
	강우량	.075	.234	.002	.087	.009	.

제 2 장 RS 기술을 활용한 논벼 생산량 추정모형 개발 및 시범사업

- 경상남도의 논벼 생산량 예측모형 개발을 위하여 입력된 각 변수의 기술통계량 및 상관계수는 다음과 같다.

<표 2.4.2-18> 경상남도의 모형개발을 위하여 입력된 변수의 기술통계량

	평균	표준편차	관측치
수량	521.6667	31.05238	9
NDVI	.6527	.03564	9
일교차	8.8534	1.00933	9
평균온도	23.8856	.86835	9
일조시간	160.9392	32.75033	9
강우량	204.0960	162.40047	9

<표 2.4.2-19> 경상남도의 모형개발을 위하여 입력된 변수의 상관계수

		수량	NDVI	일교차	평균온도	일조시간	강우량
상관 계수	수량	1.000	.627	.599	-.152	.104	-.312
	NDVI	.627	1.000	.108	-.208	-.279	.210
	일교차	.599	.108	1.000	-.328	.833	-.846
	평균온도	-.152	-.208	-.328	1.000	-.145	.458
	일조시간	.104	-.279	.833	-.145	1.000	-.820
	강우량	-.312	.210	-.846	.458	-.820	1.000
유의 확률 (단측)	수량	.	.035	.044	.348	.395	.206
	NDVI	.035	.	.391	.295	.233	.294
	일교차	.044	.391	.	.195	.003	.002
	평균온도	.348	.295	.195	.	.355	.108
	일조시간	.395	.233	.003	.355	.	.003
	강우량	.206	.294	.002	.108	.003	.

2.4.3. 모형 검정 및 독립변수 선택 방안

- 모형에 대한 적합도 검정 방법은 내부검정 방법과 외부검정 방법으로 구분된다.
- 내부 검정방법은 변수선정에 있어서 기존문헌 등을 통해 변수들의 적절성을 평가하고, 모형에의 적용에 있어서 적절한 통계적 방법을 이용하였는지에 대한 검정이며, 자료 수집의 타당성 및 대표성을 살펴보는 과정 등을 의미한다.
- 외부검정 방법은 보다 정량화된 방법으로 개발된 모형을 검증하는 과정으로 R_{adj}^2 , F -값, p -값, DW 등을 통한 검정방법을 의미한다.
- 본 과업에서는 모든 독립변수에 의해 추정된 모형이 적합한지 알아보기 위한 방법으로 F -검정을 이용하였다.
- 모형의 유의확률이 유의수준 0.10을 기준으로 0에 근접한 값을 보일수록 해당하는 모형은 유의하다고 판단하였다.
- 다중선형 회귀모형에 있어서 유의성 검정, 즉 회귀성 검정은 독립변수의 기울기에 해당하는 모든 회귀계수(β_0 은 제외)가 0의 값을 갖는가 또는 갖지 않는가를 검정하는 것이다.
- 따라서 이를 검정하기 위하여 다중선형 회귀모형에서 σ^2 의 두 가지 추정량을 고려하게 된다.
- 우선, 추정된 회귀모형에서 잔차제곱합(residual sum of squares, 이후 SSE) 는 다음과 같이 계산된다.

$$SSE = \sum e_i^2 = \sum (Y_i - \hat{Y}_i)^2 \quad (2.4.3-1)$$

- 또한 σ^2 의 추정량은 SSE 를 자유도 $(n - k - 1)$ 로 나눈 잔차평균제곱으로 나타낼 수 있으며, 다음과 같이 계산된다.

$$\hat{\sigma}^2 = MSE = \frac{SSE}{n - k - 1} = \frac{1}{n - k - 1} \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2 \quad (2.4.3-2)$$

- 다중선형 회귀모형에서 종속변수에 대한 전체제곱합 SST 는 회귀제곱합 SSR 와 잔차제곱합 SSE 로 분해되며, 결정계수 R^2 는 SSR 을 SST 으로 나눈 값으로 정의된다. 이를 정리하면 다음과 같다.

$$SST = SSR + SSE$$

$$R^2 = \frac{SSR}{SST} = 1 - \frac{SSE}{SST} \quad (2.4.3-3)$$

- 즉, R^2 의 값은 SSR 중 모형이 설명하는 제곱합의 비율로 해석되며 0~1 사이의 값을 갖는데 그 값이 1에 가까울수록 모형의 적합도가 높은 것을 의미한다.
- 그러나 R^2 의 값은 독립변수가 추가됨에 따라 증가함으로 독립변수의 수에 따른 R^2 의 증가분에 대한 조정을 필요로 한다.
- 이는 수정결정계수(adjusted coefficient of determination) R_{adj}^2 로 정의되며 다음과 같다.

$$R_{adj}^2 = 1 - \frac{SSE/(n-k-1)}{SST/(n-1)} = 1 - \left(\frac{n-1}{n-k-1} \right) (1-R^2) \quad (2.4.3-4)$$

- 한편, SSR 을 자유도 k 로 나눈 값은 회귀평균제곱 MSR 으로 정의되며, 잔차평균제곱 MSE 와의 비를 이용하여 다음과 같이 검정통계량 F -값을 구할 수 있다.

$$F = \frac{MSR}{MSE} \quad (2.4.3-5)$$

- 여기서, F -값이 1에 가까울 경우 $\beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_k = 0$ 을 만족하므로 해당 모형은 기각되며, F -값이 1 보다 큰 값을 가질 경우 모든 $\beta_j (j=1,2,\dots,k)$ 가 0 이 아니므로 해당 모형은 채택된다.
- 또한 F -에 대응되는 유의확률 p -값을 산출하여 p -값이 α 보다 작을 때 유의수준 α 에서 해당모형을 채택한다.
- 유의하다고 판단된 모형에 관해서는 잔차항들이 서로 독립적이며 정규분포하여야 한다.
- 이를 알아보기 위하여 DW 통계량을 이용한 잔차분석을 시행하였다.
- DW 통계량은 다음과 같이 정의된다.

$$DW = \frac{\sum_{i=2}^n (e_i - e_{i-1})^2}{\sum_{i=1}^n e_i^2} \quad (2.4.3-6)$$

제 2 장 RS 기술을 활용한 논벼 생산량 추정모형 개발 및 시범사업

- 잔차들간에 상관관계는 DW 의 기준값인 2로부터 개별 버퍼 모형의 DW 값이 양의 상관관계(0)나 음의 상관관계(4)로 치우치는지에 대한 파악을 통해 모형의 적합성을 파악하였다.
- 모형 검정을 위하여 모든 독립변수를 적용하여 추정된 모형의 회귀분석 결과는 다음과 같다.

<표 2.4.3-1> 모든 변수를 적용한 전국단위 다중선형 회귀모형

		B	$Std. Error$	β	t	p	VIF
수량	절편	65.139	177.585	.000	.367	.738	.000
	NDVI	393.384	190.185	.581	2.068	.130	2.675
	일교차	-16.950	26.905	-.856	-.630	.573	62.512
	평균온도	17.607	7.815	.544	2.253	.110	1.978
	일조시간	.315	.758	.441	.415	.706	38.177
	강수량	-.297	.111	-1.341	-2.674	.075*	8.531
		$R = .955, R^2 = .912, R_{adj}^2 = .764, F = 6.180, p = .082^*, DW = 2.407$					

*.p<0.10 **p<0.05 ***.p<0.01

<표 2.4.3-2> 모든 변수를 적용한 경기도의 다중선형 회귀모형

		B	$Std. Error$	β	t	p	VIF
수량	절편	734.689	323.607	.000	2.270	.151	.000
	NDVI	-220.148	872.358	-.276	-.252	.824	26.013
	일교차	26.536	31.595	1.196	.840	.489	44.058
	평균온도	-14.364	10.613	-.450	-1.353	.309	2.397
	일조시간	.031	.453	.062	.069	.951	17.639
	강수량	.071	.198	.378	.359	.754	24.121
		$R = .953, R^2 = .908, R_{adj}^2 = .678, F = 3.946, p = .214, DW = 2.644$					

*.p<0.10 **p<0.05 ***.p<0.01

원격탐사기술을 활용한 주요 농산물 생산량 추정기법 개발

<표 2.4.3-3> 모든 변수를 적용한 강원도의 다중선형 회귀모형

		<i>B</i>	<i>Std. Error</i>	β	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>VIF</i>
수량	절편	-65.878	200.790	.000	-.328	.764	.000
	NDVI	-345.211	264.413	-.579	-1.306	.283	5.579
	일교차	80.601	26.541	3.099	3.037	.056*	29.583
	평균온도	7.874	7.272	.283	1.083	.358	1.934
	일조시간	-.856	.463	-1.150	-1.850	.161	10.985
	강우량	.204	.103	1.034	1.984	.141	7.718
$R = .946, R^2 = .894, R_{adj}^2 = .718, F = 5.081, p = .106, DW = 1.832$							

*.p<0.10 **p<0.05 ***.p<0.01

<표 2.4.3-4> 모든 변수를 적용한 충청북도의 다중선형 회귀모형

		<i>B</i>	<i>Std. Error</i>	β	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>VIF</i>
수량	절편	248.778	450.809	.000	552	.636	.000
	NDVI	352.057	448.605	.429	.785	.515	3.115
	일교차	19.358	41.260	1.103	.469	.685	57.743
	평균온도	-3.637	16.437	-.094	-.221	.845	1.900
	일조시간	-.256	.672	-.646	-.381	.740	30.062
	강우량	-.003	.177	-.018	-.015	.989	14.362
$R = .899, R^2 = .808, R_{adj}^2 = .330, F = 1.688, p = .412, DW = 2.183$							

*.p<0.10 **p<0.05 ***.p<0.01

<표 2.4.3-5> 모든 변수를 적용한 충청남도의 다중선형 회귀모형

		<i>B</i>	<i>Std. Error</i>	β	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>VIF</i>
수량	절편	622.085	227.753	.000	2.731	.112	.000
	NDVI	601.702	378.962	.675	1.588	.253	2.867
	일교차	-1.991	15.871	-.102	-.125	.912	10.581
	평균온도	-17.853	6.773	-.878	-2.636	.119	1.759
	일조시간	-.009	.755	-.009	-.011	.992	9.480
	강우량	-.121	.154	-.396	-.785	.515	4.033
$R = .935, R^2 = .874, R_{adj}^2 = .559, F = 2.773, p = .286, DW = 2.268$							

*.p<0.10 **p<0.05 ***.p<0.01

제 2 장 RS 기술을 활용한 논벼 생산량 추정모형 개발 및 시범사업

<표 2.4.3-6> 모든 변수를 적용한 전라북도의 다중선형 회귀모형

		B	Std. Error	β	t	p	VIF
수량	절편	340.233	690.633	.000	.493	.656	.000
	NDVI	353.279	386.049	.583	.915	.428	3.744
	일교차	-6.528	55.891	-.302	-.117	.914	61.752
	평균온도	.707	24.859	.018	.028	.979	3.628
	일조시간	.306	1.303	.381	.235	.829	24.188
	강우량	-.130	.257	-.596	-.508	.647	12.682
		$R = .821, R^2 = .674, R_{adj}^2 = .131, F = 1.242, p = .457, DW = 2.100$					

*.p<0.10 **p<0.05 ***.p<0.01

<표 2.4.3-7> 모든 변수를 적용한 전라남도의 다중선형 회귀모형

		B	Std. Error	β	t	p	VIF
수량	절편	246.183	274.500	.000	.897	.436	.000
	NDVI	143.288	239.942	.141	.597	.592	2.060
	일교차	-19.839	12.843	-.860	-1.545	.220	11.420
	평균온도	5.665	7.613	.205	.744	.511	2.790
	일조시간	1.327	.577	1.825	2.302	.105	23.143
	강우량	.055	.094	.292	.588	.598	9.115
		$R = .958, R^2 = .919, R_{adj}^2 = .783, F = 6.763, p = .073^*, DW = 2.593$					

*.p<0.10 **p<0.05 ***.p<0.01

<표 2.4.3-8> 모든 변수를 적용한 경상북도의 다중선형 회귀모형

		B	Std. Error	β	t	p	VIF
수량	절편	-66.300	197.392	.000	-.336	.759	.000
	NDVI	59.835	55.999	.238	1.069	.364	1.472
	일교차	-6.331	20.410	-.275	-.310	.777	23.328
	평균온도	27.766	9.605	.845	2.891	.063*	2.532
	일조시간	.696	.660	.860	1.055	.369	19.723
	강우량	-.186	.117	-.585	-1.584	.211	4.033
		$R = .948, R^2 = .899, R_{adj}^2 = .730, F = 5.325, p = .100, DW = 2.632$					

*.p<0.10 **p<0.05 ***.p<0.01

<표 2.4.3-9> 모든 변수를 적용한 경상남도의 다중선형 회귀모형

		<i>B</i>	<i>Std. Error</i>	β	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>VIF</i>
수량	절편	-110.823	178.371	.000	-.621	.578	.000
	NDVI	225.420	183.833	.259	1.226	.308	2.604
	일교차	44.715	12.584	1.453	3.553	.038**	9.786
	평균온도	12.181	6.285	.341	1.938	.148	1.807
	일조시간	-1.176	.311	-1.241	-3.787	.032	6.277
	강수량	-.060	.070	-.311	-.850	.458	7.854
		$R = .974, R^2 = .949, R_{adj}^2 = .863, F = 11.099, p = .038^{**}, DW = 3.014$					

*.p<0.10 **.p<0.05 ***.p<0.01

- 모형 검정을 위하여 모든 독립변수를 적용하여 추정된 모형의 회귀분석 결과를 종합하면 다음과 같다.
- 일교차와 일조시간 사이에 다중공선성이 확인되었으며($VIF > 10$), 전국단위, 전라남도, 경상남도를 제외한 도단위 모형과 일부 독립변수들이 유의하지 않은 것으로 확인되었다($p > 0.10$).
- 다중공선성은 독립변수간의 상관관계가 높은 경우에 발생하며, 독립변수들의 역행렬이 존재하지 않거나 역행렬이 존재하더라도 회귀분석의 추론에 문제점을 초래하는 현상이다.
- 이는 분산팽창계수(VIF)를 이용하여 판단하며, VIF 는 독립변수 사이에서 발생하는 다중공선성으로 인한 분산의 증가를 의미한다.
- 일반적으로 k 개의 VIF_j 중 가장 큰 값이 5~10 보다 크면(최대 $R_j^2 > 0.8 \sim 0.9$) 다중공선성이 있다고 할 수 있다.

○ j 번째 회귀계수의 추정량 $\hat{\beta}_j$ 에 대한 VIF_j 는 다음과 같이 정의된다.

$$VIF_j = \frac{1}{1 - R_j^2}, \quad j = 1, 2, \dots, k \quad (2.4.3-7)$$

여기서 R_j^2 은 X_j 를 종속변수로 하고 나머지 변수를 독립변수로 하는 회귀모형에서의 결정계수를 말한다.

2.4.4. 전국단위 및 도단위 논벼 생산량 추정 모형

- 앞 절의 모형에 대한 추론 결과를 바탕으로 본 과업에서는 변수선택법을 이용하여 분석에 유의한 ($p < 0.10$) 독립변수를 선택하였다.
- 또한, 변수의 p -값과 VIF 값을 이용하여 통계적으로 유의하면서 독립변수 간 상관성이 존재하지 않는 최적 회귀모형을 제시하였다.
- 그러나, 변수선택법을 이용하여 독립변수를 선택할 경우, 일부 모형에서 NDVI가 선택되지 못하는 경우가 발생하였다.
- 이는 NDVI와 수량과의 상관계수가 기상요인과 비교하여 상대적으로 낮아 유의확률이 유의수준 범위를 벗어나 나타난 결과로 판단된다.
- 하지만 본 과업의 목적상 NDVI는 모형에 반드시 포함되어야 하는 독립변수로서 내부 검정으로도 적절한 독립변수로 판단되었기에 NDVI는 독립변수로 고정시킨 후, 기상요인만을 대상으로 변수선택법을 시행하였다.
- 즉, NDVI의 유의확률이 유의수준 범위를 벗어난다 하더라도 예측 모형의 특성상 설명력을 높이는 것이 중요하다고 판단하여 전문가의 자문을 받아 NDVI는 독립변수로 고정하고 회귀분석을 실시하였다.
- 변수선택법에 의한 회귀분석 결과는 <표 2.4.4-1>~<표 2.4.4-9>와 같다.

제 2 장 RS 기술을 활용한 논벼 생산량 추정모형 개발 및 시범사업

<표 2.4.4-1> 변수선택법에 의한 전국단위 논벼 생산량 추정 모형

		B	Std. Error	β	t	p	VIF
수량	절편	304.361	97.757	.000	3.113	.021**	.000
	NDVI	374.853	143.792	.554	2.607	.040**	1.007
	일교차						
	평균온도						
	일조시간						
	강우량	-.134	.047	-.608	-2.862	.029**	1.007
		$R = .855, R^2 = .731, R_{adj}^2 = .642, F = 8.158, p = .002^{***}, DW = 1.868$					

*.p<0.10 **p<0.05 ***p<0.01

<표 2.4.4-2> 변수선택법에 의한 경기도의 논벼 생산량 추정 모형

		B	Std. Error	β	t	p	VIF
수량	절편	752.399	161.106	.000	4.670	.005***	.000
	NDVI	438.081	135.761	.549	3.227	.023**	1.007
	일교차						
	평균온도	-22.416	5.441	-.702	-4.120	.009***	1.007
	일조시간						
	강우량						
		$R = .925, R^2 = .856, R_{adj}^2 = .798, F = 14.858, p = .008^{***}, DW = 2.456$					

*.p<0.10 **p<0.05 ***p<0.01

<표 2.4.4-3> 변수선택법에 의한 강원도의 논벼 생산량 추정 모형

		B	Std. Error	β	t	p	VIF
수량	절편	275.442	86.597	.000	3.181	.019**	.000
	NDVI	113.448	163.111	.190	.696	.513	1.413
	일교차	18.406	7.110	.708	2.589	.041**	1.413
	평균온도						
	일조시간						
	강우량						
		$R = .826, R^2 = .683, R_{adj}^2 = .577, F = 6.453, p = .032^{**}, DW = 1.821$					

*.p<0.10 **p<0.05 ***p<0.01

원격탐사기술을 활용한 주요 농산물 생산량 추정기법 개발

<표 2.4.4-4> 변수선택법에 의한 충청북도의 논벼 생산량 추정 모형

		<i>B</i>	<i>Std. Error</i>	β	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>VIF</i>
수량	절편	285.070	145.035	.000	1.966	.107	.000
	NDVI	405.118	207.356	.493	1.954	.108	1.494
	일교차						
	평균온도						
	일조시간						
	강우량	-.077	.038	-.506	-2.005	.101	1.494
$R = .887, R^2 = .787, R_{adj}^2 = .701, F = 9.217, p = .021^{**}, DW = 2.201$							

*.p<0.10 **.p<0.05 ***.p<0.01

<표 2.4.4-5> 변수선택법에 의한 충청남도의 논벼 생산량 추정 모형

		<i>B</i>	<i>Std. Error</i>	β	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>VIF</i>
수량	절편	488.725	144.208	.000	3.389	.019**	.000
	NDVI	666.120	190.663	.747	3.494	.017**	1.106
	일교차						
	평균온도	-15.623	4.351	-.768	-3.591	.016**	1.106
	일조시간						
	강우량						
$R = .891, R^2 = .793, R_{adj}^2 = .710, F = 9.587, p = .019^{**}, DW = 2.350$							

*.p<0.10 **.p<0.05 ***.p<0.01

<표 2.4.4-6> 변수선택법에 의한 전라북도의 논벼 생산량 추정 모형

		<i>B</i>	<i>Std. Error</i>	β	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>VIF</i>
수량	절편	336.881	97.563		3.453	.014**	.000
	NDVI	360.820	144.910	.596	2.490	.047**	1.020
	일교차						
	평균온도						
	일조시간						
	강우량	-.141	.052	-.646	-2.698	.036**	1.020
$R = .814, R^2 = .663, R_{adj}^2 = .551, F = 5.907, p = .038^{**}, DW = 2.174$							

*.p<0.10 **.p<0.05 ***.p<0.01

제 2 장 RS 기술을 활용한 논벼 생산량 추정모형 개발 및 시범사업

<표 2.4.4-7> 변수선택법에 의한 전라남도의 논벼 생산량 추정 모형

		B	Std. Error	β	t	p	VIF
수량	절편	-57.464	155.332	.000	-.370	.727	.000
	NDVI	324.651	185.006	.320	1.755	.140	1.101
	일교차						
	평균온도	11.435	5.449	.413	2.098	.090*	1.285
	일조시간	.622	.145	.855	4.293	.008***	1.313
	강우량						
$R = .921, R^2 = .849, R_{adj}^2 = .758, F = 9.369, p = .017^{**}, DW = 1.794$							

*.p<0.10 **p<0.05 ***p<0.01

<표 2.4.4-8> 변수선택법에 의한 경상북도의 논벼 생산량 추정 모형

		B	Std. Error	β	t	p	VIF
수량	절편	-82.186	167.720	.000	-.490	.650	.000
	NDVI	61.291	49.095	.244	1.248	.280	1.462
	일교차						
	평균온도	26.667	7.855	.812	3.395	.027***	2.187
	일조시간	.509	.236	.629	2.159	.097*	3.249
	강우량	-.163	.082	-.515	-1.998	.116	2.543
$R = .946, R^2 = .895, R_{adj}^2 = .791, F = 8.569, p = .030^{**}, DW = 2.761$							

*.p<0.10 **p<0.05 ***p<0.01

<표 2.4.4-9> 변수선택법에 의한 경상남도의 논벼 생산량 추정 모형

		B	Std. Error	β	t	p	VIF
수량	절편	193.014	104.703	.000	1.843	.125	.000
	NDVI	134.365	181.753	.154	.739	.493	1.851
	일교차	46.289	11.150	1.505	4.151	.009***	5.588
	평균온도						
	일조시간	-1.049	.356	-1.107	-2.949	.032**	5.990
	강우량						
$R = .939, R^2 = .882, R_{adj}^2 = .812, F = 12.513, p = .009^{***}, DW = 2.305$							

*.p<0.10 **p<0.05 ***p<0.01

2.4.5. 모형에 대한 추론

- 변수선택법에 의하여 선택된 독립변수를 적용하여 작성한 논벼 생산량 예측 모형의 최적 회귀모형을 정리하면 <표 2.4.5-1>과 같다.

<표 2.4.5-1> 변수선택법에 의한 도단위 최적 회귀모형

	R	R^2	R_{adj}^2	F	p	DW
전국	.8551	.7311	.6415	8.1581	.0194**	1.8675
경기	.9252	.8560	.7984	14.8582	.0079***	2.4556
강원	.8262	.6826	.5768	6.4529	.0320**	1.8212
충북	.8869	.7866	.7013	9.2175	.0210**	2.2006
충남	.8906	.7932	.7104	9.5865	.0195**	2.3499
전북	.8144	.6632	.5509	5.9074	.0382**	2.1742
전남	.9214	.8490	.7584	9.3691	.0171**	1.7943
경북	.9463	.8955	.7910	8.5686	.0305**	2.7614
경남	.9394	.8825	.8119	12.5128	.0092***	2.3055

*.p<0.10 **p<0.05 ***.p<0.01

- 변수선택법에 의하여 선택된 독립변수를 고려한 다중선형 회귀모형의 유의 확률은 0.05 이하로 통계적으로 유의하며, DW 은 1.7943~2.7614 사이에 분포해 잔차간 자기상관성도 작다고 할 수 있다.
- 또한, 수정결정계수(R_{adj}^2)는 0.5509~0.8119로 각 모형은 50 % 이상의 설명력을 나타내고, 전국단위 모형의 경우 64.15 % 설명력을 나타내었다. 따라서 본 과업에서 실시한 논벼의 생산량 예측 모형은 적합하다고 할 수 있다.
- 각 도단위별 회귀모형의 추정계수와 결정계수를 정리하면 <표 2.4.5-2>와 같다.

제 2 장 RS 기술을 활용한 논벼 생산량 추정모형 개발 및 시범사업

<표 2.4.5-2> 도단위별 회귀모형의 추정계수와 결정계수(R^2)

		절편	NDVI	평균온도	일교차	누적강우량	누적일조시간	R^2
전국	추정계수	304.361	374.8527			-0.1345		.7311
	유의확률	.021	.040**			.029**		
경기	추정계수	752.399	438.0806	-22.4157				.8560
	유의확률	.005	.023**	.009***				
강원	추정계수	275.442	113.448		18.4063			.6826
	유의확률	.019	.513		.041**			
충북	추정계수	285.07	405.118			-0.0766		.7866
	유의확률	.107	.108			.101		
충남	추정계수	488.725	666.1205	-15.6226				.7932
	유의확률	.019	.017**	.016**				
전북	추정계수	336.881	360.8204			-0.1412		.6632
	유의확률	.014	.047**			.036**		
전남	추정계수	-57.464	324.651	11.4353			0.6218	.8490
	유의확률	.727	.140	.090*			.008***	
경북	추정계수	-82.186	61.2906	26.6665		-0.1634	0.5090	.8955
	유의확률	.684	.280	.027**		.116	.097*	
경남	추정계수	193.014	134.365		46.2890		-1.0492	.8825
	유의확률	.540	.125		.009***		.032**	

*.p<0.10 **p<0.05 ***.p<0.01

- 결과를 살펴보면, NDVI와 일교차는 생산량과 양의 관계로 나타났으나, 누적강우량은 생산량과 음의 관계로 나타났다.
- 도단위별로는 경기와 충남은 NDVI와 평균온도가, 충북과 전북은 NDVI와 누적강우량이, 그 외 지역에서는 NDVI와 평균온도, 일조시간 등이 독립변수로 선택되어 전국이 3등분되어 지역별로 특성을 나타내었다.
- 또한, 강원, 충북, 전남, 경북 및 경남에서는 NDVI의 유의확률이 0.10 이상으로 나타나 다소 유의하지 않은 변수로 선택되었다.

원격탐사기술을 활용한 주요 농산물 생산량 추정기법 개발

- 그러나 앞서 설명한 바와 같이, 본 과업의 목적 및 선행연구 분석을 통한 변수의 적절성, 자문의견 등을 고려하여 NDVI를 독립변수로 고정시켜 모형을 작성하였다.
- 따라서, 본 과업에서는 NDVI에 의한 설명력의 변화를 추정하기 위하여 강원 외 4개도를 대상으로 NDVI가 제외된 회귀모형을 별도로 작성하였다.
- 강원도, 충청북도, 전라남도, 경상북도 및 경상남도를 대상으로 변수선택법에 의하여 추출된 NDVI가 제외된 모형은 <표 2.4.5-3>~<표 2.4.5-7>와 같다.

<표 2.4.5-3> NDVI를 제외한 강원도의 논벼 생산량 추정 모형

		<i>B</i>	<i>Std. Error</i>	β	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>VIF</i>
수량	절편	323.590	50.073	.000	6.462	.000***	.000
	NDVI						
	일교차	21.080	5.756	.811	3.662	.008***	1.000
	평균온도						
	일조시간						
	강우량						
		$R = .811, R^2 = .657, R_{adj}^2 = .608, F = 13.411, p = .008^{***}, DW = 1.669$					

*.p<0.10 **.p<0.05 ***.p<0.01

<표 2.4.5-4> NDVI를 제외한 충청북도의 논벼 생산량 추정 모형

		<i>B</i>	<i>Std. Error</i>	β	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>VIF</i>
수량	절편	386.688	37.531	.000	10.303	.000***	.000
	NDVI						
	일교차	14.982	3.728	.854	4.019	.007***	1.000
	평균온도						
	일조시간						
	강우량						
		$R = .854, R^2 = .729, R_{adj}^2 = .684, F = 16.154, p = .007^{***}, DW = 1.607$					

*.p<0.10 **.p<0.05 ***.p<0.01

제 2 장 RS 기술을 활용한 논벼 생산량 추정모형 개발 및 시범사업

<표 2.4.5-5> NDVI를 제외한 전라남도의 논벼 생산량 추정 모형

		<i>B</i>	<i>Std. Error</i>	β	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>VIF</i>
수량	절편	464.070	48.384	.000	9.591	.000***	.000
	NDVI						
	일교차	-27.274	7.693	-1.183	-3.545	.016**	5.584
	평균온도						
	일조시간	1.693	.295	2.329	5.744	.002***	8.246
	강우량	.117	.048	.617	2.414	.061*	3.275
		$R = .949, R^2 = .900, R_{adj}^2 = .841, F = 15.061, p = .006^{***}, DW = 2.834$					

*.p<0.10 **p<0.05 ***p<0.01

<표 2.4.5-6> NDVI를 제외한 경상북도의 논벼 생산량 추정 모형

		<i>B</i>	<i>Std. Error</i>	β	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>VIF</i>
수량	절편	-211.923	186.973	.000	-1.133	.300	.000
	NDVI						
	일교차	22.595	5.367	.982	4.4210	.006***	1.404
	평균온도	26.620	7.666	.810	3.472	.013**	1.404
	일조시간						
	강우량						
		$R = .876, R^2 = .767, R_{adj}^2 = .690, F = 9.897, p = .013^{**}, DW = 2.373$					

*.p<0.10 **p<0.05 ***p<0.01

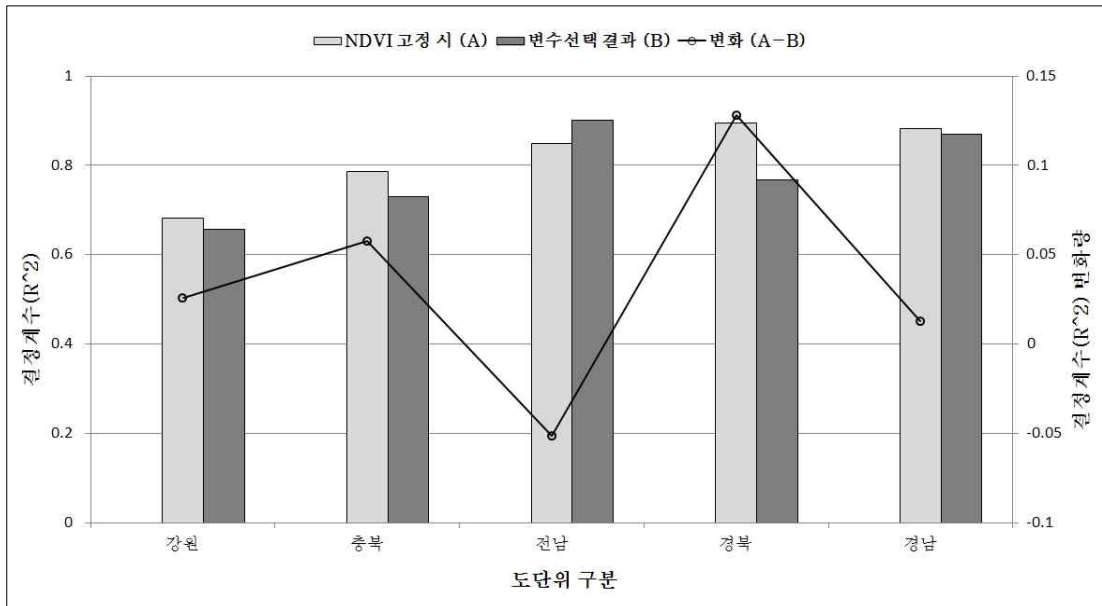
<표 2.4.5-7> NDVI를 제외한 경상남도의 논벼 생산량 추정 모형

		<i>B</i>	<i>Std. Error</i>	β	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>VIF</i>
수량	절편	262.254	45.000	.000	5.828	.001***	.000
	NDVI						
	일교차	51.592	8.207	1.677	6.286	.001***	3.275
	평균온도						
	일조시간	-1.226	.253	-1.293	-4.848	.003***	3.275
	강우량						
		$R = .933, R^2 = .870, R_{adj}^2 = .826, F = 20.008, p = .002^{***}, DW = 2.484$					

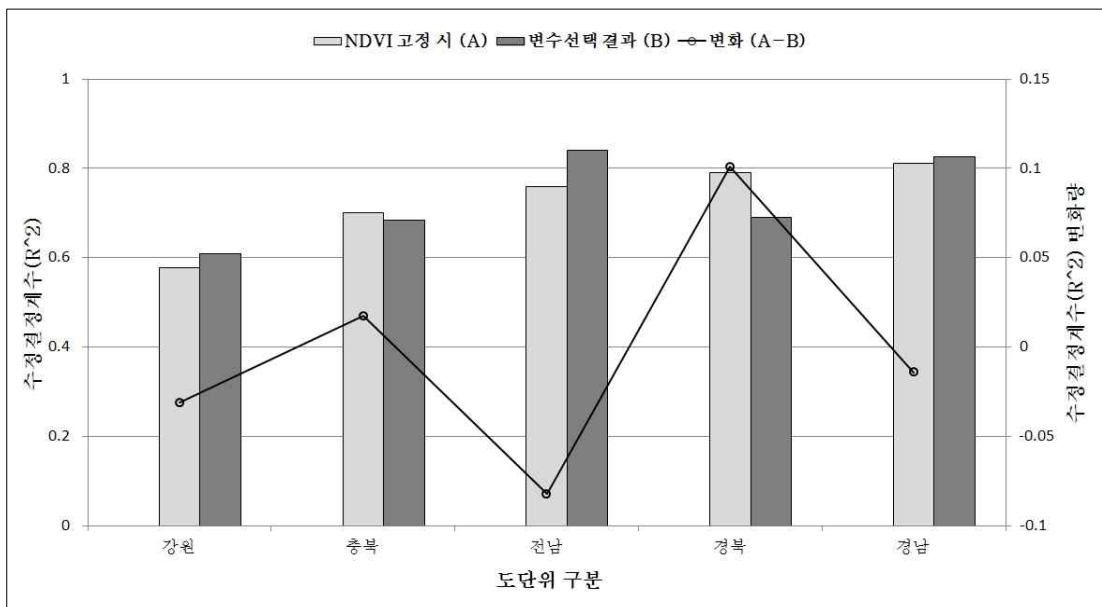
*.p<0.10 **p<0.05 ***p<0.01

원격탐사기술을 활용한 주요 농산물 생산량 추정기법 개발

- 강원도, 충청북도, 전라남도, 경상북도 및 경상남도를 대상으로 NDVI를 고정변수로 지정한 모형(A)과 변수선택법에 의하여 NDVI가 제외된 모형(B)의 결정계수(R^2) 및 수정결정계수(R_{adj}^2)를 비교한 결과는 <그림 2.4.5-1> 및 <그림 2.4.5-2>와 같다.



<그림 2.4.5-1> NDVI 포함여부에 따른 결정계수(R^2)의 변화



<그림 2.4.5-2> NDVI 포함여부에 따른 수정결정계수(R_{adj}^2)의 변화

제 2 장 RS 기술을 활용한 논벼 생산량 추정모형 개발 및 시범사업

- <그림 2.4.5-1> 및 <그림 2.4.5-2>와 같이 NDVI 포함여부에 따른 결정계수 (R^2) 및 수정결정계수(R_{adj}^2)를 정리하면, <표 2.4.5-8>과 같이 R^2 는 0.013 ~0.128 증가하였으며, R_{adj}^2 는 -0.82~0.101의 변화를 나타내었다.

<표 2.4.5-8> NDVI 포함여부에 따른 결정계수(R^2)와 수정결정계수(R_{adj}^2)의 변화

	NDVI 고정 시 (A)		변수선택 결과 (B)		변화 (A-B)	
	R^2	R_{adj}^2	R^2	R_{adj}^2	R^2	R_{adj}^2
강원	.6826	.5768	.6570	.6081	.0256	-.0313
충북	.7866	.7013	.7292	.6840	.0574	.0173
전남	.8490	.7584	.9004	.8406	-.0514	-.0822
경북	.8955	.7910	.7674	.6899	.1281	.1011
경남	.8825	.8119	.8696	.8261	.0129	-.0142

2.4.6. 타 연구와의 비교

- 한국농촌경제연구원(이하, 농경연)에서는 2011년 “위성을 활용한 관측업무 실용화”의 기반마련을 위한 기초자료 획득을 목적으로 『인공위성 활용한 농업관측 시험연구』를 수행하였다.
- 농경연의 시범연구를 살펴보면, MODIS NDVI를 쌀 작황조사에 이용하여 쌀 작황예측 모형을 개발하였으며, 그 결과는 <표 2.4.6-1>과 같다.

<표 2.4.6-1> 등온선별 지역그룹에 따른 쌀 작황예측 모형

사용영상	2009.09.06	2009.09.10	2009.09.06	2009.08.15	2009.09.10
지역그룹	그룹1	그룹2	그룹3	그룹4	그룹5
등온범위	13~14도	12~13도	11~12도	10~11도	7~10도
NDVI	0.362***	0.286***	0.462***	0.178***	0.246***
평균기온	0.003			0.013*	1.119***
누적일조시간			0.336***		1.996***
누적강수량	-0.008**		-0.007**	-0.004*	
intercept	6.353***	6.411***	4.615***	6.245***	-7.330
함수형태	log-log	log-log	log-log	log-log	log-log
R^2	0.891	0.873	0.768	0.916	0.982

*.p<0.10 **.p<0.05 ***.p<0.01

(자료출처 : 한국농촌경제연구원, 2011)

- <표 2.4.6-1>을 살펴보면, 전 모형의 NDVI 추정계수가 1 % 수준에서 유의하게 나타났으나, 본 과업에서 작성한 모형의 NDVI 추정계수의 유의수준은 0.017~0.513으로 나타났다.
- 농경연의 연구 결과에서 나타난 유의수준과 본 과업의 결과에서 나타난 유의수준을 비교하여 정리하면 <표 2.4.6-2>와 같다.

제 2 장 RS 기술을 활용한 논벼 생산량 추정모형 개발 및 시범사업

<표 2.4.6-2> 타 연구와 NDVI 추정계수의 유의수준 비교

농경연	지역그룹	그룹1		그룹2		그룹3		그룹4		그룹5
	유의수준	< 0.01		< 0.01		< 0.01		< 0.01		< 0.01
통계청	행정경계	전국	경기	강원	충북	충남	전북	전남	경북	경남
	유의확률	.040**	.023**	.513	.108	.017**	.047**	.140	.280	.125

*.p<0.10 **p<0.05 ***.p<0.01

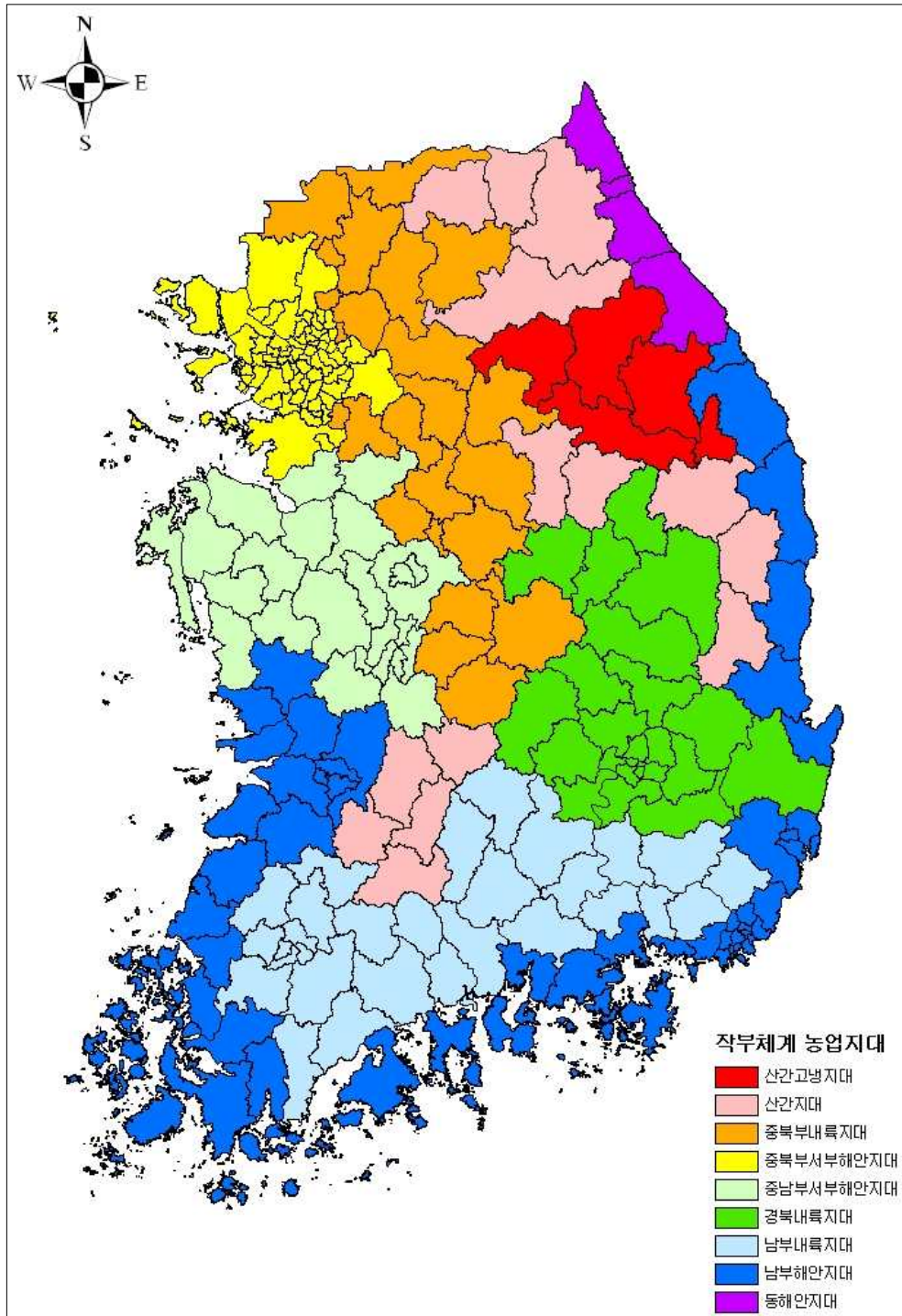
- <표 2.4.6-2>의 결과는 지역구분 방법의 차이에 따른 결과로 판단된다.
- 실제로 농경연의 연구에서는 등온선을 기준으로 지역을 구분하는 자연조건에 따른 지역구분 방법을 사용하였으나, 본 과업에서는 행정경계를 기준으로 지역을 구분하는 인위적인 조건에 따른 지역구분 방법을 사용하였다.
- 따라서 지역구분 방법의 변화에 따른 NDVI 추정계수의 유의수준 변화를 알아보기 위하여 기존 행정경계의 지역구분과 농업기후지대에 의한 지역구분을 사례별로 비교하였다.
- 농업기후지대는 전국의 농업지대를 기후 조건이 서로 다른 지역들로 분류한 것으로 한반도의 농업생산 기반 구축 및 기후특성에 맞는 적지과약 등을 목적으로 1986년에 제작되었다.
- 특히, 벼농사를 대상으로 이양기의 강수량과 한발지수, 생육유효온도(일평균 온도 15℃ 이상)의 출현시기와 지속기간(작물기간), 저온출현율, 기온과 일조시간 등의 분포와 변동폭을 분석하여 구분하였으며, 지대구분의 경계선은 표고를 고려하였다.

원격탐사기술을 활용한 주요 농산물 생산량 추정기법 개발

- 농업기후지대의 분류 현황 및 시군별 현황은 <표 2.4.6-3> 및 <그림 2.4.6-1>과 같다.

<표 2.4.6-3> 농업기후지대 분류 현황

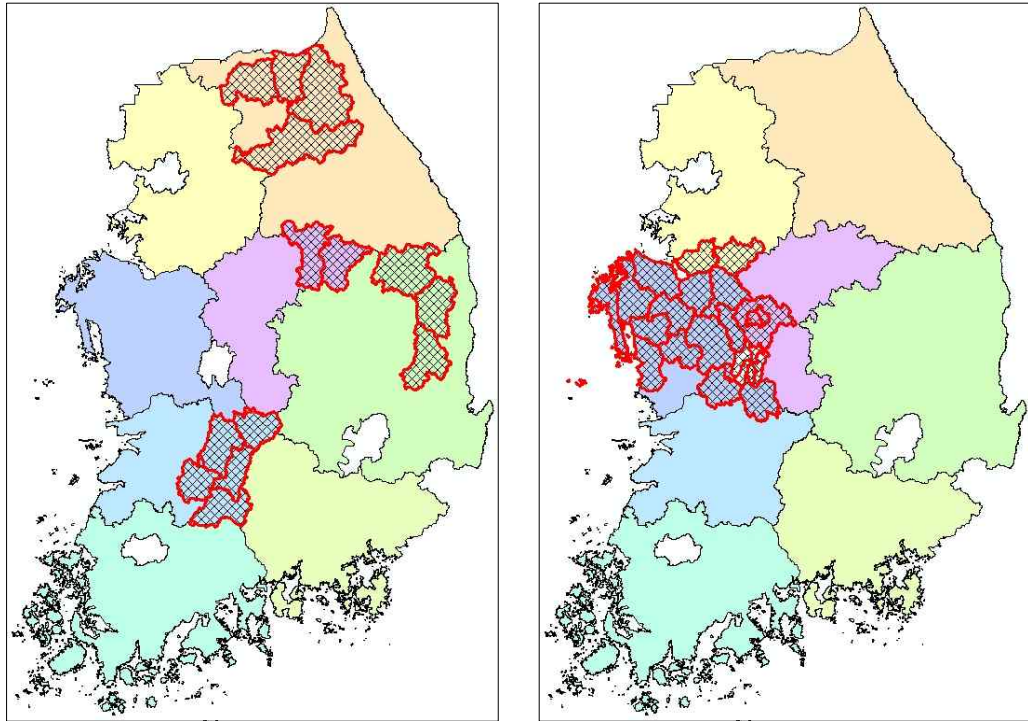
작부체계 농업지대	농업 기후지대
1. 산간 고냉 지대	태백 고냉 지대
2. 산간 지대	태백 준고냉 지대
	노령 소백 산간 지대
3. 중북부 내륙 지대	소백 산간 지대
	중북부 내륙 지대
	중부 내륙 지대
4. 중북부 서부 해안 지대	중서부 평야 지대
5. 중남부 서부 해안 지대	소백 서부 내륙 지대
	차령 남부 평야 지대
6. 경북 내륙 지대	영남 내륙 산간 지대
	영남 분지 지대
7. 남부 내륙 지대	영남(노령) 동서 내륙 지대
	호남 내륙 지대
	영남 내륙 지대
8. 남부 해안 지대	남서 해안 지대
	남부 해안 지대
	동해안 남부 지대
9. 동해안 지대	동해안 북부 지대
	동해안 중부 지대



<그림 2.4.6-1> 시군별 작부체계 농업지대 분류 현황

원격탐사기술을 활용한 주요 농산물 생산량 추정기법 개발

- 본 과업에서는 <그림 2.4.6-2>와 같이 9개 작부체계 농업지대 중 산간 지대와 중남부 서부 해안 지대를 선정하여 기존 행정경계와 NDVI 추정계수의 유의수준을 비교하였다.



