

통계청 연구용역  
결과 보고서

# 원격탐사 활용 쌀 생산량 시범조사

A Pilot Survey of Rice Production using  
Remote Sensing

2012. 12.

통 계 청







# 요 약 문

## I. 연구제목

원격탐사 활용 쌀 생산량 시범조사

## II. 연구목적

1. 원격탐사기술 활용 2012년도 쌀 생산량 예측
2. 외부기관 연구 성과를 활용한 통계청 실용화 방안 연구
3. 북한지역 벼 재배면적 조사방법 개발을 위한 1개도 시범조사

## III. 연구내용

1. 원격탐사기술 활용 2012년도 쌀 생산량 예측
  - 2011년도에 개발한 추정모형을 활용한 2012년도 쌀 생산량 예측
  - 천리안위성(GOCI)의 식생지수 활용가능성 검토
2. 외부기관 연구 성과를 활용한 통계청 실용화 방안 연구
  - 쌀 생산량 추정 관련 국내외 연구사례 조사
  - 기관 간 협력 및 기술 실용화를 위한 중장기 로드맵 작성
3. 북한지역 벼 재배면적 조사방법 개발을 위한 1개도 시범조사
  - 위성영상을 활용한 북한지역 1개도 벼 재배면적 추정
  - 판독 정확도 검토

## IV. 주요 연구결과

1. 2011년도 쌀 생산량 추정모형 검토/개선 및 2012년 생산량 추정
2. 쌀 생산량 추정에 있어서 GOCI NDVI 활용 가능성 검토
3. 쌀 생산량 추정 연구 성과에 대한 통계청 실용화 프로세스 도출
4. 무감독분류, 감독분류, 디지털라이징 방법을 이용한 북한 재령군 논 면적 추정 및 결과 비교분석
5. 영상분류기법(RHSEG)을 적용한 북한 황해남도 영상분류지도 작성 및 벼 재배면적 추정



# 차 례

제1장 서론 .....	1
1.1 연구 배경 .....	1
1.2 연구 목적 .....	3
1.3 연구 수행기간 .....	4
1.4 연구 내용 .....	4
1.5 기대효과 .....	6
제2장 원격탐사기술 활용 2012년도 쌀 생산량 예측 .....	7
2.1. 2011년도 쌀 생산량 추정모형 점검 .....	7
2.1.1. 개발과정 검토 .....	7
2.1.2. 자료수집 .....	9
2.1.3. 모형 입력자료 검토 및 수정 .....	16
2.2. 2011년도 쌀 생산량 추정모형 수정 .....	48
2.2.1. 모형 입력자료 .....	48
2.2.2. 다중회귀분석 .....	61
2.2.3. 전국 및 도별 논벼 생산량 추정 모형 .....	63
2.2.4. 모형 적용결과 분석 .....	71
2.3. 2012년 쌀 생산량 추정 .....	77
2.3.1. 입력자료 .....	77
2.3.2. 추정결과 분석 .....	77
2.4. 천리안위성(GOCI)의 식생지수 활용 가능성 검토 .....	82
2.4.1. 천리안위성과 Terra/Aqua위성 제원 및 특성 비교 .....	82
2.4.2. GOCI NDVI 추출 .....	85
2.4.3. 쌀 생산량 추정결과 비교 .....	91
2.5. 소결론 .....	93
제3장 외부기관 연구 성과를 활용한 통계청 실용화 방안 연구 ...	97
3.1. 외부기관의 농업분야 원격탐사 활용 연구 결과 검토 .....	97
3.1.1. 국내외 연구사례 .....	97
3.1.2. 외부기관(농촌진흥청) 연구 성과 검토 .....	104
3.2. 통계청 실용화 방안 연구 .....	107

3.2.1. 기관 간 협력을 통한 유기적인 업무 프로세스 도출 .....	107
3.2.2. 기관 간 협력 및 기술 실용화를 위한 중장기 로드맵 작성 .....	109
3.3. 소결론 .....	111
<b>제4장 북한지역 벼 재배면적 조사 방법 개발 및 1개도 시범조사 연구 ...</b>	<b>113</b>
4.1. 북한지역 농업환경 .....	113
4.2. 시범지역 선정 .....	116
4.2.1. 시범지역 선정 .....	116
4.2.2. 1개도 벼 재배면적 추정을 위한 방법 설계 .....	118
4.3. 자료수집 .....	120
4.3.1. 위성영상 .....	120
4.3.2. 지리정보자료 .....	124
4.4. 영상분류방법 선정 .....	127
4.4.1. 무감독분류 .....	127
4.4.2. 감독분류 .....	129
4.4.3. 디지털라이징 .....	129
4.4.4. 분류결과 비교분석 .....	132
4.4.5. 영상분류 방법선정 .....	133
4.5. 1개도 벼 재배면적 추정 및 결과검토 .....	135
4.5.1. RHSEG 무감독분류 .....	135
4.5.2. 분류결과 분석 및 벼 재배면적 추정 .....	136
4.5.3. 결과검토 .....	151
4.6. 쌀 생산량 예측 사업관련 연계사항 검토 .....	154
4.7. 소결론 .....	155
<b>제5장 결 론 .....</b>	<b>158</b>
5.1. 연구내용 및 결과 요약 .....	158
5.2. 제언 .....	161
<b>참 고 문 헌 .....</b>	<b>163</b>

# 그림 차례

그림 1. 2011년도 쌀 생산량 추정 모형 개발과정 검토 .....	8
그림 2. 동경대 제공 MODIS 자료 다운로드 웹페이지 .....	11
그림 3. NDVI 보정에 사용한 MVC(Maximum Value Composite) 기법 .....	11
그림 4. 행정경계도 .....	15
그림 5. 2002년 8월 상순, 중순, 하순의 MODIS NDVI 및 MVC 결과 확인 .....	16
그림 6. 2002년 8월 MODIS NDVI MVC 오류 확인 .....	17
그림 7. 2001~2012년 MODIS NDVI MVC 결과 및 기존자료와 비교 .....	17
그림 8. 토지피복지도를 이용한 논벼 재배지 격자 추출 .....	18
그림 9. 기존 연구의 논벼 재배지 격자 추출결과 확인 .....	19
그림 10. 토지피복지도 자료 오류 확인 .....	20
그림 11. 연도별 환경부 토지피복지도 제작 현황 .....	21
그림 12. 토지피복지도를 활용한 논벼 재배지 격자 재추출 .....	21
그림 13. 행정구역별 논벼 재배지 격자 추출 결과 비교 .....	22
그림 14. 추출된 논벼 재배지 격자 면적 비교 .....	25
그림 15. 행정구역별 논 면적 평균비율 비교 .....	26
그림 16. 논벼 재배지 격자를 이용한 도별 MODIS NDVI 평균값 비교 .....	27
그림 17. 행정구역별 MODIS NDVI 평균값과 생산량 간 상관관계 .....	28
그림 18. MODIS 식생지수와 생산량 간 상관분석 결과 .....	34
그림 19. 행정구역별 일교차 계산 오차 .....	36
그림 20. 행정구역별 평균온도 계산 오차 .....	37
그림 21. 행정구역별 누적일조시간 계산 오차 .....	37
그림 22. 행정구역별 누적강우량 계산 오차 .....	38
그림 23. 기상자료 계산결과 확인을 위한 검산 .....	39
그림 24. 기상관측소 분포 .....	41
그림 25. 기상관측소(78개) 및 일사량 관측지점(14개) 분포 비교 .....	41
그림 26. 등속기 선정 결과 .....	47
그림 27. 2011년도 쌀 생산량 추정 결과 비교 .....	73
그림 28. 연도별(2001~2012년) 생산량 추정 오차 비교 .....	80
그림 29. 2003년 태풍 매미 및 2012년 태풍 볼라벤의 진로방향 .....	81
그림 30. GOCI 분광해상도 .....	82
그림 31. GOCI 자료 취득 방법 .....	83
그림 32. MODIS 분광해상도 .....	84

그림 33. GOCI 자료 산출물 .....	86
그림 34. GOCI NDVI 추출 프로그램 .....	87
그림 35. MODIS와 GOCI의 NDVI 비교 .....	88
그림 36. 2011년 MODIS 및 GOCI NDVI 도별 평균값 비교 .....	89
그림 37. 2012년 MODIS 및 GOCI NDVI 도별 평균값 비교 .....	89
그림 38. MODIS 및 GOCI NDVI 비교분석 관련 연구자료 .....	90
그림 39. 농촌진흥청 농업기상정보 서비스 .....	105
그림 40. 농촌진흥청 작황예측 시스템(출처: 농촌진흥청) .....	106
그림 41. 유관기관별 역할 정의 .....	108
그림 42. 쌀 생산량 추정을 위한 유기적인 업무 프로세스 도출 .....	108
그림 43. 기관 간 협력 및 기술 실용화를 위한 중장기 로드맵 제시 .....	110
그림 44. 황해남도 행정구역 및 재령군 위치 .....	117
그림 45. 1개군 시범지역 선정을 위한 위성영상 품질 확인 .....	117
그림 46. 1개도 벼 재배면적 추정 과정 .....	118
그림 47. RapidEye 수집현황(총 27장) .....	121
그림 48. RapidEye 메타데이터 .....	121
그림 49. KOMPSAT-2 수집현황(총 105장) .....	122
그림 50. KOMPSAT-2 메타데이터 .....	123
그림 51. 구글 이미지 수집 .....	124
그림 52. 수치지형도 수집현황(총 988도엽) .....	125
그림 53. 북한지역 수치지형도(국토지리정보원) .....	125
그림 54. 대분류 토지피복지도 수집현황(총 249도엽) .....	126
그림 55. RHSEG 무감독분류 개념 .....	128
그림 56. RapidEye 영상을 이용한 RHSEG 무감독분류 결과(재령군) .....	128
그림 57. 디지털지정 작업에 활용한 참조자료 현황 .....	132
그림 58. 영상분류 및 판독결과 비교 .....	132
그림 59. RHSEG 무감독분류 수행 과정 .....	135
그림 60. RapidEye Scene별 분류 클래스 수 .....	136
그림 61. RHSEG 무감독분류를 적용한 황해남도 RapidEye 위성영상 분류 결과	137
그림 62. 황해남도 분류항목별 면적비율 .....	137
그림 63. 황해남도 행정구역별 논 면적(ha) .....	138
그림 64. 황해남도 행정구역별 논 면적비율(%) .....	139
그림 65. 위성영상 종류 및 촬영시기별 영역 구분 .....	140
그림 66. 벼 재배지역 판독이 불가능한 지역 .....	141
그림 67. 2010년 4, 6, 9월에 촬영된 RapidEye 영상 분포 .....	142

그림 68. 2010년 5~6월 촬영된 KOMPSAT-2 영상 분포 .....	143
그림 69. 2010년 6, 9, 10월에 촬영된 구글어스 이미지 분포 .....	144
그림 70. 2009년 6월 촬영된 RapidEye 영상 분포(빨간색) .....	145
그림 71. 2010년 6월 KOMPSAT-2 영상과 2009년 6월 RapidEye 영상의 논 패턴 비교 .....	145
그림 72. RHSEG 분류결과와 참조자료 비교 .....	151
그림 73. RHSEG 분류결과와 디지털라이징 결과 비교 .....	152
그림 74. 2007년 서울대 연구결과와 비교 .....	153
그림 75. 2010년 국제연합식량농업기구(FAO) 보고서와 비교 .....	153

# 표 차례

표 1. 자료수집 내역 .....	9
표 2. 기상자료 수집 내역 (계속) .....	12
표 2. 기상자료 수집 내역 (계속) .....	13
표 2. 기상자료 수집 내역 .....	14
표 3. 논벼 재배지 격자 추출 결과 .....	25
표 4. 전국 NDVI 평균 및 생산량 간 상관분석 결과 .....	31
표 5. 도별 NDVI 평균 및 생산량 간 상관분석 결과 .....	31
표 6. 기존 연구의 행정구역별 등숙기 선정 결과 .....	35
표 7. 57개 기상관측소 자료를 이용한 2001~2011년 등숙기 동안의 기상자료 계산 결과 비교 .....	36
표 8. 일조시간과 일사량의 정의 및 특징 .....	40
표 9. 일사량자료 수집 내역 .....	40
표 10. 전국 기상자료 및 생산량 간 상관분석 결과 결정계수 .....	42
표 11. 강원도 기상자료 및 생산량 간 상관분석 결과 결정계수 .....	43
표 12. 경기도 기상자료 및 생산량 간 상관분석 결과 결정계수 .....	43
표 13. 경상남도 기상자료 및 생산량 간 상관분석 결과 결정계수 .....	44
표 14. 경상북도 기상자료 및 생산량 간 상관분석 결과 결정계수 .....	44
표 15. 전라남도 기상자료 및 생산량 간 상관분석 결과 결정계수 .....	45
표 16. 전라북도 기상자료 및 생산량 간 상관분석 결과 결정계수 .....	45
표 17. 충청남도 기상자료 및 생산량 간 상관분석 결과 결정계수 .....	46
표 18. 충청북도 기상자료 및 생산량 간 상관분석 결과 결정계수 .....	46
표 19. 행정구역별 등숙기 선정 결과 비교 .....	47
표 20. 행정구역별 논벼 단위면적(10a) 당 수량 .....	49
표 21. 행정구역별 NDVI 평균값 .....	49
표 22. 행정구역별 기상자료(일교차) 계산 결과 .....	50
표 23. 행정구역별 기상자료(평균온도) 계산 결과 .....	50
표 24. 행정구역별 기상자료(누적강우량) 계산 결과 .....	51
표 25. 행정구역별 기상자료(누적일사량 또는 누적일조시간) 계산 결과 .....	51
표 26. 전국 모형 입력자료의 기술통계량 .....	52
표 27. 전국 모형 입력자료의 상관분석 결과 .....	52
표 28. 강원도 모형 입력자료의 기술통계량 .....	53
표 29. 강원도 모형 입력자료의 상관분석 결과 .....	53
표 30. 경기도 모형 입력자료의 기술통계량 .....	54

표 31. 경기도 모형 입력자료의 상관분석 결과 .....	54
표 32. 경상남도 모형 입력자료의 기술통계량 .....	55
표 33. 경상남도 모형 입력자료의 상관분석 결과 .....	55
표 34. 경상북도 모형 입력자료의 기술통계량 .....	56
표 35. 경상북도 모형 입력자료의 상관분석 결과 .....	56
표 36. 전라남도 모형 입력자료의 기술통계량 .....	57
표 37. 전라남도 모형 입력자료의 상관분석 결과 .....	57
표 38. 전라북도 모형 입력자료의 기술통계량 .....	58
표 39. 전라북도 모형 입력자료의 상관분석 결과 .....	58
표 40. 충청남도 모형 입력자료의 기술통계량 .....	59
표 41. 충청남도 모형 입력자료의 상관분석 결과 .....	59
표 42. 충청북도 모형 입력자료의 기술통계량 .....	60
표 43. 충청북도 모형 입력자료의 상관분석 결과 .....	60
표 44. 전국 입력자료의 다중선형회귀분석 결과 .....	65
표 45. 강원도 입력자료의 다중선형회귀분석 결과 .....	65
표 46. 경기도 입력자료의 다중선형회귀분석 결과 .....	65
표 47. 경상남도 입력자료의 다중선형회귀분석 결과 .....	66
표 48. 경상북도 입력자료의 다중선형회귀분석 결과 .....	66
표 49. 전라남도 입력자료의 다중선형회귀분석 결과 .....	66
표 50. 전라북도 입력자료의 다중선형회귀분석 결과 .....	67
표 51. 충청남도 입력자료의 다중선형회귀분석 결과 .....	67
표 52. 충청북도 입력자료의 다중선형회귀분석 결과 .....	67
표 53. 변수선택법을 이용한 다중선형회귀분석 결과 비교 .....	68
표 54. 행정구역별 회귀모형의 추정계수 및 유의확률 .....	69
표 55. 2011년도 쌀 생산량 추정 결과 .....	72
표 56. 2011년도 쌀 생산량 추정 결과 비교 .....	73
표 57. 시계열(2001~2011년) 쌀 생산량 추정 결과 .....	75
표 58. 시계열(2001~2011년) 쌀 생산량 추정 오차 .....	76
표 59. 2012년도 쌀 생산량 추정 결과 .....	78
표 60. 2012년도 쌀 생산량 추정 결과 비교 .....	79
표 61. MODIS 영상과 GOCI 영상의 제원비교 .....	85
표 62. MODIS와 GOCI NDVI를 이용한 2011년도 쌀 생산량 추정 결과 비교 ·	91
표 63. MODIS와 GOCI NDVI를 이용한 2012년도 쌀 생산량 추정 결과 비교 ·	91
표 64. 원격탐사를 활용한 농업분야 관련 연구사례(연도별) .....	103
표 65. 북한 지역별 파종기 (출처: 농업사회발전연구원(2001년)) .....	114

표 66. 북한의 지역별 벼생육기간 월평균기온 (출처: 농업사회발전연구원(2001년) · 114	
표 67. 자료수집 내역 .....	120
표 68. 속성파일 필드구조 정의 .....	130
표 69. 속성파일 테이블 정의 .....	131
표 70. 영상분류 결과 비교 .....	133
표 71. 황해남도 <b>RapidEye</b> 위성영상 분류 결과 .....	138
표 72. 황해남도 행정구역별 논 면적 및 비율 추정 결과 .....	139
표 73. <b>RapidEye</b> 영상 판독 예(농경지) .....	147
표 74. <b>RapidEye</b> 영상 판독 예(도심지, 기타) .....	148
표 75. <b>RapidEye</b> 와 <b>KOMPSAT-2</b> 영상 패턴 비교 .....	149
표 76. <b>KOMPSAT-2</b> 영상 판독 예 .....	150
표 77. 구글어스( <b>Google Earth</b> ) 영상판독 예 .....	150

# 제1장 서론

## 1.1 연구 배경

- 현행 농업통계조사방법은 과거의 조사방법(현장 실측조사)을 그대로 사용함으로써 업무부담이 가중되고 비표본오차 발생이 가능하다. 원거리에 산재해 있는 표본 조사구를 현장 조사하기 때문에 많은 시간과 비용이 소요될 뿐만 아니라 줄자를 이용한 실측, 목측 등을 활용함으로써 업무부담이 가중된다. 또한 관할 지형과악 및 작물식별능력 확보에 상당기간이 소요되므로 비표본오차가 발생할 수 있다. 따라서 조사방법의 현대화를 통해 효율성 및 정확성을 제고하는 것이 시급한 실정이다.
- 해외사례를 살펴보면, 미국, 유럽연합(EU), 일본 등 선진국을 중심으로 인공위성 영상을 판독해 농업통계를 생산하는 원격탐사기술이 이미 실용화되었다. 미국과 유럽연합(EU)은 20~30년 전부터 농업통계업무에 원격탐사기술을 도입해 재배면적 조사에 대한 기술 적용을 실용화한 상태이며, 작물별 생산량 조사에서는 공식통계 산출 보조자료 및 정책 의사결정자료로 활용하고 있다. 일본의 경우에는 2010년부터 원격탐사 기술을 경지 총조사와 경지면적 조사에 적용한 시범사업을 실시하고 있다. 이렇듯 원격탐사기술은 경지면적조사, 재배면적조사, 작황예측분석 등에 점차 활용되고 있다.
- 우리나라도 2006년 다목적실용위성 2호, 2012년 다목적실용위성 3호의 성공적 발사로 가격경쟁력이 높은 국산 고해상도 위성영상의 활용이 가능해졌다. 뿐만 아니라, '우주개발진흥기본계획'에 따라 추후 전천후 레이더영상 획득이 가능한 다목적실용위성 5호, 고해상도 광학영상 및 열적외영상 획득이 가능한 3A호 등이 발사될 예정에 있어 고해상도의 다양한 위성영상 확보가 가능하게 되었다.

- 통계청에서는 농업통계조사에 원격탐사기술을 적용하기 위한 다양한 시범사업을 수행하고 있으며, 경지면적 조사의 경우 올해 실용화를 하여 2013년 1월에 통계로 첫 발표할 예정이다. 벼 재배면적 조사의 경우 원격탐사기술 활용 전국 시범사업을 매년 지속적으로 실시하되, 철저한 검증이 필요하므로 2015년부터 실용화해 나갈 예정이다. 쌀 생산량 조사의 경우에도 원격탐사기술을 적용하는 시범사업을 수행하고 있는데, 보다 정확한 생산량 추정을 위해서는 여러 가지 기술적인 여건이 고려되어야 하므로 중장기적인 과제로 추진해 나가기로 했다. 또한 위성영상을 이용한 북한의 벼 재배면적 조사에 대해서도 2015년 이후에 실용화할 수 있도록 시범사업을 수행할 계획이다.
- 본 연구는 원격탐사기술을 적용한 쌀 생산량 추정 및 북한의 벼 재배면적 추정을 위한 시범사업의 일환으로 수행하게 되었다.

## 1.2 연구 목적

○ 본 연구는 2011년 ‘원격탐사기술을 활용한 주요 농산물 생산량 추정 기법 개발’ 사업을 통해 개발된 국내 쌀 생산량 추정 모형을 활용하여 2012년도 쌀 생산량을 예측하고, 외부기관의 원격탐사 활용 농작물 생산량 예측 연구 성과에 대한 통계청의 활용 방안 및 업무 내부화 방안을 제시하며, 북한지역 벼 재배면적 추정을 위한 1개도 시범조사를 수행하는데 그 목적이 있다.

- 원격탐사기술 활용 2012년도 쌀 생산량 예측
  - 2011년 개발 모형을 활용한 2012년도 쌀 생산량 예측
  - MODIS와 천리안위성(GOCI)의 비교 검토
- 외부기관 연구 성과를 활용한 통계청 실용화 방안 연구
  - 외부기관(농촌진흥청 등)의 쌀 생산량 추정 연구 결과 검토
  - 연구 성과에 대한 통계청 실용화 프로세스 도출
- 북한지역 벼 재배면적 조사방법 개발을 위한 1개도 시범조사
  - 위성영상을 활용한 북한지역 1개도 벼 재배면적 추정
  - 판독 정확도 검증 방안 제시
  - 쌀 생산량 예측 사업관련 연계사항 사전 검토

### 1.3 연구 수행기간

- 본 연구의 수행기간은 2012년 5월 24일 ~ 2012년 12월 15일이다.

### 1.4 연구 내용

- 원격탐사기술 활용 2012년도 쌀 생산량 예측
  - 2011년도 쌀 생산량 추정모형 검토 및 수정
    - 모형 입력자료 검토 및 수정
    - 등숙기 검토 및 수정
    - 쌀 생산량 추정 모형 수정 및 검토
  - 2012년도 쌀 생산량 추정
    - 수정한 추정 모형을 이용한 2012년도 쌀 생산량 추정 및 결과분석
  - GOCI NDVI 활용 가능성 검토
    - GOCI NDVI와 MODIS NDVI 비교분석
  - 프로그램 개발
    - MODIS 식생지수(NDVI, EVI, RVI) 산출 프로그램
    - GOCI 파일형식 변환(hdf-eos5 → raw file), NDVI 산출 및 보정(MVC) 프로그램
- 외부기관 연구 성과를 활용한 통계청 실용화 방안 연구
  - 외부기관(농촌진흥청 등)의 쌀 생산량 추정 연구 검토
    - 국내외 관련 연구 조사
    - 활용자료 및 연도별 연구 성과 파악

- 연구 성과에 대한 통계청 실용화 프로세스 도출
  - 통계청 및 농진청 관련 업무 파악
  - 기관 간 협력 및 기술 실용화를 위한 중장기 로드맵 작성
  
- 북한지역 벼 재배면적 조사방법 개발을 위한 1개도 시범조사
  - 위성영상 및 참조자료를 활용한 황해남도 벼 재배면적 추정
    - 자료수집 및 검토
    - 1개군 시범지역(재령군) 선정 및 다양한 영상판독방법 적용 결과 검토
    - RHSEG 무감독분류를 이용한 1개도 시범지역(황해남도)의 영상분류 및 벼 재배면적 추정
    - 타 연구결과 및 유관기관 자료와 추정 결과 비교검토

## 1.5 기대효과

- 본 연구를 통해 2011년 개발한 쌀 생산량 추정 모형을 검토·수정하여 추정 예측력을 검증 및 개선함으로써 원격탐사기술을 활용한 쌀 생산량 추정 통계업무의 실용화를 위한 기반을 마련하였다.
- 본 연구에서 수정한 쌀 생산량 추정 모형을 적용하여 2001~2012년의 쌀 생산량을 추정한 후 통계청 확정치와 비교분석함으로써 모형의 시계열 예측력을 검토하고, 자연재해(태풍)가 추정 모형의 예측력에 어떠한 영향을 미치는지 확인함으로써 향후 모형 개선을 위해 고려되어야 할 사항이 무엇인지 도출하였다.
- 동일한 시기에 촬영된 MODIS 영상과 GOCI 영상의 식생지수(NDVI) 상관분석을 통해 쌀 생산량 추정 모형에 GOCI 영상의 활용가능성을 확인하였다.
- 외부기관(농촌진흥청)의 원격탐사를 활용한 쌀 생산량 추정 연구 성과를 검토하고 이를 활용하기 위한 통계청 실용화 프로세스를 도출하였다.
- 접근불능지역인 북한지역 1개도에 대해 원격탐사기술을 적용한 비재배면적을 본 시범사업을 통해 추정함으로써 북한 농업통계 작성에 활용할 수 있는 방법론을 제시하였다.
- 또한 본 연구에서 수집한 북한지역의 위성영상 및 관련 참조자료(지리정보자료)를 통해 현재 국내 유관기관에서 생산되고 있는 북한지역 자료 현황을 파악할 수 있으며 이러한 자료는 향후 연구에 활용 가능하다.

## 제2장 원격탐사기술 활용 2012년도 쌀 생산량 예측

### 2.1. 2011년도 쌀 생산량 추정모형 점검

#### 2.1.1. 개발과정 검토

- 통계청에서 2011년에 수행한 '원격탐사기술을 활용한 주요 농산물 생산량 추정 기법 개발' 사업을 통해 개발된 쌀 생산량 추정 모형은, MODIS(MODerate-resolution Imaging Spectrometer) 위성영상의 NDVI(Normalized Difference Vegetation Index) 및 기상자료와 쌀 생산량 간의 상관관계를 이용하여 다중 선형회귀분석을 통해 개발되었다. 개발된 추정모형에 사용자가 원하는 시기의 MODIS NDVI 및 기상자료를 입력하면 해당 시기의 쌀 생산량이 추정된다.
- 개발된 추정 모형을 점검하기 위해 우선 개발과정을 검토하였다. 2011년도에 개발된 쌀 생산량 추정 모형 개발 과정은 크게 자료수집, 전처리, 모형개발의 3가지 단계로 나누어 볼 수 있다.
- 자료수집 단계에서는 식생지수(NDVI)를 산출하기 위한 MODIS 위성영상, 쌀 생산량에 영향을 주는 기상자료, 통계청에서 발표한 생산량 확정치, 논벼 재배지 추출을 위한 토지피복지도, 도별 자료산출을 위한 행정경계도를 수집하였다.
- 전처리 단계에서는 MODIS 위성영상의 NDVI 추출 및 보정, 도별 기상자료 정리, 도별 생산량 자료 정리, 토지피복지도를 이용한 도별 논벼 재배지 격자 추출, 도별 등숙기 선정 작업을 수행하였다.

- 모형개발 단계에서는 종속변수 및 독립변수로 사용할 인자를 결정하고 변수선택법에 의한 다중 선형회귀분석을 수행하여 도별 쌀 생산량 추정 모형을 개발하였다. 개발한 모형을 이용하여 2011년도 전국 및 도별 쌀 생산량을 추정하고 이를 통계청에서 발표한 생산량과 비교하여 모형의 예측력을 확인하였다.

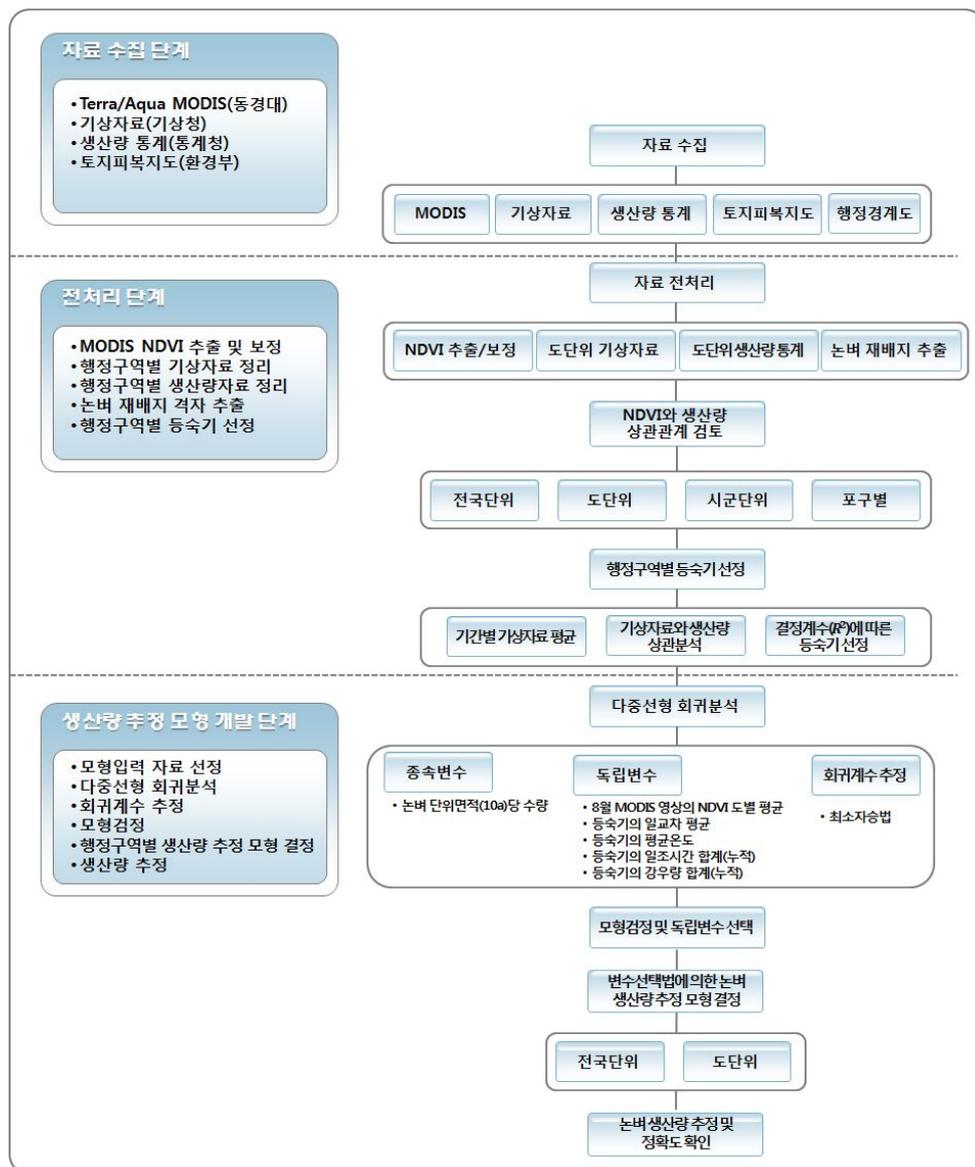


그림 1. 2011년도 쌀 생산량 추정 모형 개발과정 검토

## 2.1.2. 자료수집

- 2011년도에 쌀 생산량 추정 모형 개발 시 사용한 자료를 검토하고 입력자료를 수정·개선하기 위해 다음과 같이 기존자료 및 신규자료를 수집하였다.

표 1. 자료수집 내역

기존자료(2011년 사업) 수집내역	신규자료 수집내역
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 쌀 생산량 추정모형 개발 시 사용한 2001~2011년 MODIS NDVI 추출(MVC 보정 전/후) 영상</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2001~2012년 MODIS(Terra) Level3 영상</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 쌀 생산량 추정모형 개발 시 사용한 2001~2011년 기상자료 (57개 관측소의 일평균온도, 일최고온도, 일최저온도, 일강우량, 일조시간 관측자료)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 신규 21개 기상관측소 관측자료 (일평균온도, 일최고온도, 일최저온도, 일강우량, 일조시간)</li> <li>• 22개 기상관측소의 일사량 관측자료</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 논벼 재배지 격자 추출 시 사용한 2007년 토지피복지도</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2007년 토지피복지도(전국)</li> <li>• 2009년 토지피복지도(경기, 충청 일부지역 갱신된 자료)</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 논벼 재배지 격자 추출 시 사용한 전국단위격자(Grid) 및 추출 결과</li> </ul>	-
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 도별 자료 생성 시 사용한 행정경계도</li> </ul>	-
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 다중 선형회귀분석 모형 입력자료</li> </ul>	-
-	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2001~2012년 논벼 단위면적(10a) 당 수량(현미 기준)</li> </ul>

## 1) MODIS NDVI

- MODIS(MODerate-resolution Imaging Spectrometer)는 미국 위성인 Terra와 Aqua 위성에 탑재된 센서로 36개의 채널이 있으며 NASA에서 웹사이트(<http://modis.gsfc.nasa.gov>)를 통해 무료로 자료를 제공하고 있다.
  
- 2011년 모형 개발 시 사용한 MODIS NDVI는 일본 동경대학교(Institute of Industrial Science)에서 제공하는 MODIS 영상(Level3, 10-days cloud free composite product)을 수집하여 NDVI를 산출한 후 MVC(Maximum Value Composit) 기법을 적용하여 보정한 결과이다. MVC는 동일한 위치의 NDVI를 비교하여 최대 NDVI값을 채택하는 방법으로, 구름 등으로 인해 발생하는 MODIS NDVI 오차를 보정하는 방법 중 하나이다.
  
- 본 연구에서는 기존 사업에서 사용한 2001~2011년 MODIS MVC 적용 전·후 자료를 수집하였다. 또한 이를 검증하고 2012년 쌀 생산량 추정을 위해 동경대에서 배포하고 있는 2001~2012년 8월 MODIS(Terra) Level3 자료의 Band1(0.62~0.67 $\mu$ m)과 Band2(0.841~0.876 $\mu$ m) 영상을 수집하였다.

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

- 2012 Aug 01-10
  - Terra MODIS quicklook (click image to enlarge)
- 2012 Aug 11-20
  - Terra MODIS quicklook (click image to enlarge)
- 2012 Aug 21-30
  - Terra MODIS quicklook (click image to enlarge)

Product download <http://webmodis.iis.u-tokyo.ac.jp/Asia/2012/Aug/product/>

그림 2. 동경대 제공 MODIS 자료 다운로드 웹페이지  
(출처: <http://webmodis.iis.u-tokyo.ac.jp/Asia>)

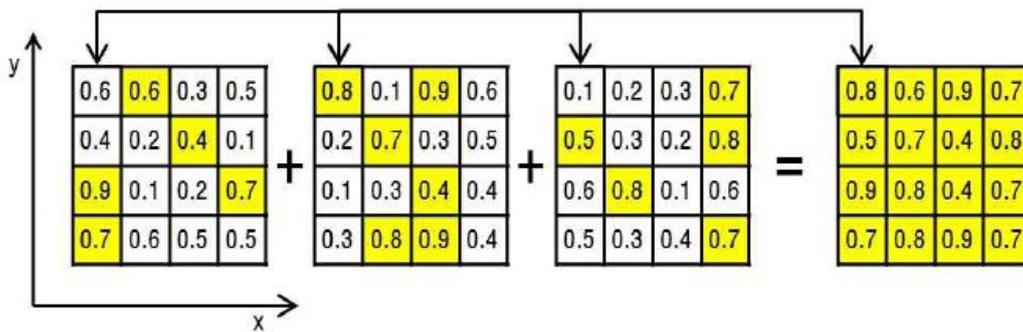


그림 3. NDVI 보정에 사용한 MVC(Maximum Value Composite) 기법  
(출처: 원격탐사기술을 활용한 주요 농산물 생산량 추정기법 개발 보고서(통계청, 2011))

## 2) 기상자료

- 2011년에 모형 개발을 위해 수집한 기상자료는 일평균온도, 일최고온도, 일최저온도, 일강우량, 일조시간으로 전국 69개 관측소 자료를 수집하였다. 이 중 특별시와 광역시를 제외한 57개 관측소 자료를 이용하여 모형 입력자료로 사용하였다. 본 연구에서는 기상자료 검토·개선을 위

해 기존에 사용한 57개 관측소 자료 및 신규 21개 관측소 자료를 추가로 수집하였다.

표 2. 기상자료 수집 내역 (계속)

행정구역	관측소(code)	비고
강원도 (13개 관측소)	강릉(105)	기존 사용자료
	대관령(100)	기존 사용자료
	동해(106)	기존 사용자료
	북강릉(104)	신규 추가자료
	속초(090)	기존 사용자료
	영월(121)	기존 사용자료
	원주(114)	기존 사용자료
	인제(211)	기존 사용자료
	정선(217)	신규 추가자료
	철원(095)	신규 추가자료
	춘천(101)	기존 사용자료
	태백(216)	기존 사용자료
	홍천(212)	기존 사용자료
경기도 (5개 관측소)	동두천(098)	신규 추가자료
	문산(099)	신규 추가자료
	수원(119)	기존 사용자료
	양평(202)	기존 사용자료
	이천(203)	기존 사용자료
경상남도 (14개 관측소)	거제(294)	기존 사용자료
	거창(284)	기존 사용자료
	김해(253)	신규 추가자료
	남해(295)	기존 사용자료
	밀양(288)	기존 사용자료
	북창원(255)	신규 추가자료
	산청(289)	기존 사용자료
	양산(257)	신규 추가자료
	의령군(263)	신규 추가자료
	진주(192)	기존 사용자료
	창원(155)	신규 추가자료
	통영(162)	기존 사용자료
	함양군(264)	신규 추가자료
	합천(285)	기존 사용자료

표 2. 기상자료 수집 내역 (계속)

행정구역	관측소(code)	비고
경상북도 (14개 관측소)	경주(283)	신규 추가자료
	구미(279)	기존 사용자료
	문경(273)	기존 사용자료
	봉화(271)	기존 사용자료
	상주(137)	신규 추가자료
	안동(136)	기존 사용자료
	영덕(277)	기존 사용자료
	영주(272)	기존 사용자료
	영천(281)	기존 사용자료
	울릉도(115)	기존 사용자료
	울진(130)	기존 사용자료
	의성(278)	기존 사용자료
	청송군(276)	신규 추가자료
	포항(138)	기존 사용자료
전라남도 (13개 관측소)	강진군(259)	신규 추가자료
	고흥(262)	기존 사용자료
	광양(266)	신규 추가자료
	목포(165)	기존 사용자료
	보성군(258)	신규 추가자료
	순천(256)	기존 사용자료
	여수(168)	기존 사용자료
	영광군(252)	신규 추가자료
	완도(170)	기존 사용자료
	장흥(260)	기존 사용자료
	진도(175)	신규 추가자료
	해남(261)	기존 사용자료
	흑산도(169)	기존 사용자료
전라북도 (9개 관측소)	고창(251)	신규 추가자료
	군산(140)	기존 사용자료
	남원(247)	기존 사용자료
	부안(243)	기존 사용자료
	순창(254)	신규 추가자료
	임실(244)	기존 사용자료
	장수(248)	기존 사용자료
	전주(146)	기존 사용자료
	정읍(245)	기존 사용자료

표 2. 기상자료 수집 내역

행정구역	관측소(code)	비고
충청남도 (5개 관측소)	금산(238)	기존 사용자료
	보령(235)	기존 사용자료
	부여(236)	기존 사용자료
	서산(129)	기존 사용자료
	천안(232)	기존 사용자료
충청북도 (5개 관측소)	보은(226)	기존 사용자료
	제천(221)	기존 사용자료
	청주(131)	기존 사용자료
	추풍령(135)	기존 사용자료
	충주(127)	기존 사용자료

### 3) 논벼 재배지 격자

- 2011년 모형 개발 시 MODIS 영상에서 벼 재배지역의 NDVI를 산출해 내기 위해 환경부 토지피복지도를 이용하여 논벼 재배지 격자를 추출하였다. 본 연구에서는 기존 연구에서 사용한 토지피복지도와 전국단위 격자 및 논벼 재배지 격자 추출 결과를 수집하였다. 또한 토지피복지도 자료 개선을 위해 환경부 협조를 통해 2007년 전국을 대상으로 제작된 토지피복지도와 2009년 경기도 전체 및 충청도 일부지역이 갱신된 토지피복지도를 함께 수집하였다.

### 4) 행정 경계도

- 기존 연구와 동일한 도별 경계를 사용하여 모형을 검토하기 위해 기존 연구에서 도별 자료 추출에 사용한 행정경계도를 수집하였다.



그림 4. 행정경계도

### 2.1.3. 모형 입력자료 검토 및 수정

- 앞서 수집한 자료를 활용하여 2011년도 쌀 생산량 추정 모형 개발에 사용된 입력자료를 검토하였다.

#### 1) MODIS NDVI

- 동경대 웹페이지를 통해 수집한 2001~2011년 8월 상순, 중순, 하순 MODIS 영상 전체의 NDVI를 각각 산출하여 MVC 기법을 적용한 신규 자료와 기존 연구에서 산출한 자료를 비교한 결과, 전체적으로 비슷한 값을 나타냈으나 2002년 8월 자료의 차이가 크게 발생하는 것을 확인하였다.
- 차이가 나는 원인을 파악하기 위해 2002년 8월 상순, 중순, 하순에 촬영된 MODIS 영상을 재확인한 결과, 기존 연구에서는 MVC를 적용하지 않은 8월 상순의 NDVI 산출결과를 MVC 적용 후 자료로 사용하는 오류를 범한 것으로 확인되었다.

