

통계청 정책연구용역
발 간 등 록 번 호
11-124-0000-000697-01

원격탐사 활용
북한 벼 재배면적 1개도 시험조사
A Pilot Survey
On One Province of North Korea's Rice
Cultivated Area Using Remote Sensing

2013. 12.

통 계 청

제 출 문

통계청장 귀하

본 보고서를 「원격탐사 활용 북한 벼 재배면적 1개도 시험 조사」 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2013년 12월 13일

- 주관연구기관명 : (주)인스페이스
- 연구책임자 : 최명진 대표이사
- 연구원 : 유창완 (주)인스페이스
김진광 중앙항업(주)
- 연구보조원 : 양윤정 (주)인스페이스
천용호 (주)인스페이스
김태영 (주)인스페이스
임세광 (주)인스페이스
이준혁 중앙항업(주)
김지용 중앙항업(주)

요약문

I. 연구제목

원격탐사 활용 북한 벼 재배면적 1개도 시험조사

II. 연구목적

1. 북한 1개도 시험조사 수행을 통해 북한지역 벼 재배면적 작성을 위한 방법론 제시
2. 2012년 쌀 생산량 추정모형의 예측력 검증 및 개선을 통해 2013년 국내 쌀 생산량 예측

III. 연구내용

1. 북한 벼 재배면적 1개도 시험조사
 - 위성영상 판독을 통한 벼 재배면적 추정
 - 판독 정확도 향상 방안 연구
 - 북한 농업통계 관련 공식 통계 현황 및 원격탐사 연구사례 조사
2. 원격탐사 활용 쌀 생산량 시험조사
 - 위성영상을 활용한 식생지수(NDVI) 산출
 - 2012년 쌀 생산량 추정모형 검토 및 개선
 - NDVI 활용 2013년 쌀 생산량 시범 예측

IV. 주요 연구결과

1. 시범지역으로 선정된 1개도를 대상으로 디지털화 기법을 활용한 벼 재배면적 추정
2. 판독 라이브러리 작성, 교차검증, 경사도 지도 제작 등 판독 정확도 향상 방안 마련
3. 기 수행 무감독분류 연구결과(2012)와 신규촬영 영상을 이용한 북한 황해남도 논 면적 추정 및 연구결과 비교분석
4. 기 수행연구(2012) 추정모형의 예측력 검증 및 향상을 위한 추정모형 개선
5. 논벼 재배지의 NDVI 산출 정확도 개선 방안 제시
6. 개선된 추정모형을 적용한 2013년 쌀 생산량 추정 및 예측오차 정확도 평가

차 례

제1장 서 론	1
1.1 연구 배경	1
1.2 연구 목적	4
1.3 연구 수행기간	5
1.4 연구 내용	5
1.5 기대효과	7
제2장 북한 벼 재배면적 1개도 시험조사	8
2.1. 북한지역 농업 환경 조사	8
2.2. 시범지역 및 시기 선정	11
2.2.1. 시범지역 선정	11
2.2.2. 시범시기 선정	12
2.3. 연구추진 방법론	13
2.4. 자료수집	14
2.4.1. 위성영상	14
2.4.2. 지리정보자료	18
2.4.3. 각종 통계 및 연구 조사	20
2.5. 위성영상 판독을 통한 벼 재배면적 추정	23
2.5.1. 자료 전처리	23
2.5.2. 경지(논)경계구획도 작성	24
2.6. 영상 분류 및 변화탐지 수행	32
2.6.1. 영상 분류(Image Classification)	32
2.6.2. 변화탐지(Change Detection) 결과	36
2.7. 판독 정확도 검증 방안 도출	40
2.7.1. 판독 라이브러리 작성	40
2.7.2. 전문가 자문회의 실시	48
2.7.3. 교차 검증	49
2.7.4. 경사도 지도(Slope Map) 제작	49
2.7.5. 새터민 초청 인터뷰	51
2.7.6. 미디어 매체를 활용한 북한 농업환경 분석	55
2.7.7. 고해상도 영상 활용	56
2.7.8. 북한 농업 전문가 질의	56

2.8. 북한 농업통계 관련 공식 통계 현황 및 원격탐사 연구사례 조사	58
2.8.1. 북한 농업통계 관련 공식 통계 현황 조사	58
2.8.2. 북한 농업통계 관련 원격탐사 연구사례 조사	60
2.9. 소결론	68
제3장 원격탐사 활용 쌀 생산량 시험조사	69
3.1. 2012년 추정모형 검토/개선	69
3.1.1. 2012년 쌀 생산량 추정모형 검토 및 자료수집	70
3.1.2. MODIS 식생지수 산출 정확도 개선방안 연구	75
3.1.3. 논벼 재배지 격자 추출 정확도 개선방안 연구	90
3.1.4. 기상자료 개선방안 연구	92
3.1.5. 자연재해(태풍 등) 영향 반영 방안 연구	113
3.2. 위성영상을 활용한 식생지수 산출	122
3.2.1. MODIS 식생지수 산출 및 보정	122
3.3. 2013년 쌀 생산량 추정	126
3.3.1. 자료수집(2013년 MODIS 영상 및 기상자료)	126
3.3.2. 2013년 쌀 생산량 추정모형 개발	132
3.3.3. 2013년 쌀 생산량 추정 및 결과 검토	141
3.4. 소결론	156
제4장 결 론	158
4.1. 연구내용 및 결과 요약	158
4.2. 제언	160
4.2.1. 북한 벼 재배면적 1개도 시험조사	160
4.2.2. 원격탐사 활용 쌀 생산량 시험조사	160
참 고 문 헌	163
부 록	172

그림 차례

그림 1. 시범지역 선정	11
그림 2. 시기선정	12
그림 3. 북한 황해남도 1개도 벼 재배면적 추정 과정	13
그림 4. RapidEye 수집 현황	15
그림 5. KOMPSAT-2 수집 현황	16
그림 6. KOMPSAT-3 수집 현황	17
그림 7. 구글어스 영상지도	17
그림 8. 수치지형도 수집현황	18
그림 9. 북한지역 수치지형도	18
그림 10. 대분류 토지피복지도 수집현황	19
그림 11. FAO Special Report 2013	20
그림 12. USDA에서 제공하는 Rice Crop Area	21
그림 13. SDC Report(2012)	22
그림 14. 자료 분석을 위한 전처리	24
그림 15. 디지털라이징 예시	25
그림 16. 1차 디지털라이징 작업 확대 이미지	27
그림 17. 신규영상 중첩 변동지역 수정	28
그림 18. 디지털라이징이 완료된 북한 황해남도 지역	29
그림 19. RHSeg 무감독분류 수행 과정	33
그림 20. 분류작업에 사용된 RapidEye 영상 촬영일시	33
그림 21. 2013년 황해남도 지역 RHSeg 분류 결과	34
그림 22. 2012년 RHSeg 분류 결과	36
그림 23. 2013년 RHSeg 분류 결과	36
그림 24. 판독자간 교차검증 수행	49
그림 25. 북한 황해남도 지역 Slope Map 제작 결과	51
그림 26. 새터민 인터뷰 현장 사진	51
그림 27. 나대지로 보이는 지역	52
그림 28. 구획된 논 일부가 물에 잠긴 지역	53
그림 29. 밭과 논이 패턴을 동시에 보이는 지역	53
그림 30. 수로가 끊어지는 지역의 모자이크형 패턴 경지	54
그림 31. '김정은 1년 북한 내부공개(2013)' 시청	55
그림 32. '[다큐 BBC] 악의 축 북한에 가다(2004)' 시청	55

그림 33. 고해상도 위성영상 활용	56
그림 34. 북한 농업 환경 관련 질의서	57
그림 35. 분류 방법별 토지피복도 결과 비교	60
그림 36. Distribution of parent material and soil type in North Korea	62
그림 37. Distribution map of paddy fields classified from RapidEye imagery in North Korea	62
그림 38. Landuse/cover map of North Korea classified from Landsat TM images	65
그림 39. Yearly change of 16-day NDVI of MODIS in paddy fields from 2000 to 2008	66
그림 40. 기존 쌀 생산량 추정모형 검토 및 개선점	71
그림 41. MODIS 식생지수 자료 검색 및 제공 사이트(USGS 홈페이지)	74
그림 42. 토지피복도에서 추출된 남한지역 논벼 재배지 마스크	74
그림 43. MODIS 자료 처리 및 가시화를 위한 IDL 소스 코드와 결과물 사례	77
그림 44. 2000~2012년 기간 동안 연도별 논 지역의 MODIS NDVI값과 통계청 쌀 생산량 조사값의 시계열 변화	81
그림 45. (상)2000~2012년 기간 동안 전국단위 MODIS NDVI와 쌀 생산량과의 산포도 및 선형회귀분석 결과. (하)3개의 이상치 값(2003년, 2009년, 2011년)을 제거 후 수행한 선형회귀 분석 결과	83
그림 46. Majority filter의 적용 전(좌)과 후(우) 비교	86
그림 47. MODIS 자료를 이용한 식생지수(NDVI, EVI, ARVI, SAVI, AFRI) 결과물 사례(2012년 8월)	89
그림 48. 논벼 지역의 MODIS 식생지수 추출을 위하여 토지피복도 공간해상도 조정	91
그림 49. 토지피복도 중 (좌)전북지역 30m 해상도의 논 경작지와 (우)250m로 재구성된 논 경작지 비교	91
그림 50. 행정구역별 논벼 단위면적(10a)당 수량(통계청 조사치)	98
그림 51. 행정구역별 MODIS NDVI	98
그림 52. 행정구역별 기상자료(일교차)	99
그림 53. 행정구역별 기상자료(평균온도)	99
그림 54. 행정구역별 기상자료(누적강우량)	100
그림 55. 행정구역별 기상자료(누적일사량)	100
그림 56. 행정구역별 단위면적(10a)당 쌀 생산량 비교	102
그림 57. 행정구역별 MODIS NDVI 비교	102
그림 58. 행정구역별 일교차 비교	103
그림 59. 행정구역별 평균온도 비교	103
그림 60. 행정구역별 누적강우량 비교	104

그림 61. 행정구역별 누적 일사량 비교	104
그림 62. 다중회귀모형을 이용한 연도별 쌀 생산량 예측결과와 통계청 조사량과의 비교 결과	112
그림 63. 각 모형별 쌀 생산량 추정 결과에 대한 오차 비교	121
그림 64. 2003년 8월의 NDVI, ARVI, EVI, SAVI, AFRI 비교	123
그림 65. 2009년 8월의 NDVI, ARVI, EVI, SAVI, AFRI 비교	124
그림 66. 2011년 8월의 NDVI, ARVI, EVI, SAVI, AFRI 비교	125
그림 67. 기존 연구 보고서 결과와 전국단위 쌀 생산량 추정 결과	138
그림 68. 지역단위 쌀 생산량 추정량과 통계청 조사량 비교	141
그림 69. 최근 3년(2011~2013년)간 쌀 생산량 예측결과 비교	153

표 차례

표 1. 북한 지역별 파종기	9
표 2. 북한의 지역별 벼 생육기간 월평균온도	9
표 3. 자료수집 내역	14
표 4. 속성파일 필드구조 정의	25
표 5. 속성파일 테이블 정의	26
표 6. 북한 황해남도 1차 디지털라이징 논 면적 중간 산출 결과	28
표 7. 북한 황해남도 2차 디지털라이징 논 면적 최종 산출 결과	29
표 8. 북한 황해남도 경지(논)경계구획도 벼 재배면적 산출 결과	31
표 9. 황해남도 시군별 영상분류 결과	35
표 10. 2012년 RHSeg 분류 결과와 2013년 RHSeg 분류 결과 분류항목별 비교	37
표 11. 2012년 RHSeg 분류 결과와 2013년 RHSeg 분류 결과 시군별 비교	37
표 12. 2013년 황해남도 논 면적 추정 결과와 FAO 통계 비교	38
표 13. 2009~2013년간 토지이용 변화	38
표 14. RapidEye 영상 판독 예(농경지)	40
표 15. RapidEye 영상 판독 예(도심지, 기타)	41
표 16. RapidEye와 KOMPSAT-2 영상 패턴 비교	42
표 17. KOMPSAT-2 영상 판독 예	43
표 18. 구글어스(Google Earth) 영상 판독 예	43
표 19. RapidEye 시기별 영상 판독 예	44
표 20. RapidEye 시기별 영상 판독 예(Band Composition)	45
표 21. KOMPSAT-2 시기별 영상 판독 예	46
표 22. KOMPSAT-2 시기별 영상 판독 예(Band Composition)	47
표 23. 경사도 추출 과정 중간 산출물	50
표 24. FAO Spacial Report(South Hwanghae - Main-season crop area)	58
표 25. 북한 농업통계 관련 공식 통계 현황 및 원격탐사 연구사례 조사	67
표 26. 쌀 생산량 예측모형의 입력자료 수집 내역 비교	73
표 27. 기존결과 대비 개선점	75
표 28. 2000~2012년, 6월~10월 월별 MODIS NDVI	78
표 29. 2000~2012년, 6월~10월 월별 MODIS NDVI	79
표 30. 2000~2012년 MODIS NDVI와 쌀 생산량 요약	84
표 31. 기존 보고서와 본 연구결과의 각 지역단위별 상관분석 결과	87
표 32. MODIS 식생지수의 특성 비교	88

표 33. 행정구역별 기상자료(일교차) 계산결과	93
표 34. 행정구역별 기상자료(평균온도) 계산결과	93
표 35. 행정구역별 기상자료(누적강우량) 계산결과	94
표 36. 행정구역별 기상자료(누적일사량) 계산결과	94
표 37. 기상자료 수집 내역(계속)	95
표 38. 기상자료 수집 내역(계속)	96
표 39. 기상자료 수집 내역(계속)	97
표 40. 도별 쌀 생산량, 식생지수, 일교차, 평균온도, 누적강우량, 누적일사량간의 상관분석 결과표(강원도)	105
표 41. 도별 쌀 생산량, 식생지수, 일교차, 평균온도, 누적강우량, 누적일사량간의 상관분석 결과표(경기도)	106
표 42. 도별 쌀 생산량, 식생지수, 일교차, 평균온도, 누적강우량, 누적일사량간의 상관분석 결과표(경상남도)	106
표 43. 도별 쌀 생산량, 식생지수, 일교차, 평균온도, 누적강우량, 누적일사량간의 상관분석 결과표(경상북도)	107
표 44. 도별 쌀 생산량, 식생지수, 일교차, 평균온도, 누적강우량, 누적일사량간의 상관분석 결과표(전라남도)	107
표 45. 도별 쌀 생산량, 식생지수, 일교차, 평균온도, 누적강우량, 누적일사량간의 상관분석 결과표(전라북도)	108
표 46. 도별 쌀 생산량, 식생지수, 일교차, 평균온도, 누적강우량, 누적일사량간의 상관분석 결과표(충청남도)	108
표 47. 도별 쌀 생산량, 식생지수, 일교차, 평균온도, 누적강우량, 누적일사량간의 상관분석 결과표(충청북도)	109
표 48. 도별 쌀 생산량, 식생지수, 일교차, 평균온도, 누적강우량, 누적일사량간의 상관분석결과표(제주도)	109
표 49. 다중회귀분석모형의 상수와 상관계수 결과표	111
표 50. 연도별 쌀 생산량 예측 결과의 오차 범위	112
표 51. 2000~2012년 일교차	114
표 52. 2000~2012년 평균온도	114
표 53. 2000~2012년 누적강우량	115
표 54. 2000~2012년 누적일사량	115
표 55. 2000~2012년 평균풍속	116
표 56. 2000~2012년 최대풍속	116
표 57. 쌀 생산량 예측모형 결정을 위한 다중회귀모형	118
표 58. 다중회귀모형별 상관계수 비교	119

표 59. 연도별 전국단위 쌀 생산량 예측 결과에 대한 오차범위(N1, N2, N3모형) ...	119
표 60. 연도별 전국단위 쌀 생산량 예측 결과에 대한 오차범위(N4, E4, A4모형) ...	120
표 61. 연도별 전국단위 쌀 생산량 예측 결과에 대한 오차범위(S4, F4모형과 2012년도 보고서 결과)	120
표 62. 2013년 지역별 식생지수 비교 -1	126
표 63. 2013년 지역별 식생지수 비교 -2	126
표 64. 연도별 8월 최대풍속 자료	127
표 65. 연도별 8월 최대풍속 자료	128
표 66. 연도별 9월 최대풍속 자료	128
표 67. 연도별 9월 최대풍속 자료	129
표 68. 연도별 등속기 평균습도 자료	130
표 69. 연도별 등속기 평균습도 자료	131
표 70. 2000~2012년 기간 동안 월별 최대풍속을 추가한 다중회귀모형별 상관계수(R)와 유의성 검사를 위한 P-value 비교	133
표 71. 2000~2012년 기간 동안 연도별 쌀 생산량 추정 결과에 대한 평균 오차범위 ..	134
표 72. 평균습도와 최대풍속을 추가한 다중회귀모형별 상관계수(R)와 유의성 검사를 위한 P-value 비교	136
표 73. 2000~2012년 기간 동안 연도별 쌀 생산량 추정 결과에 대한 평균 오차범위 ..	137
표 74. 지역 단위 2011년 쌀 생산량 추정결과 비교[단위:kg/10a]	140
표 75. 지역단위 2012년 쌀 생산량 추정결과 비교[단위:kg/10a]	140
표 76. 2013년도 쌀 생산량 추정을 위한 회귀모형 상수와 상관계수(NDVI 사용) ...	142
표 77. 2013년도 쌀 생산량 추정을 위한 회귀모형 상수와 상관계수(EVI 사용)	143
표 78. 2013년도 쌀 생산량 추정을 위한 회귀모형 상수와 상관계수(ARVI 사용) ...	143
표 79. 2013년도 쌀 생산량 추정을 위한 회귀모형 상수와 상관계수(SAVI 사용) ...	144
표 80. 2013년도 쌀 생산량 추정을 위한 회귀모형 상수와 상관계수(AFRI 사용) ...	144
표 81. 2013년도 쌀 생산량 조사 결과표	146
표 82. 2013년 쌀 생산량의 식생지수 5종 모델별 추정치 및 2013년 통계청 조사치 비교 결과와 모델별 절대오차	148
표 83. 연도별 쌀 생산량 조사량과 추정량 비교표(NDVI 사용)	149
표 84. 연도별 쌀 생산량 조사량과 추정량 비교표(EVI 사용)	150
표 85. 연도별 쌀 생산량 비교표(ARVI 사용)	150
표 86. 연도별 쌀 생산량 비교표(SAVI 사용)	151
표 87. 연도별 쌀 생산량 비교표(AFRI 사용)	151
표 88. 최근 3년(2011~2013년)간 쌀 생산량 추정결과 비교	153
표 89. 지역단위 쌀 생산량 비교결과	154

표 90. 지역단위 쌀 생산량 절대오차 비교 결과	155
표 91. 지역단위 쌀 생산량 상대오차 비교 결과	155

제1장 서론

1.1 연구 배경

- 현재 우리나라의 농업통계 조사방법은 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 가중되며, 관할 지형파악 및 작물식별능력 확보에 상당기간이 소요되므로 비표본오차가 발생할 수 있다. 또한 직접적인 현장 실측 조사가 어려운 지역이나 이른바 '접근불능지역'의 경우 대상 지역의 정확한 농업통계 정보를 확인하기 어려운 단점이 있다. 따라서 조사 방법의 현대화를 통해 효율성 및 정확성을 제고하는 방안을 마련하는 것이 시급한 실정이다.

- 원격탐사 기법은 항공기나 인공위성 등에 탑재된 센서를 이용하여 지표의 대상물에서 반사 또는 방사되는 전자파를 감지, 각 물체가 보유하고 있는 분광반사 특성을 이용하여 간접적으로 대상물이나 현상에 대한 정보를 추출/해석하는 방법이다. 이러한 원격탐사 기법은 넓은 지역의 지표 대상물에 대한 각종 최신정보를 일시에 수집할 수 있으며, 동일 지역에 대한 정보를 주기적으로 취득할 수 있고, 지리적·지형적으로 접근이 어려운 지역의 자료를 수집할 수 있는 장점이 있다.

- 해외사례를 살펴보면, 미국, 유럽연합(EU), 일본 등 선진국을 중심으로 인공위성 영상을 관독해 농업통계를 생산하는 원격탐사 기술이 이미 실용화되었다. 미국과 유럽연합(EU)은 20~30년 전부터 농업통계 업무에 원격탐사 기술을 도입해 재배면적 조사에 대한 기술 적용을 실용화한 상태이며, 작물별 생산량 조사에서는 공식통계 산출 보조자료 및 정책 의사결정 자료로 활용하고 있다. 일본의 경우에는 2010년부터 원격탐사

기술을 경지총조사와 경지면적조사에 적용한 시범사업을 실시하고 있다. 이렇듯 원격탐사 기술은 경지면적조사, 재배면적조사, 작황예측분석 등에 점차 활용되고 있다.

- 우리나라의 경우, 과거 군 지형정보단 중심으로 활용되었던 북한 관련 원격탐사 사업이 최근 국토부, 환경부, 산림청 등에서 적극 추진되고 있으며, 국토지리정보원이 북한 전역의 1/25,000 수치지형도를 구축 완료하여 자료를 공개하는 등 북한 농업통계 원격탐사 추진을 위한 국내 여건은 이미 성숙 단계에 이르렀다. 2006년 다목적실용위성 2호, 2012년 다목적실용위성 3호, 2013년 다목적실용위성 5호의 성공적 발사로 가격 경쟁력이 높은 국산 고해상도 광학 및 레이더영상의 활용이 가능해졌으며, '우주개발진흥기본계획'에 따라 고해상도 광학 및 열적외 영상 획득이 가능한 다목적실용위성 3A호와 공간해상도 10cm급 고해상도 센서를 탑재할 예정인 다목적실용위성 5호 등이 발사될 예정에 있어 다양한 위성영상 확보가 가능하게 되었다.

- 최근 남북한 농업협력과 통일 농업정책 추진을 대비한 북한 농업통계 자료구축의 필요성이 대두되고 있으며, 북한의 식량자원 현황을 정확히 파악할 수 있는 농업통계 생산을 통해 다양한 정책지원이 가능토록 다양한 연구가 수행중이다. 특히 통계청에서는 농업통계 조사에 원격탐사 기술을 적용하기 위한 다양한 시범사업을 수행하고 있으며, 원격탐사 활용 경지면적 조사의 경우 이미 실용화되어 전국 사업을 매년 지속적으로 수행하고 있다. 쌀 생산량 조사의 경우에는 원격탐사 기술을 적용하는 시범 사업을 수행하고 있으며, 보다 정확한 생산량 추정을 위해서는 여러 가지 기술적인 여건이 고려되어야 하므로 중장기적인 과제로 추진해 나가야할 것이다. 또한 위성영상을 이용한 북한의 벼 재배면적 조사에 대해서도 시범 지역을 점차 확대하여 빠른 시일 내에 실용화할 수 있도록 시범사업을 수행중이다.

- 본 연구는 원격탐사 기술을 적용한 북한의 벼 재배면적 추정 및 쌀 생산량 추정을 위한 시범사업의 일환으로 수행하게 되었다.

1.2 연구 목적

○ 본 연구는 북한 1개도 시험조사 수행을 통해 북한지역 벼 재배면적 작성을 위한 방법론으로 제시하고, 2012년 ‘원격탐사 활용 쌀 생산량 시험조사’ 사업을 통해 추정된 북한지역 벼 재배면적과 비교하며, 2012년 쌀 생산량 추정모형의 예측력 검증 및 개선을 통해 2013년 국내 쌀 생산량을 예측하는데 그 목적이 있다.

- 북한 벼 재배면적 1개도 시험조사
 - 위성영상 판독을 통한 벼 재배면적 추정
 - 판독 정확도 향상 방안 연구
 - 북한 농업통계 관련 공식 통계 현황 및 원격탐사 연구사례 조사
- 원격탐사 활용 쌀 생산량 시험조사
 - 위성영상을 활용한 식생지수(NDVI) 산출
 - 2012년 쌀 생산량 추정모형 검토 및 개선
 - NDVI 활용 2013년 쌀 생산량 시험 예측

1.3 연구 수행기간

- 본 연구의 수행기간은 2013년 4월 23일~2013년 12월 15일이다.

1.4 연구 내용

- 북한 벼 재배면적 1개도 시험조사
 - 시범지역 및 시기선정
 - 시범지역 : 변화탐지를 위해 2012년도 시범연구 지역인 황해남도를 재선정
 - 조사시기 : 벼 생육시기 및 위성영상의 수급여건을 고려한 최적 시기 선정
 - 위성영상 판독을 통한 벼 재배면적 추정
 - RapidEye 위성영상과 국내 다목적실용위성(KOMPSAT) 2/3호 위성영상을 활용하여 시범지역으로 선정한 황해남도에 대한 벼 재배면적 추정
 - 변화탐지
 - 기존의 아카이브(2009~2010년) 영상과 2013년 신규촬영 영상을 이용한 변화탐지
 - 판독 정확도 검증방안 도출
 - 접근불능지역에 대한 위성영상 판독 정확도 검증 방안 연구
 - 북한 농업통계 관련 공식 통계 현황 및 원격탐사 연구사례 조사
 - FAO 등 북한 농업통계 현황, 출처, 작성방법 등 조사
 - 원격탐사를 활용한 국내외 북한 벼 재배면적 연구실태 조사

- 원격탐사 활용 쌀 생산량 시험조사
 - 2012년 쌀 생산량 추정모형 개선
 - 2012년 '원격탐사 활용 쌀 생산량 시범조사'를 통해 도출된 추정 모형의 예측력 검증 및 예측력 향상을 위한 추정모형 개선(자연재해 발생에 대응하는 추정모형 개발 방법 제시)
 - 위성영상을 활용한 식생지수(NDVI) 산출
 - 논벼 재배지의 식생지수(NDVI) 산출 정확도 개선 방법 제시
 - 2013년 국내 각 시도 및 전국단위 쌀 생산량 예측
 - 개선한 추정모형을 적용한 2013년 쌀 생산량 추정
 - 도출한 추정량에 대한 예측오차 및 정확도 평가(2012년 결과와 비교)

1.5 기대효과

- 본 연구를 통해 북한 황해남도 지역에 대한 작물 재배면적 추정 및 검증 방안을 제시함으로써 원격탐사 기술을 활용한 접근불능지역 연구의 실용화를 위한 기반을 마련하였다.
- 또한 본 연구를 지속적으로 확대 시행하여 북한 전역에 대한 결과물을 획득하게 되면, 북한 식량자원 현황 파악을 위한 농업통계 자료로서 북한의 식량난 현황을 파악하고 인도적 식량자원 물량을 추정하며, 통일을 대비한 남북한 식량자급률 제고 방안을 수립할 수 있는 정책 의사 결정 자료로 활용이 가능할 것으로 기대된다.
- 본 연구의 결과를 통해 원격탐사 기술의 농작물 생산통계 적용 가능성을 확인하였으며, 국가통계정보의 과학화를 위한 기초연구로서의 역할을 수행할 수 있다.
- 본 연구를 통해 2012년 도출된 쌀 생산량 추정모형의 예측력 검증 및 예측력 향상을 위한 추정모형이 개선되었으며, 자연재해 발생에 대응하는 추정모형 개발 방법을 제시함으로써 원격탐사 기술을 활용한 쌀 생산량 추정 통계업무의 실용화를 위한 기반이 마련될 것으로 예상된다.

제2장 북한 벼 재배면적 1개도 시험조사

2.1. 북한지역 농업 환경 조사

- 북한은 산악지역이 많아 경지면적 확대가 제한적이며, 이러한 이유에서 이모작을 통한 생산성 증대에 주력하고 있다. 그러나 비교적 짧은 작기와 빈번하게 지속되는 혹독한 겨울 및 불확실한 봄 날씨로 인해 작물 생산은 대체로 종자, 연료, 노동력에 대한 투자에 비해 저조하게 나타난다.
- 북한의 평야는 서해안지대에 주로 발달하였으며 대동강 유역의 평양 평야, 황해남도의 재령평야가 각각 500km²에 이르고, 황해남도의 연백 평야가 400km², 청천강 유역의 안주평야, 함경남도의 함흥평야가 300km², 압록강 유역의 룡천평야, 예성강 유역의 운전평야, 함경북도 수성천 유역의 수성평야, 남재천 유역의 길주평야, 함경남도 요천강 유역의 영흥평야 등이 각각 200km² 수준의 평야들이다.
- 북한에서 벼는 경작 면적과 생산량 측면에서 볼 때 가장 중요한 작물이다. 벼는 중부, 남서부, 동북부(곡창지대로 알려진 평안남북도, 황해남북도, 평양시, 남포시, 개성시의 저지대) 및 강원도, 함경남북도의 동해안 지대에서 주로 재배되고, 자강도와 양강도에서도 일부 재배된다.
- 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 재배품종으로 서부지방은 평양 15호, 북부지방은 조생종인 통36호, 길주 6호, 동부에서는 경인 127, 선봉 6호가 많이 재배되고 있다고 한다. 모판은 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 40~50일이다.

표 1. 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 2. 북한의 지역별 벼 생육기간 월평균온도(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	15.6	20.0	23.6	24.7	19.7
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 평균온도가 13°C 이상 되는 때).

- 모내기 방법은 70~80년대에는 기계모내기 비율이 높았다고 하지만 최근에는 에너지 및 이앙기 부품부족으로 인력이앙이 대부분이라고 한다.
- 북한 농업을 이해하는데 있어 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 할 수 있다.

2.2. 시범지역 및 시기 선정

2.2.1. 시범지역 선정

- 북한 벼 재배면적 1개도 시험조사 연구를 위한 지역으로, 북한 최대의 곡창지대로 북한 쌀 생산의 1/4을 담당하고 있는 황해남도를 선정하였다. 황해남도의 면적은 약 8,450.3km²(섬 159개의 면적 89.5km² 포함)이고 행정구역은 3개 시와 19개 군으로 나뉜다. 쌀, 옥수수, 콩 등의 농산물과 사과, 배, 복숭아 등의 과수를 재배하고 있으며, 연안군, 배천군, 청단군, 재령군, 신천군, 안악군, 은천군에도 도 논 면적의 약 63%가 분포되어 있다.
- 2012년도에 수행된 통계청의 ‘원격탐사 활용 쌀 생산량 시범조사’에서 시범지역으로 선정한 황해남도를 본 연구의 시범지역으로 재선정함으로써 각 연구의 벼 재배면적 추정 결과의 비교분석이 가능하다.

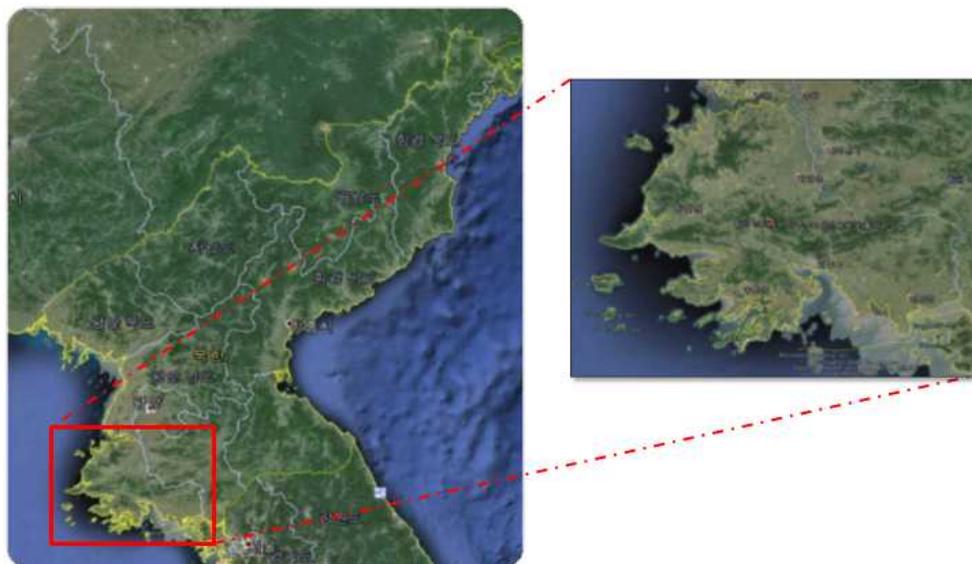


그림 1. 시범지역 선정(북한 황해남도)

2.2.2. 시범시기 선정

○ 한반도 중북부의 경우 벼의 생육시기에 따라 아래와 같이 구분하였으며 벼의 생장이 가장 활발한 생육기(6~9월)를 시범시기로 선정하고 그에 따른 위성영상을 취득하였다.

- ① 4월~5월 : 파종 및 모내기
- ② 6월~9월 : 생육기
- ③ 9월 말~10월 초 : 추수기
- ④ 10월 중순~3월 : 휴식기

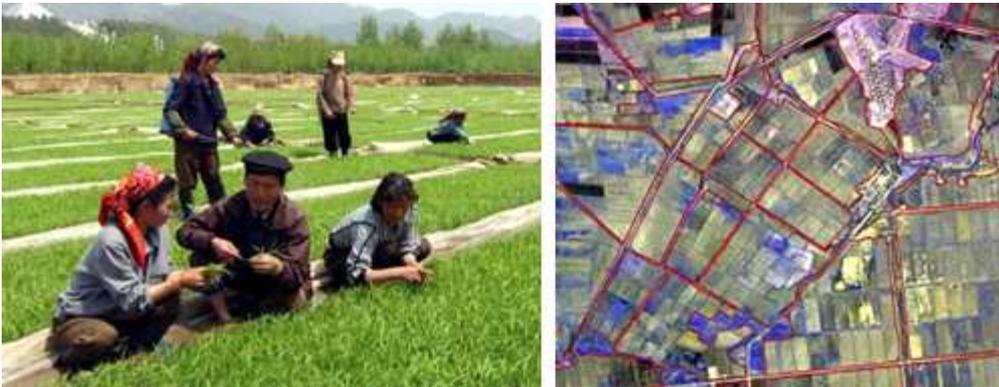


그림 2. 시기선정(벼 생육시기)

2.3. 연구추진 방법론

- 본 연구에서 수행한 위성영상 판독을 통한 벼 재배면적 추정 과정은 다음과 같다.

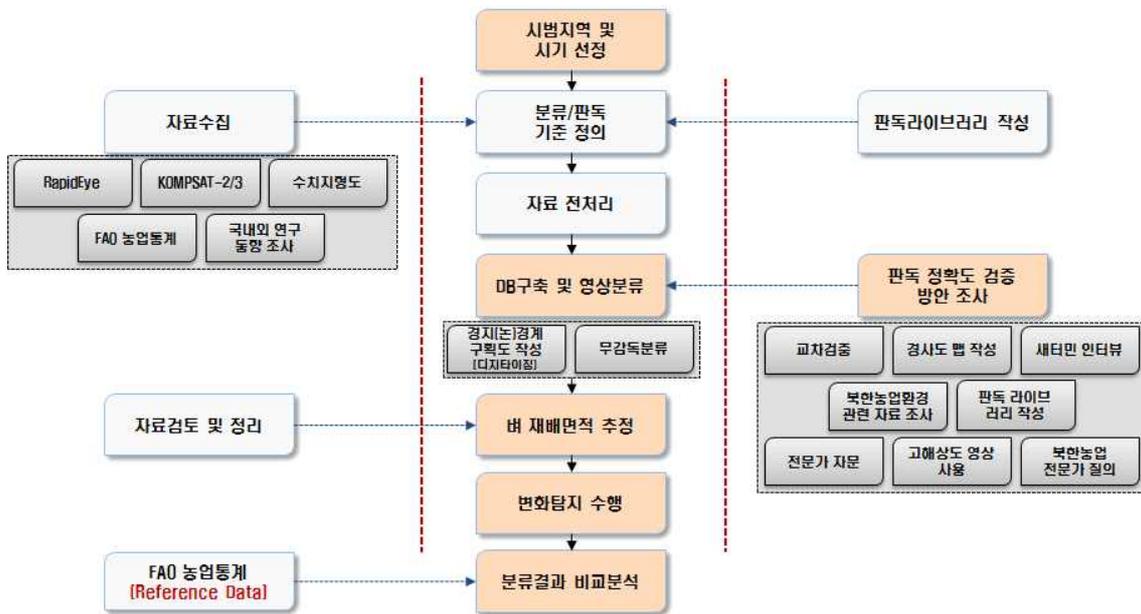


그림 3. 북한 황해남도 1개도 벼 재배면적 추정 과정

- 먼저 시범지역 및 시기를 선정하고 그에 따른 RapidEye, KOMPSAT-2/3 영상, 수치지형도, FAO 농업통계 등의 자료를 수집하였다. 수집된 영상 자료를 바탕으로 전처리를 수행하였으며, 시범지역으로 선정된 황해남도 지역에 대해 디지털라이징, 무감독분류 방법을 적용하여 벼 재배면적을 추정하였다. 판독 정확도 검증을 위해 판독자간 교차검증, 경사도 맵 작성, 새터민 인터뷰, 판독 라이브러리 작성 등을 수행하여 판독 정확도를 향상시키고자 하였으며, 기 수행 연구와의 변화탐지를 통하여 분류결과를 FAO 농업통계 자료와 비교분석하였다.

2.4. 자료수집

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

표 3. 자료수집 내역

수집자료	자료유형	촬영시기	자료협조기관	자료 수
RapidEye	L1B	2013년	통계청	14장
KOMPSAT-2	고부가자료(정사영상)	2012~2013년	항공우주연구원	38장
KOMPSAT-3	고부가자료(정사영상)	2013년	항공우주연구원	11장
수치지형도	1/25,000(Ver 1.0)	2007~2009년	국토지리정보원	988도엽
토지피복지도	1/25,000(Ver 1.0)	2007~2009년	환경부	249도엽

2.4.1. 위성영상

가. RapidEye

- 황해남도 벼 재배면적 추정에 기준으로 사용할 위성영상으로 RapidEye 영상을 사용하였다. RapidEye는 German Aerospace Center에서 2008년 8월29일 발사한 위성으로 총 5개의 동일한 위성을 한 번에 발사했다는 것이 특징이다. 5개의 위성이 지구를 관측하고 있어 매일 동일한 지역의 영상을 획득할 수 있으며, Red, Green, Blue, Near Infra Red 밴드 외에 Red Edge 밴드에서 데이터를 획득할 수 있기 때문에 산림 모니터링, 농작물 모니터링 등에 효과적으로 활용할 수 있다. 취득한 영상의 공간 해상도는 6.5m, Pixel size(Orthorectified)는 5m이다.

- 수집한 자료유형은 L1B이고 영상 촬영시기는 2013년으로 올해 신규 촬영된 영상을 중심으로 본 연구에 사용하였다. 자료는 통계청에서 영상판매대행업체를 통해 구입한 영상을 사용하였다.

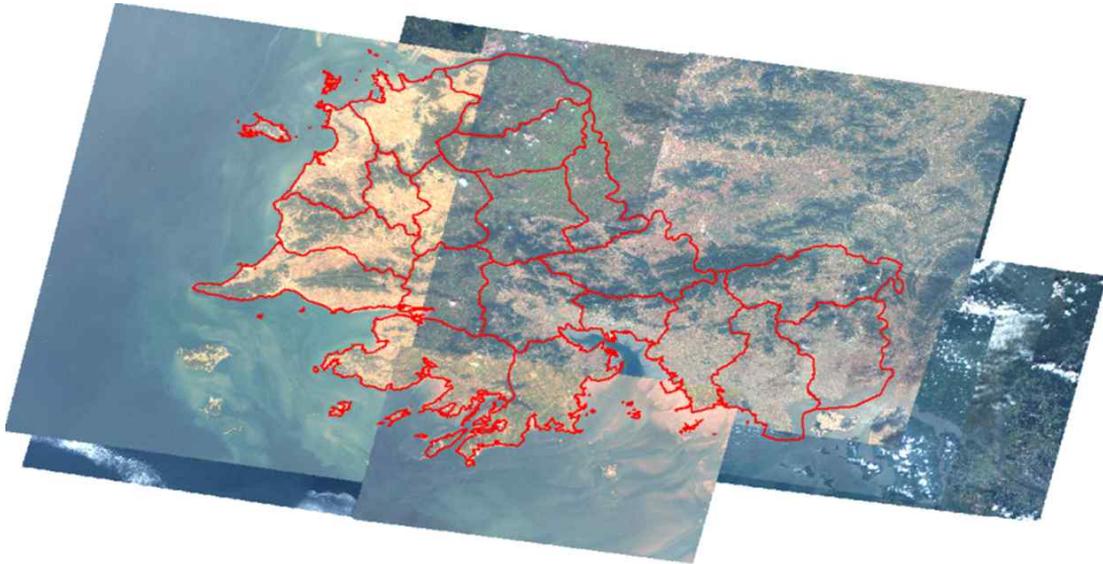


그림 4. RapidEye 수집 현황(총 14장)

나. KOMPSAT-2

- KOMPSAT-2(아리랑 2호)는 국내에서 개발하여 한국항공우주연구원에서 운영하고 있는 최초의 1m급 고해상도 광학위성으로 2006년 7월 28일에 발사되었다. 하루에 약 15바퀴 지구를 선회하며, 전 지구의 공간정보를 취득한다. 취득된 영상 정보는 지리정보시스템(GIS) 구축 및 환경·농업·해양 등의 관련 분야에 활용되고 있다.
- 본 연구에서 수집한 자료유형은 한국항공우주연구원에서 배포하고 있는 고부가자료(정사영상)로, 촬영시기는 2012~2013년이다.

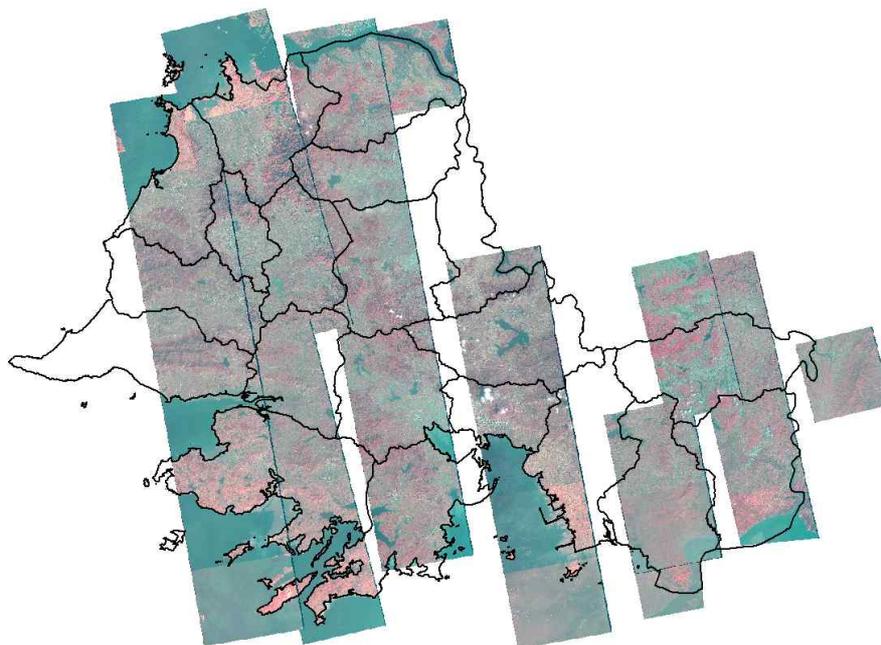


그림 5. KOMPSAT-2 수집 현황(총 38장)

다. KOMPSAT-3

- KOMPSAT-3(아리랑 3호)는 국내 최초의 서브미터(Sub-meter)급 지구관측 위성으로 1m미만의 물체까지 파악이 가능하다. 하루에 약 15바퀴 지구를 선회하며 공간해상도 0.7m급의 전자광학 카메라를 사용하여 공공안전, 재난재해, 국토 자원관리, 환경감시 등의 임무를 수행한다.
- 본 연구에서 수집한 자료유형은 한국항공우주연구원에서 배포하고 있는 고부가자료(정사영상)로, 촬영시기는 2013년이다.



그림 6. KOMPSAT-3 수집 현황(총 11장)

라. 구글어스(Google Earth) 영상

- 구글어스는 구글에서 무료로 서비스하고 있는 영상지도이다. 전 세계 지역에 대해 위성영상 및 항공사진으로 촬영한 영상을 별도의 비용이나 가입 절차 없이 서비스하고 있으며, 고해상도 위성자료를 계속해서 업데이트하여 제공하고 있어 영상 판독 시 참조자료로 유용하게 활용되고 있다.

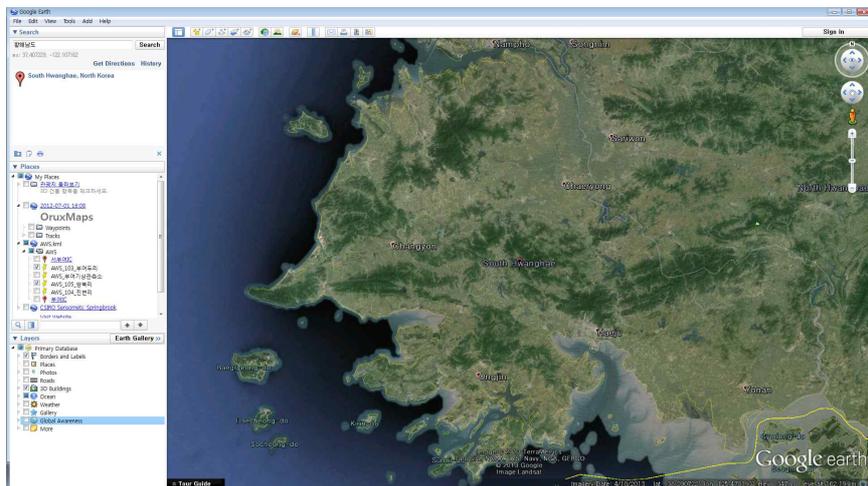


그림 7. 구글어스 영상지도

2.4.2. 지리정보자료

가. 수치지형도

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

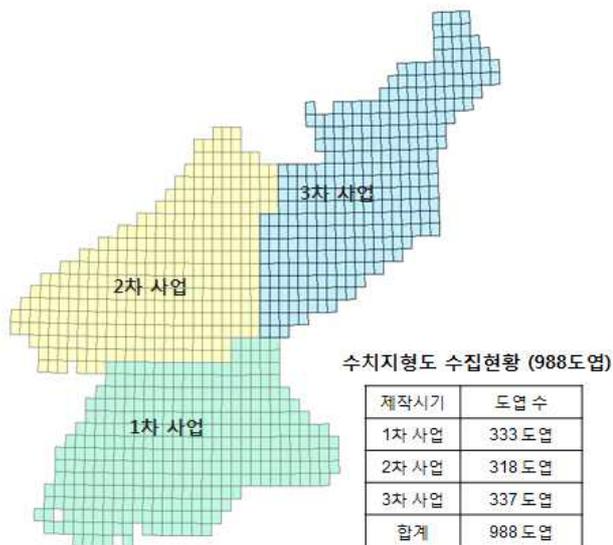


그림 8. 수치지형도 수집현황(총 988도엽)

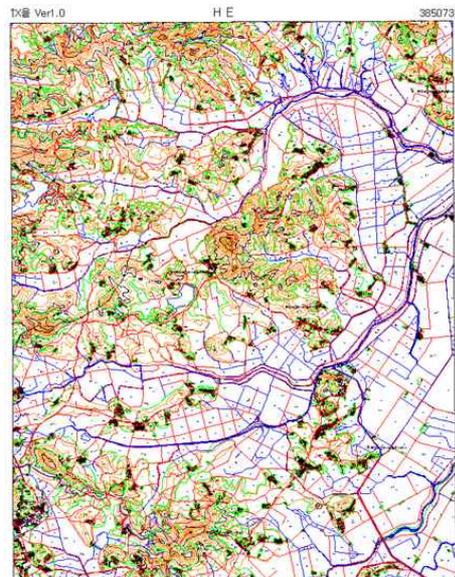


그림 9. 북한지역
수치지형도(국토지리정보원)

나. 토지피복도

- 환경부 토지피복지도는 국내지역에 대해서는 대분류, 중분류, 세분류 지도 제작이 진행되었지만 북한지역에 대해서는 대분류 토지피복지도만 제작되었다. 환경부 협조를 통해 북한지역 전역에 대한 대분류 토지 피복지도를 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.

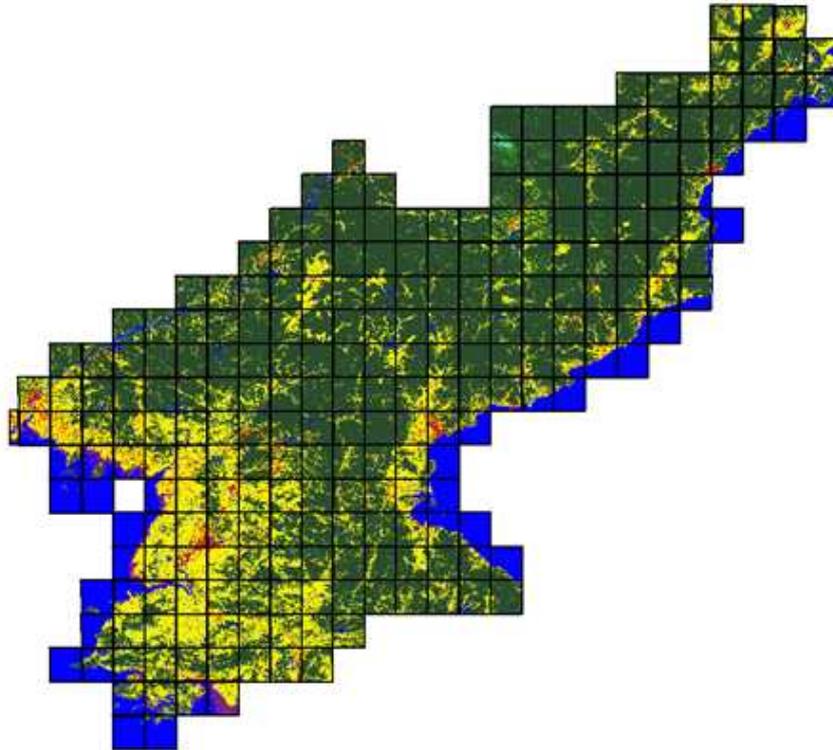


그림 10. 대분류 토지피복지도 수집현황(총 249도엽)

2.4.3. 각종 통계 및 연구 조사

가. FAO(Food and Agriculture Organization of the United Nations)

- 국제연합 식량농업기구(FAO)는 모든 인구의 영양상태와 생활수준을 높이고 농업생산성을 향상시키며 농촌 주민의 여건을 개선하기 위한 국제연합(UN) 전문기구의 하나로 1945년 설립되었다.
- 설립 목적은 모든 국민의 영양상태 및 생활수준의 향상, 식량(농산물)의 생산 및 분배능률 증진, 농민의 생활상태 개선, 세계 경제발전의 기여 등이다. 주요 기능은 영양 상태, 식량 및 농업(임업, 수산업 포함)에 관한 정보의 수집·분석·판단·보급, 영양·식량 및 농업에 관한 과학적·기술적·사회적·경제적 연구, 농산물 상품협정에 관한 국제정책의 채택, 각국 정부가 요청하는 기술원조의 제공 등이다.