<그림 2.4.6-2> 산간 지대(좌)와 중남부 서부 해안 지대(우)의 시군 현황

<표 2.4.6-4> 산간 지대의 지역구분에 따른 유의확률 변화

도	유의확률 (A)	시군 수	농업지대	유의확률 (B)	변화 (A-B)
강원	.513	4	산간 지대	.012**	0.501
충북	.108	2			0.096
전북	.047**	5			0.035
경북	.280	2			0.268
비고	양구, 홍천, 제천, 단양, 봉화, 영양, 무주, 진안, 임실, 장수, 남원				

*.p<0.10 **p<0.05 ***.p<0.01

제 2 장 RS 기술을 활용한 논벼 생산량 추정모형 개발 및 시범사업

<표 2.4.6-5> 중남부 서부 해안 지대의 지역구분에 따른 유의확률 변화

도	유의확률 (A)	시군 수	농업지대	유의확률 (B)	변화 (A-B)
경기	.023**	2	중남부 서부 해안 지대	.002***	0.021
충북	.108	2			0.106
충남	.017**	13			0.015
비교	청주, 공주, 논산, 금산, 천안, 연기, 평택, 안성, 아산, 당진, 서산, 예산, 홍성, 청양, 보령				

*.p<0.10 **p<0.05 ***.p<0.01

- 산간 지대는 양구, 홍천, 제천, 단양, 봉화, 영양, 무주, 진안, 임실, 장수, 남원 등이 포함되어 있어 행정구역과 가장 상이한 농업지대로 행정구역상 강원도의 4개 시군, 충청북도의 2개 시군, 전라북도의 5개 시군, 경상북도의 2개 시군이 포함되어 있다.
- 반면에 중남부 서부 해안 지대는 청주, 공주, 논산, 금산, 천안, 연기, 평택, 안성, 아산, 당진, 서산, 예산, 홍성, 청양, 보령 등, 경기도의 2개 시군, 충청북도의 2개 시군, 충청남도의 13개 시군이 포함되어 있어 행정구역상 충청남도과 가장 유사한 농업지대이다.
- 비교 결과, 농경연의 연구 결과와 같이 자연조건에 따른 지역구분 방법인 농업지대를 이용하였을 때 유의확률이 크게 낮아지는 것으로 나타났다.
- 그러나 농업지대에 의한 논벼 생산량 추정 모형은 각 표본조사지역의 지대구분과 기상자료가 용이하지 않으며, 재배 지대의 재배면적을 산출하여야 가중평균의 전국 수치를 알 수 있는 등 제약이 있어 실무적 도입은 어려울 것으로 판단된다.

2.4.7. 2011년 논벼 생산량 추정 결과

- 본 과업에서 작성된 도단위별 회귀모형의 추정계수 및 2011년 논벼의 생산량을 추정한 결과는 <표 2.4.7-1>과 같다.

<표 2.4.7-1> 도단위별 회귀모형의 추정계수 및 2011년 추정결과

		절편	NDVI	평균온도	일교차	누적강우량	누적일조시간	10a당수량	예측신뢰구간
전국	추정계수	304.3611	374.8527			-0.1345		535	495 ~575
	독립변수		0.6172	18.80	9.30	160.97	153.58		
경기	추정계수	752.3988	438.0806	-22.4157				490	454 ~526
	독립변수		0.6516	22.98	8.05	176.12	117.13		
강원	추정계수	275.4419	113.4484		18.4063			496	447 ~545
	독립변수		0.6177	20.91	10.10	63.20	167.23		
충북	추정계수	285.0695	405.1180			-0.0766		523	479 ~566
	독립변수		0.6412	22.91	8.43	177.70	217.77		
충남	추정계수	488.7248	666.1205	-15.6226				567	528 ~607
	독립변수		0.6492	20.67	9.79	79.97	144.20		
전북	추정계수	336.8807	360.8204			-0.1412		571	515 ~627
	독립변수		0.6758	21.07	10.34	71.60	183.13		
전남	추정계수	-57.4638	324.6507	11.4353			0.6218	523	479 ~567
	독립변수		0.6820	19.11	10.79	34.70	95.07		
경북	추정계수	-82.1858	61.2906	26.6665		-0.1634	0.509	569	524 ~614
	독립변수		0.6376	19.99	10.16	125.73	158.67		
경남	추정계수	193.0137	134.3654		46.289		-1.0492	522	474 ~571
	독립변수		0.6472	16.51	10.73	51.01	91.14		

※ 모형 예측치는 현미 기준의 10a당 수량(kg)임

- 2011년 논벼 생산량은 전국단위에서 현미 기준으로 535 kg/10a의 추정량이 산출되었으며, 95% 신뢰수준에서 예측구간은 495~575 kg/10a로 계산되었다.

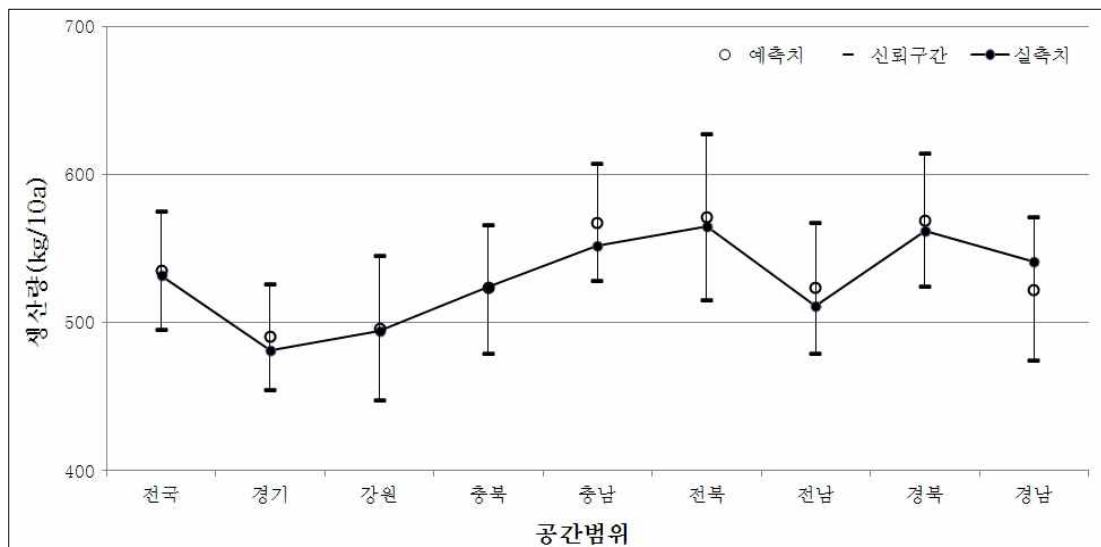
제 2 장 RS 기술을 활용한 논벼 생산량 추정모형 개발 및 시범사업

○ 2011년도 추정결과를 예상량조사 결과와 비교한 결과는 <표 2.4.7-2> 및 <그림 2.4.7-1>과 같다.

<표 2.4.7-2> 2011년 추정결과 비교

	예상량 조사	모형예측		오차	
	10a당 수량 (A)	10a당 수량 (B)	예측신뢰구간	A-B	%
전국	532	535	495~575	-3	-0.6
경기	481	490	454~526	-9	-1.9
강원	494	496	447~545	-2	-0.4
충북	524	523	479~566	1	+0.2
충남	552	567	528~607	-15	-2.7
전북	565	571	515~627	-6	-1.1
전남	511	523	479~567	-11	-2.3
경북	562	569	524~614	-7	-1.2
경남	541	522	474~571	19	+3.5

※ (A)는 2011년 논벼 예상량조사 발표치를 현미기준으로 환산한 수량임



<그림 2.4.7-1> 2011년 예측치와 실측치의 비교

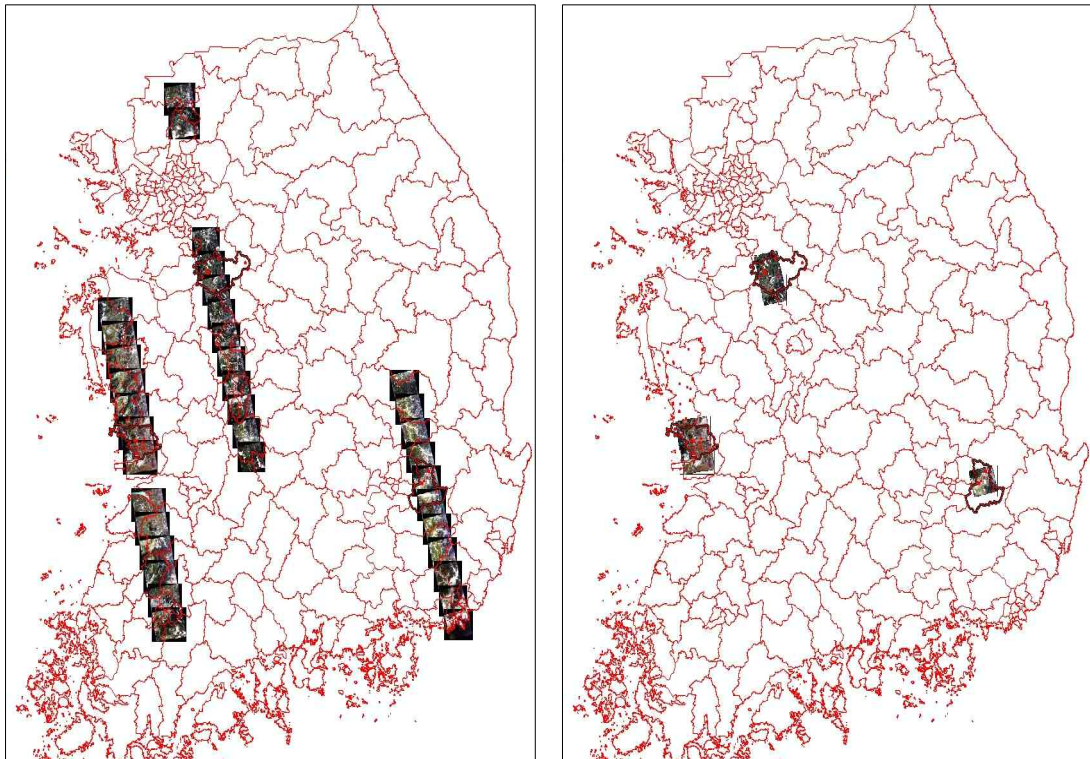
원격탐사기술을 활용한 주요 농산물 생산량 추정기법 개발

- 결과를 살펴보면, 대부분의 지역에서 모형예측의 결과가 예상량조사 결과에 비해 상향 추정되었으며 전국단위의 경우, 모형예측의 결과는 535 kg/10a, 예상량조사 결과는 532 kg/10a로 추정되어 3 kg/10a의 오차를 나타내었다.
- 오차가 가장 크게 추정된 지역은 경상남도 지역으로 모형예측의 결과가 19 kg/10a 작게 추정되었고, 예상량조사 결과와 가장 근접하게 추정된 지역은 충청북도 지역으로 모형예측의 결과가 1 kg/10a 작게 추정되었다.

2.5. 3개시군 시범사업 결과

2.5.1. KOMPSAT-2를 이용한 포구별 상관관계 검토

- 2010년을 기준으로 MODIS NDVI와 포구별 수량(kg/10a)과의 상관계수는 평균 0.005로 나타났다.
- 즉, 대상지역의 공간범위를 포구 및 필지 단위로 할 경우, 공간해상도의 차이로 인하여 MODIS 위성영상은 해당 지역의 대표성이 없는 것으로 확인되었다.
- 이에 따라 본 과업에서는 고해상도 위성영상인 KOMPSAT-2 위성영상을 적용하였다.
- KOMPSAT-2 위성영상은 공간해상도 4m의 고해상도 위성영상으로 포구단위의 공간분석에 유용할 것으로 판단된다.
- 그러나 KOMPSAT-2는 촬영범위가 작고 시간해상도가 낮아 1년간의 영상으로 우리나라 전역을 커버하는 것은 불가능하다.
- 따라서 <그림 2.5.1-1>과 같이 KOMPSAT-2 영상의 2010년 8월의 촬영현황을 입수하여 육안판독 한 후, 3개시군에 해당하는 영상을 선정하여 KOMPSAT-2의 NDVI와 포구별 수량(kg/10a)과의 상관분석을 실시하였다.
- 3개시군의 선정기준은 전국의 분포현황 및 영상자료의 수집 가능성, 도엽 내 포구 수 등을 고려하였으며, <표 2.5.1-1>과 같이 경기도 안성시, 충청남도 서천군, 경상북도 경산시의 3개 시군이 선정되었다.



<그림 2.5.1-1> 2010년 8월 KOMPSAT-2 영상수급상황(좌) 및 3개시군 대상지역(우)

<표 2.5.1-1> 선정된 3개시군의 2010년 8월 KOMPSAT-2 영상 현황

지역	촬영일	영상 No.	도엽 내 포구 수
경기 안성시	2010년 08월 05일	K2IP_100805_1082_1276 K2IP_100805_1082_1277	12
충남 서천군	2010년 08월 08일	K2IP_100808_1076_1269 K2IP_100808_1076_1270	19
경북 경산시	2010년 08월 20일	K2IP_100820_1092_1268	10

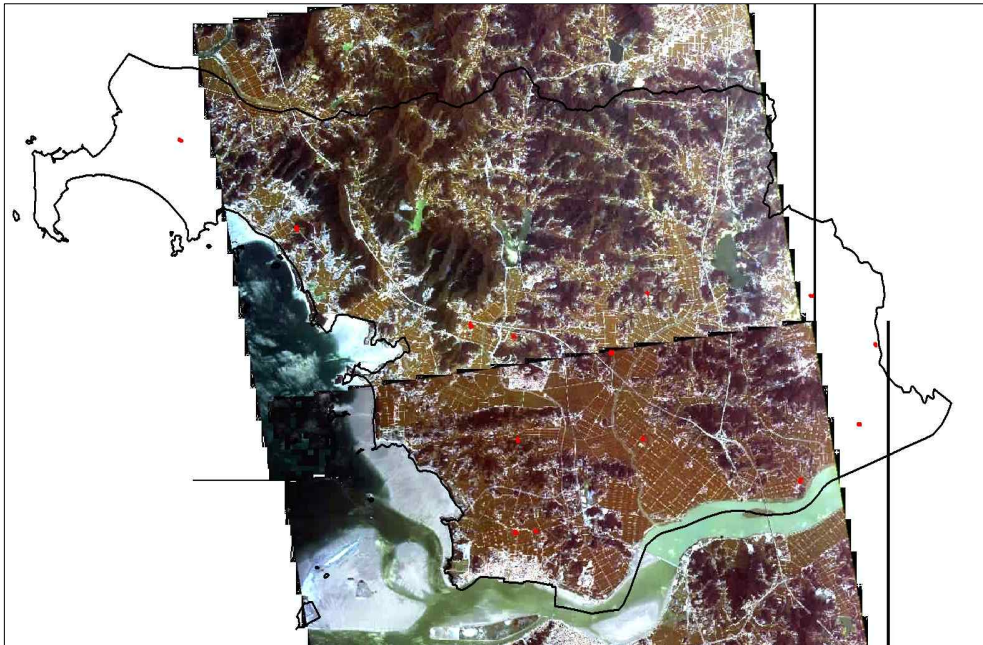
- 선정된 3개시군은 경기도 안성시, 충청남도 서천군, 경상북도 경산시로서 위치적으로 한반도에 적절히 분포되어 있어 시범사업에 적용하기 용이할 것으로 판단된다.

제 2 장 RS 기술을 활용한 논벼 생산량 추정모형 개발 및 시범사업

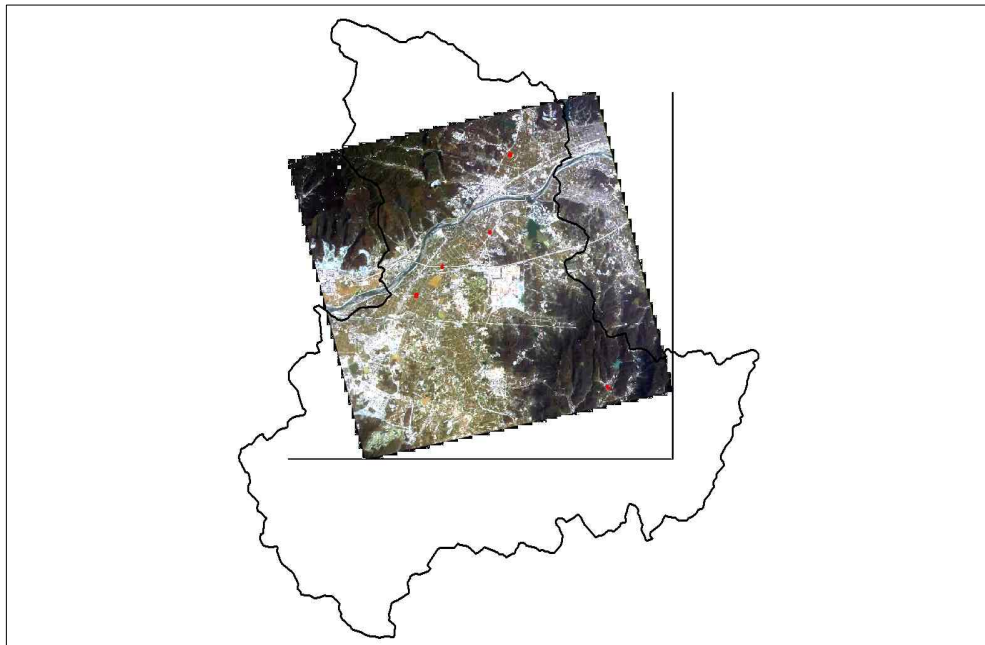
- 선정된 3개시군 및 KOMPSAT-2 위성영상은 <그림 2.5.1-2>~<그림 2.5.1-4>와 같다.



<그림 2.5.1-2> 경기도 안성시의 KOMPSAT-2 위성영상 현황

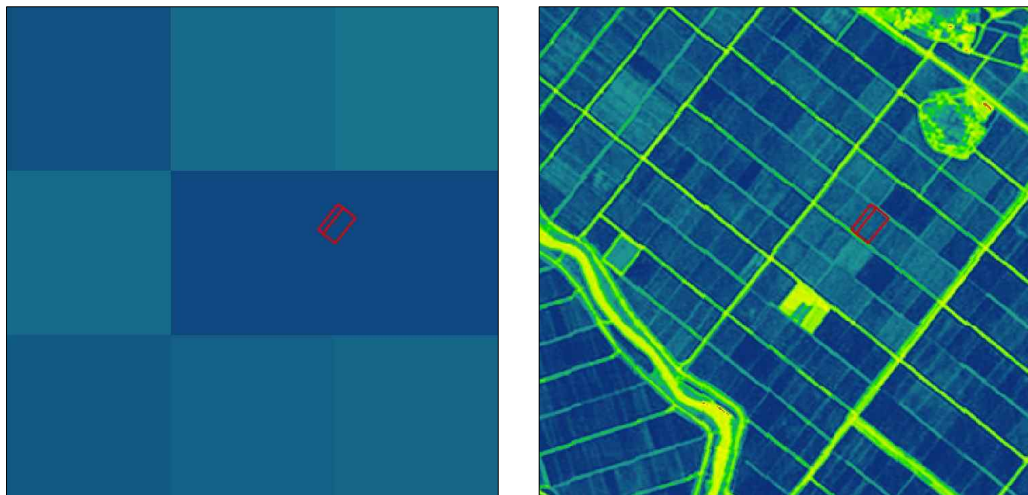


<그림 2.5.1-3> 충청남도 서천군의 KOMPSAT-2 위성영상 현황



<그림 2.5.1-4> 경상북도 경산시의 KOMPSAT-2 위성영상 현황

- <그림 2.5.1-5>는 MODIS 영상(공간해상도 250m) 및 KOMPSAT-2 영상(공간해상도 4m)과 포구의 공간해상도 차이를 비교한 그림이다.



<그림 2.6.1-5> MODIS(좌) 및 KOMPSAT-2(우)와 포구의 공간해상도 차이

- <그림 2.5.1-5>와 같이 공간해상도가 낮은 MODIS 위성영상의 경우, 하나의 픽셀에 많은 수의 포구와 포구 주위의 배수로 및 농로 등이 포함되어 특정

제 2 장 RS 기술을 활용한 논벼 생산량 추정모형 개발 및 시범사업

포구의 작황 상황을 파악하기에는 무리가 있다.

- 그러나 KOMPSAT-2의 경우, 필지의 경계가 뚜렷하게 구분되고 필지내 NDVI 분포양상 확인이 가능하여 필지 및 포구의 작황상황 파악이 가능할 것으로 판단된다.
- 따라서, <표 2.5.1-2>와 같이 KOMPSAT-2 위성영상의 NDVI와 포구별 수량(kg/10a)과의 상관분석을 실시하여 그 결과를 MODIS 위성영상의 상관분석 결과와 비교하였다.

<표 2.5.1-2> MODIS와 KOMPSAT-2 NDVI의 포구별 수량과의 상관분석 결과 비교

시군	MODIS	KOMPSAT-2	비교
	A	B	B-A
경기 안성시	-0.0401	0.4706	0.5107
충남 서천군	-0.0739	0.3019	0.3758
경북 경산시	0.1845	0.6332	0.4487

- 그 결과, 3개시군을 대상으로 KOMPSAT-2 위성영상의 NDVI와 포구별 수량(kg/10a)과의 상관계수는 각각 0.4706, 0.3019, 0.6332로 나타나 NDVI와 포구별 수량과의 상관관계가 확인되었다.

2.5.2. MODIS를 이용한 논벼의 생산량 추정

- 본 장에서는 앞 절에서 작성된 도단위별 회귀모형의 시군별 적용성 평가를 위해 MODIS NDVI를 이용하여 3개시군을 대상으로 회귀모형에 시범 적용하였다.
- 그러나 과업기간을 고려해 볼 때, 2011년의 시군별 생산량 발표는 12월에 잠정 집계되기 때문에 발표자료와의 비교는 불가능하다.
- 물론 2011년의 예상량 자료가 10월에 발표되기는 하나, 2011년 논벼 예상량 조사 결과는 도단위를 기준으로 발표되기 때문에 시군별 생산량 추정량과의 비교 역시 불가능하다.
- 따라서 2010년의 생산량을 추정하여 2010년 논벼 생산량조사 발표치를 비교하였다.
- 3개시군을 대상으로 추정계수 및 2010년 추정결과는 <표 2.5.2-1>과 같다.

<표 2.5.2-1> MODIS 이용 추정계수 및 2010년 추정결과(2001~2010년 자료 이용)

		절편	NDVI	평균온도	일교차	누적 강우량	누적 일조시간	10a당 수량	예측 신뢰구간
경기 안성시	추정계수	752.3988	438.0806**	-22.4157***				467	421 ~512
	독립변수		0.6550	25.55	6.52	436.10	120.30		
충남 서천군	추정계수	488.7248	666.1205**	-15.6226**				590	551 ~629
	독립변수		0.7114	23.83	6.29	35.90	47.10		
경북 경산시	추정계수	-82.1858	61.2906	26.6665**		-0.1634	0.5090*	505	415 ~596
	독립변수		0.7097	21.33	11.17	184.00	10.01		

*.p<0.10 **p<0.05 ***p<0.01

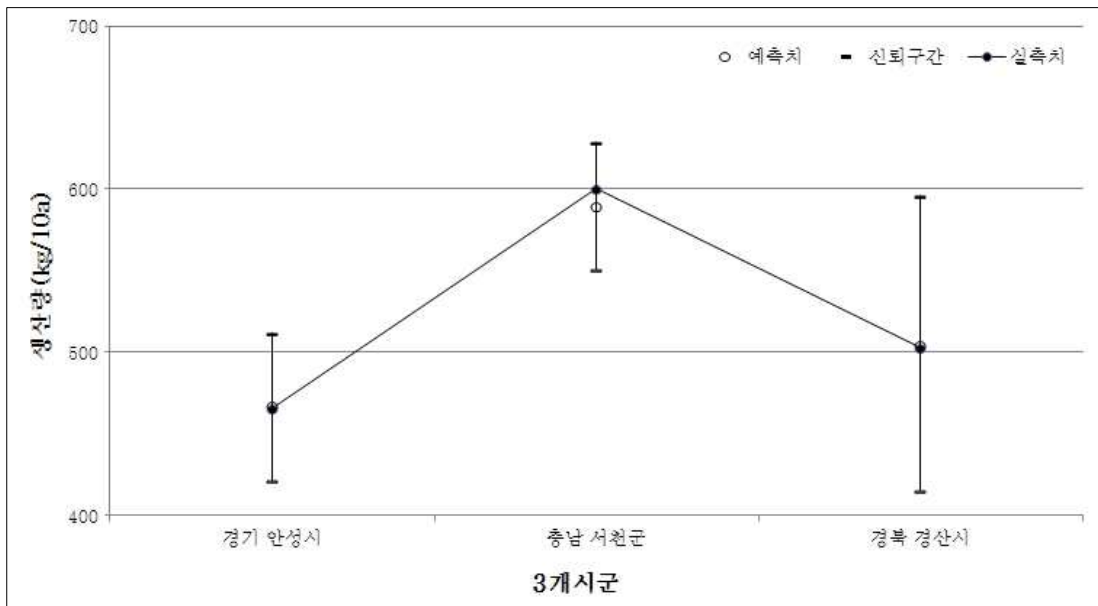
제 2 장 RS 기술을 활용한 논벼 생산량 추정모형 개발 및 시범사업

- 2001년부터 2010년까지의 자료를 이용하여 작성한 모형으로 추정한 2010년의 시군별 추정량은 경기 안성시 467 kg/10a, 충남 서천군 590 kg/10a, 경북 경산시 505 kg/10a 로 나타났다.
- 또한, <표 2.5.2-1>을 이용하여 추정한 2010년도 논벼 생산량 추정결과와 생산량조사 결과를 비교하면 <표 2.5.2-2> 및 <그림 2.5.2-1>과 같다.

<표 2.5.2-2> MODIS 이용 2010년 추정결과 비교(2001~2010년 자료 이용)

	생산량 조사	모형예측		오차	
	10a당 수량 (A)	10a당 수량 (B)	예측신뢰구간	A-B	%
경기 안성시	466	467	421~512	-1	-0.2
충남 서천군	600	590	551~629	10	+1.7
경북 경산시	503	505	415~596	-2	-0.4

※ (A)는 현미 기준의 2010년 논벼 생산량조사 발표치 수량임



<그림 2.5.2-1> MODIS 이용 2010년 추정결과 비교(2001~2010년 자료 이용)

- 모형으로부터 추정된 2010년의 추정량과 2010년 생산량조사 결과를 비교하면 생산량조사 결과를 기준으로 경기 안성시와 경북 경산시에서 각각 1 kg/10a, 2 kg/10a 과대추정 되었으며, 충남 서천군에서는 10 kg/10a 과소추정 되었다.
- 즉, 3개시군을 대상으로 시범적용 결과 경기 안성시와 경상북도 경산시의 경우에는 생산량 발표치와 거의 근접한 결과로 추정되었으나, 충청남도 서천군은 오차가 크게 나타났다.
- 그러나, 이와 같은 결과는 <표 2.5.1-2>의 도단위 추정결과의 오차보다는 근접한 결과이다.
- 특히, 충남 서천군의 경우에는 도단위 추정결과와 시군단위 추정결과 모두 오차가 크게 나타났다.
- 한편, 2010년까지의 자료를 이용하여 작성한 모형으로 2010년의 생산량을 추정하는 것은 무리가 있을 것으로 판단된다.
- 따라서 2001년에서 2009년까지의 자료를 적용하여 위의 방법과 동일한 방법으로 3개 시군의 모형을 작성하여 결과를 비교하였다.
- 2001년에서 2009년까지의 자료를 적용하여 추정된 계수와 2010년의 추정결과는 <표 2.5.2-3>과 같다.

제 2 장 RS 기술을 활용한 논벼 생산량 추정모형 개발 및 시범사업

<표 2.5.2-3> MODIS 이용 추정계수 및 2010년 추정결과(2001~2009년 자료 이용)

		절편	NDVI	평균온도	일교차	누적 강우량	누적 일조시간	10a당 수량	예측 신뢰구간
경기 안성시	추정계수	644.2250	401.5359*	-16.6434				482	393 ~571
	독립변수		0.6550	25.55	6.52	436.10	120.30		
충남 서천군	추정계수	489.9246	668.5413**	-15.7440*				590	543 ~637
	독립변수		0.7114	23.83	6.29	35.90	47.10		
경북 경산시	추정계수	-166.7026	50.4730	30.8245**		-0.1530	0.5649*	504	403 ~605
	독립변수		0.7097	21.33	11.17	184.00	10.01		

* $p < 0.10$ ** $p < 0.05$ *** $p < 0.01$

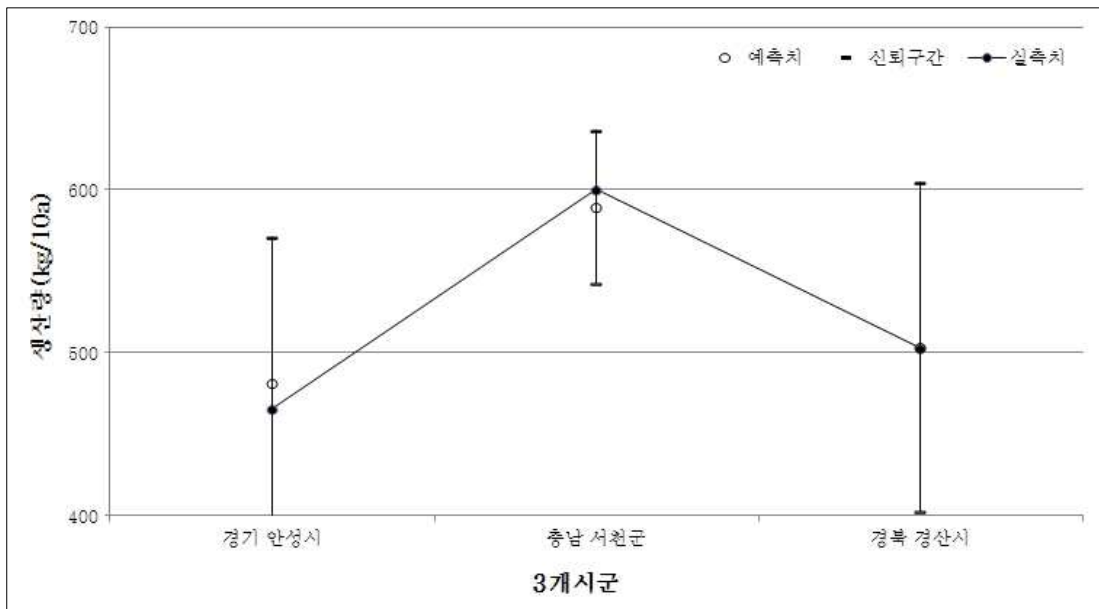
○ 2001년부터 2009년까지의 자료를 이용하여 작성한 모형으로 추정된 2010년의 시군별 추정량은 경기 안성시 482 kg/10a, 충남 서천군 590 kg/10a, 경북 경산시 504 kg/10a 로 나타났다.

○ 또한, <표 2.5.2-3>을 이용하여 추정된 2010년도 논벼 생산량 추정결과와 생산량조사 결과를 비교하면 <표 2.5.2-4> 및 <그림 2.5.2-2>와 같다.

<표 2.5.2-4> MODIS 이용 2010년 추정결과 비교(2001~2009년 자료 이용)

	생산량 조사	모형예측		오차	
	10a당 수량 (A)	10a당 수량 (B)	예측신뢰구간	A-B	%
경기 안성시	466	482	393~571	-16	-3.4
충남 서천군	600	590	543~637	10	+1.7
경북 경산시	503	504	403~605	-1	-0.2

※ (A)는 현미 기준의 2010년 논벼 생산량조사 발표치 수량임



<그림 2.5.2-2> MODIS 이용 2010년 추정결과 비교(2001~2009년 자료 이용)

- 2001년부터 2009년까지의 자료를 이용하여 작성한 모형으로부터 추정된 2010년의 추정량과 2010년 생산량조사 결과를 비교하면 생산량조사 결과를 기준으로 경기 안성시와 경북 경산시에서 각각 16 kg/10a, 1 kg/10a 과대추정 되었으며, 충남 서천군에서는 10 kg/10a 과소추정 되었다.
- 이와 같이, 2009년까지의 자료를 적용하여 작성한 모형은 2010년까지의 모형과 유사한 결과를 나타냈으며, 독립변수도 앞의 모형과 동일하게 선택되었다.
- 따라서, 2009년까지의 자료를 이용하여 작성된 모형을 통해 2010년 생산량을 추정하고 비교분석한 결과, 2010년까지의 자료를 이용하여 작성한 모형과 유사하게 나타나 모형예측이 유의한 결과를 나타내고 있음이 확인되었다.

2.5.3. KOMPSAT-2를 이용한 논벼의 생산량 추정

- 본 장에서는 KOMPSAT-2 위성영상에서 추출한 NDVI를 이용하여 도단위별 회귀모형에 3개시군을 대상으로 시범적용하였다.
- 물론 2010년 생산량 추정은 MODIS NDVI를 이용하여 작성한 모형에 적용한 결과이므로 KOMPSAT-2 NDVI를 바로 적용하기에는 무리가 있다.
- 그러나 본 과업에서 작성된 모형에 KOMPSAT-2 위성영상의 적용성을 판단하기 위한 방안으로 MODIS의 NDVI를 이용하여 추정한 2010년 생산량의 오차와 KOMPSAT-2의 NDVI를 이용하여 추정한 2010년 생산량의 오차를 비교하였다.
- 3개시군을 대상으로 2001년에서 2010년까지의 자료를 적용하여 작성한 모형에 KOMPSAT-2 위성영상을 이용하여 추정한 2010년 논벼 생산량 결과는 <표 2.5.3-1>과 같다.

<표 2.5.3-1> KOMPSAT-2 이용 추정계수 및 2010년 추정결과(2001~2010년 자료 이용)

		절편	NDVI	평균온도	일교차	누적강우량	누적일조시간	10a당수량	예측신뢰구간
경기 안성시	추정계수	752.3988	438.0806**	-22.4157***				462	417 ~508
	독립변수		0.6449	25.55	6.52	436.10	120.30		
충남 서천군	추정계수	488.7248	666.1205**	-15.6226**				566	526 ~607
	독립변수		0.6750	23.83	6.29	35.90	47.10		
경북 경산시	추정계수	-82.1858	61.2906	26.6665**		-0.1634	0.5090*	498	411 ~586
	독립변수		0.5983	21.33	11.17	184.00	10.01		

*,p<0.10 **p<0.05 ***p<0.01

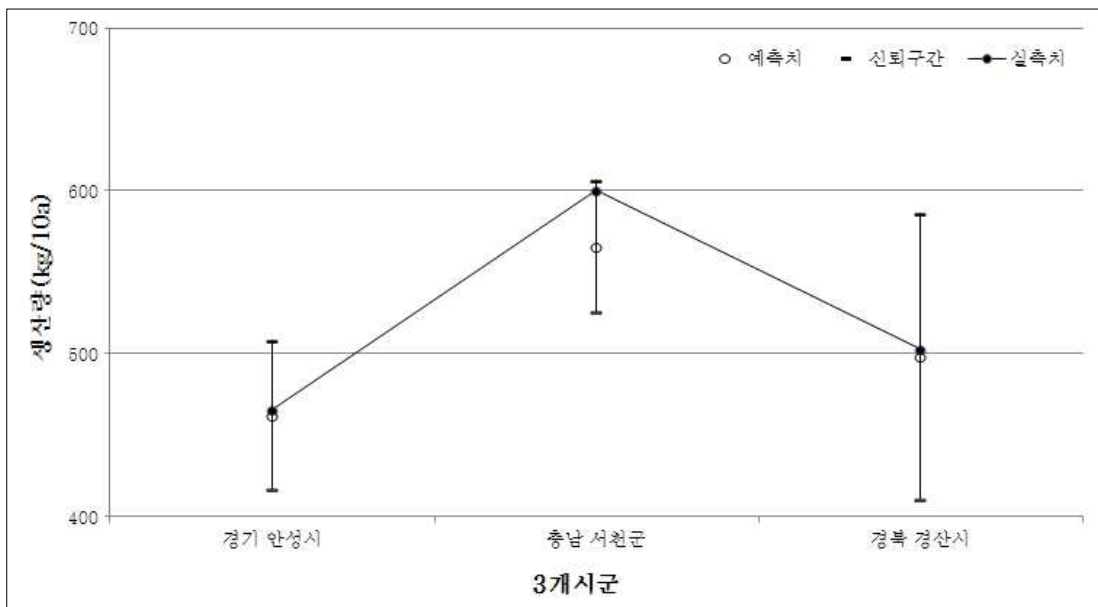
원격탐사기술을 활용한 주요 농산물 생산량 추정기법 개발

- 2001년부터 2010년까지의 자료를 이용하여 작성한 모형에 KOMPSAT-2 위성영상을 적용하여 추정한 2010년의 시군별 추정량은 경기 안성시 462 kg/10a, 충남 서천군 566 kg/10a, 경북 경산시 498 kg/10a 으로 나타났다.
- 또한, <표 2.5.3-1>을 이용하여 추정한 2010년도 논벼 생산량 추정결과와 생산량조사 결과를 비교하면 <표 2.5.3-2> 및 <그림 2.5.3-1>과 같다.

<표 2.5.3-2> KOMPSAT-2 이용 2010년 추정결과 비교(2001~2010년 자료 이용)

	생산량 조사	모형예측		오차	
	10a당 수량 (A)	10a당 수량 (B)	예측신뢰구간	A-B	%
경기 안성시	466	462	417~508	4	+0.9
충남 서천군	600	566	526~607	34	+6.0
경북 경산시	503	498	411~586	5	+1.0

※ (A)는 현미 기준의 2010년 논벼 생산량조사 발표치 수량임



<그림 2.5.3-1> KOMPSAT-2 이용 2010년 추정결과 비교(2001~2010년 자료 이용)

제 2 장 RS 기술을 활용한 논벼 생산량 추정모형 개발 및 시범사업

- 2001년부터 2010년까지의 자료를 이용하여 작성한 모형에 KOMPSAT-2를 적용하여 추정된 2010년의 추정량과 2010년 생산량조사 결과를 비교하면 생산량조사 결과를 기준으로 경기 안성시에서 4 kg/10a, 충남 서천군에서 34 kg/10a, 경북 경산시에서 5 kg/10a 과소추정 되었다.
- 이와 같이 KOMPSAT-2를 이용하여 시범적용 결과, MODIS 이용시와 마찬가지로 경기도 안성시와 경상북도 경산시에서 생산량 발표치와 거의 근접한 결과로 추정되었으나, 충청남도 서천군은 오차가 크게 나타났다.
- 또한, 2001년에서 2009년까지의 자료를 적용하여 작성한 모형에 KOMPSAT-2 위성영상을 이용하여 추정한 2010년 논벼 생산량 결과는 <표 2.5.2-3>와 같다.

<표 2.5.3-3> KOMPSAT-2 이용 추정계수 및 2010년 추정결과(2001~2009년 자료 이용)

		절편	NDVI	평균온도	일교차	누적 강우량	누적 일조시간	10a당 수량	예측 신뢰구간
경기 안성시	추정계수	644.2250	401.5359*	-16.6434				478	388 ~568
	독립변수		0.6449	25.55	6.52	436.10	120.30		
충남 서천군	추정계수	489.9246	668.5413**	-15.7440*				566	516 ~615
	독립변수		0.6750	23.83	6.29	35.90	47.10		
경북 경산시	추정계수	-166.7026	50.4730	30.8245**		-0.1530	0.5649*	498	401 ~596
	독립변수		0.5983	21.33	11.17	184.00	10.01		

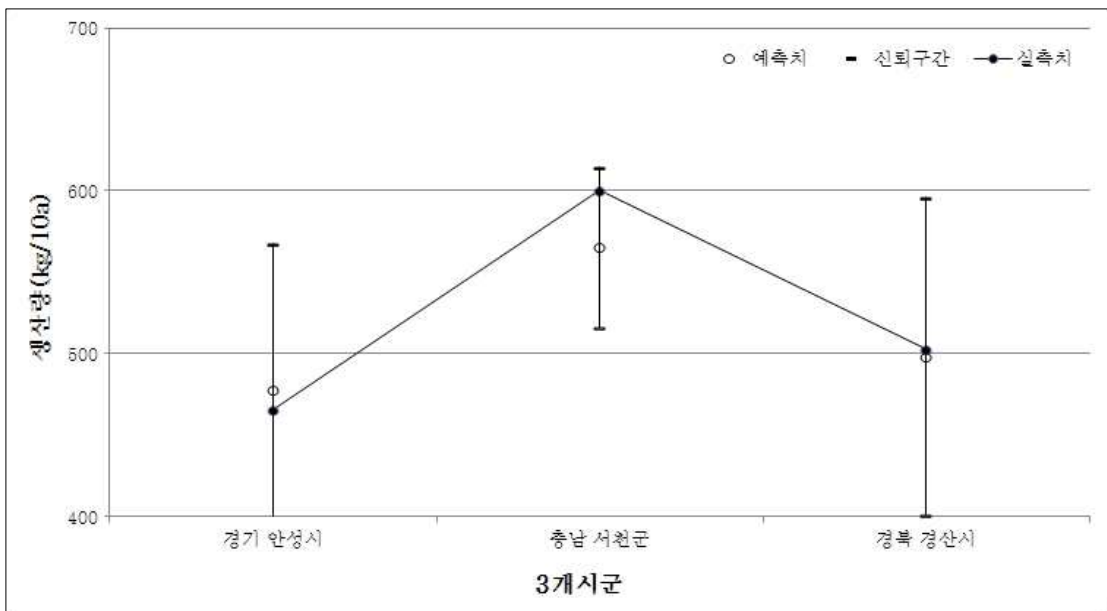
*.p<0.10 **p<0.05 ***p<0.01

- 2001년부터 2009년까지의 자료를 이용하여 작성한 모형에 KOMPSAT-2 위성영상을 적용하여 추정한 2010년의 시군별 추정량은 경기 안성시 478 kg/10a, 충남 서천군 566 kg/10a, 경북 경산시 498 kg/10a 으로 나타났다.
- <표 2.5.3-3>을 이용하여 추정한 2010년도 논벼 생산량 추정결과와 생산량조사 결과를 비교하면 <표 2.5.3-4> 및 <그림 2.5.3-2>와 같다.

<표 2.5.3-4> KOMPSAT-2 이용 2010년 추정결과 비교(2001~2009년 자료 이용)

	생산량 조사	모형예측		오차	
	10a당 수량 (A)	10a당 수량 (B)	예측신뢰구간	A-B	%
경기 안성시	466	478	388~568	-12	-2.5
충남 서천군	600	566	516~615	34	+6.0
경북 경산시	503	498	401~596	5	+1.0

※ (A)는 현미 기준의 2010년 논벼 생산량조사 발표치 수량임



<그림 2.5.3-2> KOMPSAT-2 이용 2010년 추정결과 비교(2001~2009년 자료 이용)

- 2001년부터 2009년까지의 자료를 이용하여 작성한 모형에 KOMPSAT-2를 적용하여 추정된 2010년의 추정량과 2010년 생산량조사 결과를 비교하면 생산량조사 결과를 기준으로 경기 안성시에서 12 kg/10a 과대추정 된 반면, 충남 서천군과 경북 경산시에서는 각각 34 kg/10a, 5 kg/10a 과소추정 되었다.
- 이상의 결과를 종합하여 영상별 생산량 추정결과를 비교하여 정리하면 <표 2.5.3-5> 및 <표 2.5.3-6>과 같다.

제 2 장 RS 기술을 활용한 논벼 생산량 추정모형 개발 및 시범사업

<표 2.5.3-5> 2010년 3개시군 적용결과 및 비교(2001~2010년 자료 이용)

	생산량 조사	MODIS		KOMPSAT-2	
	10a당 수량 (A)	10a당 수량 (B) (예측신뢰구간)	A-B (%)	10a당 수량 (C) (예측신뢰구간)	A-C (%)
경기 안성시	466	467 (421~512)	-1 (-0.2)	462 (417~508)	4 (+0.9)
충남 서천군	600	590 (551~629)	10 (+1.7)	566 (526~607)	34 (+6.0)
경북 경산시	503	505 (411~596)	-2 (-0.4)	498 (411~586)	5 (+1.0)

<표 2.5.3-6> 2010년 3개시군 적용결과 및 비교(2001~2009년 자료 이용)

	생산량 조사	MODIS		KOMPSAT-2	
	10a당 수량 (A)	10a당 수량 (B) (예측신뢰구간)	A-B (%)	10a당 수량 (C) (예측신뢰구간)	A-C (%)
경기 안성시	466	482 (393~571)	-16 (-3.4)	478 (388~568)	-12 (-2.5)
충남 서천군	600	590 (543~637)	10 (+1.7)	566 (516~615)	34 (+6.0)
경북 경산시	503	504 (403~605)	-1 (-0.2)	498 (401~596)	5 (+1.0)

- 이와 같이, KOMPSAT-2를 이용하여 추정한 2010년 생산량과 MODIS를 이용하여 추정한 생산량의 경향이 유사하게 나타난 것을 확인할 수 있다.
- 따라서, 추후 KOMPSAT-2의 시계열 자료를 확보하여 KOMPSAT-2의 NDVI를 적용한 모형을 개발하면 필지별 생산량의 추정이 가능할 것으로 판단된다.