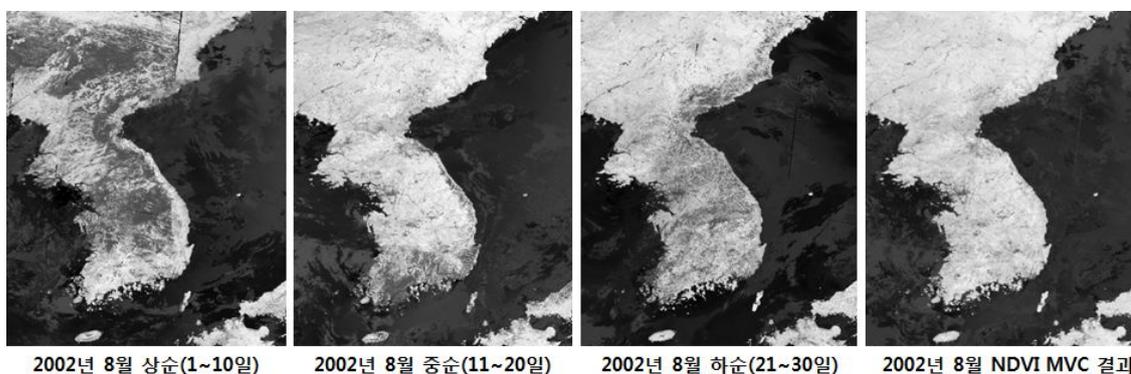


그림 5. 2002년 8월 상순, 중순, 하순의 MODIS NDVI 및 MVC 결과 확인

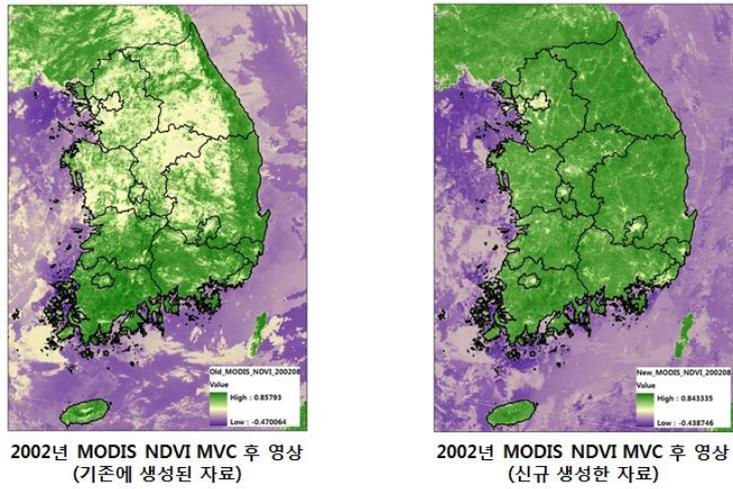


그림 6. 2002년 8월 MODIS NDVI MVC 오류 확인

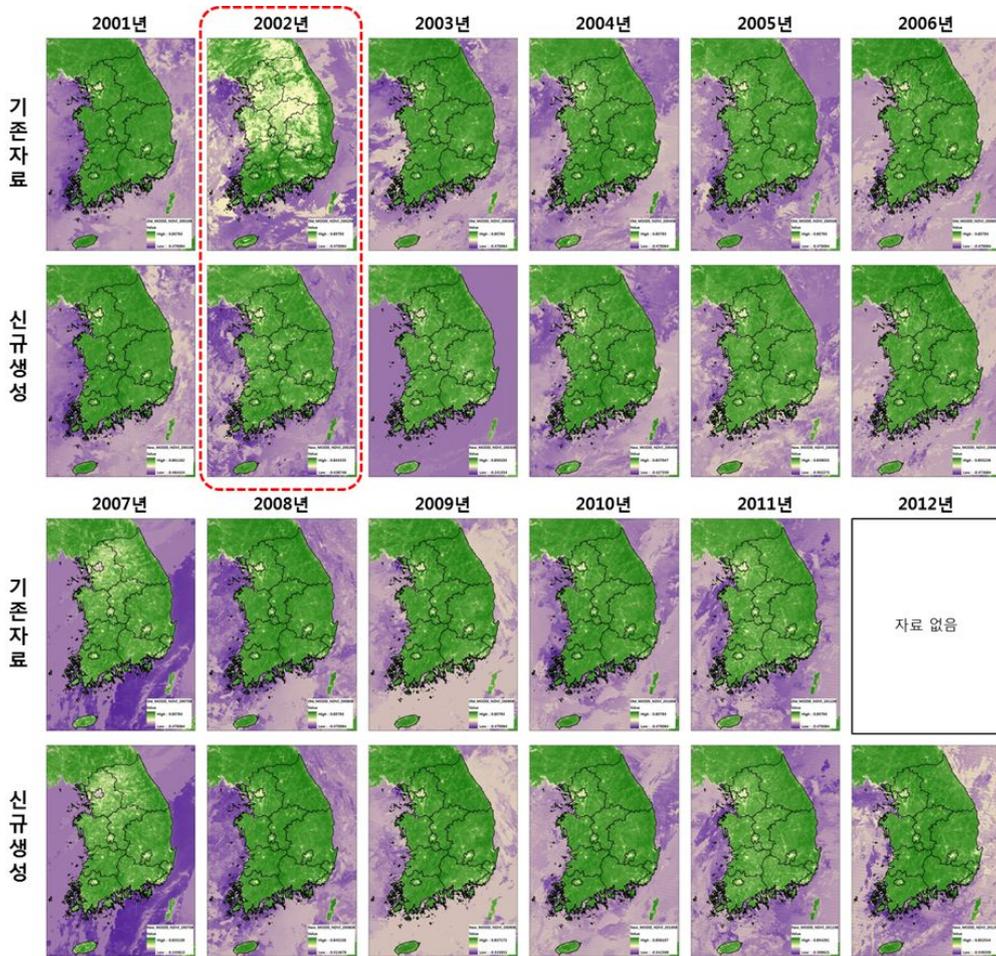


그림 7. 2001~2012년 MODIS NDVI MVC 결과 및 기존자료와 비교

## 2) 논벼 재배지 격자

- 기존 연구에서 생성한 전국단위격자는 MODIS 공간해상도와 동일한 250m 크기로 생성되어 있으며 토지피복지도는 공간해상도 30m로 전국 단위격자 1개 당 토지피복지도 약 70여개 화소가 포함된다. 논벼 재배지 격자 추출 방법으로는 전국단위격자와 토지피복지도를 중첩하여 전국단위격자 1개 내에 100% 논에 해당하는 토지피복지도 화소만을 포함하는 격자를 논벼 재배지 격자로 추출한 것으로 되어 있다.

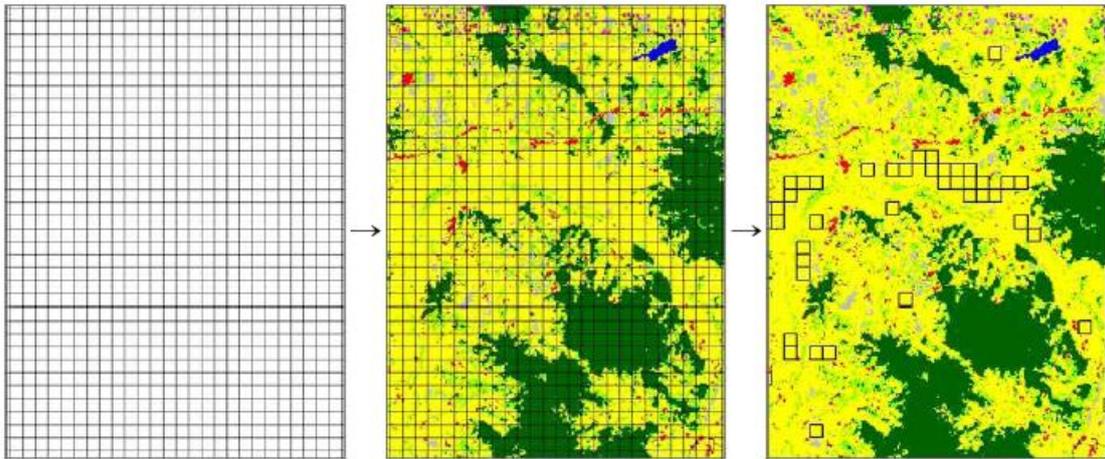


그림 8. 토지피복지도를 이용한 논벼 재배지 격자 추출

(출처: 원격탐사기술을 활용한 주요 농산물 생산량 추정기법 개발 보고서(통계청, 2011))

- 그러나 본 연구에서 논벼 재배지 격자로 추출된 결과를 기존 연구에서 사용한 토지피복지도와 중첩하여 검토한 결과, 전국단위격자 1개 내에 포함되는 토지피복지도 화소가 100% 논인 지역인데도 불구하고 논벼 재배지 격자로 추출되지 않은 격자가 많아 전체적으로 논벼 재배지가 실제 면적보다 상당히 과소 추출되어 있는 것을 확인하였다.

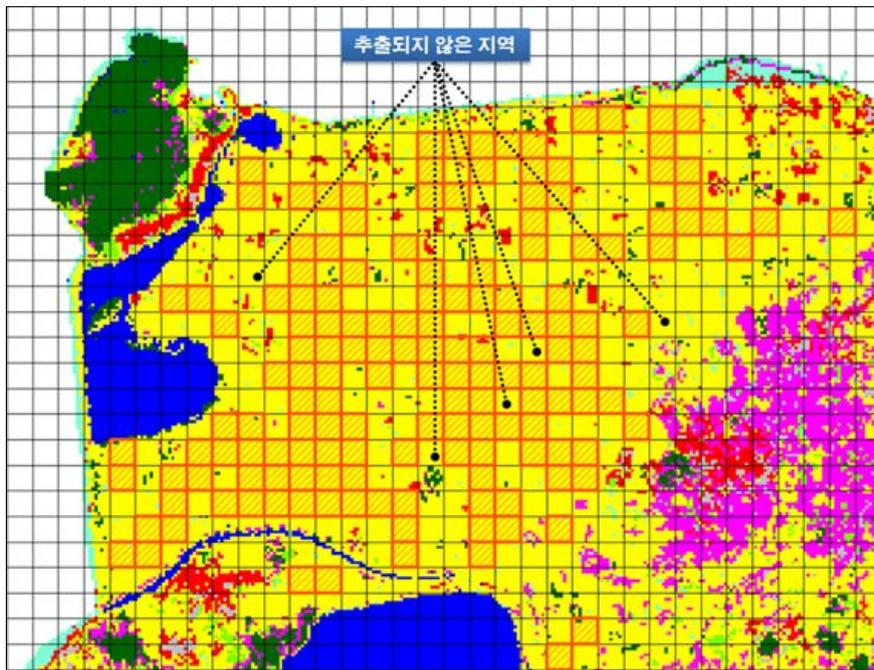
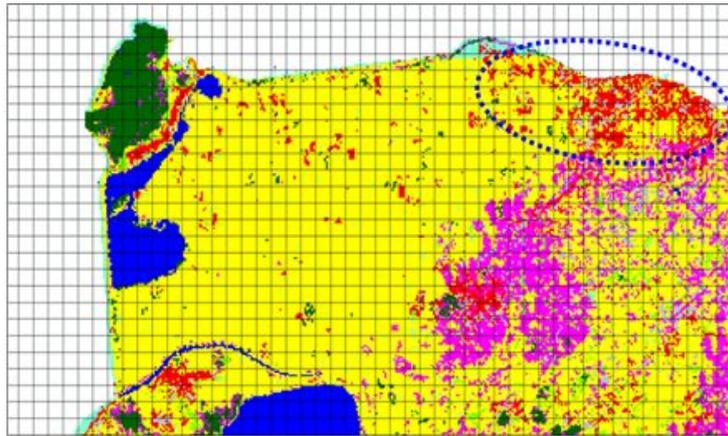


그림 9. 기존 연구의 논벼 재배지 격자 추출결과 확인

- 또한 기존 연구에서 논벼 재배지 격자 추출 시 사용한 중분류 토지피복지도 자료 자체에도 오류가 있음을 확인하였다. 그 예로 기존 연구에서 사용한 토지피복지도에서 김제 일부지역을 구글어스 영상 및 본 연구에서 환경부 협조를 통해 수집한 2007년 중분류 토지피복지도와 비교한 결과, 논인데도 불구하고 도심지로 잘못 분류되어 있는 오류를 확인하였다.



기존 연구에서 사용한 2007년 중분류 토지피복지도



본 연구에서 수집한 2007년 중분류 토지피복지도



2012년 구글어스 영상

그림 10. 토지피복지도 자료 오류 확인

- 따라서 본 연구에서는 위와 같은 오류를 수정하고자 가장 최근에 제작된 환경부 중분류 토지피복지도 자료(2007년, 2009년)를 활용하여 전국 단위격자 1개 내에 포함되는 토지피복지도 화소가 100% 논인 지역을 논벼 재배지 격자로 재추출하여 사용하였다.

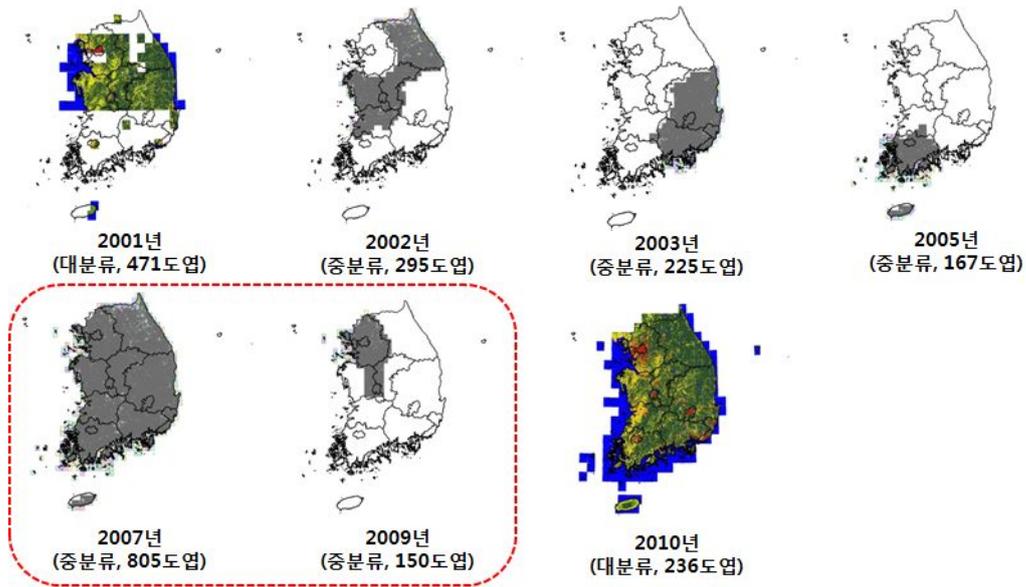


그림 11. 연도별 환경부 토지피복지도 제작 현황

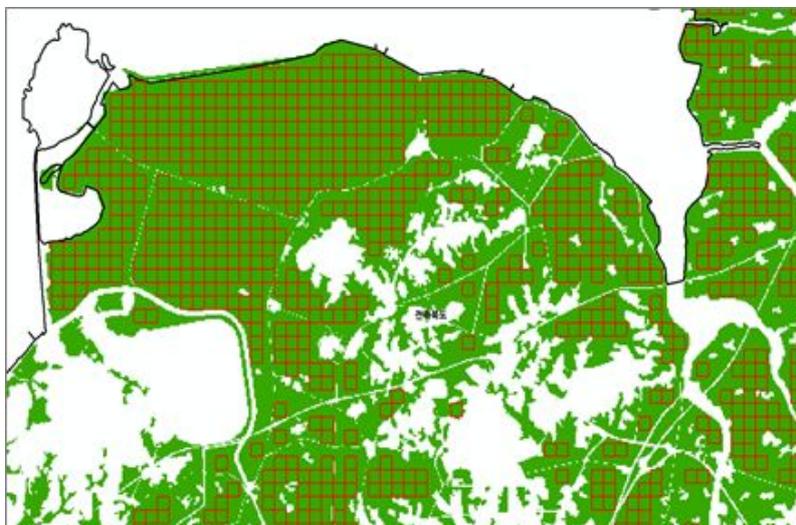


그림 12. 토지피복지도를 활용한 논벼 재배지 격자 재추출

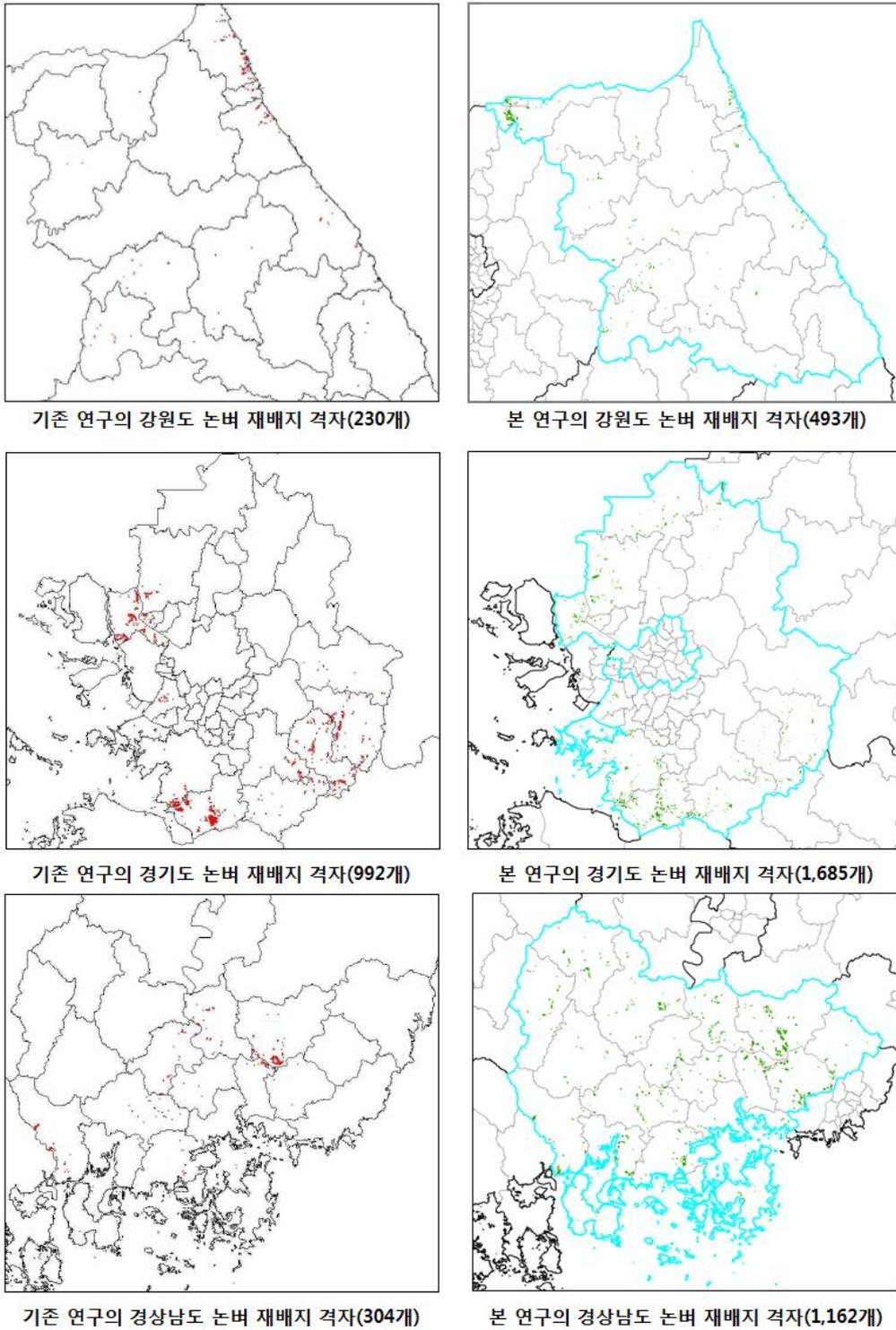


그림 13. 행정구역별 논벼 재배지 격자 추출 결과 비교 (계속)

(기존 연구자료 출처: 원격탐사기술을 활용한 주요 농산물 생산량 추정기법 개발 보고서(통계청, 2011))

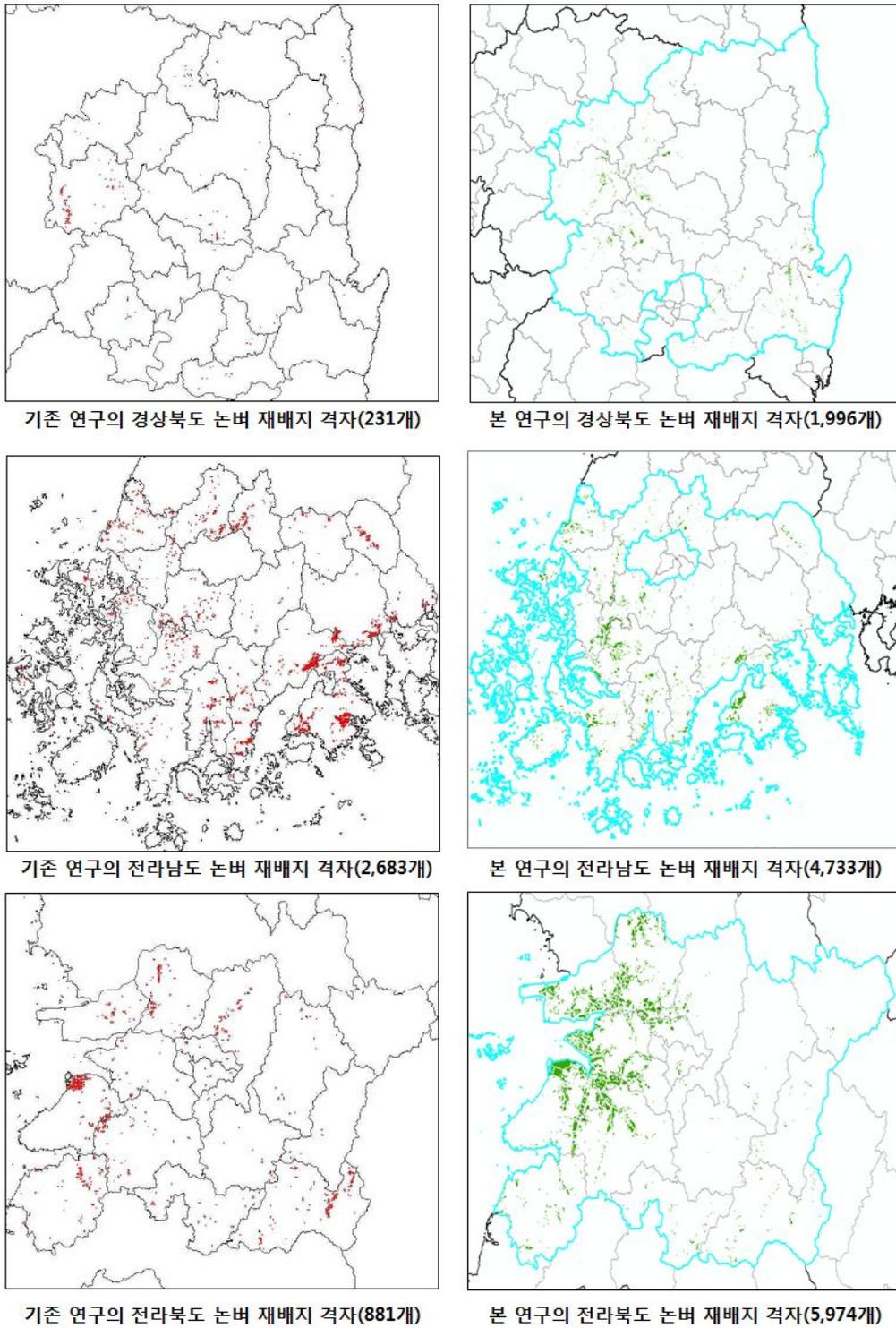


그림 13. 행정구역별 논벼 재배지 격자 추출 결과 비교 (계속)

(기존 연구자료 출처: 원격탐사기술을 활용한 주요 농산물 생산량 추정기법 개발 보고서(통계청, 2011))

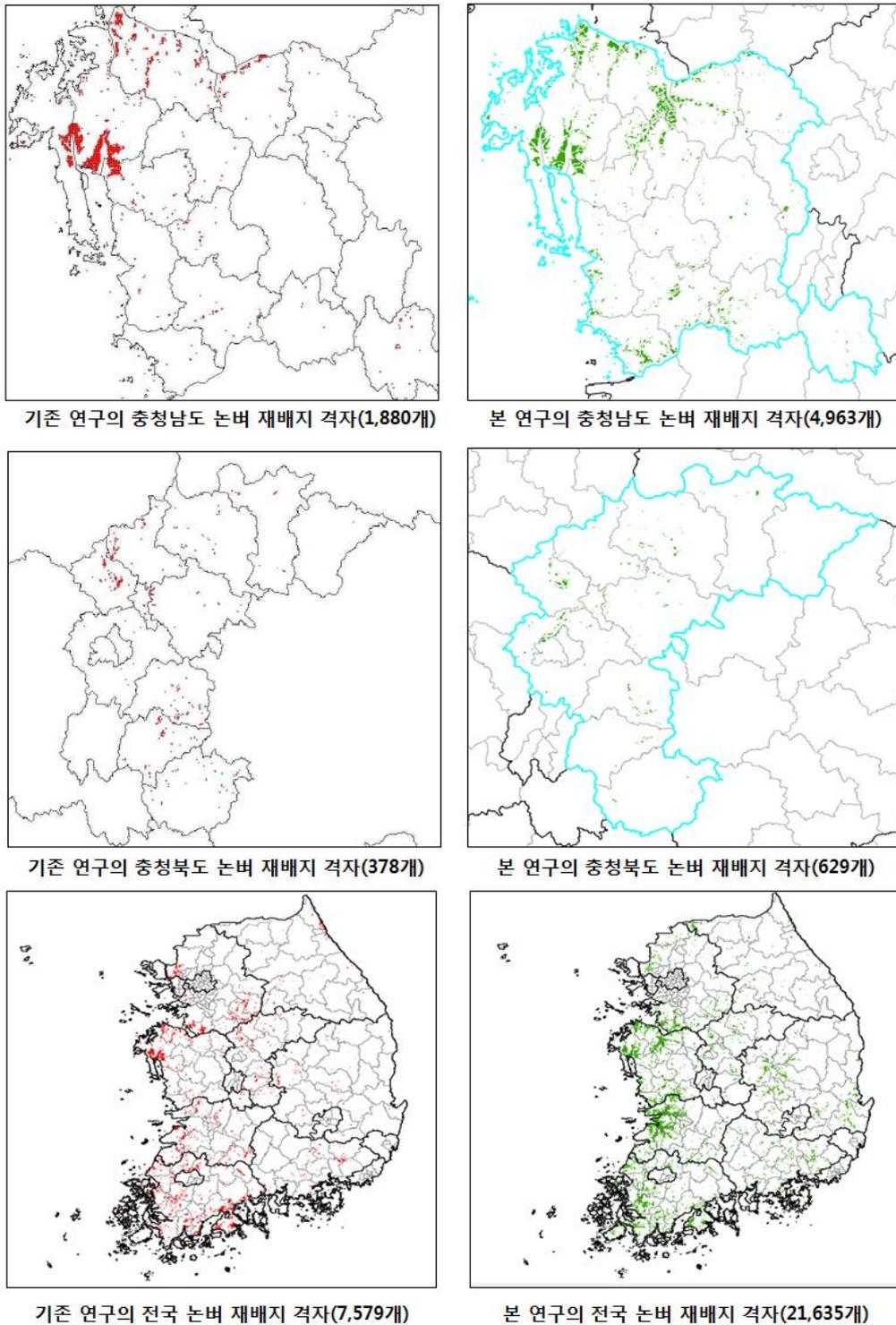


그림 13. 행정구역별 논벼 재배지 격자 추출 결과 비교

(기존 연구자료 출처: 원격탐사기술을 활용한 주요 농산물 생산량 추정기법 개발 보고서(통계청, 2011))

- 전국 및 행정구역별로 추출한 논벼 재배지 격자 면적을 기존 연구 자료와 비교한 결과, 본 연구에서 추출된 면적에 비해 기존 연구에서 추출된 면적이 모두 과소 추출되어 있는 것을 알 수 있다.

표 3. 논벼 재배지 격자 추출 결과

행정구역	격자 수		격자 면적(km <sup>2</sup> )	
	기존 연구	본 연구	기존 연구	본 연구
전국	7,579	21,635	473.7	1352.2
강원도	230	493	14.4	30.8
경기도	992	1,685	62.0	105.3
경상남도	304	1,162	19.0	72.6
경상북도	231	1,996	14.4	124.8
전라남도	2,683	4,733	167.7	295.8
전라북도	881	5,974	55.1	373.4
충청남도	1,880	4,963	117.5	310.2
충청북도	378	629	23.6	39.3

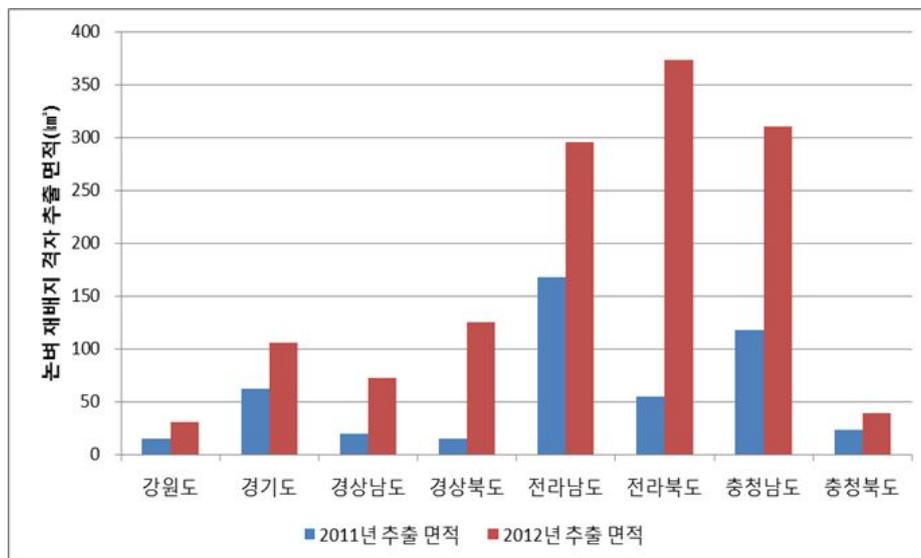


그림 14. 추출된 논벼 재배지 격자 면적 비교

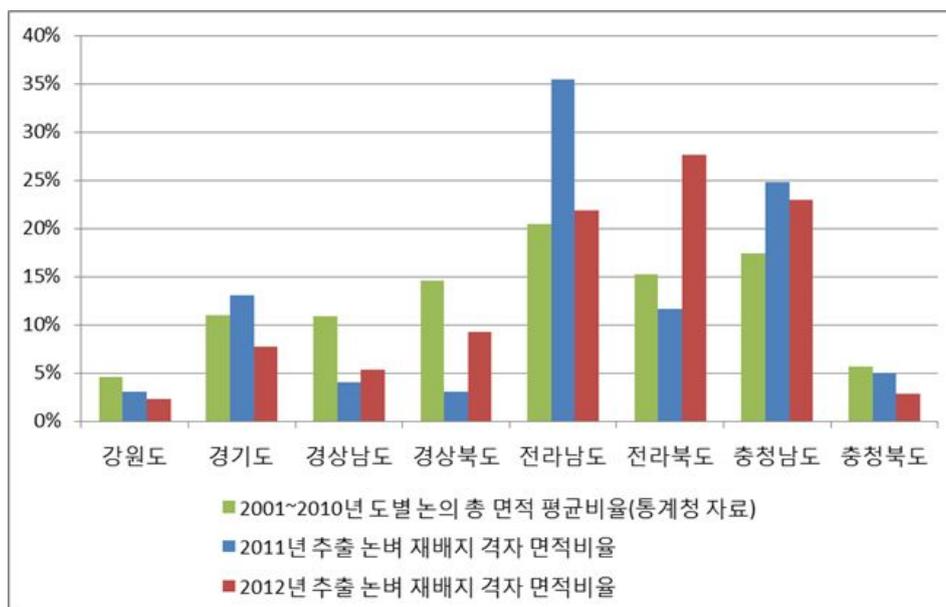
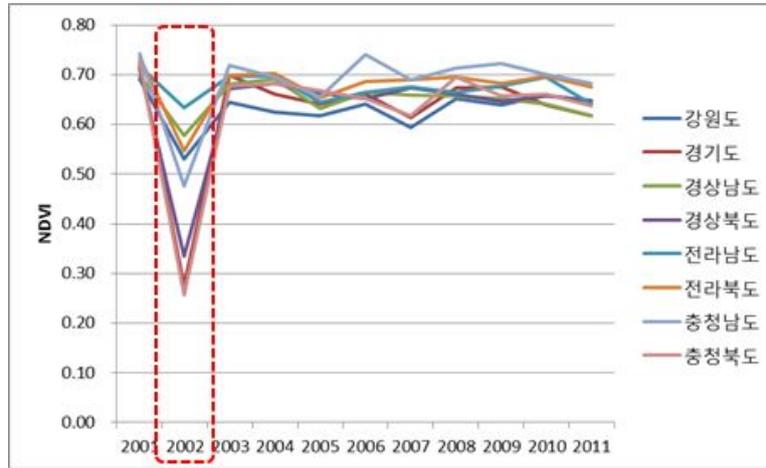


그림 15. 행정구역별 논 면적 평균비율 비교

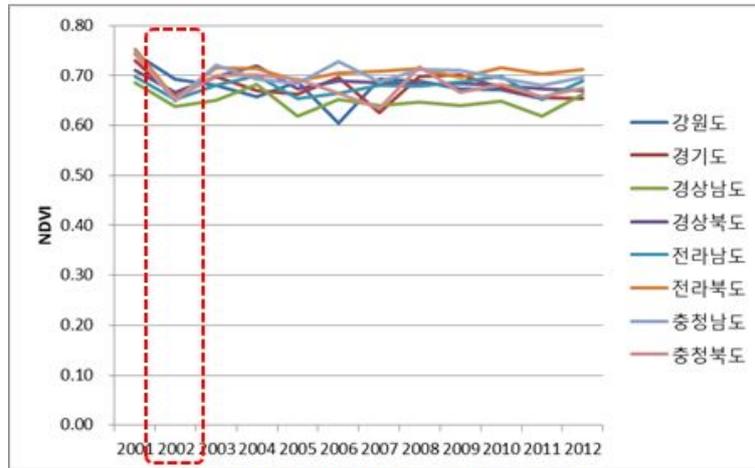
- 면적 값이 아닌 행정구역별 논 면적 비율을 통계청 자료와 상대적으로 비교해봤을 때, 기존 연구에서는 전라남도, 충청남도, 경기도 지역의 논 면적 비율이 과대 추출된 것으로 나타났으며, 본 연구에서는 전라북도, 충청남도 지역이 과대 추출된 것으로 나타났다. 이는 250m 크기의 전국단위격자 1개 내에 포함되는 30m 크기의 토지피복지도 격자 전체가 100% 논인 지역만 추출했기 때문에 실제 논이 많이 분포하는 전라남도 보다 전라북도, 충청남도 지역에서 논벼 재배지 격자가 더 많이 추출되었다.

### 3) 전국 및 도별 MODIS NDVI 평균값과 생산량 간 상관분석

- MODIS NDVI와 생산량 간 상관관계를 분석하기 위해, 추출한 논벼 재배지 격자를 이용하여 전국 및 도별 MODIS NDVI 평균값을 산출한 후 단위면적(10a) 당 생산량 확정치와 상관분석을 수행하였다.



기존 연구의 도별 MODIS NDVI 평균값



본 연구의 도별 MODIS NDVI 평균값

그림 16. 논벼 재배지 격자를 이용한 도별 MODIS NDVI 평균값 비교

- 본 연구에서 산출한 2001~2012년 8월의 도별 논벼 재배지역의 NDVI 평균값을 살펴보면 모든 시기의 NDVI 값이 0.6~0.8 사이에 분포하는 것을 알 수 있다. 반면 기존 연구의 2002년 자료를 살펴보면 강원도를 제외한 나머지 지역 모두 NDVI 평균값이 0.6 이하로 산출된 것을 알 수 있는데 이는 앞서 검토했던 MODIS NDVI 보정을 위한 MVC가 적용되지 않은 오류가 있었기 때문이다.

- 본 연구에서 산출한 2001~2011년 동안의 행정구역별 NDVI 평균값과 생산량 확정치와의 상관분석 결과는 다음과 같다.

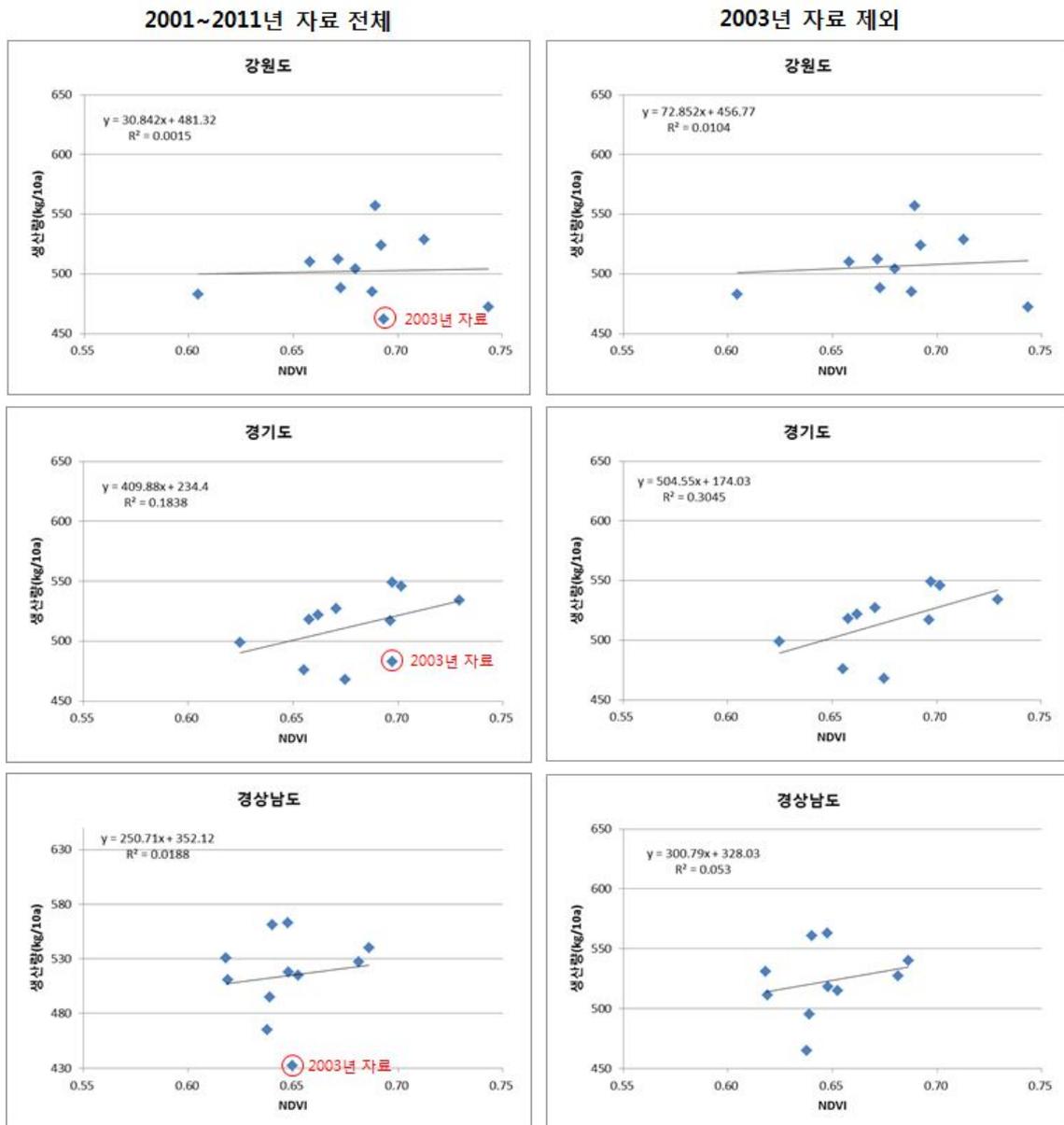


그림 17. 행정구역별 MODIS NDVI 평균값과 생산량 간 상관관계 (계속)

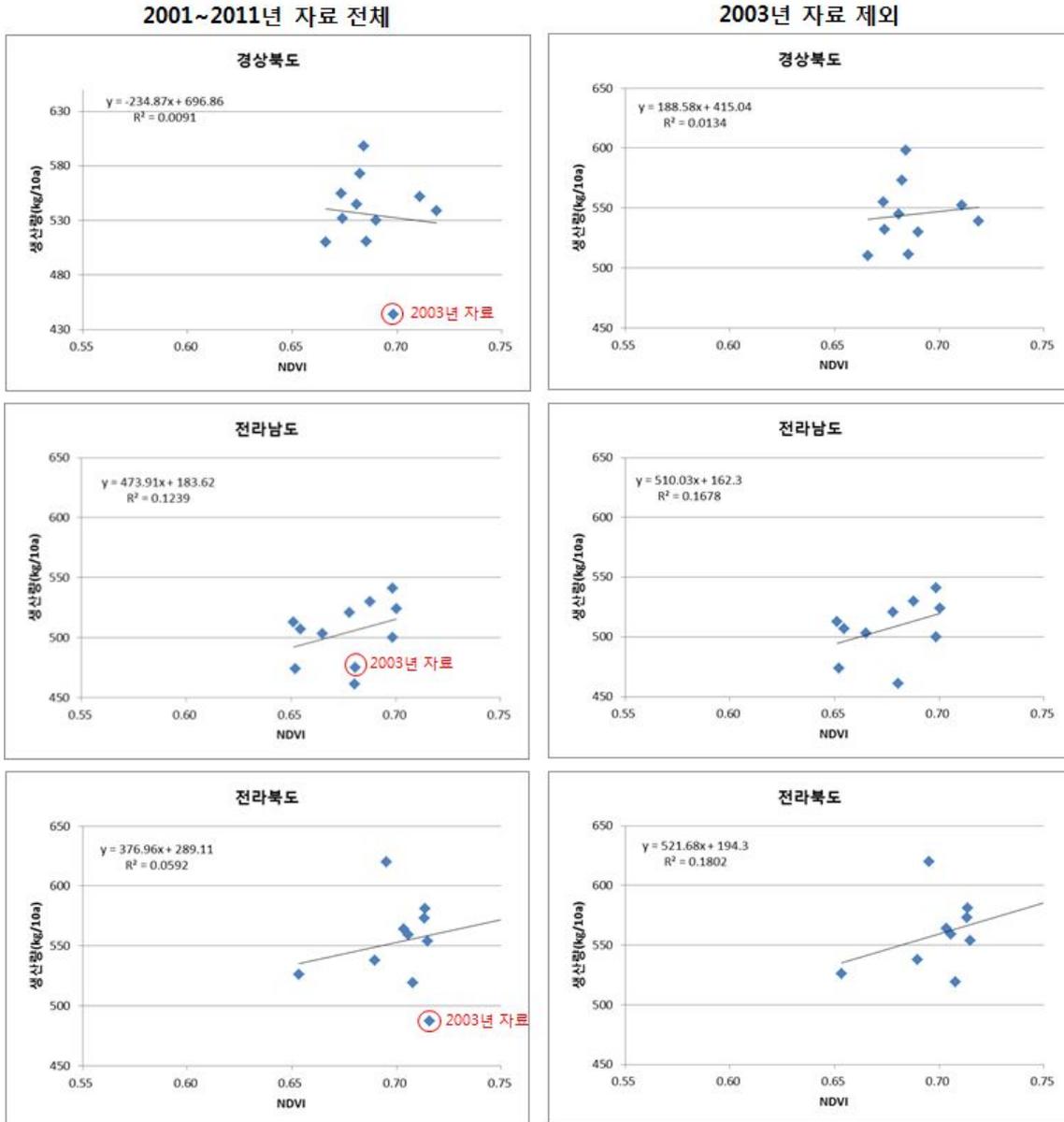


그림 17. 행정구역별 MODIS NDVI 평균값과 생산량 간 상관관계 (계속)

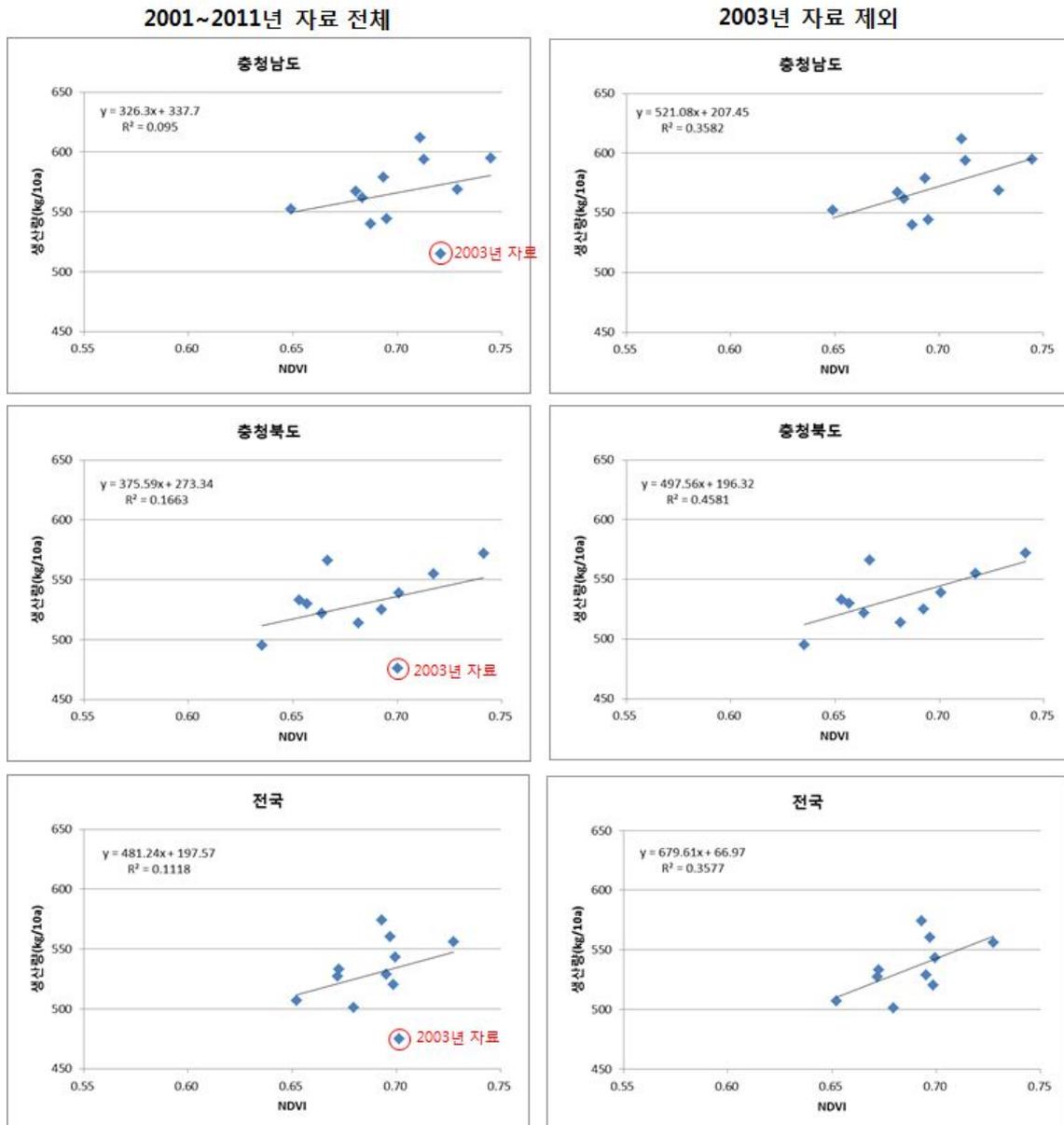


그림 17. 행정구역별 MODIS NDVI 평균값과 생산량 간 상관관계

- 2001~2011년 자료를 모두 사용하여 상관관계를 살펴보면 전 지역의 결정계수( $R^2$ )가 0.2 미만으로 상관관계가 낮은 것으로 나타났다. 특히 2003년 자료는 다른 연도의 자료에 비해 상대적으로 오차가 큰 것을 알 수 있는데 이는 태풍 등의 영향으로 2003년 생산량이 감소하였기 때문인 것으로 추정된다. 이러한 이유로 기존 연구에서 모형 개발 시

2003년 자료를 제외한 것으로 판단되며, 본 연구에서도 오차가 큰 2003년 자료는 제외하여 분석하기로 하였다.