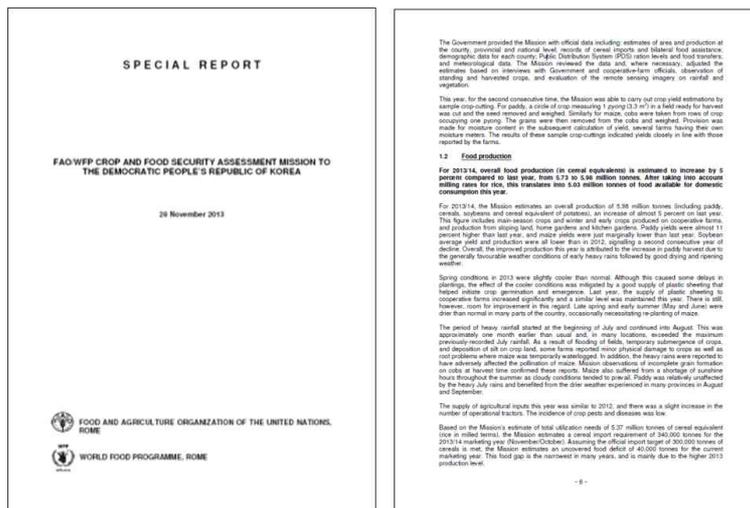


그림 11. FAO Special Report 2013

나. 기타 통계

1) USDA(United States Department of Agriculture)

- 미국 농무부(USDA)는 미국의 농업 정책을 관장하고 시행하는 미 연방 정부의 행정기관으로 연방정부 차원의 농업 정책 수립 및 시행을 목적으로 설립되었다.
- 주요 업무는 농업 정책의 수립 및 시행, 농축산물의 안전한 공급과 유통, 가축 위생 및 전염병 예방, 농축산물에 대한 품질 보증, 농업기술 발전을 위한 연구와 교육, 농업 발전을 위한 금융지원, 농축산물의 해외 수출 지원, 개발도상국에 대한 식량원조, 야생동물과 생태자원 보전, 국립산림지의 산불 예방과 토양·강·호수 등의 오염 방지, 농업정책 홍보 등 광범위하다.

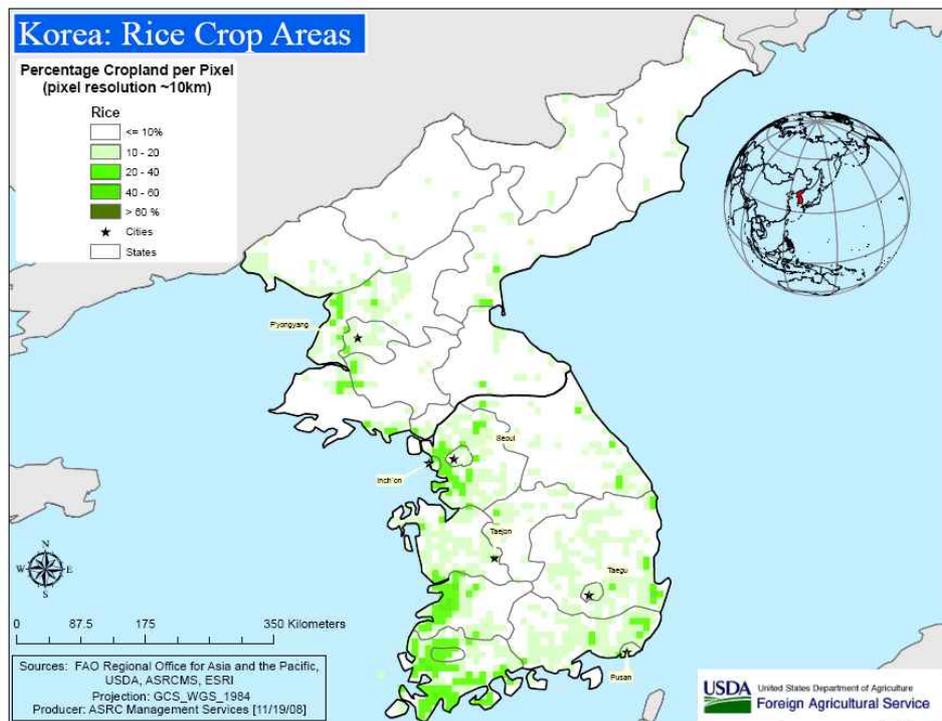


그림 12. USDA에서 제공하는 Rice Crop Area

2) SDC(Swiss Agency for Development and Cooperation)

- SDC는 인도주의 원조를 위하여 국제연합 세계식량계획(WFP, World Food Programme)과 함께 1995년부터 북한에서 활동을 시작하였으며 현재 평양에 영구적인 사무실을 개설하였다.
- 매년 북한농업과 관련된 Report를 발행하고 있어 본 연구에 참고자료로 활용하였다.

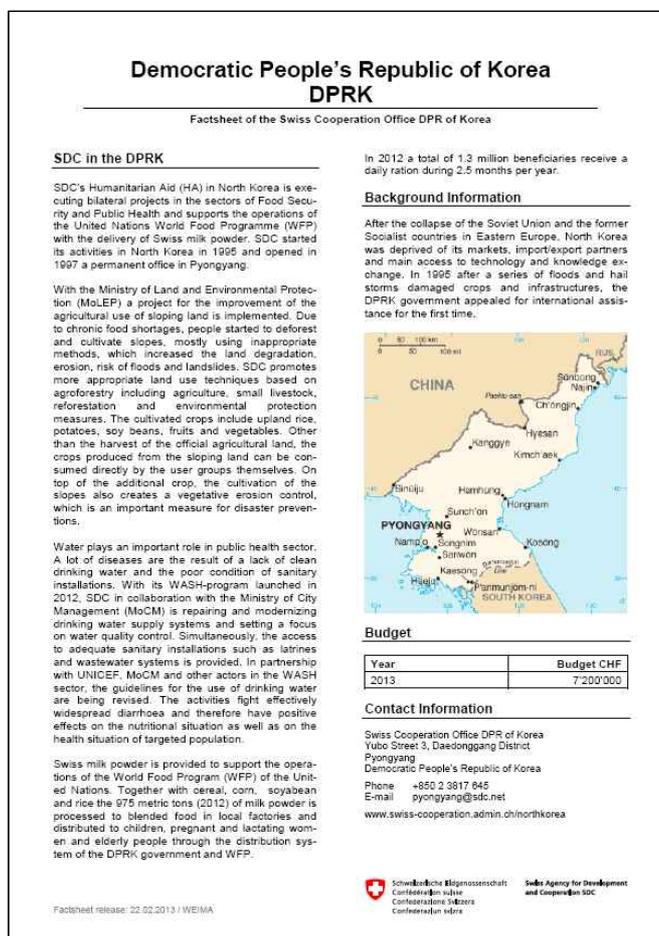


그림 13. SDC Report(2012)

2.5. 위성영상 판독을 통한 벼 재배면적 추정

2.5.1. 자료 전처리

가. 영상합성

- RapidEye의 경우 Blue, Green, Red, Red Edge, Near Infrared 등 총 5개의 Band로 나누어 공급되는데 영상의 효율적인 관리 및 영상 분류 작업을 수행하기 위해서는 5개의 Band를 하나의 파일로 합성하는 과정이 필요하다.
- 영상처리 상용소프트웨어로 널리 사용되고 있는 ERDAS IMAGINE의 Layer Stack 기능을 활용하여 RapidEye 영상의 각 분광밴드별 영상합성을 수행하였다.

나. 좌표변환

- RapidEye 영상과 KOMPSAT-2/3 영상의 좌표계는 GRS_1980_TM로 공급 되었으며 디지털라이징은 기 수행연구(통계청, 2012)와 동일한 WGS_1984_UTM Zone 51N 좌표계를 적용하여 작업하였다. 본 연구에서 영상의 원활한 판독 및 구획작업을 위해서는 각 영상과 벡터자료의 좌표계를 하나의 좌표계로 통일시켜주는 과정이 필요하다.
- ERDAS IMAGINE의 Reproject Images 기능을 활용하여 RapidEye 영상과 KOMPSAT-2/3 영상의 좌표계를 WGS_1984_UTM Zone 51N으로 변환하였다.

다. 기하보정

- RapidEye 영상과 KOMPSAT-2/3 영상에 대하여 각각 수치지형도와의 중첩을 통한 특징점 관측으로 위치정확도를 확보하였다.

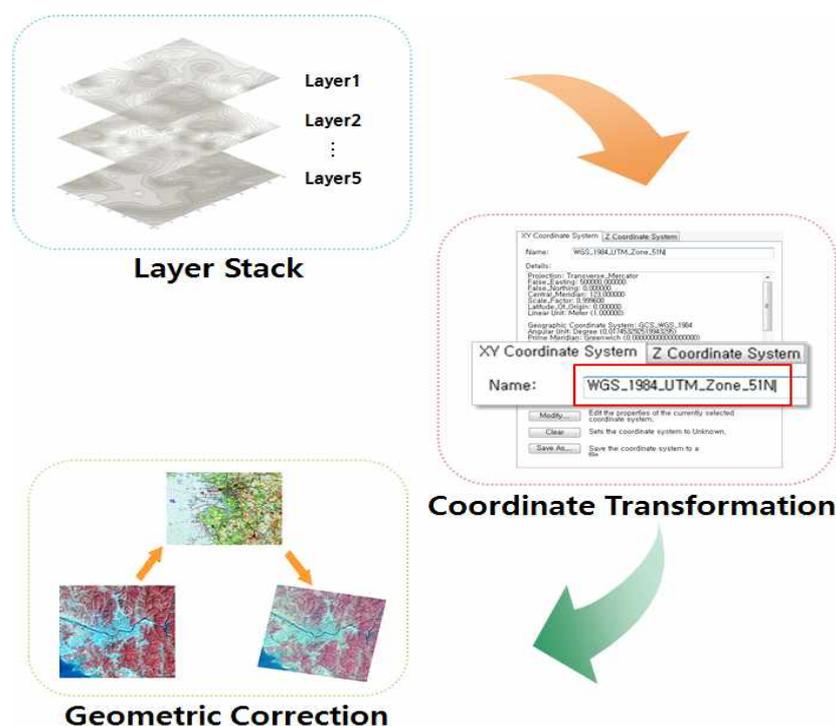


그림 14. 자료 분석을 위한 전처리

2.5.2. 경지(논)경계구획도 작성

가. 디지털라이징(Digitizing) 기법

- 디지털라이징 기법은 속성값이 포함된 벡터(Vector) 형식의 외곽선을 선형화(Line)하여 GIS 프로그램에 입력하는 방법으로 영상판독 방법 중 가장 정확한 것으로 인식되고 있으나 작업시간 및 인력 등의 비용 소모가 크며 분석자의 경험에 따라 결과가 다르게 나타나는 단점이 있다.
- 일반 도면이나 Raster 영상을 중첩시켜 이미지에서 추출하려는 정보를 따라 선을 그리고 그려진 선에 속성값을 입력하여 주로 연구·분석이나 시각화시키는 용도로 사용한다. 본 연구에서는 디지털라이징된 DB를 면(Polygon)으로 변환하여 북한 황해남도 지역의 벼 재배지역을 추출하였다. 여러 종류의 GIS 프로그램이나 CAD에서 일반적으로 사용하는 기법이며, 본 연구에서는 ArcMap 프로그램을 사용하였다.



그림 15. 디지털라이징 예시

- 본 연구에서는 디지털라이징 작업을 수행하기 전 속성파일의 필드구조를 아래와 같이 정의하고 분류 및 판독기준을 정립하였다.

표 4. 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 필요 없음(자동 계산)

표 5. 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 판독결과 코드
7	REF_DATA	Text(10)	Y	-	논 판독 참조자료

- 육안판독 디지털라이징 판독지침은 다음과 같이 설정하였다.
 - KOMPSAT-2 정사영상을 기준으로 논 구역 경계 및 경지 경계 추출
 - 논 판독 시 RapidEye > KOMPSAT-3 > KOMPSAT-2 > Google Earth > 수치지형도 순서로 우선순위를 두어 판독하고, 가장 최근에 촬영(제작)된 자료를 활용
 - RapidEye 영상을 이용한 판독 시 다양한 밴드조합(Band Combination)을 적용하여 식생과 비식생지역의 구분에 활용
 - 정의한 판독 기준에 따라 판독하여 속성자료 레코드 값을 입력하고, 판독 시 문의사항 또는 특이사항이 있을 경우 기록하여 감독관에게 문의

나. 1차 디지털라이징

- 북한 황해남도 지역의 2013년도 RapidEye 및 KOMPSAT 영상의 촬영 시기가 벼 생육시기(6월 이후)인 것을 감안하여 신규영상 획득 이전에 촬영된 2009~2010년도 KOMPSAT-2 및 RapidEye 영상을 바탕으로 북한 황해남도 지역 경지(논)경계구획도 작성 작업을 우선수행 하였다.

- 이는 디지털라이징 기법의 경우 판독작업 소요시간이 길기 때문에 2013년도 영상 획득 이후 작업수행 시 과제수행기간 내 완료가 어려우며, 황해남도 지역의 4~5년 간 토지이용 변화가 크지 않을 것으로 판단되므로 디지털라이징 선수행 작업이 요구되었기 때문이다.
- 공간해상도가 높은 KOMPSAT-2 영상을 이용하여 경지(논)경계구획도를 작성하고 RapidEye와 구글어스, 수치지형도를 참조자료로 활용하였다. 1차 디지털라이징이 완료된 결과는 다음과 같다.



그림 16. 1차 디지털라이징 작업 확대 이미지

- 1차 디지털라이징 완료 후 북한 황해남도의 논 면적 중간 산출 결과는 전체 165,061ha이며, 시군별 추정 논 면적은 다음과 같다.

표 6. 북한 황해남도 1차 디지털지정 논 면적 중간 산출 결과

행정구역	추정 논 면적(ha)	행정구역	추정 논 면적(ha)
강령군	7,224	안악군	16,300
과일군	2,555	연안군	20,654
룡연군	2,159	용진군	8,094
배천군	15,211	은률군	5,375
벽성군	9,418	은천군	9,004
봉천군	5,488	장연군	2,138
삼천군	4,938	재령군	10,658
송화군	2,109	청단군	14,178
신원군	2,046	태탄군	6,916
신천군	18,428	해주시	2,168
총 면적		165,061(ha)	

다. 2차 디지털지정

- 벼 생육시기에 촬영된 2013년 신규영상 수급 이후 1차 디지털지정 결과를 바탕으로 2차 디지털지정이 수행되어야 한다. 2차 디지털지정 작업에서는 ①도로 신설, 건물 신축, 간척, 개간 등 토지이용 변화로 인해 2009~2013년 간 변화된 지역을 수정하고 ②1차 디지털지정 작업에서 오판독된 지역을 판독자간 교차 검증을 통해 수정하며, ③작성이 완료된 경지(논)경계구획도를 바탕으로 2013년 황해남도의 벼 재배유무를 판독하고 속성을 입력한다.



그림 17. 신규영상 중첩 변동지역 수정

- 먼저, 수급된 2013년도 신규촬영 KOMPSAT-2/3 영상과 1차 디지털이징이 완료된 경지(논)경계구획도를 중첩하여 변동지역을 수정하였다.

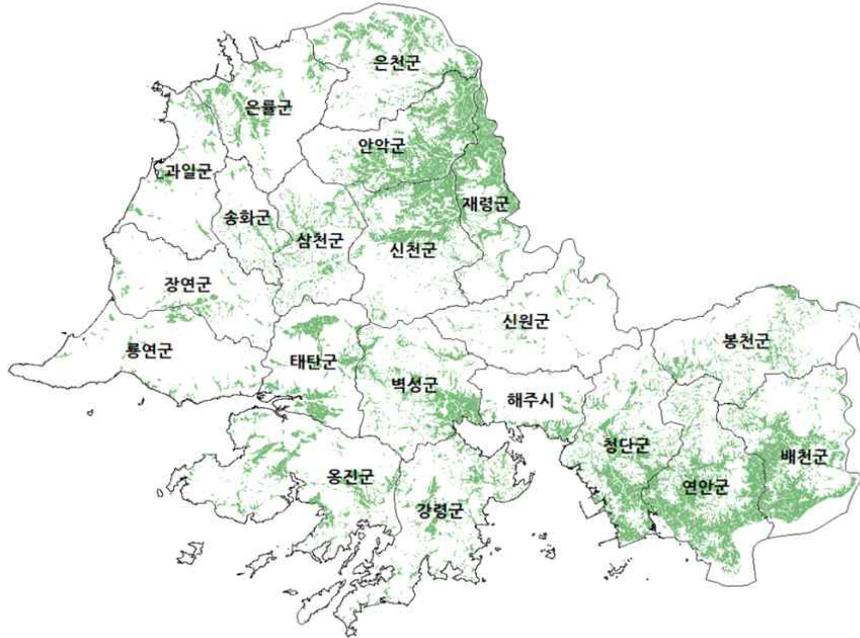


그림 18. 디지털이징이 완료된 북한 황해남도 지역

- 황해남도 행정구역별 1차 디지털이징 논 면적 중간 산출 결과와 2차 디지털이징 작업 완료 후 논 면적 최종 산출 결과를 다음과 같이 비교하였다.

표 7. 북한 황해남도 2차 디지털이징 논 면적 최종 산출 결과

행정구역	추정 논 면적(ha)	증감면적	행정구역	추정 논 면적(ha)	증감면적
강령군	7,409	185	안악군	16,438	138
과일군	1,874	-681	연안군	21,000	346
통연군	2,301	142	오진군	8,753	659
배천군	15,456	245	은률군	5,303	-72
벽성군	7,951	-1,467	은천군	10,042	1,038
봉천군	5,226	-262	장령군	2,254	116
삼천군	5,025	87	재령군	10,658	-
송화군	2,036	-73	청단군	15,381	1,203
신원군	2,096	50	태탄군	4,622	-2,294
신천군	11,999	-6,429	해주시	2,223	55
총 면적			158,047(ha)		-7,014

- 2차 디지털라이징 논 면적 최종 산출 결과, 황해남도 내에서는 연안군(21,000ha), 안악군(16,438ha), 배천군(15,456ha), 청단군(15,381ha) 순으로 가장 많은 논이 분포하는 것으로 나타났으며, 전체 논 면적은 최종 산출 결과인 158,047ha에서 10%를 제외한 142,242.3ha로 추정되었다.

- 최종 산출 결과에서 10%를 제외한 이유는 ①디지털라이징 작업 수행 시 영상에서 분류가 어려운 필지 간 일부 농수로와 사면 등이 포함되어 구획된 것을 감안하였으며, ②디지털라이징 기법을 활용하여 추정된 재배면적의 경우, 실제 재배면적 대비 약 5~10% 정도 과대평가되는 경향(홍석영 외, 2012 외 다수)이 나타나고, ③자문회의를 통한 전문가 의견을 수렴한 것이다.
 - <자문회의록 발췌(최철웅, 13.06.20.)>

“트랙터가 지나다니는 길이나 수로 등이 포함되어 면적이 산출되기 때문에 FAO가 발표한 자료와 비교할 때 그보다 최소 5~최대 10%정도 과도한 추출결과를 얻을 것으로 예상되므로 이 점을 감안하여 추정해야 함. 남한의 경우 경작지가 작게 쪼개져 분포하는 경우 최대 15%까지 오차가 발생함.”

 - <논문 발췌 ‘RapidEye 영상을 이용한 북한의 논 면적 산정(홍석영 외, 2012)’>

“자강도, 평안북도, 함경남북도, 황해남도는 FAO/WFP 통계와 6% 이내의 차이를 나타내는 반면 남포시와 양강도, 황해북도는 30% 이상의 면적 편차를 나타내었다.(Table5., Table6. 참조)”

- 경지(논)경계구획도 작성 완료 후 2013년도 RapidEye 신규촬영 영상을 활용하여 벼 재배유무를 판독하고 속성을 입력하였다.

표 8. 북한 황해남도 경지(논)경계구획도 벼 재배면적 산출 결과

행정구역	추정 벼 재배면적(ha)	행정구역	추정 벼 재배면적(ha)
강령군	7,329	안악군	16,427
과일군	1,848	연안군	20,979
룡연군	1,863	용진군	8,681
배천군	15,404	은률군	5,283
벽성군	7,836	은천군	9,972
봉천군	5,119	장연군	2,135
삼천군	5,001	재령군	9,466
송화군	2,003	청단군	14,847
신원군	1,978	태탄군	4,493
신천군	11,944	해주시	2,216
총 면적		154,824(ha)	

- 황해남도 추정 벼 재배면적인 154,824ha에서 전체 면적의 10%를 감안하여 제외할 시 2013년도 황해남도 벼 재배면적을 추정한 결과로 139,341.6ha를 산출하였으며, 황해남도 내에서는 연안군(20,979ha), 안악군(16,427ha), 배천군 (15,404ha), 청단군(14,847ha) 순으로 논이 많이 분포하는 것으로 나타났다.

2.6. 영상 분류 및 변화탐지 수행

2.6.1. 영상 분류(Image Classification)

가. RHSeg(Recursive Hierarchical Segmentation) 무감독분류

- 무감독분류란 컴퓨터를 이용하여 자동으로 유사한 특징의 패턴 및 화소들을 그룹화하는 기법으로 군집화(Clustering)라고도 불린다.
- 무감독분류는 영상분할(Segmentation) 과정으로, 순차적 군집화(Sequential Clustering), K-평균(K-mean), ISODATA 방법 등이 있다.
- 무감독분류는 감독분류와 달리 분류항목을 지정하지는 않으나, 군집(Class)의 최대개수 및 최대반경, 군집 간 최소거리 등 영상의 객체 및 화소를 그룹화하기 위해 필요한 입력 변수들이 요구된다.
- 본 연구에서는 황해남도 RapidEye 영상에 대해 Region Growing 방식의 RHSEG 무감독분류를 수행하여 위성영상 분류지도를 생성하였다.
- RHSeg은 NASA에서 제공하는 오픈소스(Open Source)로 계층적 이미지 분할이 가능하다. 여러 단계의 레벨로 영상이 분류되며 사용자가 원하는 수준의 레벨을 선택할 수 있다는 장점이 있다.

○ RHSeg 무감독분류는 다음과 같은 순서로 수행하였다.

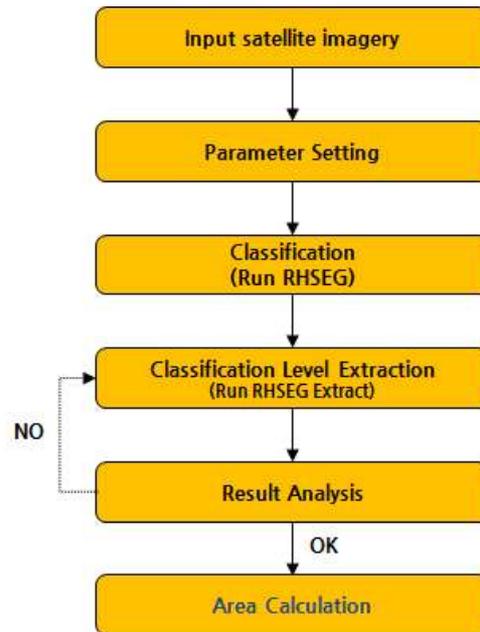


그림 19. RHSeg 무감독분류 수행 과정

○ 분류 작업 시 활용한 RapidEye 영상의 촬영일시는 다음과 같다.

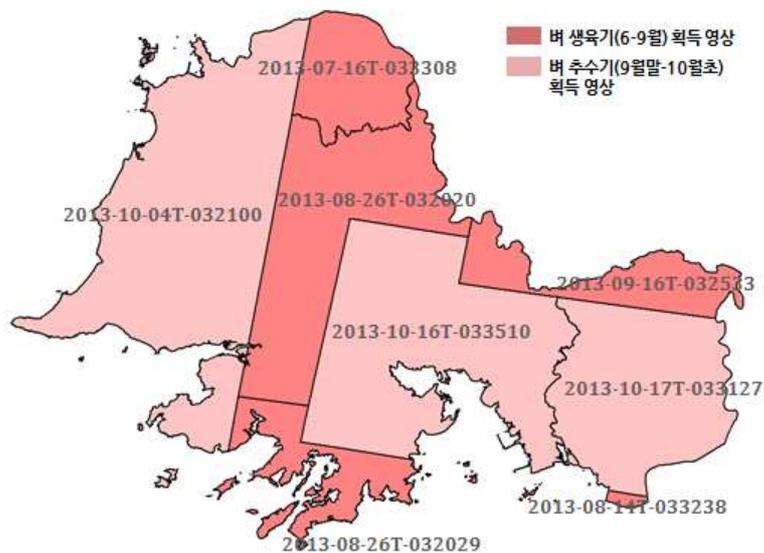


그림 20. 분류작업에 사용된 RapidEye 영상 촬영일시

나. 분류결과 분석

- 변화탐지의 분류항목은 2012년 연구와의 비교분석을 위하여 기 수행 연구와 동일한 7분류를 사용하였다(논, 밭, 산림 및 초지, 도심지, 수계, 기타, 미분류지역).
- 황해남도 지역의 영상분류 결과는 논 164,098ha(19.08%), 밭 287,660ha(33.44%), 산림 및 초지 306,929ha(35.68%), 도심지 13,173ha(1.53%), 수계 38,336ha(4.46%), 기타 50,032ha(5.82%), 미분류지역 0ha(0.00%)로 나타났다.

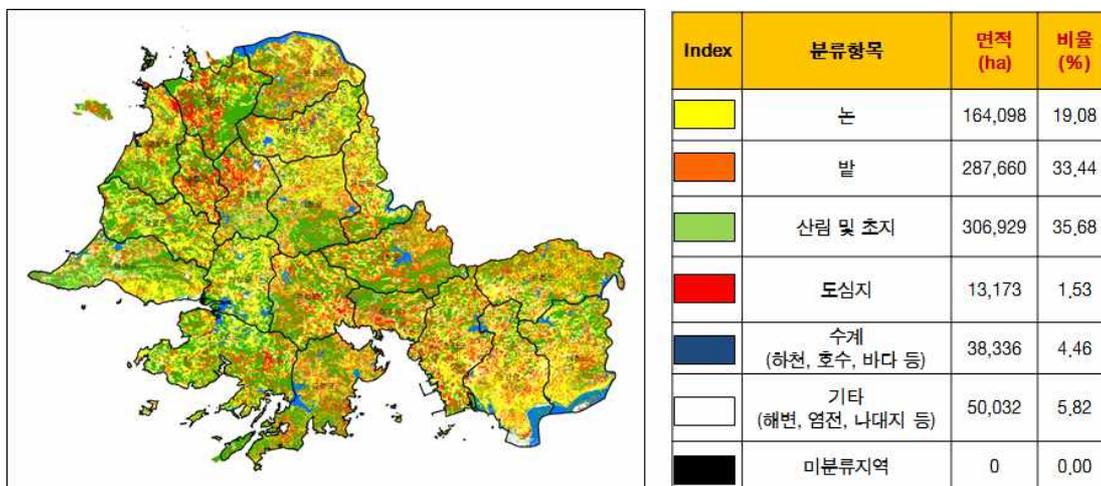


그림 21. 2013년 황해남도 지역 RHSeg 분류 결과

- 상기 결과를 바탕으로 황해남도 시군별 영상분류 결과를 각 분류 항목에 따라 다음과 같이 도시하였다.

표 9. 황해남도 시군별 영상분류 결과

구분	논		밭		산림 및 초지		도시		수계		기타		미분류지역		합계
	면적	비율	면적	비율	면적	비율	면적	비율	면적	비율	면적	비율	면적	비율	면적
전체	164,098	-	287,660	-	306,929	-	13,173	-	38,336	-	50,032	-	0	-	860,228
강령군	7,681	14.3	18,320	34.1	23,419	43.7	454	0.9	2,885	5.4	896	1.7	0	0.0	53,655
과일군	6,521	18.7	8,403	24.1	17,452	50.1	1,077	3.1	770	2.2	636	1.8	0	0.0	34,859
룡연군	4,503	9.2	15,298	31.2	18,606	37.9	155	0.3	1,396	2.9	9,107	18.6	0	0.0	49,065
배천군	16,294	30.8	14,647	27.7	12,332	23.3	899	1.7	6,136	11.6	2,569	4.9	0	0.0	52,877
벽성군	8,014	18.2	15,142	34.4	18,859	42.9	201	0.5	1,011	2.3	775	1.8	0	0.0	44,002
봉천군	4,761	9.3	20,145	39.3	22,590	44.0	802	1.6	1,751	3.4	1,252	2.4	0	0.0	51,301
삼천군	3,277	9.8	12,137	36.2	14,283	42.6	33	0.1	672	2.0	3,140	9.4	0	0.0	33,542
송화군	2,503	13.0	5,637	29.2	8,803	45.6	535	2.8	765	4.0	1,084	5.6	0	0.0	19,327
신원군	2,609	5.3	19,602	39.7	21,339	43.2	25	0.1	2,650	5.4	3,191	6.5	0	0.0	49,416
신천군	11,587	24.1	13,682	28.5	19,319	40.2	440	0.9	980	2.0	2,077	4.3	0	0.0	48,085
안악군	15,334	38.5	11,632	29.2	11,361	28.5	786	2.0	697	1.8	50	0.1	0	0.0	39,860
연안군	20,875	39.9	17,165	32.8	6,308	12.0	275	0.5	5,276	10.1	2,485	4.7	0	0.0	52,384
웅진군	10,049	15.2	25,399	38.4	23,967	36.2	379	0.6	1,758	2.7	4,639	7.0	0	0.0	66,191
은륜군	4,291	10.3	14,508	34.7	17,827	42.7	1,511	3.6	1,975	4.7	1,681	4.0	0	0.0	41,793
은천군	10,321	22.5	15,830	34.6	12,386	27.1	1,759	3.8	5,175	11.3	309	0.7	0	0.0	45,780
장연군	2,609	6.5	10,710	26.5	22,476	55.6	182	0.5	1,075	2.7	3,387	8.4	0	0.0	40,439
재령군	10,882	33.3	10,640	32.6	8,647	26.5	956	2.9	1,350	4.1	188	0.6	0	0.0	32,663
청단군	14,369	30.3	20,856	43.9	4,678	9.9	1,172	2.5	1,486	3.1	4,934	10.4	0	0.0	47,495
태탄군	4,292	12.0	12,143	34.0	13,372	37.5	159	0.5	256	0.7	5,484	15.4	0	0.0	35,706
해주시	3,327	15.3	5,764	26.5	8,905	40.9	1,372	6.3	272	1.3	2,149	9.9	0	0.0	21,789

* 비율은 소수점 1자리까지 반올림하여 표시.

단위 : 면적(ha), 비율(%)

2.6.2. 변화탐지(Change Detection) 결과

- 본 연구에서도 기 수행연구(통계청, 2012)와 같은 RHSeg 기법을 이용하여 무감독분류를 수행했으므로 두 연구 간 변화탐지가 가능하다. 변화탐지의 대상은 북한 황해남도 전체 지역이다.

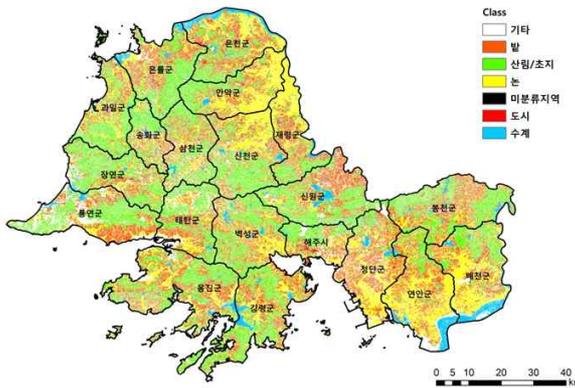


그림 22. 2012년 RHSeg 분류 결과

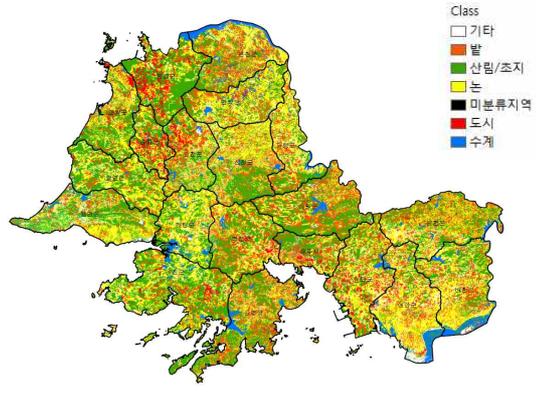


그림 23. 2013년 RHSeg 분류 결과

- 황해남도 지역 2012년 RHSeg 분류 결과와 2013년 RHSeg 분류 결과를 논, 밭, 산림 및 초지, 도심지, 수계, 기타, 미분류지역으로 분류하였으며, 이를 시군별로 비교한 결과는 다음과 같다.

- 단, 변화탐지의 결과는 다음과 같은 요소에 의해 본 연구결과에 영향을 끼칠 수 있다.

- ① 영상 획득시기 : 기 수행연구(통계청, 2012) 시 사용된 영상의 제원은 2009~2010년도에 걸친 다양한 시기의 영상이므로 본 연구에서 사용된 2013년 벼 생육시기의 영상을 활용한 분류 결과와 차이가 발생할 수 있음
- ② 구름 등 촬영 조건 : 구름, 연무, Tilt(촬영각)로 인한 Shadow Effect 등 촬영 조건에 따른 영향

표 10. 2012년 RHSeg 분류 결과와 2013년 RHSeg 분류 결과 분류항목별 비교

분류항목	2012	2013		
	영상분류 결과	영상분류 결과	변화면적	대비율
논	164,580	165,098	518	0.3%
밭	270,792	287,660	16,868	6.2%
산림 및 초지	327,302	305,929	-21,373	-6.5%
도심지	13,272	13,173	-99	-0.7%
수계 (하천, 호수, 바다 등)	38,105	38,336	231	0.6%
기타 (해변, 염전, 나대지 등)	46,041	50,033	3,992	8.6%
미분류지역	137	-	-137	-100.0%
총 계	860,229	860,229	0	-

(단위: 면적(ha))

표 11. 2012년 RHSeg 분류 결과와 2013년 RHSeg 분류 결과 시군별 비교(2013년 기준)

구분	논	밭	산림 및 초지	도시	수계	기타	미분류 지역
강령군	566	957	-1,411	30	201	466	0
과일군	520	300	-1,033	100	62	50	0
룡연군	173	1,449	-2,166	15	40	491	0
배천군	-400	902	-267	75	251	38	0
벽성군	189	414	-540	15	-15	-62	0
봉천군	-150	1,413	-1,509	78	-38	168	0
삼천군	10	1,140	-1,665	6	106	404	0
송화군	75	493	-920	46	27	80	0
신원군	-250	1,268	-1,383	-213	28	551	0
신천군	416	255	-1,404	79	29	324	0
안악군	134	1,245	-1,645	-75	-26	-34	0
연안군	-23	233	95	-26	-59	-125	0
웅진군	1	277	-691	30	-1	3,192	-137
은률군	-79	1,128	-1,290	71	-106	275	0
은천군	195	1,073	-951	-100	-91	-27	0
장연군	113	951	-1,695	-12	-101	845	0
재령군	-8	513	-477	-29	12	-19	0
청단군	-269	1,347	-370	-25	14	-698	0
태탄군	8	1,031	-1,739	-21	-75	797	0
해주시	-48	479	-219	-143	-64	-53	0

(단위: 면적(ha))

- 본 연구를 통해 추정된 황해남도 논 면적 추정 결과와 FAO 통계를 비교한 결과는 다음과 같다. FAO 통계에서 추정된 북한 황해남도 지역의 논 면적은 145,000ha이며, 디지털라이징 기법을 통해 추정된 면적은 142,242ha(-1.9%), RHSeg 영상분류 결과를 통해 추정된 면적은 164,098ha(+13.1%)로, 디지털라이징 기법을 통한 면적 추정방법이 FAO 통계 대비 가장 높은 정확도를 나타냈다.

표 12. 2013년 황해남도 논 면적 추정 결과와 FAO 통계 비교

분류항목	2013						Ref.
	영상분류 결과			디지털라이징 결과			FAO 통계
	면적	변화면적	대비율	면적	변화면적	대비율	면적
Paddy	164,098	19,098	13.1%	142,242	-2,758	-1.9%	145,000

(단위: 면적(ha))

- 또한 기 수행연구(통계청, 2012)와 본 연구 간 변화탐지를 통해 토지이용 변화를 추정한 결과는 다음과 같다.

표 13. 2009~2013년간 토지이용 변화

		2013 수행결과						
		Paddy	Field	Forest	Urban	Water	Etc	Unlabeled
2012 수 행 결 과	Paddy	1,575,498,100	4,135,450	89,600	210,750	2,839,250	934,522	-
	Field	1,250,010	2,256,310,125	789,675	137,175	2,467,800	3,083,700	-
	Forest	803,500	33,288,925	2,380,812,150	5,327,025	8,596,775	9,043,675	-
	Urban	461,425	2,363,650	22,625	88,417,375	40,200	216,225	-
	Water	503,097	1,163,690	5,503,275	615,200	279,049,375	236,600	-
	Etc	642,175	14,699,750	8,587,175	6,833,700	961,500	335,411,175	-
	Unlabeled	124,050	838,700	12,175	88,700	24,675	285,900	-

(단위 : m²)

- 위 표는 2012년 영상분류 수행 결과 대비 2013년 영상분류 결과이다. 대각으로 표시된 수치는 토지이용이 변화되지 않은 면적이며 그 외의

수치는 토지이용이 변화된 면적이다.

- 예를 들어 2012년 영상분류에서 Forest로 분류된 지역 중 Etc로 변화된 지역의 면적은 총 9,043,675m²이다.
- 기 수행연구(2012)에서 사용된 위성영상의 촬영시기는 2009~2010년이므로 2013년 신규촬영 영상으로 변화탐지를 수행한 본 연구와 비교해 볼 때, 약 4~5년 간의 변화양상이다.
- 변화탐지 결과, 각 분류항목에 따라 다소 토지이용 변화가 발생하였으며, 특히 기존의 산림/초지 분류가 밭(Field)으로 변화된 것은, 최근 북한이 식량난 극복을 위해 산림/초지를 밭으로 다수 개간한 것으로 추측된다.

2.7. 판독 정확도 검증 방안 도출

2.7.1. 판독 라이브러리 작성

- 판독에 사용한 영상의 종류 및 촬영시기별 분류 형태는 다음과 같다.

표 14. RapidEye 영상 판독 예(농경지)

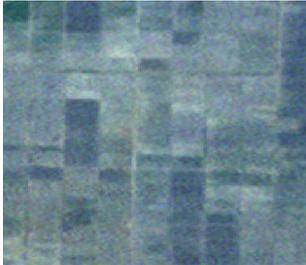
촬영시기	RapidEye	
	논	밭
2010년3월		
2010년4월		
2010년6월		
2009년6월		

표 15. RapidEye 영상 판독 예(도심지, 기타)

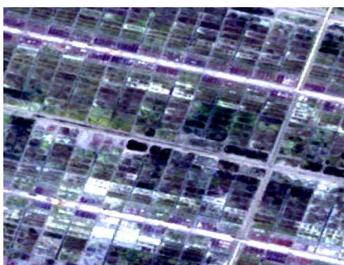
구분	RapidEye
산림 및 초지	
도심지	
기타(구름)	
기타(염전)	
미분류지역	

표 16. RapidEye와 KOMPSAT-2 영상 패턴 비교

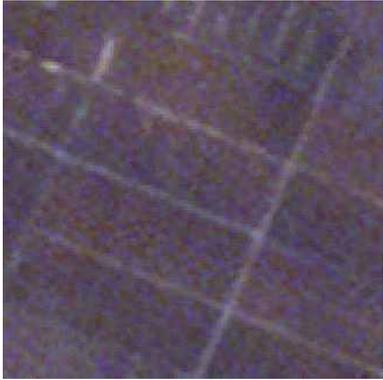
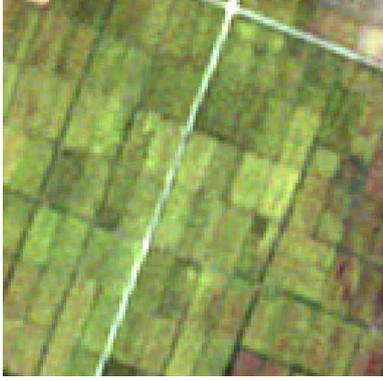
촬영시기	구분	
	RapidEye	KOMSAT-2
2010년6월 (물댄 논)		
2010년9월 (벼 생육기 논)		
2010년6월 RapidEye 2009년6월 KOMPSAT-2 논 패턴 비교		

표 17. KOMPSAT-2 영상 판독 예

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

표 18. 구글어스(Google Earth) 영상 판독 예

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

표 19. RapidEye 시기별 영상 판독 예

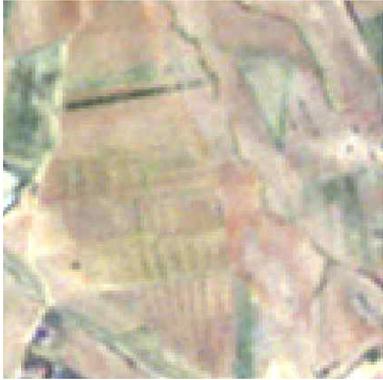
촬영시기	RapidEye	
	논	밭
파종기		
생육기		
추수기		

표 20. RapidEye 시기별 영상 판독 예(Band Composition)

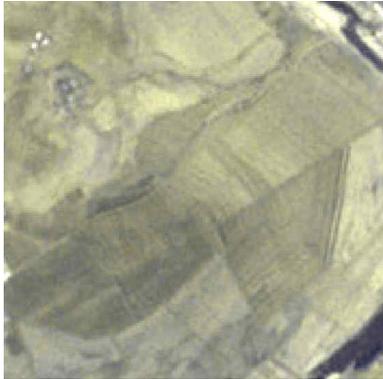
촬영시기	RapidEye	
	논	밭
파종기		
	GBR	RGB
생육기		
	RGB	RGB
추수기		
	GGR	BGG

표 21. KOMPSAT-2 시기별 영상 판독 예

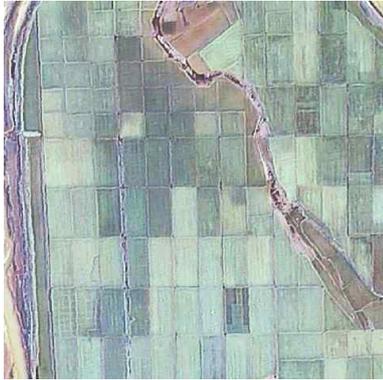
촬영시기	KOMPSAT-2	
	논	밭
파종기		
생육기		
추수기		

표 22. KOMPSAT-2 시기별 영상 판독 예(Band Composition)

촬영시기	KOMPSAT-2	
	논	밭
과중기		
	GBB	GRB
생육기		
	RGB	BRG
추수기		
	GBB	GRR

2.7.2. 전문가 자문회의 실시

- 부경대학교 최철웅 교수를 자문위원으로 총 두 차례에 걸쳐 전문가 자문회의를 실시하였다.

가. 1차 자문회의(13.06.03) 내용 정리

- 농진청의 기 구축 디지털링 자료를 받아 최근 자료로 업데이트하여 돌려주는 방안 농진청에 요청
- 추수 시기인 9~10월 영상 수급 요청
- Landsat-8 영상을 수급하여 경사도 7°이상인 지역은 제외하고 무감독 분류하여 분포지역을 최대한 추출한 다음 디지털링 수행

나. 2차 자문회의(13.08.16) 내용 정리

- 위성영상을 이용, 재배 경사도(~15° 이상)가 높은 지역에 대해 Masking 처리를 진행하여 판독 정확도 향상 기대
- Landsat-8, RapidEye 및 KOMPSAT 영상에 Layer Stacking 기법을 활용, 무감독분류의 분류 정확도를 향상시킬 예정
- 2차 디지털링 완료 후 변화탐지 수행 시 오차를 최소화하기 위한 방안으로, 2012년 과제 수행 결과에 오류가 있을 것을 감안하여 올해와 같은 기법으로 분류하고 수행 결과와 비교
- 판독 정확도 검증 방안으로 FAO 통계자료의 쌀 생산량 산출 과정에 관한 질의서 작성 예정이며, 관계자와의 면담 요청 시도

2.7.3. 교차 검증

- 판독자마다 판독 기준이 다르기 때문에 영상 및 참조자료를 활용하여 사전에 판독 기준을 정해놓은 후 작업을 진행하였으며, 디지털이징 결과물을 대상으로 판독자간 교차검증을 수행하여 일관성 있는 판독 작업이 가능하도록 하였다. 최종 판독 결과에 대한 1·2차 교차검증 통하여 판독 정확도를 향상시키고자 하였다.

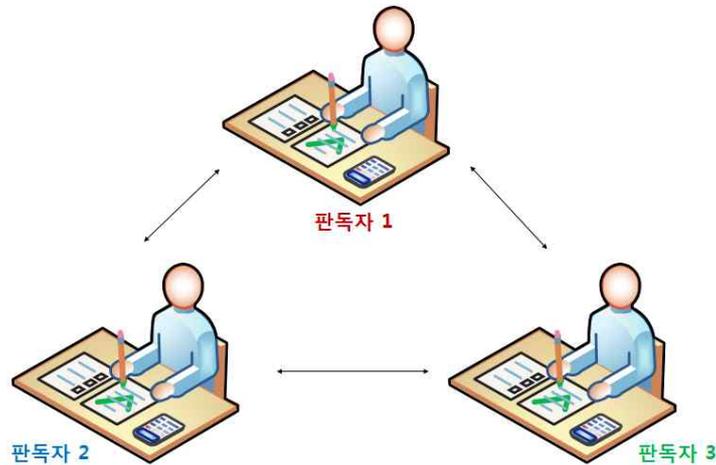


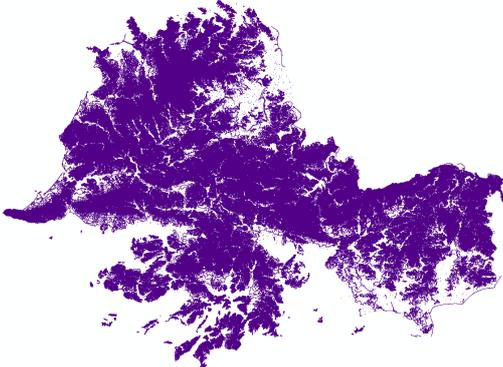
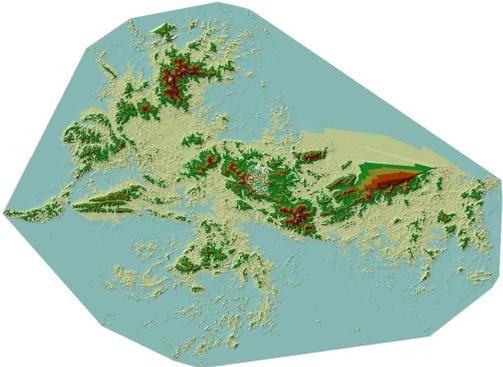
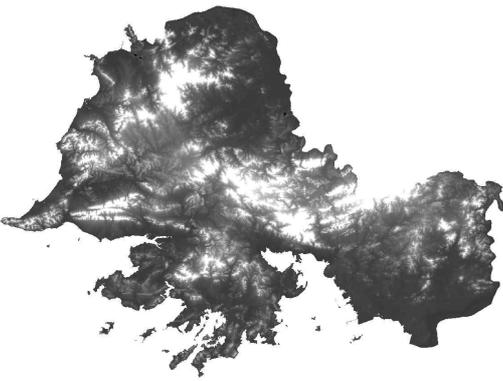
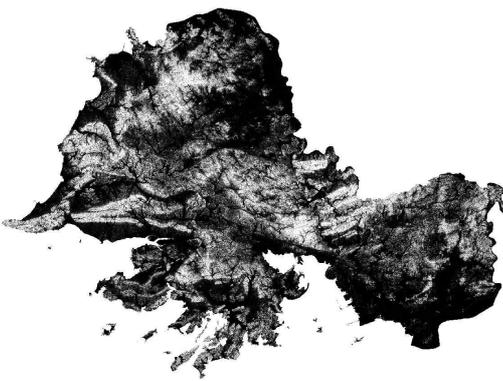
그림 24. 판독자간 교차검증 수행

2.7.4. 경사도 지도(Slope Map) 제작

- 경사도가 7° 이상인 지역에서는 물을 가두어 재배하는 논벼 재배의 특성상 수경재배가 어려우며 경사도가 15° 이상인 지역에서는 밭벼 재배도 어려워지므로 0° 이상 7° 미만, 7° 이상 15° 미만, 15° 이상으로 3분류 경사도 지도를 제작하여 벼 재배 가능지역을 분석하였다.
- 경사가 심할수록 표토의 양분 유실이 심하고 농기계 작업이 어려우며 관리가 불편하다. 작물 재배의 최적 및 적지조건으로 농림부(2006)의 연구에서 발표한 경사도 기준을 참고자료로 활용하였다.
 - ※ 매우 약한 경사($2\sim 7^\circ$)와 약한 경사($7\sim 15^\circ$)(농림부, 2006)

- 북한 황해남도 수치지형도에서 등고선을 추출하여 TIN(불규칙삼각망, Triangulated Irregular Network)을 생성하고 DEM(수치표고모델, Digital Elevation Model)을 제작한다. DEM으로부터 경사도(Slope)를 추출하여 경사도 7° 이상과 15° 이상을 구분하는 경사도 지도를 제작하였다.

표 23. 경사도 추출 과정 중간 산출물

	
수치지형도(등고선)	TIN
	
DEM	Slope

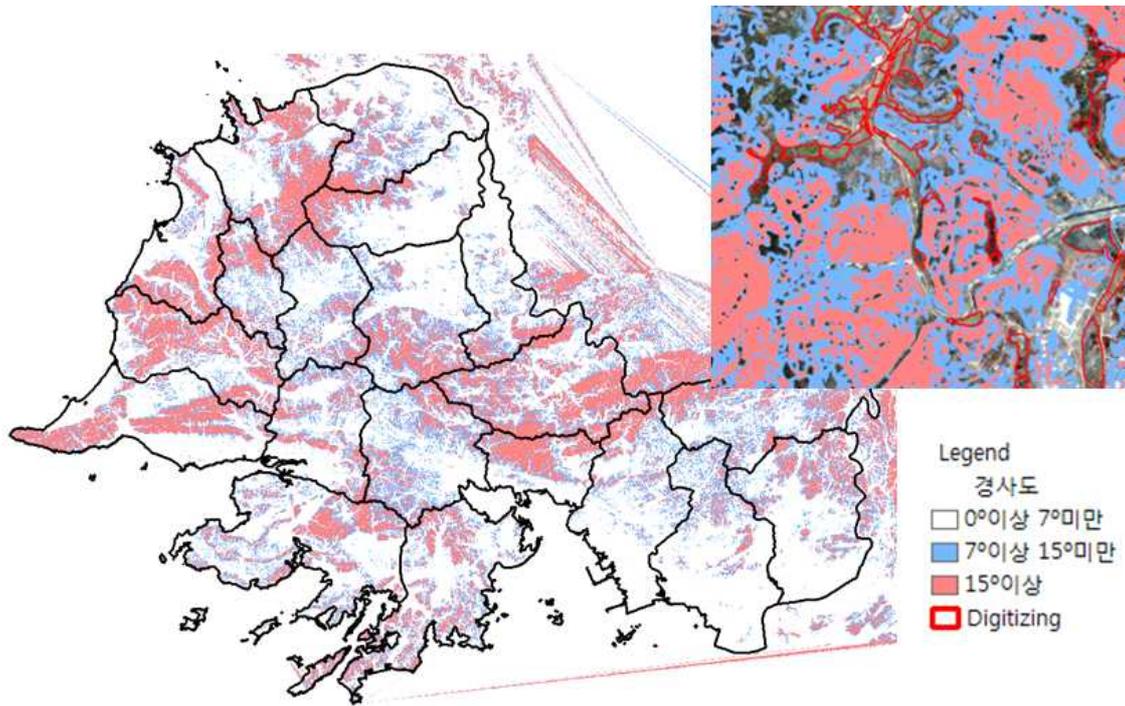


그림 25. 북한 황해남도 지역 Slope Map 제작 결과

2.7.5. 새터민 초청 인터뷰

- 새터민과의 인터뷰를 통하여 북한(접근불능지역)에 대한 보다 신뢰도 높은 정보를 얻고 판독 영상에 대한 검증은 실시하였다. 디지털화 작업 중 다수 발생하는 판독 모호지역을 선별하여 Case별로 분류하고 새터민에게 문의하여 판독 검증 정확도를 향상시키고자 하였다.