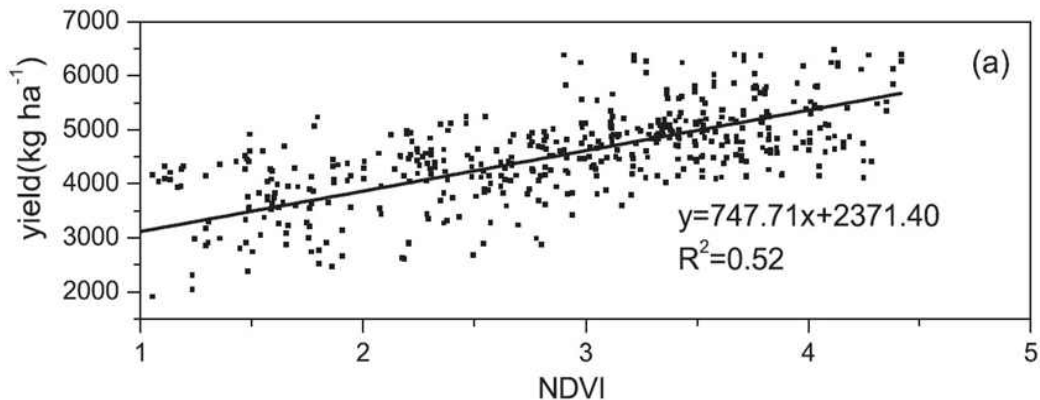
제 3 장 주요 발작물에 대한 생산량 추정방안 연구

3.1. 선행 연구 현황

3.1.1. 생산량과 식생지수의 관계

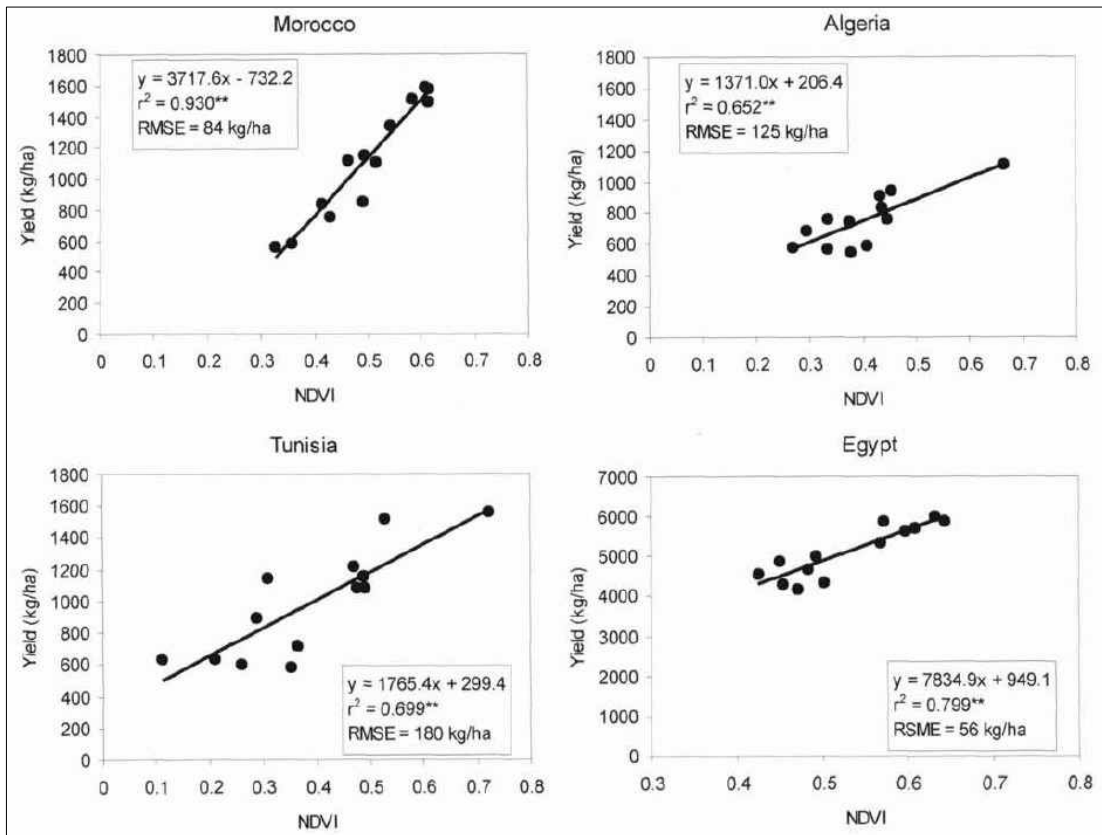
- 발작물을 대상으로 생산량과 식생지수의 관계에 대한 선행연구를 정리하면 다음과 같다.
- Wiegand 등(1979)과 Tucker 등(1980)은 분광 스펙트럼 복사계를 사용하여 현장 측정을 실시하여 NDVI와 작물 생산량 사이의 관계를 규명하였다. 그 결과, 식생 활력도(Greenness)가 높을 때 NDVI와 생산량과의 상관성이 매우 높다고 하였다.
- 또한, Wiegand 등(1986, 1990)은 토양 특성과 일 기상 데이터를 이용하여 생산량 예측에 관한 연구를 진행한 결과, 농업 기상 모델은 생산량 모델링에 유용한 결과를 제공하나, 토양 특성 및 영양 수준, 질병, 제초제 사용, 작물 형태 및 작물의 다양성 등 농작물 성장을 결정하는 요소의 공간적 차이 때문에 지역적인 스케일로 적용성이 제한된다고 보고하였다.
- Rasmussen (1992)는 아프리카의 Burkina Faso 지역의 34개의 AVHRR NDVI 데이터를 사용하여 수수의 생산량을 예측하였으며, NDVI와 생산량과의 회귀분석 결과, 작물의 성장단계에서 높은 상관성이 있다고 하였다.
- Potdar 등(1993, 1999)은 인도의 수수 생산량을 14개의 AVHRR NDVI 데이터를 사용하여 NDVI와 생산량과의 상관관계를 규명하였고, Rudorff 등(1991)은 NDVI 데이터를 입력 자료로 하는 농업기상 모델을 이용하여 브라질의 밀 생산량을 추정하였다.

- Hayes (1996)는 미국의 옥수수 생산량을 예측하는 연구에서 AVHRR NDVI 데이터는 생산량의 50% 이상 설명력이 있다고 하였다.
- Zhang 등(1998)은 Iowa주의 옥수수와 콩을 대상으로 항공사진(ADAR 5500 4-band digital camera)과 현장자료를 이용하여 생산량 추정한 결과, 항공사진의 NDVI는 옥수수와 콩의 생산량과 관계가 70% 이상의 설명력이 있었으며, 6월과 7월 항공사진에서 높은 상관성이 나타난다고 하였다.
- Shi와 Xingguo(2011)은 MODIS의 누적 NDVI를 이용하여 밀의 생산량 예측하는 연구를 진행한 결과, <그림 3.1.1-1>과 같이 누적 NDVI는 밀의 생산량과 높은 상관관계 ($R^2 = 0.52$)가 있다고 규명하였다.



<그림 3.1.1-1> 중국 밀의 누적 NDVI와 생산량과의 상관관계

- Maselli과 Rembold (2001)은 북아프리카의 4개의 지역에 대해서 NDVI와 FAO (Food and Agriculture Organization)의 생산량 데이터를 이용하여 상관관계를 연구한 결과, 1982년부터 1994년까지 MVC 방법으로 보정된 AVHRR NDVI는 생산량과의 높은 상관관계($R^2 = 0.652 \sim 0.930$)가 있다고 보고하였다.

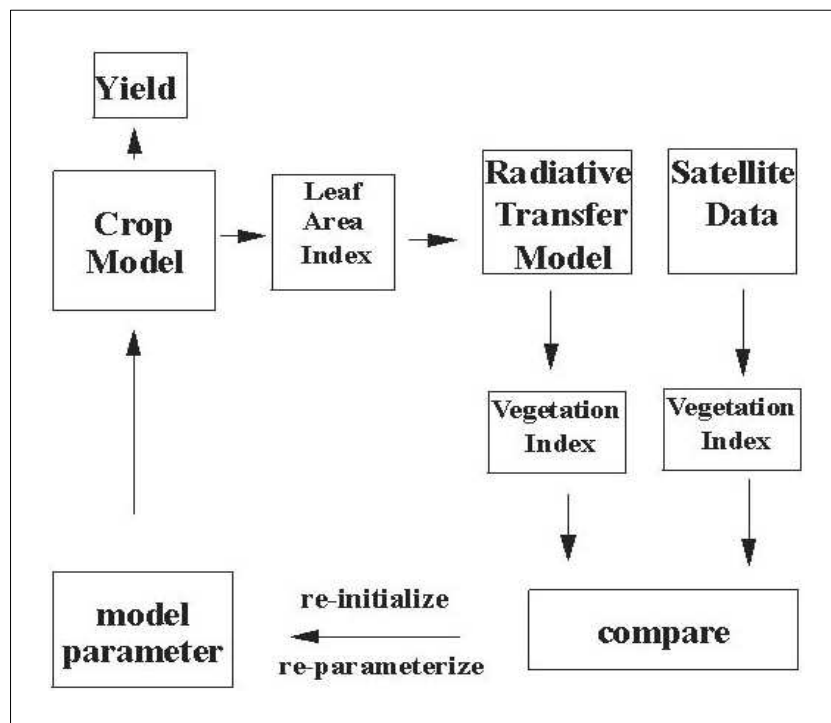


<그림 3.1.1-2> NDVI와 생산량과의 상관관계

- 이와 같이 선행연구 결과를 종합한 결과, 발작물의 생산량과 NDVI는 정의 상관관계가 있다고 규명되어 왔으며, 이를 통해 발작물의 생산량을 예측하는데 NDVI가 중요한 인자로 보고되고 있다.

3.1.2. 생산량 모델

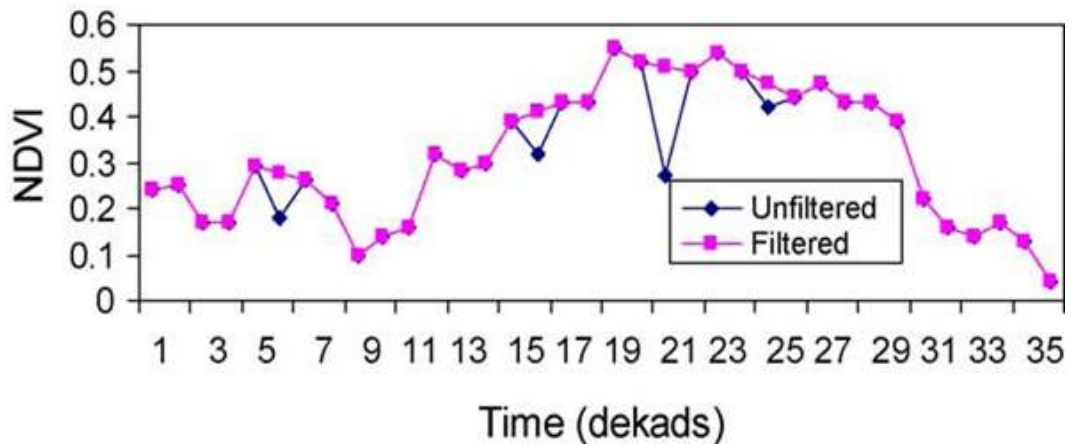
- 발작물의 생장 및 생산량 예측과 관련된 모델을 정리하면 다음과 같다.
- Boken과 Shaykewich(2002)은 기상조건을 고려하여 누적수분지수(CMI; Cumulative Moisture Index)와 NDVI를 인자로 하는 밀 생산량 예측식을 제시하였다. 이 생산량 예측식은 1987년부터 1996년까지의 AVHRR 위성영상의 5월부터 8월까지의 평균 NDVI 값을 적용하였으며, 5개의 지역의 생산량 예측에서 결정계수 $R^2 = 0.36 \sim 0.96$ 으로 보고되었다.
- Doraiswamy 등(2003)과 Moriondo 등(2007)은 많은 입력 자료 없이 위성영상의 식생지수를 기본으로 하는 생산량 예측 모델을 제시하였다. 그러나 이 모델들은 일정지역에 한정되어 있으며 다른 지역으로 적용이 제한되었다.



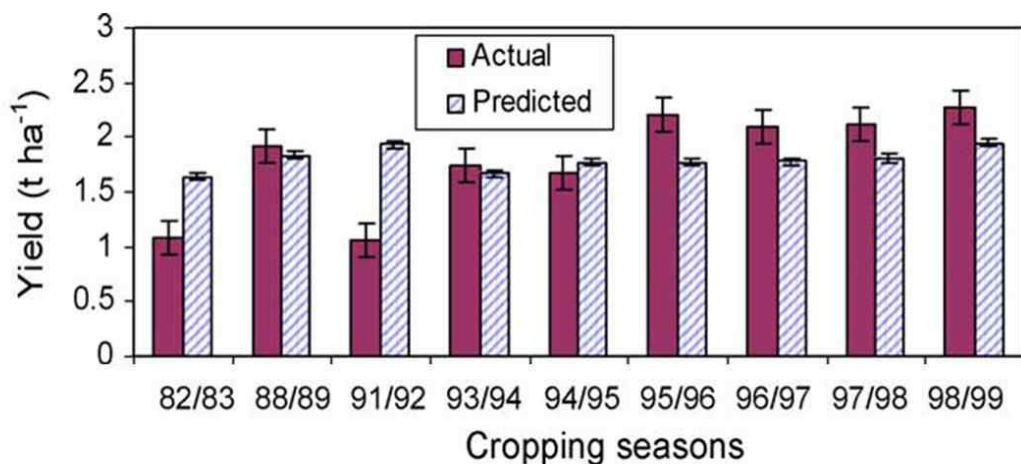
<그림 3.1.2-1> Doraiswamy(2003)의 수확량 추정 모식도

제 3 장 주요 발작물에 대한 생산량 추정방안 연구

- Doraiswamy 등(2003)은 미국의 North Dakota 지역의 봄밀 수확량을 계산에 위성영상 데이터를 입력 데이터로 사용하는 작물 생육 모델을 개발하였다.
- Mkhabela 등(2005)은 스와질란드의 농업환경이 다른 4개 지역에 대하여 옥수수 생산량 예측식을 제시하였다. 이 예측식은 AVHRR 위성영상을 이용하여 NDVI를 산출하고, 구름 등의 영향이 있는 NDVI는 CTI(Conditional Temporal Interpolation) 필터링 기법으로 보정하여 지역별로 적합한 누적 NDVI를 이용하여 생산량을 예측하였다.

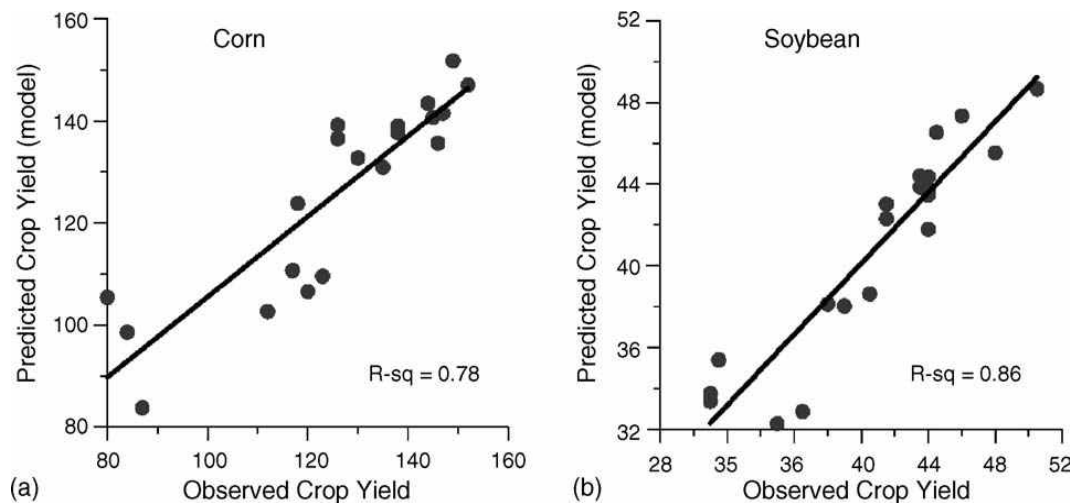


<그림 3.1.2-2> CTI 필터링 기법을 이용한 NDVI 보정; Mkhabela 등(2005)



<그림 3.1.2-3> 스와질란드 옥수수 생산량 예측; Mkhabela 등(2005)

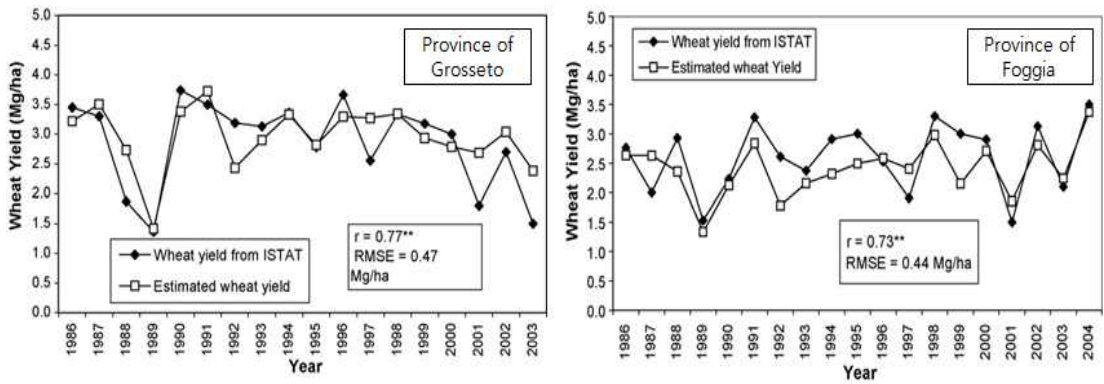
- Kastens 등(2005)은 마스크링 기법을 이용하여 미국의 Iowa, North Dakota, Illinois 및 Kansas 지역의 작물 생육 지역을 추출한 후 옥수수, 콩, 겨울밀, 수수, 보리 생산량을 예측하는데 1989년부터 2000년까지의 시계열 AVHRR NDVI 데이터를 이용하였다. 그 결과, Iowa 지역의 콩의 경우는 $R^2 = 0.81 \sim 0.90$ 으로 높은 상관관계를 나타냈으며, 옥수수는 $R^2 = 0.70 \sim 0.77$ 의 상관관계가 있다고 하였다.
- Prasad 등(2006)은 미국 Iowa주의 옥수수와 콩을 대상으로 NDVI, 토양수분, 지표면온도, 강수량을 인자로 하는 생산량 예측식을 제안하였다. 예측식은 예측량과 평균 수확량의 조건에 따라 계수를 적용하였으며, 옥수수($R^2 = 0.78$), 콩($R^2 = 0.86$)의 경우 높은 상관관계가 있다고 보고하였다.



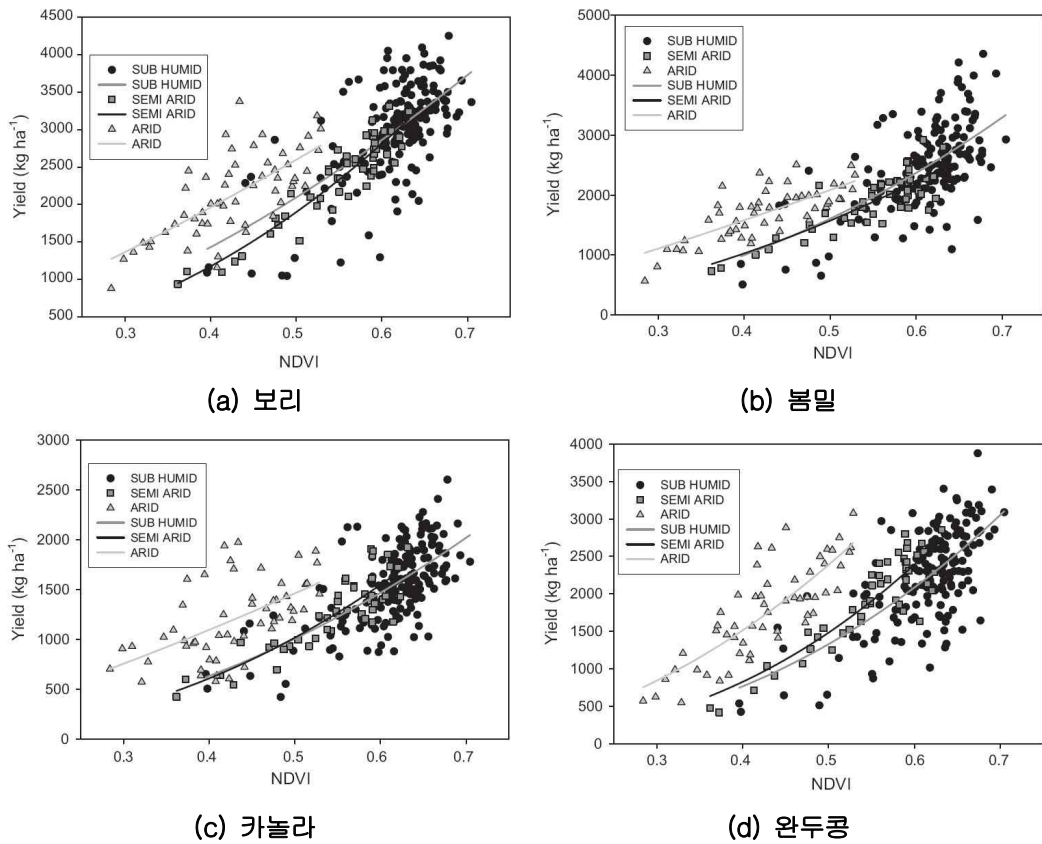
<그림 3.1.2-4> Iowa주의 옥수수와 콩의 생산량 예측; Prasad 등(2006)

- Moriondo 등(2007)은 MVC 방법으로 10일 합성 AVHRR NDVI 데이터를 보정하여 밀의 개화기부터 성숙기까지의 평균 NDVI와 출화기부터 개화기까지의 평균 NDVI, 수확지수(HI; Harvest Index)를 산출하였다. 이를 이용하여 이탈리아 2개 지역의 밀의 생산량 모델을 개발한 결과, $R^2 = 0.73 \sim 0.77$ 로 비교적 정확하게 생산량을 예측하였다.

제 3 장 주요 발작물에 대한 생산량 추정방안 연구



<그림 3.1.2-5> 이탈리아 지역의 밀 생산량 예측; Moriondo 등(2007)



<그림 3.1.2-6> 캐나다 작물별 회귀모델; Mkhabela 등(2011)

○ Ren 등(2008)은 MVC(Maximum Composite Procedure) 방법으로 10일 합성 MODIS NDVI 데이터를 보정하여 중국 11개 지역의 겨울밀 생산량과 회귀 분석 실시하였다. 그 결과, 3월 중순부터 5월 하순까지 순별 상관관계는 R^2

= 0.61~0.88로 나타났으며, 4월 중순의 NDVI 데이터와 가장 높은 상관관계 ($R^2 = 0.88$)가 있다고 하였다. 또한, 2005년과 2006년 겨울밀의 생산량 예측 오차는 $\pm 5.4\%$ 이내로 예측하였다.

- Mkhabela 등(2011)은 MODIS NDVI 데이터를 이용하여 캐나다 지역의 보리, 카놀라, 완두콩, 봄밀에 대하여 생산량과 회귀분석을 실시하였다. 생산량 모델은 3개의 기후지역(sub humid, semi arid, arid)으로 나누어 각 작물별로 회귀 모델을 제안하였다. 특히, semi arid 기후지역은 4개의 작물에 대하여 결정계수가 $R^2 = 0.80\sim 0.90$ 으로 높게 나타났으나, arid 기후지역은 $R^2 = 0.32\sim 0.71$ 로 상대적으로 낮게 나타났다.
- 그 외 밭작물을 대상으로 생산량과 관련된 연구 현황을 정리한 결과는 <표 3.1.2-1> 및 <표 3.1.2-2>와 같다.

제 3 장 주요 발작물에 대한 생산량 추정방안 연구

<표 3.1.2-1> 발작물 생산량 관련 연구

연도	저자	주요 방법
1979	Wiegand	NDVI와 생산량 상관관계
1980	Tucker	Greenness가 높을 때 생산량과 상관관계 높음
1986	Malingreau	최대 NDVI는 동아시아 지역의 가뭄에 민감
1992	Rasmussen	생육기간의 NDVI 통합
1993	Groten	마지막 계절(9월) NDVI
1993	Beneddetti & Rossini	등숙기 기간의 NDVI 총합 사용
1995	Doraiswamy & Cook	등숙기 기간의 누적 NDVI 사용하여 봄밀 생산량 예측
1996	Hayes & Decker	Post-NDVI 사용
1998	Hochheim & Barber	최대 NDVI 이후 3주 평균 누적 NDVI 사용
1998	Unganai & Kogan	온도와 NDVI 이용 생산량 추정
1998	Lewis	연간 최대 NDVI 사용
1998	Fuller	마지막 계절(9월) NDVI
1998	Zhang	항공사진 NDVI와 생산량과의 상관관계
2000	Meselli	8월 중순부터 9월 중순까지 최대 NDVI와 상관관계
2001	Genovese	개화기부터 성숙기 동안 NDVI 합산치 최대 NDVI 이후 60일 동안 NDVI 합산치
2002	Labus	4월부터 8월까지 NDVI 통합
2005	Mkhabela	2월부터 3월까지 20일 평균 NDVI
2005	Freund	최대 NDVI와 과거 최대 NDVI 차이 이용
2006	Prasad	NDVI, 토양수분, 지표면온도, 강수량 이용
2007	Rojas	최대 NDVI 전후하여 30일 동안 평균 NDVI 사용
2007	Moriondo	개화기부터 성숙기까지 NDVI와 수확지수(HI) 사용
2008	Ren	MVC 방법으로 MODIS NDVI 보정
2011	Shi & Xingguo	누적 NDVI와 생산량과의 상관관계
2011	Mkhabela	기후별 구역을 나누어 작물별 NDVI와 회귀분석

<표 3.1.2-2> 발작물 생산량 관련 모델

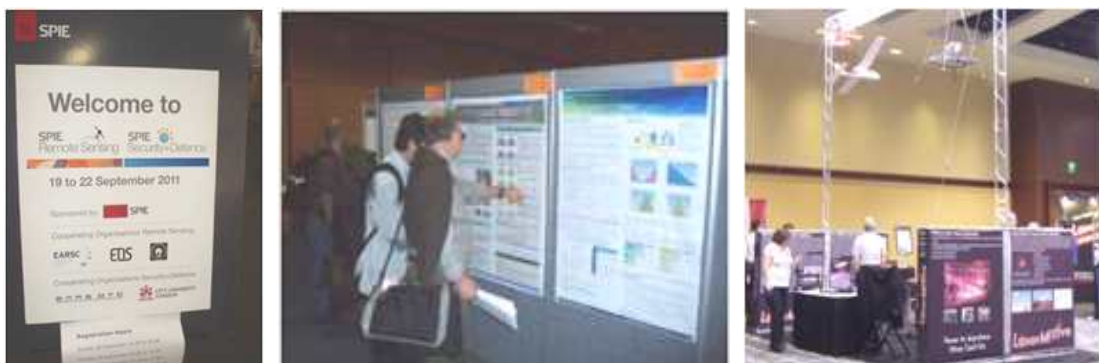
국가	Model	오차
캐나다 Mkhabela 등(2011)	작물별로 기후구역(Sub humid, Semi arid, arid)으로 나누어 회귀분석 보리 Sub humid : Yield = 7673.6 × average NDVI ^{1.9772} Semi arid : Yield = 8603.2 × average NDVI ^{2.1942} arid : Yield = 6706.2 × average NDVI ^{1.3703} 카놀라 Sub humid : Yield = 4307 × average NDVI ^{2.1488} Semi arid : Yield = 5054 × average NDVI ^{2.3306} arid : Yield = 3419.3 × average NDVI ^{1.2797} 완두콩 Sub humid : Yield = 8455.2 × average NDVI ^{2.8147} Semi arid : Yield = 11816 × average NDVI ^{3.0878} arid : Yield = 11967 × average NDVI ^{2.3091} 보밀 Sub humid : Yield = 7793.9 × average NDVI ^{2.3362} Semi arid : Yield = 6299.4 × average NDVI ^{2.0342} arid : Yield = 5989.7 × average NDVI ^{1.4895}	보리 R ² =0.48 R ² =0.90 R ² =0.56 카놀라 R ² =0.49 R ² =0.82 R ² =0.32 완두콩 R ² =0.53 R ² =0.89 R ² =0.71 보밀 R ² =0.47 R ² =0.80 R ² =0.63
미국 Prasad 등 (2006)	예측량 < 평균 수확량 옥수수 : yield = (-12733.9+(154.4193×NDVI)+(-0.17942SM) +(51.13045×ST)+(-31.7037×RF)) 콩 : yield = (445.2006+(-1.12634×NDVI)+(-0.02641×SM) +(-1.25083×ST)+(-0.45429×RF)) 예측량 > 평균 수확량 옥수수 : yield = (-4039.71+(80.32816×NDVI)+(0.017716×SM) +(16.03083×ST)+(-8.51827×RF)) 콩 : yield = (-211.01+(17.57264×NDVI)+(-0.02533×SM) +(0.967642×ST)+(-0.45243×RF)) ※ SM : 토양수분, ST : 지표면온도, RF : 강수량	옥수수 : R ² =0.78 콩 : R ² =0.86
이탈리아 Moriendo 등 (2007)	$\text{밀 yield} = \sum_{i=1}^n 1.0 \cdot Rad_i \cdot (1.638NDVI_i - 0.1426)$ $\times (HI_{Max} - HI_{Range} (1 - \frac{NDVI_{Post}}{NDVI_{Pre}}))$ ※ HI : 수확지수	R ² =0.73~0.77
스와질란드 Mkhabela 등(2005)	옥수수 yield = a × (∑Ave NDVI) - b ※ ∑ Ave NDVI : 누적 NDVI 평균	R ² =0.51~0.68
중국 Shi와 Xingguo (2011)	밀 yield = 747.71·X _{NDVI} + 2371.40	R ² =0.52

<표 3.1.2-2> 발작물 생산량 관련 모델(계속)

국가	Model	오차
멕시코	각 생육시기별 LAI와 NDVI를 조합하여 계산 옥수수, 수수 $yield = 26.3(NDVI_{June20}) - 26.14(NDVI_{July5}) + 7.57(NDVI_{July21}) - 1.61$	CV=0.096
그리스	목화 $yield = \int_{n=10}^{n=t} \epsilon_c \epsilon_t \epsilon_t R_g dt = \sum_{n=1}^{n=t} (NDVI_{crop} - NDVI_{soil}) R_g$ ※ 증발산량, 작물 스트레스지수, 수확조건	4%(1997) 11%(1998) 0.3%(1999)
남아프리카 공화국	해바라기 콩, 땅콩 밀, 보리 $yield = f(R, V, T, NPP)$ ※ R : 강우량, V : VCI, T : TCI, NPP : 순광합성량	-

3.1.3. 국제 원격 탐사 학회

- 학회명 : SPIE Remote Sensing
- 개최장소 : Czech Republic, Prague, Clarion Congress Hotel Prague
- 참가목적 : SPIE 국제 원격탐사학회는 농업, 생태계, 지구자원 및 대기 등의 다양한 분야에서 최근 원격탐사기법의 동향 파악이 가능하며, LiDAR 및 SAR 영상에 대한 활용 현황 및 분석 기법 습득을 위해 참가하였다.
- 개최일시 : 2011년 9월 19일 ~ 22일 (4일간)
- 관련 홈페이지 : <http://spie.org>
- SPIE(Society of Photographic Instrumentation Engineers) Remote Sensing은 원격탐사 기술과 응용프로그램 연구에 대한 가장 큰 유럽 행사 중의 하나로 이번 학회는 대기와 지구표면 감지, 차세대 위성, SAR 영상분석 및 기법, 이미지 및 신호처리 등의 10개 세션에서 600여 편의 논문 발표가 있었다.



<그림 3.1.3-1> SPIE 원격탐사 학회

○ 세션소개

- 농업, 생태계 및 수문학 원격탐사
- 센서, 시스템 및 차세대 위성
- 이미지 및 원격탐사를 위한 신호처리
- Lidar 기술, 대기 원격 탐사를 위한 측정
- 원격 탐사를 위한 고성능 컴퓨팅
- 지구 자원과 환경 원격탐사 / GIS 응용 프로그램
- 대기 전파와 적응 광학 시스템
- SAR 이미지 분석, 모델링 및 기술
- 해양, 빙하, 해수 및 물 관련 원격탐사
- 구름 및 대기 원격탐사

가. 선행 연구 현황

○ NDVI를 이용한 지표수분 평가

- 스페인 남부 지역의 Guadalfeo 유역에 위치한 댐 건설 전후의 영향을 Landsat TM 영상을 이용하여 분석하였고, 기상, 지형, 토양, 토지이용 및 NDVI 데이터를 수집하여 식생의 회복 상태에 따른 토양수분을 평가하였다.

○ 분광데이터를 이용한 생산량 예측 알고리즘 제안

- 다음 5단계를 통한 생산량 예측 검증 알고리즘을 제안하였다.
 - ① 분광 데이터로 작물 생육단계 평가를 위한 모델 개발
 - ② 생물학적 요인과 기후에 기초한 생산량 예측 모델 개발
 - ③ 작물 분광특성 생산량 예측 모델
 - ④ 시계열 분광 데이터의 생산량 예측 모델 갱신
 - ⑤ 작물 생물리학적 모델로부터 생산량 예측 검증

- 식생지수, 토양수분, 증발산량, 지표면온도 등의 추출, 평가, 활용에 관한 원격탐사 기술
 - 농업가뭄 (Agro-drought)을 평가하기 위해 2007년부터 2010년까지의 MODIS 위성 데이터를 이용하여 NDVI와 LST (Land Surface Temperature; 지표면 온도)를 산출하고, 이 결과를 통하여 TVDI로 토양의 수분함량을 분석하여 농업가뭄을 평가하였다.
 - 구름 등의 대기의 영향이 많은 지역의 식생 모니터링은 높은 시간적 해상도를 요구하기 때문에 다중 데이터를 사용하여 이러한 문제점을 해결하였고, 식생 모니터링을 위해 식생지수 중의 하나인 EVI-2 (Enhanced Vegetation Index-2)를 추출하였다. 그 결과를 ERDAS Imagine Modeler를 통하여 임계값을 설정하고, 변화탐지 모델을 만들어 식생 모니터링을 수행하였다.
 - 식생 모니터링을 위한 저해상도 MODIS 위성영상의 광합성유효복사율 (fPAR)을 높은 공간해상도인 RapidEye fPAR과 선형회귀 분석하여 고해상도의 fPAR의 적용 가능성을 제시한 결과, MODIS 영상에서 과대평가되는 결과가 나타났으며, RapidEye의 fPAR과 MODIS NDVI가 상관관계가 있다고 보고하였다.
 - 온도와 식생지수 관계의 삼각형 (Triangle) 분포를 이용하여 토양수분을 평가하고, 여기에 알베도와 셀룰로스 흡수지수(Cellulose Absorption Index; CAI) 파라미터를 적용할 때 토양수분의 관계를 분석한 결과, CAI 파라미터를 적용할 때 결정계수가 알베도를 적용할 때보다 높은 상관성이 있다고 보고하였다.

나. 시사점 도출

- 저해상도 영상을 이용한 토지이용변화 및 분류 방법
 - 저해상도 위성영상은 토지 표면의 지속적인 모니터링과 토지이용변화 및 다양한 맵핑 자료를 제공하며, 시계열 NDVI는 식물 상태를 평가할 수 있는 기초자료를 제공한다. 시계열 MODIS NDVI로부터 토지피복 맵핑을 위해 하나의 매개변수를 요구하는 Whittaker smoother 필터링을 테스트 한 결과, CLC (CORINE Land Cover) 분류에 따라 토지피복 분류가 가능하였다.

- RapidEye의 rededge 파장대의 사용 및 피복 분류
 - RapidEye의 센서의 짧고 긴파장에 대하여 rededge 스펙트럼 정보를 평가하기 위해 독일의 Rostocker Heide 지역과 Elsteraue 지역을 선정하였다. 대상지역은 활엽수 및 침엽수 지역과 초지로 구분되어지고, 분류된 값을 모든 스펙트럼 밴드에 적용하였다. 식생분류에서 red와 NIR 스펙트럼에 의한 분류보다 rededge 스펙트럼 정보를 사용하는 것이 분류 정확도에서 높은 수준으로 나타났다.

- 천리안 해양관측 위성 사용
 - GOCI는 세계 최초의 정지궤도 해양관측위성이다. 8개의 채널을 가지고 있으며, 전후의 dark 이미지는 보정을 위해 사용되고 'O'와 'F'의 오프셋 값이 계산된다. COMS의 처음의 평균 O 오프셋은 0.0384이고, F 오프셋은 596.33이었다. 그러나 O 오프셋은 태양에너지가 강한 정오에는 증가하고 이후에 감소하여 오프셋의 범위는 0.038에서 0.040으로 나타났다.

다. 추진방향 도출

○ 항공 LiDAR 영상의 활용

- LiDAR는 레이저펄스를 지표면과 지물에 발사하여 반사되는 값으로 지표면의 고정밀 높이 정보를 획득할 수 있다. 여기서 사용된 LiDAR 필터링 알고리즘은 건물뿐만 아니라 벽과 울타리 등을 감지할 수 있다. 또한, 고해상도 항공사진은 RGB 밴드로 구성되어 있어, 복잡한 도시지역에 LiDAR와 병행하여 사용하면 토지 피복 구분에 강력한 접근방식이 될 수 있다.

○ 원격탐사를 이용한 자연재해로 인한 농작물의 피해 평가

- 농작물의 홍수 영향을 평가하기 위해 RADARSAT-1을 이용하여 홍수 경계를 기술하고 수심을 추정하여, 홍수가 농작물의 수확량 손실을 추정할 수 있도록 토지 피복도를 중첩하였다. 이것은 지역 및 국가 단위에서 농작물의 홍수에 영향을 평가하고, 재해에 대비하기 위해 필수적이다.

○ SAR 영상의 활용

- 최근 기후와 사회경제 조건은 산림 관리의 변화가 필요하며 산림 자연재해 증가에 따른 사람의 정밀한 정보를 요구하고 있다. 산림의 매개변수 추출을 위해 RapidEye 영상에 비해 높은 해상도인 TerraSAR-X 영상 분석에 중점을 두었다. 또한, 매개변수의 자동 추출을 위하여 Definiens Developer 7과 MATLAB 소프트웨어를 사용하였으며, 낙엽수림, 침엽수림 및 혼합수림의 3가지 유형에 대해 분류 및 분석이 가능하였다.

제 3 장 주요 발작물에 대한 생산량 추정방안 연구

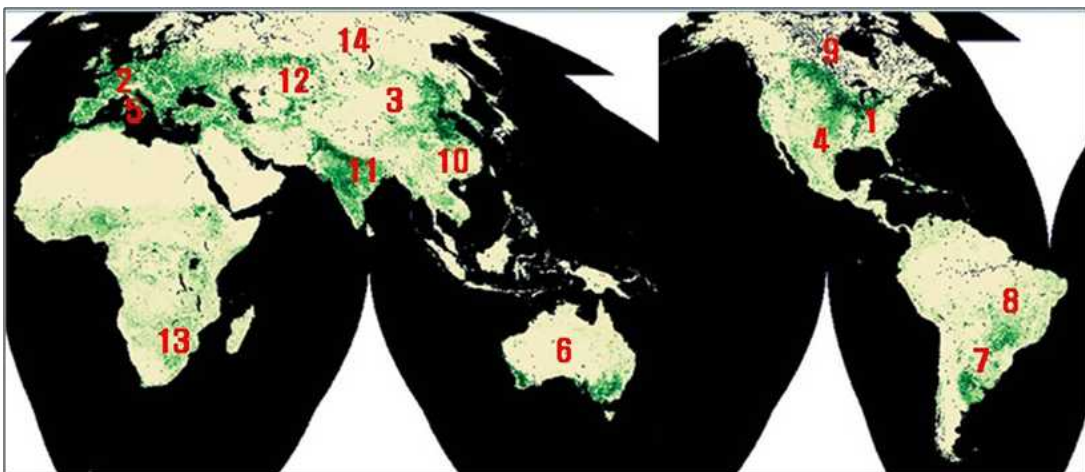
○ 2011년 SPIE 학회에서 수집하여 연구에 적용된 내용은 <표 3.1.3-1>과 같다.

<표 3.1.3-1> 국제 원격탐사 학회 수집자료

적 용	수 집 자 료
선 행 연구 현황	<p>NDVI를 이용한 지표수분 평가</p> <p>1. [8174-04, Local effects on the water balance in flood plains induced by dam filling in Mediterranean environments]</p> <p>농업기상 모델과 원격탐사 기법 등을 활용 수확량 예측</p> <p>2. [8174-40, Investigating agro-drought in the Lower Mekong Basin using MODIS NDVI and land surface temperature data]</p> <p>식생지수, 토양수분, 증발산량, 지표면온도 등의 추출, 평가, 활용에 관한 원격탐사 기술</p> <p>3. [8174-17, A multispectral multiplatform based change detection tool for vegetation disturbance on Irish peatlands]</p> <p>4. [8174-25, On the use of MODIS fPAR and NDVI products for monitoring heterogeneous irrigated agriculture in western Uzbekistan]</p> <p>5. [8174-23, Improvement of the triangle method for soil moisture evaluation by adding a third index: albedo or cellulose absorption index]</p> <p>6. [8174-40, Investigating agro-drought in the Lower Mekong Basin using MODIS NDVI and land surface temperature data]</p>
시 사 점 도 출	<p>저해상도 영상을 이용하여 토지이용변화 및 분류 방법</p> <p>7. [8174.16, Evaluation of time-series and phenological indicators for land cover classification based on 10 year of MODIS data]</p> <p>RapidEye의 Rededge 파장대의 활용 및 피복분류</p> <p>8. [8174-36, Evaluation of rededge spectral information for biotope mapping using RapidEye]</p> <p>천리안 해양관측 위성 활용</p> <p>9. [8175-03, In-orbit radiometric performance variations of geostationary ocean color imager]</p>
추 진 방 향 도 출	<p>항공 Lidar 영상의 활용</p> <p>10. [8174-05, The use of lidar derived high resolution DEM and intensity data to support urban flood modeling]</p> <p>원격탐사를 이용한 자연재해로 인한 농작물의 피해 평가</p> <p>11. [8174-15, Damage estimation on agricultural crops by a flood]</p> <p>SAR 영상의 활용</p> <p>12. [8181-29, Structural analysis of forest areas in high-resolution SAR images]</p> <p>13. [8174-45, Monitoring Mediterranean marine pollution using remote sensing and hydrodynamic modelling]</p>

3.2. RS를 이용한 농업 모니터링 현황

- GEO (Group on Earth Observations)는 전 세계의 농업 부분의 조기 경보, 위험 평가, 식량 안보, 시장의 효율성 등 지구 관측을 통해 지속 가능한 농업을 위해 노력하고 있다.
- CoP (the GEO Global Agricultural Monitoring Community of Practice)는 2007년에 설립 되었으며, 농업 생산의 글로벌 모니터링, 위험 저감과 생산성 향상, 정확한 국가 농업 통계 보고, 식량 원조에 국제적인 대응의 활성화, 농업 토지이용 변화 모니터링 및 모델링과 기후변화의 영향 예측 등의 목표를 가지고 있다.
- <그림 3.2-1>과 <표 3.2-1> 원격탐사를 이용한 농업 모니터링의 각국의 선진 사례 현황을 나타낸 것이다.