- 2003년 자료를 제외한 전국 및 도별 NDVI 평균값과 생산량 간 상관분석 결과를 기존 연구자료 결과와 비교하면 다음과 같다.

표 4. 전국 NDVI 평균 및 생산량 간 상관분석 결과

자료 구분		평균	표준편차	상관계수	
				전국 NDVI	10a 당 수량
2011년 연구자료	전국 NDVI	0.673	0.037	1	0.603
	10a 당 수량	535.222	24.788	0.603	1
2012년 연구자료	전국 NDVI	0.689	0.194	1	0.600
	10a 당 수량	535.000	23.381	0.600	1

표 5. 도별 NDVI 평균 및 생산량 간 상관분석 결과

행정구역	2011년 연구자료		2012년 연구자료	
	상관계수	자료 수(set)	상관계수	자료 수(set)
강원도	0.573	9	0.098	10
경기도	0.606	8	0.555	10
경상남도	0.627	9	0.225	10
경상북도	0.394	9	0.114	10
전라남도	0.54	9	0.417	10
전라북도	0.505	9	0.418	10
충청남도	0.51	8	0.6	10
충청북도	0.784	8	0.675	10

- 전국단위 상관분석 결과 NDVI와 생산량 간 상관계수는 0.6으로 이는 기존 연구(0.603)와 비슷한 것으로 나타났다. 반면 도 단위 상관분석 결과는 기존 연구에서 분석한 결과보다 낮은 것으로 나타났다. 기존 연구에서는 경상북도를 제외한 나머지 지역의 상관계수가 모두 0.5 이상인 것으로 나타났으나 본 연구에서는 경기도, 충청북도만 상관계수가 0.5 이상인 것으로 나타났다. 또한 기존 연구에서 상관계수가 높은 지역을 순서대로 나타내면 충북-경남-경기-강원-전남-전북-충남-경북 순인 것으로 나타난 반면, 본 연구에서는 충북-충남-경기-전북-전남-경남-경북-강원 순으로 나타났다.
  
- 이와 같이 NDVI와 생산량 간 상관관계가 낮게 나타난 원인으로는, NDVI 오차, 논벼 재배지 격자 오차, 기하정확도 오차 등이 있다.
  
- NDVI 오차는 8월(여름철) MODIS 영상의 대기보정 오차, 구름의 영향을 제거하기 위해 MVC 기법을 적용하여 NDVI 값을 보정하는 과정에서 실제 생산량 정보를 반영할 수 있는 NDVI 값 손실로 인해 발생할 수 있다.
  
- 논벼 재배지 격자 오차는 본 연구에서 활용한 토지피복지도 자료 자체의 정확도 문제로 인해 논이 아닌 다른 지역이 논으로 오분류되어 있는 경우에 발생할 수 있다. 토지피복지도, 지적도, 수치지형도 등의 지리정보자료를 벼 재배지 추출에 활용할 경우 발생할 수 있는 오차로는 분류 정확도 오차와 분석시기의 불일치를 들 수 있다. 실제 여러 기관에서 지리정보자료를 제작하고 있기 때문에 지역별, 자료별로 갱신 주기가 다르며 분류기준도 다르다. 또한 대부분의 자료가 시간·예산 등의 문제로 인해 매년 갱신되지 않기 때문에 MODIS 위성영상의 촬영시기와 벼 재배지 추출에 활용할 지리정보자료의 제작시기가 다르므로 정

확한 벼 재배지역을 추출하는데 한계가 있다.

- 기하정확도 오차로 인해 자료 간의 위치오차가 발생할 수 있는데, 실제 MODIS 영상과 토지피복지도를 활용하여 추출한 논벼 재배지 격자 간 위치오차가 존재하므로 논벼 재배지역이 아닌 다른 지역의 NDVI 값이 함께 산출되어 오차가 발생할 수 있다.
- MODIS NDVI와 생산량 간 상관관계를 분석한 타 연구결과를 살펴보면, 본 연구의 상관분석 결과와 유사하게 상관관계가 낮은 것으로 나타났다. 홍석영(2012) 등은 'MODIS NDVI와 기상자료를 이용한 우리나라 벼 수량 추정' 연구에서 지적도를 활용하여 논 마스크 영상을 생성한 후 생산량과 상관관계를 분석하였는데, 음의 상관계수를 갖거나 상관이 없는 경우도 다수 나타났다.
- 현재로서는 벼 재배지역을 추출할 수 있는 자료의 정확도 문제, 시계열 자료의 부족 등으로 정확한 상관관계를 분석하는 것이 현실적으로 어렵지만, 국내외 여러 연구결과를 살펴보면 이론적으로 식생지수와 생산량은 상관관계가 있는 것으로 알려져 있다. 본 연구는 원격탐사를 활용한 쌀 생산량 시범조사이므로 NDVI와 생산량 간 상관관계가 낮게 나타났다하더라도 NDVI는 반드시 쌀 생산량 추정 모형에 포함되어야 하는 독립변수이므로 모형 입력자료로 사용하기로 하였다.

MODIS products		Correlation Coefficient	
		'00~'11	'02~'11
Terra	TNDVI209 (7.28)	-0.25	-0.33
	TNDVI225 (8.13)	-0.04	-0.04
	TEVI209 (7.28)	-0.27	-0.40
	TEVI225 (8.13)	-0.38	-0.43
	TLAI201 (7.20)	-0.05	0.01
	TLAI209 (7.28)	-0.15	-0.24
	TLAI217 (8.5)	0.23	0.30
	TLAI225 (8.13)	-0.05	-0.11
	TLAI233 (8.21)	0.41	0.33
	TLAI241 (8.28)	0.63	0.62
Aqua	ANDVI201 (7.20)		-0.25
	ANDVI217 (8.5)		0.28
	ANDVI233 (8.21)		0.62
	AEVI201 (7.20)		0.50
	AEVI217 (8.5)		0.18
	AEVI233 (8.21)		-0.23
	ALAI201 (7.20)		-0.17
	ALAI209 (7.28)		0.14
	ALAI217 (8.5)		0.26
	ALAI225 (8.13)		0.41
ALAI233 (8.21)		0.30	
ALAI241 (8.28)		0.73	
rainfall (1 <sup>†</sup> )		-0.71	-0.83
sunshine hours (1)		0.63	0.70
rainfall (2 <sup>†</sup> )*		-0.64	-0.79
solar radiation (2)		0.73	0.86

A: Aqua, T: Terra, † 1, 2: Meteorological data 1, 2, \* '00-'10(n=11) or '02-'10(n=9)

그림 18. MODIS 식생지수와 생산량 간 상관분석 결과

(출처: MODIS NDVI와 기상자료를 이용한 우리나라 벼 수량 추정(홍석영 외, 2012))

#### 4) 기상자료

- 기존 연구에서는 생산량 추정 모형 개발을 위해 MODIS NDVI와 함께 지역별 등숙기 기간의 일교차(일 최고기온과 일 최저기온의 차), 평균 온도, 누적일조시간, 누적강우량을 선정하였다. 원래 등숙기의 정의는

출수 후 35~40일 이후를 지칭하므로 기존 연구에서 사용한 등숙기의 개념과 다르다. 그러나 본 연구는 2011년도에 개발한 쌀 생산량 추정 모형을 검토·수정하는 것이 목적이므로 기존 연구에서 사용한 등숙기 용어의 개념을 동일하게 사용하여 용어의 혼동을 방지하기로 하였다.

- 기존 연구에서는 2001~2010년까지 10년간의 기상자료를 논벼의 생육기간에 따라 15~30일 간격의 평균치로 조합하여 각 연도의 생산량과 상관분석을 실시한 후 평균 결정계수( $R^2$ )가 가장 높은 기간을 해당 지역의 등숙기 기간으로 선정하였으며 결과는 다음과 같다.

표 6. 기존 연구의 행정구역별 등숙기 선정 결과

행정구역	기간
전국	9월 1일 ~ 9월 30일
강원도	8월 16일 ~ 9월 15일
경기도	8월 16일 ~ 9월 15일
경상남도	8월 16일 ~ 9월 15일
경상북도	9월 1일 ~ 9월 30일
전라남도	9월 1일 ~ 9월 30일
전라북도	9월 1일 ~ 9월 30일
충청남도	8월 16일 ~ 8월 30일
충청북도	8월 16일 ~ 9월 30일

- 기존 연구에서 사용한 57개 기상관측소 자료를 이용하여 행정구역별 등숙기 기간의 일교차, 평균온도, 누적일조시간, 누적강우량을 계산한 결과를 기존 연구에서 계산한 자료와 비교한 결과 오차가 발생하였다.

표 7. 57개 기상관측소 자료를 이용한 2001~2011년 등숙기 동안의 기상자료 계산 결과 비교

행정구역	기상자료 계산 오차 평균(신규 계산자료-기존 계산자료)			
	일교차	평균온도	누적일조시간	누적강우량
강원도	0.00	0.00	0.00	0.00
경기도	0.02	0.00	0.65	-0.08
경상남도	-0.01	0.20	0.55	-11.17
경상북도	-0.45	-0.04	-1.16	3.53
전라남도	-0.54	-0.09	15.91	-46.53
전라북도	0.15	0.09	3.44	-0.44
충청남도	0.01	0.00	19.24	-13.14
충청북도	0.01	-0.02	1.50	-2.91

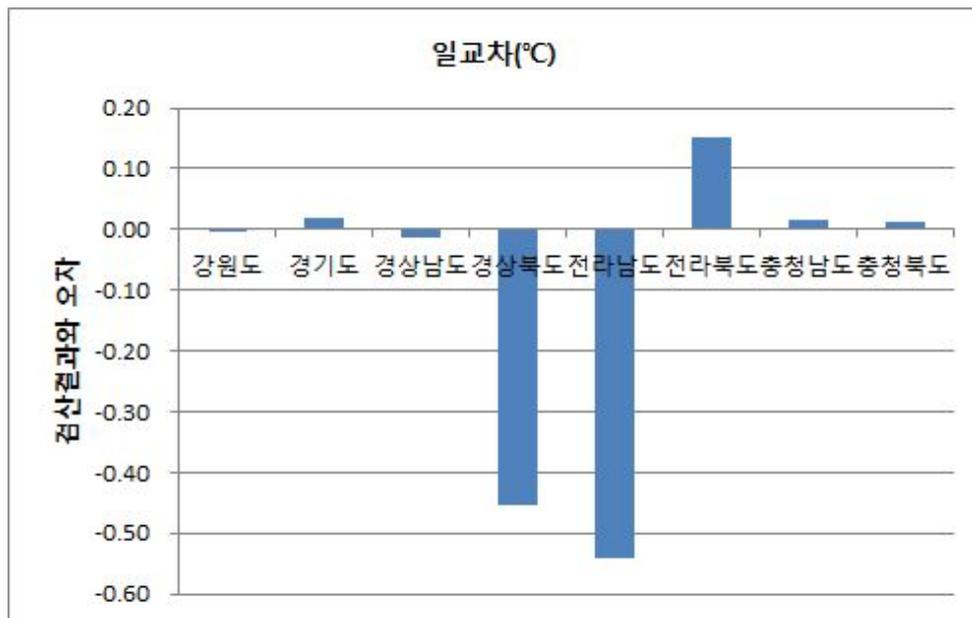


그림 19. 행정구역별 일교차 계산 오차

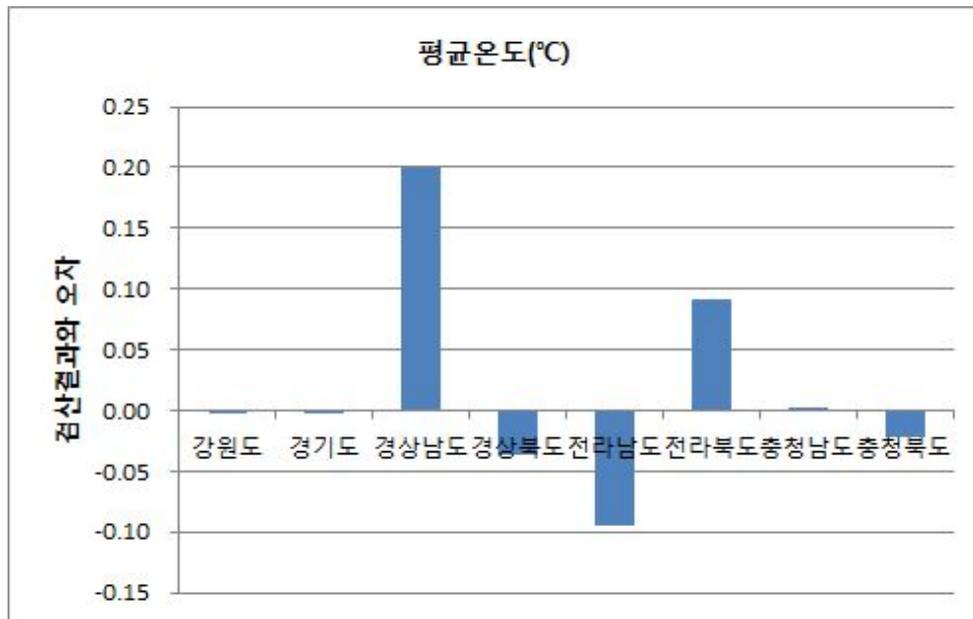


그림 20. 행정구역별 평균온도 계산 오차

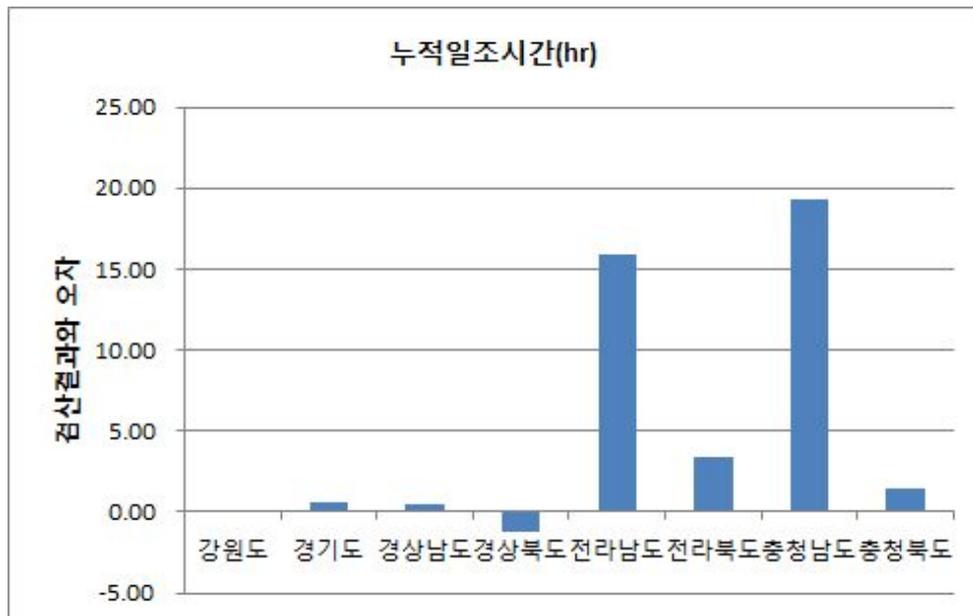


그림 21. 행정구역별 누적일조시간 계산 오차

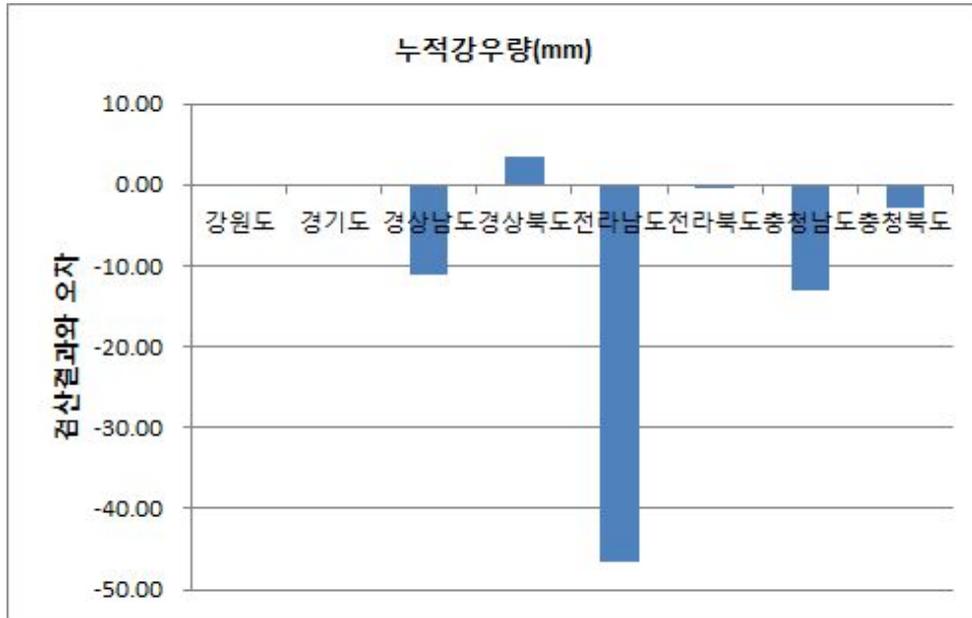


그림 22. 행정구역별 누적강우량 계산 오차

- 강원도를 제외한 나머지 지역의 기상자료 계산에 오차가 존재하였으며, 특히 누적일조시간 및 누적강우량의 오차가 큰 것으로 나타났다.
- 오차가 발생하는 원인을 분석하기 위해 기존 연구에서 사용한 기상자료에 문제가 없는지 기상청 홈페이지를 통해 배포되고 있는 기상자료와 비교한 결과, 남원(247) 관측소 자료에 춘천(101) 관측소 자료가 잘못 입력되어 있는 오류를 확인하였다. 그러나 나머지 관측소 자료는 동일하므로 기상자료 계산 오차는 남원이 위치하고 있는 전라북도 자료만 오차가 나타나야 하는데 그 외 지역에서도 오차가 발생하였으므로 이는 기상자료 문제가 아닌 계산 상 오류가 있었음을 알 수 있다.
- 기상자료 계산에 오류가 있었는지 확인하기 위해 검산을 수행한 결과, 기존 연구에서 계산된 기상자료에 오류가 있음을 확인할 수 있었다.

제2장 원격탐사기술 활용 2012년도 쌀 생산량 예측

기존자료

전라북도	Y	X				
통속기(09.01-09.30)	수량	NDVI	일교차	평균온도	누적일조시간	누적강우량
2001	586	0.736	12.398	20.626	240.257	57.600
2002	526	0.547	10.405	20.044	181.000	56.724
2003						
2004	573	0.702	10.021	20.781	158.814	181.629
2005	538	0.654	9.015	21.677	143.457	143.700
2006	559	0.687	11.471	19.349	189.229	32.129
2007	519	0.690	7.408	21.097	95.557	491.257
2008	581	0.695	10.896	21.518	173.086	34.586
2009	620	0.683	10.997	20.680	196.629	47.636
2010	554	0.696	9.307	21.875	155.829	181.429
2011		0.676	10.339	21.070	183.133	71.600
2012						

검토자료

전라북도	Y	X				
통속기(09.01-09.30)	수량	NDVI	일교차	평균온도	누적일조시간	누적강우량
2001	586	0.736	12.440	20.725	247.057	71.614
2002	526	0.547	10.574	20.101	190.771	62.571
2003	487	0.699	9.779	21.192	172.000	205.643
2004	573	0.702	10.005	20.785	158.129	182.114
2005	538	0.654	9.172	22.007	149.729	128.700
2006	559	0.687	11.575	19.336	189.614	34.657
2007	519	0.690	7.511	21.233	98.714	522.957
2008	581	0.694	11.223	21.801	174.729	25.500
2009	620	0.683	11.220	20.807	195.429	47.936
2010	554	0.696	9.604	22.087	157.041	141.143
2011	564	0.676	10.457	20.749	190.129	76.671
2012						

Diff (cal-ref)						
2001	0.00	0.00	0.04	0.10	6.80	14.01
2002	0.00	0.00	0.17	0.06	9.77	5.86
2003	-487.00	0.70	9.78	21.13	172.00	205.64
2004	0.00	0.00	-0.02	0.00	-0.69	-0.49
2005	0.00	0.00	0.16	0.33	6.27	-15.00
2006	0.00	0.00	0.10	-0.01	0.39	-2.53
2007	0.00	0.00	0.10	0.14	3.16	31.70
2008	0.00	0.00	0.33	0.28	1.64	-9.09
2009	0.00	0.00	0.22	0.13	-1.20	6.30
2010	0.00	0.00	0.30	0.21	1.21	-40.29
2011	564.00	0.00	0.12	-0.32	7.00	5.07
2012	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

입력자료 확인

전라북도 누적강우량 2010년	군산	남원	부안	임실	장수	전주	정읍	고창	순창
09월 01일	16.5	19	18	22	33	12.5	26		
09월 02일	8	16	9	18	20.5	10.5	7		
09월 03일	1		1	1.5					
09월 04일				1			0		
09월 05일	30		6			0			
09월 06일	2.5	20.5	0.5	9	22.5	5.5	2		
09월 07일	0	3.5	1	4.5	26	0.5	0.1		
09월 08일	1	0	0.4	0.5	0.5	0	0.5		
09월 09일	1.5	0		3	1	0.1	0		
09월 10일	5	9.5	6	0.1	3	2.5	0.5		
09월 11일	37.5	42.5	21.5	29	39	23	48		
09월 12일	38	36	19	41.5	50.5	14	9		
09월 13일	0.1						0.5		
09월 14일				0.5					
09월 15일			0.1	0.5				4	
09월 16일									
09월 17일									
09월 18일									
09월 19일	0								
09월 20일					0.4				
09월 21일	1.5	10.5	30.5	1.5	3.5	16	1		
09월 22일	2	9	3	9	19	5.5	10.5		
09월 23일									
09월 24일									
09월 25일									
09월 26일	0								
09월 27일									
09월 28일	0.3			0.5			0.4		
09월 29일									
09월 30일									
	144.9	166.5	116.5	141.6	218.9	90.5	109.1		
								평균	141.143

- 기존 연구의 2010년 전라북도 누적강우량 : 181.429mm
- 본 연구의 2010년 전라북도 누적강우량 : 141.143mm
- 2010년 전라북도 누적강우량 검산결과 : 141.143mm

그림 23. 기상자료 계산결과 확인을 위한 검산

○ 본 연구에서는 모형 개발에 사용할 기상자료를 보완하기 위해 기존 57개 관측소에 신규 21개 관측소 자료를 추가하여 총 78개 관측소 자료를 활용(특별시 및 광역시 제외)하였다. 추가한 21개 관측소는 강진, 경주, 고창, 광양, 김해, 동두천, 문산, 보성, 북강릉, 북창원, 상주, 순창군, 양산, 영광군, 의령군, 정선군, 진도, 창원, 철원, 청송, 함양이다.

○ 또 하나의 기상자료 보완방법으로 기존에 모형 입력자료로 사용한 일교차, 평균온도, 누적강우량, 누적일조시간에 누적일사량 자료를 추가하였다. 이는 전문가 자문을 통해 보완한 내용으로, 일조시간 보다는 일사량을 활용하는 것이 생산량 추정에 있어 더 효과적이라는 의견을 반영한 것이다. 일조시간과 일사량의 차이는 다음과 같다.

표 8. 일조시간과 일사량의 정의 및 특징

일조시간	일사량
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 일정한 장소에 해가 떠서 질 때까지 태양에서 직접 오는 별이 지구표면을 쬐는 시간</li> <li>• 해가 떴지만 구름이나 안개 또는 다른 그림자에 가려 별이 나지 않는 시간은 제외</li> <li>• 별의 세기는 포함되지 않음</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 태양의 복사를 일사라 하는데 일사의 세기를 일사량이라고 함, 즉 태양에서 지구로 오는 원천 에너지</li> <li>• 태양광선에 직각으로 놓은 1cm<sup>2</sup> 넓이에 1분 동안의 복사량으로 측정하며, 하루의 일사량은 별의 강도와 쬐는 시간으로 결정</li> <li>• 측정단위는 에너지의 절대 단위인 줄(J)</li> <li>• 대체로 우리나라 농사철의 하루 평균 1 m<sup>2</sup>에 쬐는 일사량을 14-15MJ로 본다면, 이보다 적으면 흐리고 비 오는 날이 많아 풍년을 기대하기 어려움, 반대로 25MJ이상으로 강한 햇볕이 여러 날 계속되면 가뭄과 고온 주의 필요</li> </ul>

○ 전국의 일사량 관측지점은 22곳이며, 본 연구에서는 특별시 및 광역시를 제외한 14개 관측지점의 일사량을 사용하였다.

표 9. 일사량자료 수집 내역

행정구역	관측소(code)	행정구역	관측소(code)
강원도 (4개 관측지점)	강릉(105), 대관령(100) 원주(114), 춘천(101)	전라남도 (2개 관측지점)	목포(165), 흑산도(169)
경기도 (1개 관측지점)	수원(119)	전라북도 (1개 관측지점)	전주(146)
경상남도 (1개 관측지점)	진주(192)	충청남도 (1개 관측지점)	서산(129)
경상북도 (2개 관측지점)	안동(136)	충청북도 (2개 관측지점)	청주(131), 추풍령(135)

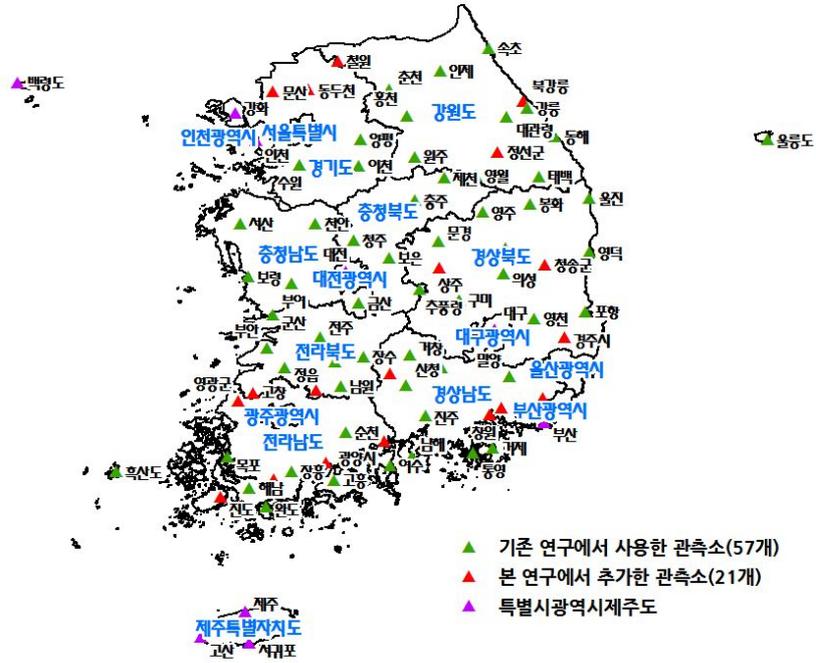


그림 24. 기상관측소 분포

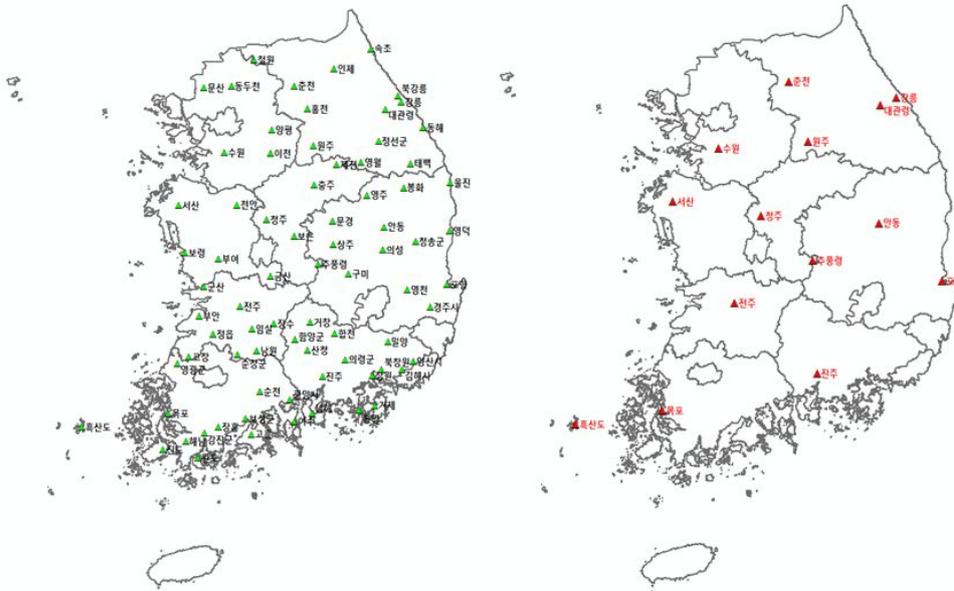


그림 25. 기상관측소(78개) 및 일사량 관측지점(14개) 분포 비교  
 (특별시 및 광역시 제외)

5) 기상자료 및 생산량 간 상관분석을 통한 등숙기 재선정

- 기상자료 오류 및 계산 오차를 수정하고 신규 관측소 자료를 추가하였으므로 기존 연구의 등숙기를 재선정할 필요가 있다. 본 연구에서는 2001~2011년 동안의 전국 및 도별 등숙기를 선정하기 위해 8~9월 기간을 15일, 30일, 45일, 60일 간격으로 나누어 총 10개 기간에 대해 기상자료 평균치를 계산하여 생산량과 상관분석을 통해 평균 결정계수( $R^2$ )가 높은 기간을 해당 지역의 등숙기로 선정하였다.
- 기존 연구와 등숙기 선정 방법은 동일하나 기상자료에 누적일사량을 추가하여 상관분석을 실시하였다. 행정구역별 상관분석 결과를 결정계수( $R^2$ )로 나타내면 다음과 같다. 표 내용 중 평균\_일조는 일교차, 평균온도, 누적강우량, 누적일조시간의 평균 결정계수 값을 나타낸 것이고, 평균\_일사는 누적일조시간 대신 누적일사량을 포함한 평균 결정계수 값을 나타낸다.

표 10. 전국 기상자료 및 생산량 간 상관분석 결과 결정계수( $R^2$ )

적용기간	일교차	평균온도	누적강우량	누적일조시간	누적일사량	평균_일조	평균_일사
08.01-08.15	0.054	0.089	0.102	0.056	0.109	0.075	0.089
08.01-08.30	0.407	0.007	0.461	0.236	0.453	0.278	0.332
08.01-09.15	0.621	0.003	0.623	0.417	0.734	0.416	0.495
08.01-09.30	0.507	0.008	0.573	0.296	0.676	0.346	0.441
08.16-08.30	0.457	0.035	0.243	0.228	0.334	0.241	0.267
08.16-09.15	0.716	0.028	0.458	0.460	0.681	0.415	0.471
08.16-09.30	0.537	0.009	0.433	0.305	0.610	0.321	0.397
<b>09.01-09.15</b>	0.731	0.001	0.506	0.575	0.790	0.453	<b>0.507</b>
09.01-09.30	0.375	0.002	0.428	0.201	0.437	0.252	0.311
09.16-09.30	0.043	0.010	0.085	0.000	0.021	0.035	0.040

표 11. 강원도 기상자료 및 생산량 간 상관분석 결과 결정계수( $R^2$ )

적용기간	일교차	평균온도	누적강우량	누적일조시간	누적일사량	평균_일조	평균_일사
08.01-08.15	0.007	0.007	0.039	0.014	0.032	0.017	0.021
08.01-08.30	0.388	0.003	0.401	0.242	0.416	0.259	0.302
08.01-09.15	0.479	0.000	0.490	0.370	0.545	0.335	0.378
08.01-09.30	0.356	0.008	0.454	0.318	0.517	0.284	0.334
08.16-08.30	0.548	0.035	0.248	0.336	0.450	0.292	0.320
<b>08.16-09.15</b>	0.643	0.006	0.372	0.534	0.726	0.389	<b>0.437</b>
08.16-09.30	0.433	0.002	0.353	0.456	0.701	0.311	0.372
09.01-09.15	0.432	0.013	0.315	0.496	0.593	0.314	0.338
09.01-09.30	0.237	0.074	0.278	0.281	0.419	0.218	0.252
09.16-09.30	0.032	0.048	0.154	0.023	0.080	0.064	0.079

표 12. 경기도 기상자료 및 생산량 간 상관분석 결과 결정계수( $R^2$ )

적용기간	일교차	평균온도	누적강우량	누적일조시간	누적일사량	평균_일조	평균_일사
08.01-08.15	0.211	0.012	0.012	0.318	0.225	0.138	0.115
08.01-08.30	0.540	0.034	0.217	0.506	0.411	0.324	0.301
08.01-09.15	0.591	0.095	0.360	0.551	0.437	0.399	0.371
08.01-09.30	0.444	0.030	0.359	0.437	0.370	0.317	0.300
08.16-08.30	0.365	0.159	0.292	0.266	0.190	0.270	0.251
<b>08.16-09.15</b>	0.548	0.240	0.372	0.440	0.329	<b>0.400</b>	0.372
08.16-09.30	0.384	0.117	0.375	0.336	0.274	0.303	0.287
09.01-09.15	0.569	0.073	0.352	0.494	0.370	0.372	0.341
09.01-09.30	0.294	0.002	0.326	0.248	0.181	0.218	0.201
09.16-09.30	0.033	0.134	0.213	0.003	0.001	0.096	0.095

표 13. 경상남도 기상자료 및 생산량 간 상관분석 결과 결정계수( $R^2$ )

적용기간	일교차	평균온도	누적강우량	누적일조시간	누적일사량	평균_일조	평균_일사
08.01-08.15	0.010	0.187	0.162	0.001	0.012	0.090	0.093
08.01-08.30	0.180	0.050	0.388	0.003	0.108	0.155	0.181
<b>08.01-09.15</b>	0.378	0.024	0.584	0.037	0.350	0.256	<b>0.334</b>
08.01-09.30	0.194	0.055	0.516	0.003	0.109	0.192	0.218
08.16-08.30	0.224	0.008	0.106	0.014	0.048	0.088	0.097
08.16-09.15	0.423	0.017	0.338	0.062	0.194	0.210	0.243
08.16-09.30	0.184	0.001	0.291	0.001	0.061	0.119	0.134
09.01-09.15	0.348	0.006	0.388	0.067	0.222	0.202	0.241
09.01-09.30	0.057	0.012	0.326	0.014	0.028	0.102	0.106
09.16-09.30	0.012	0.069	0.004	0.180	0.044	0.066	0.032

표 14. 경상북도 기상자료 및 생산량 간 상관분석 결과 결정계수( $R^2$ )

적용기간	일교차	평균온도	누적강우량	누적일조시간	누적일사량	평균_일조	평균_일사
08.01-08.15	0.005	0.052	0.009	0.011	0.103	0.019	0.042
08.01-08.30	0.118	0.013	0.254	0.019	0.527	0.101	0.228
08.01-09.15	0.408	0.010	0.560	0.128	0.704	0.276	0.420
08.01-09.30	0.319	0.032	0.483	0.073	0.711	0.227	0.386
08.16-08.30	0.272	0.003	0.296	0.105	0.424	0.169	0.249
08.16-09.15	0.598	0.002	0.501	0.275	0.654	0.344	0.439
08.16-09.30	0.436	0.005	0.436	0.175	0.689	0.263	0.391
<b>09.01-09.15</b>	0.615	0.000	0.454	0.450	0.707	0.380	<b>0.444</b>
09.01-09.30	0.281	0.028	0.345	0.133	0.646	0.197	0.325
09.16-09.30	0.011	0.050	0.010	0.015	0.275	0.022	0.087

표 15. 전라남도 기상자료 및 생산량 간 상관분석 결과 결정계수( $R^2$ )

적용기간	일교차	평균온도	누적강우량	누적일조시간	누적일사량	평균_일조	평균_일사
08.01-08.15	0.119	0.127	0.310	0.137	0.158	0.173	0.179
08.01-08.30	0.305	0.003	0.360	0.235	0.216	0.226	0.221
<b>08.01-09.15</b>	0.530	0.020	0.511	0.401	0.472	0.366	<b>0.383</b>
08.01-09.30	0.517	0.015	0.486	0.282	0.533	0.325	0.388
08.16-08.30	0.223	0.082	0.006	0.103	0.087	0.104	0.100
08.16-09.15	0.383	0.010	0.181	0.223	0.293	0.199	0.217
08.16-09.30	0.410	0.006	0.192	0.159	0.329	0.192	0.234
09.01-09.15	0.260	0.025	0.442	0.189	0.416	0.229	0.286
09.01-09.30	0.235	0.015	0.372	0.089	0.248	0.178	0.218
09.16-09.30	0.100	0.000	0.099	0.012	0.026	0.053	0.056

표 16. 전라북도 기상자료 및 생산량 간 상관분석 결과 결정계수( $R^2$ )

적용기간	일교차	평균온도	누적강우량	누적일조시간	누적일사량	평균_일조	평균_일사
08.01-08.15	0.077	0.091	0.043	0.038	0.111	0.062	0.081
08.01-08.30	0.412	0.030	0.262	0.217	0.469	0.230	0.293
08.01-09.15	0.578	0.013	0.445	0.426	0.746	0.365	0.445
08.01-09.30	0.504	0.007	0.417	0.335	0.729	0.316	0.414
08.16-08.30	0.517	0.001	0.194	0.260	0.354	0.243	0.266
<b>08.16-09.15</b>	0.653	0.005	0.349	0.477	0.635	0.371	<b>0.411</b>
08.16-09.30	0.539	0.005	0.323	0.354	0.584	0.305	0.363
09.01-09.15	0.591	0.004	0.373	0.506	0.653	0.369	0.405
09.01-09.30	0.367	0.004	0.299	0.221	0.438	0.223	0.277
09.16-09.30	0.076	0.000	0.060	0.001	0.066	0.034	0.051

표 17. 충청남도 기상자료 및 생산량 간 상관분석 결과 결정계수( $R^2$ )

적용기간	일교차	평균온도	누적강우량	누적일조시간	누적일사량	평균_일조	평균_일사
08.01-08.15	0.093	0.088	0.108	0.167	0.148	0.114	0.109
08.01-08.30	0.476	0.011	0.386	0.300	0.413	0.293	0.322
08.01-09.15	0.648	0.003	0.537	0.406	0.659	0.398	0.462
08.01-09.30	0.551	0.002	0.482	0.287	0.605	0.330	0.410
08.16-08.30	0.520	0.019	0.406	0.267	0.378	0.303	0.331
08.16-09.15	0.750	0.018	0.552	0.433	0.704	0.438	0.506
08.16-09.30	0.590	0.015	0.489	0.274	0.648	0.342	0.435
<b>09.01-09.15</b>	0.781	0.003	0.514	0.517	0.789	0.454	<b>0.522</b>
09.01-09.30	0.472	0.003	0.393	0.189	0.428	0.264	0.324
09.16-09.30	0.079	0.000	0.025	0.000	0.017	0.026	0.030

표 18. 충청북도 기상자료 및 생산량 간 상관분석 결과 결정계수( $R^2$ )

적용기간	일교차	평균온도	누적강우량	누적일조시간	누적일사량	평균_일조	평균_일사
08.01-08.15	0.010	0.011	0.030	0.026	0.006	0.019	0.014
08.01-08.30	0.343	0.004	0.347	0.299	0.182	0.249	0.219
08.01-09.15	0.567	0.004	0.564	0.523	0.416	0.415	0.388
08.01-09.30	0.581	0.016	0.510	0.487	0.457	0.398	0.391
08.16-08.30	0.564	0.045	0.507	0.465	0.349	0.395	0.366
08.16-09.15	0.785	0.027	0.712	0.723	0.656	0.562	0.545
08.16-09.30	0.733	0.058	0.634	0.658	0.691	0.521	0.529
<b>09.01-09.15</b>	0.805	0.000	0.669	0.824	0.805	<b>0.575</b>	0.570
09.01-09.30	0.623	0.017	0.560	0.531	0.616	0.433	0.454
09.16-09.30	0.203	0.023	0.046	0.100	0.104	0.093	0.094

○ 각 행정구역별로 평균\_일조와 평균\_일사 중 결정계수 값이 높은 기간을 해당지역의 등숙기로 선정하였으며 결과는 다음과 같다.