그림 26. 새터민 인터뷰 현장 사진

○ 새터민 인터뷰 내용 정리

- 논밭전환 관련 회의
 - 정부 운영 협동농장 관리제로 경지면적이 제한되어 있어 지정 품종만 재배가 가능하며 논에서 밭으로 재배지 용도가 전환되는 경우는 거의 없음
 - 발벼의 경우 한 해 시범경작 결과 잘 자라지 않아 폐지된 이후 실시되지 않음
- 북한 농업환경 관련 회의
 - 봄부터 가을까지 벼를 재배하며 겨울에만 논이 빔
 - 연료부족으로 기계사용이 제한되어 거의 모든 농사가 수작업으로 이루어짐
 - 경사지에서는 논보다 밭을 일구며, 작물은 감자, 옥수수 등의 구황작물

○ 판독 모호지역 문의

- Case ① : 6월 경 작물이 자라는 시기이나 영상 상에서 나대지로 판독되는 경우, 밭작물이 심어져 있는 상태지만 아직 싹이 트지 않은 밭으로 판독

;나대지로 판독하여 경지구획에서 제외하였으나 밭으로 판독 수정



GoogleEarth 2011.06



KOMPSAT-2 2010.06

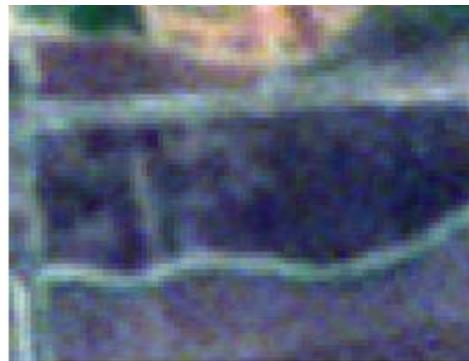
그림 27. 나대지로 보이는 지역

- Case ② : 일부 지역에서 논 사이에 논과 같이 구획되어 있으나, 지역 일부가 저수지와 같이 물에 잠겨있는 경우, 관개시설이 발달하지 않은 북한의 경지환경에 의한 것으로 판단됨, 주로 저지대에 물이 잘 빠지지 않는 논이므로 논으로 판독

;논으로 판독하였으므로 수정 불필요



GoogleEarth 2011.04



KOMPSAT-2 2010.06

그림 28. 구획된 논 일부가 물에 잠긴 지역

- Case ③ : 영상 상에서 고랑이 확인되어 밭으로 판독되나 추수기 논과 같이 경지 위에 규칙성 있는 점 패턴이 나타나는 경우, 밭에 지급된 비료포대이므로 밭으로 판독

;밭으로 판독하였으므로 수정 불필요



KOMPSAT-2 2012.11

그림 29. 밭과 논을 동시에 보이는 지역

- Case ④ : 일부 지역에서 수로가 끊어지는 지역에 모자이크형 패턴으로 관독이 모호한 지역이 있었으며, 인터뷰 결과 이는 경지확장을 위해 수로를 막고 경지면적을 확보한 것으로 보임
;논으로 관독하였으므로 수정 불필요



그림 30. 수로가 끊어지는 지역의 모자이크형 패턴 경지

2.7.6. 미디어 매체를 활용한 북한 농업환경 분석

- 북한 농업환경과 관련한 2004~2013년도 방송 미디어 매체를 추적하여 간접적인 북한 농업환경 분석을 시도하였다.



그림 31. ‘김정은 1년 북한 내부공개(2013)’ 시청



그림 32. ‘[다큐 BBC] 악의 축 북한에 가다(2004)’ 시청

- 군사시설이 소재한 산을 제외하고는 벌목이 진행되어 밭을 형성하는 농업환경을 확인하였다.
- 경사가 심한 산비탈도 모두 벌목이 진행되었으며 벼가 재배되기 어려워 옥수수, 콩, 깨 등의 밭작물을 재배하는 모습을 확인하였다.

- 새터민 인터뷰에서 언급되었던 필지 간 고랑에 발작물을 재배하는 농촌의 풍경을 확인하였다.

2.7.7. 고해상도 영상 활용

- 2012년 발사된 KOMPSAT-3 영상의 경우 KOMPSAT-2 영상보다 공간 해상도가 높고 본 영상협의체 등록기관인 통계청을 통한 영상자료 획득이 가능하므로 2013년 KOMPSAT-3 신규촬영 영상을 요청하였다.
- 2013년 신규촬영된 KOMPSAT-3 위성영상을 활용함으로써 공간해상도 향상으로 KOMPSAT-2 대비 약 30% 판독 효율 및 구획 정확도를 향상시키고자 하였다.



그림 33. 고해상도 위성영상 활용

2.7.8. 북한 농업 전문가 질의

- 북한 농업환경 관련 질의서를 작성하여 북한 농업 전문가인 동북아 공동체연구재단 김필주 박사에게 문의하였다.

- 김필주 박사는 작물생리학과 종자학을 연구한 재미동포 농학자로 황해도 내 2,970만㎡의 협동농장(국가 소유)을 임대하여 운영하며 20년 간 북한을 왕래하였다.
- 현재 북한 현지에서 직접 협동농장을 운영하고 있는 전문가의 의견을 통해 북한 농업환경을 이해·분석하고 그에 따른 관독 정확도를 향상 시키고자 하였다.
- 또한, 2013년 11월 18일 과천에서 열린 ‘남북한 농림수산 협력 심포지엄’에 참석하여 ‘북한 협동농장의 제도 및 실태’를 주제로 한 김필주 박사의 기조연설을 듣고 관련 내용을 참고하였다.

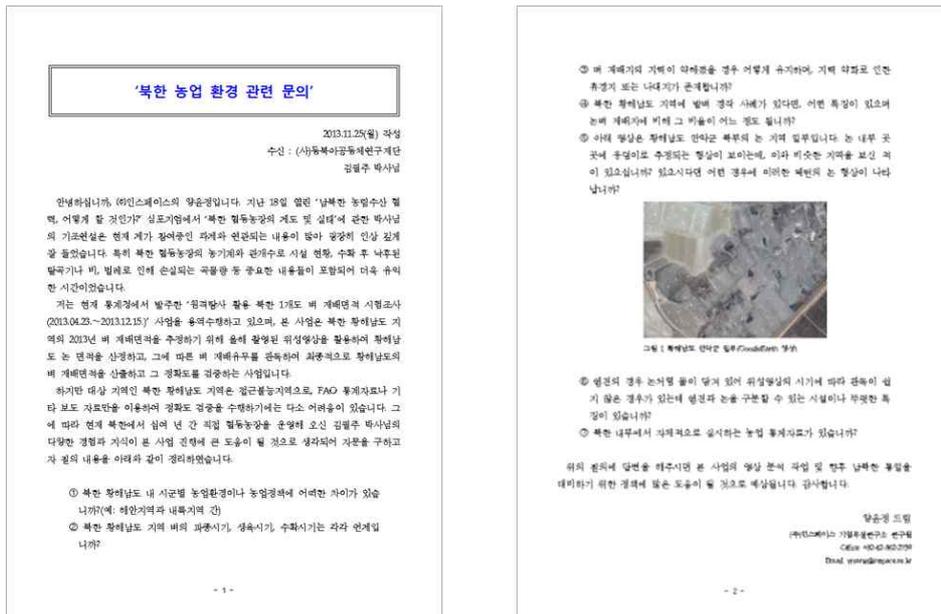


그림 34. 북한 농업 환경 관련 질의서

2.8. 북한 농업통계 관련 공식 통계 현황 및 원격탐사 연구사례 조사

2.8.1. 북한 농업통계 관련 공식 통계 현황 조사

가. FAO 농업통계 자료 조사

1) FAO Spacial Report

- 매년 11월 25일 발행하는 FAO 통계자료를 연도별로 다음과 같이 정리하였다(2005~2007년, 2009년 자료가 누락된 것은 북한에서 내부 통계 자료의 제공이 중단되었기 때문임).

표 24. FAO Spacial Report(South Hwanghae – Main-season crop area)

구분	Paddy	Field(밭)			
		Total	Maize(옥수수)	Potato(감자)	Soya, etc(콩 등 기타)
2002	150.00	101.00	80.00	16.00	5.00
2003	150.00	100.00	80.00	16.00	4.00
2004	150.00	101.00	80.00	16.00	5.00
2008	146.15	127.56	86.71	25.00	15.85
2010	146.00	106.70	87.00	2.80	16.90
2011	146.00	107.00	87.00	0.00	20.00
2012	142.00	108.00	89.00	-	19.00
2013	145.00	113.10	96.00	0.10	17.00

단위 : 면적(1,000ha)

- 2002~2004년 간 황해남도 논 면적은 150,000ha로 크게 변동이 없었으나 2008년 약 4,000ha 정도의 논 면적 감소가 있었고 같은 해에 밭 면적이 크게 증가한 것으로 나타났다. 이후 2010~2011년에는 논 면적 146,000ha, 밭 면적 107,000ha로 일정한 면적을 유지하였으나 2012년 논 면적이 전년도에 비해 약 4,000ha 정도 감소한 것은 대부분 5, 6월 가뭄으로 일부 논의 관개에 차질이 발생해 기타 대체작물이 재배된 것에 기인한다 (FAO, 2012).
- 2013년 황해남도 논 면적은 145,000ha로 이전의 논 면적을 어느 정도 회복한 것으로 보이며 밭 면적도 증가한 것으로 나타났다.

2) FAO 통계자료 추산 방법

- 「FAO/WFP 작황 및 식량안보평가 공동 조사단」이 매년 북한을 방문하여 북한당국이 제공하는 작물생산면적 및 생산량 공식 통계자료와 곡물수입량, 양자 간 식량지원량, 지역별 인구자료, 식량배급량, 기상데이터 등 기타 관련 자료를 수집한다. 조사단은 이들 자료를 검토하고 필요시 북한 당국 및 협동농장 관계자와의 인터뷰 또는 작물생육상태 및 수확 작물 관찰, 강우량 및 식생자료, 원격탐사 자료를 평가하여 관련 자료를 수정한다(FAO/WFP, 2013).
- FAO 사무국 및 FAO 한국협회에 문의한 결과, 생산면적 추산의 경우 북한당국이 제공하는 공식통계자료와 원격탐사 자료의 영상분류기법을 활용하여 추산되는 것으로 확인하였다.
- 북한당국의 제공 자료와 원격탐사 자료의 분류기법을 활용하여 추산된 통계자료이므로 북한지역의 벼 재배면적 추정을 위한 Reference 데이터로서 현재까지 정확도가 가장 높은 것으로 알려져 있다.
- 하지만 ① 북한 제공 자료의 신뢰도와 ② 영상분류기법에서 발생할 수 있는 오차범위, ③ 디지털라이징 기법의 높은 정확성(농촌진흥청, 2012 외 다수)을 고려해 볼 때 디지털라이징을 통한 면적 산출 방법이 가장 정확도가 높을 것으로 판단된다.

2.8.2. 북한 농업통계 관련 원격탐사 연구사례 조사

가. '시계열 위성영상을 이용한 북한 지역의 논벼 재배 지역 추출 기법 연구' (서울대, 2012)

1) 연구목적

- 북한지역에 적용할 수 있는 논벼 재배지역 추출 기법을 개발
- 추출 기법을 적용하여 논 분포도를 작성 및 적용 가능성 평가

2) 연구내용

- 기존 문헌의 북한 농경지 현황 조사
- 시계열 위성영상의 수집과 전처리
- 시계열 위성영상을 이용한 토지피복(논) 분류 분석기법 개발
- 북한 토지피복(논)의 분류와 분포도 작성

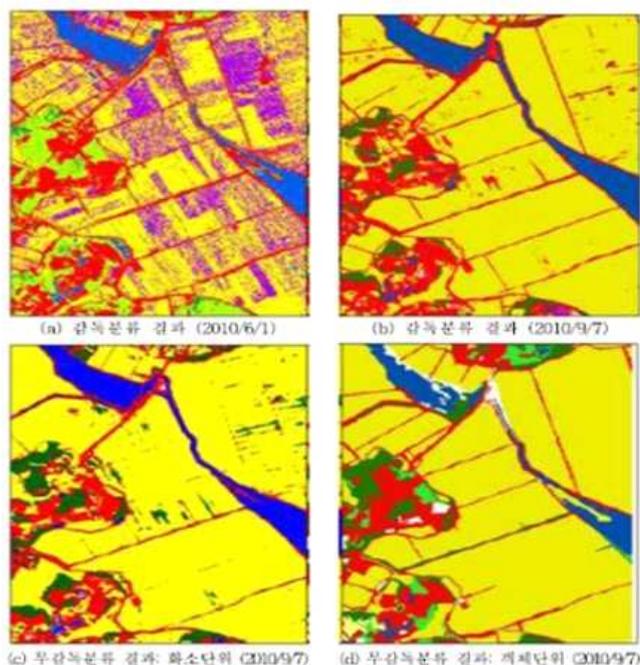


그림 35. 분류 방법별 토지피복도 결과 비교

3) 연구방법

- 서로 다른 시기에 촬영된 RapidEye 영상을 활용하여 전라북도 김제시 전역을 대상으로 감독분류를 시행
- 시계열 영상을 통한 NDVI의 변화를 토지피복분류에 적용하였으며, 고해상도 위성영상에서 주로 활용하는 객체기반 토지피복분류를 수행하고 적용성을 검토
- 시계열 RapidEye 영상에 각각 감독분류, 무감독분류, 다양한 객체생성 후 무감독분류 적용을 통해 도출한 결과물을 서로 비교하여 논벼 재배 지역 추출을 위한 과정을 결정
- 영상으로부터 추출한 NDVI를 활용하여 객체를 생성하고 이를 바탕으로 무감독 토지피복 분류를 수행하였으며 논 적합지역이 대한 지형 정보를 분류결과에 반영하여 최종적인 토지피복지도 및 논 지역 지도를 구축

4) 결론

- 고해상도 영상인 RapidEye를 활용하여 접근제한지역의 논벼 재배면적을 추출하기 위한 방법을 검토하였으며, 그 결과 객체단위의 무감독분류 기법을 바탕으로 북한의 재령군의 논벼 재배면적을 산정
- 그러나 객체 생성 시 남한 지역에서 검토된 매개변수를 북한지역에 그대로 적용하였기 때문에 향후 북한의 논 필지 형태와 면적의 차이를 고려한 세부 조건(객체 생성 시 매개변수, 무감독분류 시 최적 알고리즘)에 대한 추가 연구가 필요할 것으로 사료됨

나. 'RapidEye 영상을 이용한 북한의 논 면적 산정' (홍석영 외, 2012)

1) 연구목적

- RapidEye 위성영상을 기반으로 육안판독을 통해 북한 전역의 벼논지역을 분류하여 면적을 산정하고 과거 위성영상을 이용하여 시계열 분석 수행

2) 연구내용

- 북한 전 지역 대상 논 지역 벡터라이징 수행
- Landsat TM 자료를 이용하여 토지피복 분류 수행
- 벡터라이징 결과와 토지피복 분류 결과 Change Detection 수행

3) 연구방법

- ArcGIS Arc Map 프로그램을 사용하여 논 분류를 위한 벡터라이징을 수행하고 북한의 13개 시도 행정구역도를 이용하여 시도별 논 분포자료를 생성
- FAO/WFP 북한 보고서에서 발표하는 북한의 논 면적과 1990년대 후반~2000년대 초반에 걸쳐 촬영되었던 Landsat TM 자료를 이용하여 토지피복분류를 한 결과 중 논에 대한 면적과의 비교를 통해 북한의 논 면적 변화를 분석

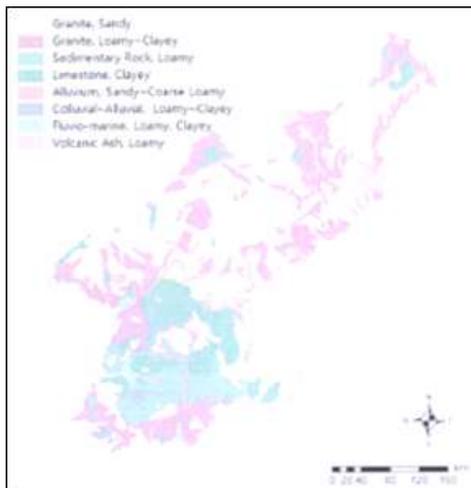


그림 36. Distribution of parent material and soil type in North Korea

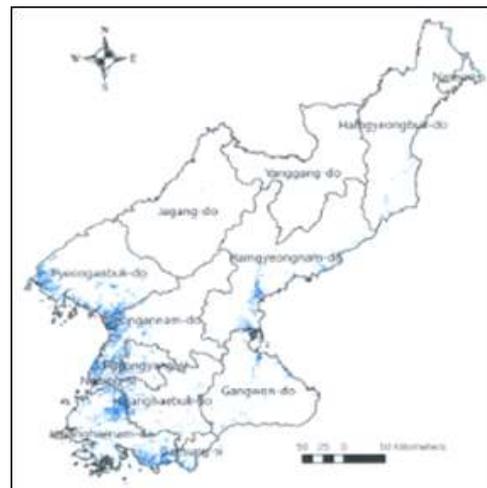


그림 37. Distribution map of paddy fields classified from RapidEye imagery in North Korea

4) 결론

- 북한과 같이 접근이 힘들고 농업과 관련된 정보가 부족한 지역을 대상으로 RapidEye 위성영상의 판독 및 분류를 통하여 가장 기초적인 농업 현황과 생산 기반인 논 면적을 산정
- 그 결과 북한 전역에 대한 논 분포지도를 작성하였고, 시도 행정구역별로 논 면적을 살펴봄으로써 북한 지역의 농업환경 변화상 분석
- 향후 밭에 대한 분류 지도를 구축하고 나아가 옥수수과 같은 주요 밭 작물에 대한 판독 방법에 대해서도 연구할 필요가 있을 것으로 생각됨

다. ‘위성영상을 이용한 북한의 농업환경 분석’ (홍석영 외, 2008)

1) 연구목적

- 직접조사가 힘든 북한 전역을 대상으로 인공위성 영상자료를 이용하여 토지피복분류를 수행하고 행정구역별로 면적을 산정

2) 연구내용

- 위성영상의 전처리
- 토지피복분류
- Landsat TM 위성영상을 이용한 토지피복도 작성
- 행정구역별 토지피복 면적 산출

3) 연구방법

- Landsat TM 영상의 기하보정을 위해 도면형태의 지형도를 스캔하여 이미지 파일을 생성하고 좌표를 등록
- 토지분류 항목은 논, 밭, 산림, 나지, 초지, 물, 간척지, 염전, 건물·주거지, 기타의 10개 항목으로 설정
- 근적외광 밴드를 레벨슬라이스하여 물을 먼저 판별하고 나머지 항목에

대해 단일시기 또는 봄과 가을의 NDVI, 습도, 주성분 영상, 적색광, 근적외광, 중간적외광 밴드를 입력변수로 하여 산림, 논, 건물·주거지역을 감속분류(최대우도법)

- 나머지 영상을 이용하여 무감속분류(ISODATA)한 후 각 항목을 선택하여 판독하면서 나지, 초지, 밭, 구름을 구분하였고 논지로 사용되고 있거나 논지사용을 목적으로 간척된 지역과 염전은 육안판독을 통한 디지털징 기법을 이용
- 분류항목별로 입력변수를 다르게 적용하고 혼용(hybrid) 분류방법을 이용하여 영상별 분류가 끝난 후에 영상끼리 접합하여 합친 후 육안판독을 통해 부분적으로 수정
- ERDAS Imagine을 이용하여 북한의 수치 행정구역도에 따라 시·도와 시·군별 토지피복 면적을 산출

4) 결론

- 위성영상을 이용하여 분류한 북한의 토지피복은 전체 면적 중 산림이 가장 넓게 분포하고 있으며 황해남도와 평안남도 등 서쪽에 위치한 해안가 저위평탄지에 주로 논이 넓게 분포하고, 밭은 논과 같이 서쪽 지역에 많이 분포하나 북동쪽에 위치한 함경도와 자강도, 양강도에도 비교적 고르게 분포함
- 3~5년 주기로 영상분류를 통한 토지피복도를 작성하여 토지이용 및 분류에 대한 시간적·공간적인 변화를 분석한다면 농경지와 산림에 대한 이용 현황 자료를 제공할 수 있고 앞으로의 이용계획 수립에 효율적으로 사용될 수 있을 것으로 생각됨

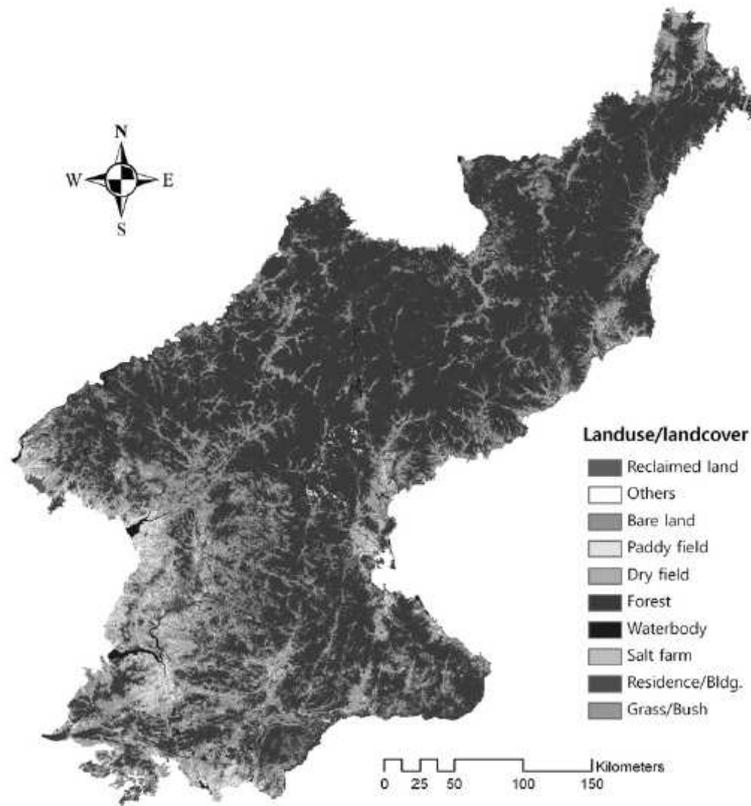


그림 38. Landuse/cover map of North Korea classified from Landsat TM images

라. ‘MODIS NDVI를 이용한 북한의 벼 수량 추정 연구’ (홍석영 외, 2009)

1) 연구목적

- MODIS 제공 산출물 중 16일 단위로 작성되는 NDVI를 이용하여 북한의 벼 수량을 추정

2) 연구내용

- MODIS 자료 취득 및 영상 처리
- 벼논의 NDVI 특성 분석
- 벼논의 NDVI와 수량 및 생산량과의 관계 분석

3) 연구방법

- MODIS 위성영상 처리는 영상분석 소프트웨어인 ENVI에 제공되는 IDL을 이용하여 Sinusoidal 형태의 지도를 TM 자표계로 변환하고 NDVI 레이어를 추출
- NDVI 값과 수확기 바이오매스 및 수량과의 상관성이 가장 높게 나타난 생육단계이면서 최대 NDVI 값 출현빈도가 높았던 수잉기(중만생종 기준)의 연차별 NDVI 값을 이용하여 수량 및 생산량과의 관계를 분석
- 벼논의 연차별 수잉기 NDVI값, FAO 통계, 통계청에서 제공하는 연도별 수량 및 생산량 통계자료를 이용하여 벼 생산량과 수량에 대해 회귀식을 작성

4) 결론

- 2000~2007년의 MODIS 영상에서 추출한 벼논 대표지점의 NDVI와 통계청에서 제공하는 수량 자료와 선형적인 관계로 나타남에 따라 2008년 북한의 벼 수량과 생산량을 추정하였으나 실측에 따른 캘리브레이션이나 자료를 통한 검증이 어렵다는 점이 한계점으로 지적됨
- 북한에 대한 수량 및 생산량은 국가 통계 자료의 수집이 어렵고 조사 기관에 따라 발표하는 통계자료의 변이가 크므로 위성영상 등 주기적·객관적 취득이 가능한 자료를 이용한 추정방법의 지속적 개발이 요구됨

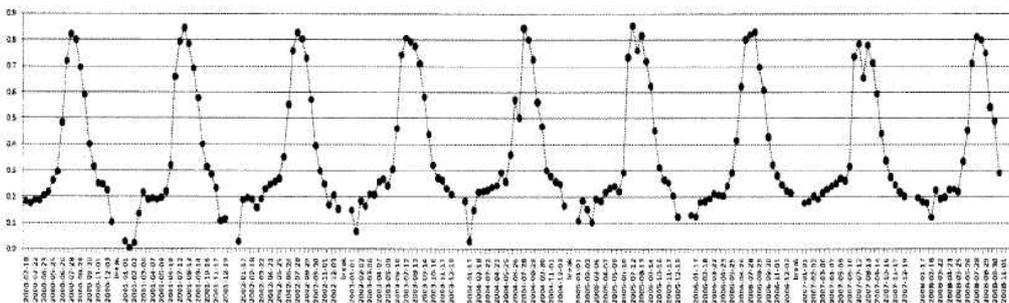


그림 39. Yearly change of 16-day NDVI of MODIS in paddy fields from 2000 to 2008

마. 그 외

표 25. 북한 농업통계 관련 공식 통계 현황 및 원격탐사 연구사례 조사

저자	연도	출처	논문	주요 연구내용
통계청	2012	통계청	원격탐사 활용 쌀 생산량 시범조사	북한지역 벼 재배면적 조사방법 개발을 위한 1개도 시범조사
Wang Changyao 외 2명	2011	대한원격탐사학회	Crop Production Estimation and Famine Evaluation for North Korea by Using Remote Sensing Technology	RS 기술을 사용한 북한의 작물 생산량 추정
김배성	2010	한국농촌경제연구원	인공위성을 이용한 벼 재배면적 조사 시범연구	벼 재배지역에 대해 위성영상 자료를 활용하여 벼 재배면적을 산출
차수영 외 2명	2009	대한원격탐사학회	MODIS 자료를 이용한 북한 개마고원 및 백무고원 식생의 생물계절 모니터링	북한 고원지대 산림 식생의 시계열 및 생물계절적인 변화를 정량적으로 분석한 연구, 북한 지역의 산림 식생 라이브러리 작성 및 통일을 대비한 북한 자연환경계획 수립에 기초 베이스 맵으로 활용 가능
염종민 외 4명	2008	한국지리정보학회	SPOT/VEGETATION NDVI 자료를 이용한 북한지역 식생 변화 탐지	원격탐사 자료를 이용하여 현장관측이 불가능한 북한 지역에 대한 NDVI 산출을 통해 1999년부터 2005년까지 7년 간의 지표 상태 모니터링
김도형 외 1명	2006	대한원격탐사학회	MODIS 다중시기 영상을 이용한 북한 지역의 토지피복 변화 분석	영상분류를 통한 북한지역의 산림, 농경지, 초지 등의 분포와 면적 비율 등의 자연환경 요소별 구성, 시계열 분석을 통하여 산림 면적변화, 농경지 변화 등의 추세 확인

2.9. 소결론

- 본 연구는 북한 1개도 시험조사 수행을 통해 북한지역 벼 재배면적 작성을 위한 방법론을 제시하기 위해 위성영상 관독을 통한 벼 재배면적 추정 방안 및 정확도 검증 방안을 마련하였다.

- 디지털링 기법을 활용한 논 면적 산출 결과, 142,242.3ha로 2013년 FAO 통계자료(145,000ha)와 비교하였을 때 약 2,757.7ha(오차율 약 2.01%)의 차이를 보였다.

- 변화탐지 결과, 각 분류항목에 따라 다소 토지이용 변화가 발생하였으며, 특히 기존의 산림/초지 분류가 밭(Field)으로 변화된 것은, 최근 북한이 식량난 극복을 위해 산림/초지를 밭으로 다수 개간한 것으로 추측된다.

- Reference Data로 활용한 FAO 자료의 경우, 북한 제공 자료의 신뢰도, 영상분류기법에서 발생할 수 있는 오차범위, 디지털링 기법의 높은 정확성을 고려해 볼 때 디지털링을 통한 면적 산출 방법이 가장 정확도가 높을 것으로 판단된다.

제3장 원격탐사 활용 쌀 생산량 시험조사

3.1. 2012년 추정모형 검토/개선

- 통계청에서 2012년에 수행한 ‘원격탐사 활용 쌀 생산량 시험조사’ 사업을 통해 개발된 쌀 생산량 추정모형은, MODerate-resolution Imaging Spectrometer(MODIS) 위성자료로부터 산출된 정규식생지수(Normalized Difference Vegetation Index; NDVI) 및 기상자료와 쌀 생산량 간의 상관관계를 이용하여 다중선형회귀분석을 통해 개발되었다. 개발된 추정모형에 대한 문제점 및 향후 연구방향에 대하여 요약하면 다음과 같다.
- 일부 지역은 도별 MODIS NDVI 평균값과 생산량 간 상관관계가 낮게 나타났다. 이는 MODIS NDVI의 대기보정 오차와 논벼 재배지 격자(토지피복지도 오차)에 포함되어 있는 오차가 논 지역의 NDVI값 산출 정확도에 영향을 주는 것으로 판단되므로 추후 연구에서는 논벼 재배지의 NDVI산출 정확도를 높일 수 있는 방법에 대한 연구가 수행되어야 할 것이다.
- 논벼 재배지 격자 산출 시 통계청에서 수행하고 있는 ‘경지 및 벼 재배 면적’사업성과(통계청, 2011a)를 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 추정모형은 자연재해(태풍 등)를 고려하는 변수가 없으므로 이를 반영할 수 있는 모형(예를 들면 태풍의 경우 풍속 등의 변수를 고려)개발이 필요하다.

- 추후 원격탐사 기술을 활용한 생산량 통계를 실용화하기 위해서는 본 연구에서 분석한 MODIS NDVI 오차, 벼 재배면적 자료의 오차, 자연 재해(태풍 등)로 인한 생산량 추정 오차를 줄일 수 있는 방법에 대한 연구가 필요하다.

3.1.1. 2012년 쌀 생산량 추정모형 검토 및 자료수집

가. 기존의 쌀 생산량 추정모형의 문제점 요약

- MODIS 식생지수 최대치 합성값(Maximum Value Composite; MVC)의 정확도 문제
 - 동경대에서 가공하여 제공하는 L3 MODIS NDVI는 500m 해상도를 가지며, 10일 간격으로 각 픽셀별 최대 NDVI값을 도출한 결과임. 이 자료는 구름픽셀 제거과정을 거치지 않은 자료이므로 기존 모형의 입력 자료로 사용될 경우, 구름 영역의 NDVI 값은 과소평가 되는 문제점이 존재함 → 미국 지질조사국(United States Geological Survey; USGS)에서 제공하는 NASA 표준 육상 알고리즘에 의하여 생성된 식생지수의 사용이 바람직함.
- 식생지수의 정확도 문제
 - 동경대에서 제공하는 기존 모형의 입력자료로 사용된 NDVI는 대기에 의한 영향으로 과소평가 되는 문제점이 존재함. 따라서 예측모형의 오차로 작용할 가능성이 있음. → 오차가 적은 식생지수의 사용이 바람직하므로, 기존 연구대비 5종의 식생지수에 대한 정확도 검증 작업 중임.
- 논 경작지와 식생지수와의 공간적 매칭 문제
 - 토지피복도를 이용한 논경작지와 위성자료의 격자화된 식생지수의 매칭 시,

시도 단위의 쌀 생산량과 동일영역의 최대 식생지수 값만을 이용한 상관 분석은 공간적 편차특성을 제대로 반영하지 못하는 문제점이 존재함. → 공간적 매칭에 대한 오류를 줄이기 위한 방안을 제시하는 것이 필요함.

○ 자연재해 발생으로 인한 예측력 저하 문제

- 기존의 연구는 시간적 변화와 관계없이 식생지수의 8월 평균값만을 이용 하였으므로, 태풍 같은 자연 재해 발생 시 이를 제대로 반영하지 못하는 문제점이 있음. → 식생지수의 시간적 변화에 대한 특성(시계열 특성으로부터 도출될 수 있는 조화함수 등)을 모형에 적용하는 방안을 제시하고자 함.

○ 그림 40은 기 개발된 쌀 생산량 추정모형의 검토 후 제시된 문제점과 문제점의 해결을 위하여 본 연구에서 제시된 개선방안을 나타낸다.

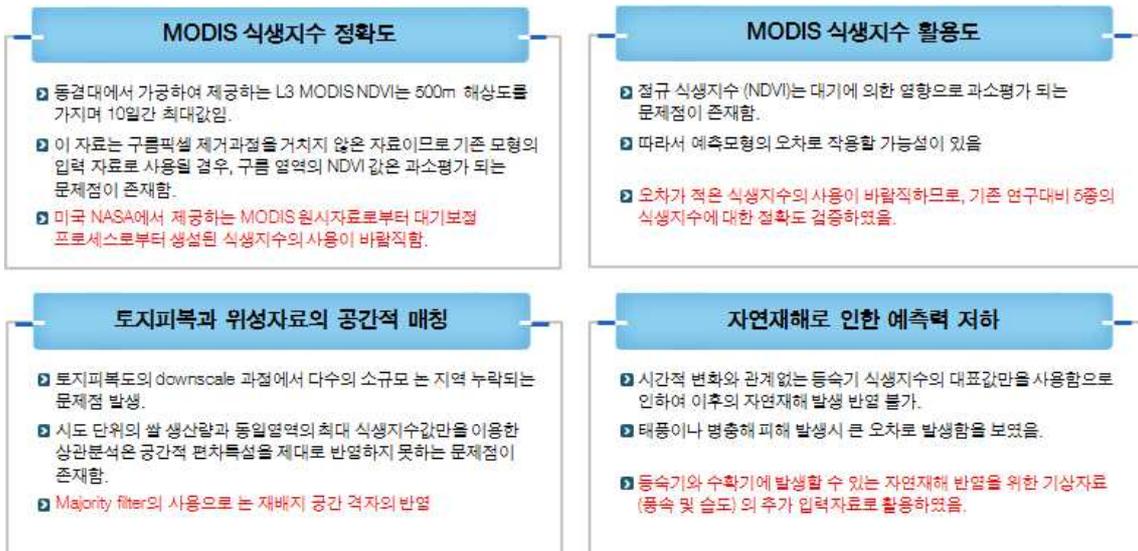


그림 40. 기존 쌀 생산량 추정모형 검토 및 개선점

나. 자료수집

- 2012년도에 쌀 생산량 추정모형 개발 시 사용한 자료를 검토하고 입력자료를 수정·개선하기 위해 표 26과 같이 신규자료를 수집하였다.

- 식생지수는 기존의 연구에서 사용된 동경대에서 제공하는 level 3 식생지수 MVC 자료 대신 미국 USGS에서 제공하고 있는 MODIS 육상 분석자료를 수집하였다(그림 41 참조).
- 토지피복도의 경우, 2012년 보고서에서 사용된 환경부 토지피복도를 확보하였다.
- 환경부 토지피복도 자료의 형식은 Landsat 기반의 30m 해상도 형식 이므로, MODIS 위성자료와의 토지 피복 마스크로 활용하기 위하여 250m 해상도의 래스터 형식으로 변환된 격자 자료를 구축하였다(그림 42 참조).
- 표 27은 기존 연구결과 대비 본 연구에서 사용된 추정모형 입력자료와 모형의 개선점을 비교한 것이다. 특히 생산량 추정을 위한 다중회귀 모형의 경우, 벼의 생육활동에 영향을 미치는 인자가 매우 다양함에도 불구하고 기존의 연구들은 NDVI값을 고정하고 변수 선택법을 적용하여 사용된 기상자료가 1개 또는 2개의 매우 제한적으로 사용되어 생산량 추정에 있어 비현실적인 변수의 사용이 되었음을 확인하였다. 이처럼 자연 현상에 대한 설명을 위한 다중회귀모형에서는 각각의 독립변수와 생산량과의 상관관계가 낮을지라도 혼합된 독립 변수들 간의 영향이 고려되어야 한다. 따라서 본 연구에서는 식생지수와 함께 모든 기상 자료들을 다중회귀모형에 사용하였다.
- 만일 본 연구에서 사용된 다중회귀모형이 기존의 변수선택법보다 더 큰 오차의 원인이 된다면 기존의 모형의 사용을 통하여 본 연구가 진행되었지만, 실제 비교결과는 모든 독립변수를 고려한 다중회귀모형의 사용이 더 적합한 것으로 나타났기에 이와 같은 방법을 사용하였다.

표 26. 쌀 생산량 예측모형의 입력자료 수집 내역 비교

기존자료(2012년 사업) 내역	본 연구에서의 자료 수집내역
<ul style="list-style-type: none"> • 쌀 생산량 추정모형 개발 시 사용한 2001~2011년 MODIS NDVI 추출(MVC 보정 전/후) 영상(출처: 동경대) • 2001~2012년 MODIS(Terra) Level3 영상(출처: 동경대) 	<ul style="list-style-type: none"> • 2000~2013년 MODIS(Terra/Aqua) Level 2 식생지수 자료(출처: NASA MODIS Land data archive)
<ul style="list-style-type: none"> • 쌀 생산량 추정모형 개발 시 사용한 2001~2011년 기상자료 (78개 관측소의 일평균온도, 일최고온도, 일최저온도, 일강우량, 일조시간 관측자료) • 22개 기상관측소의 일사량 관측자료(특별시 및 광역시 제외한 14개 사용) 	<ul style="list-style-type: none"> • 2000~2013년 기상자료 재 수집 (78개 관측소의 일교차, 일평균온도, 누적강우량, 풍속, 습도) • 21개 기상 관측소의 일사량 관측자료(특별시 및 광역시 포함)
<ul style="list-style-type: none"> • 2007년 토지피복지도(전국) • 2009년 토지피복지도(경기, 충청 일부지역 갱신된 자료) 	<ul style="list-style-type: none"> • 2007년 토지피복지도(전국) • 2009년 토지피복지도(경기, 충청 일부지역 갱신된 자료)
<ul style="list-style-type: none"> • 논벼 재배지 격자 추출 시 사용한 전국단위격자(Grid) 및 추출 결과 	<ul style="list-style-type: none"> • MODIS 250m 해상도에 적합하도록 격자단위 재구성
<ul style="list-style-type: none"> • 도별 자료 생성 시 사용한 행정경계도 	<ul style="list-style-type: none"> • 행정경계 shp 파일
<ul style="list-style-type: none"> • 다중 선형회귀분석모형 입력자료 	<ul style="list-style-type: none"> • 다중 선형회귀분석모형 입력자료
<ul style="list-style-type: none"> • 2001~2012년 논벼 단위면적(10a) 당 생산량(현미 기준) 	<ul style="list-style-type: none"> • 2000~2013년 논벼 단위면적(10a) 당 생산량(현미 기준)

원격탐사 활용 북한 벼 재배면적 1개도 시험조사



그림 41. MODIS 식생지수 자료 검색 및 제공 사이트(USGS 홈페이지)

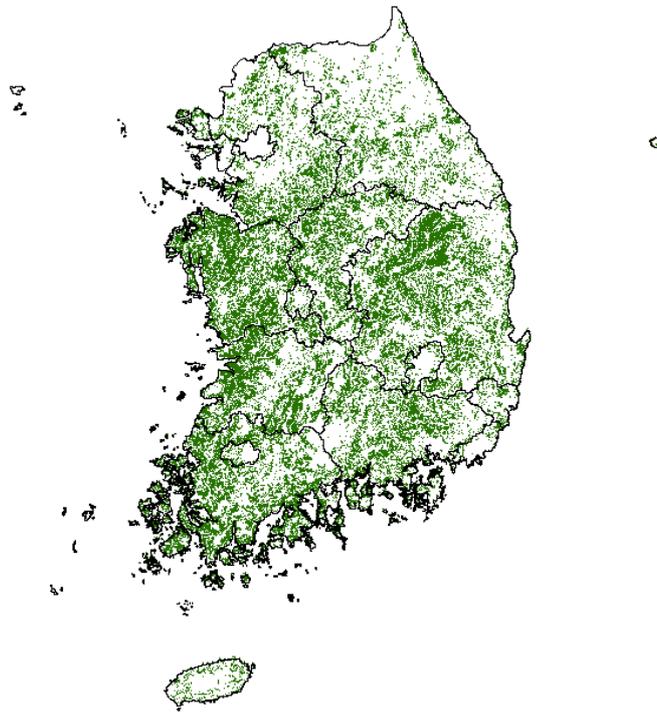


그림 42. 토지피복도에서 추출된 남한지역 논벼 재배지 마스크. 논벼 재배지에 대한 총 격자수는 16,121,156개이며 면적 환산 시 14,509km²이다.

표 27. 기존결과 대비 개선점

항목	2011년 보고서 (통계청, 2011b)	2012년 보고서 (통계청, 2012)	본 연구
위성자료 출처	동경대	동경대	NASA
공간해상도	500m	500m	250m
식생지수	NDVI	NDVI	NDVI, EVI, ARVI, SAVI, AFRI
MVC	10day	10day	16day
위성자료 기간	2001년~2011년	2001년~2012년	2000년~2013년
기상자료	일교차, 평균온도, 누적강우량, 일조시간	일교차, 평균온도, 누적강우량, 누적일사량	최대풍속 및 평균습도 자료 추가
다중회귀모형	변수선택(NDVI + 1, 2개 기상자료)	변수선택(NDVI + 1, 2개 기상자료)	변수활용 (모든 입력변수)

3.1.2. MODIS 식생지수 산출 정확도 개선방안 연구

<MODIS 식생지수 자료 전처리>

- 식생지수(Vegetation Indices; VI)는 다양한 생물 물리적 활용 분야에서 사용되는 중요한 생태 시스템 변수이다. 식생지수는 녹색을 가지는 대상에 대한 광학적 원격탐사 자료로부터 식생 활력도와 동역학적 특성을 산출할 수 있다. 식생지수는 물리적 특성을 직접 측정된 값은 아니지만, 위성 센서의 적색 채널(파장 약 660nm)과 근적외 채널(파장 약 860nm)의 분광반사도 비율을 사용함으로써 식생 활력도를 측정할 수 있다.

- 식생지수 중 NDVI는 기상위성인 NOAA 위성의 탑재센서인 Advanced Very High Resolution Radiometer(AVHRR)로부터 MODIS까지 장기간 동안 산출되어 그 유용성이 증명되었다(Huete et al., 2011, Huete et al., 2002).

- 기존 보고서와 차이점은 MODIS 자료의 출처로서, 기존 보고서는 동경대 자료를 사용 하였으나 본 연구에서는 NASA의 산출 결과물(USGS 자료 검색 시스템에서 제공)을 사용하였다. 두 자료 간의 차이는 NDVI 산정 시 알고리즘으로서 동경대에서는 단순히 일정기간 동안의 최대값을 NDVI로 산출하지만, NASA에서는 원시자료로부터 대기보정이나 구름제거 등 위성이 관측하는 복사 관측량으로부터 지표 반사도를 계산하기 위한 최적의 알고리즘을 적용하여 계산된 NDVI를 사용하며 국제적으로 QA/QC가 적용된 자료이다.

- NASA MODIS 식생지수 자료는 250m의 공간해상도를 가지며 Hierarchical Data Format(HDF) 포맷으로 저장되어 있다. 본 연구에서는 MODIS 식생지수 자료의 추출을 위하여 과학 자료 가시화 언어인 Interactive Data Language(IDL)를 이용한 프로그램을 코딩하였다.

- IDL 코드를 이용하여 2000~2012년 기간 한반도 전체 영역에 대한 MODIS 자료 처리 및 가시화가 가능한 체계를 구축하였다. 그림 43은 MODIS 영상자료의 대용량 자료 처리를 위하여 개발된 MODIS 자료 처리용 IDL 소스코드와 결과물의 사례이다.

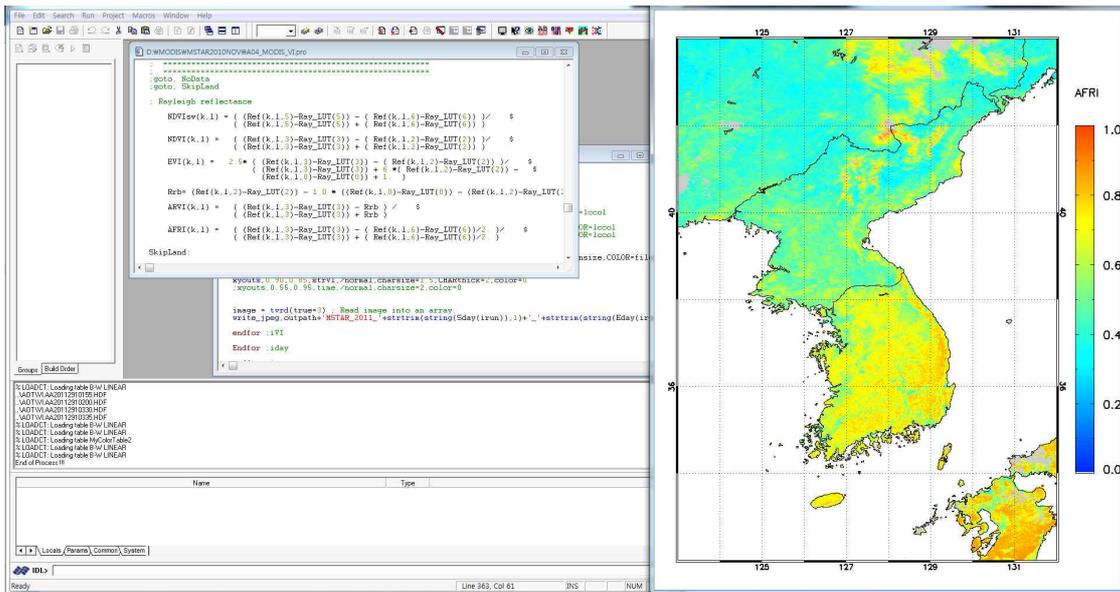


그림 43. MODIS 자료 처리 및 가시화를 위한 IDL 소스 코드와 결과물 사례

- Terra/MODIS 자료가 공식적으로 생산되기 시작한 2000년 이후부터 전체 관측기간 동안의 월별 식생지수 DB 구축을 완료하였다. 표 28~29는 연중 식생 활력도가 증가하는 6~10월 동안 식생지수 가시화 결과이며, 각 연도별 식생지수 분포의 차이가 발생하고 있다.

표 28. 2000~2012년, 6월~10월 월별 MODIS NDVI

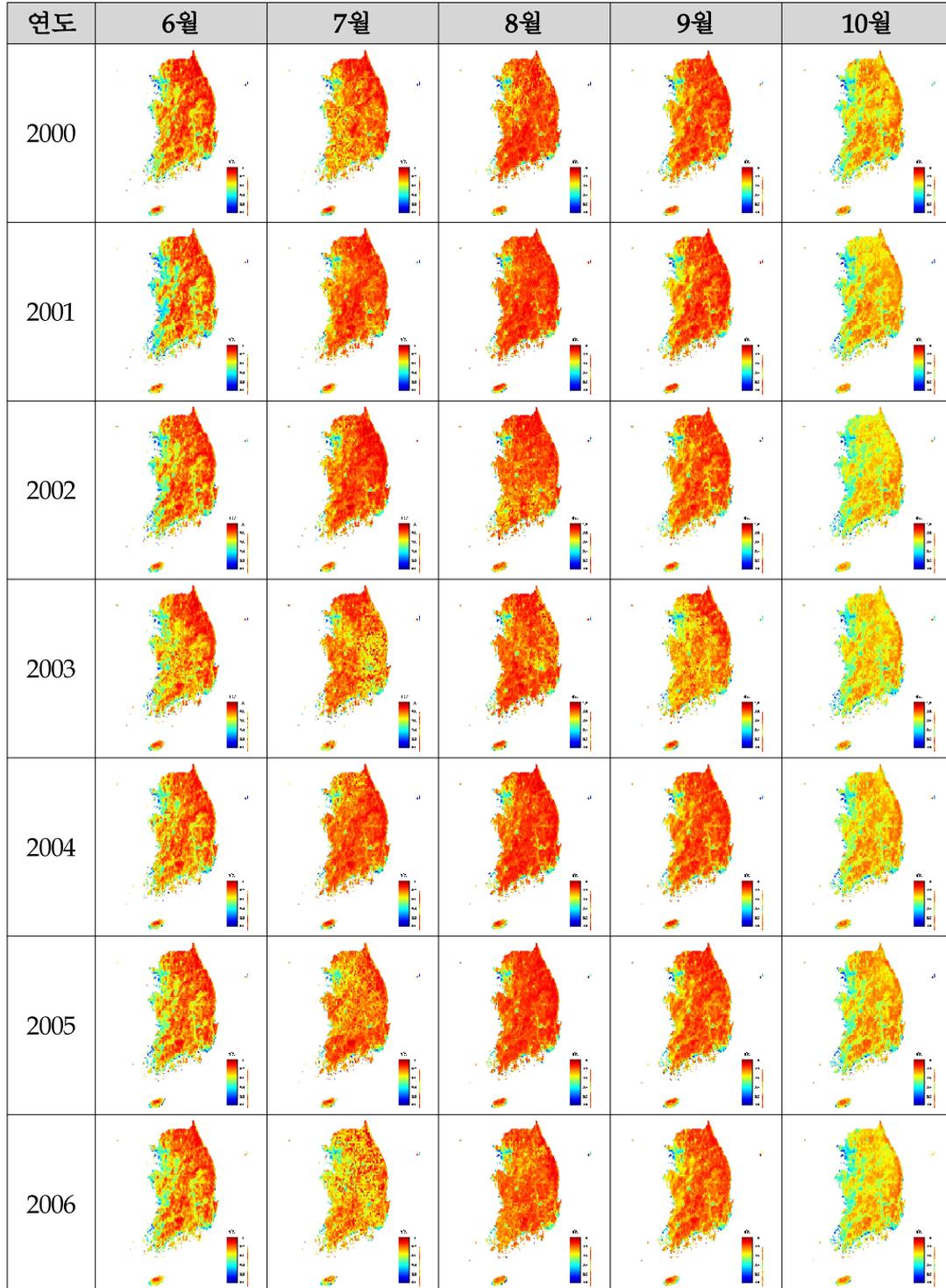
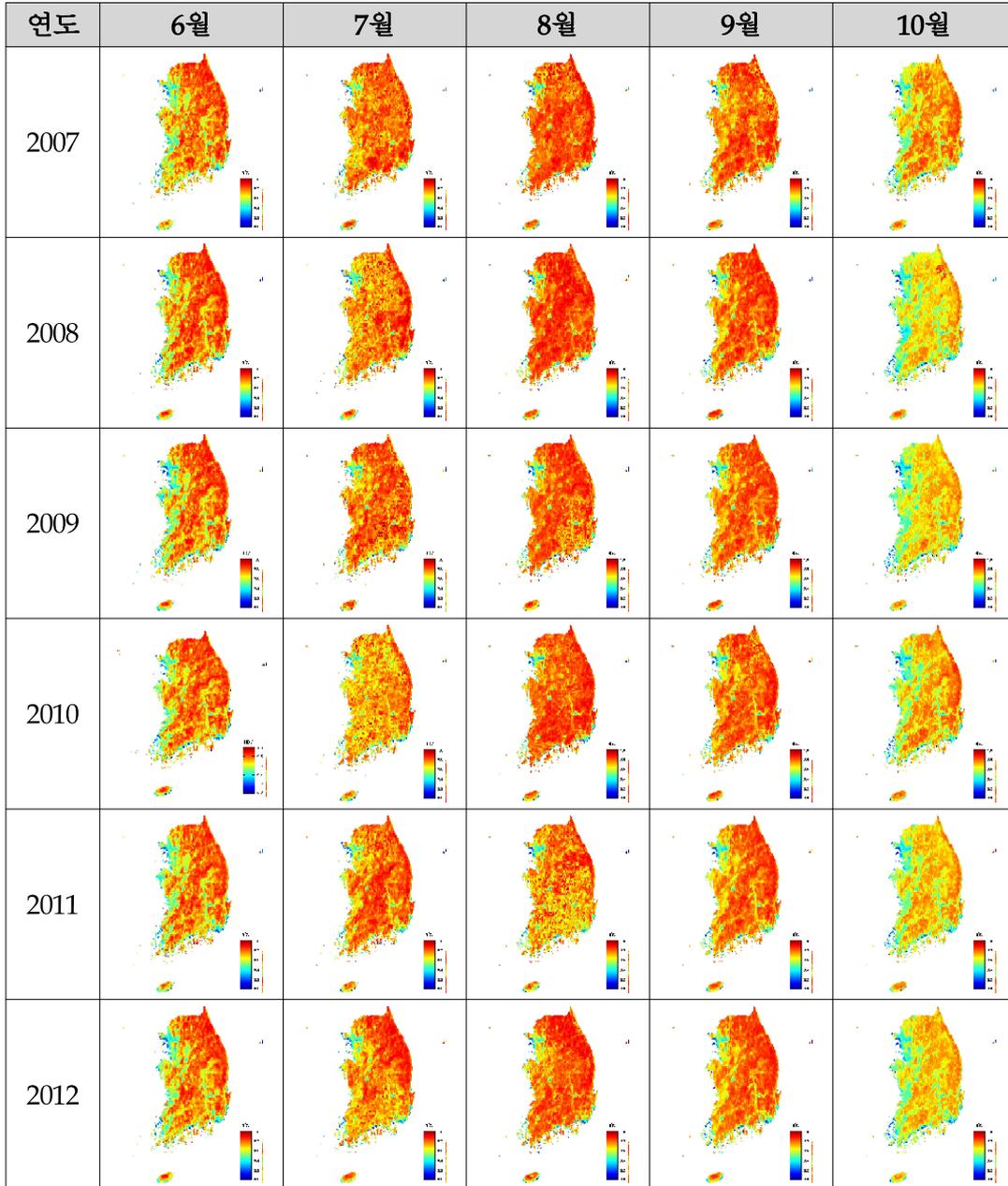


표 29. 2000~2012년, 6월~10월 월별 MODIS NDVI



<MODIS NDVI와 쌀 생산량과의 상관관계>

- 2000~2012년 기간 동안 MODIS NDVI와 환경부 토지피복도 자료를 이용하여 논 지역 식생지수를 추출하였으며 월 변화 자료 점검, 이상치 확인 및 제거과정을 수행하였다.