<그림 3.2-1> 농업 모니터링 현황

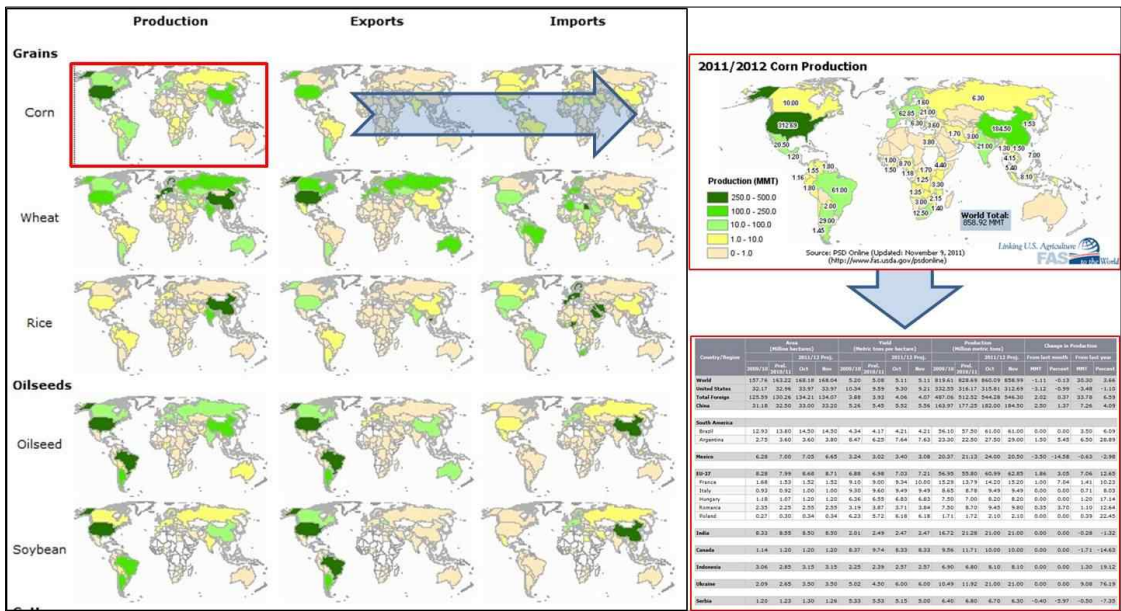
<표 3.2-1> 농업 모니터링 현황

구분	기관	홈페이지
전지구 모니터링	1. FAS - USDA, 미국	http://www.fas.usda.gov/
	2. MARS JRC, 유럽연합	http://mars.jrc.ec.europa.eu/
	3. CropWatch-CAS, 중국	http://www.cropwatch.com.cn/en/index.html
조기 경보 시스템	4. FEWS NET - USAID, 미국	http://www.fews.net
	5. GIEWS - UN FAO, 로마	http://www.fao.org/giews/english/index.htm
국가 모니터링	6. CSIRO - 호주	www.pasturesfromspace.csiro.au
	7. SAGPyA - 아르헨티나	www.conae.gov.ar
	8. Geosafra CONAB - 브라질	http://www.conab.gov.br/conabweb/index.php?PAG=81
	9. CCAP - 캐나다	http://www26.statcan.ca/ccap/start-debut-eng.jsp
	10. CHARMS - 중국	http://www.caas.net.cn/engforcaas/index.htm
	11. FASAL - 인도	http://www.isro.org/scripts/ras_fasal.aspx
	12. NCRST - 카자흐스탄	http://izk.gzi.kz
	13. ARC NCSC - 남아프리카	www.daff.gov.za
14. IKI's - 러시아	http://www.agrocosmos.gvc.ru/	

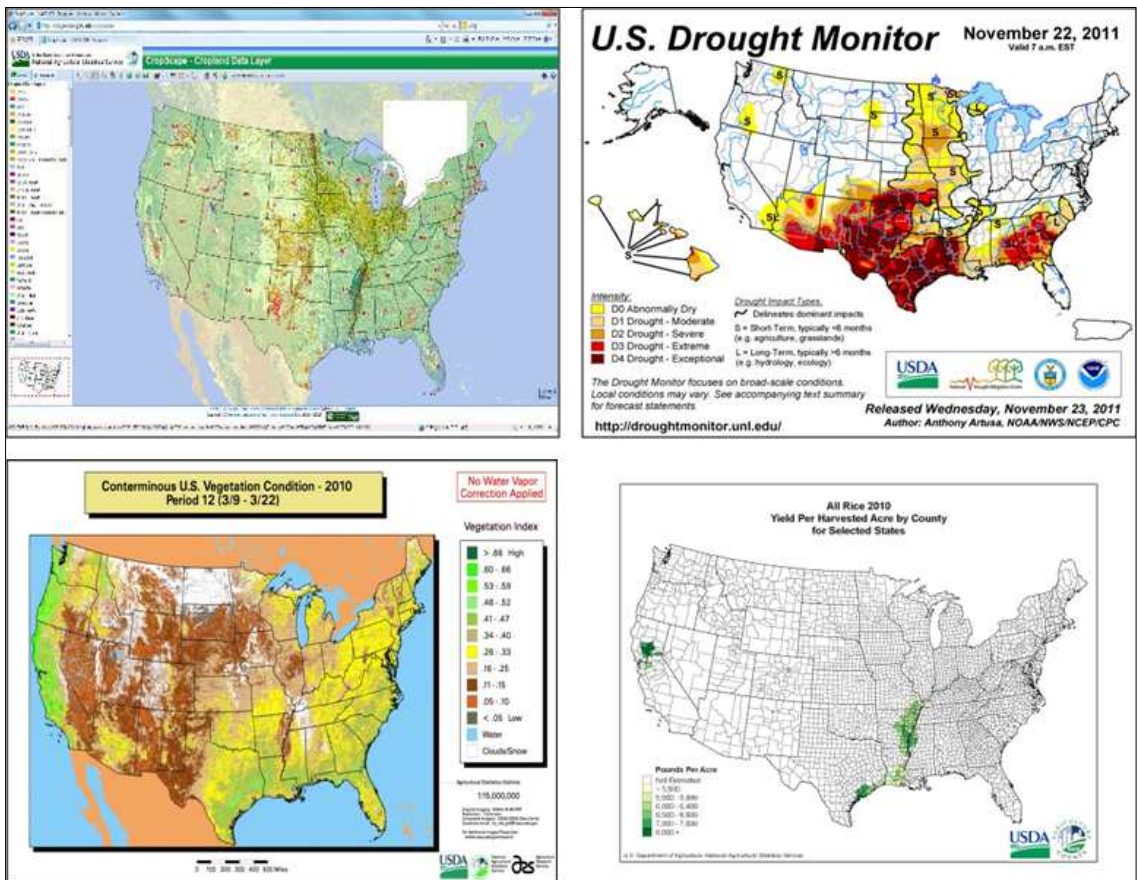
3.2.1. USDA의 FAS

- USDA의 FAS(the Foreign Agricultural Service)는 미국 제품에 대한 외국 시장 접근을 개선하기 위해 노력하고, 식량 원조 프로그램을 통해 농업 경제를 향상시키고 개발도상국의 식량 원조를 돕고 있다.
- FAS는 전 지구적 스케일과 미국 전역에 대한 작물 상태와 농업 생산정보를 수집, 분석 및 보급하는 목적을 가지고 있다.
- 사용하는 데이터는 일 단위 기상데이터(강수량, 최대/최소 기온), 위성영상의 식생지수(MODIS, SPOP-VGT, AVHRR), 토양수분, 작물 생육주기, 정부 보고서, 세계 각국의 통계 자료, 무역 및 경제학 분석자료 등을 사용한다.
- USDA는 미국 무역에서 경제적으로 중요한 작물을 파악하기 위해 강수량, 온도, NDVI 및 기타 매개변수를 모니터링 하고 있으며, 최근 기상, 작물 상태와 과거 기상, 작물 상태를 비교하여 신뢰할 수 있는 정보를 제공한다.
- 또한 USDA와 NASA의 공동 프로젝트인 GLAM(Global Agriculture Monitoring)을 수행하여 원격탐사 자료 및 분석 틀을 제공하고, 작물 생산량 예측을 하고 있다.
- USDA의 WASDE (World Agricultural Supply and Demand Estimates) 월간 보고서를 통해 세계 각국의 작물 통계를 수집하고 신뢰성과 객관성 있는 정보를 상인, 생산자, 정부 정책에 제공한다.

제 3 장 주요 발작물에 대한 생산량 추정방안 연구



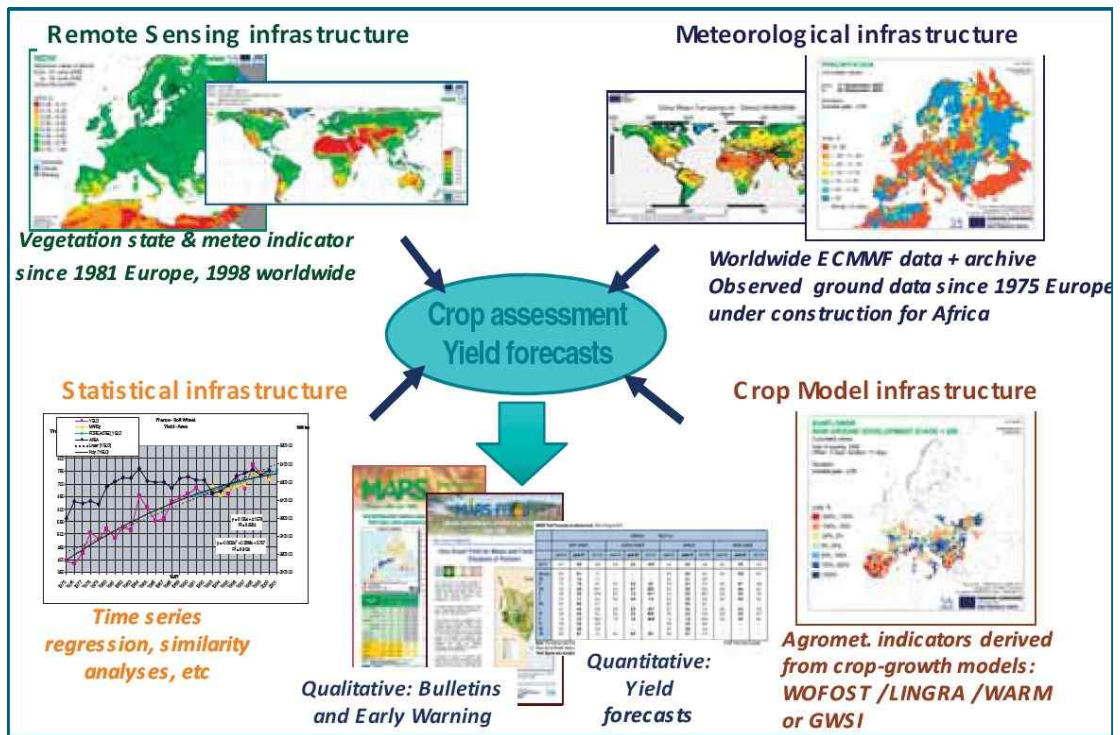
<그림 3.2.1-1> FAS의 전 세계 생산량 예측



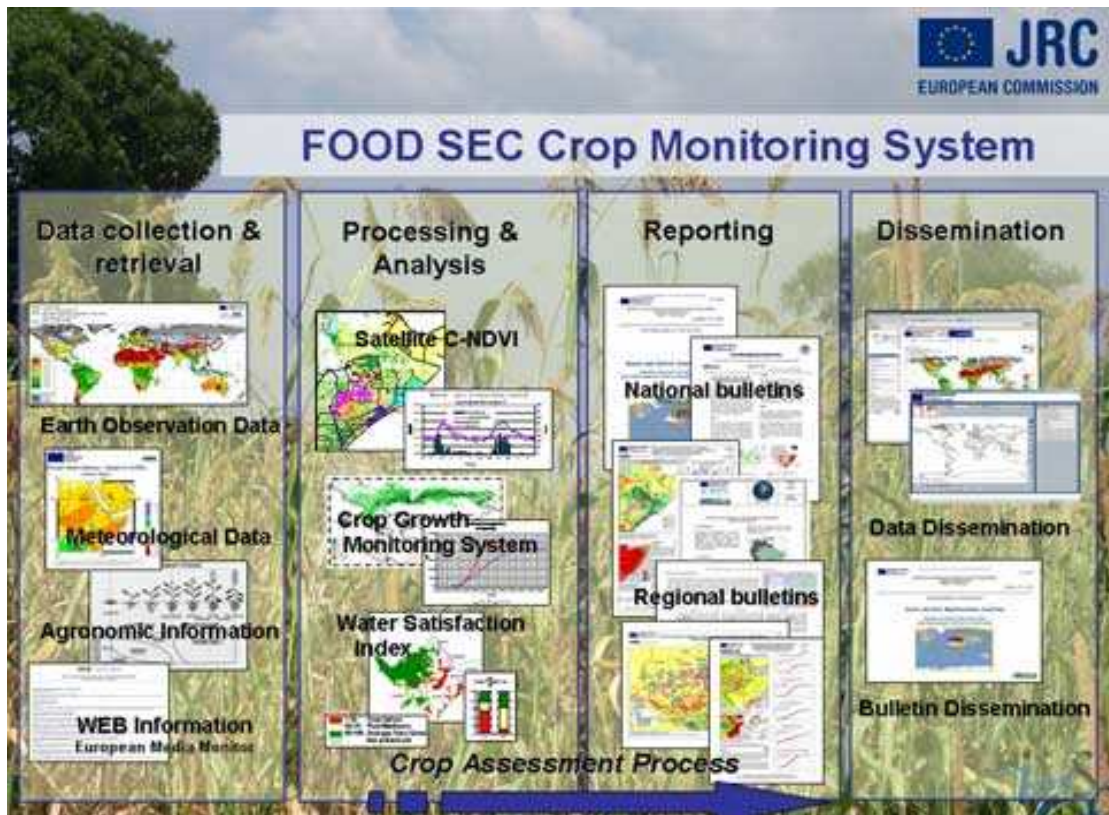
<그림 3.2.1-2> 미국 전역의 작물 재배도, 가뭄관측, 식생지수, 생산량 예측

3.2.2. JRCEC의 MARS

- JRCEC (Joint Research Centre of the European Commission)의 MARS 프로젝트는 1988년에 시작되었으며, 1993년에 EU 회원국을 대상으로 주요 작물 생산량 예측 시스템을 개발하였다. 2000년부터는 유럽 주변국으로 확대되었으며, EAFS (Europe Aid and Food Security) 정책을 지원하기 위해 개발되었다.
- MARS는 EAFS에 과학적이고 기술적인 지원을 한다. 첫 번째 핵심 활동인 AGRI4CAST는 유럽과 주변국뿐만 아니라 세계의 전략적 지역의 주요 작물에 대한 생산량 예측을 제공하며, 두 번째 핵심 활동인 FOODSEC는 조기 경보 정보와 작물 생산량 예측을 제공하기 위해 작물 생육 모니터링을 실시하고 있다.
- 주요 사용데이터는 30년 이상의 기상데이터로 유럽과 아프리카의 4000개 이상 지점 관측데이터와 METEOSAT 영상의 데이터이며, 토양지도, 토지피복 (AFRICOVER, CORINE, GLC2000, GLOBCOVER), 작물생육정보, 작물 기후학, 농업통계 데이터 등이 있다.
- MARS는 주요 작물을 모니터링 하는 농업기상모델과 원격탐사 정보를 결합한 시스템이다. 작물 생산량 예측은 MCYFS (MARS Crop Yield Forecasting System)의 WOFOST (WORLD FOOD STUDIES), LINGRA (LINTUL GRASSLAND) 및 WARM (Water Accounting Rice Model)의 작물 생육 모델로 이루어져 있다.
- 유럽의 생산량 추정을 위해 각 나라별로 매월 또는 격월로 기후와 작물을 모니터링 하여 월별 생산량 예측 자료를 제공하며, 식생지수와 생산량 통계 자료도 제공하고 있다.



<그림 3.2.2-1> MARS의 생산량 예측



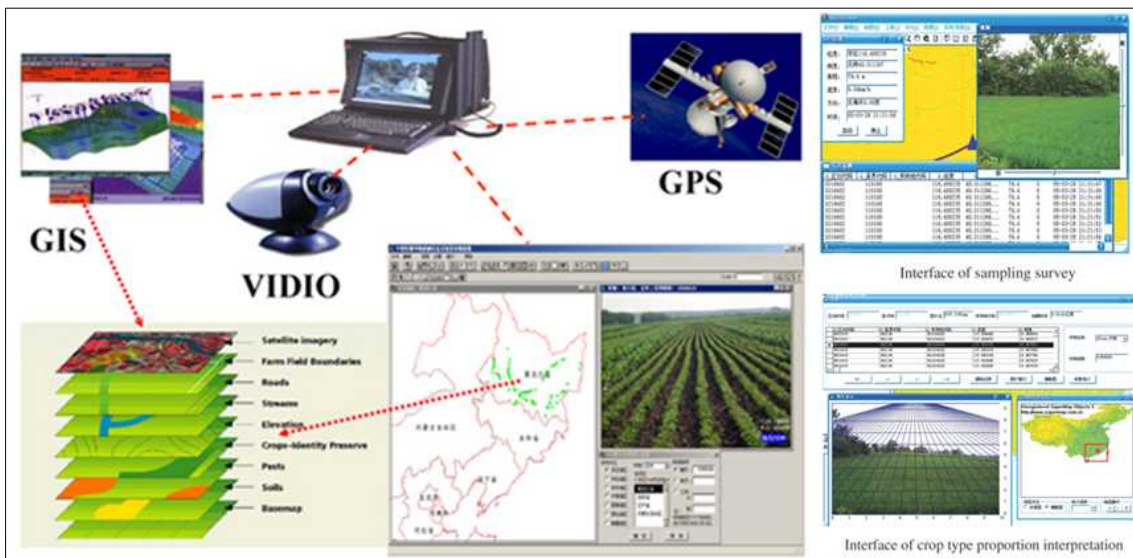
<그림 3.2.2-2> FOODSEC 작물 모니터링 시스템

3.2.3. 중국 CAS의 CropWatch System

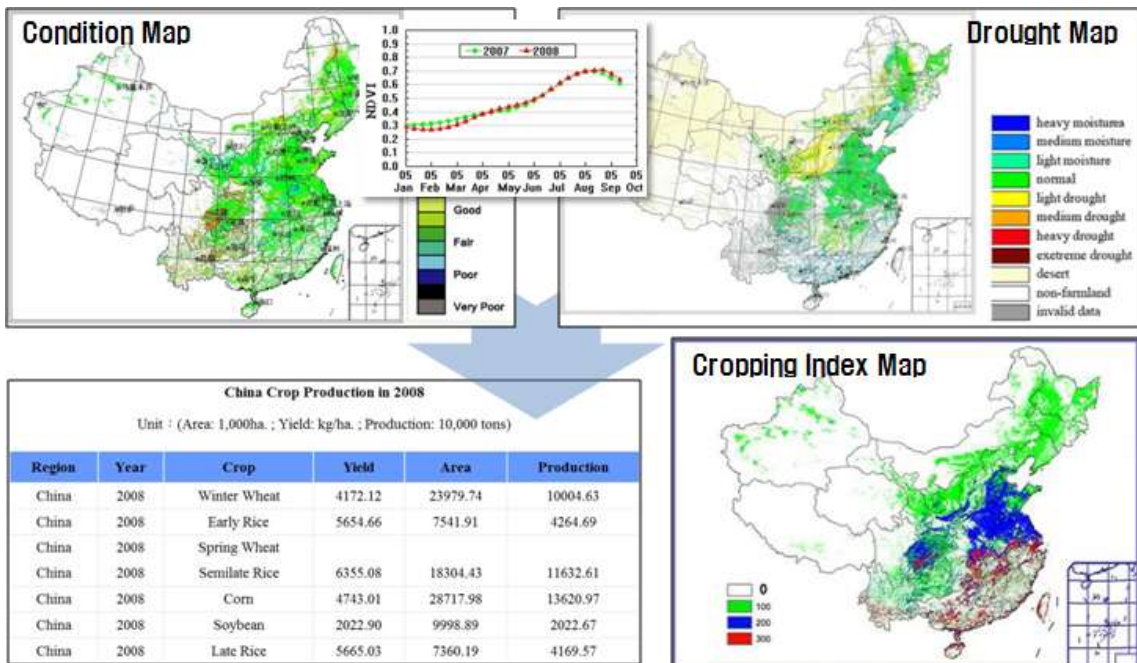
- 연구 경험 20년의 중국 CAS (Chinese of Science)의 IRSA (Institute of Remote Sensing Application)는 1998년 CropWatch 시스템을 개발하여 농업 모니터링을 실시하고 있다.
- CropWatch 시스템은 중국과 세계 26개의 주요 곡물을 다루고 있으며, 작물 조건과 생산, 가뭄 및 작물 재배 구조를 모니터링 하여 중국 정부의 의사결정에 도움을 주고 있다.
- 사용 데이터는 MODIS, AWiFS, B-J CCD, Landsat TM, ENVISat ASAR, Radarsat-1 ScanSAR, CBERS-01/02 등이 있다. 과거 데이터는 주로 AVHRR과 SPOT-VGT를 이용했으며, 현재는 중국 위성인 HJ-1을 이용하고 있다. 또한, 토지피복도, GLC 2000, 전 세계 작물 기후학 데이터, 농업 기상 데이터, 생육 평가, 검증을 위한 현장 관측 데이터를 사용하고 있다.
- CropWatch는 작물 상태 모니터링을 위해 작물 성장과 현황에 기초한 두 가지 모델을 사용한다. 첫 번째는 가뭄 모니터링을 위해 원격탐사를 이용하여 식생지수 기반의 가뭄 모델을 사용하고, 두 번째는 작물 생산량 추정을 위해 농업기상모델, 원격탐사 지수모델, 두 모델을 조합한 모델 및 바이오매스 모델로 총 4가지 모델이 실행된다.
- 다양한 작물의 비율을 조사하기 위해 <그림 3.2.3-1>과 같이 작물 재배 구조 인벤토리인 GVG (GPS, Video and GIS) 샘플링 기구를 개발하였다.

제 3 장 주요 발작물에 대한 생산량 추정방안 연구

○ CropWatch는 매월 세계 26개의 주요 작물 모니터링과 생산량, 중국과 주요 농업 국가의 농업 기상 상태 평가, 연간 중국의 다양한 지수 모니터링 및 중국 가뭄 모니터링 등의 결과를 제공하고 있다.



<그림 3.2.3-1> GVG 샘플링 시스템

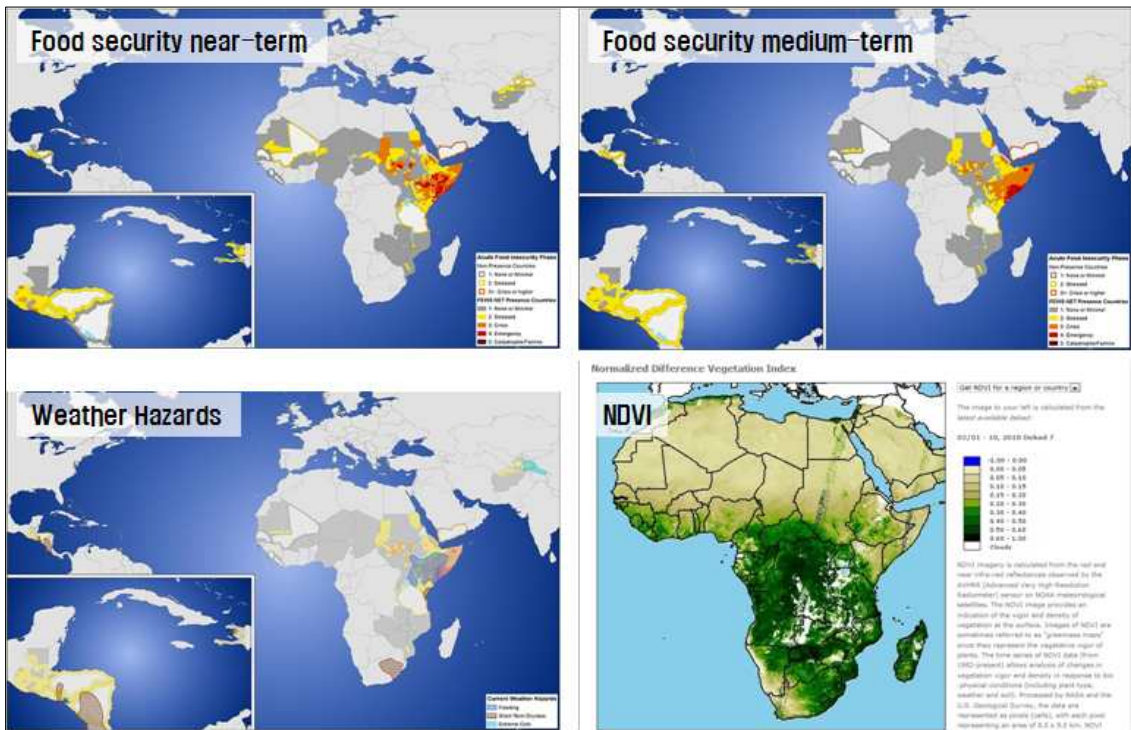


<그림 3.2.3-2> CAS 작물 생산량 예측 시스템

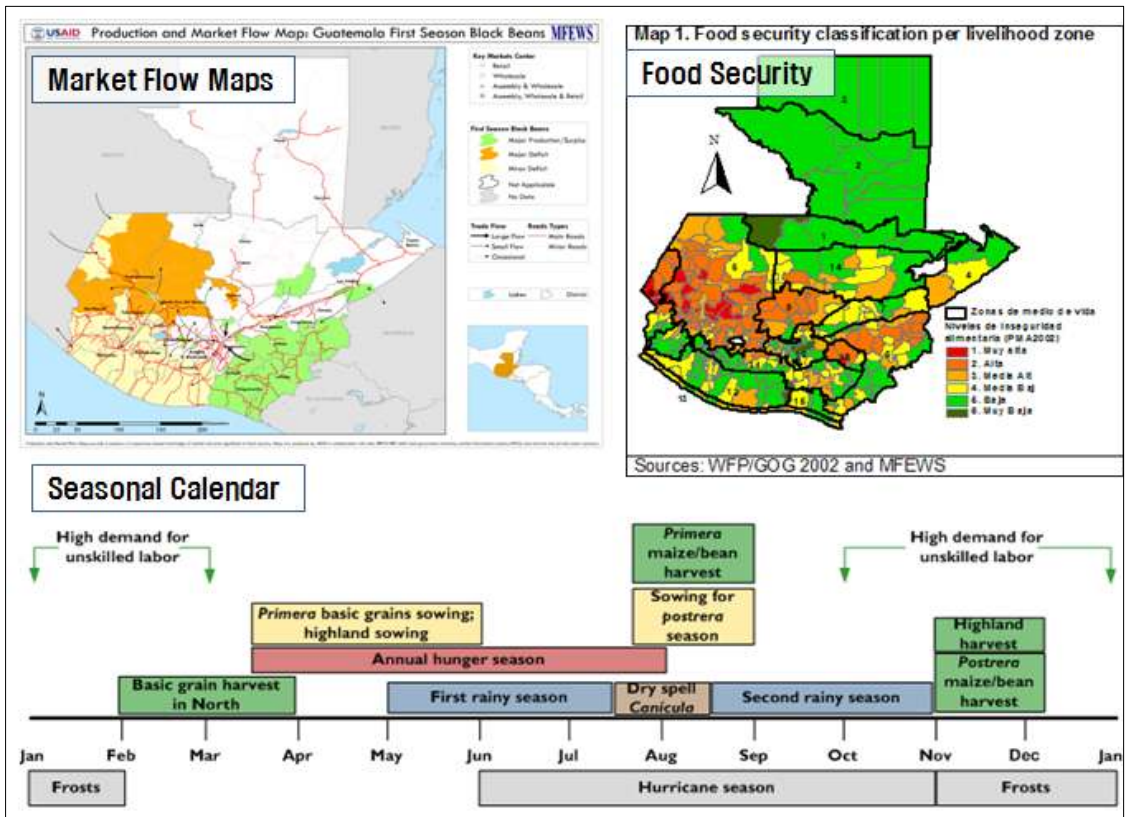
3.2.4. USAID의 FEWS NET

- FEWS (Famine Early Warnig System) NET은 식량 불안에 직면하고 있는 인구에 중요한 조기 확인을 제공하고 FFP(Food For Peace)의 결정을 지원한다. 또한, 가뭄으로 인한 식생 생산의 이상 현상을 조기 발견하는데 농업 모니터링의 초점을 맞추고 있다.
- FEWS NET 농업 모니터링의 주요 목적은 최저 농업 생활과 유목 지역에서 식량 생산 이상 현상의 조기 발견이다. 또한, 취약 인구에 대한 영향을 평가하고 식량 불안에 직면한 인구를 추정하는 것이다.
- 사용데이터는 NOAA와 NASA의 위성영상 관측에 의한 강수량 추정, MODIS, AVHRR 및 SPOT의 식생지수, NOAA의 온도, 방사 및 기타 변수의 대기 모델 분야, Landsat 및 IKONOS 등의 토지피복, 행정경계, 토양도, DEM (Digital Elevation Model) 및 현장조사 데이터 등이 있다.
- 시계열 식생지수 데이터는 작물 재배지역과 방목지역의 활력과 정도를 평가하는데 사용된다. 또한, 다양한 해상도의 원격탐사 데이터의 해석을 바탕으로 통계적인 기법을 개발하였다.
- FEWS NET는 다양한 모니터링과 모델링 결과 분포도를 웹 서비스 하고 있으며, 아프리카, 아프가니스탄 및 중앙아메리카의 주간 날씨 위험을 평가한다. 뿐만 아니라 20개 국가의 식량 안보에 대한 기상예보 모니터링을 하고 있으며 추가적으로 50개 이상의 국가에 대해서 계획하고 있다.

제 3 장 주요 발작물에 대한 생산량 추정방안 연구



<그림 3.2.4-1> FEWS NET 식량 안보 시스템

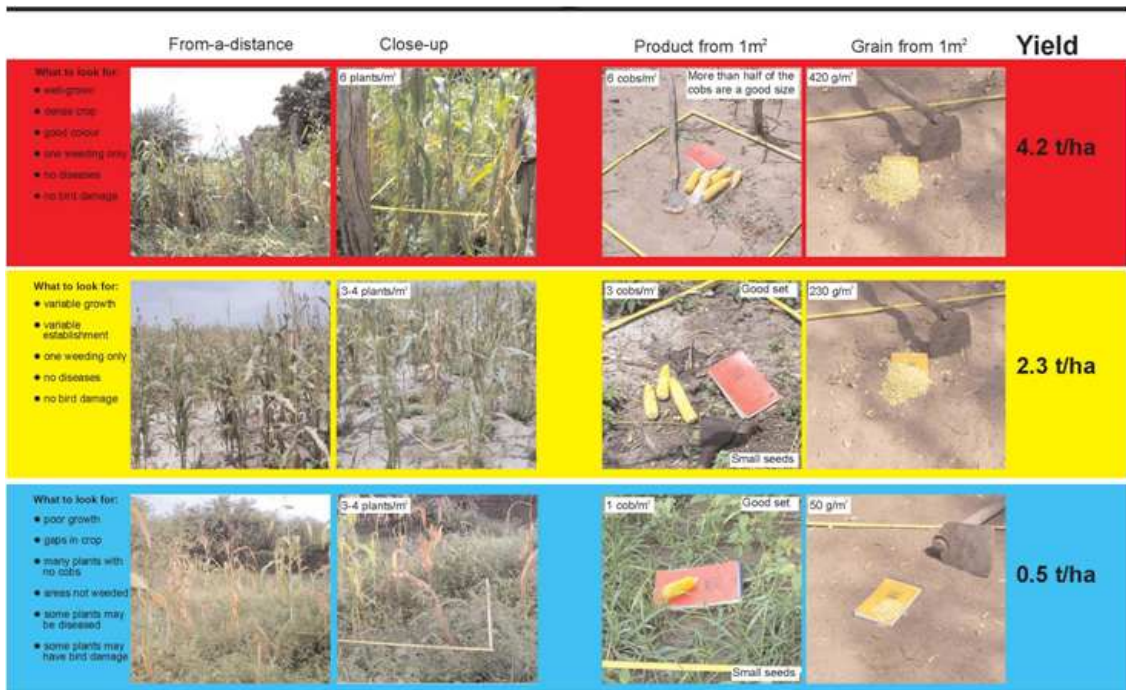


<그림 3.2.4-2> FEWS 식량 안보 시스템의 구성

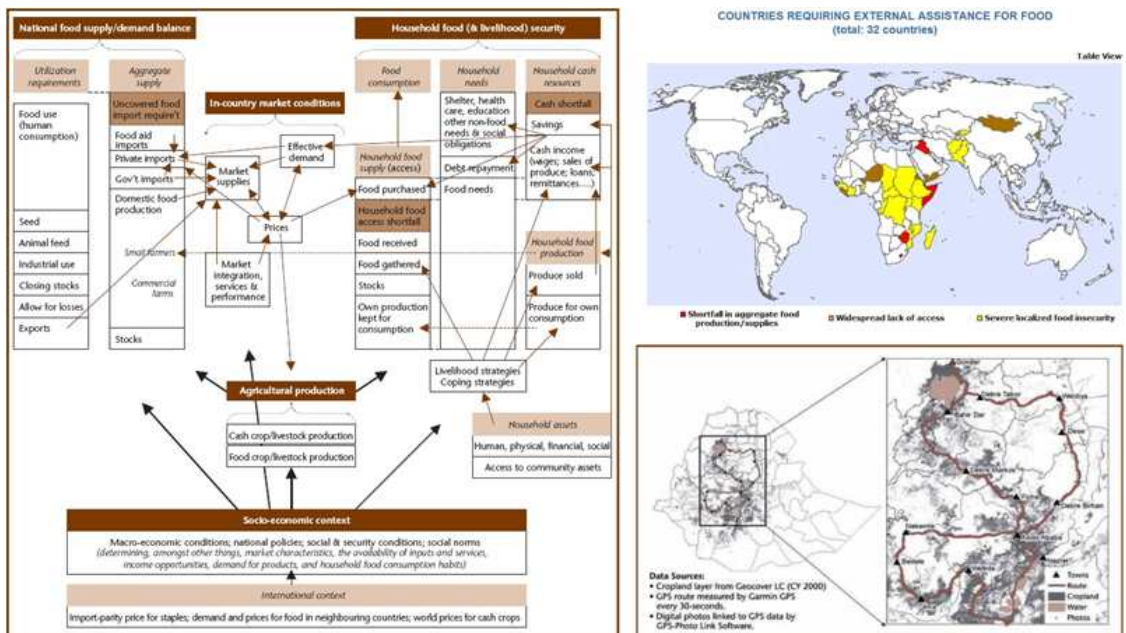
3.2.5. UN FAO의 GIEWS

- GIEWS (the Global Information and Early Warning System) 시스템은 지난 35년 동안 115개의 정부, 61개의 비정부기구(NGOs)가 포함되는 전 세계 네트워크이며, 전 세계, 지역 및 국가 단위로 식량 안보에 대한 작물 정보 데이터베이스를 지속적으로 업데이트 하였다.
- GIEWS의 주요 목적은 일반적인 식량 공급과 세계 모든 국가에서 수요 모니터링, 전 세계 생산, 무역 및 식량 원조에 대한 정보 분석, 주요 곡물 교환에 따른 수출 가격 모니터링 및 다양한 기관과의 세계 식량 정보 공유에 대한 구축 및 유지관리이다.
- FAO (Food and Agricultural Organization)의 ARTEMIS (Africa Real Time Environmental Monitoring Information System)와 협력하여 유럽 METEOSAT 위성에서 수신 받고 실시간 인공위성을 이용하여 작물 모니터링을 실시한다. 4개의 위성 시스템은 전 세계 다양한 작물을 계절별로 모니터링을 실시한다.
- ‘GIEWS 워크스테이션’이라고 불리는 통합 정보 시스템은 위성 이미지 및 지도 분석을 위한 소프트웨어와 뉴스 서비스 및 식량안보 정보를 포함하고 있다. 또한, 식량 공급, 소매가격, 식량 불안, 영양부족 지수와 식량과 관련된 질병 및 사망률도 모니터링 하고 있다.
- 주요 결과물은 곡류 및 육류 제품에 대한 월간 소매 또는 수출가격, 데이터 소스, 시장의 지리적 위치와 부가설명, 실제 거래 가격 등을 제공하고 있다.

제 3 장 주요 발작물에 대한 생산량 추정방안 연구

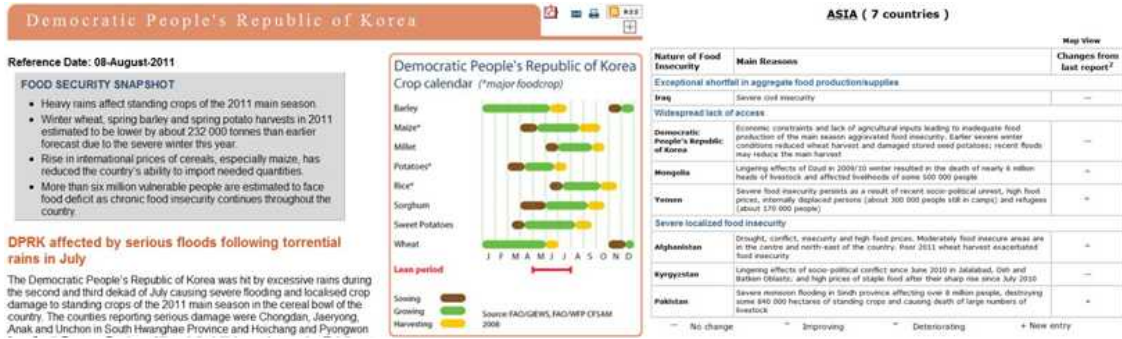


<그림 3.2.5-1> GIEWS 식량 조사 샘플링 방법



<그림 3.2.5-2> GIEWS 분석 방법 및 식량 평가

원격탐사기술을 활용한 주요 농산물 생산량 추정기법 개발



<그림 3.2.5-3> GIEWS 식량 안보 리포트 (예 : 북한, 아시아)

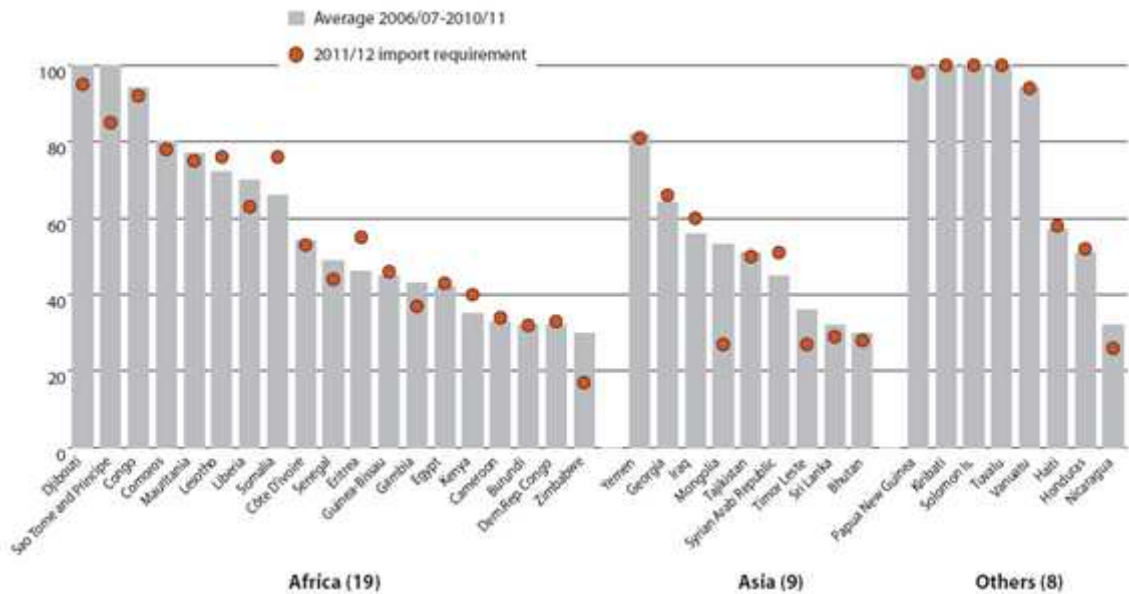


Table 13. Far East cereal production (million tonnes)

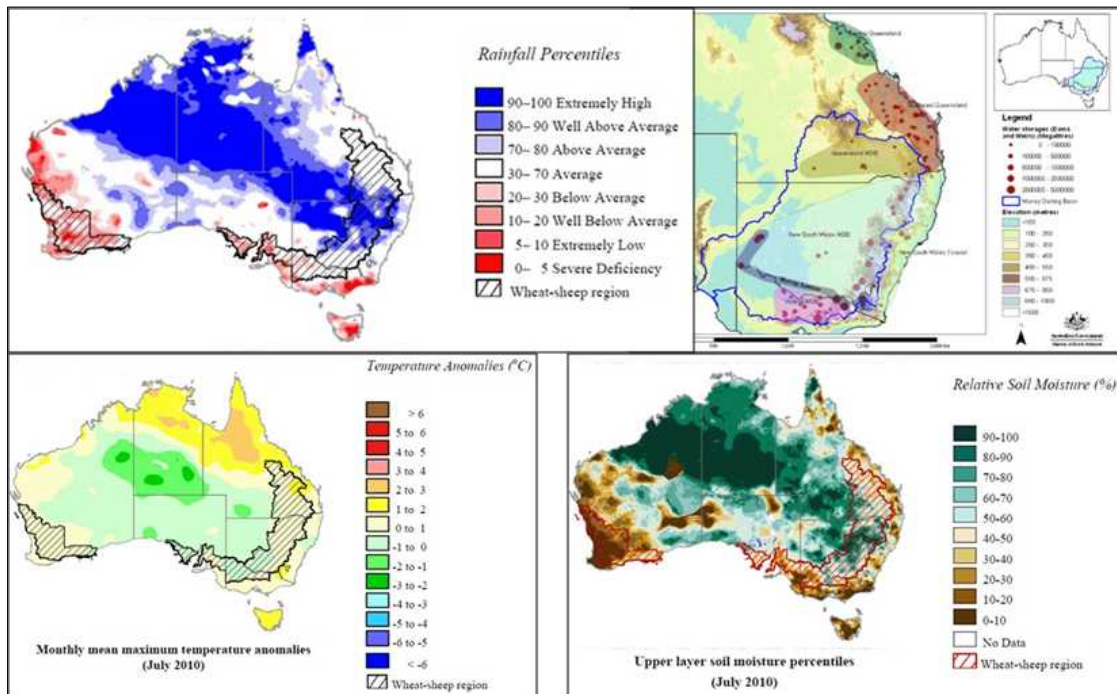
	Wheat			Coarse grains			Rice (paddy)			Total cereals			Change: 2011/2010 (%)
	2009	2010 estim.	2011 f'cast	2009	2010 estim.	2011 f'cast	2009	2010 estim.	2011 f'cast	2009	2010 estim.	2011 f'cast	
Far East	223.4	223.3	229.6	253.9	273.6	281.4	611.2	627.6	646.1	1 088.5	1 124.4	1 157.1	2.9
Bangladesh	0.8	1.0	1.0	1.0	1.1	1.2	48.0	50.3	51.3	49.8	52.3	53.5	2.3
Cambodia	-	-	-	0.9	0.8	0.9	7.6	8.2	8.8	8.5	9.0	9.7	7.8
China	115.1	115.2	116.8	173.2	186.7	191.9	196.7	197.2	200.8	485.0	499.1	509.6	2.1
India	80.7	80.8	84.3	33.9	40.1	41.4	133.6	143.0	150.0	248.2	263.9	275.6	4.4
Indonesia	-	-	-	17.6	18.4	17.9	64.4	66.5	68.1	82.0	84.8	86.0	1.4
Japan	0.7	0.8	0.8	0.2	0.2	0.2	10.6	10.6	10.3	11.5	11.7	11.3	-3.4
Korea Rep. of	-	-	-	0.4	0.4	0.3	6.6	5.8	5.8	7.0	6.2	6.1	-1.6
Korea DPR	0.1	0.1	0.2	1.8	1.7	1.8	2.3	2.4	2.5	4.3	4.2	4.4	4.8
Myanmar	0.2	0.2	0.2	1.4	1.4	1.5	31.0	30.8	31.0	32.5	32.4	32.6	0.6
Nepal	1.3	1.6	1.8	2.2	2.4	2.4	4.0	4.5	4.5	7.5	8.4	8.7	3.6
Pakistan	24.0	23.3	24.2	3.8	3.9	4.1	10.3	7.2	9.7	38.1	34.5	38.0	10.1
Philippines	-	-	-	7.0	6.4	7.3	15.5	16.7	17.3	22.5	23.1	24.6	6.5
Thailand	-	-	-	4.8	4.1	4.4	32.1	34.5	35.0	36.9	38.6	39.4	2.1
Viet Nam	-	-	-	4.4	4.7	4.8	38.9	40.0	41.0	43.3	44.6	45.8	2.7

<그림 3.2.5-4> GIEWS 식량 예측 결과

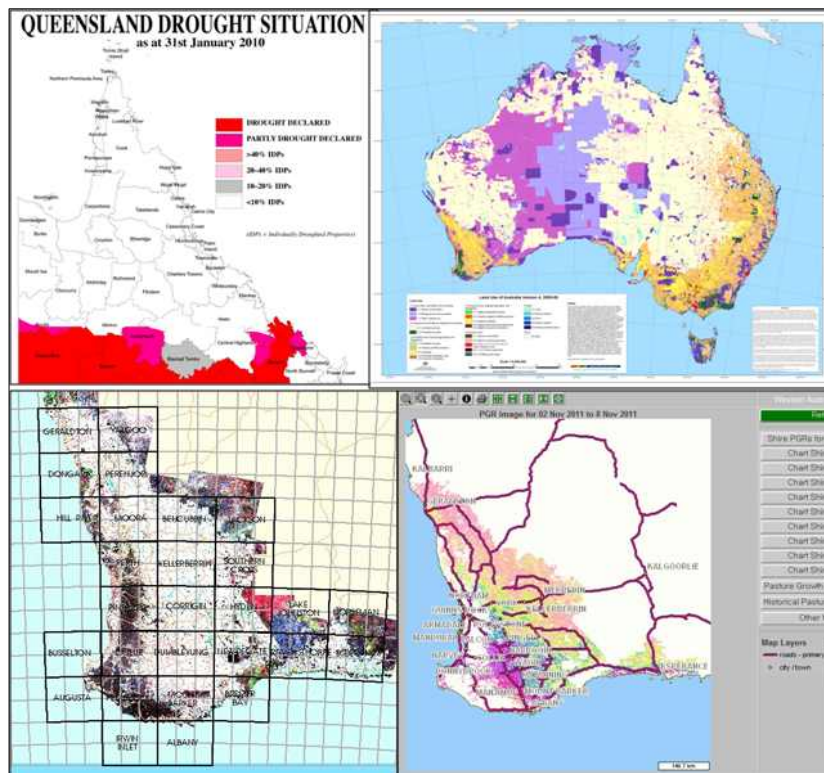
3.2.6. 호주의 농업 모니터링

- 호주의 농업 모니터링 시스템은 기후 및 시장변화의 관리에 정부와 관련업계의 계획이 이르기까지 다양한 요구사항을 제공하는 시스템과 결합하여 원격탐사, 모델, 농업통계 및 환경정보 등으로 이루어져 있다.
- 생산량 예측은 작물 생육기간 동안 작물에 대한 실시간 정보와 함께 작물 생산자에게 제공하기 위해 설계된 온라인 작물 생산 모델을 사용한다.
- 기후와 토양 데이터를 결합하여 목초지의 바이오매스를 추정하는데 위성영상을 사용하며, 목초지 성장률(Pasture Growth Rate; PGR <그림 3.2.6-2>)을 예상하는데 사용된다.
- 기후와 천연 자원데이터, 원격탐사, 선행 작물 연구 및 시뮬레이션 모델링을 통합하여 기후 변화에 목초지 성장을 시뮬레이션 한다.
- 호주 토지이용 프로그램은 지구 관측 데이터를 이용하여 대륙 또는 유역단위로 토지 관리를 맵핑하거나 모니터링 한다.
- 농업 환경 모니터링인 LANDMONITOR는 체계적으로 서호주 지역의 염의 영향과 식물의 변화를 모니터링 한다.
- 생산자와 농업 정책을 위해 호주 기후와 농업 모니터링 자료가 업데이트되며, 강우량과 온도 조건, 저수 수준과 물이용 공지, 작물 생산, 가축생산 및 기후 전망을 다루고 있다. 또한, 농업 생산 통계는 인구조사와 설문, 작물 재배면적, 생산량 등의 데이터를 수집한다.