표 19. 행정구역별 등숙기 선정 결과 비교

행정구역	선정 결과	기존 연구 결과와 비교
전국	9월 1일 ~ 9월 15일	변경(기존: 9월 1일 ~ 9월 30일)
강원도	8월 16일 ~ 9월 15일	동일(기존: 8월 16일 ~ 9월 15일)
경기도	8월 16일 ~ 9월 15일	동일(기존: 8월 16일 ~ 9월 15일)
경상남도	8월 1일 ~ 9월 15일	변경(기존: 8월 16일 ~ 9월 15일)
경상북도	9월 1일 ~ 9월 15일	변경(기존: 9월 1일 ~ 9월 30일)
전라남도	8월 1일 ~ 9월 15일	변경(기존: 9월 1일 ~ 9월 30일)
전라북도	8월 16일 ~ 9월 15일	변경(기존: 9월 1일 ~ 9월 30일)
충청남도	9월 1일 ~ 9월 15일	변경(기존: 8월 16일 ~ 8월 30일)
충청북도	9월 1일 ~ 9월 15일	변경(기존: 8월 16일 ~ 9월 30일)

- 등숙기 선정결과를 살펴보면, 강원도와 경기도는 기존 연구 결과에서 선정한 등숙기와 동일하나 나머지 지역의 등숙기는 모두 변경된 것을 알 수 있다. 또한 누적일조시간과 누적일사량 중 생산량과 상관관계가 더 높게 나타난 지역은 경기도, 충청북도를 제외한 모든 지역으로 대부분 누적일사량과 생산량간의 상관관계가 더 높은 것을 알 수 있다.



그림 26. 등숙기 선정 결과

## 2.2. 2011년도 쌀 생산량 추정모형 수정

- 앞서 입력자료 검토를 통해 수정한 자료를 이용하여 2011년도에 개발한 쌀 생산량 추정모형을 수정하였다.
  
- 또한 본 연구에서 수정한 모형을 적용하여 추정된 2011년도 쌀 생산량 추정치와 기존 연구의 결과를 비교분석하여 차이를 살펴보았다.

### 2.2.1. 모형 입력자료

- 2001~2011년 행정구역별로 통계청에서 발표한 논벼 단위면적(10a) 당 수량(현미 기준)과 논벼 재배지 격자를 이용하여 추출한 MODIS 8월 영상의 NDVI 평균값, 등숙기 동안의 기상자료 계산값을 모형 입력자료로 활용하였다.
  - 일교차 : 등숙기 동안의 일최고기온과 일최저기온의 차를 평균
  - 평균온도 : 등숙기 동안의 일평균온도의 평균
  - 누적강우량 : 등숙기 동안의 강수량 합계
  - 누적일조시간 : 등숙기 동안의 일조시간 합계
  - 누적일사량 : 등숙기 동안의 일사량 합계
  
- 이 때 2003년 자료는 NDVI 값과 생산량 간 상관분석 시 다른 연도에 비해 오차가 매우 크게 나타났으므로 모형 입력자료에서 제외시켰으며, 등숙기와 기상자료는 행정구역별로 다르게 적용하였다. 기상자료 중 일교차, 평균온도, 누적강우량은 동일한 입력자료로 사용하나 누적일조시간과 누적일사량은 해당지역의 생산량과 상관관계가 더 높은 것을 택하여 입력하였다.

○ 모형 입력자료로 사용한 통계청 논벼 단위면적(10a) 당 수량은 다음과 같다.

표 20. 행정구역별 논벼 단위면적(10a) 당 수량

연도	전국	강원	경기	경남	경북	전남	전북	충남	충북
2001년	556	529	534	540	552	541	586	595	572
2002년	507	472	518	465	510	474	526	552	533
2004년	543	504	527	527	539	524	573	579	539
2005년	527	510	522	511	532	507	538	562	525
2006년	529	485	517	515	530	503	559	569	522
2007년	501	483	499	495	511	461	519	540	495
2008년	560	524	549	563	573	521	581	594	555
2009년	574	557	546	561	598	530	620	612	566
2010년	520	488	468	518	545	500	554	544	514
2011년	533	512	476	531	555	513	564	567	530

○ 모형 입력자료로 사용한 행정구역별 NDVI 평균값은 다음과 같다.

표 21. 행정구역별 NDVI 평균값

연도	전국	강원	경기	경남	경북	전남	전북	충남	충북
2001년	0.727	0.713	0.729	0.686	0.711	0.699	0.752	0.745	0.741
2002년	0.652	0.744	0.658	0.638	0.666	0.652	0.653	0.649	0.653
2004년	0.700	0.680	0.671	0.681	0.719	0.700	0.713	0.693	0.701
2005년	0.672	0.658	0.662	0.619	0.674	0.654	0.690	0.683	0.693
2006년	0.695	0.688	0.696	0.652	0.690	0.665	0.706	0.729	0.664
2007년	0.680	0.604	0.625	0.639	0.685	0.680	0.708	0.687	0.635
2008년	0.697	0.692	0.697	0.647	0.682	0.678	0.713	0.713	0.717
2009년	0.693	0.689	0.702	0.640	0.684	0.688	0.695	0.711	0.666
2010년	0.698	0.673	0.675	0.648	0.681	0.698	0.715	0.695	0.681
2011년	0.673	0.672	0.655	0.618	0.673	0.651	0.704	0.680	0.657

- 모형 입력자료로 사용한 행정구역별 등숙기 동안의 기상자료는 다음과 같다.

표 22. 행정구역별 기상자료(일교차) 계산 결과

연도	전국	강원	경기	경남	경북	전남	전북	충남	충북
2001년	10.8	10.6	11.5	9.0	9.9	8.2	11.5	11.9	12.6
2002년	9.1	8.1	8.6	7.6	9.1	6.8	8.5	9.2	9.3
2004년	9.1	8.1	9.2	8.4	8.6	7.5	8.7	10.4	9.9
2005년	8.6	8.3	8.8	7.8	8.1	7.1	8.8	9.4	9.0
2006년	10.2	8.9	9.9	9.1	9.7	8.1	9.6	10.8	11.2
2007년	7.3	7.8	8.4	7.5	7.2	6.5	8.1	7.6	7.7
2008년	10.4	9.2	10.3	9.5	10.3	7.8	10.3	10.9	11.5
2009년	10.9	9.9	10.4	8.8	11.1	7.9	10.6	11.3	11.7
2010년	7.6	7.5	7.6	7.7	8.2	6.5	7.8	7.2	7.9
2011년	8.8	8.1	9.3	7.4	8.5	6.7	8.4	8.7	8.9

표 23. 행정구역별 기상자료(평균온도) 계산 결과

연도	전국	강원	경기	경남	경북	전남	전북	충남	충북
2001년	22.0	21.7	23.8	24.5	21.0	24.6	23.6	23.1	21.6
2002년	21.5	20.9	22.7	23.9	20.6	23.6	23.3	22.1	21.2
2004년	21.5	20.3	22.0	24.8	20.7	24.4	22.9	21.9	20.9
2005년	22.9	21.2	22.8	25.0	22.2	24.6	23.4	23.5	22.8
2006년	19.7	20.8	22.4	25.0	19.3	24.7	22.9	20.0	19.0
2007년	20.6	22.1	23.1	25.1	20.5	24.5	23.4	20.9	19.9
2008년	22.4	20.7	22.4	24.8	21.6	24.4	23.3	22.6	21.9
2009년	21.2	21.3	22.6	24.3	20.9	23.9	23.1	21.4	20.6
2010년	24.1	23.5	24.7	26.7	23.6	26.2	25.8	24.6	23.9
2011년	22.7	21.9	23.5	25.0	22.5	24.6	23.4	22.5	21.9

표 24. 행정구역별 기상자료(누적강우량) 계산 결과

연도	전국	강원	경기	경남	경북	전남	전북	충남	충북
2001년	52.5	99.9	9.3	174.4	130.2	143.0	54.9	13.6	26.1
2002년	44.7	115.4	97.0	632.6	41.7	490.6	91.0	28.4	38.6
2004년	120.3	388.4	269.6	509.8	113.7	569.0	411.4	115.9	83.9
2005년	82.0	329.0	203.1	383.1	127.9	242.2	171.4	48.6	69.0
2006년	23.1	167.6	96.8	162.2	16.4	202.9	134.3	15.8	10.2
2007년	259.2	348.5	184.9	619.0	238.8	663.2	501.5	271.8	250.2
2008년	32.6	202.9	213.1	150.6	20.4	140.5	90.4	24.9	22.8
2009년	10.5	62.0	80.2	79.3	11.3	118.8	64.6	6.9	17.2
2010년	207.8	398.7	526.9	535.9	141.2	527.3	379.6	204.7	207.1
2011년	62.3	192.0	126.3	330.2	71.7	347.7	83.2	95.3	115.7

표 25. 행정구역별 기상자료(누적일사량 또는 누적일조시간) 계산 결과

(\*경기, 충북지역은 누적일사량, 그 외 지역은 누적일조시간)

연도	전국	강원	*경기	경남	경북	전남	전북	충남	*충북
2001년	245.9	487.9	275.6	731.5	192.9	840.7	543.9	292.0	124.0
2002년	208.5	367.5	144.4	622.9	196.1	659.2	404.6	211.2	87.7
2004년	195.1	349.0	140.7	646.0	154.1	763.1	361.7	225.8	79.4
2005년	206.0	407.0	160.6	615.5	170.8	718.5	400.8	224.9	83.4
2006년	225.3	416.1	184.0	761.1	179.9	828.6	406.0	242.3	90.4
2007년	162.4	392.3	124.3	662.1	145.2	711.0	389.0	173.0	41.6
2008년	240.4	475.1	192.1	655.8	251.0	840.2	477.6	226.3	91.8
2009년	270.2	495.9	179.6	724.4	266.8	821.0	519.0	276.7	106.0
2010년	203.6	389.6	113.5	702.7	204.5	752.3	410.1	207.6	54.2
2011년	230.5	419.9	150.8	662.8	210.6	648.5	390.1	237.3	71.7

- 행정구역별 논벼 생산량 추정 모형 개발을 위해 입력한 종속변수 및 독립변수의 기술통계량과 상관분석 결과를 정리하면 다음과 같다.

표 26. 전국 모형 입력자료의 기술통계량

	자료 수	최소값	최대값	평균	표준편차
수량	10	501.000	574.000	535.000	23.381
NDVI	10	0.652	0.727	0.689	0.020
일교차	10	7.336	10.875	9.288	1.261
평균온도	10	19.728	24.133	21.876	1.241
누적강우량	10	10.527	259.239	89.505	82.862
누적일사량	10	162.424	270.184	218.783	30.290

표 27. 전국 모형 입력자료의 상관분석 결과

		수량	NDVI	일교차	평균온도	누적강우량	누적일사량
상관 계수	수량	1.000	0.600	0.818	0.030	-0.620	0.847
	NDVI	0.600	1.000	0.444	0.018	-0.031	0.353
	일교차	0.818	0.444	1.000	-0.328	-0.871	0.869
	평균온도	0.030	0.018	-0.328	1.000	0.209	0.029
	누적강우량	-0.620	-0.031	-0.871	0.209	1.000	-0.822
	누적일사량	0.847	0.353	0.869	0.029	-0.822	1.000
유의 확률 (한쪽)	수량		0.033	0.002	0.467	0.028	0.001
	NDVI	0.033		0.099	0.480	0.466	0.158
	일교차	0.002	0.099		0.177	0.001	0.001
	평균온도	0.467	0.480	0.177		0.281	0.468
	누적강우량	0.028	0.466	0.001	0.281		0.002
	누적일사량	0.001	0.158	0.001	0.468	0.002	

표 28. 강원도 모형 입력자료의 기술통계량

	자료 수	최소값	최대값	평균	표준편차
수량	10	472.000	557.000	506.400	25.730
NDVI	10	0.604	0.744	0.681	0.036
일교차	10	7.495	10.599	8.641	0.987
평균온도	10	20.346	23.458	21.436	0.907
누적강우량	10	62.017	398.700	230.435	125.497
누적일사량	10	349.000	495.938	420.035	50.644

표 29. 강원도 모형 입력자료의 상관분석 결과

		수량	NDVI	일교차	평균온도	누적강우량	누적일사량
상관 계수	수량	1	0.098	0.731	-0.142	-0.439	0.816
	NDVI	0.098	1	0.427	-0.370	-0.636	0.170
	일교차	0.731	0.427	1	-0.304	-0.747	0.855
	평균온도	-0.142	-0.370	-0.304	1	0.323	-0.003
	누적강우량	-0.439	-0.636	-0.747	0.323	1	-0.660
	누적일사량	0.816	0.170	0.855	-0.003	-0.660	1
유의 확률 (한쪽)	수량		0.394	0.008	0.348	0.102	0.002
	NDVI	0.394		0.109	0.146	0.024	0.320
	일교차	0.008	0.109		0.197	0.006	0.001
	평균온도	0.348	0.146	0.197		0.181	0.497
	누적강우량	0.102	0.024	0.006	0.181		0.019
	누적일사량	0.002	0.320	0.001	0.497	0.019	

표 30. 경기도 모형 입력자료의 기술통계량

	자료 수	최소값	최대값	평균	표준편차
수량	10	468.000	549.000	515.600	27.216
NDVI	10	0.625	0.729	0.677	0.030
일교차	10	7.632	11.469	9.410	1.132
평균온도	10	22.041	24.652	23.011	0.776
누적강우량	10	9.250	526.880	180.717	143.690
누적일조시간	10	113.540	275.600	166.554	46.015

표 31. 경기도 모형 입력자료의 상관분석 결과

		수량	NDVI	일교차	평균온도	누적강우량	누적일조시간
상관 계수	수량	1	0.555	0.709	-0.681	-0.531	0.598
	NDVI	0.555	1	0.807	0.015	-0.297	0.827
	일교차	0.709	0.807	1	-0.277	-0.712	0.927
	평균온도	-0.681	0.015	-0.277	1	0.408	-0.036
	누적강우량	-0.531	-0.297	-0.712	0.408	1	-0.653
	누적일조시간	0.598	0.827	0.927	-0.036	-0.653	1
유의 확률 (한쪽)	수량		0.048	0.011	0.015	0.057	0.034
	NDVI	0.048		0.002	0.483	0.203	0.002
	일교차	0.011	0.002		0.219	0.011	0.000
	평균온도	0.015	0.483	0.219		0.121	0.461
	누적강우량	0.057	0.203	0.011	0.121		0.020
	누적일조시간	0.034	0.002	0.000	0.461	0.020	

표 32. 경상남도 모형 입력자료의 기술통계량

	자료 수	최소값	최대값	평균	표준편차
수량	10	465.000	563.000	522.600	29.425
NDVI	10	0.618	0.686	0.647	0.022
일교차	10	7.376	9.475	8.266	0.771
평균온도	10	23.877	26.729	24.911	0.743
누적강우량	10	79.308	632.611	357.714	208.800
누적일사량	10	615.540	761.130	678.477	48.838

표 33. 경상남도 모형 입력자료의 상관분석 결과

		수량	NDVI	일교차	평균온도	누적강우량	누적일사량
상관 계수	수량	1	0.225	0.659	0.057	-0.804	0.397
	NDVI	0.225	1	0.527	-0.074	-0.126	0.398
	일교차	0.659	0.527	1	-0.267	-0.793	0.522
	평균온도	0.057	-0.074	-0.267	1	0.223	0.165
	누적강우량	-0.804	-0.126	-0.793	0.223	1	-0.602
	누적일사량	0.397	0.398	0.522	0.165	-0.602	1
유의 확률 (한쪽)	수량		0.266	0.019	0.438	0.003	0.128
	NDVI	0.266		0.059	0.420	0.364	0.127
	일교차	0.019	0.059		0.228	0.003	0.061
	평균온도	0.438	0.420	0.228		0.268	0.324
	누적강우량	0.003	0.364	0.003	0.268		0.033
	누적일사량	0.128	0.127	0.061	0.324	0.033	

표 34. 경상북도 모형 입력자료의 기술통계량

	자료 수	최소값	최대값	평균	표준편차
수량	10	510.000	598.000	544.500	26.978
NDVI	10	0.666	0.719	0.687	0.017
일교차	10	7.241	11.144	9.064	1.178
평균온도	10	19.253	23.642	21.282	1.237
누적강우량	10	11.292	238.792	91.332	72.632
누적일사량	10	145.160	266.785	197.191	38.807

표 35. 경상북도 모형 입력자료의 상관분석 결과

		수량	NDVI	일교차	평균온도	누적강우량	누적일사량
상관 계수	수량	1	0.114	0.740	0.227	-0.505	0.846
	NDVI	0.114	1	0.127	-0.315	0.209	-0.305
	일교차	0.740	0.127	1	-0.307	-0.804	0.787
	평균온도	0.227	-0.315	-0.307	1	0.229	0.225
	누적강우량	-0.505	0.209	-0.804	0.229	1	-0.698
	누적일사량	0.846	-0.305	0.787	0.225	-0.698	1
유의 확률 (한쪽)	수량		0.377	0.007	0.264	0.068	0.001
	NDVI	0.377		0.363	0.187	0.281	0.196
	일교차	0.007	0.363		0.194	0.003	0.003
	평균온도	0.264	0.187	0.194		0.263	0.266
	누적강우량	0.068	0.281	0.003	0.263		0.012
	누적일사량	0.001	0.196	0.003	0.266	0.012	

표 36. 전라남도 모형 입력자료의 기술통계량

	자료 수	최소값	최대값	평균	표준편차
수량	10	461.000	541.000	507.400	24.663
NDVI	10	0.651	0.700	0.677	0.020
일교차	10	6.463	8.228	7.317	0.678
평균온도	10	23.571	26.217	24.544	0.689
누적강우량	10	118.820	663.156	344.518	202.861
누적일사량	10	648.460	840.665	758.309	73.115

표 37. 전라남도 모형 입력자료의 상관분석 결과

		수량	NDVI	일교차	평균온도	누적강우량	누적일사량
상관 계수	수량	1	0.417	0.700	0.031	-0.694	0.617
	NDVI	0.417	1	0.289	0.371	0.087	0.599
	일교차	0.700	0.289	1	-0.288	-0.762	0.851
	평균온도	0.031	0.371	-0.288	1	0.207	0.099
	누적강우량	-0.694	0.087	-0.762	0.207	1	-0.623
	누적일사량	0.617	0.599	0.851	0.099	-0.623	1
유의 확률 (한쪽)	수량		0.115	0.012	0.466	0.013	0.029
	NDVI	0.115		0.209	0.145	0.406	0.034
	일교차	0.012	0.209		0.210	0.005	0.001
	평균온도	0.466	0.145	0.210		0.283	0.392
	누적강우량	0.013	0.406	0.005	0.283		0.027
	누적일사량	0.029	0.034	0.001	0.392	0.027	

표 38. 전라북도 모형 입력자료의 기술통계량

	자료 수	최소값	최대값	평균	표준편차
수량	10	519.000	620.000	562.000	30.221
NDVI	10	0.653	0.752	0.705	0.025
일교차	10	7.808	11.450	9.219	1.207
평균온도	10	22.850	25.763	23.502	0.833
누적강우량	10	54.914	501.500	198.232	166.618
누적일사량	10	361.680	543.900	430.283	61.065

표 39. 전라북도 모형 입력자료의 상관분석 결과

		수량	NDVI	일교차	평균온도	누적강우량	누적일사량
상관 계수	수량	1	0.418	0.743	-0.153	-0.462	0.697
	NDVI	0.418	1	0.464	0.194	0.113	0.424
	일교차	0.743	0.464	1	-0.364	-0.642	0.893
	평균온도	-0.153	0.194	-0.364	1	0.309	-0.007
	누적강우량	-0.462	0.113	-0.642	0.309	1	-0.593
	누적일사량	0.697	0.424	0.893	-0.007	-0.593	1
유의 확률 (한쪽)	수량		0.115	0.007	0.336	0.090	0.013
	NDVI	0.115		0.088	0.295	0.378	0.111
	일교차	0.007	0.088		0.151	0.023	0.000
	평균온도	0.336	0.295	0.151		0.193	0.493
	누적강우량	0.090	0.378	0.023	0.193		0.035
	누적일사량	0.013	0.111	0.000	0.493	0.035	

표 40. 충청남도 모형 입력자료의 기술통계량

	자료 수	최소값	최대값	평균	표준편차
수량	10	540.000	612.000	571.400	23.571
NDVI	10	0.649	0.745	0.699	0.027
일교차	10	7.171	11.889	9.735	1.576
평균온도	10	19.993	24.635	22.253	1.331
누적강우량	10	6.860	271.800	82.592	90.896
누적일사량	10	172.960	291.990	231.697	33.931

표 41. 충청남도 모형 입력자료의 상관분석 결과

		수량	NDVI	일교차	평균온도	누적강우량	누적일사량
상관 계수	수량	1	0.600	0.884	-0.131	-0.703	0.833
	NDVI	0.600	1	0.649	-0.130	-0.307	0.652
	일교차	0.884	0.649	1	-0.302	-0.824	0.816
	평균온도	-0.131	-0.130	-0.302	1	0.118	0.017
	누적강우량	-0.703	-0.307	-0.824	0.118	1	-0.749
	누적일사량	0.833	0.652	0.816	0.017	-0.749	1
유의 확률 (한쪽)	수량		0.033	0.000	0.359	0.012	0.001
	NDVI	0.033		0.021	0.361	0.194	0.020
	일교차	0.000	0.021		0.198	0.002	0.002
	평균온도	0.359	0.361	0.198		0.373	0.482
	누적강우량	0.012	0.194	0.002	0.373		0.006
	누적일사량	0.001	0.020	0.002	0.482	0.006	

표 42. 충청북도 모형 입력자료의 기술통계량

	자료 수	최소값	최대값	평균	표준편차
수량	10	495.000	572.000	535.100	23.769
NDVI	10	0.635	0.741	0.681	0.032
일교차	10	7.677	12.568	9.957	1.683
평균온도	10	19.001	23.927	21.367	1.400
누적강우량	10	10.180	250.200	84.082	83.710
누적일조시간	10	41.600	123.980	83.036	23.679

표 43. 충청북도 모형 입력자료의 상관분석 결과

		수량	NDVI	일교차	평균온도	누적강우량	누적일조시간
상관 계수	수량	1	0.675	0.874	0.034	-0.761	0.908
	NDVI	0.675	1	0.612	0.366	-0.440	0.621
	일교차	0.874	0.612	1	-0.315	-0.846	0.925
	평균온도	0.034	0.366	-0.315	1	0.252	-0.135
	누적강우량	-0.761	-0.440	-0.846	0.252	1	-0.897
	누적일조시간	0.908	0.621	0.925	-0.135	-0.897	1
유의 확률 (한쪽)	수량		0.016	0.000	0.463	0.005	0.000
	NDVI	0.016		0.030	0.149	0.101	0.028
	일교차	0.000	0.030		0.188	0.001	0.000
	평균온도	0.463	0.149	0.188		0.241	0.355
	누적강우량	0.005	0.101	0.001	0.241		0.000
	누적일조시간	0.000	0.028	0.000	0.355	0.000	

## 2.2.2. 다중회귀분석

- 다중회귀분석(multiple regression analysis)은 단순회귀분석의 확장으로 독립변수가 두 개 이상인 회귀모형에 대한 분석이다.
- 단순회귀모형은 하나의 독립변수와 종속변수로 구성된다. 그러나 실제로 대부분의 인과관계구조는 여러 요인들로 복잡하게 얽혀있기 때문에 단일 요인에 의해서 결정되는 현상은 매우 드물다. 따라서 다수의 독립변수를 모형에 포함시키는 다중회귀분석이 필요하다.
- 다중회귀분석의 장점은 오차분산(error variance)을 줄이고 종속변수에 대한 보다 충실한 설명이나 예견이 가능하다는 것이다. 또한 다른 독립변수의 값을 통제된 상태에서 특정 독립변수가 종속변수에 독립적으로 행사하는 영향력을 측정할 수 있다. 따라서 각 독립변수가 종속변수에 미치는 효과의 상대적인 비교를 할 수 있고 보다 정밀한 인과관계 분석이 가능하다.
- 종속변수  $Y$ 를 설명하는데  $k$ 개의 독립변수인  $X_1, X_2, \dots, X_k$ 을 도입할 때 다중회귀모형은 다음과 같이 정의된다.

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + \dots + \beta_k X_{ki} + \epsilon_i \quad i = 1, 2, \dots, n$$

여기서  $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_k$ 는 추정되어야 할 회귀계수들인데  $\beta$ 는 독립변수  $X$ 의 회귀계수(기울기)를 의미한다.  $\epsilon_i$ 은 서로 독립이고 동일한 분포  $N(0, \sigma^2)$ 을 따르는 오차항이다.

- 본 연구에서는 회귀계수에 있어 선형적인 선형다중회귀분석을 적용하기로 한다. 다중회귀모형에서 회귀계수의 추정은 최소자승법에 근거하고 있다. 오차항의 제곱합  $Q$ 는 다음과 같이 표현된다.

$$Q = \sum [Y_i - (\beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \dots + \beta_k X_{ki})]^2$$

- 최소자승법에 의한 회귀계수의 추정은 제곱합  $Q$ 를 각  $\beta_j (j=1, \dots, k)$ 에 대하여 편미분하고 이를 0로 하는 연립방정식을 풀어  $\hat{\beta}_j$ 를 구하는 것이다.

### 2.2.3. 전국 및 도별 논벼 생산량 추정 모형

- 본 연구에서는 다중선형회귀분석을 통한 논벼 생산량 추정 모형 구축을 위해 단계적 변수선택법(Stepwise selection method)을 이용하였으며 분석에 유의한 ( $p < 0.10$ ) 독립변수를 선택하였다.
- 기상자료보다 상대적으로 NDVI와 생산량간의 상관계수가 낮게 나타났기 때문에 변수선택법을 적용할 경우 NDVI가 제거되는 경우가 발생하였다. 그러나 NDVI는 원격탐사를 활용한 쌀 생산량 추정 모형에 반드시 입력되어야 하는 중요한 독립변수이므로 변수선택법에 의해 제거되지 않도록 고정시켜 분석을 수행하였다.
- 모형에 포함된 독립변수가 종속변수를 얼마나 잘 설명하는지 평가하기 위한 척도로 결정계수를 검토하였다. 결정계수( $R^2$ , coefficient of determination)는 0~1 사이의 값을 갖는데 그 값이 1에 가까울수록 모형의 적합도가 높은 것을 의미한다. 수정결정계수( $R_{adj}^2$ , adjusted coefficient of determination)는 독립변수의 추가에 의해 증가되는 결정계수( $R^2$ )의 결점을 보완한 척도이다.
- 다중회귀분석 시 주의해야 할 사항은 잔차분석을 이용하여 기본가정(정규성, 독립성, 등분산성)에 대한 검토를 하고 다중공선성이 존재하는지 확인해야 한다는 것이다. 본 연구에서는 DW 통계량을 이용하여 잔차분석을 수행하고, 분산확대인자(VIF)를 이용하여 공선성이 존재하는지 확인하였다.
- DW 통계량을 이용하여 잔차분석을 수행하는데, 값이 0에 가까우면 인접한 오차항들이 양적 자기상관관계를 갖는 것이고, 2에 가까우면 인접

한 오차항들이 무자기상관임을 뜻하며, 4에 가까우면 인접한 오차항들이 음적 자기상관 관계에 있다는 것을 의미한다.

- 다중공선성을 판단하기 위해 VIF가 가장 많이 사용되는데, VIF 값이 10 이상이면 해당 변수가 다중공선성이 존재하는 것으로 판단하며, 1~10 범위의 값이면 다중공선성이 별 문제가 되지 않는 것으로 판단한다.
- 본 연구에서는 다중선형회귀분석 결과를 결정계수( $R^2$ ) 및 수정결정계수( $R^2_{adj}$ )를 통해 선택된 독립변수가 종속변수를 얼마나 잘 설명하는지 살펴보았다.
- 이와 함께 DW 통계량을 이용한 잔차분석, 분산확대인자(VIF)를 이용한 다중공선성 확인을 통해 모형을 검정하였다.
- 변수선택법을 이용한 행정구역별 다중선형회귀분석 결과는 다음과 같다.

표 44. 전국 입력자료의 다중선형회귀분석 결과

		비표준화 계수		표준화 계수	t	p	VIF
		B	Std.Error	$\beta$			
수량	상수	141.238	127.638		1.107	0.305	
	NDVI	393.954	195.880	0.344	2.011	0.084	1.143
	일교차						
	평균온도						
	누적강우량						
	누적일사량	0.560	0.132	0.725	4.236	0.004	1.143
$R=0.906, R^2=0.821, R_{adj}^2=0.769, F=16.004, p=0.002, DW=1.931$							

표 45. 강원도 입력자료의 다중선형회귀분석 결과

		비표준화 계수		표준화 계수	t	p	VIF
		B	Std.Error	$\beta$			
수량	상수	350.886	109.515		3.204	0.015	
	NDVI	-29.448	157.049	-0.041	-0.188	0.857	1.030
	일교차						
	평균온도						
	누적강우량						
	누적일사량	0.418	0.112	0.823	3.718	0.007	1.030
$R=0.817, R^2=0.667, R_{adj}^2=0.572, F=7.013, p=0.021, DW=2.043$							

표 46. 경기도 입력자료의 다중선형회귀분석 결과

		비표준화 계수		표준화 계수	t	p	VIF
		B	Std.Error	$\beta$			
수량	상수	720.317	177.737		4.053	0.005	
	NDVI	519.649	161.377	0.566	3.220	0.015	1.000
	일교차						
	평균온도	-24.185	6.162	-0.690	-3.925	0.006	1.000
	누적강우량						
	누적일조시간						
$R=0.885, R^2=0.784, R_{adj}^2=0.722, F=12.697, p=0.005, DW=2.221$							

표 47. 경상남도 입력자료의 다중선형회귀분석 결과

		비표준화 계수		표준화 계수	t	p	VIF
		B	Std.Error	$\beta$			
수량	상수	455.447	189.681		2.401	0.047	
	NDVI	165.288	290.435	0.126	0.569	0.587	1.016
	일교차						
	평균온도						
	누적강우량	-0.111	0.031	-0.789	-3.565	0.009	1.016
	누적일사량						
$R=0.814, R^2=0.663, R_{adj}^2=0.566, F=6.880, p=0.022, DW=1.701$							

표 48. 경상북도 입력자료의 다중선형회귀분석 결과

		비표준화 계수		표준화 계수	t	p	VIF
		B	Std.Error	$\beta$			
수량	상수	-45.929	167.807		-0.274	0.792	
	NDVI	666.189	234.058	0.410	2.846	0.025	1.103
	일교차						
	평균온도						
	누적강우량						
	누적일사량	0.675	0.100	0.971	6.732	0.000	1.103
$R=0.932, R^2=0.868, R_{adj}^2=0.830, F=23.010, p=0.001, DW=1.932$							

표 49. 전라남도 입력자료의 다중선형회귀분석 결과

		비표준화 계수		표준화 계수	t	p	VIF
		B	Std.Error	$\beta$			
수량	상수	134.516	170.622		0.788	0.456	
	NDVI	596.759	252.899	0.481	2.360	0.050	1.008
	일교차						
	평균온도						
	누적강우량	-0.089	0.025	-0.736	-3.610	0.009	1.008
	누적일사량						
$R=0.843, R^2=0.711, R_{adj}^2=0.629, F=8.625, p=0.013, DW=1.485$							

표 50. 전라북도 입력자료의 다중선형회귀분석 결과

		비표준화 계수		표준화 계수	t	p	VIF
		B	Std.Error	$\beta$			
수량	상수	319.685	222.335		1.438	0.194	
	NDVI	114.943	347.411	0.094	0.331	0.750	1.274
	일교차	17.495	7.098	0.699	2.465	0.043	1.274
	평균온도						
	누적강우량						
	누적일사량						
$R=0.747, R^2=0.558, R_{adj}^2=0.432, F=4.424, p=0.057, DW=1.316$							

표 51. 충청남도 입력자료의 다중선형회귀분석 결과

		비표준화 계수		표준화 계수	t	p	VIF
		B	Std.Error	$\beta$			
수량	상수	419.509	121.257		3.460	0.011	
	NDVI	39.392	200.942	0.045	0.196	0.850	1.727
	일교차	12.776	3.471	0.854	3.681	0.008	1.727
	평균온도						
	누적강우량						
	누적일사량						
$R=0.884, R^2=0.782, R_{adj}^2=0.719, F=12.542, p=0.005, DW=0.957$							

표 52. 충청북도 입력자료의 다중선형회귀분석 결과

		비표준화 계수		표준화 계수	t	p	VIF
		B	Std.Error	$\beta$			
수량	상수	378.243	86.194		4.388	0.003	
	NDVI	133.010	139.633	0.181	0.953	0.373	1.626
	일교차						
	평균온도						
	누적강우량						
	누적일조시간	0.799	0.191	0.795	4.183	0.004	1.626
$R=0.919, R^2=0.844, R_{adj}^2=0.800, F=18.988, p=0.001, DW=1.116$							

- 앞서 도출한 다중선형회귀분석 결과를 기존 연구 결과와 비교하여 정리하면 다음과 같다.

표 53. 변수선택법을 이용한 다중선형회귀분석 결과 비교

구분	$R$	$R^2$	$R_{adj}^2$	$F$	$p$	$DW$
전국	0.906	0.821	0.769	16.004	0.002	1.931
강원도	0.817	0.667	0.572	7.013	0.021	2.043
경기도	0.885	0.784	0.722	12.697	0.005	2.221
경상남도	0.814	0.663	0.566	6.880	0.022	1.701
경상북도	0.932	0.868	0.830	23.010	0.001	1.932
전라남도	0.843	0.711	0.629	8.625	0.013	1.485
전라북도	0.747	0.558	0.432	4.424	0.057	1.316
충청남도	0.884	0.782	0.719	12.542	0.005	0.957
충청북도	0.919	0.844	0.800	18.988	0.001	1.116

- 전국 모형을 살펴보면 수정결정계수( $R_{adj}^2$ )는 0.769, 유의확률(p)은 0.002, DW 값은 1.931로 나타났다. 이는 회귀모형이 0.01 이하로 통계적으로 유의하며, 70% 이상의 설명력을 갖는 것으로 해석할 수 있다. 또한 DW 값이 2에 가까우므로 잔차 간 자기상관성이 작다고 볼 수 있다. 전체 행정구역에 대해 살펴보면, 전라북도 지역을 제외한 나머지 지역은 유의확률 0.05 이하로 통계적으로 유의하며, 수정결정계수( $R_{adj}^2$ )가 0.566~0.830으로 50% 이상의 설명력을 갖는 것으로 나타났다.
- 각각의 독립변수가 종속변수를 얼마나 잘 설명하고 있는지 살펴보기 위해 회귀모형의 추정계수와 결정계수를 다음과 같이 정리하였다.

표 54. 행정구역별 회귀모형의 추정계수 및 유의확률

구분		상수	NDVI	일교차	평균 온도	누적 강우량	누적 일조시간	누적 일사량	$R^2$
전국	추정계수	141.238	393.954					0.560	0.821
	유의확률	0.305	0.084					0.004	
강원	추정계수	350.886	-29.448					0.418	0.667
	유의확률	0.015	0.857					0.007	
경기	추정계수	720.317	519.649		-24.185				0.784
	유의확률	0.005	0.015		0.006				
경남	추정계수	455.447	165.288			-0.111			0.663
	유의확률	0.047	0.587			0.009			
경북	추정계수	-45.929	666.189					0.675	0.868
	유의확률	0.792	0.025					0.000	
전남	추정계수	134.516	596.759			-0.089			0.711
	유의확률	0.456	0.050			0.009			
전북	추정계수	319.685	114.943	17.495					0.558
	유의확률	0.194	0.750	0.043					
충남	추정계수	419.509	39.392	12.776					0.782
	유의확률	0.011	0.850	0.008					
충북	추정계수	378.243	133.010				0.799		0.844
	유의확률	0.003	0.373				0.004		

- 행정구역별 회귀모형에서 기상자료 중 가장 많이 선택된 독립변수는 누적일사량이다. 이를 통해 일조시간보다는 일사량이 생산량과 상관관계가 높다는 것을 알 수 있다.
- 생산량과 양의 관계로 나타난 독립변수는 NDVI, 일교차, 누적일사량이 있으며, 누적강우량은 생산량과 음의 관계인 것으로 나타났다.

- 강원, 경남, 전북, 충남, 충북지역은 NDVI 유의확률이 0.10 이상으로 나타나 유의하지 않은 변수로 나타났다. 이는 앞서 NDVI와 생산량 간 상관분석을 통해 이미 확인된 바 있으며, 본 연구의 특성 상 NDVI를 변수선택법에 의해 제거하지 않고 독립변수로 고정시켜 회귀분석을 수행하였기 때문에 나타난 결과로 추정된다.
  
- 변수선택법에 의해 NDVI를 제외한 기상자료 독립변수 중 전국, 강원, 경북지역의 회귀모형은 누적일사량이 선택되었고, 경남과 전남지역은 누적강우량이, 전북과 충남지역은 일교차가, 충북지역은 누적일조시간이, 경기도는 평균온도가 선택되었다.

#### 2.2.4. 모형 적용결과 분석

##### 1) 2011년도 모형과 비교

- 본 연구에서 수정한 쌀 생산량 추정 모형을 적용하여 2011년도 쌀 생산량을 추정한 결과와 기존 연구에서 개발한 모형을 적용하여 산출한 추정량을 비교하여 모형 설명력이 어떻게 변화하였는지 검토하였다.
  
- 2011년도 쌀 생산량 추정에 사용한 독립변수 입력값과 생산량 추정 결과는 표 55와 같다.
  
- 현미 기준의 2011년도 쌀 생산량 추정량은 전국이 약 535kg/10a로 추정되었으며, 95% 신뢰수준에서 예측구간은 506~565kg/10a로 계산되었다.
  
- 본 연구에서 추정한 2011년도 쌀 생산량을 통계청에서 발표한 확정치 및 기존 연구 결과와 비교한 자료는 표 56과 같다.

표 55. 2011년도 쌀 생산량 추정 결과

(\*추정량은 현미 기준의 kg/10a, \*예측구간은 단일 케이스에 대한 종속변수의 예측구간)

구분		상수	NDVI	일교차	평균 온도	누적 강우량	누적 일조시간	누적 일사량	*추정량	*예측구간
전국	추정 계수	141.238	393.954					0.560	535	506 ~565
	독립 변수		0.673					230.452		
강원	추정 계수	350.886	-29.448					0.418	507	465 ~549
	독립 변수		0.672					419.923		
경기	추정 계수	720.317	519.649		-24.185				493	456 ~530
	독립 변수		0.655		23.477					
경남	추정 계수	455.447	165.288			-0.111			521	469 ~573
	독립 변수		0.618			330.221				
경북	추정 계수	-45.929	666.189					0.675	545	516 ~573
	독립 변수		0.673					210.56		
전남	추정 계수	134.516	596.759			-0.089			492	452 ~532
	독립 변수		0.651			347.708				
전북	추정 계수	319.685	114.943	17.495					547	489 ~606
	독립 변수		0.704	8.392						
충남	추정 계수	419.509	39.392	12.776					558	526 ~589
	독립 변수		0.68	8.707						
충북	추정 계수	378.243	133.010				0.799		523	496 ~550
	독립 변수		0.657				71.72			

표 56. 2011년도 쌀 생산량 추정 결과 비교

(\*오차(kg/10a)=추정량-확정치, \*비율(%)=도별 오차/확정치\*100)

구분	통계청 확정치	기존 연구 결과			본 연구 결과		
		추정량	*오차	*%	추정량	*오차	*%
전국	533.5	535.1	1.6	0.3	535.4	1.9	0.4
강원도	512.3	495.9	-16.4	-3.2	506.6	-5.7	-1.1
경기도	475.9	490.2	14.3	3.0	492.9	17	3.6
경상남도	530.7	522.2	-8.5	-1.6	520.9	-9.8	-1.8
경상북도	555.4	569.1	13.7	2.5	544.5	-10.9	-2.0
전라남도	513.1	523.3	10.2	2.0	492.1	-21	-4.1
전라북도	563.9	570.7	6.8	1.2	547.4	-16.5	-2.9
충청남도	566.8	567.4	0.6	0.1	557.5	-9.3	-1.6
충청북도	530.1	522.6	-7.5	-1.4	522.9	-7.2	-1.4

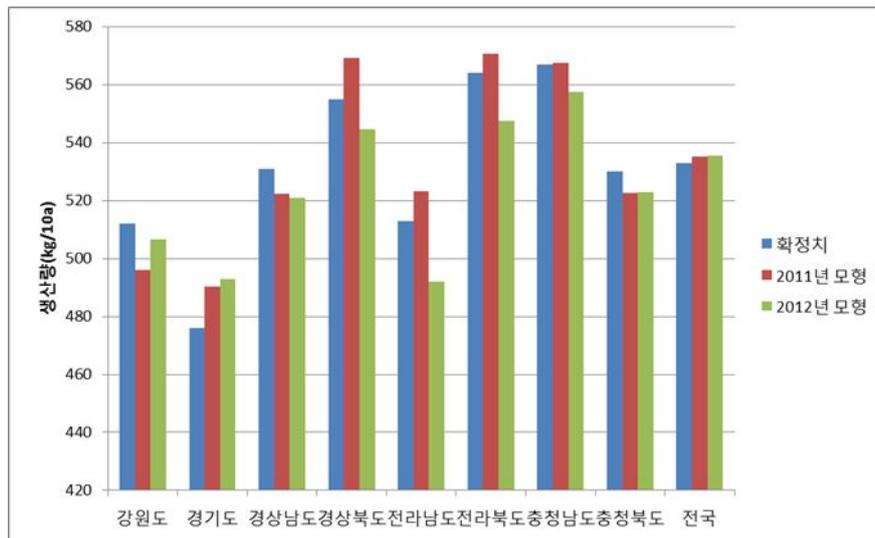


그림 27. 2011년도 쌀 생산량 추정 결과 비교

- 결과를 살펴보면, 통계청 확정치와 비교했을 때 기존 연구의 추정 모형 적용 결과가 본 연구에서 수정한 모형을 적용한 결과보다 추정량 오차가 더 작은 것을 알 수 있다.

- 기존 연구에서 모형 개발 시 사용한 입력자료의 오류(NDVI MVC 및 기상자료 오류)를 수정하였음에도 불구하고 이러한 결과가 나온 원인으로는, 기존 연구에서는 행정구역별 NDVI 평균값과 생산량 간 상관관계가 높게 나오도록 논벼 재배지 격자를 선택하여 사용한 것으로 추정(기존 연구에서 논벼 재배지 격자를 왜 과소 추출하여 사용하였는지 정확한 원인이 언급되어 있지는 않다)되나, 본 연구에서는 토지피복지도를 이용해 산출한 논벼 재배지 격자를 조정하지 않고 그대로 적용했기 때문에 NDVI와 생산량 간 상관관계가 낮게 나타나 모형에 영향을 준 것으로 판단된다.
- 이는 실제 2012년 농진청에서 수행한 연구결과를 살펴보아도 여러 가지 원인으로 인해 NDVI와 생산량 간 상관관계는 낮게 나타나는 것('2.1.3. 모형 입력자료 검토 및 수정' 중 전국 및 도별 MODIS NDVI 평균값과 생산량 간 상관분석 내용 참조)을 확인할 수 있었다.