- 그림 44는 8월 MODIS NDVI의 경년변화와 쌀 생산량의 시계열 변화 비교 결과이다. MODIS NDVI 경년변화는 비교적 변화가 없이 매년 일정한 값을 보이고는 있지만, 전국단위에서 미세하게 감소하는 추세이다 (선형 회귀 기울기 = $-0.002/\text{년}$). 이러한 추세는 지역별 변화에서도 나타나고 있다.

- 그림 44에서 전국 단위의 단위 면적당 쌀 생산량은 다소 증가하는 추세(기울기 $0.512 \text{ kg}/10\text{a}$)를 나타내지만, 연도와 쌀 생산량의 상관관계가 매우 약하기 때문에 시간에 따른 변화 추세를 설명할 수는 없다 ($R = 0.07, P > 0.809$).

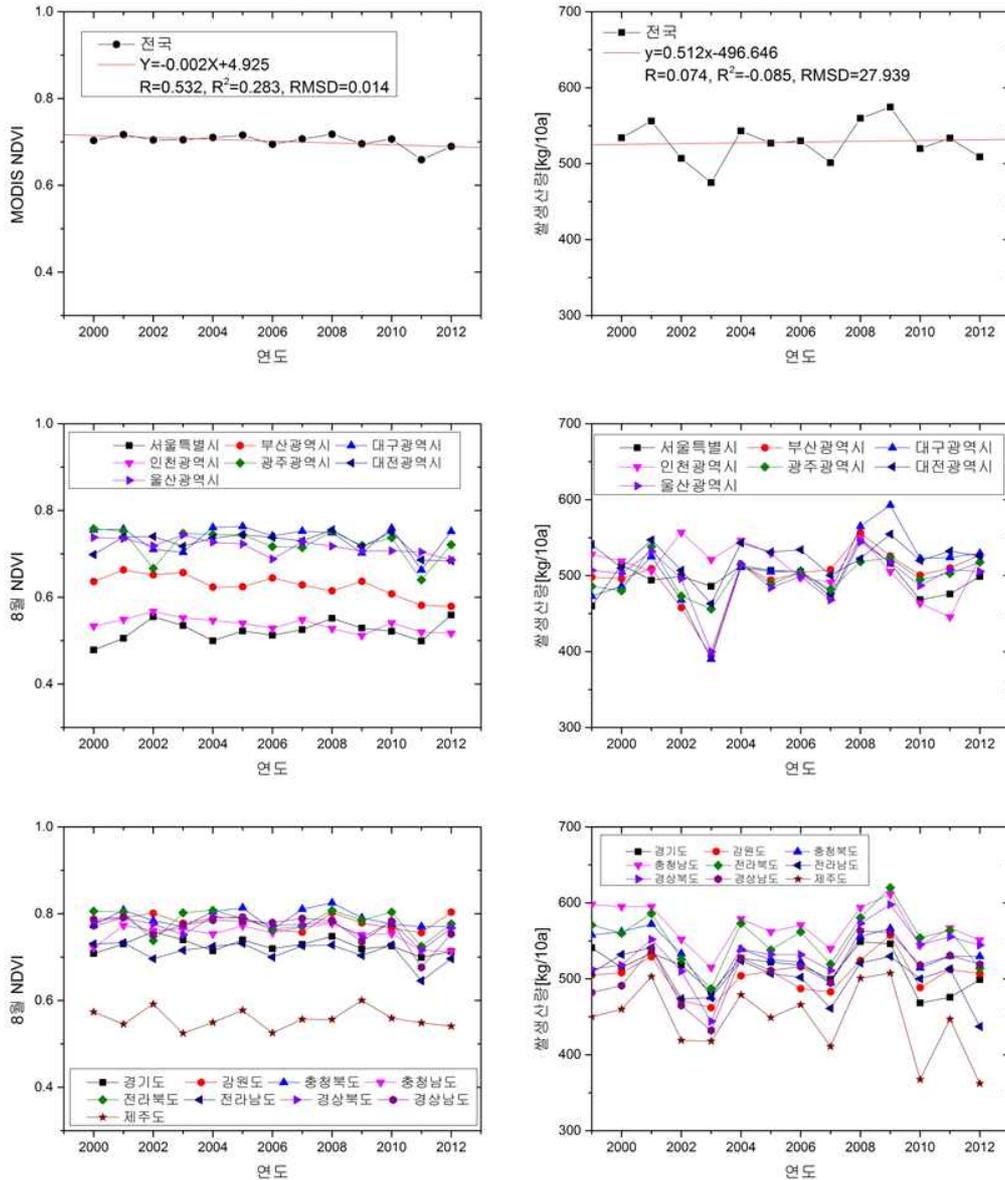


그림 44. 2000~2012년 기간 동안 연도별 논 지역의 MODIS NDVI값과 통계청 쌀 생산량 조사값의 시계열 변화

○ 그림 45는 논 지역 MODIS NDVI와 쌀 생산량의 선형회귀 분석결과 3개의 이상치 값(2003년, 2009년, 2011년)이 발견되었다. 이러한 이상치 발생 년도는 NDVI와 쌀 생산량과의 선형관계가 매우 약했던 경우로서 원인을 파악하고자 해당 년도의 쌀 생산량에 미치는 요인을 조사하였다.

- 2003년

- 쌀 생산량이 441kg/10a로 조사기간 중 최저값을 기록했으며, 그 이유는 다음과 같다. 벼 생산 조정제 등으로 2013년 벼 재배면적(1,016천ha)이 지난해(1,053천ha)보다 37천ha(3.5%) 감소하였고, 모내기 이후 생육전반에 걸친 잦은 비로 병충해가 크게 증가한데다 분얼기(6월 상순~7월 상순)에 일조량이 부족하고 기온이 낮아 가지 치기가 활발하지 못하였으며, 벼이삭이 팠 무렵 잦은 비와 저온 현상으로 인한 냉해로 죽정이가 많이 발생하였고, 특히 태풍 “매미”의 여파와 벼 낱알이 영그는 등숙기 기온이 낮아 벼 낱알이 충실히 여물지 못하였기 때문이다(국립농산물품질관리원, 2003).

- 2009년, 2011년

- 생산량에 비하여 NDVI값이 상대적으로 낮음. 8월 한 달간 최대 NDVI가 벼 생육에 대한 반영을 못하는 문제로 보임.

○ 따라서 그림 45에서는 3개 년도에 대한 이상치 값 제거 후, MODIS NDVI와 상관분석 결과는 증가하였다($R = 0.07 \rightarrow 0.60$, $P = 0.399 \rightarrow 0.0668$).

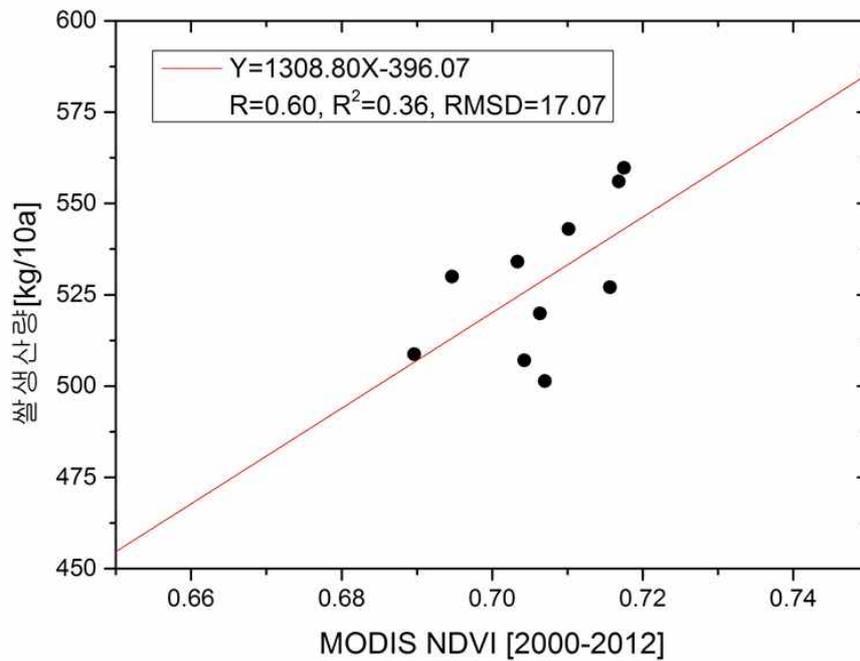
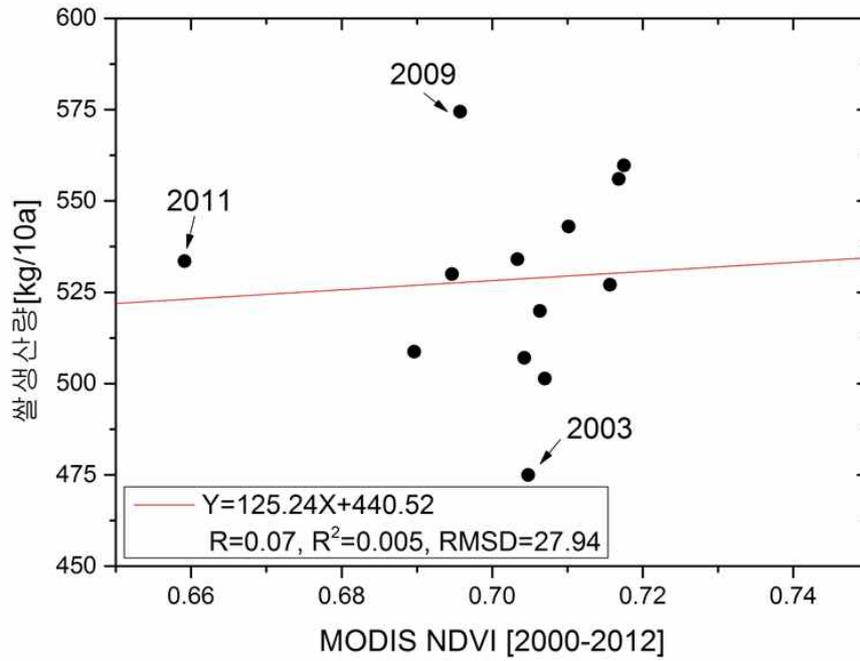


그림 45. (상)2000~2012년 기간 동안 전국단위 MODIS NDVI와 쌀 생산량과의 산포도 및 선형회귀분석 결과. (하)3개의 이상치 값(2003년, 2009년, 2011년)을 제거 후 수행한 선형회귀 분석 결과

- 표 30은 2011년과 2012년 보고서에서 제시된 자료와 비교한 결과이다. 전국단위 MODIS NDVI의 평균값은 기존 보고서에 비하여 다소 상승한 값(0.702)을 보였는데, 이는 기존 보고서에서 사용된 MODIS NDVI의 자료 출처와 본 연구에서 사용된 MODIS 자료의 결과물이 다르기 때문이다. 그리고 MODIS NDVI와 쌀 생산량 간의 단순선형회귀모형을 이용한 쌀 생산량 추정값은 528.43kg/10a로 약간 적은 양으로 추정되었다. 상관계수와 결정계수 값은 2012년 보고서 결과와 동일한 0.6과 0.36의 값을 나타냄으로써 MODIS NDVI와 쌀 생산량과의 상관성이 어느 정도 높은 것으로 분석되었으나 단순히 두 변수만으로 쌀 생산량을 추정하기에는 오차가 클 것으로 예상된다.

표 30. 2000~2012년 MODIS NDVI와 쌀 생산량 요약

보고서 연도	자료	평균	상관계수 R	결정계수 R ²
2011년	전국 NDVI	0.673±0.037	0.603	0.11
	10a당 수량	535.222±24.788		
2012년	전국 NDVI	0.689±0.194	0.600	0.36
	10a당 수량	535.0±23.381		
본 연구	전국 NDVI	0.702±0.015	0.600	0.36
	10a당 수량	528.43±26.83		

- 표 31은 기존 보고서와 본 연구결과의 각 지역단위별 상관분석 결과이다. 지역별 비교 결과는 강원, 경남, 경북, 전남, 전북의 경우 상관계수가 증가하였으나, 경기, 충남, 충북의 경우는 낮은 상관계수를 보였다.
- 지역별 상관분석 결과가 기존의 연구와 상이한 결과를 보이는 요인으로는 지역을 대표하는 NDVI값의 산출과정에 있다. 첫째로는 MODIS NDVI값 자체가 NASA 표준 알고리즘이 사용된 산출물이 사용되었으며, 둘째로 토지피복도를 이용하여 논 지역 영역만의 NDVI 추출 시 기존 보고서 내용보다 확장된 지역이 고려되었기 때문이다.

- 그럼에도 불구하고 MODIS NDVI와 쌀 생산량 자료와의 불확실한 상관관계에 영향을 미치는 요인으로는 MODIS NDVI값 자체가 가지는 오차, 논벼 재배지 격자 오차, 벼의 생육과정과 생산량의 모호성 등이 될 수 있다.
- MODIS NDVI는 육지에 의한 복사량 값을 사용하여 계산되어야 하지만 실제 지구 대기에서 나오는 여러 방해인자(구름이나 에어리솔 등)나 위성 센서의 기기적 문제로 인하여 NDVI값에 영향을 미칠 수 있다. 이로 인한 오차(대기나 잡음신호의 영향)를 최소화하기 위하여 위성 자료에 대해 정확한 대기보정 과정을 거치거나 수정된 식생지수를 사용하기도 한다. 실제 대기보정 과정은 복사전달 과정에 있어 매우 복잡한 지구 대기과 지표면에서의 과정을 해석해야 하는 문제이므로 본 연구에 적용하기엔 다소 무리이다. 따라서 수정된 식생지수 값을 사용하여 적용 가능성을 파악하기로 하였다.
- 논벼 재배지 격자 오차의 경우는 기존 연구에서는 100% 논에 대한 격자에 대하여 NDVI를 산출하였지만, 이는 실제 소규모 논 경작지에 대한 영역이 생략되는 결과를 초래하므로 실제 쌀 생산이 이루어지는 모든 논 경작지에 대한 상대비교를 할 수 없게 된다. 따라서 본 연구에서는 GIS 기법 중 Majority filter를 사용하여 논 경작지가 대부분인 격자를 대상으로 식생지수를 산출하였다. 그러나 토지피복도 자체가 가지는 경작지 피복분류의 오류, 논이 아닌 지역의 혼합 가능성 등이 여전히 남아 있다.
- 격자(Raster) 형태의 토지피복 자료의 격자 크기 조정에 있어서 새로 생성되는 250m 크기의 격자 안에는 원본 자료인 30m 크기의 격자가 다수 위치하게 된다. 이 중 논에 해당하는 격자가 어느 정도 차지하느냐에

따라 새로 생성될 격자가 논으로 결정된다. GIS 소프트웨어인 ArcMap에서는 격자 안에 포함된 소격자의 특성에 따라 대격자를 재구성할 수 있는 통계적 방법을 제공하고 있다. Majority filter는 해당 격자가 새로운 격자 안에서 대다수를 포함하는 경우 해당격자로 산출할 수 있는 방법이다 (그림 46 참조).

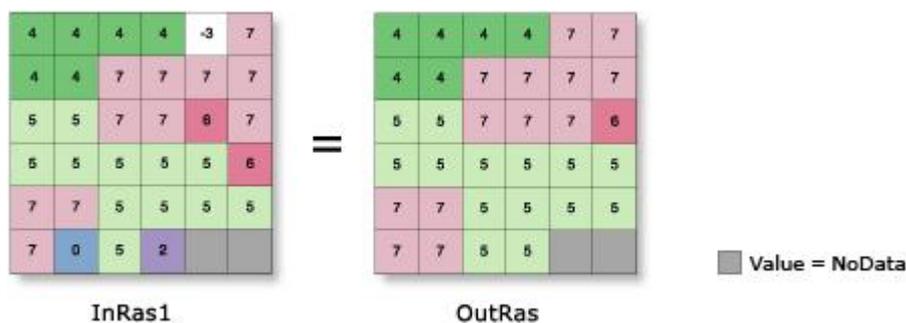


그림 46. Majority filter의 적용 전(좌)과 후(우) 비교

- 본 연구의 가정은 벼의 활력도와 관계가 있는 식생지수 값이 쌀 생산량과 강한 상관관계가 있다는 것에서 출발한다. 그러나 벼의 전체 생육기간을 대표할 수 있는 값의 설정이 다소 모호한 점이 있고 생산량 조사자료 중 누락된 자료 등이 상관관계를 떨어뜨리는 요인으로 작용할 수 있다.

표 31. 기존 보고서와 본 연구결과의 각 지역단위별 상관분석 결과

구분	2011년		2012년		본 연구	
	상관계수	자료수	상관계수	자료수	상관계수	자료수
서울					0.084	10
부산					-0.509	10
대구					0.422	10
인천					0.157	10
광주					0.487	10
대전					0.178	10
울산					0.109	10
경기도	0.606	8	0.555	10	0.319	10
강원도	0.573	9	0.098	10	0.427	10
충북	0.784	8	0.675	10	0.156	10
충남	0.510	8	0.600	10	0.070	10
전북	0.505	9	0.418	10	0.676	10
전남	0.540	9	0.417	10	0.667	10
경북	0.394	9	0.114	10	0.209	10
경남	0.627	9	0.225	10	0.444	10

- NDVI는 대기의 영향(수증기로 인한 광 흡수, 에어로졸에 의한 광 소산 효과)을 많이 받는 적색 채널과 근적외 채널의 비율이므로, 변형된 식생지수 값이 개발되었다. 특히, MODIS의 경우 다른 인공위성이 가지고 있지 않는 단파 적외 채널(파장 = $2.1\mu\text{m}$)이 대기의 영향을 비교적 적게 받기 때문에 식생지수에 사용되는 $0.66\mu\text{m}$ 채널 대응으로 충분히 사용가능하다.
- 본 연구에서는 MODIS 자료 중 정규 식생지수인 NDVI 이외에 변형된 식생지수 4종(EVI, ARVI, SAVI, AFRI)을 재계산하여 그 적용 가능성을 확인하였다. 이러한 식생지수는 해외 문헌을 통하여 알려진 값이며 식생지수의 오류가 되는 대기 영향을 줄이기 위해 고안된 것으로, 표 32에 특성을 정리하였다.

- Huete and Liu(1994)의 연구결과에 의하면, NDVI와 개선된 식생지수인 ARVI, SAVI를 이용하여 민감도 분석을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 제시하였다. 즉, 식생지수의 산정 시에 정확한 대기보정이 이루어지면 토양에 의한 잡음이 남으며 이때는 ARVI 보다는 SAVI가 가장 효과적이다. 그리고 대기의 산란 효과인 Rayleigh 산란과 오전에 의한 산란 영향이 제거된 부분적 대기보정 상태에서 NDVI와 ARVI는 부적합한 식생지수이다. 마지막으로, 대기보정이 전혀 이루어지지 않은 상태에서 NDVI와 ARVI는 가장 잡음과 오차가 많이 발생하는 지수이다.
- 한반도의 경우에는 NDVI보다 오히려 과소평가하고 있는 지수들(EVI, ARVI)이 보이며 AFRI는 NDVI보다 크게 나타나는 것으로 보아 대기효과가 제거되고 있는 것으로 판단된다.

표 32. MODIS 식생지수의 특성 비교

식생지수	설명	참고문헌	계산식	특징
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index, 정규 식생지수	Rouse et al (1974)	$(IR-Red)/(IR+Red)$	대기의 영향을 크게 받음
ARVI	Atmospherically Resistant Vegetation Index, 대기저항 식생지수	Kaufman & Tanre (1992)	$(IR - rb)/(IR + rb)$	대기와 토양에 의한 영향을 최소화하기 위하여 개발됨
EVI	Enhanced Vegetation Index, 개량 식생지수	Liu & Huete (1995)	$(IR-R)/(NIR + (C1*R)-(C2*B) + L) * (1 + L)$	
SAVI	Soil Adjusted Vegetation Index, 토양보정 식생지수	Huete (1988)	$(NIR-Red)/(NIR+Red+ L)* (1 + L)$	
AFRI	Aerosol Free Vegetation Index, 에어로솔보정 식생지수	Karnielei et al (2001)	$(IR-0.5SWIR)/(IR+0.5SWIR)$	

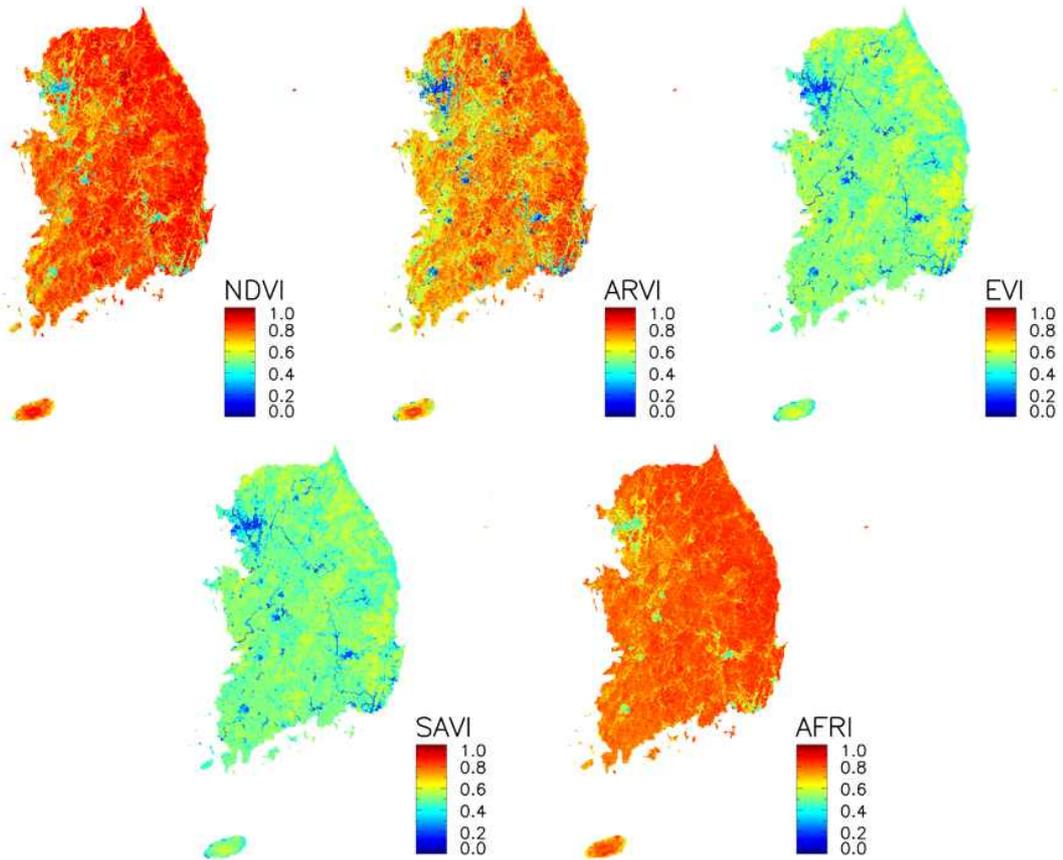


그림 47. MODIS 자료를 이용한 식생지수(NDVI, EVI, ARVI, SAVI, AFRI) 결과물 사례(2012년 8월)

3.1.3. 논벼 재배지 격자 추출 정확도 개선방안 연구

- 토지피복도 자료로부터 논에 해당하는 격자를 추출하기 위하여 2012년 보고서에서 사용된 방법은 MODIS 자료의 공간해상도인 250m로 재구성할 때 100% 논인 지역만 논으로 설정하였다. 그러나 이 방법은 공간해상도 250m보다 작은 소규모 경작지를 누락하게 되며, 실제 경지면적과 많은 차이가 발생하였다.

- 이에 대한 대안으로 Majority filter를 사용하여 토지피복도를 250m 픽셀로 재구성하여 공간해상도 변경 시 누락되는 논 경작지 면적을 최소화하였다(그림 48~49 참조). 그 결과 250m 해상도를 가지는 209,795개의 격자가 결과물로 산출되었으며, 환산 면적은 13,112km²로 나타났다. 이 값은 2000년~2010년 기간 동안 통계청에서 조사된 실 경지 면적 평균 값인 10,336km², 홍석영 등(2012)에서 언급된 지적도 결과인 11,932km²와는 다소 과대평가된 값을 나타낸다. 그러나 2011년 보고서에서 언급된 면적인 473.7km²와 2012년 보고서에서 언급된 1352.2km²와는 큰 차이가 나타남으로 인하여, 기존 보고서에 사용된 결과보다는 개선된 결과를 나타내고 있음을 알 수 있다.

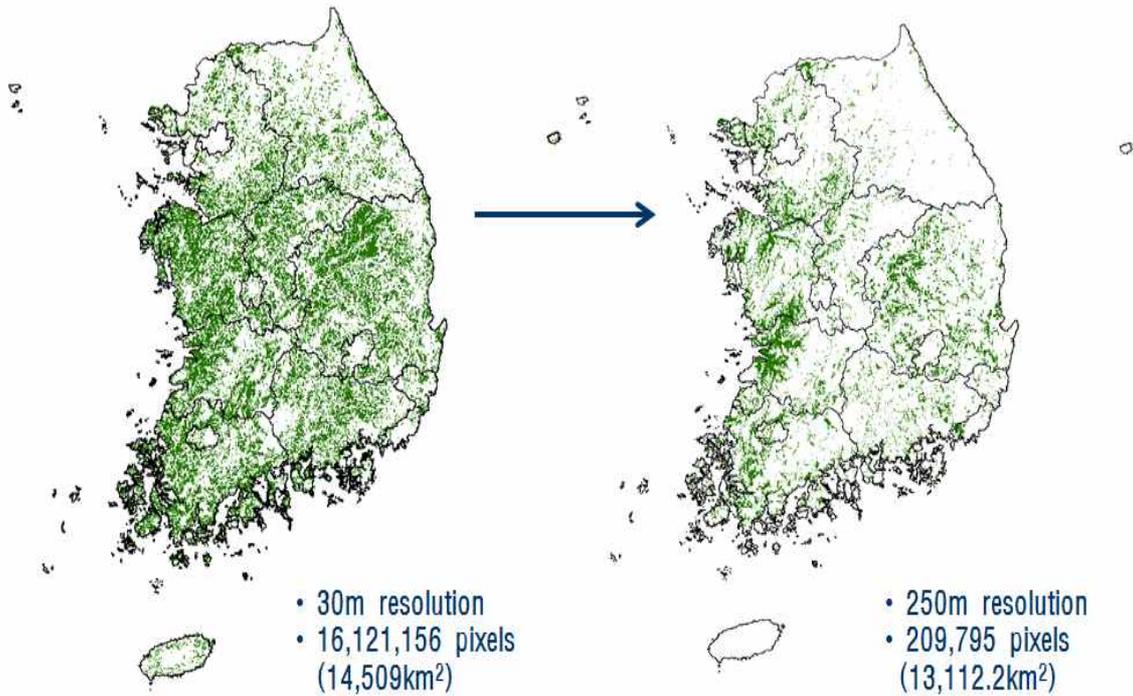


그림 48. 논벼 지역의 MODIS 식생지수(공간해상도 250m) 추출을 위하여 토지피복도 공간해상도 조정(30m → 250m). ARCMAP Majority filter 이용, 재구성된 격자에 논벼 화소가 대부분인 격자만 선택

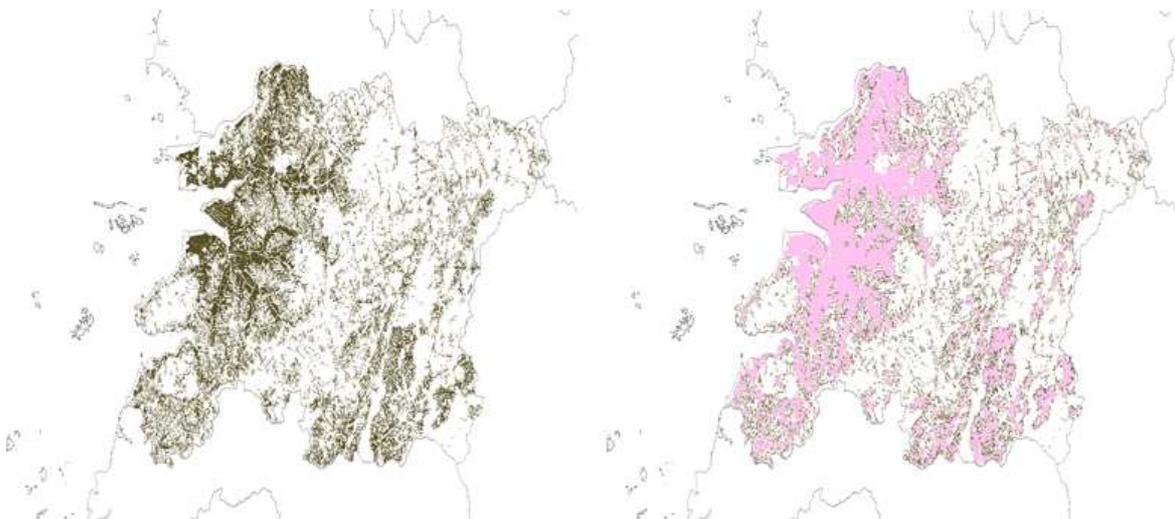


그림 49. 토지피복도 중 (좌)전북지역 30m 해상도의 논 경작지와 (우)250m로 재구성된 논 경작지 비교

3.1.4. 기상자료 개선방안 연구

- 2012년 쌀 생산량 추정모형 검토 및 수정을 위하여 2000년부터 2012년 기간 동안의 전국 78개 관측소 자료(일교차, 일평균온도, 누적강우량 ; 누적일사량은 21개 관측소)를 기상청 홈페이지에서 수집하였다.
 - 일교차 : 등숙기 동안 일 최고기온과 일 최저기온의 차를 평균
 - 평균온도 : 등숙기 동안 일 평균온도의 평균
 - 누적강우량 : 등숙기 동안 강우량 합계
 - 누적일사량 : 등숙기 동안 일사량 합계

- 본 연구는 2012년도에 개발한 쌀 생산량 추정모형을 검토·수정하는 것이 목적이므로 기존 연구에서 사용한 등숙기 용어의 개념을 동일하게 사용하여 용어의 혼동을 방지하였다.

- 기존 연구에서는 2001~2011년까지 10년간의 기상자료를 논벼의 생육 기간에 따라 15~30일 간격의 평균치로 조합하여 각 연도의 생산량과 상관분석을 실시한 후 평균 결정계수가 가장 높은 기간을 해당 지역의 등숙기 기간으로 선정하였다.

- 기상자료 전처리 방법은 2012년 선행 연구방법과 동일한 방법을 사용하였다. MODIS NDVI 값으로부터 각 지역별 최대 NDVI값이 결정되는 시기(등숙기로 가정)의 기상자료를 각 시도별 모형 입력자료로 결정하였다.

표 33. 행정구역별 기상자료(일교차) 계산결과(단위: 도)

연도	전국	서울	부산	대구	인천	광주	대전	울산	경기	강원	충북	충남	전북	전남	경북	경남	제주
2000	6.6	6.4	5.7	5.2	6.4	7.5	6.2	6.1	7.3	6.7	7.0	6.9	7.3	6.9	6.4	7.4	5.4
2001	9.4	8.9	6.8	8.3	9.3	9.0	10.9	6.7	11.5	10.6	12.6	11.9	11.5	8.2	9.9	9.0	5.6
2002	7.6	6.7	5.5	8.4	7.7	7.2	7.8	6.5	8.6	8.1	9.3	9.2	8.5	6.8	9.1	7.6	5.2
2003	6.6	5.5	6.0	7.0	5.7	7.0	6.3	7.4	6.6	6.2	7.1	7.6	7.1	6.7	6.8	7.6	5.7
2004	8.1	7.4	6.2	7.5	8.3	8.2	8.2	7.2	9.2	8.1	9.9	10.4	8.7	7.5	8.6	8.4	6.0
2005	7.8	7.1	5.7	7.4	8.0	7.7	7.9	7.4	8.8	8.3	9.0	9.4	8.8	7.1	8.1	7.8	5.5
2006	8.6	7.8	6.6	8.0	7.2	8.2	9.3	8.0	9.9	8.9	11.2	10.8	9.6	8.1	9.7	9.1	5.6
2007	6.9	6.8	5.1	6.5	5.6	6.7	6.8	7.2	8.4	7.8	7.7	7.6	8.1	6.5	7.2	7.5	5.5
2008	8.8	8.1	5.8	9.7	6.6	8.4	9.6	7.8	10.3	9.2	11.5	10.9	10.3	7.8	10.3	9.5	5.6
2009	9.0	7.8	5.7	10.9	6.4	8.6	9.9	7.5	10.4	9.9	11.7	11.3	10.6	7.9	11.1	8.8	5.4
2010	7.0	6.2	5.3	7.8	5.1	7.2	6.6	7.6	7.6	7.5	7.9	7.2	7.8	6.5	8.2	7.7	5.1
2011	7.7	7.8	5.5	8.7	6.1	7.6	7.6	8.3	9.3	8.1	8.9	8.7	8.4	6.7	8.5	7.4	5.0
2012	7.5	6.7	5.8	8.7	5.9	7.8	7.4	7.6	8.4	7.6	8.9	8.4	7.9	6.8	8.8	7.9	5.1

표 34. 행정구역별 기상자료(평균온도) 계산결과(단위: 도)

연도	전국	서울	부산	대구	인천	광주	대전	울산	경기	강원	충북	충남	전북	전남	경북	경남	제주
2000	23.0	23.5	25.4	22.1	23.9	24.7	21.0	24.6	22.6	21.2	19.9	20.8	22.7	24.3	20.0	24.4	26.2
2001	24.0	25.5	25.9	23.5	25.7	25.4	23.5	25.0	23.8	21.7	21.6	23.1	23.6	24.6	21.0	24.5	26.0
2002	23.1	23.8	23.8	22.8	24.1	24.3	23.2	23.7	22.7	20.9	21.2	22.1	23.3	23.6	20.6	23.9	25.1
2003	23.6	24.3	22.3	23.5	23.6	23.6	25.1	23.3	23.9	22.0	23.8	23.6	24.1	22.6	23.7	23.2	24.9
2004	23.1	23.3	24.5	22.6	23.0	25.3	22.5	24.6	22.0	20.3	20.9	21.9	22.9	24.4	20.7	24.8	26.6
2005	23.9	23.5	25.1	24.5	23.1	25.7	23.9	25.5	22.8	21.2	22.8	23.5	23.4	24.6	22.2	25.0	26.3
2006	22.8	23.5	25.7	21.2	23.5	25.2	20.5	25.2	22.4	20.8	19.0	20.0	22.9	24.7	19.3	25.0	26.3
2007	23.3	24.3	25.4	21.9	23.7	25.2	20.8	25.6	23.1	22.1	19.9	20.9	23.4	24.5	20.5	25.1	26.5
2008	23.5	23.5	24.6	24.2	23.3	25.9	22.9	24.1	22.4	20.7	21.9	22.6	23.3	24.4	21.6	24.8	25.7
2009	23.1	23.9	24.3	23.4	23.3	25.2	22.2	23.4	22.6	21.3	20.6	21.4	23.1	23.9	20.9	24.3	25.0
2010	25.5	25.1	27.2	26.0	25.1	27.3	24.6	26.8	24.7	23.5	23.9	24.6	25.8	26.2	23.6	26.7	27.5
2011	24.0	24.6	25.5	25.0	24.1	25.5	23.2	24.8	23.5	21.9	21.9	22.5	23.4	24.6	22.5	25.0	25.4
2012	23.7	23.8	26.1	23.0	23.7	26.0	22.1	25.4	23.2	21.7	20.8	21.3	23.6	25.3	20.8	25.4	26.3

표 35. 행정구역별 기상자료(누적강우량) 계산결과(단위: mm)

연도	전국	서울	부산	대구	인천	광주	대전	울산	경기	강원	충북	충남	전북	전남	경북	경남	제주
2000	456.5	606.4	431.6	225.4	657.8	737.6	223.0	424.9	514.7	536.1	218.3	203.7	619.6	627.7	210.6	648.0	418.4
2001	104.0	61.8	193.0	66.4	0.0	225.1	9.7	145.4	9.3	99.9	26.1	13.6	54.9	143.0	130.2	174.4	310.4
2002	274.4	211.7	718.6	27.9	157.8	649.4	33.3	622.0	97.0	115.4	38.6	28.4	91.0	490.6	41.7	632.6	434.1
2003	357.9	525.0	748.5	27.0	350.3	624.4	58.0	534.9	406.5	544.1	63.6	53.0	229.0	524.1	40.4	603.3	394.7
2004	331.2	274.8	382.5	76.5	290.1	722.5	61.1	426.5	269.6	388.4	83.9	115.9	411.4	569.0	113.7	509.8	603.4
2005	229.9	216.7	378.7	21.9	153.0	360.6	81.2	581.3	203.1	329.0	69.0	48.6	171.4	242.2	127.9	383.1	311.1
2006	113.2	86.7	122.8	10.2	45.3	323.0	11.6	183.2	96.8	167.6	10.2	15.8	134.3	202.9	16.4	162.2	222.0
2007	373.1	144.3	257.8	247.0	128.9	750.5	390.5	326.4	184.9	348.5	250.2	271.8	501.5	663.2	238.8	619.0	645.8
2008	161.6	208.2	376.0	16.5	172.3	196.6	32.5	348.0	213.1	202.9	22.8	24.9	90.4	140.5	20.4	150.6	369.9
2009	77.9	97.3	86.0	5.5	80.0	267.2	4.5	44.9	80.2	62.0	17.2	6.9	64.6	118.8	11.3	79.3	220.4
2010	372.2	671.7	329.8	146.0	532.6	454.4	207.5	271.5	526.9	398.7	207.1	204.7	379.6	527.3	141.2	535.9	419.9
2011	166.3	35.0	162.6	34.0	45.5	390.2	71.0	159.1	126.3	192.0	115.7	95.3	83.2	347.7	71.7	330.2	402.0
2012	354.2	403.6	413.4	80.0	292.0	621.5	168.3	404.5	372.3	292.2	109.4	93.7	452.4	638.6	88.2	526.7	710.2

표 36. 행정구역별 기상자료(누적일사량) 계산결과(단위: W/m²)

연도	전국	서울	부산	대구	인천	광주	대전	울산	경기	강원	충북	충남	전북	전남	경북	경남	제주
2000	366.5	291.8	609.8	155.6	331.4	344.0	156.5	-	363.5	282.8	141.7	179.4	333.8	769.5	136.0	615.0	786.1
2001	509.2	463.8	657.2	218.9	546.9	805.3	249.5	-	599.8	487.9	245.4	292.0	543.9	840.7	192.9	731.5	762.3
2002	408.6	351.4	655.1	214.6	365.0	578.2	220.2	-	374.7	367.5	179.1	211.2	404.6	659.2	196.1	622.9	728.8
2003	349.8	299.6	574.7	162.6	213.1	606.0	155.6	-	278.1	280.1	147.4	160.5	308.7	631.2	132.1	569.9	727.9
2004	419.1	397.3	624.9	169.8	337.3	702.1	202.0	-	432.5	349.0	190.2	225.8	361.7	763.1	154.1	646.0	731.4
2005	445.5	403.7	705.7	176.9	474.7	738.2	216.7	-	463.5	407.0	208.2	224.9	400.8	718.5	170.8	615.5	757.1
2006	490.0	455.1	854.4	164.0	488.4	811.0	246.7	-	512.9	416.1	212.5	242.3	406.0	828.6	179.9	761.1	771.6
2007	430.8	406.5	716.2	153.3	471.2	649.3	164.8	-	439.3	392.3	148.5	173.0	389.0	711.0	145.2	662.1	840.9
2008	506.3	477.2	826.9	251.5	524.1	778.3	260.4	-	506.6	475.1	244.9	226.3	477.6	840.2	251.0	655.8	799.0
2009	518.2	494.7	765.5	267.3	510.1	739.9	281.4	-	516.8	495.9	262.3	276.7	519.0	821.0	266.8	724.4	830.4
2010	446.5	350.2	799.2	192.7	417.8	639.5	195.7	-	399.5	389.6	193.8	207.6	410.1	752.3	204.5	702.7	842.8
2011	453.3	458.7	693.6	197.5	486.1	655.5	222.6	-	478.6	419.9	216.6	237.3	390.1	648.5	210.6	662.8	821.0
2012	425.5	324.7	659.0	229.6	368.2	657.3	219.1	-	377.5	361.2	196.7	183.3	393.1	699.8	211.4	690.3	811.5

표 37. 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 38. 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 39. 기상자료 수집 내역(계속)

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

- 그림 50~55는 각 연도별 지역별 논벼 생산량, NDVI, 기상자료를 나타낸 그래프로서 각 지역별로 약간의 차이가 나타나고 있는 것을 알 수 있다. 그러나 누적강우량과 일사량은 다른 자료와는 달리 지역별로 차이가 상당히 크게 나타나고 있는데 지역별 비구름의 위치가 다름으로 인한 강수의 차이와 구름이나 강수의 지역별 편차에 따른 일사량의 차이에 기인하는 것으로 판단된다.