원격탐사기술을 활용한 주요 농산물 생산량 추정기법 개발

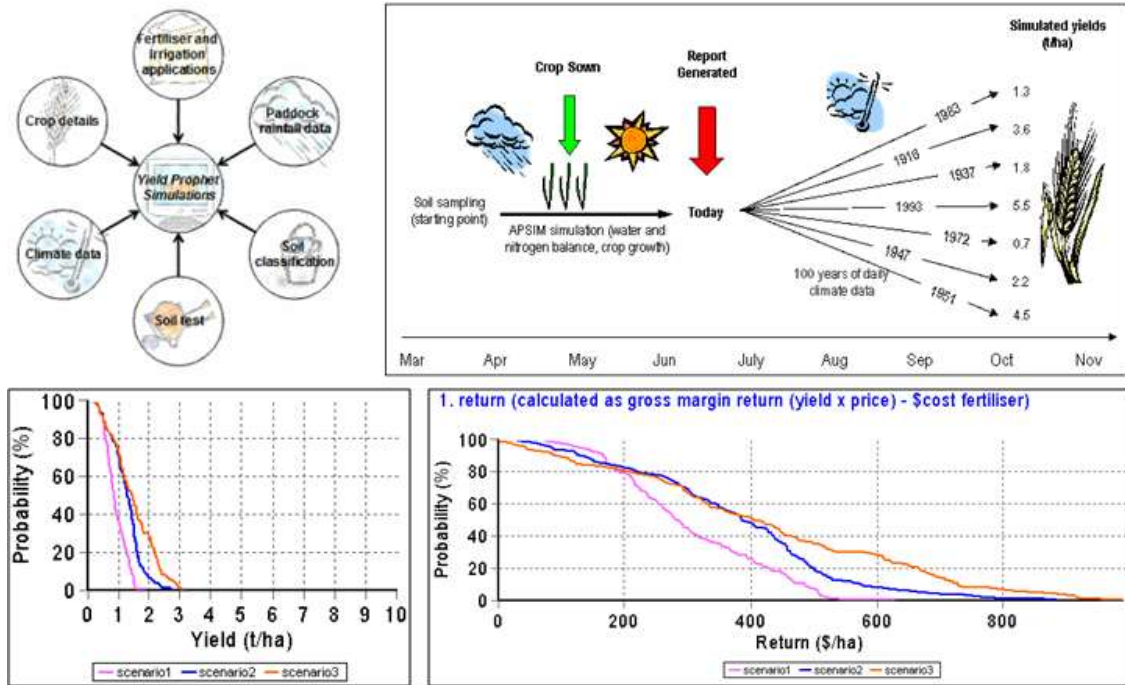


<그림 3.2.6-1> 호주 기상데이터



<그림 3.2.6-2> 호주 가뭄, 토지피복, 식생 및 PGR

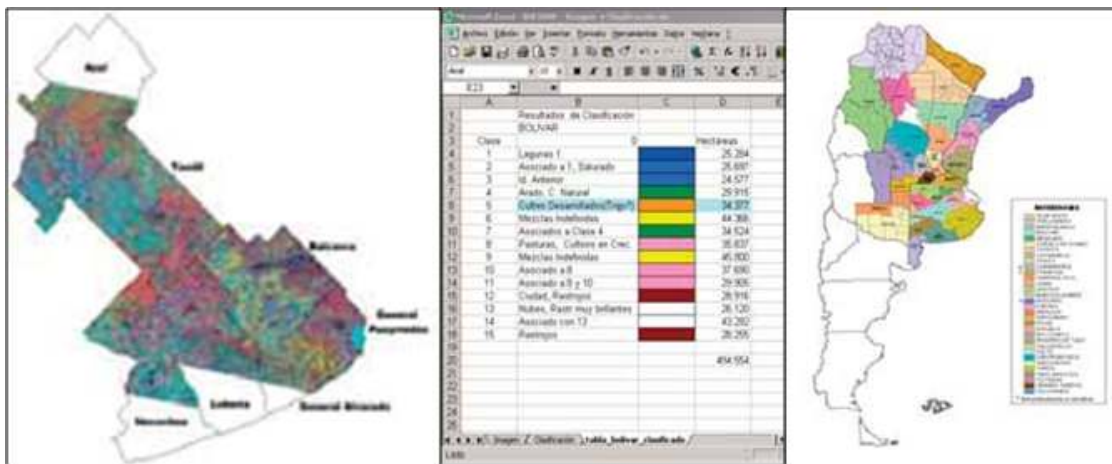
제 3 장 주요 발작물에 대한 생산량 추정방안 연구



<그림 3.2.6-3> 호주 생산량 예측 절차 및 시뮬레이션 결과

3.2.7. 아르헨티나의 농업 모니터링

- 아르헨티나의 농업 모니터링은 재배면적, 생산량, 파종 및 수확 절차, 작물 생태 등의 농업에 관한 여러 항목에 대한 정보를 수집하고 주요 34개 농업 지역을 네트워크로 연결하였다.
- 아르헨티나는 1981년부터 재배면적 산출 개선을 위해 원격탐사 기술을 사용하고 있다. Landsat 영상, 도로와 하천의 벡터 데이터, 토양 정보, 강우량 정보 및 전자 지적도와 지역 샘플링을 통한 토지이용도 등을 사용하고 있다.
- 위성영상의 분류기법을 사용하여 밀, 옥수수 및 콩의 주요 작물에 대한 디지털 분석을 하고 있으며, 현재 통계 샘플링 조사 프로그램을 개발하고 있다.

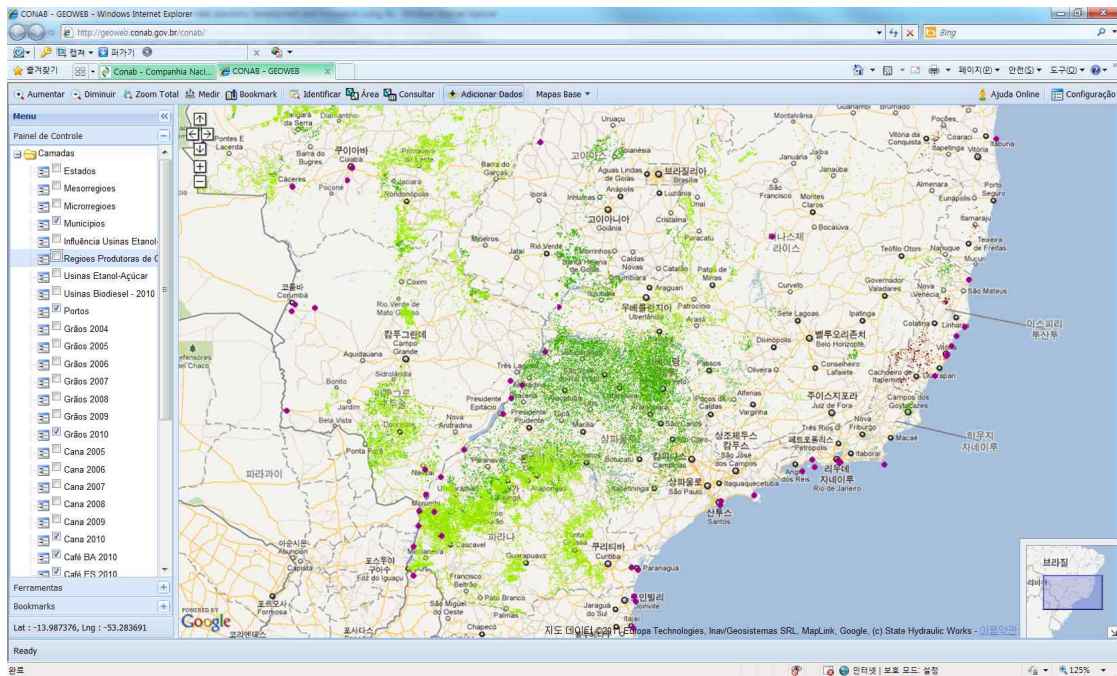


<그림 3.2.7-1> 아르헨티나 토지 피복/이용도

3.2.8. 브라질 CONAB의 GeoSafras

- CONAB (Brazil's National Good Supply Company of the Ministry of Agriculture)의 GeoSafras 프로젝트는 농업 모니터링을 위한 데이터 분석, 재배면적 추정 및 생산량 예측을 주 업무로 하고 있다. 데이터 수집과 재배지역 마스킹을 위해 대학, 연구기관, 기상청 등의 여러 기관과 협력관계를 유지하고 있다.
- GeoSafras 프로젝트는 일관성 있는 농업 통계를 위해 농업지역 모니터링 자료, 과거 기상 데이터 및 영상 자료를 이용하여 생산량 예측 모델을 평가한다.
- 작물 분류를 위해 1km의 SPOT 식생 자료와 MODIS 데이터로 브라질 전역을 커버하며, 커피와 감귤류는 30m 해상도의 Landsat과 10m 해상도의 SPOT 영상 데이터가 이용된다.
- 작물 분류맵은 여름과 겨울철 NDVI 차이를 기반으로 한다. 커피와 감귤류는 시각적인 해석 및 디지털 분류를 기반으로 맵핑되며, 참조데이터는 분류 정확도 평가를 위해서 수집이 된다.
- 사탕수수과 작물 마스크맵은 일반적으로 매년 업데이트가 되며, 커피와 감귤류의 다년생 작물 분류맵은 4~5년 단위로 업데이트를 실시한다.

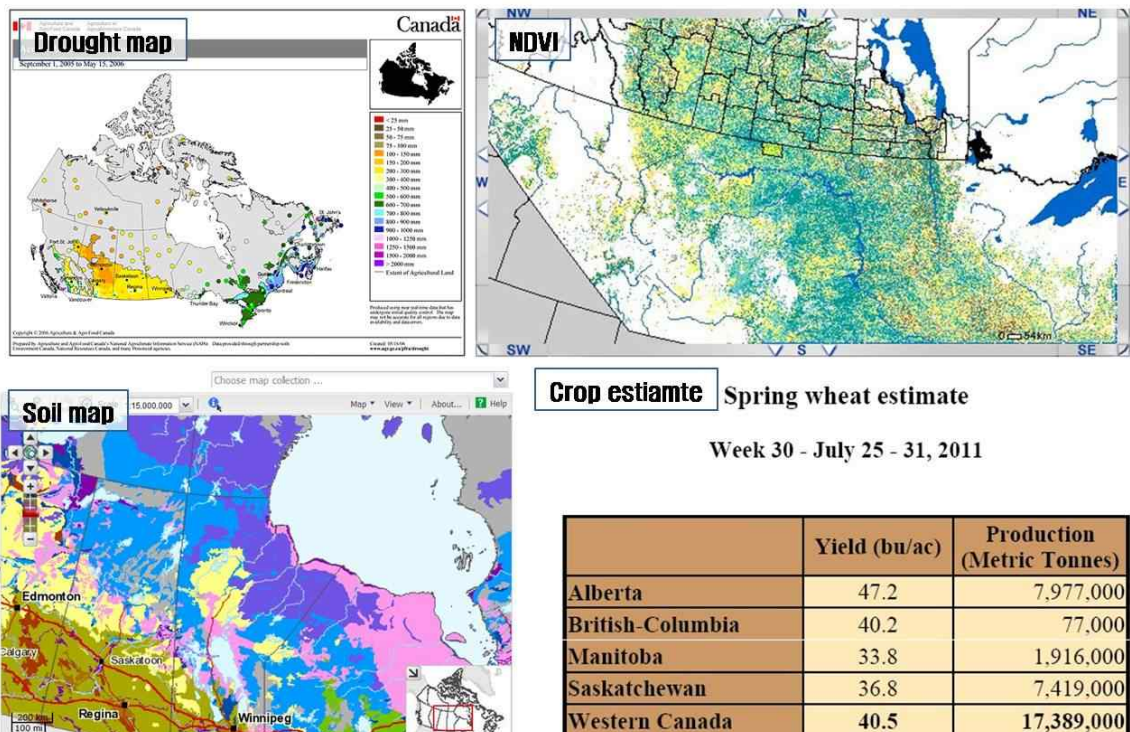
원격탐사기술을 활용한 주요 농산물 생산량 추정기법 개발



<그림 3.2.8-1> 브라질 GeoSafras 시스템

3.2.9. 캐나다의 CCAP

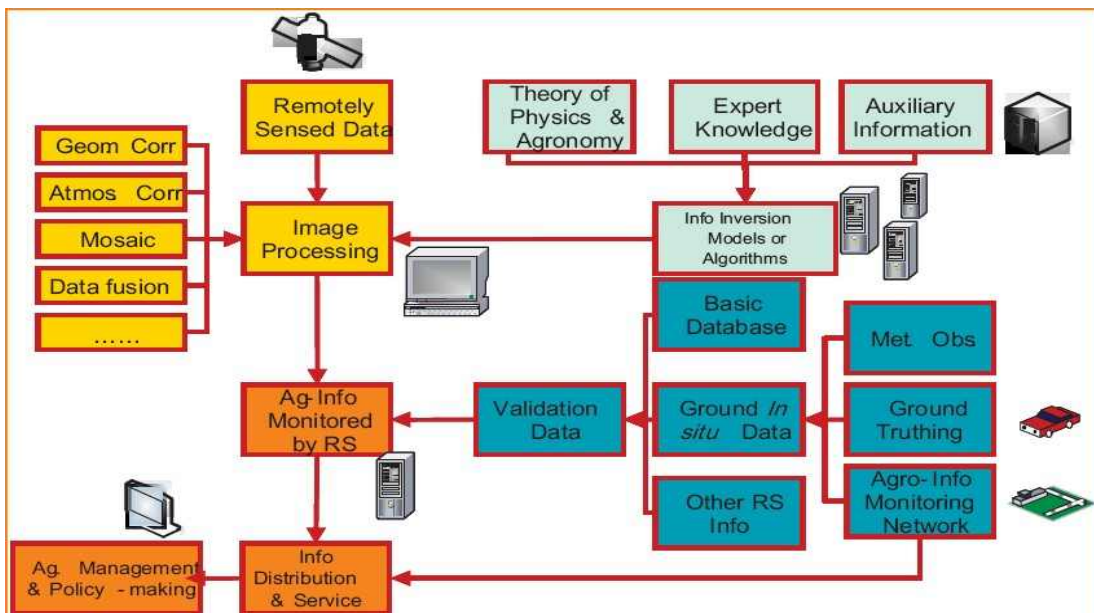
- 캐나다 통계청은 농림부와 농식품부의 지원을 받으며 CCAP (Canada's Crop Condition Assessment Program) 프로그램을 개발 및 관리 하고 있으며, 웹사이트를 통해 작물 생육 상태 정보를 제공하고 있다.
- 작물 상태 모니터링은 수자원 관리, 위험 취약성 감소 및 생산 위험 프로그램 지원 등의 정책에 기여하고 있으며, 특히 가뭄과 위험 요소를 지속적으로 모니터링하고 농업환경 정보에 중요한 기여를 하고 있다.
- MODIS NDVI의 주단위 합성영상은 캐나다 농림부와 농식품부에서 제공하고 있으며, 2009년에 주단위 합성 NDVI 데이터를 처리하는 운영시스템을 개발하여 사용하고 있다.



<그림 3.2.9-1> 캐나다 통계청의 CCAP

3.2.10. 중국의 CHARMS

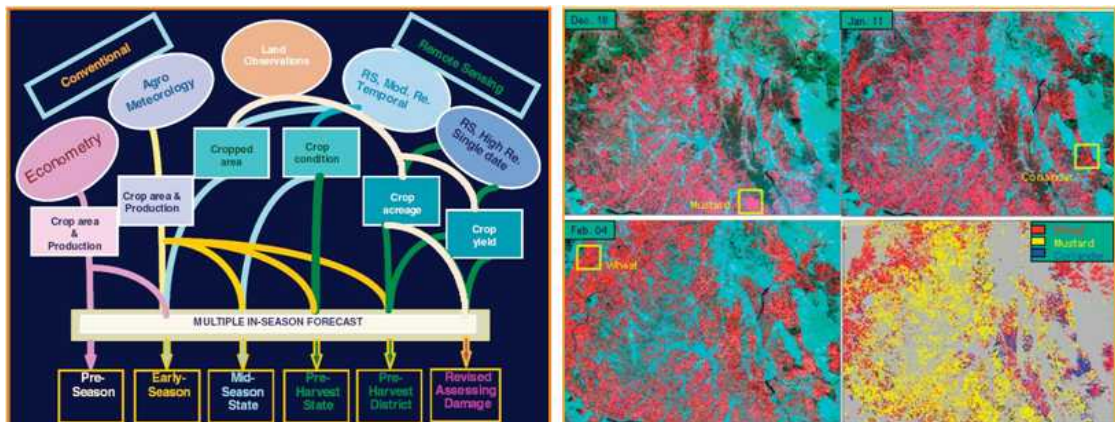
- CHARMS (China Agriculture Remote Sensing Monitoring System)은 1998년에 착수하여 1999년에 운영되었다. CHARMS 시스템은 재배면적 변화, 작물 생육, 생산량, 수확량 및 재해 등을 모니터링 하고 있으며, 농림부의 RSAP (Remote Sensing Application Center)를 통해 작물 생육 기간 동안 모니터링 정보를 제공하고 있다.
- 또한, 농작물 재배 면적의 변화와 중국 농업지역에 대한 가뭄을 모니터링 하며, 체계적으로 현장 조사를 실시하고 밀, 옥수수, 쌀, 콩 및 목화에 대해 생산량 예측과 수확량 추정을 실행한다.
- 생산량 예측은 작물 생육과 가뭄 모니터링 모델로 구성된다. 원격탐사 데이터는 RSAP에서 전처리 작업을 실시하며, 11개의 지역 센터에서 이미지 해석 및 지상 검증을 통해 배포된다. 현장 정보 수집은 농림부에 관리된다.



<그림 3.2.10-1> 중국의 CHARMS 작물 모니터링 시스템

3.2.11. 인도의 FASAL 시스템

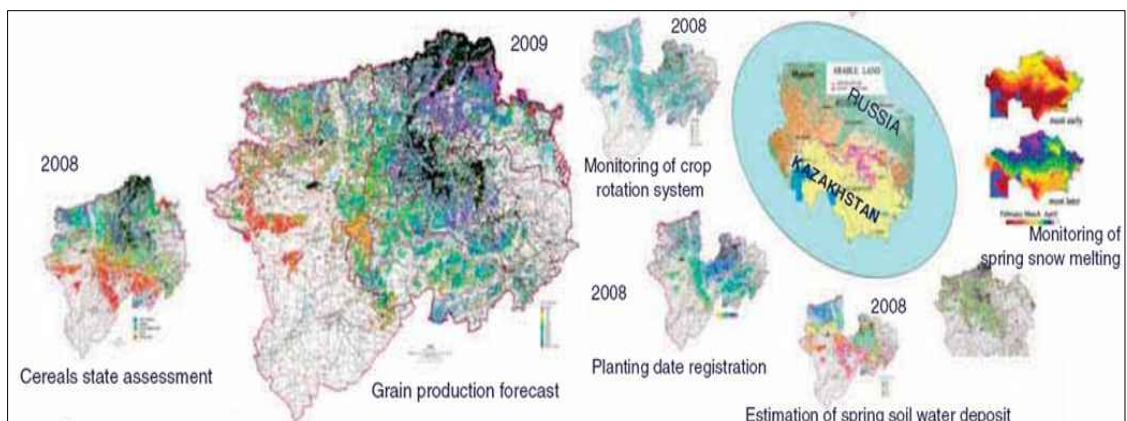
- 인도의 FASAL(Forecasting Agricultural output using Space, Agro-meteorology and Land) 시스템은 주로 원격탐사 데이터를 이용하여 작물의 다양한 계절에 대해 재배면적과 생산량 예측을 수행한다.
- FASAL 시스템은 AWiFS, LISS-III, Radarsat-SAR 및 기상데이터(AWS, 지상관측 및 INSAT-VHRR과 NOAA-CPC를 이용한 강우량 예측) 등을 사용한다.
- 재배면적 추정은 시계열 원격탐사 데이터를 이용하여 분류 결정을 하고, 주산지에 샘플링 기법과 원격탐사 기법을 사용하여 작물 평가를 실시한다. 또한, 분광지수와 지상데이터를 기반으로 한 생산량 모델은 생산량 예측을 위해 사용된다.
- 국가 단위의 재배면적과 생산량 예측은 벼, 밀, 감자, 유채, 겨자 및 인도삼 작물을 대상으로 하며, 지역 단위의 생산량 예측은 목화, 밀, 유채, 겨자, 수수 및 사탕수수 작물을 대상으로 한다.



<그림 3.2.11-1> 인도의 FASAL 시스템 개요(좌) 및 재배면적 추정(우)

3.2.12. 카자흐스탄의 KCSRT

- 카자흐스탄의 NCSRT (the National Centre of Space Research and Technologies)은 작물 모니터링 시스템을 운영하고 있다. 주요 임무는 봄 토양 수분의 함량 평가, 봄작물 재배면적, 곡물 파종시기 관리, 작물 상태 평가 및 곡물 생산 예측을 위한 경험적 모델링이다.
- 카자흐스탄의 봄밀과 보리의 재배면적은 100,000km² 이상으로, MODIS 데이터의 일 단위 모니터링의 효율적인 면적은 400ha 이상이다. 모니터링 시스템의 곡물 재배지역에 다양한 평가는 작물 생육 기간에 실행된다.
- 시스템의 데이터는 AVHRR, MODIS, AWiFS 및 LISS-III와 현장 측정 및 지상관측소의 기상데이터를 주로 사용하고 있다.
- KCSRT 시스템의 최종 결과물은 위성 데이터를 이용한 필드 면적의 추정과 매년 봄작물과 다른 작물의 토지이용 분류를 제공하고 있다.



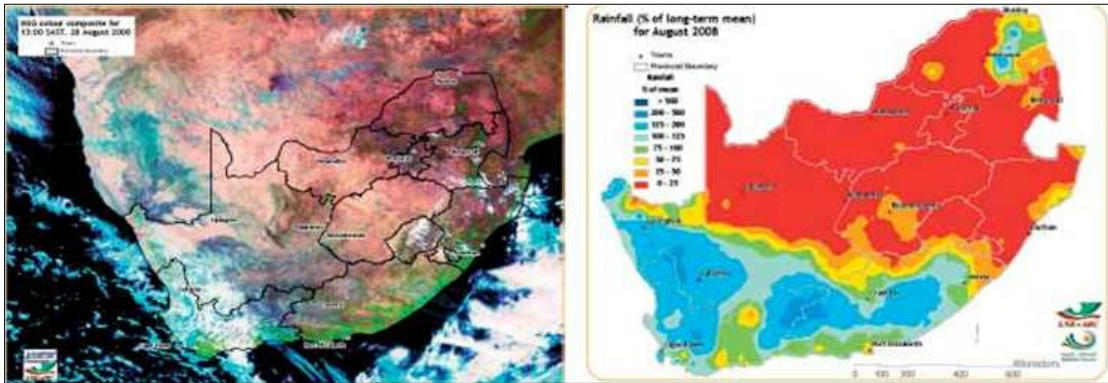
<그림 3.2.12-1> 카자흐스탄의 KCSRT 시스템

3.2.13. 남아프리카 공화국의 DAFF

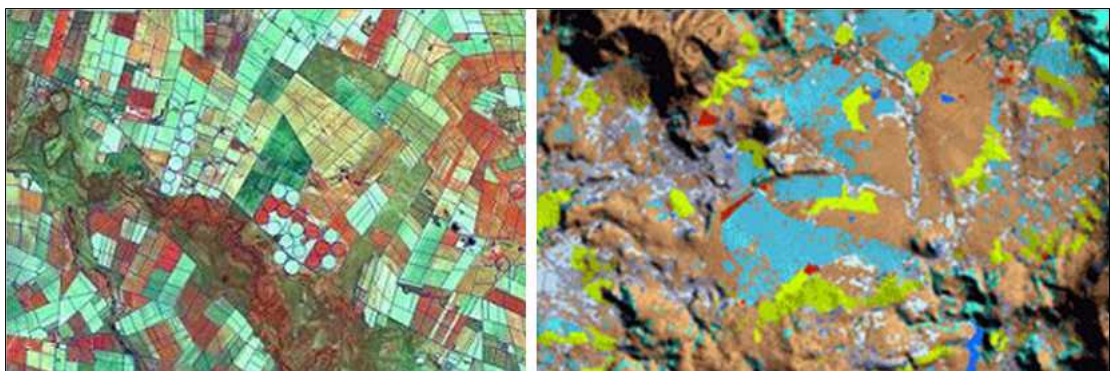
- 남아프리카 공화국의 DAFF (the South African National Department of Agriculture, Forestry and Fishery)는 생산량 예측을 두 그룹으로 나누어 실시한다. 첫 번째 그룹은 여름철에 재배되는 옥수수, 해바라기, 콩, 땅콩 및 수수이고, 두 번째는 겨울철 생육하는 밀, 보리, 귀리 및 카놀라로 구분된다.
- NCSS (National Crop Statistics Consortium)은 재배밀도에 따라 계층적인 포인트 샘플링을 기반으로 재배면적과 생산량 예측을 평가하며, 지속적으로 시스템을 개발하고 있다.
- 주로 사용되는 데이터는 재배지역의 경계를 나누기 위해 Landsat 5 TM, SPOT 2 및 SPOT 4를 사용하고, 작물 분류를 위한 샘플링은 항공사진 (Very Light Aircraft; VLA)을 사용한다.
- 위성 데이터는 농경지를 구분하기 위한 첫 단계로 사용되며, 225m 간격의 그리드를 생성하여 재배밀도를 산정한다. 이후 여름 곡물을 대상으로 8개 지역으로 확대하여 적용한다.
- 항공조사는 지역별로 각 작물에 대한 면적 통계를 위해 실시하며, 위성영상에서 작물 유형을 분류하는데 사용한다. 생산량은 무작위로 선택된 현장 측정에 의해 얻어진다.
- 분류 방법은 최대우도법을 사용하여 감독분류 후 작물 형태에 따라 폴리곤 경계로 나누어진다. 특정기간동안 작물 형태에 따른 필드에 대해 ESRI의 셰이프 파일로 일반화되면 다양한 쿼리 및 분석에 대한 기초자료를 제공한다.

원격탐사기술을 활용한 주요 농산물 생산량 추정기법 개발

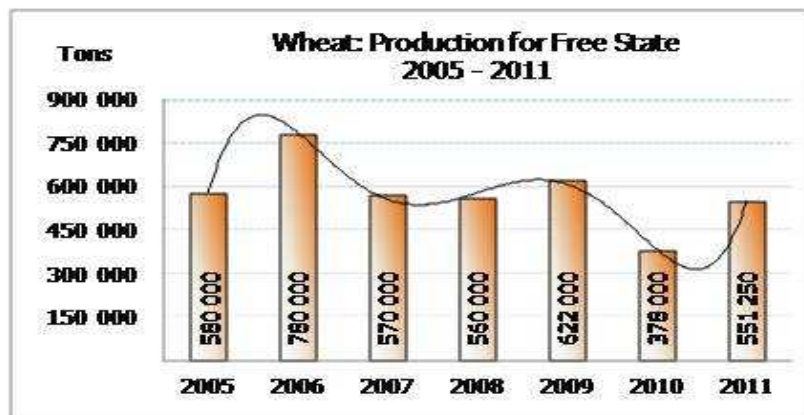
- 또한, 항공조사를 통해 각 지역의 통계 면적을 추정하고 작물 형태를 공간분포로 보여주며, 농업 기후 지대별로 정보 추출이 가능하다.



<그림 3.2.13-1> 남아프리카 공화국 위성사진(좌)과 강우량 분포도(우)



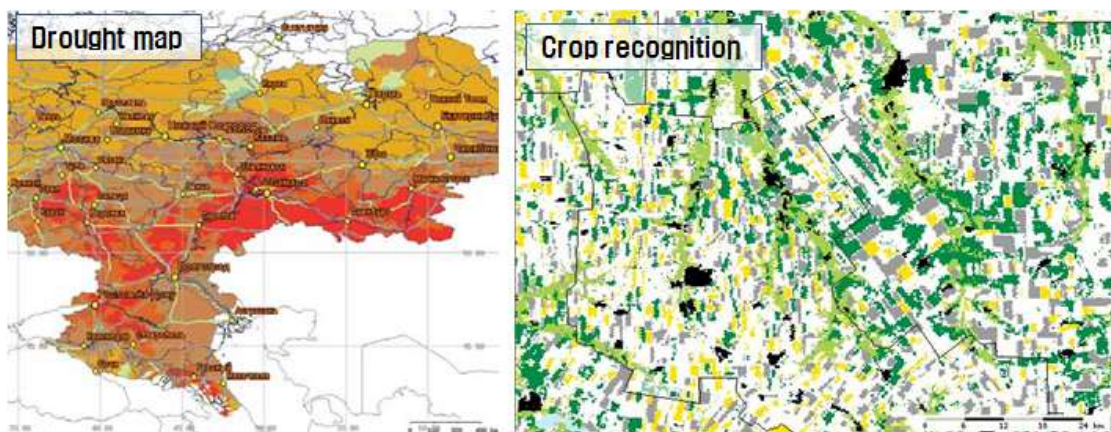
<그림 3.2.13-2> 남아프리카 공화국 필드 분류맵(좌)과 토양도(우)



<그림 3.2.13-3> 남아프리카 공화국 밀 생산량

3.2.14. 러시아 IKI의 RSALMS

- 러시아 농림부의 IKI (the Space Research Institute of Russian Academy of Sciences)는 지역단위 재배면적, 생산량 예측 및 작물 재해 평가 모니터링 시스템 개발하였다.
- RSALMS (Remote Sensing based Agricultural Land Monitoring System) 시스템은 지역별 생산량 예측의 다양한 평가를 목적으로 하고 있으며, 지역 농업 단체, 위성 원격탐사 데이터 (주로 MODIS), 지상관측 농업 기상 데이터 등의 다양한 데이터를 기초로 하고 있다.
- MODIS 데이터의 전처리를 위해 특별한 소프트웨어를 개발하고, 작물과 경작지 평가는 NDVI와 PVI 분석을 통해 수행되었다. MODIS의 식생지수와 기상데이터는 회귀모델과 유사분석을 통해 작물 생산량 예측에 사용되었다.
- 겨울과 여름철 작물의 경작지와 지역단위 경작 면적의 연간 평가를 실시하며, 지역단위 주요 작물의 생산량 예측은 생육기간동안 매주 업데이트 된다.



<그림 3.2.14-1> 러시아 가뭄지도(좌) 및 작물 분류도(우)

3.3. 위성영상 적용가능성 평가

- 주요 밭작물에 대한 위성영상 적용 가능성 평가는 2010년 충북대학교 산학협력단에서 실시한 연구 용역 『농작물 생산통계의 원격탐사기술 활용방안 연구』를 정리하여 요약하였다.

3.3.1. 위성영상 데이터의 종류 및 특성

- 위성영상 데이터는 나름대로 고유한 특성을 가지고 있으며, 활용 목적에 따라 다양한 기준으로 나눌 수 있다.
- 특히, 관점에 따라 상이하게 구분될 수 있으나 일반적으로 해상도(Resolution)에 따라 구분되는 게 보편적이다.
- 위성영상 데이터에서 해상도는 영상에서 분해될 수 있는 최소 단위 면적인 공간해상도(Spatial Resolution), 센서가 감지할 수 있는 파장의 세분영역을 나타내는 분광해상도(Spectral Resolution), 센서의 광학적 민감성을 표시하는 방사해상도(Radiometric Resolution), 그리고 동일 지역을 반복해서 관측할 수 있는 촬영주기를 나타내는 시간해상도(Temporal Resolution) 등 여러 종류의 개념으로 사용된다.
- 따라서, 위성영상 데이터의 종류에 따라 활용될 수 있는 범위와 성격을 명확히 구분하고, 농업생산통계의 산출에 활용하기 위한 위성영상 데이터별 적용 분야를 설정해야 한다.
- 이러한 해상도에 따른 위성영상 데이터의 특성을 정리하면 <표 3.3.1-1>과 같다.

<표 3.3.1-1> 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

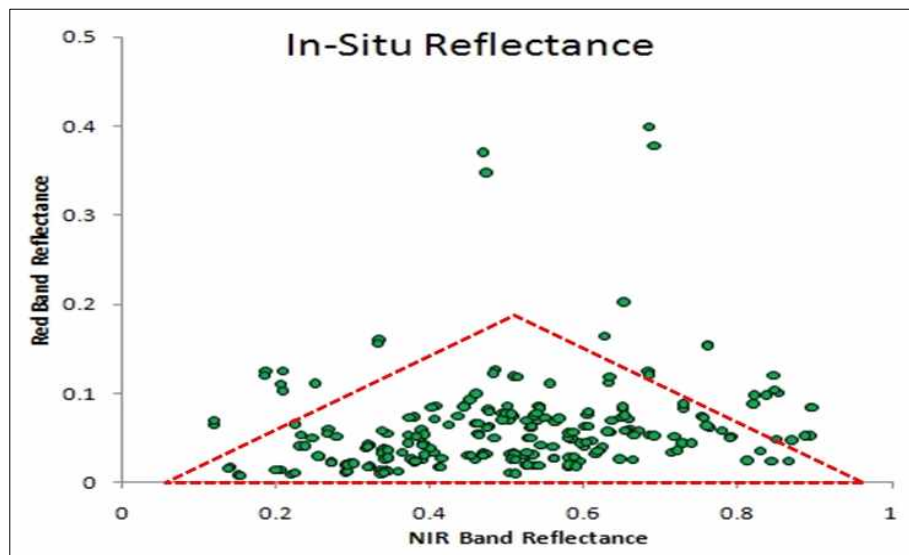
- 또한, 현재 가장 널리 사용되고 있는 광학위성영상 데이터를 대상으로 공간 해상도에 따른 기본적인 특성을 정리하면 <표 3.3.1-2>과 같다.

<표 3.3.1-2> 공간해상도에 따른 위성영상 데이터의 구분

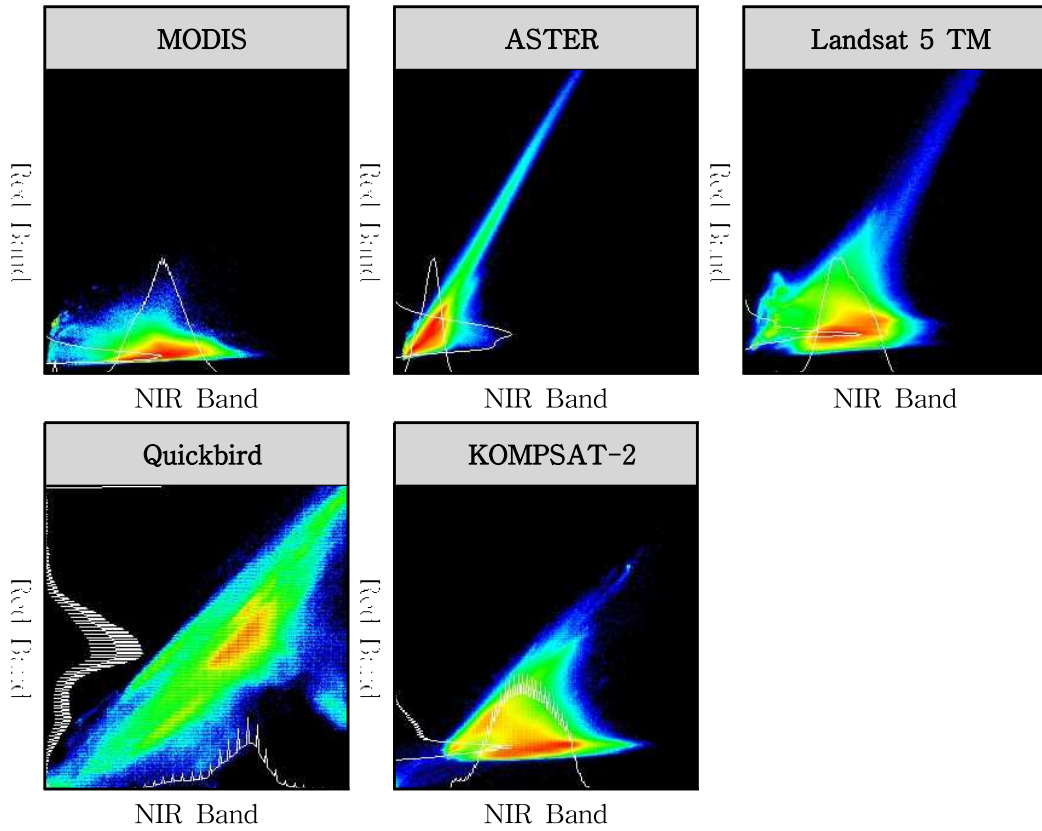
구분	위성/센서	밴드수	공간해상도	촬영주기	촬영범위	발사년도
고 해상도	IKONOS	4	1m/4m	3~4일	11km	1999
	KOMPSAT-2	4	1m/4m	3일	15km	2006
	QuickBird	4	0.6m/2.8m	1~5일	16km	2001
	OrbView	4	1m/4m	임의조정	8km	2002
중 해상도	Landsat/TM	7	30m/15m	16일	185km	1982
	SPOT/HRV	4	20m/10m	26일	60km	1986
저 해상도	IRS/LISS	4	20m/5m	25일	130km	1995
	NOAA AVHRR	5	1km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

3.3.2. 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 평가는 작물의 생육상태 파악에 가장 중요한 파장대로서 식생지수 추출에 주로 이용되는 적색 파장대와 근적외선 파장대를 사용하였으며, 현장에서 측정된 분광반사율과 위성영상 데이터의 경향을 비교하였다.
- 비교 결과, KOMPSAT-2 위성영상 데이터의 분포경향이 가장 유사한 것으로 나타났으며, MODIS 위성영상 데이터도 비슷한 경향을 나타내었다.
- 이와 같이 위성영상별 밴드 간 상관성을 순위별로 나열하면 KOMPSAT-2 > MODIS > Landsat 5 TM > ASTER > Quickbird 순으로 나타났다.



<그림 3.3.2-1> 현장에서 측정된 적색 파장대와 근적외선 파장대의 분포도



<그림 3.3.2-2> 각 위성영상 데이터별 적색 밴드와 근적외선 밴드의 분포도

3.3.3. NDVI 정확도 평가

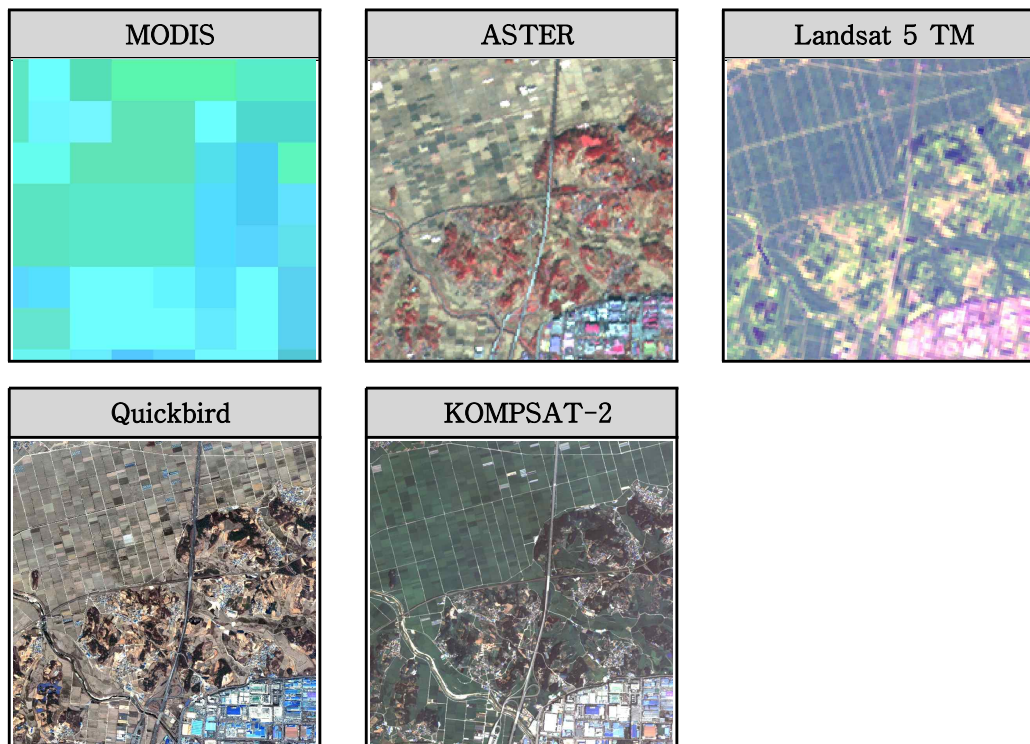
- NDVI 정확도 평가는 현장에서 취득한 분광반사율에 의해 추출된 NDVI와 동일시기, 동일지역의 위성영상 데이터에서 추출한 NDVI의 차이로 나타내었다.
- NDVI의 정확도는 <표 3.3.3-1>과 같이 MODIS > KOMPSAT-2 > Landsat 5 TM > ASTER > Quickbird 순으로 나타났다.
- 또한, 취득시기가 식생의 활력도가 가장 높은 시기인 8~9월인 것을 고려해 볼 때, MODIS, KOMPSAT-2 및 Landsat 5 TM 위성영상 데이터가 작물의 작황정보 추출에 용이한 것으로 판단된다.

<표 3.3.3-1> 현장 NDVI와 각 위성영상 데이터별 NDVI 비교

		위성 영상	현장 추정치	편차	Mean	Max	Min	S.D.	CV
MODIS	일시	8.21~31	08.21	5	0.430	0.460	0.419	0.017	0.040
	NDVI	0.419	0.871	0.451					
ASTER	일시	11.25	11.06	19	-0.111	0.179	-0.348	0.066	-0.594
	NDVI	-0.115	0.154	0.269					
Landsat 5 TM	일시	08.31	09.01	1	0.309	0.511	-0.211	0.146	0.472
	NDVI	0.486	0.915	0.429					
KOMP- SAT-2	일시	08.31	09.01	1	0.446	0.692	0.014	0.141	0.316
	NDVI	0.497	0.915	0.418					
Quick- bird	일시	10.23	11.06	14	0.139	1.000	-1.000	0.165	1.187
	NDVI	0.091	0.154	0.063					

3.3.4. 육안판독 가능성 평가

- 위성영상 데이터의 육안판독 가능성은 해당 위성영상 데이터의 공간해상도에 의하여 좌우된다.
- 육안판독 가능성 및 해당 영상의 공간해상도는 <그림 3.3.4-1>과 같이 Quickbird(0.6m) > KOMPSAT-2(4m) > ASTER(15m) > Landsat 5 TM(30m) > MODIS(500m) 순으로 나타났다.
- 여기서, 각 위성영상 데이터의 육안판독 가능성은 공간해상도 순위와 동일한 결과를 나타냈다.
- 그러나 MODIS 및 Landsat 5 TM 위성영상 데이터와 같이 다중분광을 지원하는 위성영상의 경우, 출력되는 칼라의 밴드 순서를 임의로 조정하여 False Color로 표현할 경우, 부분적으로 육안 판독성이 증가하는 것으로 나타났다.



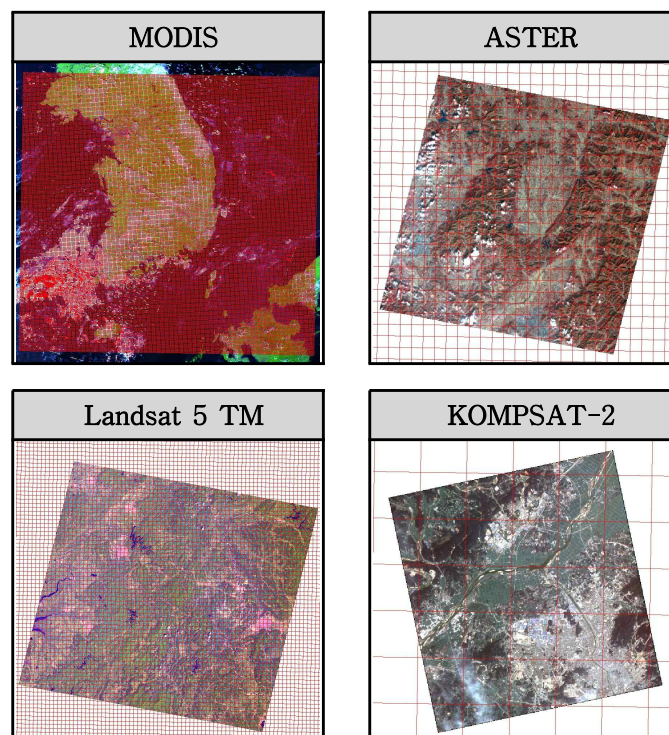
<그림 3.3.4-1> 각 위성영상 데이터의 육안 판독 정도

3.3.5. PSU 활용성 평가

- PSU(Primary Sampling Unit : 1차 추출 단위)는 모집단에서 처음으로 추출하는 단위로 위성영상 데이터를 이용하여 농작물 생산통계 추출 시 기본이 되는 단위이다.
- 위성영상 데이터와 전국 232개 시군별 PSU와의 활용성 비교 결과, <표 3.3.5-1>과 같이 KOMPSAT-2 > Landsat 5 TM > ASTER > Quickbird > MODIS 순으로 나타났다.