## 2) 시계열 자료 적용결과 분석

- 특정 연도의 추정 결과만 가지고 어떤 모형의 예측 설명력이 높은지 판단할 수는 없으므로 시계열 자료 분석결과를 살펴보기로 하였다.
- 본 연구에서 수정한 쌀 생산량 추정 모형을 적용하여 2001~2011년 연도별 추정량을 산출한 결과는 다음과 같다.

표 57. 시계열(2001~2011년) 쌀 생산량 추정 결과  
 (\*추정량은 현미 기준의 kg/10a)

구분		전국	강원	경기	경남	경북	전남	전북	충남	충북
'01년	추정량	565.3	533.8	523.8	549.5	558.0	538.9	606.4	600.7	575.9
	확정치	556	529	534	540	552	541	586	595	572
	오차	9.3	4.8	-10.2	9.5	6.0	-2.1	20.4	5.7	3.9
'02년	추정량	514.9	482.6	512.6	490.7	530.1	479.9	542.9	562.4	535.2
	확정치	507	472	518	465	510	474	526	552	533
	오차	7.9	10.6	-5.4	25.7	20.1	5.9	16.9	10.4	2.2
'03년	추정량	507.5	444.6	545.9	499.3	508.2	495.9	527.3	545.4	509.9
	확정치	475	462	483	432	444	475	487	515	476
	오차	32.5	-17.4	62.9	67.3	64.2	20.9	40.3	30.4	33.9
'04년	추정량	526.3	476.7	535.9	511.4	537.1	501.6	554.5	579.6	535.0
	확정치	543	504	527	527	539	524	573	579	539
	오차	-16.7	-27.3	8.9	-15.6	-1.9	-22.4	-18.5	0.6	-4.0
'05년	추정량	521.3	501.6	512.1	515.2	518.3	503.2	553.1	566.4	537.1
	확정치	527	510	522	511	532	507	538	562	525
	오차	-5.7	-8.4	-9.9	4.2	-13.7	-3.8	15.1	4.4	12.1
'06년	추정량	541.2	504.5	539.3	545.2	535.2	513.3	568.1	586.7	538.8
	확정치	529	485	517	515	530	503	559	569	522
	오차	12.2	19.5	22.3	30.2	5.2	10.3	9.1	17.7	16.8
'07년	추정량	500.1	497.1	486.2	492.4	508.4	481.3	542.3	544.2	495.9
	확정치	501	483	499	495	511	461	519	540	495
	오차	-0.9	14.1	-12.8	-2.6	-2.6	20.3	23.3	4.2	0.9
'08년	추정량	550.4	529.1	540.7	545.7	577.9	526.6	581.6	586.6	547.0
	확정치	560	524	549	563	573	521	581	594	555
	오차	-9.6	5.1	-8.3	-17.3	4.9	5.6	0.6	-7.4	-8.0
'09년	추정량	565.6	537.9	537.8	552.4	589.8	534.5	585.2	591.4	551.6
	확정치	574	557	546	561	598	530	620	612	566
	오차	-8.4	-19.1	-8.2	-8.6	-8.2	4.5	-34.8	-20.6	-14.4
'10년	추정량	530.2	493.9	474.9	503.1	545.8	504.1	538.5	538.5	512.2
	확정치	520	488	468	518	545	500	554	544	514
	오차	10.2	5.9	6.9	-14.9	0.8	4.1	-15.5	-5.5	-1.8
'11년	추정량	535.4	506.6	492.9	520.9	544.5	492.1	547.4	557.5	522.9
	확정치	533	512	476	531	555	513	564	567	530
	오차	2.4	-5.4	16.9	-10.1	-10.5	-20.9	-16.6	-9.5	-7.1

○ 연도별 통계청 확정치와 추정량 간의 오차만 정리해보면 다음과 같다.

표 58. 시계열(2001~2011년) 쌀 생산량 추정 오차  
(\*추정량은 현미 기준의 kg/10a)

구분	전국	강원	경기	경남	경북	전남	전북	충남	충북	
2001년	9.3	4.8	-10.2	9.5	6.0	-2.1	20.4	5.7	3.9	
2002년	7.9	10.6	-5.4	25.7	20.1	5.9	16.9	10.4	2.2	
2003년	32.5	-17.4	62.9	67.3	64.2	20.9	40.3	30.4	33.9	
2004년	-16.7	-27.3	8.9	-15.6	-1.9	-22.4	-18.5	0.6	-4.0	
2005년	-5.7	-8.4	-9.9	4.2	-13.7	-3.8	15.1	4.4	12.1	
2006년	12.2	19.5	22.3	30.2	5.2	10.3	9.1	17.7	16.8	
2007년	-0.9	14.1	-12.8	-2.6	-2.6	20.3	23.3	4.2	0.9	
2008년	-9.6	5.1	-8.3	-17.3	4.9	5.6	0.6	-7.4	-8.0	
2009년	-8.4	-19.1	-8.2	-8.6	-8.2	4.5	-34.8	-20.6	-14.4	
2010년	10.2	5.9	6.9	-14.9	0.8	4.1	-15.5	-5.5	-1.8	
2011년	2.4	-5.4	16.9	-10.1	-10.5	-20.9	-16.6	-9.5	-7.1	
평균 오차 (절대값)	전체	10.5	12.5	15.7	18.7	12.5	11.0	19.2	10.6	9.6
	'03년 제외	8.3	12.0	11.0	13.9	7.4	10.0	17.1	8.6	7.1

○ 기존연구 및 본 연구에서 모형 개발 시 오차가 큰 2003년 자료는 제외 (태풍 등의 영향으로 NDVI와 생산량 간 상관관계가 낮게 나타남)하였으므로 2003년 자료를 제외한 10년 동안의 행정구역별 추정량 평균 오차(절대값)를 살펴보았다. 전국 추정량 오차의 평균은 8.3kg/10a로 나타났으며, 평균 오차가 가장 큰 지역은 전북 17.1kg/10a, 가장 작은 지역은 충북 7.1kg/10a인 것으로 나타났다.

## 2.3. 2012년 쌀 생산량 추정

- 본 연구에서 수정한 추정 모형을 적용하여 2012년도 쌀 생산량을 예측하고, 추정치와 2012년도 통계청 확정치를 비교하여 모형의 예측력을 검토하였다.

### 2.3.1. 입력자료

- 2012년도 쌀 생산량 추정을 위한 모형 입력자료로는 2012년 8월 행정구역별 MODIS NDVI 평균값과 2012년 8~9월 행정구역별 등숙기 동안의 기상자료를 사용하였다.

### 2.3.2. 추정결과 분석

- 2012년도 쌀 생산량 추정 모형 및 결과는 아래 표 59와 같다.
- 현미 기준의 2012년도 쌀 생산량 추정량은 전국이 약 529kg/10a로 추정되었으며, 95% 신뢰수준에서 예측구간은 501~557kg/10a로 계산되었다.
- 본 연구에서 추정한 2012년도 쌀 생산량을 통계청에서 발표한 확정치 및 기존 연구에서 개발한 모형 적용 결과와 비교한 결과는 표 60과 같다.

표 59. 2012년도 쌀 생산량 추정 결과

(\*추정량은 현미 기준의 kg/10a, \*예측구간은 단일 케이스에 대한 종속변수의 예측구간)

구분		상수	NDVI	일교차	평균 온도	누적 강우량	누적 일조시간	누적 일사량	*추정량	*예측구간
전국	추정 계수	141.238	393.954					0.560	529	501 ~557
	독립 변수		0.689					207.472		
강원	추정 계수	350.886	-29.448					0.418	477	431 ~524
	독립 변수		0.655					348.513		
경기	추정 계수	720.317	519.649		-24.185				500	463 ~537
	독립 변수		0.654		23.164					
경남	추정 계수	455.447	165.288			-0.111			507	455 ~558
	독립 변수		0.663			526.5				
경북	추정 계수	-45.929	666.189					0.675	542	513 ~571
	독립 변수		0.669					211.385		
전남	추정 계수	134.516	596.759			-0.089			489	447 ~530
	독립 변수		0.689			638.615				
전북	추정 계수	319.685	114.943	17.495					538	476 ~600
	독립 변수		0.711	7.803						
충남	추정 계수	419.509	39.392	12.776					532	492 ~571
	독립 변수		0.695	6.64						
충북	추정 계수	378.243	133.010				0.799		521	494 ~548
	독립 변수		0.675				66.2			

표 60. 2012년도 쌀 생산량 추정 결과 비교

(\*오차(kg/10a)=추정량-확정치, \*비율(%)=도별 오차/확정치\*100)

구분	통계청 확정치	기존 연구 결과			본 연구 결과		
		추정량	*오차	*%	추정량	*오차	*%
전국	508.7	540.7	32.0	5.9	528.9	20.2	3.8
강원도	506.7	487	-19.7	-4.0	477.3	-29.4	-6.2
경기도	499	500	1.0	0.2	499.9	0.9	0.2
경상남도	519.1	501.3	-17.8	-3.6	506.6	-12.5	-2.5
경상북도	544.5	509.3	-35.2	-6.9	542.4	-2.1	-0.4
전라남도	437.2	488.4	51.2	10.5	488.8	51.6	10.6
전라북도	514	551.8	37.8	6.9	537.9	23.9	4.4
충청남도	551	562.9	11.9	2.1	531.7	-19.3	-3.6
충청북도	529.5	521	-8.5	-1.6	520.9	-8.6	-1.7

- 생산량 확정치와 비교한 결과, 경기도, 경상북도, 충청북도 지역을 제외한 모든 지역의 추정량 오차가 10kg/10a 이상으로 다소 크게 나타났으며, 특히 전라남도의 추정량 오차가 51.6kg/10a로 가장 큰 것으로 나타났다.
- 2011년 추정모형을 적용할 경우 전국단위 추정량 오차는 32.0kg/10a, 추정량 오차(절대값) 평균은 23.9kg/10a로 나타났으며, 본 연구에서 수정한 추정모형을 적용할 경우 전국단위 추정량 오차는 20.2kg/10a, 추정량 오차(절대값) 평균은 18.7kg/10a로 나타났다.
- 따라서 2012년도 쌀 생산량 추정 결과는 본 연구에서 수정한 생산량 추정 모형의 예측력이 기존 모형보다 높게 나타난 것을 알 수 있다.

- 2011년도에 비해 2012년의 쌀 생산량 추정량 오차가 다소 크게 나타나는데, 이는 올해 8월 말 태풍(볼라벤, 덴빈)의 영향으로 생산량이 감소했기 때문인 것으로 추정된다.
- 과거 시계열 자료를 분석한 결과(2001~2011년 동안의 연도별 쌀 생산량 추정치와 확정치를 비교하여 추정량 오차를 확인), 2003년도와 2012년도의 추정량 오차가 가장 크게 나타나는 것을 확인할 수 있는데, 이는 대형 태풍이 발생한 시기이기 때문인 것으로 추정된다. (2003년 8월 초 태풍 매미 발생, 2012년 8월 말 태풍 볼라벤, 덴빈 발생)

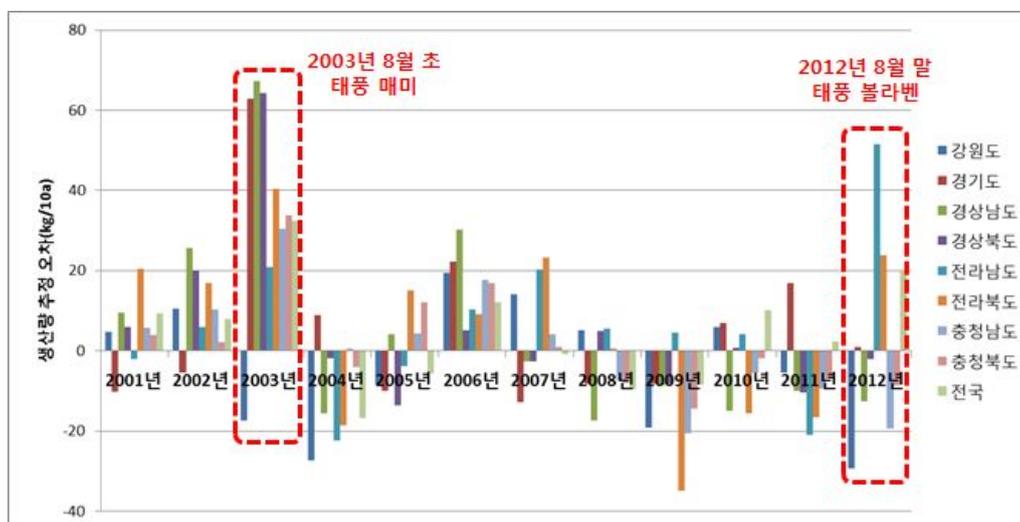


그림 28. 연도별(2001~2012년) 생산량 추정 오차 비교

- 추정량 오차가 크게 나타나는 2003년과 2012년의 오차원인을 분석한 결과, 등숙기 기간 내 대형 태풍의 발생으로 인해 생산량이 감소되었기 때문인 것으로 추정된다.
- 2003년의 경우 도별 추정량 오차(절대값) 평균은 약 42kg/10a인 것으로 나타났으며, 경남 및 경북지역의 오차가 가장 크게 나타나는데, 이는

2003년 8월 초 태풍 매미의 진로방향과 일치하는 것을 알 수 있다.

- 2012년의 경우 도별 추정량 오차(절대값) 평균은 2003년과 동일하게 약 42kg/10a인 것으로 나타났으며, 전남 및 전북지역의 오차가 가장 크게 나타나는데, 이는 2012년 8월 말 태풍 블라벤의 진로방향과 일치한다.

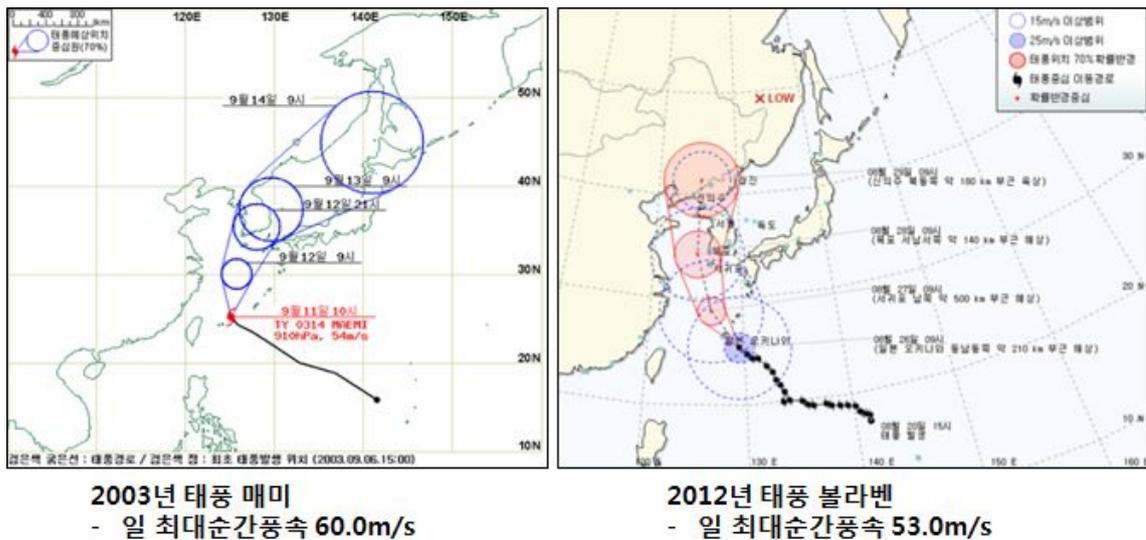


그림 29. 2003년 태풍 매미 및 2012년 태풍 블라벤의 진로방향

- 이와 같은 결과 분석을 통해, 자연재해(태풍 등)의 영향이 쌀 생산량 추정에 많은 영향을 미치며, 이를 반영할 수 있는 모형의 개발(예를 들면 태풍의 경우 풍속 등의 변수를 고려)이 필요함을 알 수 있다.

## 2.4. 천리안위성(GOCI)의 식생지수 활용 가능성 검토

### 2.4.1. 천리안위성과 Terra/Aqua위성 제원 및 특성 비교

#### 1) 천리안위성의 GOCI 센서

- GOCI(Geostationary Ocean Color Imager)는 2010년 6월에 발사된 천리안위성의 세 가지 탑재체(기상, 해양, 통신 탑재체) 중 하나로, 한반도를 중심으로 2500×2500km 영역을 500m 해상도로 하루에 8번씩 촬영하는 세계 최초의 정지궤도 해양관측탑재체이며 운용기간은 7.7년(예정)이다.

채널	중심파장	파장대역폭	신호대잡음비(SNR)	관측
B1	412nm	20nm	1077	황색물질과 탁도
B2	443nm	20nm	1199	클로로필 흡광 최대치
B3	490nm	20nm	1316	클로로필과 다른 색소
B4	555nm	20nm	1223	탁도, 부유물질
B5	660nm	20nm	1192	형광신호, 클로로필, 부유물질
B6	680nm	10nm	1093	대기보정, 형광신호
B7	745nm	20nm	1107	대기보정과 형광신호 산출에 사용
B8	865nm	40nm	1009	에어로졸의 광학적 두께, 식생지수, 해상의 수증기량 계산에 활용

그림 30. GOCI 분광해상도

- GOCI 자료는 해양위성센터의 웹 검색 다운로드 및 유관기관 배포 시스템을 통해 취득할 수 있다. 웹 검색 다운로드는 해양위성센터 홈페이지 내 '해양위성영상 검색 및 다운로드' 메뉴를 이용하는 방법이다. 유관기관 배포 시스템은 FTP push 방법을 이용한 준 실시간 배포 방식 시스템으로, 24시간 운영되는 FTP 서버를 통해 준실시간으로 위성영상 자료 수신이 가능하다.



GOCI 영상 웹 배포



GOCI 영상 유관기관 배포

그림 31. GOCI 자료 취득 방법

**2) Terra/Aqua위성의 MODIS 센서**

○ MODIS(MODERate-resolution Imaging Spectroradiometer)는 미국 NASA에서 개발한 Terra(EOS-AM)와 Aqua(EOS-PM) 위성에 탑재된 센서로, 두 개의 위성을 이용해 이틀마다 전 지구를 커버하여 촬영한다. 1999년 12월에는 Terra 위성에, 2002년 5월에는 Aqua 위성에 탑재되어 발사되었다. Terra는 육상 및 대기관측에, Aqua는 해양관측을 목적으로 개발되었다. 36개의 채널이 있으며 250m(bands 1-2), 500m(bands 3-7), 1km(bands 8-36)의 해상도를 가지고 있다.

○ MODIS 자료는 전 세계적으로 직접 수신 받는 곳이 많으며, NASA 홈페이지를 통해 누구나 다운로드 가능하다.

Primary Use	Band	Bandwidth <sup>1</sup>	Spectral Radiance <sup>2</sup>	Required SNR <sup>3</sup>
Land/Cloud/Aerosols Boundaries	1	620 - 670	21.8	128
	2	841 - 876	24.7	201
Land/Cloud/Aerosols Properties	3	459 - 479	35.3	243
	4	545 - 565	29.0	228
	5	1230 - 1250	5.4	74
	6	1628 - 1652	7.3	275
	7	2105 - 2155	1.0	110
Ocean Color/ Phytoplankton/ Biogeochemistry	8	405 - 420	44.9	880
	9	438 - 448	41.9	838
	10	483 - 493	32.1	802
	11	526 - 536	27.9	754
	12	546 - 556	21.0	750
	13	662 - 672	9.5	910
	14	673 - 683	8.7	1087
	15	743 - 753	10.2	586
Atmospheric Water Vapor	16	862 - 877	6.2	516
	17	890 - 920	10.0	167
	18	931 - 941	3.6	57
Surface/Cloud Temperature	19	915 - 965	15.0	250
	20	3.660 - 3.840	0.45(300K)	0.05
	21	3.929 - 3.989	2.38(335K)	2.00
	22	3.929 - 3.989	0.67(300K)	0.07
Atmospheric Temperature	23	4.020 - 4.080	0.79(300K)	0.07
	24	4.433 - 4.498	0.17(250K)	0.25
Cirrus Clouds Water Vapor	25	4.482 - 4.549	0.59(275K)	0.25
	26	1.360 - 1.390	6.00	150(SNR)
	27	6.535 - 6.895	1.16(240K)	0.25
Cloud Properties	28	7.175 - 7.475	2.18(250K)	0.25
	29	8.400 - 8.700	9.58(300K)	0.05
Ozone	30	9.580 - 9.880	3.69(250K)	0.25
	31	10.780 - 11.280	9.55(300K)	0.05
Surface/Cloud Temperature	32	11.770 - 12.270	8.94(300K)	0.05
	33	13.185 - 13.485	4.52(260K)	0.25
Cloud Top Altitude	34	13.485 - 13.785	3.76(250K)	0.25
	35	13.785 - 14.085	3.11(240K)	0.25
	36	14.085 - 14.385	2.08(220K)	0.35

그림 32. MODIS 분광해상도

### 3) GOCI 및 MODIS 비교

- GOCI 영상은 하루에 우리나라를 8번 촬영하므로 보다 많은 자료를 일정하게 획득할 수 있다는 장점이 있으나, 육상부문의 검보정 작업이 수행되지 않아 신뢰할 수 있는 NDVI 값 추출을 위한 연구가 필요하며, MODIS 영상보다 공간해상도가 낮다.
  
- MODIS 영상은 육상뿐 아니라 대기, 해양 등 여러 관련 분야에서 많은 연구가 진행되었고 현재까지 안정적으로 자료를 배포하고 있는 점이 장점이다.

표 61. MODIS 영상과 GOCI 영상의 제원비교

구분	GOCI	MODIS
공간해상도	500m	250m
시간해상도	1일 8회 촬영	1 - 2일
분광해상도 (Red 및 NIR 대역)	Band5: 660nm, Band6: 680nm Band7: 745nm, Band8: 865nm	Band1: 620 - 670nm Band2: 841 - 876nm
촬영영역 (Swath Dimensions)	2500km x 2500km	2330km x 10km

## 2.4.2. GOCI NDVI 추출

### 1) GOCI 영상수집

- 쌀 생산량 추정 모형에 적용하여 MODIS NDVI를 적용한 결과와 비교 분석하기 위해 2011년 8월 및 2012년 8월에 촬영된 영상을 수집하였다.

- 자료는 Level 1B로 1일 8회 촬영분(9시~16시, 매 1시간 단위)을 모두 수집하였다. 따라서 수집한 GOCI 영상의 총 자료 수는 496장(2개월 x 31일 x 8회)이다.

산 출 물	산출 S/W	설 명	용량(1회)	배포
GOCI RAW	위성 수신 후	위성에서 패킷 형태로 수신된 자료	769MB	×
GOCI L0	IMPS/DM	슬롯별 영상을 구분하여 저장한 데이터 + 암흑보정자료	634MB	×
GOCI L1A	IMPS/PMM	IRCM에서 복사 보정된 자료	994MB	×
GOCI INRSM input file	IMPS/PMM	INRSM 입력자료 L1A와 비슷함	994MB	×
GOCI INRSM output file	IMPS/INRSM	INRSM 출력자료, 기하보정 완료된 전체영상자료	994MB	×
GOCI L1B	IMPS/PMM	기하보정 완료된 영상자료에 필요한 헤더를 추가한 자료	~994MB	○
GOCI L1B region	GDPS/GOCI Regional Data Generation Module	L1B를 미리 정의된 영역별로 분할한 자료	994MB~	○
GOCI L2	GDPS/L2 Generation Module	알고리즘 분석된 자료	~3500MB	○
GOCI L2 region	GDPS/GOCI Regional Data Generation Module	L2를 영역별로 구분한 자료	~3500MB	○
GOCI L2 LRIT	GDPS/Sample Image Generation Module	L2를 LRIT로 배포하기 위해 작게 만든 자료	10MB	○
GOCI L1B/L2 Browsing image	GDPS/Browsing Image Generation Module	L1B/L2 사용자의 선택시 정보제공을 위한 검색 가능한 크기의 자료(150*150, 500*500)	40KB 1MB	○

그림 33. GOCI 자료 산출물

## 2) NDVI 추출 및 보정

- 처리해야 할 자료량이 많기 때문에 본 연구에서는 GOCI 영상의 NDVI 추출 및 보정(MVC 적용)을 위한 프로그램을 개발하였다. 프로그램의 기능은 GOCI 파일형식 변환(hdf-eos5 → raw file), 구름 마스크(Cloud masking), NDVI 산출 및 보정(MVC)이다.

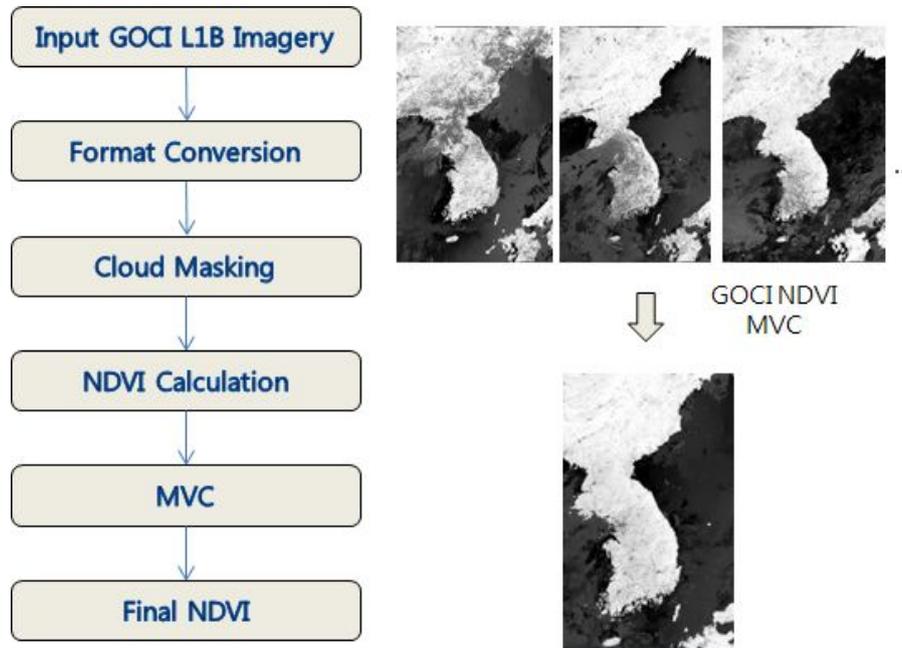


그림 34. GOCI NDVI 추출 프로그램

### 3) MODIS NDVI와 비교분석

- 쌀 생산량 추정 모형에 활용가능할지 검토하기 위하여 본 연구에서 개발한 프로그램을 이용하여 산출한 GOCI NDVI와 동일 지역의 MODIS NDVI를 비교분석해보았다.
- 2011년과 2012년 8월 영상의 MODIS NDVI와 대기보정 전 GOCI NDVI를 비교한 결과, NDVI값 자체는 MODIS 보다 작게 산출되지만 MODIS NDVI와 상관관계가 높은 것으로 나타났다. 따라서 대기보정 후 GOCI NDVI를 사용한다면 MODIS NDVI를 대체하여 쌀 생산량 추정모형에 적용할 수 있을 것으로 판단된다.
- GOCI NDVI 활용의 장점은, 국내 위성인 천리안 위성의 자료수급이 용이하며 1일 8회 촬영으로 시간해상도가 높다는 것이다.

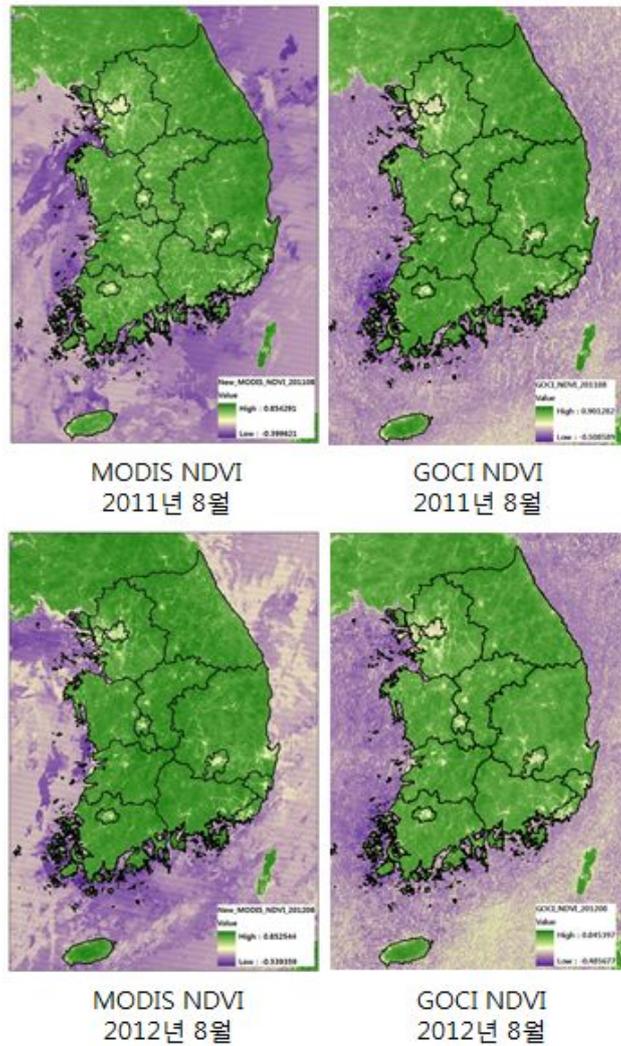


그림 35. MODIS와 GOCI의 NDVI 비교

- 2011년 및 2012년 8월의 MODIS NDVI와 GOCI NDVI의 상관관계를 그래프로 나타내면 다음과 같다.

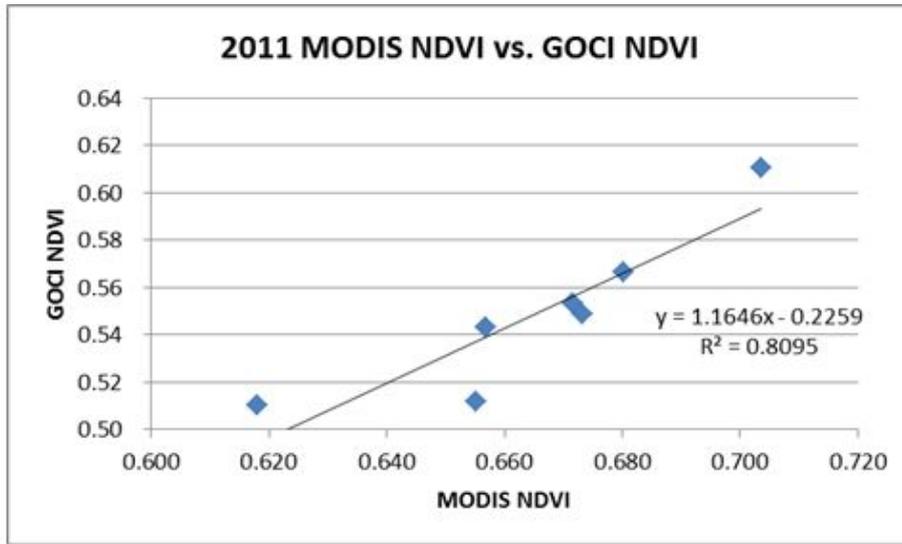


그림 36. 2011년 MODIS 및 GOCI NDVI 도별 평균값 비교

- 에러값으로 추정되는 전라남도 GOCI NDVI 평균값을 제외하고 총 14개 자료를 이용하여 분석한 결과, 결정계수( $R^2$ )이 0.8095로 MODIS NDVI와 GOCI NDVI 간 상관관계가 높은 것으로 나타났다.

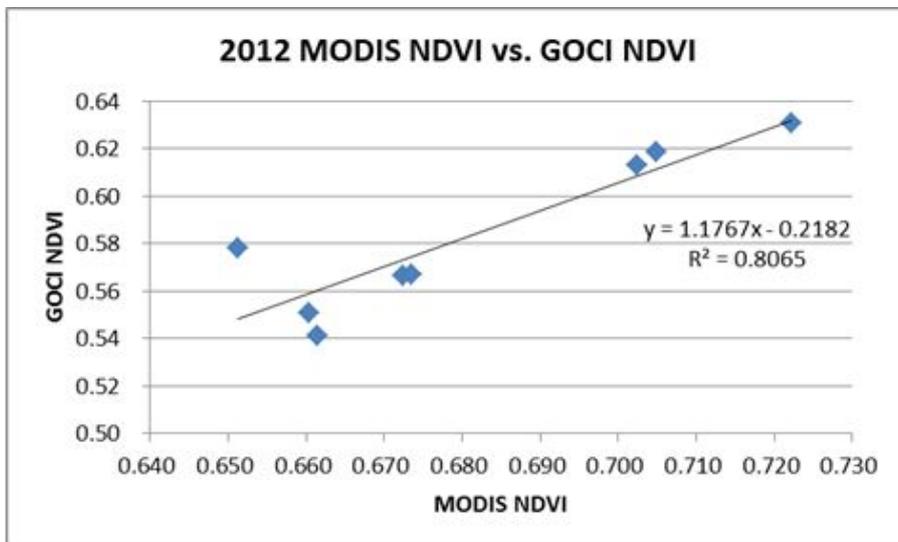
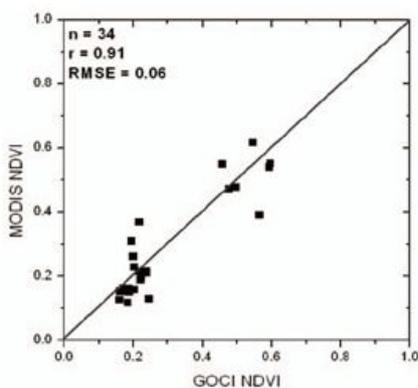
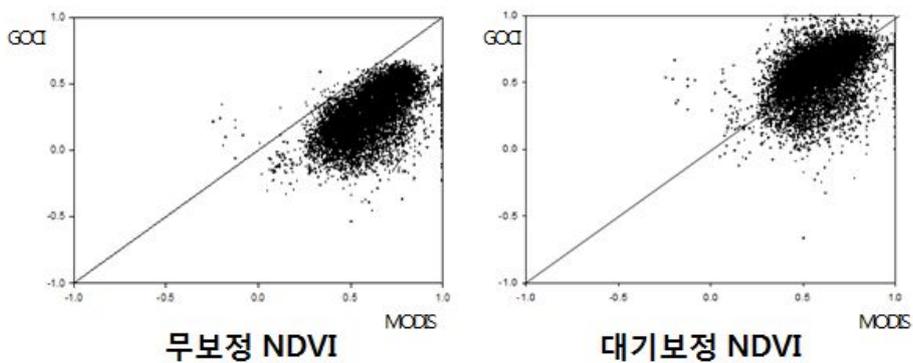


그림 37. 2012년 MODIS 및 GOCI NDVI 도별 평균값 비교

- 2012년 자료는 전체 총 16개 자료를 이용하여 분석하였으며, 그 결과 결정계수( $R^2$ )이 0.8065로 나타났다. 2011년 자료와 마찬가지로 두 자료 간 상관관계가 높은 것으로 분석되었다.
- 이규성(2012)과 염종민(2012)의 연구결과를 살펴보면, GOCI NDVI와 MODIS NDVI는 상관관계가 높은 것으로 나타났으며, 대기보정 전의 GOCI NDVI는 MODIS NDVI보다 대체적으로 값이 작게 나타나는 것을 알 수 있었다. 이는 본 연구에서 분석한 결과와 일치한다.



\* Radiometric Characteristics of Geostationary Ocean Color Imager (GOCI) for Land Applications (이규성, 2012) 참조



\* GOCI 영상자료를 이용한 지표 식생활용에 관한 연구(염종민, 2012) 참조

그림 38. MODIS 및 GOCI NDVI 비교분석 관련 연구자료

### 2.4.3. 쌀 생산량 추정결과 비교

- MODIS NDVI를 이용한 쌀 생산량 추정치와 GOCI NDVI를 이용하여 추정한 결과를 비교하여 GOCI NDVI를 이용한 쌀 생산량 추정 활용가능성을 검토하였다.

표 62. MODIS와 GOCI NDVI를 이용한 2011년도 쌀 생산량 추정 결과 비교

(\*추정량차이=GOCI추정량 - MODIS추정량, kg/10a)

구분	통계청 확정치	MODIS NDVI	GOCI NDVI	*추정량 차이
전국	533	535.4	489.3	-46.1
강원도	512	506.6	510.1	3.5
경기도	476	492.9	418.6	-74.3
경상남도	531	520.9	503.1	-17.8
경상북도	555	544.5	461.9	-82.6
전라남도	513	492.1	462.2	-29.9
전라북도	564	547.4	536.7	-10.7
충청남도	567	557.5	553.1	-4.4
충청북도	530	522.9	507.8	-15.1

표 63. MODIS와 GOCI NDVI를 이용한 2012년도 쌀 생산량 추정 결과 비교

(\*추정량차이=GOCI추정량 - MODIS추정량, kg/10a)

구분	통계청 확정치	MODIS NDVI	GOCI NDVI	*추정량 차이
전국	508.7	528.9	487.1	-41.8
강원도	506.7	477.3	479.5	2.2
경기도	499	499.9	446.4	-53.5
경상남도	519.1	506.6	486.4	-20.2
경상북도	544.5	542.4	473.8	-68.6
전라남도	437.2	488.8	447.1	-41.7
전라북도	514	537.9	528.7	-9.2
충청남도	551	531.7	528.5	-3.2
충청북도	529.5	520.9	506.6	-14.3

- 강원도를 제외한 지역 모두 MODIS NDVI를 이용한 추정량보다 GOCI NDVI를 이용한 추정량이 작게 나타났다. 이는 본 연구에서 대기보정 전의 GOCI NDVI를 사용했기 때문에 MODIS NDVI 보다 대체적으로 값이 낮게 산출되었기 때문이다. 추후 대기보정 후의 GOCI NDVI를 이용한다면 MODIS NDVI와 함께 쌀 생산량 추정 모형에 충분히 활용 할 수 있을 것으로 판단된다.

## 2.5. 소결론

### 1) 쌀 생산량 추정 모형 개선

- 본 연구에서는 모형 입력자료 수정 및 보완을 통해 2011년도 쌀 생산량 추정 모형을 다음과 같이 개선하였다.

#### - MODIS NDVI 자료 수정

- 2002년 MODIS NDVI 자료가 보정되어 있지 않은 오류 확인  
→ NDVI 재산출 및 MVC를 적용한 NDVI 자료 보정  
→ 2002년 자료 뿐만 아니라 2001~2011년 전체 MODIS 영상의 NDVI를 재산출한 후 MVC를 적용함

#### - 논벼 재배지 격자 자료 수정

- 토지피복지도 자료의 분류정확도 오류 확인  
→ 가장 최근 제작(수정)된 환경부 토지피복지도 자료로 대체
- 논벼 재배지 격자가 과소 추출되어 있는 오류 확인  
→ 전국단위격자 1개 내 포함되는 토지피복지도 화소가 100% 논인 지역을 모두 논벼 재배지 격자로 재산출

#### - 기상자료 수정

- 기상자료 입력 오류 확인  
→ 남원(247)관측소 자료에 춘천(101)관측소 자료가 잘못 입력되어 있는 오류 확인 후 해당 관측소 자료를 수정함
- 기상자료 계산 오류 확인

→ 각 행정구역별 등숙기 동안의 일교차, 평균온도, 누적일조시간, 누적강우량 기상자료 검산을 통해 계산 오차를 확인함

- 기상자료 보완

→ 기존 57개 관측소에 신규 21개 관측소 자료를 추가하여 특별시 및 광역시를 제외한 전국 78개 관측소 자료를 활용함

→ 기존연구에서 사용한 기상자료 독립변수인 일교차, 평균온도, 누적강우량, 누적일조시간에 누적일사량 자료를 새롭게 추가하여 모형을 개선함

- 등숙기 재선정

- 기상자료 오류를 수정한 자료를 이용한 등숙기 재선정의 필요성

→ 8~9월을 15일, 30일, 45일, 60일 간격으로 나누어 총 10개 기간에 대한 지역별 기상자료 평균치(일교차, 평균온도, 누적강우량, 누적일조시간, 누적일사량)와 생산량 간의 상관분석을 통해 평균 결정계수( $R^2$ )가 높은 기간을 해당 지역의 등숙기로 선정함

## 2) 2012년 쌀 생산량 추정

○ 전국이 528.9kg/10a로 추정되었으며, 95% 신뢰수준에서 예측구간은 501~557kg/10a로 계산되었다.

○ 통계청에서 발표한 생산량 조사(확정치) 결과와의 오차는 20.2kg/10a로 나타났다.

○ 통계청 자료와의 오차가 가장 크게 추정된 지역은 전라남도로 51.6kg/10a 많은 것으로 추정되었으며, 통계청 자료와 가장 비슷하게

추정된 지역은 경기도로 0.9kg/10a 많게 추정되었다.

- 기존연구(2011년)의 추정 모형을 적용한 결과는 전국이 540.7kg/10a로 추정되었으며, 통계청 조사 결과와의 오차는 32.0kg/10a로 나타났다.
- 본 연구에서 수정한 모형을 적용한 추정량 오차(절대값)의 평균은 18.7kg/10a, 기존연구(2011년)의 모형을 적용한 추정량 오차(절대값)의 평균은 23.9kg/10a로 나타났다.
- 2011년도에 비해 2012년의 쌀 생산량 추정 오차가 크게 나타나는 원인으로서는 8월 말 발생한 대형 태풍 블라벤의 영향으로 생산량이 감소했기 때문인 것으로 추정된다.
- 지금까지 개발된 쌀 생산량 추정 모형(통계청, 농촌진흥청 등)은 태풍 등의 자연재해 영향을 반영하고 있지 않기 때문에, 향후 이를 반영할 수 있는 모형(예를 들면 태풍의 경우 풍속 등의 변수 고려)의 개발이 필요하다.

### 3) 천리안위성(GOCI) 식생지수 활용 가능성 검토

- 2011년 8월과 2012년 8월의 MODIS NDVI와 GOCI NDVI 값을 비교분석한 결과, 결정계수( $R^2$ )가 각각 0.8095, 0.8065로 두 자료 간 상관관계가 높은 것으로 나타났다.
- MODIS NDVI와 GOCI NDVI를 이용한 전국단위 2012년도 쌀 생산량 추정량은 각각 528.9kg/10a, 487.1kg/10a로 두 추정량간의 차이는 41.8kg/10a로 GOCI NDVI를 이용할 경우 더 적게 나오는 것으로 나타

났다.

- 이는 본 연구에서 대기보정 전의 GOCI NDVI를 사용했기 때문이다. 대기보정 전의 GOCI NDVI는 MODIS NDVI 보다 대체적으로 값이 낮게 산출된다.
  
- 추후 대기보정 후의 GOCI NDVI를 이용한다면 MODIS NDVI와 함께 쌀 생산량 추정 모형에 충분히 활용 가능할 것으로 판단된다.