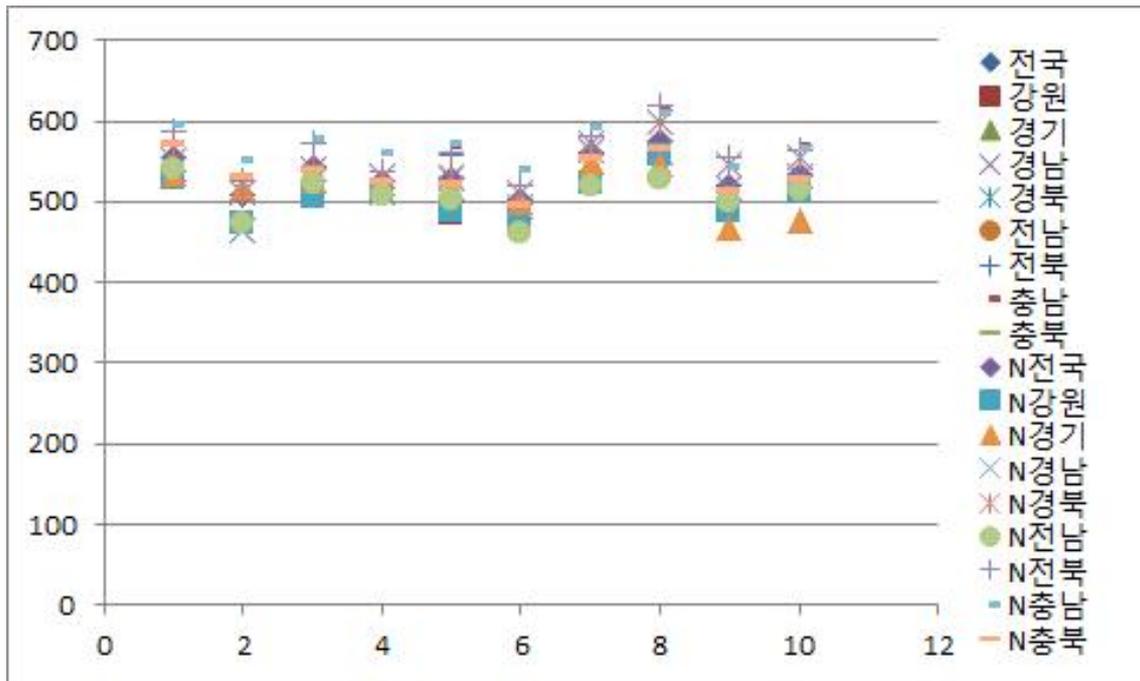


그림 50. 행정구역별 논벼 단위면적(10a)당 수량(통계청 조사치)

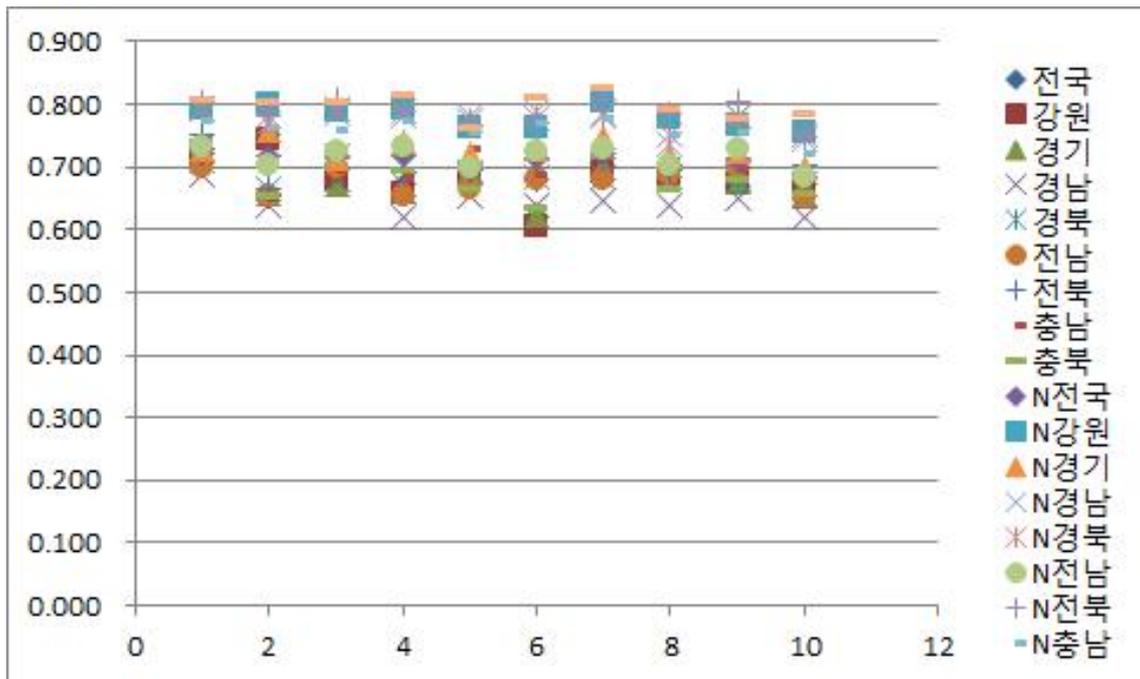


그림 51. 행정구역별 MODIS NDVI

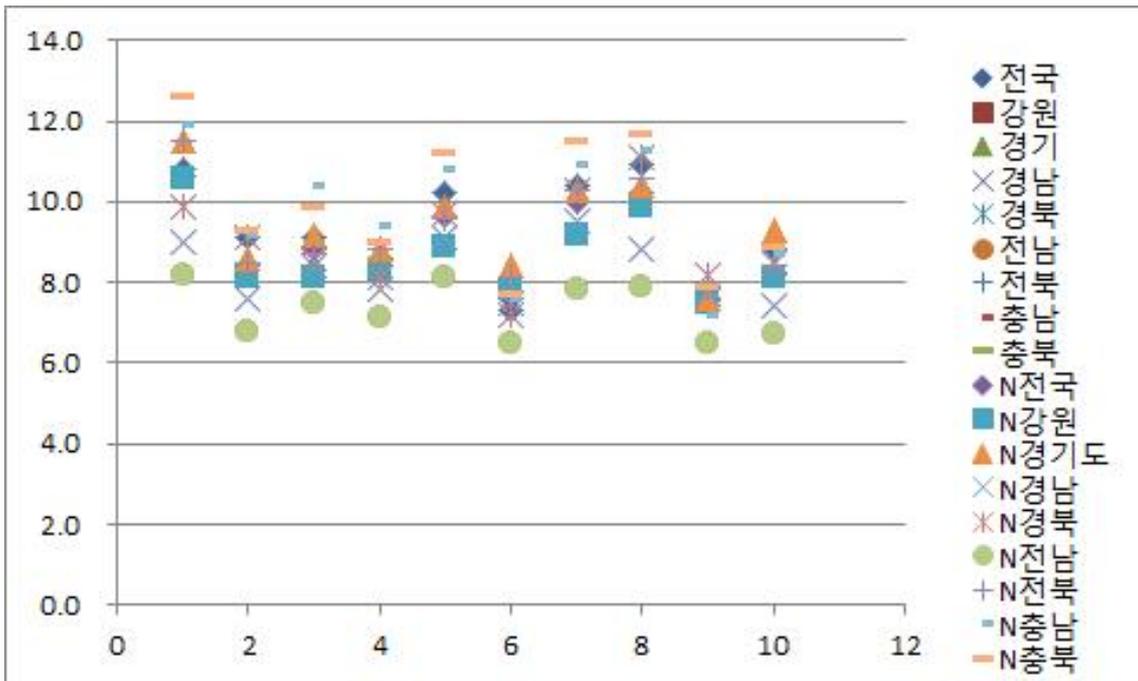


그림 52. 행정구역별 기상자료(일교차)

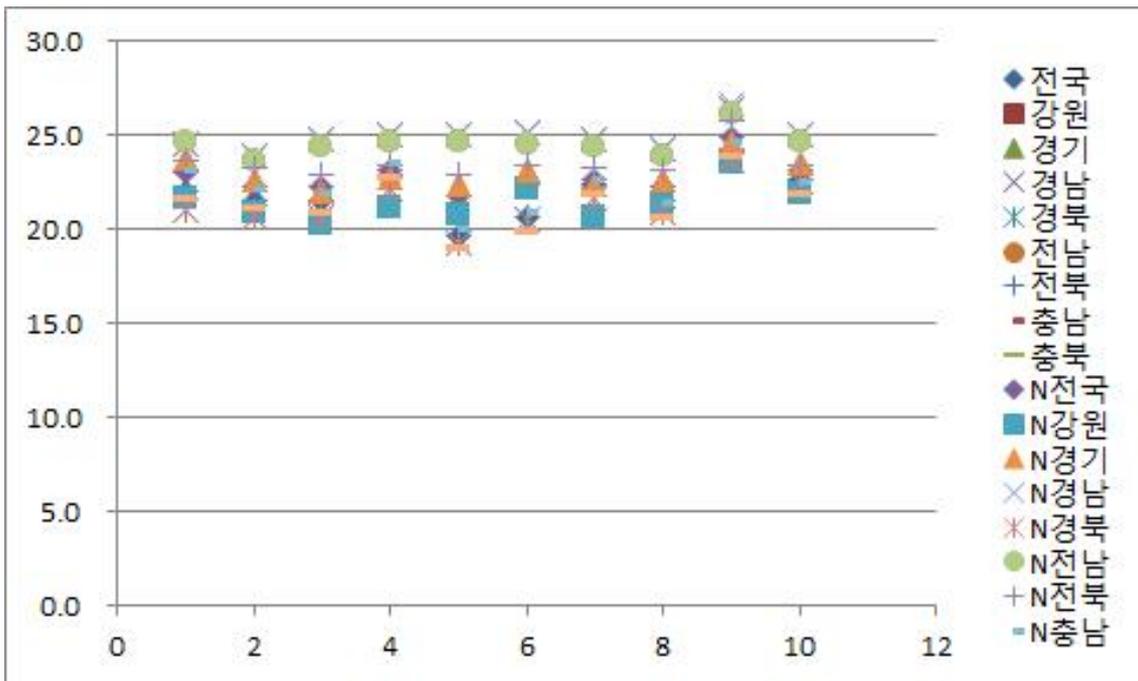


그림 53. 행정구역별 기상자료(평균온도)

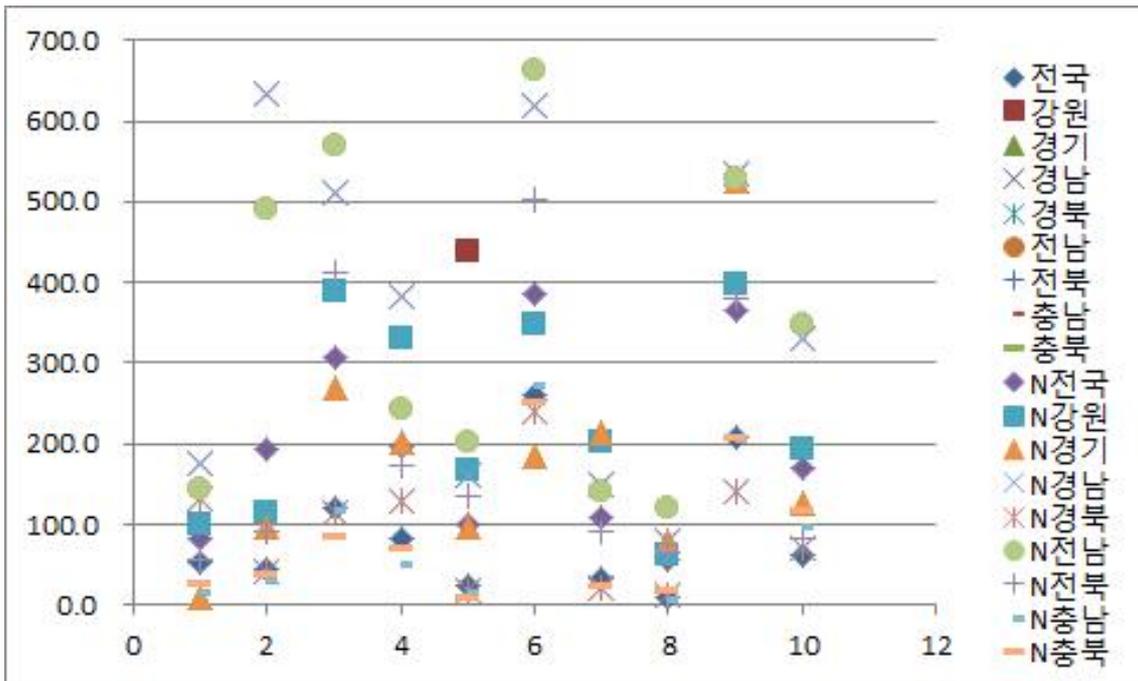


그림 54. 행정구역별 기상자료(누적강우량)

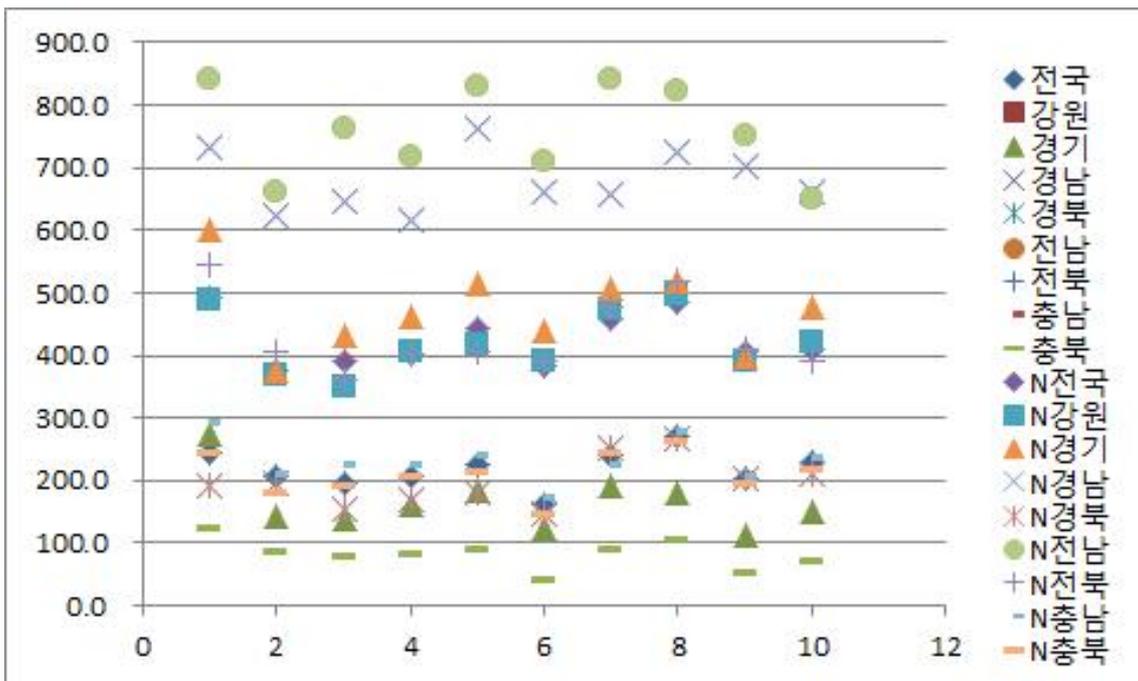


그림 55. 행정구역별 기상자료(누적일사량)

- 각 연도별/지역별로 대폿값을 산정하여 기존의 연구보고서와 비교한 결과는 그림 56~61과 같다.
- 그림 56은 통계청 쌀 생산량 조사 자료로서 2012년 보고서에 사용된 자료와 동일한 결과를 보이며 자료의 유효성이 확인되었다. 선형회귀 방정식에서의 미세한 차이는 소수점 자리 이하의 값의 비교에서 기인한 것임.
- 그림 57의 MODIS NDVI 자료는 기존의 연구에서는 동경대에서 제공된 자료와 본 연구에서 사용된 NASA MODIS NDVI 자료를 사용함으로써 인하여 발생하는 차이를 반영하는 결과이다. 위성자료 처리과정의 차이로 인하여 두 산출물의 차이가 크게 나타나고 있음을 알 수 있다.
- 그림 58의 일교차와 그림 59의 평균온도 자료는 지역별 자료 비교에 있어 거의 동일한 결과를 나타내지만 전국단위 비교값은 약간의 차이가 발생하고 있다(2012년 보고서의 전국단위 일교차 값에 오류가 발생한 것으로 보임).
- 그림 60의 누적강우량의 경우에는 전국단위 강우량 자료도 차이가 발생하였다.
- 그림 61의 누적일사량의 경우에는 경기와 충북 지역의 값의 차이가 발생하고 있는데, 이것은 2012년 보고서에서는 일사량 대신 일조시간을 사용하였기 때문이다. 그러나 본 연구에서는 전국 관측소 자료 중 자료가 없는 지점인 울산 관측소만 제외한 나머지 지역에 대한 누적일사량을 사용하였기 때문에 자료의 가용성을 충분히 활용하였다.

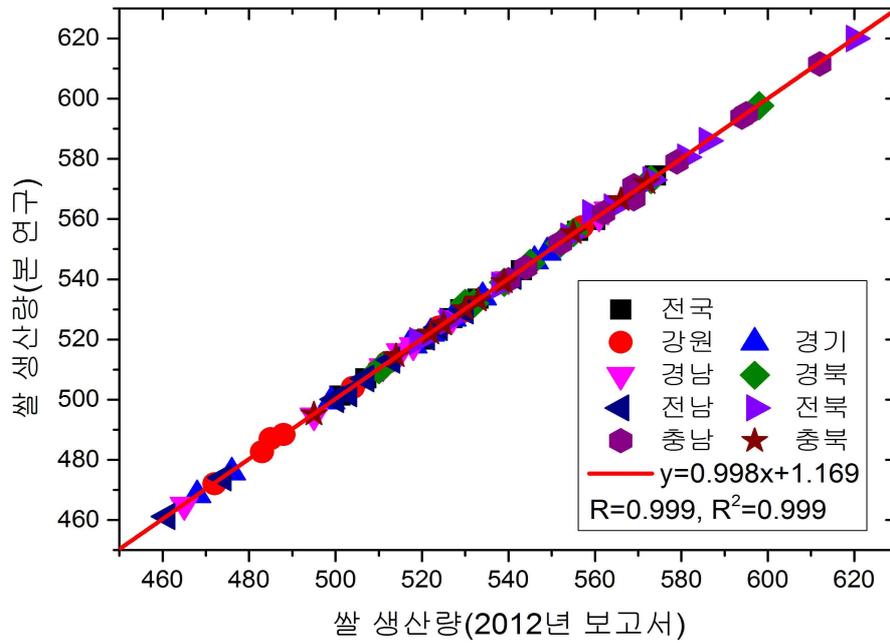


그림 56. 행정구역별 단위면적(10a)당 쌀 생산량 비교

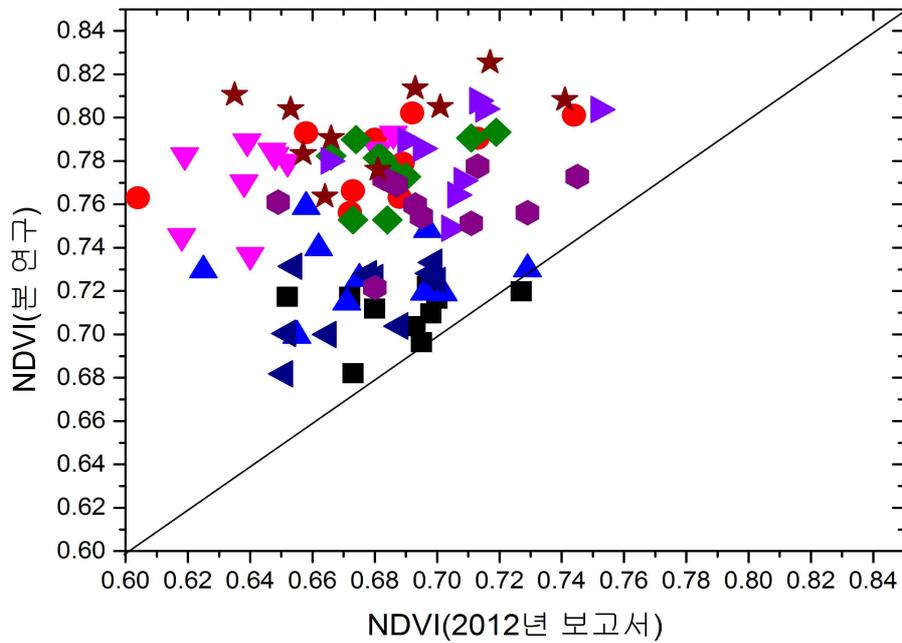


그림 57. 행정구역별 MODIS NDVI 비교

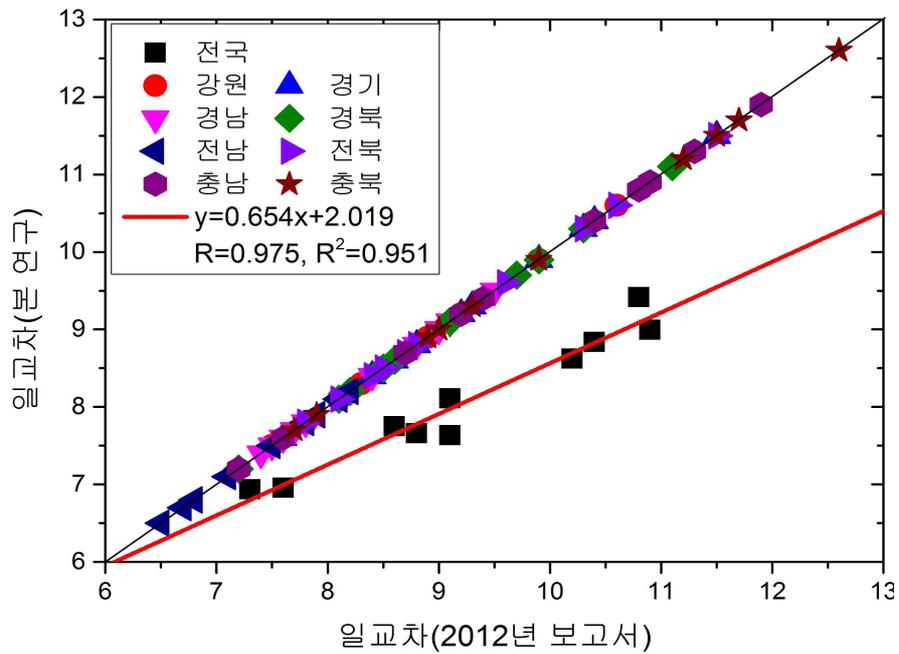


그림 58. 행정구역별 일교차 비교

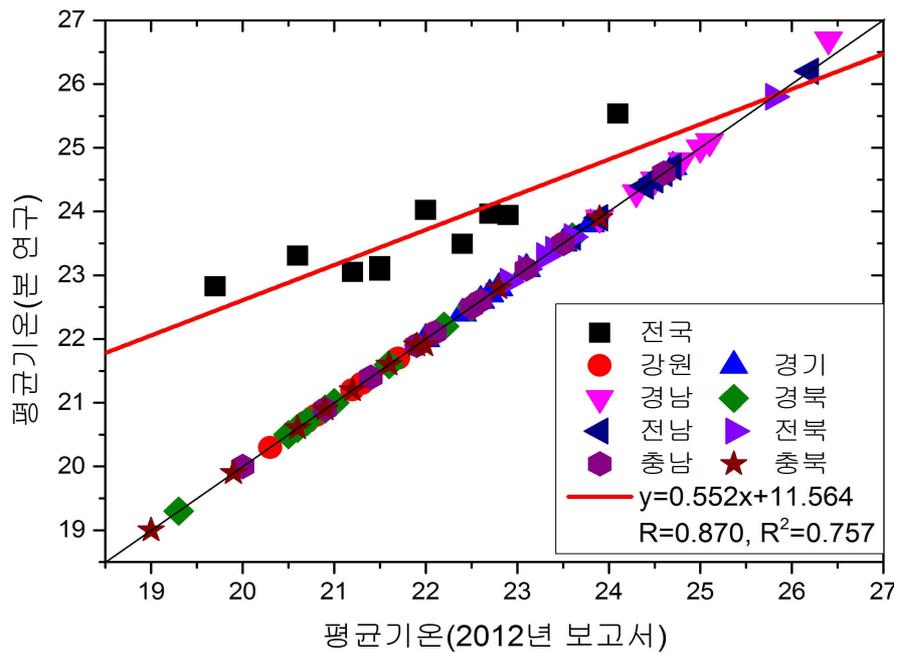


그림 59. 행정구역별 평균온도 비교

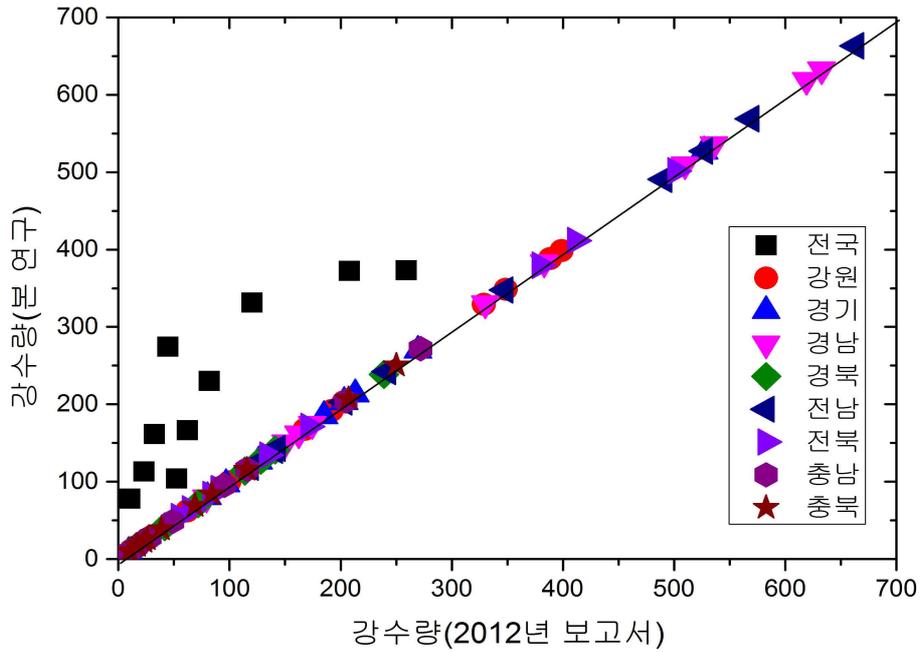


그림 60. 행정구역별 누적강우량 비교

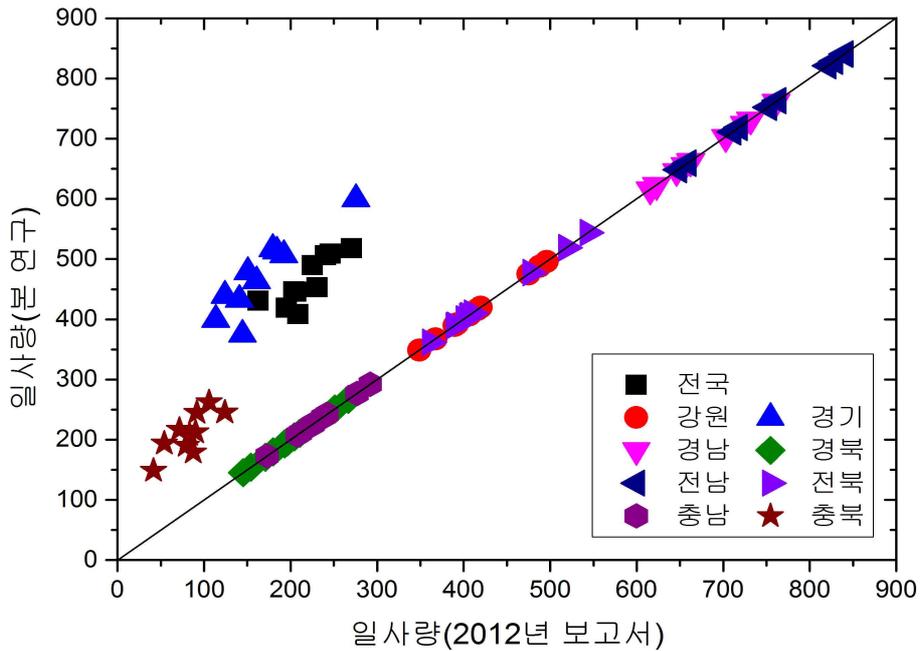


그림 61. 행정구역별 누적일사량 비교

- 그림 56~61에서 나타낸 자료 비교 결과를 통하여 본 연구에서 사용된 자료는 기존의 연구결과와 다소 차이가 있으며 이 결과자료를 토대로 쌀 생산량 예측모형의 입력자료로 활용하여 분석한 결과를 검증하였다.
- 시도별 식생지수, 기상자료, 쌀 생산량 간 상관분석을 수행하였으며, 그 결과는 표 40~48에 정리하였다. 이 때, NDVI와 쌀 생산량 간의 상관관계 분석 시 이상치로 나타나는 3개년도(2003, 2009, 2011년)에 해당하는 기상자료는 모형 입력자료로 사용하지 않았다.

표 40. 도별 쌀 생산량, 식생지수, 일교차, 평균온도, 누적강우량, 누적일사량간의 상관분석 결과표(강원도)

강원도

	수량	NDVI	일교차	평균온도	누적강우량	누적일사량
2001	529	0.791	10.6	21.7	99.9	487.9
2002	472	0.801	8.1	20.9	115.4	367.5
2004	504	0.790	8.1	20.3	388.4	349.0
2005	510	0.793	8.3	21.2	329.0	407.0
2006	487	0.763	8.9	20.8	167.6	416.1
2007	483	0.763	7.8	22.1	348.5	392.3
2008	524	0.802	9.2	20.7	202.9	475.1
2010	488	0.766	7.5	23.5	398.7	389.6
2012	507	0.803	7.6	21.7	292.2	361.2

	수량	NDVI	일교차	평균온도	누적강우량	누적일사량
수량	1.000					
NDVI	0.466	1.000				
일교차	0.649	0.169	1.000			
평균온도	-0.185	-0.472	-0.300	1.000		
누적강우량	-0.140	-0.311	-0.714	0.366	1.000	
누적일사량	0.656	0.046	0.863	-0.014	-0.547	1.000

표 41. 도별 쌀 생산량, 식생지수, 일교차, 평균온도, 누적강우량, 누적일사량간의 상관분석 결과표(경기도)

경기도						
	수량	NDVI	일교차	평균온도	누적강우량	누적일사량
2001	534	0.730	11.5	23.8	9.3	599.8
2002	518	0.759	8.6	22.7	97.0	374.7
2004	527	0.715	9.2	22.0	269.6	432.5
2005	522	0.740	8.8	22.8	203.1	463.5
2006	518	0.719	9.9	22.4	96.8	512.9
2007	499	0.730	8.4	23.1	184.9	439.3
2008	549	0.748	10.3	22.4	213.1	506.6
2010	468	0.726	7.6	24.7	526.9	399.5
2012	499	0.713	8.4	23.2	372.3	377.5

	수량	NDVI	일교차	평균온도	누적강우량	누적일사량
수량	1.000					
NDVI	0.358	1.000				
일교차	0.799	0.083	1.000			
평균온도	-0.682	-0.104	-0.247	1.000		
누적강우량	-0.705	-0.371	-0.726	0.435	1.000	
누적일사량	0.601	-0.004	0.911	-0.034	-0.626	1.000

표 42. 도별 쌀 생산량, 식생지수, 일교차, 평균온도, 누적강우량, 누적일사량간의 상관분석 결과표(경상남도)

경상남도						
	수량	NDVI	일교차	평균온도	누적강우량	누적일사량
2001	540	0.793	9.0	24.5	174.4	731.5
2002	465	0.770	7.6	23.9	632.6	622.9
2004	527	0.785	8.4	24.8	509.8	646.0
2005	511	0.783	7.8	25.0	383.1	615.5
2006	516	0.780	9.1	25.0	162.2	761.1
2007	495	0.789	7.5	25.1	619.0	662.1
2008	563	0.785	9.5	24.8	150.6	655.8
2010	518	0.783	7.7	26.7	535.9	702.7
2012	519	0.753	7.9	25.4	526.7	690.3

	수량	NDVI	일교차	평균온도	누적강우량	누적일사량
수량	1.000					
NDVI	0.310	1.000				
일교차	0.778	0.312	1.000			
평균온도	0.210	-0.035	-0.242	1.000		
누적강우량	-0.729	-0.357	-0.919	0.154	1.000	
누적일사량	0.322	0.073	0.466	0.304	-0.512	1.000

표 43. 도별 쌀 생산량, 식생지수, 일교차, 평균온도, 누적강우량, 누적일사량간의 상관분석 결과표(경상북도)

경상북도						
	수량	NDVI	일교차	평균온도	누적강우량	누적일사량
2001	552	0.791	9.9	21.0	130.2	192.9
2002	510	0.782	9.1	20.6	41.7	196.1
2004	539	0.793	8.6	20.7	113.7	154.1
2005	532	0.790	8.1	22.2	127.9	170.8
2006	532	0.773	9.7	19.3	16.4	179.9
2007	511	0.776	7.2	20.5	238.8	145.2
2008	573	0.782	10.3	21.6	20.4	251.0
2010	545	0.781	8.2	23.6	141.2	204.5
2012	545	0.767	8.8	20.8	88.2	211.4

	수량	NDVI	일교차	평균온도	누적강우량	누적일사량
수량	1.000					
NDVI	0.122	1.000				
일교차	0.627	0.036	1.000			
평균온도	0.347	0.312	-0.250	1.000		
누적강우량	-0.352	0.160	-0.810	0.270	1.000	
누적일사량	0.714	-0.239	0.679	0.307	-0.619	1.000

표 44. 도별 쌀 생산량, 식생지수, 일교차, 평균온도, 누적강우량, 누적일사량간의 상관분석 결과표(전라남도)

전라남도						
	수량	NDVI	일교차	평균온도	누적강우량	누적일사량
2001	541	0.733	8.2	24.6	143.0	840.7
2002	474	0.700	6.8	23.6	490.6	659.2
2004	524	0.725	7.5	24.4	569.0	763.1
2005	507	0.731	7.1	24.6	242.2	718.5
2006	502	0.700	8.1	24.7	202.9	828.6
2007	461	0.726	6.5	24.5	663.2	711.0
2008	521	0.728	7.8	24.4	140.5	840.2
2010	500	0.728	6.5	26.2	527.3	752.3
2012	437	0.696	6.8	25.3	638.6	699.8

	수량	NDVI	일교차	평균온도	누적강우량	누적일사량
수량	1.000					
NDVI	0.644	1.000				
일교차	0.717	0.101	1.000			
평균온도	-0.103	0.138	-0.282	1.000		
누적강우량	-0.712	-0.275	-0.805	0.203	1.000	
누적일사량	0.743	0.355	0.849	0.116	-0.738	1.000

표 45. 도별 쌀 생산량, 식생지수, 일교차, 평균온도, 누적강우량, 누적일사량간의 상관분석 결과표(전라북도)

전라북도

	수량	NDVI	일교차	평균온도	누적강우량	누적일사량
2001	586	0.804	11.5	23.6	54.9	543.9
2002	526	0.780	8.5	23.3	91.0	404.6
2004	573	0.808	8.7	22.9	411.4	361.7
2005	538	0.790	8.8	23.4	171.4	400.8
2006	562	0.764	9.6	22.9	134.3	406.0
2007	519	0.771	8.1	23.4	501.5	389.0
2008	581	0.808	10.3	23.3	90.4	477.6
2010	554	0.804	7.8	25.8	379.6	410.1
2012	514	0.776	7.9	23.6	452.4	393.1

	수량	NDVI	일교차	평균온도	누적강우량	누적일사량
수량	1.000					
NDVI	0.681	1.000				
일교차	0.773	0.340	1.000			
평균온도	-0.045	0.318	-0.334	1.000		
누적강우량	-0.497	-0.153	-0.752	0.253	1.000	
누적일사량	0.597	0.400	0.868	0.068	-0.652	1.000

표 46. 도별 쌀 생산량, 식생지수, 일교차, 평균온도, 누적강우량, 누적일사량간의 상관분석 결과표(충청남도)

충청남도

	수량	NDVI	일교차	평균온도	누적강우량	누적일사량
2001	595	0.773	11.9	23.1	13.6	292.0
2002	552	0.761	9.2	22.1	28.4	211.2
2004	579	0.760	10.4	21.9	115.9	225.8
2005	562	0.772	9.4	23.5	48.6	224.9
2006	571	0.756	10.8	20.0	15.8	242.3
2007	540	0.769	7.6	20.9	271.8	173.0
2008	594	0.778	10.9	22.6	24.9	226.3
2010	544	0.754	7.2	24.6	204.7	207.6
2012	551	0.716	8.4	21.3	93.7	183.3

	수량	NDVI	일교차	평균온도	누적강우량	누적일사량
수량	1.000					
NDVI	0.439	1.000				
일교차	0.941	0.398	1.000			
평균온도	0.057	0.276	-0.143	1.000		
누적강우량	-0.681	-0.117	-0.797	0.047	1.000	
누적일사량	0.807	0.446	0.851	0.226	-0.674	1.000

표 47. 도별 쌀 생산량, 식생지수, 일교차, 평균온도, 누적강우량, 누적일사량간의 상관분석 결과표(충청북도)

충청북도

	수량	NDVI	일교차	평균온도	누적강우량	누적일사량
2001	572	0.808	12.6	21.6	26.1	245.4
2002	533	0.804	9.3	21.2	38.6	179.1
2004	539	0.805	9.9	20.9	83.9	190.2
2005	525	0.814	9.0	22.8	69.0	208.2
2006	522	0.764	11.2	19.0	10.2	212.5
2007	495	0.811	7.7	19.9	250.2	148.5
2008	555	0.825	11.5	21.9	22.8	244.9
2010	514	0.776	7.9	23.9	207.1	193.8
2012	530	0.771	8.9	20.8	109.4	196.7

	수량	NDVI	일교차	평균온도	누적강우량	누적일사량
수량	1.000					
NDVI	0.344	1.000				
일교차	0.855	0.180	1.000			
평균온도	0.164	0.227	-0.209	1.000		
누적강우량	-0.740	-0.103	-0.825	0.171	1.000	
누적일사량	0.841	0.149	0.847	0.243	-0.721	1.000

표 48. 도별 쌀 생산량, 식생지수, 일교차, 평균온도, 누적강우량, 누적일사량간의 상관분석 결과표(제주도)

제주도

	수량	NDVI	일교차	평균온도	누적강우량	누적일사량
2001	503	0.582	5.6	26.0	310.4	762.3
2002	419	0.592	5.2	25.1	434.1	728.8
2004	479	0.563	6.0	26.6	603.4	731.4
2005	449	0.578	5.5	26.3	311.1	757.1
2006	466	0.548	5.6	26.3	222.0	771.6
2007	411	0.557	5.5	26.5	645.8	840.9
2008	501	0.614	5.6	25.7	369.9	799.0
2010	368	0.581	5.1	27.5	419.9	842.8
2012	362	0.556	5.1	26.3	710.2	811.5

	수량	NDVI	일교차	평균온도	누적강우량	누적일사량
수량	1.000					
NDVI	0.330	1.000				
일교차	0.814	-0.081	1.000			
평균온도	-0.400	-0.422	-0.048	1.000		
누적강우량	-0.534	-0.324	-0.143	0.177	1.000	
누적일사량	-0.545	-0.118	-0.463	0.573	0.304	1.000

- 쌀 생산량 예측을 위해 기존에 제안된 다중회귀분석모형 시험을 위하여 MODIS NDVI와 기상자료 4종을 이용한 다중회귀식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \text{쌀 생산량 [kg/10a]} = & (a1 \times \text{NDVI}) + (a2 \times \text{일교차}) + (a3 \times \text{평균온도}) \\ & + (a4 \times \text{누적강우량}) + (a5 \times \text{누적일사량}) + \text{상수} \end{aligned}$$

- 2012년 보고서에서는 입력자료의 사용에 있어서 각 변수별 선형 상관관계가 높은 변수만을 골라서 사용하는 '단계적 변수선택법'과 변수선택 시 NDVI값이 제거되지 않도록 고정하여 다중회귀분석을 수행하였으나, 본 연구에서는 다중회귀분석 시 가능한 모든 변수자료를 사용하였다.
- 표 49에서 다중회귀분석모형의 상관계수는 약 0.9이상의 높은 값을 나타냈으며, 경상북도를 제외한 나머지 지역에서 모두 2012년 결과보다 높은 상관계수 값을 나타냈다.
- 다중회귀모형 추정결과가 조사량과의 상관관계에서 다른 지역에 비하여 최솟값을 보이는 경상북도의 경우, 생산량과 NDVI와의 상관관계가 다른 지역에 비하여 상대적으로 낮은 값($R=0.122$)을 보였으며, 생산량과 평균온도, 생산량과 누적강우량 간의 상관관계가 약 0.3정도의 낮은 값을 보임으로 인하여 전체 다중회귀모형 결과에 대한 상관계수에 영향을 미치고 있다. 이러한 원인은 NDVI 자체의 오차(대기의 영향으로 인한 잡음), 기상자료와 생산량과의 낮은 연관성이 주요인으로 판단된다.

표 49. 다중회귀분석모형의 상수와 상관계수 결과표

구분	상수	a1	a2	a3	a4	a5	R(본 연구)	R(2012년 보고서)
전국	-65.453	310.317	30.443	-0.343	0.152	0.200	0.954	0.906
경기	358.471	491.105	16.931	-15.668	0.037	-0.013	0.985	0.885
강원	-272.493	663.077	16.672	0.995	0.136	0.134	0.962	0.817
충북	231.152	73.174	14.118	6.980	-0.038	-0.204	0.932	0.919
충남	364.099	-122.657	22.235	6.245	0.075	-0.286	0.990	0.884
전북	-448.063	497.916	46.506	19.279	0.017	-0.649	0.984	0.747
전남	-764.159	1,344.749	40.511	3.927	-0.013	-0.121	0.924	0.843
경북	363.124	-259.806	20.919	7.911	0.124	0.063	0.851	0.932
경남	-221.626	43.564	38.610	20.879	-0.003	-0.201	0.922	0.814
제주	-76.820	438.001	150.979	-24.666	-0.110	0.174	0.982	NA

- 표 49에서 제시된 다중회귀분석모형을 이용한 연도별 쌀 생산량 예측 결과는 그림 62와 같으며, 통계청에서 실시한 각 연도별 실제 쌀 생산량 조사 결과와의 비교를 통한 오차범위 계산결과는 표 50과 같다.
- 쌀 생산 예측모형의 입력자료로 사용하지 못한 3개년(2003년, 2009년, 2011년)에 대한 자료 사용 시 예측오차가 증가하므로, 이 자료를 배제하고 예측모형을 결정하였으며, 그 결과는 기존의 결과보다 향상된 결과($R > 0.9$, 예측오차 = $1.0 \pm 0.7\%$)를 나타내었다(표 50 참조).

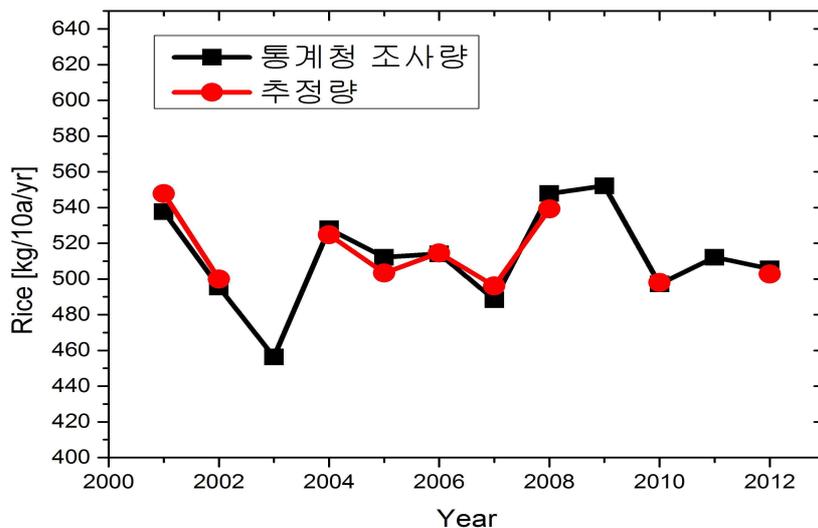


그림 62. 다중회귀모형을 이용한 연도별 쌀 생산량 예측결과와 통계청 조사량과의 비교 결과

표 50. 연도별 쌀 생산량 예측 결과의 오차 범위

연도	절대오차 [kg/10a/yr]	상대오차 [%]	2012년 보고서	2011년 보고서
2001	10.049	1.869	9.3	
2002	4.573	0.923	7.9	
2003	--	--	32.5	
2004	3.205	0.607	16.7	
2005	8.830	1.724	5.7	
2006	0.455	0.088	12.2	
2007	7.726	1.582	0.9	
2008	8.607	1.571	9.6	
2009	--	--	8.4	
2010	0.830	0.167	10.2	
2011	--	--	2.4	
2012	2.991	0.592	20.2(3.8%)	32.0(5.9%)
평균	5.252	1.014	11.333	
표준편차	3.632	0.689	8.557	

3.1.5. 자연재해(태풍 등) 영향 반영 방안 연구

- 2011년과 2012년 보고서에서 사용된 쌀 생산량 예측모형은 통계적 다중회귀 기반 모형이다. 그리고 2012년의 쌀 생산량 예측 결과는 태풍 블라벤의 영향으로 큰 오차가 발생한다고 보고되었으나, 본 연구에서는 큰 오차가 발생하지 않았음.

- 태풍 또는 병충해로 인한 재해는 쌀 생산량에 영향을 미치는 중요한 인자이지만, 이에 대한 영향을 반영하기 위한 모형 입력자료가 제시되어 있지 않았다. 따라서 본 연구에서는 태풍의 영향을 반영하기 위한 풍속 자료와 병충해 또는 안개와 같은 영향을 반영하기 위한 습도자료의 사용을 시험하였다.

- 2000~2012년 기간 동안의 시도별 기상입력자료(일교차, 평균온도, 누적강우량, 일조량, 평균풍속, 최대풍속)의 전처리를 완료하였다(표 51~56 참조).

표 51. 2000~2012년 일교차

연도	전국	경기도	강원도	충청 북도	충청 남도	전라 북도	전라 남도	경상 북도	경상 남도
2000	6.6	7.3	6.7	7.0	6.9	7.3	6.9	6.4	7.4
2001	9.4	11.5	10.6	12.6	11.9	11.5	8.2	9.9	9.0
2002	7.6	8.6	8.1	9.3	9.2	8.5	6.8	9.1	7.6
2003	6.6	6.6	6.2	7.1	7.6	7.1	6.7	6.8	7.6
2004	8.1	9.2	8.1	9.9	10.4	8.7	7.5	8.6	8.4
2005	7.8	8.8	8.3	9.0	9.4	8.8	7.1	8.1	7.8
2006	8.6	9.9	8.9	11.2	10.8	9.6	8.1	9.7	9.1
2007	6.9	8.4	7.8	7.7	7.6	8.1	6.5	7.2	7.5
2008	8.8	10.3	9.2	11.5	10.9	10.3	7.8	10.3	9.5
2009	9.0	10.4	9.9	11.7	11.3	10.6	7.9	11.1	8.8
2010	7.0	7.6	7.5	7.9	7.2	7.8	6.5	8.2	7.7
2011	7.7	9.3	8.1	8.9	8.7	8.4	6.7	8.5	7.4
2012	7.5	8.4	7.6	8.9	8.4	7.9	6.8	8.8	7.9

표 52. 2000~2012년 평균온도

연도	전국	경기도	강원도	충청 북도	충청 남도	전라 북도	전라 남도	경상 북도	경상 남도
2000	23.0	22.6	21.2	19.9	20.8	22.7	24.3	20.0	24.4
2001	24.0	23.8	21.7	21.6	23.1	23.6	24.6	21.0	24.5
2002	23.1	22.7	20.9	21.2	22.1	23.3	23.6	20.6	23.9
2003	23.4	22.0	21.1	21.6	21.9	23.4	23.8	22.0	24.4
2004	23.1	22.0	20.3	20.9	21.9	22.9	24.4	20.7	24.8
2005	23.9	22.8	21.2	22.8	23.5	23.4	24.6	22.2	25.0
2006	22.8	22.4	20.8	19.0	20.0	22.9	24.7	19.3	25.0
2007	23.3	23.1	22.1	19.9	20.9	23.4	24.5	20.5	25.1
2008	23.5	22.4	20.7	21.9	22.6	23.3	24.4	21.6	24.8
2009	23.1	22.6	21.3	20.6	21.4	23.1	23.9	20.9	24.3
2010	25.5	24.7	23.5	23.9	24.6	25.8	26.2	23.6	26.7
2011	24.0	23.5	21.9	21.9	22.5	23.4	24.6	22.5	25.0
2012	23.7	23.2	21.7	20.8	21.3	23.6	25.3	20.8	25.4

표 53. 2000~2012년 누적강우량

연도	전국	경기도	강원도	충청 북도	충청 남도	전라 북도	전라 남도	경상 북도	경상 남도
2000	456.5	514.7	536.1	218.3	203.7	619.6	627.7	210.6	648.0
2001	104.0	9.3	99.9	26.1	13.6	54.9	143.0	130.2	174.4
2002	274.4	97.0	115.4	38.6	28.4	91.0	490.6	41.7	632.6
2003	439.0	519.8	614.6	223.8	173.6	446.1	506.5	229.1	576.0
2004	331.2	269.6	388.4	83.9	115.9	411.4	569.0	113.7	509.8
2005	229.9	203.1	329.0	69.0	48.6	171.4	242.2	127.9	383.1
2006	113.2	96.8	167.6	10.2	15.8	134.3	202.9	16.4	162.2
2007	373.1	184.9	348.5	250.2	271.8	501.5	663.2	238.8	619.0
2008	161.6	213.1	202.9	22.8	24.9	90.4	140.5	20.4	150.6
2009	77.9	80.2	62.0	17.2	6.9	64.6	118.8	11.3	79.3
2010	372.2	526.9	398.7	207.1	204.7	379.6	527.3	141.2	535.9
2011	166.3	126.3	192.0	115.7	95.3	83.2	347.7	71.7	330.2
2012	354.2	372.3	292.2	109.4	93.7	452.4	638.6	88.2	526.7

표 54. 2000~2012년 누적일사량

연도	전국	경기도	강원도	충청 북도	충청 남도	전라 북도	전라 남도	경상 북도	경상 남도
2000	366.5	363.5	282.8	141.7	179.4	333.8	769.5	136.0	615.0
2001	509.2	599.8	487.9	245.4	292.0	543.9	840.7	192.9	731.5
2002	408.6	374.7	367.5	179.1	211.2	404.6	659.2	196.1	622.9
2003	349.8	278.1	280.1	147.4	160.5	308.7	631.2	132.1	569.9
2004	419.1	432.5	349.0	190.2	225.8	361.7	763.1	154.1	646.0
2005	445.5	463.5	407.0	208.2	224.9	400.8	718.5	170.8	615.5
2006	490.0	512.9	416.1	212.5	242.3	406.0	828.6	179.9	761.1
2007	430.8	439.3	392.3	148.5	173.0	389.0	711.0	145.2	662.1
2008	506.3	506.6	475.1	244.9	226.3	477.6	840.2	251.0	655.8
2009	518.2	516.8	495.9	262.3	276.7	519.0	821.0	266.8	724.4
2010	446.5	399.5	389.6	193.8	207.6	410.1	752.3	204.5	702.7
2011	453.3	478.6	419.9	216.6	237.3	390.1	648.5	210.6	662.8
2012	425.5	377.5	361.2	196.7	183.3	393.1	699.8	211.4	690.3

표 55. 2000~2012년 평균풍속

연도	전국	경기도	강원도	충청 북도	충청 남도	전라 북도	전라 남도	경상 북도	경상 남도
2000	2.5	1.9	2.0	1.9	2.2	1.9	2.8	2.2	1.7
2001	2.1	1.6	1.7	1.4	1.8	1.5	2.4	2.1	1.4
2002	2.1	1.4	1.7	1.6	1.5	1.5	2.9	1.8	1.5
2003	1.9	1.3	1.5	1.3	1.3	1.4	2.6	1.6	1.3
2004	2.2	1.7	1.9	1.8	1.8	1.5	3.1	1.8	1.5
2005	2.3	1.7	2.1	1.7	1.9	1.5	3.2	2.2	1.7
2006	2.0	1.5	1.8	1.4	1.5	1.3	2.4	1.8	1.4
2007	2.0	1.3	1.8	1.3	1.7	1.2	3.1	1.6	1.4
2008	2.0	1.5	1.7	1.1	1.1	1.5	2.6	1.5	1.5
2009	2.0	1.4	1.6	1.3	1.3	1.5	2.5	1.6	1.5
2010	2.1	1.4	1.6	1.5	1.9	1.6	2.9	1.7	1.6
2011	2.0	1.3	1.6	1.3	1.6	1.3	2.6	1.8	1.5
2012	2.2	1.7	1.8	1.3	1.3	1.7	3.0	1.4	1.7

표 56. 2000~2012년 최대풍속

연도	전국	경기도	강원도	충청 북도	충청 남도	전라 북도	전라 남도	경상 북도	경상 남도
2000	5.9	5.2	4.9	5.0	5.7	5.7	5.7	5.7	4.8
2001	4.7	3.6	3.9	4.3	4.1	4.1	4.1	4.4	3.6
2002	4.9	3.7	4.4	3.9	4.0	3.9	3.9	5.1	4.0
2003	4.8	3.5	4.3	4.1	4.0	4.3	4.3	4.0	4.3
2004	5.0	4.1	4.6	4.6	4.4	4.1	4.1	4.2	4.1
2005	5.1	4.0	4.9	4.6	4.4	4.0	4.0	5.6	4.3
2006	4.7	3.9	4.5	3.8	4.0	3.9	3.9	4.9	4.0
2007	4.7	3.5	4.4	3.8	4.1	3.7	3.7	4.1	4.1
2008	4.6	3.5	4.2	3.2	3.4	4.0	4.0	3.6	4.4
2009	4.5	3.4	4.1	3.7	3.7	4.0	4.0	3.9	4.3
2010	5.1	3.8	4.0	4.1	5.0	4.6	4.6	4.4	4.1
2011	4.5	3.4	4.0	3.7	4.0	3.7	3.7	4.3	4.0
2012	4.9	4.0	4.3	3.5	3.9	4.7	4.7	3.9	4.5

- 자연재해에 대한 영향을 반영하여 오차율을 최소화하기 위한 최적의 예측모형 결정을 위하여 표 57과 같이 다양한 다중회귀모형(N1, N2, N3, N4, E4, A4, S4, F4)을 설계하였다.
- 표 58은 NDVI를 사용한 회귀모형 N1, N2, N3을 이용한 다중회귀분석 결과 산출된 상관계수를 지역별로 비교한 결과이다. 2001년~2012년 기간 동안 3개년도 이상치를 뺀 N1모형의 경우가 가장 높은 상관계수 값($R = 0.914 \pm 0.077$)을 보였으며, 2000년~2012년 전체 자료를 사용한 경우 상관계수가 낮아지는 결과($R = 0.809 \pm 0.090$)를 보였다.
- N3모형은 이상치를 보인 연도의 기상재해 영향을 반영하기 위하여 전체기간 동안의 평균풍속 자료를 반영한 결과로서 N2모형보다 다소 상관관계가 증가하였으나($R = 0.857 \pm 0.080$), 평균풍속만으로 태풍과 같은 기상재해 현상을 반영하기 어렵다는 판단 하에 N4~F4모형에서는 최대풍속으로 풍속 자료를 대체하였다.
- 2012년 보고서 결과와 상대 비교를 위하여 전국단위 모형의 R값을 비교하면 E4모형의 경우가 전체 기간 모형링에 있어 큰 개선($0.817 \rightarrow 0.944$)이 있는 것으로 나타났으며, 2012년 보고서 결과($R = 0.906$)와도 비교할 만하다.
- 표 59~61은 각 모형을 이용하여 추정된 전국단위 연도별 쌀 생산량 예측결과와 실제 조사결과와의 비교결과이다. 각 모형별로 절대오차 최솟값은 N1모형을 제외하고 E4모형이 절대오차 $6.837\text{kg}/10\text{a}(1.303\%)$ 로 가장 적었으며 이 결과는 2012년 보고서의 $11.3\text{kg}/10\text{a}(4.891\%)$ 와 비교된다.