<표 3.3.5-1> 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



<그림 3.3.5-1> 각 위성영상 데이터의 Scene 당 PSU 현황

3.3.6. 위성영상 데이터의 수집성 평가

- 농작물 생산통계는 작물 모니터링 및 시계열 분석이 중요하므로 해당 지역 또는 해당 작물에 대한 다양한 시기의 위성영상 데이터가 필수적이다.
- 따라서, 각 위성영상 데이터별 수집성도 고려하여 적용해야 한다.
- 해당 위성영상 데이터 별 수집비용, 취득방법, 소요시간 및 장단점을 정리하면 <표 3.3.6-1>과 같다.

<표 3.3.6-1> 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 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

3.4. 주요 작물 적용 가능성 평가

3.4.1. 휴리스틱 접근법에 의한 우선순위 결정

- 주요 밭작물에 대한 적용 가능성 평가는 2010년 충북대학교 산학협력단에서 실시한 연구 용역 『농작물 생산통계의 원격탐사기술 활용방안 연구』를 정리하여 요약하였다.
- 휴리스틱(heuristic) 접근법이란 제한된 정보를 고려하여 실무상 실현 가능한 해답이 필요할 때 적용되는 기법으로 이상적인 방법보다는 현실적으로 만족할 만한 수준의 해답을 찾는 것이 목적이다.
- 주요작물의 적용성 평가는 대상작물에 대하여 원격탐사기술을 적용하는데 얼마나 적합한 지를 알아보기 위한 것으로서 대상작물이 평가의 주체가 된다.
- 따라서, 평가항목은 작물의 생태학적, 식물학적 특성을 고려하여 결정된다.
- 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.
- 또한, 작물의 식물학적 특성은 작물의 일반적인 정보를 의미하는 것으로 표면 조직의 특성, 잎의 형태, 크기 등이 포함된다.

가. 작물의 생태학적 특성

- 대상작물의 생육주기에 의한 적용성 평가는 콩(60일) > 고추(50일) > 마늘(40일) = 양파(40일) 순으로 나타났다.
- 대상작물의 재배환경에 의한 적용성 평가는 콩(중규모, 경사지) > 고추(소, 중규모, 지지대) > 양파(소규모, 비닐멀칭) > 마늘(소규모, 불규칙) 순으로 나타났다.
- 대상작물의 분포 및 형태에 의한 적용성 평가는 콩(전국, 일년초) = 고추(전국, 일년초) > 마늘(전국, 다년초) > 양파(남부/중부, 일년초) 순으로 나타났다.

<표 3.4.1-1> 작물의 생태학적 특성

	생육주기	재배환경	분포	형태
콩(두류)	7월상순~10월상순	밭(중규모), 경사지	전국각지	일년초
고추(채소)	5월상순~9월중순	밭(소, 중규모), 지지대	전국각지	일년초
마늘(채소)	5월상순~6월하순	밭(소규모), 불규칙	전국각지	다년초
양파(채소)	4월상순~5월하순	밭, 이앙기 이전 답, 비닐멀칭	남부/중부	다년초

나. 작물의 식물학적 특성

- 잎의 표면조직에 의한 적용성 평가는 고추(매끄럽고 단단함) > 콩(매끄럽고 단단함) > 양파(거칠고 색이 연함) > 마늘(거칠고 색이 연함) 순으로 나타났다.
- 잎의 형태에 의한 적용성 평가는 콩(타원형) > 고추(난상 피침형) > 마늘(긴 피침형) > 양파(가늘고 속이 빈 원통형) 순으로 나타났다.
- 작물의 높이에 의한 적용성 평가는 콩(60cm) = 고추(60cm) = 마늘(60cm) >

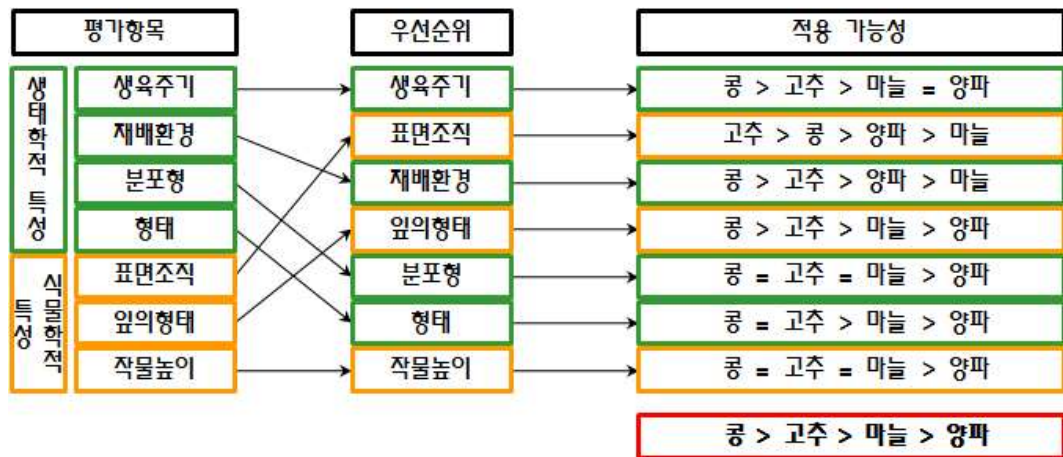
양파 (50cm) 순으로 나타났다.

<표 3.4.1-2> 작물의 식물학적 특성

	표면조직	잎의 형태	높이
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

다. 작물별 우선순위 선정

- <그림 3.4.1-1>은 대상작물의 생태학적 특성 및 식물학적 특성에 의하여 결정된 평가항목을 사전적으로 나열하고, 업무상 우선순위에 따라 재배열한 결과이다.



<그림 3.4.1-1> 휴리스틱 접근법에 의한 작물별 적용가능성 우선순위

- <그림 3.4.1-1>와 같이 재배열된 평가항목은 상위항목부터 1~7까지의 가중치를 부여하였고, 각 평가항목 별 적용가능성도 상위부터 1~4까지의 점수를 부여하여 종합하였다.

제 3 장 주요 발작물에 대한 생산량 추정방안 연구

- <표 3.4.1-3>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 콩 > 고추 > 마늘 > 양파의 순으로 나타났다.

<표 3.4.1-3> 휴리스틱 접근법에 의한 작물별 적용가능성 평가

평가항목		대상작물			
우선순위	가중치	콩	고추	마늘	양파
생육주기	1	1	2	3	3
		1	2	3	3
표면조직	2	2	1	4	3
		4	2	8	6
재배환경	3	1	2	4	3
		3	6	12	9
잎의 형태	4	1	2	3	4
		4	8	12	16
분포형	5	1	1	1	2
		5	5	5	10
형태	6	1	1	2	3
		6	6	12	18
작물높이	7	1	1	1	2
		14	14	14	14
평균		5.29	6.14	9.43	10.86

3.4.2. 생산량 예측 기초자료 수집

- 원격탐사기술을 활용한 생산량 추정 모델의 개발은 먼저, 대상지역에 대한 원격탐사자료와 기상자료 및 생산량 자료를 수집한다.

- 자료 수집 후, 원격탐사자료와 기상자료를 생산량 추정 모델에 적용시켜 10a 당 수량을 추정하고, 재배면적을 이용하여 총 생산량을 도출한다.

- 따라서, 원격탐사기술을 활용하여 작물별 생산량을 예측하기 위해서는 관련 기관에 보유하고 있는 현장 생산량 자료와 기상자료, 위성영상 자료, 재배면적 등의 획득 가능한 자료를 우선적으로 파악하여야 한다.

가. 위성영상 자료

- 위성영상 자료의 필요성과 특징은 앞절에서 간략히 설명하였다.
- MODIS 위성자료의 수집과 관련하여 세부적으로 살펴보면, 대표적으로 MODIS 홈페이지, MODIS Rapid Response System, Web MODIS 등이 있다.
- 또한, 이상의 웹경로는 다음과 같다.
 - MODIS 홈페이지 : <http://modis.gsfc.nasa.gov>
 - MODIS Rapid Response System : <http://rapidfire.sci.gsfc.nasa.gov>
 - Web MODIS : <http://webmodis.iis.u-tokyo.ac.jp>



<그림 3.4.2-1> MODIS 위성자료 수집

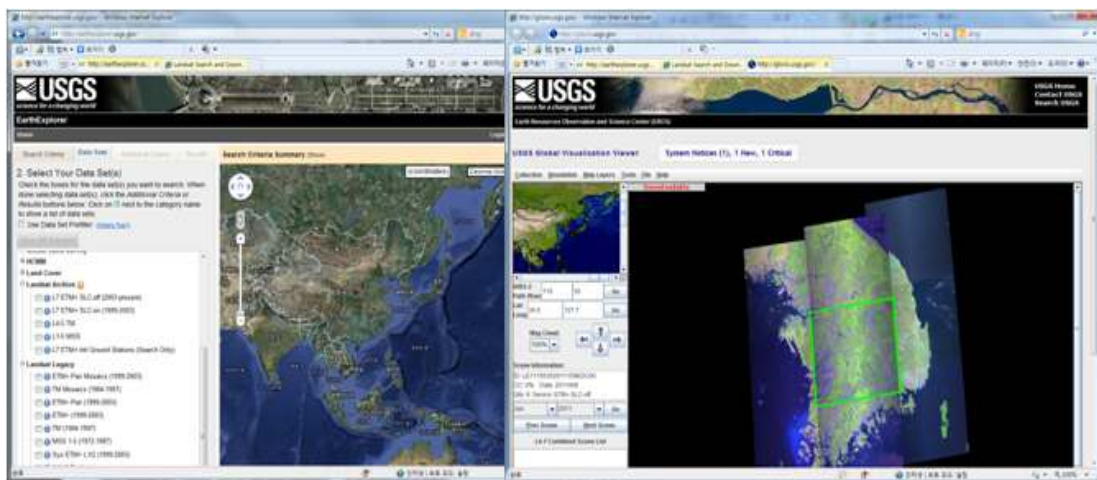
- 특히, NASA에서는 MODIS Products를 전처리 과정을 거쳐 MOD13Q1, MOD13A1, MYD13Q1 MYD13A1 등의 250m, 500m, 5600m 등의 다양한 스케일과 16 day, monthly 간격의 식생과 관련된 위성영상 자료를 제공하고 있다.

원격탐사기술을 활용한 주요 농산물 생산량 추정기법 개발

MOD13A1	Terra	Vegetation Indices	Tile	500m	16 Day
MYD13A1	Aqua	Vegetation Indices	Tile	500m	16 Day
MOD13A2	Terra	Vegetation Indices	Tile	1000m	16 Day
MYD13A2	Aqua	Vegetation Indices	Tile	1000m	16 Day
MOD13Q1	Terra	Vegetation Indices	Tile	250m	16 Day
MYD13Q1	Aqua	Vegetation Indices	Tile	250m	16 Day
MOD13A3	Terra	Vegetation Indices	Tile	1000m	Monthly
MYD13A3	Aqua	Vegetation Indices	Tile	1000m	Monthly
MOD13C1	Terra	Vegetation Indices	CMG	5600m	16 Day
MYD13C1	Aqua	Vegetation Indices	CMG	5600m	16 Day
MOD13C2	Terra	Vegetation Indices	CMG	5600m	Monthly
MYD13C2	Aqua	Vegetation Indices	CMG	5600m	Monthly

<그림 3.4.2-2> MODIS 식생 관련 위성자료

- Landsat 위성영상의 수집은 Earth-explorer(<http://earthexplorer.usgs.gov>), Glovis (<http://glovis.usgs.gov>)를 통해서 수집이 가능하다.
- 특히, Landsat 5 TM 위성영상의 경우, 최근 데이터에 한하여 유료 결제이
나, Landsat 7 ETM+ 등의 대부분의 데이터에 대해서는 무료로 제공하고 있다.



<그림 3.3.2-3> Landsat 위성자료 수집

제 3 장 주요 발작물에 대한 생산량 추정방안 연구

- GOCI(천리안 해양관측위성)은 2011년 9월 2일부터 누구든지 해양위성센터 홈페이지(<http://kosc.kordi.re.kr>)를 통해 제공 받을 수 있다.
- GOCI 위성영상은 정지궤도 위성으로 한반도 전체 식생을 하루에 8번의 촬영으로 준 실시간 모니터링이 가능하다.



<그림 3.4.2-4> GOCI 위성자료 수집

- KOMPSAT-2 위성영상은 자국 위성이기에는 하나 상업용으로 이용시에는 배포사를 통하여 정식으로 구매하여야 한다.
- 그러나, 연구용, 공익 목적으로 이용시에는 한국항공우주연구원과의 양해각서 체결을 조건으로 무상 공급이 가능하다.

원격탐사기술을 활용한 주요 농산물 생산량 추정기법 개발

- ASTER 위성영상은 국내 배포사를 통하여 Scene 당 300,000원에 구매가 가능하다.
- 또한, Quickbird 위성영상 역시 국내 배포사를 통하여 촬영면적 기준 km² 당 60,500원에 구매가 가능하다.
- 단, 기본 면적 36 km² 이상에 한하여 주문이 가능하며, 촬영 횟수가 3회로 제한되어 있고 촬영 영상의 윤곽이 20% 이하일 때에는 무조건 구매해야 하는 조건이 따른다.
- 이상의 결과를 바탕으로 각 항목별 위성영상 데이터의 취득방법 및 경로를 정리하면 <표 3.4.2-1>과 같다.

<표 3.4.2-1> 위성영상 취득경로

	수집 비용	취득방법	소요시간	취득경로
MODIS	무상	인터넷 검색, 다운로드	0.5개월	MODIS 홈페이지 - (http://modis.gsfc.nasa.gov) MODIS Rapid Response System - (http://rapidfire.sci.gsfc.nasa.gov) Web MODIS - (http://webmodis.iis.u-tokyo.ac.jp)
Landsat 5 TM	부분 무상	홈페이지 접속 주문/다운로드	0.5개월	Earth-explorer - (http://earthexplorer.usgs.gov) Glovis (http://glovis.usgs.gov)
천리안 해양위성 GOCI	무상	인터넷 검색, 다운로드	실시간	해양위성센터 (http://kosc.korea.re.kr)
KOMP-SAT-2	조건부 무상	유관기관 협조	1개월	한국항공우주연구원
Quickbird	60,500원 /km ²	국내 배포사 주문 후 구매	6~7개월	국내 배포사
ASTER	300,000원	국내 배포사 주문 후 구매	2~3개월	국내 배포사

나. 발작물 관련 통계 자료

- 통계청은 국가승인 통계자료를 DB로 구축하여 인터넷 접속을 통해 편리하게 통계자료를 이용할 수 있도록 국가통계포털 서비스(KOSIS, Korean Statistical Information Service)를 제공하고 있다.



<그림 3.4.2-5> 국가통계포털 홈페이지 (http://kosis.kr)

<표 3.4.2-2> 국가통계포털 보유자료 현황

구 분	작 물	수 록 기 간
시군별 면적 (주산지 시군)	마늘, 양파, 봄감자, 고추, 사과 등 10종	2008 ~ 2011
	참깨, 김장배추, 김장 무	2008 ~ 2010
시군별 생산량 (주산지 시군)	참깨, 고랭지감자	2010
	고추	2006 ~ 2011
도별 면적	식량작물, 채소류, 특용, 과수 등 30여종 이상	1980 ~ 2010
도별 생산량	식량작물, 채소류, 특용, 과수 등 30여종 이상	1980 ~ 2010

- <표 3.4.2-2>와 같이 KOSIS에서 밭작물 생산량과 관련하여 제공하는 자료는 1980년부터 2010까지의 식량작물, 채소류, 특용작물, 과수 등 30여종 이상의 도별 면적과 도별 생산량 자료 등이 있다.
- 또한, 시군별 재배면적은 2008년부터 2011년까지 마늘, 양파, 봄감자 고추, 사과 등 13종의 작물을 주산지별로 제공하고 있으며, 시군별 생산량은 2006년부터 2010년까지 고추와 2010년 참깨와 고랭지감자를 주산지별로 제공하고 있다.
- 그러나, 현행 통계자료의 사용시 다양한 작물에 대한 활용이 제한적이며, 특히 시군별 생산량 예측과 관련하여 참깨, 고랭지감자, 고추 등에 대한 작물에 한정되는 문제점이 예상된다.

다. 기상 자료

- 작물의 생육은 온도, 강수량, 일조시간 등의 기상조건에 민감하게 반응하며, 이 요소들은 생산량과 품질에 중요한 요인으로 작용한다.
- 특히, 식물은 각 생육단계별로 생육할 수 있는 한계온도를 가지고 있으며, 기상 상태에 따라 생육이 좌우되므로 기상조건에 대한 작황의 모니터링은 농작물 생산통계 산출에 매우 중요하다.
- 이와 같이 기상요소는 생산량 추정에 있어서 식생인자와 더불어 중요한 요인으로 작용하기 때문에 이에 대한 분석이 필요하다.
- 기상청은 학술·연구 및 보고서 작성 등 참고자료로 활용할 수 있도록 홈페이지(<http://www.kma.go.kr>)를 통하여 과거의 기상 자료를 제공하고 있다.

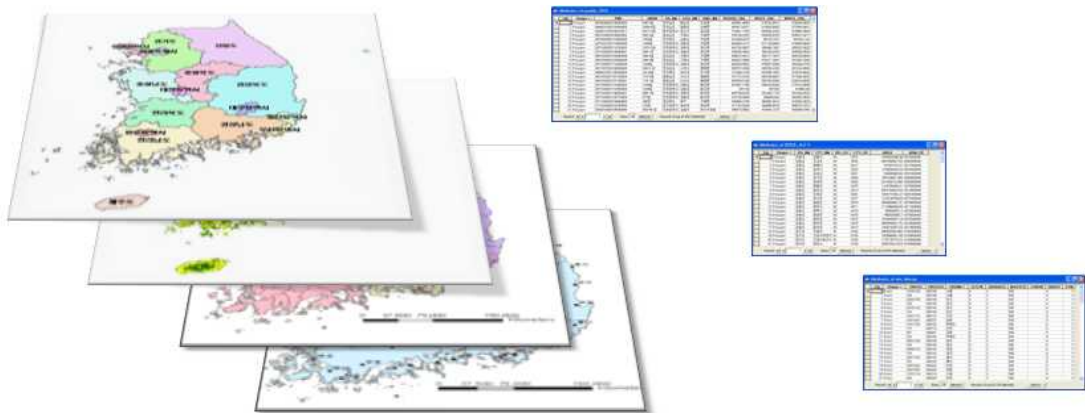
- 기상청에서 제공하고 있는 기상자료는 1960년부터 현재까지의 기상관측자료를 서울, 수원, 원주 등의 83개의 각 관측지점에서 일평균기온, 일평균습도, 일강수량, 일조시간 등 15개의 요소이다.

<표 3.4.2-3> 기상청 제공 기상요소

분류	기상요소
풍속	최대풍속, 최대순간풍향, 최대순간풍속, 일평균풍속
기온	일평균기온, 일최고기온, 일최저기온
강수량	일강수량
습도	일평균습도, 최소습도
적설량	최심신적설, 최심적설
기타	일조시간, 운량, 날씨

라. 기타 공간정보 자료

- 공간정보(spatial information)는 지형지물의 위치뿐만 아니라 지리적 현상을 비롯한 지표와 공간상의 모든 사건에 대한 위치, 경로, 시점 등의 모든 정보를 의미한다.
- 이러한 공간정보는 정치, 행정, 보건, 교육, 자연, 군사 등 모든 분야에서 중요한 위치를 차지하고 있다.
- 기본공간정보는 발작물 생산량 예측에 중요한 보조 자료로 활용할 수 있다.
- 예를 들면 행정구역이나, 토지피복도, 기상관측소 등의 기본적인 공간정보 자료 뿐만 아니라 수치지도, 지적도 및 통계청의 통계지리정보과에서 실시하고 있는 『조사구 현장관리시스템』 사업의 자료들은 발작물의 생산량 예측에 보조적인 자료로 중요하다.



<그림 3.4.2-6> 기본공간정보

- 정부는 공간정보의 취득과 관리를 위하여 국가공간정보 관련 기본 계획을 수립하여 진행하고 있다.
- 특히, 국가공간정보유통센터에서는 2000년 시범사업을 시작으로 2005년까지 단계적으로 분산 환경 시스템을 구축하였고, 2008년까지 구축된 분산 환경 시스템의 기능 개선, 타 기관 데이터 연계 및 구축을 통해 공간정보를 제공하고 있다.
- 그 밖의 기본공간정보 분야별 항목 및 구축기관을 정리하면 <표 3.4.2-4>와 같다.

제 3 장 주요 발작물에 대한 생산량 추정방안 연구

<표 3.4.2-4> 기본공간정보의 분야별 항목 및 구축기관

분야	구축항목	구축기관
행정구역	행정구역	행정안전부
교통	철도경계, 철도중심	철도청
	도로경계, 도로중심	국토지리정보원
해양 및 수자원	해안선, 해저지형, 해양경계	국토해양부
	유역경계	한국수자원공사
	하천경계, 하천중심 호수 등	국토지리정보원
지적	지적	행정안전부
측량기준점	측량기준점	국토지리정보원
지형	DEM(수치표고모델)	국토지리정보원
시설물	건물	국토지리정보원
	문화재	문화재청
위성영상 및 항공사진	항공사진	국토지리정보원
	위성영상	국토지리정보원

- 또한, 중앙 및 지방정부에서도 공간정보 구축에 관련하여 다양한 사업을 진행하고 있다.
- 효율적인 공간정보의 구축 및 처리, 활용을 위해서는 유관기관과 상호 협조 체계를 구축하여 각 기관의 업무의 활용성을 높이는 것이 필요하다.
- 중앙행정기관의 공간정보 관련 사업을 정리하면 <표 3.4.2-5>와 같다.

원격탐사기술을 활용한 주요 농산물 생산량 추정기법 개발

<표 3.4.2-5> 중앙행정기관 공간정보 관련사업

구분	사업명	기관명	담당부서
1	한국토지정보시스템(KLIS) 사업	국토해양부	국토정보기획과
2	지하수정보관리체계 구축사업	국토해양부	수자원정책과
3	하천지도 전산화사업	국토해양부	한강홍수통제소
4	개발제한구역 정보화사업	국토해양부	도시환경과
5	토지이용규제정보화 사업	국토해양부	도시규제정비팀
6	기본지리정보 구축사업	국토지리정보원	지리정보과
7	공간영상 구축사업	국토지리정보원	공간영상과
8	기본지리정보 표준화 사업	국토지리정보원	지리정보과
9	위성영상통합관리시스템 사업	국토지리정보원	기획정책과
10	영상정보시스템 유지관리사업	국토지리정보원	기획정책과
11	농지정보화사업	농림수산식품부	농지과
12	농림종합정보시스템	농림수산식품부	농지과
13	농림지리정보시스템	농림수산식품부	농지과
14	인공위성 영상자료를 이용한 중분류 토지피복도 갱신	환경부	정보화담당관
15	U-통계서비스 인프라 구축사업	통계청	통계지리정보과
16	공간통계지식체계 구축사업	통계청	통계지리정보과
17	조사구 현장관리시스템	통계청	통계지리정보과
18	GIS기반 농업환경정보시스템 구축사업	농촌진흥청	토양관리과
19	흙토람(한국토양정보시스템)	농촌진흥청	토양관리과
20	웹기반 위성자료처리시스템 구축	기상청	지구환경위성과
21	디지털예보 웹서비스 시스템	기상청	지구환경위성과

3.5. 국내 적용 가능성 및 연구방향

3.5.1. 선행연구 시사점

- 원격탐사기술을 활용한 선행연구의 시사점은 다음과 같다.
- 원격탐사기술을 활용한 발작물 생산량 예측 관련 선행 연구에서는 먼저 장기간의 자료와 현장 데이터를 통해서 발작물 생산량에 영향을 미치는 식생지수 파악하고 상관성을 검토하였다.
- 식생지수 뿐만 아니라 토양특성, 온도, 강수량 등의 생산량과 관련된 영향인자들을 파악하여 발작물 생산량 예측에 중요한 인자로 사용하였다.
- 생산량 예측에 중요한 인자인 위성영상의 식생지수 정확도를 높이기 위해서 구름 및 대기의 영향에 의한 다양한 식생지수의 보정 방법을 적용하고, 누적 NDVI, 시기별 평균 NDVI, 최대 NDVI 등 재계산된 다양한 식생지수를 검토하고 생산량과의 상관성을 규명하였다.
- 선행연구의 생산량 모델은 발작물의 재배량이 많고 일정 규모 이상의 재배 면적에 해당하는 주작물 위주로 연구를 시행하였으며, 다년간의 생산량 자료를 이용하여 검증 하였다.
- 또한, 다양한 인자를 고려하여 지역별, 기후별, 생육환경에 따른 지역으로 나누어 예측식을 개발하였다.
- 원격탐사 기술을 활용한 발작물의 생산량 예측에는 크게 3가지로 구분하면 다음과 같다. 첫째, 식생지수만을 고려하여 간단한 예측식으로 제시하는 경

우, 둘째, 다양한 인자를 고려하여 예측하는 경우, 셋째, 특성에 따라 지역을 나누어 예측하는 경우 등이다.

- 생산량 예측의 정확도 측면으로 살펴보면, 생산량 자료, 위성영상의 식생지수, 기상자료 등의 기초 입력 데이터가 가지고 있는 오차를 고려하여 특성에 따라 지역을 나누고 생산량에 중요한 인자들을 고려하여 예측하는 경우가 밭작물 생산량 추정에 가장 적합한 모델로 판단되었다.

3.5.2. 국내 적용시 애로사항

- 선행 연구 시사점을 통해 원격탐사기술을 활용한 발작물의 수확량 예측의 국내 적용의 애로사항을 살펴보면 다음과 같다.
- 국내 농업여건 상 발작물의 경우, 논 재배지 보다 농지의 규모가 작고 산간 부 등 지형이 복잡한 장소가 많다.
- 특히, 저해상도 위성영상의 픽셀 단위 (MODIS NDVI : 250m)보다 소규모의 불규칙한 농지가 많고, 중해상도(Landsat 5 TM : 30m) 위성영상에서는 작물을 판독하기에는 어려움이 따른다.
- <표 3.5.2-1>의 『항공영상 활용 원격조사 방법 개발(2010)』 결과에서도 나타난 바와 같이, 고해상도 항공영상이라 할지라도 일부 작물은 판독하는데 모호하거나 불가능한 경우가 있다.

<표 3.4.2-1> 『항공영상 활용 원격조사 방법 개발』 작물별 판독가능 여부

작물	재배기간	판독시기	비고	작물	재배기간	판독시기	비고
쪽파	03~11월	10월	판 독 가 능	감	05~11월	없음	판 독 불 가
봄감자	03~07월	05월		감귤	05~12월	없음	
김장무	07~11월	10월		배	04~10월	없음	
김장배추	07~11월	10월		사과	04~10월	없음	
보리	10~06월	01~02월		복숭아	04~08월	없음	
포도	05~09월	08월		대과	03~11월	없음	
고추	04~10월	07월	판 독 모 호	양배추	06~04월	없음	
참깨	05~09월	05월		당근	07~12월	없음	
마늘	09~07월	10월		콩류	05~10월	없음	
양파	09~07월	10월					

- 따라서, 발작물의 생산량 예측을 위해서는 중·저해상도의 위성영상 보다 고해상도의 위성영상을 사용하는 것이 바람직하다.
- 위성영상 자료는 한국항공우주연구원과의 양해각서(MOU)로 인한 KOMPSAT-2 위성영상 데이터의 우선적 검토가 가능하다.
- 그러나 실제 적용에 있어서는 대상지역의 KOMPSAT-2 위성영상 데이터가 없거나 구름의 영향으로 완벽한 위성영상 자료의 취득이 어렵다.
- 이를 해결하기 위해서는 매일 동일한 지역의 영상을 획득할 수 있는 RapidEye 위성영상, 고해상도의 QuickBird 위성영상 또는 항공영상 등을 보조 자료로 활용하는 방안을 고려해야 한다.
- 또한, 발작물의 경우 대부분 생육주기가 짧고, 수확시기가 장마철 직후인 8월, 9월에 집중되어 있어 구름 및 연무, 대기상황의 악화 등으로 인한 잡음 등이 없는 깨끗한 위성영상 자료의 수집이 매우 어렵다.
- 수확량 예측의 입력 데이터로 활용되는 재배지역 및 생산량 관련 통계자료의 부재 또한 애로사항 중 하나이다.
- 특히, 선행 연구 사례에서도 소규모의 농지와 다양한 작물을 재배하는 혼작 형태의 작부체계를 가지는 국내 농업여건에 맞는 연구지역은 거의 전무한 상태이다.

3.5.3. 국내 적용시 검토사항

- 발작물 생산량 예측의 국내 적용시 검토사항은 다음과 같다.
- 작물마다 고유의 분광특성이 상이하기 때문에 고분광해상도 위성영상의 다양한 파장대를 이용한 작물의 분광학적 특성 파악이 필요하며, 그에 따른 적용성도 고려해야 한다.
- 생산량 예측에 입력 자료인 생산량 자료는 20년 이상의 시계열 데이터의 확보가 우선시 되어야 하며, 정확한 재배면적 산출도 이루어져야 한다.
- 특히, 생산량 통계업무는 GIS를 연계하여 생산량 통계 자료의 DB 구축이 선행되어야 한다.
- 또한, 대부분의 발작물은 생육주기가 짧아 다년간의 현장 데이터 축적이 필요하며, 현장조사와 원격탐사기술의 상호 보완적 활용 및 유관기관의 업무 협조를 통한 기초 데이터의 확보가 필수적이다.
- 기초 연구를 위한 다양한 위성자료 확보 및 공간/시간/분광 해상도를 고려한 보완자료의 활용성을 검토해야 한다.
- 이상의 결과를 종합해 볼 때, 작물의 생육주기를 중심으로 작황현황의 지속적인 모니터링, 작황판독, 응용기술의 추가 연구 및 데이터 축적 등 전반적인 농업 통계 산출 기반 마련이 시급하다.

제 4 장 생산량 추정 시스템 개발을 위한 프로세스 제안

4.1. 생산량 추정 관련 국내 현황

4.1.1. 원격탐사를 활용한 생산량 예측 선행 연구보고서

- 한국농촌경제연구원(이후, 농경연)은 2015년 위성을 활용한 관측업무 실용화를 목표로 2007년 『위성정보의 농업관측 타당성』과 2009년 『위성정보의 농업관측 활용방안』 연구결과를 검토하여 2011년 『인공위성을 활용한 농업관측 시험연구 - 논벼 작황조사』 연구를 진행하였다.
- 위의 연구는 쌀 생산량 모델을 작성을 위하여 원격탐사자료 처리 - 재배면적 산출 - 공간 규모 분류 - 생산량 예측모델 개발의 순으로 진행되었으며, 연구 보고서의 내용을 요약하면 다음과 같다.
- 쌀 단수 예측모형 개발에 사용된 식생지수는 MODIS 위성영상에서 산출한 NDVI와 토지피복분류도, 행정경계도를 통합하여 추출한 농경지 NDVI를 이용하였다.
- MODIS NDVI와 쌀 단수 통계자료간의 단순상관분석 결과를 토대로 모형의 적용성을 검토하였다.
- 또한, NDVI와 쌀 생산량 간의 단순상관관계를 파악하기 전에 전국을 대상으로 공간범위의 규모를 전국단위별, 행정경계단위별, 등온선별 단위의 3개 유형으로 분류하였고, 규모별 NDVI와 쌀 생산량의 평균치를 이용하여 상관계수를 추출하였다.

원격탐사기술을 활용한 주요 농산물 생산량 추정기법 개발

- 모형의 적용은 등온선별 규모를 선정하여 전국을 연 평균온도를 기준으로 5개의 그룹을 나누어 사용하였으며, 다음과 같은 기상학적 독립변수를 추가하여 Log-Log 모형을 개발하였다.
 - 식생지수(NDVI) : MODIS 영상을 해당 촬영일자의 군별 평균치
 - 평균기온 : 출수기로부터 40일간의 평균 기온을 적용
 - 누적강수량 : 등숙기 동안의 해당지역 강수량 합계치 적용
 - 누적일조시간 : 등숙기 동안의 해당지역 일조시간 합계치를 적용

4.1.2. 학술 발표 자료

- 원격탐사를 활용한 농업관측은 크게 세 가지로 분류할 수 있으며 세부내용은 다음과 같다.
 - 첫째, 논과 밭에서 재배하는 식생에 대한 직접적인 관측
 - 둘째, 식생이 성장하는데 영향을 주는 요인의 관측
 - 셋째, 농업환경 전반의 관측

- 국내에서도 원격탐사 기술의 발달과 함께 농업분야에 대한 활용범위가 넓어졌으며, 다음과 같이 다양한 작물을 대상으로 작황 및 생산량 예측 분야에 다양한 연구들이 진행되고 있다.

- 김인환 외 2인(2011)은 “1km NDVI 10년 자료를 이용한 한반도 식생의 경년 변동 분석”에서 1999~2008년까지 SPOT NDVI를 이용하여 식생의 변화특성을 분석하였다. 그 결과, 위도 38° 이하 농경지에서 1년에 0.5일씩 NDVI 값이 가장 높은 시기가 빨라지고 있으며, 저위도로 내려 갈수록 식생의 성장이 가장 활발한 시기가 빨라지고 있는 것을 확인하였다.

- 홍석영 외 5인(2009)은 “MODIS NDVI를 이용한 북한의 벼 수량 추정 연구”에서 MODIS 위성영상을 이용하여 북한을 대상으로 벼 수량 추정의 가능성과 한계를 검토하였다. 그 결과, 2000년~2007년의 수잉기 NDVI 적용시, NDVI와 수량과의 상관계수는 0.77($p < 0.05$)로 계산되었으며, 벼 수량에 대해 회귀분석 결과, $R^2=0.591$ 로 나타나 2008년 북한의 벼 수량을 약 2.80 ton/ha로 추정하였다.

- 이충근 외 5인(2007)은 “SAR 위성영상을 이용한 벼 생육 및 수량 모니터링에 관한 연구”에서 SAR(RADARSAT)위성에서 얻어지는 후방산란계수를 이용하여 서산간척지의 벼 재배면적, 생육 및 수량과의 관계를 비교 검토하였

다. 그 결과, 단일시기의 후방산란계수와 벼 수량과는 낮은 상관도를 보였으나, 시계열 영상자료를 이용하여 다중회귀식 작성 결과 $R^2 = 0.64$ 로 나타났으며, 단위필지에서 최고 0.78까지 나타났다. 따라서, SAR영상을 이용한 정밀농업 구현의 가능성을 확인하였다.

- 김민호 외 5인(2008)은 “LANDSAT 위성영상을 이용한 벼 생육 및 수량 모니터링”에서 LANDSAT 위성영상을 이용하여 서산간척지내 벼의 재배면적과 생육 및 수량과의 관계를 검토하였다. 그 결과, 수량의 예측 모형은 $yield = 862.5 \times NDVI + 73.57 (R^2 = 0.66)$ 의 선형모형으로 표현되었으며, 벼 생육시기가 더욱 진전되었을 때의 영상자료를 이용할 경우 수량 추정도가 더 높아질 것으로 판단하였다.
- 이와 같이, 생산량 추정 시스템 개발에 앞서 생산량 추정관련 기초연구에 대해서 파악할 필요가 있다. 우리나라에서 위성을 통한 농업관측은 1990년대부터 계속 진행되고 있으며, 연구의 흐름은 <표 4.1.2-1>과 같다.
- 그러나, 원격탐사를 이용한 생산량 추정은 위성영상에서 기록된 파장의 특성을 가지고 식물의 직접적인 생육정보인 식생지수를 포함하는 것으로, 일반적으로 기상자료 및 시비량을 이용하여 작물의 작황을 추정하는 생육모델과는 차이가 있다.

제 4 장 생산량 추정 시스템 개발을 위한 프로세스 제안

<표 4.1.2-1> 최근 10년간 농업관측 연구 흐름

연구 흐름 단계	연구내용
현장조사에 의한 NDVI 분석	휴대용 분광복사계를 통한 NDVI와 벼의 생육단계별 특성을 파악 밭작물 분광반사 특성 및 식생의 활력도 분석
위성영상에 의한 NDVI 분석	다양한 위성영상을 통한 NDVI 분석 NDVI 분석의 정확도 향상을 위한 연구
원격탐사기술의 농업분야 활용	작물의 순 일차생산량 추정 가뭄지역 분석 및 검출 매개체 및 매개질병발생 예측 식생의 증발산량 산정 벼 생육 및 실소영양상태의 진단 가능성
생산량 추정 연구	수잉기 NDVI와 수확량의 회귀모델 제시 필지단위 수량과 NDVI 회귀식 작성 일단위 시계열 영상자료로 다중회귀 분석

4.1.3. 국내 연구 시사점 도출

- 위에서 파악한 국내 선행연구 결과를 바탕으로 시사점을 요약하면 다음과 같다.
- 원격탐사기술을 활용한 쌀 생산량 예측은 위성영상을 중심으로 연구를 진행하고 현장조사 자료는 기초 또는 보조 자료로서 활용하는 방향으로 진행되어야 한다.
- 위성영상의 선정은 공간해상도 보다는 시간해상도를 고려해야 한다. 일반적으로 고해상도 위성영상 보다는 안정적인 수급환경을 가지고 있는 AVHRR, MODIS 등이 시간해상도가 높다.
- 실제로 농경연의 연구에서도 MODIS 위성영상을 사용하여 전국단위별, 행정구역별, 등온선별 분류방식으로 NDVI와 생산량의 단순상관계수를 산출하였다.
- 시계열 자료의 적극적인 활용이 필요하다. 한 시기의 위성영상 데이터에서 추출할 수 있는 정보보다는 시계열 자료에서 추출할 수 있는 정보의 양이 훨씬 다양하며, 수확량을 예측하는데 사용되는 경험식은 과거의 자료에 의하여 산출되기 때문이다.
- 또한, 작물의 생장은 지속적으로 변화하며, 강수량, 일사량, 기온 등 여러 가지 기후요소에 영향을 받아 식생지수의 최대값이 나타나는 시기가 고정되어 있지 않다.
- 그러나, 현재 우리나라의 경우, 국가 통계 자료의 수집이 어렵고 조사기관에 따라 발표하는 통계자료의 변이가 커 객관적인 자료의 수집이 불가능한 실

정이다.

- 이에 따라 생산량 예측에 필요한 기초자료의 DB화를 통한 과거 자료 현황 파악, 자료의 정리 및 공간정보화, 결측치 및 이상치의 파악 및 보정기법의 개발 등이 선행되어야 한다.
- 현재 수집 가능한 자료를 이용한 추정방법의 개발도 지속적으로 이루어져야 하며, 도시, 산림, 수역 등 복잡한 토지피복의 극복방안과 혼작되어 있는 작물배치, 토지이용변화 등 지상요인에 따른 부정확성과 함께 구름, 연무 등 기상요인에 의한 오차를 최소화 할 수 있는 기술개발도 병행되어야 할 것이다.

4.1.4 생산량 추정 시스템 개발을 위한 기초연구

- 농업부문에 있어서 다양한 형태의 데이터 축적은 생산이나 유통과정의 변화에 결정적인 영향을 미친다.
- 따라서 농업분야에서 필요로 하는 데이터의 DB화를 통해 농업통계 산출에 필요한 데이터의 접근성을 확보하고, 유관기관과의 공유를 통해 데이터의 신뢰도 및 업그레이드 유지방안, 상호 시스템과의 호환성 등을 충분히 고려해야 한다.
- 특히, 앞서서도 설명한 바와 같이 위성영상의 수집 가능성이 원격탐사기술을 활용한 농업통계 생산에 가장 중요한 제약사항으로 작용하며, 이를 극복하기 위한 위성영상의 수집 및 관리 방안을 정리하면 다음과 같다.

가. 위성영상의 저장 및 가공

- 위성영상의 효율적인 저장 및 가공을 위해서는 위성영상에 대한 기본적인 지식이 필수적이며, 위성영상 특성상 원하는 정보를 추출하기 위해서는 다음과 같은 기본적인 사항을 알아야 한다.
- 원격탐사 및 관련된 GIS 자료의 디지털 영상처리는 상당한 대용량 저장 자원을 필요로 하며, 대용량 저장 매체는 상대적으로 빠르게 접속할 수 있어야 하고, 수명이 길어야 한다.
- 위성영상 자료는 용량이 크며 구입 시 상당한 비용이 소요된다. 물론 자국의 위성영상의 경우, 무상으로 공급이 가능하나 상업용 위성영상의 수집 및 처리에는 여전히 막대한 경제적 노력이 필요하다.

제 4 장 생산량 추정 시스템 개발을 위한 프로세스 제안

- 또한, 위성영상은 주기적으로 갱신되기 때문에 저장방법과 저장매체에 대한 다각적인 고려가 필요하다.
- 위성영상 자료를 저장할 때 소프트웨어의 손실과 함께 위성영상 자체가 아닌 하드웨어 측면의 손실 가능성을 고려해야 하며, 이러한 오류를 해결하기 위해서는 별도의 백업 시스템을 마련하여야 한다.
- 위성영상자료를 여러 사람이 사용할 경우 자료의 분류 및 명칭, 저장 경로 등을 표준화하여 처리하여야 한다.
- 수집된 위성영상은 위성 및 기관별로 제공하는 파일형식과 좌표체계 및 밴드별 파장영역 등이 각각 다르기 때문에 일반적으로 원하는 자료의 형태로 가공하기 위해서는 상업용 또는 공공 소프트웨어를 사용한다.
- 영상처리 소프트웨어를 사용하여 실행되는 중요한 기능인 방사 및 기하 전처리, 정보추출, 변화탐지, 그리고 정확도 평가 등을 포함하여 세부적인 기능을 요약하면 <표 4.1.4.-1>과 같다.
- 또한, 영상처리 시스템의 목적에 따른 기능성 평가 결과를 정리하면 <표 4.1.4.-2>와 같다.
- 원격탐사기술을 활용한 생산량 추정 시스템의 효율적인 운용 및 관리를 위해서는 관련분야의 체계적인 교육과정을 이수한 전문인력이 요구되며, 지리정보과학분야에도 상당한 지식을 가진 인력이 필요하다.
- 이는 생산량 추정 시스템의 운영자 및 담당자는 이론적인 기초와 다양한 영상처리 알고리즘에 대해서 이해하고 있어야 하기 때문이다.

원격탐사기술을 활용한 주요 농산물 생산량 추정기법 개발

<표 4.1.4-1> 디지털 영상처리 시스템에서의 영상처리 기능

주요 영상처리 기능	내 용
전처리	<ul style="list-style-type: none"> • 센서시스템 및 환경 영향에 의해 야기된 오차에 대한 방사보정 (영상 정규화 및 절대 방사보정) • 기하보정(영상 대 영상 등록 및 영상 대 지도 보정)
디스플레이 및 영상강조	<ul style="list-style-type: none"> • 흑백컴퓨터 디스플레이(8비트) • 컬러조합 컴퓨터 디스플레이(24비트) • 확대(Zoom), 축소, 로밍 • 대비조작(선형, 비선형) • 컬러공간 변환(예, RGB→IHS) • 영상연산(예, 밴드비, NDVI, SAVI, Kauth-Thomas, EVI) • 공간필터링(예, 저대역필터, 고대역필터, 대역필터) • 경계 강조(예, Kirsch, Robert, Laplacianm Sobel) • 주성분 분석(표준, 비표준, 최소잡음비율) • 질감 변환(예, 최대최소, 질감 스펙트럼, 프랙탈 차원) • 주파수 변환(예, Fourier, cosine, Hadammard, Walsh) • 수치고도모델 (예, IDW 및 kriging을 이용한 내삽, 음영기복도, 경사 및 향 계산) • 3차원 변환(예, DEM위에 영상을 중첩) • 영상 애니메이션(예, 동영상, 다중시기 변화탐지)
정보추출	<ul style="list-style-type: none"> • 화소 밝기값(BV_{ijk}) • 흑백 및 컬러 농도분할 • 단면도(공간 및 분광 프로파일) • 단변량 및 다변량 통계분석(예, 평균, 공분산, 상관관계, 지리통계) • 피쳐(밴드)선택(지리적 영역 혹은 통계) • 감독분류(예, 최소거리법, 최대우도법) • 객체지향 영상분할 및 분류 • 분류시 보조 자료 사용 • 규칙기반 의사결정분지도 및 기계학습을 포함한 전문가 시스템 영상 분석 • 신경망 영상분석 • 퍼지논리 분류 • 하이퍼분광 자료분석 • Radar 영상처리 • 정확도 평가(서술적 및 분석적) • 변화탐지
사진측량정보 추출	<ul style="list-style-type: none"> • 소프트카피 형태의 정사사진 • 소프트카피 형태의 수치고도모델 • 소프트카피 형태의 평면 상세
메타데이터 및 영상/지도 연혁	<ul style="list-style-type: none"> • 메타데이터 • 영상 및 GIS 파일처리의 완전한 기록(내역)
영상 및 지도제작 구성	<ul style="list-style-type: none"> • 영상이나 지도의 Postscript 레벨 2 출력물(축척정보 포함)
GIS	<ul style="list-style-type: none"> • 래스터(영상)기반 GIS • 벡터(폴리곤)기반 GIS(폴리곤 중첩을 허용해야 함)
영상처리와 GIS 통합	<ul style="list-style-type: none"> • 완전한 영상처리 시스템(기능 1부터 37까지 +유틸리티) • 완전한 영상처리 시스템과 GIS(기능 1부터 44까지)
유틸리티	<ul style="list-style-type: none"> • 네트워크(예, 지역 네트워크(Lan), 인터넷) • 영상압축(단일영상, 비디오) • 다양한 파일 포맷의 입출력

제 4 장 생산량 추정 시스템 개발을 위한 프로세스 제안

<표 4.1.4-2> 디지털 영상처리 소프트웨어와 영상처리 기능 적합성

● = 뛰어남, ○ = 보통, 기호 없음 = 기능이 전무하거나 상당히 떨어짐

시스템	운영체제	전처리	영상강조	정보추출	영상/지도 제작	GIS	IP/GIS
상업용 시스템							
ACORN	Windows	●					
AGIS	Windows					●	
Applied Analysis subpixel processing	Windows	●	○	●			
ArcGIS Image and Feature Analyst	W/UNIX	●	●	●	●	●	●
ATCOR2	IDL	●		○			
AUTOCAD	W/UNIX	●		○	○	●	
BAE systems SOCET set	W/UNIX	●	●	●		●	●
Blue MARble	W/UNIX	●	●		●		
Earth View	Windows	●	●	●		○	○
eCognition	Windows	●	●	●		○	○
EIDETIC Earthscope	Windows	○	○	○			
ENVI	W/U/M/IDL	●	●	●	●	○	○
DIMPLE	Mac	●	●	●	●	○	
Dragon	Windows	●	●	●			
ERDAS Imagine (Leica Geosystems)	W/UNIX	●	●	●	●	●	●
ER-Mapper	W/UNIX	●	●	●	●	●	●
FullPixelSearch	Mac	●	●	●			
GENASYS	W/UNIX	●	●	●	●	●	●
Clobal Lab Image	Windows		●	○			
GRASS	UNIX	●	●	●	●	●	●
IDRISI	Windows	●	●	●	●	●	●

원격탐사기술을 활용한 주요 농산물 생산량 추정기법 개발

<표 4.1.4-2> 디지털 영상처리 소프트웨어와 영상처리 기능 적합성(계속)

● = 뛰어남, ○ = 보통, 기호 없음 = 기능이 전무하거나 상당히 떨어짐

시스템	운영체제	전처리	영상강조	정보추출	영상/지도 제작	GIS	IP/GIS
ImagePro	Windows	●	●	●			
Intelligent Library Solution	UNIX	●	●		●		
Intergraph	Windows	●					
Mapinfo	Windows					●	
MrSID	Windows	●	○	●			
NOeSYS	W/UNIX	●	●	●	●	●	●
PCI Geomatica	IDL	●		○			
Photoshop	W/UNIX	●		○	○	●	
R-WEL	W/UNIX	●	●	●		●	●
RemoteView	W/UNIX	●	●		●		
MacSadie	Windows	●	●	●		○	○
TNTmips	Windows	●	●	●		○	○
OrthoView	Windows	○	○	○			
VISILOG	W/U/MIDL	●	●	●	●	○	○
공공 시스템							
C-Coast	Mac	●	●	●	●	○	
Cosmic VICAR-IBIS	Windows	●	●	●			
NOAA	W/UNIX	●	●	●	●	●	●
MultiSpec	W/UNIX	●	●	●	●	●	●
NASA ELAS (DIPIX, Dtastar)	Mac	●	●	●			
NIH-image	W/UNIX	●	●	●	●	●	●

나. 영상의 지속적인 확보

- 생산량 추정에 사용되는 위성영상의 지속적인 확보를 위해서는 위성에 대한 정보를 알아야 한다.
- 위성의 수명은 영구적이지 않기 때문에 연구에 주로 사용되어 왔던 영상의 보급이 중단 될 수 있기 때문이다.
- 위성의 센서마다 공간해상도, 시간해상도가 상이하므로, 추출되는 정보의 값도 센서별로 고유의 특성이 존재하여 생산량 추정모형에 적용되는 위성영상이 변경될 경우, 모형의 수정이 불가피하다.
- 따라서, 위성영상의 수명을 고려하여 생산량 추정모형을 설계해야하며, 위성의 운영기관과 보급기관, 사용기관 등의 유관기관과의 정기적이고 지속적인 의견 수렴 및 대책마련이 필요하다.
- 또한, 해외 위성영상 보다는 자국의 위성영상을 사용하여야 하며, 다양한 위성영상을 사용하는 것보다는 연구목적에 필요한 최소한의 위성영상을 사용해야 한다.
- 식생관련 정보 추출이 가능한 원격탐사 데이터를 정리하면 <표 4.1.4-3>과 같다.