## 제3장 외부기관 연구 성과를 활용한 통계청 실용화 방안 연구

### 3.1. 외부기관의 농업분야 원격탐사 활용 연구 결과 검토

#### 3.1.1. 국내외 연구사례

- 농업분야에서는 농작물 분류 및 구분, 농업 토양 분석, 농업기상분석, 농업재해 분석, 작황예측 등에 위성영상을 활용하고 있다.
- 주로 Landsat, RADARSAT 등 중저해상도 위성영상을 이용하여 작황상태를 분석하거나 농업재해를 측정하고 있다.
- Landsat 영상 등을 활용한 연구로는 벼 재배면적 추정, 벼 생육 주제도 작성, 벼 침수지역 파악, 지표면피복분류, 변화 탐지 등이 있다.
- 본 연구에서는 농업분야의 원격탐사 활용 국내외 연구사례를 다음과 같이 연도별로 살펴보았다.
- 홍석영 등(1999)은 두 시기(이앙기와 출수기)의 Landsat TM 자료를 이용하여 벼 재배면적을 추정하였다.
- 홍석영 등(2000)은 시계열 RADARSAT-1 영상을 이용하여 벼 재배면적을 분류하고 이를 Landsat TM 영상을 이용하여 획득한 결과와 비교분석하였다.

- 김정현 등(2001)은 KOMSAT EOC 영상을 이용하여 북한의 토지피복 특성을 파악하고 EOC 영상으로 판독 가능한 북한 토지피복의 판독 특성 기준을 제시하였다.
  
- 박남옥(2002)은 Landsat 영상을 이용하여 북한의 옥수수 재배지역의 특성분석과 옥수수 재배지역의 분류에 적합한 영상획득 시기를 선정하고, 옥수수 재배면적 추정을 위한 영상처리 기법을 제안하였다.
  
- 사공호상 등(2004)은 IKONOS 영상과 같은 고해상도 위성영상을 이용한 북한지역의 지리정보 획득 방안을 모색하였다.
  
- 사공호상 등(2005)은 SPOT-5 영상을 이용하여 북한지역의 지리정보를 구축하는 방법을 모색하고 실험연구를 통해 가능성을 확인하였다.
  
- 박노옥 등(2005)은 구름과 같은 기상 상태의 제약없이 자료 획득이 가능한 SAR 영상을 이용한 토지피복특성을 구분하기 위해, RADARSAT-1 과 ENVISAT 자료를 이용하여 영상분류를 수행하고 분류 정확도를 비교하였다.
  
- 갑수현 (2005)은 한반도의 다중시기 NDVI와 이에 기반을 둔 가뭄 지수들을 사용하여 가뭄 모니터링을 시도하였다. 10년(1994~2003년) 동안의 NOAA AVHRR NDVI 및 88개 기상관측소의 월 강수량 자료를 사용하여 가뭄지수와 상관을 분석하였다.

- 염종민 등(2005)은 한반도 지역의 MODIS 반사도 자료(250m)를 이용하여 구름 화소 제거, 기하보정, 지표 이방성 효과보정 등을 통한 노이즈 제거를 통해 보다 정확한 반사도 값에 대한 데이터베이스를 제공하기 위한 연구를 수행하였다.
- 김도형 등(2006)은 북한지역의 자연환경 요소 판별에 적합한 인공위성 영상의 분류 방법을 연구하고 이를 통해 북한의 자연환경 요소를 분석하기 위한 연구를 수행하였다. 계절적 영향을 최소화하여 보다 정확한 분류를 수행하기 위해 다중시기 MODIS 영상을 이용해 무감독분류 기법을 적용하여 분류영상을 작성하고 연도별 분류영상을 통해 북한지역의 자연 환경 변화 양상을 분석하였다.
- 박노욱 등(2006)은 C밴드 SAR 자료이면서 서로 다른 편광상태의 자료를 제공할 수 있는 다중시기 RADARSAT-1 자료와 ENVISAT ASAR 자료를 이용하여 충남 예당평야 일대의 토지피복 분류를 수행 하였다.
- 염종민 등(2006)은 다중 다항회귀식을 이용하여 MODIS 영상의 정규식생지수 시계열 자료 산출 시 발생하는 노이즈를 제거하였다.
- Su-young Cha 등(2007)은 웹을 통해 제공되고 있는 북한지역의 구글어스 영상의 활용가능성을 조사하기 위해 NDVI 영상을 무감독분류(ISODATA) 기법을 이용해 분류한 후 결과를 분석하였다.
- Yi-Shiang Shiu 등(2007)은 Landsat 영상의 식생지수(Vegetation Index)를 산출하여 벼 성장계수와의 관계를 분석 하였다.

- 김창환(2007)은 지리정보시스템(GIS)이 북한에서는 어떻게 활용되고 있는지 남한의 현황과 비교 분석하기 위해 북한의 지리정보 관련 연구 논문을 조사하고 주제별로 분류하였다.
- 권오복 등(2007)은 위성정보의 농업관측 활용 타당성 분석을 위해 국내의 활용사례 및 기술수준을 조사하였다.
- 장민원 등(2008)은 북한 전역의 가뭄 상태를 평가하기 위하여 다양한 식생지수를 활용한 방안을 제시하였다. 특히 MODIS 영상으로부터 가뭄지수를 결정하고 기존 가뭄지수들과 북한에서의 가뭄 기록 등과 비교하여 적절한 가뭄 모니터링 방안을 설계하였다.
- 염종민 등(2008)은 SPOT 영상을 이용하여 현장관측이 불가능한 북한 지역에 대한 NDVI 산출을 통해 1999년부터 2005년까지 7년간의 지표 상태 모니터링을 수행하였다.
- 이창석 등(2008)은 GOCI 영상의 반사도 산출을 위한 전처리(대기, 지리 보정, 구름제거) 및 양방향성분포함수(BRDF) 모델링을 수행하여 산출된 Red 채널과 NIR 채널의 반사도를 이용해 정규화 식생지수(NDVI)를 산출하였다.
- 홍석영 등(2008)은 위성영상을 이용한 북한의 농업환경 분석을 위해 Landsat TM 영상을 이용한 북한의 지형과 토지피복분류를 수행한 후 행정구역별로 면적을 산정하고 토지현황과 특성을 파악하였다.

- 홍석영 등(2009)은 농촌진흥청에서 작성한 북한의 토지피복분류도를 이용하여 관심지역을 설정한 후 2000~2007년 수잉기 MODIS 영상의 NDVI 값과 벼 수량에 대해 회귀분석( $R^2=0.591$ )을 통해 산출한 회귀식을 이용하여 2009년 북한의 벼 수량을 예측하였다.
  
- 차수영 등(2009)은 MODIS 영상을 이용하여 북한 고원지대 산림 식생의 시계열 및 생물계절적인 변화를 정량적으로 분석하여 북한지역의 산림 식생라이브러리 작성 및 통일을 대비한 북한 자연환경계획 수립을 위한 기초 베이스 맵을 작성하였다.
  
- 박진기 등(2010)은 KOMPSAT-2 영상을 이용하여 벼의 생육을 진단할 수 있는 방법에 대하여 검토 하였다. 식생지수 및 Tasseled Cap Model을 적용하여 논벼의 생육단계를 평가하였으며, 벼의 식생 상태는 휴대용 분광복사계를 이용하여 현장 실측한 데이터를 참조자료로 사용하였다.
  
- 김은숙 등(2010)은 산림황폐지가 대규모로 발견되고 있는 북한 혜산 지역에 대해 산림복구사업을 계획할 수 있는 잠재적 대상지를 추출하기 위해 고해상도 영상 기반의 영상분류기법을 개발하였다.
  
- 염종민 등(2010)은 위성영상을 활용하여 변화탐지를 수행할 때 공간정보 추출의 정확성을 높이는 기술 개발을 위해 시계열 자료의 통계적 분석을 통한 변화탐지기법 개발을 수행하였다. 전처리된 위성영상의 정규화 식생지수(NDVI)를 산출하고 무감독분류(K-mean clustering)를 수행하여 변화탐지를 분석하였다.

- Wang Changyao 등(2011)은 Landsat TM 영상과 NOAA/AVHRR 영상의 식생지수를 이용하여 북한의 작물생산량을 추정하였다.
- 유재심 등(2011)은 MODIS NDVI 영상을 이용하여 ISODATA 무감독분류기법을 적용하여 생물계절 상 분석을 기반으로 한 북한의 토지피복도를 구축하고 중분류에 대한 정확도 검정을 하였다.
- Yi-Shiang Shiu 등(2011)은 FORMOSAT-2 영상을 이용하여 쌀 생산 지역분포도를 작성하였다.
- 김현옥 등(2011)은 RapidEye 위성영상을 사용하여 우리나라 농촌지역의 토지이용유형별 분광식생지수의 시계열 특성을 분석하였다.
- 홍석영 등(2012)은 MODIS NDVI, 기상자료 및 수량과의 회귀분석을 통해 국내 벼 수량을 추정하였다.

표 64. 원격탐사를 활용한 농업분야 관련 연구사례(연도별)

연도	저자	주요 내용
1999	홍석영 등	Landsat TM 영상을 이용한 벼 재배면적 추정
2000	홍석영 등	RADARSAT 영상을 이용한 벼 재배면적 추정
2001	김정현 등	KOMSAT EOC 영상을 이용한 북한 토지피복 분류
2002	박남욱	Landsat 영상을 이용한 북한 옥수수 재배지역 분석
2004	사공호상 등	고해상도 위성영상을 이용한 북한 지리정보 획득방안
2005	사공호상 등	SPOT-5 영상을 이용한 북한 지리정보 구축
2005	박노욱 등	SAR 영상을 이용한 토지피복분류
2005	갑수현	NOAA AVHRR NDVI 및 기상자료를 이용한 가뭄모니터링
2005	염종민 등	MODIS 자료의 전처리
2006	김도형 등	MODIS 영상의 무감독분류를 통한 북한 자연환경변화 분석
2006	박노욱 등	RADARSAT-1, ENVISAT 영상을 이용한 토지피복분류
2006	염종민 등	다중 다항회귀식을 이용한 MODIS NDVI 노이즈 제거
2007	Su-young Cha 등	구글어스 영상의 활용가능성 분석
2007	Yi-Shiang shiu 등	Landsat 식생지수와 벼 성장계수 관계 분석
2007	김창환	북한의 지리정보시스템(GIS) 활용 현황 분석
2007	권오복 등	위성정보의 농업관측 활용 타당성 분석 및 기술조사
2008	장민원 등	MODIS 식생지수를 이용한 북한 가뭄 모니터링 연구
2008	염종민 등	SPOT NDVI를 이용한 북한 지표상태 모니터링
2008	이창석 등	GOCI 영상의 전처리 및 NDVI 산출
2008	홍석영 등	Landsat TM 영상을 이용한 북한 토지피복분류 수행
2009	홍석영 등	MODIS NDVI를 이용한 북한 벼 수량 예측
2009	차수영 등	MODIS 영상을 이용한 북한 산림식생 분석
2010	박진기 등	KOMPSAT-2 영상을 이용한 벼 생육 진단
2010	김은숙 등	고해상도 영상 기반 북한 산림황폐지 분석 영상분류기법
2010	염종민 등	시계열 위성자료의 통계적 분석을 통한 변화탐지기법 개발
2011	Wang Changyao 등	Landsat TM과 NOAA AVHRR을 이용한 북한 작물 생산량 추정
2011	유재심 등	MODIS NDVI를 이용한 토지피복도 구축
2011	Yi-Shiang Shiu 등	FORMOSAT-2 영상을 이용한 쌀 생산 지역분포도 작성
2011	김현욱 등	RapidEye 영상을 이용한 국내 농촌지역 시계열 특성 분석
2012	홍석영 등	MODIS NDVI, 기상자료, 수량 회귀분석을 통한 국내 벼 수량 추정

### 3.1.2. 외부기관(농촌진흥청) 연구 성과 검토

○ 농촌진흥청의 작황 관련 업무 현황을 살펴보면 다음과 같다.

#### 1) 벼 작황시험(국립식량과학원)

- 목적 : 기상변화에 따른 벼 생육과 수량 관계를 조사하여 농정자료 제공 및 재배법 개선에 활용
- 벼 작황진단 시험 (46년차, 1966~ ) : 중부, 영·호남 3개 지역
  - 토양, 기상, 생육단계, 생육량, 수량 조사
- 벼 작황조사 (24년차, 1988~ ) : 농업지대별 17개 지역
  - 기상, 생육, 재해, 수량 등
- 활용 : 매 조사일로부터 5일 이내 유관부서 및 기관에 제공

#### 2) 농업기상 관측 및 정보시스템(국립농업과학원)

- 목적 : 농작물 안정생산과 농업기상재해 저감을 위하여 농경지 기상 정보 관측·제공
- 농업기후자료 수집 : 77지점 (2002~ )
- 활용 : 인터넷 등을 이용한 농업기상정보 서비스



그림 39. 농촌진흥청 농업기상정보 서비스

### 3) 원격탐사의 농업적 활용 연구(국립농업과학원)

- 목적 : 원격탐사/GIS를 이용한 농업환경 관측·정량화를 통한 농경지 및 생태계 모니터링 기술 개발
- 농경지·토지피복분류 : 농경지 이용 면적 산출
- 작황진단 : 광학 및 레이더 자료를 기반으로 한 생육량 추정, 수량 추정, 벼 엽질소 함량, 쌀 단백질 함량 추정
- 토양특성 추정 및 매핑
- 재해, 물·에너지 수지 등

**4) 작황예측시스템(농촌진흥청, 국립식량과학원, 국립농업과학원)**

- 목적: 21세기 식량안보 달성을 위한 국내외 주요곡물의 작황감시체계 구축
- 임무: 국내외 식량생산 잠재력 평가
- 역할: 국내외 주요 곡물 작황감시체계 운영과 연계



그림 40. 농촌진흥청 작황예측 시스템(출처: 농촌진흥청)

## 3.2. 통계청 실용화 방안 연구

### 3.2.1. 기관 간 협력을 통한 유기적인 업무 프로세스 도출

- 통계청 농어업통계과에서는 농업면적조사, 농작물생산량조사 업무에 원격탐사 기술을 활용하기 위한 연구 및 시범사업을 수행하고 있다.
- 농업면적조사는 경지면적조사, 재배면적조사, 경지이용실태조사를 수행하고 있는데, 특히 경지면적의 경우 2012년에 원격탐사 기술 실용화를 추진하여 2013년 1월에 결과를 발표할 예정이다.
- 농작물생산량조사는 맥류, 시설작물, 식량작물, 채소류, 조미채소, 특약용, 과수, 기타작물 등의 생산량을 조사를 수행하고 있는데, 이 중 미곡(논벼)에 대해 원격탐사 기술을 적용한 생산량 추정 시범사업을 수행하고 있다.
- 이와 관련하여 본 연구에서는 원격탐사 기술을 활용한 쌀 생산량 추정 연구의 실용화를 위해 통계청과 각 유관기관별 역할을 정의하고, 연구와 실용화의 유기적인 업무 프로세스를 도출하고자 한다.
- 쌀 생산량 추정을 위해 필요한 자료를 기준으로 하여 유관기관별(한국항공우주연구원, 농촌진흥청, 기상청, 환경부 및 국토지리정보원) 역할을 정의하였다.
- 유관기관 간 협력을 구축하기 위해서는 작황분석을 위해 필요한 자료인 위성영상 자료제공은 한국항공우주연구원, 생산량에 직접적인 영향을 미치는 기상자료 제공은 기상청, 재배면적 산출에 필요한 지리정보

자료 제공은 환경부와 국토지리정보원, 생산량 추정 모형 개선 연구는 농촌진흥청, 정확도 검증은 위한 현장조사 자료 획득 및 통계자료 작성은 통계청에서 수행되어야 할 것이다.



그림 41. 유관기관별 역할 정의



그림 42. 쌀 생산량 추정을 위한 유기적인 업무 프로세스 도출

### 3.2.2. 기관 간 협력 및 기술 실용화를 위한 중장기 로드맵 작성

- 원격탐사 기술을 활용한 쌀 생산량 추정을 위해서는 우선 실용화하기 위한 단계로 연구사업 및 시범사업이 수행되어야 한다.
  
- 기술 실용화를 위해서는 연구 및 시범사업의 성과를 확인·검증하여 통계자료로서의 정확도가 확보되어야 한다.
  
- 또한 영상수급 단계부터 재배지역 산출, 추정모델 적용, 오차 검증, 추정모델 개선으로 이어지는 업무프로세스를 전담할 수 있는 원격탐사 전담부서를 설립하여 해당 전담부서를 통해 각 업무프로세스를 자동화 또는 시스템화하여야 한다.
  
- 원격탐사 기술을 활용한 쌀 생산량 추정을 위해서는 재배면적 정보와 작황정보를 함께 분석하여야 하며, 시계열 자료를 구축하기 위해서는 선행연구 및 시범사업의 연구성과를 실용화할 수 있는 시스템을 구현할 필요가 있다.
  
- 시스템 운영방법으로는 통계청 내부의 전문인력 양성과 함께 아웃소싱 방안이 고려되어야 할 것이다.
  
- 원격탐사 기술을 활용한 통계청 업무 실용화 프로세스를 위한 중장기 사업 추진 방안은 그림 43과 같다.



그림 43. 기관 간 협력 및 기술 실용화를 위한 중장기 로드맵 제시

### 3.3. 소결론

#### 1) 농업분야 원격탐사 활용 관련 연구 검토

##### ○ 국내외 연구 결과

- MODIS, Landsat, SPOT 등의 중저해상도 위성영상의 식생지수 (NDVI)를 이용한 연구가 많은 비중을 차지함
- 특히 공간해상도는 낮지만 시간해상도가 좋은 MODIS 영상의 시계열 자료를 이용한 작황분석 연구가 활발히 진행되었음
- 또한 여름철 기상조건으로 인해 구름 등의 영향을 받는 광학위성영상의 단점을 극복할 수 있는 SAR 위성영상의 장점이 두각 되면서 RADARSAT, ENVISAT 등 SAR 영상을 이용한 연구도 점차 증가하고 있음

##### ○ 농촌진흥청 연구 성과

- 농촌진흥청에서는 벼 작황시험(국립식량과학원), 농업기상 관측 및 정보시스템(국립농업과학원), 원격탐사의 농업적 활용 연구(국립농업과학원), 작황예측시스템 등의 사업 및 연구를 수행하고 있음
- 특히 국립농업과학원에서는 원격탐사 기술을 농경지 이용 면적 산출, 작황진단, 토양특성 추정 및 매핑, 농업재해 등에 활용하고 있음

#### 2) 통계청 실용화 방안

- 통계청 농어업통계과에서는 원격탐사 기술을 활용한 농업면적조사, 농작물생산량조사 관련 연구 및 시범사업을 수행하고 있다.

- 쌀 생산량 추정 기술의 실용화를 위해서는 통계청과 유관기관별 협의체를 구성하여 역할을 정의하고, 연구의 실용화가 이루어 질 수 있도록 유기적인 업무 프로세스를 도출하여, 각 업무프로세스를 자동화 또는 시스템화하여야 한다.
  
- 기술 실용화를 위한 중장기 연구방향으로는 연구사업 및 시범사업 수행, 협의체 구성, 시스템 구축, 업무내부화 단계로 추진해야 할 것이다.

## 제4장 북한지역 벼 재배면적 조사 방법 개발 및 1개도 시범조사 연구

### 4.1. 북한지역 농업환경

- 북한은 전체면적의 약 80%가 산지이고 산이 높아서 하천은 유속이 빠르며 물의 양이 많다. 북한의 평야는 서해안지대에 주로 발달하였으며 대동강 유역의 평야평야, 황해남도의 재령평야가 각각 500km<sup>2</sup>에 이르고, 황해남도의 연백평야가 400km<sup>2</sup>, 청천강 유역의 안주평야, 함경남도의 함흥평야가 300km<sup>2</sup>, 압록강 유역의 룡천평야, 예성강 유역의 운전평야, 함경북도 수성천 유역의 수성평야, 남재천 유역의 길주평야, 함경남도 요천강 유역의 영흥평야등이 각각 200km<sup>2</sup> 수준의 평야들이다.
- 북한은 인구증가율이 높고 도시집중율이 60%이며 전체인구의 40% 이상이 평양시와 평안남북도에 거주하는가 하면, 자강도와 양강도에는 8.6%만이 거주한다. 거주지 이동을 통제하는 체제아래서도 최근 농촌지역에는 노동력 부족현상이 심화되고 있다.
- 북한에서 벼는 주요 농작물 중 하나이다. 북위 38°~43° 사이 거의 대부분 지역에서 벼가 재배되나 주 재배지는 온도가 높고 일사량이 많은 서해안 지대와 저온이며 냉해가 자주 출현하는 동해안 지대로 크게 나눌 수 있다.
- 북한의 벼 생육일수는 대체로 140~170일(모판일수 포함)이며, 함경북도를 비롯한 북부산간지대는 냉해상습지이므로 이를 극복하기 위해서는 벼 생육일수가 120~130일 되는 을벼 품종이 요구된다.

- 주요 벼 재배품종은 서부지방은 평양 15호, 북부지방은 조생종인 통36호, 길주 6호, 동부에서는 경인 127, 선봉 6호가 많이 재배되고 있다고 한다. 모판종류는 모든 지역에서 냉상모판(토벽을 쌓지 않고 유리 창문이나 기름종이 창문을 마주 덮어주는 방법)을 설치하고, 파종 시기는 4월 초순이다. 육묘일수는 전 지역이 대체로 표준육묘 일수인 40 ~ 50일을 한다.

표 65. 북한 지역별 파종기 (출처: 농업사회발전연구원(2001년))

지역	평원지대	중간지대	산간지대	해안 인접지대
평 안 도	03.25 - 04.05	03.25 - 04.05	04.01 - 04.10	04.05 - 04.10
황 해 도	03.20 - 04.05	03.25 - 04.05	04.01 - 04.10	04.01 - 04.10
강 원 도	03.25 - 04.05	04.01 - 04.10	04.05 - 04.10	04.01 - 04.10
함경남도	03.25 - 04.05	04.01 - 04.10	04.05 - 04.10	04.05 - 04.10
함경북도	04.05 - 04.15	04.05 - 04.20	04.10 - 04.25	-
자 강 도	04.01 - 04.10	04.05 - 04.25	04.10 - 04.25	-
양 강 도	04.10 - 04.25	-	-	-

표 66. 북한의 지역별 벼생육기간 월평균기온 (출처: 농업사회발전연구원(2001년))

지역	5월	6월	7월	8월	9월
청진	11.6	16.2	19.8	21.6	17.1
혜산	12.8	16.5	20.7	19.9	12.7
강계	14.8	19.2	23.1	22.5	15.7
신의주	15.0	19.8	28.7	24.6	18.4
함흥	15.0	18.6	22.2	22.9	18.1
원산	15.5	18.8	22.5	23.2	18.7
평양	16.0	20.6	24.2	24.4	18.7
사리원	16.3	20.6	24.3	24.5	19.1
해주	<b>15.6</b>	<b>20.0</b>	<b>23.6</b>	<b>24.7</b>	<b>19.7</b>
개성	15.7	20.2	23.8	24.4	19.8
철원	15.6	20.2	24.0	24.2	18.5
수원	16.4	20.7	24.5	24.9	19.8
진부	13.0	17.9	20.7	21.0	16.0

- 모내기는 5월 중순에 시작하여 5월 하순에 끝낸다. 지대에 따라 온도가 다르므로 해당 지방의 실정에 맞게 모내기 날짜를 정한다.(일전 평균기온이 13°C 이상 되는 때)
  
- 모내기 방법은 70~80년대에는 기계모내기 비율이 높았다고 하지만, 최근에는 에너지 및 이앙기 부품부족으로 인력이앙이 대부분이라고 한다.
  
- 북한 농업을 이해하는데 있어서 협동농장은 매우 중요한 의미를 갖는다. 북한의 농업체제는 기본적으로 집단적인 협동농장과 국영 농·목장으로 이루어져 있으며, 그중에서도 특히 협동농장은 북한 경지 면적의 90%와 농업 생산액의 80%를 차지하고 있어 거의 모든 농업 생산이 협동농장을 중심으로 이루어지고 있다고 해도 과언이 아니다.

## 4.2. 시범지역 선정

### 4.2.1. 시범지역 선정

#### 1) 시범지역 1개도 선정

- 북한 벼 재배면적 1개도 시범조사 연구를 위한 지역으로, 북한 최대의 곡창지대로 북한 쌀 생산의 1/4을 담당하고 있는 황해남도를 선정하였다. 황해남도는 면적 약 8,450.3km<sup>2</sup>(섬 159개의 면적 89.5km<sup>2</sup> 포함)로 행정구역은 1개 시와 19개 군으로 나뉜다. 쌀, 옥수수, 콩 등의 농산물과 사과, 배, 복숭아 등의 과수를 재배하고 있으며, 연안군, 배천군, 청단군, 재령군, 신천군, 안악군, 은천군에서 도 논 면적의 약 63%가 배치되어 있다.

#### 2) 시범지역 1개군 선정

- 1개도 시범조사를 수행하기 전에 벼 재배면적 조사 방법 개발을 위한 1개군 시범지역으로 재령군을 선정하였다. 황해남도 내에서도 벼 재배 지역이 많으며 본 연구에서 사용할 위성영상의 품질이 좋은 지역을 선정하였다. 재령군은 면적 약 328.4km<sup>2</sup>로 행정구역은 1개 읍, 1개 구, 24개 리로 구성되어 있다. 북쪽은 재령평야가 펼쳐진 평야 지대, 남쪽은 멸약산맥이 뻗어있는 산지로, 재령평야는 한반도 전체에서도 손꼽히는 넓이의 평야이며 북한의 대표적인 곡창 지대이다.



그림 44. 황해남도 행정구역 및 재령군 위치

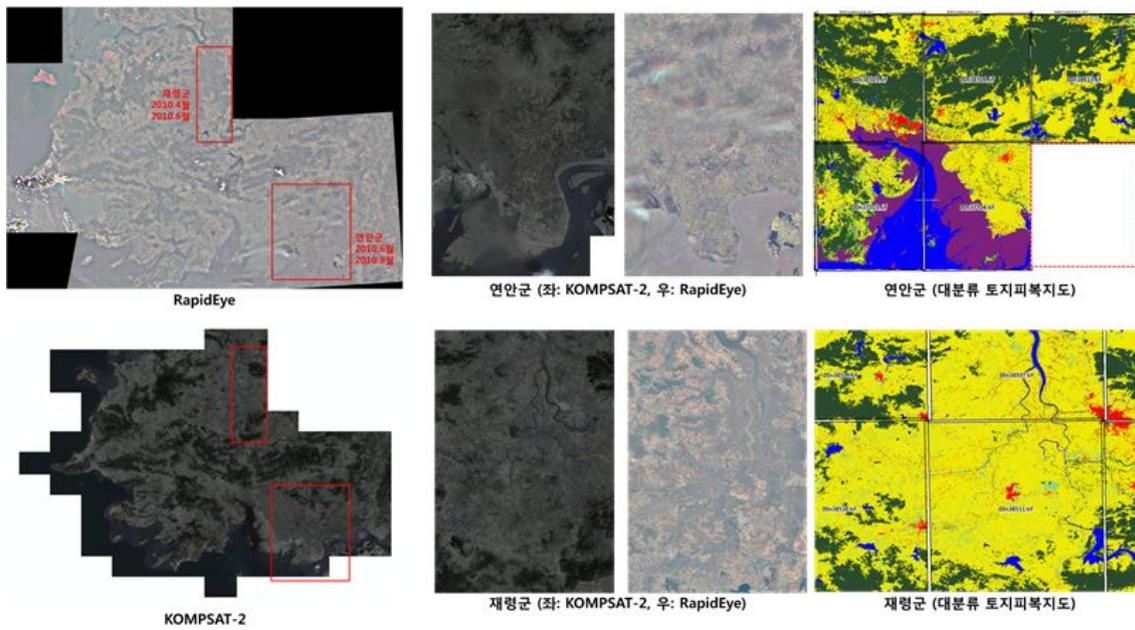


그림 45. 1개군 시범지역 선정을 위한 위성영상 품질 확인

### 4.2.2. 1개도 벼 재배면적 추정을 위한 방법 설계

- 본 연구에서 수행한 위성영상을 활용한 북한지역 1개도 벼 재배면적 추정 과정은 다음과 같다.

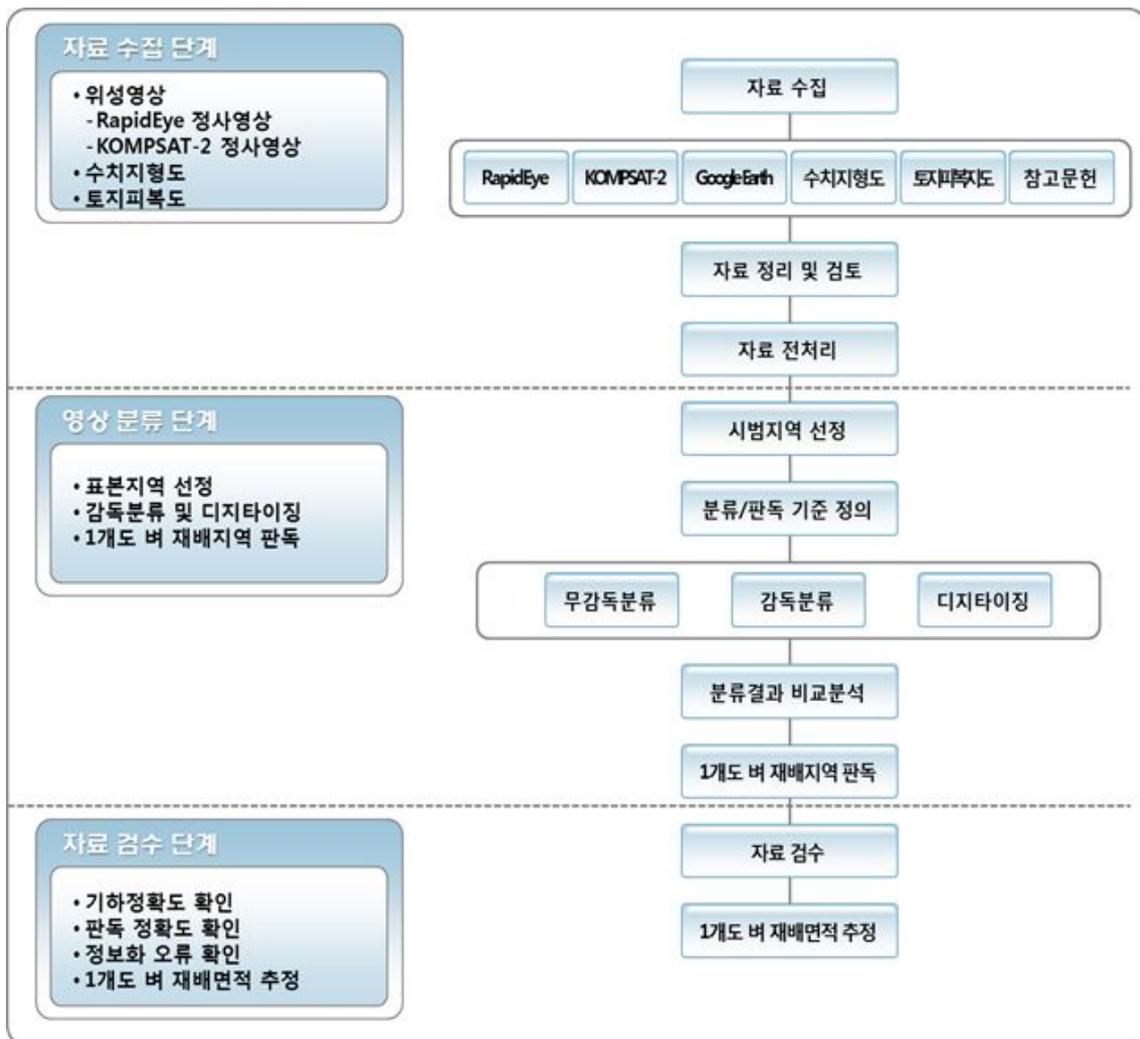


그림 46. 1개도 벼 재배면적 추정 과정

- 크게 자료수집 단계, 영상분류 단계, 자료검수 단계로 나눌 수 있다. 자료수집 단계에서는 RapidEye, KOMPSAT-2, 수치지형도, 토지피복지도, 구글어스 영상 등을 수집하였다. 시범지역 1개군으로 선정한 황해남도

재령군에 대해 무감독분류, 감독분류, 디지털링 방법을 적용하여 결과를 비교분석한 후 벼 재배면적 추정을 위한 최적의 방법을 선택한다. 선택한 방법을 황해남도 1개도 전체지역에 대해 적용하여 최종 벼 재배면적을 추정한다.

### 4.3. 자료수집

- 본 연구에서 황해남도 벼 재배면적 추정을 위해 유관기관으로부터 수집한 자료는 다음과 같다.

표 67. 자료수집 내역

수집자료	자료유형	촬영시기	자료협조기관	자료 수
RapidEye	L3A(정사영상)	2009~2010년	농촌진흥청	27장
KOMPSAT-2	고부가자료(정사영상)	2007~2011년	항공우주연구원	105장
수치지형도	1/25,000(Ver 1.0)	2007~2009년	국토지리정보원	988도엽
토지피복지도	1/25,000(Ver 1.0)	2007~2009년	환경부	249도엽

#### 4.3.1. 위성영상

##### 1) RapidEye

- 황해남도 벼 재배면적 추정에 기준으로 사용할 위성영상으로 RapidEye 영상을 사용하였다. RapidEye는 독일위성으로 공간해상도 5m 급의 광학위성이며, 5대의 위성이 함께 운영되기 때문에 시간해상도가 좋다는 장점이 있다.
- 수집한 자료유형은 L3A(정사영상)로 영상 촬영시기는 2009~2010년으로 지역별로 다르다. 자료는 농촌진흥청 협조를 통해 수집하였다.

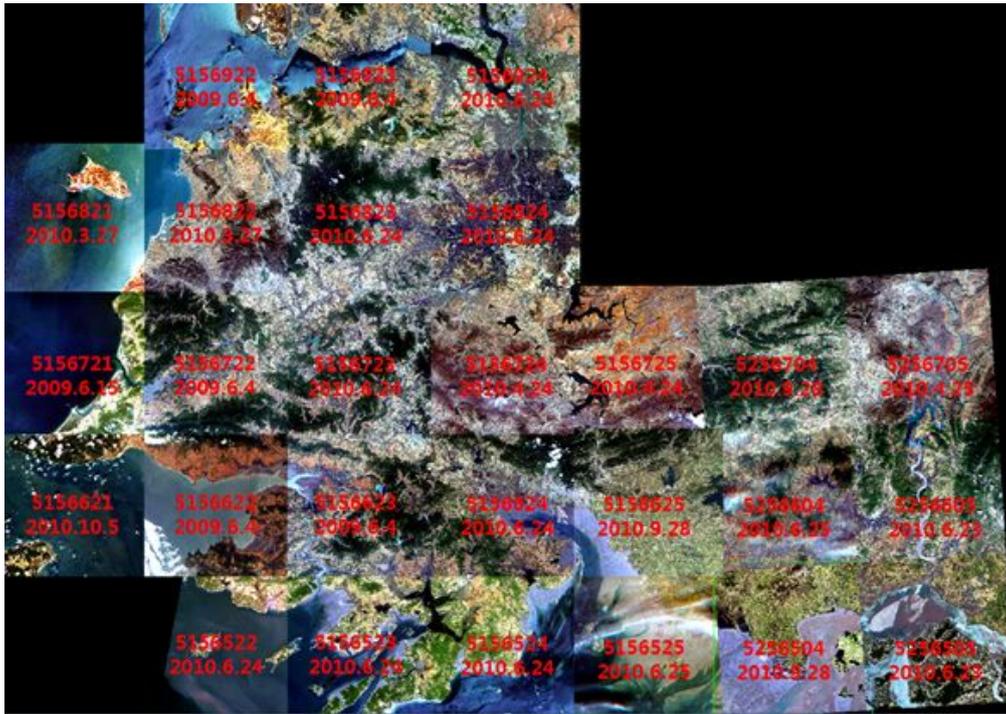


그림 47. RapidEye 수집현황(총 27장)

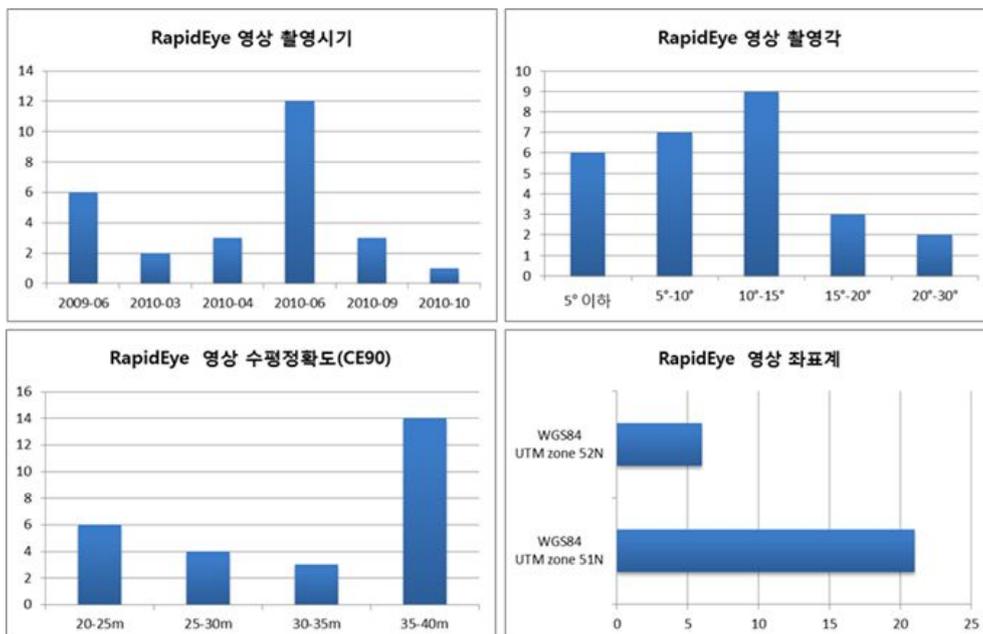


그림 48. RapidEye 메타데이터

## 2) KOMPSAT-2

- KOMPSAT-2(아리랑 2호)는 국내에서 개발하여 운영하고 있는 최초의 1m 급 고해상도 광학위성이다. 본 연구에서 수집한 자료유형은 한국항공우주연구원에서 배포하고 있는 고부가자료(정사영상)로, 촬영시기는 지역별로 2007~2011년에 이르기까지 다양하다.



그림 49. KOMPSAT-2 수집현황(총 105장)

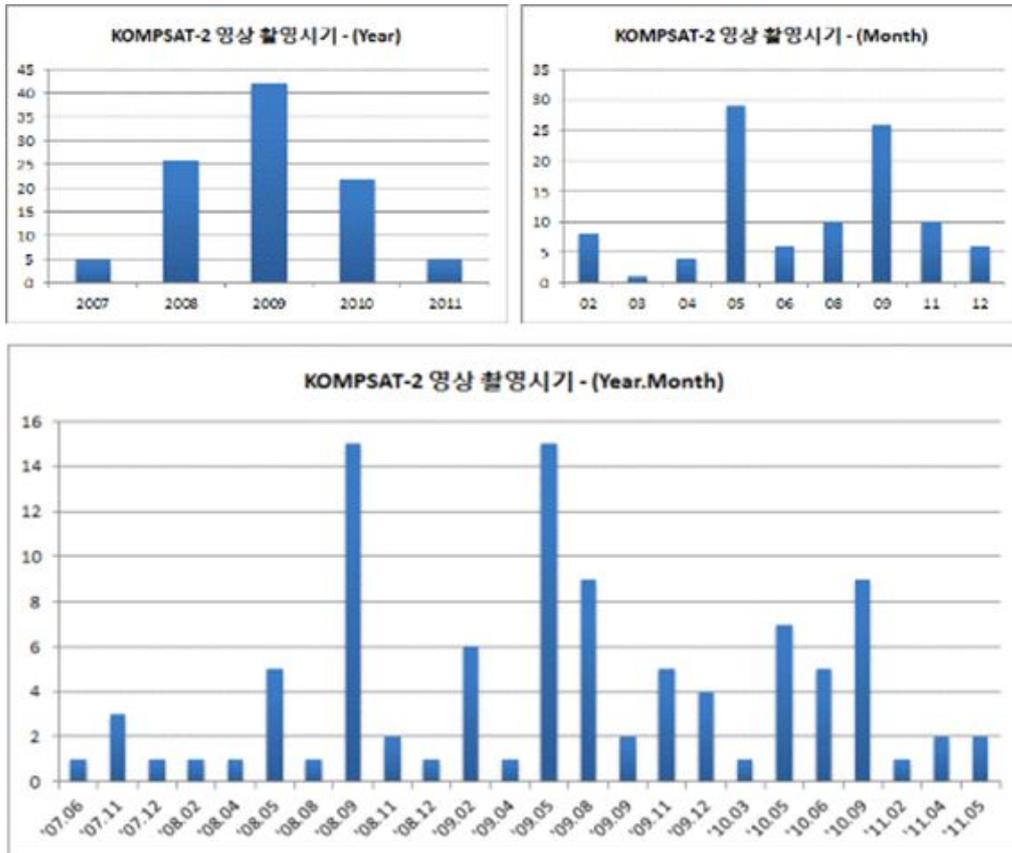


그림 50. KOMPSAT-2 메타데이터

### 3) 구글어스 영상

- 구글어스는 구글에서 무료로 서비스하고 있는 영상지도이다. 전 세계 지역에 대해 위성영상 및 항공사진으로 촬영한 영상을 별도의 비용 지출이나 가입 절차 없이 서비스하고 있으며, 고해상도 위성자료를 계속해서 업데이트하여 제공하고 있어 영상 판독 시 참조자료로 유용하게 활용되고 있다.
- 본 연구에서는 시범지역 1개군으로 선정한 재령군의 판독 참조자료로 활용하기 위해 Google Satellite Maps Downloader 소프트웨어를 이용하여 구글어스 이미지를 수집하였다. 256 x 256 pixels 크기로 다운로드

받을 수 있는데 재령군 일대를 포함하는 범위로 총 14,661장을 수집하였으며, 수집한 이미지는 모자이크 수행 후 KOMPSAT-2 정사영상을 참조자료로 하여 기하보정을 수행하였다.