표 57. 쌀 생산량 예측모형 결정을 위한 다중회귀모형

모형#	기간	입력자료(식생지수)	입력자료(기상자료)
N1	2001~2012 (2003, 2009, 2011 제외)	NDVI	평균온도, 일교차, 누적강우량, 일조량
N2	2000~2012	NDVI	평균온도, 일교차, 누적강우량, 일조량
N3	2000~2012	NDVI	평균온도, 일교차, 누적강우량, 일조량, 평균풍속
N4	2000~2012	NDVI	평균온도, 일교차, 누적강우량, 일조량, 최대풍속
E4	2000~2012	EVI	평균온도, 일교차, 누적강우량, 일조량, 최대풍속
A4	2000~2012	ARVI	평균온도, 일교차, 누적강우량, 일조량, 최대풍속
S4	2000~2012	SAVI	평균온도, 일교차, 누적강우량, 일조량, 최대풍속
F4	2000~2012	AFRI	평균온도, 일교차, 누적강우량, 일조량, 최대풍속

표 58. 다중회귀모형별 상관계수 비교

지역	N1	N2	N3	N4	E4	A4	S4	F4	2012년 보고서
	NDVI+ 3개년도 제외	NDVI+ 전체년도	NDVI+ 평균풍속	NDVI+ 최대풍속	EVI+ 최대풍속	ARVI+ 최대풍속	SAVI+ 최대풍속	AFRI+ 최대풍속	NDVI
전국	0.955	0.817	0.915	0.920	0.944	0.925	0.942	0.927	0.906
서울	0.940	0.880	0.884	0.887	0.960	0.892	0.960	0.921	-
부산	0.727	0.657	0.743	0.657	0.681	0.643	0.646	0.840	-
대구	0.896	0.835	0.944	0.957	0.911	0.947	0.923	0.920	-
인천	0.779	0.764	0.780	0.770	0.817	0.818	0.933	0.783	-
광주	0.959	0.976	0.980	0.976	0.960	0.977	0.965	0.971	-
대전	0.845	0.784	0.827	0.794	0.788	0.786	0.790	0.787	-
경기	0.985	0.906	0.949	0.954	0.972	0.940	0.970	0.962	0.885
강원	0.962	0.742	0.757	0.749	0.774	0.756	0.757	0.747	0.817
충북	0.932	0.683	0.846	0.807	0.789	0.822	0.788	0.815	0.919
충남	0.990	0.790	0.818	0.855	0.861	0.831	0.858	0.833	0.884
전북	0.984	0.758	0.798	0.801	0.861	0.798	0.866	0.800	0.747
전남	0.924	0.734	0.744	0.742	0.931	0.741	0.813	0.761	0.843
경북	0.851	0.880	0.900	0.883	0.858	0.858	0.861	0.866	0.932
경남	0.922	0.790	0.877	0.804	0.844	0.833	0.822	0.819	0.814
제주	0.982	0.948	0.958	0.955	0.962	0.953	0.962	0.954	-
평균	0.914	0.809	0.857	0.844	0.870	0.845	0.866	0.857	0.861
표준 편차	0.077	0.090	0.080	0.093	0.085	0.091	0.093	0.075	0.060

표 59. 연도별 전국단위 쌀 생산량 예측 결과에 대한 오차범위(N1, N2, N3모형)

연도	생산량 (조사치) [kg/10a]	생산량 (추정치) [kg/10a]	N1		N2		N3		절대차 [kg/10a]	상대차 [%]
			절대차 [kg/10a]	상대차 [%]	생산량 (추정치) [kg/10a]	절대차 [kg/10a]	상대차 [%]	생산량 (추정치) [kg/10a]		
2000	534	-	-	-	498.771	35.229	6.597	522.047	11.953	2.238
2001	556	565.425	9.425	1.695	561.301	5.301	0.953	559.566	3.566	0.641
2002	507	513.209	6.209	1.225	517.094	10.094	1.991	513.630	6.630	1.308
2003	475	-	-	-	497.255	22.255	4.685	473.548	1.452	0.306
2004	543	535.044	7.956	1.465	532.654	10.346	1.905	530.606	12.394	2.283
2005	527	521.003	5.997	1.138	523.565	3.435	0.652	538.937	11.937	2.265
2006	530	525.350	4.650	0.877	542.774	12.774	2.410	539.974	9.974	1.882
2007	501	506.424	5.424	1.083	514.361	13.361	2.667	507.846	6.846	1.367
2008	560	556.071	3.929	0.702	555.923	4.077	0.728	551.125	8.875	1.585
2009	574	-	-	-	564.031	9.969	1.737	567.813	6.187	1.078
2010	520	516.957	3.043	0.585	517.238	2.762	0.531	517.273	2.727	0.524
2011	533	-	-	-	519.591	13.409	2.516	517.725	15.275	2.866
2012	509	513.517	4.517	0.888	524.442	15.442	3.034	528.912	19.912	3.912
평균	528.385	528.111	5.683	1.073	528.385	12.189	2.339	528.385	9.056	1.712
표준 편차	26.797	20.341	2.003	0.357	21.887	8.839	1.722	24.527	5.262	1.014

표 60. 연도별 전국단위 쌀 생산량 예측 결과에 대한 오차범위(N4, E4, A4모형)

연도	생산량 (조사치) [kg/10a]	생산량 (추정치) [kg/10a]	N4		E4		A4			
			절대차 [kg/10a]	상대차 [%]	생산량 (추정치)	절대차 [kg/10a]	상대차 [%]	생산량 (추정치)	절대차 [kg/10a]	상대차 [%]
2000	534	526.903	7.097	1.329	530.171	3.829	0.717	526.477	7.523	1.409
2001	556	560.522	4.522	0.813	558.943	2.943	0.529	556.969	0.969	0.174
2002	507	512.309	5.309	1.047	503.852	3.148	0.621	509.832	2.832	0.559
2003	475	478.440	3.440	0.724	482.537	7.537	1.587	477.931	2.931	0.617
2004	543	527.963	15.037	2.769	537.477	5.523	1.017	533.778	9.222	1.698
2005	527	532.342	5.342	1.014	525.673	1.327	0.252	531.244	4.244	0.805
2006	530	547.987	17.987	3.394	547.769	17.769	3.353	548.886	18.886	3.563
2007	501	502.276	1.276	0.255	491.951	9.049	1.806	495.413	5.587	1.115
2008	560	551.636	8.364	1.494	547.085	12.915	2.306	548.840	11.160	1.993
2009	574	568.674	5.326	0.928	571.164	2.836	0.494	568.505	5.495	0.957
2010	520	522.887	2.887	0.555	521.996	1.996	0.384	521.934	1.934	0.372
2011	533	514.460	18.540	3.478	527.186	5.814	1.091	520.975	12.025	2.256
2012	509	522.601	13.601	2.672	523.195	14.195	2.789	528.215	19.215	3.775
평균	528.385	528.385	8.364	1.575	528.385	6.837	1.303	528.385	7.848	1.484
표준 편차	26.797	24.649	5.893	1.108	25.303	5.215	0.995	24.799	6.033	1.152

표 61. 연도별 전국단위 쌀 생산량 예측 결과에 대한 오차범위(S4, F4모형과 2012년도 보고서 결과)

연도	생산량 (조사치) [kg/10a]	생산량 (추정치) [kg/10a]	S4		F4		2012년 보고서			
			절대차 [kg/10a]	상대차 [%]	생산량 (추정치)	절대차 [kg/10a]	상대차 [%]	생산량 (추정치)	절대차 [kg/10a]	상대차 [%]
2000	534	530.626	3.374	0.632	528.277	5.723	1.072	-	-	-
2001	556	560.004	4.004	0.720	561.238	5.238	0.942	565.300	9.300	5.861
2002	507	506.095	0.905	0.178	508.961	1.961	0.387	514.900	7.900	7.392
2003	475	480.455	5.455	1.149	478.372	3.372	0.710	507.500	32.500	0.099
2004	543	536.354	6.646	1.224	534.013	8.987	1.655	526.300	16.700	10.800
2005	527	523.574	3.426	0.650	526.501	0.499	0.095	521.300	5.700	3.996
2006	530	547.565	17.565	3.314	549.912	19.912	3.757	541.200	11.200	2.694
2007	501	492.622	8.378	1.672	497.467	3.533	0.705	500.100	0.900	5.642
2008	560	547.075	12.925	2.308	544.872	15.128	2.701	550.400	9.600	9.860
2009	574	569.787	4.213	0.734	568.963	5.037	0.878	565.600	8.400	1.000
2010	520	521.708	1.708	0.328	522.769	2.769	0.533	530.200	10.200	7.631
2011	533	527.993	5.007	0.939	522.314	10.686	2.005	535.400	2.400	2.962
2012	509	525.141	16.141	3.171	525.342	16.342	3.211	529.000	20.000	0.750
평균	528.385	528.385	6.904	1.309	528.385	7.630	1.435	532.267	11.233	4.891
표준 편차	26.797	25.251	5.372	1.025	24.847	6.136	1.154	20.761	8.534	3.561

- 그림 63은 각 모형을 이용하여 추정된 쌀 생산량과 실제 쌀 생산량과의 비교를 통하여 계산된 절대오차와 상대오차량의 비교결과이다.
- 2000년부터 2012년까지의 평균오차 범위는 NDVI값을 사용한 N3~N4에 비하여 다른 식생지수 값을 사용한 E4와 S4모형이 6.84kg/10a/yr(1.3%)와 6.90kg/10a/yr(1.31%)로 최솟값을 나타냈다.

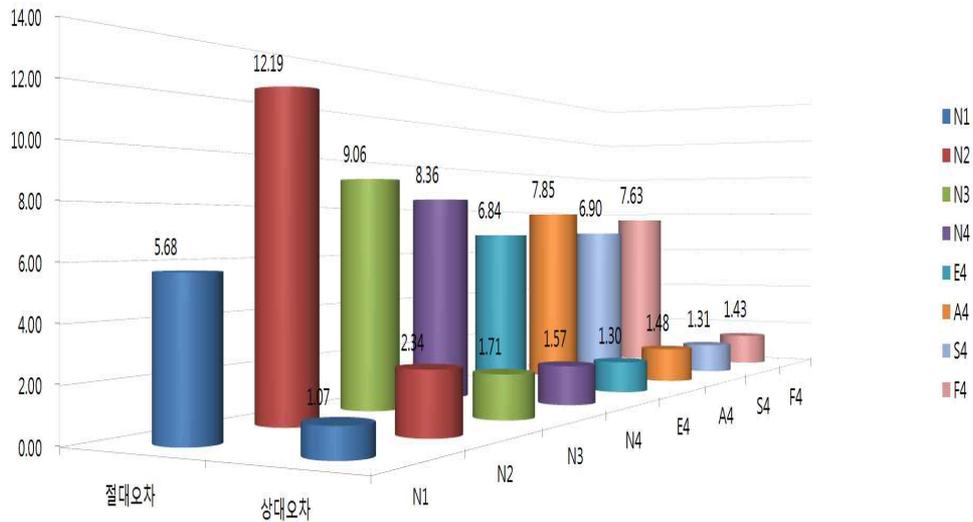


그림 63. 각 모형별 쌀 생산량 추정 결과에 대한 오차 비교

3.2. 위성영상을 활용한 식생지수 산출

3.2.1. MODIS 식생지수 산출 및 보정

- 2000~2013년까지의 MODIS 식생지수 5종(NDVI, EVI, ARVI, SAVI, AFRI)에 대하여 계산 완료하였다. 그림 64는 이 중 2003년 8월의 사례로, 이전에 언급한 이상치 발생년도이며 NDVI 값이 쌀 생산량에 비하여 다소 과대평가된 경우이다. 각 식생지수의 특성을 반영하는 범위를 나타내며 대기에 의한 오차는 적은 것으로 나타난다.
- 그림 65~66은 2009년과 2011년 8월의 경우로서 3.1.2장에서 언급된 이상치 발생년도이며 NDVI 값이 쌀 생산량에 비하여 다소 과소평가된 경우이다. 2009년의 경우 경남, 경북 지방에 NDVI 값 분포가 불균일하게 나타나는데 이것은 구름의 효과로 판단되고 2011년에는 충청도를 포함한 이남지역에서 구름효과가 나타나므로 지표의 식생지수가 반영되지 못하고 있다. 따라서 대기효과를 비교적 적게 받는 다른 식생지수를 예측모형의 입력자료로 활용하여야 하므로, 본 연구에서는 이전 장에서 언급된 것처럼 NDVI 외에 추가로 대기과 지형 효과로 인한 잡음 신호의 영향을 적게 받는 것으로 알려진 식생지수 자료인 ARVI, EVI, SAVI, AFRI를 사용하여 모형의 입력자료로 활용가능성을 검토하였다.

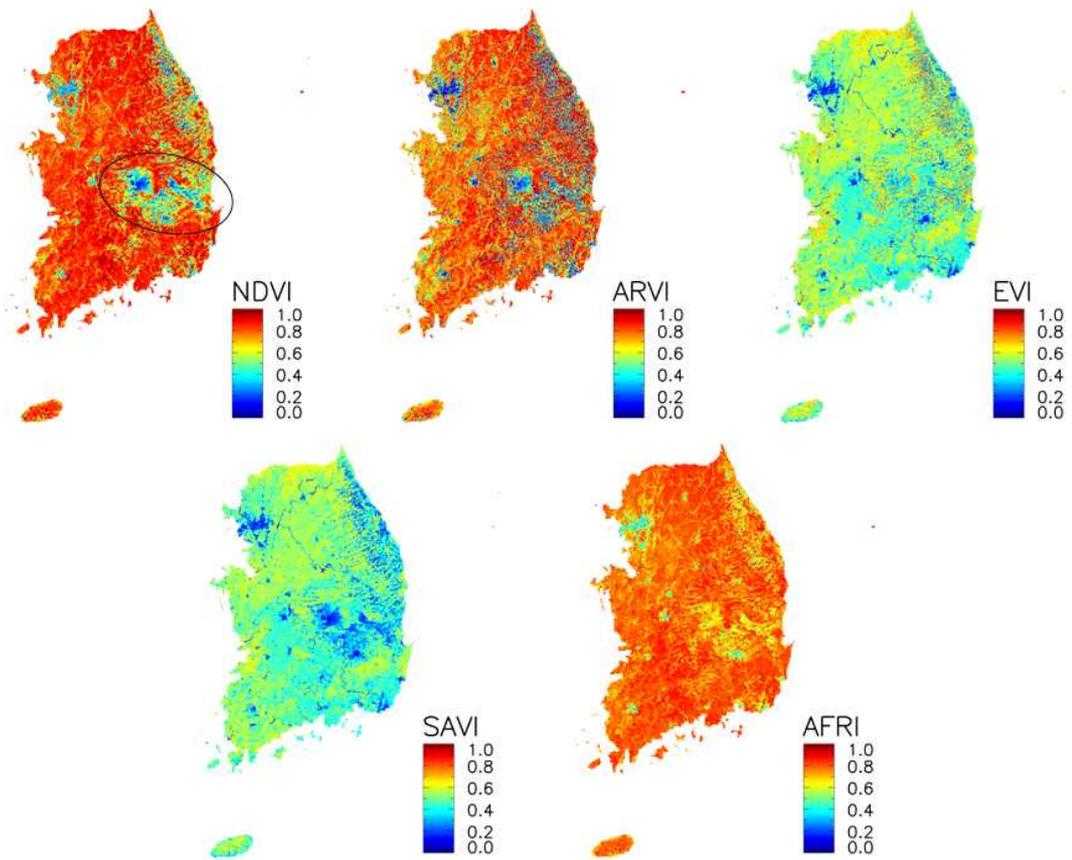


그림 64. 2003년 8월의 NDVI, ARVI, EVI, SAVI, AFRI 비교

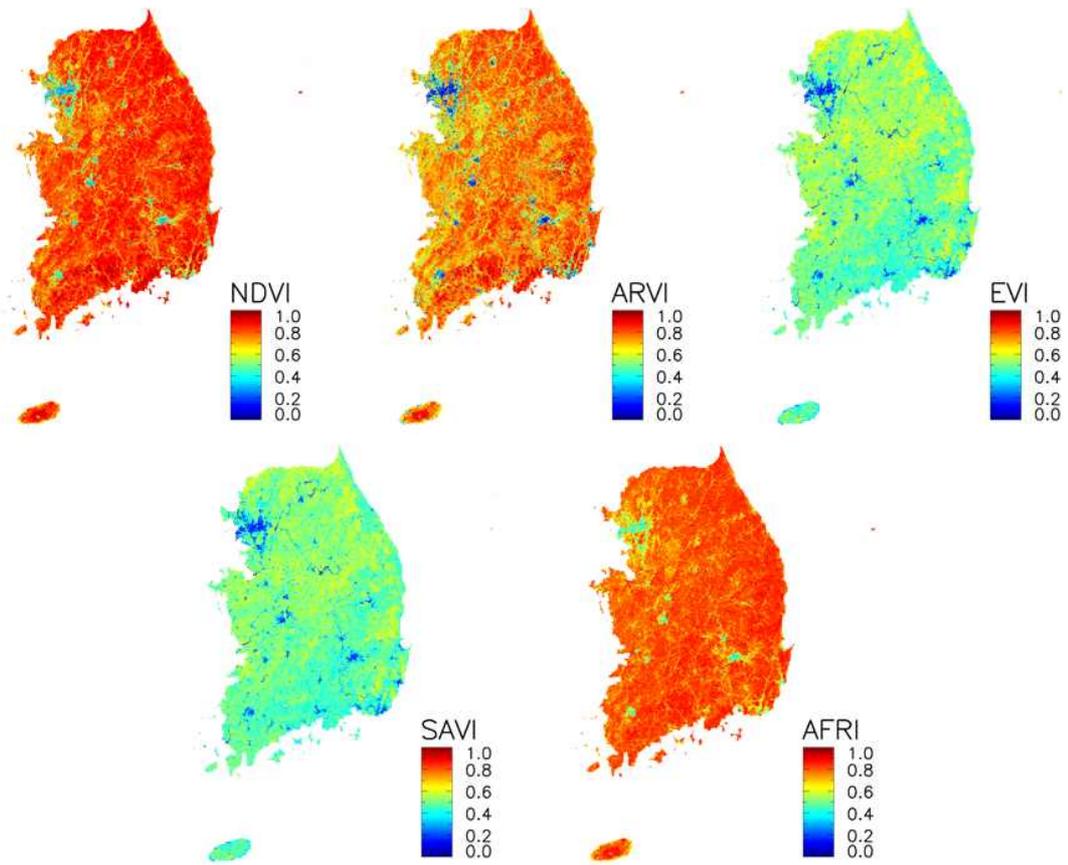


그림 65. 2009년 8월의 NDVI, ARVI, EVI, SAVI, AFRI 비교

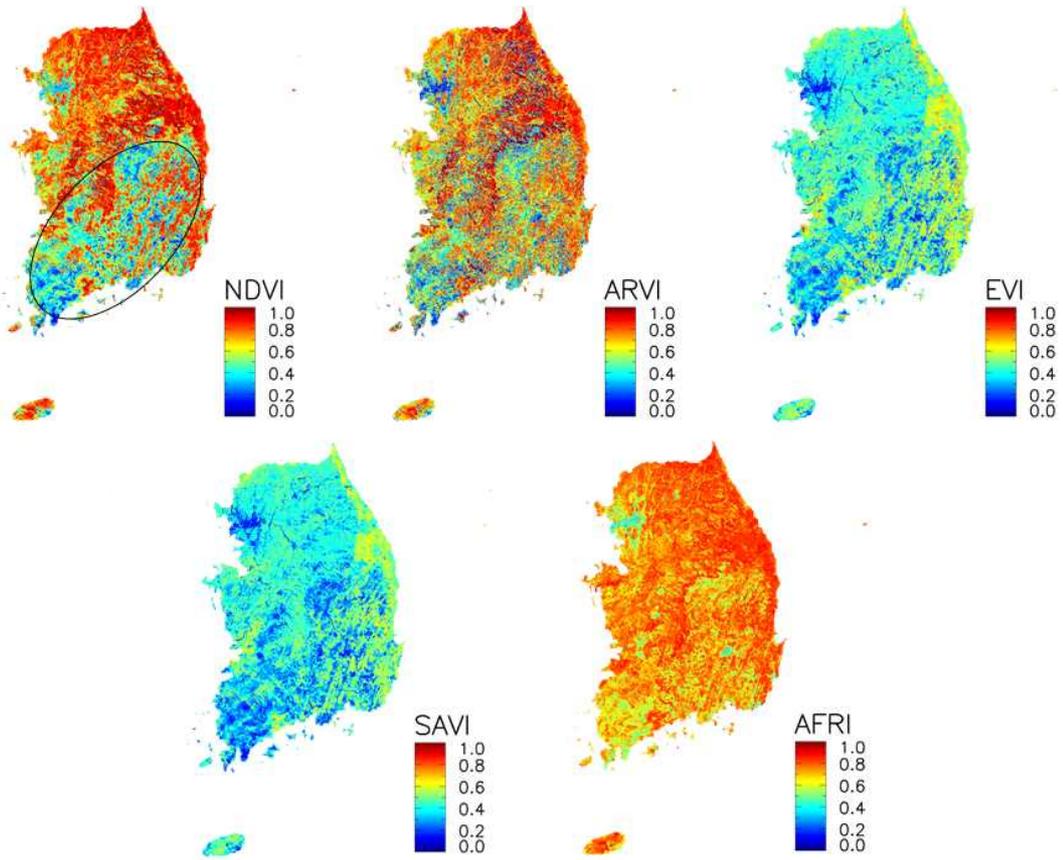


그림 66. 2011년 8월의 NDVI, ARVI, EVI, SAVI, AFRI 비교

3.3. 2013년 쌀 생산량 추정

3.3.1. 자료수집(2013년 MODIS 영상 및 기상자료)

- 2013년 6~10월까지의 MODIS 식생지수 자료 및 기상자료 확보 이후, 개발된 예측모형을 이용하여 쌀 생산량 예측 결과를 제시하였다.
- 2013년도 MODIS 자료를 이용한 시도별 등숙기 식생지수 5종 자료를 생성한 결과는 표 62~63과 같다. 식생지수 계산식의 차이로 절대 비교는 불가하나, 2013년 식생지수 값을 다중회귀모형의 입력자료로 사용하여 각 식생지수 별 생산량 예측결과를 확인할 수 있다.

표 62. 2013년 지역별 식생지수 비교 -1

식생지수	전국	경기도	강원도	충청북도	충청남도	전라북도	전라남도	경상북도	경상남도
NDVI	0.694	0.711	0.780	0.795	0.740	0.794	0.709	0.780	0.760
ARVI	0.607	0.633	0.711	0.724	0.667	0.711	0.628	0.708	0.676
EVI	0.425	0.465	0.488	0.520	0.495	0.514	0.426	0.480	0.457
SAVI	0.415	0.444	0.473	0.500	0.468	0.500	0.418	0.469	0.450
AFRI	0.736	0.739	0.785	0.794	0.770	0.793	0.763	0.791	0.782

표 63. 2013년 지역별 식생지수 비교 -2

식생지수	서울	부산	대구	인천	광주	대전	울산	제주
NDVI	0.533	0.584	0.747	0.536	0.727	0.715	0.691	0.501
ARVI	0.413	0.475	0.649	0.468	0.623	0.635	0.627	0.371
EVI	0.325	0.323	0.451	0.284	0.468	0.451	0.415	0.237
SAVI	0.316	0.324	0.447	0.279	0.460	0.433	0.406	0.243
AFRI	0.623	0.671	0.763	0.678	0.740	0.752	0.733	0.599

- 8월과 9월을 대상으로 월별 최대풍속 자료를 추가 수집하였다. 이는 등숙기와 수확기 직전 태풍의 영향을 반영하기 위해 생장기(8월, 9월) 월별 최대풍속 자료 수집 및 전처리를 완료하였다.
- 표 64~67은 지역별 최대풍속 자료 결과이다. 태풍발생년도(2000년 8월 23일~9월 1일 프라피룬, 2002년 8월 루사, 2003년 9월 12~13일 매미, 2004년 8월 18~20일 메기, 2007년 9월 16일 나리, 2010년 8월 29일~9월 1일, 2011년 7월 28일~8월 9일 무이파, 2012년 8월 28일 블라벤)에 대하여 연도별로 굵게 표시하였으며, 다른 연도보다 최대풍속 자료가 증가하였음을 알 수 있다. 월별 최대풍속 자료가 태풍 발생 유무에 대한 조건을 의미하므로 다중회귀모형에서 태풍으로 인한 영향을 반영할 수 있을 것으로 판단된다.

표 64. 연도별 8월 최대풍속 자료

연도	전국	경기도	강원도	충청 북도	충청 남도	전라 북도	전라 남도	경상 북도	경상 남도
2000	16.0	13.0	14.5	12.3	22.5	15.2	47.4	9.0	15.3
2001	8.3	6.2	9.5	7.3	7.5	10.8	14.6	5.3	4.7
2002	16.3	15.4	13.9	12.6	17.2	20.5	33.3	12.0	14.1
2003	10.0	7.9	13.6	9.4	11.7	14.9	15.8	6.3	6.6
2004	12.2	8.5	17.0	8.8	9.8	9.8	20.4	22.4	14.1
2005	10.2	8.0	10.4	10.9	10.3	9.6	16.2	12.2	11.9
2006	10.0	8.2	11.6	7.9	9.0	10.5	14.6	14.6	10.4
2007	11.6	9.3	10.7	7.6	11.7	10.6	25.1	13.8	19.6
2008	10.0	7.7	13.5	8.3	11.0	9.4	16.2	12.5	11.5
2009	9.2	6.5	11.8	7.2	9.9	9.5	13.1	10.6	9.5
2010	12.2	8.0	12.8	8.3	11.0	13.0	16.8	16.9	18.2
2011	13.2	9.1	12.0	11.4	15.0	17.8	29.1	12.0	17.7
2012	16.7	14.1	15.4	13.3	17.5	22.2	36.3	13.4	19.5
2013	9.9	8.6	12.2	8.2	12.7	10.3	12.7	12.0	8.4

표 65. 연도별 8월 최대풍속 자료

연도	서울	부산	대구	인천	광주	대전	울산	제주
2000	9.2	15.6	7.4	8.7	16.9	19.5	9.2	20.2
2001	4.6	11.5	6.3	6.3	10.7	8.9	6.3	12.6
2002	10.4	17.5	15.3	10.9	15.2	12.4	13.1	27.6
2003	6.4	11.7	7.0	7.6	7.5	13.1	7.2	13.0
2004	7.1	14.5	6.8	5.5	12.9	7.2	14.8	15.9
2005	8.2	10.7	7.5	8.6	9.4	10.2	7.8	10.7
2006	7.6	12.8	6.9	6.4	10.1	7.2	8.1	13.3
2007	9.9	11.1	7.7	10.0	8.9	8.3	8.1	13.3
2008	8.6	12.5	6.3	8.5	8.9	7.5	7.8	10.4
2009	7.1	13.6	6.3	8.7	7.5	6.8	9.2	10.3
2010	10.7	15.6	7.1	10.5	11.0	8.7	11.4	14.9
2011	9.4	11.1	7.0	10.3	10.2	10.5	8.7	19.7
2012	13.7	14.9	8.7	14.7	14.6	13.9	11.4	23.0
2013	9.9	11.2	6.0	9.3	10.1	8.1	8.8	10.2

표 66. 연도별 9월 최대풍속 자료

연도	전국	경기도	강원도	충청 북도	충청 남도	전라 북도	전라 남도	경상 북도	경상 남도
2000	16.5	14.4	18.3	13.7	19.6	19.6	25.6	18.4	21.2
2001	10.4	8.3	15.6	9.4	14.1	14.1	18.2	13.1	7.7
2002	12.1	11.5	11.5	8.1	13.8	13.5	23.2	14.6	12.8
2003	18.7	7.9	20.9	13.5	16.5	16.5	35.9	28.2	31.8
2004	17.7	7.4	15.0	13.0	12.1	7.6	24.0	14.9	106.0
2005	12.7	8.6	14.0	11.0	10.2	9.8	22.8	27.9	14.4
2006	11.5	6.4	14.4	9.9	8.0	7.9	21.0	24.9	14.4
2007	13.3	7.8	10.5	8.9	11.8	9.8	26.4	27.1	18.4
2008	8.6	6.6	10.3	10.0	9.5	7.9	15.3	11.0	7.1
2009	8.6	6.4	8.8	7.8	12.0	12.0	12.4	13.0	7.7
2010	15.4	15.9	18.1	8.3	27.3	14.8	35.5	14.0	16.7
2011	9.3	7.5	9.3	8.6	8.6	10.0	14.0	16.1	8.5
2012	14.7	9.3	17.7	13.2	13.1	15.0	27.7	18.4	25.5
2013	8.4	7.1	7.8	7.9	8.8	8.8	12.2	13.0	8.0

표 67. 연도별 9월 최대풍속 자료

연도	서울	부산	대구	인천	광주	대전	울산	제주
2000	9.2	18.7	7.9	18.5	13.1	19.5	10.0	16.2
2001	4.6	8.8	6.9	6.3	11.3	8.9	6.9	12.9
2002	10.4	17.1	0.0	10.9	9.1	12.4	10.3	14.2
2003	6.4	26.1	7.0	7.6	13.7	13.1	18.3	35.5
2004	8.0	15.7	6.8	7.3	8.4	8.7	10.9	16.6
2005	8.4	14.3	7.6	8.4	9.2	9.9	11.5	14.4
2006	7.1	16.7	7.3	7.4	9.7	6.8	10.5	11.8
2007	8.0	12.4	7.1	8.3	10.6	8.0	10.0	27.6
2008	6.6	7.6	5.7	8.4	7.7	6.1	7.1	10.6
2009	6.5	6.9	6.0	8.3	6.7	5.7	7.8	9.6
2010	14.0	13.9	6.4	17.5	10.6	10.0	8.8	13.9
2011	7.6	9.8	6.2	8.3	7.0	6.0	10.6	10.2
2012	11.5	17.8	9.1	8.3	12.0	7.6	9.2	19.9
2013	6.2	8.0	5.8	9.0	7.2	8.1	7.3	9.0

- 다중회귀모형 추가 입력자료로서 평균습도 자료(2000~2013년) 수집 및 전처리를 완료하였다(표 68~69 참조).
- 습도자료와 쌀 생산량과의 관계에 관한 중요성은 기존 연구 논문의 결과에서 확인 가능하다(이안수 등 (2011), 춘천지역의 기상요소가 벼 생육과 수량에 미치는 영향 해석, 한국작물학회지, 56(2), 99~106.).

- <요약문 발췌>

“1988년부터 2009년까지 강원도 춘천지역에서 수행된 벼 작황 조사 시험의 오대벼와 일품벼 관련 기상요소 및 조사 성적을 바탕으로 각 기상요소가 벼 생육 및 수량에 미친 영향을 분석한 결과는 다음과 같았다. 벼 출수기, 간장, m²당 수수 및 수당립수는 품종 및 생육 단계별로 다소 차이는 있었지만 대체로 출수기까지의 일평균온도, 강우량, 일조시간, 기온일교차, 풍속 및 상대습도의 영향을 받는 것으로

나타났다. 특히 출수기는 일평균온도와 상대습도의 영향을, 간장, m²당 수수 및 수당립수는 일교차의 영향을 가장 크게 받은 것으로 나타났다. 벼 등숙율, 천립중 및 쌀 수량은 벼 출수기부터 40일 간의 일평균온도, 기온일교차, 강우량, 일조시간에 대하여 오대벼와 일품벼가 전혀 다른 반응을 보였으나, 풍속 및 상대습도에 대해서는 대체로 비슷한 영향을 받는 것으로 나타났는데, 그 중에서 쌀 수량은 풍속이 높을수록, 상대습도가 낮을수록 높은 경향을 보였다. 풍속과 상대습도는 기온, 기온 일교차, 일조량 등에 비해 상대적으로 벼 생육과 수량에 미치는 영향이 적은 것으로 인식되었기 때문에 지금까지의 국내 벼 연구에서는 거의 다루어지지 않았으나, 본 연구에서 상대습도가 낮고 바람이 충분한 환경에서 벼는 활발한 증산 작용과 광합성을 통해 수량이 증가되는 것으로 나타났다.”

표 68. 연도별 등숙기 평균습도 자료

연도	전국	경기도	강원도	충청 북도	충청 남도	전라 북도	전라 남도	경상 북도	경상 남도
2000	78.5	77.5	81.1	75.2	75.6	79.4	77.2	79.3	75.6
2001	68.7	65.9	72.3	63.3	64.2	69.6	73.7	71.7	69.7
2002	77.2	78.8	78.8	74.5	77.6	77.6	81.8	75.2	76.2
2003	81.3	85.6	85.0	80.1	80.6	79.7	84.1	80.3	77.6
2004	74.7	75.6	79.0	70.8	73.5	78.1	80.6	77.0	75.1
2005	75.9	75.7	78.3	73.7	74.0	79.3	83.5	79.7	77.7
2006	72.6	71.4	76.7	70.2	69.9	76.7	79.8	77.1	75.4
2007	80.2	79.5	79.4	84.2	82.6	83.2	86.0	85.2	79.2
2008	75.3	77.1	79.0	76.6	78.5	76.9	80.0	79.2	73.8
2009	72.5	75.1	73.6	82.2	73.9	74.5	78.5	72.9	73.2
2010	80.5	84.4	81.3	81.0	81.0	81.7	85.9	82.1	80.9
2011	76.5	77.3	78.8	76.3	76.8	79.4	84.1	79.3	79.4
2012	78.9	81.1	82.0	79.5	81.1	81.5	82.6	80.0	77.3
2013	76.1	76.7	78.7	80.6	81.4	78.6	81.0	78.8	75.8

표 69. 연도별 등속기 평균습도 자료

연도	서울	부산	대구	인천	광주	대전	울산	제주
2000	77.9	84.7	79.0	79.9	75.5	81.5	77.3	78.5
2001	61.4	77.2	68.2	66.1	69.3	64.4	70.7	71.5
2002	73.4	80.7	71.0	78.8	78.5	74.7	74.7	83.0
2003	80.8	81.4	79.9	83.5	80.0	84.4	76.0	82.5
2004	70.7	72.6	72.5	71.8	73.9	73.1	72.2	77.9
2005	70.2	76.4	71.7	73.8	77.3	72.4	72.8	78.4
2006	64.7	72.5	67.0	68.1	74.3	70.3	72.3	74.5
2007	72.0	76.9	78.4	77.7	80.8	82.8	79.7	76.3
2008	67.8	74.9	67.2	74.8	71.3	72.3	78.9	75.7
2009	65.2	71.5	60.0	70.7	72.7	67.0	76.2	72.5
2010	77.9	79.6	69.1	82.0	80.7	80.0	79.7	80.1
2011	65.2	75.5	65.6	71.2	79.1	73.2	80.4	82.2
2012	70.8	73.0	71.0	85.4	75.1	83.2	75.2	84.2
2013	64.9	65.4	70.6	82.6	71.8	83.0	70.3	77.6

3.3.2. 2013년 쌀 생산량 추정모형 개발

- 표 70은 월별 최대풍속 자료가 반영된 다중회귀분석결과 산출된 상관계수와 P-value를 지역별로 비교한 결과이다. 2000~2012년 전체 기간 동안 조사량과 추정량에 대한 상관계수는 식생지수별 모형의 경우 차이가 매우 적게 나타났으며 P-value는 모두 1%이내의 값을 보임으로 인하여 유의한 상관관계를 가지는 것으로 나타난다.

- 표 70에서 식생지수의 종류별 회귀모형 비교결과는 전국단위의 경우, EVI를 사용한 경우가 상대적으로 가장 높은 상관계수($R = 0.883 \pm 0.069$)를 나타내었다. 지역단위에서는 강원도와 대전이 상대적으로 다른 지역보다 낮은 상관계수 값($R < 0.8$)을 나타내어 모형 추정량과 실제 조사량과의 상관관계가 낮은 것을 알 수 있다.

- 표 71은 월별 최대풍속 자료를 사용한 모형을 이용하여 추정된 시도 단위, 연도별 쌀 생산량 추정결과와 실제 조사결과와의 비교결과이다. 전국단위의 경우, ARVI 사용 모형이 절대오차 10.09kg/10a(1.94%)로 가장 적은 값을 나타냈으며, NDVI 사용 모형이 상대적으로 가장 큰 절대오차 12.22kg/10a(2.34%)를 나타내었다. 지역단위의 경우, 강원, 경북, 전남, 전북, 충북, 제주의 오차가 전국단위 오차보다 크게 나타나고 있다.

- 각 모형별로 상대오차 비교결과, NDVI를 사용한 모형은 절대오차 11.51kg/10a(2.27%)이나, ARVI를 사용한 EVI를 사용한 모형은 11.2kg/10a (2.2%)로 차이가 매우 적게 나타났다.

표 70. 2000~2012년 기간 동안 월별 최대풍속을 추가한 다중회귀모형별 상관관계수(R)와 유의성 검사를 위한 P-value 비교

식생 지수	NDVI		ARVI		EVI		SAVI		AFRI	
	R	P	R	P	R	P	R	P	R	P
전국	0.828	0.000	0.850	0.000	0.832	0.000	0.830	0.000	0.829	0.000
서울	0.914	0.000	0.909	0.000	0.962	0.000	0.957	0.000	0.927	0.000
부산	0.910	0.000	0.883	0.000	0.842	0.000	0.847	0.000	0.951	0.000
대구	0.899	0.000	0.895	0.000	0.899	0.000	0.895	0.000	0.895	0.000
인천	0.871	0.000	0.848	0.000	0.857	0.000	0.877	0.000	0.827	0.000
광주	0.982	0.000	0.979	0.000	0.962	0.000	0.965	0.000	0.971	0.000
대전	0.815	0.001	0.777	0.002	0.777	0.002	0.776	0.002	0.776	0.002
울산	0.947	0.000	0.946	0.000	0.955	0.000	0.953	0.000	0.947	0.000
경기	0.955	0.000	0.953	0.000	0.978	0.000	0.976	0.000	0.967	0.000
강원	0.794	0.001	0.797	0.001	0.794	0.001	0.794	0.001	0.794	0.001
충북	0.802	0.001	0.816	0.001	0.817	0.001	0.812	0.001	0.825	0.001
충남	0.907	0.000	0.907	0.000	0.907	0.000	0.907	0.000	0.927	0.000
전북	0.780	0.002	0.780	0.002	0.815	0.001	0.806	0.001	0.789	0.001
전남	0.724	0.005	0.728	0.005	0.814	0.001	0.776	0.002	0.735	0.004
경북	0.889	0.000	0.901	0.000	0.914	0.000	0.908	0.000	0.892	0.000
경남	0.922	0.000	0.917	0.000	0.932	0.000	0.933	0.000	0.947	0.000
제주	0.964	0.000	0.964	0.000	0.962	0.000	0.963	0.000	0.963	0.000
평균	0.877	0.001	0.874	0.001	<u>0.883</u>	0.000	0.881	0.000	0.880	0.001
표준 편차	0.074	0.001	0.073	0.001	<u>0.069</u>	0.001	0.071	0.001	0.078	0.001

표 71. 2000~2012년 기간 동안 연도별 쌀 생산량 추정 결과에 대한 평균 오차범위(모형 추정값 - 통계청 조사값). 월별 최대풍속 자료를 사용한 결과임. 절대차는 kg/10a, 상대차는 % 단위임

식생 지수	NDVI		ARVI		EVI		SAVI		AFRI	
	절대차	상대차	절대차	상대차	절대차	상대차	절대차	상대차	절대차	상대차
전국	12.22	2.34	10.09	1.94	11.70	2.25	11.98	2.30	12.20	2.34
서울	7.74	1.54	7.80	1.55	4.66	0.93	4.69	0.93	6.79	1.35
부산	13.41	2.73	14.96	3.03	17.52	3.55	17.85	3.62	10.17	2.05
대구	16.59	3.43	16.03	3.34	14.42	3.04	16.09	3.35	15.94	3.32
인천	11.55	2.25	12.81	2.49	11.33	2.20	10.63	2.06	12.16	2.37
광주	3.49	0.70	3.83	0.77	5.23	1.05	5.01	1.00	4.45	0.89
대전	11.17	2.18	12.30	2.40	12.65	2.46	12.42	2.42	12.57	2.44
울산	9.26	1.87	9.65	1.95	8.70	1.76	8.70	1.77	9.73	1.97
경기	5.80	1.13	5.94	1.15	3.74	0.73	3.43	0.67	4.75	0.92
강원	13.39	2.65	13.11	2.59	13.42	2.66	13.41	2.66	13.42	2.66
충북	12.35	2.33	12.84	2.41	11.60	2.19	11.62	2.19	12.89	2.43
충남	9.21	1.61	9.31	1.62	9.44	1.65	9.26	1.61	7.86	1.37
전북	18.62	3.41	19.12	3.50	15.82	2.93	16.54	3.05	19.60	3.57
전남	17.54	3.57	17.18	3.50	14.85	2.97	16.69	3.35	17.84	3.59
경북	13.02	2.52	11.89	2.32	12.46	2.35	12.58	2.38	13.32	2.56
경남	10.92	2.18	10.90	2.20	11.02	2.17	11.26	2.22	9.81	1.91
제주	9.46	2.11	10.23	2.28	10.18	2.27	9.77	2.17	10.12	2.26
평균	11.51	2.27	11.65	2.30	<u>11.10</u>	<u>2.19</u>	11.29	2.22	11.39	2.24
표준 편차	3.95	0.78	3.91	0.77	3.86	0.77	4.25	0.85	4.16	0.81

- 월별 최대풍속 자료에 추가로 평균습도 자료를 적용하여 모형 입력 자료로 활용한 결과를 검토하기 위하여 월별 최대풍속 자료에 등속기 평균습도 자료를 추가한 다중회귀분석 결과를 표 72에 나타내었다. 상관계수와 P-value를 지역별로 비교한 결과는 이전에 평균풍속만을 사용한 경우보다 다소 상관관계가 증가한 것으로 나타났다.
- 표 72에서 식생지수별 모형의 차이는 최대풍속만 사용한 경우보다는 다소 크게 나타났으며, P-value는 모두 1%이내의 값을 보임으로 인하여 유의한 상관관계를 가지는 것으로 나타났다.
- 식생지수의 종류별 회귀모형 비교결과는 전국단위 ARVI모형이 가장 높은 상관계수($R = 0.933$), 전체 평균값에서는 EVI를 사용한 경우가 상대적으로 가장 높은 상관계수($R = 0.924 \pm 0.055$)를 나타내었다. 지역단위 모형의 상관계수가 낮은 지역은 전남, 전북, 충북, 대전으로 나타났다.
- 표 73은 월별 최대풍속 자료와 평균습도 자료를 사용한 모형을 이용하여 추정된 시도 단위, 연도별 쌀 생산량 추정결과와 실제 조사결과와의 비교결과이다. 각 모형별로 상대오차 비교결과, NDVI를 사용한 모형은 절대오차 9.7kg/10a(1.9%)이나, EVI를 사용한 모형은 8.7kg/10a(1.7%)로 오차가 줄어든 것을 알 수 있다.

표 72. 평균습도와 최대풍속을 추가한 다중회귀모형별 상관계수(R)와 유의성 검사를 위한 P-value 비교

식생 지수	NDVI		ARVI		EVI		SAVI		AFRI	
	R	P	R	P	R	P	R	P	R	P
전국	0.880	0.000	0.933	0.000	0.890	0.000	0.884	0.000	0.880	0.000
서울	0.952	0.000	0.950	0.000	0.982	0.000	0.979	0.000	0.967	0.000
부산	0.913	0.000	0.894	0.000	0.957	0.000	0.928	0.000	0.951	0.000
대구	0.941	0.000	0.937	0.000	0.931	0.000	0.933	0.000	0.932	0.000
인천	0.941	0.000	0.930	0.000	0.960	0.000	0.927	0.000	0.932	0.000
광주	0.997	0.000	0.991	0.000	0.973	0.000	0.977	0.000	0.981	0.000
대전	0.866	0.000	0.872	0.000	0.864	0.000	0.863	0.000	0.876	0.000
울산	0.962	0.000	0.958	0.000	0.980	0.000	0.981	0.000	0.959	0.000
경기	0.957	0.000	0.957	0.000	0.982	0.000	0.978	0.000	0.969	0.000
강원	0.911	0.000	0.952	0.000	0.882	0.000	0.881	0.000	0.902	0.000
충북	0.827	0.000	0.829	0.000	0.838	0.000	0.839	0.000	0.843	0.000
충남	0.909	0.000	0.908	0.000	0.908	0.000	0.908	0.000	0.932	0.000
전북	0.812	0.001	0.813	0.001	0.825	0.001	0.817	0.001	0.822	0.001
전남	0.817	0.001	0.876	0.000	0.854	0.000	0.842	0.000	0.834	0.000
경북	0.897	0.000	0.908	0.000	0.936	0.000	0.919	0.000	0.912	0.000
경남	0.987	0.000	0.991	0.000	0.986	0.000	0.985	0.000	0.991	0.000
제주	0.965	0.000	0.965	0.000	0.964	0.000	0.965	0.000	0.964	0.000
평균	0.914	0.000	0.921	0.000	<u>0.924</u>	0.000	0.918	0.000	0.920	0.000
표준 편차	0.057	0.000	0.051	0.000	<u>0.055</u>	0.000	0.056	0.000	0.053	0.000

표 73. 2000~2012년 기간 동안 연도별 쌀 생산량 추정 결과에 대한 평균 오차범위(모형 추정값 - 통계청 조사값). 월별 최대풍속과 평균습도 자료를 사용한 결과임. 절대차는 kg/10a, 상대차는 % 단위임

식생 지수	NDVI		ARVI		EVI		SAVI		AFRI	
	절대차	상대차	절대차	상대차	절대차	상대차	절대차	상대차	절대차	상대차
전국	11.43	2.16	8.46	1.61	10.61	2.01	11.01	2.08	11.43	2.16
서울	4.94	0.98	5.19	1.03	3.22	0.64	3.30	0.65	4.08	0.81
부산	12.93	2.63	13.71	2.78	8.44	1.69	10.30	2.03	10.14	2.04
대구	12.03	2.47	12.53	2.58	12.51	2.61	12.69	2.61	12.76	2.63
인천	9.02	1.75	9.12	1.77	6.72	1.31	9.92	1.93	9.96	1.92
광주	1.48	0.30	2.53	0.50	4.38	0.87	4.25	0.85	3.70	0.74
대전	9.87	1.91	9.44	1.83	9.68	1.87	9.73	1.89	9.16	1.78
울산	7.74	1.56	8.19	1.64	5.12	1.02	5.14	1.04	8.10	1.62
경기	6.03	1.18	6.01	1.17	3.31	0.64	3.58	0.70	4.92	0.95
강원	8.52	1.70	6.54	1.31	9.41	1.87	9.60	1.91	9.25	1.85
충북	12.96	2.44	12.66	2.38	12.35	2.31	12.77	2.39	13.01	2.44
충남	9.05	1.58	9.14	1.60	9.29	1.62	9.09	1.59	7.67	1.34
전북	17.79	3.26	17.83	3.27	16.21	2.99	16.95	3.11	17.41	3.18
전남	14.47	2.93	10.77	2.18	12.39	2.50	12.92	2.61	13.33	2.69
경북	12.14	2.36	11.71	2.28	9.54	1.81	10.71	2.05	10.93	2.10
경남	4.88	0.98	4.10	0.84	4.99	1.01	5.35	1.07	4.28	0.84
제주	9.65	2.17	10.31	2.32	10.13	2.27	9.63	2.16	10.10	2.27
평균	9.70	1.90	9.31	1.83	<u>8.72</u>	<u>1.71</u>	9.23	1.81	9.43	1.85
표준 편차	4.01	0.77	3.82	0.74	3.66	0.71	3.78	0.72	3.74	0.72

< 2000~2012년 전국 단위 쌀 생산량 추정결과 비교 >

- 그림 67은 2000~2012년 기간 동안의 각 연도별 쌀 생산량 조사결과와 추정결과 값을 비교한 전국단위 쌀 생산량 자료의 시계열 분포도이다. 통계청 조사량은 평균 534.4kg/10a이었으며, 생산량 예측결과는 평균 541.5kg/10a(2011년 보고서 모형), 547.2kg/10a(2012년 보고서 모형), 538.3kg/10a(ARVI모형), 532.7kg/10a(EVI모형)로 나타났다.
- 통계청에서 실시한 각 연도별 실제 쌀 생산량 조사 결과와의 비교결과는 기존의 보고서 결과(2011년 보고서 모형 적용 결과 = 14.3kg/10a, 2012년 보고서 모형 적용 결과 = 21.1kg/10a)보다 향상된 결과(ARVI모형 = 11.5kg/10a, EVI모형 = 9.0kg/10a)를 나타내었다.
- 표 73의 결과와 기존 보고서에서 제시된 쌀 생산량 추정모형을 적용한 결과 값을 비교한 결과는 그림 67과 같다. 2012년 보고서 결과(절대오차 = 11.23kg/10a, 상대오차 = 2.17%)보다 낮은 오차값을 가지는 모형은 ARVI모형(절대오차 = 8.46kg/10a, 상대오차 = 1.61%)과 EVI모형(절대오차 = 10.61kg/10a, 상대오차 = 2.0%)으로 나타났다.

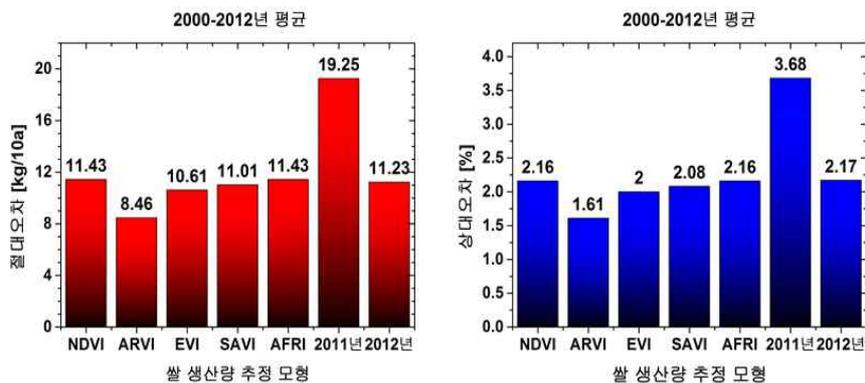


그림 67. 기존 연구 보고서 결과와 전국단위 쌀 생산량 추정 결과

< 2011~2012년 지역 단위 쌀 생산량 추정결과 비교 >

- 지역단위 쌀 생산량 추정결과의 유효성을 확인하기 위하여 2011년과 2012년의 경우에 대하여 기존의 2011년 보고서 및 2012년 보고서에서 제시한 모형을 이용한 생산량 추정결과는 표 74~75, 그리고 그림 68과 같다.
- 표 74에 나열된 도 단위 추정결과는 ARVI모형이 최소 오차 11kg/10a를 나타낸 반면, 2011년 모형이 최대 오차 41kg/10a로서 약 4배정도 오차가 개선되었음을 알 수 있다. 특히 경남과 전북의 경우 2011년 모형의 적용 시 150kg/10a와 71kg/10a의 매우 큰 오차값을 보였다. 2012년 모형의 오차는 평균 12kg/10a로 2011년 모형보다 크게 개선되었으며, 본 연구에서 제시된 ARVI모형의 추정결과 오차보다는 약간 큰 값을 나타내었다.
- 표 75는 2012년도 추정 결과 비교표로서 도 단위 추정결과는 ARVI 모형이 최소 오차 10kg/10a를 나타낸 반면, 2011년 모형이 최대 오차 23kg/10a로서 약 2.3배정도 오차가 크게 나타나고 있으므로 기존의 결과 대비 정확도가 개선되었음을 알 수 있다. 그리고 2012년 모형이 평균 19kg/10a로 2011년 모형보다 개선되었으며, 본 연구에서 제시된 NDVI 모형(13kg/10a)보다는 약간 큰 값을 나타내었다.