원격탐사기술을 활용한 주요 농산물 생산량 추정기법 개발

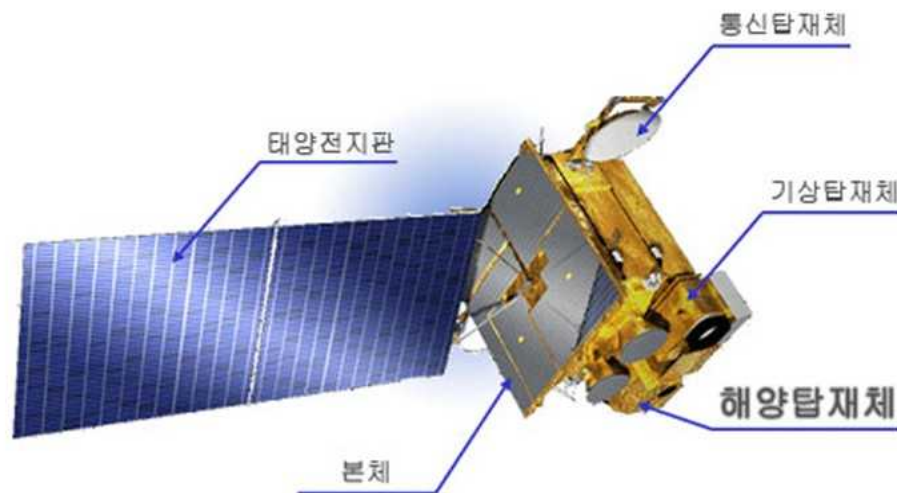
<표 4.1.4-3> 식생관련 정보 추출이 가능한 원격탐사 데이터

식생 변수	이용 가능한 원격탐사 데이터
색소 (엽록소 a, b)	컬러 항공사진, Landsat ETM+, IKONOS, QuickBird, OrbView-3, Orbimage SeaWiFS, ASTER, MODIS, 항공 하이퍼분광(예, AVIRIS, HyMap, CASI)
임관구조 및 높이	대축척 입체항공사진, LIDAR, RADARSAT, IFSAR
식생지수로부터 추출된 생물량	컬러-적외선(CIR)항공사진, Landsat(TM, ETM+), IKONOS, QuickBird, OrbView-3, AVHRR, MISR, 항공기를 이용한 하이퍼분광(예, AVIRIS, HyMap, CASI)

4.2. 대외환경 변화 대응 방안: 천리안 위성을 중심으로

4.2.1. 천리안 위성 개요

- 천리안위성(COMS, Communication, Ocean and Meteorological Satellite)은 우리나라 최초의 정지궤도 위성으로 2010년 6월 27일, 남미 프랑스령 기아나 꾸르 우주센터에서 성공적으로 발사되었으며, 지구적도상공 36,000km 고도, 동경 128.2도에 위치하여 기상관측, 해양관측, 통신서비스 임무를 수행한다.
- 천리안위성은 한국항공우주연구원 및 프랑스 EADS Astrium사에서 제작하여 통신, 기상, 해양의 세 가지의 탑재체를 가지고 있으며, 무게 2.5톤, 2.2 × 2.4 × 2.6m 크기로 임무수명기간은 7.7년이다.

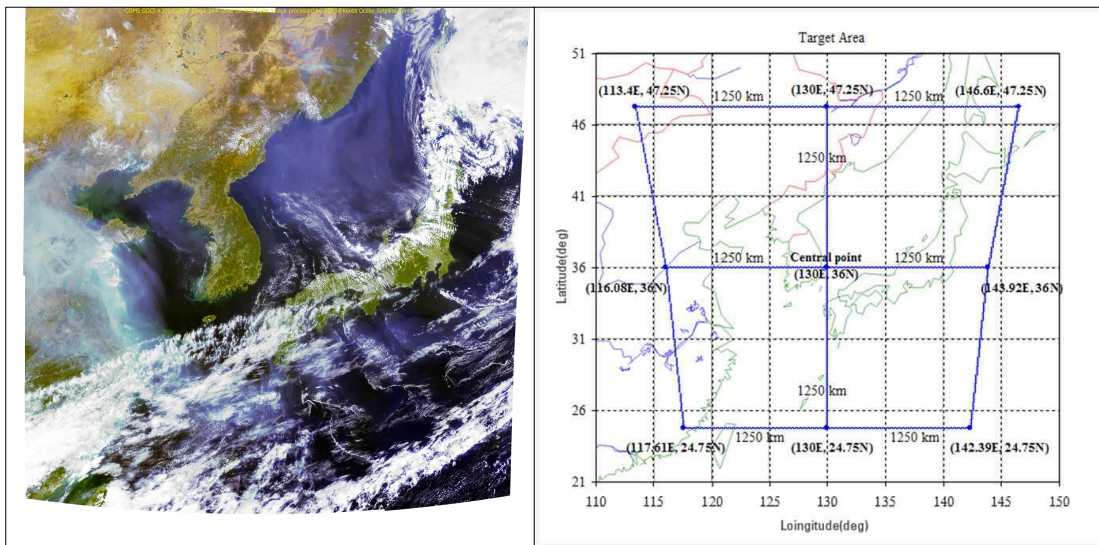


<그림 4.2.1-1> 천리안위성의 구조

- 특히, 세 가지 탑재체 중 해양관측(GOCI, Geostationary Ocean Color Imager) 탑재체는 한반도 주변 해양생태계 준실시간 모니터링, 장·단기 해양 환경 및 기후변화 모니터링, 연안·해양 환경 감시 및 자원관리, 해양/수산정보의 생산 등의 임무를 수행한다.

원격탐사기술을 활용한 주요 농산물 생산량 추정기법 개발

- 해양관측위성은 공간해상도 500 × 500m이며, 관측영역은 16개 슬롯으로 나누어 촬영하며 총 2,500 × 2,500km 영역을 관측하고 있다.



<그림 4.2.1-2> 천리안 해양관측위성 영상 및 촬영영역

<표 4.2.1-1> 천리안 해양관측위성의 분광해상도

채널	중심 파장	파장대역폭	관측
B1	412nm	20nm	황색물질과 탁도
B2	443nm	20nm	클로로필 흡광 최대치
B3	490nm	20nm	클로로필과 다른 색소
B4	555nm	20nm	탁도, 부유물질
B5	660nm	20nm	형광신호, 클로로필, 부유물질
B6	680nm	10nm	대기보정, 형광신호
B7	745nm	20nm	대기보정과 형광신호 산출에 사용
B8	865nm	40nm	에어로졸의 광학적 두께, 식생지수, 해상의 수증기량 계산에 활용

- 한 개의 슬롯은 8개의 spectral 밴드와 2개의 Dark 이미지를 포함하고 있으며, 매시간 15분에 촬영을 시작하여 30분간 진행하고, 촬영 종료 후, 센서의 안정화를 위해 30분간 휴지기를 가진 후 다음 스케줄을 수행한다.

- 또한, 천리안 해양관측위성은 낮시간 동안 일 8회 촬영하여 시간해상도 및 수집성이 탁월하며, 한반도의 전체 식생을 준실시간 모니터링이 가능하다.

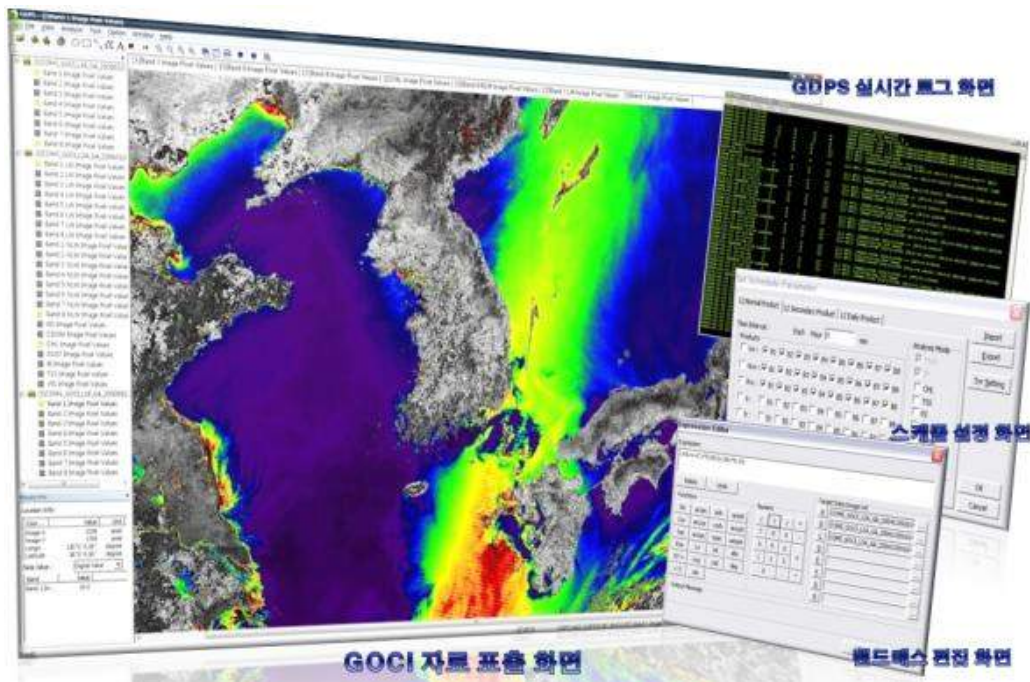
- 영상자료는 해양위성센터에서 전처리 후 게시하고 있으며, 2011년 9월 2일부터 해양위성센터 홈페이지(<http://kosc.kordi.re.kr>)를 통해 2011년 4월 1일에 촬영된 영상을 시작으로 DB를 구축하여 제공하고 있다.

- 제공하는 영상은 기하 보정된 Level 1B와 밴드별 Lw(Water Leaving Radiance) 및 nLw(Normalized Lw)와 CDOM(Abs-Corff. by CDOM), TSS(Suspended Solid Particles), CHL(ChlorophyII-a)의 19개 2차 산출물의 Level 2 자료이다.

4.2.2. 적용성 평가

가. GOCI 표준처리 S/W GDPS

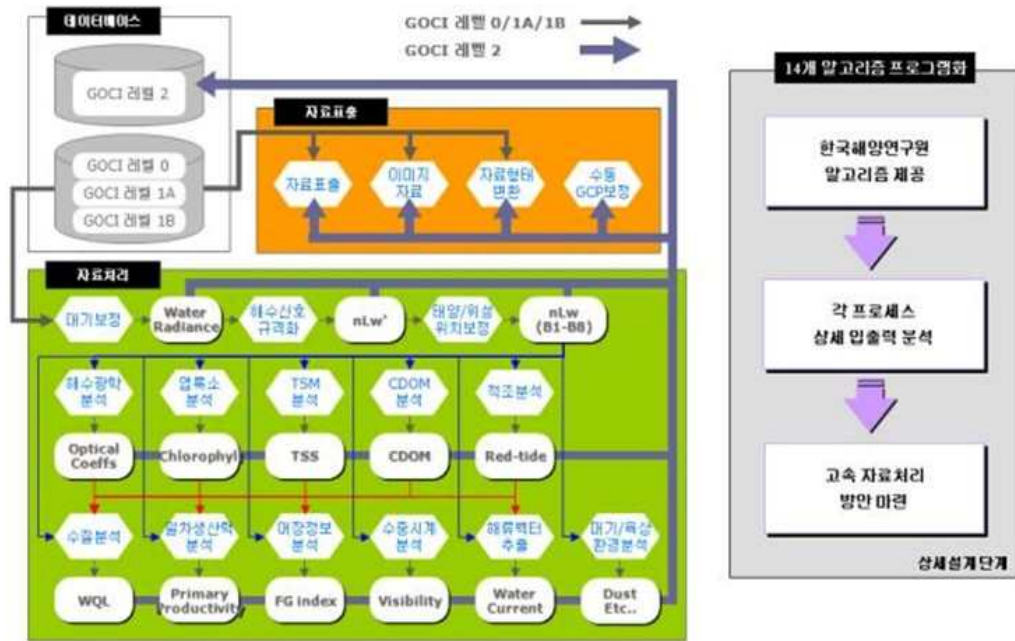
- 천리안 해양관측위성 영상은 HDF(HDF-eos version 5) 파일형식으로 GOCI 표준처리 소프트웨어인 GDPS(GOCI Data Processing System; 홈페이지 공개)를 통해서도 영상처리가 가능하다.



<그림 4.2.2-1> 영상 처리 소프트웨어 GDPS

- GDPS는 다양한 형식의 파일로 변환, 일 단위 합성 영상 생산, 관심지역 설정 및 저장, 밴드간 계산 등이 가능하고, 대기보정, 성분별 흡광계수 산출, 일차생산력 등의 다양한 분석 알고리즘을 제공하고 있으며, <그림 4.2.2-2>와 같은 과정을 통해 데이터를 처리한다.
- 또한, 2차 결과물 (Level 2)의 산출이 간편하고, 사용자의 연구 목적에 따라 직접 알고리즘을 등록하여 실행할 수 있는 사용자 정의함수(User-defined

function)를 제공하며, 다양한 분석이 가능하도록 설계되었다.

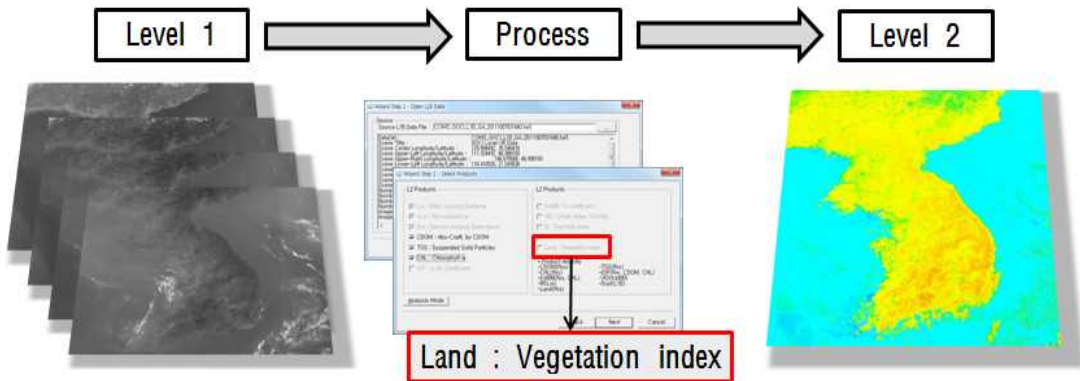


<그림 4.2.2-2> GDPS 데이터 처리 흐름도

나. GOCI 식생지수 산출

- 해양위성센터는 향후 GDPS에 식생지수 추출 알고리즘을 추가하여 GDPS 모듈을 통해 식생지수 추출이 가능할 예정이며, 해양위성센터 홈페이지에서도 식생지수 산출물인 Level 2의 자료가 제공될 예정이다.
- 식생지수의 산출은 GOCI Level 1의 영상을 GDPS의 ‘Generate L2/L3 Data’ 툴을 통해 <그림 4.2.2-3>과 같이 프로세스를 통해 산출이 가능하며 ‘BandMath’ 기능을 통해 직접 계산이 가능하다.
- GOCI 영상 자료의 NDVI는 적색파장대인 Band 5(650 ~ 670nm)과 근적외선 파장대인 Band 8(845 ~ 885nm)을 통해 다음과 같이 추출한다.

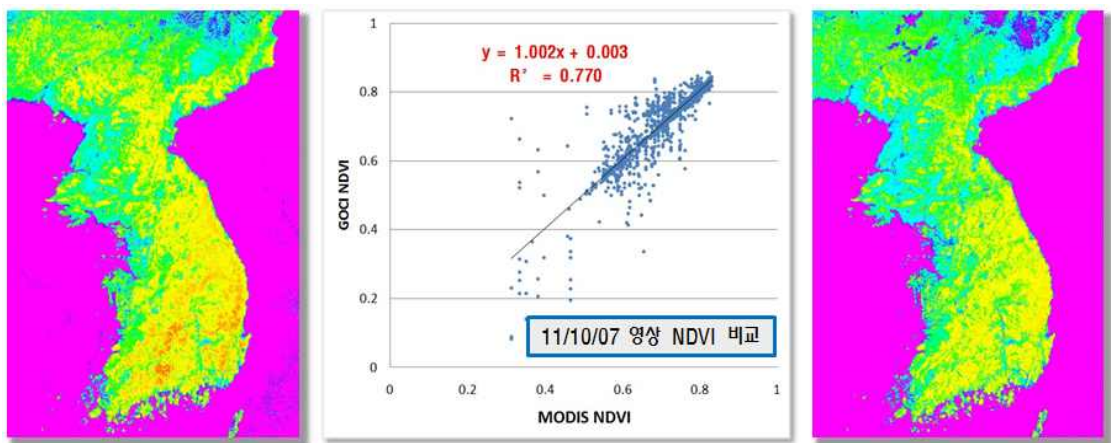
$$NDVI_{GOCI} = \frac{NIR - Red}{NIR + Red} = \frac{B8 - B5}{B8 + B5} \quad (4.2.2-1)$$



<그림 4.2.2-3> GOCI 영상 식생지수 산출

다. GOCI 식생지수 적용 가능성

- 천리안 해양관측위성의 적용성을 알아보기 위해서 2011년 10월 7일 영상으로 NDVI를 추출하였고, MODIS 영상도 동일 날짜의 NDVI를 산출하여 비교하였다. 그 결과, 상관식은 $y = 1.002x + 0.003$ 로 나타났다<그림 4.2.2-4>.



<그림 4.2.2-4> GOCI와 MODIS NDVI 상관관계

- 결정계수 $R^2 = 0.770$ 로 상관성이 높으며, 향후 MODIS 위성영상의 대체 자료로 적용이 가능할 것으로 판단된다.

- 그러나, 한시기만을 비교하였기 때문에 향후 GOCI 관측 영상의 자료가 확보 되면 다시기의 영상으로 검증이 필요하며, 합성영상, 식생지수 보정 및 MODIS NDVI와 합성 등의 다양한 검토를 통해 작물 생산량 추정에 적용해야 할 것이다.

4.2.3. 천리안위성 적용 한계점 및 해결방안

- 본 연구에서 산출된 논벼 생산량 추정 모형에 MODIS 영상의 대안으로 천리안 해양관측위성의 적용에는 다시기의 영상으로 다양한 검토와 검증 과정을 거쳐야 한다.
- GOCI 위성영상의 표준처리 소프트웨어인 GDPS의 불안정성과 초기 모델로서 한계점이 있다.
- 하지만, 해양위성센터에서는 GOCI 위성영상의 검·보정 협의체를 구성/운영하고 있어 위성센서의 광학 보정계수 및 해안선 기준의 기하보정 등의 복사/기하 검·보정 활동을 체계적으로 추진하고 있다.
- GOCI 위성영상 포맷이 HE5(HDF-EOS5)로 되어 있어 상용 S/W 적용에 어려움이 있다.
- 그러나 이는 GDPS의 export 기능을 통한 상용 S/W의 적용 방안과 상용 S/W의 import 모듈 개발을 통해 해결될 것으로 예상된다.
- 또한, 확보된 위성자료가 부족(2011년 4월을 시점으로 위성영상 제공)하여 시계열 분석에 의한 생산량 추정에 어려움이 있다.
- 이는 과거 자료가 풍부한 MODIS 영상이나 NOAA 영상 등을 보조 자료로 활용하여 일정부분 해결될 것으로 예상된다.

제 5 장 결론

5.1. 원격탐사기술의 논벼 생산량 파악 적용에 나타나는 문제점

- 본 연구에서 나타난 원격탐사기술의 논벼 생산량 파악 적용의 문제점을 요약하면 다음과 같다.
- 저해상도 위성영상은 데이터 수급은 원활하지만 공간해상도의 한계가 있다.
- 우리나라의 경우, 복잡한 지형, 다품종, 소량 생산 등의 농업여건이 가지는 잠재적인 제약조건으로 인하여 저해상도 위성영상을 이용한 작황정보의 수집에는 어려움이 따른다.
- 특히, 적은 면적에 불규칙적인 토지 이용이 많고 비닐하우스, 농수로 및 기타 시설물 등의 특성이 데이터 취득 시 오차로 포함되어 저해상도 위성영상에서 큰 제약으로 작용한다.
- 반면에 고해상도 위성영상의 경우에는 공간해상도는 적합하지만 데이터 취득(관측) 빈도에 제약이 따른다.
- 대부분 위성영상 수명주기는 6~8년으로 장기간의 자료가 요구되는 시계열 분석의 경우, 고해상도 위성영상의 일관성에 관한 문제가 발생한다.
- 일관성 있는 물리량이 취득되어도 그것을 대상물의 특정량으로 재계산하는 과정에서 발생하는 오차의 보정 및 제거 방안에 관한 정밀한 연구가 필요하다.
- 이를 해결하기 위한 노력으로 고해상도 위성영상을 이용한 생육정보 추출의

고도화가 기대되고 있으나, 현실적으로 구름이 없는 완전한 위성영상의 취득과 가능일수 확보가 우선적으로 해결되어야 한다.

- 또한 NDVI만을 이용한 생산량 예측에는 정확도의 한계가 있다.
- MVC 기법으로 처리된 영상에서는 시간과 공간적으로 NDVI 균질성이 상실되는 문제가 발생하기 때문에 이를 해결하기 위한 최적의 NDVI 산출 및 적용시기에 관한 추가적인 연구가 필요하다.
- KOMPSAT-2 위성영상에서 산출한 NDVI와 현장조사를 통한 포구의 NDVI를 이용하여 MODIS NDVI의 보정 및 검토가 필요하지만 고해상도 위성영상의 영상수급여건과 기상조건, 포구의 규모를 모두 고려하기에는 한계가 있다.
- 따라서 현 시점에서 매일 촬영되는 MODIS 위성영상의 처리에는 시간적 한계가 있으며, 환경의 영향과 단위의 규모에 따른 오차가 포함되어 앞으로 과학적인 부분에서 연구가 더욱 필요하다.

<표 5.1-1> 위성영상의 공간해상도에 따른 문제점 및 해결방안

해상도	문제점	해결방안
저해상도	<ul style="list-style-type: none"> - 공간해상도의 한계 - 수집정보의 잡음 발생 - 오차의 보정 및 제거가 어려움 - 데이터의 균질성 및 대표성이 낮음 	<ul style="list-style-type: none"> - 오차의 보정 및 제거 방안 연구 - 최적 NDVI 산출 및 적용시기에 관한 연구 필요 - 데이터 처리의 효율성을 고려한 자동화 방안 마련
고해상도	<ul style="list-style-type: none"> - 데이터 취득 빈도의 제한 - 시계열 분석시 데이터의 일관성 문제 - 분광해상도가 낮아 정보에 제약이 따름 	<ul style="list-style-type: none"> - 생육정보 추출의 고도화 연구 - 위성별 일관성을 위한 기준 마련 - 다양한 위성영상의 동시 사용 방안 마련

5.2. 향후 연구 방향 및 로드맵

5.2.1. 향후 연구 방향

- 본 연구에서 나타난 시사점과 문제점을 통해 향후 연구 방향을 요약하면 다음과 같다.
- 원격탐사 기술을 활용한 선진 사례 및 국내 선행 연구 사례 등을 다각적으로 검토한 결과, 이를 실용화하기 위해서는 몇 가지 환경정비와 심도 있는 연구가 지속될 필요가 있다.
- 생산량에 영향을 미치는 중요한 인자인 기상데이터의 정밀도 향상을 위한 광역적 정비가 필요하다.
- 높은 측정 빈도의 위성자료를 이용한 작물의 생육기간 특성 파악 및 이를 위한 공간해상도의 향상과 다과장 센서의 사용이 요구된다.
- 다양한 시뮬레이션 모델, 모니터링 방법의 검증 및 고도화를 위한 기초 데이터 보완 작업이 필요하다.
- 본 연구 성과에서 제시한 NDVI 보정 및 논 재배지의 추출 방법과 기상데이터의 보간 등의 고도화된 연구가 필요하다.
- 농작물의 광역적 수량 예측을 위해서는 최소 2주~2개월의 시간해상도와 50~500m의 공간해상도가 요구된다.
- 특히, 벼의 생육상황을 상세하게 파악하기 위해서는 공간해상도 1m의 다과

장 위성영상이 필요하다.

- 생산량 추정에 있어서 토양 조건과 기후 조건을 고려한 다양한 식생지수 추출 및 관련 기초연구도 필요하다.
- 공간범위의 규모를 전국 단위보다는 지역 단위로 세분화 하고 항공영상의 적용 가능성 검토와 현장조사를 통한 NDVI 검정방안 등을 고려하여 생산량 예측 모형에 원격탐사 기술을 단계적으로 접근하는 방법론의 개발이 필요하다.
- 포구단위의 현장조사와 모형 개발에 필요한 독립변수의 수집 등과 관련하여 여러 대학과 유관기관이 협조하여 데이터의 정확성 및 객관성을 유지하고, 기초연구를 통한 자료의 신뢰성을 확보하여 모형의 정확도를 향상시키는 방안을 모색하여야 한다.
- 2~3년의 기간에 원격탐사로 대체를 기대하는 것은 무리가 있을 것으로 판단되며, 현재의 기술 수준과 앞으로의 발달 가능성 등을 감안한다면 5년 이내에는 원격탐사를 이용한 생산량 예측이 어느 정도 가능할 것으로 기대한다.
- 또한, 지속적인 연구를 통해 정도를 높이고 최첨단 연구를 한층 심화시키기 위한 노력이 계속되어야 한다.

5.2.2. 로드맵

가. 1단계

- 원격탐사 활용 농업통계생산의 현황 파악 및 구현가능항목 파악
 - 선행 원격탐사 기법 및 선진 농업통계 사례를 통해 원격탐사의 현황을 파악하고 구현 가능항목 검토하여 농업통계로 적용 계획 수립
- 단계별 세부 추진 계획 수립
 - 최우선 구현 항목, 차순위 구현항목, 추후 검토 항목으로 구분하여 단계별 세부 추진 계획 수립 필요
 - 다양한 방안을 검토하여 수행 가능한 중·장기 세부 계획 수립
- 원격탐사와 농업통계 연계 검토
 - 통계청의 농업통계 자료를 바탕으로 원격탐사기법과 연계 가능성을 검토하고 적용 방안 모색
- 자문위원회 구성
 - 원격탐사, 통계, 작물 생육 및 모델링 등의 다양한 분야에 전문가로 이루어진 자문위원회를 구성하여 사업 전반에 걸쳐 자문 수행

나. 2단계

- 컨소시엄 구성
 - 농작물 생산통계 산출 및 통계업무와 연계방안을 위한 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 수행

농작물 생산통계의 원격탐사기술 활용방안 연구

- 농림수산식품부, 통계청, 한국농어촌공사, 농촌진흥청, 산림청 등의 기관과 주요 대학과의 연구 네트워크 구축하여 사업 전반에 대한 공동 연구 수행

○ 현장조사

- 작황에 따른 분광특성 및 다양한 식생지수의 검토를 위해 현장조사 실시
- 한국형 식생지수의 수정 및 개발
- 인공위성의 수명주기가 대체적으로 7~9년임을 감안하여 지속적인 기초 데이터의 확보
- 대기조건 및 영상 취득 일시 등에 따른 위성자료의 오차 제거를 위한 검증 필요
- 다양한 영상자료의 객관성 확보를 위해 식생지수의 보정 기준 제시

○ 기상자료 확보

- 벼의 생육주기에 따른 정밀한 기상자료의 확보
- 기상자료 자동화 시스템 구축

○ 위성영상 수집 경로 확보

- 유관기관과 긴밀한 협조를 통한 위성영상 수집성 확보

○ 데이터 처리 관련

- 위성영상의 식생지수 추출기법, 방사보정 및 전처리 등의 기법 연구
- 전 과정의 Process화를 통한 데이터의 객관성 확보
- 사업전반에 걸쳐 통계전문가의 투입으로 고차원적 통계기법의 적용
- 공간 시계열 분석, 패널데이터 분석 등의 적용 및 검토

- 생산량 예측 모델 개발
 - 다양한 인자를 고려한 생산량 예측 모델 검토
 - 고차원적 통계기법의 도입과 다양한 모델 적용성 검토
 - 지역별 또는 기후별로 적합한 모델 개발

- 시범사업 대상지역 선정
 - 벼의 품종, 기후 및 시비량을 고려한 대상지역의 선정
 - 벼의 주산지를 대상으로 특정 시군 선정 및 포구, 필지단위 대상 지역 선정
 - 시범사업지역의 원격탐사기술을 통한 농업생산 예측량 산출

다. 3단계

- 생산량 예측 모델 적용 및 검증
 - 농업통계의 현장 실측과 병행하여 원격탐사기법의 생산량 예측 모델 적용 및 검증 필요
 - 산출된 예측량과 기존 표본통계를 비교함으로써 정확도 추정
 - 기존 표본통계와 원격탐사기술에 의한 예측량과의 상관관계 분석

- 전문인력의 양성
 - 실무부서의 추가 및 개편 검토
 - 시범사업 이후에 담당 실무자가 관련 업무를 원활히 수행할 수 있도록 정기적인 실무자교육의 지속적인 수행
 - 실무자 대상 교육 프로그램 개발 및 특성화 대학 운영 검토

- 전 과정에 거쳐 단계별 시스템 구축
 - 농작물 생산 통계의 전 과정에 대한 시스템을 구축하고 단계별 문제점을 피드백하여 시스템의 기능 보완

농작물 생산통계의 원격탐사기술 활용방안 연구

- 농업통계 산출 시스템 외 보급 시스템 구축 검토
 - 시범연구를 통해 원격탐사 농업생산 예측량을 인터넷을 통해 통계수요자들에게 원활하게 보급할 수 있는 농업생산통계 보급시스템이 개발되면 시범사업에 이를 실제 적용하여 시스템 시범 운영
 - 본격적인 실무적용을 대비하여 시스템을 하드테스트 하고 발견된 문제점들의 피드백, 통계수요자들에 대한 의견 수렴 등을 통하여 기능을 보완
 - 또한, ‘원격탐사 농업생산통계산출 시스템’과 연계하기 위해 시스템 간의 호환성을 테스트하고 통합 운영방안을 마련



<그림 5.2.2-1> 원격탐사기술을 이용한 농작물 생산통계 구축

<표 5.2.2-1> 원격탐사기술을 이용한 농작물 생산통계 단계별 세부사항

단계	세부사항
1단계 (1차년도)	<ul style="list-style-type: none"> 원격탐사 활용 농업통계생산의 현황 파악 단계별 세부 추진 계획 수립 원격탐사와 농업통계 연계 검토 자문위원회 구성
2단계 (2차년도 ~ 5차년도)	<ul style="list-style-type: none"> 컨소시엄 구성 <ul style="list-style-type: none"> 전문가 초청 및 연구 네트워크 구축 사업 전반에 대한 자문 수행
	<ul style="list-style-type: none"> 현장조사 <ul style="list-style-type: none"> 작황에 따른 분광특성 및 다양한 식생지수 검토 한국형 식생지수의 수정 및 개발 인공위성의 수명주기를 고려한 지속적인 기초 데이터 확보 위성자료 검증 필요 영상에 따른 식생지수의 보정 기준 제시
	<ul style="list-style-type: none"> 기상자료의 확보 <ul style="list-style-type: none"> 벼의 생육주기에 따른 정밀한 기상자료 확보 기상자료 자동화 시스템 구축
	<ul style="list-style-type: none"> 위성 영상 수집 경로 확보 <ul style="list-style-type: none"> 유관기관과 긴밀한 협조를 통한 위성영상 수집성 확보
	<ul style="list-style-type: none"> 데이터 처리 관련 <ul style="list-style-type: none"> 위성영상의 식생지수 추출기법, 방사보정 및 전처리 등의 기법 연구 전 과정의 Process화를 통한 데이터의 객관성 확보 사업전반에 걸쳐 통계전문가의 투입으로 고차원적 통계기법의 적용 공간 시계열 분석, 패널데이터 분석 등의 적용 및 검토
	<ul style="list-style-type: none"> 시범사업 대상지역 선정 <ul style="list-style-type: none"> 벼의 품종, 기후 및 시비량 등 고려 벼의 주산지를 대상으로 특정 시군 선정 및 포구, 필지단위 대상지역 선정
<ul style="list-style-type: none"> 생산량 모델 개발 <ul style="list-style-type: none"> 다양한 인자를 고려한 생산량 모델 개발 고차원적 통계기법의 도입과 다양한 모델 적용성 검토 지역별 또는 기후별로 적합한 모델 개발 	
3단계 (6차년도 ~ 8차년도)	<ul style="list-style-type: none"> 생산량 예측 모델 적용 및 검증 전문인력의 양성 <ul style="list-style-type: none"> 실무부서의 추가 및 개편 검토 실무자 대상 교육 프로그램 개발 및 특성화 대학 운영 검토 전과정에 거쳐 단계별 시스템 구축 농업통계 산출 시스템 외 보급 시스템 구축 검토

1. 참고 문헌

- 김민호, 이충근, 박호기, 이재은, 구본철, 신진철(2008), LANDSAT 위성 영상을 이용한 벼 생육 및 수량 모니터링, 한국작물학회 한국작물학회지, 53(4), pp. 388-393.
- 김이현, 홍석영, 김명숙, 곽한강(2007), GNDVI 를 이용한 벼 군락 엽 질 소함량 추정, 2007년 대한원격탐사학회 학술발표논문집.
- 김인환, 한경수, 김상일(2011), 1KM NDVI 10년 자료를 이용한 한반도 식생의 경년변동 분석, 대한원격탐사학회 대한원격탐사학회지, 27(1), pp. 17-24.
- 나상일(2007), 위성영상을 이용한 새만금 지역의 환경 모니터링, 충북대학교 공학석사 학위논문, pp. 15-26.
- 나상일, 이규호, 박근애, 이지완, 박종화, 김성준(2010a), NDVI와 기상인자를 이용한 충청북도 쌀 생산량 예측 모델, 2010년 한국농공학회 학술발표논문집.
- 나상일, 이규호, 박근애, 이지완, 박종화, 김성준(2010b), 작물 생육정보 추출을 위한 위성영상 적용 가능성 평가, 2010년 한국농공학회 학술발표논문집.
- 박종화(2005), 우주로부터의 지구환경 모니터링 기술-MODIS를 중심으로, 한국관배수학회 한국관개배수학회지, 10(2), pp. 251-263.
- 박종화, 전택기, 나상일, 박민서(2005), NOAA AVHRR 데이터를 이용한 한반도의 순별 NDVI와 LAI 특성, 2005년 한국농공학회 학술발표회 논문집.
- 박종화, 나상일, 전택기(2006), MODIS영상을 이용한 청주지역 NDVI의 시계열적 분석, 2006년 한국농공학회 학술발표논문집.
- 박진기, 박종화, 신형섭, 나상일(2008), MODIS(Terra) 영상을 이용한 한반도의 NDVI 변동특성, 2008년 한국농공학회 학술발표회 논문집.
- 윤진일(1999), “농업기상학”, 아르케
- 이승호, 허인혜, 이경미, 김선영, 이윤선, 권영태(2008), “기후변화가 농업

- 생태에 미치는 영향-나주지역을 사례로”, 대한지리학회지, 43(1), pp20-35.
- 이충근, 김민호, 신진철, 박호기, 이재은, 구본철(2007), “SAR 위성영상을 이용한 벼 생육 및 수량 모니터링”, 농촌진흥청 작물과학연구논총, 8(1), pp571-579.
 - 임정호, 박종화, 손홍규(2005), 원격탐사와 디지털 영상처리, 시그마프레스.
 - 조경숙, 윤진일(1999), “일기상자료에 의한 읍면별 벼 작황진단 및 쌀 생산량 예측”, 한국농림기상학회지, 8(4), pp229-241.
 - 홍석영, 최은영, 김건엽, 강신규, 김이현, 장용선(2009), MODIS NDVI를 이용한 북한의 벼 수량 추정 연구, 2009년 대한원격탐사학회 학술발표 논문집.
 - 통계청(2009), 원격탐사 기술 활용 면적통계조사시스템 구축을 위한 정보화 전략계획(IPS) 수립
 - 통계청(2010), 농작물생산조사 지침서.
 - 통계청(2010), 항공영상 활용 원격조사 방법 개발.
 - 통계청(2010), 농작물 생산통계의 원격탐사기술 활용방안 연구.
 - 통계청(2010), 원격탐사 응용시스템 구축
 - 통계청(2010), 영상기반 표본조사 방법 개발
 - 한국농촌경제연구원(2007), 위성정보의 농업관측 활용 타당성.
 - 한국농촌경제연구원(2009), 위성정보의 농업관측 활용방안.
 - 한국농촌경제연구원(2010), 인공위성을 활용한 작황조사의 현황과 전망.
 - 한국농촌경제연구원(2011), 인공위성 활용한 농업관측 시범연구 -논벼 작황조사.
 - Allen J. D.(1990), A Look at the Remote Sensing Applications Program of the National Agricultural Statistics Service, Journal of Official Statistics, 6(4), pp. 393-409.

- Benedetti, R., & Rossini, P.(1993), On the use of NDVI profiles as a tool for agricultural statistics: The case study of wheat yield estimate and forecast in Emilia Romagna. *Remote Sensing of Environment*, 45, pp. 311-326.
- Boken, V.K., Shaykewich, C.F.(2002), Improving an operational wheat yield model using phenological phase-based normalized difference vegetation index, *Int. J. Remote Sensing*, 23, pp. 4155-4168.
- Daughtry C. S., M. E. Bauer, D. W. Crecelius, M. M. Hixson(1980), Effects of Management Practices on Reflectance of Spring Wheat Canopies, *Agronomy Journal*, 72(6), pp. 1055-1060.
- Doraiswamy, P. D., Moulin, S., Cook, P. W., & Stern, A.(2003), Crop yield assessment from remote sensing. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 69(6), pp. 665-674.
- Ferencz Cs., P. Bognár, J. Lichtenberger, D. Hamar, Gy. Tarcsai, G. Timár, G. Molnár, SZ. Pásztor, P. Steinbach, B. Székely, O.E. Ferencz, I. Ferencz-Árkos(2004), Crop Yield Estimation by Satellite Remote Sensing, *International Journal of Remote Sensing*, 25(20), pp. 4113-4149.
- Fruend, J.(2005), Estimating Crop Production in Kenya: A Mult-Temporal Remote Sensing Approach, Masters Thesis Santa Barbara, University of California, pp. 56.
- Fuller, D. O.(1998), Trends in NDVI time series and their relation to rangeland and crop production in Senegal. *International Journal of Remote Sensing*, 19, pp. 2013-2018.
- Genovese, G., Vignolles, C., Negre, T., & Passera, G.(2001), A methodology for a combined use of normalised difference vegetation index and CORINE land cover data for crop yield monitoring and

- forecasting. A case study on Spain. *Agronomie*, 21, pp. 91-111.
- Groten, S. M. E.(1993), NDVI-crop monitoring and early yield assessment of Burkina Faso. *International Journal of Remote Sensing*, 14, pp. 1495-1515.
 - Hayes, M. J., & Decker, W. L.(1996), Using NOAA AVHRR data to estimate maize production in the United States corn belt. *International Journal of Remote Sensing*, 17, pp. 3189-3200.
 - Hochheim, P., & Barber, D. G.(1998), Spring wheat yield estimation for Western Canada using NOAA NDVI data. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 24(1), pp. 18-27.
 - John R. J.(2000), *Remote Sensing of The Environment*, Prentice Hall.
 - Kastens, J. J., T.L. Kastens, D.L.A. Kastens, K.P. Price, E.A. Martinko and R.Y. Lee.(2005), Image masking for crop yield forecasting using AVHRR NDVI time series imagery. *Remote Sensing of Environment*, 99, pp. 341-356.
 - Kimura R., Okada, S., Miura, H., Kamichika, M.(2004), Relationships Among the Leaf Area Index, Moisture Availability, and Spectral Reflectance in an Upland Rice Field. *Agricultural Water Management*, 69, pp. 83-100.
 - Lewis, J.E., Rowland, J., & Nadeau, A.(1998), Estimating maize production in Kenya using NDVI: some statistical considerations. *International Journal of Remote Sensing*, 19, pp. 2609-2617.
 - Malingreau, J. P.(1986), Global vegetation dynamics: Satellite observations over Asia. *International Journal of Remote Sensing*, 7(9), pp. 1121-1146.
 - Maselli, F., Romanelli, S., Bottai, L., & Maracchi, G.(2000), Processing of GAC NDVI data for yield forecasting in the Sahelian region.

- International Journal of Remote Sensing, 21(18), pp. 3509–3523.
- Maselli F, Rembold F.(2001), Analysis of GAC NDVI data for cropland identification and yield forecasting in Mediterranean African Countries. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 67, pp. 593–602.
 - Mkhabela, M.S., Mkhabela, M.S., and Mashinini, N.N.(2005), Early maize yield forecasting in the four agro-ecological regions of Swaziland using NDVI data derived from NOAA's-AVHRR, Agricultural and Forest Meteorology, 129, pp. 1–9.
 - Mkhabela, M. S., P. Bullock, S. Raj, S. Wang & Y. Yang.(2011), Crop yield forecasting on the Canadian Prairies using MODIS NDVI data. Agricultural and Forest Meteorology, 151(3), pp. 385–393.
 - Moriondo M, Maselli F, Bindi M.(2007), A simple model of regional wheat yield based on NDVI data. Eur J Agron, 26, pp. 266–274.
 - Paul, C. Doraiswamy, Bakhyt Akhmedov, Larry Beard, Alan Stern, Richard Mueller(2007), Operational Prediction of Crop Yields using MODIS Data and Products, International Archives of Photogrammetry, 36 ,pp. 45–50
 - Potdar, M. B.(1993), Sorghum yield modeling based on crop growth parameters determined from visible and near-IR channel NOAA AVHRR data. International Journal of Remote Sensing, 14, pp. 895–905.
 - Potdar, M.B., Manjunath, K.R., and Pubohit, N.L.(1999), Multi-season atmospheric normalization of NOAA AVHRR derived NDVI for crop yield modeling. Geocarto International, 14, pp. 51–56.
 - Prasad, A. K., R. P. Singh, V. Tare, 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. 5207-523.
- Prasad A. K., L. Chai, R.P. Singh and M. Kafatos.(2006), Crop yield estimation model for Iowa using remote sensing and surface parameters. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 81, pp. 26-33.
 - Rasmussen, M. S.(1992), Assessment of millet yields and production in northern Burkina Faso using integrated NDVI from the AVHRR. *International Journal of Remote Sensing*, 13, pp. 3431-3442.
 - Ren JQ, Chen ZX, Zhou QB, Tang HJ(2008), Regional yield estimation for winter wheat with MODIS-NDVI data in Shandong, China. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 10, pp. 403-413.
 - Rojas, O. (in press). Operational maize yield model development and validation based on remote sensing and agro-meteorological data in Kenya. *International Journal of Remote Sensing*, 28(17), pp. 3775-3793.
 - Rudorff, B. F. T., & Batista, G. T.(1991), Wheat yield estimation at the farm level using TM Landsat and agro meteorological data. *International Journal of Remote Sensing*, 12, pp. 2477-2484.
 - Soria R. J., O. Y. Fernandez(2002), Maize Crop Yield Prediction through Satellite Images and Mathematical Models. 17th WCSS symposium (be held in 14-21 August 2002 in Tailand), Poster # 1393.
 - Shi, H. & M. Xingguo.(2011), Interpreting spatial heterogeneity of crop yield with a process model and remote sensing. *Ecological Modelling*, 222 (14), pp. 2530-2541.
 - Tucker, C. J., Holben, B. N., Elgin, J.H, Jr., & McMurtrey, J. E.(1980), Relationship of spectral data to grain yield variation.

- Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 45, pp. 657-666.
- Unganai, L. S., & Kogan, F. N.(1998), Drought monitoring and corn yield estimation in Southern Africa from AVHRR Data. Remote Sensing of Environment, 63, pp. 219-232.
 - Wiegand, C. L., Richardson, A. J., Jackson, R. D., Pinter Jr., P. J., Aase, J. K., Smika, D. E., et al.(1986), Development of agrometeorological crop model inputs from remotely sensed information. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 24(1), pp. 83-89.
 - Wiegand, C. L., Richardson, A. J., & Kanemasu, E. T.(1979), Leaf area index estimates for wheat from Landsat and their implications for evapotranspiration and crop modeling. Agronomy Journal, 71, pp. 336-342.
 - Wiegand, C. L., & Richardson, A. J.(1990), Use of spectral vegetation indices to infer leaf area, evapotranspiration and yield. Agronomy Journal, 82, pp. 623-636.
 - Yang Y. K.(1985), Correlation of Rice Grain Yield to Radiometric Estimates of Canopy Biomass as a Function of Growth Stage, Journal of Korean Society of Remote Sensing, 1(1), pp. 163-187.
 - Yamamoto H., Honjo H., Wakiyama Y.(1990), Evaluation of Leaf Area Index and Biomass of Soybean Canopies Using Spectral Reflectivity, Agronomy Journal, 46(1), pp. 19-22.
 - Zhang, M., P. Hendley, D. Drost, M. O'Neill, and S. Ustin.(1998), Corn and soybean yield indicators using remotely sensed vegetation index, International Conference on Precision Agriculture, 2, pp. 1475-1481.

원격탐사기술을 활용한 주요 농산물 생산량 추정기법 개발

- MODIS 홈페이지, <http://modis.gsfc.nasa.gov/>
- WebMODIS 홈페이지, <http://webmodis.iis.u-tokyo.ac.jp/>
- 기상청 홈페이지, <http://www.kma.go.kr/>
- 통계청 국가통계포털 홈페이지, <http://kosis.kr/>

1. 논벼 단위면적(10a) 당 수량

행정구역	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
전국	556	507	475	543	527	529	501	560	574	520
서울	494	499	486	513	507	504	472	549	516	468
부산	509	458	394	514	494	502	508	556	526	501
대구	525	468	390	511	505	504	479	565	593	522
인천	509	557	521	546	529	495	491	550	505	463
광주	538	473	456	515	489	505	482	518	524	495
대전	547	507	463	543	531	532	500	522	555	520
울산	532	496	400	515	484	494	468	544	517	487
경기도	534	518	483	527	522	517	499	549	546	468
수원시	583	438	468	523	513	502	477	559	532	456
성남시	520	568	419	521	502	489	466	559	532	456
의정부시	510	510	443	507	469	482	459	506	523	440
안양시	411	544	469	512	472	-	492	559	532	-
부천시	513	507	461	517	514	437	493	512	492	470
광명시	487	546	442	520	565	594	492	512	492	470
평택시	561	545	515	554	547	547	507	558	565	521
동두천시	540	443	485	450	469	480	466	506	523	440
안산시	485	568	453	504	477	469	468	559	532	456
고양시	503	503	473	516	504	506	493	512	492	470
과천시	518	610	462	527	497	462	492	559	532	456
구리시	489	531	458	487	-	-	-	-	-	-
남양주시	525	497	474	515	531	521	472	506	523	440
오산시	574	485	443	522	493	486	502	559	532	456
시흥시	498	489	452	547	575	521	494	512	492	470
군포시	524	510	413	457	454	464	492	559	532	456
의왕시	557	466	439	548	526	526	492	559	532	456
하남시	538	567	404	581	529	543	466	559	532	456
용인시	535	518	466	494	534	509	487	560	527	455
파주시	532	519	504	529	522	499	500	544	555	481
이천시	556	519	470	525	515	541	537	553	582	471
안성시	532	525	491	530	507	519	497	531	552	466

원격탐사기술을 활용한 주요 농산물 생산량 추정기법 개발

행정구역	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
김포시	523	574	506	542	543	519	504	567	518	462
화성시	528	496	505	535	525	524	508	587	528	475
광주시	539	458	448	435	478	486	457	559	532	456
양주시	485	525	474	500	499	513	497	506	523	440
포천시	517	506	481	536	523	504	493	527	566	433
여주군	527	502	441	496	504	483	490	551	545	446
연천군	541	536	500	569	528	522	497	542	556	438
가평군	501	442	394	492	492	437	432	506	523	440
양평군	518	495	431	500	495	512	467	489	540	411
강원도	529	472	462	504	510	485	483	524	557	488
춘천시	474	505	472	486	472	461	460	523	515	476
원주시	559	478	436	493	506	464	487	516	544	477
강릉시	498	359	426	485	507	505	480	505	555	477
동해시	530	404	424	489	505	521	467	528	539	503
태백시	452	412	356	390	393	-	-	-	-	-
속초시	516	304	440	468	495	467	456	475	560	500
삼척시	533	403	396	489	469	458	467	528	539	503
홍천군	496	517	421	484	514	490	493	522	569	457
횡성군	527	518	446	533	503	494	495	530	546	476
영월군	502	502	469	502	533	479	471	528	539	503
평창군	573	532	470	482	526	486	470	528	539	503
정선군	559	480	433	514	531	516	500	528	539	503
철원군	573	550	521	540	530	520	508	559	606	524
화천군	525	486	476	491	446	408	441	523	515	476
양구군	489	518	467	474	513	439	444	484	541	454
인제군	543	486	478	508	535	456	421	484	479	446
고성군	520	347	447	496	503	474	475	506	510	466
양양군	520	265	452	469	494	456	465	475	560	500
충청북도	572	533	476	539	525	522	495	555	566	514
청주시	580	553	489	558	546	557	514	555	588	560
충주시	568	545	487	520	532	556	521	552	559	510
제천시	543	518	416	516	519	484	477	532	555	514
청원군	581	548	487	540	534	520	481	571	570	526

행정구역	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
보은군	579	523	488	558	528	540	510	558	574	527
옥천군	558	510	474	533	511	527	491	557	598	516
영동군	567	492	442	532	515	513	502	557	570	507
진천군	595	537	487	561	501	497	487	561	566	507
괴산군	570	545	483	542	535	523	483	529	544	482
음성군	558	522	468	529	520	508	496	552	559	500
단양군	538	503	388	497	506	468	493	532	555	514
증평군	-	-	-	-	-	538	491	555	557	502
충청남도	595	552	515	579	562	569	540	594	612	544
천안시	579	539	484	536	529	540	516	563	582	540
공주시	583	554	502	571	556	548	539	596	588	542
보령시	597	562	539	597	591	564	525	574	597	540
아산시	595	556	490	567	562	572	547	587	623	586
서산시	602	535	510	563	551	563	547	597	606	498
논산시	598	555	517	582	545	537	514	576	601	521
계룡시	-	-	-	-	-	554	492	576	601	521
금산군	591	473	444	527	522	543	528	576	601	521
연기군	593	547	499	574	554	563	540	596	598	557
부여군	575	547	503	553	552	578	516	567	583	549
서천군	623	584	571	627	619	619	576	644	676	600
청양군	581	533	495	544	523	545	504	574	576	550
홍성군	609	573	536	581	551	572	530	576	589	551
예산군	611	575	548	606	579	598	564	600	614	573
태안군	544	503	465	529	525	545	536	593	619	461
당진군	610	565	532	621	587	593	563	628	649	572
전라북도	586	526	487	573	538	559	519	581	620	554
전주시	570	522	502	574	515	551	493	527	590	537
군산시	579	522	514	596	553	586	521	594	626	548
익산시	596	528	515	585	559	579	531	592	627	559
정읍시	594	513	481	550	494	555	516	565	626	557
남원시	580	539	444	576	543	558	515	579	622	564
김제시	603	544	508	586	546	561	543	588	634	562
완주군	542	515	452	539	527	526	484	527	590	537

원격탐사기술을 활용한 주요 농산물 생산량 추정기법 개발

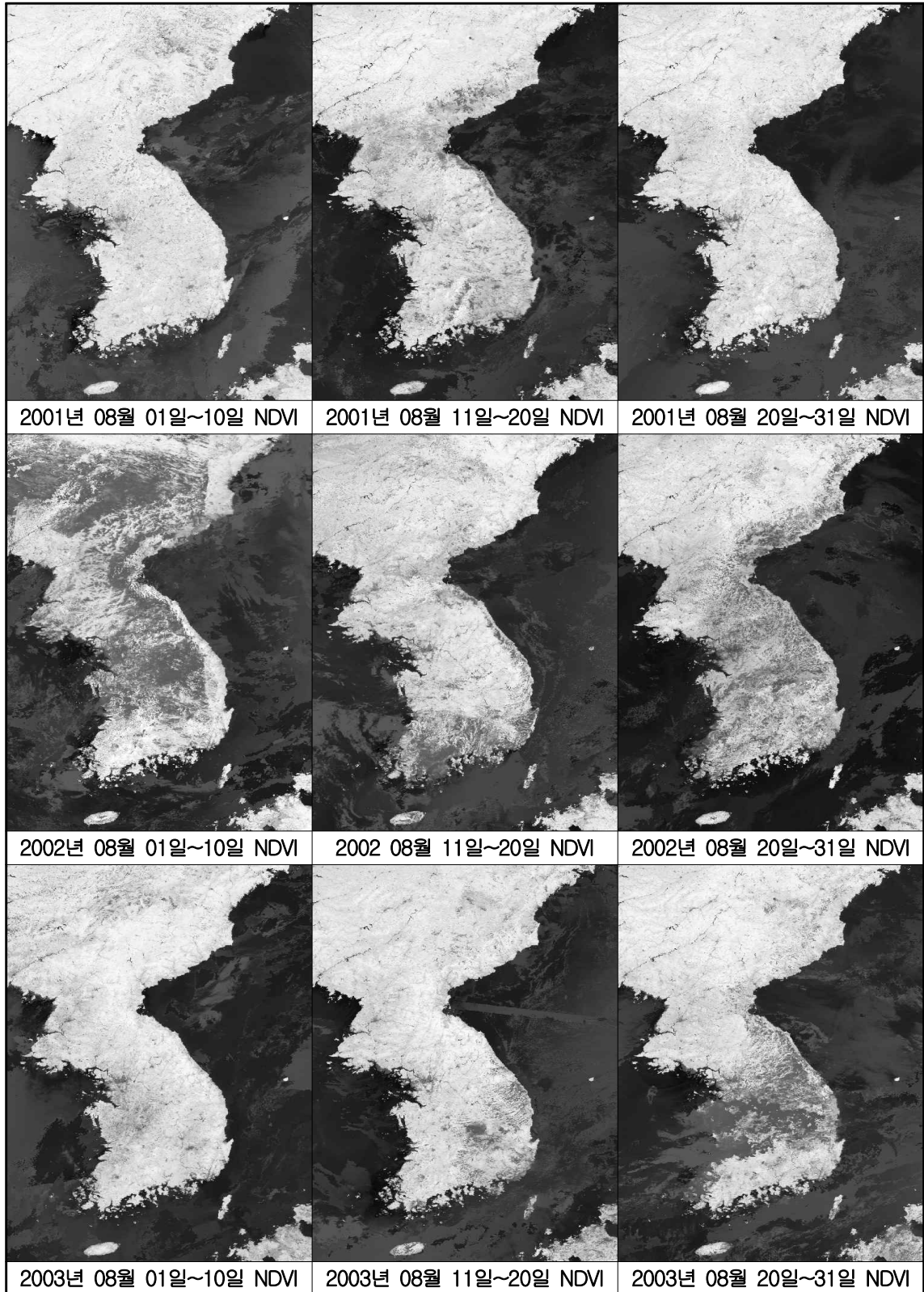
행정구역	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
진안군	548	478	403	511	480	480	476	597	564	476
무주군	568	522	450	564	502	518	528	597	610	561
장수군	519	510	426	583	511	539	555	597	607	571
임실군	567	503	470	606	568	548	484	589	621	535
순창군	582	524	458	573	547	531	448	589	609	528
고창군	604	527	507	560	550	554	540	584	623	566
부안군	595	531	486	568	538	569	516	572	611	558
전라남도	541	474	475	524	507	503	461	521	530	500
목포시	508	395	461	527	506	502	472	498	521	510
여수시	527	479	467	523	526	481	459	511	542	503
순천시	553	485	487	536	517	467	452	511	540	526
나주시	534	494	480	524	517	510	478	524	539	509
광양시	557	472	474	553	527	471	460	511	511	480
담양군	564	479	458	540	518	499	483	537	546	514
곡성군	565	512	468	533	509	514	443	532	534	487
구례군	529	496	449	482	491	490	462	532	534	487
고흥군	572	501	496	537	526	508	471	542	536	519
보성군	529	492	444	514	508	497	442	532	540	518
화순군	535	492	490	533	519	506	440	551	539	509
장흥군	531	483	463	524	527	504	447	522	543	487
강진군	549	491	465	521	494	491	455	508	536	530
해남군	536	452	468	519	464	503	435	518	517	480
영암군	531	486	475	522	512	505	470	529	507	502
무안군	539	468	485	533	515	520	465	535	548	507
함평군	545	466	473	510	526	512	491	523	534	505
영광군	559	497	499	531	528	531	504	538	538	505
장성군	542	442	454	499	509	480	451	537	554	504
완도군	459	416	440	546	501	478	438	418	475	419
진도군	507	384	483	493	445	457	424	418	475	419
신안군	538	435	509	534	508	526	472	498	521	510
경상북도	552	510	444	539	532	530	511	573	598	545
포항시	569	510	425	530	529	536	512	582	588	562
경주시	543	506	434	514	518	507	498	565	582	555

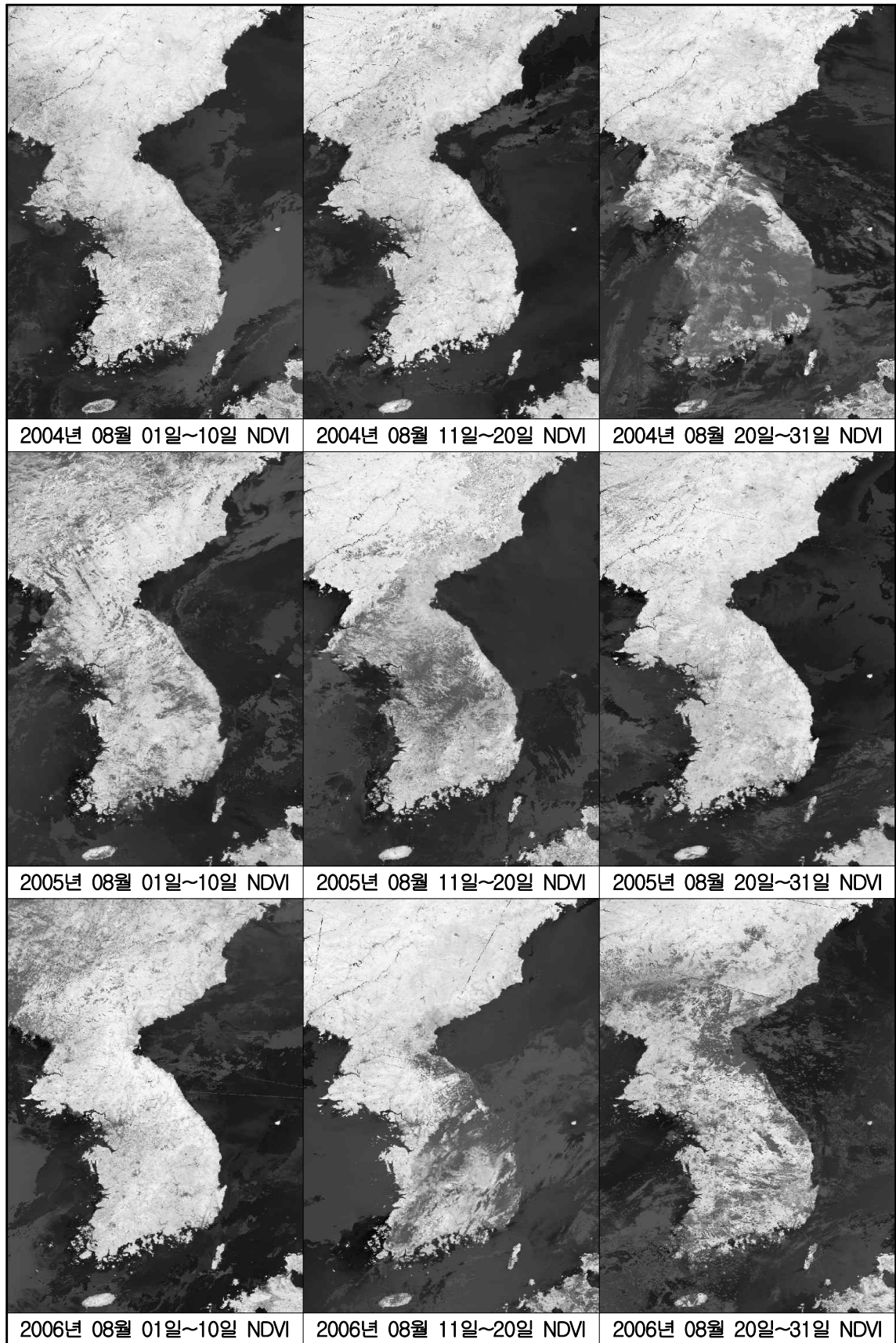
행정구역	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
김천시	538	479	458	550	558	562	522	606	609	555
안동시	581	539	483	576	573	554	529	569	612	548
구미시	570	532	456	549	549	540	531	617	636	561
영주시	560	538	488	544	516	513	492	544	566	518
영천시	528	462	414	498	496	491	476	532	529	527
상주시	582	517	470	559	553	568	536	610	636	567
문경시	557	531	443	543	538	550	532	603	626	556
경산시	506	473	415	519	505	534	523	532	550	503
군위군	531	493	449	526	530	528	504	532	601	534
의성군	552	521	432	555	554	524	521	577	606	539
청송군	535	516	441	527	522	533	512	539	542	538
영양군	544	523	376	518	514	518	505	539	542	538
영덕군	565	491	408	515	502	526	500	539	542	538
청도군	525	476	410	507	506	509	493	532	561	533
고령군	523	476	391	527	494	521	481	553	577	513
성주군	496	434	360	516	461	506	473	553	603	527
칠곡군	501	511	464	519	525	521	514	553	594	519
예천군	573	535	460	554	531	532	521	576	623	543
봉화군	551	526	491	553	524	511	489	544	596	528
울진군	522	525	434	524	535	457	452	539	542	538
경상남도	540	465	432	527	511	515	495	563	561	518
창원시	582	472	446	551	544	589	535	593	584	520
마산시	532	485	430	512	507	509	451	593	584	520
진주시	537	460	447	521	494	504	486	556	543	530
진해시	563	490	414	521	470	485	508	593	584	520
통영시	576	464	444	542	500	504	501	531	535	526
사천시	543	464	450	526	497	502	483	544	539	538
김해시	537	402	431	569	507	523	511	575	541	524
밀양시	512	477	435	537	530	528	538	572	570	511
거제시	556	459	443	516	505	536	497	531	535	526
양산시	513	481	427	518	465	508	515	593	584	520
의령군	531	457	414	524	517	514	485	537	542	524
함안군	519	448	437	499	498	507	476	559	615	518

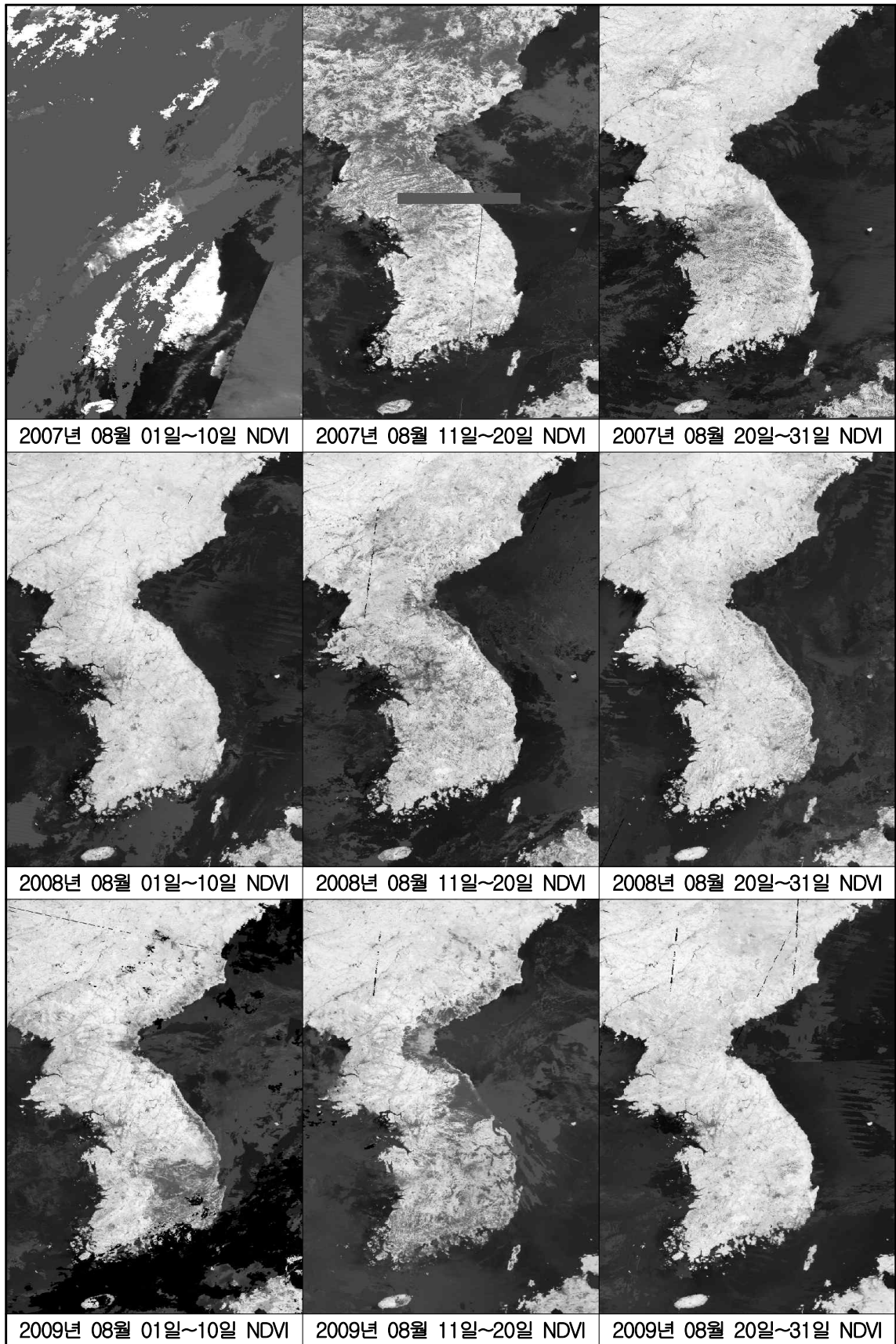
원격탐사기술을 활용한 주요 농산물 생산량 추정기법 개발

행정구역	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
창녕군	553	491	375	518	515	502	500	561	560	511
고성군	559	487	459	550	526	527	487	563	559	524
남해군	531	417	444	497	489	528	495	531	535	526
하동군	540	459	433	531	505	526	506	567	572	542
산청군	551	480	435	509	492	483	461	581	513	483
함양군	560	506	454	562	559	530	493	581	580	517
거창군	541	496	446	522	525	501	495	589	586	516
합천군	525	440	409	516	500	500	485	547	552	499
제주도	503	419	418	479	449	463	411	501	508	368

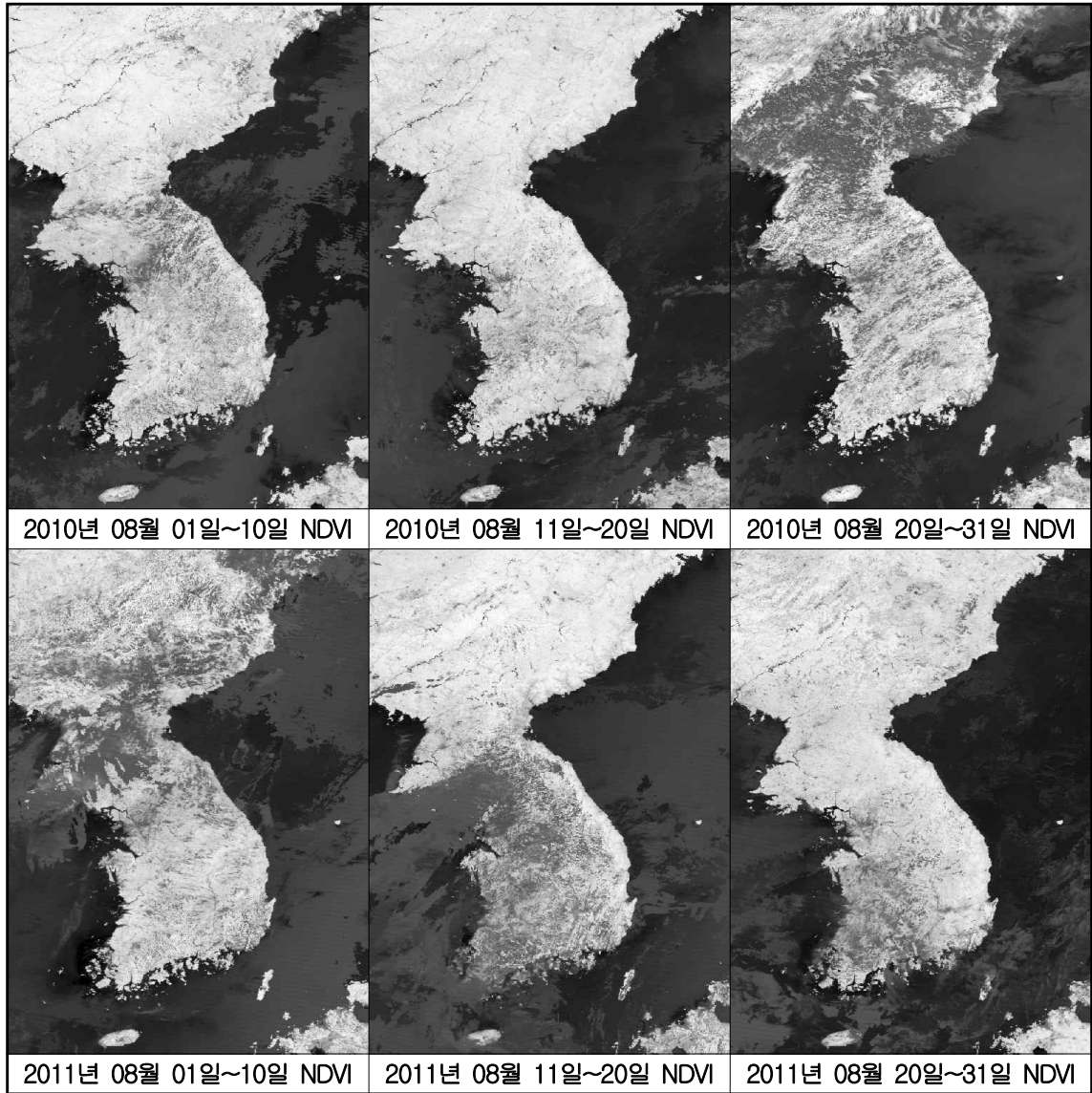
2. MODIS NDVI







원격탐사기술을 활용한 주요 농산물 생산량 추정기법 개발



3. 자문 및 조치사항

3.1. 자문내역 종합

일시	자문위원	자문내역	비고
2011. 08.26	농촌진흥청 홍석영 박사	<ul style="list-style-type: none"> - MODIS 자료는 일본 동경대 자료 외 NASA에서 제공하는 자료도 수집 가능함 - MVC 보정기법 외 다른 보정기법도 검토 필요 - 본 과업과 관련하여 유관기관과의 상호 협력 및 장기간의 지속적 연구가 필요 	부분 반영
2011. 10.05	분석닷컴 대표 이상준 박사	<ul style="list-style-type: none"> - 종속변수와와의 관계 검토시 상관계수와 산점도를 같이 이용하는 것이 바람직함 - 상관계수를 통하여 변수 제거보다는 변수선택법을 권장함 - 비선형적인 부분 및 시계열적 분석 방법의 검토 필요 	반영
2011. 10.07	충북대학교 정보통계학과 허태영 교수	<ul style="list-style-type: none"> - 고급 기술로 패널데이터 분석기법이 있으나 과업기간 고려시 무리가 있음 - 패널데이터 기법 외 시공간 분석기법은 별도의 코딩이 요구됨 	부분 반영
2011. 10.07	충북대학교 농경제학과 윤병삼 교수	<ul style="list-style-type: none"> - 생산량은 각 변수간의 인과관계가 중요 - 요인간 상관성 및 다중공선성 확인과 함께 이론적인 연관성 검토가 필요 - 다소 통계적으로 유의하지 못한 변수라도 설명력이 높아진다면 적용 필요 	반영
2011. 10.10	충북대학교 정보통계학과 허태영 교수	<ul style="list-style-type: none"> - 결합시계열 분석은 SPSS에서는 제공하지 않음 - 따라서 SAS 등을 이용하여 분석이 가능하나 별도의 코딩이 요구됨 - 본 과업 대상으로 약 2~3개월 정도의 시간이 필요할 것으로 판단됨 	부분 반영
2011. 10.18	건국대학교 사회환경 시스템공학과 김성준 교수	<ul style="list-style-type: none"> - 모형 개발 및 검정이 적절한 단계에 의하여 처리되었으므로 모형의 수정보다는 설명력을 높이는 데 주력할 필요가 있음 - 기상자료의 누적치 사용 및 시비량, 품종 등의 데이터 수집이 필요 	부분 반영
상시 기술 자문	충북대학교 정보통계학과 유해경 박사과정	<ul style="list-style-type: none"> - 모형작성 방법론 및 SPSS 사용에 관한 기술 자문 전반 - 변수 선택 방법에 따른 모형구축, Input data 코딩 및 고려사항 - SPSS에 의한 모형 검정 방안 및 신뢰구간, 예측구간 추출 방안 등 	반영

농촌진흥청 홍석영 박사

- 자료 수집 및 전처리 방안
 - MODIS Data는 일본 동경대 자료를 수집하였으나 NASA에서 제공하는 Data를 수집하여 비교하는 것을 추천
 - NDVI 보정기법으로 MVC 기법을 많이 사용하지만 기타 다른 보정기법도 검토할 필요가 있음
- 논벼 재배지 추출 방안
 - 논벼 재배지 격자는 전라북도에서 예상보다 적게 추출되었으므로 확인 필요
- 각 요인별 통계 분석
 - 요인분석에 의한 결과를 통계적으로 검토해볼 필요가 있음
- 식생지수와 수량과의 상관분석 결과
 - 원론적으로 식생지수와 수량은 양의 상관결과를 나타내는 것이 원칙임
 - 음의 상관관계가 나타난 것은 위성영상이 내재하고 있는 불확실성이 가장 큰 원인으로 생각되며 이에 대한 기술적인 개발이 필요함
 - 현 상황으로 기초데이터의 정확도 부재, 기술적 한계, 시계열 데이터의 부족(10년 미만) 등으로 만족할 만한 결과를 얻는 것이 현실적으로 어려움
 - 따라서 유관기관과의 상호 협력이 필요하며 장기간의 지속적인 연구가 필요할 것으로 판단됨
- 타 연구기관(한국농촌경제연구원)의 결과와 비교
 - 한국농촌경제연구원의 결과도 크게 다를 바 없으며, 등온선을 기준으로 지

역을 분할한 것은 검토해볼 필요가 있음

○ 향후 연구 계획

- 3개 시군지역을 대상으로 시범연구 실시가 계획되어 있는데 2010년 필지별 생산량 자료와 MODIS NDVI 자료를 이용하여 필지별 식생지수와 생산량과의 상관분석을 다시 검토할 필요가 있음

전남대학교 고종환 교수

연구의 진행은 통계청에서 요구한 내용과 계획에 부합되게 무리없이 잘 진행되고 있는 것으로 판단됩니다. 다만 원격탐사 자료를 활용한 작물생산량을 예측하는 모형의 개발에 있어서 몇 가지 제안하고 합니다.

1. 모형의 개발에 있어서 크게 통계적 모형과 Process-based 모형의 개발이 가능한데 제한된 자원과 인력을 감안했을 때 통계적 모형에 집중해야 할 것으로 생각됩니다.
2. 통계적 모형은 Multiple Linear Regression 모형으로 개발한다는 가정하에 원격탐사 자료에서 추정된 VI (e.g., NDVI) 변수가 높은 상관계수를 가지게 되는 조건은 최대분얼기 이후 출수기 전후로 추정됩니다만, 이 때에 LAI와의 상관관계에 있어서 Saturation 되는 문제는 항상 해결과제 임을 염두해 두시기를 바랍니다.
3. 작물의 생산량은 크게 다음과 같은 변이 요인이 있는 것은 잘 숙지하고 계시리라고 생각합니다.
 - 1) 지역에 따른 변이 외에
 - 2) 품종에 따른 유전적 변이
 - 3) 토양 환경 조건에 따른 변이
 - 4) 병충해에 따른 변이
 - 5) 이상/돌발 기상에 의한 변이

제가 판단하기에는 이러한 것들이 변수로 고려되어야 하지 않을까 생각됩니다. 데이터 수집에 있어서 지역은 고려되고 있는 것으로 판단되지만, 나머지 조건들은 고려되지 않는 것으로 생각합니다. 병충해와 이상/돌발 기상은 예외 조건으로 하더라도 품종과 토양조건은 독립변수로 고려해 볼 것을 제안합니다. 그리고 잘 아시는 바와 같이 지역*품종*토양간에 interaction 또한 주목해야 할 것이란 생각이 듭니다.

[자문내역]

서울시립대 김규성 교수

원격탐사기술을 활용하여 농업통계자료를 산출하는 것은 현실적으로 매우 어려운 분야라 생각됩니다. 특히, 수확량의 경우 식생 및 기상, 토양 등 다양한 인자들이 복합적으로 고려되어야 하므로 모형을 제작하는 데 있어서 다양한 통계학적 검증이 필요하다고 사료됩니다. 각각의 다양한 요인들에 대한 개별적인 분석이 필요할 것이며, 각 요인간의 상호관계를 파악하여 교차분석 등의 다변량 분석이 요구될 것입니다. 또한, 모형에 대한 안정성을 고려해 볼 때 1회성이 아닌 다년도의 시계열 데이터의 사용이 필요할 것입니다.

시범지역은 지역적 특성이 없는 지역을 선정하여 추후 개발된 모형의 정규화를 피하는 것이 중요하며, 결과 정확도 산정 부분은 통계적인 측면에서 기본적으로 현장 실측한 수확량과 공식 수확량 평균치, 시뮬레이션 결과를 종합적으로 고려해야 하며, 가뭄이나 한랭과 같은 기상이변 요소를 고려하여 연간 수확량 증가분 등을 별도로 고려하여야 할 것입니다.

일반적으로 작물통계 정보는 각 작물의 경작면적과 생육 상황에 따른 단위면적 생산성 추정을 선행하고, 경지면적과 단위면적 생산성을 곱하여 수확량을 추정하고 있습니다. 본 과업에서는 논벼를 연구대상으로 하였으므로 논벼에 대한 위의 정보들을 정확히 알아야 하며, 이와 관련 있는 선행연구 및 선진 사례의 분석이 부가적으로 필요할 것으로 판단됩니다.

[자문내역]

분석닷컴 이상준 박사

자문의뢰 내용이 상관분석 이후에 회귀분석을 하시겠다는 것이지요.

일단 상관분석을 초기에 종속변수들과 관계를 살펴보시는 것은 괜찮겠지만, 상관계수만으로 판단하지 마시고 산점도를 같이 보시면서 판단하시는 것이 좋을 것 같습니다.

그리고 회귀분석에 포함할 변수를 선택하시는데 있어서 연구자가 사전에 독립변수를 선정하는 것은 적당하지만, 현재 자료에서는 기상변수 6개 식생지수 변수 1개로 총 7개의 독립변수를 갖고 있으므로 굳이 상관계수를 통하여 제거하시기 보다는 회귀분석시에 변수선택법으로 제거하는 것이 더 적합할 것 같습니다.

물론 회귀모형에 적합하실때에 변수와 종속변수와의 관계를 살펴보고, 비선형적인 부분(말씀하신 2차형식 등...)도 고려해 생각해 보십시오.

그리고 추가적으로 생각해 보실 수 있는 것은 자료가 시계열에 적당한 구조로 맞추어 질 수 있다면 시간적 요인을 고려하여 수확량이나 수확률에 대한 시계열 적인 분석 방법도 생각해 보실 수 있습니다.

적당한 답변이 되셨을지 모르겠네요.

저희 분석닷컴에 관심을 가져주셔서 감사합니다.

항상 노력하는 분석닷컴이 되겠습니다.

분석닷컴

충북대학교 허태영 교수

- 1) 본 과업의 목적 및 내용, 다중회귀모델의 작성 방법 및 인자 선택 방법 등을 면밀히 검토하였습니다. 결론적으로 말씀드리면, 방법론 자체에는 통계적으로 큰 문제가 없으며, 회귀모델 역시 적합한 절차에 의하여 작성되어진 것으로 판단됩니다.

- 2) 각 인자들의 인과관계를 이용하여 생산량을 예측하는 방법으로 회귀모델을 사용하였는데, 보다 고급 기술로는 패널데이터 분석이 있습니다. 결합시계열 분석이라고도 하는데 SPSS에서는 제공하지 않는 것으로 알고 있습니다. SAS 또는 STATA를 이용하여 분석하는데 별도의 코딩이 필요하여 과업기간 내 어려울 것으로 판단됩니다. 본 과업을 대상으로 작업 기간을 예상해보면, 통계전문가를 기준으로 2~3개월 정도로 예상되어집니다. 패널데이터 분석이외에는 시공간분석기법이 있는데 이 방법은 통계전문가가 데이터 수집을 비롯한 전 과정에 투입되어야 하므로 이번 과업에 적용하기에는 무리가 있을 것으로 생각합니다.

- 3) 마지막으로 한 가지 더 조언을 드리자면, 기후분포도 작성에 있어서 IDW 기법보다는 Universal Kriging 기법을 이용하는 것이 현재의 추세입니다. 그러나 Universal Kriging 기법은 소프트웨어 상에 일반화되어 있지 않아 별도의 프로그래밍이 필요하며, 전문가가 아닌 경우에는 접근하기 어려운 기법입니다. 추후 모델의 업그레이드를 계획하고 있다면 Universal Kriging 기법에 의한 기후분포도 작성도 고려하시기 바랍니다.

[자문내역]

충북대학교 윤병삼 교수

- 1) 본 과업을 검토해본 결과, 모델작성과 관련하여 전체적인 접근 방법은 맞는 것으로 판단됩니다. 생산량은 각 인자간의 인과관계가 중요하므로 각 인자간의 상관성 및 다중공선성을 확인하여야 하며, 독립변수와 종속변수가 이론적으로 연관이 있는지도 검토해보아야 할 것입니다.
- 2) 시계열 분석은 시간에 따른 독립변수의 변화에서 패턴을 추정하여 미래를 예측하는 방법으로 인자간의 인과관계를 설명하지 못하여 본 과업에는 사용하지 않는 것이 좋을 듯 합니다.
- 3) 본 과업의 성격상 예측 모델의 경우에는 다소 통계적으로 유의하지 못한다 하더라도 인자들을 모두 이용하여 설명력을 높이는 것이 좋을 것으로 생각됩니다. 물론 통계적으로도 유의수준 하에서 모델이 작성되어 진다면 더 좋겠지만 현실적으로는 불가능합니다. 따라서 인자선택방법을 입력방법과 선택적방법으로 모두 사용하여 모델을 작성한 후 비교하여 선택적으로 사용하는 것이 바람직 할 것으로 판단됩니다.
- 4) 본 과업과 관련하여 최근 서울대 농림기상센터에서 USDA와 협약하여 비슷한 업무를 추진하고 있는 것으로 알고 있습니다. 참고하시기 바랍니다.

[자문내역]

건국대학교 김성준 교수

- 1) 전반적인 프로세스 및 사용 데이터, 데이터 처리 과정 등은 이상이 없습니다. 모형개발 및 검정 부분도 적절한 단계에 의하여 이루어진 것 같습니다. 따라서 앞으로 모형의 수정보다는 설명력을 높이는 데 관심을 가져야 할 것 같습니다.
- 2) 기상자료는 6개의 기상인자를 사용하였는데, 강수량 및 일조시간도 누적강우 일수와 누적일조시간으로 처리하여 모형에 적용시키는 방법도 생각해 보아야 할 듯합니다. 일반적으로 작물의 기상요인에 영향을 받을 경우, 일시적인 영향보다는 지속적인 영향을 고려해야 하며, 기후변화 등을 고려해 볼 때 누적치를 사용하는 것이 어떨까 하는 생각이 듭니다.
- 3) 또한 각 지대별 시비량 및 품종 등의 데이터를 수집할 수 있다면, 그것에 대한 가중치를 적용하여 지역별 생산량 예측력을 높일 수도 있을 것으로 생각됩니다.
- 4) 이번 연구는 RS기법을 이용하여 논벼의 생산량을 예측하는 것이 목적이므로 기존의 작물 생육모형과는 차별화를 두어야 할 것이며, 특히 지금까지는 시도되지 않았던 연구를 시작한다는 점에서 더 큰 의미를 두어야 할 것 같습니다. 앞으로 더욱 관심을 가지고 다음 자문회의에서는 더 좋은 의견을 드릴 수 있도록 하겠습니다.

충북대학교 유혜경 박사과정

- 1) 본 과업 관련 모형작성 방법론 및 SPSS 사용에 관한 기술 자문 전반
- 2) 변수 선택 방법에 따른 모형구축
- 3) input data 코딩 및 고려사항
- 4) SPSS에 의한 모형 검정 방안
- 5) SPSS에 의한 신뢰구간 및 예측구간 추출 방안
- 6) 기타 SPSS를 이용한 기술적인 내용에 대한 상시자문 및 검토

3.2. 지적사항 및 조치사항

지적사항	조치사항	비고
- MODIS NDVI가 해당지역의 대표성 및 균질성을 확보할 수 있는지 확인필요	- 논벼 재배지 선정은 토지피복도를 이용하여 추출하였으며, 대표성 및 균질성은 전국단위, 도단위, 시군단위, 포구단위 등 공간규모에 따른 상관분석을 통해 확인	반영
- 기상인자 내삽 결과의 정확도 확인필요	- 기상인자는 내삽과정을 거치지 않고 시군의 기상대에서 추출한 대표값을 사용하였으며, 기상분포도는 기상청에서 직접 제공받을 수 있는지에 대한 논의 중	반영
- 위성영상 전처리 과정의 확인필요	- 일본 동경대에서 전처리가 완료된 영상의 사용 및 MVC 보정기법 모델을 제작하여 영상자료의 객관성을 유지함	부분 반영
- NDVI와 생산량과의 역상관에 대한 해결방안 모색 필요	- 역상관계수는 최초 NDVI 추출시 8bit 영상으로 변환하는 과정에서 스트레칭 효과가 반영되어 나타난 결과로 판단되며, floating 영상으로 재처리 하여 해결함	반영
- 지역모델링의 경우 인위적인 경계보다는 자연적 경계를 이용하는 것이 바람직함	- 농촌진흥청의 작황체계 농업지대를 이용하여 자연적 경계를 이용한 방법을 검토하였으나, 협의 결과 실무적으로 사용하는 것은 어렵다고 판단되어 검토 결과만 최종 보고서에 수록할 예정	부분 반영
- 2011년 예측치를 추정하여 예상량과 비교하는 검증 절차가 필요	- 2011년 전국 및 도단위 예측치를 추정하여 2011년 논벼 예상량 발표 결과와 비교하여 검증함	반영
- 추정량의 비교는 모형구축에 사용하지 않은 연도의 추정량을 이용해야 함	- 3개 시군을 대상으로 시범적용하여 2010년의 예측치를 추정하였으며, 비교 검증은 2010년 데이터를 포함한 모형과 제외한 모형으로 분류하여 각각 비교함	반영
- 인자 추출 과정 및 유의성 검토 등, 모형 개발 전 자문회의를 통해 통계적인 검토가 선행되어야 함	- 통계 자문 5회, 상시 기술 자문을 통하여 각 단계별로 검토하였으며, 변수의 선택은 단계적 선택법(Stepwise)을 이용함	반영

주 의

1. 이 보고서는 통계청에서 시행한 정책연구용역사업의 연구결과 보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표 또는 인용할 때에는 반드시 통계청에서 시행한 정책연구용역사업의 결과임을 밝혀야 합니다.
3. 이 보고서에 대한 저작 재산권 일체와 2차적 저작물 또는 편집저작물의 작성권은 통계청이 소유하며, 통계청은 정책상 필요시 보고서의 내용을 보완 또는 수정할 수 있습니다.