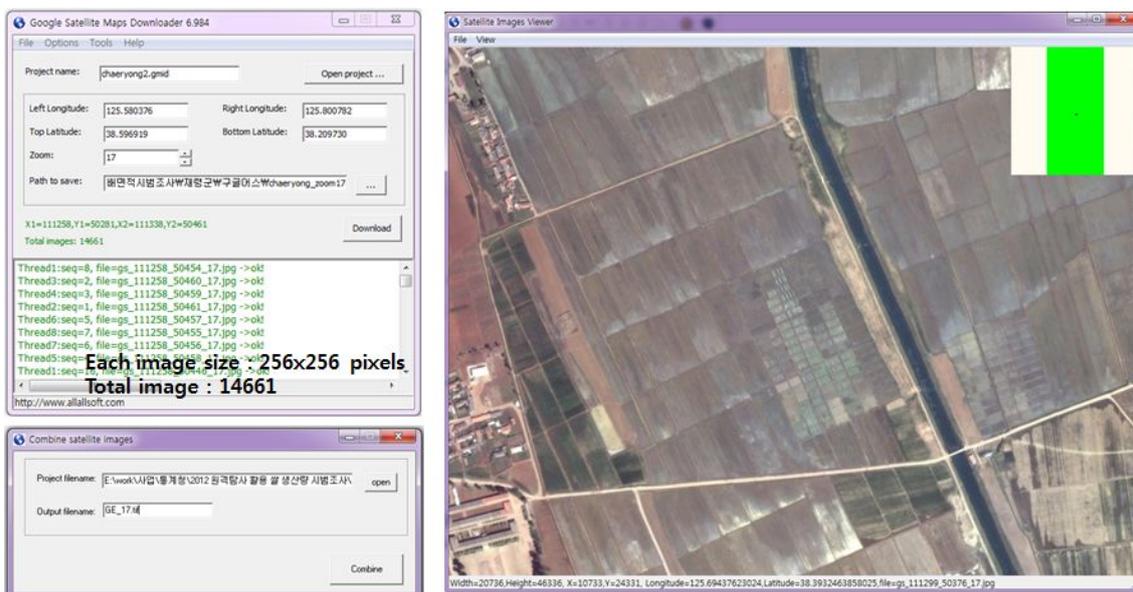


그림 51. 구글 이미지 수집

### 4.3.2. 지리정보자료

#### 1) 수치지형도

- 영상 판독 시 참조자료로 활용할 수치지형도는 국토지리정보원 협조를 통해 북한지역 전역에 대한 자료를 수집하였다. 자료유형은 1/25,000(Ver 1.0) 지도이며 제작시기는 지역별로 2007~2009년으로 다르다. 수치지형도 수집현황은 다음과 같다.

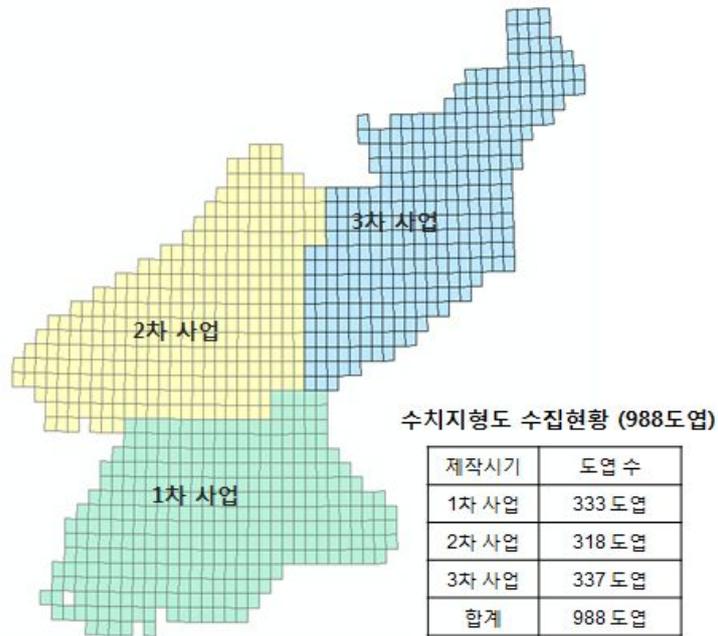


그림 52. 수치지형도 수집현황(총 988도엽)

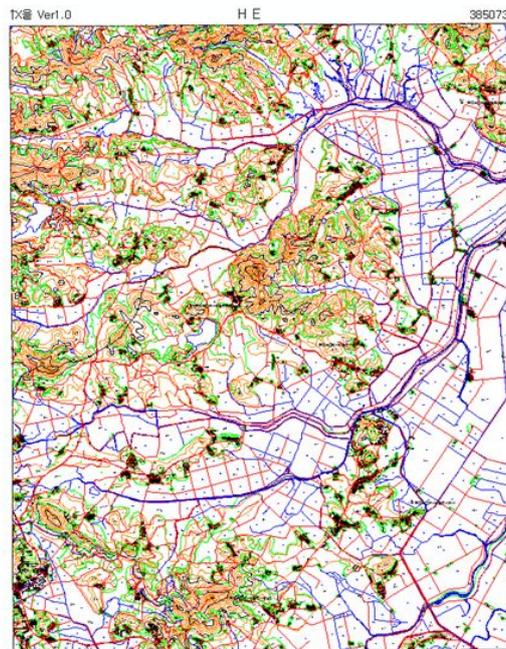


그림 53. 북한지역  
수치지형도(국토지리정보원)

## 2) 토지피복지도

- 환경부 토지피복지도는 국내지역에 대해서는 대분류, 중분류, 세분류 지도 제작이 진행되었지만 북한지역에 대해서는 대분류 토지피복지도만 제작되었다. 환경부 협조를 통해 북한지역 전역에 대한 대분류 토지피복지도를 수집하였으며, 제작시기는 2010년이다. 대분류 토지피복지도는 중분류 토지피복지도와는 달리 논이 따로 분류되어 있지 않고 다른 경작지와 함께 분류되어 있기 때문에 영상판독 시 참조자료로 활용하기 보다는 시범지역 선정 시 농경지가 많이 분포하고 있는 지역을 파악하기 위한 용도로 활용하였다.

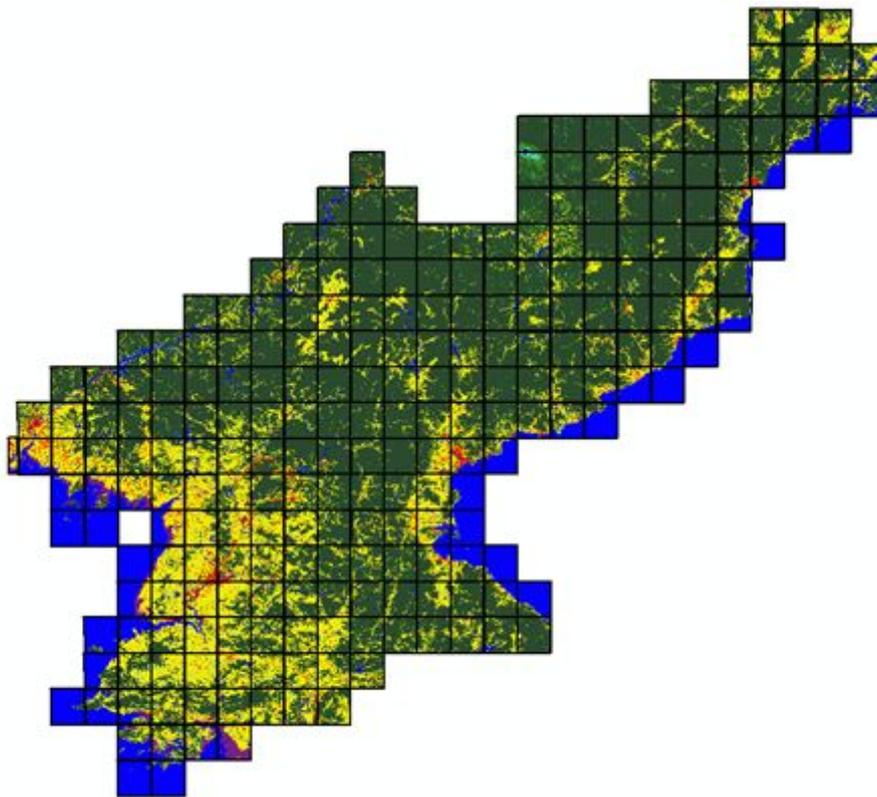


그림 54. 대분류 토지피복지도 수집현황(총 249도엽)

## 4.4. 영상분류방법 선정

- 시범군으로 선정한 재령군을 대상으로 다양한 영상분류기법을 적용하여 논 면적을 추정하고 각각의 결과를 비교분석하여 황해남도 전체 논 면적을 추정하는데 이용할 영상분류방법을 선정하였다.

### 4.4.1. 무감독분류

- 무감독분류란 컴퓨터를 이용하여 자동으로 유사한 특징의 화소들을 그룹화하는 기법으로 군집화(Clustering)라고도 불린다.
- 무감독 분류는 영상분할(Segmentation) 과정으로, 순차적 군집화(Sequential Clustering), K-평균(K-Means), ISODATA 방법 등이 있다.
- 무감독 분류에서는 감독분류와는 달리 분류 항목을 지정하지는 않으나, 군집(Class)의 최대 개수 및 최대 반경, 군집 간 최소 거리 등 영상 화소를 그룹화하기 위해 필요한 입력 변수들이 요구된다.
- 본 연구에서는 RHSEG, ERDAS IMAGINE Classification Module을 사용하여 각각 무감독분류를 수행하였다.
- RHSEG은 NASA에서 제공하는 오픈소스(Open Source)이다. Region Growing 방식이며 계층적 이미지 분할이 가능하다. 여러 단계의 레벨로 영상이 분류되며 사용자가 원하는 수준의 레벨을 선택할 수 있다는 장점이 있다.

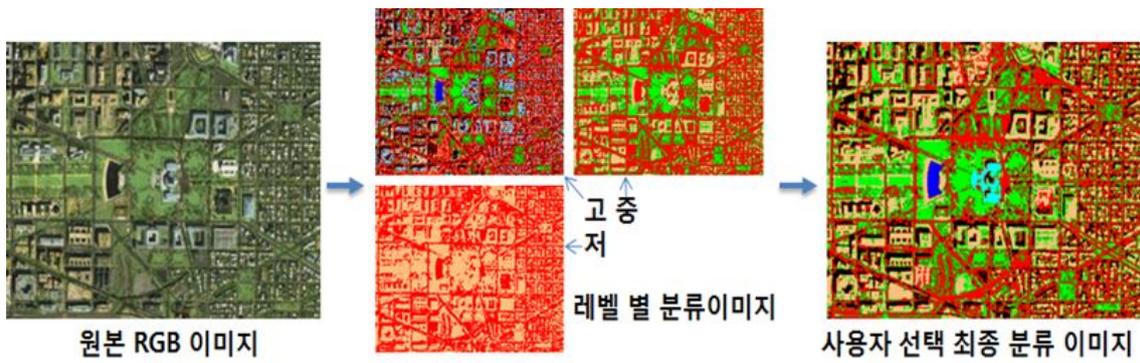


그림 55. RHSEG 무감독분류 개념

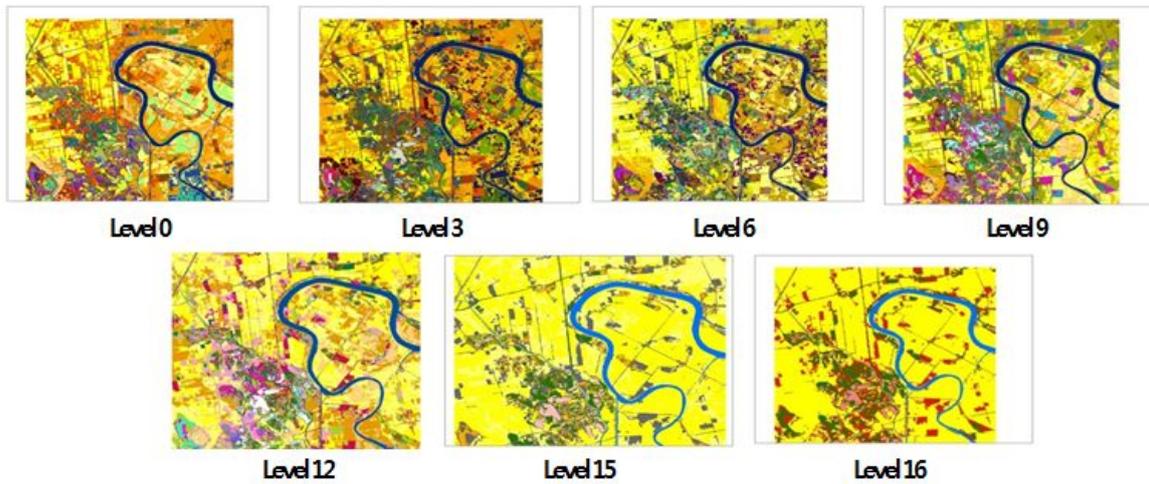


그림 56. RapidEye 영상을 이용한 RHSEG 무감독분류 결과(재령군)

- ERDAS IMAGINE은 영상처리 상용소프트웨어로 널리 사용되고 있으며, Classification Module을 이용하여 영상분류를 수행할 수 있다. 본 연구에서는 RHSEG과 함께 ERDAS 무감독분류를 수행하여 결과를 비교분석하였다.

#### 4.4.2. 감독분류

- 감독분류란 분류 항목 및 각 분류 항목별 트레이닝 자료(Training data)를 분석자가 지정하고 트레이닝 자료의 특징을 기준으로 영상자료를 분류하는 방법이다.
- 감독분류에서는 분석자가 사전에 분류항목 및 각 분류항목 별 트레이닝 자료를 선정하며, 선정된 트레이닝 자료의 특징을 근거로 하여 각 화소가 어떤 트레이닝 자료와 가장 유사한지 판별하여 영상 분류를 수행한다.
- 이 때 어떤 화소가 어떤 트레이닝 자료와 가장 유사한지 판별하는 기준에 따라 최소거리법(Minimum Distance), 최대우도법(Maximum Likelihood), 분광각도법(Spectral Angle Mapper), 인공신경망법(Neural Network) 등의 방법으로 구분된다.
- 본 연구에서는 재령군 일대의 토지피복 패턴을 논, 밭, 산림 및 초지, 도심지, 수계 등의 트레이닝 자료로 선정하여 ERDAS IMAGINE의 Classification Module를 이용한 감독분류를 수행하였다.

#### 4.4.3. 디지털라이징

- 영상분류 결과 정확도를 확인하기 위한 참조자료로 재령군 1개군에 대해 육안판독 디지털라이징 작업을 수행하였다.
- 육안판독 디지털라이징은 분석자가 위성영상 및 참조자료를 이용하여 직접 눈으로 보고 판단하여 원하는 유형의 벡터자료를 생성해 내는 과정

으로 현재까지 영상판독 방법 중 가장 정확한 것으로 인식되고 있다. 그러나 작업시간 및 인력등의 비용이 많이 소요되며, 분석자의 경험에 따라 결과가 다르게 나타나는 단점이 있다.

- 디지털이징 작업을 수행하기 전 우선 속성파일의 필드구조를 정의하고 분류 및 판독기준을 정립해야 한다. 본 연구에서 정의한 내용은 다음과 같다.

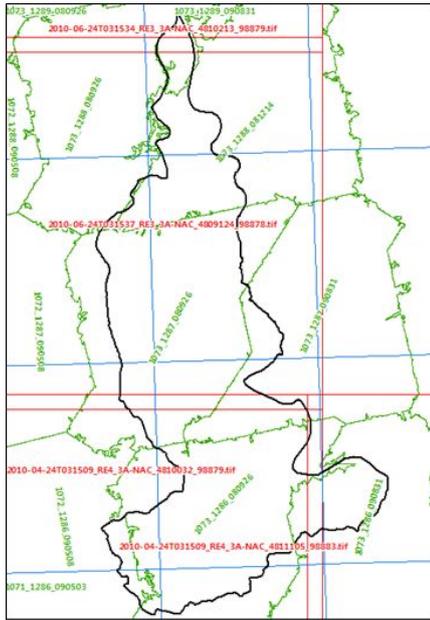
표 68. 속성파일 필드구조 정의

항목	정의	비고
LOCATION1	행정구역명 (도)	입력 예) 황해남도
LOCATION2	행정구역명 (시, 군)	입력 예) 재령군
BND_PADDY	논 경계 참조자료	입력 예) K2(KOMPSAT-2영상)
CHK_PADDY	논 판독결과	입력 예) 0(불확실논)
REF_DATA	논 판독 참조자료	입력 예) RE(RapidEye)
NOTE	비고(특이사항)	입력 예) 주변의 논 패턴과 다른 형상을 띄어 불확실 논으로 판독함
AREA	논 면적	입력할 필요없음 (자동 계산)

표 69. 속성파일 테이블 정의

번호	컬럼 ID	Data Type	Null	Key	세부설명
1	FID	Object ID	N	PK	일련번호
2	Shape	Geometry (Polygon)	N	-	벡터자료형태
3	LOCATION1	Text(20)	Y	-	행정구역명 (도)
4	LOCATION2	Text(20)	Y	-	행정구역명 (시, 군)
5	BND_PADDY	Text(10)	Y	-	논 경계 참조자료
6	CHK_PADDY	Short Integer(1)	N	-	논 관독결과 코드
7	REF_DATA	Text(10)	Y	-	논 관독 참조자료

- 육안관독 디지털화 정황지침은 다음과 같이 설정하였다.
  - KOMPSAT-2 정사영상을 기준으로 논 구역 경계 및 경지 경계 추출
  - 논 관독 시에는 RapidEye > Google Earth > KOMPSAT-2 > 수치지형도 순서로 우선순위를 두어 관독하고, 가장 최근에 촬영(제작)된 자료를 활용할 것
  - RapidEye 영상을 이용한 관독 시 다양한 밴드조합(Band combination)을 적용하여 식생과 비식생지역을 구분하는데 활용할 것
  - 정의한 관독 기준에 따라 관독하여 속성자료 레코드 값을 입력하고, 관독 시 문의사항 또는 특이사항이 있을 경우 기록하여 감독관에게 문의할 것
  
- 디지털화 작업 시 분류 및 참조자료로 활용한 자료의 촬영(제작)시기는 다음과 같다.



- RapidEye 촬영시기  
; 2010년 4/24, 6/24일
- Google Earth 부분 시계열 영상 활용  
; 2006년 10/2, 12/18일  
; 2009년 3/18, 4/1, 7/16일  
; 2010년 3/18일  
; 2011년 6/11일
- KOMPSAT-2 촬영시기  
; 2008년 9/26, 12/14일  
; 2009년 8/31일
- 수치지형도 제작시기  
; 2007년 제작

그림 57. 디지털라이징 작업에 활용한 참조자료 현황

#### 4.4.4. 분류결과 비교분석

○ 앞서 수행한 무감독분류, 감독분류, 디지털라이징을 통해 추정한 논 면적과 서울대에서 수행한 재령군 eCognition 분류결과를 비교하면 다음과 같다.

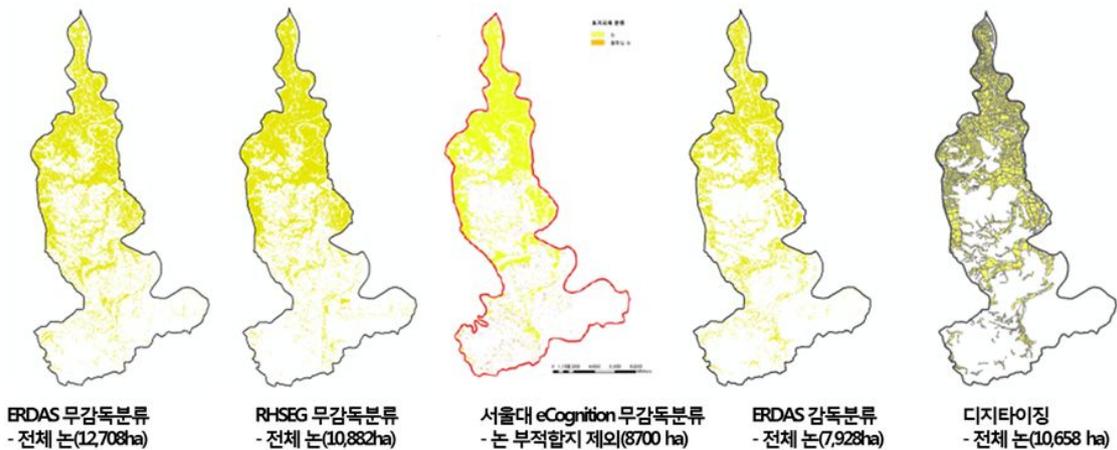


그림 58. 영상분류 및 판독결과 비교

- 전문가 의견과 타 연구자료를 검토해보았을 때 디지털이징 결과가 가장 정확하다고 판단하여 디지털이징 결과를 참조비교자료(Reference)로 두고 본 연구에서 수행한 여러 방법의 결과를 비교해보았다.

표 70. 영상분류 결과 비교

분류/관독 방법	추정 논 면적(ha)	Ref.와의 오차(ha)
Ref.(디지털이징)	10,658	-
ERDAS(무감독분류)	12,708	2,050
ERDAS(감독분류)	7,928	-2,730
RHSEG(무감독분류)	10,882	224

- 디지털이징 결과와 가장 근접한 값으로 추정된 방법은 RHSEG 무감독 분류방법인 것으로 나타났다.
- 서울대 eCognition 분류결과가 디지털이징 결과와 차이가 나는 원인으로, 서울대 연구에서는 표고 및 경사를 기준으로 제약조건을 두어 논 부적합지역은 제외시켰기 때문에 디지털이징을 통해 추정한 논 면적보다 적게 산출된 것으로 추정된다.

#### 4.4.5. 영상분류 방법선정

- 앞서 도출된 여러 방법을 적용한 영상분류 결과를 영상분류 전문가 자문회의를 통해 분석하여 본 연구에서 황해남도 1개도에 대해 적용할 최적의 방법을 도출하였다.

- 전문가 회의의 주요 의견을 요약하면 다음과 같다.
  - 시범사업이기 때문에 어쩔 수 없이 아카이브 영상을 사용했지만 추후 실제 재배면적을 산출할 때에는 벼 생육기간에 촬영한 영상을 이용하여 추정해야 함
  - 논 부적합 지역으로 고도 150m 이상, 경사도 7도 이상인 지역을 선정했는데 이는 비합리적인 값이라고 생각되며, 황해남도만이 아닌 추후 북한 전역에 대해 적용할 때에는 지역별 토지이용이나 농경지 특성 정보를 감안해서 차등화하여 정의해야 함
  - 우리나라처럼 복잡한 구조를 가진 곳은 감독분류하기가 어려우며, 감독분류에서는 training data를 결정하기가 복잡하기 때문에 오히려 무감독분류를 이용했을 때 결과가 잘 나올 때가 많음, 무감독분류 방법으로는 region growing 방식의 RHSEG을 사용하는 것이 좋을 듯함
  - FAO(국제연합식량농업기구)에서 발표하는 자료도 영상분류를 통해 산출한 자료일 가능성이 높기 때문에 정확도 검증에 활용한다기 보다는 비교하는 정도로 사용해야 할 것임
  
- 따라서 본 연구에서는 전문가 회의를 통해 제안된 RHSEG 무감독분류 방법을 적용하여 황해남도 1개도 벼 재배면적을 추정하기로 하였으며, 산악지형에도 실제로 논이 분포하고 있기 때문에, 고도 및 경사도를 이용하여 논 부적합 지역을 제거하는 제약조건을 두지 않기로 하였다.

## 4.5. 1개도 벼 재배면적 추정 및 결과검토

- 황해남도 벼 재배면적을 추정하기 위해 우선 RHSEG 무감독분류를 이용하여 전체 논 (경지)면적을 추정한 후, 분류된 결과를 참조자료를 활용한 육안 판독을 통해 벼 재배지역으로 판단되는 지역만 다시 재추정하였다.

### 4.5.1. RHSEG 무감독분류

- 황해남도 RapidEye 아카이브 영상에 대해 Region Growing 방식의 RHSEG 무감독분류를 수행하여 위성영상 분류지도를 생성하였다. RHSEG 무감독분류는 다음과 같은 순서로 수행하였다.

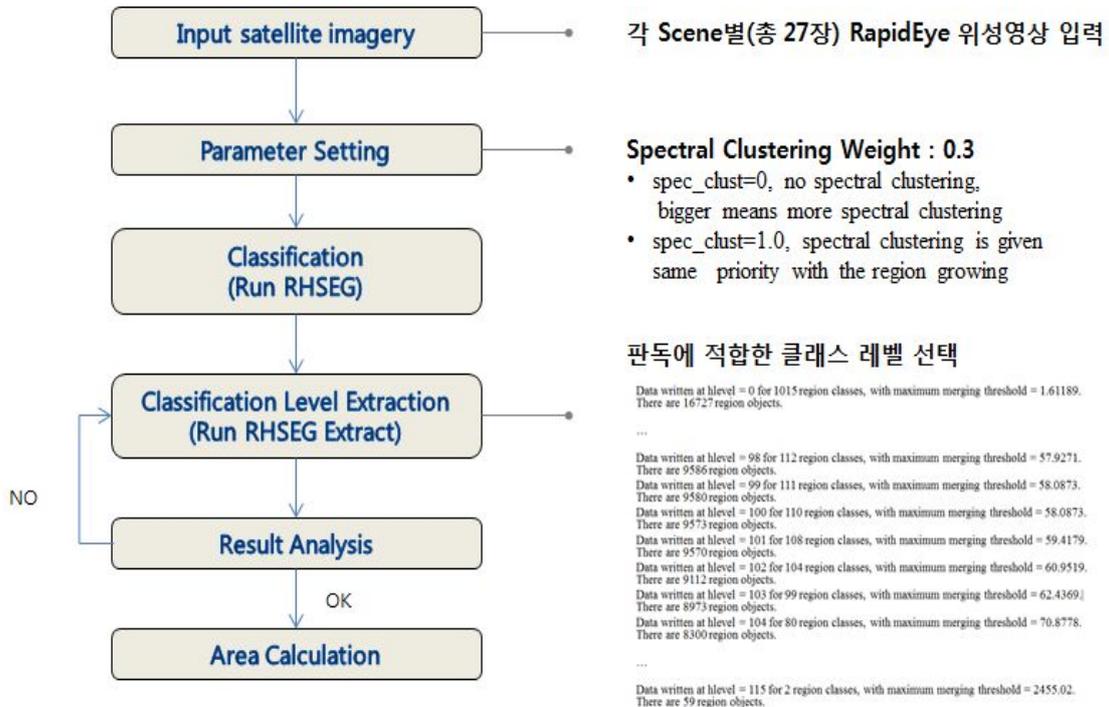


그림 59. RHSEG 무감독분류 수행 과정

- 황해남도 총 27장의 RapidEye Scene별로 판독에 적합한 클래스 레벨을 선택한 결과는 다음과 같다.



그림 60. RapidEye Scene별 분류 클래스 수

#### 4.5.2. 분류결과 분석 및 비 재배면적 추정

- 논, 밭, 산림 및 초지, 도심지, 수계, 기타, 미분류지역의 총 7개 분류항목(클래스)으로 나누어 다음과 같이 황해남도 전체에 대한 위성영상 분류지도를 생성하였다.

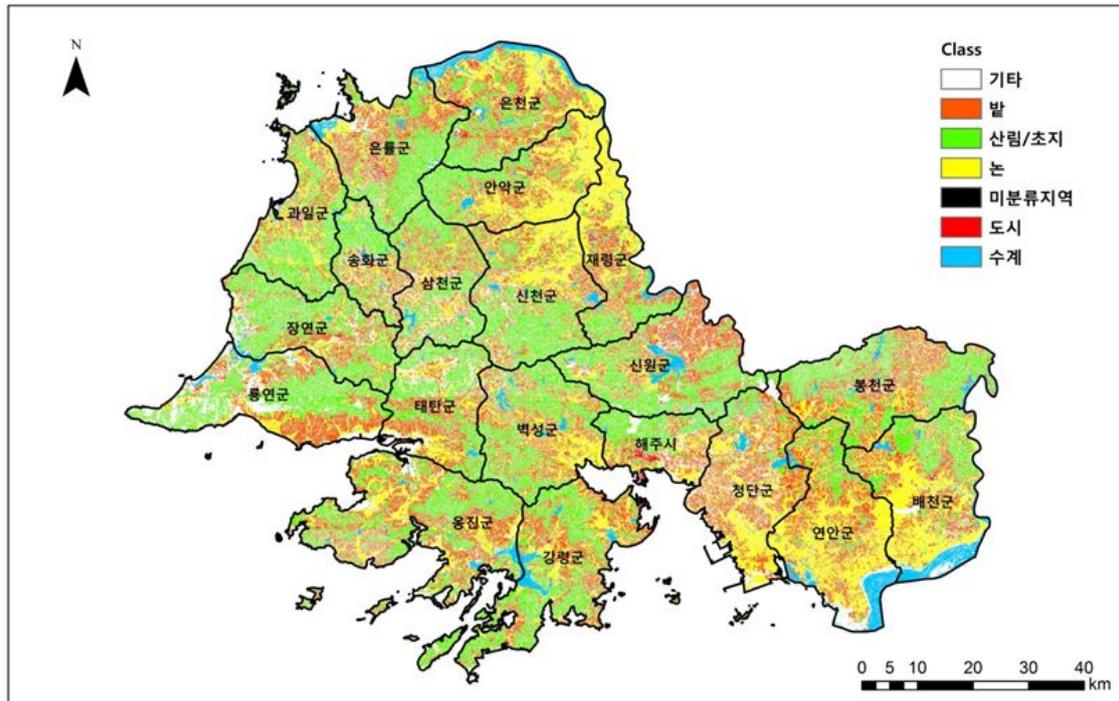


그림 61. RHSEG 무감독분류를 적용한 황해남도 RapidEye 위성영상 분류 결과

○ 각 Scene별 분류 결과를 분석하여 정리한 결과, 황해남도 논 면적은 약 164,580ha로 추정되었다.

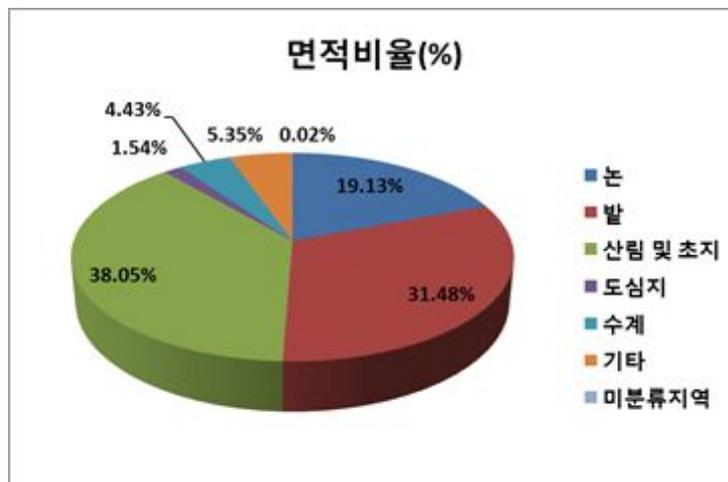


그림 62. 황해남도 분류항목별 면적비율

표 71. 황해남도 RapidEye 위성영상 분류 결과

분류항목	면적(sq km)	면적(ha)
논	1,646	164,580
밭	2,708	270,792
산림 및 초지	3,273	327,302
도심지	133	13,272
수계(하천, 호수, 바다 등)	381	38,105
기타(해변, 염전, 나대지 등)	460	46,041
미분류지역	1	137

○ 황해남도 행정구역별(1개 시, 19개 군) 논 면적 추정 결과는 다음과 같다.

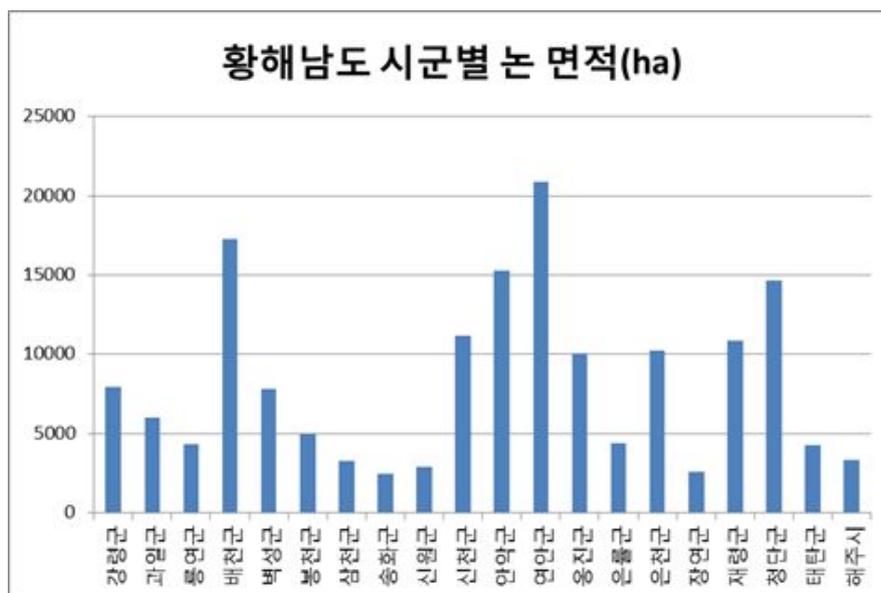


그림 63. 황해남도 행정구역별 논 면적(ha)

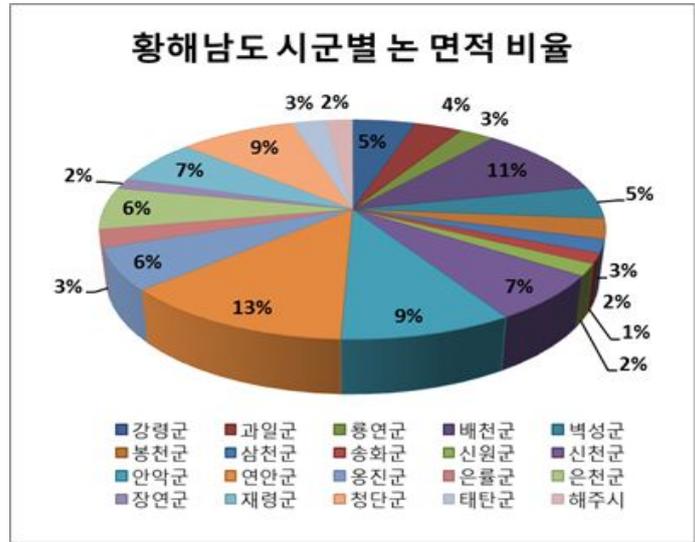


그림 64. 황해남도 행정구역별 논 면적비율(%)

표 72. 황해남도 행정구역별 논 면적 및 비율 추정 결과

행정구역	추정 논 면적	논 면적 비율	행정구역	추정 논 면적	논 면적 비율
해주시	3,327 ha	2%	신천군	11,171 ha	7%
강령군	7,924 ha	5%	안악군	15,300 ha	9%
과일군	6,001 ha	4%	연안군	20,898 ha	13%
룡연군	4,330 ha	3%	용진군	10,049 ha	6%
배천군	17,294 ha	11%	은륜군	4,370 ha	3%
벽성군	7,825 ha	5%	은천군	10,226 ha	6%
봉천군	4,911 ha	3%	장연군	80,877 ha	2%
삼천군	3,267 ha	2%	재령군	10,882 ha	7%
송화군	2,428 ha	1%	청단군	14,638 ha	9%
신원군	2,859 ha	2%	태탄군	4,286 ha	3%

○ 이렇게 추정된 논 면적에서 다시 벼 재배지역을 추정해 내기 위해 각 RapidEye 영상의 촬영시기를 확인하였다. 본 연구에서 벼 재배면적 추정의 기준으로 정한 시기는 RapidEye 영상의 촬영시기를 고려한 2010년으로 선정하였다. 그 후 영상 촬영시기별로 판독참조자료를 달리하여 벼 재배지역으로 추정되는 지역을 산출했다.



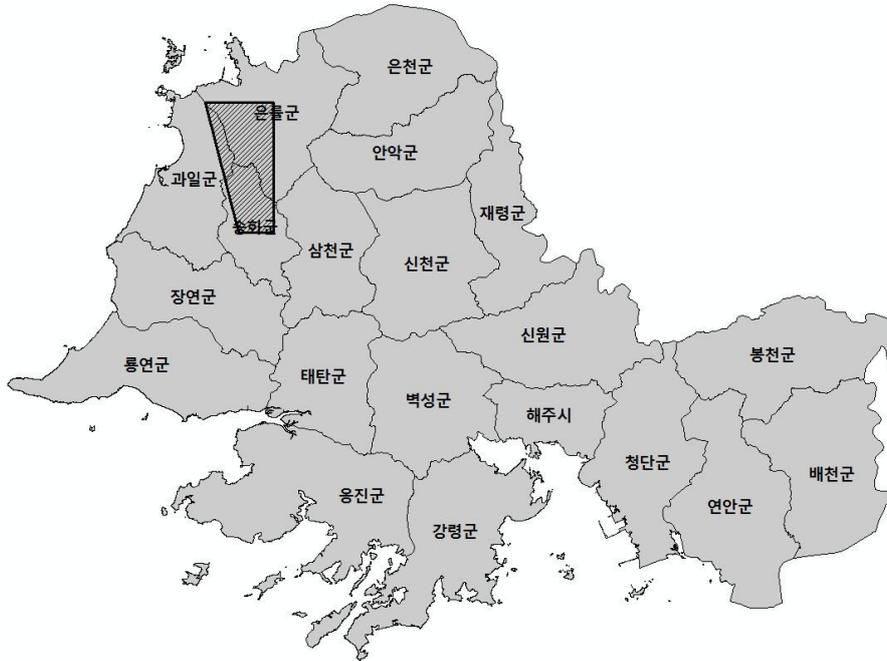


그림 66. 벼 재배지역 판독이 불가능한 지역

- 황해남도 전체 지역(860,229ha) 중 약 2.4%(20,831ha)는 벼 생육시기에 촬영된 RapidEye, KOMPSAT-2, 구글어스 영상이 존재하지 않아 판독이 불가능하였으므로 제외되었다.
- 2010년 6월에 촬영된 RapidEye 영상은 벼에 물을 댄 시기에 촬영된 영상으로 이는 RapidEye 영상에서 판독가능하다. 따라서 2010년 6월에 촬영된 RapidEye 영상에서 추정된 논 면적 중 물이 대어져 있는 논은 벼 재배지역으로 판단하였다.
- 2010년 4월에 촬영된 RapidEye 영상에서는 경지정리된 논에 모판이 있는 지역과 물이 대어져 있는 지역은 벼 재배지역으로 판독하였다.

- 2010년 9월에 촬영된 RapidEye 영상에서는 경지정리된 논에 푸른 식생이 보이는 곳은 벼 재배지역으로 판독하였다.

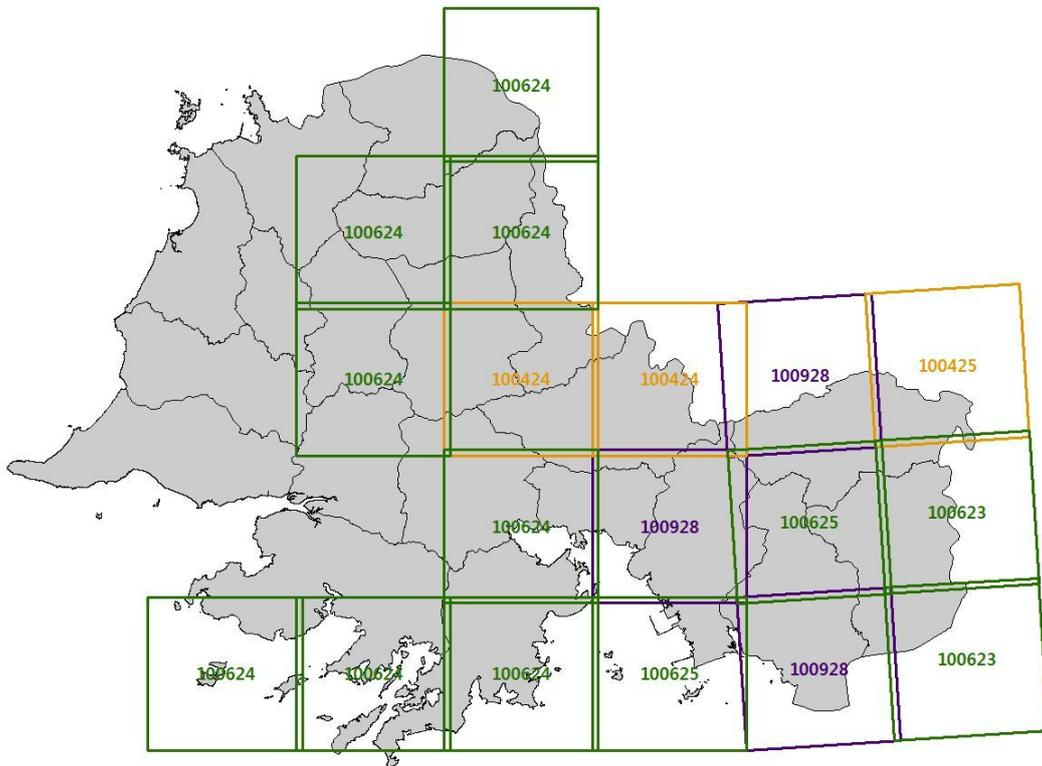


그림 67. 2010년 4, 6, 9월에 촬영된 RapidEye 영상 분포

- 2010년 4, 6, 9월에 촬영된 영상이 아닌 지역에 대해서는 KOMPSAT-2 영상과 구글어스 이미지를 참조자료로 활용하여 벼 재배여부를 판독하였다.
- 2010년 5~6월에 촬영된 KOMPSAT-2 영상에서는 물이 대어져 있는 매끈한 표면의 논 영역을 벼 재배지역으로 판독하였다.

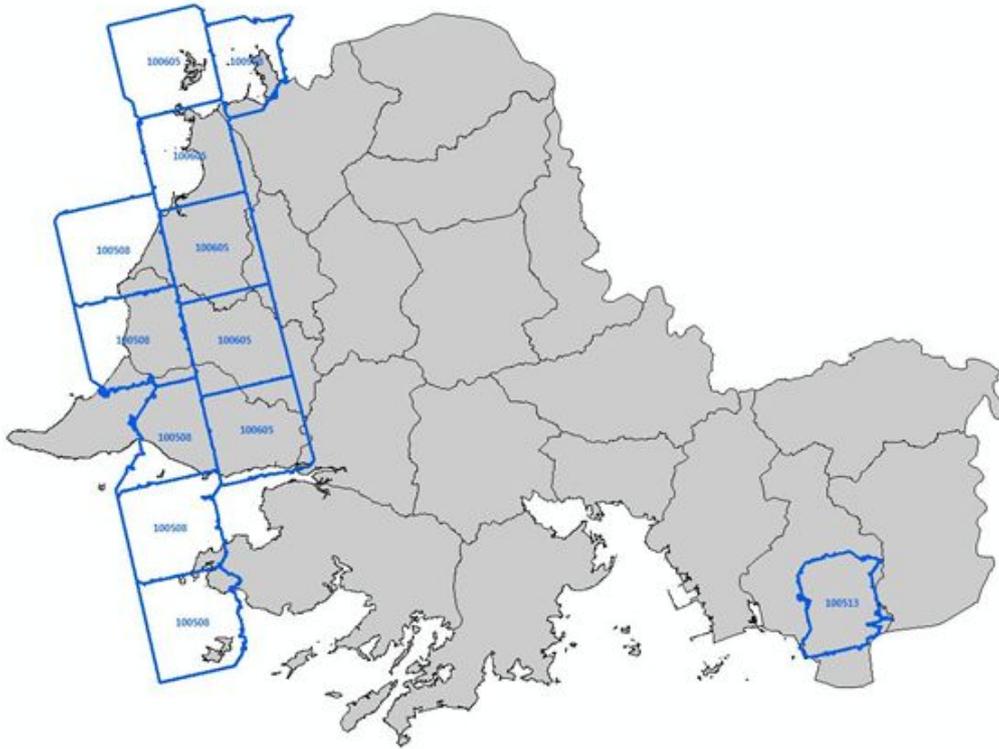


그림 68. 2010년 5~6월 촬영된 KOMPSAT-2 영상 분포

- RapidEye 영상과 KOMPSAT-2 영상으로 벼 재배여부를 판독할 수 없는 지역에 대해서는 구글어스 이미지를 이용하여 판독하였다.
- 2010년 6, 9, 10월에 촬영된 구글어스 영상에서는 물댄 논, 벼 생육중인 논, 추수 후의 논을 벼 재배지역으로 판독하였다.