표 74. 지역 단위 2011년 쌀 생산량 추정결과 비교[단위:kg/10a]

지역	경기	강원	충북	충남	전북	전남	경북	경남	평균
통계청 2011년 조사량	476	512	530	569	564	513	555	531	531
2011년 모형	523	528	531	598	571	442	550	681	553
절대오차	47	16	1	29	7	71	5	150	41
2012년 모형	493	507	523	558	547	492	545	521	523
절대오차	17	5	7	12	17	21	11	10	12
NDVI모형	486	499	546	573	541	495	532	533	526
절대오차	10	13	16	4	23	18	23	2	14
ARVI모형	486	503	549	574	541	499	551	530	529
절대오차	10	9	19	5	23	14	4	1	11
EVI모형	475	508	532	574	548	501	529	535	525
절대오차	1	4	2	5	16	12	26	4	9
SAVI모형	476	505	533	572	547	500	526	536	525
절대오차	0	7	3	3	17	13	29	5	10
AFRI모형	481	498	541	567	542	501	527	532	523
절대오차	5	14	11	2	22	12	28	1	12

표 75. 지역단위 2012년 쌀 생산량 추정결과 비교[단위:kg/10a]

지역	경기	강원	충북	충남	전북	전남	경북	경남	평균
통계청 2012년 조사량	499	507	530	551	514	437	545	519	513
2011년 모형	500	487	521	563	552	488	509	501	515
절대오차	1	20	9	12	38	51	35	18	23
2012년 모형	500	477	521	532	538	489	542	507	513
절대오차	1	29	9	19	24	52	2	13	19
NDVI모형	493	492	546	556	516	469	556	531	520
절대오차	6	15	16	6	2	32	11	12	13
ARVI모형	492	507	544	557	516	470	555	528	521
절대오차	7	0	14	6	2	32	10	9	10
EVI모형	499	489	553	559	518	468	561	534	523
절대오차	0	18	23	8	4	31	16	15	14
SAVI모형	499	488	552	558	515	465	560	534	521
절대오차	0	19	23	7	1	28	16	15	14
AFRI모형	495	493	544	553	515	466	553	527	518
절대오차	4	14	15	2	1	29	8	8	10

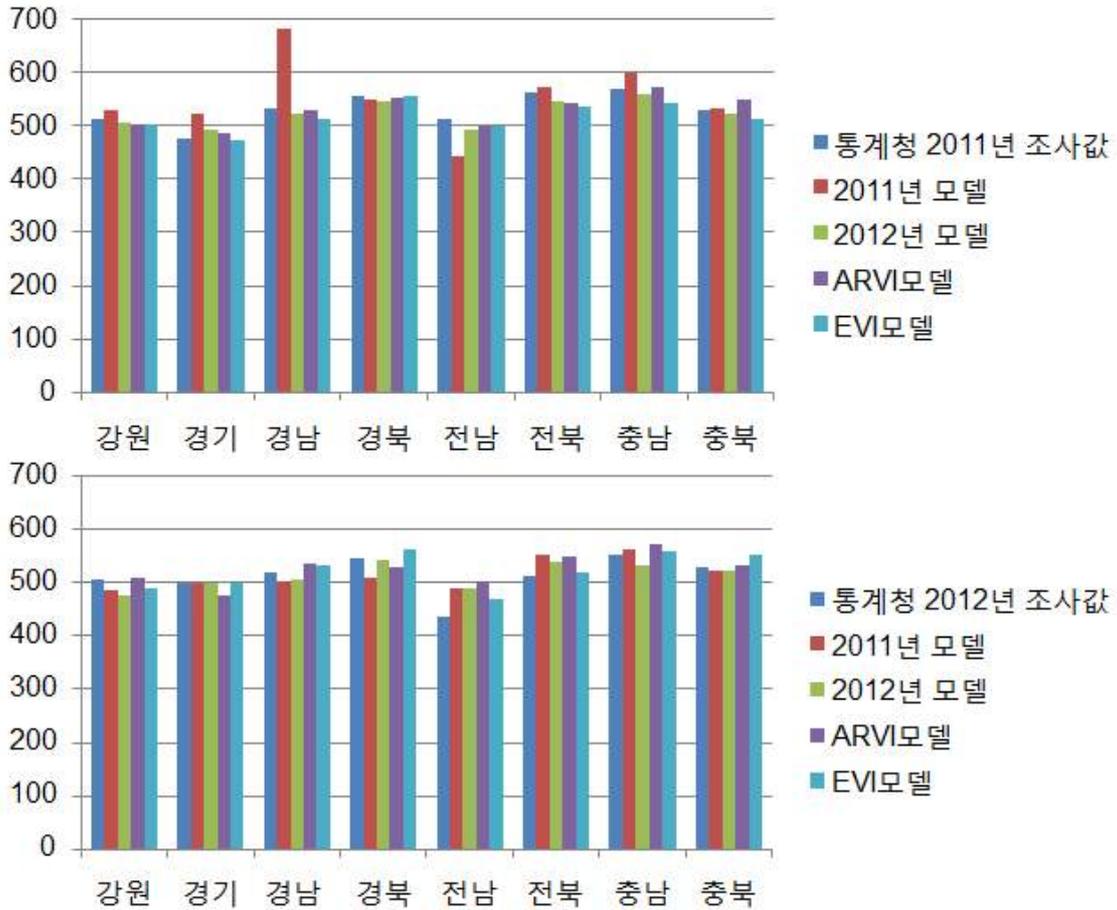


그림 68. 지역단위 쌀 생산량 추정량과 통계청 조사량 비교

3.3.3. 2013년 쌀 생산량 추정 및 결과 검토

- 2013년도 생산량 추정을 위한 모형(식 1)의 입력자료로서 MODIS 식생지수 5종 자료와 기상청 기상 관측 자료 8종의 모형 입력자료를 이용한 생산량 추정결과 제시하였음.

$$\begin{aligned}
 \text{쌀 생산량} = & \text{const} + (a \times \text{식생지수}) + (b \times \text{일교차}) + (c \times \text{평균온도}) \\
 & + (d \times \text{누적강우량}) + (e \times \text{누적일사량}) + (f \times \text{8월 최대풍속}) \\
 & + (g \times \text{9월 최대풍속}) + (h \times \text{평균습도})
 \end{aligned}
 \tag{식 1}$$

- 표 76~80은 동일한 기상자료와 MODIS 식생지수 5종을 사용한 추정 모형의 상수와 다중회귀 상관계수를 나타냄.
- 전국단위 모형의 경우, 다중회귀모형의 상관계수는 NDVI(0.883), EVI(0.895), ARVI(0.914), SAVI(0.889), AFRI(0.884)로 비슷한 수준의 상관계수 값을 나타내었음. 또한, 모든 모형에서 P-value는 0.1%보다 작게 나타나고 있어 유의한 상관관계 수준을 나타내고 있다.
- 지역단위 모형의 경우, 다중회귀모형의 상관계수는 NDVI(0.883), EVI(0.895), ARVI(0.914), SAVI(0.889), AFRI(0.884)로 비슷한 수준의 상관계수 값을 나타내었음.

표 76. 2013년도 쌀 생산량 추정을 위한 회귀모형 상수와 상관계수(NDVI 사용)

지역	const.	a	b	c	d	e	f	g	h	R	P
전국	1045.002	-58.013	2.864	-2.856	0.290	0.355	-0.100	-4.948	-7.773	0.883	0.00003
서울	542.490	113.420	35.710	-20.260	0.065	0.045	4.241	-2.057	1.011	0.883	0.00003
부산	722.733	-448.472	9.179	1.417	-0.008	0.031	4.212	-4.776	-0.512	0.901	0.00001
대구	968.144	286.174	-25.305	-4.046	-0.045	0.999	-5.065	0.438	-7.468	0.943	0.00000
인천	376.900	198.680	27.348	-24.020	0.021	0.107	-1.384	-0.165	4.992	0.896	0.00001
광주	514.040	-285.910	16.430	14.830	0.045	0.005	-2.153	1.850	-4.366	0.982	0.00000
대전	1010.461	-562.284	-3.972	-2.064	0.019	0.515	-6.062	4.550	-1.242	0.835	0.00020
울산	626.712	301.606	24.127	-8.010	0.023	-0.067	1.206	-13.312	-2.115	0.965	0.00000
경기	602.765	301.069	19.521	-24.327	0.046	0.065	0.686	3.091	-0.016	0.949	0.00000
강원	1192.453	616.389	-48.805	-0.388	0.106	0.769	4.831	-0.053	-14.640	0.872	0.00005
충북	517.199	472.983	-11.505	-12.208	0.049	0.897	3.279	-2.607	-2.332	0.751	0.00198
충남	385.512	-242.792	19.204	-1.422	0.203	0.420	3.057	0.055	0.905	0.822	0.00031
전북	523.319	-195.734	21.178	1.815	0.019	-0.034	-2.476	1.441	-0.282	0.779	0.00103
전남	1693.190	-25.583	-63.682	0.682	0.003	0.197	-2.061	-2.098	-9.637	0.821	0.00032
경북	319.668	62.087	8.879	-4.248	0.055	0.427	0.913	-2.119	1.568	0.873	0.00005
경남	742.439	-138.790	-0.466	28.928	-0.152	-0.074	5.789	0.121	-10.586	0.959	0.00000
제주	1967.389	-61.333	23.551	-33.830	0.051	-0.359	-2.924	-2.024	-5.034	0.952	0.00000

제3장 원격탐사 활용 쌀 생산량 시험조사

표 77. 2013년도 쌀 생산량 추정을 위한 회귀모형 상수와 상관계수(EVI 사용)

지역	const.	a	b	c	d	e	f	g	h	R	P
전국	1150.638	-264.034	3.283	-1.768	0.311	0.312	0.202	-5.703	-8.317	0.895	0.00002
서울	500.680	409.222	41.298	-23.148	0.085	0.088	4.303	-2.749	0.834	0.951	0.00000
부산	397.294	1893.026	-22.840	9.881	-0.024	-0.084	10.244	-1.734	-9.237	0.956	0.00000
대구	1240.648	-142.667	-34.911	-4.581	-0.118	1.247	-5.097	2.421	-6.905	0.935	0.00000
인천	412.565	19.561	28.045	-22.347	0.000	0.078	-2.618	0.229	5.591	0.894	0.00002
광주	985.370	-332.417	-19.416	10.444	-0.005	0.094	2.693	-0.401	-6.878	0.970	0.00000
대전	710.321	77.485	-5.470	-4.534	-0.038	0.250	-0.350	-1.219	-1.437	0.789	0.00080
울산	615.064	629.146	17.490	-6.296	-0.011	-0.075	4.267	-10.922	-3.129	0.977	0.00000
경기	480.402	372.757	22.755	-23.142	0.083	0.160	1.642	1.333	0.821	0.981	0.00000
강원	999.239	5.954	-18.158	-0.883	0.089	0.517	5.097	-0.314	-7.856	0.833	0.00022
충북	673.778	208.796	-7.429	-9.431	0.056	0.838	2.087	-2.091	-1.970	0.724	0.00341
충남	231.727	-19.580	15.690	-3.013	0.190	0.550	3.515	-0.118	1.147	0.813	0.00041
전북	446.706	-478.427	27.944	-2.819	0.016	-0.021	-1.161	1.705	2.327	0.813	0.00041
전남	1504.695	-519.487	-52.035	1.651	-0.042	0.262	-0.792	-1.118	-7.038	0.856	0.00009
경북	128.254	432.742	11.836	-2.509	0.047	0.300	1.410	-2.379	1.407	0.886	0.00002
경남	620.813	115.289	-6.149	22.400	-0.179	-0.020	5.563	0.208	-8.660	0.958	0.00000
제주	1978.676	-229.937	22.142	-31.093	0.041	-0.353	-2.177	-1.741	-5.910	0.954	0.00000

표 78. 2013년도 쌀 생산량 추정을 위한 회귀모형 상수와 상관계수(ARVI 사용)

지역	const.	a	b	c	d	e	f	g	h	R	P
전국	1231.748	-466.563	14.746	2.062	0.398	0.245	-0.864	-5.951	-9.109	0.914	0.00000
서울	607.758	23.915	34.852	-21.088	0.067	0.066	4.748	-2.174	0.983	0.877	0.00004
부산	557.524	-62.421	-2.416	7.747	0.011	-0.003	3.829	-4.945	-2.449	0.887	0.00002
대구	1049.085	228.094	-30.628	-4.220	-0.085	1.122	-5.043	1.565	-7.493	0.938	0.00000
인천	409.063	-63.313	28.495	-22.461	-0.014	0.076	-3.619	0.501	6.221	0.895	0.00002
광주	537.428	-252.378	9.236	12.919	0.026	0.024	-0.660	0.792	-4.022	0.978	0.00000
대전	880.621	-220.109	-7.992	-3.557	-0.013	0.369	-1.854	0.461	-1.769	0.798	0.00063
울산	792.089	89.446	20.671	-7.541	0.020	-0.079	0.934	-13.000	-1.918	0.962	0.00000
경기	631.843	291.102	23.891	-26.976	0.038	0.034	0.251	3.865	0.460	0.952	0.00000
강원	1297.263	486.920	-38.507	-2.379	0.125	0.656	3.912	-0.905	-14.098	0.878	0.00004
충북	458.845	525.686	-9.318	-11.576	-0.049	0.741	1.890	-0.781	-1.647	0.742	0.00238
충남	350.369	-275.748	20.237	0.413	0.233	0.389	3.684	-0.414	0.803	0.823	0.00030
전북	503.168	-139.008	18.921	1.212	0.005	-0.029	-2.025	1.088	-0.274	0.776	0.00110
전남	2663.580	-109.535	-98.246	8.479	0.011	0.118	-3.702	-2.336	-18.914	0.877	0.00004
경북	403.621	-143.740	16.159	-2.106	0.162	0.277	2.059	-2.563	1.220	0.888	0.00002
경남	851.590	-216.769	-1.202	27.501	-0.158	-0.092	5.798	0.106	-10.661	0.961	0.00000
제주	1490.269	235.281	40.773	-30.464	0.044	-0.256	-2.842	-2.050	-4.099	0.958	0.00000

표 79. 2013년도 쌀 생산량 추정을 위한 회귀모형 상수와 상관계수(SAVI 사용)

지역	const.	a	b	c	d	e	f	g	h	R	P
전국	1088.589	-187.864	4.541	-2.237	0.312	0.329	-0.091	-5.435	-8.061	0.889	0.00002
서울	466.614	396.802	40.989	-20.936	0.080	0.046	4.678	-2.861	0.893	0.946	0.00000
부산	511.843	1824.639	-26.950	8.648	-0.043	-0.117	10.272	-2.918	-9.007	0.934	0.00000
대구	1101.924	140.389	-27.623	-4.795	-0.073	1.075	-5.854	0.831	-6.889	0.935	0.00000
인천	372.694	224.373	26.266	-20.749	0.022	0.091	-1.229	-0.678	4.788	0.899	0.00001
광주	686.016	-282.315	-1.230	12.393	0.020	0.057	0.540	0.520	-5.493	0.971	0.00000
대전	716.712	-5.616	-5.860	-4.720	-0.021	0.365	-1.144	0.093	-1.345	0.786	0.00086
울산	578.040	894.138	21.628	-9.786	-0.023	-0.066	4.860	-10.837	-3.336	0.980	0.00000
경기	498.786	406.875	18.594	-21.167	0.088	0.180	1.950	0.870	0.255	0.975	0.00000
강원	969.593	99.627	-19.933	-0.447	0.095	0.552	5.552	-0.443	-8.211	0.836	0.00020
충북	678.362	289.389	-9.407	-10.390	0.084	0.931	2.597	-2.619	-2.251	0.735	0.00274
충남	245.452	-43.360	15.975	-2.979	0.187	0.532	3.432	-0.055	1.122	0.813	0.00040
전북	415.759	-483.721	30.267	-0.839	0.039	-0.033	-2.188	2.238	1.795	0.807	0.00048
전남	1625.796	-402.506	-57.623	0.815	-0.012	0.275	-1.491	-1.408	-8.500	0.843	0.00015
경북	178.769	378.749	8.150	-2.588	0.036	0.423	1.127	-2.131	1.345	0.889	0.00002
경남	673.628	60.275	-6.851	22.853	-0.182	-0.027	5.831	0.176	-9.036	0.957	0.00000
제주	2012.033	-318.873	21.603	-31.519	0.043	-0.341	-2.123	-1.794	-5.987	0.956	0.00000

표 80. 2013년도 쌀 생산량 추정을 위한 회귀모형 상수와 상관계수(AFRI 사용)

지역	const.	a	b	c	d	e	f	g	h	R	P
전국	1092.897	-138.156	2.707	-2.255	0.288	0.349	0.010	-5.012	-7.728	0.884	0.00003
서울	315.089	426.587	37.838	-21.482	0.052	0.067	2.624	-2.054	1.757	0.916	0.00000
부산	790.263	-521.876	2.642	7.092	0.024	0.020	3.483	-4.669	-1.580	0.892	0.00002
대구	878.392	437.082	-29.268	-5.338	-0.076	1.090	-5.410	0.897	-7.237	0.936	0.00000
인천	521.819	-226.312	29.905	-23.357	-0.011	0.082	-3.714	0.909	6.453	0.899	0.00001
광주	794.021	-621.664	8.332	13.494	0.019	0.030	0.068	0.437	-3.584	0.970	0.00000
대전	713.298	4.219	-5.837	-4.727	-0.022	0.357	-1.082	0.007	-1.349	0.786	0.00086
울산	1165.768	-333.602	17.454	-7.616	0.034	-0.096	-0.368	-13.300	-2.151	0.962	0.00000
경기	332.968	642.520	23.539	-25.242	0.032	0.003	0.540	2.941	0.346	0.968	0.00000
강원	819.748	487.296	-22.713	-0.149	0.083	0.485	4.922	-0.324	-9.919	0.843	0.00015
충북	-65.416	1138.162	-7.516	-11.773	0.025	0.750	3.648	-2.140	-1.872	0.787	0.00084
충남	-423.319	867.813	13.438	-7.169	0.181	0.715	3.819	-0.054	1.772	0.835	0.00020
전북	-66.544	559.111	20.731	-2.809	-0.021	-0.042	-1.377	1.240	1.095	0.778	0.00105
전남	2413.446	-926.068	-75.984	0.861	0.002	0.288	-2.363	-1.851	-9.786	0.833	0.00021
경북	-93.354	731.633	4.236	-5.245	0.044	0.554	1.112	-1.747	0.518	0.878	0.00004
경남	1221.720	-913.379	7.364	35.825	-0.128	-0.147	5.690	0.032	-11.431	0.960	0.00000
제주	2132.779	-235.659	19.818	-33.212	0.062	-0.385	-2.712	-2.133	-5.414	0.954	0.00000

<2013년 통계청 쌀 생산량 조사결과 요약>

- 통계청에서 실시한 2013년 쌀 생산량에 대한 조사결과를 요약하면 다음과 같다.
- 2013년 통계청 쌀 생산량 조사결과(2013년 11월 15일 발표)를 수집하였다 (표 81 참조). 2013년 통계청 조사결과를 요약하면, 재배 면적은 831,355ha, 단위 면적당 현미 생산량은 547kg/10a, 총 생산량은 4,554,440ton임.
- 벼 재배면적은 전년에 비해 1.9% 감소하였으나, 단위면적(10a)당 쌀 생산량이 전년에 비해 7.4% 증가하여 전체 쌀 생산량은 5.6% 증가.
- 가지치는 시기(분얼기, 6월 상순~7월 상순)부터 낱알이 형성되는 시기(유수형성 및 수잉기, 7월 상순~8월 상순)까지 잦은 비와 일조시간 감소로 1m²당 포기 수 및 포기당 유효이삭 수가 감소하였으나, 벼 낱알이 익는 시기(등숙기, 9월 상순~9월 하순)에 일조시간 증가, 일교차 확대 등 후기 기상여건이 양호하여 단위면적(10a)당 생산량 증가.
- 전년에 출수 및 등숙기 초기에 불라벤 등 태풍의 영향으로 전남, 전북, 충남 지역에서 백수피해가 있었으나, 금년은 일조량 증가 등 기상이 양호하여 피해지역 크게 축소.

표 81. 2013년도 쌀 생산량 조사 결과표(출처: 2013년 통계청 보도자료)

	재배면적			10a당 생산량			생산량		
	'12 (ha)	'13 (ha)	증감률 (%)	'12 (kg)	'13 (kg)	증감률 (%)	'12 (톤)	'13 (톤)	증감률 (%)
전국	846,870	831,355	-1.8	509	547	7.5	4,308,023	4,554,440	5.6
서울	267	249	-6.7	499	493	-1.2	1,332	1,227	-7.9
부산	3,309	3,255	-1.6	527	544	3.2	17,429	17,696	1.5
대구	2,976	3,160	6.2	529	550	4.0	15,754	17,384	10.3
인천	12,007	11,694	-2.6	523	503	-3.8	62,835	58,785	-6.4
광주	5,576	5,500	-1.4	518	530	2.3	28,860	29,130	0.9
대전	1,526	1,398	-8.4	526	542	3.0	8,022	7,574	-5.6
울산	5,838	5,702	-2.3	505	537	6.3	29,508	30,604	3.7
경기	90,753	88,916	-2.0	499	493	-1.2	452,852	438,323	-3.2
강원	34,772	33,947	-2.4	507	504	-0.6	176,184	171,145	-2.9
충북	43,245	42,892	-0.8	530	553	4.3	228,992	237,223	3.6
충남	153,056	151,767	-0.8	551	584	6.0	843,301	886,315	5.1
전북	130,260	126,771	-2.7	514	578	12.5	669,533	732,463	9.4
전남	171,872	169,918	-1.1	437	520	19.0	751,446	884,127	17.7
경북	111,459	108,479	-2.7	545	568	4.2	606,939	615,895	1.5
경남	79,940	77,695	-2.8	519	544	4.8	414,986	422,503	1.8
제주	14	12	-14.3	362	403	11.3	51	48	-5.9

<2013년 통계청 쌀 생산량 추정치 결과 요약>

- 통계청에서 실시한 2013년 쌀 생산량에 대한 조사결과를 요약하면 표 82와 같다.
- 전국단위 생산량 추정치는 통계청 조사치와 비교 결과 오차는 각각 NDVI 모델(-6.8), ARVI 모델(41.9), EVI 모델(0.5), SAVI 모델(-3.5), AFRI 모델(-6.4)로서, EVI 모델의 오차가 가장 적었다.
- 지역단위 생산량 추정치와 통계청 조사량과 비교 결과, 오차가 다른 수치에 비해 과다하게 큰 경우(오차 > 60kg/10a)는 경북, 경남, 충북, 제주, 인천 지역으로 나타났다. 인천이나 제주는 타 지역에 비하여 논 면적이 작고 쌀 생산량도 상대적으로 적기 때문에 통계 모형으로 쌀 생산량을 추정하는데 한계가 있으므로 큰 오차가 발생하는 것으로 보인다. 그리고 경북, 경남, 충북의 오차는 다중 회귀 모델 입력변수들과 생산량과의 상관관계가 다른 지역에 비하여 상대적으로 낮은 지역이다.
- 쌀 생산량 예측을 위한 5종 모형의 추정결과가 모두 통계청 확정치보다 낮게 나온 지역(강원, 경기, 경남, 경북, 충남, 충북, 서울, 대전, 울산)은 전북, 인천, 광주, 제주를 제외한 전 지역으로서, 거의 모든 지역에서 확정치보다 낮은 값이 예측되었다. 이러한 결과는 다중회귀모형에 반영된 입력변수의 환경조건 중에 생산량 저하를 유발하는 원인이 포함되어 있으나, 2013년은 재해가 적은 풍년이었으므로 거의 모든 지역에서 예측치보다 많은 생산량이 기록된 결과를 반영하는 것이다.

표 82. 2013년 쌀 생산량의 식생지수 5종 모델별 추정치 및 2013년 통계청 조사치 비교 결과와 모델별 절대오차

구분	통계청 확정치	NDVI모형		ARVI모형		EVI모형		SAVI모형		AFRI모형	
		추정량	오차	추정량	오차	추정량	오차	추정량	오차	추정량	오차
전국	547	540.2	-6.8	588.9	41.9	547.5	0.5	543.5	-3.5	540.6	-6.4
서울	493	441.5	-51.5	439.1	-53.9	455.8	-37.2	454.7	-38.3	447.6	-45.4
부산	544	587.6	43.6	584.7	40.7	514.7	-29.3	551.2	7.2	653.9	109.9
대구	550	537.8	-12.2	532.3	-17.7	551.9	1.9	533.8	-16.2	544.5	-5.5
인천	503	610.5	107.5	561.1	58.1	631.9	128.9	592.3	89.3	554.3	51.3
광주	530	549.8	19.8	548.8	18.8	542.6	12.6	544.8	14.8	548.9	18.9
대전	542	501.3	-40.7	492.6	-49.4	492.4	-49.6	491.0	-51.0	482.9	-59.1
울산	537	531.1	-5.9	528.3	-8.7	514.7	-22.3	523.8	-13.2	529.7	-7.3
경기	493	471.8	-21.2	475.7	-17.3	485.5	-7.5	480.8	-12.2	482.0	-11.0
강원	504	456.5	-47.5	436.1	-67.9	450.7	-53.3	452.3	-51.7	445.6	-58.4
충북	553	493.9	-59.1	491.2	-61.8	483.2	-69.8	486.3	-66.7	499.7	-53.3
충남	584	531.0	-53.0	531.7	-52.3	533.2	-50.8	532.5	-51.5	532.2	-51.8
전북	578	600.0	22.0	601.6	23.6	594.0	16.0	591.9	13.9	598.2	20.2
전남	520	507.6	-12.4	533.5	13.5	506.7	-13.3	501.4	-18.6	498.0	-22.0
경북	568	496.9	-71.1	503.0	-65.0	467.0	-101.0	491.8	-76.2	484.8	-83.2
경남	544	478.3	-65.7	461.3	-82.7	482.2	-61.8	485.4	-58.6	463.1	-80.9
제주	403	529.4	126.4	508.0	105	516.6	113.6	513.3	110.3	518.8	115.8

(단위 : kg/10a)

<전국단위 2013년 쌀 생산량 추정결과>

- 앞서 통계청 조사결과에서 언급된 바와 같이, 2013년은 벼 생육기간 중 자연재해가 적고 기상조건이 양호하여 단위 면적당 생산량이 크게 증가하였으며, 쌀 생산량 추정모형의 불확실성이 크게 감소하였다.
- 표 83~87은 전국단위 연도별 쌀 생산량 조사량과 추정량의 비교결과이며, 2013년 쌀 생산량 추정결과 중 표 84의 EVI모형 결과는 절대오차 0.5kg/10a, 상대오차 0.09%를 나타내어 매우 정확한 추정 결과를 보였음.

표 83. 연도별 쌀 생산량 조사량과 추정량 비교표(NDVI 사용)

연도	조사량	추정량	절대차 (kg/10a)	상대차(%)
2000	534	518.49	15.51	2.90
2001	556	573.98	17.98	3.23
2002	507	514.41	7.41	1.46
2003	475	481.72	6.72	1.41
2004	543	527.97	15.03	2.77
2005	527	518.83	8.17	1.55
2006	530	538.99	8.99	1.70
2007	501	517.55	16.55	3.30
2008	560	546.47	13.53	2.42
2009	574	564.18	9.82	1.71
2010	520	515.07	4.93	0.95
2011	533	525.72	7.28	1.37
2012	509	525.64	16.64	3.27
2013	547	540.20	6.80	1.24

표 84. 연도별 쌀 생산량 조사량과 추정량 비교표(EVI 사용)

연도	조사량	추정량	절대차 (kg/10a)	상대차(%)
2000	534	518.62	15.38	2.88
2001	556	574.66	18.66	3.36
2002	507	511.46	4.46	0.88
2003	475	484.82	9.82	2.07
2004	543	531.95	11.05	2.04
2005	527	513.37	13.63	2.59
2006	530	534.53	4.53	0.85
2007	501	515.89	14.89	2.97
2008	560	547.64	12.36	2.21
2009	574	564.67	9.33	1.63
2010	520	512.78	7.22	1.39
2011	533	534.07	1.07	0.20
2012	509	524.54	15.54	3.05
2013	547	547.49	0.49	0.09

표 85. 연도별 쌀 생산량 비교표(ARVI 사용)

연도	조사량	추정량	절대차 (kg/10a)	상대차(%)
2000	534	522.84	11.16	2.09
2001	556	568.59	12.59	2.26
2002	507	501.35	5.65	1.11
2003	475	482.08	7.08	1.49
2004	543	539.12	3.88	0.72
2005	527	521.81	5.19	0.99
2006	530	528.53	1.47	0.28
2007	501	511.50	10.50	2.09
2008	560	552.44	7.56	1.35
2009	574	565.39	8.61	1.50
2010	520	508.54	11.46	2.20
2011	533	541.91	8.91	1.67
2012	509	524.90	15.90	3.12
2013	547	588.91	41.91	7.66

표 86. 연도별 쌀 생산량 비교표(SAVI 사용)

연도	조사량	추정량	절대차 (kg/10a)	상대차(%)
2000	534	518.32	15.68	2.94
2001	556	574.79	18.79	3.38
2002	507	512.60	5.60	1.10
2003	475	483.91	8.91	1.88
2004	543	530.37	12.63	2.33
2005	527	514.69	12.31	2.34
2006	530	536.42	6.42	1.21
2007	501	516.78	15.78	3.15
2008	560	547.13	12.87	2.30
2009	574	564.13	9.87	1.72
2010	520	513.57	6.43	1.24
2011	533	531.22	1.78	0.33
2012	509	525.07	16.07	3.16
2013	547	543.54	3.46	0.63

표 87. 연도별 쌀 생산량 비교표(AFRI 사용)

연도	조사량	추정량	절대차 (kg/10a)	상대차(%)
2000	534	518.44	15.56	2.91
2001	556	574.06	18.06	3.25
2002	507	514.30	7.30	1.44
2003	475	481.83	6.83	1.44
2004	543	528.09	14.91	2.75
2005	527	518.59	8.41	1.60
2006	530	538.87	8.87	1.67
2007	501	517.56	16.56	3.30
2008	560	546.49	13.51	2.41
2009	574	564.13	9.87	1.72
2010	520	514.96	5.04	0.97
2011	533	526.03	6.97	1.31
2012	509	525.65	16.65	3.27
2013	547	540.61	6.39	1.17

- 이러한 결과를 바탕으로 최근 3년(2011~2013년)간 쌀 생산량 추정결과 비교는 표 88 및 그림 69와 같다. 2011년과 2012년에 대하여 2011년 보고서 모형을 적용한 결과가 상대적으로 큰 오차값을 보이고 있으나 2013년에 대해서는 2011년 모형이 비교적 작은 오차값(약 1.05)을 나타내었다. 2012년 모형은 2011년과 2012년에 각각 0.5%와 3.9%로 2011년 모형보다 작은 오차를 나타내지만 2013년 추정결과는 약 23% 과대평가되어 최근 3년간 평균오차를 비교하면 2011년 모형보다 오히려 큰 오차를 나타냈다.
- AVRI모형은 2011년과 2012년 각각 1.7%와 3.1%의 오차값을 나타내어 2011년 모형과 2012년 모형보다는 개선된 결과를 보였지만 2013년 추정 결과에 있어 7.7%의 오차를 보임으로 인하여 최근 3년간 평균오차가 4.1%로 나타났다.
- EVI모형은 최근 3년간 추정오차가 각각 0.2%, 3.1%, 0.1%로서 다른 모형에 비하여 가장 작은 오차범위를 나타내었다. 특히 2013년 추정오차 값(0.1%)은 이 모형이 가장 정확한 쌀 생산량 추정 결과를 나타내고 있음을 알 수 있다.

표 88. 최근 3년(2011~2013년)간 쌀 생산량 추정결과 비교(단위: kg/10a, ()는 상대오차값)

연도	통계청 조사량	2011년 모형	2012년 모형	NDVI 모형	ARVI 모형	EVI 모형	SAVI 모형	AFRI 모형
2011년	533	514.1 (3.6%)	535.4 (0.5%)	525.7 (1.4%)	541.9 (1.7%)	534.1 (0.2%)	531.2 (0.3%)	526.0 (1.3%)
2012년	509	540.7 (31.7%)	528.9 (3.9%)	525.6 (3.3%)	524.9 (3.1%)	524.5 (3.1%)	525.1 (3.2%)	525.6 (3.3%)
2013년	547	541.7 (1.0%)	672.8 (23.0%)	540.2 (1.2%)	588.9 (7.7%)	547.5 (0.1%)	543.5 (0.6%)	540.6 (1.2%)
평균	529.7	532.1 (3.6%)	579.0 (9.1%)	530.5 (2.0%)	551.9 (4.2%)	535.4 (1.1%)	533.3 (1.4%)	530.8 (1.9%)

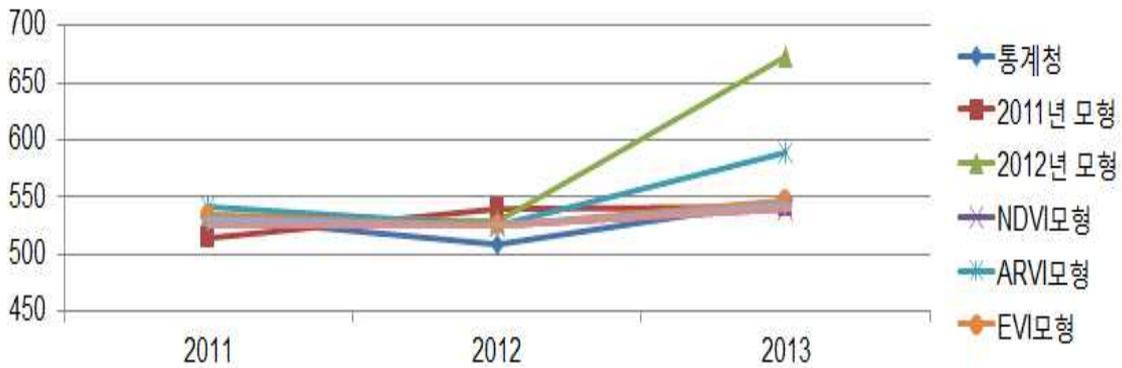


그림 69. 최근 3년(2011~2013년)간 쌀 생산량 예측결과 비교

<지역단위 2013년 쌀 생산량 추정결과>

- 표 89~91은 2013년 통계청 쌀 생산량 조사량과 기존연구에서 개발한 모형, 그리고 본 연구에서 제시된 모형 적용결과를 비교한 결과이다.
- 본 연구결과와 통계청 조사량과 비교 결과, 10%이상의 오차가 발생하는 지역은 강원, 경남, 경북, 충북, 서울, 인천, 제주 지역으로 추정량 오차가 10kg/10a이상으로 다소 크게 나타났다. 시 단위 지역과 제주도는 타 지역에 비하여 면적이 작고 쌀 생산량도 상대적으로 적기 때문에 통계

모형으로 쌀 생산량을 추정하는데 한계가 있으므로 큰 오차가 발생하는 것으로 보인다.

- 2011년 모형을 적용할 경우 지역단위 추정량 오차는 강원, 경남, 충남에서 10%이상 오차를 나타냈으며 이러한 지역들은 본 연구결과에서는 10%보다 낮은 오차가 나타남으로 인하여 기존의 모형보다 개선된 결과로 판단된다. 그러나 2012년 모형을 적용할 경우 지역단위 추정결과는 충북을 제외하고 5%보다 낮은 오차를 나타냄으로 인하여 본 연구보다는 낮은 오차값을 보였다.

표 89. 지역단위 쌀 생산량(단위:kg/10a) 비교결과

지역	통계청 조사량	2011년 모형	2012년 모형	NDVI 모형	ARVI 모형	EVI 모형	SAVI 모형	AFRI 모형
서울	493			441.500	439.096	455.809	454.661	447.552
부산	544			587.576	584.708	514.716	551.202	653.905
대구	550			537.795	532.317	551.882	533.790	544.537
인천	503			610.455	561.085	631.890	592.328	554.325
광주	530			549.762	548.779	542.578	544.778	548.934
대전	542			501.300	492.584	492.434	490.973	482.869
울산	537			531.141	528.278	514.655	523.793	529.681
경기	493	530.975	519.073	471.813	475.669	485.499	480.815	481.977
강원	504	589.770	516.642	456.509	436.061	450.659	452.338	445.593
충북	553	515.875	633.298	493.904	491.192	483.168	486.282	499.737
충남	584	770.404	563.624	531.009	531.723	533.158	532.530	532.212
전북	578	609.324	570.100	600.012	601.586	593.960	591.895	598.215
전남	520	550.240	530.706	507.573	533.490	506.678	501.396	497.985
경북	568	681.573	595.255	496.873	503.000	466.982	491.768	484.811
경남	544	578.406	559.881	478.262	461.274	482.246	485.396	463.128
제주	403			529.370	508.031	516.624	513.296	518.800

표 90. 지역단위 쌀 생산량 절대오차(단위:kg/10a) 비교 결과

지역	2011년	2012년	NDVI	ARVI	EVI	SAVI	AFRI
서울			51.500	53.904	37.191	38.339	45.448
부산			43.576	40.708	29.284	7.202	109.905
대구			12.205	17.683	1.882	16.210	5.463
인천			107.455	58.085	128.890	89.328	51.325
광주			19.762	18.779	12.578	14.778	18.934
대전			40.700	49.416	49.566	51.027	59.131
울산			5.859	8.722	22.345	13.207	7.319
경기	37.975	26.073	21.187	17.331	7.501	12.185	11.023
강원	85.770	12.642	47.491	67.939	53.341	51.662	58.407
충북	37.125	80.298	59.096	61.808	69.832	66.718	53.263
충남	186.404	20.376	52.991	52.277	50.842	51.470	51.788
전북	31.324	7.900	22.012	23.586	15.960	13.895	20.215
전남	30.240	10.706	12.427	13.490	13.322	18.604	22.015
경북	113.573	27.255	71.127	65.000	101.018	76.232	83.189
경남	34.406	15.881	65.738	82.726	61.754	58.604	80.872
제주			126.370	105.031	113.624	110.296	115.800

표 91. 지역단위 쌀 생산량 상대오차(단위:%) 비교 결과

지역	2011년	2012년	NDVI	ARVI	EVI	SAVI	AFRI
서울			10.446	10.934	7.544	7.777	9.219
부산			8.010	7.483	5.383	1.324	20.203
대구			2.219	3.215	0.342	2.947	0.993
인천			21.363	11.548	25.624	17.759	10.204
광주			3.729	3.543	2.373	2.788	3.572
대전			7.509	9.117	9.145	9.415	10.910
울산			1.091	1.624	4.161	2.459	1.363
경기	7.703	5.289	4.298	3.515	1.521	2.472	2.236
강원	17.018	2.508	9.423	13.480	10.583	10.250	11.589
충북	6.713	14.520	10.687	11.177	12.628	12.065	9.632
충남	31.918	3.489	9.074	8.952	8.706	8.813	8.868
전북	5.419	1.367	3.808	4.081	2.761	2.404	3.497
전남	5.815	2.059	2.390	2.594	2.562	3.578	4.234
경북	19.995	4.798	12.522	11.444	17.785	13.421	14.646
경남	6.325	2.919	12.084	15.207	11.352	10.773	14.866
제주			31.357	26.062	28.195	27.369	28.735

3.4. 소결론

1) 2012년 쌀 생산량 추정모형 개선

- 본 연구에서는 쌀 생산량 추정모형 입력자료 수정 및 보완을 통해 쌀 생산량 추정모형을 다음과 같이 개선하였다.
- MODIS 식생지수 자료 개선
 - 장기간 MODIS NDVI 자료의 시공간적 분석을 통하여 오류 확인.
 - MODIS 자료 출처에 따른 NDVI 자료 비교.
- 논 벼 재배지 격자 자료 개선
 - 토지피복도 자료의 논벼 재배지 격자가 과소 추출되어 있는 오류 확인.
 - Majority filter를 사용한 단위격자 1개 내 포함되는 논 화소가 다수인 지역을 모두 논벼 재배지 격자로 재산출.
- 기상자료 개선
 - 각 행정구역별 등숙기 동안의 기상자료 검산을 통해 계산 오차를 확인함.
- 자연재해 영향 반영
 - 기상자료 중 풍속자료와 습도자료를 추가하여 모형 입력자료로 활용하였음.

2) 위성영상을 활용한 식생지수 산출

- MODIS 식생지수 자료 개선
 - 2000~2013년까지의 MODIS 식생지수 5종(NDVI, EVI, ARVI, SAVI, AFRI)에 대하여 계산하였다.
 - 각 식생지수를 비교한 결과, 대기효과를 비교적 적게 받는 다른

식생지수를 확인할 수 있었으며, 이러한 식생지수가 추정모형의 입력자료로 활용하여야한다.

3) 2013년 국내 각 시도 및 전국단위 쌀 생산량 추정

- 2013년도 생산량 추정을 위한 모형의 입력자료로서 MODIS 식생지수 자료와 기상자료의 모형 입력자료를 이용한 생산량 추정결과 제시하였음.
- 전국단위 모형의 경우, 다중회귀모형의 상관계수는 NDVI(0.883), EVI(0.895), ARVI(0.914), SAVI(0.889), AFRI(0.884)로 비슷한 수준의 상관계수 값을 나타내었음.
- 연도별 쌀 생산량 조사량과 추정량의 비교결과이며, 2013년 쌀 생산량 추정결과 중 EVI를 사용한 모형 결과는 547.5kg/10a의 값을 보였으며, 통계청 조사값과 비교결과 절대오차 0.5kg/10a, 상대오차 0.09%를 나타내어 매우 정확한 추정 결과를 보였음.

제4장 결론

4.1. 연구내용 및 결과 요약

- 북한 벼 재배면적 1개도 시험조사 연구를 위한 지역으로, 북한 최대의 곡창지대인 황해남도를 선정하여 기 수행연구(통계청, 2012)와 비교하였으며, 연구 시기는 벼 생육기(6~9월)로 선정하였다.
- 정확한 벼 재배면적을 추정하기 위해 디지털링 기법을 활용하였으며, Reference Data와의 비교 결과 높은 판독 정확도를 보였다.
- 접근불능지역에 대한 위성영상 판독 정확도 향상을 위해 다양한 검증 기법을 제안하였으며, 원격탐사 기술을 활용한 접근불능지역 연구의 실용화를 위한 기반을 마련하였다.
- 기 수행연구 결과(통계청, 2012)를 대상으로 수행한 변화탐지를 통해 2009~2013년간 황해남도 지역의 토지이용변화를 확인할 수 있었으며, 이를 통해 북한의 식량자원 현황을 파악하고 농업통계 생산을 통한 다양한 정책 지원이 가능할 수 있을 것으로 기대된다.
- 본 연구에서는 기존 연구(2011년과 2012년)에서 모형개발을 위해 사용한 MODIS NDVI, 논벼 재배지 격자, 기상자료의 오류를 확인하고 수정하였다.
- 쌀 생산량 추정모형의 핵심 입력자료인 MODIS 식생지수는 기존의 동경대 MVC 자료가 아닌 NASA MODIS 식생지수 자료를 사용하여 대기보정이 적용된 식생지수 값과 새롭게 추가된 4종(EVI, ARVI, SAVI, AFRI)을 재계산하여 식생지수의 정확도를 높였다.

- 쌀 생산량 추정모형의 입력자료로 사용된 기상자료 4종(일교차, 평균온도, 누적강우량, 누적사량) 이외에 풍속과 습도자료를 추가하여 자연재해에 대한 영향을 반영하여 모형을 개선하였다.

- 2013년은 벼 생육기간 중 자연재해가 적고 기상조건이 양호하여 단위 면적당 생산량이 크게 증가하였음. 따라서 생산량 추정모형의 불확실성이 감소하였다.

- 연도별 쌀 생산량 조사량과 추정량의 비교결과이며, 2013년 쌀 생산량 추정결과 중 EVI를 사용한 모형 결과는 547.5kg/10a의 값을 보였으며, 통계청 조사값과 비교결과 절대오차 0.5kg/10a, 상대오차 0.09%를 나타내어 매우 정확한 추정 결과를 보였다.

4.2. 제언

4.2.1. 북한 벼 재배면적 1개도 시험조사

- 디지털지정 기법은 원격탐사를 통한 관심지역의 면적 산출 시 가장 우수한 기법으로 검증되었으며(농촌진흥청, 2012, 통계청, 2012 외 다수), 특히 본 연구지역과 같은 접근불능지역에 대한 정보 추출이 요구될 경우 높은 검증정확도를 보였다.
- 따라서 북한 전역에 대한 농업통계 생산 시 이를 확대하여 수행함으로써 북한의 식량자원 현황을 정확히 파악하고 다양한 정책 지원 및 농업통계 생산이 가능할 것으로 판단된다.
- 다만, 디지털지정 기법은 판독을 위한 소요시간이 길고, 많은 인력의 투입이 요구되는 작업이므로 비용적 측면에서 예산 확충에 대한 고려가 수반되어야 할 것으로 예상된다.

4.2.2. 원격탐사 활용 쌀 생산량 시험조사

- 연도별 논벼 재배지 면적이 감소하고 있는 추세이지만, 본 연구에서 사용된 토지피복도는 어느 한 시점에 대한 정보만을 제공하고 있으므로, 점차 감소하고 있는 재배지 면적의 영향 분석 및 이를 반영할 수 있는 방안도 고려할 필요가 있다.
- 자연재해(태풍 등)의 영향을 반영하기 위한 추가 입력자료의 활용으로 오류의 범위가 다소 줄어들었으나, 불확실도는 여전히 남아 있는 것으로 확인되었으므로 이에 대한 추가 연구가 필요하다. 예를 들면, 식생지수의 시간적 변화 조사: 1년당 1개의 유효자료만 사용되는 등속기자료 추출법보다는 생육기 전반에 걸친 식생지수의 변화를 통하여

벼의 활력도를 반영할 수 있으며, 재해로 인한 피해 범위도 식생지수 자체만으로 결정할 수 있음. 그러나 대기의 영향으로 인한 식생지수의 유효성에 한계가 있음.

- 순수한 원격탐사 기술을 활용한 생산량 통계를 본격적으로 실용화하기 위해서는 기상변수를 제외한 원격탐사 자료만을 이용한 쌀 생산량 추정 방법에 대한 연구가 요구된다.

참 고 문 헌

- 강준목, 이성순, 박준규, 백승희(2010), 고해상도 위성영상을 이용한 SVM의 분류정확도 분석, 제35회 대한토목학회 정기 학술대회
- 국립농산물품질관리원(2003), 2003년도 쌀 생산량 조사 결과 보도자료
- 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 위성영상의 분광식생지수 시계열 특성, 항공우주기술, 제10권, 1호, pp149~155
- 농림부(2006), 농업생산기반 정비사업계획 설계기준-개간편
- 농업사회발전연구원(2001), 북한농업기술조사연구
- 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), 장지궤도 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
- 이안수, 김재록, 조윤상, 김용복, 함진관, 정정수, 사종구, 신진철 (2011), 춘천지역의 기상요소가 벼 생육과 수량에 미치는 영향 해석, 한국작물학회지, 56(2), 99-106
- 이정빈, 허준, 어양담(2007), 객체 기반 영상 분류에서 최적 가중치 선정과 정확도 분석 연구, 대한원격탐사학회지, 제23권, 제6호
- 이창석, 한경수, 염종민, 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), MODIS자료를 이용한 북한 개마고원 및 백무고원 식생의 생물계절 모니터링, 대한원격탐사학회지
- 통계청(2011a), 원격탐사기술 활용 경지 및 벼 재배면적 시범조사 보고서
- 통계청(2011b), 원격탐사기술을 활용한 주요 농산물 생산량 추정기법 개발 보고서
- 통계청(2012), 원격탐사 활용 쌀 생산량 시범조사 보고서
- 한국농촌경제연구원(2010), 인공위성을 이용한 벼 재배면적 조사 시범 연구 보고서
- 한국항공우주연구원(2012), 시계열 위성영상을 이용한 북한 지역의 논벼 재배지역 추출 기법 연구
- 한승재, 최민하(2011), 인공위성 영상을 이용한 토지피복의 감독 분류 및 무감독 비교, 한국수자원학회
- 한희경, 유주형, 안유환(2010), 정지궤도 해색탐재체(GOCI) 해양자료 처리시스템(GDPS)의 개발, 대한원격탐사학회, 제16권, 2호, pp239~249
- 홍석영, 민병걸, 이지민, 김이현, 이경도(2012), RapidEye 영상을 이용한 북한의 논 면적 산정, 한국토양비료학회, 제45권, 제6호, pp1194-1202
- 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
 - 환경부(2002), 토지피복도 제작지침안
 - 환경부(2003), 인공위성 영상 자료를 이용한 토지피복도 구축(4차) 보고서
 - 황보주원, 유기윤, 김용일(2004), 위성 영상 분류 기법 선정을 위한 의사 결정 지원 시스템, GIS/RS 공동 춘계학술대회 논문집
 - 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
 - FAO 한국협회(2012), 북한의 작황 및 식량안보평가 특별보고서
 - FOOD AND AGRICULTURE ORGANAZATION 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
 - FOOD AND AGRICULTURE ORGANAZATION OF THE UNITED NATIONS, ROM, WORLD FOOD PROGRAMME, ROME(2011), FAO/WFP CROP AND FOOD SECURITY ASSESSMENT MISSION TO THE DEMOCRATIC PEOPLE'S REPUBLIC OF KOREA
 - FOOD AND AGRICULTURE ORGANAZATION OF THE UNITED NATIONS, ROM, WORLD FOOD PROGRAMME, ROME(2012), FAO/WFP CROP AND FOOD SECURITY ASSESSMENT MISSION TO THE DEMOCRATIC PEOPLE'S REPUBLIC OF KOREA

- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, ROM, WORLD FOOD PROGRAMME, ROME(2013), 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
- 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
- Huete, A., Didan, K., Miura, T., Rodriguez, E.P., Gao, X., and Ferreira, L.G. (2002) Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. Remote Sensing of Environment, 83, 195 - 213.
- Huete, A., Didan, K., van Leeuwen, W., Miura, T., and Glenn, E. (2011) Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer Vegetation Indices. In: Ramachandran, B., Justice, C., and Abrams, M. (Eds.) Land Remote Sensing and Global Environmental Change, NASA's Earth Observing System and the Science of ASTER and MODIS. Springer, NY.
- Huete, A.R. (1988), A soil adjusted vegetation index (SAVI). Remote Sensing of Environment, 25, 295 - 309.
- Huete, A.R. and Liu, H.Q. (1994) An error and sensitivity analysis of the atmospheric- and soil-correcting variants of the NDVI for the MODIS-EOS. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 32, 897 - 905.
- Jackson, R.D., and A.R. Huete(1991), Interpreting vegetation indices,

- preventive Veterinary Medicine, 11, 185~200
- Karnieli, A, Kaufman, YJ, Remer, L, Wald, A (2001). AFRI - aerosol free vegetation index. Remote Sensing of Environment, 77(1), 10-21.
 - Kaufman, Y.J. and D. Tanre, (1992), Atmospherically resistant vegetation index (ARVI) for EOS-MODIS. IEEE Transactions for Geoscience and Remote Sensing, 30, 261 - 270.
 - 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
 - Liu, H.Q. and Huete, A.R. (1995), A feedback based modification of the NDVI to minimize canopy background and atmospheric noise. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 33, 457 - 465.
 - Nuarsa, I.W. and Nishio, F. (2007). Relationships between rice growth parameters and remote sensing data, Journal of Remote Sensing and Earth Sciences, 4, 102-112.
 - Rouse, J.W., Haas, R.H., Schell, J.A. and Deering, D.W. (1974), Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In Proceedings Third ERTS Symposium, NASA SP-351, 10 - 14 December 1973, Washington, DC (Washington: NASA Scientific and

- Technical Information Office), 309 - 317.
- Ray D.Jackson, Alfredo R. Huete(1991), Interpreting vegetation indices, preventive Veterinary Medicine, 11, pp185~200
 - 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
 - Vaesen, K., S. Gilliams, K. Nackaerts, and P. Coppin(2001), Ground-measured spectral signatures as indicators of ground cover and leaf area index: the case of paddy rice, Field Crops Research 01/2001; DOI:10.1016/S0378-4290(00)00129-5.
 - 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 Frolking, Changshen Li, William Slas, Berrien Moore III, Remote Sensing of Environment, 95, pp480~492
 - Y. YAMAGATA, C. WIEGAND, T. AKIYAMA, M. SHIBAYAMA(1988), REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT 26
 - 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
 - 국가통계포털 ; www.kosis.kr
 - 기상청 홈페이지 ; www.kma.go.kr
 - 동경대 WebMODIS ; <http://webmodis.iis.u-tokyo.ac.jp/>

- 통계청 홈페이지 ; www.kostat.go.kr
- USGS LP Center ; lpdaac.usgs.gov/products/modis_products_table/mod13q1

부 록

- 1. 2013년도 하계 한국농업경제학회 발표 논문**

- 2. 2013년 추계 대한원격탐사학회 발표 논문**

- 3. 2013년 추계 한국지리정보학회 포스터 발표 자료**

- 4. 2000~2013년 연도별 쌀 생산량 추정량 비교 자료**

- 5. 통계청 쌀 생산량 조사 개요 참고 자료**

1. 2013년도 하계 한국농업경제학회 발표 논문

2013년도 하계학술대회

위기의 농정, 새로운 패러다임은 무엇인가?