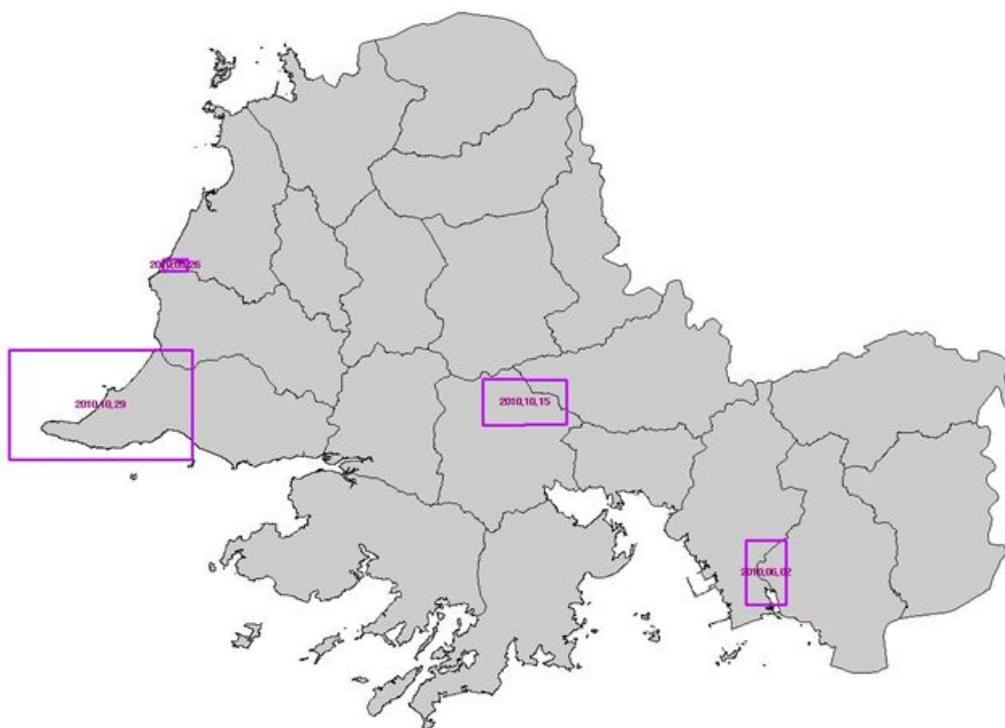


그림 69. 2010년 6, 9, 10월에 촬영된 구글어스 이미지 분포

- 2010년 벼 생육시기에 촬영된 RapidEye, KOMPSAT-2, 구글어스 이미지가 존재하지 않는 지역은 다음과 같은 방법을 이용하여 벼 재배면적을 추정하였다.
- 2009년 6월에 촬영된 RapidEye 영상은 2010년 6월 KOMSAT-2 영상과 동일한 지역의 논 패턴을 비교분석하여 벼 재배지역을 추정하였다. KOMSAT-2 영상에서 확실히 벼 재배지역이라고 판단되는 곳과 동일한 지역의 2009년 6월 RapidEye 영상 패턴을 비교하여 판독 기준으로 정하고, 벼 재배지역이라고 추정되는 RapidEye 패턴과 동일한 패턴을 가지는 지역은 벼 재배지역이라고 추정하였다.

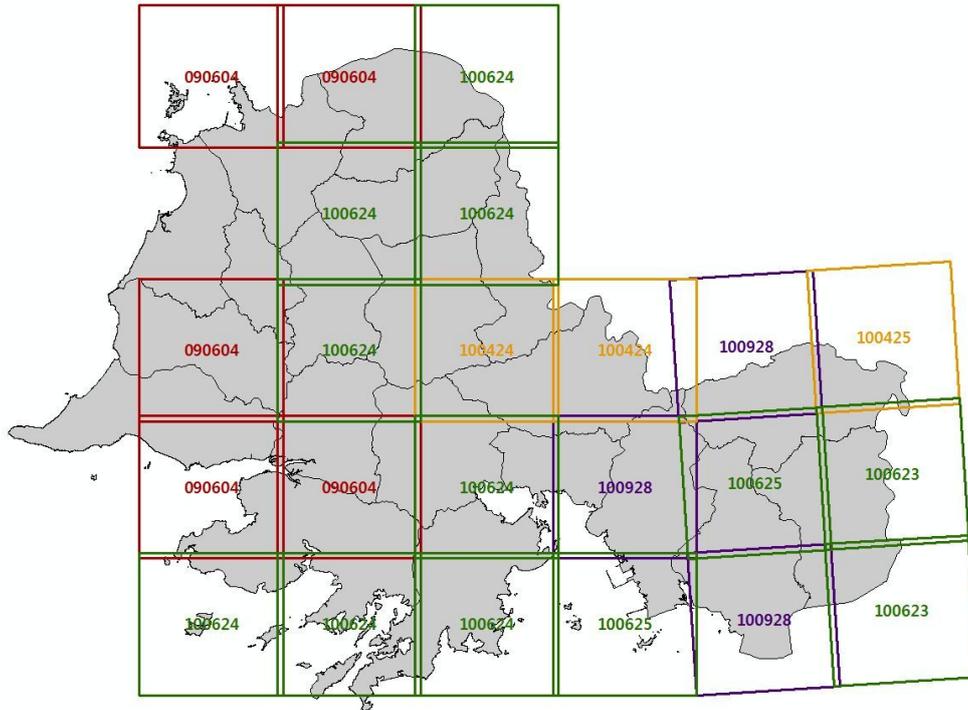


그림 70. 2009년 6월 촬영된 RapidEye 영상 분포(빨간색)



장연군 KOMSAT-2 영상



장연군 RapidEye 영상



배천군 KOMSAT-2 영상



배천군 RapidEye 영상

그림 71. 2010년 6월 KOMPSAT-2 영상과 2009년 6월 RapidEye 영상의 논 패턴 비교

- 각 영상촬영 시기별로 나누어 황해남도 벼 재배면적을 추정한 결과, 약 151,023ha로 추정되었다.
- 이는 앞서 추정한 황해남도 논 면적(164,580ha)과 13,557ha 차이가 발생한다.
- 본 연구에서 추정한 황해남도의 논 면적과 벼 재배면적에 차이가 나는 이유로는 휴경 논 존재, 영상촬영시기 및 분류정확도에 따른 판독 오차를 생각할 수 있다.
- 북한의 휴경 논이 존재하는 이유는 관련 참고문헌 조사 내용에 따르면, 북한의 저급한 농업기술로 인해 토양의 산성화 및 지력이 약화되어 휴경으로 이어진 것으로 예측된다.
- 또한 북한은 민간 상거래가 금지되고 사유재산이 제한되어 있어 농민들이 휴경지를 경작해 소출을 시장에 내다파는 것이 금지되어 있고, 휴경지의 경작은 정부의 허가를 득하여 진행할 수 있다. 이와 같은 이유로 휴경지가 존재하는 것으로 추정된다.
- 판독에 사용한 영상의 종류 및 촬영시기별 분류형태는 다음과 같다.

표 73. RapidEye 영상 판독 예(농경지)

촬영시기	RapidEye	
	논	밭
2010년3월		
2010년4월		
2010년6월		
2009년6월		

표 74. RapidEye 영상 판독 예(도심지, 기타)

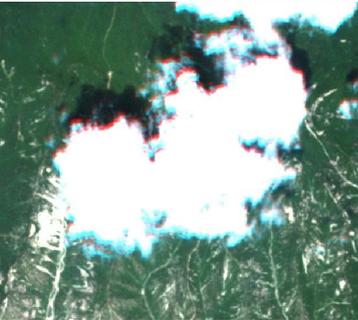
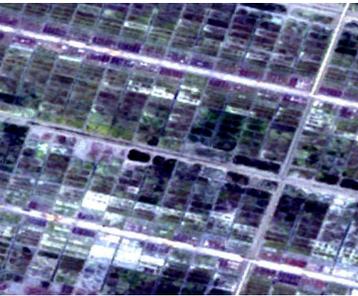
구분	RapidEye	
산림 및 초지		
도심지		
기타(구름)		
기타(염전)		
미분류지역		

표 75. RapidEye와 KOMPSAT-2 영상 패턴 비교

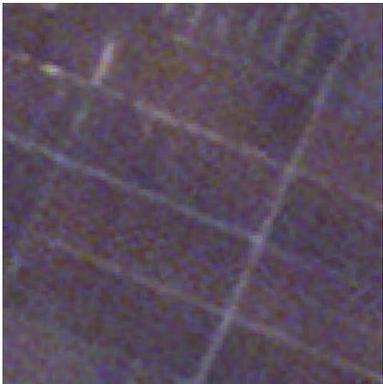
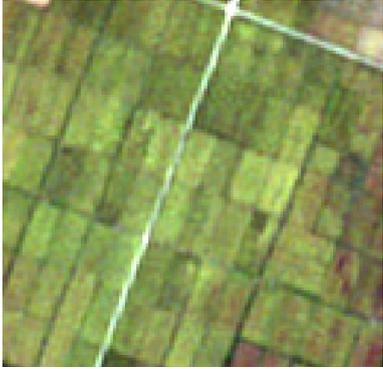
촬영시기	구분	
	RapidEye	KOMSAT-2
2010년6월 (물댄 논)		
2010년9월 (벼 생육기 논)		
2010년6월 RapidEye  2009년6월 KOMSAT-2  논 패턴 비교		

표 76. KOMPSAT-2 영상 판독 예

촬영시기	KOMSAT-2
2010년5월 물댄 논	
2010년9월 벼 생육기 논	

표 77. 구글어스(Google Earth) 영상판독 예

촬영시기	구글어스 영상
2010년6월 물댄 논	
2010년9월 벼 생육기 논	
2010년10월 벼 추수기 논	

### 4.5.3. 결과검토

○ 본 연구에서 수행한 RHSEG 분류 정확도를 확인하기 위해 참조자료와 비교해보았다. 참조자료와 RHSEG 분류결과를 중첩하여 육안으로 비교하였을 때 대부분의 분류항목들이 잘 분류되어 있는 것을 알 수 있었다.

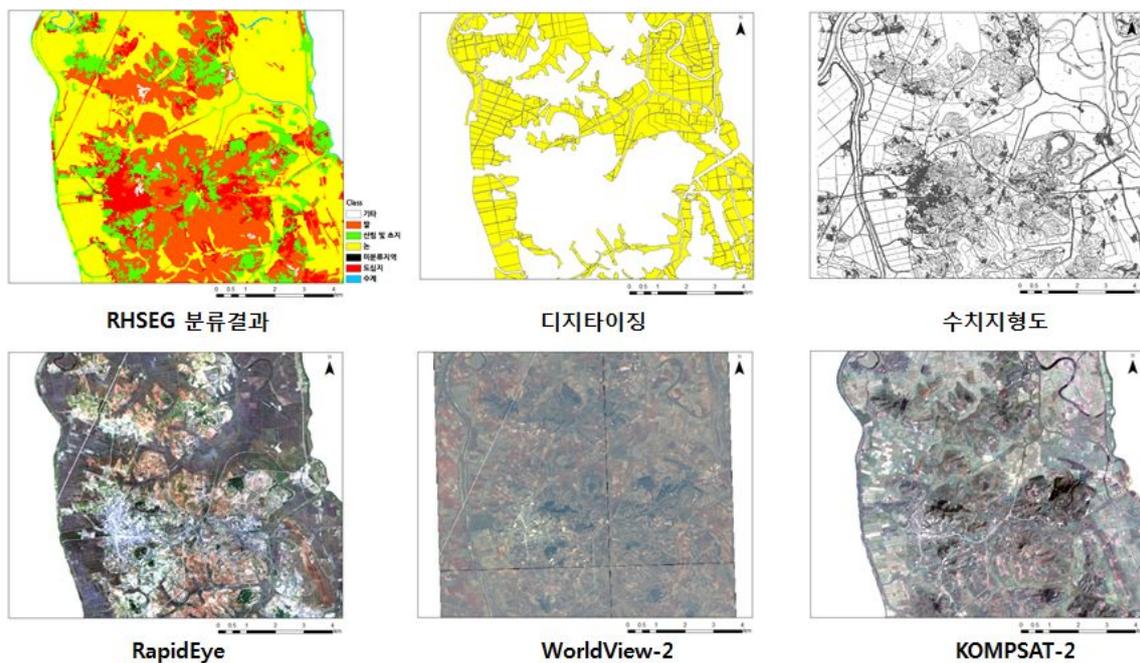


그림 72. RHSEG 분류결과와 참조자료 비교

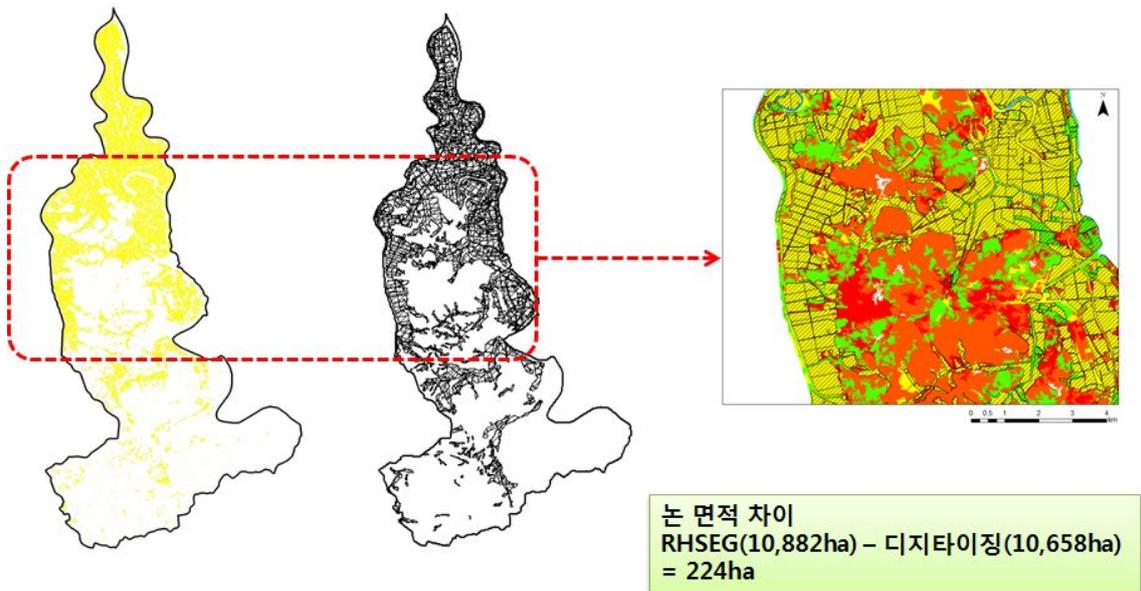


그림 73. RHSEG 분류결과와 디지털지정 결과 비교

- 보다 객관적인 수치로 검토해보기 위하여, 시범군인 재령군의 RHSEG 분류결과와 본 연구에서 수행한 디지털지정 결과를 비교한 결과 논 면적이 224ha 차이나는 것을 알 수 있었으며, 두 자료를 중첩할 경우 분류된 논 지역이 디지털지정 결과 작성된 논 위치와 잘 맞는 것을 알 수 있었다.
- 본 연구에서 추정된 논 면적을 타 연구결과 및 유관기관 자료와 비교해보았다. 벼 재배면적은 참조할 수 있는 자료를 확보할 수 없어서 논 면적에 대해서만 비교분석이 가능하였다.
- 2007년 서울대 연구결과와 비교한 결과 약 12,910ha 차이가 있는 것으로 나타났으며, 2010년 국제연합식량농업기구(FAO)의 보고서 자료와는 약 18,580ha 차이가 발생하는 것으로 나타났다.

2007년 서울대 연구논문

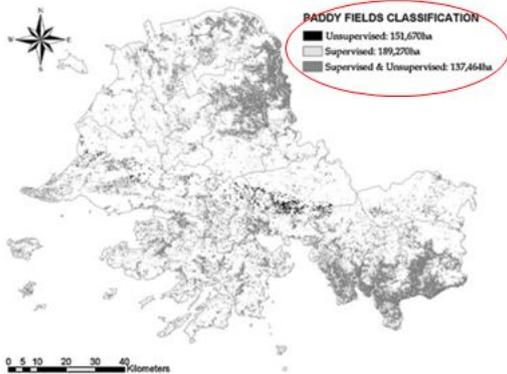


Fig. 4. Results of paddy fields classified with unsupervised classification and supervised classification, showing a total of 189,270 ha and a total of 151,670 ha of paddy fields, respectively.

논 면적 차이  
추정치(164,580ha) - 연구결과(151,670ha)  
= 12,910ha

2007, Min-Won Jang et al.,  
A spatial reasoning approach to estimating paddy rice  
water demand in Hwanghaenam-do, North Korea,  
Agricultural Water Management, Volume 89, Issue 3

그림 74. 2007년 서울대 연구결과와 비교

2010년 FAO(국제연합식량농업기구) 보고서

Province	Paddy			Maize			Potato (cereal equiv.)			Soybeans			Other cereal crops			Total		
	000 ha	t/ha	000 t	000 ha	t/ha	000 t	000 ha	t/ha	000 t	000 ha	t/ha	000 t	000 ha	t/ha	000 t	000 ha	t/ha	000 t
Pyongyang City	16	5.03	78	7.3	3.64	27	0.7	2.46	1.8	2.3	1.91	4.3	0.8	1.62	1.3	27	4.22	112
South Pyongan	83	4.81	399	61	3.32	204	0.5	2.47	1.2	10	1.75	17	1.4	1.41	2.0	156	3.99	623
North Pyongan	101	4.48	453	87	3.54	308	5.4	2.56	14	10	1.75	18	1.4	1.63	2.2	205	3.87	795
Changang	7.0	3.74	26	35	3.02	106	2.2	2.78	6.2	4.9	1.53	7.4	1.3	1.42	1.9	50	2.92	147
South Hwanghae	146	4.67	682	87	3.47	301	2.8	2.56	7.1	15	1.73	26	1.9	1.58	3.0	253	4.04	1 020
North Hwanghae	70	4.31	300	80	3.58	285	0.8	2.40	1.9	16	1.67	26	2.4	1.54	3.6	168	3.67	616
Kangwon	34	2.93	100	36	3.17	115	0.6	2.29	1.3	6.2	1.72	11	1.8	1.47	2.7	79	2.91	229
South Hamgyong	60	3.08	185	47	3.22	150	9.6	3.49	34	7.2	1.78	13	0.3	1.58	0.5	124	3.09	382
North Hamgyong	25	2.89	72	50	3.05	151	5.5	3.46	19	11	1.77	19	0.5	1.60	0.7	91	2.87	262
Ryongyang	2.0	2.23	4.4	5.5	2.11	12	19	3.68	70	5.8	1.41	8.1	0.7	1.50	1.0	33	2.89	95
Nampo City	27	4.71	128	7.6	3.26	25	0.9	2.64	2.3	2.1	1.81	3.8	0.2	1.40	0.3	38	4.19	159
DPRK	570	4.26	2 426	503	3.35	1 683	48	3.30	158	90	1.71	154	13	1.52	19	1 224	3.63	4 441

논 면적 차이 = 추정치(164,580ha) - FAO 보고서(146,000ha) = 18,580ha

그림 75. 2010년 국제연합식량농업기구(FAO) 보고서와 비교

- 논 면적 추정 결과에 차이가 나는 원인으로는, 판독영상 종류 및 촬영 시기 차이, 영상분류방법의 차이 등에 의한 것으로 추정된다.

#### 4.6. 쌀 생산량 예측 사업관련 연계사항 검토

- 북한지역의 쌀 생산량 통계자료 확보가 가능하다면 본 연구성과를 다음과 같이 쌀 생산량 예측 사업에 활용할 수 있을 것으로 판단된다.
- 본 사업을 통해 추정된 북한의 벼 재배지역 위치정보를 이용하여 쌀 생산량 추정 모형에 입력하는 NDVI 값 산출을 위해 사용할 논벼 재배지 격자추출에 활용 가능
- 북한 전역에 대해서는 MODIS 또는 GOCI 영상의 NDVI를 이용해야 하겠지만, 관심지역(주요지역, 소규모지역)에 대해서는 벼 생육시기에 촬영된 RapidEye NDVI를 쌀 생산량 추정모형 개발에 활용 가능

## 4.7. 소결론

### 1) 시범지역 선정

- 북한 벼 재배면적 1개도 시범조사 연구를 위한 지역으로, 북한 최대의 곡창지대로 북한 쌀 생산의 1/4을 담당하고 있는 황해남도를 선정하였다.
- 1개도 시범조사를 수행하기 전에 벼 재배면적 조사 방법 개발을 위한 1개군 시범지역으로 재령군을 선정하였다.

### 2) 위성영상 및 지리정보 자료수집

- 북한지역 벼 재배면적 추정을 위해 사용한 위성영상 자료는 판독 기준으로 사용한 RapidEye(2009~2010년) 영상을 비롯하여 KOMPAT-2, 구글어스 영상을 이용하였다.
- 판독 참조자료로는 국토지리정보원 수치지형도(2007년)와 환경부 토지피복지도(2010년)를 활용하였다.

### 3) 영상분류방법 검토

- 시범군으로 선정한 재령군을 대상으로 수행한 무감독분류, 감독분류, 디지털타이핑 결과 추정된 논 면적은 ERDAS 무감독분류 12,708ha, RHSEG 무감독분류 10,882ha, ERDAS 감독분류 7,928ha, 육안판독 디지털타이핑 10,658ha로 나타났다.
- 전문가와 함께 재령군 영상분류 결과를 비교분석한 결과, 육안판독 디

지타이징 방법이 가장 정확도가 높은 것으로 판단되었으나, 본 연구에서 소요되는 비용과 일정을 감안하여 디지털타이징 결과와 오차(224ha)가 가장 작게 나타난 RHSEG 무감독분류 방법을 적용하기로 하였다.

#### 4) 황해남도 벼 재배면적 추정 및 결과 검토

- RapidEye 영상을 이용하여 RHSEG 무감독분류 방법을 적용하여 분류한 결과, 황해남도 전체 논 (경지)면적은 164,580ha로 추정되었다.
  
- 연안군 13%, 배천군 11%의 논 면적비율이 높은 것으로 나타났으며, 송화군 1%, 해주시·삼천군·신원군·장연군이 2%로 논 면적비율이 낮은 것으로 추정되었다.
  
- RHSEG 분류결과 논으로 추정된 영역에서 다시 영상종류 및 촬영시기별로 지역을 나누어 육안판독을 통한 벼 재배지역을 판독한 결과 2010년 기준 황해남도 벼 재배면적은 151,023ha로 추정되었다.
  
- 벼 생육시기에 촬영된 RapidEye, KOMPSAT-2, 구글어스 영상이 존재하지 않아 벼 재배여부를 판독할 수 없는 지역은 황해남도 전체 면적 중 약 2.4%(20,831ha)로 벼 재배지역 추정에서 제외하였다.
  
- 추정한 논 면적을 타 연구결과 및 유관기관 자료와 비교한 결과, 2007년 서울대 연구결과와는 약 12,910ha, 2010년 국제연합식량농업기구 (FAO) 보고서 자료와는 약 18,580ha 차이가 발생하였다. 2010년 벼 재배면적은 비교가능한 참조자료가 없어 결과를 비교분석하지 못하였다.

**5) 쌀 생산량 예측 사업관련 연계사항 검토**

- 본 사업을 통해 추정된 북한의 벼 재배지역 위치정보를 이용하여 쌀 생산량 추정 모형에 활용 가능하다.
  
- 북한 전역에 대해서는 MODIS 또는 GOCI 영상의 NDVI를 이용해야 하겠지만, 관심지역(주요지역, 소규모지역)에 대해서는 벼 생육시기에 촬영된 시계열 RapidEye NDVI 활용이 가능하다.



## 제5장 결론

### 5.1. 연구내용 및 결과 요약

#### 1) 2011년도 쌀 생산량 추정 모형 수정

- 본 연구에서는 기존 연구(2011년)에서 모형개발을 위해 사용한 MODIS NDVI, 논벼 재배지 격자, 기상자료의 오류를 확인하고 수정하였다.
- 또한 기존 57개 기상관측소 자료에 신규 21개를 추가하여 총 78개 기상관측소 자료를 이용하여 전국 및 도별 등숙기를 재선정하였다.
- 기존의 일교차, 평균온도, 누적강우량, 누적일조시간에 누적일사량 자료를 추가하여 모형을 개선하였다.

#### 2) 2012년도 쌀 생산량 예측

- 수정한 모형을 적용하여 2012년도 쌀 생산량을 추정한 결과, 전국단위 생산량 추정치는 528.9kg/10a로 생산량 확정치와 20.2kg/10a 오차가 발생하였다.
- 2012년도 추정량 오차가 다소 크게 발생(도별 추정량 오차(절대값) 평균 약 42kg/10a)한 원인으로는, 8월 말 태풍(볼라벤)의 영향으로 생산량이 감소했기 때문인 것으로 추정된다.
- 과거 2003년에도 태풍(매미)의 영향으로 추정량 오차가 큰 것으로 나타났으며, 2003년도 도별 추정량 오차(절대값)의 평균이 2012년도 도별 추정량 오차(절대값) 평균과 동일하게 나타남을 알 수 있었다.

**3) 쌀 생산량 추정 연구성과에 대한 통계청 실용화 프로세스 도출**

- 통계청에서는 경지면적조사, 재배면적조사, 경지이용실태조사, 생산량조사 등을 수행하고 있으며, 농촌진흥청에서는 벼 작황시험, 농업기상 관측 및 정보시스템, 원격탐사의 농업 활용 연구, 작황예측시스템 등의 관련 연구를 수행하고 있는 것으로 파악되었다.
- 농촌진흥청에서 개발한 작황예측모델 개선 및 검증에 통계청 현장조사 자료를 활용한다면 기관 간 협력 및 기술 실용화가 구현될 수 있을 것으로 판단된다.

**4) 위성영상을 활용한 북한지역 1개도 벼 재배면적 추정**

- 국내에서는 모내기를 경기도·강원도·충청도에서는 5월 하순~6월 상순, 산간지일 경우 5월 중·하순, 경상도·전라도는 6월 중·하순에 하는데 비해 북한에서는 지역별로 차이가 있긴 하나 대체로 5월 중순~5월 하순에 하는 것으로 조사되었다.
- 북한지역 벼 재배면적 추정에 활용 가능한 참조자료로는, KOMPSAT-2 고부가자료(항우연), 수치지형도(국토지리정보원), 토지피복지도(환경부), 구글어스 이미지(Google) 등이 있다.
- 본 연구에서는 황해남도 RapidEye 영상에 RHSEG 무감독분류 기법을 적용하여 영상분류지도를 작성하고 분류항목별 면적을 산출하였다.

- 황해남도 논 면적은 약 164,580ha로 추정되며, 이는 2007년 서울대 연구결과와 12,910ha, 2010년 국제연합식량농업기구(FAO) 보고서 자료와는 18,580ha 차이를 보였다.
- 황해남도 벼 재배면적은 무감독분류를 통해 논 면적을 추정한 결과에서 실제 벼를 재배하고 있다고 판단되는 지역만 다시 산출해 낸 것으로 약 151,023ha로 추정되었다.
- 본 연구에서 추정한 황해남도의 논 면적과 벼 재배면적에 차이가 나는 이유로는 휴경 논 존재, 영상촬영시기 및 분류정확도에 따른 판독 오차를 생각할 수 있다.
- 북한의 휴경 논이 존재하는 이유는 관련 참고문헌 조사 내용에 따르면, 북한의 저급한 농업기술로 인해 토양의 산성화 및 지력의 약화로 인한 휴경, 사유재산 제한으로 휴경지 경작은 정부의 허가를 득하여 진행해야 하는 행정적인 제약에 의한 것으로 추정된다.

## 5.2. 제언

### 5.2.1. 원격탐사를 활용한 쌀 생산량 추정의 문제점 및 향후 연구방향

- 일부 지역은 도별 MODIS NDVI 평균값과 생산량 간 상관관계가 낮게 나타났다. 이는 MODIS NDVI(대기보정 오차)와 논벼 재배지 격자(토지 피복지도 오차)에 포함되어 있는 오차가 논 지역의 NDVI 값 산출 정확도에 영향을 주는 것으로 판단되므로 추후 연구에서는 논벼 재배지의 NDVI 산출 정확도를 높일 수 있는 방법에 대한 연구가 수행되어야 할 것이다.
  
- 논벼 재배지 격자 산출 시 통계청에서 수행하고 있는 '경지 및 벼 재배 면적' 사업성과를 활용하는 방안도 고려할 필요가 있으며, 추후 연구에서 토지피복지도, 지적도, 수치지형도 등 지리정보자료와 함께 비교분석하여 어떤 자료를 활용하는 것이 모형의 예측력을 높일 수 있는지에 대한 연구가 필요하다.
  
- 자연재해(태풍 등)의 영향으로 생산량이 감소하여 생산량 추정모형 결과와 오차가 많이 발생하는 문제가 확인되었다. 현재 생산량 추정 모형은 자연재해(태풍 등)를 고려하는 변수가 없으므로 이를 반영할 수 있는 모형(예를 들면 태풍의 경우 풍속 등의 변수를 고려) 개발이 필요하다.
  
- 추후 원격탐사기술을 활용한 생산량 통계를 실용화하기 위해서는 본 연구에서 분석한 MODIS NDVI 오차, 벼 재배면적 자료의 오차, 자연재해(태풍 등)로 인한 생산량 추정 오차를 줄일 수 있는 방법에 대한 연구가 필요하다.

### 5.2.2. 쌀 생산량 추정 연구성과에 대한 통계청 실용화 프로세스 도출의 문제점 및 향후 진행방향

- 자료 보안 등 정책적인 장애물로 인해 기관 간 협력에 어려움이 존재한다. 향후 협의체를 구성하여 유기적인 업무 프로세스가 진행될 수 있도록 추진해야 할 것이며 이를 뒷받침할 수 있는 정책이 수립되어야 할 것이다.

### 5.2.3. 위성영상을 활용한 북한지역 1개도 벼 재배면적 추정의 문제점 및 향후 연구방향

- 벼 생육기간에 촬영된 영상이 아닌 과거(아카이브)영상을 이용하여 추정하였으므로 판독 정확도가 떨어지는 문제가 발생하였다. 향후 연구에서는 반드시 해당연도의 벼 생육기간에 촬영된 신규촬영 영상을 이용하여 식생지수 등을 활용해 벼 재배면적을 추정할 수 있도록 해야 한다.
- 영상분류 방법으로는 본 연구에서 활용한 무감독분류 뿐만 아니라 지역 및 지형에 따라 감독분류 방법과 융합하여 분류하는 방법에 대한 연구도 필요하다.
- 현장조사 자료가 없으므로 정확도 검증에 어려움이 있다. 농촌진흥청 등 유관기관과의 협조를 통해 각 기관에서 사업수행 결과로 도출된 산출물을 서로 비교분석하여 상대적인 정확도를 검증하는 방법이 필요할 것으로 판단된다.



## 참 고 문 헌

- 강준목, 이성순, 박준규, 백승희(2010), 고해상도 위성영상을 이용한 SVM의 분류정확도 분석, 제35회 대한토목학회 정기 학술대회
- 권오복, 김재환(2007), 위성정보의 농업관측 활용 타당성과 추진 전략, 한국농촌경제연구원 농업관측정보센터 전문가토론회
- 김도형, 박종화(2006), MODIS 다중 시기 영상을 이용한 북한 지역의 토지피복 변화 분석, 서울대학교 환경대학원 환경조경학과 학위논문
- 김은숙, 이승호, 조현국(2010), 북한 산림황폐지의 질감특성을 고려한 분할영상 기반 토지피복분류, 대한원격탐사학회지, 26권, 5호 pp477~487
- 김정현, 김두라, 이규성, 민숙주, 김계현(2001), KOMSAT EOC 영상을 이용한 북한 토지피복 판독 기법 개발, 대한원격탐사학회
- 김창환(2007), 북한의 GIS 연구동향 분석, 한국지리정보학회지
- 김현옥, 염종민, 김윤수(2011), 농촌지역 토지이용유형별 RapidEye 위성 영상의 분광식생지수 시계열 특성, 항공우주기술, 제10권, 1호, pp149~155
- 박남옥(2002), 위성영상을 이용한 북한 옥수수 재배지 분류 방법 개발, 인하대학교 지리정보공학 석박사 학위논문
- 박노옥, 지광훈, 권병두(2005), 다중 시기/편광 SAR 자료를 이용한 지표 피복 구분, 대한원격탐사학회지 추P학술발표회 및 정기총회
- 박노옥, 지광훈(2006), 다중 시기 Radarsat-1 자료와 ENVISAT 자료를 이용한 토지 피복 분류, 대한원격탐사학회
- 박진기, 박종화, 나상일, 김성준, 이지완(2010), 고해상도 위성영상을 이용한 논벼의 생육진단, 대한원격탐사학회 춘계학술대회 논문집

- 사공호상, 박진형(2005), SPOT-5 위성영상을 이용한 북한지역 지리정보 구축에 관한 연구, 한국지리정보학회지, 8권, 4호, pp134~142
- 사공호상, 임정호(2003), IKONOS 영상의 토지피복분류 방법에 관한 실증 연구, 한국지리정보학회지, 6권, 3호, pp107~116
- 사공호상, 한선의, 박진형, 서기환(2004), 고해상도 위성영상을 이용한 북한지역 지리정보 구축 실험연구, 한국지리정보학회지, 7권, 4호, pp46~56
- 사공호상, 황승미(2002), 원격탐사와 GIS 연계활동 방안 연구, 국토연구원
- 신수현(2005), 다중시기 정규식생지수(NDVI)를 이용한 가뭄지수의 한반도 적용성 분석, 인하대학교 일반대학원 석사논문
- 양찬수, 배상수, 한의정, 안유환, 유주형, 한태현, 유홍룡(2010), 정지궤도 해석탐재체(GOCI) 데이터의 수신·처리 시스템과 배포 서비스, 대한원격탐사학회, 제26권, 2호, pp263~276
- 염종민, 한경수, 김영섭(2005), 한반도 식생에 대한 MODIS 250m 자료의 BRDF 효과에 대한 반사도 정규화, 대한원격탐사학회지
- 염종민, 한경수, 김영섭(2006), 정규식생지수(NDVI) 산출시 발생하는 노이즈 제거에 관한 연구, 대한원격탐사학회
- 염종민, 한경수, 김인환(2010), 장기간 SPOT/VEGETATION 정규화 식생지수를 이용한 지면 탐지 개선에 관한 연구, 한국지리정보학회, 13권 4호, pp111~124
- 염종민, 한경수, 이창석, 박윤영, 김영섭(2008), SPOT/VEGETATION NDVI 자료를 이용한 북한지역 식생 변화 탐비, 한국지리정보학회지, 11권, 2호, pp28~37

- 유성진, 이우균, 이승호, 김은숙, 이종렬(2011), 위성영상과 공간자료를 이용한 북한 지역의 재조림 CDM 대상지 선정 및 적지분석 방안, 한국지형공간정보학회지, 제19권, 제3호, pp3~11
- 유재심, 박조화, 이승호(2011), 생물계절 상 분석을 통한 Level 3 type 북한 토지피복 특성, 대한원격탐사학회지
- 유주형, 문정언, 손영백, 조성익, 민지은, 양찬수, 안유환, 심재설(2010), 장지케도 해석탐재체(GOCI) 자료 검정을 위한 사전연구, 대한원격탐사학회
- 윤여상(2006), 고해상도 영상 및 라이다 자료를 이용한 객체 기반 건물 탐지, 대한원격탐사학회 2006년도 춘계학술대회 논문집
- 이규성, 정미령(1998), 북한지역의 토지피복 분류를 위한 위성영상의 시기적 특성, 대한원격탐사학회 1998년도 학술대회 논문집
- 이미선, 김성준, 신형섭, 박진기, 박종화(2009), KOMSAT-3급 위성영상을 이용한 농업 토지이용 및 작물 생육정보 추출, 대한원격탐사학회지
- 이상원, 박노옥(2011), 토지 피복 분류에서 분광 영상정보와 시간 문맥 정보의 결합을 위한 베이지안 확률 규칙의 적용, 대한원격탐사학회지
- 이상훈(2003), 다단계 계층군집 영상분류법을 이용한 토지 피복 분석, 대한원격탐사학회지, 제19권, 제2호, pp135~147
- 이상훈(2003), 퍼지 클래스 벡터를 이용하는 다중센서 융합에 의한 무감독 영상분류, 대한원격탐사학회지, 제19권, 제4호, pp329~339
- 이상훈(2006), RAG 기반 다중 창 영상 분할(1), 대한원격탐사학회지, 제22권, 제6호
- 이정빈, 허준, 어양담(2007), 객체 기반 영상 분류에서 최적 가중치 선정과 정확도 분석 연구, 대한원격탐사학회지, 제23권, 제6호
- 이창석, 한경수, 여종민, 이가람, 김영섭(2008), 가시 근적외 채널 자료를 이용한 육상 기본 변수 보정시스템 개발, 사단법인 한국해양학회

- 장민원, 최진용, 유승환, 이상현, 박정호(2008), MODIS 식생지수를 이용한 북한지역 가뭄 모니터링, 한국농공학회 학술발표회 논문집
- 정수, 이창노(2004), 고해상도 위성영상의 분류를 위한 영상 기반 분류 소프트웨어 개발, 지형공간정보 제12회, 제2호 pp53~59
- 정승택, 장근창, 홍석영, 강신규(2011), MODIS 영상자료를 이용한 관개 시기 탐지와 논 피복도 제작, 한국농림기상학회지, 제13권, 제2호
- 차수영, 서동조, 박종화(2009), MODIS 자료를 이용한 북한 개마고원 및 백무고원 식생의 생물계절 모니터링, 대한원격탐사학회지
- 한승재, 최민하(2011), 인공위성 영상을 이용한 토지피복의 감독 분류 및 무감독 비교, 한국수자원학회
- 한희경, 유주형, 안유환(2010), 정지궤도 해색탐재체(GOCI) 해양자료처리시스템(GDPS)의 개발, 대한원격탐사학회, 제16권, 2호, pp239~249
- 홍석영, 임상규, 이규성, 조인상, 김길웅(1999), 두시기 LAndsat TM 자료를 이용한 벼 재배면적 추정, 대한원격탐사학회, 1999년도 학술대회 논문집
- 홍석영, 임상규, 이승호, 이정철, 김이현(2008), 위성영상을 이용한 북한의 농업환경 분석, 한국환경농학회지, 제27권, 제2호
- 홍석영, 최은영, 김건엽, 강신규, 김이현, 장용선(2009), MODIS NDVI를 이용한 북한의 벼 수량 추정 연구, 대한원격탐사학회
- 홍석영, 허지나, 안중배, 이지민, 민병걸, 이충근, 김이현, 이경도, 김선화, 김건엽, 심문교(2012), MODIS NDVI와 기상자료를 이용한 우리나라 벼 수량 추정, 대한원격탐사학회지, 28권, 5호 pp509~521
- 황보주원, 유기윤, 김용일(2004), 위성 영상 분류 기법 선정을 위한 의사 결정 지원 시스템, GIS/RS 공동 춘계학술대회 논문집
- 통계청(2011), 원격탐사기술 활용 경지 및 벼 재배면적 시범조사 보고서

- 통계청(2011), 원격탐사기술을 활용한 주요 농산물 생산량 추정기법 개발 보고서
- 한국농촌경제연구원(2010), 인공위성을 이용한 벼 재배면적 조사 시범 연구 보고서
- 환경부(2003), 인공위성 영상 자료를 이용한 토지피복도 구축(4차) 보고서
- 환경부(2002), 토지피복도 제작지침안
- 농업사회발전연구원(2001), 북한농업기술조사연구
- D. Ryu, P. Teluguntla, H. Malano, B. George, B. Nawarathna, A. Radha(2011), Analysis of Spectral Measurements in Paddy Rice Field: Implications for Land Use Classification, 19th International Congress on Modeling and Simulation, Perth, Australia
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, ROM, WORLD FOOD PROGRAMME, ROME(2010), FAO/WFP CROP AND FOOD SECURITY ASSESSMENT MISSION TO THE DEMOCRATIC PEOPLE'S REPUBLIC OF KOREA
- HONG, Sukyoung, Sanghoon Hong, and Sangkyu RIM(1999), Relationship between RADARSAT backscatter coefficient and rice growth, International Symposium on Remote Sensing Vol.15, pp468-473
- HONG, Suk Young, Sang Kyu RIM(2000), Study on SAR Data Use for Rice-Field Mapping and Growth Information, International Symposium on Remote Sensing Vol.16, pp574-574
- Hyun Ok KIM, Jong Min Yoem, Youn soo Kim(2012), Agricultural Land Cover Classification using RapidEye Satellite Imagery in South Korea, Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems, and Hydrology XIII

- IWAYANNUARSA, FUMIIIKQ NISIIIIO(2007), RELATIONSHIPS BETWEEN RICE GROWTH PARAMETERS AND REMOTE SENSING DATA, International Journal of Remote Sensing and Earth Sciences, Vol.4
- K. Vaesen, S. Gilliams, K.nackaerts, P. Coppin(2001), Ground-measured spectral sinatures as indicators of ground cover and leaf area index: the case of paddy rice, Field Crops Research 69
- Kyu-Sung Lee, Sung-Min Park, Sun-Hwa KIM, Hwa-Seon Lee, Jung-Il Shin(2012), Radiometric Characteristics of Geostationary Ocean Color Image (GOCI) for Land Applications, Korea Journal of Remote Sensing Vol.28, No.3, pp277~285
- Su-young Cha, Chong-hwa Park(2007), THE LAND COVER MAPPING IN NORTH KOREA USING MODIS IMAGE; THE CLASSIFICATION ACCURACY ENHANCEMENT FOR INACCESSIBLE AREA USING GOOGLE EARTH, 대한원격탐사학회
- Ray D.Jackson, Alfredo R. Huete(1991), Interpreting vegetation indices, preventive Veterinary Medicine, 11, pp185~200
- Wang Chagyao, Yang Zhen Niu Zheng(2011), Crop Production Estimation and Farmine Evaluation for North Korea by Using Remote Sensing Technology, International Symposium on Remote Sensing Vol.17, pp273-278
- Xiangming Xiao, Stephen Boles, Jiyuan Liu, Dafang Zhuang, Steve Froking, Changshen Li, William Slas, Berrien Moore III, Remote Sensing of Environment, 95, pp480~492

- Yi-Shiang Shiu, Meng-Lung Lin, Kang-Tsung Chang, Tzu-How Chu(2010), Mapping Paddy Rice Agriculture using Multi-temporal FORMOSAT-2 Images, World Academy of Science, Engineering and Technology, 67
- Y. YAMAGATA, C. WIEGAND, T. AKIYAMA, M. SHIBAYAMA(1988), REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT 26

## 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 보고에 대한 저작 재산권 일체와 2차적 저작물 또는 편집저작물의 작성권은 통계청이 소유하며, 통계청은 정책상 필요시 보고서의 내용을 보완 또는 수정할 수 있습니다.