- ▶ 일시 : 2013년 7월 4일(목) ~ 5일(금)
- ▶ 장소 : 광주 김대중컨벤션센터 전시동 2F
- ▶ 주최 : (사)한국농업경제학회
- ▶ 후원 : 농림축산식품부, 농촌진흥청, 농협경제연구소
농협중앙회, 서울특별시농수산물공사
전라남도농업기술원, 한국농수산식품유통공사
한국농식품생명과학협회, 한국농어촌공사
한국농촌경제연구원, 한국마사회, 한국연구재단

 (사)한국농업경제학회

하 계 학 술 대 회

[일시: 7월 5일(금) 09:00 ~ 12:00, 장소: 김대중컨벤션센터]

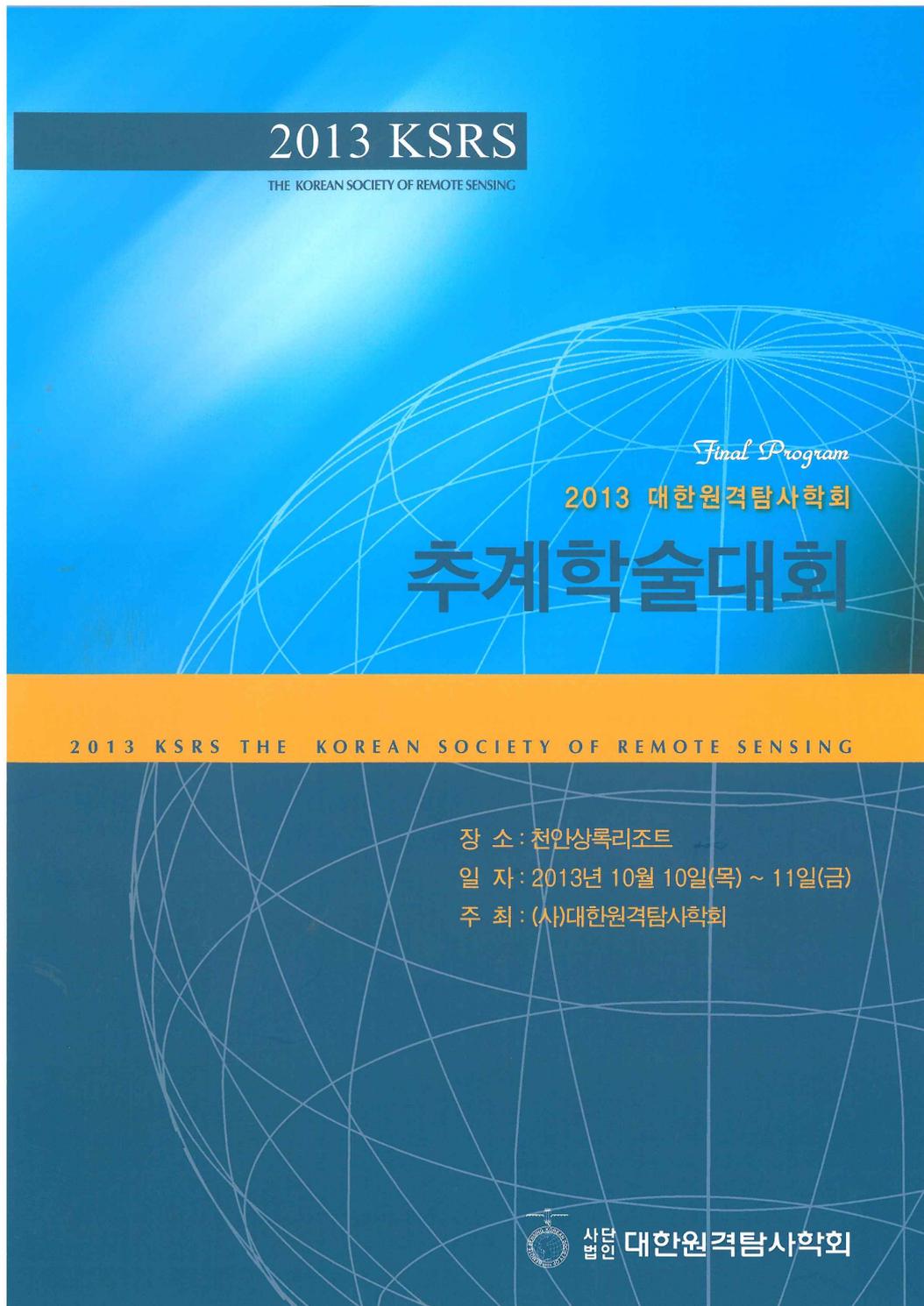
제 1부 자유주제 논문 발표 ▶ 제1분과 (품목·유통)

(2013. 7. 5 (금) 09:00~11:40, 장소 : 209호 (전시동 2F))

좌장 : 양병우 교수 (전북대학교)

- ▣ 09:00~09:30 태풍이 원격탐사기반 쌀 생산량 예측에 미치는 영향분석
발표 : 최 원 행정사무관·최기영 통계주무관·이상열 통계주무관 (통계청)
임세광 연구원·양윤정 연구원·양지연 연구원
최 원 대표이사 ((주)인스페이스)
토론 : 김현석 교수 (경북대학교)
- ▣ 09:30~10:00 The Effect of the Korea-US FTA on the Hanwoo Beef Price in Korea using the Source Differentiated Inverse AIDS model
발표 : 이춘수 강사·양승룡 교수 (고려대학교)
토론 : 지인배 박사 (한국농촌경제연구원)
- ▣ 10:00~10:10 휴 식
- ▣ 10:10~10:40 기후변화와 쌀 생산성 : 패널 지역자료를 이용한 준모수적 분석
발표 : 조현경·조은빛·권오상 교수 (서울대학교)
토론 : 신용광 교수 (한국농수산대학)
- ▣ 10:40~11:10 농산물 계약재배 선택 결정요인 분석
발표 : 이항미·고종태 교수 (강원대학교)
토론 : 국승용 박사 (한국농촌경제연구원)
- ▣ 11:10~11:40 기후변화, 글로벌 농업생산성 변화, 그리고 무역자유화의 경제적 영향
발표 : 권오상 교수·이한빈 (서울대학교)
토론 : 권오복 박사 (산림조합중앙회)

2. 2013년 추계 대한원격탐사학회 발표 논문 초록





- P17 원격탐사를 이용한 벼 수량 추정 연구(I) MODIS 분광지수와 기상자료를 이용한 벼 수량 추정
홍석영, 김이현, 이경도, 이상일, 장소영 | 농촌진흥청 국립농업과학원
- P18 쌀 수확량 예측 모델 개발을 위한 생육주기에 따른 NDVI와 수확량과의 상관관계 검토
박진기, 오시영, 김봉섭, 박종화 | 충북대학교
- P19 인공위성 원격탐사 자료와 기상관측자료를 이용한 쌀 생산량 추정 모델 개발
이권호*, 최원**, 이상열**, 장세진**, 김남용**, 김정현*, 양재권*
| 김일대학교*, 통계청 농업통계과**, 중앙청임**
- P20 공간정보 기반의 백두대간 및 정맥 구축 방안 연구
이병진, 이수재 | 한국환경정책평가연구원
- P21 갯벌의 CO2 축적을 위한 위성영상 활용
정종철 | 남서울대학교
- P22 MODIS 영상을 이용한 충청북도 NDVI의 시계열 분석
김봉섭, 박진기, 오시영, 박종화 | 충북대학교
- P23 MODIS 자료를 이용한 아시아-오세아니아 지역의 지표면 방출률 산출기법 개발
박기홍, 서명석 | 공주대학교
- P24 MODIS를 활용한 한반도 적설지도 작성 및 남·북한 지역 비교분석
전도규*, 손용규*, 김남훈*, 문정균** | 연세대학교*, 한진중공업그룹(주)한국종합기술**
- P25 지표와 대기 습윤 인자를 이용한 위성 기반의 기온 산출
류재현, 한경수, 이창석, 김인환, 박은빈 | 부경대학교
- P26 침수지 토지피복 분포에 따른 도시 기온 변화
오시영, 박종화, 박진기, 김봉섭 | 충북대학교
- P27 천리안 해상위성의 표준 대기보정 기술 : 알고리즘 업데이트 및 초기단계의 대리교정 수행결과
안재현*, 박영재*, 이보람*, 오양삼**, 유주형* | 한국해양과학기술원 해양위성센터* 서울대학교**
- P28 천리안 자료와 SEBAL 에너지 밸런스 모델 기반 증발산을 활용한 가뭄 모니터링
박선영*, 장은나*, 정지훈*, 임정호*, 이진영**
| 울산과학기술대학교*, APCC(아시아 태평양 기후 센터) 기후연구부 Research Fellow**
- P29 Application of Vegetation Temperature Condition Index for monitoring desertification in Bulgan, Mongolia
Hangnan YU, 이우균, 이종열, 최승이 | 고려대학교
- P30 다중시기 Landsat TM영상을 이용한 울골 보너지역의 농작물 분류
계엘마 간바타, 이규성 | 인하대학교
- P31 원격탐사, GIS, 기계학습을 이용한 신사태 위험지역 분석과 사회경제적 취약성 평가
장은나, 박선영, 정지훈, 임정호, 윤동근 | 울산과학기술대학교
- P32 자연자산 가치 평가를 위한 산림의 토사붕괴 평가방법 비교
주용연, 이우균, 박한빈, 송철호 | 고려대학교
- P33 자연자산 가치평가를 위한 산림의 수질정화기능의 비교
송철호, 이우균, 박한빈, 주용연 | 고려대학교
- P34 Analysis of temporal and spatial variability of sea surface temperature in the Yellow Sea and its relation to climate change
Eun-Young Lee, Kyung-Ae Park | 서울대학교

3. 2013년 추계 한국지리정보학회 포스터 발표 자료





우연철* 양운경* 최 원* 이상열* 최영진*

*국인스페이스 기업부설연구소
*통계청 농업통계과

All Space Solutions You Want

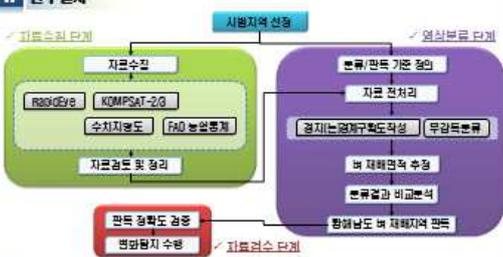
원격탐사 활용 북한 벼 재배면적 1개도 시험조사

I 개요

북한의 벼 재배면적은 북한에서 FAO에 제출하는 통계자료에 의문과 있다. 남북한 농업협력, 통일 농업 정책 추진에 대비하여 북한 농업 통계자료구축의 필요성이 증대되고 있으며, 이러한 최신 동향에 맞추어 좀 더 정확한 북한의 식량자원 현황을 파악하고 다양한 정책지원에 활용하고자 원격탐사를 이용한 북한 벼 재배면적 1개도 시험조사를 수행하고 있다.

2012년도 기 수행 연구목적형, 2012에서는 황해남도 전 지역을 RS로 무감독분류하였으며, 그 중 재검교(1개도)에 한해 베타라이징 작업을 추가 수행하여 벼 재배면적을 추정하였다. 또한 재검교 베타라이징 결과와 무감독분류 결과를 비교·분석하여 정확도 검증도 수행하였다. 이번 2013년도 시험조사에서 베타라이징 면적을 1개도에서 1개도도 확대하여 농업통계 분야에 원격탐사 기술 실용화를 기대하고자 한다.

II 연구절차



III 연구내용

1. 시험지역/시기 선정

- 시험지역: 북한 황해남도
- 북한 최대의 곡식지대인 북한 쌀 생산의 1/4 차지
- 2012년도 벼 재배면적 추정 결과와 비교·분석 가능
- 조사시기: 벼 생육시기(7-8월)

2. 수집자료 개관

수집자료	자료유형	해상도	영역시기	자료보존기관
RadiEye	1B	MSI(pan) 1.85m	2008-2013년	지오포커스
KOMPSAT-2	고분자자료(정사영상)	Panchromatic 1m MS 4m	2007-2013년	방위우주연구원
KOMPSAT-3	고분자자료(정사영상)	Panchromatic 0.7m MS 2.8m	2012-2013년	방위우주연구원
수치지형도	1/25,000(Ver 1.0)	-	2007-2008년	국토지리정보원



3. 경지정보구축도 작성

기존 아카이브 영상과 신규영상간의 변화탐지를 수행(배경)하기 위해 1차, 2차 베타라이징 수행

1차 베타라이징

- 기존 아카이브(08~10) KOMPSAT-2 영상과 RadiEye 영상을 활용하여 경지정보구축도 작성
- 황해남도 20개도 베타라이징 완료

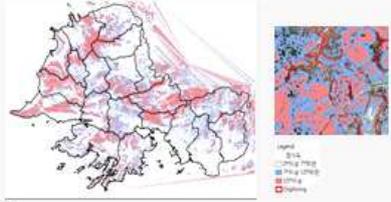
2차 베타라이징

- *13 KOMPSAT-2/3 영상과 RadiEye 영상 활용
- *1차 베타라이징 결과물에 신규영상을 중첩하여 변화지역 추정



IV. 경지정보구축도 편작성 방법

- 경지도 **INSIDE Map** 작성
- 경지도 15도 이하 지역에서 벼 재배가 가능한 것으로 판단(농촌진흥청)
- DEM(수치지형도)으로부터 TIN을 구축(삼각망)을 생성하여 경지도 15도 이상인 지역 추출
- 추출한 자료를 바탕으로 벼 재배 가능지역 분석



- 교차검증**
 - 2차 베타라이징 결과를 편독자 간 교차검증 수행하여 편독정확도 향상
- 새터면 면적부**
 - 북한(김계농촌지역)에 대한 보도 신뢰도 높은 정보 획득과 편독영상에 대한 검증 실시
 - 작성 중 다수 발생하는 편독 오모지역을 선별하여 케이스별로 분류, 새터면에 문의하여 편독 정확도 향상



- 8월 경 작물이 자라는 시기이나 영상 상에서 나무지로 판독되는 경우, 농작물이 심어져 있는 상황지만 아직 작이 드지 않은 것으로 판독
- 일부 지역에서 수목이 많아지는 지역에 모자이크형 편독으로 판독이 모은한 지역이 있었으며 인위적 결과는 경지정보를 위해 수목을 막고 경지면적을 확보한 것으로 보임 -> 이로써 편독

- 북한 농업통계관련 자료** <수목이 많아지는 지역의 모자이크형 확인 경지>
- 미디어, 북한농업정책 관련 보고서 등을 검토하여 북한 농업현황조사 실시
- 북한 황해남도 벼 재배면적 관련 국내외 통계자료를 검증기준자료로 사용, 베타라이징 결과와 비교하여 분류, 정확도의 타당성 검토



Figure 2. DPRK - Cereal production 1980-2010 (1,000 tonnes)

2011년 북한 곡물 생산량 통계(FAO)

북한 쌀 생산량 및 면적 통계자료(FAO)

V 소결론 및 제언

- 경지정보구축도를 Reference와 비교한 결과 90% 이상의 높은 Accuracy를 보였음
- 편독 정확도 향상 방안으로 편독자의 편독기준지침을 마련하기 위한 편독 가이드라인을 발행 시기별, 영상 지원별로 구분하여 작성할 예정임
- 수목 영상분류기법을 이용하여 2012년도 기 수행 연구와 비교하는 방안을 추진하고 있으며, 기존 아카이브 영상과 신규영상간의 변화탐지를 통해 북한 황해남도 지역의 변화상을 확인해 볼 수 있을 것으로 기대됨

VI 시사

본 연구는 2013년도 통계청 원격탐사 활용 북한 벼 재배면적 1개도 시험조사 사업의 지원금에 한해 수행된 연구임

4. 2000~2013년 연도별 쌀 생산량 추정량 비교표

구분	전국	서울	부산	대구	인천	광주	대전	울산	경기	강원	충북	충남	전북	전남	경북	경남	제주	
'00년	추정량	518.5	503.8	465.6	481.9	513.6	480.1	505.1	484	512.1	493.6	529.5	579.5	529	512	501.4	493.8	435.2
	확정치	534	514	496	486	519	480	510	503	515	508	562	595	560	532	518	491	460
	오차	-15.5	-10.2	-30.4	-4.1	-5.4	0.1	-4.9	-19	-2.9	-14.4	-32.5	-15.5	-31	-20	-16.6	2.8	-24.8
'01년	추정량	574	493.8	516.4	555	503.4	535	543	534.3	531.7	521.2	575.5	608.2	605.4	555.3	539.3	540.8	489.8
	확정치	556	494	509	525	506	538	547	532	534	529	572	595	586	541	552	540	503
	오차	18	-0.2	7.4	30	-2.6	-3	-4	2.3	-2.3	-7.8	3.5	13.2	19.4	14.3	-12.7	0.8	-13.2
'02년	추정량	514.4	496.7	475.6	471.9	544.8	471.9	518.3	502.7	521.2	483.4	524.5	573.6	544.1	485.4	538.9	454.5	432.3
	확정치	507	499	458	468	557	473	507	496	518	472	533	552	526	474	510	465	419
	오차	7.4	-2.3	17.6	3.9	-12.2	-1.1	11.3	6.7	3.2	11.4	-8.5	21.6	18.1	11.4	28.9	-10.5	13.3
'03년	추정량	481.7	491.3	409.3	416.2	517	457.7	482.8	404.5	485	462	488.6	518.8	517.1	474.2	472.2	419.3	412.6
	확정치	475	486	394	390	521	456	463	400	483	462	476	515	487	475	444	413	418
	오차	6.7	5.3	15.3	26.2	-4	1.7	19.8	4.5	2	0	12.6	3.8	30.1	-0.8	28.2	6.3	-5.4
'04년	추정량	528	521.9	505.1	496.6	549	516.1	521.2	509.7	528.6	515	531.2	580.5	563.4	493.9	540.6	523.8	477.2
	확정치	543	513	514	511	546	515	543	515	527	504	539	579	573	524	539	527	479
	오차	-15	8.9	-8.9	-14.4	3	1.1	-21.8	-5.3	1.6	11	-7.8	1.5	-9.6	-30.1	1.6	-3.2	-1.8
'05년	추정량	518.8	501.5	492	504.8	545	486.4	526.5	486.7	515	518	534.1	546.7	553.8	494.3	513.6	510.3	452.2
	확정치	527	507	494	505	529	489	531	484	522	510	525	562	538	507	532	511	449
	오차	-8.2	-5.5	-2	-0.2	16	-2.6	-4.5	2.7	-7	8	9.1	-15.3	15.8	-12.7	-18.4	-0.7	3.2
'06년	추정량	539	508.9	500.5	524.2	513.7	507.1	539.7	488.6	530.6	496	533.1	568.5	547.9	497.2	524.8	522.4	487.3
	확정치	530	505	504	506	497	504	534	499	518	487	522	571	562	502	532	516	466
	오차	9	3.9	-3.5	18.2	16.7	3.1	5.7	-10.4	12.6	9	11.1	-2.5	-14.1	-4.8	-7.2	6.4	21.3
'07년	추정량	517.5	472.9	488.5	451.9	496.4	479.9	507.7	482.5	491.9	483.3	510.9	547.4	549.3	482.9	509.7	495.9	418.6
	확정치	501	472	508	479	491	482	500	468	499	483	495	540	519	461	511	495	411
	오차	16.5	0.9	-19.5	-27.1	5.4	-2.1	7.7	14.5	-7.1	0.3	15.9	7.4	30.3	21.9	-1.3	0.9	7.6
'08년	추정량	546.5	551.1	542.7	554.7	530.5	519.9	526.6	539.2	555.1	521.4	552.9	579.3	574	523.9	573.6	562.3	499.6
	확정치	560	549	556	565	550	518	522	544	549	524	555	594	581	521	573	563	501
	오차	-13.5	2.1	-13.3	-10.3	-19.5	1.9	4.6	-4.8	6.1	-2.6	-2.1	-14.7	-7	2.9	0.6	-0.7	-1.4
'09년	추정량	564.2	502	530.4	587.9	493.4	523.1	561.8	529.5	532.3	554.4	546	602.8	606.2	541.5	601.9	554.1	513.6
	확정치	574	516	526	593	505	524	555	517	546	557	566	612	620	530	598	561	508
	오차	-9.8	-14	4.4	-5.1	-11.6	-0.9	6.8	12.5	-13.7	-2.6	-20	-9.2	-13.8	11.5	3.9	-6.9	5.6
'10년	추정량	515.1	470.5	518.7	521.2	473.5	495.4	507.5	488.5	472	503.6	500.6	542.3	537	492.2	550	508.4	369.8
	확정치	520	468	501	522	463	495	520	487	468	488	514	544	554	500	545	518	368
	오차	-4.9	2.5	17.7	-0.8	10.5	0.4	-12.5	1.5	4	15.6	-13.4	-1.7	-17	-7.8	5	-9.6	1.8
'11년	추정량	525.7	484	531.6	509	442.4	503.6	540.3	497.2	485.7	499.4	546.3	572.8	540.7	495	532.2	533.2	430.9
	확정치	533	476	510	524	446	503	532	508	476	512	530	567	564	513	555	531	447
	오차	-7.3	8	21.6	-15	-3.6	0.6	8.3	-10.8	9.7	-12.6	16.3	5.8	-23.3	-18	-22.8	2.2	-16.1
'12년	추정량	525.6	499.5	520.6	527.7	530	518.7	509.5	510.5	492.9	491.5	545.9	556.5	515.8	469.2	555.8	531.3	371.9
	확정치	509	499	527	529	523	518	526	505	499	507	530	551	514	437	545	519	362
	오차	16.6	0.5	-6.4	-1.3	7	0.7	-16.5	5.5	-6.1	-15.5	15.9	5.5	1.8	32.2	10.8	12.3	9.9
'13년	추정량	540.2	441.5	587.6	537.8	610.5	549.8	501.3	531.1	471.8	456.5	493.9	531	600	507.6	496.9	478.3	529.4
	확정치	547	493	544	550	503	530	542	537	493	504	553	584	578	520	568	544	403
	오차	-6.8	-51.5	43.6	-12.2	107.5	19.8	-40.7	-5.9	-21.2	-47.5	-59.1	-53	22	-12.4	-71.1	-65.7	126.4

NDVI모형(*추정량은 현미 기준의 kg/10a)

원격탐사 활용 북한 벼 재배면적 1개도 시험조사

구분	전국	서울	부산	대구	인천	광주	대전	울산	경기	강원	충북	충남	전북	전남	경북	경남	제주	
'00년	추정량	522.8	504.9	459	483.8	509.3	481.5	503.6	485.9	512.2	501.8	530.8	579.4	528.9	519.2	497.8	494.7	440.1
	확정치	534	514	496	486	519	480	510	503	515	508	562	595	560	532	518	491	460
	오차	-11.2	-9.1	-37	-2.2	-9.7	1.5	-6.4	-17.1	-2.8	-6.2	-31.2	-15.6	-31.1	-12.8	-20.2	3.7	-19.9
'01년	추정량	568.6	493.5	521.7	554.6	502.9	532	541.9	532.6	532.2	521.7	573.3	608.4	605.8	541	540.3	539.2	487.1
	확정치	556	494	509	525	506	538	547	532	534	529	572	595	586	541	552	540	503
	오차	12.6	-0.5	12.7	29.6	-3.1	-6	-5.1	0.6	-1.8	-7.3	1.3	13.4	19.8	0	-11.7	-0.8	-15.9
'02년	추정량	501.4	493.8	479.7	471.8	548.5	469.4	518.4	504.6	521.1	471.1	524.5	572.8	543.8	476.4	531	453.6	437
	확정치	507	499	458	468	557	473	507	496	518	472	533	552	526	474	510	465	419
	오차	-5.6	-5.2	21.7	3.8	-8.5	-3.6	11.4	8.6	3.1	-0.9	-8.5	20.8	17.8	2.4	21	-11.4	18
'03년	추정량	482.1	490.2	408.9	418.1	521.1	457.3	482.9	403.8	484.2	452.3	488.8	519.2	516.2	479.2	474.1	419	410.6
	확정치	475	486	394	390	521	456	463	400	483	462	476	515	487	475	444	413	418
	오차	7.1	4.2	14.9	28.1	0.1	1.3	19.9	3.8	1.2	-9.7	12.8	4.2	29.2	4.2	30.1	6	-7.4
'04년	추정량	539.1	522.6	508.4	491.1	551.4	516.3	522.7	504.8	531.4	511.5	531.6	580.7	562.7	505.7	545.9	524	478.9
	확정치	543	513	514	511	546	515	543	515	527	504	539	579	573	524	539	527	479
	오차	-3.9	9.6	-5.6	-19.9	5.4	1.3	-20.3	-10.2	4.4	7.5	-7.4	1.7	-10.3	-18.3	6.9	-3	-0.1
'05년	추정량	521.8	503.2	494	504.4	555.4	492.7	533	485.5	513.7	517.4	530.5	545.9	553.7	495.3	506.9	510	457.8
	확정치	527	507	494	505	529	489	531	484	522	510	525	562	538	507	532	511	449
	오차	-5.2	-3.8	0	-0.6	26.4	3.7	2	1.5	-8.3	7.4	5.5	-16.1	15.7	-11.7	-25.1	-1	8.8
'06년	추정량	528.5	510	500.8	525.9	489.4	508.1	538.5	491.7	528.7	501.2	534.3	568.8	550.7	492.2	523.8	519.7	476.8
	확정치	530	505	504	506	497	504	534	499	518	487	522	571	562	502	532	516	466
	오차	-1.5	5	-3.2	19.9	-7.6	4.1	4.5	-7.3	10.7	14.2	12.3	-2.2	-11.3	-9.8	-8.2	3.7	10.8
'07년	추정량	511.5	475	498.1	451.2	499.9	478.9	508.4	481.7	494.4	490	509.4	546.8	550.5	464.9	513.7	499.3	420.7
	확정치	501	472	508	479	491	482	500	468	499	483	495	540	519	461	511	495	411
	오차	10.5	3	-9.9	-27.8	8.9	-3.1	8.4	13.7	-4.6	7	14.4	6.8	31.5	3.9	2.7	4.3	9.7
'08년	추정량	552.4	550.6	534.5	556.4	529	519.7	524.1	536	555.2	522	558.1	579.7	570.2	522.3	571	562.3	498.7
	확정치	560	549	556	565	550	518	522	544	549	524	555	594	581	521	573	563	501
	오차	-7.6	1.6	-21.5	-8.6	-21	1.7	2.1	-8	6.2	-2	3.1	-14.3	-10.8	1.3	-2	-0.7	-2.3
'09년	추정량	565.4	500.9	532.4	586.7	501.3	522.7	563.5	530.3	531.3	549.4	543.6	602.3	607.1	555.7	603.5	559.8	517.7
	확정치	574	516	526	593	505	524	555	517	546	557	566	612	620	530	598	561	508
	오차	-8.6	-15.1	6.4	-6.3	-3.7	-1.3	8.5	13.3	-14.7	-7.6	-22.4	-9.7	-12.9	25.7	5.5	-1.2	9.7
'10년	추정량	508.5	470.6	522.8	517.9	475.3	492.6	504.4	487.3	471.8	494.2	501.2	542.5	537.3	497	540.3	510.5	373.9
	확정치	520	468	501	522	463	495	520	487	468	488	514	544	554	500	545	518	368
	오차	-11.5	2.6	21.8	-4.1	12.3	-2.4	-15.6	0.3	3.8	6.2	-12.8	-1.5	-16.7	-3	-4.7	-7.5	5.9
'11년	추정량	541.9	483.3	521.7	513.6	452.2	503.4	536.4	497.5	485.7	503.2	548.9	573.5	541.1	498.6	550.8	530	425.7
	확정치	533	476	510	524	446	503	532	508	476	512	530	567	564	513	555	531	447
	오차	8.9	7.3	11.7	-10.4	6.2	0.4	4.4	-10.5	9.7	-8.8	18.9	6.5	-22.9	-14.4	-4.2	-1	-21.3
'12년	추정량	524.9	499.4	515	527.4	517.3	520.5	512	516.4	492.2	507.1	543.9	557.1	515.8	469.5	555	527.8	366.1
	확정치	509	499	527	529	523	518	526	505	499	507	530	551	514	437	545	519	362
	오차	15.9	0.4	-12	-1.6	-5.7	2.5	-14	11.4	-6.8	0.1	13.9	6.1	1.8	32.5	10	8.8	4.1
'13년	추정량	588.9	439.1	584.7	532.3	561.1	548.8	492.6	528.3	475.7	436.1	491.2	531.7	601.6	533.5	503	461.3	508
	확정치	547	493	544	550	503	530	542	537	493	504	553	584	578	520	568	544	403
	오차	41.9	-53.9	40.7	-17.7	58.1	18.8	-49.4	-8.7	-17.3	-67.9	-61.8	-52.3	23.6	13.5	-65	-82.7	105

ARVI모형(*추정량은 현미 기준의 kg/10a)

구분	전국	서울	부산	대구	인천	광주	대전	울산	경기	강원	충북	충남	전북	전남	경북	경남	제주	
'00년	추정량	518.6	505.8	482.4	490.7	519.2	479.4	503	492.7	509.7	491.5	533.3	579	525.7	516.5	507.6	491.5	436.3
	확정치	534	514	496	486	519	480	510	503	515	508	562	595	560	532	518	491	460
	오차	-15.4	-8.2	-13.6	4.7	0.2	-0.6	-7	-10.3	-5.3	-16.5	-28.7	-16	-34.3	-15.5	-10.4	0.5	-23.7
'01년	추정량	574.7	495.9	518	550.6	503.8	533.4	544	536.2	531.1	522	580.3	608.1	603.6	545.6	549	539.7	488.8
	확정치	556	494	509	525	506	538	547	532	534	529	572	595	586	541	552	540	503
	오차	18.7	1.9	9	25.6	-2.2	-4.6	-3	4.2	-2.9	-7	8.3	13.1	17.6	4.6	-3	-0.3	-14.2
'02년	추정량	511.5	497.2	479.3	472	547.4	474.6	523	509.6	520	475.7	526.7	571.9	534.6	480.7	536.1	457.8	432.5
	확정치	507	499	458	468	557	473	507	496	518	472	533	552	526	474	510	465	419
	오차	4.5	-1.8	21.3	4	-9.6	1.6	16	13.6	2	3.7	-6.3	19.9	8.6	6.7	26.1	-7.2	13.5
'03년	추정량	484.8	488.6	390.9	422.4	516.2	462.2	477.9	402.5	482.9	465.2	490.2	518.9	524.1	479.6	454.1	422.4	412.3
	확정치	475	486	394	390	521	456	463	400	483	462	476	515	487	475	444	413	418
	오차	9.8	2.6	-3.1	32.4	-4.8	6.2	14.9	2.5	-0.1	3.2	14.2	3.9	37.1	4.6	10.1	9.4	-5.7
'04년	추정량	531.9	516.7	499.2	496.7	549.3	523.1	518.9	503.1	528.3	518	522.9	582	563	498.8	534.1	523.6	477.7
	확정치	543	513	514	511	546	515	543	515	527	504	539	579	573	524	539	527	479
	오차	-11.1	3.7	-14.8	-14.3	3.3	8.1	-24.1	-11.9	1.3	14	-16.1	3	-10	-25.2	-4.9	-3.4	-1.3
'05년	추정량	513.4	507.1	494	502.7	535.8	489.2	532.6	478.3	520.8	504.3	533	546.1	547.1	485.7	528.3	503.4	453.8
	확정치	527	507	494	505	529	489	531	484	522	510	525	562	538	507	532	511	449
	오차	-13.6	0.1	0	-2.3	6.8	0.2	1.6	-5.7	-1.2	-5.7	8	-15.9	9.1	-21.3	-3.7	-7.6	4.8
'06년	추정량	534.5	507.5	513.3	520.6	512.2	505.3	542.8	499.9	530.5	509.4	539.4	568.6	549.3	497.9	526.8	518.4	485.7
	확정치	530	505	504	506	497	504	534	499	518	487	522	571	562	502	532	516	466
	오차	4.5	2.5	9.3	14.6	15.2	1.3	8.8	0.9	12.5	22.4	17.4	-2.4	-12.7	-4.1	-5.2	2.4	19.7
'07년	추정량	515.9	475.8	514.4	443.5	495.8	473.4	509.5	471.1	495	486	502.5	546.1	547.6	471.1	508.6	490.4	418
	확정치	501	472	508	479	491	482	500	468	499	483	495	540	519	461	511	495	411
	오차	14.9	3.8	6.4	-35.5	4.8	-8.6	9.5	3.1	-4	3	7.5	6.1	28.6	10.1	-2.4	-4.6	7
'08년	추정량	547.6	551.6	536.7	550.9	544.3	524.2	527.9	538.8	549.9	520.6	539.2	578.6	572.7	522.2	570.6	563.7	498.3
	확정치	560	549	556	565	550	518	522	544	549	524	555	594	581	521	573	563	501
	오차	-12.4	2.6	-19.3	-14.1	-5.7	6.2	5.9	-5.2	0.9	-3.4	-15.8	-15.4	-8.3	1.2	-2.4	0.7	-2.7
'09년	추정량	564.7	507.6	525.9	591.9	483.6	519.5	553.3	517	539.3	550.3	554.1	602.5	613.5	552.6	593.5	557.9	516
	확정치	574	516	526	593	505	524	555	517	546	557	566	612	620	530	598	561	508
	오차	-9.3	-8.4	-0.1	-1.1	-21.4	-4.5	-1.7	0	-6.7	-6.7	-11.9	-9.5	-6.5	22.6	-4.5	-3.1	8
'10년	추정량	512.8	469.6	497	509.5	466.5	499.9	507.8	488.1	472.8	502.9	512.5	542.7	536.6	497.9	554.8	511.8	370.2
	확정치	520	468	501	522	463	495	520	487	468	488	514	544	554	500	545	518	368
	오차	-7.2	1.6	-4	-12.5	3.5	4.9	-12.2	1.1	4.8	14.9	-1.5	-1.3	-17.4	-2.1	9.8	-6.2	2.2
'11년	추정량	534.1	473.5	518.1	523.8	449.8	498.6	538.3	507.8	474.6	508.4	531.9	573.6	547.8	500.7	529.3	535.1	428.7
	확정치	533	476	510	524	446	503	532	508	476	512	530	567	564	513	555	531	447
	오차	1.1	-2.5	8.1	-0.2	3.8	-4.4	6.3	-0.2	-1.4	-3.6	1.9	6.6	-16.2	-12.3	-25.7	4.1	-18.3
'12년	추정량	524.5	501.1	527.8	527.7	529.1	512.2	511.2	512.9	499	488.6	553	558.7	518.4	467.8	561	534.4	372.6
	확정치	509	499	527	529	523	518	526	505	499	507	530	551	514	437	545	519	362
	오차	15.5	2.1	0.8	-1.3	6.1	-5.8	-14.8	7.9	0	-18.4	23	7.7	4.4	30.8	16	15.4	10.6
'13년	추정량	547.5	455.8	514.7	551.9	631.9	542.6	492.4	514.7	485.5	450.7	483.2	533.2	594	506.7	467	482.2	516.6
	확정치	547	493	544	550	503	530	542	537	493	504	553	584	578	520	568	544	403
	오차	0.5	-37.2	-29.3	1.9	128.9	12.6	-49.6	-22.3	-7.5	-53.3	-69.8	-50.8	16	-13.3	-101	-61.8	113.6

EVI모형(*추정량은 현미 기준의 kg/10a)

원격탐사 활용 북한 벼 재배면적 1개도 시험조사

구분	전국	서울	부산	대구	인천	광주	대전	울산	경기	강원	충북	충남	전북	전남	경북	경남	제주	
'00년	추정량	518.3	504.1	471.4	485.2	517.1	479.1	503.1	487.3	509.9	491.6	532.6	579.2	527.7	514.3	506.1	491.2	435.9
	확정치	534	514	496	486	519	480	510	503	515	508	562	595	560	532	518	491	460
	오차	-15.7	-9.9	-24.6	-0.8	-1.9	-0.9	-6.9	-15.7	-5.1	-16.4	-29.4	-15.8	-32.3	-17.7	-11.9	0.2	-24.1
'01년	추정량	574.8	496	521.5	556.9	503.6	534.8	543.4	539.4	530.9	521.2	580.5	608	606	549.5	544.9	540.8	489.9
	확정치	556	494	509	525	506	538	547	532	534	529	572	595	586	541	552	540	503
	오차	18.8	2	12.5	31.9	-2.4	-3.2	-3.6	7.4	-3.1	-7.8	8.5	13	20	8.5	-7.1	0.8	-13.1
'02년	추정량	512.6	500.1	480.6	471.8	542.1	475.7	522.4	507.6	520.3	477.5	526.1	573.2	538.9	486.4	537.4	457.8	431.1
	확정치	507	499	458	468	557	473	507	496	518	472	533	552	526	474	510	465	419
	오차	5.6	1.1	22.6	3.8	-14.9	2.7	15.4	11.6	2.3	5.5	-6.9	21.2	12.9	12.4	27.4	-7.2	12.1
'03년	추정량	483.9	490.2	393.6	419.3	515	461.5	478.4	404	483.7	464.8	488.8	517.9	520.6	476.7	461.5	422	413.1
	확정치	475	486	394	390	521	456	463	400	483	462	476	515	487	475	444	413	418
	오차	8.9	4.2	-0.4	29.3	-6	5.5	15.4	4	0.7	2.8	12.8	2.9	33.6	1.7	17.5	9	-4.9
'04년	추정량	530.4	516.9	513.8	488.2	553.4	522	519	510	526.8	517.5	524.4	581.4	561.3	496	536.7	523.7	477.4
	확정치	543	513	514	511	546	515	543	515	527	504	539	579	573	524	539	527	479
	오차	-12.6	3.9	-0.2	-22.8	7.4	7	-24	-5	-0.2	13.5	-14.6	2.4	-11.7	-28	-2.3	-3.3	-1.6
'05년	추정량	514.7	504.2	498.1	504.5	546.6	486.9	533.1	481.6	520.9	505.8	536.3	547.3	547.7	484.1	524.5	504.2	452
	확정치	527	507	494	505	529	489	531	484	522	510	525	562	538	507	532	511	449
	오차	-12.3	-2.8	4.1	-0.5	17.6	-2.1	2.1	-2.4	-1.1	-4.2	11.3	-14.7	9.7	-22.9	-7.5	-6.8	3
'06년	추정량	536.4	506.9	510.2	523.4	505.8	505.2	542.3	493.1	531.7	508.5	536.9	568.6	550.7	501.1	525.5	519.6	487.5
	확정치	530	505	504	506	497	504	534	499	518	487	522	571	562	502	532	516	466
	오차	6.4	1.9	6.2	17.4	8.8	1.2	8.3	-5.9	13.7	21.5	14.9	-2.4	-11.3	-0.9	-6.5	3.6	21.5
'07년	추정량	516.8	473.4	519.1	452.1	504.6	474.8	509.5	473.2	493	486.2	505.6	547.4	551.7	475.5	507.2	490.6	417.1
	확정치	501	472	508	479	491	482	500	468	499	483	495	540	519	461	511	495	411
	오차	15.8	1.4	11.1	-26.9	13.6	-7.2	9.5	5.2	-6	3.2	10.6	7.4	32.7	14.5	-3.8	-4.4	6.1
'08년	추정량	547.1	552.2	528.5	554.5	533.3	523.3	528.2	542.8	550.6	521	539.7	578.4	571.6	520.7	573.7	563.7	498.7
	확정치	560	549	556	565	550	518	522	544	549	524	555	594	581	521	573	563	501
	오차	-12.9	3.2	-27.5	-10.5	-16.7	5.3	6.2	-1.2	1.6	-3	-15.3	-15.6	-9.4	-0.3	0.7	0.7	-2.3
'09년	추정량	564.1	507.7	526.7	586.8	482.4	520.8	554.1	518	538.7	551.3	553.8	602.8	609.1	548.7	596.1	555.2	514.9
	확정치	574	516	526	593	505	524	555	517	546	557	566	612	620	530	598	561	508
	오차	-9.9	-8.3	0.7	-6.2	-22.6	-3.2	-0.9	1	-7.3	-5.7	-12.2	-9.2	-10.9	18.7	-1.9	-5.8	6.9
'10년	추정량	513.6	469.7	510.7	510.9	470	500.8	507.1	491.1	472.8	504	509.4	542.6	536.8	498.6	553.5	510.7	369.3
	확정치	520	468	501	522	463	495	520	487	468	488	514	544	554	500	545	518	368
	오차	-6.4	1.7	9.7	-11.1	7	5.8	-12.9	4.1	4.8	16	-4.6	-1.4	-17.2	-1.4	8.5	-7.3	1.3
'11년	추정량	531.2	475.6	510	522.3	452.4	498.2	538.2	506.5	476.2	505.5	532.9	572.4	546.7	500.2	526.4	536.2	430.4
	확정치	533	476	510	524	446	503	532	508	476	512	530	567	564	513	555	531	447
	오차	-1.8	-0.4	0	-1.7	6.4	-4.8	6.2	-1.5	0.2	-6.5	2.9	5.4	-17.3	-12.8	-28.6	5.2	-16.6
'12년	추정량	525.1	501	512.7	527.1	526.7	511.8	510.9	503.4	498.6	488.1	552.1	557.9	515.2	465.2	560.5	534.3	373.7
	확정치	509	499	527	529	523	518	526	505	499	507	530	551	514	437	545	519	362
	오차	16.1	2	-14.3	-1.9	3.7	-6.2	-15.1	-1.6	-0.4	-18.9	22.1	6.9	1.2	28.2	15.5	15.3	11.7
'13년	추정량	543.5	454.7	551.2	533.8	592.3	544.8	491	523.8	480.8	452.3	486.3	532.5	591.9	501.4	491.8	485.4	513.3
	확정치	547	493	544	550	503	530	542	537	493	504	553	584	578	520	568	544	403
	오차	-3.5	-38.3	7.2	-16.2	89.3	14.8	-51	-13.2	-12.2	-51.7	-66.7	-51.5	13.9	-18.6	-76.2	-58.6	110.3

SAVI모형 (*추정량은 현미 기준의 kg/10a)

구분	전국	서울	부산	대구	인천	광주	대전	울산	경기	강원	충북	충남	전북	전남	경북	경남	제주	
'00년	추정량	518.4	504.4	473.8	486.3	514.8	481.5	502.5	486.7	510.8	497.5	535.7	584.2	532.7	515.9	505.9	493.2	435.2
	확정치	534	514	496	486	519	480	510	503	515	508	562	595	560	532	518	491	460
	오차	-15.6	-9.6	-22.2	0.3	-4.2	1.5	-7.5	-16.3	-4.2	-10.5	-26.3	-10.8	-27.3	-16.1	-12.1	2.2	-24.8
'01년	추정량	574.1	495.3	516.8	555.1	503.9	529.3	542.9	531.8	532.4	519.3	575.1	609.4	604.9	552.3	540.6	541.4	488.7
	확정치	556	494	509	525	506	538	547	532	534	529	572	595	586	541	552	540	503
	오차	18.1	1.3	7.8	30.1	-2.1	-8.7	-4.1	-0.2	-1.6	-9.7	3.1	14.4	18.9	11.3	-11.4	1.4	-14.3
'02년	추정량	514.3	495.4	468.5	471.9	541.7	469.5	523.9	504.7	521.3	479.6	523.9	572	544.1	479.4	540.4	457.5	434.1
	확정치	507	499	458	468	557	473	507	496	518	472	533	552	526	474	510	465	419
	오차	7.3	-3.6	10.5	3.9	-15.3	-3.5	16.9	8.7	3.3	7.6	-9.1	20	18.1	5.4	30.4	-7.5	15.1
'03년	추정량	481.8	489.7	401.5	420.2	513	459.3	480.3	402.3	484.8	456.8	487.3	516.3	515.2	478.8	464.9	415.2	412
	확정치	475	486	394	390	521	456	463	400	483	462	476	515	487	475	444	413	418
	오차	6.8	3.7	7.5	30.2	-8	3.3	17.3	2.3	1.8	-5.2	11.3	1.3	28.2	3.8	20.9	2.2	-6
'04년	추정량	528.1	518	526.1	491.9	558	518.4	525	504.9	527.5	513.8	523.1	570.4	565.9	492.5	538.5	524.9	477.9
	확정치	543	513	514	511	546	515	543	515	527	504	539	579	573	524	539	527	479
	오차	-14.9	5	12.1	-19.1	12	3.4	-18	-10.1	0.5	9.8	-15.9	-8.6	-7.1	-31.5	-0.5	-2.1	-1.1
'05년	추정량	518.6	508.2	479.9	501.2	543.4	495.2	529.6	486	519	514.2	536	552.6	556.5	487.3	523.6	515.3	453.6
	확정치	527	507	494	505	529	489	531	484	522	510	525	562	538	507	532	511	449
	오차	-8.4	1.2	-14.1	-3.8	14.4	6.2	-1.4	2	-3	4.2	11	-9.4	18.5	-19.7	-8.4	4.3	4.6
'06년	추정량	538.9	508.6	504	524.6	504	508.3	535.7	493.1	529.5	505.3	536.3	568.3	540.4	502.5	523.2	523	485.1
	확정치	530	505	504	506	497	504	534	499	518	487	522	571	562	502	532	516	466
	오차	8.9	3.6	0	18.6	7	4.3	1.7	-5.9	11.5	18.3	14.3	-2.7	-21.6	0.5	-8.8	7	19.1
'07년	추정량	517.6	475.2	518.1	448.1	504.9	475.5	509.9	483.5	493	487.5	509.6	552.3	544.7	481.7	509.7	496.8	419.6
	확정치	501	472	508	479	491	482	500	468	499	483	495	540	519	461	511	495	411
	오차	16.6	3.2	10.1	-30.9	13.9	-6.5	9.9	15.5	-6	4.5	14.6	12.3	25.7	20.7	-1.3	1.8	8.6
'08년	추정량	546.5	552.1	547.9	555.3	531.8	521.3	522.9	534.2	555	524	559.7	585.4	583.4	520.2	577.1	561.6	498.9
	확정치	560	549	556	565	550	518	522	544	549	524	555	594	581	521	573	563	501
	오차	-13.5	3.1	-8.1	-9.7	-18.2	3.3	0.9	-9.8	6	0	4.7	-8.6	2.4	-0.8	4.1	-1.4	-2.1
'09년	추정량	564.1	502.6	519.7	585.9	488	522.1	563	530.1	532.9	550.4	544.1	605.2	602.1	545.7	600.2	553	514.9
	확정치	574	516	526	593	505	524	555	517	546	557	566	612	620	530	598	561	508
	오차	-9.9	-13.4	-6.3	-7.1	-17	-1.9	8	13.1	-13.1	-6.6	-21.9	-6.8	-17.9	15.7	2.2	-8	6.9
'10년	추정량	515	470.3	515.1	513.2	472.9	493.2	504.5	485.7	471.8	503.8	502.7	541.4	537	493.5	551	509.3	371.1
	확정치	520	468	501	522	463	495	520	487	468	488	514	544	554	500	545	518	368
	오차	-5	2.3	14.1	-8.8	9.9	-1.8	-15.5	-1.3	3.8	15.8	-11.3	-2.6	-17	-6.5	6	-8.7	3.1
'11년	추정량	526	477.9	513.8	521.1	448.2	501.3	536.8	498.9	481	497.8	541.5	566.7	541.7	500.9	526.5	531.9	429.5
	확정치	533	476	510	524	446	503	532	508	476	512	530	567	564	513	555	531	447
	오차	-7	1.9	3.8	-2.9	2.2	-1.7	4.8	-9.1	5	-14.2	11.5	-0.3	-22.3	-12.1	-28.5	0.9	-17.5
'12년	추정량	525.6	500.3	511.8	528.4	528.4	520.2	513	516.1	495	493	544.1	552.8	515.5	466.3	552.6	527.1	370.2
	확정치	509	499	527	529	523	518	526	505	499	507	530	551	514	437	545	519	362
	오차	16.6	1.3	-15.2	-0.6	5.4	2.2	-13	11.1	-4	-14	14.1	1.8	1.5	29.3	7.6	8.1	8.2
'13년	추정량	540.6	447.6	653.9	544.5	554.3	548.9	482.9	529.7	482	445.6	499.7	532.2	598.2	498	484.8	463.1	518.8
	확정치	547	493	544	550	503	530	542	537	493	504	553	584	578	520	568	544	403
	오차	-6.4	-45.4	109.9	-5.5	51.3	18.9	-59.1	-7.3	-11	-58.4	-53.3	-51.8	20.2	-22	-83.2	-80.9	115.8

AFRI모형 (*추정량은 현미 기준의 kg/10a)

5. 통계청 쌀 생산량 조사 개요

□ 조사목적

- 생산량조사는 식량생산 계획, 농산물 가격안정, 농업소득 추계 등 농업정책 수행에 필요한 자료를 수요자에게 제공하기 위하여 실시

□ 조사연혁

- 1964년까지는 행정조사로 실시
- 1965년에 최초로 쌀 단위면적당(10a당) 수량을 표본조사로 실시
- 2008년 3월 농림수산식품부에서 통계청으로 이관

□ 법적근거

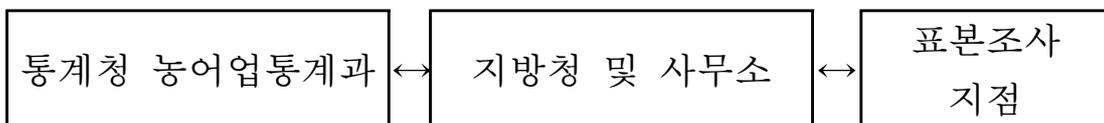
- 통계법 제17조 및 동법 시행령 제22조에 의거한 지정통계(승인번호 제 11404호)

□ 조사대상 표본수

- 전체 약 7,000개 표본구역

□ 조사체계 및 방법

- 현지 방문 실측 조사



※ 현미를 쌀로 환산하는 비율(현백률)의 현실화 : 92.9→90.4% (12분도)

- 시계열 유지를 위해 일관되게 적용하여 오던 현백률 92.9%를 2011년부터 시중에서 유통되는 현백률인 90.4%를 적용하여 현실화
- ※ 수록된 자료는 사사오입 되었으므로 세목과 그 합계가 일치하지 않는 경우도 있으며, 단위에 따라 증감비율이 다를 수 있음

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.